

# 建築結構耐震補強工法研習會



社團法人新北市建築師公會

中華民國 109 年 11 月 12 日

# 社團法人新北市建築師公會

## 「建築結構耐震補強工法研習會」

一、計畫緣起：本會建築師辦理高氣離子建築物鑑定及施工損鄰鑑定時，常需觸及建築物修復補強設計課題，為精進會員鑑定職能，爰舉辦本次研習會。

二、承辦單位：本會鑑定委員會

三、研習會時間：109年11月12日(星期四)下午1點30分

四、地點：本會第一會議室

五、研習課程：

時間	課程	講師	主持人
13:30-13:45	報到		
13:45-13:50	長官致詞	理事長	張啟明會務 常務理事
13:50-14:50	建築結構耐震評估研究 與應用	建築研究所 陳建忠組長	
14:55-15:55	建築結構系統耐震補強設計 與細節	台北科大 廖文義教授	
15:55-16:05	休 息		
16:05-17:05	建築結構構材耐震補強設計 與細節	國震中心 蕭輔沛教授	
17:05-17:30	綜合座談	理事長 講師	

# 內政部建築研究所 建築結構耐震評估補強研究與應用



工程技術組  
陳建忠 組長

Architecture and Building Research Institute



## 大綱

- 壹、建築工程技術發展與整合應用計畫
- 貳、建築結構耐震技術成果
- 參、技術規範研究成果應用
- 肆、建築耐震評估發展與應用
- 伍、建築耐震補強發展與應用

Architecture and Building Research Institute

2

## 背景

- 臺灣地理位置特殊，地震、颱風頻仍，加上亞熱帶的高溫多雨的氣候型態，影響居住安全與舒適性。
- 面對遽變的氣候環境與社會需求，建築工程技術亦應與時俱進，滾動更新，持續朝向抗震、防風與耐久的方向發展並全面整合與推廣應用。
- 精進發展工程先進技術，建立居住安全、環境舒適與節能減碳的永續家園為總目標。



## 計畫目標

- 本計畫旨在強化建築物延壽耐久策略，賡續推動建築耐震，探究風災預防、居住環境與風能利用等風工程研究，創造安全且舒適生活環境，達成建築永續發展目標。計畫內容包括推動建築物整建修復及耐久性能研究、精進建築結構耐震技術研究，以及風工程技術創新多元應用研究等。
- 計畫期程：108年1月至111年12月



材料實驗中心



風洞實驗室



填充型箱型柱軸壓試驗



電子顯微鏡



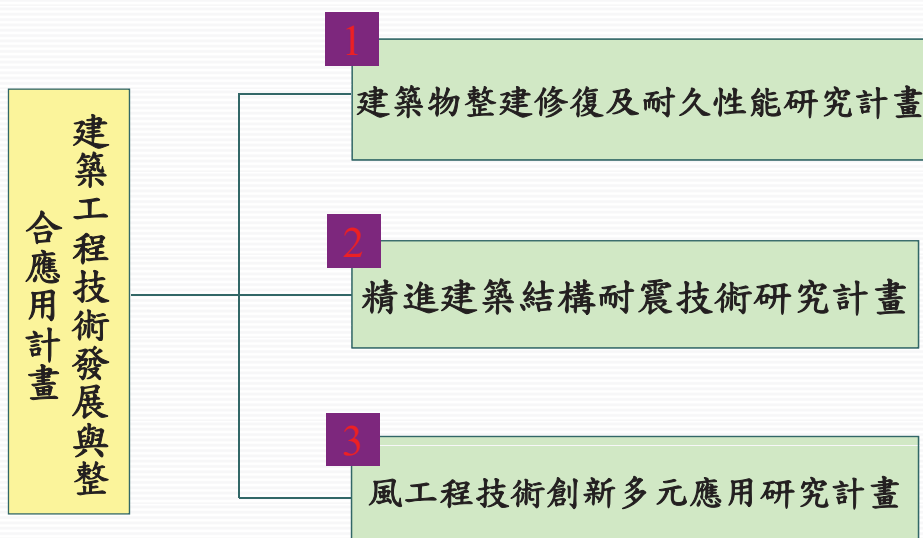
耐風試驗



一、分項計畫架構

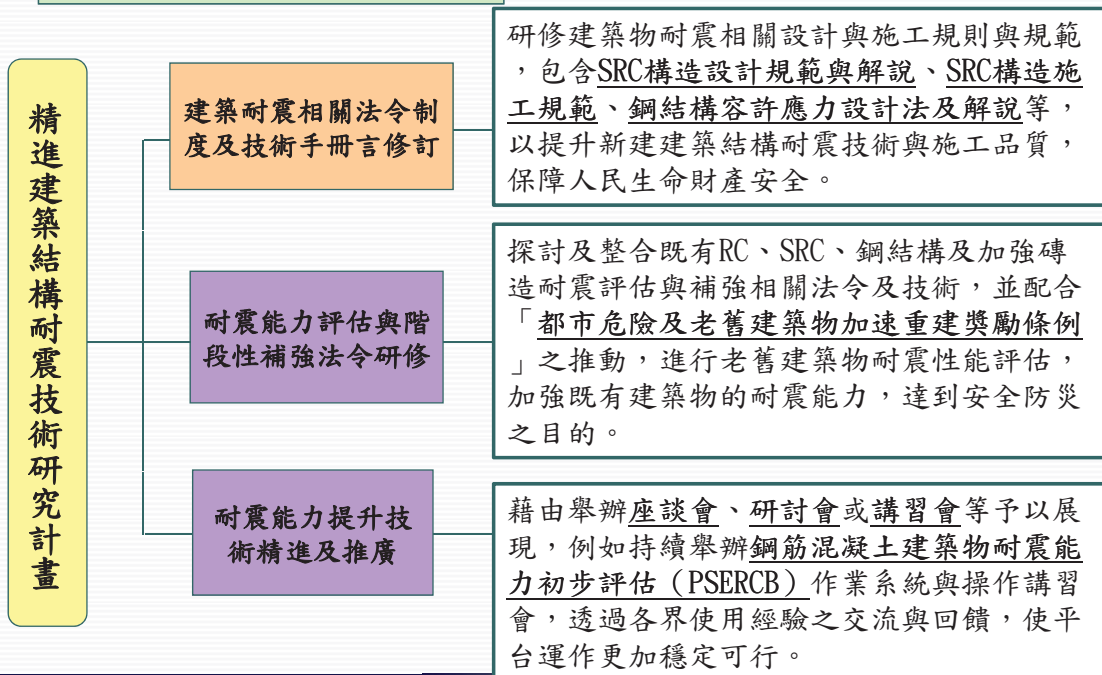
計畫名稱

分項計畫



一、分項計畫架構

2 精進建築結構耐震技術研究計畫



二、精進建築結構耐震技術分年計畫

106-109年建築耐震相關法令制度及技術手冊研修訂

106年	107年	108年	109年
建築物基礎構造設計規範之修正研擬	既有建築物防倒塌階段性耐震補強法規與設計方法之研擬	木構造建築物高度、樓層數相關設計規定檢討研究	高強度鋼筋機械式續接性能合格標準及驗證研究
混凝土結構技術規範之修正研擬	既有老舊供公眾使用私有建築物耐震評估補強法規制度之研擬	因應國際規範修訂與國內近斷層地震效應對於國內隔減震建築設計規範之研修考量	

二、精進建築結構耐震技術分年計畫

106-109年耐震能力評估與階段性補強

106年	107年	108年	109年
鋼結構與鋼骨鋼筋混凝土建築耐震能力初步評估研究	鋼結構與鋼骨鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估平台開發與應用	應用非線性動力分析法於中高樓層軟弱層及扭轉不規則建築之詳細耐震能力評估	鋼耐震間柱結構系統設計準則與性能評估方法研擬
鋼結構耐震能力詳細評估方法與示範例之研擬	既有老舊供公眾使用私有建築物耐震評估補強法規制度之研擬		

二、精進建築結構耐震技術分年計畫

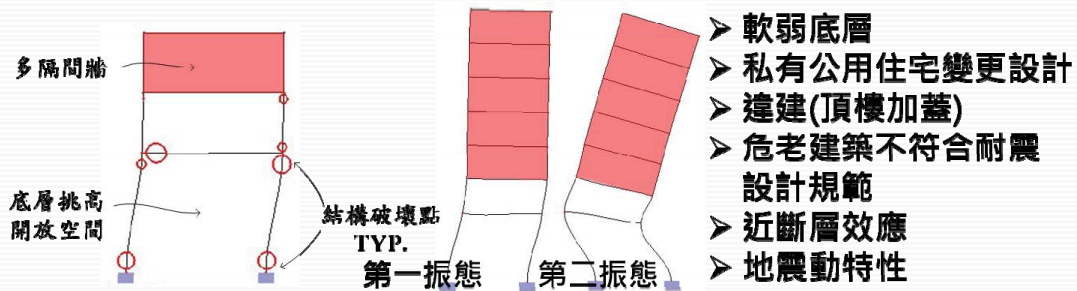
106-109年耐震能力提升技術精進及推廣

106年	107年	108年	109年
中高樓層建築軟弱層及扭轉不規則效應評估研究	建築物消能元件等構件性能試驗標準之研究	鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討	降低營建人力需求構造研發-多單元鋼管鋼網牆之強度與韌性
		老舊RC建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強	

一、應用非線性動力分析法於中高樓層軟弱層及扭轉不規則建築之詳細耐震能力評估



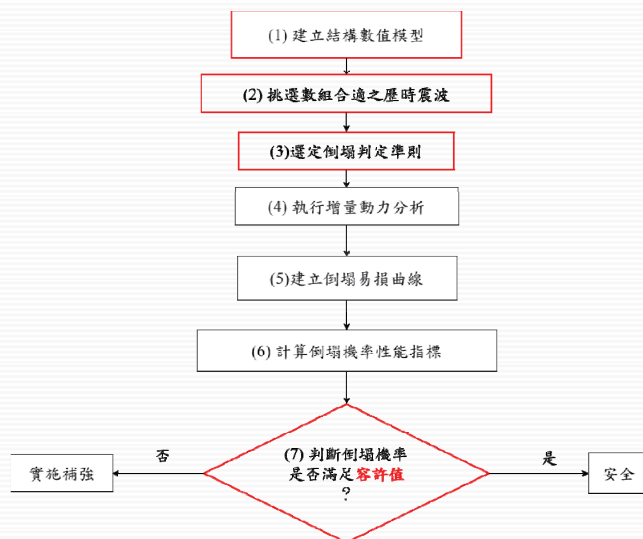
嚴重災損建築均為具軟弱底層之不規則建築



一、應用非線性動力分析法於中高樓層軟弱層及扭轉不規則建築之詳細耐震能力評估

凡有下述任一情形之建築物，須以動力分析方法設計之：

- 高度大於等於50公尺或15層樓以上。
- 超過5層樓或20公尺，且勁度、重量配置或幾何形狀立面不規則性，或具有平面扭轉不規則性者。
- 超過5層樓或20公尺，非全高度具有同一種結構系統者。



非線性動力分析所需耗時較長，但對於平面或立面不規則性結構仍有必要。案例分析顯示，具扭轉不規則建築結構或軟弱底層建築結構，以機率式倒塌易損曲線方式判定，其地表加速度值較側推分析評估結果低。尤其扭轉不規則建築結構受觀測點之點位選擇影響，結果變異性大。



## 二、中高樓層建築耐震性能提升之研究

- 既有建築屋齡超過20年之鋼筋混凝土結構大樓
- 一般僅採非韌性配筋→混凝土圍束效果不佳
- 低樓層之柱軸力較高，大震時可能受壓崩壞

既有建築改善策略：

(一)既有非韌性配筋柱補強設計

1. 擴柱補強設計:目標能符合新版RC設計規範之規定。



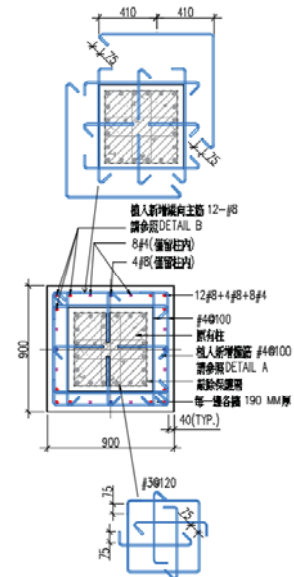
幸福大樓



維冠大樓



擴柱的立面



## 二、中高樓層建築耐震性能提升之研究

既有建築改善策略：

(一)既有非韌性配筋柱補強設計

2. 鋼板包覆補強設計

- 乾式施工，且施工較不影響原空間功能
- 佔用的面積較其他工法小

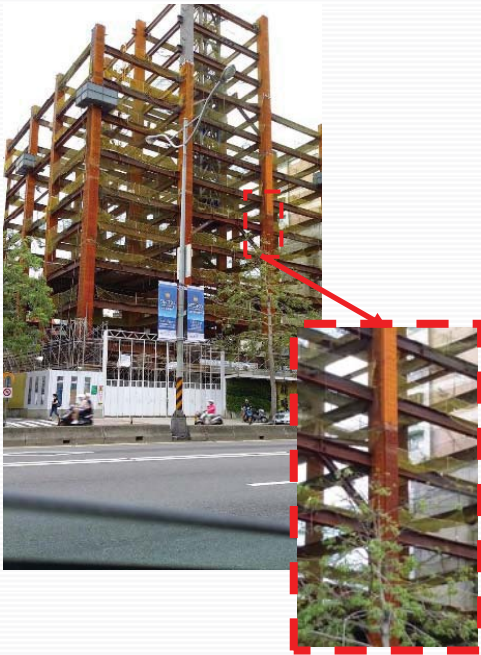
原柱(受軸壓力 $0.3A_gf'_c$ )：  
極限層間側移角→3.5% rad

包覆 6 mm厚之鋼板：  
極限層間側移角→7% rad(韌性)



## 二、中高樓層建築耐震性能提升之研究

新建建築改善策略：  
CFB柱系統耐震性能提升

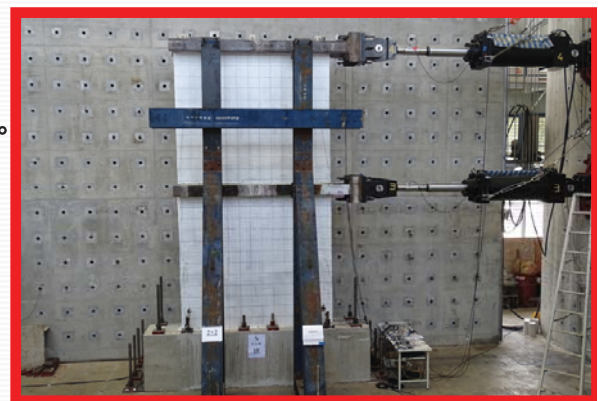


- 軸力比越大，CFB柱耐震韌性越差
  - 軸力比 $<25\%$   
→ 寬厚比上限約為**41**  
(依目前規範規定計算得到)
  - 軸力比介於 $25\sim 31\%$   
→ 寬厚比上限修正為**32**
- 低軸力(軸力比 $\approx 20\%$ )作用下之方形斷面CFB柱→耐震韌性**OK**
- 高軸力(軸力比 $\approx 40\%$ )作用下之方形斷面CFB柱→耐震韌性**不足**
  - 加裝**圓束繫桿**→耐震韌性**OK**
- 低軸力(軸力比 $\approx 20\%$ )作用下之矩形斷面CFB柱要耐震韌性OK之條件
  - 採一般強度混凝土→斷面長寬比 $\leq 1.39$
  - 高強度混凝土→斷面長寬比 $\leq 2.00$

## 三、降低營建人力需求構造研發-多單元鋼管鋼網牆之強度與韌性

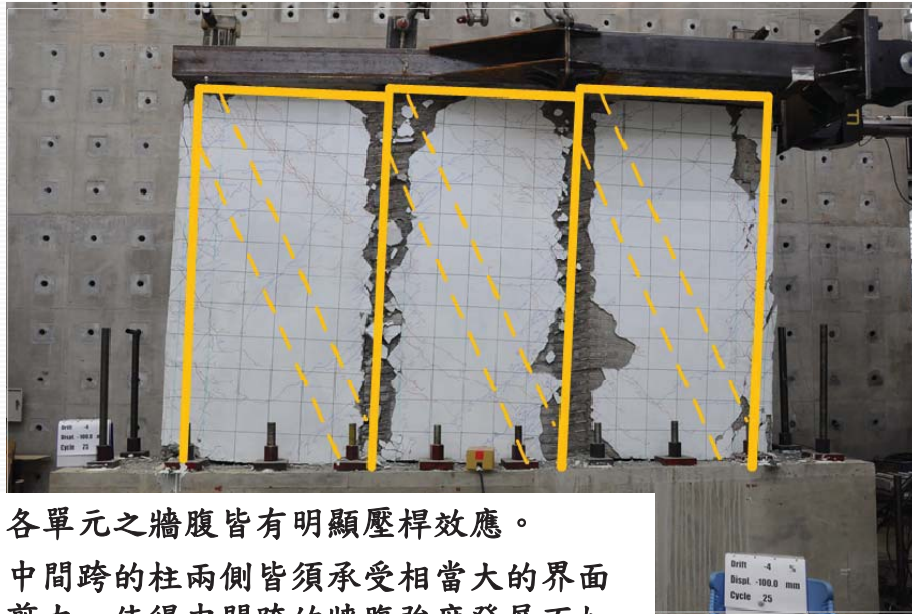
「鋼管鋼網牆系統」結合鋼網牆與鋼管

- 結構系統韌性容量 $R$ 可達**3.9**以上。
- 與傳統RC工法相比，目前造價僅高**7%**。  
推廣後造價應可比傳統RC工法還低。
- 1至4層樓房屋，使用鋼管鋼網牆系統取代傳統RC：
  - 建造時間降低**58%**。
  - 建造人力降低**54%**。
- 估計未來每年可**減少6,840**個人力需求，  
並減少**2.5萬噸**廢棄模板。



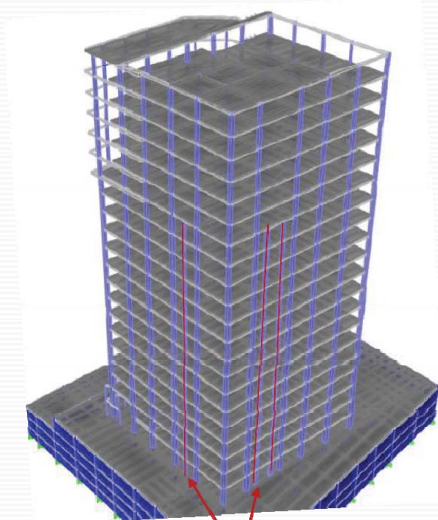
### 三、降低營建人力需求構造研發-多單元鋼管鋼網牆之強度與韌性

## 1x3 試體側向位移角4%受損情況

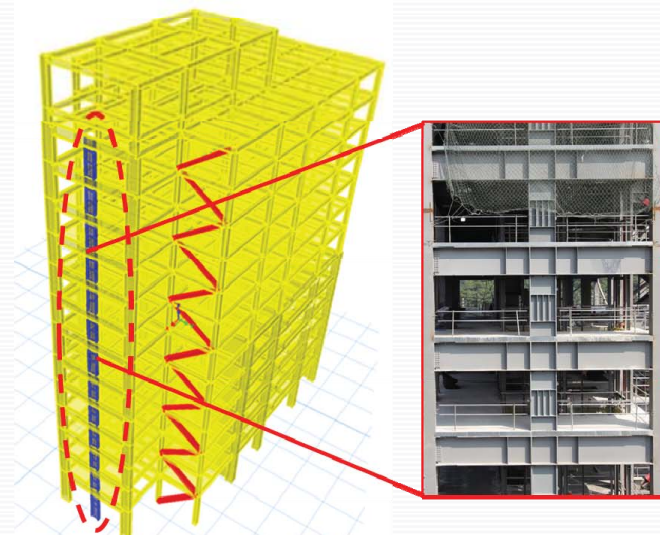


- 各單元之牆腹皆有明顯壓桿效應。
- 中間跨的柱兩側皆須承受相當大的界面剪力，使得中間跨的牆腹強度發展不如邊跨，設計時中間跨之等值斜撐勁度應適當折減。

### 四、含鋼耐震間柱建築結構系統



耐震間柱跨



耐震間柱之多元性與普遍性



#### 四、含鋼耐震間柱建築結構系統

研擬含鋼耐震間柱建築結構系統設計準則

釐清含鋼耐震間柱建築結構系統設計流程與步驟

修訂國內現行相關設計規範

1.鋼構造建築物鋼結構設計技術規範-第13.6節

2.鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說-第9.7節

含鋼耐震間柱建築結構系統耐震性能評估

## 耐震間柱



#### 四、含鋼耐震間柱建築結構系統

研擬含鋼耐震間柱建築結構系統設計準則

釐清含鋼耐震間柱建築結構系統設計流程與步驟

修訂國內現行相關設計規範

1.鋼構造建築物鋼結構設計技術規範-第13.6節

2.鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說-第9.7節

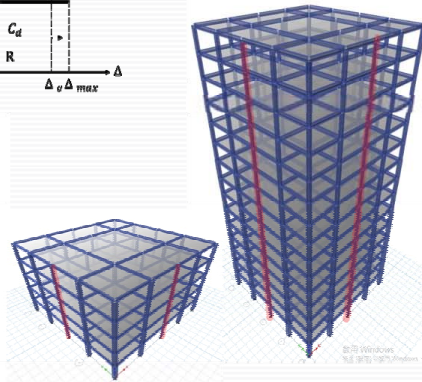
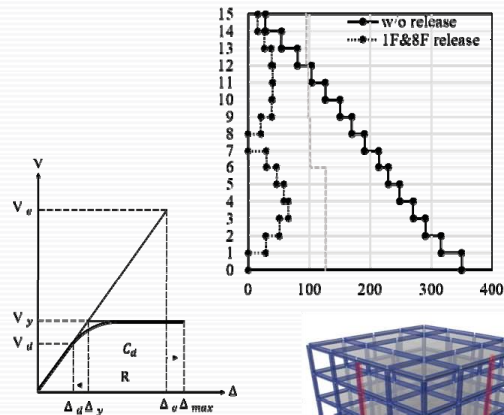
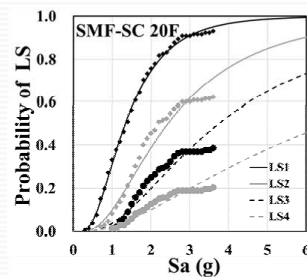
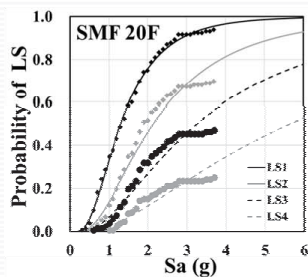
含鋼耐震間柱建築結構系統耐震性能評估

## 耐震間柱



#### 四、含鋼耐震間柱建築結構系統 -耐震性能評估

1. 建築結構系統耐震性能提升程度量化。
2. 構架中耐震間柱軸力累積與釋放效應評估。
3. 建築結構系統設計參數 ( $R$ 值與 $C_d$ 值)評估。



#### 一、混凝土結構技術規範之修正研擬

### 0206美濃地震震害省思

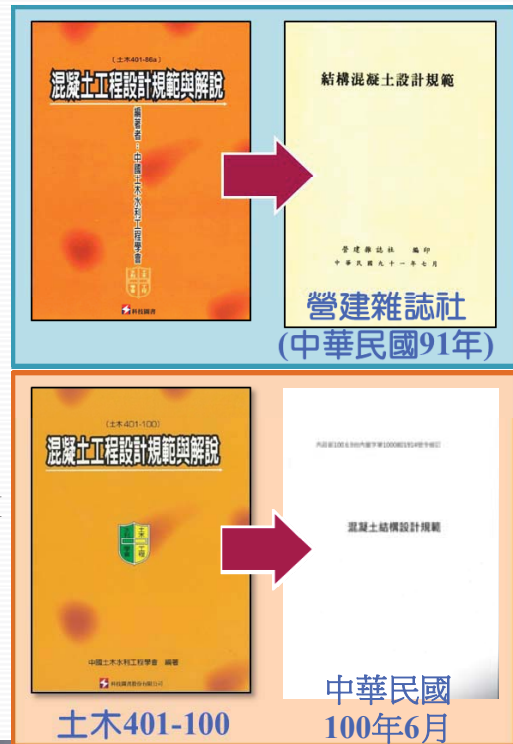
- ◆ 因**施工不良**及**設計疏忽**，導致許多RC建物發生震害。
- ◆ 內政部建築研究所有感於美濃地震災情，特研擬修正**混凝土結構技術規範草案**。



### 一、混凝土結構技術規範之修正研擬 -制訂與修正沿革

- 內政部91年版規範，為參採土木水利學會89年出版之土木401-86a，對應至ACI 318-95(1995)。
- 內政部100年版規範，為參採土木水利學會100年出版之土木401-100，對應至ACI 318-05(2005)。
- 本所辦理審議與土木水利學會協助研擬之新版混凝土結構技術規範，參採ACI 318-14(2014)及ACI 318-19(2019)之規範。

### 國內RC設計規範之變革

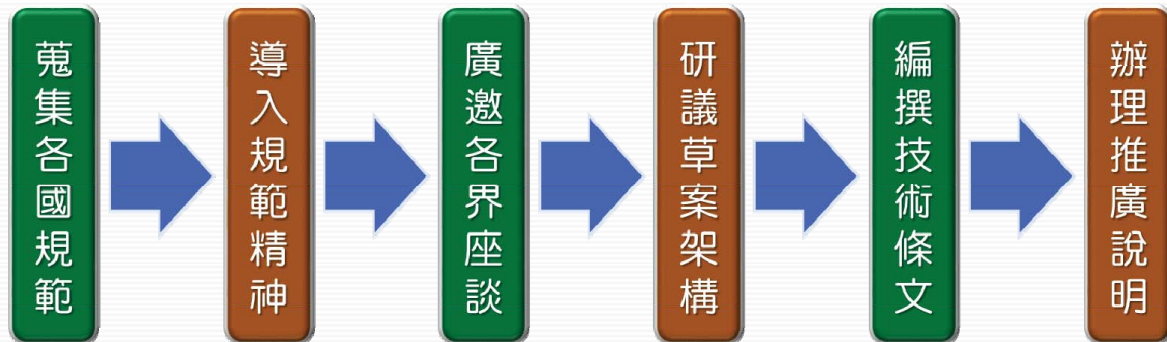


### 一、混凝土結構技術規範之修正研擬

#### 融入國外規範精神與國內最新規範



### 一、混凝土結構技術規範之修正研擬

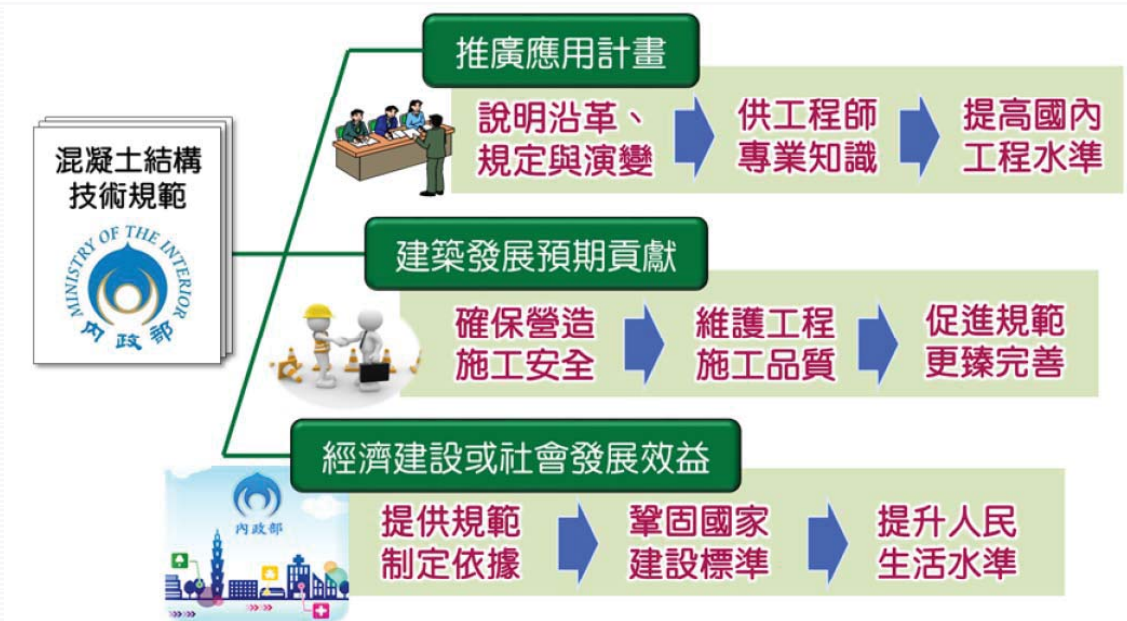


### 一、混凝土結構技術規範之修正研擬

- ◆ 單位將採用**公制**及**SI制**並行方式。
- ◆ 於規範主文使用**CNS國家標準**，不足處於規範解說納入**ASTM**等內容以供參考。
- ◆ 目前一般結構混凝土強度已規定須210 kgf/cm<sup>2</sup>以上，未來耐震結構之混凝土設計強度建議提高至**245 kgf/cm<sup>2</sup>**。
- ◆ 考量國內可行作法與施工慣例，使之具有我國工程特色，如考量先進預鑄工法等。

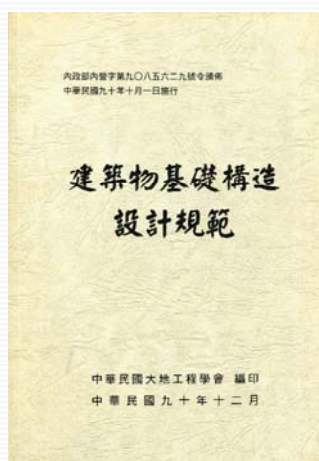
### 一、混凝土結構技術規範之修正研擬

- (1) 籌組專案小組將本所版本及ACI 318-19合併審查
- (2) 預期對相關施政之助益



### 二、建築物基礎構造設計規範之修正研擬

- 針對我國現行「建築物基礎構造設計規範」的內容進行檢討與修正，主要參考美日等國規範之版本內容，以及國內基礎結構物在近年之設計與施工技術之進展，研擬符合國內所需之基礎構造設計規範。



#### 「建築物基礎構造設計規範」

1. 大地學會修訂(建研所85、86年計畫)
2. 內政部營建署民國90年頒布實施
3. 未曾修正過。

#### 新版設計規範

- 可再使用10-15年
- 技術更新、兼顧傳統、具未來性



## 二、建築物基礎構造設計規範之修正研擬

- 專家座談
  - 專家審查
  - 公開研討會
- 具可用性
  - 提升技術
  - 趨一致性(與上構設計)
  - 具未來性



## 二、建築物基礎構造設計規範之修正研擬

### -修訂原則

- 國內「建築物基礎構造設計規範」之檢討
  - 國內尚無性能設計規範，大地工程規範仍採用工作載重設計法，以安全係數為主要之設計依據，在上部結構物尚未進行性能設計法前，無法進行基礎之性能設計。
  - 考慮到目前基礎工程之工程慣例與設計經驗，故建議目前修訂之方向仍維持採用工作載重設計法，惟仍應順應世界潮流，適度引入性能設計之觀念，使其逐步走向性能設計之方向。
  - 參採現行「建築物耐震設計規範與解說」之分析架構，考量中小地震、設計地震及最大考量地震等3種情況。

## 二、建築物基礎構造設計規範之修正研擬

- 本計畫於106年度研擬完成「建築物基礎構造物設計規範」各章節之修正草案，並於107年1月25日送請營建署參考納入施政計畫推動。
- 此次修訂完成之版本具有很大幅度之修正，比起民國90年頒布之「建築物基礎構造設計規範」版本，更符合工程界設計之需求。
- 修訂完成之新版本草案業由本所組成審查專案小組進行審查，於109年10月28日完成審查作業，望早日頒布供工程界使用。

## 三、籌組「混凝土結構設計規範」及「建築物基礎構造設計規範」等2案規範修正之專案小組

本所特別籌組審查「混凝土結構設計規範」及「建築物基礎構造設計規範」等2案之專案小組

- 「混凝土結構設計規範」審查專案小組第1次會議係於109年5月19日召開第1次會議，目前已於109年10月23日完成第9次會議，審查進度至規範草案第27章(總計27章)內容。
- 「建築物基礎構造設計規範」審查專案小組，係於109年2月26日召開第1次會議，目前已於109年10月28日完成第8次會議之召開，審查進度至規範草案第10章(總計10章)內容。

#### 四、推動建築技術規範修訂

- (1) 混凝土結構設計規範(103年10月1日建研工字第1030007784號函送營建署修訂第15章)
- (2) 鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說(103年10月1日建研工字第1030007746號函送營建署修訂第9章)
- (3) 鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說(104年3月30日建研工字第1040002714號函送營建署修訂第4章)
- (4) 鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說(105年3月30日建研工字第1050002947號函送營建署修訂第9章)
- (5) 鋼結構極限設計法規範與解說(105年3月30日建研工字第1050002947號函送營建署修訂第9章)
- (6) 混凝土結構設計規範(105年3月30日建研工字第1050002939號函送營建署修訂第15章)
- (7) 木構造建築物設計及施工技術規範(105年11月25日建研工字第1050009954號函送營建署修訂第1、2、3、4、7及8章)
- (8) 建築物耐震設計規範及解說(105年12月2日建研工字第1050010136號函送營建署修訂第1章)
- (9) 鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說(106年1月26日建研工字第1060001167號函送營建署修訂第9章)
- (10) 鋼結構極限設計法規範與解說(106年1月26日建研工字第1060001167號函送營建署修訂第9章)
- (11) 木構造建築物設計及施工技術規範(109年9月17日建研工字第1090008316號函送營建署修訂共計7章)



#### 五、取得發明專利

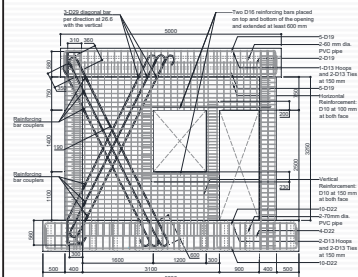
##### (一)應用於直立柱與開口間牆段的鋼筋配置

- (1) 新鋼筋配置方法係以新型鋼筋續接器連接配置交錯的對角鋼筋，另於開口兩側配置特殊圍束鋼筋，將比傳統鋼筋配置具更有效的傳力路徑。
- (2) 創新配筋牆所能抵抗的地震力是傳統配筋牆的1.7倍，對地震能量的消散，也為傳統配筋牆的4.1倍。
- (3) 105年發明第I563149號」

##### (二)填充型鋼管混凝土梁柱接頭結構

- (1) 圓形鋼管混凝土柱因其與H型鋼梁在梁柱接頭交會區施工不易，應用上受到限制。本所研發以梁翼板貫入梁柱接頭之新式接頭，除可解決施工不便、銲接及灌漿瑕疵之狀況外，仍可確保其具足夠耐震性能。
- (2) 本專利主要針對圓形鋼管混凝土柱與H型鋼之接合。
- (3) 104年發明第I493092號

#### 相關實驗研究成果，共計取得2項發明專利。

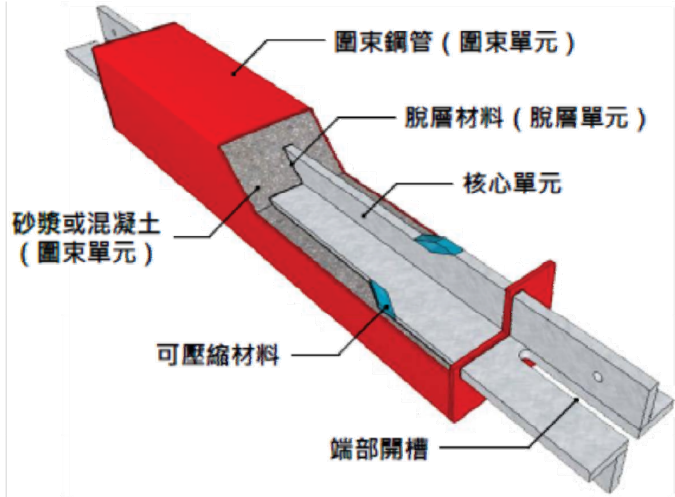


### 六、挫屈束制斜撐(BRB)

## 挫屈束制斜撐 ( Buckling Restrained Brace · BRB )

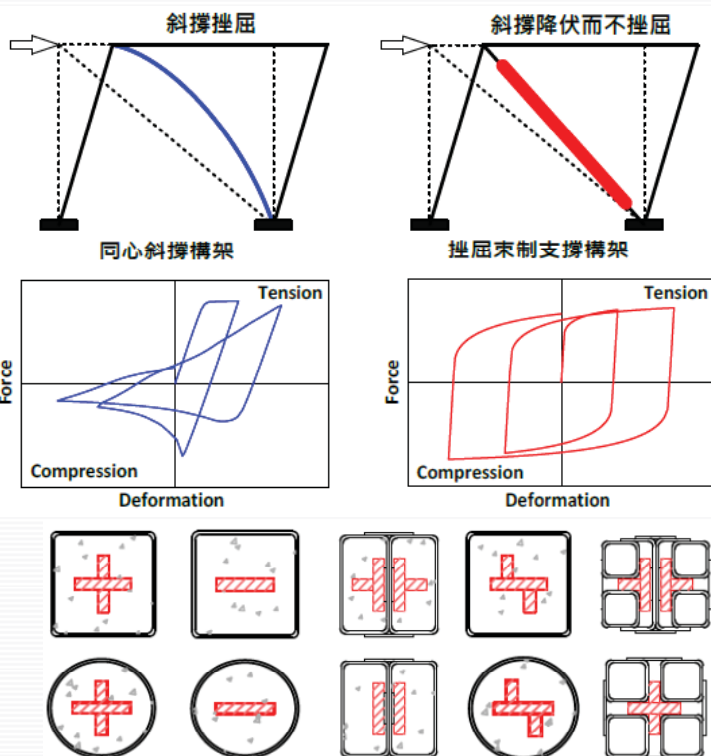
由主受力元件與側撐元件組成。

挫屈束制斜撐之軸力（拉力與壓力）由主受力元件承擔，側撐元件則提供主受力元件側向支撐，防止主受力元件受壓挫屈。由於主受力元件在軸壓力下不產生挫屈，因此主受力元件之軸向強度及延展性可有效發展，充分發揮鋼材之消能容量。



資料來源：營建知訊364期 蔡克銓等人

### 六、挫屈束制斜撐(BRB)



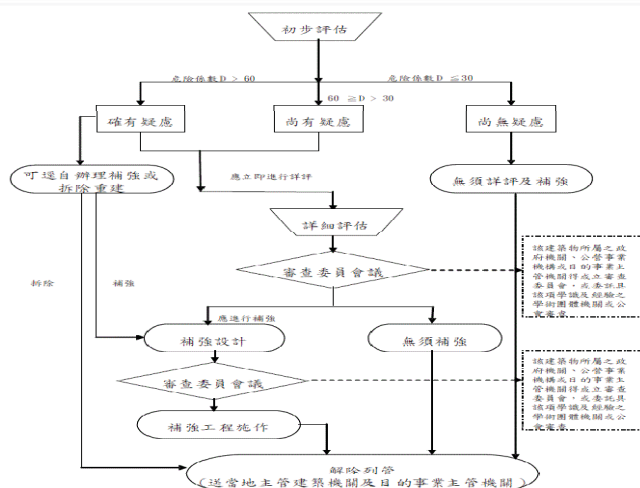
資料來源：營建知訊364期 蔡克銓等人

一、計畫目標

- 有關建築物耐震評估及補強實施制度，本所自成立以來即蒐集美日地震防災資料，並著重技術、制度、執行及地震防災體系等4大面向，期能提出我國建築物耐震評估、補強政策實施方針。
- 88年「建築物耐震評估及補強實施制度研擬」，以日本「建築物耐震改修促進法」為範本，完成我國耐震評估、補強制度草案之建立，並進而促使本所一系列耐震評估、補強之研究。

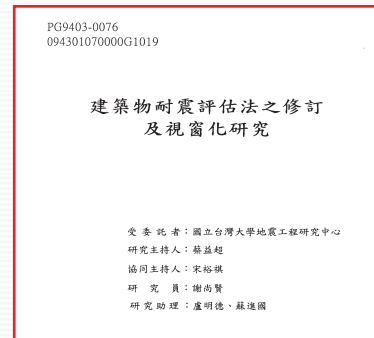
- 921地震後，內政部參考前揭耐震評估、補強制度草案，頒訂「建築物實施耐震能力評估及補強方案」，作為公有建築物耐震評估或補強措施。

公有建築物實施耐震評估補強流程



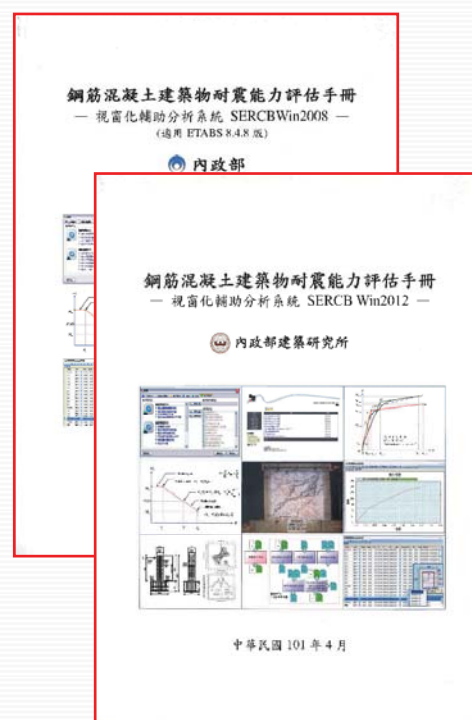
## 二、建築物耐震能力詳細評估之研究發展(1/2)

- 本所於94年改進ACT-40、FEMA-273等耐震評估技術，完成鋼筋混凝土建築物耐震能力詳細評估技術（SERC B）。
- 並同時開發電腦視窗化介面之分析程式，以利建築師、專業技師操作及使用。
- 96年納入營建署共同供應契約之耐震能力評估方法之一。



## 二、建築物耐震能力詳細評估之研究發展(2/2)

- 為協助專業人員瞭解詳細評估之基本內涵、理論、操作程序及參數設定方式等，本所分別於98年、101年出版「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SERC B Win2008-」(第1版)及「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SERC B Win2012-」(第2版)。



## 二、建築物耐震能力初步評估之研究發展(1/3)

- 另一方面，由於國內既有建築物數量龐大，逐一進行耐震能力詳細評估將費時且不經濟，因此如何階段性快速地評估既有建築物之耐震能力，便成為一項重要的研究課題。
- 本所考量具軟弱層、平立面不對稱等建築物耐震能力之重要影響因子，於民國88年提出定性分析之鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估表，以快速評估數量龐大之既有建築物之耐震能力

內政部建築研究所專題研究計畫成果報告  
研究案：建築物地震災害防制之研究  
研究案編號：MOIS 882014  
計畫名稱：鋼筋混凝土建築物耐震能力評估法及推廣  
執行期間：民國八十七年七月至八十八年六月

### 鋼筋混凝土建築物耐震能力 評估法及推廣

計畫主持人：何明錦  
共同主持人：蔡益超  
陳清泉

主辦單位：內政部建築研究所  
執行單位：內政部建築研究所  
中華民國結構工程學會

中華民國八十八年六月

## 二、建築物耐震能力初步評估之研究發展(2/3)

- 103年修訂88年版之初步評估表，並增加475年及2,500年地震回歸週期耐震能力之定量分析項目，完成具有定性及定量鋼筋混凝土耐震能力初步評估方法(PSERCB)。
- 可減少舊版(88年版)因評估者經驗有無，導致評估結果差異過大、變異性過高之問題。

### 鋼筋混凝土建築物耐震評估程式增修與 應用研究

計畫主持人：陳建志  
協同主持人：宋海祺  
研究員：蔡益超、謝宗興  
廖本翰  
研究助理：賴明俊、邱敬宗

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國103年12月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)





- 目前本所開發之初步評估方法PSERCB、詳細評估方法SERCB已能提供國內大量鋼筋混凝土造、磚造及加強磚造等建築物進行耐震能力初步評估及詳細評估，並配合「安家固園計畫」及「都市危險及老舊建築物加速重建條例」篩選耐震能力不足之建築物。
- 隨著國內鋼結構與鋼骨鋼筋混凝土建築物之數量逐漸增加，以及考量「都市危險及老舊建築物加速重建條例」至少施行至116年，鋼結構與鋼骨鋼筋混凝土之耐震能力之評估需求將逐漸增多，因此本所將持續完成鋼結構、鋼骨鋼筋混凝土建築耐震能力初步評估及詳細評估技術，以因應實際執行需求。

### 三、鋼結構及輕鋼構建築物耐震能力初步評估方法(PSESSB)

由於PSERCB已成為相關從業人員執行RC建築物初評不可或缺的工具，而鋼結構建築物的數量日益增加，因此本次進行鋼結構建築物耐震能力初步評估系統開發，於2018年5月7日正式公告本系統，並與原本的PSERCB合併為同一評估系統，方便評估人員使用。

建築物耐震能力初步評估系統

2018年2月6日上午9時47分，規模4.8的震波震地觸動台灣，全臺區域均發生大樓動搖，雖地震大規模，但居大樓一樓無類似空窗、破窗等，建築地一樓僅由柱體抵抗震力，抗震能力較其他樓層為低，因此在一樓形成斷裂層，在地震作用下，容易產生延遲而地或整體大樓倒塌。

國內目前規模大震均有一樓斷裂層之建築物不在少數，應具有較高的市場佔有率，如何快速進行耐震能力初步評估，將由此種高震區內的建築物實地考察之參，本系統可藉由建築地一樓斷裂層自二樓或以上層位保留的柱體，進行斷裂層之斷裂位置，配合一樓之柱體斷裂位置之斷裂位置，而從斷裂層技術或建築師初步判斷出斷裂層位置，以備後續評估與補強之用。

本建築物耐震能力初步評估系統係為建築物耐震能力初步評估輔助之用，使用者必須接受結構、耐震、土木、建築等專業教育，並且對此系統相關計算理論、系統操作與之專業結構技術、專業土木工程以及建築師。

PSERCB適用於RC與RC+鋼結構、RC及鋼骨三層非預力鋼筋之建築物，幾乎可以涵蓋大部分的RC與RC+鋼骨及RC+鋼骨之建築物。PSESSB適用於以鋼構的柱、斜撐或RC梁支撐而成的一般鋼結構建築物，以及鋼構的廚房。下列幾點是本系統未能處理的一些情況，評估者處理各類問題時須藉由專業知識與經驗再行斟酌列：

1. 查驗時，圖樣或上述所提圖樣以外之特殊結構。
2. 鋼骨鋼筋之RC建築物。
3. 鋼骨鋼筋之RC建築物。
4. 空層鋼骨鋼筋之RC。
5. 施工品質不良之建築物。

請輸入您的帳號與密碼

帳號

密碼

鋼筋混凝土建築物

鋼構造建築物

### 三、鋼結構及輕鋼構建築物耐震能力初步評估方法(PSESSB)

本鋼結構建築物耐震能力初步評估系統包含一般鋼結構與廠房(輕鋼構)建築物兩種評估形式，供評估人員選取。

建築物耐震能力初步評估系統-鋼結構建築物

建築物依結構形式分類：

請選擇--

請選擇--

一般鋼結構建築物

廠房類建築物

兩者分別於定量部份有不同的計算方式

### 三、鋼結構及輕鋼構建築物耐震能力初步評估方法(PSESSB)

#### 評估項目

定性分析

定量分析

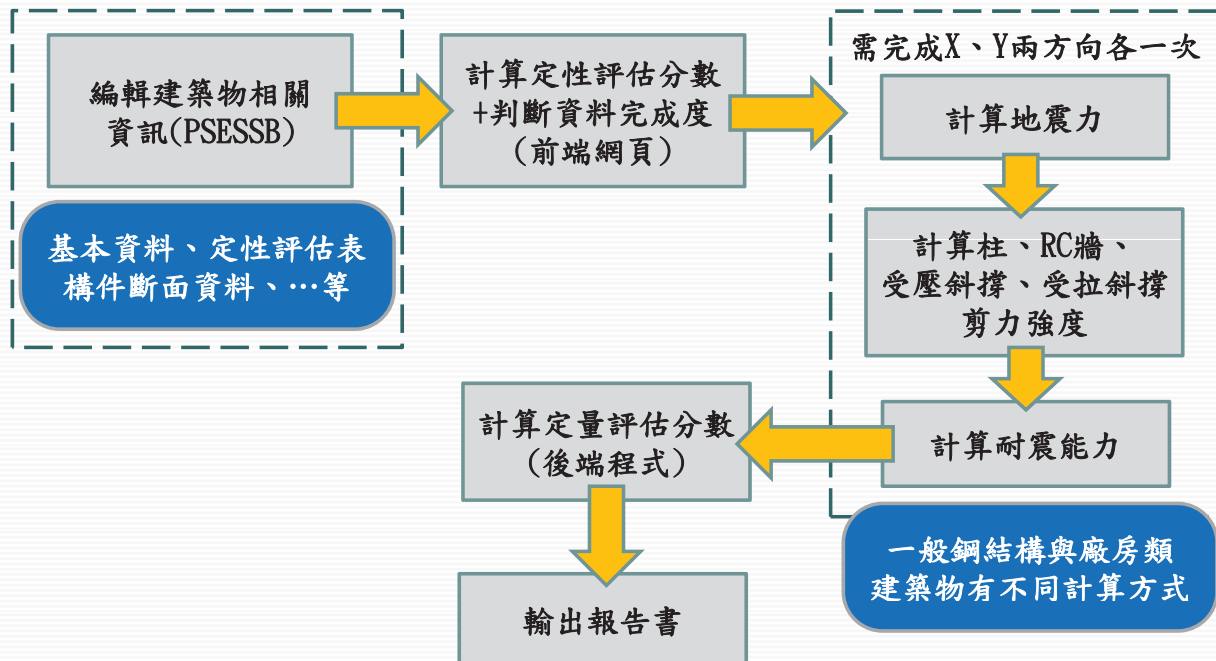
項次	項目	配分	評估內容
1	靜不定程度	4	<input type="checkbox"/> 單跨(1.0) <input type="checkbox"/> 雙跨(0.67) <input type="checkbox"/> 三跨(0.33) <input type="checkbox"/> 四跨以上(0)
2	地下室面積比, $r_a$	2	$0 \leq (1.5 - r_a) / 1.5 \leq 1.0$ ; $r_a$ : 地下室面積與建築面積之比
3	平面對稱性	3	<input type="checkbox"/> 不良(1.0) <input type="checkbox"/> 尚可(0.5) <input type="checkbox"/> 良(0)
4	立面對稱性	3	<input type="checkbox"/> 不良(1.0) <input type="checkbox"/> 尚可(0.5) <input type="checkbox"/> 良(0)
5	斜撐型式	3	<input type="checkbox"/> 同心斜撐(1.0) <input type="checkbox"/> 偏心斜撐(0.5) <input type="checkbox"/> BRB(0) <input type="checkbox"/> 無(0)
6	梁之跨深比b	3	當 $b < 5$ , $w = 1.0$ ; 當 $5 \leq b < 12$ , $w = (12 - b) / 7$ ; 當 $b \geq 12$ , $w = 0$ $b =$
7	柱之高深比c	3	當 $c < 2$ , $w = 1.0$ ; 當 $2 \leq c < 6$ , $w = (6 - c) / 4$ ; 當 $c \geq 6$ , $w = 0$ $c =$
8	塑鉸區梁之細部	4	<input type="checkbox"/> 未處理(1.0) <input type="checkbox"/> 垂直加勁式補強或其他(0.4) <input type="checkbox"/> 梁經切削(0)
9	未支撐長度	3	<input type="checkbox"/> 高(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 低(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0)
10	斷面結實性	3	<input type="checkbox"/> 半結實斷面(1.0) <input type="checkbox"/> 結實斷面(0.5) <input type="checkbox"/> 耐震與塑性設計斷面(0)
11	柱之損害程度	2	<input type="checkbox"/> 高(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 低(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0)
12	構梁之損害程度	2	<input type="checkbox"/> 高(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 低(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0)
13	現斜撐損害程度	2	<input type="checkbox"/> 高(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 低(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0)
14	鋼材鏽蝕程度	3	<input type="checkbox"/> 高(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 低(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0)
15	475年耐震能力初步評估	30	當 $\frac{A_{c1}}{I_{A_{475}}} \leq 0.25$ , $w = 1$ ; 當 $0.25 \leq \frac{A_{c1}}{I_{A_{475}}} \leq 1$ , $w = \frac{4}{3} \left( 1 - \frac{A_{c1}}{I_{A_{475}}} \right)$ ; 當 $\frac{A_{c1}}{I_{A_{475}}} > 1$ , $w = 0$ $A_{c1,x} = A_{c1,y} = A_{c1} = \min[A_{c1,x}, A_{c1,y}] =$
16	2500年耐震能力初步評估	30	當 $\frac{A_{c2}}{I_{A_{2500}}} \leq 0.25$ , $w = 1$ ; 當 $0.25 \leq \frac{A_{c2}}{I_{A_{2500}}} \leq 1$ , $w = \frac{4}{3} \left( 1 - \frac{A_{c2}}{I_{A_{2500}}} \right)$ ; 當 $\frac{A_{c2}}{I_{A_{2500}}} > 1$ , $w = 0$ $A_{c2,x} = A_{c2,y} = A_{c2} = \min[A_{c2,x}, A_{c2,y}] =$
分數總計		100	評分總計(P):

一般鋼結構與廠房類建築物評估項目相同

一般鋼結構與廠房類建築物於定量評估部分有不同評估方式。

### 三、鋼結構及輕鋼構建築物耐震能力初步評估方法(PSESSB)

## PSESSB鋼結構及輕鋼構建築物初步評估流程



### 四、鋼骨鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估方法

此方法為本研究所開發之第三套建築物分析方法，主要針對SRC建築物進行快速又不失準確之耐震能力分析。



四、鋼骨鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估方法

評估項目

SRC表格與鋼結構表格不同項目

定性分析

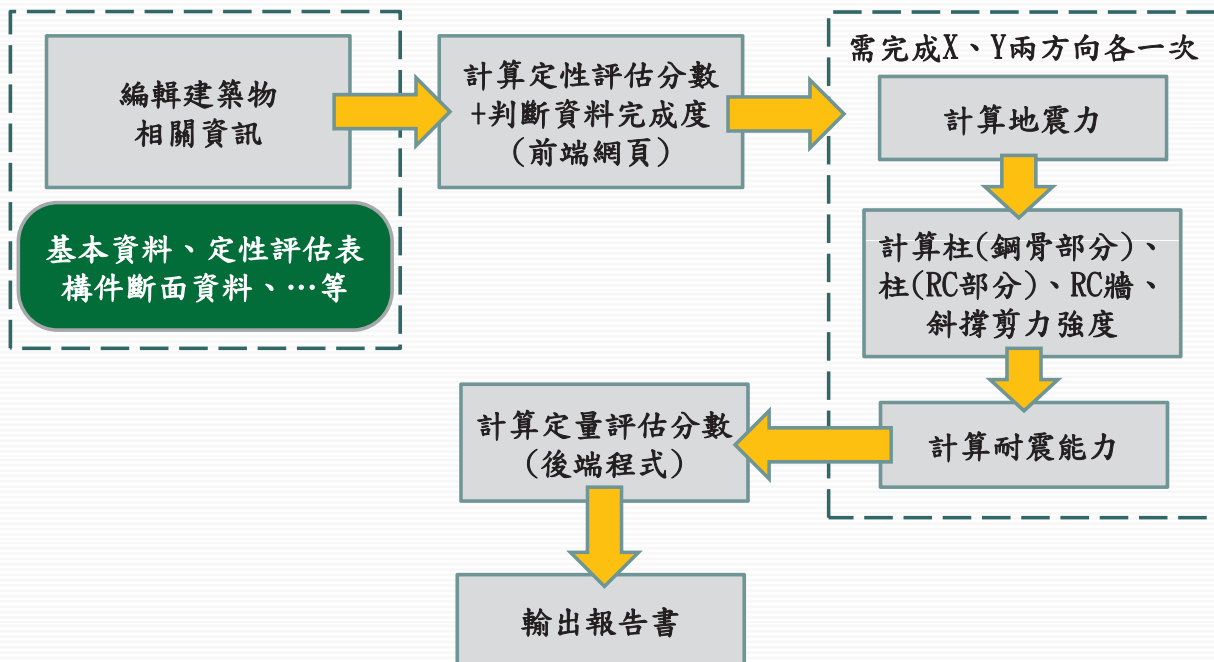
定量分析

項次	項目	配分	評估內容	權重	評
1	靜不定程度	4	<input type="checkbox"/> 單跨(1.0) <input type="checkbox"/> 雙跨(0.67) <input type="checkbox"/> 三跨(0.33) <input type="checkbox"/> 四跨以上(0)		
2	地下室面積比, $r_a$	2	$0 \leq (1.5-r_a)/1.5 \leq 1.0$ ; $r_a$ : 地下室面積與建築面積之比 $r_a=$		
3	平面對稱性	3	<input type="checkbox"/> 不良(1.0) <input type="checkbox"/> 尚可(0.5) <input type="checkbox"/> 良(0)		
4	立面對稱性	3	<input type="checkbox"/> 不良(1.0) <input type="checkbox"/> 尚可(0.5) <input type="checkbox"/> 良(0)		
5	斜撐型式	3	<input type="checkbox"/> 同心斜撐(1.0) <input type="checkbox"/> 偏心斜撐(0.5) <input type="checkbox"/> BRB(0) <input type="checkbox"/> 無(0)		
6	梁之跨深比b	3	當 $b < 3, w = 1.0$ ; 當 $3 \leq b < 8, w = (8-b)/5$ ; 當 $b \geq 8, w = 0$ $b =$		
7	柱之高深比c	3	當 $c < 2, w = 1.0$ ; 當 $2 \leq c < 6, w = (6-c)/4$ ; 當 $c \geq 6, w = 0$ $c =$		
8	鑿銼區梁之細部	4	<input type="checkbox"/> 未處理(1.0) <input type="checkbox"/> 垂直加勁式補強或其他(0.4) <input type="checkbox"/> 梁經切割(0)		
9	柱圈束箍筋配設	3	<input type="checkbox"/> 高(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 低(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0)		
10	短柱、短梁嚴重性	3	<input type="checkbox"/> 高(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 低(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0)		
11	柱之損害程度	2	<input type="checkbox"/> 高(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 低(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0)		
12	梁之損害程度	2	<input type="checkbox"/> 高(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 低(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0)		
13	現牆與斜撐損害程度	2	<input type="checkbox"/> 高(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 低(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0)		
14	鏽蝕滲水等程度	3	<input type="checkbox"/> 高(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 低(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0)		
15	475年耐震能力初步評估	30	當 $\frac{A_{c1}}{I_{d475}} \leq 0.25, w = 1$ ; 當 $0.25 \leq \frac{A_{c1}}{I_{d475}} \leq 1, w = \frac{4}{3} \left(1 - \frac{A_{c1}}{I_{d475}}\right)$ ; 當 $\frac{A_{c1}}{I_{d475}} > 1, w = 0$ $A_{c1,x} = A_{c1,y} = A_{c1} = \min[A_{c1,x}, A_{c1,y}] =$		
16	2500年耐震能力初步評估	30	當 $\frac{A_{c2}}{I_{d2500}} \leq 0.25, w = 1$ ; 當 $0.25 \leq \frac{A_{c2}}{I_{d2500}} \leq 1, w = \frac{4}{3} \left(1 - \frac{A_{c2}}{I_{d2500}}\right)$ ; 當 $\frac{A_{c2}}{I_{d2500}} > 1, w = 0$ $A_{c2,x} = A_{c2,y} = A_{c2} = \min[A_{c2,x}, A_{c2,y}] =$		
分數總計			100	評分總計(P):	

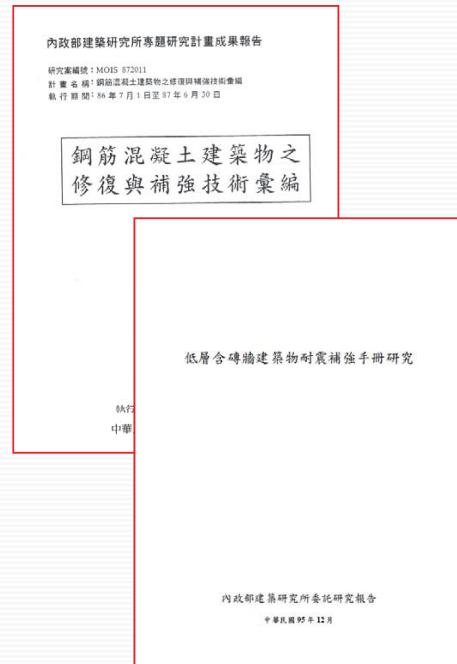
鋼結構與SRC建築物於定量評估部分亦有不同評估方式。

四、鋼骨鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估方法

鋼骨鋼筋混凝土結構初步評估流程



➤ 耐震補強技術研究方面，本所86年「鋼筋混凝土建築物之修復與補強技術彙編」彙整國內外鋼筋混凝土建築物之永久性與臨時性之修復補強工法；921地震後，為提升國內低層建築物及低矮校舍之耐震能力，於95年完成「低層含磚牆建築物耐震補強手冊研究」。



# 鋼筋混凝土建築結構耐震補強技術

〈參考手冊〉

SEISMIC RETROFIT DESIGN MANUAL FOR REINFORCED CONCRETE BUILDINGS



## 目錄

<b>第一章</b>	前言	1
1.1	適用範圍與定義	2
1.2	基本要求	2
1.3	現況檢視與調查	3
1.4	設計程序	4
1.5	施工	4
<b>第二章</b>	規劃與結構設計	9
2.1	補強規劃	10
2.1.1	一般原則	10
2.1.2	補強設計策略	10
2.2	補強結構設計	14
2.2.1	一般原則	14
2.2.2	材料強度	15
2.2.3	補強數量需求	20
2.3	補強結構評估	21
2.3.1	一般原則	21
2.3.2	分析原則	21

<p><b>第三章 構材補強</b> 23</p> <p><b>3.1 擴柱補強</b>..... 24</p> <p>3.1.1 一般原則..... 24</p> <p>3.1.2 規劃..... 26</p> <p>3.1.3 設計程序..... 27</p> <p>3.1.4 結構細節..... 28</p> <p><b>3.2 增設翼牆補強</b>..... 29</p> <p>3.2.1 一般原則..... 29</p> <p>3.2.2 規劃..... 30</p> <p>3.2.3 設計程序..... 31</p> <p>3.2.4 結構細節..... 32</p> <p><b>3.3 RC包覆韌性補強</b>..... 33</p> <p>3.3.1 一般原則..... 33</p> <p>3.3.2 規劃..... 33</p> <p>3.3.3 設計程序..... 33</p> <p>3.3.4 結構細節..... 35</p> <p><b>3.4 柱包覆鋼板補強</b>..... 36</p> <p>3.4.1 一般原則..... 36</p> <p>3.4.2 規劃..... 36</p> <p>3.4.3 設計程序..... 36</p> <p>3.4.4 結構細節..... 38</p>	<p><b>3.5 碳纖維 (CFRP) 包覆補強</b> ..... 39</p> <p>3.5.1 一般原則..... 39</p> <p>3.5.2 規劃..... 39</p> <p>3.5.3 設計程序..... 39</p> <p>3.5.4 結構細節..... 41</p> <p><b>3.6 加強磚造結構之補強</b>..... 41</p> <p>3.6.1 一般原則..... 41</p> <p>3.6.2 規劃..... 41</p> <p>3.6.3 設計程序..... 42</p> <p>3.6.4 結構細節..... 42</p> <p><b>第四章 結構系統補強</b> 49</p> <p><b>4.1 鋼筋混凝土 (RC) 剪力牆</b> ..... 50</p> <p>4.1.1 一般原則..... 50</p> <p>4.1.2 規劃..... 51</p> <p>4.1.3 設計程序..... 52</p> <p>4.1.4 結構細節..... 56</p> <p>4.1.5 RC開口剪力牆補強..... 60</p> <p><b>4.2 鋼造斜撐或鋼板剪力牆</b>..... 62</p> <p>4.2.1 一般原則..... 62</p>
--	--

<p>4.2.2 規劃..... 64</p> <p>4.2.3 設計程序..... 65</p> <p>4.2.4 結構細節..... 70</p> <p><b>4.3 挫屈束制支撐</b>..... 76</p> <p>4.3.1 一般原則..... 76</p> <p>4.3.2 規劃..... 76</p> <p>4.3.3 設計程序..... 78</p> <p>4.3.4 結構細節..... 80</p> <p><b>4.4 消能補強</b>..... 81</p> <p><b>4.5 其他遲滯消能系統</b>..... 88</p> <p><b>4.6 其他補強技術</b>..... 88</p> <p>4.6.1 增加扶壁..... 88</p> <p>4.6.2 增加空間構架..... 89</p> <p>4.6.3 其他補強技術..... 91</p> <p><b>4.7 非結構構材</b>..... 92</p> <p>4.7.1 一般原則..... 92</p> <p>4.7.2 規劃..... 92</p> <p>4.7.3 設計程序..... 92</p> <p>4.7.4 細節..... 92</p>	<p><b>第五章 基礎補強</b> 93</p> <p><b>5.1 一般原則</b>..... 94</p> <p><b>5.2 基礎補強需求</b>..... 95</p> <p><b>5.3 補強對策與措施</b>..... 96</p> <p><b>5.4 結構細節及其他注意事項</b>.....100</p> <p><b>附錄</b> 101</p> <p><b>附錄 A 補強設計例：醫院結構</b>.....101</p> <p><b>附錄 B 補強設計例：住商混合大樓</b>.....133</p> <p><b>附錄 C 醫院設計範例圖說</b>.....153</p> <p><b>附錄 D 住商混合大樓設計範例圖說</b>.....167</p> <p><b>參考書目</b> 179</p>
---	---

**第一章 前言**：基本原則、適用範圍及補強設計與施工等基本要求之說明與定義。

**第二章 規劃與結構設計**：提供耐震補強規劃時，補強基本策略之選擇參考方向，內容包括結構配置和結構設計原則。

**第三章 構材補強**：構材補強包括擴柱補強、增設翼牆補強、包覆式補強與加強磚造結構補強方法之一般原則、規劃、設計程序與結構細節。

**第四章 結構系統補強**：增設 RC 剪力牆補強、增設鋼斜撐或鋼板剪力牆補強、消能補強及其他補強技術等方法之一般原則、規劃、設計程序與結構細節。

**第五章 基礎補強設計**：提供基礎補強之一般原則、補強需求、補強對策與結構細節。

### 歷年相關耐震補強之研究：

-88年建築物耐震評估及補強實施制度研擬（建築物實施耐震能力評估及補強方案腳本）

-92年「加強磚造建築物耐震診斷與補強對策之研究」

-92年「鋼結構建築耐震評估、補強及修復準則之研擬」

參考FEMA-351、FEMA-352，並依國內鋼結構工程實際狀況，制定本土化之鋼結構韌性抗彎矩構架震前及震後之耐震補強建議準則內容。

-93年「鋼筋混凝土建築結構桿件補強準則之研擬」

-101年「低矮型RC 建築耐震補強施工細節之研究」

補強完成後之結構非線性模擬，係參考FEMA-273、FEMA-356及ASCE 41-06等方式定義塑性鉸。有關塑性角定義之其他參考文獻：

Loading Protocols for ASCE Backbone Curves, Earthquake Spectra Volume 32

### 歷年相關耐震補強之研究：

- 105年，鋼筋混凝土建築結構耐震補強技術與示範例之研擬
- 106年，老舊RC建築既有非韌性配筋柱包覆鋼板補強之研究
- 106年，中高樓層建築非韌性RC配筋柱擴柱補強技術研究
- 107年，既有建築物防倒塌階段性耐震補強法規與設計方法之研擬
- 107年，既有老舊供公眾使用私有建築物耐震評估補強法規制度之研擬
- 108年，鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷技術手冊研擬
- 109年，鋼筋混凝土梁構件之鋼筋腐蝕斷面補修工法研擬

### 結語

- 配合本部「都市危險及老舊建築物加速重建條例」及全國建築物耐震安檢暨輔導重建補強計畫等各耐震補強方案計畫，持續辦理建築物耐震評估補強工法技術研究與推廣。
- 執行精進建築結構耐震技術研究計畫，持續進行本土性大型結構耐震實驗研究，協助修訂建築物構造設計技術規範及國家標準，並開發建築物耐震能力評估及補強技術供建築師、專業技師使用，藉此提昇國內建築結構安全與使用性能。



# 簡報完畢 謝謝聆聽

## 聯絡方式



02-89127890-300

0926970919

cjchen250@gamil.com

Line ID:chienjohn

鋼筋混凝土建築結構耐震補強研討會

## 建築結構系統耐震補強設計與應用

報告人:廖文義

109年11月

### 報告內容

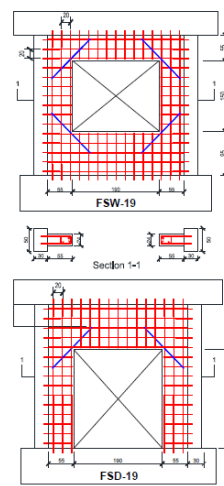
- (1)鋼筋混凝土建築結構耐震補強技術手冊。
- (2)既有建築物防倒塌階段性耐震補強與設計方法。

### 補強設計手冊



### 研究資料

- ☆ 「含開口RC牆構架試驗」
  - 國震中心、建研所、臺灣大學等之試驗
  - 試驗探討及分析公式與模型
  - 日本資料匯整提出模型
- ☆ 「乾式補強技術」
  - 國震鋼斜撐補強工法
  - 消能補強工法
- ☆ 「補強技術手冊」
  - 建研所、國震中心、地震學會
  - 彙編著重於私有建築補強工法與施工要項
  - 濕式補強的改良(基礎補強方法)



校舍電子報

現況檢視與調查項目、規劃與結構設計

- 對主要梁柱與非結構牆作實地調查及審閱原始設計圖
  - 確認建物之結構特性，減少不確定性
- **RC 梁柱檢測**
  - 混凝土強度、鋼筋強度與量
  - 既有缺陷之影響(鋼筋鏽蝕、震害缺陷、不均勻沉陷影響...)
- **RC 結構施工規定**
- **補強設計策略**
- **補強材料規定**



系統補強

鋼筋混凝土剪力牆

一般原則

規劃

設計程序

施作方式與結構細節

施工步驟說明與施工照片

RC開口剪力牆補強

設計概要說明

開口牆施工概要說明

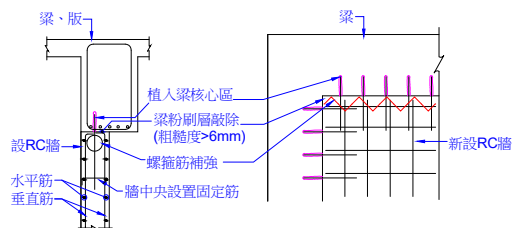
鋼造斜撐或鋼板剪力牆

挫屈束制支撐

消能補強

其他補強技術

非結構構材



**問題探討 (RC wall)**

**問題探討 (RC wall)**

**.摩擦剪力不足產生滑動**  
**.力量集中牆頂角落而壓碎**

**.純RC牆體之drift達 1.0%**

問題探討 (RC wall)

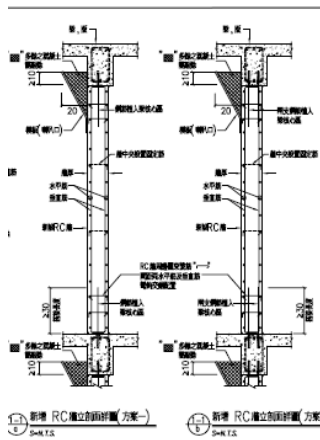


安和國小補強之剪力牆於311地震中破壞照片

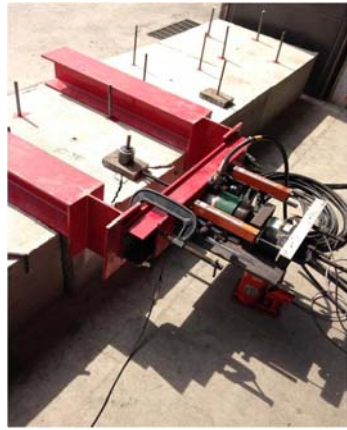
低強度混凝土( $f_c' = 50-100 \text{ kg/cm}^2$ )植筋剪力強度試驗

一般補強設計: 以RC規範之摩擦剪力公式計算

植筋工程: 不可避免之項目, 有必要了解單純鋼筋於低強度混凝土下之傳遞剪力能力



植筋試驗(配置)



植筋剪力強度試驗(破壞模式)



鋼材剪斷



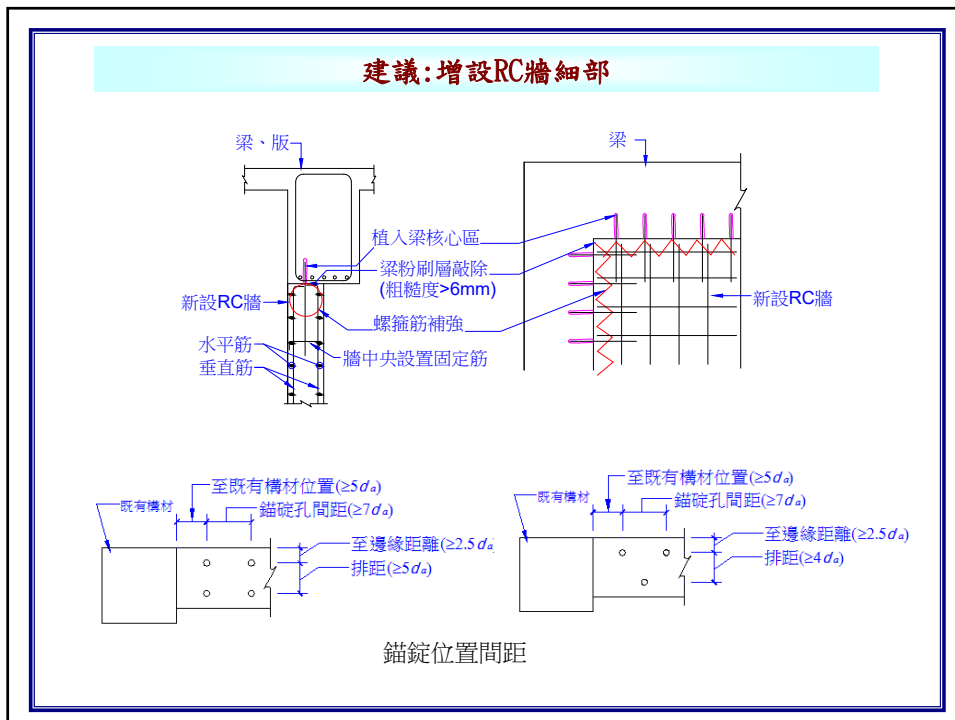
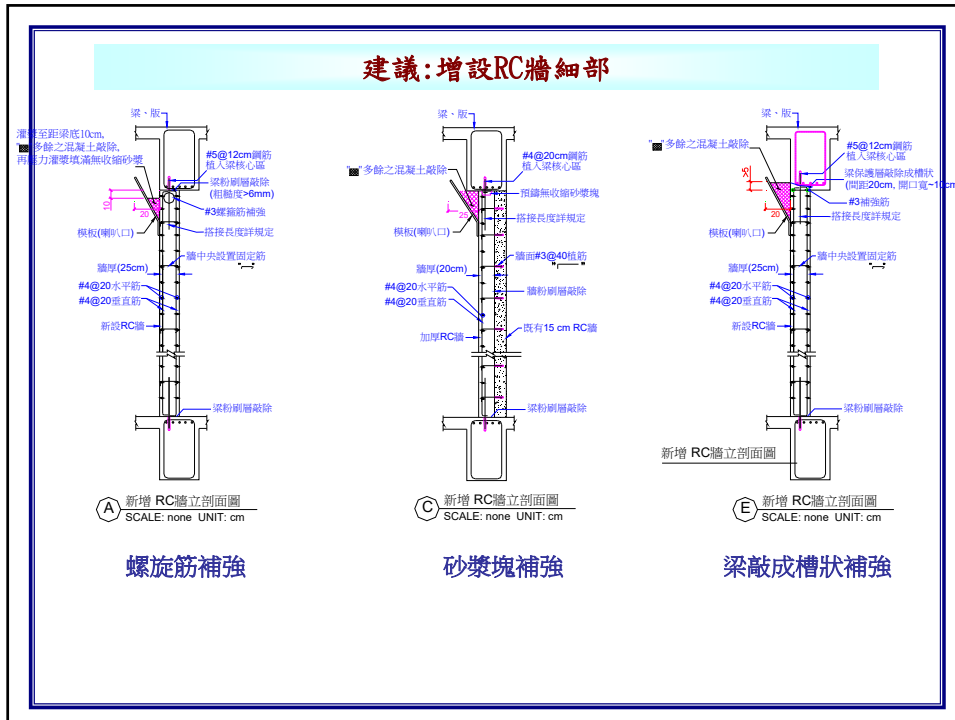
邊距破壞



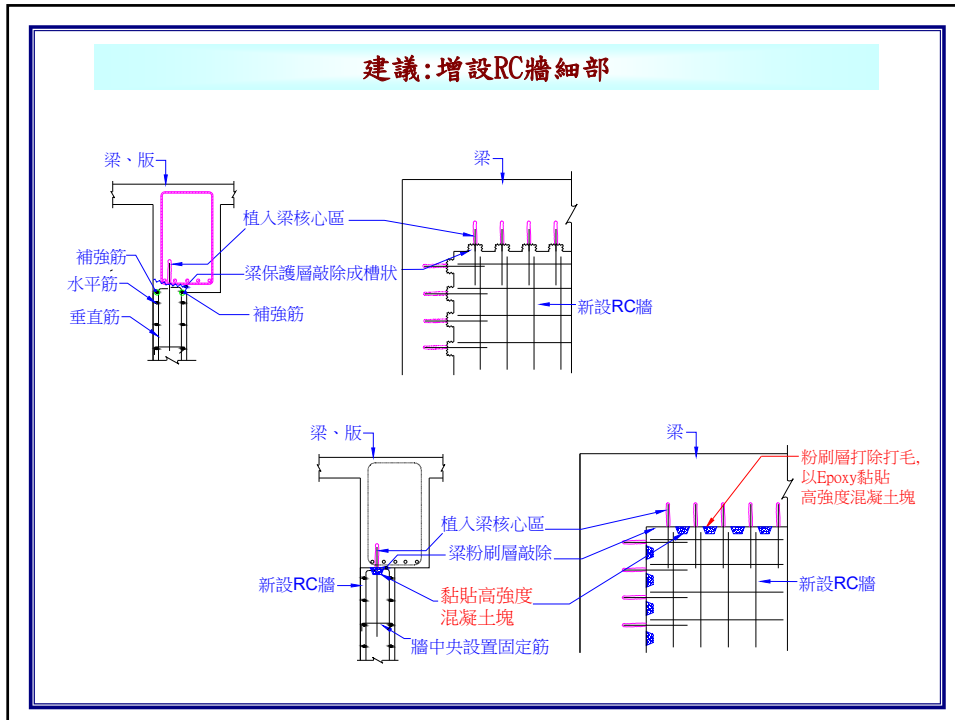
混凝土翹破



鋼筋彎曲  
(規範中沒註明)







### 開口RC牆設計模擬原則

· 開口 RC 牆體與磚牆耐震行為研究

· 蒐集試驗資料所含蓋情況

· 探討不同型式(開窗、開門、翼牆) 牆體行為

· 建立可靠且簡易之設計公式

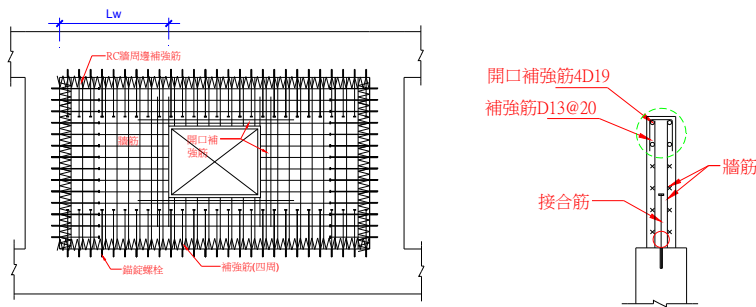
開孔強度折減 
$$\eta = 1 - \frac{\sum L_i}{L_w}$$

### 開口RC牆開孔補強筋數量

RC剪力牆開口邊緣與原梁柱構材之距離不宜小於原構材於牆平面方向尺寸之1.5倍或RC牆厚度之5倍。

牆內若有開窗開孔者，開口四周須加置不少於2根#5以上之鋼筋，此等鋼筋須延伸至孔角外至少60 cm，並不得小於伸展長度。

對於開孔牆若其 $L_w$ 與牆厚度比小於5倍者，開孔之水平補牆筋強度應設計為可承擔開口處牆段之剪力強度。



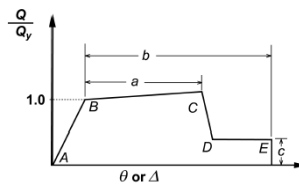
### 乾式補強工法與模擬研究

#### (1) 補強工法與施工細部

- 鋼斜撐補強工法
- 外部增築梁柱之探討
- 消能補強

#### (2) 補強構材行為模擬

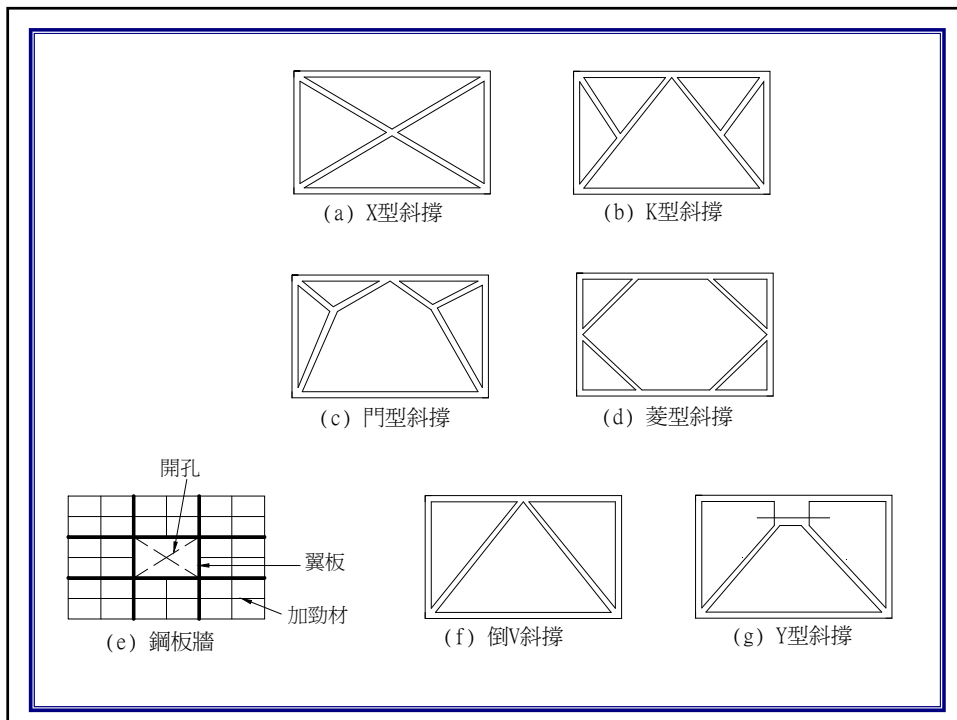
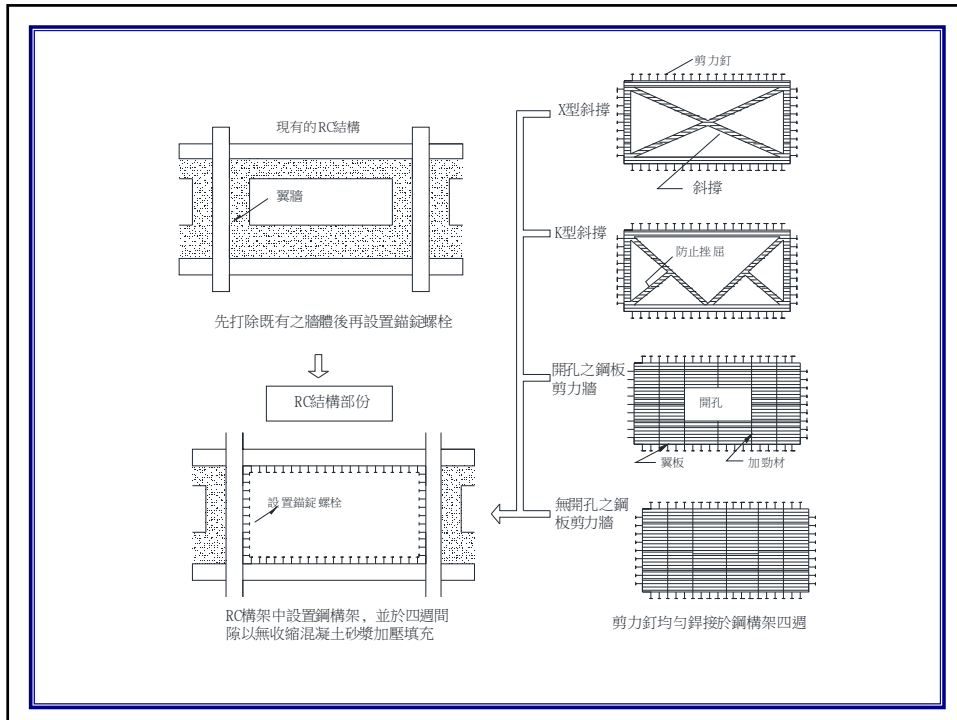
- 提供耐震能力分析模擬參考

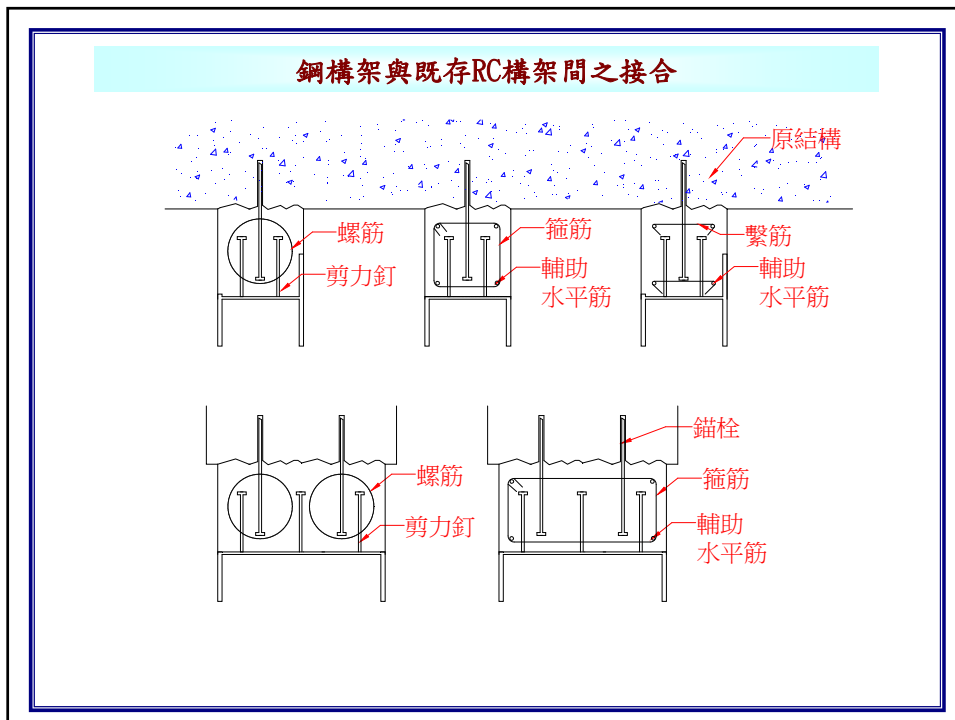
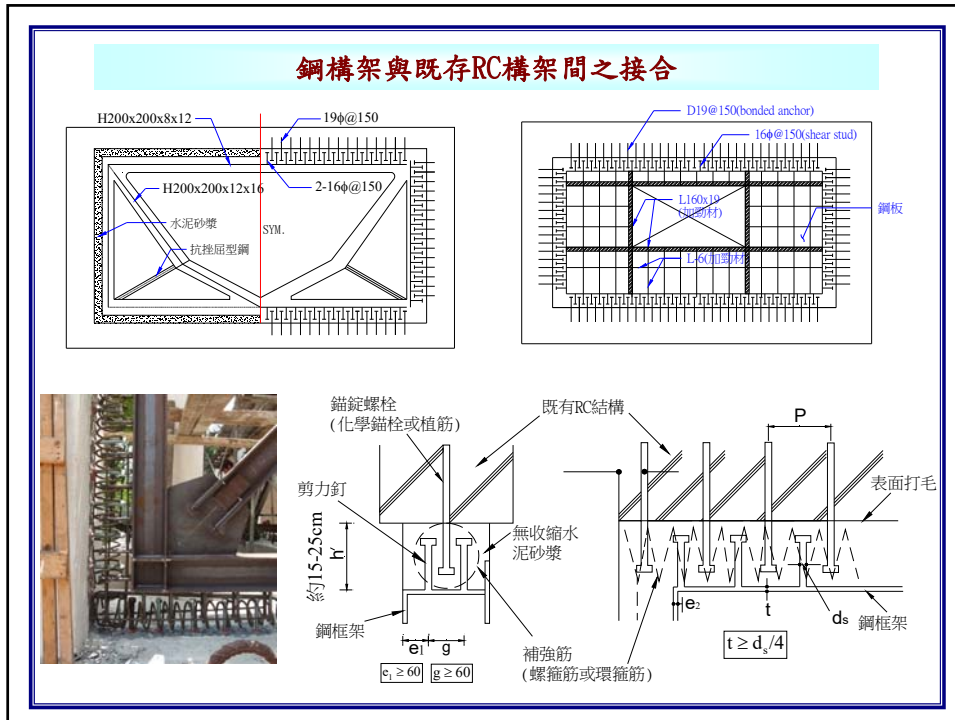


斜撐有效強度

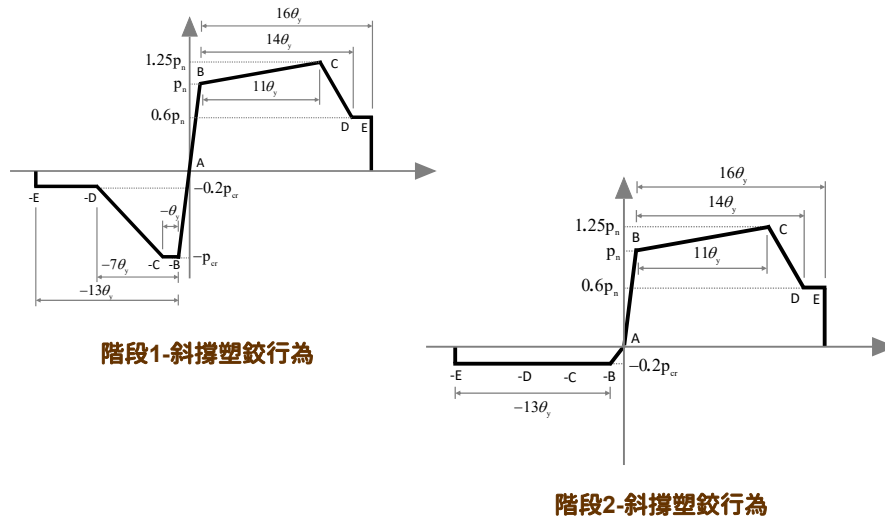
$$P_n = A_g F_{cr}$$

桿件 / 荷載	模擬參數		
	塑性變形		殘餘強度比
	a	b	
受壓斜撐			
a. 雙角鋼面內外掛屈	$0.5\Delta_c$	$8\Delta_c$	0.2
b. W 或 I 型	$0.5\Delta_c$	$8\Delta_c$	0.2
c. 雙槽型鋼面內外掛屈	$0.5\Delta_c$	$8\Delta_c$	0.2
d. 鋼管混凝土	$0.5\Delta_c$	$7\Delta_c$	0.2





### 斜撐非線性分析之階段性分析



### 補強策略

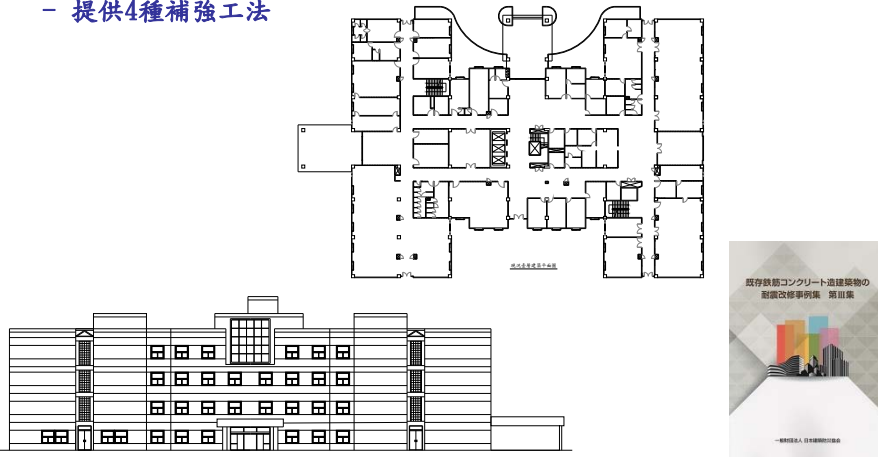
- 提昇建築物本身耐震能力
  - 構材強度韌性補強、不規則性之改善、增設剪力牆等
  - 補強樓層(外部修飾)
- 降低建築物之耐震需求
  - 降低建物重量或加裝阻尼器等方式來進行
- 濕式工法之改進
  - 基礎處理方式、開口剪力牆等



### 設計範例(一): 概述

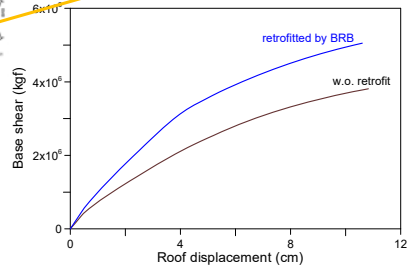
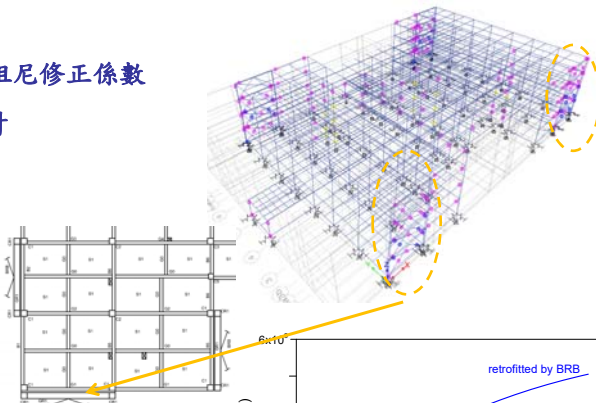
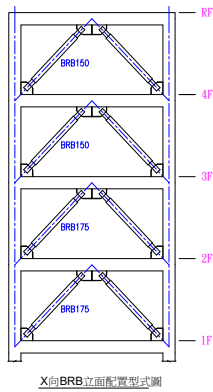
- 中部某醫院(肅朱醫院)

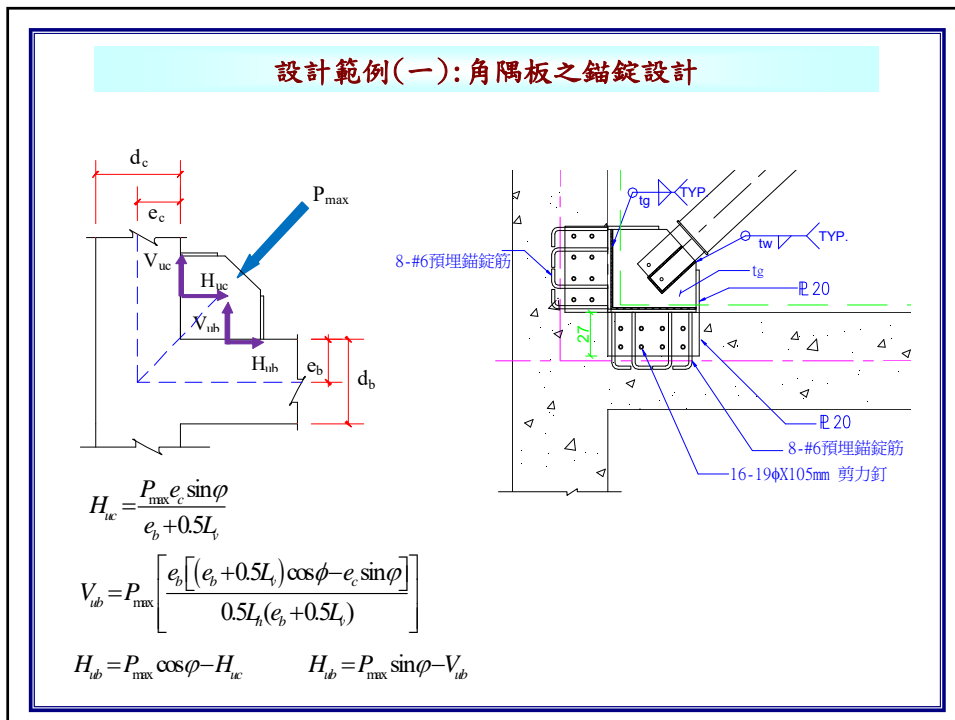
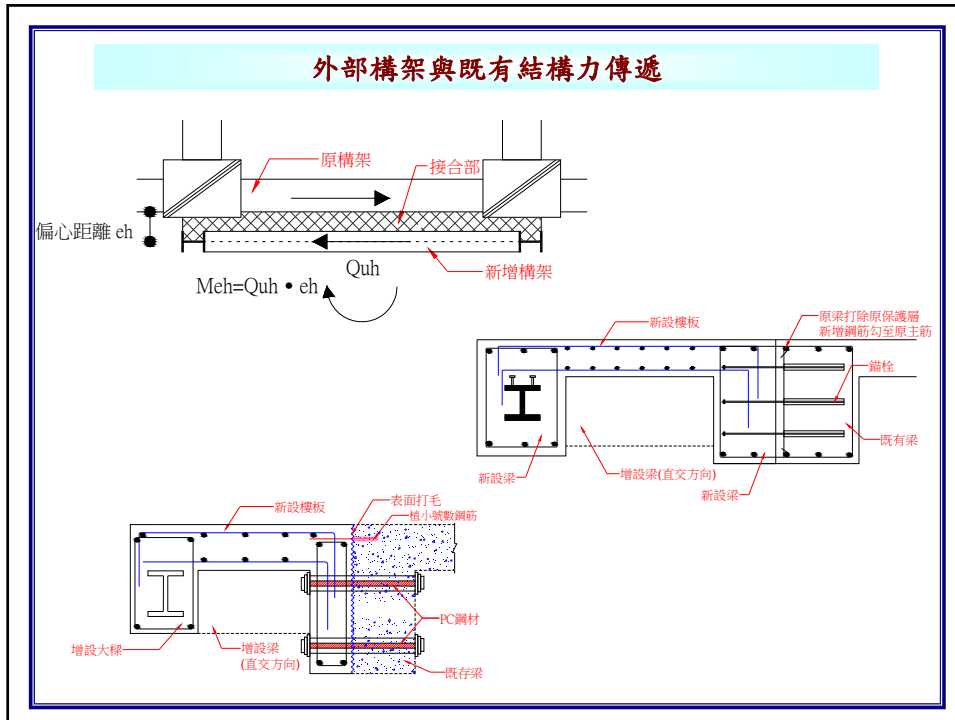
- 地上四層、無地下室之RC構架，12公分之RC牆為外牆及1B磚隔間牆
- 提供4種補強工法

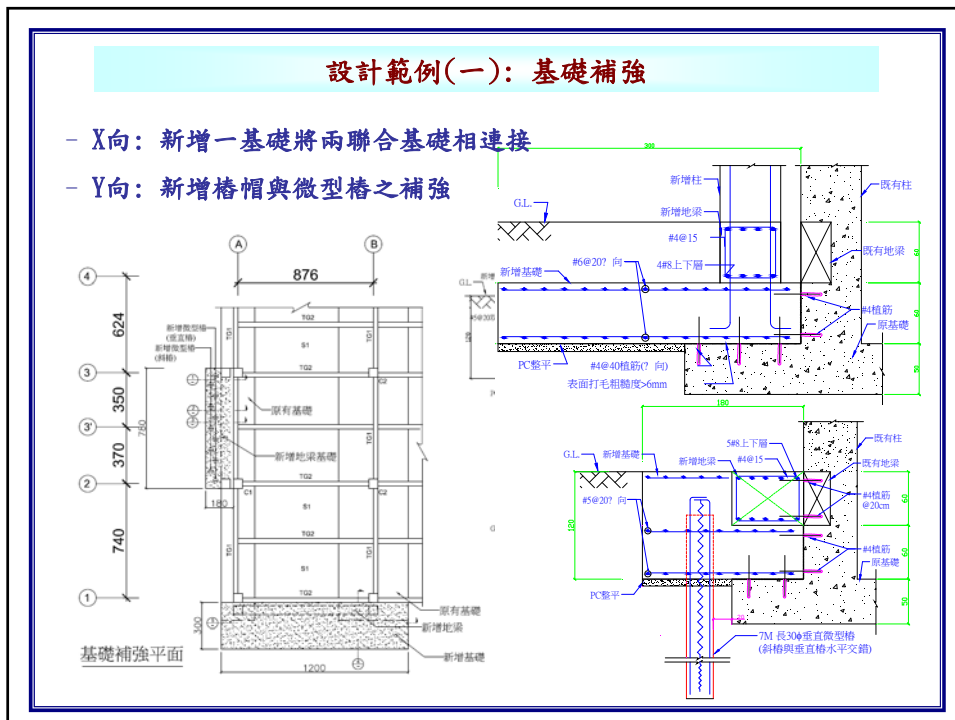
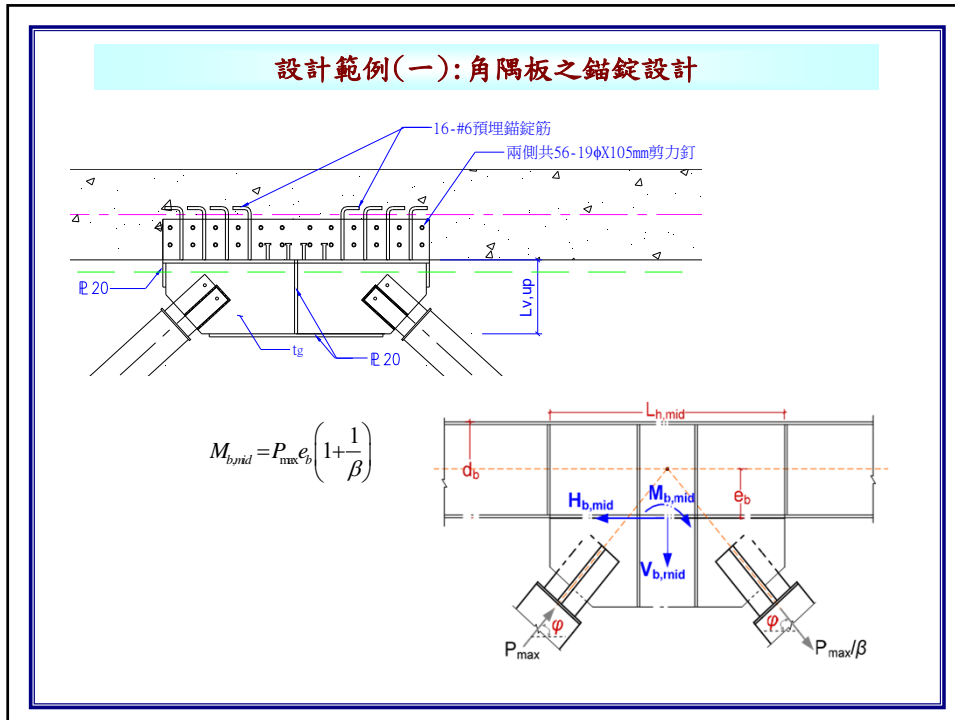


### 設計範例(一): 外部構架與位移型消能斜撐(1)

- 系統補強配置
- 補強後結構整體阻尼修正係數
- 角隅板之錨錠設計
- 基礎補強









設計範例(一): 補強後外觀



1 病房大樓東南向補強立面圖(BRB)



病房大樓東北向補強立面圖(BRB)

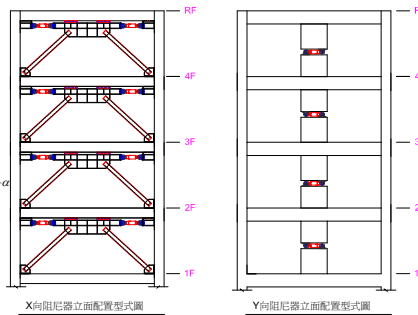
設計範例(一): 外部構架與速度型消能元件(2)

- 系統補強配置
- 側推分析之等效阻尼計算
- 角隅板之錨錠設計

$$\text{阻尼器之遲滯能 } \sum W_{vj} = \left(\frac{2\pi}{T_s}\right)^\alpha \sum \lambda C_j |\Delta_{vj} \cos \theta_j|^{1+\alpha}$$

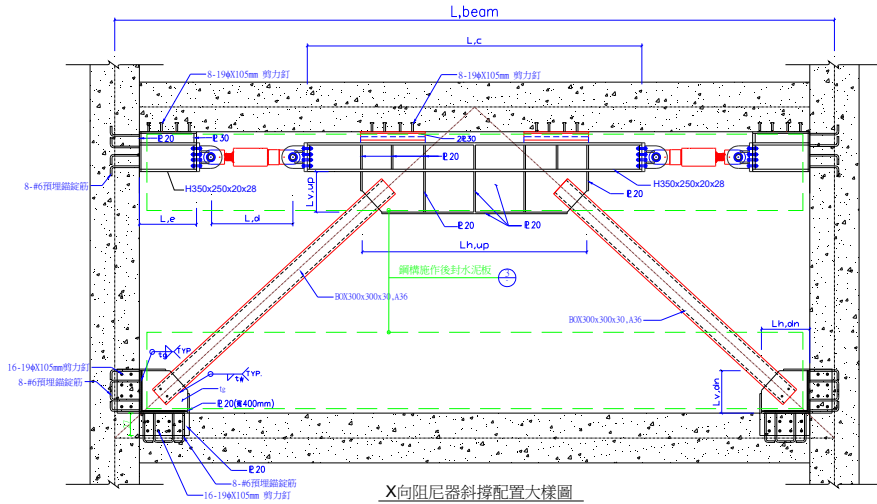
$$\text{有效阻尼比 } \xi_{eff} = \eta \frac{\sum W_{vj}}{4\pi W_K}$$

$$\eta = 1 - \left(\frac{K_a}{K_b}\right)^{1-\alpha}$$

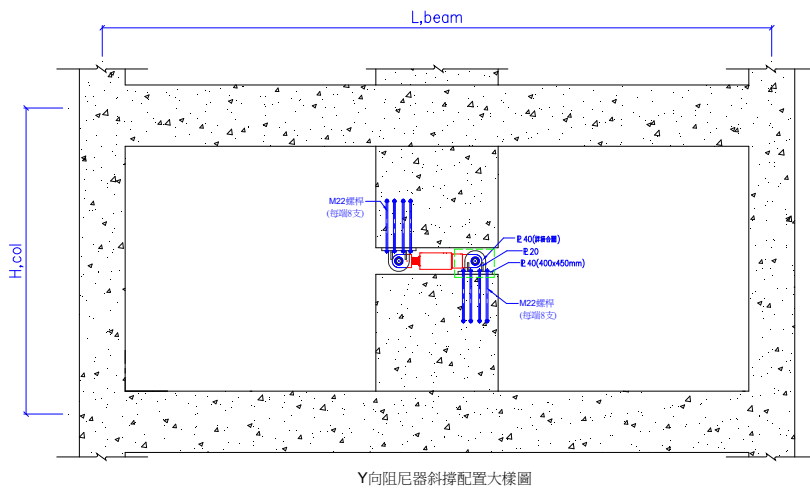


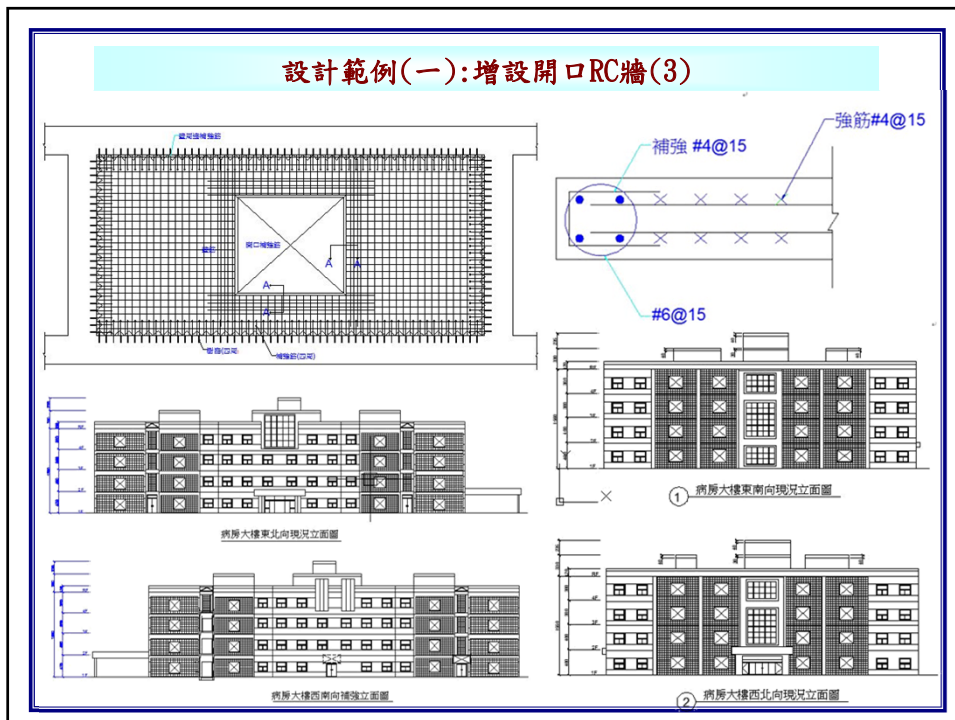
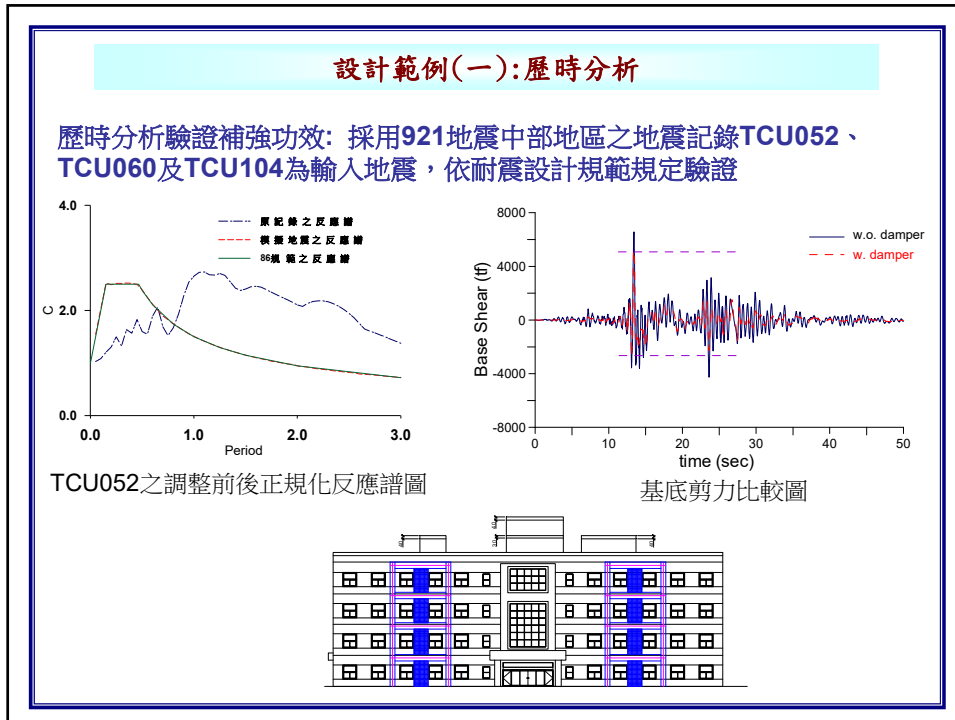
story	Displ. (cm)	H(cm)	Drift/PF <sub>1</sub>	damping coefficient, C	no. of damper	damping work, W <sub>j</sub>
RF	10.644	380	1.170	24.90	8	1806.8
4F	9.099	380	1.768	24.90	8	3153.4
3F	6.765	400	2.886	24.90	8	6110.8
2F	2.955	400	2.238	24.90	8	4336.1
Σ =						15407.1
η =						0.912
ξ <sub>eff</sub> =						5.23%

設計範例(一): X向阻尼器配置大樣圖

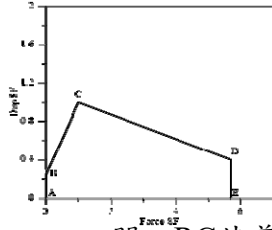


設計範例(一): Y向阻尼器配置大樣圖



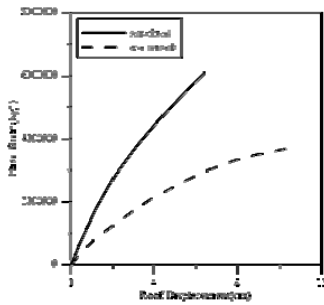


設計範例(一): 非線性靜力分析

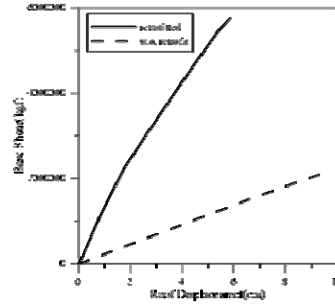


Point	Force/SF	Disp/SF
A	0	0
B	0.2525	0
C	1	1
D	0.4	5.6971
E	0	5.6971

開口RC牆剪力非線性鉸參數



X向補強前後容量曲線比較



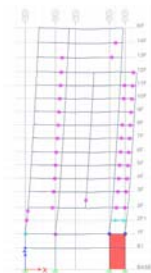
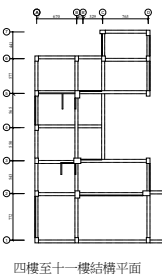
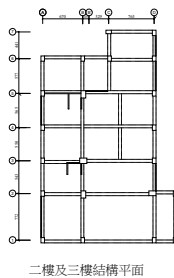
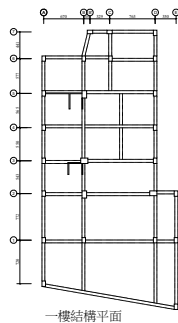
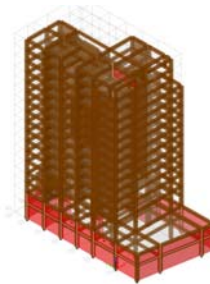
Y向補強前後容量曲線比較

設計範例(二): 概述

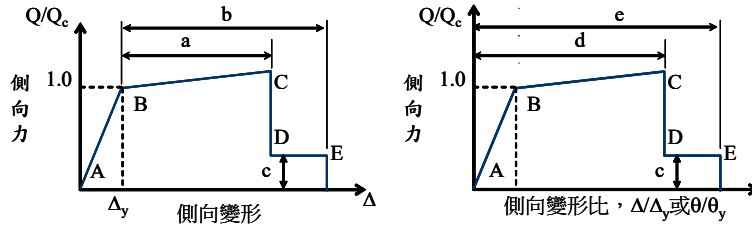
• 住宿混合大樓(皇后大樓)

- 地下2層、地上14層RC構造，一、二樓有夾層，挑高設計，筏式基礎，平面呈不規則門字型之住商混合大樓

- 提供2種補強工法(RC牆與消能斜撐)



分析模擬：力與變形之關係 (FEMA)



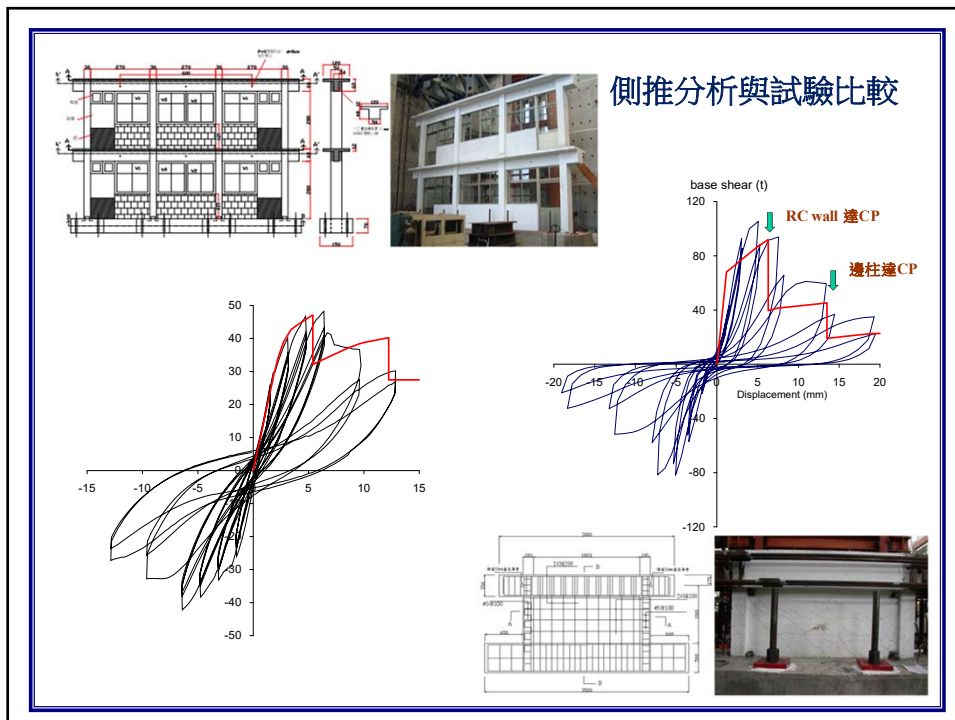
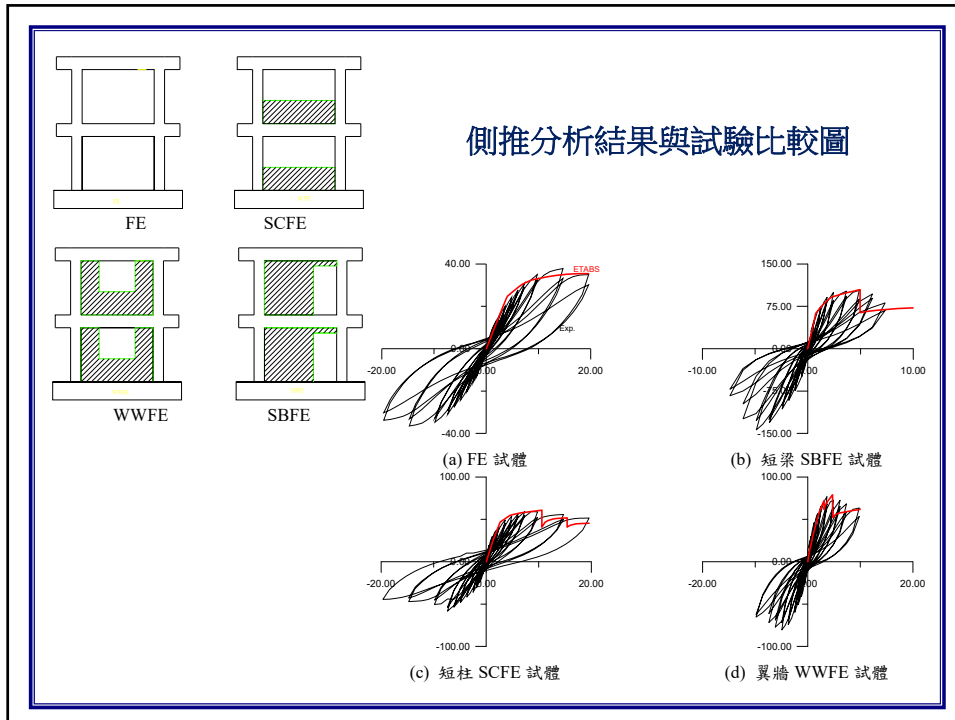
混凝土構材側向力與變形之關係圖

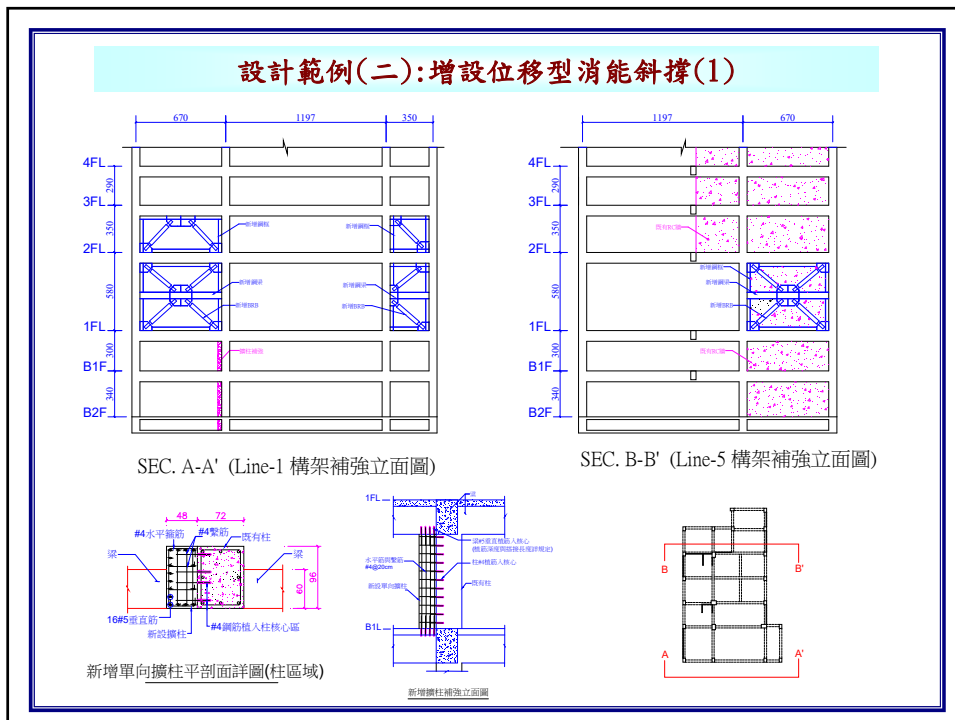
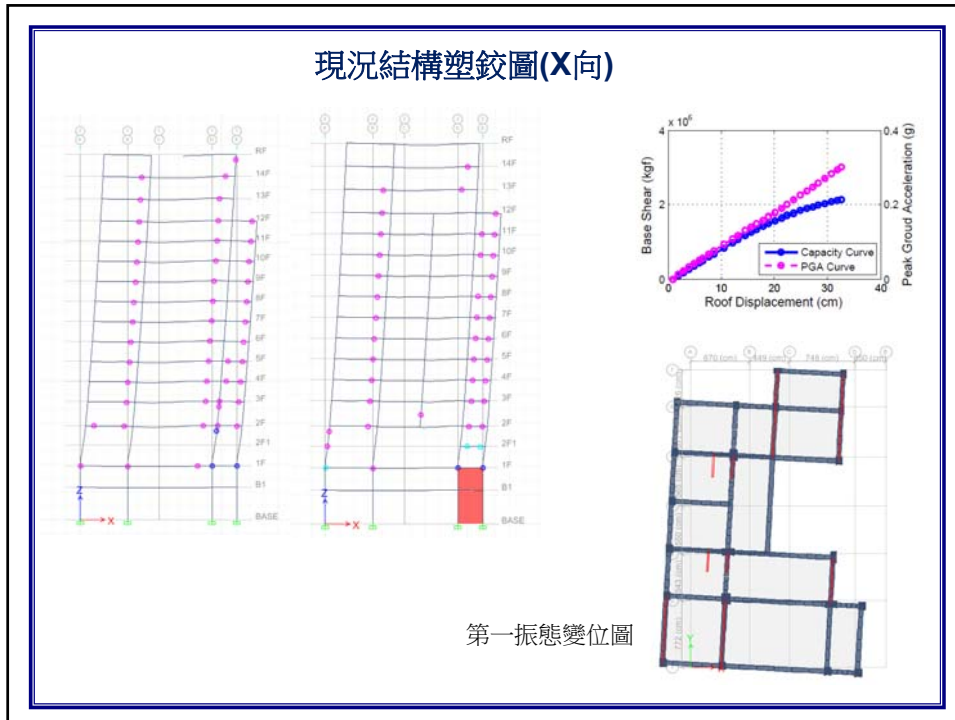
桿件韌性需求之分類

最大DCR值或位移韌性	分類
<2	低韌性需求
2至4	中度韌性需求
>4	高韌性需求

Table 6-8 Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Reinforced Concrete Columns

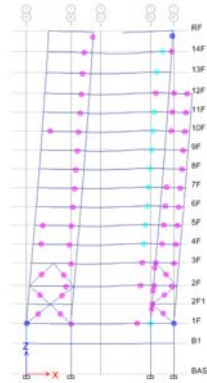
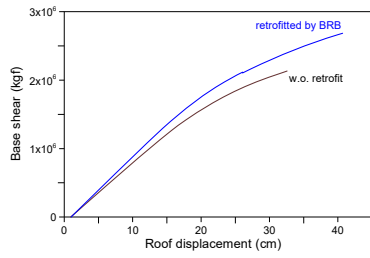
Conditions	Modeling Parameters <sup>4</sup>			Acceptance Criteria <sup>4</sup>						
	Plastic Rotation Angle, radians	Residual Strength Ratio	IO	Plastic Rotation Angle, radians						
				Performance Level						
				Component Type						
			Primary	Secondary	LS	CP	LS	CP		
<b>i. Columns controlled by flexure<sup>1</sup></b>										
$\frac{P}{A_g f'_c}$	Trans. Reinf. <sup>2</sup>	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$	a	b	c					
≤ 0.1	C	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.015	0.02	0.02	0.03
≤ 0.1	C	≥ 6	0.016	0.024	0.2	0.005	0.012	0.016	0.016	0.024
≥ 0.4	C	≤ 3	0.015	0.025	0.2	0.003	0.012	0.015	0.018	0.025
≥ 0.4	C	≥ 6	0.012	0.02	0.2	0.003	0.01	0.012	0.013	0.02
≤ 0.1	NC	≤ 3	0.006	0.015	0.2	0.005	0.005	0.006	0.01	0.015
≤ 0.1	NC	≥ 6	0.005	0.012	0.2	0.005	0.004	0.005	0.008	0.012
≥ 0.4	NC	≤ 3	0.003	0.01	0.2	0.002	0.002	0.003	0.006	0.01
≥ 0.4	NC	≥ 6	0.002	0.008	0.2	0.002	0.002	0.002	0.005	0.008
<b>ii. Columns controlled by shear<sup>1,3</sup></b>										
All cases <sup>5</sup>										
			—	保持彈性	—	—	—	—	0.0030	0.0040
<b>iii. Columns controlled by inadequate development or splicing along the clear height<sup>1,3</sup></b>										
			0.01	0.02	0.4	0.005	0.005	0.01	0.01	0.02
			0.0	0.01	0.2	0.0	0.0	0.0	0.005	0.01





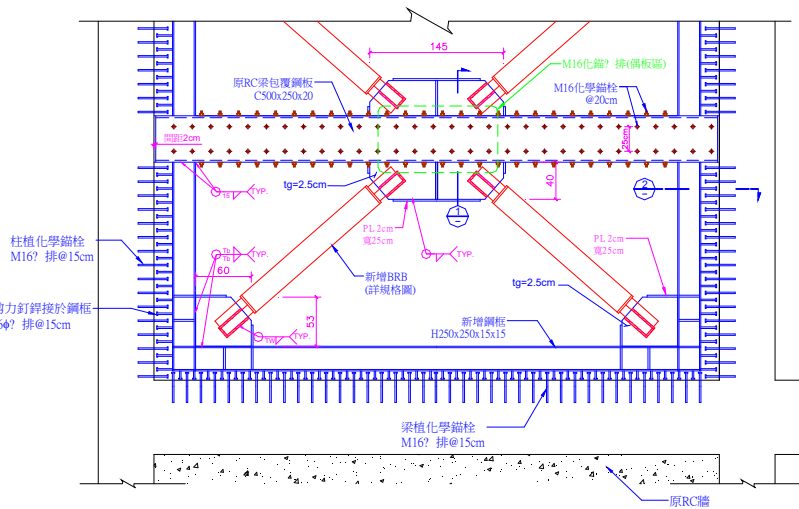
### 設計範例(二): 容量曲線比較

補強後結構性能點下最大層間變位角為1.13%小於補強前，但整體之屋頂位移高於補強前，主要補強功效來自於不規則處之改善，使變形較均勻之平面與立面分配而不原結構之集中變形於底層側邊。



補強前後結構X向之容量曲線

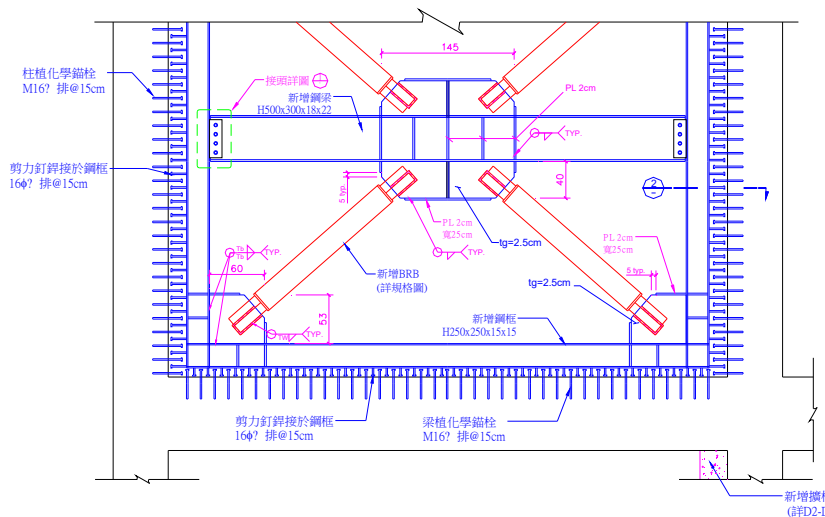
### 設計範例(二): 細部圖(a)



Line-5 一樓BRB補強側面細部圖

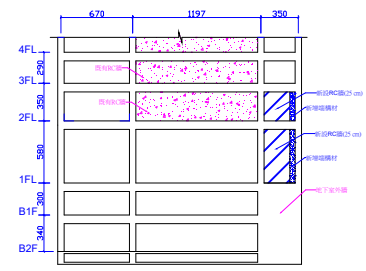
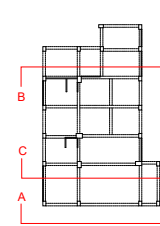


**設計範例(二): 細部圖(b)**

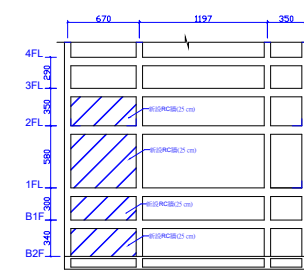


Line-1 一樓BRB補強側面細部圖

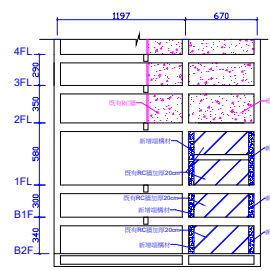
**設計範例(二): 增設RC牆(1)**



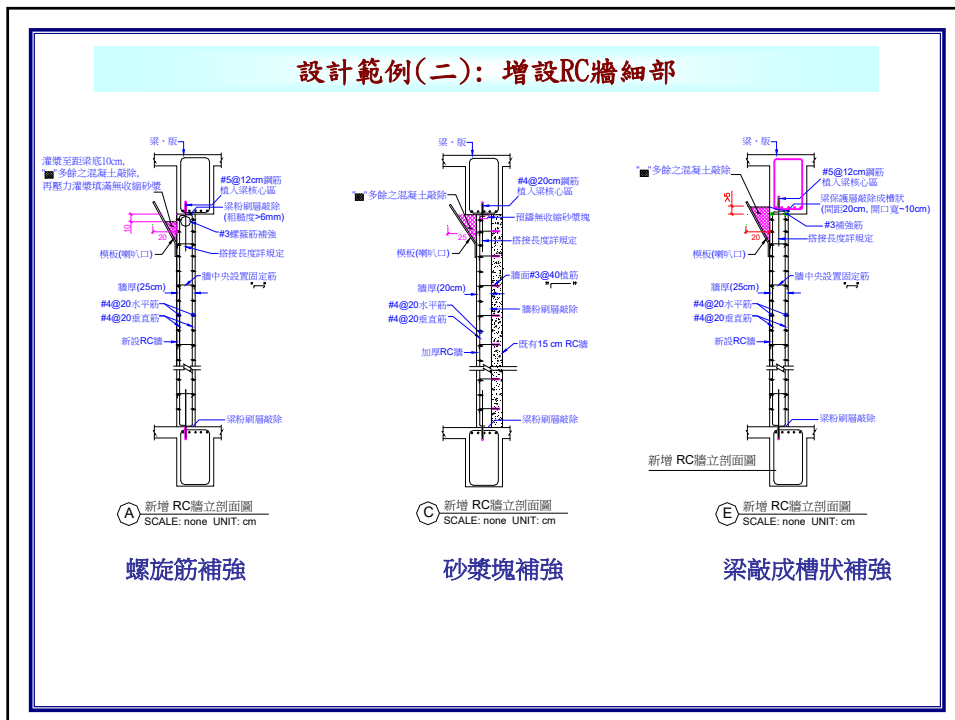
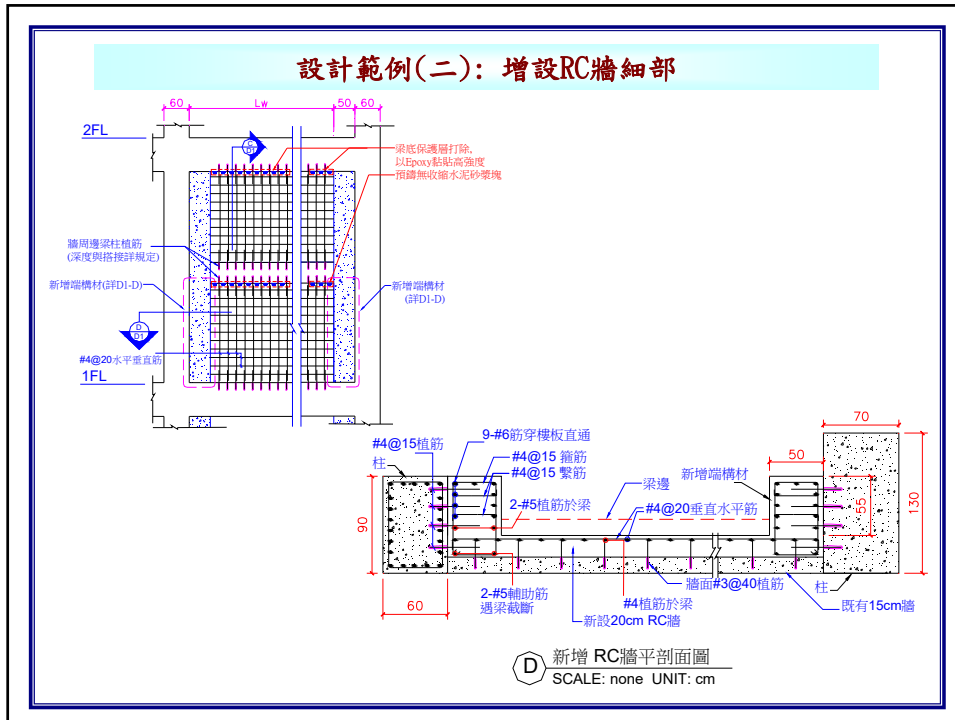
SEC. C-C' (Line-2 構架補強立面圖)



SEC. A-A' (Line-1 構架補強立面圖)

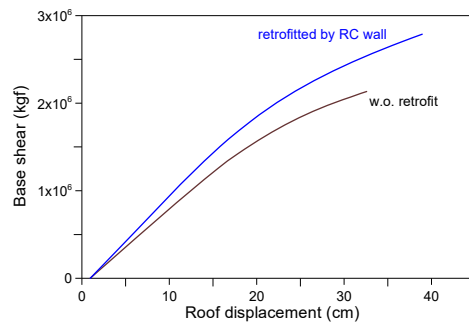


SEC. B-B' (Line-5 構架補強立面圖)

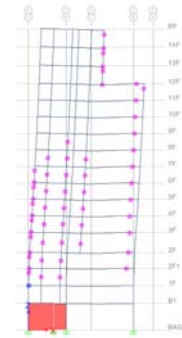


### 設計範例：RC牆容量曲線比較

整體之屋頂位移高於補強前，主要補強功效來自於不規則處之改善，使變形較均勻之平面與立面分配而不如原結構之集中變形於底層側邊。



補強前後結構X向之容量曲線



### 既有建築物防倒塌階段性耐震補強與設計方法

## 日本形狀指標與國內相關評估方法比較

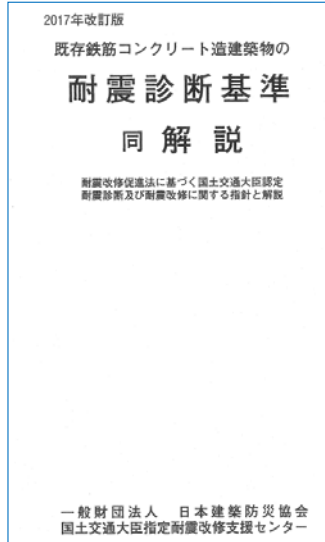


表4-2 Sd指標比較(二次及三次診斷法)

項目	2001年版	2017年版			適用		
		A法	B法	C法(解説)			
平面形状	a 外觀性	○	○		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	○	○				
	c 四角性	○	○				
	d 伸縮縫	○	○				
	e 挑空	○	○				
	f 剛性樓版 <sup>*1</sup>	-	○				
斷面形状	h 地下室	○	○				
	i 層高之均等性	○	-				
	j 有無底層挑空	○	Δ <sup>*3</sup> →				
	k 柱之連續性 <sup>*2</sup>	-	○				
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 <sup>*4</sup> B法也可使用彈性勁度			
	l 偏心率	式(4-4)	1/F <sub>e</sub>	式(4-4)	1/F <sub>e</sub>	解説-式(3.3.3-15, 16)	根據各層之方向而定
	n 剛重比	式(4-12)	1/F <sub>2</sub>	式(4-12)	1/F <sub>2</sub>	解説-式(3.3.3-37, 38)	
例外事項之檢查	必要 <sup>*5</sup>		必要 <sup>*5</sup>	無 <sup>*6</sup>	無	-	

若B法採用構件彈性勁度時，需考慮此項次

日本形狀指標與國內相關評估方法比較				
	日本耐震評估法	國內耐震設計規範	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			
	樓層挑空	✓		
	剛性樓版假設			
	偏心率(平面不規則)	✓	✓	✓
立面不規則	有無地下室		✓	
	層高均等性	二次診斷時不需考慮此項次		
	有無底層挑高	若B法採用構件彈性勁度時, 需考慮此項次		
	柱之不連續性	✓		
	剛重比(軟弱層)	✓	✓	✓

### 日本形狀指標與國內相關評估方法比較

#### 1. 平整性

短邊長度

主要部份

突出部份

l, b, b<sub>2</sub>, h, a<sub>2</sub>

日本耐震評估法

a<sub>1</sub> = 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<sub>2</sub> = 較a<sub>1</sub>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<sub>3</sub> = 較a<sub>2</sub>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。

評估方式  $a = \frac{\text{突出部分面積}}{\text{該層樓地板面積}}$

### 日本形狀指標與國內相關評估方法比較

**2. 邊長比** 日本耐震評估法  $b = (\text{建築物的長邊}) / (\text{建築物的短邊})$

**3. 凹角性**

日本耐震評估法

耐震設計規範

國震中心評估法(校舍)

**評估方式**

$$c = \frac{D_1}{D_0}$$

$$\frac{L_a}{L} > 15\%$$

$$\begin{cases} \frac{L_a}{L} > 15\% \\ \frac{W_a}{W} > 15\% \end{cases}$$

### 日本形狀指標與國內相關評估方法比較

**1. 平整性 2. 邊長比 3. 凹角性**

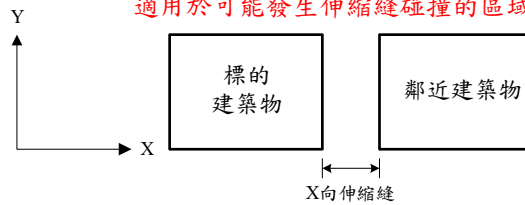
類別	判定方法及作法
日本耐震評估法	1. 平整性; 2. 邊長比; 3. 凹角性
建研所評估法	平面及立面對稱性
	平面依形狀規則程度分為良、尚可、不良 立面依形狀載重分佈情形分為良、尚可、不良
國震中心評估法(街屋)	不規則性
	$\begin{cases} \frac{L_a}{L} > 15\% \\ \frac{W_a}{W} > 15\% \end{cases}$

日本形狀指標與國內相關評估方法比較

4. 伸縮縫

日本耐震評估法

適用於可能發生伸縮縫碰撞的區域



評估方式

$$d = \frac{\text{伸縮縫間隙}}{\text{伸縮縫所在之建物高度}}$$

表4-3 形狀指標相關評估項目分類一覽表

			等級G <sub>i</sub>			範圍調整係數R <sub>i</sub>	
			1.0	0.9	0.8	R <sub>1i</sub>	R <sub>2i</sub>
水平 方向	a	外觀性	規則a <sub>1</sub>	幾乎規則a <sub>2</sub>	不規則a <sub>3</sub>	1.0	0.5
	b	邊長比	b ≤ 5	5 < b ≤ 8	8 < b	0.5	0.25
	c	凹角性	0.8 ≤ c	0.5 ≤ c < 8	c < 0.5	0.5	0.25
	d	伸縮縫	0.01 ≤ d	$\frac{1}{200} \leq d < \frac{1}{100}$	$d < \frac{1}{200}$	0.5	0.25

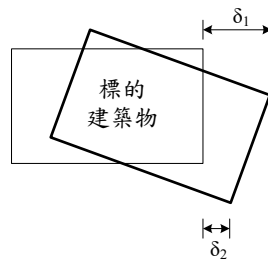
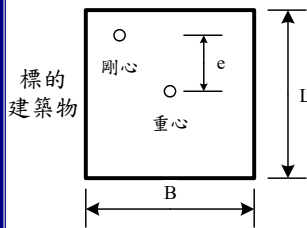
日本形狀指標與國內相關評估方法比較

4. 偏心率

日本耐震評估法

耐震設計規範

國震中心評估法



三角窗轉角騎樓

雙向有騎樓: 0.9  
單向有騎樓: 1.0

評估方式

$$l = \frac{e}{\sqrt{B^2 + L^2}}$$

$$\delta_1 > 1.2 \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$$

$$Q = q_1 q_2 q_3 q_4 q_5 q_6$$

日本形狀指標與國內相關評估方法比較

5. 有無地下室

日本耐震評估法

建研所評估法 (配分為2分)

地下室面積  
建築面積

$$r_a = \frac{A_2}{A_1} \quad 0 \leq (1.5 - r_a) / 1.5 \leq 1.0$$

A<sub>2</sub> : 地下室面積  
A<sub>1</sub> : 建築投影面積



權重

垂直 方向	h	有無地下室	1.0≤h	0.5≤h<1.0	h<0.5	1.0	1.0
	i	層高均等性	0.8≤i	0.7≤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

日本形狀指標與國內相關評估方法比較

6. 剛重比 (軟弱層)

剛重比

類別	判定方法及作法
日本耐震評估法	根據方法A及B而定
建研所評估法	軟弱層顯著性
	依剪力牆上下不連續、隔間牆量變化多樓層高度挑高程度判斷高、中、低三等級
國震中心評估法 (街屋)	軟弱層顯著性
	q <sub>3</sub> =0.9 建築物構架線內，有任一牆體中斷 q <sub>3</sub> =1.0 建築物構架線內，無任一牆體中斷



報告完畢！謝謝

建築結構耐震補強工法研習會

**NARLabs**

國家實驗研究院

建築結構構材耐震補強設計與細節

蕭輔沛

國家地震工程研究中心組長

國立成功大學 土木工程學系合聘副教授

2020年11月12日

www.narlabs.org.tw

**NARLabs**

現況檢視與調查項目、規劃與結構設計

- 對主要梁柱與非結構牆作實地調查及審閱原始設計圖
  - 確認建物之結構特性，減少不確定性
- RC梁柱檢測
  - 混凝土強度、鋼筋強度與量
  - 既有缺陷之影響(鋼筋鏽蝕、震害缺陷、不均勻沉陷影響...)
- RC結構施工規定
- 補強設計策略
- 補強材料規定



# 構材補強

擴柱補強

一般原則

規劃

設計程序

施作方式與結構細節

施工步驟說明與施工照片

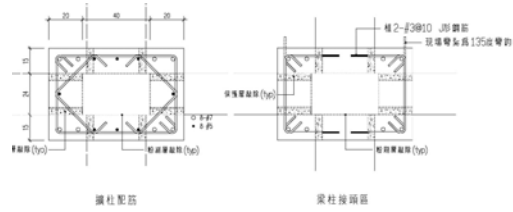
增設翼牆補強

RC 包覆韌性補強

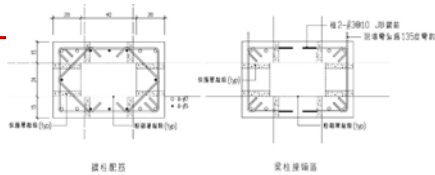
柱包覆鋼板補強

碳纖維(CFRP) 包覆補強

加強磚造結構之補強



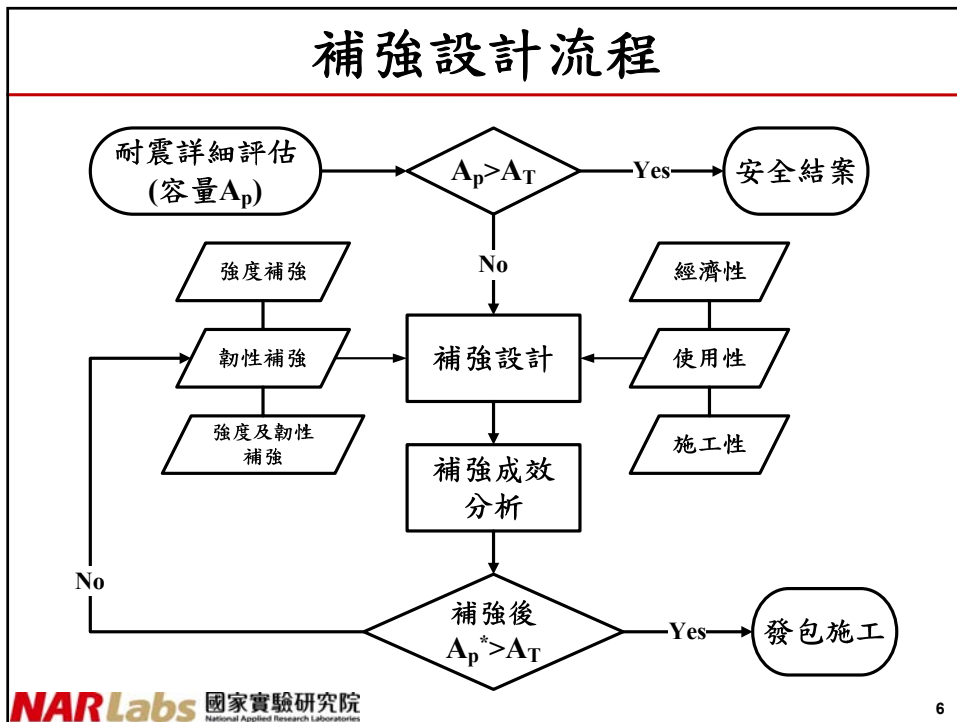
3



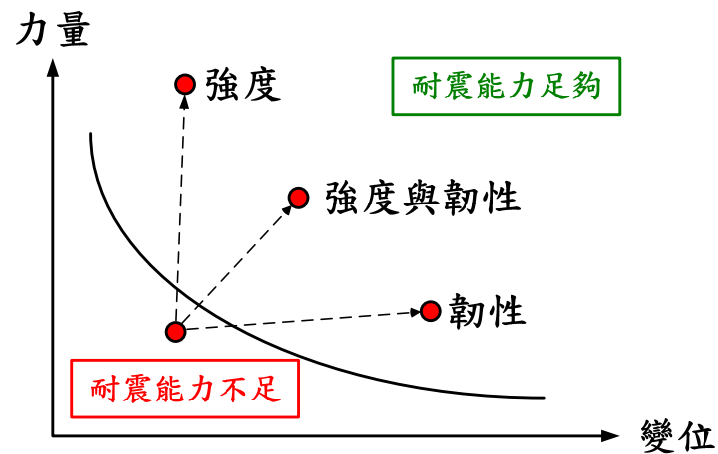
**NAR Labs**

TYPE-B W2 RC梁補強詳圖  
(NIT-cs-S-A-T-S)

斷面圖  
(NIT-cs-S-A-T-S)



## 結構物耐震補強原則



## 強度補強

- 提升構件之彎矩強度及剪力強度
- 增設構件增加結構系統之強度與勁度

翼牆補強



剪力牆補強



## 韌性補強

- 提升建築物之非線性變形能力
- 評估結果顯示構件發生剪力破壞，或建築物變形能力不佳
- 使建築物發揮更多之韌性，消散地震產生之能量

## 補強後評估分析流程

- 初步規劃與設計 ⇨ 決定補強構件數量
- 選定補強位置
- 補強後評估要項
  - 修改結構分析模型
  - 修改輔助程式共用輸入檔
- 補強後側推分析
- 得到補強後耐震能力，確認  $A_p^* \geq A_T$

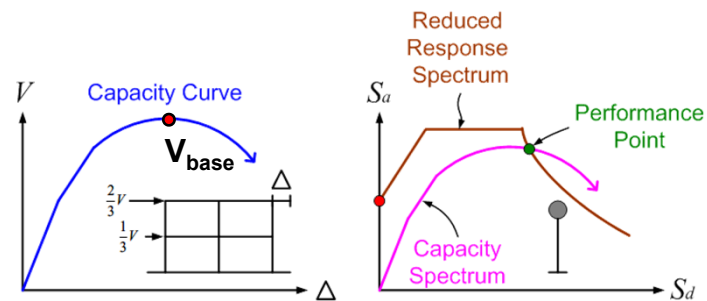
# 初步規劃與設計

承諾·熱情·創新

www.narlabs.org.tw

## 側推分析

- 以 **ETABS** 軟體分析建築物之**容量曲線**
- 將建築物之**容量曲線**轉換為容量震譜求得**性能目標地表加速度**



- 最大側力強度  $V_{base}$

## 補強構件數量估算

- 補強後側力強度  $V^*$  :

$$V^* = \frac{A_T}{A_p} \times V_{base} = \frac{1}{CDR} \times V_{base}$$

- 斷面之抵抗側力強度 :

$$V = \min(V_b, V_n)$$

- 補強強度增量 :

$$\Delta V_L = V - V_0$$

$V_0$  : 原始構件斷面強度

- 補強構件數量估算 :

$$N = \frac{V^* - V}{\Delta V_L}$$

## 選定補強位置

- 當補強構件數量確定後，應依工程專業將補強構件配置於適當位置
- 原則上應符合結構平面對稱性，以及降低對使用性之衝擊



大漢技術學院江文卿教授提供



## 補強後評估要項

- 結構分析模型：

新增材料性質

新增補強構件斷面、置換補強構件斷面、移除窗台斜撐

修正非線性鉸性質 (搭配輔助分析程式)

- 輔助程式共用輸入檔：

修正建築物性質模組(建築物樓層重量、模態參與係數)

新增柱斷面模組

修正柱資料模組

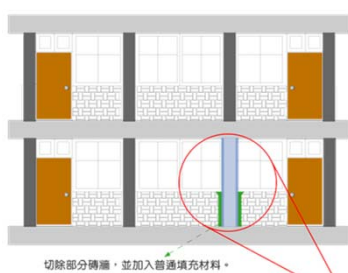
修正柱軸力模組

新增柱、梁斷面性質模組

## 補強案例說明

# 擴柱補強

## 擴柱補強簡介

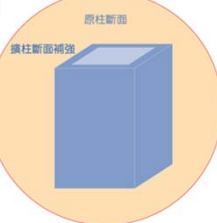


### 優勢：

1. 可提升雙向耐震能力
2. 對通風、採光影響較小

### 注意事項：

1. 需注意補強後之走廊淨寬度
2. 邊緣處應設置防撞貼條，避免碰撞受傷



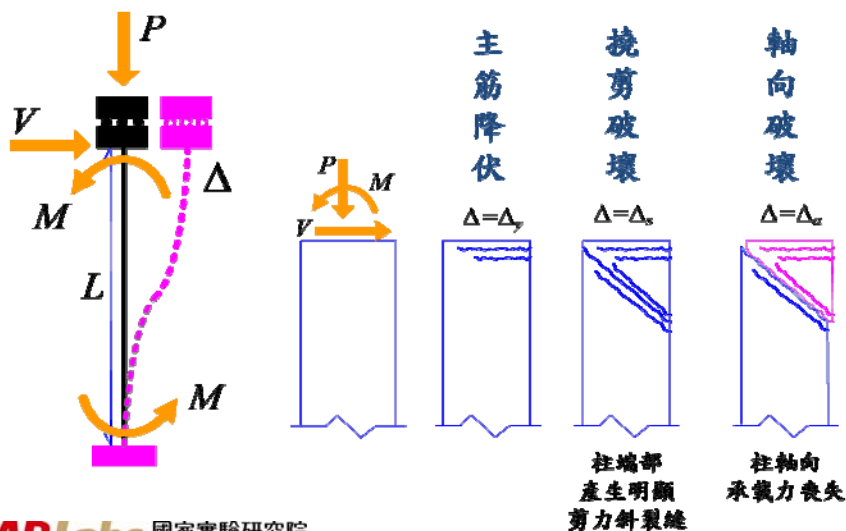


## 設計與分析之注意事項

- 擴柱之主筋置於四周角隅，使得主筋直通上下樓層，其餘防裂鋼筋因無受力需求，遇到梁或樓版時可截斷
- 若採用不貫穿樓版進行設計時，分析模型之柱上端非線性鉸參數必須調整以原有柱之條件計算
- 若屋頂防水層不易處理，可採用不貫穿屋頂層樓版方式處理

## 擴柱之模擬方式

- 同一般鋼筋混凝土柱(雙曲率變形)



## 擴柱補強構件數量

- 由分析結果得知，沿走廊方向最大側力強度  $V = 433,503 \text{ kgf}$ ，初步設計之基底剪力  $V^* = 564,562 \text{ kgf}$  ( $V^* = \frac{A_T}{A_p} \times V = \frac{1}{CDR} \times V$ )。
- 初步設計時假設最小柱軸重為  $43,354 \text{ kgf}$
- 原始柱斷面強度為  $V_0 = 9,109 \text{ kgf}$ 。
- 擴柱斷面之撓曲強度：  

$$V_{bJ} = \frac{2M_n}{H} = 57,429 \text{ kgf}$$
- 擴柱斷面之剪力強度：  

$$V_{nJ} = V_c + V_s = 63,253 \text{ kgf}$$

## 擴柱補強構件數量

- 擴柱斷面之抵抗側力強度：  

$$V_{RCJ} = \min(V_{bJ}, V_{nJ}) = 57,429 \text{ kgf}$$
- 補強強度增量為：  

$$\Delta V_L = V_{RCJ} - V_0 = 48,410 \text{ kgf}$$
- 補強構件數量估算求得：  

$$N = \frac{V^* - V}{\Delta V_L} = 2.87$$
- 考慮安全性及對稱性下，建議採用 **4 根柱子** 進行擴柱補強

## 擴柱補強後評估要項

- 結構分析模型：

新增材料性質

新增擴柱斷面、置換補強構件斷面、移除窗台斜撐

修正非線性鉸性質 (搭配輔助分析程式)

- 輔助程式共用輸入檔：

修正建築物性質模組(建築物樓層重量、模態參與係數)

新增柱斷面模組

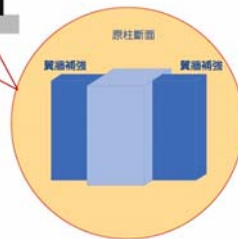
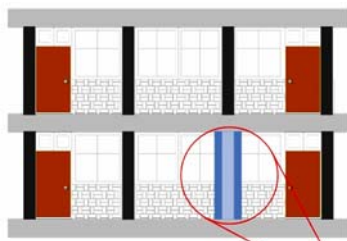
修正柱資料模組

修正柱軸力模組

新增柱、梁斷面性質模組

## 翼牆補強

## 翼牆補強簡介



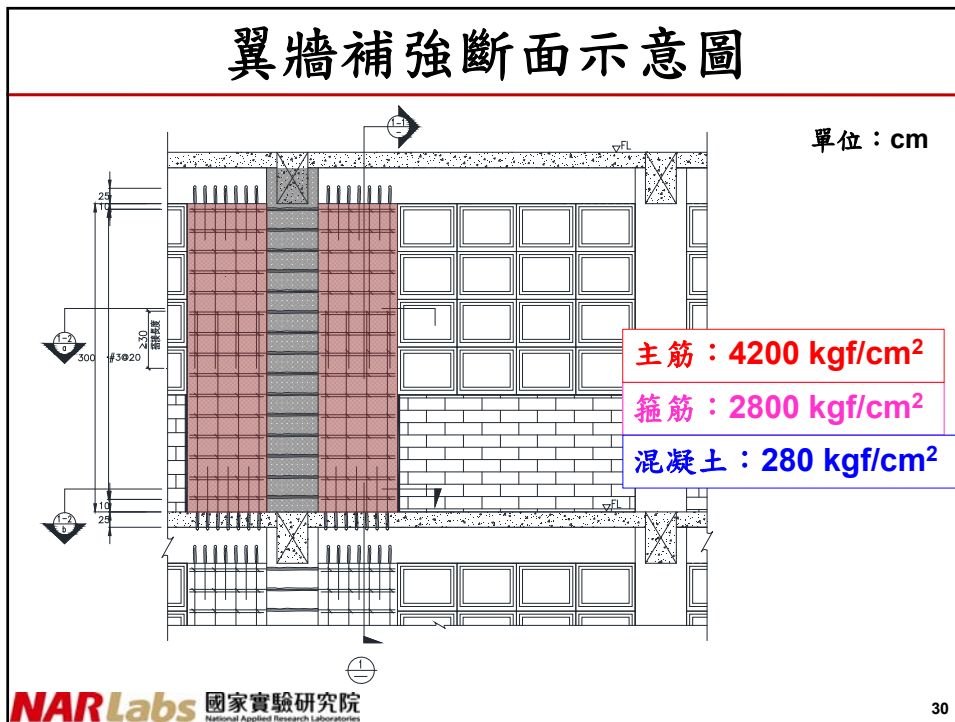
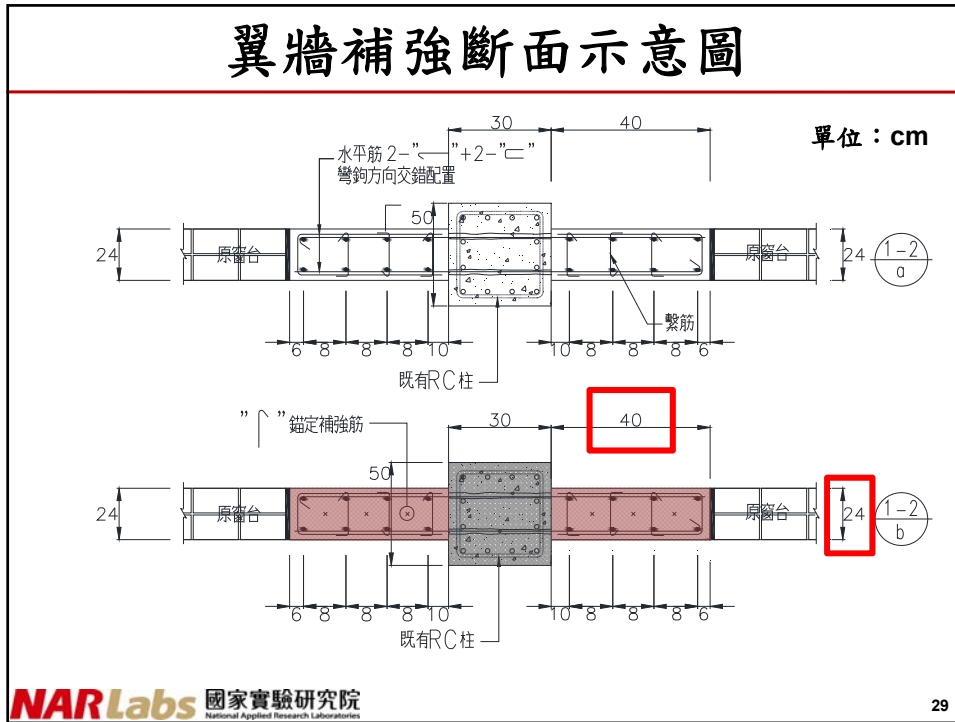
1. 較不影響使用空間以及走廊通行空間
2. 新增牆面可有效利用

### 注意事項：

1. 對通風、採光影響較大
2. 頂樓及新舊交界面易產生漏水問題

## 翼牆補強概念

- 於原有柱側邊增設 RC 翼牆，提高增設牆體方向之耐震能力
- 使原有柱改變為附加 RC 牆體之柱，提高其強度與勁度
- 當植筋品質不易控制，如混凝土強度過低、鋼筋過密或邊距不足時，不建議採用翼牆補強





## 設計與分析之注意事項

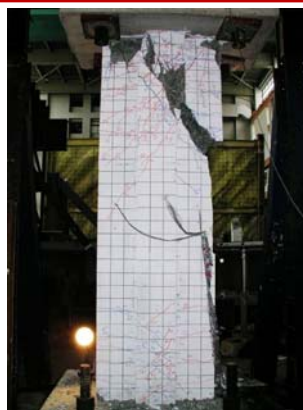
- 翼牆補強將使得原有梁跨度縮小，應避免於較短跨度處設置翼牆，以免因破壞機制轉為梁剪力破壞而降低建築物耐震能力
- 原有梁或柱之混凝土強度偏低，使得植筋效果不佳，或是原有柱箍筋間距較翼牆水平鋼筋間距大，造成原有柱與翼牆彼此間之剪力強度差異太大，因而受力破壞集中於原有柱
- 考量植筋施工效果及材料變異性，避免過度植筋以致實際情形與分析結果不符，高估翼牆補強之效果，建議翼牆鋼筋號數不宜大於#4(D13)，間距不宜超過15公分

## 剪力強度差異不同之影響



部位	混凝土強度	水平筋
原有柱	215kgf/cm <sup>2</sup>	#3@30
補強翼牆	236kgf/cm <sup>2</sup>	#3@20

柱箍筋間距較翼牆水平筋大，  
破壞集中於原有柱

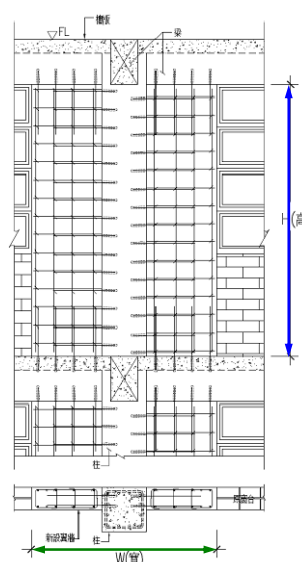


部位	混凝土強度	水平筋
原有柱	334kgf/cm <sup>2</sup>	#3@20
補強翼牆	567kgf/cm <sup>2</sup>	#3@20

柱箍筋間距與翼牆水平筋相同，  
破壞較均勻

## 翼牆之模擬方式

- 翼牆高寬比( $H/W$ )之判斷
  - ◆  $H/W$  (高瘦型)  $\geq 2$ 
    - 以 RC 柱進行模擬
  - ◆  $H/W$  (矮胖型)  $< 2$ 
    - 以 RC 牆等值寬柱進行模擬

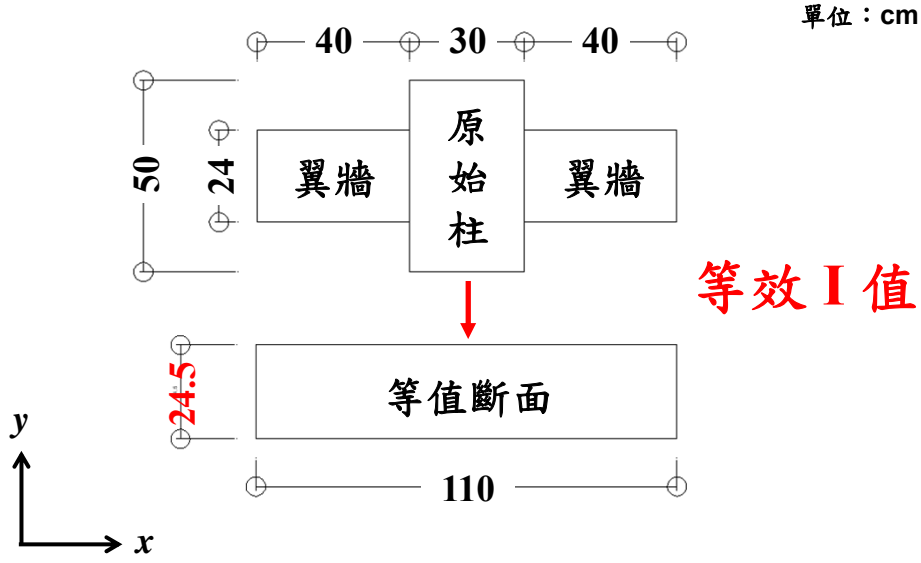


33

**NAR Labs** 國家實驗研究院  
National Applied Research Laboratories

## 翼牆之模擬方式

單位：cm



**等效 I 值**

等值斷面

110

24.5

翼牆 原始柱 翼牆

40 30 40

50 24

y

x

34

**NAR Labs** 國家實驗研究院  
National Applied Research Laboratories

## 翼牆補強構件數量

- 由分析結果得知，沿走廊方向最大側力強度  $V = 433,503 \text{ kgf}$ ，初步設計之基底剪力  $V^* = 577,404 \text{ kgf}$ 。
- 原始柱斷面強度為  $V_0 = 9019 \text{ kgf}$ ，假設柱軸重為  $23,310 \text{ kgf}$ 。
- 翼牆斷面撓曲強度：  

$$V_{bWW} = \frac{2M_n}{H} = 75,290 \text{ kgf}$$
- 翼牆斷面之剪力強度：  

$$V_{nWW} = V_c + V_s = 58,088 \text{ kgf}$$

## 翼牆補強構件數量

- 翼牆斷面之抗剪力強度：  

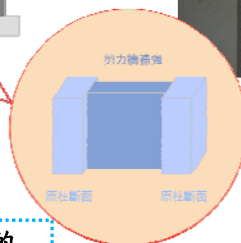
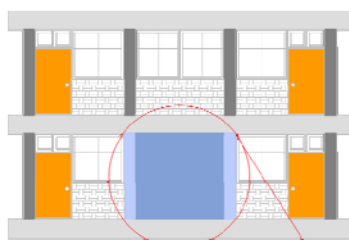
$$V_{WW} = \min(V_{bWW}, V_{nWW}) = 58,088 \text{ kgf}$$
- 補強強度增量為：  

$$\Delta V_n = V_{WW} - V_0 = 49,070 \text{ kgf}$$
- 補強桿件數量估算求得：  

$$N = \frac{V^* - V}{\Delta V_n} = 2.93$$
- 考慮安全性及對稱性下，建議採用 **6 根柱子** 進行翼牆補強

# 剪力牆補強

## 剪力牆補強簡介



### 優勢：

1. 以較少的補強量，達到足夠的耐震需求
2. 新增牆面可有效利用

### 注意事項：

對通風、採光影響極大，應慎選配置地點

## 剪力牆補強概念

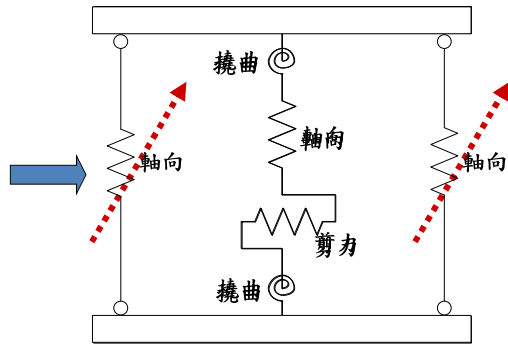
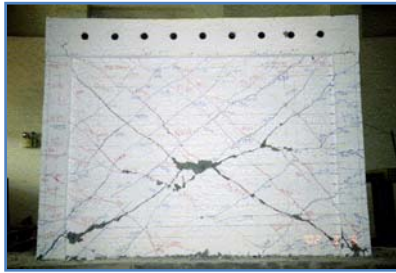
- 剪力牆具有很高之強度與勁度，對於抵抗側力需求高之建築物，有極佳之補強效果
- 當建築物有軟弱底層或是質心與剛心有較大之偏心量時，適合採用此種工法改善抵抗側力系統平力面之均勻性

## 設計與分析之注意事項

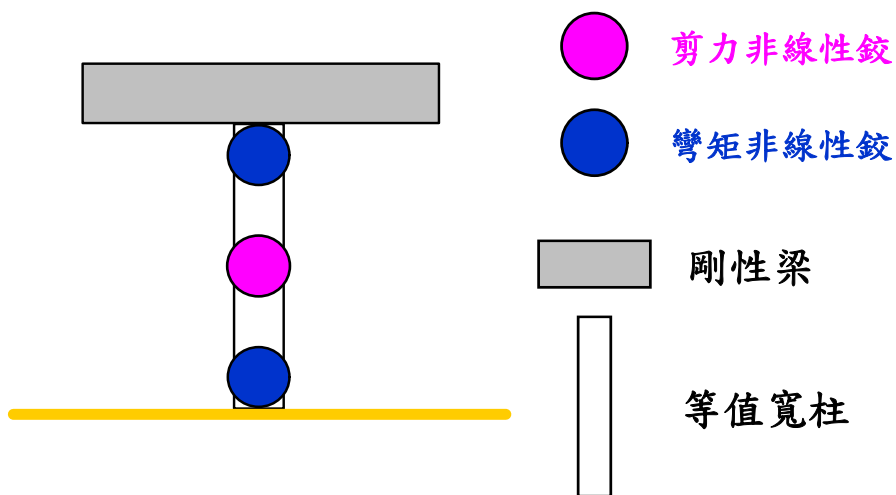
- 鋼筋混凝土牆具有極高之強度與勁度，配置時應均勻分散，避免過度集中而產生扭轉效應
- 建議優先於原有完整磚牆處配置鋼筋混凝土牆，可減少因補強造成通風、採光及動線等使用性之衝擊
- 為確保耐震補強之成效以及符合分析結果，鋼筋混凝土翼牆之厚度不宜太小，建議應超過20公分，並採用雙層雙向方式配置鋼筋

## RC 牆之等值寬柱模型

- 日本建築學會－鐵筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針(案)・同解説

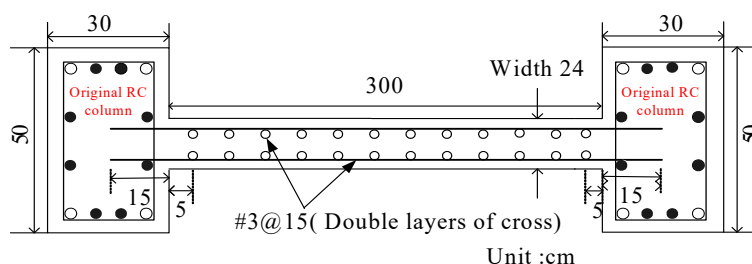


## RC 牆之等值寬柱模型



## 剪力牆斷面規劃與設計

- 剪力牆面內方向應與建築物弱向平行
- 剪力牆厚度應大於 20 cm，在此考量施工方便性，牆厚度直接等於梁寬度 24 cm
- 牆筋採用 #3，降伏強度 4200 kgf/cm<sup>2</sup>，混凝土抗壓強度為 280 kgf/cm<sup>2</sup>，保護層為 4 cm



## 剪力牆斷面分析

- 2 根邊界柱軸力  $P = 152,657 \text{ kgf}$
- 牆淨高  $H = 300 \text{ cm}$
- 牆斷面彎矩強度  

$$M_n = 80,974,600 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$V_{bsw} = \frac{2M_n}{H} = 539,831 \text{ kgf}$$
- 牆斷面剪力強度  

$$V_{su} = (K_h + K_v - 1) \zeta_c f'_c A_{str} \cos \theta = 311,417.72 \text{ kgf}$$

$$V_{sw} = \min(V_{bsw}, V_{su}) = 311,417.72 \text{ kgf}$$

## 剪力牆補強構件數量

- 補強前最大側力強度： $V = 433,503 \text{ kgf}$
- 強度補強準則：

$$V^* = \frac{A_T}{A_P} V = \frac{0.28}{0.2148} \times 433.503 \times 10^3 = 565,087 \text{ kgf}$$

- 補強構件所提供之側力強度增量：  
 $\Delta V_L = V_{sw} - 2V_0 = 293380.38 \text{ kgf}$
- 補強構件數量估算求得：

$$N = \frac{V^* - V}{\Delta V_L} = 0.45$$

## 結論

- 應充分瞭解耐震補強工法之特性與適用時機，綜合考量建築物之實際情形，再決定較為合適之耐震補強工法以及補強位置
- 僅須調整補強前分析模型部分內容，即可進行補強後評估分析，方便使用
- 擴柱、翼牆及剪力牆均為傳統且經濟有效之補強工法，可廣泛運用於老舊建築物耐震補強



**NAR Labs** 國家實驗研究院  
國家地震工程研究中心

簡報結束，敬請指教

承諾·熱情·創新

[www.narlabs.org.tw](http://www.narlabs.org.tw)