

建築物耐震補強設計與施工 常見問題探討及解決方式

柯鎮洋 台聯工程顧問公司 董事長
結構技師

2018/11/17

1

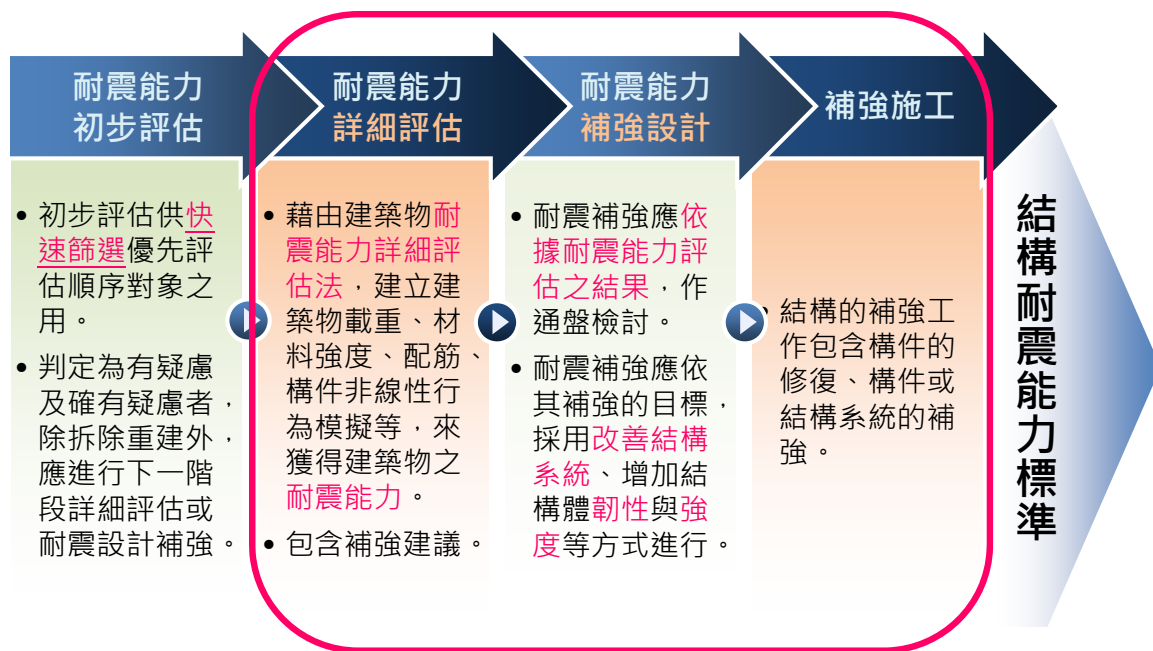
內容綱要

- 結構安全性能(耐震能力)評估重要法令
- 耐震能力詳細評估之基本服務內容
 - 材料試驗
 - 耐震能力詳細評估分析
 - 耐震修復補強方案規劃及建議
- 詳細評估之分析模擬問題
 - 側力豎向分配型式
 - 牆體的模擬
 - 淺基礎的模擬
 - 側推分析容量震譜的PGA計算
- 耐震能力評估與補強其他注意事項

2018/11/17

2

耐震能力評估與補強的執行步驟



2018/11/17

3

內容綱要

- **結構安全性能(耐震能力)評估重要法令**
- 耐震能力詳細評估之基本服務內容
 - 材料試驗
 - 耐震能力詳細評估分析
 - 耐震修復補強方案規劃及建議
- 詳細評估之分析模擬問題
 - 側力豎向分配型式
 - 牆體的模擬
 - 淺基礎的模擬
 - 側推分析容量震譜的PGA計算
- 耐震能力評估與補強其他注意事項

2018/11/17

4

結構安全性能(耐震能力)評估重要法令

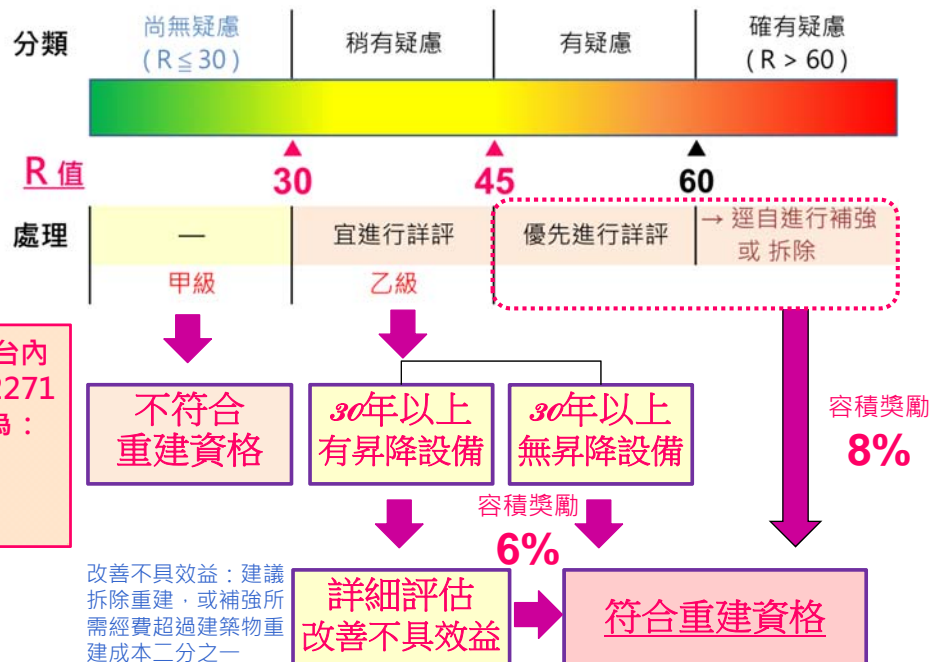
- 建築物**公共安全**檢查簽證及申報辦法
 - ➔ 私有供公眾使用建築物的耐震能力評估檢查
- 都市危險及老舊建築物加速重建條例(**危老條例**)
 - 都市危險及老舊建築物加速重建條例施行細則
 - 都市危險及老舊建築物結構安全性能評估辦法
 - 都市危險及老舊建築物建築容積獎勵辦法
 - ➔ 加速危險及老舊建築物的重建

2018/11/17

5

都市危險及老舊建築物 結構安全性能評估辦法

PSERCB



2018/11/17

6

內容綱要

- 結構安全性能(耐震能力)評估重要法令
- **耐震能力詳細評估之基本服務內容**
 - 材料試驗
 - 耐震能力詳細評估分析
 - 耐震修復補強方案規劃及建議
- 詳細評估之分析模擬問題
 - 側力豎向分配型式
 - 牆體的模擬
 - 淺基礎的模擬
 - 側推分析容量震譜的PGA計算
- 耐震能力評估與補強其他注意事項

耐震能力詳細評估之基本服務內容

- 依據「內政部營建署代辦建築物耐震能力詳細評估工作共同供應契約投標廠商 基本服務內容」之規定，耐震詳評的工作內容包含八大項目：
 - 資料蒐集
 - 現況調查 (紀錄並拍照)
 - 材料試驗
 - 耐震能力詳細評估分析
 - 耐震修復補強方案規劃及建議及其經費概估
 - 其他有助於進行詳細評估之調查、檢測或服務
 - 協助審查作業
 - 完整耐震能力詳細評估成果報告書及光碟檔案

針對前五大項目
特別說明

耐震能力詳細評估之基本服務內容(1)

- 資料蒐集：
 - 使用執照
 - 建築設計圖說
 - 結構設計圖說（含配筋圖）、結構計算書
 - 原設計圖說採用之規範及設計方法
 - 地質調查報告等相關資料
 - 耐震能力初步評估結果

耐震能力詳細評估之基本服務內容(2)

- 現況調查（紀錄並拍照）
 - 調查建築物相關現況資料：
 - 建築物使用現況（含加蓋、違建、夾層、提高使用載重或更改結構主構件等）
 - 損壞（含裂縫）現況
 - 結構斷面尺寸與原設計圖說內容比對
 - 鋼筋配置查核（梁柱主、箍筋、保護層厚度檢測【非破壞性檢測】）

耐震能力詳細評估之基本服務內容(3)

- 材料試驗：

- 混凝土強度 (含氯離子含量、中性化試驗)
 - 利用適當數量之鑽心試體試驗或其他可信之方法取得詳細評估所需之材料強度
- 鋼筋強度
- 磚塊、砂漿強度等

耐震能力詳細評估之基本服務內容(3)

- 混凝土強度與檢測：

- 混凝土鑽心試體抗壓強度試驗：
 - 每層樓面積 $A \leq 600\text{m}^2$ 者，每層樓至少3個鑽心試體； $A > 600\text{m}^2$ 者，每層樓至少4個鑽心試體，且超出 600m^2 部分，每 400m^2 者增加1個鑽心試體。(同一樓層若有分期興建，另有規定)
- 中性化試驗：同混凝土鑽心數量。
- 氯離子含量試驗：
 - 每一層樓至少一個，若該樓層有分期興建，每一分期興建區域之氯離子試體至少一個；若試驗結果不合格，該區域須再補做2個確認。
- 混凝土保護層厚度檢測：
 - 每一層樓梁、柱至少各取 3 處。

耐震能力詳細評估之基本服務內容(3)

• 混凝土分析強度的取捨：

- 依據「結構混凝土施工規範」第18.5.5節之規定，鑽心試體合格之標準為同組試體之平均強度不低於規定強度 f_c' 之 85%，且任一試體之強度不低於 f_c' 之 75%。
- 評估採用之各層混凝土強度通常取三者之最低者：
 - 鑽心試體之平均強度
 - 最低鑽心試體強度值/0.75
 - 原設計強度。

耐震能力詳細評估之基本服務內容(3)

• 鋼筋強度與檢測：

- 鋼筋取樣試驗因屬破壞性試驗，且對構件強度有嚴重損傷，因此目前實務上較少以破壞性取樣方式進行試驗。
- **鋼筋強度**：原則上如有設計值或試驗值，則採用其值；若無，則可直接以 2800 kgf/cm^2 作為鋼筋降伏強度值。
- **鋼筋配置**：當無原始設計圖說時，應進行鋼筋排列探測：每一層樓梁、柱至少各取3處。(配合結構重建模擬分析值，或以最小鋼筋量評估進行比對)

耐震能力詳細評估之基本服務內容(3)

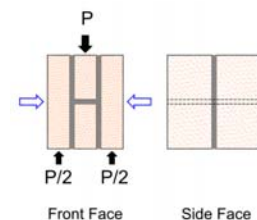
- **磚牆強度：**

- 依據「建築物磚構造設計及施工規範」附錄A中，評估範例所使用之材料強度：
 - 紅磚長期抗壓強度 f_{bc} 150 kgf/cm²
 - 砂漿長期抗壓強度 f_{mc} 100 kgf/cm² (較保守)

耐震能力詳細評估之基本服務內容(3)

- **磚牆強度：** (工程實務建議)

- 紅磚長期抗壓強度：
 - 紅磚長期抗壓強度 f_{bc} 150 kgf/cm²
- 砂漿長期抗壓強度：
 - 砂漿長期抗壓強度 f_{mc} 100 kgf/cm² (較保守)
 - 依據 NCREE-13-023「校舍結構耐震評估與補強技術手冊」第42、43頁內容，磚牆兩側有粉刷層時，砂漿抗壓強度可取 150 kgf/cm²進行評估；若磚牆兩側並無粉刷層時，因考量磚牆灰縫砂漿飽滿度不足(以及受風化影響)，建議砂漿抗壓強度保守應取 100 kgf/cm²進行評估。(建議值)
- 灰縫若非水泥砂漿時，建議由磚與漿體之介面磨擦強度試驗反推漿體塊抗壓強度。



耐震能力詳細評估之基本服務內容(4)

- 耐震能力詳細評估分析內容：

評估分析內容包括：

- 原設計耐震能力評估
- 現況耐震能力評估
- 評估結果及建築物整體綜合判斷
- 繼續使用其應注意事項
- 修復補強方案之耐震能力評估

- 評估分析採用之評估方法

耐震能力詳細評估之基本服務內容(4)

一 評估方法

- 國內外已發展數種建築物耐震能力詳細評估法，利用**建築物載重狀況**、**結構材料強度**、**斷面配筋**、**構件非線性行為模擬**等，搭配結構的損傷控制或性能目標來獲得建築物之耐震能力。國內發展的**強度韌性法**、**SERCB** 及 **TEASPA** 等，適用於鋼筋混凝土建築物，並經內政部營建署認可為建築物耐震能力詳細評估工作共同供應契約之評估法；**國外發展的容量震譜法及位移係數法**等，亦多為工程界採用，可針對各種構造建築物擇定合宜的性能表現以評估其耐震能力。

[行政院 106 年 12 月 28 日，建築物實施耐震能力評估及補強方案 (公有建築物)]

耐震能力詳細評估之基本服務內容(4)

一 評估方法

- 依據「內政部營建署代辦建築物耐震能力詳細評估工作共同供應契約投標廠商基本服務內容」之規定，採用之評估方法應為內政部建築研究所研究開發 **SERCB**（側推分析法）、**TEASPA**（原NCREE，側推分析法）、**強度韌性法**或**經報備審核核可之評估方法**。

[內政部營建署代辦建築物耐震能力詳細評估工作共同供應契約投標廠商基本服務內容]

耐震能力詳細評估之基本服務內容(4)

一 評估方法

- **容量震譜法**因能呈現建築物各破壞階段的構件塑鉸時序變化，較能掌握後續補強重點。
- **SERCB、TEASPA之容量震譜法**因依據各種試驗而研訂出更為合理的塑鉸特性，且為官方核可之評估方法，因此**RC結構的評估方法應以SERCB、TEASPA之容量震譜法為優先**。

耐震能力詳細評估之基本服務內容(4)

一 耐震能力評估與補強的基準

- 實施耐震能力詳細評估之建築物，其不需補強或補強後之耐震能力應達下列基準：
 - 建築物之耐震能力以其能抵抗之最大地表加速度表示，其耐震能力應達本規範所規定工址回歸期475年之設計地震地表加速度乘以用途係數 I。
 - 建築物亦得以性能目標作為耐震能力之檢核標準，確保該建築物在工址回歸期475年之設計地震力下所需達到之性能水準。

[「建築物耐震設計規範及解說」第8.2節解說]

耐震能力詳細評估之基本服務內容(5)

一 耐震修復補強方案規劃及建議

- 如耐震能力評估結果未符合法規要求者，**修復補強方案規劃應有二案以上，並建議一最佳方案。**

[內政部營建署代辦建築物耐震能力詳細評估工作共同供應契約投標廠商基本服務內容]
- **耐震能力補強的依據：**
 - 耐震補強應依據耐震能力評估之結果，作通盤檢討後確認建築物之耐震安全性。如有必要作補強以提昇其耐震能力時，應依主管建築機關規定之程序辦理。
 - 耐震補強應依其補強的目標，採用改善結構系統、增加結構體韌性與強度等方式進行，惟應注意各項抗震構材之均衡配置，以使建築物整體結構系統耐震能力之均衡提昇。

[「建築物耐震設計規範及解說」第8.2節]

耐震能力詳細評估之基本服務內容(5)

— 耐震補強方式

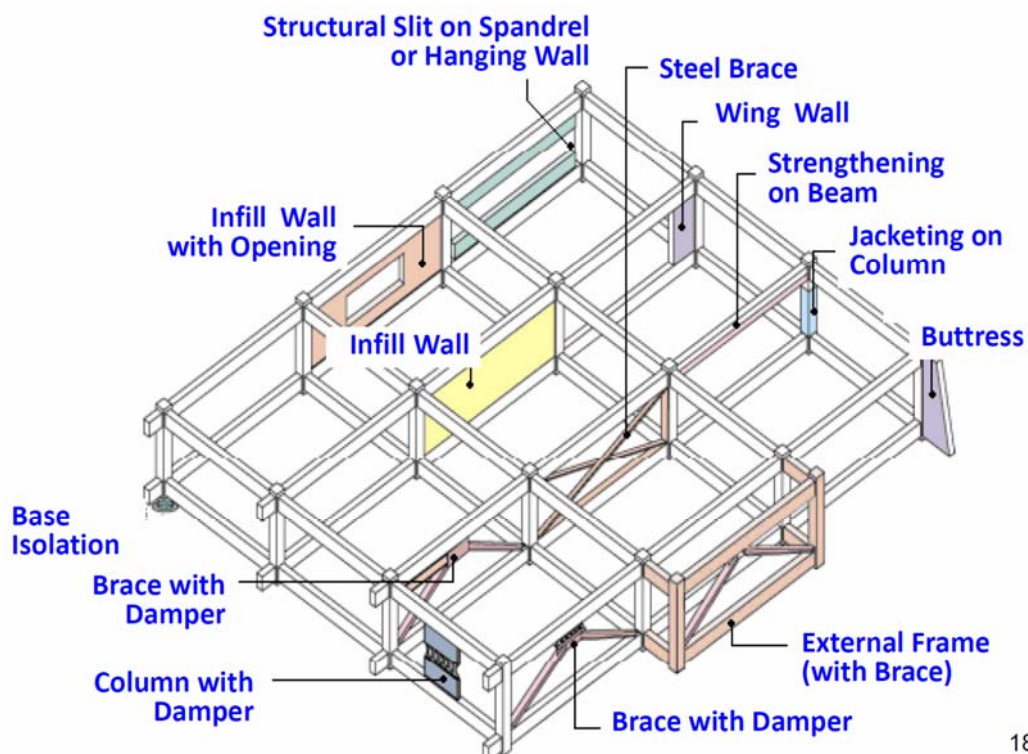
- 目前既有建築物耐震補強採取的方式大致可分三大類：
 - (1) 結構構件補強
 - (2) 結構系統調整與改善
 - (3) 輸入地震力減少
- 國內常見的傳統補強工法大致有以下五種：
 - (1) 擴柱補強
 - (2) 柱旁增設RC翼牆補強
 - (3) 梁柱框架內增設RC牆體補強
 - (4) 梁柱構件鋼板包覆補強
 - (5) 梁柱構件碳纖維貼片(CFRP)包覆補強等。

[行政院 106 年 12 月 28 日 · 建築物實施耐震能力評估及補強方案 (公有建築物)]

2018/11/17

23

Seismic Retrofit Techniques



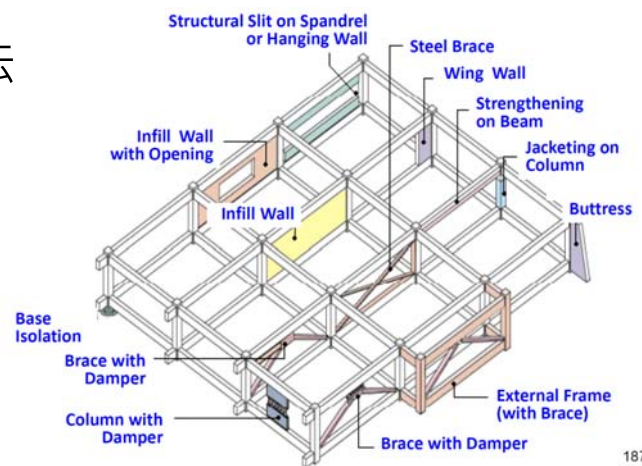
187

2018/11/17

24

結構補強型式

- 擴柱、翼牆與剪力牆補強工法
- 鋼構材斜撐補強工法
- 外部增築鋼構材梁或柱補強工法
- 外置構架斜撐補強工法
- 消能補強工法
- 基礎補強之工法



187

2018/11/17

25

軟弱底層補強

- **具軟弱底層建築物**於地震中常見受損，底部少數樓層只要進行適當與正確耐震補強，在相當經濟之補強費用下，即可顯著提昇此類建築物之耐震能力。

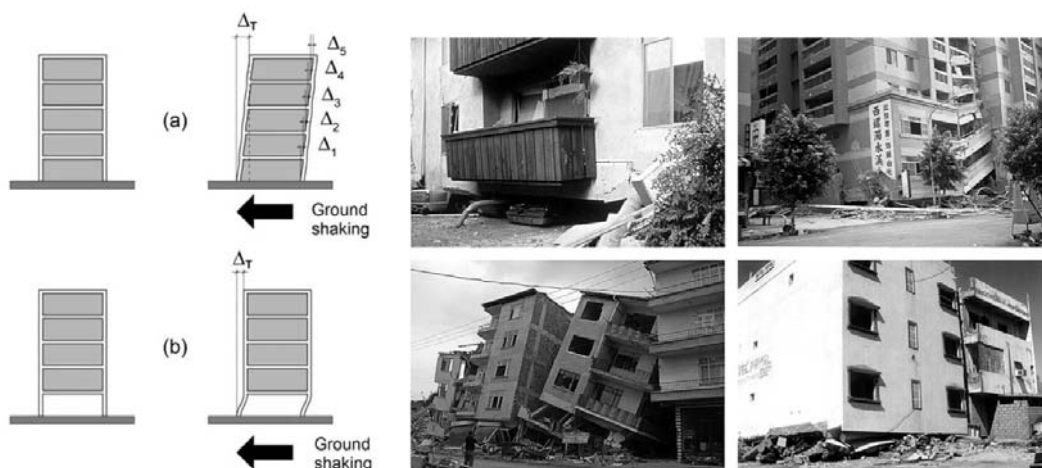


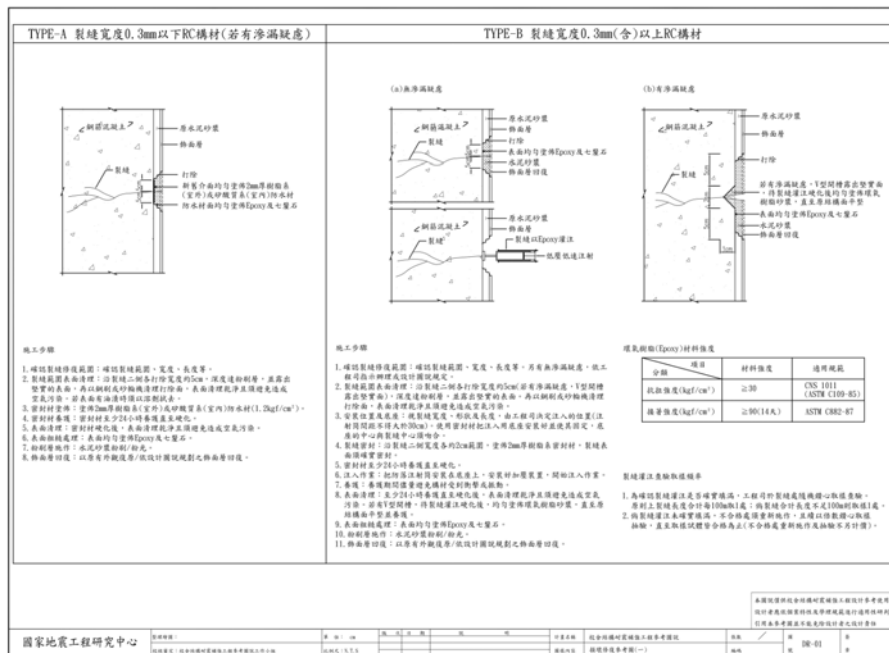
Fig. 8. Consequences of earthquakes effects on first soft story.

2018/11/17

26

耐震能力詳細評估之基本服務內容(5)

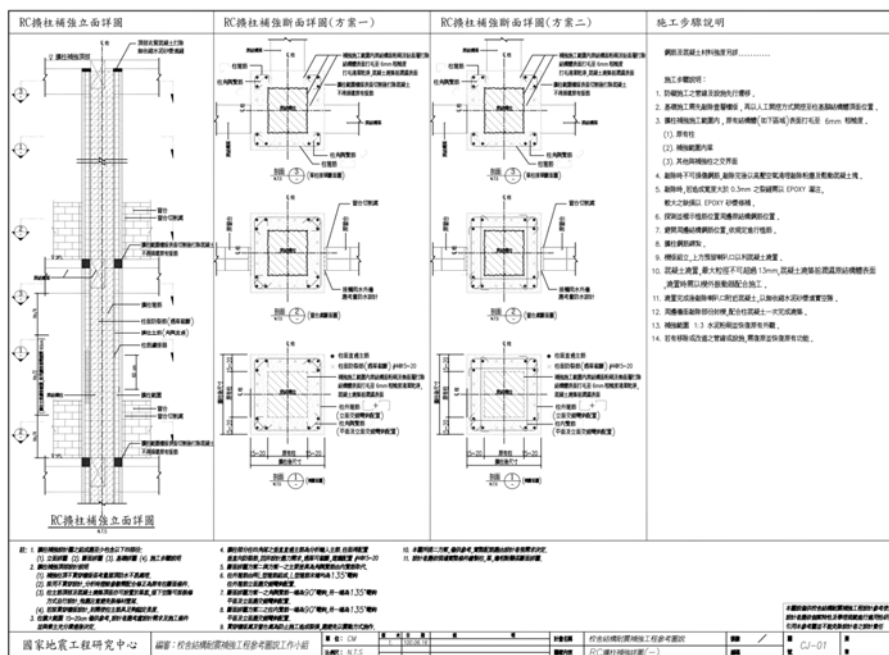
一 損壞修復



資料來源：[國家地震工程研究中心 - 校舍結構耐震補強工程參考圖說]

耐震能力詳細評估之基本服務內容(5)

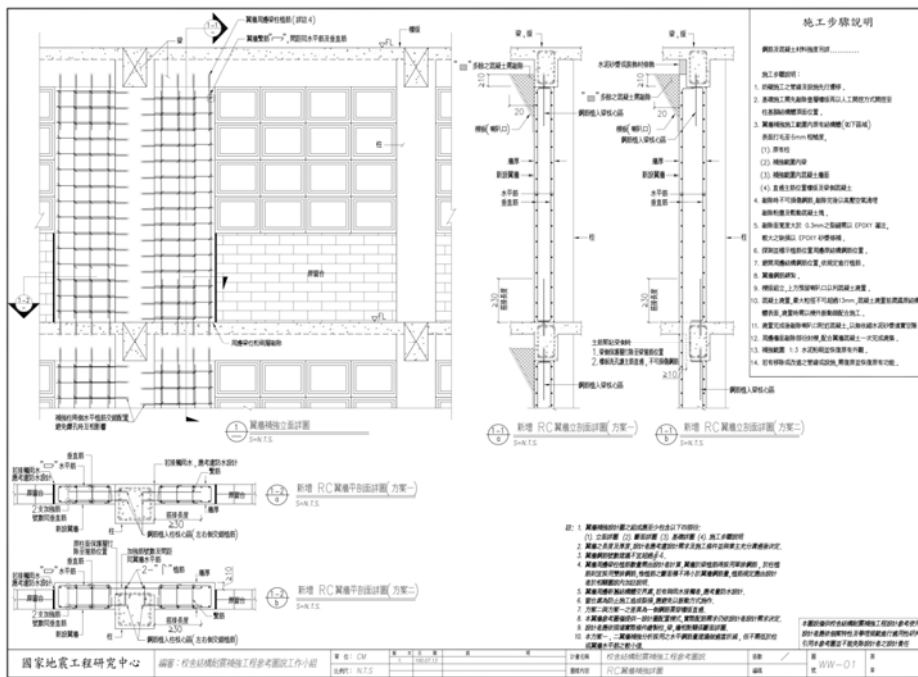
一 耐震補強方式(RC擴柱補強)



資料來源：[國家地震工程研究中心 - 校舍結構耐震補強工程參考圖說]

耐震能力詳細評估之基本服務內容(5)

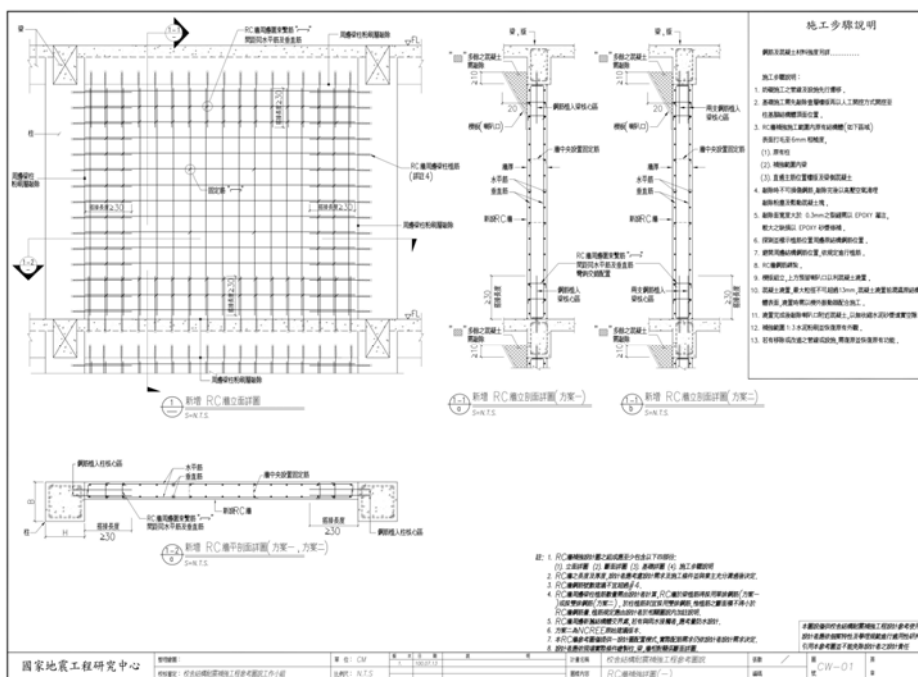
— 耐震補強方式(RC翼牆補強)



資料來源：[國家地震工程研究中心 - 校舍結構耐震補強工程參考圖說]

耐震能力詳細評估之基本服務內容(5)

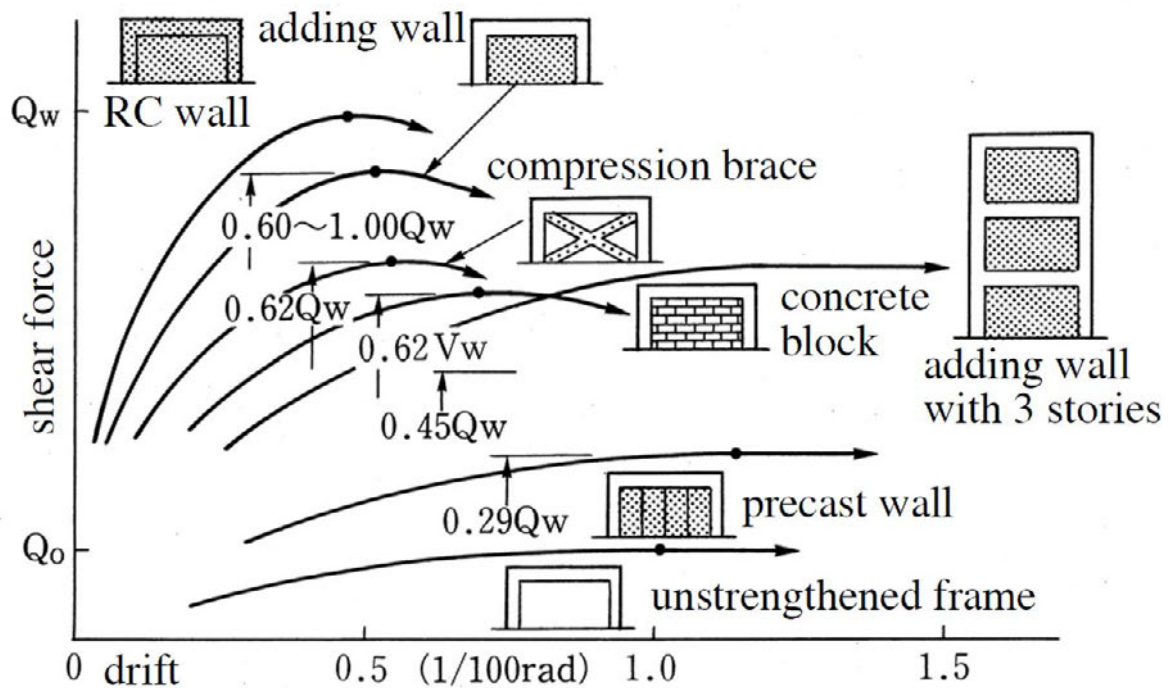
— 耐震補強方式(RC牆補強)



資料來源：[國家地震工程研究中心 - 校舍結構耐震補強工程參考圖說]

耐震能力詳細評估之基本服務內容(5)

— 耐震補強的工法選擇考量



耐震能力詳細評估之基本服務內容(5)

— 耐震補強的工法選擇考量

- 目前既有建築物耐震補強工法選擇考量：
 - 結構性能的提升效益
 - 補強費用(直接成本)
 - 補強的影響範圍(間接成本)
 - 施工性
 - 採光、通風及使用機能的影響
 - 造型的影響

耐震能力詳細評估之基本服務內容(5)

— 耐震補強的工法選擇考量

- 施作空間&施工時機
 - 學校暑假期間(整體性施工)
 - 辦公室部分空間退租時間(部分性施工)
 - 區域營運空間管制(區域性施工)
- 補強設計之補強目標與補強策略
- 適當的施作工法與細節
- 既有構件強度與韌性容量之模擬
- 補強構件之勁度與強度如何模擬
- 開口剪力牆補強工法如何模擬

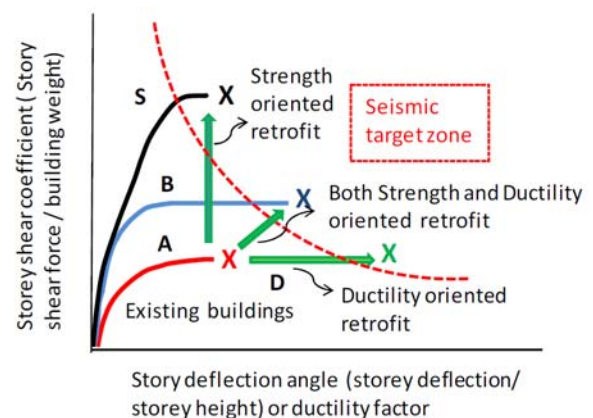
2018/11/17

33

耐震能力詳細評估之基本服務內容(5)

— 補強設計規劃原則

- 建築物提昇耐震能力或建築物降低地震力(或兩者併用)
- 建築物提昇耐震能力：
 - 構材強度/韌性補強
 - 結構不規則性之改善
 - 增設 RC 牆等方式
- 建築物降低地震力：
 - 降低建物重量
 - 增設消能裝置等方式



2018/11/17

34

耐震能力詳細評估之基本服務內容(5)

一 補強設計規劃原則

- 依據側推容量曲線來初步評估以**強度**或**韌性**補強何者為優先。
- 關鍵性、脆性破壞弱點(如：軟弱樓層、高窗、短柱)優先補強處理。
- 結構補強應考慮均勻配置，避免造成平面偏心扭轉。
- 增設翼牆、剪力牆等工法，其補強屬性為強度補強，應特別檢討剪力傳遞及對周邊既有構件及節點的影響。
- 中高樓層以高剛性構件(如：剪力牆)進行補強時，應注意其補強效益。
- 補強應配合混凝土強度、氯離子含量等現況選用適宜工法。

內容綱要

- 結構安全性能(耐震能力)評估重要法令
- 耐震能力詳細評估之基本服務內容
 - 材料試驗
 - 耐震能力詳細評估分析
 - 耐震修復補強方案規劃及建議
- **詳細評估之分析模擬問題**
 - 側力豎向分配型式
 - 牆體的模擬
 - 淺基礎的模擬
 - 側推分析容量震譜的PGA計算
- 耐震能力評估與補強其他注意事項

詳細評估之分析模擬問題

- 耐震能力詳細評估的困難點：
 - 目前商用非線性側推分析程式仍存在有許多收斂性問題。
 - 側力豎向分配型式對於耐震評估結果會有甚大影響。
 - 執行非線性側推分析程式時，所建構的結構分析模型的不同，尤其剪力牆會對模擬評估的結果造成重大的差異。
 - 詳細評估的過程與結果的解讀，須依賴結構專業人員的工程判斷。
- 目標：
 - 耐震詳評的結果應貼近(反應)實際的破壞行為。

2018/11/17

37

詳細評估之分析模擬問題 — 程式收斂性問題

- 商程式(ETABS/MIDAS...)的數值處理收斂性問題：
 - 調整 Member Unloading Method (ETABS)及迭代參數設定
 - 強度衰減的負勁度問題
 - ➔ 參考SERC B技術通報002之塑鉸形式調整，重新分析。
 - 塑性鉸終點(E點)問題
 - ➔ 非關鍵承載構件(例如梁)時，設為鉸接重新進行分析。
 - ➔ 延伸E點位置，進行收斂性判讀。

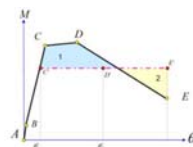


圖 002-1 撓剪破壞塑鉸之修正形式



圖 002-2 剪力破壞塑鉸之修正形式

2018/11/17

38

詳細評估之分析模擬問題

- 建立結構分析模型的基本原則：
 - 結構簡化分析模型通常會帶來一些誤差。
 - ➔ 控制誤差在合理範圍。
 - ➔ 簡化分析模型的誤差主要來自牆體的模擬。
 - 非線性簡化分析模型應與結構設計分析模型兩者之彈性階段行為有一致性。
 - ➔ 彈性階段已有嚴重偏差者，不用奢望非線性階段的準確。
 - ➔ 掌握彈性階段週期與構件受力的一致性。
 - ➔ 彈性階段週期的比對，應注意SERC B與TEASPA的初始勁度定義不同。

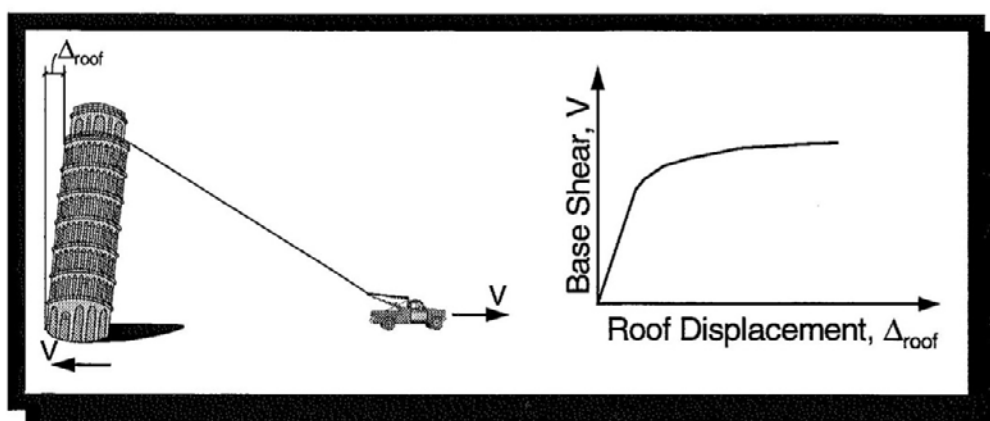
2018/11/17

39

詳細評估之分析模擬問題 — 側力豎向分配型式

- 非線性靜力分析概念

ATC-40 的 Pushover分析概念圖



- ➔ 實際側推力量的分佈型態為何？

2018/11/17

40

詳細評估之分析模擬問題

一 側力豎向分配型式

- 非線性靜力分析概念

多自由度 → 單自由度

$$S_a = \frac{V}{\alpha_1 W}$$

有效模態質量比 (effective modal mass ratio)

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n (w_i) / g \right] \left[\sum_{i=1}^n (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]}$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \times \phi_{roof,1}}$$

模態參與因數 (modal participation factors)

$$PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^n (w_i \phi_{i1}^2) / g}$$

詳細評估之分析模擬問題

一 側力豎向分配型式

- 不同側力型式的轉換差異(ATC-40)

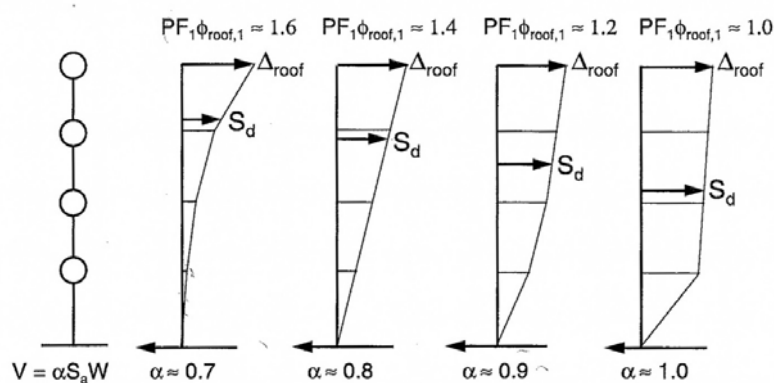


Figure 8-5. Example Modal Participation Factors and Modal Mass Coefficients

詳細評估之分析模擬問題

－ 側力豎向分配型式

- 側力型式：
 - 法規地震靜力分析之豎向分配
 - ➡ 倒三角形地震力分布 + 頂層外加集中橫力
 - 法規動力分析之豎向分配
 - ➡ X向加速度 / Y向加速度
 - ➡ X向振態 / Y向振態
 - ➡ 國震中心在 **NCREE-13-023** 技術報告中建議有關側力豎向分配，應以側推方向之主控模態進行側力之豎向分配。

詳細評估之分析模擬問題

－ 側力豎向分配型式

- 小結：
 - 一般結構分析之基本振動週期來自動力分析之模態分析，其與靜力分析的側力型態無關。但是側推分析之等效振動週期則是由側力之樓層位移形狀來推求，故會與側力豎向分配之型式有關。
 - 由於側推分析是依據第一模態及加速度反應譜來建立耐震性能關係，因此選用側力豎向分配型式在彈性階段的等效振動週期應與模態分析的週期值相近。

詳細評估之分析模擬問題

一 牆體的模擬

- 進行結構耐震能力評估與補強設計時，應考慮**非結構牆之效應**，並檢討軟弱層存在之情況。

[「建築物耐震設計規範及解說」第8.2節解說]

- 非結構牆係指結構性剪力牆之外的1B以上完整磚牆、RC 牆、或校舍之三面窗台。但**具開口之非結構牆由評估者自行考量**。

[行政院 106 年 12 月 28 日，建築物實施耐震能力評估及補強方案 (公有建築物)]

- 框架內四面圍束及三面圍束之1B以上磚牆應納入評估，磚翼牆如砂漿破壞面橫過開口得不納入評估；**1/2B磚牆不納入評估**。框架內四面圍束RC牆應納入評估，三面圍束之RC牆如與下層不連續(有地下室)得不納入評估。

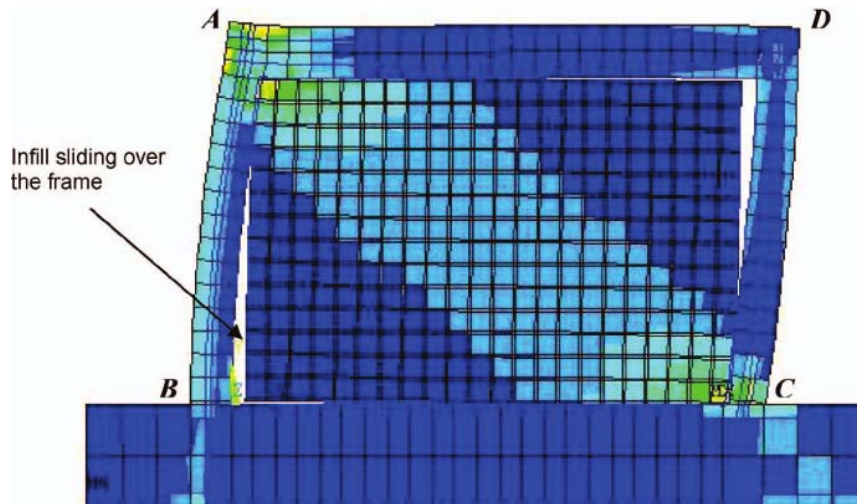
1B以上及RC**窗台牆**應納入評估。

[北市結構技師公會，都市危險及老舊建築物加速重建條例評估作業及審查原則]

磚牆與RC牆的分析模型問題

- **磚牆**：採用**等值斜撐**模擬。
- **RC牆**：
 - TEASPA：採用**等值寬柱**模擬。
 - SERCB：採用**等值斜撐**模擬。

磚牆的分析模型問題



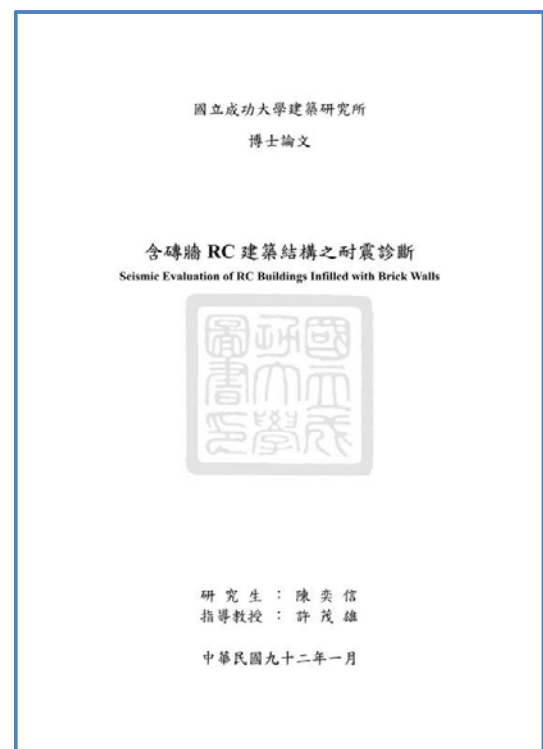
- ❖ M. S. Alam et al. (2009) - 「Modelling and analysis of retrofitted and un-retrofitted masonry-infilled RC frames under in-plane lateral loading」

2018/11/17

47

磚牆的分析模型問題

- **磚牆之等值斜撐**
 - 論文係就內砌磚牆為對象進行探討。
- **問題**
 - 可否用純磚造建築物？
答案：可以。
 - 既然可以，為何要限定用於內砌磚牆？
答案：
 1. **框架內砌磚牆**行為以剪力破壞機制出發，
 2. **純磚造結構**系統尚需定義彎矩與軸力的行為、磚牆邊界構件強度以及面外崩塌問題。



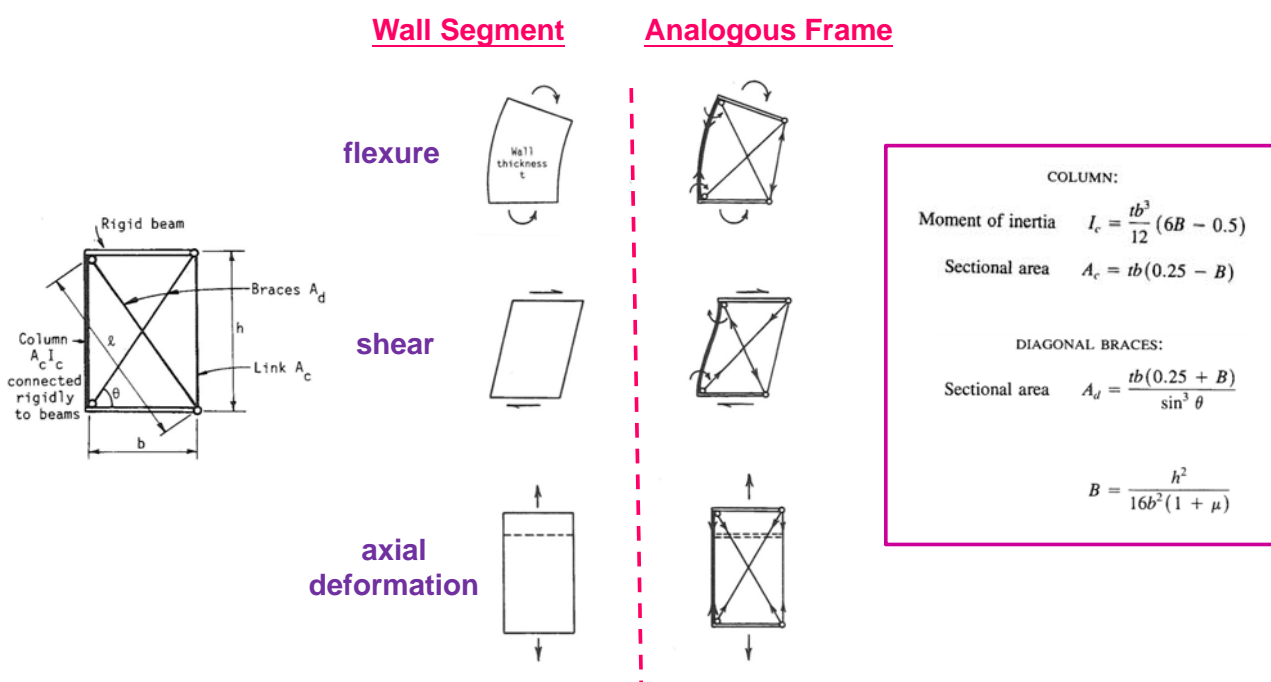
2018/11/17

48

RC牆的分析模型問題

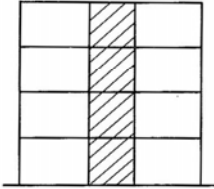
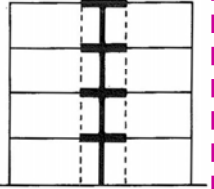
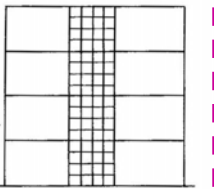
- TEASPA 與 SERCB 的非線性牆元件差異：
 - RC牆構件初始彈性勁度的設定不同
 - ➔ TEASPA：初始彈性勁度採用構件開裂後的斷面來計算
 - ➔ SERCB：初始彈性勁度採用開裂前的構件全斷面之計算
 - RC牆構件非線性鉸設定的不同
 - ➔ TEASPA：RC牆採用等值寬柱模擬 (RC牆頂部與底部連接梁加大其勁度，以模擬剛性梁)
 - ➔ SERCB：RC牆採用等值斜撐模擬 (基於固定轉角之軟化桁架分析模式理論)

RC牆的分析模型問題



RC牆的分析模型問題

日本建築構造技術者協會

構造物のモデル化	精解と正解	
	4・2・2	
 <p>耐震壁架構</p>	<p>TEASPA分析模型</p>  <p>(a) 線材モデル (略解)</p>	<p>ETABS分析模型</p>  <p>(b) FEMモデル (精解)</p>
<p>より精しいモデル化を行っても、上図の場合は壁脚部の固定条件の影響が大きいため、精解=正解とは考えがたい。むしろ略算により何例かを計算し考察するほうが有効な場合が多い。</p> <p>COMMENT：精密な解析といえども仮定条件内での解析である。仮定条件とバランスしない精密さは無意味である。</p>		

❖ 日本建築構造技術者協會(1993) - 「建築構造の設計」

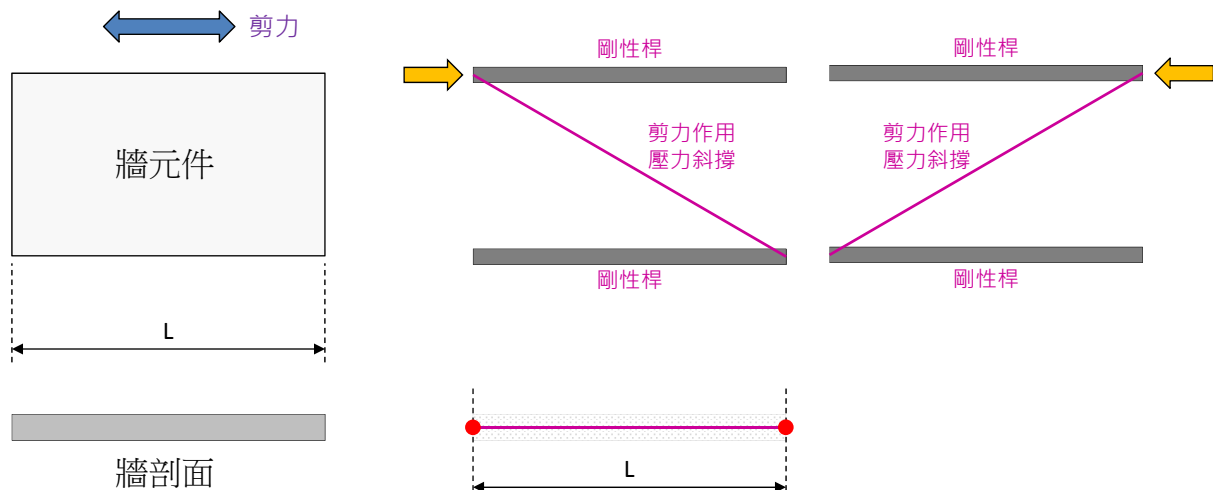
2018/11/17

51

RC牆的分析模型問題

SERCB RC牆

斜撐模型 - 剪力強度與剪力變形之分析



問題 ➔ 需依剪力作用方向配置斜撐

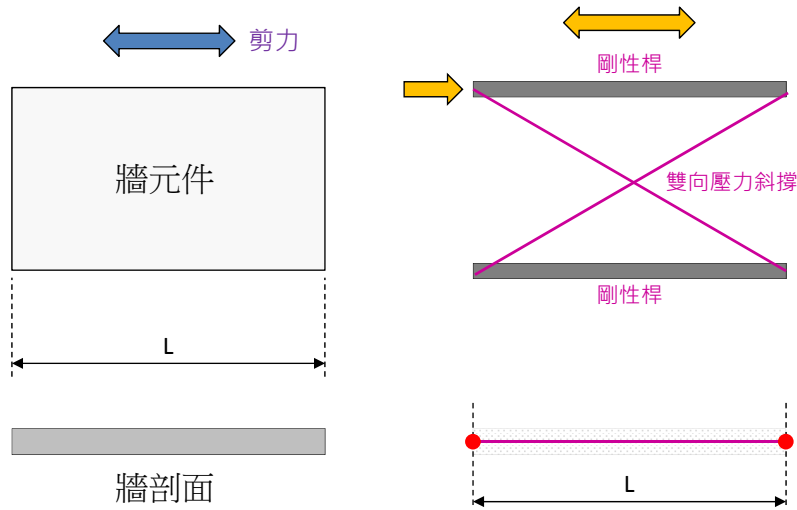
2018/11/17

52

RC牆的分析模型問題

SERCB RC牆

斜撐模型 – 剪力強度與剪力變形之分析



➔ 雙向壓力斜撐可以單一模型來進行正反向側推分析！

問題1 ➔ 軸力傳遞與軸力變形？

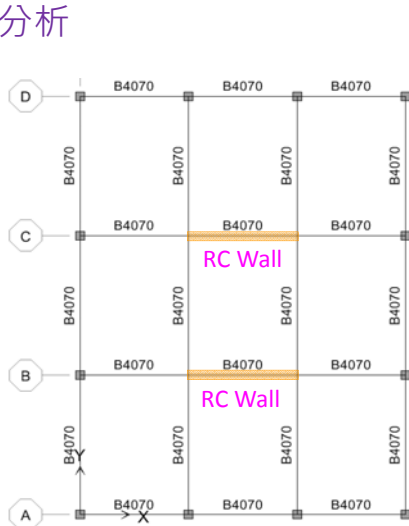
問題2 ➔ 彎矩強度與變形？

RC牆的分析模型問題

SERCB RC牆

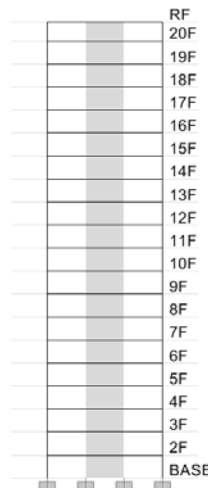
斜撐模型 – 剪力強度與剪力變形之分析

案例分析

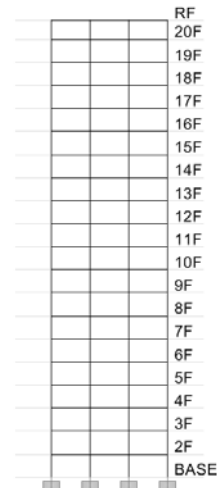


結構平面

Frame X-B & X-C



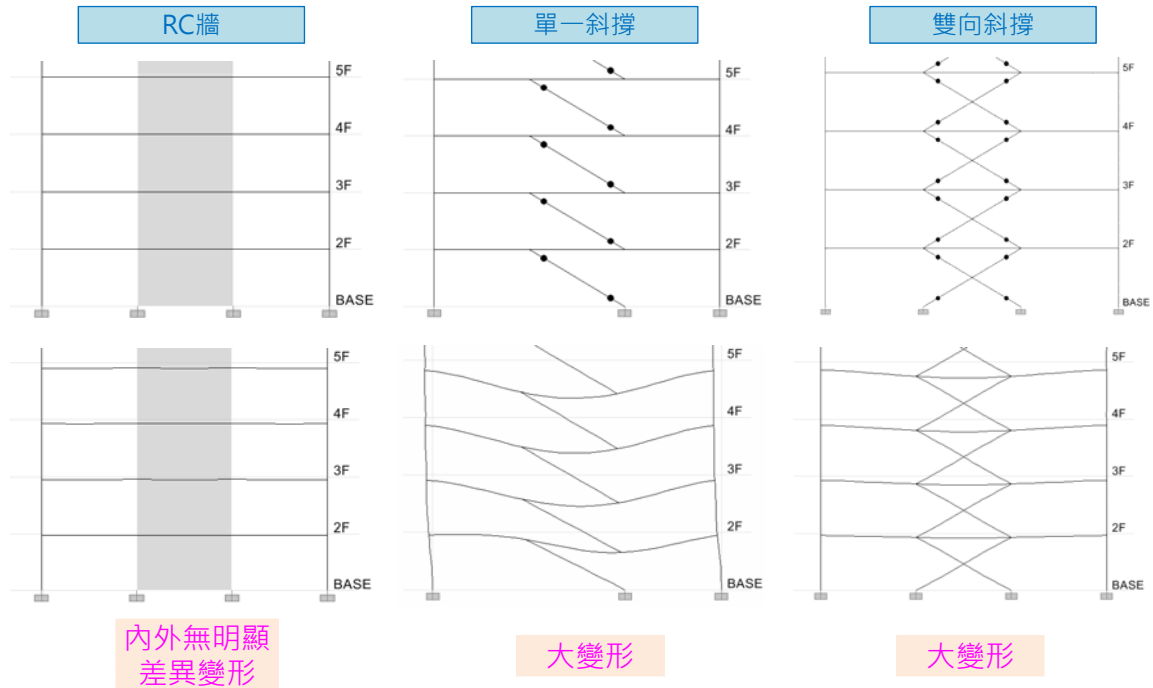
其他Frame



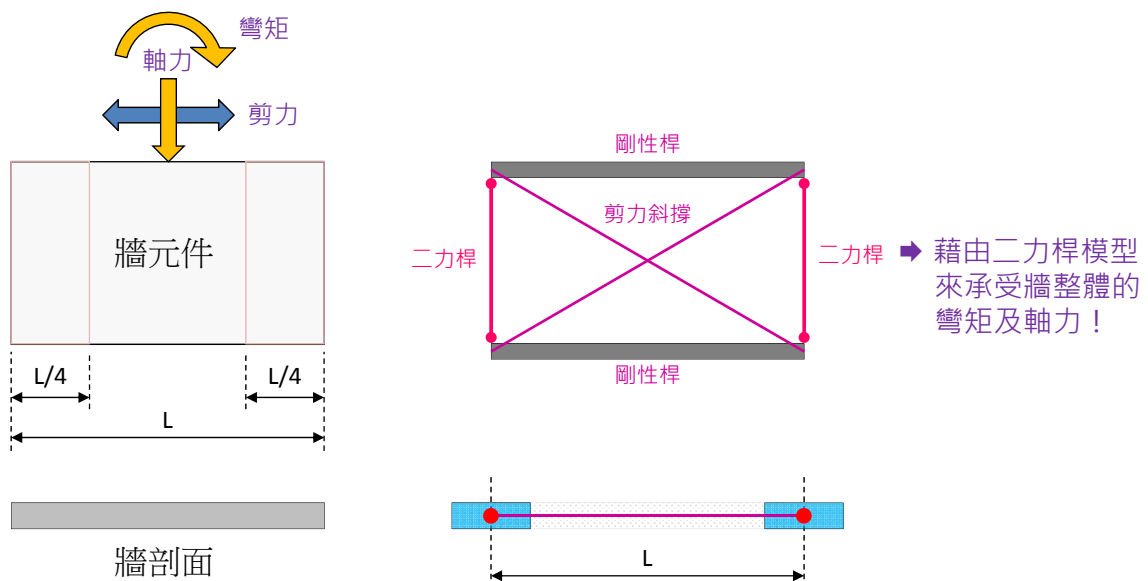
結構立面

RC牆的分析模型問題

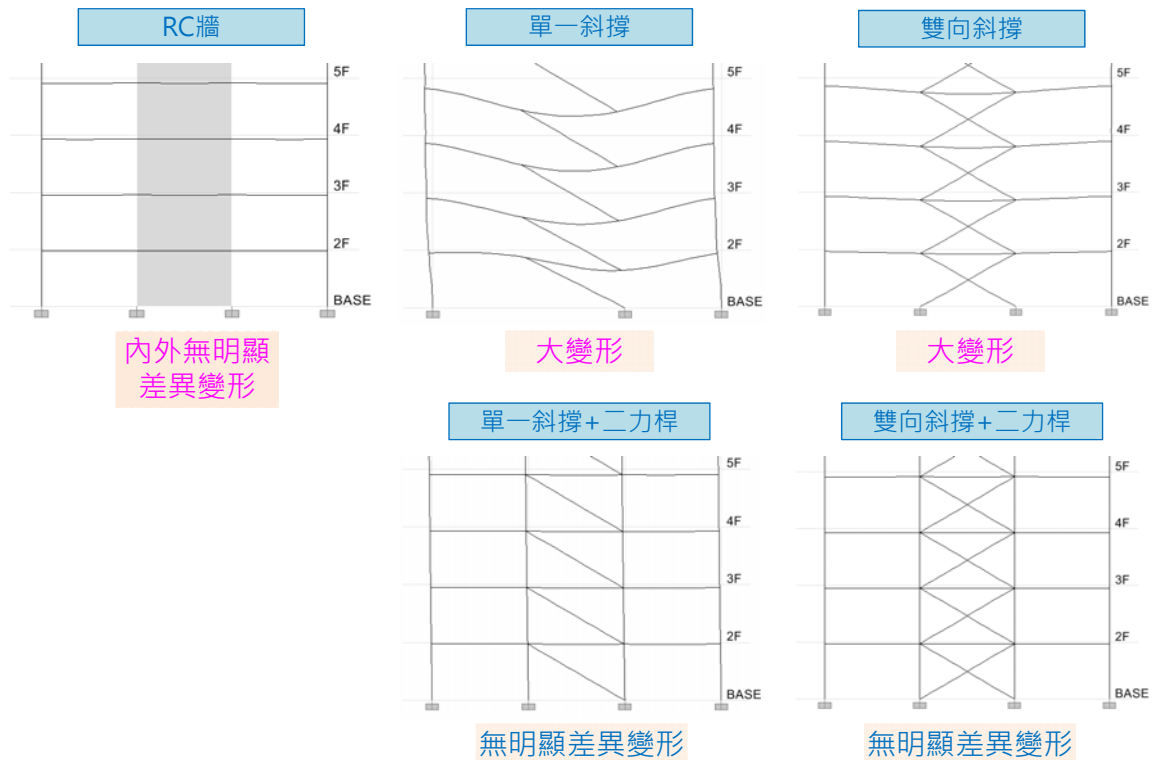
SERCB RC牆 斜撐模型 – 剪力強度與剪力變形之分析



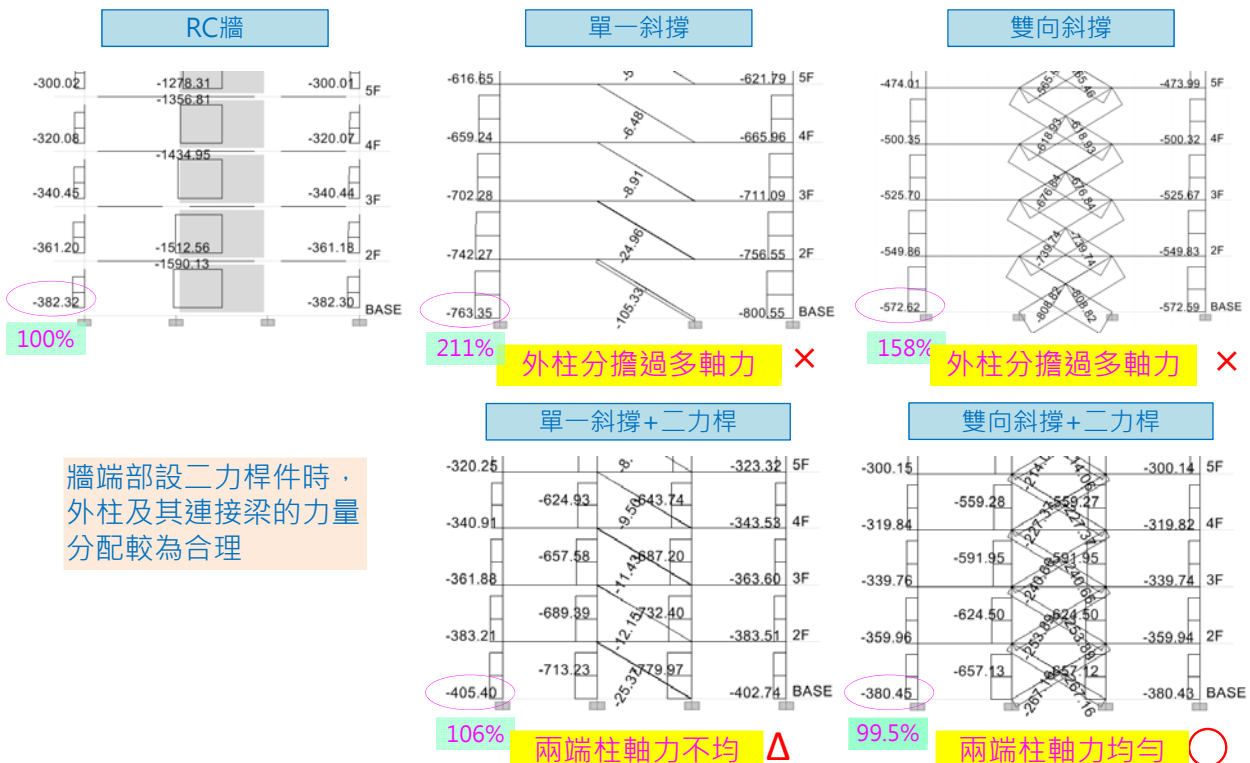
RC牆的分析模型問題



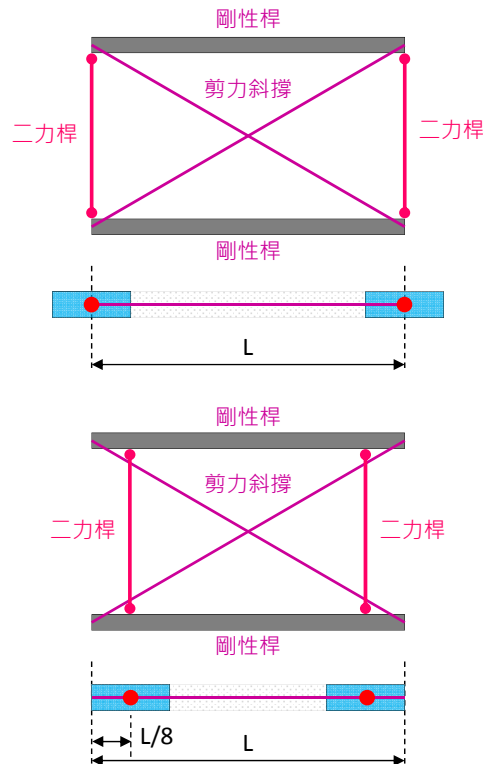
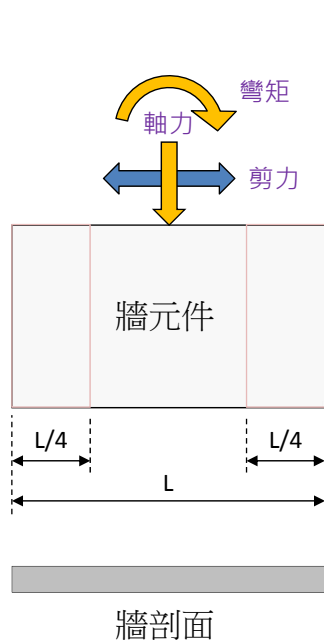
RC牆的分析模型問題



RC牆的分析模型問題



RC牆的分析模型問題



問題：

➡ 二力桿分析模型的軸力有時會超過實際行為！

處理：

➡ 此一分析模型的整體行為較貼近牆元件模型的實際受力行為！

2018/11/17

59

RC牆的分析模型問題

• 小結：

- 若僅以**單向斜撐**模擬時，其牆體周圍的連梁受力常會失真。
 - ➡ 評估標的之樓層越高，其偏差越大。
 - ➡ 因斜撐主要考慮剪力強度與變形的行為，單以斜撐進行模擬時，會衍生垂直載重的分配失真。
- 牆**端部設二力桿件**時，外柱及其連接梁的力量分配會較為合理。
 - ➡ 二力桿件可依實際斷面及配筋設定軸力塑鉸。
- 建議由研發團隊進行後續研究，建立一套通用的分析模型標準。

2018/11/17

60

開口牆的分析模型問題

一 磚牆開口牆

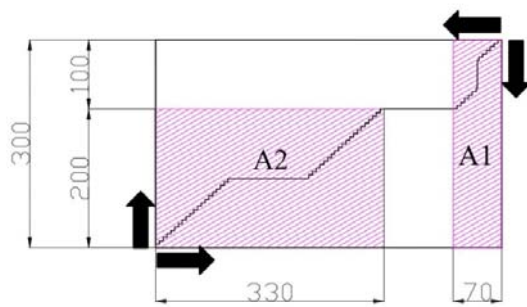


圖 4-8 受力單元中僅開一道門的破裂路徑 (單位: cm)

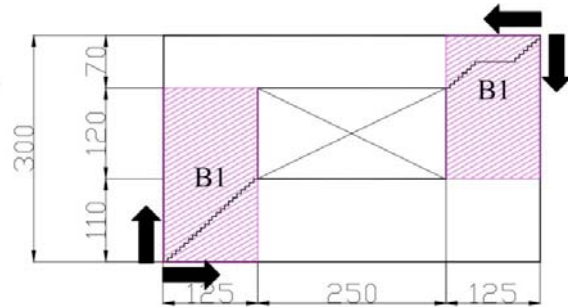
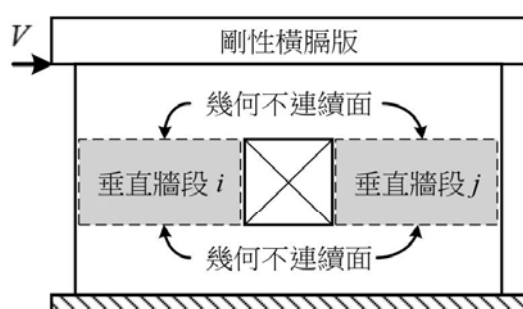


圖 4-9 受力單元中僅開一扇窗的破裂路徑 (單位: cm)

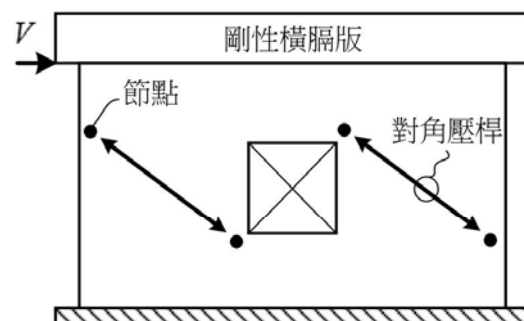
❖ 劉宜珮 (2003) - 「磚造與加強磚造建築物之耐震診斷」·成大建研所碩士論文

開口牆的分析模型問題

一 RC開口牆



(a) 主控開孔牆強度之垂直牆段



(b) 垂直牆段內部之力傳遞

圖 7 以幾何不連續面劃分之關鍵構件

❖ 黃世建 et al. (2016) - 「鋼筋混凝土開孔牆受剪破壞之側力位移曲線預測」·結構工程第三十一卷第三期

詳細評估之分析模擬問題

一 淺基礎的模擬

- 淺基礎單純以鉸接或固接來模擬時，都可能與實際行為有甚大的偏差。
- 基礎的模擬應考慮實際的基礎型式(及地梁)與地質條件進行分析模擬。

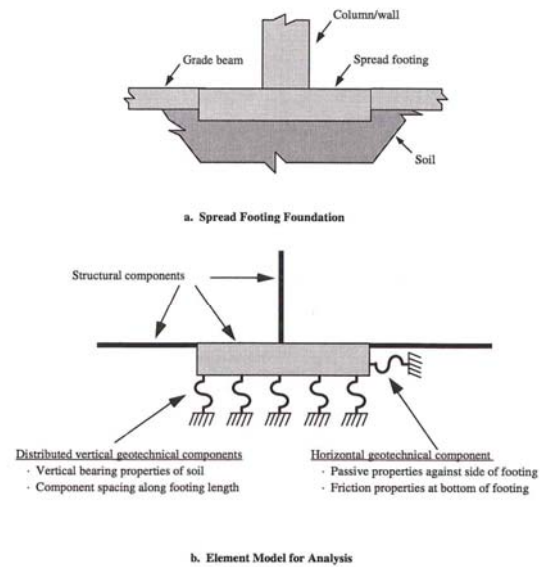


Figure 10-4. Basic Shallow Foundation Model

[引用文獻 : ATC-40]

2018/11/17

63

側推分析容量曲線的初步檢核

- **彈性階段與振態分析之週期是否貼近，若有不同的原因：**
 - 有構件初始勁度的折減設定(應注意TEASPA與SERCB之梁柱構件初始勁度的設定有所不同。)
 - 牆體的設定(斜撐與殼元素的不同)
 - 側力型式...等。
- **最大側推剪力與耐震規範之極限層剪力強度偏差比對**
- **側推分析之終點是否為程式收斂性問題**
- **側推分析之終點之構件破壞是否為關鍵性主要構件**
 - 垂直構件的破壞通常會造成結構的穩定性問題，而水平構件的破壞除剪力破壞而無法繼續承載梁上載重外，通常水平構件端部設為塑鉸仍可繼續側推。

2018/11/17

64

側推分析容量震譜的EPA計算

- SERCB 的兩種最大地表加速度計算方法：

- 結構系統地震力折減係數($R-\mu-T$)

- ➔ SERCB 認為此法適用於未採用隔震與消能系統之建築結構。
 - ➔ 此法對於降伏點極為敏感，故如何判斷降伏點極為重要。

- 等值遲滯阻尼法

- ➔ SERCB 認為此法適用於採用隔震與消能系統之建築結構。

2018/11/17

65

側推分析容量震譜的EPA計算

— 等值遲滯阻尼法

- ATC-40之等效阻尼比的計算：

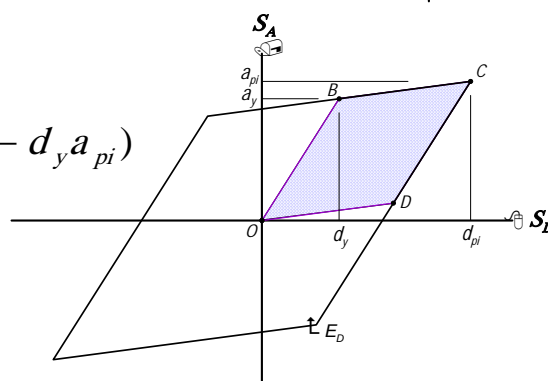
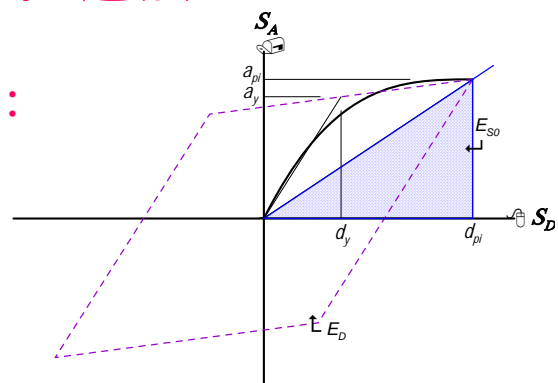
- 遲滯阻尼比： $\xi_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S0}}$

- ➔ 應變能：

$$E_{S0} = \frac{a_{pi} \cdot d_{pi}}{2}$$

- ➔ 遲滯耗能：

$$E_D = 4(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})$$



2018/11/17

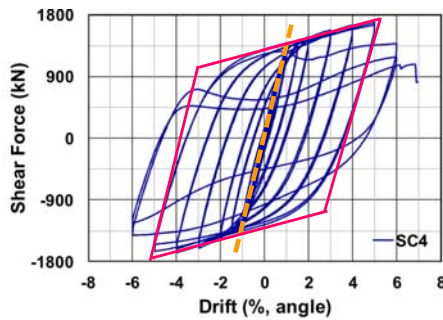
66

側推分析容量震譜的EPA計算 — 等值遲滯阻尼法

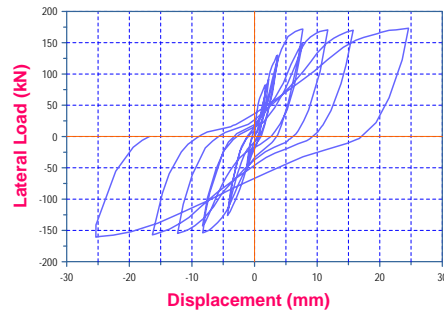
- 等效阻尼比：(固有阻尼 + 遲滯阻尼)

$$\xi_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S0}} \quad \xi_{eq} = 0.05 + \kappa \xi_0$$

- ➔ κ 值為阻尼修正因數，用以代表遲滯迴圈的飽滿程度。
- ➔ 對於校舍評估， κ 值設為0.33。



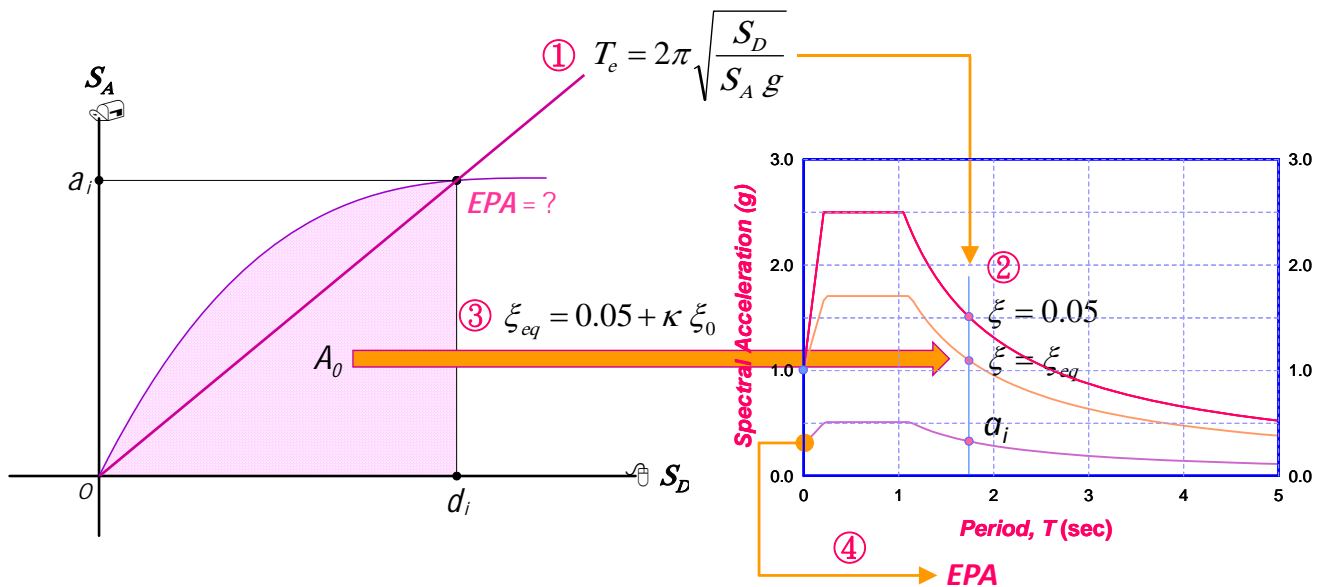
鋼骨混凝土構架系統



鋼筋混凝土構架系統

側推分析容量震譜的EPA計算 — 等值遲滯阻尼法

- 容量震譜上任意點之耐震能力(最大地表加速度)計算：



側推分析容量震譜的EPA計算

— 等值遲滯阻尼法

- 等值遲滯阻尼法的注意事項：
 - 有強度衰減的結構系統應特別注意EPA計算的合理性。

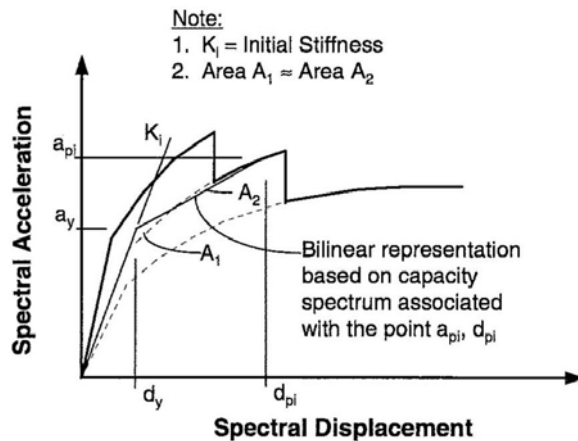


Figure 8-10. Bilinear Representation of Capacity Spectrum for Degrading ("Sawtooth") System

[引用文獻 : ATC-40]

內容綱要

- 結構安全性能(耐震能力)評估重要法令
- 耐震能力詳細評估之基本服務內容
 - 材料試驗
 - 耐震能力詳細評估分析
 - 耐震修復補強方案規劃及建議
- 詳細評估之分析模擬問題
 - 側力豎向分配型式
 - 牆體的模擬
 - 淺基礎的模擬
 - 側推分析容量震譜的PGA計算
- 耐震能力評估與補強其他注意事項

耐震能力評估與補強其他注意事項(一) — SERCB使用注意事項

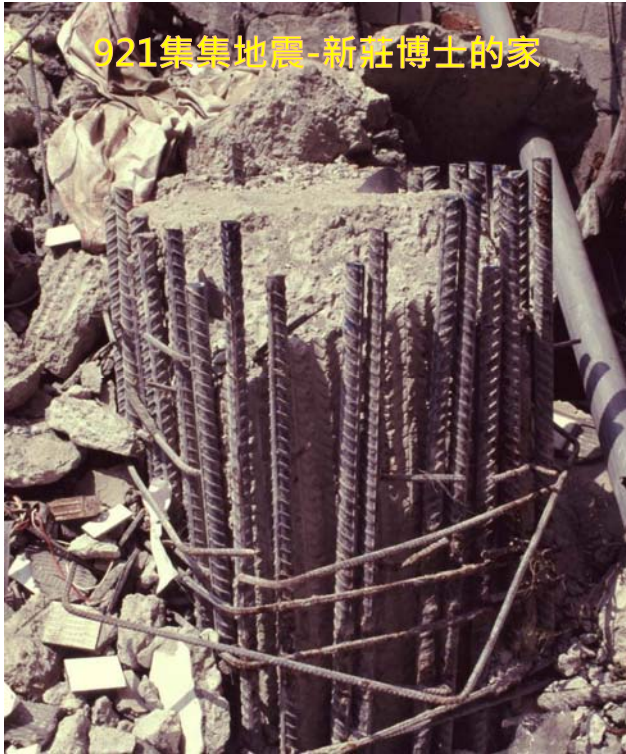
- 目前版本一根梁僅提供一個斷面建立塑鉸性質，I、J端之斷面配筋不同時，須再特別處理。
- 側推方向與柱之3軸垂直(SERCB軟體在構件的分析上只提供M3塑性鉸的分析)。

耐震能力評估與補強其他注意事項(二) — 側推分析中尚難反應的破壞行為

- 柱、梁、牆等的續接、錨定的影響(搭接長度、續接方式)
- 混凝土品質的影響(強度、中性化、氯離子等影響)
- 箍筋彎鉤不合規定(90°彎鉤)造成的強度與韌性發展問題



地震破壞經驗 - 柱續接破壞



2018/11/17

73

建築物耐震補強 實務常見課題

2018/11/17

74

靜載重之計算

靜載重

- 建築技術規則建築構造編第10條
 - 靜載重為建築物本身各部份之重量及固定於建築物構造上各物之重量，如牆壁、隔牆、梁柱、樓版及屋頂等，可移動隔間不作靜載重。
 - 梁柱砂漿粉刷、地坪鋪面材、窗戶窗台、外牆面材、屋頂防水材、隔牆材料
 - 牆壁/隔牆重量模擬

地盤反力係數 K_v

地盤反力係數 K_v 之設定

- **彈性沉陷及壓密沉陷**同時作用下之模型：依總沉陷量計算 K_v ， $K_v=365\sim 914\text{tf/m}^3$ ，線彈簧 10326tf/m^2 。
- 僅需考慮**彈性變形**作用之模型：原始 K_v ， $K_v=659\sim 914\text{tf/m}^3$ ，線彈簧 10326tf/m^2 。
- 考慮**地震力作用下**之模型：2倍原始 K_v ， $K_v=1319\sim 828\text{tf/m}^3$ ，線彈簧 20652tf/m^2 。
- 僅需考慮**壓密變形**作用之模型：依壓密沉陷量計算 K_v ， $K_v=811\sim 2185\text{tf/m}^3$ ，線彈簧 10326tf/m^2 。

主樓與連續壁之間短梁補強

2018/11/17

79

主樓與連續壁之間短梁補強

- 地下室大梁補強部份與連續壁正交之短跨度梁，建議在不影響建築法規及使用條件下，**儘量採用剪力牆補強**，減少鋼板包覆補強或碳纖維包覆補強之不確定性及後續維修問題



2018/11/17

80

基面以下結構補強設計時 地震力

基面以下結構補強設計時地震力之放大 倍數

6.2.11 基面以下之構架

基面與基礎間之構架，其設計之強度與勁度不得低於上部結構者。有關鋼筋混凝土構造及鋼構造之韌性特別規定應同樣適用於將地震力由基面傳至基礎之構材。亦可以基面以上產生之極限層剪力為橫力，施加於基面代替之，但垂直構材仍應依韌性相關規定設置緊密箍筋。

解說：

基面與基礎間之地下室構造，因有勁度很高的外牆，因此其梁、柱不容易降伏，因此亦應可容許不做韌性設計，惟此時強度要足夠，應以地面層產生的極限層剪力強度時的剪力設計之，使地下室構造在大地震時仍保持彈性，如地梁之設計如取地面層的極限層剪力或設計地震力之 $1.4\alpha_1$ 倍所引致之內力進行工作應力法設計時，則可容許不做韌性設計。如果一樓版剪力傳遞失效，或地下室外牆產生破壞時，地下室構材的韌性設計就會發生功效，工程師應做適當的判斷，決定地下室構材設計的最好方式。

構架承擔橫力不小於總橫力 25%

二元系統構架承擔25%以上之總橫力

- 剪力牆包括邊界柱，若邊界柱拿掉會引致結構不穩定，因此將構架承擔總橫力小於25%之樓層，提高構材之地震彎矩、剪力至總橫力達25%之倍數，並檢核構材之設計彎矩、剪力大於構材之設計彎矩、剪力強度
- 剪力牆之EI值與EA值取很小的值，柱之EI值取根小的值，但EA值維持不變，使能承擔軸力，再檢核此結構能否擔負25%以上之總橫力

一樓版地震剪力傳遞設計

2018/11/17

85

一樓版地震剪力摩擦檢討

- 一樓版地震剪力傳遞設計只用梁式剪力檢討，未同時檢討剪力摩擦筋之設計。
- 審查委員會認為**剪力摩擦檢討**只需應用於與連續壁接合之斷面，其他斷面可免進行剪力摩擦檢核。

2018/11/17

86

剪力牆剪力折減因數 Φ

剪力牆剪力折減因數 Φ

- 第2.3.4節 耐震構造之強度折減因數可按第2.3.2節及第2.3.3節規定，但下列除外：
 - (1)任何抵抗地震力構材之計算剪力強度低於該構材於設計載重併合地震效應之計算撓曲強度所對應之剪力者，其剪力折減因數為0.60。
- 第2.3.2節 強度折減因數 Φ 應為下列規定值：
 - (4) 剪力與扭力 0.75
- $V_{shear\ wall} = V_{D+L} + \frac{M_E}{H}$ $\Phi=0.6$
- $V_{shear\ wall} = V_{D+L} + \frac{M_P}{H}$ $\Phi=0.75$

剪力牆剪力折減因數 ϕ

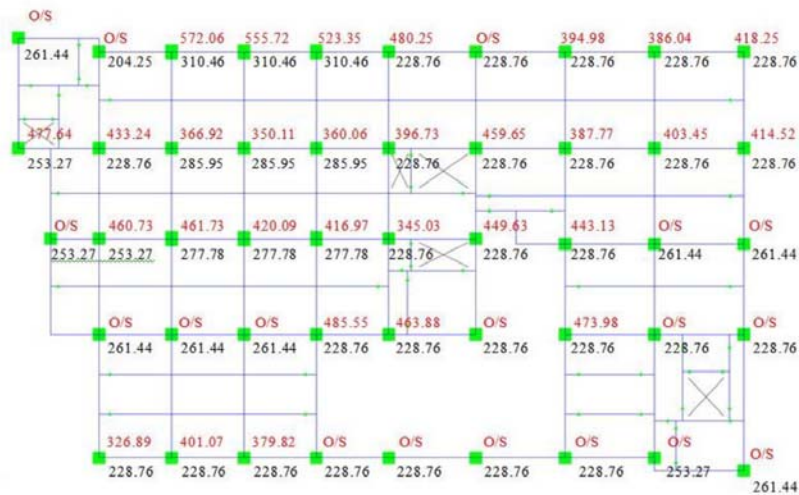
- 剪力牆設計可以採載重組合進行主筋與剪力筋之配置，
 - 當設計剪力採用剪力牆產生彎矩塑鉸引致之剪力時，強度折減因數可採用0.75，
 - 如採載重組合設計剪力時，強度折減因數必須採用0.6。

雙塔建築物法規靜力分析 地震總橫力計算方式之探討

雙塔建築物法規靜力分析地震總橫力計算方式之探討

- 假設雙塔建築物一棟為A，另一棟為B，有一層裙樓相連。
- 動力分析塔A其週期 T_a ，塔B其週期 T_b 。
- 將裙樓切為兩部份，分別歸屬於A建築物與B建築物，其規屬的部份以2樓以上A、B棟總重量為權重計算之。
- 其後分別以週期 T_a 與 T_b 計算建築物A與建築物B之總橫力，最後將其加總得雙塔建築物之總橫力。
- 進行雙塔建築物之動力分析時調整一樓總橫力至上述計算之值。

消能減震補強之探討



圖例：
■ 現行法規設計地震力之柱鋼筋量
■ 柱配筋表

上圖為結構 1F 柱 Y 向現況與現行法規下鋼筋之配置量比較。經比較結果，Y 向之 1F 原設計與現行法規柱配筋共有 18 處 O/S(不合格)，30 處柱配筋比值低於現行法規，最低值為 C34 僅達 0.47。

柱編號 C34 柱鋼筋需求量为 485.55 cm^2 ，原設計圖鋼筋量为 228.76 cm^2 ，僅達現行法規需求鋼筋量之 47.11% ($=228.76 \text{ cm}^2 / 485.55 \text{ cm}^2$)。

3.2 消能減震補強方法

參考 經濟部「前瞻基礎建設—公有危險建築補強重建計畫—公有零售市場建築物耐震能力評估/補強/拆除重建工程補助」結構耐震能力補強使用阻尼器設計之審查注意事項

第五點、基本原則

(五)建築物現況耐震能力 CDR 值偏低(<0.65)時，建議不採用阻尼器。

耐震補強方案二依前述原則，將先針對標的物進行結構強度補強，使現況性能加速度由 91gal 補強達 156gal 以上($240\text{gal} * 0.65 = 156\text{gal}$)，再配合採用黏性阻尼器，提升目標性能達設計地震等效地表加速度。

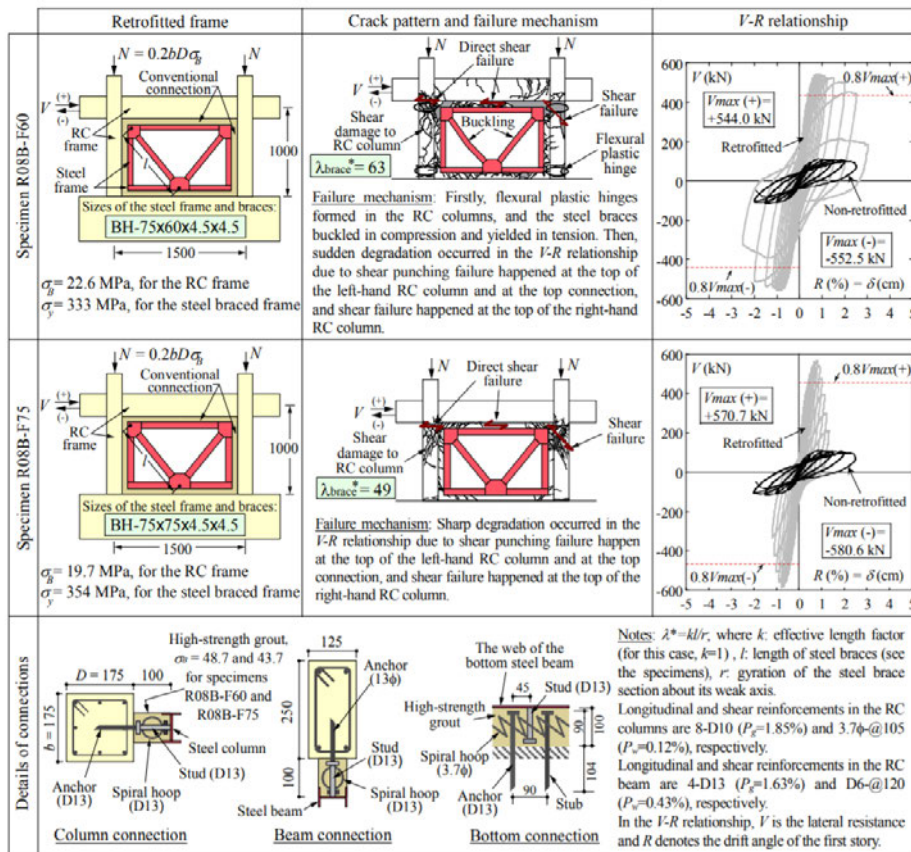
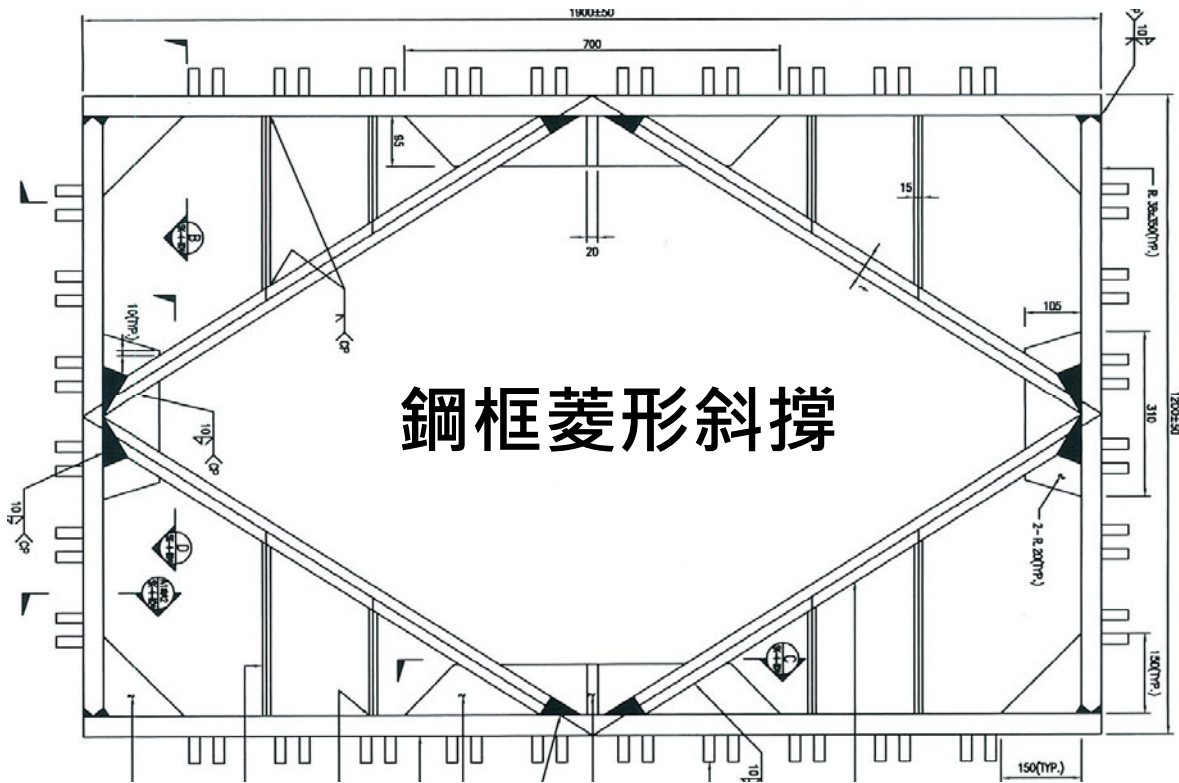
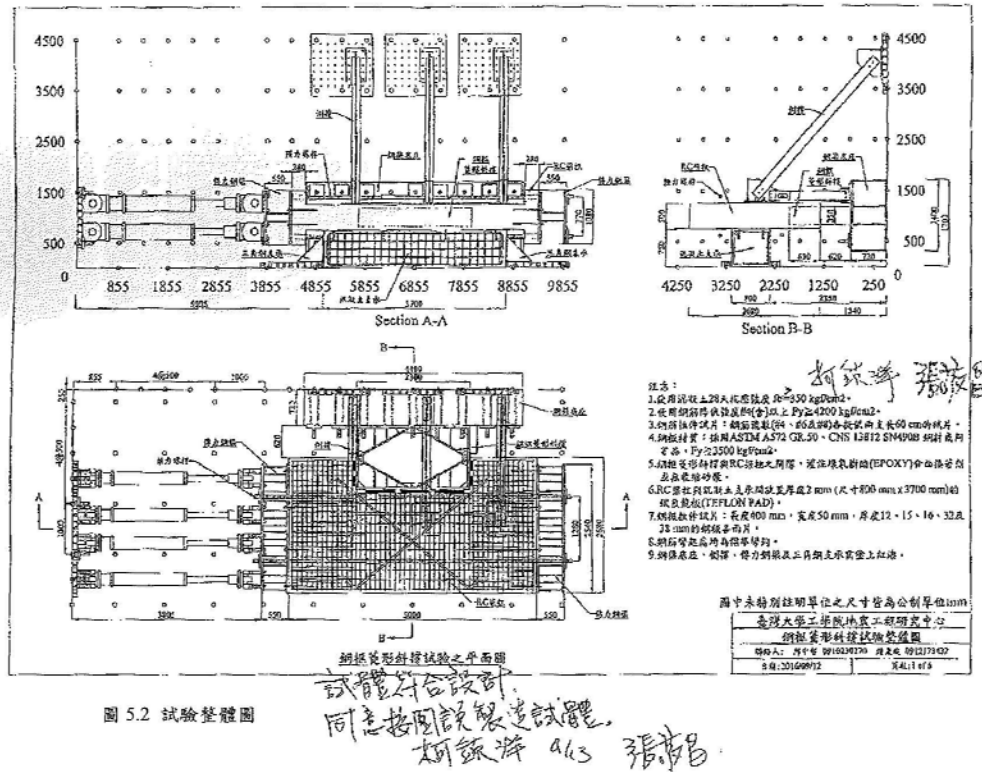


Fig. 1 An overview of the conventional connection method [unit: N, mm].

鋼框菱形斜撐



鋼框菱形斜撐



(a) 鋼筋組立(105/10/06~105/10/13)



(b) 混凝土梁柱鋼筋綁紮工程查驗(105/10/14)



(c) 混凝土梁柱灌漿(105/10/17)



(d) 鋼框菱形斜撐(105/10/27)

鋼框菱形斜撐



(e) 鋼框與梁柱鋼筋之銲接查驗(105/11/10)



(f) 試體完成(105/12/20)



(g) 試體吊運至實驗室(105/12/24)



(h) 試體試驗(106/02/14)

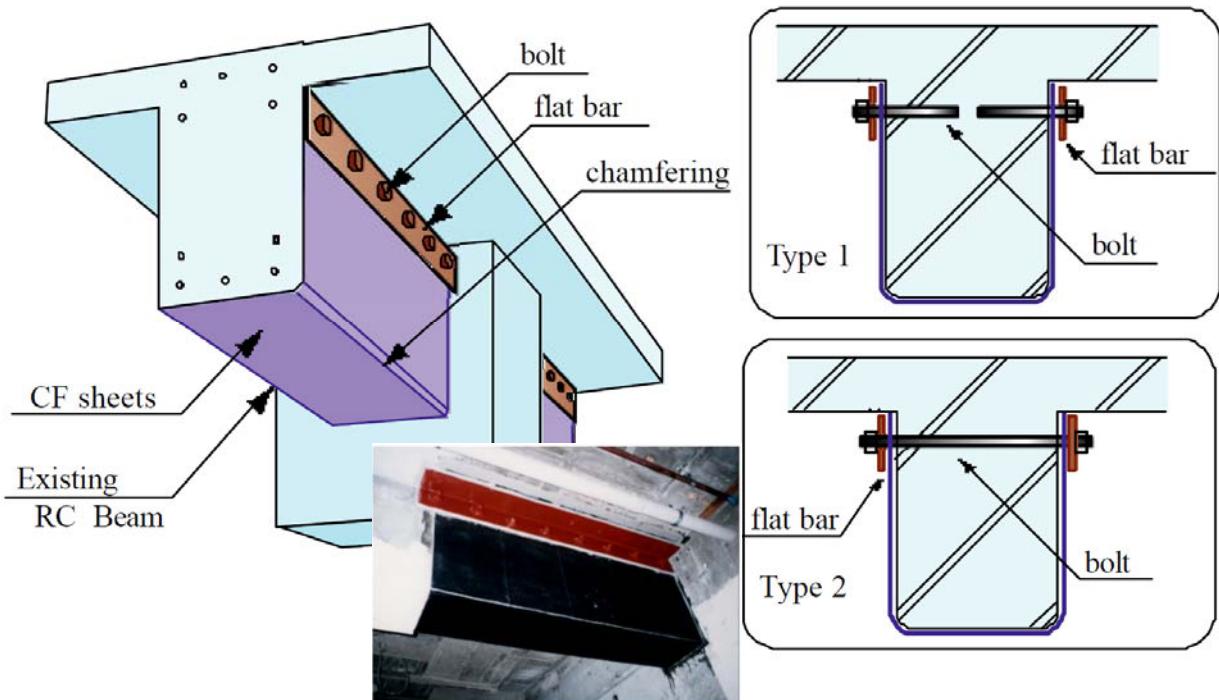
圖 5.7 試體製作過程

鋼框菱形斜撐

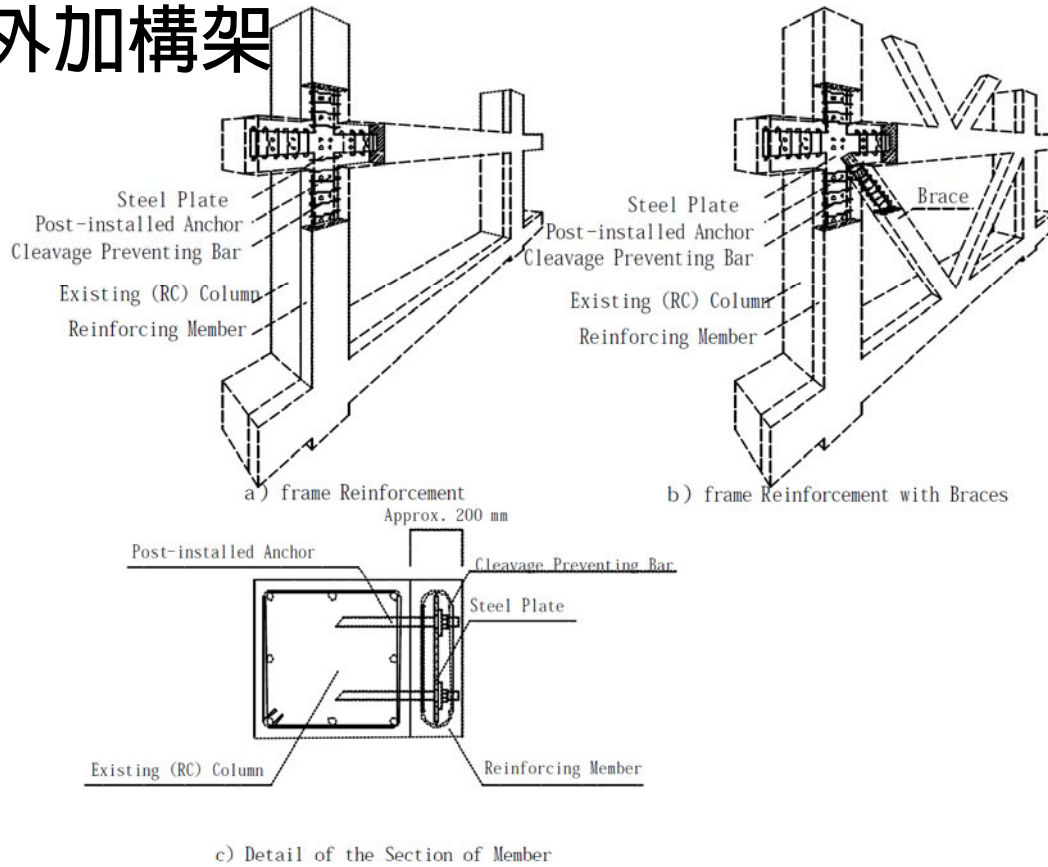
- 斜撐挫屈力3189kN及最大軸拉力4000kN，為設計軸力強度 $1674\text{kN}(=2943\text{ kN} \div 2 \div \cos(28.5^\circ))$ 的 1.9 倍及 2.4 倍，滿足鋼框菱形斜撐的補強設計要求。
- 補強試體合乎韌性行為要求的最大側位移角為 3%，亦超過美國混凝土試驗規範 ACI 374.2R-13 的 2.5% 要求。

耐震補強工法案例

CFRP



外加構架



a) Junior High School Building (School Colored)



b) Junior High School Building (Designed by Students)



c) University Building (with Exterior Panels)



d) Elementary School Building (with Balconies)



Photo.2 Example of Upgraded Building

External Energy Dissipation Braces



Steel pipe brace: $\phi 190.7 \times t 19$

Friction damper : 400kN

Connection: secured in place with four prestressing bars (23 mm dia.)

Connection with foundation: connected indirectly by post-construction anchors



Photo. 4 Application to a balconied school building



Photo. 5 Application to an apartment building

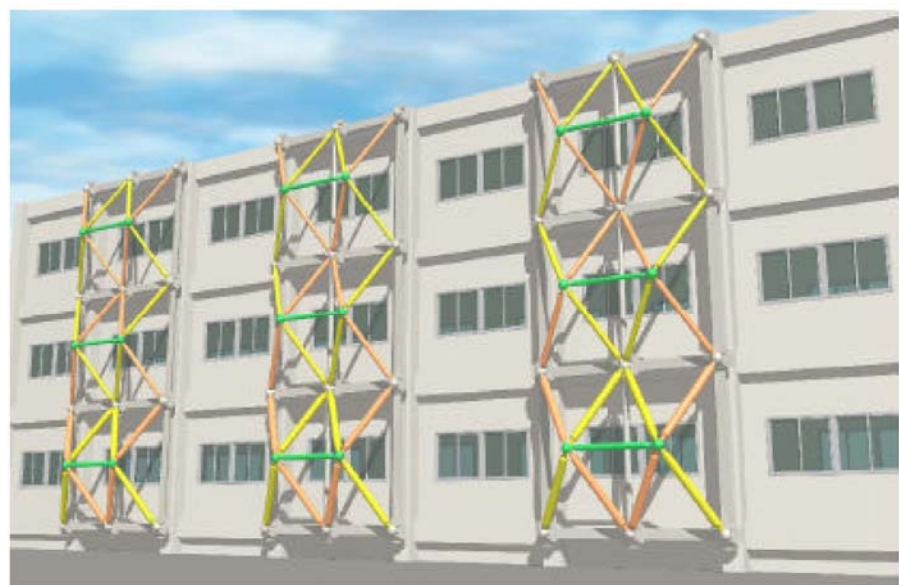
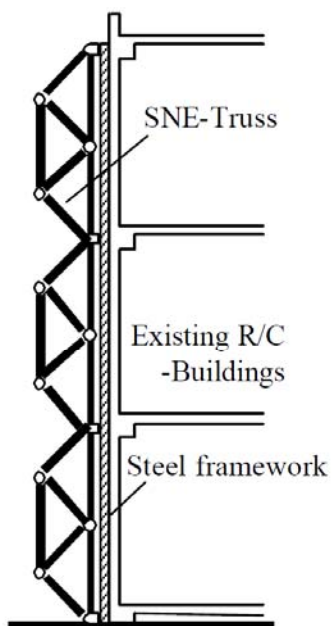


Fig.1 SNE-Truss composed of aluminum alloy

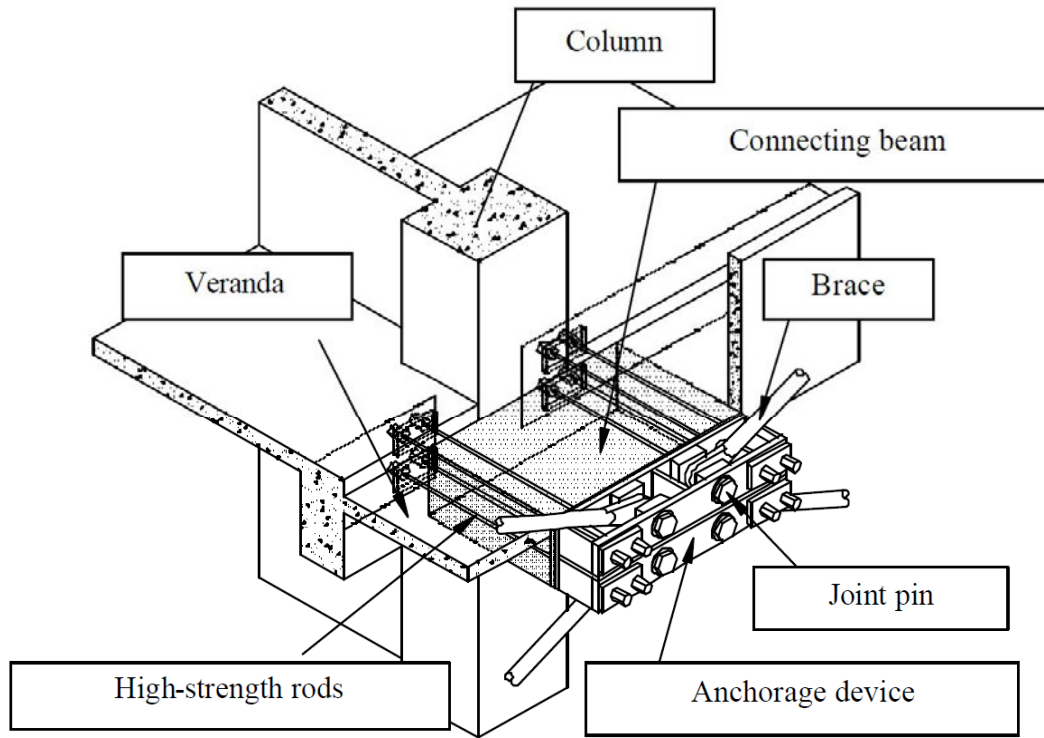


Figure 1 Outline of strengthening method

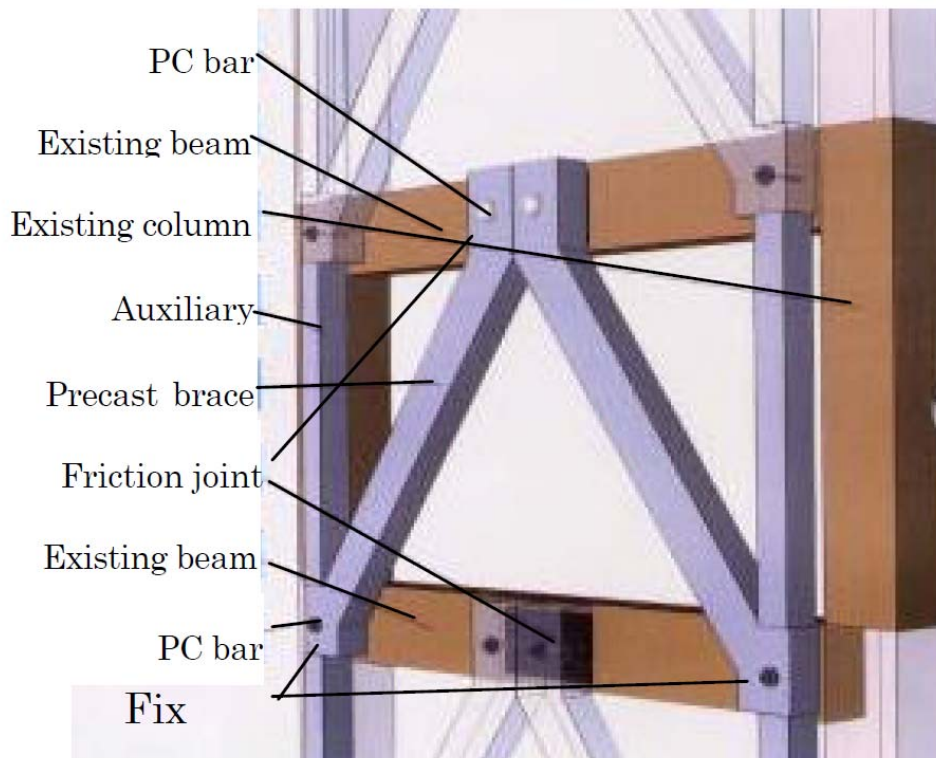
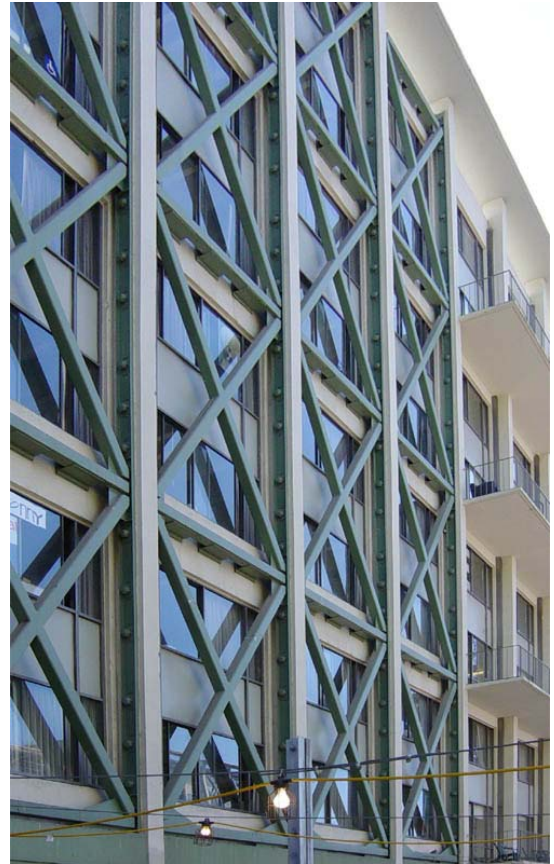


Fig.1 Model of seismic upgrading by PCa brace

Infill shear trusses

University of California dormitory,
Berkeley



The earthquake-resistant retrofit was conducted at the same time as the layout change and equipment renewal when the construction of the adjacent annex was complete. The building was retrofitted in incremental steps of one-third the height at a time while it was in use, with consideration given to the environment (safety, vibration and noise control).



Figure 1 Before the retrofit



Figure 2 After the retrofit

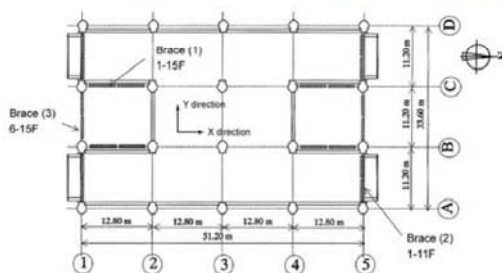


Figure 3 Floor plan

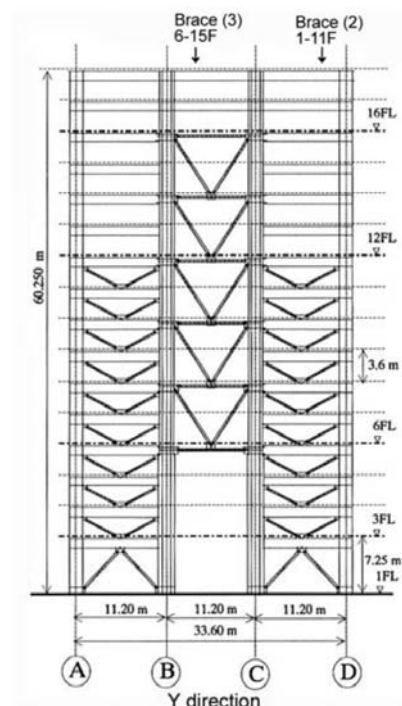
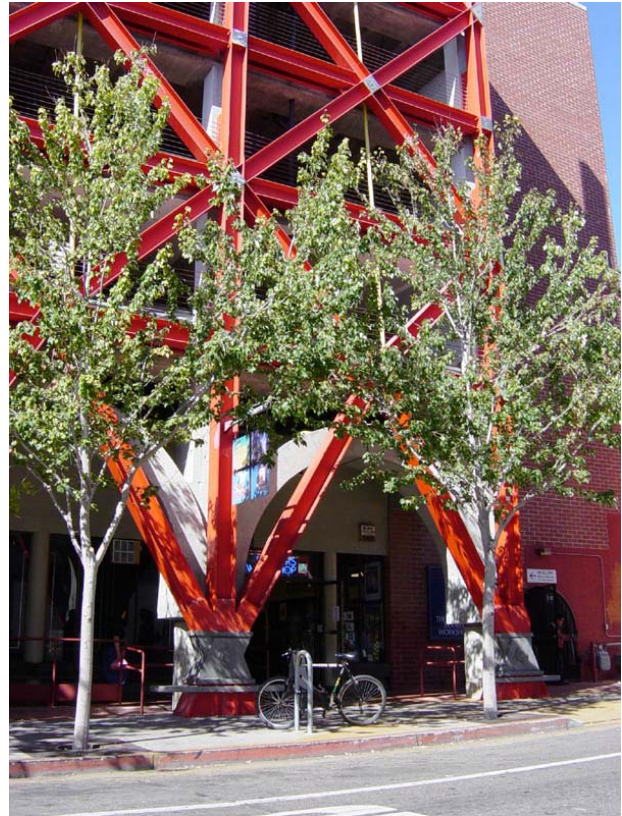


Figure 4 Framing elevation

External bracing

External bracing of an existing reinforced concrete parking garage (Berkeley)



Port Authority Bus Terminal



Outer Steel Truss



2018/11/17 117

Outer Steel Truss



2018/11/17 118

Infilled Truss



Outer Truss



Bracing Truss



www.alamy.com - EFPPDC

2018/11/17 121

Truss



2018/11/17 122

Exterior Frame Rehabilitation



2018/11/17 123



2018/11/17 124

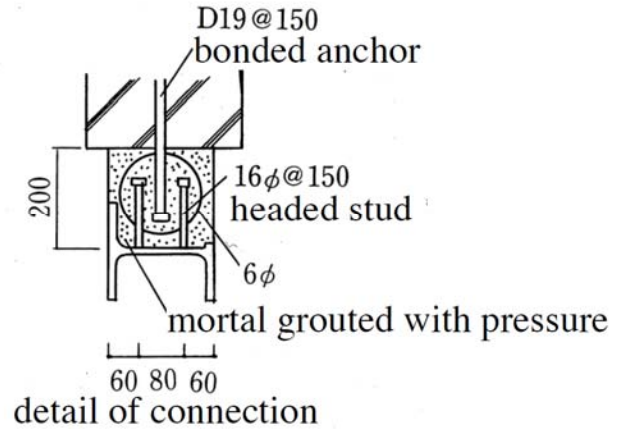
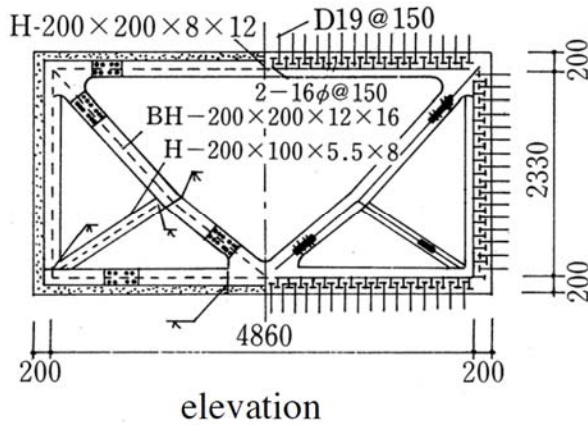
<Retrofitting Construction Works>



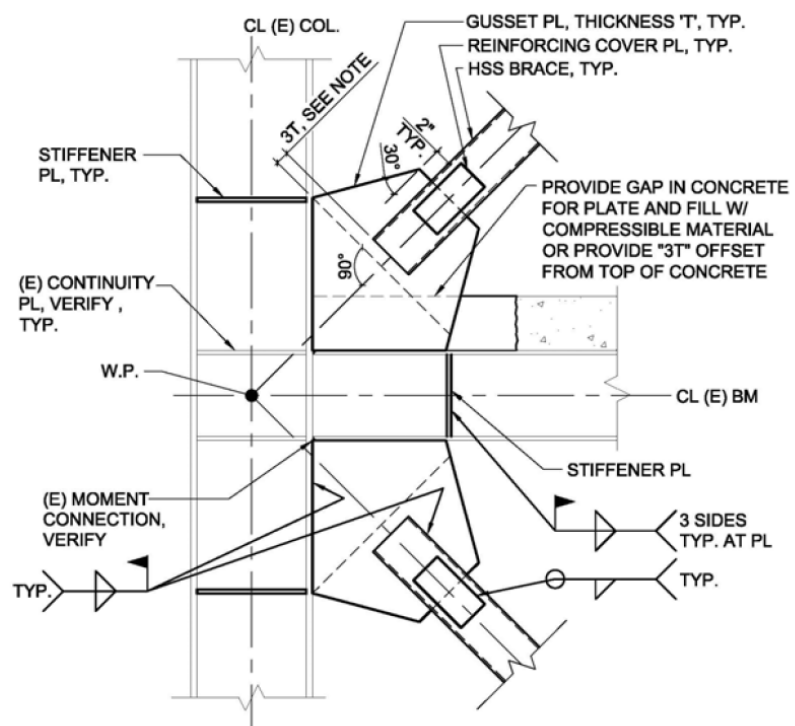
Damping Brac



Steel Brace

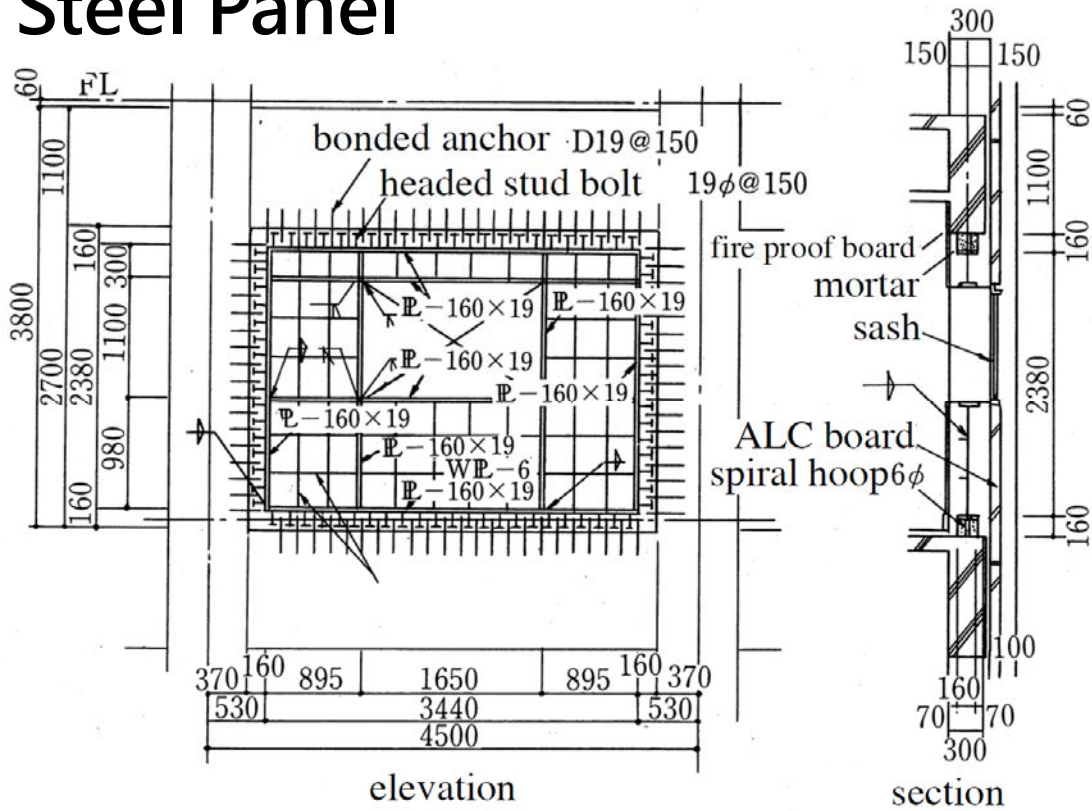


Steel brac

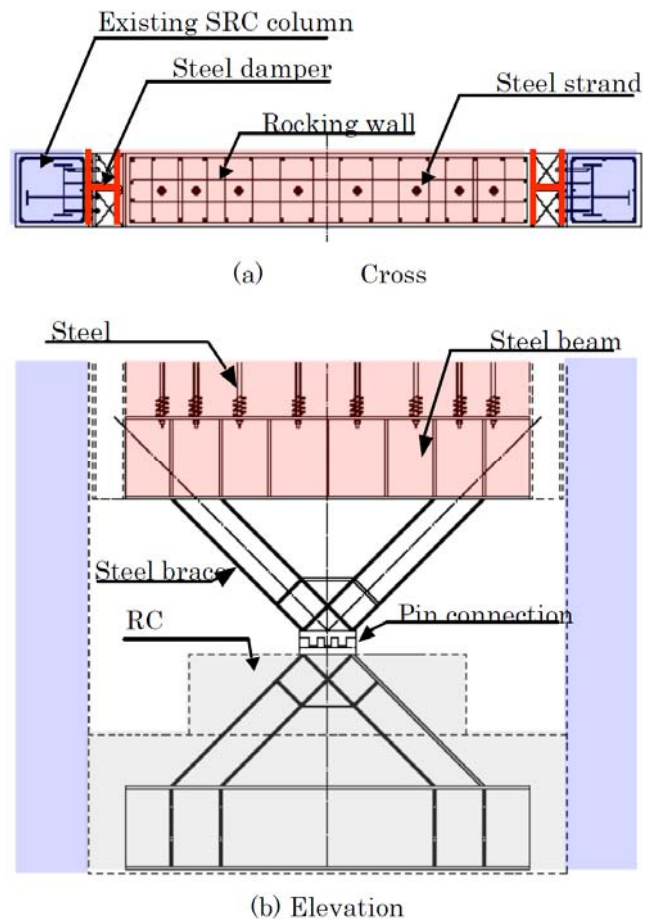


Note:
 AISC recommends 2T to allow for restraint-free plastic rotations.
 3T is shown here to accommodate overcutting of HSS slots.

Steel Panel



Rocking Wall



Seismic Retrofitting Devices

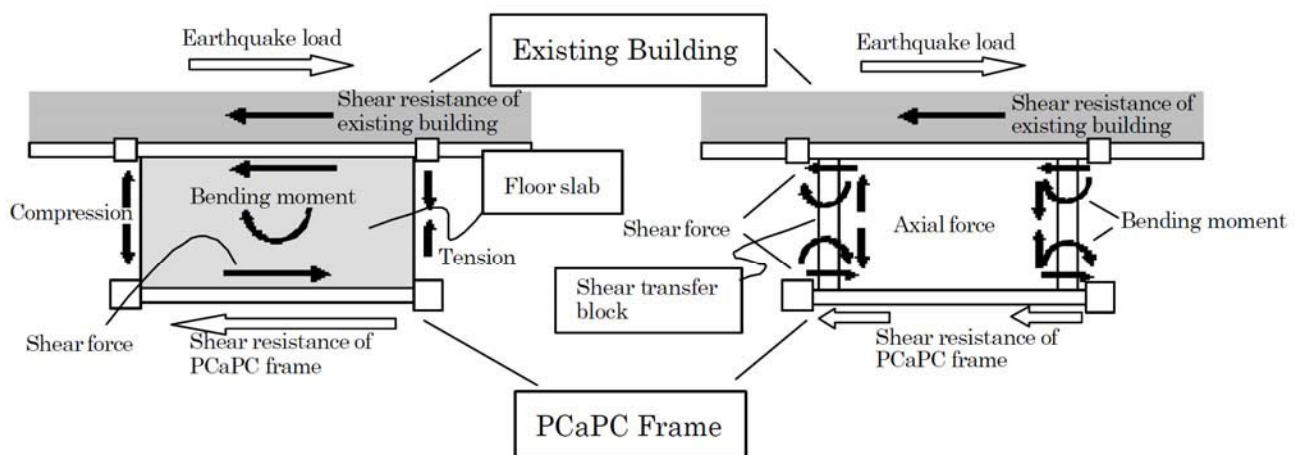
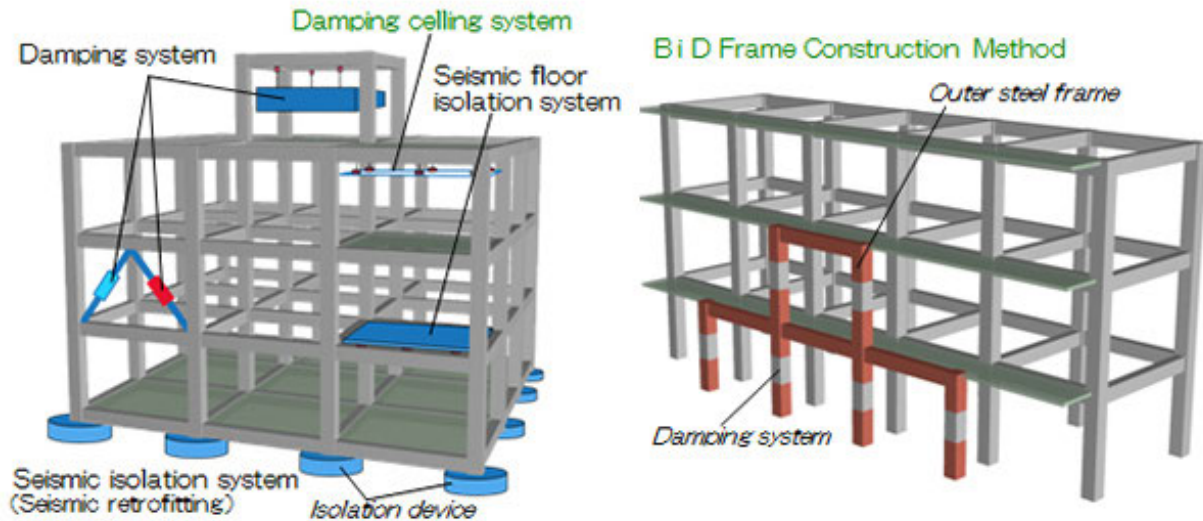


Fig.2 Shear Transfer Mechanisms (plane view)

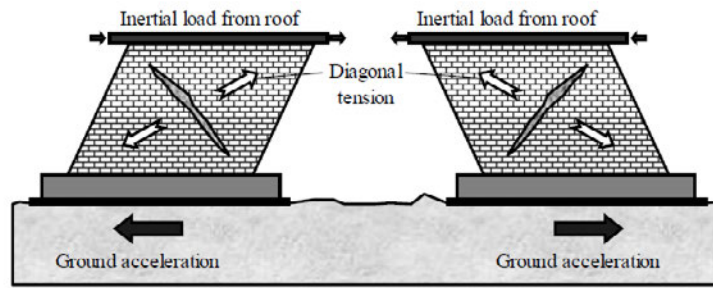


Figure 0.32 Formation of diagonal cracks in a masonry wall due to earthquake



Figure 0.33 Extensive diagonal cracks in masonry walls (Ref: www nicee.org)

剪力牆



Jacketing of Columns

Steel



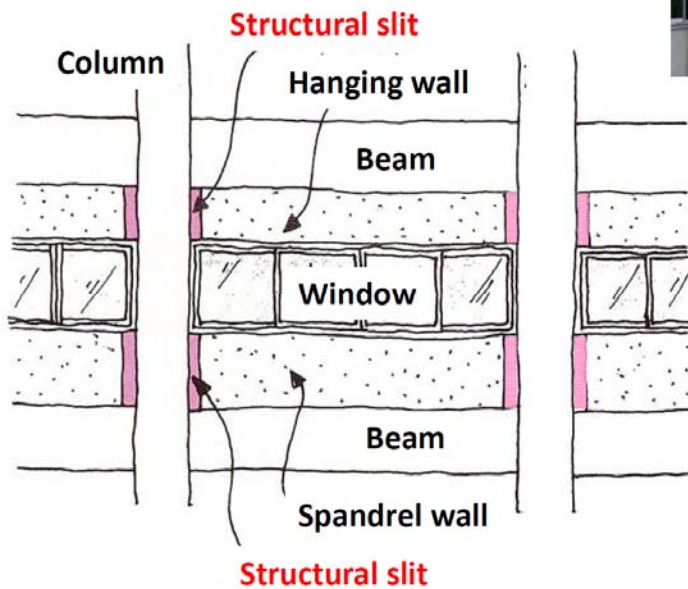
RC



FRP (Fiber Reinforced Plastic)

Structural Slit

Structural slit makes clear height of column and increase its ductility.



Shear Failure on Short Column (2004 Niigata-ken Chuetsu EG)

Examples of Seismic Retrofitting



Office building



Bank

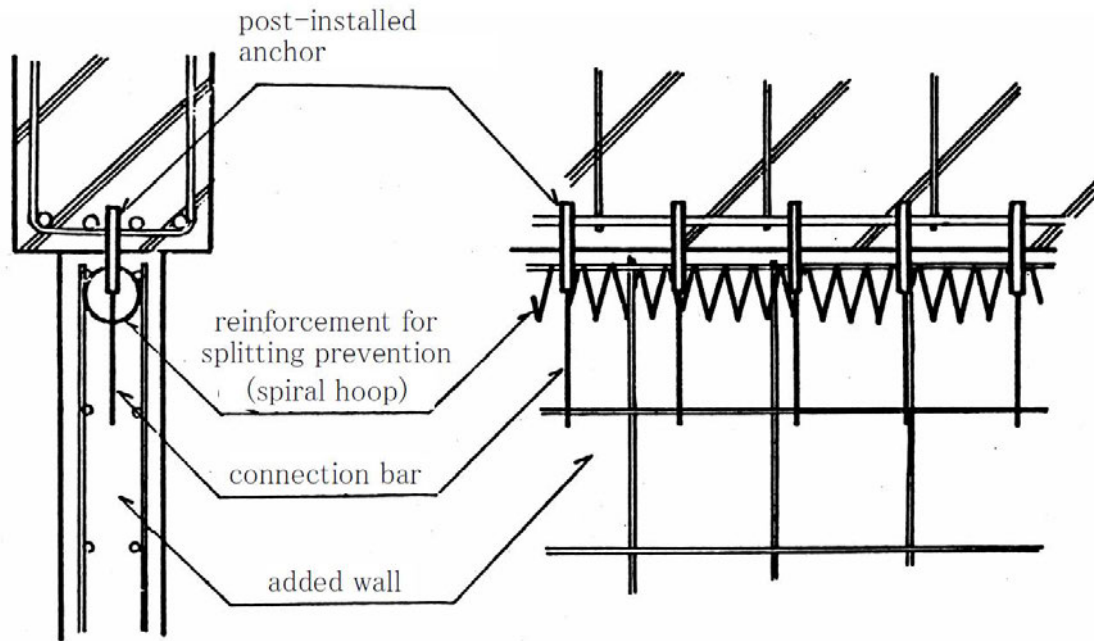


School

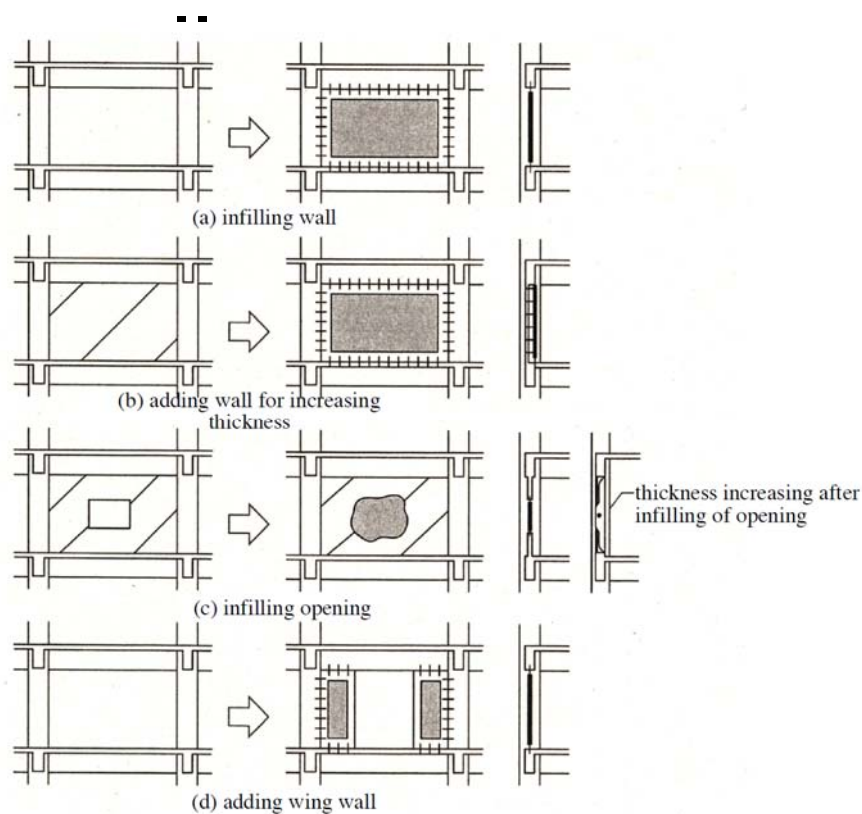
Increasing Strength by Adding a Structural Wall



Spiral hoop reinforcement against splitting failure



Construction methods for adding



Foundation Failure



2018/11/17 141

Acceleration-induced damage



(a) Falling of ceiling at story levels 28, 21, 14, etc.



(b) Movement of copy machine at story level 25



(c) Falling of books at story level 25



(d) Elevator cable damage (other building)

2018/11/17 142

櫥櫃傾倒



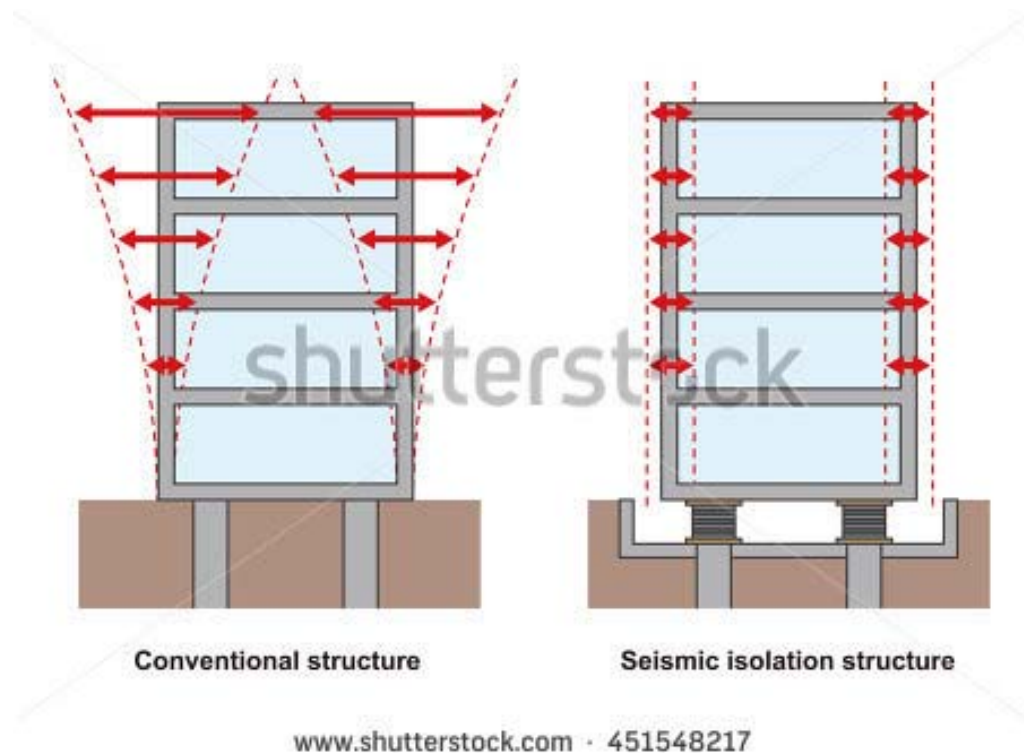
2018/11/17 143

櫥櫃傾倒

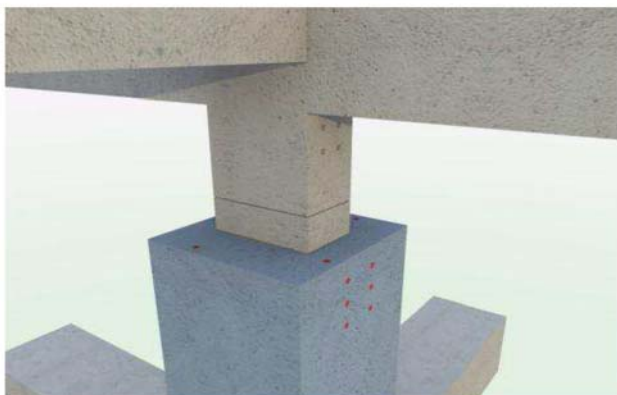


2018/11/17 144

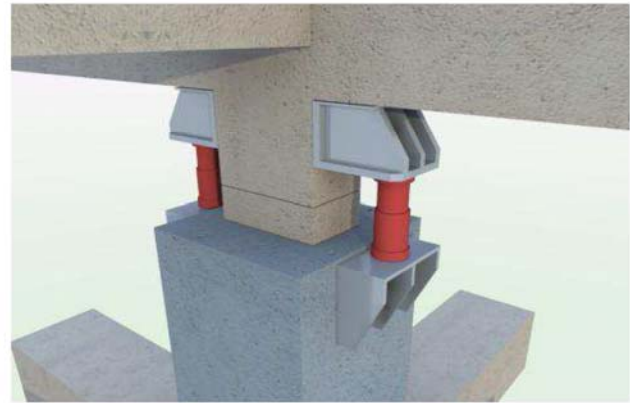
Seismic Isolation Structures



Retrofit by Isolated Bearing (1)



Retrofit by Isolated Bearing (2)



2018/11/17 147

Retrofit by Isolated Bearing (3)



2018/11/17 148

Retrofit by Isolated Bearing (4)



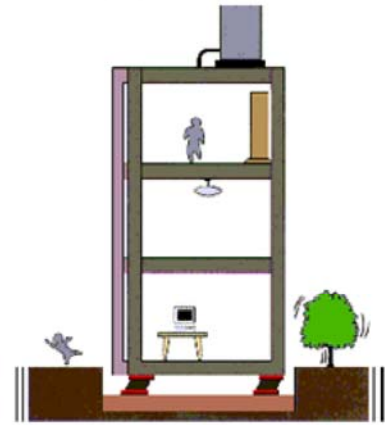
2018/11/17 149

Retrofit by Isolated Bearing (5)

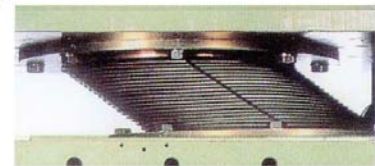


2018/11/17 150

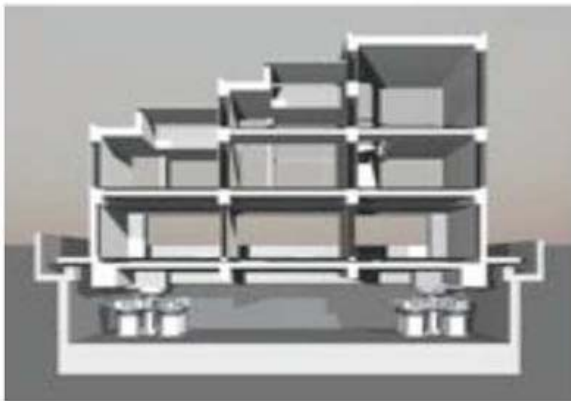
Seismic Retrofitting by Seismic Base Isolation System



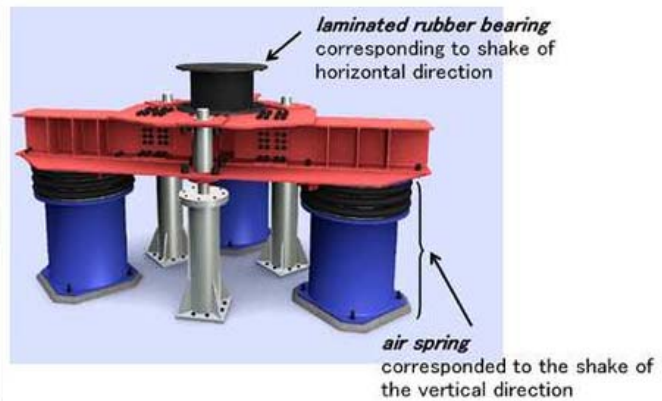
Base Isolation
Device



Isolated Structure Devices



a)



b)

TMD



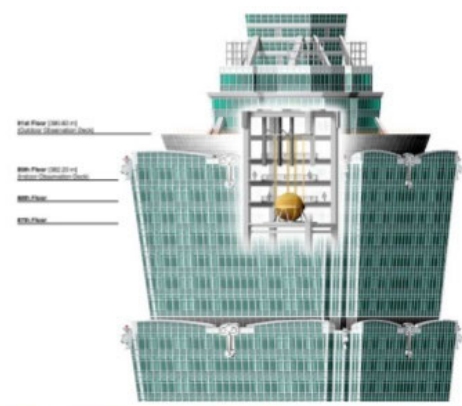
Una bola de 660 toneladas, suspendida con cables en el piso 92, estabiliza el edificio.

Estructura de acero

Cables

Al moverse el edificio en una dirección, la inmensa bola de metal se mece en la otra dirección, absorbiendo la energía y limitando el movimiento de la estructura.

Taipei 101 Financial Tower - Taipei, Taiwan



23

簡報完畢

敬請指教

