

軟補強

- RC 典型街屋內置型簡易耐震補強法

杜怡萱 教授

國立成功大學建築系

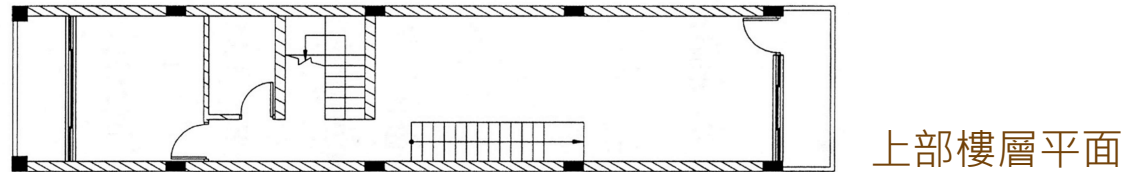
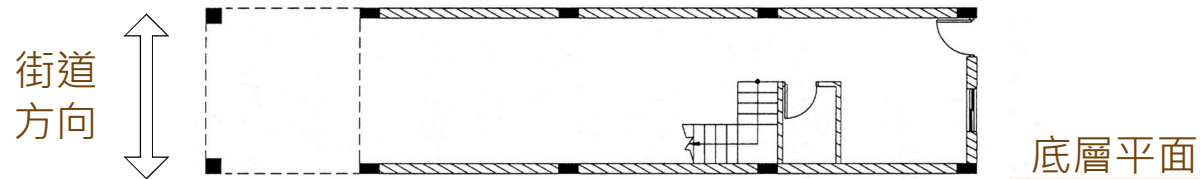
- 軟補強發展背景
- 試驗驗證與側推分析比對
- 簡易估算法
- 施工參考圖說

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

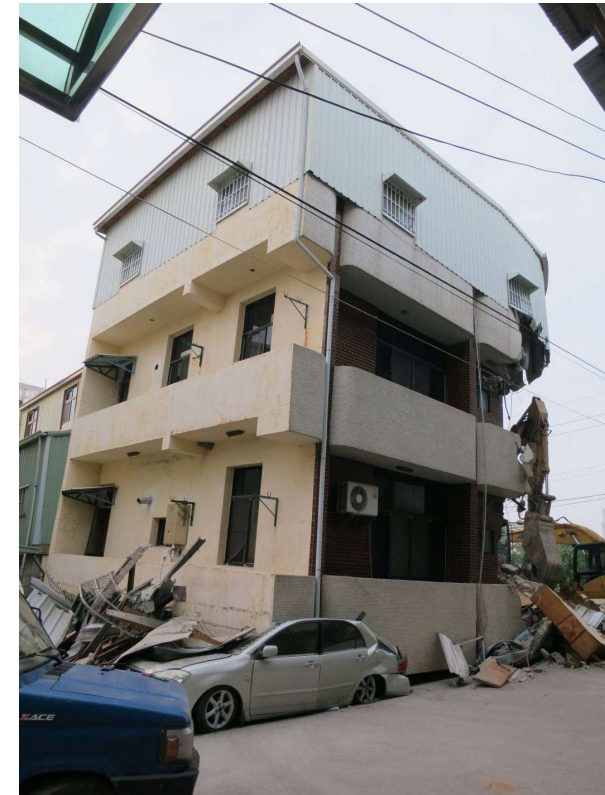


台灣典型街屋之耐震弱點



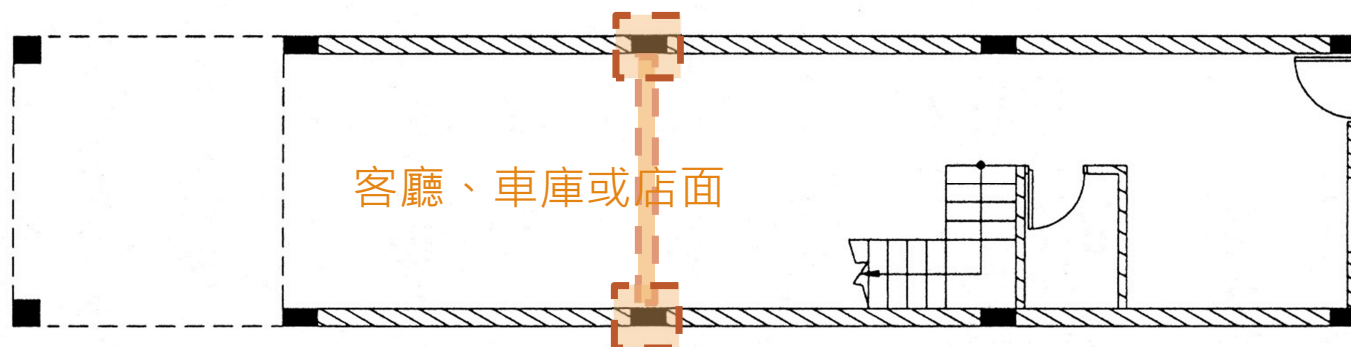
過去地震中受害之典型街屋

軟弱底層破壞



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

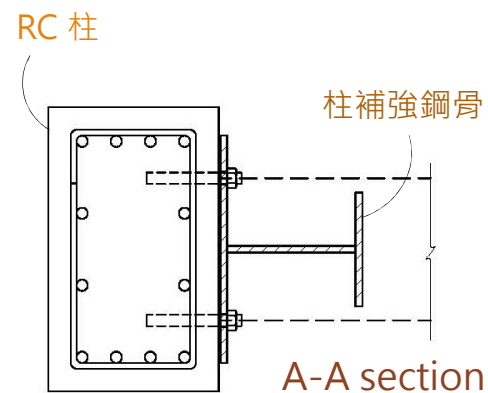
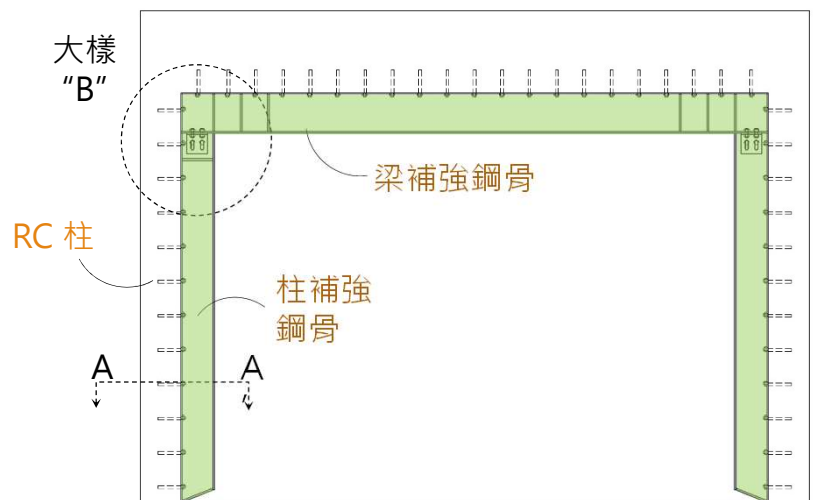


軟補強－簡易經濟的補強工法

- 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

軟補強原型設計概念

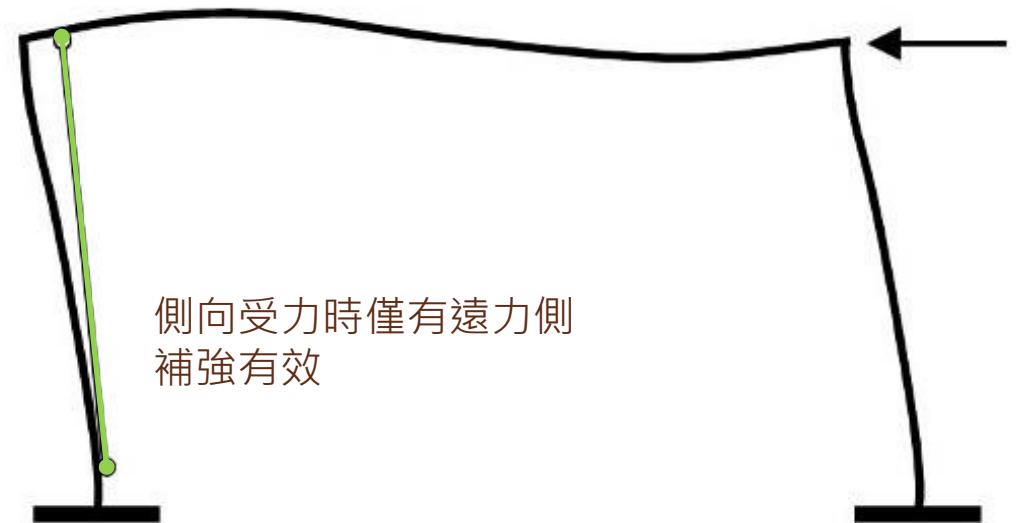
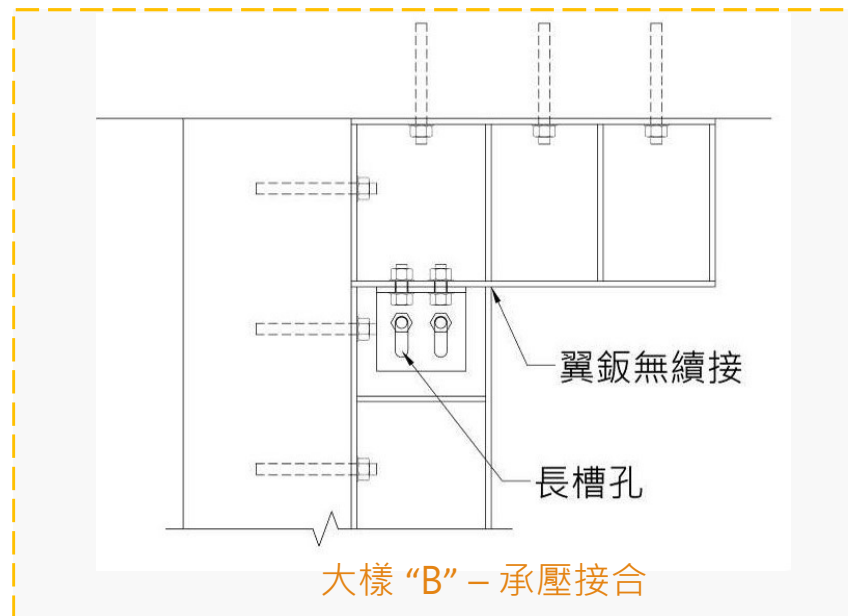
- 於RC構架內側附加鋼骨補強構件
- 柱補強鋼骨頂端與梁緊靠但不焊接，底端不連接至基礎，以省略基礎開挖



兩種柱梁補強鋼骨接合形式

■ 承壓接合

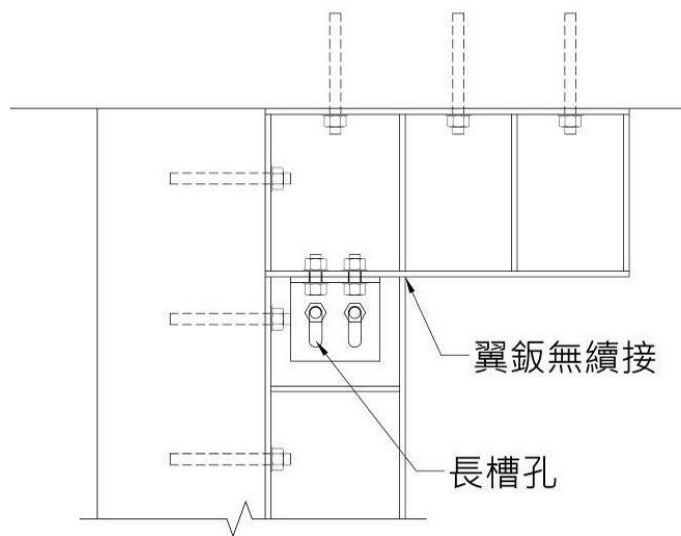
- 只傳遞壓力，不傳遞拉力，以避免減損韌性，也減少梁錨栓需求
- 補強鋼骨只在單一受力方向有效，補強強度較低



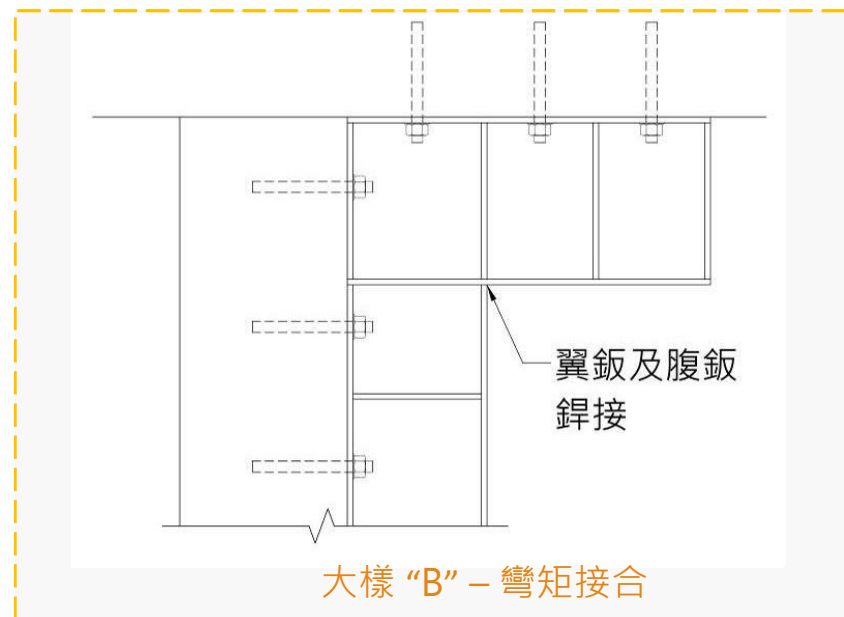
兩種柱梁補強鋼骨接合形式

■ 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

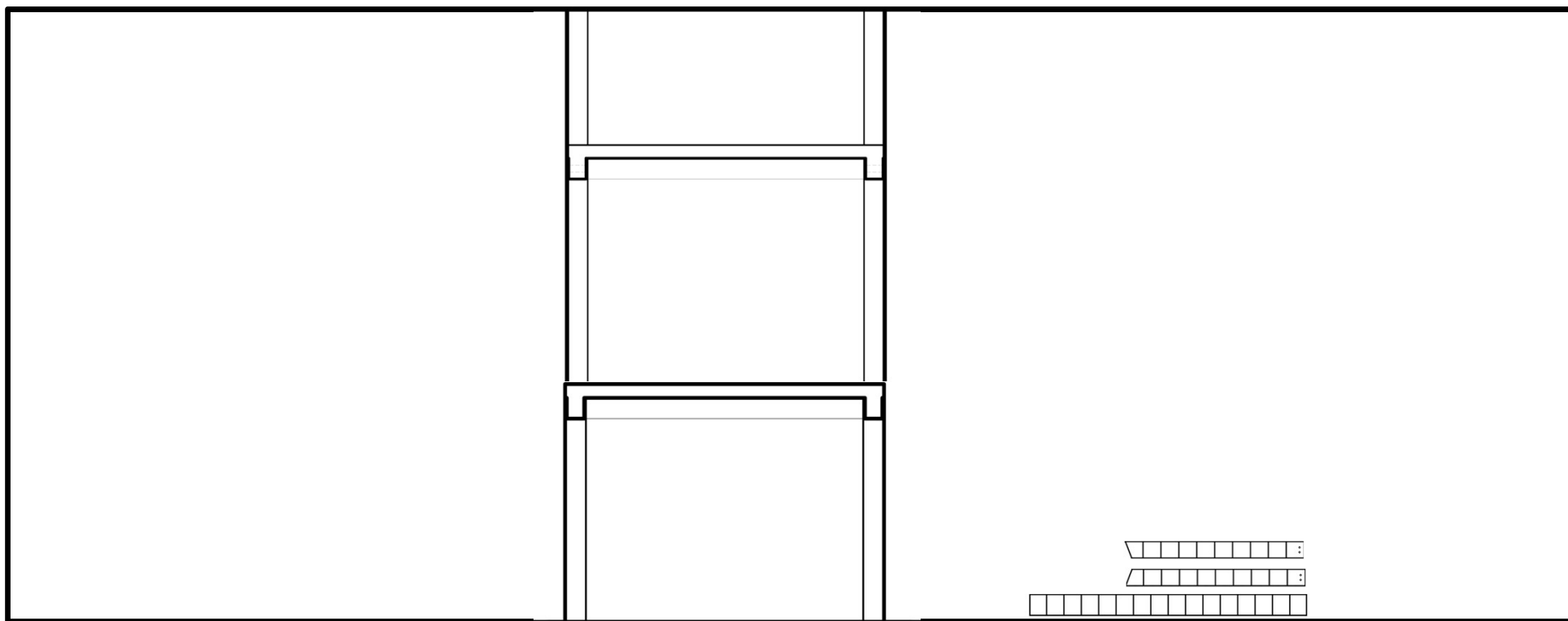


大樣 “B” – 承壓接合

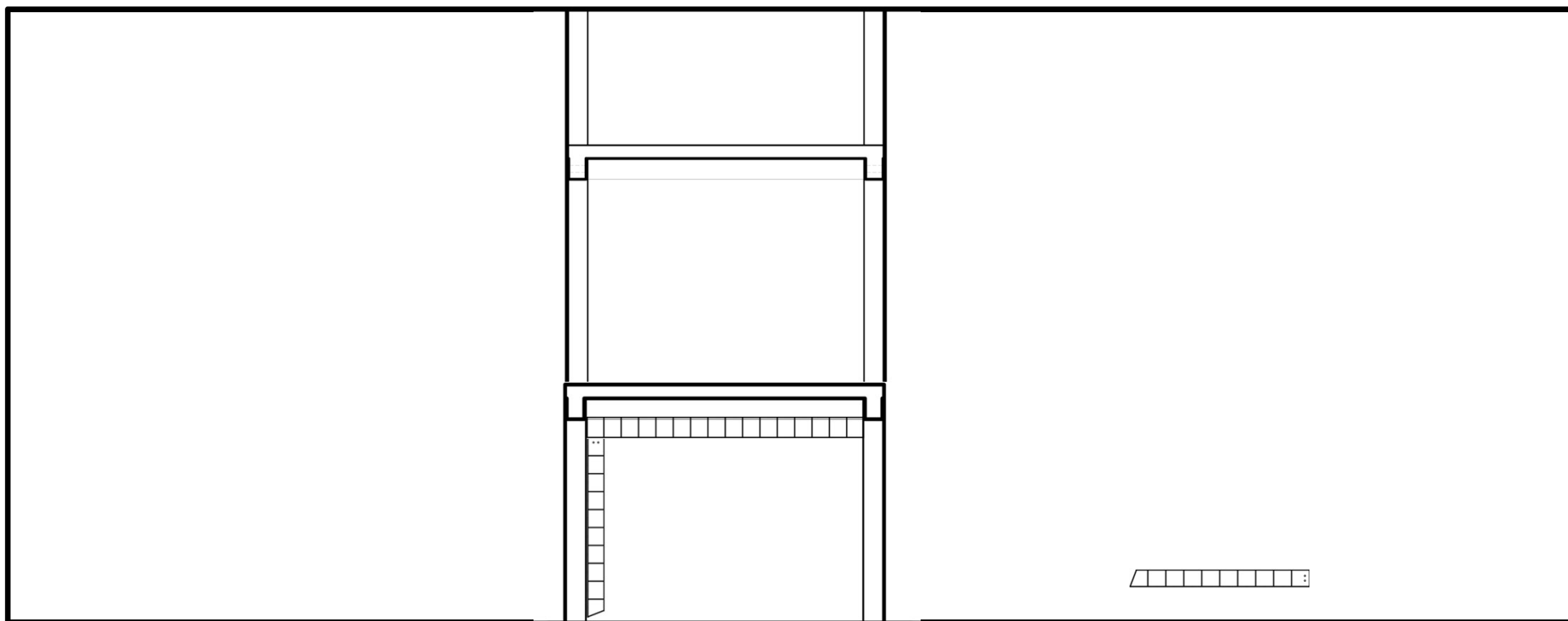


大樣 “B” – 彎矩接合

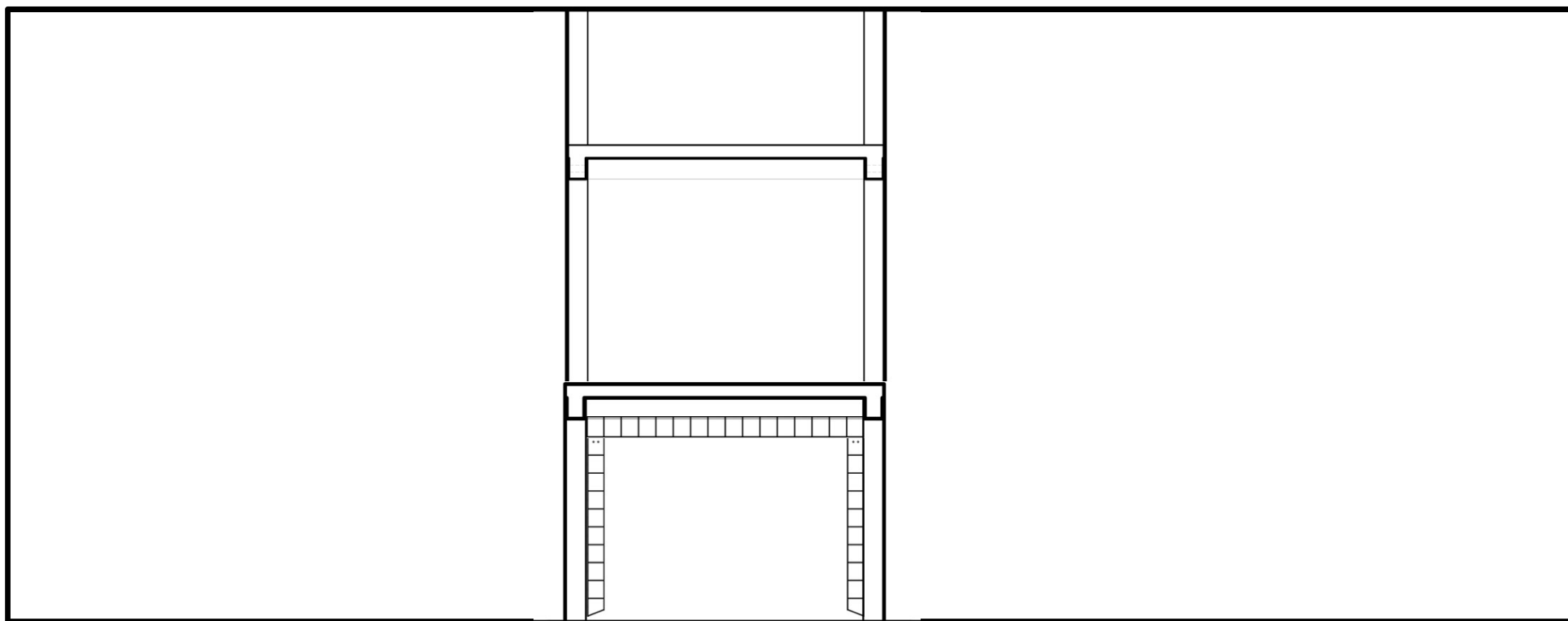
安裝工序



安裝工序

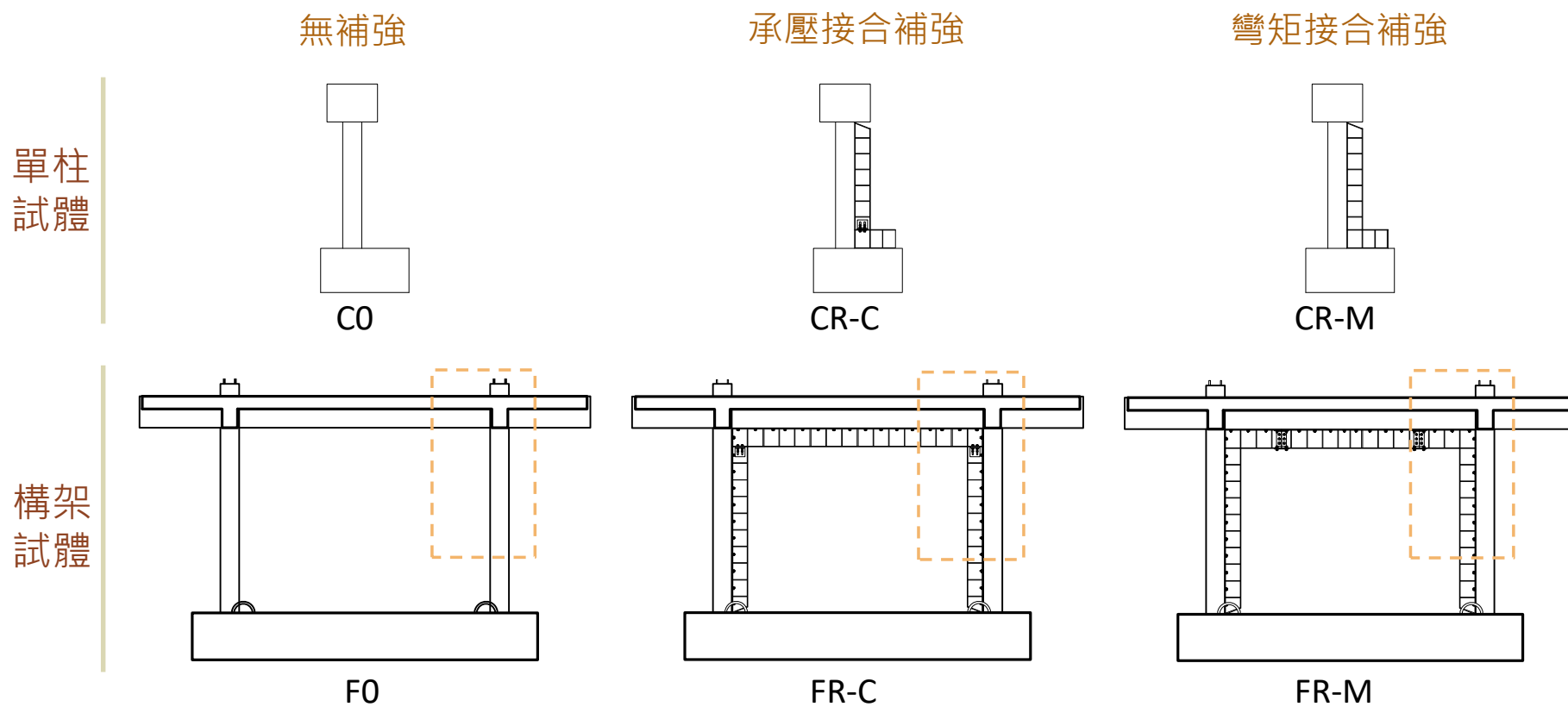


安裝工序



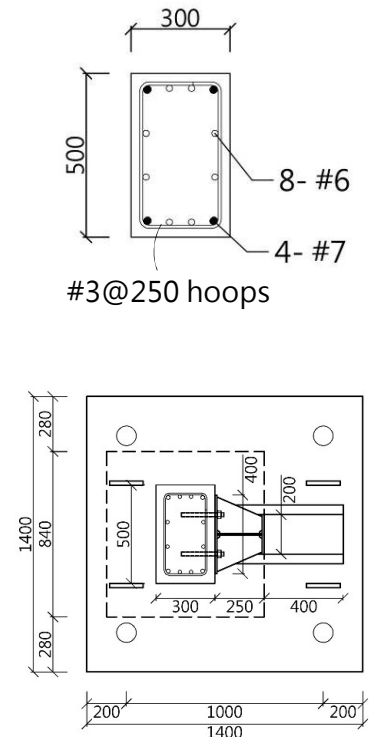
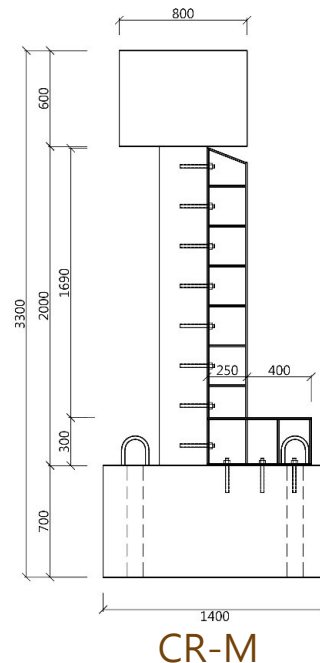
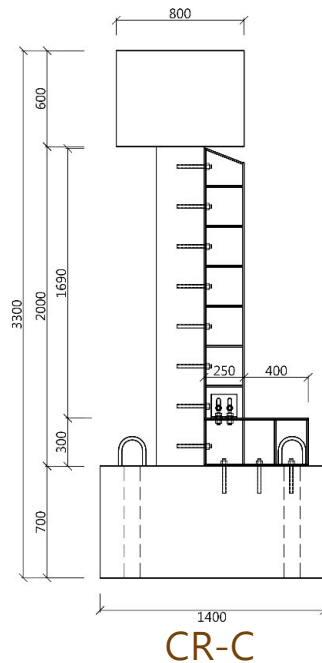
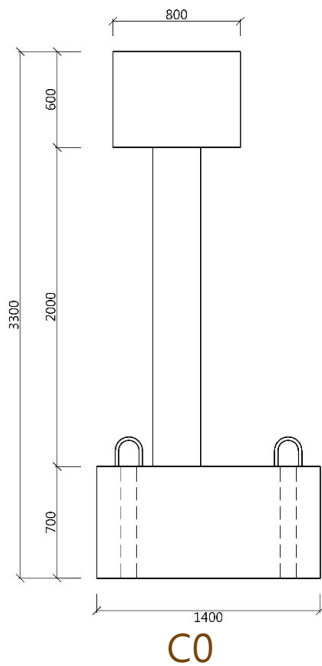
試驗驗證與 側推分析比對

足尺試體側向往復加載試驗



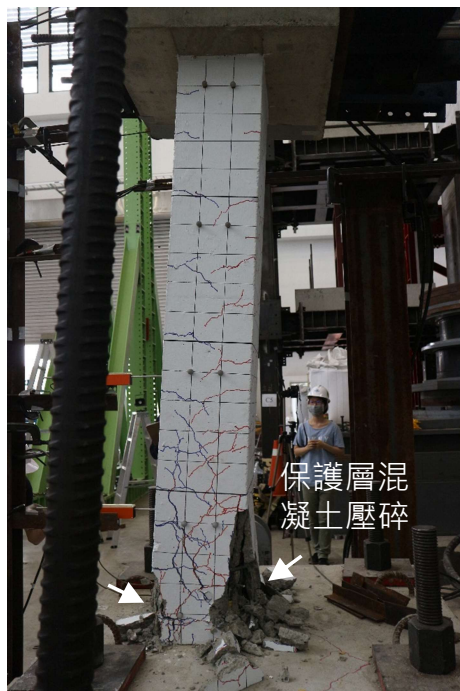
足尺單柱試體側向往復加載試驗

- 模擬老舊街屋設計為非韌性RC柱於單側補強

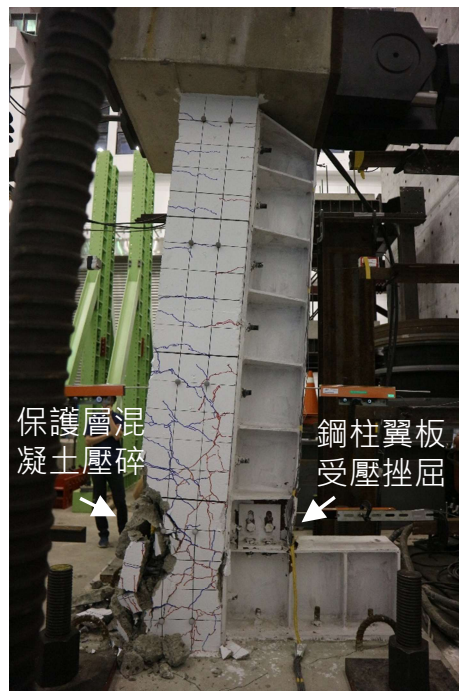


單柱試驗結果

■ 破壞模式



C0 (-7.0%)



CR-C (-6.0%)



CR-M (-7.0%)

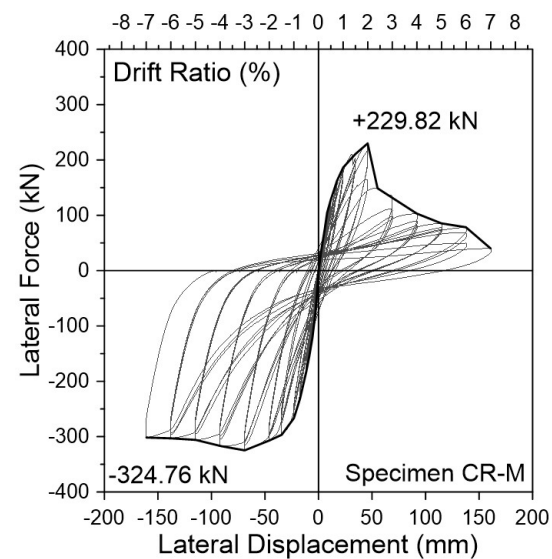
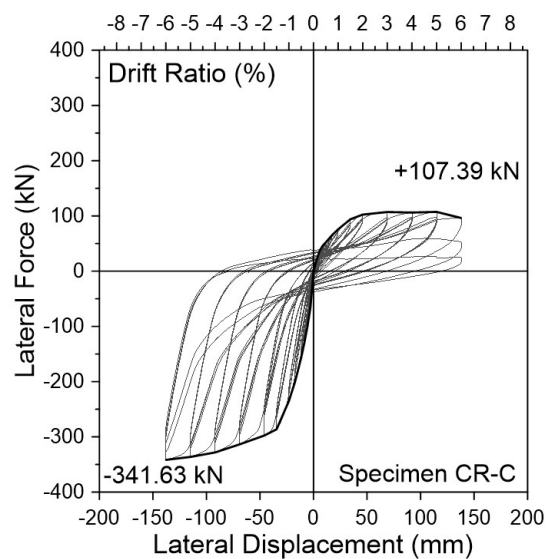
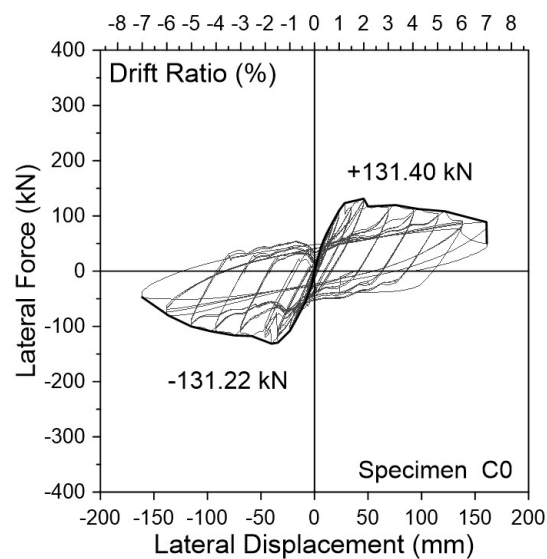
單柱試驗結果

■ 側力-變形曲線

C0 – 對稱之典型撓曲行為

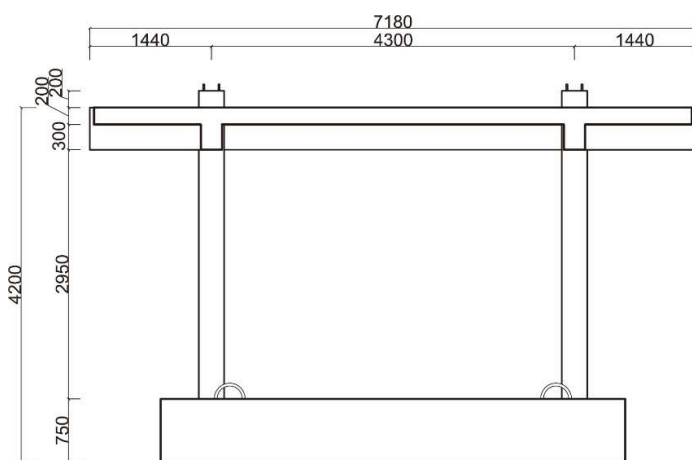
CR-C – 補強僅於單向發揮作用，反向加載強度及韌性明顯提高

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

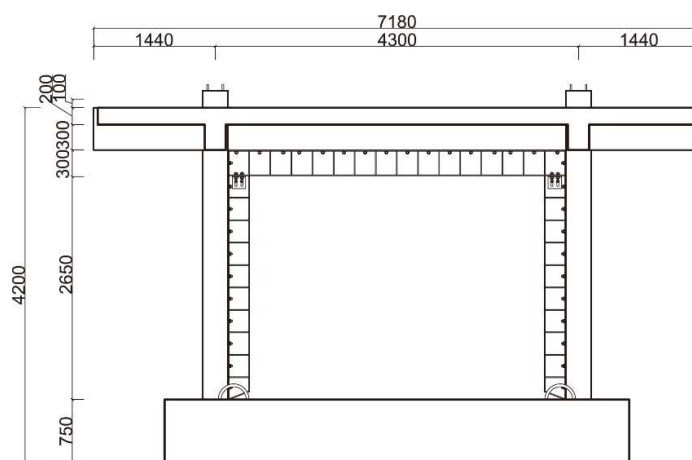


足尺構架側推試驗驗證

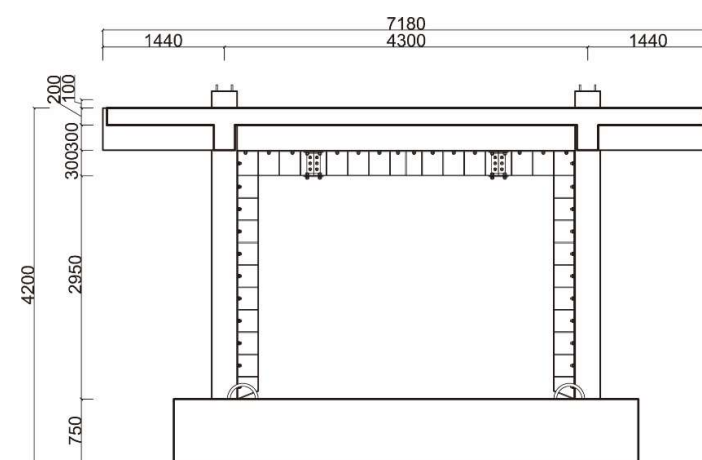
- RC構架仿照老舊典型街屋採非韌性設計



F0
無補強

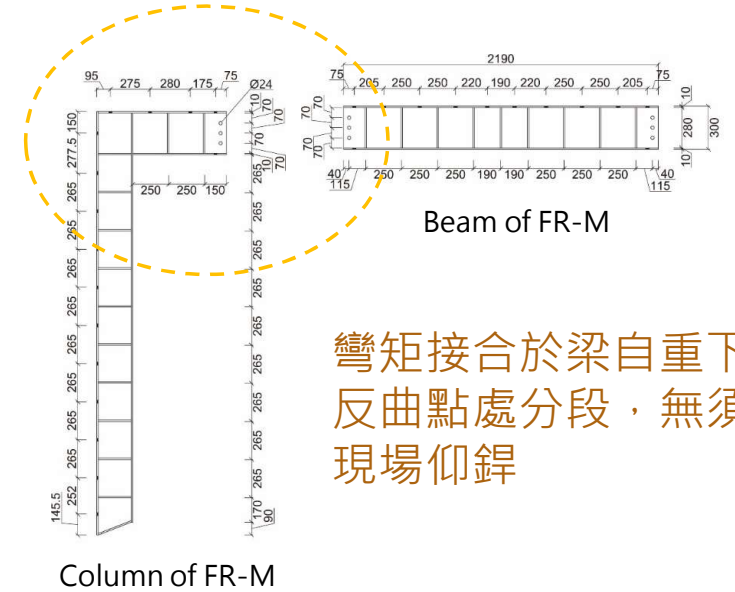


FR-C
承壓接合補強



FR-M
彎矩接合補強

■ 所有補強鋼骨於工廠預製再運至現場安裝



20

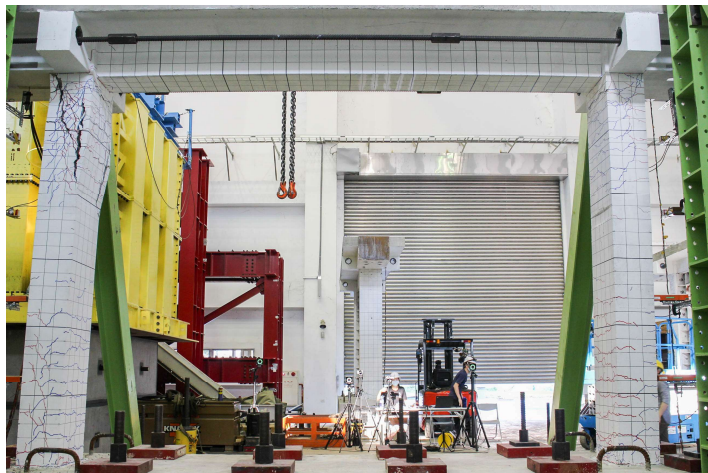


足尺構架試驗結果

■ 最終破壞模式

F0 – 柱頂剪力破壞

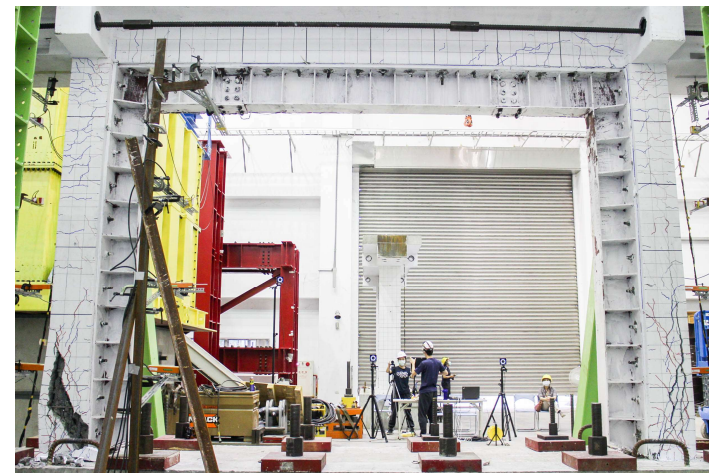
FR-C & FR-M – 柱底剪力破壞，發生於特定方向（朝向構架內部）



F0 (3.0%)



FR-C (3.0%)

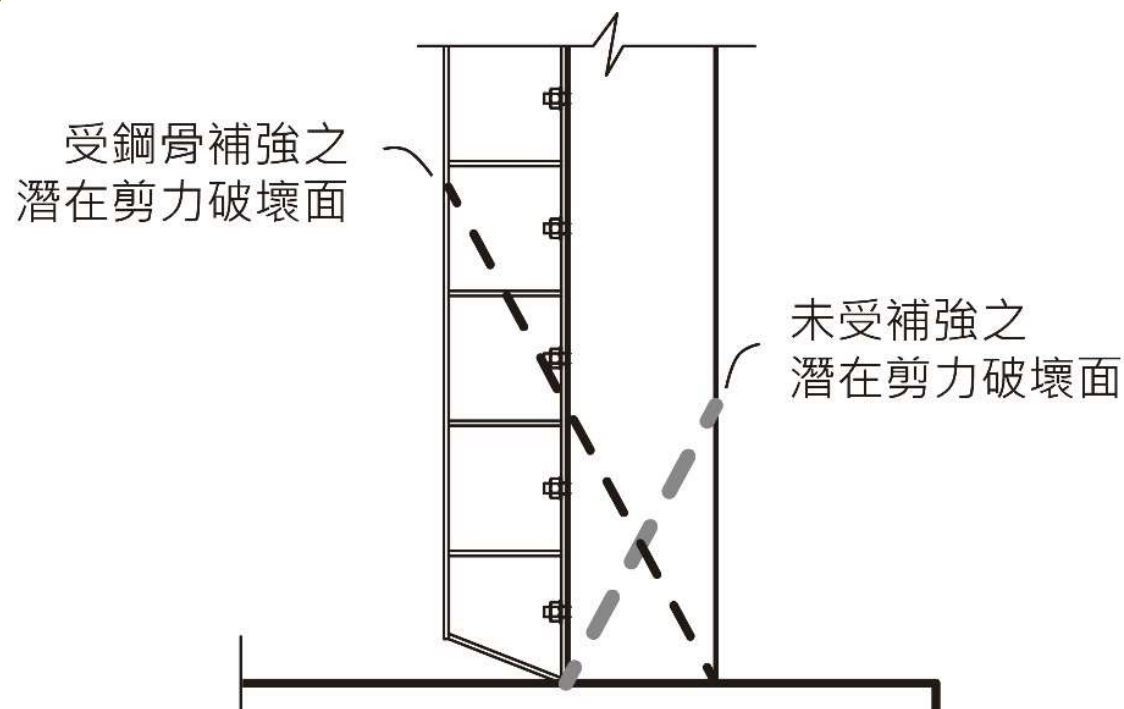


FR-M (3.0%)

足尺構架試驗結果

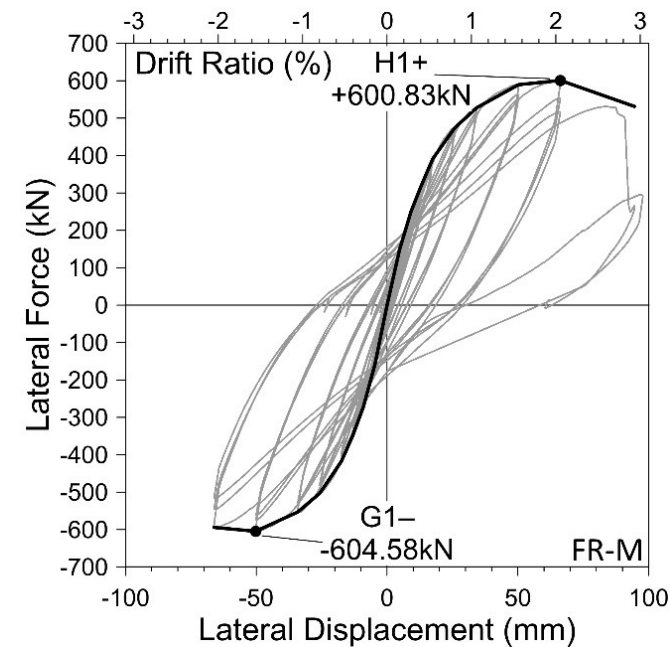
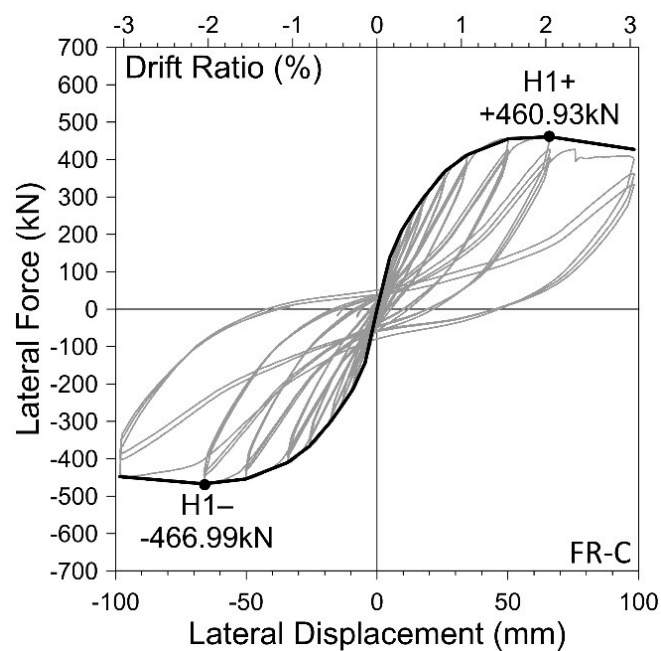
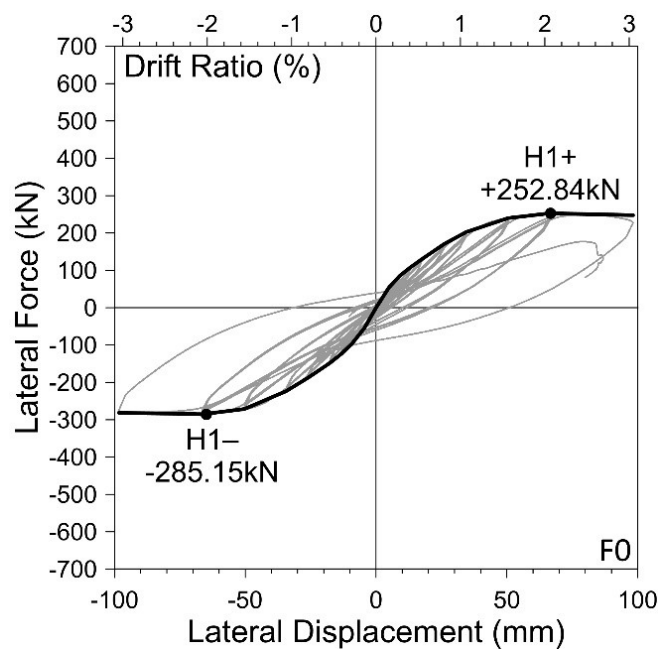
■ 補強試體柱底特定方向剪力破壞

- 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



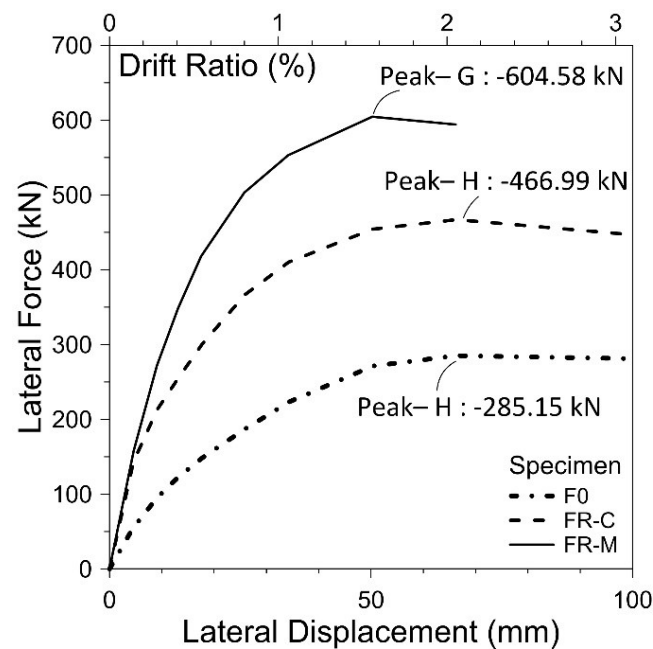
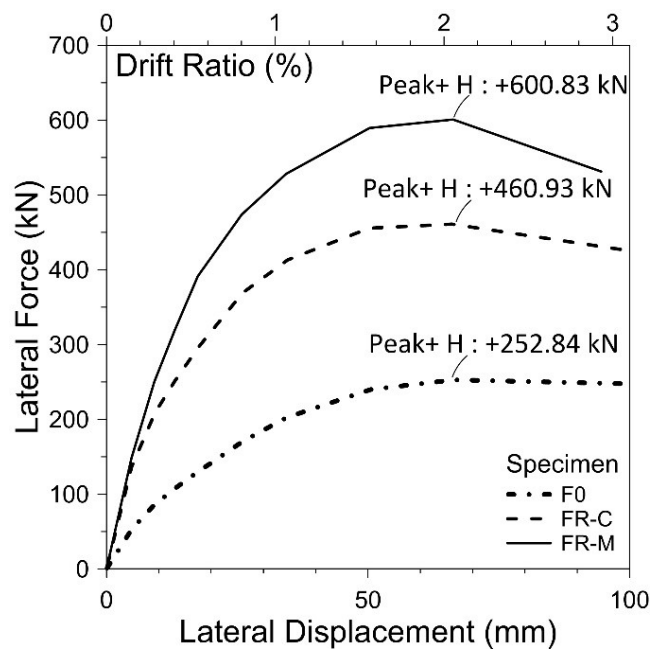
足尺構架試驗結果

■ 側力-變形曲線



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。

搭配TEASPA使用之側推分析模型

← → ↻ 🏠 📌 teaspa.ncree.org.tw



NAR Labs 國家實驗研究院
國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering



財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

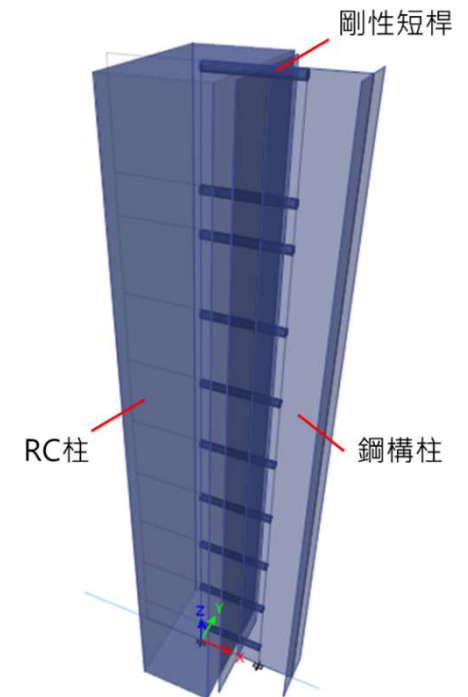
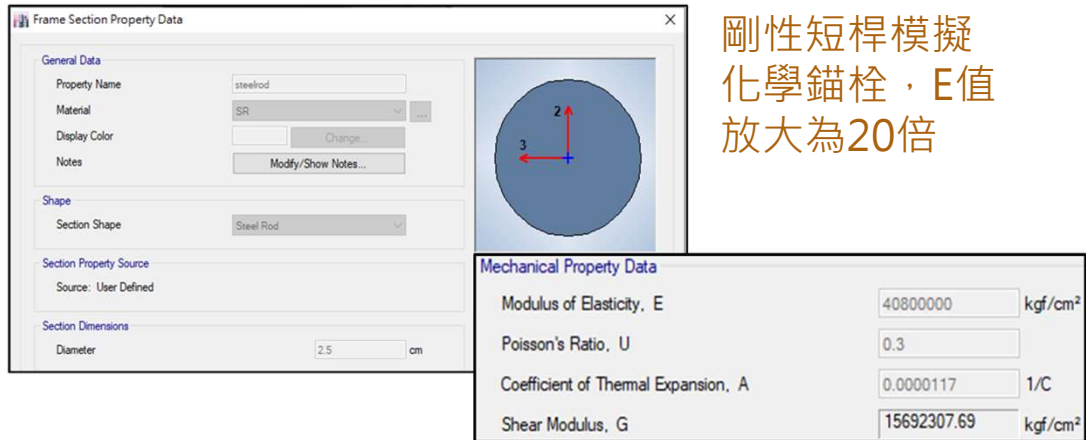
臺灣結構耐震評估側推分析法 TEASPA

Taiwan Earthquake Assessment for Structures by Pushover Analysis

🏠 首頁 三 執行專案 ⚙️ 排程管理 📁 下載專區 ⓘ 常見問題 📄 TEASPA 3.1 👤 註冊 ➡️ 登入

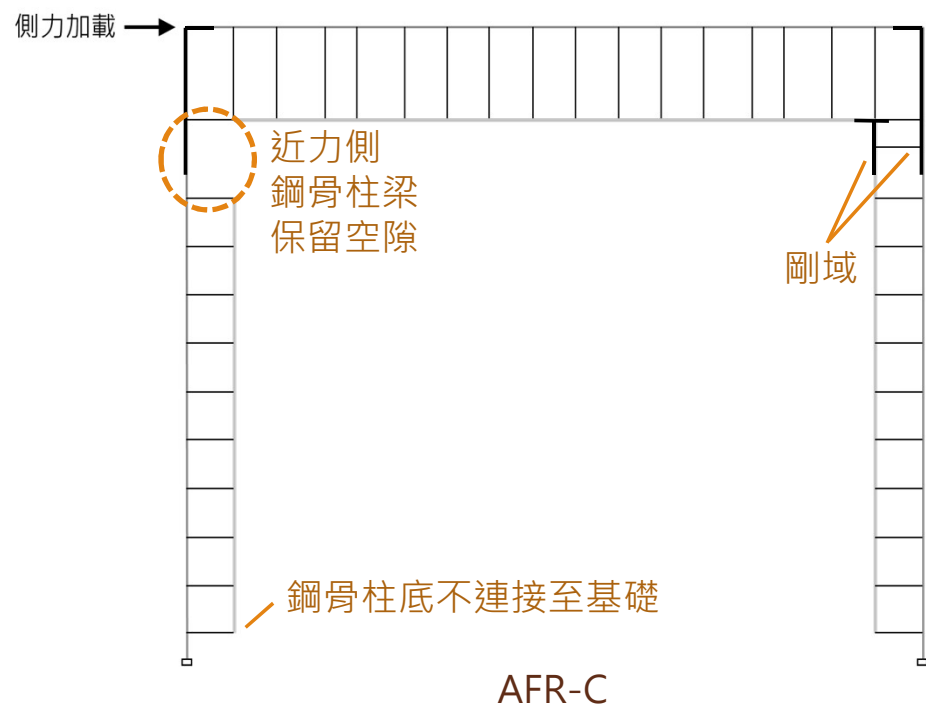
側推分析模型

- 補強柱可模擬為以剛性短桿連結RC柱與鋼骨柱之複合構件

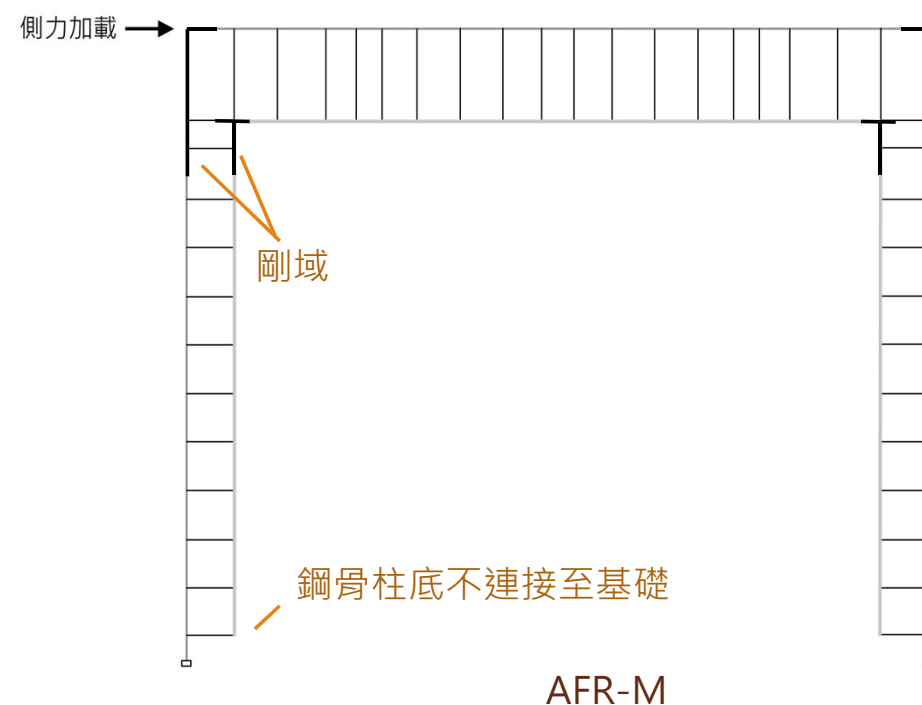


補強構架側推分析模型

■ 承壓接合

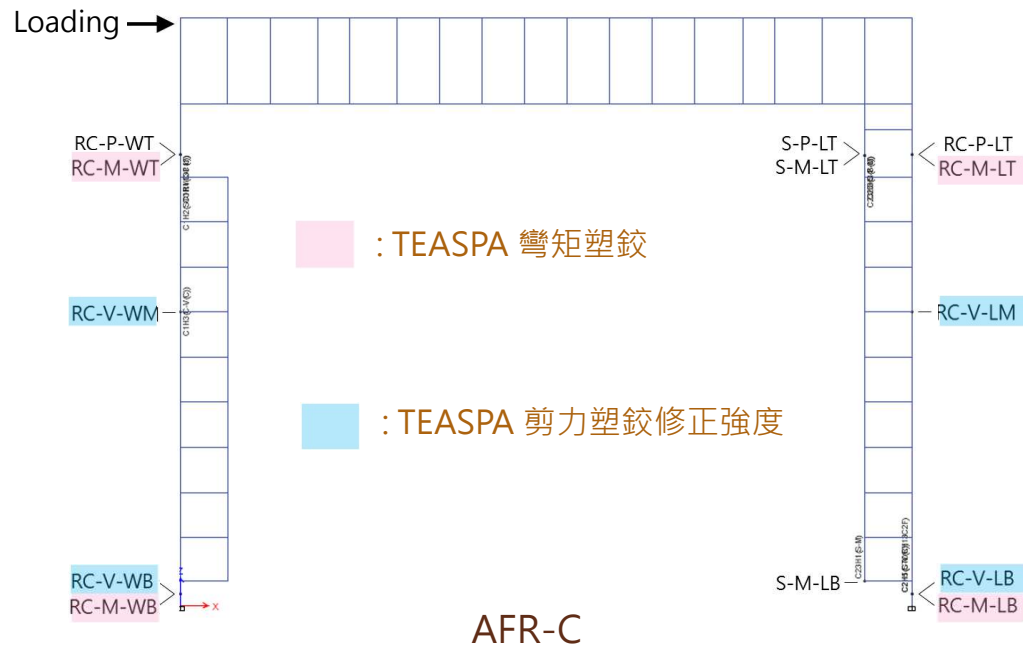


■ 彎矩接合

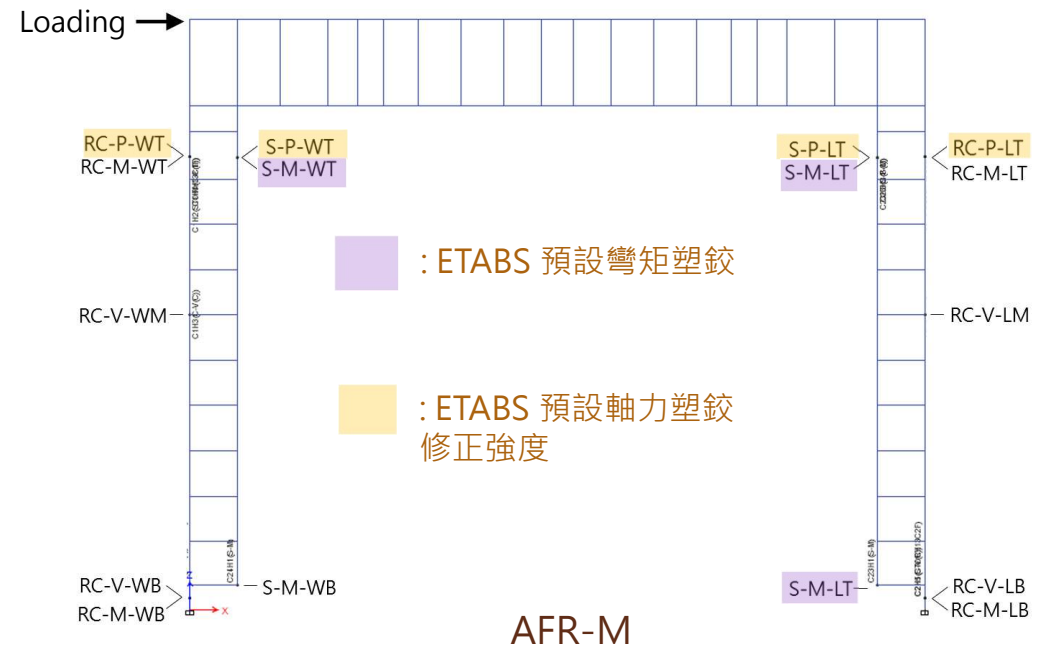


補強構架側推分析模型

■ 承壓接合

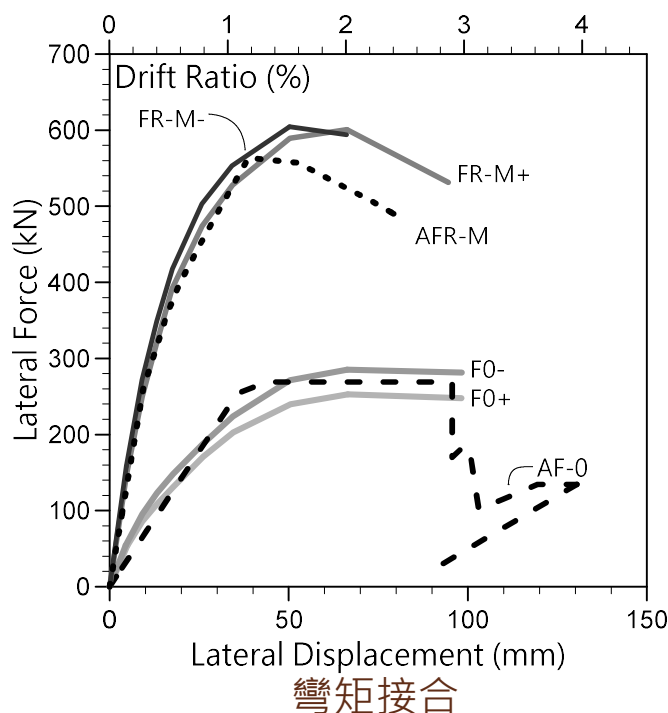
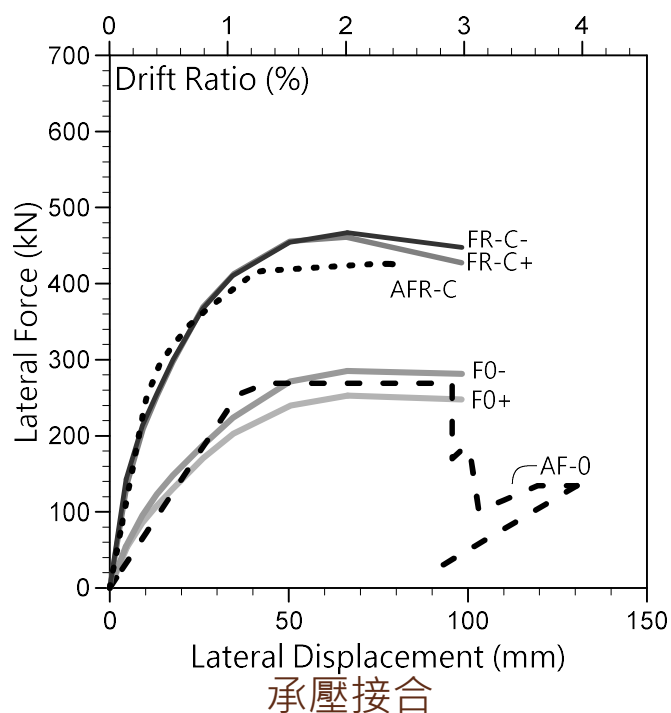


■ 彎矩接合



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：

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

簡易估算法

簡易估算法

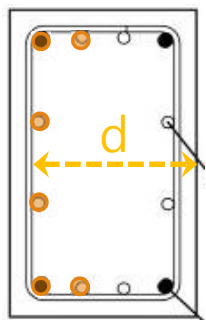
■ 簡易估算法A (分開斷面)

- 單位面積側向強度取RC隔間柱 $V_0 = 7.9 \text{ kgf/cm}^2$
- RC柱 $M_{n0} = V_0 \times \text{RC柱斷面積} \times \text{剪力跨}$
- 補強柱 $M_n = \text{RC柱} M_{n0} + \text{鋼骨柱} M_y$ $M_y = f_y \times S$
(正反向相同)

簡易估算法

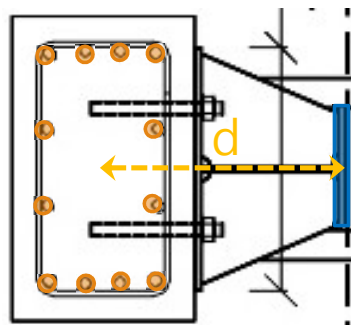
■ 簡易估算法B (複合斷面)

$$M_n = A_s f_y j d \quad j = 0.9$$



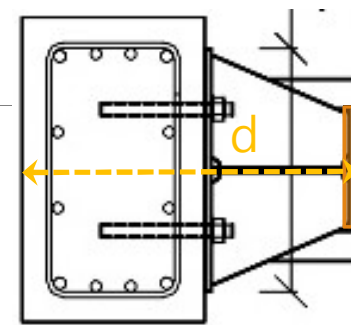
RC柱

A_s = 一半柱鋼筋



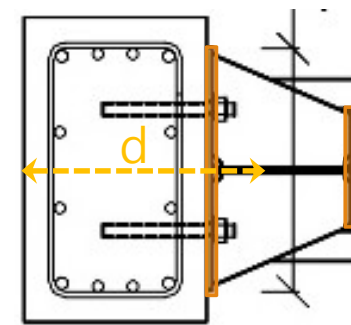
補強柱 (鋼骨受壓) M_{nRc}

A_s = 全柱鋼筋



算法1

A_s = 鋼骨
外翼板



算法2

A_s = 鋼骨
內外翼板

補強柱 (鋼骨受拉) M_{nRt}

簡易估算法

■ 簡易估算法B (複合斷面)

單柱試體	側推方向	簡易估算法B(複合斷面)			
		M_n	A_s	f_y	d 有效深度
C0 原RC柱	正向	計算原RC柱	取原RC柱一半鋼筋	取RC柱主筋強度	柱深度-60mm
	負向				
CR-C 承壓接合	正向	由於承壓接合且補強鋼骨脫開，造成鋼骨未能有貢獻，故計算原RC柱	取原RC柱一半鋼筋	取RC柱主筋強度	柱深度-60mm
	負向	由於承壓接合且補強鋼骨閉合，造成鋼骨有貢獻，假設RC柱斷面全受拉	取原RC柱所有鋼筋	取RC柱主筋強度	1/2柱深度+補強鋼骨深度
CR-M (1) 彎矩接合	正向	由於彎矩接合鋼骨有貢獻，考慮補強鋼骨外翼版受拉	取補強鋼骨外翼板面積	取補強鋼骨降伏強度	柱深度+補強鋼骨深度
	負向	由於承壓接合且補強鋼骨閉合，造成鋼骨有貢獻，假設RC柱斷面全受拉	取原RC柱所有鋼筋	取RC柱主筋強度	1/2柱深度+補強鋼骨深度
CR-M (2) 彎矩接合	正向	由於彎矩接合鋼骨有貢獻，考慮補強鋼骨內外翼版皆受拉	取補強鋼骨內翼板及外翼板面積	取補強鋼骨降伏強度	RC柱壓力緣至補強鋼骨合力中心 = 柱深度+補強鋼骨深度/3
	負向	由於承壓接合且補強鋼骨閉合，造成鋼骨有貢獻，假設RC柱斷面全受拉	取原RC柱所有鋼筋	取RC柱主筋強度	1/2柱深度+補強鋼骨深度

簡易估算法

$$\text{原RC柱 } V_{s0} = V_c + V_s$$

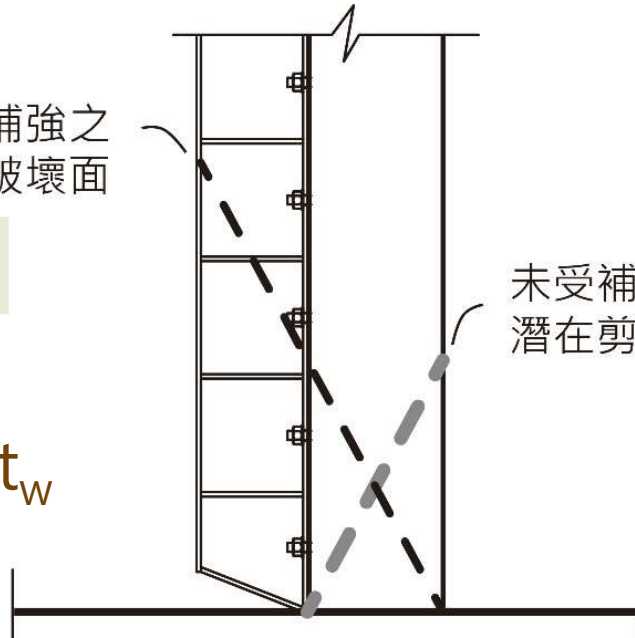
■ 補強柱剪力強度 (A、B法相同)

$$V_{sR} = V_c + V_s + V_{ss}$$

鋼骨剪力貢獻

$$V_{ss} = 0.6f_{ys} \times d_s \times t_w$$

受鋼骨補強之
潛在剪力破壞面



$$V_{sRc} = V_c + V_s + 0.5V_{ss}$$

未受補強之
潛在剪力破壞面

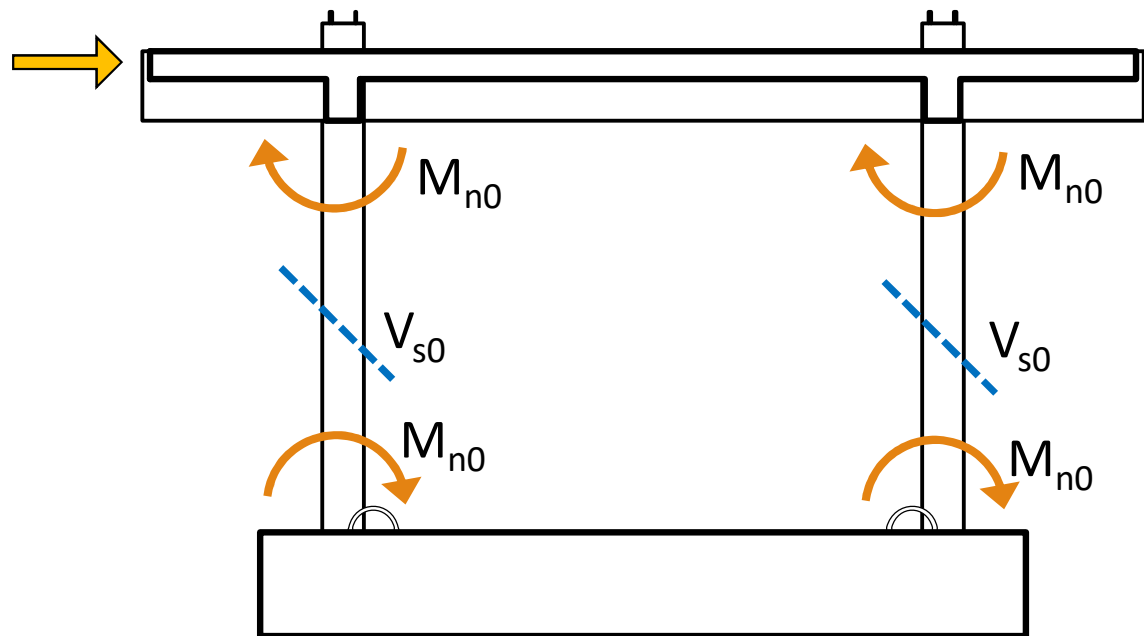
簡易估算法之構架試體驗證

■ 無補強構架

左右柱：

$$V_b = 2M_{n0} / H$$

$$V_n = \min(V_b, V_{s0})$$

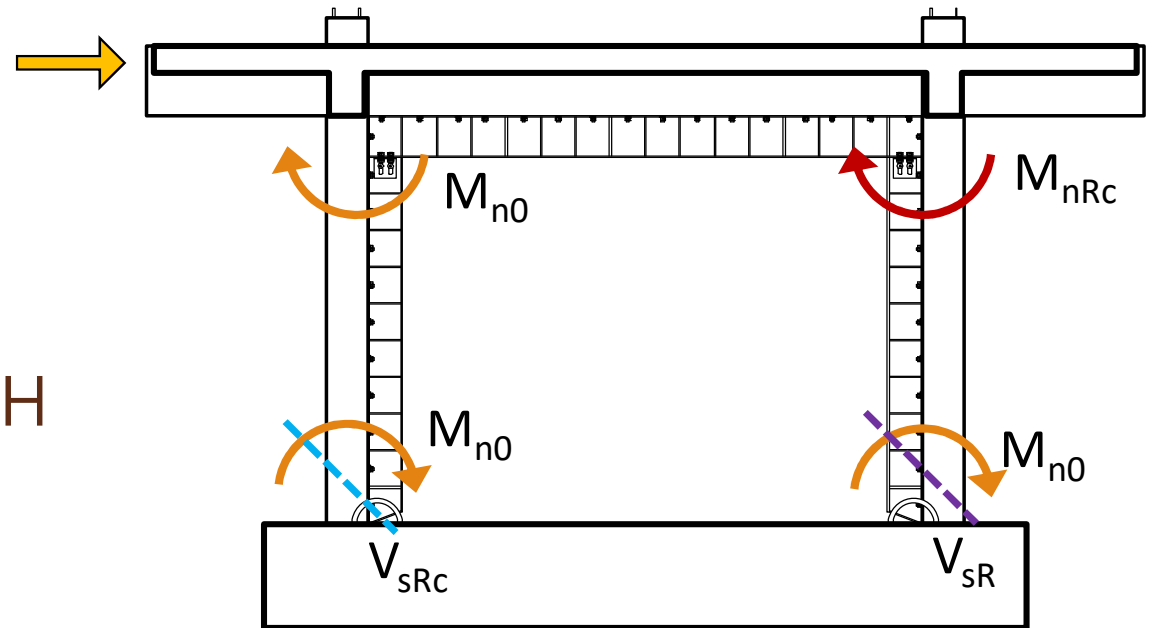


簡易估算法之構架試體驗證

■ 承壓接合補強構架

左柱： $V_{bL} = 2M_{n0} / H$
 $V_{nL} = \min(V_{bL}, V_{sRc})$

右柱： $V_{bR} = (M_{nRc} + M_{n0}) / H$
 $V_{nR} = \min(V_{bR}, V_{sR})$

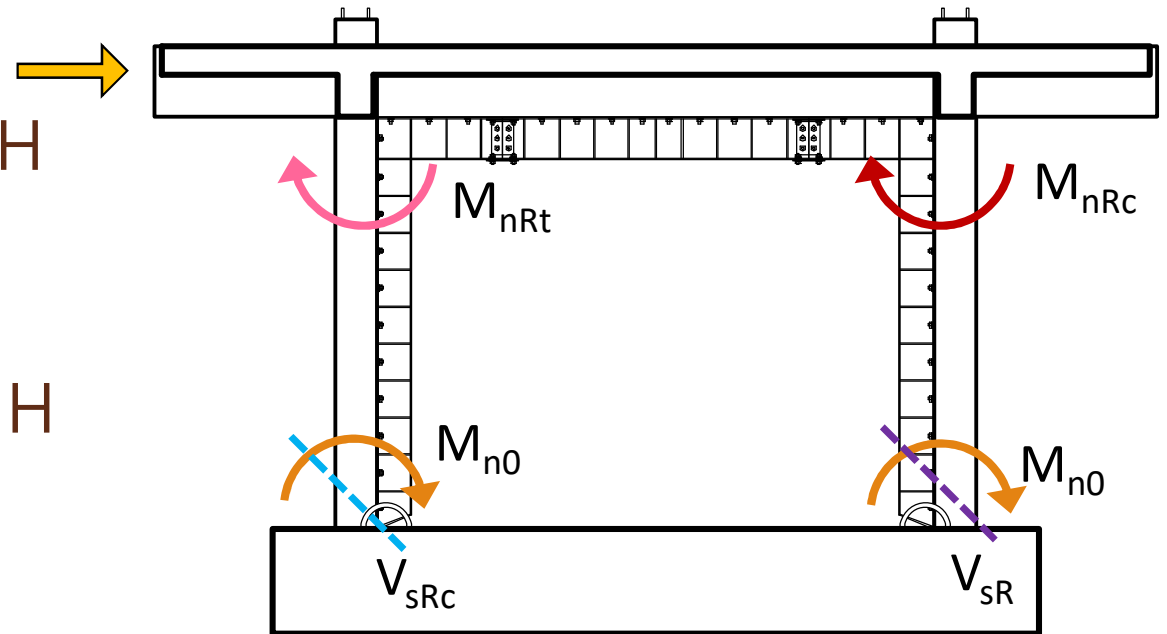


簡易估算法之構架試體驗證

■ 彎矩接合補強構架

左柱： $V_{bL} = (M_{nRt} + M_{n0}) / H$
 $V_{nL} = \min(V_{bL}, V_{sRc})$

右柱： $V_{bR} = (M_{nRc} + M_{n0}) / H$
 $V_{nR} = \min(V_{bR}, V_{sR})$



簡易估算法之構架試體驗證

■ 簡易估算法A (分開斷面)

對補強後柱側力
強度 V_{RCH} 取0.9
折減係數

構架試體	負向側推	M_n (kN-m) Nominal ultimate	L (m) 柱底計至 頂梁中心	V_b (kN)雙曲 率 柱撓曲強度	V_n (kN)柱 剪力強度	V_{RCH} (KN)雙 曲率 單柱側力強	V_{RCH} (KN)雙曲率 構架柱側力強度		柱側力強度 試驗最大值 值 (kN)	雙曲率誤差
		簡易估算法 A(分開斷 面)		簡易估算法 A(分開斷面)		簡易估算法 A(分開斷面)	簡易估算法 A(分開斷 面)	簡易估算法 A(分開斷面 折減後)		
F0 原RC柱構架	左側柱	685.87	2.95	232.50	142.83	142.83	285.66	257.09	285.15	-10%
	右側柱	685.87	2.95	232.50	142.83	142.83				
FR-C 承壓接合	左側柱	685.87	2.95	232.50	383.88	232.50	526.52	473.87	466.69	2%
	右側柱	867.37	2.95	294.02	624.93	294.02				
FR-M 彎矩接合	左側柱	867.37	2.95	294.02	383.88	294.02	588.05	529.24	604.58	-12%
	右側柱	867.37	2.95	294.02	624.93	294.02				

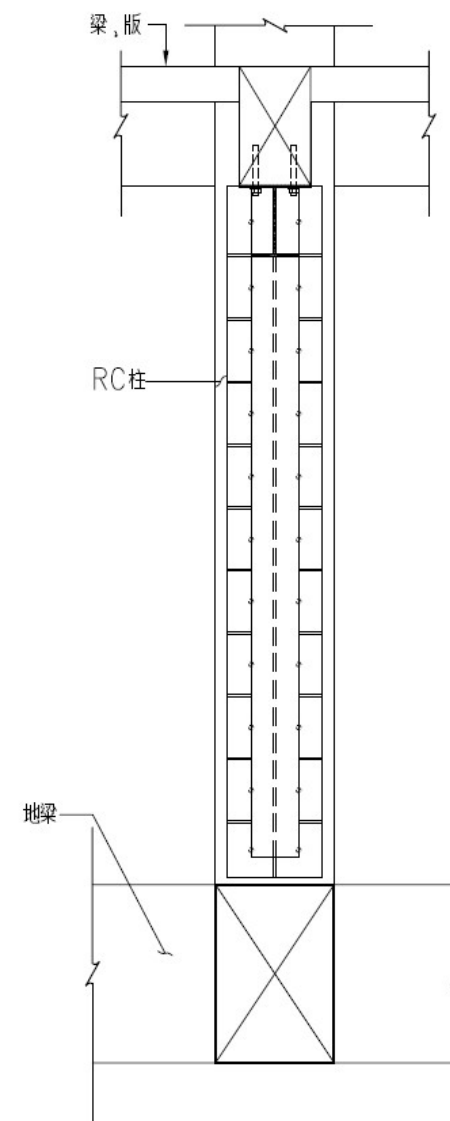
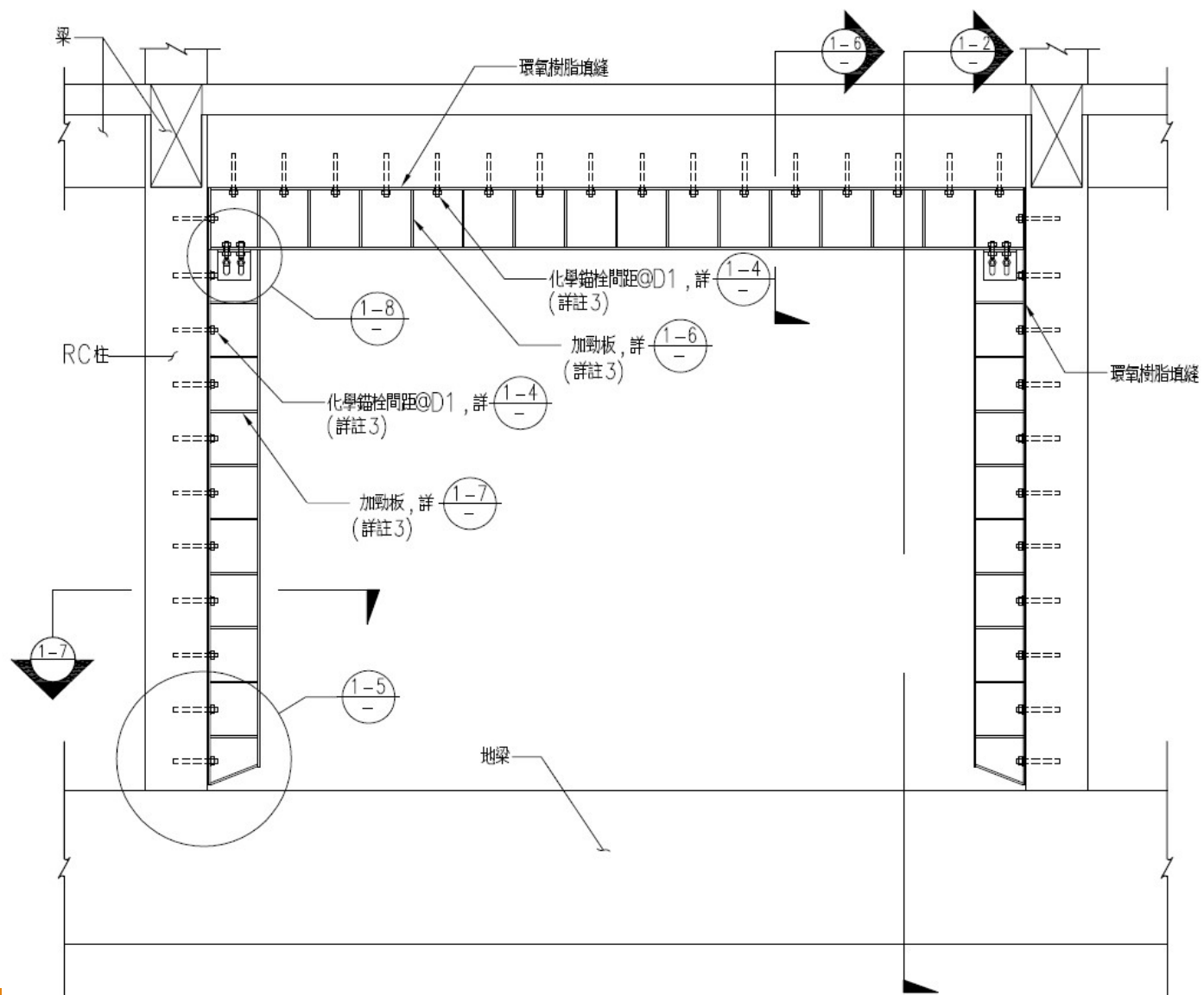
簡易估算法之構架試體驗證

■ 簡易估算法B (複合斷面)

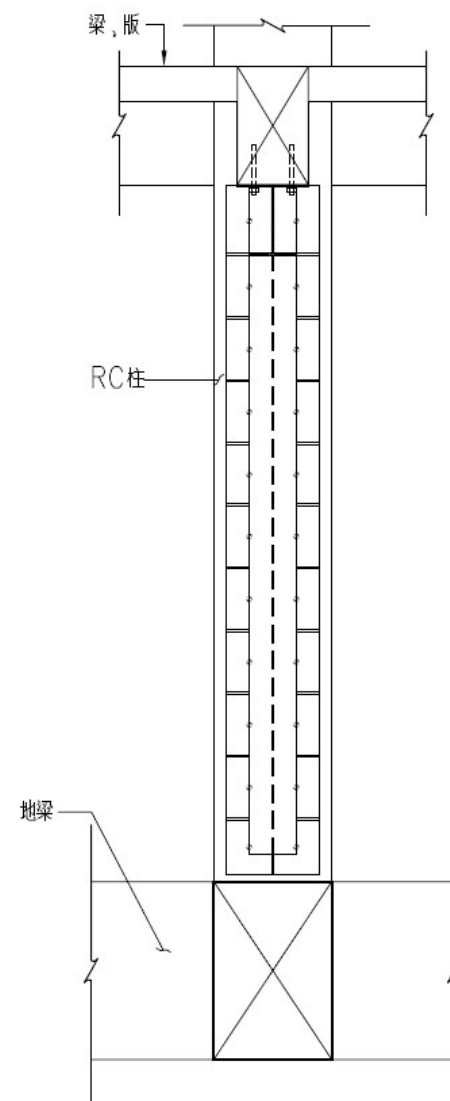
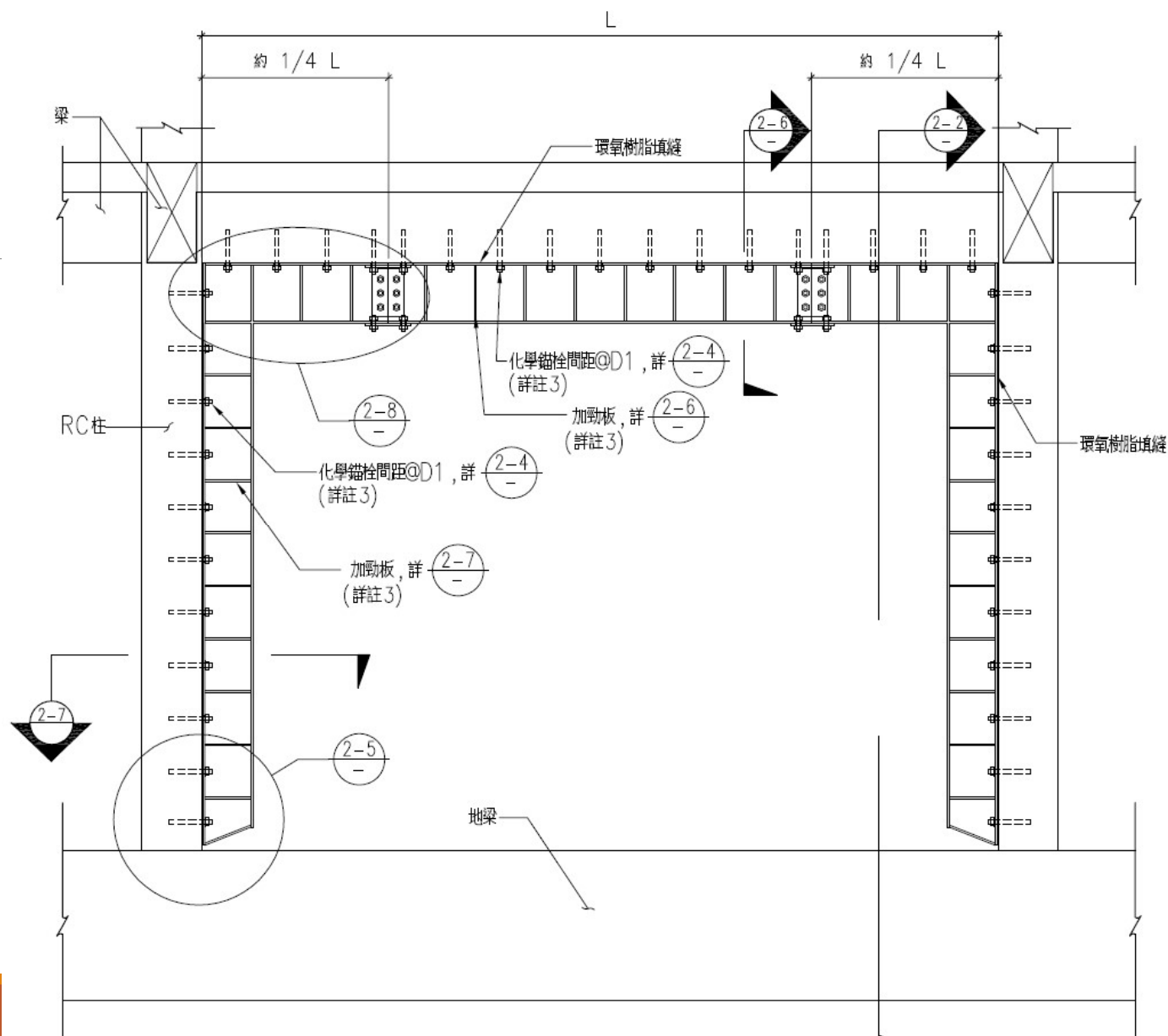
構架試體	負向側推	M_n (kN-m) Nominal ultimate	L (m) 柱底計至 頂梁中心	V_b (kN)雙曲 率 柱撓曲強度	V_n (kN)柱 剪力強度	V_{RCH} (KN) 雙曲率 單柱側力強	V_{RCH} (KN) 雙曲率 構架柱側力	柱側力強度 試驗最大值 值 (kN)	雙曲率誤差
		簡易估算法 B(複合斷面)		簡易估算法 B(複合斷面)		簡易估算法 B(複合斷 面)	簡易估算法 B(複合斷 面)		簡易估算法B(複 合斷面)
F0 原RC柱構架	左側柱	375.02	2.95	127.13	142.83	127.13	254.25	285.15	-11%
	右側柱	375.02	2.95	127.13	142.83	127.13			
FR-C 承壓接合	左側柱	375.02	2.95	127.13	383.88	127.13	426.10	466.69	-9%
	右側柱	881.98	2.95	298.98	624.93	298.98			
FR-M (1) 彎矩接合	左側柱	505.7	2.95	171.42	383.88	171.42	470.40	604.58	-22%
	右側柱	881.98	2.95	298.98	624.93	298.98			
FR-M (2) 彎矩接合	左側柱	852.81	2.95	289.09	383.88	289.09	588.06	604.58	-3%
	右側柱	881.98	2.95	298.98	624.93	298.98			

參考圖說

■ 承壓 接合

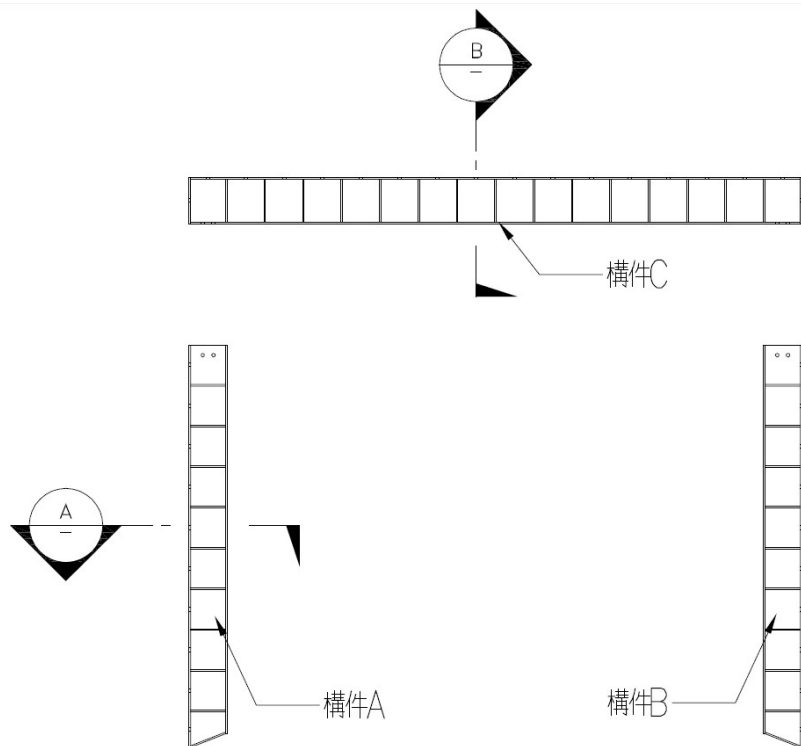


■ 彎矩 接合

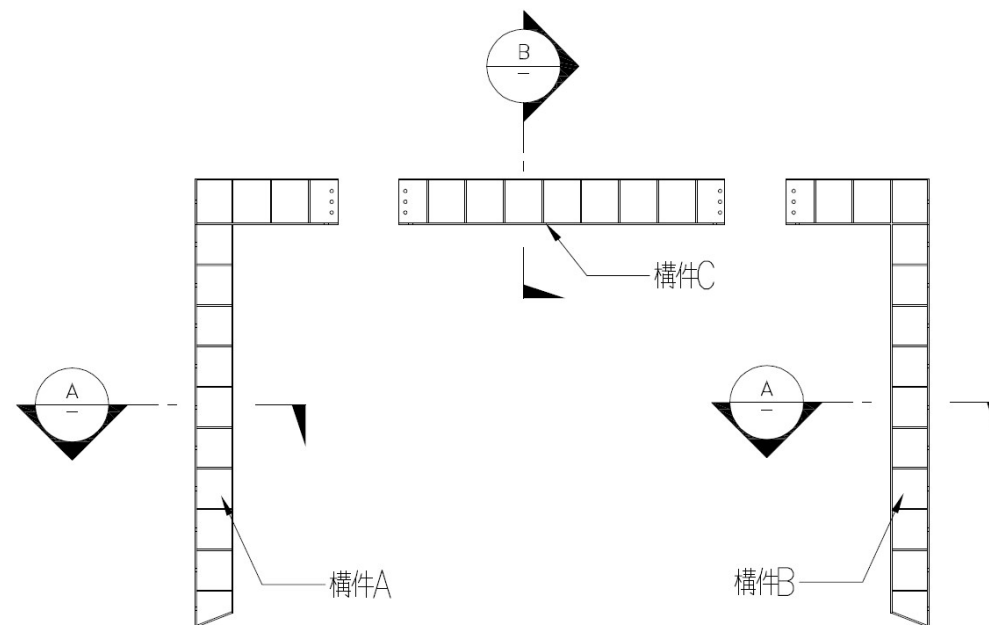


鋼骨構件分解圖

■ 承壓接合



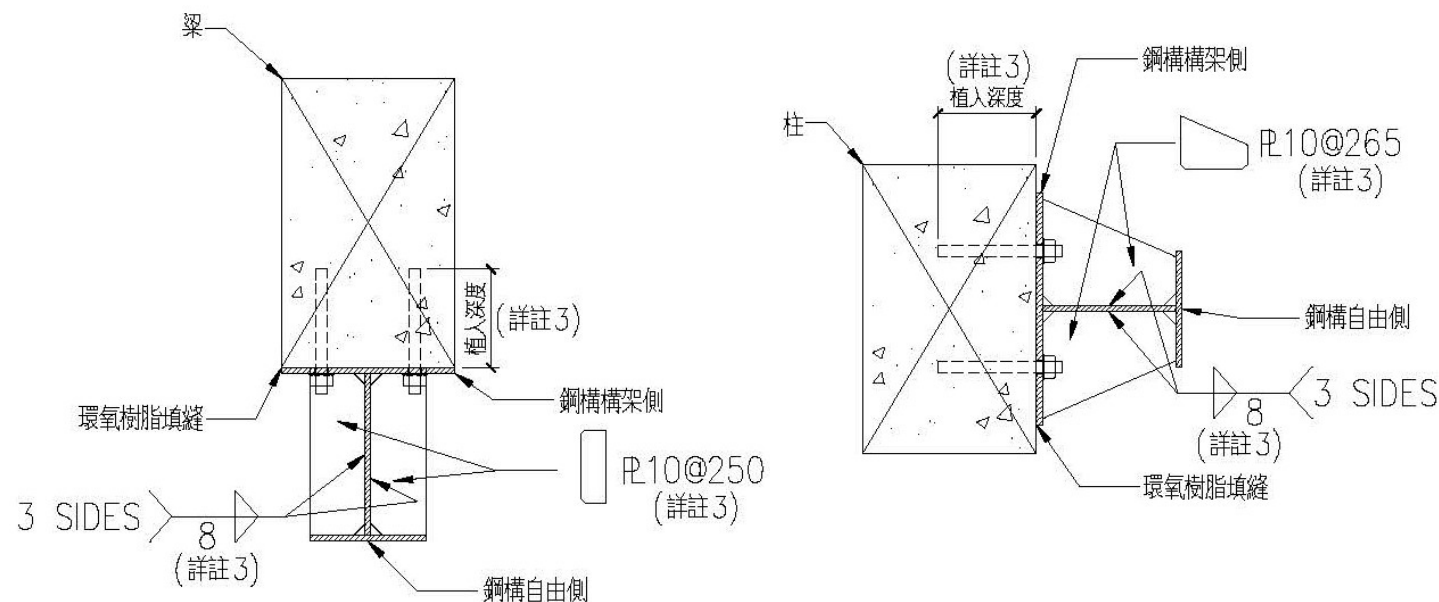
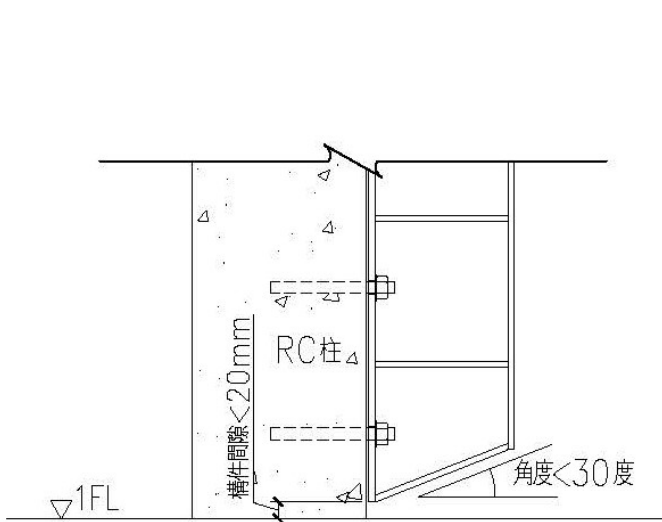
■ 彎矩接合



基礎及斷面

鋼構規格表													
編號	寬度B1 (mm) 自由側	寬度B2 (mm) 構架側	深度H (mm)	厚度t1 (mm)	厚度t2 (mm)	厚度t3 (mm)	化學錨栓 間距D (mm)	材質	化學錨栓 尺寸 (mm)	化學錨栓 間距D1 (mm)	化學錨栓 植入深度 (mm)	化學錨栓 特性強度 (tf)	備 註
梁	200	300	300	10	10	10	160	A36	M20	250	171	5.5	詳註3
柱	200	400	250	10	10	10	200	A36	M20	265	171	5.5	詳註3

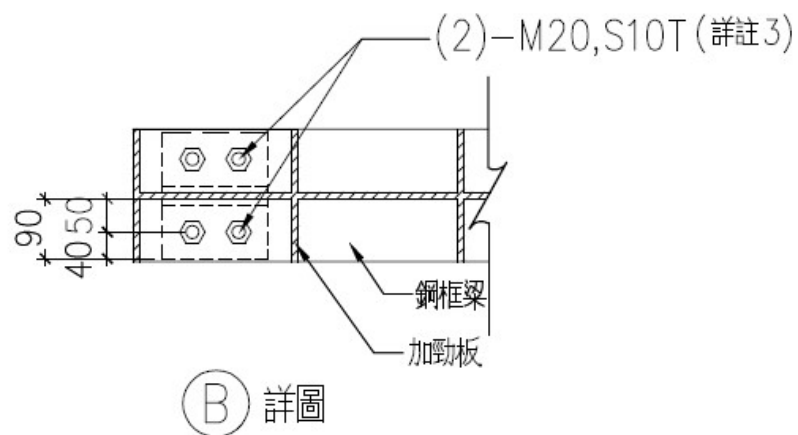
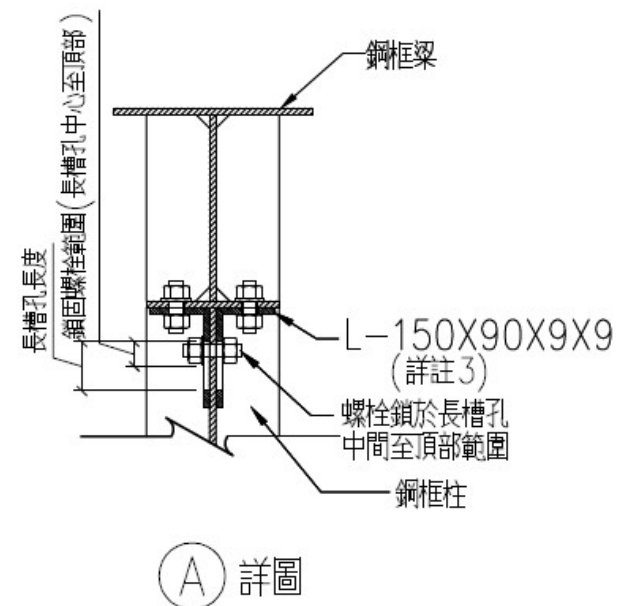
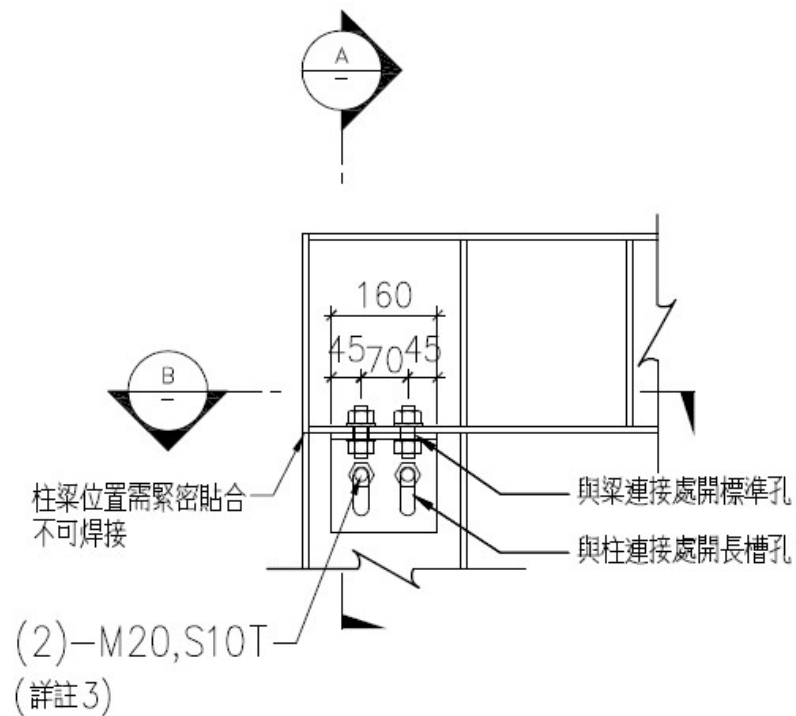
註：建議 B2>B1



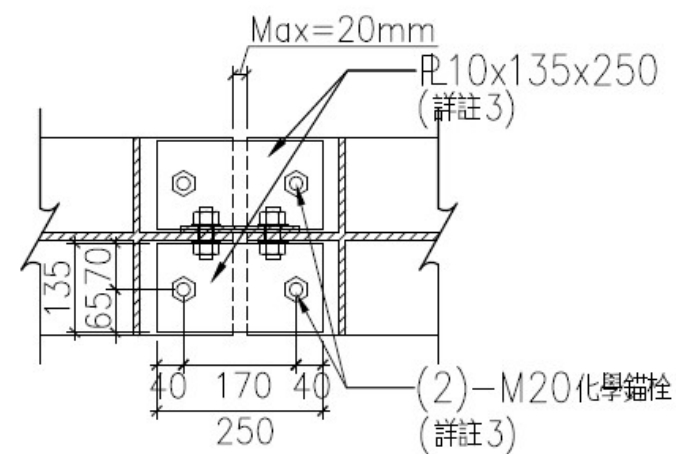
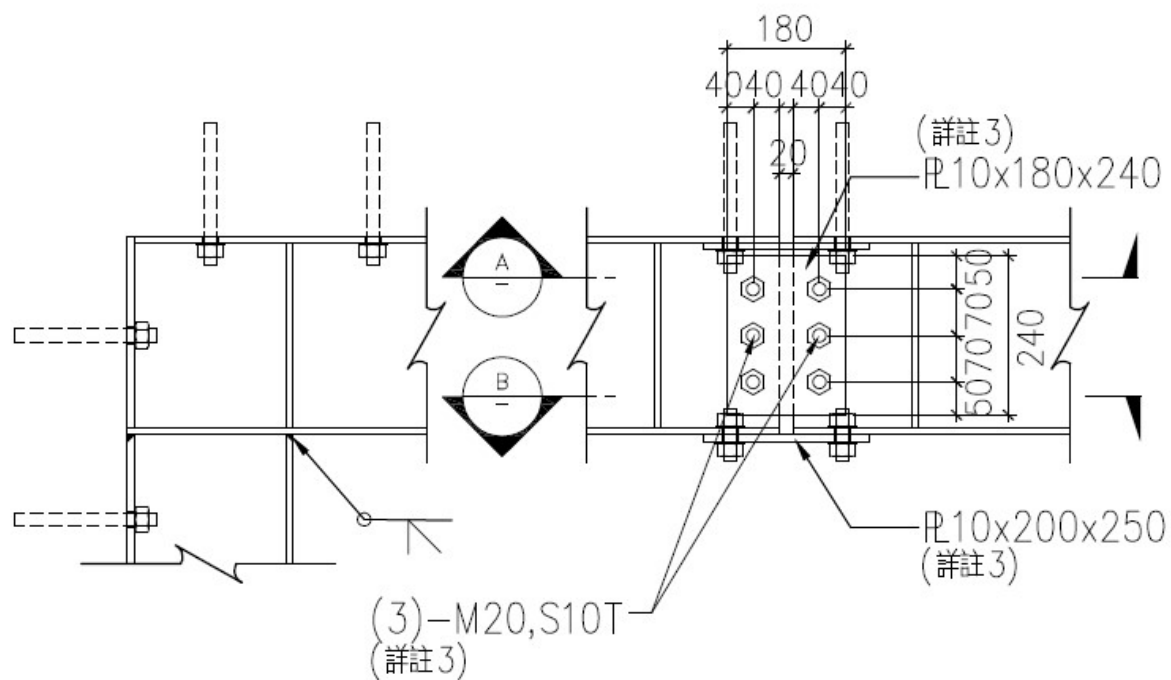
3. 本鋼框參考圖僅提供一設計圖配置模式，實際斷面與細部接合應依設計者的設計需求決定。
(如：鋼構，加勁板，連接板，螺栓與化錨的尺寸，位置，間距，埋設深度，型號及廠牌等)

細部

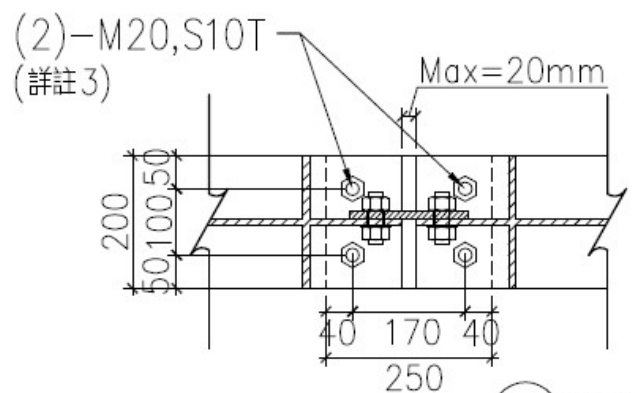
■ 承壓接合



■ 彎矩 接合



Ⓐ 詳圖



Ⓑ 詳圖

施工順序

- 補強鋼骨構件先在工廠施作完成
- 構架表面材若為水泥粉刷無須移除，磁磚、木作需移除
- 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。

軟補強研究由科技部計畫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

