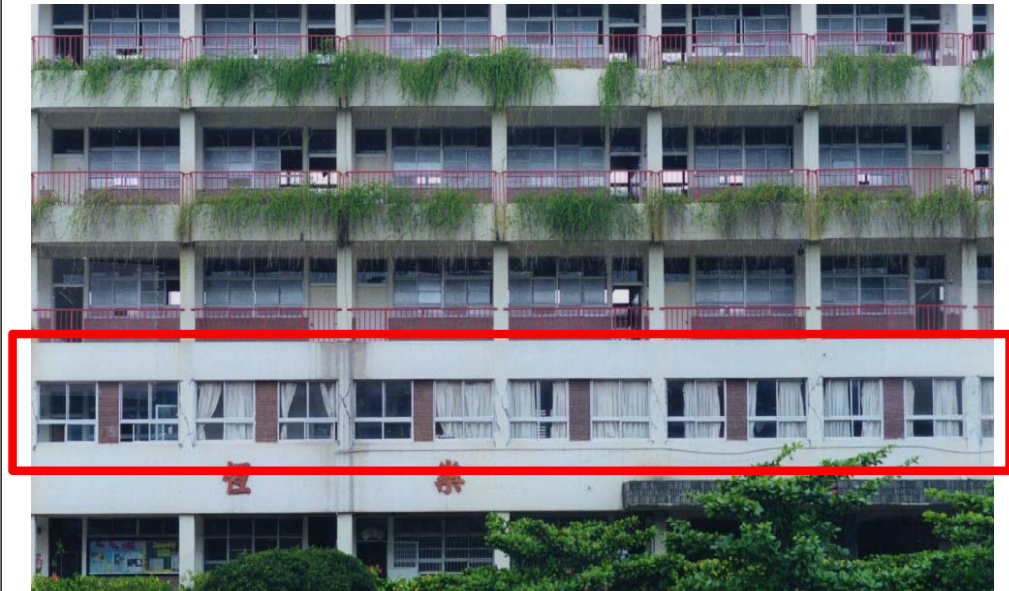


鋼筋混凝土建築物補強及修復 參考圖說及解說研討會

高窗短柱及窗台短柱處理方法

主講人：張順益
May 11, 2016

短柱破壞實例 - 天母士東國小



短梁短柱破壞實例

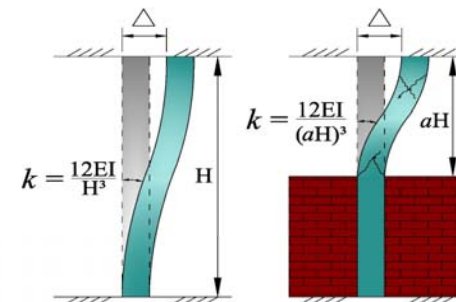


短柱破壞的主要影響因素：

- 柱有效淨高寬比小
- 非韌性配筋
- 構材抗剪強度不足

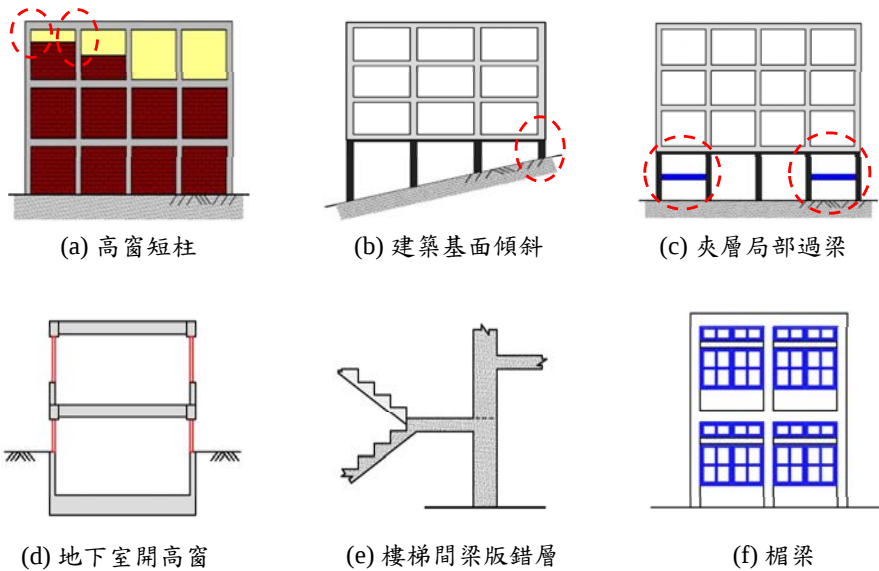


鋼筋混凝土構架之短柱破壞



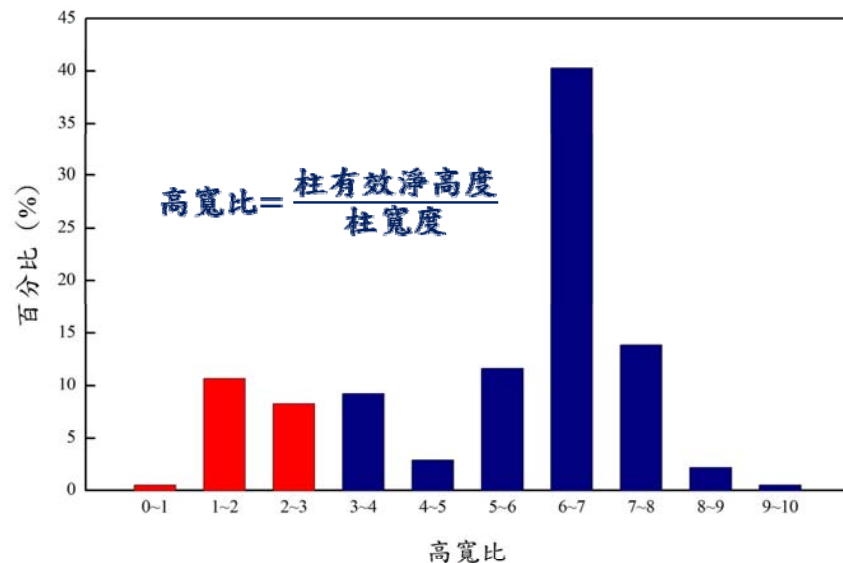
- 建築物常為了通風、採光等需要而開立窗戶，此時因填充台度磚牆而可能使一般柱變成為短柱。
- 地震時，同樓層的柱將承受大致相同的側位移，但因短柱勁度變大，而較其他的柱承擔更多剪力，因而發生短柱破壞。
- 短柱破壞主要是由剪力所控制，且短柱兩端的相對側位移能力很小，常是建築物最先破壞的位置。

潛在短柱破壞



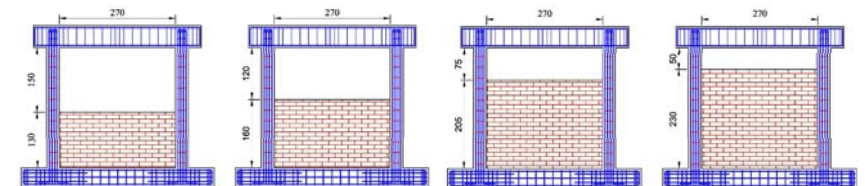
RC構架填充高度磚牆之 短柱行為試驗研究

112棟建築物 - 柱高寬比之分佈



填充不同高度磚牆之構架試體

- 試體之1B磚牆採後砌方式(英式砌法)



編號：	S1	S2	S3	S4
柱淨高：	150 cm	120 cm	75 cm	50 cm
高寬比：	$\frac{150}{30} = 5$	$\frac{120}{30} = 4$	$\frac{75}{30} = 2.5$	$\frac{50}{30} = 1.67$

(ACI一般柱與短柱高寬比之臨界值=4)

實驗試體之材料強度

混凝土抗壓強度 (kgf/cm^2)

	基礎	柱、梁	砌磚水泥砂漿	紅磚
設計強度	280	140	100	150
實際強度	337	184	209	275

鋼筋抗拉強度 (kgf/cm^2)

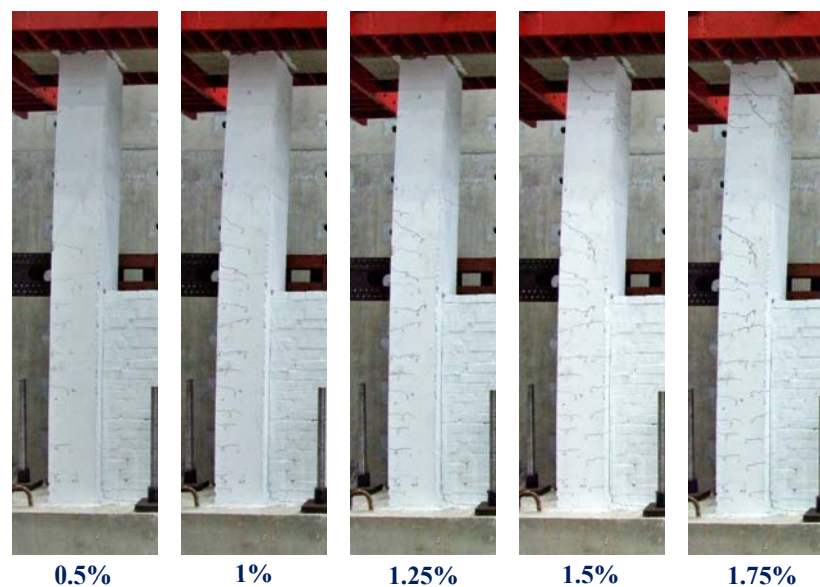
	#3 (D10)	#4 (D13)	#5 (D16)	#6 (D19)
設計強度	2800	2800	2800	4200
實際強度	3367	3867	3673	4516

反覆載重試驗

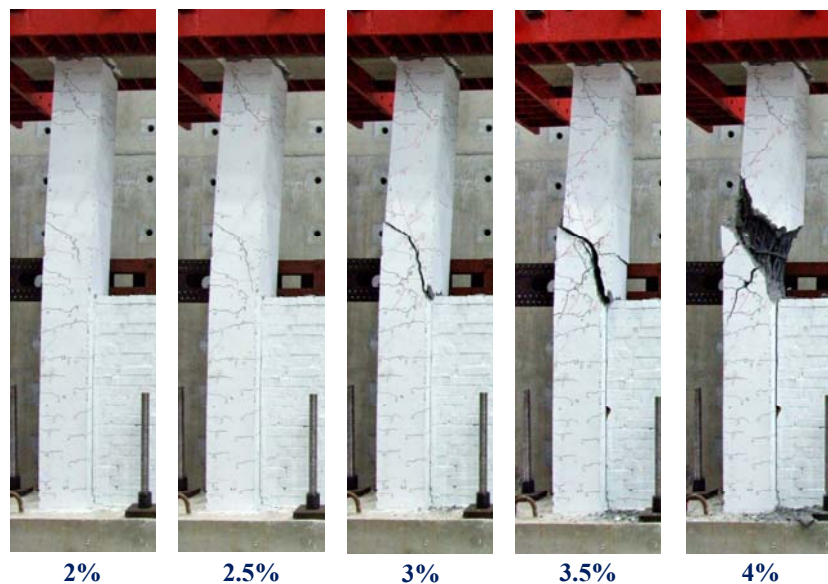
試體S1之最終破壞情形



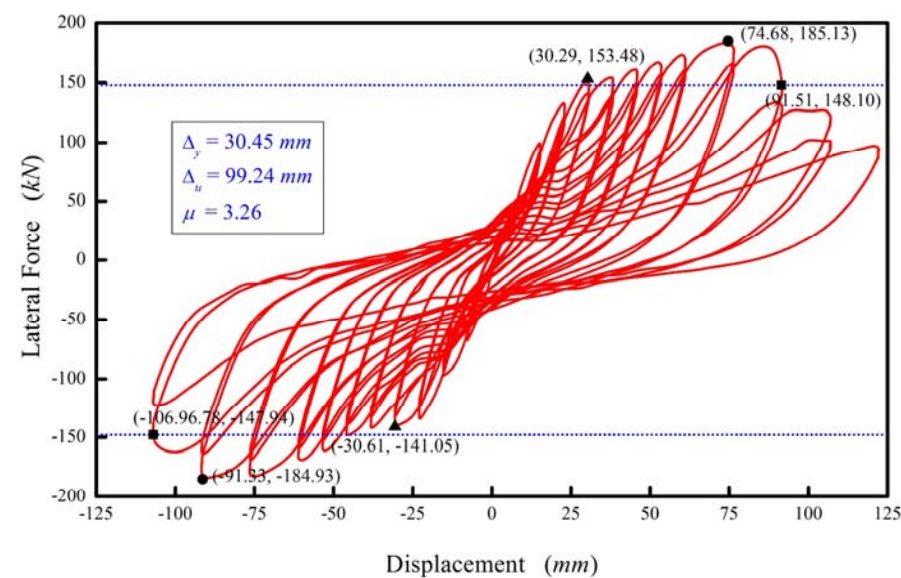
試體S1構架之邊柱受力發展



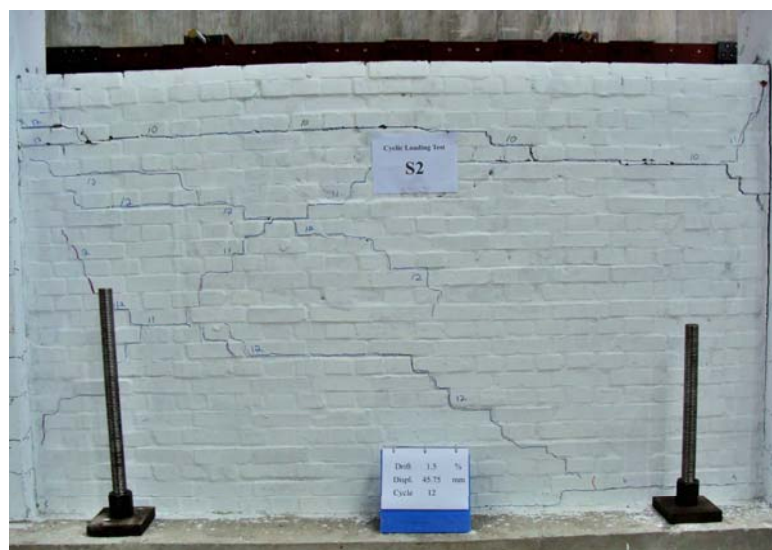
試體S1構架之邊柱受力發展



試體S1之側向力-位移關係圖



試體S2實驗觀察

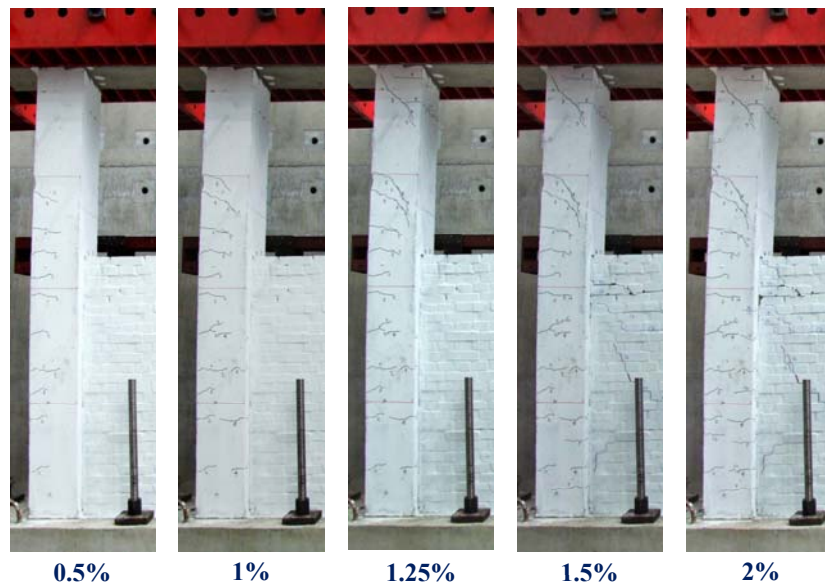


側位移比1.5%，磚牆裂隙沿對角線方向快速發展

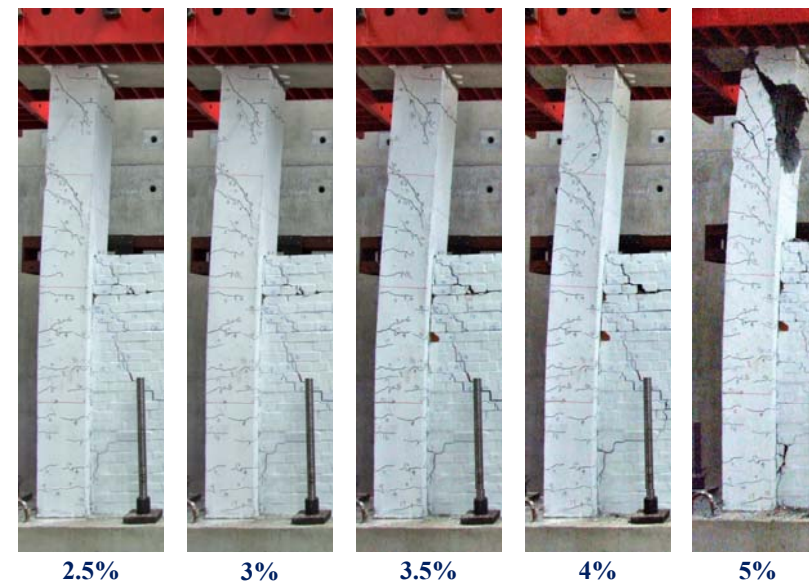
試體S2最後破壞情形



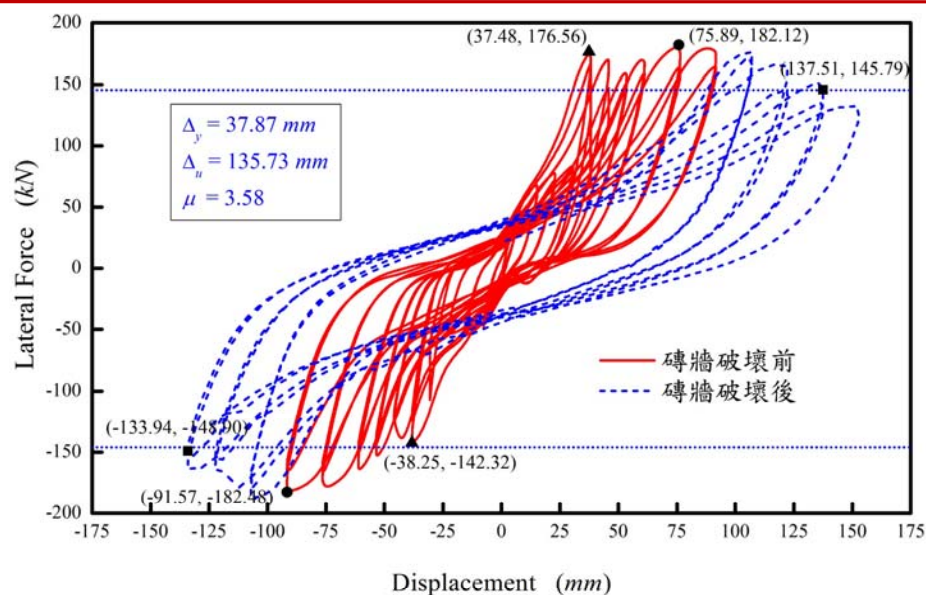
試體S2構架之邊柱受力發展



試體S2構架之邊柱受力發展



試體S2之遲滯迴圈圖



試體S3實驗觀察

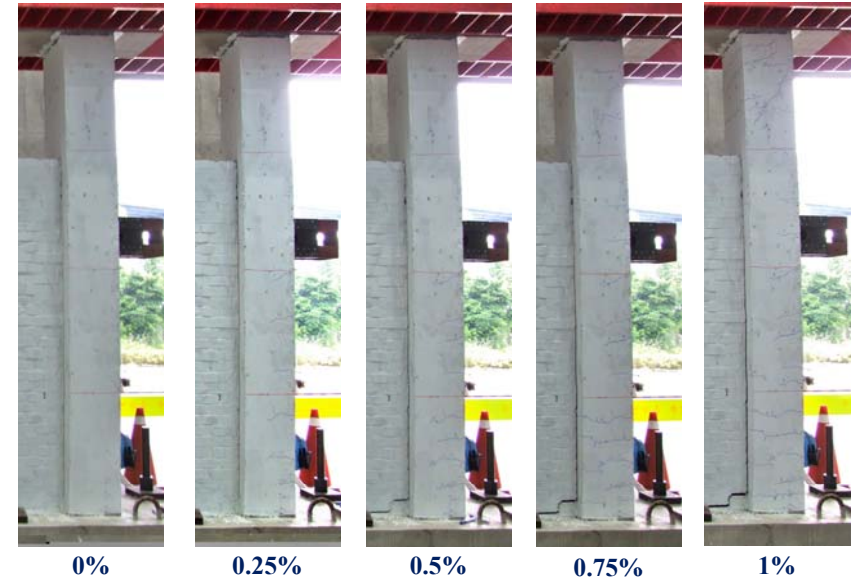


側位移比2%，在短柱區域中央之核心混凝土嚴重破損

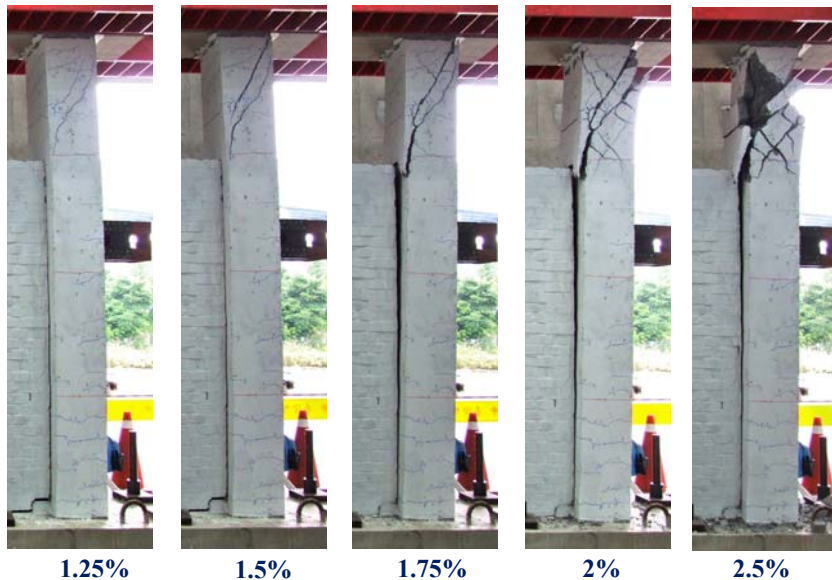
試體S3最後破壞情形



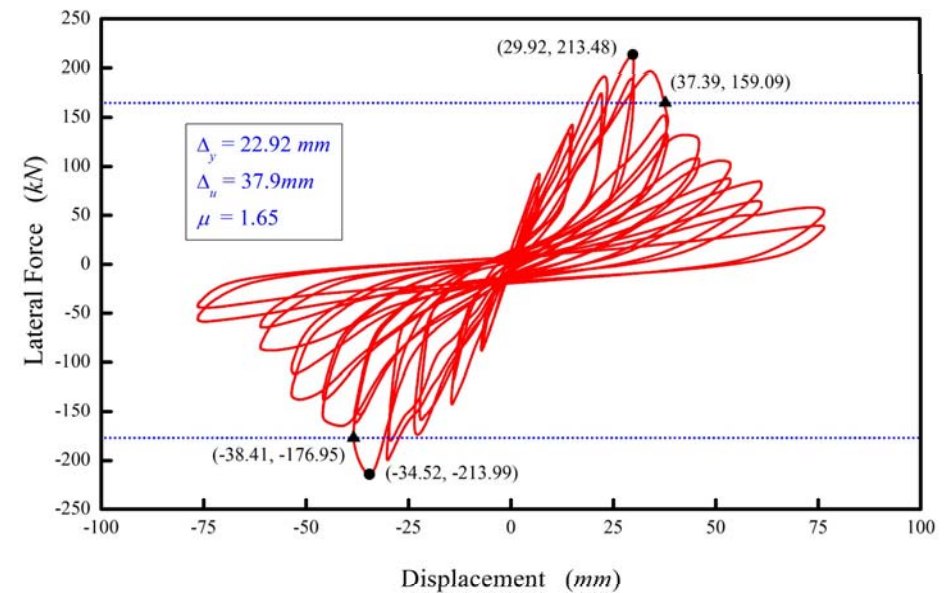
試體S3構架之邊柱受力發展



試體S3構架之邊柱受力發展



試體S3之遲滯迴圈圖



試體S4實驗觀察



側位移比1.5%，斜向裂縫貫穿短柱

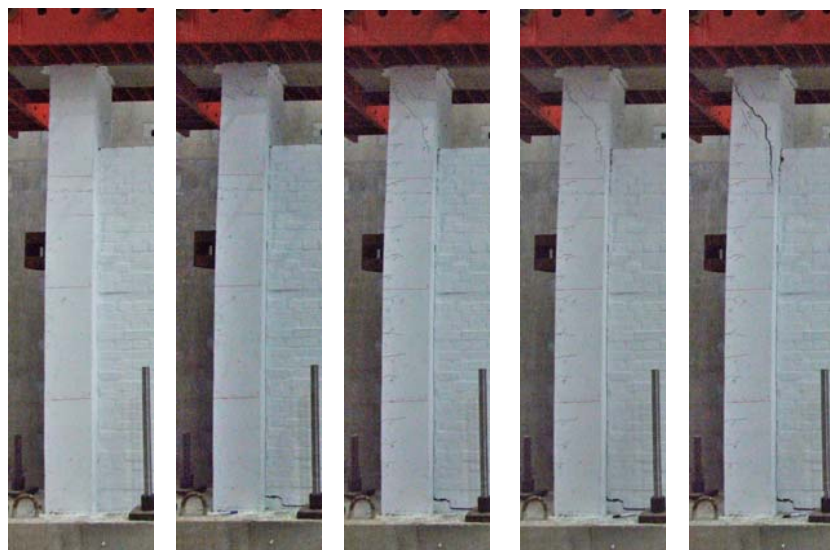


側位移比1.75%，核心混凝土嚴重損壞

試體S4最後破壞情形

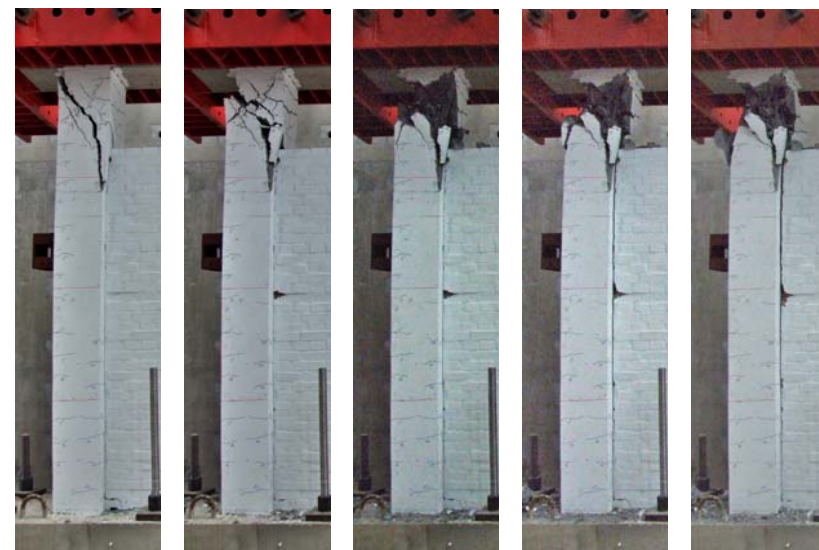


試體S4構架之邊柱受力發展



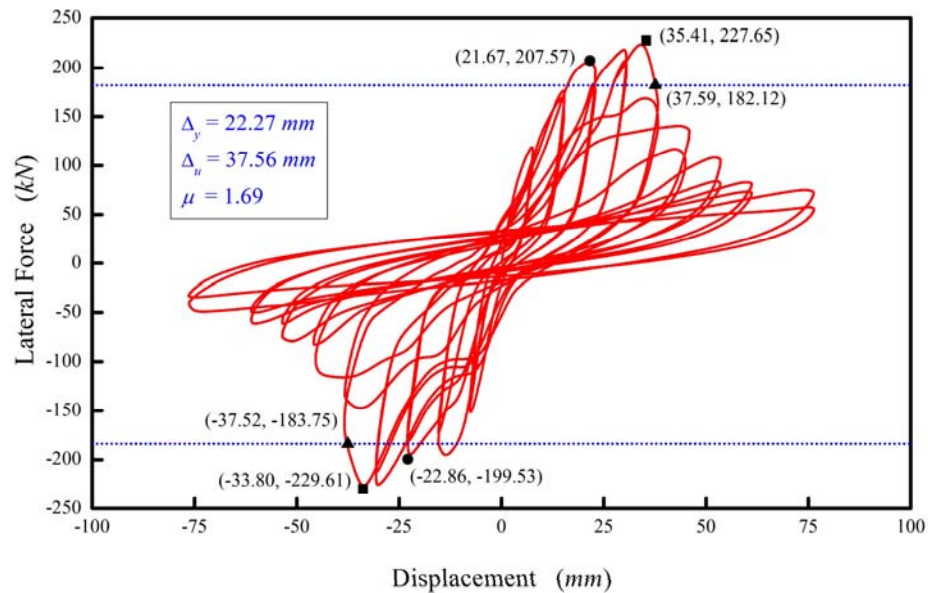
0% 0.25% 0.5% 0.75% 1%

試體S4構架之邊柱受力發展



1.25% 1.5% 1.75% 2% 2.5%

試體S4構架之邊柱受力發展



S1試體(柱高寬比=5)



S2試體(柱高寬比=4)

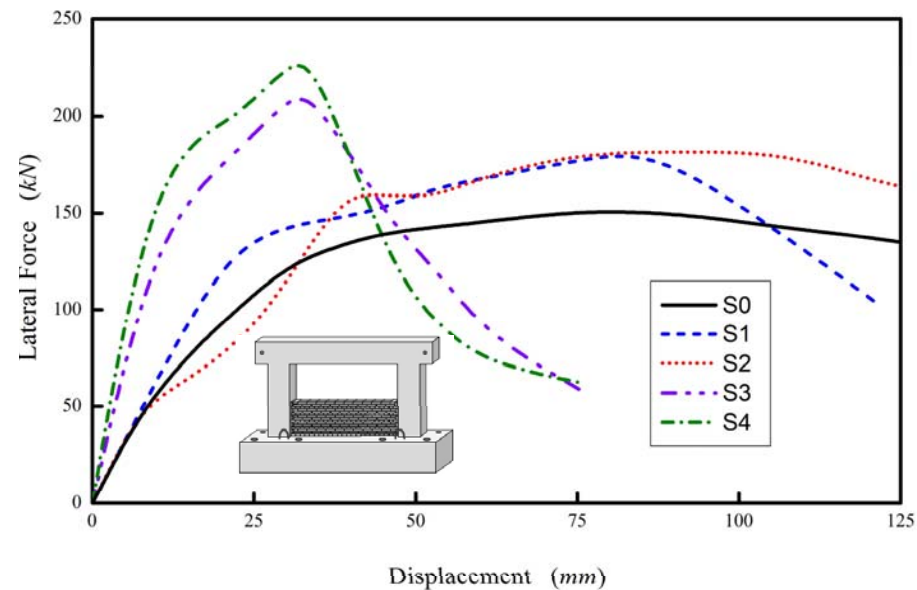


S3試體(柱高寬比=2.5)



S4試體(柱高寬比=1.67)

含不同高度台度磚牆RC構架之韌性容量比較



五座試體之強度與韌性比較

試體編號	S0	S1	S2	S3	S4
破壞模式	撓曲破壞	撓剪破壞	撓剪破壞	剪力破壞	剪力破壞
最大水平側向力(t)	151.76	185.02	182.27	213.76	228.67
極限剪力強度(t)	121.41	148.02	145.82	171.01	182.94
極限位移 (mm)	144.94	99.24	135.73	38.04	37.56
降伏位移 (mm)	30.49	30.45	37.87	22.9	22.27
韌性比	4.75	3.26	3.58	1.66	1.69

破壞模式之比較與討論

- S1與S2試體有較佳容量曲線以及韌性強度，這是因為邊柱高寬比較大，但因非韌性配筋，因而發生**撓剪破壞**。
- S3與S4試體不管是容量曲線或是韌性強度都較差，這是因為邊柱高寬比較小，且因非韌性配筋，因而發生**剪力破壞**。
- S3與S4試體因為填充較高之磚牆，因而提高構架之側向抵抗能力，因此S3與S4試體容量曲線之初始勁度高於S1與S2試體。
- 四座試體之磚牆，唯有S2試體發生破壞，S1試體僅有輕微損傷，而S3與S4試體則幾無任何損傷，因此將進一步探討其原因。

短柱破壞之臨界條件推估

構架邊柱之強度計算

- 構架邊柱剪力強度估算：

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = 0.53\sqrt{f_c'} \times Ae$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d'}{s}$$

f_c' ：混凝土抗壓強度、 f_y ：鋼筋抗拉強度

Ae ：0.8 A_g 係代表有效受剪面積為總斷面積的80%

A_v ：箍筋面積、 s ：箍筋間距

d' ：垂直受力方向上同一箍筋中之面對面鋼筋中心點的距離

單片台度磚牆剪力強度估算

- 台度磚牆剪力強度估算

$$V_n = T_b \times (W_b \times 0.7\tau_f + H_2 \times 0.45f_{mbt})$$

$$\tau_f = 0.0337(f_{mc})^{0.885} + (0.654 + 0.0005047f_{mc})\sigma_N$$

$$H_2 = 0.5W_b \tan\theta_{cr}$$

T_b ：磚牆厚度、 W_b ：磚牆淨寬度、 θ_{cr} ：磚牆臨界破裂角

τ_f ：紅磚與砂漿之介面磨擦強度

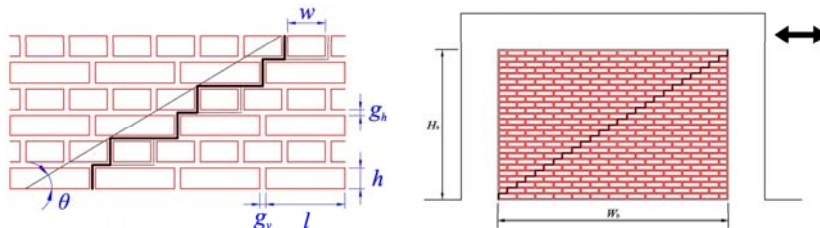
σ_N ：作用於破壞介面之垂直應力

f_{mc} ：砂漿塊抗壓強度、 f_{mbt} ：紅磚與砂漿介面劈裂強度

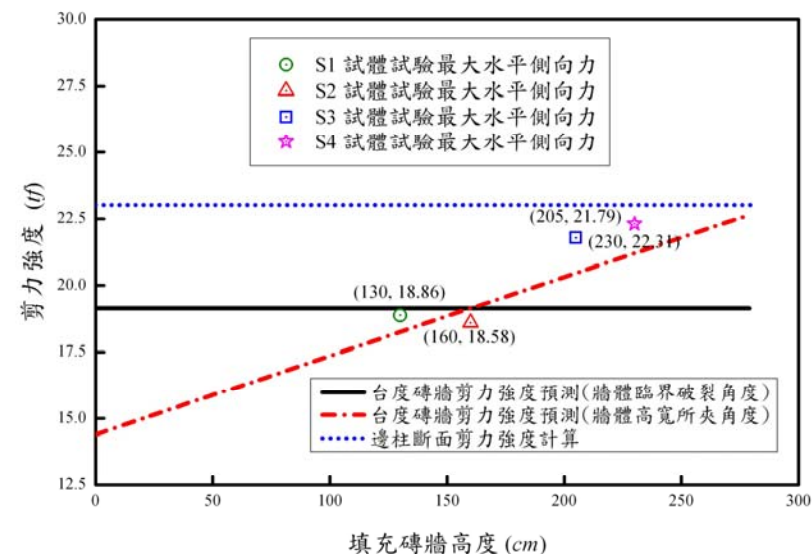
※公式來源：內政部營建署「建築物磚構造設計及施工規範」

四座試體之磚牆最大抗剪強度

Specimen	H_b (cm)	H_2 (cm)	θ_{cr} (°)	$V_{n,bw}$ (tf)	P_{test} (tf)	$\frac{V_{u,bw} - P}{P}$ %
S1	130	81	30.96	19.19	18.86	1.75
S2	160	81	30.96	19.19	18.58	3.28
S3	205	81	30.96	19.19	21.79	-11.93
S4	230	81	30.96	19.19	23.31	-17.67

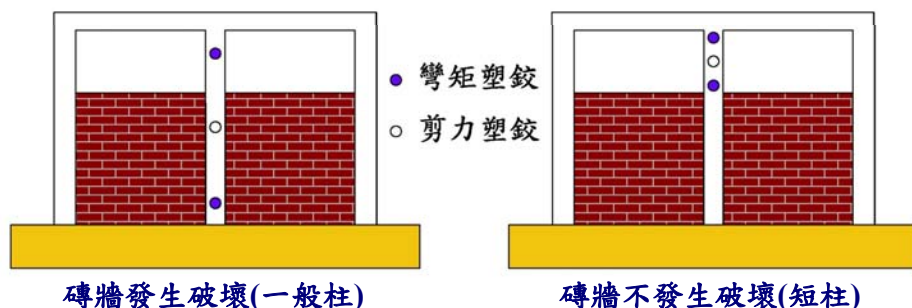


填充磚牆與邊柱之剪力強度預測



磚牆強度對耐震評估的影響

- 進行建築物的耐震詳細評估時，一般都需要針對梁柱構架系統預先設定可能發生塑鉸的位置，因此磚牆的破壞與否將直接影響到分析時塑鉸的設定位置，進而可能影響到耐震詳細評估的結果。



小 結

1. S1與S2試體，高寬比分別為5與4，屬於一般柱，因非韌性配筋而發生撓剪破壞；S3與S4試體，高寬比分別為2.5與1.67屬於短柱，且因非韌性配筋而發生短柱破壞。
2. 由S1與S2試體的破壞發展情形，磚牆的破壞與否，將明顯影響構架之遲滯消能行為，並於進行耐震評估時，塑鉸給定的位置將有所不同。而磚牆破壞後，該試體將回復到空構架的行為。
3. 短柱破壞發生的臨界條件可以利用磚牆的極限剪力強度以及邊柱的極限剪力強度來預測磚牆是否發生破壞。
4. 準確預測磚牆破壞與否，對於邊柱塑鉸的設定位置將能提供最佳的參考，進而提升分析結果的可靠性。

小 結

- 耐震詳細評估為了保守起見，將決定磚牆剪力強度的紅磚與水泥砂漿的抗壓強度進行大幅度的折減，此折減對於四面或三面圍束磚牆確實能達到保守評估的目的，然而對於台度磚牆則未必是保守的評估。因為紅磚與砂漿的強度經過大幅度折減之後，將會明顯低估台度磚牆的剪力強度，進而預期磚牆將先發生破壞而不會發生短柱破壞，錯失提早發現短柱破壞的潛在威脅而無法給予適度的耐震補強。
- 對於一般校舍，常因高窗或是樓梯間半層梁的配置而造成短柱現象，可經由估算台度磚牆及邊柱的剪力強度來預測邊柱是否潛在發生短柱破壞，可以透過耐震補強來避免短柱破壞的發生而避免危及整棟建築物。

短柱破壞的補救措施

避免短柱破壞之耐震補強

- 短柱破壞的發生
 - 磚牆的抗剪強度 > 邊柱的抗剪強度
- 短柱補強的構想
 - 提高構架邊柱的側向抗剪強度
 1. 高窗封填
 2. 整支邊柱：擴柱、增設磚翼牆、增設RC翼牆、包覆鋼板或碳纖維
 3. 局部邊柱：增設磚翼牆、增設RC翼牆、包覆鋼板或碳纖維
 - 磚牆弱化
 1. 切割隔離縫
 2. 磚牆置換

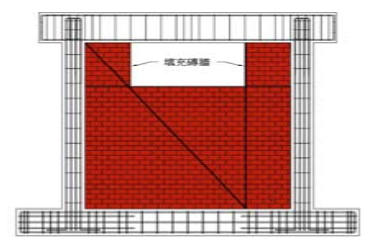
高窗封填

- 沒有採光通風需求的高窗短柱 --- 填滿磚牆或RC牆



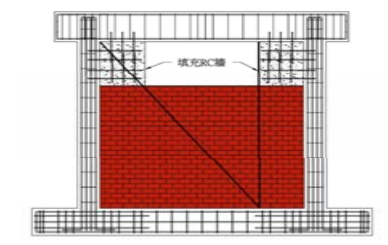
部分高窗填充磚牆

- 有採光通風需求的高窗短柱，且窗台為RC構造或磚構造



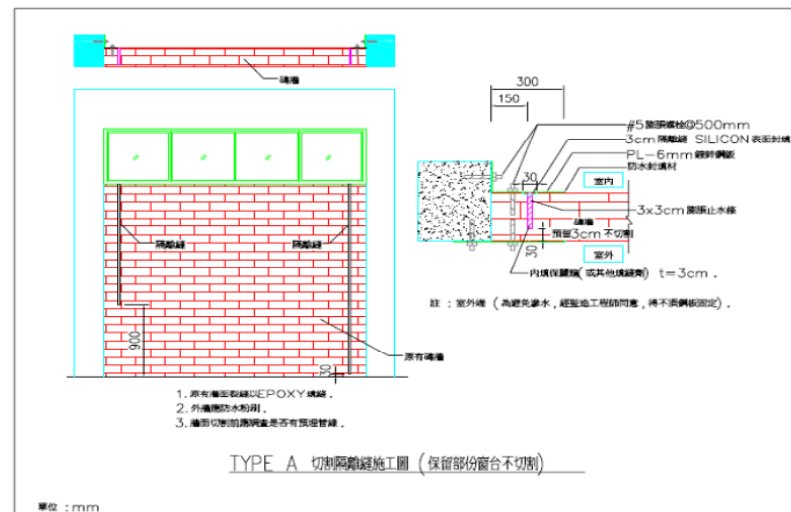
部分高窗填充RC牆

- 有採光通風需求的高窗短柱，且窗台為RC構造或磚構造



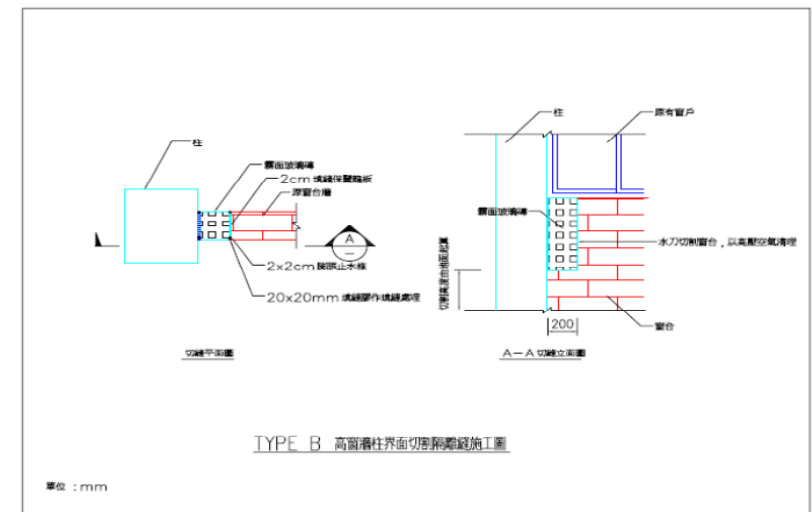
切割隔離縫

- 適合於無防水需求之高窗短柱



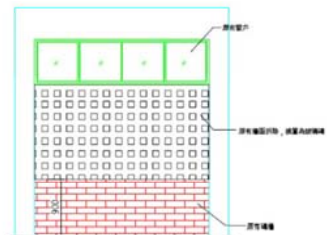
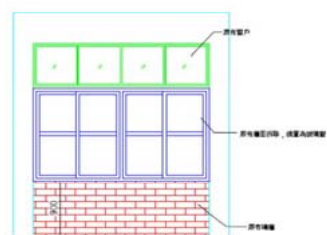
切割隔離縫

- 適合於無防水需求之高窗短柱



窗台置換

- 適合於無防水需求之高窗短柱



高窗短柱補強試驗研究



S3試體(短柱補強前)



R1試體(增設圍束箍筋)



R2試體(增設磚翼牆)



R3試體(增設RC翼牆)

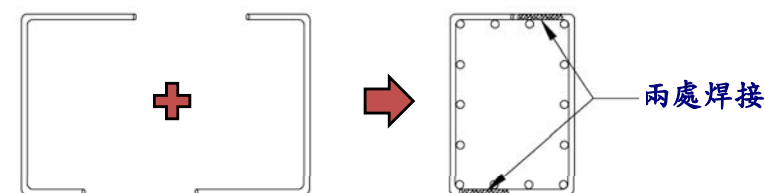
R1試體 - 增設圍束箍筋補強

➤ 增設箍筋：

敲除原有的混凝土保護層，並將兩個預先彎折好的可焊鋼筋(如下圖)，透過焊接方式組合成一箍。

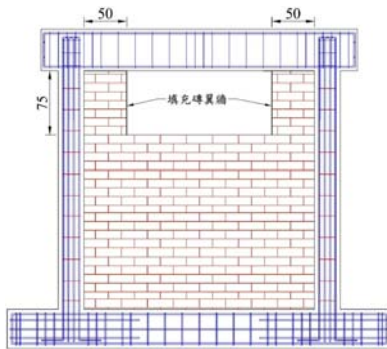
➤ 填充材：

抗壓強度 210 kgf/cm^2 之一般混凝土



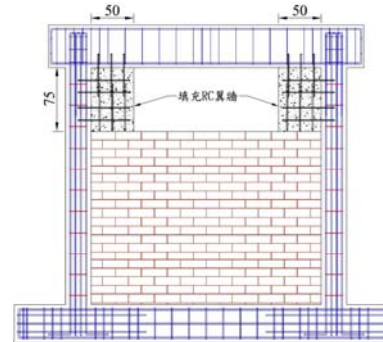
R2試體 - 增設磚翼牆補強

- 填充寬50公分、厚20公分的磚翼牆
- 砌法：英式砌法（一順一丁）同既有磚牆



R3試體 - 增設RC翼牆補強

- 填入寬50公分、厚20公分的RC翼牆
- 採#4單排植筋，深度15公分（磚牆頂介面不植筋）
- 回填混凝土抗壓強度210 kgf/cm²



實驗試體之材料強度

混凝土抗壓強度 (kgf/cm²)

	基礎	柱、梁	砌磚水泥砂漿	紅磚
設計強度	280	140	100	150
實際強度	334	214	201	285

鋼筋抗拉強度 (kgf/cm²)

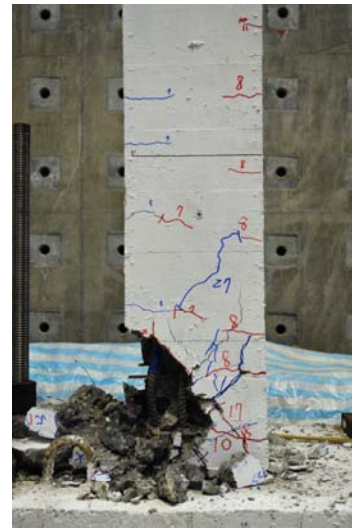
	#3 (D10)	#4 (D13)	#5 (D16)	#6 (D19)
設計強度	2800	2800	2800	4200
實際強度	3776	3856	3875	4665

反覆載重試驗

S0實驗觀察



柱底處生45度剪力斜裂縫 (4.5%)



塑鉸區混凝土嚴重崩落 (5.5%)

S0最終破壞情形



S0邊柱破壞發展



1%



2%



2.5%



3%



3.5%

S0邊柱破壞發展



4%



4.5%



5%

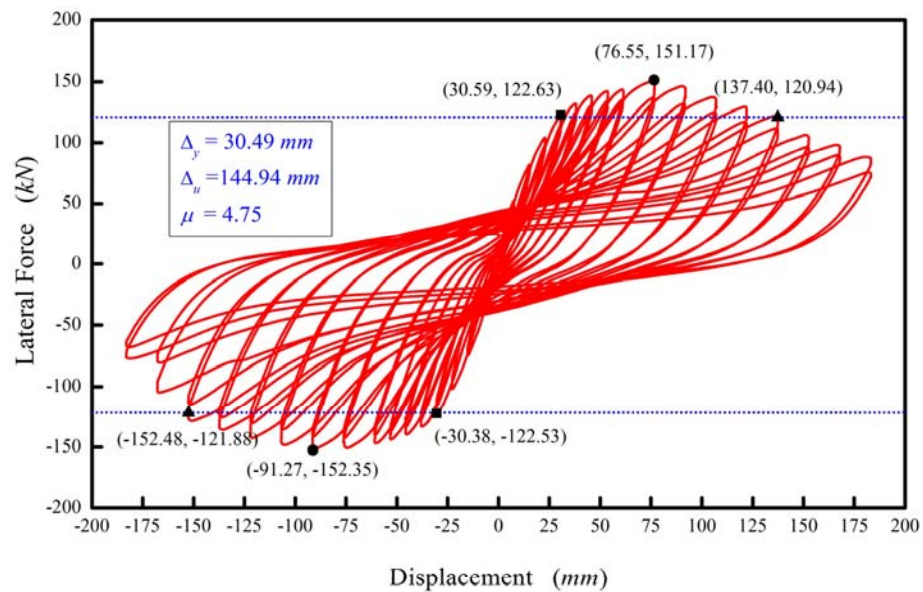


5.5%



6%

S0遲滯迴圈



R1實驗觀察



構架短柱區域剪力裂縫快速發展 (0.75%)

R1實驗觀察



側位移比1.75%，混凝土嚴重崩落

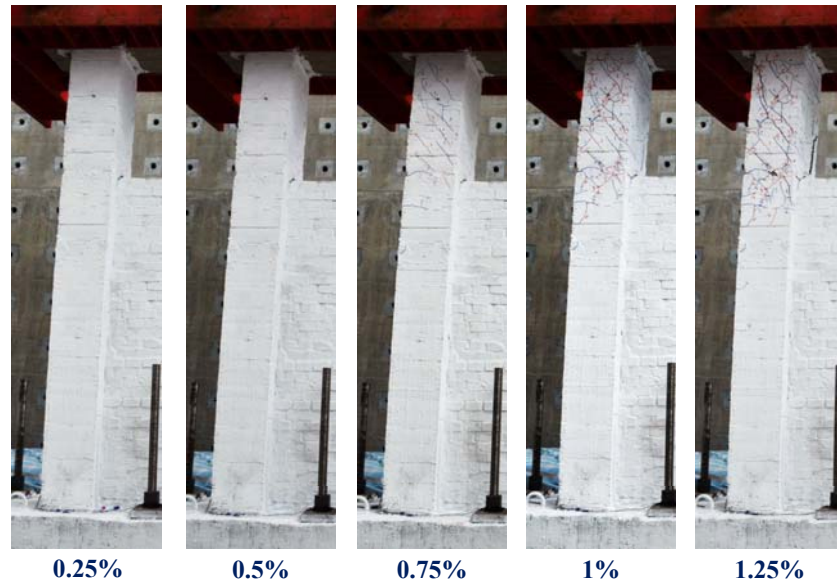


側位移比2%，試體達到極限牆度

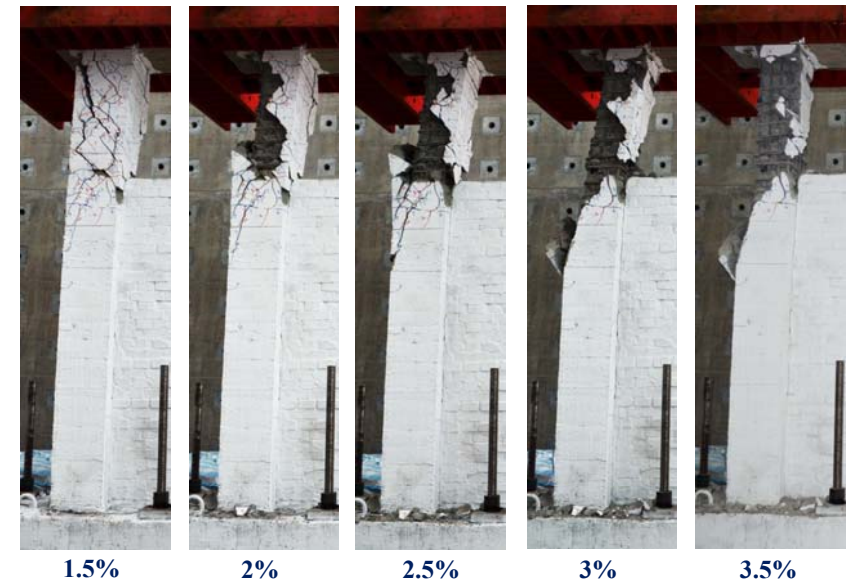
R1最終破壞情形



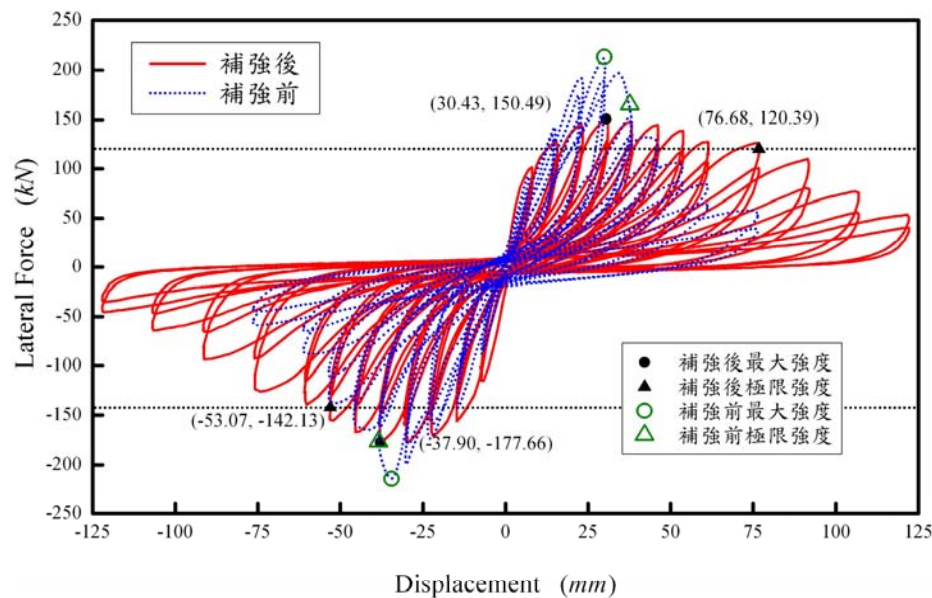
R1邊柱破壞發展情形



R1邊柱破壞發展情形



R1遲滯迴圈圖



R2實驗觀察



側位移比0.5%，牆體受壓產生水平向裂隙、而受拉產生垂直向裂隙

R2實驗觀察

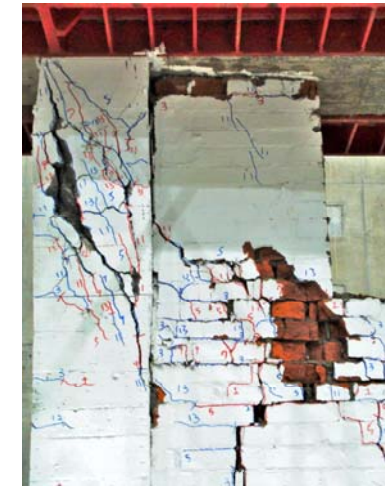


側位移比1.25%，牆體受擠壓損壞呈現蜘蛛網狀裂隙

R2實驗觀察



側位移比1.5%，邊柱剪力裂縫快速發展



側位移比2%，新舊牆體角隅處擠壞，邊柱混凝土崩落

R2最終破壞情形



R2邊柱破壞發展情形



0.25%



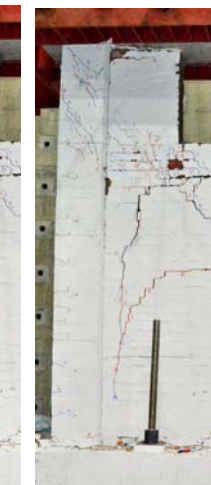
0.5%



0.75%

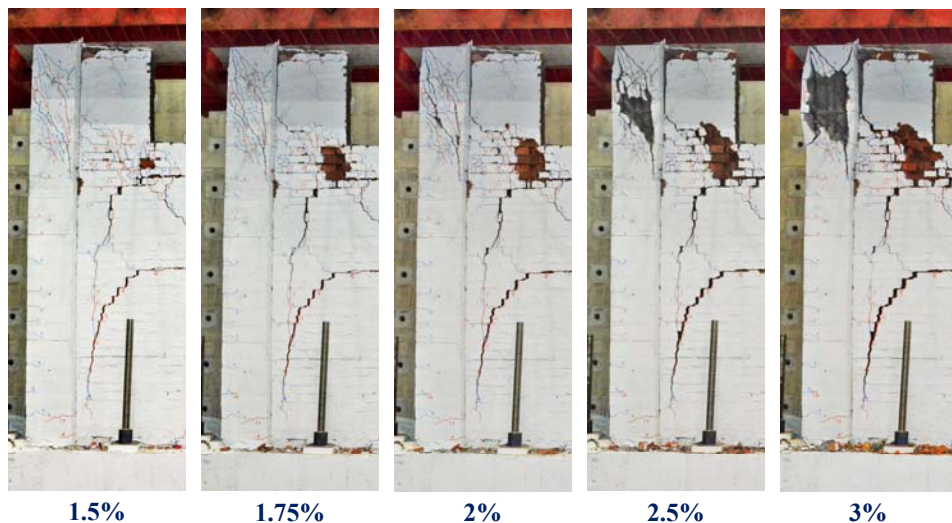


1%

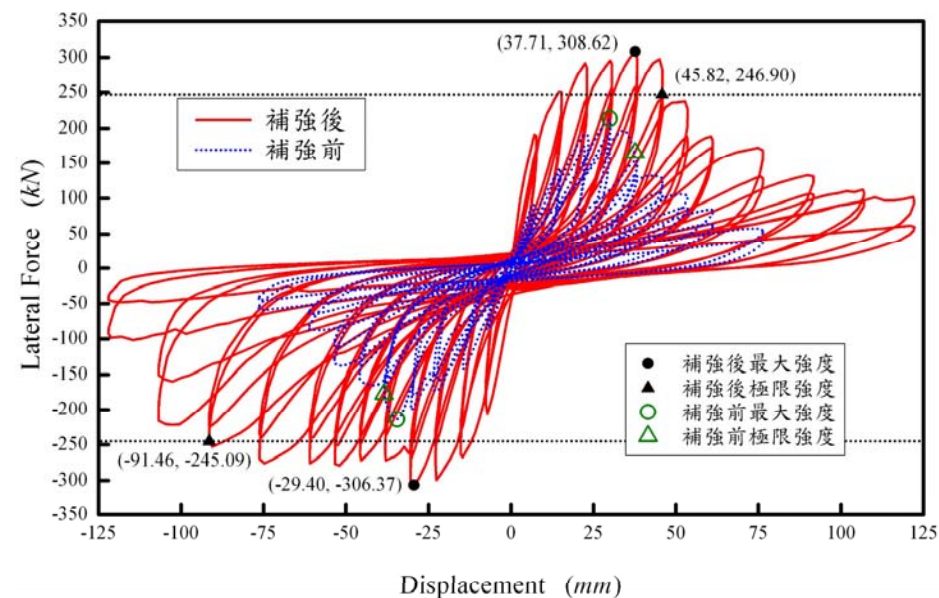


1.25%

R2邊柱破壞發展情形



R2遲滯迴圈圖



R3實驗觀察



側位移比0.5%，牆體受壓產生水平向裂隙、而受拉產生垂直向裂隙

R3實驗觀察



側位移比0.75%，磚牆形成一道完整裂隙且試體達水平側向力最大值

R3實驗觀察



側位移比1.75%，紅磚受壓擠碎崩落



側位移比1.25%，新增之RC翼牆與短柱剪力裂縫延伸切過

R3實驗觀察

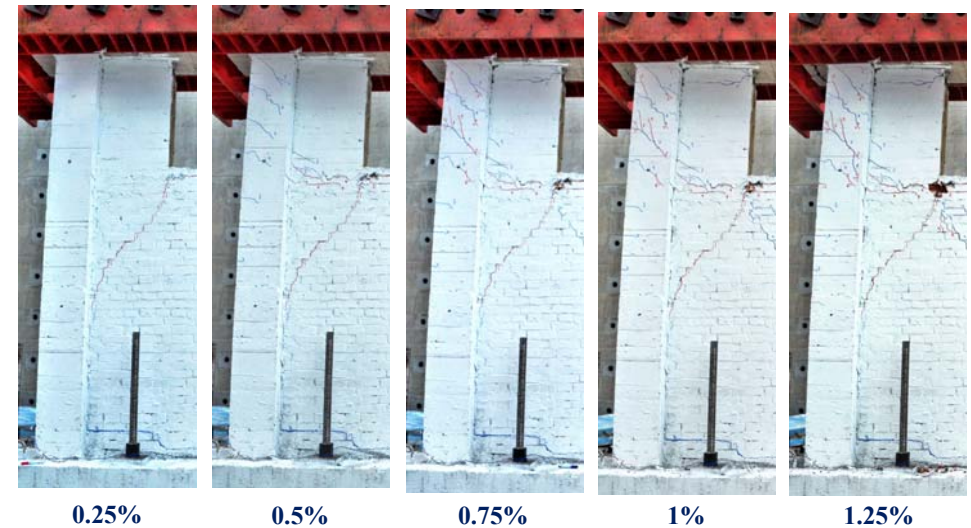


側位移比1.75%，短柱剪力裂縫快速發展且寬度加大

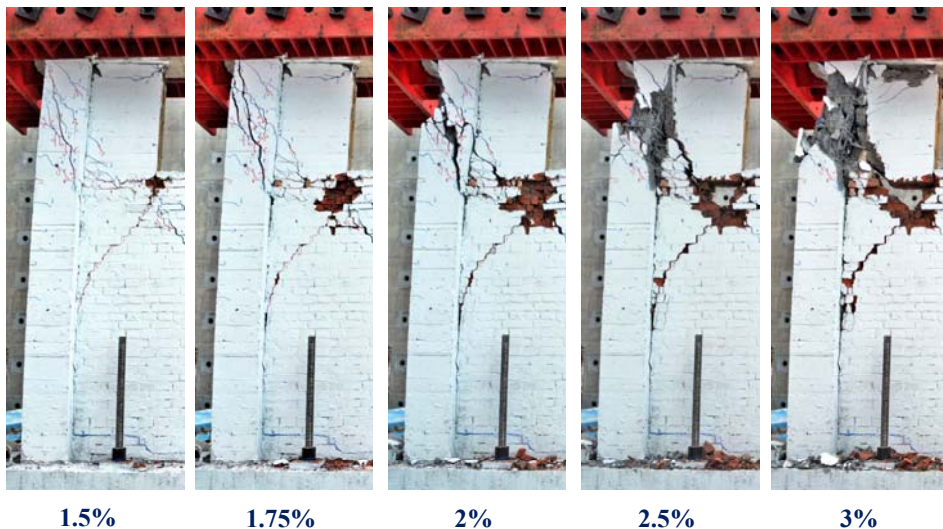
R3最終破壞情形



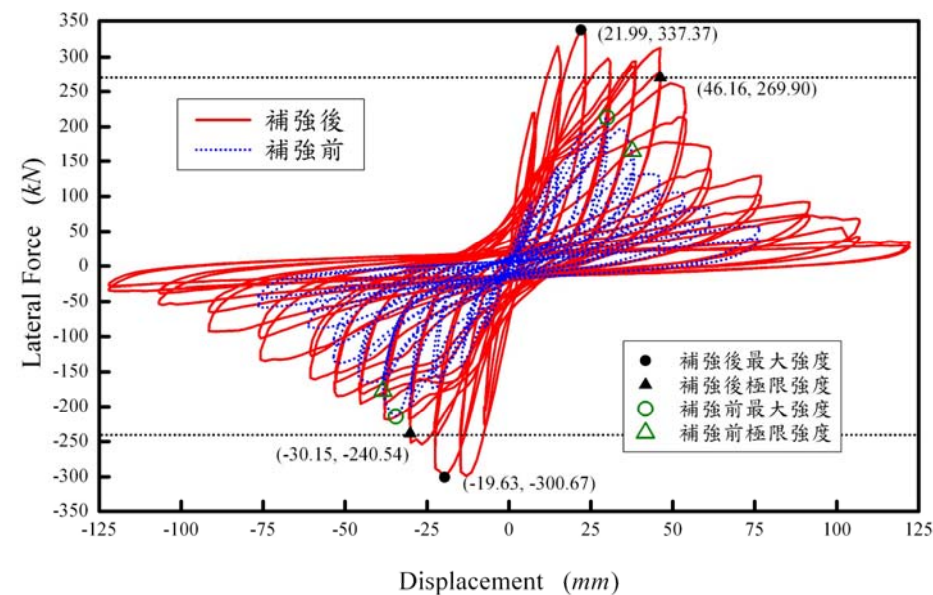
R3邊柱破壞發展情形



R3邊柱破壞發展情形



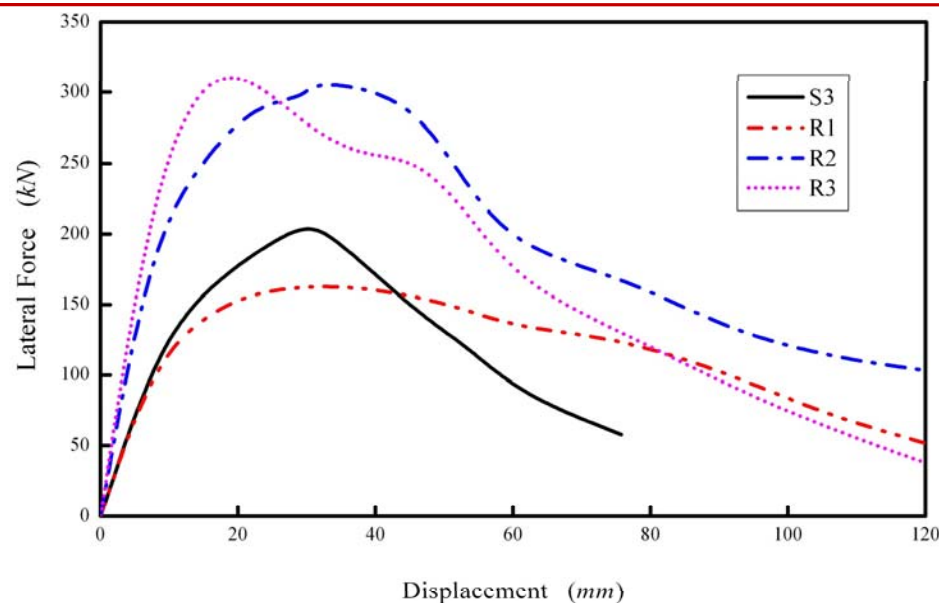
R3遲滯迴圈圖



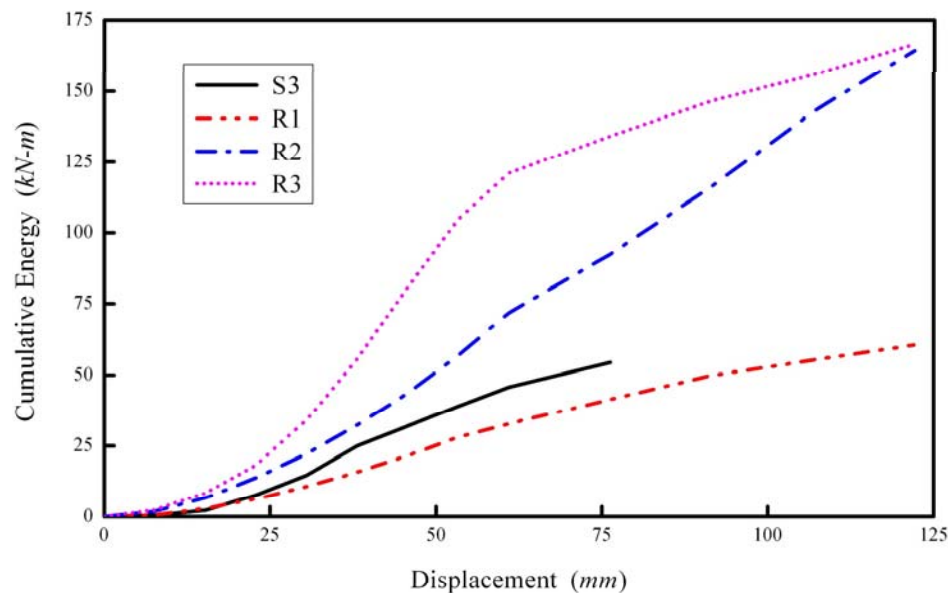
五座試體之強度與韌性比較

試體編號	S0	S3	R1	R2	R3
破壞模式	撓曲破壞	剪力破壞	剪力破壞	剪力破壞	剪力破壞
最大水平側向力(kN)	151.76	213.74	164.08	307.50	318.00
極限剪力強度(kN)	121.41	170.96	131.26	246.00	255.22
極限位移 (mm)	144.94	38.04	64.88	68.71	38.16
降伏位移 (mm)	30.49	22.90	22.32	22.53	13.99
韌性比	4.75	1.66	2.90	3.05	2.73

四座試體之容量曲線圖



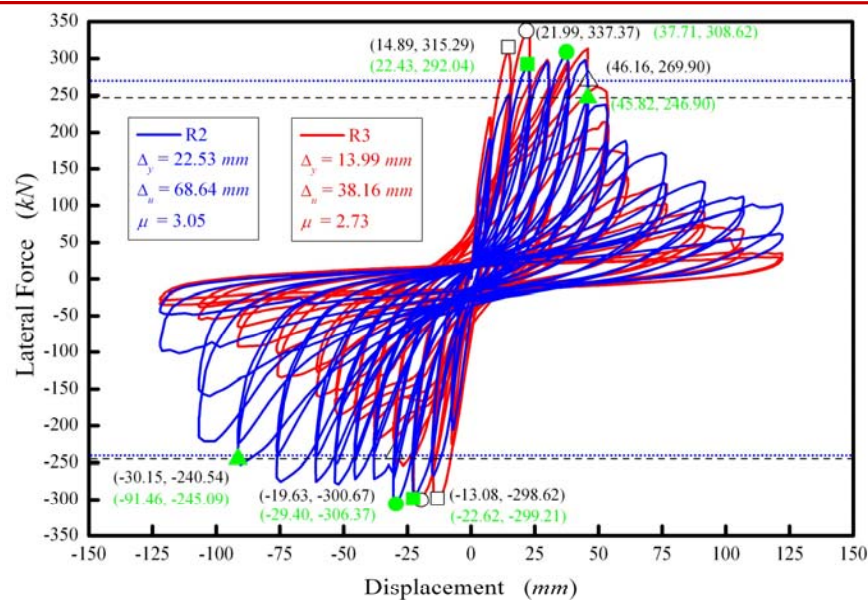
四座試體之能量累積圖



高窗短柱補強工法比較

- 增設圍束箍筋 (不影響原有採光通風面積)
 - 施工困難，且對建築物使用影響大，品質難掌控
 - 可應用於新建工程
- 增設磚翼牆 (稍微減少原有採光通風面積)
 - 施工容易，且對建築物使用影響小，品質易掌控
 - 強度接近於增設RC翼牆，破壞前容許變形較大
- 增設RC翼牆 (稍微減少原有採光通風面積)
 - 施工不易，且對建築物使用影響大，品質難掌控，尤其植筋工作不易進行
 - 強度稍大於增設磚翼牆，破壞前容許變形較小

高窗短柱補強工法比較



高窗短柱補強工法

- 建議採用增設磚翼牆
 - 工程費低
 - 施工容易
 - 強度接近於增設RC翼牆
 - 破壞前容許變形較大
 - 施工時，對建築物使用影響較小

結論

1. 增設圍束箍筋

- (a) 理論上可提高抗剪強度及韌性強度
- (b) 實務上新舊混凝土介面間膠結不佳，強度無法提高
- (c) 可用於新建工程，補強不宜

2. 增設磚翼牆或增設RC翼牆

- (a) 兩者都能提高側向抗剪強度以**避免或延後短柱破壞**
- (b) 兩者所提高之側向抗剪強度大致相同
- (c) 有明顯壓力斜撐的破壞模式
- (d) 使用等值斜撐模擬相當合適

結論 (續)

3. 建議採用增設磚翼牆補強

- (a) 所提高之側向抗剪強度與增設RC翼牆差不多
- (b) 相對於增設RC翼牆，有較佳的非線性變形能力
- (c) 相對於增設RC翼牆，**施工容易與造價低廉**
- (d) 保有原來的通風與採光
- (e) 施工時，對原建築物的使用影響較小

4. 本實驗可確認增設磚翼牆或RC翼牆的補強成效

5. 高窗短柱普遍存在於既有建築物 → 急需耐震補強

6. 本研究成果可直接提供耐震補強時參考使用

簡報結束，敬請指教