

# 高強度混凝土之 T 頭鋼筋錨定行為研究

## Anchorage Behavior of T Headed bars within High-Strength Concrete

\*林克強

\*\*紀凱甯

Ker-Chun Lin    Kai-Ning Chi

\* 國家地震工程研究中心副研究員

\*\* 淡江大學土木工程學系研究生

## 摘要

現階段鋼筋端錨仍普遍採用傳統  $90^\circ$  或  $180^\circ$  標準彎鉤，但基於握裹設計長度之規定，常造成梁柱接頭之鋼筋配置擁擠，進而施工費時困難。近幾年「機械式錨定」(T 頭鋼筋)的出現，除了解決上述困境，大幅縮減鋼筋握裹長度，研究成果也顯示其性能足以媲美傳統直通與彎鉤鋼筋的錨定，在國外已漸漸被應用在橋梁及建築結構上，於 ACI 318-08 中也已提供相關的設計建議，其規範規定鋼筋材質不得超過 420MPa 等級之鋼筋、混凝土設計強度不得超過 42MPa、鋼筋淨間距與淨保護層分別不得少於  $4d_b$  與  $2d_b$ ，以及錨定端板面積必須不少於 5 倍鋼筋斷面積。故本研究將設計一系列有關於機械式錨定之測試，除探討其錨定性能、歸納試體破壞模式外，欲針對不同參數條件下之試驗型進行研究，進一步突破規範之適用限制，以擴大實際應用範圍。並提出相關 T 頭鋼筋錨定的設計與施工建議。

本研究共進行 52 組梁構件 CCT 節點試驗及 26 組拉拔試驗，探討 T 頭鋼筋在混凝土中之錨定行為與傳力機制。其中研究參數包括鋼筋強度、混凝土強度、T 錨端板大小、鋼筋淨間距( $4d_b$  及  $1.5d_b$ )及為述條件等，同時也探討 T 頭鋼筋、直通鋼筋與標準  $90^\circ$  及  $180^\circ$  彎鉤鋼筋之錨定效應。

試驗結果顯示，T 頭鋼筋確實比標準彎鉤提供較佳之錨定性能，且 T 錨端板越大，錨定強度提升越顯著，於本研究中，3 倍 T 頭端板已足已取代標準彎鉤之錨定強度；鋼筋淨間距採用  $1.5d_b$  與  $4d_b$  之試體，其錨定強度表現獲得相近之結果，但仍需更多之實驗證實其配置間距是否能夠確實縮減；混凝土強度方面，本研究結果顯示鋼筋之錨定強度與混凝土強度成正比；圍束量而言，配置圍束箍筋可有效提升試體之錨定強度。至於 T 頭端板之位移情形，其位移量與端板面積、鋼筋號數及圍束箍筋量成反比相關，與混凝土強度則成正比相關。

**關鍵詞：** $90^\circ$  與  $180^\circ$  標準彎鉤、機械式錨定、T 頭鋼筋、CCT 節點、拉拔

## ABSTRACT

The For newly reinforced concrete (RC) engineering technologies, a standard 90 or 180 degree hook of reinforcements was still widespread application for traditional reinforced concrete structures as an end-anchored element of reinforcements to develop reinforcement force far away a distance from the hook. To develop reinforcement strength, a minimum development length of the standard hook reinforcement is needed. However, congestions of reinforcements within exterior beam-column joints, top-story beam-column joints or knee beam-column joints were shown frequently due to complicated tails of standard hooks came from variously directional main bars. In the past several years, some research results showed that a metal head or plate that its area was larger than reinforcement's area and connected to the reinforcement's end(s) was been a mechanical anchorage device to provide end anchorage of reinforcement. It was also proved that this type mechanical anchorage device was capable of substituting the traditional standard 90 or 180 degree hook since its better anchored performance. Therefore, the ACI 318 code in 2008 Version first times allowed uses of the headed bars and had six limitations stipulated in Section 12.6. They are (1) strength of bar shall not exceed 420 MPa, (2) size of bar shall not larger than #11, (3) concrete shall be normalweight, (4) net bearing area of head  $A_{brg}$  shall not be less than  $4A_b$  ( $A_b$ : area of bar), (5) clear cover for bar shall not less than  $2d_b$  ( $d_b$ : diameter of bar), and (6) clear spacing between bars shall not less than  $4d_b$ . This version of ACI code give a permission of using headed bars, but the limitations are too strict to conveniently apply to current engineering practices. Particularly, the limitation of clear spacing between bars not less than  $4d_b$  will nearly result in will reduction of practical applications. However, the limitation of bar's strength mentioned above might be released to widen aspects of applications.

In this study, a headed bar that a steel bar end was connected a circle plate head by friction weld was a study object. Its lower cost and less time of fabrication and easy control of quality are main advantages for this type headed bar. There were 52 specimens of CCT test and 26 specimens of pullout test to be carried out in the laboratory of National Center for Research on Earthquake Engineering (NCREE). Study parameters included strengths of steel bar and concrete bar, size of steel bar, bearing area of head, number of bar, and bar spacing. Four amounts of transversely confined reinforcement were considered as well. Also benchmark specimens of straight-through bar, 90 and 180 degree hook bars were conducted. Test results indicated that the T headed bar was capable of effectively providing anchorage performance. The specimens with a head area of 3 times bar area had sufficient strength as the specimens with standard 90 and 180 degree hooks. The strength responses of the specimens with clear spacing of 1.5 and 4  $d_b$  were almost the same. It was also found that the anchored strength of the T headed bars not only roughly proportioned to concrete strength but also effectively raised as amount of confined reinforcement increased. On the other hand, as expected, the displacement at head end of headed bar decreased when the area of head or amount of the transversely confined reinforcement increased.

Keywords: beam-column connection, confined core, beam plastic hinges

## 誌 謝

本研究計畫，承蒙潤弘精密工程事業股份有限公司、蘭州工程股份有限公司與嘉山鋼鐵工業股份有限公司(嘉裕德股份有限公司)提供經費補助與試體製作，使本研究得以順利完成，特此申謝。



# 目 錄

第一章 緒論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 研究動機.....	1
1.3 研究目的.....	2
第二章 文獻回顧.....	4
2.1 非機械式錨定相關設計之規範.....	4
2.1.1 直鋼筋伸展長度.....	4
2.1.2 彎鉤鋼筋之伸展長度.....	6
2.2 機械式錨定相關設計之規範.....	8
2.2.1 ACI 318-08 規範對於機械式錨定之規定.....	8
2.2.2 ACI 352R-02 規範之規定.....	9
2.3 各型式鋼筋之錨定長度整理與探討.....	9
2.4 機械式錨定相關研究之回顧.....	11
2.4.1 SINTEF 之 T 頭端板摩擦焊強度與韌性相關研究.....	11
2.4.2 University of Kansas 握裹試驗.....	12
2.4.3 Furche and Eligehausen 之 T 頭錨定試驗.....	14
2.4.4 Thompson 橋梁結構工程試驗.....	15
2.4.5 T 頭鋼筋埋置之拉拔試驗研究.....	17
2.4.5.1 Richard DeVries 淺埋置深度拉拔試驗.....	17
2.4.5.2 Tarek Bashandy 深埋置深度拉拔試驗.....	19
2.4.5.3 Bashandy 梁柱接頭拉拔試驗.....	21
第三章 試體規劃.....	23
3.1 CCT 節點試驗.....	23
3.1.1 前言.....	23
3.1.2 研究參數.....	23
3.1.3 試體設計.....	24

3.2	拉拔試驗.....	27
3.2.1	前言.....	27
3.2.2	研究參數.....	27
3.2.3	試體設計.....	28
第四章	試驗計劃.....	34
4.1	試驗裝置.....	34
4.1.1	CCT 節點試驗裝置.....	34
4.1.2	拉拔試驗裝置.....	35
4.2	量測計劃.....	36
4.2.1	CCT 節點試驗量測計劃.....	36
4.2.2	拉拔試驗量測計劃.....	41
4.3	材料強度.....	42
4.3.1	鋼筋強度.....	42
4.3.2	錨定 T 頭端板強度.....	43
4.3.3	混凝土強度.....	43
4.3.3.1	CCT 節點試驗試體.....	43
4.3.3.2	拉拔試驗試體.....	45
第五章	試驗過程.....	47
5.1	CCT 節點試驗過程.....	47
5.1.1	各試體試驗過程.....	47
5.1.2	試驗過程歸納.....	102
5.2	拉拔試驗過程.....	105
5.2.1	各試體試驗過程.....	105
5.2.2	試驗過程歸納.....	137
第六章	試驗結果分析與討論.....	139
6.1	CCT 節點試驗探討.....	139
6.1.1	強度與參數間之探討.....	140
6.1.2	壓拉桿面積與錨定 T 頭之關係.....	150
6.1.3	錨定 T 頭之滑動.....	151

6.1.4	應變計探討.....	152
6.1.4.1	主筋.....	152
6.1.4.2	箍筋.....	152
6.1.4.3	壓拉桿區域.....	153
6.2	拉拔試驗探討.....	154
6.2.1	強度與參數間之探討.....	154
6.2.2	拉拔作用下之受力方向探討.....	155
6.2.3	應變計探討.....	156
6.2.3.1	主筋.....	156
6.2.3.2	箍筋.....	156
第七章	總結.....	262
7.1	結論.....	262
7.1.1	CCT 節點試驗.....	262
7.1.2	拉拔試驗.....	263
7.2	建議與展望.....	264
參考文獻	.....	266
附錄 A	.....	267
附錄 B	.....	354

# 第一章 緒論

## 1.1 前言

傳統鋼筋混凝土構件之鋼筋端部均以彎鉤型式作為鋼筋錨定，使鋼筋距端部彎鉤適當距離處能發揮預期之強度，因此梁柱接頭以傳統標準彎鉤鋼筋進行錨定時，其鋼筋彎鉤將導致交會區鋼筋配置擁擠、施工費時困難，進一步可能造成混凝土澆置品質不良，導致局部強度不足之可能。若採用T頭鋼筋取代傳統彎鉤鋼筋，可有效解決上述彎鉤鋼筋配置壅塞所造成的問題，提升工程品質。

近幾年T頭鋼筋在國外已漸漸地應用在橋梁及建築結構上，在ACI 318-08[1]規範中已有提供相關之設計建議，該規範規定鋼筋強度不得超過420 MPa(60 ksi)、混凝土強度選用不得超過42 MPa、鋼筋淨間距不得少於 $4d_b$ 、淨保護層不得少於 $2d_b$ 及T頭端板面積必須不可小於5倍鋼筋斷面積，考量實務應用設計與施工效率，並參考過去相關研究成果，這些規定似乎過於保守，有機會突破其適用限制，擴大實際應用範圍。

隨著結構強度需求的提高，鋼筋與混凝土材料強度的提升可直接提高RC構件的強度，雖然國內現行結構混凝土設計規範[3]之耐震設計條文中規定鋼筋設計標稱強度不得大於420 MPa(60 ksi)。SD490鋼筋在國內已被部分營造單位經新材料新工法評定程序通過，確認可提供適當韌性，可應用於耐震結構，因此T頭鋼筋取代傳統標準彎鉤錨定，配合高強度混凝土勢必是種趨勢，此錨定效果預期可見。

故本研究將針對SD420強度與SD490強度之T頭鋼筋，配合不同強度之混凝土進行錨定行為研究，其試驗內容將突破規範中之鋼筋與混凝土強度、間距、與T頭端板大小之限制，利用不同之試驗方法與試體條件，探討破壞模式與力學行為，提出相關T頭錨定的設計與施工細節建議。

## 1.2 研究動機

鋼筋混凝土顧名思義為鋼筋與混凝土兩者間的結合，受拉強度不佳之混凝土將鋼筋裹覆其中，藉由握裹與錨定使兩材料間產生相對滑動，此兩

材料複合組成之構件可以合理的方法進行計算與設計，以抵抗外部載重。

握裹發展主要是指鋼筋伸展長度與搭接長度的設計，前者是將鋼筋的應力傳遞到周圍的混凝土，後者則是將鋼筋的應力先傳到周圍混凝土，再傳給搭接的鋼筋，而此二者長度的發展取決於鋼筋與混凝土界面間握裹強度之發揮。鋼筋與混凝土間握裹力的提供來自兩材料的接觸力，為確保握裹力能穩定確實發揮，現行規範規定其鋼筋需採用符合要求之變形鋼筋(deformed Reinforcement)。因此鋼筋與混凝土間唯有透過良好的握裹特性，才能確保鋼筋混凝土保留的變形與強度行為。

鋼筋混凝土構件在空間足夠條件下，使用直線鋼筋伸展錨定最為容易，且易於施工，但基於工程實務設計考量，常受限於構件大小，導致鋼筋直線伸展長度不足，故必須配合使用不同彎鉤型式，滿足伸展長度的需求，彎鉤鋼筋的使用往往使得構件在鋼筋端部錨定處配置擁擠(例如在鋼筋不連續之梁柱接頭區)，此不僅影響現場鋼筋的綁紮作業，甚至可能造成不良的混凝土澆置品質，因此鋼筋端部若採用T頭之機械錨定(mechanical anchorage)可大幅改善此缺點。

過去相關研究顯示，T頭鋼筋錨定工法的應用，可提供在鋼筋不連需處之鋼筋配置壅塞及可能衍生至混凝土澆置品質不良問題之一有效解決方法，同時可更進一步縮減鋼筋埋置長度，使其構件的設計與施工更有彈性與效率。2008年版之ACI 318-08[1]設計規範已將T頭鋼筋的應用納入其中，但因相關研究尚仍缺乏，故其限制較為嚴格，不利於現行工程實的應用，本研究主要目的欲突破此ACI 318-08[1]規範對T頭鋼筋應用的限制，若本研究證實更具應用的廣泛性，則應用T頭鋼筋作為鋼筋混凝土結構之鋼筋端部錨定裝置必然將成為一股趨勢。

### 1.3 研究目的

本研究期以梁構件CCT節點試驗與拉拔試驗來探討T頭鋼筋在混凝土中之錨定行為與傳力機制，鋼筋不連續利用T頭錨定來取代傳統彎鉤鋼筋錨定，可有效減緩鋼筋不連續端部彎鉤鋼筋所導致之配置擁塞，並提升混凝土澆置品質，預期也能獲得較佳之耐震性能，以驗證實際T頭鋼筋應用於實

際鋼筋混凝土結構之可行性。

本研究主要針對ACI 318-08[1]規範中T頭鋼筋的應用限制條件進行研究，此研究所要探討的限制條件如鋼筋淨間距不得少於 $4d_b$ ，T頭端板面積不少於5倍鋼筋斷面積，混凝土強度超過42 MPa之強度不計，鋼筋強度不得大於420 MPa，鋼筋號數不得大於10號等，本研究成果期提出相關之錨定設計公式與施工細節建議，供工程界設計施工與規範修訂之參考。

## 第二章 文獻回顧

### 2.1 非機械式錨定相關設計之規範

非機械式之鋼筋錨定的要求即依伸展長度的概念設計，並考慮鋼筋在特定伸展長度內之平均握裹強度決定之。因此，伸展長度的概念是基於鋼筋在混凝土中埋置長度內所能發展之握裹力而得，當鋼筋傳遞較高之握裹應力時有劈裂周遭較薄混凝土之傾向，故需增長鋼筋伸展長度以降低平均握裹應力，避免混凝土之劈裂。另外若單根鋼筋埋置於混凝土中，混凝土不容易劈裂，故握裹應力可提升，伸展長度可以縮短；若整排鋼筋埋置於混凝土時，可能形成不連續的弱面，故於整排鋼筋平面上仍有易於劈裂之趨勢。

唯有透過良好的握裹力，才能確保鋼筋和混凝土能形成預期的複合結構以抵抗載重，鋼筋沒有足夠的握裹錨定，即無法提供有效的阻抗，其鋼筋混凝土構件無法發揮材料強度，因此鋼筋在其應力極值點的兩邊均須保有足夠的伸展長度或適當的錨定裝置。

#### 2.1.1 直鋼筋之伸展長度

應用於鋼筋混凝土中使用之鋼筋類依表面粗糙程度分類，可分為光面鋼筋及竹節鋼筋兩種，光面鋼筋於混凝土中之握裹，僅靠水泥砂漿與鋼筋表面之膠結作用提供，破壞模式常為滑移，其握裹行為通常不佳，而為了增進鋼筋與混凝土間之握裹作用，通常利用竹節鋼筋，表面之凸起與凹陷形狀，提供額外之承壓力，以提升鋼筋與混凝土之握裹作用，而其應力之傳遞機構乃源自於鋼筋節理面上的支承壓力。當正向力不足造成鋼筋周圍混凝土劈裂而無法傳遞握裹應力時，稱為劈裂破壞，若因主摩擦力不足造成鋼筋在混凝土中滑移，則稱之為拉拔破壞。

由於光面鋼筋與混凝土間之握裹效應較差，現行規範已不建議使用，故以下所討論之握裹公式均為竹節鋼筋與混凝土間握裹作用所得之結果。

鋼筋量測的握裹強度和鋼筋伸展長度關係，係假設鋼筋與混凝土間之握裹應力在破壞前，沿伸展長度區段呈均勻分佈，即鋼筋中所受之力量完

全由均勻分布的握裹應力來傳遞，其關係可以下式(2.1)表示之：

$$L_d = \frac{A_b \times f_s}{\pi \times d_b \times u} \quad (2.1)$$

其中 $L_d$ 為握裹長度； $A_b$ 為鋼筋單根截面積； $f_s$ 為鋼筋欲傳遞之應力； $d_b$ 為鋼筋標稱直徑； $u$ 為鋼筋與混凝土間之握裹強度。

而ACI 318-08規範[1]與國內相關規範(混凝土工程設計規範與解說[2]與結構混凝土設計規範與解說[3])對鋼筋混凝土之伸展長度規定大致相同，僅在部分係數的表示方法有異，以下就針對現行常引用之規範，有關直通竹節鋼筋與混凝土間各拉力伸展長度差異，作進一步整理。

以直通鋼筋而言，錨定長度規定如下：

$$L_d = 0.89 \frac{f_y}{\sqrt{f_c'}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s \lambda}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)} d_b \geq 300 \text{ mm} \quad (2.2)$$

其中 $L_d$ 為受拉伸展長度(mm)； $f_y$ 為鋼筋降伏強度(MPa)； $f_c'$ 為混凝土抗壓強度(MPa)； $d_b$ 為鋼筋直徑(mm)； $c_b$ 為鋼筋中心至混凝土邊緣之距離或鋼筋中心至中心距離之半，兩者間之較小值； $K_{tr}$ 為橫向鋼筋指數； $\lambda$ 為混凝土修正因子； $\Psi_t$ 為鋼筋位置修正因子； $\Psi_e$ 為鋼筋塗布修正因子； $\Psi_s$ 為鋼筋號數修正因子。

根據式(2.2)計算之基本伸展長度可依設計條件按表2-1之規定，分別考量鋼筋之情況乘以相關修正因素，而詳細細節可參考ACI 318-08規範[1]的第12.2節。



表2-1 基本伸展長度考量鋼筋情況之相關修正因數

鋼筋情況	修正因數
鋼筋位置修正因數( $\Psi_t$ or $\alpha$ )	
1.水平鋼筋其下方混凝土一次澆置厚度大於12 in者	1.3
2.其他	1.0
鋼筋塗布修正因數( $\Psi_e$ or $\beta$ )	
1.環氧樹脂塗布鋼筋之保護層小於 $3d_b$ 或其淨間距小於 $6d_b$ 者	1.5
2.其他環氧樹脂塗布鋼筋	1.2
3.未塗布鋼筋	1.0
若環氧樹脂塗布鋼筋又是頂層鋼筋， $\psi_t \psi_e \leq 1.7$	
鋼筋尺寸係數( $\Psi_s$ )	
1.配置鋼筋為#6或小於#6者	0.8
2.配置鋼筋為#7或大於#7者	1.0
混凝土修正因數( $\lambda$ )	
1.於輕質混凝土內之鋼筋	0.75
2.於常重混凝土內之鋼筋	1.0

### 2.1.2 彎鉤鋼筋之伸展長度

鋼筋混凝土構材所提供錨定之空間若允許的話，鋼筋採用直線伸展最為容易，但實際上常受限於構材尺寸，而改採用傳統式標準彎鉤以符合錨定強度及伸展長度之需求，然而標準彎鉤之尺寸，需要相當大之錨定空間方能容納，尤其是在構材接合部位例如梁柱接頭，除了要容納來自各方向穿插而過的鋼筋外，尚需提供空間來容納彎鉤之延伸段以確保錨定有效，常造成鋼筋排置過密，不僅鋼筋排置綁紮不易，亦影響到混凝土的澆置品質，部份區域更為配合埋設水電管線而將彎鉤尾端切除，凡此種種，均不利於結構性能。

抗拉彎鉤之破壞模式通常為彎鉤所在面為一混凝土不連續面，而彎鉤內緣之混凝土受壓而膨脹，引發之劈裂力，致其轉彎段兩側混凝土之劈裂，或是彎轉內徑過小，局部應力過於集中，致其轉彎段內緣混凝土擠碎，為了避免此類的破壞，就需降低彎鉤在轉彎段內之拉應力，或直線段拉長，可降低彎轉段之應力，進而避免破壞。

具標準彎鉤之受拉鋼筋伸展長度之修正因數包含混凝土保護層、超量鋼筋、輕質混凝土、環氧樹脂塗布鋼筋及源自混凝土或箍筋以抵抗劈裂之束制效應，和直線鋼筋不同之處是彎鉤之伸展長度無所謂頂層鋼筋效應，而彎鉤也不易使用頂層鋼筋之定義去辨別，彎鉤部分在抗壓時無效，故在鋼筋受壓時不計彎鉤伸展效應。

而 ACI 318-08 規範[1]與 ACI 352-02 規範[4]中之 Type 1 型式與國內相關規範(混凝土工程設計規範與解說[2]與結構混凝土設計規範與解說[3])對鋼筋混凝土之伸展長度規定大致相同，僅在部分係數的表示方法有異，以下就針對現行常引用之規範，有關標準彎鉤鋼筋與混凝土間各拉力伸展長度差異，作進一步整理。

以標準彎鉤鋼筋而言，錨定長度規定如下：

$$L_{dh} = 0.24 \frac{\psi_e f_y \lambda}{\sqrt{f'_c}} d_b \geq 8d_b \quad \text{or} \quad 150 \text{ mm} \quad (2.3)$$

其中  $L_{dh}$  為受拉伸展長度(mm)。

值得注意的是彎鉤鋼筋之效果不應適用於壓力錨定。其基本伸展長度可按表 2-2 之規定，分別考量鋼筋之情況乘以相關修正因素，而詳細細節可參考 ACI 318-08 規範[1]的第 12.5 節。

表 2-2 ACI code 基本伸展長度修正因數

鋼筋情況	修正 $L_{dh}$ 之條件	修正條件
塗布鋼筋( $\psi_e$ )	塗佈環氧樹脂	1.2
	未塗佈環氧樹脂	1.0
混凝土( $\lambda$ )	使用輕質混凝土	0.75
	使用常重混凝土	1.0
保護層厚度	配置之彎鉤鋼筋為#11 或更小時，其側保護層大於或等於 6.25 mm，且若 90° 彎鉤之直線延伸段，其旁保護層大於或等於 5 mm	0.7
箍筋或肋筋	配置之 90° 彎鉤鋼筋為#11 或更小時，其彎鉤之伸展長度 $L_{dh}$ 受其間距小於或等於 $3d_b$ 之箍筋或肋筋所圍束；配置之 180° 彎鉤鋼筋為#11 或更小時，同上	0.8

## 2.2 機械式錨定相關設計之規範

傳統直線伸展與標準彎鉤鋼筋錨定工法，為符合規範規定之需求，往往需很長的伸展長度，而增加鋼筋的使用量，或是為達到鋼筋握裹及錨定需求，常使得梁柱構件斷面內鋼筋排置顯得擁擠，不僅影響混凝土之澆置及降低施工品質之虞，對於現場鋼筋的排置綁紮更是一大考驗，此時使用 T 頭鋼筋是一個解決施工困難的極佳對策。T 頭鋼筋錨定之應用，為上述情況提供了一個有效的對策，不僅可縮短錨定長度、減少鋼筋用量，亦可節省現場勞力與工時，其用 T 頭鋼筋來取代標準彎鉤鋼筋，緩和了上述之情況。

### 2.2.1 ACI 318-08 規範對於機械式錨定之規定

以機械式續接(T 頭鋼筋)而言，錨定長度規定如下：

$$L_{dt} = 0.19 \frac{\psi_e f_y}{\sqrt{f'_c}} d_b \geq 8d_b \quad \text{or} \quad 150 \text{ mm} \quad (2.4)$$

其中  $L_{dt}$  為受拉伸展長度(mm)。

其基本伸展長度可按表 2-3 之規定，分別考量鋼筋之情況乘以相關修正因素，而詳細細節可參考 ACI 318-08 規範[1]的第 12.6 節。

表 2-3 具 T 頭鋼筋之受拉鋼筋伸展長度之修正因數

考慮因素	修正 $L_{dt}$ 之條件	修正因數
塗布鋼筋	環氧樹脂塗布之彎鉤	1.2
	未塗佈之彎鉤	1.0

而於 ACI 318-08 規範[1]中，用於受拉伸展鋼筋之 T 頭鋼筋規定，必須滿足下列(1)至(8)條件：

- (1)鋼筋之降伏強度不應超過 420 MPa；
- (2)鋼筋號數選擇不應該過#11；
- (3)混凝土強度為常重混凝土；
- (4)T 頭端板之淨面積不應少於 4 倍鋼筋面積；
- (5)鋼筋的淨保護層間距不應少於 2 倍鋼筋直徑；
- (6)鋼筋配置之淨間距不應少於 4 倍鋼筋直徑；

- (7)受拉伸展長度為式(3)，式中若鋼筋塗布環氧樹脂時，修正因數  $\Psi_e$  為 1.2，其他  $\Psi_e$  為 1.0；
- (8)鋼筋受壓時不計錨錠頭之伸展效應。

### 2.2.2 ACI 352R-02 規範之規定

於 ACI 352-02 規範[4]中，對 T 頭鋼筋之伸展長度也有明確規定，長度規定如下：

$$L_{dt} = 0.19 \frac{\alpha f_y}{\sqrt{f_c'}} d_b \geq 8d_b \quad \text{or} \quad 150 \text{ mm} \quad (2.5)$$

其長度為標準彎鉤伸展長度的 0.75%，詳細細節可參考 ACI 352-02 規範[4]的第 4.5.3 節，而在其中提到接頭內使用 T 頭鋼筋之相關設計規定如下：

(1)T 頭鋼筋應滿足美國材料試驗協會之 ASTM A970 規定。特別是混凝土構架中容易受擾動的不連續區域，可選擇 Headed bars 代替傳統標準彎鉤。

(2)接頭內錨定端板位置應位於自由面之箍筋外緣往接頭核心 50 mm 以內，如同標準彎鉤直線延伸段，應延伸至柱圍束核心遠端，除了錨定效果之外，才能確保對角壓桿機制之發展。

(3)於屋頂層膝接頭內之梁主筋使用 T 頭鋼筋時，若錨定端板與接頭之自由面之間距小於或等於  $3d_b$  時，則在鋼筋橫向須埋置垂直圍束鋼筋，以達到 T 頭鋼筋之橫向束制，所使用的垂直圍束鋼筋之拉力強度須為梁主筋之拉力強度的二分之一；如果錨定端板與接頭之自由面之間距  $\geq 3d_b$  時，則所使用的垂直圍束鋼筋之降伏強度須滿足 ACI 349 之規定。

### 2.3 各型式鋼筋之錨定長度整理與探討

基於上述對於 ACI 318-08 規範[1]各型式鋼筋之規定，令  $f_y = 420 \text{ MPa}$ 、 $f_c' = 42 \text{ MPa}$ 、 $d_b = 32 \text{ mm}$ ，分別帶入上列公式計算錨定長度，將其整理並將其其他相關規範納入考慮，整理於表 2-4 中，並以標準彎鉤之錨定長度為基準，將各受拉伸展長度以圖 2-1 顯示，顯示其 T 頭鋼筋之錨定長度僅約為彎鉤錨定長度之 63%至 81%，顯示採用 T 頭鋼筋配置可有效縮減其錨定所

需長度。

表 2-4 各型式鋼筋之受拉伸展長度對照表

Code	Develop. length	Conditions
ACI 318-08 Hook	$\ell_{dh} = \left( 0.02 \frac{f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$	1. $\psi_e$ -1.2(exoxy)
ACI 352-02 Hook-Type 1		2. $\lambda$ -1.3(light) 3. Cover-0.7(>62.5 mm) 4. Confine-0.8(<3d <sub>b</sub> )
ACI 352-02 Hook-Type 2	$\ell_{dh} = \left( 0.0167 \frac{f_y}{\sqrt{f_c'}} \right) d_b$	1. Confine-0.8(<3d <sub>b</sub> )
ACI 318-08 Hook-Chapter 21	$\ell_{dh} = \left( 0.0154 \frac{f_y}{\sqrt{f_c'}} \right) d_b$	1. $\psi_e$ -1.2(exoxy) 2. $\lambda$ -1.25(light)
ACI 318-08 T head	$\ell_{dt} = \left( 0.016 \frac{f_y}{\sqrt{f_c'}} \right) d_b$	1. $\psi_e$ -1.2(exoxy)
ACI 352-02 T head-Type 1	$\ell_{dt} = \left( 0.01 \frac{f_y}{\sqrt{f_c'}} \right) d_b$	1. $\psi_e$ -1.2(exoxy) 2. $\lambda$ -1.3(light) 3. Cover-0.7(>62.5 mm) 4. Confine-0.8(<3d <sub>b</sub> )
ACI 352-02 T head-Type 2	$\ell_{dh} = \left( 0.0125 \frac{f_y}{\sqrt{f_c'}} \right) d_b$	1. Confine-0.8(<3d <sub>b</sub> )

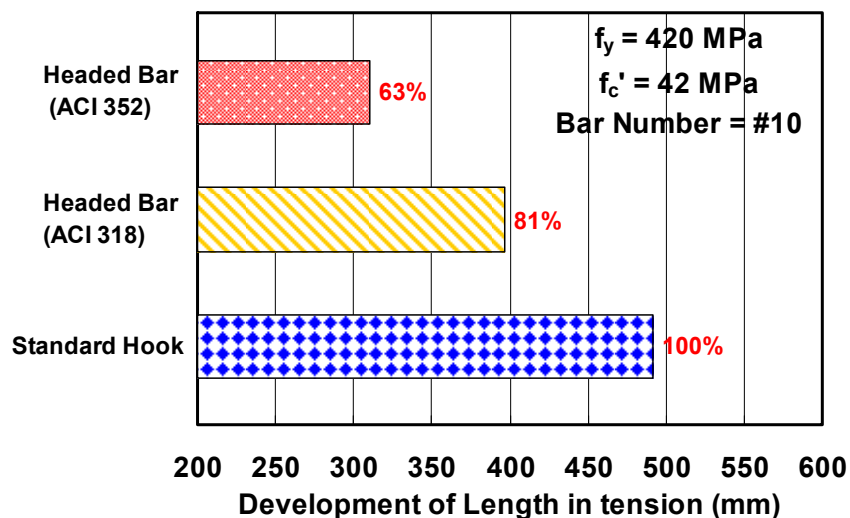


圖 2-1 各種鋼筋型式之錨定伸展長度比較圖

從各型式鋼筋之錨定公式可看出，各參數於錨定所需伸展長度中皆占有一席之地，以保護層厚度而言，若增加其保護層厚度，也能有效縮減其錨定長度。

## 2.4 機械式錨定相關研究之回顧

### 2.4.1 SINTEF 之 T 頭端板摩擦焊強度與韌性相關研究

SINTEF[5]執行一個與摩擦焊接式 T 頭鋼筋的強度和韌性有關之研究計畫，研究內容包括靜態拉力、靜態彎矩、疲勞拉力等試驗，測試 T 頭鋼筋埋置在混凝土中的三個績效：靜拉拔握裹、疲勞拉拔握裹及梁剪力試驗。

靜拉拔試驗中的試體配置如圖 2-2 所示，鋼筋部分選用 6 號鋼筋，錨定板之淨承壓面積比  $A_{nh} / A_b = 6.0$  並無變化，試體使用抗壓強度為 60 至 73 MPa 的混凝土，鋼筋降伏強度為 560 MPa，混凝土和 T 頭鋼筋之間用彈性材料充填隔離混凝土握裹，試驗結果顯示：使用 T 頭鋼筋的試體均可拉到降伏，鋼筋滑移量非常少，故可確認 T 頭鋼筋行為表現優。

疲勞拉拔試驗的試體與靜拉拔試驗中使用的試體相同，但所使用的鋼筋為 #6 及 #8 兩種，試驗的目的針對 T 頭鋼筋的焊接部位作疲勞測試，鋼筋與混凝土並無握裹，僅在鋼筋端部提供支撐，使用的混凝土抗壓強度提高到 84 MPa，以避免混凝土承壓破壞，達成測試焊道斷裂的目的，試體都能達到疲勞強度後才失敗。

三個梁剪力試驗的試體，其中兩個使用 T 頭鋼筋作為剪力筋，另一個試體標準肋筋設計細節配置，試驗過程所施加的載重與前面之試體相同，測試結果顯示出 T 頭鋼筋之錨定強度較標準肋筋佳，故使用 T 頭鋼筋可充分取代標準肋筋來作為剪力筋。

其藉由試驗結果，來凸顯摩擦焊接式 T 頭鋼筋的性能，包括端板尺寸、焊接品質及抗彎測試等。

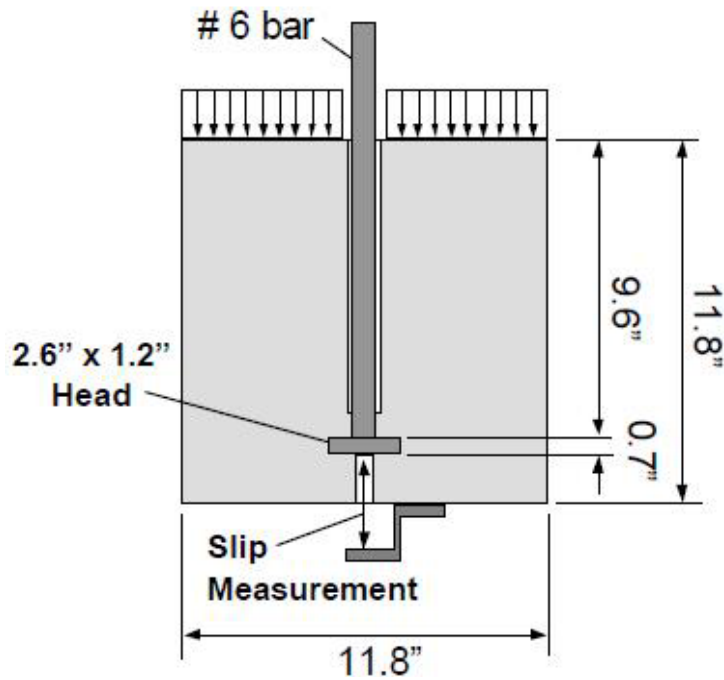


圖 2-2 SINTEF 靜拉拔試驗試體配置圖

#### 2.4.2 University of Kansas 握裹試驗

U. of Kansas[6]研究人員 Wright. and McCabe 進行 70 個試體使用 T 頭鋼筋在梁末端之握裹試驗，鋼筋的形式有：直鋼筋、 $180^\circ$  標準變鉤或摩擦焊接式的 T 頭鋼筋，希望能夠藉由試驗尋求有關 T 頭鋼筋伸展長度之設引公式，試驗中下列項目固定不變：使用 #8 鋼筋，埋置長度為 300 mm，混凝土抗壓強度為 31 至 35 MPa，方形錨定板尺寸為 75x75 mm，所有的鋼筋均為單根且排置在下層。研究中主要的考慮因子有：1. 混凝土保護層為 50 mm 或  $3d_b$  (自鋼筋表面量起，不是自端頭量起)；2. 鋼筋曝露條件，部分試體為了要測試鋼筋端頭的強度，周圍包覆彈性材料；3. 橫向鋼筋有四種排列方式，如圖 2-3 所示，針對其測試結果作比較。

研究結果顯示，T 頭鋼筋可承受等於或高於標準彎鉤之載重，兩種錨定方式顯示相同的載重-位移及破壞行為，增加圍束鋼筋數量所獲得的效益比增加保護層者要大，T 頭鋼筋直線段可能產生變形的部分，其鋼筋周圍包覆層長度要超過鋼筋埋置長度，若沒有橫向鋼筋圍束則淨保護層為  $3d_b$  或是有橫向鋼筋圍束則淨保護層只須為  $2d_b$ ，提供較大的保護層及配置密集之橫向鋼筋反而只得到較小的效益。

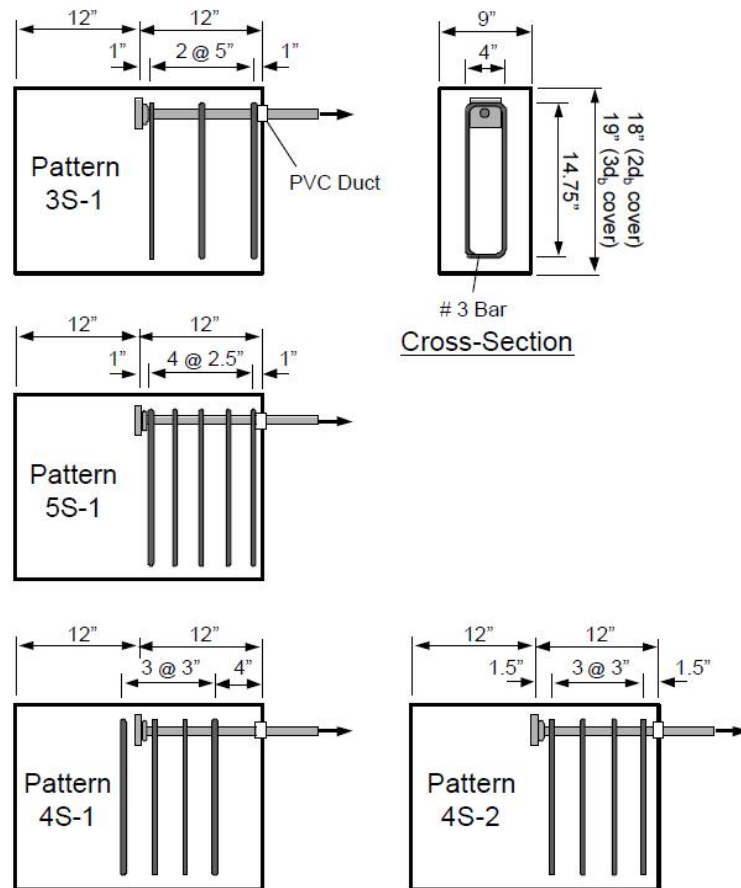


圖 2-3 U.of Kansas 橫向鋼筋配置圖

Wright. and McCabe 根據研究結果建議一個計算伸展長度  $L_{dt}$  的經驗公式(2.6)：

1. T 頭鋼筋伸展長度  $L_{dt}$  計算公式如下：

$$L_{dt} = 0.044 \frac{d_b f_y}{\sqrt{f_c'}} \left( \frac{3d_b}{c + K_{tr}} \right) (\alpha \beta \lambda \psi) \geq 6d_b \quad \text{or} \quad 6 \text{ in} \quad (2.6)$$

2. 混凝土保護層不小於  $3d_b$ 。

3. 在伸展長度  $L_{dt}$  的範圍內至少須有三根橫向肋筋且排置於適當位置。

但此式(2.6)並未被 ACI 318 規範委員會採用。事實上，T 頭端板的接合方式與 T 頭鋼筋是否能提供足夠的伸展強度並不衝突，所以是否使用摩擦焊接式接合的 T 頭鋼筋就不是很重要，但錨定端板的尺寸及形狀是非常重要的，故對於其他錨定板淨承壓面積較小的 T 頭鋼筋而言，並不保證適用。



### 2.4.3 Furche and Eligehausen 之 T 頭鋼筋錨定試驗

Furche and Eligehausen[7]進行 35 次單根 T 頭鋼筋的錨定能力試驗，研究的變量包含：鋼筋埋置深度( $h_d = 4\sim 20$  in)、保護層厚度( $c_1 = 1.6\sim 3.1$  in)、錨定端板面積( $A_{nh} = 0.41\sim 1.71$  in<sup>2</sup>)、以極端板角度分別為( $\theta_{head} = 5^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $90^\circ$ )，以圖 2-4 來描述  $\theta_{head}$  的細節，錨定端板的直徑固定為 1" 以便使混凝土的強度保持定值 26.6 MPa。Furche and Eligenhausen 試驗中試體破壞的模式有兩種：混凝土開裂或邊緣爆裂破壞。

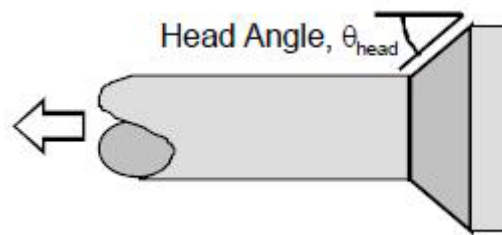


圖 2-4 Furche and Eligehausen T 頭端板角度  $\theta_{head}$  的定義

混凝土開裂破壞和保護層與埋置長度的比值  $c_1 / d_b$  有關以及和鋼筋埋置長度與 T 頭端板面積的比值  $h_d / A_{nh}$  有關，Furche and Eligehausen 建議一個推求保護層與埋置長度的臨界比值及埋置長度與端板面積相關的方程式如式(2.7)及一個錨定端板之基礎邊緣破壞容量相關的方程式如式(2.8)：

$$\frac{c_1}{d_b} = \frac{0.06}{\left(\sqrt{A_{nh} / h_d} - 0.1\right)} \quad (2.7)$$

其中  $c_1$  為保護層尺寸(in)； $h_d$  為埋入深度(in)； $A_{nh}$  為端板淨面積(in<sup>2</sup>)。

$$T = 6.4c_1\sqrt{A_{nh}f'_c} \quad (2.8)$$

其中  $T$  為單根錨定端板極限承載容量(lbs)； $f'_c$  為混凝土圓柱試體抗壓強度(ksi)。

其研究結果顯示：基礎邊緣破壞模式時，爆裂圓錐體之直徑約為保護層  $c_1$  的 6 至 8 倍、錨定強度達到最大值，後混凝土開始產生橫向變形、 $\theta_{head}$  下降則錨定栓的錨定能力下降，當  $\theta_{head} = 5^\circ$ 、 $20^\circ$  時，其錨定端板之錨定強度甚至只有  $\theta_{head} = 90^\circ$  時的 50%。

## 2.4.4 Thompson 橋梁結構工程試驗

此計畫研究[8]中，Michael K.Thompson 博士負責執行，共測試 64 個 T 頭鋼筋錨定之 CCT 節點試驗，如圖 2-5 所示(簡支深梁三點抗彎)，主要測試參數包括錨定板尺寸( $A_{nh}/A_b = 0\sim 10.4$ )、鋼筋號數(#8、#11)、及斜壓桿角度( $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $55^\circ$ )，少數對照試體使用標準彎鉤或配置垂直箍筋圍束，大部分的 CCT 節點試體於節點區域並未配置圍束箍筋，另有 27 個 T 頭鋼筋搭接試體(寬梁四點抗彎)，主要測試參數為錨定板尺寸( $A_{nh}/A_b = 0\sim 4.7$ )與搭接長度( $3d_b\sim 14d_b$ )，少數試體測試接觸與非接觸搭接、鋼筋間距、及圍束細部等。

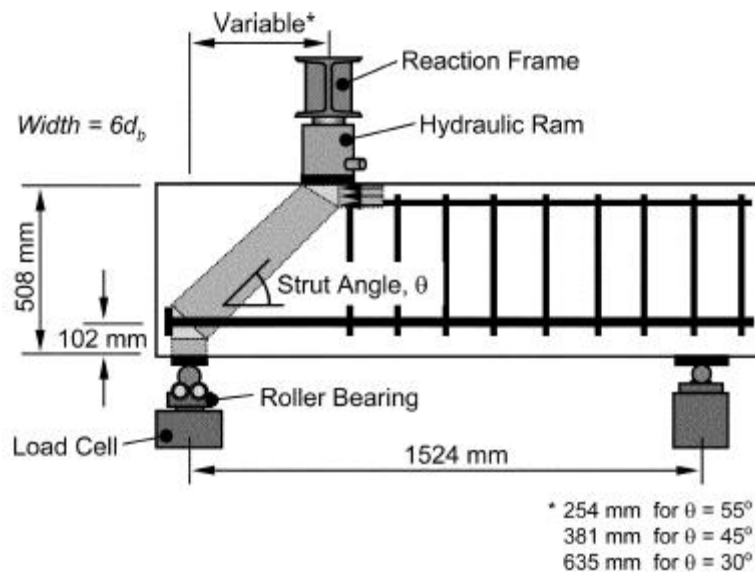


圖 2-5 Thompson CCT 節點錨定強度之測試佈置

測試顯示 T 頭鋼筋之錨定強度是由錨定板承壓與直線段鋼筋握裹共同提供，載重初期直線段鋼筋握裹貢獻比例較大，隨載重增加握裹應力達極限後開始劣化衰減，端錨貢獻比例隨之提升。根據測試數據歸納分析，Thompson 等建議以式(2.9)計算 headed bar 之錨定板淨承壓強度：

$$f_{s,head} = n_{5\%} \cdot 2 \cdot f_c' \left( \frac{c}{d_b} \right) \cdot \sqrt{\frac{A_{nh}}{A_b}} \cdot \psi \quad (2.9)$$

$$\psi = 0.6 + 0.4 \left( \frac{c_2}{c} \right) \leq 2.0$$

其中  $n_{5\%} = 0.7$  為不保守率 5% 之調整因數，使式(2.9)預測試驗數據有 95% 是保守的； $c$  為鋼筋中心到最近的混凝土表面之距離，或平行鋼筋心到心之半，定義與現行規範相同； $c_2$  為垂直  $c$  方向由鋼筋中心到混凝土表面之第二保護層厚度， $\Psi$  為徑向干擾因數，係考慮角隅鋼筋平行兩個自由表面時較容易剝落，最差狀況  $\Psi = 1.0$ ，一般情形  $c_2$  較為  $c$  值大，故  $\Psi$  值可取 2.0。

Thompson 認為 T 頭鋼筋之錨定強度可由錨定板淨承壓強度  $f_{s,head}$  與直線段鋼筋殘餘握裹強度  $f_{s,bond}$  合併計算，以現行規範的直線鋼筋握裹強度為基準乘以折減因數如下式(2.10)：

$$f_{s,bond} = \chi \cdot \left( \frac{\ell_a}{\ell_d} \right) \cdot f_y \quad (2.10)$$

$$\chi = 1 - 0.7 \left( \frac{A_{nh} / A_b}{5} \right) \geq 0.3$$

式(2.10)中  $\chi$  是直線段鋼筋握裹折減因數，當  $A_{nh} / A_b \geq 5$ ，折減因數  $\chi$  只剩下 0.3，意即錨定板尺寸較大時，對直線段鋼筋之殘餘握裹強度僅取規範認定之三成稍偏於保守。Thompson 等認為當錨定板淨承壓強度  $f_{s,head}$  發展到極限時，直線段鋼筋握裹強度  $f_{s,bond}$  早已混凝土劈裂而衰減。若錨定端板淨承壓強度  $f_{s,head} < f_y$  時，可由直線段伸展長度  $\ell_a$  補足，即  $f_{s,bond} = f_y - f_{s,head}$ ，聯立式(2.9)及式(2.10)可求得發展  $f_y$  所需之伸展長度式(2.11)：

$$\ell_a = \frac{1}{\chi} \cdot \left( 1 - \frac{f_{s,head}}{f_y} \right) \cdot \ell_d \quad \text{but not less than } 6d_b \quad (2.11)$$

注意此試驗深梁試體，梁寬僅  $6d_b$ ，主筋周圍僅由純混凝土圍束，並無橫向箍筋束制劈裂，故主筋握裹劣化迅速。Thompson 等根據測試結果，對大部分的 headed bars 其直線段握裹強度僅認定 ACI 規範之三成，對其測試之 CCT 節點試體已經非常保守，更何況通常還有橫向鋼筋或箍筋提供束制，以 Thompson 等建議式，設計錨定長度是非常保守的。堪薩斯大學的測試顯示橫向箍筋束制可縮短 T 頭鋼筋伸展長度，但 Thompson 等建議的公式並未考慮橫向箍筋束制，此爭議有待後續研究加以釐清。

## 2.4.5 T 頭鋼筋埋置之拉拔試驗研究

此研究計畫主要由 U.T.Austin 該校的三位博士:Richard DeVries 和 Tarek Bashandy 及 Thompson 來執行一系列有關機械式錨定強度的基礎研究，期望能建立一套 T 頭鋼筋的伸展長度設計模式。研究工作分成兩部分，第一部分針對其埋置長度的長、短進行拉拔試驗；第二部分則針對大比例尺寸的外部梁柱接頭試體，進行反覆載重試驗。試驗中部分試體各項尺寸定義如圖 2-6 所示，大部分拉拔試驗的試體都是使用單根鋼筋配置在拉力側，鋼筋通常排置在垂直位置，鋼筋的尺寸分別為#6、#8 和#11。

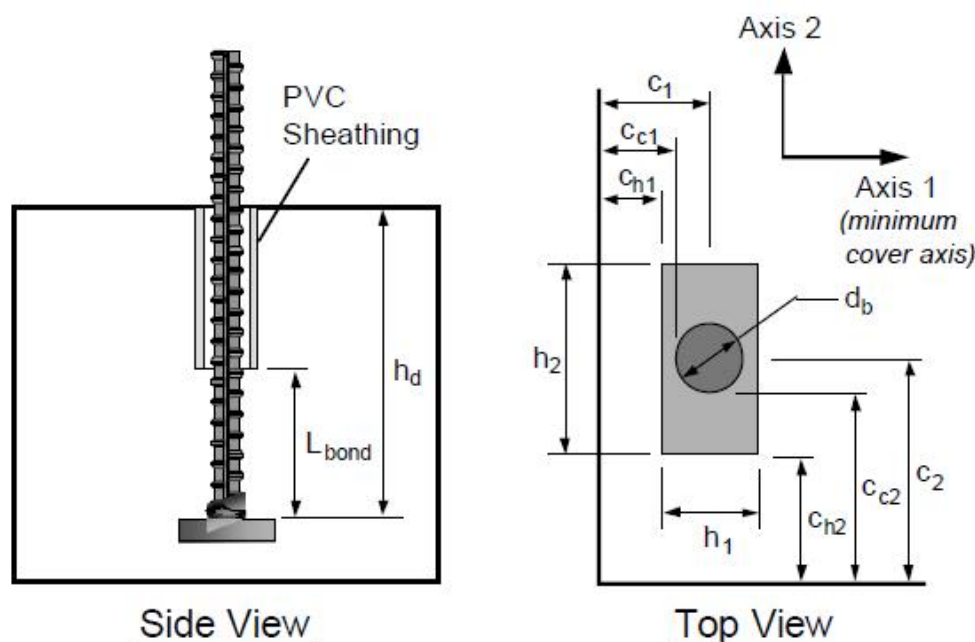


圖 2-6 U.T.Austin T 頭鋼筋埋置之拉拔試驗試體定義圖

### 2.4.5.1 Richard DeVries 淺埋置深度拉拔試驗

DeVries[9]執行 21 個淺埋置深度拉拔試驗，其中  $L_{\text{bond}} / h_d \leq 5$ ， $c_{c1} \leq 5$ ，試驗中主要考量的變數：混凝土抗壓強度 28 至 77 MPa、埋置長度及邊緣距離，研究的重點在探討橫向鋼筋、伸展長度及端頭尺寸的影響，淺埋置長度試體的佈置如圖 2-7 所示。

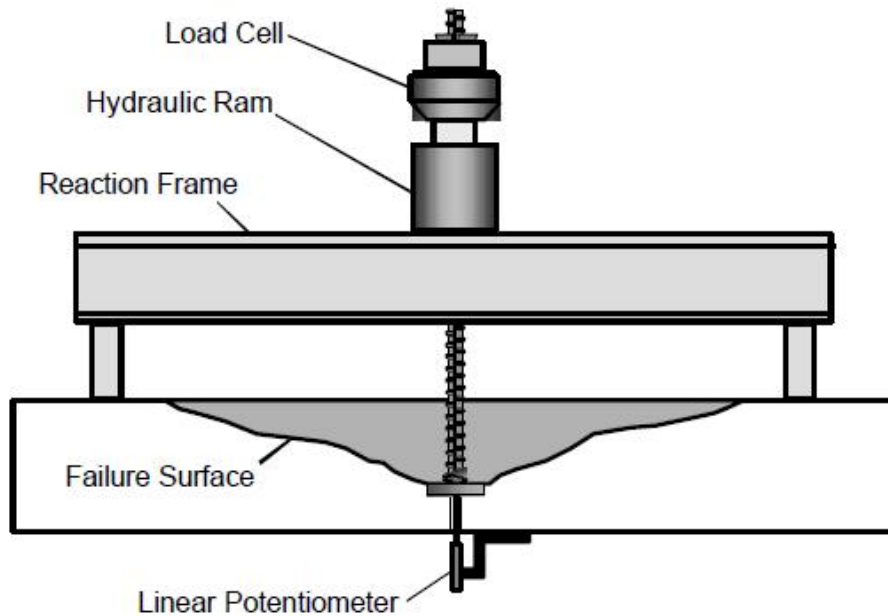


圖 2-7 Richard Devries 淺埋置深度拉拔試驗圖

經由試驗發現橫向鋼筋對於拉拔強度的增加並無明顯幫助，但是會增加錨定強度的峰值，橫向鋼筋貢獻部分握裹伸展長度的破壞容量並阻止鋼筋端頭位移，試驗中只有兩個試體使用淨承壓面積比  $A_{nh} / A_b = 5.7$  &  $7.4$ ，其餘則使用較大之 T 頭端板尺寸，測試結果顯示此兩種鋼筋端板尺寸的試體無法凸顯其效果，對於其他較小端板尺寸而言，可能也會有類似情形。

所有試體中，除了三個試體失敗模式為自鋼筋端頭旁混凝土拉出一個大混凝土錐體外，如圖 2-7 所示，其餘試體皆因鋼筋破壞而失敗，Devries 也提供幾個預估破壞面積的計算方式，如圖 2-8 所示：

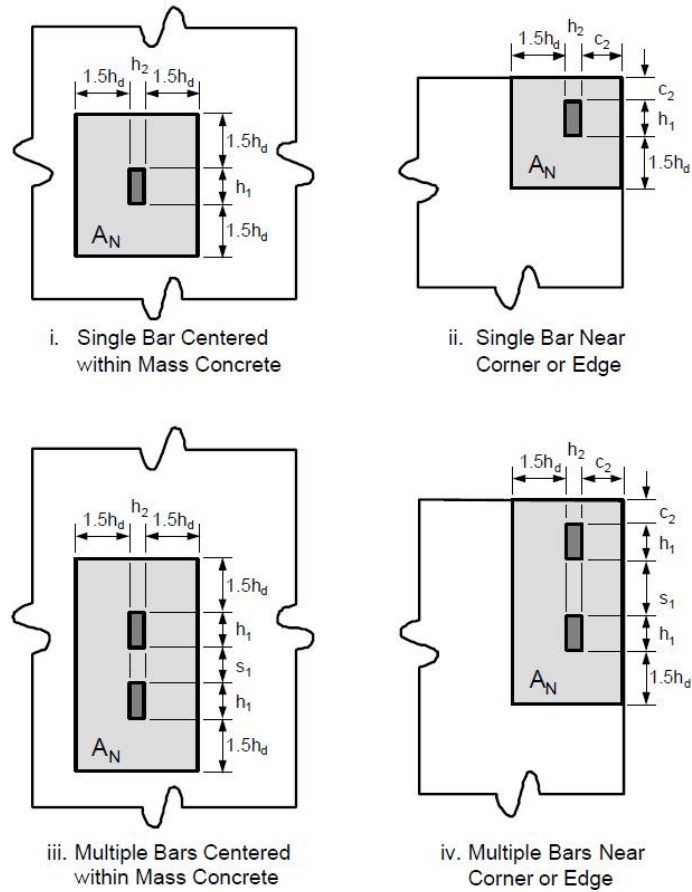


圖 2-8 Richard DeVries 淺埋置混凝土預估破壞面積計算方式圖

DeVries 建議一個混凝土破壞容量的計算公式(2.12)：

$$N_n = \frac{A_n}{A_{no}} \psi_1 N_b$$

$$N_b = 22.5(h_d)^{1.5} \sqrt{f_c'} \quad (2.12)$$

$$\psi_1 = 0.7 + 0.3 \frac{c_{\min}}{1.5h_d} \leq 1$$

其中  $N_b$  為混凝土基本破壞容量 ( $lbs$ )； $\psi_1$  為因接近邊緣而妨害應力的修正因數； $A_{no}$  為單根錨定鋼筋基本支承面積， $9(h_d)^2$  ( $in^2$ )； $A_n$  為圖 2-8 所示破壞時混凝土支承面積 ( $in^2$ )； $h_d$  為圖 2-8 所定義的埋置深度 ( $in$ )； $c_{\min}$  為最小的邊緣距離，如圖 2-8 (in)； $f_c'$  為混凝土抗壓強度 ( $psi$ )。

#### 2.4.5.2 Tarek Bashandy 深埋置深度拉拔試驗

Bashandy[10]執行 25 個試驗，所謂深埋置是指其中  $L_{\text{bond}} / h_d \geq 5$ ，

$c_{c1} \geq 5$ ，DeVries 試驗的變數為：埋置長度、伸展長度、head 的方向(垂直向、水平向)、head 的幾何形狀(包括 head 面積、外觀比例、形狀、厚度)、橫向鋼筋、混凝土抗壓強度、保護層、角落 VS 邊緣鋼筋、鋼筋間距，其 Bashandy 試驗的目的為：不同 T 頭端板在循環載重下的效率；試驗試體配置如圖 2-9 所示。

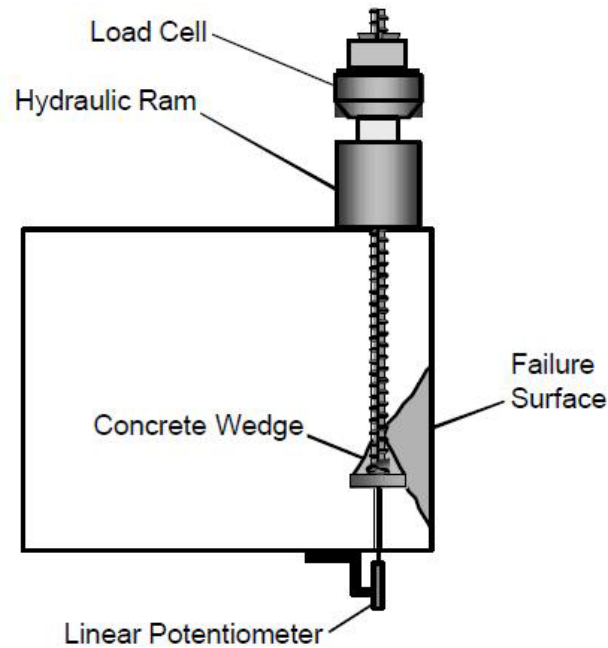


圖 2-9 Tarek Bashandy 深埋置深度拉拔試驗圖

試驗主要結果：試體主要的破壞機制為邊緣爆裂，提供充分的埋置深度並無法提升其埋置極限容量，握裹長度提升鋼筋的抗滑動效能並增加微小的極限強度，矩形端板的擺設方向、外觀尺寸比(寬：長)和端板的形狀(圓形 VS 正方形)與極限容量的提升均無關，錨定端板淨承壓面積比  $A_{nh} / A_b$  與極限應力趨近於線性關係： $A_{nh} / A_b$  值上升，極限應力上升。

Devries 建議錨定板的厚度應介於 0.5~0.75 in. 之間，測試結果發現混凝土抗壓強度與極限破壞容量的關係約為  $(f'_c)^{0.67}$  倍的比例，混凝土極限破壞容量與距邊緣之距離  $c_1$  成  $(c_1)^{0.55}$  之比例關係，較小的鋼筋間距降低錨定強度。

DeVries 建議以下式(2.13)來計算混凝土邊緣破壞容量：



$$N_n = \frac{A_{Nsb}}{A_{Nsbo}} \psi_2 N_{sb}$$

$$N_b = 144c_1 \sqrt{A_{nh} f_c'} \quad (2.13)$$

$$\psi_2 = 0.7 + 0.3 \frac{c_2}{3c_1} \leq 1$$

其中  $N_{sb}$  為邊緣破壞基本容量(lbs)； $\psi_2$  為因接近角落而妨害應力的修正因數； $A_{Nsbo}$  為單根錨定鋼筋基本支承面積， $36(c_1)^2$  ( $\text{in}^2$ )； $A_{Nsb}$  為圖 2-10 所示預估邊緣破壞時混凝土支承面積 ( $\text{in}^2$ )； $A_{nh}$  為錨定端板淨承壓面積 ( $\text{in}^2$ )； $c_1$  與  $c_2$  為最小的邊緣距離，如圖 2-10 之定義 (in)； $f_c'$  為混凝土抗壓強度 ( $\text{psi}$ )。

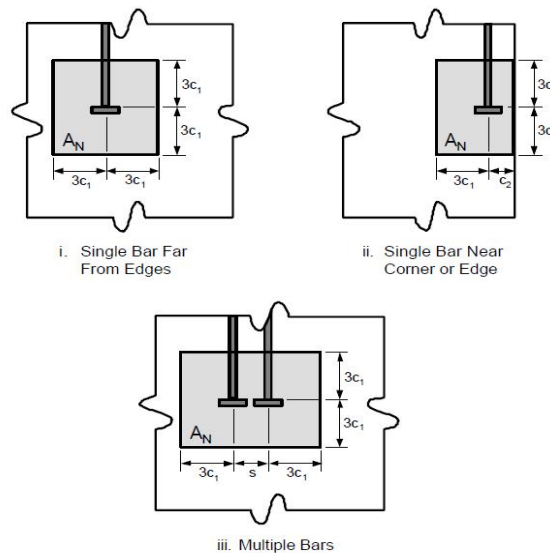


圖 2-10 Tarek Bashandy 深埋置混凝土預估破壞面積計算方式圖

### 2.4.5.3 Bashandy 梁柱接頭拉拔試驗

Bashandy[10]另外執行了 32 個模擬外部接頭梁主筋錨定之靜力單向拉拔試驗，及 1 個全尺寸外部梁柱接頭的反覆載重試驗，如圖 2-11 所示。部份試體在剪力區使用 Headed bar 提昇錨定圍束及接頭區的抗剪力強度，試驗變數包括：鋼筋直徑、錨定端板幾何形狀(面積、外觀比例和擺設方向)、埋置深度、保護層厚度和橫向圍束鋼筋。預期破壞模式：混凝土邊緣爆裂或接頭區剪力失敗。



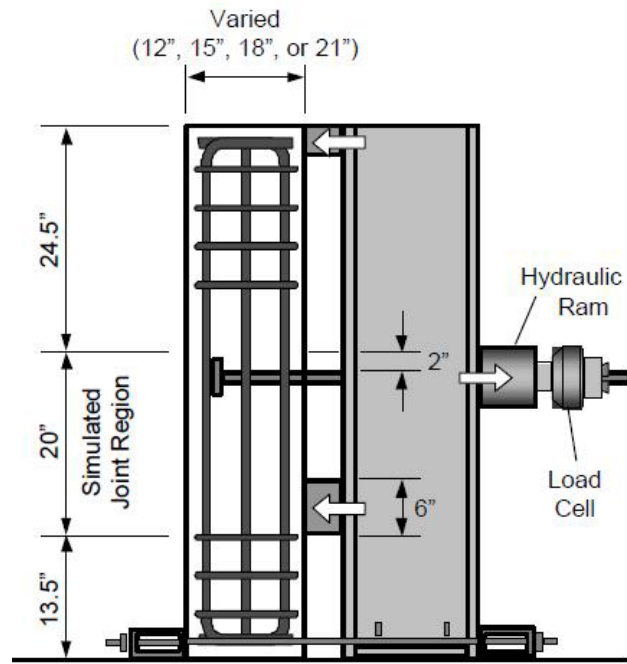


圖 2-11 Tarek Bashandy 梁柱接頭拉拔試驗圖

試驗中 T 頭鋼筋的錨定性能大部分都優於彎鉤，測試發現 T 頭鋼筋之錨定強度約正比於鋼筋埋置長度，增加側保護層厚度與柱圍束箍筋亦有助於錨定強度，應變計顯示，埋置長度愈長，直線段握裹可承受較多拉力，端部錨定板所受拉力隨之減少。

## 第三章 試體規劃

### 3.1 CCT 節點試驗

#### 3.1.1 前言

ACI 318-08 規範中對於機械式錨定之規定：(1)鋼筋降伏強度不能超越 420 MPa(2)鋼筋號數不能超過 11 號(3)使用常重混凝土(4)T 頭端板淨面積大於 4 倍鋼筋面積(5)淨保護層間距大於 2 倍鋼筋直徑(6)鋼筋淨間距大於 4 倍鋼筋直徑，然而對於上述之規定，由於國外對於 T 頭鋼筋之錨定研究量不夠充足，其規定之保守度與精確度似乎也不足，若從實際設計角度來考量，或許過於保守。若 T 頭鋼筋錨定行為已被廣泛運用，配合高強度之設計趨勢，勢必將突破其規定限制，尋找更有經濟效益之運用，本次研究計劃中，將與鋼筋製造商、T 頭端板加工廠、混凝土供應商與營造廠進行合作，試體研究參數除依據規範 ACI 318-08 之規定，並考慮規範以外之情況進行測試，如鋼筋強度、T 頭端板大小、間距等，試體設計則參考 ACI 318-08 規範與 Thompson 之研究，配合研究參數，規劃相異並相互對照之試體，不僅能觀察不同參數條件下之錨定強度與行為，也能進一步尋找更有利及更有效率之設計條件、規範並給予新建議。

#### 3.1.2 研究參數

本研究主要探討深梁之 T 頭鋼筋錨定行為，其重要研究參數是以 ACI 318-08 之規定來做調整變化，而參數研究量則期望能夠以有說服力與足夠之證據為出發點，作出一具有代表性之探討。詳細設計參數及本研究計劃，聚焦於下列重點進行：

**T 頭端板大小：**根據 ACI 318-08 規範規定，其端板淨面積不得低於與其連接鋼筋之 4 倍面積，意指端板與鋼筋之面積比要大於 5，在此研究計劃中，除了規範保守規定之 5 倍外，還包括無 T 頭之直剛筋、3 倍 T 頭端板面積與 7 倍 T 頭端板面積，望能對規範保守度作一確認，也能試著跨越規範之限制，找尋更有利之設計條件。

**鋼筋號數：**根據 ACI 318-08 規範規定，其鋼筋號數之選用不超過 11 號鋼筋，

降伏強度不得超過 420 MPa，由於業界對於 8 號及 10 鋼筋之使用率較為頻繁，且配合規範之條件，在此研究計劃中，其 T 頭鋼筋號數條件包括 8 號、10 號及 11 號，除了 11 號鋼筋為 490 MPa 外，其餘皆為 420 MPa，望能在此研究中作一確認性。

**混凝土強度：**根據 ACI 318-08 規範規定，其混凝土之配比選用應為常重混凝土，對於強度上並沒有明確限制，在此研究計劃中，因應未來高強度之趨勢，其混凝土強度選擇包括 42、56 及 70 MPa，普遍高於業界混凝土強度之選用，望能在此研究中作一確認性。

**鋼筋間距：**根據 ACI 318-08 規範規定，其鋼筋間之間距(鋼筋邊到邊距離)不應少於 4 倍鋼筋直徑，在此研究計劃中，配合規範之保守規定，其鋼筋間距選擇有 1.5 倍及 4 倍鋼筋直徑，從設計考量來看，4 倍直徑間距似乎過於保守，此鋼筋配置將過於疏遠，並不符合經濟效益，故在此研究中特意加入 1.5 倍直徑之間距做為研究參數，望能對規範保守度作一確認，也能試著跨越規範之限制，找尋更有利之設計條件。

**圍束條件：**其圍束條件是意指 CCT 節點區有無加入垂直於主筋向之圍束箍筋，本研究計劃中，圍束條件分為無圍束、3 號及 4 號箍筋，而其圍束間距又分為 100 mm 與 200 mm，期望能從圍束條件中證實其圍束箍筋之效果及貢獻，也望能從無圍束箍筋之配置歸納出節點區在受力下之傳遞路徑。

**鋼筋支數：**基於強度考量，若單根 T 頭鋼筋錨定能發揮出其 100%鋼筋強度之效果，基於力量平衡考量，兩根或三根鋼筋可望能達其 200%或甚至 300%鋼筋強度效果，本研究計劃中，鋼筋支數選擇為單根、雙根及三根。

**鋼筋型式：**在此研究計劃中，除了包括傳統標準 90 度彎鉤、180 度彎鉤與直鋼筋外，主要探討重點著重在 T 頭鋼筋類型，若研究結果顯示，T 頭鋼筋效果等同甚至足以取代彎鉤或直鋼筋，對於未來施工及強度考量上都將勢必為一大突破。

### 3.1.3 試體設計

此 CCT 節點研究計畫設計出 28 組試體，其中 24 組試體之設計能分別進行未圍束與圍束兩種試驗，另外 4 組試體則進行未圍束與圍束單種試驗，

故共進行 52 次試驗，其試體規模如圖 3-1 所示。在 CCT 節點試驗中其 24 組試體之梁深度為 500 mm，長度為 3800 mm；2 組試體之梁深度則為 700 mm，長度為 3800 mm；2 組試體之梁深度為 700 mm，長度為 2500 mm。試體之寬度設計參考 Thompson 之研究，配合 ACI 規範中最小保護層間距  $2.5d_b$  之規定，以 6 倍主筋直徑長做為最小梁寬，此研究利用配置 8 號抗拉主筋之試體為出發點，最小梁寬為 150 mm，將此試體之保護層邊距視為定值，再進而設計出配置單根 10 號或 11 號鋼筋之試體，而配置雙根或三根抗拉主筋之試體，寬度則分別為其相對單根鋼筋號數試體之 2 倍或 3 倍，此試體設計中，唯獨配置 90 度彎鉤之試體其梁深增加至 700 mm，以配合其發展長度之必要。

CCT 節點試體中，抗拉主筋之配置位置為其主筋中心至混凝土底面 100 mm 處，降伏強度設計方面，8 號與 10 號抗拉主筋為 420 MPa，11 號抗拉主筋則為 490 MPa。箍筋方面，鋼筋號數之選擇配合研究計劃，使用 3 號與 4 號圍束箍筋，降伏強度設計皆為 420 MPa，其箍筋配置間距分為 100 mm 與 200 mm，於圍束 CCT 節點試驗中，節點區之圍束箍筋從 T 頭端板與鋼筋接合處開始配置，而未圍束 CCT 節點試驗在節點區中則未配置圍束箍筋，預期其強度將不如 CCT 圍束試驗，探討重點將著重在試體發生剪力破壞前，能否看出節點區內之力量傳遞行徑。混凝土強度方面則是選用高強度，分別為 42、56 及 70 MPa 三種。

CCT 節點研究中，試體設計與研究參數列於表 3-1，其試體名稱定意皆不同，在此列舉其中幾組並說明其符號意義：

### **CT01C6D32N1H3T31**

CT01 代表 CCT 節點試驗中第一組設計試體；C6 代表混凝土強度為 6000 psi，即為 42 MPa；D32 代表抗拉主筋選用直徑 32 mm 之鋼筋，即為 10 號鋼筋；N1 代表抗拉主筋根數為單根；H3 則代表 T 頭端板大小為鋼筋面積之 3 倍；T31 則是 CCT 節點區內圍束箍筋之選用為 3 號鋼筋，配置間隔為 100 mm。

### **CT08C6D32N1B9**

CT08 代表 CCT 節點試驗中第八組設計試體；C6 代表混凝土強度為

6000 psi，即為 42 MPa；D32 代表抗拉主筋選用直徑 32 mm 之鋼筋，即為 10 號鋼筋；N1 代表抗拉主筋根數為單根；B9 則代表主筋為彎鉤鋼筋，彎鉤角度為 90 度。

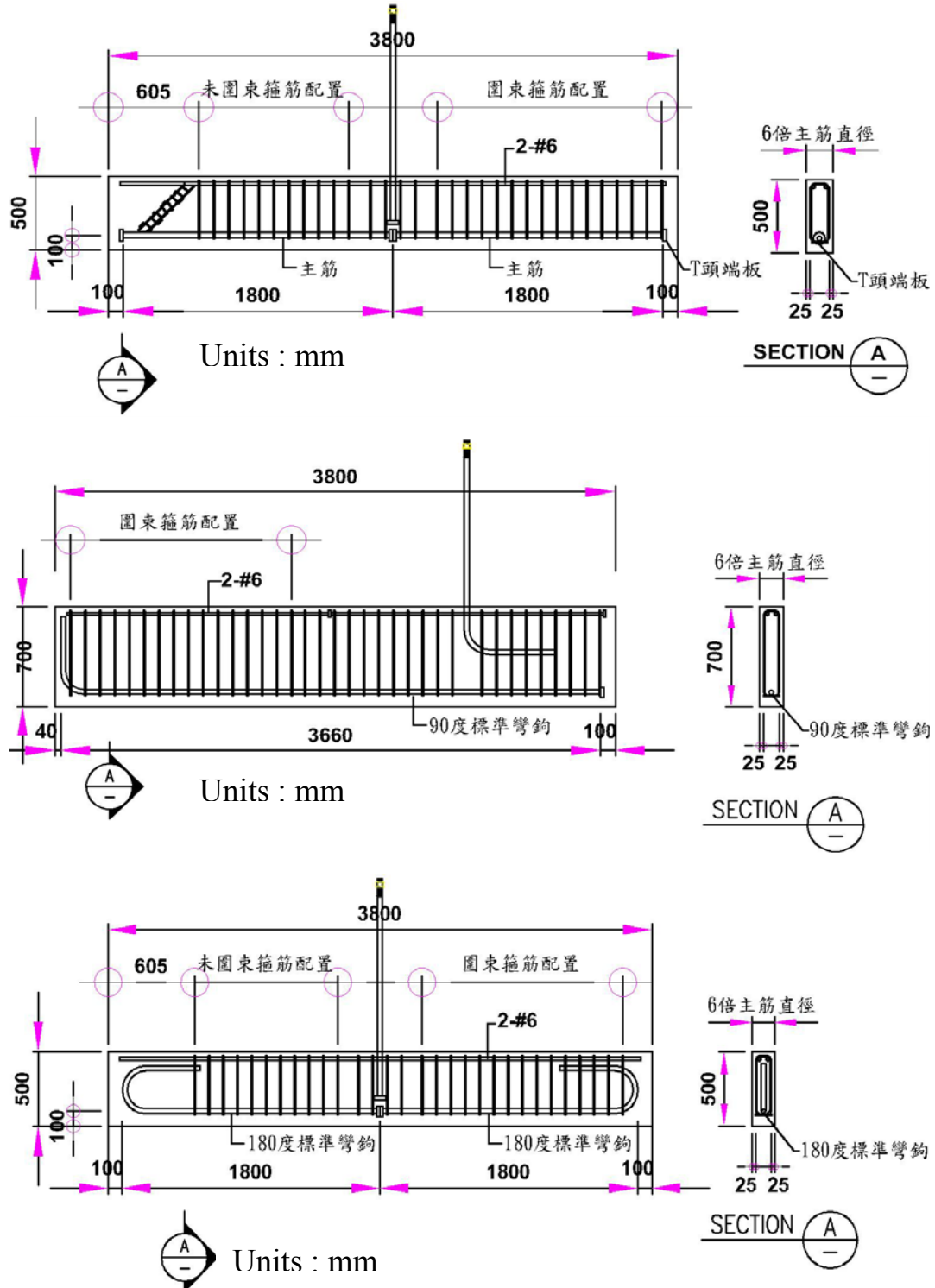


圖 3-1 CCT 節點試驗之試體設計圖

## 3.2 拉拔試驗

### 3.2.1 前言

對於 T 頭鋼筋埋置於混凝土中之錨定研究，至今研究量還是不夠充足，對於其鋼筋不同配置條件，還是難以預估其行為特性，在 ACI 318-08 規範中對於機械式錨定有初步規定，但在鋼筋配置方面卻沒有給予明確建議，例鋼筋埋入深度，故本計劃除配合 CCT 節點試驗之設計與研究外，也參考國外研究試驗，利用拉拔鋼筋之行為來觀察鋼筋與混凝土間之錨定特性，望能給予鋼筋配置上一些建議與參考。此拉拔試驗研究中，試體研究參數除依據規範 ACI 318-08 之規定，並加入幾項配合拉拔之變化，如鋼筋強度、T 頭端板大小、埋置深度與埋置邊距等，試體設計則參考 ACI 318-08 規範與 Richard DeVries 及 Tarek Bashandy 之研究，配合研究參數，規劃相異並相互對照之試體，不僅能觀察不同參數條件下之錨定強度與行為，也能進一步尋找更有利及更有效率之設計條件、規範並給予新建議。

### 3.2.2 研究參數

本研究主要探討深梁之 T 頭鋼筋在拉拔作用下之錨定強度，其重要研究參數是以 ACI318-08 之規定來做調整變化，並參考 Richard DeVries 及 Tarek Bashandy 之研究，將其研究變數作充分調整，期望能在伸展長度探討中給予適當建議。詳細設計參數及本研究計劃，聚焦於下列重點進行：

**T 頭端板大小：**根據 ACI318-08 規範規定，其端板淨面積不得低於與其連接鋼筋之 4 倍面積，意指端板與鋼筋之面積比要大於 5，在此研究計劃中，除了規範保守規定之 5 倍外，還包括無 T 頭之直剛筋、3 倍 T 頭端板面積與 7 倍 T 頭端板面積，望能對規範保守度作一確認，也能試著跨越規範之限制，找尋更有利之設計條件。

**鋼筋號數：**根據 ACI318-08 規範規定，其鋼筋號數之選用不超過 11 號鋼筋，降伏強度不得超過 420 MPa，由於業界對於 8 號及 10 鋼筋之使用率較為頻繁，且配合規範之條件，在此研究計劃中，其 T 頭鋼筋號數條件包括 8 號、10 號及 11 號，除了 11 號鋼筋為 490 MPa 外，其餘皆為 420 MPa，望能在

此研究中作一確認性。

**埋置邊距：**參考 Richard DeVries 淺埋置深度試驗及 Tarek Bashandy 深埋置深度試驗，其對埋置邊距之研究，發現對於其破壞形式會有所影響，故利用本研究機會，探討邊距與錨定之關聯性，在此研究計劃中，其邊距考量變化為拉拔主筋配置於試體邊緣(距離混凝土面 25 mm)、試體中心或遠離中心，望能在埋置邊距與錨定關聯性上給予初步之探討與說明。

**埋置深度：**參考 Richard DeVries 淺埋置深度試驗及 Tarek Bashandy 深埋置深度試驗，其對埋置深度之研究，發現對於其破壞形式會有所影響，故利用本研究機會，探討深度與錨定之關聯性，在此研究計劃中，其深度考量變化為拉拔主筋配置於試體梁深處 20 mm、30 mm 與 40 mm 處，望能在埋置深度與錨定關聯性上給予初步之探討與說明。

**混凝土強度：**根據 ACI318-08 規範規定，其混凝土之配比選用應為常重混凝土，對於強度上並沒有明確限制，在此研究計劃中，因應未來高強度之趨勢，其混凝土強度選擇包括 42、56 及 70 MPa，普遍高於業界混凝土強度之選用，望能在此研究中作一確認性。

**圍束條件：**其圍束條件是意指有無加入平行於拉拔主筋(垂直於底部主筋)之圍束箍筋，本研究計劃中，圍束條件分為無圍束、3 號及 4 號箍筋，而其圍束間距又分為 100 mm 與 200 mm，期望能從圍束條件中證實其圍束箍筋之效果及貢獻，也望能從無圍束箍筋之配置歸納出節點區在受力下之傳遞路徑。

**鋼筋型式：**在此研究計劃中，除了包括傳統標準 90 度彎鉤、180 度彎鉤與直鋼筋外，主要探討重點著重在 T 頭鋼筋類型，若研究結果顯示，T 頭鋼筋效果等同甚至足以取代彎鉤或直鋼筋，對於未來施工及強度考量上都將勢必為一大突破。

### 3.2.3 試體設計

此拉拔試驗研究主要配合 CCT 節點試體設計，從 28 組 CCT 節點試體中規劃 26 組研究參數並設計，其試體組別與尺寸皆對照 CCT 節點試體規劃，故於 CCT 節點試驗完成後，便能進行拉拔試體，共進行 26 次試驗，

其試體規模如圖 3-2 所示。在拉拔試驗中，其中 24 組試體之梁深度為 500 mm；2 組試體之梁深度為 700 mm，觀察拉拔區域長度為 1000 mm。試體寬度則如同各 CCT 節點試體組別。

拉拔試體中，拉拔主筋之配置依據埋置深度與埋置邊距而異，號數選用為降伏強度 420 MPa 之 10 號鋼筋及降伏強度 490 MPa 之 11 號鋼筋。箍筋方面，鋼筋號數之選擇配合研究計劃，使用 3 號與 4 號圍束箍筋，降伏強度設計皆為 420 MPa，其箍筋配置間距分為 100 mm 與 200 mm，分為未圍束與圍束拉拔試驗，圍束試驗中箍筋之配置從拉拔主筋中心向兩側各 50 mm 處開始配置。混凝土強度方面則是選用高強度，分別為 42、56 及 70 MPa 三種。

拉拔試驗研究中，試體設計與研究參數列於表 3-2，其試體名稱定意皆不同，在此列舉其中幾組並說明其符號意義：

#### **P01C06D32H5S064E30T31**

P01 代表拉拔試驗中第一組設計試體；C06 代表混凝土強度為 6000 psi，即為 42 MPa；D32 代表拉拔鋼筋選用直徑 32 mm 之鋼筋，即為 10 號鋼筋；H5 代表 T 頭端板大小為鋼筋面積之 5 倍；S064 代表拉拔主筋邊緣距混凝土面最短距離為 64 mm；E30 代表拉拔主筋埋置深度為 300 mm；T31 則是拉拔區域內圍束箍筋之選用為 3 號鋼筋，配置間隔為 100 mm。

#### **P07C06D36B9S062E30T31**

P07 代表拉拔試驗中第七組設計試體；C06 代表混凝土強度為 6000 psi，即為 42 MPa；D36 代表拉拔鋼筋選用直徑 36 mm 之鋼筋，即為 11 號鋼筋；B9 代表拉拔主筋選用彎鉤鋼筋，其彎鉤角度為 90 度；S062 代表拉拔主筋邊緣距混凝土面最短距離為 62 mm；E30 代表拉拔主筋埋置深度為 300 mm；T31 則是拉拔區域內圍束箍筋之選用為 3 號鋼筋，配置間隔為 100 mm。



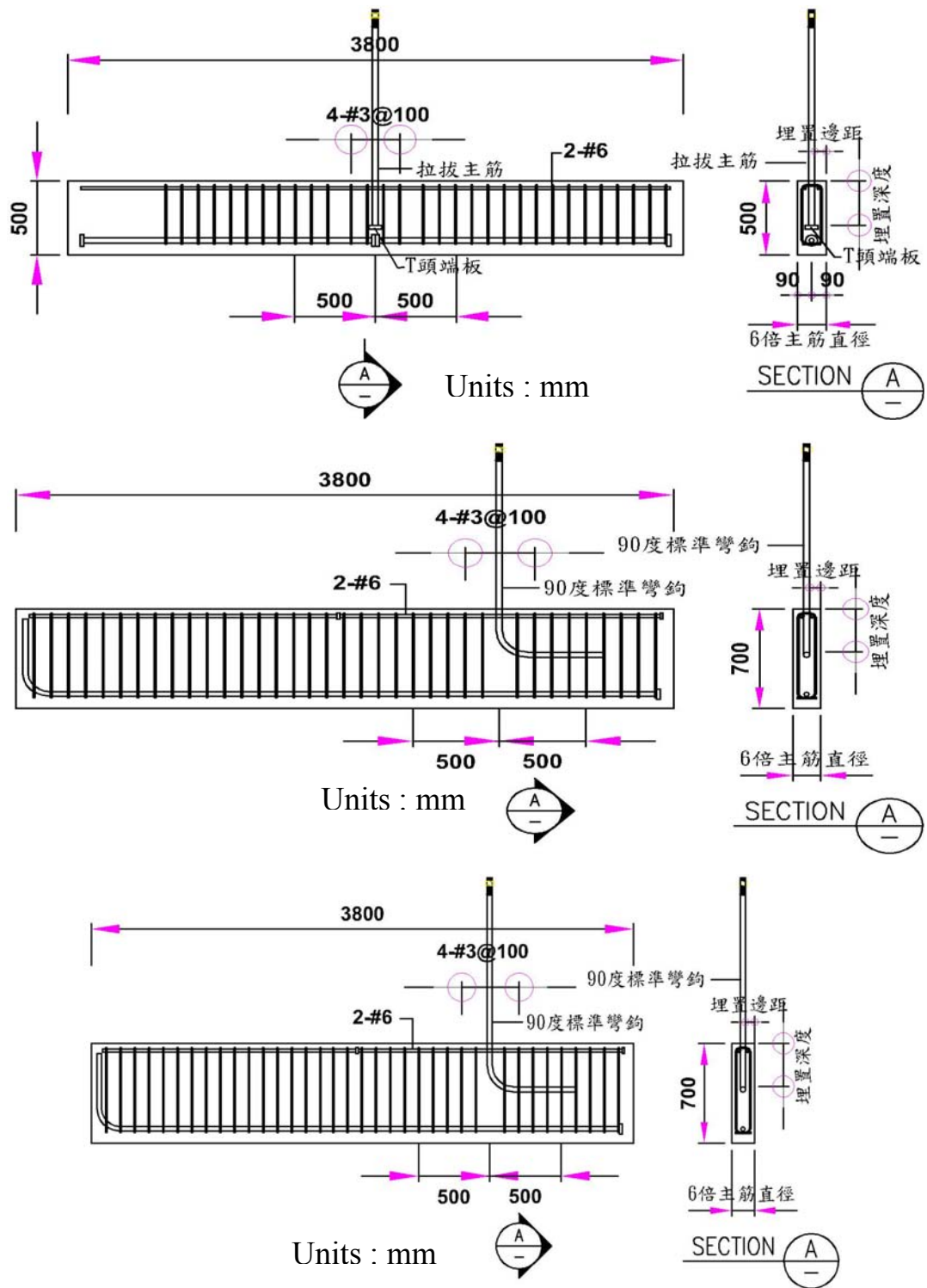


圖 3-2 拉拔試驗之試體設計圖

表 3-1 CCT 節點試驗試體參數表

Specimen	Bar	$A_p/A_b$	No. of bars	Spacing of bars	$f_c'$ (MPa)	Confined (cm)
CT01C6D32N1H3T31	#10	3	1	0	42	#3@10
CT01C6D32N1H3	#10	3	1	0	42	0
CT02C6D32N1H5T31	#10	5	1	0	42	#3@10
CT02C6D32N1H5	#10	5	1	0	42	0
CT03C6D32N1H7T31	#10	7	1	0	42	#3@10
CT03C6D32N1H7	#10	7	1	0	42	0
CT04C6D32N1H1T31	#10	1	1	0	42	#3@10
CT04C6D32N1H1	#10	1	1	0	42	0
CT05C6D36N1H5T31	#11	5	1	0	42	#3@10
CT05C6D36N1H5	#11	5	1	0	42	0
CT06C6D36N1H1T31	#11	1	1	0	42	#3@10
CT06C6D36N1H1	#11	1	1	0	42	0
CT07C6D32N1B9T31	#10	1	1	0	42	#3@10
CT08C6D32N1B9	#10	1	1	0	42	0
CT09C6D32N1B18T31	#10	1	1	0	42	#3@10
CT09C6D32N1B18	#10	1	1	0	42	0
CT10C6D25N1H5T31	#8	5	1	0	42	#3@10
CT10C6D25N1H5	#8	5	1	0	42	0
CT11C6D32N2H5S40T31	#10	5	2	4db	42	#3@10
CT11C6D32N2H5S40	#10	5	2	4db	42	0
CT12C6D32N3H5S40T31	#10	5	3	4db	42	#3@10
CT12C6D32N3H5S40	#10	5	3	4db	42	0
CT13C6D36N2H5S40T31	#11	5	2	4db	42	#3@10
CT13C6D36N2H5S40	#11	5	2	4db	42	0
CT14C6D36N3H5S40T31	#11	5	3	4db	42	#3@10
CT14C6D36N3H5S40	#11	5	3	4db	42	0

表 3-1 CCT 節點試驗試體參數表(續)

Specimen	Bar	$A_p/A_b$	No. of bars	Spacing of bars	$f_c'$ (MPa)	Confined (cm)
CT15C6D32N2H5S15T31	#10	5	2	1.5db	42	#3@10
CT15C6D32N2H5S15	#10	5	2	1.5db	42	0
CT16C6D32N3H5S15T31	#10	5	3	1.5db	42	#3@10
CT16C6D32N3H5S15	#10	5	3	1.5db	42	0
CT17C6D36N2H5S15T31	#11	5	2	1.5db	42	#3@10
CT17C6D36N2H5S15	#11	5	2	1.5db	42	0
CT18C6D36N3H5S15T31	#11	5	3	1.5db	42	#3@10
CT18C6D36N3H5S15	#11	5	3	1.5db	42	0
CT19C8D32N1H5T31	#10	5	1	0	56	#3@10
CT19C8D32N1H5	#10	5	1	0	56	0
CT20C10D32N1H5T31	#10	5	1	0	70	#3@10
CT20C10D32N1H5	#10	5	1	0	70	0
CT21C6D32N1H5T32	#10	5	1	0	42	#3@20
CT21C6D32N1H5T41	#10	5	1	0	42	#4@10
CT22C8D32N1H5T32	#10	5	1	0	56	#3@20
CT22C8D32N1H5T41	#10	5	1	0	56	#4@10
CT23C10D3N12H5T32	#10	5	1	0	70	#3@20
CT23C10D32N1H5T41	#10	5	1	0	70	#4@10
CT24C6D32N1H3	#10	3	1	0	42	0
CT24C6D32N1H5	#10	5	1	0	42	0
CT25C6D32N1H7T31	#10	7	1	0	42	#3@10
CT25C6D32N1H7	#10	7	1	0	42	0
CT26C6D32N1H1T31	#10	1	1	0	42	#3@10
CT26C6D32N1H1	#10	1	1	0	42	0
CT27C6D36N1B9T31	#11	1	1	0	42	#3@10
CT28C6D36N1B9T31	#11	1	1	0	42	#3@10

表 3-2 拉拔試驗試體參數表

Specimen	Bar	$A_p/A_b$	$h_d$ (mm)	$C_s$ (mm)	$f'_c$ (MPa)	Confined (cm)
P01C06D32H5S064E30T31	#10	5	300	64	42	#3@10
P02C06D32H5S025E30T31	#10	5	300	25	42	#3@10
P03C06D32H5S064E30	#10	5	300	64	42	0
P04C06D32H1S064E30	#10	1	300	64	42	0
P05C06D36H5S072E30T31	#11	5	300	72	42	#3@10
P06C06D36H1S072E30	#11	1	300	72	42	0
P07C06D36B9S062E30T31	#11	1	300	62	42	#3@10
P08C06D32B9S064E30T31	#10	1	300	64	42	#3@10
P09C06D32H7S064E30T31	#10	7	300	64	42	#3@10
P10C06D32H3S059E30T31	#10	3	300	59	42	#3@10
P11C06D32H5S144E20T31	#10	5	200	144	42	#3@10
P12C06D32H5S100E30T31	#10	5	300	100	42	#3@10
P13C06D32H5S164E40T31	#11	5	400	164	42	#3@10
P14C06D32H5S200E30T31	#10	5	300	200	42	#3@10
P15C06D36H5S142E20T31	#11	5	200	142	42	#3@10
P16C06D36H5S100E30T31	#11	5	300	100	42	#3@10
P17C06D36H5S162E40T31	#11	5	400	162	42	#3@10
P18C06D36H5S200E30T31	#11	5	300	200	42	#3@10
P19C08D32H5S064E30T31	#10	5	300	64	56	#3@10
P20C10D32H5S064E30T31	#10	5	300	64	70	#3@10
P21C06D36H5S062E30T32	#11	5	300	62	42	#3@20
P22C08D36H5S062E30T31	#11	5	300	62	56	#3@10
P23C10D36H5S062E30T31	#11	5	300	62	70	#3@10
P24C06D32H1S064E30T31	#10	1	300	64	42	#3@10
P25C06D32H5S025E30	#10	5	300	25	42	0
P26C06D32H5S025E40T31	#10	5	400	25	42	#3@10

## 第四章 試驗計劃

### 4.1 試驗裝置

#### 4.1.1 CCT 節點試驗裝置

CCT 節點試驗為鋼筋混凝土構件之壓拉桿理論模型中最常見的一種節點受力型式，因此本試驗利用深梁試體之 CCT 受力型式模擬鋼筋在實際構件中之受力行爲，其中 T 頭鋼筋承受拉力，鋼筋 T 頭端部之上下方承受壓力，而試驗中所考慮之混凝土壓拉桿(strut)角度配置為 45 度，此機制可模擬梁柱接頭中梁主筋之錨定行爲。圖 4-1 與照片 4-1 為 CCT 節點試驗裝置示意圖，利用此試驗構架進行鋼筋錨定測試，大部分每組試體之前後兩端皆能進行一次 CCT 節點試驗，分別為未圍束與圍束端。

本試驗利用簡支梁之三點支承模式對深梁試體進行試驗，底部兩端點支承受力方向相同，其一端支承位於 T 頭鋼筋之端板正下方，另一端支承中心與前一支承中心則相距 1500 mm，而為了使其架構能夠順利傳遞力量，於試體中間架設一預力門型構架，並給予施加足以承受 CCT 節點試體之強度，其門型構架之支承端受力方向與底部兩端點支承相反，與前端底部支承中心至中心距離為 400 mm，其配合混凝土壓拉桿 45 度配置成立，T 頭鋼筋中心距離頂部混凝土邊距同樣為 400 mm；與後端底部支承則相距 1100 mm，故以門型架構為基準，與其兩端支承端距離比為 4：11。

於底部 T 頭端板支承處下方配置一荷重計(Load cell)(簡稱荷重計端)，量測主要 CCT 節點區之 T 頭錨定強度，另一端底部支承下方配置油壓千斤頂(Oil jack)(簡稱千斤頂端)，為本試驗之施力主要來源；頂部中間支承乃利用一固定地板之門形構架作為傳遞反力機制。此三支承中，荷重計端之構架配置鐵弗龍與滾支承，目的在於消除探討重點外之摩擦力與彎矩，其支承受力寬度設計為四倍主筋直徑；頂部中間與千斤頂端處之構架也相對模擬滾支承，避免不必要之彎矩產生，支承受力寬度設計為六倍主筋直徑。由於荷重計端至中間支承距離與中間支承至千斤頂端支承距離比例為 4：11，當荷重計端承受反力為 1 單位力量時，中間支承相對承受反力為 1.37 倍單位力量，而千斤頂端之油壓千斤頂僅需施加 0.37 倍單位力量。

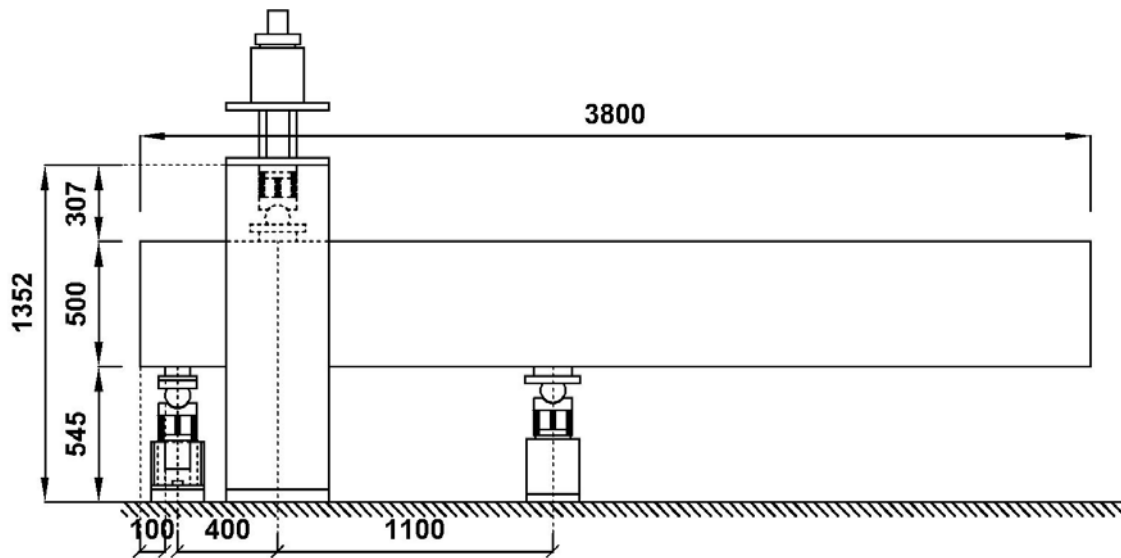


圖 4-1 CCT 節點試驗配置圖



照片 4-1 CCT 節點試驗配置圖

#### 4.1.2 拉拔試驗裝置

此拉拔試驗藉由垂直向外拉拔埋置於深梁試體中之鋼筋，探討埋置於混凝土內之鋼筋握裹特性，並歸納 T 頭鋼筋與傳統彎鉤鋼筋在拉拔作用下，其混凝土在力量作用下之破壞形試，圖 4-2 與照片 4-2 為拉拔試驗裝置示意圖，利用此試驗構架進行鋼筋拉拔測試，每組試體皆能進行一次鋼筋拉拔試驗，分為未圍束與圍束試體。

於深梁試體上配置兩支固定支承，並於兩支承頂端放置一反力架，其反力架上再擺設一油壓千斤頂，使構架機制能順利將力量傳遞至試體，其兩支承端是以拉拔主筋為中心，分別與拉拔主筋中心相距 500 mm，距離間

距比為 1：1，故利用油壓千斤頂施予拉拔主筋 1 單位力量拉力時，兩端支承各分別承受 0.5 倍單位力量，其中此支承間距之考量，乃避免受力支承距離不足，以至於影響鋼筋拉拔區塊中混凝土破壞模式而定。

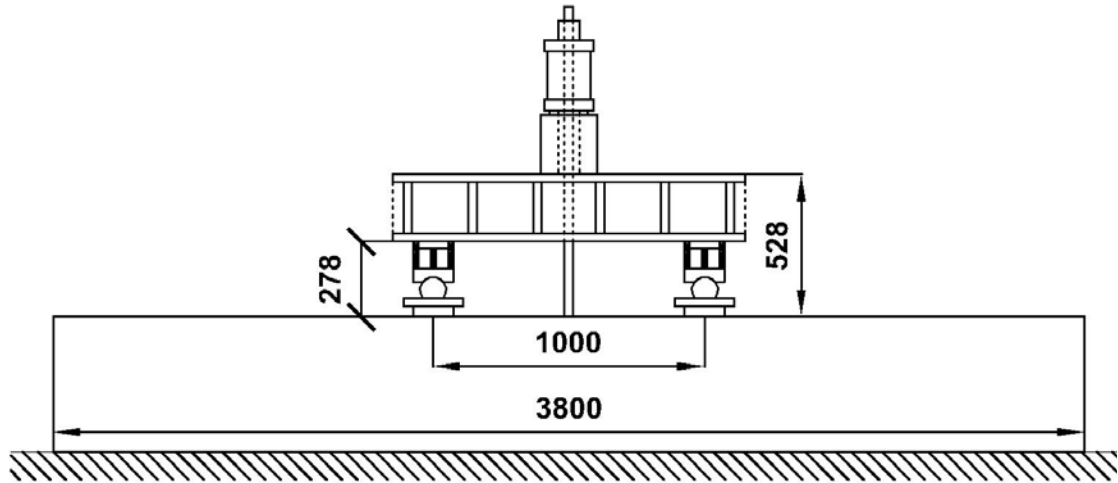


圖 4-2 拉拔試驗配置圖



照片 4-2 拉拔試驗配置圖

## 4.2 量測計劃

### 4.2.1 CCT 節點試驗量測計畫

於 CCT 節點試驗前，試體上需粉刷油漆並繪製 100×100 mm 網格，以便明顯觀察裂縫之發展。CCT 節點試驗流程中，利用置於反力地板上之一百噸油壓千斤頂，向上對試體施加载重，採用力量控制之方式，每次給予

施載力量為該試體抗拉主筋之 10%降伏強度，意即每次加載為 0.1 倍降伏強度，其詳細試體之加載流程如表 4-1，每次加載停止於預定之荷載階段時，便藉由電腦控制收取應變計及位移計之數據，檢查並紀錄試體於試驗過程中所產生之裂縫寬度或破壞狀況，於試體上利用紅色線繪出裂縫位置，且利用數位相機輔助拍照，直至試體破壞，便結束此試驗。

表 4-1 CCT 節點試驗之力量加載流程表

Load Increments		Types of Specimen (units : KN)						
Step	Yielding Ratio	1 - #8	1 - #10	2 - #10	3 - #10	1 - #11	2 - #11	3 - #11
1	10%	25	40	80	120	50	100	150
2	20%	50	80	160	240	100	200	300
3	30%	75	120	240	360	150	300	450
4	40%	100	160	320	480	200	400	600
5	50%	120	200	400	600	250	500	750
6	60%	140	233	450	700	300	600	900
7	70%	160	267	550	800	350	700	1050
8	80%	180	300	600	900	400	800	1200
9	90%	200	350	700	1050	450	900	1350
10	100%	240	400	767	1150	500	1000	1500
11	110%	260	433	850	1250	550	1100	1650
12	120%	280	467	900	1400	600	1200	1800
13	130%	300	500	1000	1500	650	1300	1950
14	140%	325	533	1067	1600	700	1400	2100

本量測計畫將藉由下列輔助儀器與設備等重要工具來完成整個試驗程序，各設備解析歸納如下：

(1) Load cell：荷重計，於整個試驗中蒐集力量之主要來源，其承載最大強度可達 200 噸，由國家地震中心實驗場提供，詳如照片 4-3。





照片 4-3 荷重計 200 噸圖示

(2) Oil jack：油壓千斤頂，與整個試驗中施加载重之主要來源，其能給予最大強度可達 100 噸，由國家地震中心實驗場提供，詳如照片 4-4。



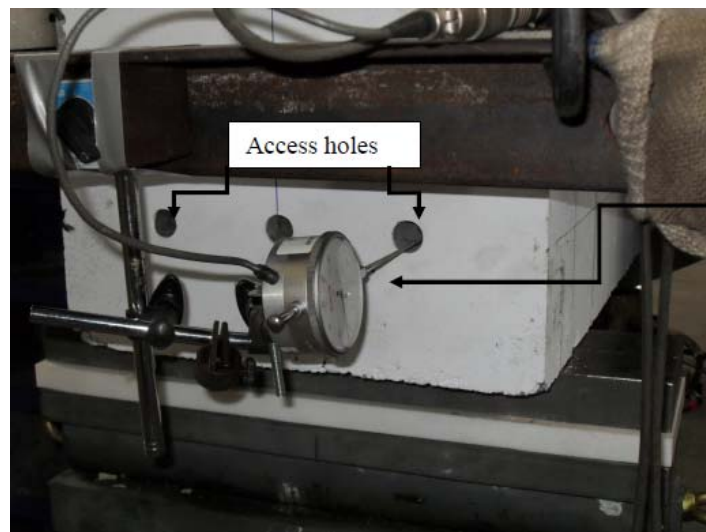
照片 4-4 油壓千斤頂 100 噸圖示

(3) Notebook 與 TML Data Logger：利用筆記型電腦搭配日本製作之資料蒐集器，於試驗過程中收取力量、應變計與位移計變化資料之主要儀器，詳如照片 4-5。



照片 4-5 資料收集器&電腦圖示

(4) LVDT( Linear Variable Differential Transformer )：位移計，使用量測範圍為 $\pm 5\text{mm}$ ，精度為 $10^{-3}\text{mm}$ ，其裝置將配置於 T 頭端板之中間處，試體於灌漿時，會利用直徑 20mm 之圓形保麗龍黏貼於 T 頭端板之中間處，於試驗時便將保麗龍拔除，以利位移計擺設，詳如照片 4-6。



照片 4-6 位移計圖示

(5) 應變計：鋼筋應變量測計畫詳表 4-2 所示，此表中描述 CCT 節點試驗之鋼筋應變計黏貼位置與其量測目的，而應變計配置於鋼筋之示意如照片 4-7。



照片 4-7 應變計圖示

表 4-2 CCT 節點試驗之應變計量測計畫

種類	擺設位置	量測目的及探討目標
抗拉主筋	距離 T 頭 $1.5d_b$ 、 $3.5d_b$ 、 $5.5d_b$ 、 $7.5d_b$ 、 $9.5d_b$ 、 $11.5d_b$ 處	確認抗拉主筋在試驗受載下，主筋受拉之應變變化情形為何，得知握裹之趨勢，進一步更希望得到 T 頭端板與鋼筋個別貢獻之程度。
圍束箍筋	箍筋中間、底部處	觀察試體在受載作用下之破壞情況，探討力量是否有傳遞情形，並了解圍束箍筋本身之承受情形。
壓拉桿區域	間隔 5cm	了解 strut 區域之受力傳遞情形，其壓拉桿區域之應變計配置顯示如圖 4-3 與圖 4-4。

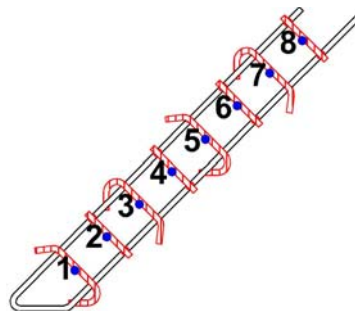


圖 4-3 Strut 區域之 in-plane 應變計圖示

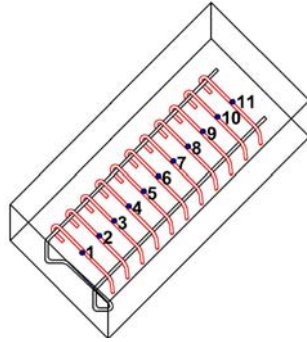


圖 4-4 Strut 區域之 Transverse 應變計圖示

#### 4.2.2 拉拔試驗量測計畫

於拉拔試驗前，試體上需粉刷油漆並繪製 100×100 mm 網格，以便明顯觀察裂縫之發展。拉拔試驗流程中，利用置於反力架上之一百噸油壓千斤頂，向上對鋼筋施予拉拔，採用力量控制之方式，每次給予施載力量為該試體抗拉主筋之 10% 降伏強度，意即每次加載為 0.1 倍降伏強度，其詳細試體之加載流程如表 4-3，每次加載停止於預定之荷載階段時，便藉由電腦控制收取應變計及位移計之數據，檢查並紀錄試體於試驗過程中所產生之裂縫寬度或破壞狀況，於試體上利用紅色線會出裂縫位置，且利用數位相機輔助拍照，直至試體破壞，便結束此試驗。

表 4-3 拉拔試驗之力量加載流程表

Load Increments		Kind of Specimen	
Step	Yielding Ratio	1 - #10	1 - #11
1	10%	40	50
2	20%	80	100
3	30%	120	150
4	40%	160	200
5	50%	200	250
6	60%	233	300
7	70%	267	350
8	80%	300	400
9	90%	350	450
10	100%	400	500
11	110%	433	550
12	120%	467	600
13	130%	500	650

本量測計畫將藉由下列輔助儀器與設備等重要工具來完成整個試驗程序，各設備解析歸納如下：

- (1) Load cell：荷重計，於整個試驗中蒐集力量之主要來源，其承載最大強度可達 200 頓，由國家地震中心實驗場提供。
- (2) Oil jack：油壓千斤頂，與整個試驗中施加载重之主要來源，其能給予最大強度可達 100 頓，由國家地震中心實驗場提供。
- (3) Notebook 與 TML Data Logger：利用筆記型電腦搭配日本製作之資料蒐集器，於試驗過程中收取力量、應變計與位移計變化資料之主要儀器。
- (4) 應變計：鋼筋應變量測計畫詳表 4-4 所示，此表中描述 CCT 節點試驗之鋼筋應變計黏貼位置與其量測目的。

表 4-4 拉拔試驗之應變計量測計畫

種類	擺設位置	量測目的及探討目標
主筋	距離 T 頭 $2d_b$ 、 $4d_b$ 、 $6d_b$ 、 $8d_b$ 與混凝土表面外 $2d_b$ 及 $4d_b$ 處	拉拔時主筋的受力情形。確認主筋在拉拔作用下，主筋受拉之應變變化情形為何，得知握裹之趨勢，進一步更希望得到 T 頭端板與鋼筋個別貢獻之程度，而混凝土外則能確認鋼筋之受拉情形。
圍束箍筋	箍筋中間處	觀察試體在受載作用下之破壞情況，探討力量是否有傳遞情形，並了解圍束箍筋本身之承受情形。

## 4.3 材料強度

### 4.3.1 鋼筋強度

鋼筋之材料試驗所得實際材料強度皆由潤泰提供，詳表 4-5，其中 8 號與 10 號鋼筋之設計降伏強度為 420 MPa，11 號鋼筋之設計降伏強度為 490 MPa。

表 4-5 各規格鋼筋之材料強度表

Bar Size	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)	Elongation (%)	$\epsilon_y$
#3	381	502	26	0.0019
#4	386	524	23	0.00193
#6	432	652	18	0.00216
#8	451	643	20	0.00225
#10	466	698	19	0.00233
#11	515	723	16	0.00257

### 4.3.2 錨定 T 頭端板強度

T 頭端板之材料試驗所得實際材料強度皆由潤泰提供，為圓型 T 頭端板，詳表 4-6，其 T 頭端板設計降伏強度皆以高於鋼筋降伏強度為主，預防鋼筋降伏前 T 頭端板已降伏。

表 4-6 各規格 T 頭端板之材料強度表

Headed Plate Size (mm)	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)	$f_u / f_y$
D45 (厚 15)	414	607	1.47
D55 (厚 16)	526	753	1.43
D55 (厚 18)	459	663	1.44
D72 (厚 21)	457	664	1.45
D80 (厚 24)	513	685	1.34
D85 (厚 23)	458	667	1.46

### 4.3.3 混凝土強度

#### 4.3.3.1 CCT 節點試驗試體

混凝土之材料試驗所得實際材料強度皆由潤泰提供，每組試體皆額外製作 3 組小圓柱體，取其平均代表試體強度，強度詳表 4-7，為 28 天與試驗當天之強度，而混凝土設計抗壓強度為 42、56 與 70 MPa。

表 4-7 各 CCT 試體之混凝土材料強度表

Specimens	Testing Date	Strength of Cylinder (MPa)	
		28 - Day	Test - day
CT01C6D32N1H3T31	2009/3/18	48.25	50.47
CT02C6D32N1H5T31	2009/3/11	48.25	50.47
CT05C6D36N1H5	2009/9/16	42.53	45.63
CT06C6D36N1H1T31	2009/9/9	42.53	42.59
CT06C6D36N1H1	2009/9/9	42.53	42.59
CT07C6D32N1B9T31	2009/11/9	42.27	37.72
CT08C6D32N1B9	2009/11/5	42.40	39.84
CT09C6D32N1B18T31	2009/10/7	42.83	38.91
CT09C6D32N1B18	2009/10/7	42.83	38.91
CT10C6D25N1H5T31	2009/9/22	44.17	41.46
CT10C6D25N1H5	2009/9/22	44.17	41.46
CT11C6D32N2H5S40T31	2009/10/27	42.67	41.98
CT11C6D32N2H5S40	2009/10/27	42.67	41.98
CT12C6D32N3H5S40T31	2009/10/22	42.70	42.15
CT12C6D32N3H5S40	2009/10/22	42.70	42.15
CT13C6D36N2H5S40T31	2009/10/14	42.30	43.12
CT13C6D36N2H5S40	2009/10/14	42.30	43.12
CT14C6D36N3H5S40T31	2009/10/16	42.43	42.56
CT14C6D36N3H5S40	2009/10/16	42.43	42.56
CT15C6D32N2H5S15T31	2009/10/28	42.67	43.81
CT15C6D32N2H5S15	2009/10/28	42.67	43.81
CT16C6D32N3H5S15T31	2009/10/23	42.70	42.12
CT16C6D32N3H5S15	2009/10/23	42.70	42.12
CT17C6D36N2H5S15T31	2009/10/13	42.30	42.58
CT17C6D36N2H5S15	2009/10/13	42.30	42.58
CT18C6D36N3H5S15T31	2009/10/20	42.43	42.10
CT18C6D36N3H5S15	2009/10/20	42.43	42.10
CT19C8D32N1H5T31	2009/10/1	74.87	54.26
CT19C8D32N1H5	2009/10/1	74.87	54.26
CT20C10D32N1H5T31	2009/10/5	81.40	72.30
CT20C10D32N1H5	2009/10/5	81.40	72.30
CT21C6D32N1H5T32	2009/9/21	43.03	40.94
CT21C6D32N1H5T41	2009/9/21	43.03	40.94
CT22C8D32N1H5T32	2009/10/6	74.87	54.31



表 4-7 各 CCT 試體之混凝土材料強度表(續)

Specimens	Testing Date	Strength of Cylinder (MPa)	
		28 - Day	Test - day
CT22C8D32N1H5T41	2009/10/6	74.87	54.31
CT23C10D3N12H5T32	2009/10/6	81.40	76.19
CT23C10D32N1H5T41	2009/10/6	81.40	76.19
CT24C6D32N1H3	2009/9/11	43.03	41.72
CT24C6D32N1H5	2009/9/11	43.03	41.72
CT25C6D32N1H7T31	2009/9/17	42.73	43.77
CT25C6D32N1H7	2009/9/17	42.73	43.77
CT26C6D32N1H1T31	2009/9/17	42.73	39.99
CT26C6D32N1H1	2009/9/17	42.73	39.99
CT27C6D36N1B9T31	2009/11/5	42.27	42.04
CT28C6D36N1B9T31	2009/11/3	42.40	41.51

#### 4.3.3.2 拉拔試驗試體

混凝土之材料試驗所得實際材料強度皆由潤泰提供，每組試體皆額外製作 3 組小圓柱體，取其平均代表試體強度，強度詳表 4-8，為 28 天與試驗當天之強度，而混凝土設計抗壓強度為 42、56 與 70 MPa。



表 4-8 各拉拔試體之混凝土材料強度表

Specimens	Testing Date	Strength of Cylinder (MPa)	
		28 - Day	Test - day
P01C06D32H5S064E30T31	2009/4/1	48.25	50.47
P02C06D32H5S025E30T31	2009/4/3	48.25	50.47
P03C06D32H5S064E30	2009/3/31	48.70	54.00
P04C06D32H1S064E30	2009/3/30	48.70	54.00
P05C06D36H5S072E30T31	2010/12/22	42.53	44.21
P06C06D36H1S072E30	2010/12/10	42.53	42.34
P07C06D36B9S062E30T31	2010/11/26	42.27	40.78
P08C06D32B9S064E30T31	2010/12/25	42.40	40.26
P09C06D32H7S064E30T31	2010/12/23	42.83	39.57
P10C06D32H3S059E30T31	2010/12/9	44.17	40.54
P11C06D32H5S144E20T31	2010/11/27	42.67	42.67
P12C06D32H5S100E30T31	2010/11/30	42.70	42.15
P13C06D32H5S164E40T31	2010/12/21	42.30	42.74
P14C06D32H5S200E30T31	2010/12/7	42.43	42.66
P15C06D36H5S142E20T31	2010/11/30	42.67	44.43
P16C06D36H5S100E30T31	2010/12/1	42.70	39.35
P17C06D36H5S162E40T31	2010/12/23	42.30	43.02
P18C06D36H5S200E30T31	2010/12/7	42.43	42.53
P19C08D32H5S064E30T31	2010/12/9	74.87	54.64
P20C10D32H5S064E30T31	2010/12/22	81.40	70.82
P21C06D36H5S062E30T32	2010/12/8	43.03	39.06
P22C08D36H5S062E30T31	2010/12/22	74.87	52.82
P23C10D36H5S062E30T31	2010/12/23	81.40	72.98
P24C06D32H1S064E30T31	2010/12/11	43.03	40.21
P25C06D32H5S025E30	2010/12/10	42.73	40.03
P26C06D32H5S025E40T31	2010/12/22	42.73	40.06

## 第五章 試驗過程

### 5.1 CCT 節點試驗過程

CCT 節點試驗過程之敘述及討論，主要著重在 CCT 節點區域內，意即觀察荷重計端在承載強度下之破壞情形。CCT 節點試驗將中途停止在每一預定之承載強度下，利用這段時間收取資料，並且觀察試體裂縫生長與破壞情形，其將利用紅色麥克筆描繪裂縫之走向，並標註裂縫生成之先後順序，裂縫之寬度也將在上述流程節束後給予紀錄。

裂縫之觀察乃用對照之方式比對，故於實驗初期時，由於裂縫發展相當細微，肉眼雖可判別，但對照工具之比對方式，其輔助工具精細度僅至 0.3 mm 無法達到更細微之判斷，因此僅能推估其裂縫小於 0.3 mm，也因此，整個實驗之裂縫觀察，對照工具之比對方式其算是估略量測，因此整個裂縫發展其量測值雖是估計值，但仍可表現試體其破壞行為。

#### 5.1.1 各試體試驗過程

試體之裂縫發展與破壞狀態整理，為避免過於雜亂，將分為未圍束與圍束兩大主題，描述各組試體之破壞情形，而試驗階段則是利用抗拉主筋之降伏百分比作區隔，裂縫之寬度成長將紀錄於表 5-1 至表 5-45，其裂縫生成先後順序利用編號(1)、(2)、(3)來區分，完整呈現試驗過程，以下將對試體裂縫成長與破壞模式作一詳細描述與介紹：

而試體之破壞模式在此區分為 Strut Failure 及 Flexure Failure 兩種。Strut Failure 會瞬間造成混凝土塊崩落，使錨定強度瞬間喪失；Flexure Failure 則是試體於受載情形下，鋼筋無法繼續提供其效果，使錨定強度逐漸降低。

#### 未圍束：

CT05C6D36N1H5(#11-1 根-5 倍 T 頭-42 MPa)：

承載力達 10%降伏強度(51 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板 350 mm 與 620 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 80%降伏強度(399 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離 T 頭端板 250 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢斜向衍

伸；承載力趨近於 120 % 降伏強度(590 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-1 與圖 5-1，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-1 所示。

表 5-1 CT05C6D36N1H5 試體試驗中裂縫發展表

CT05C6D36N1H5		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State – East side	Description of Cracks State – West side
10%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
20%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
30%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
40%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
50%	(1)=0.4mm	(1)=0.4mm
60%	(1)=0.4mm	(1)=0.4mm
70%	(1)=0.4mm	(1)=0.4mm
80%	(1)=0.6mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.6mm
90%	(1)=0.8mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.3mm
100%	(1)=1.1mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=1.1mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
110%	(1)=5mm ; (2)=3mm ; (3)=0.3mm	(1)=6mm ; (2)=0.3mm ; (3)=3mm
120%	(1)=10mm ; (2)=9mm ; (3)=0.4mm	(1)=12mm ; (2)=0.4mm ; (3)=7mm
Failure	(1)=15mm ; (2)=13mm ; (3)=0.4mm	(1)=14mm ; (2)=0.4mm ; (3)=7mm

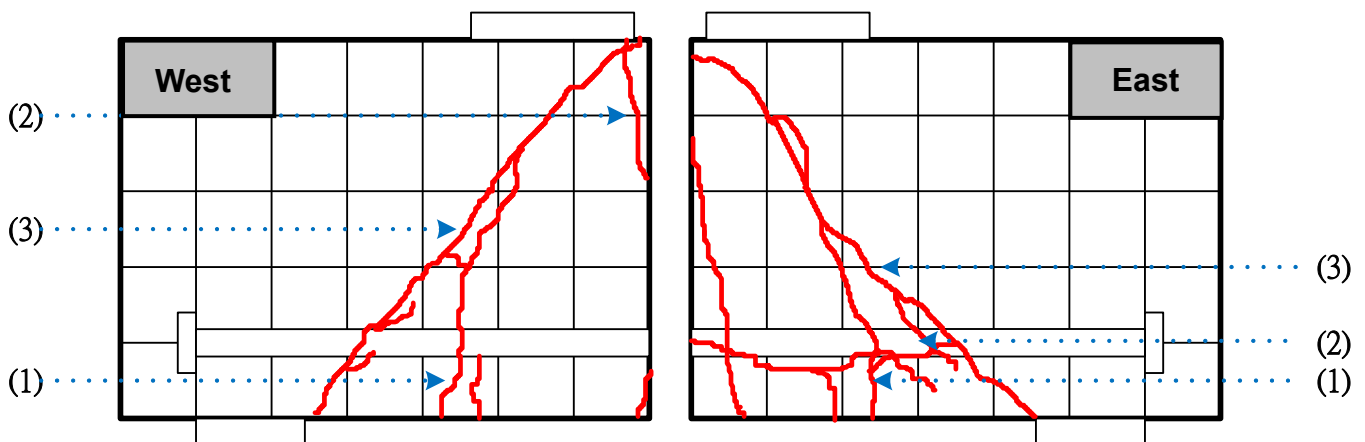


圖 5-1 CT05C6D36N1H5 試體試驗中裂縫發展圖

CT06C6D36N1H1(#11-1 根-直鋼筋-42 MPa)：

第一條裂縫不在 CCT 節點區域內。承載力達 40 % 降伏強度(198 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展，約距離直鋼筋起始端 450 mm

與 680 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上行伸；承載力達 50 % 降伏強度 (249 KN) 時，東、西兩面產生第三條裂縫，為縱向發展，約距離直鋼筋起始端 550 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上行伸；承載力達 60 % 降伏強度 (298 KN) 時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離直鋼筋起始端 200 mm 至 400 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上行伸；承載力達 80 % 降伏強度 (395 KN) 時，東、西兩面於壓拉桿區域內產生裂縫，為斜向發展，其裂縫走向趨近於 45 度；承載力達 80 % 降伏強度 (395 KN) 時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為壓拉桿破壞，主要發生於 CCT 節點區域內。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-2 與圖 5-2，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-2 所示。

表 5-2 CT06C6D36N1H1 試體試驗中裂縫發展表

CT06C6D36N1H1		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State – East side	Description of Cracks State – West side
10%		
20%		
30%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
40%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)<0.3mm
50%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm	(1)<0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)<0.3mm
70%	(1)=0.3mm ; (2)=0.4mm ; (3)<0.3mm	(1)=0.7mm ; (2)=0.3mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.6mm	(1)=0.7mm ; (2)=0.3mm ; (3)=1mm
Failure	(1)=0.4mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.3mm ; (s)=1.9mm	(1)=0.7mm ; (2)=0.3mm ; (3)=3mm

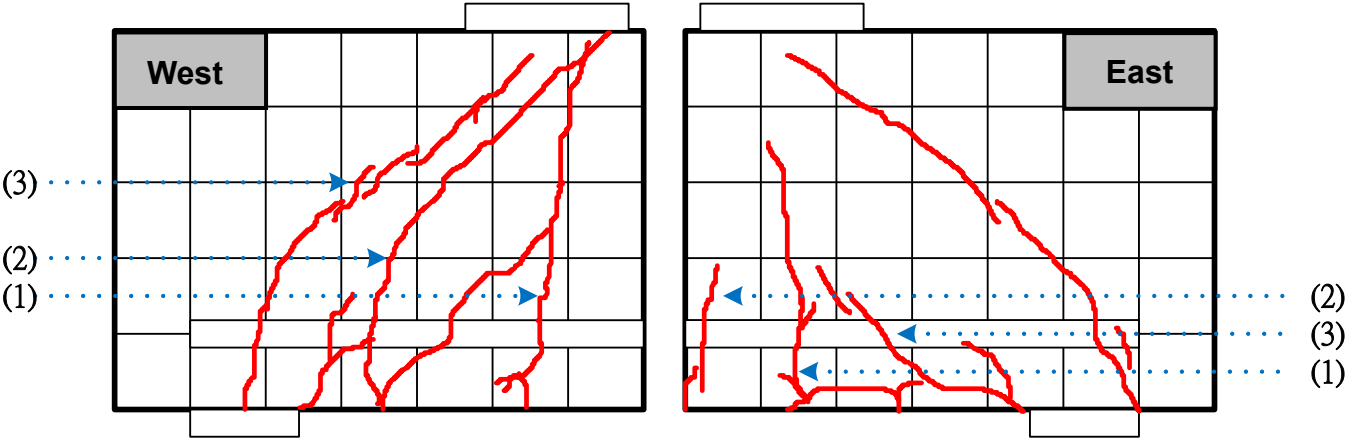


圖 5-2 CT06C6D36N1H1 試體試驗中裂縫發展圖

CT08C6D32N1B9(#10-1 根-90 度彎鉤-42 MPa)：

承載力達 40 %降伏強度(162 KN)時，東、西兩面產生第一條與第二條裂縫，為縱向發展，約距離彎鉤鋼筋邊緣 750 mm 至 850 m 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 50 %降伏強度(200 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離彎鉤鋼筋邊緣 350 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承載力趨近於 100 %降伏強度(367 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-3 與圖 5-3，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-3 所示。

表 5-3 CT08C6D32N1B9 試體試驗中裂縫發展表

CT08C6D32N1B9		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)<0.3mm
50%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
70%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
80%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.5mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.5mm
90%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.5mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.5mm
Failure	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=25mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=30mm

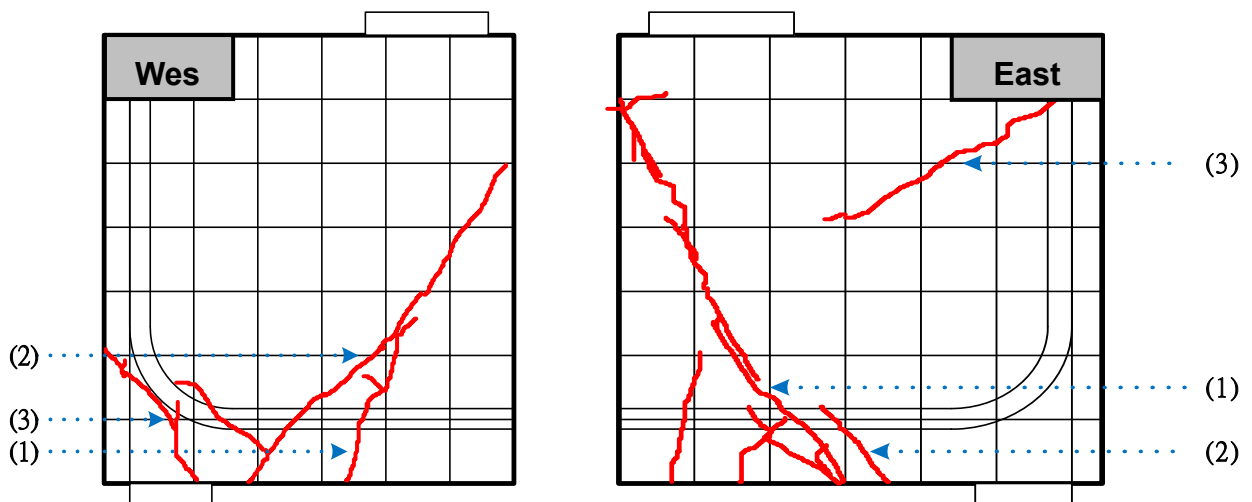


圖 5-3 CT08C6D32N1B9 試體試驗中裂縫發展圖

CT09C6D32N1B18(#10-1 根-180 度彎鉤-42 MPa)：

承載力達 30 %降伏強度(120 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離彎鉤鋼筋邊緣 500 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上行伸；承載力達 40 %降伏強度(160 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展，約距離彎鉤鋼筋邊緣 800 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上行伸；承載力達 70 %降伏強度(266 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離彎鉤鋼筋邊緣 400 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上行伸；承載力達 90 %降伏強度(351 KN)時，東、西兩面於壓拉桿區域內產生裂縫，為斜向發展，其裂縫走向趨近於 45 度；承載力趨近於 100 %降伏強度(366 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為壓拉桿破壞，主要發生於 CCT 節點區域內。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-4 與圖 5-4，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-4 所示。

表 5-4 CT09C6D32N1B18 試體試驗中裂縫發展表

CT09C6D32N1B18		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		(1)<0.3mm
30%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
40%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
50%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm
60%	(1)=0.6mm ; (2)=0.4mm ; (3)0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)0.6mm
70%	(1)=0.7mm ; (2)=0.6mm ; (3)0.5mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.6mm ; (3)1mm
80%	(1)=0.7mm ; (2)=0.6mm ; (3)0.5mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.6mm ; (3)1mm
90%	(1)=0.8mm ; (2)=0.6mm ; (3)0.6mm ; (s)=0.3mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.8mm ; (3)2mm ; (s)=0.3mm
Failure	(1)=1mm ; (2)=0.6mm ; (3)0.6mm ; (s)=0.8mm	(1)=0.7mm ; (2)=0.8mm ; (3)3mm ; (s)=0.5mm

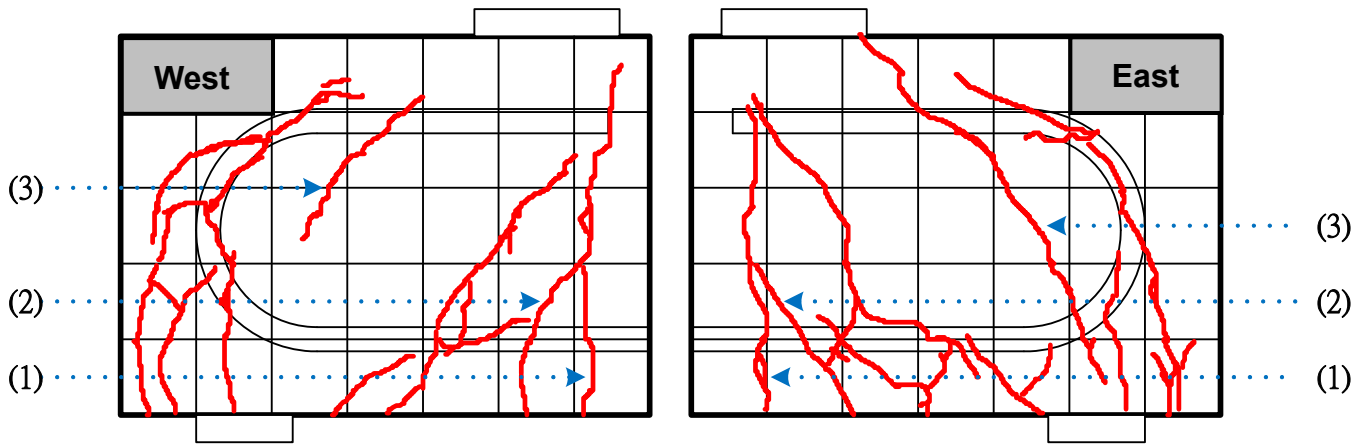


圖 5-4 CT09C6D32N1B18 試體試驗中裂縫發展圖

CT10C6D25N1H5(#8-1 根-5 倍 T 頭-42 MPa)：

承载力達 50%降伏強度(120 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 720 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力達 70%降伏強度(160 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 450 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力達 80%降伏強度(179 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 350 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力趨近於 140%降伏強度(317 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-5 與圖 5-5，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-5 所示。

表 5-5 CT10C6D25N1H5 試體試驗中裂縫發展表

CT10C6D25N1H5		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%		
50%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
60%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm
70%	(1)=0.3mm ; (2)=0.4mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.4mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
90%	(1)=0.4mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
100%	(1)=0.4mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
110%	(1)=0.5mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.6mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.4mm
120%	(1)=0.5mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.6mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.4mm
130%	(1)=0.5mm ; (2)=2mm ; (3)=0.7mm	(1)=0.4mm ; (2)=2.5mm ; (3)=0.4mm
140%	(1)=2mm ; (2)=5mm ; (3)=0.8mm	(1)=2mm ; (2)=4mm ; (3)=0.5mm
Failure	(1)=3mm ; (2)=5.5mm ; (3)=1mm	(1)=3mm ; (2)=5mm ; (3)=0.7mm

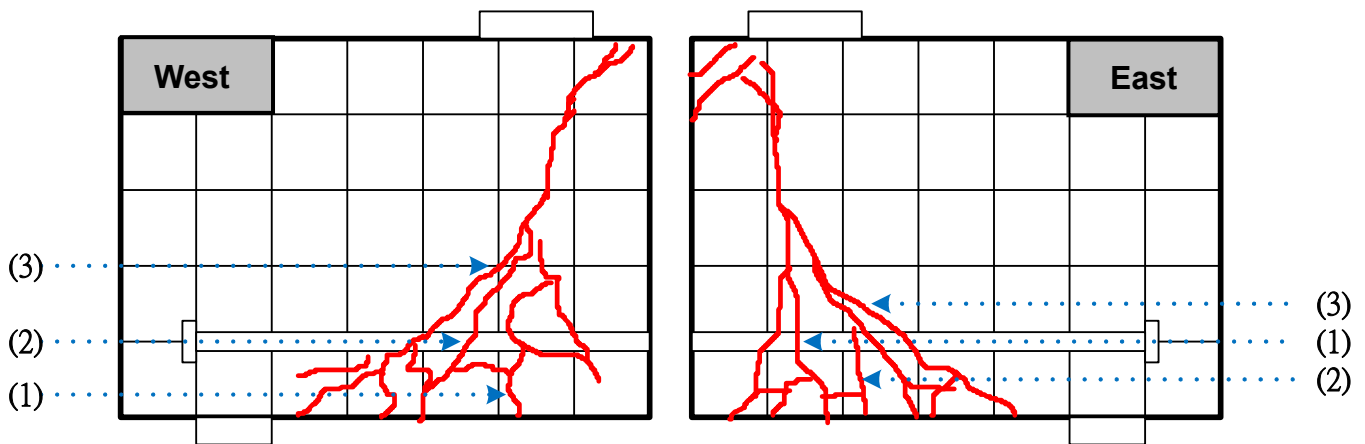


圖 5-5 CT10C6D25N1H5 試體試驗中裂縫發展圖

CT11C6D32N2H5S40(#10-2 根-5 倍 T 頭-42 MPa) :

承載力達 30 %降伏強度(241 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 630 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 40 %降伏強度(318 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 300 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承載力趨近於 110 %降伏強度(828 KN)時，強度



達最大值後便開始下降，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-6 與圖 5-6，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-6 所示。

表 5-6 CT11C6D32N2H5S40 試體試驗中裂縫發展表

CT11C6D32N2H5S40		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
40%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm
50%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
70%	(1)=0.3mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.4mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.5mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
90%	(1)=0.4mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.5mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
100%	(1)=0.6mm ; (2)=2mm ; (3)=0.6mm	(1)=0.5mm ; (2)=2mm ; (3)=0.6mm
110%	(1)=10mm ; (2)=20mm ; (3)=0.8mm	(1)=10mm ; (2)=18mm ; (3)=0.6mm
Failure	(1)=15mm ; (2)=30mm ; (3)=0.8mm	(1)=15mm ; (2)=25mm ; (3)=0.6mm

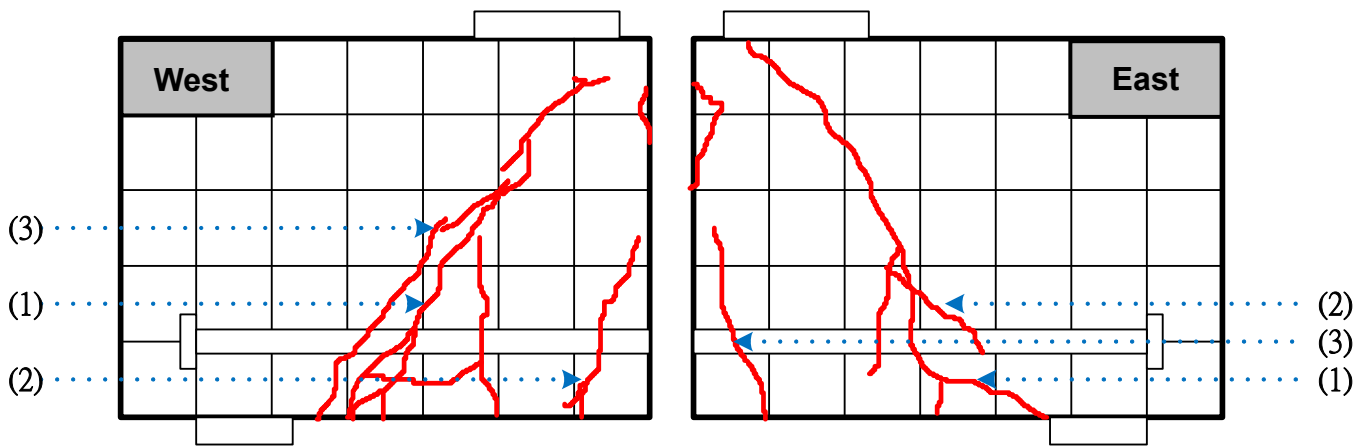


圖 5-6 CT11C6D32N2H5S40 試體試驗中裂縫發展圖

CT12C6D32N3H5S40(#10-3 根-5 倍 T 頭-42 MPa)：

承载力達 40 %降伏強度(483 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 400 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力達 50 %降伏強度(601 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離 T 頭端板邊緣 350 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿

壓拉桿 45 度角向上衍伸；承载力趨近於 100 %降伏強度(1109 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-7 與圖 5-7，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-7 所示。

表 5-7 CT12C6D32N3H5S40 試體試驗中裂縫發展表

CT12C6D32N3H5S40		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
40%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
50%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
70%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
90%	(1)=0.4mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm
100%	(1)=0.4mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.6mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.8mm ; (3)=1.3mm
Failure	(1)=1.5mm ; (2)=5mm ; (3)=1.2mm	(1)=0.6mm ; (2)=12mm ; (3)=8mm

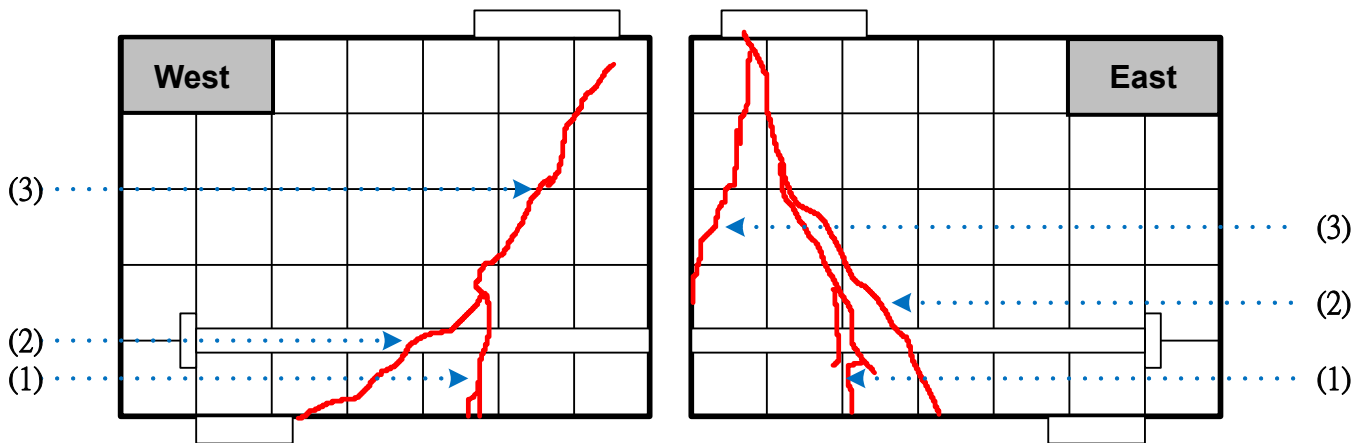


圖 5-7 CT12C6D32N3H5S40 試體試驗中裂縫發展圖

CT13C6D36N2H5S40(#11-2 根-5 倍 T 頭-42 MPa)：

承载力達 40 %降伏強度(400 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 620 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力達 50 %降伏強度(501 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，

為斜向發展，約距離 T 頭端板邊緣 250 mm 至 400 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承载力達 90 % 降伏強度(900 KN)時，東、西兩面於壓拉桿區域內產生裂縫，為斜向發展，其裂縫走向趨近於 45 度；承载力趨近於 100 % 降伏強度(997 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為壓拉桿破壞，主要發生於 CCT 節點區域內。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-8 與圖 5-8，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-8 所示。

表 5-8 CT13C6D36N2H5S40 試體試驗中裂縫發展表

CT13C6D36N2H5S40		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm
50%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
70%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.3mm
80%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.3mm
90%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.6mm ; (s)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.3mm
100%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=5mm ; (s)=2.5mm	(1)=0.4mm ; (2)=2.5mm ; (3)=0.3mm ; (s)=1.2mm
Failure	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=25mm ; (s)=2.5mm	(1)=0.4mm ; (2)=2.5mm ; (3)=0.3mm ; (s)=1.2mm

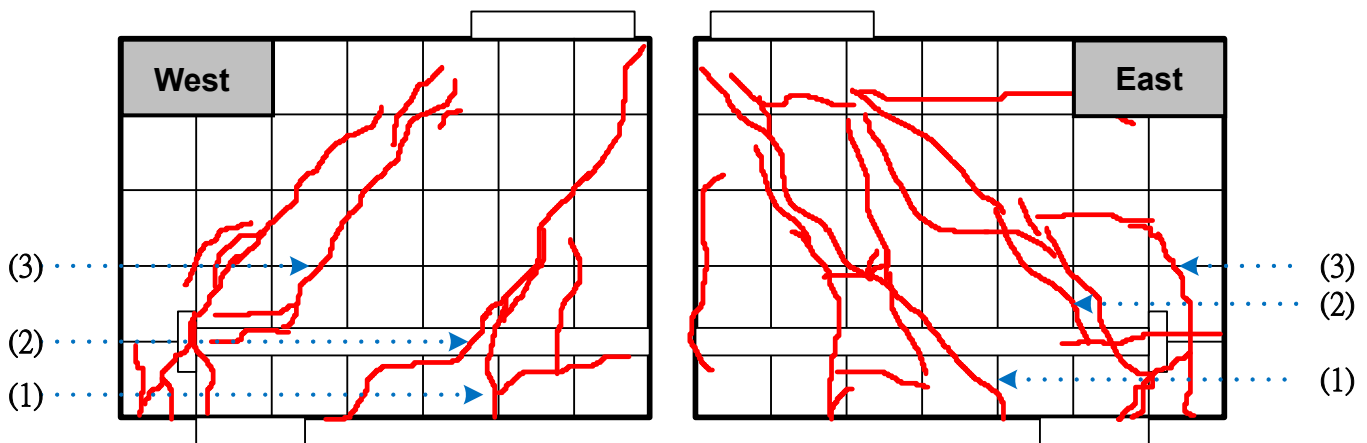


圖 5-8 CT13C6D36N2H5S40 試體試驗中裂縫發展圖

CT14C6D36N3H5S40(#11-3 根-5 倍 T 頭-42 MPa)：

承載力達 50 %降伏強度(750 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 400 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 60 %降伏強度(905 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 250 mm 至 400 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承載力趨近於 110 %降伏強度(1600 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-9 與圖 5-9，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-9 所示。

表 5-9 CT14C6D36N3H5S40 試體試驗中裂縫發展表

CT14C6D36N3H5S40		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
40%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
50%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
70%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
90%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
100%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm
110%	(1)=2.5mm ; (2)=0.7mm ; (3)=0.6mm	(1)=1mm ; (2)=0.5mm ; (3)=1.2mm
Failure	(1)=2.5mm ; (2)=0.7mm ; (3)=0.6mm	(1)=1mm ; (2)=0.5mm ; (3)=1.2mm

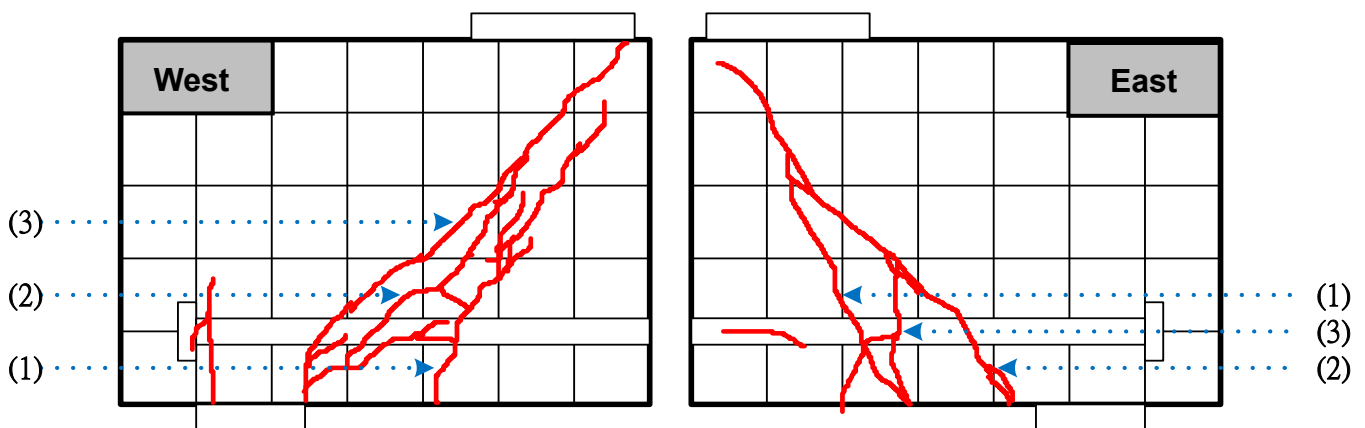


圖 5-9 CT14C6D36N3H5S40 試體試驗中裂縫發展圖

CT15C6D32N2H5S15(#10-2 根-5 倍 T 頭-42 MPa)：

承载力達 30 %降伏強度(240 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 650 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力達 50 %降伏強度(401 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 450 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力達 70 %降伏強度(550 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 350 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承载力達 100 %降伏強度(766 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 250 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承载力趨近於 110 %降伏強度(835 KN)時，強度達最大值便開始下降，且東、西兩面於壓拉桿區域內產生裂縫，為斜向發展，其裂縫走向趨近於 45 度，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-10 與圖 5-10，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-10 所示。

表 5-10 CT15C6D32N2H5S15 試體試驗中裂縫發展表

CT15C6D32N2H5S15		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
40%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
50%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
70%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
90%	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm
100%	(1)=0.8mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.6mm	(1)=1mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.6mm ; (s)=1.2mm
Failure	(1)=5mm ; (2)=1mm ; (3)=0.8mm	(1)=8mm ; (2)=2mm ; (3)=0.6mm ; (s)=10mm

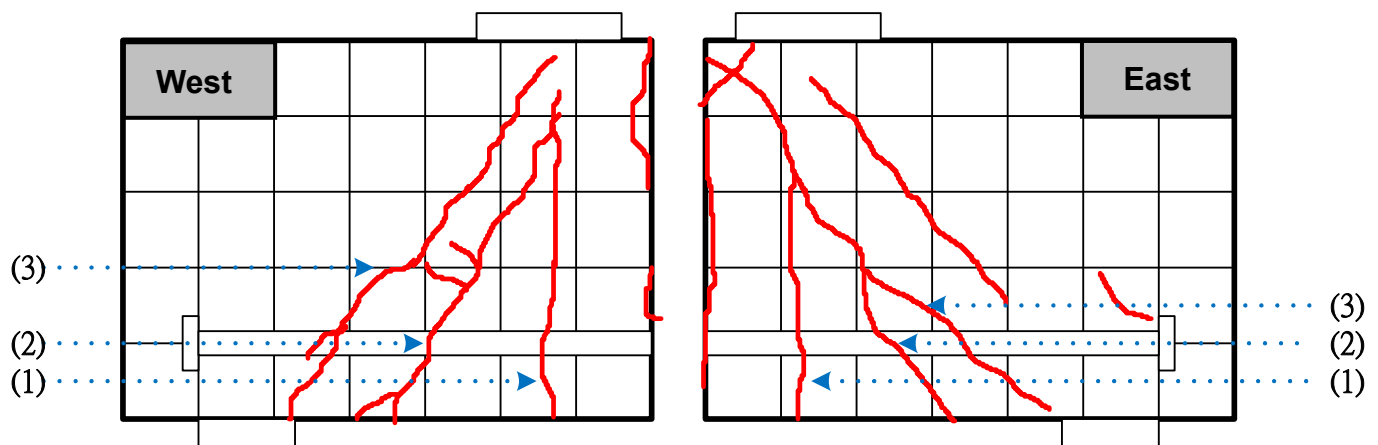


圖 5-10 CT15C6D32N2H5S15 試體試驗中裂縫發展圖

CT16C6D32N3H5S15(#10-3 根-5 倍 T 頭-42 MPa)：

承载力達 30%降伏強度(360 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 520 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力達 40%降伏強度(480 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離 T 頭端板邊緣 350 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承载力達 90%降伏強度(1048 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 200 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承载力趨近於 100%降伏強度(1108 KN)時，強度達最大值便開始下降，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-11 與圖 5-11，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-11 所示。

表 5-11 CT16C6D32N3H5S15 試體試驗中裂縫發展表

CT16C6D32N3H5S15		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
40%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
50%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm
70%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.6mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.6mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.6mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.6mm
90%	(1)=0.4mm ; (2)=0.6mm ; (3)=2.5mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.6mm ; (3)=2.5mm
100%	(1)=1.5mm ; (2)=4mm ; (3)=5mm	(1)=1mm ; (2)=3mm ; (3)=5mm ; (s)=0.5mm
Failure	(1)=2mm ; (2)=12mm ; (3)=10mm	(1)=4mm ; (2)=10mm ; (3)=12mm ; (s)=0.7mm

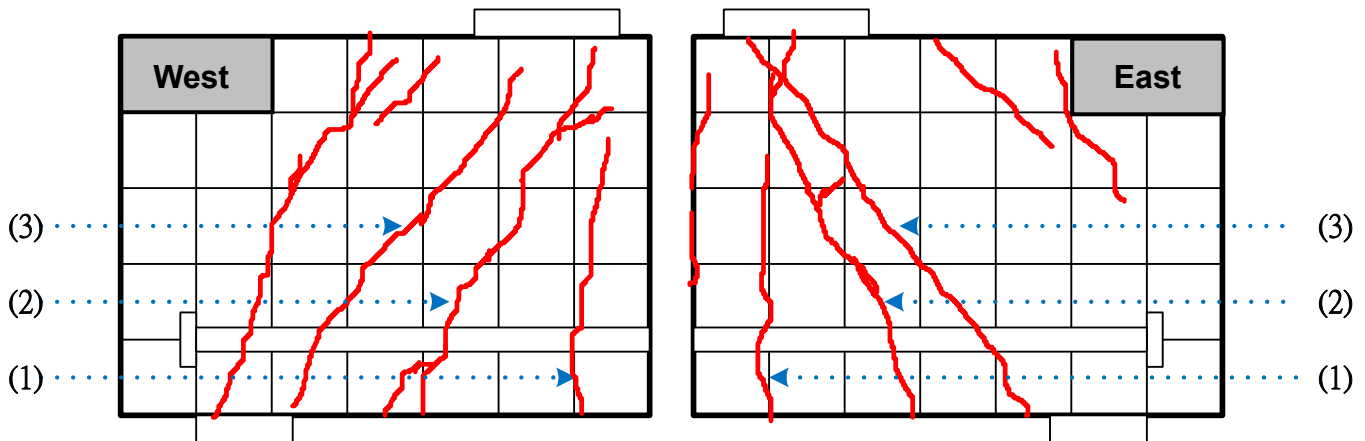


圖 5-11 CT16C6D32N3H5S15 試體試驗中裂縫發展圖

CT17C6D36N2H5S15(#11-2 根-5 倍 T 頭-42 MPa) :

承载力達 40 %降伏強度(400 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 520 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力達 50 %降伏強度(499 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離 T 頭端板邊緣 420 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承载力達 70 %降伏強度(699 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 320 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承载力達 100 %降伏強度(996 KN)時，強度達

最大值便開始下降，且東、西兩面於壓拉桿區域內產生裂縫，為斜向發展，其裂縫走向趨近於 45 度，最終破壞型式為壓拉桿破壞，主要發生於 CCT 節點區域內。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-12 與圖 5-12，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-12 所示。

表 5-12 CT17C6D36N2H5S15 試體試驗中裂縫發展表

CT17C6D36N2H5S15		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		(1)<0.3mm
40%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
50%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
70%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
80%	(1)=0.3mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.6mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
90%	(1)=0.3mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.6mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
100%	(1)=0.3mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.7mm ; (s)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.3mm
Failure	(1)=0.4mm ; (2)=0.6mm ; (3)=1mm ; (s)=10mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.4mm ; (s)=15mm

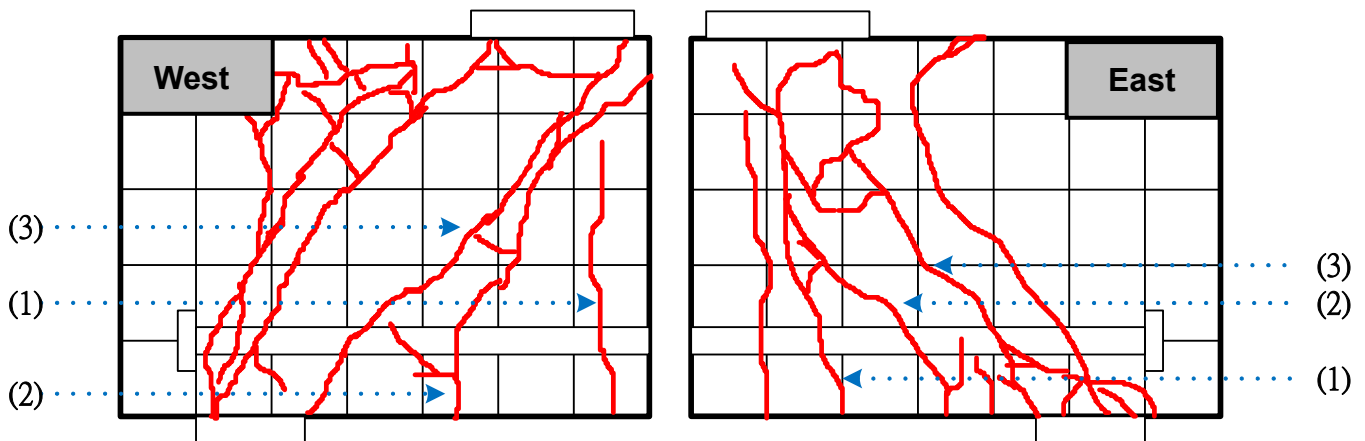


圖 5-12 CT17C6D36N2H5S15 試體試驗中裂縫發展圖

CT18C6D36N3H5S15(#11-3 根-5 倍 T 頭-42 MPa)：

承载力達 30%降伏強度(450 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為斜向發展，約距離 T 頭端板邊緣 320 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承载力達 90%降伏強度(1352 KN)時，強度達最大



值便開始下降，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-13 與圖 5-13，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-13 所示。

表 5-13 CT18C6D36N3H5S15 試體試驗中裂縫發展表

CT18C6D36N3H5S15		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
40%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm
50%	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm
60%	(1)=0.6mm ; (2)=0.4mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.4mm
70%	(1)=0.7mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.7mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.3mm
80%	(1)=0.9mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.9mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.3mm
90%	(1)=1.2mm ; (2)=0.8mm ; (3)=0.5mm	(1)=1.2mm ; (2)=0.8mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.5mm
Failure	(1)=2mm ; (2)=8mm ; (3)=7mm	(1)=1.5mm ; (2)=2mm ; (3)=2mm ; (s)=0.5mm

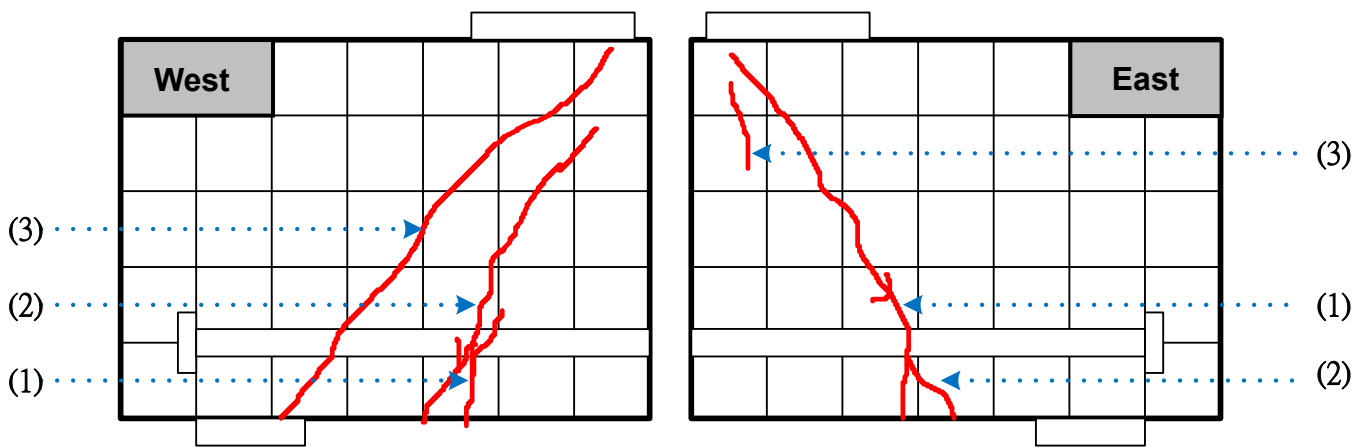


圖 5-13 CT18C6D36N3H5S15 試體試驗中裂縫發展圖

CT19C8D32N1H5(#10-1 根-5 倍 T 頭-56 MPa) :

承載力達 40% 降伏強度(158 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 530 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 60% 降伏強度(232 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離 T 頭端板邊緣 320 mm 至 370 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承載力達 110% 降伏強度(436 KN)時，

強度達最大值便開始下降，且東、西兩面產生密集裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 300 mm 至 700 mm 處，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-14 與圖 5-14，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-14 所示。

表 5-14 CT19C8D32N1H5 試體試驗中裂縫發展表

CT19C8D32N1H5		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
50%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
70%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.5mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm
90%	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.7mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.7mm ; (3)=0.6mm
100%	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)=1.5mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.7mm ; (3)=1.3mm
110%	(1)=2mm ; (2)=0.7mm ; (3)=4mm	(1)=3mm ; (2)=1.6mm ; (3)=4mm
Failure	(1)=3mm ; (2)=0.8mm ; (3)=6mm	(1)=4mm ; (2)=3mm ; (3)=10mm

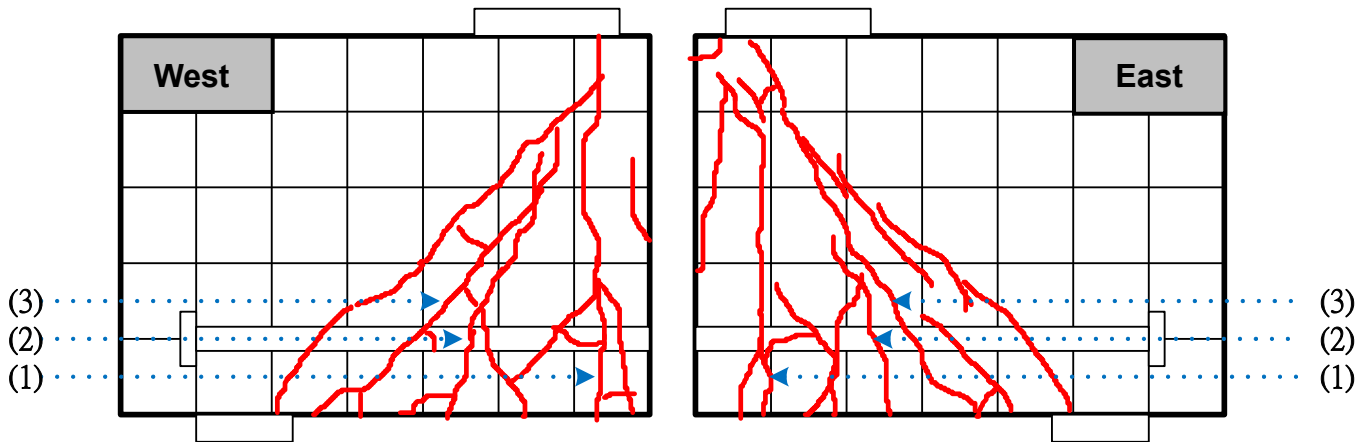


圖 5-14 CT19C8D32N1H5 試體試驗中裂縫發展圖

CT20C10D32N1H5(#10-1 根-5 倍 T 頭-70 MPa) :

承载力達 30 %降伏強度(122 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 500 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力趨近於 40 %降伏強度(153 KN)時，東、西兩面產生第二條裂

縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 700 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 40 % 降伏強度(163 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 300 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承載力趨近於 90 % 降伏強度(334 KN)時，強度達最大值便開始下降，且東、西兩面產生密集裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 400 mm 至 800 mm 處，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-15 與圖 5-15，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-15 所示。

表 5-15 CT20C10D32N1H5 試體試驗中裂縫發展表

CT20C10D32N1H5		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm
40%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
50%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm
60%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm
70%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm
80%	(1)=0.8mm ; (2)=0.4mm ; (3)=1.2mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.4mm ; (3)=1.2mm
90%	(1)=4mm ; (2)=3mm ; (3)=5mm	(1)=2.5mm ; (2)=0.8mm ; (3)=5mm
Failure	(1)=4mm ; (2)=3mm ; (3)=5mm	(1)=2.5mm ; (2)=0.8mm ; (3)=5mm

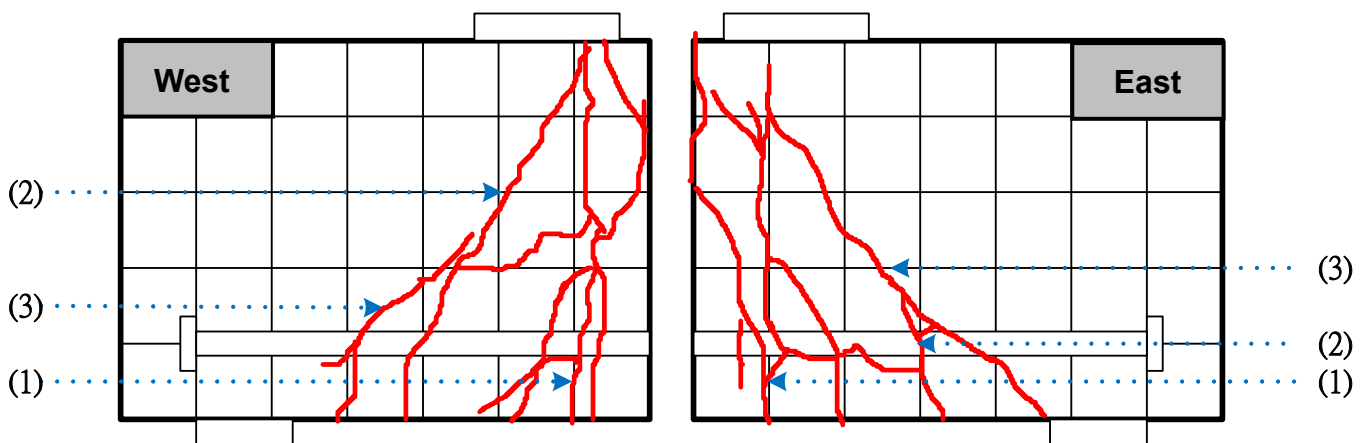


圖 5-15 CT20C10D32N1H5 試體試驗中裂縫發展圖

CT24C6D32N1H3(#10-1 根-3 倍 T 頭-42 MPa)：

承載力達 10 % 降伏強度(42 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展與斜向發展，前者約距離 T 頭端板邊緣 650 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸，後者約距離 T 頭端板邊緣 340 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承載力趨近於 80 % 降伏強度(298 KN)時，東、西兩面於壓拉桿區域內產生裂縫，為斜向發展，其裂縫走向趨近於 45 度；承載力達 90 % 降伏強度(349 KN)時，東、西兩面於壓拉桿區域內產生裂縫，為橫向發展，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸；承載力趨近於 100 % 降伏強度(363 KN)時，強度達最大值便開始下降，最終破壞型式為壓拉桿破壞，主要發生於 CCT 節點區域內。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-16 與圖 5-16，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-16 所示。

表 5-16 CT24C6D32N1H3 試體試驗中裂縫發展表

CT24C6D32N1H3		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm
20%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm
30%	(1)=0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm
40%	(1)=0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm
50%	(1)=0.35mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm
60%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm
70%	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)<0.3mm
80%	(1)=0.6mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm ; (s)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)<0.3mm ; (s)=0.3mm
90%	(1)=0.9mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.5mm	(1)=0.9mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.3mm
Failure	(1)=8mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.4mm ; (s)=6mm	(1)=4mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.4mm ; (s)=8mm

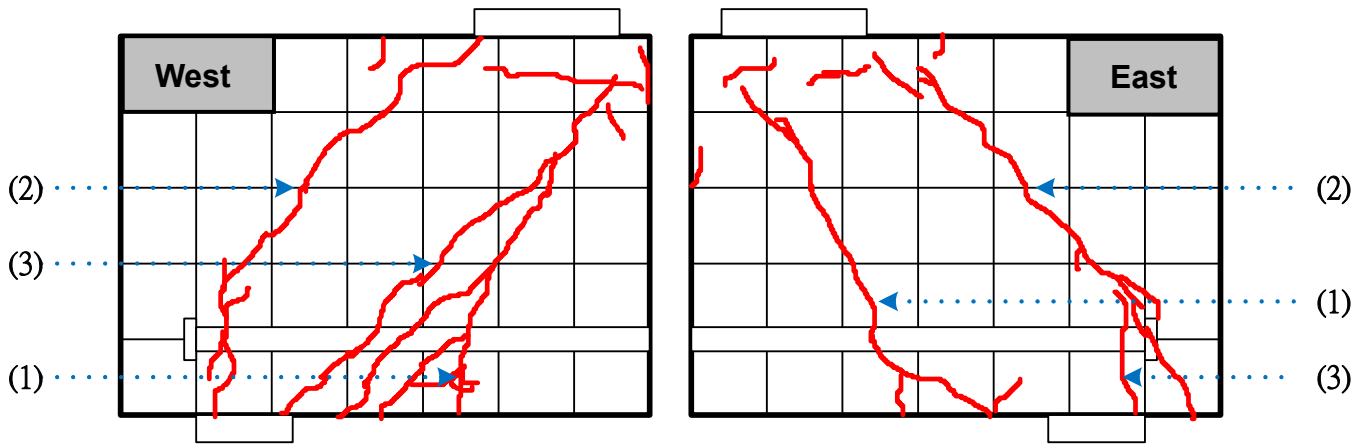


圖 5-16 CT24C6D32N1H3 試體試驗中裂縫發展圖

CT24C6D32N1H5(#10-1 根-5 倍 T 頭-42 MPa)：

承载力達 30% 降伏強度(119 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 580 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力達 40% 降伏強度(167 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為縱向發展與斜向發展，前者約距離 T 頭端板邊緣 220 mm 與 330 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸，後者位於壓拉桿區域內，為斜向發展，其裂縫走向趨近於 45 度；承载力趨近於 100% 降伏強度(390 KN)時，強度達最大值便開始下降，最終破壞型式為壓拉桿破壞，主要發生於 CCT 節點區域內。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-17 與圖 5-17，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-17 所示。

表 5-17 CT24C6D32N1H5 試體試驗中裂縫發展表

CT24C6D32N1H5		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)<0.3mm	
40%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm ; (s)<0.3mm
50%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.3	(1)=0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm ; (s)<0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.5	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.4mm
70%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.5	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.6mm
80%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.5	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.6mm
90%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.6	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.8mm
100%	(1)=1.8mm ; (2)=0.35mm ; (3)=8mm ; (s)=0.9	(1)=5mm ; (2)=8mm ; (3)=1.2mm ; (s)=0.9mm
Failure	(1)=1.8mm ; (2)=0.35mm ; (3)=8mm ; (s)=0.9	(1)=5mm ; (2)=8mm ; (3)=1.2mm ; (s)=0.9mm

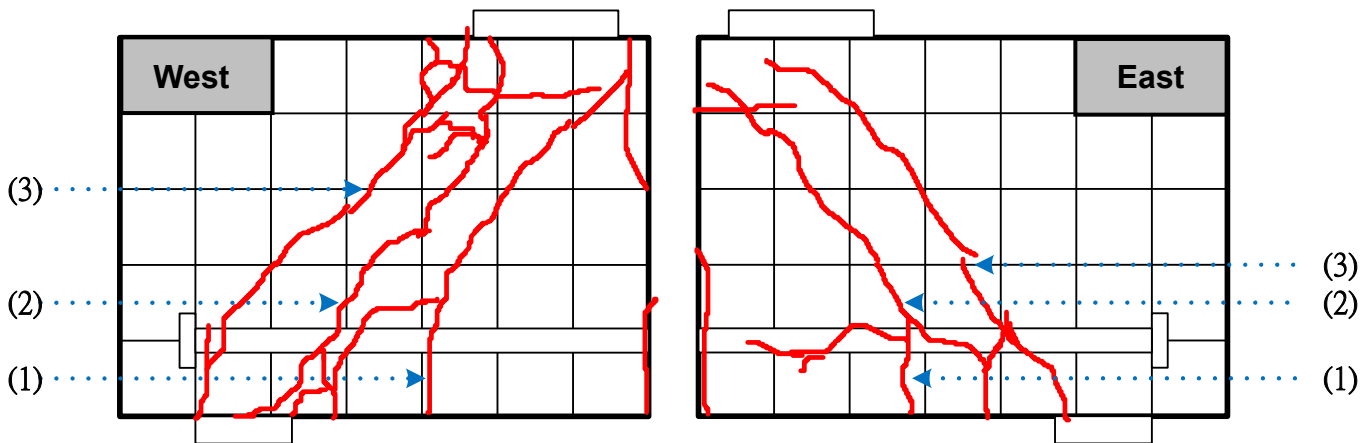


圖 5-17 CT24C6D32N1H5 試體試驗中裂縫發展圖

CT25C6D32N1H7(#10-1 根-7 倍 T 頭-42 MPa) :

承載力趨近於 40 %降伏強度(148 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 580 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上行伸；承載力達 40 %降伏強度(168 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 360 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上行伸；承載力達 50 %降伏強度(199 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 680 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上行伸；承載力達 110 %降伏強度(432 KN)時，強度達最大值便開始下降，且東、西兩面產生斜向裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 250 mm 處，此裂縫於

試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-18 與圖 5-18，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-18 所示。

表 5-18 CT25C6D32N1H7 試體試驗中裂縫發展表

CT25C6D32N1H7		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm
50%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm
70%	(1)=0.3mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
80%	(1)=0.3mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
90%	(1)=0.4mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.4mm
100%	(1)=0.5mm ; (2)=0.8mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.8mm ; (3)=0.5mm
110%	(1)=0.5mm ; (2)=3mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=3mm ; (3)=0.5mm
Failure	(1)=3mm ; (2)=5mm ; (3)=3mm	(1)=3mm ; (2)=5mm ; (3)=1mm

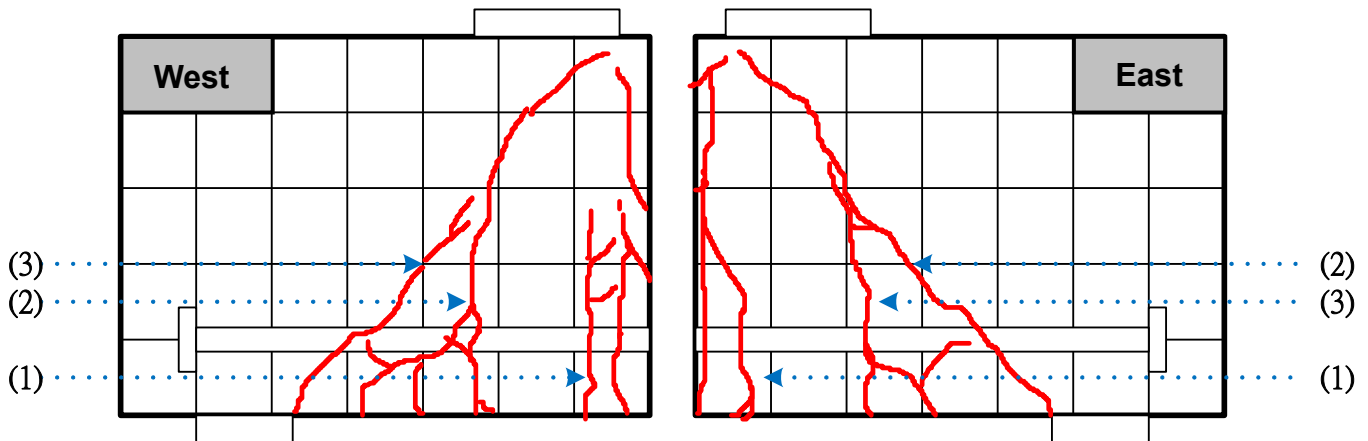


圖 5-18 CT25C6D32N1H7 試體試驗中裂縫發展圖

CT26C6D32N1H1(#10-1 根-直鋼筋-42 MPa)：

承載力趨近於 40 %降伏強度(149 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離直鋼筋起始端 600 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 40 %降伏強度(166 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，

為斜向發展，約距離直鋼筋起始端 370 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承载力達 70 % 降伏強度(266 KN)時，強度達最大值便開始下降，且東、西兩面產生斜向裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 300 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-19 與圖 5-19，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-19 所示。

表 5-19 CT26C6D32N1H1 試體試驗中裂縫發展表

CT26C6D32N1H1		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm
50%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm
70%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.3mm
Failure	(1)=0.4mm ; (2)=15mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=12mm ; (3)=0.4mm

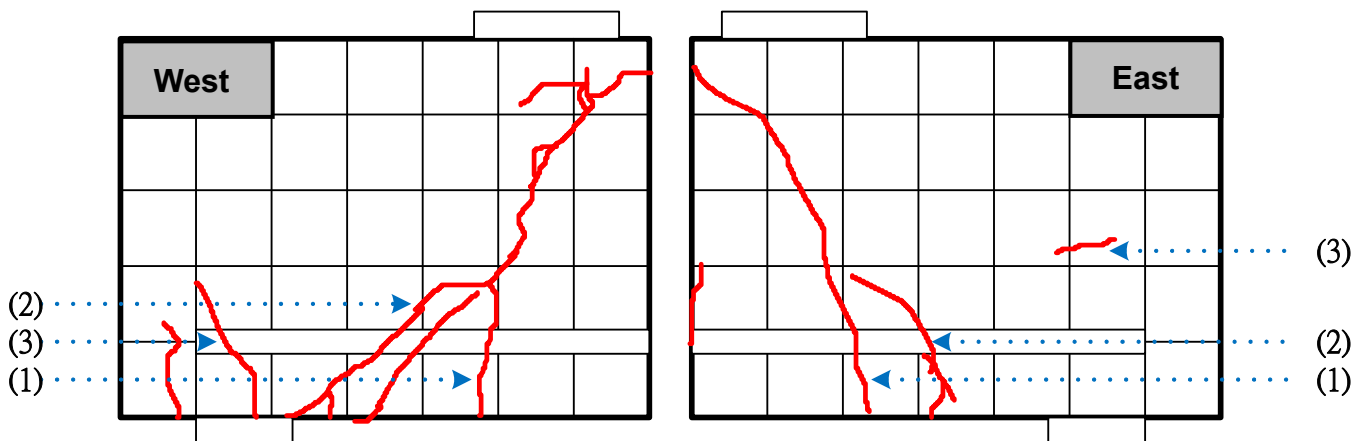


圖 5-19 CT26C6D32N1H1 試體試驗中裂縫發展圖

**圖東：**

CT01C6D32N1H3T31(#10-1 根-3 倍 T 頭-42 MPa-#3@10)：

承载力達 20 % 降伏強度(82 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱



向發展，約距離 T 頭端板邊緣 550 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力達 30% 降伏強度(121 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離 T 頭端板邊緣 270 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承载力達 50% 降伏強度(201 KN)時，東、西兩面於壓拉桿區域內產生裂縫，為斜向發展，其裂縫走向趨近於 45 度；承载力趨近於 60% 降伏強度(241 KN)時，東、西兩面產生縱向裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 50 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力趨近於 100% 降伏強度(362 KN)時，強度達最大值便開始下降，最終破壞型式為壓拉桿破壞，主要發生於 CCT 節點區域內。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-20 與圖 5-20，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-20 所示。

表 5-20 CT01C6D32N1H3T31 試體試驗中裂縫發展表

CT01C6D32N1H3T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm
30%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm ; (s)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm
40%	(1)<0.3mm ; (2)=0.35mm ; (3)=0.35mm ; (s)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)=0.35mm ; (3)=0.3mm
50%	(1)<0.3mm ; (2)=0.35mm ; (3)=0.35mm ; (s)=0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)=0.35mm ; (3)=0.3mm ; (s)<0.3mm
60%	(1)<0.3mm ; (2)=0.35mm ; (3)=0.4mm ; (s)=0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)=0.35mm ; (3)=0.3mm ; (s)<0.3mm
70%	(1)<0.3mm ; (2)=0.35mm ; (3)=0.4mm ; (s)=0.35mm	(1)<0.3mm ; (2)=0.35mm ; (3)=0.4mm ; (s)<0.3mm
80%	(1)=1mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.6mm ; (s)=0.4mm	(1)=1mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.8mm ; (s)<0.3mm
90%	(1)=4mm ; (2)=0.8mm ; (3)=1.9mm ; (s)=0.8mm	(1)=2mm ; (2)=0.8mm ; (3)=1.9mm ; (s)=0.6mm
Failure	(1)=6mm ; (2)=1.1mm ; (3)=6mm ; (s)=6mm	(1)=4mm ; (2)=1mm ; (3)=7mm ; (s)=6mm

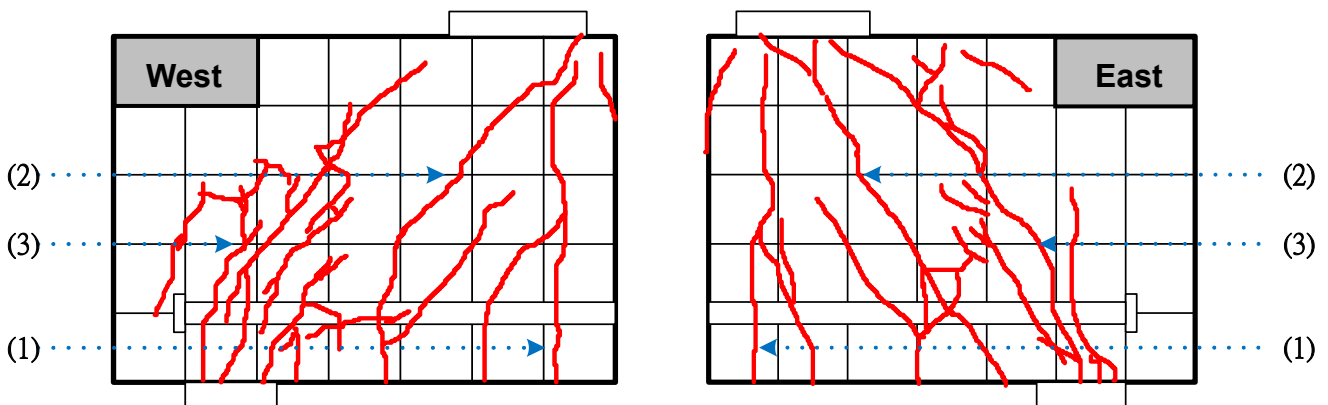


圖 5-20 CT01C6D32N1H3T31 試體試驗中裂縫發展圖

CT02C6D32N1H5T31(#10-1 根-5 倍 T 頭-42 MPa-#3@10)：

承載力達 20 %降伏強度(83 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 610 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 30 %降伏強度(123 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離 T 頭端板邊緣 300 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承載力趨近於 50 %降伏強度(171 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 220 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承載力趨近於 80 %降伏強度(274 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 480 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力趨近於 90 %降伏強度(311 KN)時，東、西兩面於壓拉桿區域內產生裂縫，為斜向發展，其裂縫走向趨近於 45 度；承載力達 100 %降伏強度(405 KN)時，強度達最大值便開始下降，最終破壞型式為壓拉桿破壞，主要發生於 CCT 節點區域內。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-21 與圖 5-21，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-21 所示。

表 5-21 CT02C6D32N1H5T31 試體試驗中裂縫發展表

CT02C6D32N1H5T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
30%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm
40%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
50%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm ; (s)<0.3mm
70%	(1)=0.4mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.4mm ; (s)<0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.3mm
80%	(1)=3mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.6mm ; (s)=0.3mm	(1)=4mm ; (2)=1mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.5mm
90%	(1)=5mm ; (2)=1.8mm ; (3)=0.6mm ; (s)=0.3mm	(1)=4mm ; (2)=2mm ; (3)=0.6mm ; (s)=0.5mm
100%	(1)=6mm ; (2)=3mm ; (3)=0.6mm ; (s)=0.4mm	(1)=7mm ; (2)=4mm ; (3)=0.6mm ; (s)=0.5mm
Failure	(1)=9mm ; (2)=14mm ; (3)=0.6mm ; (s)=1.2mm	(1)=7mm ; (2)=20mm ; (3)=0.6mm ; (s)=1.2mm

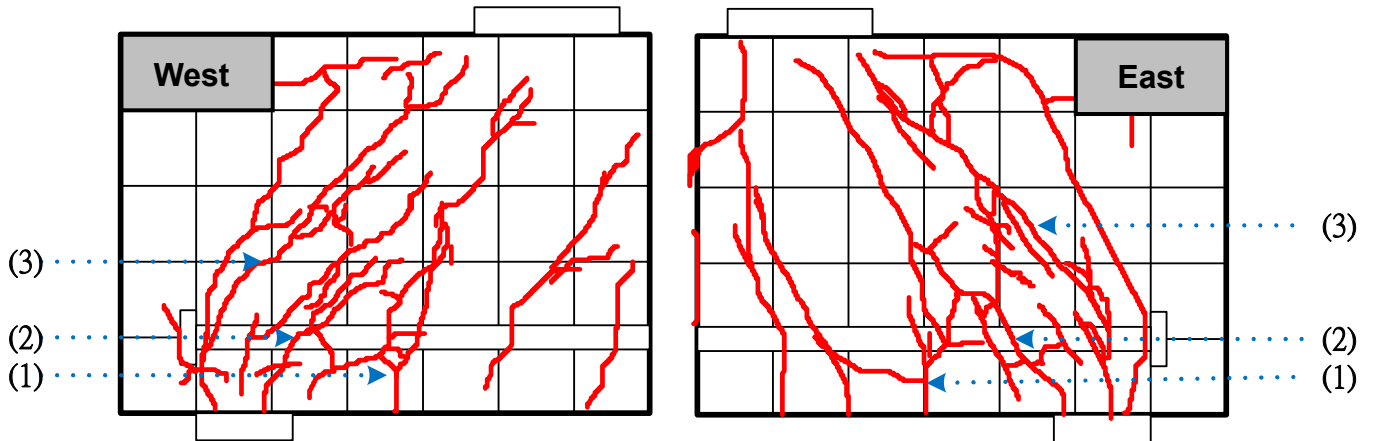


圖 5-21 CT02C6D32N1H5T31 試體試驗中裂縫發展圖

CT06C6D36N1H1T31(#11-1 根-直鋼筋-42 MPa-#3@10)：

承载力達 20%降伏強度(99 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展與斜向發展，前者約距離直鋼筋起始端 670 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸，後者約距離直鋼筋起始端 330 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力達 70%降伏強度(349 KN)時，東、西兩面於壓拉桿區域內產生裂縫，為斜向發展，其裂縫走向趨近於 45 度；承载力達 90%降伏強度(448 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離直鋼筋起始端 250 mm 處，裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承载力趨近於 110%降伏強度(536 KN)時，強度達最大值後便開始下降，且東、西兩面產生縱向裂縫，約距離直鋼筋起始端 20 mm 處，縫於試驗中會慢慢向上衍伸，最終破壞型式為壓拉桿破壞，主要發生於 CCT 節點區域內。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-22 與圖 5-22，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-22 所示。

表 5-22 CT06C6D36N1H1T31 試體試驗中裂縫發展表

CT06C6D36N1H1T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
30%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm
40%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm
50%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
70%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm ; (s)<0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm ; (s)<0.3mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm ; (s)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm ; (s)=0.4mm
90%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.4mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.4mm
100%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.6mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.5mm
110%	(1)=0.8mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.3mm ; (s)=1mm	(1)=1.2mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=1.2mm
Failure	(1)=0.8mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.3mm ; (s)=1mm	(1)=1.2mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=1.2mm

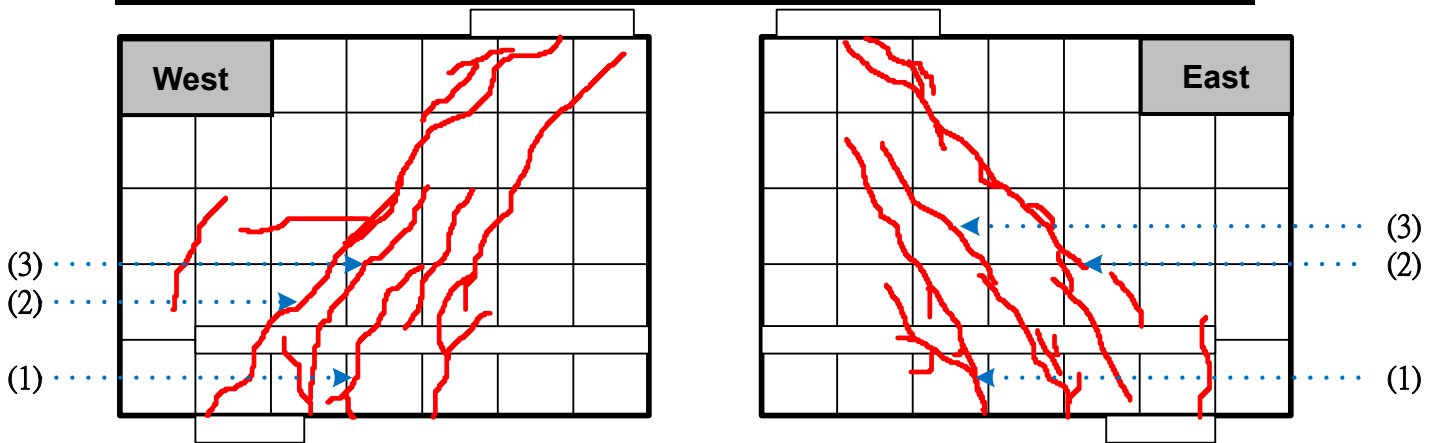


圖 5-22 CT06C6D36N1H1T31 試體試驗中裂縫發展圖

CT07C6D32N1B9T31(#10-1 根-90 度彎鈎-42 MPa-#3@10) :

承载力達 20% 降伏強度(82 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離彎鈎鋼筋邊緣 700 mm 處，裂縫於試驗中會慢慢向上行伸；承载力達 40% 降伏強度(161 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展，約距離彎鈎鋼筋邊緣 550 mm 處，裂縫於試驗中會慢慢向上行伸；承载力達 50% 降伏強度(200 KN)時，強度達最大值後便開始下降，且東、西兩面產生縱向裂縫與斜向裂縫，前者約距離彎鈎鋼筋邊緣 100 mm 處，裂縫於試驗中會慢慢向上行伸，後者位於壓拉桿區域內，此裂縫於試驗中會慢

慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-23 與圖 5-23，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-23 所示。

表 5-23 CT07C6D32N1B9T31 試體試驗中裂縫發展表

CT07C6D32N1B9T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State -	
	East side	West side
10%		
20%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
30%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm
40%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm
50%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.3mm
Failure	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.3mm

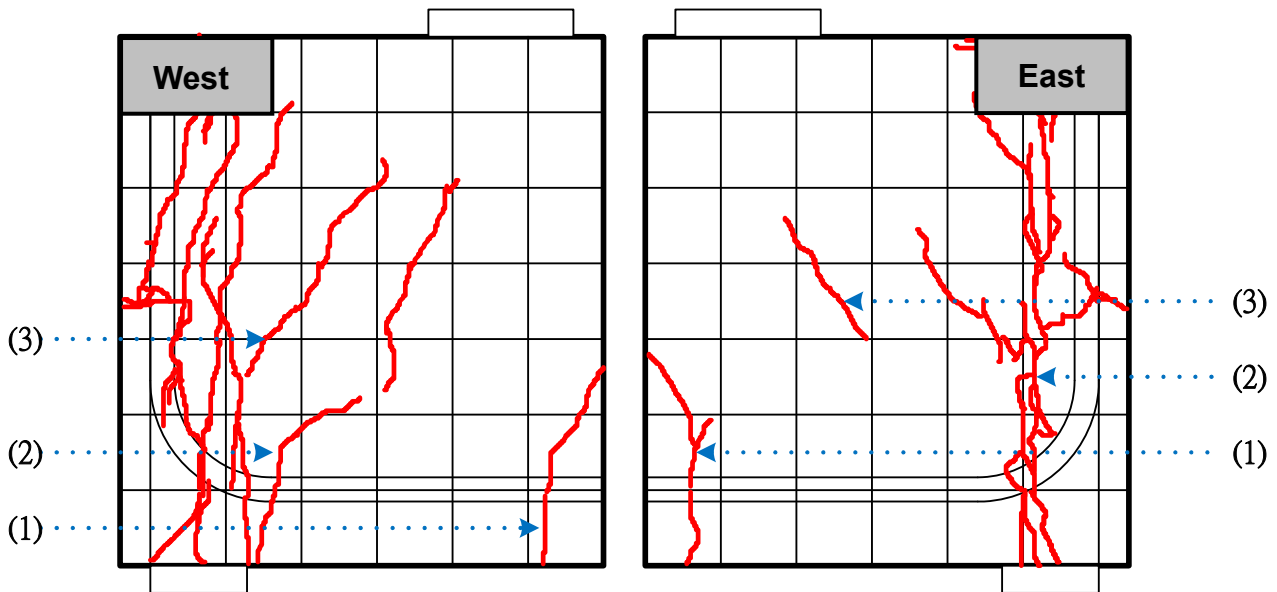


圖 5-23 CT07C6D32N1B9T31 試體試驗中裂縫發展圖

CT09C6D32N1B18T31(#10-1 根-180 度彎鈎-42 MPa-#3@10)：

承载力達 30%降伏強度(121 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離彎鈎鋼筋邊緣 530 mm 處，裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力達 50%降伏強度(201 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展，約距離彎鈎鋼筋邊緣 550 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍

伸；承載力達 50 %降伏強度(201 KN)時，強度達最大值後便開始下降，且東、西兩面產生縱向裂縫與斜向裂縫，前者約距離彎鉤鋼筋邊緣 740 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸，後者位於壓拉桿區域內，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸，最終破壞型式為壓拉桿破壞，主要發生於 CCT 節點區域內。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-24 與圖 5-24，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-24 所示。

表 5-24 CT09C6D32N1B18T31 試體試驗中裂縫發展表

CT09C6D32N1B18T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
40%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
50%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (s)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
Failure	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=2mm ; (s)=25mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=10mm

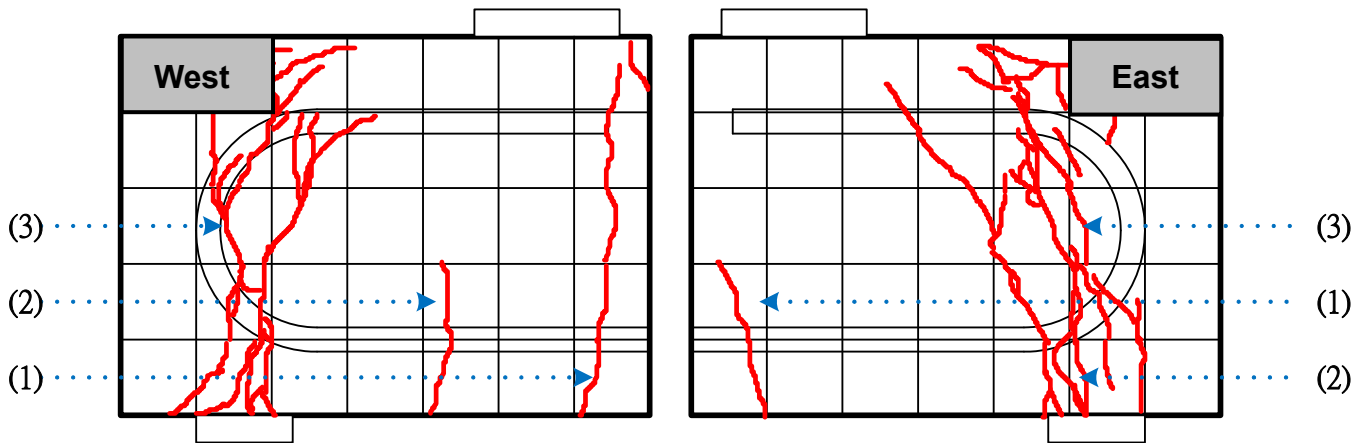


圖 5-24 CT09C6D32N1B18T31 試體試驗中裂縫發展圖

CT10C6D25N1H5T31(#8-1 根-5 倍 T 頭-42 MPa-#3@10)：

承載力達 60 %降伏強度(134 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展與斜向發展，前者約距離 T 頭端板邊緣 250 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸，後者約距離 T 頭端板邊緣 560 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承載力達 90 %降伏強度(201 KN)

時，東、西兩面產生第三條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 700 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力達 100 % 降伏強度(240 KN) 時，東、西兩面產生第縱向裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 470 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力達 130 % 降伏強度(309 KN) 時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-25 與圖 5-25，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-25 所示。

表 5-25 CT10C6D25N1H5T31 試體試驗中裂縫發展表

CT10C6D25N1H5T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%		
50%		
60%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
70%	(1)=0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)<0.3mm
80%	(1)=0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)<0.3mm
90%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
100%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
110%	(1)=0.6mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
120%	(1)=0.6mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.4mm	(1)=1mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.4mm
130%	(1)=1mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.4mm	(1)=8mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.4mm
Failure	(1)=2.5mm ; (2)=0.6mm ; (3)=1.5mm	(1)=15mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.6mm

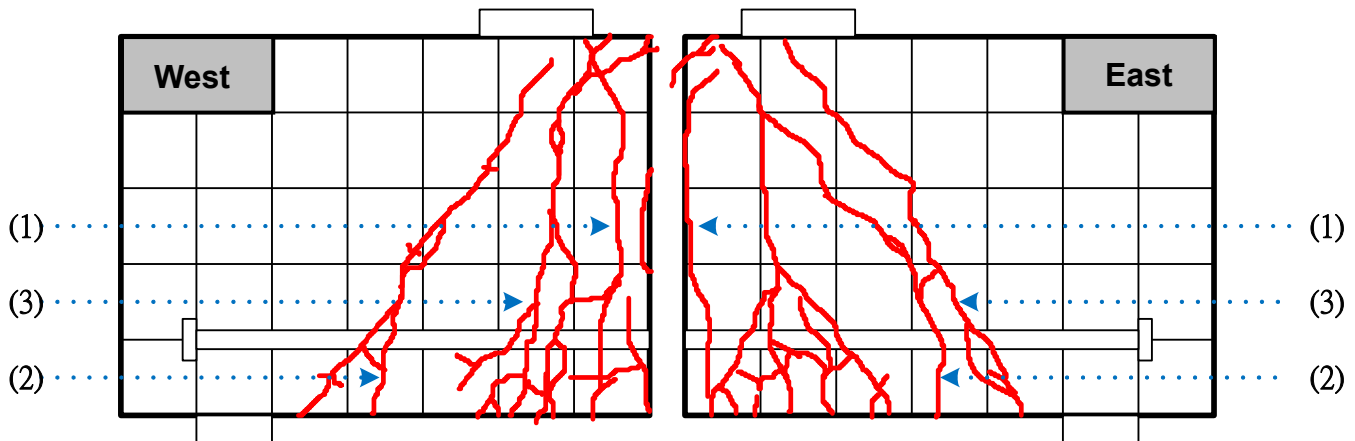


圖 5-25 CT10C6D25N1H5T31 試體試驗中裂縫發展圖

CT11C6D32N2H5S40T31(#10-2 根-5 倍 T 頭-42 MPa-#3@10)：

承載力達 30 %降伏強度(240 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 500 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 40 %降伏強度(321 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 700 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 50 %降伏強度(400 KN)時，東、西兩面於壓拉桿區域內產生第三條裂縫，為斜向發展，其裂縫走向趨近於 45 度；承載力趨近於 110 %降伏強度(828 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-26 與圖 5-26，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-26 所示。

表 5-26 CT11C6D32N2H5S40T31 試體試驗中裂縫發展表

CT11C6D32N2H5S40T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
40%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm
50%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm ; (s)=0.4mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm ; (s)=0.4mm
70%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.6mm ; (s)=0.6mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.6mm ; (s)=0.6mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.7mm ; (s)=0.7mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.7mm ; (s)=0.7mm
90%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.7mm ; (s)=0.7mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.7mm ; (s)=0.7mm
100%	(1)=1mm ; (2)=1mm ; (3)=1mm ; (s)=1mm	(1)=1mm ; (2)=1mm ; (3)=1mm ; (s)=1mm
110%	(1)=1mm ; (2)=1mm ; (3)=1mm ; (s)=1mm	(1)=1mm ; (2)=1mm ; (3)=1mm ; (s)=1mm
Failure	(1)=10mm ; (2)=8mm ; (3)=3mm ; (s)=3mm	(1)=7mm ; (2)=6mm ; (3)=4mm ; (s)=4mm



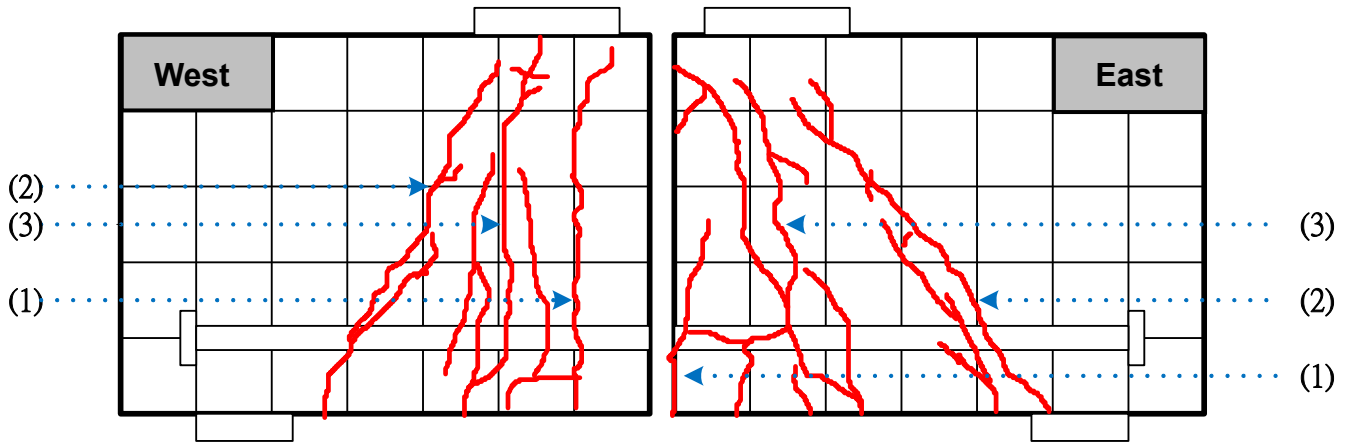


圖 5-26 CT11C6D32N2H5S40T31 試體試驗中裂縫發展圖

CT12C6D32N3H5S40T31(#10-3 根-5 倍 T 頭-42 MPa-#3@10) :

承載力趨近於 40 %降伏強度(402 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 340 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力趨近於 60 %降伏強度(652 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 250 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承載力趨近於 110 %降伏強度(1202 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-27 與圖 5-27，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-27 所示。

表 5-27 CT12C6D32N3H5S40T31 試體試驗中裂縫發展表

CT12C6D32N3H5S40T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
30%		
40%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
50%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
60%	(1)=0.4mm	(1)=0.4mm
70%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm
80%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
90%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
100%	(1)=1mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.4mm	(1)=1mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.4mm
110%	(1)=6mm ; (2)=0.8mm ; (3)=0.5mm	(1)=6mm ; (2)=0.8mm ; (3)=0.5mm
Failure	(1)=6mm ; (2)=0.8mm ; (3)=0.5mm	(1)=6mm ; (2)=0.8mm ; (3)=0.5mm

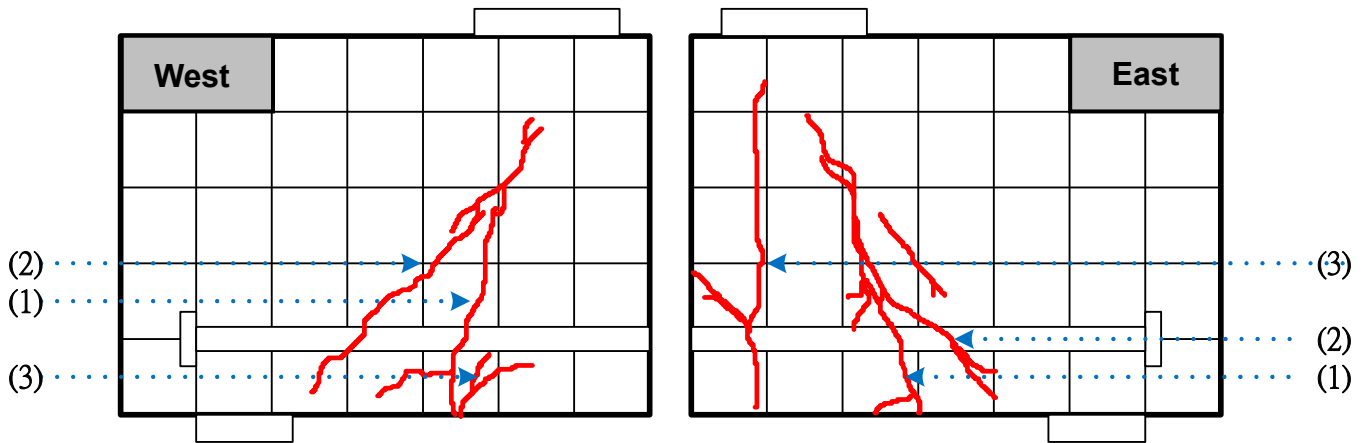


圖 5-27 CT12C6D32N3H5S40T31 試體試驗中裂縫發展圖

CT13C6D36N2H5S40T31(#11-2 根-5 倍 T 頭-42 MPa-#3@10)：

承载力達 30% 降伏強度(300 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 520 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力趨近於 50% 降伏強度(450 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 320 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承载力趨近於 70% 降伏強度(648 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 250 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承载力趨近於 100% 降伏強度(952 KN)時，東、西兩面於壓拉桿區域內產生裂縫，為斜向發展，其裂縫走向趨近於 45 度；承载力達 110% 降伏強度(1101 KN)時，東、西兩面產生縱向裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 20 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力趨近於 120% 降伏強度(1127 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為壓拉桿破壞，主要發生於 CCT 節點區域內。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-28 與圖 5-28，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-28 所示。

表 5-28 CT13C6D36N2H5S40T31 試體試驗中裂縫發展表

CT13C6D36N2H5S40T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
40%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
50%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
70%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.4mm
90%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.4mm
100%	(1)=0.4mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.4mm ; (s)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.7mm ; (3)=0.4mm ; (s)=0.4mm
110%	(1)=1mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.4mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.8mm ; (3)=0.4mm ; (s)=0.6mm
Failure	(1)=1.3mm ; (2)=0.6mm ; (3)=1mm ; (s)=10mm	(1)=1.2mm ; (2)=0.8mm ; (3)=0.5mm ; (s)=10mm

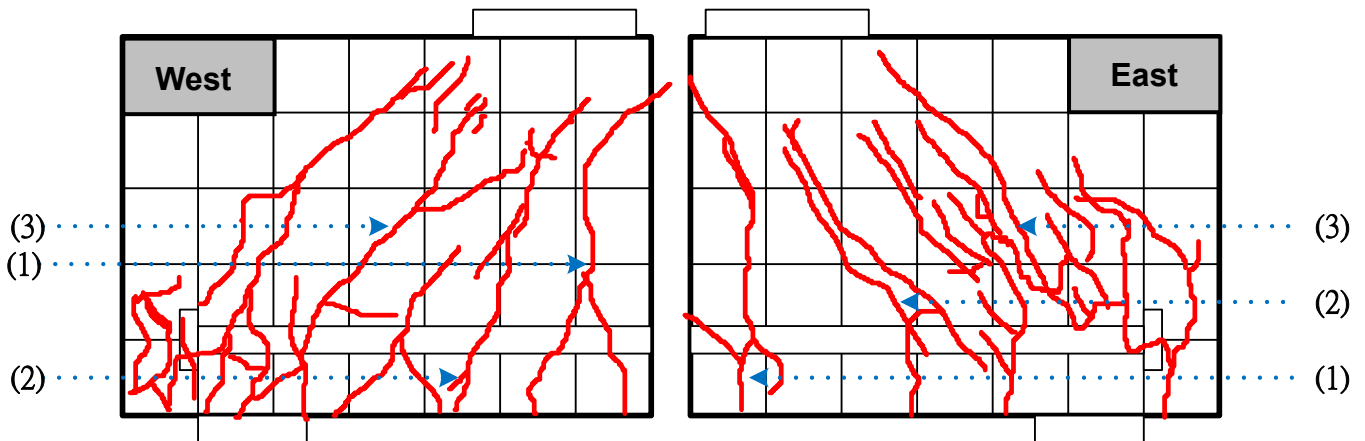


圖 5-28 CT13C6D36N2H5S40T31 試體試驗中裂縫發展圖

CT14C6D36N3H5S40T31(#11-3 根-5 倍 T 頭-42 MPa-#3@10) :

承載力趨近於 50 %降伏強度(650 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 410 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 50 %降伏強度(750 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離 T 頭端板邊緣 280 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承載力達 60 %降伏強度(899 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 170 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承載力趨近於 90 %降伏強度(1301 KN)時，東、

西兩面產生縱向裂縫與斜向裂縫，前者約距離 T 頭端板邊緣 20 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸，後者位於壓拉桿區域內，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承载力趨近於 100 % 降伏強度(1402 KN) 時，東、西兩面產生縱向裂縫，位於 T 頭端板處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力達 110 % 降伏強度(1598 KN) 時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-29 與圖 5-29，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-29 所示。

表 5-29 CT14C6D36N3H5S40T31 試體試驗中裂縫發展表

CT14C6D36N3H5S40T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
40%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
50%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
60%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
70%	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
80%	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
90%	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.5mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.5mm
100%	(1)=0.6mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.7mm ; (s)=0.6mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.6mm ; (s)=0.8mm
110%	(1)=0.6mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.7mm ; (s)=0.6mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.6mm ; (s)=0.8mm
Failure	(1)=0.6mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.8mm ; (s)=0.8mm	(1)=0.7mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.7mm ; (s)=1.0mm

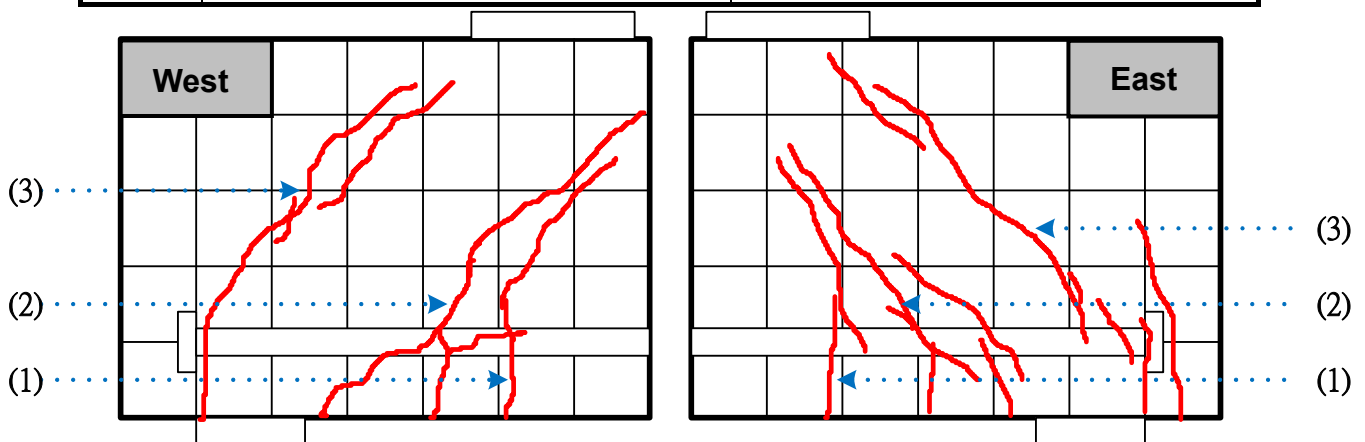


圖 5-29 CT14C6D36N3H5S40T31 試體試驗中裂縫發展圖

CT15C6D32N2H5S15T31(#10-2 根-5 倍 T 頭-42 MPa-#3@10)：

承载力達 30 %降伏強度(251 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 590 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力趨近於 40 %降伏強度(301 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 470 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力達 70 %降伏強度(551 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 330 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承载力趨近於 120 %降伏強度(879 KN)時，強度達最大值後便開始下降，且東、西兩面於壓拉桿區域內產生裂縫，為斜向發展，其裂縫走向趨近於 45 度，最終破壞型式為壓拉桿破壞，主要發生於 CCT 節點區域內。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-30 與圖 5-30，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-30 所示。

表 5-30 CT15C6D32N2H5S15T31 試體試驗中裂縫發展表

CT15C6D32N2H5S15T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm
50%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
70%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
80%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
90%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
100%	(1)=0.3mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm
110%	(1)=0.3mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.6mm	(1)=0.8mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm
120%	(1)=0.4mm ; (2)=0.8mm ; (3)=0.6mm ; (s)=0.5mm	(1)=0.8mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.4mm
Failure	(1)=0.4mm ; (2)=0.8mm ; (3)=0.6mm ; (s)=30mm	(1)=1mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.5mm ; (s)=7mm

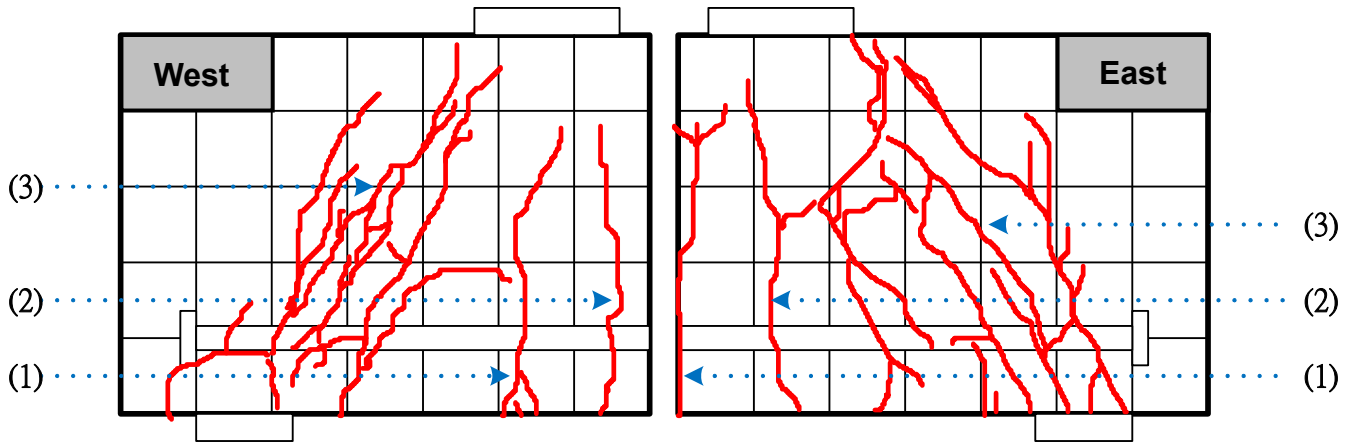


圖 5-30 CT15C6D32N2H5S15T31 試體試驗中裂縫發展圖

CT16C6D32N3H5S15T31(#10-3 根-5 倍 T 頭-42 MPa-#3@10)：

承載力趨近於 20% 降伏強度(203 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 540 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 20% 降伏強度(239 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離 T 頭端板邊緣 430 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承載力趨近於 40% 降伏強度(406 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離 T 頭端板邊緣 350 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承載力達 50% 降伏強度(602 KN)時，東、西兩面於壓拉桿區域內產生裂縫，為斜向發展，其裂縫走向趨近於 45 度；承載力趨近於 90% 降伏強度(1000 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-31 與圖 5-31，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-31 所示。

表 5-31 CT16C6D32N3H5S15T31 試體試驗中裂縫發展表

CT16C6D32N3H5S15T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
30%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
40%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm
50%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.4mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.4mm
60%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.4mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.4mm
70%	(1)=4mm ; (2)=3mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.6mm	(1)=2mm ; (2)=5mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.4mm
80%	(1)=4mm ; (2)=3mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.6mm	(1)=2mm ; (2)=5mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.4mm
90%	(1)=20mm ; (2)=15mm ; (3)=0.8mm ; (s)=0.8mm	(1)=12mm ; (2)=10mm ; (3)=0.6mm ; (s)=0.4mm
Failure	(1)=20mm ; (2)=15mm ; (3)=0.8mm ; (s)=0.8mm	(1)=12mm ; (2)=10mm ; (3)=0.6mm ; (s)=0.4mm

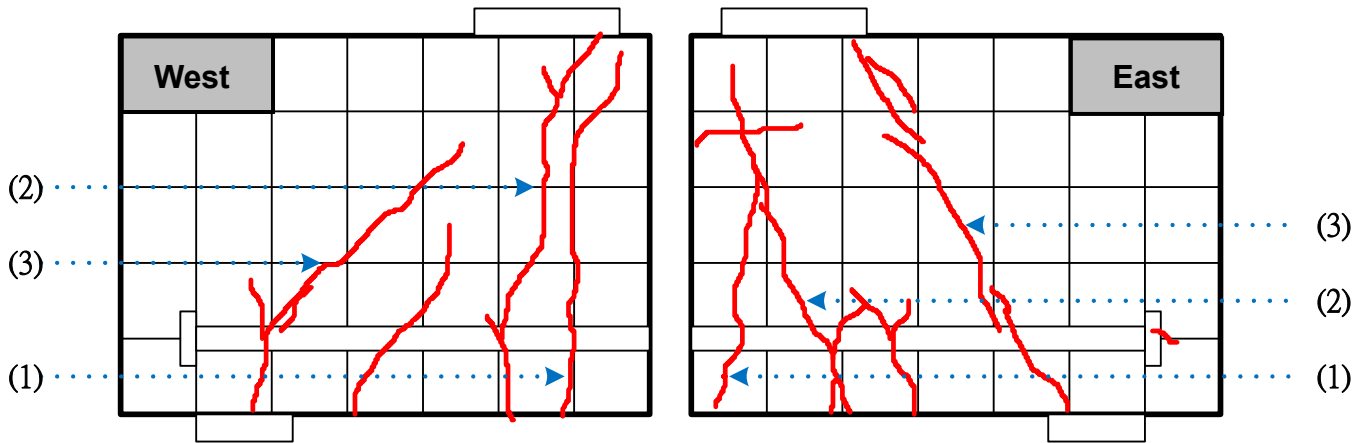


圖 5-31 CT16C6D32N3H5S15T31 試體試驗中裂縫發展圖

CT17C6D36N2H5S15T31(#11-2 根-5 倍 T 頭-42 MPa-#3@10) :

承載力趨近於 30 %降伏強度(250 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 550 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力趨近於 50 %降伏強度(450 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離 T 頭端板邊緣 400 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承載力達 60 %降伏強度(599 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 290 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承載力達 90 %降伏強度(899KN)時，東、西兩面於壓拉桿區域內產生裂縫，為斜向發展，其裂縫走向趨近於 45 度；承載力趨近於 110 %降伏強度(1029 KN)時，強度達最大值後便開始下降，



最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-32 與圖 5-32，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-32 所示。

表 5-32 CT17C6D36N2H5S15T31 試體試驗中裂縫發展表

CT17C6D36N2H5S15T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
40%	(1)=0.4mm ; (2)<0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm
50%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
60%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
70%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
90%	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.6mm ; (s)=0.4mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.3mm
100%	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.6mm ; (s)=0.4mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.3mm
Failure	(1)=15mm ; (2)=10mm ; (3)=8mm ; (s)=0.6mm	(1)=10mm ; (2)=12mm ; (3)=7mm ; (s)=0.3mm

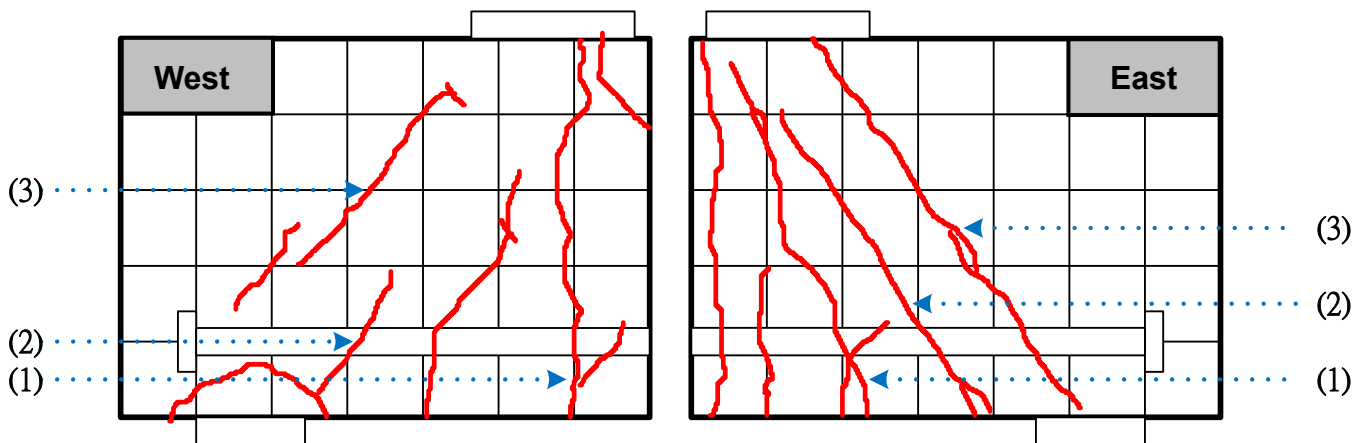


圖 5-32 CT17C6D36N2H5S15T31 試體試驗中裂縫發展圖

CT18C6D36N3H5S15T31(#11-3 根-5 倍 T 頭-42 MPa-#3@10)：

承载力達 30% 降伏強度(450 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 450 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力趨近於 60% 降伏強度(849 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離 T 頭端板邊緣 200 mm 處，此裂縫於試驗中會慢



慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承载力趨近於 100 %降伏強度(1400 KN)時，強度達最大值後便開始下降，且東、西兩面於壓拉桿區域內產生裂縫，為斜向發展，其裂縫走向趨近於 45 度，最終破壞型式為壓拉桿破壞，主要發生於 CCT 節點區域內。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-33 與圖 5-33，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-33 所示。

表 5-33 CT18C6D36N3H5S15T31 試體試驗中裂縫發展表

CT18C6D36N3H5S15T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
20%		
30%	(1)=0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)<0.3mm
40%	(1)=0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm
50%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
60%	(1)=0.6mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.6mm
70%	(1)=0.6mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.6mm
80%	(1)=0.8mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.8mm ; (3)=0.8mm
90%	(1)=0.8mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.8mm ; (3)=0.8mm
Failure	(1)=0.8mm ; (2)=0.8mm ; (3)=2mm ; (s)=12mm	(1)=0.5mm ; (2)=2mm ; (3)=0.8mm ; (s)=9mm

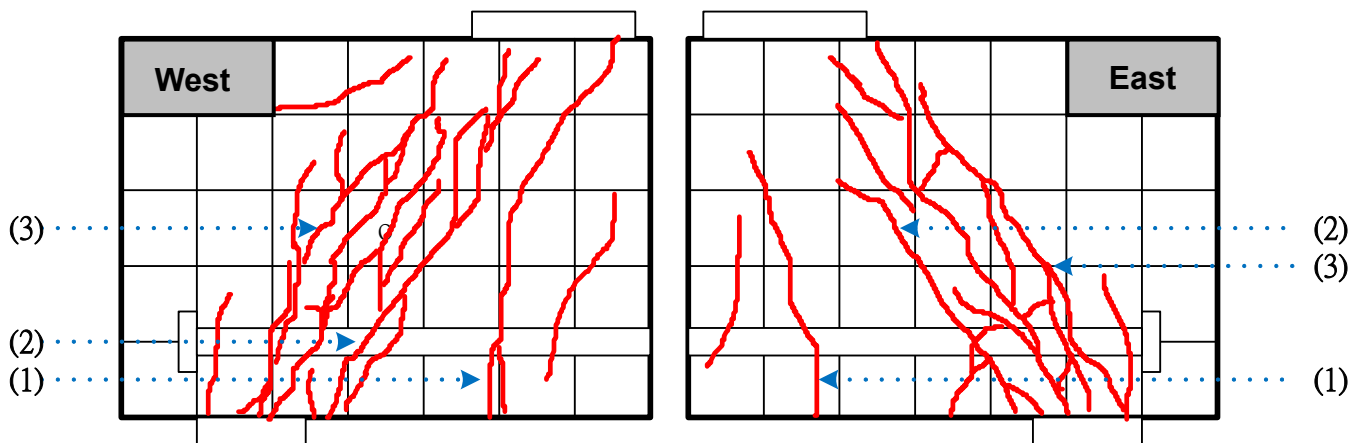


圖 5-33 CT18C6D36N3H5S15T31 試體試驗中裂縫發展圖

CT19C8D32N1H5T31(#10-1 根-5 倍 T 頭-56 MPa-#3@10)：

承载力達 30 %降伏強度(118 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 800 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力趨近於 40 %降伏強度(133 KN)時，東、西兩面產生第二條裂

縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 580 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力達 50 % 降伏強度(201 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為縱向發展與斜向發展，前者約距離 T 頭端板邊緣 420 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸，後者位於壓拉桿區域內，其裂縫走向趨近於 45 度；承载力達 120 % 降伏強度(461 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-34 與圖 5-34，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-34 所示。

表 5-34 CT19C8D32N1H5T31 試體試驗中裂縫發展表

CT19C8D32N1H5T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
40%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
50%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm ; (s)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm ; (s)=0.4mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm ; (s)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm ; (s)=0.4mm
70%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.4mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.4mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.4mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.4mm ; (s)=0.4mm
90%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.4mm	(1)=0.7mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.4mm
100%	(1)=0.6mm ; (2)=0.7mm ; (3)=0.8mm ; (s)=0.4mm	(1)=0.7mm ; (2)=1.3mm ; (3)=0.8mm ; (s)=0.4mm
110%	(1)=2mm ; (2)=3mm ; (3)=2mm ; (s)=0.4mm	(1)=2mm ; (2)=4mm ; (3)=2mm ; (s)=0.4mm
120%	(1)=2mm ; (2)=3mm ; (3)=2mm ; (s)=0.4mm	(1)=2mm ; (2)=4mm ; (3)=2mm ; (s)=0.4mm
Failure	(1)=5mm ; (2)=5mm ; (3)=4mm ; (s)=0.5mm	(1)=4mm ; (2)=6mm ; (3)=4mm ; (s)=0.6mm

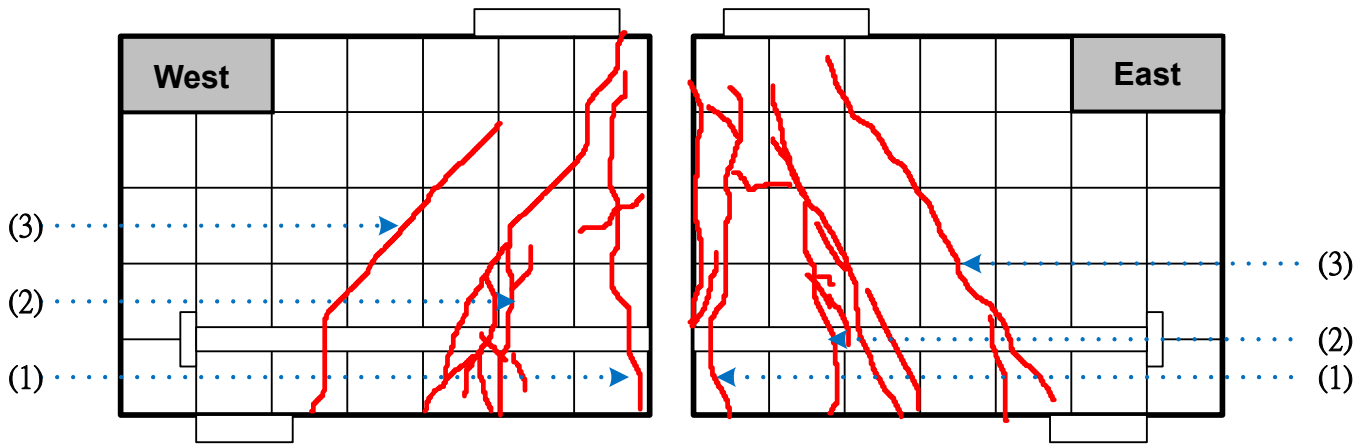


圖 5-34 CT19C8D32N1H5T31 試體試驗中裂縫發展圖

CT20C10D32N1H5T31(#10-1 根-5 倍 T 頭-70 MPa-#3@10)：

承载力達 50%降伏強度(198 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 400 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力達 60%降伏強度(231 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展與斜向發展，前者約距離 T 頭端板邊緣 660 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸，後者位於壓拉桿區域內，其裂縫走向趨近於 45 度；承载力達 130%降伏強度(488 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-35 與圖 5-35，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-35 所示。

表 5-35 CT20C10D32N1H5T31 試體試驗中裂縫發展表

CT20C10D32N1H5T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%		
50%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (s)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
70%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (s)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm ; (s)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
90%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm ; (s)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
100%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.4mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm
110%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.4mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm
120%	(1)=1.7mm ; (2)=1.4mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.6mm	(1)=1.8mm ; (2)=1.4mm ; (3)=0.6mm
130%	(1)=3mm ; (2)=2.5mm ; (3)=0.8mm ; (s)=0.8mm	(1)=13mm ; (2)=5mm ; (3)=1.3mm
Failure	(1)=3mm ; (2)=2.5mm ; (3)=0.8mm ; (s)=0.8mm	(1)=13mm ; (2)=5mm ; (3)=1.3mm

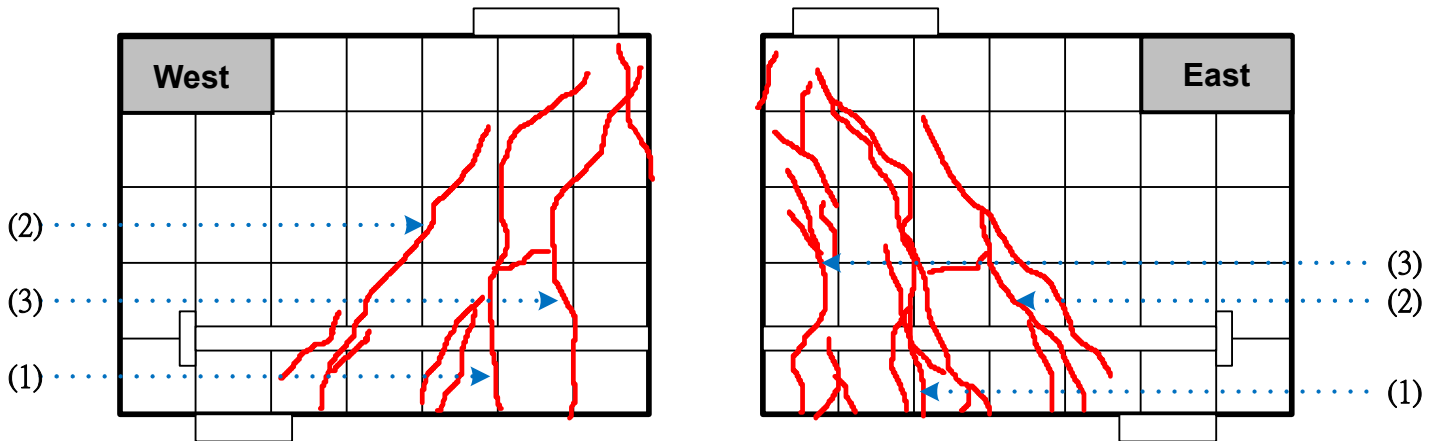


圖 5-35 CT20C10D32N1H5T31 試體試驗中裂縫發展圖

CT21C6D32N1H5T32(#10-1 根-5 倍 T 頭-42 MPa-#3@20) :

承載力趨近於 40 %降伏強度(149 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 660 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 40 %降伏強度(159 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 300 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 50 %降伏強度(201 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離 T 頭端板邊緣 660 mm 處，其裂縫走向趨近於 45 度；

承載力達 100 % 降伏強度(409 KN)時，強度達最大值後便開始下降，且東、西兩面於壓拉桿區域內產生裂縫，為斜向發展，其裂縫走向趨近於 45 度，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-36 與圖 5-36，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-36 所示。

表 5-36 CT21C6D32N1H5T32 試體試驗中裂縫發展表

CT21C6D32N1H5T32		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)<0.3mm
50%	(1)<0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
70%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.5mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.4mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.6mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.4mm
90%	(1)=0.4mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.7mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.7mm ; (3)=0.4mm
100%	(1)=0.5mm ; (2)=0.6mm ; (3)=1.5mm	(1)=0.6mm ; (2)=1.7mm ; (3)=0.5mm
Failure	(1)=1mm ; (2)=1.2mm ; (3)=3mm ; (s)=0.6mm	(1)=2mm ; (2)=3mm ; (3)=1mm ; (s)=0.6mm

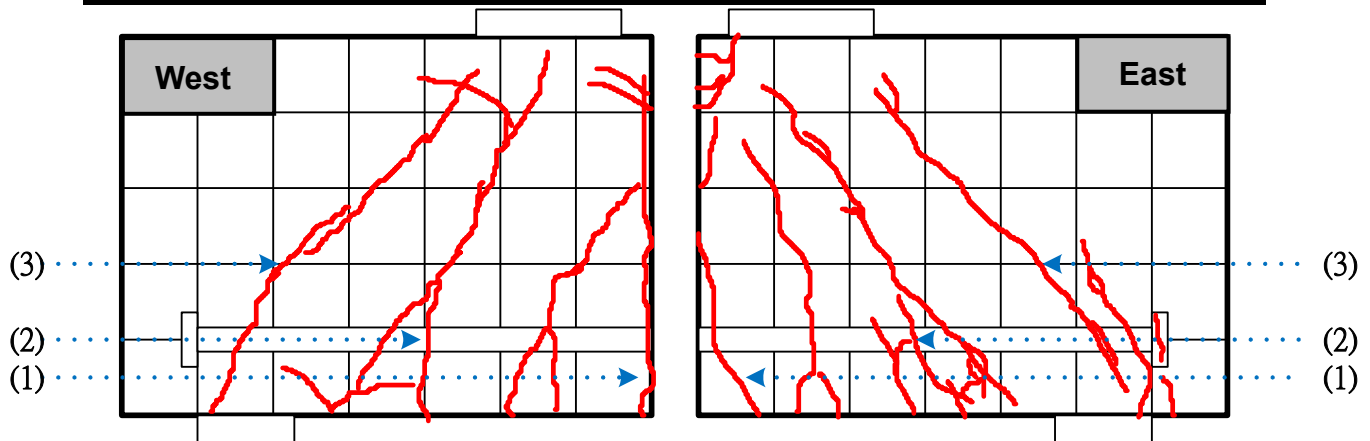


圖 5-36 CT21C6D32N1H5T32 試體試驗中裂縫發展圖

CT21C6D32N1H5T41(#10-1 根-5 倍 T 頭-42 MPa-#4@10)：

承載力趨近於 30 % 降伏強度(98 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 550 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向

上行伸；承载力達 30 % 降伏強度(120 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 740 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上行伸；承载力達 50 % 降伏強度(200 KN)時，東、西兩面產生縱向裂縫與斜向裂縫，前者約距離 T 頭端板邊緣 300 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上行伸，後者位於壓拉桿區域內，其裂縫走向趨近於 45 度；承载力達 100 % 降伏強度(412 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-37 與圖 5-37，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-37 所示。

表 5-37 CT21C6D32N1H5T41 試體試驗中裂縫發展表

CT21C6D32N1H5T41		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm
40%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm
50%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm ; (s)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm ; (s)<0.3mm
60%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm ; (s)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm ; (s)=0.4mm
70%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm ; (s)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm ; (s)=0.4mm
80%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm ; (s)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm ; (s)=0.4mm
90%	(1)=1.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.4mm	(1)=1.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm ; (s)=0.5mm
100%	(1)=8mm ; (2)=3mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.6mm	(1)=10mm ; (2)=3mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.6mm
Failure	(1)=8mm ; (2)=3mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.6mm	(1)=10mm ; (2)=3mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.6mm

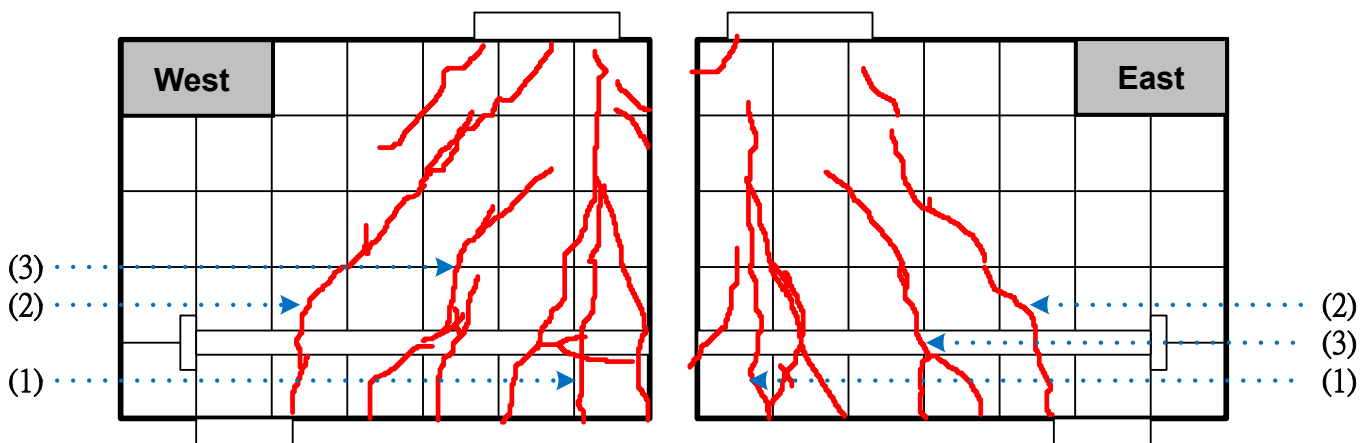


圖 5-37 CT21C6D32N1H5T41 試體試驗中裂縫發展圖

CT22C8D32N1H5T32(#10-1 根-5 倍 T 頭-56 MPa-#3@20)：

承載力趨近於 40 %降伏強度(150 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 550 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 50 %降伏強度(194 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 430 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 80 %降伏強度(200 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 300 mm 與 380 mm 處，其裂縫走向趨近於 45 度；承載力趨近於 130 %降伏強度(480 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-38 與圖 5-38，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-38 所示。

表 5-38 CT22C8D32N1H5T32 試體試驗中裂縫發展表

CT22C8D32N1H5T32		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
50%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
70%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm
90%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm
100%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm
110%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.4mm
120%	(1)=0.4mm ; (2)=1.5mm ; (3)=0.5mm	(1)=0.4mm ; (2)=1.4mm ; (3)=0.6mm
130%	(1)=0.4mm ; (2)=1.5mm ; (3)=0.5mm	(1)=0.4mm ; (2)=1.4mm ; (3)=0.6mm
Failure	(1)=1.5mm ; (2)=8mm ; (3)=0.8mm	(1)=1.2mm ; (2)=5mm ; (3)=1mm

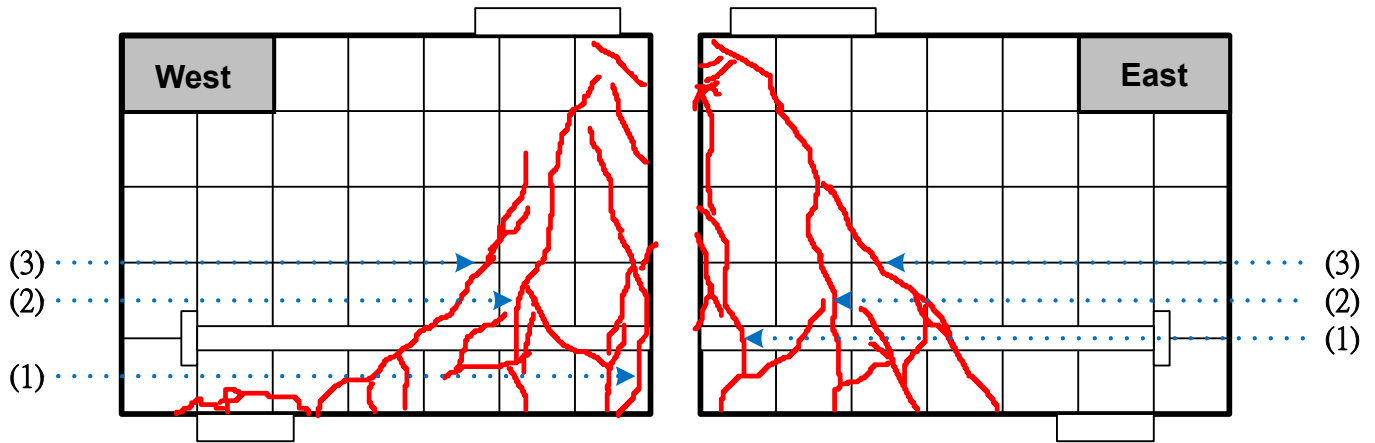


圖 5-38 CT22C8D32N1H5T32 試體試驗中裂縫發展圖

CT22C8D32N1H5T41(#10-1 根-5 倍 T 頭-56 MPa-#4@10)：

承載力趨近於 40% 降伏強度(152 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 430 mm 與 600 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 80% 降伏強度(300 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展與斜向發展，前者約距離 T 頭端板邊緣 700 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸，後者約距離 T 頭端板邊緣 270 mm 處，其裂縫走向趨近於 45 度；承載力達 130% 降伏強度(499 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-39 與圖 5-39，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-39 所示。



表 5-39 CT22C8D32N1H5T41 試體試驗中裂縫發展表

CT22C8D32N1H5T41		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
40%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
50%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
60%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
70%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm
90%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm
100%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.3mm
110%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.3mm
120%	(1)=2mm ; (2)=1.2mm ; (3)=0.4mm	(1)=1.5mm ; (2)=1.5mm ; (3)=0.3mm
130%	(1)=6mm ; (2)=5mm ; (3)=1mm	(1)=3mm ; (2)=5mm ; (3)=6mm
Failure	(1)=6mm ; (2)=5mm ; (3)=1mm	(1)=3mm ; (2)=5mm ; (3)=6mm

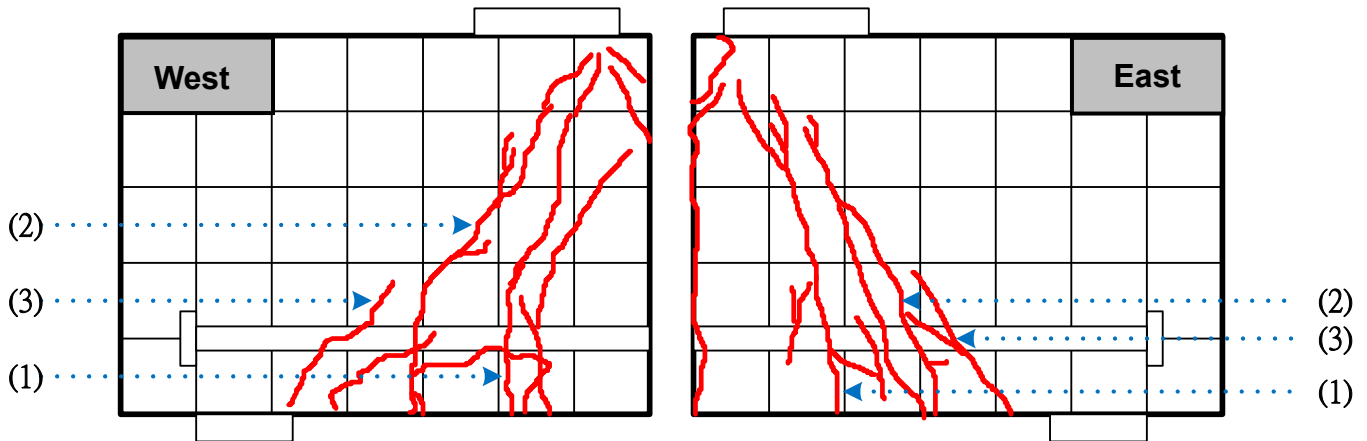


圖 5-39 CT22C8D32N1H5T41 試體試驗中裂縫發展圖

CT23C10D3N12H5T32(#10-1 根-5 倍 T 頭-70 MPa-#3@20) :

承載力趨近於 40 % 降伏強度(149 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 420 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 40 % 降伏強度(161 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 800 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 60 % 降伏強度(234 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 600 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向

上行伸；承载力達 80 %降伏強度(297 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 280 mm 處，其裂縫走向趨近於 45 度；承载力達 120 %降伏強度(469 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-40 與圖 5-40，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-40 所示。

表 5-40 CT23C10D3N12H5T32 試體試驗中裂縫發展表

CT23C10D3N12H5T32		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm
50%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
70%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
90%	(1)=0.6mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
100%	(1)=0.8mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.4mm	(1)=1mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.6mm
110%	(1)=0.8mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.4mm	(1)=1mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.6mm
120%	(1)=1mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm	(1)=2mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.6mm
Failure	(1)=5mm ; (2)=2mm ; (3)=4mm	(1)=4mm ; (2)=5mm ; (3)=2mm

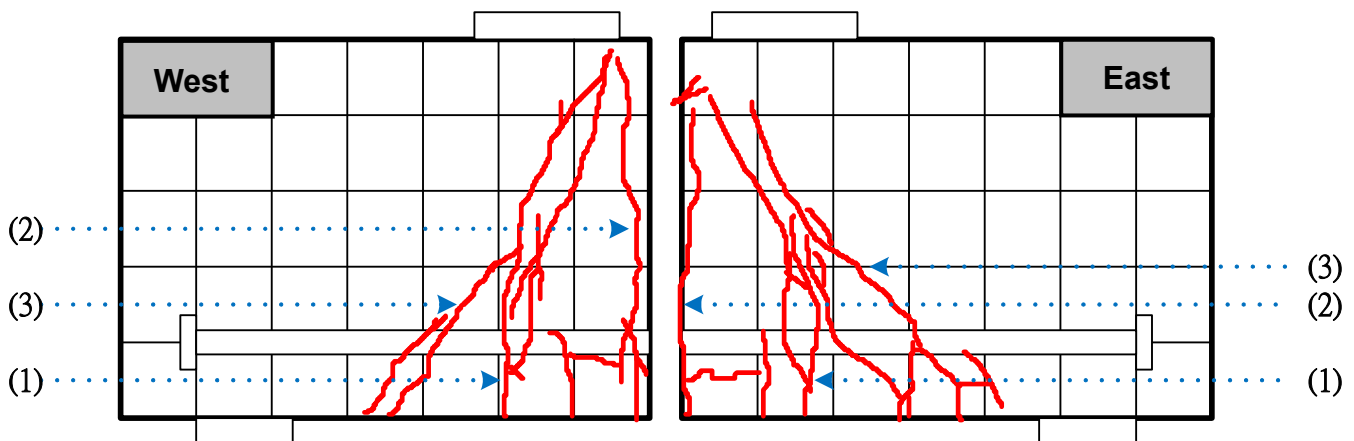


圖 5-40 CT23C10D3N1H5T32 試體試驗中裂縫發展圖

CT23C10D32N1H5T41(#10-1 根-5 倍 T 頭-70 MPa-#4@10) :

承載力趨近於 40 %降伏強度(151 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 400 mm 與 700 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 60 %降伏強度(241 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離 T 頭端板邊緣 350 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 80 %降伏強度(300 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離 T 頭端板邊緣 200 mm 處，其裂縫走向趨近於 45 度；承載力趨近於 120 %降伏強度(449 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-41 與圖 5-41，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-41 所示。

表 5-41 CT23C10D32N1H5T41 試體試驗中裂縫發展表

CT23C10D32N1H5T41		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
50%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
60%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
70%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
90%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
100%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
110%	(1)=1mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.4mm	(1)=2mm ; (2)=0.8mm ; (3)=0.4mm
120%	(1)=1mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.4mm	(1)=2mm ; (2)=0.8mm ; (3)=0.4mm
Failure	(1)=3.5mm ; (2)=2mm ; (3)=0.5mm	(1)=4mm ; (2)=3.5mm ; (3)=1mm

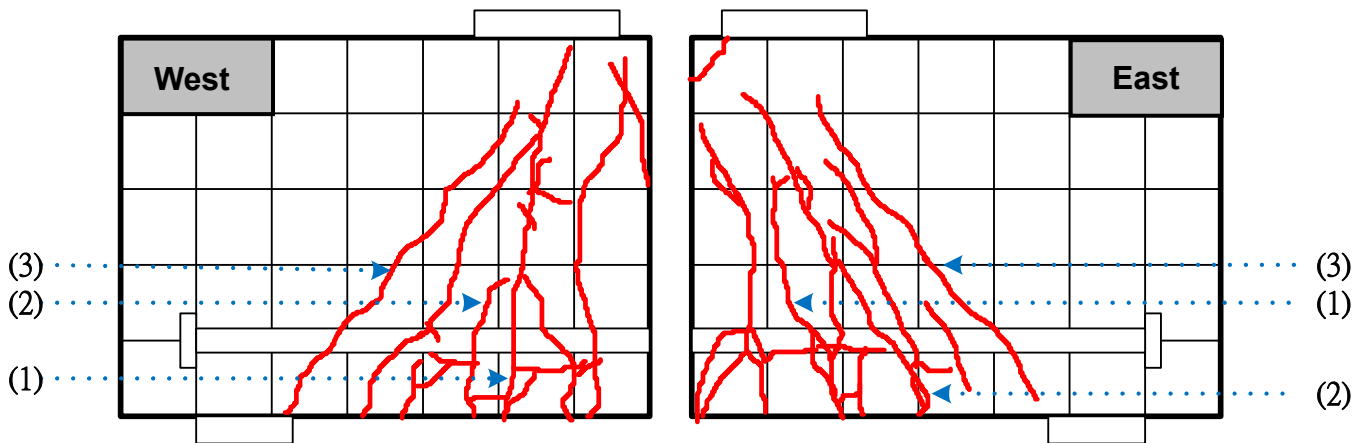


圖 5-41 CT23C10D32N1H5T41 試體試驗中裂縫發展圖

CT25C6D32N1H7T31(#10-1 根-7 倍 T 頭-42 MPa-#3@10)：

承载力達 40 %降伏強度(159 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 510 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力達 50 %降伏強度(198 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 800 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力達 60 %降伏強度(239 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離 T 頭端板邊緣 240 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上衍伸；承载力達 110 %降伏強度(432 KN)時，東、西兩面產生縱向裂縫，約距離 T 頭端板邊緣 10 mm 與 600 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力達 120 %降伏強度(465 KN)時，東、西兩面於壓拉桿區域內產生裂縫，為斜向發展，其裂縫走向趨近於 45 度；承载力趨近於 130 %降伏強度(477 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-42 與圖 5-42，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-42 所示。

表 5-42 CT25C6D32N1H7T31 試體試驗中裂縫發展表

CT25C6D32N1H7T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
50%	(1)=0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)<0.3mm
60%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
70%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.5mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.5mm
80%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.6mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.5mm
90%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.6mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.5mm
100%	(1)=0.5mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.7mm	(1)=0.7mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.6mm
110%	(1)=0.5mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.7mm	(1)=0.7mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.6mm
120%	(1)=1.8mm ; (2)=0.8mm ; (3)=0.8mm ; (s)=0.3mm	(1)=1.8mm ; (2)=0.8mm ; (3)=0.8mm ; (s)=0.3mm
130%	(1)=5mm ; (2)=2mm ; (3)=1.5mm ; (s)=0.5mm	(1)=8mm ; (2)=1.6mm ; (3)=1.5mm ; (s)=0.5mm
Failure	(1)=5mm ; (2)=2mm ; (3)=1.5mm ; (s)=0.5mm	(1)=8mm ; (2)=1.6mm ; (3)=1.5mm ; (s)=0.5mm

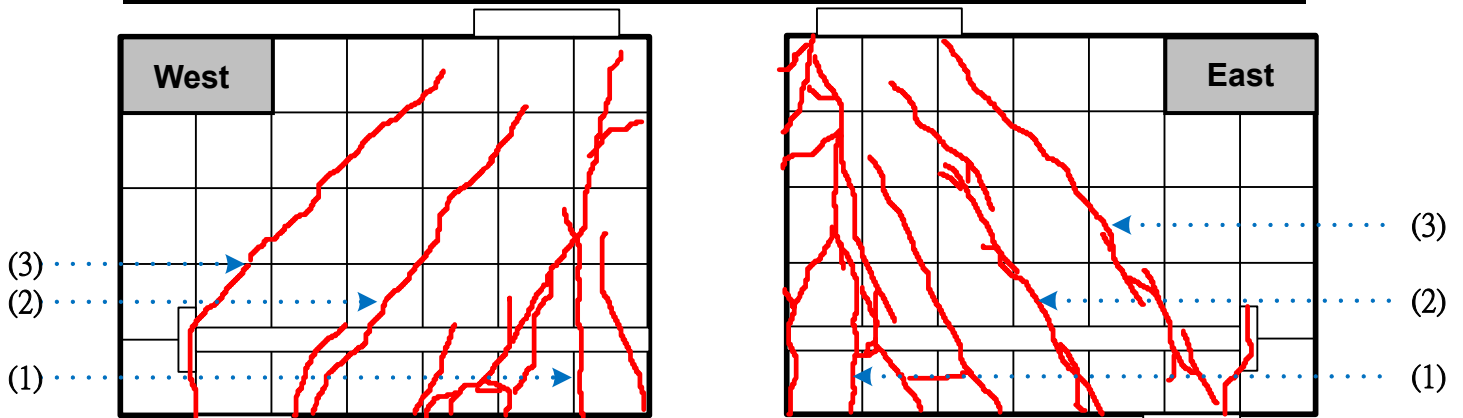


圖 5-42 CT25C6D32N1H7T31 試體試驗中裂縫發展圖

CT26C6D32N1H1T31(#10-1 根-直鋼筋-42 MPa-#3@10) :

承載力趨近於 40 %降伏強度(150 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離直鋼筋起始端 530 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 40 %降伏強度(163 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展，約距離 T 頭端板邊緣 760 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承載力達 60 %降伏強度(232 KN)時，東、西兩面於壓拉桿區域內產生裂縫，為斜向發展，其裂縫走向趨近於 45 度；承載力達 70 %降伏強度(264 KN)時，東、西兩面於壓拉桿區域內產生第二條裂縫，為斜向發展，其

裂縫走向趨近於 45 度；承载力趨近於 90 % 降伏強度(329 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為壓拉桿破壞，主要發生於 CCT 節點區域內。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-43 與圖 5-43，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-43 所示。

表 5-43 CT26C6D32N1H1T31 試體試驗中裂縫發展表

CT26C6D32N1H1T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)<0.3mm
50%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (s)=0.4mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (s)=0.4mm
70%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm ; (s)=0.5mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm ; (s)=0.5mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.7mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.7mm
90%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=1.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=1.5mm
Failure	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=20mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=21mm

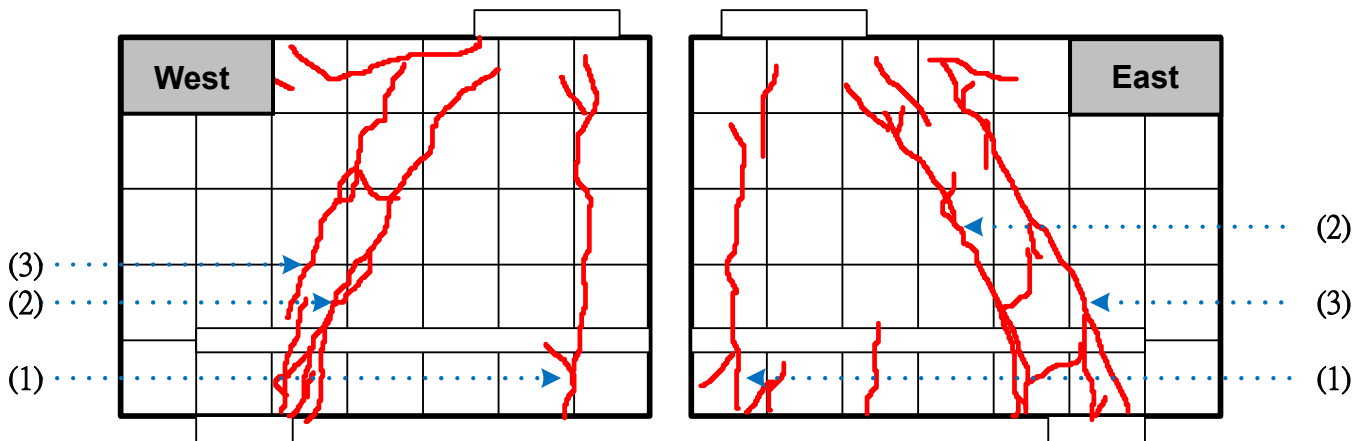


圖 5-43 CT26C6D32N1H1T31 試體試驗中裂縫發展圖

CT27C6D36N1B9T31(#11-1 根-90 度彎鉤-42 MPa-#3@10)：

承载力達 30 % 降伏強度(151 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離彎鉤鋼筋邊緣 560 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上行伸；承载力達 50 % 降伏強度(250 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離彎鉤鋼筋邊緣 760 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉

桿 45 度角向上衍伸；承载力達 60 %降伏強度(301 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為縱向發展，約距離彎鉤鋼筋邊緣 430 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上衍伸；承载力達 90 %降伏強度(451 KN)時，東、西兩面於壓拉桿區域內產生裂縫，為斜向發展，其裂縫走向趨近於 45 度；承载力趨近於 100 %降伏強度(473 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為拉拔破壞，主要發生於 CCT 節點區域外，保護層區塊崩弱。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-44 與圖 5-44，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-44 所示。

表 5-44 CT27C6D36N1B9T31 試體試驗中裂縫發展表

CT27C6D36N1B9T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
40%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
50%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (s)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (s)=0.3mm
60%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.4mm
70%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.4mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.5mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.5mm
90%	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.8mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.8mm
100%	(1)=0.8mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm ; (s)=0.8mm	(1)=0.8mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm ; (s)=0.8mm
Failure	(1)=0.8mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm ; (s)=1mm	(1)=0.8mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm ; (s)=1mm

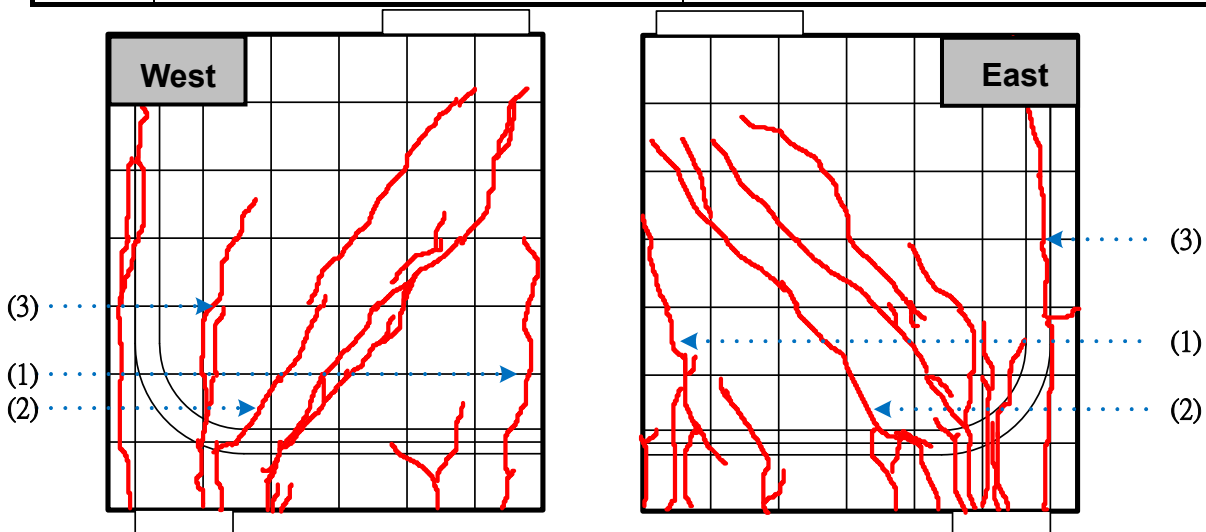


圖 5-44 CT27C6D36N1B9T31 試體試驗中裂縫發展圖

CT28C6D36N1B9T31(#11-1 根-90 度彎鉤-42 MPa-#3@10)：

承載力達 10 %降伏強度(53 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，約距離彎鉤鋼筋邊緣 510 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上行伸；承載力達 30 %降伏強度(151 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展，約距離彎鉤鋼筋邊緣 810 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向上行伸；承載力達 50 %降伏強度(249 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離彎鉤鋼筋邊緣 430 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢沿壓拉桿 45 度角向上行伸；承載力達 80 %降伏強度(411 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為撓曲破壞，主要發生於 CCT 節點區域外。在此僅陳述 CCT 節點區域之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-45 與圖 5-45，而試體破壞情形詳如附錄 A 中照片 A-45 所示。

表 5-45 CT28C6D36N1B9T31 試體試驗中裂縫發展表

CT28C6D36N1B9T31-a=50mm		
P <sub>test</sub> / P <sub>y</sub> Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
20%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
30%	(1)<0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)=0.3mm
40%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
50%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
70%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm ; (s)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm ; (s)=0.4mm
Failure	(1)=0.7mm ; (2)=3mm ; (3)=0.4mm ; (s)=0.8mm	(1)=0.6mm ; (2)=2.5mm ; (3)=0.5mm ; (s)=0.7mm



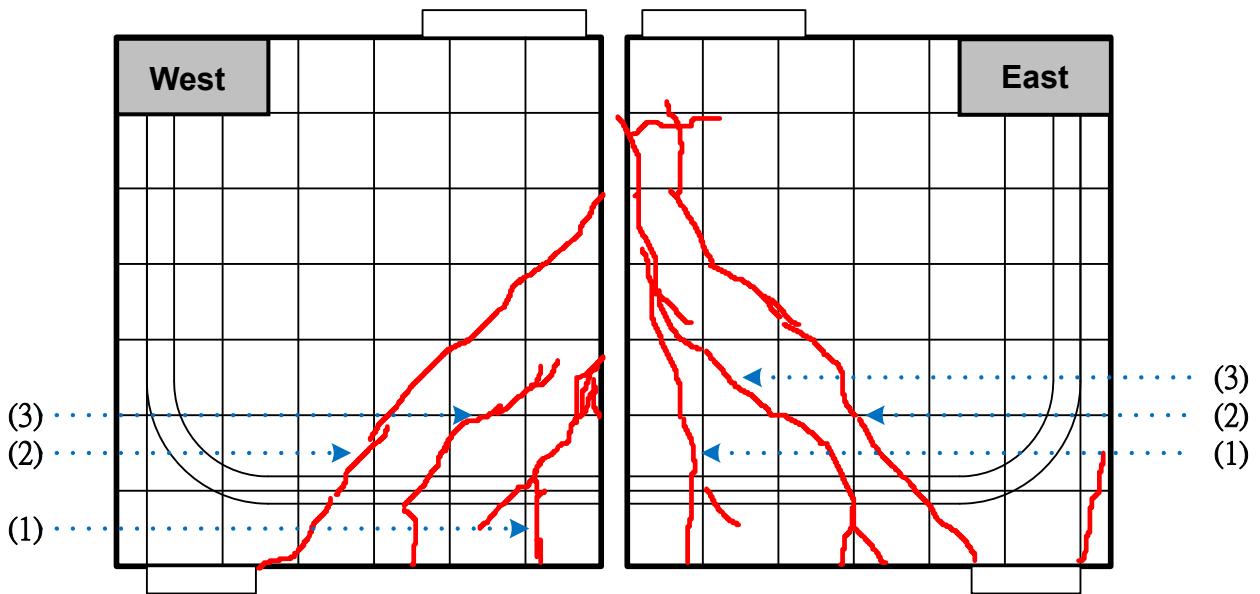


圖 5-45 CT28C6D36N1B9T31 試體試驗中裂縫發展圖

### 5.1.2 試驗過程歸納

在此將 CCT 節點試體區分為未圍束與圍束兩大類，以便整合其破壞狀態，兩者相較之下，圍束試體之裂縫密集程度將高於未圍束試體，但就試驗結果而言，未圍束試體之破壞情況將比圍束試體嚴重許多，由此可見圍束箍筋對於試體承載上能提供相當地效應。各試體破壞模式紀錄狀態呈現於表 5-46，詳細歸納破壞型式。

表 5-46 CCT 節點試驗試體破壞型式歸納表

Specimen	Yield Ratio	Failure Mode	Strut splitting	Failure of CCT Zone		
				front	middle	back
CT01C6D32N1H3T31	0.98	Strut Failure	√	√		
CT01C6D32N1H3	0.73	Strut Failure	√	√		
CT02C6D32N1H5T31	1.10	Strut Failure	√	√		
CT02C6D32N1H5	0.78	Strut Failure	√	√		
CT03C6D32N1H7T31	0.84	Strut Failure	√	√		
CT03C6D32N1H7	1.05	Strut Failure	√	√		
CT04C6D32N1H1T31	0.55	Strut Failure	√	√		
CT04C6D32N1H1	0.08	Strut Failure	√	√		
CT05C6D36N1H5T31	0.87	Flexure Failure	√		√	
CT05C6D36N1H5	1.15	Flexure Failure		√		
CT06C6D36N1H1T31	1.04	Strut Failure	√	√		
CT06C6D36N1H1	0.77	Strut Failure	√	√		
CT07C6D32N1B9T31	0.53	Flexure Failure	√	√		
CT08C6D32N1B9	0.97	Flexure Failure		√		
CT09C6D32N1B18T31	0.53	Strut Failure	√	√		
CT09C6D32N1B18	0.96	Strut Failure	√	√		
CT10C6D25N1H5T31	1.33	Flexure Failure			√	
CT10C6D25N1H5	1.37	Flexure Failure			√	
CT11C6D32N2H5S40T31	1.09	Flexure Failure			√	
CT11C6D32N2H5S40	1.09	Flexure Failure		√		
CT12C6D32N3H5S40T31	1.06	Flexure Failure				√
CT12C6D32N3H5S40	0.97	Flexible Failure				√
CT13C6D36N2H5S40T31	1.10	Strut Failure	√	√		
CT13C6D36N2H5S40	0.97	Strut Failure	√	√		
CT14C6D36N3H5S40T31	1.04	Flexure Failure	√			√
CT14C6D36N3H5S40	1.04	Flexure Failure				√
CT15C6D32N2H5S15T31	1.16	Strut Failure	√	√		
CT15C6D32N2H5S15	1.10	Flexure Failure			√	
CT16C6D32N3H5S15T31	0.88	Flexure Failure	√			√
CT16C6D32N3H5S15	0.97	Flexure Failure				√

表 5-46 CCT 節點試驗試體破壞型式歸納表(續)

Specimen	Yield Ratio	Failure Mode	Strut splitting	Failure of CCT Zone		
				front	middle	back
CT17C6D36N2H5S15T31	1.00	Flexure Failure	√			√
CT17C6D36N2H5S15	0.97	Strut Failure	√	√		
CT18C6D36N3H5S15T31	0.91	Strut Failure	√	√		
CT18C6D36N3H5S15	0.88	Flexure Failure				√
CT19C8D32N1H5T31	1.21	Flexure Failure	√		√	
CT19C8D32N1H5	1.16	Flexure Failure			√	
CT20C10D32N1H5T31	1.29	Flexure Failure			√	
CT20C10D32N1H5	0.88	Flexure Failure			√	
CT21C6D32N1H5T32	1.08	Flexure Failure	√		√	
CT21C6D32N1H5T41	1.09	Flexure Failure	√		√	
CT22C8D32N1H5T32	1.26	Flexure Failure			√	
CT22C8D32N1H5T41	1.31	Flexure Failure			√	
CT23C10D32N1H5T32	1.24	Flexure Failure			√	
CT23C10D32N1H5T41	1.18	Flexure Failure			√	
CT24C6D32N1H3	0.96	Strut Failure	√	√		
CT24C6D32N1H5	1.03	Strut Failure	√	√		
CT25C6D32N1H7T31	1.26	Flexure Failure	√		√	
CT25C6D32N1H7	1.14	Flexure Failure			√	
CT26C6D32N1H1T31	0.87	Strut Failure	√	√		
CT26C6D32N1H1	0.73	Flexure Failure			√	
CT27C6D36N1B9T31	0.92	Flexure Failure	√	√		
CT28C6D36N1B9T31	0.80	Flexure Failure			√	

**未圍束：**第一道垂直裂縫產生在門型構架  $6d_b$  板下之試體底部，約等同於第一根箍筋處，此裂縫會隨著乘載強度提升而向上蔓延成長，並分崎產生水平新裂縫；第二道裂縫鄰近於第一道裂縫，且靠近 CCT 節點區域，其同樣隨著強度上升而向上蔓延；第三道裂縫為斜向裂縫，從荷重計端之端板處邊緣產生，並沿著壓拉桿 45 度角向上延伸；緊接著將產生水平裂縫，其大多會從第二道垂直裂縫中衍伸，並往第三道斜向裂縫處生長；上述裂縫蔓延到一定階段後便會停止，而試體破壞前，於 CCT 節點區之 T 頭端板處邊緣會產生一道斜向裂縫，同樣沿著壓拉桿 45 度角向上延伸，進一步可能於此處造成破壞，此破壞定意為壓拉桿破壞，若壓拉桿區之承載強度足夠，則破壞將會產生在 CCT 節點區外，也就是試體後半段，此破壞定意為撓曲破壞。

**圍束：**第一道垂直裂縫產生在門型構架  $6d_b$  板下之試體底部，約介於第六根與第七根箍筋間，此裂縫會隨著承載強度提升而向上蔓延成長，並分崎產生水平新裂縫；第二道裂縫為斜向裂縫，約介於第三根箍筋至第四根箍筋

間，沿著壓拉桿 45 度角向上延伸；第三道裂縫鄰近於第二道裂縫，約位於荷重計端板之邊緣處，同樣為斜向裂縫，沿壓拉桿 45 度角向上生長；緊接著 CCT 節點區內會產生密集的斜向裂縫，均沿著 45 度角蔓延開來；上數裂縫蔓延到一定階段後便會停止，而試體破壞前，介於第五根與第六根箍筋間會產生垂直裂縫，且於 CCT 節點區之 T 頭端板處邊緣會產生一道斜向裂縫，其沿著壓拉桿 45 度角向上延伸，進一步可能造成壓拉桿破壞，若壓拉桿區之承載強度足夠，則破壞將會產生在試體後半段，意即撓曲破壞。

## 5.2 拉拔試驗過程

拉拔試驗過程之敘述及討論，主要著重在拉拔主筋兩側 500 mm 範圍內，觀察混凝土在拉拔作用下之裂縫行徑與破壞情形。拉拔試驗將中途停止在每一預定之承載強度下，利用這段時間收取資料，並且觀察試體裂縫生長與破壞情形，其將利用紅色麥克筆描繪裂縫之走向，並標註裂縫生成之先後順序，裂縫之寬度也將在上述流程節束後給予紀錄。

裂縫之觀察乃用對照之方式比對，故於實驗初期時，由於裂縫發展相當細微，肉眼雖可判別，但對照工具之比對方式，其輔助工具精細度僅至 0.3 mm 無法達到更細微之判斷，因此僅能推估其裂縫小於 0.3 mm，也因此，整個實驗之裂縫觀察，對照工具之比對方式其算是估略量測，因此整個裂縫發展其量測值雖是估略值，但仍可表現試體其破壞行為。

### 5.2.1 各試體試驗過程

試體之裂縫發展與破壞狀態整理，為避免過於雜亂，將分為未圍束與圍束兩大主題，描述各組試體之破壞情形，而試驗階段則是利用抗拉主筋之降伏百分比作區隔，裂縫之寬度成長將紀錄於表 5-47 至表 5-71，其裂縫生成先後順序利用編號(1)、(2)、(3)來區分，完整呈現試驗過程，以下將對試體裂縫成長與破壞模式作一詳細描述與介紹：

而試體之破壞模式在此區分為 Pullout Failure 及 Local Failure 兩種。Pullout Failure 會造成鋼筋連同混凝土以錐體形狀破裂脫離試體，其錨定強度瞬間喪失；Local Failure 則是造成拉拔主筋周圍之混凝土脫落，使錨定強度逐漸

降低。

**未圍束：**

P03C06D32H5S064E30(#10-5 倍 T 頭-邊 64 mm-深 300 mm-42 MPa)：

試驗前，試體中靠近拉拔主筋處已產生縱向裂橫，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至試體底部；承载力達 20%降伏強度(79 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約距離拉拔主筋之中心線 10 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至 T 頭端板處；承载力達 40%降伏強度(160 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 250 mm 與 320 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 60%降伏強度(234 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為混凝土破碎。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-47 與圖 5-46，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-1 所示。

表 5-47 P03C06D32H5S064E30 試體試驗中裂縫發展表

P03C06D32H5S064E30		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
20%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
30%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
40%	(1)=0.4mm	(1)=0.4mm
50%	(1)=0.5mm	(1)=0.5mm
60%	(1)=1mm	(1)=0.8mm
Failure	(1)=25mm	(1)=25mm

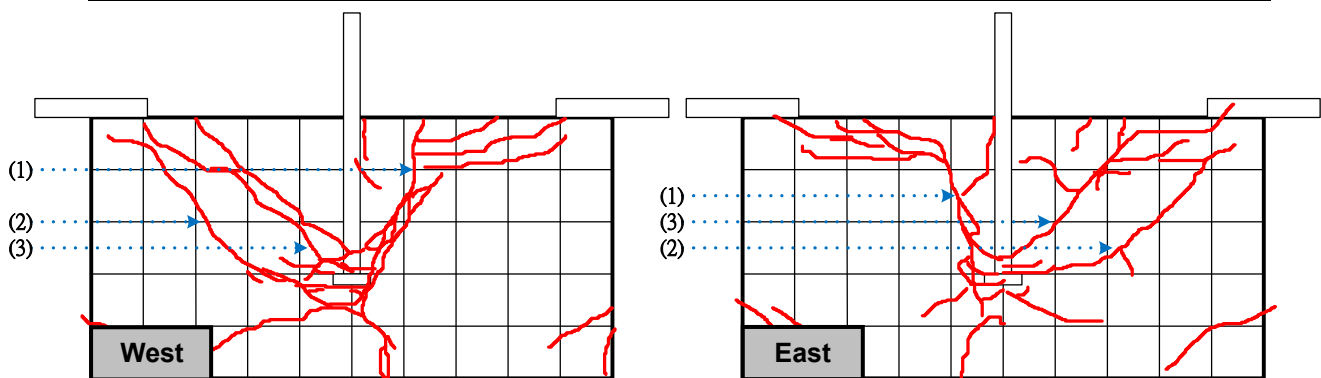


圖 5-46 P03C06D32H5S064E30 試體試驗中裂縫發展圖

P04C06D32H1S064E30(#10-直鋼筋-邊 64 mm-深 300 mm-42 MPa)：

承载力達 30 %降伏強度(120 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約位於拉拔主筋之中心線處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至直鋼筋底端；承载力達 50 %降伏強度(199 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為橫向發展，約距離試體頂面 60 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 60 %降伏強度(229 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為拉拔破壞。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-48 與圖 5-47，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-2 所示。

表 5-48 P04C06D32H1S064E30 試體試驗中裂縫發展表

P04C06D32H1S064E30		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
40%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
50%	(1)=0.5mm	(1)=0.5mm
60%	(1)=0.7mm	(1)=0.7mm
Failure	(1)=35mm	(1)=25mm

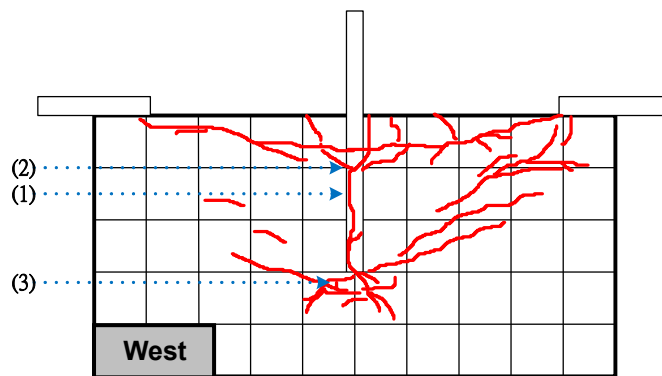


圖 5-47 P04C06D32H1S064E30 試體試驗中裂縫發展圖

P06C06D36H1S072E30(#11-直鋼筋-邊 72 mm-深 300 mm-42 MPa)：

承载力達 10 %降伏強度(50 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約距離拉拔主筋之中心線

20 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至直鋼筋底端；承載力達 20 % 降伏強度(101 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約位於拉拔主筋之中心線處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至直鋼筋底端；承載力達 50 % 降伏強度(252 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 300 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承載力達 60 % 降伏強度(301 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為拉拔破壞。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-49 與圖 5-48，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-3 所示。

表 5-49 P06C06D36H1S072E30 試體試驗中裂縫發展表

P06C06D36H1S072E30		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%	(1)<0.3mm	
20%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm	
30%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm
40%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm
50%	(1)=0.7mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
60%	(1)=0.7mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
Failure	(1)=1mm ; (2)=1mm ; (3)=0.5mm	(1)=0.7mm ; (2)=0.7mm ; (3)=1.5mm

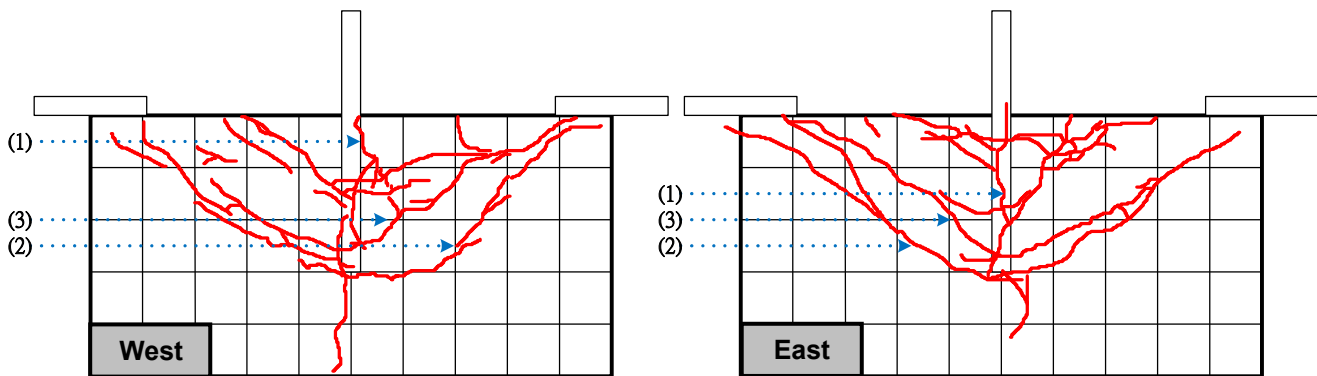


圖 5-48 P06C06D36H1S072E30 試體試驗中裂縫發展圖

P25C06D32H5S025E30(#10-5 倍 T 頭-邊 25 mm-深 300 mm-42 MPa)：

承載力達 30 % 降伏強度(122 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約距離拉拔主筋之

中心線 10 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至 T 頭端板處；承载力達 40 %降伏強度(167 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 300 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 50 %降伏強度(201 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 130 mm 與 300 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力趨近於 60 %降伏強度(220KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為拉拔破壞。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-50 與圖 5-49，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-4 所示。

表 5-50 P25C06D32H5S025E30 試體試驗中裂縫發展表

P25C06D32H5S025E30		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)<0.3mm	
40%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
50%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
60%	(1)=0.4mm ; (2)=2mm ; (3)=2mm	(1)=0.4mm ; (2)=2mm ; (3)=2mm
Failure	(1)=0.4mm ; (2)=4mm ; (3)=4mm	(1)=0.6mm ; (2)=2mm ; (3)=3mm

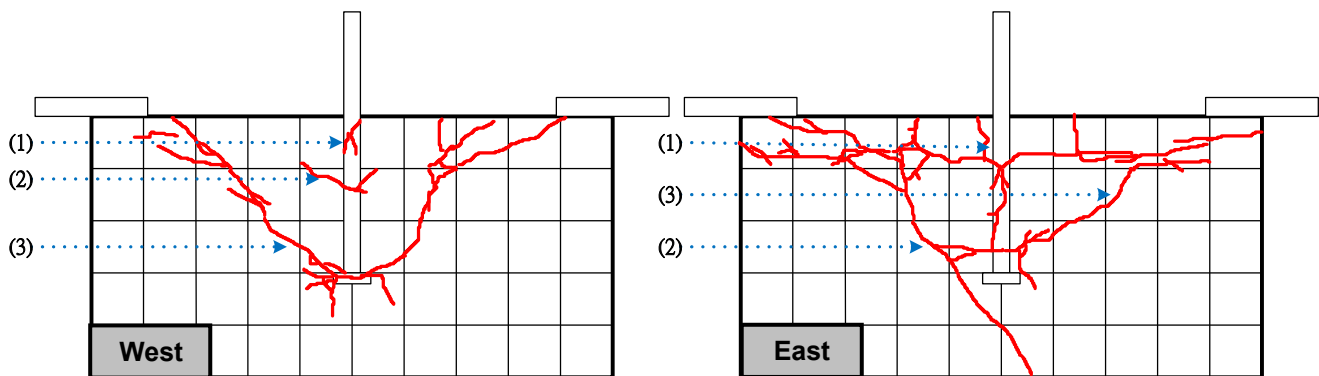


圖 5-49 P25C06D32H5S025E30 試體試驗中裂縫發展圖

**圖東：**

P01C06D32H5S064E30T31(#10-5 倍 T 頭-邊 64 mm-深 300 mm-42 MPa -#3@10)：

試驗前，試體中靠近拉拔主筋處已產生縱向裂橫，此裂縫於試驗中會



慢慢衍伸至 T 頭端板處；承载力達 50 %降伏強度(201 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為橫向發展，約距離試體頂面 50 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 70 %降伏強度(265 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 330 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 80 %降伏強度(302 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 270 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 110 %降伏強度(426 KN)時，強度達最大值後便開始下降，且東、西兩面產生斜向裂縫，約距離試體頂面 400 mm 處，最終破壞型式為局部破壞。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-51 與圖 5-50，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-5 所示。

表 5-51 P01C06D32H5S064E30T31 試體試驗中裂縫發展表

P01C06D32H5S064E30T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
50%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
60%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
70%	(1)=0.4mm	(1)=0.3mm
80%	(1)=0.6mm	(1)=0.4mm
90%	(1)=0.7mm	(1)=0.5mm
100%	(1)=0.9mm	(1)=0.6mm
110%	(1)=1.5mm	(1)=1.3mm
Failure	(1)=35mm	(1)=30mm

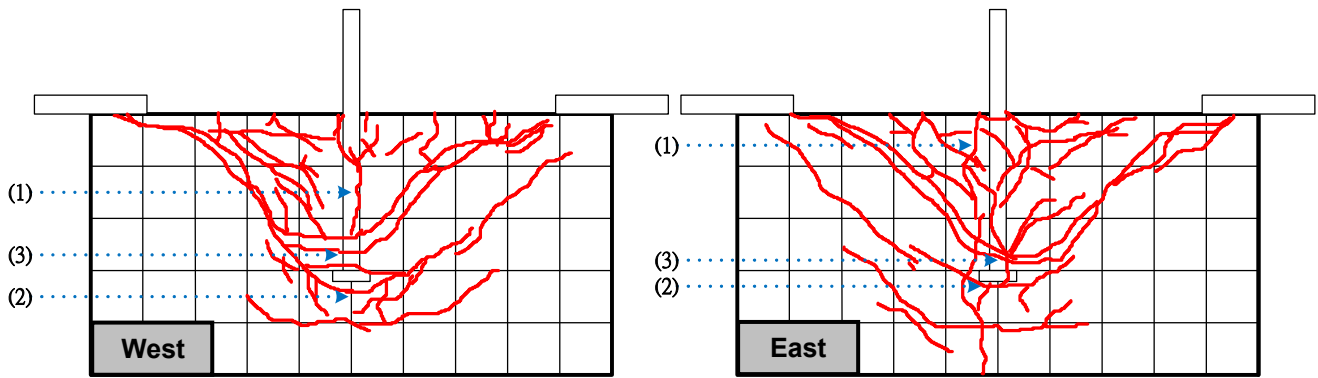


圖 5-50 P01C06D32H5S064E30T31 試體試驗中裂縫發展圖

P02C06D32H5S025E30T31(#10-5 倍 T 頭-邊 25 mm-深 300 mm-42 MPa -#3@10)：

承载力達 10% 降伏強度(40 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約位於拉拔主筋之中心線處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至 T 頭端板處；承载力達 30% 降伏強度(120 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 100 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 40% 降伏強度(160 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 330 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 50% 降伏強度(200 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離試體頂面 200 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力趨近於 90% 降伏強度(328 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為局部破壞。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-52 與圖 5-51，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-6 所示。

表 5-52 P02C06D32H5S025E30T31 試體試驗中裂縫發展表

P02C06D32H5S025E30T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
20%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
30%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
40%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
50%	(1)=0.4mm	(1)=0.6mm
60%	(1)=0.4mm	(1)=0.7mm
70%	(1)=0.4mm	(1)=0.8mm
80%	(1)=0.4mm	(1)=0.8mm
90%	(1)=0.5mm	(1)=0.9mm
Failure	(1)=0.6mm	(1)=20mm

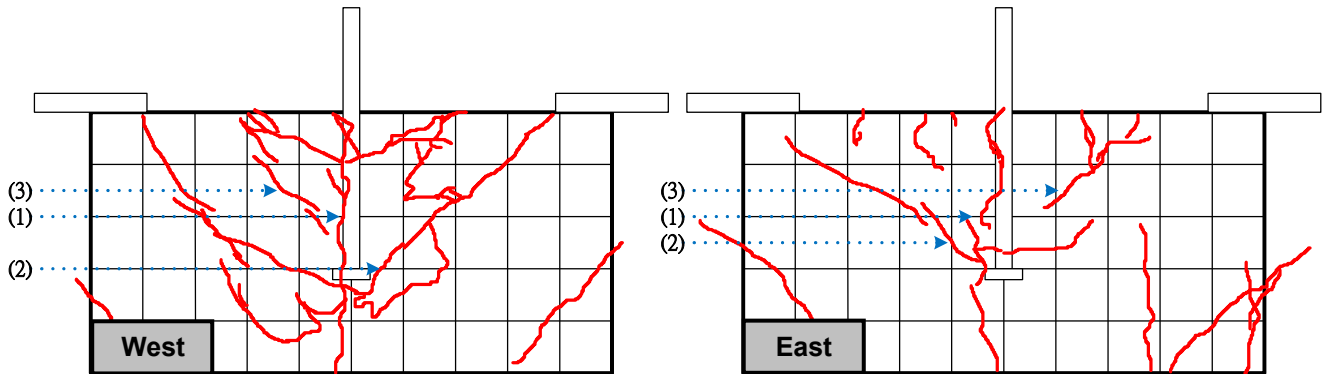


圖 5-51 P02C06D32H5S025E30T31 試體試驗中裂縫發展圖

P05C06D36H5S072E30T31(#11-5 倍 T 頭-邊 72 mm-深 300 mm-42 MPa -#3@10) :

承载力達 10% 降伏強度(50 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展與橫向發展，前者從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約距離拉拔主筋之中心線 30 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至試體底部，後者約距離試體頂面 50 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 40% 降伏強度(200 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 200 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 50% 降伏強度(250 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 310 mm 與 420 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 60% 降伏強度(293 KN)時，強度達最大值後便開始下降，且東、西兩面產生斜向裂縫，約距離試體頂面 280 mm 處，

從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸，最終破壞型式為拉拔破壞。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-53 與圖 5-52，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-7 所示。

表 5-53 P05C06D36H5S072E30T31 試體試驗中裂縫發展表

P05C06D36H5S072E30T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
50%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm
60%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
Failure	(1)=0.8mm ; (2)=0.8mm ; (3)=15mm	(1)=0.8mm ; (2)=0.5mm ; (3)=1mm

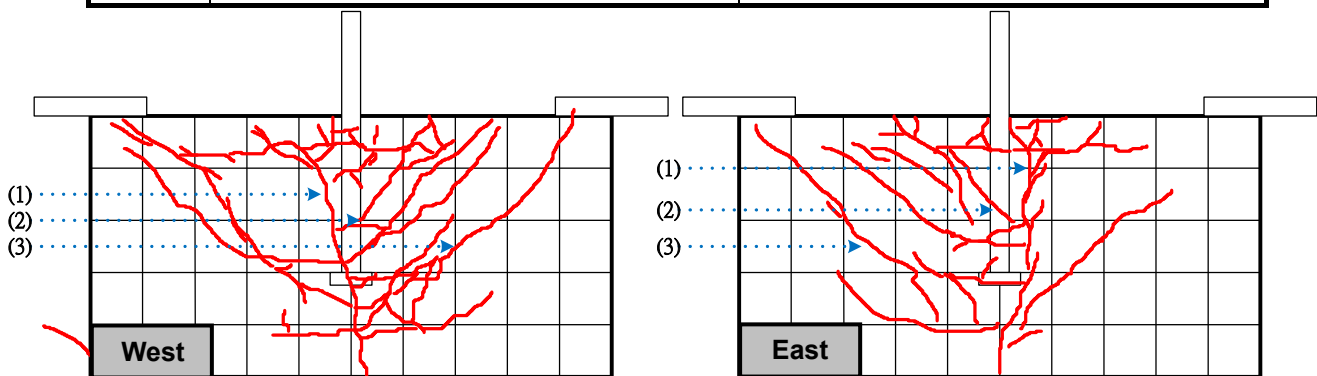


圖 5-52 P05C06D36H5S072E30T31 試體試驗中裂縫發展圖

P07C06D36B9S062E30T31(#11-90 度彎鉤-邊 62 mm-深 300 mm-42 MPa -#3@10) :

承载力達 30 %降伏強度(149 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展與斜向發展，前者從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約位於拉拔主筋之中心線處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至拉拔彎鉤鋼筋底端，後者約距離拉拔主筋之中心線 140 mm 與 260 mm 處，從試體頂面處慢慢衍伸至拉拔彎鉤鋼筋處；承载力達 50 %降伏強度(252 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 130 mm 與 400 mm 處，從拉拔彎鉤鋼筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 60 %降伏強度(299 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面

280 mm 處，從拉拔彎鉤鋼筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 100 % 降伏強度(500 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為拉拔破壞。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-54 與圖 5-53，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-8 所示。

表 5-54 P07C06D36B9S062E30T31 試體試驗中裂縫發展表

P07C06D36B9S062E30T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
40%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
50%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
60%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
70%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
80%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
90%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
100%	(1)=0.6mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm	(1)=0.7mm ; (2)=0.7mm ; (3)=0.5mm
Failure	(1)=0.8mm ; (2)=1mm ; (3)=0.58mm	(1)=0.9mm ; (2)=1.7mm ; (3)=0.7mm

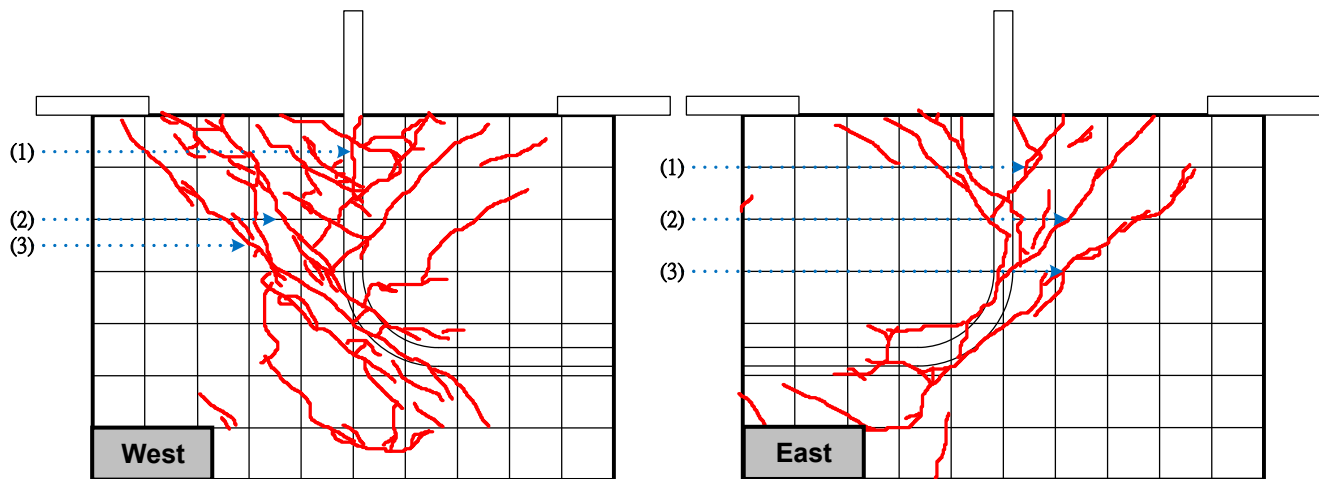


圖 5-53 P07C06D36B9S062E30T31 試體試驗中裂縫發展圖

P08C06D32B9S064E30T31(#10-90 度彎鉤-邊 64 mm-深 300 mm-42 MPa -#3@10) :

承载力達 20 %降伏強度(81 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約距離拉拔主筋之中

心線 20 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至拉拔彎試體底部；承載力達 30 % 降伏強度(120 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 300 mm 處，從拉拔彎鈎鋼筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承載力達 70 % 降伏強度(267 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 450 mm 與 480 mm 處，從拉拔彎鈎鋼筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承載力趨近於 90 % 降伏強度(333 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為拉拔破壞。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-55 與圖 5-54，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-9 所示。

表 5-55 P08C06D32B9S064E30T31 試體試驗中裂縫發展表

P08C06D32B9S064E30T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
30%	(1)=0.3mm ; (2)=0.4mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.4mm
40%	(1)=0.3mm ; (2)=0.4mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.4mm
50%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm
60%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm
70%	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm
80%	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm
90%	(1)=1mm ; (2)=0.6mm	(1)=1mm ; (2)=0.7mm
Failure	(1)=1.5mm ; (2)=1mm	(1)=1.7mm ; (2)=1mm

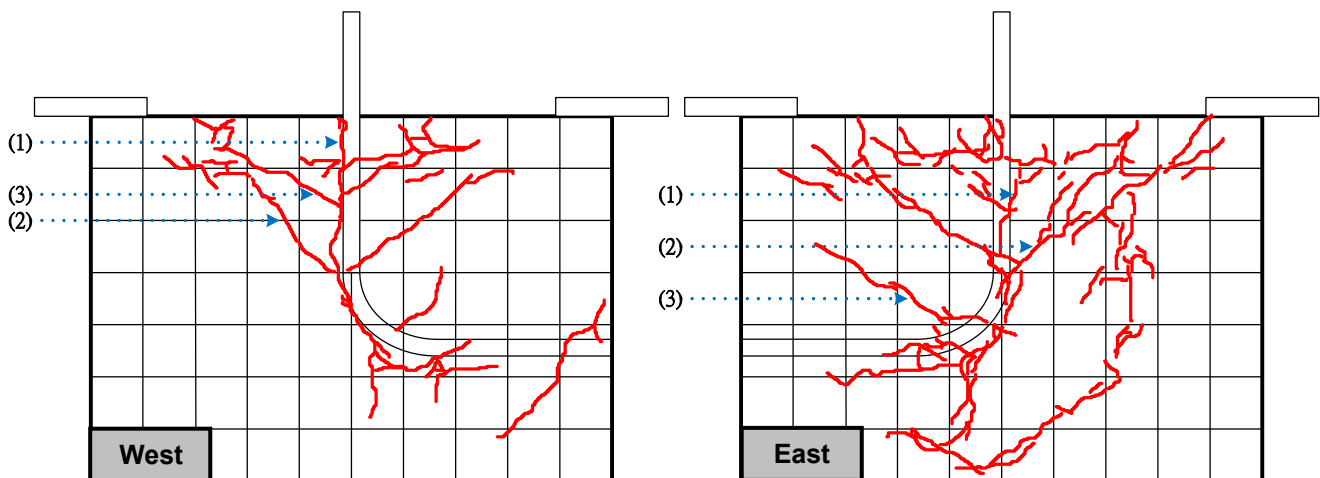


圖 5-54 P08C06D32B9S064E30T31 試體試驗中裂縫發展圖

P09C06D32H7S064E30T31(#10-7 倍 T 頭-邊 64 mm-深 300 mm-42 MPa -#3@10)：

承載力達 20 %降伏強度(80 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約位於拉拔主筋之中心線處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至 T 頭端板處；承載力達 30 %降伏強度(121 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 100 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承載力達 40 %降伏強度(161 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 320 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承載力達 80 %降伏強度(299 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離試體頂面 430 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承載力達 90 %降伏強度(350 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為混凝土破碎。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-56 與圖 5-55，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-10 所示。

表 5-56 P09C06D32H7S064E30T31 試體試驗中裂縫發展表

P09C06D32H7S064E30T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
30%	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)<0.3mm ; (2)<0.3mm
40%	(1)=0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)<0.3mm ; (3)<0.3mm
50%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
60%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
70%	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
80%	(1)=0.6mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
90%	(1)=3mm ; (2)=1.2mm ; (3)=1.2mm	(1)=3mm ; (2)=1.2mm ; (3)=1.2mm
Failure	(1)=20mm ; (2)=10mm ; (3)=2mm	(1)=15mm ; (2)=1.5mm ; (3)=3mm



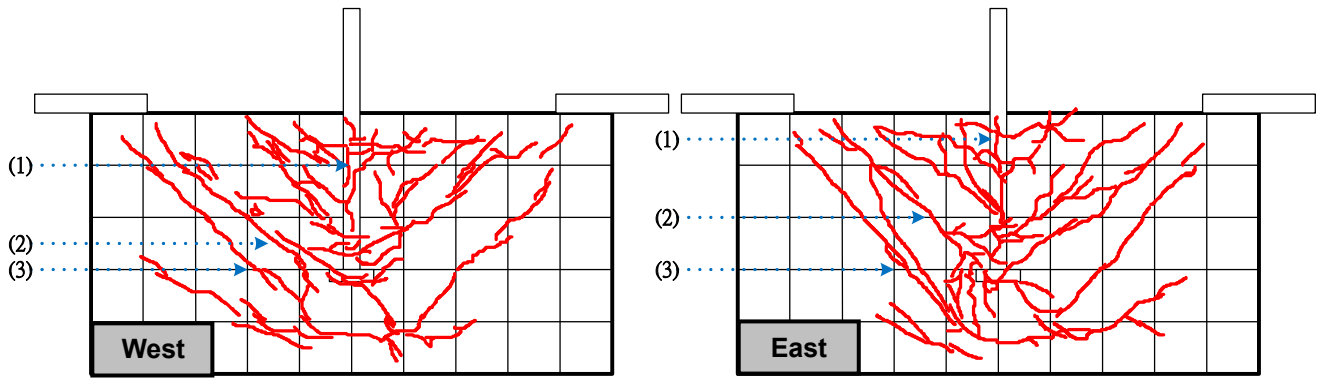


圖 5-55 P09C06D32H7S064E30T31 試體試驗中裂縫發展圖

P10C06D32H3S059E30T31(#10-3 倍 T 頭-邊 59 mm-深 300 mm-42 MPa -#3@10) :

承載力達 10% 降伏強度(51 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約位於拉拔主筋之中心線處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至 T 頭端板處；承載力達 20% 降伏強度(81 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 170 mm 與 300 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承載力達 60% 降伏強度(231 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離試體頂面 260 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承載力達 70% 降伏強度(265 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為混凝土破碎。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-57 與圖 5-56，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-11 所示。

表 5-57 P10C06D32H3S059E30T31 試體試驗中裂縫發展表

P10C06D32H3S059E30T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
30%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
40%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
50%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.6mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
60%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.6mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
70%	(1)=2mm ; (2)=10mm ; (3)=1.5mm	(1)=3mm ; (2)=0.6mm ; (3)=4mm
Failure	(1)=3mm ; (2)=18mm ; (3)=2mm	(1)=3.5mm ; (2)=2mm ; (3)=7mm



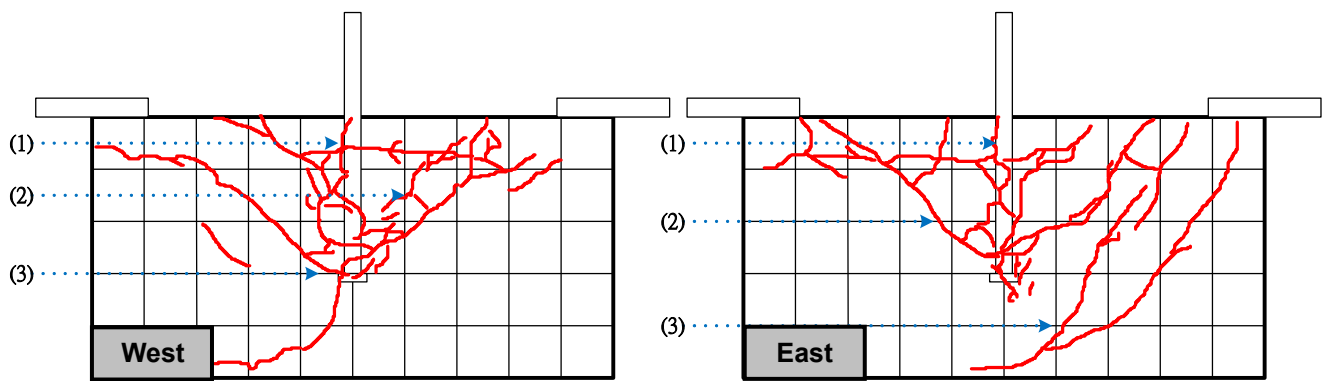


圖 5-56 P10C06D32H3S059E30T31 試體試驗中裂縫發展圖

P11C06D32H5S144E20T31(#10-5 倍 T 頭-邊 144 mm-深 200 mm-42 MPa -#3@10)：

承载力達 90%降伏強度(351 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約距離拉拔主筋之中心線 50 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至 T 頭端板處；承载力達 140%降伏強度(550 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展與斜向發展，前者約距離拉拔主筋之中心線 200 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向 T 頭端板處衍伸，後者約距離試體頂面 280 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 160%降伏強度(650 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離拉拔主筋之中心線 190 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向 T 頭端板處衍伸；承载力趨近於 200%降伏強度(838 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為局部破壞。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-58 與圖 5-57，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-12 所示。

表 5-58 P11C06D32H5S144E20T31 試體試驗中裂縫發展表

P11C06D32H5S144E20T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%		
50%		
60%		
70%		
80%		
90%	(1)<0.3mm	
100%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
110%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
120%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
130%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
140%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm
150%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm
160%	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)<0.3mm
170%	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)<0.3mm
180%	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)<0.3mm
190%	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)<0.3mm
200%	(1)=0.8mm ; (2)=0.6mm	(1)=0.8mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.3mm
Failure	(1)=1.2mm ; (2)=0.9mm	(1)=1.2mm ; (2)=0.8mm ; (3)=0.5mm

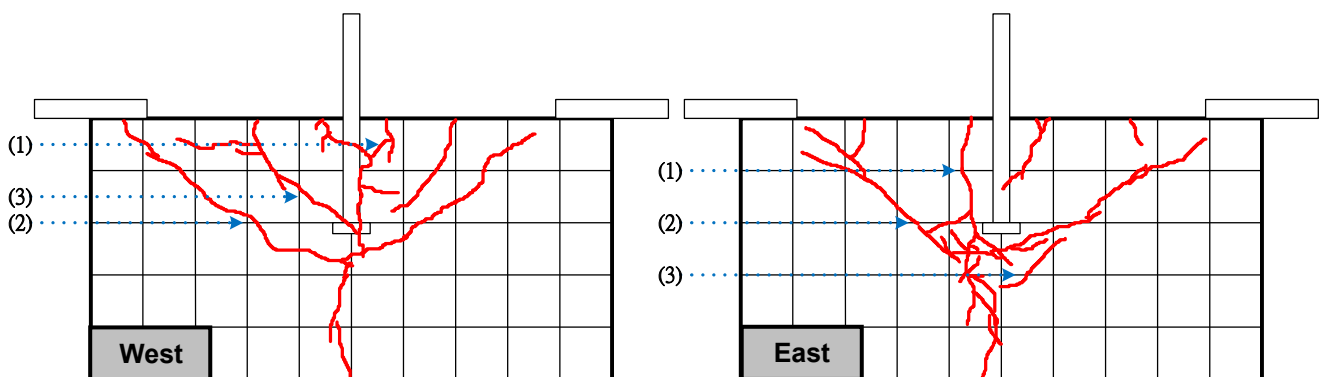


圖 5-57 P11C06D32H5S144E20T31 試體試驗中裂縫發展圖

P12C06D32H5S100E30T31(#10-5 倍 T 頭-邊 100 mm-深 300 mm-42 MPa -#3@10) :

承载力達 80 %降伏強度(301 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約位於拉拔主筋之

中心線處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至 T 頭端板處；承载力達 110 % 降伏強度(430 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 290 mm 與 340 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 120 % 降伏強度(467 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離拉拔主筋之中心線 210 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向拉拔主筋處衍伸；承载力達 160 % 降伏強度(600 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為局部破壞。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-59 與圖 5-58，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-13 所示。

表 5-59 P12C06D32H5S100E30T31 試體試驗中裂縫發展表

P12C06D32H5S100E30T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%		
50%		
60%		
70%		
80%	(1)<0.3mm	
90%	(1)<0.3mm	
100%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
110%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm	(1)=0.3mm
120%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.3mm
130%	(1)=0.6mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm
140%	(1)=0.6mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm
150%	(1)=1mm ; (2)=1mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm
160%	(1)=1.5mm ; (2)=1.5mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm
Failure	(1)=2mm ; (2)=10mm ; (3)=0.6mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm

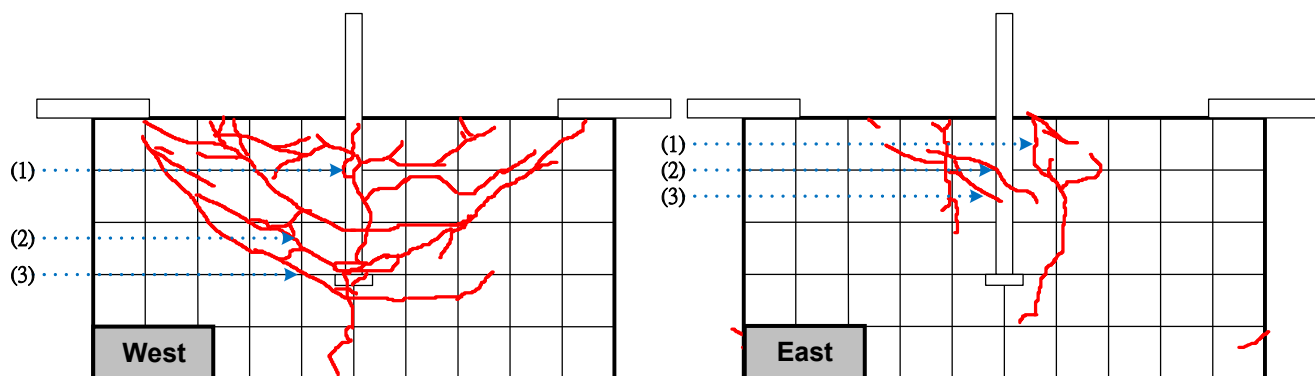


圖 5-58 P12C06D32H5S100E30T31 試體試驗中裂縫發展圖

P13C06D32H5S164E40T31(#10-5 倍 T 頭-邊 164 mm-深 400 mm-42 MPa -#3@10) :

承载力達 30 %降伏強度(120 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約距離拉拔主筋之中心線 30 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至 T 頭端板處；承载力達 90 %降伏強度(350 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離試體頂面 80 mm 與 200 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 100 %降伏強度(399 KN)時，強度達最大值後便開始下降，且東、西兩面產生斜向裂縫，約距離試體頂面 400 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸，最終破壞型式為局部破壞。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-60 與圖 5-59，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-14 所示。

表 5-60 P13C06D32H5S164E40T31 試體試驗中裂縫發展表

P13C06D32H5S164E40T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
40%	(1)=0.4mm	(1)=0.4mm
50%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm
60%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
70%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
90%	(1)=0.8mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.8mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
100%	(1)=0.8mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.8mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
Failure	(1)=0.9mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=1mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm

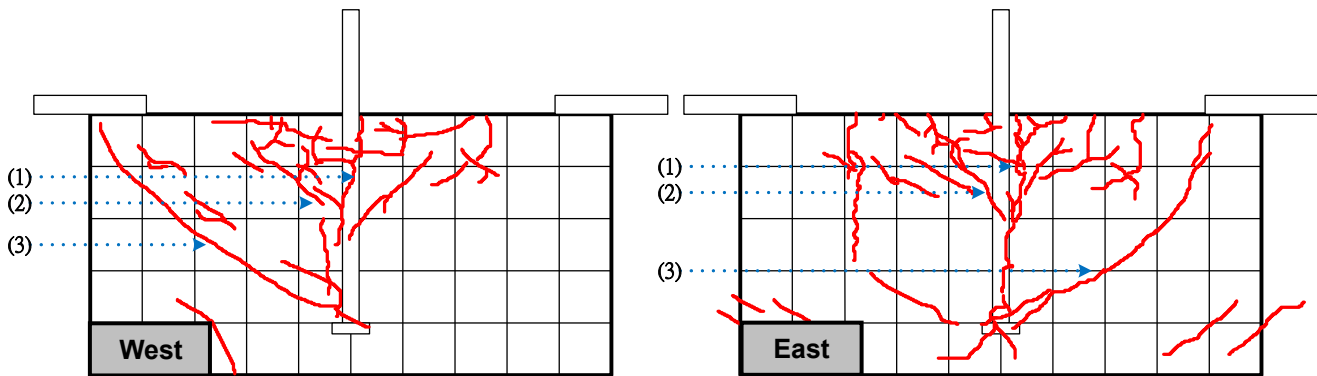


圖 5-59 P13C06D32H5S164E40T31 試體試驗中裂縫發展圖

P14C06D32H5S200E30T31(#10-5 倍 T 頭-邊 200 mm-深 300 mm-42 MPa -#3@10) :

承载力達 70 %降伏強度(268 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約距離拉拔主筋之中心線 50 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至試體底部；承载力達 110 %降伏強度(441 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 280 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 120 %降伏強度(468 KN)時，東、西兩面產生縱向裂縫，約距離拉拔主筋之中心線 160 mm 與 200 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 140 %降伏強度(533 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破

壞型式為局部破壞。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-61 與圖 5-60，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-15 所示。

表 5-61 P14C06D32H5S200E30T31 試體試驗中裂縫發展表

P14C06D32H5S200E30T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%		
50%		
60%		
70%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
80%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
90%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
100%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
110%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
120%	(1)=0.7mm ; (2)=0.4mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm
130%	(1)=0.7mm ; (2)=0.4mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm
140%	(1)=1mm ; (2)=0.5mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.5mm
Failure	(1)=1.3mm ; (2)=0.5mm	(1)=0.7mm ; (2)=0.5mm

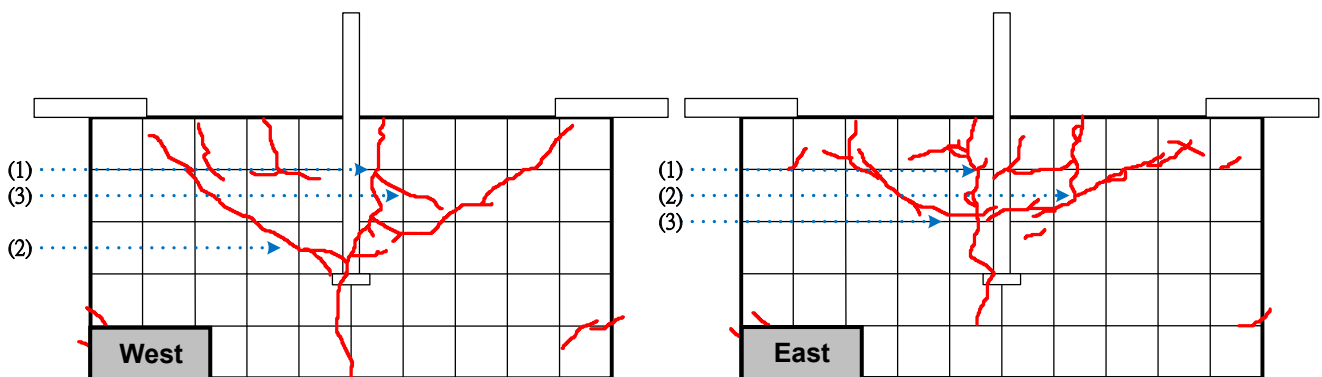


圖 5-60 P14C06D32H5S200E30T31 試體試驗中裂縫發展圖

P15C06D36H5S142E20T31(#11-5 倍 T 頭-邊 142 mm-深 200 mm-42 MPa -#3@10) :

承载力達 30 %降伏強度(149 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約距離拉拔主筋之中心線 10 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至試體底部；承载力達 100 %

降伏強度(502 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 280 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承載力達 110 %降伏強度(550 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 70 mm 與 140 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢向 T 頭端板處衍伸；承載力達 160 %降伏強度(550 KN)時，強度達最大值後便開始下降，且東、西兩面產生斜向裂縫，約距離試體頂面 180 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸，最終破壞型式為局部破壞。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-62 與圖 5-61，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-16 所示。

表 5-62 P15C06D36H5S142E20T31 試體試驗中裂縫發展表

P15C06D36H5S142E20T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
40%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
50%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
60%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
70%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
80%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
90%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
100%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm
110%	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm
120%	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm
130%	(1)=0.6mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
140%	(1)=0.6mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
150%	(1)=0.7mm ; (2)=0.6mm ; (3)=0.5mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
160%	(1)=1.5mm ; (2)=1.5mm ; (3)=0.7mm	(1)=0.9mm ; (2)=0.8mm ; (3)=0.4mm
Failure	(1)=2mm ; (2)=1.5mm ; (3)=0.8mm	(1)=1.2mm ; (2)=1mm ; (3)=0.4mm

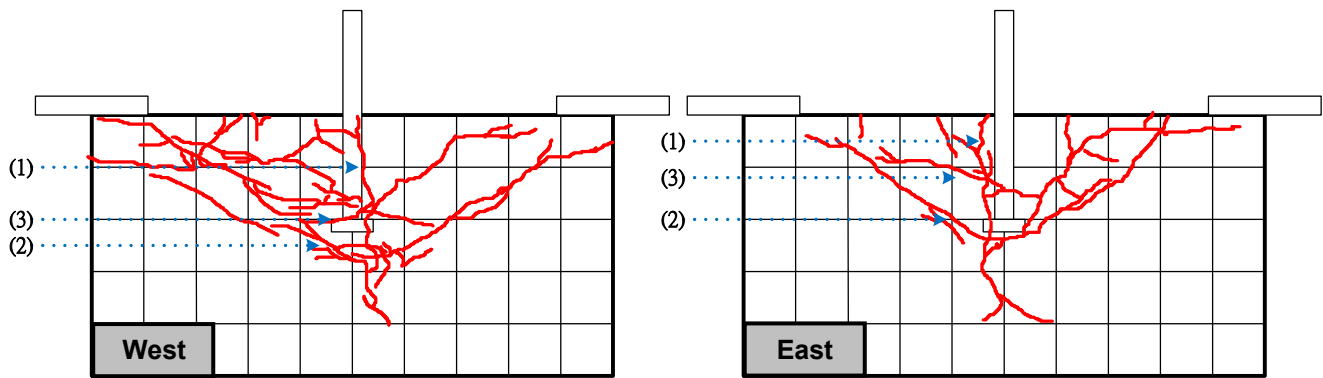


圖 5-61 P15C06D36H5S142E20T31 試體試驗中裂縫發展圖

P16C06D36H5S100E30T31(#11-5 倍 T 頭-邊 100 mm-深 300 mm-42 MPa -#3@10) :

承载力達 20 %降伏強度(101 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約位於拉拔主筋之中心線處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至 T 頭端板處；承载力達 40 %降伏強度(201 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 340 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 50 %降伏強度(248 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 290 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 60 %降伏強度(290 KN)時，強度達最大值後便開始下降，且東、西兩面產生斜向裂縫，約距離試體頂面 270 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸，最終破壞型式為混凝土破壞。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-63 與圖 5-62，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-17 所示。

表 5-63 P16C06D36H5S100E30T31 試體試驗中裂縫發展表

P16C06D36H5S100E30T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%	(1)<0.3mm	
30%	(1)<0.3mm	
40%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm	(1)=0.3mm
50%	(1)=0.5mm ; (2)=0.8mm ; (3)=0.5mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm
60%	(1)=1mm ; (2)=5mm ; (3)=1.2mm	(1)=0.5mm ; (2)=1.5mm ; (3)=0.3mm
Failure	(1)=1.4mm ; (2)=5mm ; (3)=1.4mm	(1)=0.8mm ; (2)=1.5mm ; (3)=0.8mm



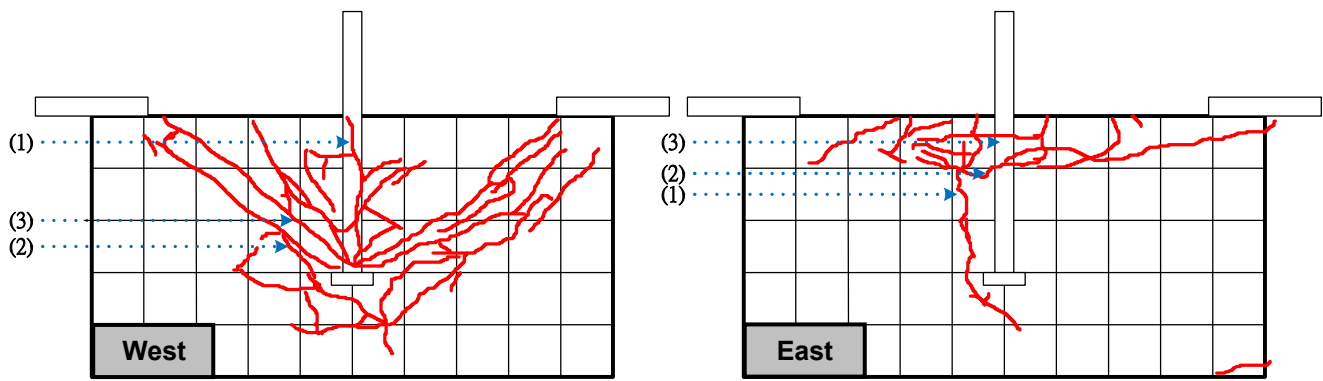


圖 5-62 P16C06D36H5S100E30T31 試體試驗中裂縫發展圖

P17C06D36H5S162E40T31(#11-5 倍 T 頭-邊 162 mm-深 400 mm-42 MPa -#3@10) :

承载力達 60%降伏強度(299 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約位於拉拔主筋之中心線處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至 T 頭端板處；承载力達 100%降伏強度(500 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離拉拔主筋之中心線 100 mm 處，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成；承载力達 130%降伏強度(649 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 340 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 140%降伏強度(697 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為局部破壞。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-64 與圖 5-63，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-18 所示。

表 5-64 P17C06D36H5S162E40T31 試體試驗中裂縫發展表

P17C06D36H5S162E40T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%		
50%		
60%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
70%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
80%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
90%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
100%	(1)=0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)=0.3mm
110%	(1)=0.3mm ; (2)<0.3mm	(1)=0.3mm
120%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm
130%	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
140%	(1)=0.8mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=1mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm
Failure	(1)=2mm ; (2)=1.2mm ; (3)=0.8mm	(1)=2mm ; (2)=1.2mm ; (3)=0.8mm

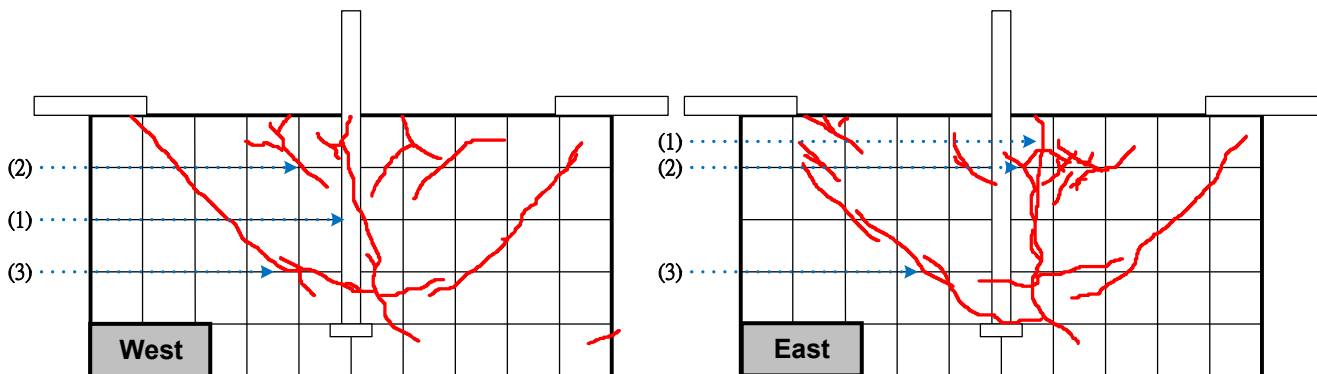


圖 5-63 P17C06D36H5S162E40T31 試體試驗中裂縫發展圖

P18C06D36H5S200E30T31(#11-5 倍 T 頭-邊 200 mm-深 300 mm-42 MPa -#3@10) :

承载力達 90 % 降伏強度(451 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約距離拉拔主筋之中心線 80 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至 T 頭端板處；承载力達 110 % 降伏強度(548 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展與斜向發展，前者約距離拉拔主筋之中心線 180 mm 處，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，後者約距離試體頂面 250 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部

支承端兩側衍伸；承載力達 140 % 降伏強度(702 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為局部破壞。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-65 與圖 5-64，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-19 所示。

表 5-65 P18C06D36H5S200E30T31 試體試驗中裂縫發展表

P18C06D36H5S200E30T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%		
50%		
60%		
70%		
80%		
90%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
100%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
110%	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.4mm
120%	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm
130%	(1)=0.7mm ; (2)=0.7mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.5mm
140%	(1)=0.7mm ; (2)=0.7mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.5mm
150%	(1)=0.7mm ; (2)=1mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.6mm
Failure	(1)=0.8mm ; (2)=1.2mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.6mm

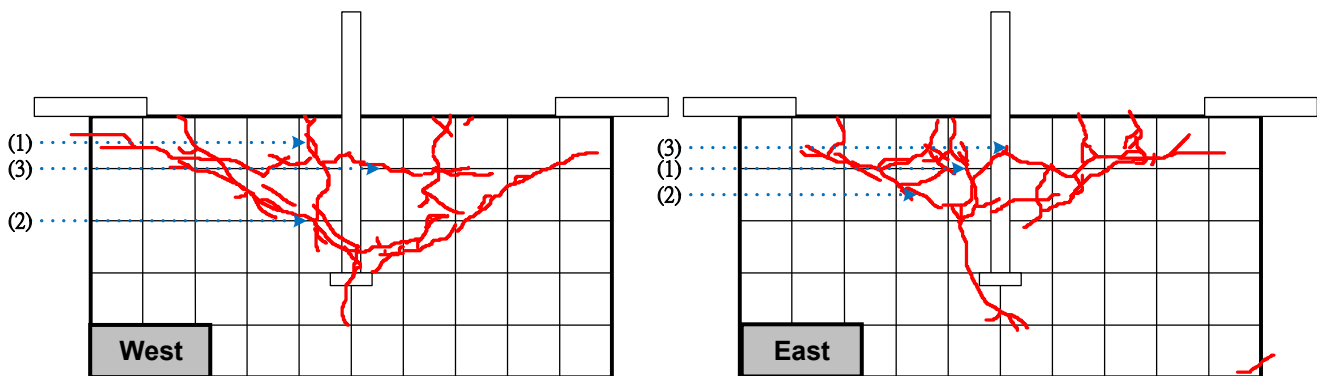


圖 5-64 P18C06D36H5S200E30T31 試體試驗中裂縫發展圖

P19C08D32H5S064E30T31(#10-5 倍 T 頭-邊 64 mm-深 300 mm-56 MPa -#3@10) :

承載力達 50 % 降伏強度(200 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為

縱向發展，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約距離拉拔主筋之中心線 20 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至 T 頭端板處；承载力達 70 % 降伏強度(270 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展與斜向發展，前者約距離拉拔主筋之中心線 180 mm 處，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，後者約距離試體頂面 250 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 120 % 降伏強度(468 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 340 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 180 % 降伏強度(650 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離試體頂面 270 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 190 % 降伏強度(650 KN)時，強度達最大值後便開始下降，且東、西兩面產生斜向裂縫，約距離試體頂面 440 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸，最終破壞型式為混凝土破碎。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-66 與圖 5-65，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-20 所示。

表 5-66 P19C08D32H5S064E30T31 試體試驗中裂縫發展表

P19C08D32H5S064E30T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%		
50%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
60%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
70%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
80%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
90%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
100%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
110%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
120%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
130%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
140%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
150%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.3mm
160%	(1)=0.7mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm	(1)=0.7mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm
170%	(1)=0.7mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm	(1)=0.7mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm
180%	(1)=0.7mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm	(1)=0.7mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm
Failure	(1)=2mm ; (2)=1mm ; (3)=0.8mm	(1)=2mm ; (2)=1.5mm ; (3)=0.8mm

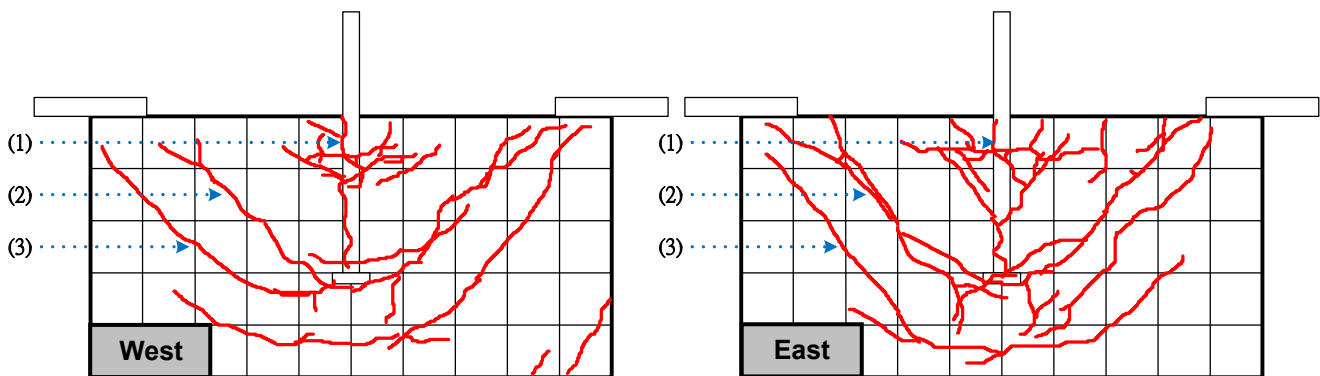


圖 5-65 P19C08D32H5S064E30T31 試體試驗中裂縫發展圖

P20C10D32H5S064E30T31(#10-5 倍 T 頭-邊 64 mm-深 300 mm-70 MPa -#3@10) :

承载力達 40 %降伏強度(200 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約距離拉拔主筋之中心線 10 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至 T 頭端板處；承载力達 50

%降伏強度(201 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展，約距離拉拔主筋之中心線 180 mm 處，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成；承載力達 70 %降伏強度(268 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為橫向發展與斜向發展，前者約距離試體頂面 80 mm 處，從拉拔主筋向左右向衍伸，後者約距離試體頂面 340 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承載力達 120 %降伏強度(467 KN)時，強度達最大值後便開始下降，且東、西兩面產生斜向裂縫，約距離試體頂面 440 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸，最終破壞型式為混凝土破碎。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-67 與圖 5-66，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-21 所示。

表 5-67 P20C10D32H5S064E30T31 試體試驗中裂縫發展表

P20C10D32H5S064E30T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
50%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
70%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
90%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
100%	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
110%	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
120%	(1)=3mm ; (2)=0.6mm ; (3)=2mm	(1)=3mm ; (2)=0.6mm ; (3)=2mm
Failure	(1)=5mm ; (2)=1.5mm ; (3)=5mm	(1)=5mm ; (2)=1.5mm ; (3)=5mm

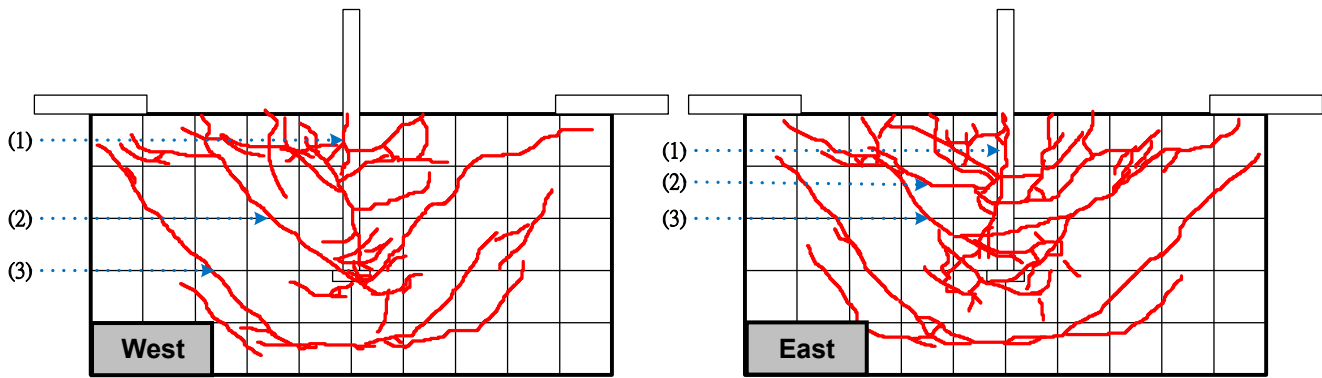


圖 5-66 P20C10D32H5S064E30T31 試體試驗中裂縫發展圖

P21C06D36H5S062E30T32(#11-5 倍 T 頭-邊 62 mm-深 300 mm-42 MPa -#3@10) :

承载力達 10%降伏強度(46 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約距離拉拔主筋之中心線 30 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至 T 頭端板處；承载力達 20%降伏強度(98 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為縱向發展與斜向發展，前者約距離拉拔主筋之中心線 180 mm 處，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，後者約距離試體頂面 300 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 30%降伏強度(149 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離拉拔主筋之中心線 230 mm 處，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成；承载力達 40%降伏強度(199 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離試體頂面 450 mm 處，從拉拔主筋向左右向衍伸；承载力趨近於 50%降伏強度(231 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為混凝土破碎。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-68 與圖 5-67，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-22 所示。

表 5-68 P21C06D36H5S062E30T32 試體試驗中裂縫發展表

P21C06D36H5S062E30T32		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
20%	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm
30%	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.6mm
40%	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)<0.3mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.6mm
50%	(1)=2mm ; (2)=3mm ; (3)=0.5mm	(1)=2mm ; (2)=3mm
Failure	(1)=2mm ; (2)=15mm ; (3)=3mm	(1)=2mm ; (2)=13mm

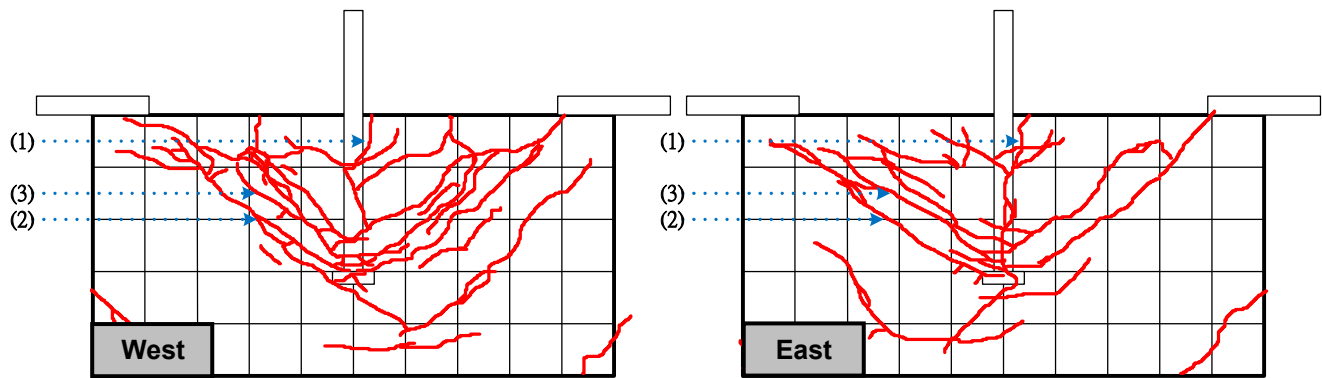


圖 5-67 P21C06D36H5S062E30T32 試體試驗中裂縫發展圖

P22C08D36H5S062E30T31(#11-5 倍 T 頭-邊 62 mm-深 300 mm-56 MPa -#3@10)：

承载力達 30%降伏強度(151 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約距離拉拔主筋之中心線 40 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至 T 頭端板處；承载力達 60%降伏強度(301 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 310 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 70%降伏強度(351 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 270 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 100%降伏強度(500 KN)時，強度達最大值後便開始下降，且東、西兩面產生斜向裂縫，約距離試體頂面 450 mm 處，從拉拔主筋向左右向衍伸，最終破壞型式為混凝土破碎。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-69 與圖 5-68，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-23 所示。



表 5-69 P22C08D36H5S062E30T31 試體試驗中裂縫發展表

P22C08D36H5S062E30T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
40%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
50%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
60%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm
70%	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
80%	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
90%	(1)=1mm ; (2)=0.7mm ; (3)=0.3mm	(1)=1mm ; (2)=0.7mm ; (3)=0.3mm
100%	(1)=1mm ; (2)=0.7mm ; (3)=0.3mm	(1)=1mm ; (2)=0.7mm ; (3)=0.3mm
Failure	(1)=3mm ; (2)=1.7mm ; (3)=1mm	(1)=3mm ; (2)=1.7mm ; (3)=1mm

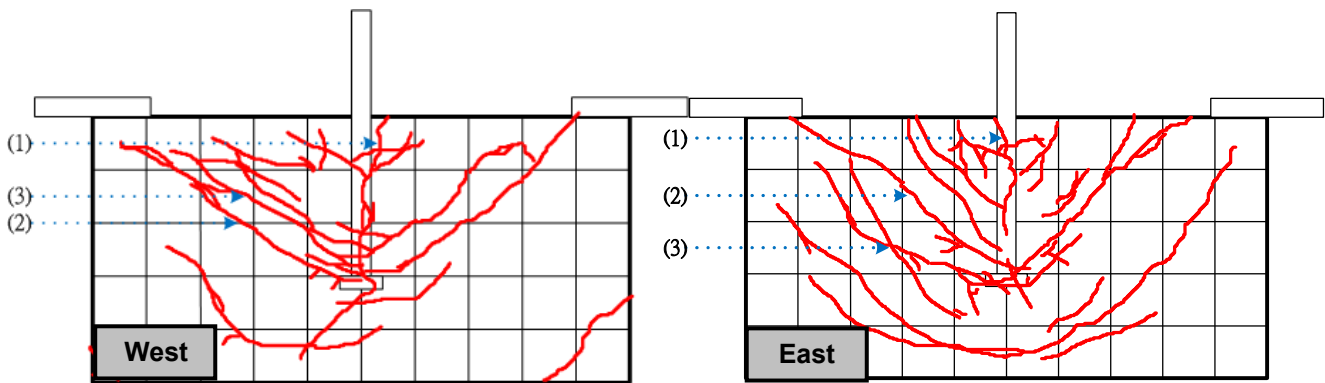


圖 5-68 P22C08D36H5S062E30T31 試體試驗中裂縫發展圖

P23C10D36H5S062E30T31(#11-5 倍 T 頭-邊 62 mm-深 300 mm-70 MPa -#3@10) :

承载力達 40 %降伏強度(199 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展，從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約距離拉拔主筋之中心線 20 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至 T 頭端板處；承载力達 60 %降伏強度(301 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 310 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 70 %降伏強度(350 KN)時，東、西兩面產生第三條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 180 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 90 %降伏強度(461 KN)時，東、西兩面產生斜向裂縫，約距離試體頂面 480 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力趨近於

110 %降伏強度(527 KN)時，強度達最大值後便開始下降，最終破壞型式為混凝土破碎。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-70 與圖 5-69，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-24 所示。

表 5-70 P23C10D36H5S062E30T31 試體試驗中裂縫發展表

P23C10D36H5S062E30T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%		
20%		
30%		
40%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
50%	(1)<0.3mm	(1)<0.3mm
60%	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.3mm ; (2)=0.3mm
70%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
80%	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm	(1)=0.4mm ; (2)=0.3mm ; (3)=0.3mm
90%	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=0.4mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.5mm ; (3)=0.5mm
100%	(1)=1mm ; (2)=1mm ; (3)=0.8mm	(1)=1mm ; (2)=0.8mm ; (3)=0.8mm
110%	(1)=3mm ; (2)=4mm ; (3)=2mm	(1)=2mm ; (2)=5mm ; (3)=5mm
Failure	(1)=8mm ; (2)=20mm ; (3)=15mm	(1)=4mm ; (2)=20mm ; (3)=20mm

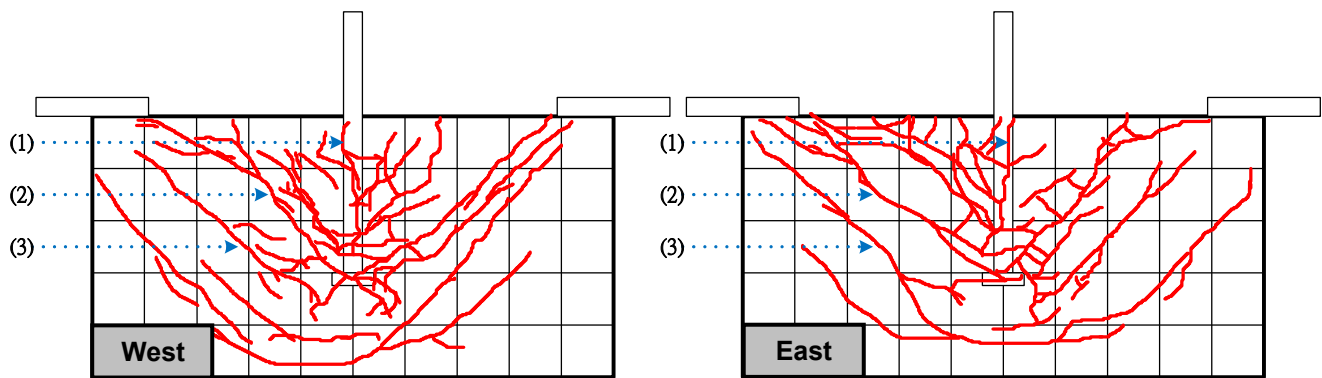


圖 5-69 P23C10D36H5S062E30T31 試體試驗中裂縫發展圖

P24C06D32H1S064E30T31(#10-直鋼筋-邊 64 mm-深 300 mm-42 MPa -#3@10) :

承載力趨近於 10 %降伏強度(8 KN)時，強度達最大值後便開始下降，且東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展與斜向發展，前者從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約距離拉拔主筋之中心線 30 mm 與 230 mm 處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至 T 頭端板處，後者約約距離試體頂面 160 mm 與 280 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸，最終破壞型

式為拉拔破壞。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-71 與圖 5-70，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-25 所示。

表 5-71 P24C06D32H1S064E30T31 試體試驗中裂縫發展表

P24C06D32H1S064E30T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%	(1)=5mm ; (2)=1mm	(1)=2mm ; (2)=1mm
Failure	(1)=5mm ; (2)=1mm	(1)=2mm ; (2)=1mm

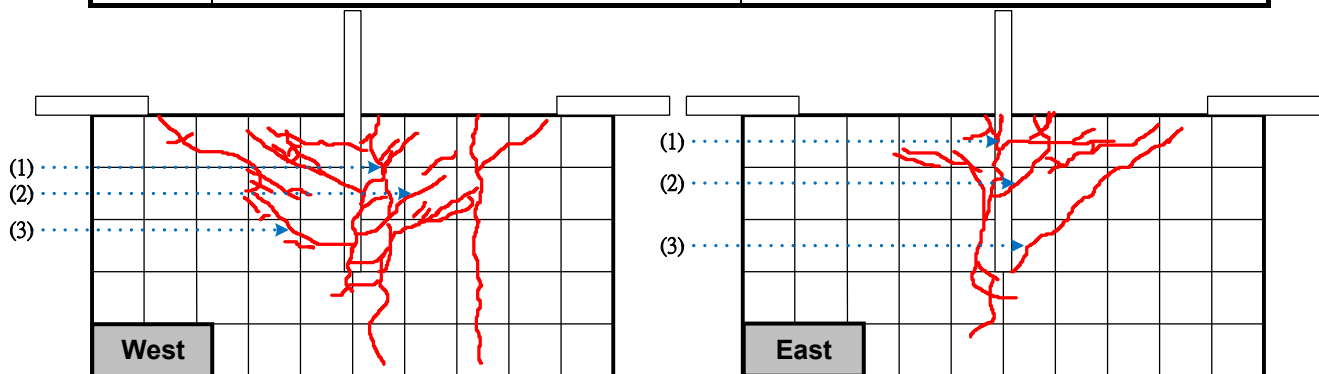


圖 5-70 P24C06D32H1S064E30T31 試體試驗中裂縫發展圖

P26C06D32H5S025E40T31(#10-5 倍 T 頭-邊 25 mm-深 400 mm-42 MPa -#3@10) :

承载力達 10 %降伏強度(40 KN)時，東、西兩面產生第一條裂縫，為縱向發展與橫向發展，前者從試體頂面處沿著拉拔主筋埋置方向形成，約位於拉拔主筋之中心線處，此裂縫於試驗中會慢慢衍伸至 T 頭端板處，後者約距離試體頂面 110 mm 處，從拉拔主筋向左右向衍伸；承载力達 30 %降伏強度(120 KN)時，東、西兩面產生第二條裂縫，為斜向發展，約距離試體頂面 360 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸；承载力達 40 %降伏強度(167 KN)時，強度達最大值後便開始下降，且東、西兩面產生第三條裂縫，為橫向發展與斜向發展，前者約約距離試體頂面 110 mm 處，從拉拔主筋向左右向衍伸，後者約距離試體頂面 270 mm 處，從拉拔主筋位置朝向頂部支承端兩側衍伸，最終破壞型式為拉拔破壞。在此僅陳述拉拔主筋區域處之觀察，其詳細裂縫發展紀錄可參照於表 5-72 與圖 5-71，而試體破壞情形詳如附錄 B 中照片 B-26 所示。

表 5-72 P26C06D32H5S025E40T31 試體試驗中裂縫發展表

P26C06D32H5S025E40T31		
$P_{test} / P_y$ Ratio	Description of Cracks State - East side	Description of Cracks State - West side
10%	(1)=0.3mm	(1)=0.3mm
20%	(1)=0.4mm	(1)=0.4mm
30%	(1)=0.5mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.5mm ; (2)=0.4mm
40%	(1)=0.6mm ; (2)=0.3mm	(1)=0.6mm ; (2)=0.4mm
Failure	(1)=1.5mm ; (2)=0.4mm ; (3)=3mm	(1)=1.5mm ; (2)=2mm ; (3)=2mm

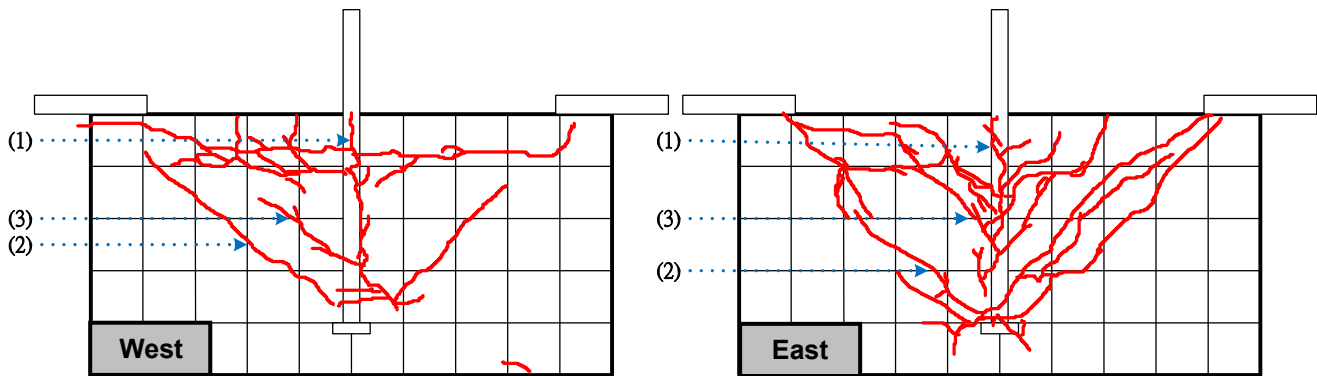


圖 5-71 P26C06D32H5S025E40T31 試體試驗中裂縫發展圖

### 5.2.2 試驗過程歸納

從試驗結果觀察得知，拉拔試體之破壞型態幾近相似，在拉拔鋼筋過程中，混凝土將隨同鋼筋向上拉拔而開裂呈現錐體形狀，其錐型破壞面積與埋置深度及 T 頭端板大小有密切關聯性，埋置越深與 T 頭端板越大都將使錐狀破壞面積擴張，而破壞面積之長寬比則與埋置深度與試驗夾具支承端間距有關，於此試驗規劃中，支承端板間距固定為 1000 mm，意即拉拔主筋距離任一端之承端板皆為 500 mm，埋置深度則為此研究中之變數，若埋置深度為 200 mm，則錐狀破壞面積之長寬比為 5：2，若埋置深度為 300 mm，面積長寬比為 5：3，以此類推。拉拔主筋為 T 頭鋼筋與彎鉤鋼筋之試體破壞模式皆為混凝土受拉拔作用而呈現錐形面積劈裂破壞，除拉拔主筋為直鋼筋試體例外，其裂縫形成一般沿著鋼筋方向延伸，沒有明顯出現錐體形狀，破壞模式較趨近於主筋直接從混凝土中被拉拔而出，形同錨定破壞。各試體破壞模式紀錄狀態呈現於表 5-73，詳細歸納破壞型式。

表 5-73 拉拔試驗試體破壞型式歸納表

Specimen	Yield Ratio	Failure Angle	Rupture of Concrete	Local Failure	Pullout Failure
P01C06D32H5S064E30T31	1.16	35°/43°	√	√	
P02C06D32H5S025E30T31	0.90	31°/44°	√	√	
P03C06D32H5S064E30	0.65	43°/57°	√		
P04C06D32H1S064E30	0.62	18°/26°	√		√
P05C06D36H5S072E30T31	0.57	27°/38°			√
P06C06D36H1S072E30	0.59	31°/33°			√
P07C06D36B9S062E30T31	0.97	40°/40°	√		√
P08C06D32B9S064E30T31	0.88	43°/39°	√		√
P09C06D32H5S059E30T31	0.92	38°/43°	√		
P10C06D32H3S059E30T31	0.70	37°/40°	√		
P11C06D32H5S144E20T31	2.21	30°/34°		√	
P12C06D32H5S100E30T31	1.58	35°/35°	√	√	
P13C06D32H5S164E40T31	1.05	45°/28°		√	
P14C06D32H5S200E30T31	1.40	30°/30°	√	√	
P15C06D36H5S142E20T31	1.56	33°/34°		√	
P16C06D36H5S100E30T31	0.48	38°/38°	√		
P17C06D36H5S162E40T31	1.36	33°/47°		√	
P18C06D36H5S200E30T31	1.41	37°/27°	√	√	
P19C08D32H5S064E30T31	1.80	40°/38°	√		
P20C10D32H5S064E30T31	1.23	40°/45°	√		
P21C06D36H5S062E30T32	0.45	39°/37°	√		
P22C08D36H5S062E30T31	0.97	50°/36°	√		
P23C10D36H5S062E30T31	1.03	44°/40°	√		
P24C06D32H1S064E30T31	0.02	38°/42°		√	√
P25C06D32H5S025E30	0.58	45°/38°	√		√
P26C06D32H5S025E40T31	0.44	41°/47°	√		√

## 第六章 試驗結果分析與討論

### 6.1 CCT 節點試驗探討

本試驗規劃多組不同研究參數，除規範所建議之規定外，於本研究中企圖打破規範限制，利用梁構件模擬 CCT 節點受力機制，探討研究參數對其整體構件之錨定強度、T 頭端板位移量與應變計之影響，並整理各試體之破壞情形。此定義強度百分比為試驗後之試體錨定強度與試體實際對應之降伏強度兩者間之比值，其試驗結果整理於表 6-1，以下將對各變數獨立進行探討：

表 6-1 CCT 節點試驗試體參數表

Specimen	$P_{Max}$ (kN)	$P_{Max} / P_y$	Failure Mode
CT01C6D32N1H3T31	362	0.98	Strut
CT02C6D32N1H5T31	405	1.10	Strut
CT05C6D36N1H5	590	1.15	Flexure
CT06C6D36N1H1T31	536	1.04	Strut
CT06C6D36N1H1	395	0.77	Strut
CT08C6D32N1B9	367	0.97	Flexure
CT09C6D32N1B18	366	0.96	Strut
CT10C6D25N1H5T31	309	1.33	Flexure
CT10C6D25N1H5	317	1.37	Flexure
CT11C6D32N2H5S40T31	828	1.09	Flexure
CT11C6D32N2H5S40	828	1.09	Flexure
CT12C6D32N3H5S40T31	1202	1.06	Flexure
CT12C6D32N3H5S40	1102	0.97	Flexure
CT13C6D36N2H5S40T31	1127	1.10	Strut
CT13C6D36N2H5S40	994	0.97	Strut
CT14C6D36N3H5S40T31	1598	1.04	Flexure
CT14C6D36N3H5S40	1600	1.04	Flexure
CT15C6D32N2H5S15T31	879	1.16	Strut
CT15C6D32N2H5S15	835	1.10	Flexure
CT16C6D32N3H5S15T31	1000	0.88	Flexure
CT16C6D32N3H5S15	1108	0.97	Flexure

表 6-1 CCT 節點試驗試體參數表(續)

Specimen	$P_{Max}$ (kN)	$P_{Max} / P_y$	Failure Mode
CT17C6D36N2H5S15T31	1029	1.00	Flexure
CT17C6D36N2H5S15	996	0.97	Strut
CT18C6D36N3H5S15T31	1400	0.91	Strut
CT18C6D36N3H5S15	1352	0.88	Flexure
CT19C8D32N1H5T31	461	1.21	Flexure
CT19C8D32N1H5	440	1.16	Flexure
CT20C10D32N1H5T31	488	1.29	Flexure
CT20C10D32N1H5	334	0.88	Flexure
CT21C6D32N1H5T32	409	1.08	Flexure
CT21C6D32N1H5T41	412	1.09	Flexure
CT22C8D32N1H5T32	480	1.26	Flexure
CT22C8D32N1H5T41	499	1.31	Flexure
CT23C10D3N12H5T32	469	1.24	Flexure
CT23C10D32N1H5T41	449	1.18	Flexure
CT24C6D32N1H3	363	0.96	Flexure
CT24C6D32N1H5	390	1.03	Flexure
CT25C6D32N1H7T31	477	1.26	Flexure
CT25C6D32N1H7	432	1.14	Flexure
CT26C6D32N1H1T31	329	0.87	Flexure
CT26C6D32N1H1	278	0.73	Flexure
CT27C6D36N1B9T31	473	0.92	Flexure
CT28C6D36N1B9T31	411	0.80	Flexure

### 6.1.1 強度與參數間之探討

本試驗規劃多組不同研究參數，除規範所建議之規定外，於本研究中將企圖打破規範之限制，利用梁構件模擬 CCT 受力機制，探討參數間對於整體構件錨定強度影響，以下將對各變數獨立進行探討：

**鋼筋型式與 T 頭端板面積：**將試驗之錨定強度比較結果整理於表 6-2，並將其比較繪於圖 6-1 與圖 6-2，以利觀察其 T 頭端板面積對其錨定結果之影響趨勢。圖 6-1(a)及圖 6-2(a)顯示，在未圍束 D32 鋼筋試體中，T 頭端板為 3、5 及 7 倍鋼筋斷面積之 T 頭鋼筋強度，分別較標準 90° 彎鉤鋼筋強度提升 1、6 及 18%，此結果顯示，3 倍鋼筋斷面積之 T 頭端板錨定，其強度已足夠取代標準彎鉤鋼筋；圍束 D32 鋼筋試體中，T 頭端板為 3、5 及 7 倍鋼筋斷面積之 T 頭鋼筋強度，分別較直鋼筋強度提升 13、26 及 45%。

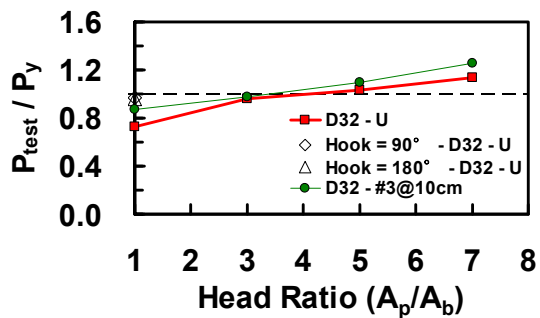
圖 6-1(b)及圖 6-2(b)顯示，未圍束 D36 鋼筋試體中，T 頭端板為 5 倍鋼筋斷面積之 T 頭鋼筋強度，較直鋼筋強度提升 50%；圍束 D36 鋼筋試體中，

縮短彎鉤自由端 2 倍鋼筋直徑之 90° 彎鉤鋼筋的強度，為標準 90° 彎鉤鋼筋的 87%。

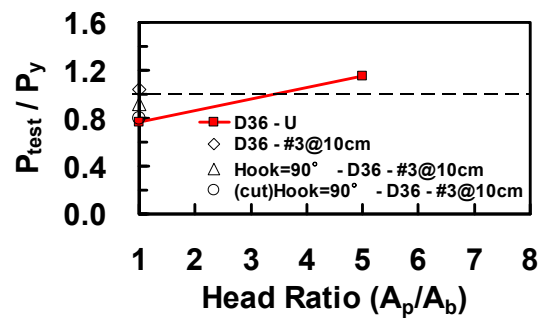
試驗結果分析，T 頭端板面積與錨定強度約成正比關係，同時採用 ACI 318-08 規範建議之 5 倍鋼筋斷面積端板 T 頭鋼筋，其強度確實可提供較標準 90° 與 180° 彎鉤鋼筋為佳之強度性能。

表 6-2 T 頭端板面積條件下之錨定強度比較

Head Ratio	Specimen	$A_p/A_b$	$P_{Max}$ (kN)	$P_{Max} / P_y$
#8 - U	CT10C6D25N1H5	5	317	1.37
#10 - U	CT08C6D32N1B9	B90	367	0.97
	CT09C6D32N1B18	B180	366	0.96
	CT26C6D32N1H1	1	278	0.73
	CT24C6D32N1H3	3	363	0.96
	CT24C6D32N1H5	5	390	1.03
	CT25C6D32N1H7	7	432	1.14
#11 - U	CT06C6D36N1H1	1	395	0.77
	CT05C6D36N1H5	5	590	1.15
#8 - #3@10	CT10C6D25N1H5T31	5	309	1.33
#10 - #3@10	CT26C6D32N1H1T31	1	329	0.87
	CT01C6D32N1H3T31	3	362	0.98
	CT02C6D32N1H5T31	5	405	1.10
	CT25C6D32N1H7T31	7	477	1.26
#11 - #3@10	CT06C6D36N1H1T31	1	536	1.04
	CT27C6D36N1B9T31	B90	473	0.92
	CT28C6D36N1B9T31	B90	411	0.8



(a)



(b)

圖 6-1 不同 T 頭倍率條件下之試體強度發展圖



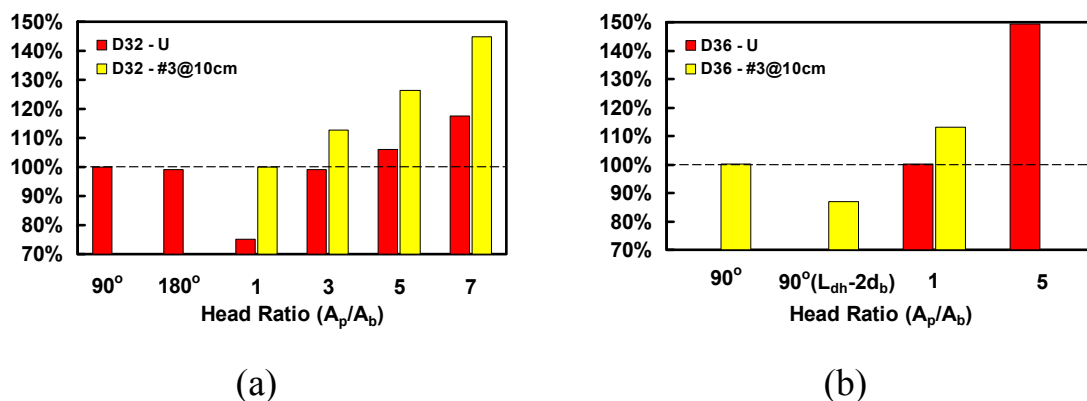


圖 6-2 T 頭倍率條件下之強度比值百分比圖

**鋼筋號數：**將試驗之錨定強度比較結果整理於表 6-3，並將其比較繪於圖 6-3 與圖 6-4，以利觀察其鋼筋號數對其錨定結果之影響趨勢。圖 6-3(a)及圖 6-4(a)顯示，在未圍束直鋼筋試體中，D36 之強度百分比，較 D32 鋼筋提升 5%；在圍束直鋼筋試體中，D36 鋼筋之強度百分比，較 D32 鋼筋提升 20%。

圖 6-3(b)及圖 6-4(b)顯示，在未圍束 T 頭端板為 5 倍鋼筋斷面積之 T 頭鋼筋中，D25 及 D36 鋼筋之強度百分比，分別較 D32 鋼筋提升 33%及 12%；在圍束 T 頭端板為 5 倍鋼筋斷面積之 T 頭鋼筋中，D25 鋼筋之強度百分比，較 D32 鋼筋提升 21%。

由於資料有限，故無法斷定鋼筋號數與錨定強度的關係仍需進一步實驗證實。

表 6-3 鋼筋號數條件下之錨定強度比較

Bar size	Specimen	Bar	$P_{Max}$ (kN)	$P_{Max} / P_v$
No-head-U	CT26C6D32N1H1	#10	278	0.73
	CT06C6D36N1H1	#11	395	0.77
3 times head-U	CT24C6D32N1H3	#10	363	0.96
5 times head-U	CT10C6D25N1H5	#8	317	1.37
	CT24C6D32N1H5	#10	390	1.03
	CT05C6D36N1H5	#11	590	1.15
7 times head-U	CT25C6D32N1H7	#10	432	1.14
No-head-#3@10	CT26C6D32N1H1T31	#10	329	0.87
	CT06C6D36N1H1T31	#11	536	1.04
3 times head-#3@10	CT01C6D32N1H3T31	#10	362	0.98
5 times head-#3@10	CT10C6D25N1H5T31	#8	309	1.33
	CT02C6D32N1H5T31	#10	405	1.10
7 times head-#3@10	CT25C6D32N1H7T31	#10	477	1.26

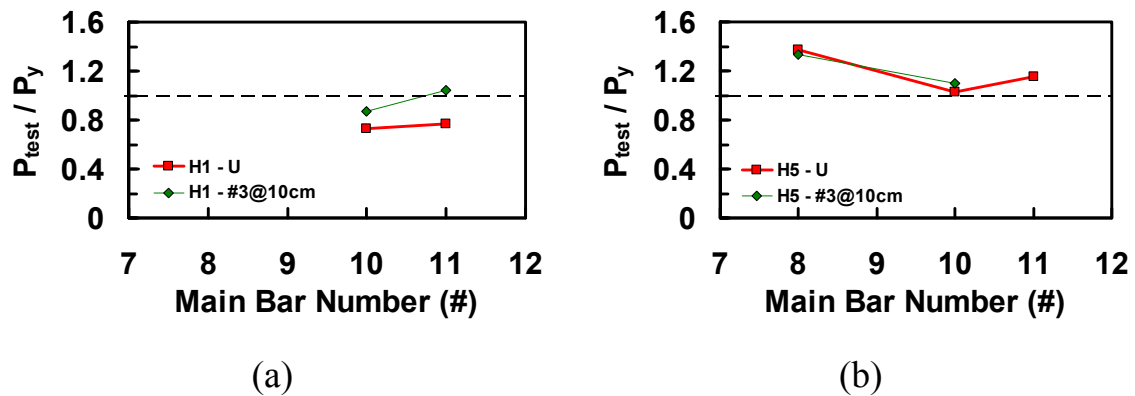


圖 6-3 不同主筋號數條件下之試體強度發展圖

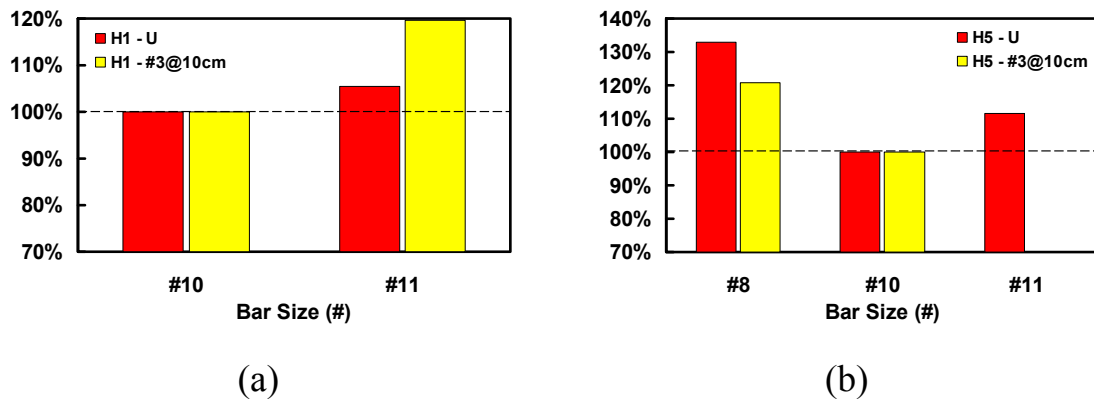


圖 6-4 主筋號數條件下之強度比值百分比圖

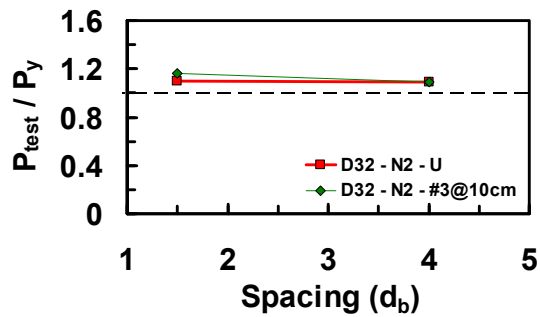
**鋼筋配置間距：**將試驗之錨定強度比較結果整理於表 6-4，並將其比較繪於圖 6-5 與圖 6-6，以利觀察其鋼筋配置間距對其錨定結果之影響趨勢。圖 6-5(a)、圖 6-5(b)、圖 6-6(a)及圖 6-6(b)顯示，在未圍束兩根 D32 及 D36 T 頭鋼筋中，間距  $1.5d_b$  之強度，分別為間距  $4d_b$  的 101%及 100%；圍束中，分別為間距  $4d_b$  的 106%及 91%。

圖 6-5(c)、圖 6-5(d)、圖 6-6(c)及圖 6-6(d)顯示，在未圍束三根 D32 及 D36 T 頭鋼筋中，間距  $1.5d_b$  之強度，分別為間距  $4d_b$  的 101%及 85%；圍束中，間距  $1.5d_b$  之強度，分別為間距  $4d_b$  的 83%及 88%。

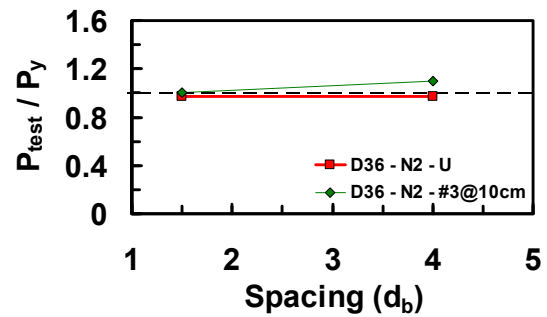
試體配置兩根主筋者，鋼筋配置間距之效果於錨定強度呈現上並無明顯差異；配置三根主筋者， $1.5d_b$  之錨定強度不及  $4d_b$ 。綜合上述歸納，無法斷定  $1.5d_b$  之錨定效果是否足以取代 ACI 318-08 規範中之最小鋼筋配置間距  $4d_b$ 。

表 6-4 鋼筋配置間距條件下之錨定強度比較

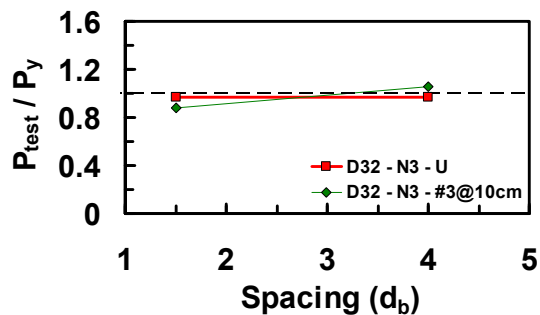
Spacing of bars	Specimen	Spacing	$P_{Max}$ (kN)	$P_{Max} / P_y$
#10-2-U	CT11C6D32N2H5S40	$4d_b$	828	1.09
	CT15C6D32N2H5S15	$1.5d_b$	835	1.10
#10-3-U	CT12C6D32N3H5S40	$4d_b$	1102	0.97
	CT16C6D32N3H5S15	$1.5d_b$	1108	0.97
#11-2-U	CT13C6D36N2H5S40	$4d_b$	994	0.97
	CT17C6D36N2H5S15	$1.5d_b$	996	0.97
#11-3-U	CT14C6D36N3H5S40	$4d_b$	1600	1.04
	CT18C6D36N3H5S15	$1.5d_b$	1352	0.88
#10-2-#3@10	CT11C6D32N2H5S40T31	$4d_b$	828	1.09
	CT15C6D32N2H5S15T31	$1.5d_b$	879	1.16
#10-3-#3@10	CT12C6D32N3H5S40T31	$4d_b$	1202	1.06
	CT16C6D32N3H5S15T31	$1.5d_b$	1000	0.88
#11-2-#3@10	CT13C6D36N2H5S40T31	$4d_b$	1127	1.10
	CT17C6D36N2H5S15T31	$1.5d_b$	1029	1.00
#11-3-#3@10	CT14C6D36N3H5S40T31	$4d_b$	1598	1.04
	CT18C6D36N3H5S15T31	$1.5d_b$	1400	0.91



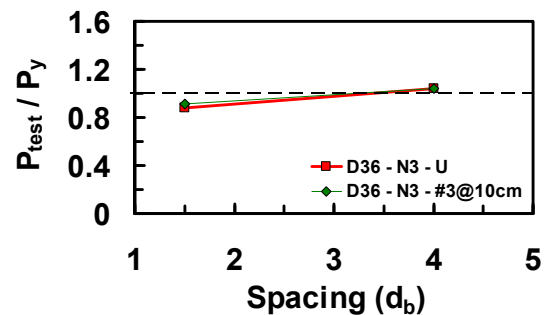
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 6-5 不同鋼筋間距條件下之試體強度發展圖

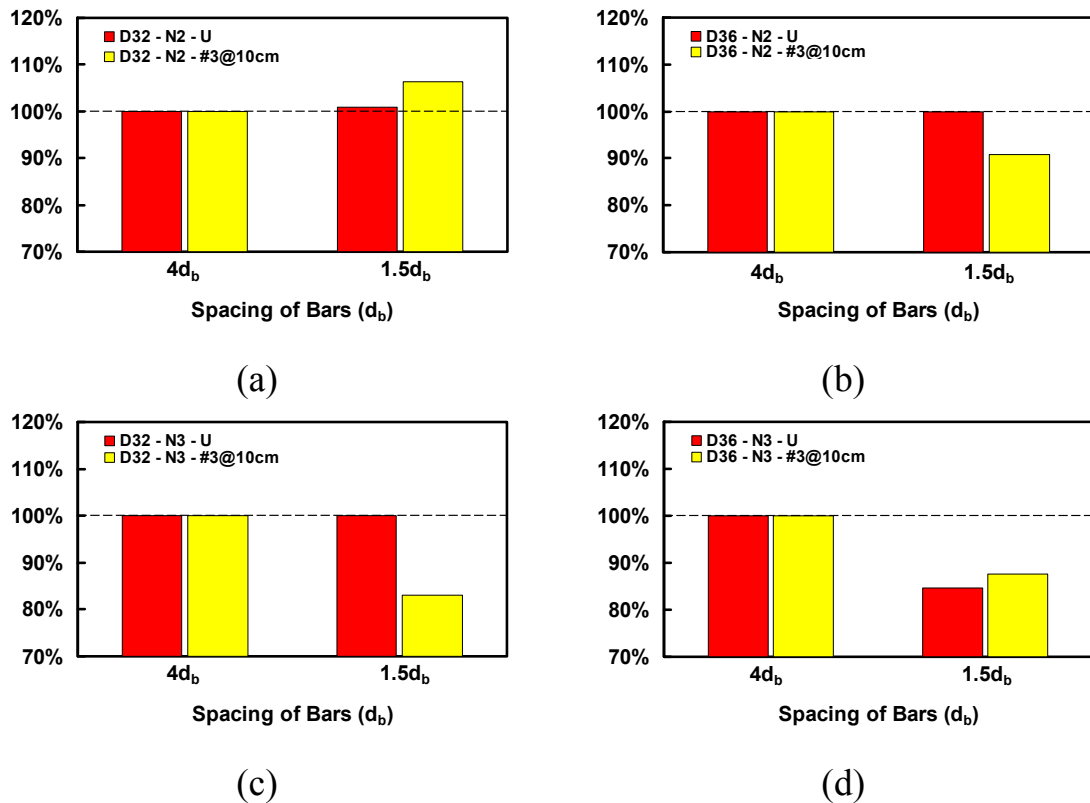


圖 6-6 鋼筋間距條件下之強度比值百分比圖

**混凝土強度：**將試驗之錨定強度比較結果整理於表 6-5，並將其比較繪於圖 6-7 與圖 6-8，以利觀察其混凝土強度對其錨定結果之影響趨勢。圖 6-7 及圖 6-8 顯示，在未圍束 D32 之 T 頭鋼筋中，混凝土強度為 56 MPa 及 70 MPa 之強度，分別為 42 MPa 的 113% 及 85%；在圍束(#3@200 mm) D32 之 T 頭鋼筋中，混凝土強度為 56 MPa 及 70 MPa 之強度，分別較 42 MPa 提升 17% 及 15%；在圍束(#3@100 mm) D32 之 T 頭鋼筋中，混凝土強度為 56 MPa 及 70 MPa 之強度，分別較 42 MPa 提升 10% 及 17%；在圍束(#4@100 mm) D32 之 T 頭鋼筋中，混凝土強度為 56 MPa 及 70 MPa 之強度，分別較 42 MPa 提升 20% 及 8%。

本研究之混凝土強度變化介於 42MPa 至 70MPa，其錨定強度與混凝土強度約成正比關係，而當混凝土強度為 56 MPa 時，約有其最大值。

ACI 318-08[1]規範中規定，混凝土強度不可超過 42 MPa，而此研究中已發現提高混凝土強度能有效提升錨定效果，故研究重點應著重於提升混凝土強度之有效範圍。

表 6-5 混凝土強度條件下之錨定強度比較

Concrete Strength	Specimen	$f'_c$ (MPa)	$P_{Max}$ (kN)	$P_{Max} / P_y$
U	CT24C6D32N1H5	42	390	1.03
	CT19C8D32N1H5	56	440	1.16
	CT20C10D32N1H5	70	334	0.88
#3@20	CT21C6D32N1H5T32	42	409	1.08
	CT22C8D32N1H5T32	56	480	1.26
	CT23C10D3N12H5T32	70	469	1.24
#3@10	CT02C6D32N1H5T31	42	405	1.10
	CT19C8D32N1H5T31	56	461	1.21
	CT20C10D32N1H5T31	70	488	1.29
#4@10	CT21C6D32N1H5T41	42	412	1.09
	CT22C8D32N1H5T41	56	499	1.31
	CT23C10D32N1H5T41	70	449	1.18

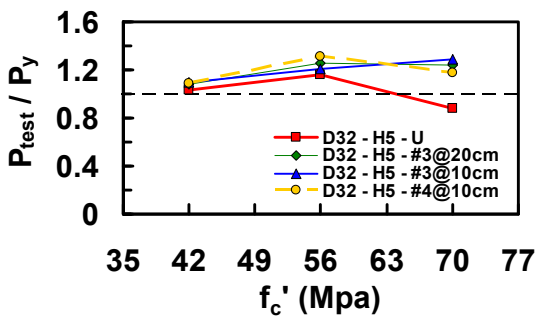


圖 6-7 不同混凝土強度條件下之試體強度發展圖

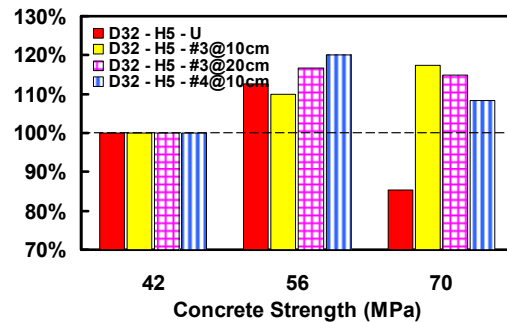


圖 6-8 混凝土強度條件下之強度比值百分比圖

**主筋配置支數：**將試驗之錨定強度比較結果整理於表 6-6，並將其比較繪於圖 6-9 與圖 6-10，以利觀察其主筋配置支數對其錨定結果之影響趨勢。圖 6-9(a)、圖 6-9(b)、圖 6-10(a)及圖 6-10(b)顯示，在未圍束鋼筋間距為  $1.5d_b$  之 T 頭鋼筋中，兩根 D32 及 D36 之錨定強度，分別為單根的 214%及 169%；三根 D32 及 D36 之錨定強度，分別為單根的 284%及 230%；在圍束鋼筋間距為  $1.5d_b$  之 T 頭鋼筋中，兩根 D32 之錨定強度，為單根的 217%；三根之錨定強度為單根的 247%。

圖 6-9(c)、圖 6-9(d)、圖 6-10(c)及圖 6-10(d)顯示，在未圍束鋼筋間距為  $4d_b$  之 T 頭鋼筋中，兩根 D32 及 D36 之錨定強度，分別為單根的 212%及

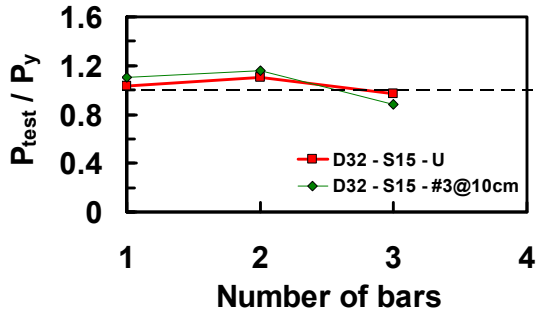
168%；三根 D32 及 D36 之錨定強度，分別為單根的 283%及 271%；在圍束鋼筋間距為 4db 之 T 頭鋼筋中，兩根 D32 之錨定強度，為單根的 204%；三根之錨定強度為單根的 297%。

試驗結果顯示，錨定強度與配置鋼筋支數約成正比關係，但其錨定強度百分比之上升趨勢有漸緩現象，而此現象應與試體之鋼筋配置間距、保護層厚度及混凝土面積有密切關聯。

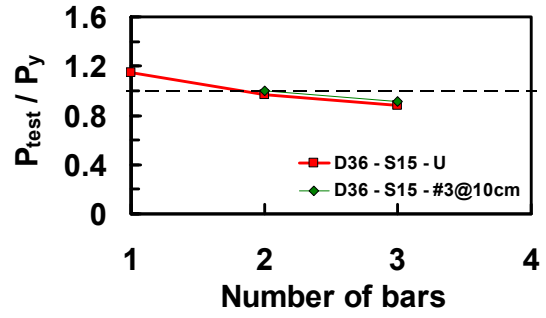
增加鋼筋配置支數是否皆能發揮出應有之錨定效果，各根鋼筋於錨定強度提供上是否皆能獨當一面，此現象需再經由更多試驗來驗。

表 6-6 鋼筋配置支數條件下之錨定強度比較

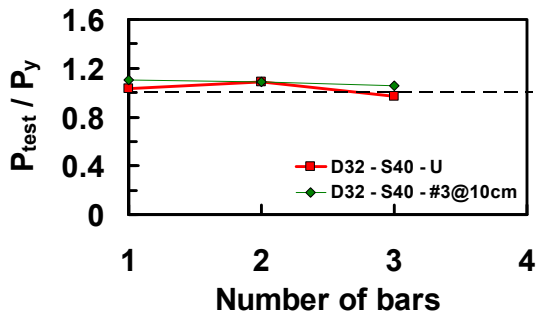
Number of bars	Specimen	Number	P <sub>Max</sub> (kN)	P <sub>Max</sub> / P <sub>y</sub>
#10-U	CT24C6D32N1H5	1	390	1.03
	CT11C6D32N2H5S40	2 (4d <sub>b</sub> )	828	1.09
	CT15C6D32N2H5S15	2 (1.5d <sub>b</sub> )	835	1.10
	CT12C6D32N3H5S40	3 (4d <sub>b</sub> )	1102	0.97
	CT16C6D32N3H5S15	3 (1.5d <sub>b</sub> )	1108	0.97
#11-U	CT05C6D36N1H5	1	590	1.15
	CT13C6D36N2H5S40	2 (4d <sub>b</sub> )	994	0.97
	CT17C6D36N2H5S15	2 (1.5d <sub>b</sub> )	996	0.97
	CT14C6D36N3H5S40	3 (4d <sub>b</sub> )	1600	1.04
	CT18C6D36N3H5S15	3 (1.5d <sub>b</sub> )	1352	0.88
#10-#3@10	CT02C6D32N1H5T31	1	405	1.10
	CT11C6D32N2H5S40T31	2 (4d <sub>b</sub> )	828	1.09
	CT15C6D32N2H5S15T31	2 (1.5d <sub>b</sub> )	879	1.16
	CT12C6D32N3H5S40T31	3 (4d <sub>b</sub> )	1202	1.06
	CT16C6D32N3H5S15T31	3 (1.5d <sub>b</sub> )	1000	0.88
#11-#3@10	CT13C6D36N2H5S40T31	2 (4d <sub>b</sub> )	1127	1.10
	CT17C6D36N2H5S15T31	2 (1.5d <sub>b</sub> )	1029	1.00
	CT14C6D36N3H5S40T31	3 (4d <sub>b</sub> )	1598	1.04
	CT18C6D36N3H5S15T31	3 (1.5d <sub>b</sub> )	1400	0.91



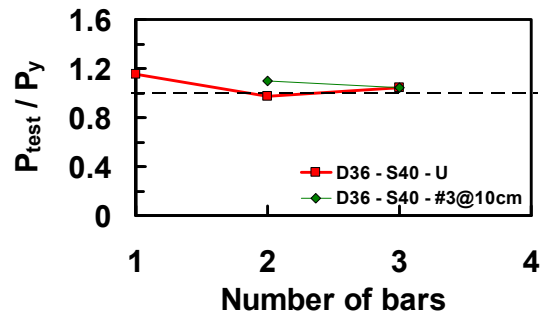
(a)



(b)

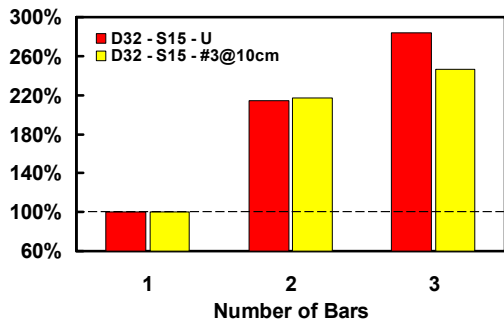


(c)

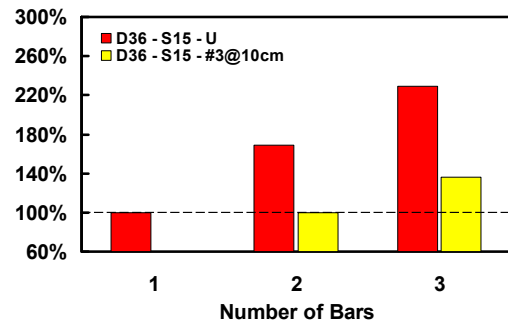


(d)

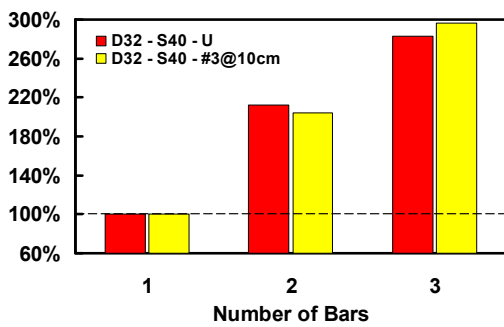
圖 6-9 不同鋼筋支數條件下之試體強度發展圖



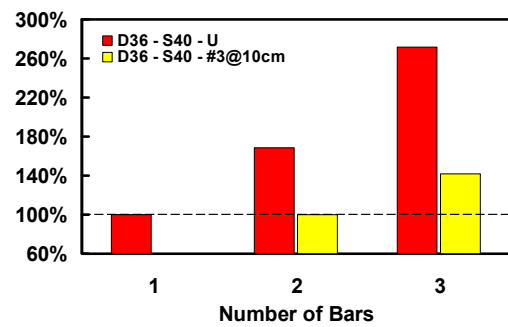
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 6-10 鋼筋支數條件下之強度比值百分比圖

**圍束量：**將試驗之錨定強度比較結果整理於表 6-7，並將其比較繪於圖 6-11 與圖 6-12，以利觀察其圍束效應對其錨定結果之影響趨勢。圖 6-11 及圖 6-12 顯示，在混凝土強度為 42 MPa 之 D32 鋼筋中，試體斷面積內圍束量為 0.04、0.08 及 0.10 之強度，分別較未圍束提升 5%、7% 及 6%；混凝土強度為 56 MPa 之 D32 鋼筋中，試體斷面積內圍束量為 0.04、0.08 及 0.10 之強度，分別較未圍束提升 9%、4% 及 13%；混凝土強度為 70 MPa 之 D32 鋼筋中，試體斷面積內圍束量為 0.04、0.08 及 0.10 之強度，分別較未圍束提升 41%、47% 及 34%。圍束之錨定強度皆優於未圍束之錨定強度，且箍筋配置間距越密集，其錨定效果越好。

觀察未圍束與圍束試驗結果發現，圍束試驗之試體其破壞裂縫較為均佈，且其裂縫寬度較小，並能提供較大之錨定強度，故配置圍束箍筋對於錨定強度上有明顯之貢獻。

表 6-7 圍束量條件下之錨定強度比較

Confined spacing	Specimen	Confined	$P_{Max}$ (kN)	$P_{Max} / P_y$
$f_c' = 42$ MPa	CT24C6D32N1H5	0	390	1.03
	CT21C6D32N1H5T32	0.04	409	1.08
	CT02C6D32N1H5T31	0.08	405	1.10
	CT21C6D32N1H5T41	0.10	412	1.09
$f_c' = 56$ MPa	CT19C8D32N1H5	0	440	1.16
	CT22C8D32N1H5T32	0.04	480	1.26
	CT19C8D32N1H5T31	0.08	461	1.21
	CT22C8D32N1H5T41	0.10	499	1.31
$f_c' = 70$ MPa	CT20C10D32N1H5	0	334	0.88
	CT23C10D3N12H5T32	0.04	469	1.24
	CT20C10D32N1H5T31	0.08	488	1.29
	CT23C10D32N1H5T41	0.10	449	1.18



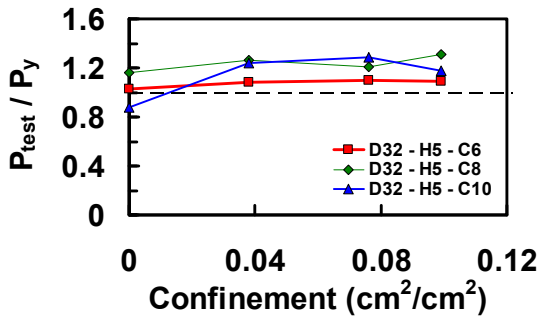


圖 6-11 不同圍束間距條件下之試體強度發展圖

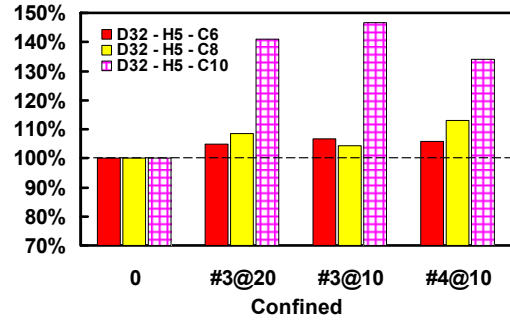
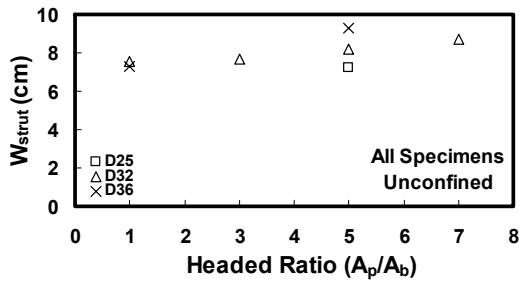


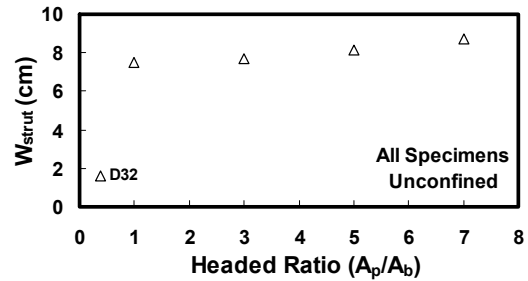
圖 6-12 圍束間距條件下之強度比值百分比圖

### 6.1.2 壓拉桿面積與錨定 T 頭之關係

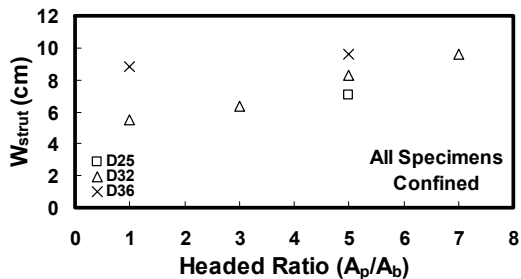
影響壓拉桿區域面積之條件，不外乎與 T 頭端板、鋼筋號數及支承端板大小有關，上述條件均會增加 CCT 節點面積，進而影響壓拉桿之破壞寬度，圖 6-13 顯示，利用試驗強度與實際混凝土強度標準化後發現，T 頭端板面積與鋼筋斷面積越大時，其壓拉桿之寬度也隨之擴大，而圍束效果也能提升整體壓拉桿之傳遞寬度。



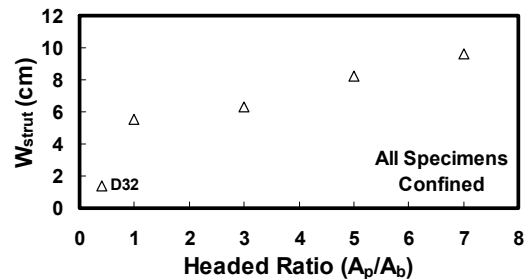
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 6-13 T 頭倍率條件不同鋼筋號數之試體壓桿區域破壞寬度比較圖

### 6.1.3 錨定 T 頭之滑動

T 頭端板於試驗中之位移情形，可由位移計之數據來觀察，若有明顯滑移，則握裹能力勢必會大幅降低，而影響其滑動之因素，不外乎與試體配置之設計參數有密切關係，且當 CCT 節點區於試驗中形成較大之裂縫時，其 T 頭端板將產生明顯位移。測試結果發現，圍束量能使其端板位移量縮減，而 T 頭端板淨面積與其端板位移量成反比，詳圖 6-14；鋼筋號數與其端板位移量成反比，詳圖 6-15；混凝土強度與其端板位移量成反比，詳圖 6-16；圍束量與其端板位移量成反比關係，詳圖 6-17。

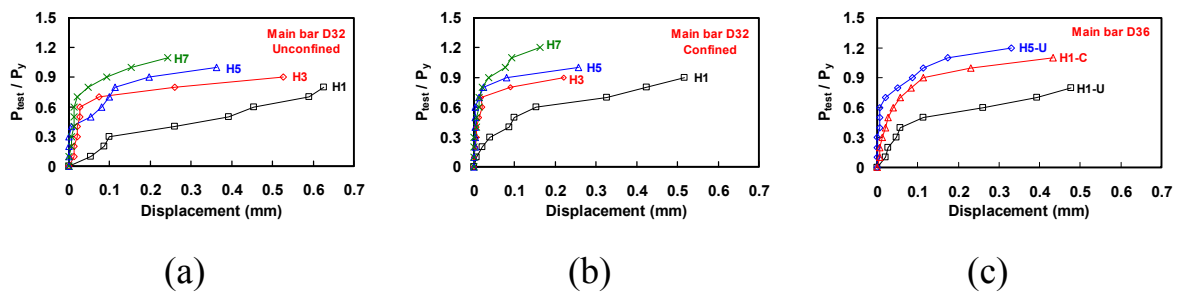


圖 6-14 比較 T 頭端板淨面積與其端板位移量之關係圖

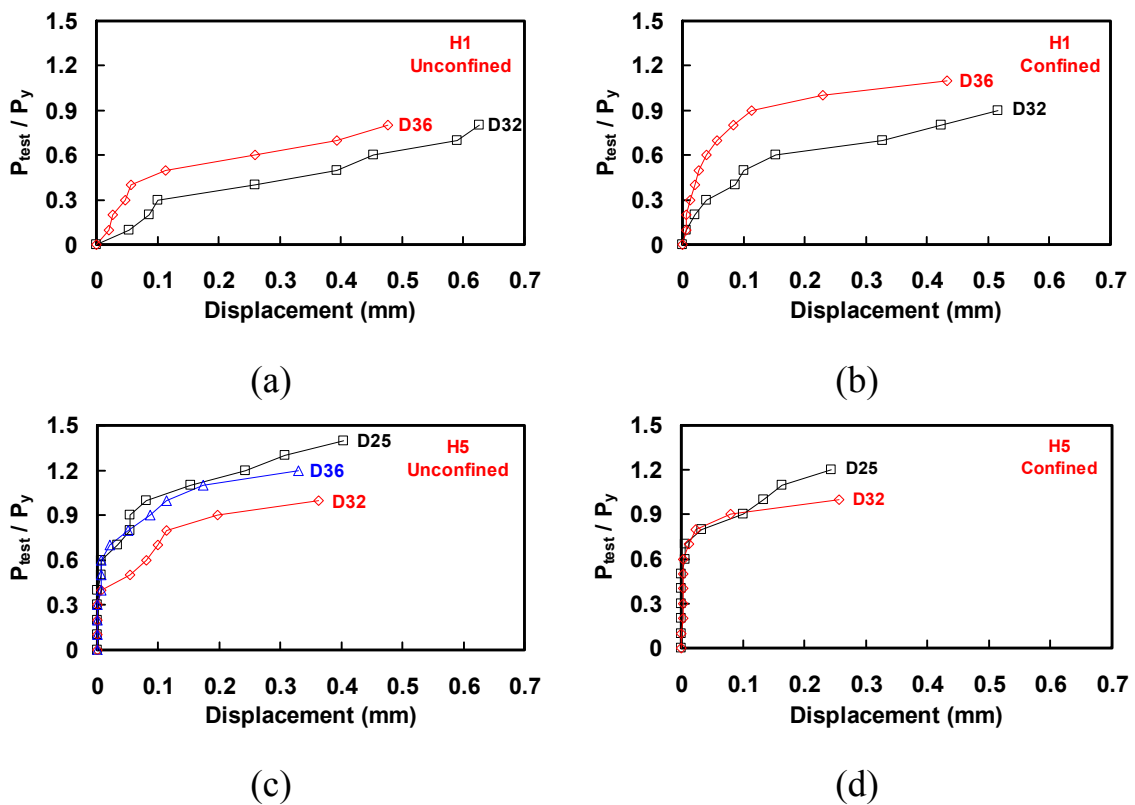


圖 6-15 比較鋼筋號數與其端板位移量之關係圖

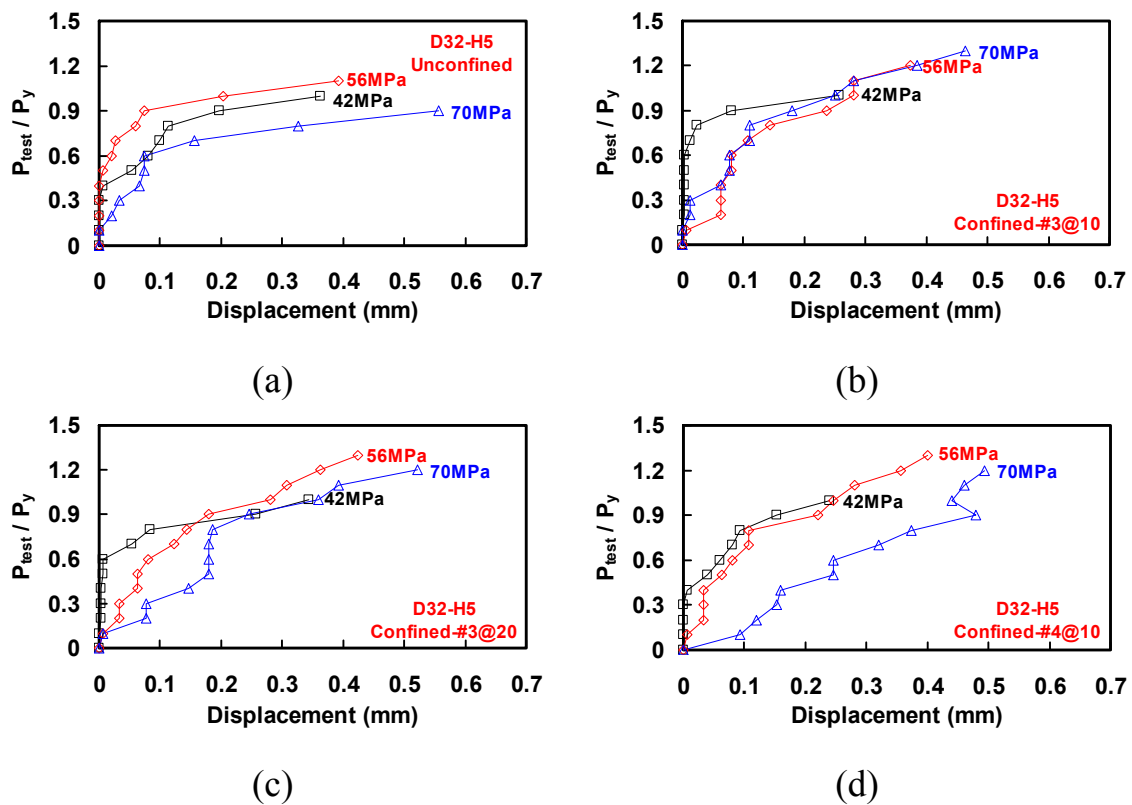


圖 6-16 比較混凝土強度與其端板位移量之關係圖

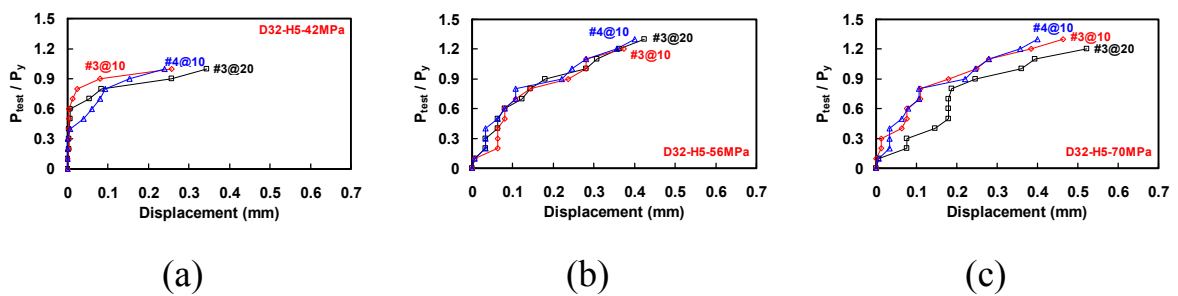


圖 6-17 比較圍束間距與其端板位移量之關係圖

## 6.1.4 應變計探討

### 6.1.4.1 主筋

觀察試驗數據可以大致發現其主筋在受力中之變化趨勢，各組試體之主筋於試驗中，其應變量會隨著加載強度之提升而呈現不同之變化，圖 6-18 中將之區分為 T 頭鋼筋、直通鋼筋、90 度標準彎鉤及 180 度標準彎鉤鋼筋，其中應變計所呈現之趨勢各具其特性，T 頭鋼筋而言，其應變隨受載提升而

增加，通常最大應力較常會出現在距離 T 頭端板 7.5 倍至 9.5 倍鋼筋直徑處，且關鍵裂縫或垂直裂縫也常產生於此處，顯示此處鋼筋能完全被發揮，而隨著載重提升，位於 T 頭端板處附近之應變承受量也越來越大，大膽猜測於試驗前期主要由握裹提供，後期則轉由 T 頭端板貢獻；直通鋼筋而言，其應變較無明顯變化，可發現其較難發揮出握裹效果，觀察 T 頭端板滑動之現象，其握裹隨之喪失之可能性很大；標準彎鉤大致上則有相同趨勢，其應變隨著遠離鋼筋邊緣而增加。

而應變計之變化，其主要影響與裂縫之發展有密切關係，從圖 6-18 中觀察可知，其主要裂縫之位置與鋼筋線段上之應變之起伏相符合，裂縫通過其鋼筋斷面處，應變會於其斷面處之前後呈現高低差，裂縫處通常會造成該處應變值增加，故觀察鋼筋應變趨勢圖，除可得知應變之變化分佈，也可推測出其裂縫大約通過何處。

各試體之主筋於試驗階段中之應變變化情形與依照參數類別比較各試體之主筋於試驗各階段之應變變化量可詳圖 6-19 與圖 6-20 至圖 6-38 所示。

#### 6.1.4.2 箍筋

由箍筋上配置之應變計，可觀察出其試體在 CCT 節點試驗之受力機制中，其力量傳遞分佈之情形，由圖 6-39 中可見，配置箍筋之試體於試驗受力中，對力量傳遞效果而言有很大之功效，除了適度分散力量集中之現象，藉由觀察箍筋上之應變計數值，也可發現其整體配置之箍筋於試驗中之受載狀態，且箍筋所承受之應變量大多集中在反力板位置處，隨著裂縫發展，裂縫經過之處其應變值也會大幅增加。各試體之箍筋於試驗階段中之應變變化情形與各試體之箍筋力量應變可詳圖 6-40、圖 6-41 與圖 6-42 所示，而各試體之箍筋力量應變可詳圖 6-43 與圖 6-44。

#### 6.1.4.3 壓拉桿區域

壓拉桿區域之應變計配置分為平面量測與側向面量測，從圖 6-45 之應變量變化趨勢觀察可知，壓拉桿區域之承受應變量大多集中靠近於反力處，除了與量測壓拉桿區域用之材料材質有關，也反應其壓拉桿區域在受

載過程中之力量傳遞效果，載重藉由反力支承端開始傳遞至試體內部，其應變量也隨著遠離支承端而減少，而裂縫若發生於壓拉桿區域中，其應變量也會大幅增加。其壓拉桿區域之平面與側向面應變量測可詳圖 6-45 所示。

## 6.2 拉拔試驗探討

本章節針對試體之強度與變數關係、拉拔作用下之受力方向探討與鋼筋應變量測結果進行分析與討論。

### 6.2.1 強度與參數間之探討

本試驗規劃多組不同研究參數，除規範所建議之規定外，於本研究中將企圖打破規範之限制，利用拉拔埋置於混凝土中之鋼筋，來探討參數間對於整體構件錨定強度影響，以下將對各變數獨立進行探討：

**鋼筋型式與 T 頭端板面積：**詳圖 6-46 可見，拉拔試驗中之強度較無明顯變化趨勢，此現象說明其拉拔強度與 T 頭端板間之影響性不大，其配置直通鋼筋與 T 頭端板試體之強度差異忽高忽低，且強度似乎也不隨增大 T 頭端板面積而提升，在此推測其試驗強度之差異性與拉拔主筋與試體之實際混凝土強度有較密切關係。

而配置直通鋼筋與標準彎鉤鋼筋之強度不及配置 T 頭鋼筋之錨定效果，配置 T 頭鋼筋之試體可望提升 15%至 50%之強度百分比，且直通鋼筋於受力情形下，其滑動現象較為明顯，證明 T 頭鋼筋確實能發揮出該有之容量，從圖 6-46 中可驗證此現象，其結果對於業界工程上可說是一大福音。

**鋼筋號數：**由圖 6-47 試驗結果顯示，鋼筋號數越大，其試體之拉拔強度有向上提升之現象，但其強度提升之效果不夠明顯，且也有少數對照實驗組之拉拔強度隨鋼筋斷面積增加而減少，推測其試驗強度之差異性與拉拔主筋與試體之實際混凝土強度有較密切關係。

**混凝土強度：**觀察圖 6-48，混凝土強度越高，錨定強度也會隨之上升，但混凝土強度超過 56 MPa 強度後，其上升趨勢會有漸緩效果，不是無止盡向上提升，由於本研究中混凝土強度規劃僅止於 70 MPa，故不能涵蓋整個高強度範圍。

**圍束效應：**觀察試驗結果與圖 6-49 可發現，圍束箍筋之配置對於錨定強度會有明顯提升之效果，圍束之錨定效果高於未圍束，約高出未圍束試體 10% 至 30% 之強度百分比，且箍筋之配置越密集，錨定強度也越高，可以看出圍束對其錨定有很大之影響。

圍束效果對試體而言確實有明顯提升之效果，尤其是配置多支主筋之試體時，效果更明顯，有效提升試體強度。而圍束效果也會使得試體主要之破壞裂縫較遠離 T 頭端板，其能有效發展握裹長度。

**主筋埋置邊距：**詳圖 6-50 所示，於此研究中發現，埋置邊距越小，其錨定強度似乎不能夠發揮該有之強度；埋置邊距越大，其錨定強度則有明顯提升之效果，故歸納其現象，埋置邊距若足夠，將能發揮出應有效果。

**主筋埋置長度：**觀察圖 6-51 發現，其拉拔鋼筋埋置深度淺，強度影響性不高，甚至能夠發揮其應有效果；強度不會因拉拔鋼筋埋置深度加深而有上升之趨勢，擺脫傳統鋼筋埋置越深其錨定效果越好之觀念。

## 6.2.2 拉拔作用下之受力方向探討

試驗中給予埋置主筋一受拉力量，使其向試體外部拉拔，試驗構架之兩側支承端則承受反向壓力，由於兩側受壓支承端與受拉主筋間有一定距離，其整體受力過程中之傳遞路徑難以預估，因此期望從試驗過程中之破壞機置，探討力量傳遞之行為。

從試體破壞裂縫之發展趨勢可見，初始裂縫大都產生於埋置主筋處，其隨力量增加而沿著主筋方向延伸，隨即會從兩側支承端產生新的斜向裂縫，其會慢慢延伸至受拉主筋 T 頭端板處，此裂縫角度與受拉主筋之埋置深度及支承端間距會有極大關聯性。

觀察試體破壞情況可見，試體之混凝土會呈錐體形狀向上拉拔而出，故會呈現一破壞區塊面積，其破壞面積之寬度與支承端間距相關，而破壞面積之深度則與抗拉主筋埋置深度相關。試體各支承端至受拉主筋配置間距於試驗中為定值，一邊各為 500 mm，而受拉主筋埋置間距則為研究參數，為 200、300 及 400 mm，故可推測其試體於破壞時，其錐體狀破壞面積比例為何，若主筋埋置深度為 200 mm，則破壞面積寬深比為 5：2；若主

筋埋置深度為 300 mm，則破壞面積寬深比為 5：3；若主筋埋置深度為 400 mm，則破壞面積寬深比為 5：4。

### 6.2.3 應變計探討

#### 6.2.3.1 主筋

拉拔主筋之應變計除了配置於混凝土中之拉拔主筋，於混凝土外也另外配置兩組應變計量測實際鋼筋於受拉狀態下之應變變化。觀察試驗數據可以大致發現其拉拔主筋在受力中之變化趨勢，各組試體之拉拔主筋於試驗中，其應變量會隨著加載強度之提升而呈現不同之變化，觀察圖 6-47 中 T 頭鋼筋、直通鋼筋與 90 度標準彎鉤鋼筋之應變，其中應變計所呈現之趨勢各具其特性，T 頭鋼筋而言，其整體應變都會隨受載提升而增加，通常最大應力除了出現在混凝土外之受拉主筋面上，其次常會出現在距離 T 頭端板 6 倍至 8 倍鋼筋直徑處，且關鍵裂縫也常產生於此處，一般而言，距離 T 頭端板越遠，其承受之應變量也會隨之提升，可得知其確實發揮出其握裹效果；直通鋼筋而言，其應變較無明顯變化，可發現其較難發揮出握裹效果；標準彎鉤大致上則與 T 頭鋼筋有相同趨勢，其應變隨著遠離而增加。而應變計之變化，其主要影響與裂縫之發展有密切關係，裂縫通過其鋼筋斷面處，通常會造成該處應變值增加。

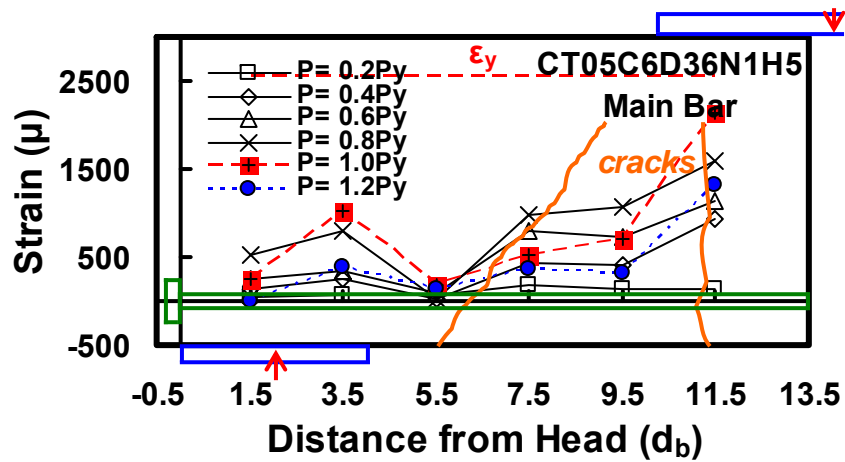
各試體之拉拔主筋於試驗階段中之應變變化情形與依照參數類別比較各試體之拉拔主筋於試驗各階段之應變變化量可詳圖 6-52 與圖 6-53 至圖 6-73 所示。

#### 6.2.3.2 箍筋

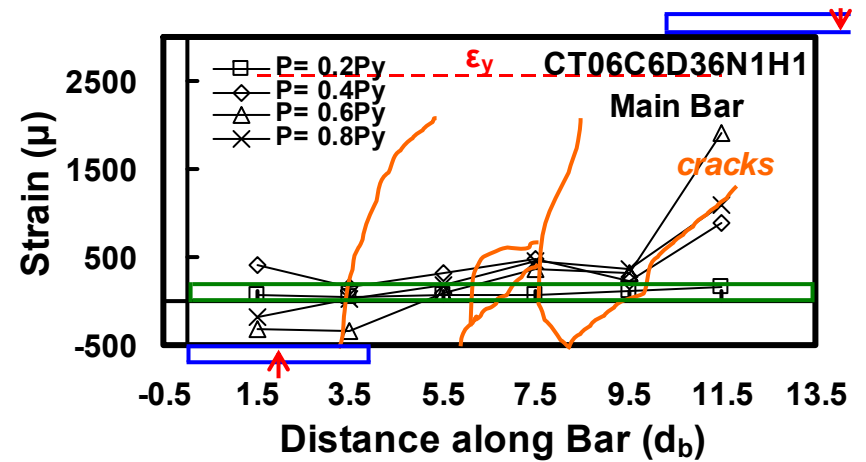
由箍筋上配置之應變計，可觀察出其試體在拉拔試驗之受力機制中，其力量傳遞分佈之情形，由圖 6-74 中可見，配置箍筋之試體於試驗受力中，對力量傳遞效果而言有很大之功效，除了適度分散力量集中之現象，藉由觀察箍筋上之應變計數值，也可發現其整體配置之箍筋於試驗中之受載狀態，一般而言，整體之箍筋應變量大致相同，若有裂縫經過，其箍筋所承受之應變量大多集中在裂縫較為嚴重處，隨著裂縫發展，裂縫經過之處其

應變值也會大幅增加。各試體之箍筋於試驗階段中之應變變化情形可詳圖 6-74 所示，而各試體之箍筋力量應變圖可詳圖 6-75 所示。

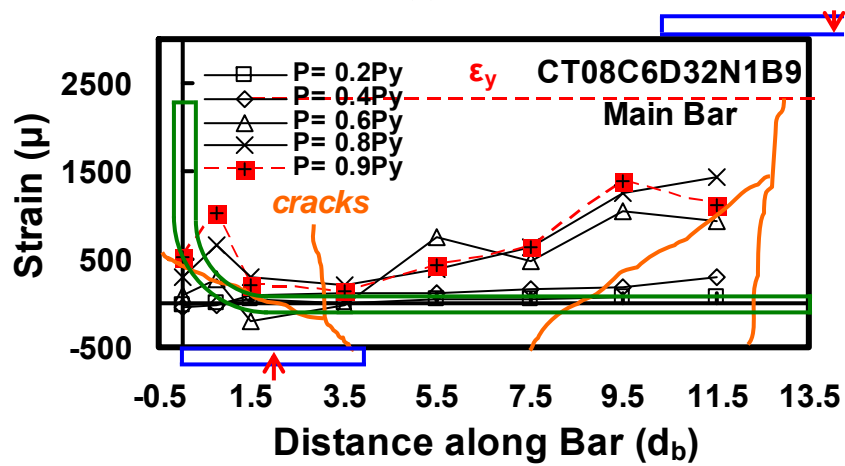




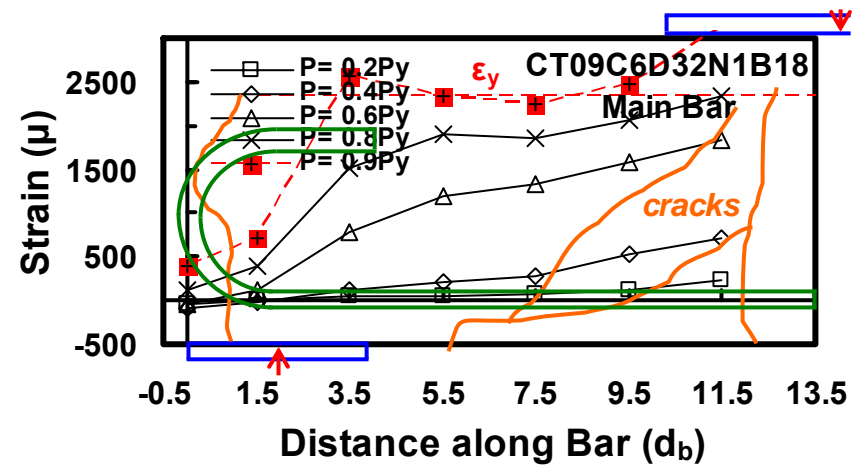
(a)



(b)

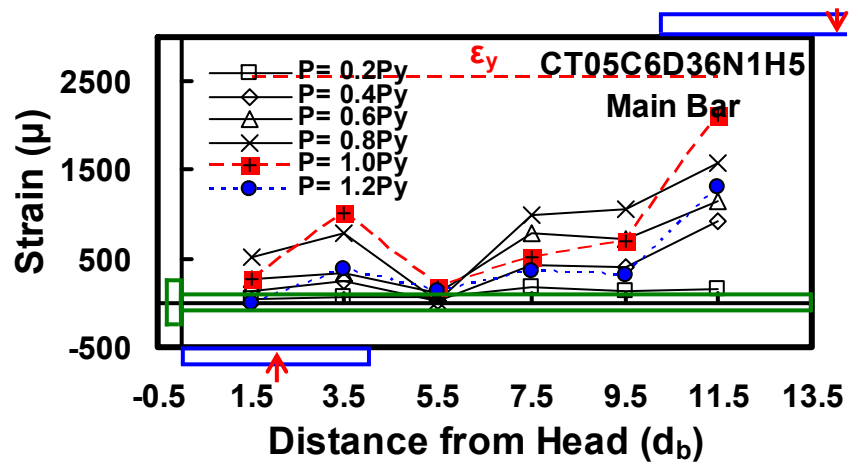


(c)

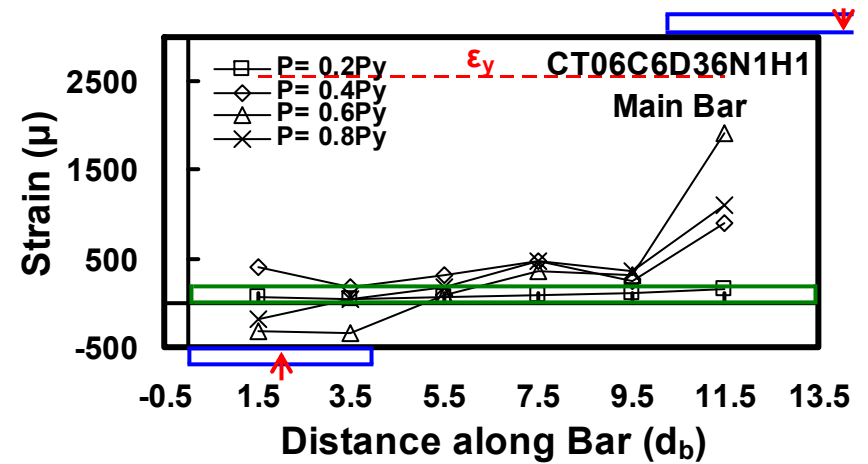


(d)

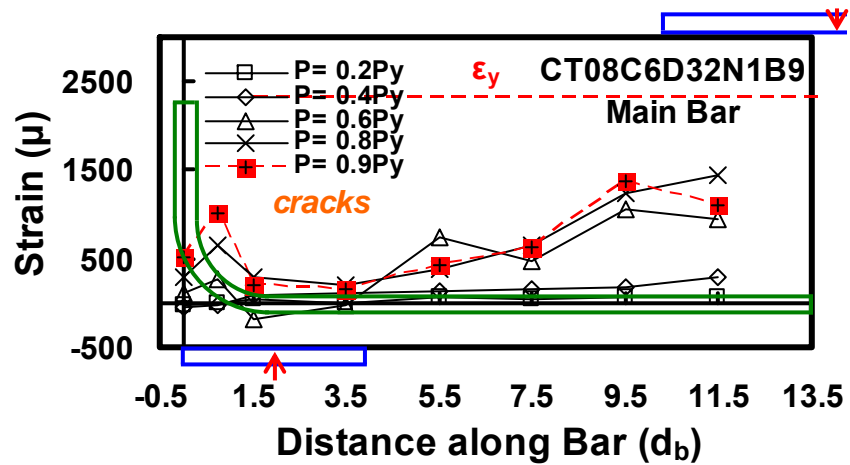
圖 6-18 各試體於試驗各階段中主要裂縫生成關係與主筋應變變化圖



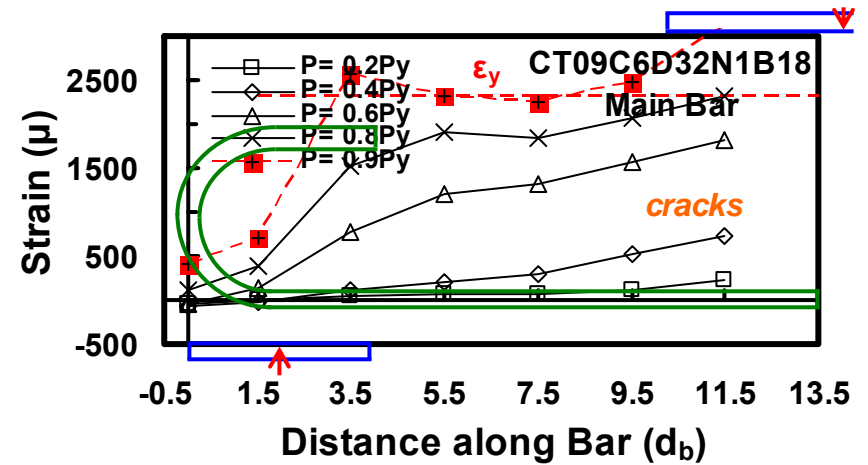
(a)



(b)

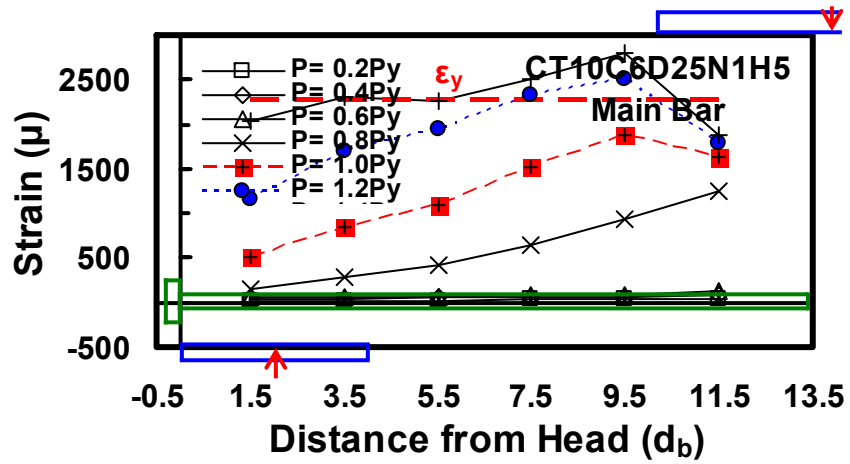


(c)

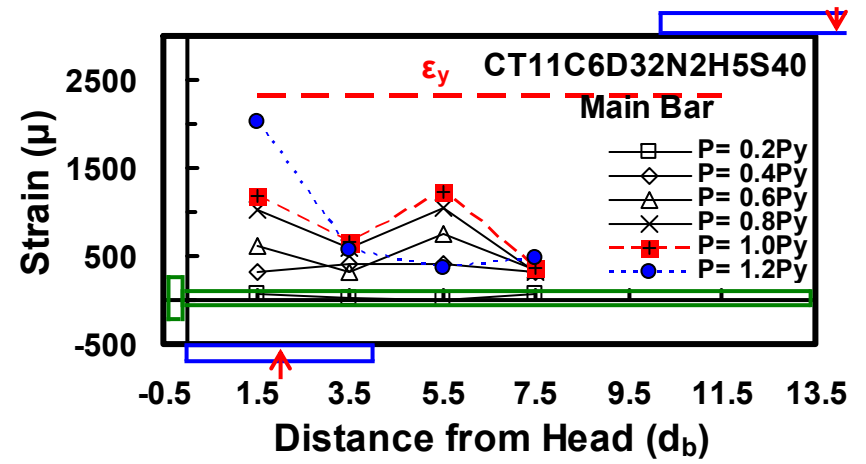


(d)

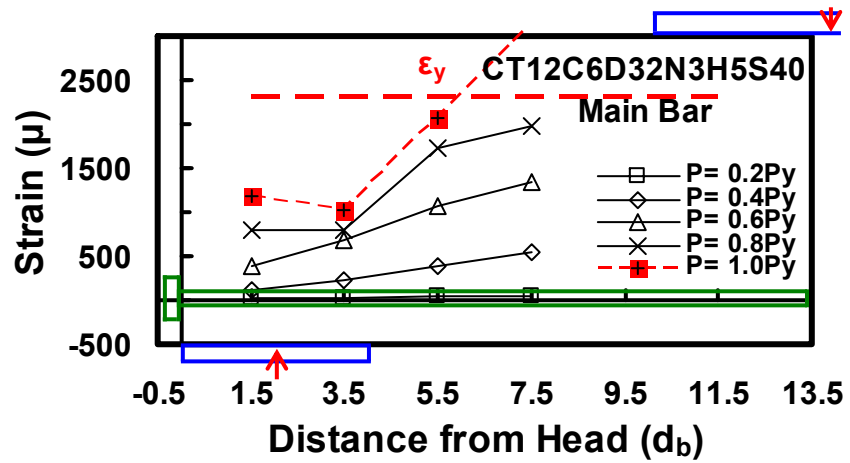
圖 6-19 各試體於試驗各階段中之主筋應變變化圖



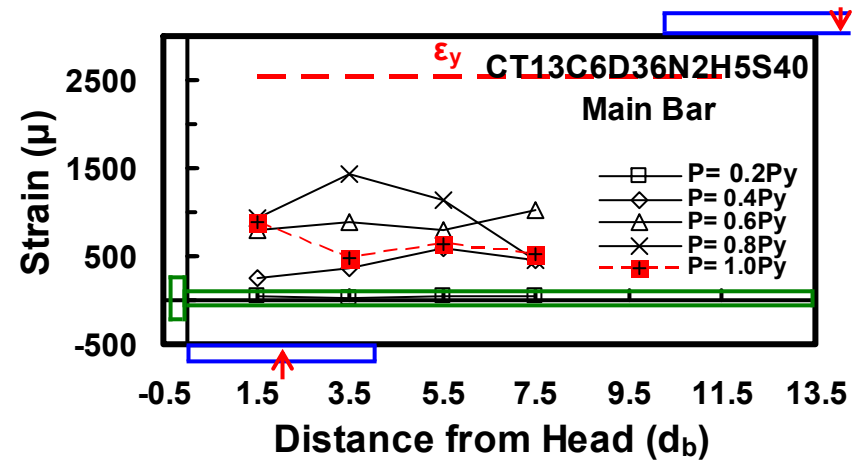
(e)



(f)

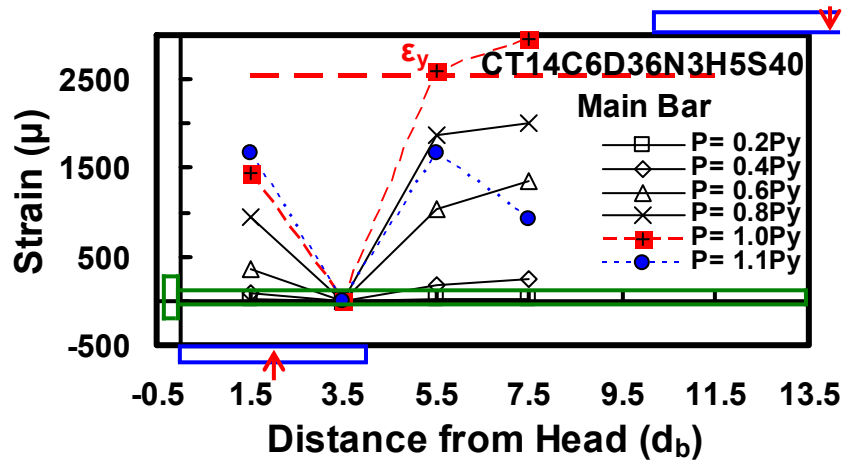


(g)

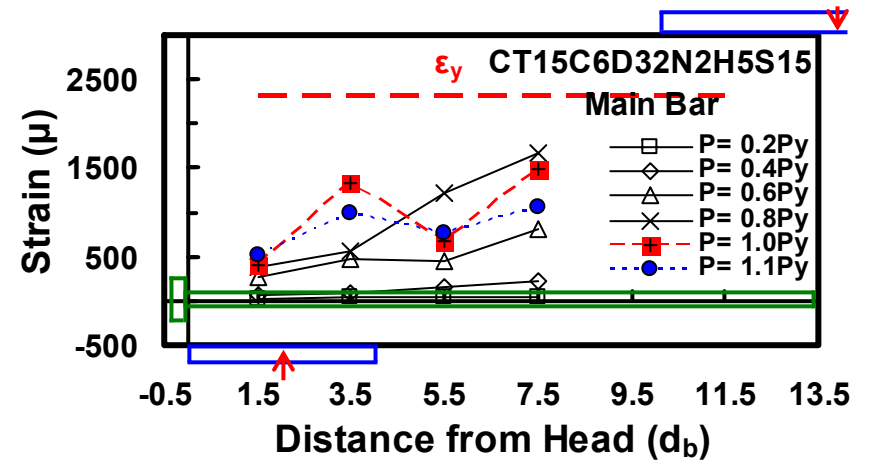


(h)

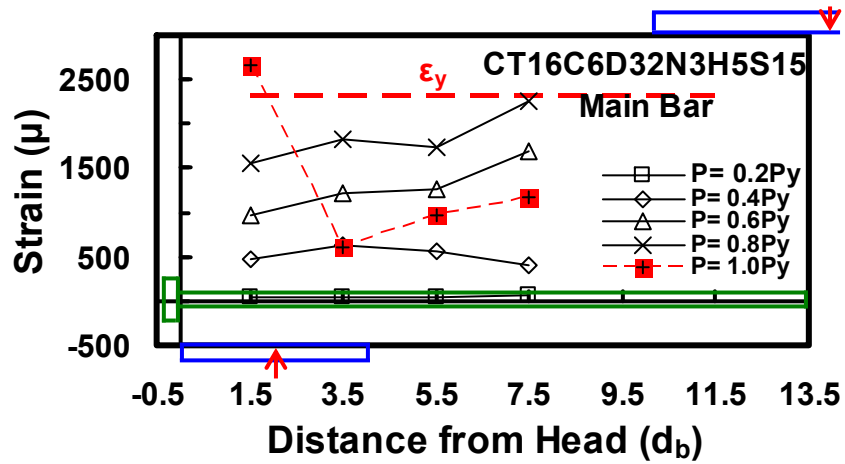
圖 6-19 各試體於試驗各階段中之主筋應變變化圖(續)



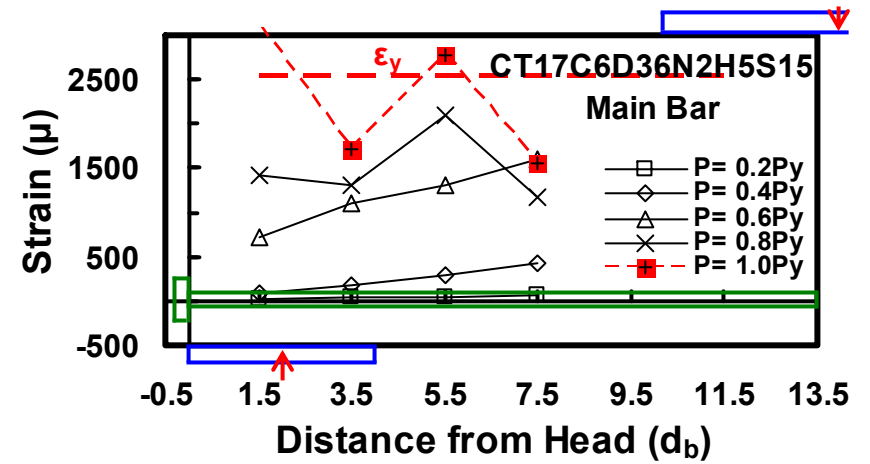
(i)



(j)

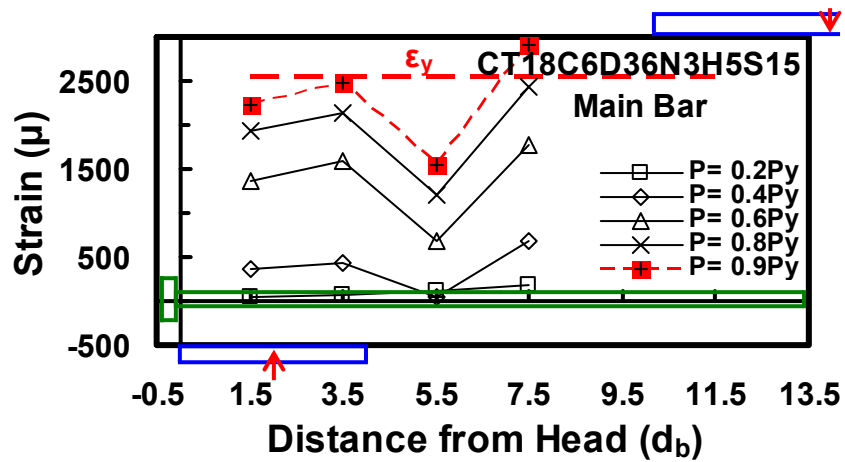


(k)

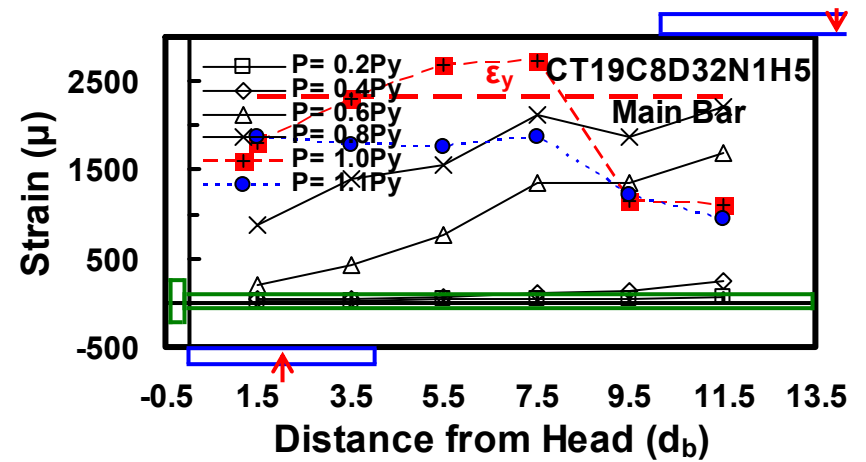


(l)

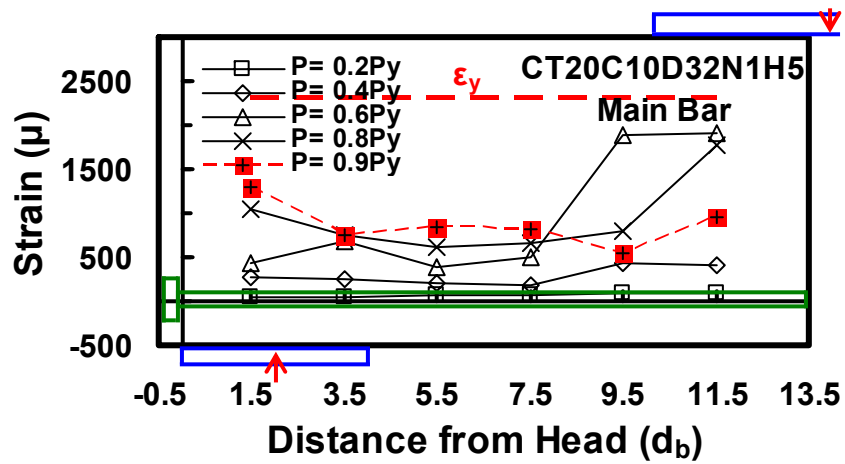
圖 6-19 各試體於試驗各階段中之主筋應變變化圖(續)



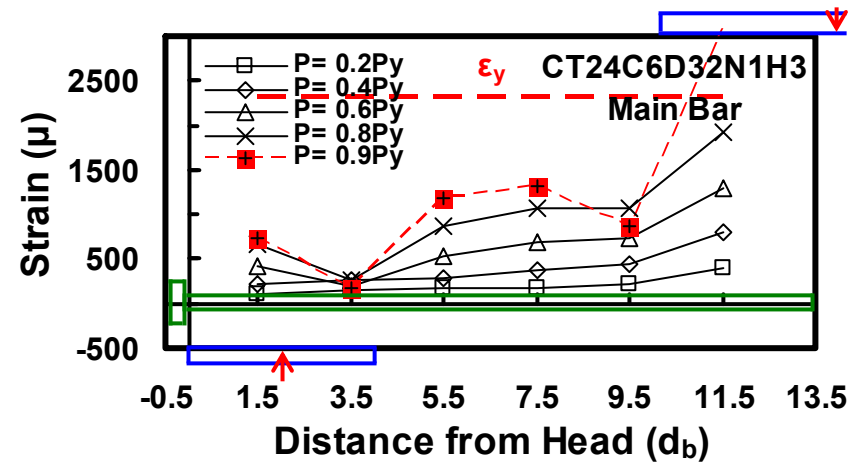
(m)



(n)

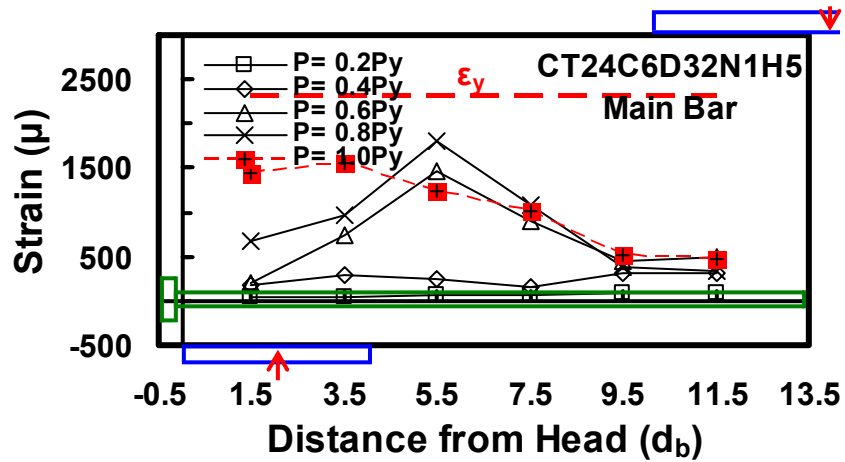


(o)

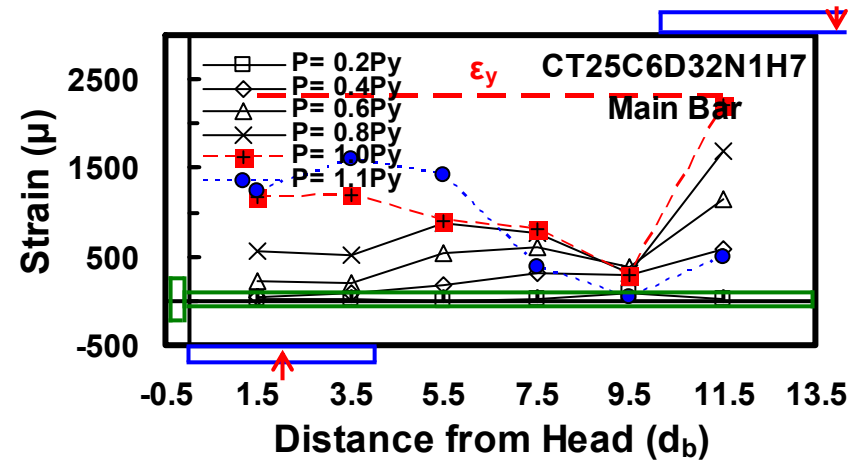


(p)

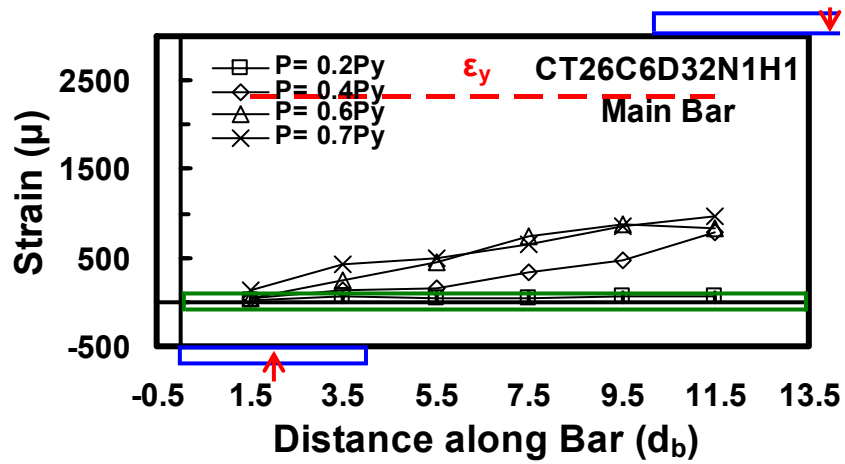
圖 6-19 各試體於試驗各階段中之主筋應變變化圖(續)



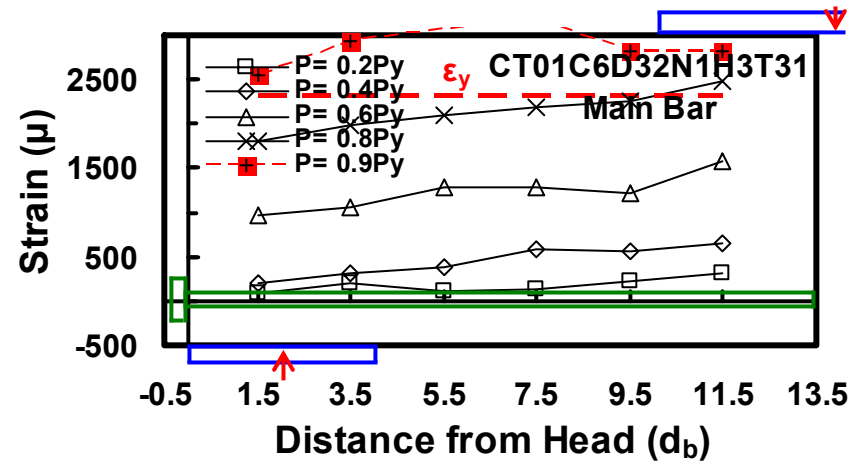
(q)



(r)

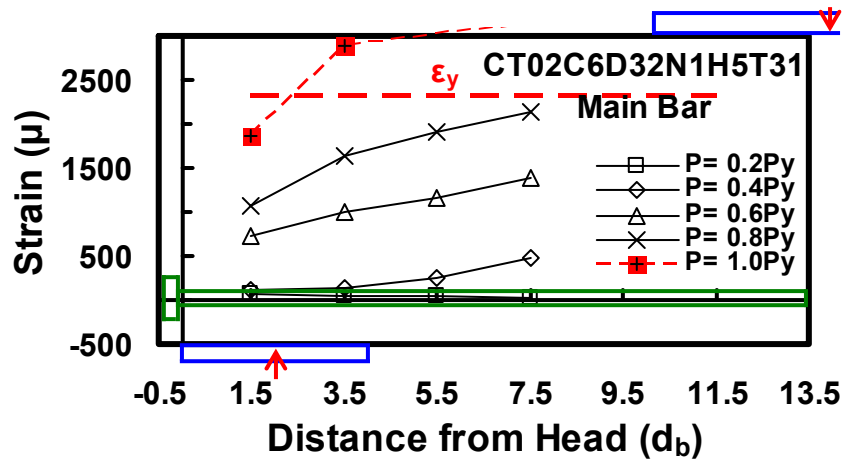


(s)

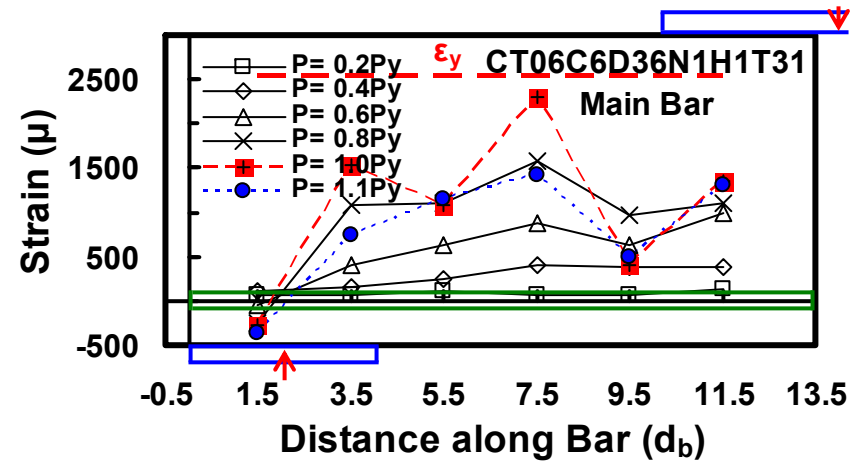


(t)

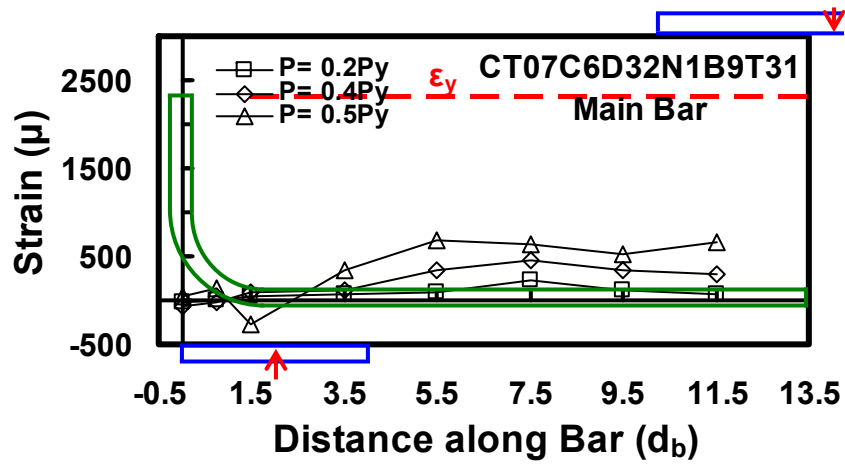
圖 6-19 各試體於試驗各階段中之主筋應變變化圖(續)



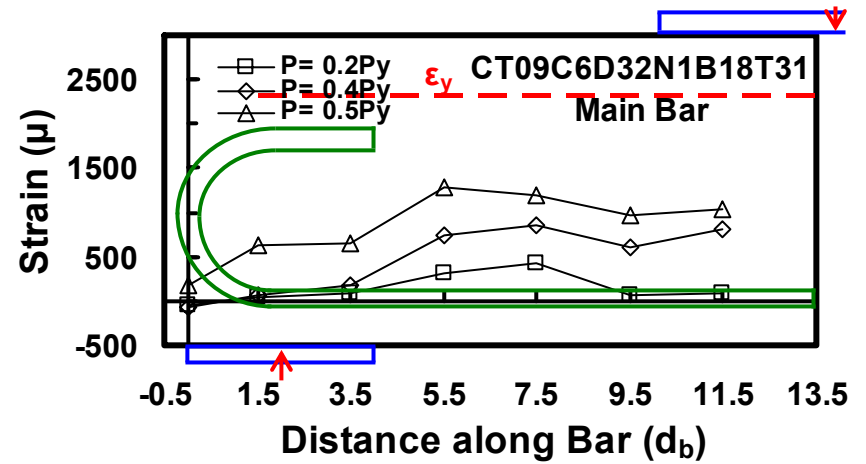
(u)



(v)

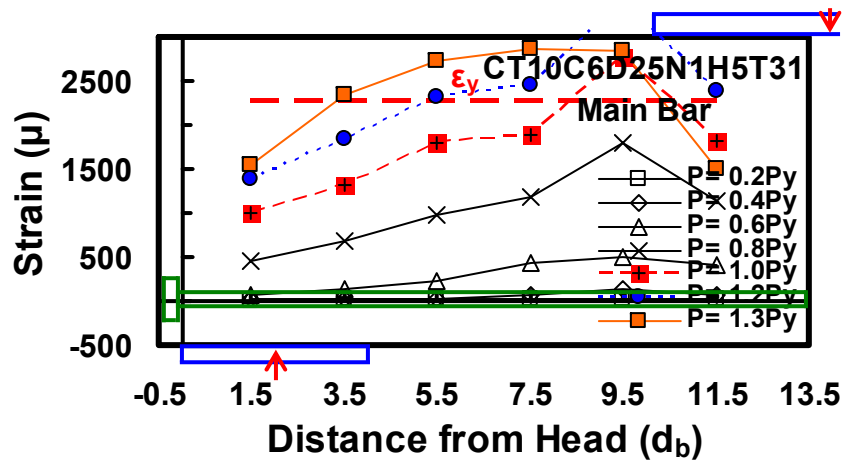


(w)

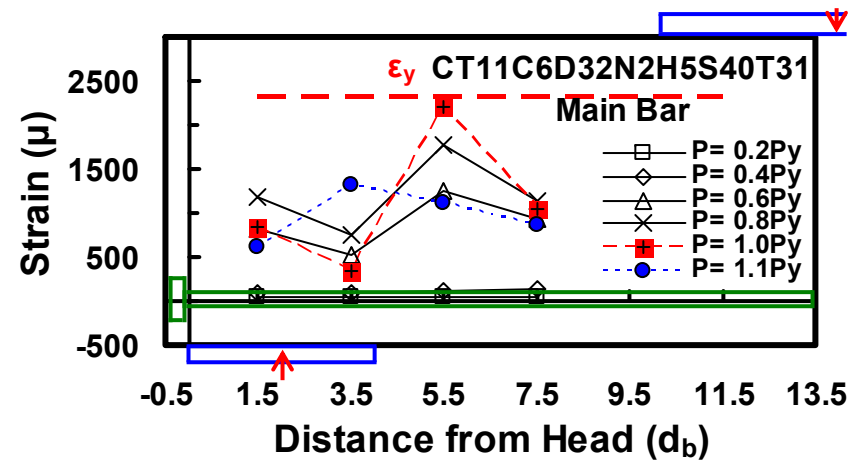


(x)

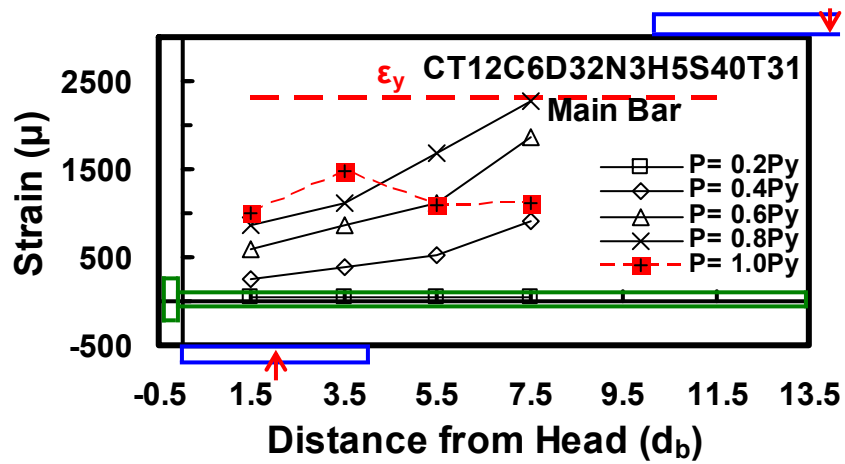
圖 6-19 各試體於試驗各階段中之主筋應變變化圖(續)



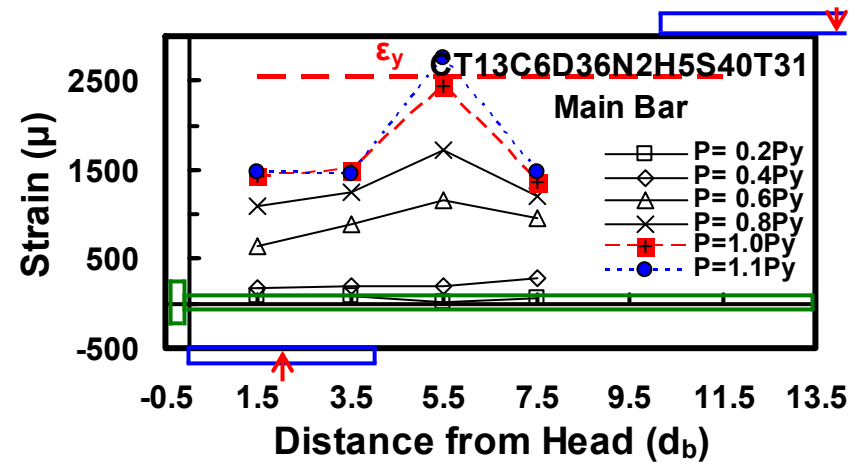
(y)



(z)



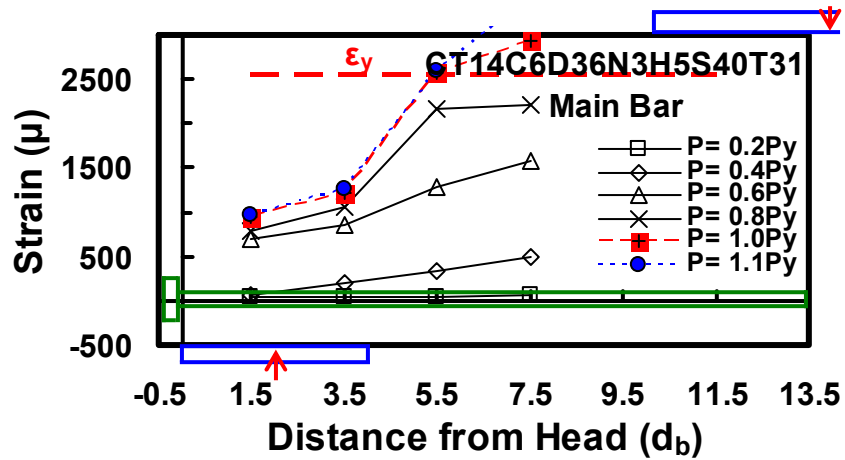
(aa)



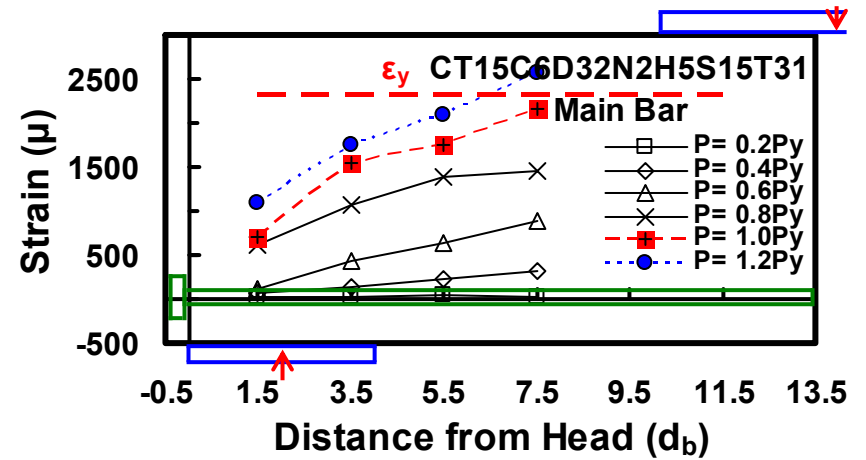
(ab)

圖 6-19 各試體於試驗各階段中之主筋應變變化圖(續)

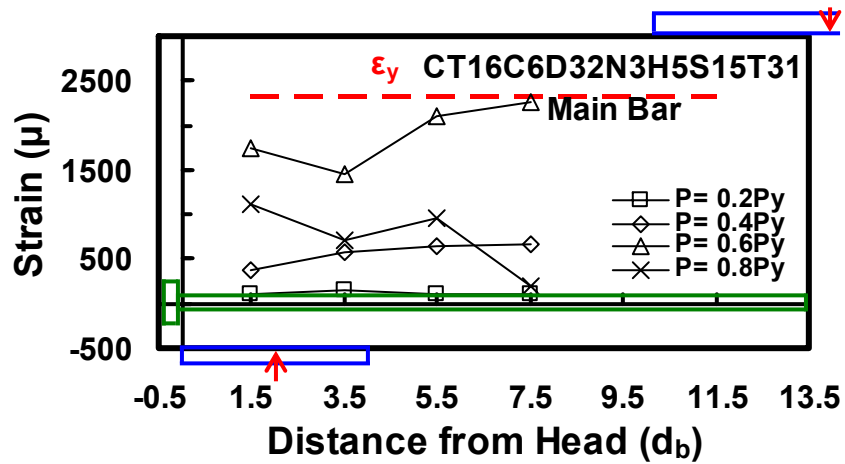




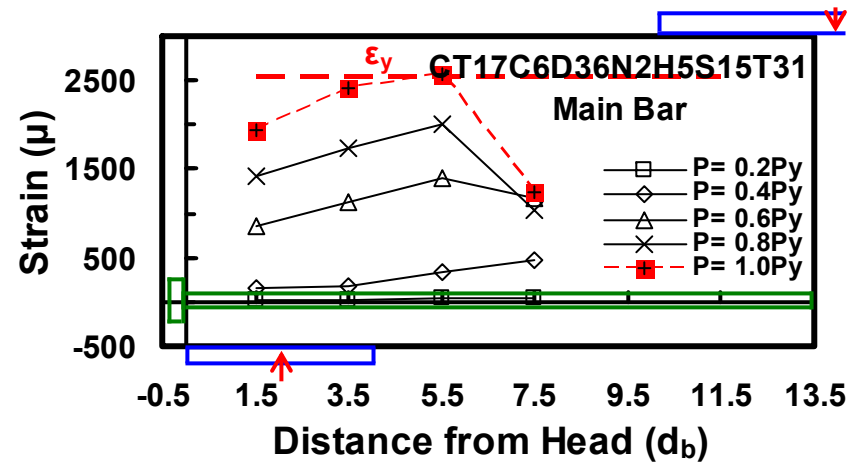
(ac)



(ad)

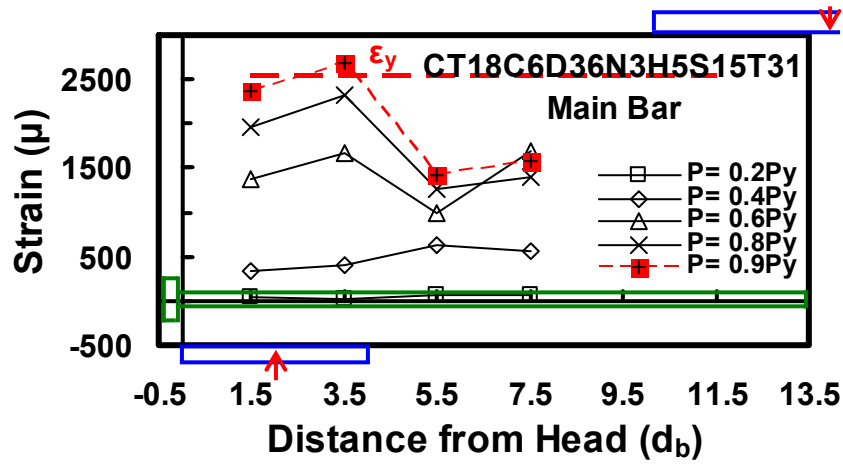


(ae)

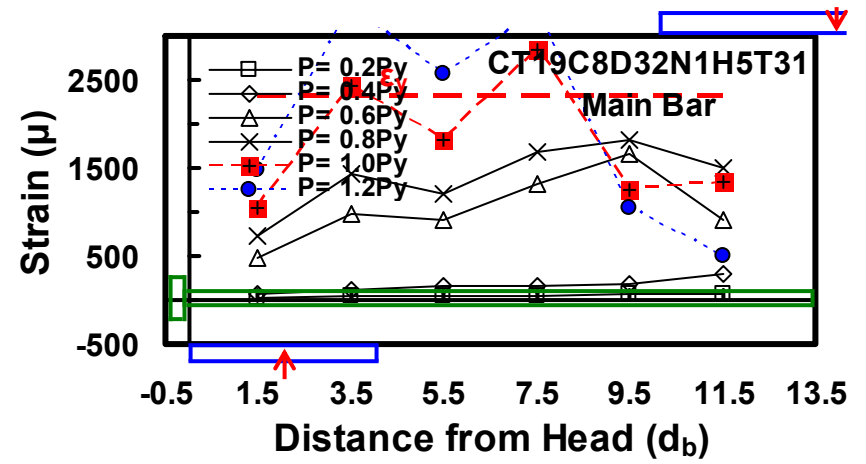


(af)

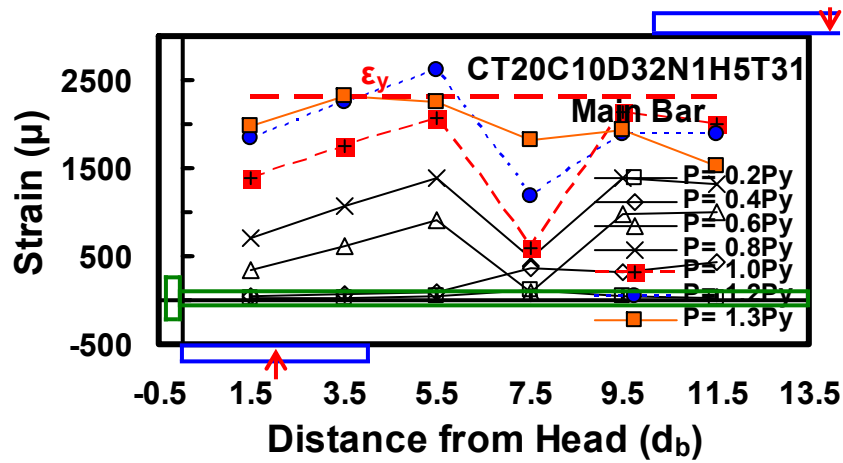
圖 6-19 各試體於試驗各階段中之主筋應變變化圖(續)



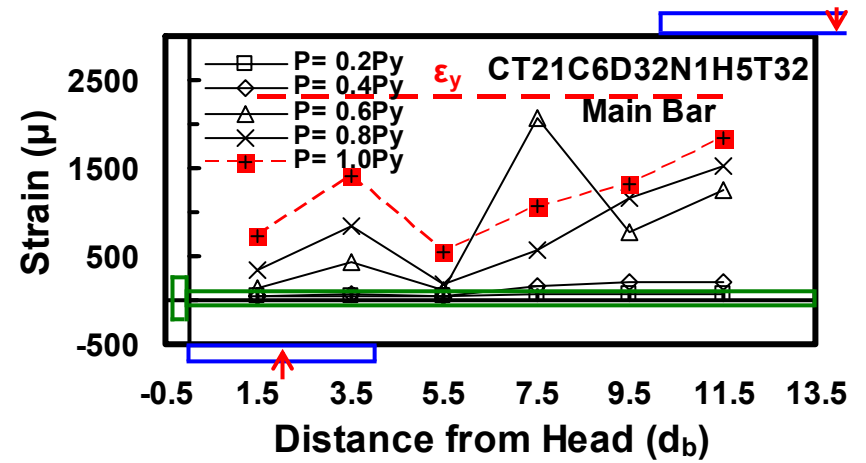
(ag)



(ah)

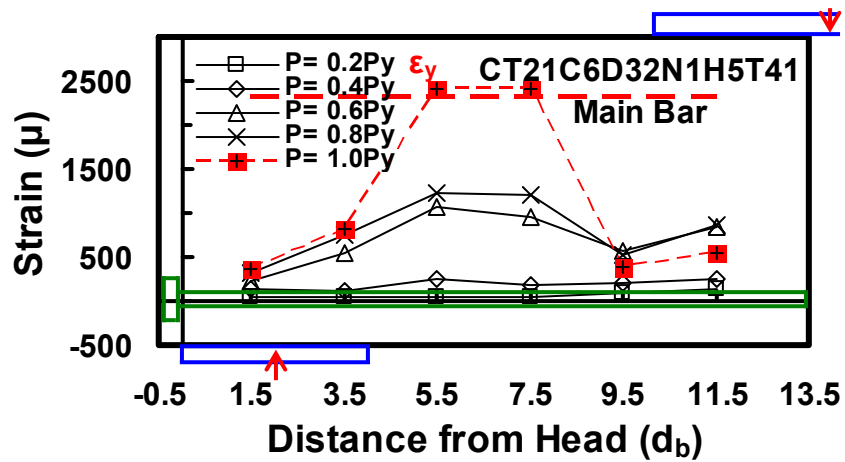


(ai)

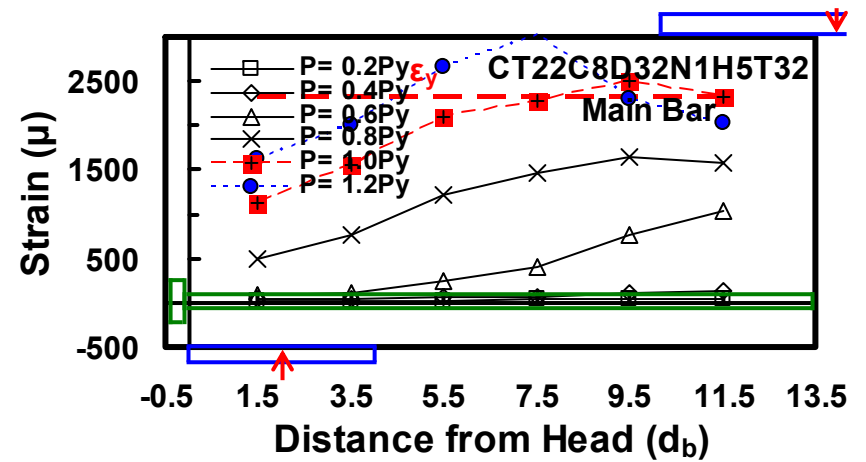


(aj)

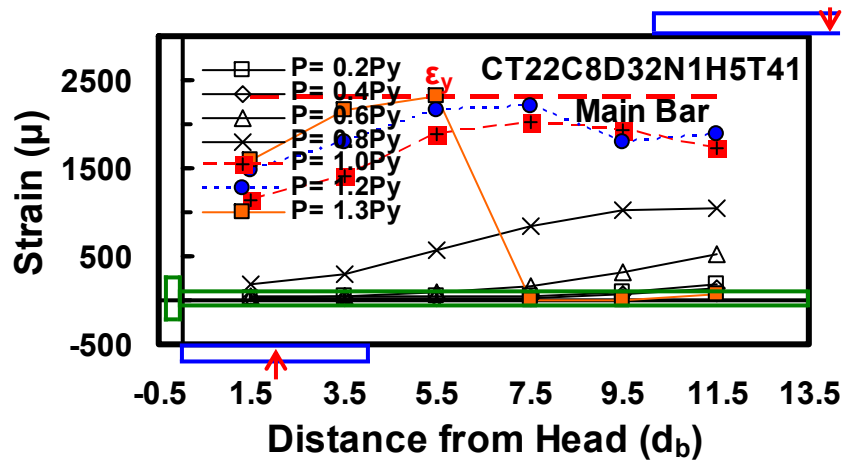
圖 6-19 各試體於試驗各階段中之主筋應變變化圖(續)



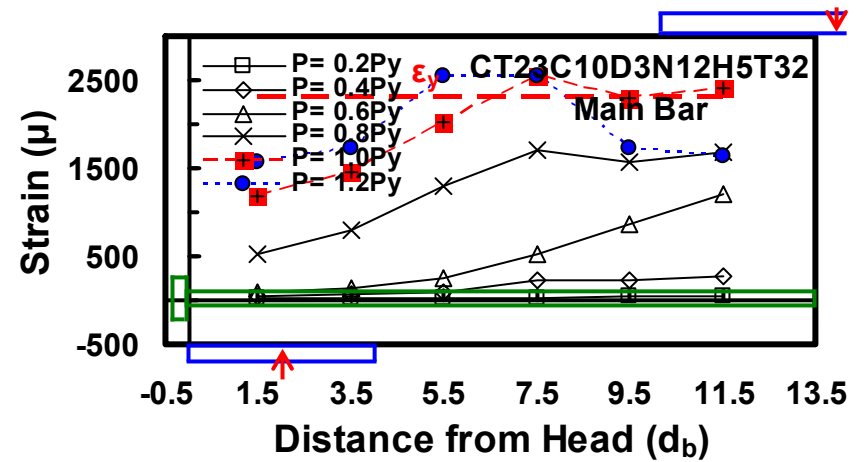
(ak)



(al)

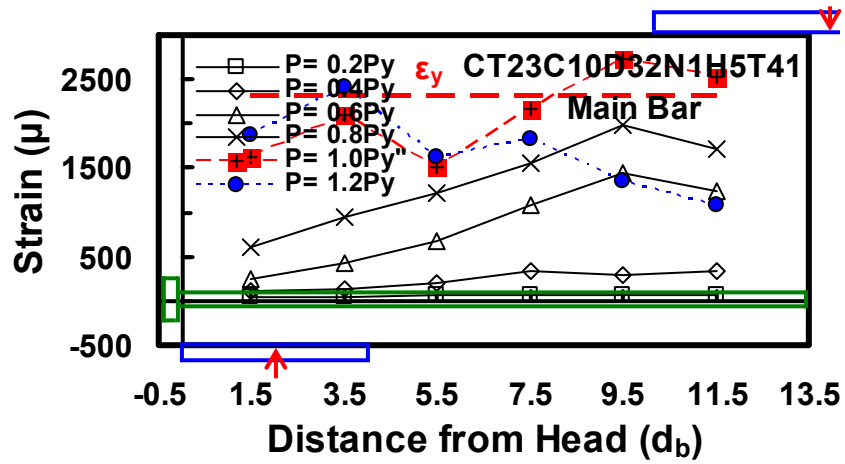


(am)

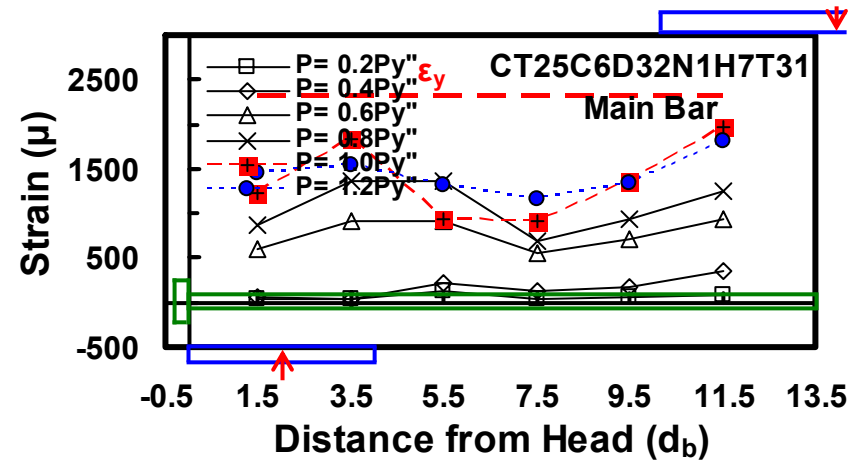


(an)

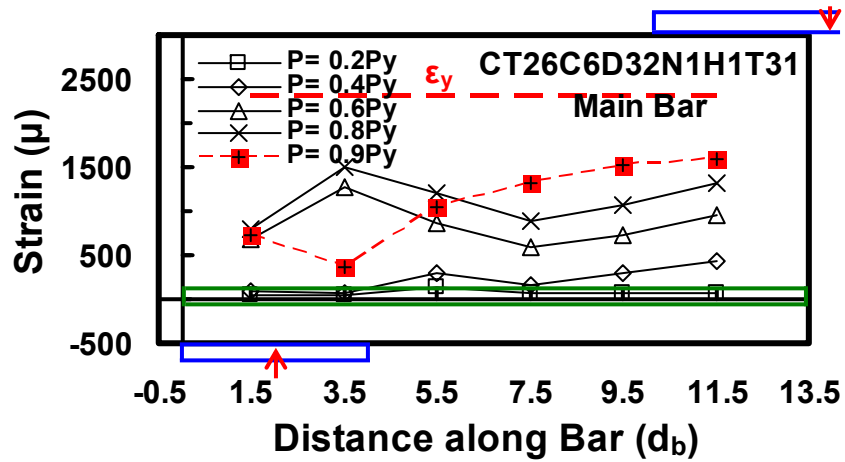
圖 6-19 各試體於試驗各階段中之主筋應變變化圖(續)



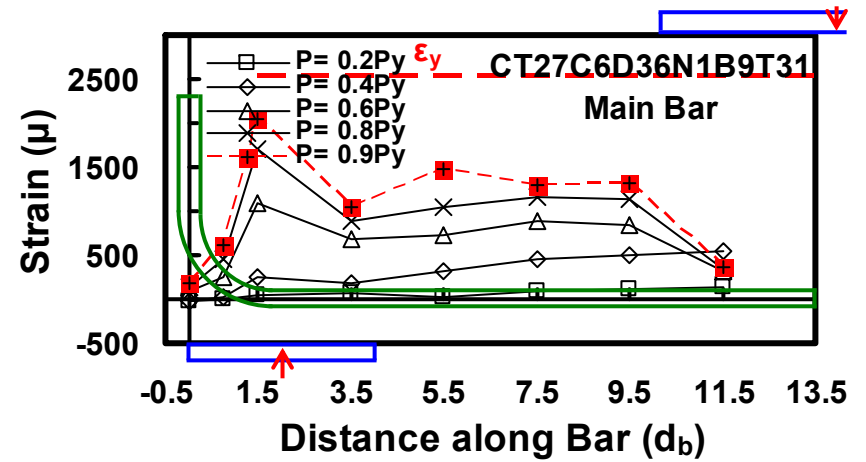
(ao)



(ap)

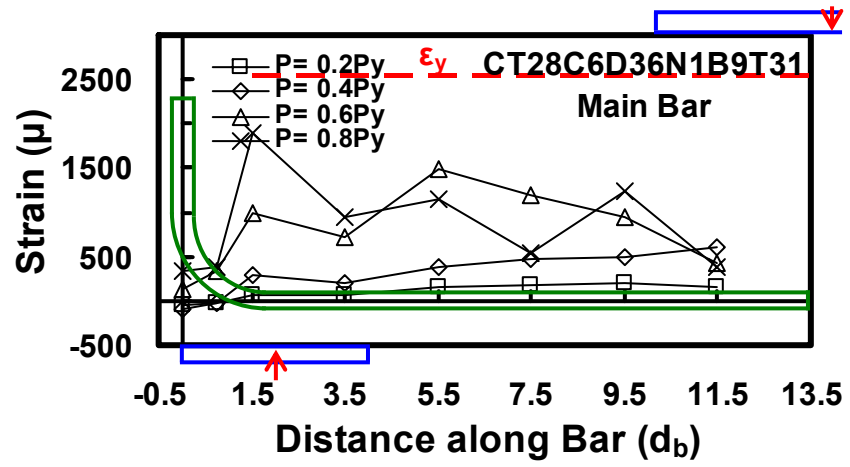


(aq)



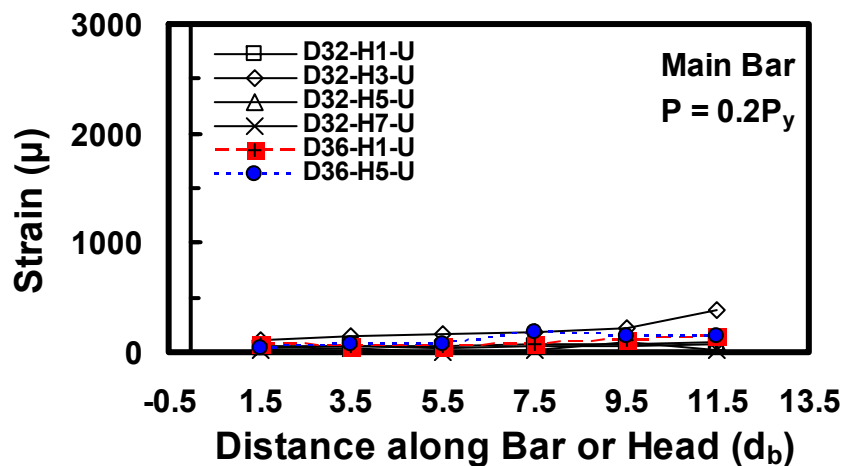
(ar)

圖 6-19 各試體於試驗各階段中之主筋應變變化圖(續)

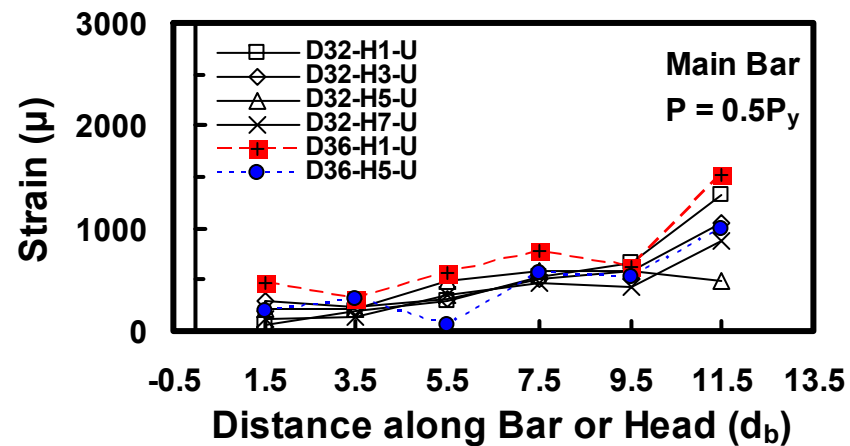


(as)

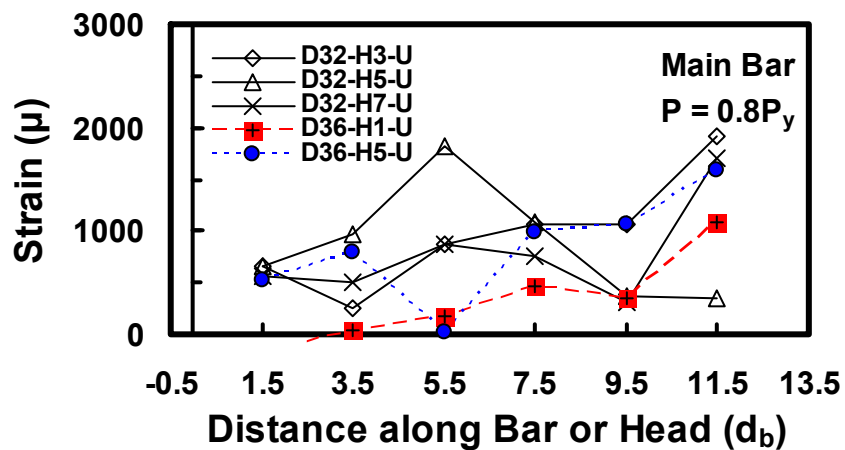
圖 6-19 各試體於試驗各階段中之主筋應變變化圖(續)



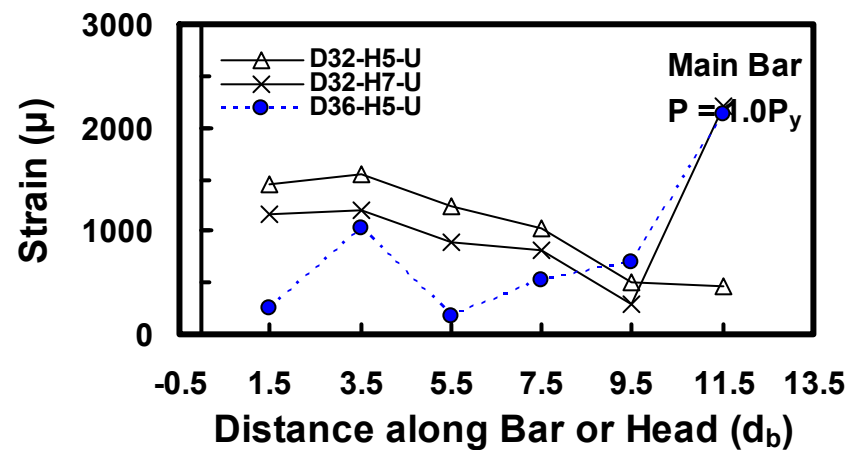
(a)



(b)

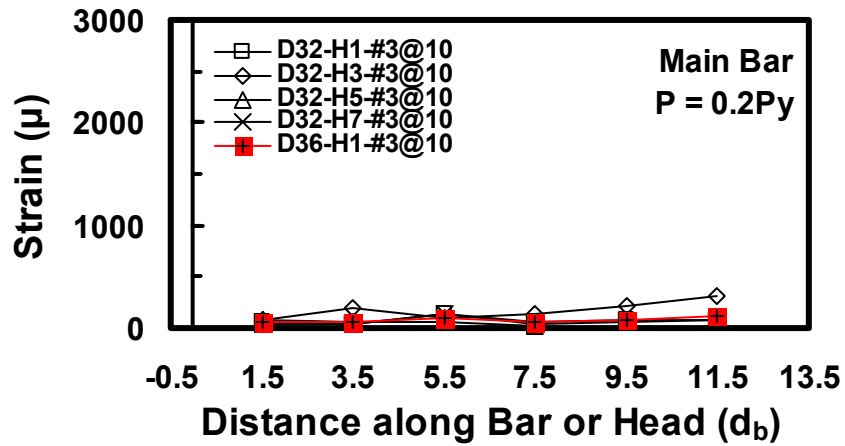


(c)

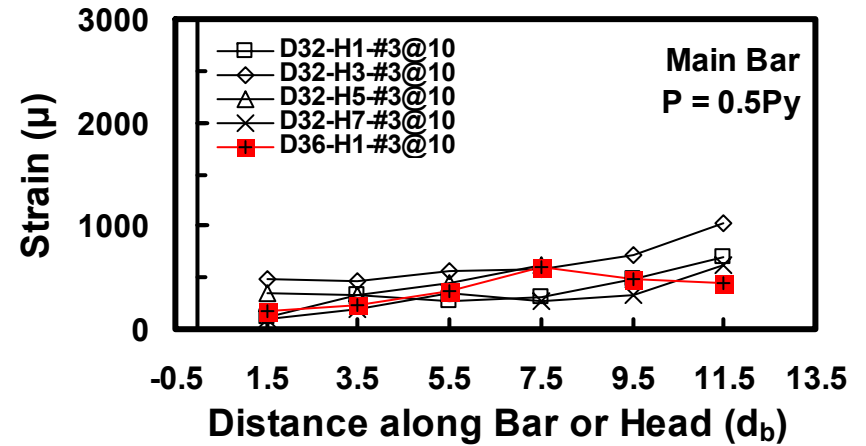


(d)

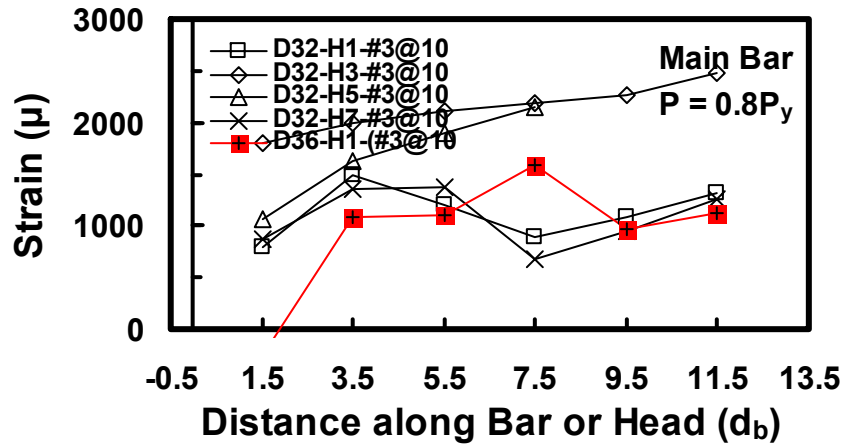
圖 6-20 於 T 頭端板倍率條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(未圍束)



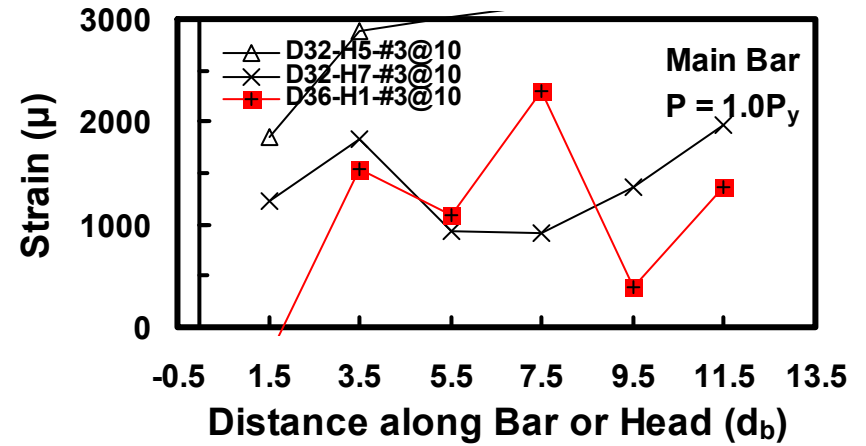
(a)



(b)

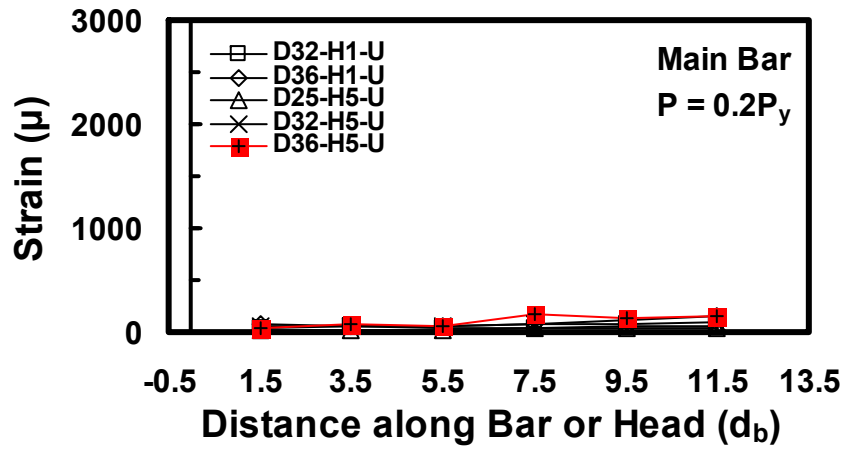


(c)

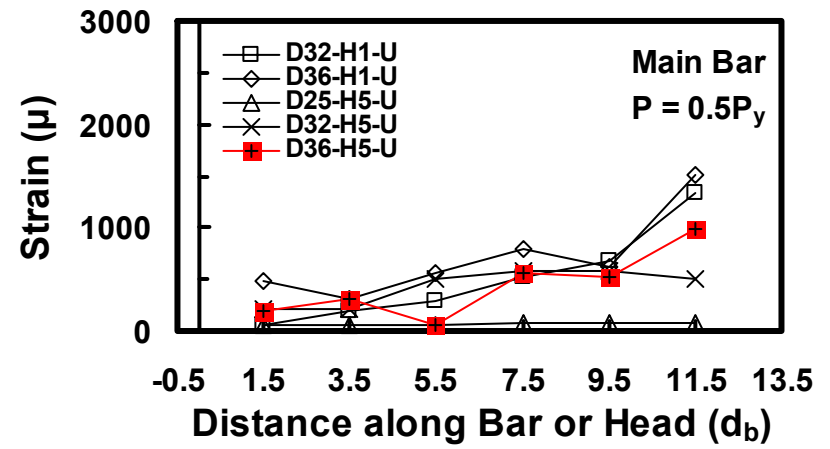


(d)

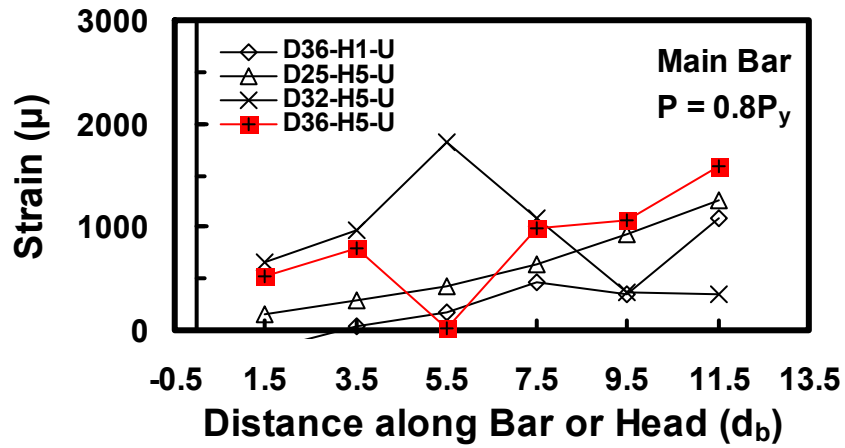
圖 6-21 於 T 頭端板倍率條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(#3@10)



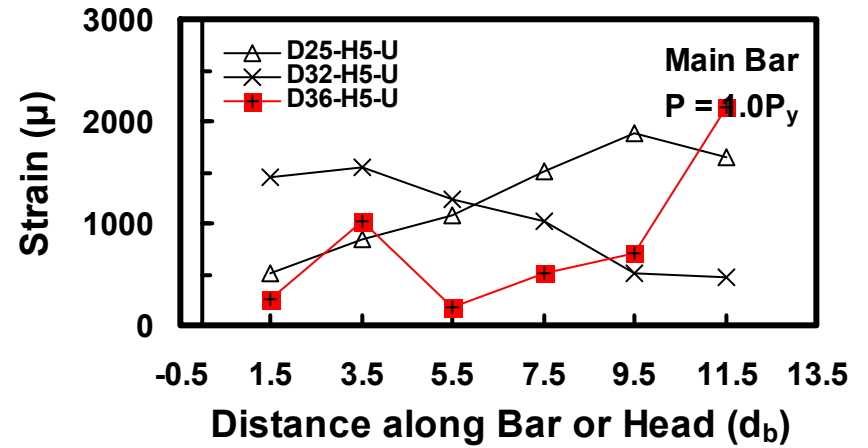
(a)



(b)



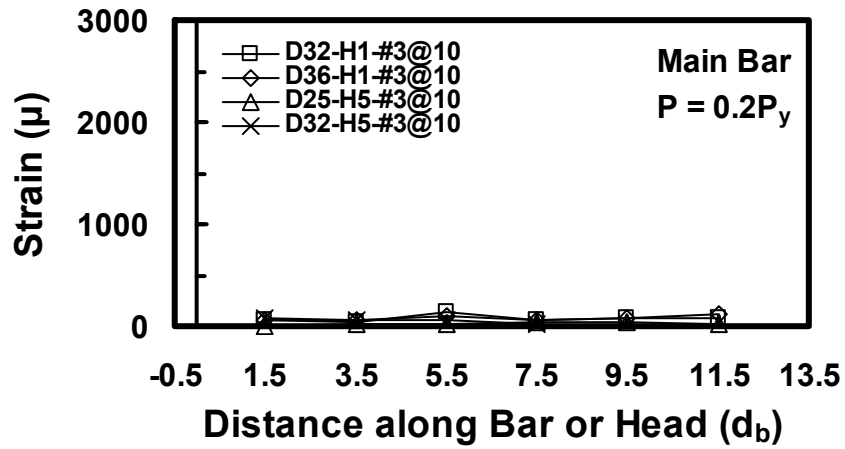
(c)



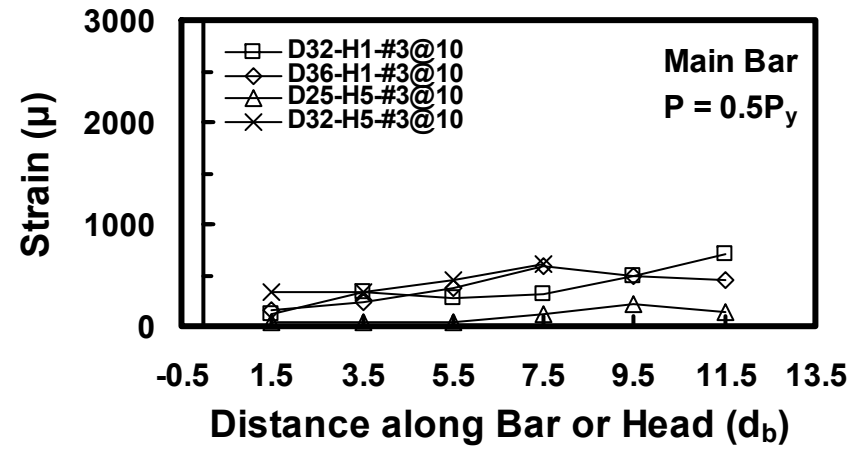
(d)

圖 6-22 於鋼筋號數條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(未圍束)

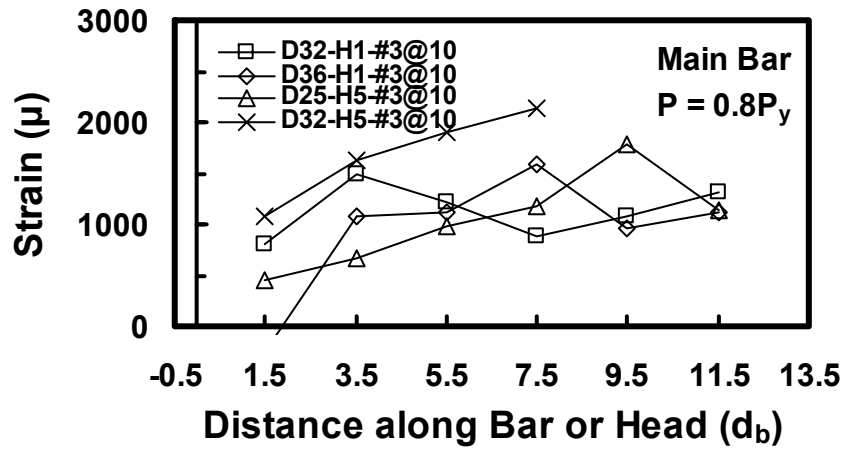




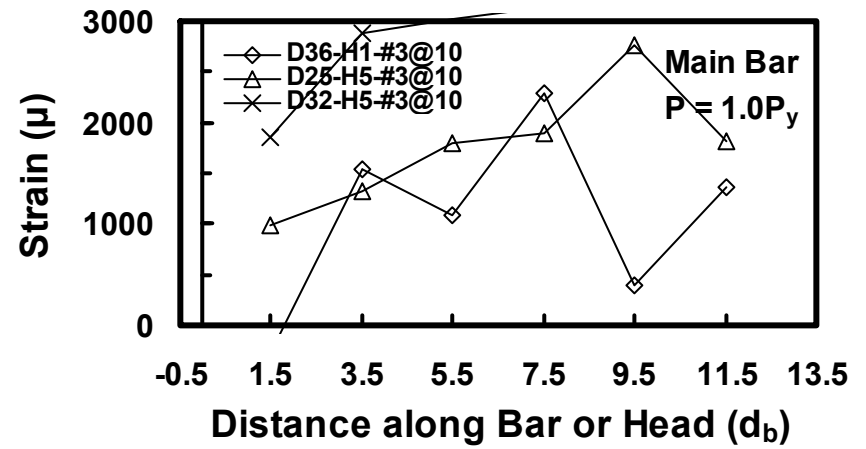
(a)



(b)

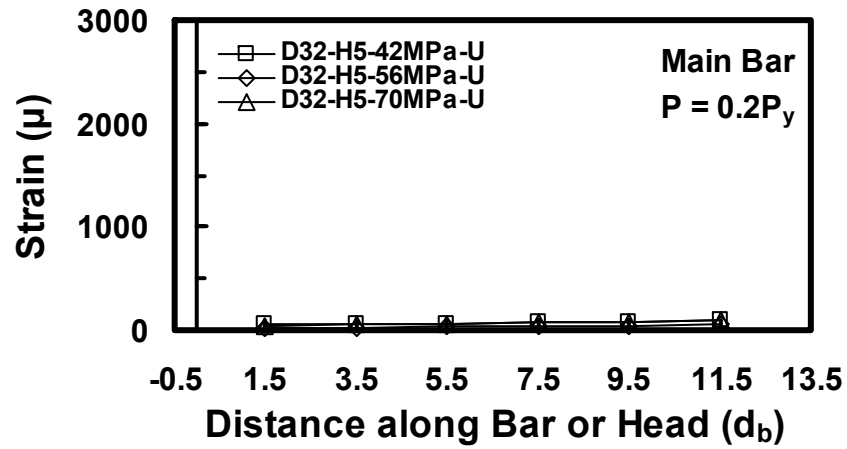


(c)

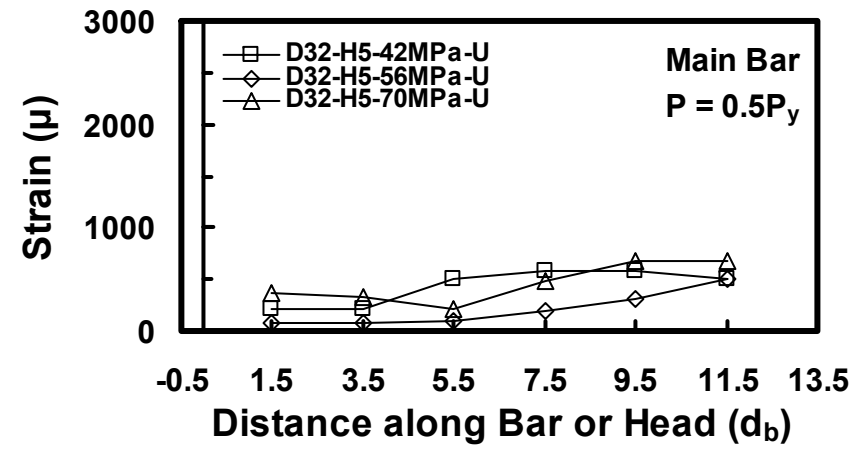


(d)

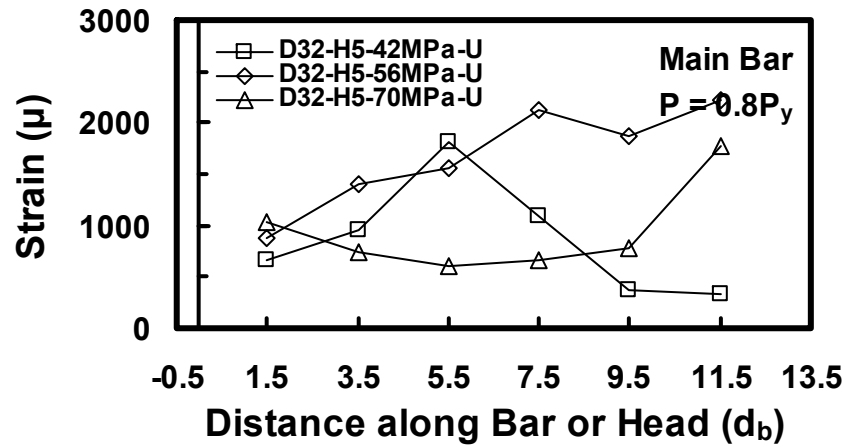
圖 6-23 於鋼筋號數條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(#3@10)



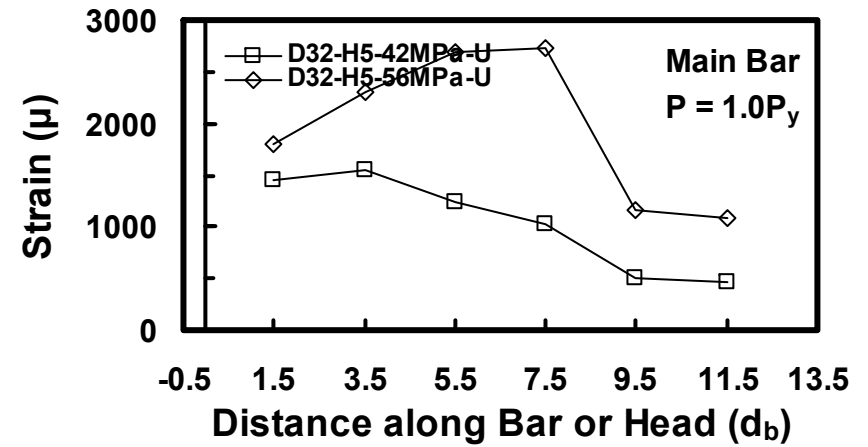
(a)



(b)

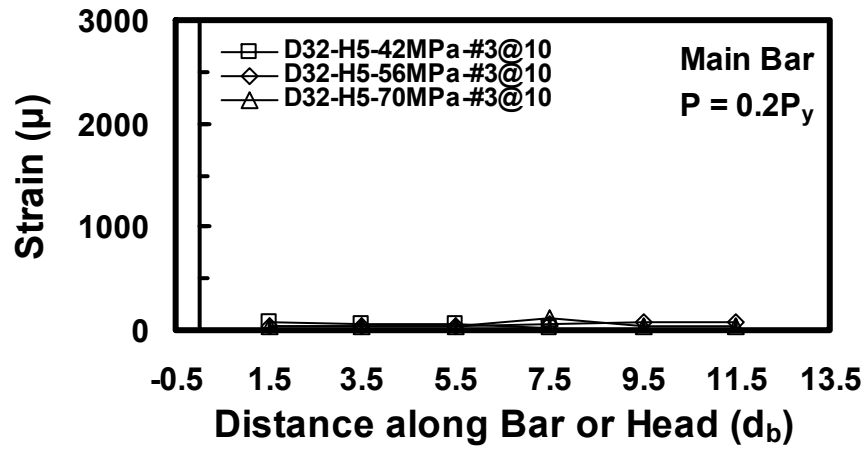


(c)

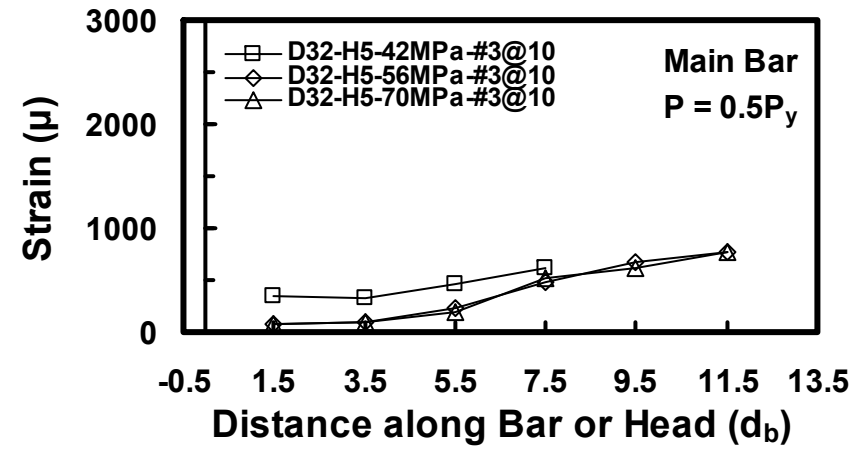


(d)

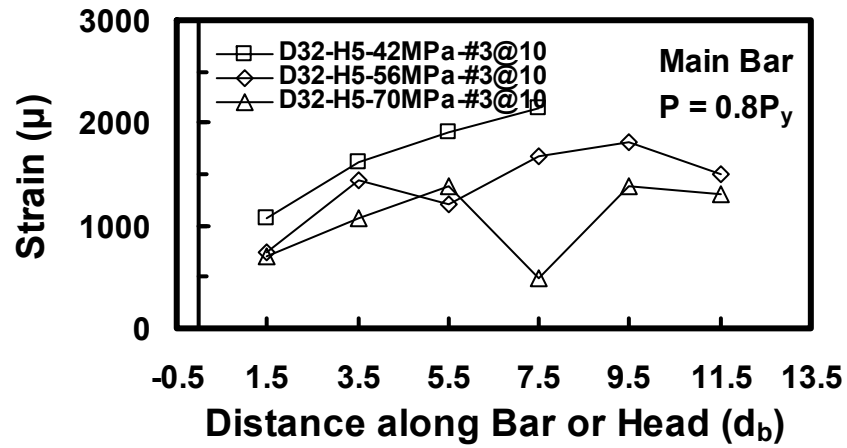
圖 6-24 於混凝土強度條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(未圍束)



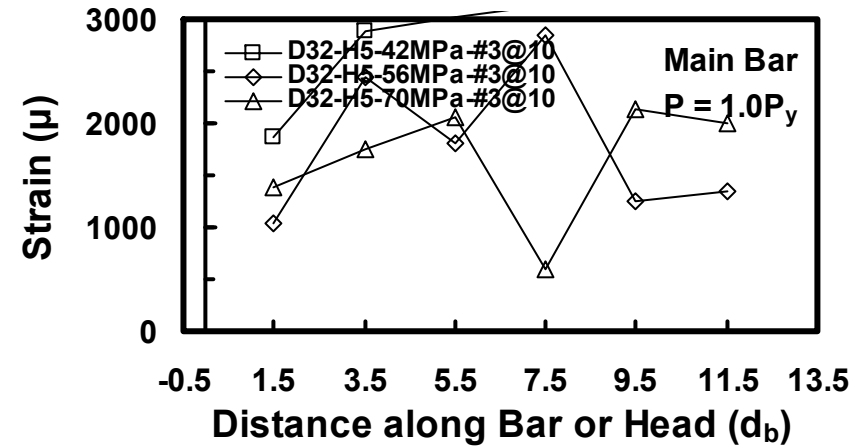
(a)



(b)

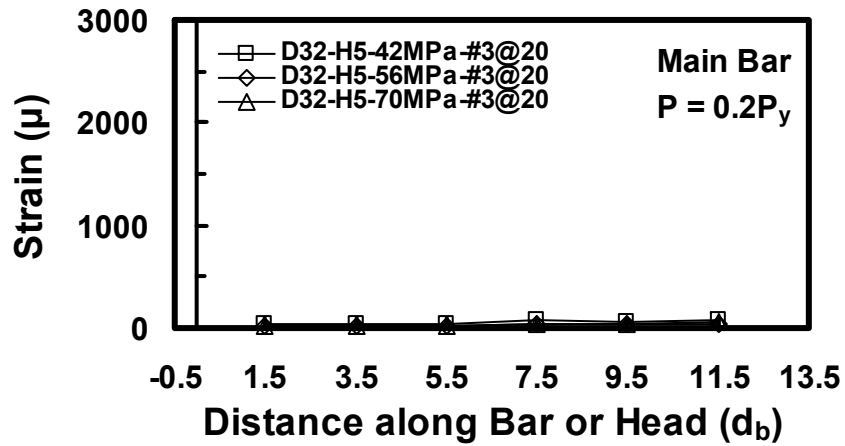


(c)

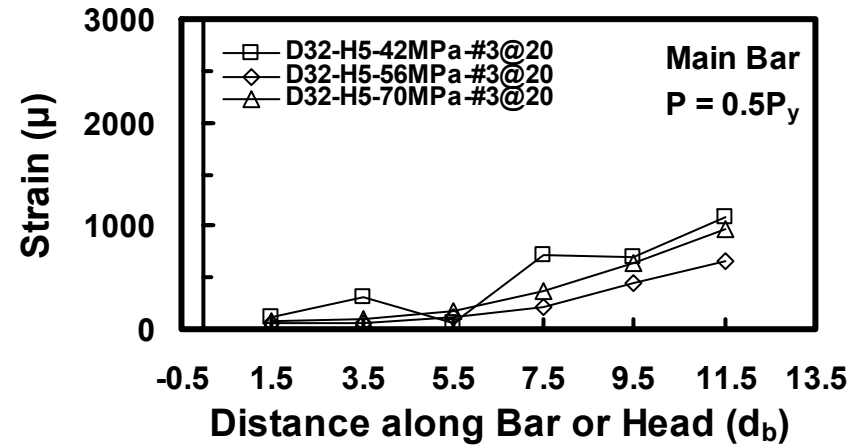


(d)

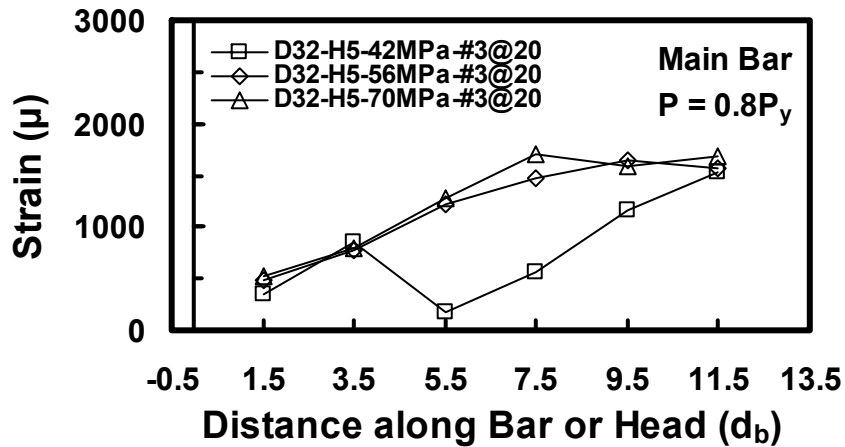
圖 6-25 於混凝土強度條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(#3@10)



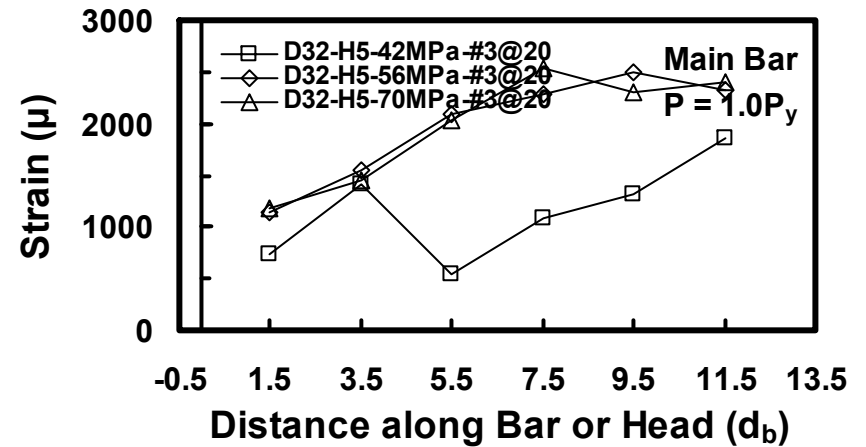
(a)



(b)

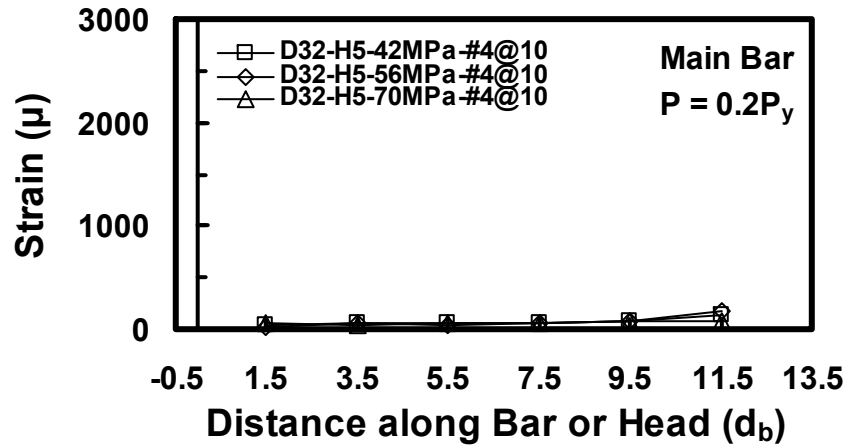


(c)

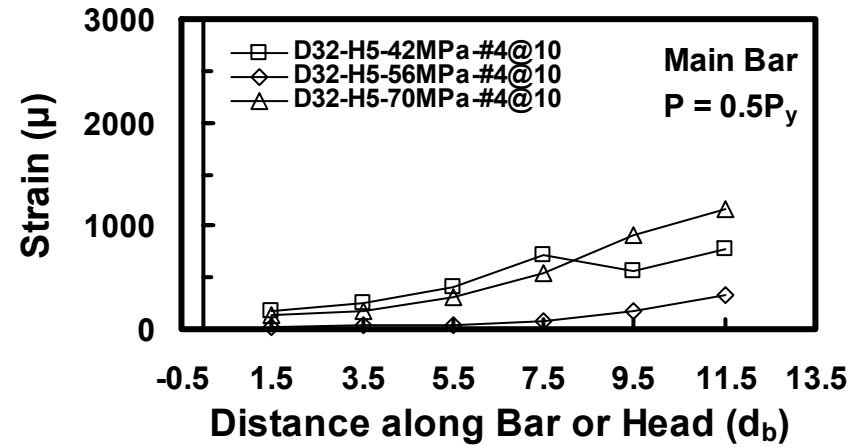


(d)

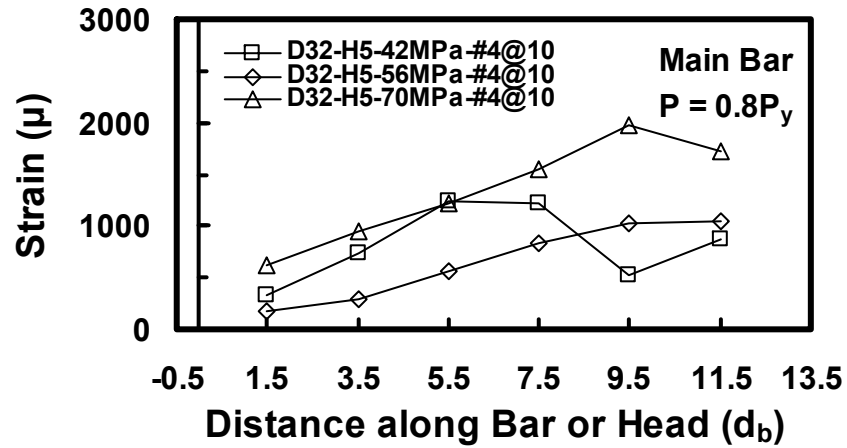
圖 6-26 於混凝土強度條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(#3@20)



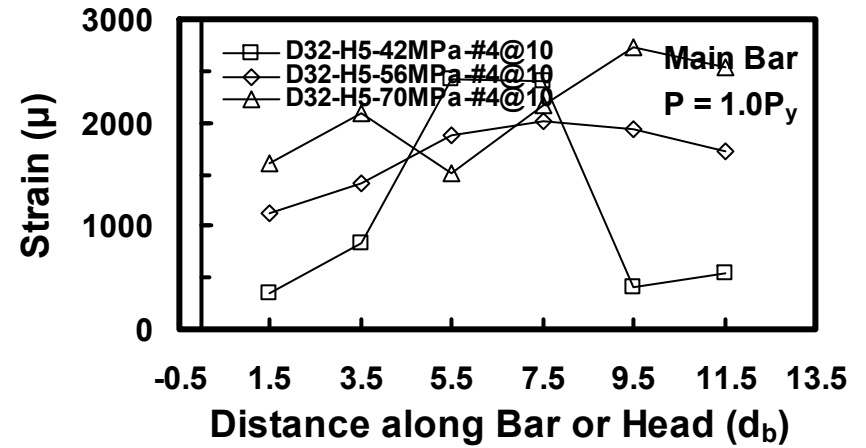
(a)



(b)

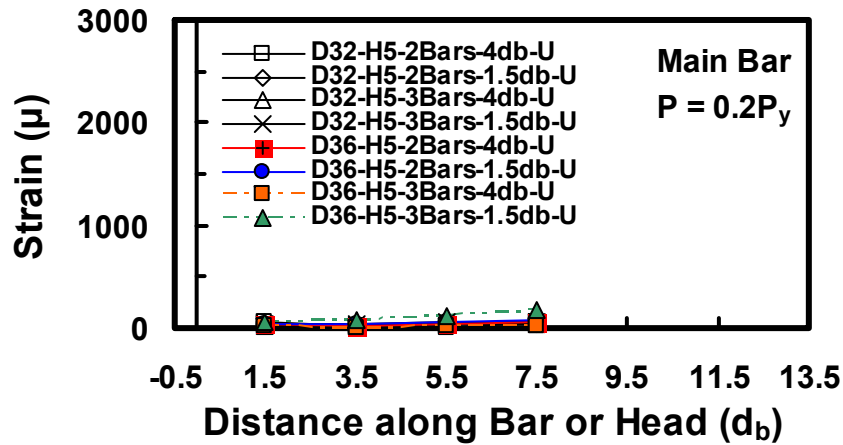


(c)

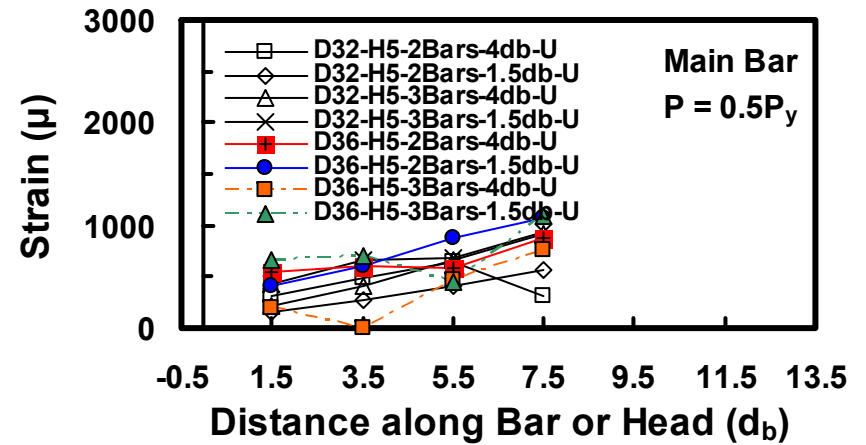


(d)

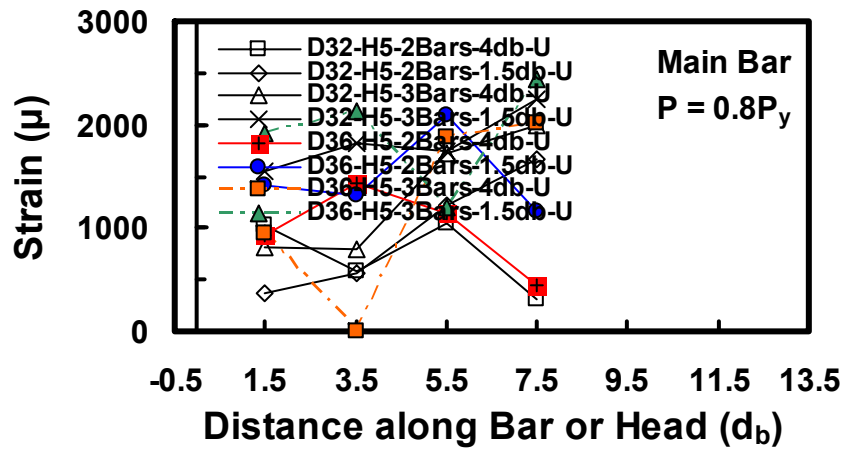
圖 6-27 於混凝土強度條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(#4@10)



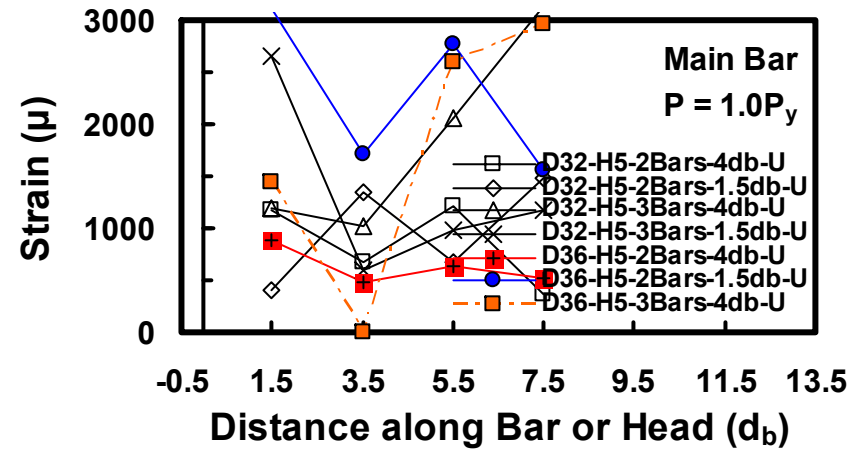
(a)



(b)

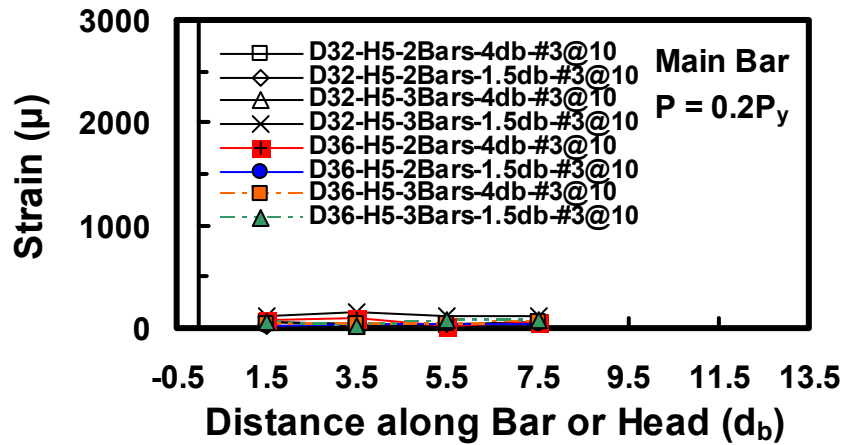


(c)

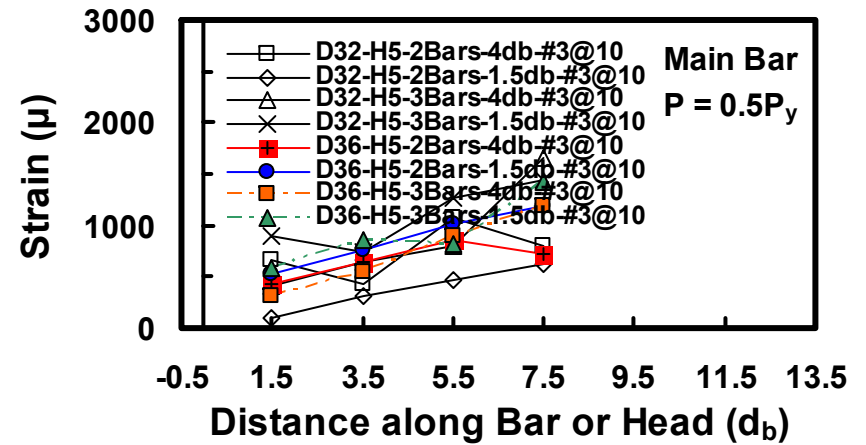


(d)

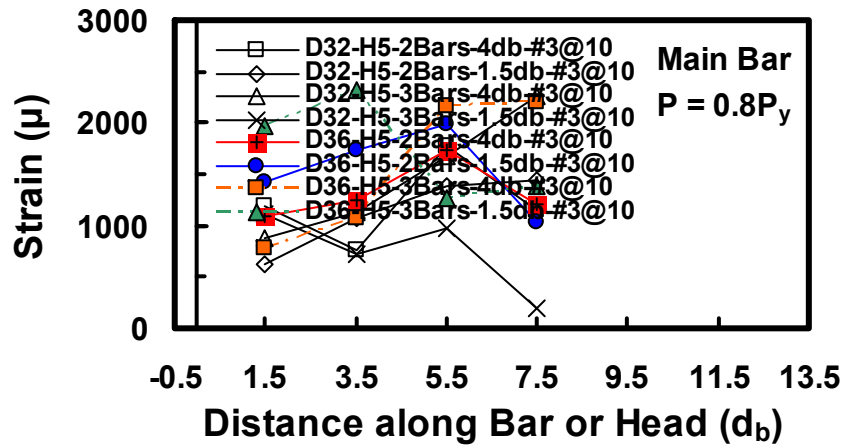
圖 6-28 於鋼筋淨間距條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(未圍束)



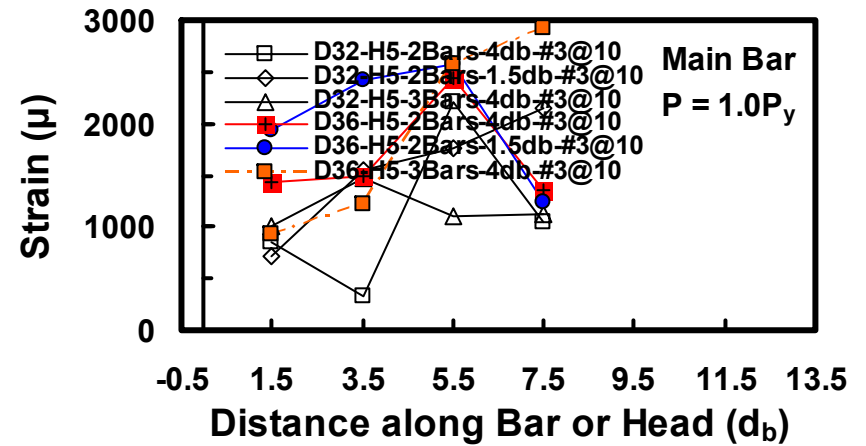
(a)



(b)

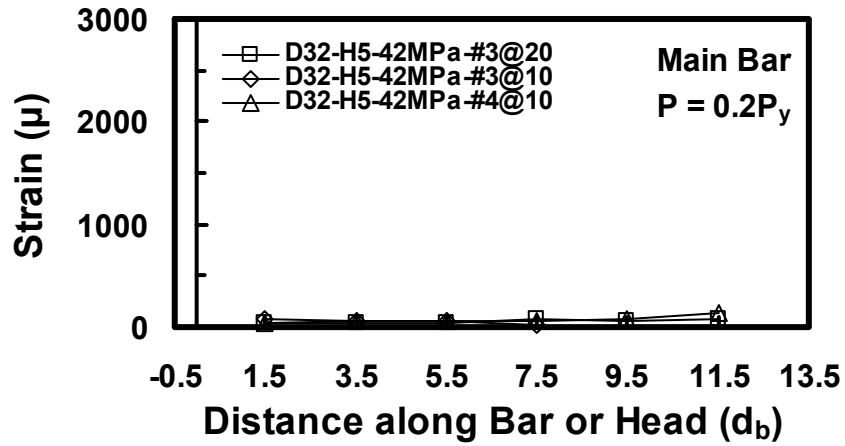


(c)

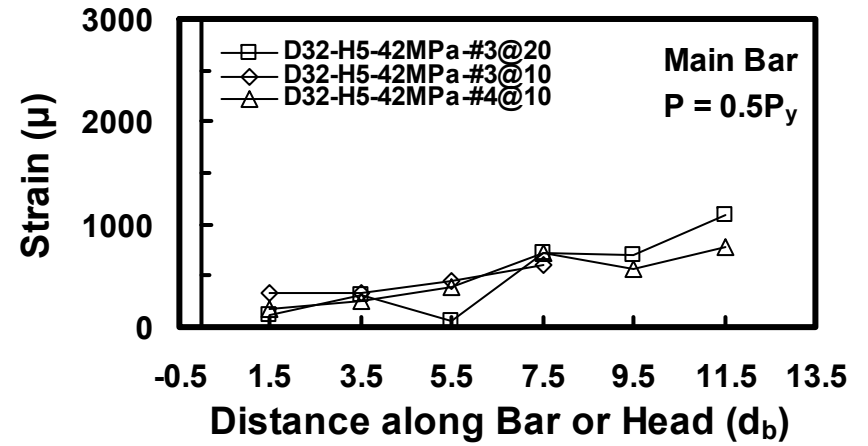


(d)

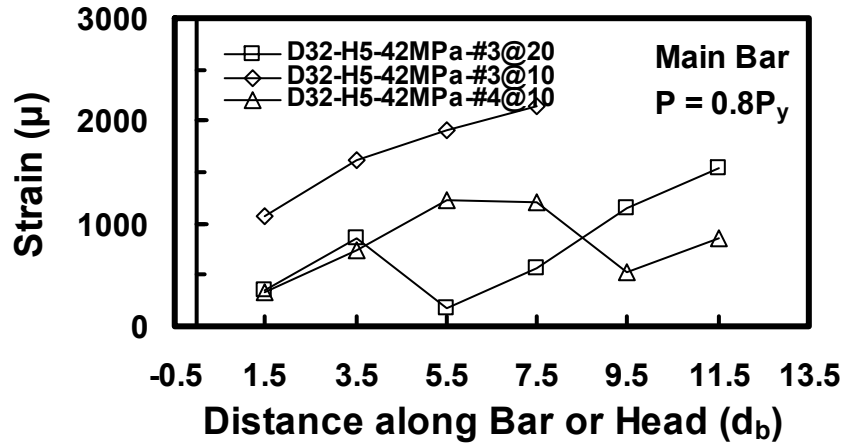
圖 6-29 於鋼筋淨間距條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(#3@10)



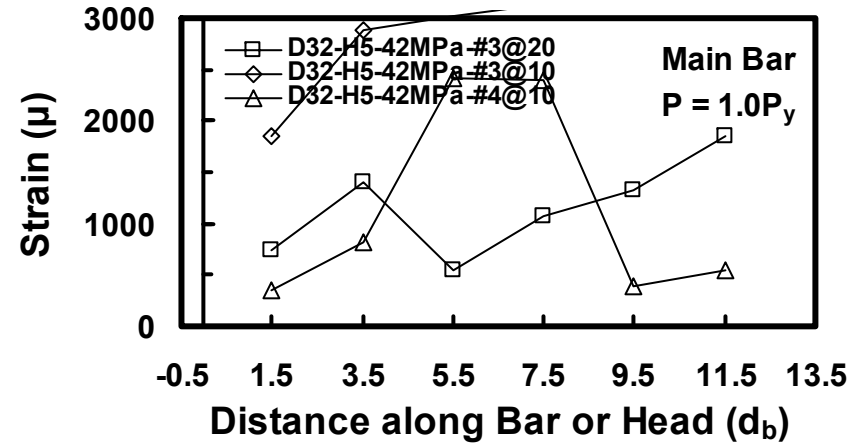
(a)



(b)



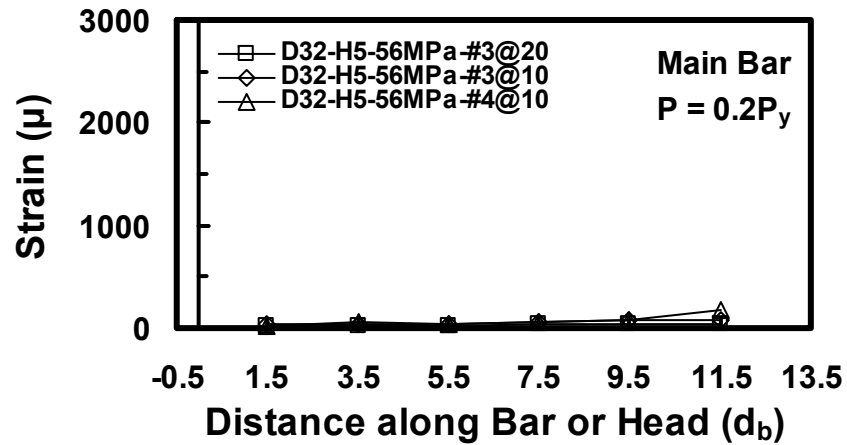
(c)



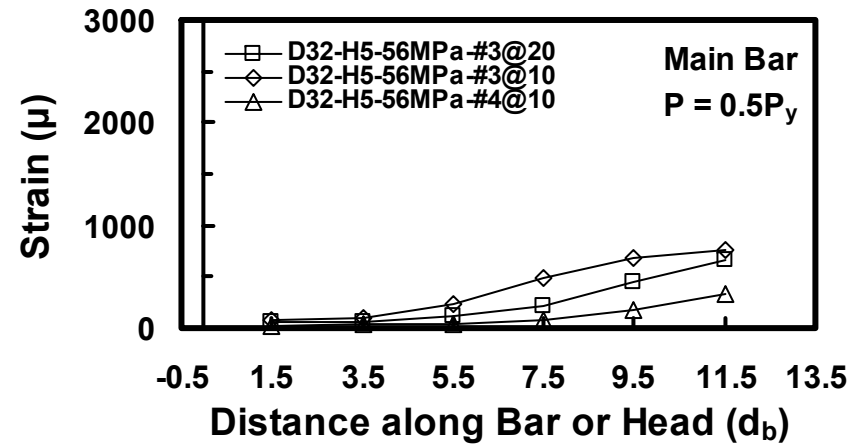
(d)

圖 6-30 於圍束條件下之各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(42MPa)

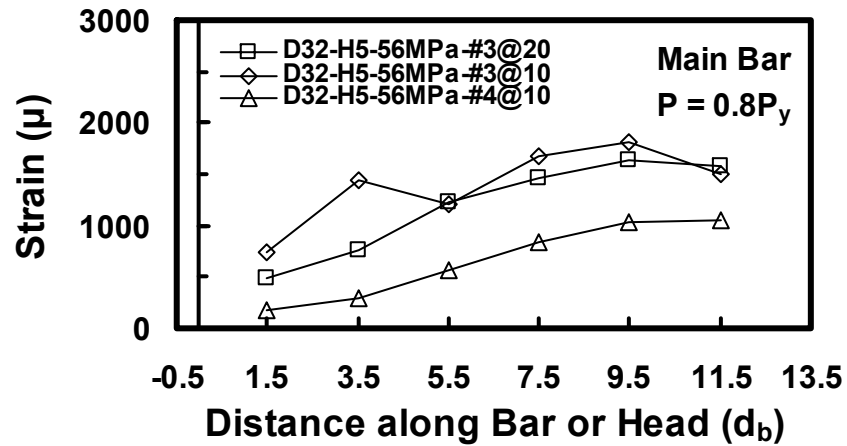




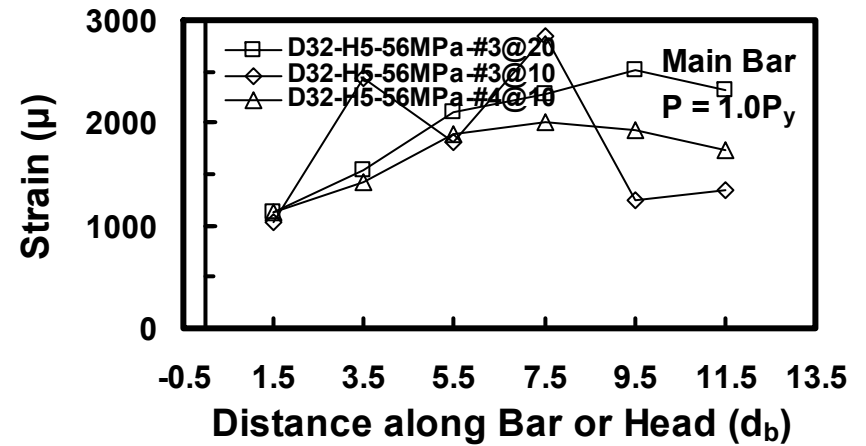
(a)



(b)

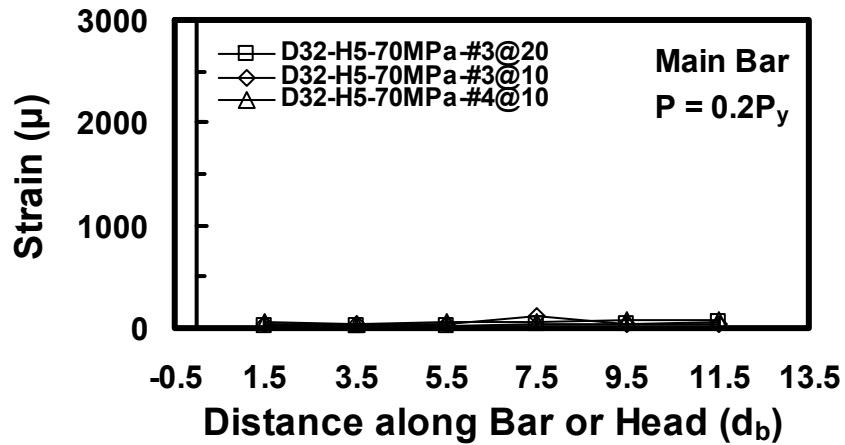


(c)

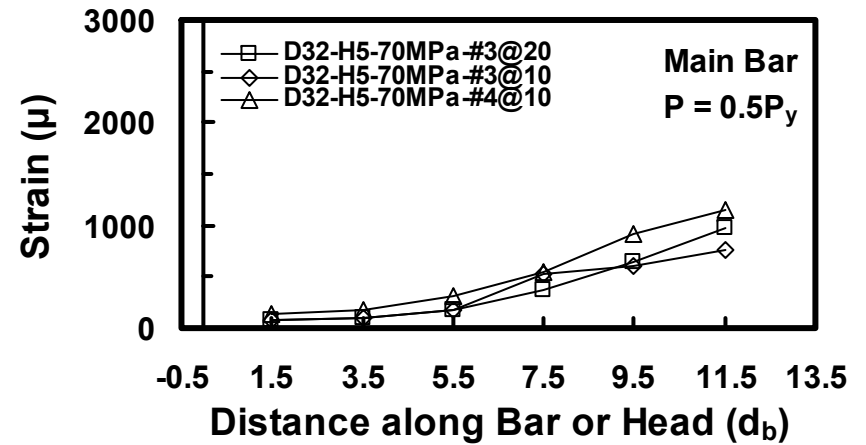


(d)

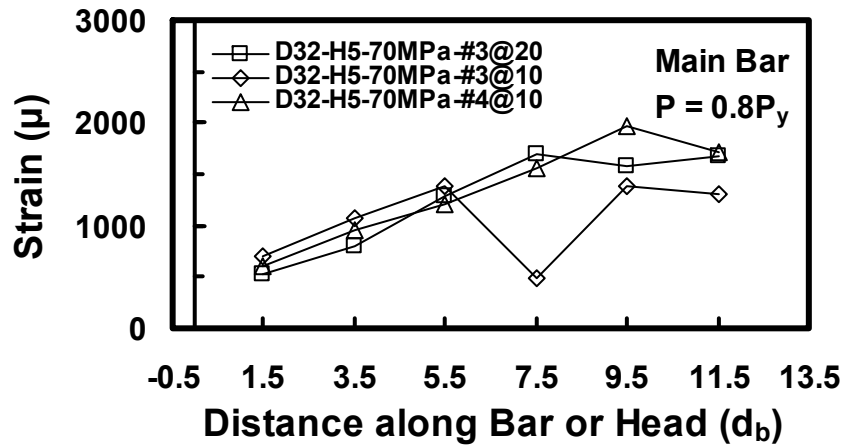
圖 6-31 於圍束條件下之各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(56MPa)



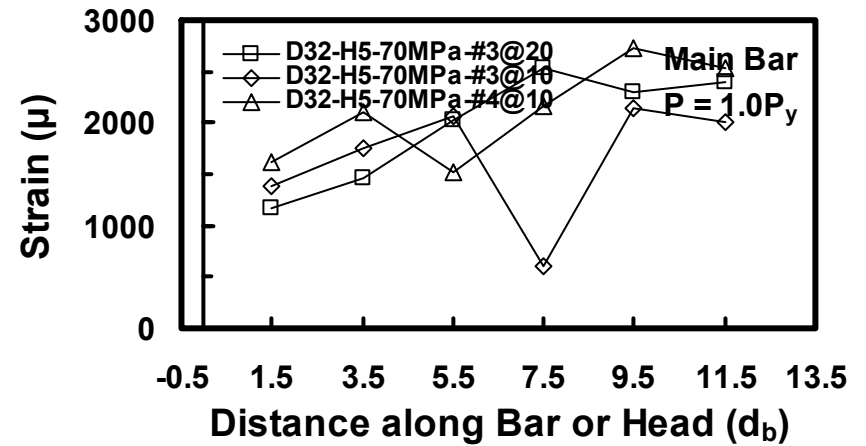
(a)



(b)

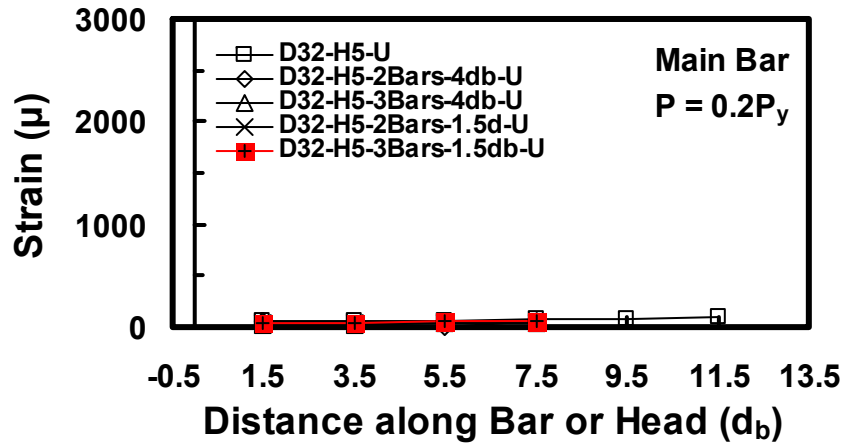


(c)

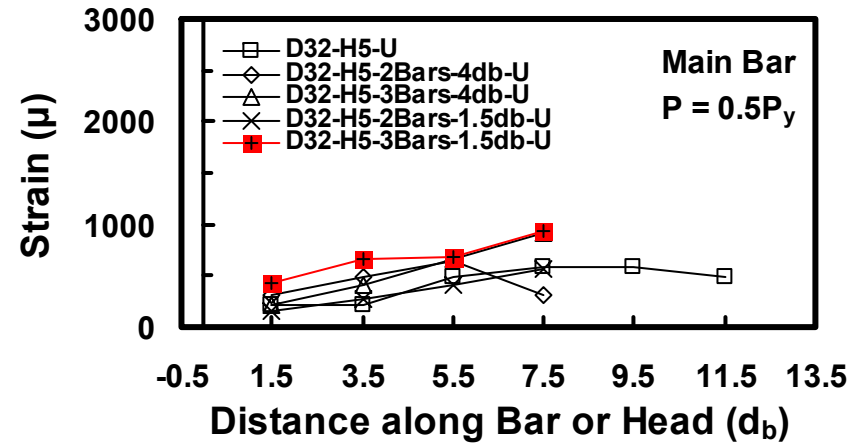


(d)

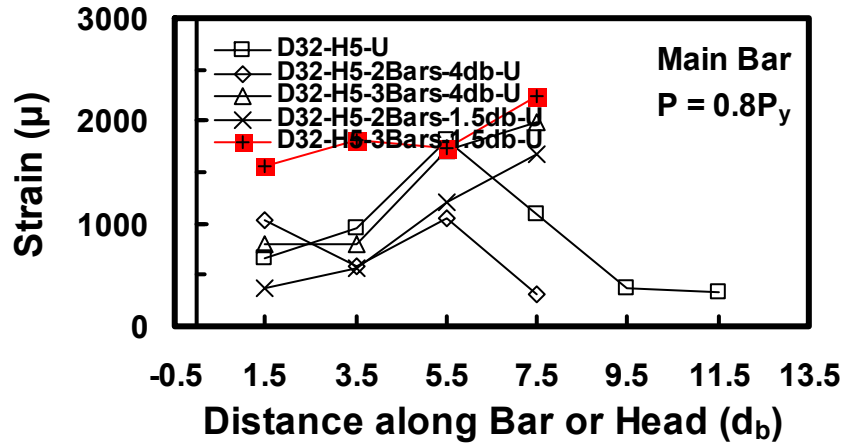
圖 6-32 於圍束條件下之各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(70MPa)



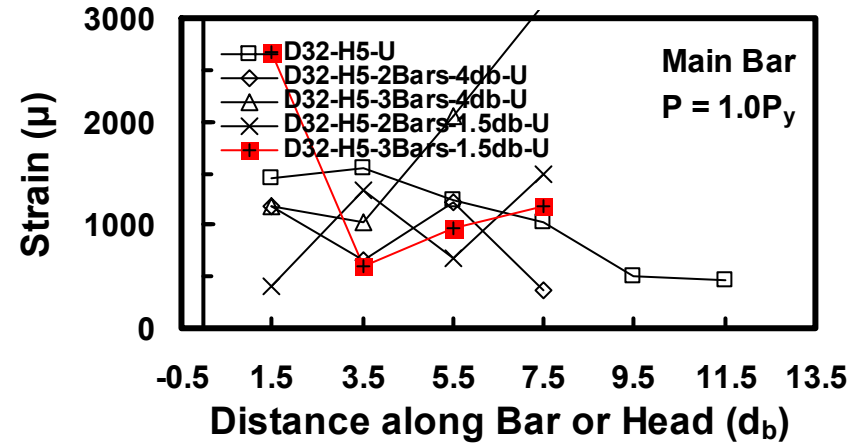
(a)



(b)

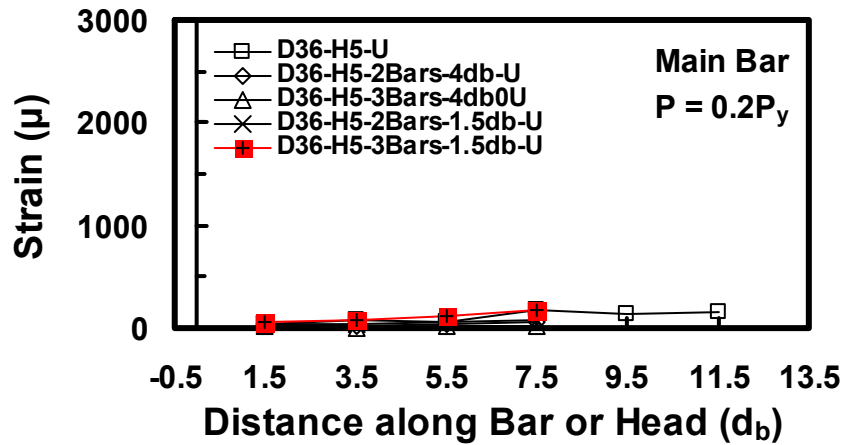


(c)

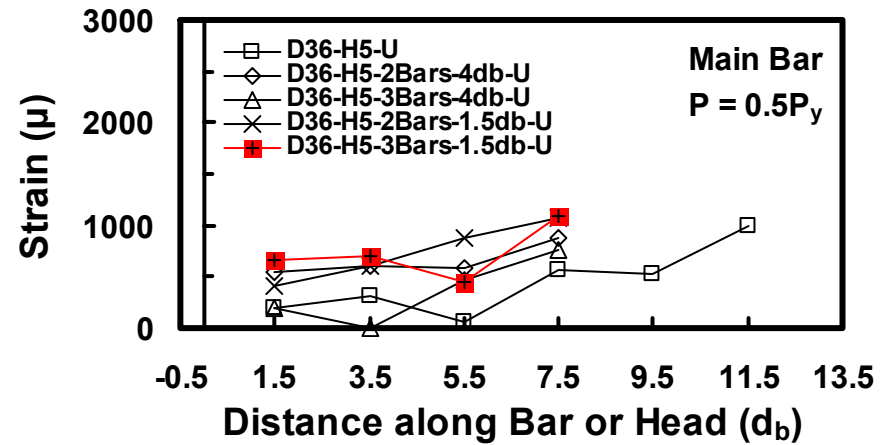


(d)

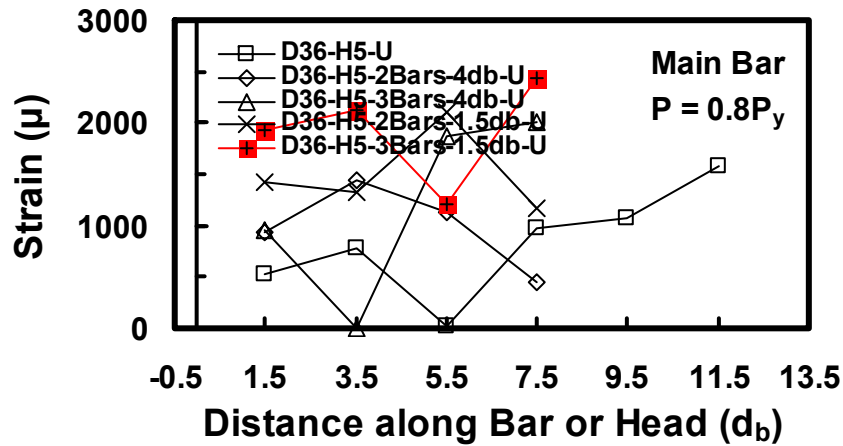
圖 6-33 於鋼筋支數條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(D32-未圍束)



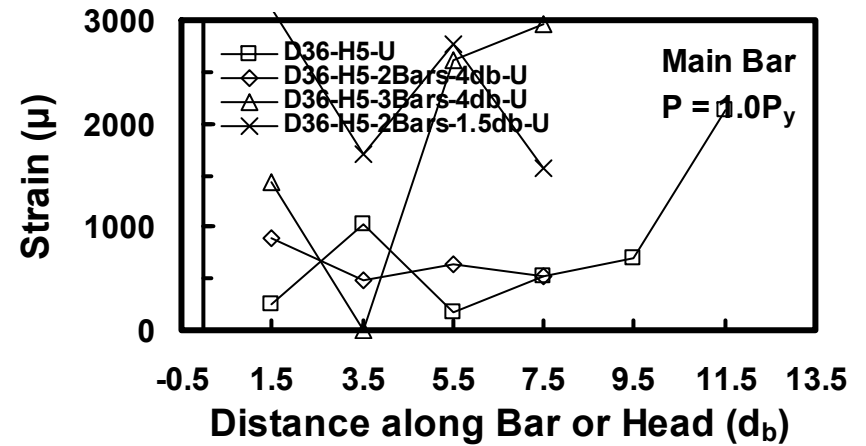
(a)



(b)

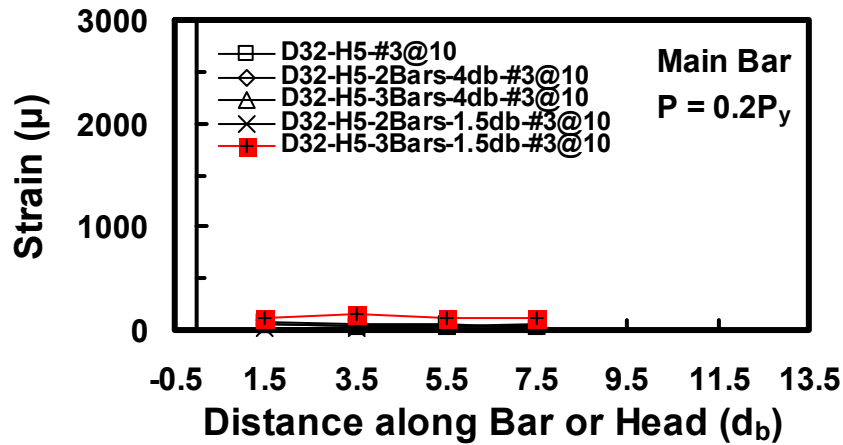


(c)

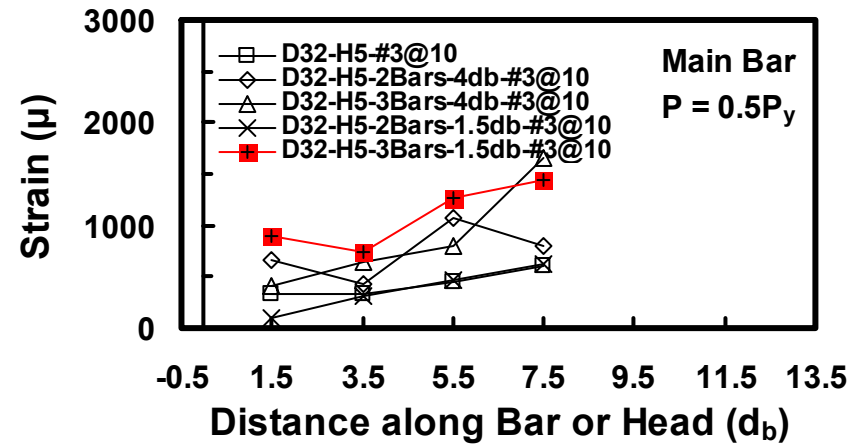


(d)

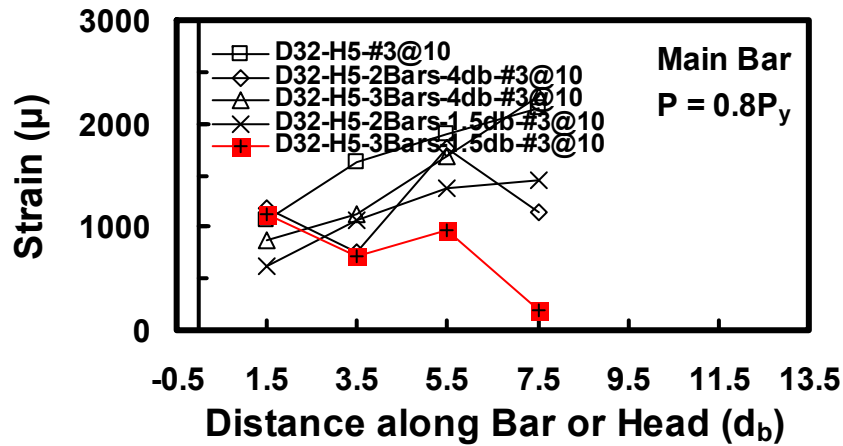
圖 6-34 於鋼筋支數條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(D36-未圍束)



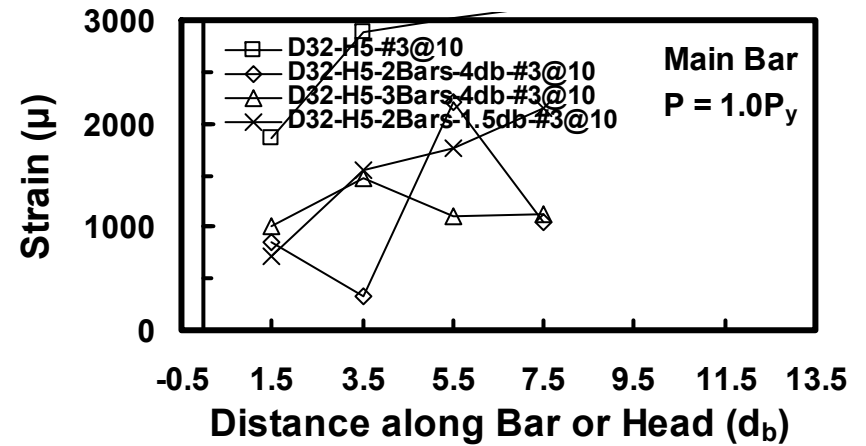
(a)



(b)

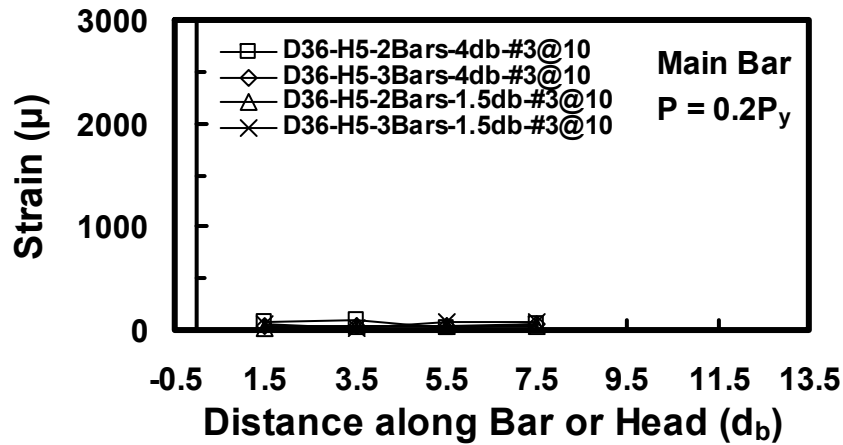


(c)

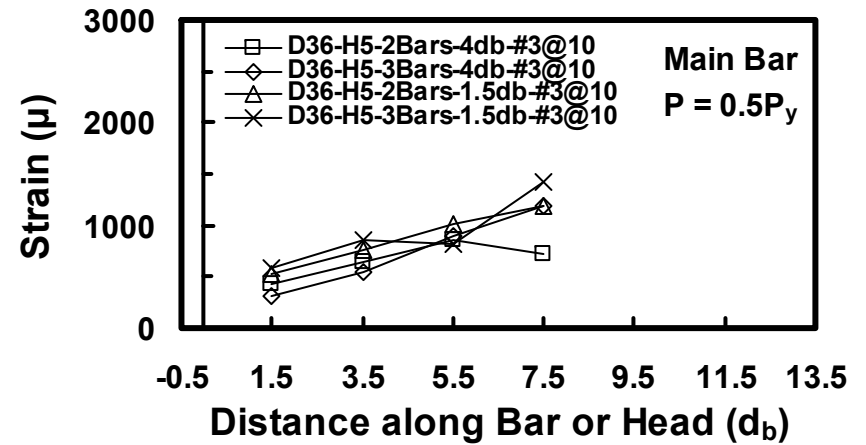


(d)

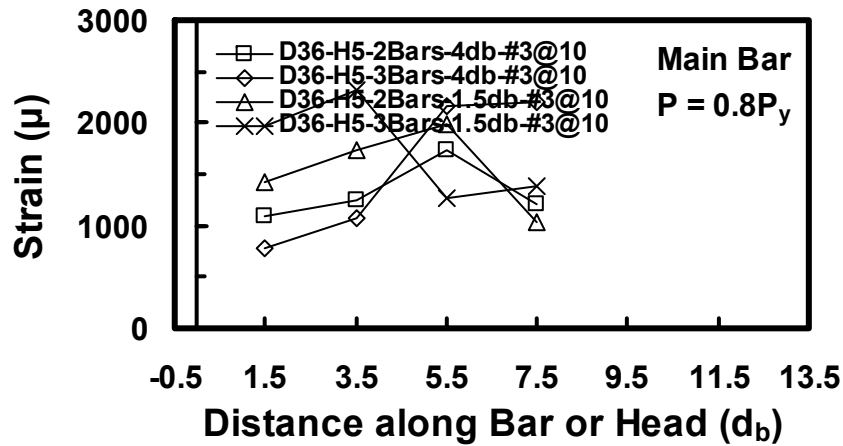
圖 6-35 於鋼筋支數條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(D32-#3@10)



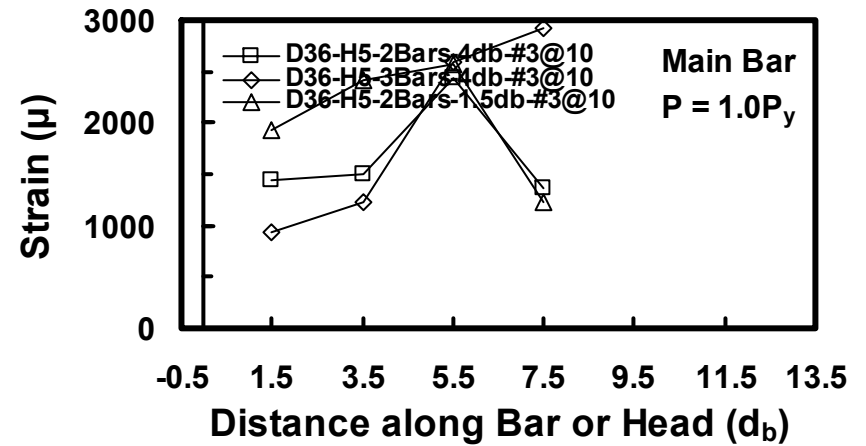
(a)



(b)

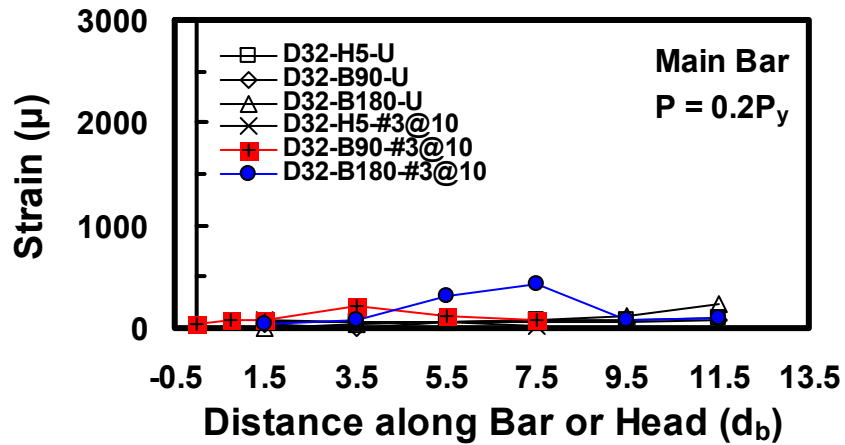


(c)

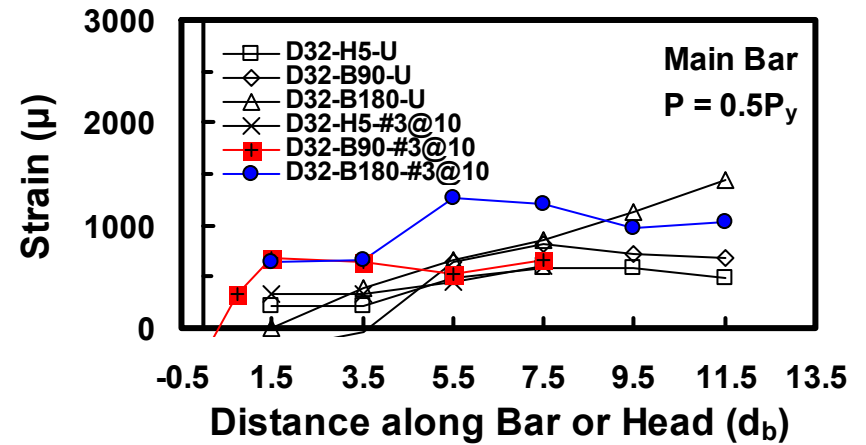


(d)

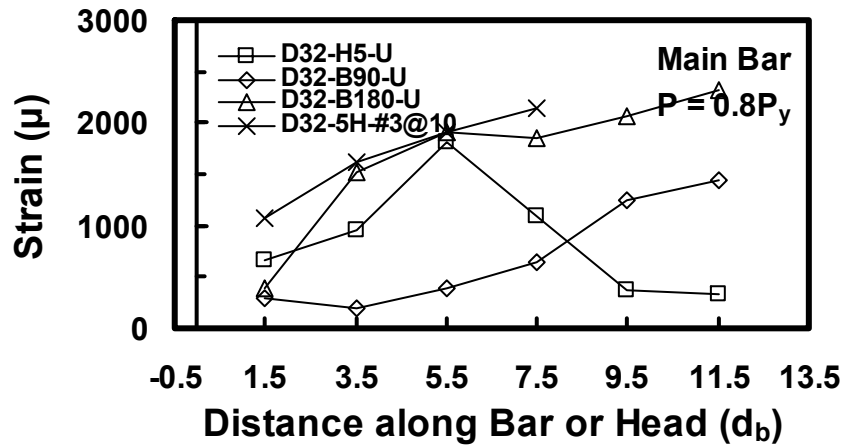
圖 6-36 於鋼筋支數條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(D36-#3@10)



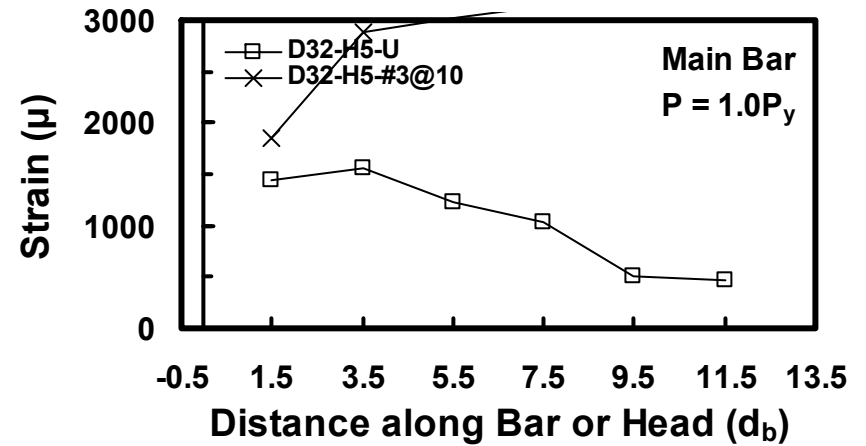
(a)



(b)

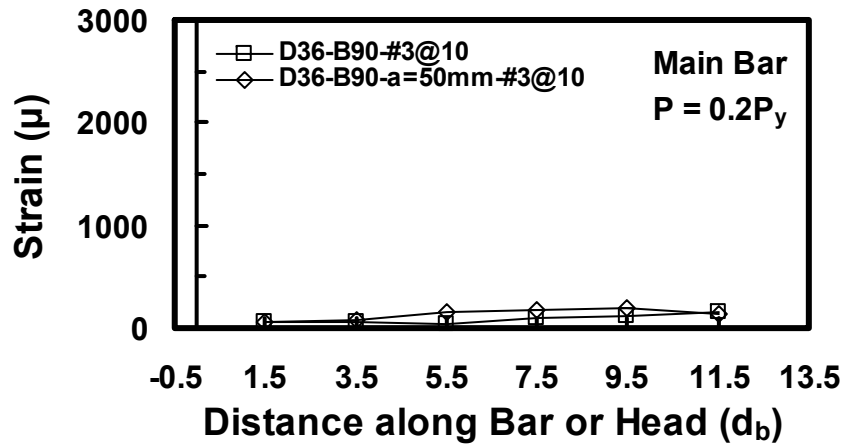


(c)

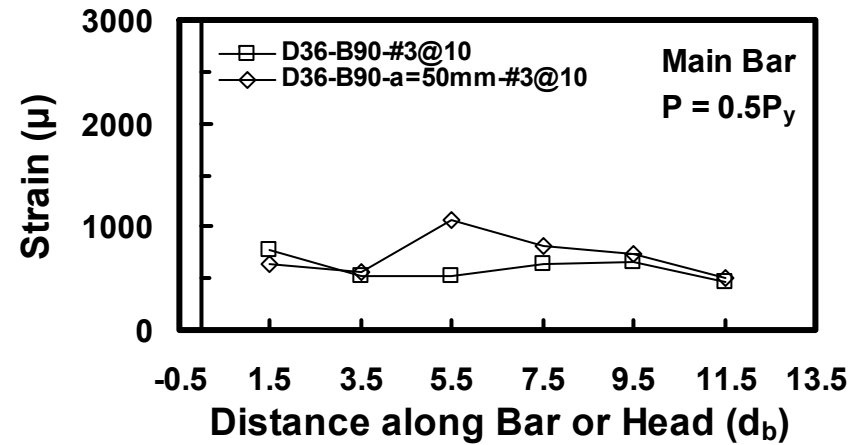


(d)

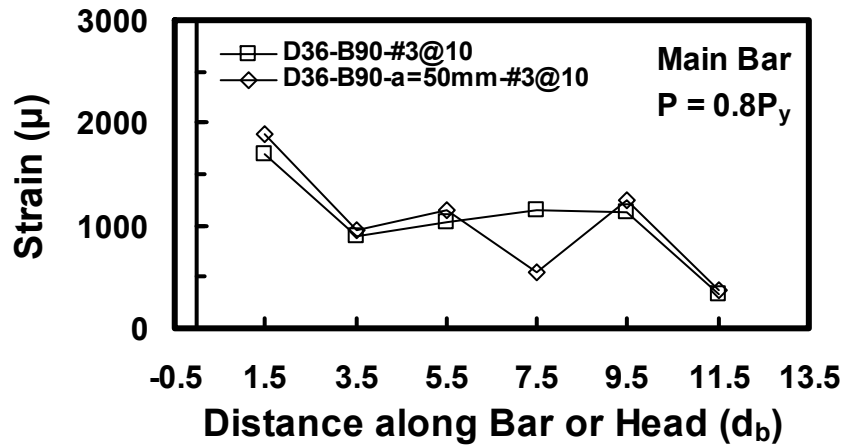
圖 6-37 於鋼筋型式條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(未圍束)



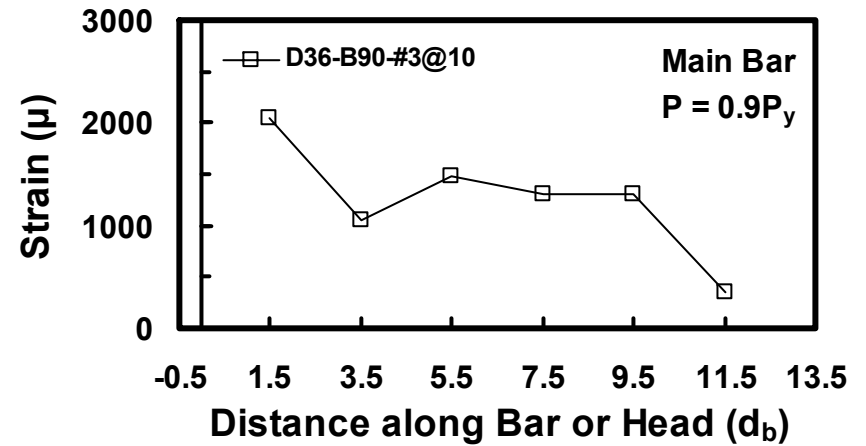
(a)



(b)



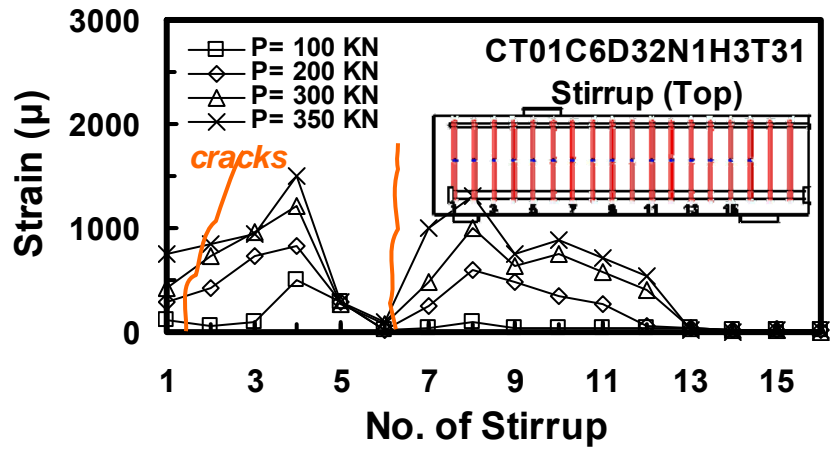
(c)



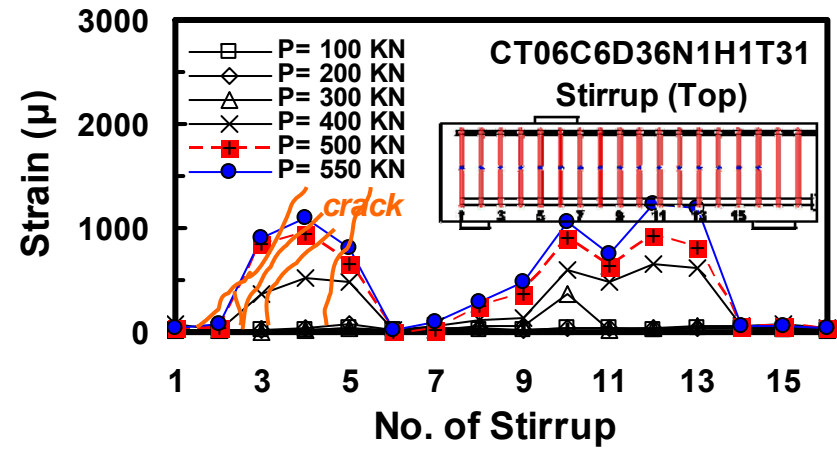
(d)

圖 6-38 於鋼筋型式條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(#3@10)

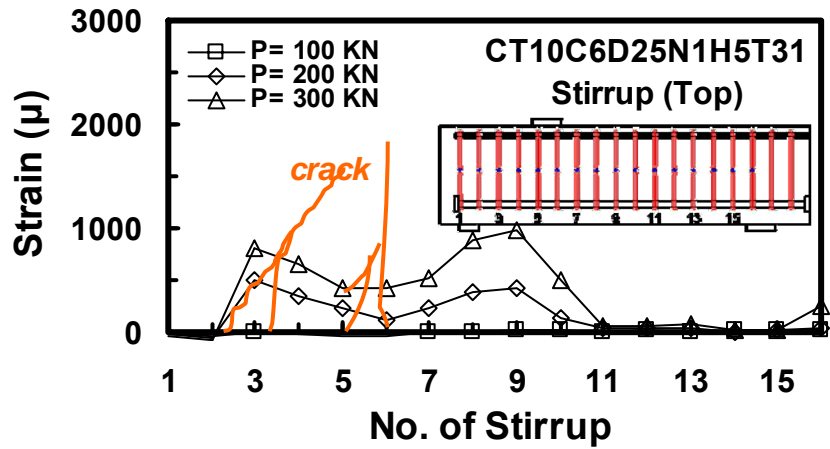




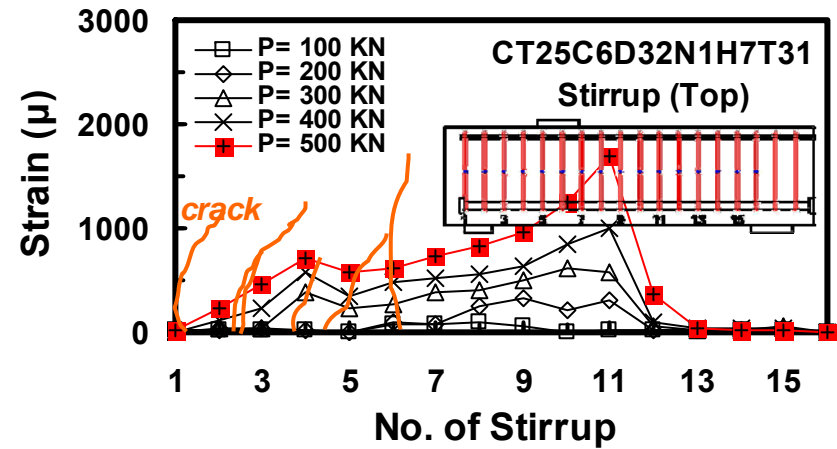
(a)



(b)

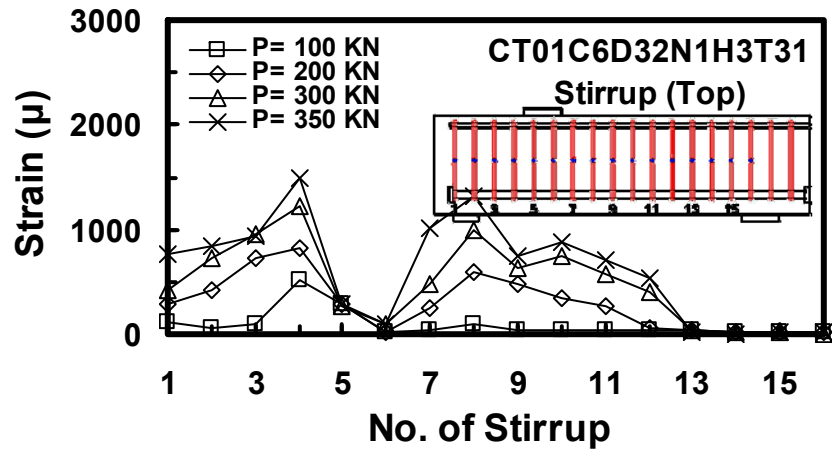


(c)

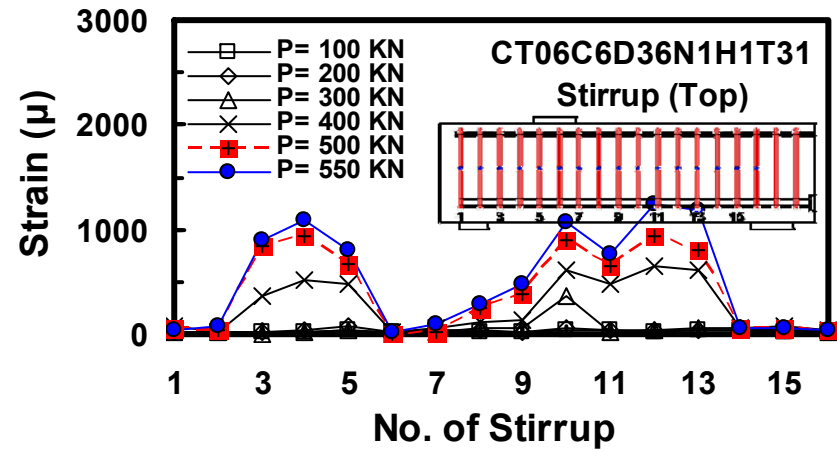


(d)

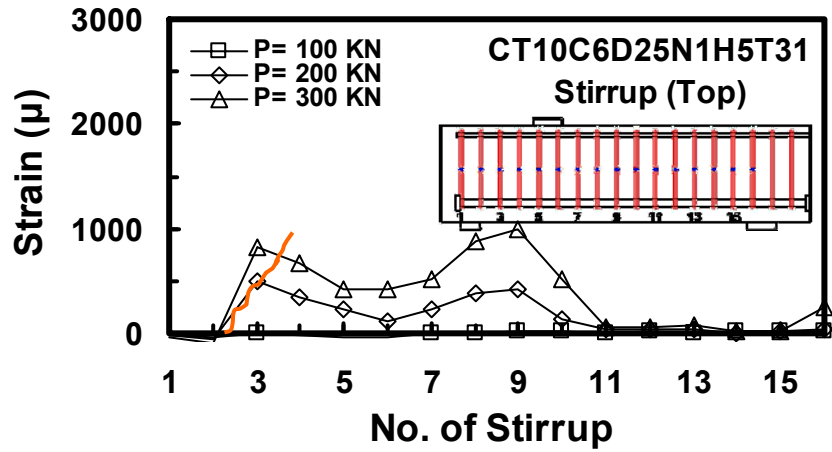
圖 6-39 各試體於試驗各階段中搭配主要裂縫生成之箍筋應變變化圖



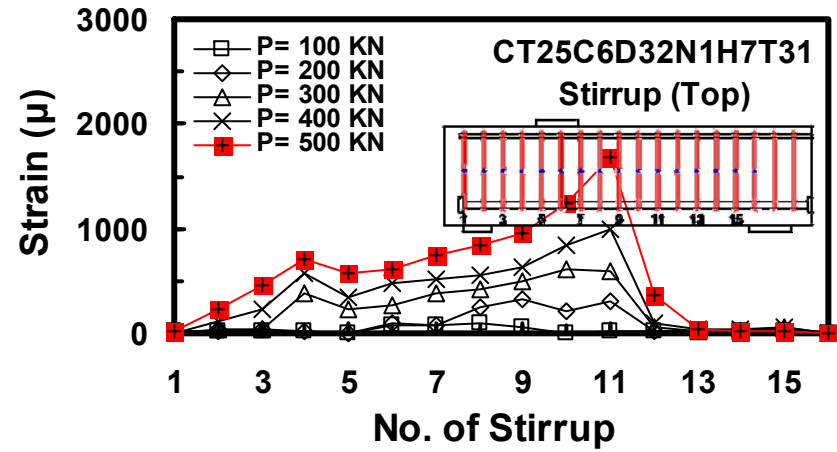
(a)



(b)

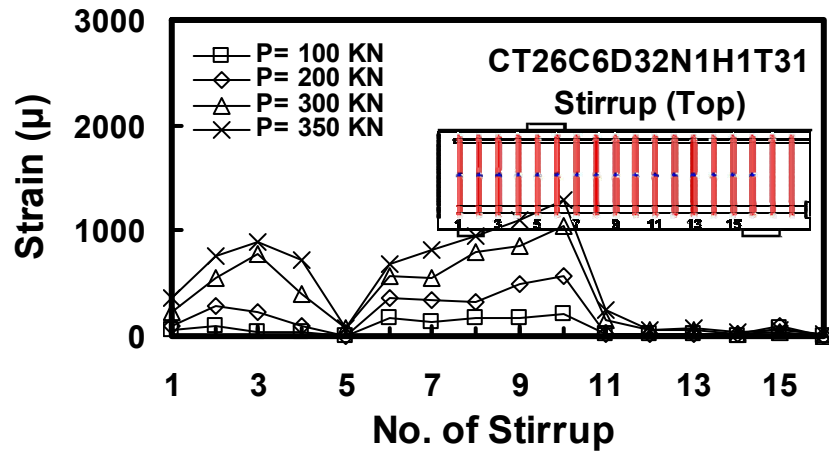


(c)

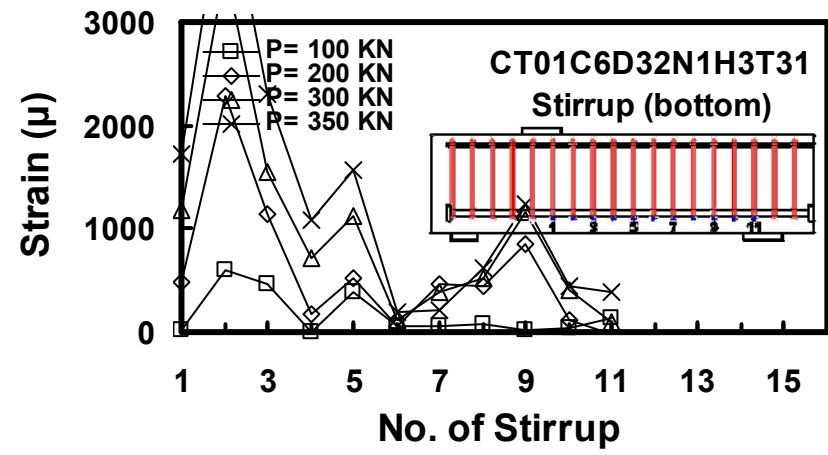


(d)

圖 6-40 各試體於試驗各階段中之箍筋應變變化圖

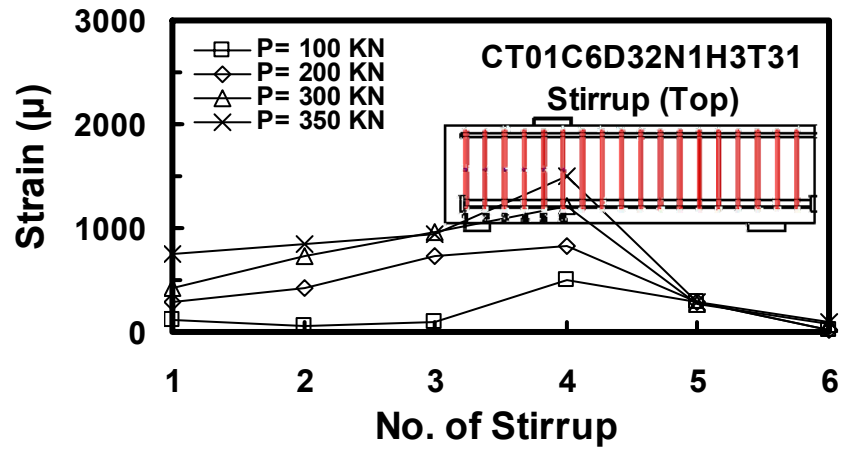


(e)

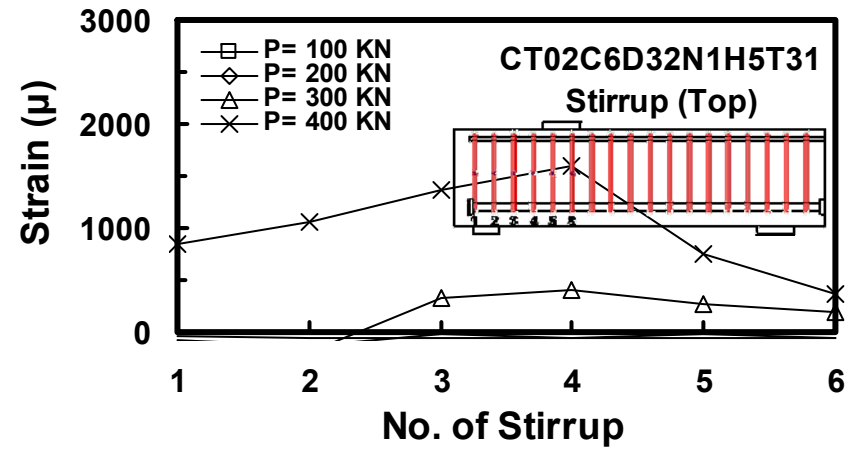


(f)

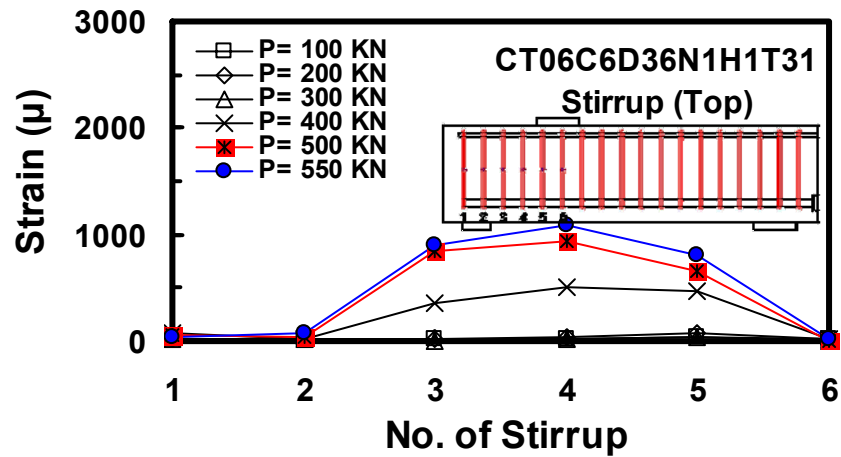
圖 6-40 各試體於試驗各階段中之箍筋應變變化圖(續)



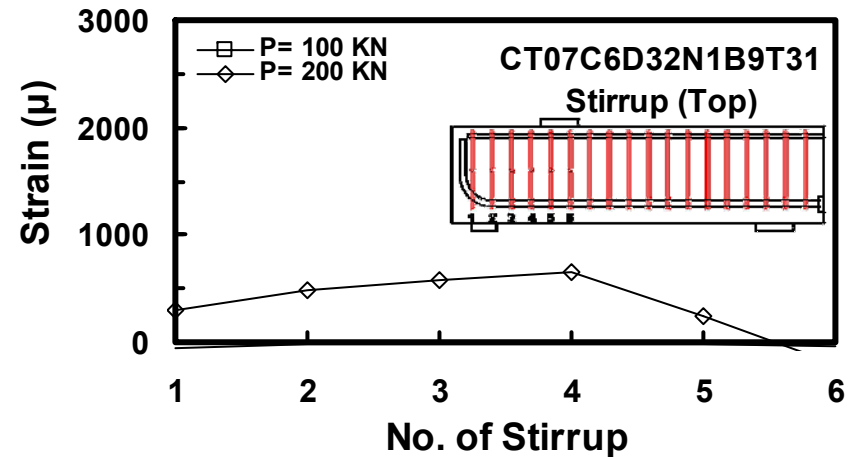
(a)



(b)

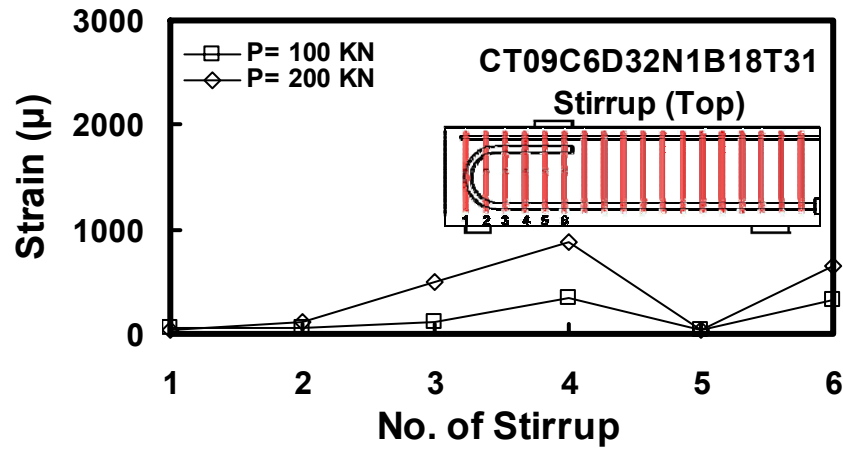


(c)

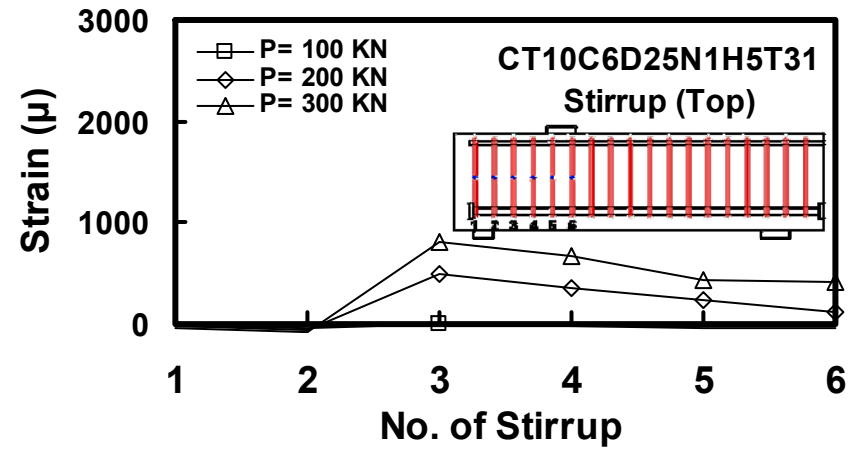


(d)

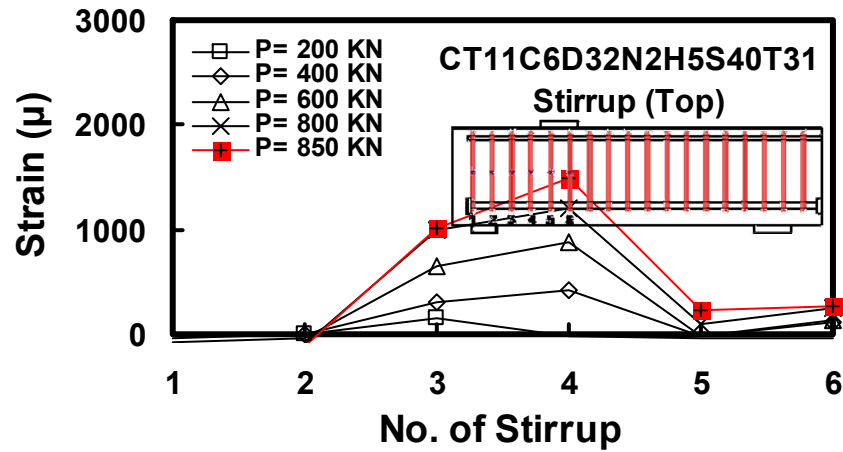
圖 6-41 各試體於試驗各階段中之側面箍筋應變變化圖



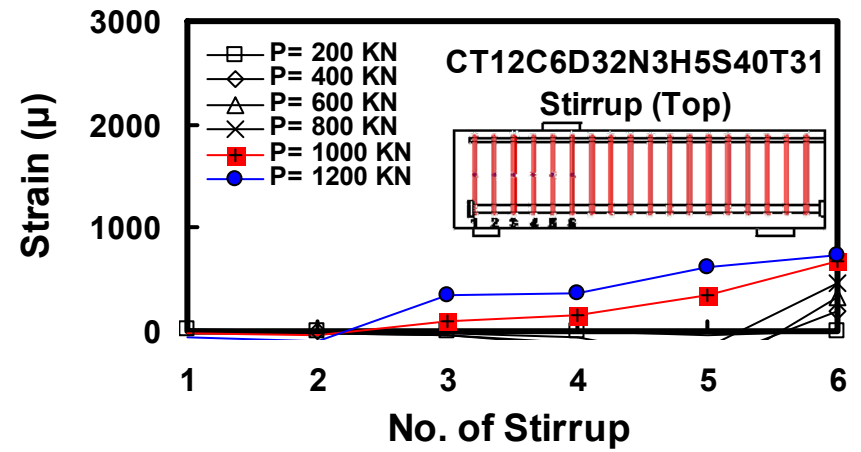
(e)



(f)

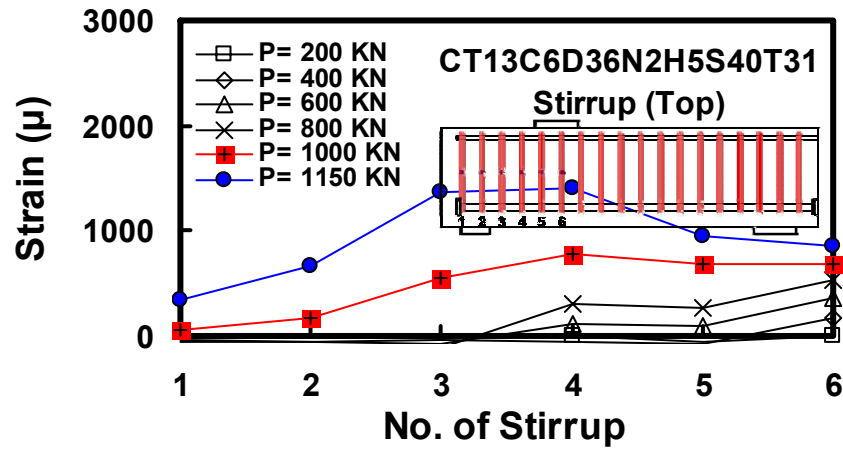


(g)

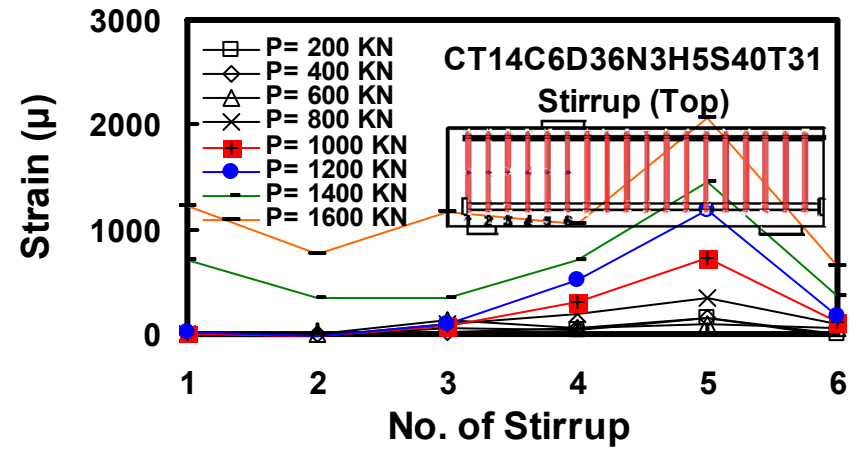


(h)

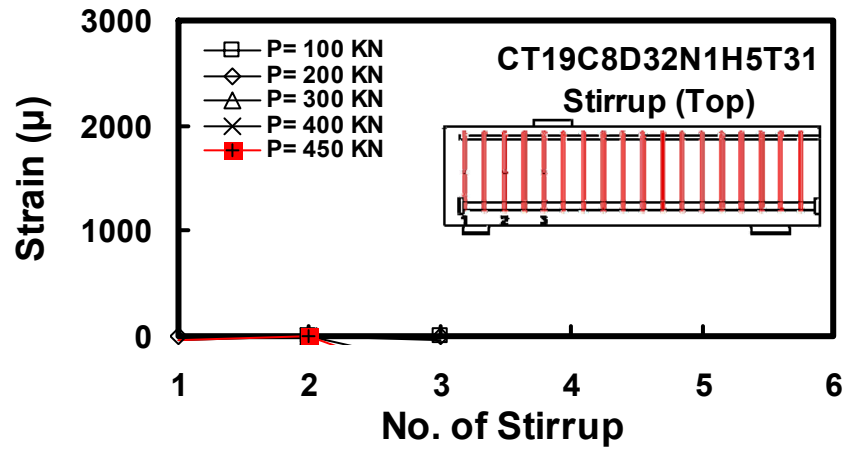
圖 6-41 各試體於試驗各階段中之側面箍筋應變變化圖(續)



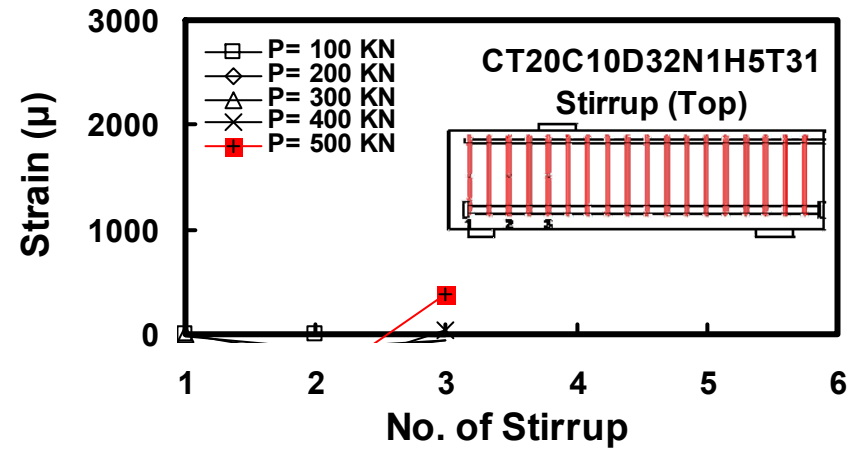
(i)



(j)

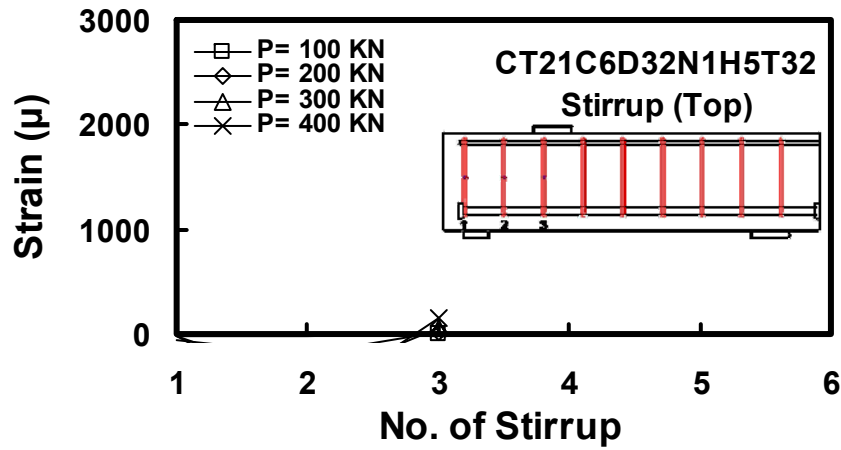


(k)

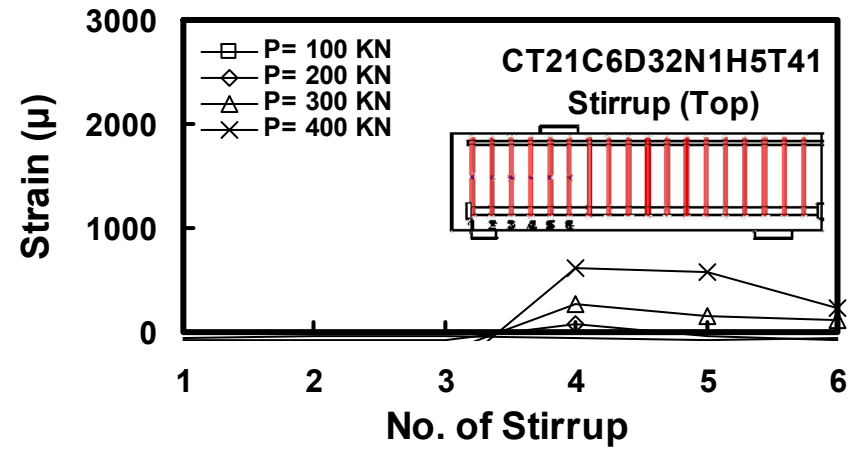


(l)

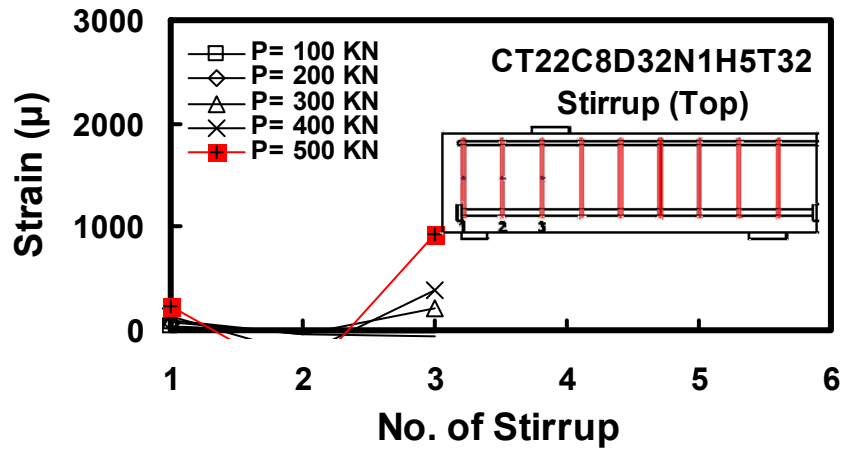
圖 6-41 各試體於試驗各階段中之側面箍筋應變變化圖(續)



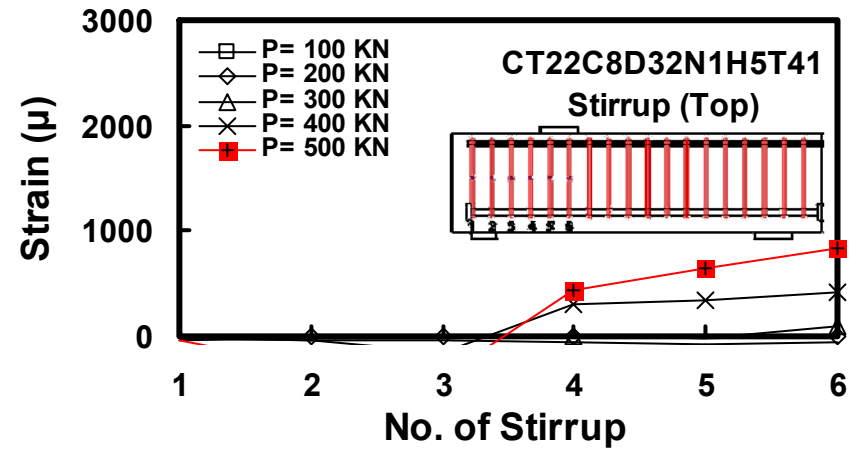
(m)



(n)

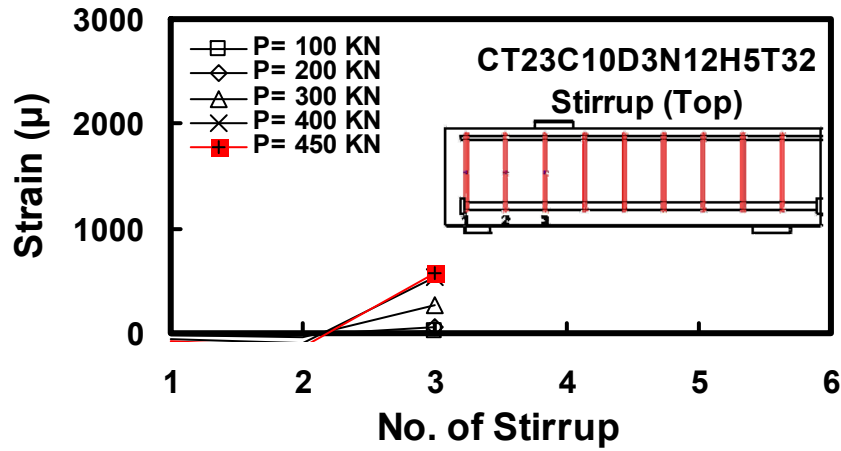


(o)

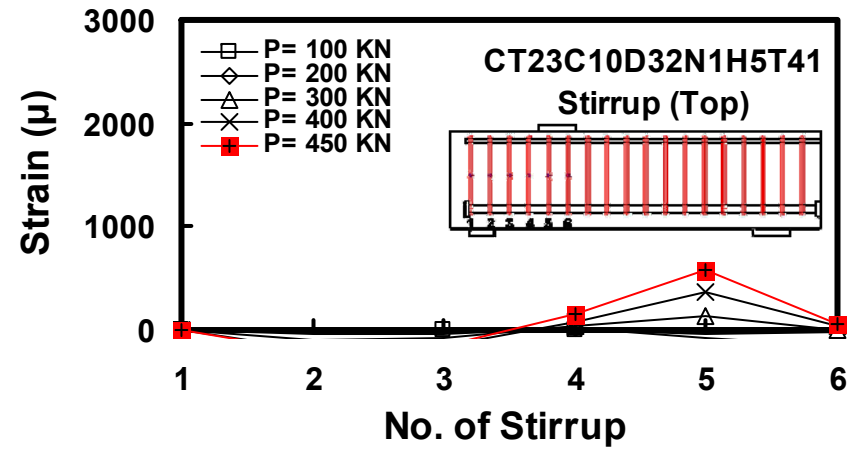


(p)

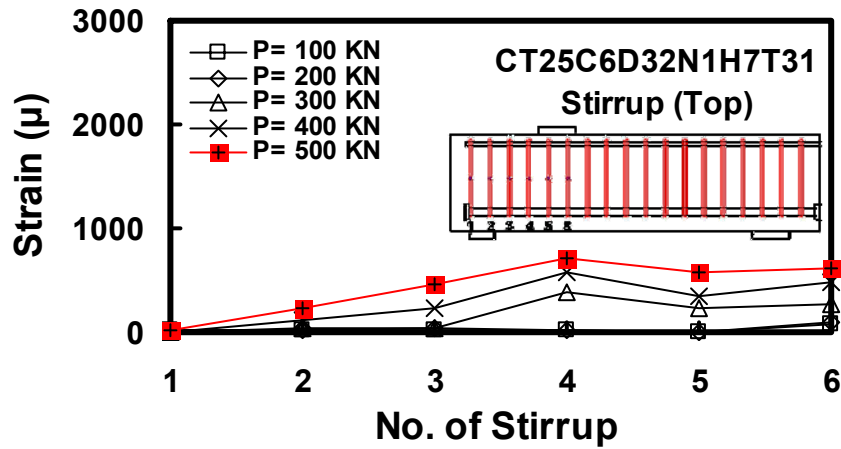
圖 6-41 各試體於試驗各階段中之側面箍筋應變變化圖(續)



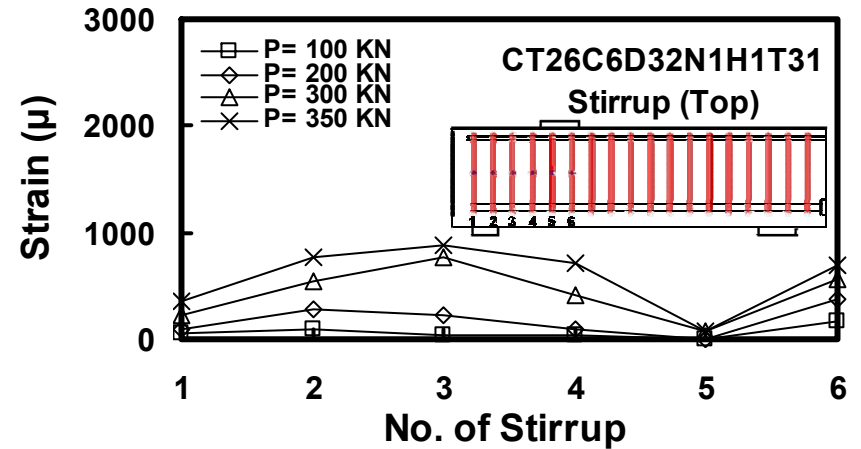
(q)



(r)



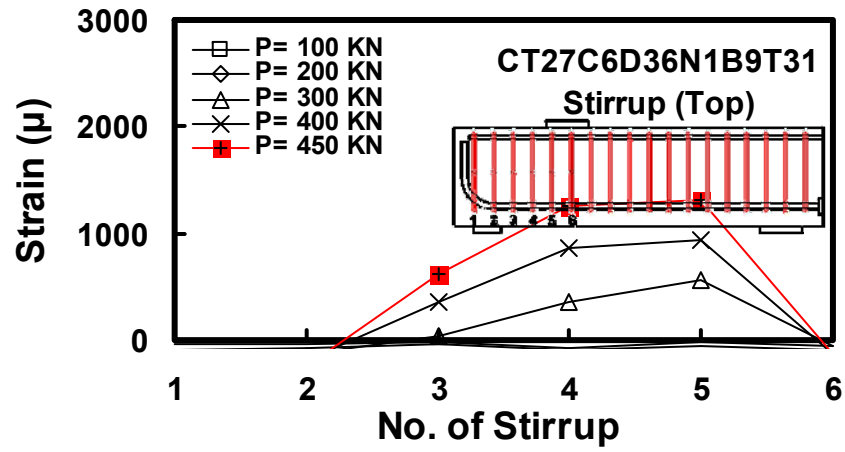
(s)



(t)

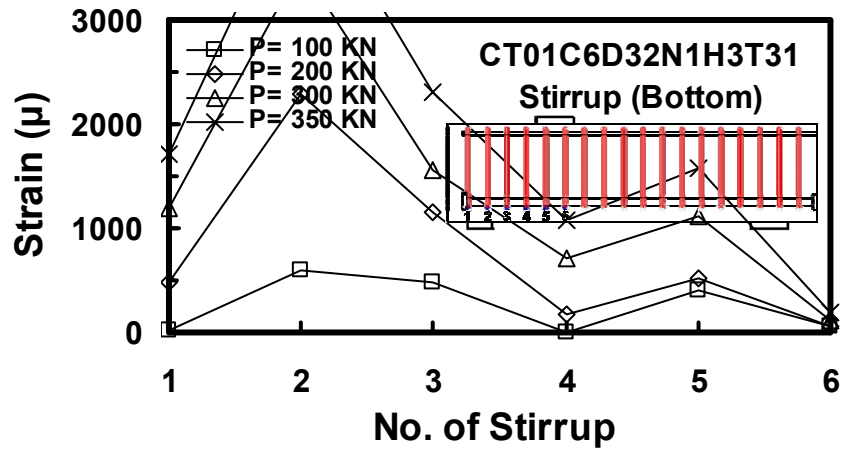
圖 6-41 各試體於試驗各階段中之側面箍筋應變變化圖(續)



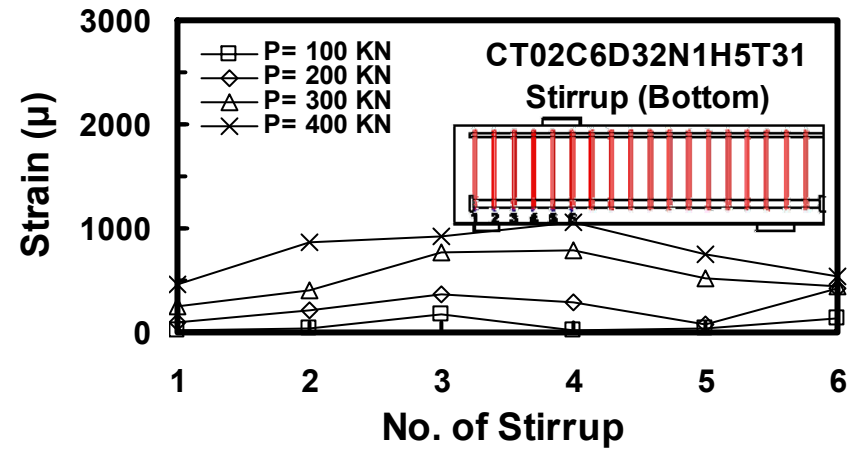


(u)

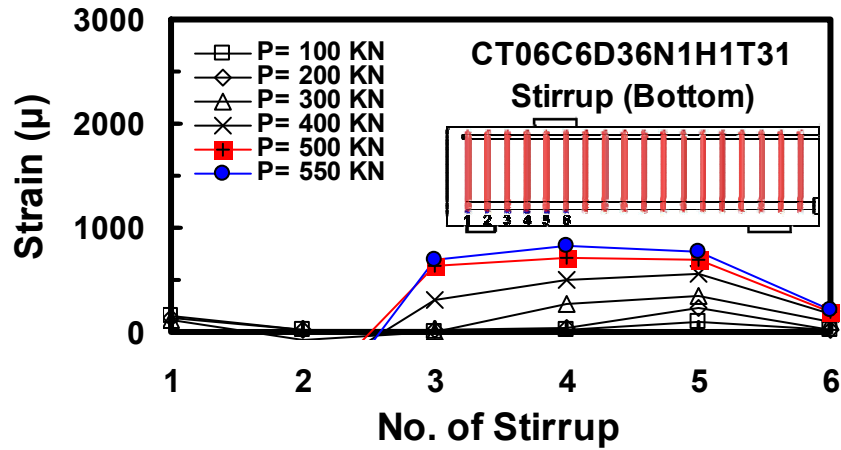
圖 6-41 各試體於試驗各階段中之側面箍筋應變變化圖(續)



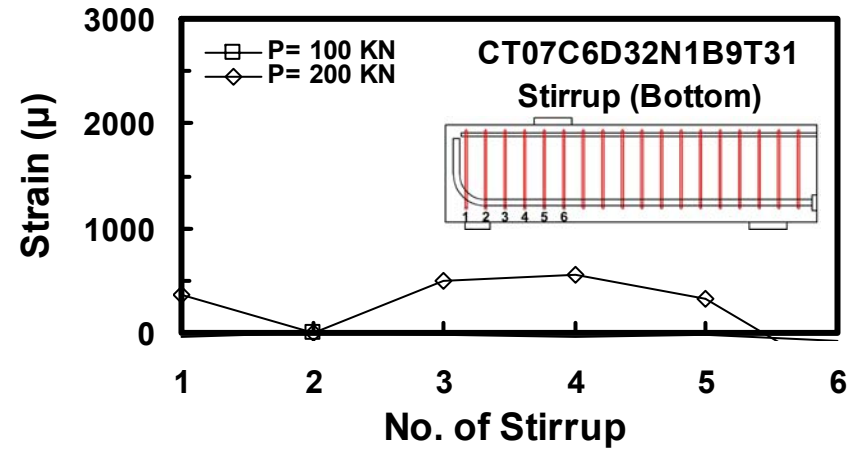
(a)



(b)

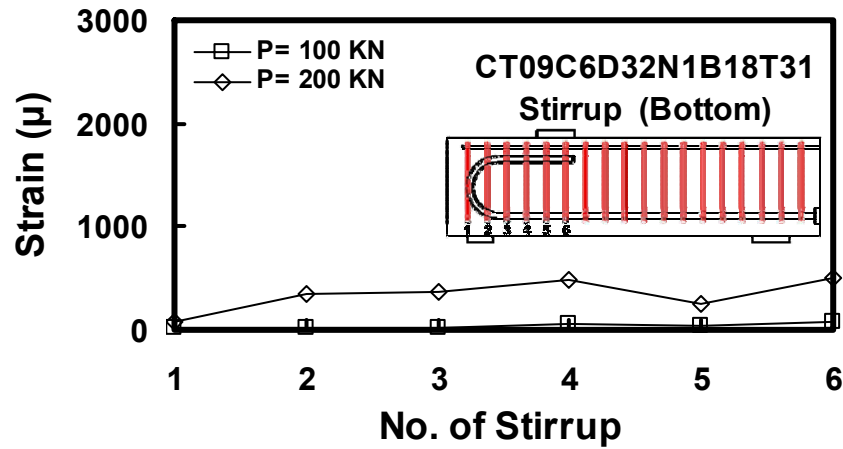


(c)

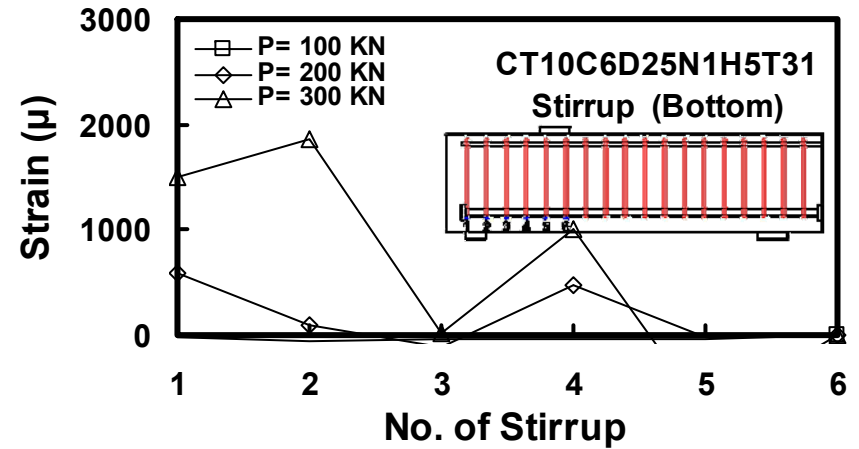


(d)

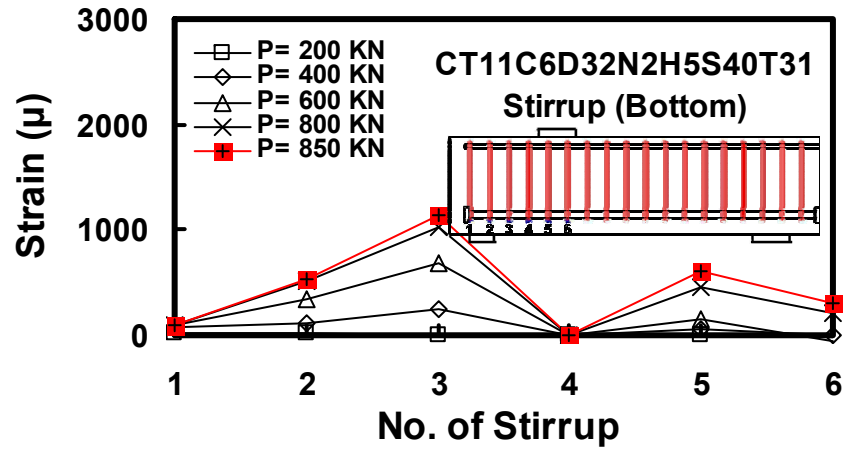
圖 6-42 各試體於試驗各階段中之底部箍筋應變變化圖



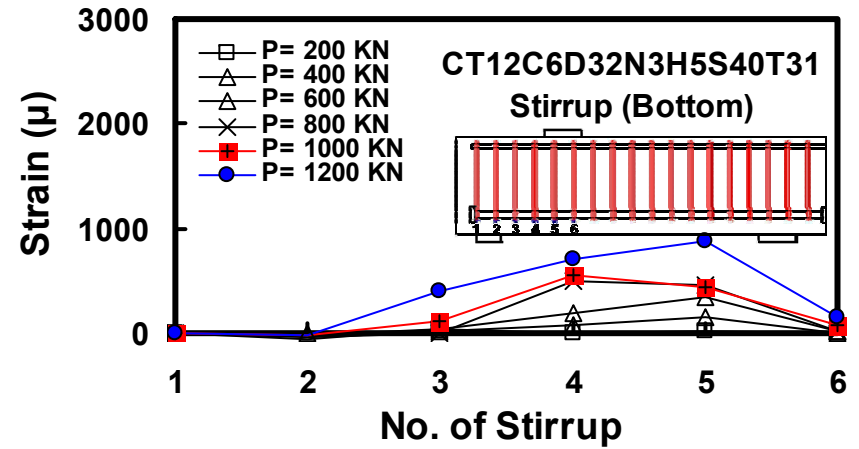
(e)



(f)

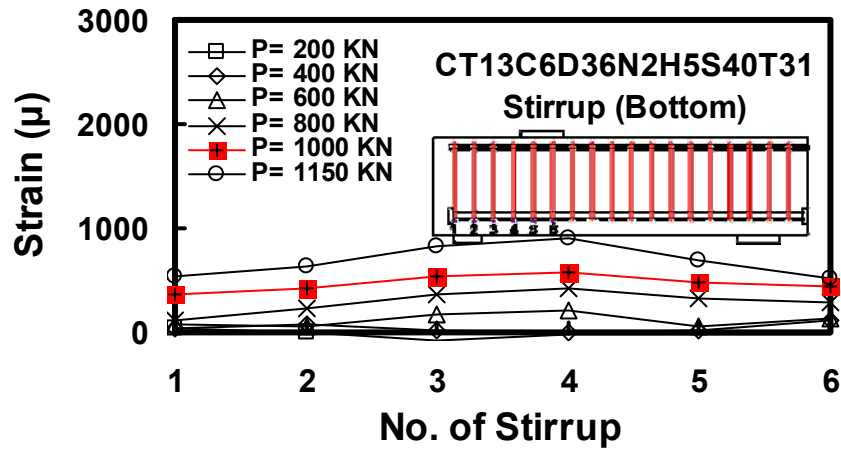


(g)

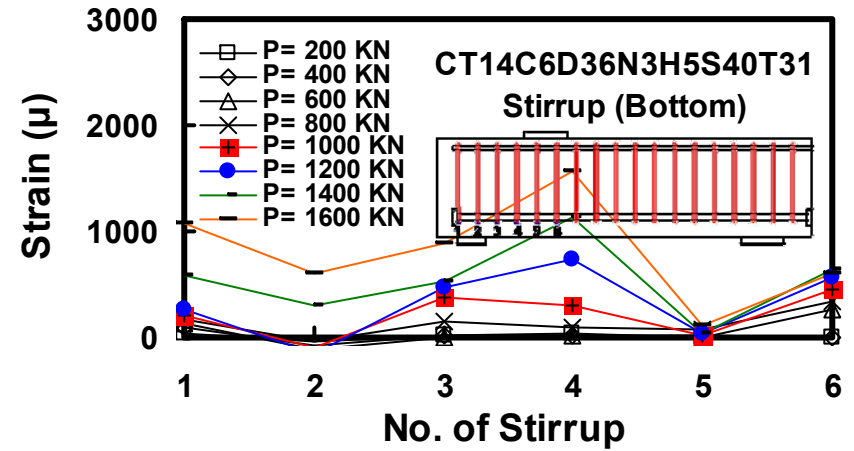


(h)

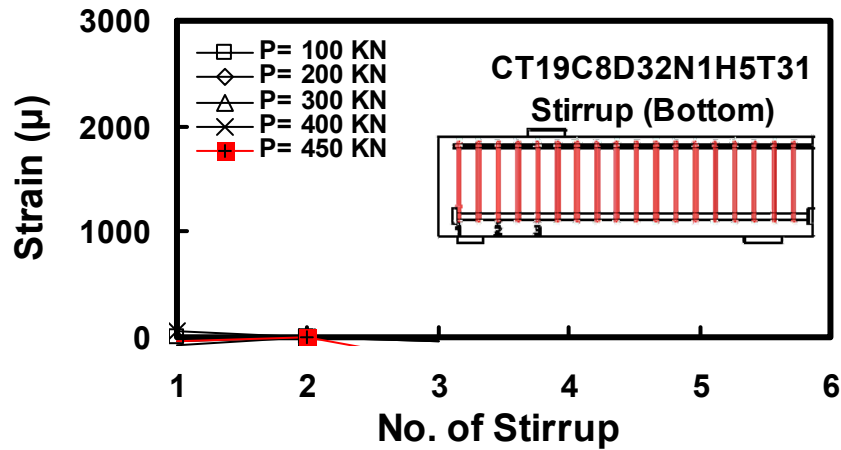
圖 6-42 各試體於試驗各階段中之底部箍筋應變變化圖(續)



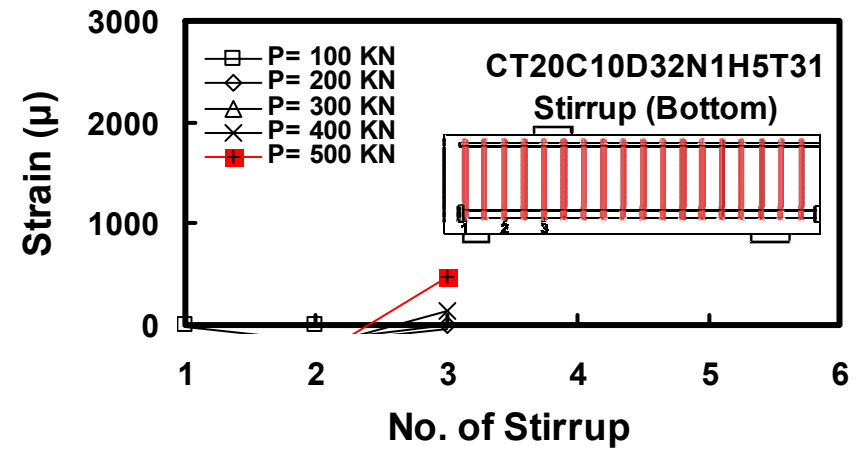
(i)



(j)

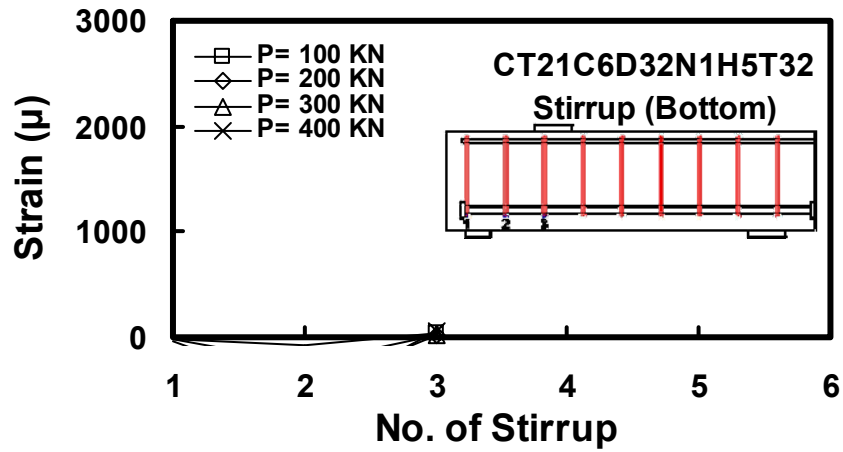


(k)

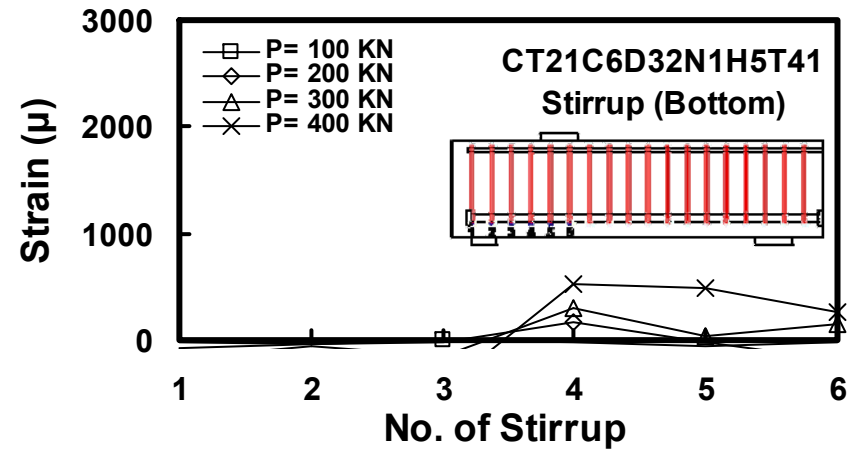


(l)

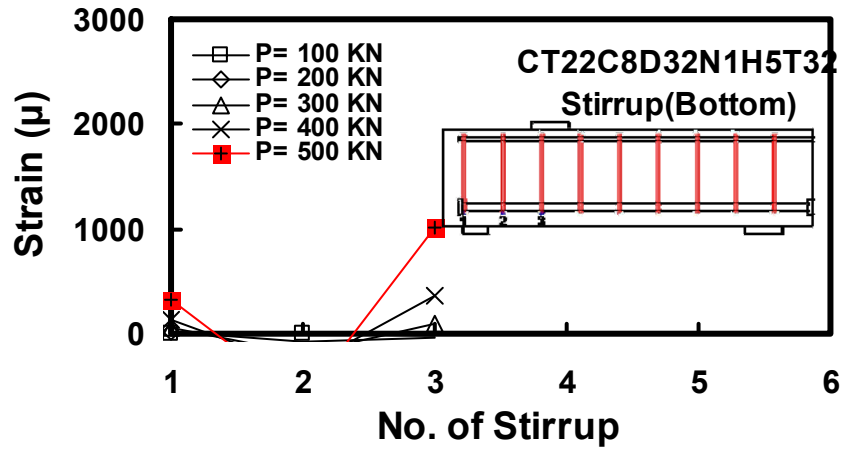
圖 6-42 各試體於試驗各階段中之底部箍筋應變變化圖(續)



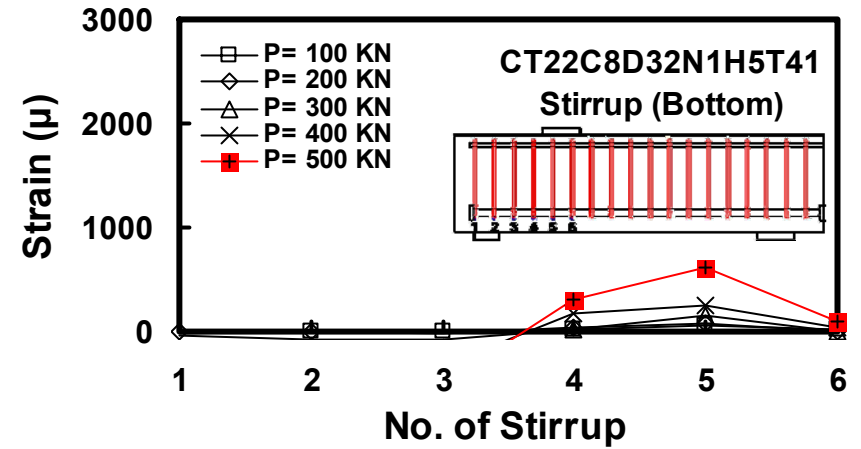
(m)



(n)

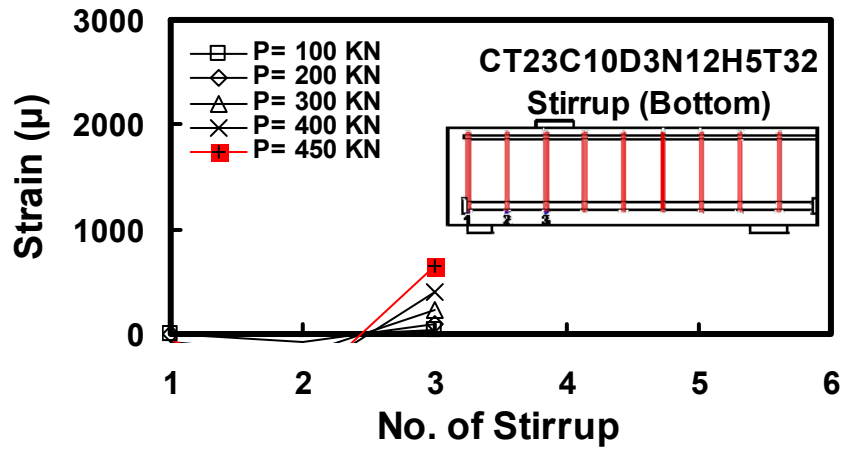


(o)

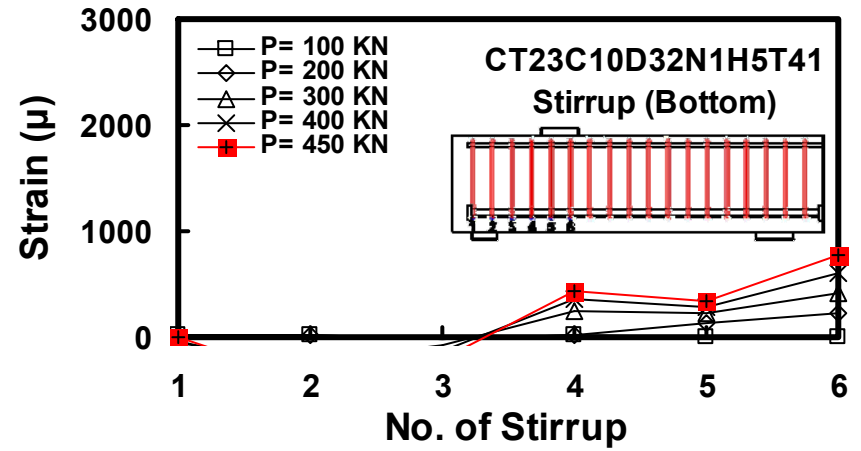


(p)

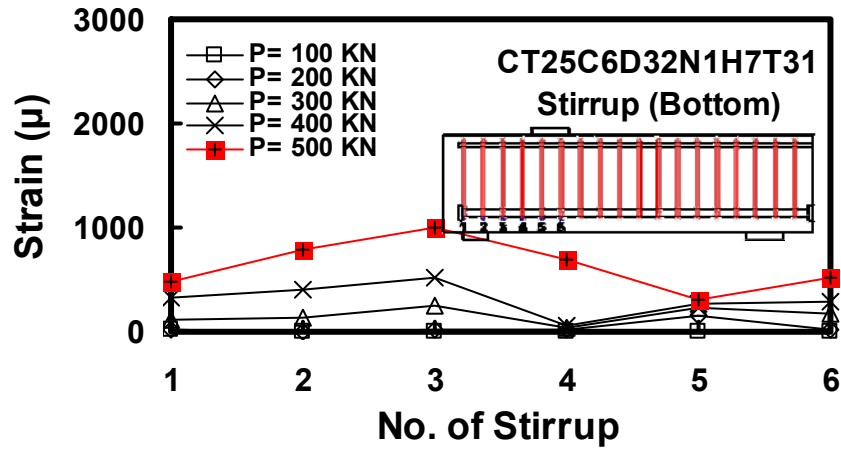
圖 6-42 各試體於試驗各階段中之底部箍筋應變變化圖(續)



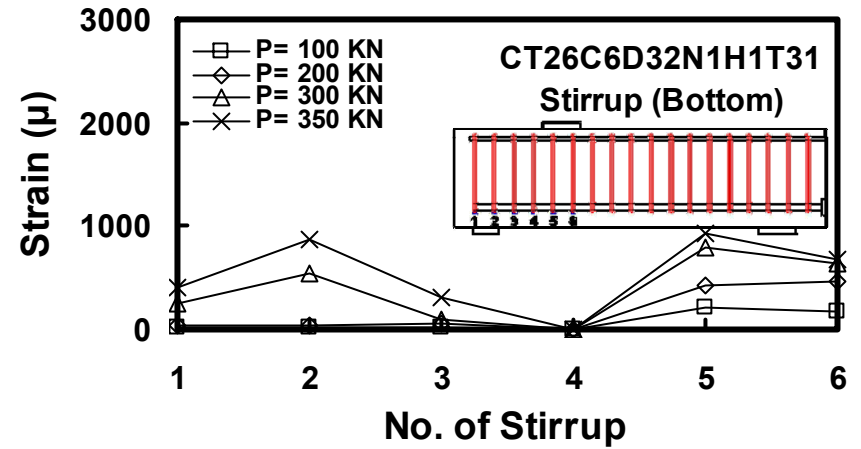
(q)



(r)

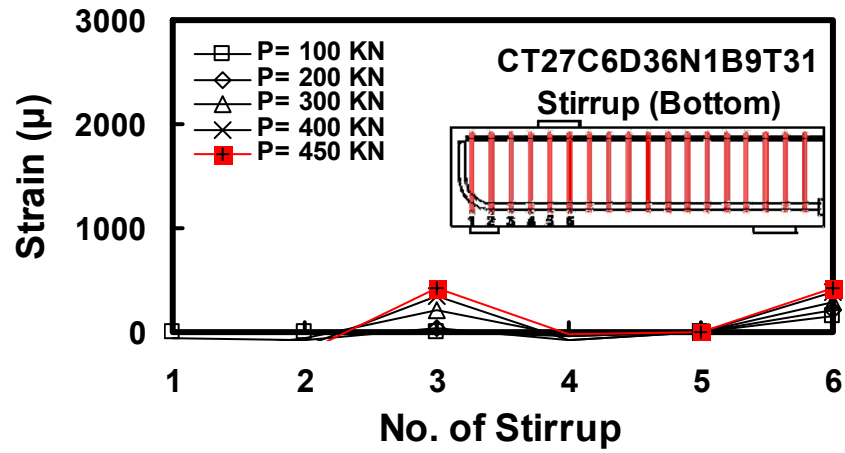


(s)



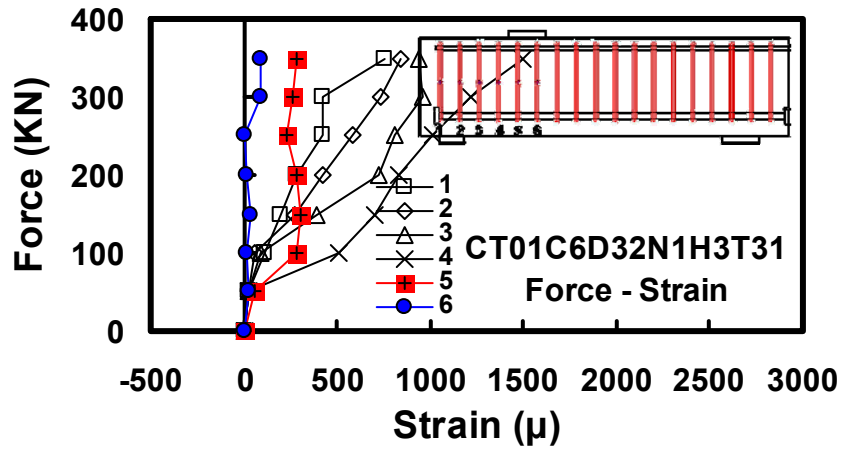
(t)

圖 6-42 各試體於試驗各階段中之底部箍筋應變變化圖(續)

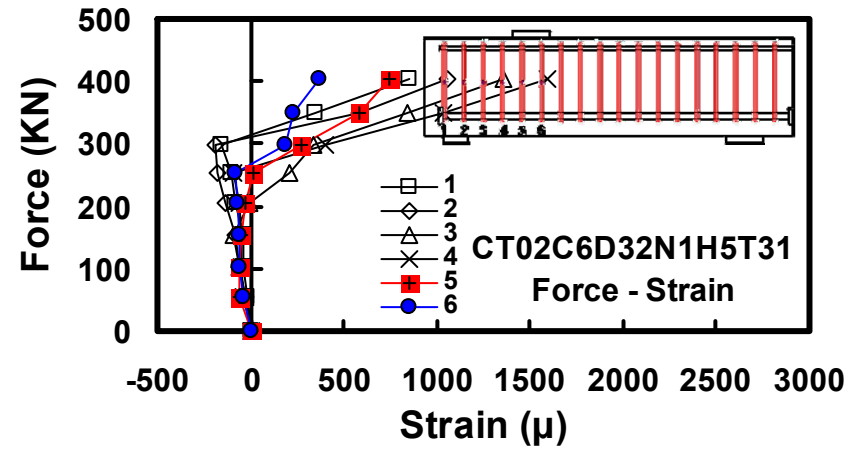


(u)

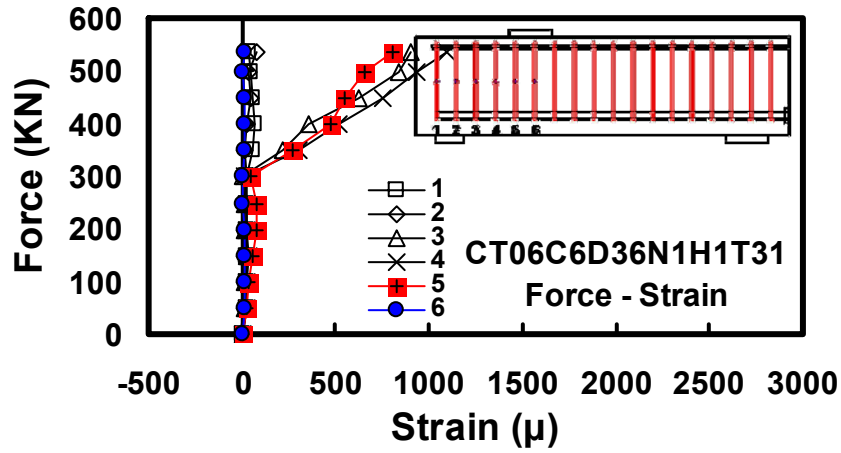
圖 6-42 各試體於試驗各階段中之底部箍筋應變變化圖(續)



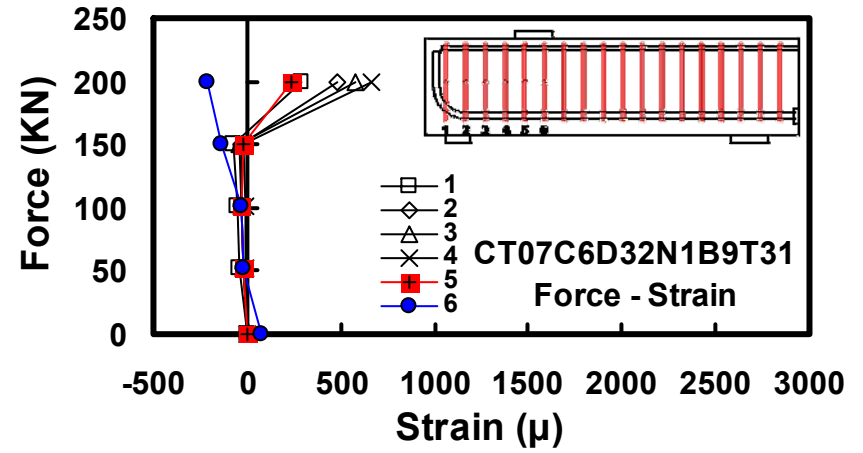
(a)



(b)



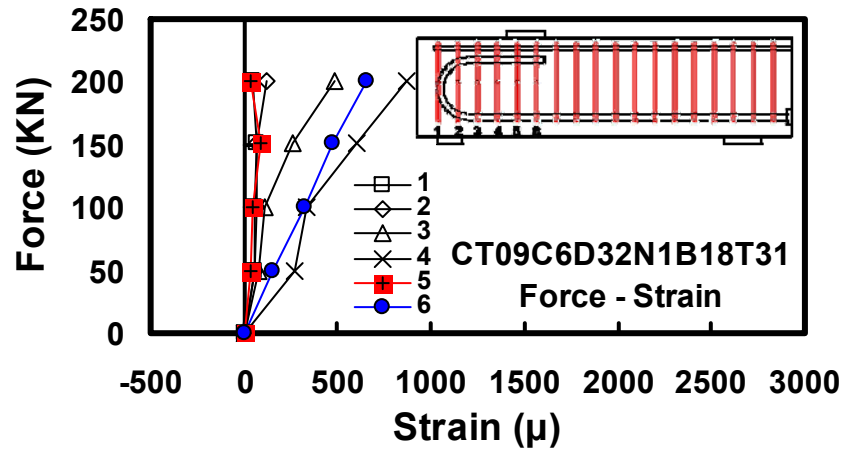
(c)



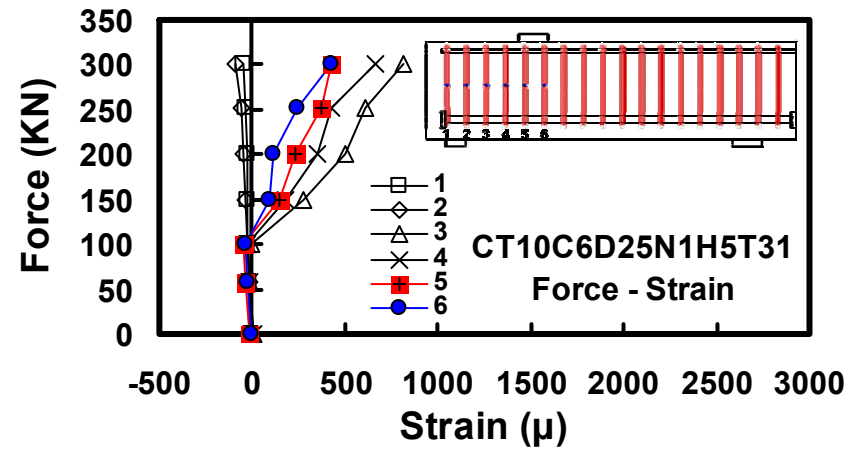
(d)

圖 6-43 試體於試驗過程中之各箍筋側面力量應變趨勢圖

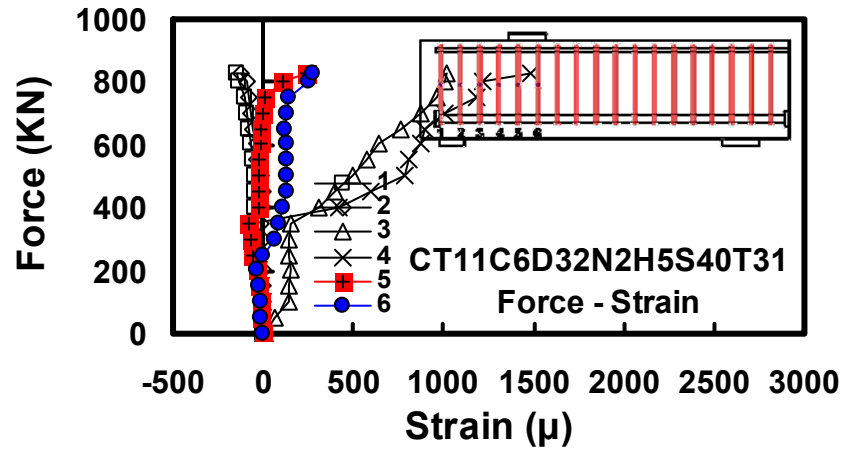




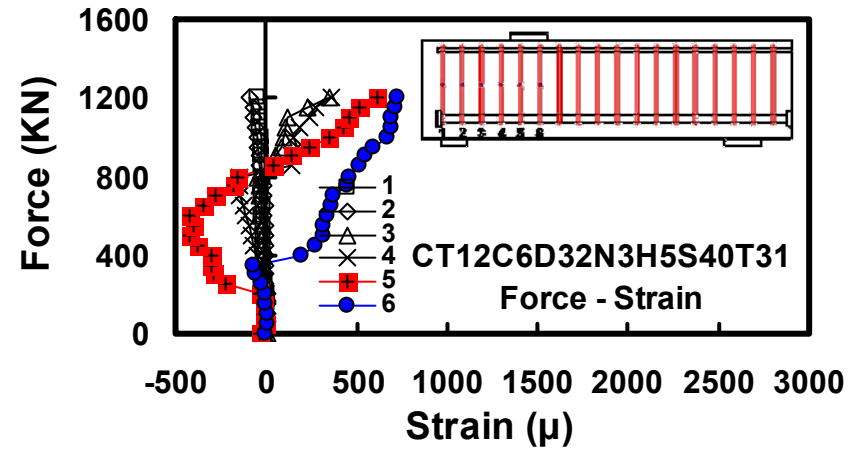
(e)



(f)

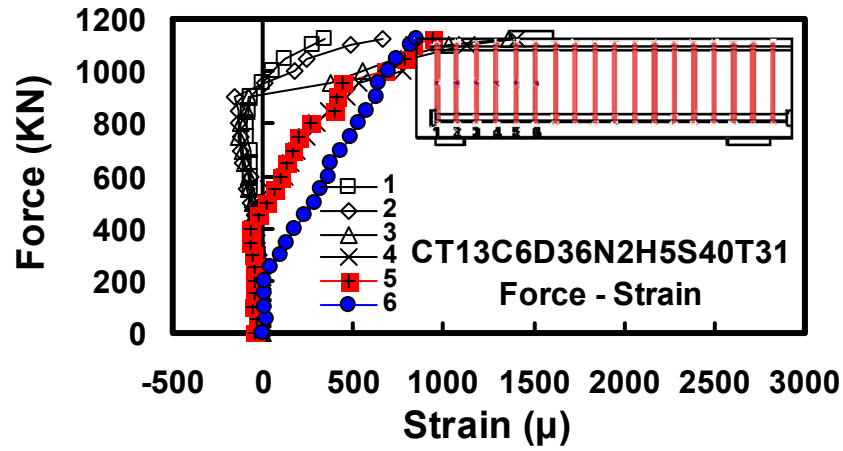


(g)

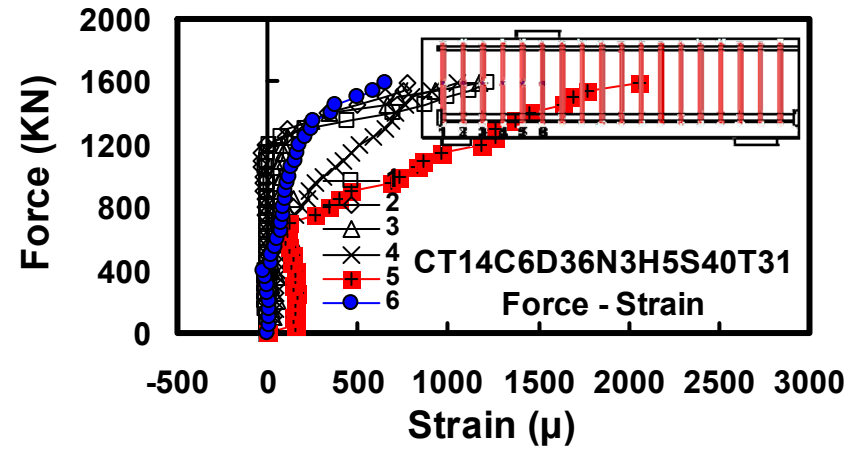


(h)

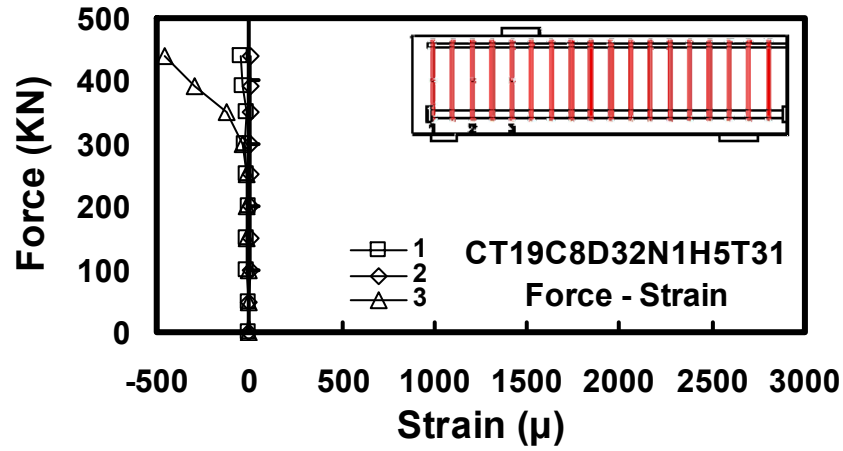
圖 6-43 試體於試驗過程中之各箍筋側面力量應變趨勢圖(續)



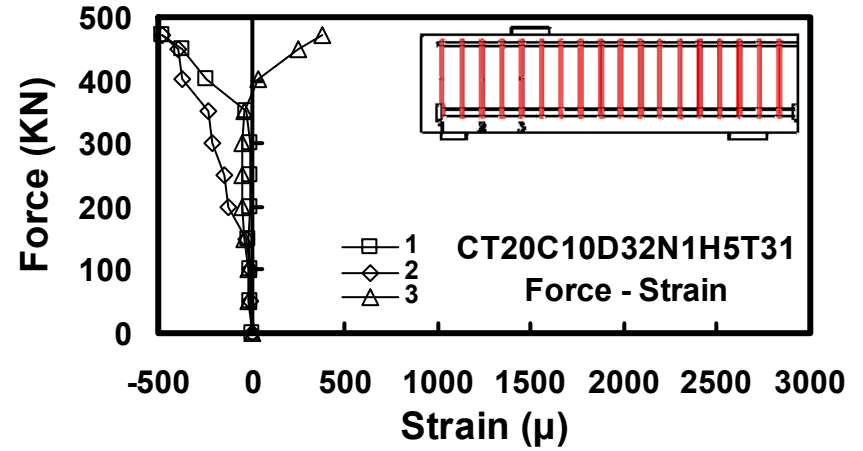
(i)



(j)

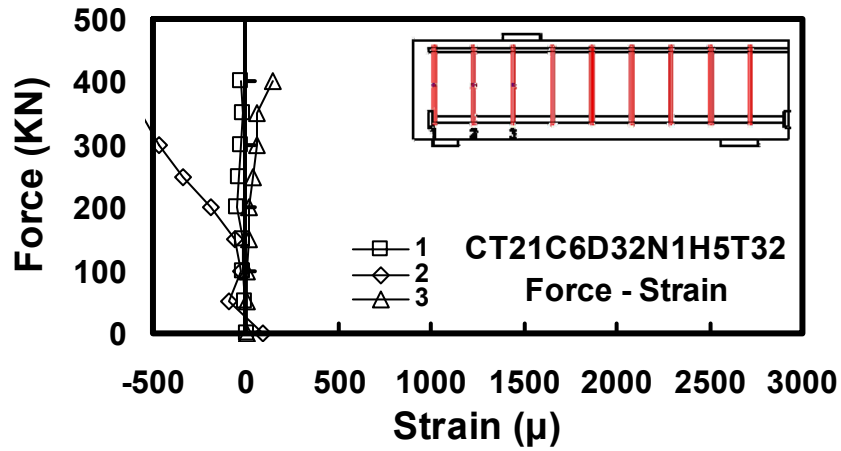


(k)

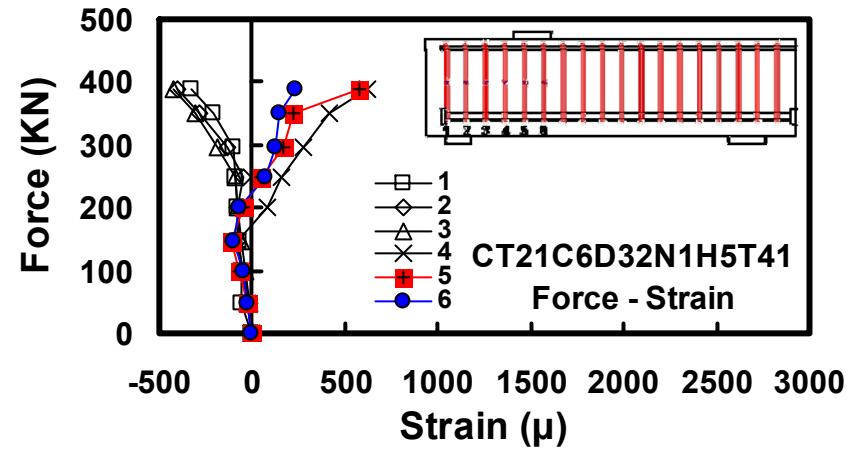


(l)

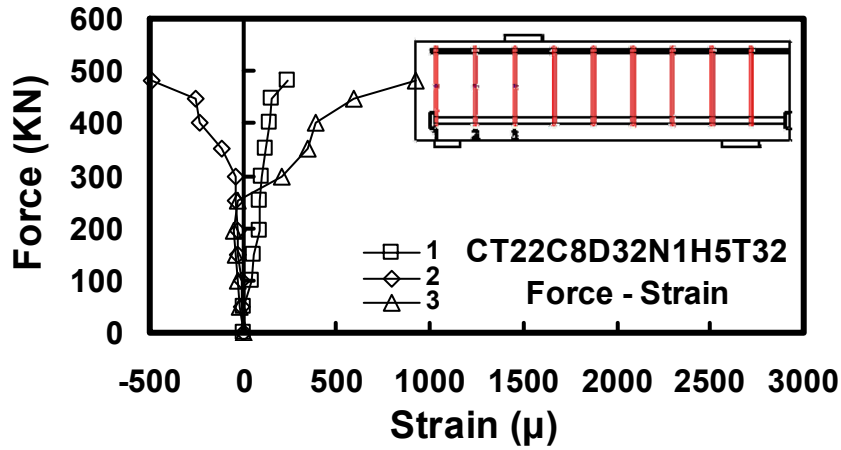
圖 6-43 試體於試驗過程中之各箍筋側面力量應變趨勢圖(續)



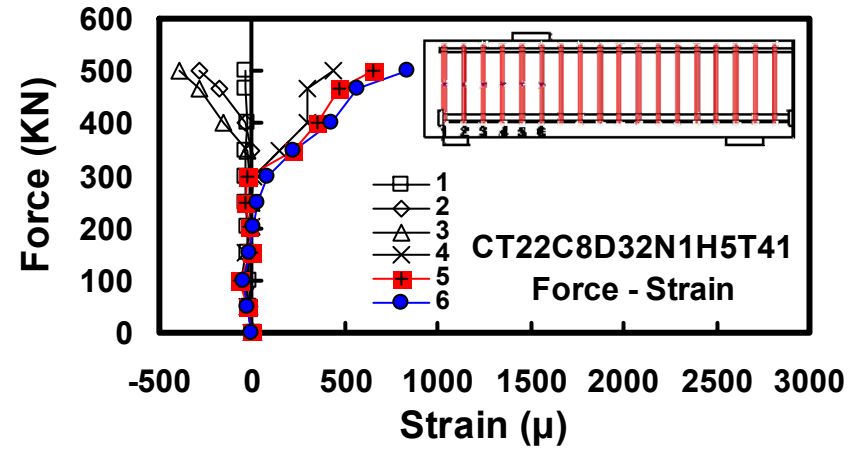
(m)



(n)

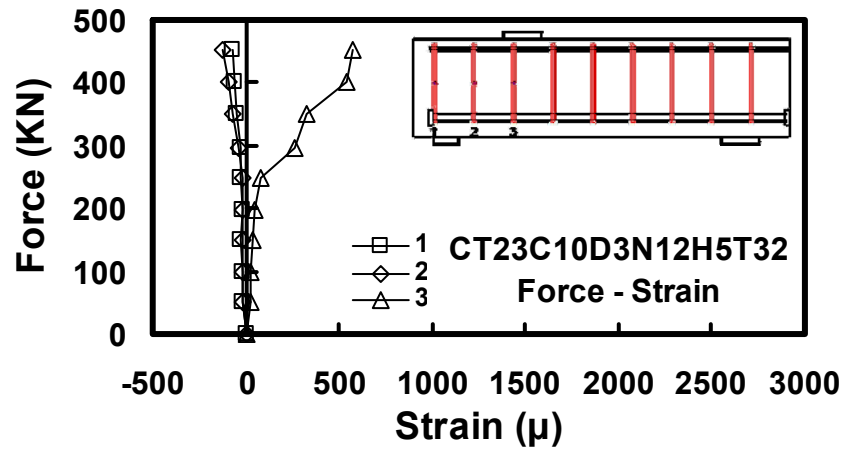


(o)

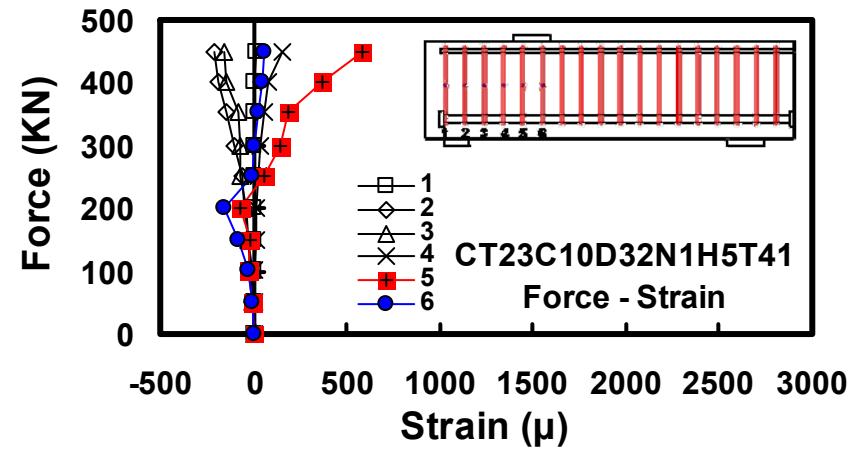


(p)

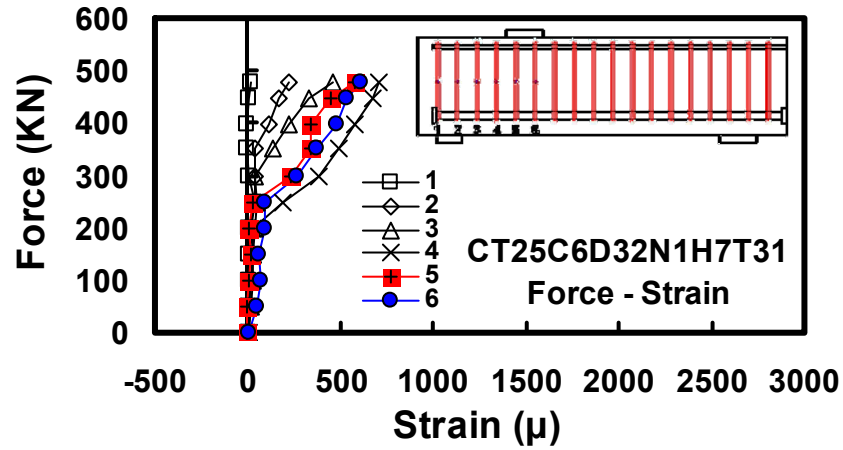
圖 6-43 試體於試驗過程中之各箍筋側面力量應變趨勢圖(續)



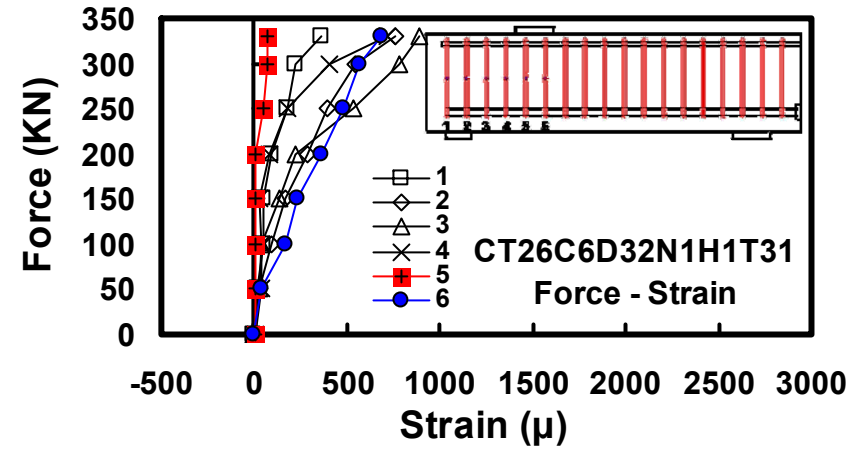
(q)



(r)

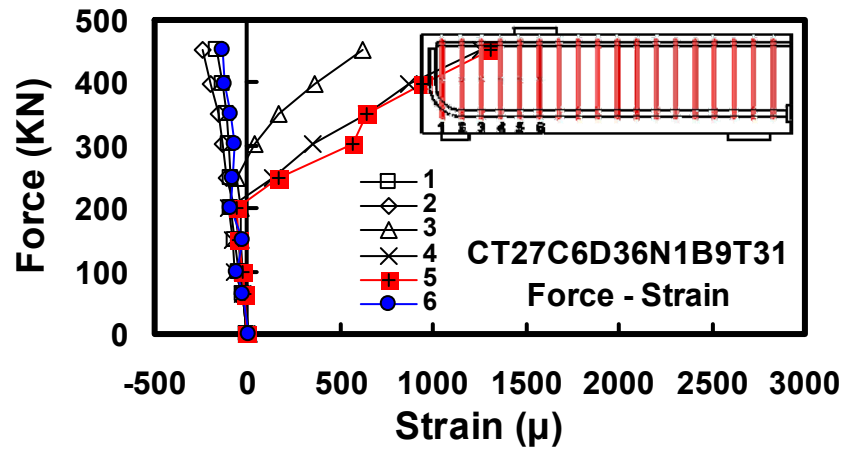


(s)



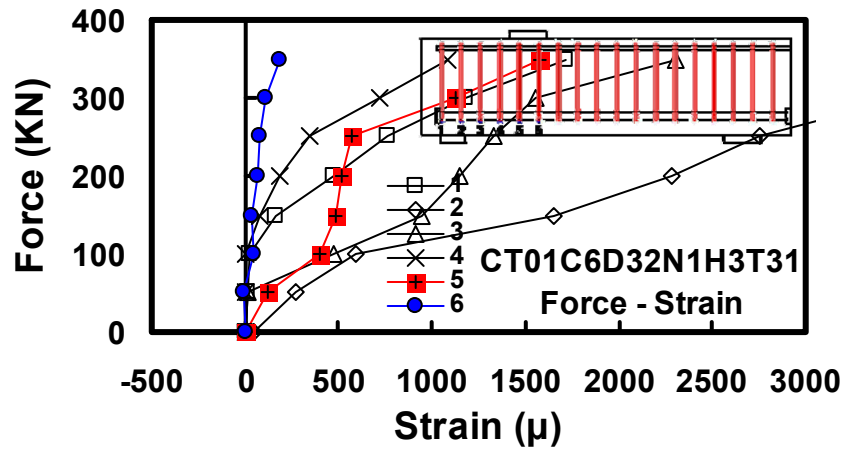
(t)

圖 6-43 試體於試驗過程中之各箍筋側面力量應變趨勢圖(續)

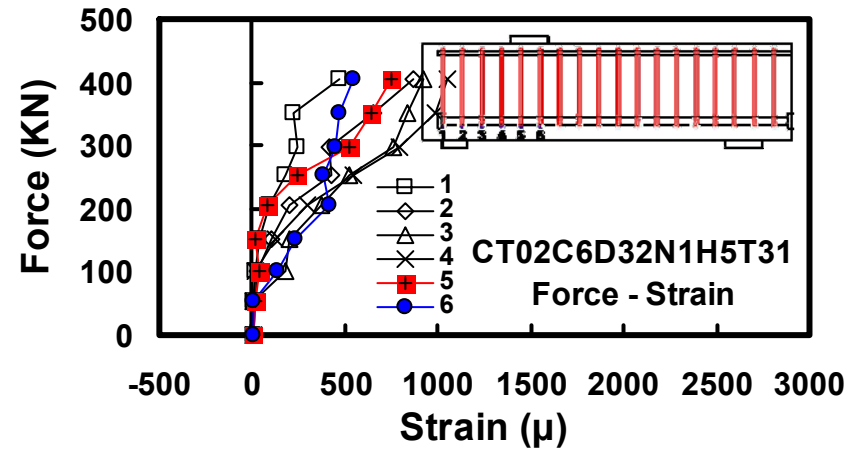


(u)

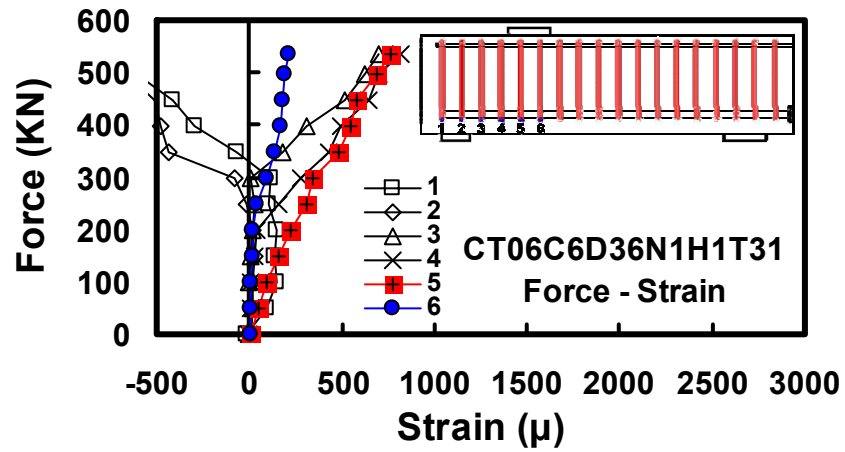
圖 6-43 試體於試驗過程中之各箍筋側面力量應變趨勢圖(續)



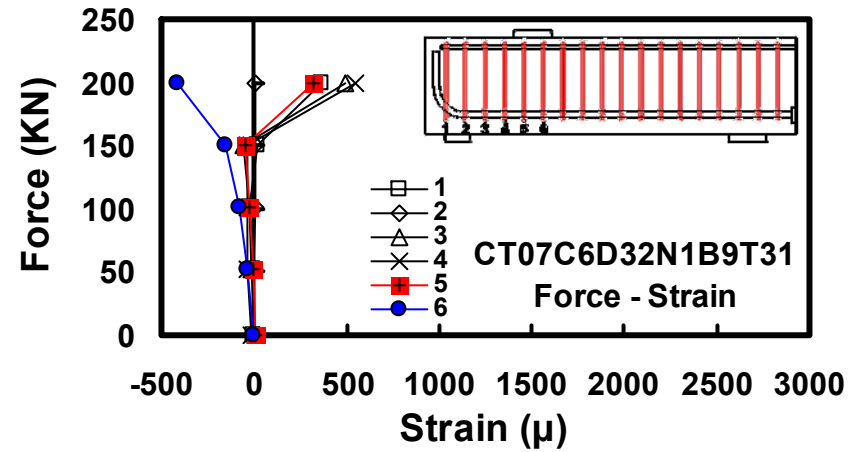
(a)



(b)

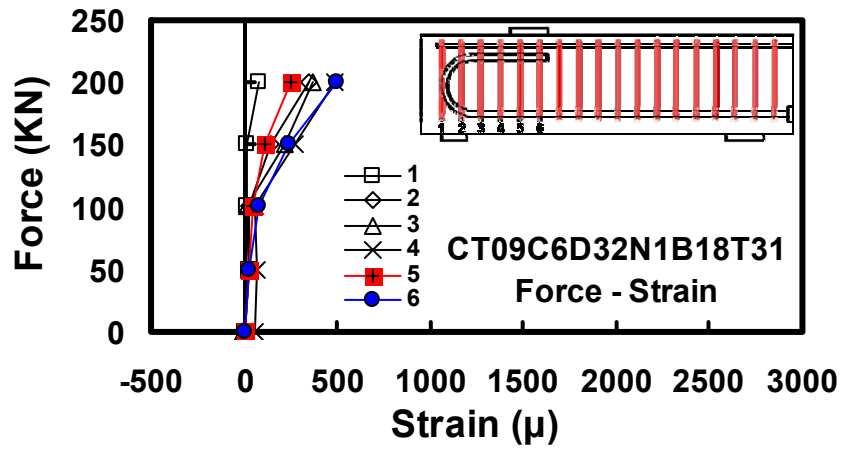


(c)

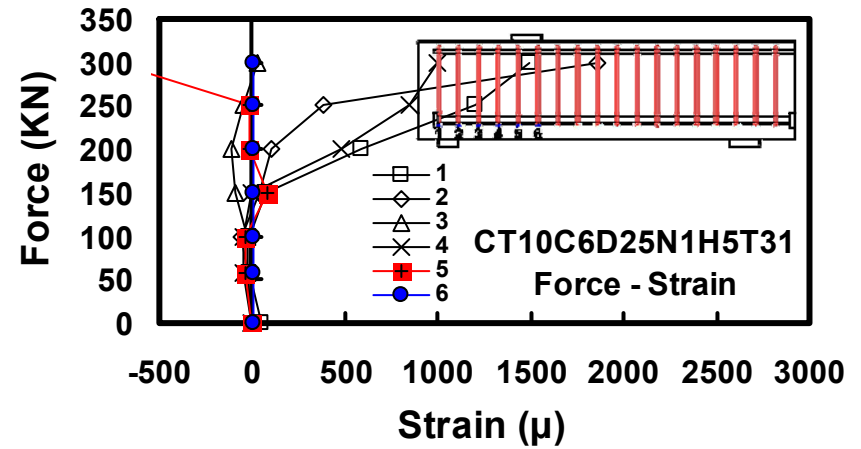


(d)

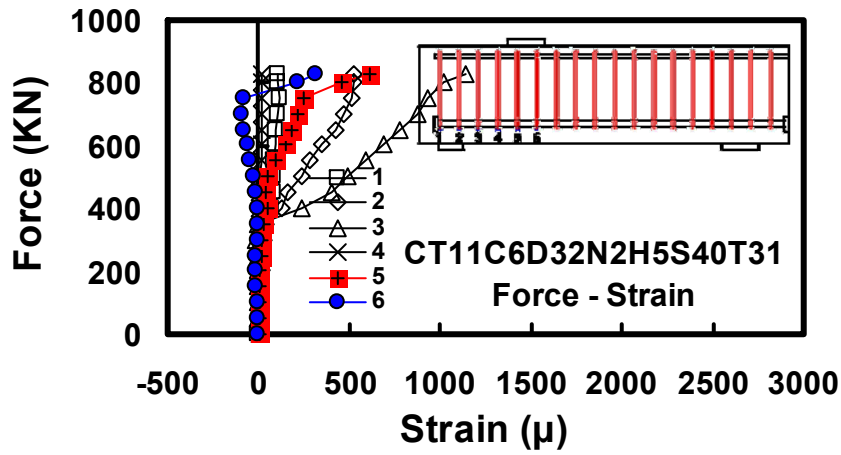
圖 6-44 試體於試驗過程中之各箍筋底部力量應變趨勢圖



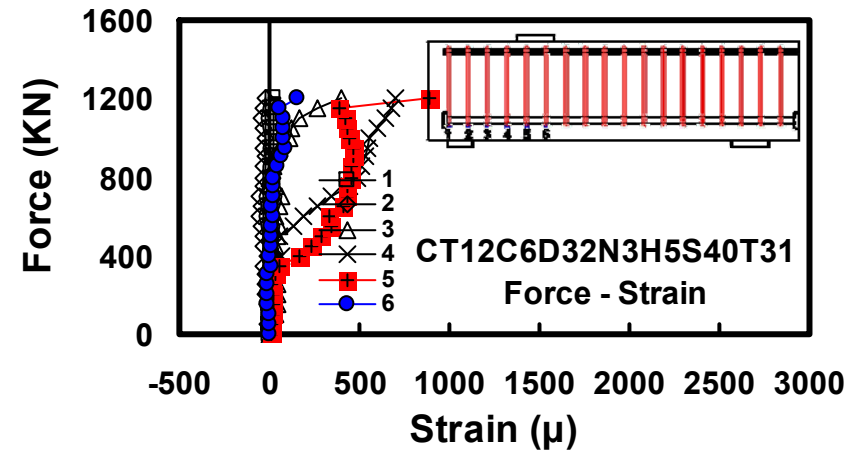
(e)



(f)

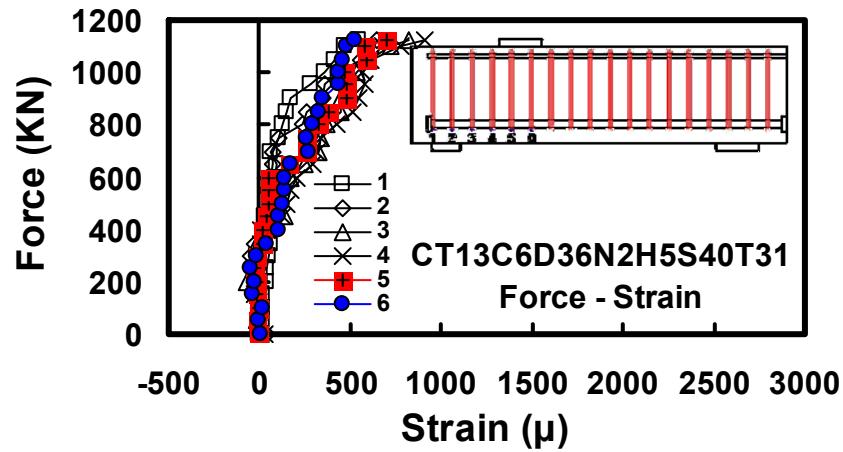


(g)

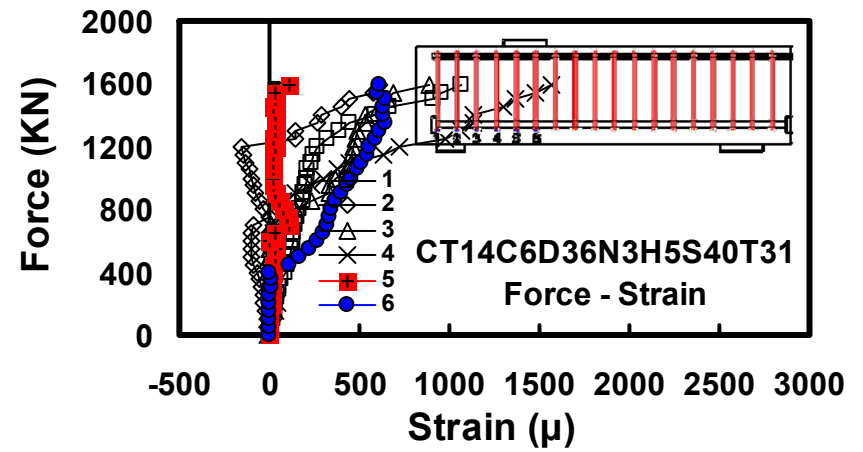


(h)

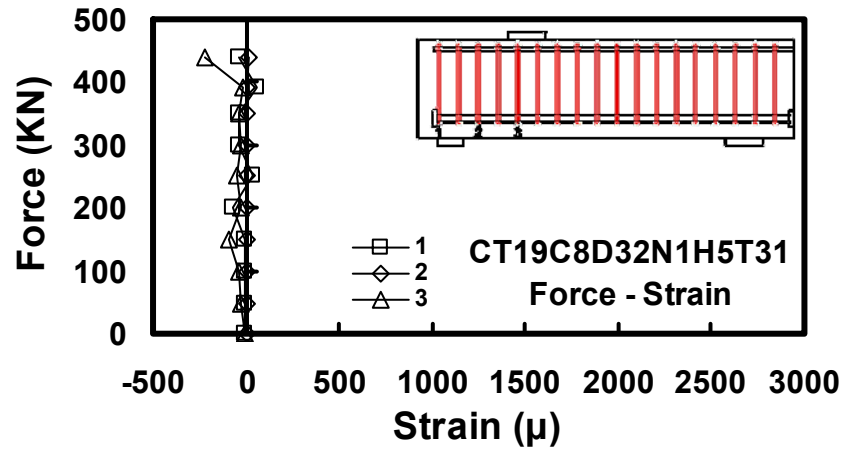
圖 6-44 試體於試驗過程中之各箍筋底部力量應變趨勢圖(續)



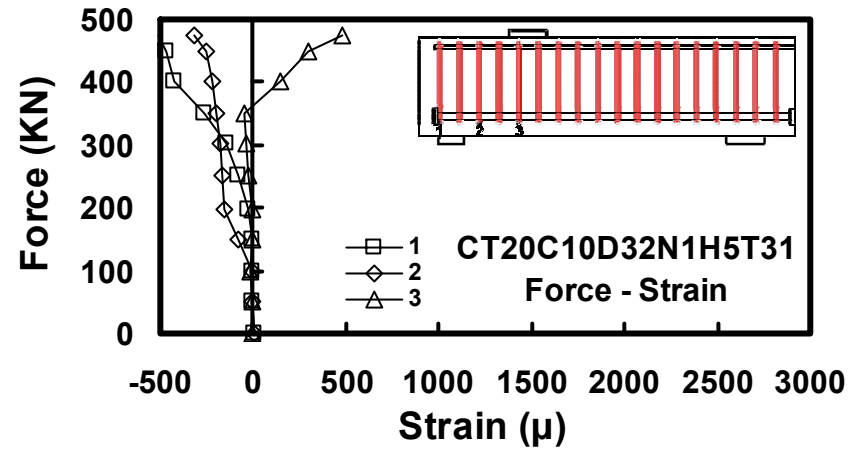
(j)



(j)



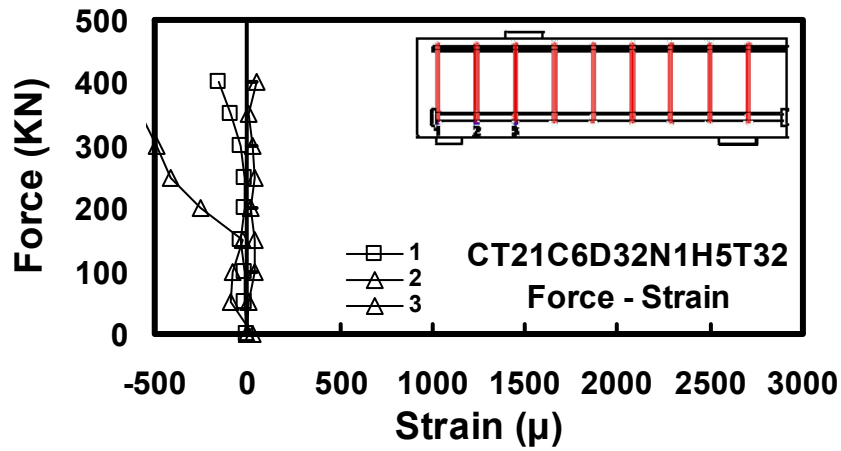
(k)



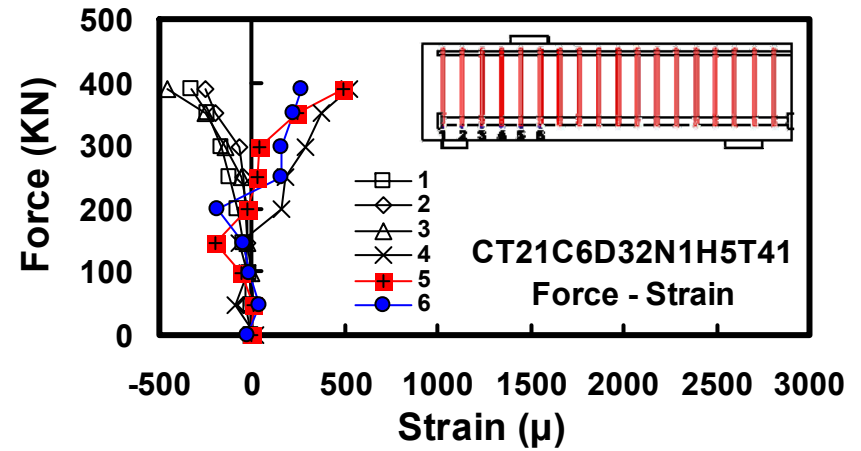
(l)

圖 6-44 試體於試驗過程中之各箍筋底部力量應變趨勢圖(續)

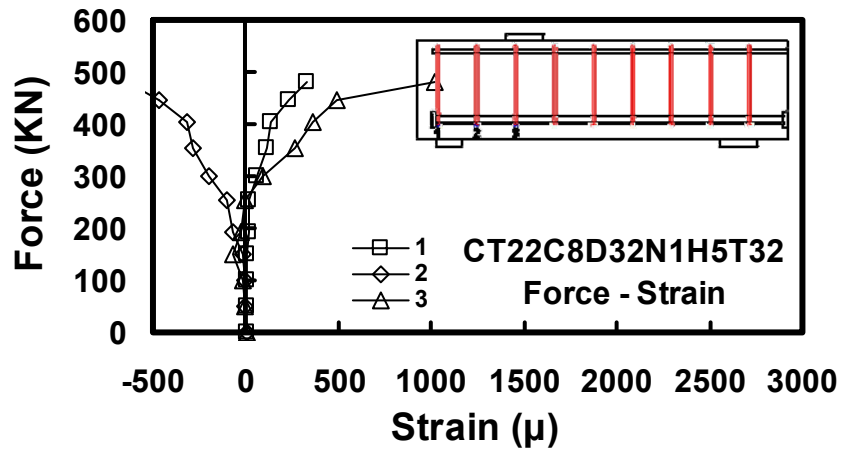




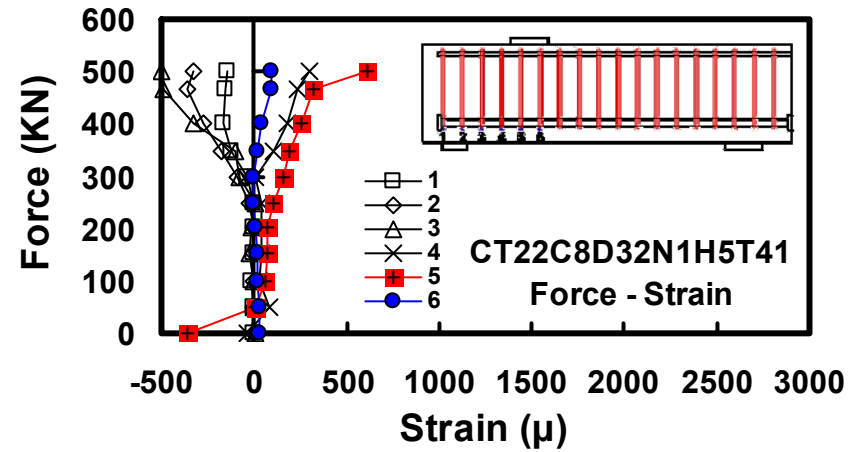
(m)



(n)

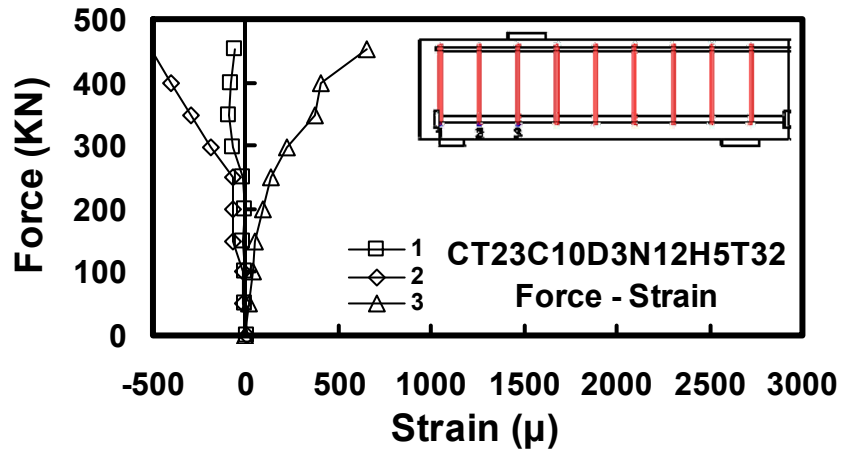


(o)

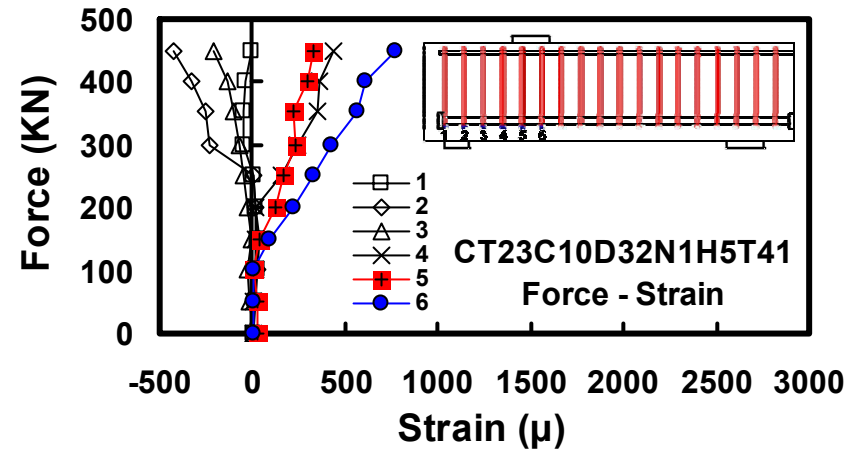


(p)

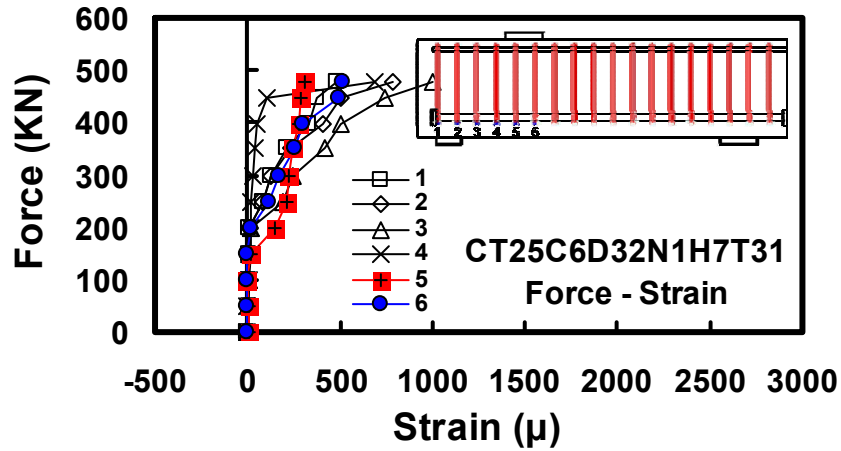
圖 6-44 試體於試驗過程中之各箍筋底部力量應變趨勢圖(續)



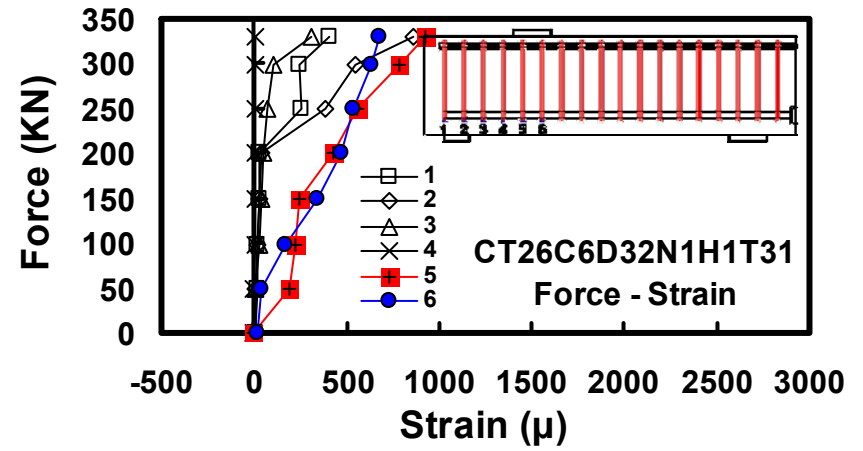
(q)



(r)

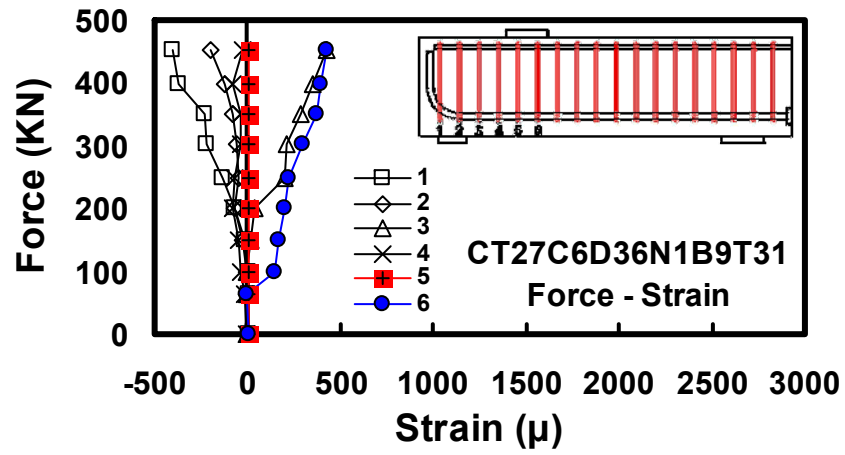


(s)



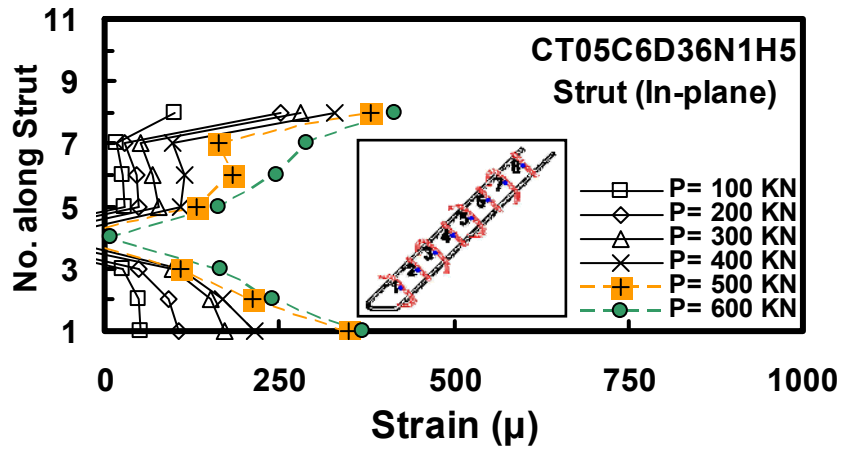
(t)

圖 6-44 試體於試驗過程中之各箍筋底部力量應變趨勢圖(續)

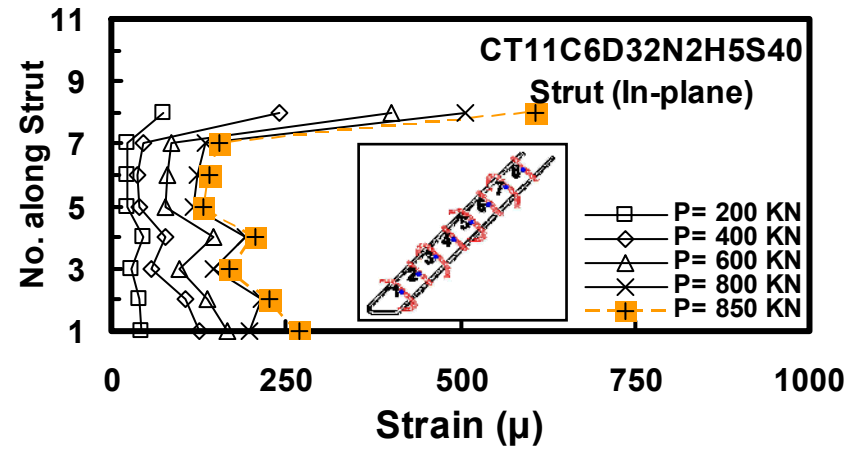


(u)

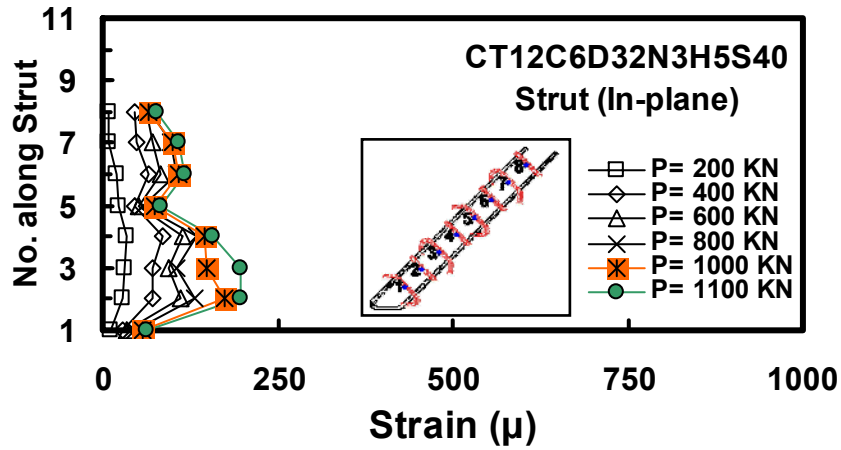
圖 6-44 試體於試驗過程中之各箍筋底部力量應變趨勢圖(續)



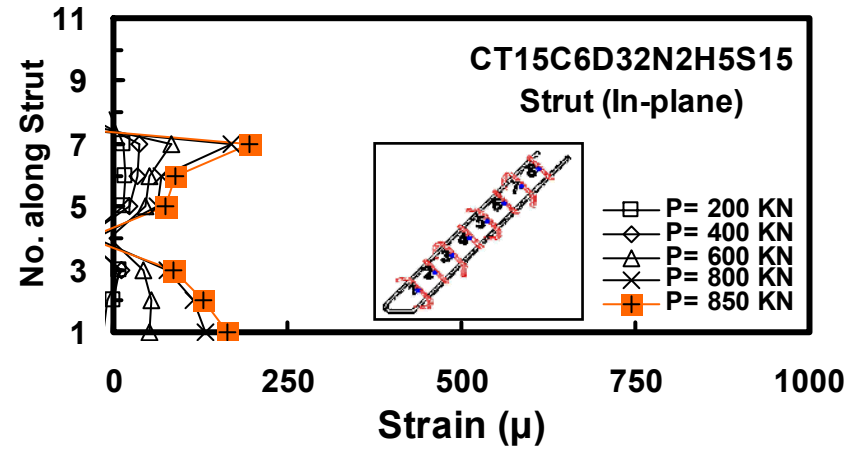
(a)



(b)

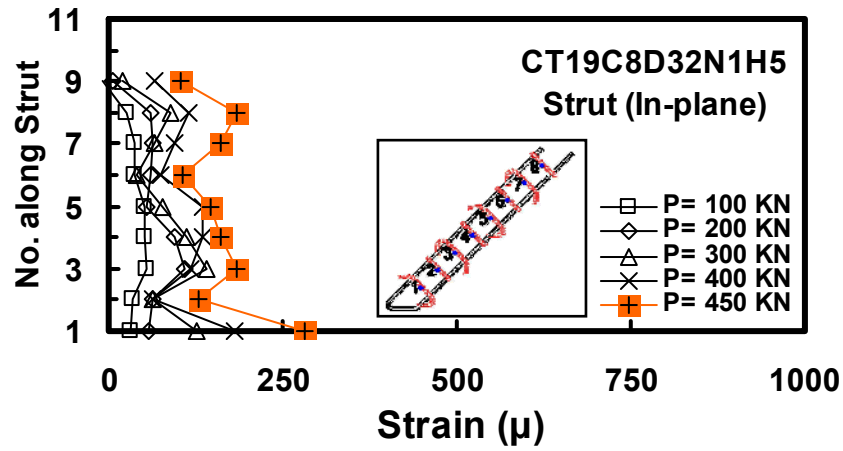


(c)

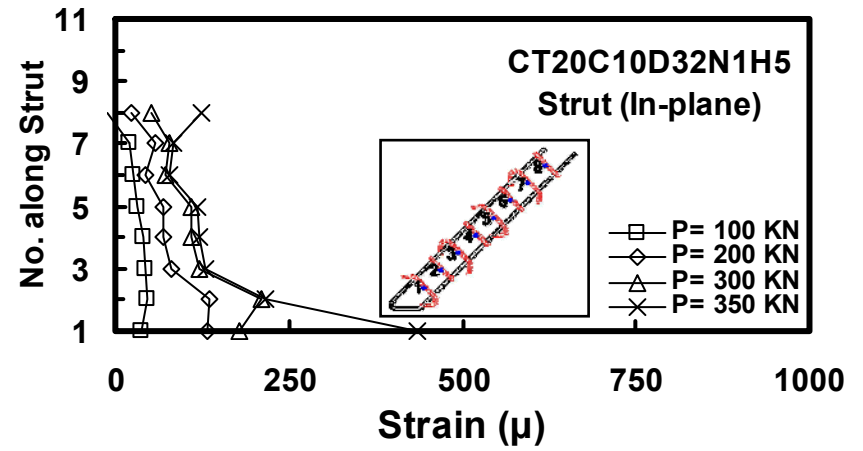


(d)

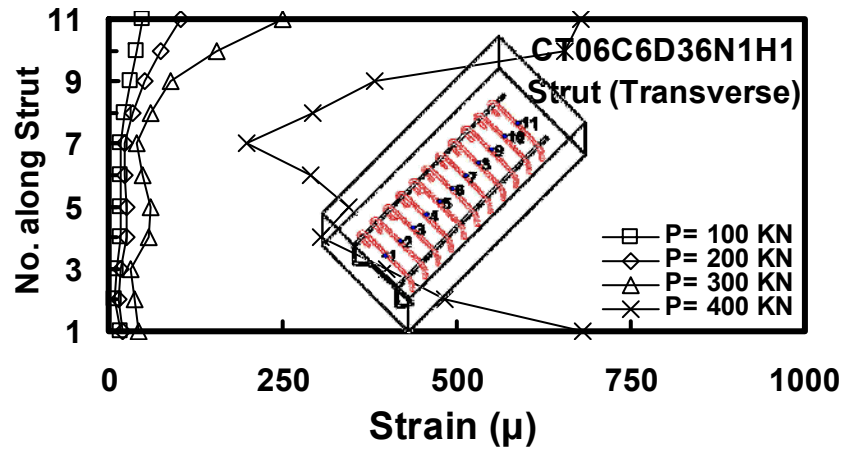
圖 6-45 試體內部壓拉桿區域之應變曲線變化圖



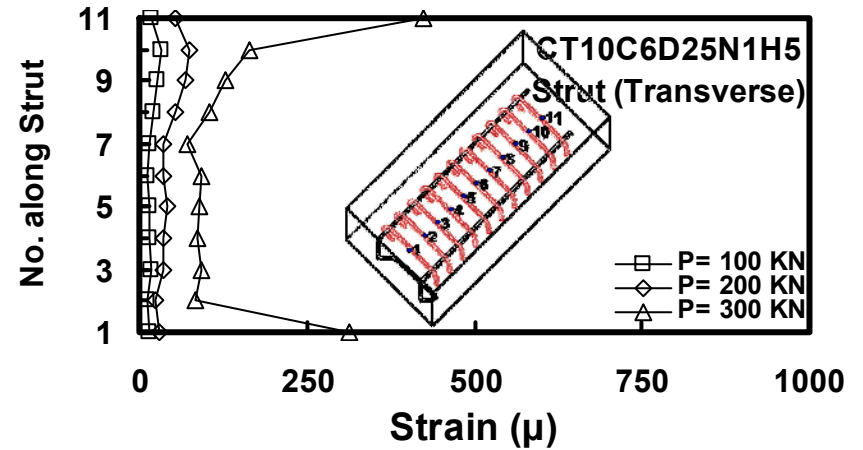
(e)



(f)

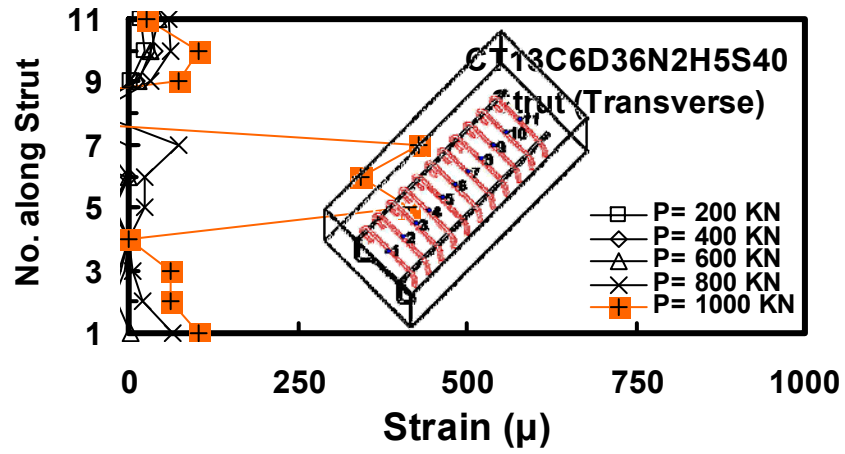


(g)

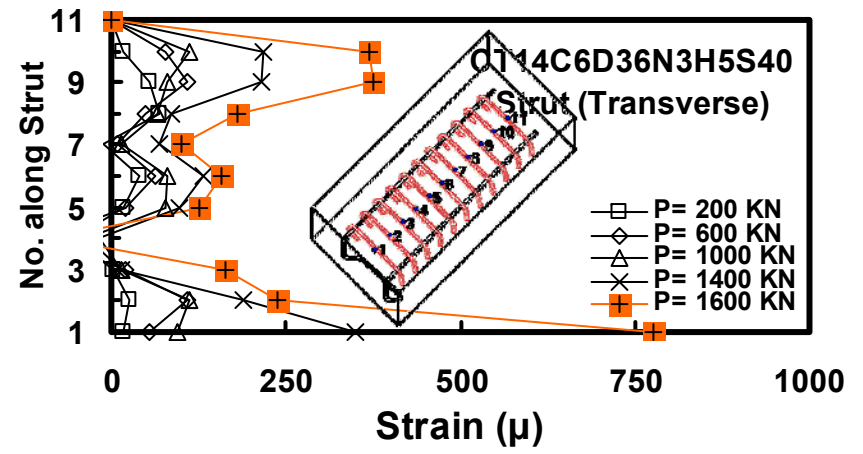


(h)

圖 6-45 試體內部壓拉桿區域之應變曲線變化圖(續)



(i)



(j)

圖 6-45 試體內部壓拉桿區域之應變曲線變化圖(續)

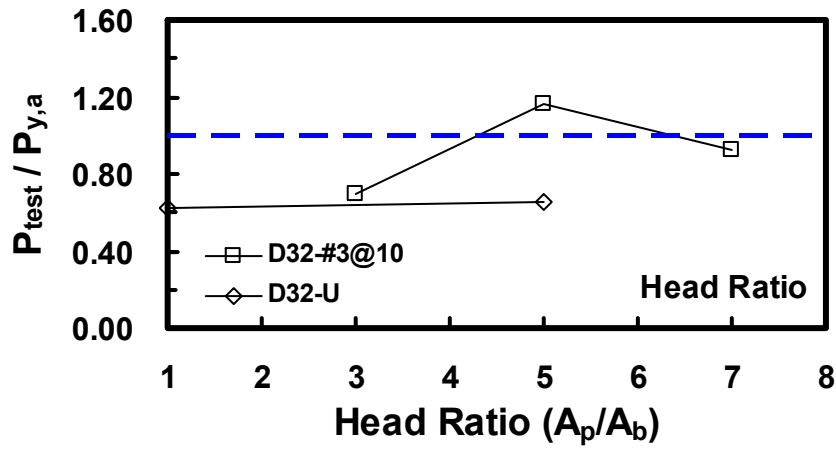


圖 6-46 不同 T 頭倍率條件下之試體強度發展圖

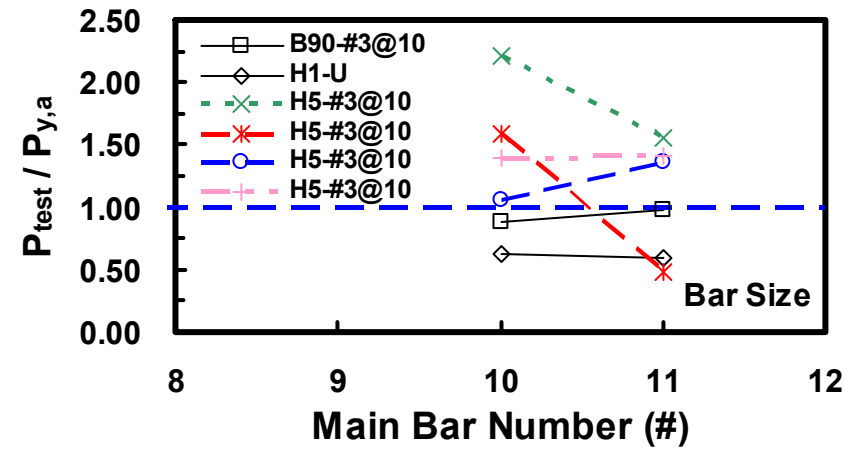


圖 6-47 不同主筋號數條件下之試體強度發展圖

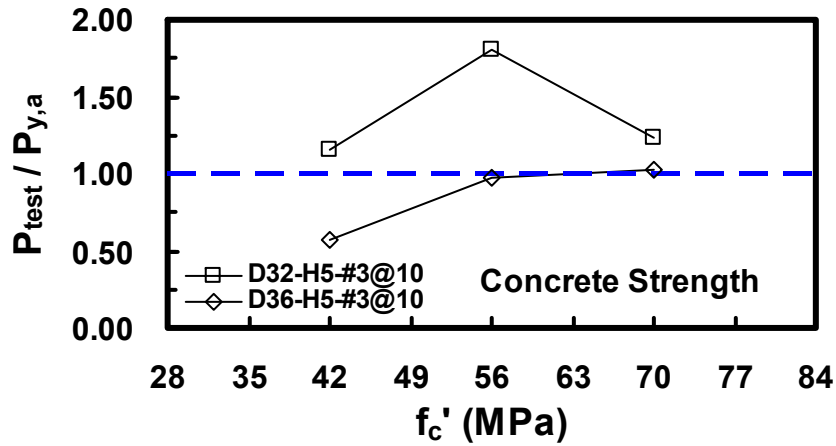


圖 6-48 不同混凝土強度條件下之試體強度發展圖

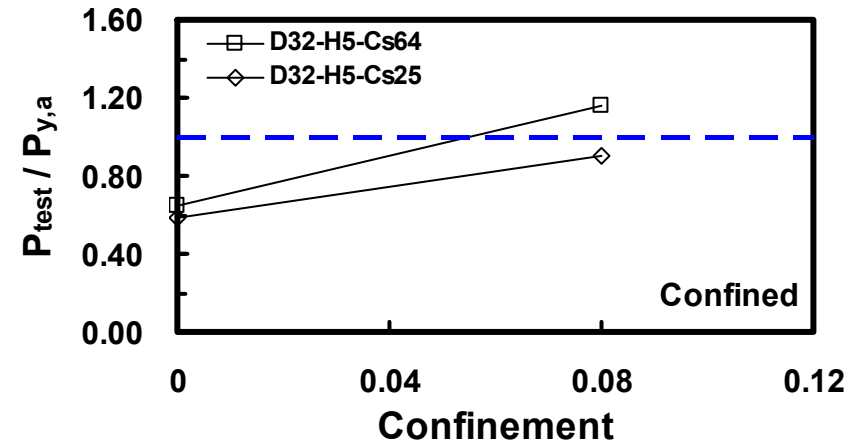


圖 6-49 不同圍束間距條件下之試體強度發展圖

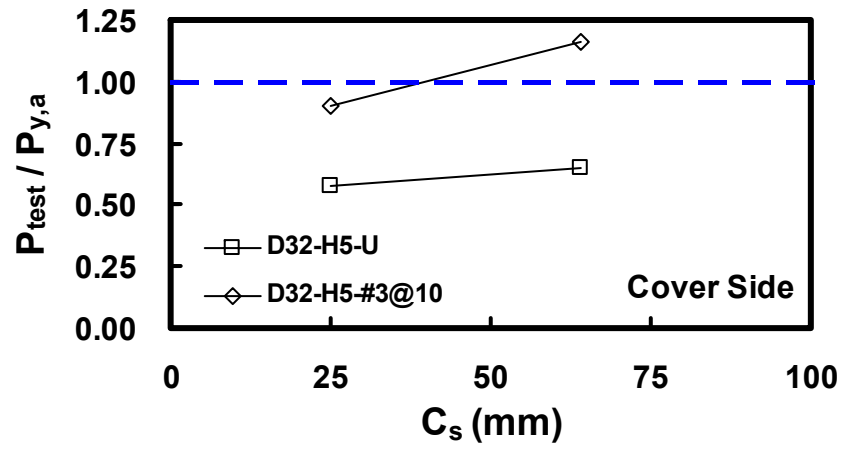


圖 6-50 不同埋置間距條件下之試體強度發展圖

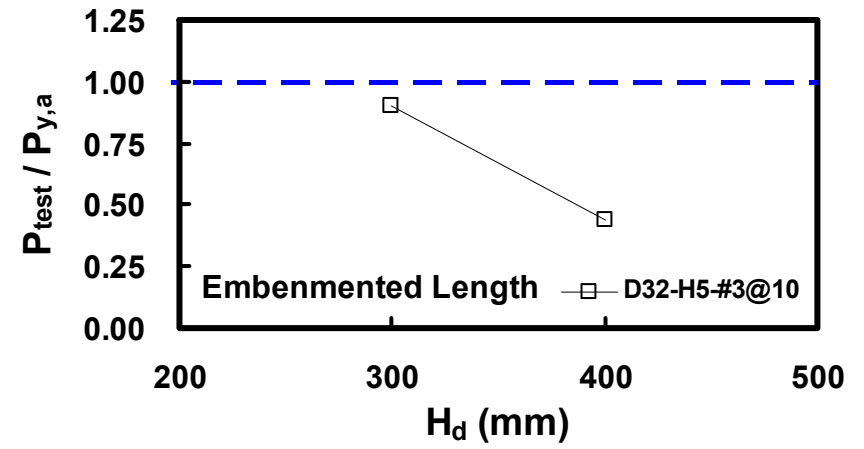
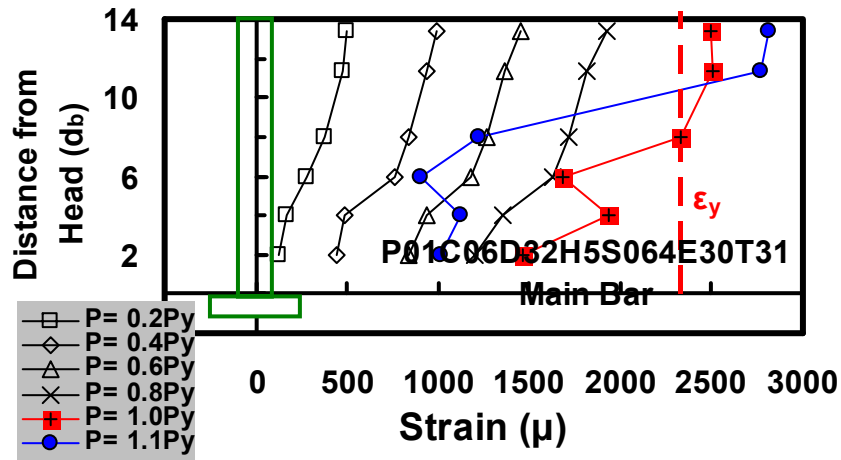
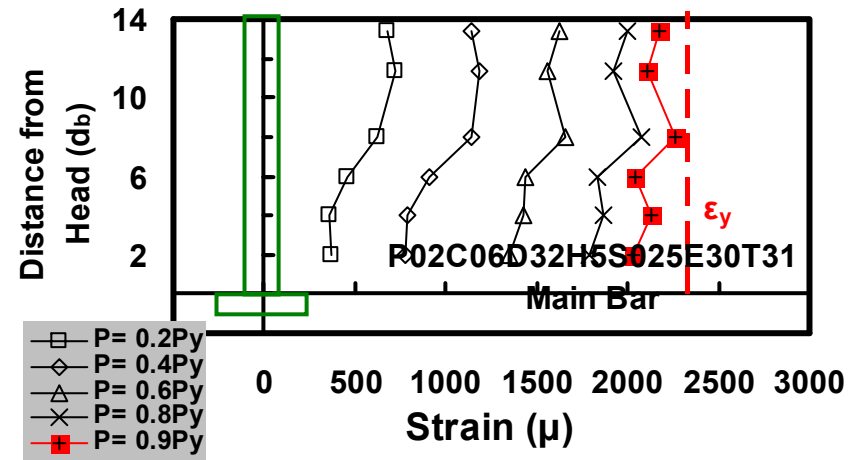


圖 6-51 不同埋置深度條件下之試體強度發展圖

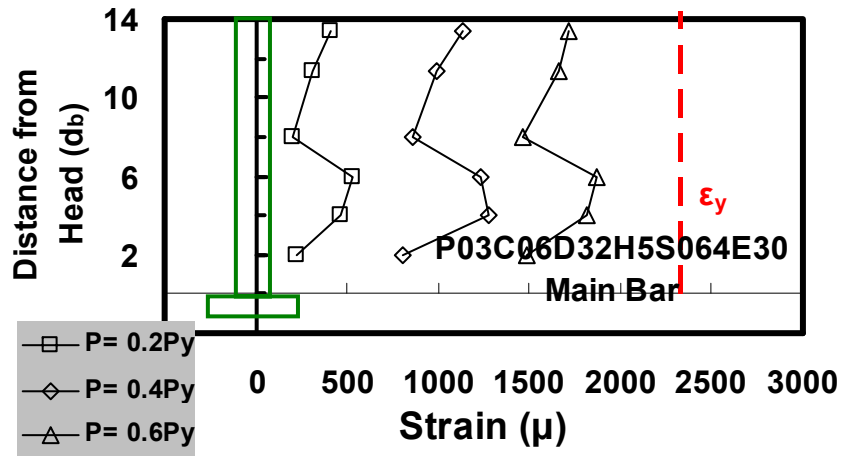




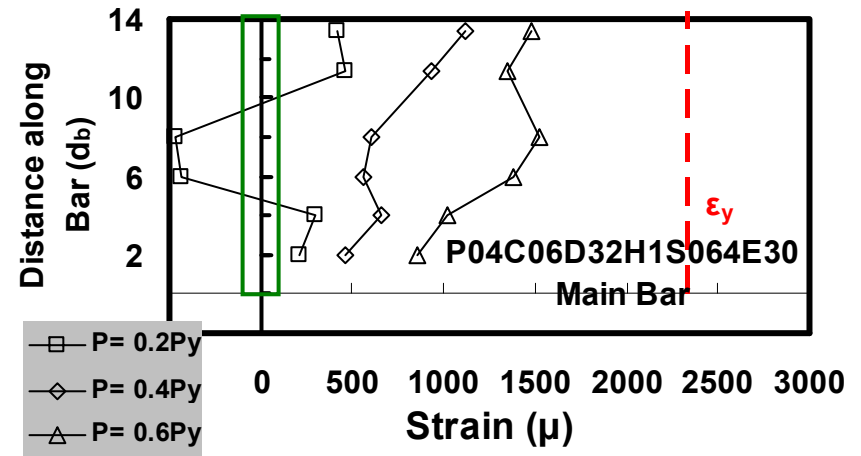
(a)



(b)

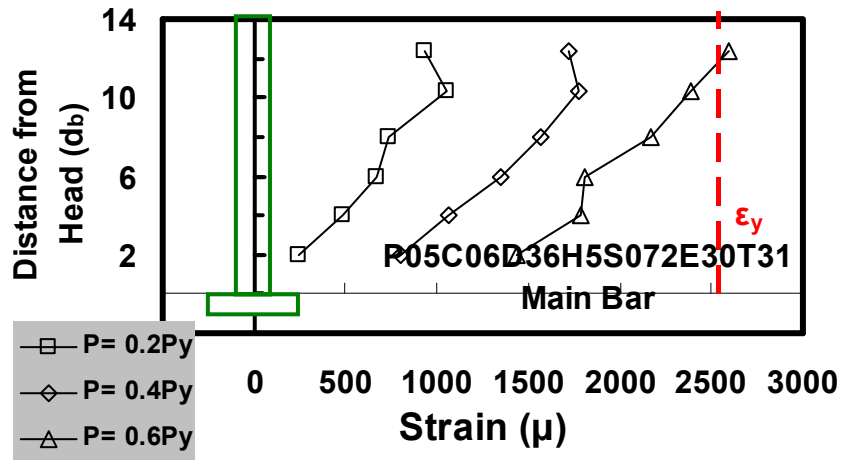


(c)

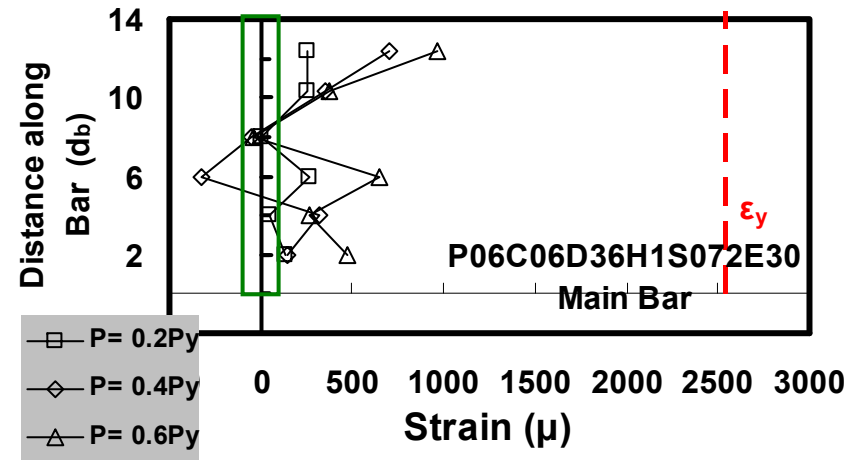


(d)

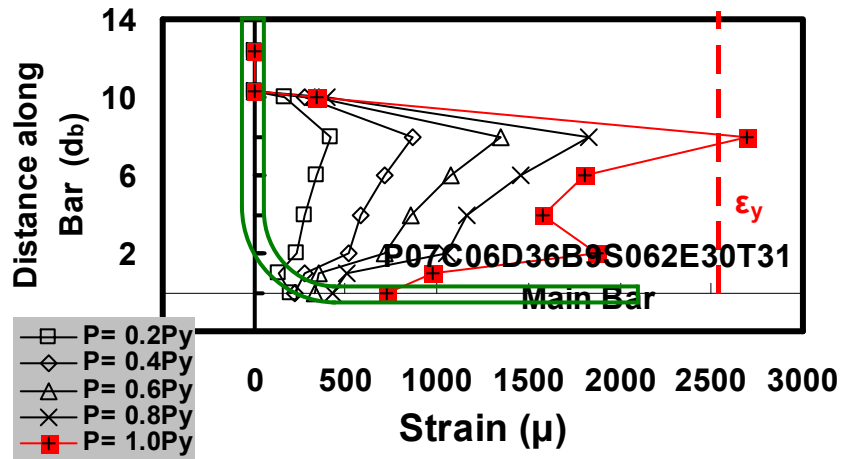
圖 6-52 各試體於試驗各階段中之主筋應變變化圖



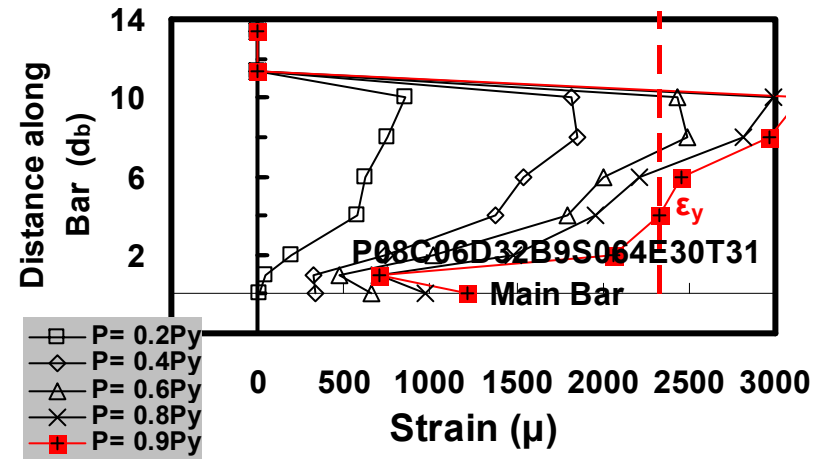
(e)



(f)

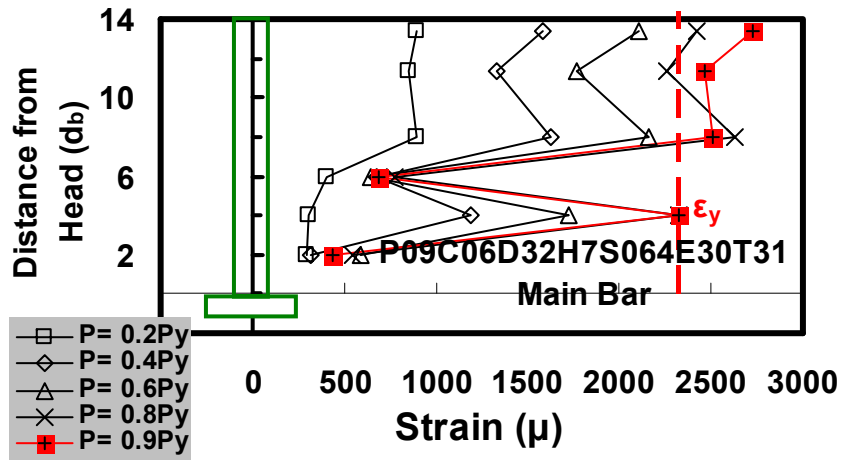


(g)

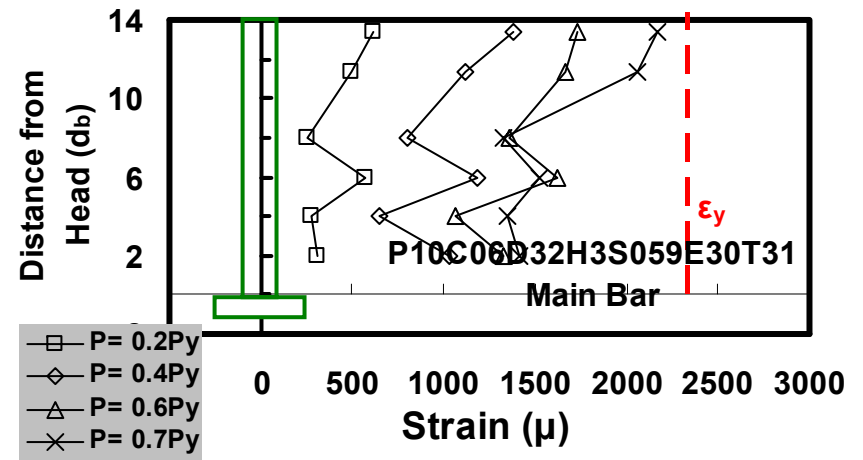


(h)

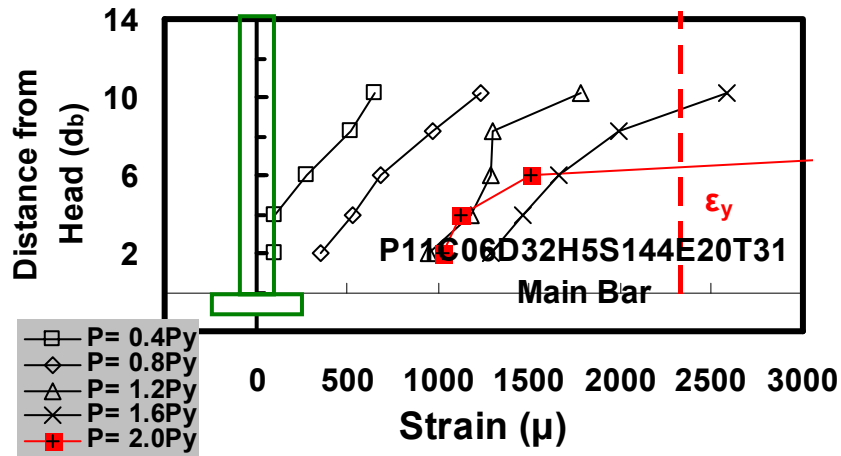
圖 6-52 各試體於試驗各階段中之主筋應變變化圖(續)



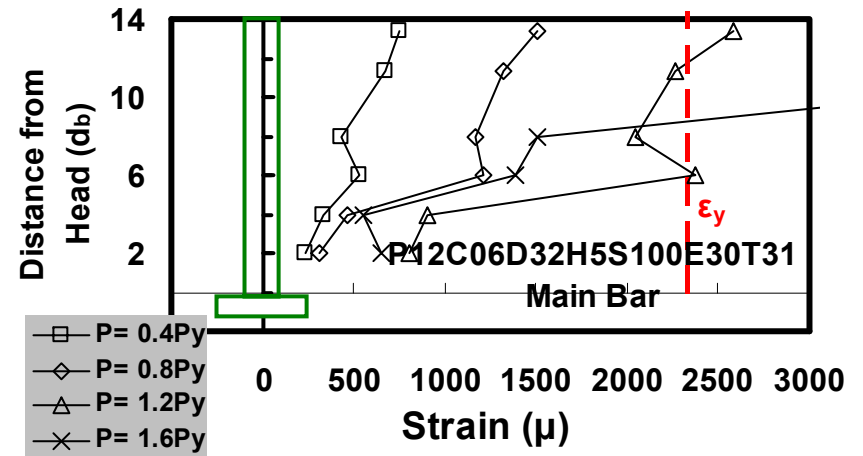
(i)



(j)

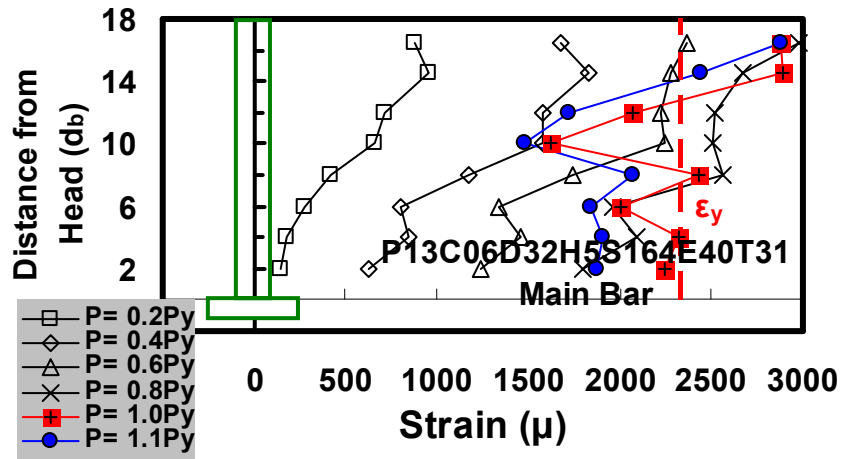


(k)

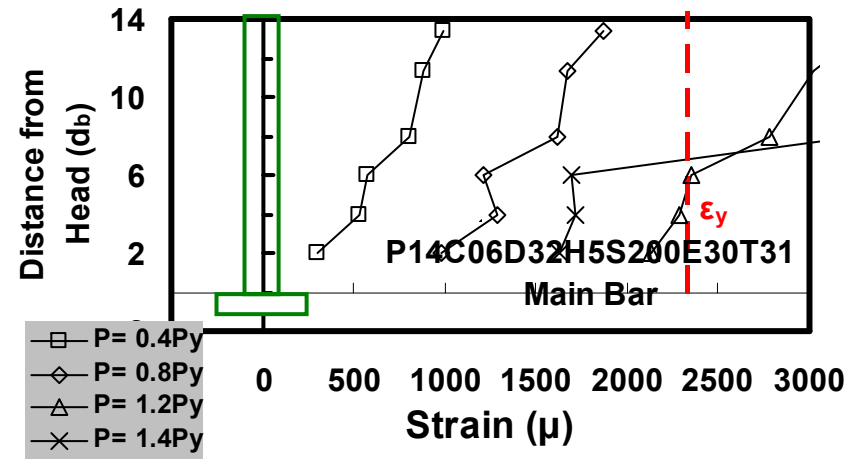


(l)

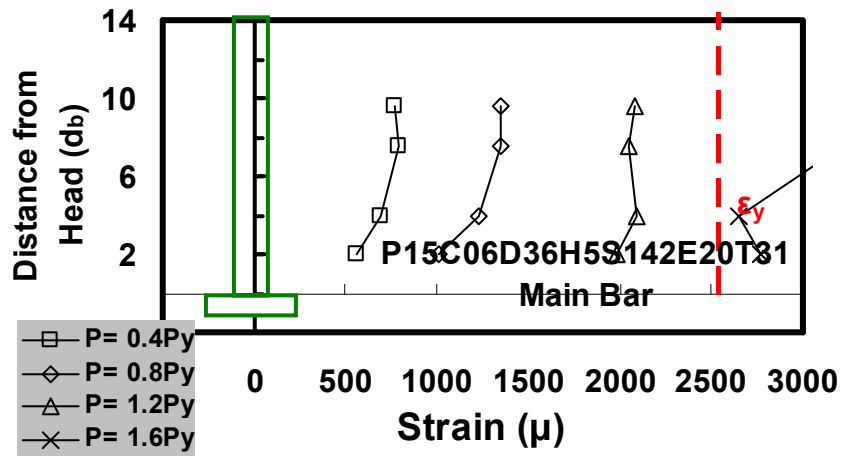
圖 6-52 各試體於試驗各階段中之主筋應變變化圖(續)



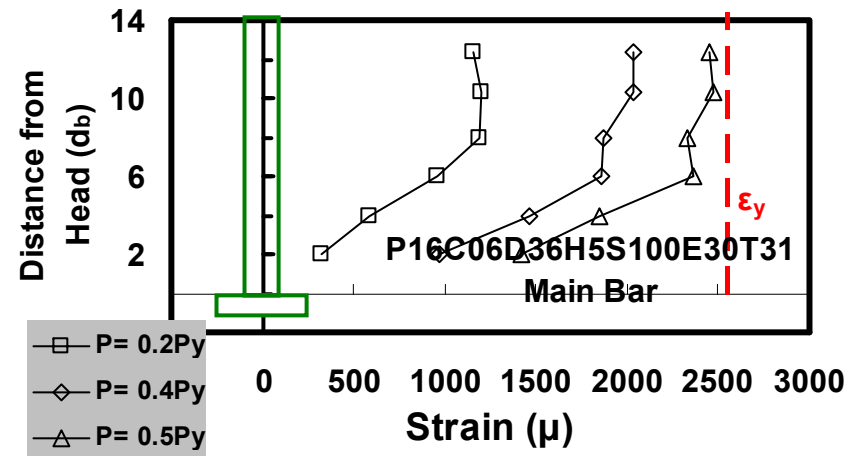
(m)



(n)

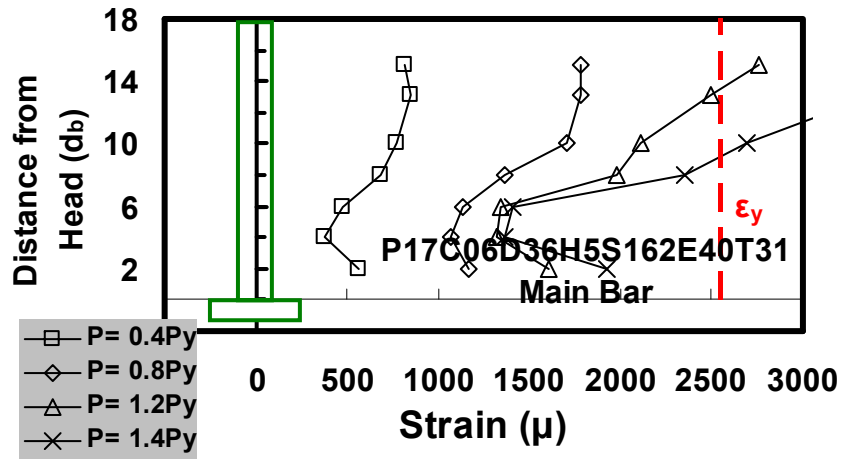


(o)

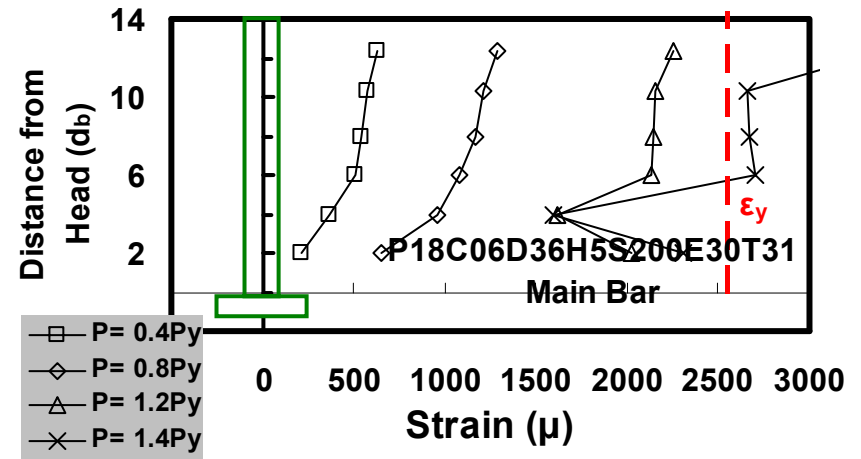


(p)

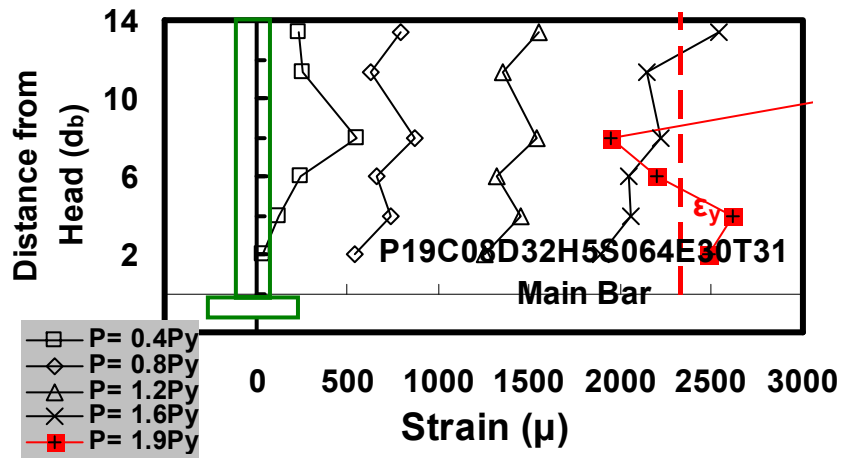
圖 6-52 各試體於試驗各階段中之主筋應變變化圖(續)



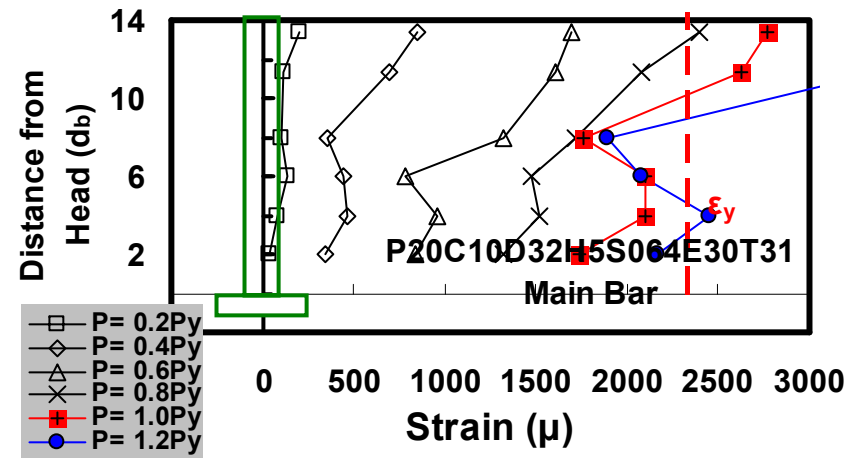
(q)



(r)

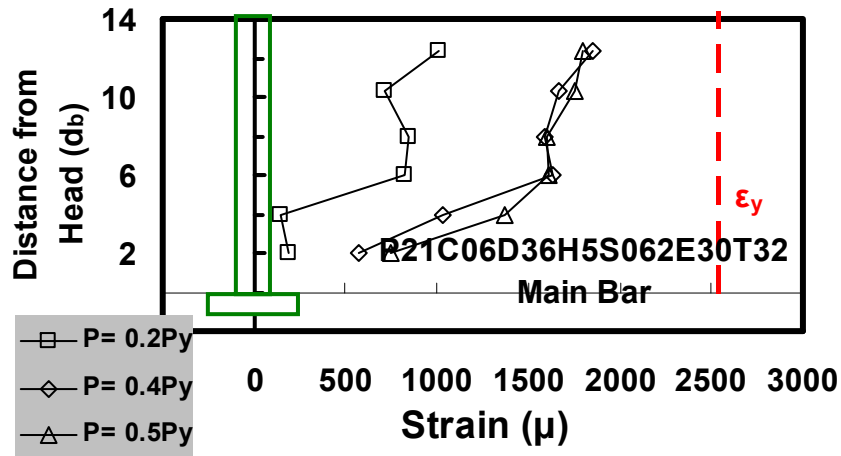


(s)

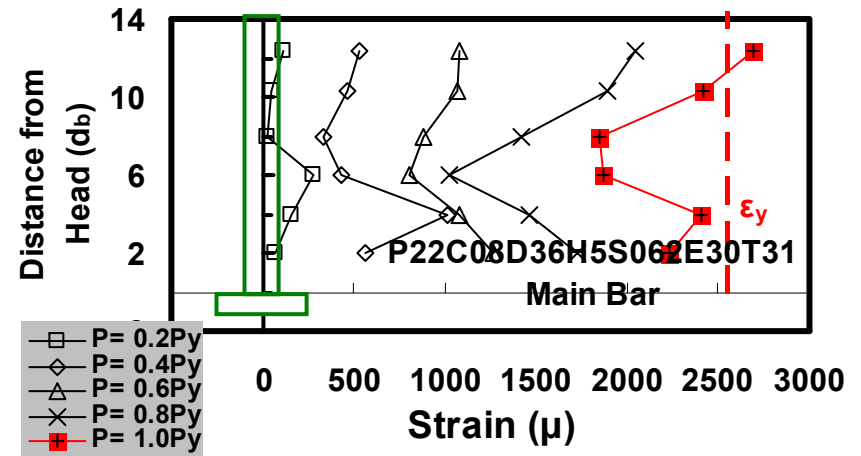


(t)

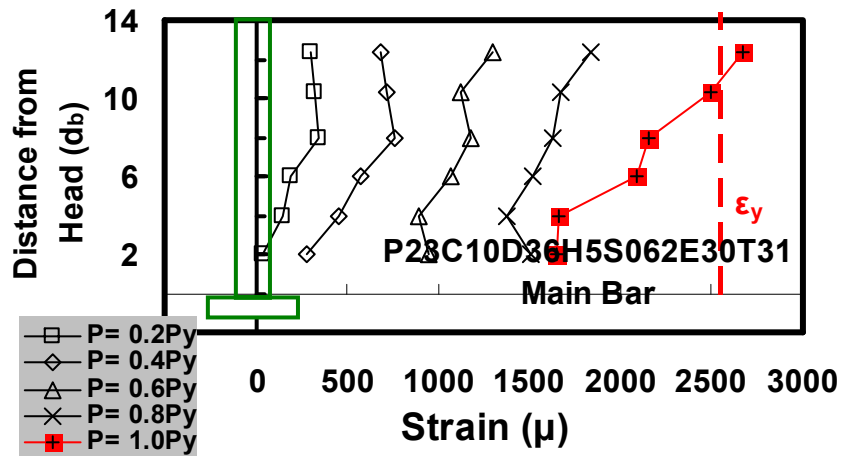
圖 6-52 各試體於試驗各階段中之主筋應變變化圖(續)



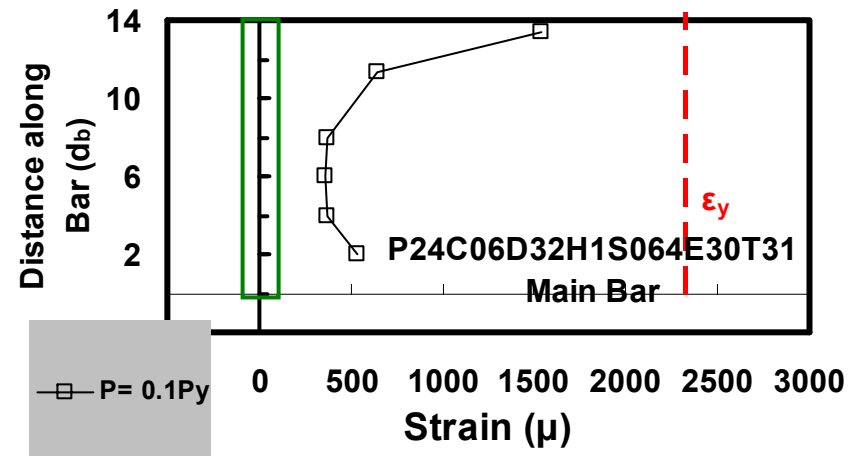
(u)



(v)

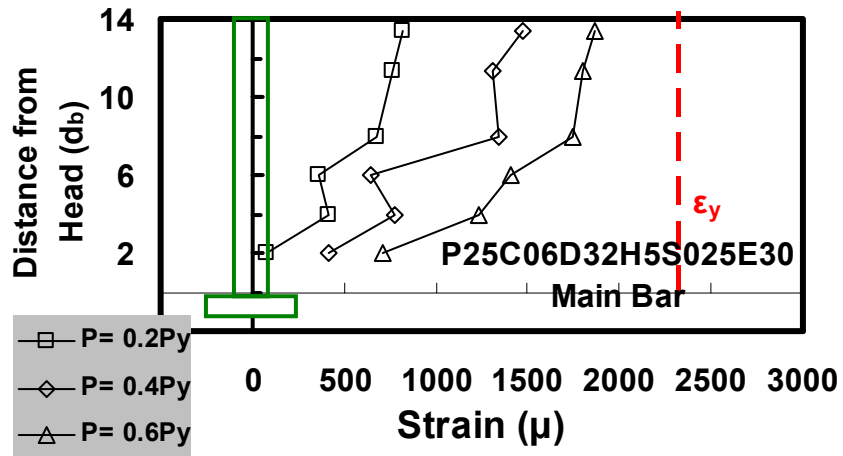


(w)

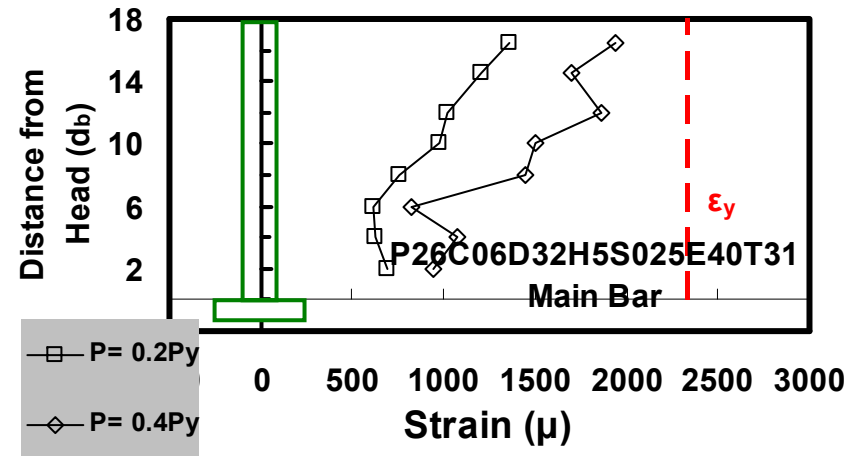


(x)

圖 6-52 各試體於試驗各階段中之主筋應變變化圖(續)

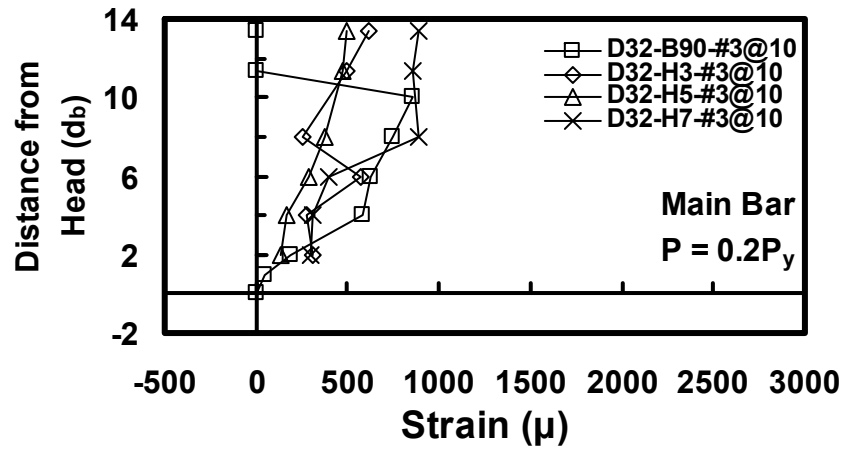


(y)

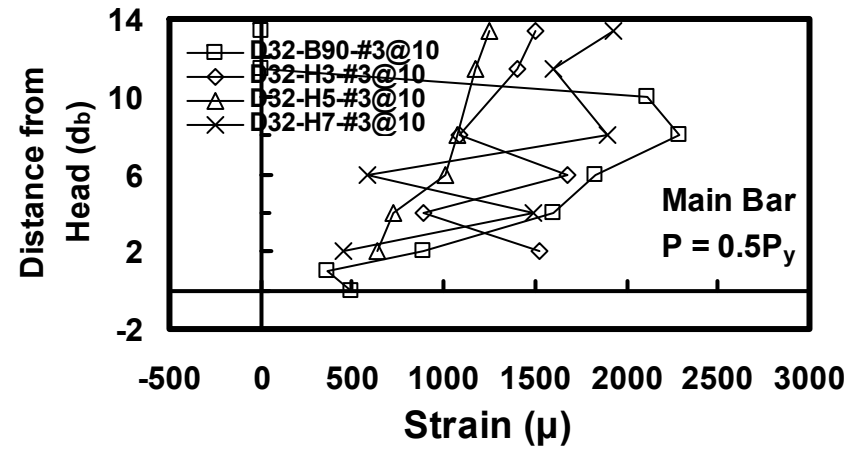


(z)

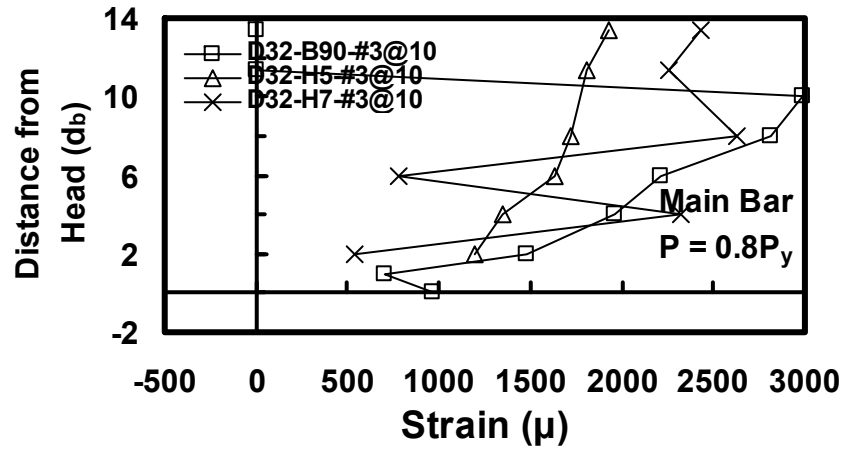
圖 6-52 各試體於試驗各階段中之主筋應變變化圖(續)



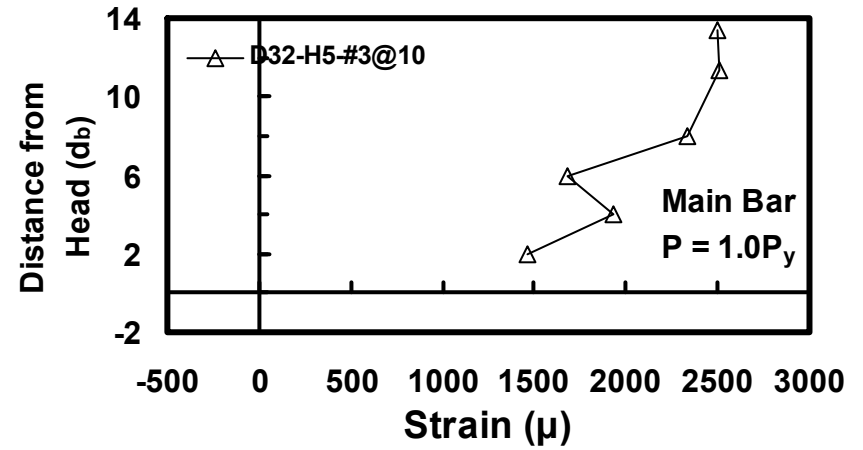
(a)



(b)



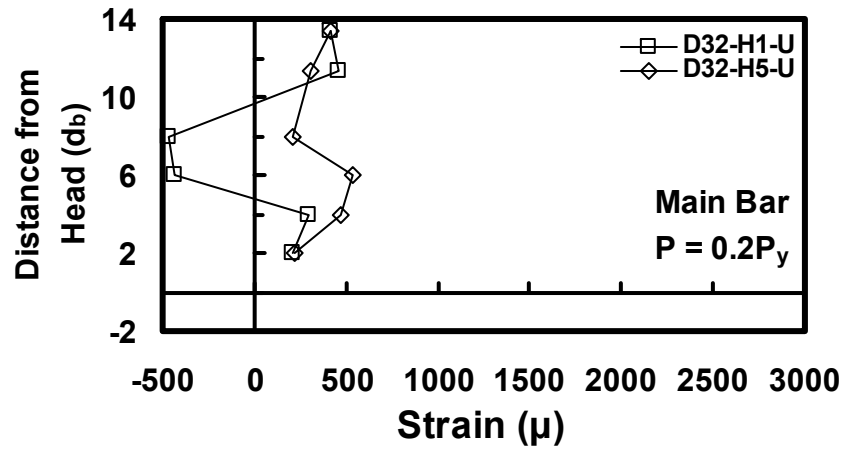
(c)



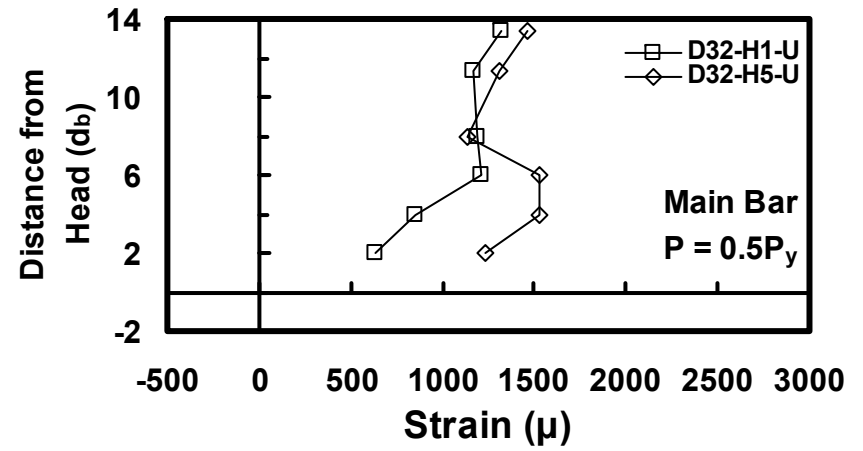
(d)

圖 6-53 D32 主筋於 T 頭端板倍率與鋼筋型式條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(圍束)

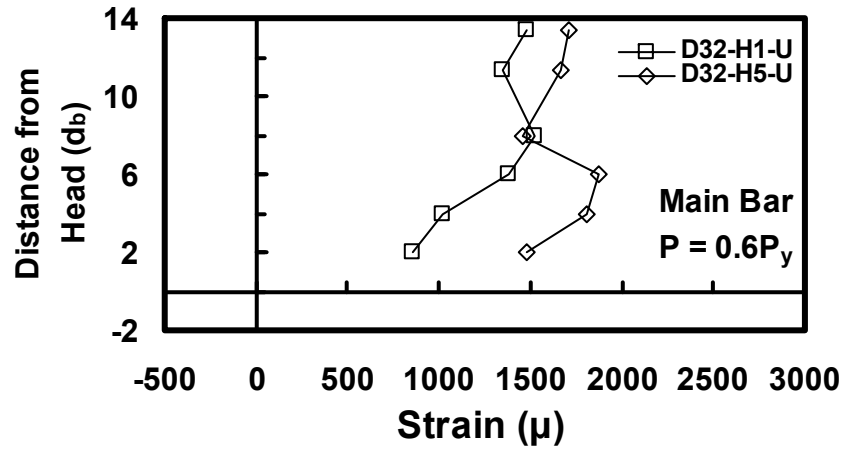




(a)

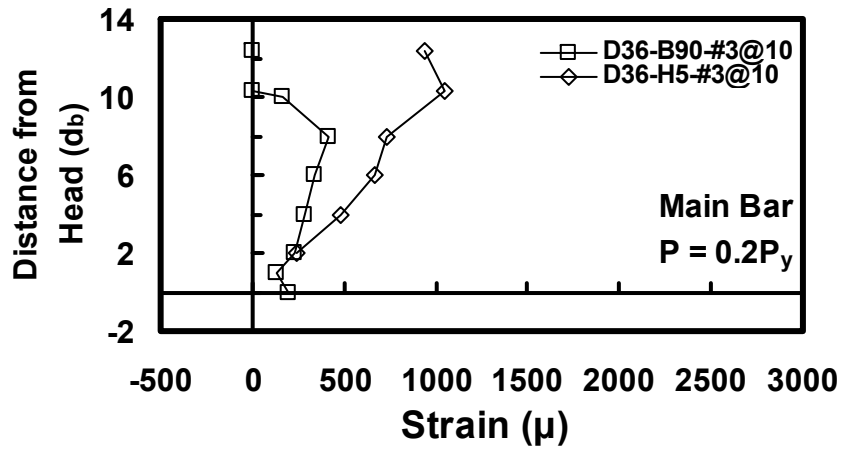


(b)

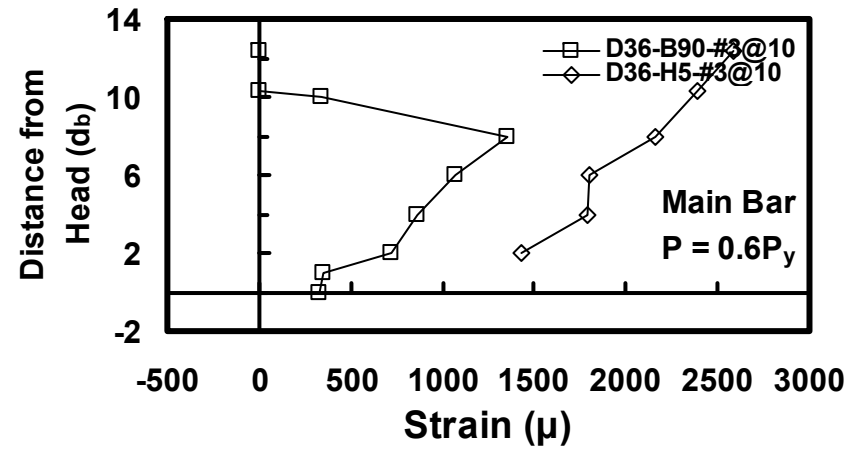


(c)

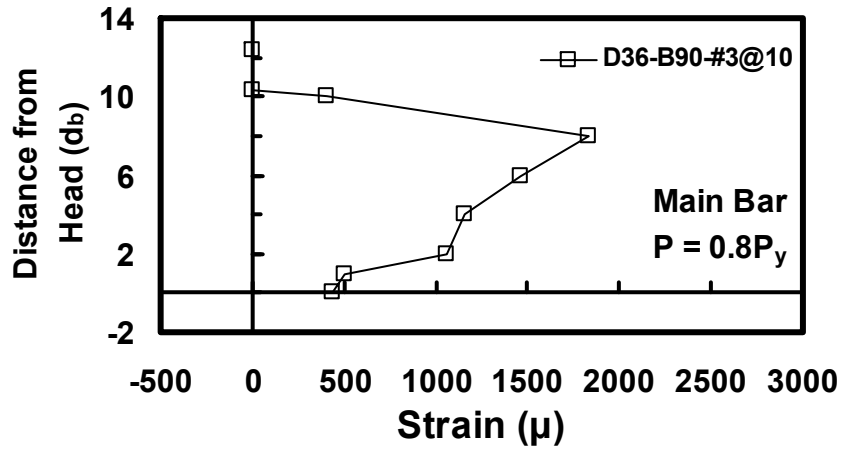
圖 6-54 D32 主筋於 T 頭端板倍率與鋼筋型式條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(未圍束)



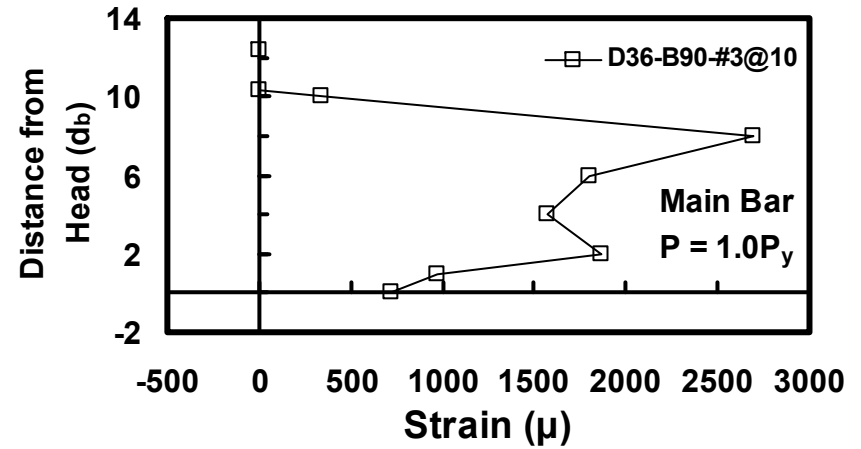
(a)



(b)

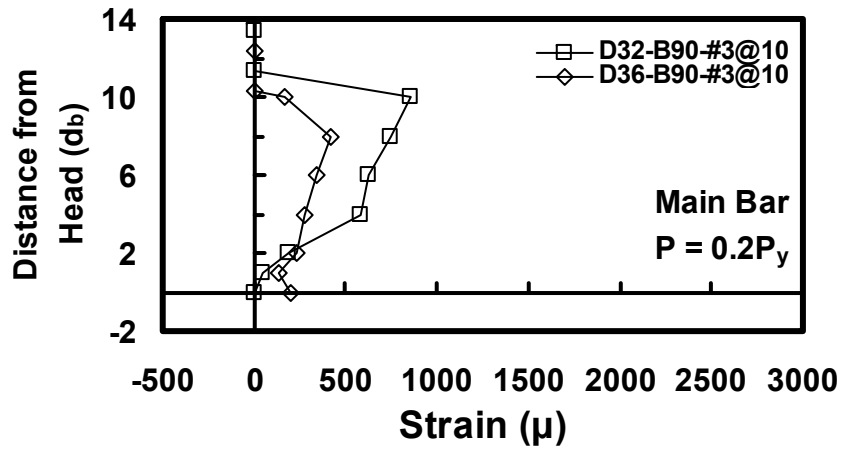


(c)

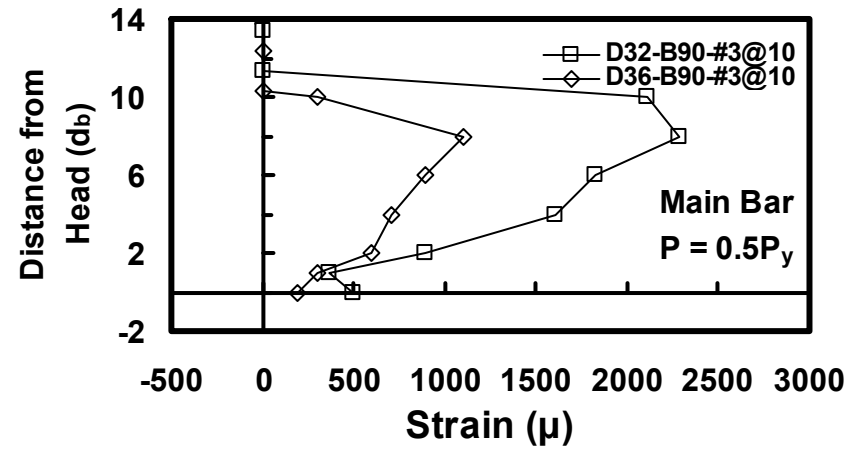


(d)

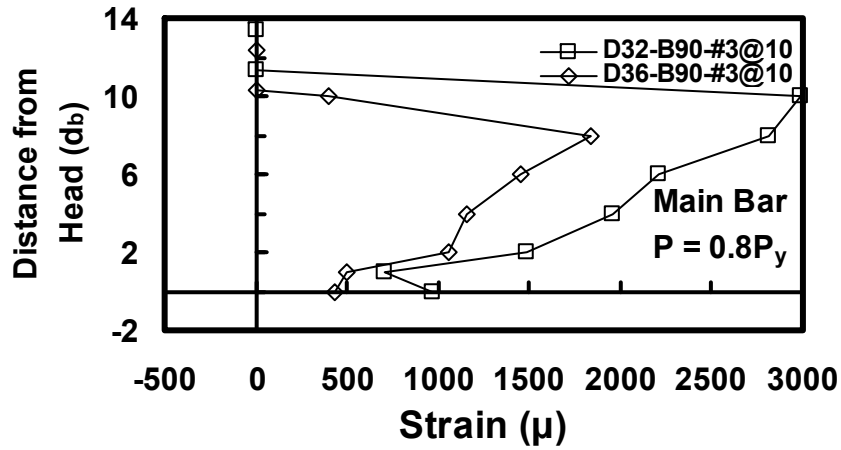
圖 6-55 D36 主筋於 T 頭端板倍率與鋼筋型式條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(圍束)



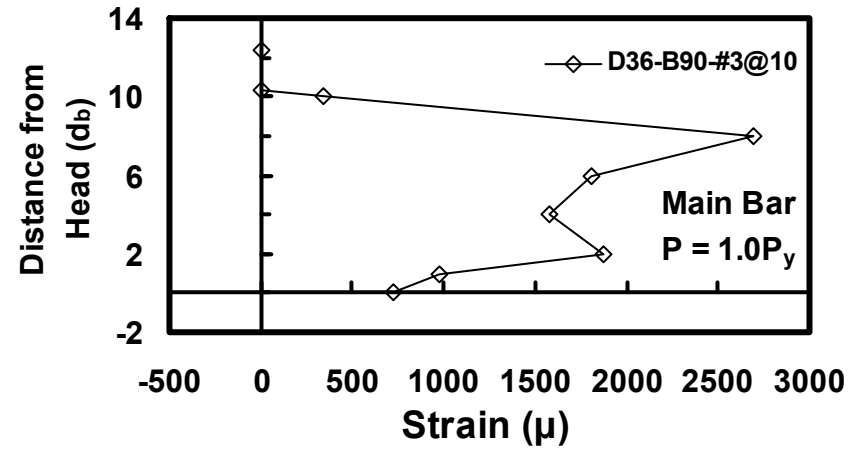
(a)



(b)

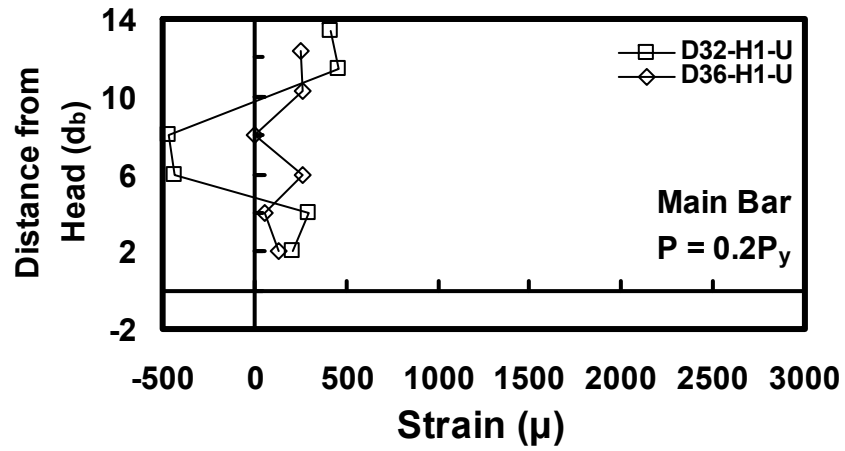


(c)

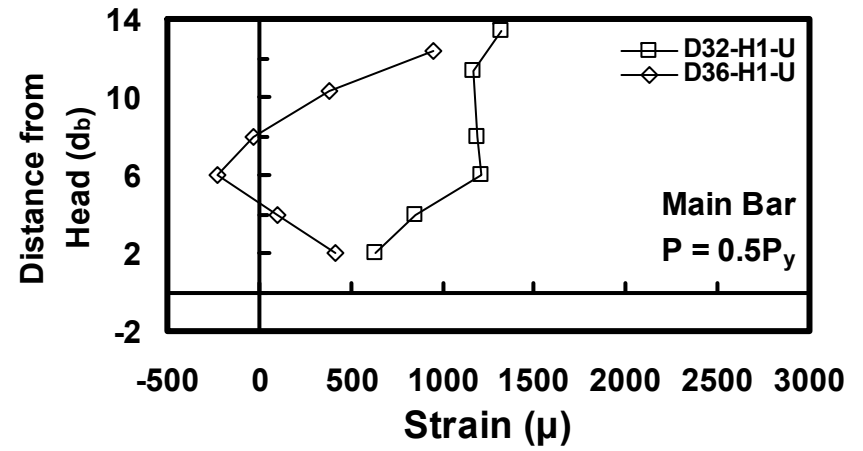


(d)

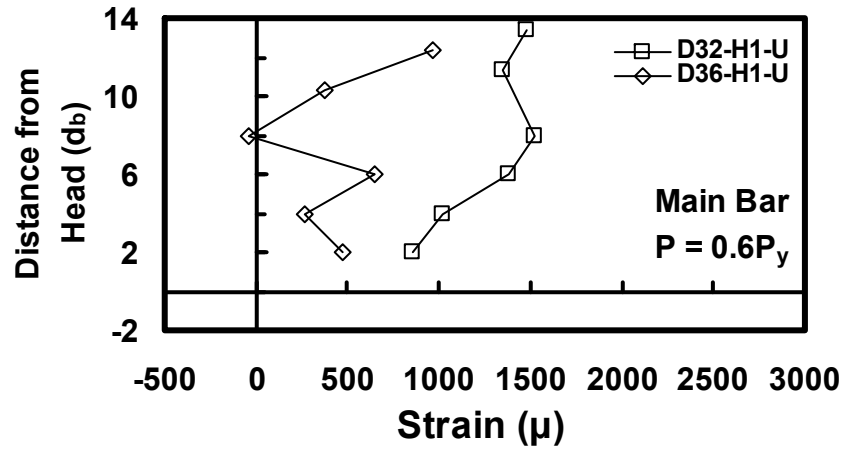
圖 6-56 90 度標準灣鉤於鋼筋號數條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(圍束)



(a)

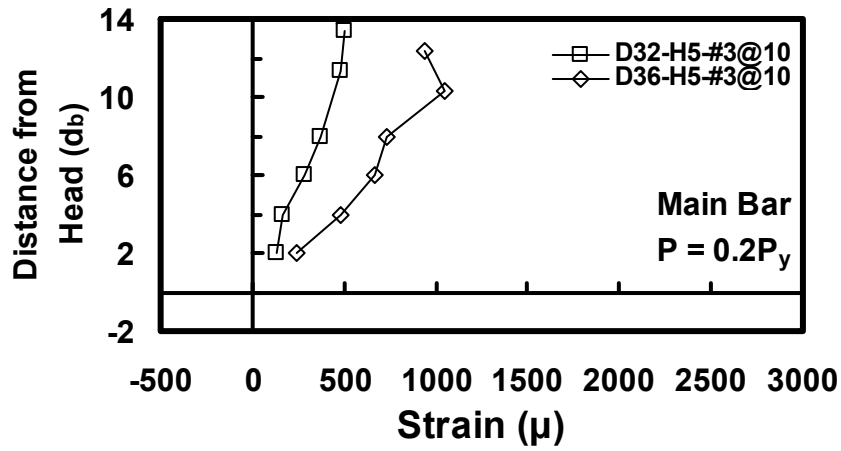


(b)

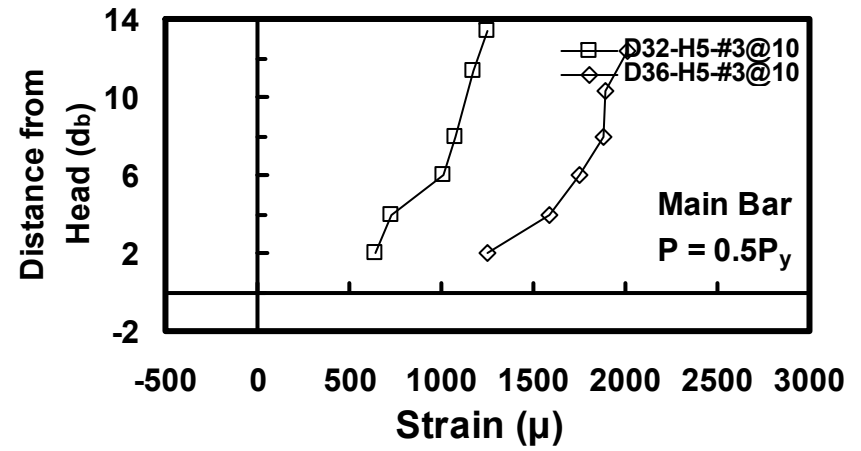


(c)

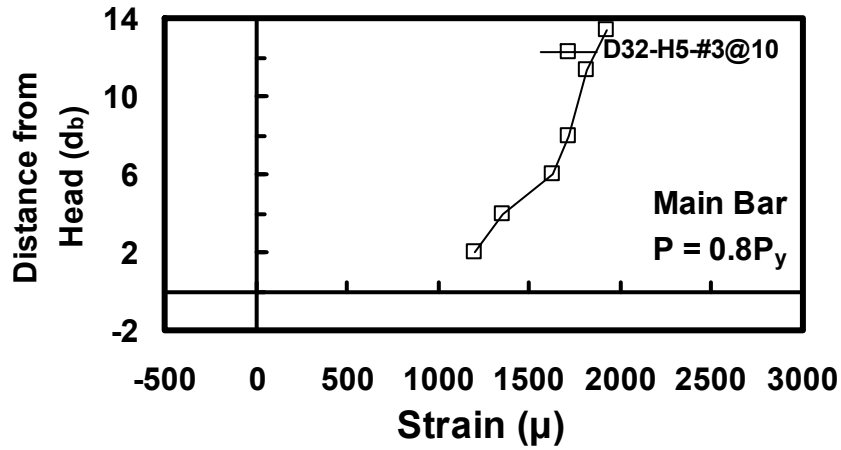
圖 6-57 直通鋼筋於鋼筋號數條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(未圍束)



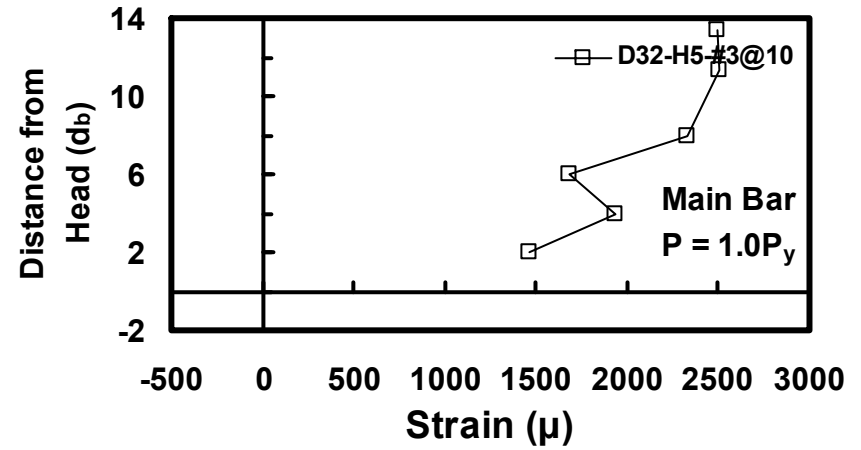
(a)



(b)

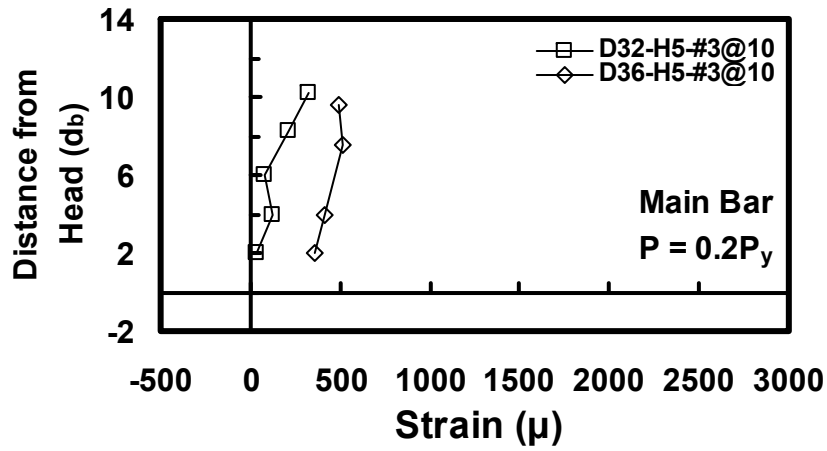


(c)

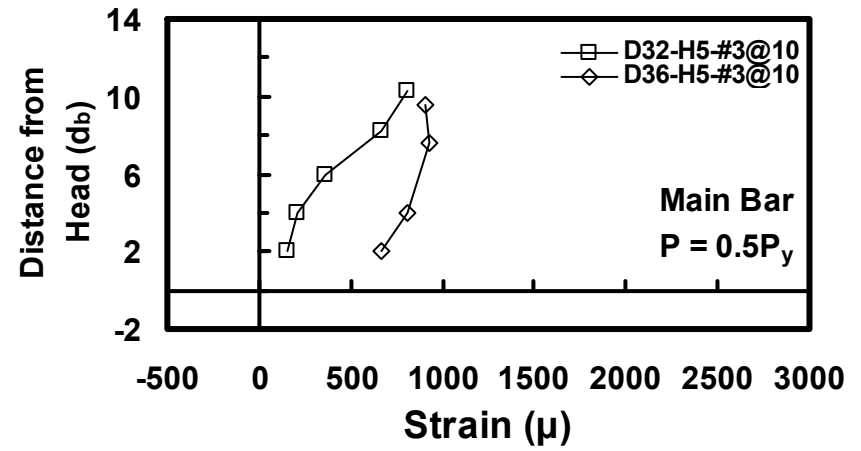


(d)

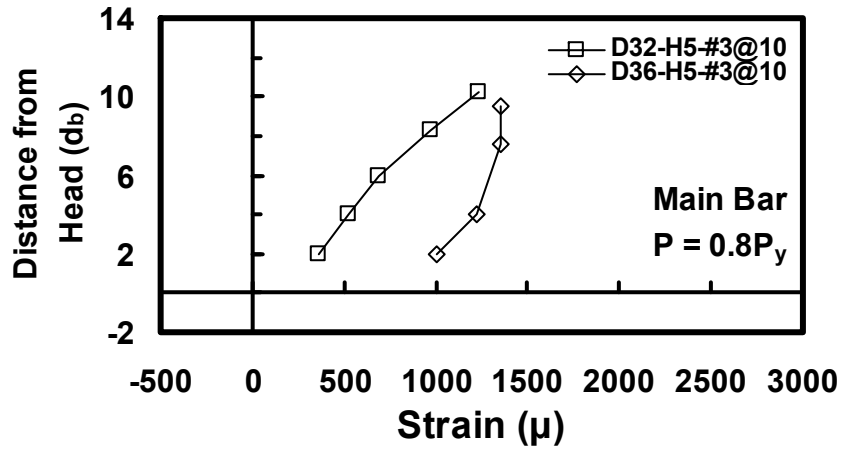
圖 6-58 五倍 T 頭端板大小於鋼筋號數條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(圍束)



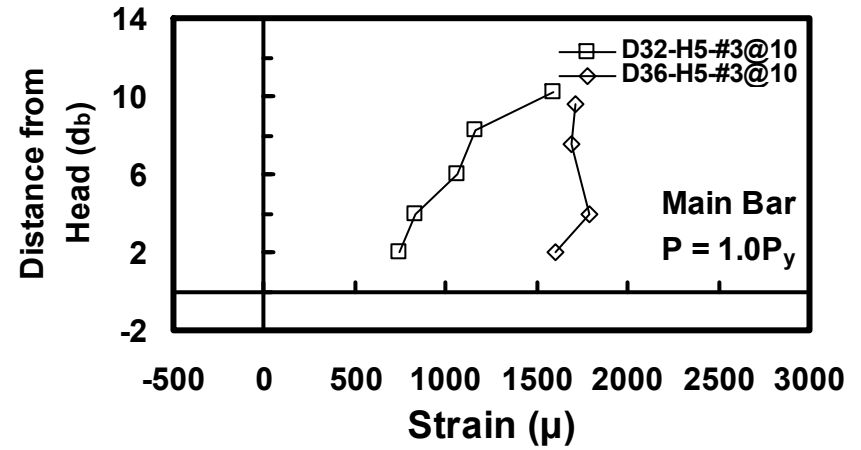
(a)



(b)

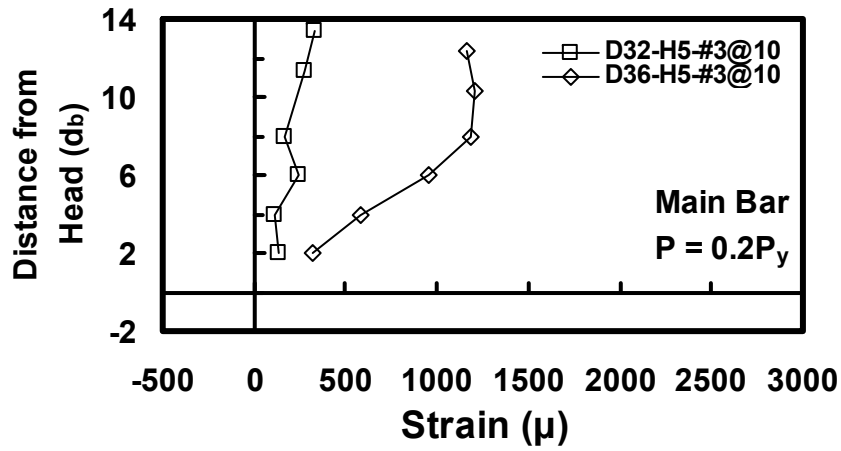


(c)

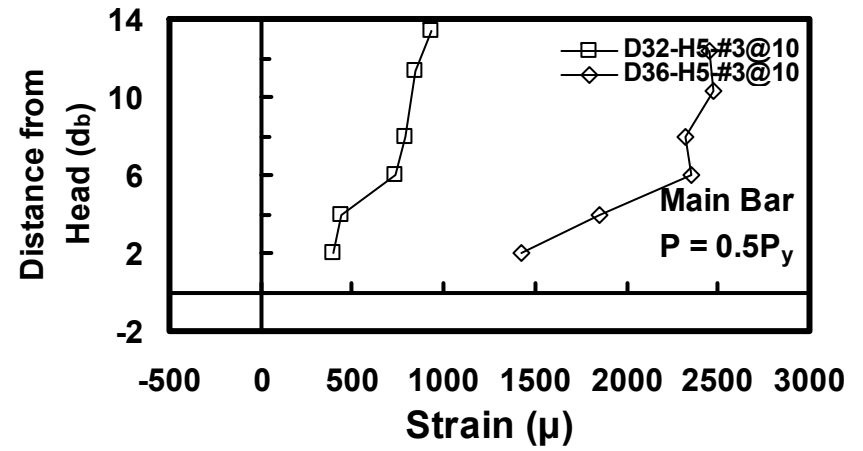


(d)

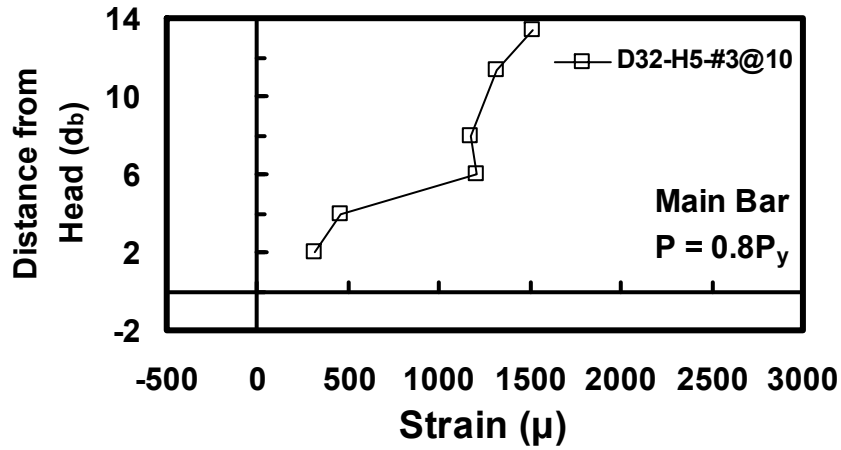
圖 6-59 五倍 T 頭端板大小於鋼筋號數條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(圍束)



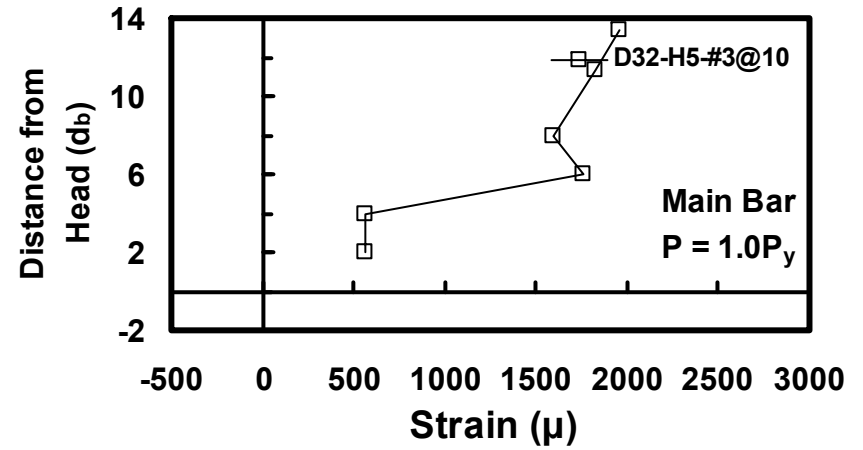
(a)



(b)

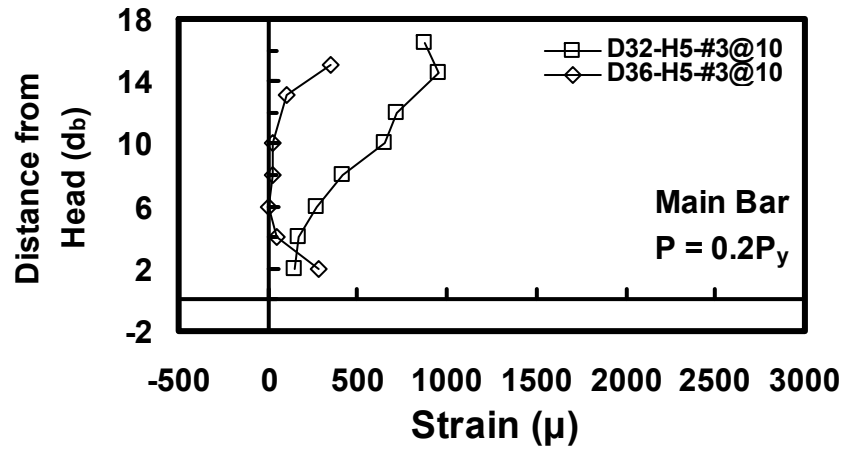


(c)

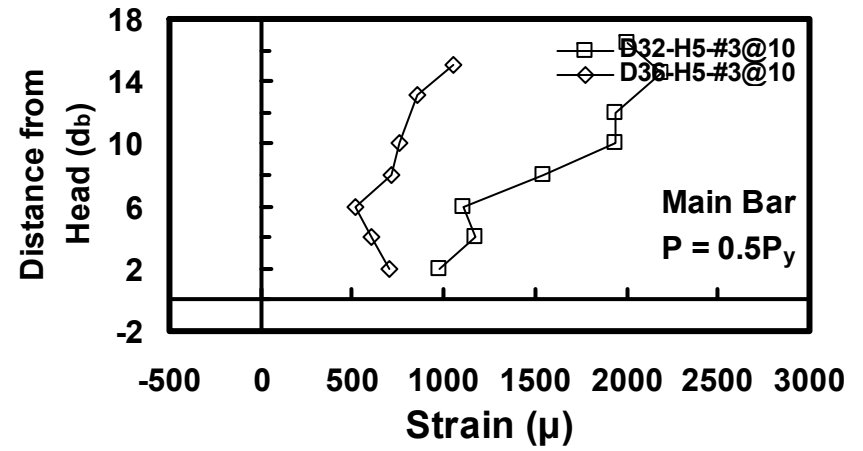


(d)

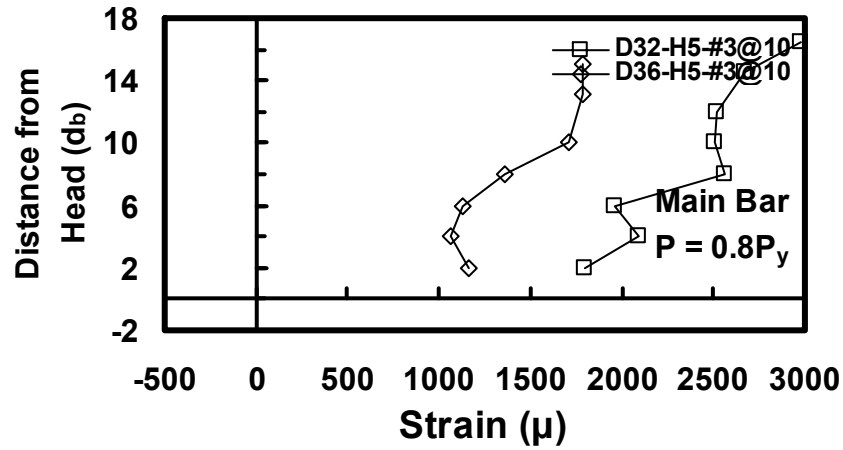
圖 6-60 五倍 T 頭端板大小於鋼筋號數條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(圍束)



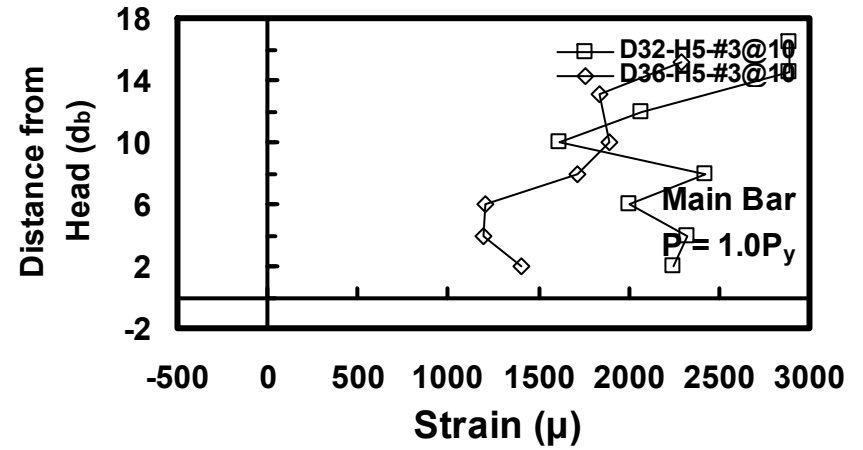
(a)



(b)



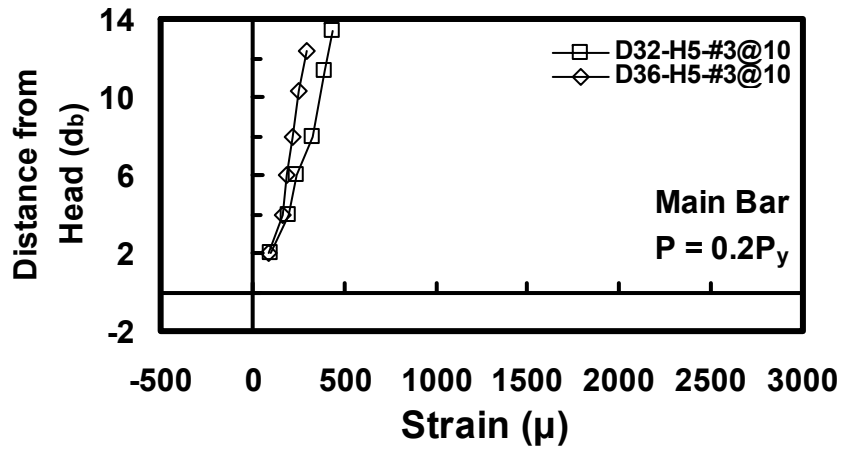
(c)



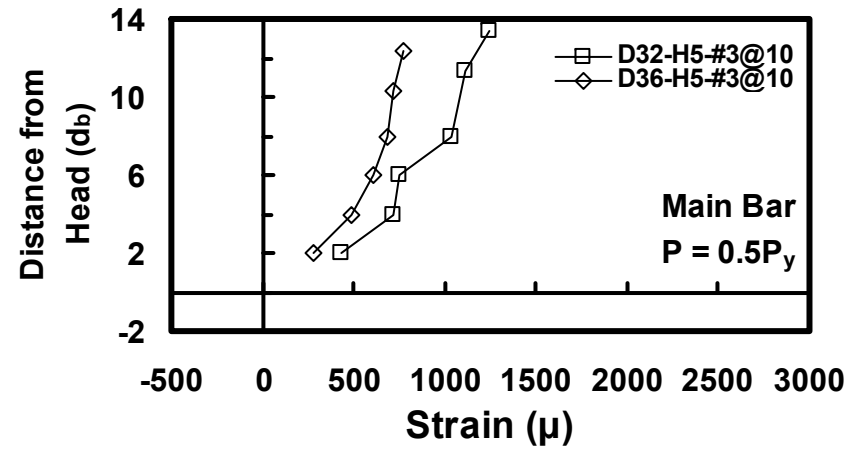
(d)

圖 6-61 五倍 T 頭端板大小於鋼筋號數條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(圍束)

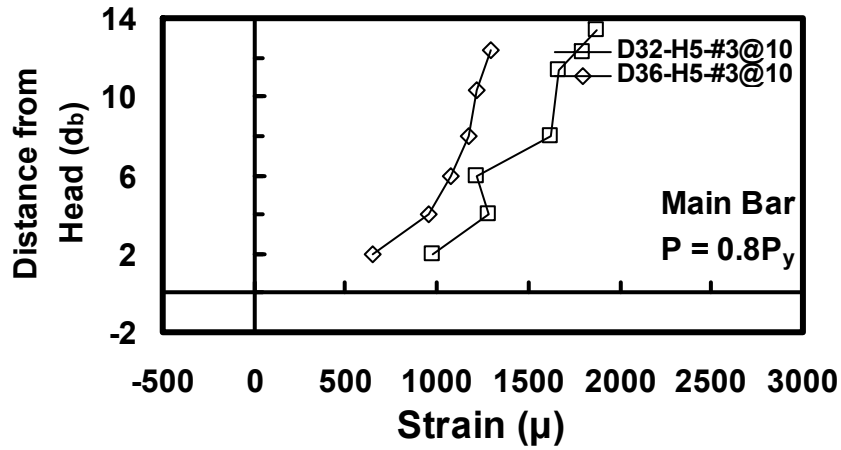




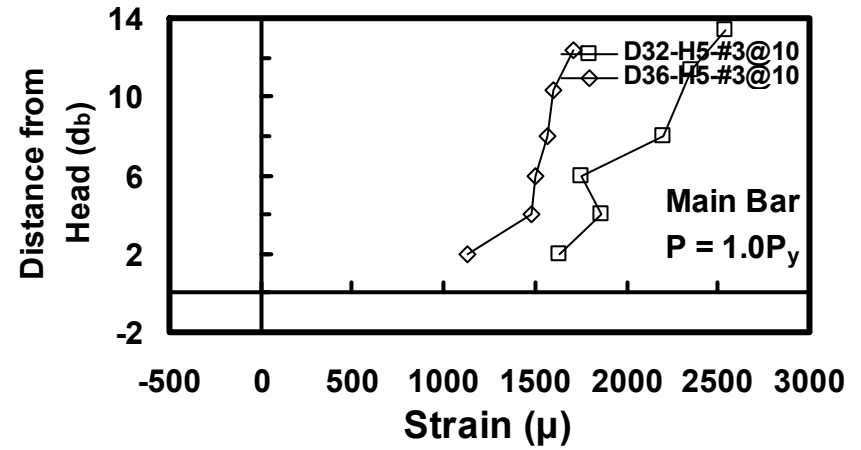
(a)



(b)

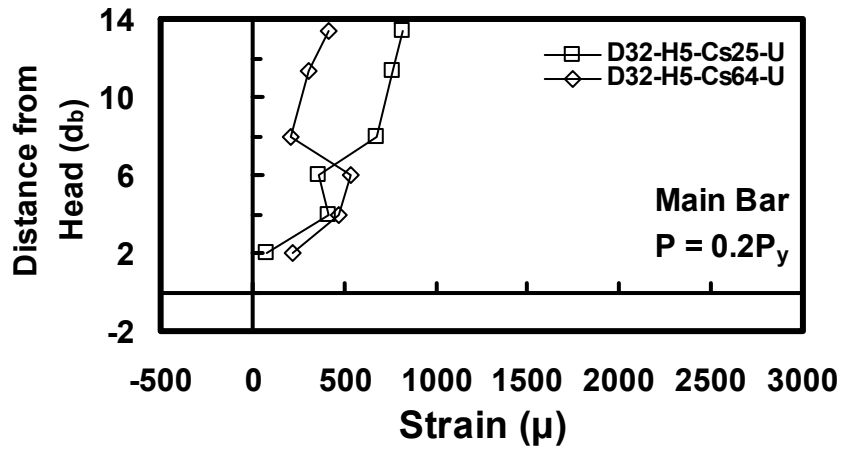


(c)

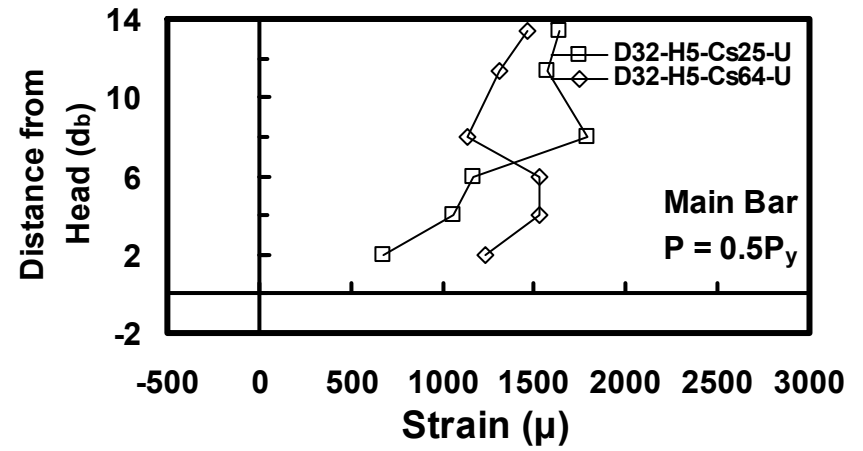


(d)

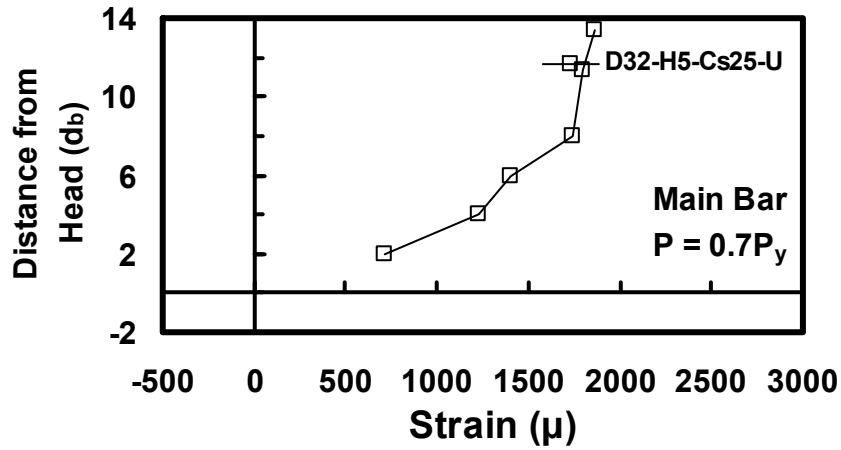
圖 6-62 五倍 T 頭端板大小於鋼筋號數條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(圍束)



(a)



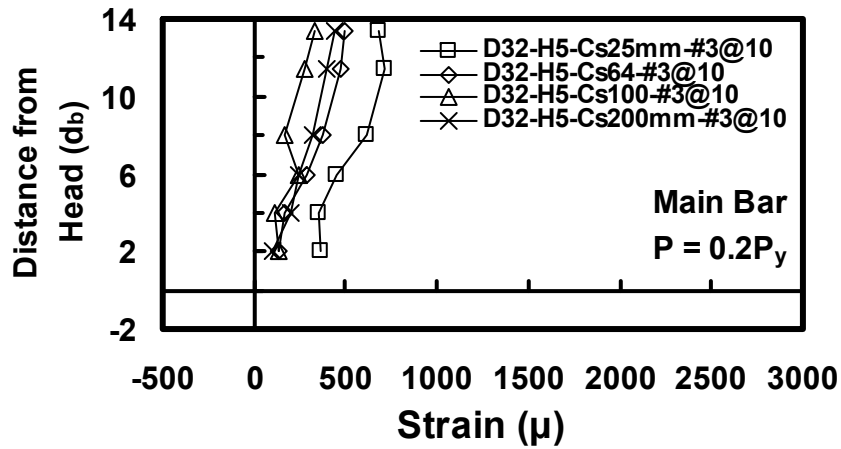
(b)



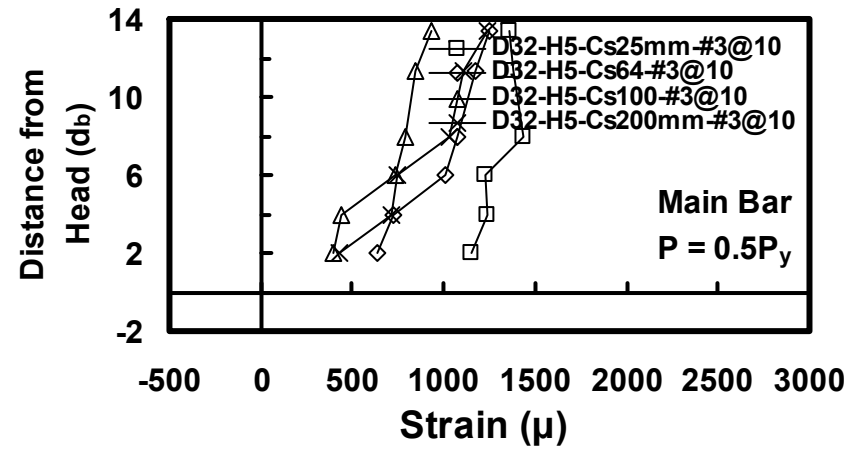
(c)

(d)

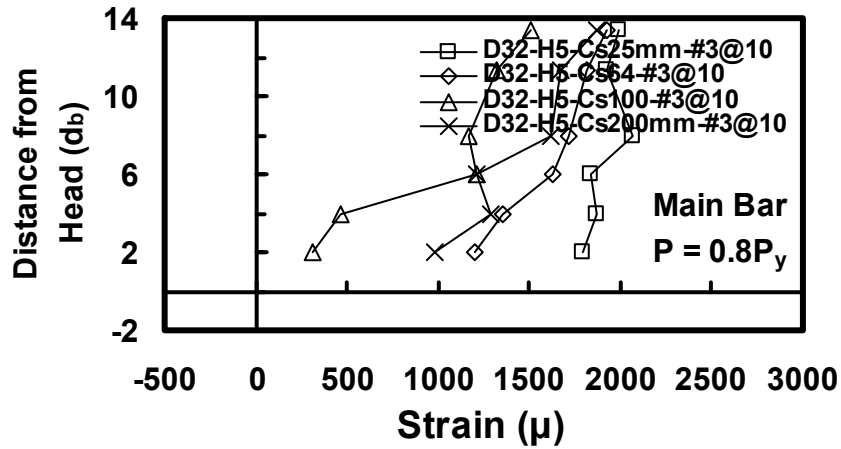
圖 6-63 D32 鋼筋之 5 倍 T 頭端板大小於埋置邊距條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(未圍束)



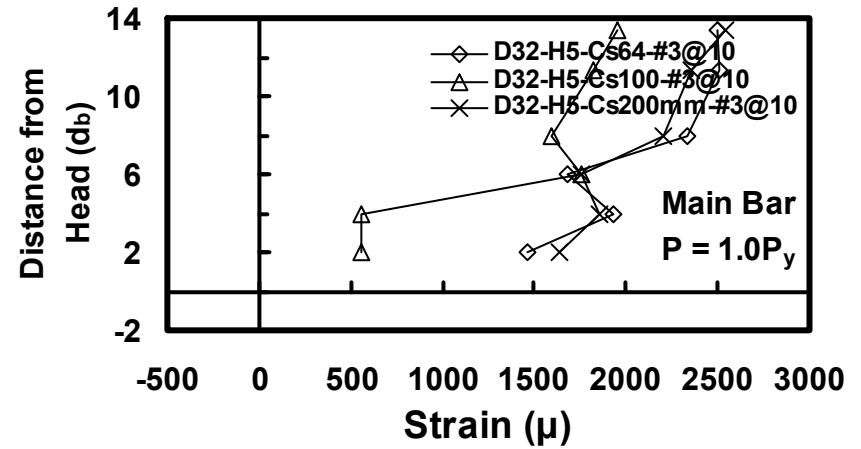
(a)



(b)

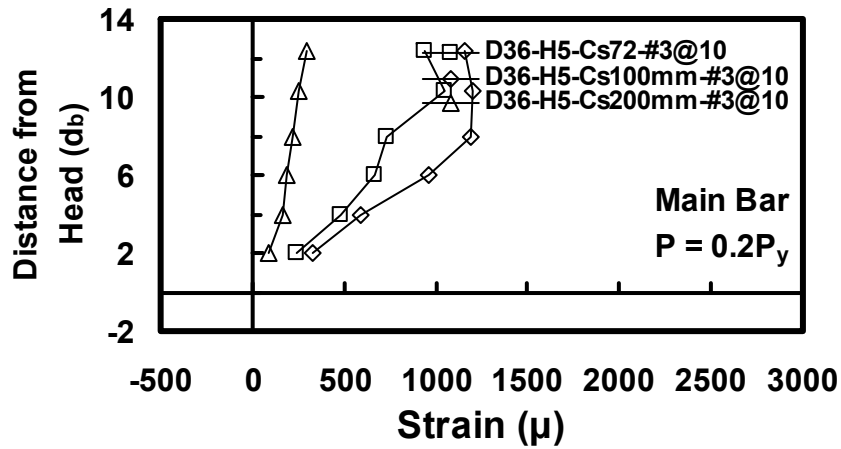


(c)

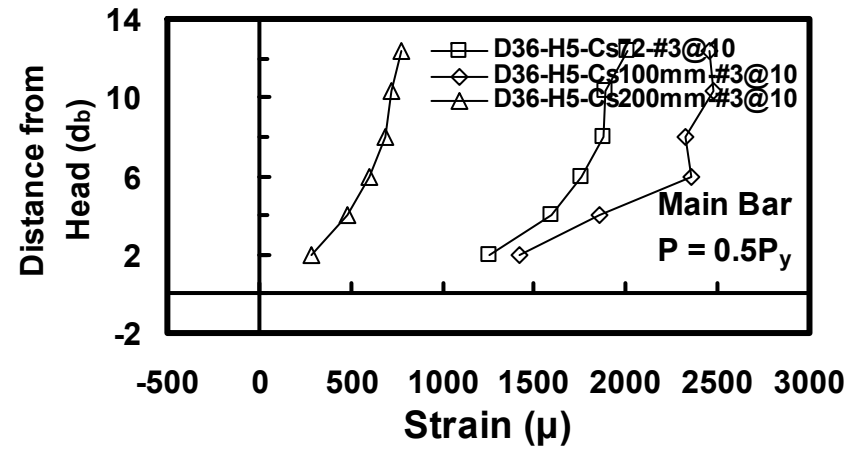


(d)

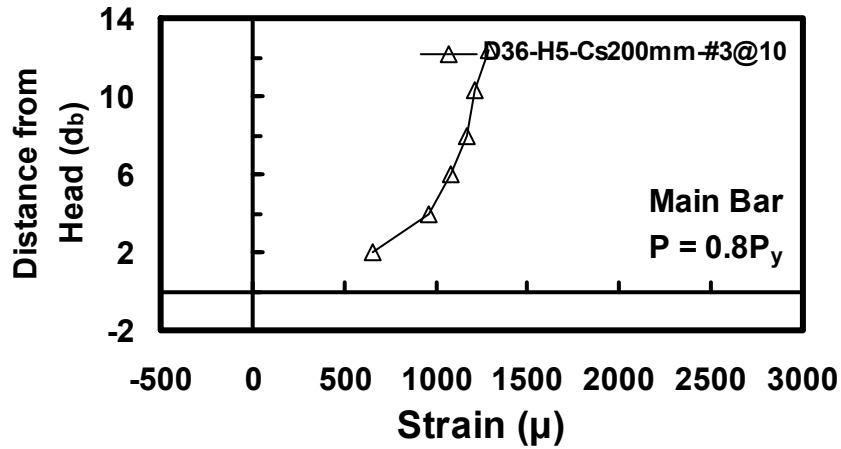
圖 6-64 D32 鋼筋之 5 倍 T 頭端板大小於埋置邊距條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(圍束)



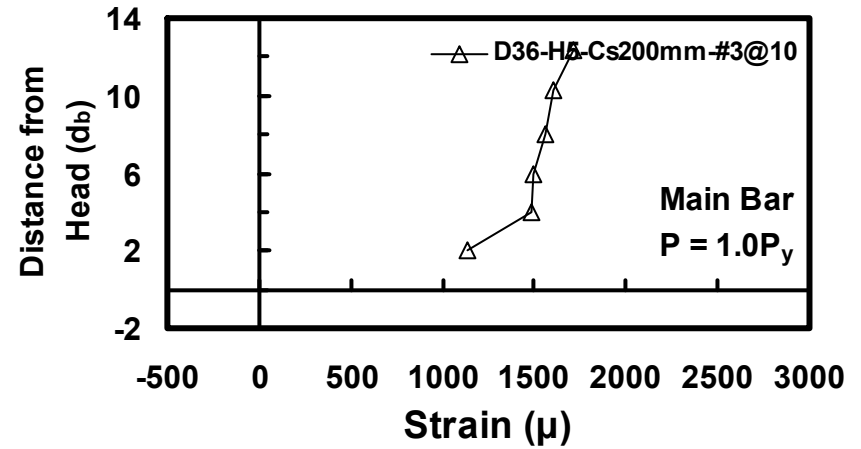
(a)



(b)

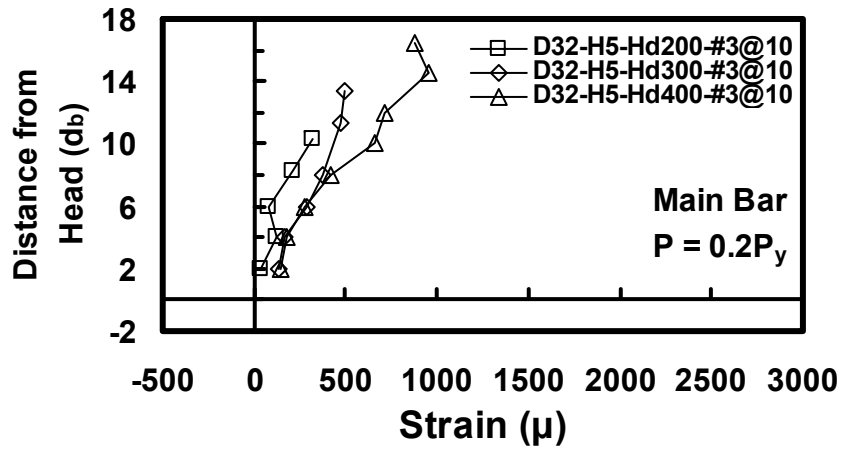


(c)

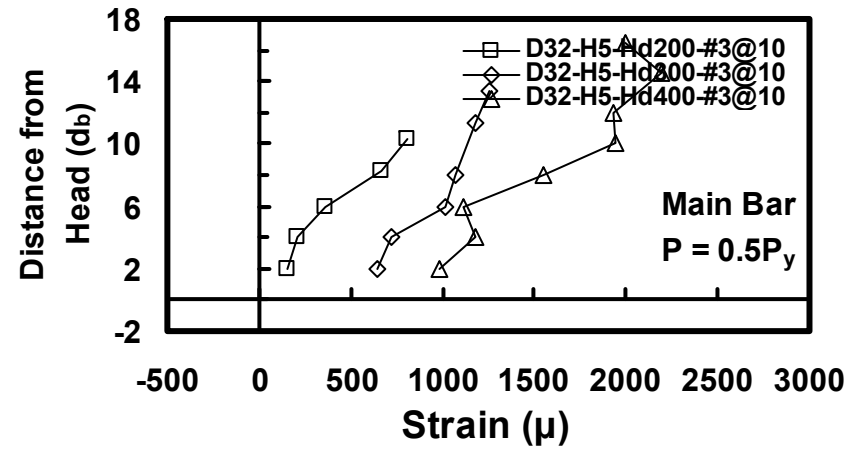


(d)

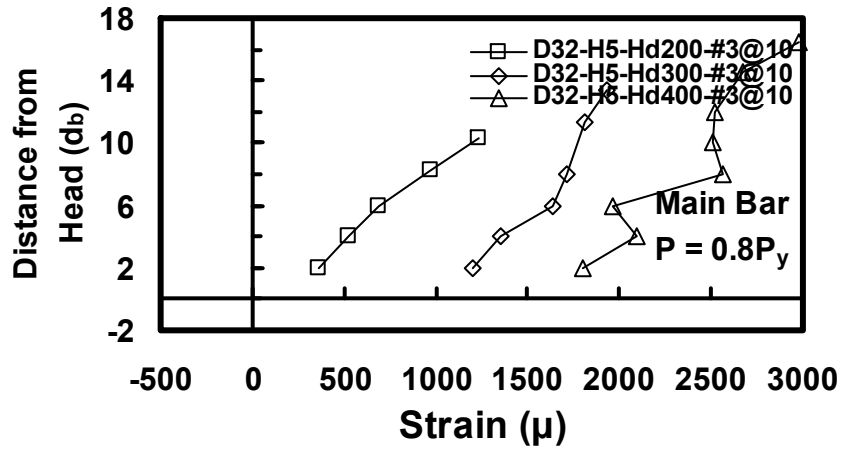
圖 6-65 D36 鋼筋之 5 倍 T 頭端板大小於埋置邊距條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(圍束)



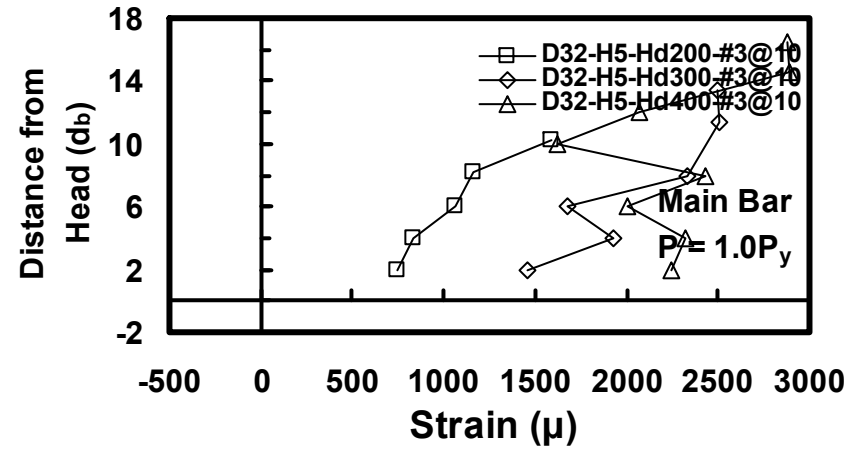
(a)



(b)

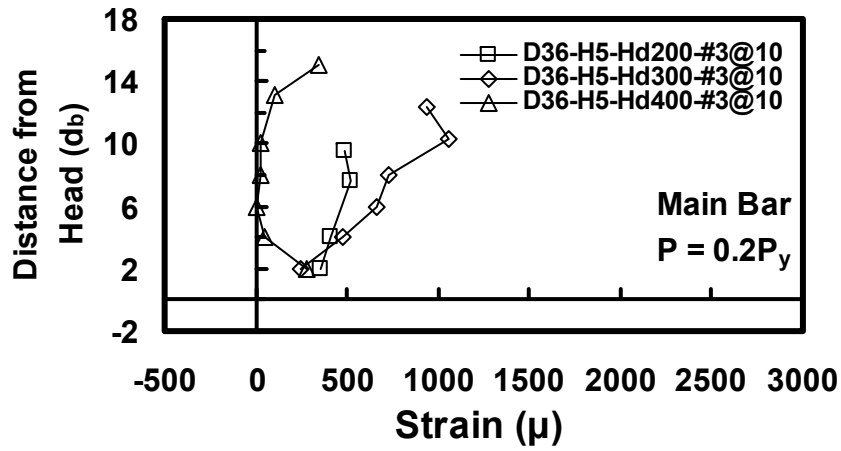


(c)

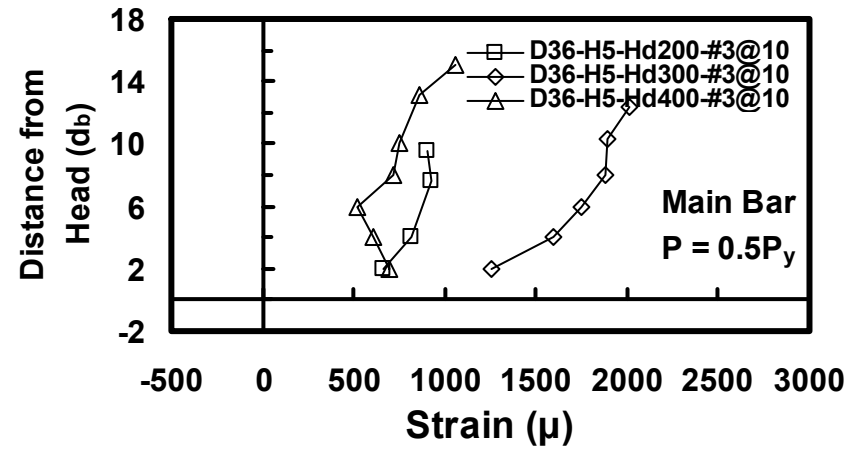


(d)

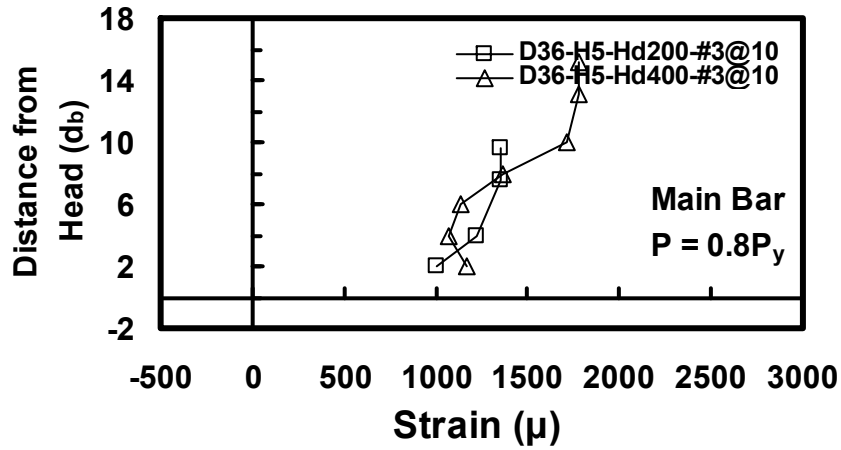
圖 6-66 D32 鋼筋之 5 倍 T 頭端板大小於埋置深度條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(圍束)



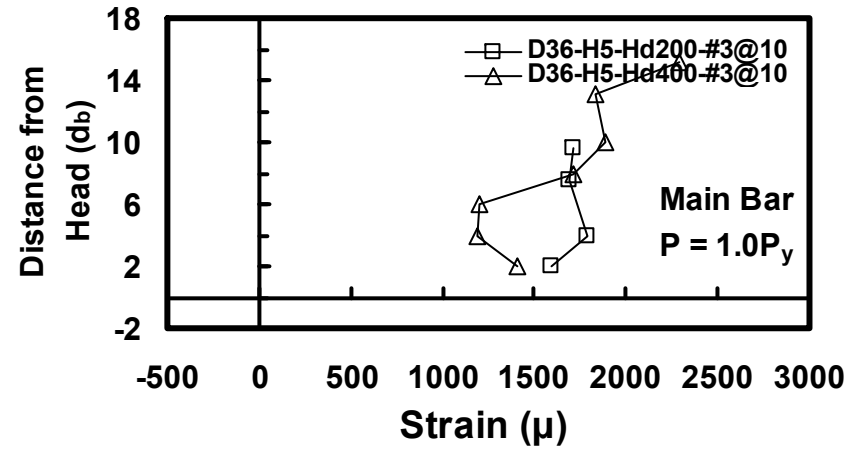
(a)



(b)

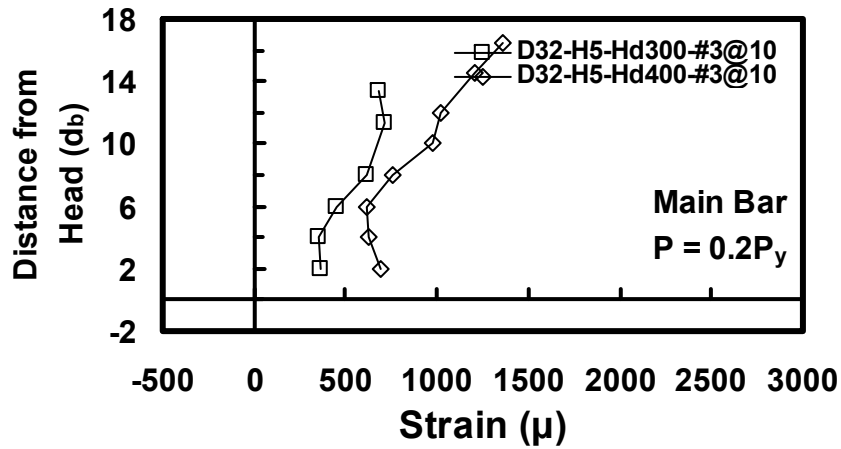


(c)

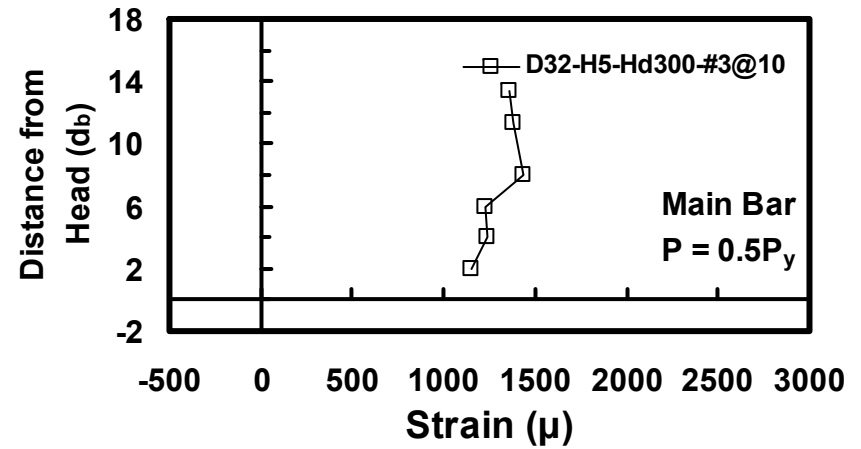


(d)

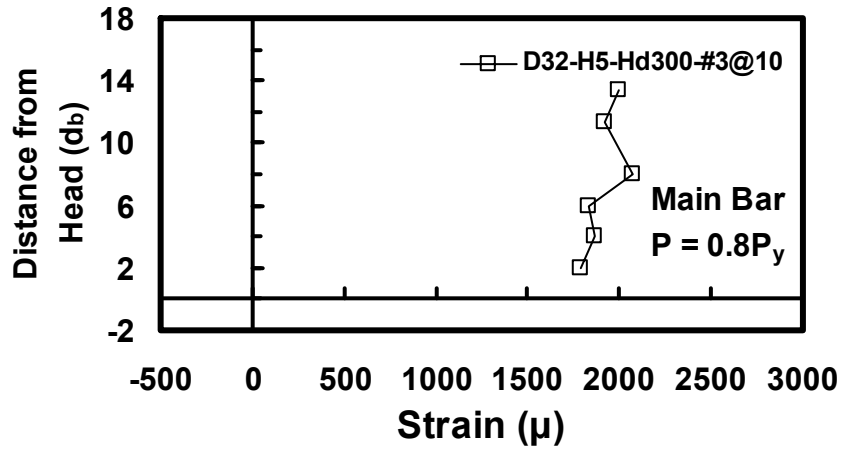
圖 6-67 D36 鋼筋之 5 倍 T 頭端板大小於埋置深度條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(圍束)



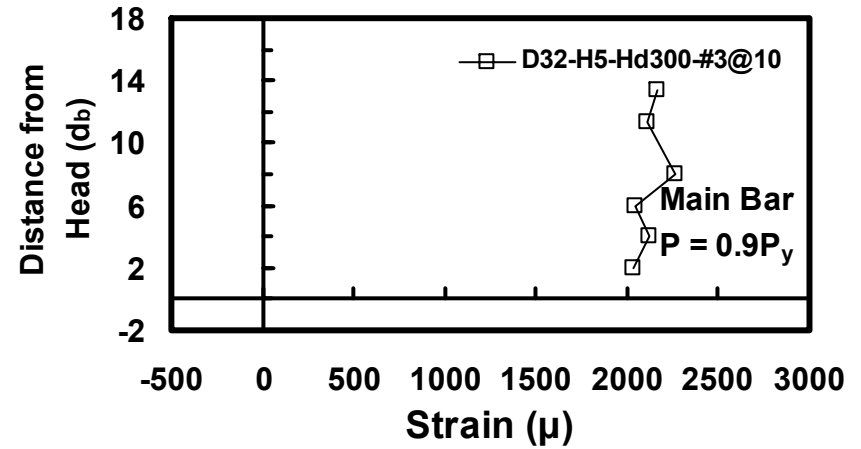
(a)



(b)

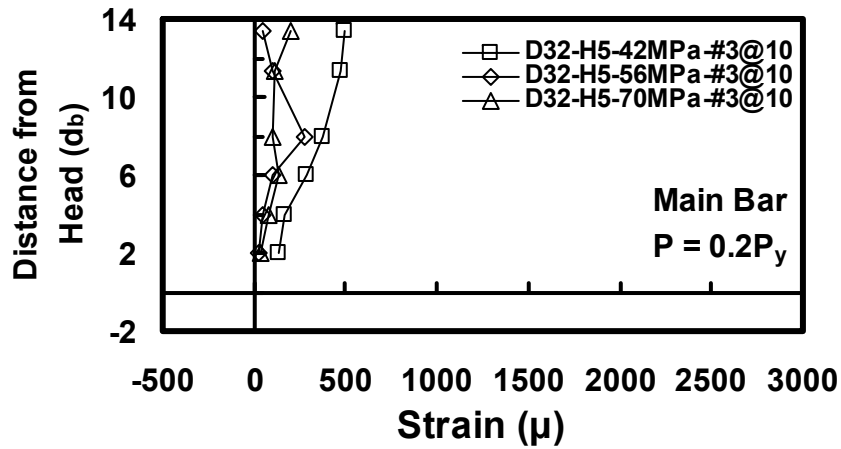


(c)

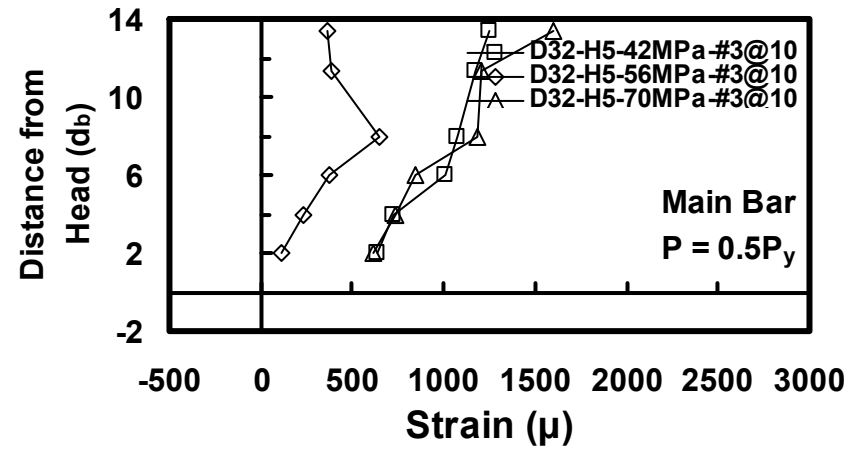


(d)

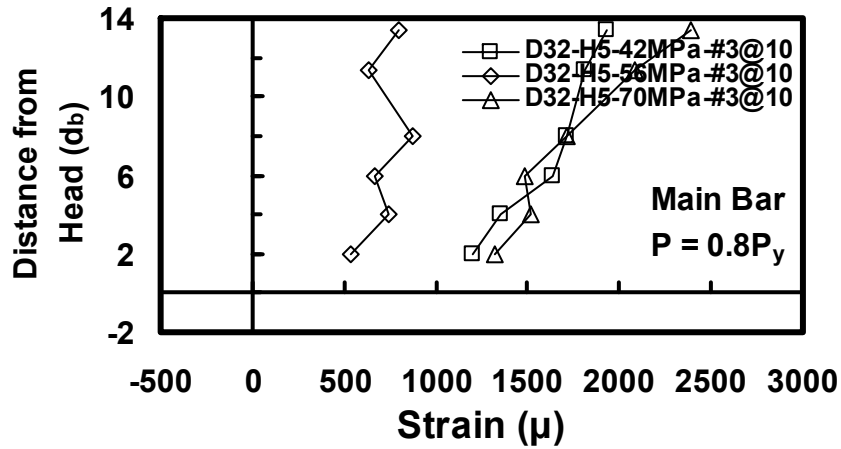
圖 6-68 D32 鋼筋之 5 倍 T 頭端板大小於埋置深度條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(圍束)



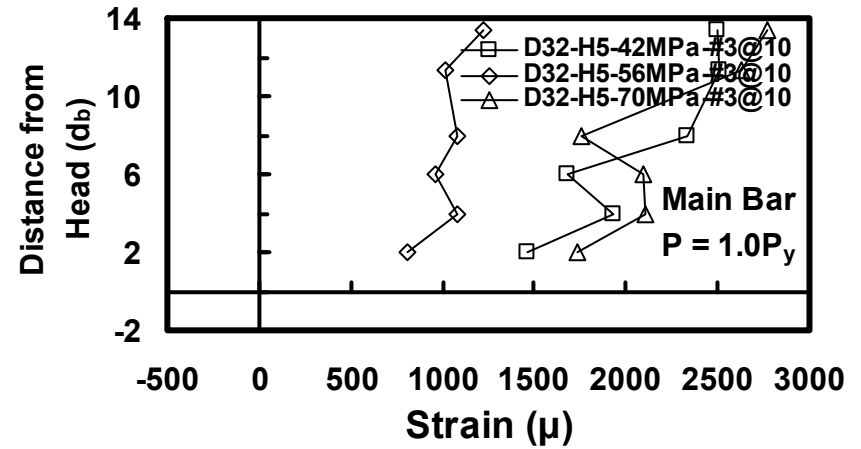
(a)



(b)



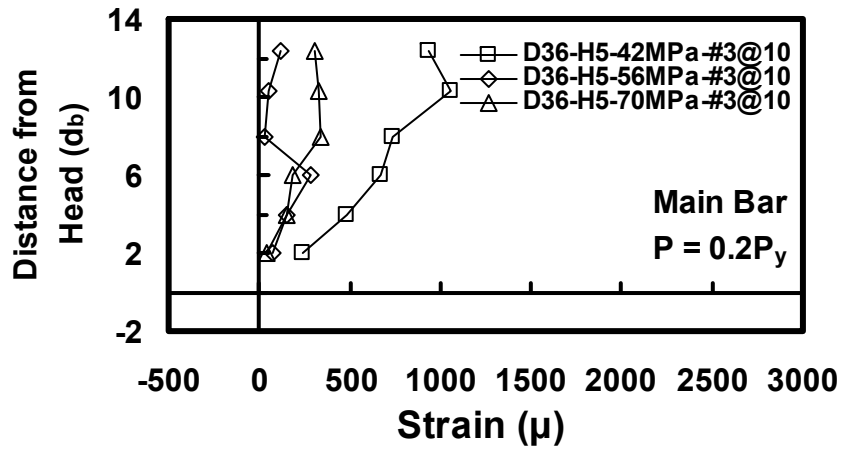
(c)



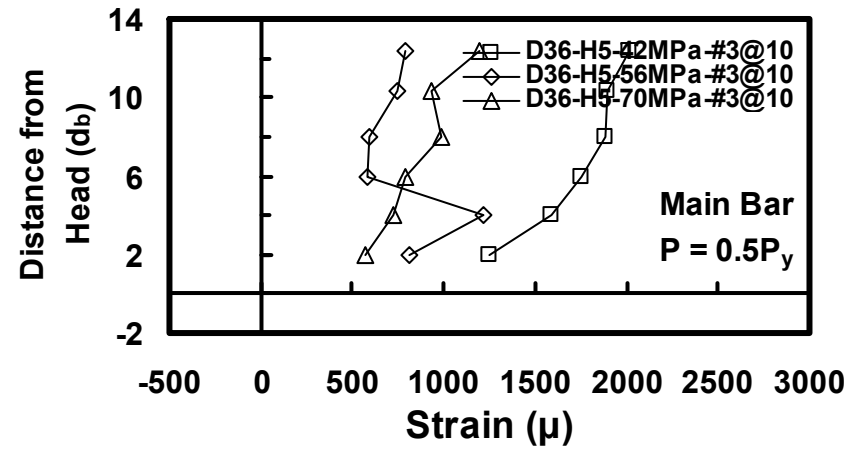
(d)

圖 6-69 D32 鋼筋之 5 倍 T 頭端板大小於混凝土強度條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(圍東)

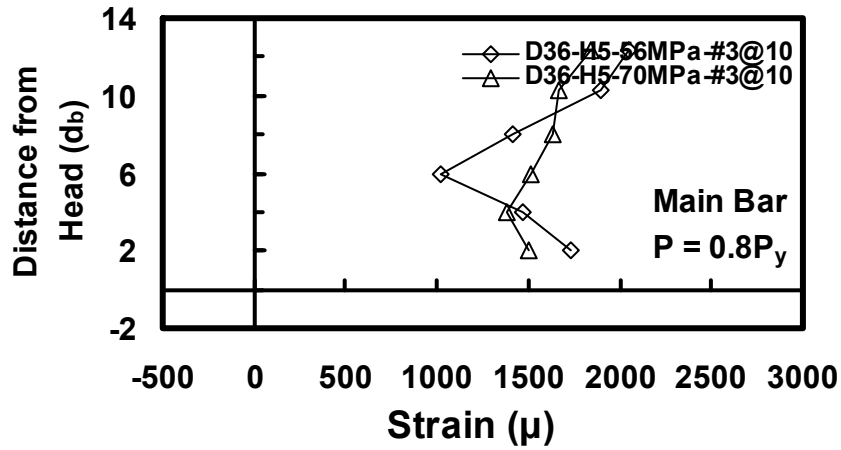




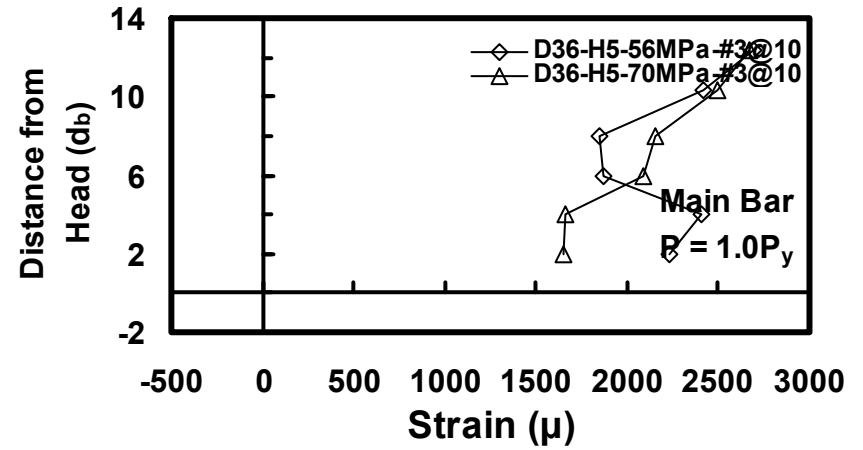
(a)



(b)

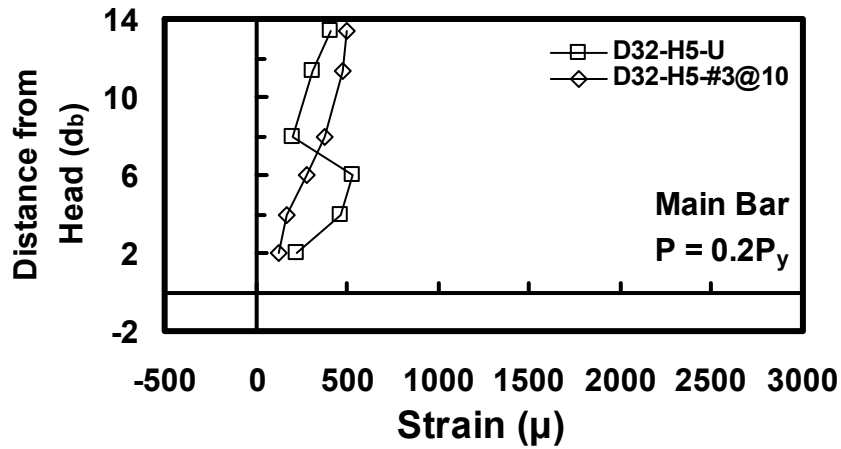


(c)

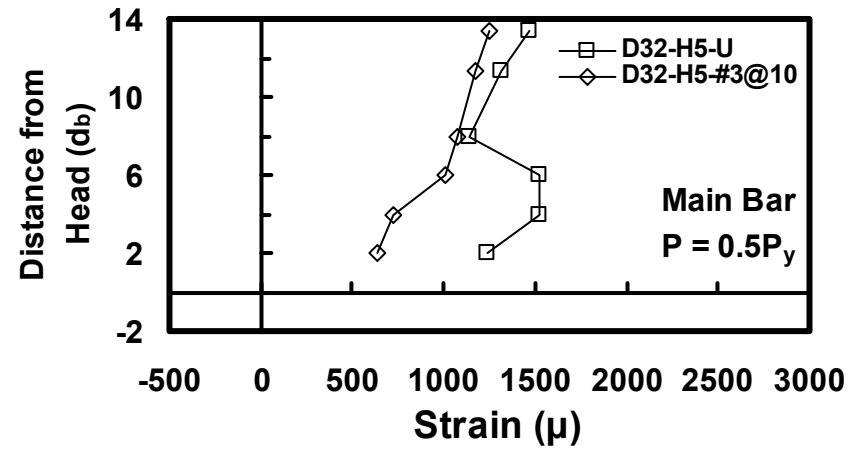


(d)

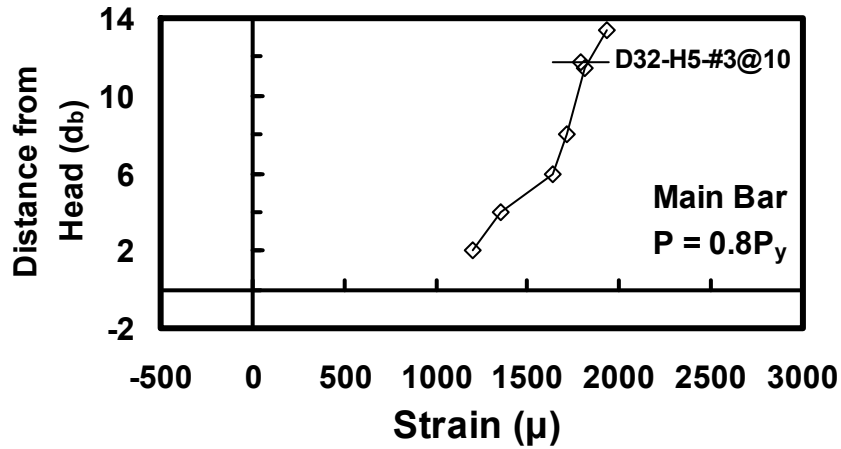
圖 6-70 D36 鋼筋之 5 倍 T 頭端板大小於混凝土強度條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖(圍東)



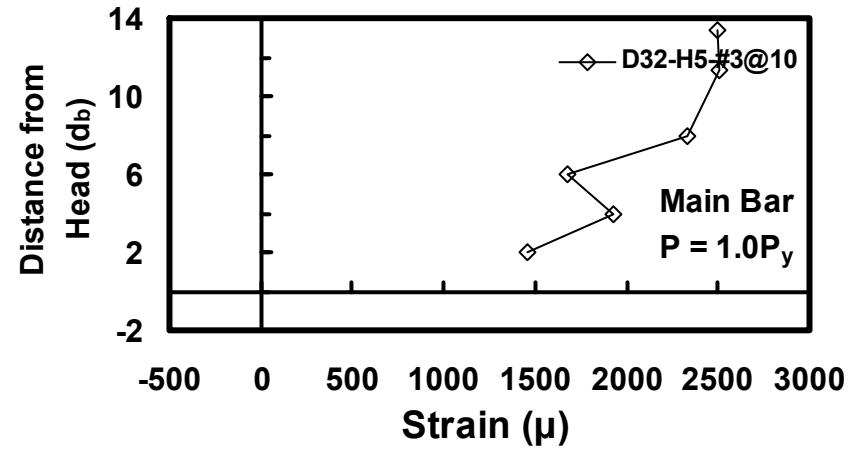
(a)



(b)

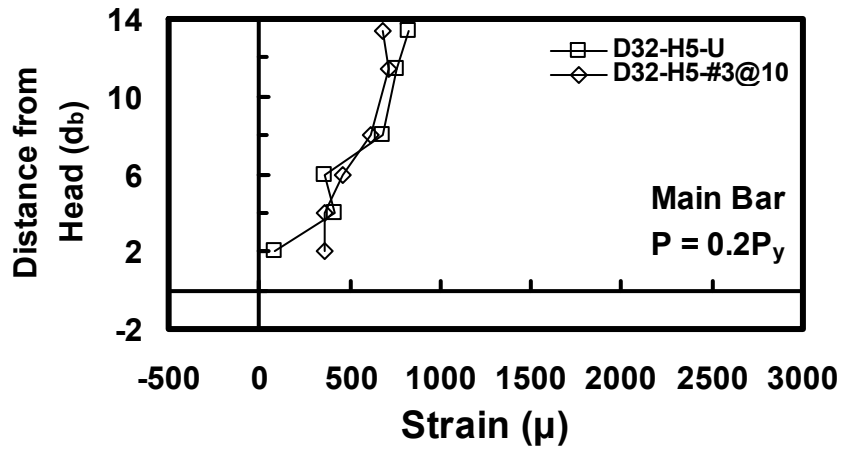


(c)

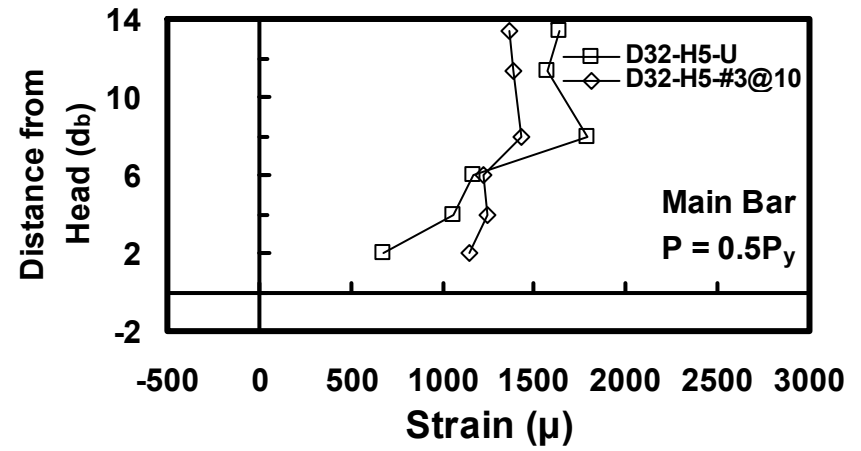


(d)

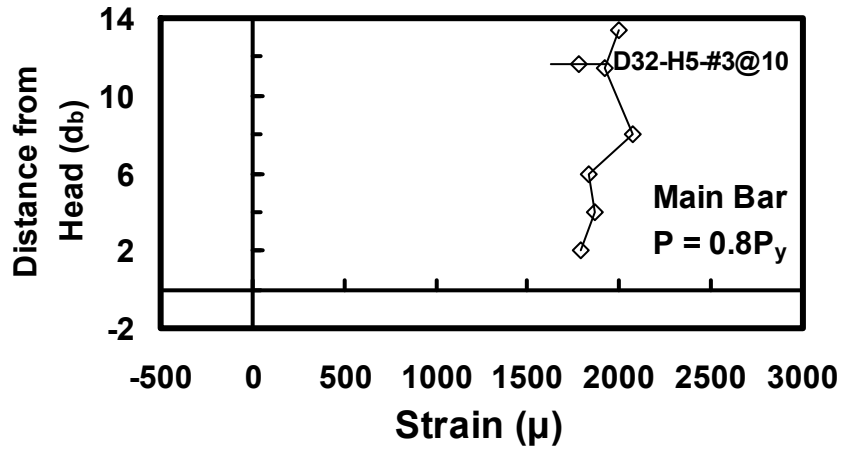
圖 6-71 D32 鋼筋之 5 倍 T 頭端板大小於圍束間距條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖



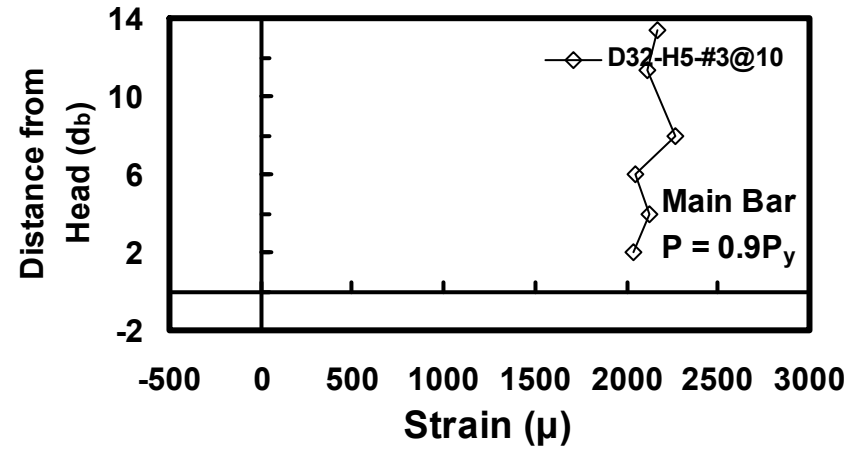
(a)



(b)

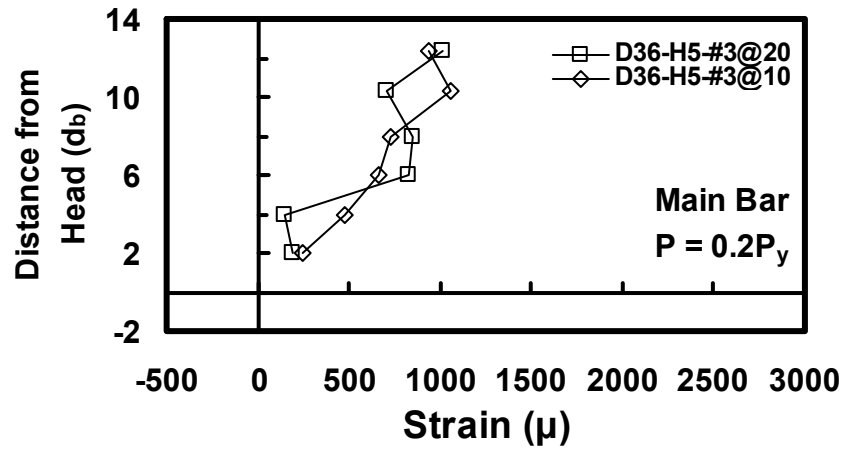


(c)

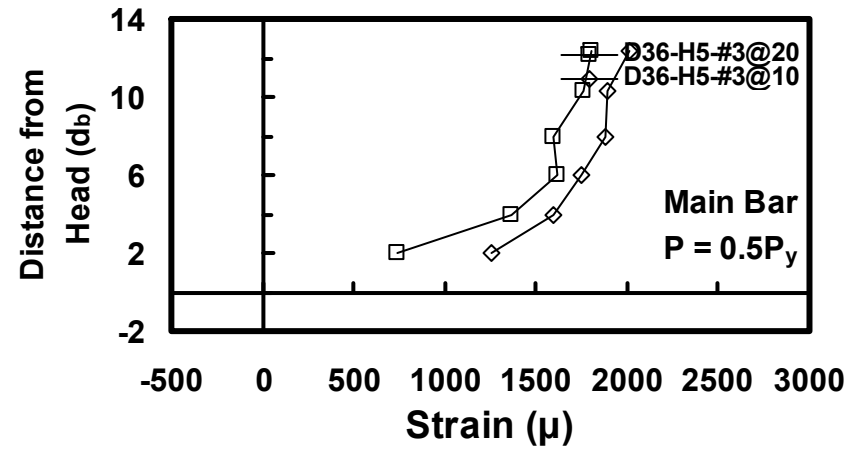


(d)

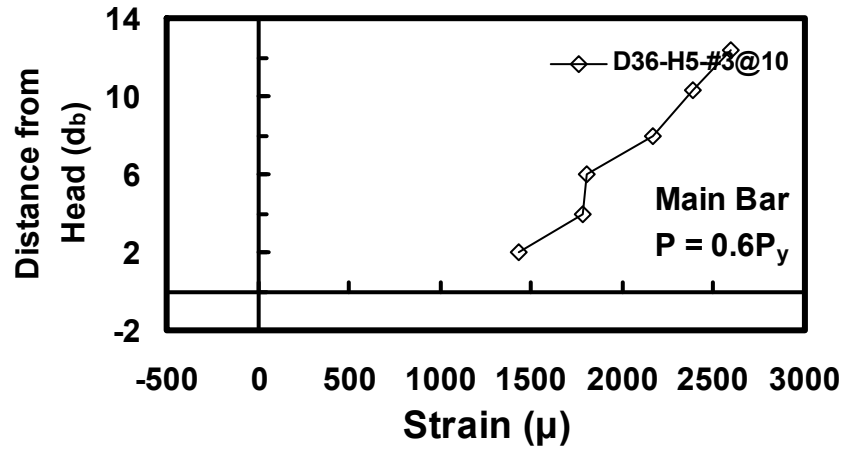
圖 6-72 D32 鋼筋之 5 倍 T 頭端板大小於圍束間距條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖



(a)

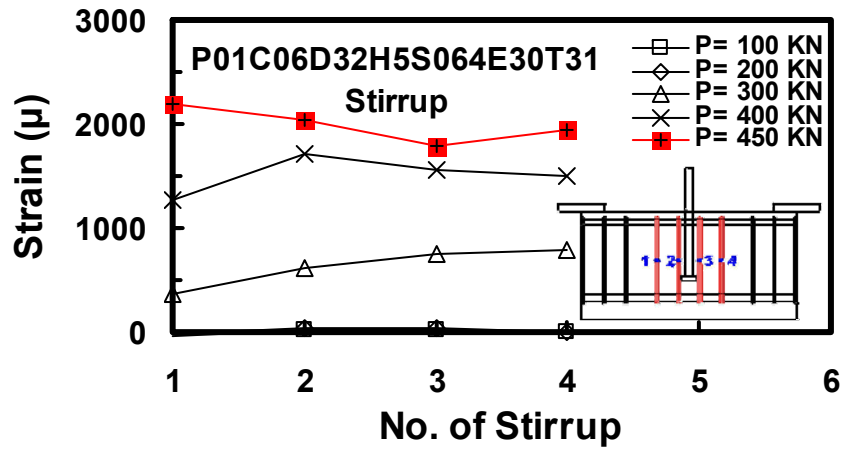


(b)

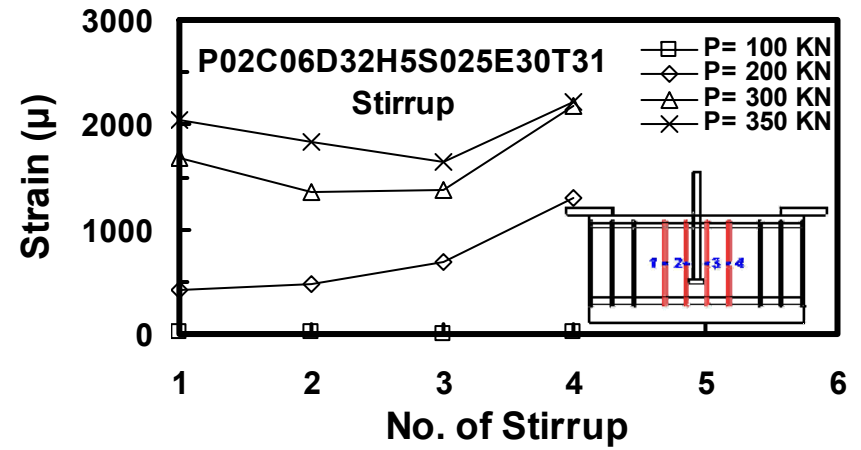


(c)

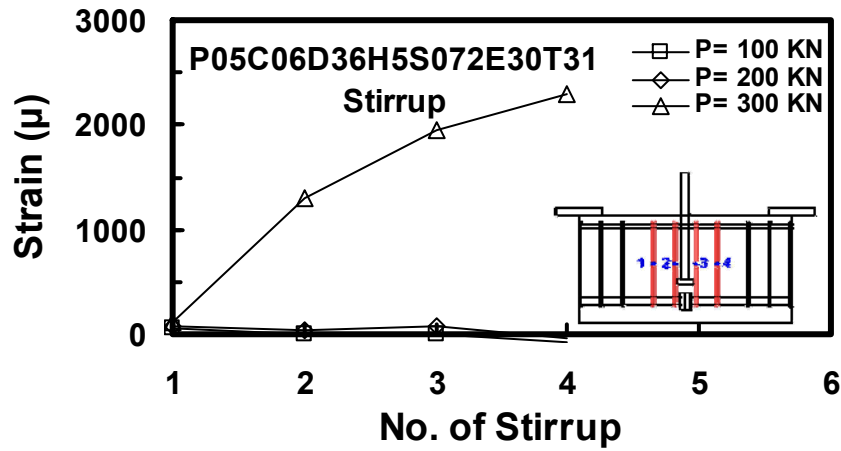
圖 6-73 D36 鋼筋之 5 倍 T 頭端板大小於圍束間距條件下各試體於試驗各階段之主筋應變比較圖



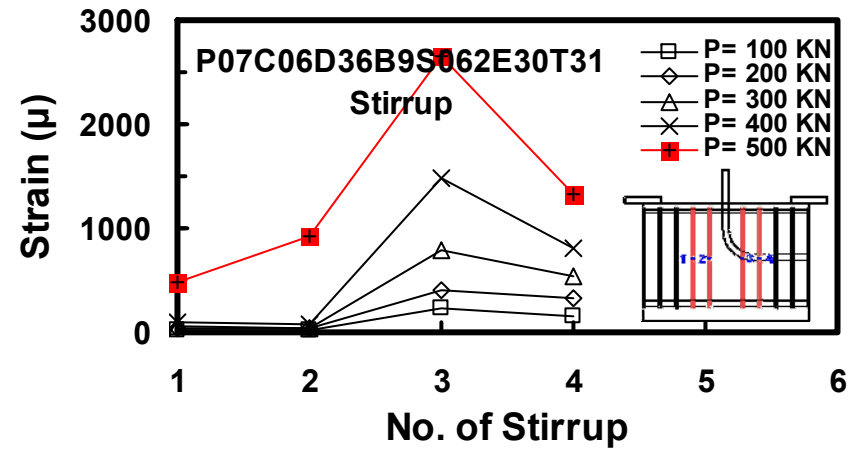
(a)



(b)

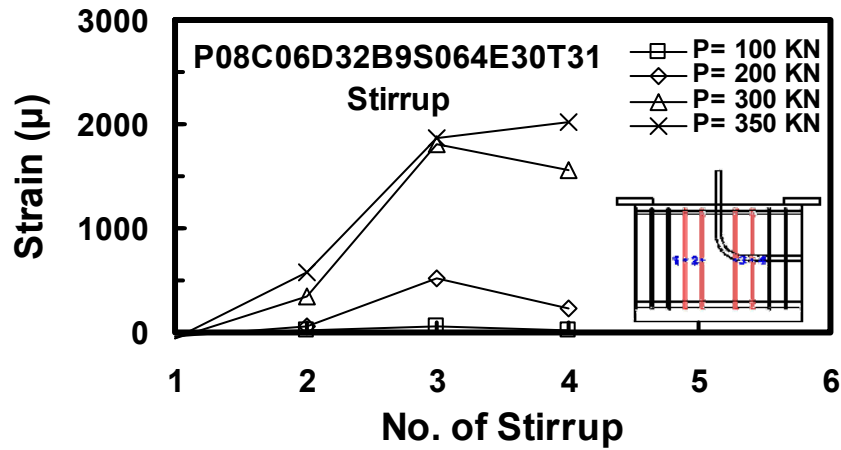


(c)

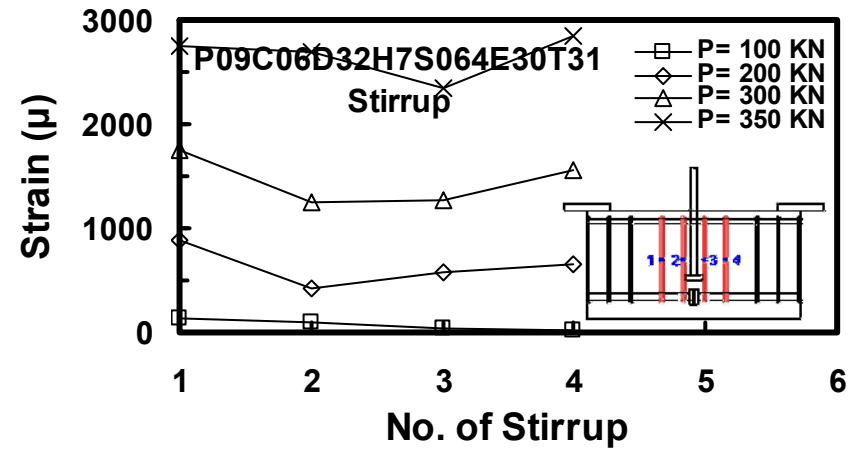


(d)

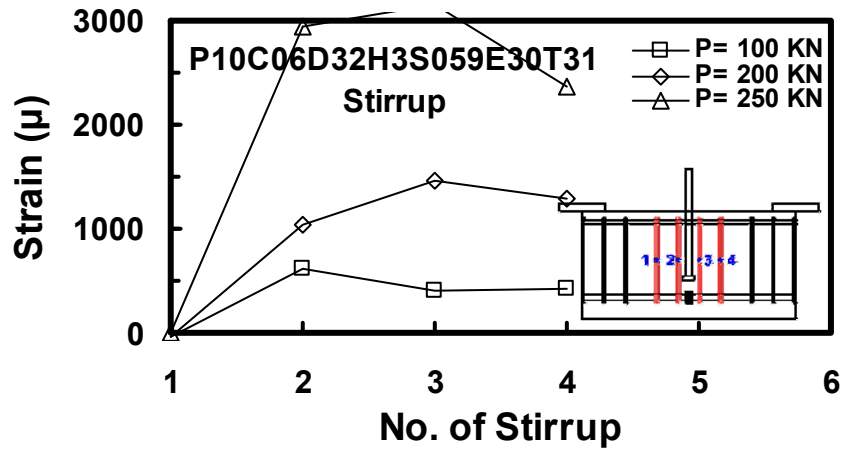
圖 6-74 各試體於試驗各階段中之箍筋應變變化圖



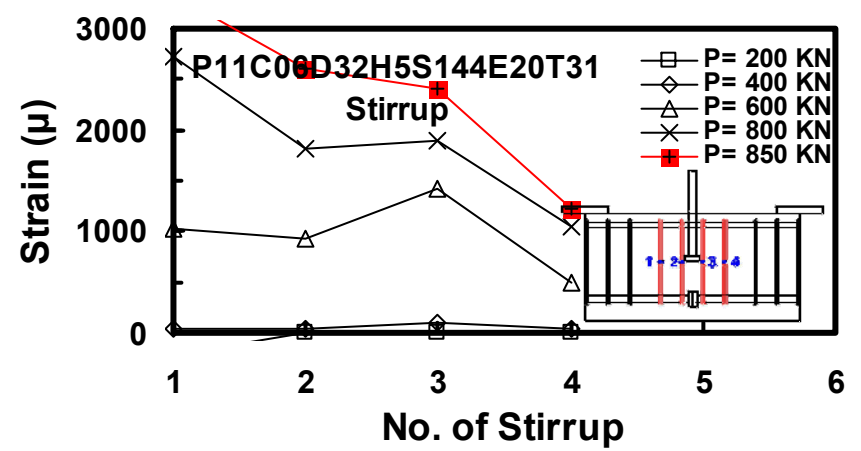
(e)



(f)

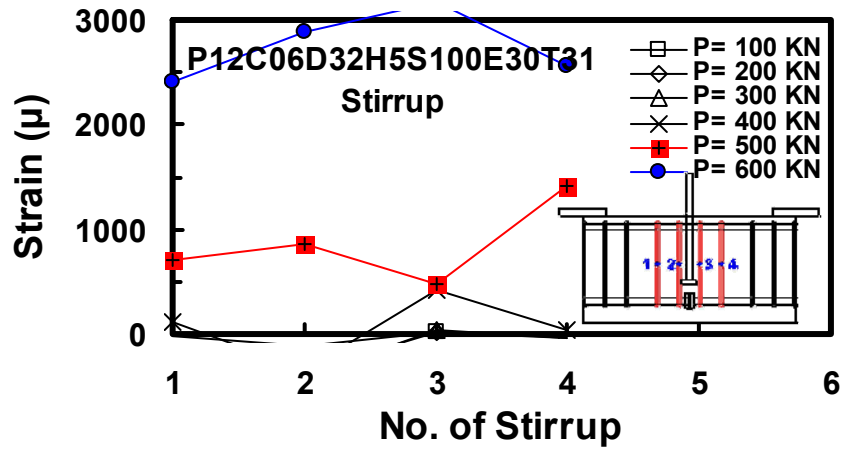


(g)

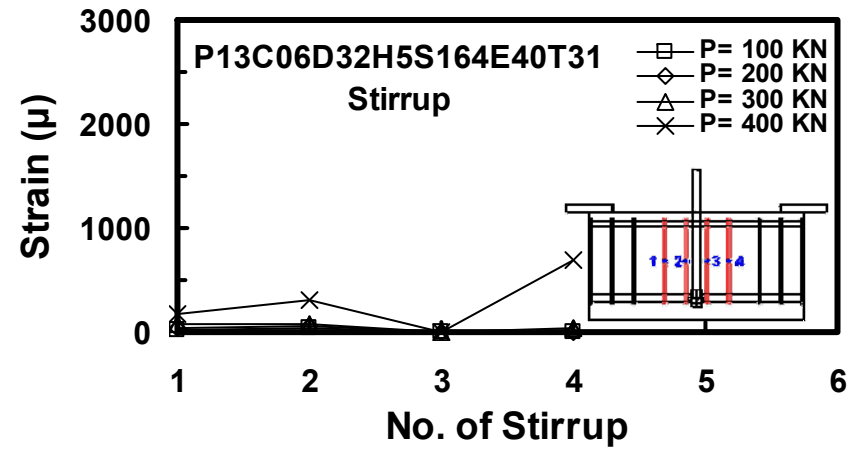


(h)

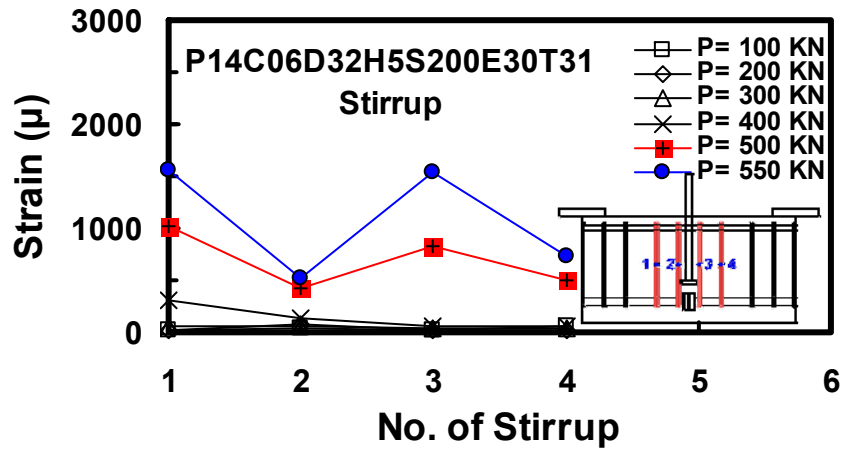
圖 6-74 各試體於試驗各階段中之箍筋應變變化圖(續)



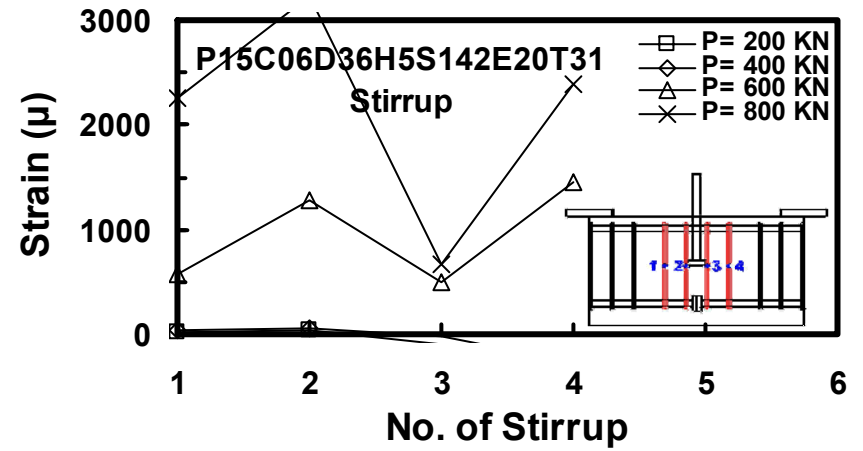
(i)



(j)

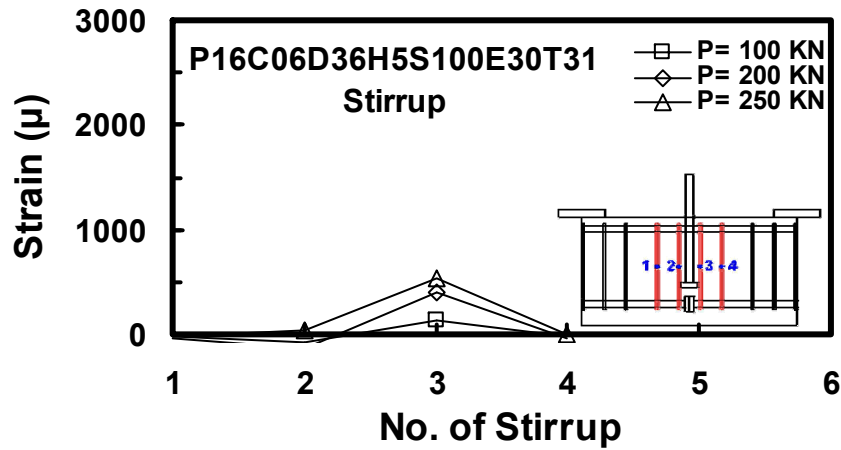


(k)

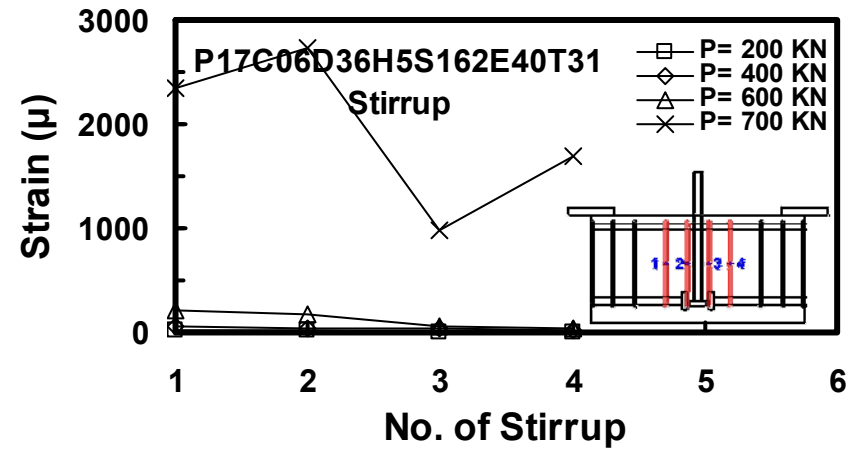


(l)

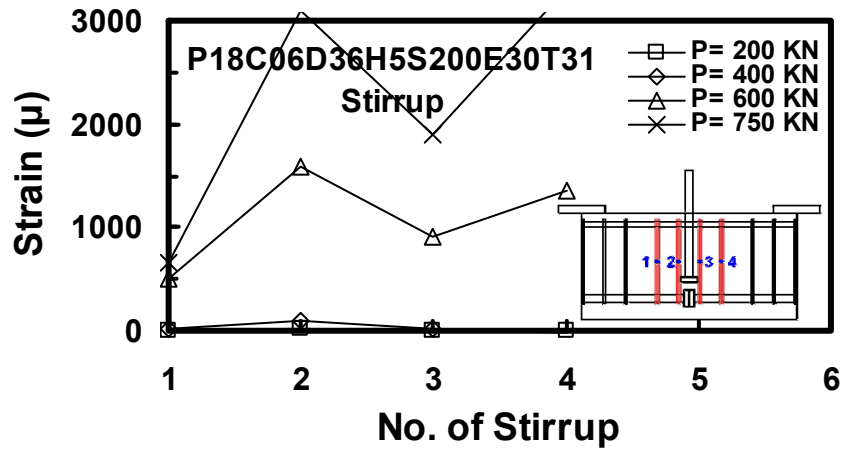
圖 6-74 各試體於試驗各階段中之箍筋應變變化圖(續)



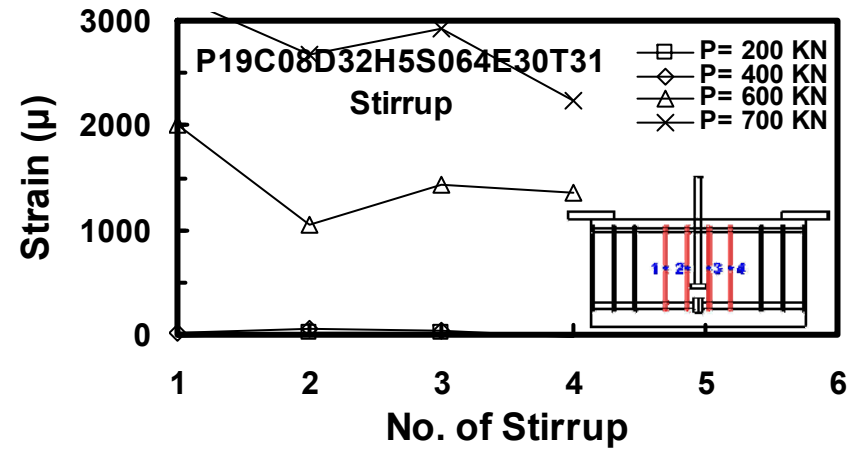
(m)



(n)



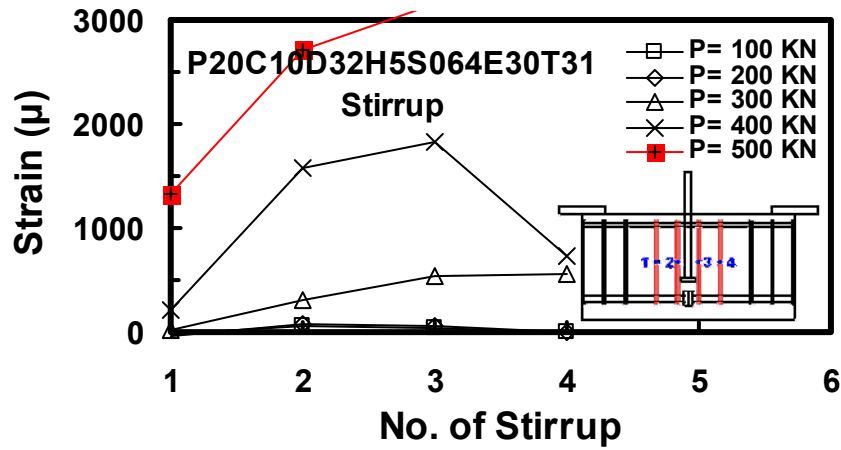
(o)



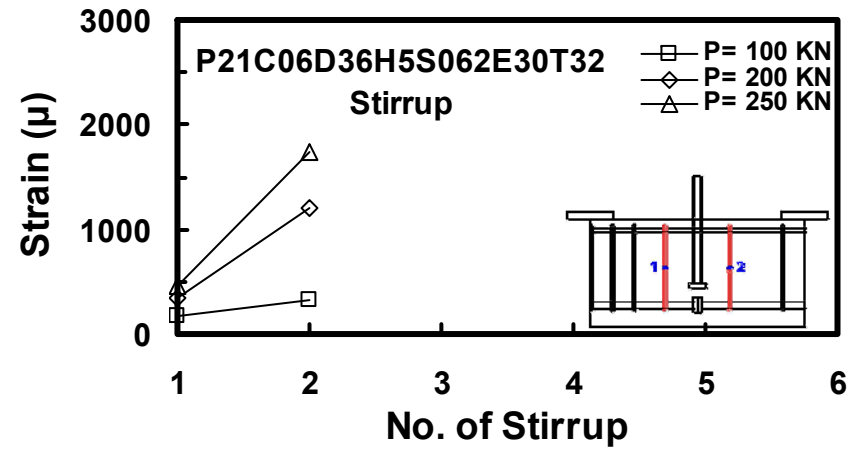
(p)

圖 6-74 各試體於試驗各階段中之箍筋應變變化圖(續)

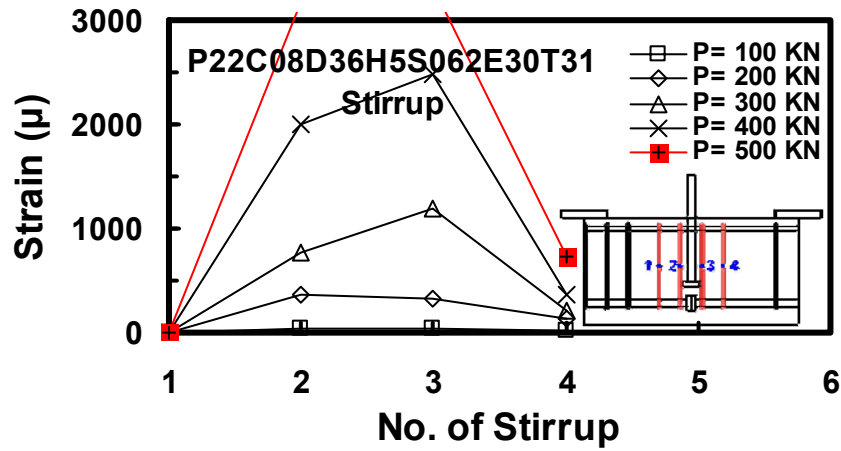




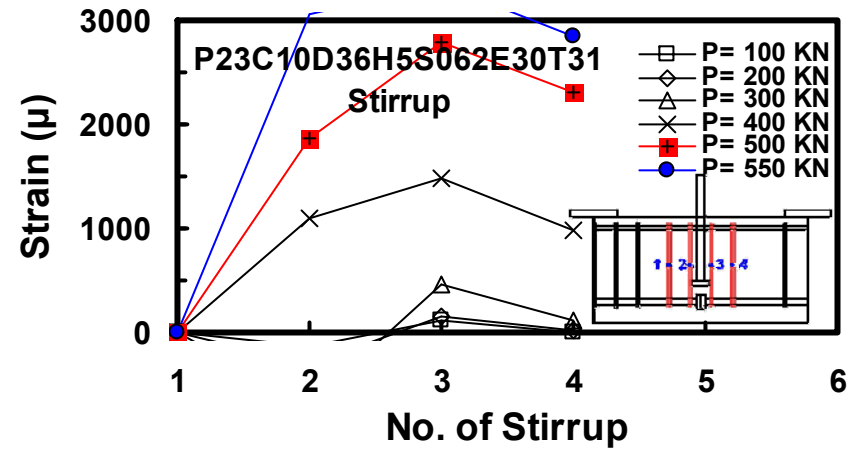
(q)



(r)

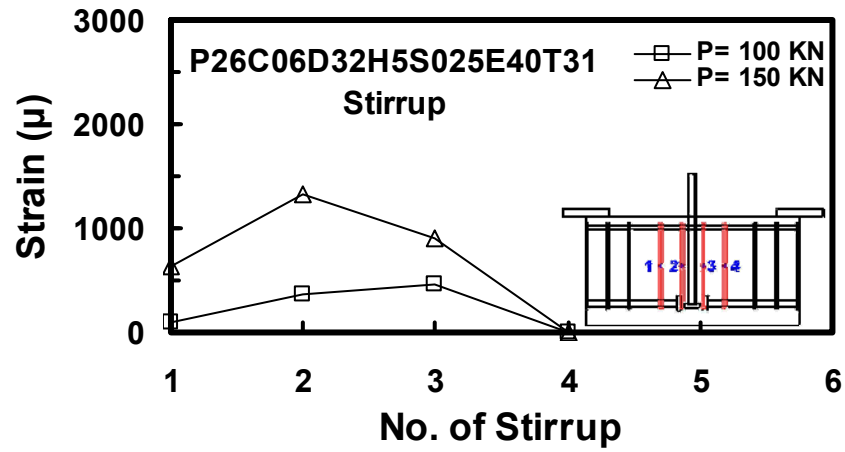


(s)



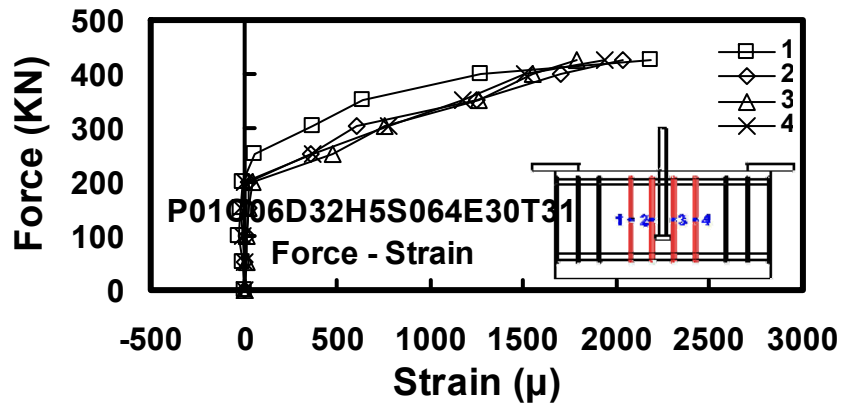
(t)

圖 6-74 各試體於試驗各階段中之箍筋應變變化圖(續)

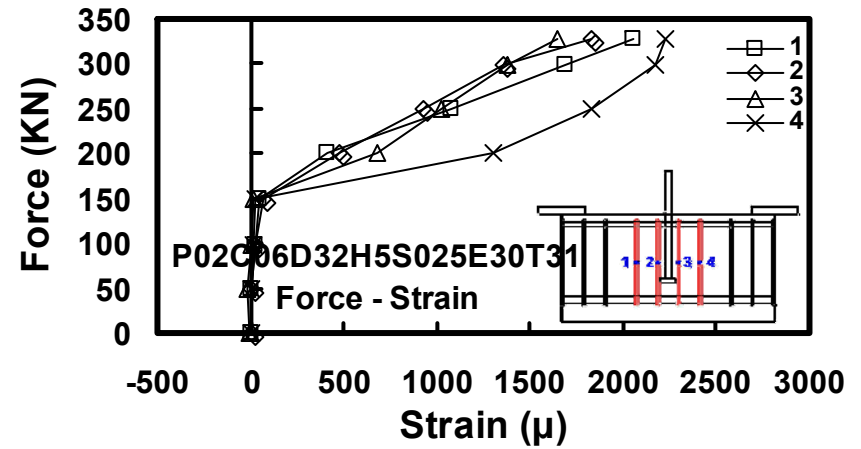


(u)

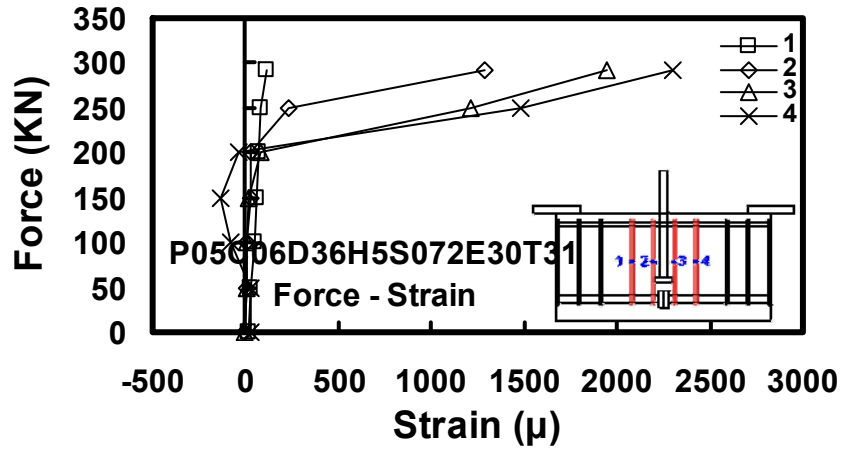
圖 6-74 各試體於試驗各階段中之箍筋應變變化圖(續)



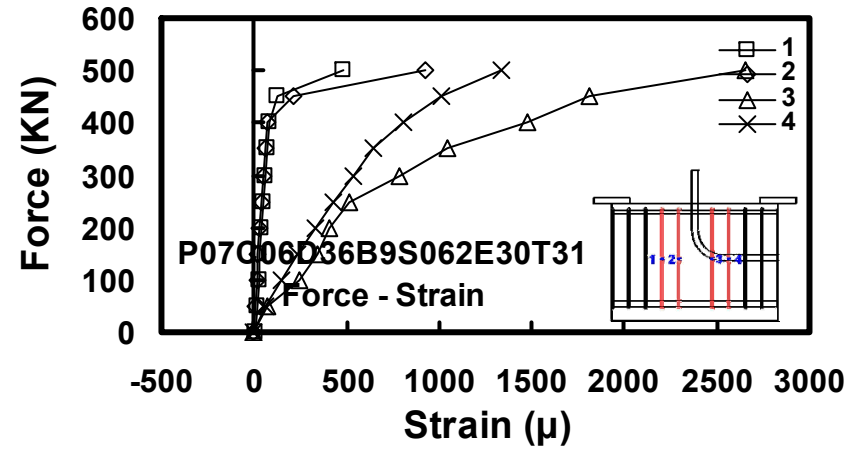
(a)



(b)

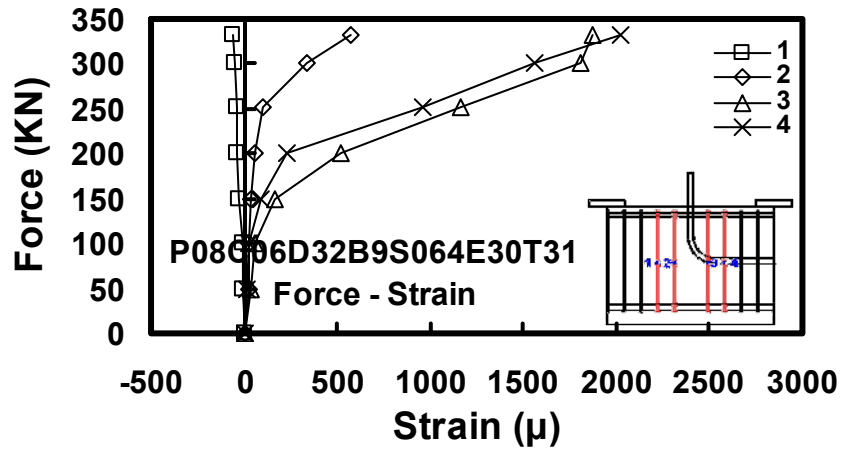


(c)

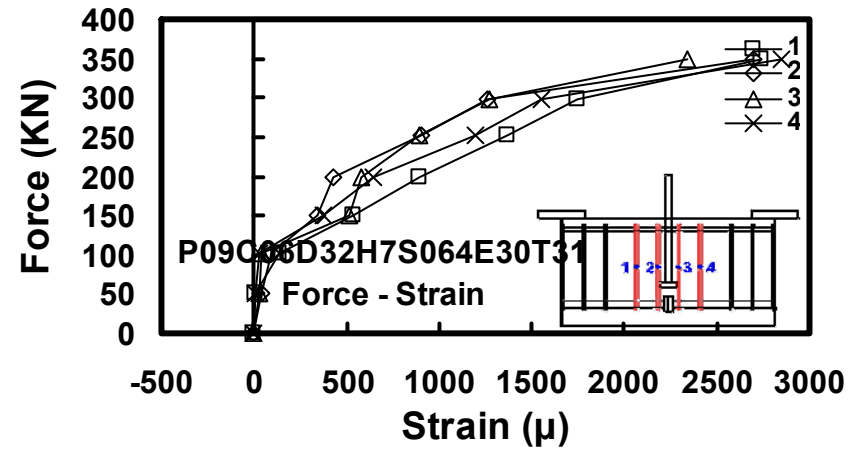


(d)

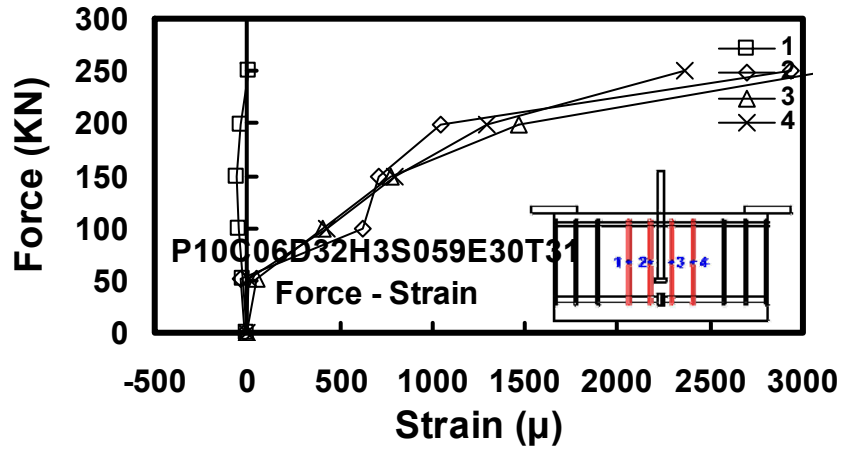
圖 6-75 試體於試驗過程中之各箍筋側面力量應變趨勢圖



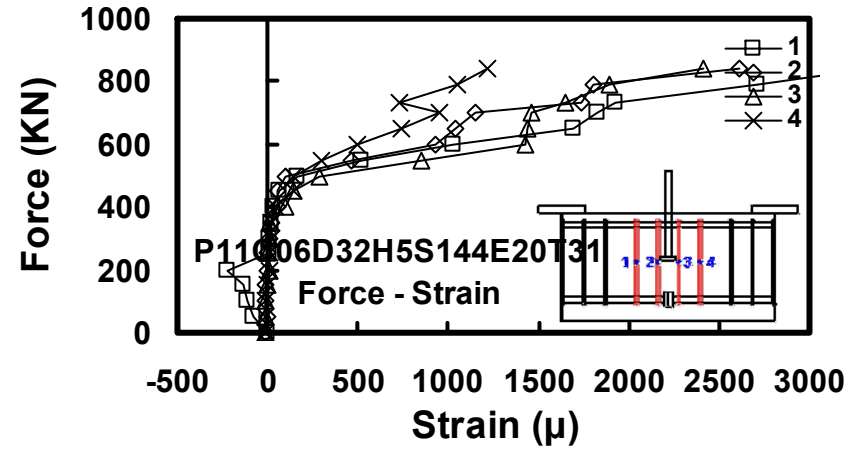
(e)



(f)

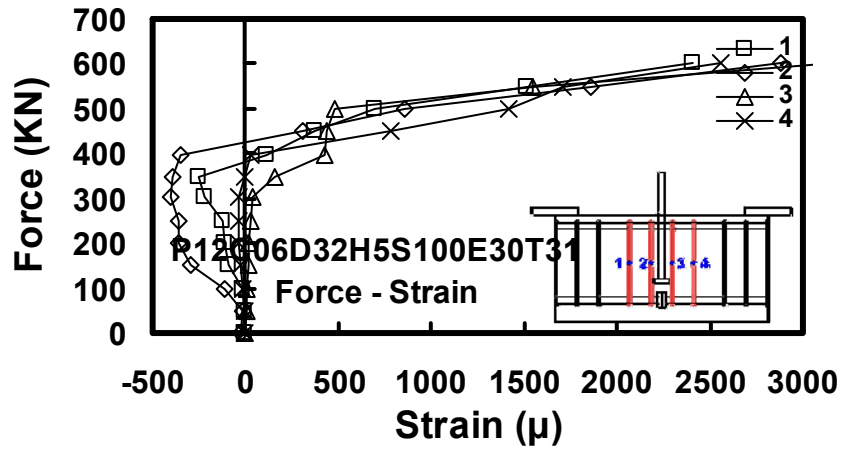


(g)

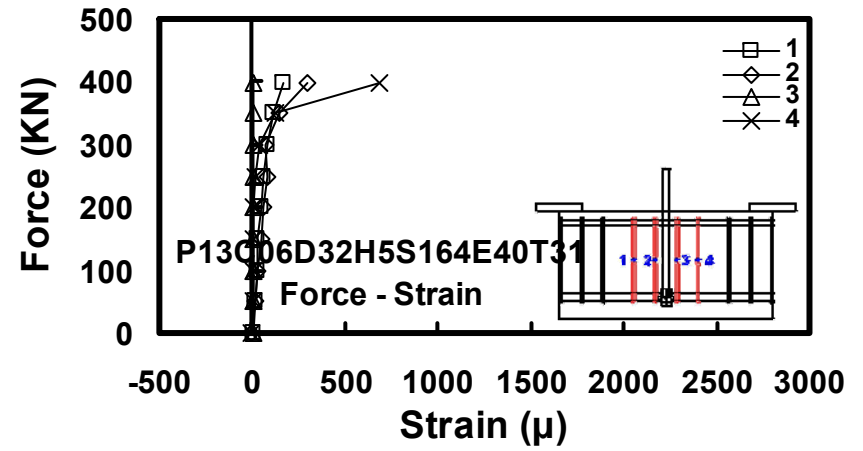


(h)

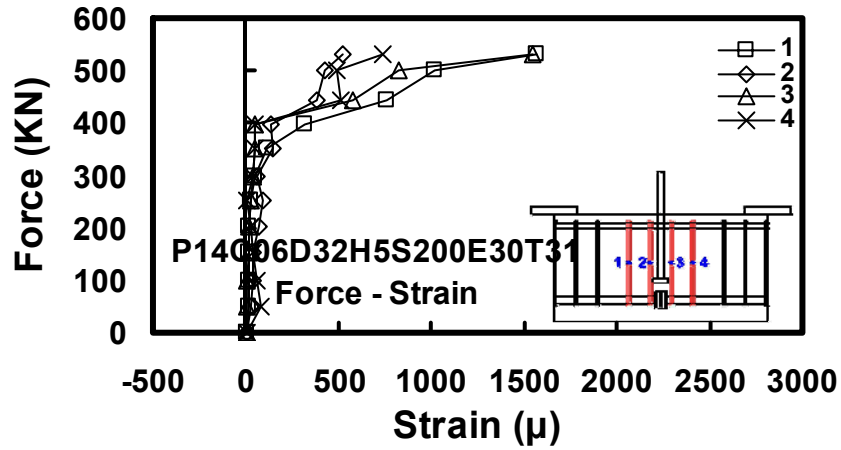
圖 6-75 試體於試驗過程中之各箍筋側面力量應變趨勢圖(續)



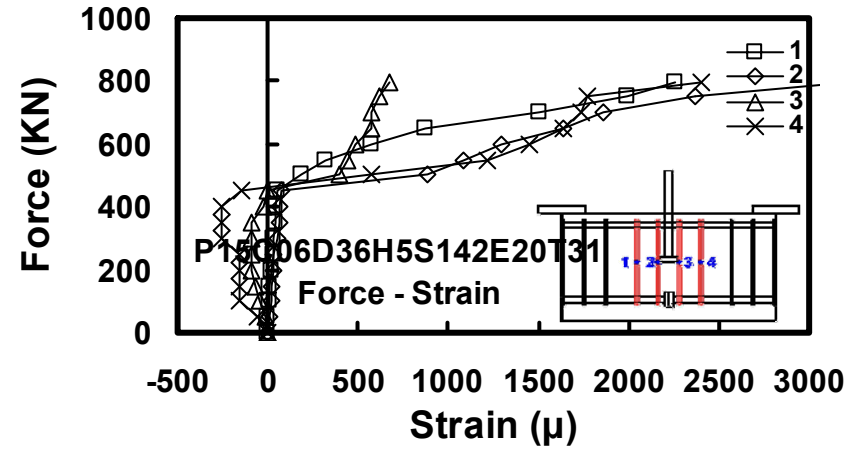
(i)



(j)

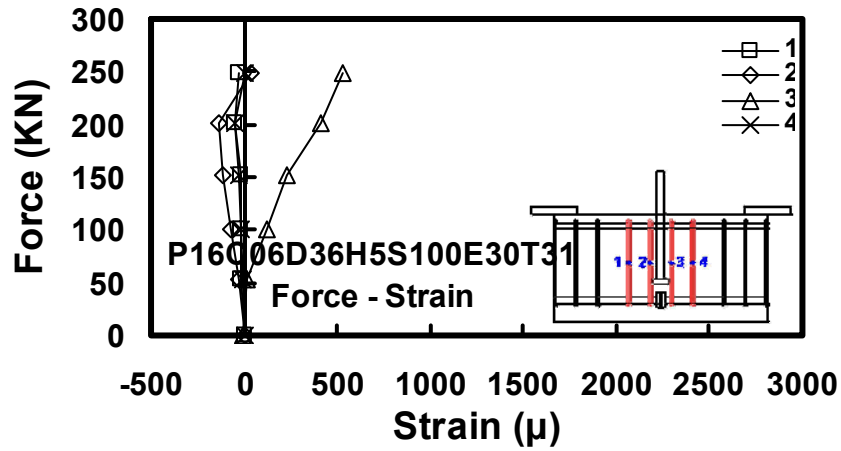


(k)

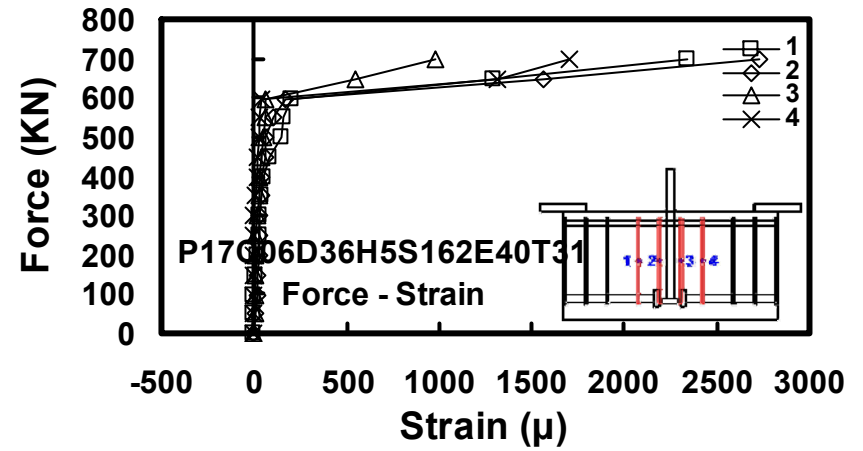


(l)

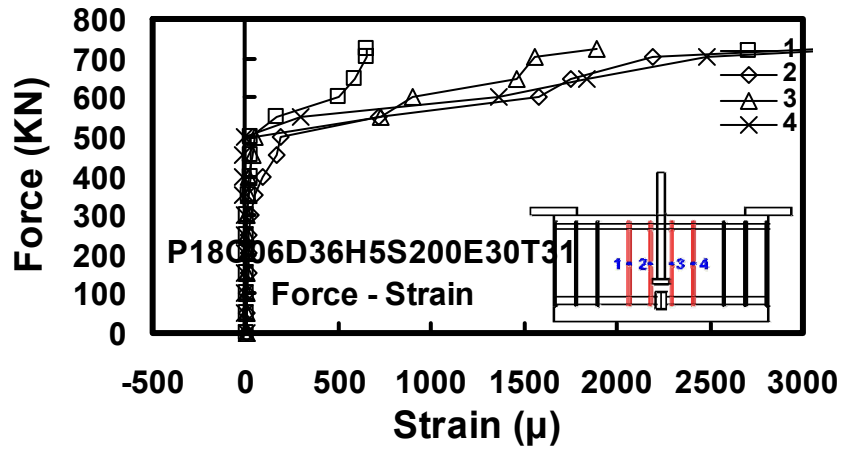
圖 6-75 試體於試驗過程中之各箍筋側面力量應變趨勢圖(續)



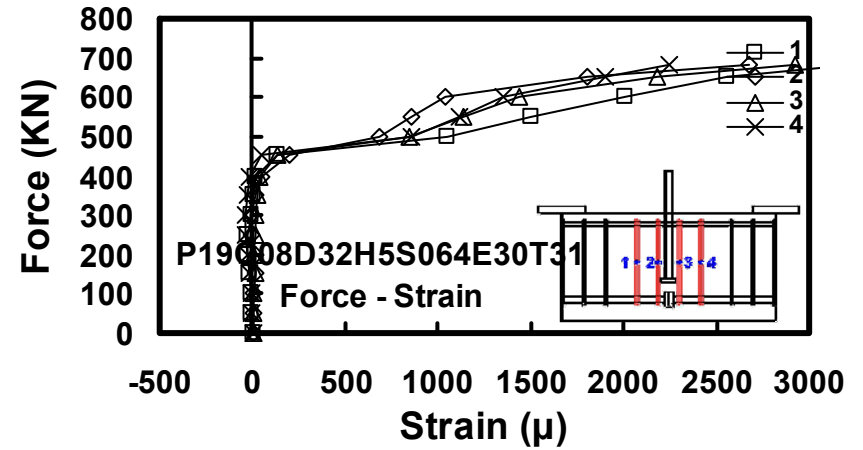
(m)



(n)

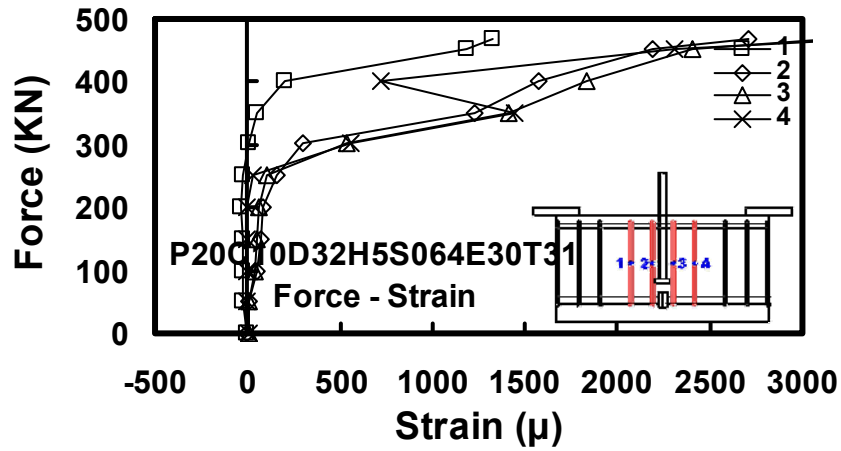


(o)

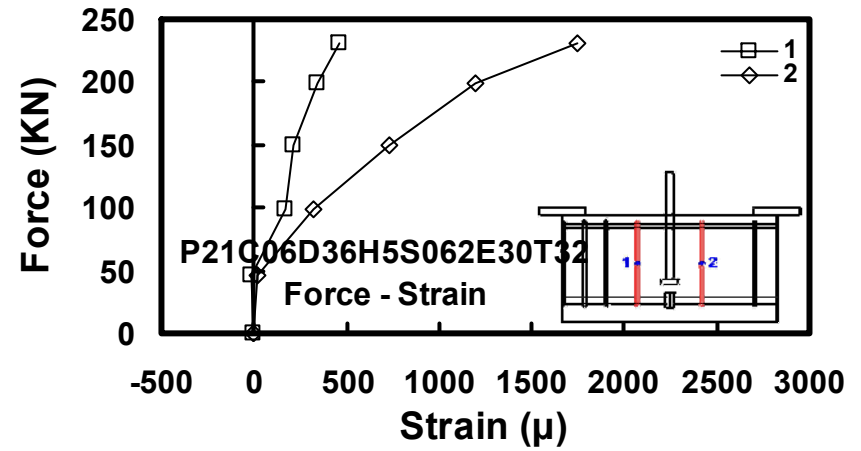


(p)

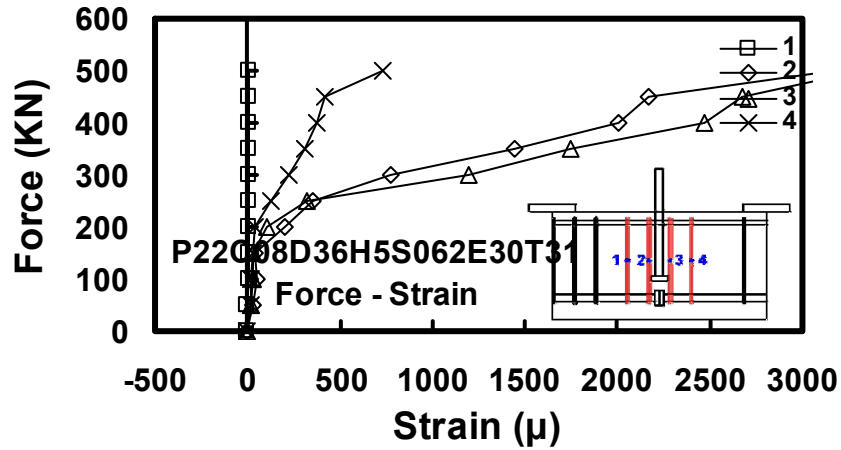
圖 6-75 試體於試驗過程中之各箍筋側面力量應變趨勢圖(續)



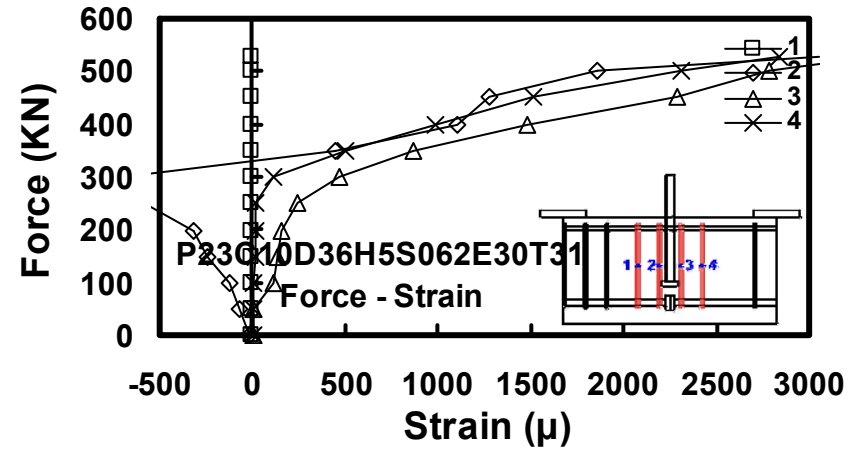
(q)



(r)

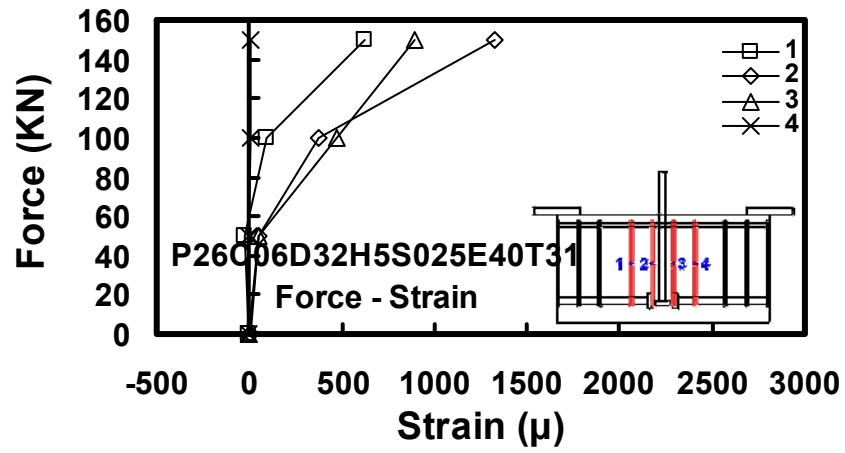


(s)



(t)

圖 6-75 試體於試驗過程中之各箍筋側面力量應變趨勢圖(續)



(u)

圖 6-75 試體於試驗過程中之各箍筋側面力量應變趨勢圖(續)



## 第七章 總結

### 7.1 結論

綜合第五、六章試驗結果之討論，本研究之結論與爾後研究之建議可歸納如下。

#### 7.1.1 CCT 節點試驗

1. 採用傳統標準彎鉤鋼筋進行錨定，易導致交會區鋼筋配置擁擠、施工費時困難，進一步造成混凝土澆置品質不良，導致局部強度不足。若採用 T 頭鋼筋取代傳統彎鉤鋼筋，可有效解決上述彎鉤鋼筋配置壅塞所造成的問題，故建議採用機械式之 T 頭鋼筋錨定以提升工程品質。
2. 3 倍鋼筋斷面積之 T 頭端板是否足以取代 ACI 318-08 規範中最低標準之 5 倍鋼筋斷面積之 T 頭端板，還需以更多實驗與數據來驗證其準確性，未來也可考慮將 4 倍鋼筋斷面積之 T 頭端板納入研究考量。
3. 由於資料有限，還不足以明確證實其鋼筋號數在錨定強度上之相互關係，未來是否再增加鋼筋號數上之選擇，利用試驗來證實其兩者間之關係，有待商量。
4. 由於試體設計關係， $1.5d_b$  與  $4d_b$  之試體相異性不僅於鋼筋間距，進而影響試體保護層厚度，鋼筋配置間距縮短，保護層厚度相對增加，二者關係密不可分，故錨定強度上之差異不能單取決於鋼筋間距。此研究之參數變化僅為  $1.5d_b$  與  $4d_b$ ， $4d_b$  之鋼筋間距是否過於保守，還有待加以研究並驗證，未來可再增加鋼筋配置間距上之變化，以利探討縮減鋼筋間距能否達到與標準 ACI 318-08 規定之錨定效果。
5. ACI 318-08[1] 規範中規定，混凝土強度不可超過 42 MPa，而此研究中已發現提高混凝土強度能有效提升錨定效果，故研究重點應著重於提升混凝土強度之有效範圍。
6. 增加鋼筋配置支數是否皆能發揮出應有之錨定效果，各根鋼筋於錨定強度提供上是否皆能獨當一面，此現象需再經由更多試驗來驗。
7. 觀察未圍束與圍束試驗結果發現，圍束試驗之試體其破壞裂縫較為均

佈，且其裂縫寬度較小，並能提供較大之錨定強度，故配置圍束箍筋對於錨定強度上有明顯之貢獻。

8. T 頭端板位移量與其端板面積、鋼筋號數及圍束箍筋量成反比關係，而與混凝土強度則成正比關係。
9. 壓拉桿區域之傳遞路徑大小與其研究參數有密切關係，當 T 頭端板面積與鋼筋斷面積越大時，其壓拉桿之面積會隨之擴大，而圍束效果也能提升整體壓拉桿之傳遞寬度，此現象可藉由觀察試體破壞狀態與試驗結果證實。
10. 從鋼筋之應變計量測結果可知，隨著受載強度提升，其應變量也會隨之增加，而當試體產生破壞裂縫經過鋼筋線段時，於鋼筋線段上之應變計會有明顯起伏趨勢，顯示其握裹有喪失現象，且觀察應變計變化趨勢，也可得知試體受力情形與力量傳遞方式。

### 7.1.2 拉拔試驗

1. 試驗結果顯示，拉拔強度與 T 頭端板間之影響性不大，配置直通鋼筋與 T 頭端板試體之強度差異忽高忽低，且強度似乎也不隨增大 T 頭端板面積而提升，在此推測其試驗強度之差異性與拉拔主筋與試體之實際混凝土強度有較密切關係。
2. 試驗結果顯示，鋼筋號數越大，其試體之拉拔強度有向上提升之現象，但其強度提升之效果不夠明顯，且也有少數對照實驗組之拉拔強度隨鋼筋斷面積增加而減少，推測其試驗強度之差異性與拉拔主筋與試體之實際混凝土強度有較密切關係。
3. 試驗結果顯示，混凝土強度越高，錨定強度也會隨之上升，但混凝土強度超過 56 MPa 強度後，其上升趨勢會有漸緩效果，非無止盡向上提升，由於本研究中混凝土強度規劃僅止於 70 MPa，故不能涵蓋整個高強度範圍。
4. 觀察試驗結果發現，圍束箍筋之配置對於錨定強度會有明顯提升之效果，圍束之錨定效果高於未圍束，約高出未圍束試體 10% 至 30% 之強度百分比，且箍筋之配置越密集，錨定強度也越高，可以看出圍束對其錨

定有很大之影響。

5. 從試驗結果發現，配置直通鋼筋與標準彎鉤鋼筋之強度不及配置 T 頭鋼筋之錨定效果，配置 T 頭鋼筋之試體可望提升 15%至 50%之強度百分比，且直通鋼筋於受力情形下，其滑動現象較為明顯，證明 T 頭鋼筋確實能發揮出該有之強度容量。
6. 於此研究中發現，埋置邊距越小，其錨定強度似乎不能夠發揮該有之強度；埋置邊距越大，其錨定強度則有明顯提升之效果，故歸納其現象，埋置邊距若足夠，將能發揮出應有效果。
7. 觀察試驗結果發現，其拉拔鋼筋埋置之深度和強度影響性不高，擺脫傳統鋼筋埋置越深其錨定效果越好之觀念。
8. 觀察試體破壞情況可見，試體之混凝土會呈錐體形狀向上拉拔而出，故會呈現一破壞區塊面積，其破壞面積之寬度與支承端間距相關，而破壞面積之深度則與抗拉主筋埋置深度相關。
9. 從鋼筋之應變計量測結果可知，隨著受載強度提升，其應變量也會隨之增加，而當試體產生破壞裂縫經過鋼筋線段時，於鋼筋線段上之應變計會有明顯起伏趨勢，顯示其握裹有喪失現象，且觀察應變計變化趨勢，也可得知試體受力情形與力量傳遞方式。

## 7.2 建議與展望

1. 採用傳統標準彎鉤鋼筋進行錨定，易導致交會區鋼筋配置擁擠、施工費時困難，進一步造成混凝土澆置品質不良，導致局部強度不足。若採用 T 頭鋼筋取代傳統彎鉤鋼筋，可有效解決上述彎鉤鋼筋配置壅塞所造成的問題，故建議採用機械式之 T 頭鋼筋錨定以提升工程品質。
2. 藉由此研究結果，重新建議其國外 ACI 318-08[1]規定項目之上下限，T 頭端板而言，T 頭鋼筋採用 3 倍鋼筋斷面積 T 頭端板已足夠取代傳統標準彎鉤之錨定效果。
3. 鋼筋配置淨間距而言，鋼筋淨間距採用  $1.5d_b$  與  $4d_b$  之試體，其強度表現均獲得相近之結果，故鋼筋淨間距可建議有效縮短至  $1.5d_b$ 。
4. 混凝土強度方面，試體強度將隨混凝土強度之增加而提升，但超過 56

MPa 強度後，其上升趨勢會漸緩，在此有效建議可將混凝土強度提升至 56 MPa。

5. 圍束效果而言，配置圍束箍筋可有效且明顯提升強度，約高出未圍束試體 10%至 30%之強度百分比，且配置間距越密集，錨定效果越好，建議採用圍束配置以增加錨定能力。
6. 因應工程需求，未來勢必會將錨定效果向上提高，而使用高強度材料如高強度混凝土和高強度鋼筋來增強整體材料性質時，若提高傳統彎鉤之強度，其容易造呈彎鉤區段脆性破壞，故未來採用 T 頭鋼筋頻率將為頻繁，此可有效提高鋼筋強度之上限，進一步配合高強度混凝土進行錨定，此為先進工法發展之趨勢，值得加以研究探討並推廣。

## 參考文獻

- [1] ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary,” American Concrete Institute, Farmington Hills, 2008.
- [2] 土木 401-96, 「混凝土工程設計規範與解說」, 中國土木水利工程學會, 臺北 (2007)。
- [3] 「結構混凝土設計規範與解說」, 內政部營建署 (2002)。
- [4] ACI-ASCE Committee 352, “Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures,” ACI Journal, Proceedings, 2002.
- [5] Dyken, T. and Kepp B., Properties of T-Headed Bars in High Strength Concrete,” Nordic Concrete Research, Publication No. 7, pg. 41-51, Oslo, Norway, 1993.
- [6] Wright, J. L. and McCabe, S. L., The Development Length and Anchorage Behavior of Headed Reinforcing Bars, University of Kansas Center for Research, SM Report No. 44, Lawrence, Kansas, September 1997.
- [7] Furche, J. and Eligehausen, R., Lateral Blow-Out Failure of Headed Studs Near a Free Edge, Proceedings of International Symposium Anchors in Concrete Design and Behavior, ACI International, SP-130, pg. 235-252, Farmington Hills, Michigan, 1991.
- [8] Thompson, M. K., The Anchorage Behavior of Headed Reinforcement in CCT Nodes and Lap Splices, PhD Dissertation, The University of Texas at Austin, May 2002.
- [9] DeVries, R. A., Anchorage of Headed Reinforcement in Concrete, PhD Dissertation, The University of Texas at Austin, Austin, Texas, December 1996.
- [10] Bashandy, T. R., Application of Headed Bars in Concrete Members, PhD Dissertation, The University of Texas at Austin, Austin, Texas, December 1996.

# 附錄 A



(a)  $P_{test} / P_y = 10\%$



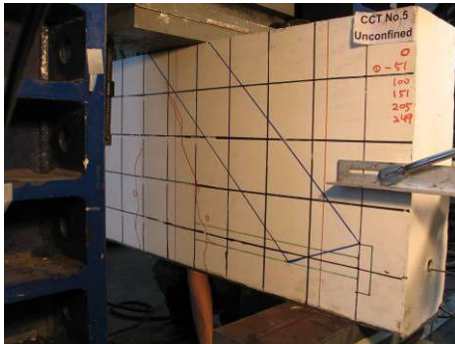
(b)  $P_{test} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{test} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{test} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{test} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{test} / P_y = 60\%$



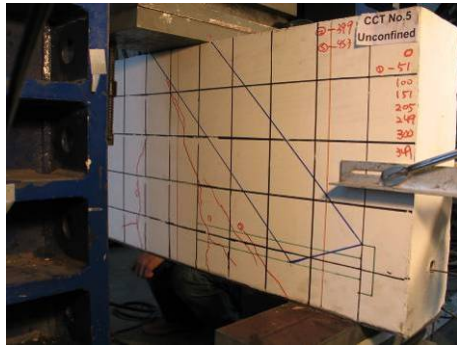
(g)  $P_{test} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{test} / P_y = 80\%$

附錄 A-1 未圍束-試體 CT05C6D36N1H5 於試驗各階段之破壞圖示





(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$

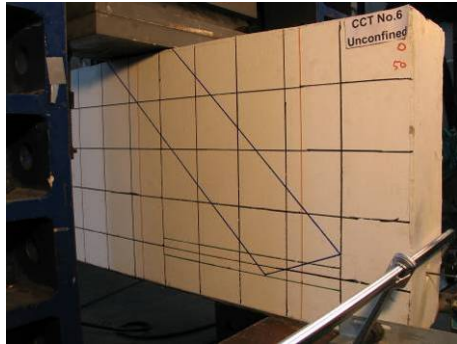


(l)  $P_{\text{test}} / P_y = 120\%$

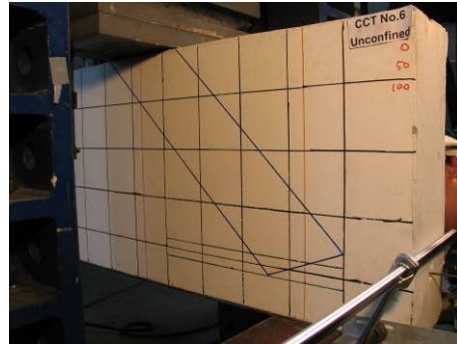


(m) Failure Point

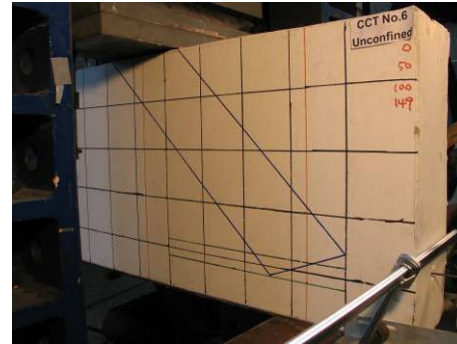
附錄 A-1 未圍束-試體 CT05C6D36N1H5 於試驗各階段之破壞圖示(續)



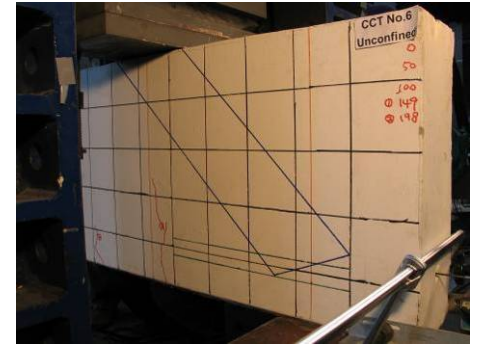
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



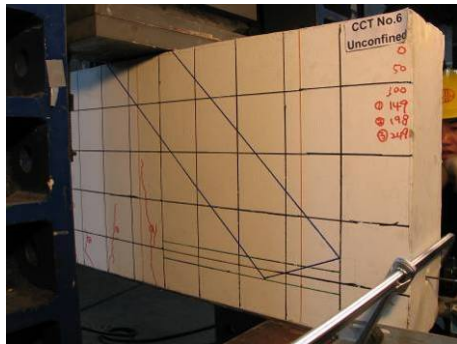
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



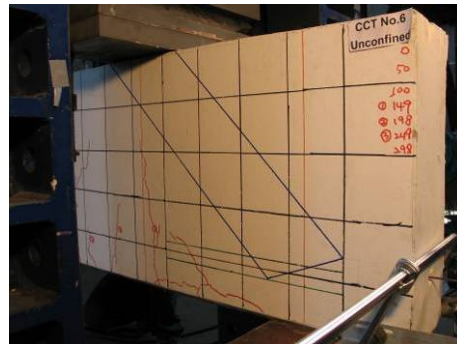
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



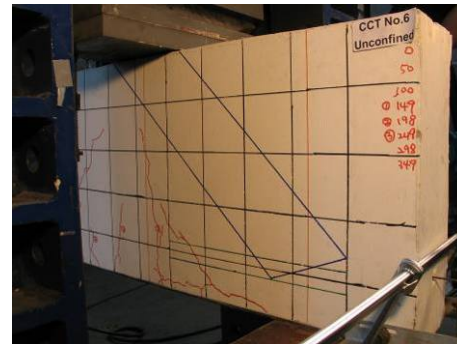
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



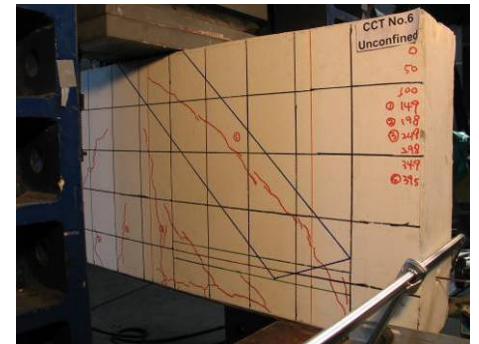
(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



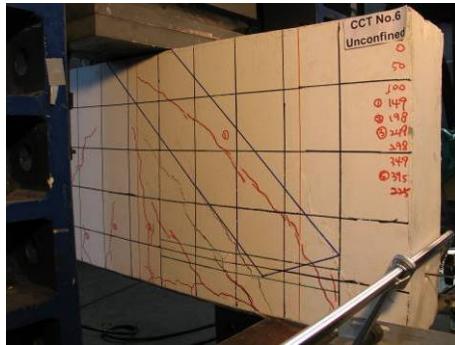
(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

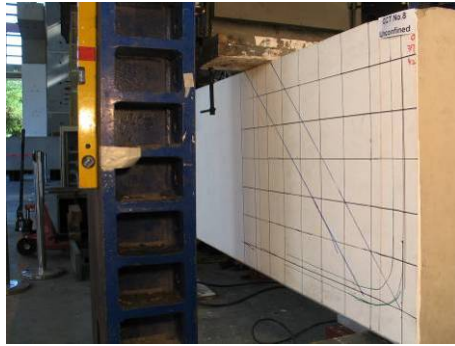
附錄 A-2 未圍束-試體 CT06C6D36N1H1 於試驗各階段之破壞圖示



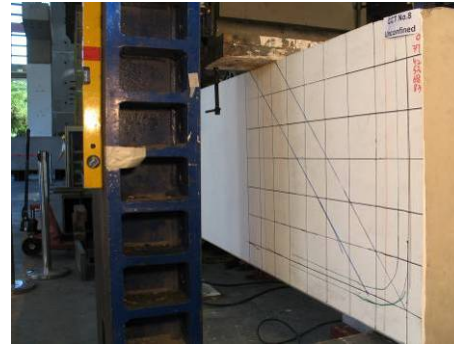


(i) Failure Point

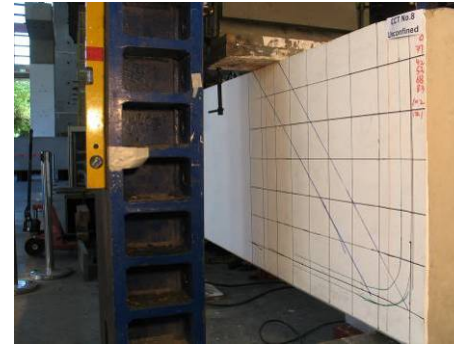
附錄 A-2 未圍束-試體 CT06C6D36N1H1 於試驗各階段之破壞圖示(續)



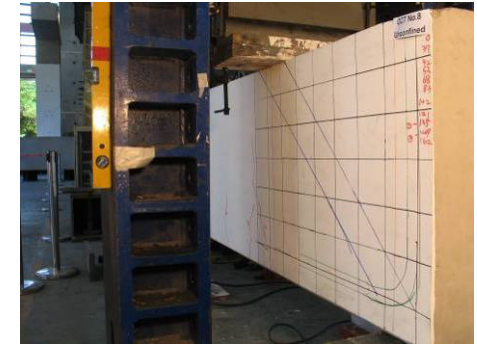
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



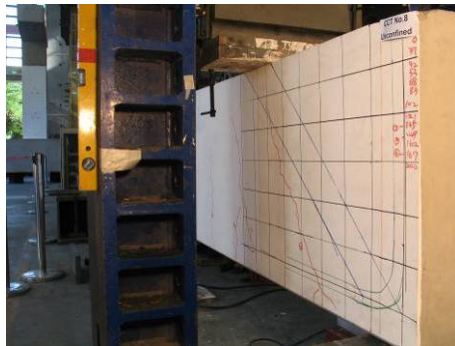
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



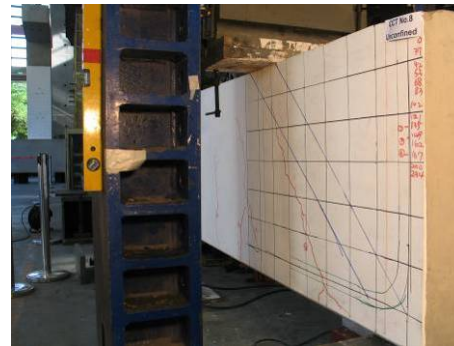
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



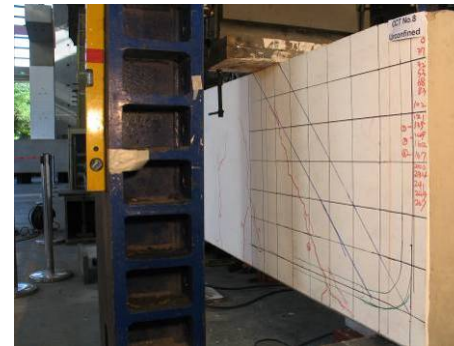
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



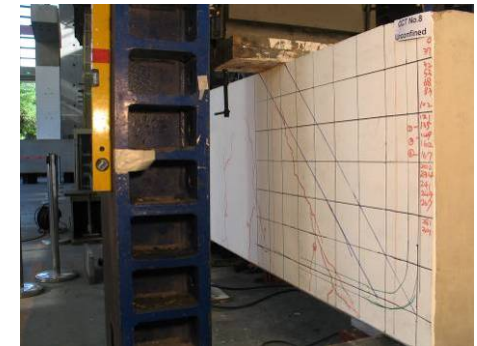
(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$

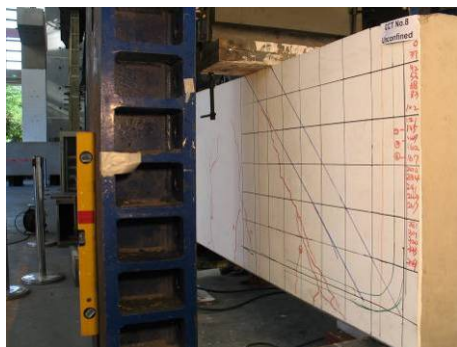


(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-3 未圍束-試體 CT08C6D32N1B9 於試驗各階段之破壞圖示

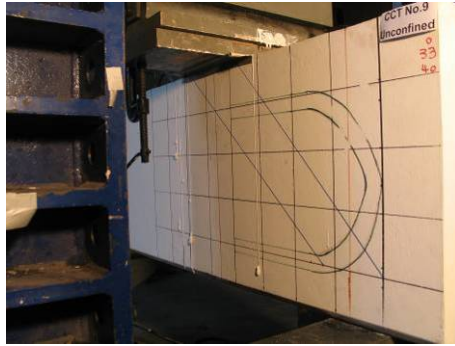


(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$

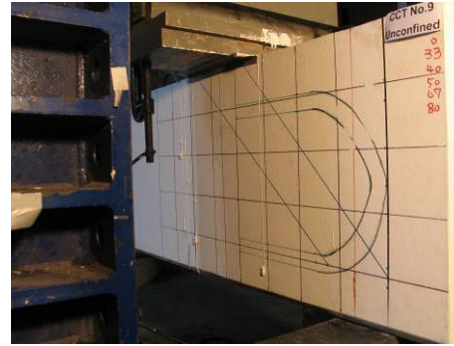


(j) Failure Point

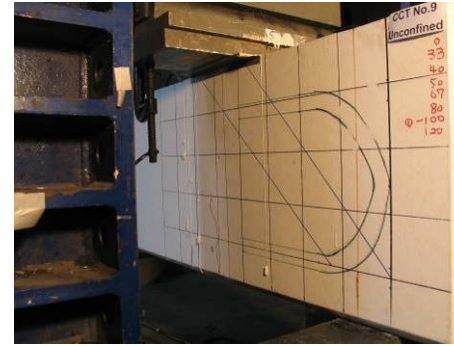
附錄 A-3 未圍束-試體 CT08C6D32N1B9 於試驗各階段之破壞圖示(續)



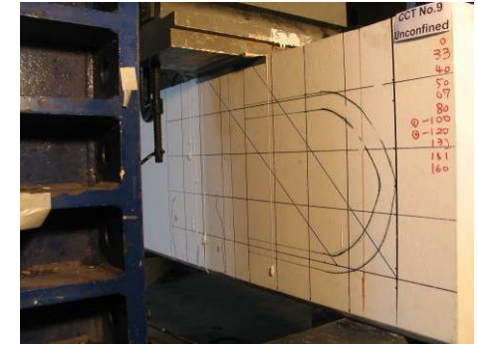
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



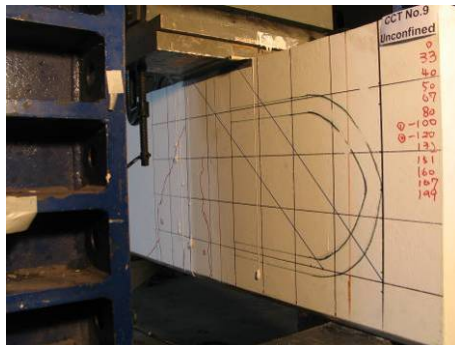
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



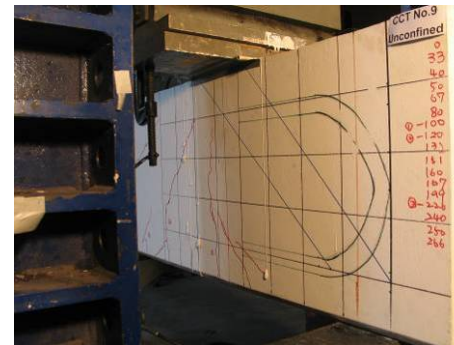
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



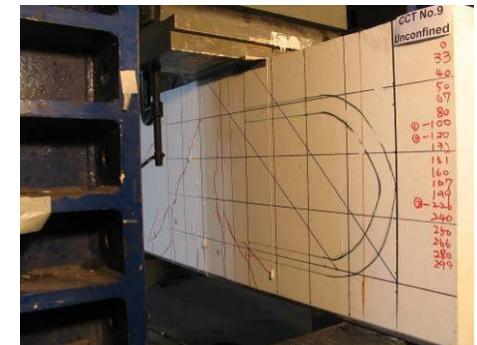
(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-4 未圍束-試體 CT09C6D32N1B18 於試驗各階段之破壞圖示





(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j) Failure Point

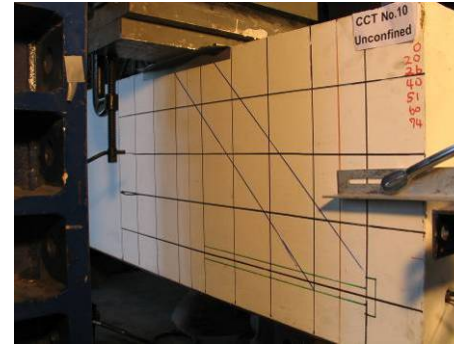
附錄 A-4 未圍束-試體 CT09C6D32N1B18 於試驗各階段之破壞圖示(續)



(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-5 未圍束-試體 CT10C6D25N1H5 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



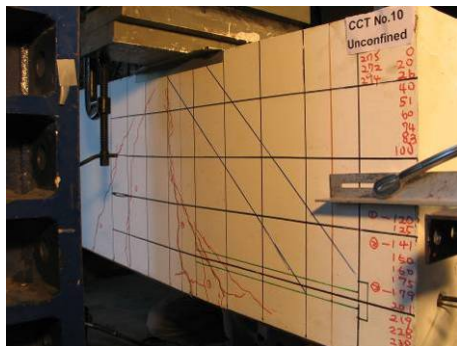
(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



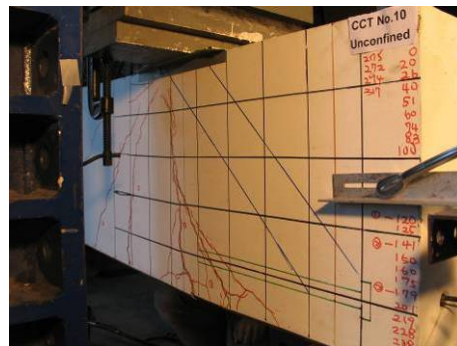
(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



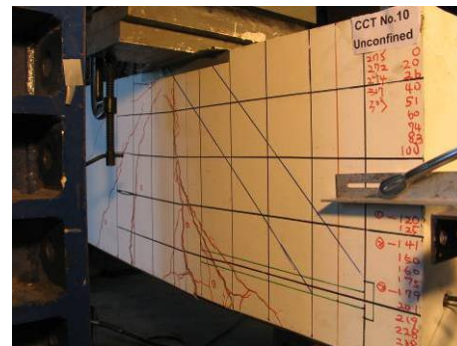
(l)  $P_{\text{test}} / P_y = 120\%$



(l)  $P_{\text{test}} / P_y = 130\%$



(m)  $P_{\text{test}} / P_y = 140\%$



(n) Failure Point

附錄 A-5 未圍束-試體 CT10C6D25N1H5 於試驗各階段之破壞圖示(續)





(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-6 未圍束-試體 CT11C6D32N2H5S40 於試驗各階段之破壞圖示





(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



(l) Failure Point

附錄 A-6 未圍束-試體 CT11C6D32N2H5S40 於試驗各階段之破壞圖示(續)



(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-7 未圍束-試體 CT12C6D32N3H5S40 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k) Failure Point

附錄 A-7 未圍束-試體 CT12C6D32N3H5S40 於試驗各階段之破壞圖示(續)





(a)  $P_{test} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{test} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{test} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{test} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{test} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{test} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{test} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{test} / P_y = 80\%$

附錄 A-8 未圍束-試體 CT13C6D36N2H5S40 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k) Failure Point

附錄 A-8 未圍束-試體 CT13C6D36N2H5S40 於試驗各階段之破壞圖示(續)



(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



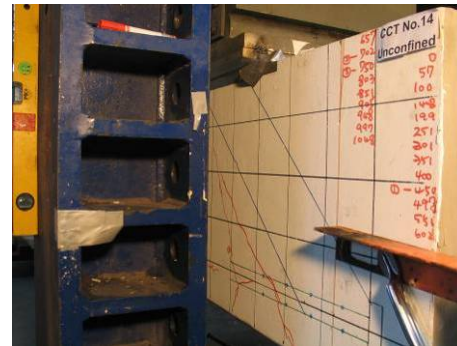
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-9 未圍束-試體 CT14C6D36N3H5S40 於試驗各階段之破壞圖示





(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



(l) Failure Point

附錄 A-9 未圍束-試體 CT14C6D36N3H5S40 於試驗各階段之破壞圖示(續)



(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



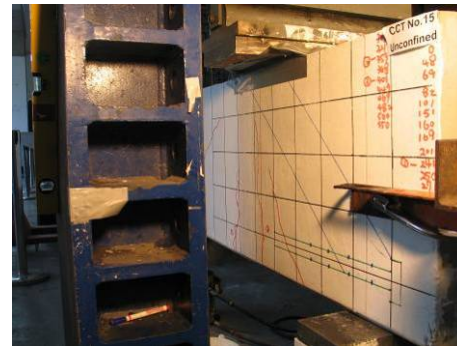
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-10 未圍束-試體 CT15C6D32N2H5S15 於試驗各階段之破壞圖示





(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



(l) Failure Point

附錄 A-10 未圍束-試體 CT15C6D32N2H5S15 於試驗各階段之破壞圖示(續)



(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$

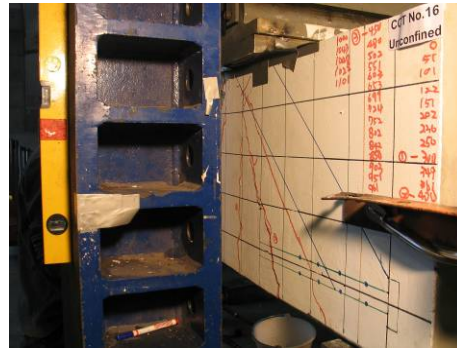


(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-11 未圍束-試體 CT16C6D32N3H5S15 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k) Failure Point

附錄 A-11 未圍束-試體 CT16C6D32N3H5S15 於試驗各階段之破壞圖示(續)





(a)  $P_{test} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{test} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{test} / P_y = 30\%$



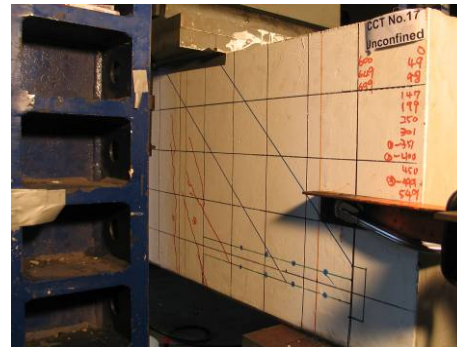
(d)  $P_{test} / P_y = 40\%$



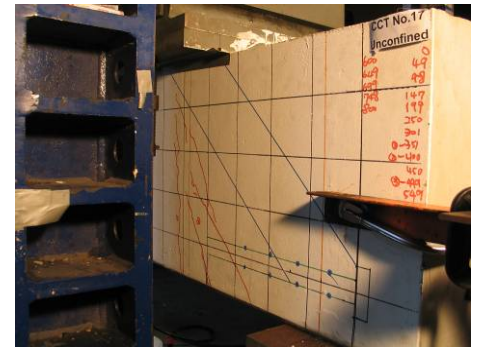
(e)  $P_{test} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{test} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{test} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{test} / P_y = 80\%$

附錄 A-12 未圍束-試體 CT17C6D36N2H5S15 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k) Failure Point

附錄 A-12 未圍束-試體 CT17C6D36N2H5S15 於試驗各階段之破壞圖示(續)





(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-13 未圍束-試體 CT18C6D36N3H5S15 於試驗各階段之破壞圖示

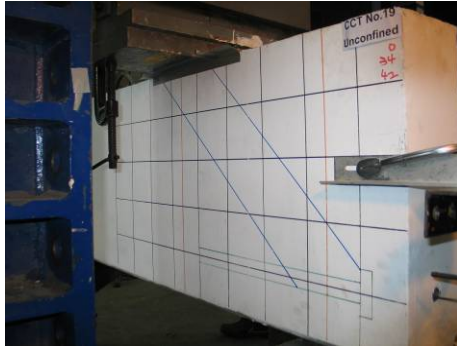


(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$

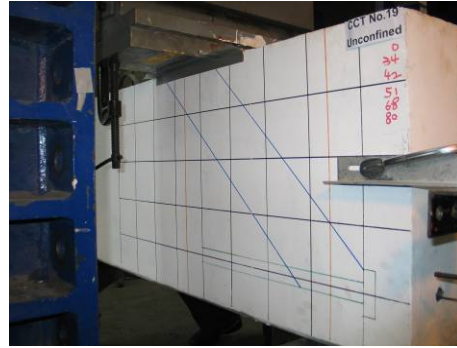


(j) Failure Point

附錄 A-13 未圍束-試體 CT18C6D36N3H5S15 於試驗各階段之破壞圖示(續)



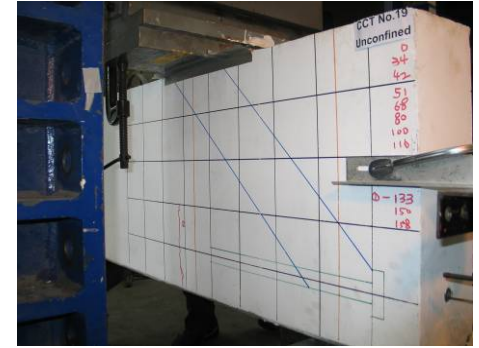
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



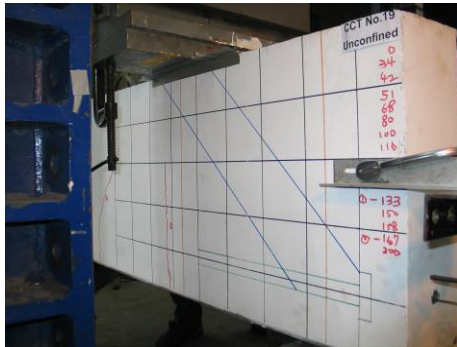
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



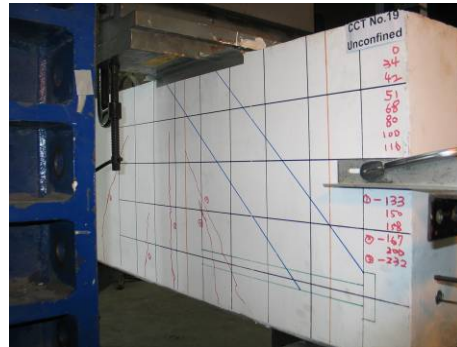
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



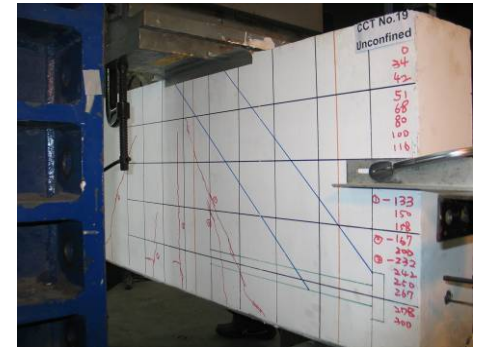
(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



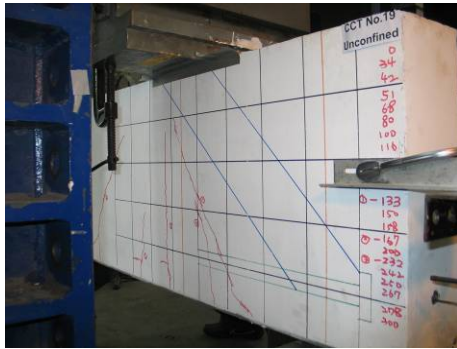
(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



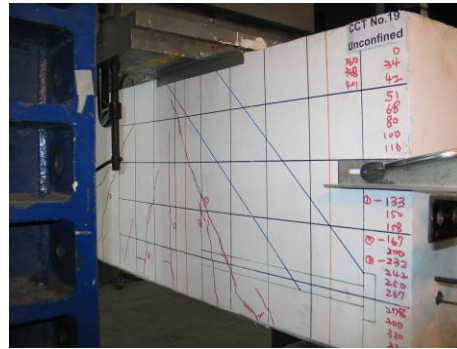
(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-14 未圍束-試體 CT19C8D32N1H5 於試驗各階段之破壞圖示

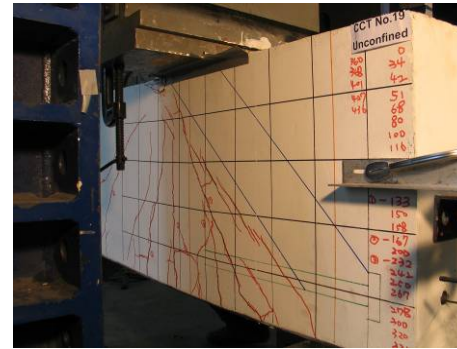




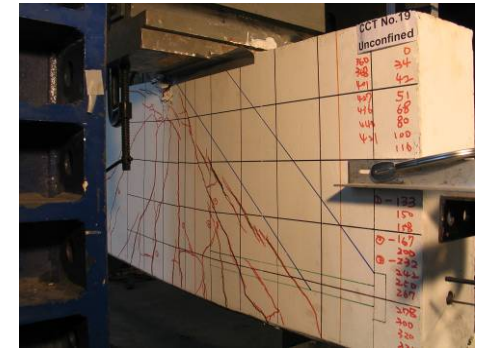
(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$

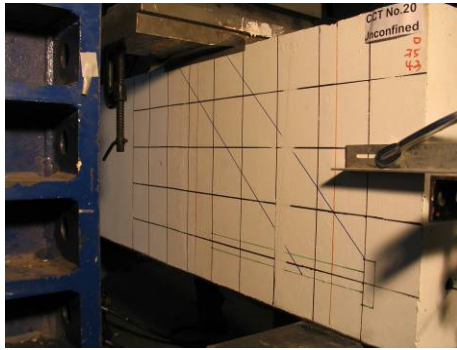


(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$

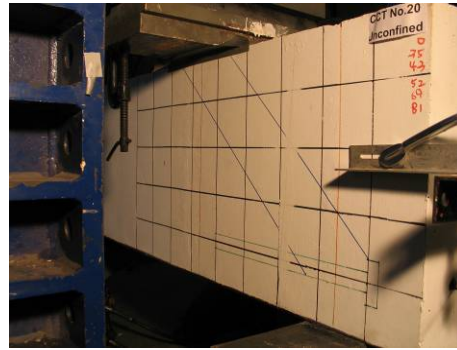


(l) Failure Point

附錄 A-14 未圍束-試體 CT19C8D32N1H5 於試驗各階段之破壞圖示(續)



(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$

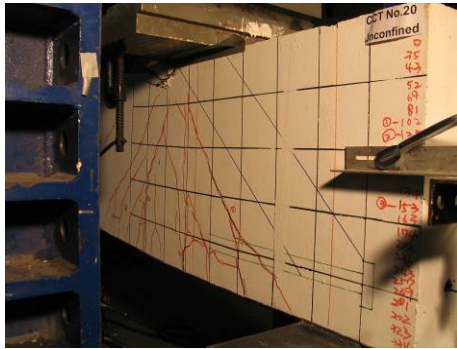


(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-15 未圍束-試體 CT20C10D32N1H5 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j) Failure Point

附錄 A-15 未圍束-試體 CT20C10D32N1H5 於試驗各階段之破壞圖示(續)

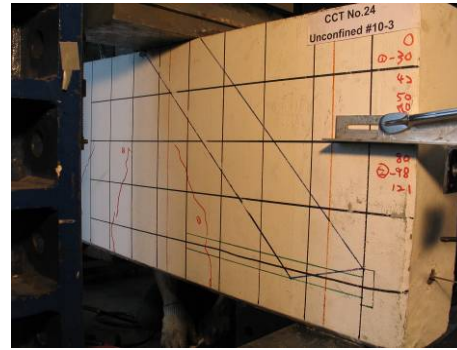




(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



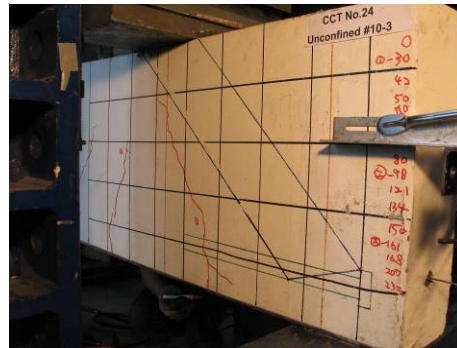
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



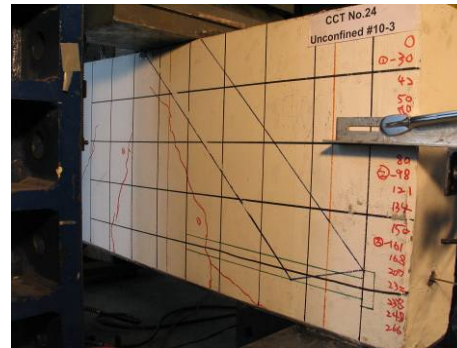
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



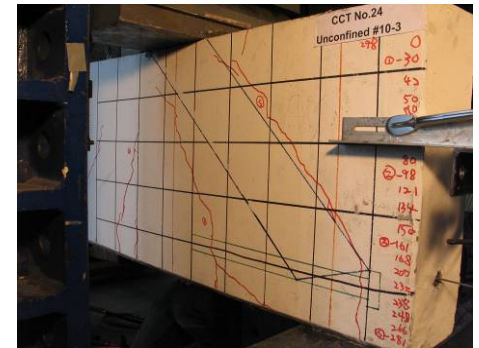
(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$

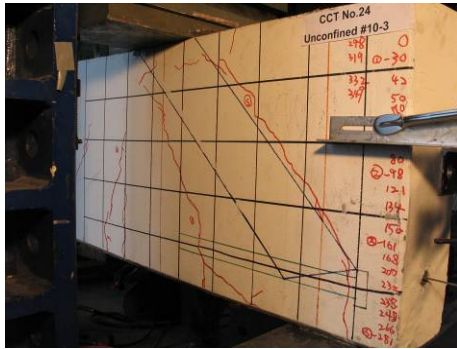


(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$

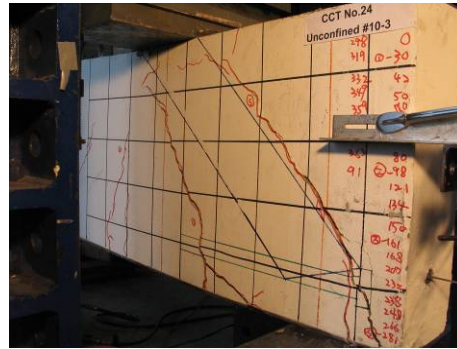


(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-16 未圍束-試體 CT24C6D32N1H3 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j) Failure Point

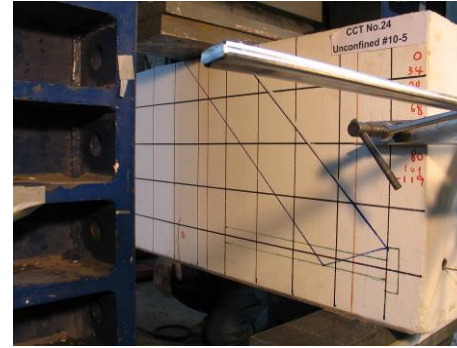
附錄 A-16 未圍束-試體 CT24C6D32N1H3 於試驗各階段之破壞圖示(續)



(a)  $P_{test} / P_y = 10\%$



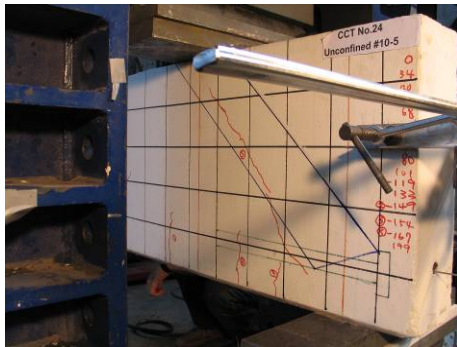
(b)  $P_{test} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{test} / P_y = 30\%$



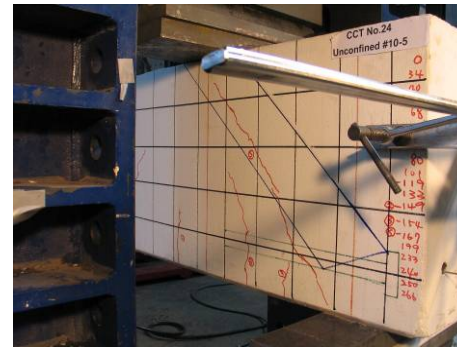
(d)  $P_{test} / P_y = 40\%$



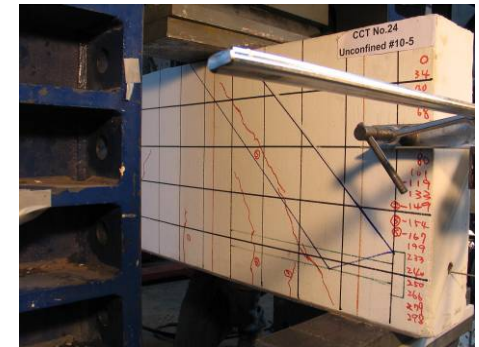
(e)  $P_{test} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{test} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{test} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{test} / P_y = 80\%$

附錄 A-17 未圍束-試體 CT24C6D32N1H5 於試驗各階段之破壞圖示





(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j) Failure Point

附錄 A-17 未圍束-試體 CT24C6D32N1H5 於試驗各階段之破壞圖示(續)



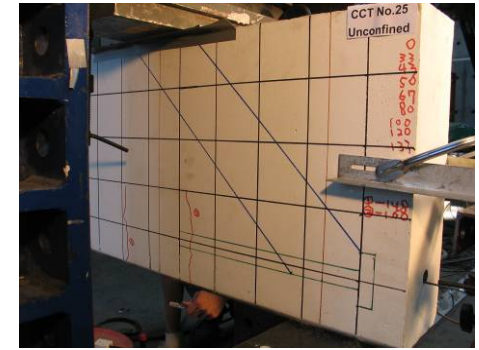
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



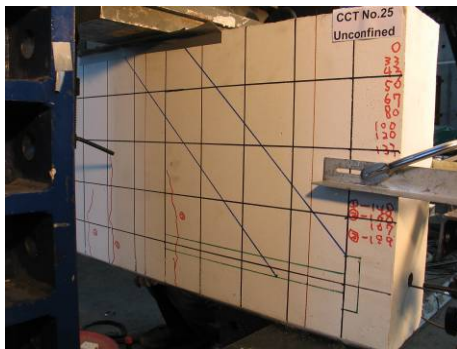
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



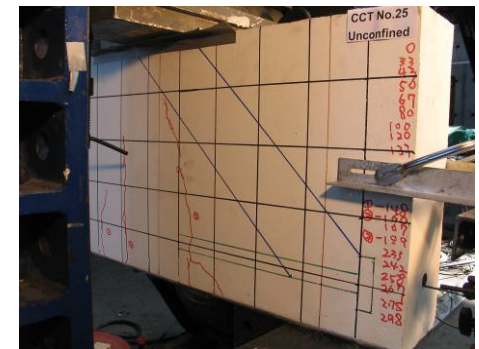
(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



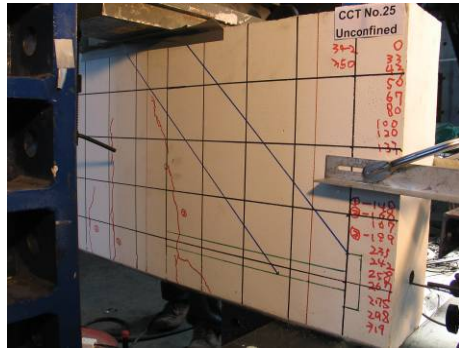
(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



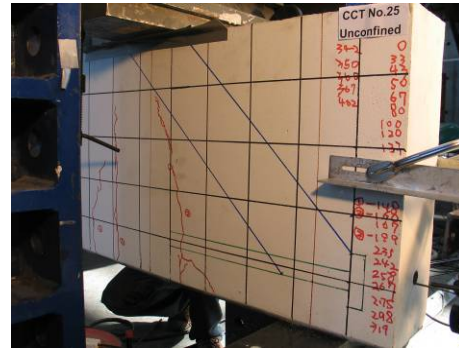
(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-18 未圍束-試體 CT25C6D32N1H7 於試驗各階段之破壞圖示

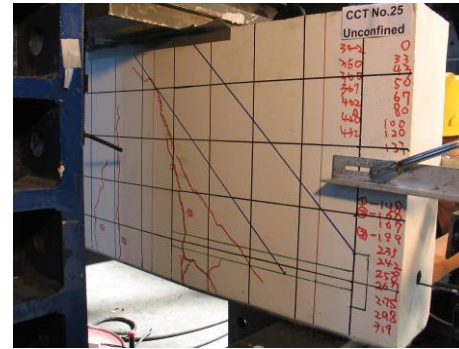




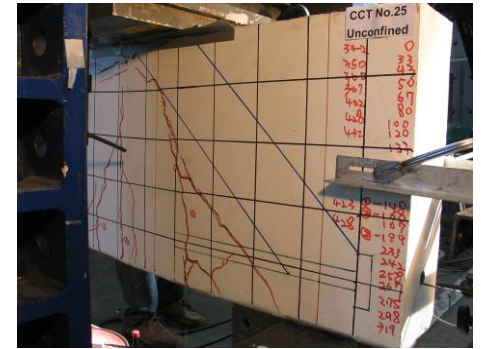
(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



(l) Failure Point

附錄 A-18 未圍束-試體 CT25C6D32N1H7 於試驗各階段之破壞圖示(續)



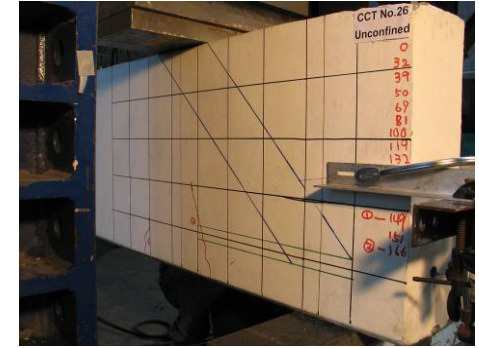
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



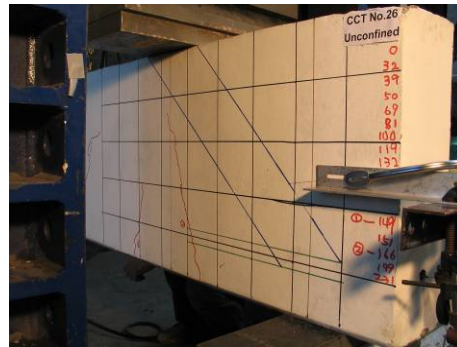
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



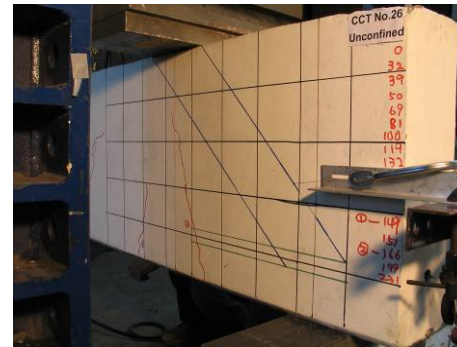
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



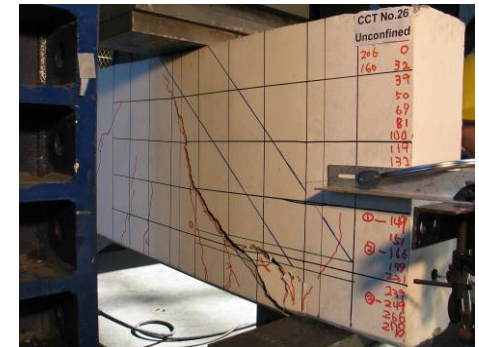
(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$

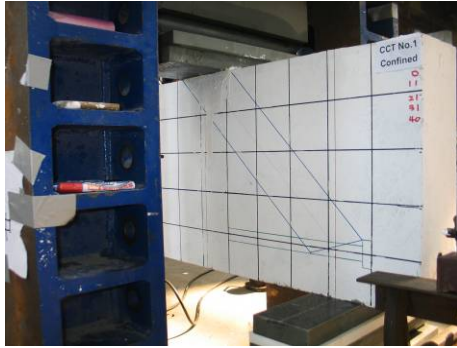


(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h) Failure Point

附錄 A-19 未圍束-試體 CT26C6D32N1H1 於試驗各階段之破壞圖示



(a)  $P_{test} / P_y = 10\%$



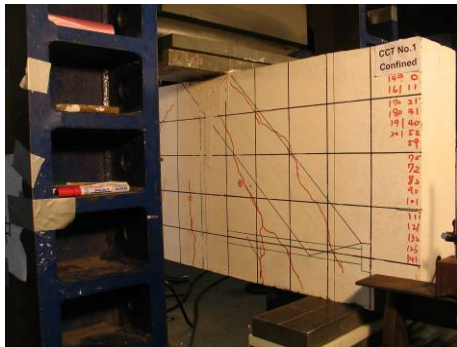
(b)  $P_{test} / P_y = 20\%$



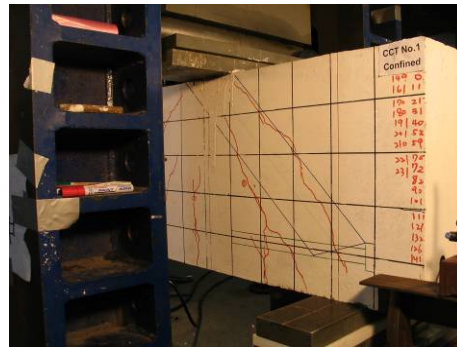
(c)  $P_{test} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{test} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{test} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{test} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{test} / P_y = 70\%$



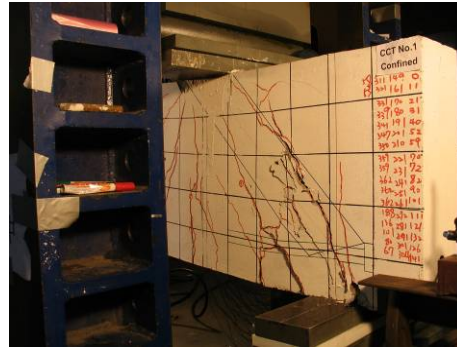
(h)  $P_{test} / P_y = 80\%$

附錄 A-20 圍束-試體 CT01C6D32N1H3T31 於試驗各階段之破壞圖示



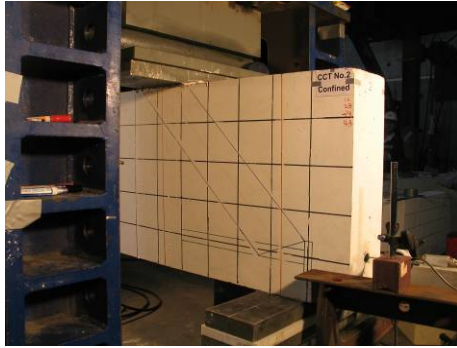


(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j) Failure Point

附錄 A-20 圍束-試體 CT01C6D32N1H3T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)



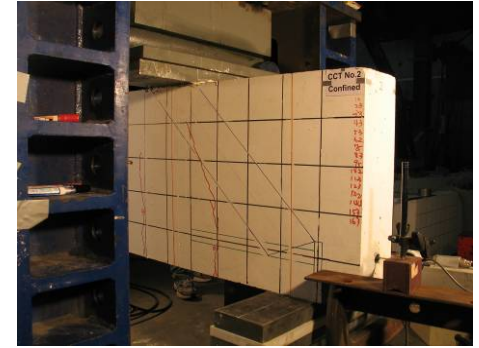
(a)  $P_{test} / P_y = 10\%$



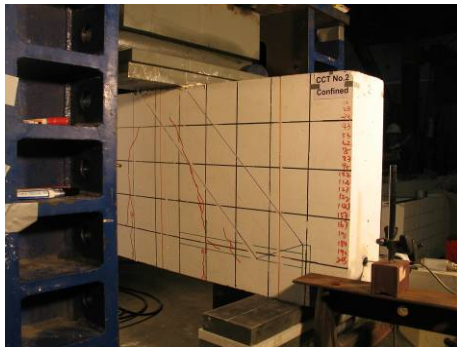
(b)  $P_{test} / P_y = 20\%$



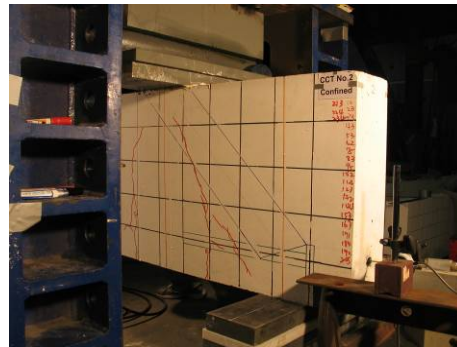
(c)  $P_{test} / P_y = 30\%$



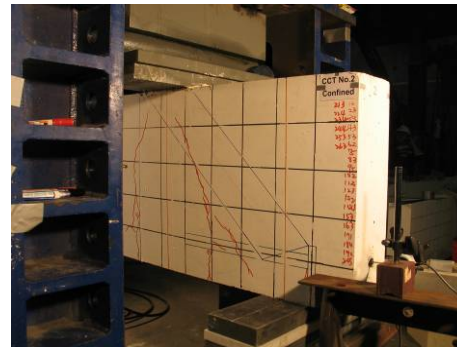
(d)  $P_{test} / P_y = 40\%$



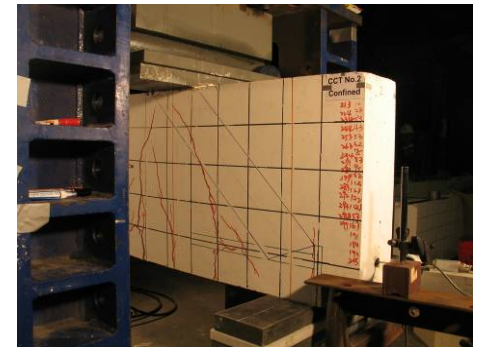
(e)  $P_{test} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{test} / P_y = 60\%$

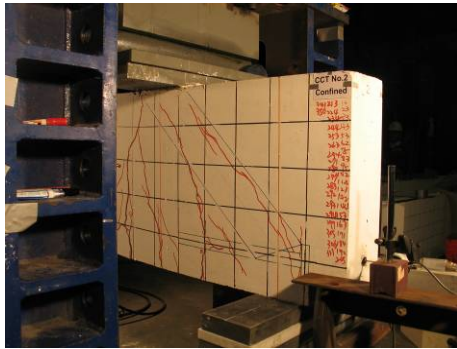


(g)  $P_{test} / P_y = 70\%$

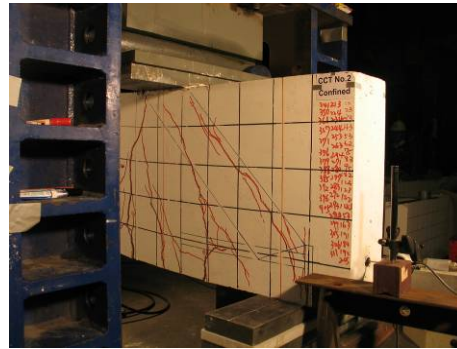


(h)  $P_{test} / P_y = 80\%$

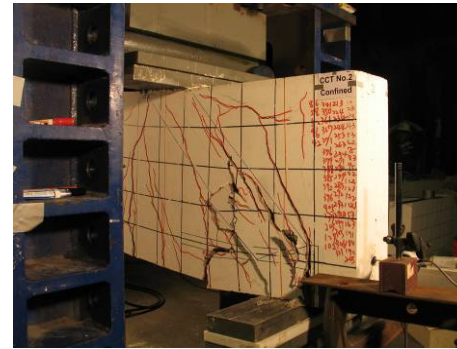
附錄 A-21 圍束-試體 CT02C6D32N1H5T31 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$

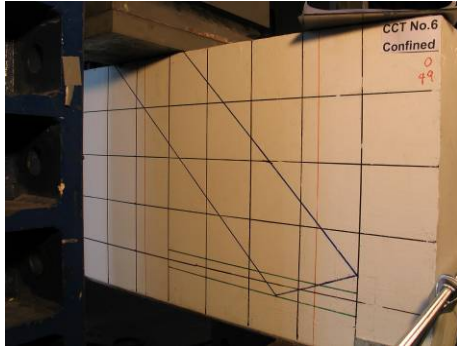


(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$

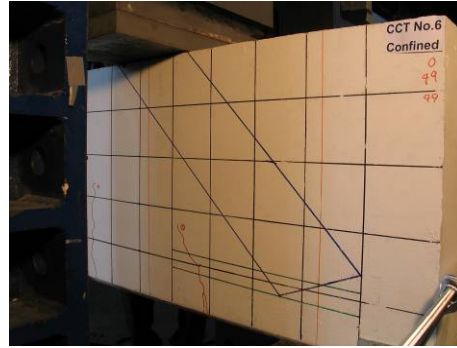


(k) Failure Point

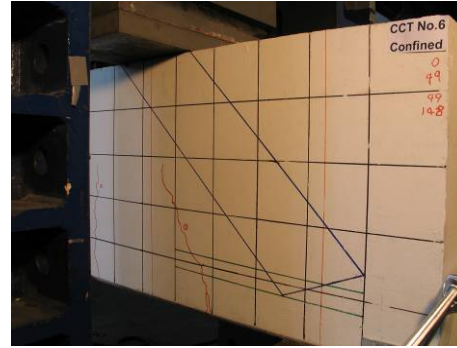
附錄 A-21 圍束-試體 CT02C6D32N1H5T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)



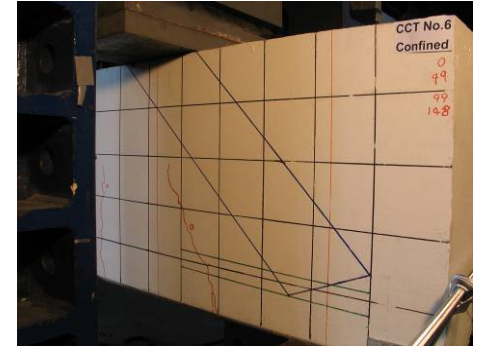
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



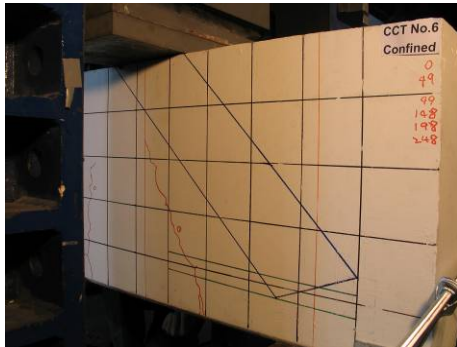
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



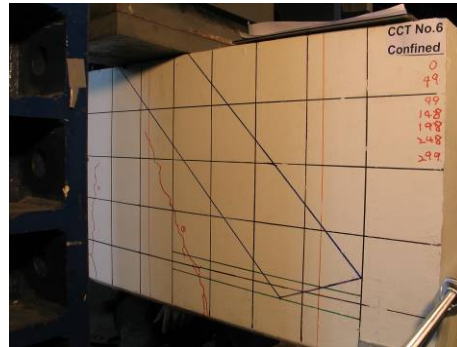
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



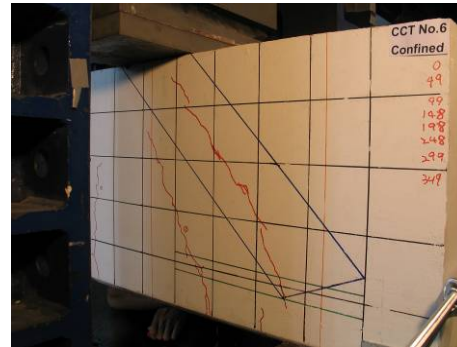
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



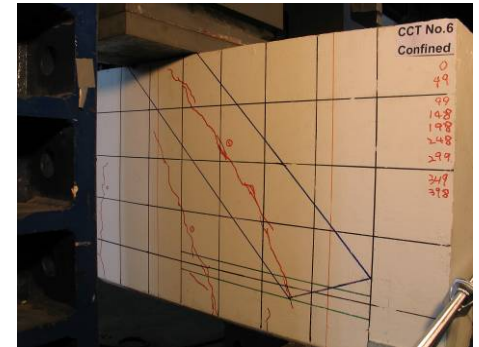
(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



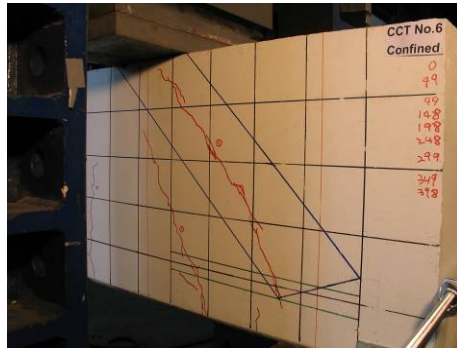
(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



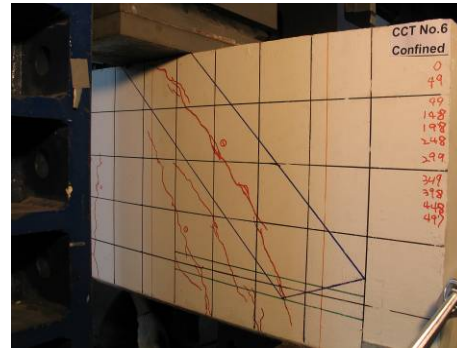
(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-22 圍束-試體 CT06C6D36N1H1T31 於試驗各階段之破壞圖示

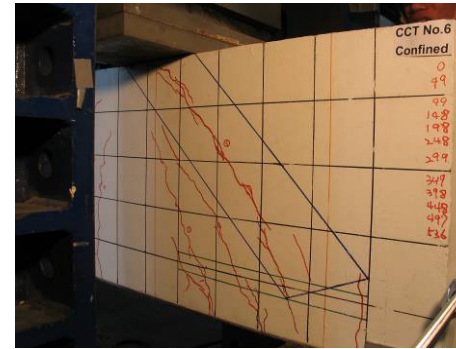




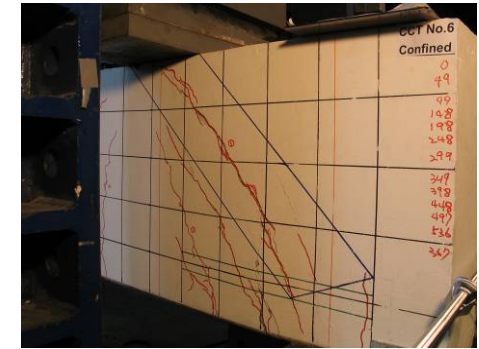
(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



(l) Failure Point

附錄 A-22 圍束-試體 CT06C6D36N1H1T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)





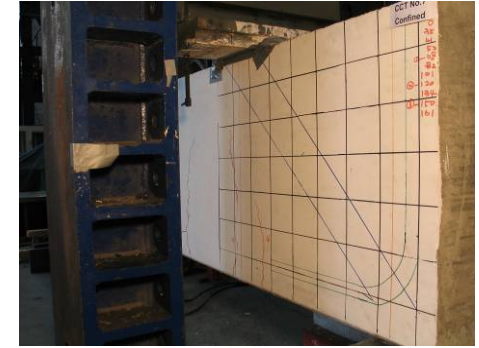
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$

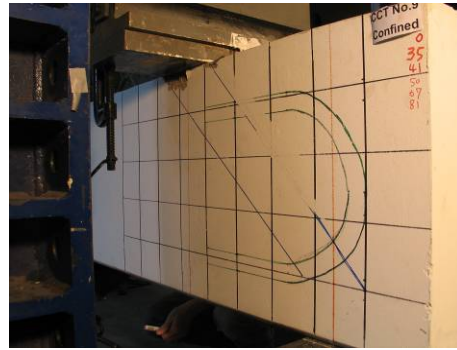


(f) Failure Point

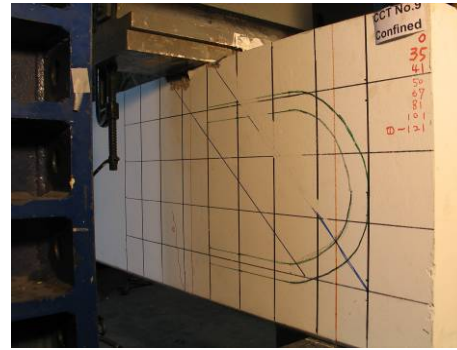
附錄 A-23 圍束-試體 CT07C6D32N1B9T31 於試驗各階段之破壞圖示



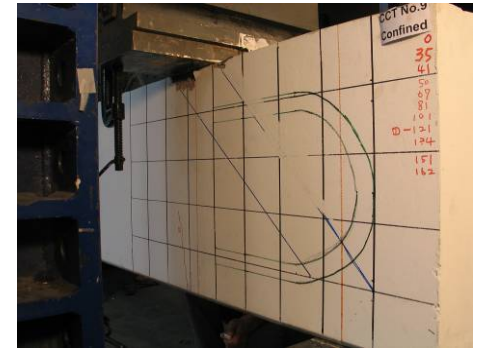
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



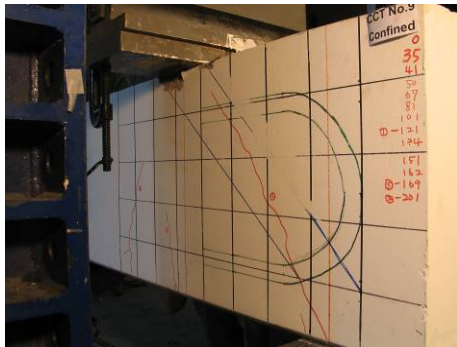
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$

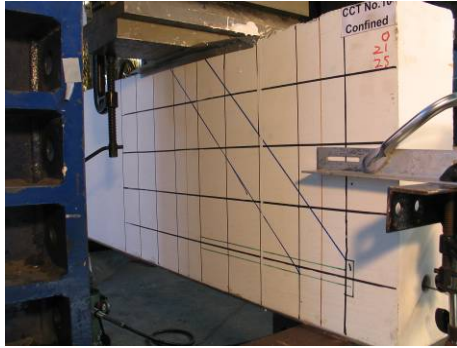


(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$

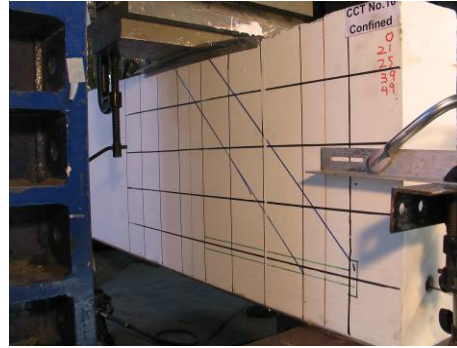


(f) Failure Point

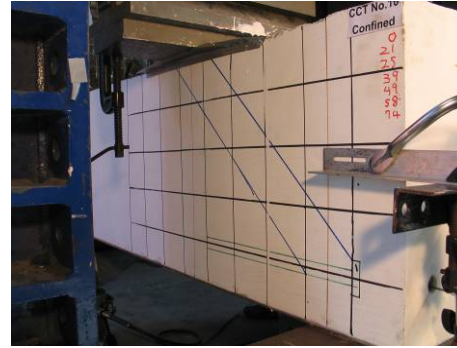
附錄 A-24 圍束-試體 CT09C6D32N1B18T31 於試驗各階段之破壞圖示



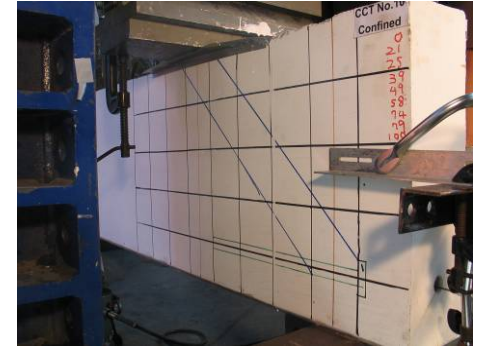
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-25 圍束-試體 CT10C6D25N1H5T31 於試驗各階段之破壞圖示

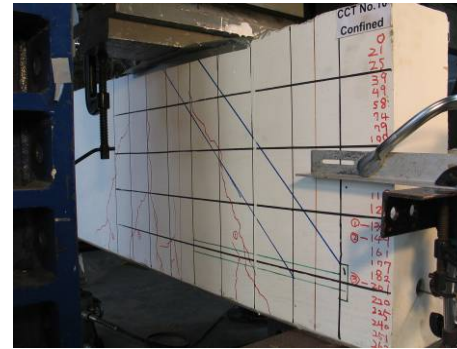




(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



(l)  $P_{\text{test}} / P_y = 120\%$



(m)  $P_{\text{test}} / P_y = 130\%$



(n) Failure Point

附錄 A-25 圍束-試體 CT10C6D25N1H5T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)



(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-26 圍束-試體 CT11C6D32N2H5S40T31 於試驗各階段之破壞圖示





(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



(l) Failure Point

附錄 A-26 圍束-試體 CT11C6D32N2H5S40T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)



(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



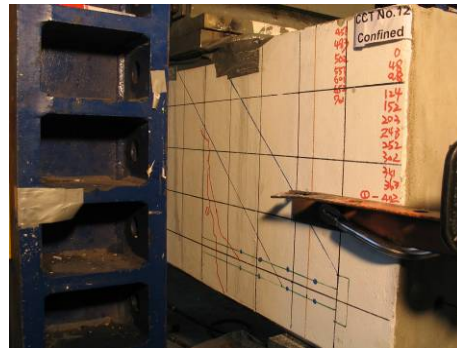
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-27 圍束-試體 CT12C6D32N3H5S40T31 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



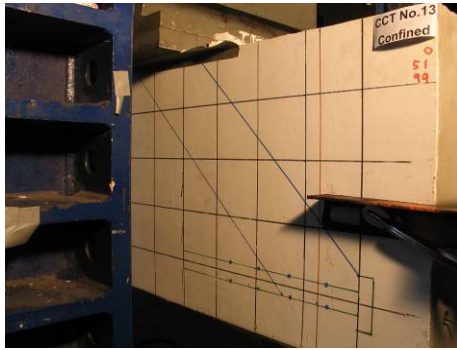
(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



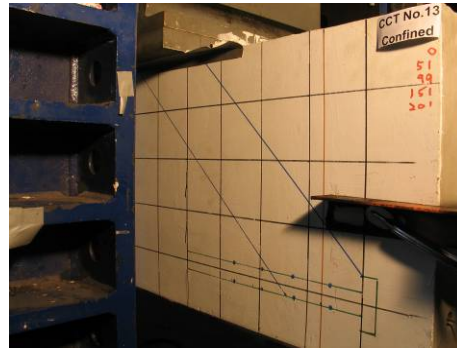
(l) Failure Point

附錄 A-27 圍束-試體 CT12C6D32N3H5S40T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)

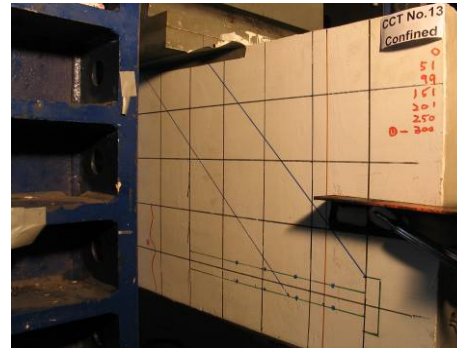




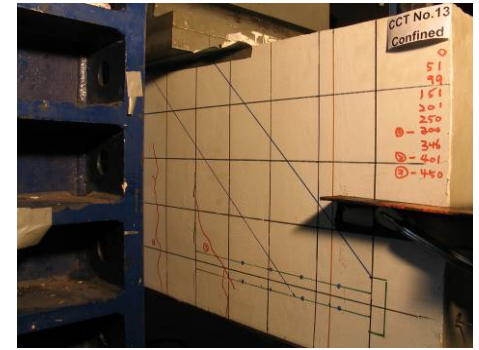
(a)  $P_{test} / P_y = 10\%$



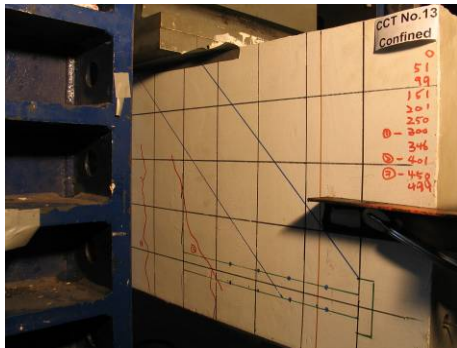
(b)  $P_{test} / P_y = 20\%$



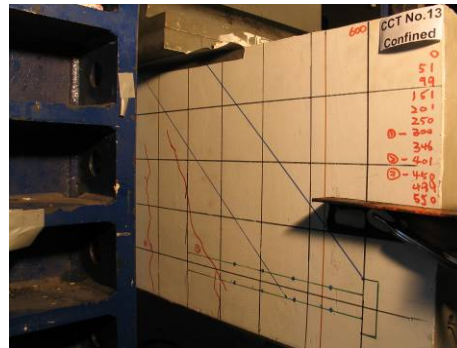
(c)  $P_{test} / P_y = 30\%$



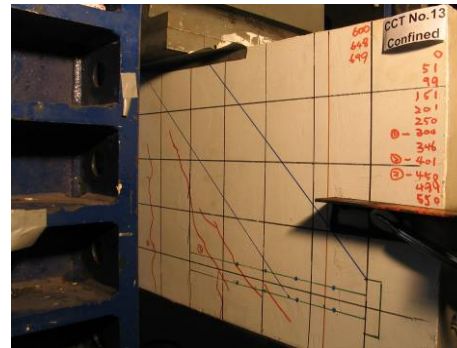
(d)  $P_{test} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{test} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{test} / P_y = 60\%$

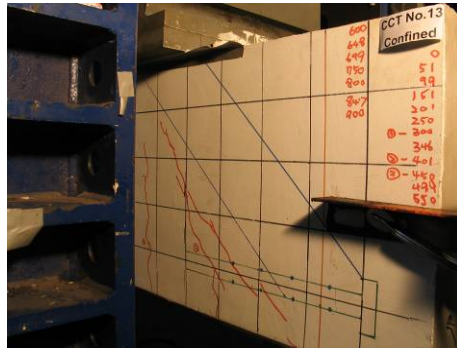


(g)  $P_{test} / P_y = 70\%$

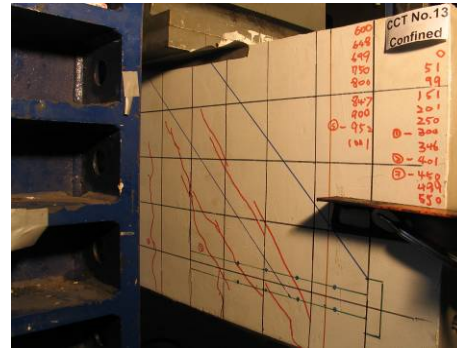


(h)  $P_{test} / P_y = 80\%$

附錄 A-28 圍束-試體 CT13C6D36N2H5S40T31 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



(l) Failure Point

附錄 A-28 圍束-試體 CT13C6D36N2H5S40T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)





(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-29 圍束-試體 CT14C6D36N3H5S40T31 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



(l) Failure Point

附錄 A-29 圍束-試體 CT14C6D36N3H5S40T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)





(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-30 圍束-試體 CT15C6D32N2H5S15T31 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



(l)  $P_{\text{test}} / P_y = 120\%$



(m) Failure Point

附錄 A-30 圍束-試體 CT15C6D32N2H5S15T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)





(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-31 圍束-試體 CT16C6D32N3H5S15T31 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j) Failure Point

附錄 A-31 圍束-試體 CT16C6D32N3H5S15T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)





(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



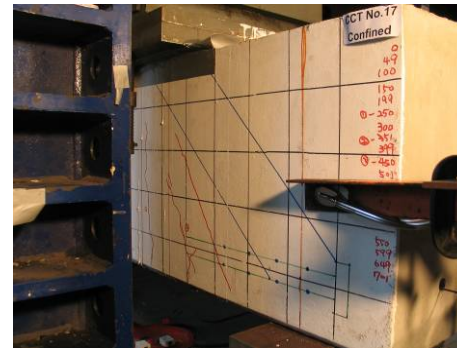
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-32 圍束-試體 CT17C6D36N2H5S15T31 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k) Failure Point

附錄 A-32 圍束-試體 CT17C6D36N2H5S15T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)





(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



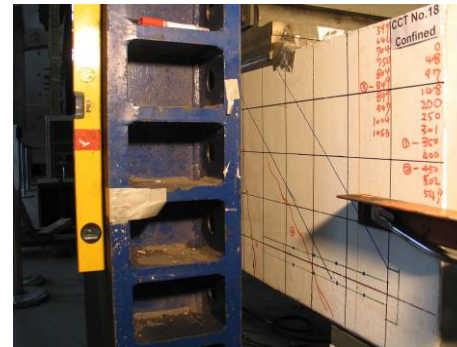
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-33 圍束-試體 CT18C6D36N3H5S15T31 於試驗各階段之破壞圖示

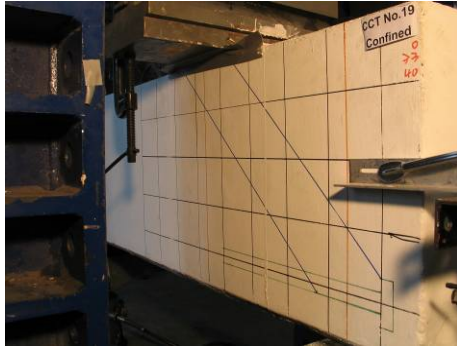


(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j) Failure Point

附錄 A-33 圍束-試體 CT18C6D36N3H5S15T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)



(a)  $P_{test} / P_y = 10\%$



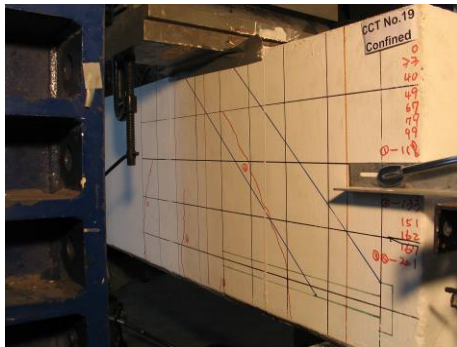
(b)  $P_{test} / P_y = 20\%$



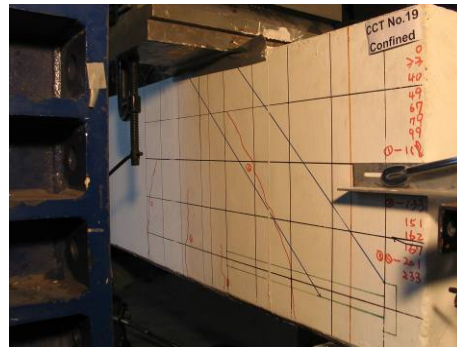
(c)  $P_{test} / P_y = 30\%$



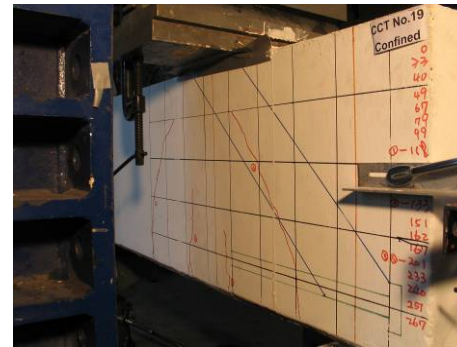
(d)  $P_{test} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{test} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{test} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{test} / P_y = 70\%$



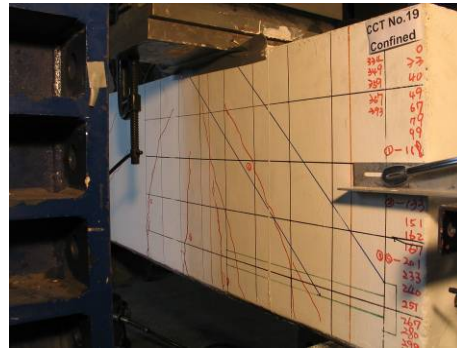
(h)  $P_{test} / P_y = 80\%$

附錄 A-34 圍束-試體 CT19C8D32N1H5T31 於試驗各階段之破壞圖示

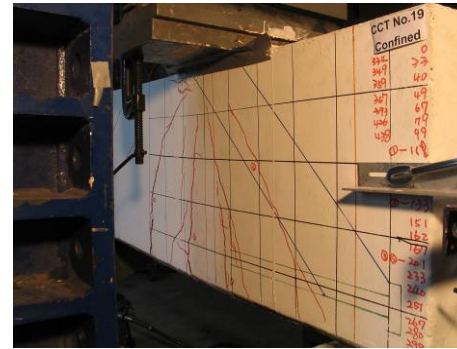




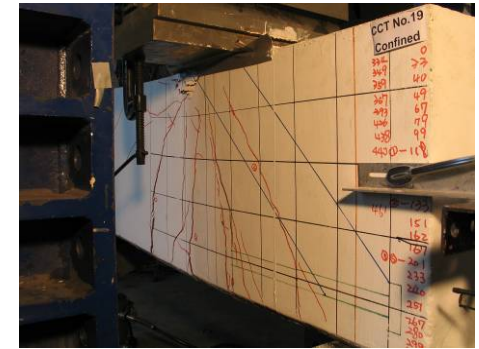
(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



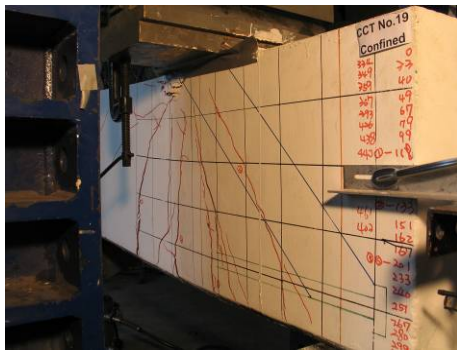
(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$

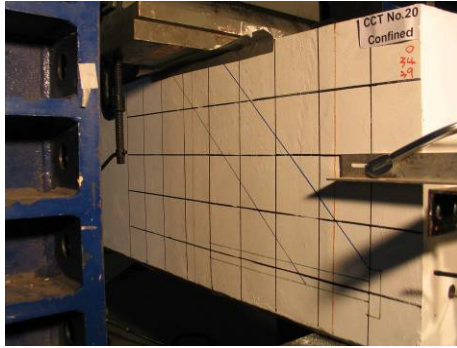


(l)  $P_{\text{test}} / P_y = 120\%$

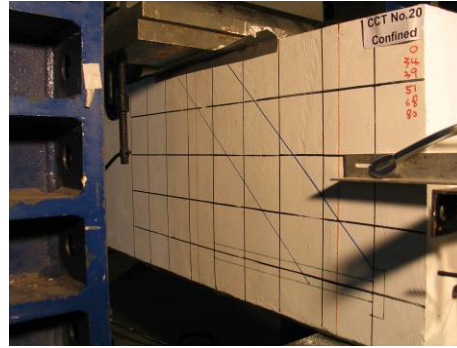


(m) Failure Point

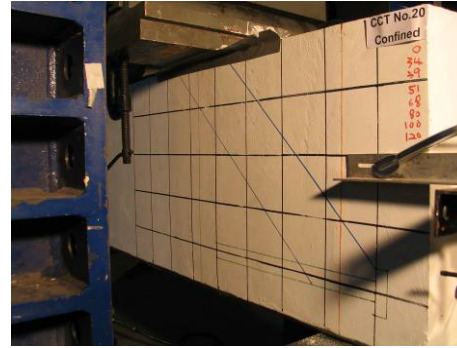
附錄 A-34 圍束-試體 CT19C8D32N1H5T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)



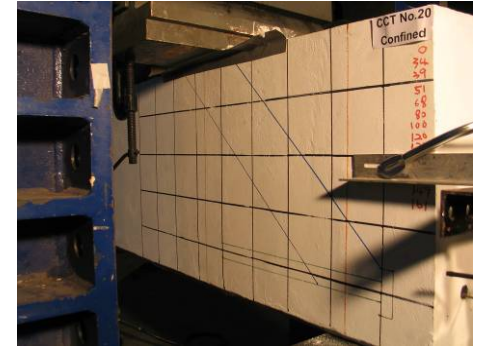
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



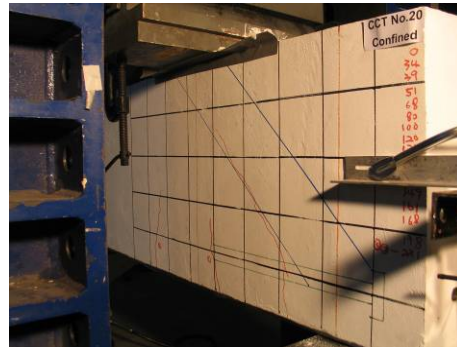
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



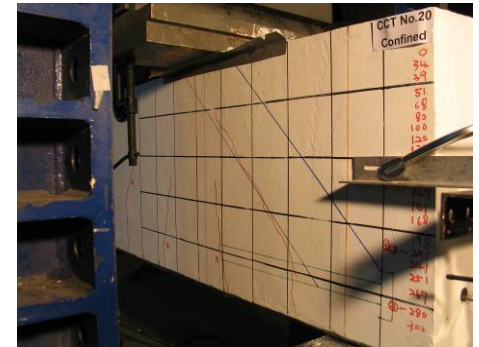
(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



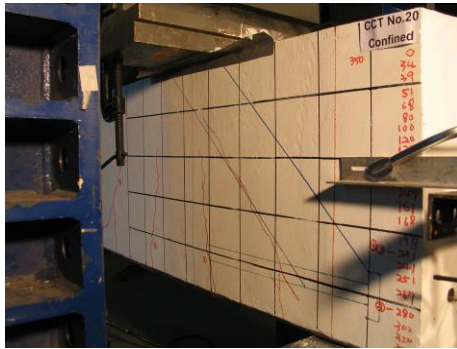
(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



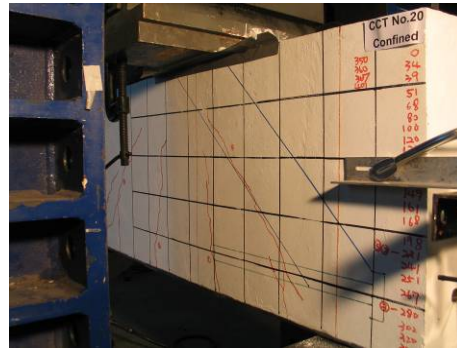
(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-35 圍束-試體 CT20C10D32N1H5T31 於試驗各階段之破壞圖示

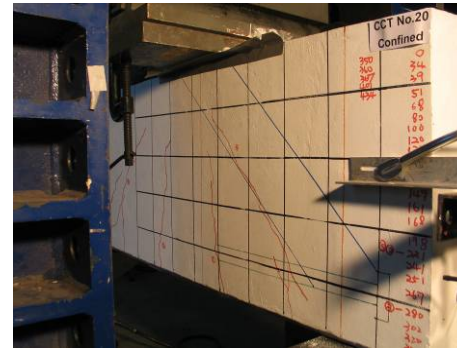




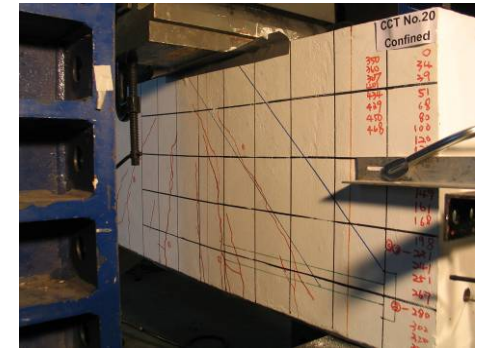
(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



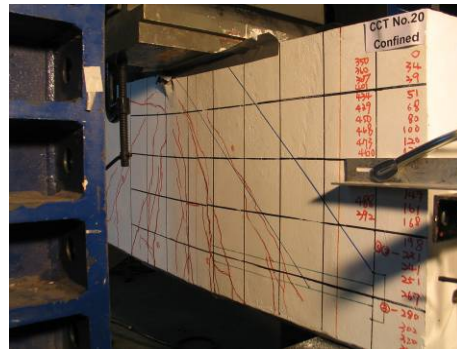
(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



(l)  $P_{\text{test}} / P_y = 120\%$



(m)  $P_{\text{test}} / P_y = 130\%$

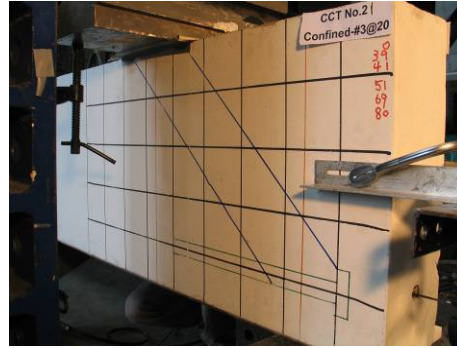


(n) Failure Point

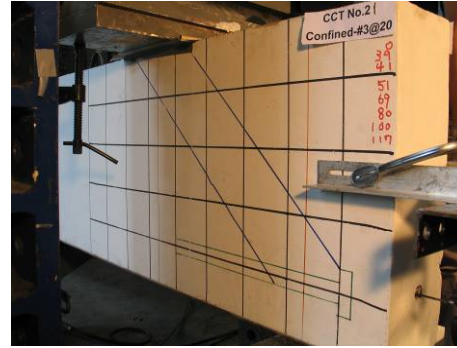
附錄 A-35 圍束-試體 CT20C10D32N1H5T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)



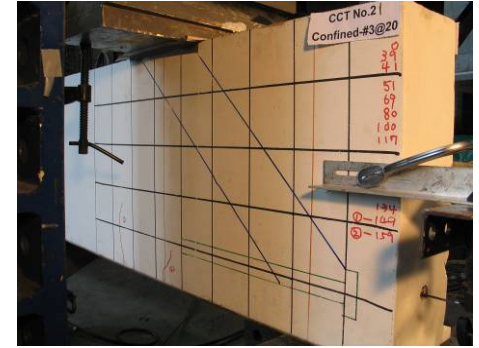
(a)  $P_{test} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{test} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{test} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{test} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{test} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{test} / P_y = 60\%$

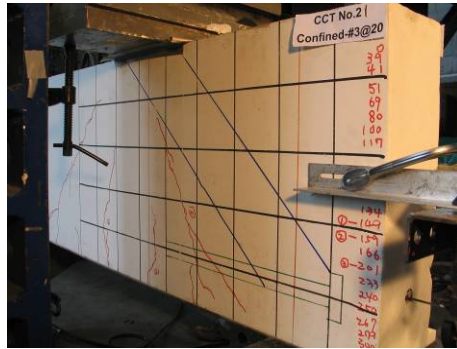


(g)  $P_{test} / P_y = 70\%$

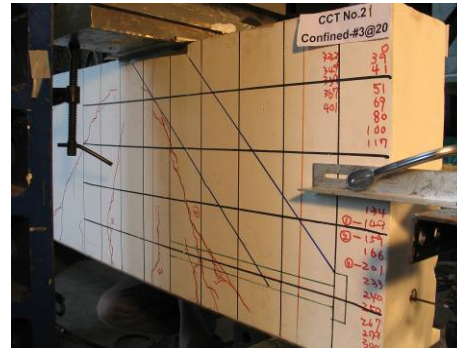


(h)  $P_{test} / P_y = 80\%$

附錄 A-36 圍束-試體 CT21C6D32N1H5T32 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k) Failure Point

附錄 A-36 圍束-試體 CT21C6D32N1H5T32 於試驗各階段之破壞圖示(續)





(a)  $P_{test} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{test} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{test} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{test} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{test} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{test} / P_y = 60\%$

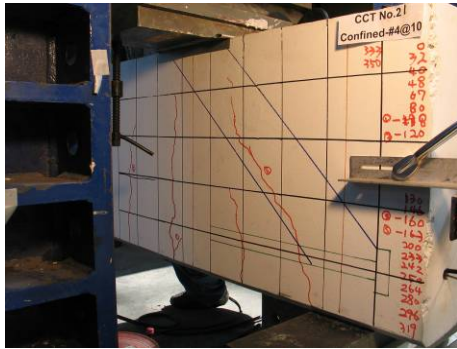


(g)  $P_{test} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{test} / P_y = 80\%$

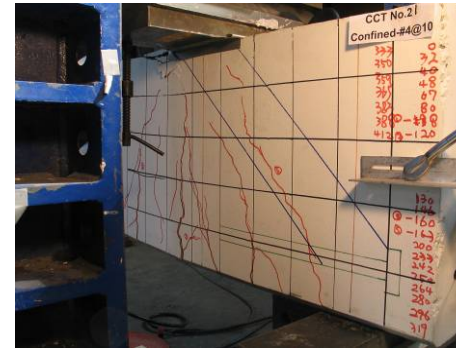
附錄 A-37 圍束-試體 CT21C6D32N1H5T41 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$

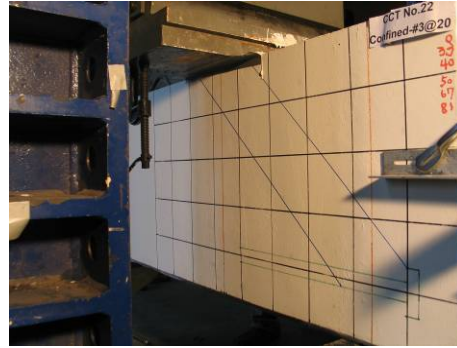


(k) Failure Point

附錄 A-37 圍束-試體 CT21C6D32N1H5T41 於試驗各階段之破壞圖示(續)



(a)  $P_{test} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{test} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{test} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{test} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{test} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{test} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{test} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{test} / P_y = 80\%$

附錄 A-38 圍束-試體 CT22C8D32N1H5T32 於試驗各階段之破壞圖示





(i)  $P_{test} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{test} / P_y = 100\%$



(k)  $P_{test} / P_y = 110\%$



(l)  $P_{test} / P_y = 120\%$



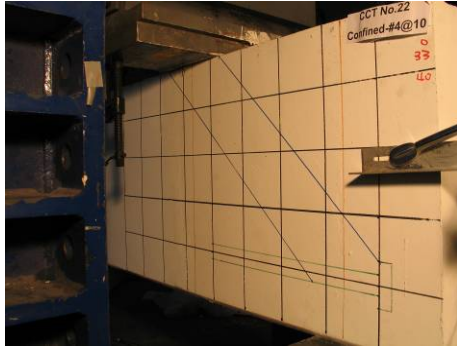
(m)  $P_{test} / P_y = 90\%$



(n) Failure Point

附錄 A-38 圍束-試體 CT22C8D32N1H5T32 於試驗各階段之破壞圖示(續)





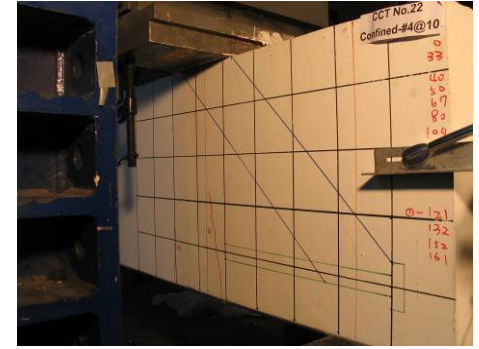
(a)  $P_{test} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{test} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{test} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{test} / P_y = 40\%$



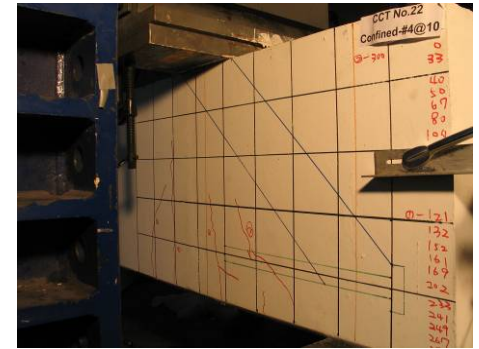
(e)  $P_{test} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{test} / P_y = 60\%$

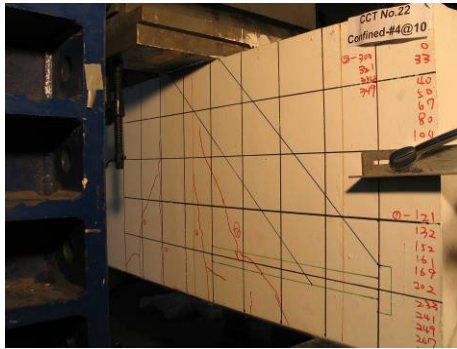


(g)  $P_{test} / P_y = 70\%$

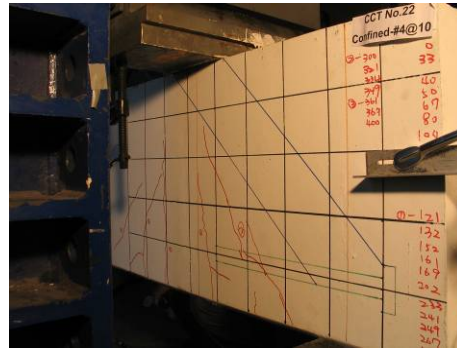


(h)  $P_{test} / P_y = 80\%$

附錄 A-39 圍束-試體 CT22C8D32N1H5T41 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



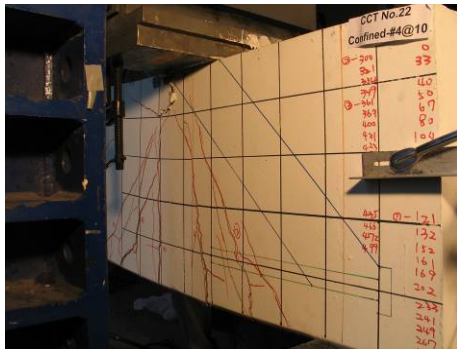
(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



(l)  $P_{\text{test}} / P_y = 120\%$



(m)  $P_{\text{test}} / P_y = 130\%$



(n) Failure Point

附錄 A-39 圍束-試體 CT22C8D32N1H5T41 於試驗各階段之破壞圖示(續)





(a)  $P_{test} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{test} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{test} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{test} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{test} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{test} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{test} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{test} / P_y = 80\%$

附錄 A-40 圍束-試體 CT23C10D3N12H5T32 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



(l)  $P_{\text{test}} / P_y = 120\%$



(m) Failure Point

附錄 A-40 圍束-試體 CT23C10D3N12H5T32 於試驗各階段之破壞圖示(續)





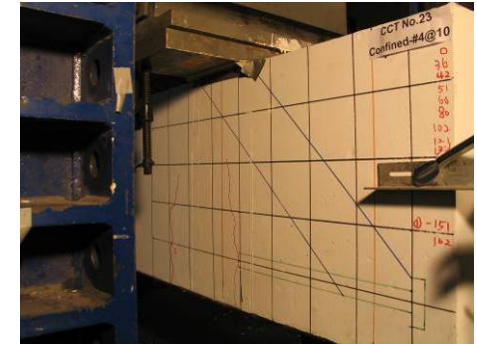
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



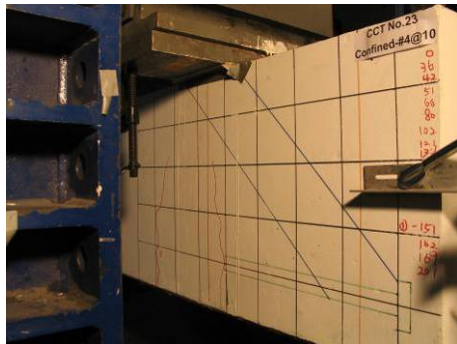
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$

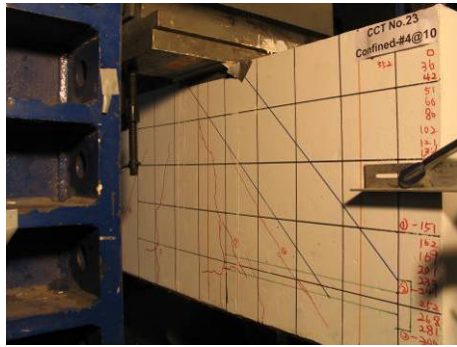


(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$

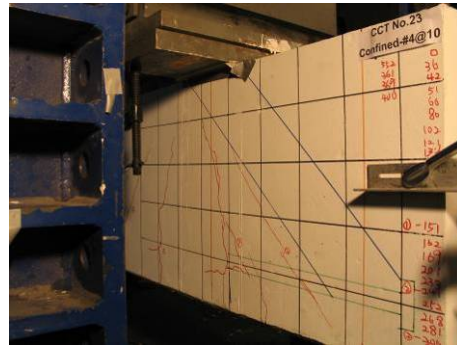


(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

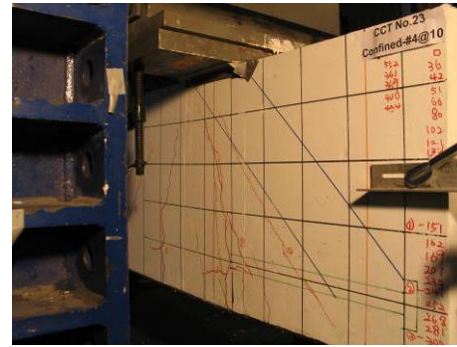
附錄 A-41 圍束-試體 CT23C10D32N1H5T41 於試驗各階段之破壞圖示



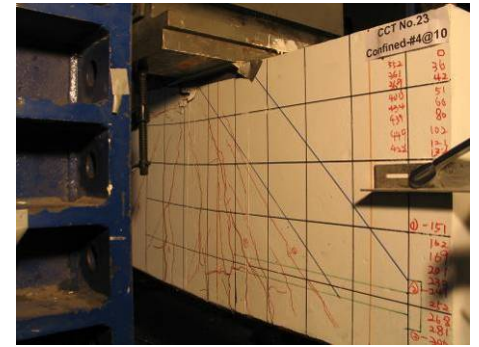
(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



(l) Failure Point

附錄 A-41 圍束-試體 CT23C10D32N1H5T41 於試驗各階段之破壞圖示(續)



(a)  $P_{test} / P_y = 10\%$



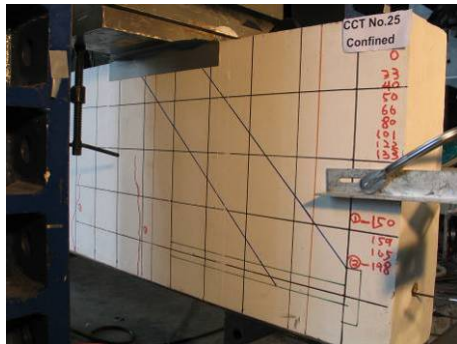
(b)  $P_{test} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{test} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{test} / P_y = 40\%$



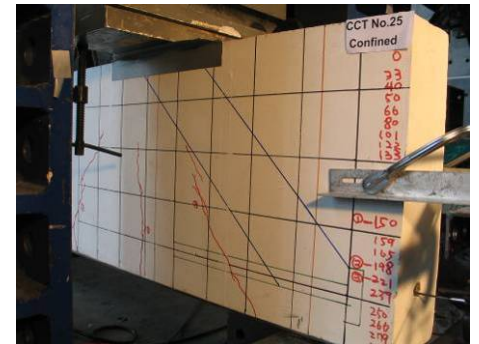
(e)  $P_{test} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{test} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{test} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{test} / P_y = 80\%$

附錄 A-42 圍束-試體 CT25C6D32N1H7T31 於試驗各階段之破壞圖示





(i)  $P_{test} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{test} / P_y = 100\%$



(k)  $P_{test} / P_y = 110\%$



(l)  $P_{test} / P_y = 120\%$



(m) Failure Point

附錄 A-42 圍束-試體 CT25C6D32N1H7T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)



(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



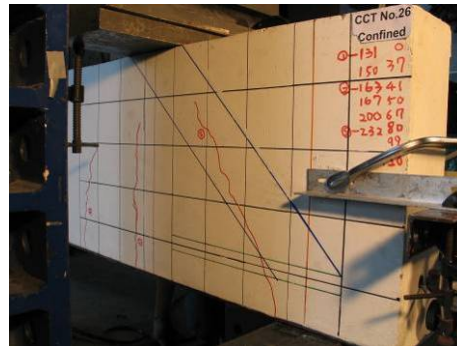
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



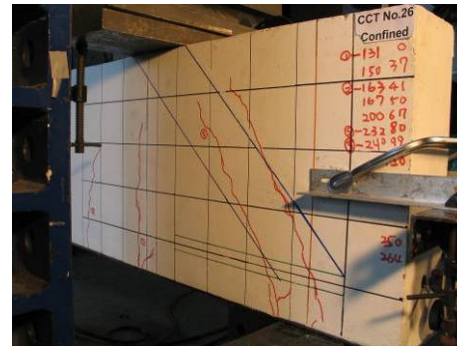
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$

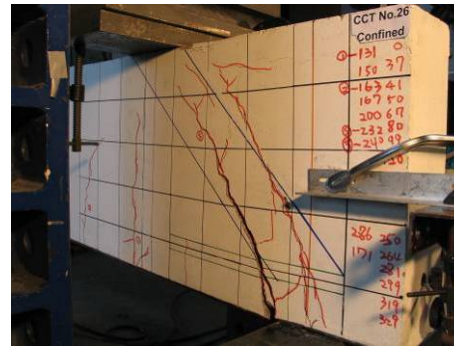


(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-43 圍束-試體 CT26C6D32N1H1T31 於試驗各階段之破壞圖示



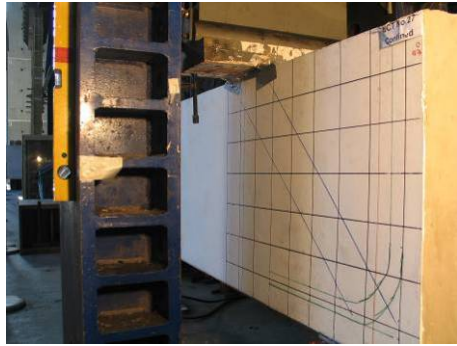
(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



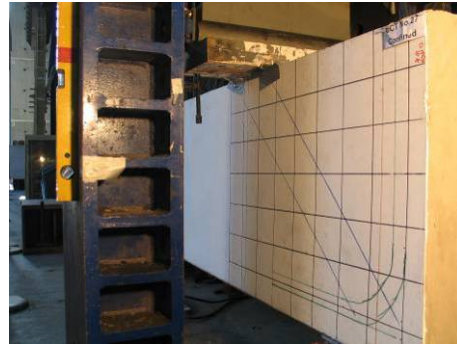
(j) Failure Point

附錄 A-43 圍束-試體 CT26C6D32N1H1T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)

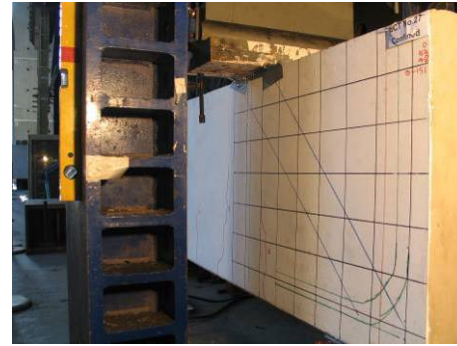




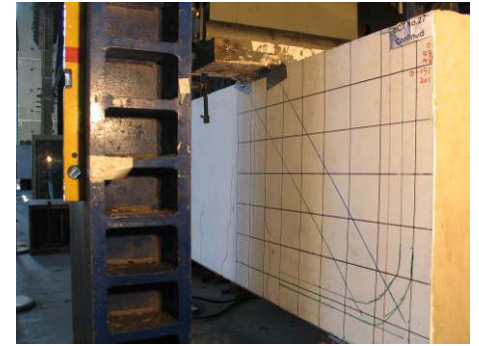
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



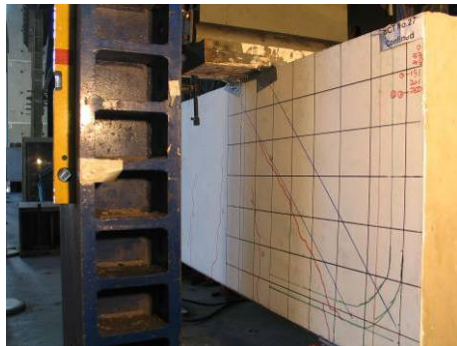
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



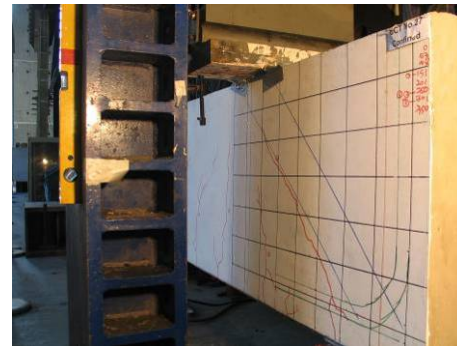
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



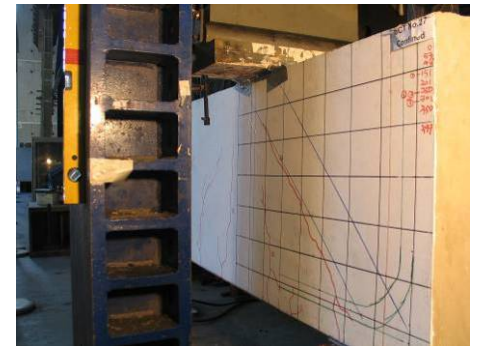
(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$

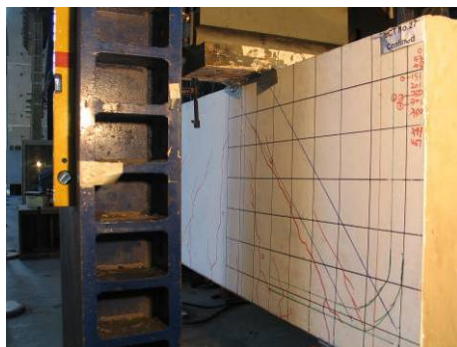


(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

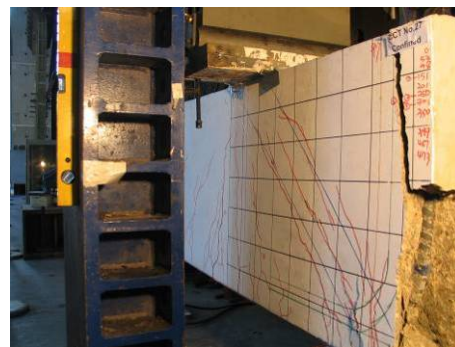
附錄 A-44 圍束-試體 CT27C6D36N1B9T31 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$

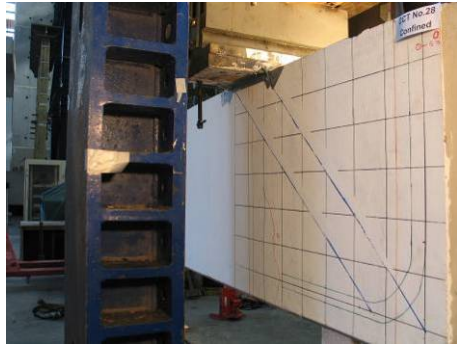


(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$

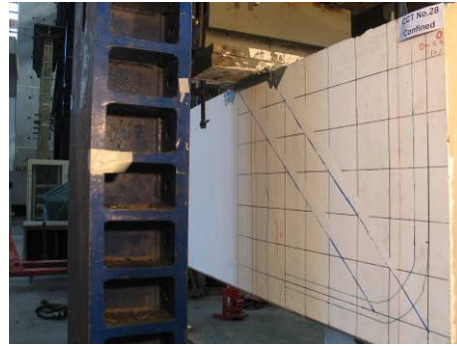


(k) Failure Point

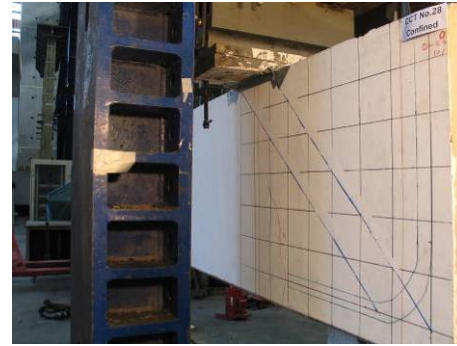
附錄 A-44 圍束-試體 CT27C6D36N1B9T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)



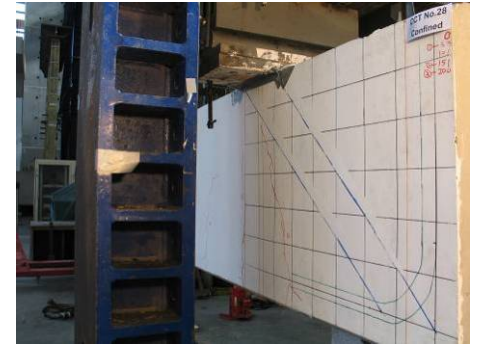
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



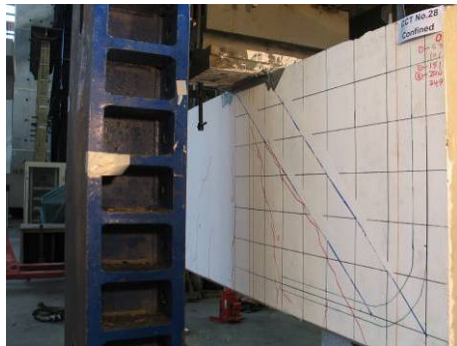
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



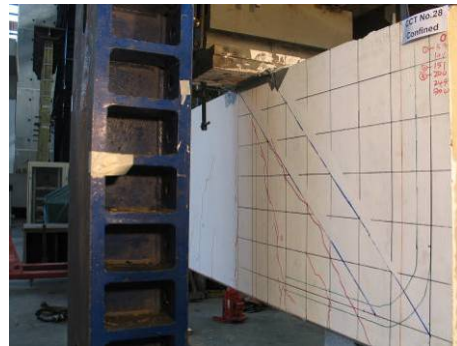
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



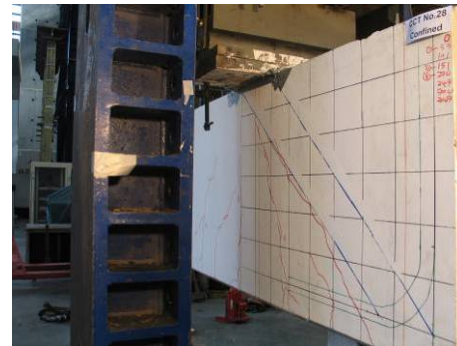
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



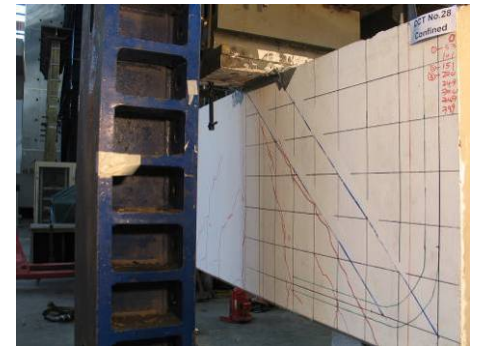
(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 A-45 圍束-試體 CT28C6D36N1B9T31 於試驗各階段之破壞圖示

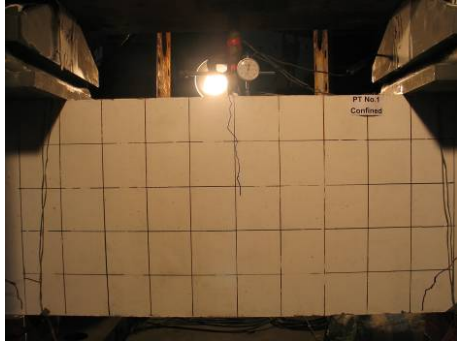


(i) Failure Point

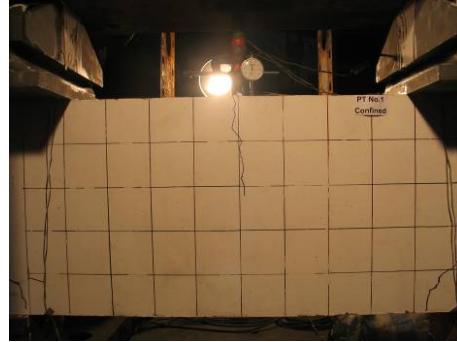
附錄 A-45 圍束-試體 CT28C6D36N1B9T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)



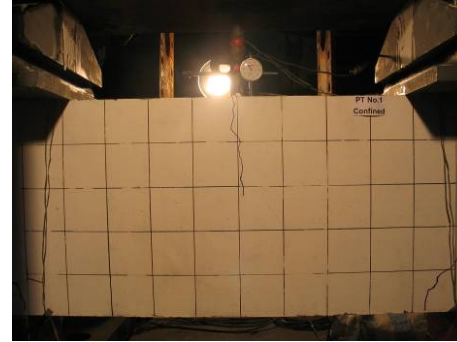
附錄 B



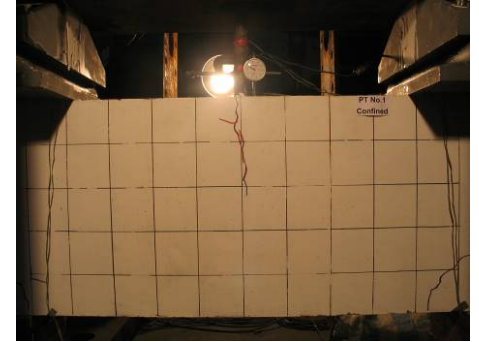
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



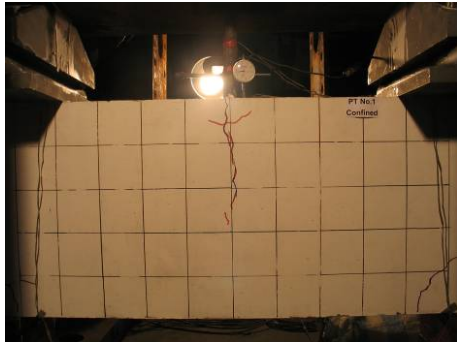
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



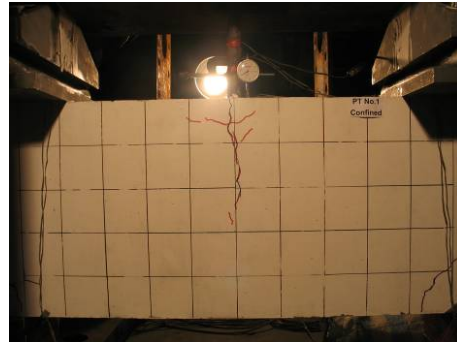
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



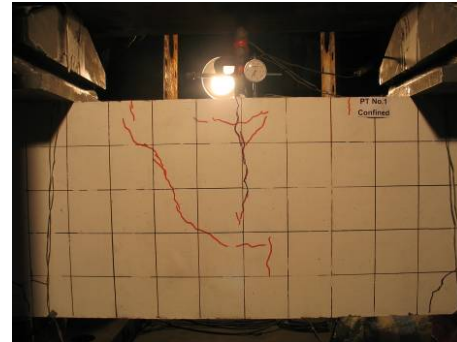
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



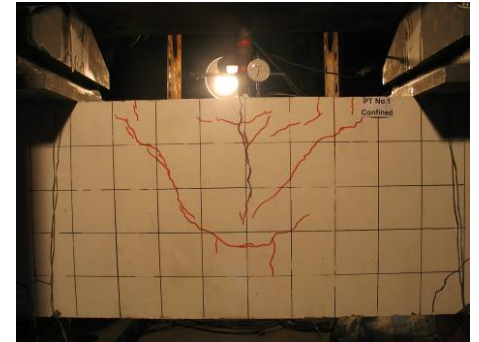
(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 B-1 圍束-試體 P01C06D32H5S064E30T31 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$

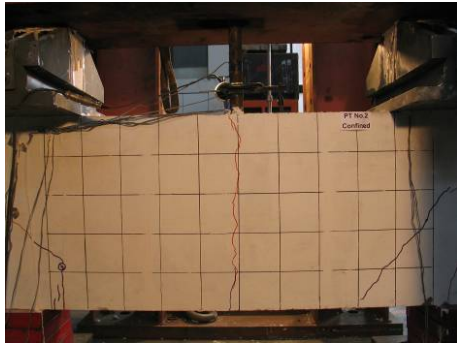


(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$

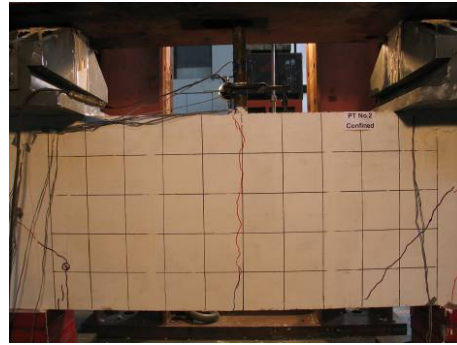


(l) Failure Point

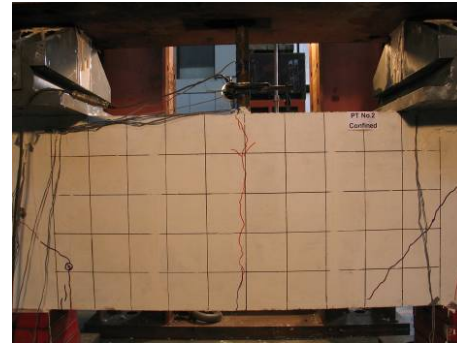
附錄 B-1 圍束-試體 P01C06D32H5S064E30T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)



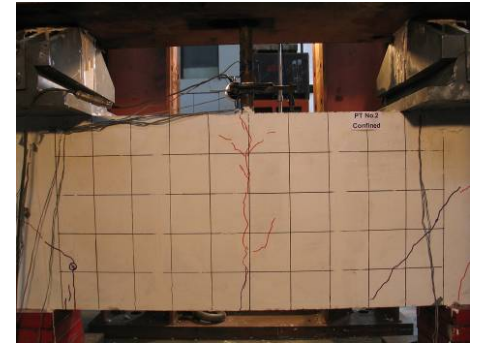
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 B-2 圍束-試體 P02C06D32H5S025E30T31 於試驗各階段之破壞圖示



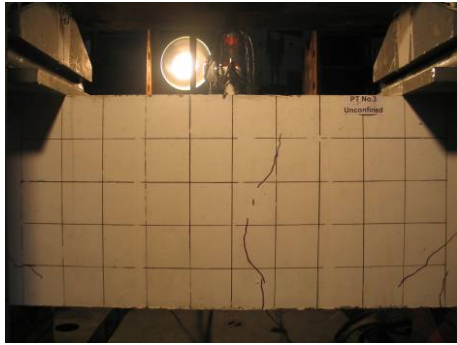
(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



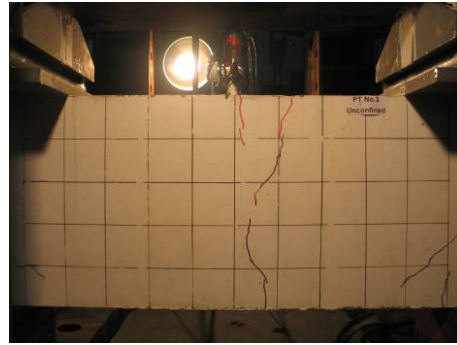
(j) Failure Point

附錄 B-2 圍束-試體 P02C06D32H5S025E30T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)

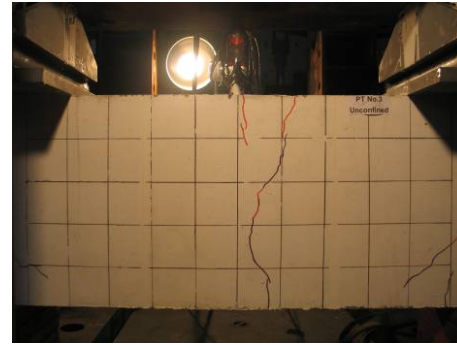




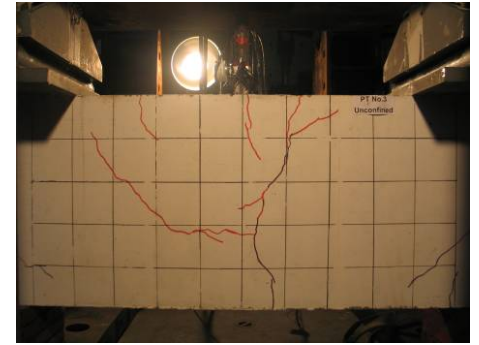
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



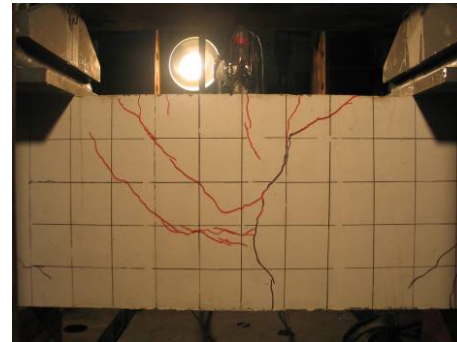
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h) Failure Point

附錄 B-3 未圍束-試體 P03C06D32H5S064E30 於試驗各階段之破壞圖示



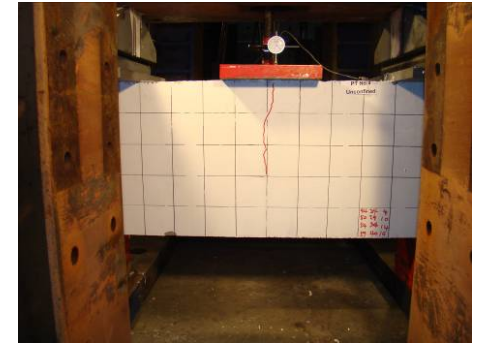
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$

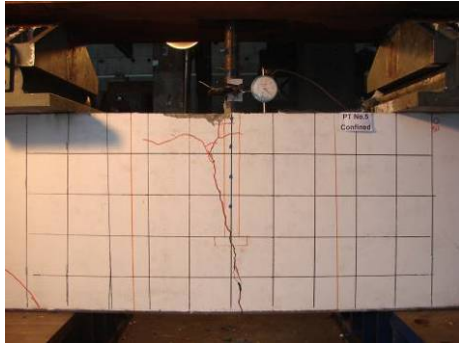


(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$

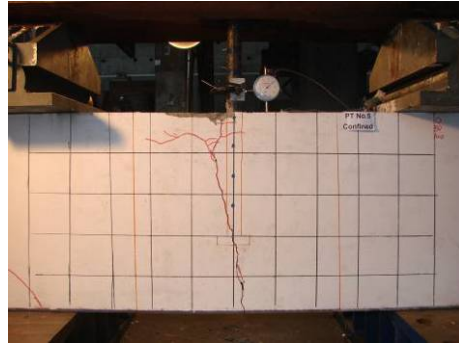


(g) Failure Point

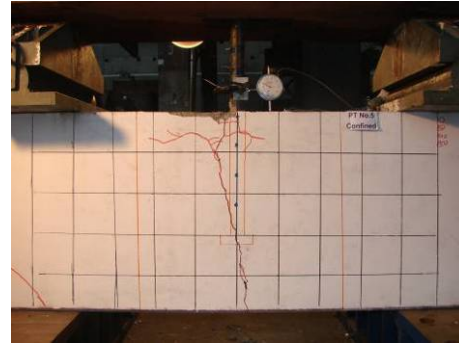
附錄 B-4 未圍束-試體 P04C06D32H1S064E30 於試驗各階段之破壞圖示



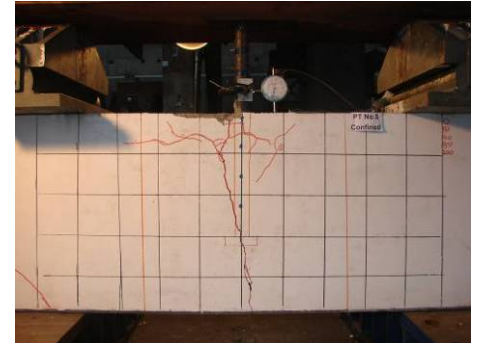
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



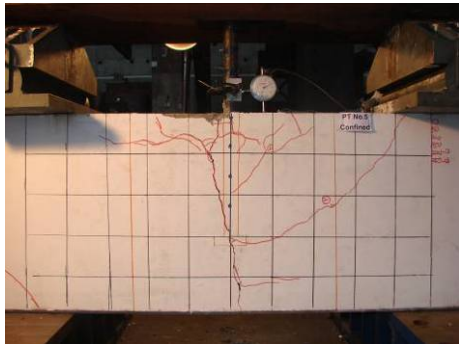
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



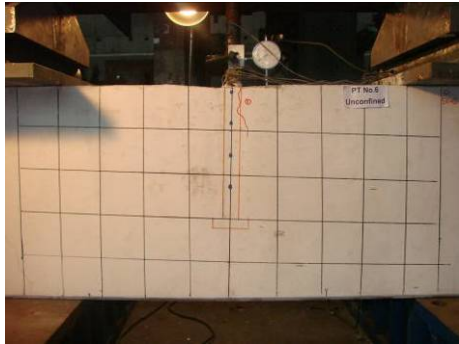
(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



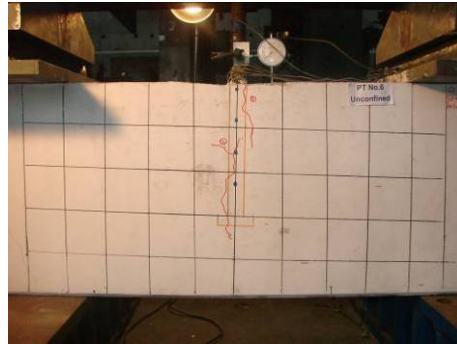
(g) Failure Point

附錄 B-5 圍束-試體 P05C06D36H5S072E30T31 於試驗各階段之破壞圖示

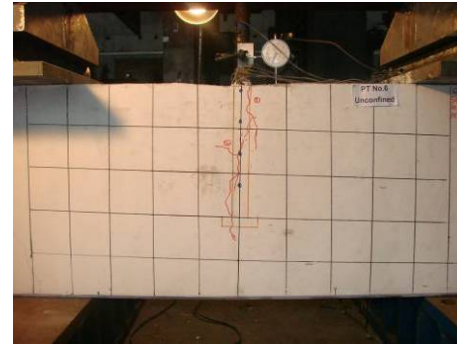




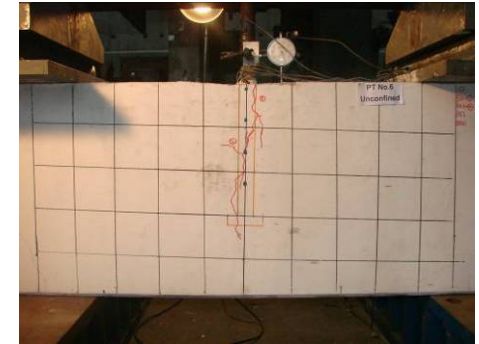
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



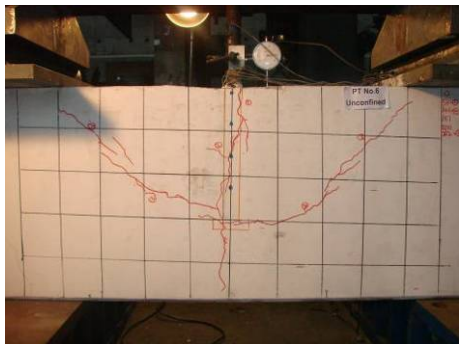
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



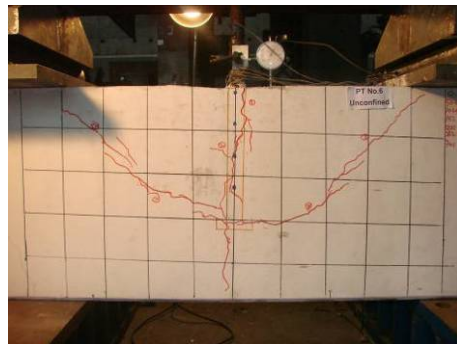
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



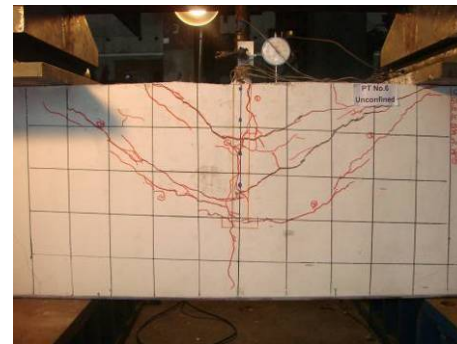
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$

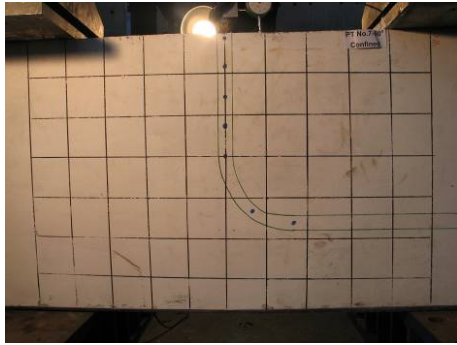


(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$

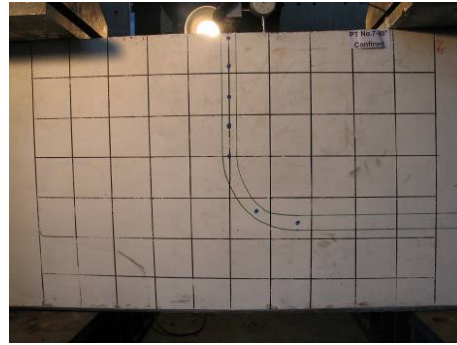


(g) Failure Point

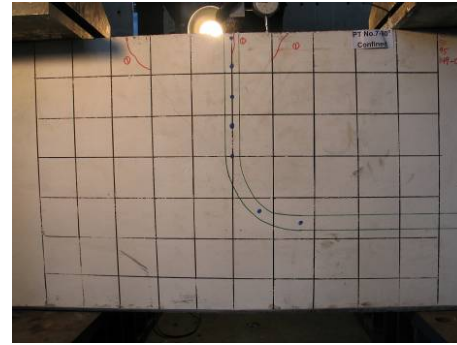
附錄 B-6 未圍束-試體 P06C06D36H1S072E30 於試驗各階段之破壞圖示



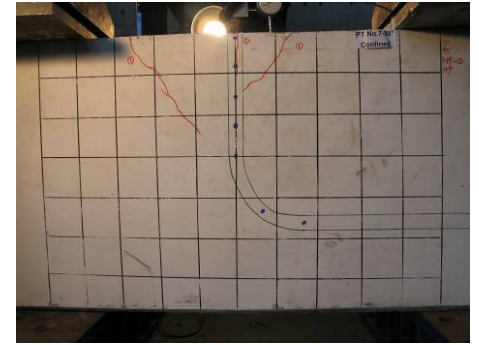
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



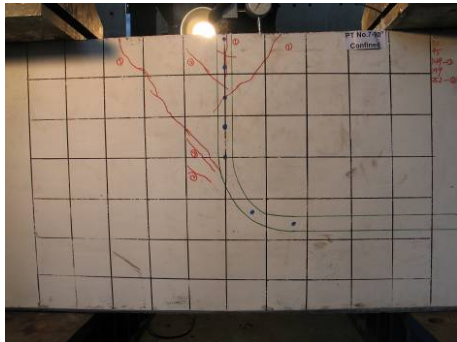
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



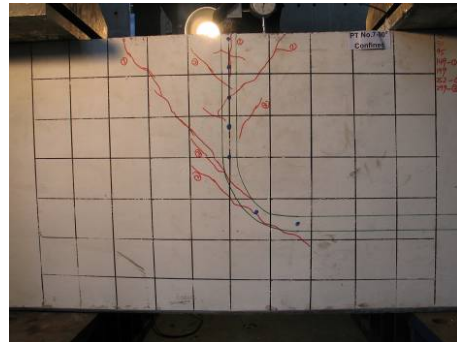
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



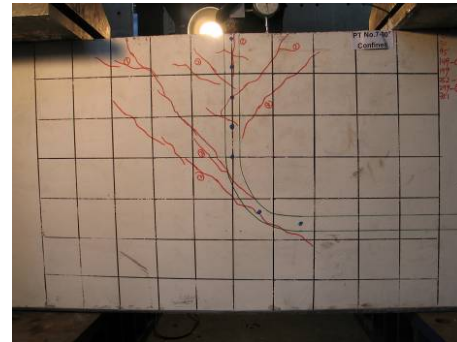
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$

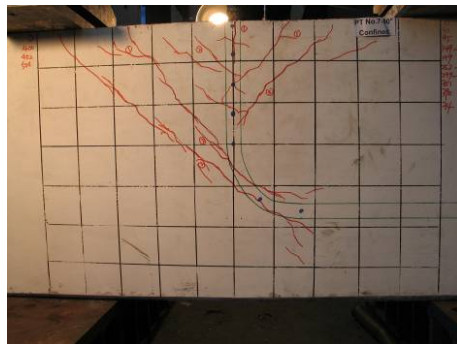


(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

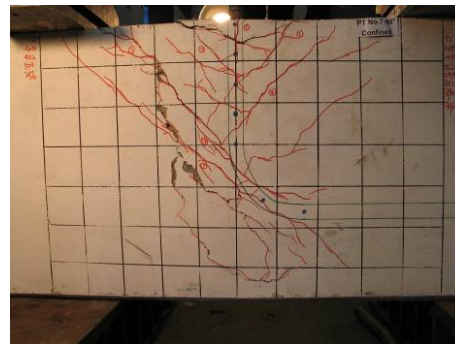
附錄 B-7 未圍束-試體 P07C06D36B9S062E30T31 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



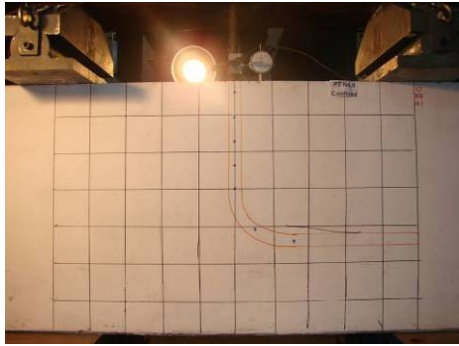
(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



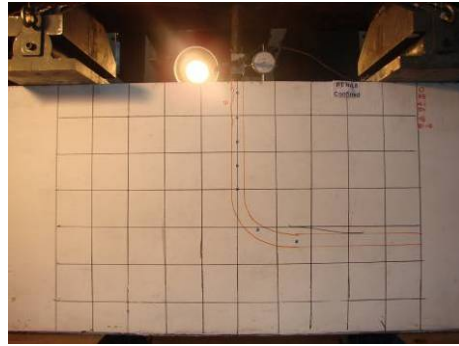
(k) Failure Point

附錄 B-7 未圍束-試體 P07C06D36B9S062E30T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)

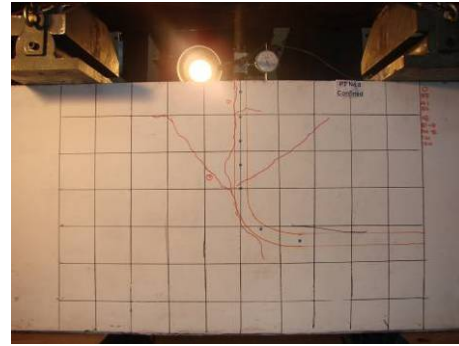




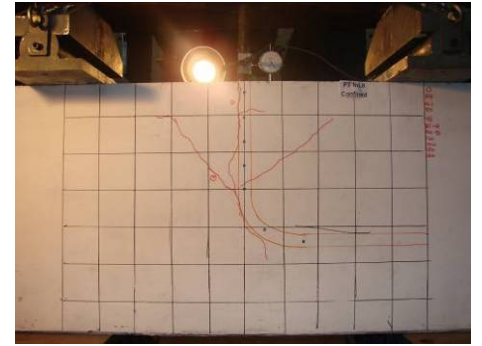
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



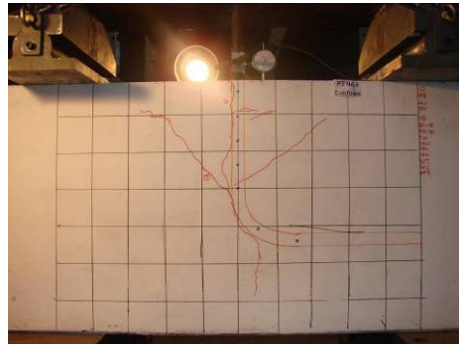
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



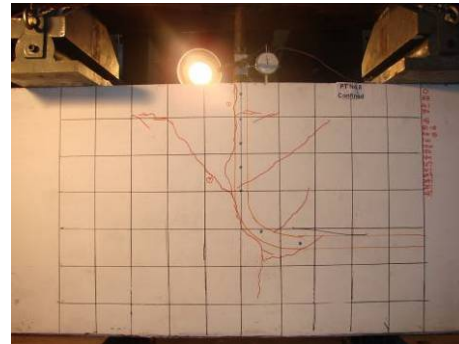
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$

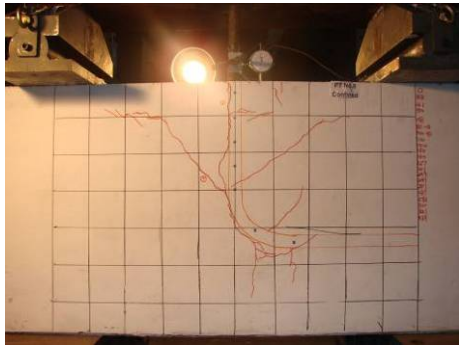


(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$

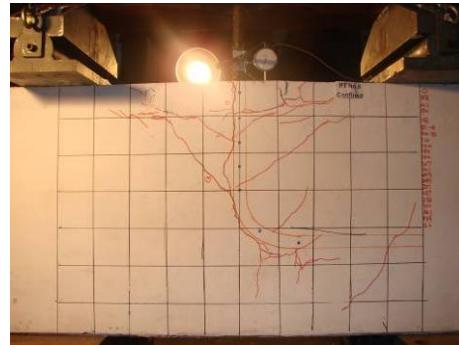


(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 B-8 未圍束-試體 P08C06D32B9S064E30T31 於試驗各階段之破壞圖示

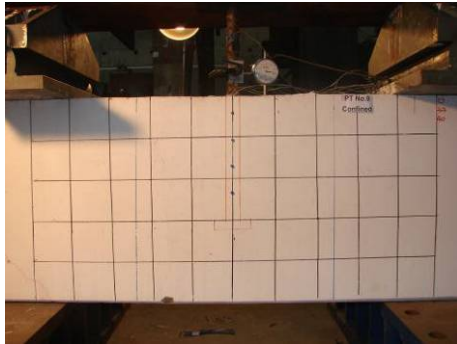


(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$

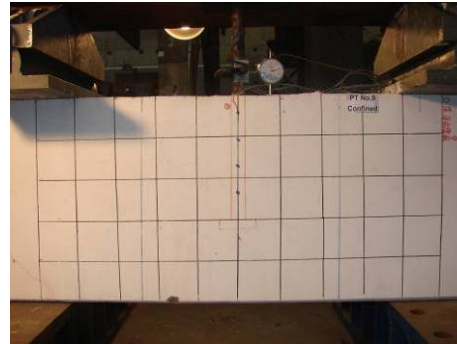


(j) Failure Point

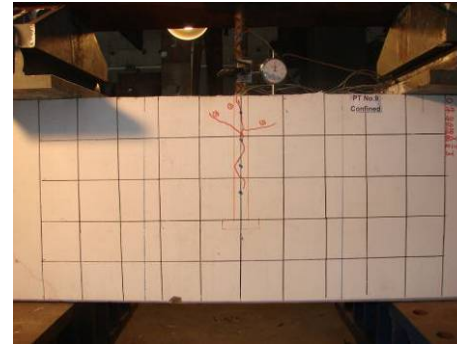
附錄 B-8 未圍束-試體 P08C06D32B9S064E30T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)



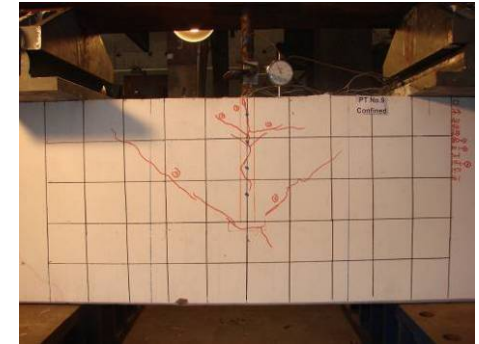
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



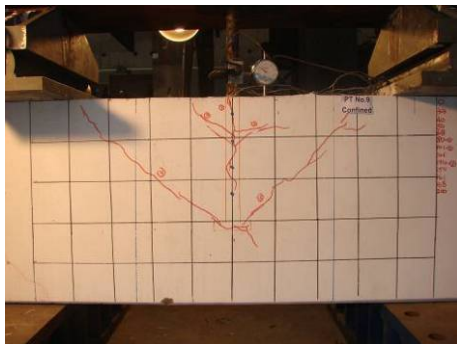
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



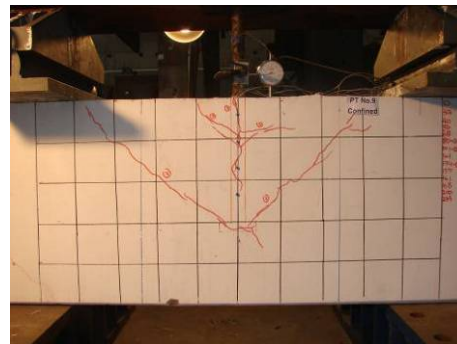
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



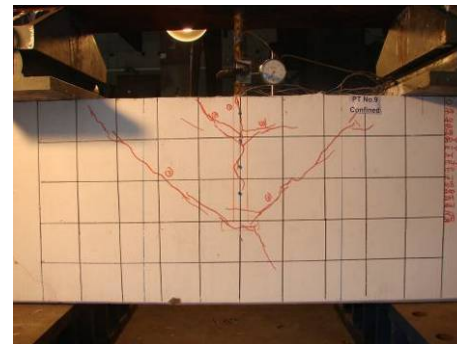
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



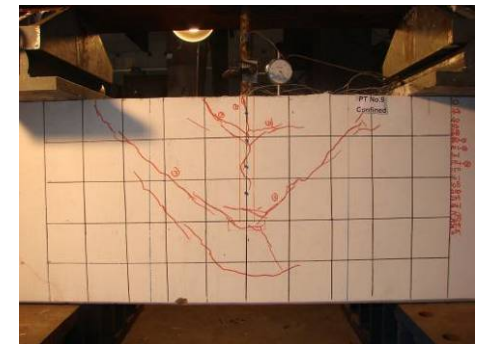
(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



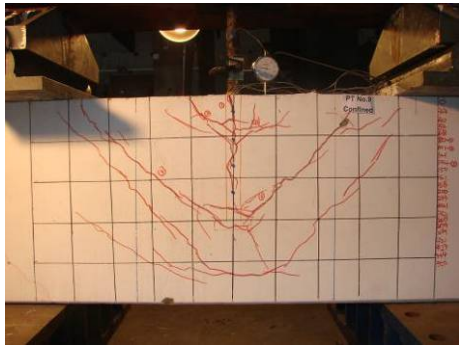
(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



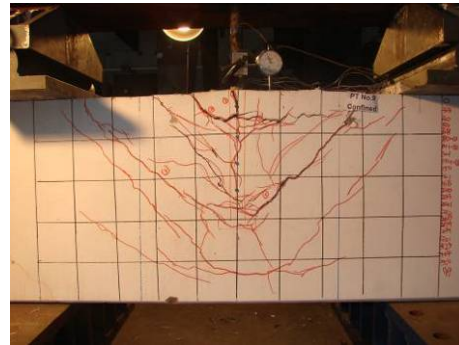
(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 B-9 未圍束-試體 P09C06D32H7S064E30T31 於試驗各階段之破壞圖示



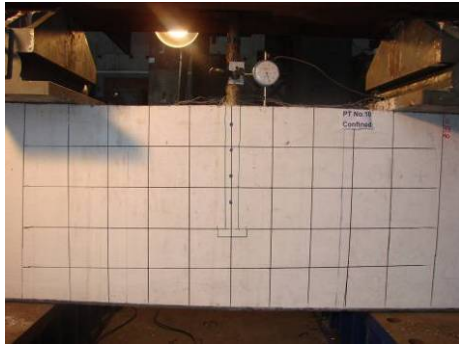


(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$

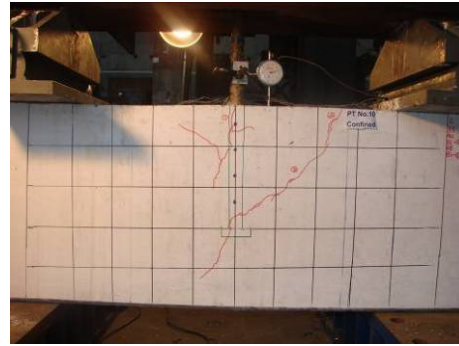


(j) Failure Point

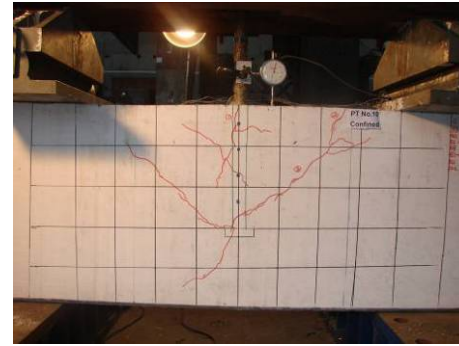
附錄 B-9 未圍束-試體 P09C06D32H7S064E30T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)



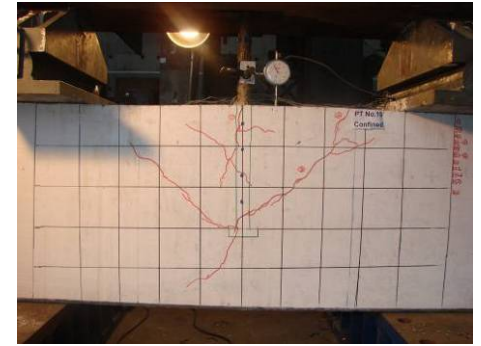
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



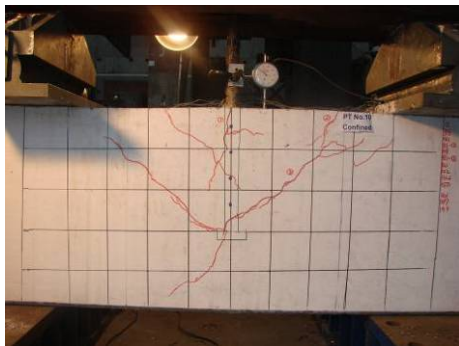
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



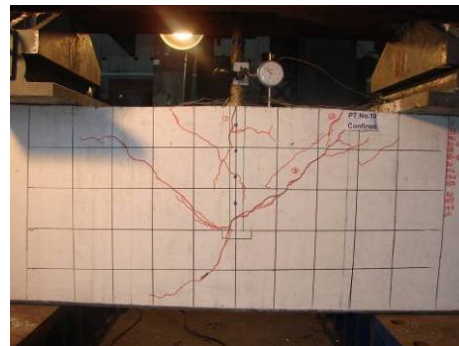
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



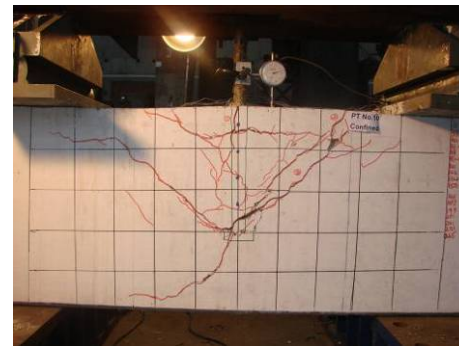
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



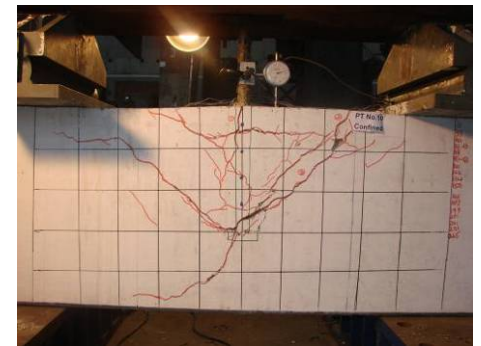
(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$

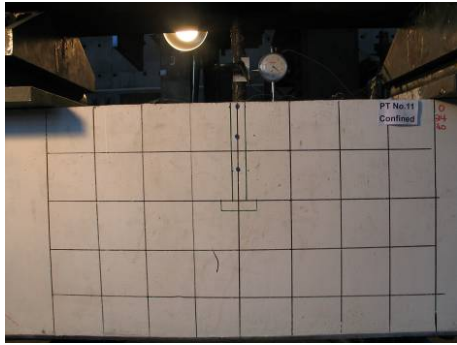


(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$

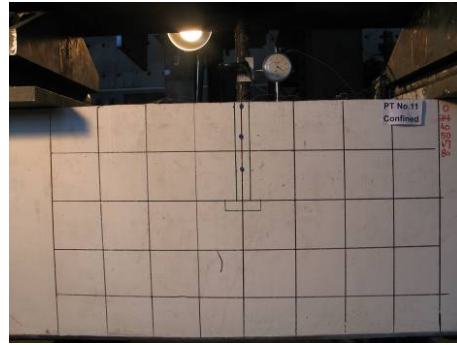


(h) Failure Point

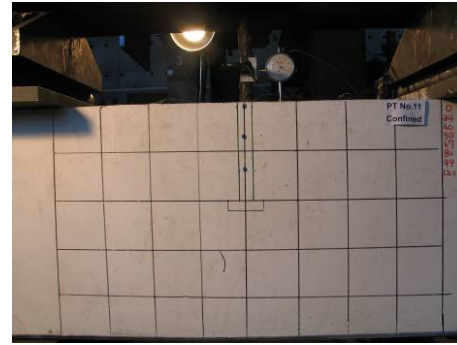
附錄 B-10 未圍束-試體 P10C06D32H3S059E30T31 於試驗各階段之破壞圖示



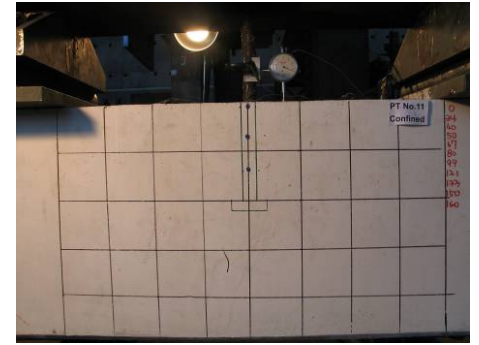
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



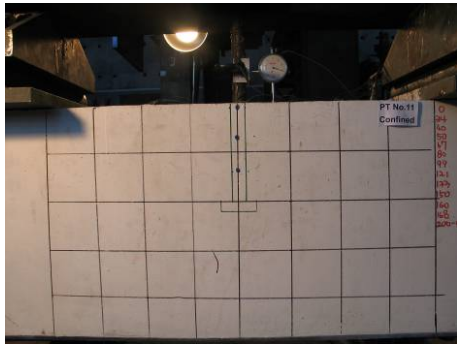
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



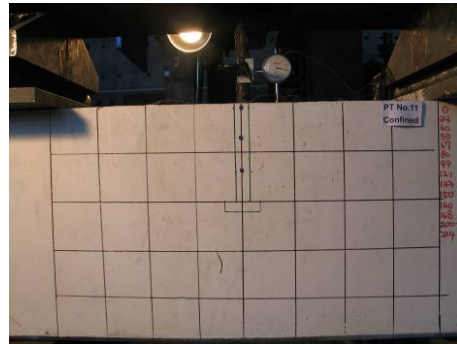
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



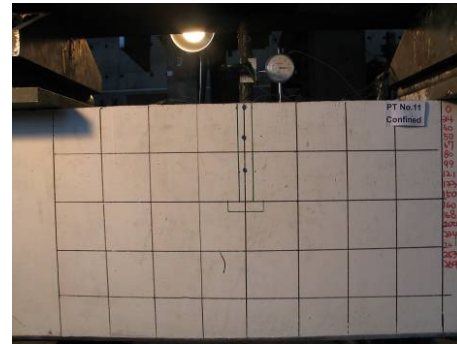
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



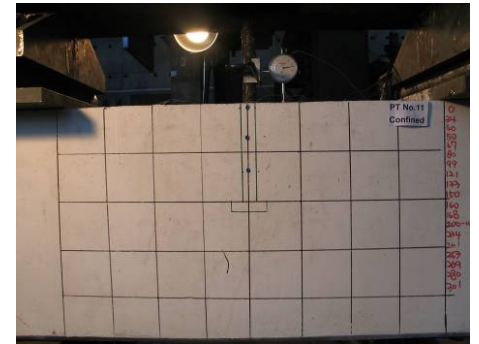
(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$

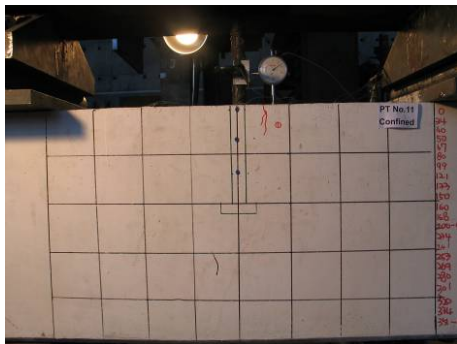


(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$

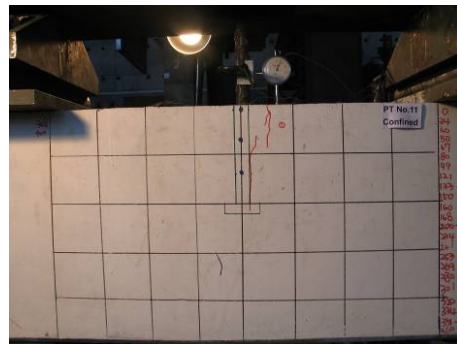


(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

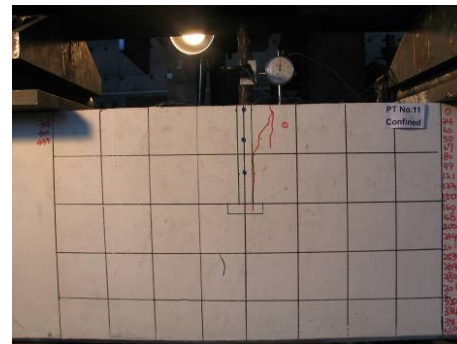
附錄 B-11 未圍束-試體 P11C06D32H5S144E20T31 於試驗各階段之破壞圖示



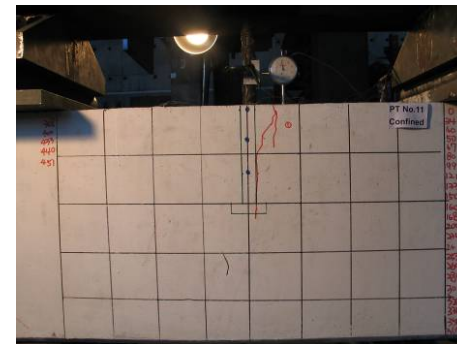
(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



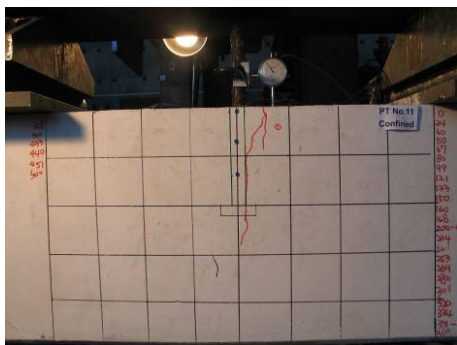
(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



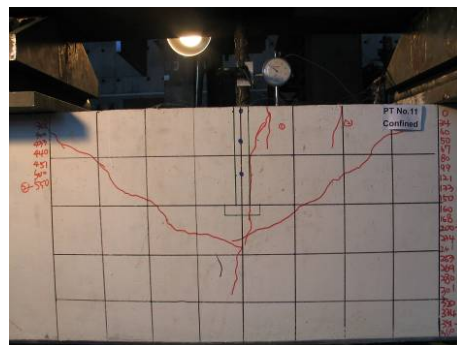
(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



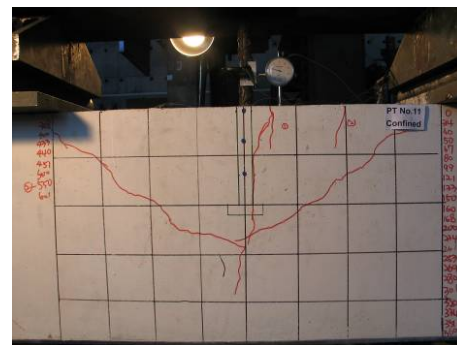
(l)  $P_{\text{test}} / P_y = 120\%$



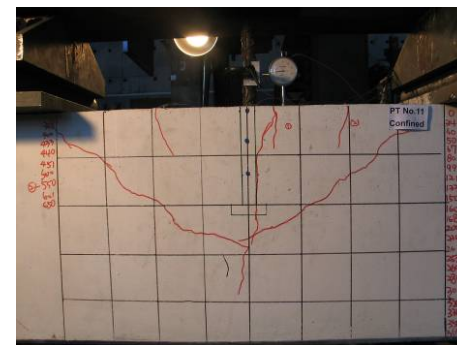
(m)  $P_{\text{test}} / P_y = 130\%$



(n)  $P_{\text{test}} / P_y = 140\%$



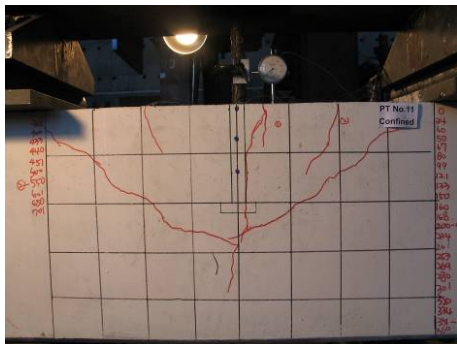
(o)  $P_{\text{test}} / P_y = 150\%$



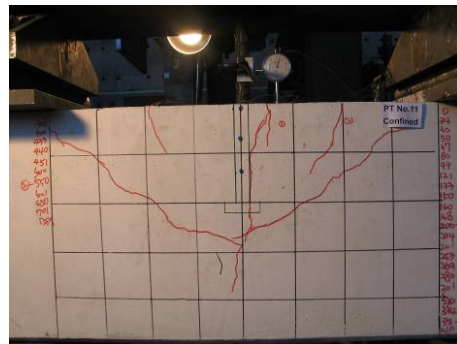
(p)  $P_{\text{test}} / P_y = 160\%$

附錄 B-11 未圍束-試體 P11C06D32H5S144E20T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)

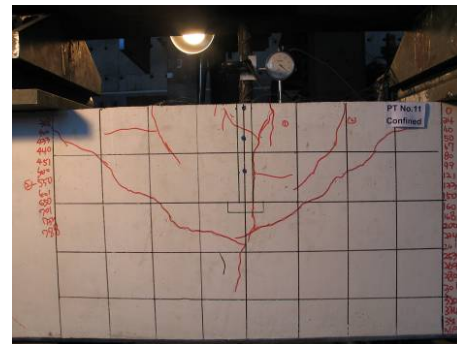




(q)  $P_{\text{test}} / P_y = 170\%$



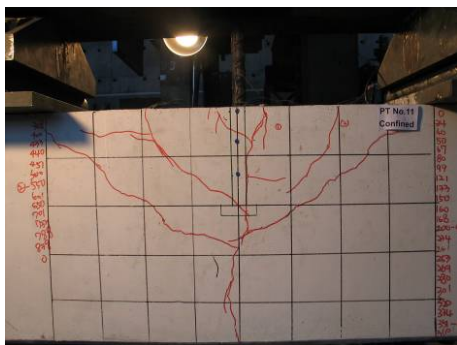
(r)  $P_{\text{test}} / P_y = 180\%$



(s)  $P_{\text{test}} / P_y = 190\%$

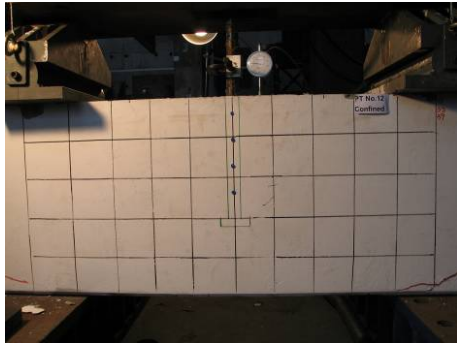


(t)  $P_{\text{test}} / P_y = 200\%$

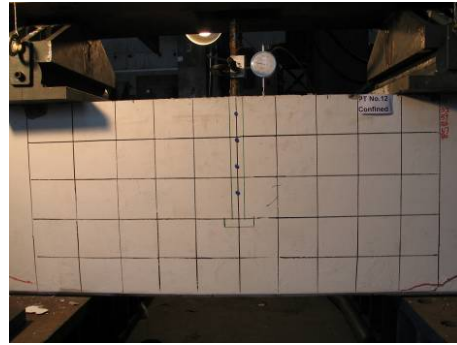


(u) Failure Point

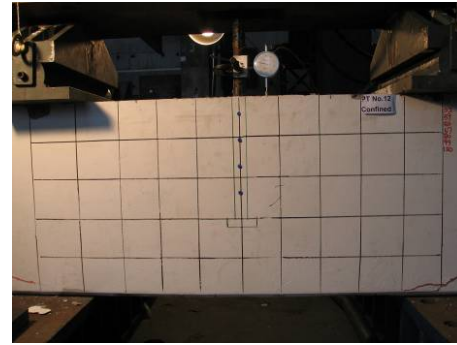
附錄 B-11 未圍束-試體 P11C06D32H5S144E20T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)



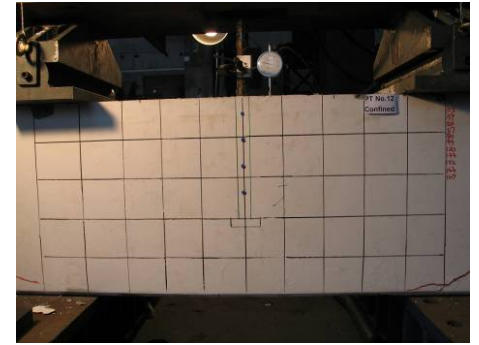
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



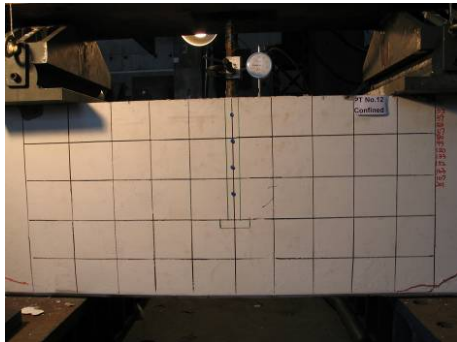
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



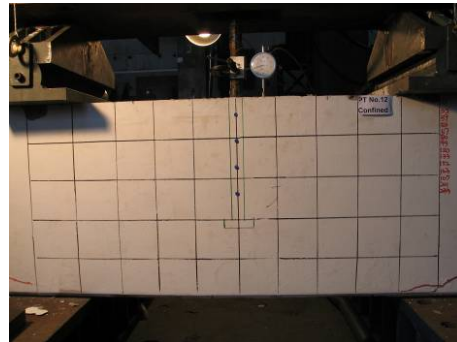
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 B-12 未圍束-試體 P12C06D32H5S100E30T31 於試驗各階段之破壞圖示





(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



(l)  $P_{\text{test}} / P_y = 120\%$



(m)  $P_{\text{test}} / P_y = 130\%$



(n)  $P_{\text{test}} / P_y = 140\%$



(o)  $P_{\text{test}} / P_y = 150\%$



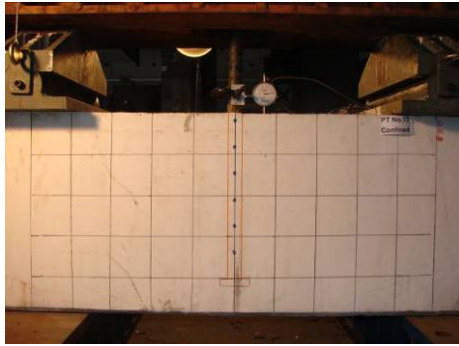
(p)  $P_{\text{test}} / P_y = 160\%$

附錄 B-12 未圍束-試體 P12C06D32H5S100E30T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)

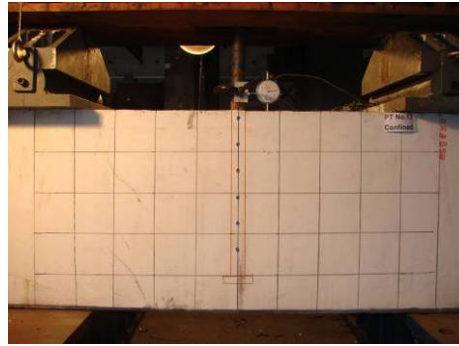


(q) Failure Point

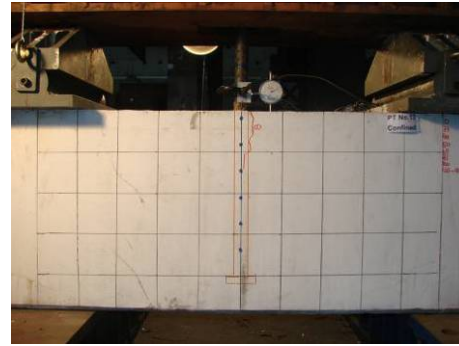
附錄 B-12 未圍束-試體 P12C06D32H5S100E30T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)



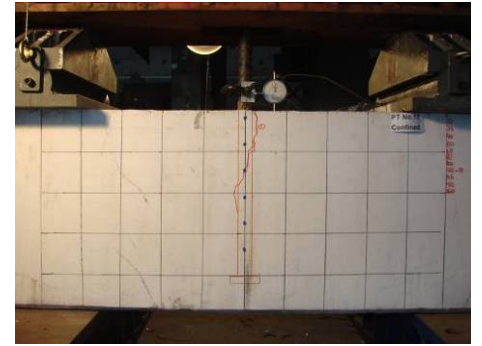
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



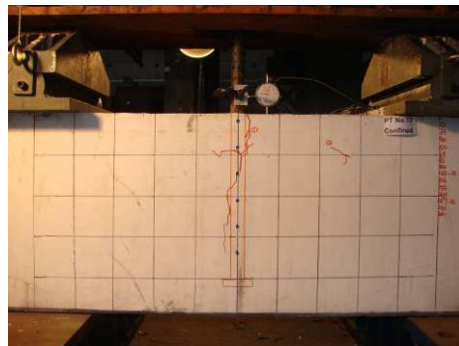
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



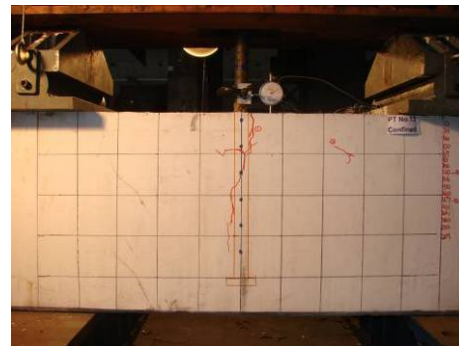
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



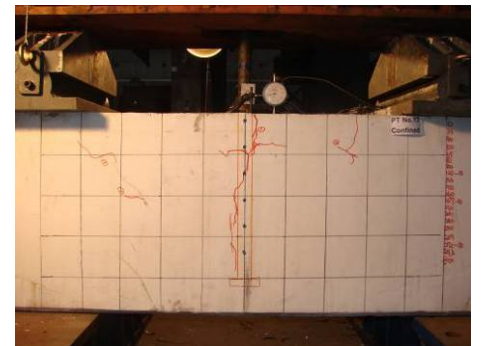
(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$

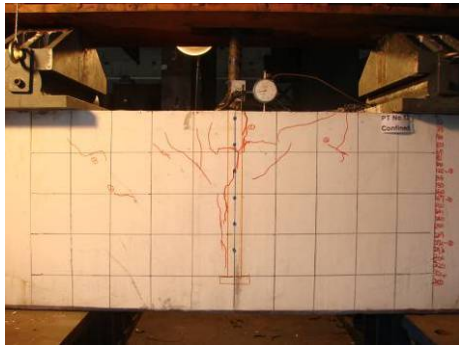


(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$

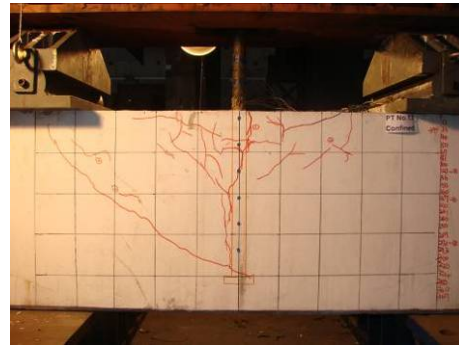


(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

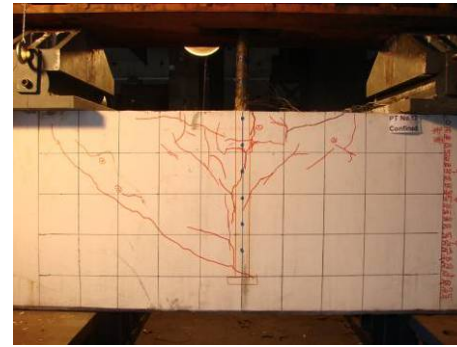
附錄 B-13 未圍束-試體 P13C06D32H5S164E40T31 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



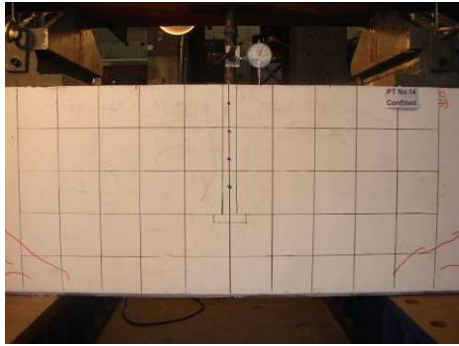
(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



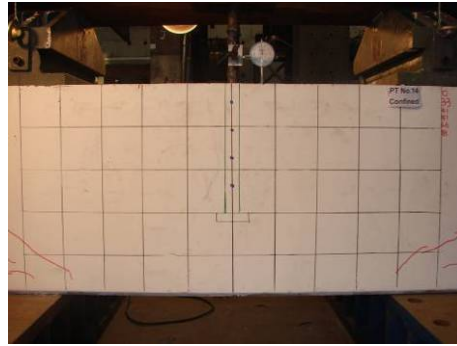
(k) Failure Point

附錄 B-13 未圍束-試體 P13C06D32H5S164E40T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)

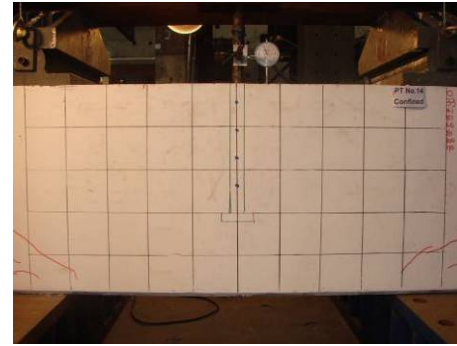




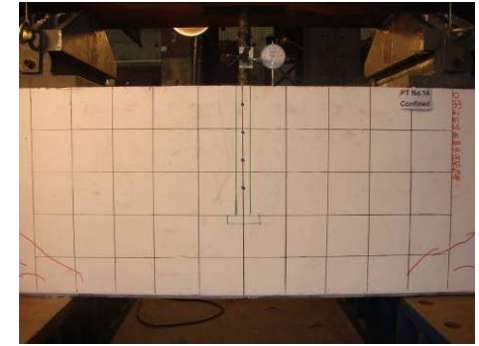
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



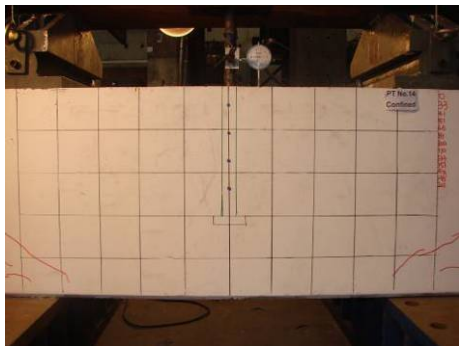
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



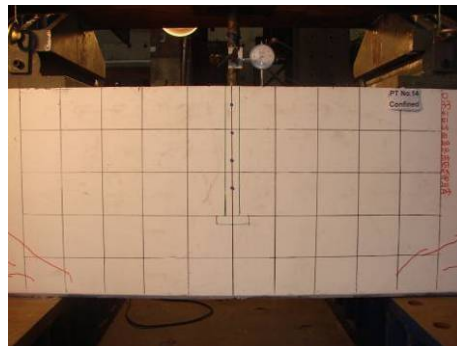
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



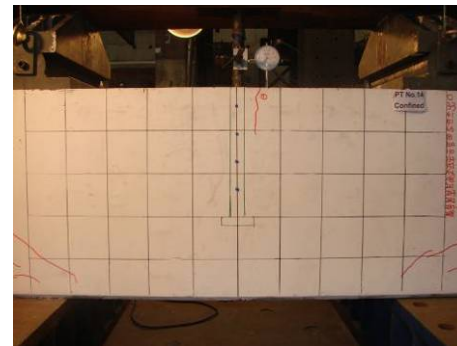
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



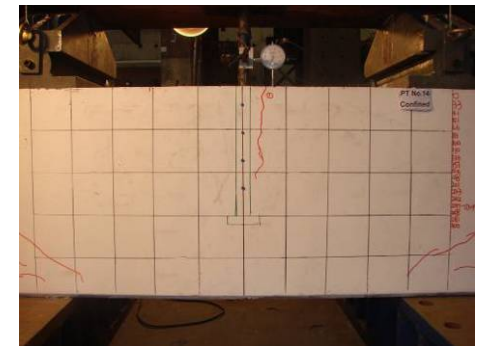
(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$

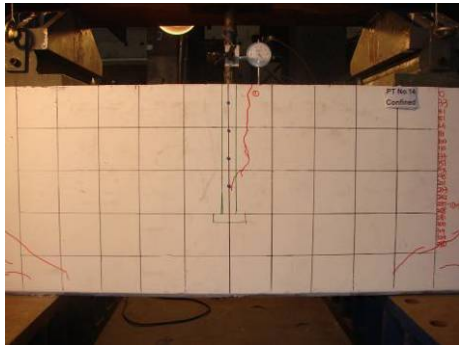


(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$

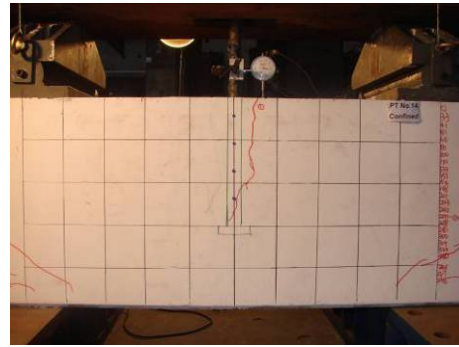


(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

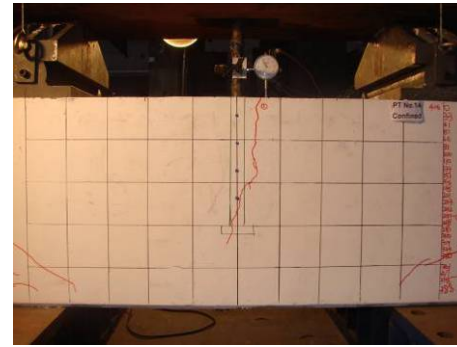
附錄 B-14 未圍束-試體 P14C06D32H5S200E30T31 於試驗各階段之破壞圖示



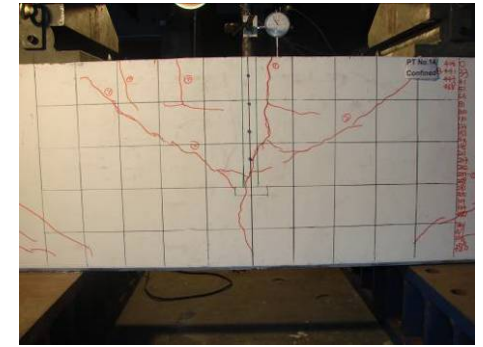
(i)  $P_{test} / P_y = 90\%$



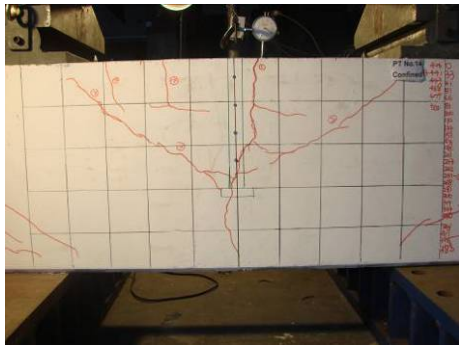
(j)  $P_{test} / P_y = 100\%$



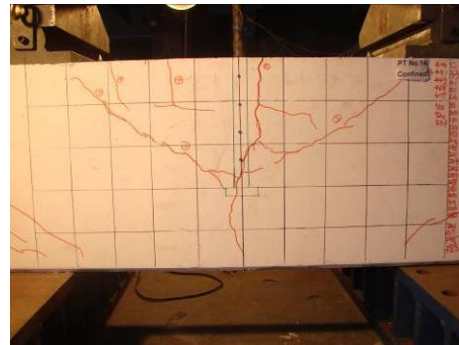
(k)  $P_{test} / P_y = 110\%$



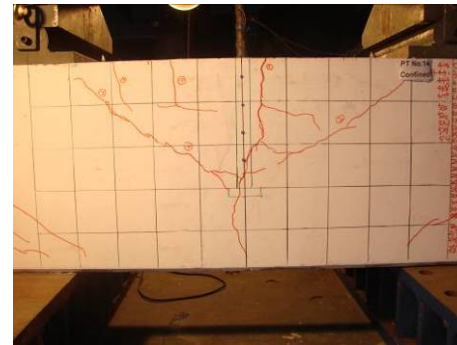
(l)  $P_{test} / P_y = 120\%$



(m)  $P_{test} / P_y = 130\%$



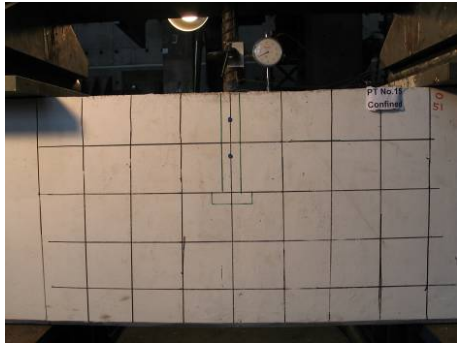
(n)  $P_{test} / P_y = 140\%$



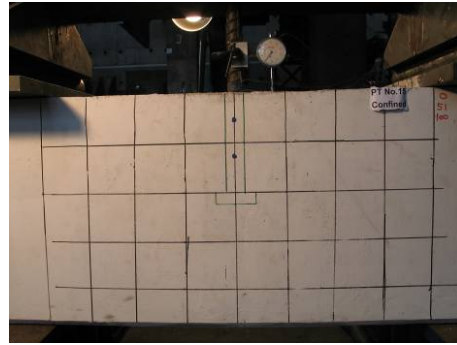
(o) Failure Point

附錄 B-14 未圍束-試體 P14C06D32H5S200E30T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)





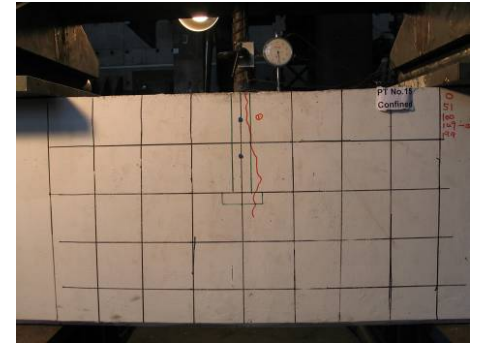
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 B-15 未圍束-試體 P15C06D36H5S142E20T31 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



(l)  $P_{\text{test}} / P_y = 120\%$



(m)  $P_{\text{test}} / P_y = 130\%$



(n)  $P_{\text{test}} / P_y = 140\%$



(o)  $P_{\text{test}} / P_y = 150\%$



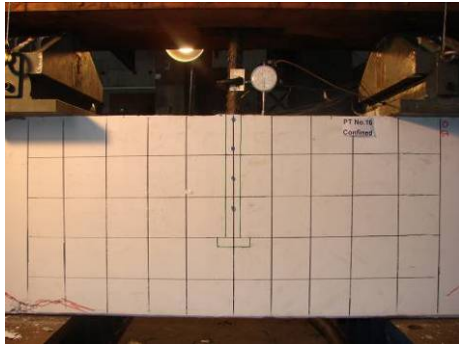
(o)  $P_{\text{test}} / P_y = 160\%$

附錄 B-15 未圍束-試體 P15C06D36H5S142E20T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)

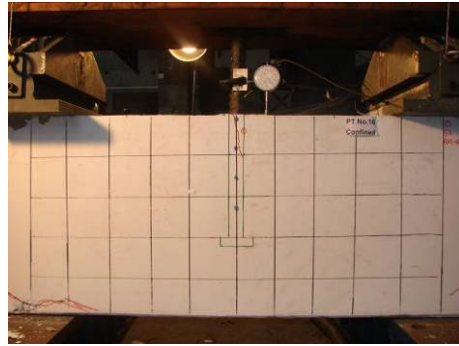


(p) Failure Point

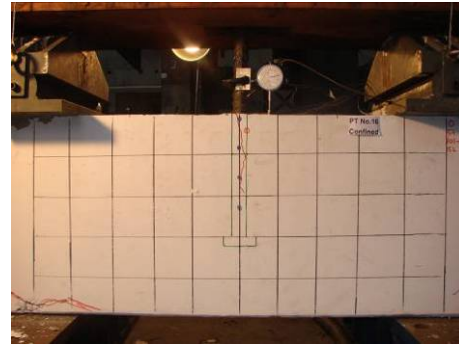
附錄 B-15 未圍束-試體 P15C06D36H5S142E20T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)



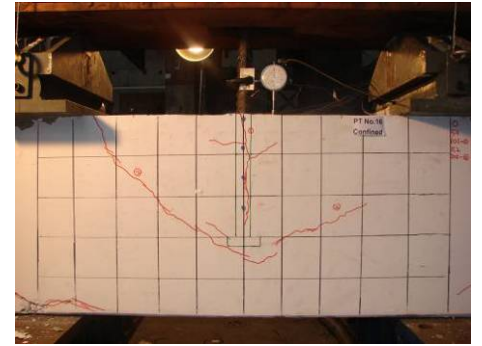
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



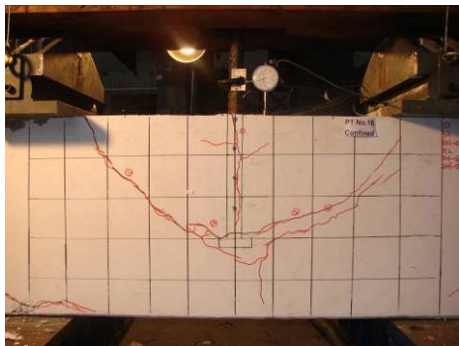
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



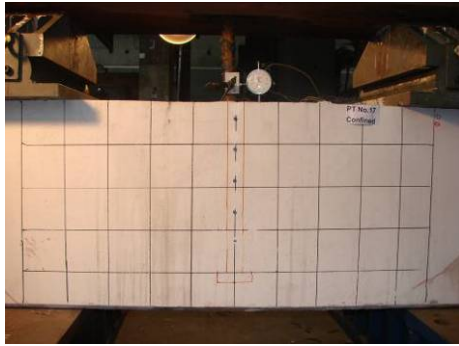
(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



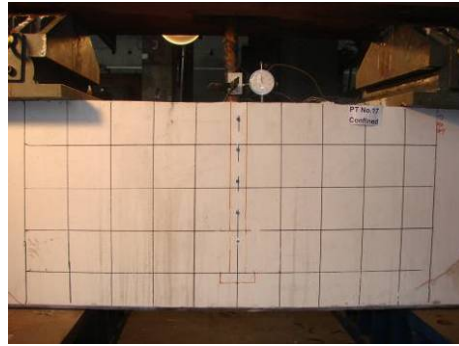
(g) Failure Point

附錄 B-16 未圍束-試體 P16C06D36H5S100E30T31 於試驗各階段之破壞圖示

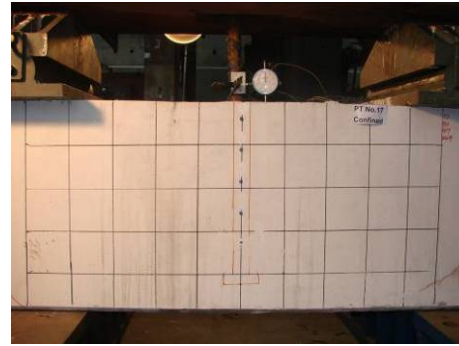




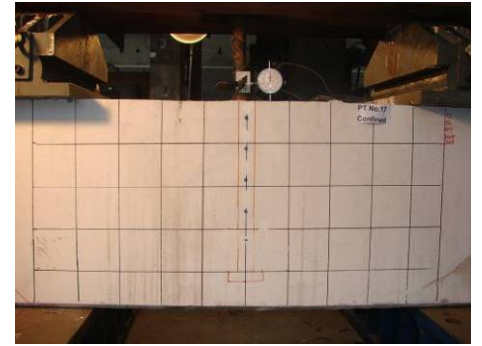
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



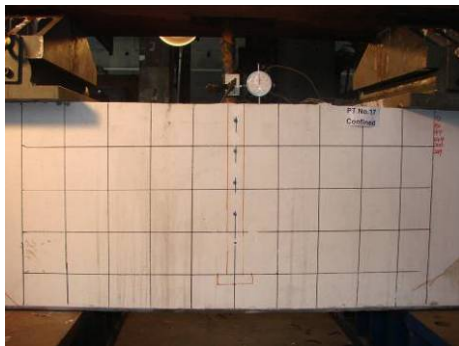
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



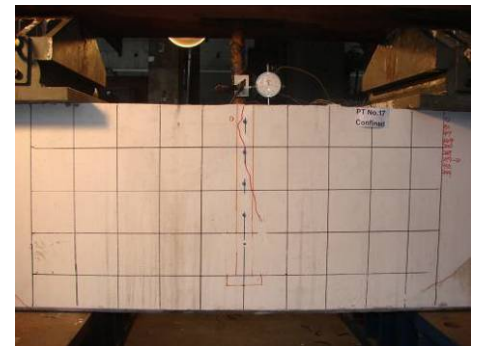
(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$

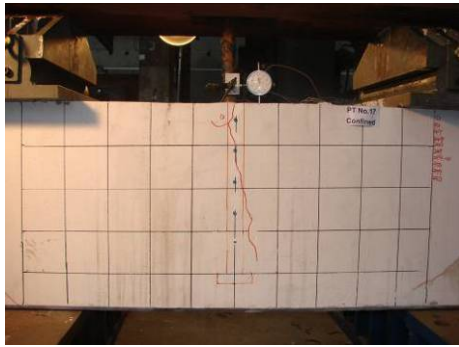


(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$

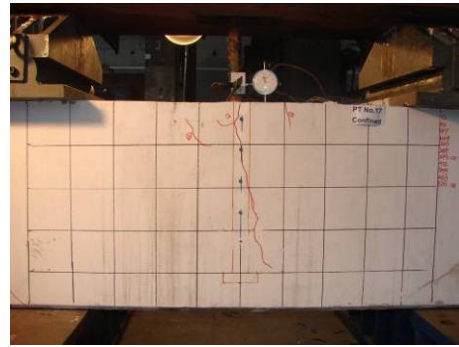


(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

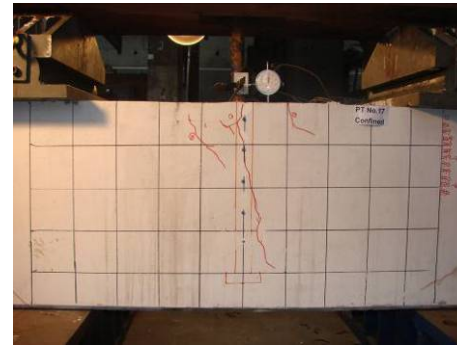
附錄 B-17 未圍束-試體 P17C06D36H5S162E40T31 於試驗各階段之破壞圖示



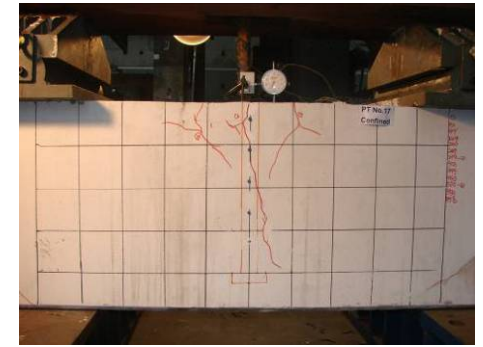
(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



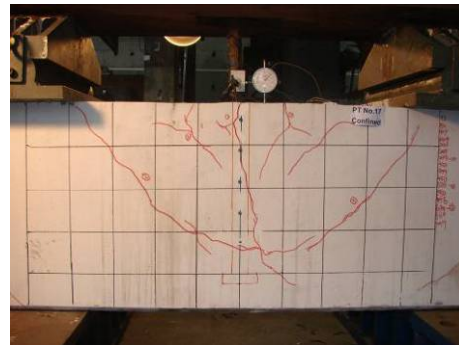
(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



(l)  $P_{\text{test}} / P_y = 120\%$



(m)  $P_{\text{test}} / P_y = 130\%$



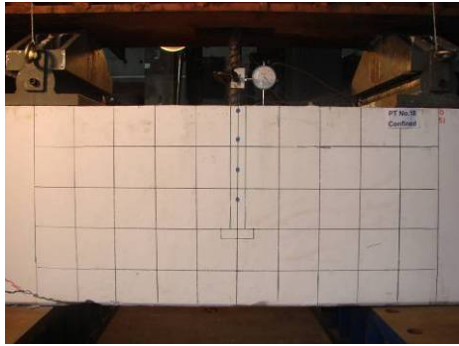
(n)  $P_{\text{test}} / P_y = 140\%$



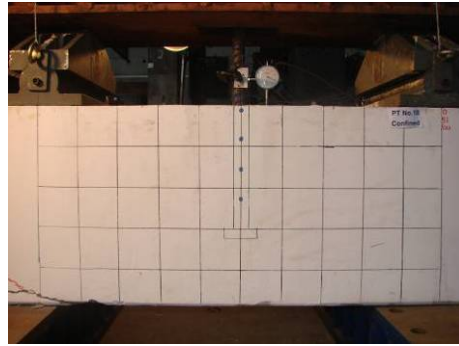
(o) Failure Point

附錄 B-17 未圍束-試體 P17C06D36H5S162E40T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)

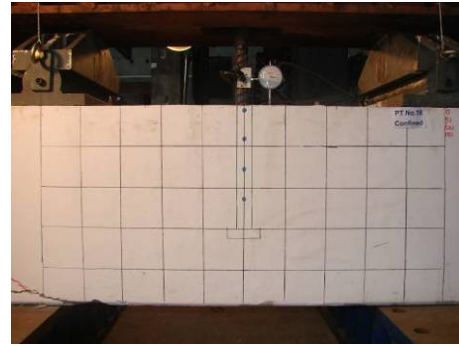




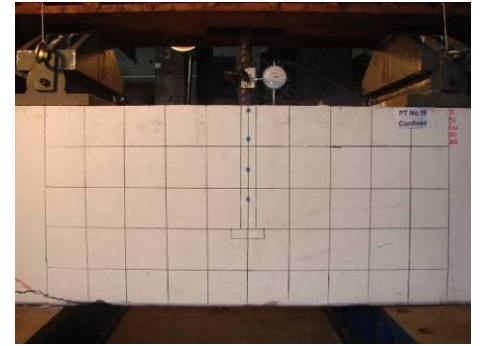
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



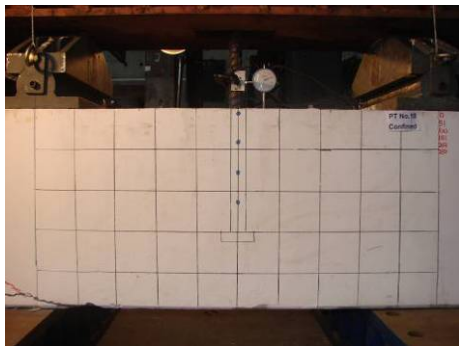
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



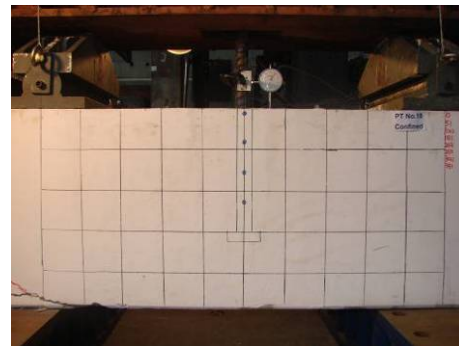
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$

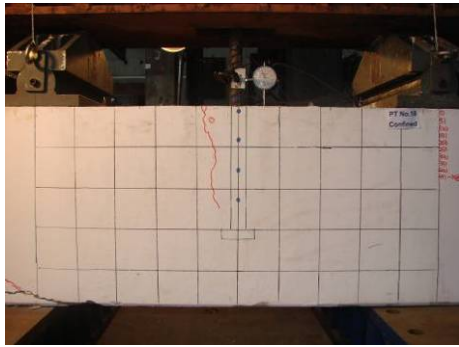


(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$

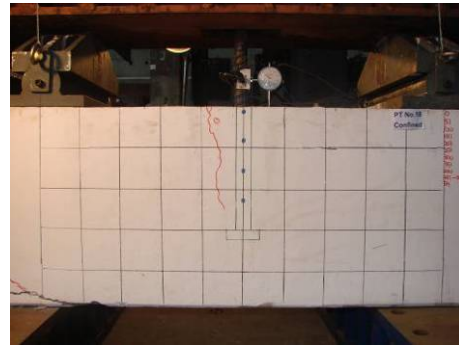


(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

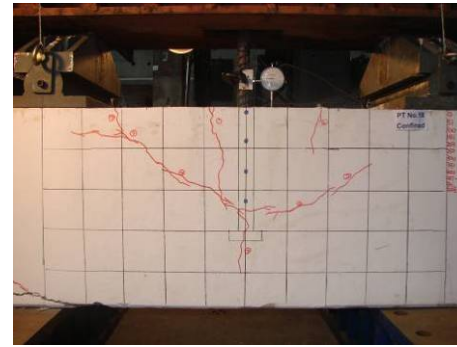
附錄 B-18 未圍束-試體 P18C06D36H5S200E30T31 於試驗各階段之破壞圖示



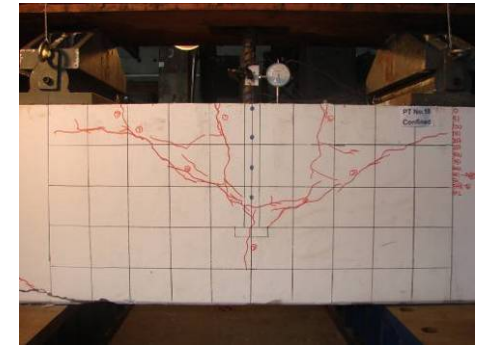
(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



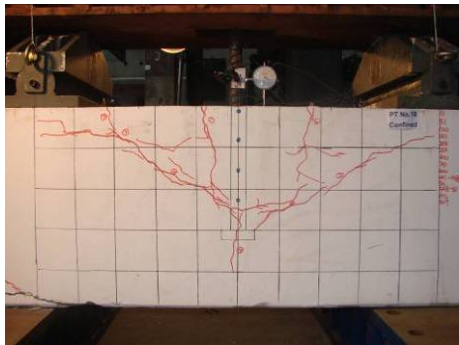
(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



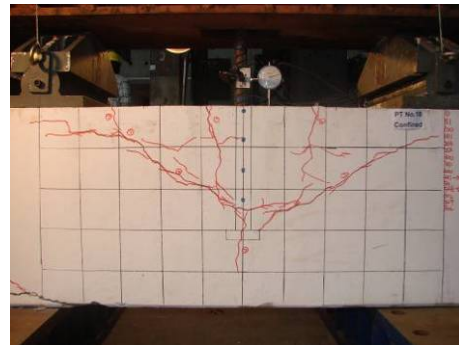
(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



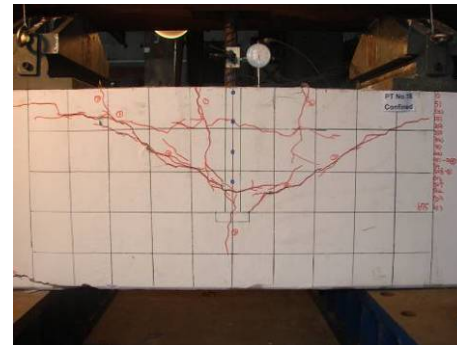
(l)  $P_{\text{test}} / P_y = 120\%$



(m)  $P_{\text{test}} / P_y = 130\%$

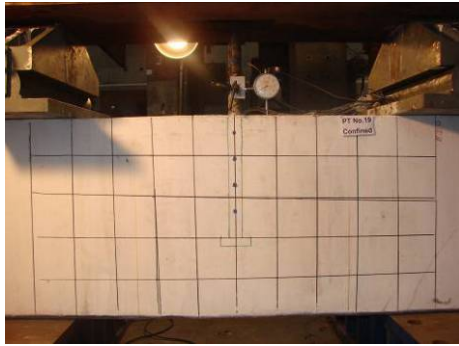


(n)  $P_{\text{test}} / P_y = 140\%$

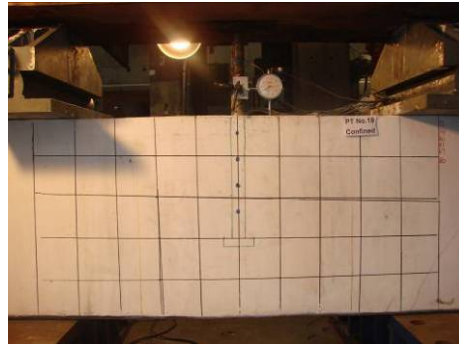


(o) Failure Point

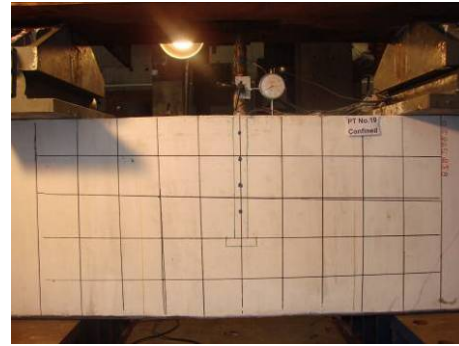
附錄 B-18 未圍束-試體 P18C06D36H5S200E30T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)



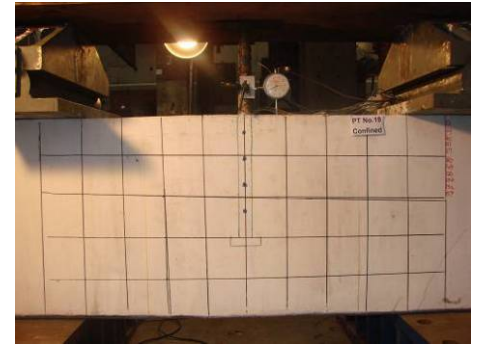
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



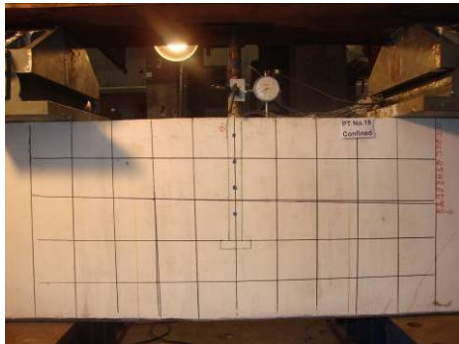
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



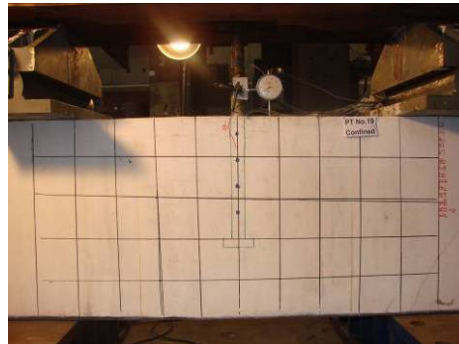
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



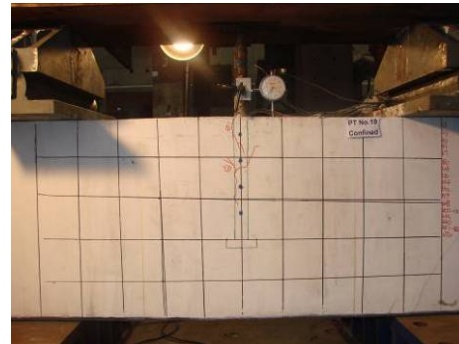
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



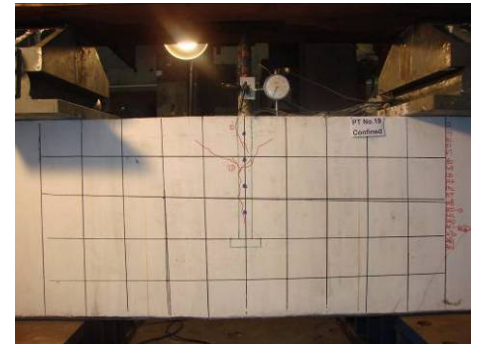
(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



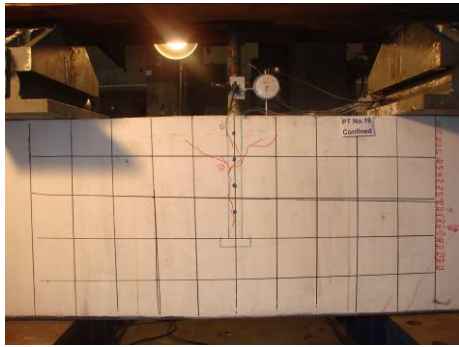
(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



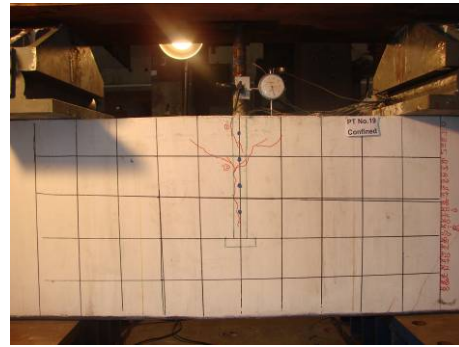
(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 B-19 未圍束-試體 P19C08D32H5S064E30T31 於試驗各階段之破壞圖示

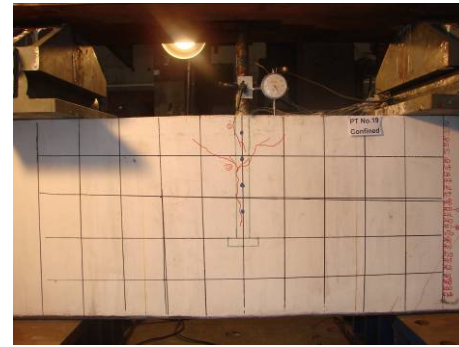




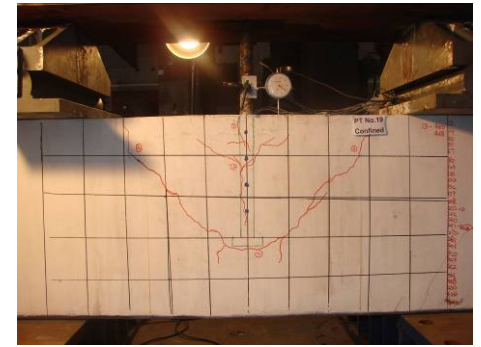
(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



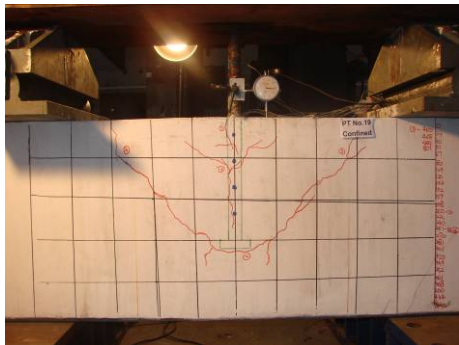
(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



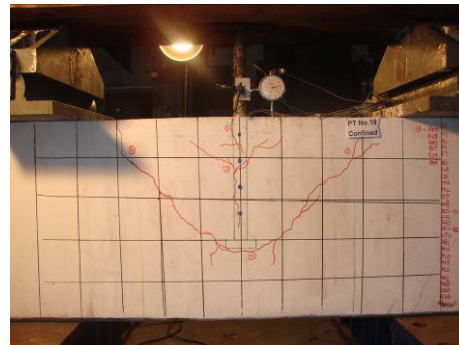
(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



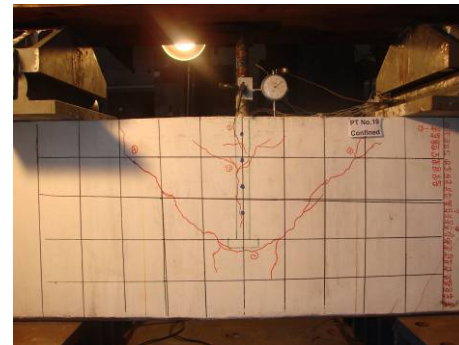
(l)  $P_{\text{test}} / P_y = 120\%$



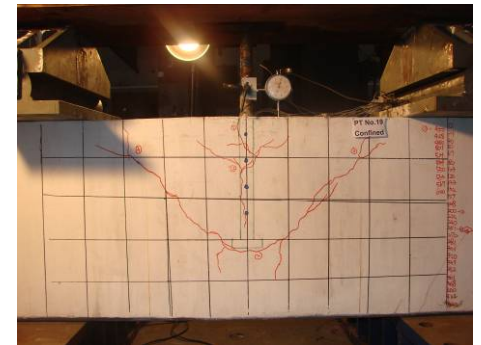
(m)  $P_{\text{test}} / P_y = 130\%$



(n)  $P_{\text{test}} / P_y = 140\%$

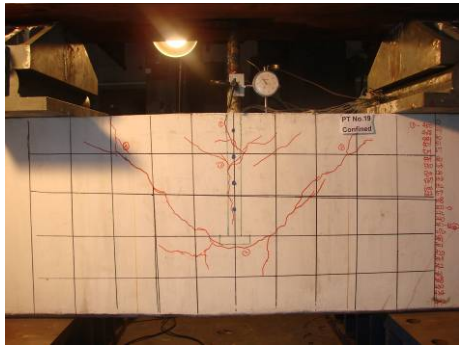


(o)  $P_{\text{test}} / P_y = 150\%$

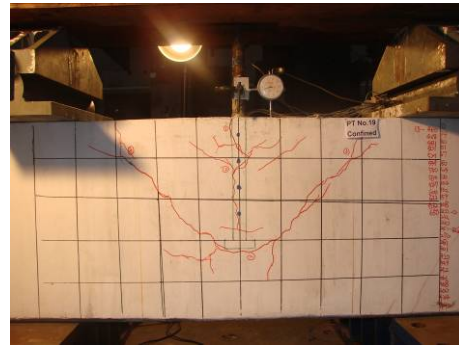


(p)  $P_{\text{test}} / P_y = 160\%$

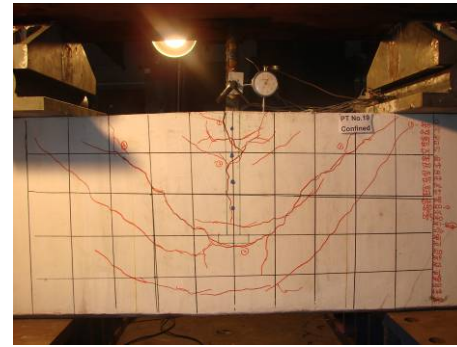
附錄 B-19 未圍束-試體 P19C08D32H5S064E30T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)



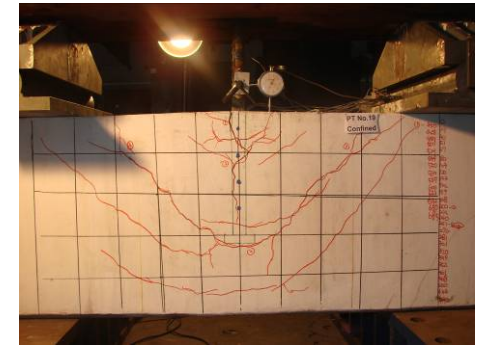
(q)  $P_{\text{test}} / P_y = 170\%$



(r)  $P_{\text{test}} / P_y = 180\%$

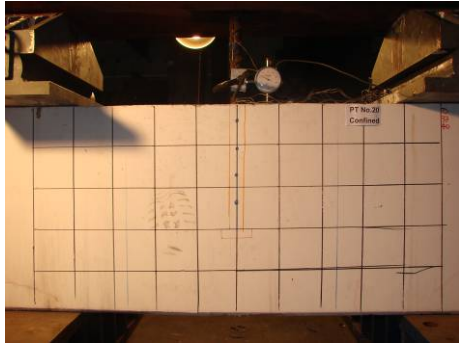


(s)  $P_{\text{test}} / P_y = 190\%$

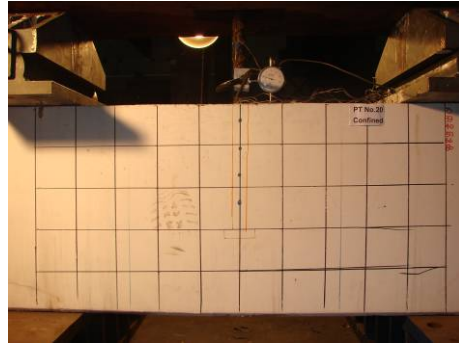


(t) Failure Point

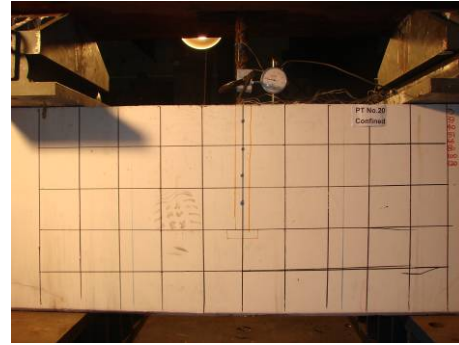
附錄 B-19 未圍束-試體 P19C08D32H5S064E30T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)



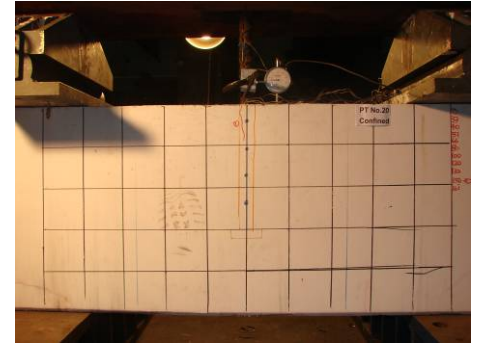
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



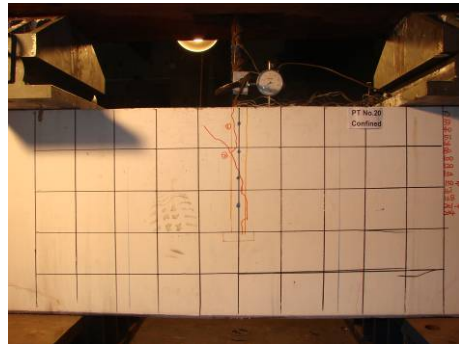
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



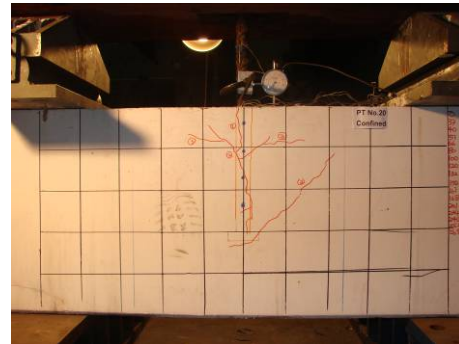
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



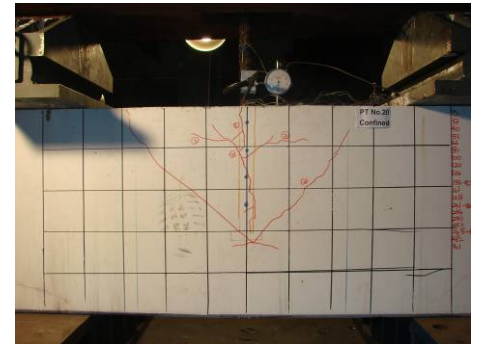
(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



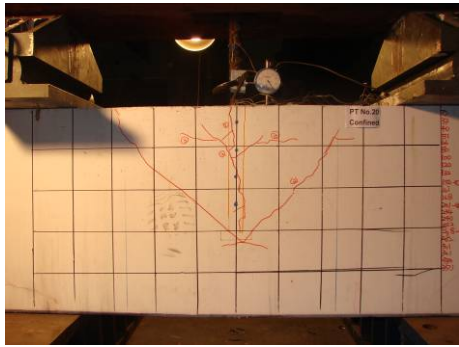
(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$



(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

附錄 B-20 未圍東-試體 P20C10D32H5S064E30T31 於試驗各階段之破壞圖示

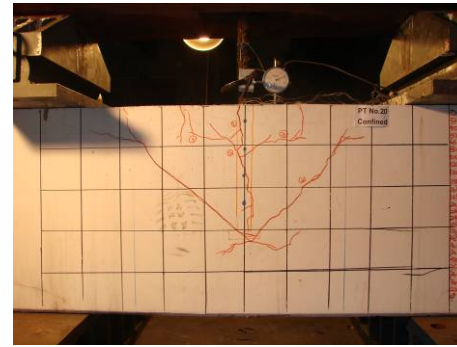




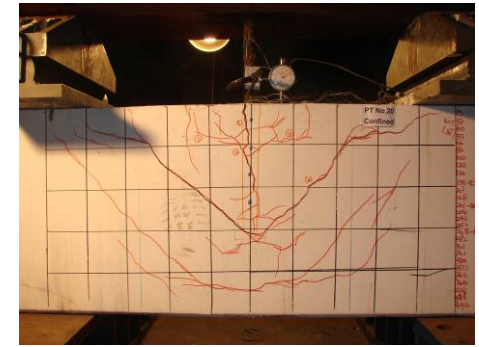
(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



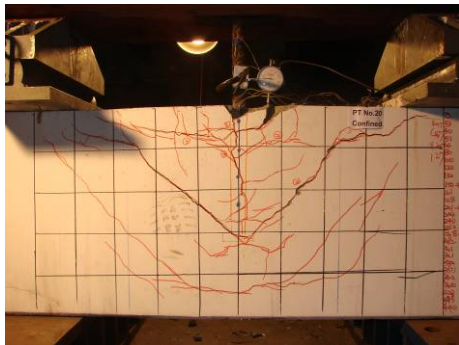
(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$

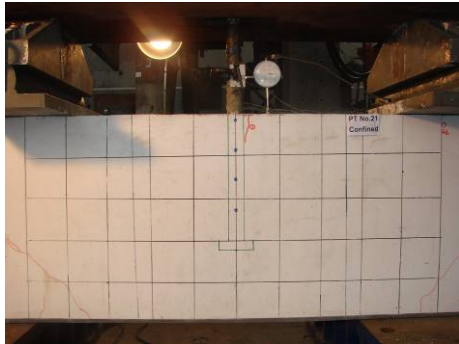


(l)  $P_{\text{test}} / P_y = 120\%$

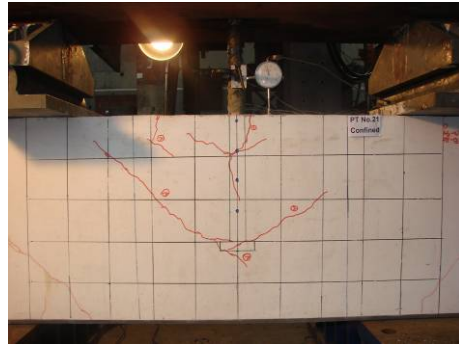


(m) Failure Point

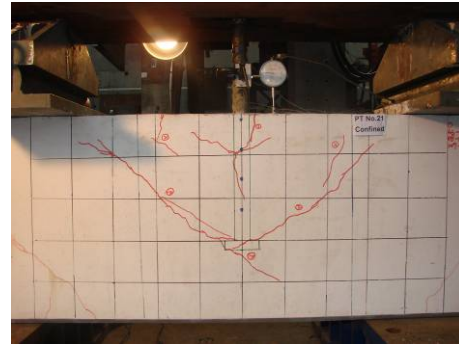
附錄 B-20 未圍束-試體 P20C10D32H5S064E30T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)



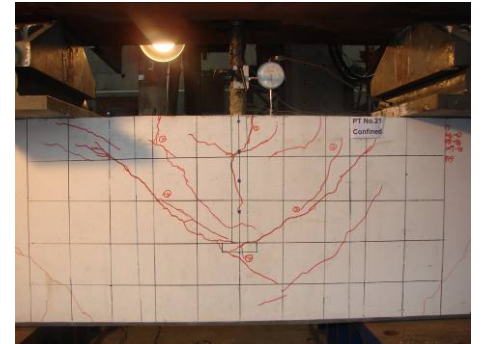
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



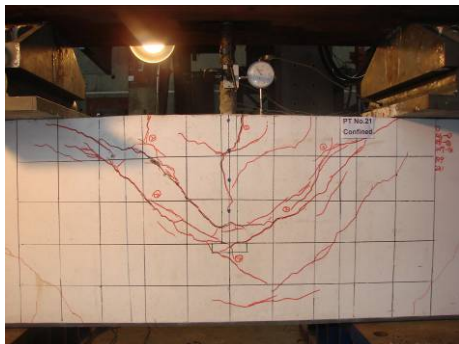
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



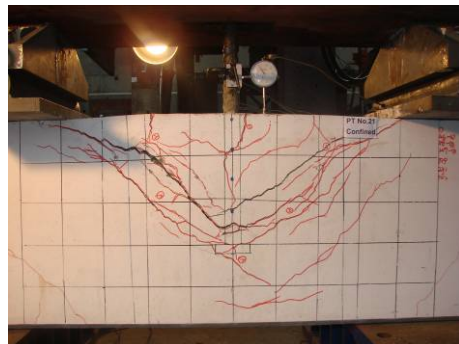
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$

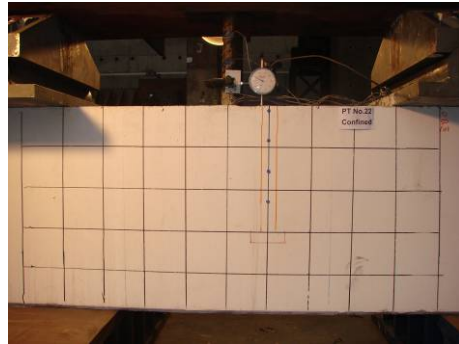


(f) Failure Point

附錄 B-21 未圍束-試體 P21C06D36H5S062E30T32 於試驗各階段之破壞圖示



(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



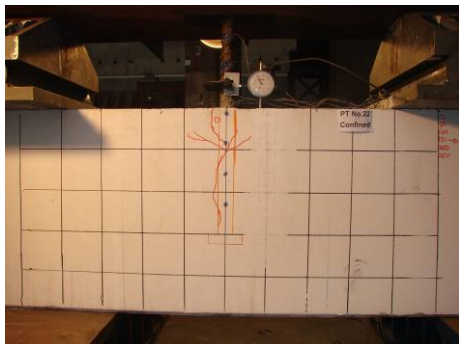
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



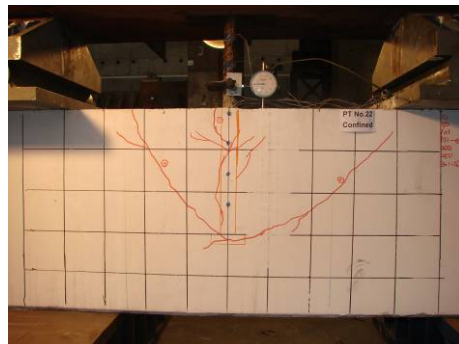
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



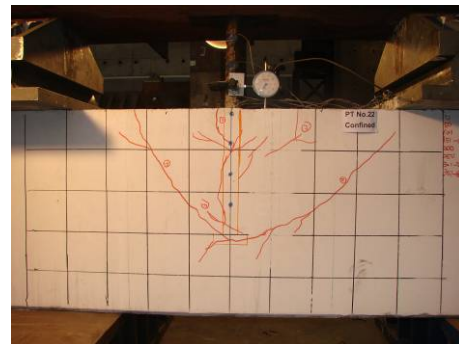
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$



(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$

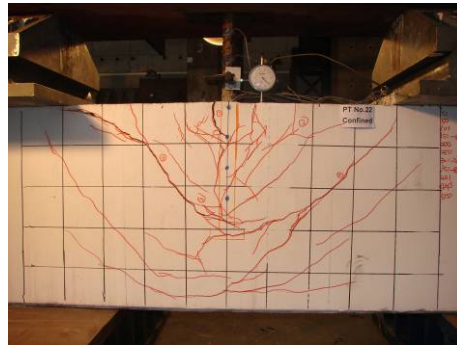


(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

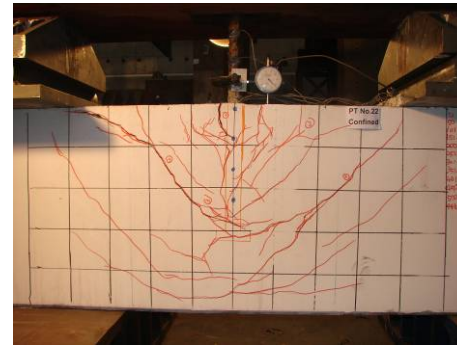
附錄 B-22 未圍束-試體 P22C08D36H5S062E30T31 於試驗各階段之破壞圖示



(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



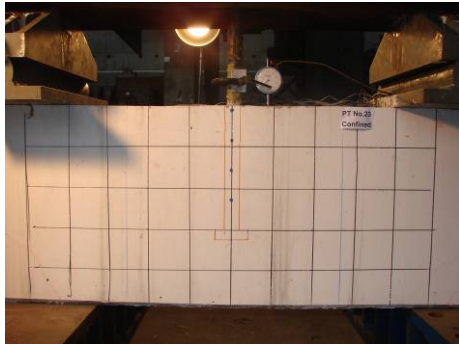
(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



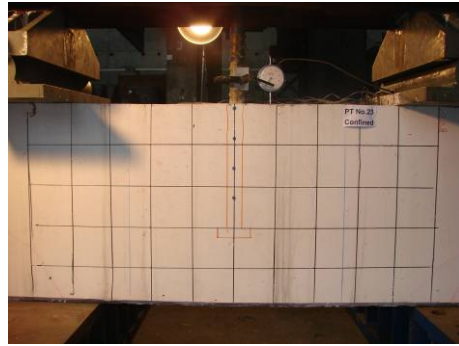
(k) Failure Point

附錄 B-22 未圍束-試體 P22C08D36H5S062E30T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)

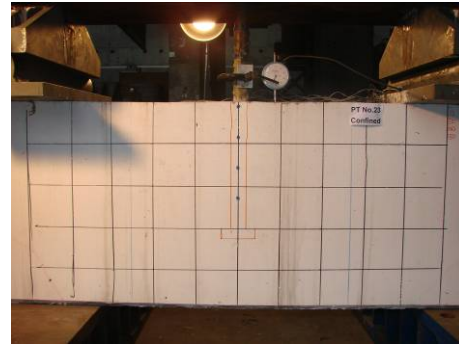




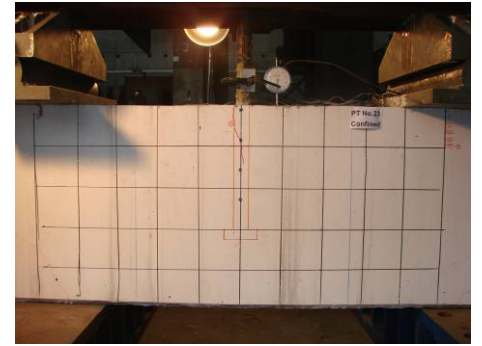
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



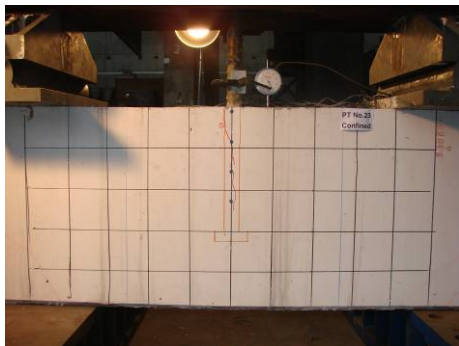
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



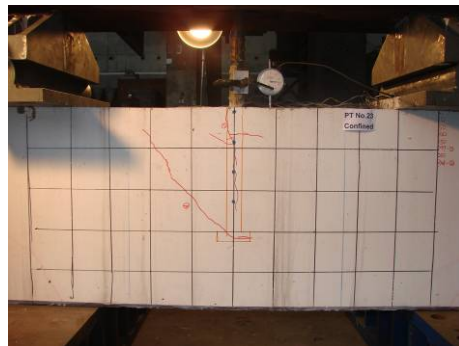
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



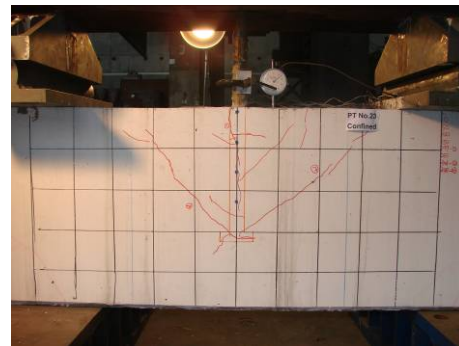
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



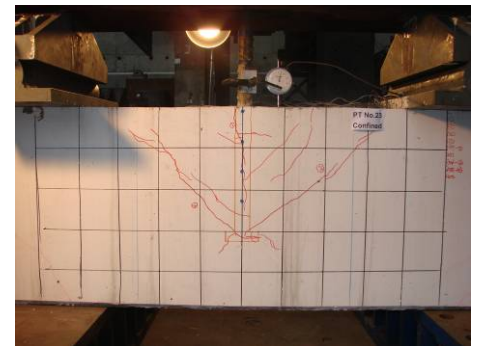
(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$



(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$

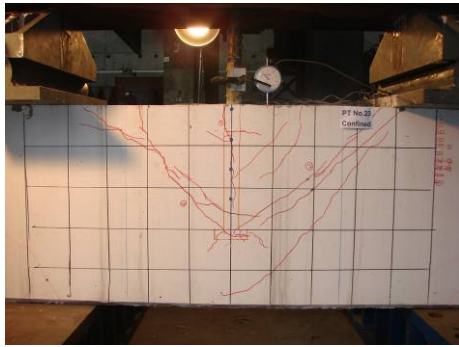


(g)  $P_{\text{test}} / P_y = 70\%$

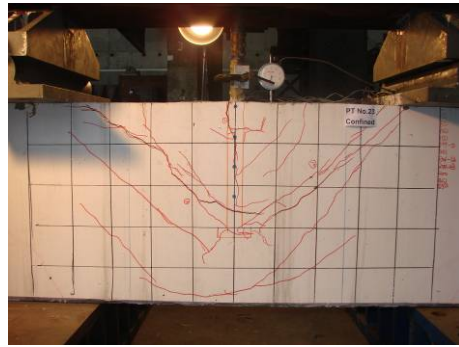


(h)  $P_{\text{test}} / P_y = 80\%$

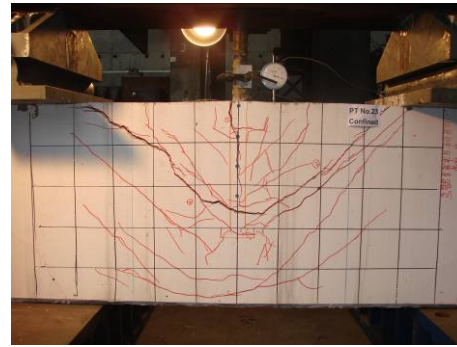
附錄 B-23 未圍束-試體 P23C10D36H5S062E30T31 於試驗各階段之破壞圖示



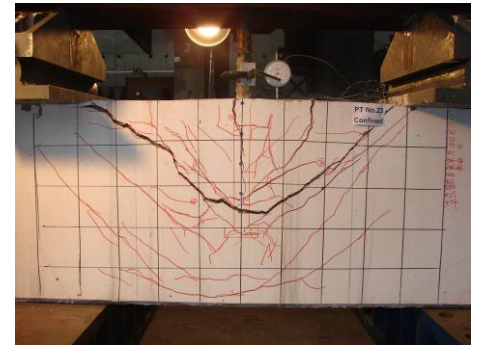
(i)  $P_{\text{test}} / P_y = 90\%$



(j)  $P_{\text{test}} / P_y = 100\%$



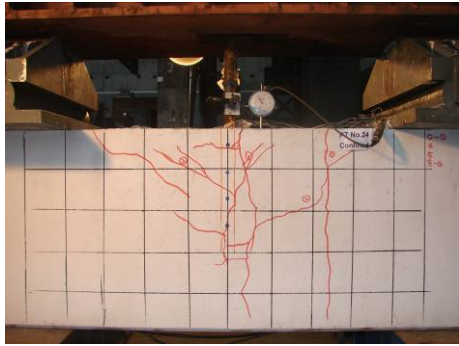
(k)  $P_{\text{test}} / P_y = 110\%$



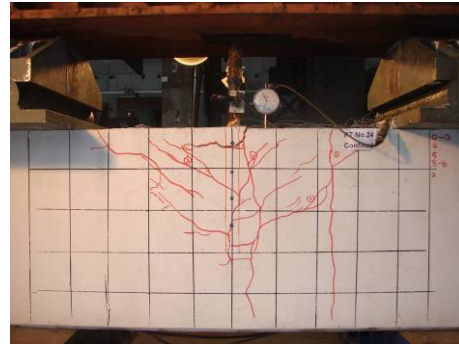
(l) Failure Point

附錄 B-23 未圍束-試體 P23C10D36H5S062E30T31 於試驗各階段之破壞圖示(續)



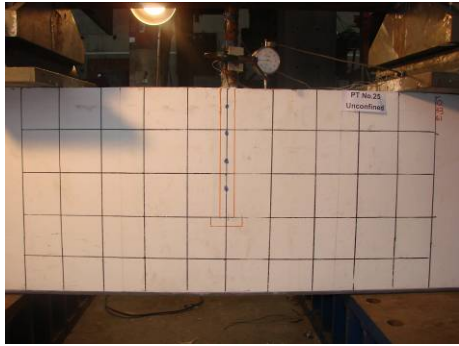


(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$

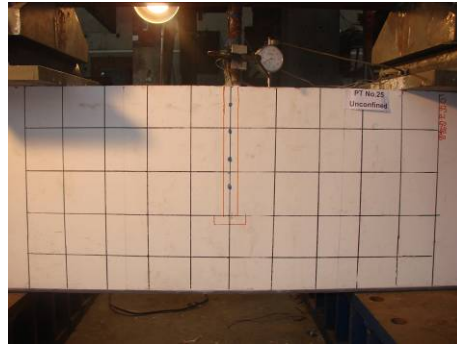


(b) Failure Point

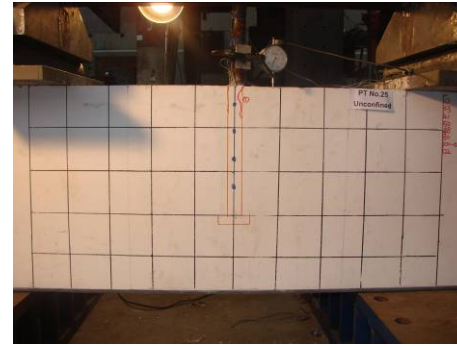
附錄 B-24 未圍束-試體 P24C06D32H1S064E30T31 於試驗各階段之破壞圖示



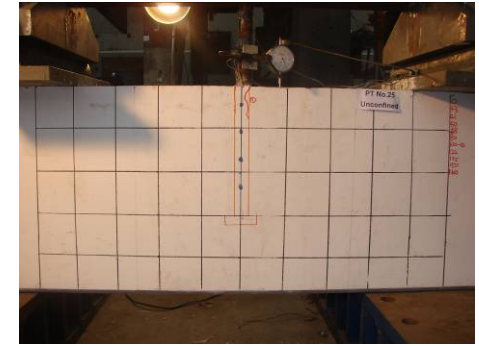
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



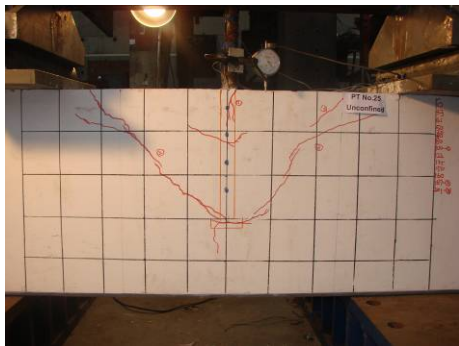
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



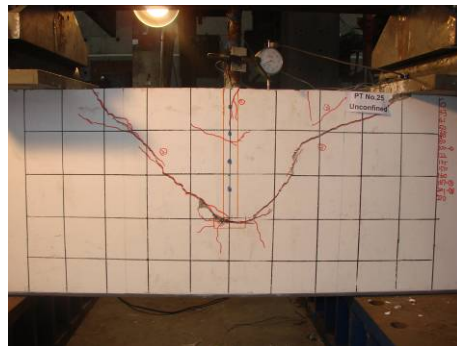
(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



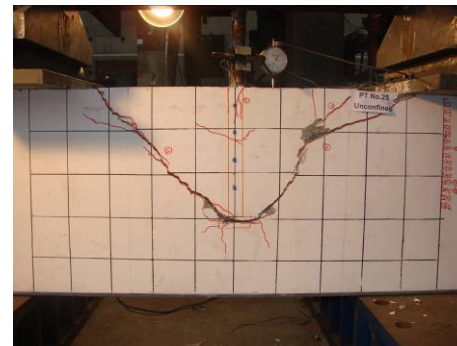
(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e)  $P_{\text{test}} / P_y = 50\%$

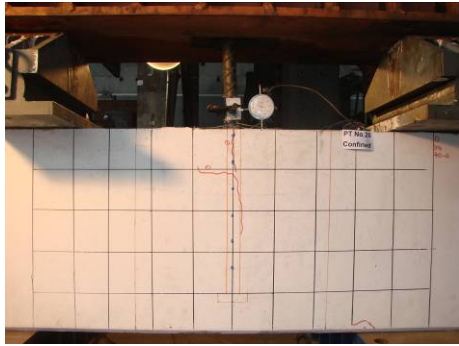


(f)  $P_{\text{test}} / P_y = 60\%$

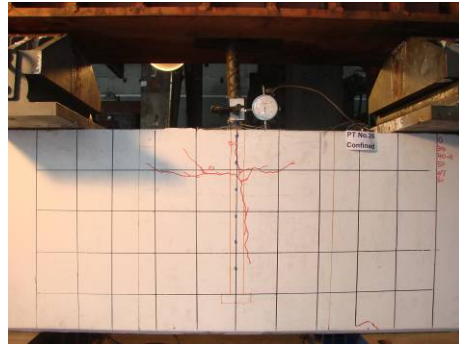


(g) Failure Point

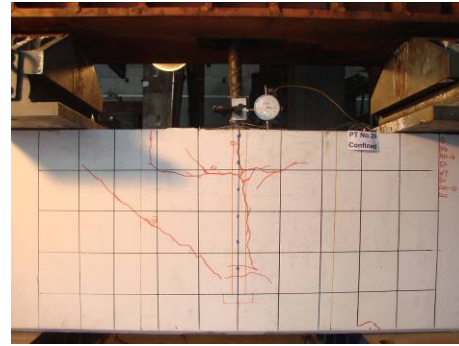
附錄 B-25 未圍束-試體 P25C06D32H5S025E30 於試驗各階段之破壞圖示



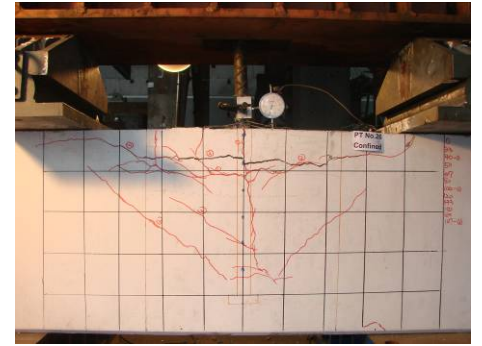
(a)  $P_{\text{test}} / P_y = 10\%$



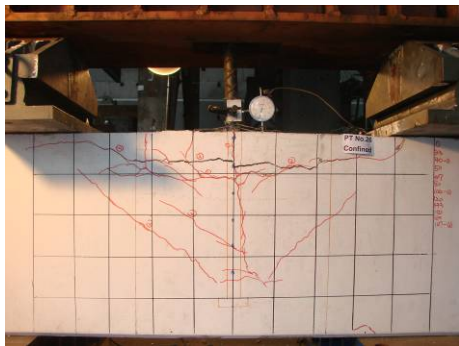
(b)  $P_{\text{test}} / P_y = 20\%$



(c)  $P_{\text{test}} / P_y = 30\%$



(d)  $P_{\text{test}} / P_y = 40\%$



(e) Failure Point

附錄 B-26 未圍束-試體 P26C06D32H5S025E40T31 於試驗各階段之破壞圖示