

軟補強

- RC 典型街屋內置型簡易耐震補強法

杜怡萱 教授/系主任
國立成功大學建築系

1

- 軟補強發展背景
- 試驗驗證
- 側推分析模型
- 虛擬街屋案例耐震評估
- 參考圖說

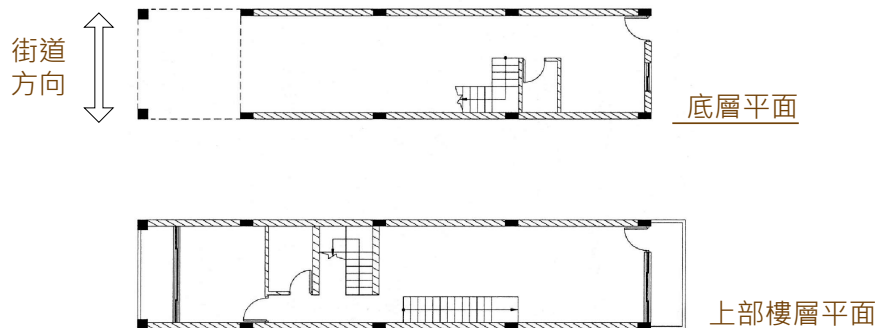
2

軟補強發展背景

台灣典型街屋之耐震弱點

■ 典型低層RC街屋

- 軟弱底層：平行街道方向僅有側邊開口隔間牆或全無隔間牆
- 沿街道方向為明顯弱向



台灣典型街屋之耐震弱點



過去地震中受害之典型街屋

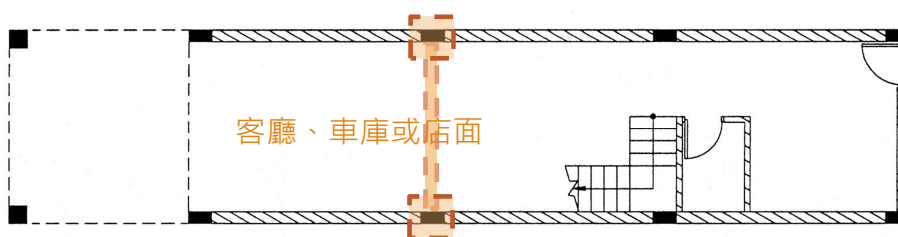


軟弱底層破壞

5

典型街屋的補強困難

- 剪力牆/斜撐 – 對內部空間使用性造成嚴重影響
- 擴柱補強 – 礙於單元間隔戶牆之存在而難以實行
- 其他問題 – 基礎開挖提高造價並拉長工期、
施工期間無法使用造成間接損失



6

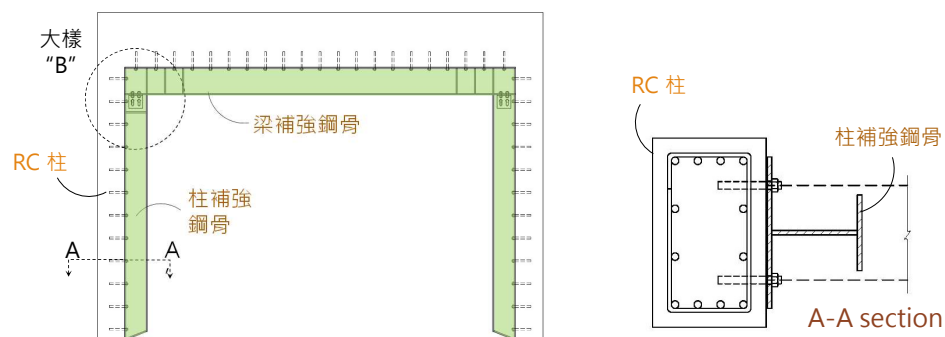
軟補強－簡易經濟的補強工法

- 乾式施工 → 不用灌漿、大幅縮短工期
- 免開挖基礎 → 現場干擾最小化、大幅降低成本
- 補強構件僅由構架內部即可安裝
→ 不影響鄰房、無基地境界線問題

7

軟補強原型設計概念

- 於RC構架內側附加鋼骨補強構件
- 柱補強鋼骨頂端與梁緊靠但不焊接，底端不連接至基礎，以省略基礎開挖

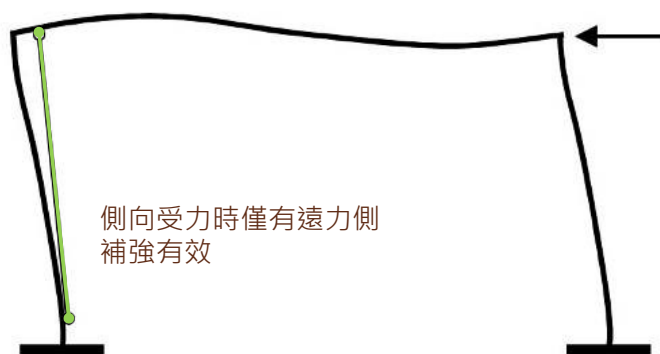
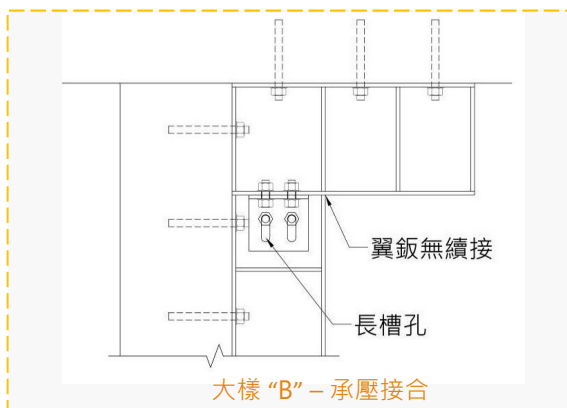


8

兩種柱梁補強鋼骨接合形式

■ 承壓接合

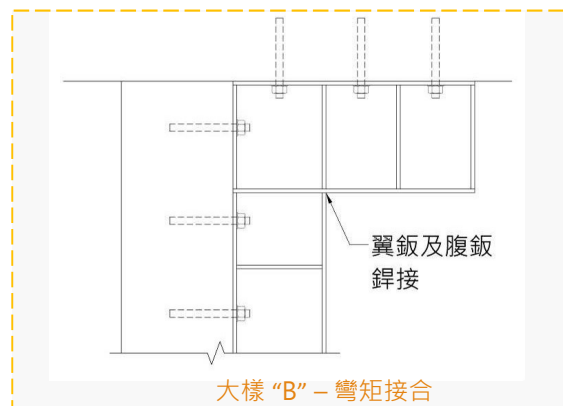
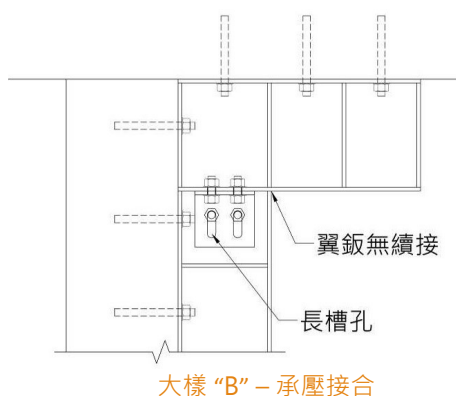
- 只傳遞壓力，不傳遞拉力，以避免減損韌性，也減少梁錨栓需求
- 補強鋼骨只在單一受力方向有效，補強強度較低



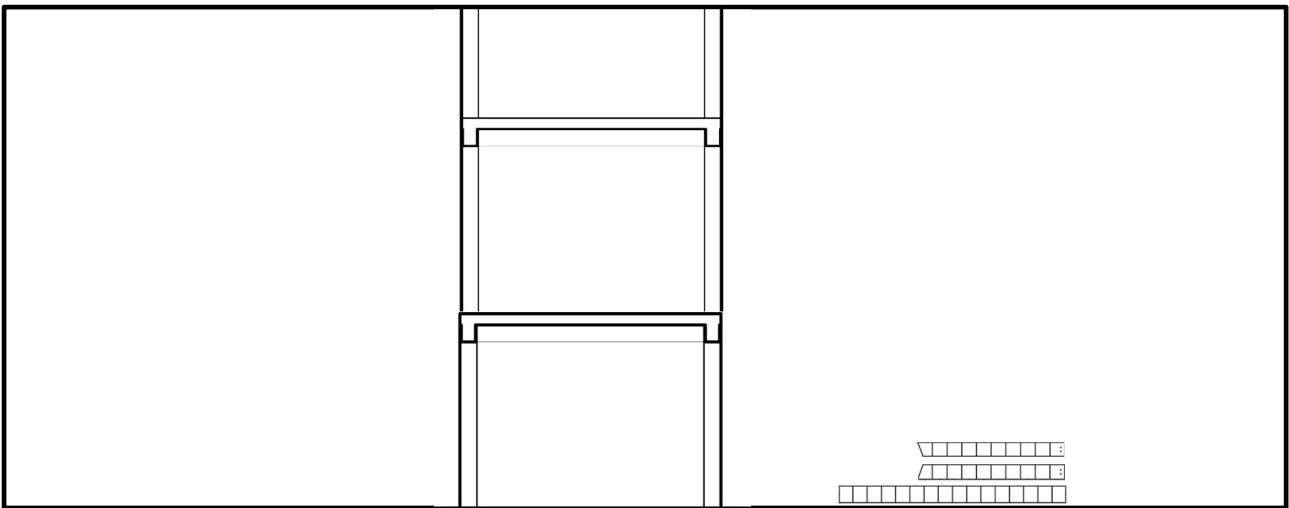
兩種柱梁補強鋼骨接合形式

■ 彎矩接合

- 柱補強鋼骨受拉也受壓，補強強度較高
- 對梁錨栓拉力需求較高，且可能減損韌性

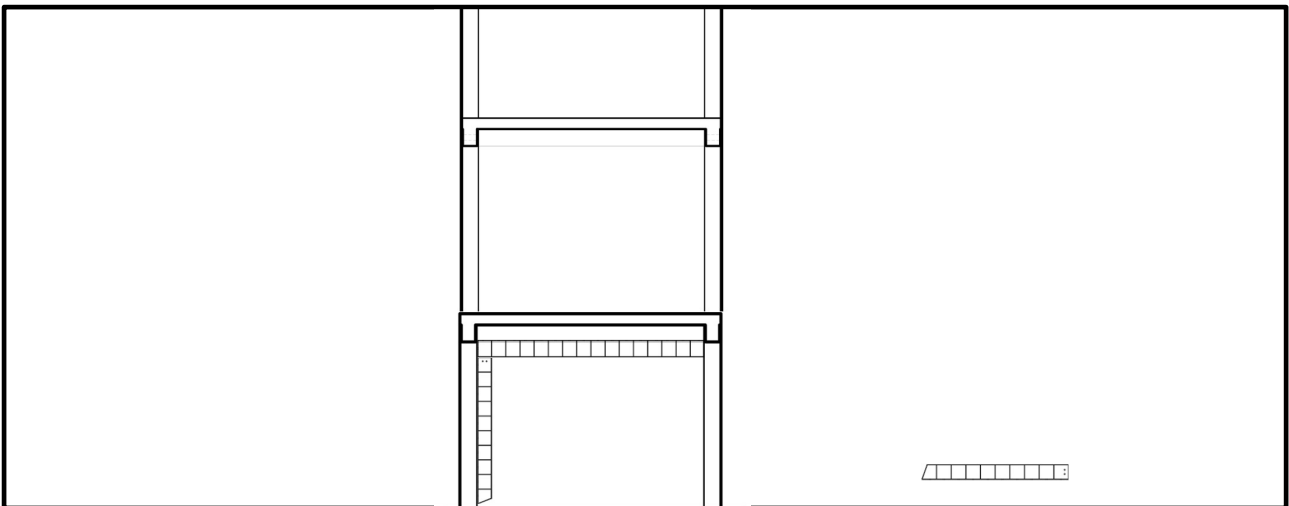


安裝工序



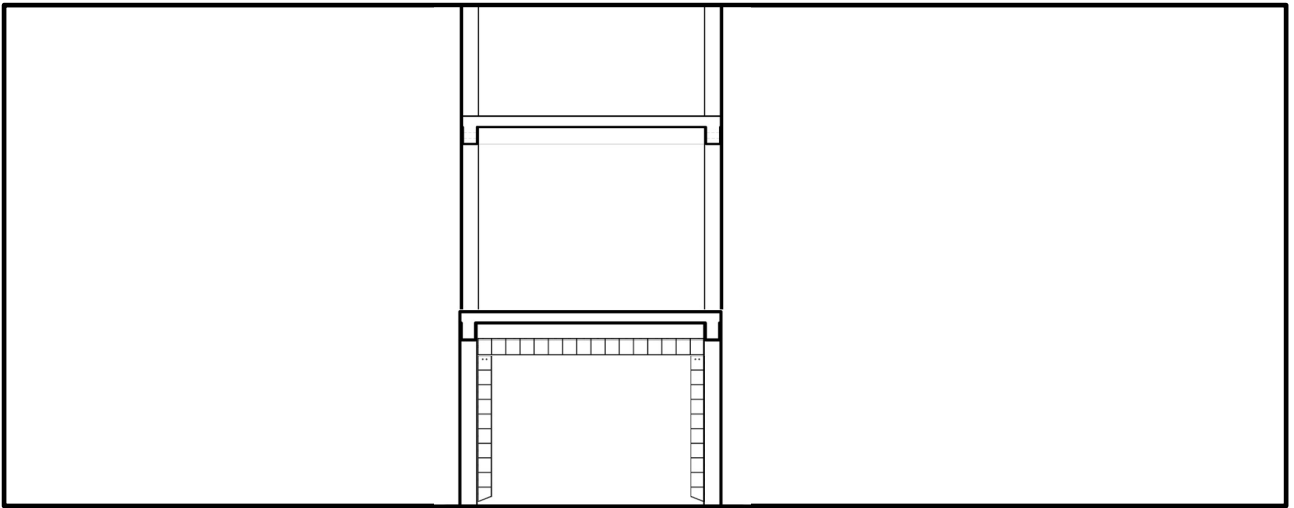
11

安裝工序



12

安裝工序

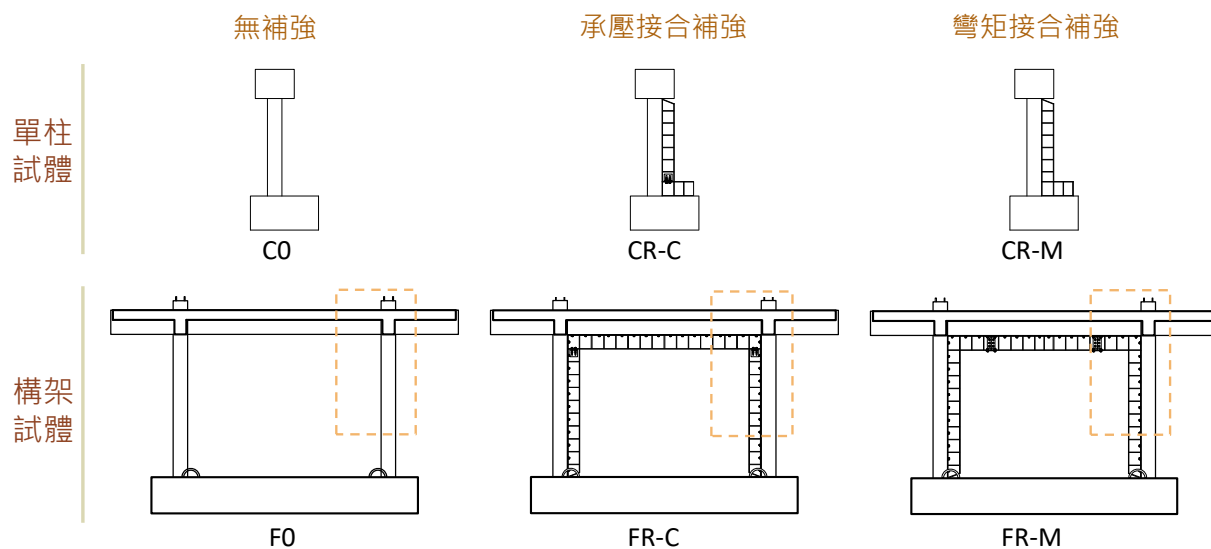


13

試驗驗證

14

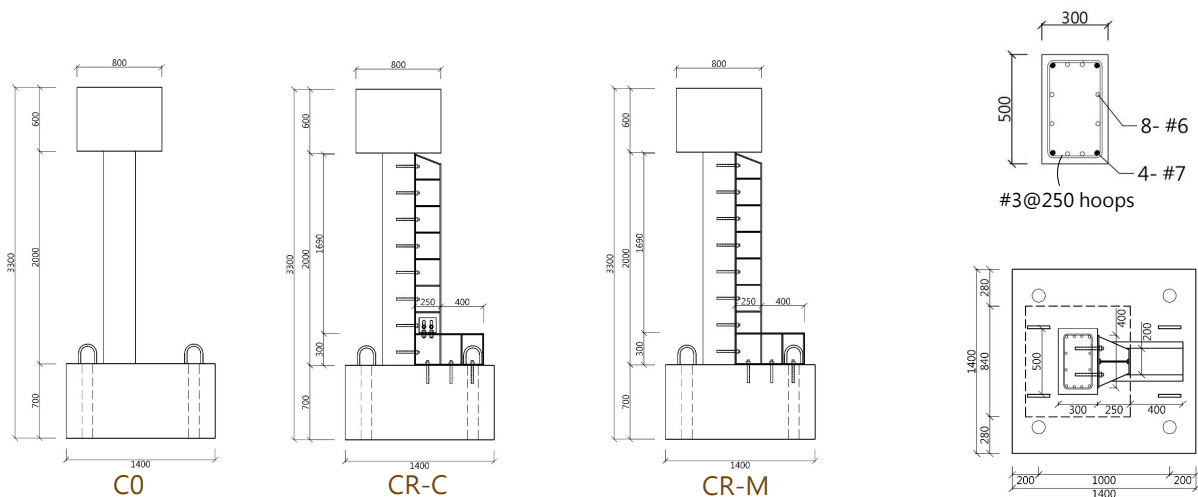
足尺試體側向往復加載試驗



15

足尺單柱試體側向往復加載試驗

- 模擬老舊街屋設計為非韌性RC柱於單側補強



16

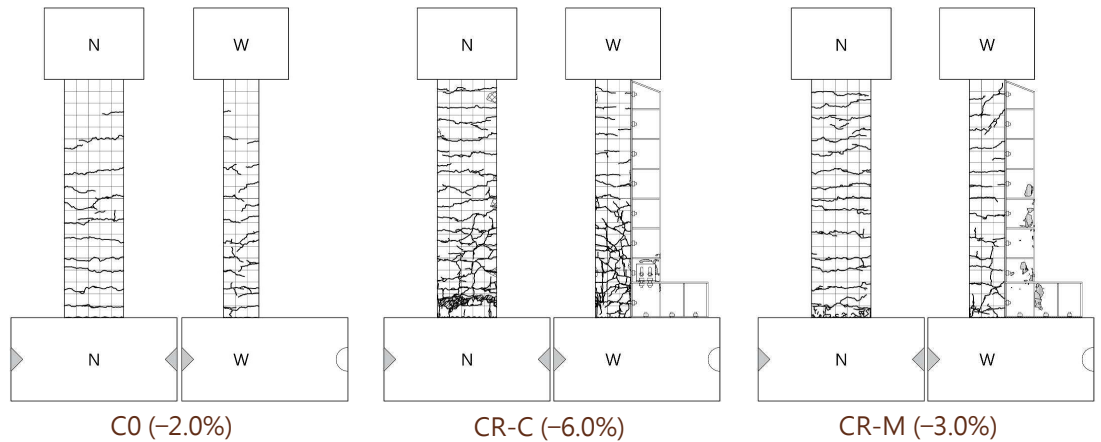
單柱試驗結果

■ 最大強度時開裂模式

C0 – 典型撓曲行為

CR-C – 不對稱開裂模式，
臨界斷面移動至鋼梁
上方

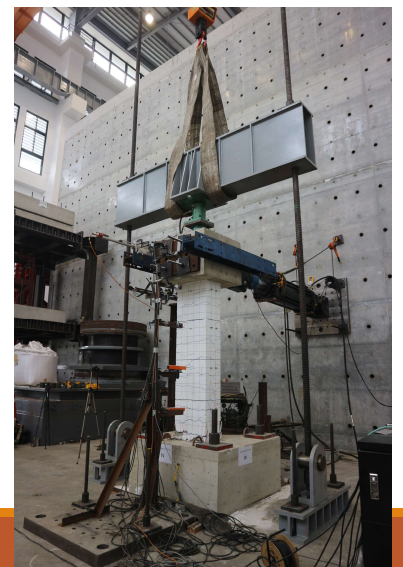
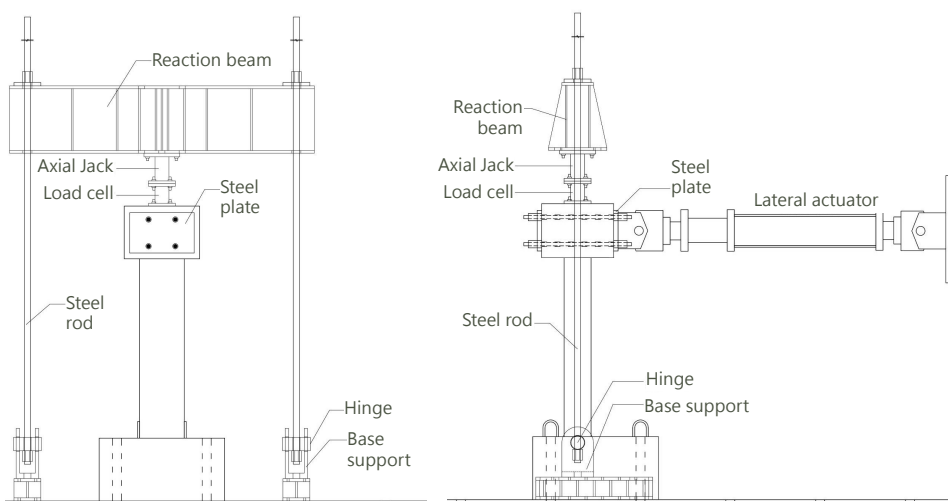
CR-M – 柱頂剪力裂縫



17

足尺單柱試體側向往復加載試驗

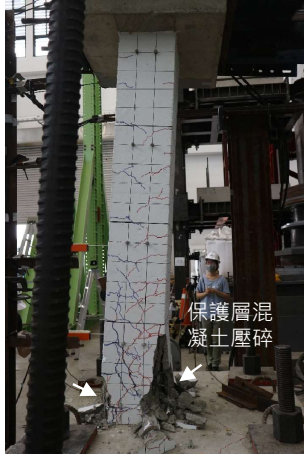
■ 單曲率懸臂式往復加載搭配固定軸力



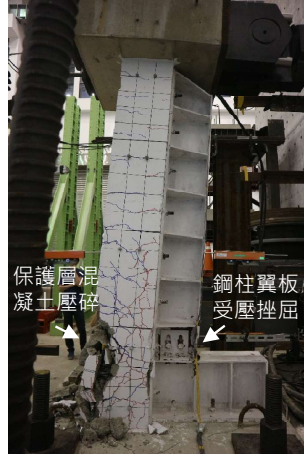
18

單柱試驗結果

■ 破壞模式



C0 (-7.0%)



CR-C (-6.0%)



CR-M (-7.0%)

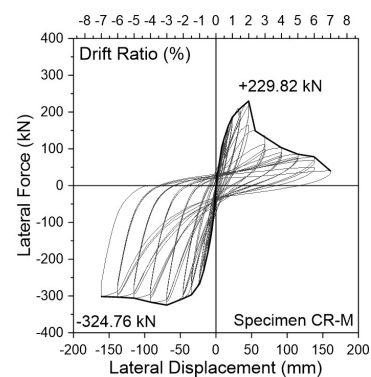
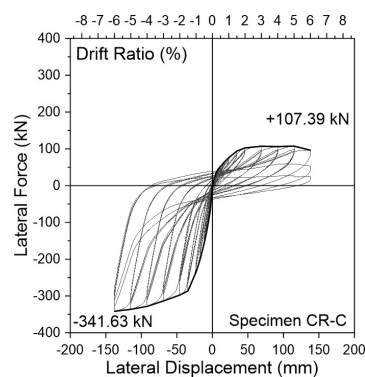
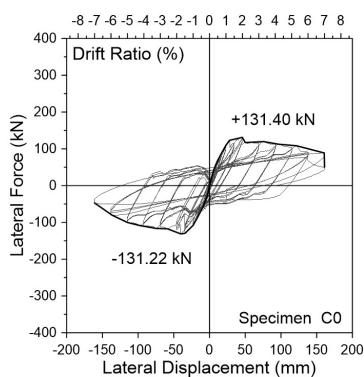
單柱試驗結果

■ 側力-變形曲線

C0 – 對稱之典型撓曲行為

CR-C – 補強僅於單向發揮作用，反向加載強度及韌性明顯提高

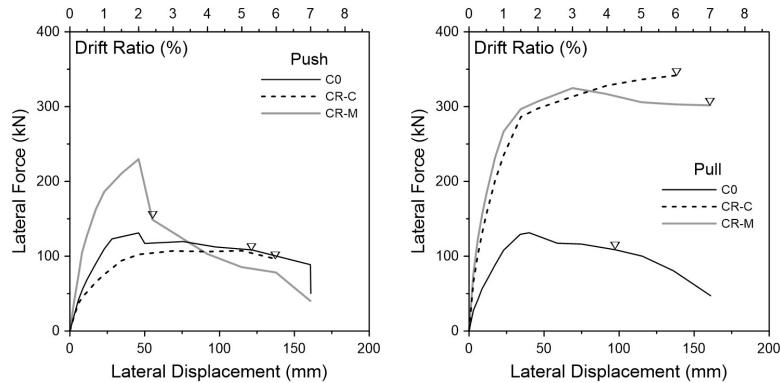
CR-M – 補強於雙向發揮作用，但正向加載強度因鋼梁錨栓拉拔破壞提早下降



單柱試驗結果

■ 側力-變形曲線比較

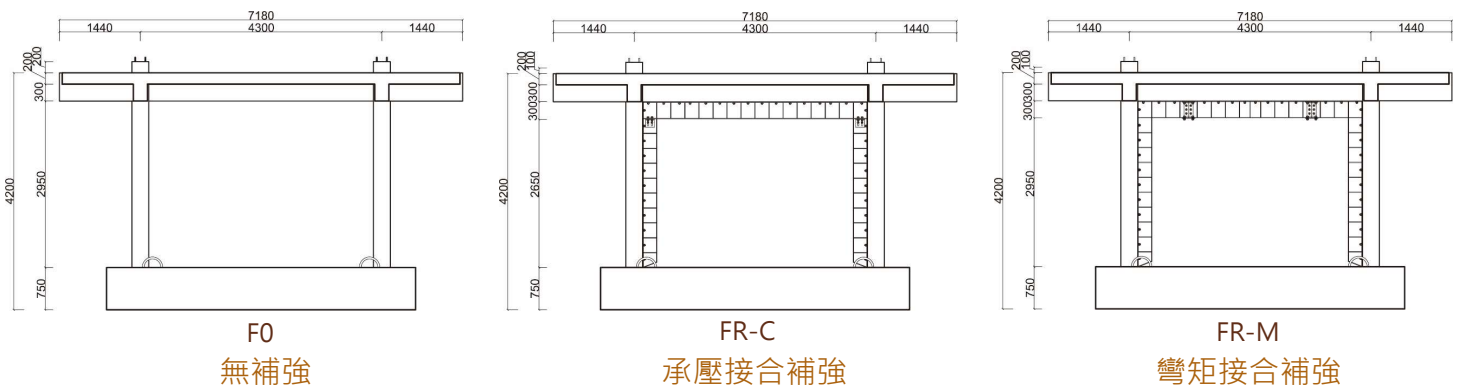
- 反向加載時，兩座補強試體強度及韌性明顯提高
- 承壓接合與彎矩接合之反向加載行為幾乎相同



▽ : ultimate drift when the strength degraded to lower than 85% of the maximum strength

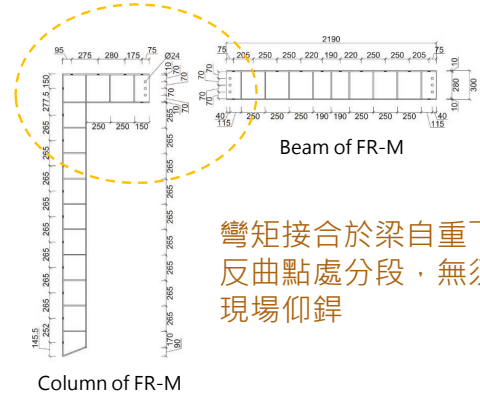
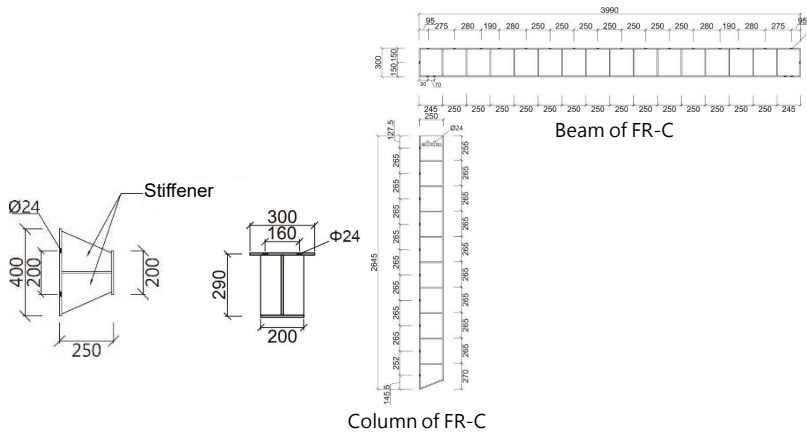
足尺構架側推試驗驗證

■ RC構架仿照老舊典型街屋採非韌性設計



足尺構架側推試驗驗證

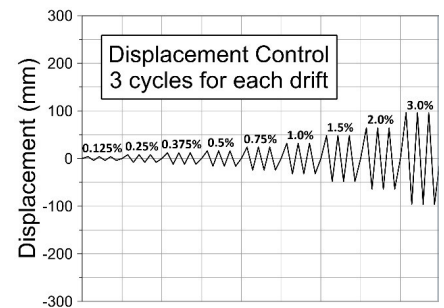
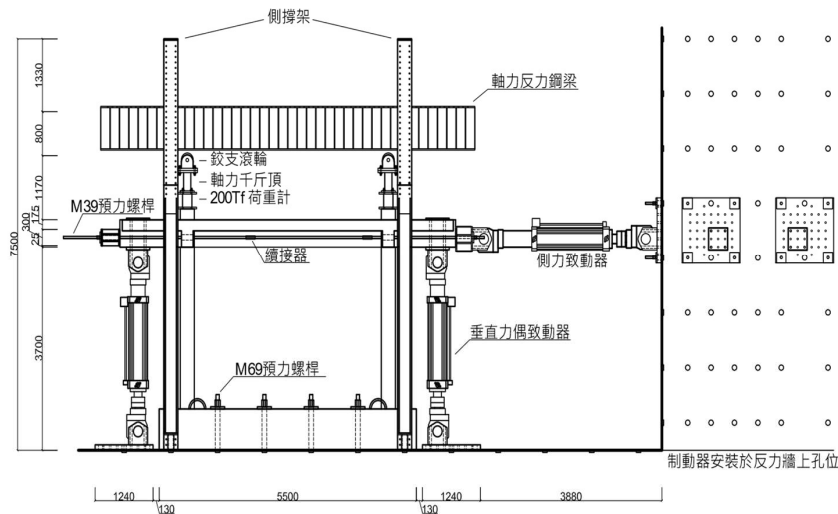
- 所有補強鋼骨於工廠預製再運至現場安裝



彎矩接合於梁自重下
反曲點處分段，無須
現場仰鉗

足尺構架側推試驗驗證

- 雙曲率往復側力搭配恆定軸力加載





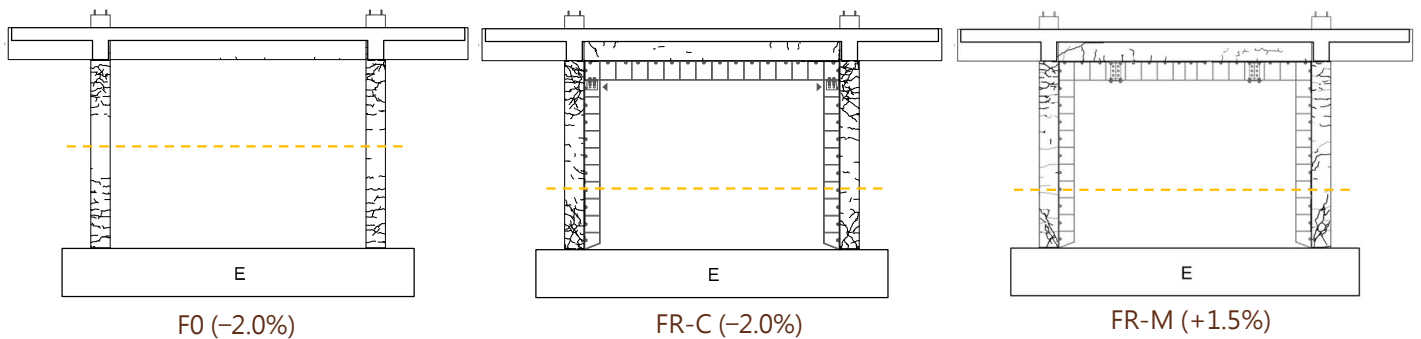
25

足尺構架試驗結果

■ 最大強度後開裂模式

F0 – 對稱之雙曲率撓曲開裂模式。

FR-C & FR-M – 不對稱雙曲率開裂模式，反曲點較低



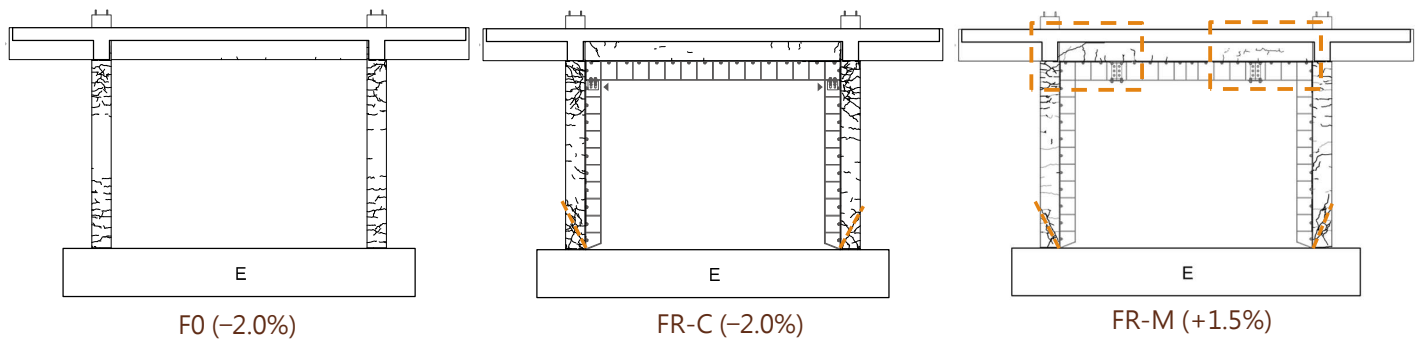
26

足尺構架試驗結果

■ 最大強度後開裂模式

FR-C & FR-M – 因剛度提高，剪力裂縫較早發生，柱底剪力裂縫出現於特定方向。

FR-M – 鋼梁錨栓位置出現垂直裂縫，但並未發生拉拔破壞。



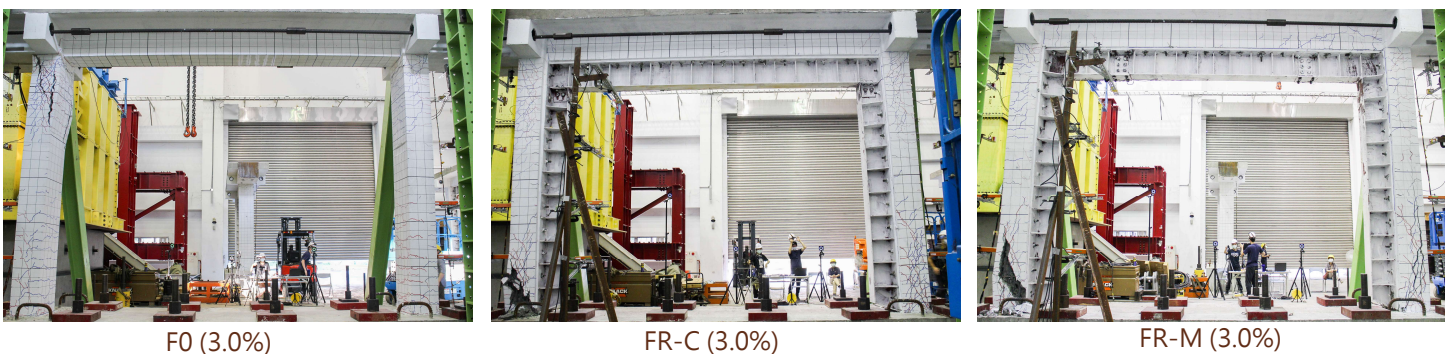
27

足尺構架試驗結果

■ 最終破壞模式

F0 – 柱頂剪力破壞

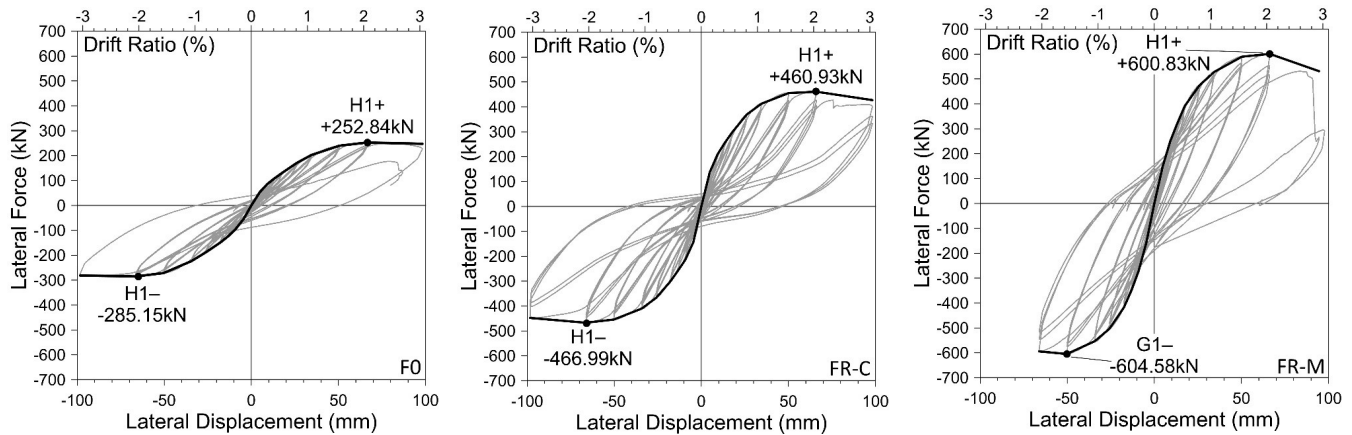
FR-C & FR-M – 柱底剪力破壞，發生於特定方向（朝向構架內部）



28

足尺構架試驗結果

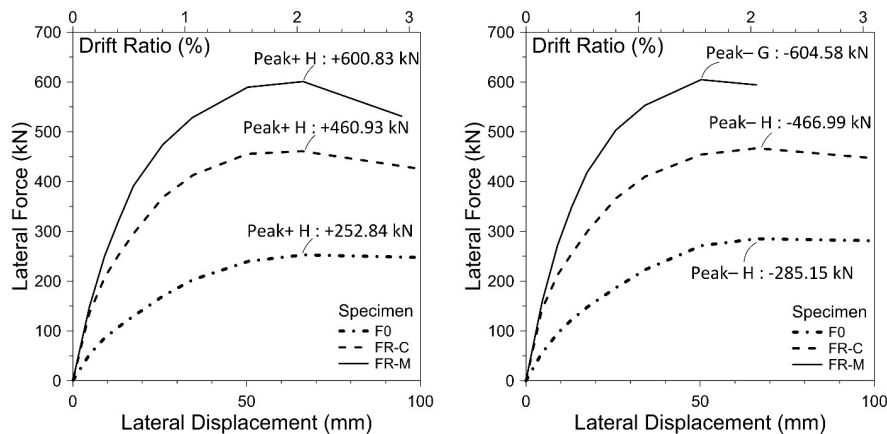
■ 側力-變形曲線



29

足尺構架試驗結果

■ 側力-變形包絡線比較



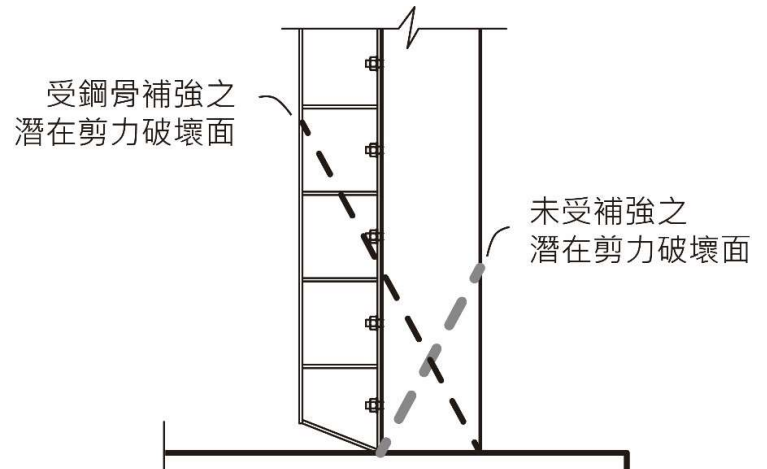
兩座補強試體之強度與初始剛度皆明顯高於無補強試體，承壓接合 (FR-C) 及彎矩接合 (FR-M) 補強試體最大強度分別約為無補強試體 (F0) 之**1.64倍**及**2.12倍**。

30

足尺構架試驗結果

■ 補強試體柱底特定方向剪力破壞

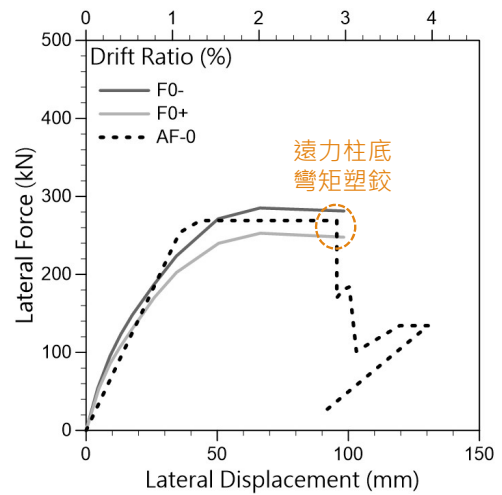
- 由於柱補強鋼骨未連接至基礎，兩座補強試體RC柱底皆沿未受補強之潛在剪力破壞面破壞
- 雖然補強試體與無補強試體一樣於柱發生剪力破壞，補強試體之強度卻仍高出許多，可能因補強鋼骨提供此剪力破壞面受壓側圍束，增加拱機制剪力抵抗



側推分析模型

空構架側推分析

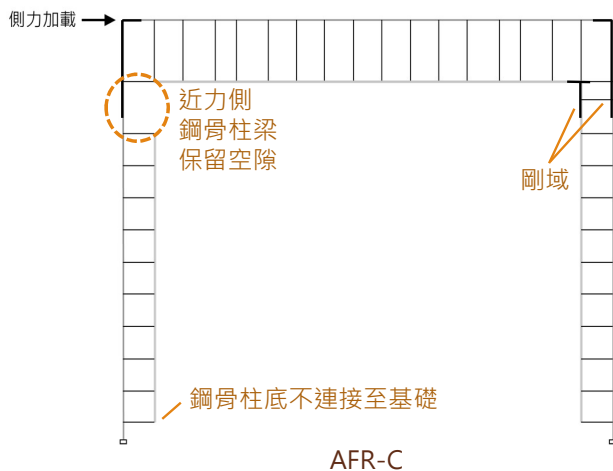
■ 無補強空構架以TEASPA 3.0執行側推分析與試驗比對準確



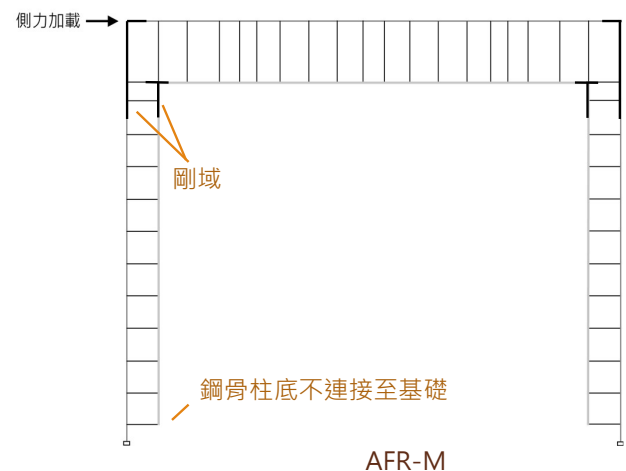
35

補強構架側推分析模型

■ 承壓接合



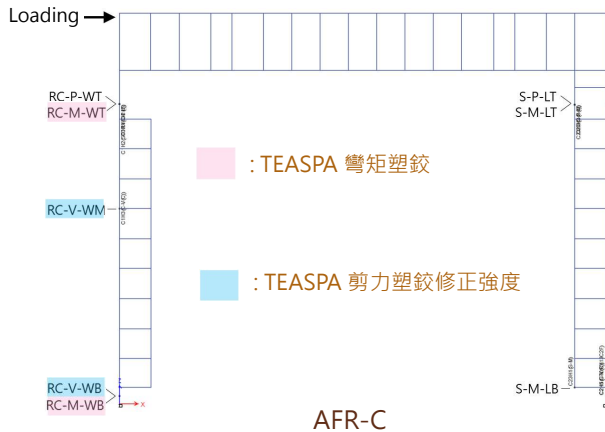
■ 彎矩接合



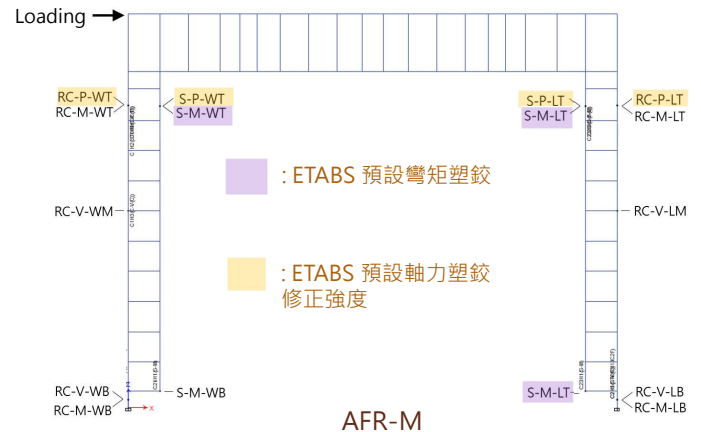
36

補強構架側推分析模型

■ 承壓接合



■ 彎矩接合



37

補強構架側推分析塑鉸設定

■ 軸力塑鉸強度修正

- 近力側RC柱 (RC-P-WT):

設定為RC柱軸壓強度：

$$P_n = 0.85f'_c(A_g - A_s) + A_s f_y$$

- 遠力側RC柱(RC-P-LT)代 $f'_c = 0$ (軸拉強度)

- 遠力側柱補強鋼骨(S-P-LT):

設定為鋼骨翼板挫屈強度：

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_s I_x}{(KL)^2} \quad I_x = \frac{1}{12} b_f h_f^3$$

- 近力側柱補強鋼骨(S-P-WT):

設定為補強鋼骨軸拉強度：

$$P_{n,s} = f_{y,s} \times A_{g,s}$$

■ 剪力塑鉸強度修正

- RC柱中央高度剪力塑鉸 (RC-V-WM、RC-V-LM)

補強鋼骨所提供之剪力貢獻以腹板計算

$$V_n = 0.6 f_{y,s} A_w C_{v1} \quad C_{v1} = 1.0$$

將TEASPA輸出原RC柱剪力強度 V_n 加上補強鋼骨剪力貢獻：

$$V_{SF} = V_{RC} + V_n$$

By TEASPA

38

補強構架側推分析塑鉸設定

■ 柱底剪力塑鉸強度修正

遠力側RC柱底剪力塑鉸
(RC-V-LB)

補強鋼骨所提供之剪力貢獻

$$V_n = 0.6 f_{y,s} A_w C_{v1}$$

補強鋼骨剪力貢獻完整
添加至原RC柱剪力強度

$$V_{SF} = V_{RC} + V_n \quad C_{v1} = 1.0$$

By TEASPA



完整補強之剪力
破壞面

局部補強之剪力破壞面

近力側RC柱底剪力塑鉸
(RC-V-WB)

補強鋼骨所提供之剪力貢獻

$$V_n = 0.6 f_{y,s} A_w C_{v1}$$

補強鋼骨剪力貢獻折半
添加至原RC柱剪力強度

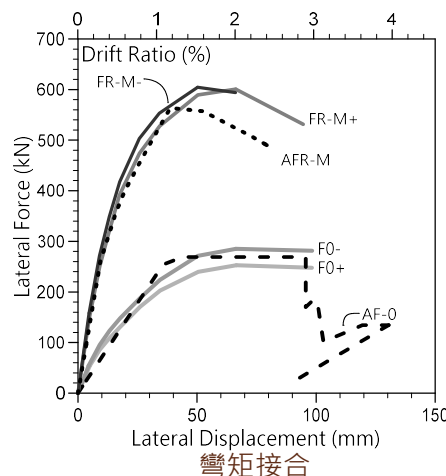
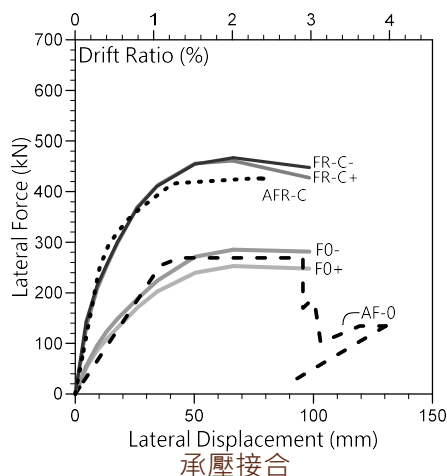
$$V_{SF} = V_{RC} + V_n \quad C_{v1} = 0.5$$

By TEASPA

39

補強構架側推分析模擬

■ 補強構架側推分析曲線與試驗曲線比較



兩種補強構架之行為
皆可由TEASPA側推分析
準確模擬

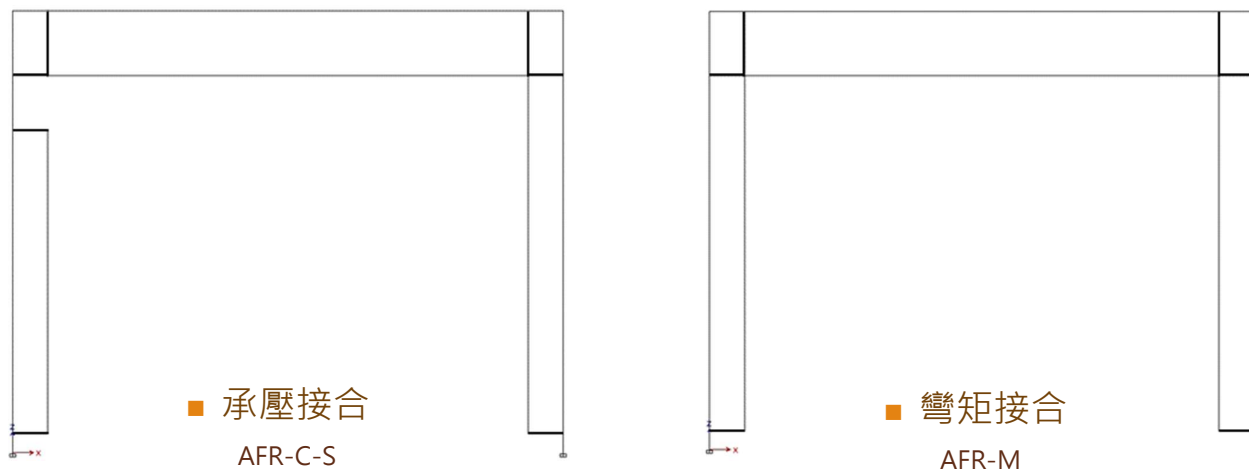
- ETABS側推分析位移限制設定
為RC柱軸向破壞變位：

$$\Delta_a = \frac{4}{100} \frac{1 + (\tan \theta)^2}{\tan \theta + P \frac{s}{A_{st} f_{yt} d_c \tan \theta}} \times H$$

40

補強構架側推分析簡化模型

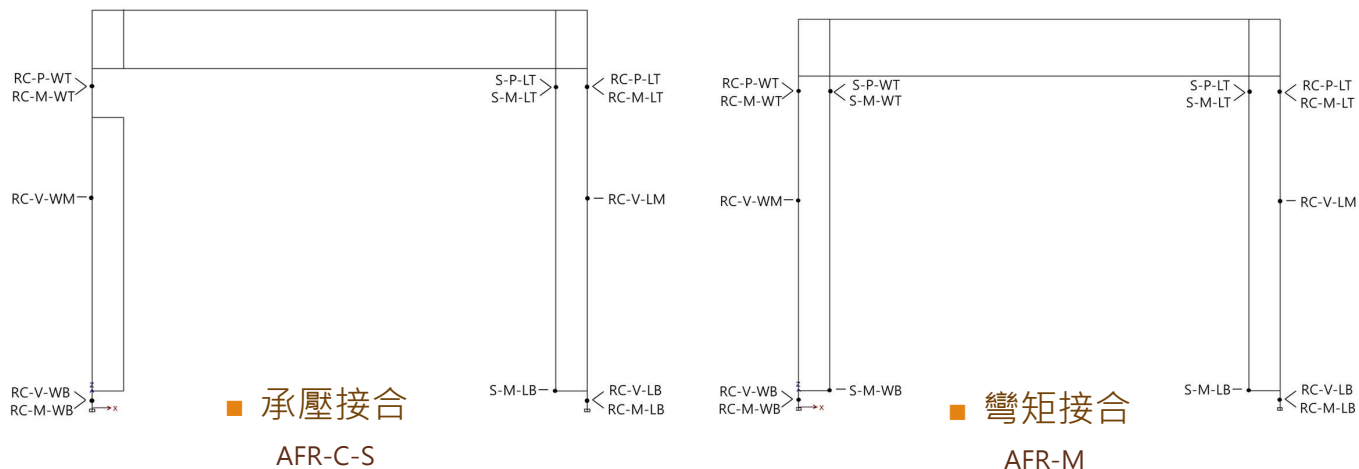
- 剛性短桿僅建立於柱梁補強鋼骨之端部



41

補強構架側推分析簡化模型

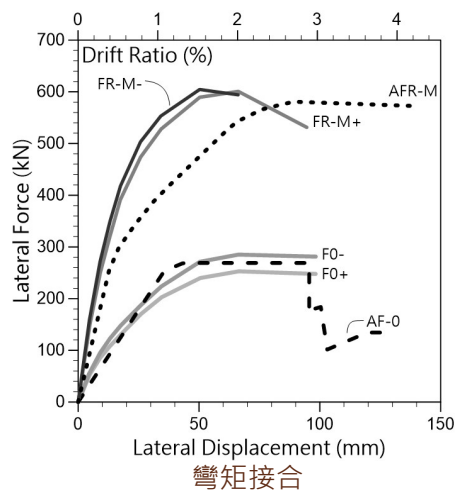
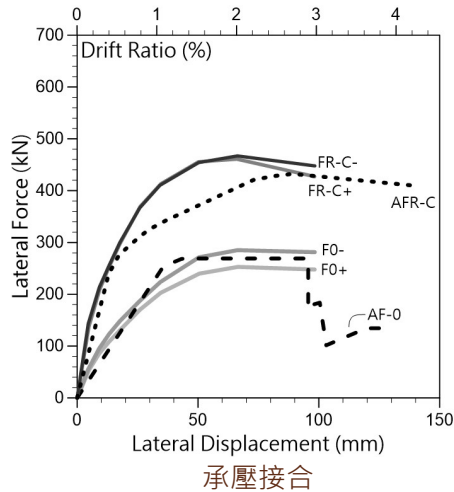
- 剛性短桿僅建立於柱梁補強鋼骨之端部



42

補強構架側推分析模擬

■ 簡化模型側推分析曲線與試驗曲線比較

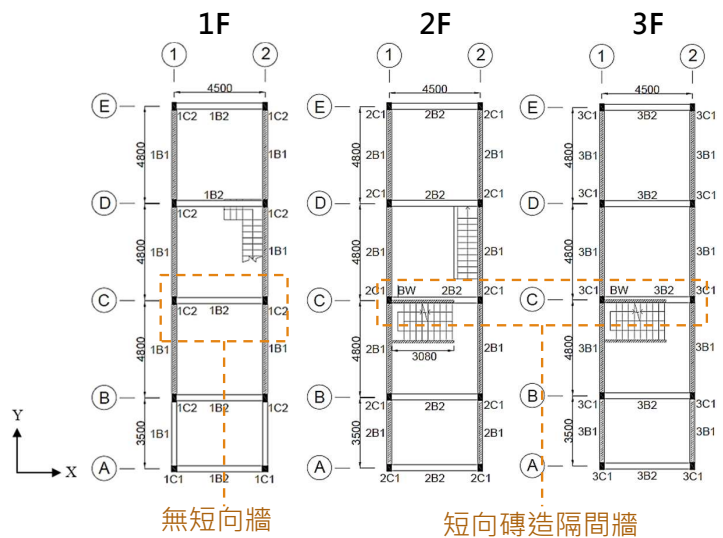
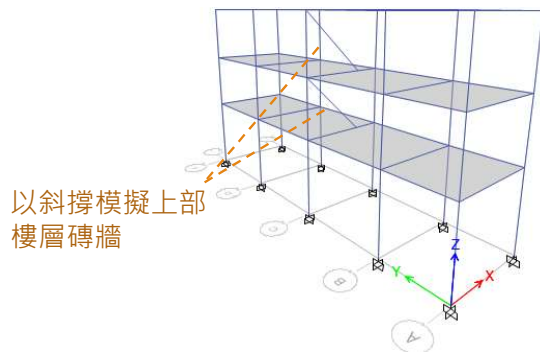


初始剛度與最大強度準確，但最大強度對應變位有高估現象，可能導致評估不保守

虛擬街屋案例耐震評估

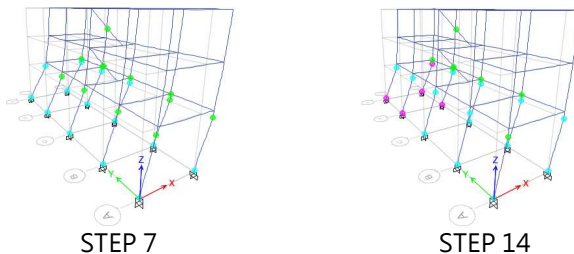
典型街屋假設案例耐震評估

■ 軟弱底層之單棟街屋

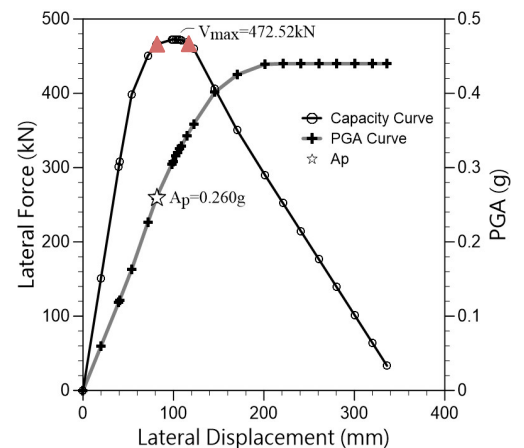


典型街屋假設案例耐震評估

■ 軟弱底層之單棟街屋



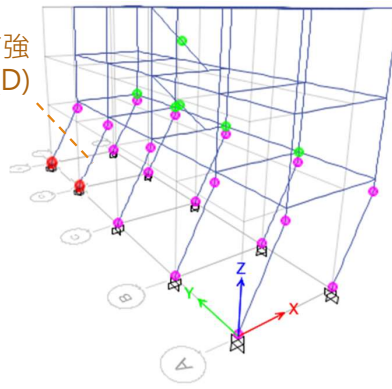
	強度準則	位移準則	軸向破壞準則
X+	Step16 $0.85V_{\max}^+ = 401.64$ kN	Step16 1F $5.49\% > 2.50\%$ 取Step6 – Step7	N. A.
A_p	-	$0.260\text{ g} < 0.280\text{ g}$ 需補強	-



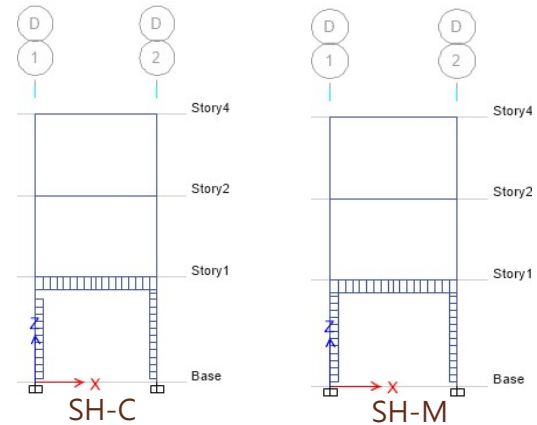
典型街屋假設案例耐震評估

■ 軟弱底層之單棟街屋補強後

補強構件安裝於補強
前最早破壞構架(D)



STEP 25

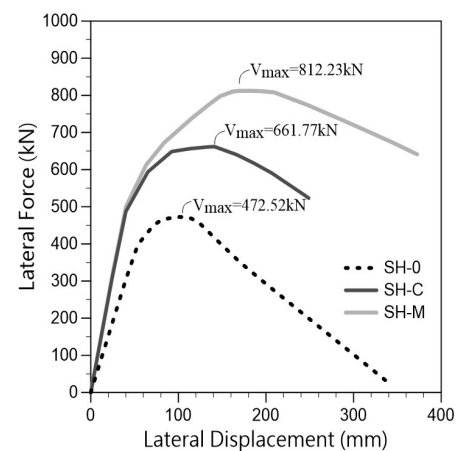


典型街屋假設案例耐震評估

■ 軟弱底層之單棟街屋補強結果

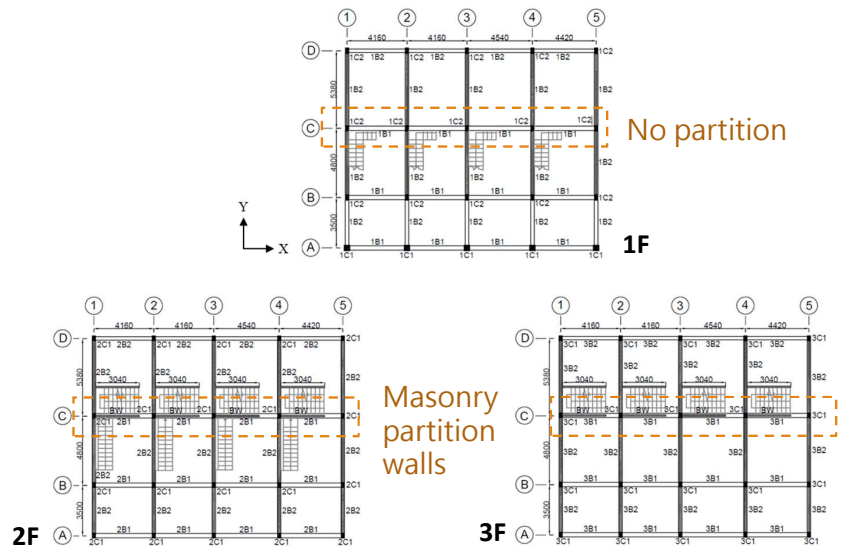
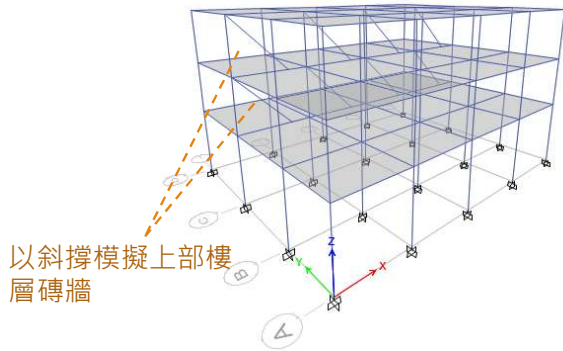
- 兩種接合形式補強後基底剪力、剛度及崩塌地表加速度 (A_p 值) 皆明顯提昇

	最大 基底剪力 (kN)	初始剛度 (kN / mm)	極限變形 (mm)	崩塌 地表加速度 A_p (g)
SH-0	472.52	7.61	336.09	0.260
SH-C	661.77	12.66	248.80	0.413
SH-M	812.23	12.80	372.46	0.433



典型街屋假設案例耐震評估

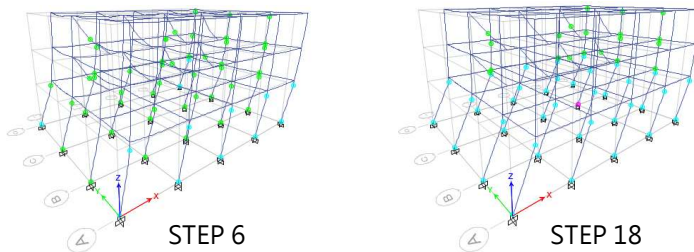
■ 軟弱底層之連棟街屋



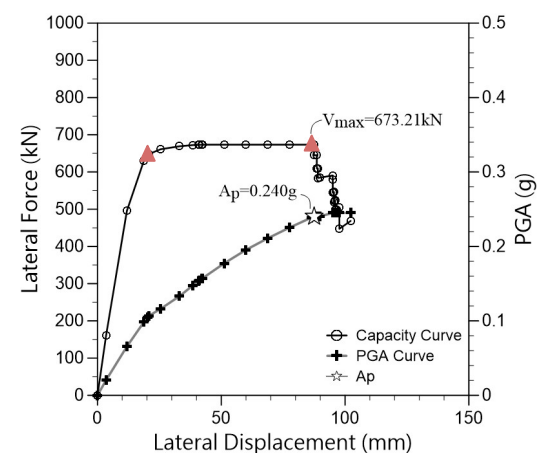
49

典型街屋假設案例耐震評估

■ 軟弱底層之連棟街屋



	強度準則	位移準則	軸向破壞準則
X+	Step 27-Step28 $0.85V_{\max}^+ = 572.23 \text{ kN}$	Step 28 $2.49\% < 2.50\%$	Failure at Step 19 Step 18 is taken
Ap	-	-	$0.240 \text{ g} < 0.280 \text{ g}$ 需補強



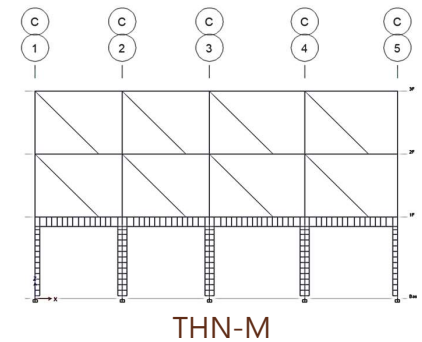
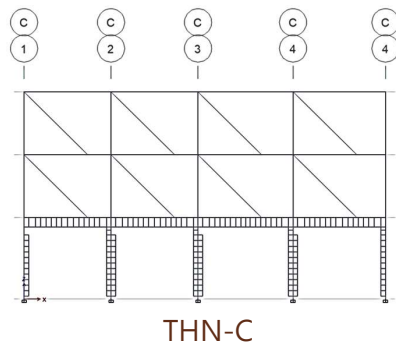
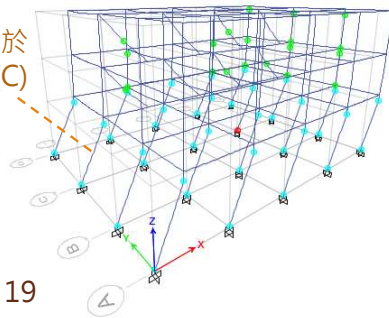
50

典型街屋假設案例耐震評估

■ 軟弱底層之連棟街屋補強後

補強構件安裝於
軸向破壞構架(C)

STEP 19



51

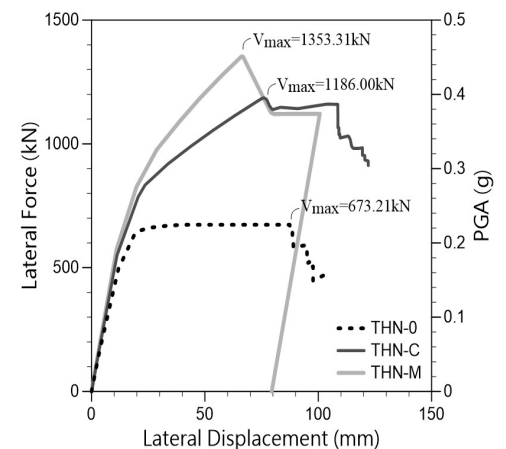
典型街屋假設案例耐震評估

■ 軟弱底層之連棟街屋補強後

- 兩種接合形式補強後基底剪力、剛度及崩塌地表加速度 (A_p 值) 皆明顯提昇
- 崩塌地表加速度與最大基底剪力不成比例

	最大 基底剪力 (kN)	初始剛度 (kN / mm)	極限變形 (mm)	崩塌 地表加速度 A_p (g)
THN-O	673.21	46.26	102.26	0.240
THN-C	1186.00	50.65	122.04	0.306
THN-M	1353.31	54.22	100.67*	0.325

* : Analysis did not converge



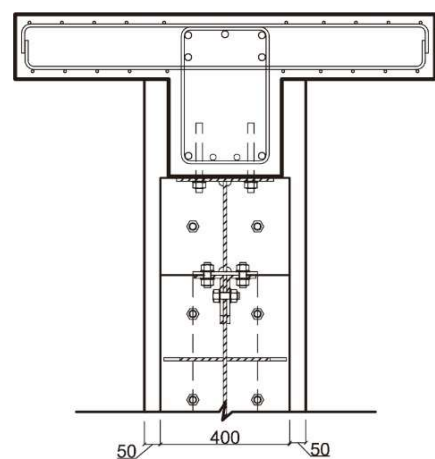
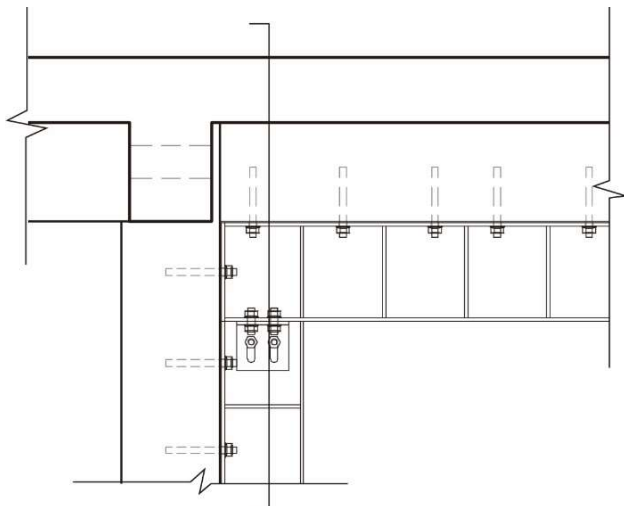
52

參考圖說

53

柱梁補強鋼骨接合形式

■ 承壓接合

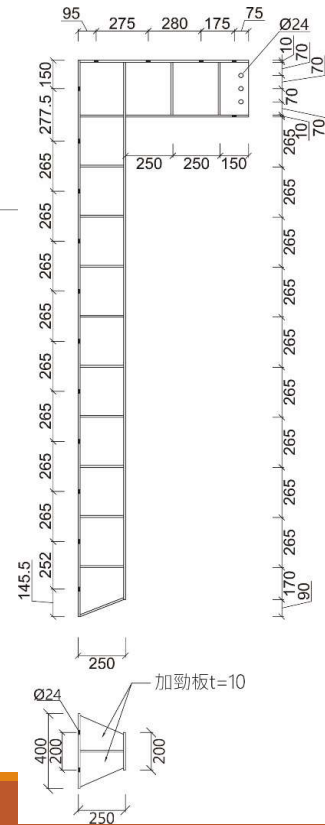


54

■ 彎矩接合

■ 承壓接合

■ 彎矩接合



- 補強鋼骨構件先在工廠施作完成
- 放樣化學錨栓孔位
- RC構架化學錨栓鑽孔 - M20錨栓，深度170mm，間距250mm
- 補強鋼骨定位及化學錨栓植筋
- 補強鋼骨與RC試體介面以環氧樹脂灌注

參考論文

- 陳風多，「台灣既有典型街屋構架內置型簡易耐震補強構件試驗」，碩士論文，國立成功大學建築研究所，台南，2021。
- 連偉鈞，「RC構架內置型簡易耐震補強法面內側推試驗」，碩士論文，國立成功大學建築研究所，台南，2021。
- 林均容，「RC構架內置型簡易耐震補強之側推分析模型研究」，碩士論文，國立成功大學建築研究所，台南，2021。

本研究由科技部計畫MOST 107-2625-M-006-009
及國家地震工程研究中心支持

感謝聆聽，敬請指教