

鋼筋混凝土建築物耐震能力評估平台 SERCB 補強模組之開發與建築物評估補強案例編撰

Establishment of Seismic Retrofitting Module in Seismic Evaluation System of Reinforced Concrete Buildings and Case Studies

主管單位：內政部建築研究所

林建宏¹ 宋裕祺² 蔡益超³ 賴明俊² 林冠禎² 鄒本駒¹

Lin, Chien-Hung¹ Sung, Yu-Chi² Tsai, I-Chao³ Lai, Ming-Chun²

Lin, Kuan-Chen² Tsou, Pen-Chu¹

¹ 內政部建築研究所

² 國立台北科技大學土木與防災研究所

³ 國立臺灣大學土木工程研究所

摘要

內政部建築研究所於 2005 年協同研究案開發出一套鋼筋混凝土耐震能力評估系統，該程式於業界廣受工程師使用。目前 SERCB 程式中提供視窗化操作介面與各力學行為之分析模組包含：梁柱斷面視覺化編輯、斷面彎矩-曲率分析、構件彎矩-轉角分析、構件剪力行為分析、地表加速度分析等分析模組。然而，在補強方面目前 SERCB 尚欠缺相關分析模組，故各補強理論與分析方法將係本研究所要補充之重點。同時，本研究也將針對所提各補強工法進行分析模組開發，並與相關實驗進行分析比對，比對結果亦不失準確性與可靠性，因此，本研究也將所開發之分析模組擴充至 SERCBWin 程式中，最後，亦針對不同補強工法進行補強案例之編撰，希冀本研究成果能提供業界工程師一個完整的鋼筋建築物耐震能力評估與補強之分析工具。

關鍵詞：鋼筋混凝土耐震補強、擴柱補強、翼牆補強、鋼斜撐構架補強

Abstract

The SERCB (Seismic Evaluation of Reinforced Concrete Building) is a popular software of seismic evaluation for existing RC buildings in Taiwan. It provides a powerful visualization function of plastic hinge setting for RC members as preprocessor of pushover analysis as well as nonlinear time history analysis, preventing the manmade mistakes and enhancing the work efficiency. In addition, It also gives an automatic connection to the commercial software such as ETABS, MIDAS, etc. to perform nonlinear structural analysis, and a postprocessor in justifying if the seismic capacity of RC building is qualified or not. As a result, the SERCB is well used by the structural

engineers herein.

This project intends to extend SERCB to deal with seismic retrofitting. Some available retrofitting works including (1) improving the RC columns by RC covering, CFRP wrapping or steel jacketing to increase ductility or strength, (2) installing wind wall to enhance strength, (3) inserting or attaching steel frame to increase stiffness are studied and discussed. The plastic hinge property of the RC member retrofitted is able to be determined and its precision is assured by investigation of practical experimental results. Some case studies are conducted by the software updated. The completion of this project can promote SERCB to perform the analysis of seismic evaluation and retrofitting for existing RC buildings.

Keywords : RC seismic retrofit, Steel jacketing, RC jacketing, Steel frame, Wing wall

一、前言

SERCBWin2012系統主要係利用物件導向程式語言所開發之應用程式，具備基本分析、自動化操作與檔案管理功能，包括磚牆與RC牆的分析、構件斷面的彎矩與曲率分析、構件斷面軸力與彎矩的關係曲線分析、梁柱構件彎矩塑鉸分析(在ETABS中稱為M3塑鉸)，以及在後處理階段的PGA與位移關係曲線分析[5]，並分別整合ETABS與MIDAS結構靜力分析功能與側推分析功能，做為結構分析的計算核心。然而ETABS商用軟體並無提供API可供整合，故SERCBWin2012整合自動化視窗介面程式操作功能，有利使用者順遂進行分析工作，並藉由支援文字命令列操作(Console Mode)執行模式與分析專案的管理模式，讓使用者可藉由命令模式直接下達參數，且具備自動化檔案備份管理功能，簡化工程師進行構件分析與結構耐震能力分析之困難度與時效性，使得大量且複雜之建築結構物得以順利完成分析作業[11]。此外，系統亦具整合電子郵件與分析記錄功能，可將整個分析專案透過電子郵件傳送至其他工程師，提昇協同作業的便利性。然而此分析系統目前尚未提供補強分析功能，對於建築物補強設計工作仍顯力有未逮之憾。

有鑑於此，本研究擬針對鋼筋混凝土建築物耐震能力評估系統之補強模組進行研究與開發。本文首先參酌國內外常用之構件補強設計原則和工法，以鋼筋混凝土柱之擴柱補強、鋼板包覆補強與翼牆補強等三種方法為分析目標，完成反覆載重試驗結果之比對，再依據國外文獻所刊載之外附式鋼斜撐框架及內嵌式鋼斜撐框架實驗成果，進行相關補強效果之探討與建議，亦同時完成各種補強工法之分析模組開發，最後將所建議之補強分析模組建構於SERCBWin2012之上，完成鋼筋混凝土建築物耐震能力補強評估系統，希冀相關成果能提供國內工程實務與補強作業時之參考。

二、補強分析模組理論探討

本研究之補強模組的分析理論仍是以目前SERCB中梁、柱構件的分析核心為基礎所發展出來，各補強構件之非線性塑性鉸定義及主要分析的分析核心理論請參考完整之報告，以下僅針對各補強工法之力學特性進行探討，並將其反應至斷面分析過程，以求得符合構件補強後之非線性行為[6,16,7]。

2.1 鋼板包覆圍束補強

鋼板包覆圍束補強是指既有柱在鋼板包覆後，鋼板與柱的上下梁或樓版保有適當的間距，此時鋼板僅提供既有柱構件之韌性與剪力強度，對於撓曲強度並無明顯貢獻。因此，在斷面分析時只以既有柱斷面進行切片分析，而不考慮鋼板部份，但分析所採用的組成律需考量鋼板所提供的圍束作用，使斷面的韌性容量提升。而在「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準.改修設計指針同解説」[3]中指出鋼板包覆補強之鋼板可等效成橫向鋼筋比，其計算如下：

$$\rho_{w2} = 2t/b_2 \quad \text{矩型鋼板包覆(1)}$$

$$\rho_{w2} = 4t/D \quad \text{圓型鋼板包覆(2)}$$

$$\rho_{w2} = 2tb_s/(x_s b_s) \quad \text{帶狀鋼板包覆(3)}$$

其中， ρ_{w2} 為鋼板包覆之等值橫向鋼筋比、 t 為鋼板厚度、 b_2 為補強後柱寬度、 b_s 及 x_s 分別為帶狀鋼板之寬度與間距。

而補強鋼板所貢獻之剪力強度 V_{sj} 可依下式計算：

$$V_{sj} = \frac{\pi}{2} t_j f_{yj} D C \cot \theta \quad \text{圓型 (4)}$$

$$V_{sj} = t_j f_{yj} D C \cot \theta \quad \text{矩型 (5)}$$

其中， t_j 為鋼板厚度、 f_{yj} 為鋼板降伏強度、 D 為受力斷面之深度、 θ 為剪力開裂之角度。

2.2 RC 包覆圍束補強

當鋼筋混凝土柱構件採用 RC 包覆圍束補強，施工時應於柱頂及柱底預留 3 至 5 公分的間隙，故對柱構件之撓曲強度貢獻有限，但可有效提升柱之韌性及剪力強度，對於剪力強度不足或韌性不足之構件，透過此補強方法進行補強後可有效的提升整體建築物之耐震性能。RC 包覆圍束補強在撓曲行為分析時是以切片法進行斷面分析，在進行斷面分析時不考慮加設斷面的部份，但在建構分析組成律時，需考量包覆斷面所增設箍筋之圍束效果，加設箍筋之橫向鋼筋比計算可依據所選用之組成律分別計算。在剪力分析的部份，計算橫向鋼筋所提供之剪力貢獻時需將既有柱的箍筋與加設箍筋一併考量；而在混凝土的部份則需依新舊混凝土之強度分別計算剪力貢獻。

2.3 RC 包覆強度補強

RC 柱包覆強度補強是將擴大柱斷面時增設的主筋貫穿上下樓層，且於柱頂與柱底之間不留間隙，使得力量傳遞不被間斷以提高補強後構件抵抗彎矩與軸力之能力，同時因加大柱斷面時均會加設箍筋，故亦能提供圍束作用及剪力強度。因此，補強後柱之撓曲行為分析直接以切片法進行分析，惟分析時需將組成律分成三個部份，第一個部份為既有柱之圍束區，建立此區塊組成律之混凝土強度應以既有柱之混凝土強度，同時其橫向鋼筋比也需考量新增斷面所加設之圍束箍筋的貢獻。第二個部份是新增斷面之圍束區與既有柱斷面非圍束區的區塊，此區塊組成律的混凝土強度則以新增設混凝土強度為主，但其橫向鋼筋比僅以新加設之箍筋計算。最後區塊為新增斷面之非圍束區塊。而剪力部份則是將既有柱之混凝土剪力強度加上新增斷面之剪力強度(包含混凝土及箍筋部份)。

2.4 翼牆補強

既有柱構件增設翼牆方式進行補強後，可有效改善柱的剪力強度、撓曲強度與勁度，使原結構物成為強度抵抗型之結構物。本研究將翼牆柱行為視為一般柱行為進行分析，在撓曲行為方面，本研究仍採用切片法進行分析，以求得斷面之彎矩轉角之關係，

但在新設翼牆與既有柱之材料強度可能會有差異，所以在分析時，組成律須分開考量；剪力行爲方面，需同時考量既有柱構件及新增翼牆之鋼筋混凝土及橫向鋼筋所貢獻的剪力。

另外，除上述考量兩側翼牆之主筋能有效的發揮拉力作用外，為考量一般工程實務在進行翼牆補強時，翼牆兩側植筋效果不佳之情形，本研究亦針對不同施工情況進行不同之分析考量，如圖1所示。圖1(a)為翼牆施工時，採植筋方式將翼牆與梁或樓版接合，然而，一般現場植筋效果不佳，因此在進行斷面分析時建議忽略受拉側翼牆之主筋貢獻；圖1(b)為翼牆施工時，翼牆主筋以直通的方式進行施工，此施工方式能使鋼筋有效的發揮作用，故分析時需考量翼牆全部主筋之貢獻；圖1(c)為翼牆施工時，翼牆之主筋一側採植筋方式接合，而另一側採直通方式，此施工方式在分析時建議當主筋採植筋方式接合時在受拉側翼牆應忽略其主筋之拉力貢獻，但採直通之主筋則需考量其拉力貢獻。

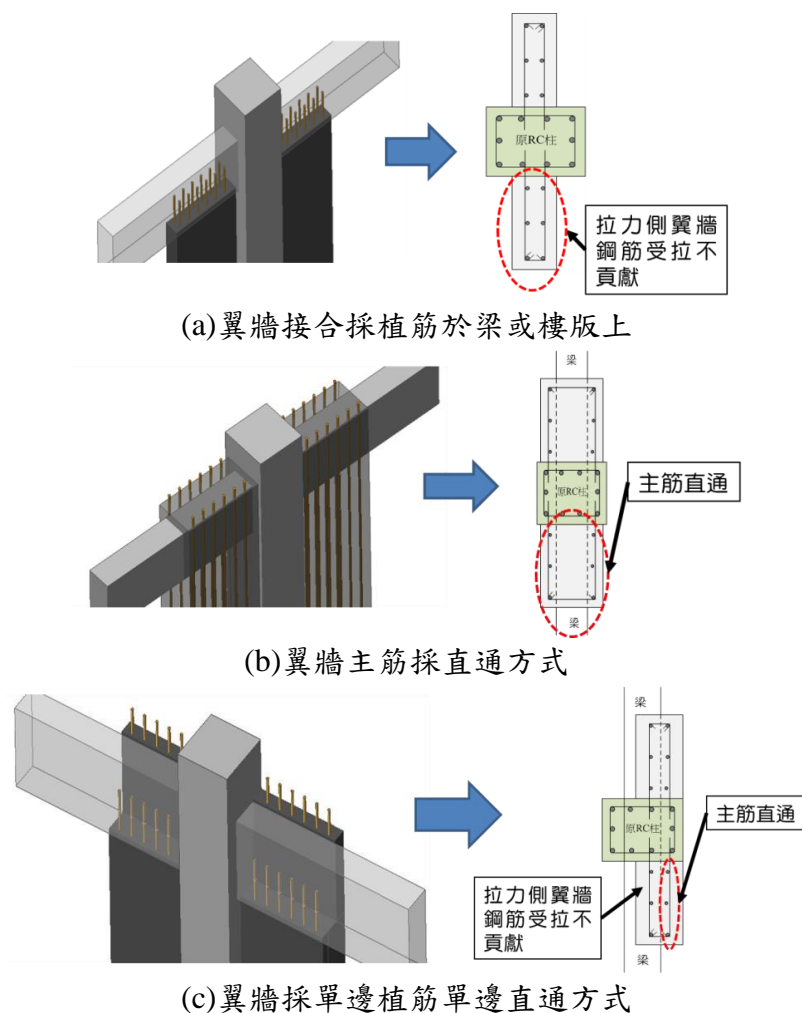


圖 1、一般工程實務翼牆施工方式之分析考量示意圖

2.5 鋼斜撐框架補強

2.5.1 內嵌式鋼斜撐框架補強

內嵌之鋼斜撐構架與既存的梁、柱構件結合為一體，使整體構架的勁度與強度大大的提升，以共同抵抗外力的作用，進而提升建築物整體的耐震能力。本研究假設鋼斜撐構架之梁、柱與既有之梁、柱構件能有效的結合為一體，因此以合成斷面取代原模型中的梁、柱構材進行斷面的非線性行為分析，以取得合成斷面塑性鉸性質，並設置到ETABS中；另外鋼斜撐的部份也是參考FEMA-356[15]計算出鋼斜撐的軸力與位移的關係，並以軸力塑性鉸的方式設定置ETABS，如此即可進行鋼斜撐構架耐震補強後之耐震能力評估(如圖2)。

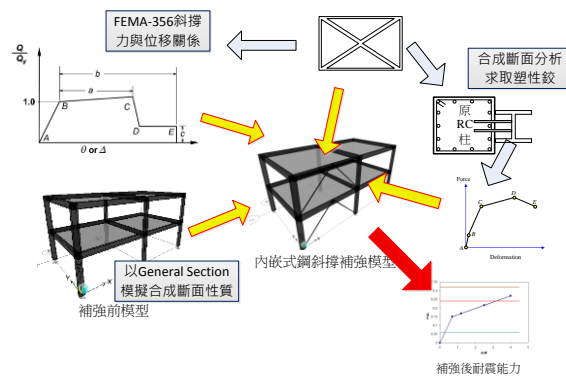


圖 2、錨碇接合之內嵌式鋼斜撐構架分析方法示意圖

2.5.2 外附式鋼斜撐框架補強

由於外附式鋼構架斜撐施工性佳，且在施工期間對於既有建築物的使用性影響不大，且建築物的內部空間配置與採光也不會有太大的改變，能使既有建築物在補強施工期間繼續使用現有的空間，施工工期短，具有良好的補強效果，因此在日本廣泛的被工程師採用[2,4](圖3)。外附式鋼斜撐構架在與既有建築物的接合一般也是採用錨碇接合的方式，本研究假設此接合方式能有效的結合外附式的鋼撐構架與既有建築物的梁、柱構架，提升整體勁度與強度。在分析方法上與內嵌式鋼斜撐構架的分析方法差異不大。首先，將梁、柱構件以等值斷面設定至ETABS模型中，並取代既有模型之梁、柱斷面，再以合成斷面進行非線性分析，求得合成斷面之塑性鉸；鋼斜撐的部份以FEMA-356所建議的方式求取軸力與變形關係，並設定至ETABS的模型中，最後進行補強後之耐震能力評估。



(a) 醫院建築採外附式鋼斜撐框架補強



(b) 商辦大樓採外附式鋼框架補強

圖3、外附式鋼斜撐框架補強工法案例圖[2]

三、補強模組之分析驗證

3.1 鋼筋混凝土柱包覆補強分析驗證

3.1.1 鋼板包覆圍束補強

文獻[10]為探討鋼板包覆補強對於既有舊橋柱之韌性與強度的貢獻，因此依據舊有橋柱設計圖說所設計之橋柱縮小試體(SC1及BMC2)，設計兩橋柱，並以鋼板進行包覆補強(SC2及SC3)。在橋柱試體進行補強施工時，為避免橋柱補強後於鋼板與既有柱接合處產生不連續之情況，須於原始橋柱與補強鋼板之間灌注大約2.5cm厚之水泥砂漿。另外，為避免增加補強後橋柱之勁度而影響橋柱之抗彎行為，因此在補強外包鋼板與基礎頂部預留有5.0cm之間隙，故此兩橋柱補強試體屬於鋼板包覆圍束補強，根據前面所提之分析方法與實驗結果比對如圖4與圖5，分析結果與實驗值在勁度上有些微的差異，但整體的分析結果不失準確性。

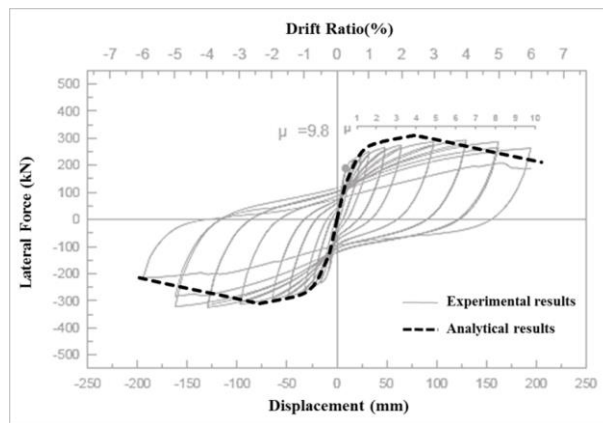


圖4、SC2補強試體分析與實驗比對圖[10]

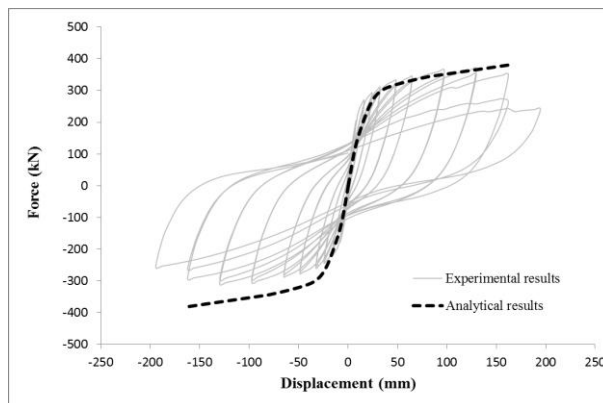


圖5、SC3補強試體分析與實驗比對圖

3.1.2 RC 包覆強度補強

文獻[8]為了探討日本與台灣在鋼筋混凝土擴柱補強中採用不同之施工細節對補強後鋼筋混凝土柱之耐震性能的影響，特別將兩支柱試體(S2、S3)依此兩種不同施工細節分別進行補強。而本研究僅針對台灣補強施工方式來進行分析比對(S2)。此補強柱試體在進行擴柱施工時均以植筋方式將柱主筋植入基座中，故在分析時應採用前面所述之RC包覆強度補強分析方法，分析與實驗比對結果如圖6，從S2的實驗與分析結果可知，本研究所提分析方法不論在勁度或強度上皆能反應出實驗所得之結果。

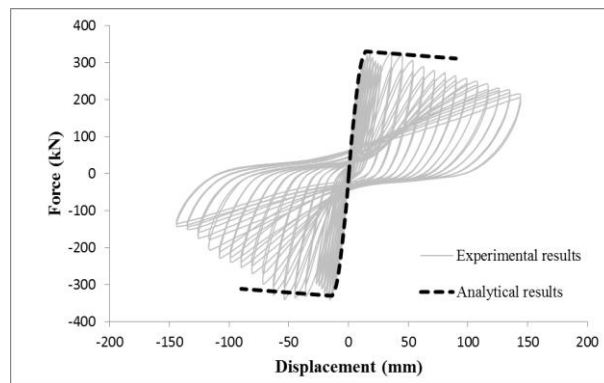


圖 6、S2 分析與實驗結果比較圖

3.2 翼牆補強分析驗證

文獻[8]為探討國內與日本常用鋼筋混凝土柱增設翼牆補強施工法對既有柱補強後行為的差異性，特別製作兩支相同配置的柱試體，並依不同施工法分別對此兩支柱試體進行增設翼牆的補強，最後再進行實驗比對。其中，S4試體是採用台灣常見之施工法製作，其加設翼牆時不論是垂直向的植筋到梁或基礎，亦或是水平向的植筋到既有柱試體都是採用雙排植筋。本研究僅針對此台灣工法所製作之試體進行分析比對，結果如圖7所示，其中虛線為考量拉力側翼牆主筋之拉力貢獻，實線則忽略其貢獻，由比對結果可知，忽略拉力側主筋拉力貢獻之分析結果較為保守，而考慮主筋拉力貢獻之分析結果，在勁度與強度上都相當近似於實驗值。

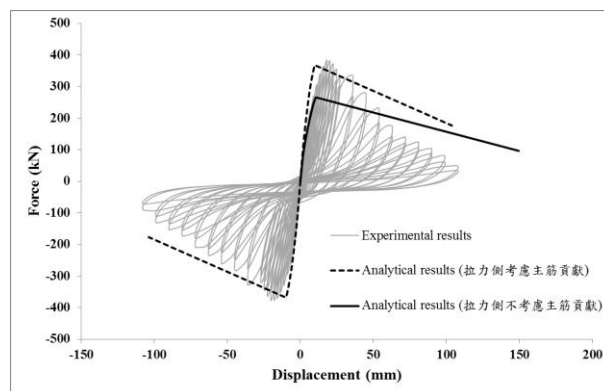


圖 7、S4 試體分析與實驗結果比對圖

3.3 鋼斜撐框架補強分析驗證

3.3.2 外附式鋼斜撐框架補強試驗驗證

本試驗是由文獻[1]為探討利用內嵌式鋼斜撐框架補強時，接合處採用環氧樹脂接合對於構架整體的耐震能力提昇效果而實作之縮尺寸的構架試體。本研究採兩種分析方法進行分析比對，首先考量鋼框架能與原構架完全接合，故以合成斷面分析梁、柱構件之塑性鉸，斜撐部份以FEMA356計算其軸力塑鉸性質，並設定置分析模型中進行側推分析；第二方法為考量鋼框架無法與原構架完全接合的情況，因此保守忽略鋼框架對於原構架之貢獻，在梁、柱構件的部份以原構架之斷面進行塑性鉸分析，而斜撐部份也以FEMA356計算其軸力塑鉸性質，並設定置分析模型中進行側推分析。此兩種分析方法結果與實驗結果比對如圖8，分析結果顯示，以第一種分析方法所得結果與實驗較為吻合，分析結果與實驗結果在轉角達4/1000rad時，鋼斜撐皆已發生挫屈，使得強度有明顯的下降。

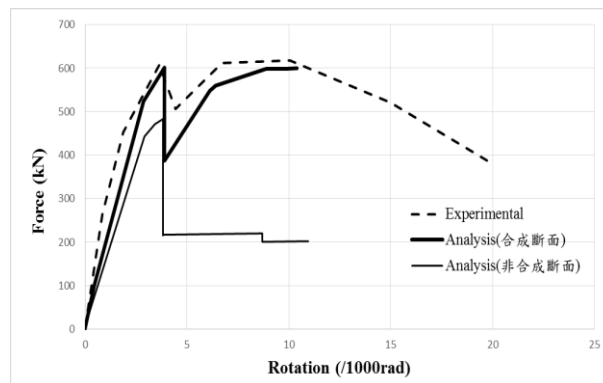


圖 8、分析與實驗結果比對圖[1]

3.3.2 外附式鋼斜撐框架補強試驗驗證

在實際的補強工程中，框架式的補強施工方式在細節上常會因特殊考量而有所不同，文獻[9]等為探討外附式鋼框架補強時，在接合處採用不同施工法對於補強構架整體耐震能力的影響，特別製作三組韌性構架試體來探討其差異性。本研究所探討之分析方法主要是以完全接合方式之施工法，因此特別選出完全接合方式之試體來作分析驗證。圖9為分析與實驗結果比對圖，由比對結果可知，本研究所分析之結果有一定的準確度，實可作為鋼框架補強之參考。

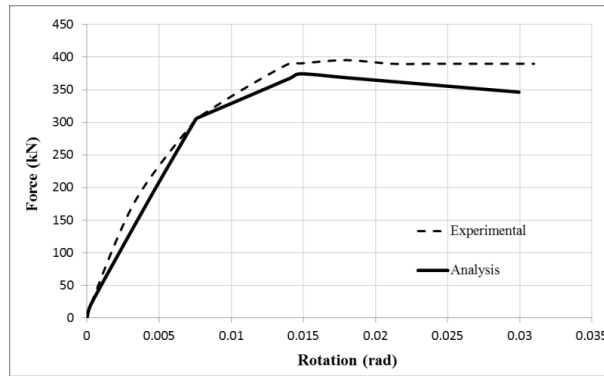


圖 9、分析與實驗結果比對[9]

四、補強分析模組開發之分析與設計

本研究將把前面章節所提目前國內常用補強工法之分析方法與理論實作到 SERCBWin2012耐震能力評估系統，使分析系統更為完善，對於工程師而言，也有一套便利的補強後耐震能力評估軟體可供參考。本節將說明如何在現有 SERCBWin 的系統架構中擴充系統的構件補強功能。

4.1 功能需求分析

SERCBWin 2012補強分析模組需求分析如下：

- (1) SERCBWin 2012補強分析模組的開發為本研究的主要目標之一，國內目前大部份工程師都以等值的方式來模擬構件補強後之行為，然而，此種等值分析方法並無法掌握構件補強後之非線性行為，因此本研究將先以國內常用的補強工法作為優先開發模組。另外，也針對日本常用的鋼斜撐構架補強的部份進行模組開發。
- (2) 現行 SERCB 耐震能力評估系統在進行斷面分析時，混凝土的材料組成律僅考慮 Kawashima 組成律進行分析，然而一般建議構件補強後採 Mander 組成律進行分析，因為 Mander 組成律較能確實掌握補強後構材之行為，尤其韌性行為更為顯著。
- (3) 部份構件補強會有新澆鑄混凝土或新增鋼筋，而新增混凝土或鋼筋之材料強度與既有柱構件之材料強度有明顯的差異，但目前分析系統並不支援多重組成律的設定，故在設計補強分析模組需考量到混凝土或鋼筋有不同的材料性質時的分析考量。
- (4) 針對各補強模組，需提供一個良好的視窗操作介面，以便使用者輸入斷面及材料的相關參數。
- (5) SERCBWin 目前僅提供呈現各分析模組所輸出檔案之圖表，但大多算的分析結果屬梁、柱或牆構件的資料(如塑性鉸資料)，如沒有對應到分析模型，使用者很難判定資料屬於模型中的哪些構件；另外，在進行耐震能力補強評估時，使用者常需檢視各構件之塑性鉸發展情況，以決定補強之配置。然而在結構分析軟體中僅能呈現其發展區間而無法確實掌握其實際發展情況。因此，如能提供一個視覺化的展示視窗供使用者點選觀看各構件之塑性鉸發展情況，使工程師在進行補強評估時能輕易的檢核分析結果。

上述需求經分析後可得使用案例圖(圖 10)，圖中白底之使用者案例為目前 SERCBWin2012 所具備之功能[13,14]，而藍底之使用者案例為本研究所新增之需求功能。

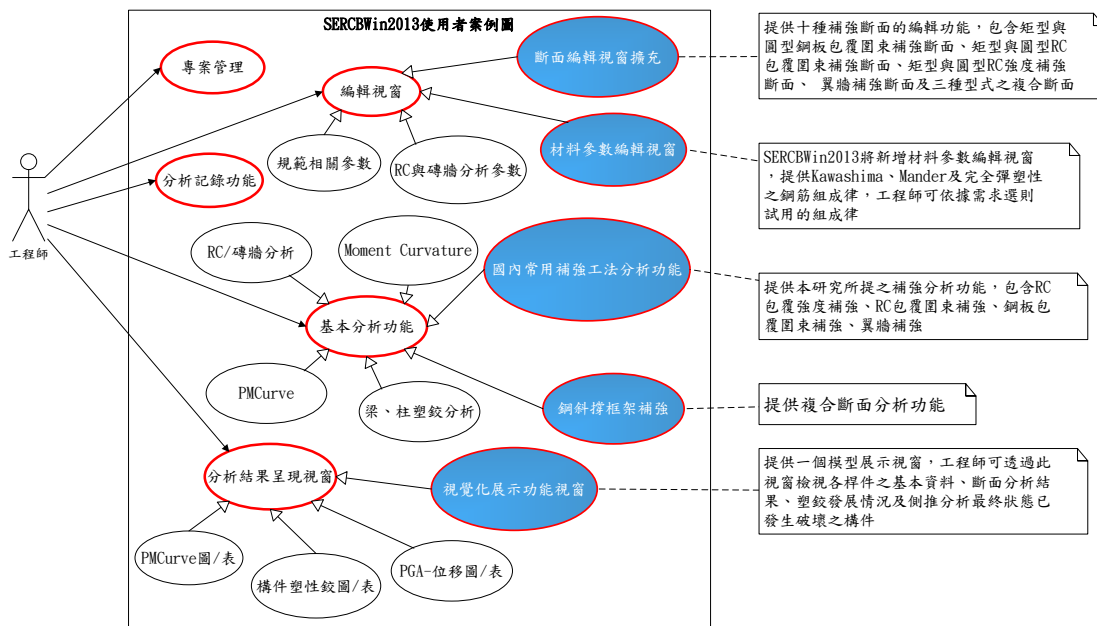


圖 10、SERCBWin 2013 補強模組開發使用案例圖

4.2 設計細節

補強模組功能主要是在既有的SERCBWin2012耐震能力評估系統架構中進行功能的擴充，對既有系統架構僅作部份的調整，以下將說明新增與變更部份的設計細節：

- (1) **斷面分析核心擴充：**本研究透過介面的方式來簡化系統的複雜度[13]，首先在SERCB.Analysis中建立ISectionAnalyzer的介面，此介面定義了SectionAnalyzer的操作方法，程式開發人員只要藉由實作此介面即可擴充分析斷面的類型。另外也利用簡單工廠模式，新增一個靜態的SimpleSectionAnalyzerFactory，用來創建不同斷面類型的物件（如圖形、矩型、翼牆斷面、合成斷面等）。
- (2) **材料性質類別建立：**目前SERCB分析核心僅提供Kawashima的材料組成律，且在SectionAnalysis類別中實作。為了提供更多的材料組成律，支援補強斷面分析，各斷面會有多種組成律的需求，因此將材料組成律從SectionAnalyzer中切割出來，並以介面(IConstitutiveLaw)來定義組成律的方法，後續只需透過實作此介面來即可建構各種不同的組成律。另外，運用設計模式常用的組合觀念，可將IConstitutiveLaw組合至實作ISectionAnalyzer的物件中，往後實作ISectionAnalyzer物件只要透過IConstitutiveLaw就可取得所需的組成律物件。
- (3) **斷面編輯視窗設計：**由於新增了補強斷面的分析，斷面型式更為多元，既有系統的斷面編輯功能已無法滿足系統需求，故本研究針對斷面及材料參數編輯視窗進行功能擴充與開發。提供更多元的斷面分析與組成率的選項，以符合實務分析之所需。
- (4) **視覺化展示視窗：**視覺化展示視窗是建構在SERCBWin應用程式上，提供使用者在視窗中檢視結構物側推分析後各構件的塑性鉸發展狀態、基本資料及軸力彎矩圖。本研究利用Tao Framework的Tao.OpenGL程式庫[17]與Tao.Platform.Windows的視窗元件開發視覺化展示視窗。

五、補強案例分析

5.1 補強案例簡介與補強前耐震能力評估

本案例採用台南市某國中其中一間教室單元為分析模型[12]，其結構形式為三層樓鋼筋混凝土建築物。本分析案例不考慮地下結構物、基礎與土壤互制作用等，並假設梁柱接點為完全剛性接合，教室地板則使用 ETABS 內建板殼元素模擬(圖 11)。其中，窗台矮牆與隔間牆均設置等值斜撐於受壓側，緊鄰窗台矮牆之窗台柱則以矮牆牆高為基準，細分窗台柱為上下兩部分，並分別設有塑鉸。圖 12 為建築物補強前耐震能力評估之地表加速度與位移關係圖，由評估結果可知，性能點 PLB 未達到規範所規定的一般工址之建築物耐震性能 $0.4S_{DS}$ ，所以須進行補強。以下將以 RC 包覆強度補強為例進行探討，其於補強方式可參考詳細研究報告。

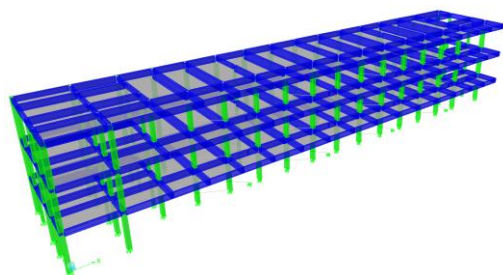


圖 11、ETABS 模擬之 3D 立體圖

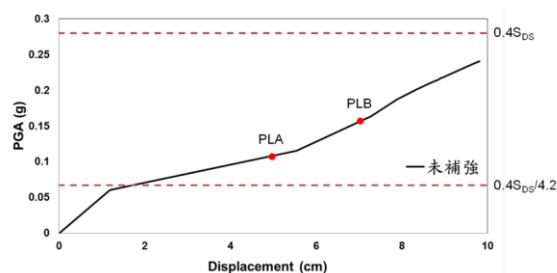


圖 12、補強前地表加速度與位移關係

5.2 RC 包覆強度補強

根據校舍耐震能力評估與補強手冊的建議，採用擴柱補強時，混凝土擴柱層不得小於 15 公分，故設計補強斷面的新澆置混凝土層厚度為 15 公分，主筋採用與原 RC 斷面之相同主筋大小，皆為 7 號鋼筋(D22)，考慮梁無法切除讓主筋貫穿，故將擴柱主筋配置靠近角隅處。箍筋號數也採用與原斷面相同的 3 號筋(D10)，箍筋間距為 15 公分。新設計斷面圖如圖 13，利用本研究所開發之斷面與材料參數編輯視窗中輸入斷面及材料參數，如圖 14 與圖 15 所示。根據補強前最終破壞狀態之塑鉸圖，進行 RC 包覆強度補強配置(圖 16)，將所設計之擴柱斷面設定至分析模型後，再以 SERCBWin 2013 求取補強設計後各構件之塑性鉸，進行耐震能力評估。圖 17 為分析所得之地表加速度與位移圖，檢核性能點 PLB 已超過規範耐震需求的 $0.4S_{DS}$ 。而從補強效果可知，擴柱補強後除強度有明顯的提升，在整體韌性也有提升。而韌性的提升是為了避免低矮磚牆造成短柱效應的發生，而在柱與牆之間設置隔離縫所產生。另外，也可由視覺化展示視窗顯示所有塑性鉸達降伏狀態或破壞桿件，並展示破壞桿件的塑性鉸發展情況，以判斷分析是否合理(圖 18)。

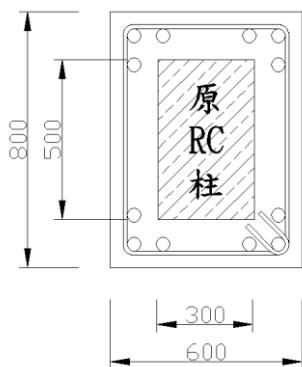


圖 13、擴柱強度補強斷面配置(單位:mm)

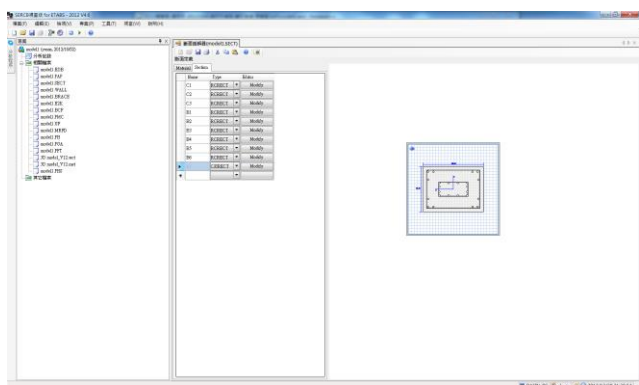


圖 14、補強斷面編輯視窗

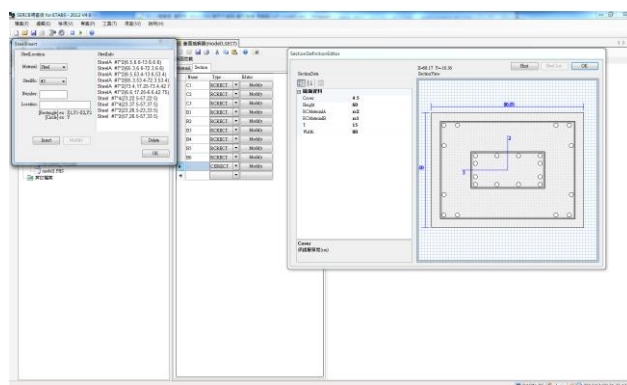


圖 15、補強斷面編輯視窗

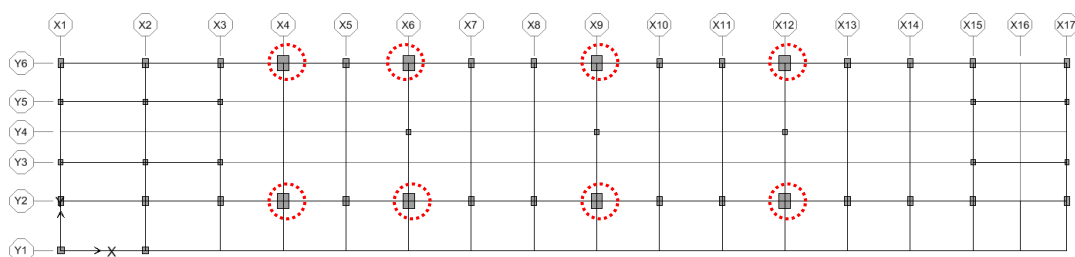


圖 16、補強配置平面圖

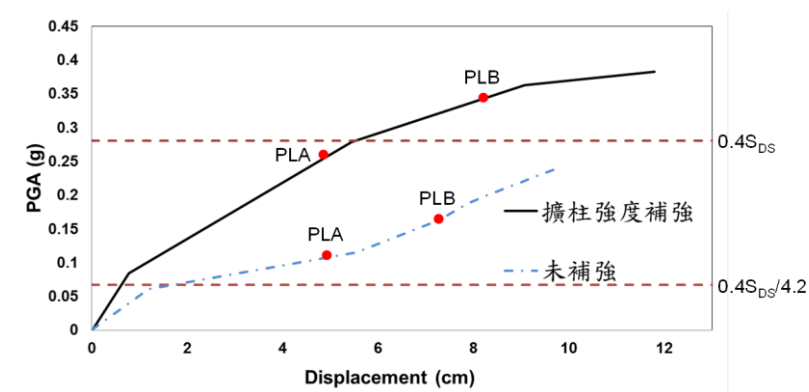


圖 17、擴柱強度補強之地表加速度與位移圖

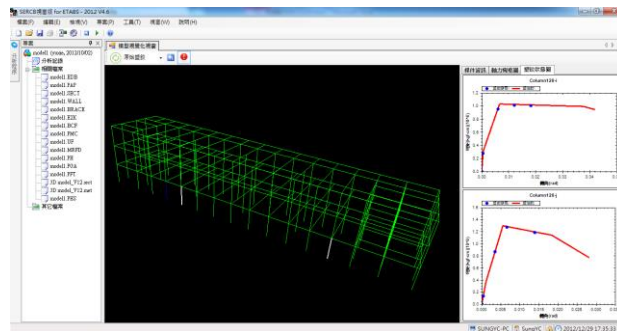


圖 18、側推分析構件塑鉸發展狀態

六、結論與建議

本研究針對國內常用補強工法及鋼斜撐框架補強工法提出各補強工法之分析方法，並蒐集相關實驗資料進行分析比對，比對結果確實能有效掌握構件補強後之行為。最後，本研究也將所提之方法建構於SERCBWin中，以作為工程師進行補強分析之工具。以下就本研究提出結論如下：

1. 本研究所開發之補強模組有翼牆補強、RC包覆強度補強、RC包覆韌性補強、鋼板包覆韌性補強、內嵌式鋼斜撐框架補強及外附式鋼斜撐框架補強，各補強模組也經過初步的分析驗證，應可作為實際補強分析工具。
2. 鋼斜撐框架補強具有良好的勁度，且大部份的補強位於建築物之外側，在施工時對於使用空間及週遭環境影響較小，完工後也不影響建築物的使用空間。因此，對於在使用空間或施工噪音、工期及施工環境等限制較嚴格的補強標的如醫院建築等，可採用此補強工法進行補強。
3. 為實現本研究所提的各補強工法之分析功能，目前針對這些補強工法所完成的分析斷面型式共計10餘種。為提供使用者在補強分析時能有更簡便的輸入視窗介面，本研究改寫現行SERCBWin的斷面編輯視窗，改以多層的輸入方式定義不同斷面的參數，提供更多的斷面輸入型式及未來的可擴充性。
4. 一般工程實務在進行翼牆補強時，常以植筋、主筋直通或單邊植筋單邊直通等工法接合增設之翼牆與梁或樓版。然而，一般在現場之植筋效果不佳，因此建議工程師在分析以植筋方式接合之翼牆補強時，可保守的忽略拉力側翼牆之主筋貢獻，而目前程式也提供此選項供工程師選擇。
5. 在混凝土組成律的部份，本研究提供Kawashima及Mander兩種組成律的設定方式，且使用者可根據不同斷面的名稱給定不同之組成律型式，一改過去SERCBWin僅能以Kawashima組成律進行分析的限制；另外，在鋼筋部份，雖然只有提供完全彈塑性之組成律，但在同一斷面如有不同強度之鋼筋，使用者可定義不同組成律，以確實反應補強斷面中，新舊斷面中的鋼筋材料性質。

參考文獻

1. 大塚真祐、毛井崇博，「鉄骨フレーム工法による耐震補強された RC 構架の力学性状」，日本建築学会大会学術講演梗概集，中國(1999)。
2. 戸田建設，「鉄骨ブレース」，<http://taishin.toda.co.jp/reinforce/case.html>。
3. 日本建築防災協会，「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針同解説」(2001)。
4. 日経アーキテクチュア編，“耐震改修实例 50，工期、コストの実態から、診断、設計、施工のノウハウまで”，日経 BP 社(2007)。
5. 宋裕祺，葉祥海，蔡益超，謝尚賢，盧明德，蘇進國，賴明俊，「鋼筋混凝土牆、磚牆塑鉸設定與含牆建築物耐震能力評估之研究」，中華民國建築學會「建築學報」，第 62 期，p. 81-98(2007)。
6. 宋裕祺、蘇進國，「鋼筋混凝土構材非線性行為分析程式(Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Member, NARC-2004)」，國立台北科技大學土木與防災所，台北(2004)。
7. 宋裕祺、蔡益超，「鋼筋混凝土建築物耐震能力評估手冊-視窗化輔助分析系統 SERCBWin2008」，內政部建築研究所，台北(2009)。
8. 張順益、廖文義等，「既有 RC 建築物修復補強工法之性能試驗研究」，內政部建築研究所，台北(2010)。
9. 植木理枝子、今井克彦、都祭弘幸，「外付け鉄骨フレーム工法による耐震補強効果に及ぼす間接接合部の影響」，日本建築学会構造系論文集，第 75 卷，第 654 號，第 1501-1508 頁(2010)。
10. 黃震興、謝有明等，「RC 橋柱之鋼板包覆耐震補強」，國家地震工程研究中心，台北(1999)。
11. 蔡益超，宋裕祺，謝尚賢，「建築物耐震評估法之修訂及視窗化研究」，內政部建築研究所，台北(2006)。
12. 蔡克銓，黃世建，鍾立來，「校舍耐震評估與補強講習會」，國家地震工程研究中心，2005。
13. 盧明德、謝尚賢、宋裕祺、蔡益超，「鋼筋混凝土建築物耐震能力評估輔助分析系統之發展研究」，結構工程，第 22-1 期，p21-43(2007)。
14. 賴明俊，「鋼筋混凝土建築物耐震能力評估系統之補強模組與視覺化展示功能開發」，博士論文，國立台北科技大學，台北(2013)。
15. FEMA 356, Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency(2000).
16. Yu-Chi Sung, Kuang-Yen Liu, Chin-Kuo Su, I-Chau Tsai, and Kuo-Chen Chang, "A Study on Pushover Analyses of Reinforced Concrete Columns", Journal of Structural Engineering and Mechanics, Vol. 21, No. 1, p.p. 35-52(2005).
17. <http://www.mono-project.com/Tao>