

既有建築物階段性評估與補強之研究

The study of the assessment and retrofitting of staged in existing buildings

主管單位：內政部建築研究所

廖文義¹

邱建國²

宋欣芳²

王佳憲²

Wen-I Liao¹

Chien-Kuo Chiu¹

Hsin-Fang Sung²

Wang-Jia-Xian²

¹國立臺北科技大學土木工程學系

²國立臺灣科技大學營建工程學系

摘要

在國內近年來地震產生人員傷亡之中高樓層建築物震害調查顯示，中高樓層鋼筋混凝土(RC)建築物常因其商業用途及使用機能所需，其結構特性常產生力傳遞路徑不良、底層軟弱、平立面不規則效應過大及非韌性配筋如鋼筋搭接不良等問題，以致易產生震損甚至倒塌造成人命傷亡。因為私有建物需由所有者或居民自行出資進行評估補強，所以經費為最重要之考量因素，為使能推動具軟弱底層之中高樓層RC建物補強，採階段性之補強策略與研發經濟有效之評估、補強策略與工法為必要之研究，如此才能提高民眾接受評估與補強之意願。在考量國內既有RC建築物常見底層軟弱、非韌性配筋及不規則效應顯著的特性，本研究將耐震性能要求訂為以防止倒塌為基準，並配合營建署推動階段性補強經驗，以過去國內地震中受損之住商混合建物，採用日本耐震評估法來計算其偏心率、剛重比等形狀指標項目，發現偏心率與剛重比項目確實可反應出此具軟弱底層建築物之弱點及折減相當之耐震能力，另藉由改善偏心率、剛重比來進行底部少數樓層適當與正確補強，在經濟費用下，顯著提昇此類建築物之耐震能力。-----

關鍵詞：火山地質、監測、地質圖、火山氣體、溫泉 地熱監測

Abstract

The major research contents of this project are as follow :

- (1) To study the technical reports for seismic retrofit , the domestic retrofit construction cases , the investigation results of earthquake damage to screen out the appropriate retrofit method for those high-rise RC buildings with soft-weak bottom story.
- (2) To conduct a comparative study of the Taiwan "Draft Regulation for Seismic Evaluation and retrofit of Existing Buildings " and Japan's "Promotion of Earthquake Retrofit of Buildings" , and propose the possible strategies to improve the resident ' s willingness at the conducting of seismic retrofit of home building.
- (3) Refer to Japan's seismic evaluation method , propose a simple seismic evaluation method that can evaluate the collapse possibility and stability of buildings under

earthquake , and provide a retrofit design strategy for buildings with soft-weak story.

- (4) To collect the information of those damaged buildings with soft-weak story in the past earthquake and relative research literatures , estimate the formula for calculating the structure period considering the cracking and damage status of structural members.
- (5) For those mixed-use building structures , select three representative structures , conduct seismic evaluation and retrofit design according the method proposed in this study , and discuss feasible retrofit strategies under consideration of economics , space limitations , and existing functions.

Keywords : middle-high rise building structure, reinforced concrete, seismic retrofit, seismic evaluation.

一、緒論

1.1 研究緣起與背景

在921地震及近期的0206美濃地震、花蓮地震之產生重大人員傷亡之中高樓層建築物震害調查顯示，中高樓層RC建築物常因其商業用途及使用機能所需，其結構特性常產生力傳遞路徑不良、底層軟弱、平立面不規則效應過大及非韌性配筋如鋼筋搭接不良等問題，以致易產生震損甚至倒塌造成大量人命傷亡。國內在國家地震中心主導下推動校舍與公有建物之耐震補強已經有相當良好之成果，但在私有建物之耐震補強設計方面，在實際施行方面與居民反應方面可能有更大之差異，因為公有建物為由政府編列預算執行，而私有建物需由所有者或居民自行出資，所以經費常常為最重要之考量因素，為使能推動具軟弱底層之中高樓層RC建物補強，採階段性之補強策略與研發經濟有效之評估、補強策略與工法為必要之研究，如此才能提高民眾接受評估與補強之意願。

故本計畫配合營建署推動「106年度安家固員計畫」推動老舊建築物耐震評估補強措施其工作項目委託辦理「政府主動輔導單棟大樓補強暨階段性補強」配套措施之示範案例，考量臺灣既有中高樓層鋼筋混凝土建築物常見底層軟弱、非韌性配筋及不規則效應顯著的特性，研究以防止倒塌為基準之耐震性能的簡易、無須整體補強之底層軟弱建物倒塌防止耐震補強分析與設計工法，以提供建管單位加速推動建物震害防治策略，其中以歷年地震之底層軟弱中高樓層災損案例為範例進行示範例及可行性檢討。

1.2 研究方法及過程

以下就本計畫執行之相關要項的研究方法進行摘要說明：

- 一、日本耐震評估、補強技術與耐震改修促進策略探討。
- 二、具軟弱底層中高RC結構之簡易耐震評估方法。
- 三、結構物形狀指標之對耐震能力影響之探討。
- 四、具軟弱底層中高RC結構之倒塌預防補強策略。
- 五、補強設計示範例。

本研究藉由蒐集日本現有相關結構補強資料與補強促進政策之推動，及國內民間私有建築、校舍建築實際補強施工案例資料，提出適用於具軟弱底層中高RC結構之各類可能適用於階段性補強的補強方法與相關要項，及研究針對具軟弱底層中高RC結構之簡易評估法。並對具軟弱底層中高RC結構之分析示範例與實務補強，提供設計方法與建議，使工程師進行實務補強設計時有所依循與參考，並配合政府之震害防治策略，提供日本既有中高樓層建築結構防止倒塌之耐震補強相關資訊，期能提出篩選建議原則、設計程序與補強策略初步建議。本計畫之研究方法為採用彙整震害資訊、國外補強技術與政策推動方式，以最少之時間與經費提供完整之工程技术支援，應為最務實方式且有助於中高RC建物耐震補強之推動。

二、文獻回顧

日本於1995年阪神大地震發生後，隨即於當年12月25日公告施行建築物耐震改修促進法，除2006年1月公告修訂版本外，並考量東日本大地震後之相關經驗，於2013年11月25日再次公告修訂版本。為了更有效率地執行建築物耐震評估與補強，日本各區亦頒布適合該區的耐震改修促進計畫，本研究以台東區耐震改修促進計畫為例進行探討。

2.1耐震改修促進計畫目的與範圍

此耐震改修促進法計畫是為了減少直下型地震造成的損害為目標，以保護區民的生命財產，也就是可能為淺層地震、震源位於日本本島內或是近海內之地震等，所引發致災性大規模的地震，以有計畫性綜合的促使區內住宅進行耐震診斷以及耐震補強，實現抗災減害的目標。計畫期間為2016年度至2020年度為期5年，以自助、互助、公開的觀點，綜合的推進關於民眾對於耐震化知識普及與意識啟發、促進耐震化的環境整備、對於耐震評估與補強法令與配套措施等，並將建築物依重要性不同進行(表2-1)。

表2-1 建築物分類表

種類	
住宅	獨立式住宅
	共同住宅
特定建築物	特定既存耐震不合格建築物
	需確認緊急安全的大規模建築物
緊急救援道路沿旁建築物	特定緊急救援道路沿旁建築物
	一般緊急救援道路沿旁建築物
防災上重要區有建築物	-

2.2耐震改修促進計畫措施

建築物耐震化執行上是以自助、共助、公助為原則，每個單位善盡其義務，方能促使其提高執行效率。首先建築物的所有者需體認到耐震化非但是自己的問題更是地域的問題，先不論地震造成建築物損傷自己的生命財產，道路封閉或是火災等二次災害可能對地域的安全性會造成重大的影響，必須在以上認知下對耐震化採取行動。建築物所有者、民間事業者、建築關係團體以及行政等密切的聯結，各司其職對區域全體的耐震化有所貢獻。最後在政府支援下，廣泛提供關於耐震診斷及耐震補強基本知識或最新技術、稅制上的優惠待遇等資訊，且在必要時，從公共性或緊急性的觀點進行財政支援，其耐震化執行之政策關係如圖2-1所示。

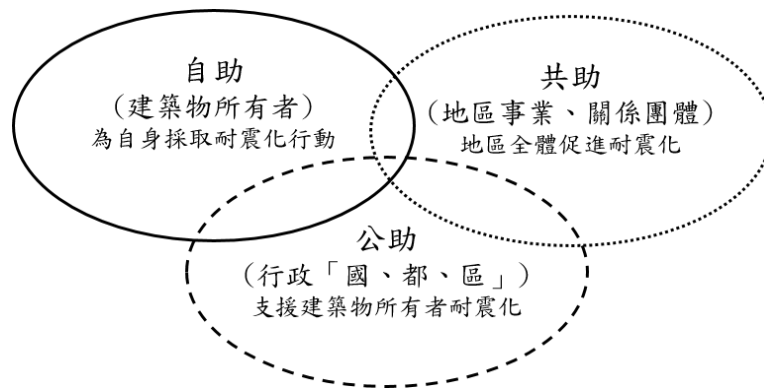


圖2-1 政策關係圖

台灣耐震設計規範於民國63年開始實施，經多年後亦改版數次，對比現今的耐震設計規範標準，舊版本規定已無法滿足地震風險之降低，所以勢必要為既有建築物進行耐震能力評估與補強。行政院於民國89年核定「建築物實施耐震能力評估及補強方案」，針對民國86年5月1日前所設計興建之公有建築物進耐震能力評估及補強。因為耐震能力評估與補強費用不低，於私有建築物進行耐震能力評估與補強並不普及，但若僅針對公有建築物進行評估與補強，台灣總體建築物要抵抗致性地震所造成的損傷仍屬不足。於民國104年7月推動「私有建築物耐震能評估補強推動先行研究」期望探討出適合台灣之方法，讓私有建築物進行耐震能力提升等作為。但於民國105年2月6日美濃地震造成台南維冠大樓倒塌事件，也說明私有建築物需重視其安全性，進行耐震評估與補強的重要性。政府能否落實積極推動既有建築物耐震評估及補強對策等防災推動目標，保護人民生命安全、財產損失、減少災害的發生，需仰賴相關法令及配套措施。謝志誠教授於2016年提出「既有合法建築物耐震評估與補強促進條例」草案，以建議進行建築物耐震評估與補強執行相關辦法。

由於台灣目前尚無相關明立之條款或法令，若除了相關耐震能力評估與補強辦理方式，或提高建築物耐震能力之標準外，再配合相關金融配套措施，相信必能使台灣耐震能力評估與補強意願與執行率能夠提升，使得台灣地區之建築物能邁向耐震化的目標前進。

國內目前重要政策之一「建築物耐震安檢—給國人一個安心的家」於2月26日宣布全面啟動全國性建築物耐震安檢及輔助重建補強措施，預計4年投入60億元預算，推動「建物快篩」、「耐震評估」、「重建補強」、「階段性補強」及「金融協助」五大策略，有計畫性的提高建築物的耐震能力，除了制定執行耐震能力評估與補強相關規定外，另外給予資金上的配套措施，提高建築物所有權人進行耐震能力評估與補強的意願，給國人一個安心的家。

結構物耐震能力不足的原因，可能為建築物老舊且當時設計的耐震規範比起現今規範較為不足，國內建築特性多有騎樓、住商混合型建築或是不當的改變結構系統，造成結構物具有軟弱層，邊坡不當開發，未處理土壤液化防治等。政府所啟動之建築耐震安檢的計畫中，會針對特定具有高危險疑慮的建築物類型，如結構物具有軟弱層或於特定年代興建等，進行快速的篩檢。對於這類高危險疑慮

建築物與特定私有供公眾使用之建築強制執行耐震評估，確有疑慮者進行耐震補強或重建。於重建或全面補強的整合、規劃期間，預期先進行階段性補強，快速的解除軟弱層所造成的破壞，以確保期間內發生地震時結構物不因耐震能力不足而倒塌。另外政府亦提供輔導及金融協助，提供民眾了解相關程序外，對於評估於補強的費用補助，及相關金融融資協助，幫助解決民眾資金問題，提高診斷與補強意願。

目前預期需進行耐震評估與補強的總量體較大，為了快速使建築物耐震能力提高，足以抵抗地震之程度，進行階段性補強是必要過程，國內尚無相關階段性補強詳細之文獻，待未來提出後亦會進行回顧。

二、結構基本耐震能力

3.1 結構基本耐震能力

本研究所提之方法主要為針對具軟弱底層中高樓層RC建物之底層的快速耐震評估方法，提供建物地震下底層或某一軟弱層之耐震性能與穩定性評估，對於需評估整體結構之耐震能力時，建議採用其他如側推分析或歷時分析法等詳細評估方法。建築物各樓層於各主軸方向之耐震能力 S_c 根據式(3-1)之評估法或其他詳細耐震評估法計算，建築物各樓層之耐震能力於本研究以該樓層能抵抗之水平譜加速度係數 S_c 表示。

$$S_c = S_0 \times S_D \times I_S \times I_T \quad (1)$$

式中，

S_0 =各樓層之基本耐震能力。

S_D =形狀指標。

I_S =樓層調整指標。

I_T =經年指標。

於本研究之評估法中，基本假設為建築物屬於弱柱強梁(破壞於豎向構材)之情況，對於建築物經判斷可能屬強柱弱梁者，則應採用詳細評估法來進行分析計算，另若建築物屬結構行為過於複雜或重要性極高者，亦建議採用其他詳細評估法來進行耐震能力評估。

結構耐震合格標準為依照式(1)計算所得之水平譜加速度係數 S_c 需大於建物工址依耐震設計規範計算所得之設計譜加速度 $I \times S_{ad}$ (I 為建物之重要係數)。建築物耐震能力合格標準為：

$$S_c \geq S_{ad} \times I \quad (2)$$

式中，

I =用途係數。

S_{ad} =475年設計地震下所對應之地表譜加速度。

基本耐震能力 S_0 為用於評估建築物在不考慮形狀及經年指標影響下之耐震性能，建築物各樓層之各主軸方向皆應分開加以計算，本研究基本耐震能力 S_0 之計算與構材之破壞模式、極限強度及韌性容量有關。總樓層數為 n 層之建築物，其第 k 樓層之樓層調整指標 I_S 的定義為：地震下建築物上部結構所受之總側向力與第 k 層所受之層剪力的比值，其可依合理之地震力豎向分配進行詳細計算或依(3)式計算。

$$I_S = \frac{\sum_{i=1}^n W_i h_i}{\sum_{i=k}^n W_i h_i} \quad (3)$$

式中，

W_i =第 i 樓層之靜載重(包括應考慮於靜載重中之活載重)，應依實計算或對7層以下以 $1.20(\text{tf}/\text{m}^2)$ 、8-14層以 $1.30(\text{tf}/\text{m}^2)$ 、15層樓以上以 $1.40(\text{tf}/\text{m}^2)$ 單位面積重乘以樓層面積和(m^2)方式計算。

h_i =第 i 樓層離基面之高度(m)。

3.2耐震能力之計算

基本耐震能力 S_0 之計算為於式(4)各式中計算所得取大值，豎向構材必須根據其可使用之韌性容量 R 區分為低韌性、一般韌性與高韌性三種分類，其中所謂低韌性定義為韌性容量 $R \leq 2.0$ ，一般韌性為 $2.0 < R \leq 3.0$ ，高韌性為 $R > 3.0$ 。

$$S_0 = F_u \times (Q_L + \alpha_M Q_M + \alpha_H Q_H) / W ; F_u = F_u(T, R_{aL}) \quad (4a)$$

$$S_0 = F_u \times (0.5Q_L + Q_M + Q_H) / W ; F_u = F_u(T, R_{aM}) \quad (4b)$$

$$S_0 = F_u \times (0.3Q_L + 0.5Q_M + Q_H) / W ; F_u = F_u(T, R_{aH}) \quad (4c)$$

式中，

Q_L =為建築物評估樓層所有屬於低韌性之構材的計算強度和。

Q_M =建築物評估樓層所有屬於一般韌性之構材的計算強度和。

Q_H =建築物評估樓層所有屬於高韌性之構材的計算強度和。

α_M =0.85；一般韌性構材之有效強度因子。

α_H =0.7；高韌性構材之有效強度因子。

R_{aL} =評估樓層屬低韌性構材以側向極限強度為加權的平均容許韌性容量，本研究取為1.5。

R_{aM} =評估樓層屬一般韌性構材以側向極限強度為加權的平均容許韌性容量，本研究取為2.5。

R_{aH} =評估樓層屬高韌性構材以側向極限強度為加權的平均容許韌性容量，本研究取為3.5。

W =建築物全部靜載重(包括應考慮於靜載重中之活載重)。

F_u =依耐震設計規範計算之結構系統地震力折減係數。

二、形狀指標

日本於2017年針對其「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準與解説」(以下稱診斷基準)進行修訂,其內容主要包含總則、建築物之調查、耐震指標 I_s 、保有性能指標 E_o 、強度指標 C 、韌性指標 F 、形狀指標 S_D 及經年指標 T 之計算方法,各指標關係為 $I_s = E_o \times S_D \times T$ (C 及 F 用於計算 E_o)另各指標主要意義如下:

- 一、耐震指標 I_s :結構抗震性能指標。
- 二、保有性能指標 E_o :表示建築物具有的基本抗震性能的指標,其由強度指數 C ,韌性指數 F 和外力分布之修正係數計算得出。
- 三、強度指標 C :將建築物或構件所承受的強度除以水平力所得之值除以目標地面以上的重量。
- 四、韌性指標 F :代表構件變形能力的指標。
- 五、形狀指標 S_D :考慮建築物的平面、立面形狀或平面、立面勁度分布,來修正保有性能指標 E_o 之指標。
- 六、經年指標 T :由於建築物老化用於修正保有性能指標 E_o 的指標。

而在耐震指標 I_s 診斷方法上,依據複雜及精確度主要區分一次診斷、二次診斷及三次診斷,因此各指標也因三者有不同的要求與計算方式(類似我國耐震初步評估與詳細評估之分類)。此外,依據我國耐震設計規範訂定,針對不規則性結構須採用動力分析方法計算,然在耐震初步評估階段針對結構平面或立面不規則之評估往往僅採用定性方法進行計算並無定量方法,而日本針對此問題則以形狀指標作為耐震性能之修正,並於2017年診斷基準中做了較大幅度修正與提出定量方法,本章則主要介紹日本形狀指標在結構平面、立面形狀不規則所探討之評估項目、計算方法及等級分類等,最後於第五章中援引案例進行計算與探討,以瞭解形狀不規則對結構耐震性能之影響程度。

4.1 形狀指標診斷基準內容

所謂的形狀指標 S_D ,乃因建築結構形狀的複雜度及不均勻勁度分布等對於耐震性能之影響,藉由工程判斷來進行定量及 E_o 指標之修正參數。根據結構耐震指標之簡單性及準確性,以形狀指標來計算出一次診斷、二次診斷及三次診斷方法之三種指標。2001年版與2017年版診斷基準於計算 S_D 指標評估項目的比較如表4-1及4-2所示,既往之形狀指標與此次修定之最大差別為結構分析中之構件勁度評估法。

在2001年版之診斷基準中,可由柱或牆壁之斷面積來間接求取,或利用彈性勁度來評估。2017年版修訂中,原則上使用假設之割線勁度來計算 I_s 指標,使用割線勁度的原因在於為正確評估與鋼構補強側撐之相對勁度,及避免高估因底層挑空而產生整體彎曲變形(軸向變形)之影響等。然而,在某些情況下,也可以如同現行的結構設計方法使用彈性勁度,儘管評估的概念遵循既有之方法,但計算式與評估值也已使用割線勁度進行計算。2017版中除了上述之修訂內容外,在二次診斷及三次診斷中刪去了層高之均等性 i 項目,原因在於其已在剛重比 n 的項目中被考慮,此外,底層有無挑空 j 之項目,假設僅在B法中使用彈性勁度的時候才適用,原因在於使

用彈性勁度的時候，以 F_S 值反應挑空層強度較其他層為低是為困難的。在診斷基準中根據勁度分布計算之形狀指標評估法分為兩種：方法A法及方法B，在解說的部分則為三種：方法A、方法B及方法C。

方法A是基於初始診斷基準概念之方法，類似於2001年版之評估基準，同樣使用偏心率和上下層之剛重比來計算，當偏心率顯著時，應適用於診斷基準中例外事項之規定。方法B是基於日本建築基準法執行令概念之方法，乃使用剛重比及偏心率所計算之水平抗力的乘權因子 F_{es} 之倒數。雖然在2001年版診斷基準中沒有描述處理偏心顯著時之例外事項，但其明確指出原則上不需要審查例外事項，如同一般結構計算，使用以彈性勁度為基礎之 F_{es} 即可。

方法C為2017年修訂所提出之方法，是一種著重於從剛心至最遠距離之豎向構材變形的計算法。雖然並無包含在診斷基準內，但在解說中有表示，此指標之折減並無下限值，且不須要檢查例外事項。而此次2017年修訂中，以試用的基礎而提出，目的是進一步改善過去方法之問題，並根據分析來驗證其是可以合理地改善問題，預計將反應於未來診斷基準之修訂。若通過比較和檢驗不同方法之試算後，經工程判斷C法如為合適之結果，則可作為特別檢查之計算值來採用(本研究以方法A、B為探討對象)。

表4-1 S_D 指標比較(一次診斷法)

項目		2001年版	2017年版	適用	
平面 形狀	a	外觀性	O	O	以最弱層來決定建物之數值。但d及f為針對方向，k則針對各層來決定。
	b	邊長比	O	O	
	c	凹角性	O	O	
	d	伸縮縫	O	O	
	e	挑空	O	O	
	f	挑空之柱不均匀分布	O	-	
	f	剛性樓版	-	O	
斷面 形狀	h	地下室	O	O	
	i	層高之均等性	O	O	
	j	有無底層挑空	O	O	
	k	柱之連續性 ^{*2}	-	O	

表4-2 S_D 指標比較(二次及三次診斷法)

項目		2001年版		2017年版			適用	
				A法	B法	C法(解說)		
平面 形狀	a	外觀性	O	O			以最弱層來決定建物之數值。但d及f為針對方向，k則針對各層來決定。	
	b	邊長比	O	O				
	c	凹角性	O	O				
	d	伸縮縫	O	O				
	e	挑空	O	O				
	f	剛性樓版 ^{*1}	-	O				
斷面 形狀	h	地下室	O	O				
	i	層高之均等性	O	-				
	j	有無底層挑空	O	Δ ^{*3}				
	k	柱之連續性 ^{*2}	-	O				
勁度 分布	構材之勁度		由斷面 積計算	彈性 勁度	使用割性勁度 ^{*4} B法也可使用彈性勁度			根據各層之 方向而定
	l	偏心率	式(4-4)	$1/F_e$	式 (4-4)	$1/F_e$	解說-式 (3.3.3-15, 16)	
	n	剛重比	式(4-12)	$1/F_s$	式 (4-12)	$1/F_s$	解說-式 (3.3.3-37, 38)	
例外事項之檢查		必要 ^{*5}	/	必要 ^{*5}	無 ^{*6}	無	-	

備註：

*1：剛性樓版假設之項目相當於舊版診斷基準之挑空柱不均勻。

*2：新建立下層柱之連續性。

*3：在方法B中，僅適用於使用彈性勁度。

*4：原則上使用 $F=1.0$ 之割線勁度。在方法C中可以根據變形使用兩種類之割線勁度
 $F=0.8$ 、 1.0 ，此時， l 及 n 值也以兩種類分別計算。

*5：偏心率 l 超過 0.15 時需檢驗。

*6：參照B法之適用性。

4.2 評估項目及計算方法

野外地質調查主要著重在火山岩產狀的認定和分佈情形，利用地形圖配合GPS的定位，並設計野外地質調查記錄表。抵達每一個露頭後，針對記錄表內容加以填寫，然後攜回實驗室內做進一步的分析處理

(一) 形狀指標的評估項目

在計算形狀指標時，評估以下項目之影響(表4-3)，在計算一次診斷的形狀指標時，可以省略勁度分布之評估。

1. 關於平面形狀(平面一致性)之項目：a：外觀性、b：邊長比、c：凹角性、d：伸縮縫、e：挑空、f：剛性樓版假設。
2. 關於斷面(立面)形狀之(垂直方向之一致性)項目：h：有無地下室、i：層高之均等性、j：有無底層挑空、k：柱之不連續性。
3. 關於勁度分布(平面與垂直)之項目：l：偏心率、n：剛重比。

(二) 形狀指標的計算方法

1. 一次診斷用之形狀指標

$$S_{D1} = q_{1a} \times q_{1b} \times q_{1c} \times q_{1d} \times q_{1e} \times q_{1f} \times q_{1h} \times q_{1i} \times q_{1j} \quad (5)$$

式中，

$$q_{1i} = 1 - (1 - G_i) \times R_{1i} \quad ; \quad i = a, b, c, d, e, f, i, j, k \circ$$

$$q_{1i} = 1.2 - (1 - G_i) \times R_{1i} \quad ; \quad i = h \circ$$

2. 二次診斷用之形狀指標

$$S_{D2} = q_{2a} \times q_{2b} \times q_{2c} \times q_{2d} \times q_{2e} \times q_{2f} \times q_{2h} \times (q_{2j}) \times q_{2k} \times q_{2l} \times q_{2n} \quad (6)$$

式中，

$$q_{2i} = 1 - (1 - G_i) \times R_{2i} \quad ; \quad i = a, b, c, d, e, f, (j), k, l, n \circ$$

$$q_{2i} = 1.2 - (1 - G_i) \times R_{2i} \quad ; \quad i = h \circ$$

表4-3 形狀指標相關評估項目分類一覽表

			等級 G_i			範圍調整係數 R_i	
			1.0	0.9	0.8	R_{1i}	R_{2i}
水平 方	a	外觀性	規則 a_1	幾乎規則 a_2	不規則 a_3	1.0	0.5
	b	邊長比	$b \leq 5$	$5 < b \leq 8$	$8 < b$	0.5	0.25

向	c	凹角性	$0.8 \leq c$	$0.5 \leq c < 8$	$c < 0.5$	0.5	0.25
	d	伸縮縫	$0.01 \leq d$	$\frac{1}{200} \leq d < \frac{1}{100}$	$d < \frac{1}{200}$	0.5	0.25
	e	挑空	$e \leq 0.1$	$0.1 \leq e < 0.3$	$0.3 < e$	0.5	0.25
	f	剛性樓版假設	是	稍有疑慮	疑慮	0.5	0.5
	l	偏心率	根據方法A及B而定			-	1.0
垂直方向	h	有無地下室	$1.0 \leq h$	$0.5 \leq h < 1.0$	$h < 0.5$	1.0	1.0
	i	層高均等性	$0.8 \leq i$	$0.7 \leq i < 0.8$	$i < 0.7$	0.5	-
	j	有無底層挑空	無	全挑空	部分	1.0	1.0
	k	柱之不連續性	未滿10%	10%以上 50%以下	50%以上	0.5	0.5
	n	剛重比	根據方法A及B而定			-	1.0

a_1 =幾乎雙軸對稱且該層突出之部分為該層樓地板面積之10%以下。

a_2 =較 a_1 更不規則。此外，在L、T及U形的平面中，突出的部分為該層樓地板面積30%以下。

a_3 =較 a_2 更不規則。此外，在L、T及U形的平面中，突出的部分為該層樓地板面積30%以上。

b =(建築物的長邊)/(建築物的短邊)。

c =(凹角部分之短邊長度)/(整體短邊之長度)。

d =適用於可能發生伸縮縫碰撞之方向。 d =(伸縮縫的間隙)/(伸縮縫所在之建物高度)

。

e =(挑空面積)/(包含挑空之該樓層面積)。鋼筋混凝土所包圍之樓梯間不算在內。

f =考慮包含樓梯間及挑空部分之樓板的平面形狀和結構構材之配置等來綜合判斷。

h =(地下面積)/(建築面積)。

i =上層的樓高/該層的樓高，若該層為頂層時，則以下層樓高為主。

k =(下層無連續柱之數目)/(該層柱之數目)來判斷。

4.3 勁度分布之評估方法

原則上， S_D 指標計算中的勁度分布是以日本耐震診斷基準(初版)或基於建築基準法之規定的方法來探討。關於項目 l 之平面勁度分布(偏心率)的等級，在方法

A以 G_i ，方法B以 G_i' 來表示。項目n之垂直方向之勁度分布(剛重比)，在方法A以 G_n ，方法B以 G_n' 來表示。項目n和l是藉由共同的方法(方法A或方法B)來計算的。

(一)構材之割線勁度

就方法A或方法B而言，各構材之割線勁度 K 是以下式來計算。但是在方法B中能夠使用彈性勁度。

$$K = \frac{\alpha Q}{R} \quad (7)$$

式中，

R =所探討之層間變形角，原則上變形對應於韌性指標 $F=1$ 。

Q =構材(柱或牆)之極限強度。

α =對應於 R 之強度貢獻係數。若為極脆性柱的時候，變形對應於 $F=1$ 之 α 是以0.5為原則。

(二)項目l(偏心率)之 G 值

1.方法A

(1)藉由下式計算偏心率 l

$$l = \frac{e}{\sqrt{B^2 + L^2}} \quad (8)$$

式中，

e =重心至剛心之距離(垂直地震方向)。

B 及 L =將樓層之平面以等值矩形來代替之尺寸。

(2)根據偏心率的範圍來計算方法A之 G_l ，如下式所示。

$$\begin{aligned} G_l &= 1.0; (l \leq 0.1) \\ G_l &= 0.9; (0.1 < l \leq 0.2) \\ G_l &= 0.8; (0.2 < l \leq 0.3) \end{aligned} \quad (9)$$

2.方法B

(1)藉由下式計算扭轉勁度

$$K_R = \sum K_{xj} Y_j^2 + \sum K_{yj} X_j^2 \quad (10)$$

式中，

K_{xj} 及 K_{yj} =構材 j 在 X 及 Y 方向之剛性。

X_j 及 Y_j = 剛心至構材 j 之 X 及 Y 方向之距離。

對於 K_x 及 K_y 而言，原則上為使用式(7)之割線勁度，亦可使用構架之彈性分析所得之層間變形角而求得之勁度。

(2) 藉由下式計算 X 及 Y 方向之彈力半徑 r_{eX} 及 r_{eY}

$$r_{eX} = \sqrt{\frac{K_R}{\sum K_{Xj}}} ; r_{eY} = \sqrt{\frac{K_R}{\sum K_{Yj}}} \quad (11)$$

(3) 藉由下式計算 X 及 Y 方向之偏心率 R_{eX} 及 R_{eY}

$$R_{eX} = \frac{e_Y}{r_{eX}} ; R_{eY} = \frac{e_X}{r_{eY}} \quad (12)$$

(4) 根據偏心率之範圍來計算係數 F_e

$$\begin{aligned} F_e &= 1 ; (R_e \leq 0) 1.5 \\ F_e &= 1 + (R_e - 0.1) 5 \cdot 30 ; 0.15 R_e \leq 0 \\ F_e &= 1.5 ; (0 R_e) \end{aligned} \quad (13)$$

(5) B法之 G'_i 以係數 F_e 之倒數來計算

$$G'_i = \frac{1}{F_e} ; 1 \leq F_e \leq \quad (14)$$

(三) 關於項目 n (剛重比) 之 G 值

1. 方法 A

(1) 利用下式計算第 i 層受到層間剪力時重心位置之變形角 R_i 。

$$\begin{aligned} R_{iX} &= \frac{W_i}{\phi_i \sum K_X} \sqrt{\left(1 + \frac{e_Y^2 \sum K_X}{K_R}\right)^2 + \left(\frac{e_X e_Y \sum K_X}{K_R}\right)^2} \\ R_{iY} &= \frac{W_i}{\phi_i \sum K_Y} \sqrt{\left(1 + \frac{e_X^2 \sum K_Y}{K_R}\right)^2 + \left(\frac{e_X e_Y \sum K_Y}{K_R}\right)^2} \end{aligned} \quad (15)$$

式中，

W_i = i 層之重量。

ϕ_i = 外力分布之補正係數。

$\sum K$ = 式(7)所計算之第 i 層全部構材的割線勁度總和。

(2) N 層之建築中，根據該 i 層對應之層數如最下層(第1層)、中間層或是最上層(第 N 層)，依式(16)來計算 n 值。

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{R_i}{R_{i+1}} ; i=1 \\
 n &= \max\left(\frac{R_i}{R_{i+1}}, \sqrt{\frac{R_i}{R_{i-1}}}\right) ; 1 < i < N \\
 n &= \sqrt{\frac{R_i}{R_{i-1}}} ; i = N
 \end{aligned} \tag{16}$$

(3) 方法A之 G_n 根據係數 n 的範圍，依下式計算。

$$\begin{aligned}
 G_n &= 1.0 ; n \leq 1.5 \\
 G_n &= 0.9 ; 1.5 < n \leq 2 \\
 G_n &= 0.8 ; n > 2
 \end{aligned} \tag{17}$$

2. 方法B

(1) 與方法A一樣計算第 i 層重心位置之變形角 R_i 。原則上 R_i 是以利用割線勁度來計算，但在方法B中，也能夠藉由彈性勁度為基礎之構架分析來計算 R_i 值。

(2) 根據各層層間變形角之倒數來計算剛重比 R_s 。

$$R_s = \frac{r_{si}}{r_s} \tag{18}$$

式中，

$$r_{si} = \frac{1}{R_i} , \quad \bar{r}_s = \frac{\sum r_{si}}{N} \quad (N \text{ 為上部樓層數})。$$

(3) 利用剛重比 R_s 計算係數 F_s 。

$$\begin{aligned}
 F_s &= 2 - \frac{R_s}{0.6} ; R_s \leq 0.6 \\
 F_s &= 1.0 ; R_s > 0.6
 \end{aligned} \tag{19}$$

(4) B法之 G_n' 以係數 F_s 之倒數來計算。

$$G_n' = \frac{1}{F_s} ; 1 \leq G_n' \leq 2 \tag{20}$$

(5) 下層挑空但有柱支撐

連層耐震壁在下層並無連續，且經由柱來支撐時，除了對前項為止之檢查外，需參照診斷基準附錄6探討耐震壁對於下層柱之影響。

4.4 日本形狀指標與國內相關規範比較

建築物因外型不同在受震後會產生不同變形與反應，日本因應此現象考量建築物之結構特性於耐震能力診斷基準中訂定形狀指標，以提供評估者明確計算方式判定結構物的形狀特性。在國內相關的耐震設計規範或各耐震能力評估方法中，亦有相似考量結構物不規則性的項目，但與日本所考慮的面向可能並非完全一致，以下探討日本耐震能力評估、台灣耐震設計規範、建研所於「鋼筋混凝土建築物耐震評估程式增修與應用研究案」提出之耐震能力評估法及國震中心於「2016建築物耐震評估與補強技術講習會論文集」提出之「低矮型鋼筋混凝土建築結構耐震能力初步評估」，針對結構物形狀特性所考慮的項目比較，而表4-4以日本形狀指標項目為主，探討國內設計規範或補強方法具有相似之判斷項目進行比較。

表4-4 日本形狀指標與國內相關法規方法比較表

	日本耐震評估法	耐震設計規範	建研所方法	國震中心方法
平面 不規則	平整性	✓		
	邊長比			
	凹角性	✓	✓	✓
	伸縮縫			
	挑空	✓		
	剛性樓版假設			
	偏心率	✓		
立面 不規則	有無地下室		✓	
	層高均等性			
	有無底層挑高			
	柱之不連續性	✓		
	剛性比	✓	✓	✓

五、耐震評估示範例

5.1 基本資料與結構現況

(一) 現況及用途

本分析範例之中部大樓為地下二層、地上十四層之鋼筋混凝土構造，一、二樓

間有夾層，部份為挑空設計，採用筏式基礎，整棟建築物呈口字型，部份設計為開放空間，為住商混合大樓。建築物平面尺寸於X向約61.08m，Y向約41.08m；其1F之樓層高為5.8m(含夾層高度2.8m)，2F樓層高為3.5m，3F以上至11F樓層高為2.9m，12F-14F樓層高為3.2m，建築物地面以上總高度為45m。其一二樓為商店與銀行，僅有少部份之完整牆體，三樓以上為住宅則有許多之隔戶隔間牆體，為典型之軟弱底層大樓，另本大樓之平面與立面亦屬不規則之結構，此類結構在歷年震害中常有嚴重之損壞或倒塌，故本研究以此結構來說明所提方法之評估流程與針對結構弱點之補強。建築物使用現況如表5-1所述，結構平面圖如圖5-1所示

(二)材料強度

本建築物現況耐震能力評估採用之各樓層混凝土抗壓強度為208 kgf/cm²；鋼筋降伏強度4200 kgf/cm² (主筋#6~#10鋼筋)、2800 kgf/cm² (箍筋#3~#5鋼筋)；底層柱之主筋量約在3.0%-4.0%左右，箍筋於X及Y向依尺寸不同採4#4到6#4範圍，箍筋間距於兩端為10cm，中間段為15cm。

根據附近地區地質鑽探資料，計算得工址地表面下30公尺內土層之平均剪力波速值為266m/s，故依地盤分類表，本工址可歸類為第二類地盤，故分析時將以第二類地盤(普通地盤)進行分析。

5.2結構基本耐震能力

(一)耐震能力標準

本棟建築物為第四類建築物，重要係數 $I=1.0$ 。依據最新建築物耐震設計診斷基準，新建建築物是採用回歸期475年(50年超越機率為10%)的地震做為設計標準。本案標的物依據耐震設計診斷基準說明，並經查詢「國立中央大學應用地質研究所工程地質與防災科技研究室之數值化GIS之圖層套疊資料」，工址臨近車籠埔斷層，與斷層距離 $r=3\text{km}$ ，其計算式如下：

$$S_s^D = 0.80, N_a = 1.07, F_a = 1.00$$

$$S_1^D = 0.40, N_v = 1.22, F_v = 1.30$$

$$S_{DS} = F_a \times (N_a \times S_s^D) = 0.856$$

$$S_{D1} = F_v \times (N_v \times S_1^D) = 0.634$$

$$\text{結構週期採 } T = 0.05 h_n^{0.75} = 0.87 \text{ s}$$

$$T_0^D = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.634}{0.856} = 0.73 \text{ s}$$

故知樓層耐震能力合格標準如第三章所述，需能抵抗水平譜加速度係數

$$S_c > S_{ad} = S_{D1} / T = 0.73。$$

表5-1 建築物現況調查結果彙整表

建築物名稱	中部大樓			
構造	鋼筋混凝土造			
屋齡	30年			
樓層數	地上14層，地下2層室			
總樓地板面積	約9000 m ²			
建築物地上高度	45 m			
各樓層	1F	2F	3F-11F	12F-14F
樓層高	580 cm	350 cm	290 cm	320 cm
設計用途	商店、銀行	商店、銀行	住宅	住宅
使用現況	商店、銀行	商店、銀行	住宅	住宅

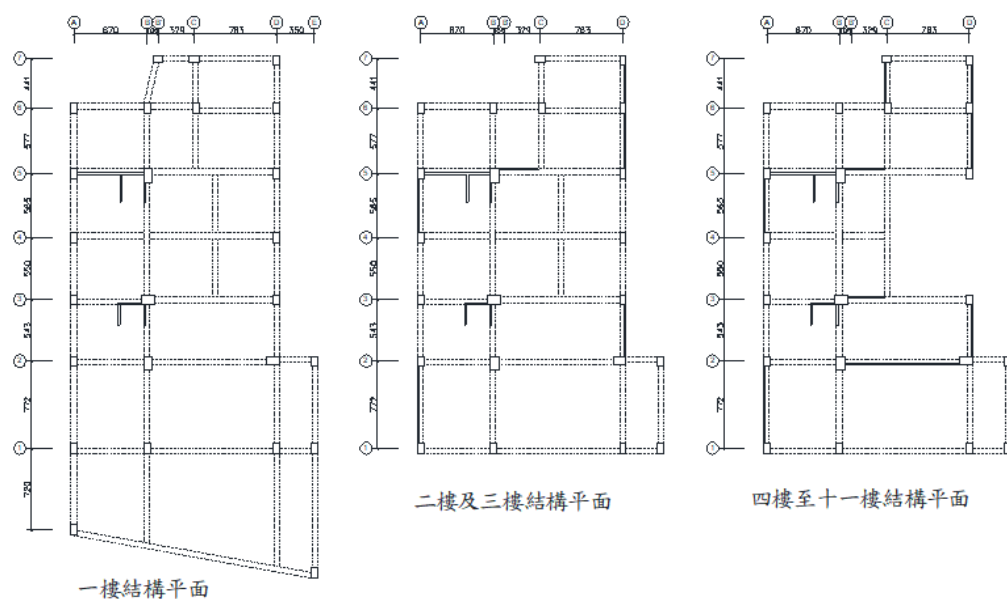


圖5-1 分析建物結構平面圖

(二)基本耐震能力 S_0

評估建物之底層柱與牆的編號如圖5-2所示，評估之樓層為底層，故計算所得樓層調整指標 $I_S=1.0$ 。本範例柱與牆構材於各主軸方向之計算撓曲與剪力強度依土木401「混凝土工程設計診斷基準與解說」中規定之方式計算。

經計算結果可推得其X向底層基本耐震能力譜加速度 $S_{0x}=0.840$ ，而Y向底層之基本耐震能力同樣可為譜加速度 $S_{0y}=0.838$ 。

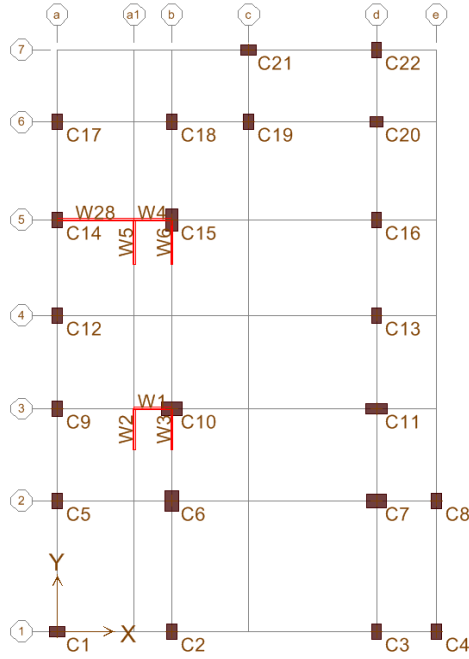


圖5-2 底層柱與牆編號平面圖

5.3 形狀指標 S_D 計算

將所得 G_i 值及 q 值彙整如表5-2所示，並計算2F各方向 S_D 值，利用方法A所得X方向形狀指標 $S_{D_x}=0.77$ 、Y方向形狀指 $S_{D_y}=0.77$ ，此結果再與所得之結構基本耐震能力 S_0 進行折減，可重新推得範例建物X、Y向底層基本耐震能力譜加速度：

$$S_{0_x} \times S_{D_x} = 0.840 \times 0.77 = 0.647 < S_c = 0.73$$

$$S_{0_y} \times S_{D_y} = 0.838 \times 0.77 = 0.645 < S_c = 0.73$$

從上述結果可以得出，X、Y方向耐震能力經形狀指標折減後已低於耐震能力標準，由此可知形狀指標能夠反應出結構形狀不規則對耐震性能之影響。

表5-2 方法A形狀指標計算結果彙整表

2F	項目	G值	q值	
			X向	Y向
水平方向	a	0.8	0.9	
	b	1.0	1.0	
	c	0.8	0.95	
	d	1.0	1.0	
	e	0.8	0.95	
	f	0.9	0.95	
	l	1.0;1.0	0.9	1.0
垂直方	h	1.0	-	

向	j	0.9	-	
	k	1.0	1.0	
	n	1.0;1.0	0.9	1.0
形狀指標(S_D)			0.77	0.77

六、補強規劃設計與工法介紹

6.1 基本策略

進行耐震補強規劃時之基本策略，是基於強度增加方式或(及)韌性增加方式來達到耐震性能需求，設計者應選用能達到耐震性能需求之最經濟、影響性最小及不過度影響建築物功能性之補強方式。而對各類建物耐震補強基本策略建議如下：

- (一)老舊低矮建築物或用途係數高之建物，建議以強度補強為補強設計之策略。
- (二)高層建築或規範規定第四類建築，建議以強度搭配部份構材韌性補強為策略。
- (三)高層建築或建物既有韌性佳結構，建議採消能補強方式為策略。

6.2 結構系統補強

一般具軟弱層建築物，如採階段性補強策略則以結構系統補強方式為宜，其可以區分鋼筋混凝土(RC)剪力牆、鋼造斜撐或鋼板剪力牆、挫屈束制支撐強、消能補強、其他補強技術等幾種方式，以下就鋼筋混凝土RC剪力牆說明如下：對於側向強度差或是結構構材大都屬於脆性剪力破壞之建築物，可採用增設RC剪力牆補強方式來提昇建築物之整體強度。藉著增設剪力牆本身之抗剪強度及側向勁度，以改善整個結構系統，並減輕梁、柱構件之負擔，其方式可為空構架中填充新的剪力牆、填充既存RC牆之開孔、增加現有RC牆體厚度或於現有磚牆增設平行結合RC牆等方式來進行補強。

採用增設剪力牆之補強，必須確保填充剪力牆與邊界構架間之應力傳遞機制，一般可採用設置化學錨栓、植筋、剪力釘、將牆筋錨錠或銲接於邊界構架梁柱之既有鋼筋上等方法(內政部建研所，2005；黃世建，2003；張國鎮等，2002)。

因增設之RC剪力牆強度頗大，設計時應注意與四周梁、柱、版及基礎間力量傳遞檢討。另RC剪力牆之破壞機制與強度受施工時混凝土澆置方式之影響極大，所以於設計及施工階段需要特別注意此事項。剪力牆補強需盡量由底層補強至所需樓層，使垂直力與側向力能傳遞至基礎，盡量不採跨樓層方式補強。若補強樓層之下層無法進行RC牆補強時，則應對側向力傳遞進行詳細之計算並採取其他合適之補強措施。採用剪力牆補強時，當牆(包括端構材)之彎矩破壞強度或支承基礎強度小於剪力破壞強度時，需注意此時牆之剪力強度並無法完全發揮；另外由增設剪力牆後會造成靜載重增加、地震時豎向構材軸力改變及破壞機制改變等效果，此些效果對基礎與地盤之安全性的影響應於設計階段加以考量。當建築物具有軟弱底層(Soft-First Story)或是質心剛心具有較大之偏心量時，由於剪力牆之勁度相當高，所以應盡量運用剪力牆來改善結構抗側力系統平立面分布之均勻性。

對於結構構材大都屬於撓曲破壞但強度不足之建築物，若增設強度為由撓曲強度或基礎旋轉強度控制之剪力牆，利用其韌性消能之效果，亦為有效之補強方式。剪力牆之位置應該根據建築物使用上之限制及考慮平面與立面之結構勁度與強度平衡性等因素，將牆設置於適當之位置。

6.3 結構補強示範例

本研究補強設計範例為第五章所述之耐震評估示範例之十四層鋼筋混凝土造中部某大樓，由第五章結果可以得知其依日本診斷基準計算所得之形狀指標於耐震能力需作折減。探討本建物耐震能力折減因素為(一)底層為部份挑高、底層牆量少與牆體分配不均勻，使質心剛心造成較大之偏離與造成底層剛度低，(二)整體結構平面不規則，各構架之受力不均勻。故針對此些結構上之弱點，規劃以RC剪力牆來對底層進行補強，以提高其底層剛度與平面之不規則性。為不影響整體空間之運作及使用，研擬於X向底層挑高柱處第一個構架及第二個構架增設RC牆以提升整體耐震能力，RC牆補強後可能會造成端構材處之軸力加大，故於牆內新增一牆中柱來加大斷面；規劃之補強配置圖如圖6-1所示。

根據RC牆側力強度 Q_u 之計算，所得三道RC牆側力強度分別為：

$$Q_u(W3) = 462.5 \text{ tf} ; Fu = 1.5$$

$$Q_u(W4) = 311.7 \text{ tf} ; Fu = 1.5$$

$$Q_u(W5) = 241.6 \text{ tf} ; Fu = 1.5$$

依評估方式重新計算可得其X向底層基本耐震能力譜加速度 $S_{0x}=0.949$ ，而Y向底層之基本耐震能力同樣可為譜加速 $S_{0y}=0.946$ ，根據結果可知補強後建築物的耐震性能均有所提升，故經求得基本耐震能力後，需再重新進行形狀指標之計算。

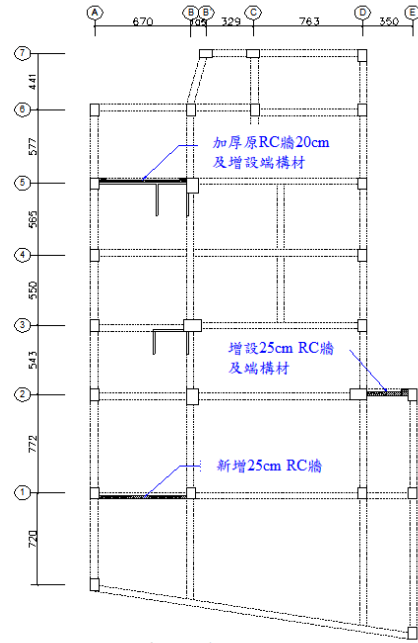
本範例建築物經補強設計規劃後增設三道RC剪力牆體，其厚度分別為20、25cm厚，混凝土強度 280kgf/cm^2 ，縱向鋼筋採用4號筋，配置間距20cm、降伏強度 2800kgf/cm^2 。對於計算形狀指方面，平面(項目a~f)及立面(項目h~k)部分項目之評估無影響，故僅需重新計算偏心率(項目l)及剛重比(項目n)之結果，以驗證補強後建築物偏心率與剛重比是否已獲改善，以期提升整體建物耐震能力，

將所得 G_i 值及 q 值彙整如表6-1所示，並重新計算2F各方向 S_D 值，由方法A所得X、Y向偏心率與剛重比之 q 值均為1，形狀指標均為0.77，可重新推得範例建物X、Y向底層基本耐震能力譜加速度：

$$S_{0x} \times S_{Dx} = 0.949 \times 0.77 = 0.731 > S_c = 0.73$$

$$S_{0y} \times S_{Dy} = 0.946 \times 0.77 = 0.73 = S_c$$

建築物經補強規劃後，可發現此範例形狀指標對於耐震能力折減之影響較不顯著，然其基本耐震能力已有所提升。因此在結構耐震評估與補強過程中，若能實際改善結構偏心率與剛重比之效應，可充分反應結構不規則所造成之影響，並可透過階段性補強提升結構基本耐震能力。



一樓結構平面

圖6-1 補強規劃示意圖

表6-1 方法A形狀指標補強後計算結果彙整表

2F	項目	G值	q值	
			X向	Y向
水平方向	a	0.8	0.9	
	b	1.0	1.0	
	c	0.8	0.95	
	d	1.0	1.0	
	e	0.8	0.95	
	f	0.9	0.95	
	l	1.0;1.0	1.0	1.0
垂直方向	h	1.0		
	j	0.9	-	
	k	1.0	1.0	
	n	1.0;1.0	1.0	1.0
形狀指標(S_D)			0.77	0.77

七、規範與法令探討

7.1 技術探討

國內營建署階段性補強研究為針對階段性補強為目標，研究開發適合國內住宅大樓需求的補強技術與方法。其為採用耐震設計規範之極限層剪力強度檢討之觀念來判斷建物是否具有軟弱層現象及提供階段性補強效果之確認指標，此方法雖為一有效排除具軟弱層破壞之補強評估方法，但由921地震及近期的0206美濃地震、花蓮地震之產生重大人員傷亡之中高樓層建築物震害調查顯示，中高樓層RC建築物因商業用途及使用機能所需除有軟弱底層之結構弱點外，其結構另有傳力路徑不良、平面不規則效應過大及非韌性配筋等問題，以致易產生震損甚至倒塌。

另所提之極限層剪力強度檢討觀念可能比較適用於新建之建築物，因老舊建物常有非韌性配筋及非結構牆不良影響之問題而造成所有主要構材無法如新建物般同時發揮其韌性與強度，故層強度與層勁度之計算方式可能略有差異。故本研究建議於判斷建物是否具有軟弱層現象及提供階段性補強效果確認上，宜以本研究提之割線勁度來計算結構構材之勁度，及考慮脆性構材破壞後強度衰減之強度疊加法來計算樓層極限強度，然後同樣以本研究提之偏心率及剛重比來判斷建物是否具軟弱層及提供補強效果確認。

7.2 規範建議事項

綜合上一小節所述，建議將耐震設計規範條文8.5節修改如下：

「8.5 階段性補強措施」

若中高樓層建築物因工程技術以外之因素而無法完成整體耐震補強作業，以滿足相關之耐震需求，則可先採取排除軟弱層與不規則性之補強方式，暫為階段性補強措施，以大幅提升此類建築物的耐震性能，降低在地震下破壞的風險。

解說：由921地震及近期的0206美濃地震、花蓮地震之產生重大人員傷亡之中高樓層建築物震害調查顯示，中高樓層RC建築物因商業用途及使用機能所需除有軟弱底層之結構弱點外，其結構另有傳力路徑不良、平面不規則效應過大及非韌性配筋等問題，以致易產生震損甚至倒塌。造成此一現象有其背景因素，由於都會區公共空間不足，政府獎勵建築物之低樓層為開放空間供公眾使用，因此結構及非結構牆量較少，加上國內都會區土地整體規劃不很完善造成建物基地面積較不方正，及建築採光設計、民情等因素易造成有極不規則平立面之建築物。早期此些既有建物之設計於設計時常未將非結構牆與建物偏心扭矩效應納入計算考量，則易有因非結構牆造成軟弱層或不規則平面情況發生。地震時損害過分集中於軟弱層或建物平面上某部位，結構整體無法均勻發揮應有之韌性，使建築物耐震能力降低。

然而，建築物若非單一產權或住商混合使用，不易達成共識完成整體耐震補強作業以符合標準，且營建署「建築物公共安全檢查簽證及申報辦法」規定建築物同屬一所有權人或使用人才需申報公共安全檢查，為避免此一情況阻礙供公眾使用部分所有權人於提升建築物耐震能力之作業，在其產權範圍內應允許其進行排除軟弱

層與不規則性之補強，提升其所有部分乃至於建築物整體之耐震能力，以大幅降低集中式破壞導致建築物在地震下發生崩塌的機率。排除軟弱層與不規則性補強之定義為目標樓層以下之各樓層補強後滿足依規定計算之剛重比與偏心率指標皆為1.0，以滿足排除軟弱層與不規則性之要求，計算時需考慮構材破壞順序之強度與對應之割線勁度，及須計及非結構牆所提供之強度與勁度

7.2 日本補強促進策略與建議

日本於1995年阪神大地震發生後，隨即於當年12月25日公告施行建築物耐震改修促進法(建築物の耐震改修の促進に関する法律，平成7年)，除2006年1月公告修訂版本外，並考量東日本大地震後之相關經驗，於2013年11月25日再次公告修訂版本。為了更有效率地執行建築物耐震評估與補強，日本各區亦頒布適合該區的耐震改修促進計畫，其在建築物分類以一般規模、特殊指定規模及需確認緊急安全大規模建築物三類，及對緊急救援道路旁建築物若符合特定條件者必須進行耐震評估，並決定是否需要進行補強。其在建築物耐震能力提昇執行上是以自助、共助、公助為原則。

國內由於早期興建之建築物恐已無法滿足現行之耐震設計標準，行政院即於民國89年核定「建築物實施耐震能力評估及補強方案」，針對民國86年5月前設計興建之公有建築物進行耐震能力評估及補強；再於民國101年底，將住宅結構安全(耐震評估)列入「住宅法」授權訂定之「住宅性能評估實施辦法」中，並依震災災害防救業務計畫所載，於民國104年7月起推動「私有建築物耐震性能評估補強推動先行計畫」，針對民國86年5月前取得建造執照之合法住宅辦理耐震初步評估與耐震詳細評估。民國105年2月，發生在南台灣之地震造成台南維冠大樓倒塌，引起國人同胞對於建築結構安全之重視，行政院即提出「安家固園」、「老屋健檢」之政策。內政部營建署並於107年2月將耐震能力評估檢查納入「建築物公共安全檢查簽證及申報辦法」內，規定88年12月以前領得建造執照，供建築物使用類組A-1、A-2、B-2、B-4、D-1、D-3、D-4、F-1、F-2、F-3、F-4、H-1組使用之樓地板面積累計達一千平方公尺以上之建築物，且該建築物同屬一所有權人或使用人之建物需應辦理耐震能力評估檢查。

雖然國內已有「建築物實施耐震能力評估及補強方案」、「建築物公共安全檢查簽證及申報辦法」及「都市危險及老舊建築物加速重建條例」之容積率獎勵及稅金減免，但若要使現行之「建築物實施耐震能力評估及補強方案」能由公有建築物推廣到供公眾使用或一般私有建築物之程度，則應該以日本之自助、共助、公助原則，在適當獎勵措施下推動基本法之制定，推動制定如日本之「既有建築物耐震補強促進條例」相關法案，使建築物耐震能力評估與補強作業有基本依據，故本研究彙整日本「建築物の耐震改修の促進に関する法律」及參考建研所95年完成之「既有建築物耐震能力評估及補強促進條例」，依國內情況與規範適當提出部份修改後建議以下條文，其包括了獎勵等優惠措施來鼓勵供公眾使用或一般私有建築物(本條例不包含公有建築物)進行補強之意願，詳如下列之說明：

第一章 總則

- 第一條 為保障國民生命財產，提高既有建築物之耐震能力以增進公共安全，特制定本條例。本條例未規定者，適用其他相關法律之規定。
- 第二條 本條例之主管機關，在中央為內政部，在直轄市為直轄市政府，在縣（市）為縣（市）政府；在建築法第三條規定地區之特設管理機關為經內政部核定得為主管建築機關者。
- 第三條 本條例所稱之耐震補強，包括構材補強、以及為改善既有建築物耐震安全所必要之建築物改建、修建或其他相關之建築行為。
- 第四條 為促進建築物之耐震能力評估及耐震補強，建築物耐震能力初步評估、耐震能力詳細評估、建築物耐震補強設計及施工相關技術手冊，由中央主管機關另定之。
- 第五條 本條例適用對象為都市計畫範圍內非經目的事業主管機關指定具有歷史、文化、藝術及紀念價值，並於中華民國八十八年十二月三十一日以前領得建造執照及符合下列各款之一之合法建築物：
- 一、第一類建築物：地震災害發生後，必須保有機能之重要建築物，因地震而倒塌後會影響救援道路通行或多數人避難之建築物。
 - (一)屬防救災任務機關或公立醫院，而於地震災害發生後，必須保有機能之重要建築物。
 - (二)經主管機關認定之因地震倒塌後會影響救援道路通行或多數人避難之建築物。
 - 二、第二類建築物：供建築物使用類組A-1、A-2、B-2、B-4、D-1、D-3、D-4、F-1、F-2、F-3、F-4、H-1組使用之樓地板面積累計達一千平方公尺以上之建築物，且該建築物同屬一所有權人或使用人。
 - 三、第三類建築物：經當地主管建築機關依法認定耐震能力具潛在危險疑慮之建築物。
- 第六條 針對第一類建築物，主管機關應監督建築物之所有權人於主管機關規定之期限內完成建築物耐震補強或提出判定建築物不須進行耐震補強之耐震評估結果。針對第二類建築物，主管機關應監督建築物之所有權人於主管機關規定之期限內提出有關該建築物耐震能力評估報告，主管機關對於耐震能力不合格之建築物得輔導所有權人進行耐震補強及給予補貼。針對第三類建築物，主管機關得獎勵及補貼所有權人進行建築物

耐震能力評估或耐震補強。

第二章 耐震能力評估與合格基準

- 第七條 建築物耐震能力評估得委由依法登記開業之建築師、相關專業技師辦理，或委託相關專業公會交由建築師、相關專業技師辦理，或委託相關學術團體辦理。
- 第八條 各類建築物之耐震能力評估與補強之合格基準，應由主管機關參考耐震設計規範第八章決定之。
- 第九條 第一類建築物之耐震能力評估結果應接受主管機關指定之方式辦理審查。
- 第十條 建築物之耐震能力經評估為不須進行耐震補強且接受主管機關指定方式審查通過者，可依審查報告書向主管機關申請於建築物使用執照加註足以表達建築物現有耐震能力之相關圖記。
- 第十一條 主管機關對於各類建築物之耐震評估成果應建立資料庫，並得委由學術機構或公會整理並公佈第一、第二類建築物之耐震能力。

第三章 耐震補強設計

- 第十二條 耐震補強設計應委由依法登記開業之建築師或相關專業技師執行。
- 第十三條 第一類建築物耐震補強設計應依主管機關指定之方式辦理審查，審查通過後復經主管機關核可後方可施工。
- 第十四條 非第一類建築物耐震補強亦可向主管機關登記列管，經相關審查及查驗合格且符合消防設備或相關建築法令規定者，主管機關應於建築物使用執照加註足以表達補強後建築物耐震能力之相關圖記。
- 第十五條 耐震評估與補強設計之審查，得自組審議委員會或委託相關公會或學術團體機關協助技術方面之審查。
- 第十六條 耐震補強設計之內容有更改防火避難設施或消防設備等事項，相關審查作業之文件必須依相關法令辦理，並經核准後始可實施。
- 第十七條 耐震補強若涉及建造行為，應併申請建造執照、變更使用執照或室內裝修許可審核。若建築物補強後與現行建築法規、消防法規或都市計畫法規不符，得經主管機關另定審議辦法可酌予放寬。

第四章 耐震補強施工

第十八條 耐震補強施工應由依法設立之營造業辦理，耐震補強施工之監造應委由依法登記開業之建築師或相關專業技師執行。

第十九條 經核准之既有建築物耐震補強工程圖說，在施工過程中有關工地安全措施、工地環境、機具使用、墜落物防止、公害防止、公物損壞等必須符合相關建築法令之規定。

第二十條 經核准之既有建築物耐震補強工程圖說，如有辦理變更之必要時需依相關規定辦理核准。

第二十一條 除一般規定之監造程序外，主管機關得視工程規模或與防、救災業務相關來獨立指聘一個以上之特別監造人，來執行特別監造工作。

特別監造人須為有資格執行該項施工作業之專業技師。特別監造費用由主管機關視工程規模規定並負擔之。

第二十二條 耐震補強工程於竣工後，起造人應備具竣工圖及相關文件，向主管機關申請竣工查驗，經查驗合格且符合消防設備或相關建築法令規定者，主管機關應於建築物使用執照加註足以表達補強後建築物耐震能力之相關圖記。

第五章 獎勵

第二十三條 為推動建築物耐震評估與補強，地方政府對轄區內之既有建築物，應配合地震防災相關研究及耐震補強實施計畫，且針對公有建築物，編列預算分年實施。

第二十四條 為鼓勵建築物之所有權人，實施既有建築物耐震能力評估及補強，對於接受主管機關輔導進行耐震補強之各類建築物，政府應就民眾預防災害之建築物耐震補強，予以獎勵或資金補貼。

第二類建築物：應就建築物耐震補強所需資金予以低利貸款及利息補貼，補助其耐震補強設計監造費用，及5年免徵地價稅及房屋稅。

第三類建築物：應就建築物耐震補強所需資金予以低利貸款及利息補貼，補助其耐震評估費用與補強設計監造費用，及10年免徵地價稅及房屋稅。

前項貸款金額、補貼額度、補助金額及作業辦法，由中央主管機關訂之。

第二十五條 為鼓勵建築物之所有權人，實施既有建築物耐震能力評估及補強，耐震補強設計之內容有更改建築容積或建蔽率等事項而不符合原有建築容

積或建蔽率規定，其建築容積或建蔽率得酌予放寬，其標準由主管機關定之。但建蔽率之放寬以住宅基地為限，且不得超過原建蔽率。

第六章 罰則

第二十六條 主管機關對於違反本條例規定之建築物所有權人應限期改正，逾期仍未改正者，得連續處以罰鍰，至其改正為止，主管機關得依其情節酌量予以裁罰。

第七章 附則

第二十七條 中央主管機關應成立既有建築物耐震能力評估及補強推動委員會，負責辦理補強技術研究及推廣補強建築物耐震能力認證標章制度。

直轄市、縣（市）政府應組成既有建築物耐震能力評估及補強爭議協調委員會，辦理爭議申請案件。

第二十八條 特種建築物得經行政院之許可，不適用本條例全部或一部之規定。

八、結論與建議

本研究藉由彙集研讀國內外常見建物耐震評估與補強技術報告、國內補強施工案例資料、國內震害主因調查成果，及文獻及實驗成果加以評估，對具軟弱底層中高樓層RC建物現況與特性篩選整理合適之評估方法與提供系統補強工法供參考。並進行國內「既有建築物耐震評估及補強促進條例草案」及日本「促進建築物耐震改修法律」之相關比較，讓後續能持續探討提高中高樓層RC建物民眾改善居家耐震安全意願之可能策略。在評估技術方面，參考日本耐震評估方法及配合國內混凝土規範之強度計算方式，針對具軟弱底層中高樓層RC建物提出適時之耐震評估方法，並以示範例說明此方法之操作計算方式，由所選擇之示範例評估結果顯示，本研究所提之評估方法確實能反應出建物底層軟弱及平立面不規則之特性，以為補強策略選擇上之重要依據。另研究中針對國內中高樓層RC建物常見底層軟弱及平立面不規則效應特性，提供系統補強工法等較為簡易、無須整體補強之階段性耐震補強的適用工法供參考，於補強示範例中採用常用之增設剪力牆工法，以改善底層軟弱及平面不規則弱點為補強方向進行底部樓層之補強，補強後結果確實能在有限之經費下來大幅提昇建物耐震能力，故知本研究所提之偏心率與剛重比兩形狀指標除可定量反應結構之底層軟弱及平立面不規則弱點外，亦可為階段性、防倒塌補強策略於補強效率之評定使用。

據本研究所提耐震評估方法，對於複雜結構系統或牆體繁多結構，實務設計工程師使用時可能需所多較繁瑣計算及誤算情況，故建議可另案發展輔助程式來可快速計算梁、柱與牆等之強度與剛度，及計算偏心率、剛重比等形狀指標，減少使用者工作量。此外應蒐集更多之實際建物範例，以本研究所建議之評估方法與補強建

議方案，另案研究彙編成一系列評估與補強示範例集，供實務設計工程師參考使用。

參考文獻

1. 謝志誠，既有合法建築物耐震評估與補強促進條例(草案)總說明，2016。
2. 行政院全球資訊網，2018。
3. 內政部營建署，建築物耐震設計規範及解說，2011。
4. 內政部建築研究所，鋼筋混凝土建築物耐震評估程式增修與應用研究案，2014。
5. 國家地震工程研究中心，建築物耐震評估與補強技術講習會論文集，2016。
6. 台東區都市づくり部建築課，台東區耐震改修促進計畫，2016。
7. 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準與解説，2017。