

建築物實施耐震能力評估及補強講習會

耐震補強工法及應用介紹

報告人:廖文義

108年11月16日

報告內容

- (1) 鋼筋混凝土建築結構耐震補強技術與施作細節對耐震能力影響。
- (2) 既有建築物防倒塌階段性耐震補強與設計方法。

現有之相關手冊



(NCREE)



日本建築防災協會

參考研究資料

☆ 「含開口RC牆構架試驗」

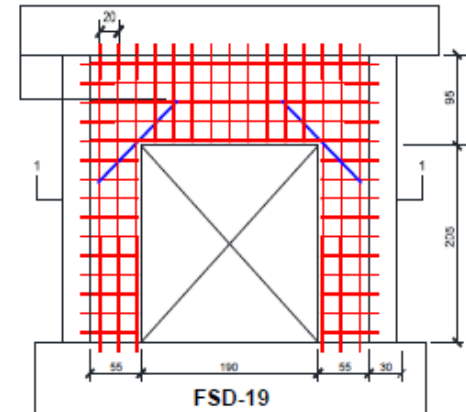
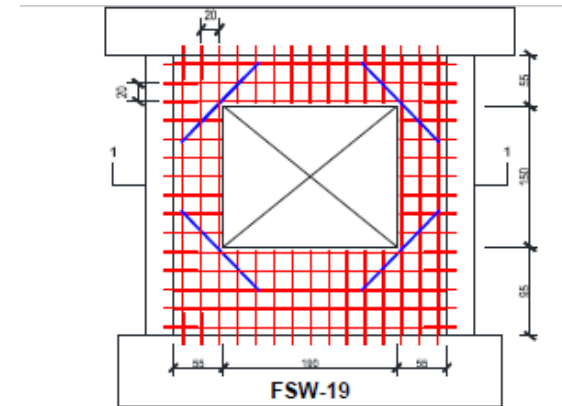
- 國震中心、建研所、臺灣大學等之試驗
- 試驗探討及分析公式與模型
- 日本資料匯整提出模型

☆ 「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(鋼筋銹蝕、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

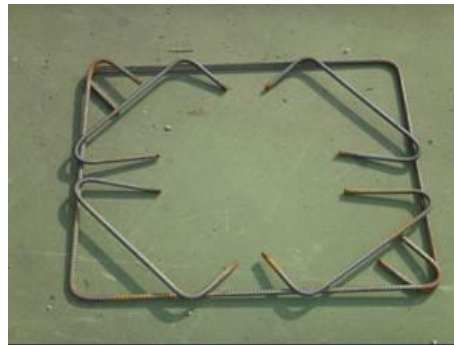
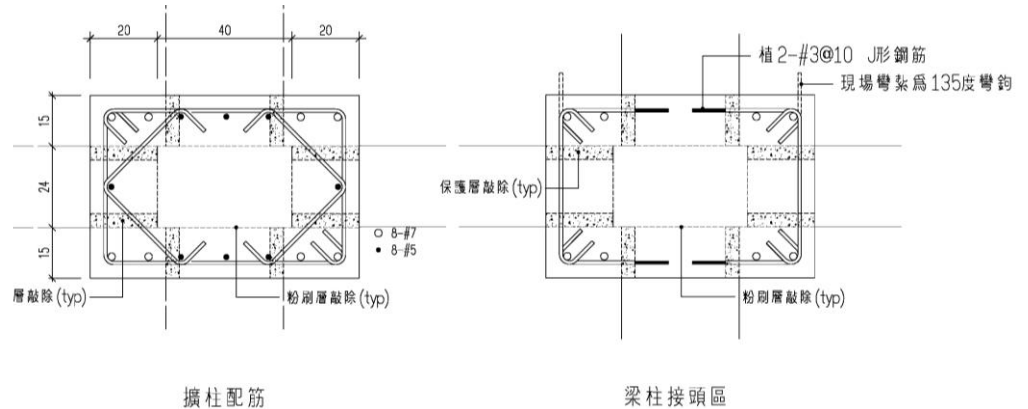
增設翼牆補強

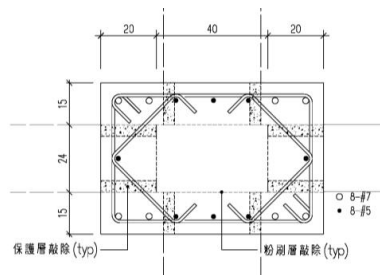
RC包覆韌性補強

柱包覆鋼板補強

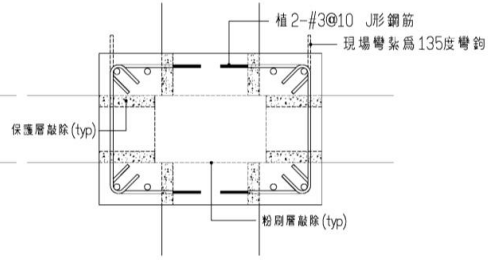
碳纖維(CFRP)包覆補強

加強磚造結構之補強

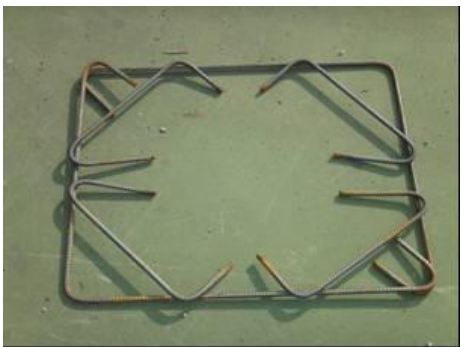




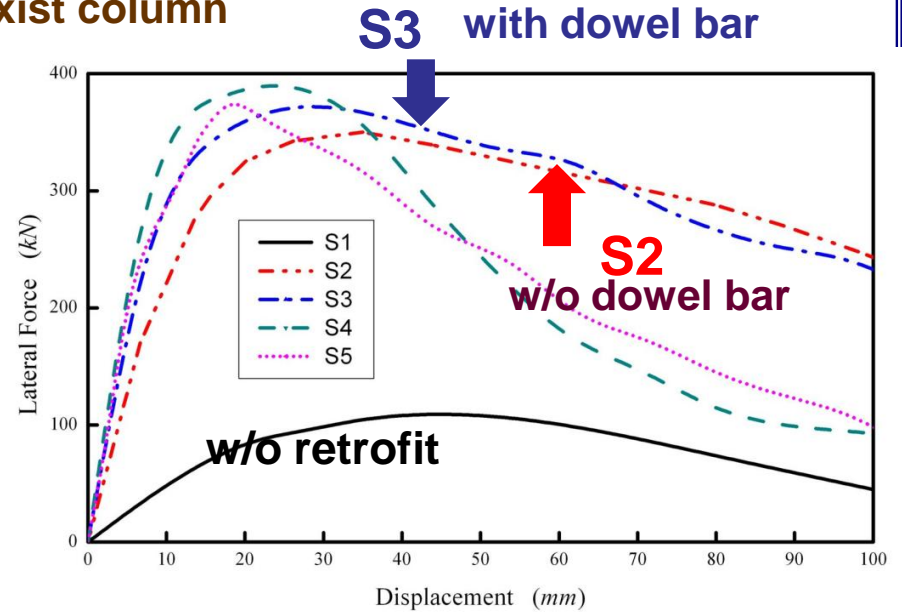
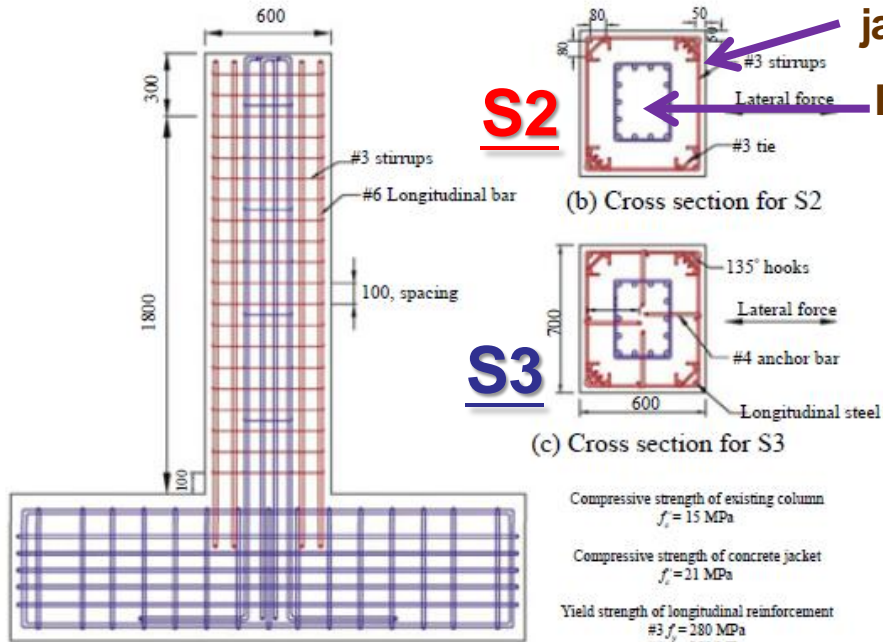
擴柱配筋



梁柱接頭區



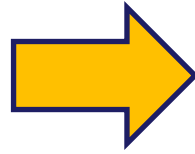
界面錨錠有無之比較試驗

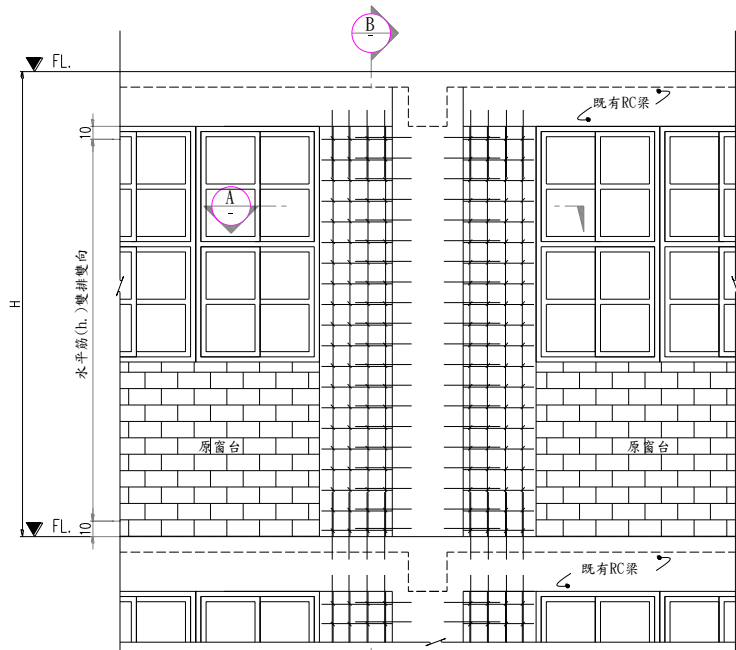


RC擴柱之現地施工



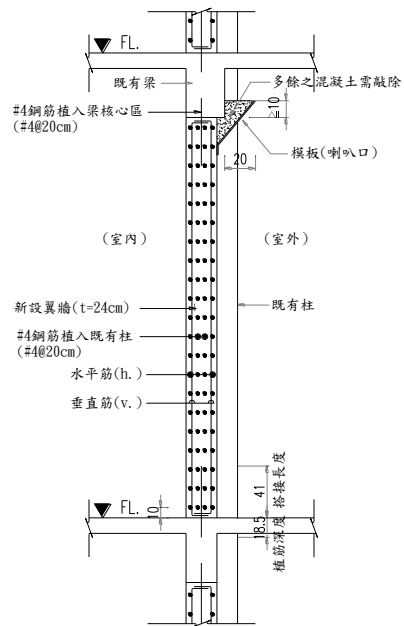
RC擴柱之現地施工





TYPE-B W2 RC翼牆補強詳圖

UNIT=cm, S=N. T. S.



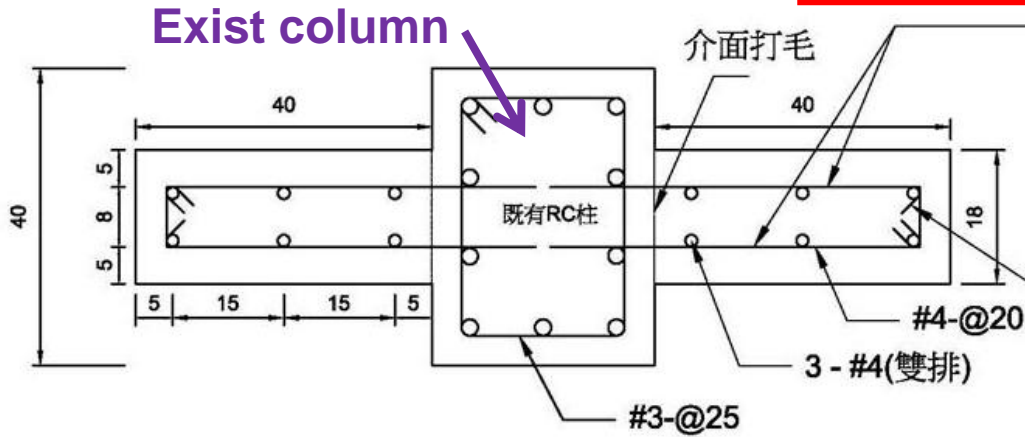
斷面圖

UNIT=cm, S=N. T. S.



台灣與日本翼牆施作之比較

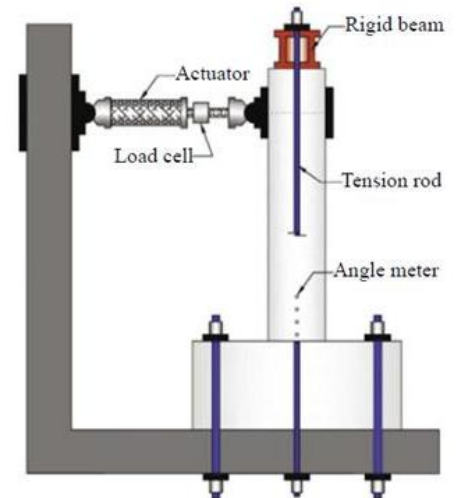
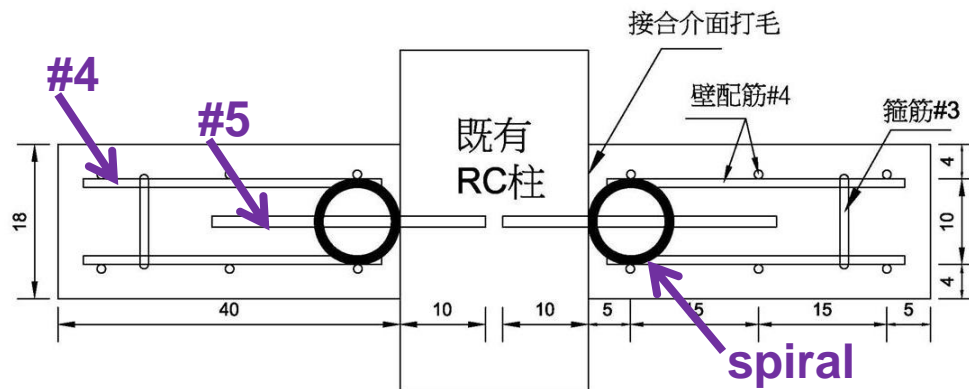
Specimen S4 (Taiwan):



#4



Specimen S5 (Japan):



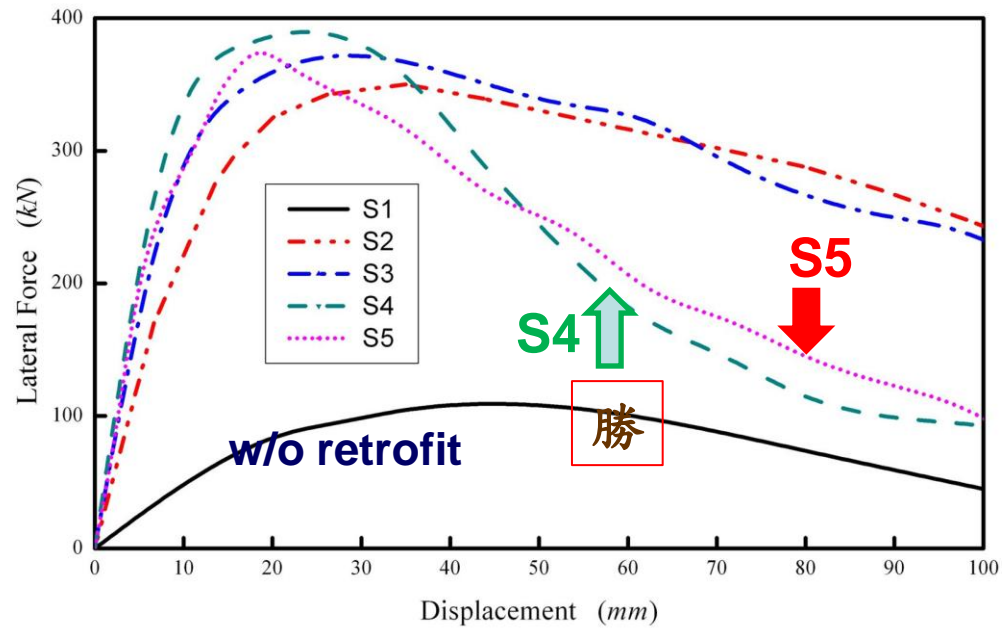
反覆加載 測試結果



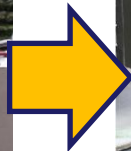
Failure status
S5 (Japan)



Failure status
S4 (Taiwan)



RC翼牆之現地施工



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

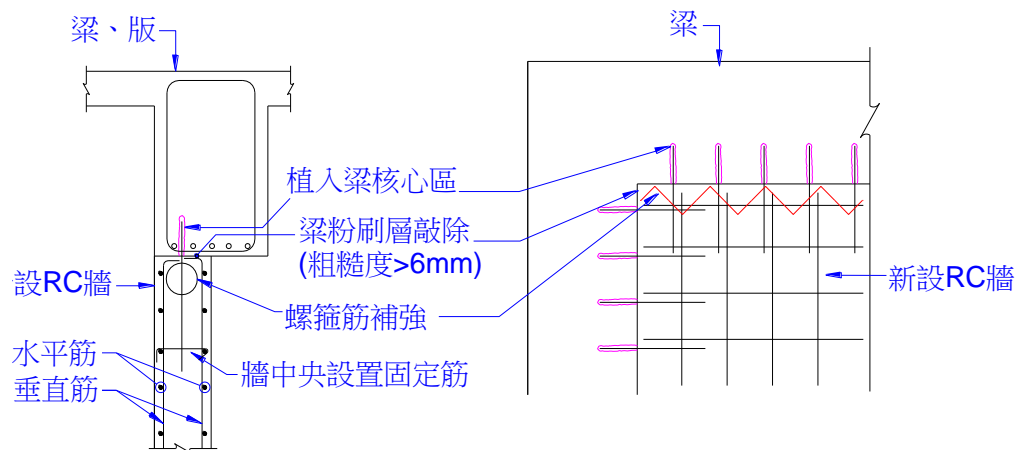
鋼造斜撐或鋼板剪力牆

挫屈束制支撐

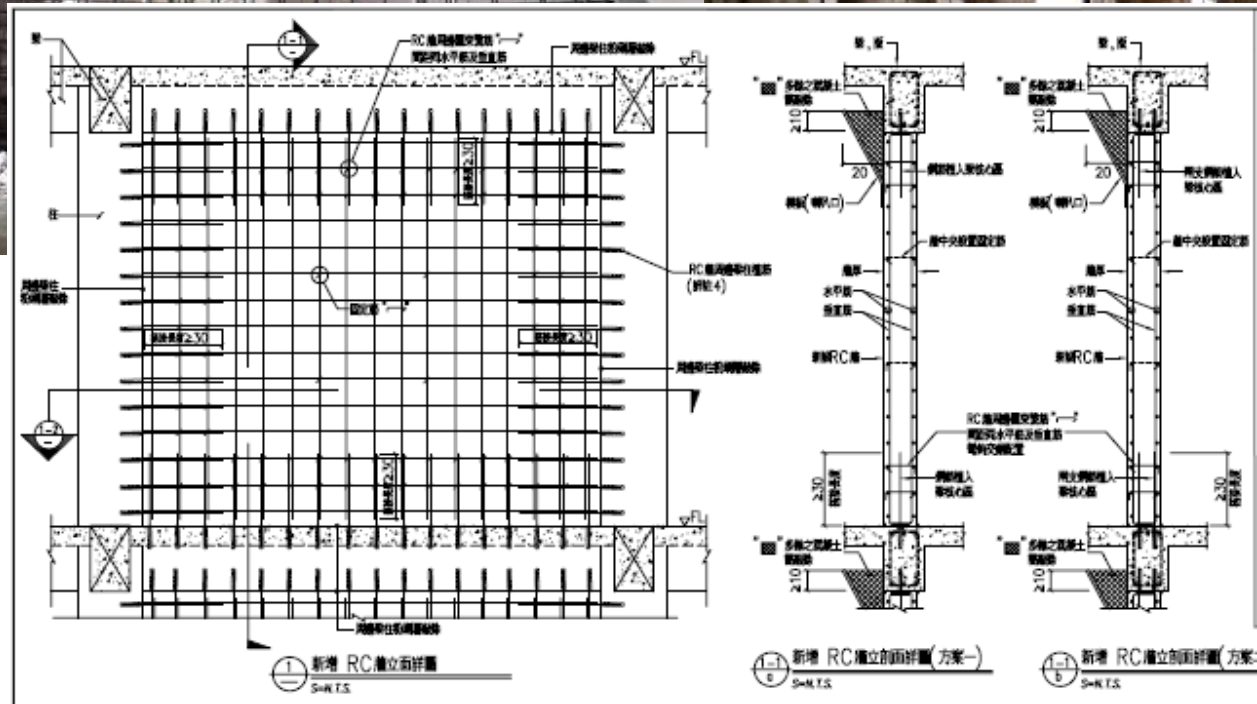
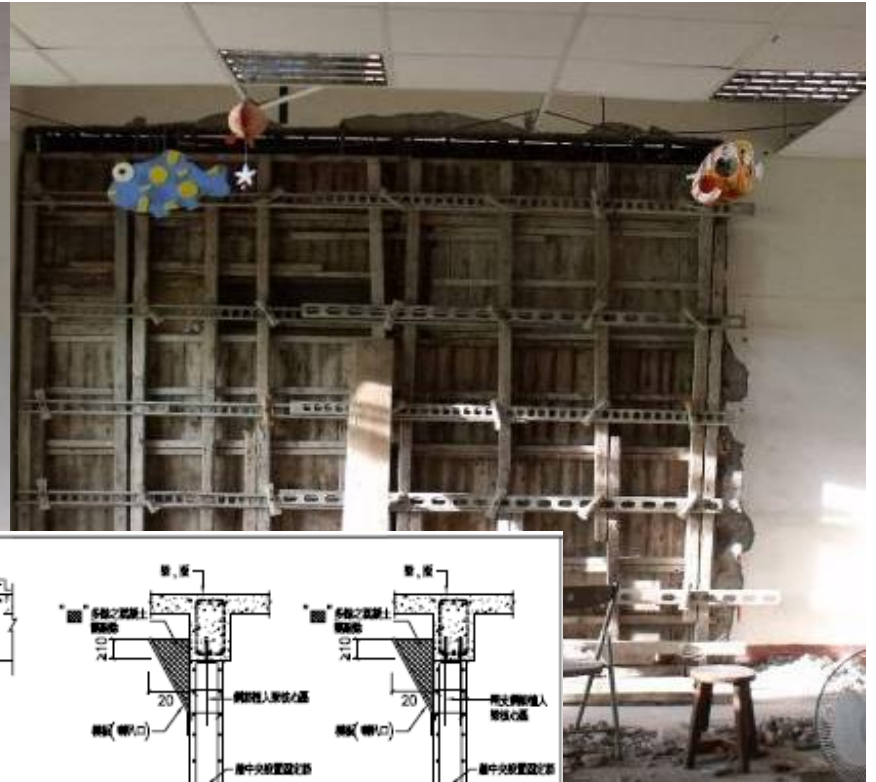
消能補強

其他補強技術

非結構構材

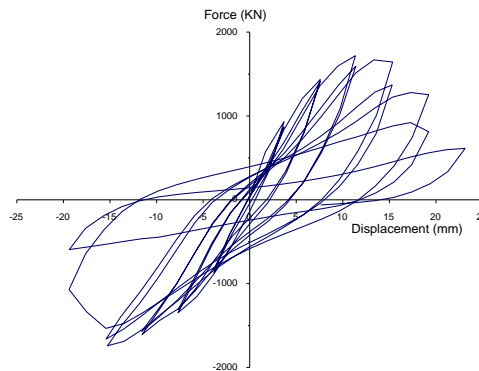
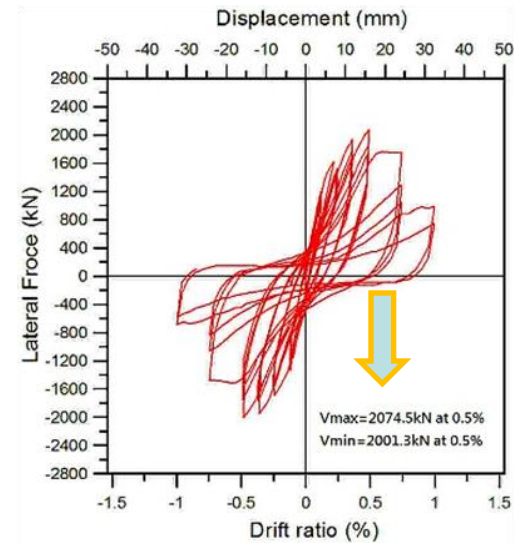
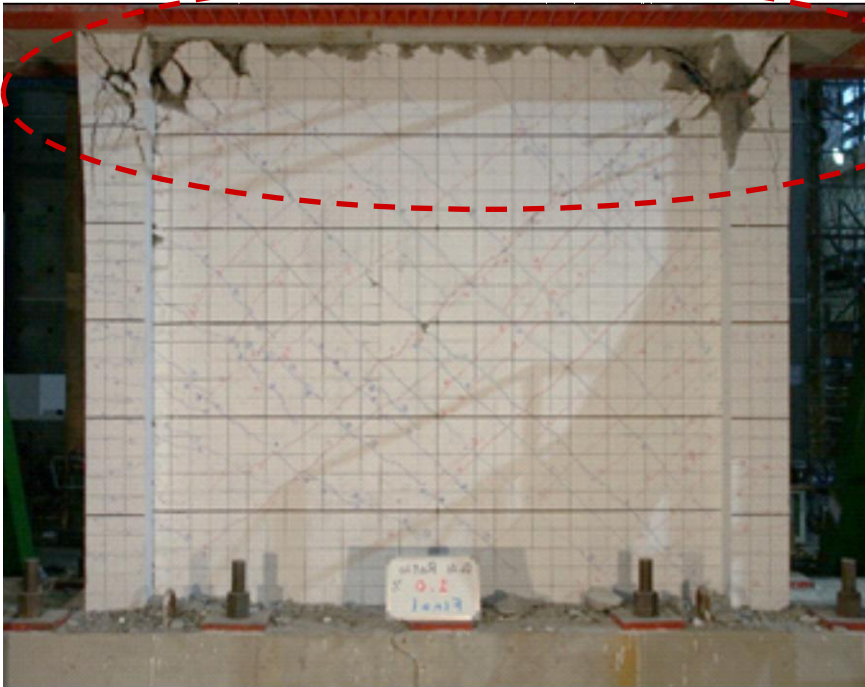


問題探討 (RC wall)



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)

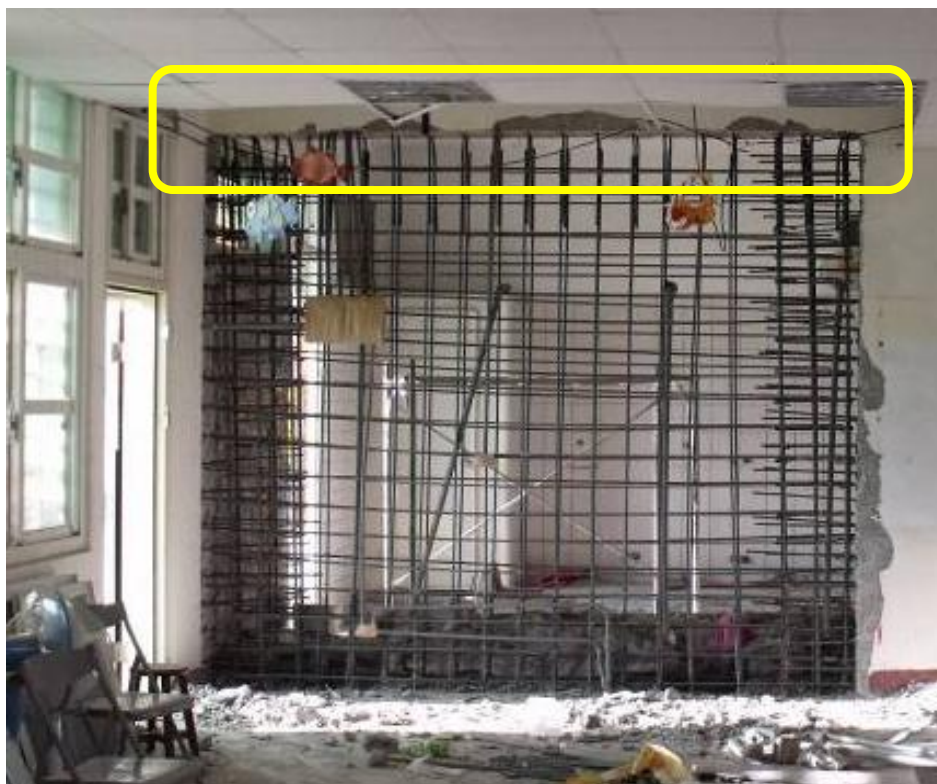
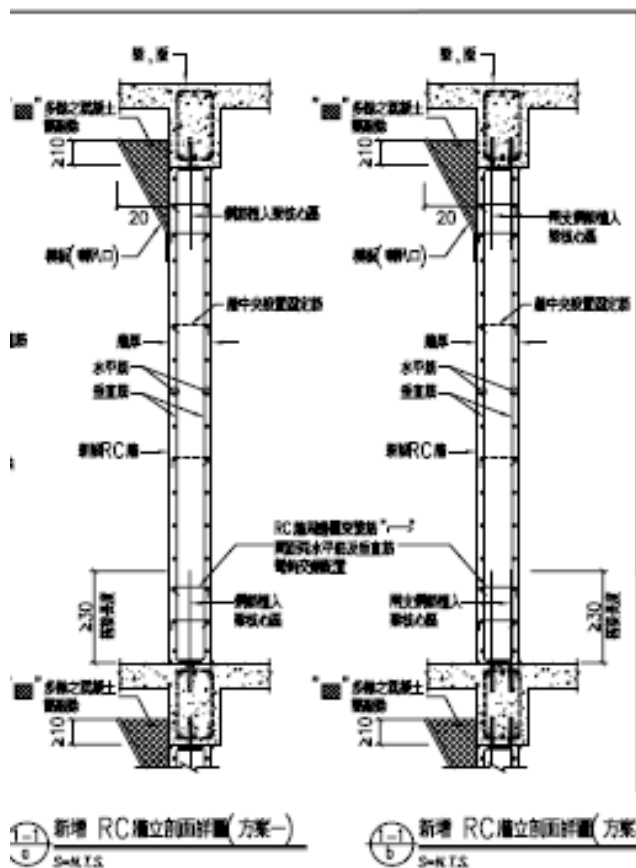


安和國小補強之剪力牆於311地震中破壞照片

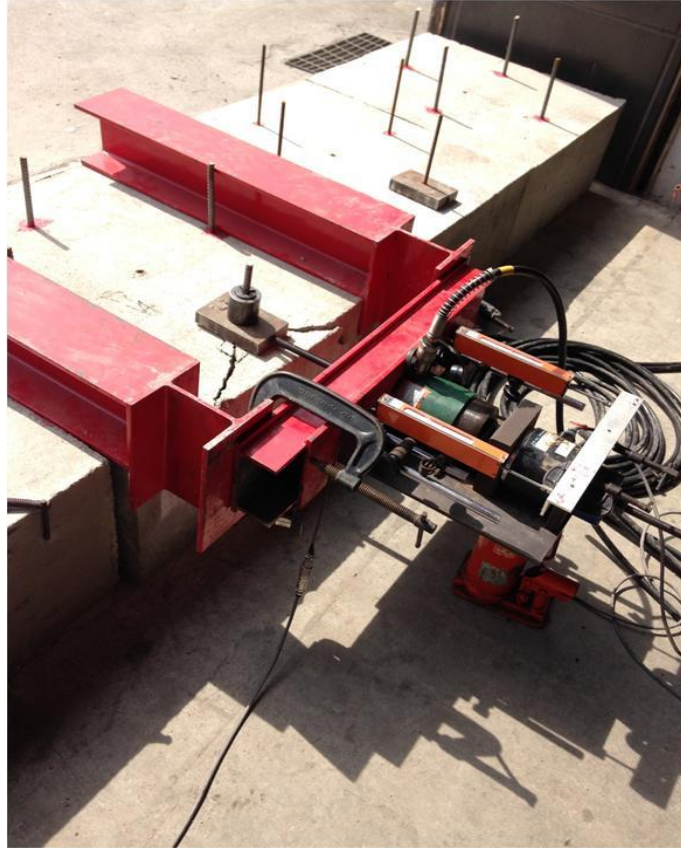
低強度混凝土($f_c'=50-100 \text{ kgf/cm}^2$)植筋剪力強度試驗

- 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)



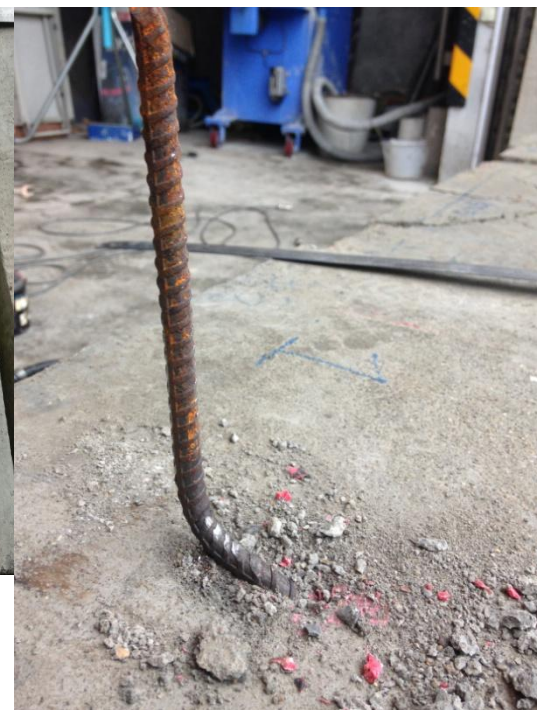
鋼材剪斷



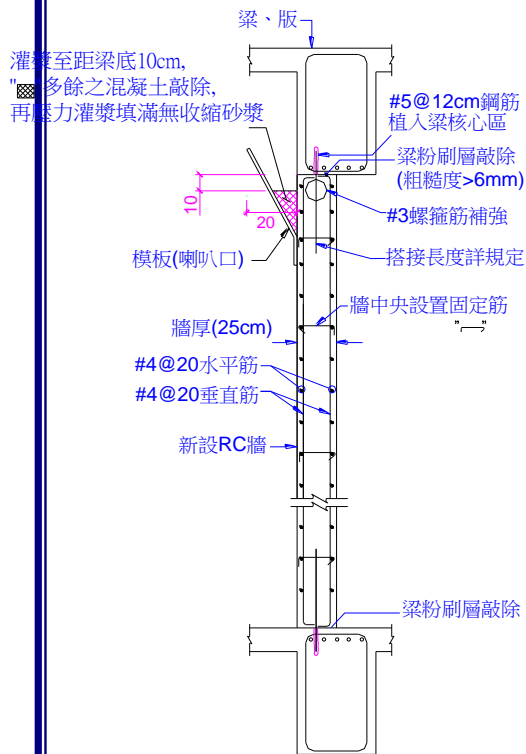
邊距破壞



混凝土翹破

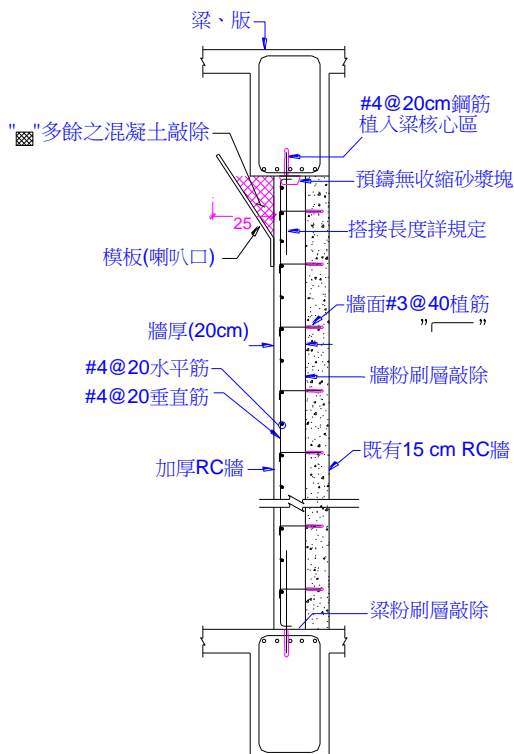


建議:增設RC牆細部



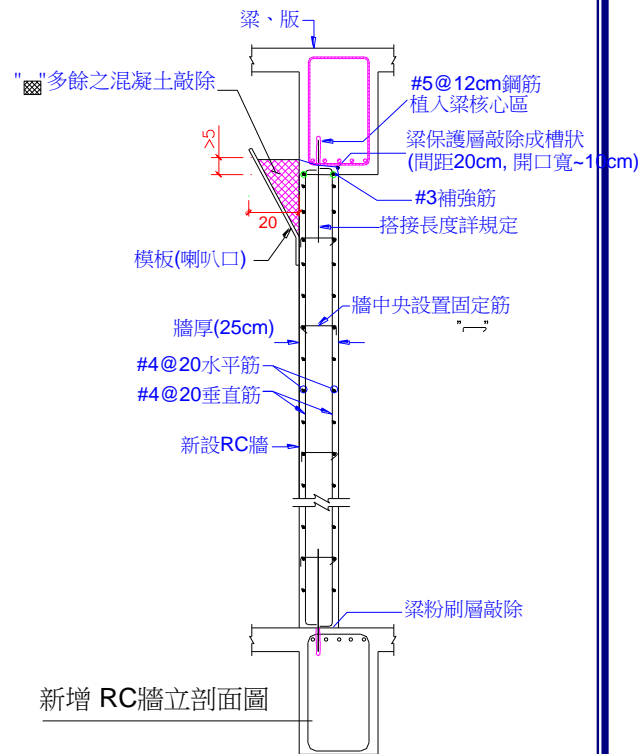
A 新增 RC 牆立剖面圖
SCALE: none UNIT: cm

螺旋筋補強



C 新增 RC 牆立剖面圖
SCALE: none UNIT: cm

砂漿塊補強

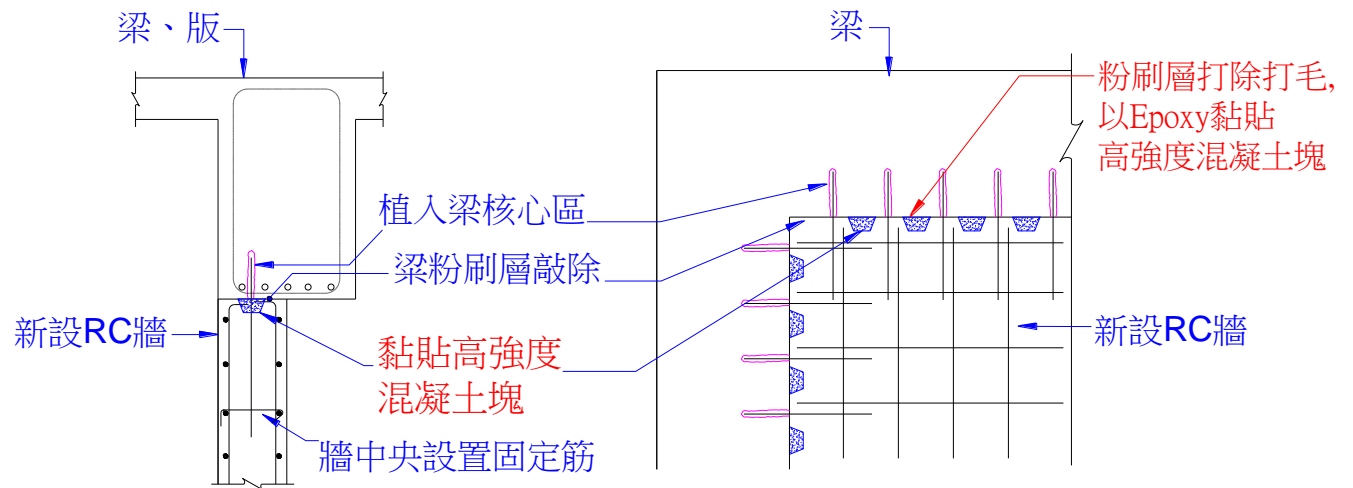
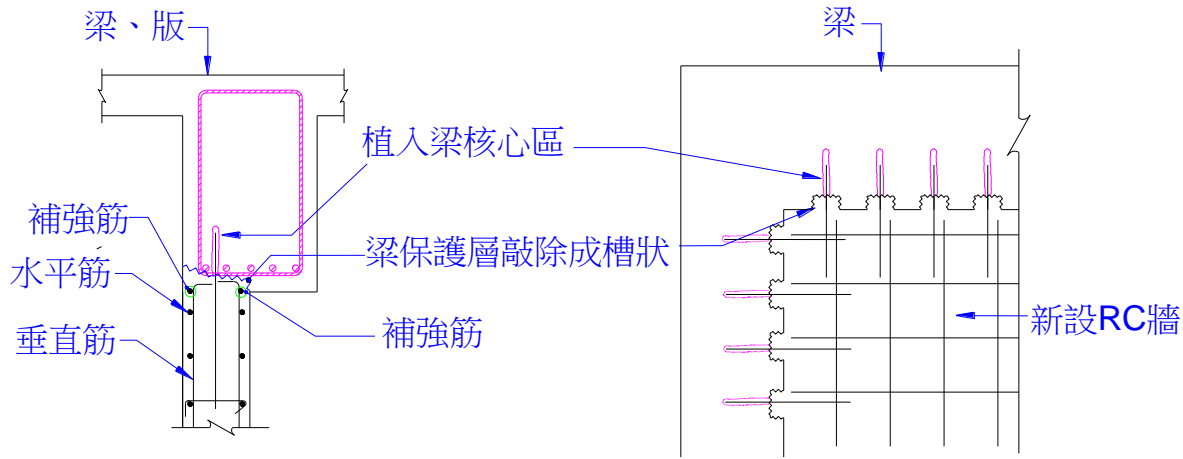


新增 RC 牆立剖面圖

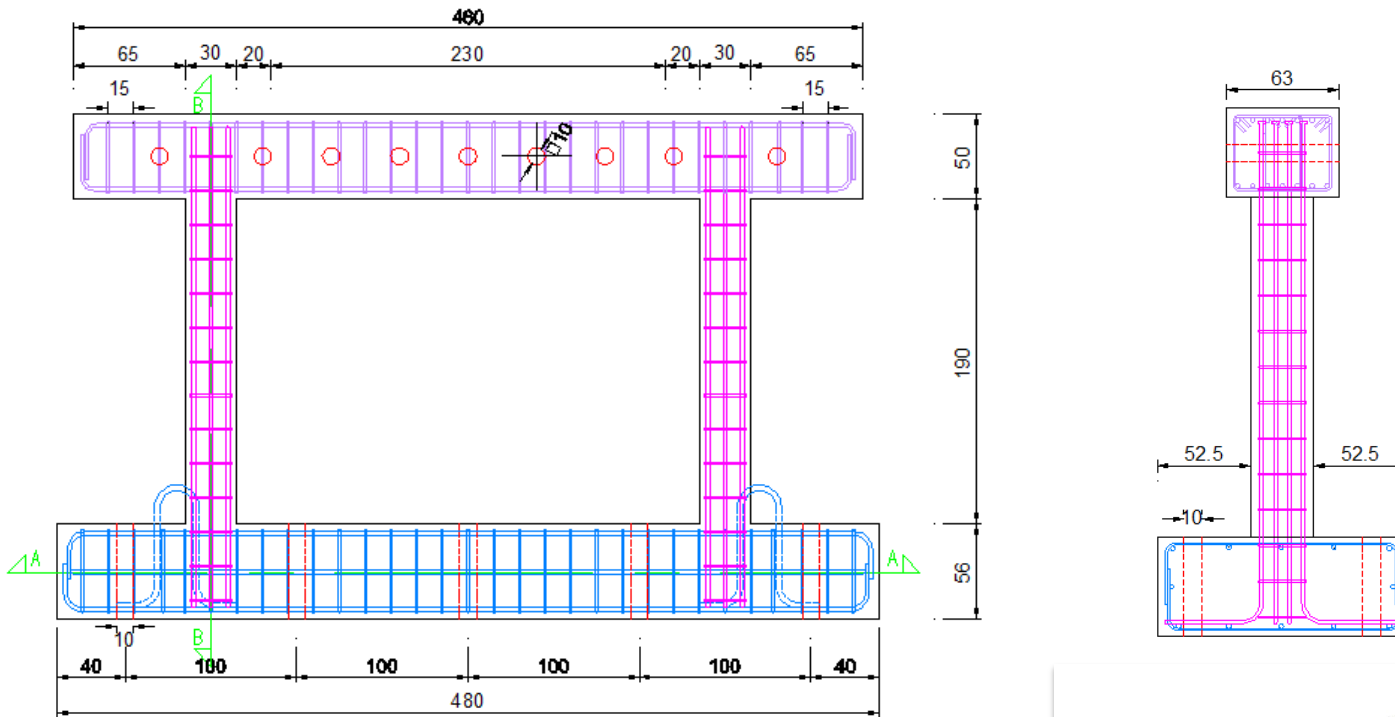
E 新增 RC 牆立剖面圖
SCALE: none UNIT: cm

梁敲成槽狀補強

建議：增設RC牆細部



試驗試體設計 (pure frame)

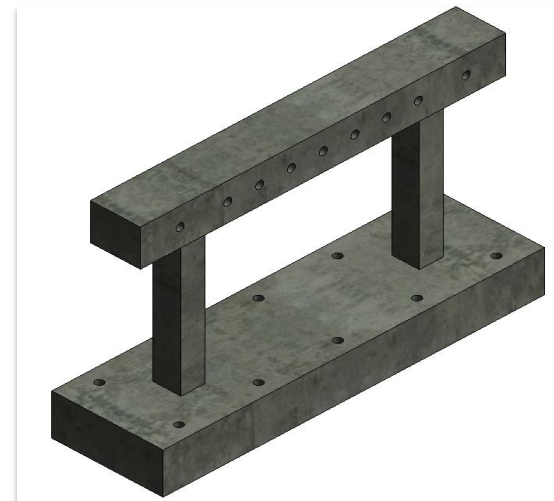


Column : 30x35 cm

Beam : 63x50 cm

$f_c' = 14$ Mpa for exist structure, and 28 Mpa for wall.

Yielding strength of rebar = 280 Mpa.



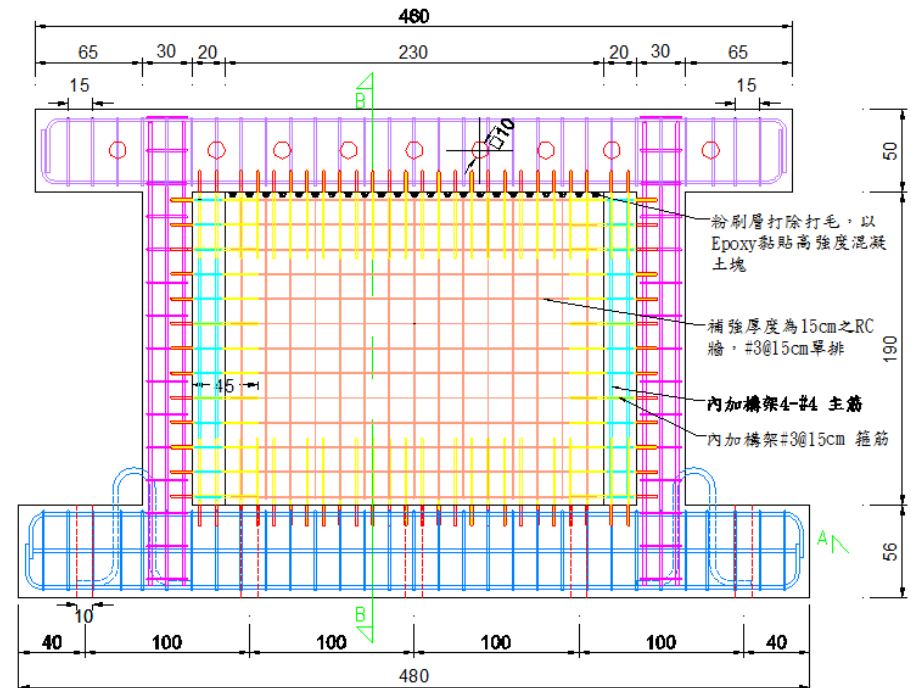
試驗試體設計 (frame + RC wall)

1. 界面锚定材 (#4@10cm) > 墙体钢筋量 (#3@15cm).

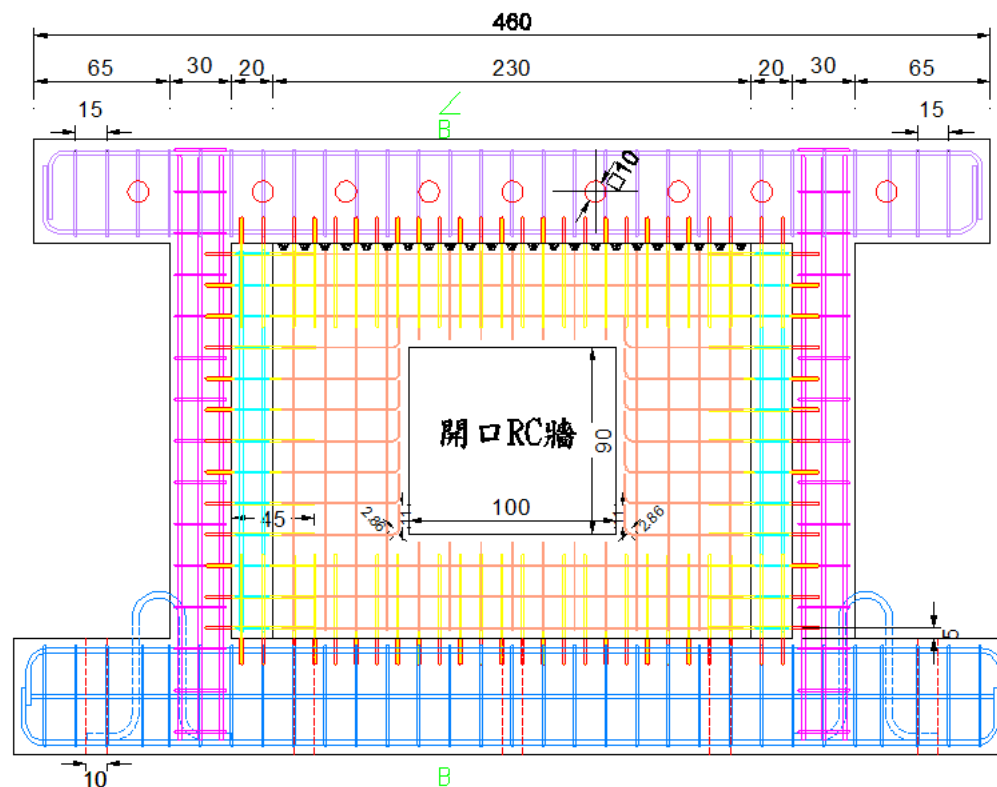
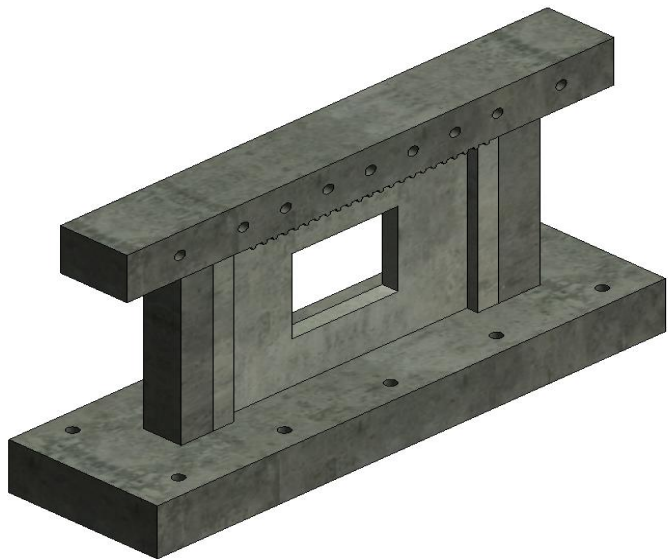
摩擦剪力 V_f > 墙侧向强度 $V_s + V_c$

2. 额外之高强度砂浆块

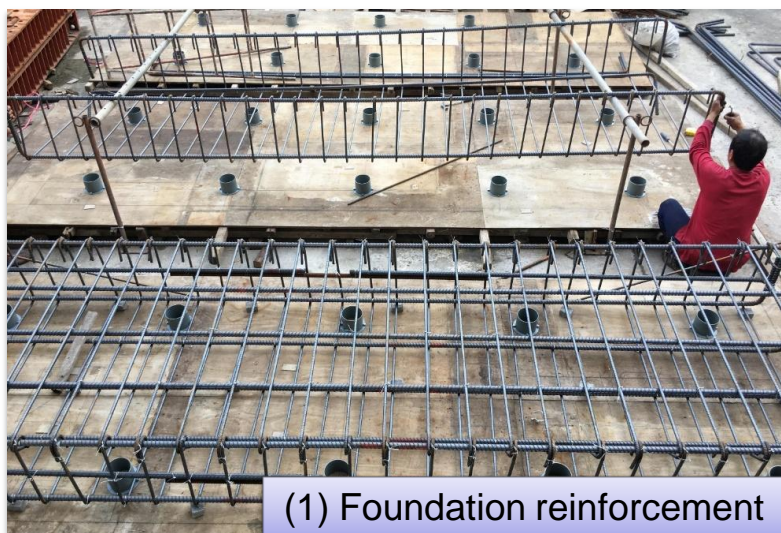
3. 额外之端构材



試驗試體設計 (frame + opening RC wall)



RC剪力牆試體現作(1)



RC剪力牆試體現作(2)



RC剪力牆試體現作(3)



試驗結果與討論 (Pure frame)

Inter-story displacement ratio (drift ratio)

S1

0.5%

2.0%

Crack propagation
documentations



Status overview

The flexural cracks at the top and bottom of the column are gradually increase; some of the flexural cracks gradually turn into shear cracks; and the maximum crack width is 0.5 mm.

The shear cracks at the top and bottom of the column appear rapidly. The maximum crack width is about 3 mm in the column. At this drift, the maximum lateral force is reached and the overall lateral stiffness begins to gradually decrease.

試驗結果與討論 (PF + Wall)

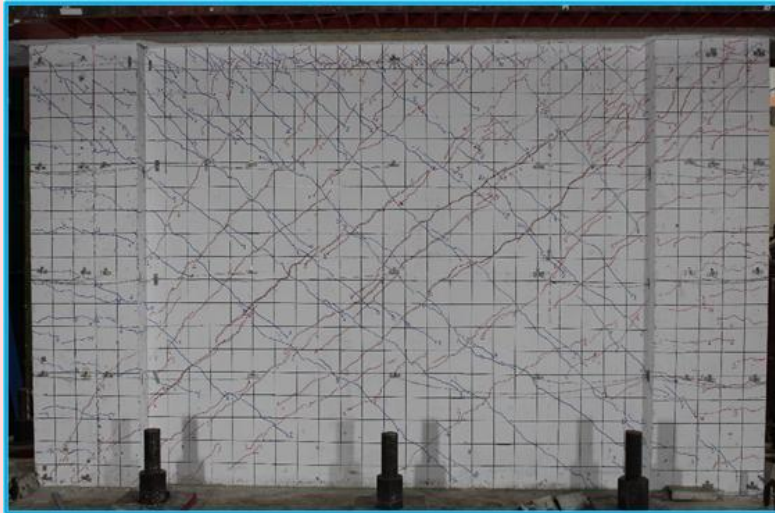
Inter-story displacement ratio (drift ratio)

S2

0.5%

1.5%

Crack propagation
documentations



Status overview

The shear crack of the wall spreads to the top and bottom of the column. The flexural crack in the end of the column continues to increase. The maximum shear crack width is 4 mm in the diagonal direction of the wall panel.

The shear cracks of the wall continue to enlarged; spalling of concrete; slightly buckling of.
At this drift, the lateral force dropped to about 30% of the maximum and the test is stopped.

試驗結果與討論(PF + Wall with opening)

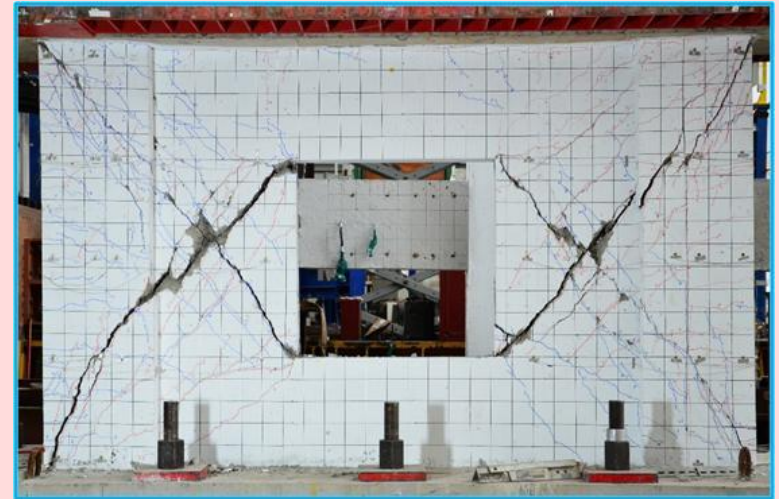
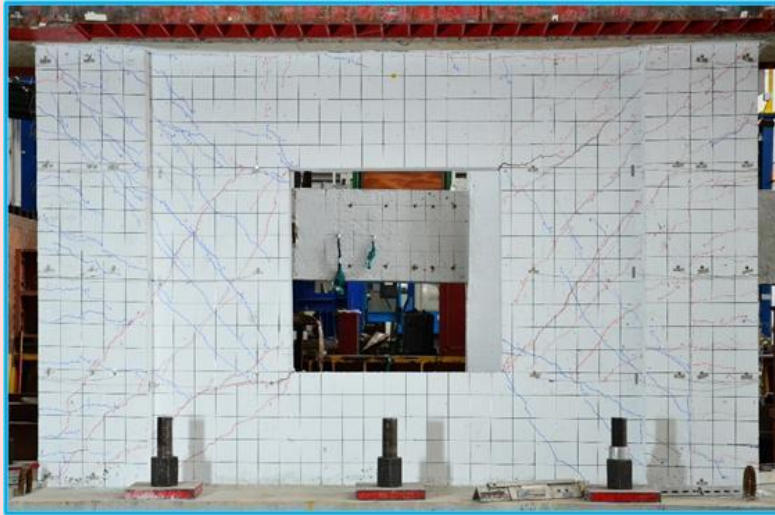
Inter-story displacement ratio (drift ratio)

S3

0.5%

1.0%

Crack propagation
documentations

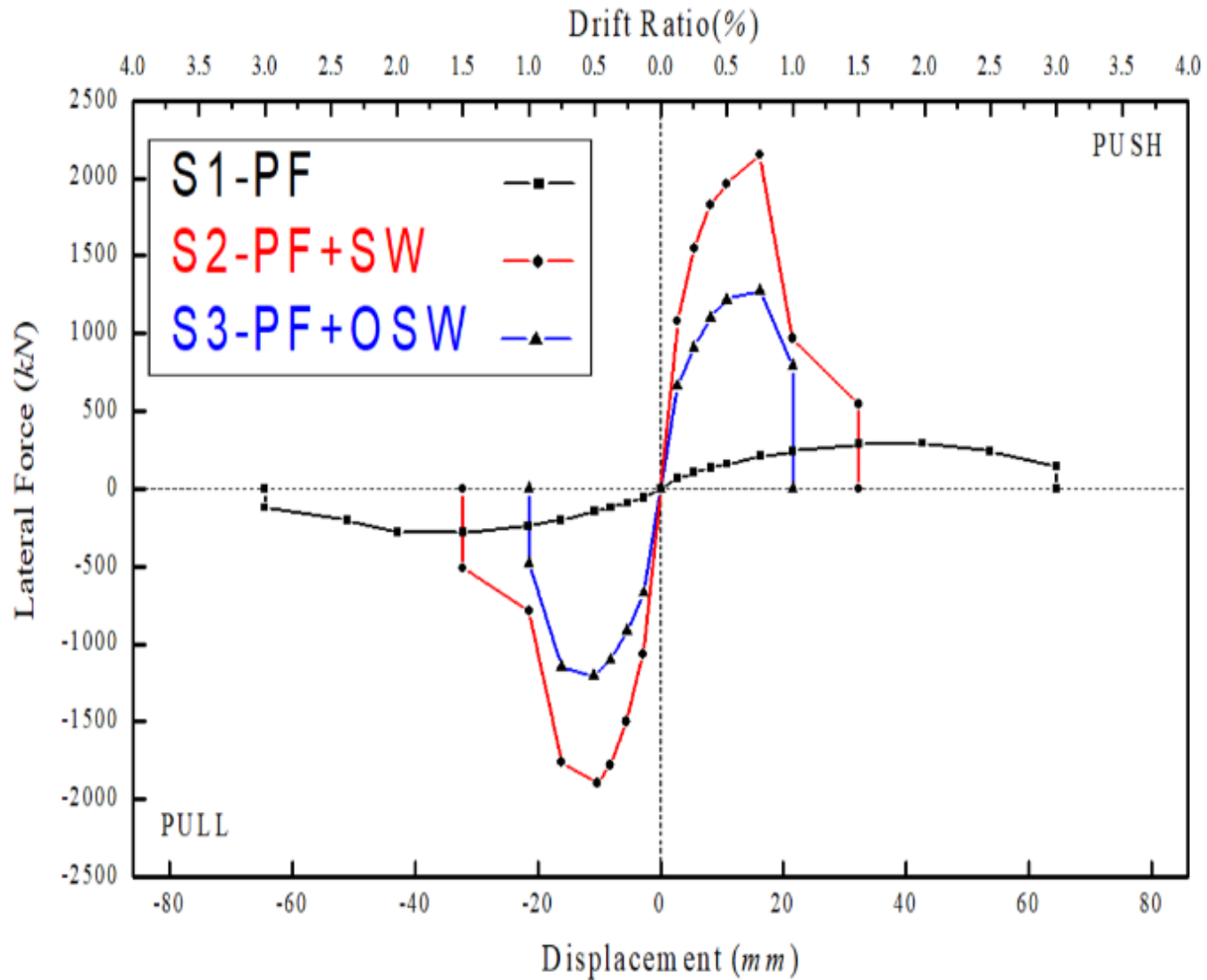


Status overview

The shear cracks of the section on both sides of the opening gradually increase and spread to the column boundary. The maximum shear crack width is 6 mm at the corner of the wall.

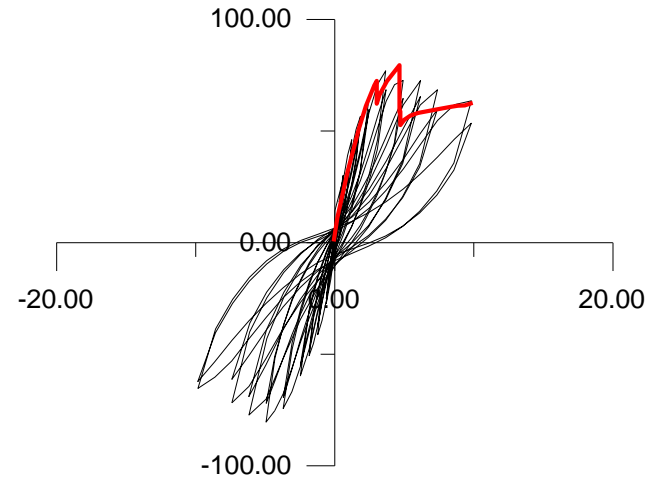
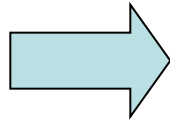
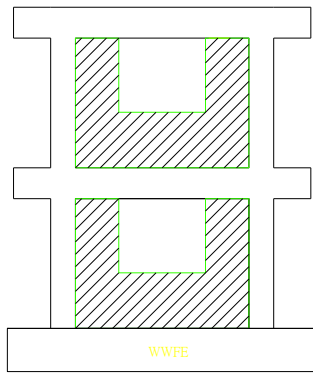
The shear cracks at the corners of the wall continue to enlarge; the concrete is cracked and spalled. At this drift, the lateral force strength dropped to about 60% of the maximum and the test is stopped.

試驗結果 Backbone Curve



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

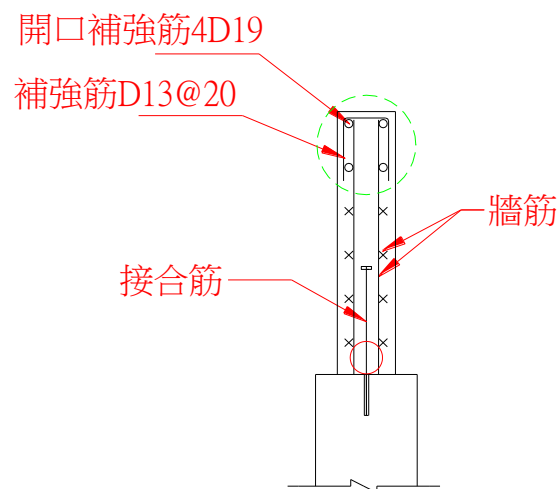
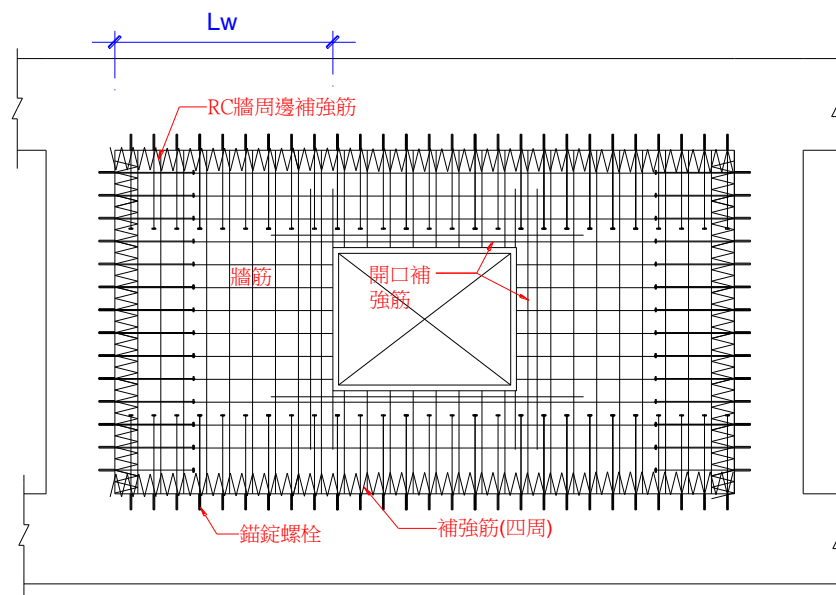
開孔強度折減 $\eta = 1 - \frac{\sum L_i}{L_w}$

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。



短柱破壞行為 (非結構牆造成)

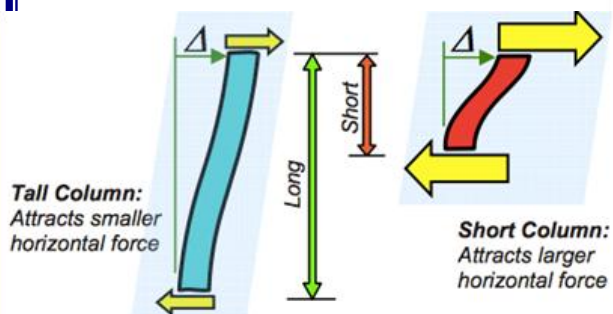


Figure 2: Short columns are stiffer and attract larger forces during earthquakes – this must be accounted for in design.



High window of toilet

Short column at basement vent



Short column of windowsill



短柱破壞行為之試驗



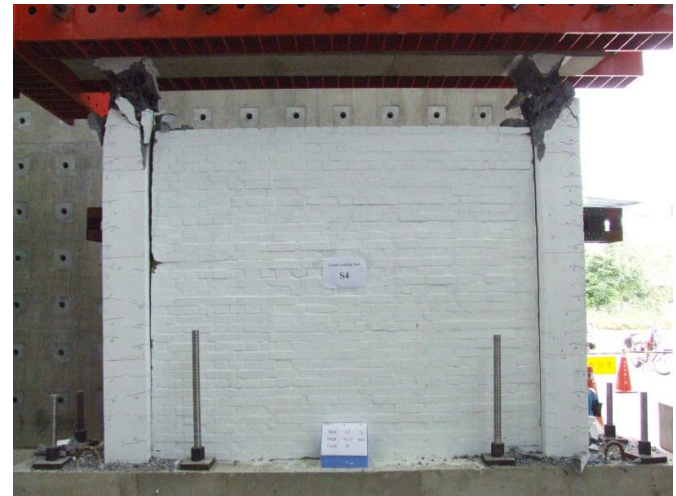
S1 ($H_n/b_w=5$)



S2 ($H_n/b_w=4$)

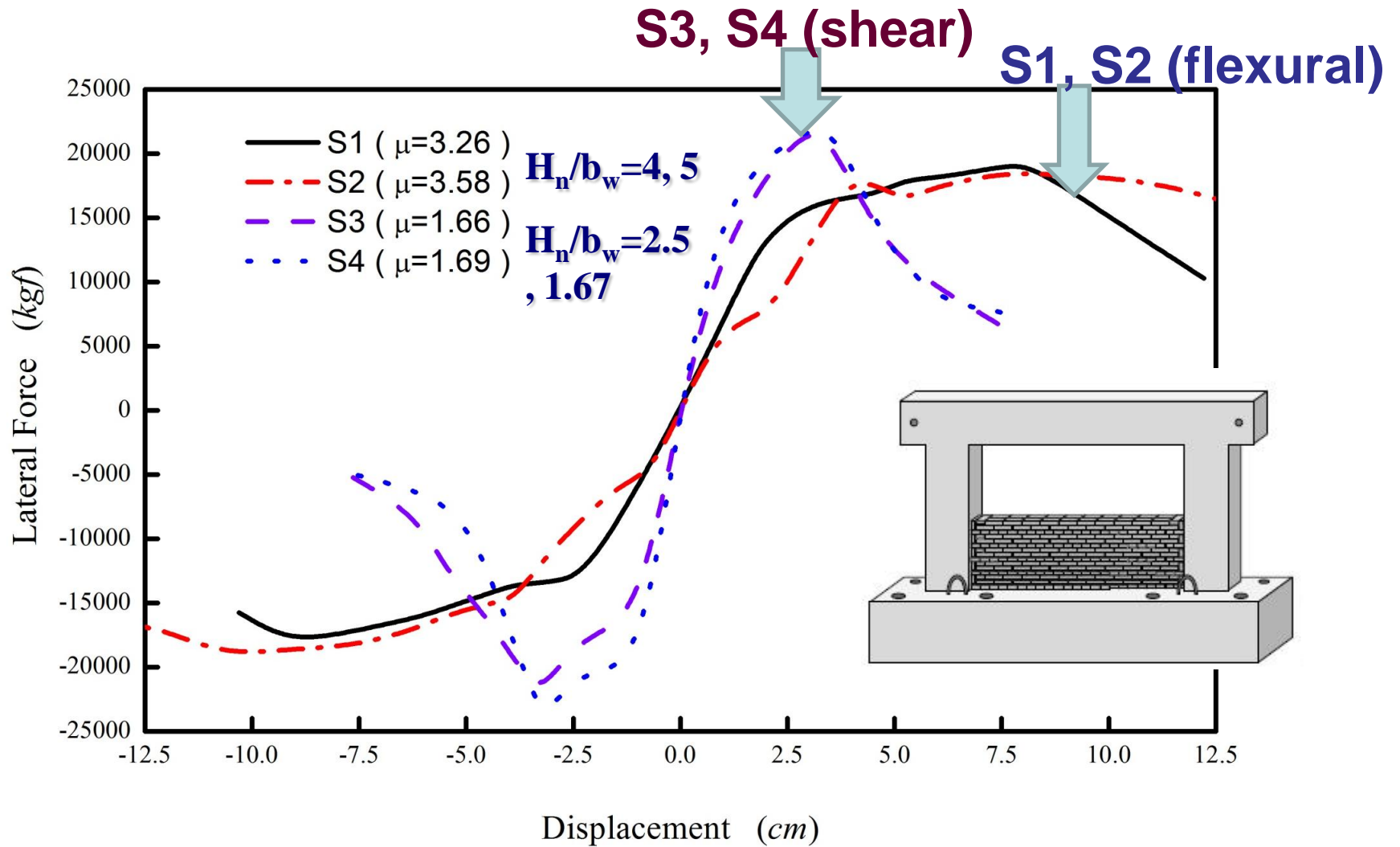


S3 ($H_n/b_w=2.5$)

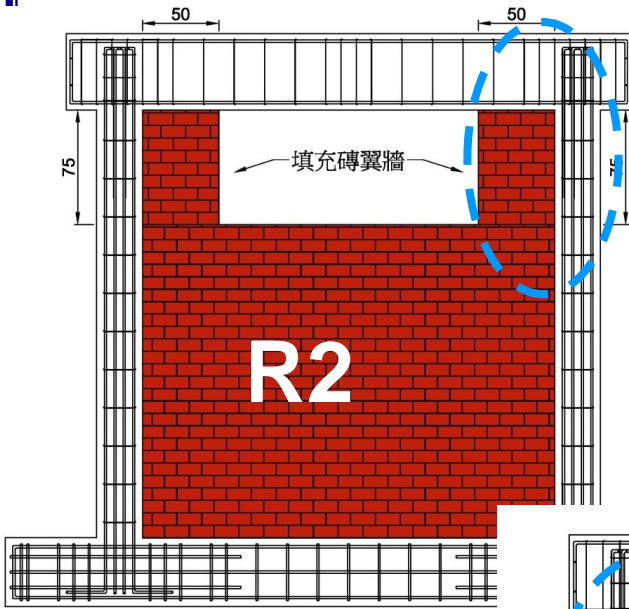


S4 ($H_n/b_w=1.67$)

試驗試體之容量

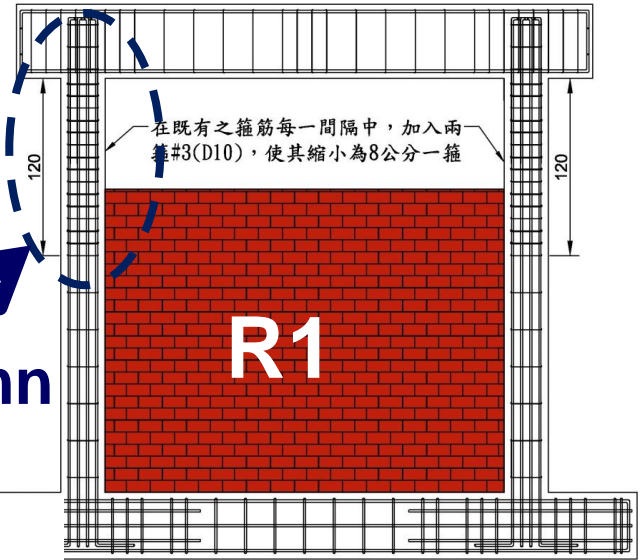


高窗短柱之補強加固

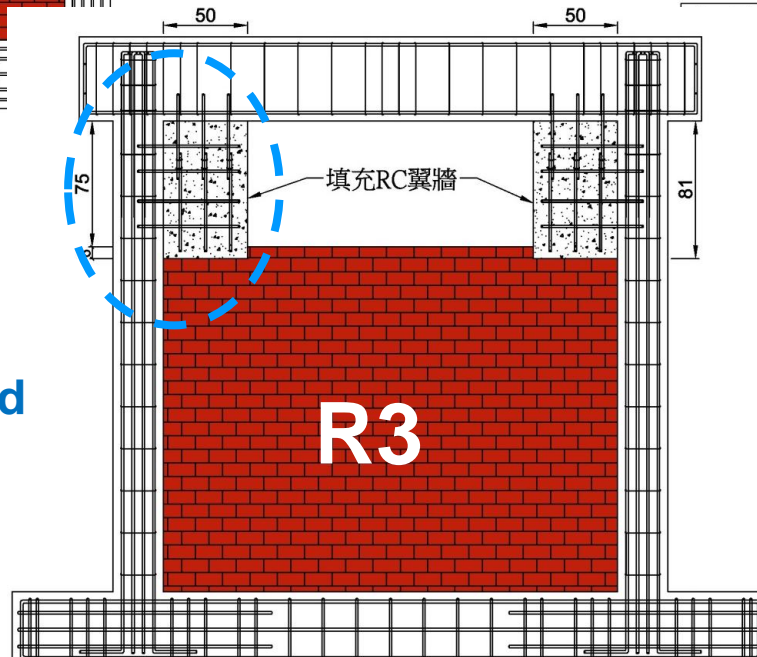


Install brick wing wall

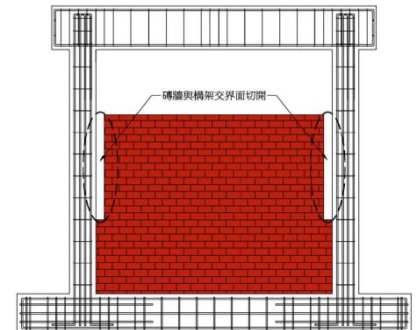
Increase the hoop of column



Install RC wing wall (RC wall should be embedded into the exist brick wall)



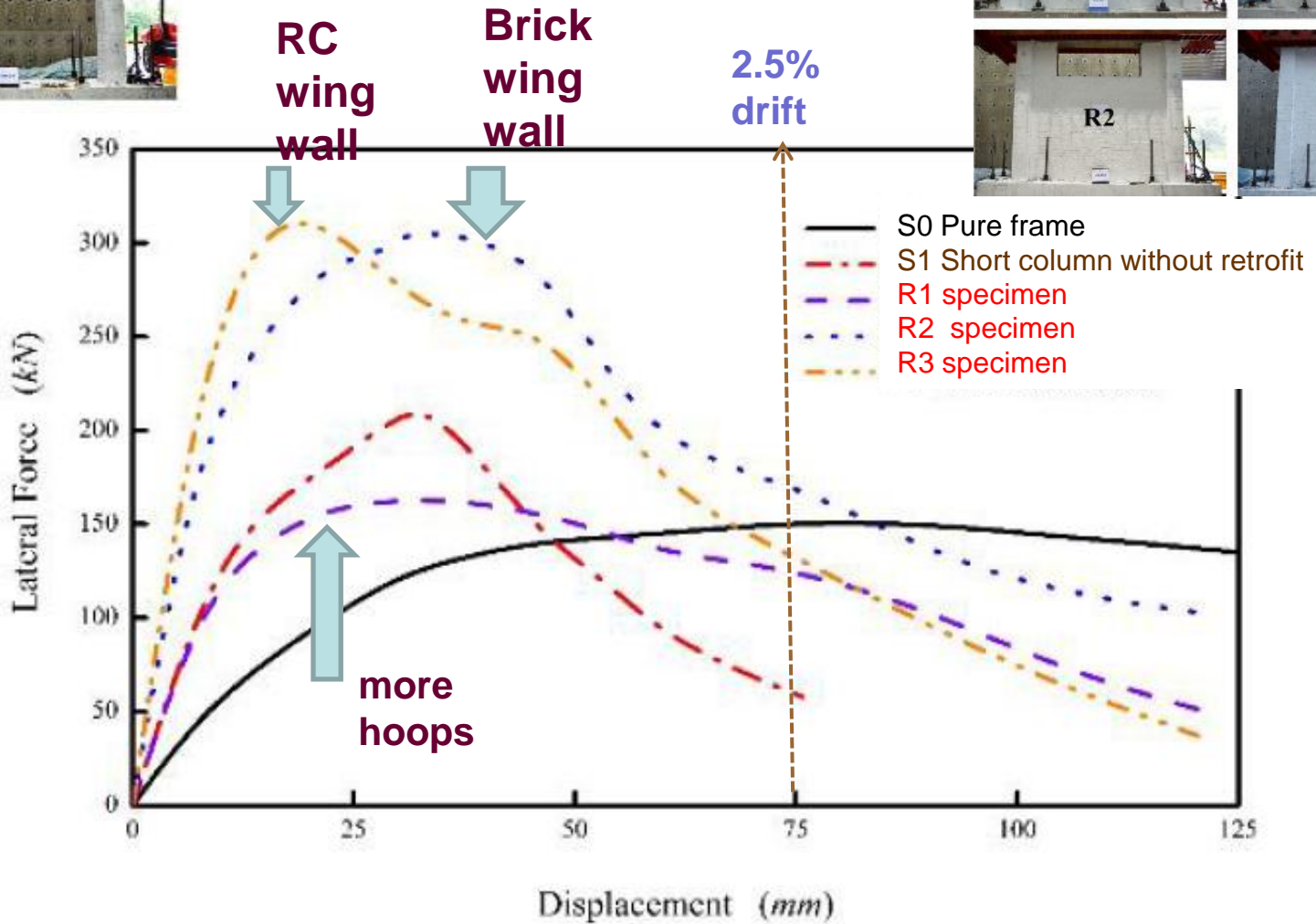
Other method



試驗破壞照片



試驗試體之容量



現地施工照片



Before Retrofit



After Retrofit

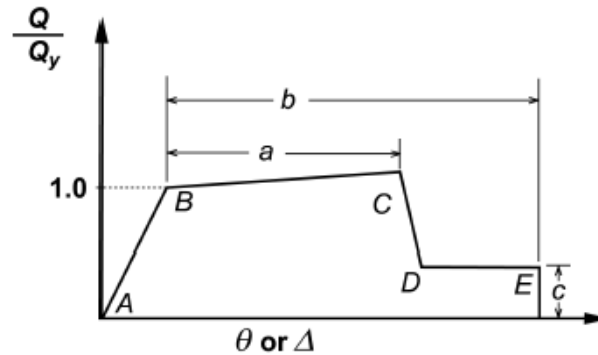
乾式補強工法與模擬研究

(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

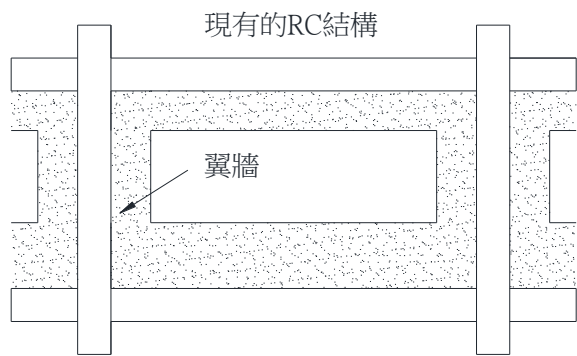
- 提供耐震能力分析模擬參考



斜撐有效強度

$$P_n = A_g F_{cr}$$

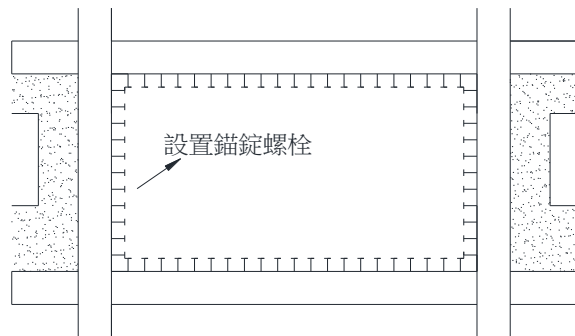
桿件 / 荷載	模擬參數		
	塑性變形		殘餘強度比
	a	b	c
受壓斜撐			
a. 雙角鋼面內外挫屈	$0.5\Delta_c$	$8\Delta_c$	0.2
b. W 或 I 型	$0.5\Delta_c$	$8\Delta_c$	0.2
c. 雙槽型鋼面內外挫屈	$0.5\Delta_c$	$8\Delta_c$	0.2
d. 鋼管混凝土	$0.5\Delta_c$	$7\Delta_c$	0.2



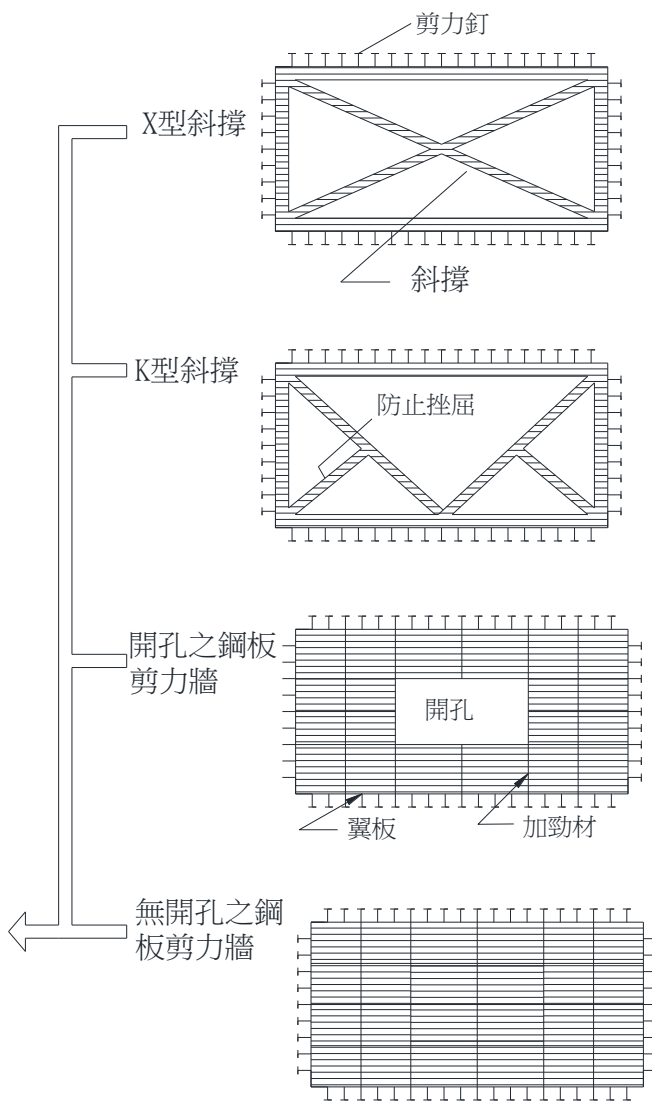
先打除既有之牆體後再設置錨錠螺栓



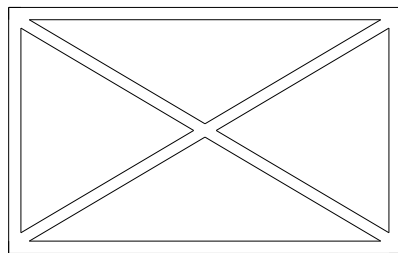
RC結構部份



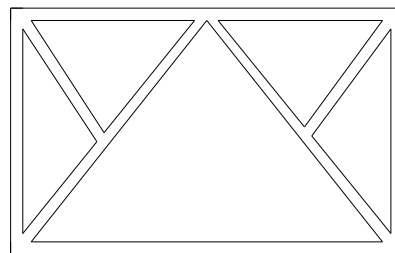
RC構架中設置鋼構架，並於四週間隙以無收縮混凝土砂漿加壓填充



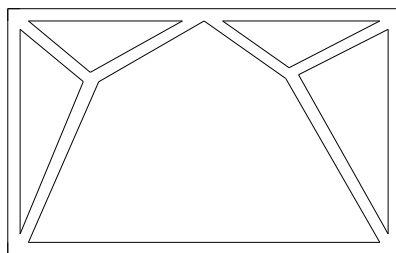
剪力釘均勻鉚接於鋼構架四週



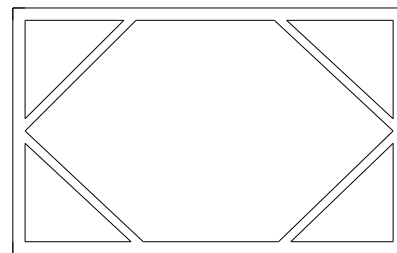
(a) X型斜撐



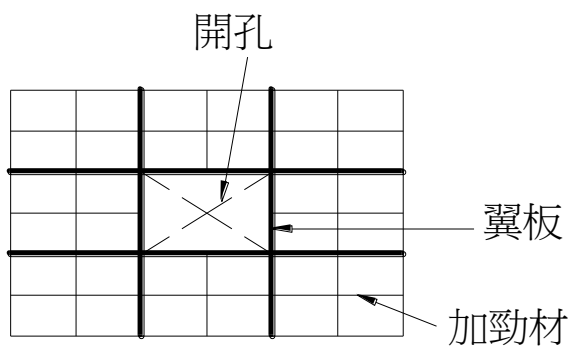
(b) K型斜撐



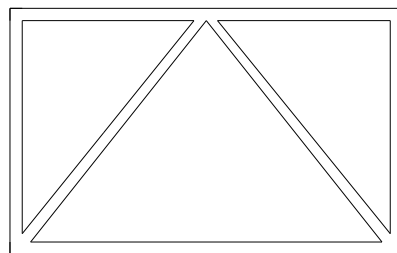
(c) 門型斜撐



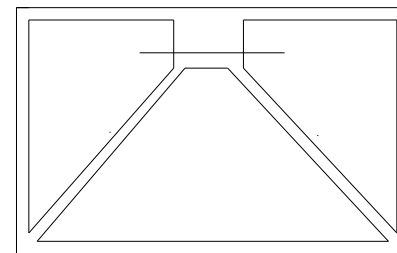
(d) 菱型斜撐



(e) 鋼板牆

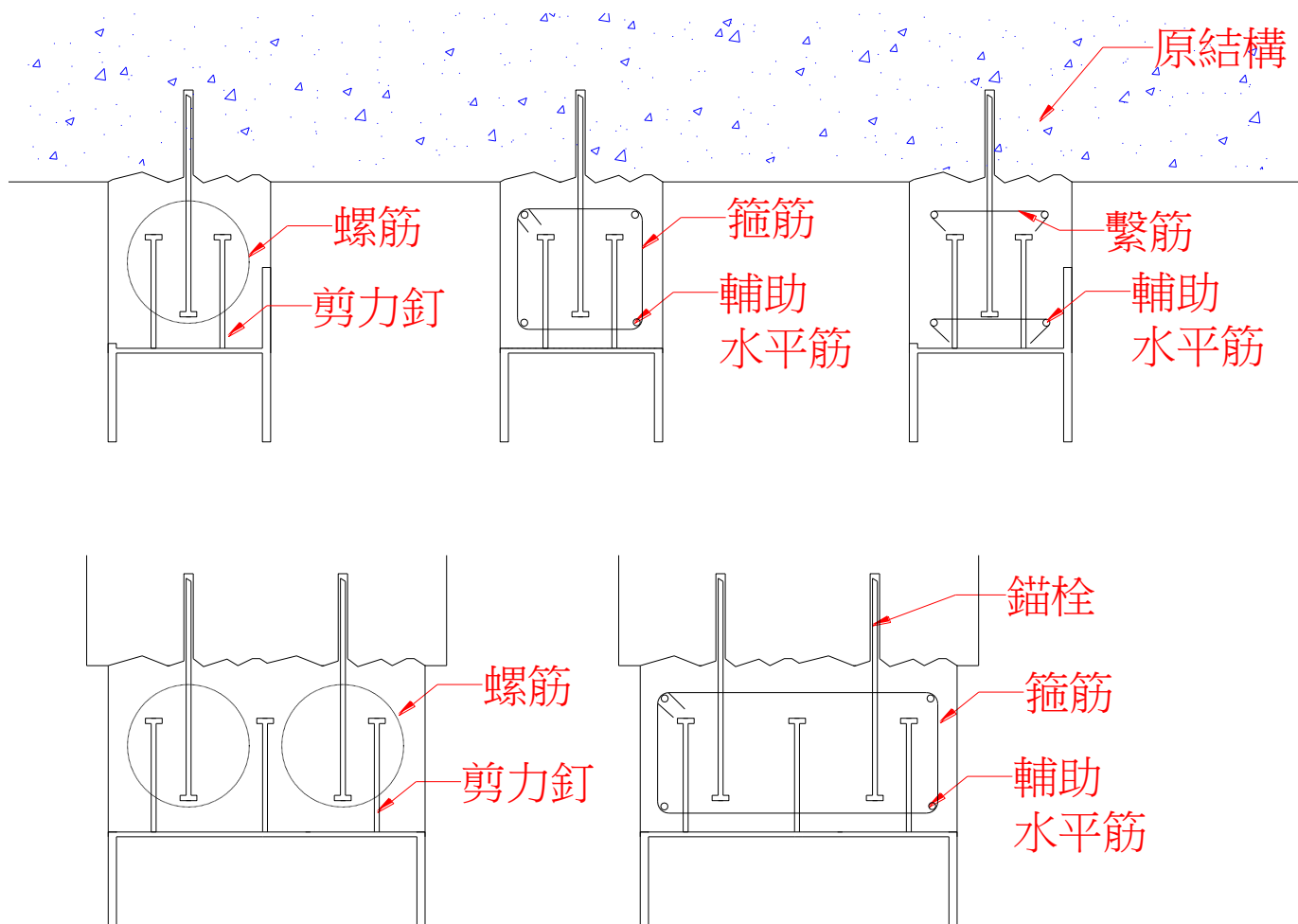


(f) 倒V斜撐

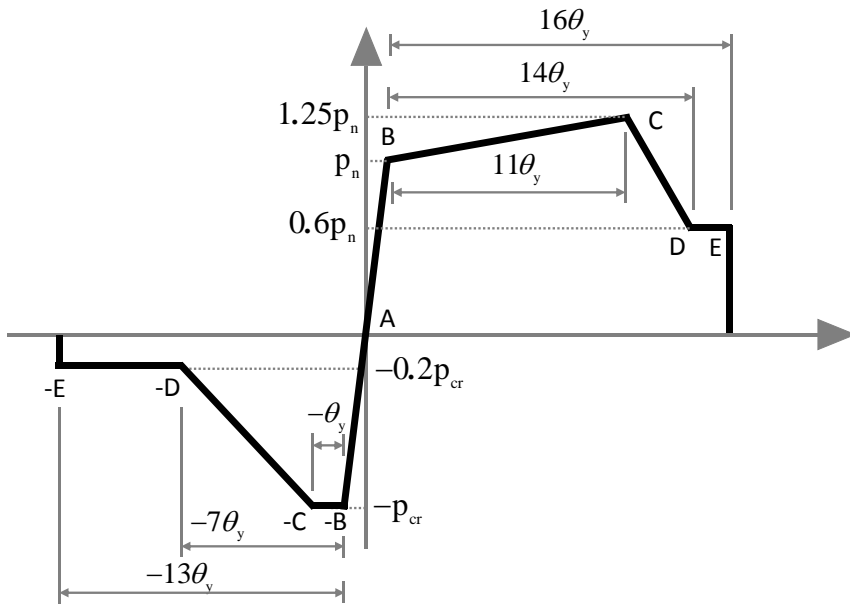


(g) Y型斜撐

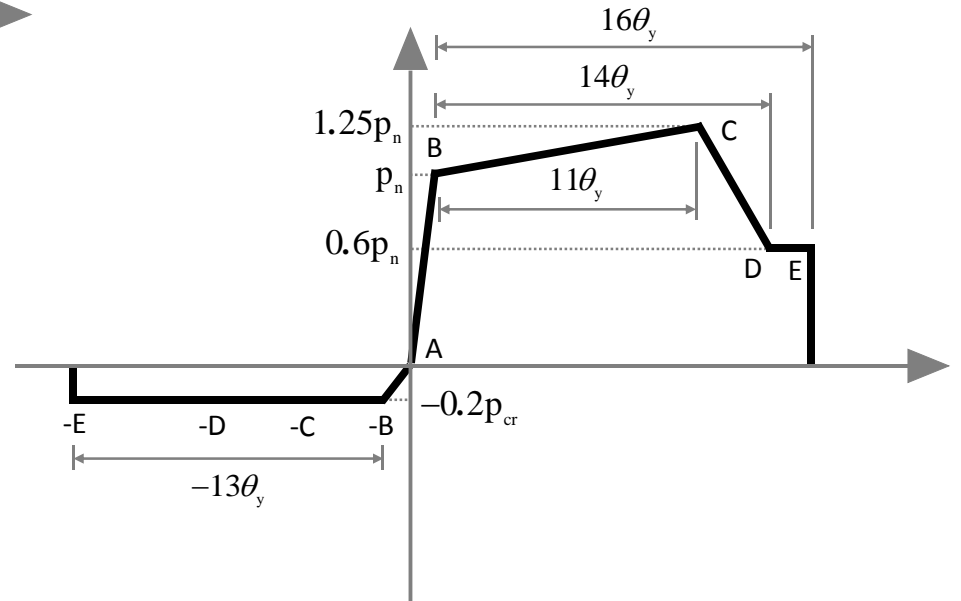
鋼構架與既存RC構架間之接合



斜撐非線性分析之階段性分析



階段1-斜撐塑鉸行為

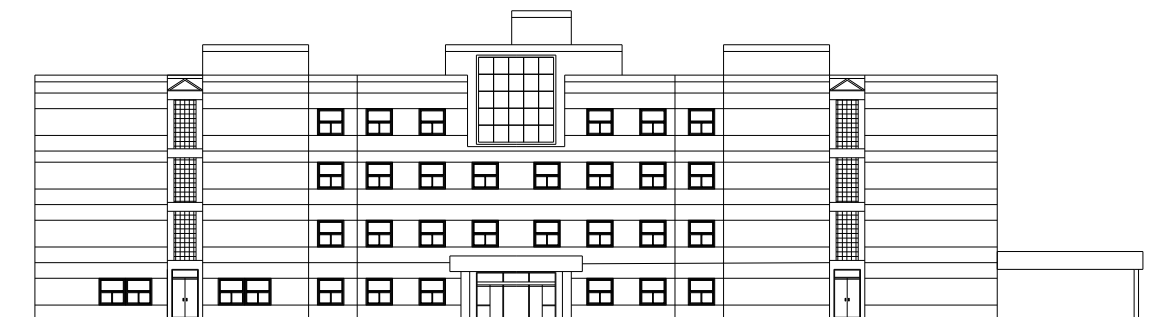
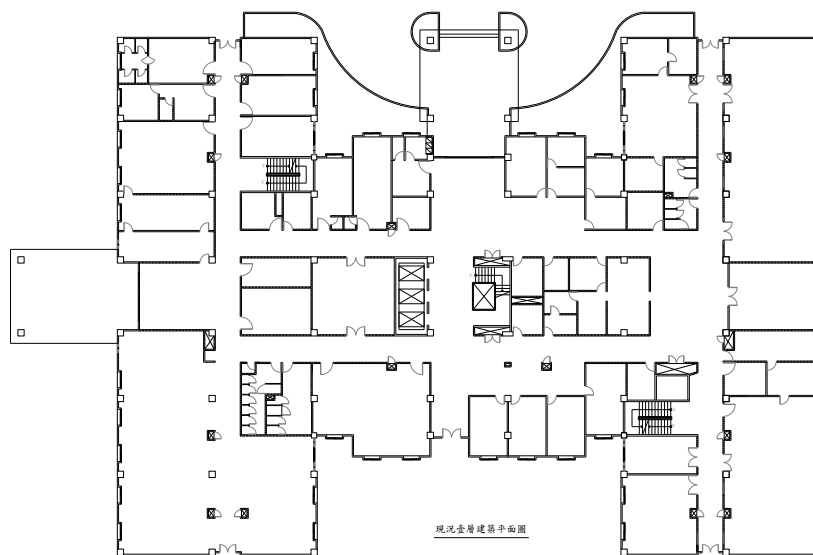


階段2-斜撐塑鉸行為

設計範例(一): 概述

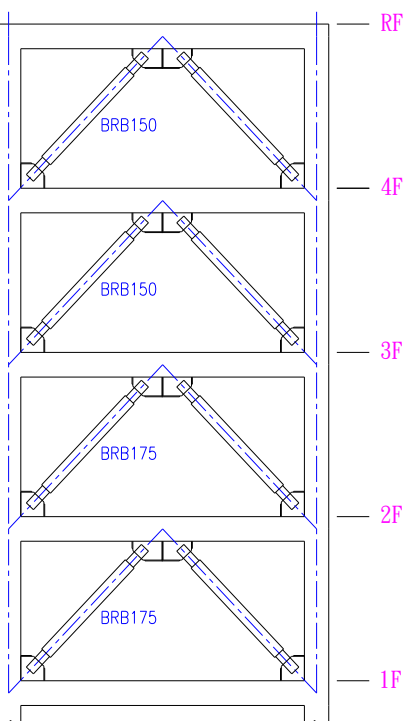
- 中部某醫院(肅朱醫院)

- 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

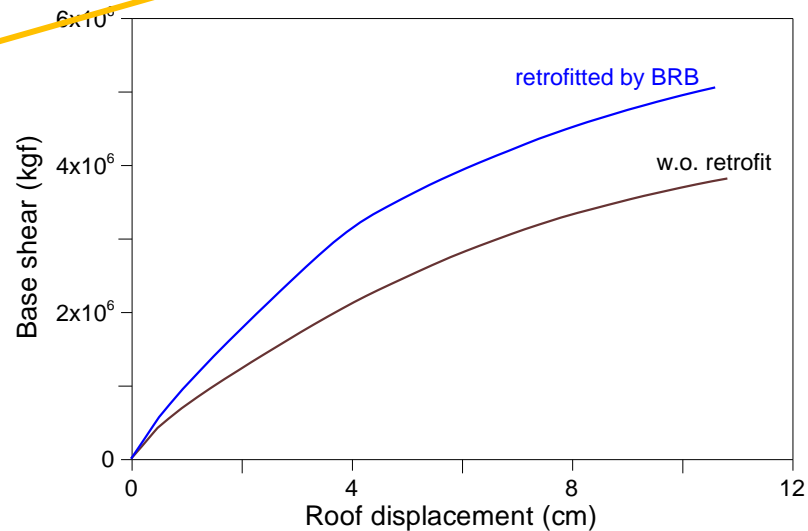
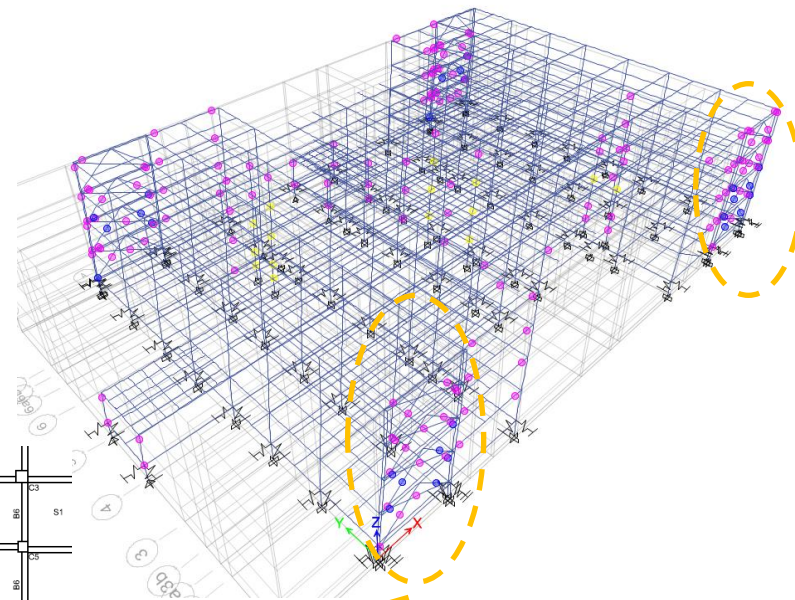
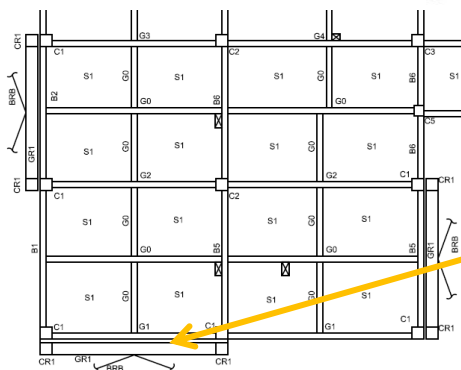


設計範例(一):外部構架與位移型消能斜撐(1)

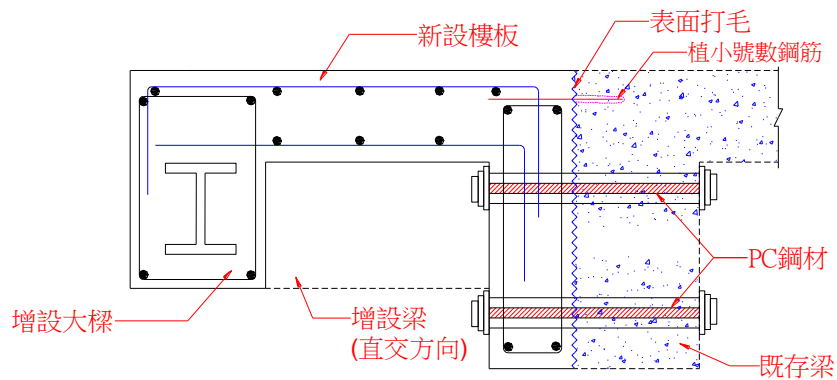
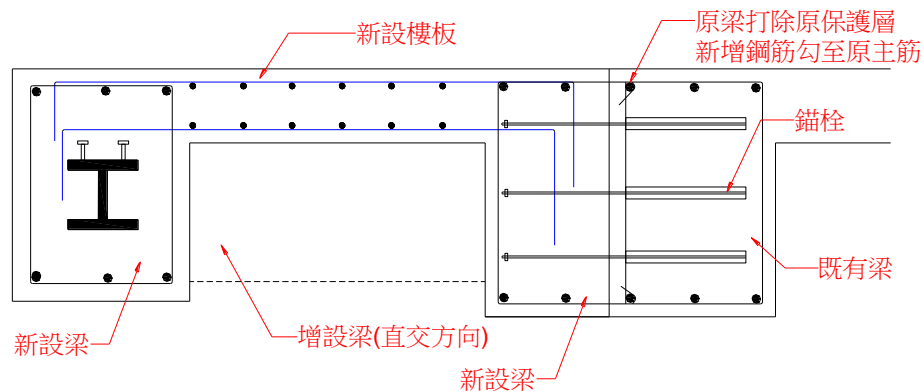
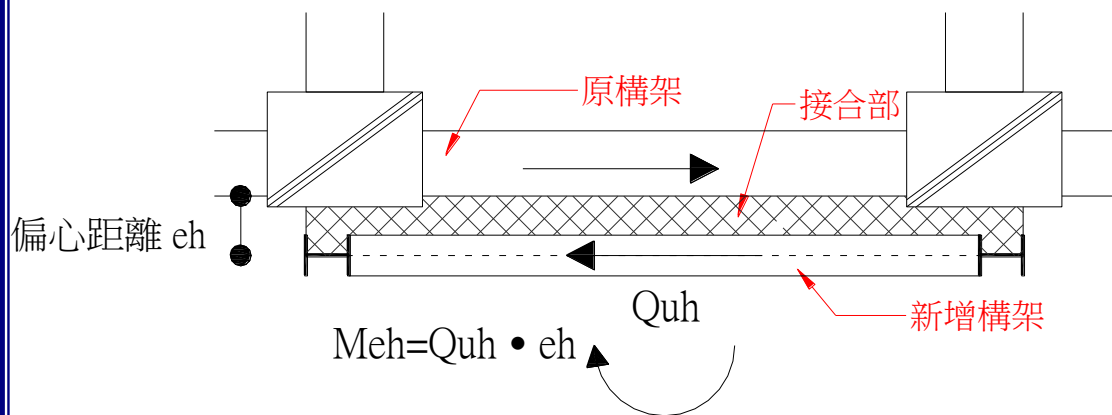
- 系統補強配置
- 補強後結構整體阻尼修正係數
- 角隅板之錨錠設計
- 基礎補強



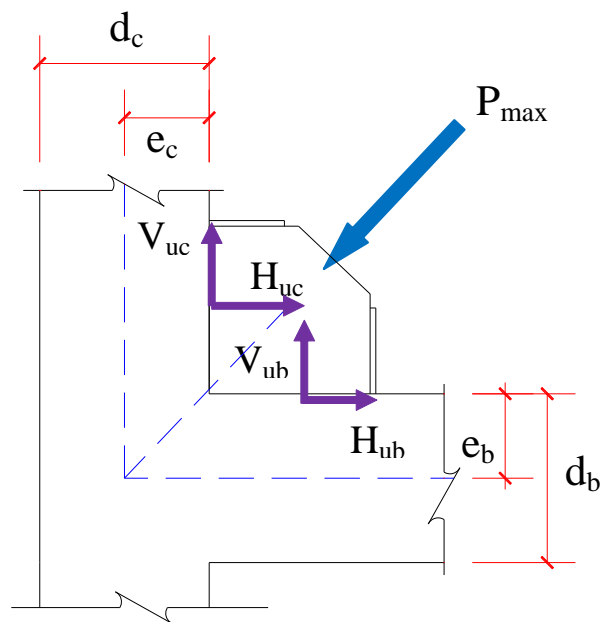
X向BRB立面配置型式圖



外部構架與既有結構力傳遞



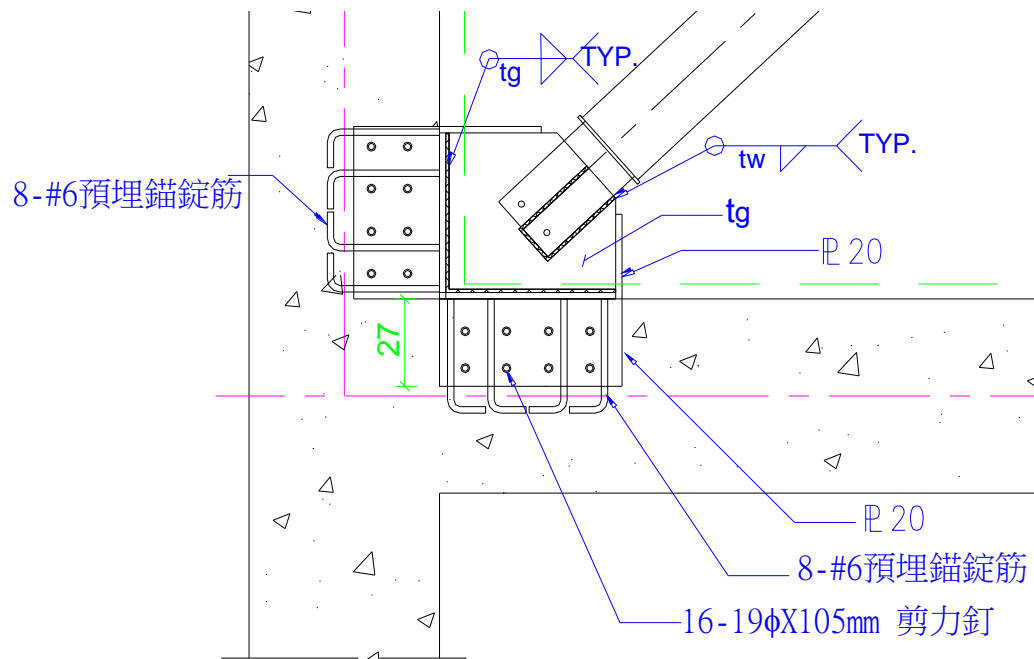
設計範例(一): 角隅板之錨錠設計



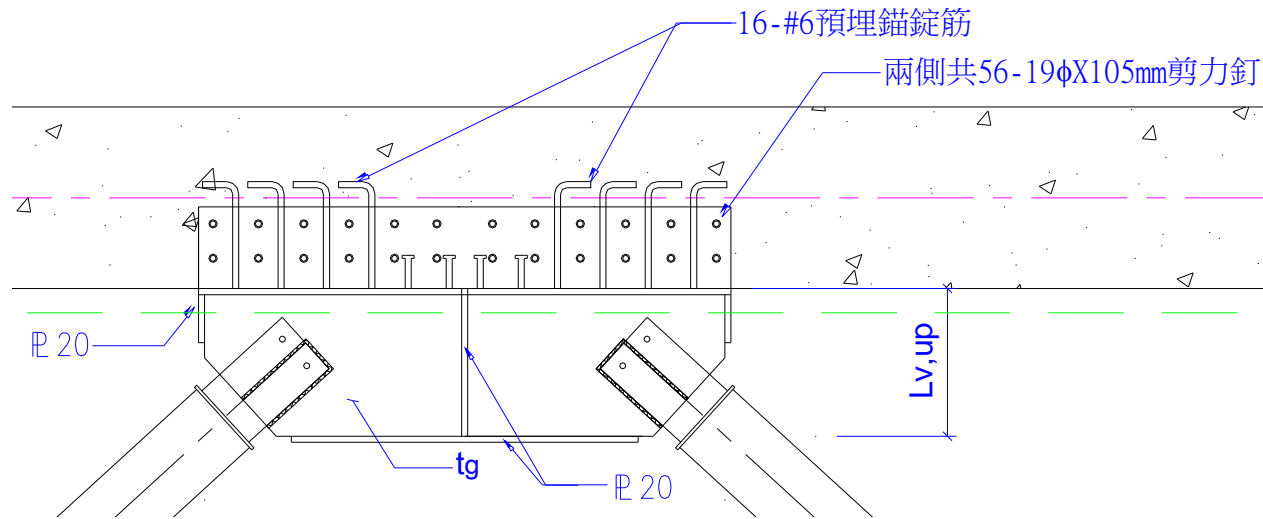
$$H_{uc} = \frac{P_{max} e_c \sin \phi}{e_b + 0.5L_v}$$

$$V_{ub} = P_{max} \left[\frac{e_b \left[(e_b + 0.5L_v) \cos \phi - e_c \sin \phi \right]}{0.5L_h (e_b + 0.5L_v)} \right]$$

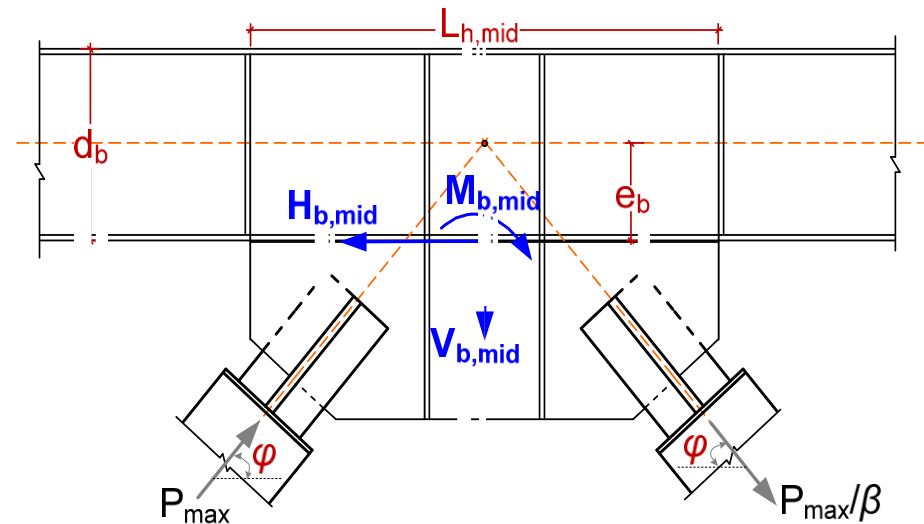
$$H_{ub} = P_{max} \cos \phi - H_{uc} \quad H_{ub} = P_{max} \sin \phi - V_{ub}$$



設計範例(一): 角隅板之錨錠設計

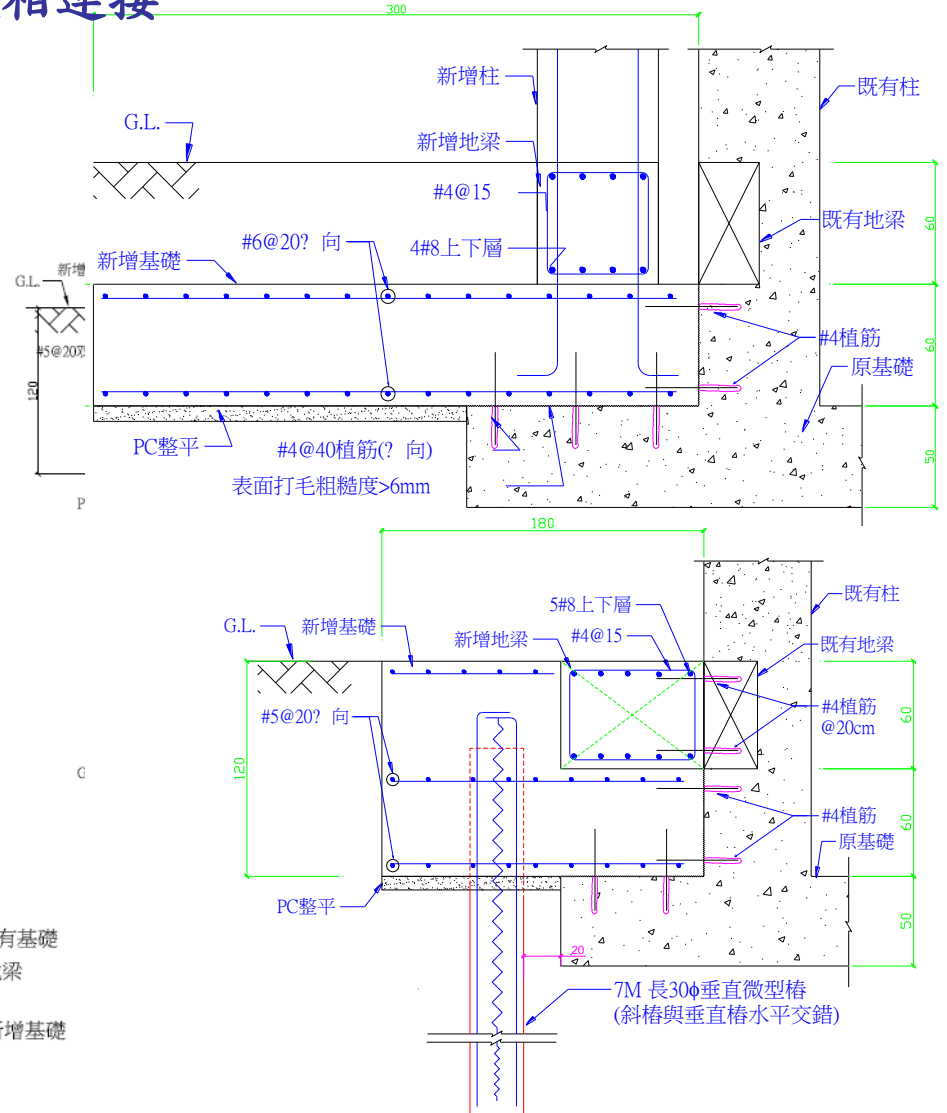
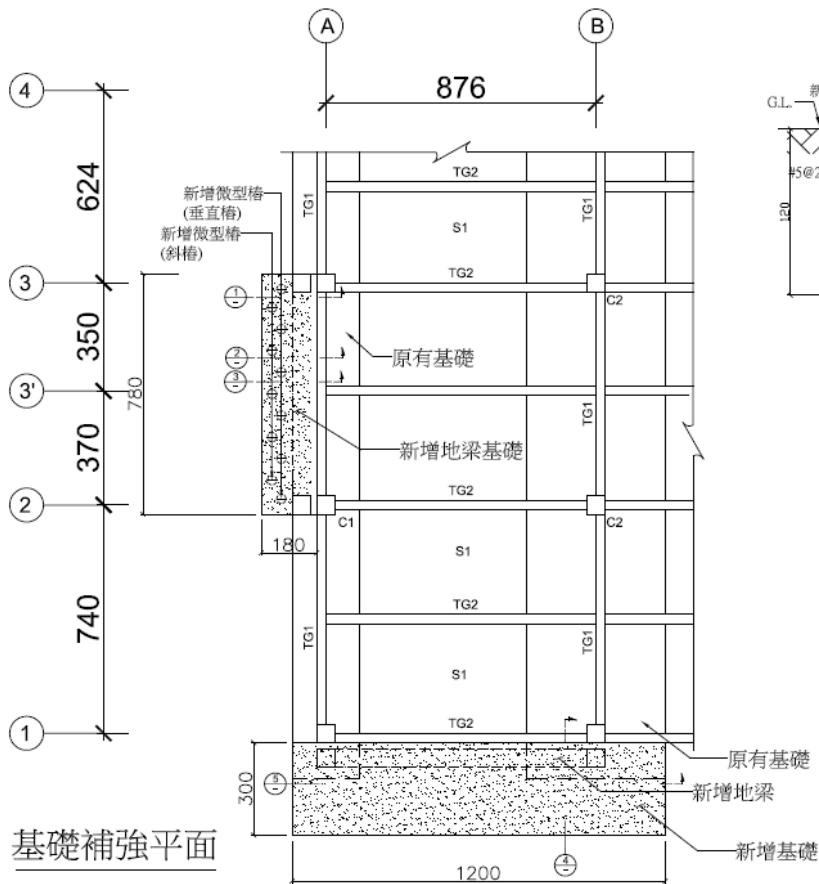


$$M_{b,mid} = P_{max} e_b \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$



設計範例(一): 基礎補強

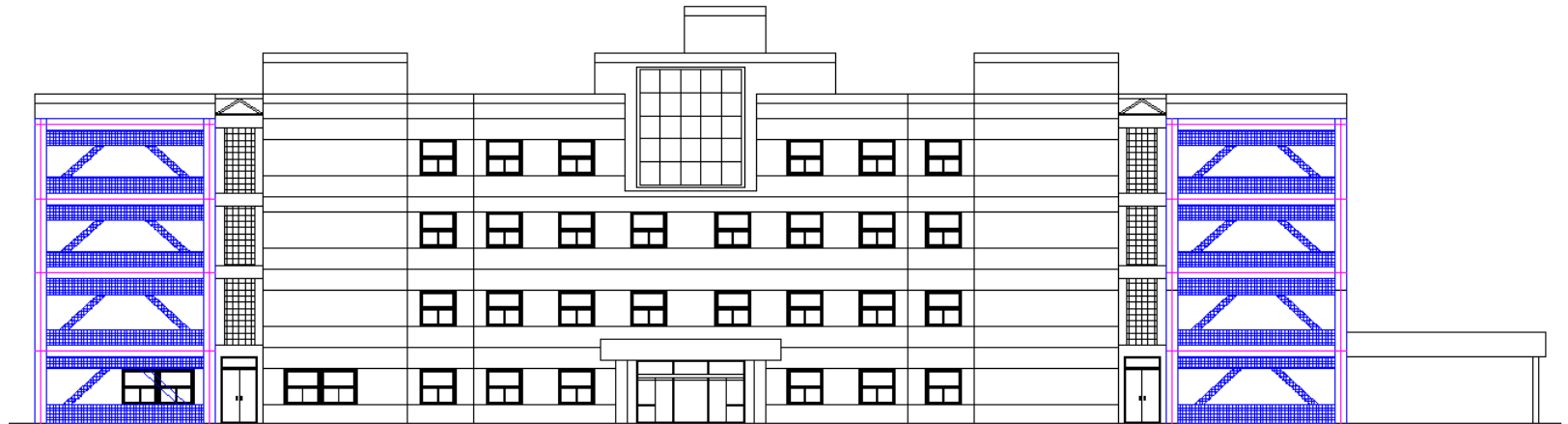
- X向: 新增一基礎將兩聯合基礎相連接
- Y向: 新增樁帽與微型樁之補強



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)

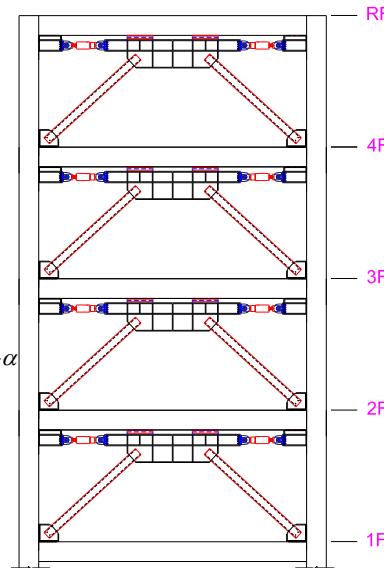
設計範例(一): 外部構架與速度型消能元件(2)

- 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

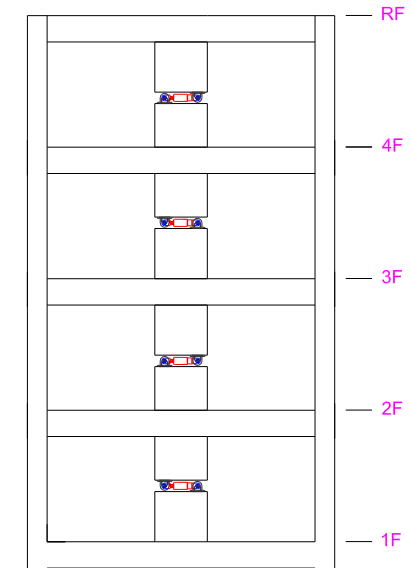
阻尼器之遲滯能 $\sum W_{vj} = \left(\frac{2\pi}{T_s}\right)^\alpha \sum \lambda C_j |\Delta_{rj} \cos \theta_j|^{1+\alpha}$

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

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



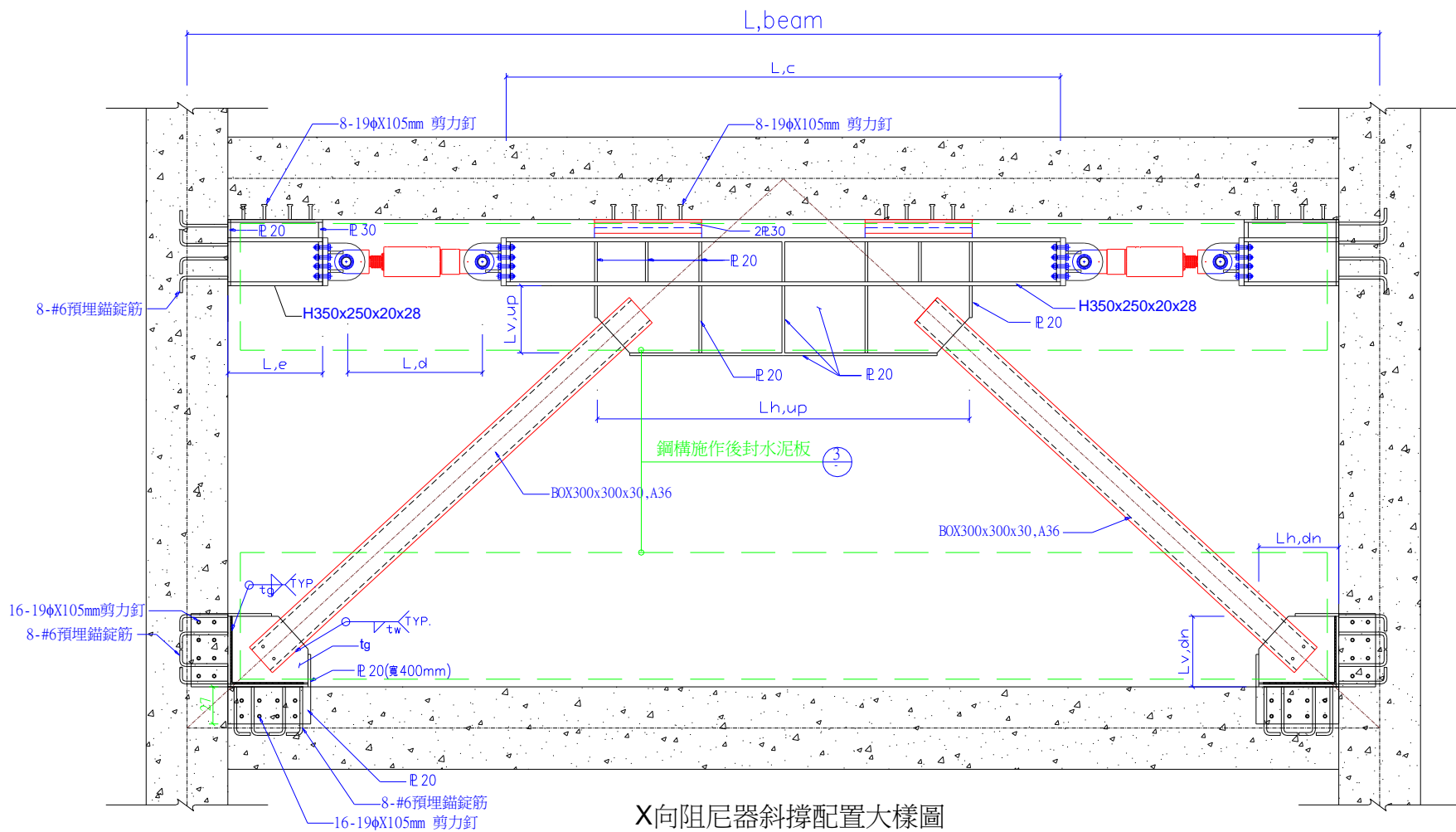
X向阻尼器立面配置型式圖



Y向阻尼器立面配置型式圖

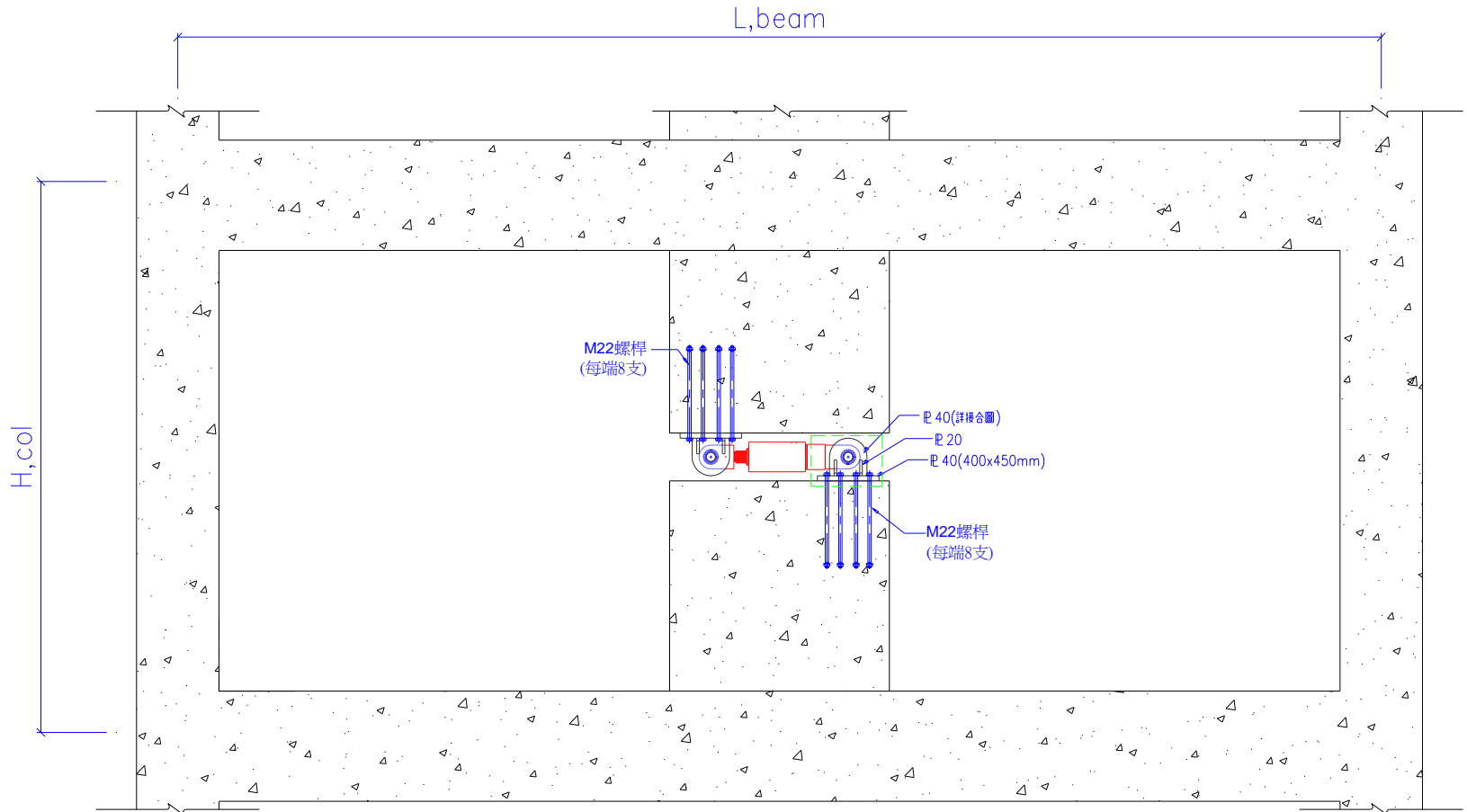
story	Displ. (cm)	H(cm)	Drift/PF ₁	damping coefficient, C	no. of damper	damping work, W _j
RF	10.644	380	1.170	24.90	8	1806.8
4F	9.099	380	1.768	24.90	8	3153.4
3F	6.765	400	2.886	24.90	8	6110.8
2F	2.955	400	2.238	24.90	8	4336.1
Σ =						15407.1
η =						0.912
ξ _{eff} =						5.23%

設計範例(一): X向阻尼器配置大樣圖



X向阻尼器斜撐配置大樣圖

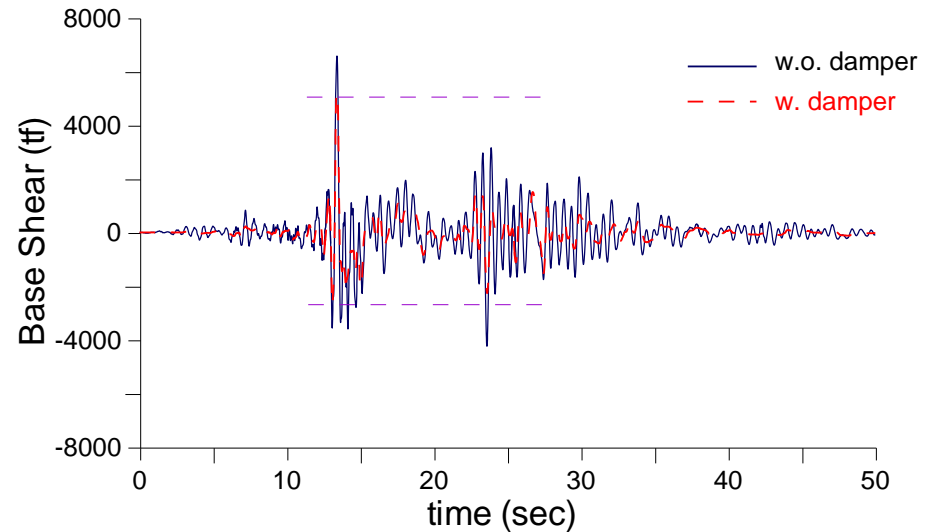
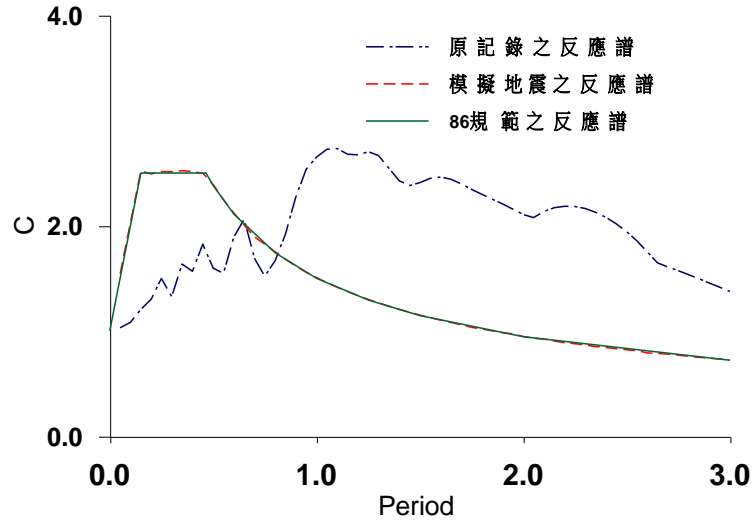
設計範例(一): Y向阻尼器配置大樣圖



Y向阻尼器斜撐配置大樣圖

設計範例(一): 歷時分析

歷時分析驗證補強功效: 採用921地震中部地區之地震記錄TCU052、TCU060及TCU104為輸入地震，依耐震設計規範規定驗證

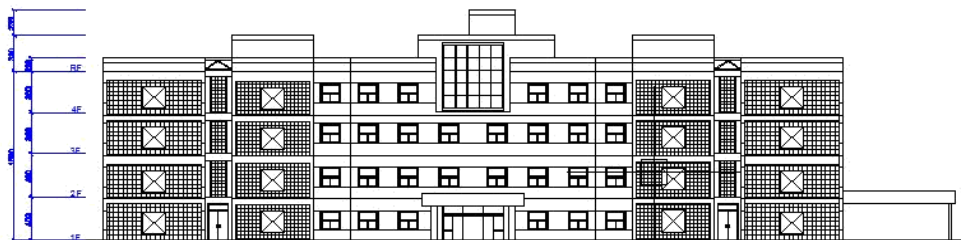
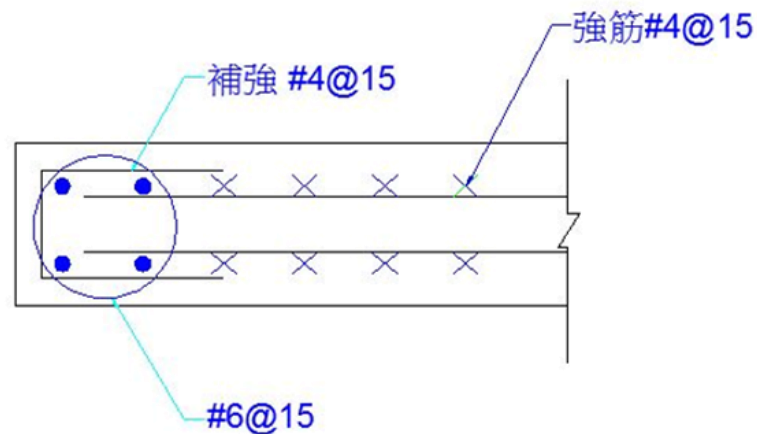
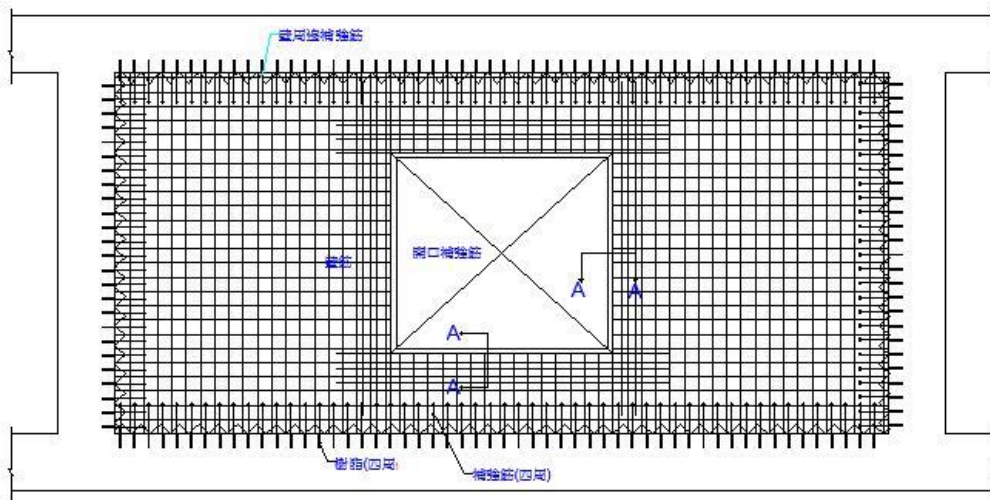


TCU052之調整前後正規化反應譜圖

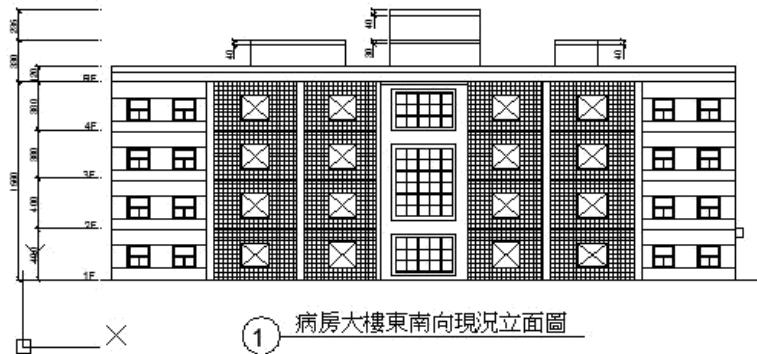
基底剪力比較圖



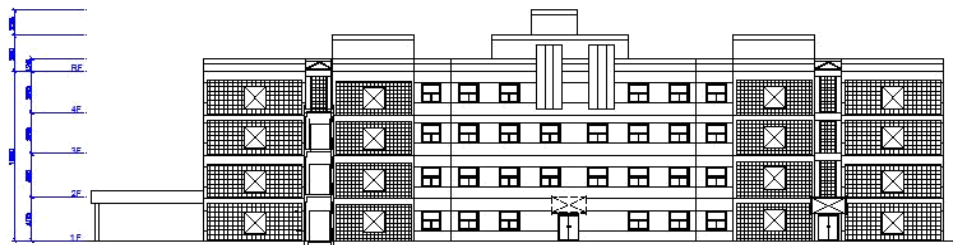
設計範例(一):增設開口RC牆(3)



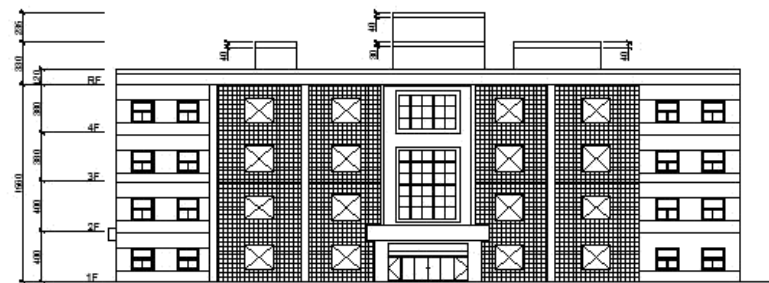
病房大樓東北向現況立面圖



① 病房大樓東南向現況立面圖

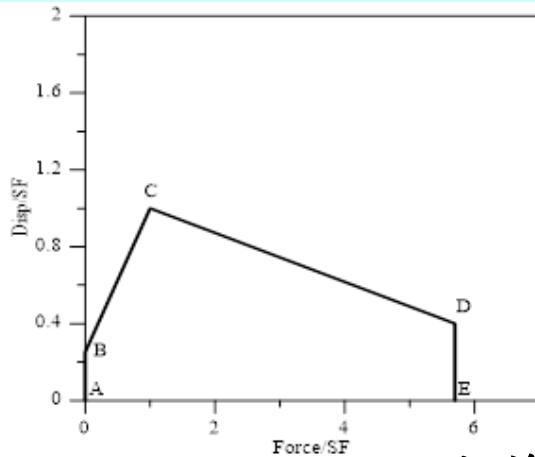


病房大樓西南向補強立面圖



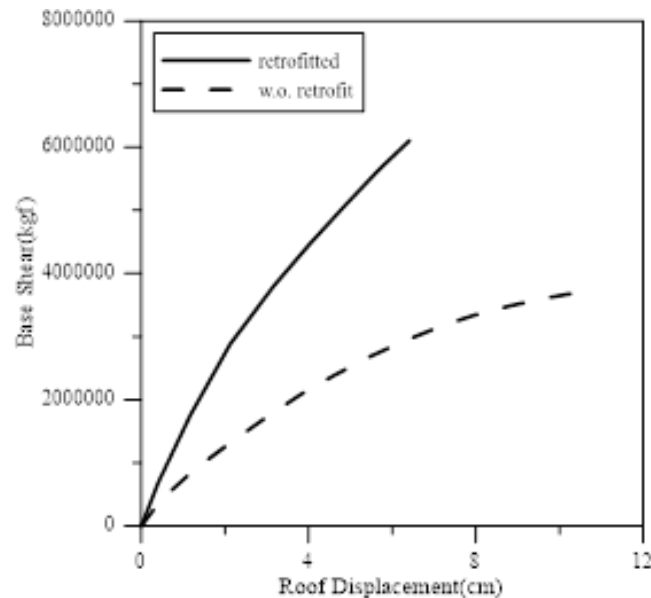
② 病房大樓西北向現況立面圖

設計範例(一): 非線性靜力分析

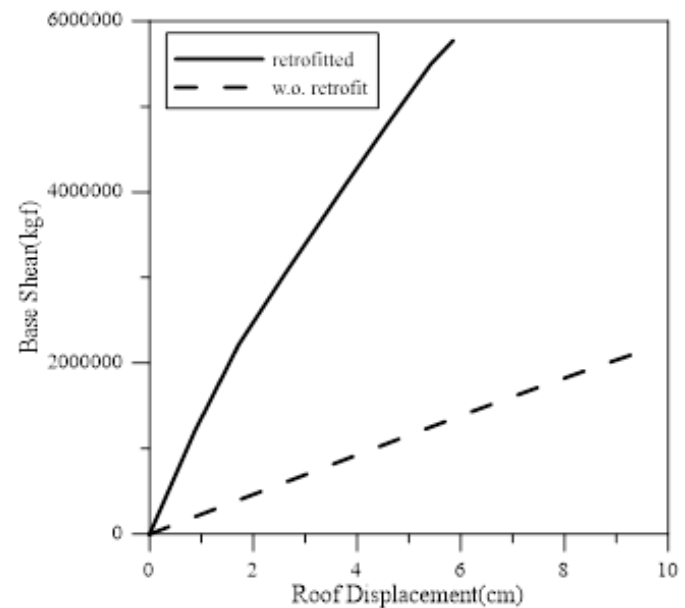


Point	Force/SF	Disp/SF
A	0	0
B	0.2525	0
C	1	1
D	0.4	5.6971
E	0	5.6971

開口RC牆剪力非線性鉸參數



X向補強前後容量曲線比較

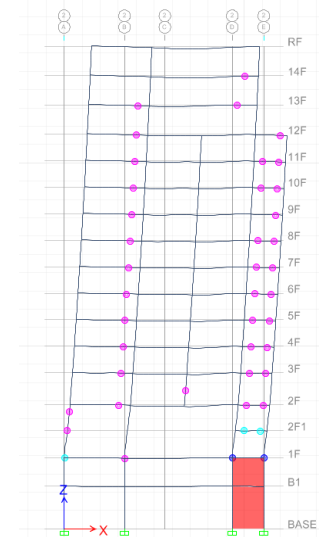
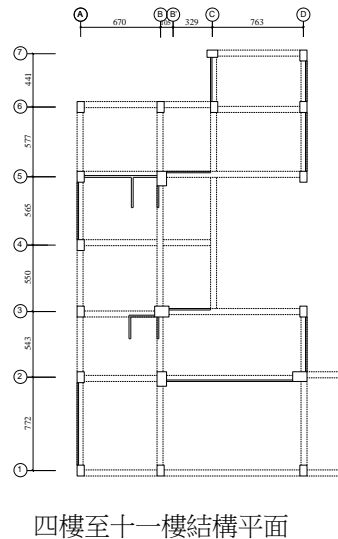
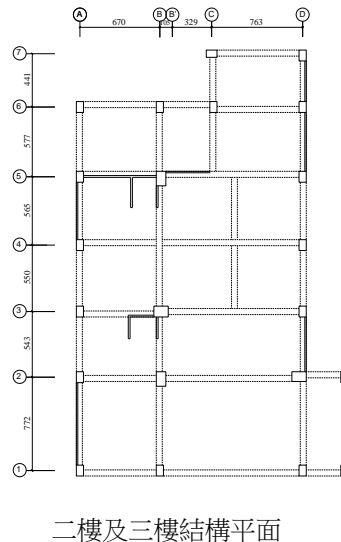
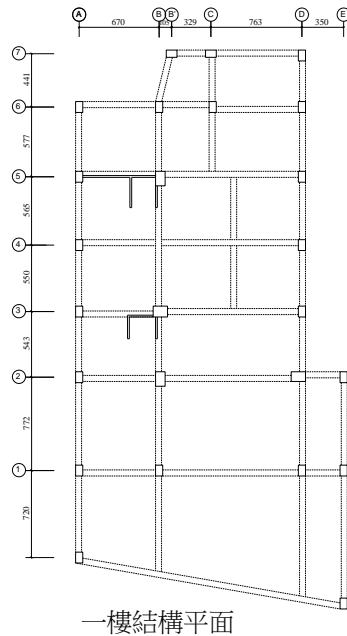
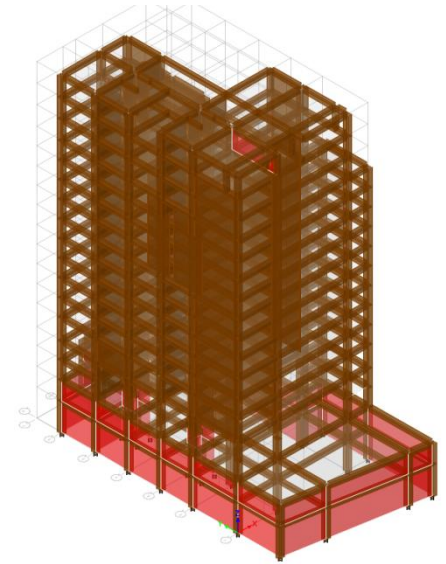


Y向補強前後容量曲線比較

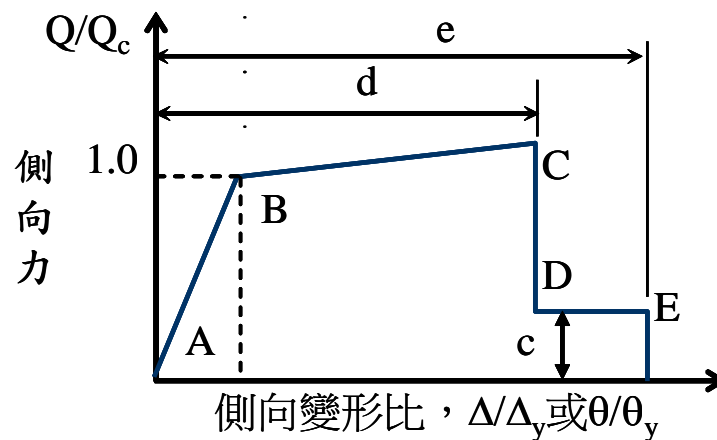
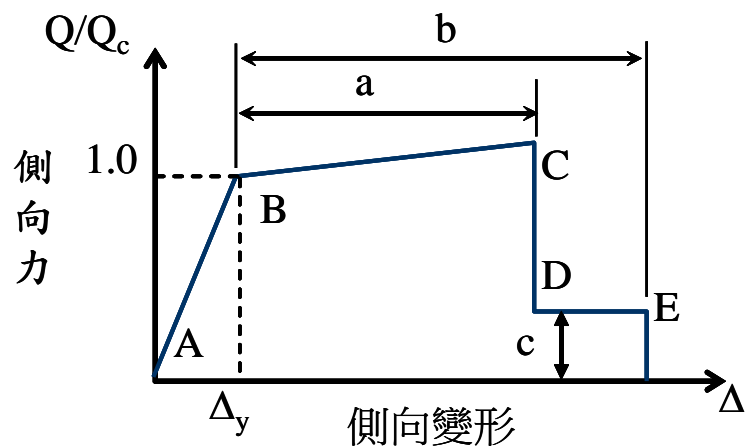
設計範例(二): 概述

• 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)

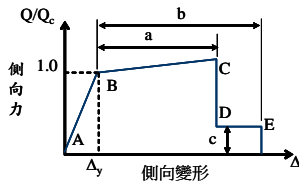


混凝土構材側向力與變形之關係圖

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



混凝土柱

Conditions	Modeling Parameters ⁴			Acceptance Criteria ⁴					
	Plastic Rotation Angle, radians		Residual Strength Ratio	Plastic Rotation Angle, radians					
	a	b		Performance Level					
			Component Type						
			Primary		Secondary				
LS			CP	LS	CP				
					IO				

i. Columns controlled by flexure¹

$\frac{P}{A_g f'_c}$	Trans. Reinf. ²	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$								
≤ 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

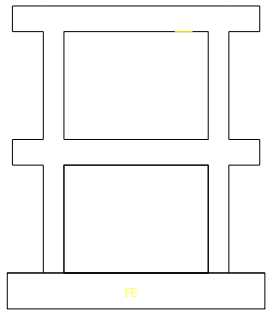
ii. Columns controlled by shear^{1, 3}

All cases ⁵	—	保持彈性	—	—	—	—	—	—	.0030	.0040
------------------------	---	------	---	---	---	---	---	---	-------	-------

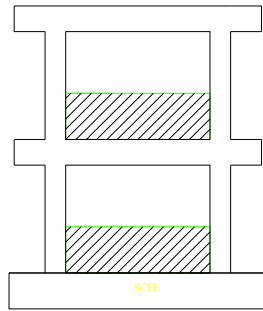
iii. Columns controlled by inadequate development or splicing along the clear height^{1, 3}

Hoop spacing ≤ d/2	0.01	0.02	0.4	0.005	0.005	0.01	0.01	0.02
Hoop spacing > d/2	0.0	0.01	0.2	0.0	0.0	0.0	0.005	0.01

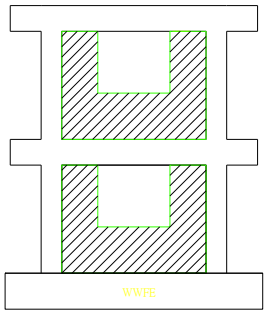
側推分析結果與試驗比較圖



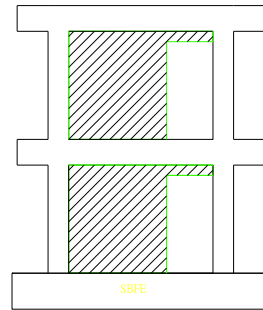
FE



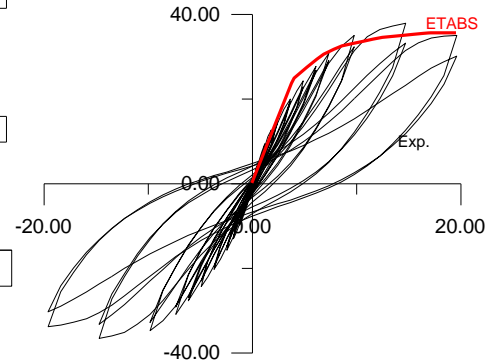
SCFE



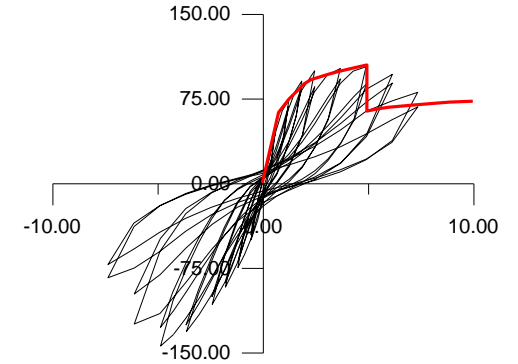
WWFE



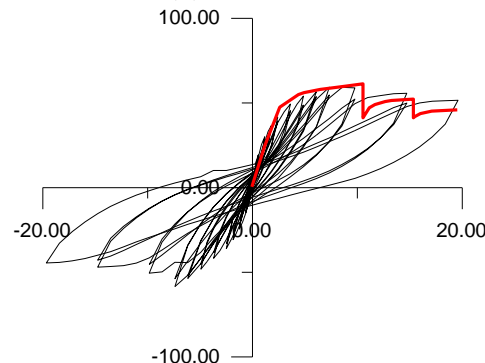
SBFE



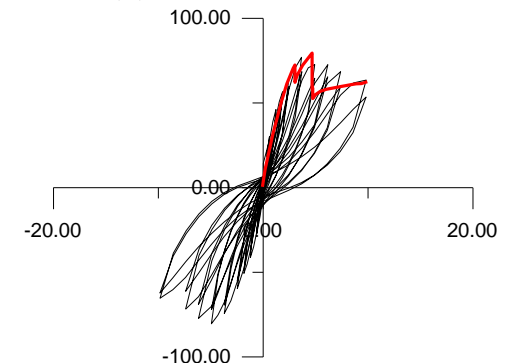
(a) FE 試體



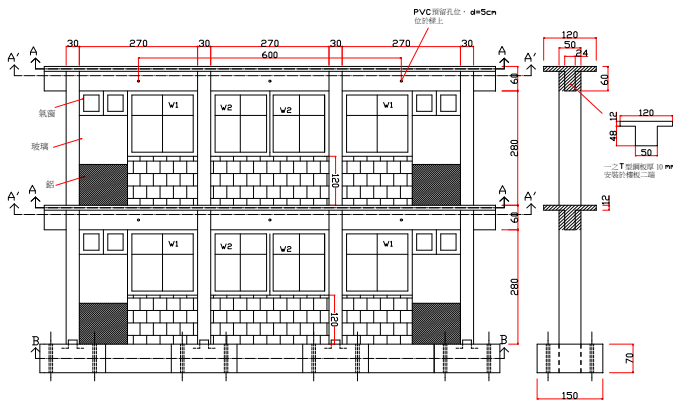
(b) 短梁 SBFE 試體



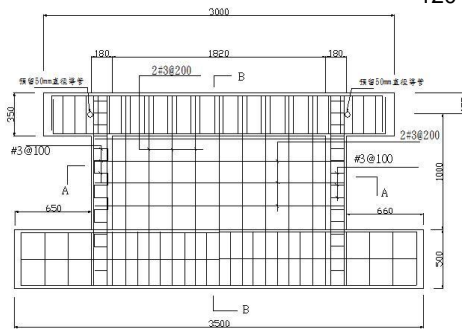
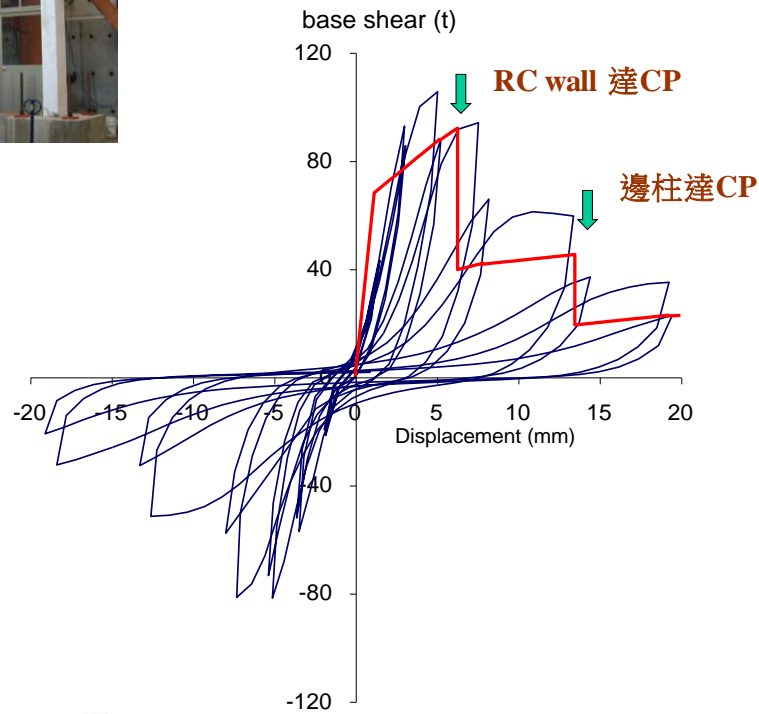
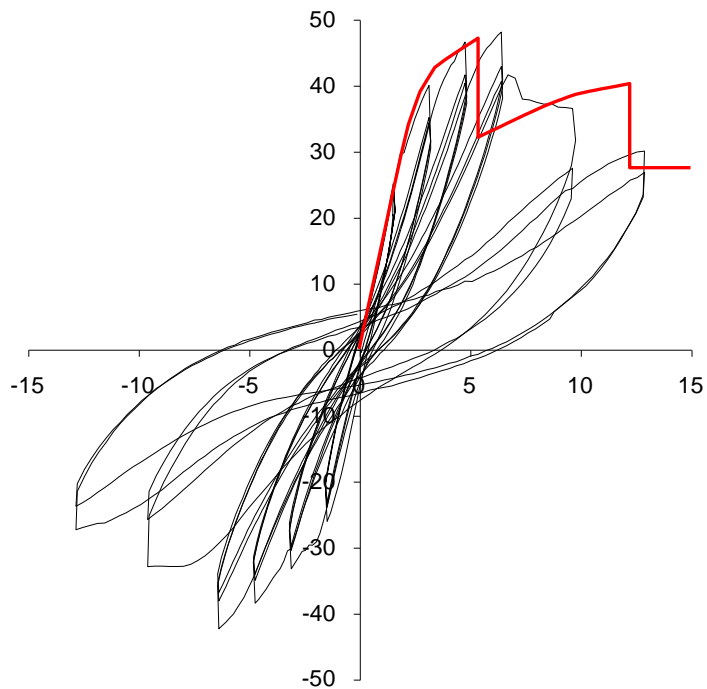
(c) 短柱 SCFE 試體



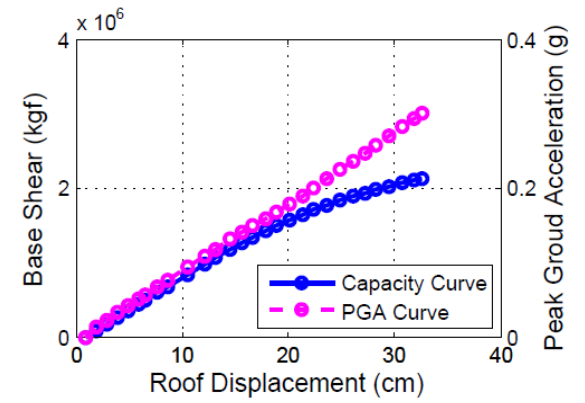
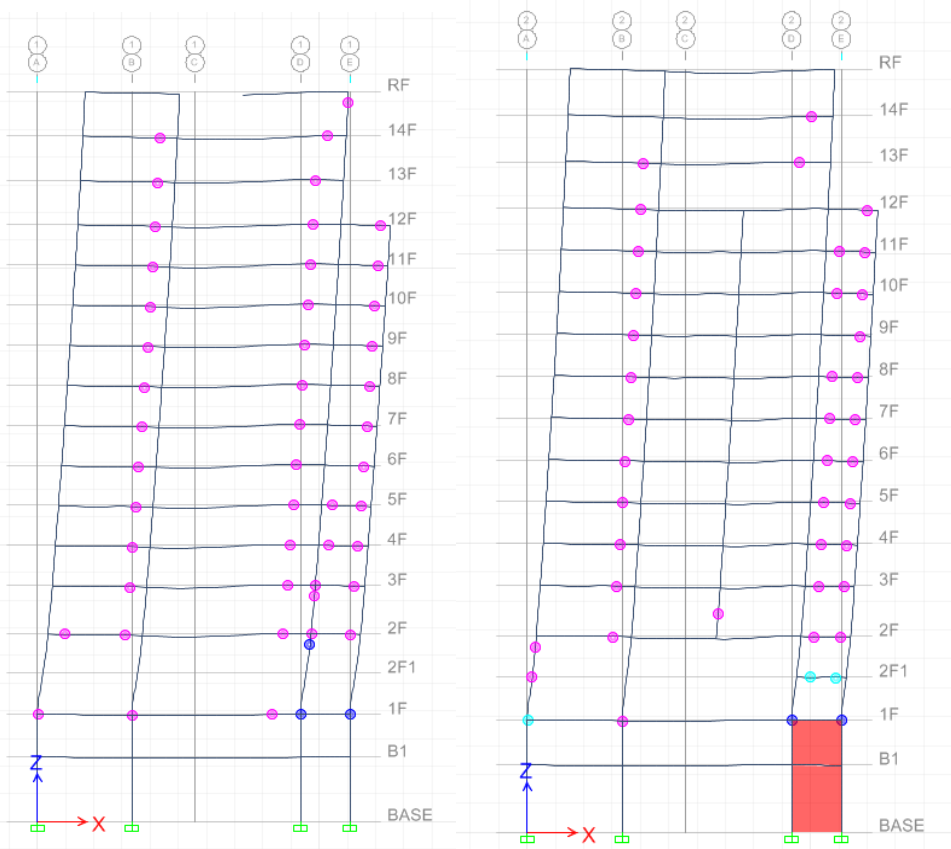
(d) 翼牆 WWFE 試體



側推分析與試驗比較

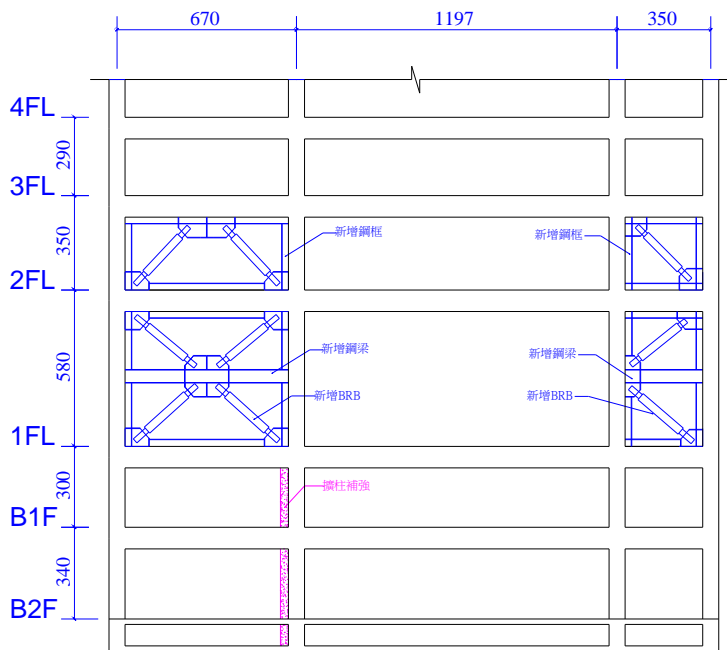


現況結構塑鉸圖(X向)

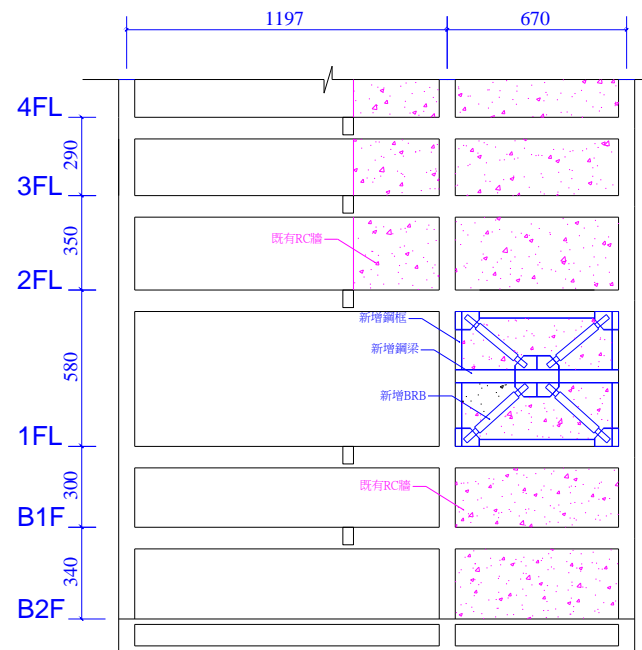


第一振態變位圖

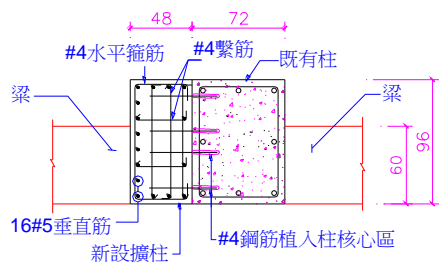
設計範例(二):增設位移型消能斜撐(1)



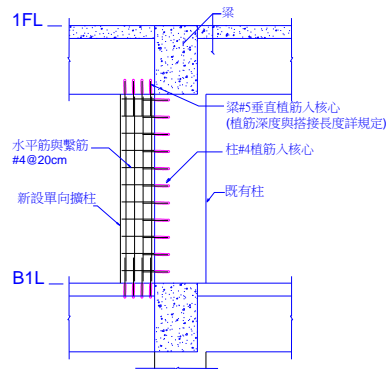
SEC. A-A' (Line-1 構架補強立面圖)



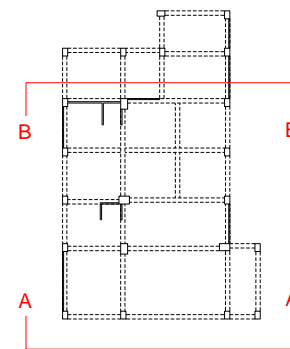
SEC. B-B' (Line-5 構架補強立面圖)



新增單向擴柱平剖面詳圖(柱區域)

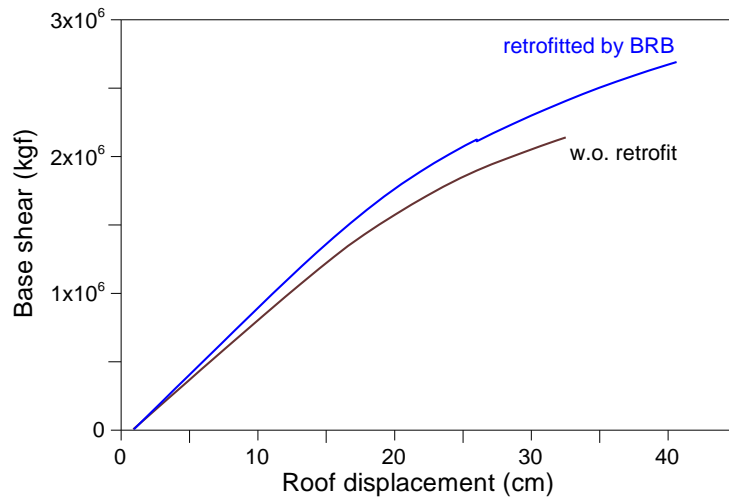


新增擴柱補強立面圖

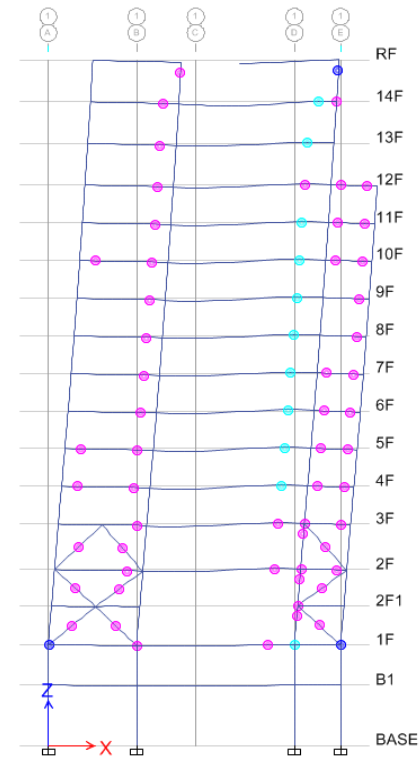


設計範例(二): 容量曲線比較

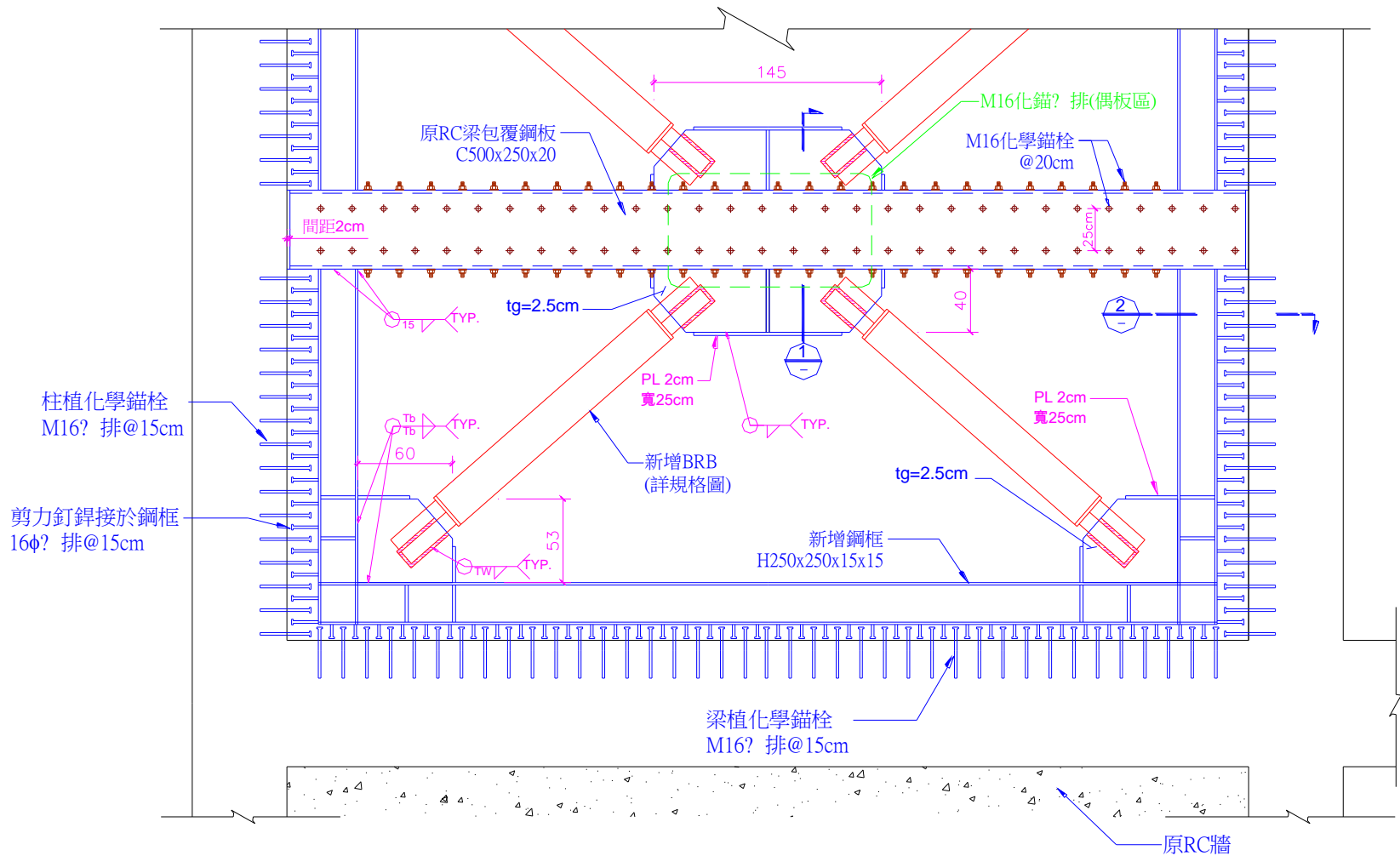
補強後結構性能點下最大層間變位角為**1.13%**小於補強前，但整體之屋頂位移高於補強前，主要補強功效來自於不規則處之改善，使變形較均勻之平面與立面分配而不原結構之集中變形於底層側邊。



補強前後結構X向之容量曲線

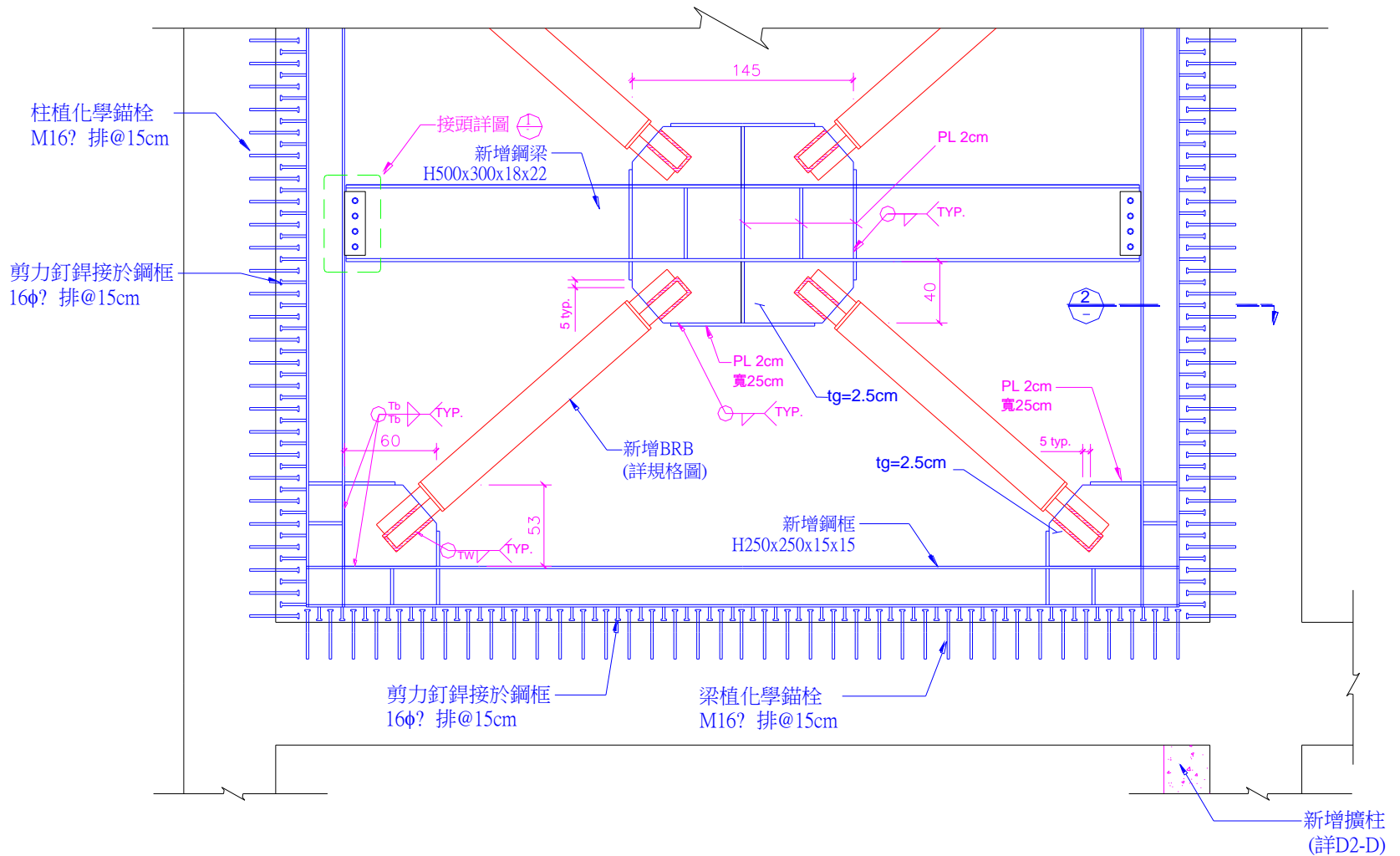


設計範例(二): 細部圖(a)



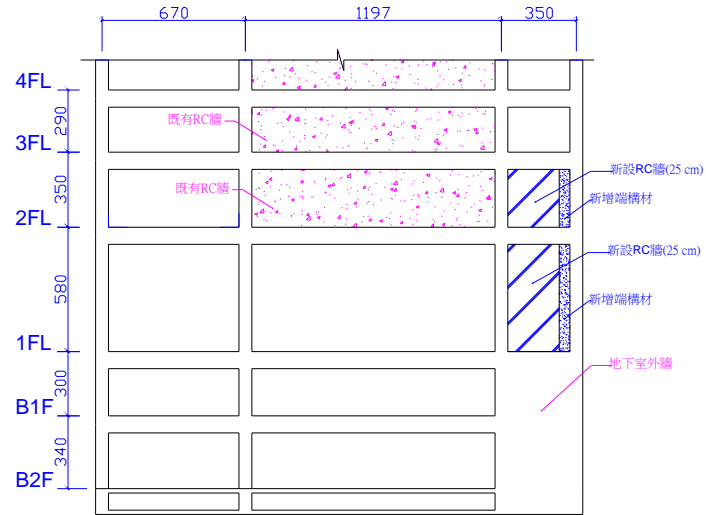
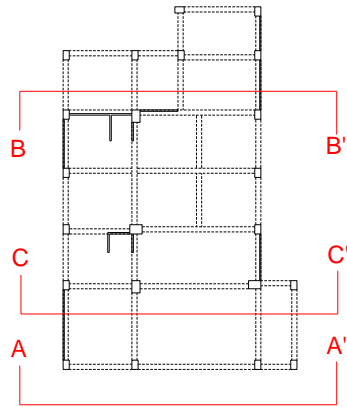
Line-5 一樓BRB補強側面細部圖

設計範例(二): 細部圖(b)

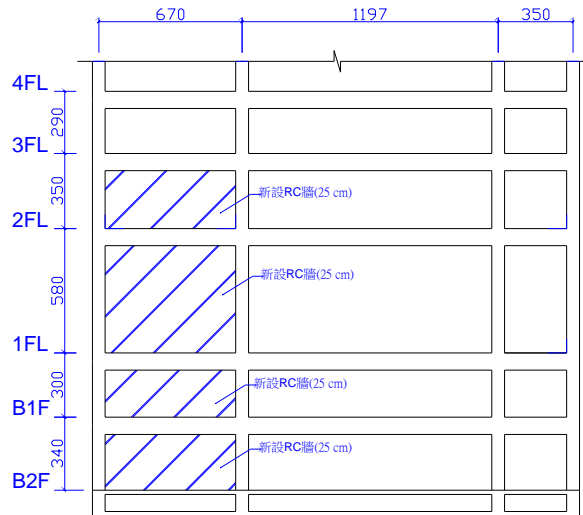


Line-1 一樓BRB補強側面細部圖

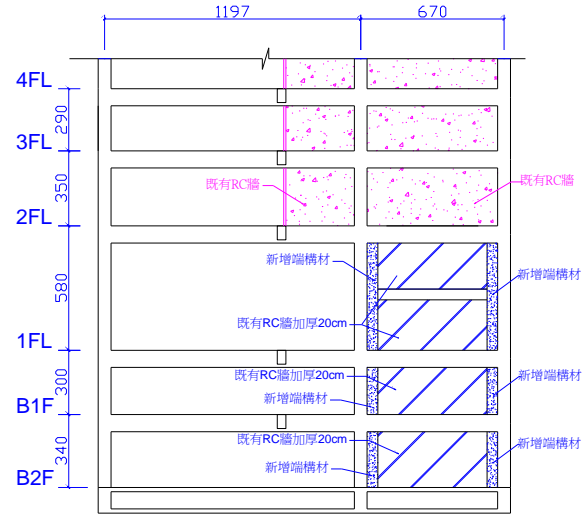
設計範例(二): 增設RC牆(1)



SEC. C-C' (Line-2 構架補強立面圖)

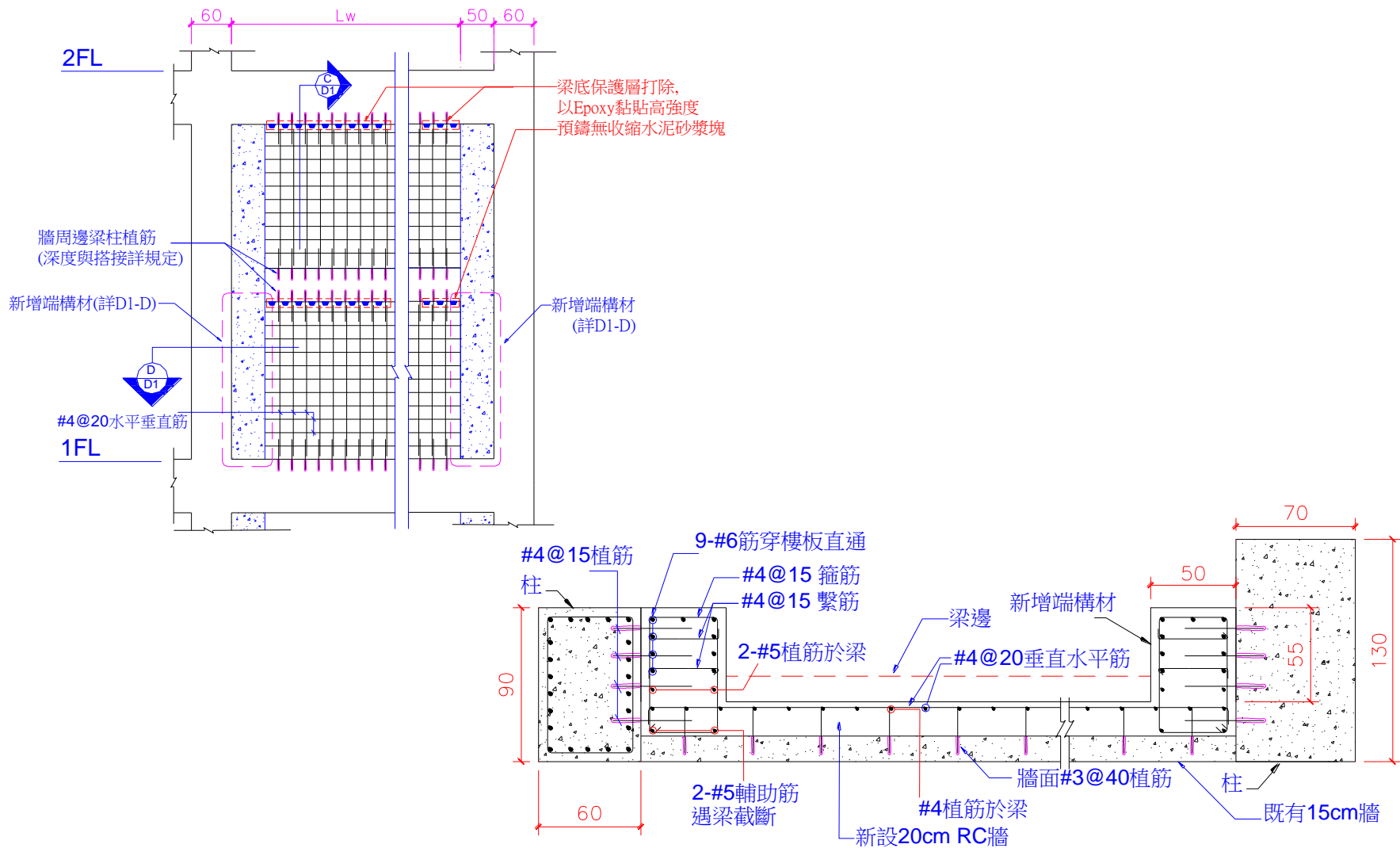


SEC. A-A' (Line-1 構架補強立面圖)



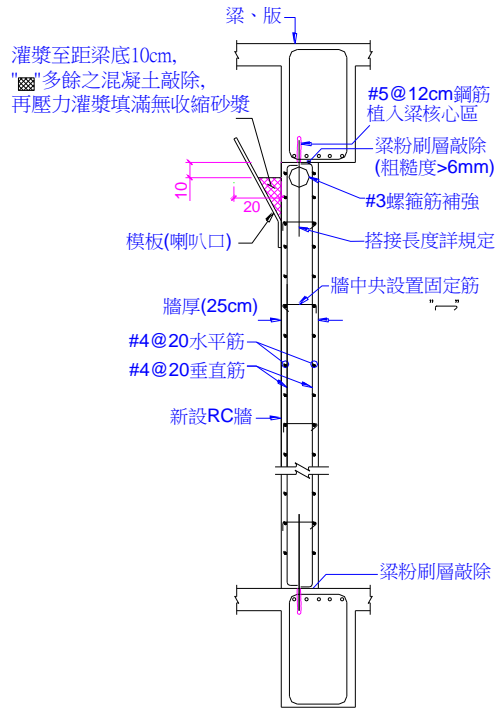
SEC. B-B' (Line-5 構架補強立面圖)

設計範例(二): 增設RC牆細部



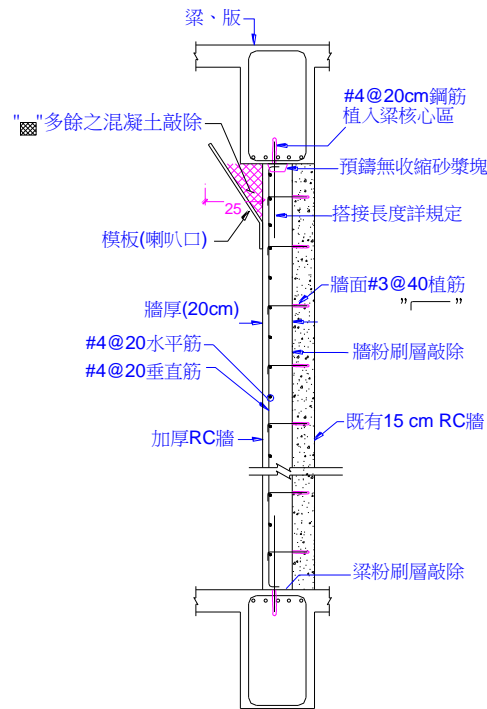
D 新增 RC牆平剖面圖
SCALE: none UNIT: cm

設計範例(二): 增設RC牆細部



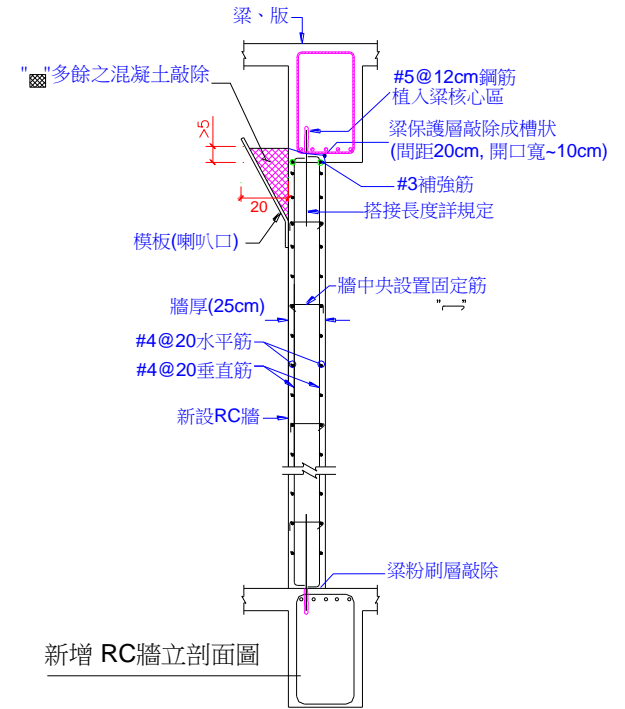
A 新增 RC牆立剖面圖
SCALE: none UNIT: cm

螺旋筋補強



C 新增 RC牆立剖面圖
SCALE: none UNIT: cm

砂漿塊補強

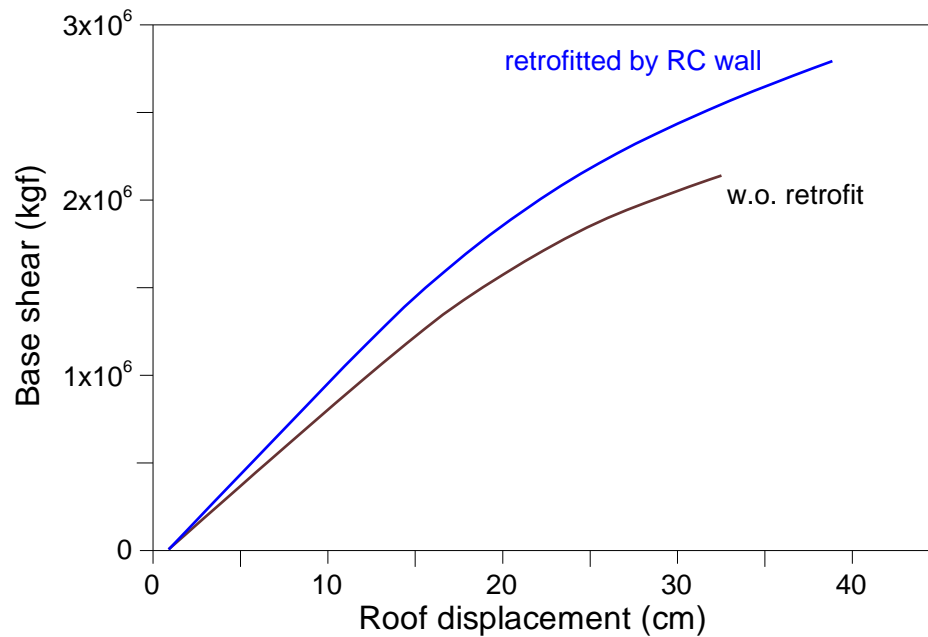


E 新增 RC牆立剖面圖
SCALE: none UNIT: cm

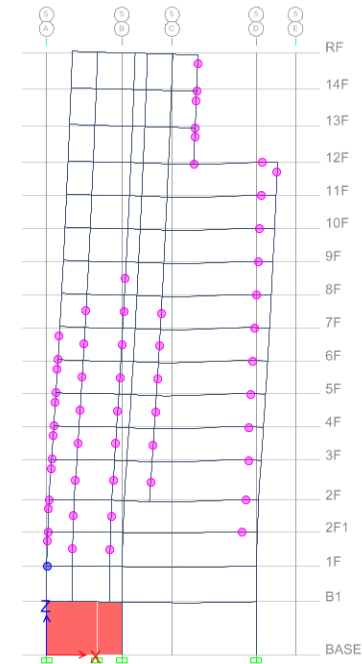
梁敲成槽狀補強

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

日本形状指標與國內相關評估方法比較

2017年改訂版

既存鉄筋コンクリート造建築物の

耐震診断基準

同解説

耐震改修促進法に基づく国土交通大臣認定
耐震診断及び耐震改修に関する指針と解説

一般財団法人 日本建築防災協会
国土交通大臣指定耐震改修支援センター

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	-	

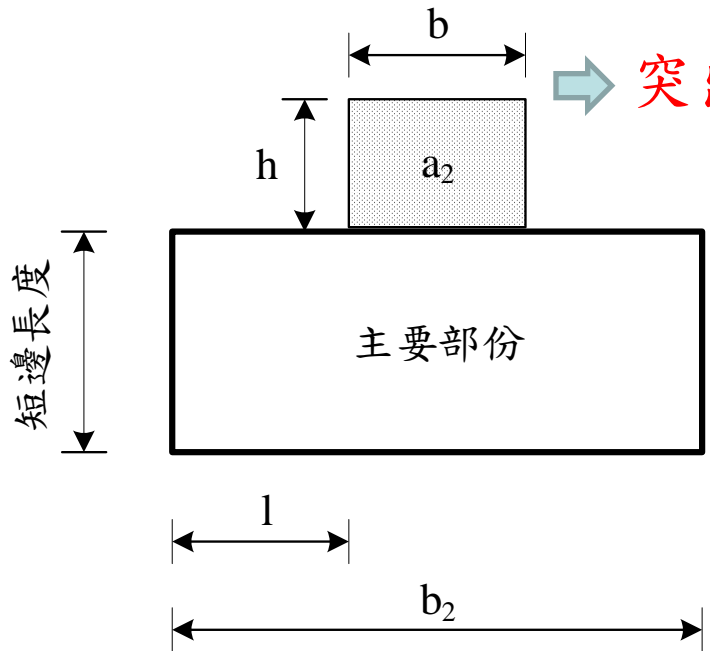
若B法採用構件彈性勁度時，需考慮此項次

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)	✓	✓	✓

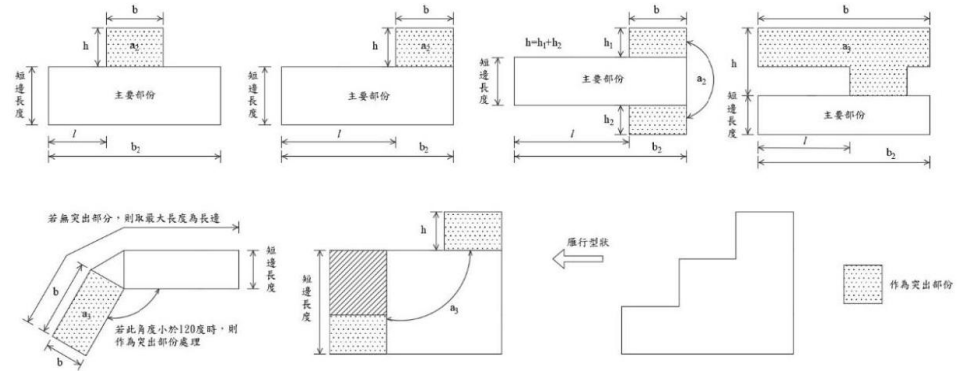
日本形狀指標與國內相關評估方法比較

1. 平整性



突出部份

日本耐震評估法



- a₁=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。
- a₂=較a₁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。
- a₃=較a₂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

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

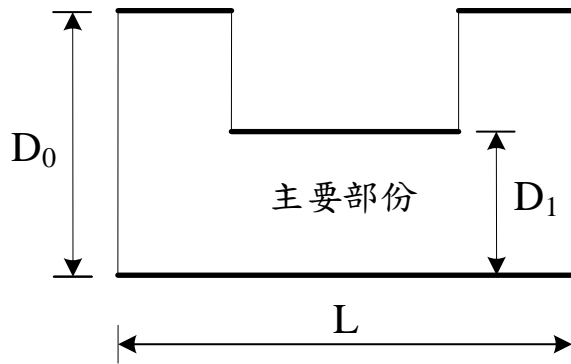
日本形狀指標與國內相關評估方法比較

2. 邊長比

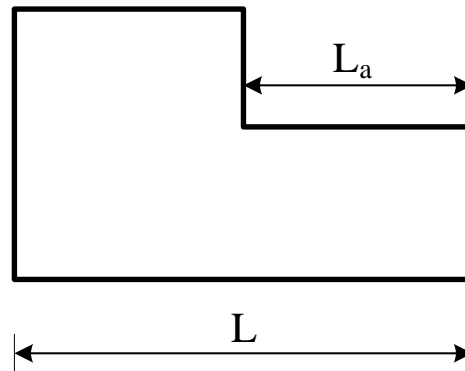
日本耐震評估法 $b = (\text{建築物的長邊}) / (\text{建築物的短邊})$

3. 凹角性

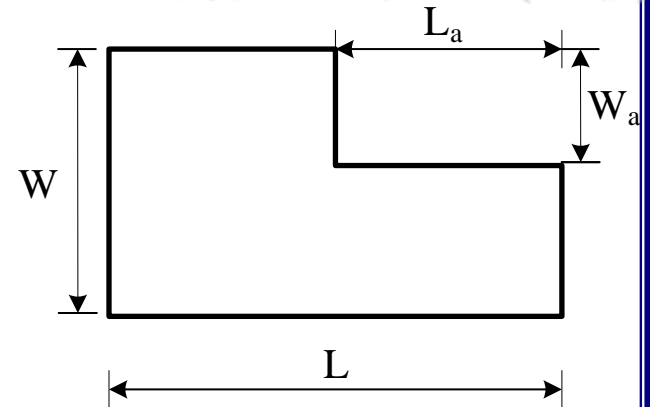
日本耐震評估法



耐震設計規範



國震中心評估法(校舍)



評估方式

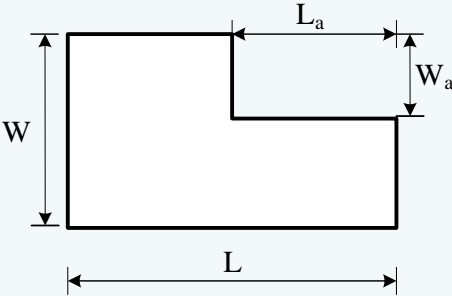
$$c = \frac{D_1}{D_0}$$

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

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

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

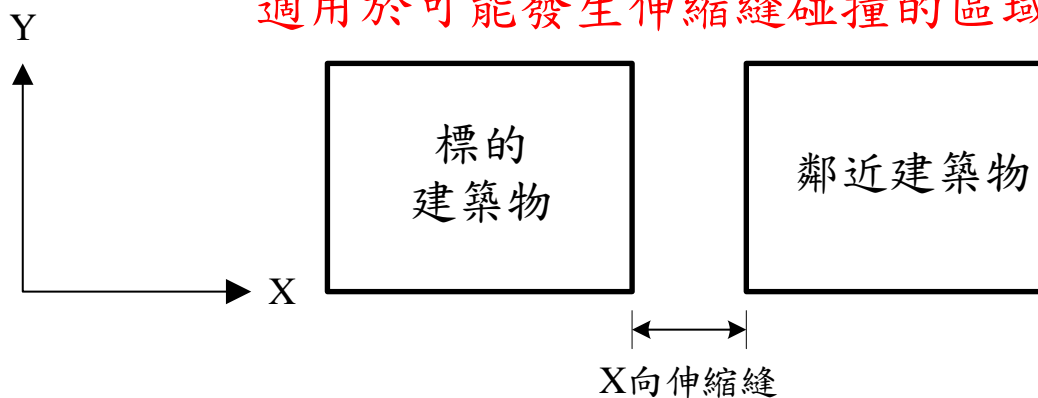
類別	判定方法及作法
日本耐震評估法	1. 平整性; 2. 邊長比; 3. 凹角性
建研所評估法	平面及立面對稱性
	平面依形狀規則程度分為良、尚可、不良 立面依形狀載重分佈情形分為良、尚可、不良
國震中心 評估法 (街屋)	不規則性
	 $\begin{cases} \frac{L_a}{L} > 15\% \\ \frac{W_a}{W} > 15\% \end{cases}$

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

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

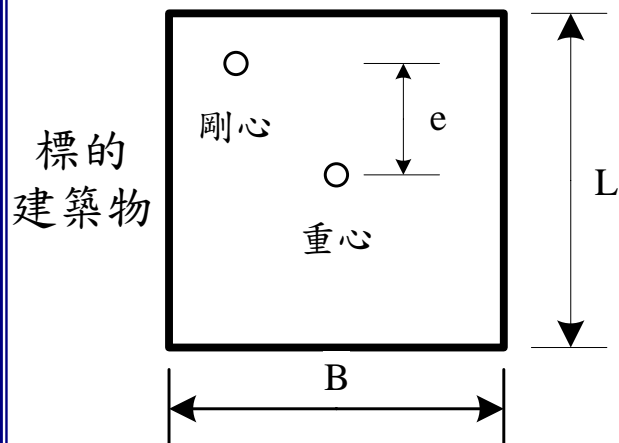
表4-3 形狀指標相關評估項目分類一覽表

			等級 G_i			範圍調整係數 R_i	
			1.0	0.9	0.8	R_{1i}	R_{2i}
水平 方向	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
	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

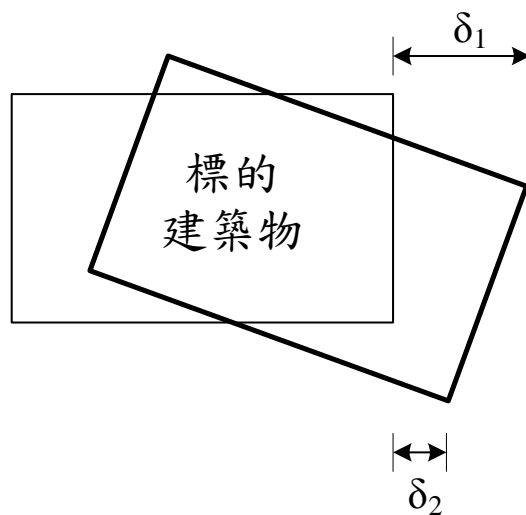
日本形狀指標與國內相關評估方法比較

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

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

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

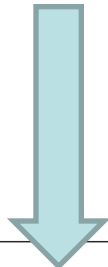
$$Q = q_1 q_2 q_3 q_4 q_5 q_6$$

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

$\frac{\text{地下室面積}}{\text{建築面積}}$



建研所評估法 (配分為2分)

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



A_2 : 地下室面積

A_1 : 建築投影面積

權重

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				-

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桃高程度判斷高、中、低三等級
國震中心評估法 (街屋)	軟弱層顯著性
	$q_3=0.9$ 建築物構架線內，有任一牆體中斷 $q_3=1.0$ 建築物構架線內，無任一牆體中斷

日本形狀指標

日本形狀指標

$$I_s = E_0 * S_D * T$$

耐震指標(I_s)：結構抗震性能指標。

保有性能指標(E_0)：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。

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_0 之指標。

經年指標 T ：由於建築物老化用於修正保有性能指標 E_0 的指標。

2017年改訂版

既存鉄筋コンクリート造建築物の

耐震診断基準

同解説

耐震改修促進法に基づく国土交通大臣認定
耐震診断及び耐震改修に関する指針と解説

耐震指標(I_s)診断方法

1. 一次診断(初評)
2. 二次診断(簡易詳評)
3. 三次診断(詳評)

一般財団法人 日本建築防災協会
国土交通大臣指定耐震改修支援センター

形狀指標評估項目

			等級 G_i			範圍調整 係數 R_i	
			1.0	0.9	0.8	R_{1i}	R_{2i}
平面 方向	a	外觀	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
	c	收縮	$0.8 \leq c$	$0.5 \leq c < 8$	$c < 0.5$	0.5	0.25
	d	伸縮縫	$\frac{1}{100} \leq d$	$\frac{1}{200} \leq d < \frac{1}{100}$	$d < \frac{1}{200}$	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
立面 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	層高之均等性	$0.8 \leq i$	$0.7 \leq h < 0.8$	$i < 0.7$	0.5	-
	j	有無底層挑高	無	全挑高	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

形狀指標計算方法

平面 形狀	a	外觀性
	b	邊長比
	c	收縮
	d	伸縮縫
	e	挑空
	f	剛性樓版 ^{*1}
斷面 形狀	h	地下室
	i	層高均等性
	j	有無底層架空
k	柱之連續性 ^{*2}	
剛性	機材之剛性	
	l	偏心率
	n	剛重比

(1) 一次診斷用之形狀指標

$$S_{D1} = q_{1a} \times q_{1b} \times q_{1c} \times q_{1d} \times q_{1e} \times q_{1f} \times q_{1h} \times q_{1i} \times q_{1j} \times q_{1k}$$

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

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

(2) 二、三次診斷用之形狀指標

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

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

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

差異：

1. 沒有*i*項

2. B法使用彈性剛度才有*j*項

3. 多*l*、*n*項

割線勁度 (固定變形量)

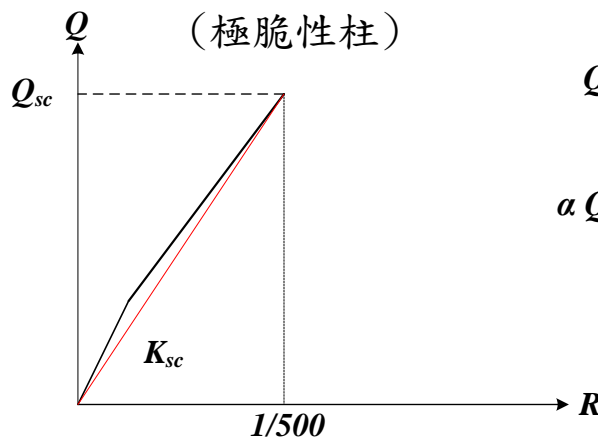
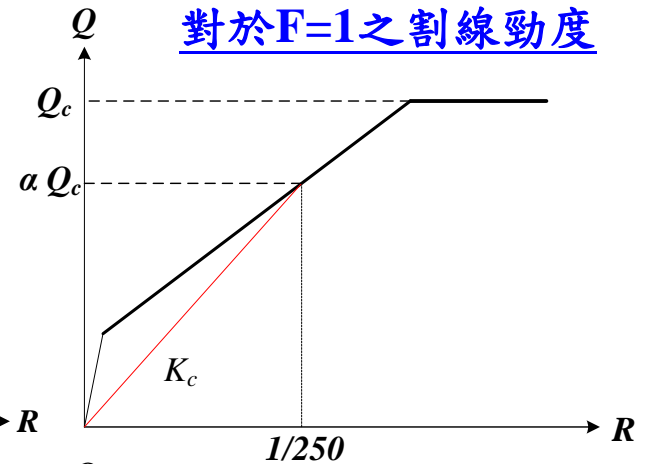
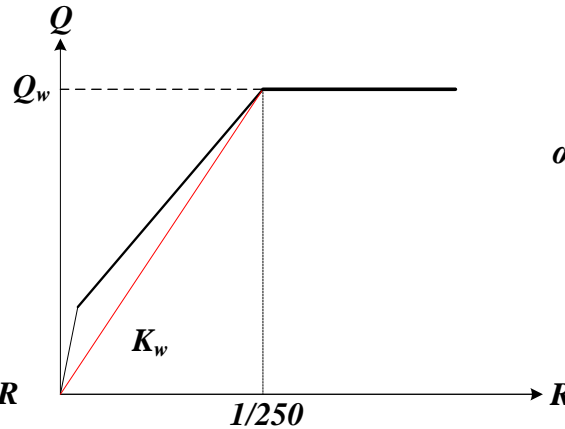
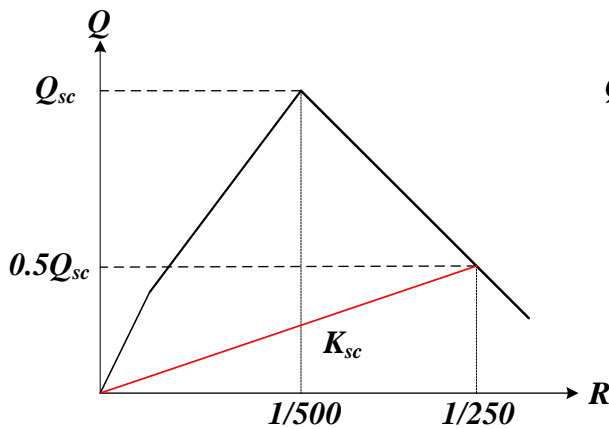
$$K = \frac{\alpha Q}{R}$$

R：為所探討之層間變形角，原則上變形對應於F=1。

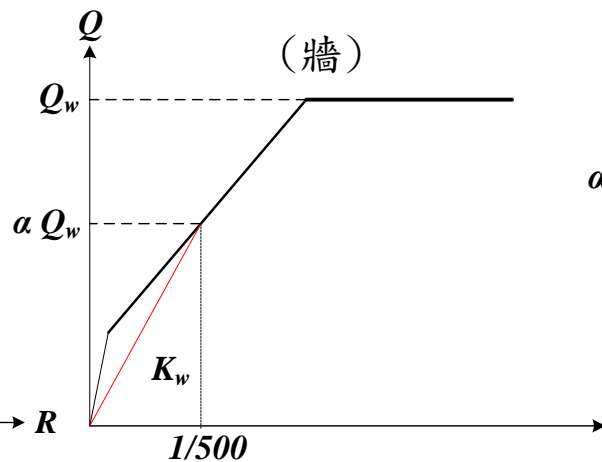
Q：為構材(柱或牆)之極限強度。

α ：是對應於R之強度貢獻係數

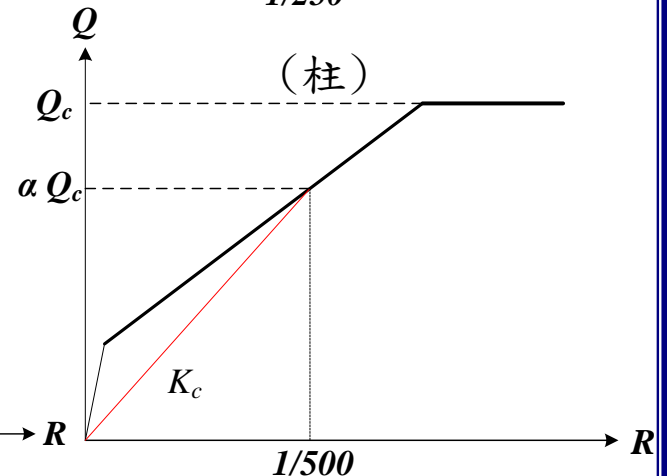
對於F=1之割線勁度



(極脆性柱)



(牆)



(柱)

(極脆性柱)

(牆)

對於F=0.8之割線勁度

(柱)

偏心率與剛重比計算

(1) 重心座標計算

$$g_X = \frac{\sum NX}{\sum N} \quad g_Y = \frac{\sum NY}{\sum N}$$

N：為垂直構材之軸力
X、Y：代表構件X及Y座標

(2) 剛心座標計算(勁度中心)

$$l_X = \frac{\sum K_{Yj} X}{\sum K_{Yj}}$$

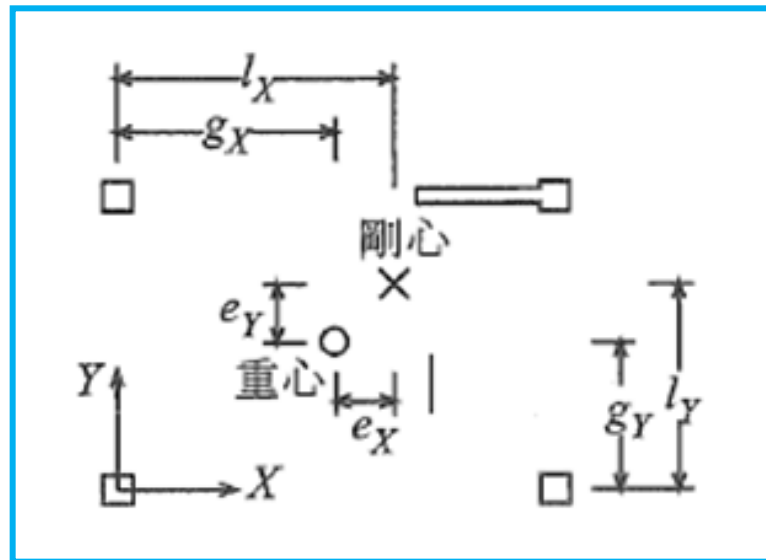
$$l_Y = \frac{\sum K_{Xj} Y}{\sum K_{Xj}}$$

垂直構件割線勁度值

(3) 各層偏心距離

$$e_X = |l_X - g_X|$$

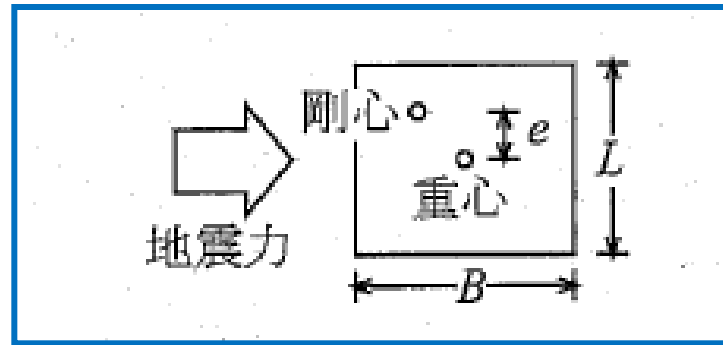
$$e_Y = |l_Y - g_Y|$$



偏心率計算

(4) 偏心率 l

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



e ：為重心至剛心(勁度中心)之距離(垂直地震方向)。
 B 及 L ：為將樓層之平面以等值矩形來代替之尺寸

(5) 依據偏心率範圍計算方法A之 G_l

$$G_l = 1.0 \quad ; \quad (l \leq 0.1)$$

$$G_l = 0.9 \quad ; \quad (0.1 < l \leq 0.15)$$

$$G_l = 0.8 \quad ; \quad (0.15 < l)$$

扭轉勁度之影響，甚至是垂直方向構材之影響並不包括在裡面。需要注意的是，一棟扭轉勁度較大之建築物，如周圍有配置許多牆壁之建築物，若使用方法A時，會低估其 G_l 值，此時建議利用方法B或方法C來評估。

偏心率計算

(5) 方法B之值 G_i 值根據下式計算

(1) 藉由下式計算扭轉勁度

$$K_R = \sum K_{Xj} Y_j^2 + \sum K_{Yj} X_j^2$$

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。

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

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

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

$$R_{eX} = \frac{e_Y}{r_{eX}} ; R_{eY} = \frac{e_X}{r_{eY}}$$

(4) 根據偏心率之範圍來計算係數 F_e

$$F_e = 1 ; (R_e \leq 0.15)$$

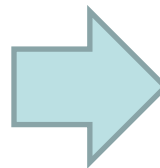
$$F_e = 1 + (R_e - 0.15) / 0.3 ; (0.15 < R_e \leq 0.3)$$

$$F_e = 1.5 ; (0.3 < R_e)$$

(5) B法之 G_i' 以係數 F_e 之倒數來計算

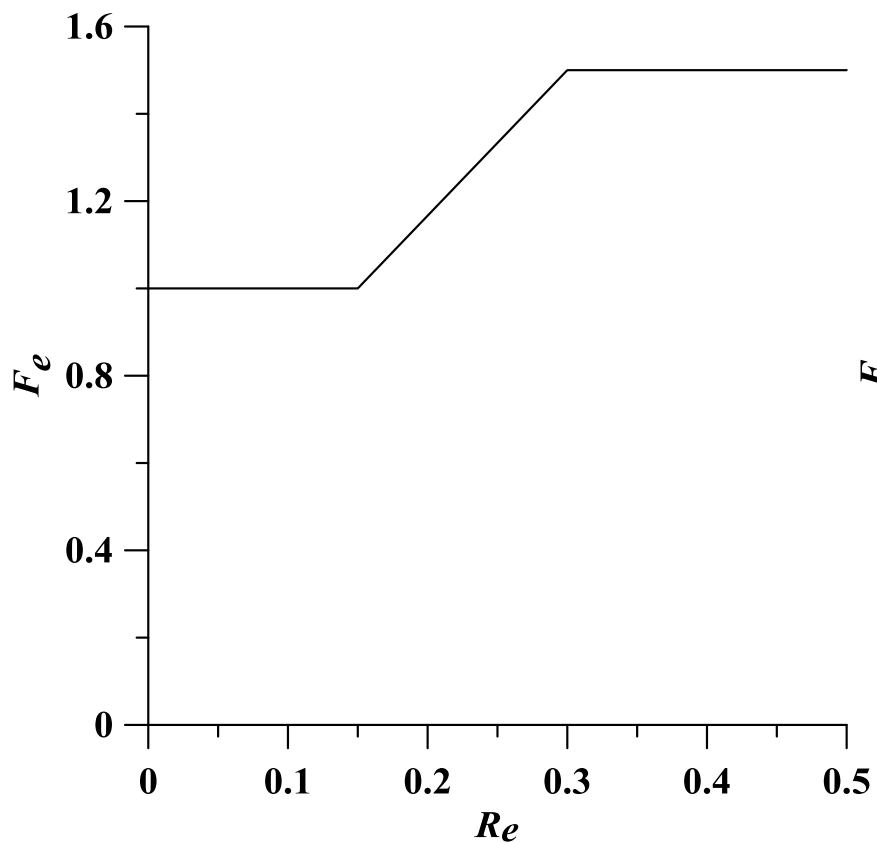
$$G_i' = \frac{1}{F_e} ; 1.0 \leq F_e \leq 1.5$$

日本保有水平耐力
設計指針

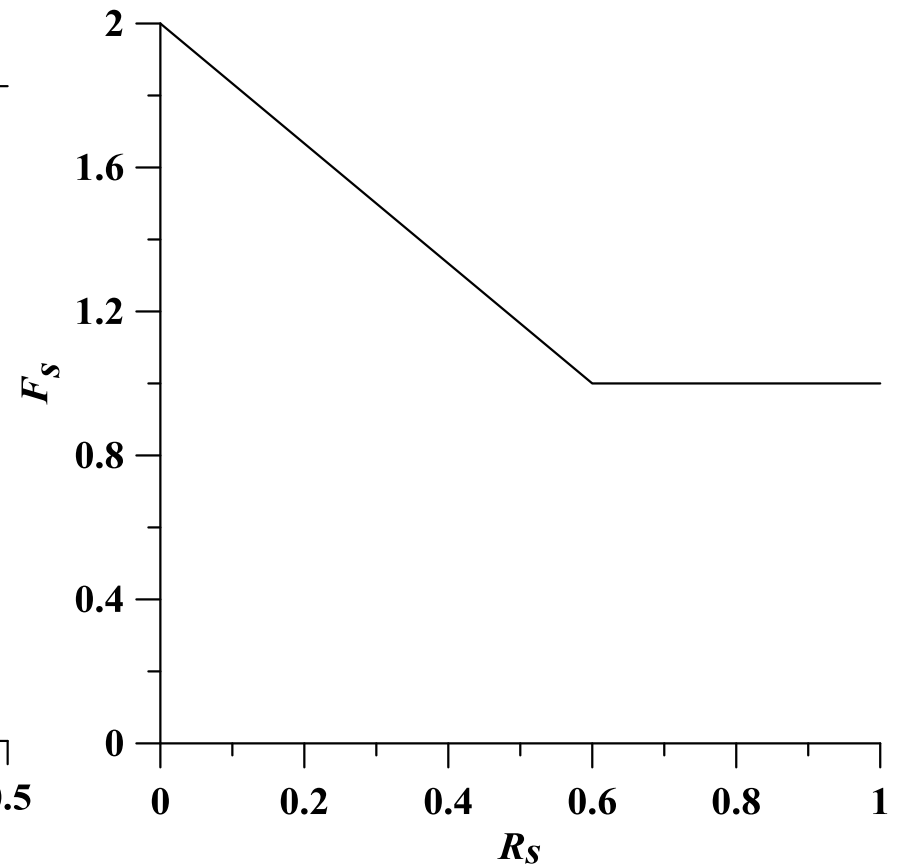


日本保有水平耐力設計指針

(1) F_e : 偏心率放大係數



(2) F_s : 剛重比放大係數



剛重比計算(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 。

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

(4-11)

式中，

W_i =*i*層之重量。

ϕ_i =外力分布之補正係數。

$\sum K$ =式(4-3)所計算之第*i*層全部構材的割線勁度總和。

剛重比計算(A)

(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(4-12)來計算 n 值。

$$\begin{aligned}n &= \frac{R_i}{R_{i+1}} ; i=1 \\n &= \max\left(\frac{R_i}{R_{i+1}}, \sqrt{\frac{R_i}{R_{i-1}}}\right) ; 1 < i < N \\n &= \sqrt{\frac{R_i}{R_{i-1}}} ; i = N\end{aligned} \tag{4-12}$$

(3) 方法 A 之 G_n 根據係數 n 的範圍，依下式計算。

$$\begin{aligned}G_n &= 1.0 ; n \leq 1.5 \\G_n &= 0.9 ; 1.5 < n \leq 2.0 \\G_n &= 0.8 ; 2.0 < n\end{aligned} \tag{4-13}$$

剛重比(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 。

$$R_s = \frac{r_{si}}{r_s} \quad (4-14)$$

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 。

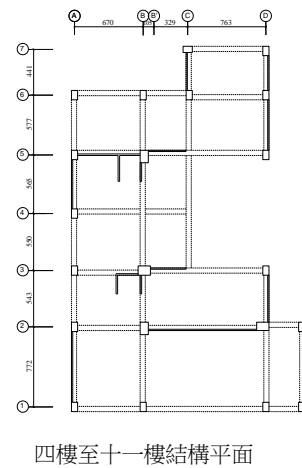
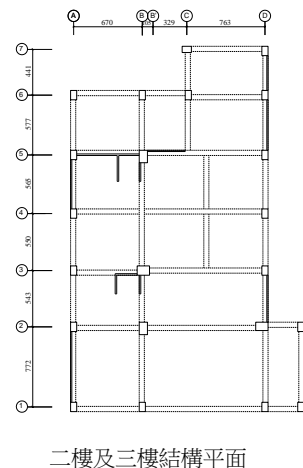
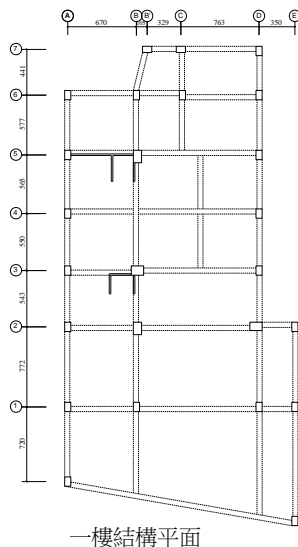
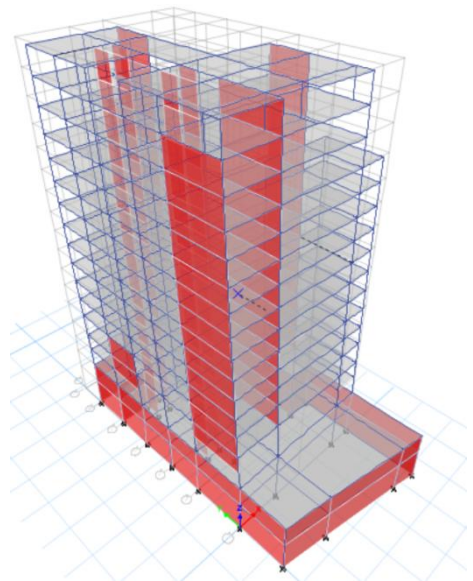
$$F_s = 2 - \frac{R_s}{0.6} ; R_s \leq 0.6 \quad (4-15)$$
$$F_s = 1.0 ; R_s > 0.6$$

(4)B法之 G_n' 以係數 F_s 之倒數來計算。

$$G_n' = \frac{1}{F_s} ; 1.0 \leq F_s \leq 2.0 \quad (4-16)$$

案例評估示範例

案例評估示範例



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

結構基本耐震能力

1.耐震能力標準

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

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

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

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

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

$$T_0^D = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.634}{0.856} = 0.74 \text{ s}$$

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 $S_c > S_{aD} = S_{D1}/T = 0.73$ 。

2.基本耐震能力 S_0

X向底層基本耐震能力譜加速度 $S_0 = 0.840$

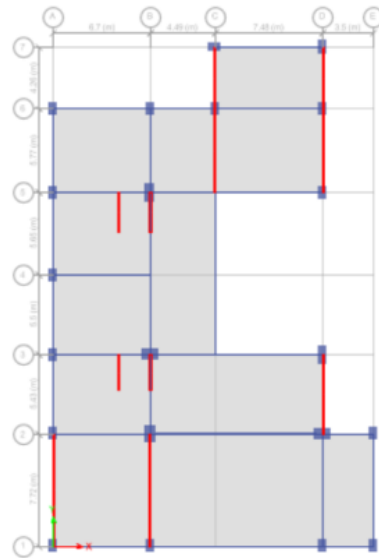
Y向底層基本耐震能力譜加速度 $S_0 = 0.838$

形狀指標(A法)

形狀指標

(a) 平整性

此大樓平面分布形狀共分五種，其中4F~12F為多數且是主要型式，故以其平面形狀作為判定標準。另此型式依判定標準所謂突出之部分為該層樓地板面積30%以上，故取 $G_a=0.8$



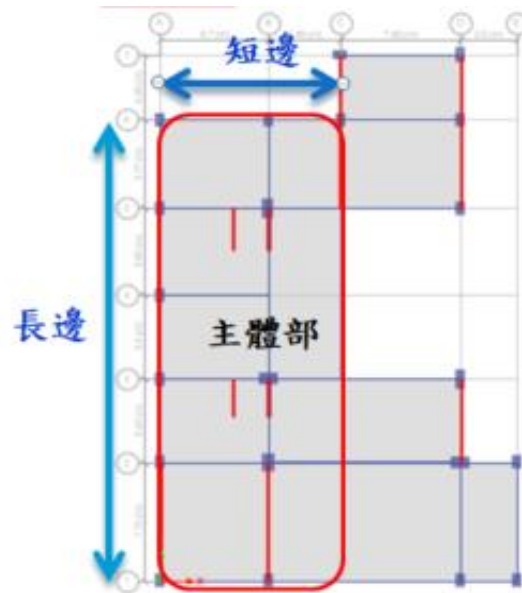
4F~12F樓層平面圖

形狀指標(A法)

形狀指標

(b) 邊長比

紅框內為結構主體部，計算其長邊長度為30.7m，短邊長度為11.19m，故 $b=30.7\text{m}/11.19\text{m}=2.74 < 5$ ，取 $G_b=1.0$



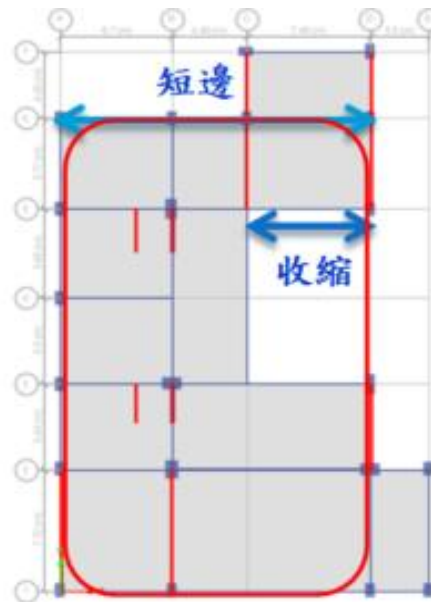
邊長比判定圖形

形狀指標(A法)

形狀指標

(c) 凹角性

結構短邊長度為 18.67m，收縮距離為 7.48m，故 $c=7.48\text{m}/18.67\text{m}=0.4<0.5$ ，取 $G_c=0.8$ 。



凹角性判定圖形

(d) 伸縮縫

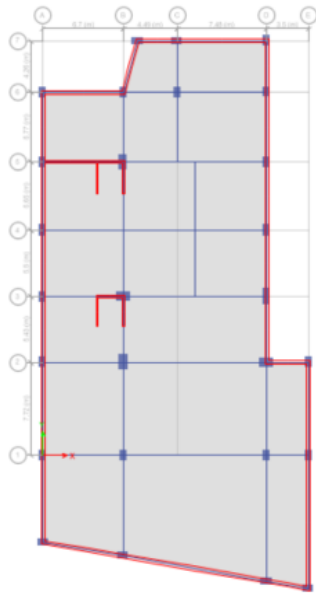
本建築無伸縮縫，故取 $G_d=0.8$ 。

形狀指標(A法)

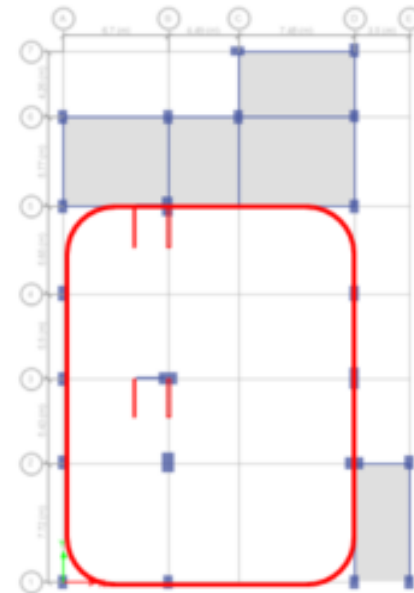
形狀指標

(e) 挑空

本建築於1樓至2樓(2F)有挑空，1樓樓地板面積=561.40m²、2樓樓地板面積=453.68m²， $e=453.68/561.40=0.792>0.3$ ，取 $G_e=0.8$ 。



1F樓層平面圖



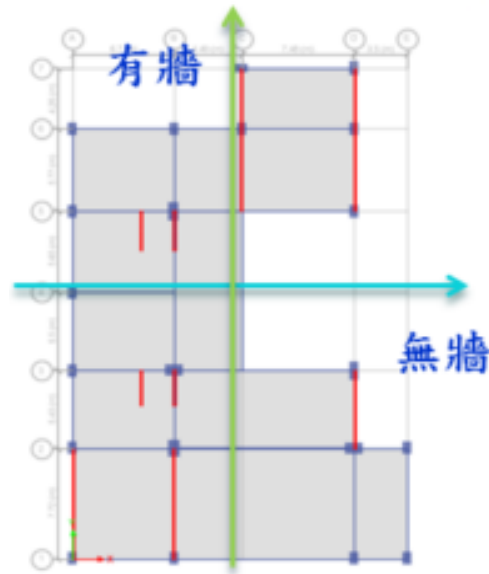
2F1樓層平面圖

形狀指標(A法)

形狀指標

(f) 剛性樓板假設

X方向無牆可提供強度，Y方向有牆可提供強度，故對剛性樓板假設稍有疑慮，取 $G_f = 0.9$ 。



剛性樓板判斷圖形

形狀指標(A法)

形狀指標

(h) 有無地下室

地下室面積與建築基地面積相同，取 $G_h=1.0$

(i) 層高均等性

已納入二次診斷項目n(剛重比)考慮

(j) 有無底層挑空

有底層全挑空，取 $G_j=0.9$

(k) 柱不連續性

此結構均無不連續柱，故各樓層取 $G_k=1.0$

形狀指標(A法)

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	0.9;1.0	0.9	1.0
垂直方向	h	1.0	1.0	
	j	0.9	0.9	
	k	1.0	1.0	
	n	0.9;1.0	0.9	1.0
形狀指標(S_D)			0.56	0.69

X向底層基本耐震能力譜加速度 $S_0 * S_D = 0.840 * 0.56 = 0.470 < 0.73$

Y向底層基本耐震能力譜加速度 $S_0 * S_D = 0.838 * 0.69 = 0.578 < 0.73$

中高RC倒塌預防階段性補強

中高RC結構倒塌預防階段性補強

☆ 補強策略：

結構不規則性改善(偏心)、提昇軟弱層強度(剛重比)為主之策略
各工法之選用基本原則與可能優缺點、限制條件等

☆ 補強工法：

- 彙整討論各種工法如RC牆補強、鋼斜撐補強、位移型消能補強於中高層建築之應用。
- 考量鄰房限制、經費、補強樓層等之補強方式。

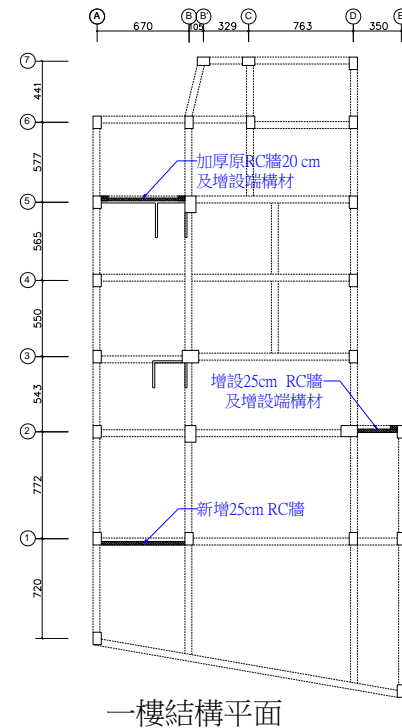
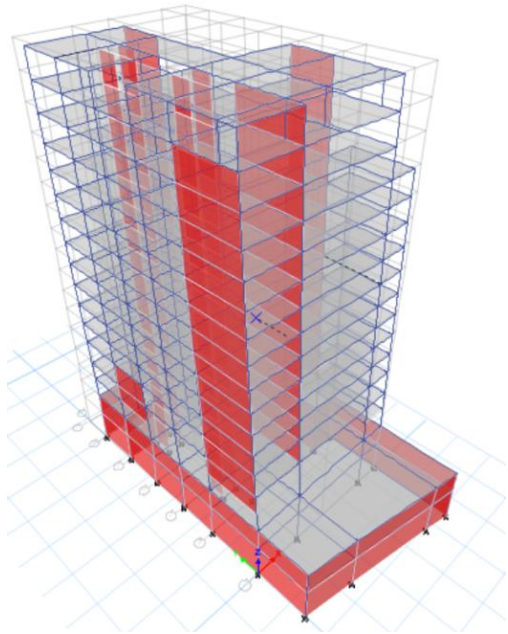
補強設計示範例

1. 補強目的

⇒ 調整偏心率、剛重比係數

2. 補強工法

⇒ 增設三道RC剪力牆體，厚度分別為20cm、25cm，縱向鋼筋採用4號筋，配置間距20cm，降伏強度 2800 kgf/cm^2



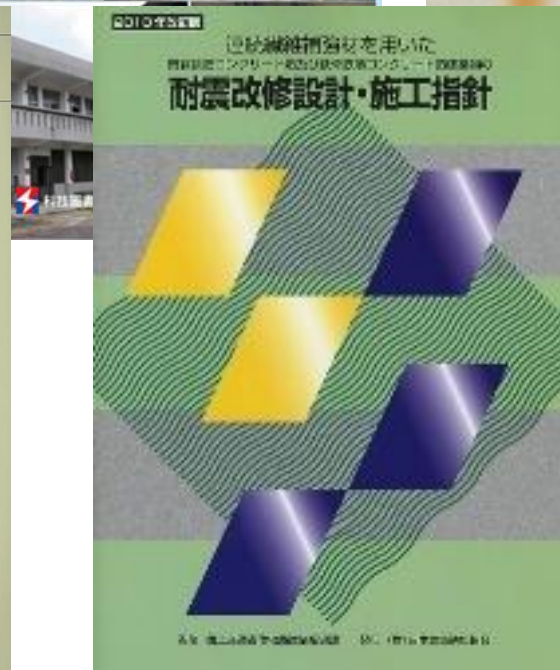
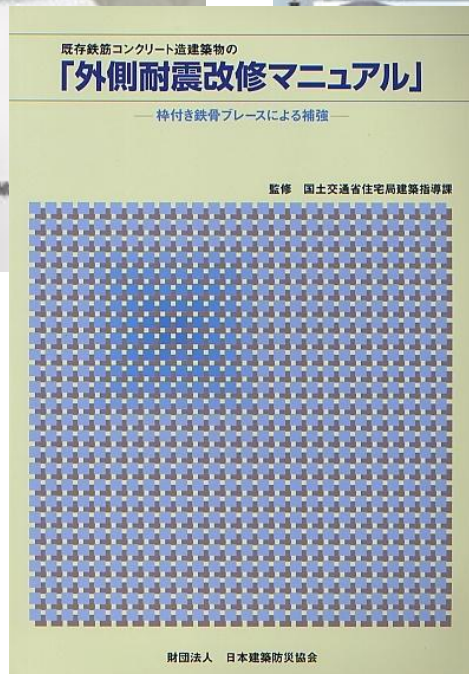
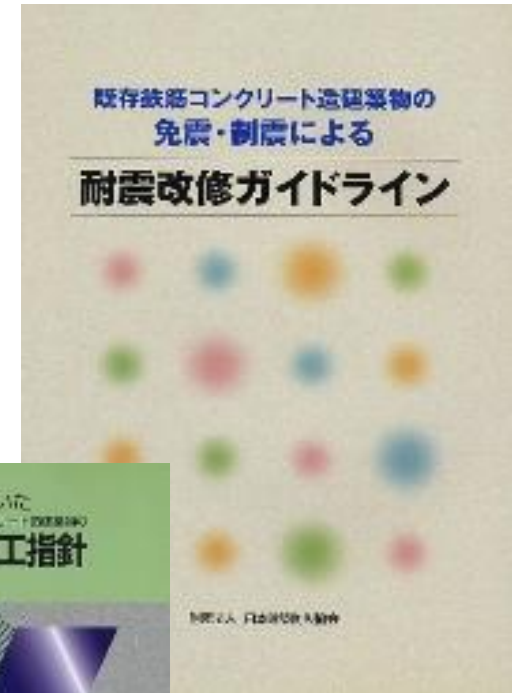
補強設計示範例

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

X向底層基本耐震能力譜加速度 $S_{0x} \cdot S_{Dx} = 0.949 \cdot 0.77 = 0.731 > S_c = 0.73$

Y向底層基本耐震能力譜加速度 $S_{0y} \cdot S_{Dy} = 0.946 \cdot 0.77 = 0.73 = S_c$

補強設計手冊



報告完畢！ 謝謝