

高拉螺栓連結貼附式構架 補強工法及參考圖說

研究團隊

鍾立來、邱聰智、趙奕涵
李梓綸、梁瀟方、賴昱志

報告人: 鄧凱文

土木技師

台灣大學土木系

博士班研究生

1. 前言
2. 貼附式構架面內行為測試
3. 貼附式構架面外行為測試
4. 參考圖說

缺點

1. 施工過程影響既有建物運作
2. 破壞室內採光、裝修
3. 無法運用在重要設施上
4. 不適用於住宅、醫院、工廠

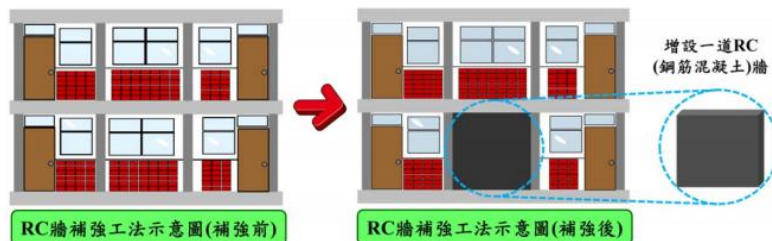
擴柱



翼牆



剪力牆

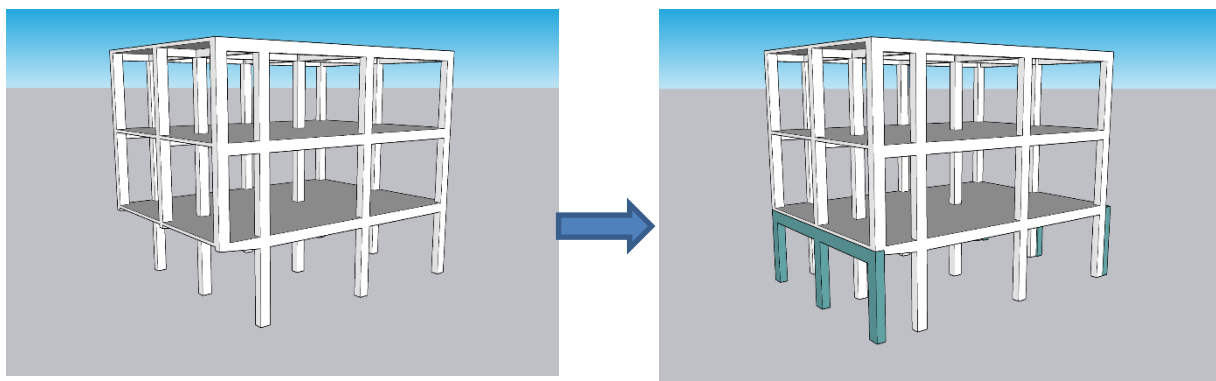




- 以樓板、植筋或螺栓連接外加RC構架
- 將地震力傳遞到外加構架消散
- 提升耐震強度、勁度及韌性

優點

1. 施工工期短、低噪音
2. 不破壞既有建物運作
3. 不破壞室內裝修
4. 適用於住宅、醫院、工廠



外加構架

住宅採外加構架補強實例 (問題一)



1. 植筋施作困難

- 梁側邊貼附
- 柱身貼附



住宅採外加構架補強實例 (問題二)

2. 懸挑走廊側

- 懸臂梁端接合設計?
- 懸臂梁自由端補強?

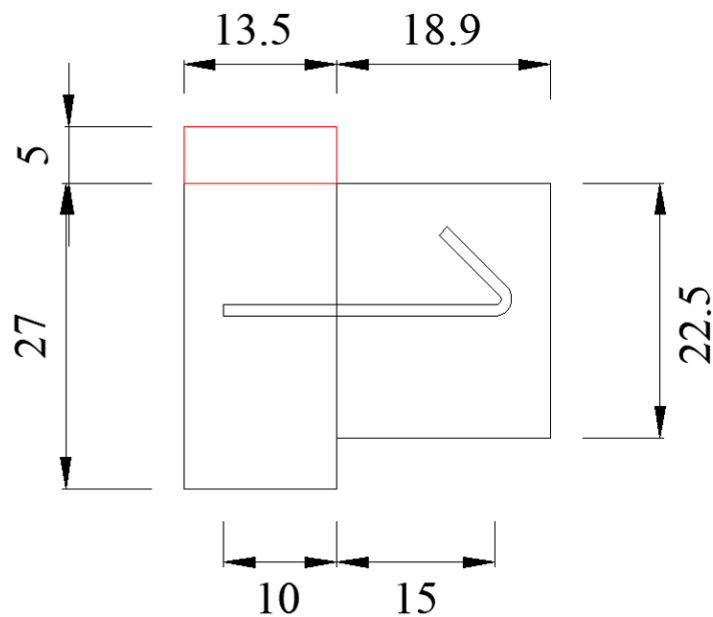


- 樓板植筋連接

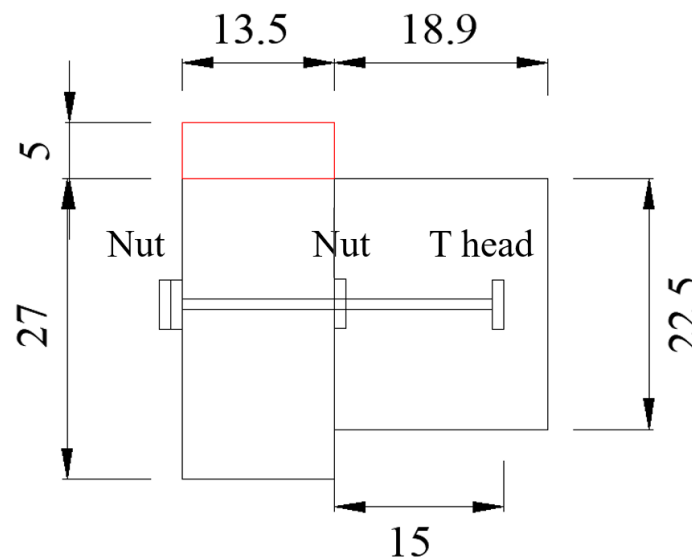
- 梁植筋連接

植筋施作困難、品質不穩定

- 梁螺栓連接



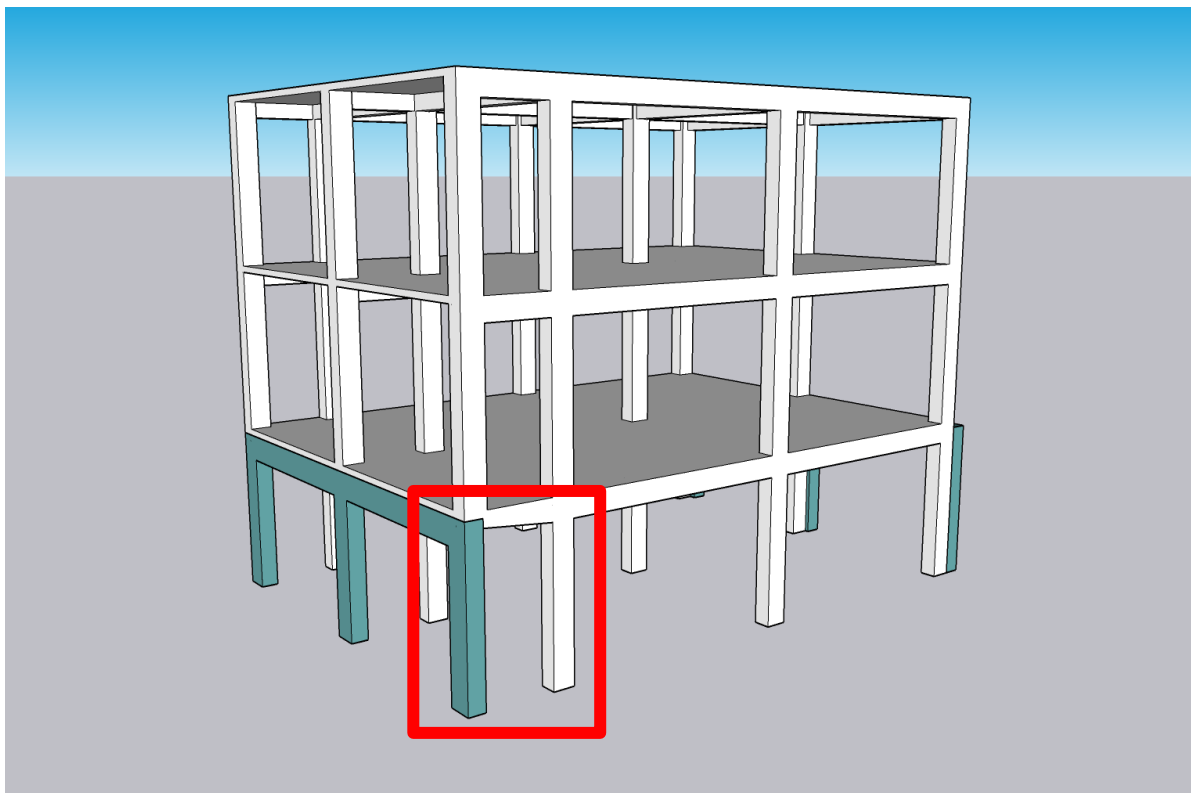
Existing Beam External Beam



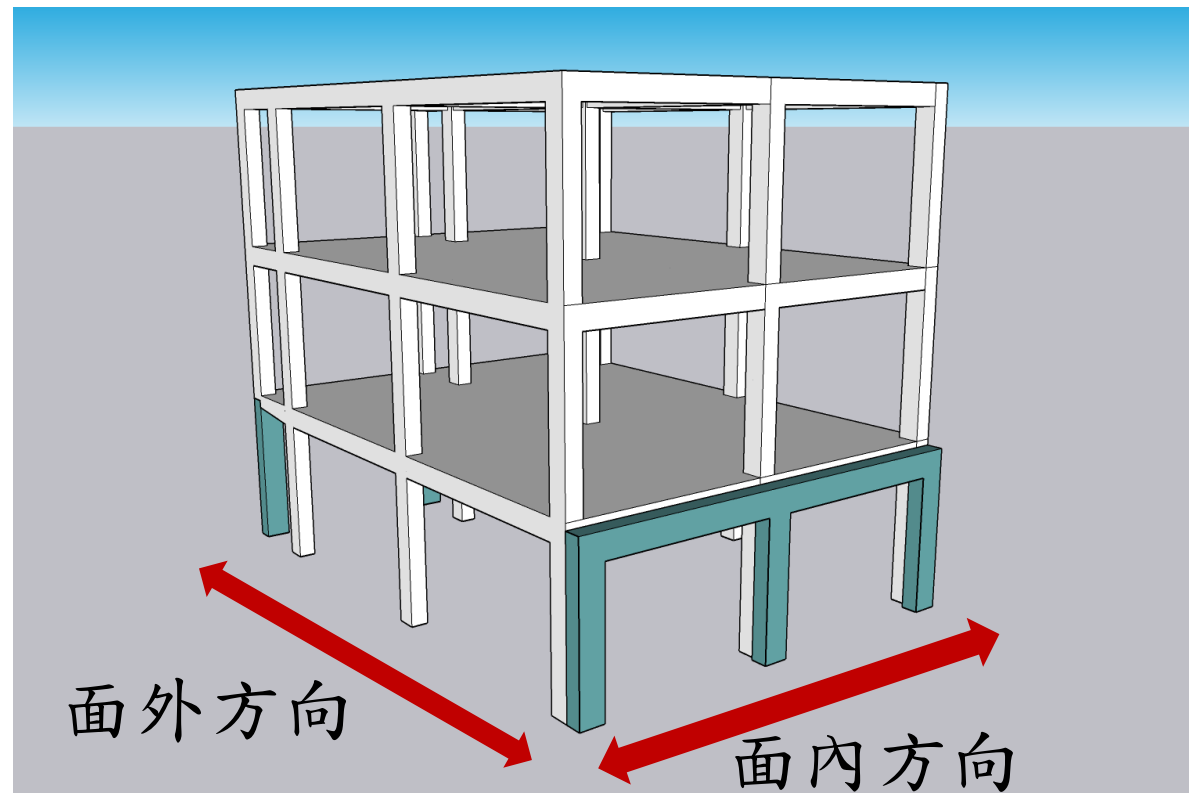
Existing Beam External Beam

前言

外加構架補強-補強方向



街屋正面走廊側-懸臂梁補強



屋後側增設貼附式構架補強

貼附式構架梁柱斷面設計

設計程序

外加RC構架設計

1. 外加構架梁斷面設計

- 外加構架梁之寬度尺寸 需大於或等於既有構架梁之寬度尺寸

$$b_{beam,EXT} \geq b_{beam,EXI}$$

- 外加構架梁強度需大於或等於既有構架梁強度

$$M_{nbeam,EXT} \geq M_{nbeam,EXI}$$

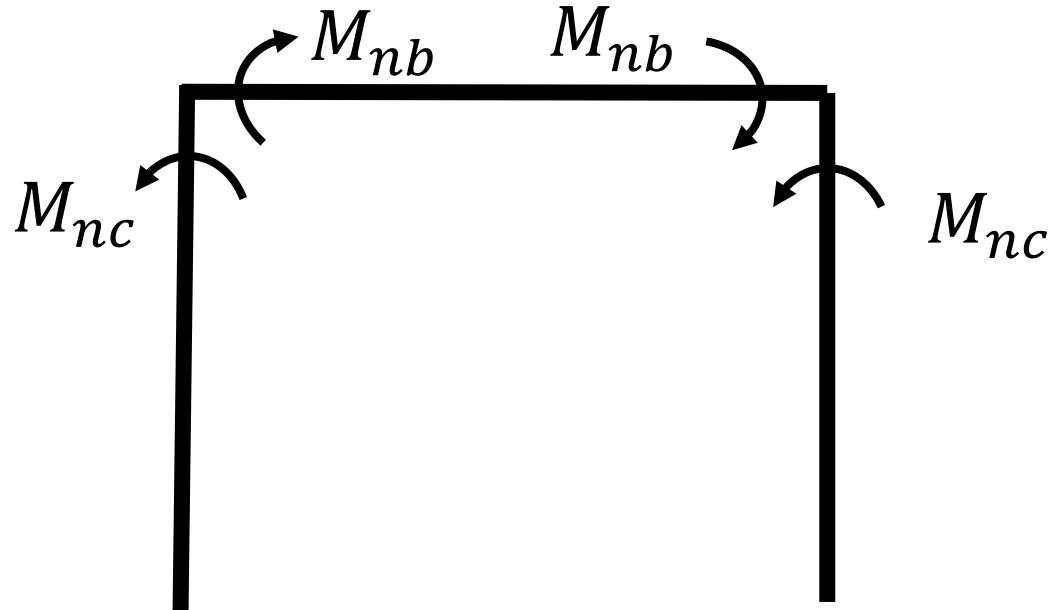
設計程序

外加RC構架設計

2. 強柱弱梁設計柱斷面

土木401-110 18章 耐震結構物

$$\Sigma M_{nc} \geq \frac{6}{5} M_{nb}$$



3.斷面尺寸檢核

土木401-110 18章 耐震結構物

柱斷面

- 最小尺度不得小於 30 cm
- 斷面最小尺度與其垂直尺度之比不得小於 0.4

梁斷面

- 尺寸不得小於 0.3 倍的柱尺寸或 25 cm

4.細長柱檢核

土木401-110 18章 耐震結構物

$$\frac{kl_u}{r} \leq 34 - 12 \frac{M_1}{M_2} \leq 40$$

M_1 為柱端設計彎矩之小值

M_2 為柱端設計彎矩之大值

$\frac{M_1}{M_2}$ 單曲率為正
雙曲率為負

貼附式構架面內行為測試

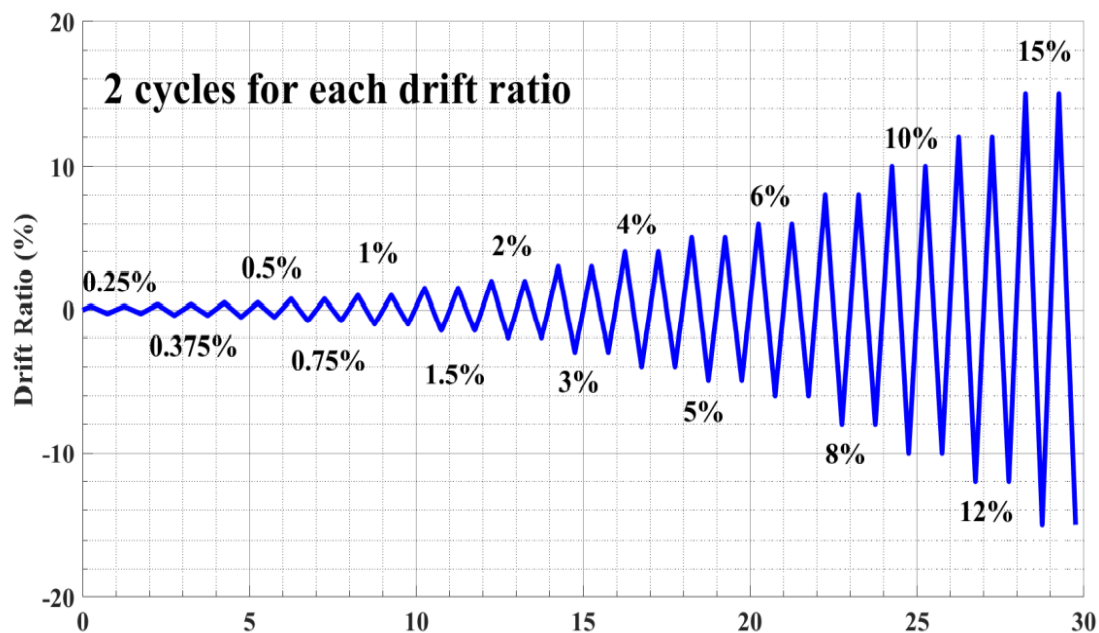
2021 梁瀆方

以高強度錨栓連接外加 RC 構架之補強工法

測試重點

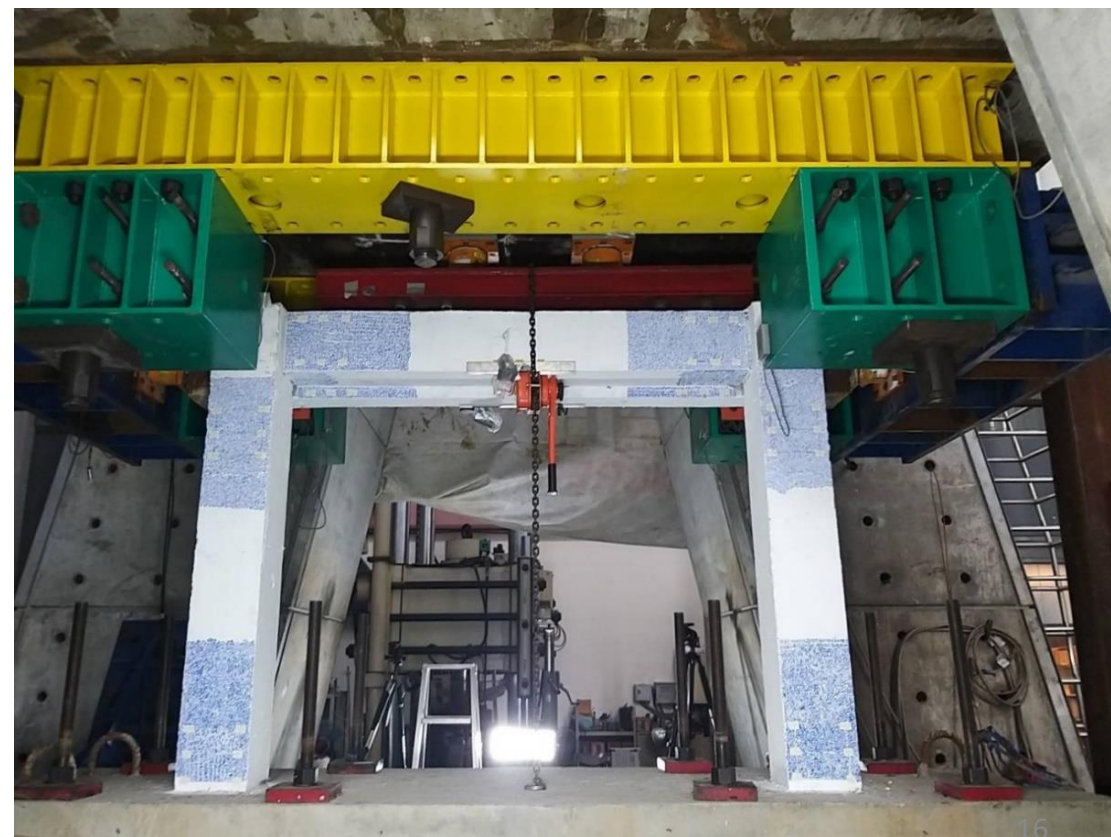
1. 梁使用植筋連接導致施工困難
2. 梁使用螺栓連接提升施工性
3. 除了梁連接外是否還需要在柱使用植筋連接
- 4.1 既有構架與 4 補強構架之門型構架

往復載重試驗



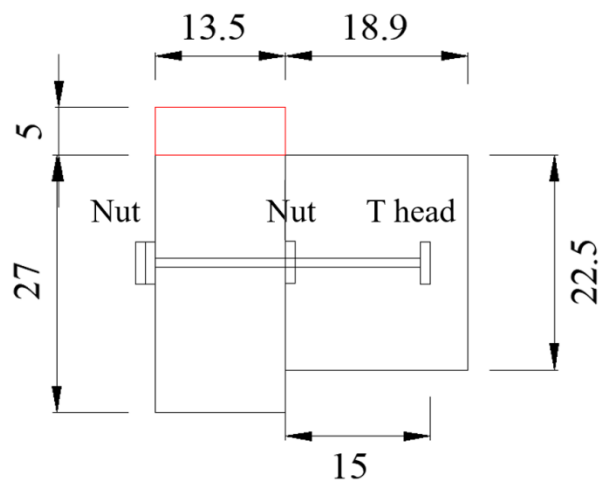
軸力： $0.1A_g f'_c$

MATS 縮尺構架測試



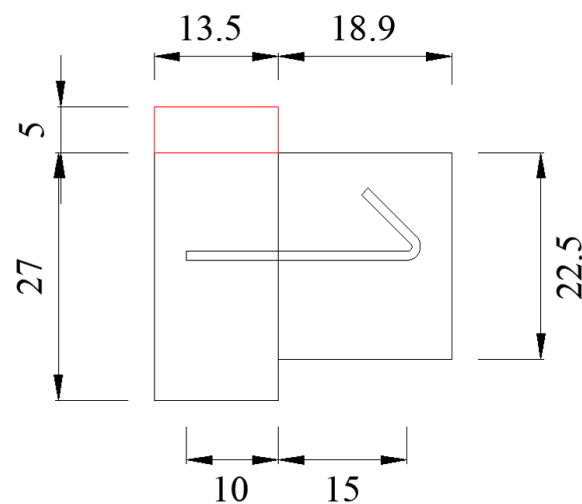
梁連接方式

梁螺栓



Existing Beam External Beam

梁植筋



Existing Beam External Beam

柱連接方式

柱無植筋

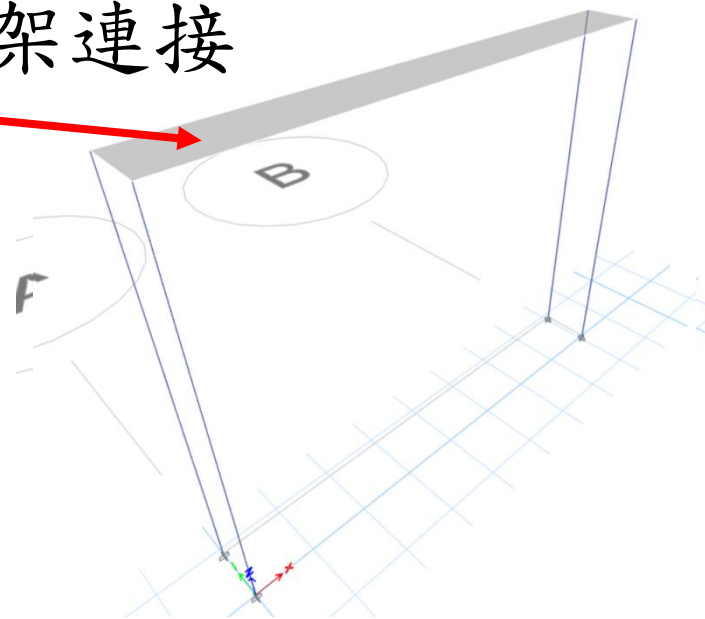


柱植筋

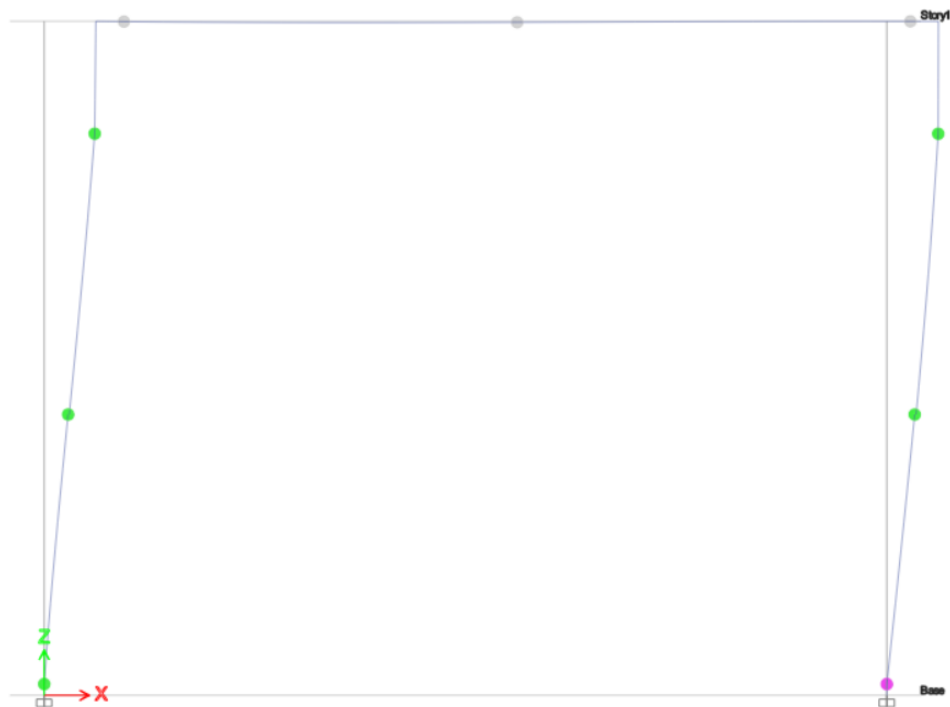


外加構架模擬方式

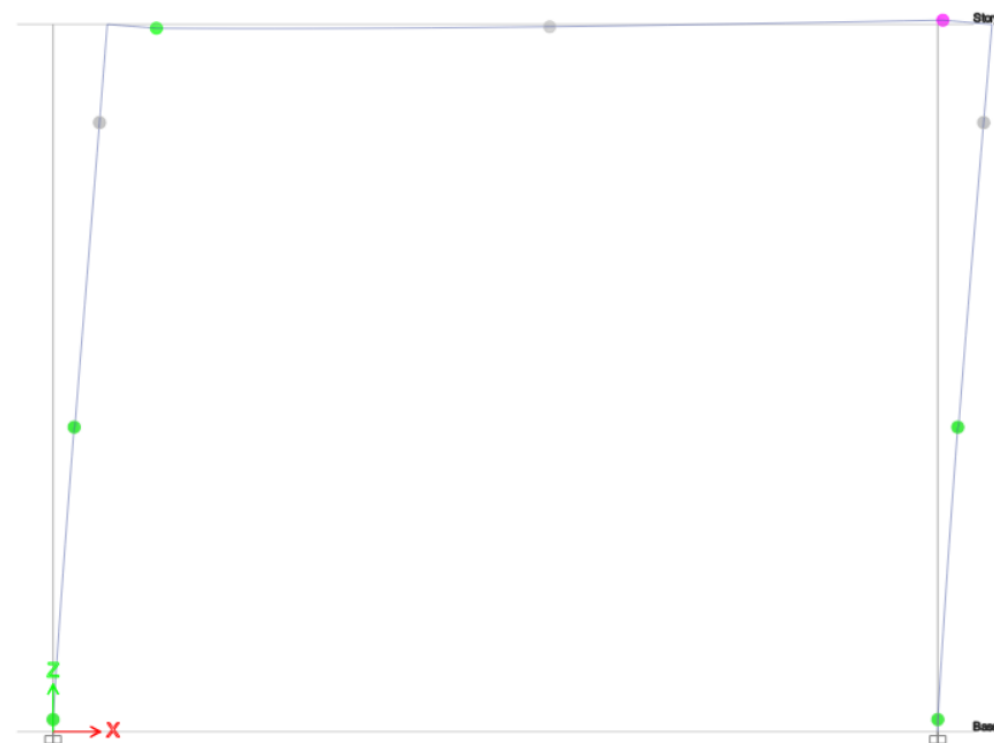
1. 在TEASPA 資料樣板表新增外加構架斷面資料後執行SecGen模組
2. 於欲新增外加構架處新增構件
3. 使用剛性隔板(Rigid Diaphragm)與既有構架連接
4. 根據TEASPA手冊執行後續側推分析步驟



外加構架預測結果



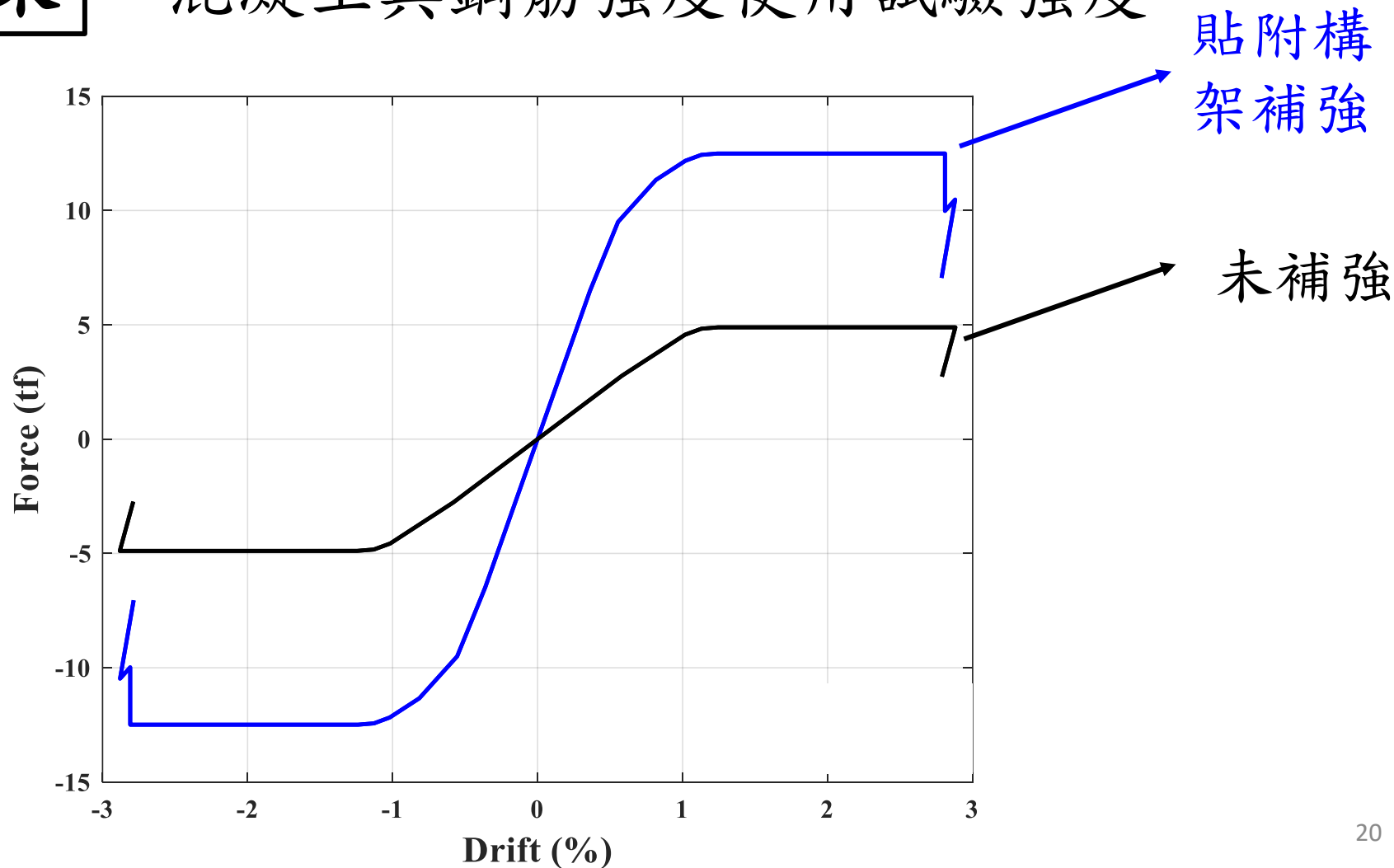
既有構架柱底撓曲破壞



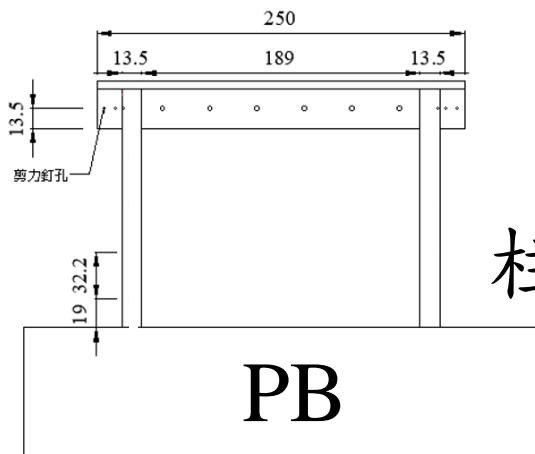
外加構架梁端撓曲破壞

外加構架預測結果

混凝土與鋼筋強度使用試驗強度



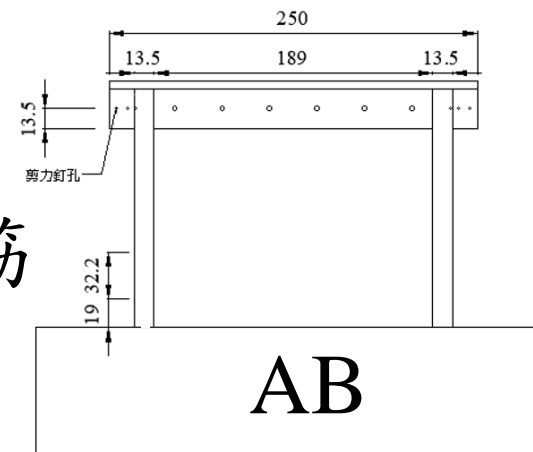
梁：植筋



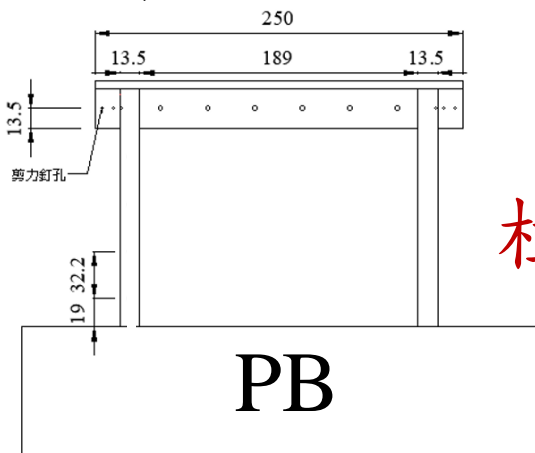
柱無植筋

柱無植筋

梁：螺栓



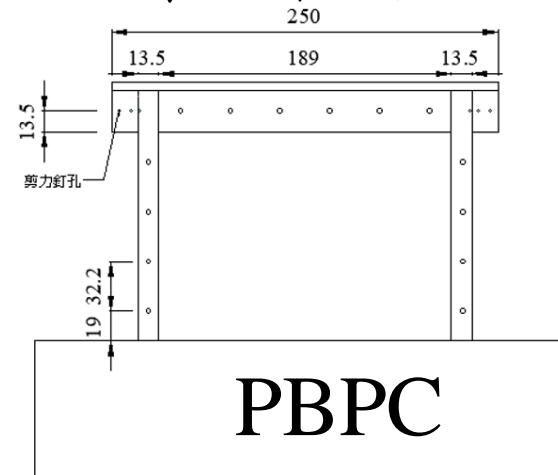
梁：植筋



柱無植筋

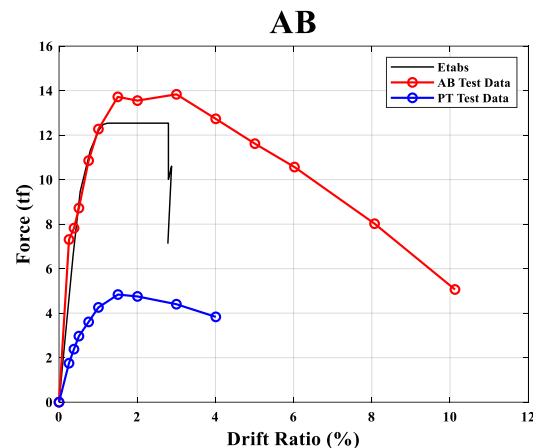
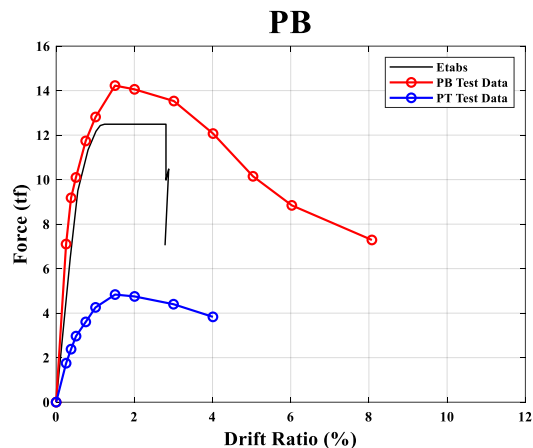
柱植筋

梁：植筋





梁植筋

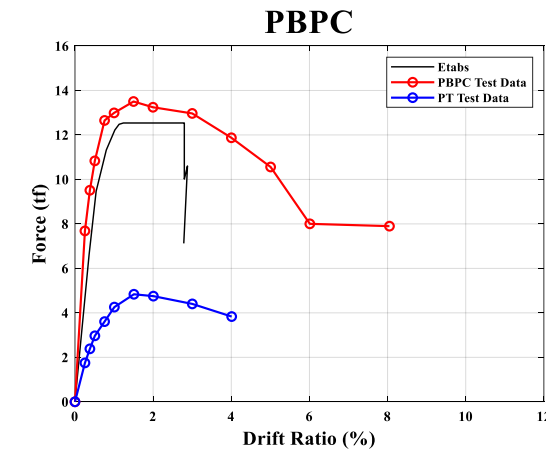
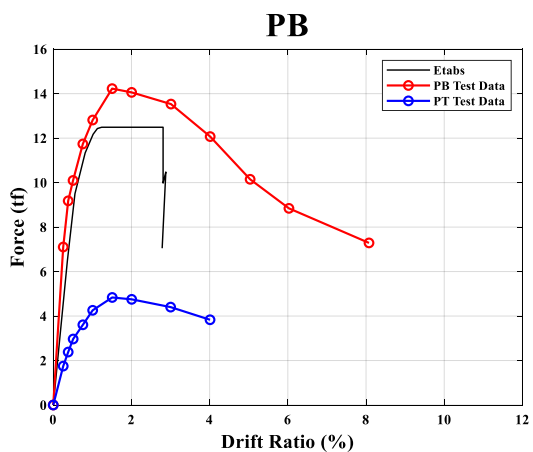


梁螺栓

梁採螺栓連接提升韌性且趨緩下降段



柱無植筋



柱植筋與否差異不大



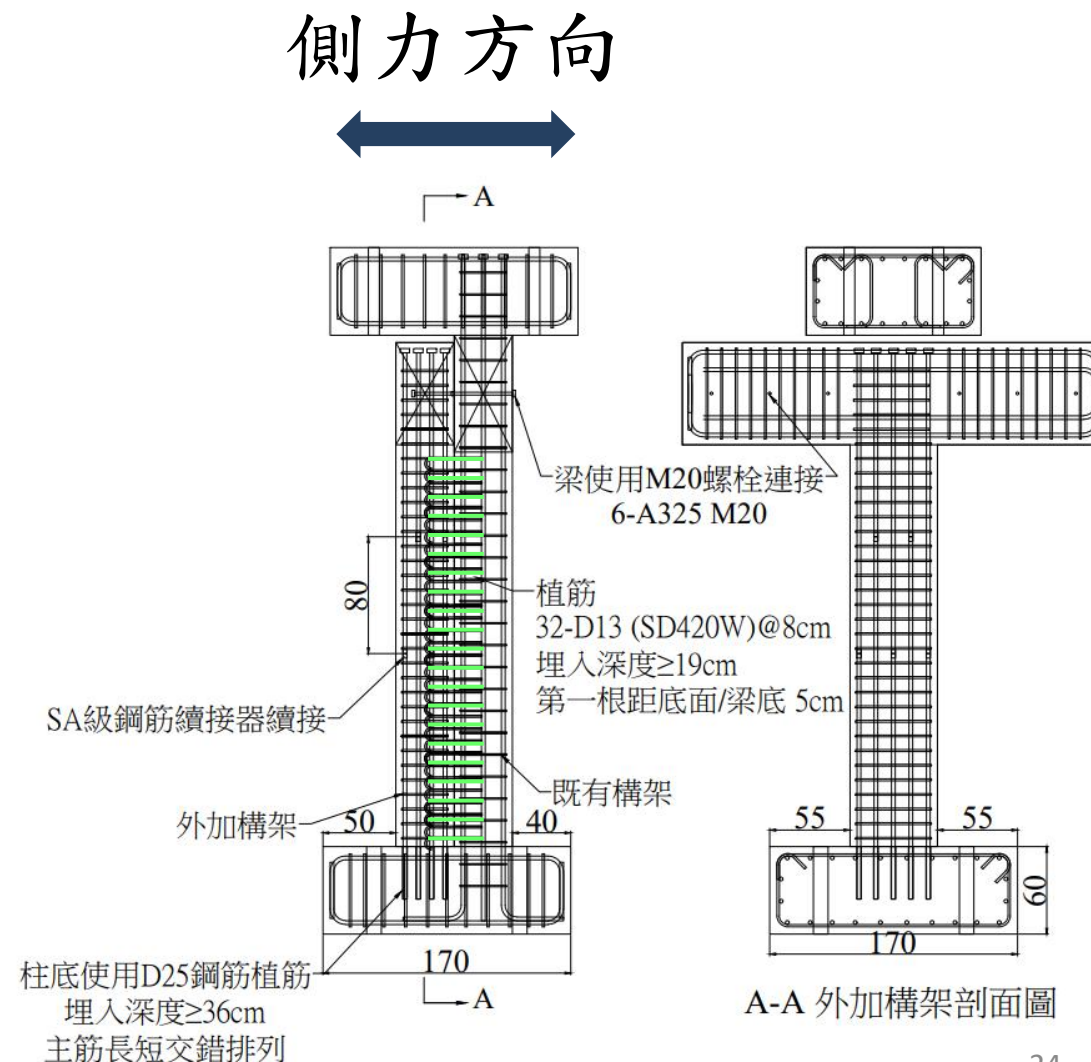
柱植筋²²

貼附式構架面外行為測試

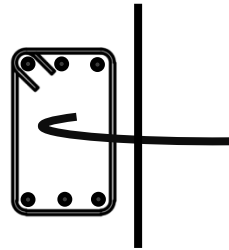
面外方向試驗

測試重點

1. 梁使用**螺栓**連接
2. 面外方向有無**柱植筋**連接的必要
3. 於傳統**閉合式柱箍筋**上施作植筋困難
4. 參考擴柱工法使用**組合式箍筋**取代閉合式箍筋

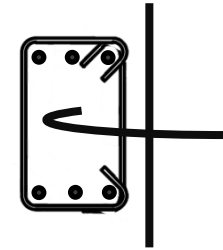


組合式箍筋與閉合式箍筋



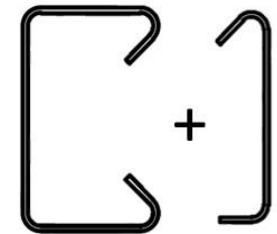
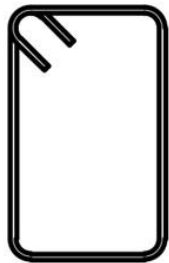
traditional closed hoop

閉合式箍筋

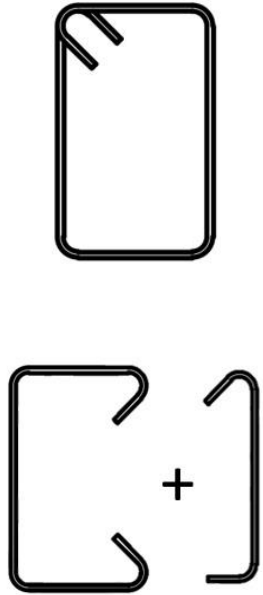


combined stirrups

組合式箍筋



面外方向試驗-測試參數



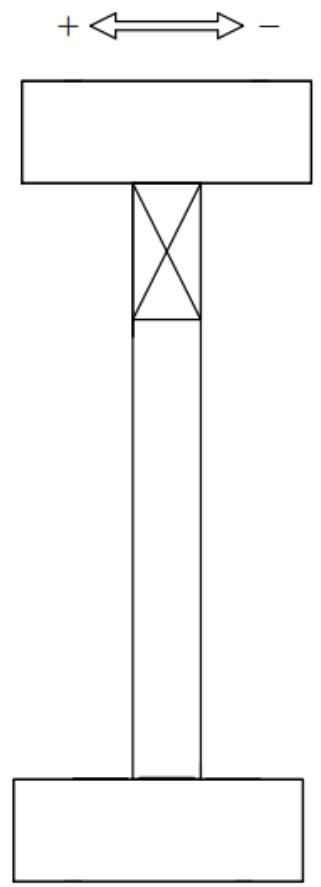
測試參數	柱植筋	柱無植筋
閉合式箍筋	ABPCH-O	AB-O
U型組合式箍筋	ABPCU-O	

+

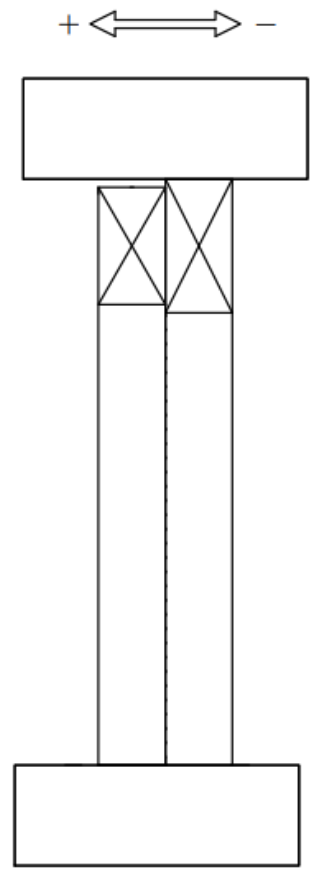
既有構架 : PT-O

面外方向試驗

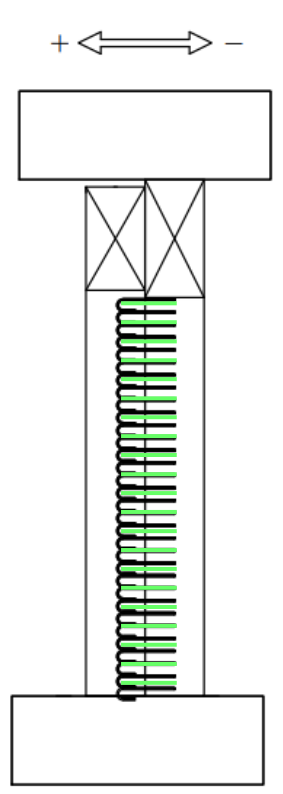
測試試體



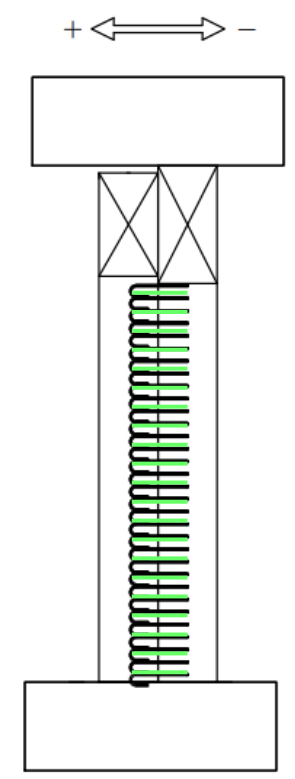
未補強試體PT-O



補強試體AB-O
柱無介面植筋

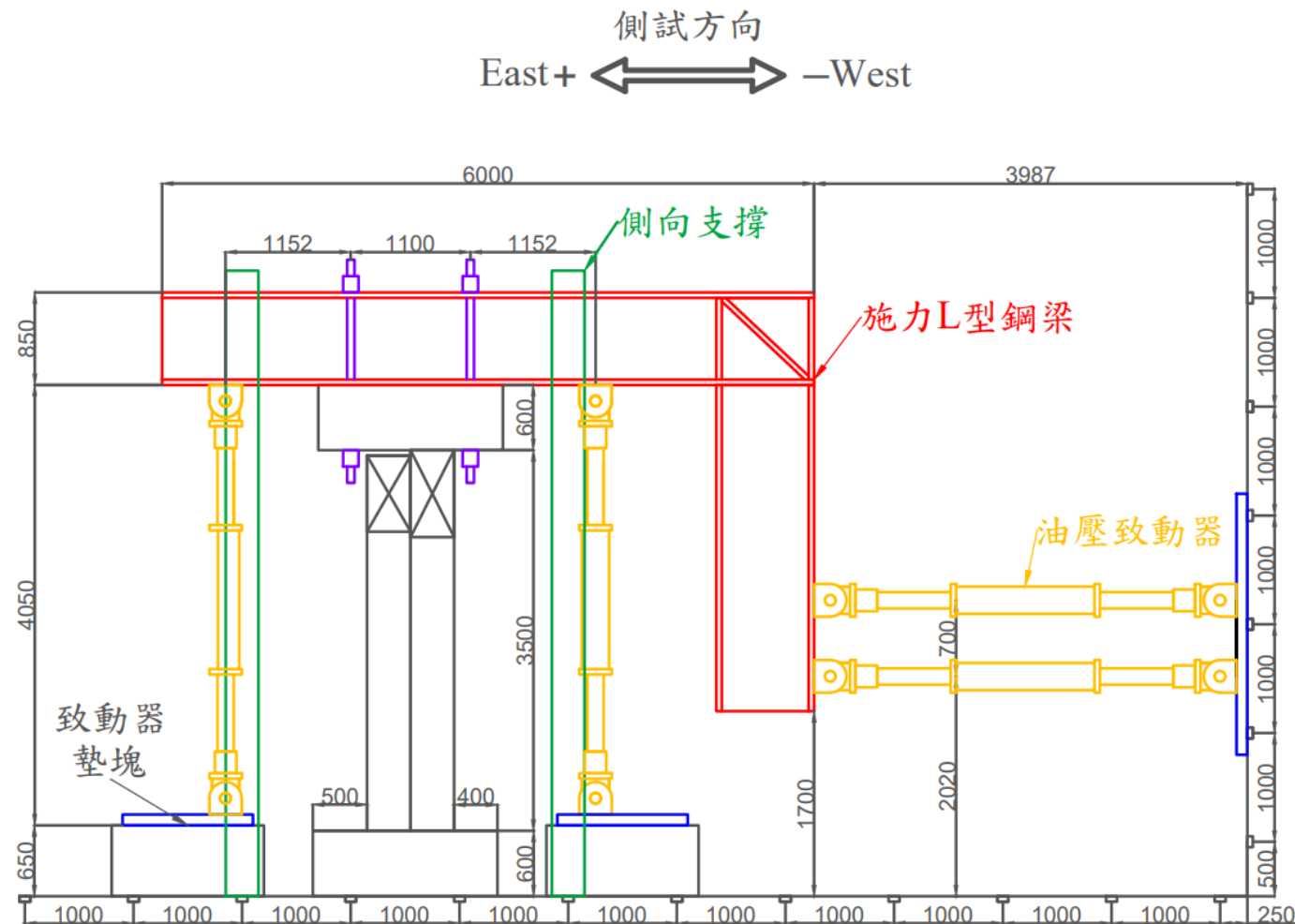


補強試體ABPCH-O
施作柱介面植筋
柱閉合式箍筋

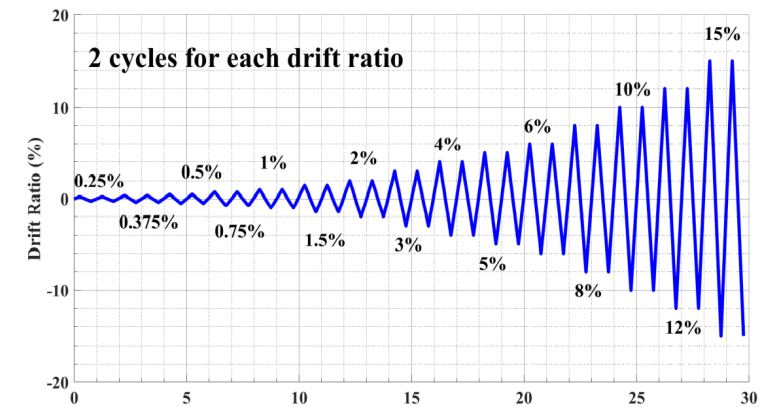


補強試體ABPCU-O
施作柱介面植筋
柱組合式箍筋₂₇

反力牆足尺寸構架測試



往復載重試驗



$$\text{軸力} : 0.1A_g f'_c = 42 \text{ tf}$$

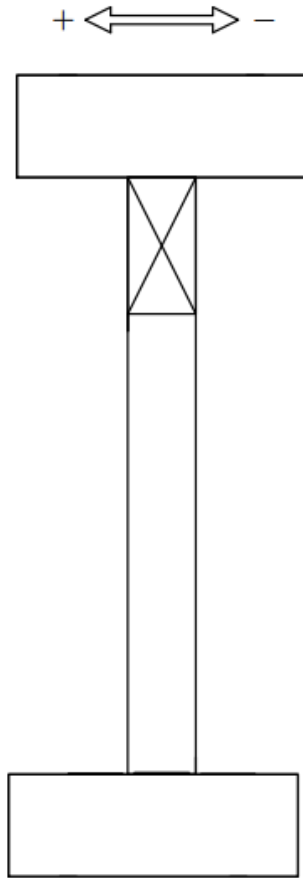
面外方向試驗

試驗佈置

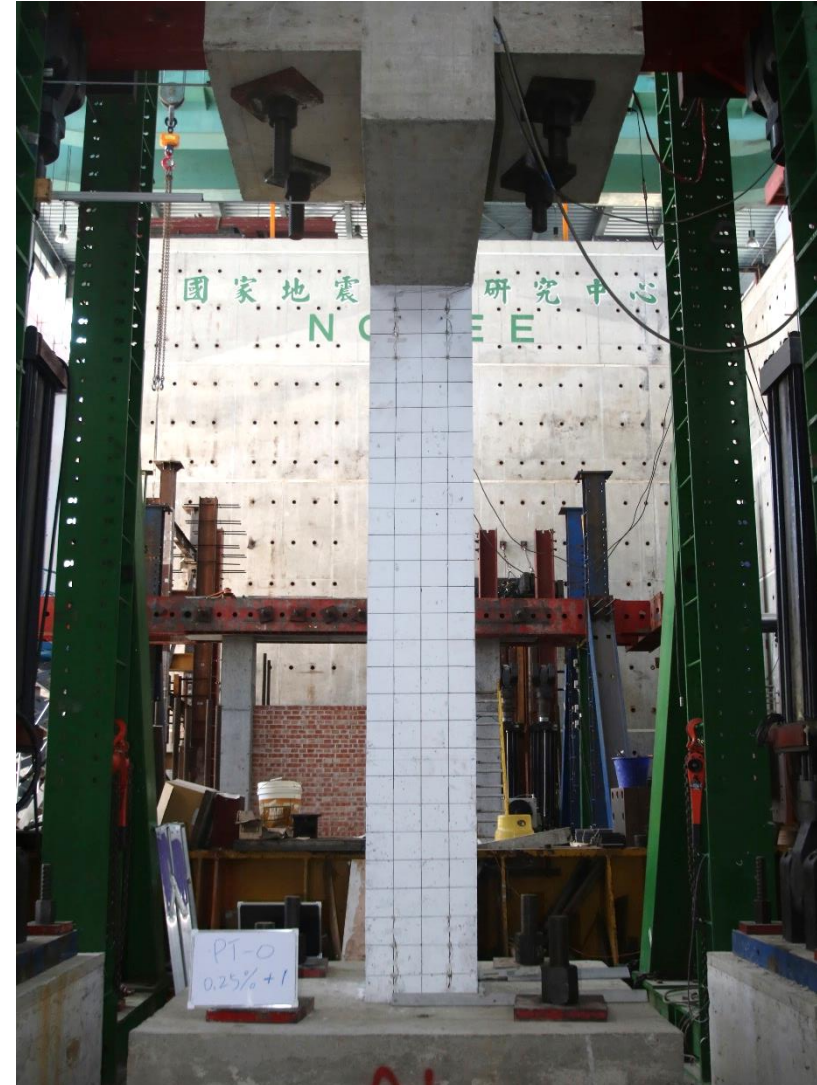


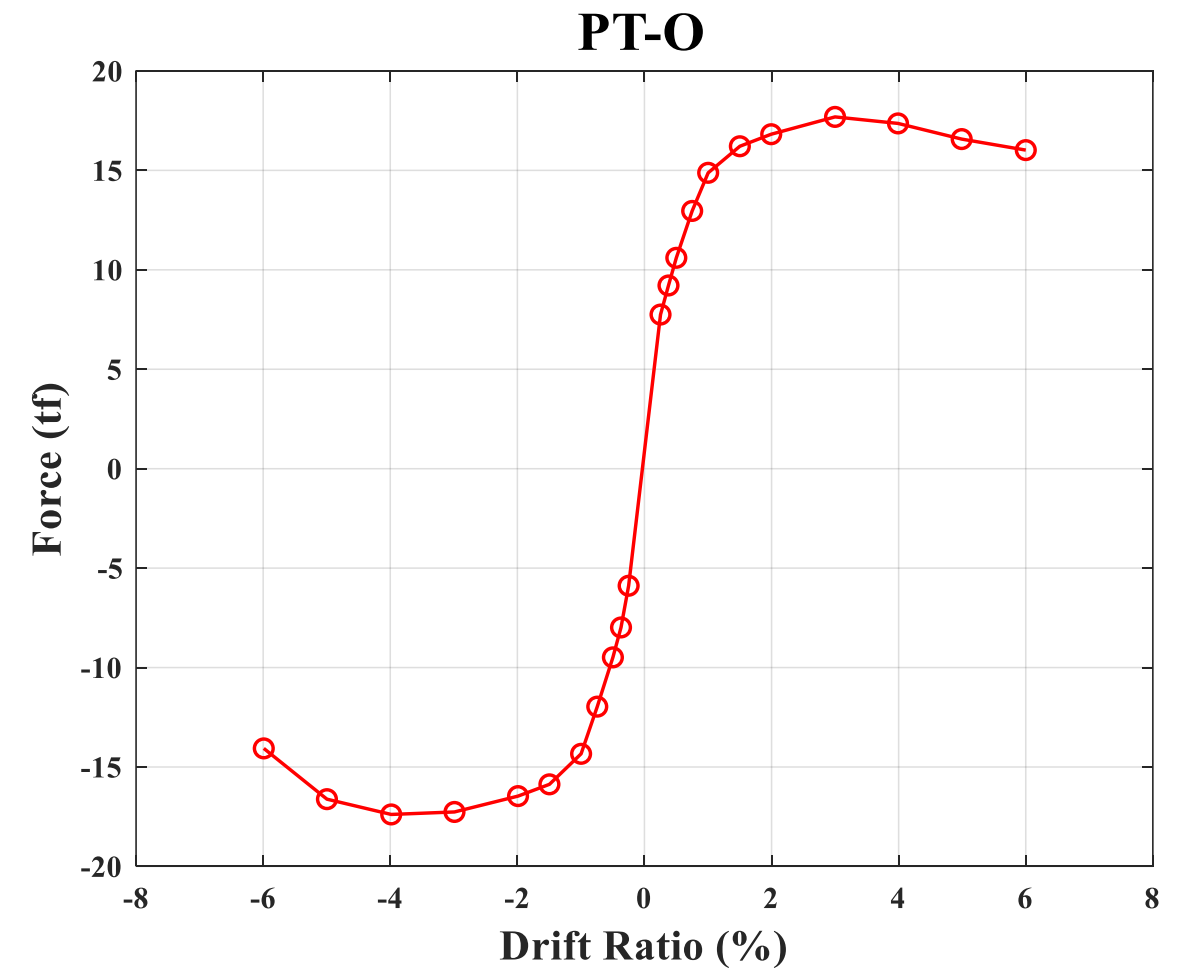
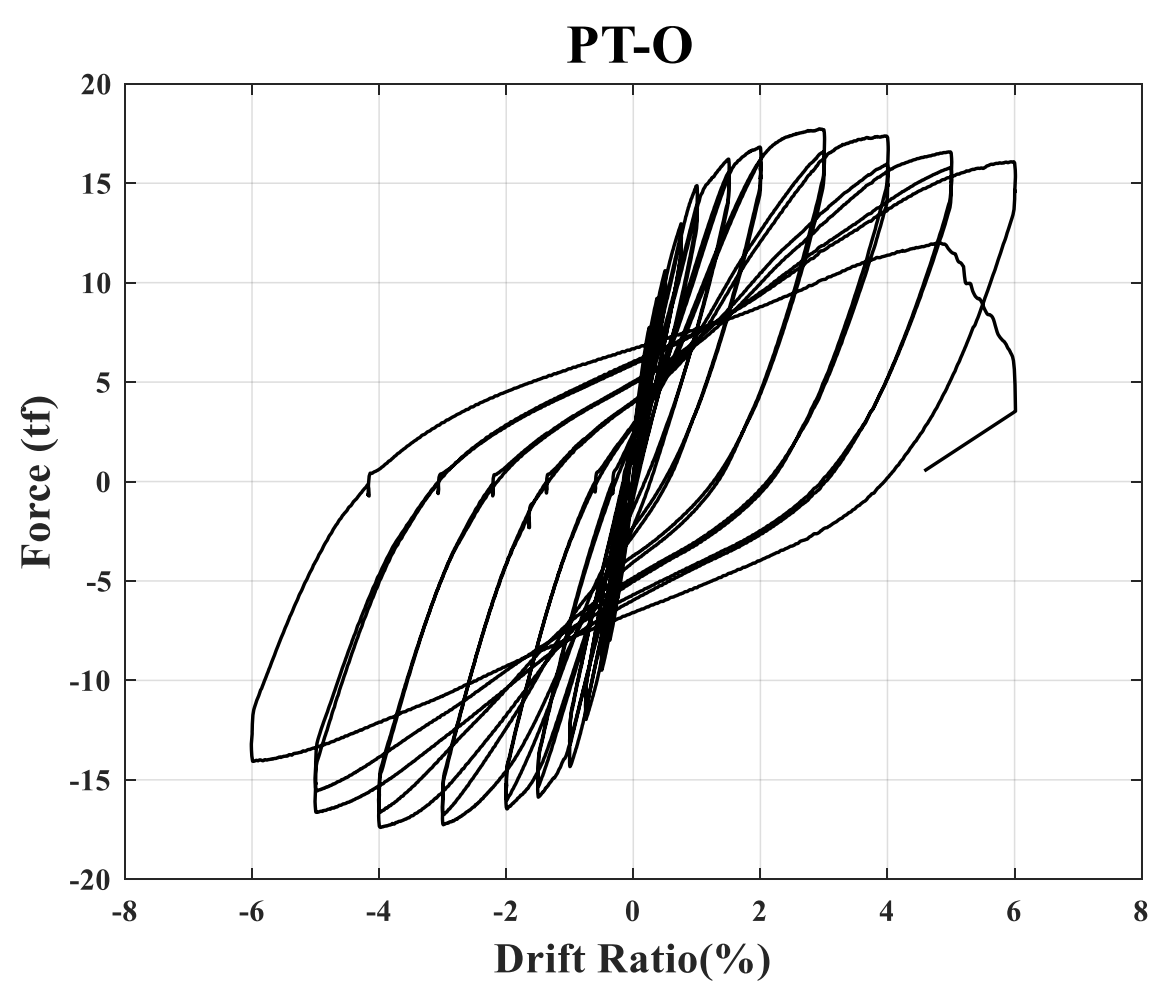
面外方向試驗

既有柱試體PT-O



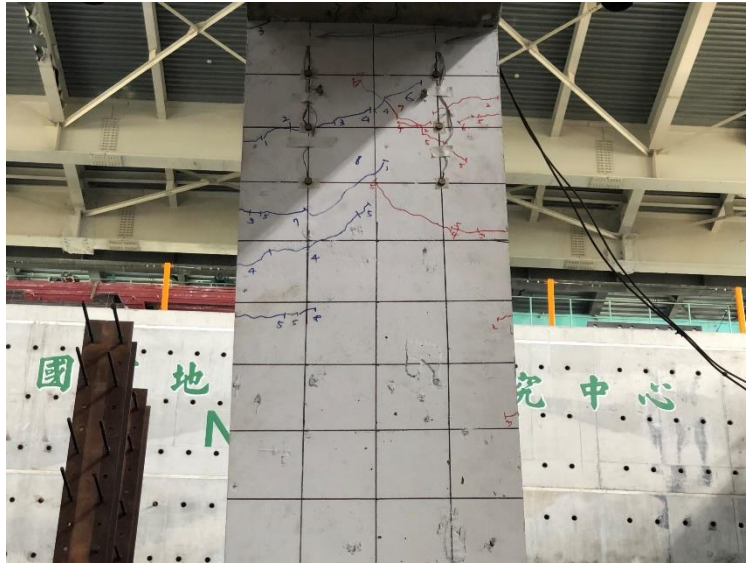
既有柱試體PT-O



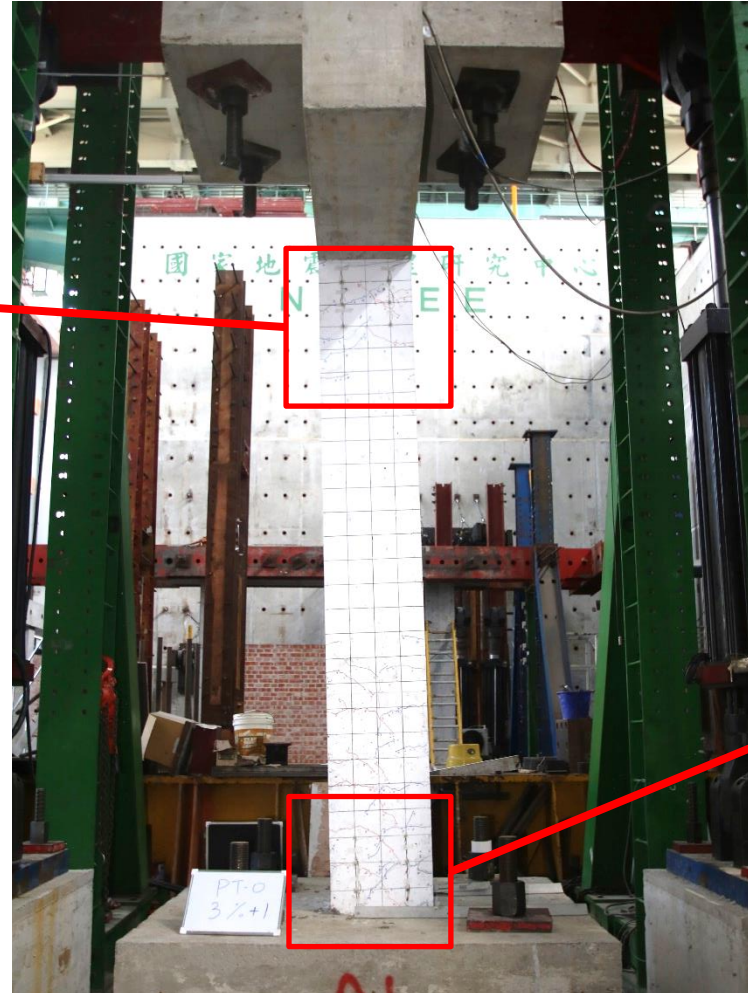


面外方向試驗

既有柱試體PT-0



柱頂



最大強度點：3% +1

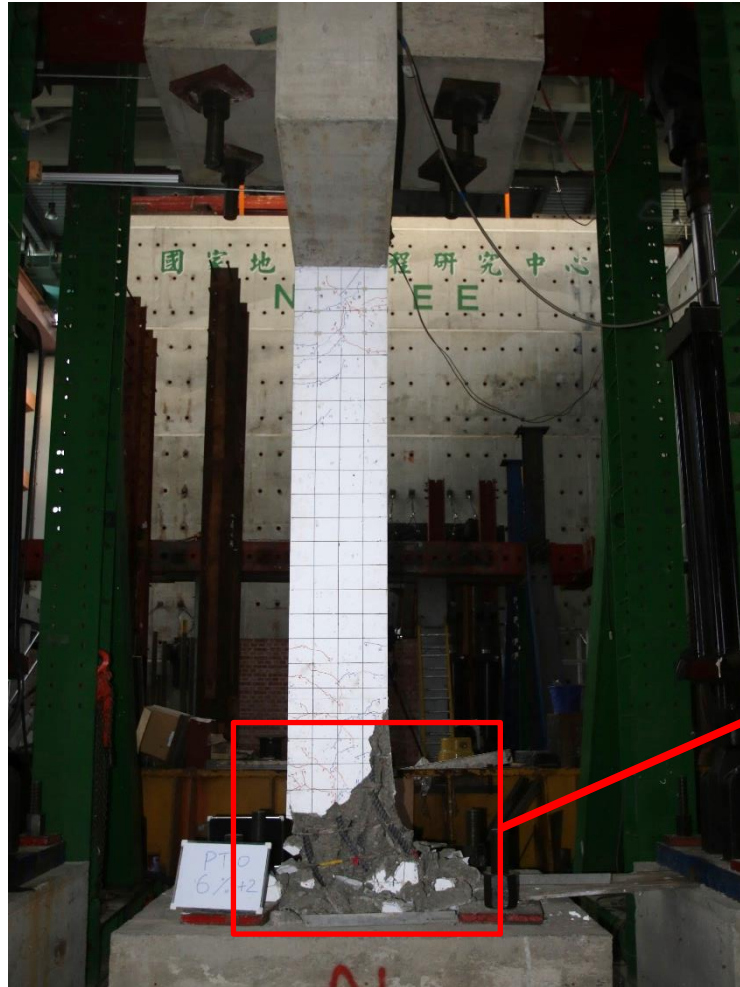
雙曲率變形



柱底

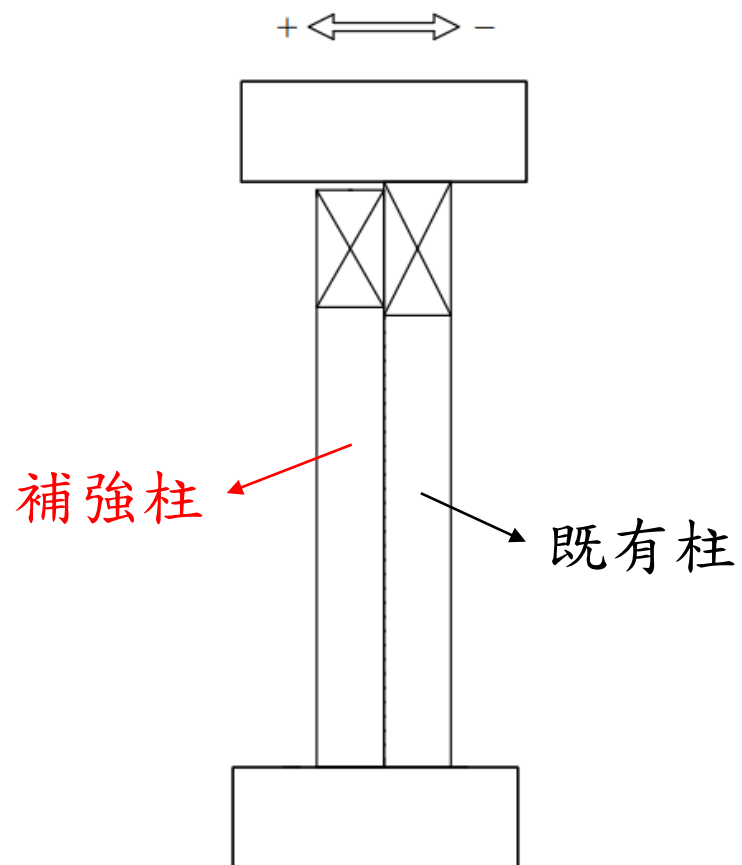
面外方向試驗

既有柱試體PT-0

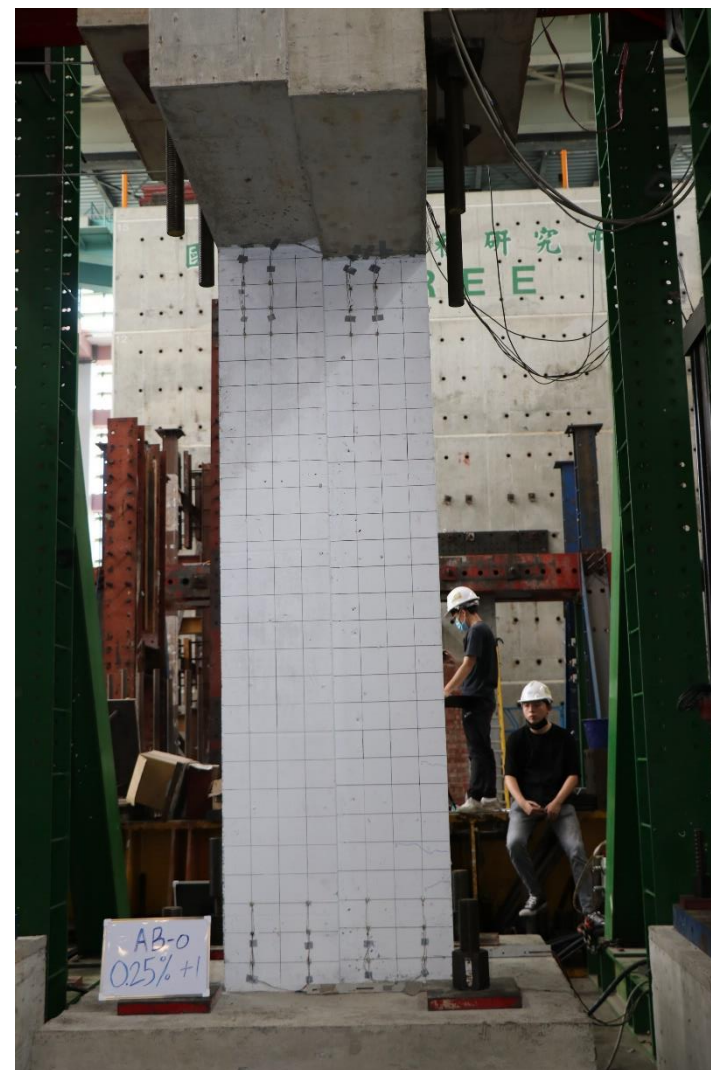


柱底挫屈

破壞點：6% +2



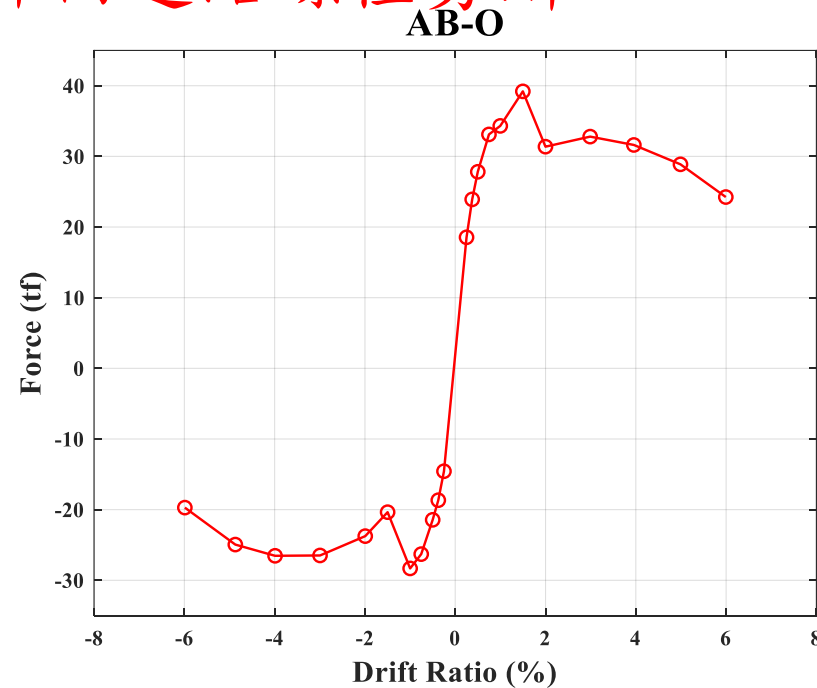
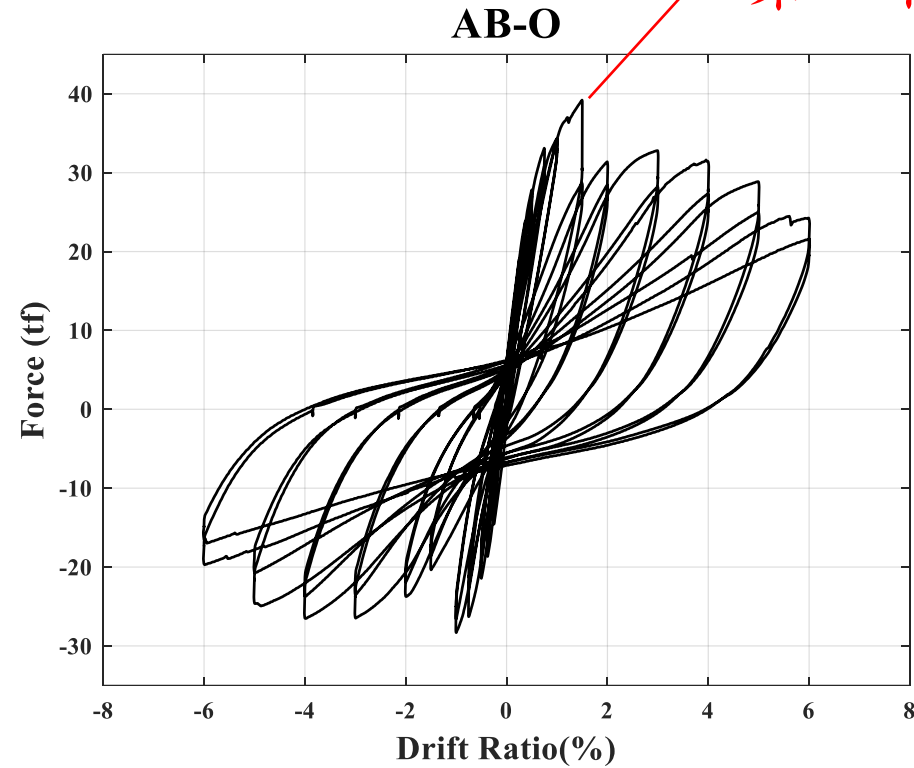
貼附梁柱補強試體AB-O
柱無介面植筋



面外方向試驗

貼附梁柱試體AB-O

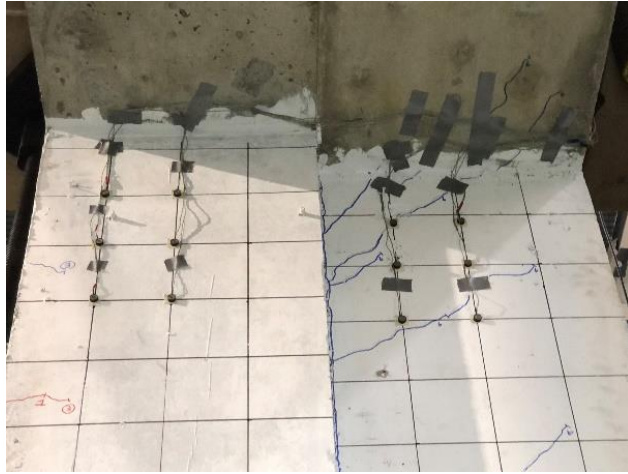
第一根梁介面連結螺栓剪斷



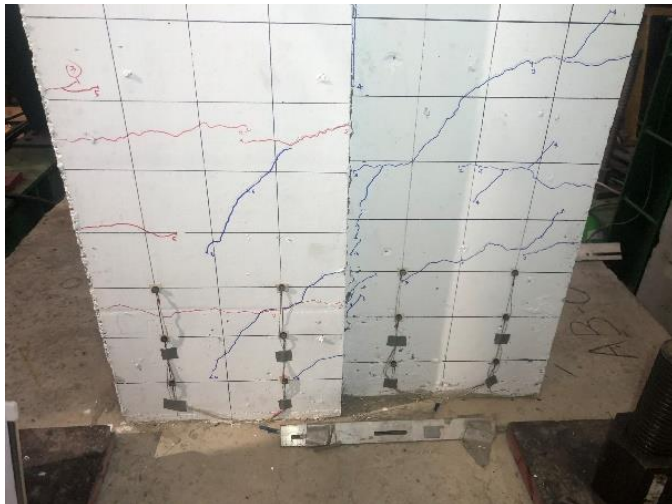
負向：梁介面連結逐漸脫離

面外方向試驗

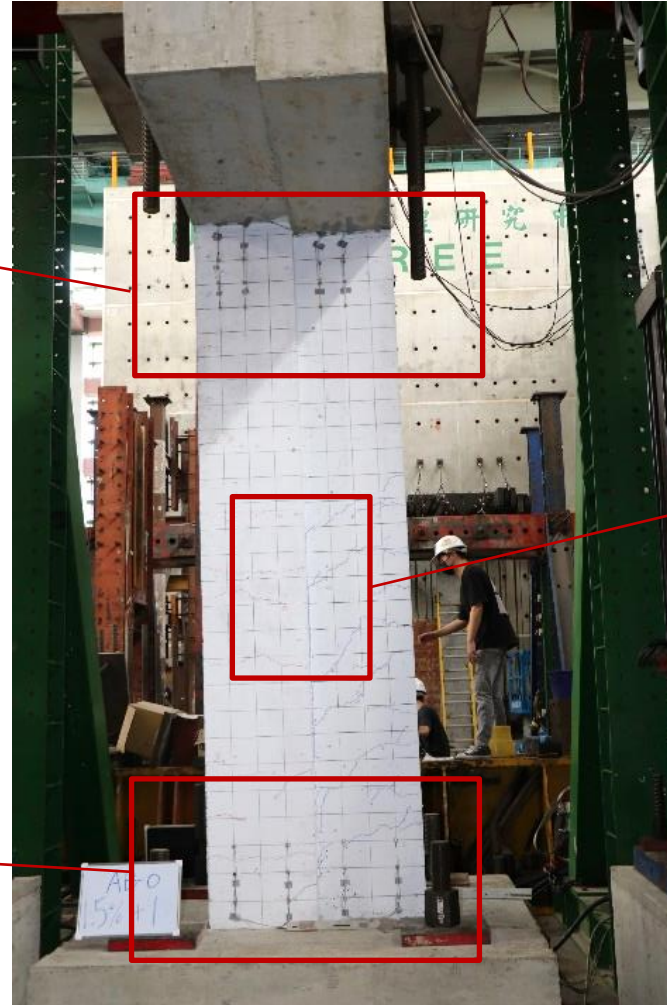
貼附梁柱試體AB-O



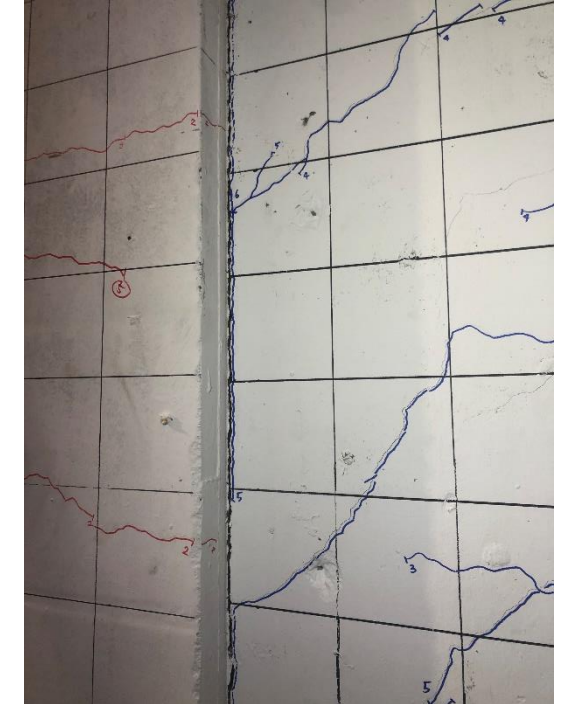
柱頂



柱底



最大強度點：1.5% +1



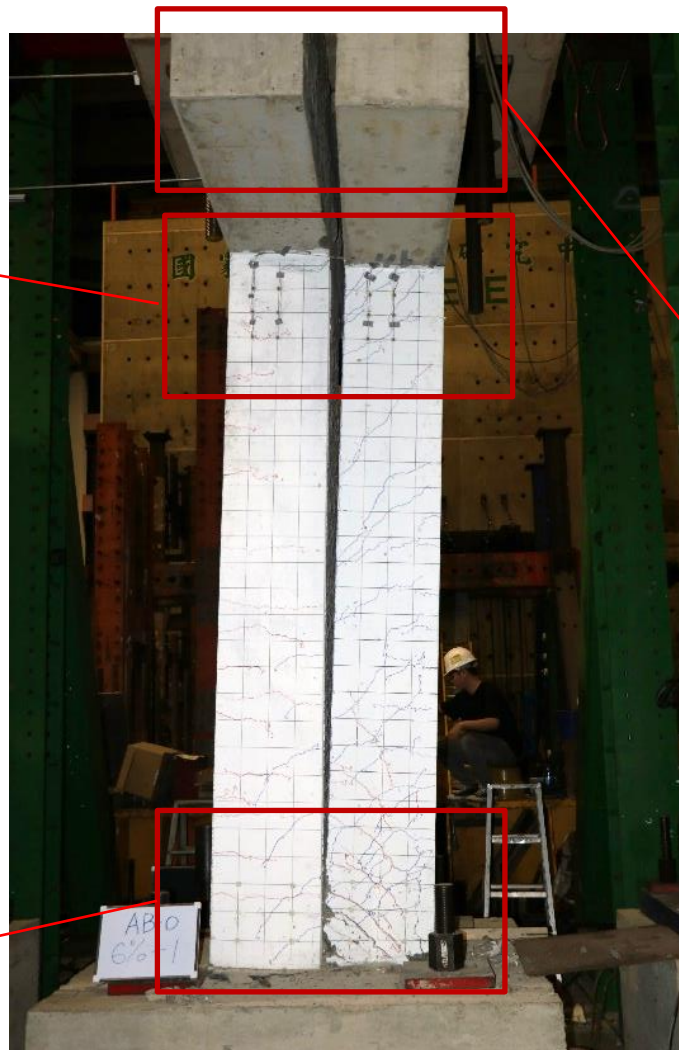
新舊柱界面分離

面外方向試驗

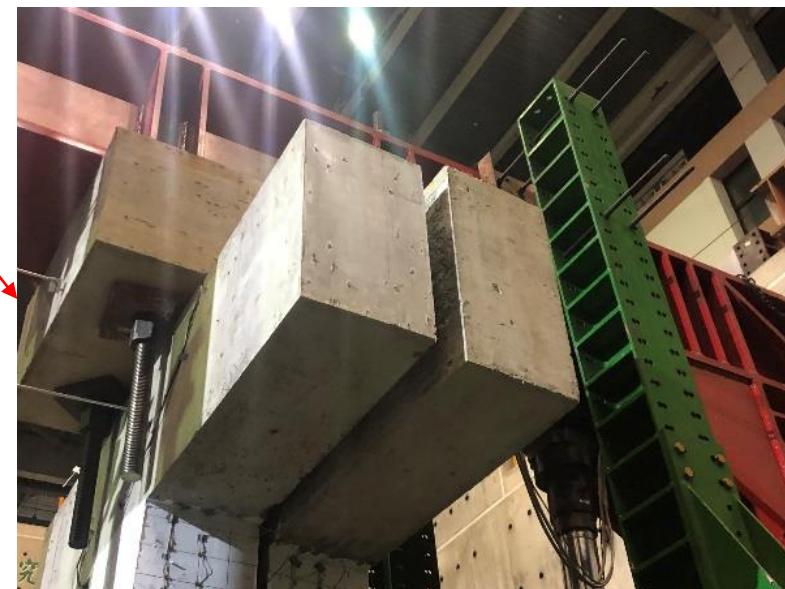
貼附梁柱試體AB-O



柱頂
無明顯裂縫



破壞點：6% -1



新舊柱介面完全分離
梁連結螺栓完全斷裂

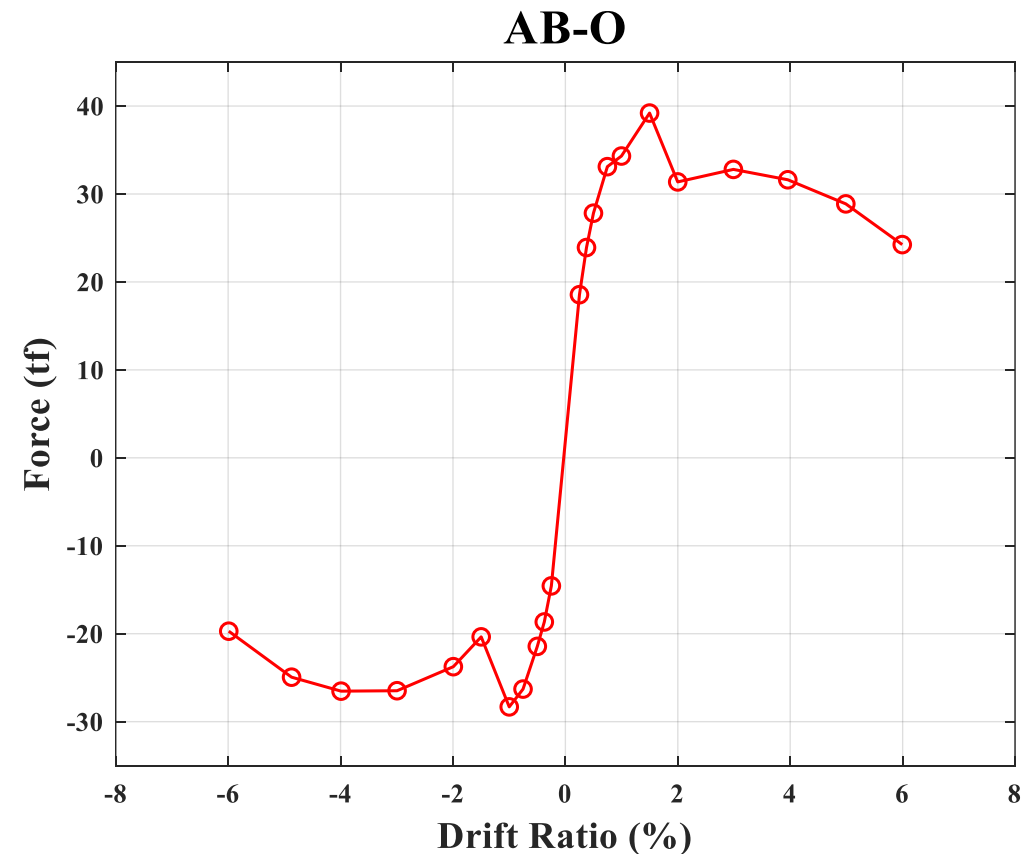
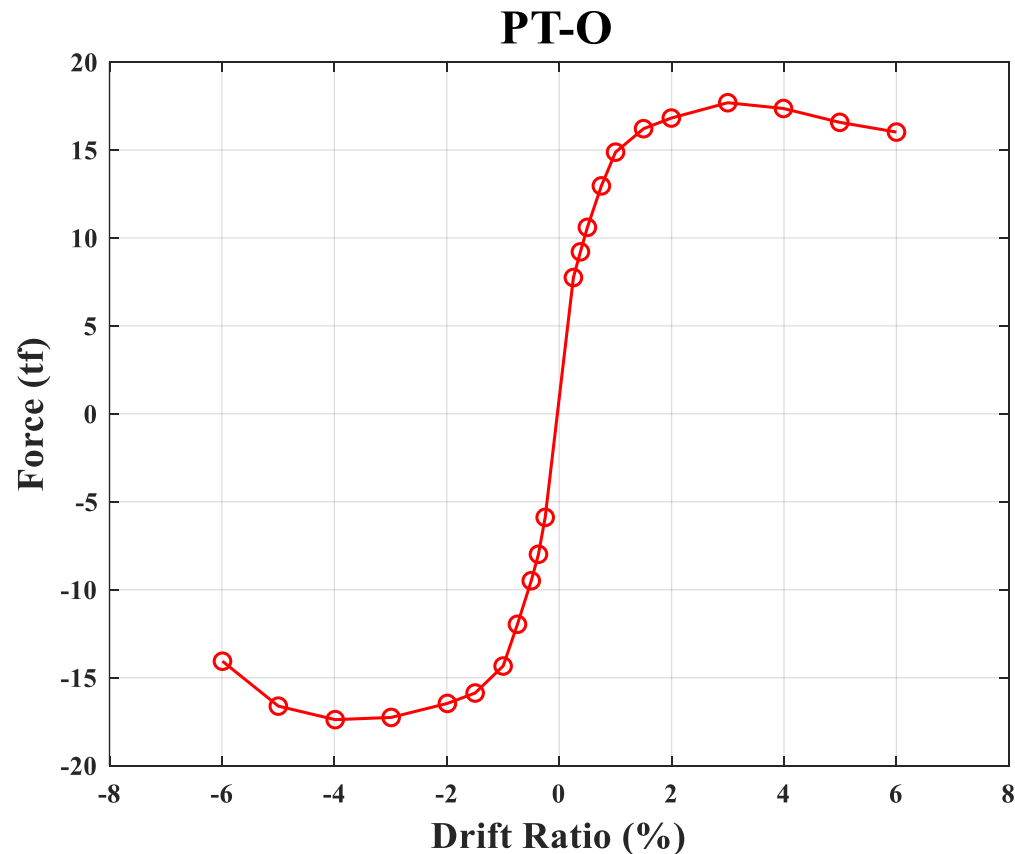
單曲率變形

面外方向試驗 既有柱PT-O v.s. 貼附梁柱補強AB-O

既有柱強度約18tf

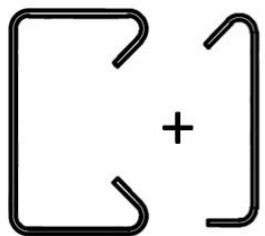
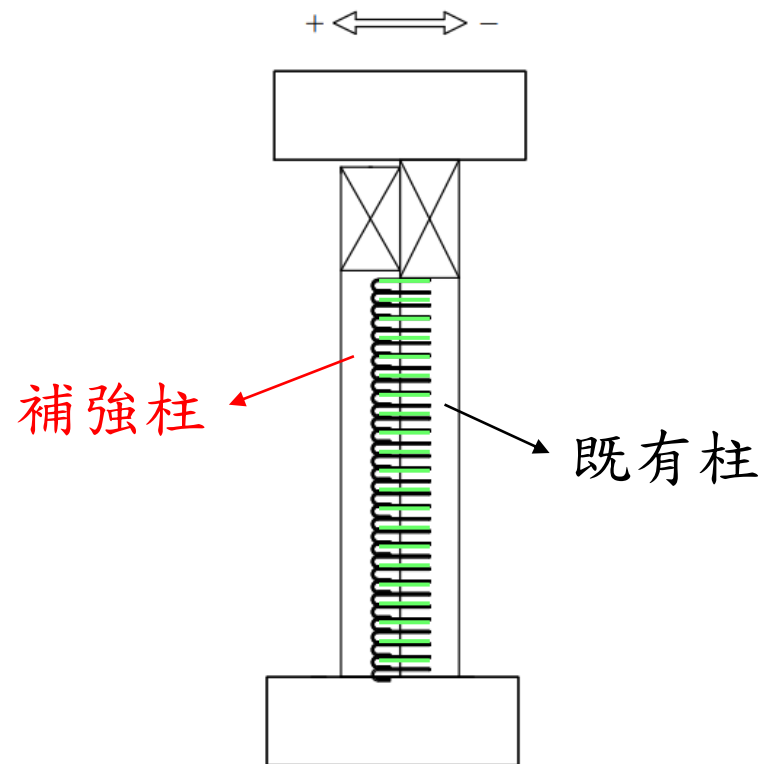
貼附梁柱補強之強度正向約為2.4倍；負向約為2倍

第一根螺栓剪斷後，還是有補強效果

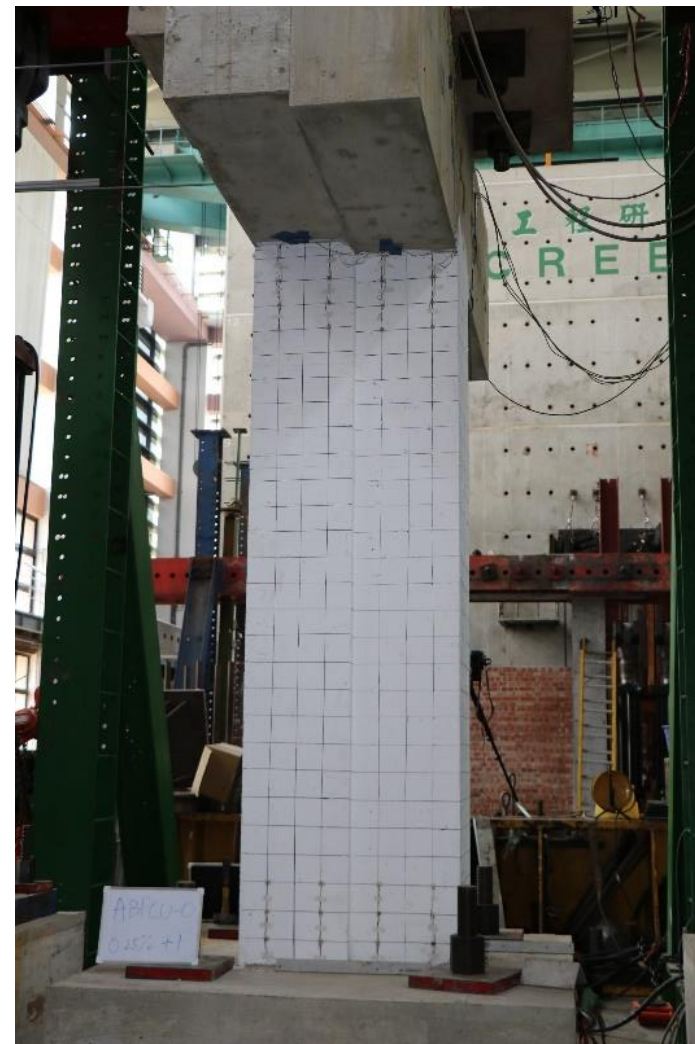


面外方向試驗

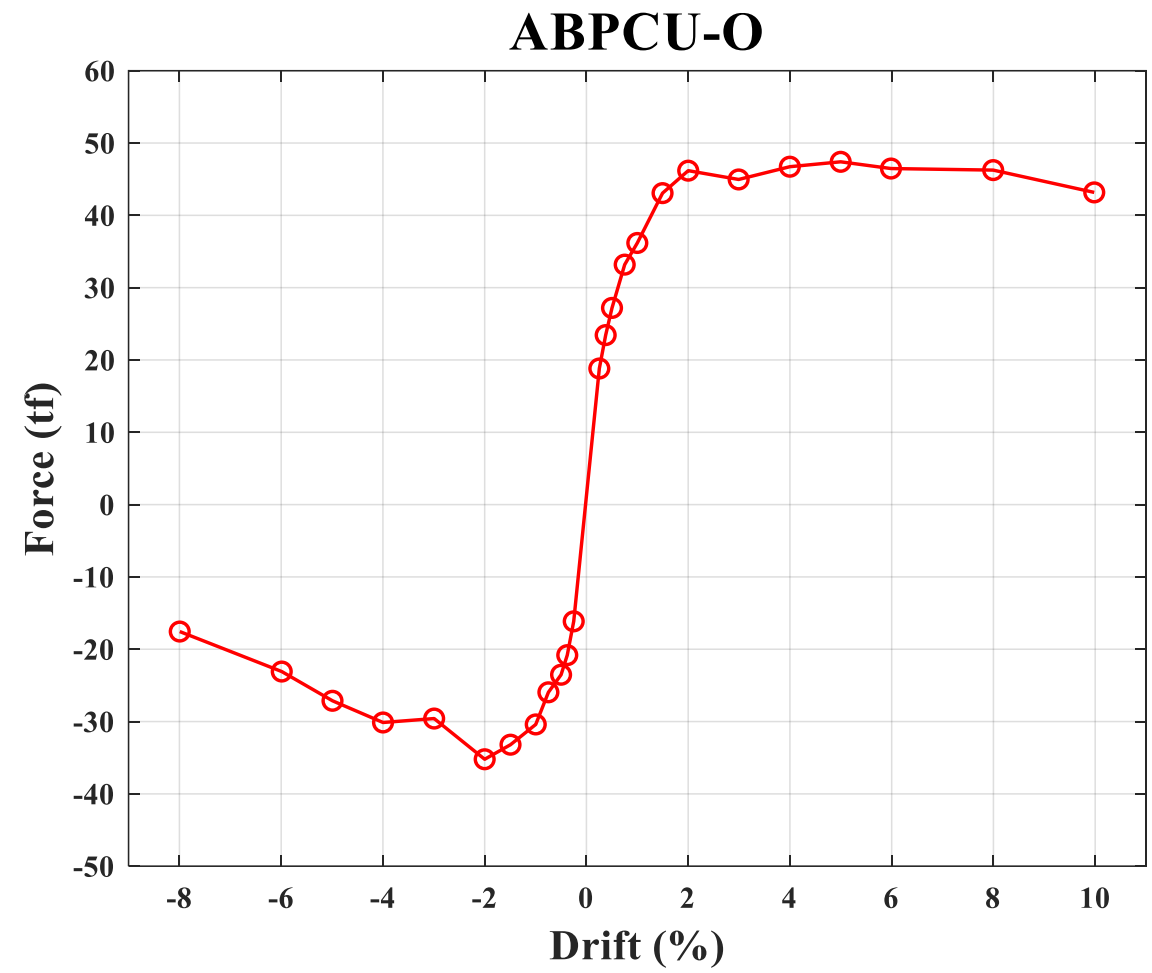
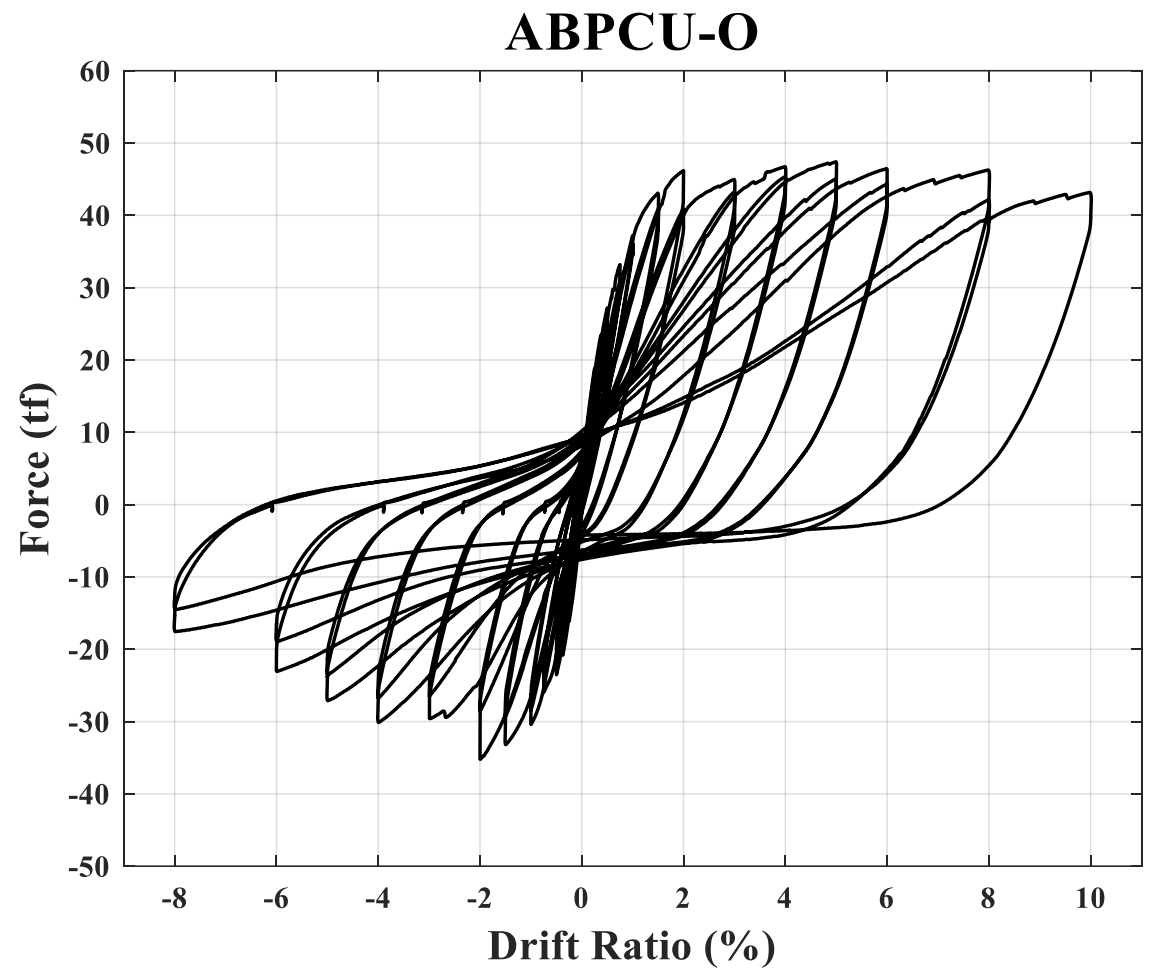
貼附梁柱補強試體ABPCU-O



施作柱介面植筋
柱組合式箍筋



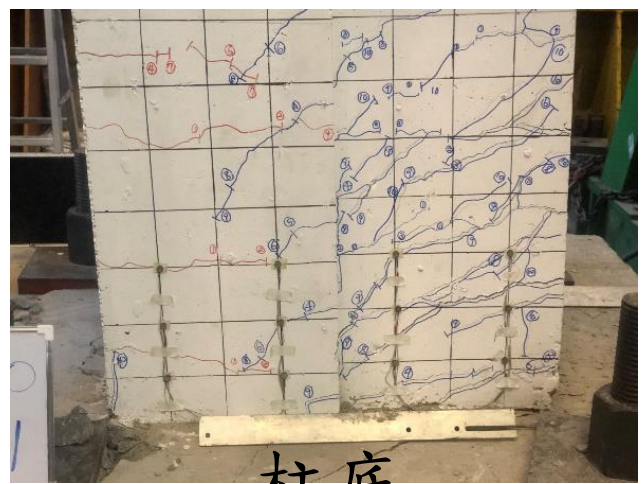
面外方向試驗 貼附梁柱補強試體ABPCU-O



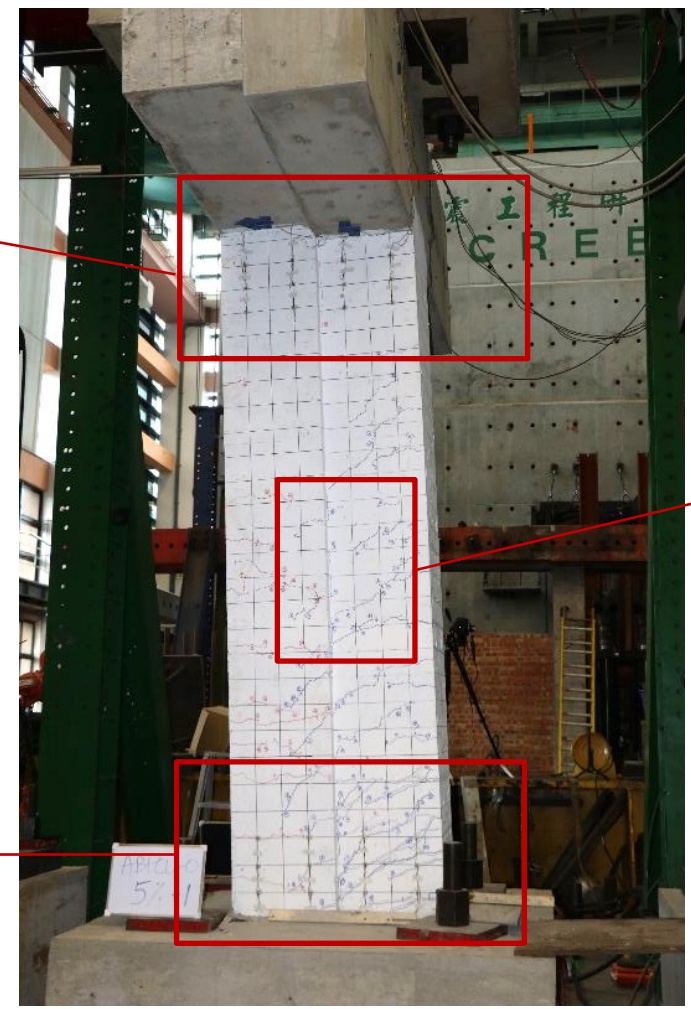
面外方向試驗 貼附梁柱補強試體ABPCU-O



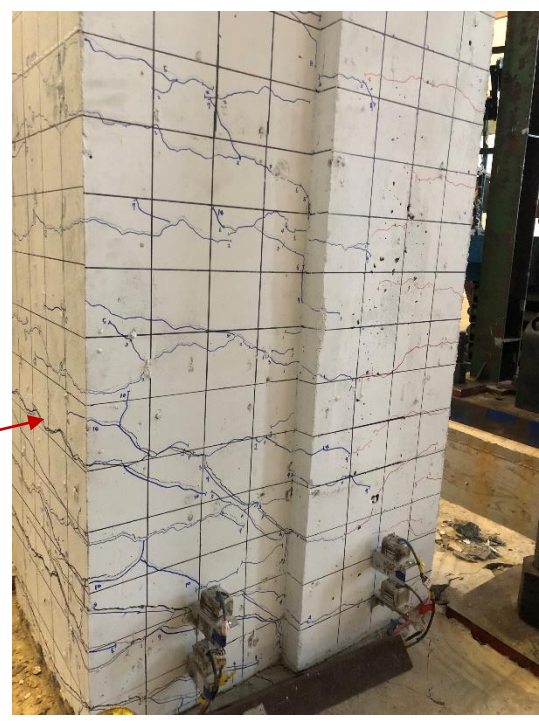
柱頂
無明顯裂縫



柱底



最大強度點：5% +1



新舊柱介面無明顯分離

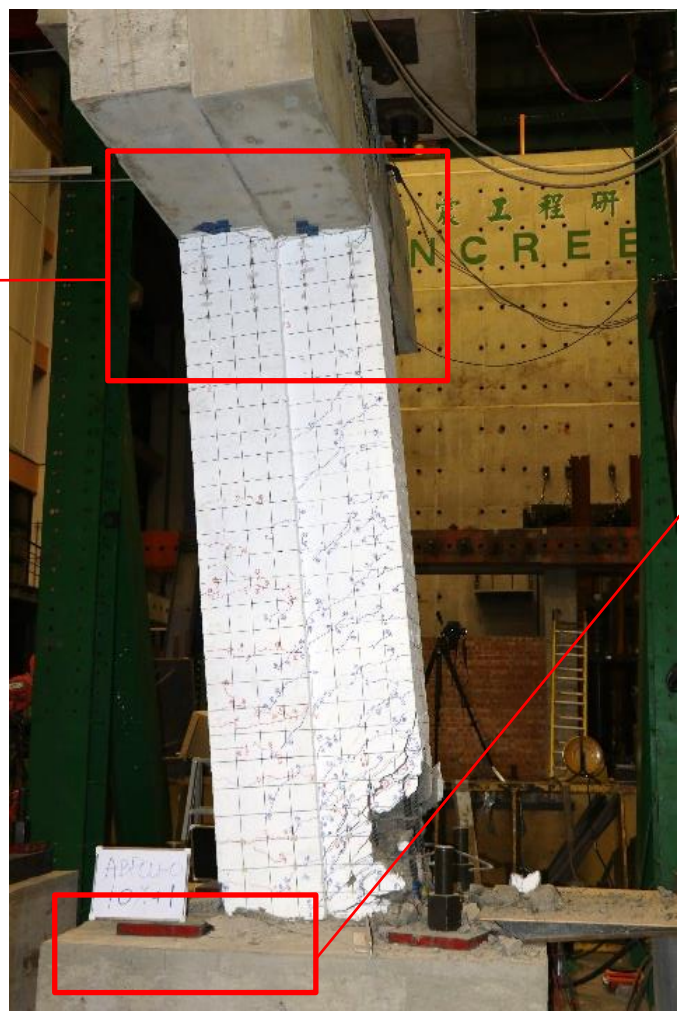
單曲率變形

面外方向試驗 貼附梁柱補強試體ABPCU-O



柱頂
無明顯裂縫

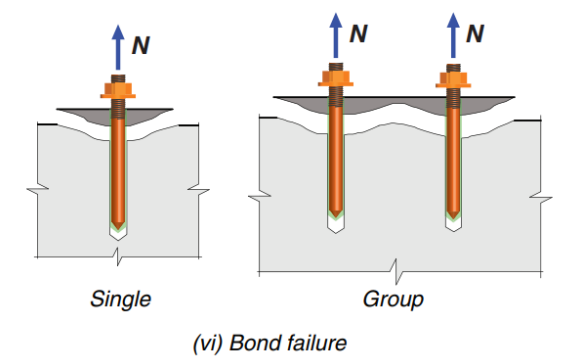
單曲率變形



破壞點：10% +1



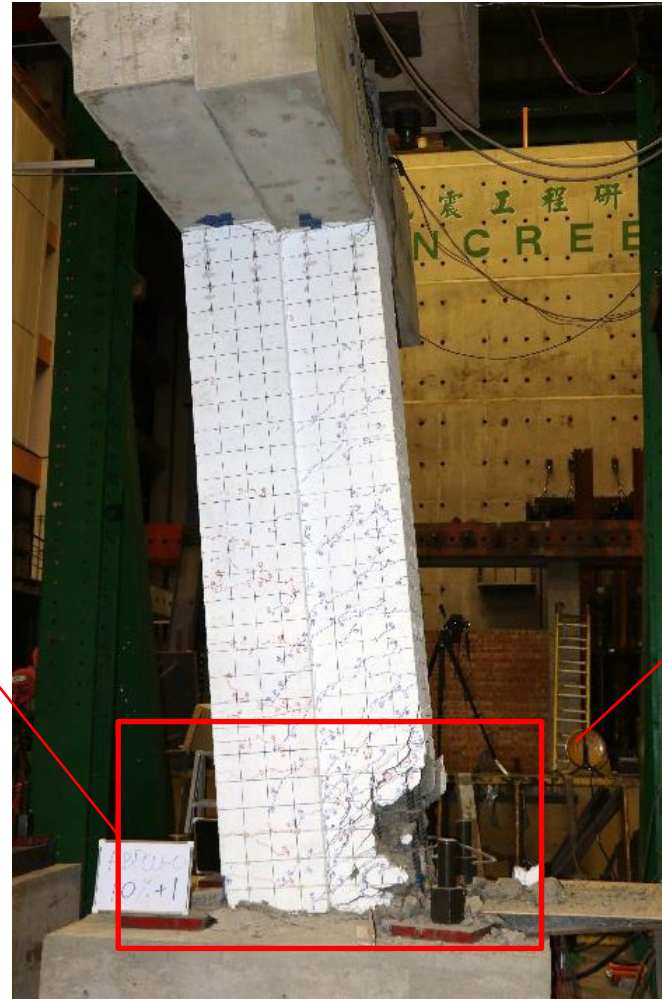
外加構架側基礎
植筋握裹破壞



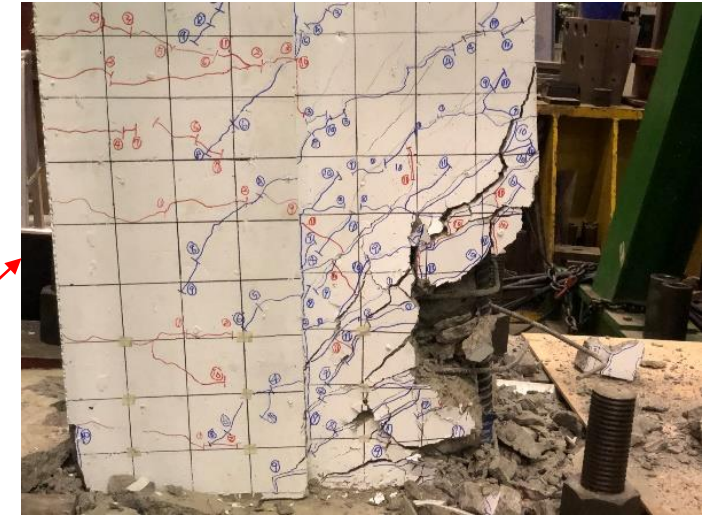
面外方向試驗 貼附梁柱補強試體ABPCU-O



既有柱挫屈



破壞點：10% +1

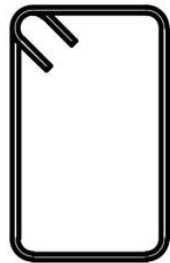
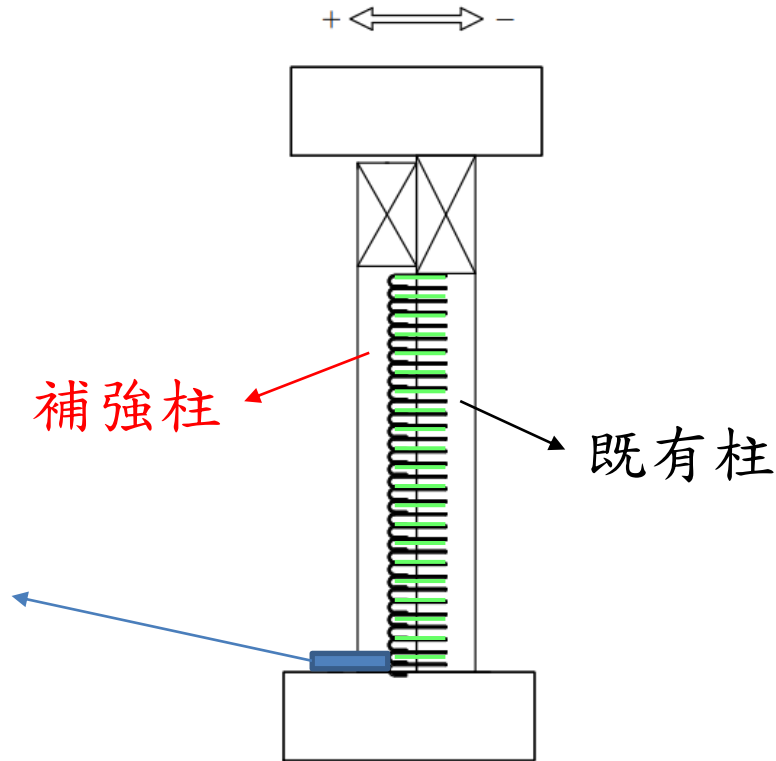


強度轉為由
外加構架支撐

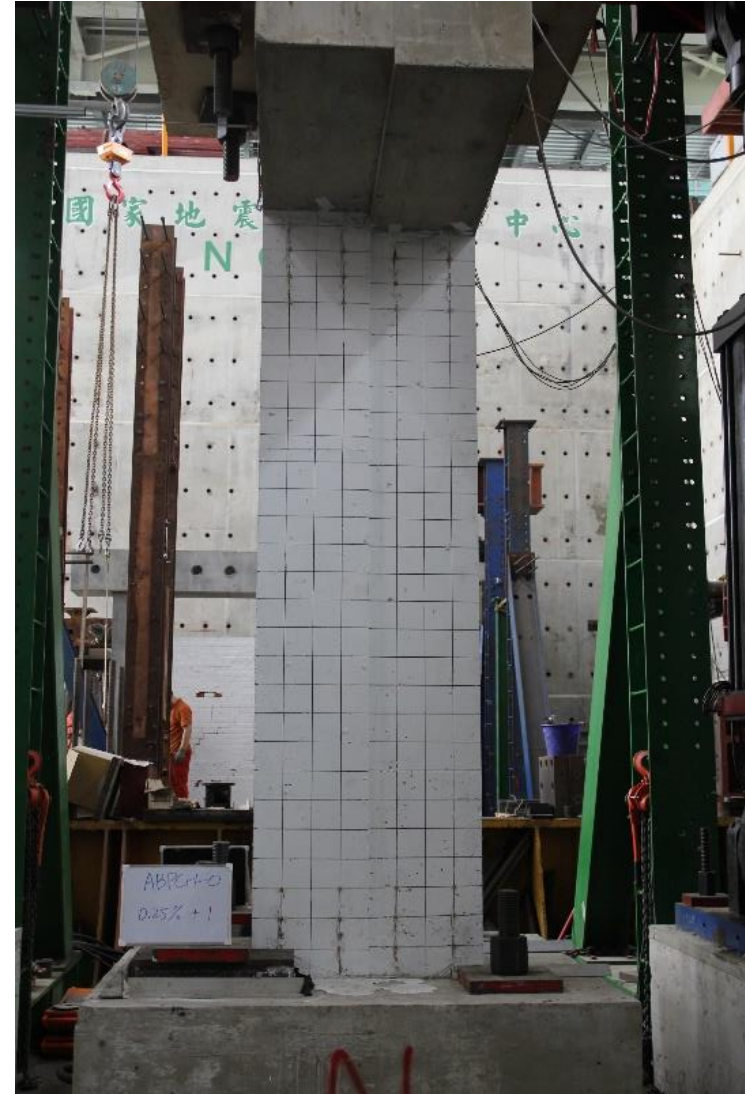
面外方向試驗 貼附梁柱補強試體ABPCH-O



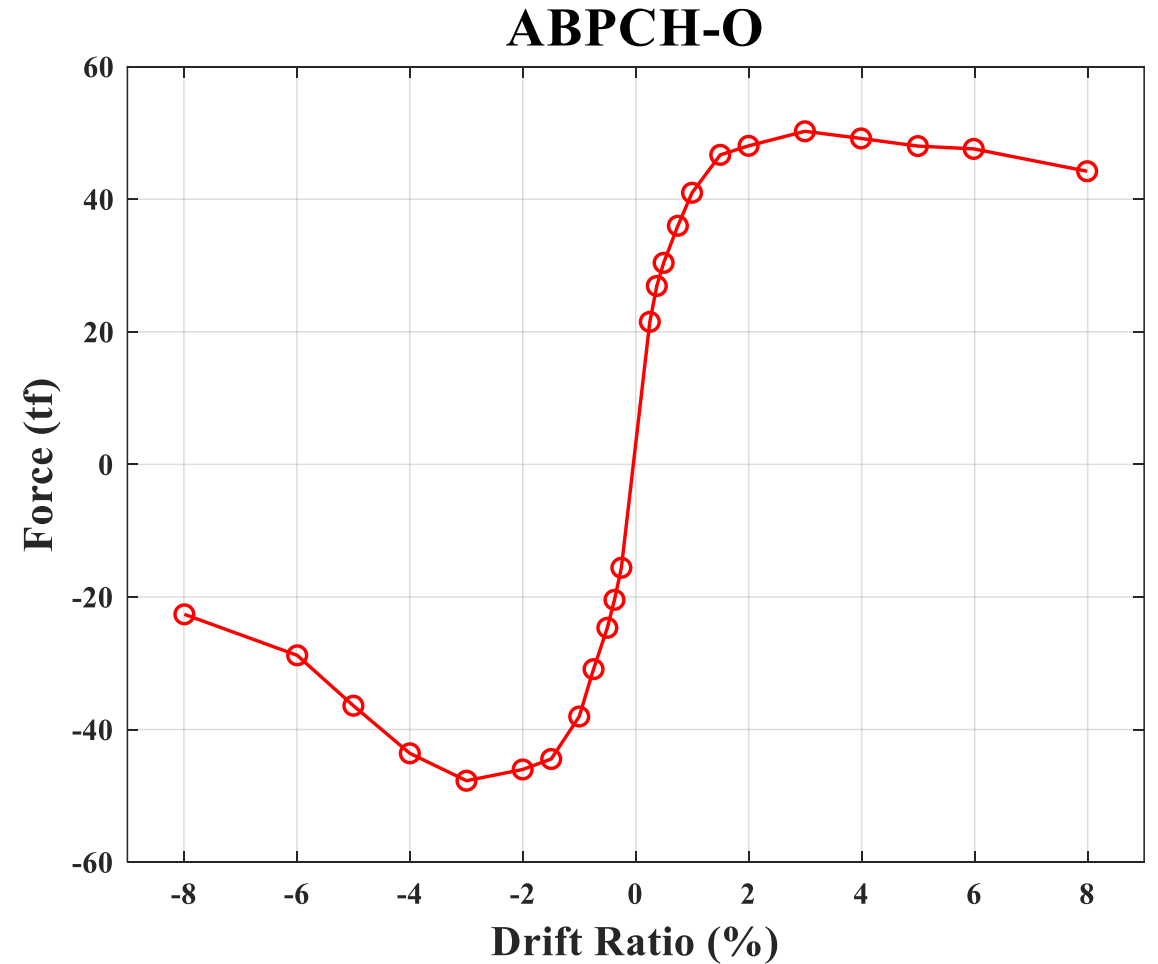
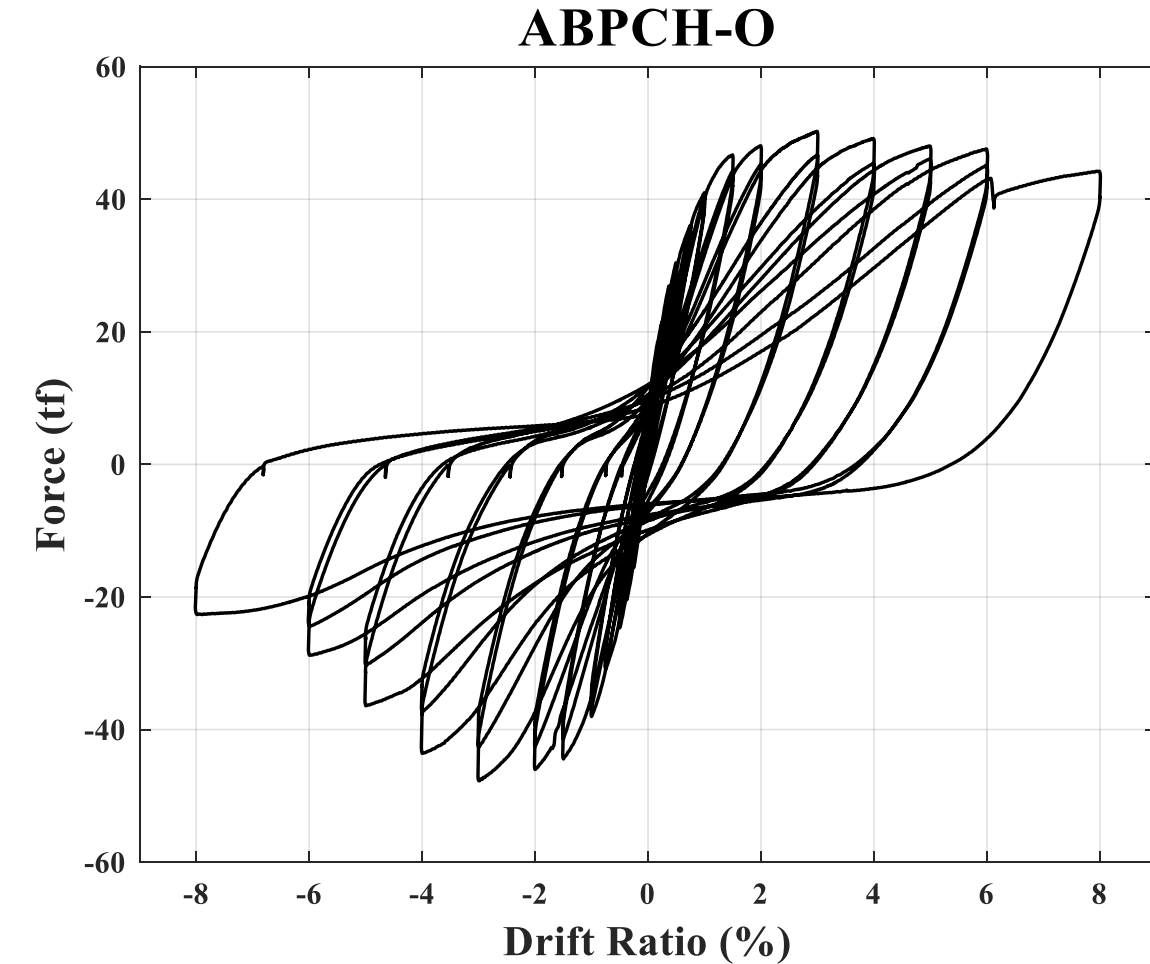
基礎加固鋼板



施作柱介面植筋
柱閉合式箍筋



面外方向試驗 貼附梁柱補強試體ABPCH-O



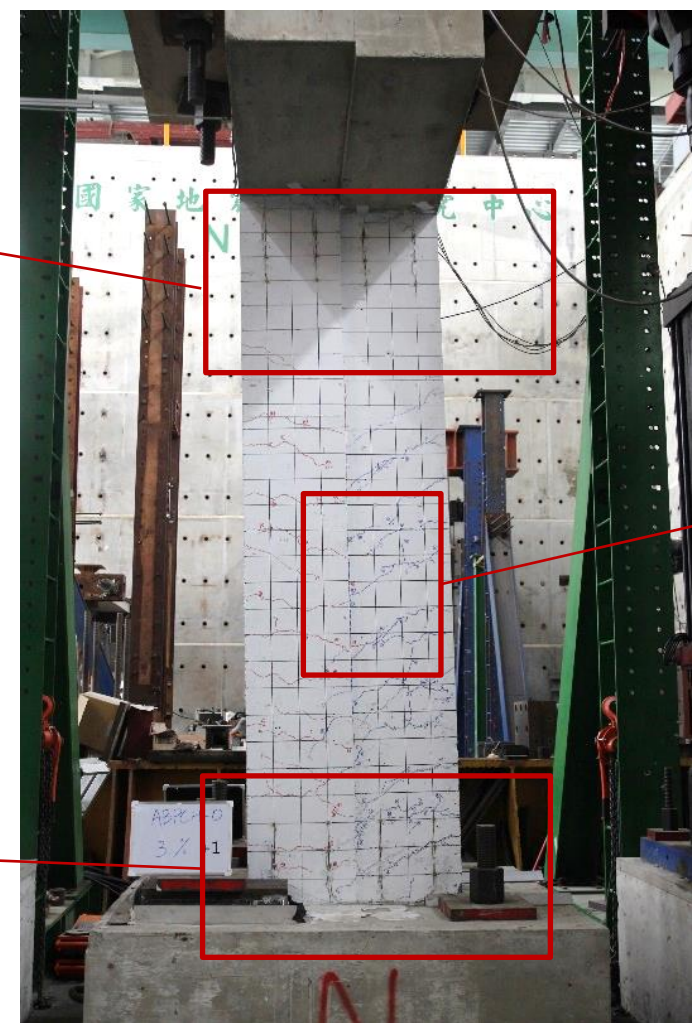
面外方向試驗 貼附梁柱補強試體ABPCH-O



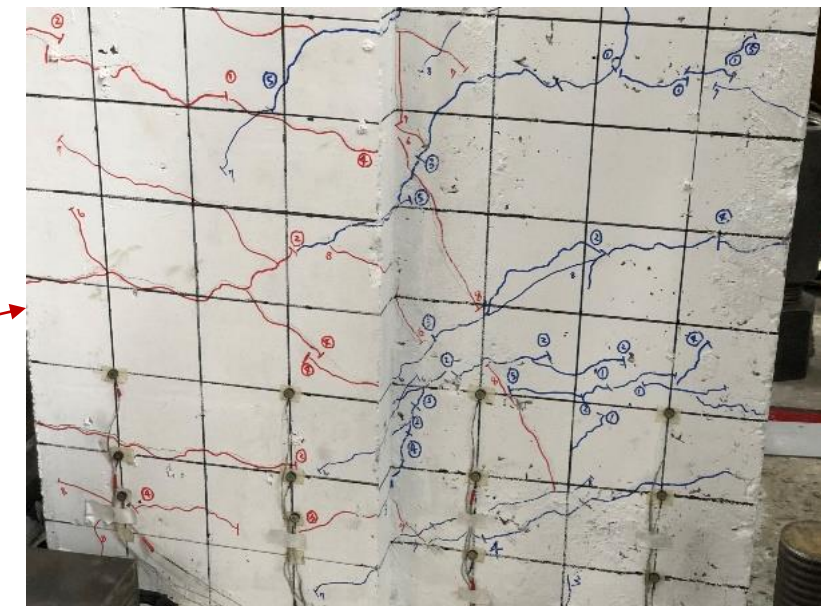
柱頂
無明顯裂縫



柱底

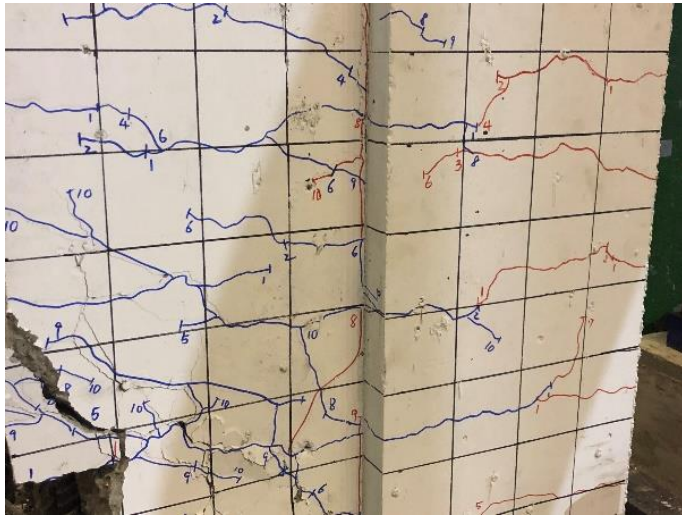


最大強度點：3% +1

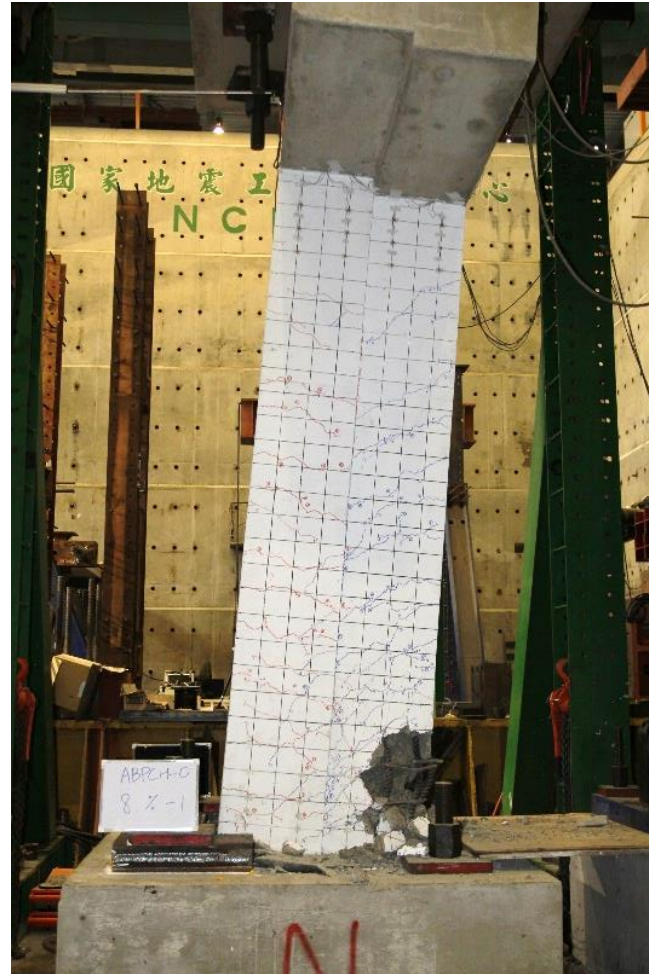


新舊柱介面無明顯分離

面外方向試驗 貼附梁柱補強試體 ABPCH-O



新舊柱介面無明顯分離

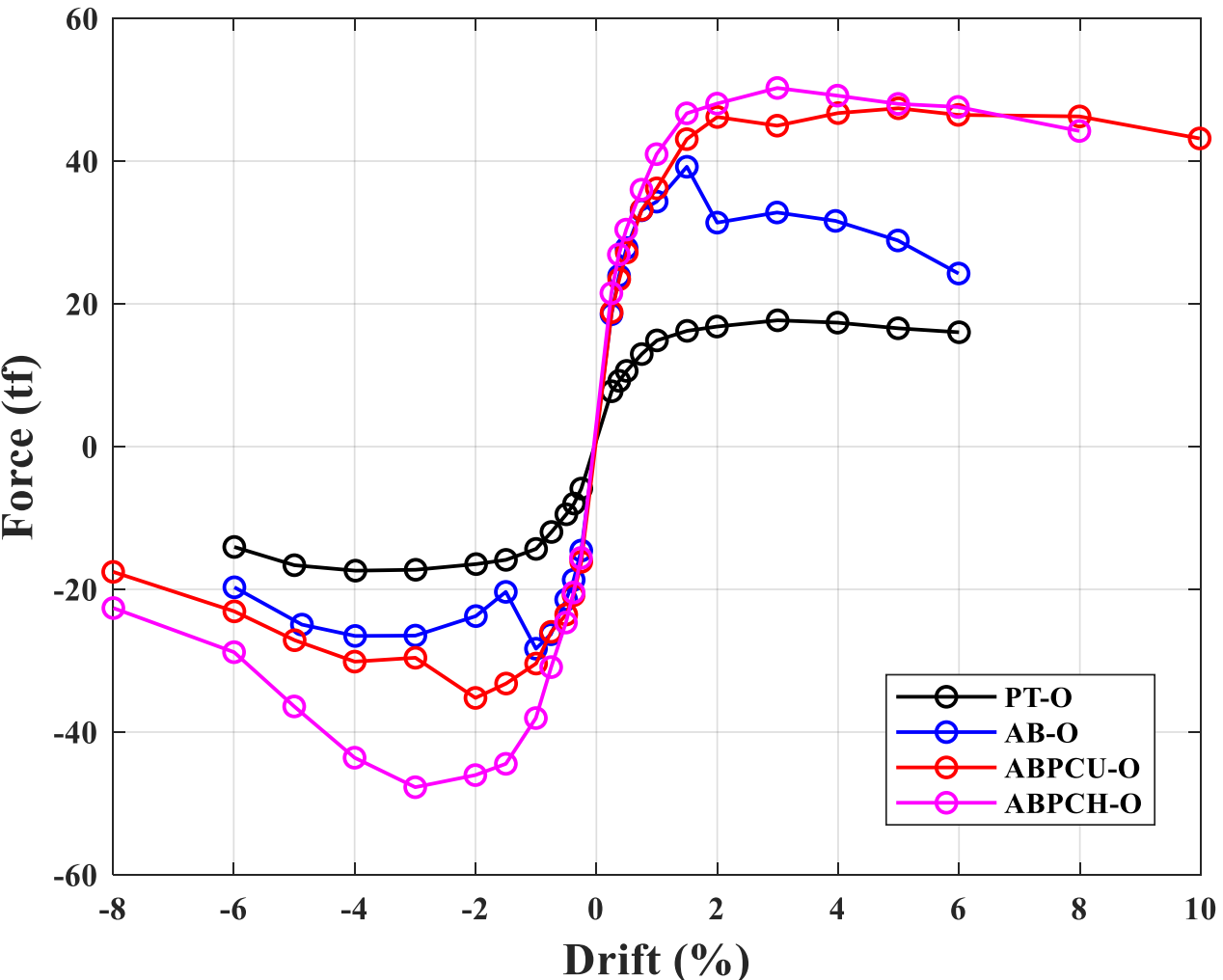


破壞點：8% -1



既有構架柱挫屈

強度轉為由
外加構架支撐



PT-O

未補強

雙曲率

AB-O

補強、無植筋

單曲率

ABPCU-O

補強、施作植筋
組合式箍筋

單曲率

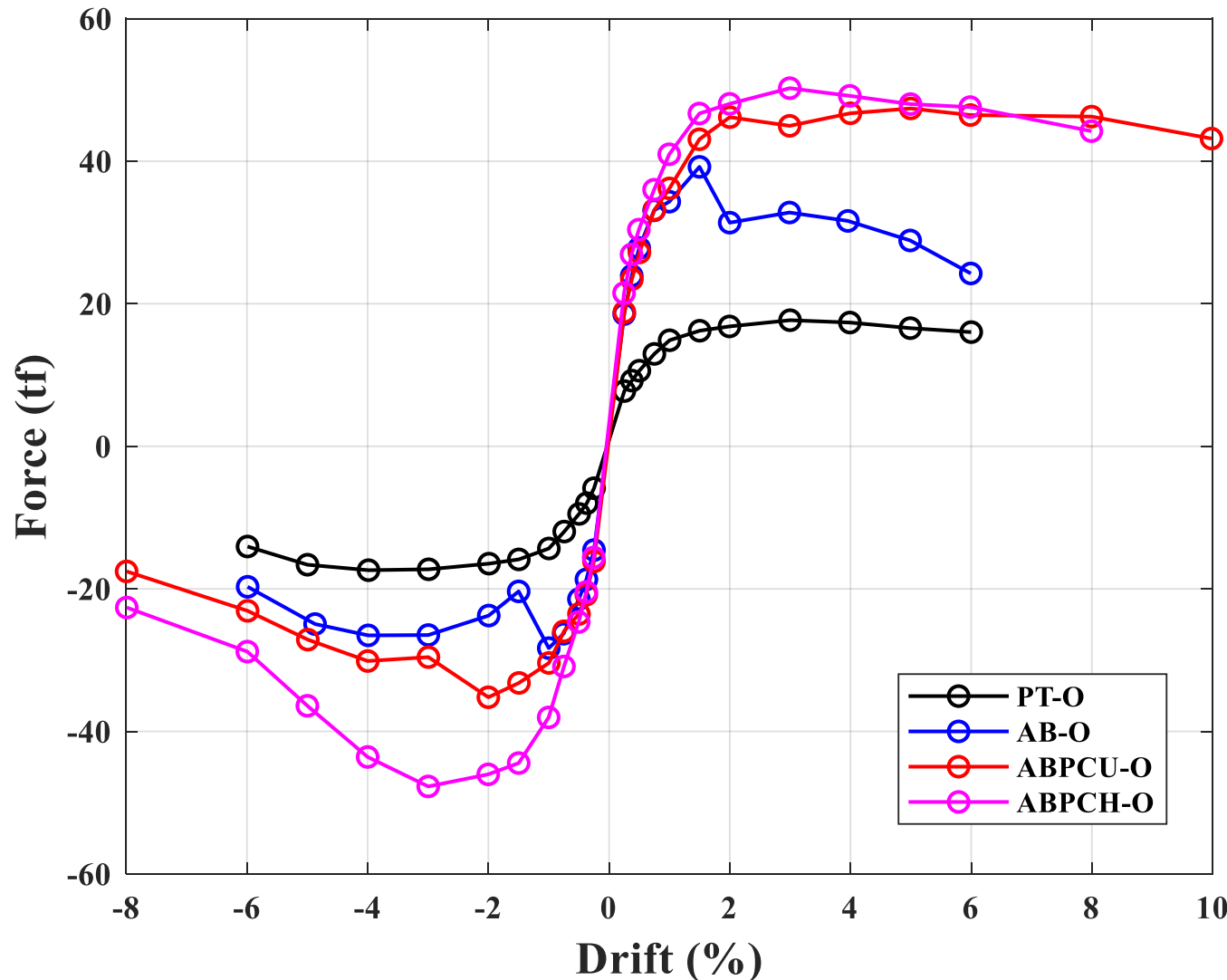
ABPCH-O

補強、施作植筋、墊片
閉合式箍筋

單曲率

面外方向試驗

各試體比較



有無補強之差異

AB-O

PT-O

ABPCU-O

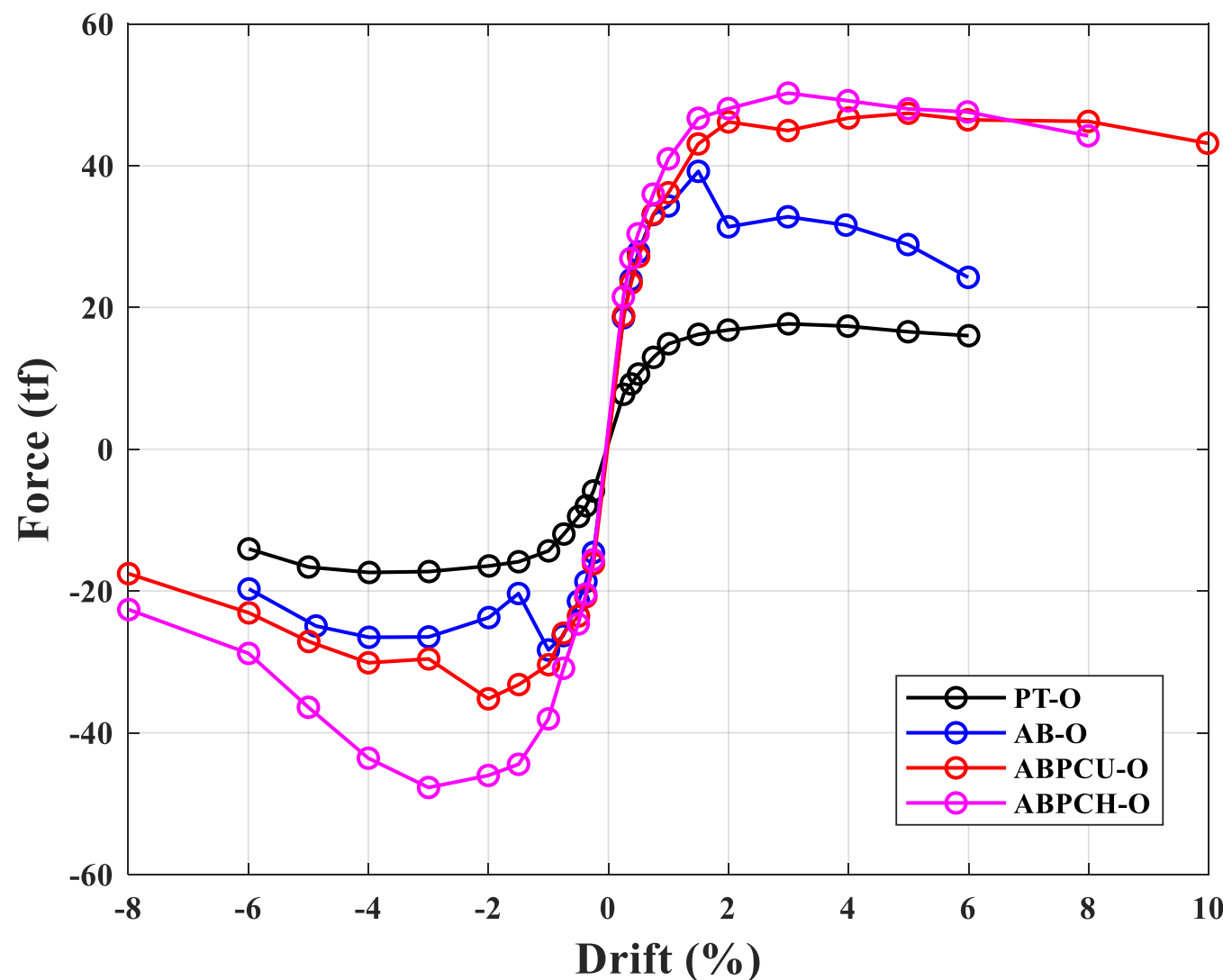
未補強

ABPCH-O

補強

補強後強度、勁度提升

補強後變形能力提升

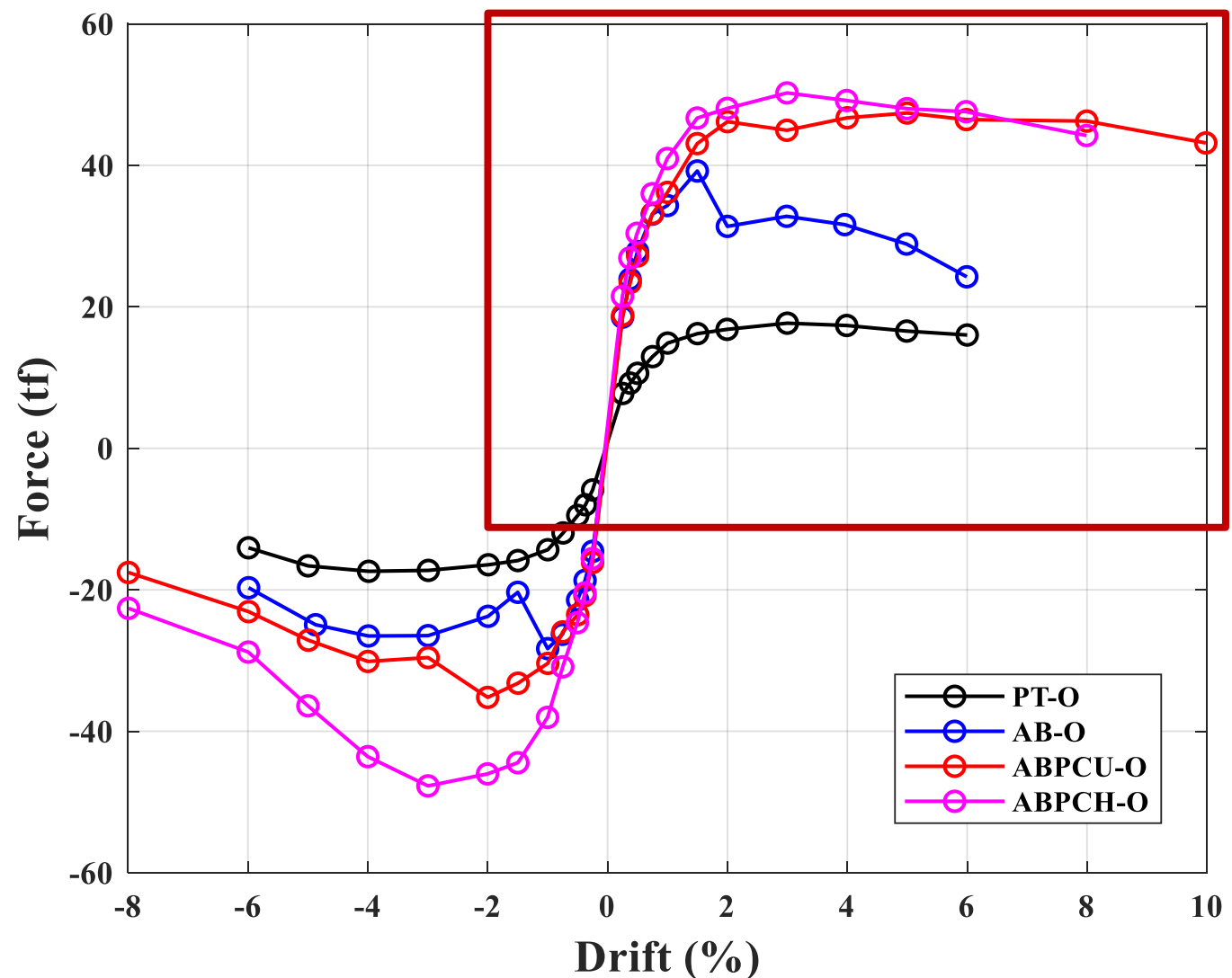


施作柱介面植筋之差異

AB-O ABPCU-O
未施作植筋 施作植筋

施作植筋強度提升

未施作植筋
初始勁度並不會比較低



閉合式箍筋與組合式箍筋
之差異

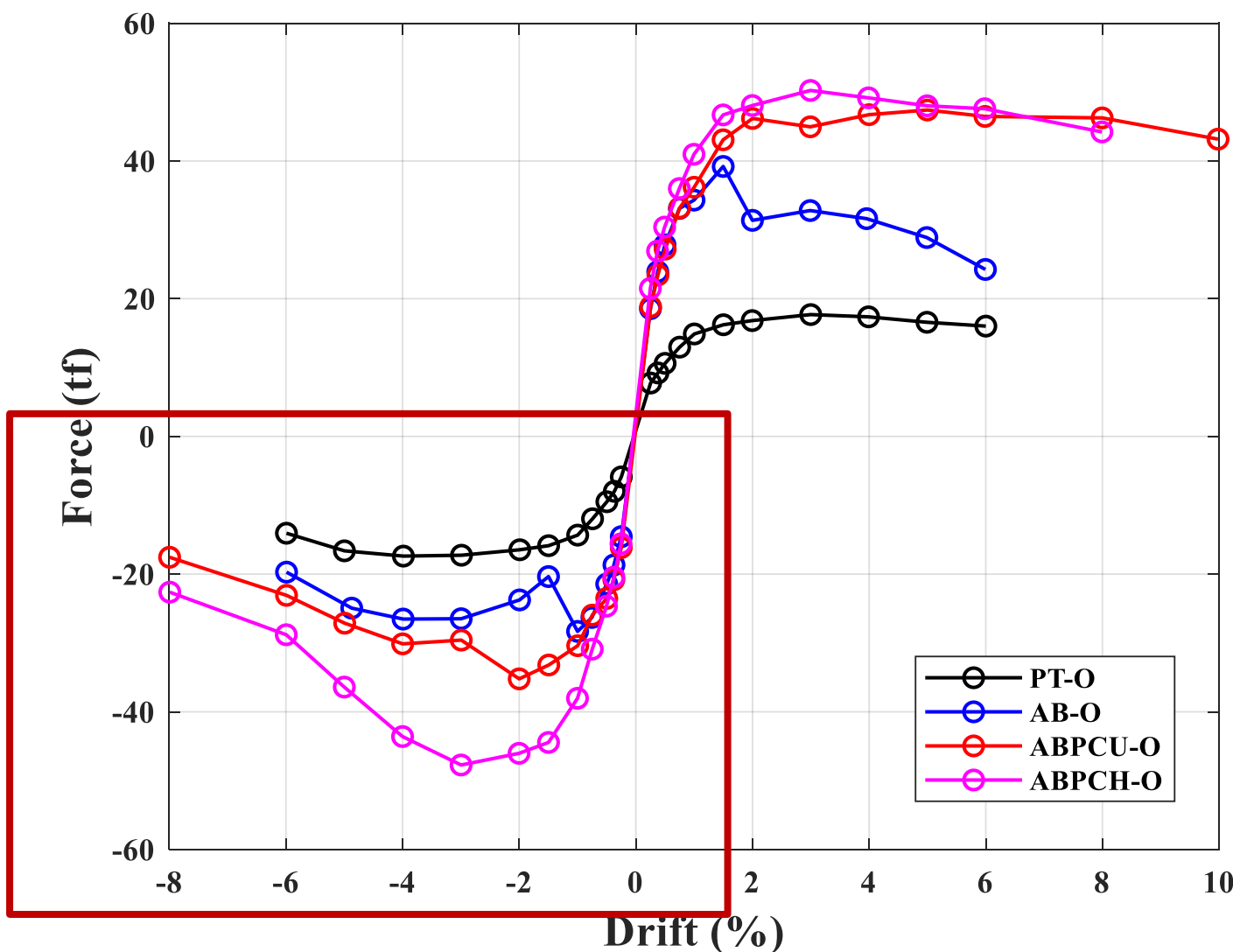
ABPCH-O

閉合式箍筋

ABPCU-O

組合式箍筋

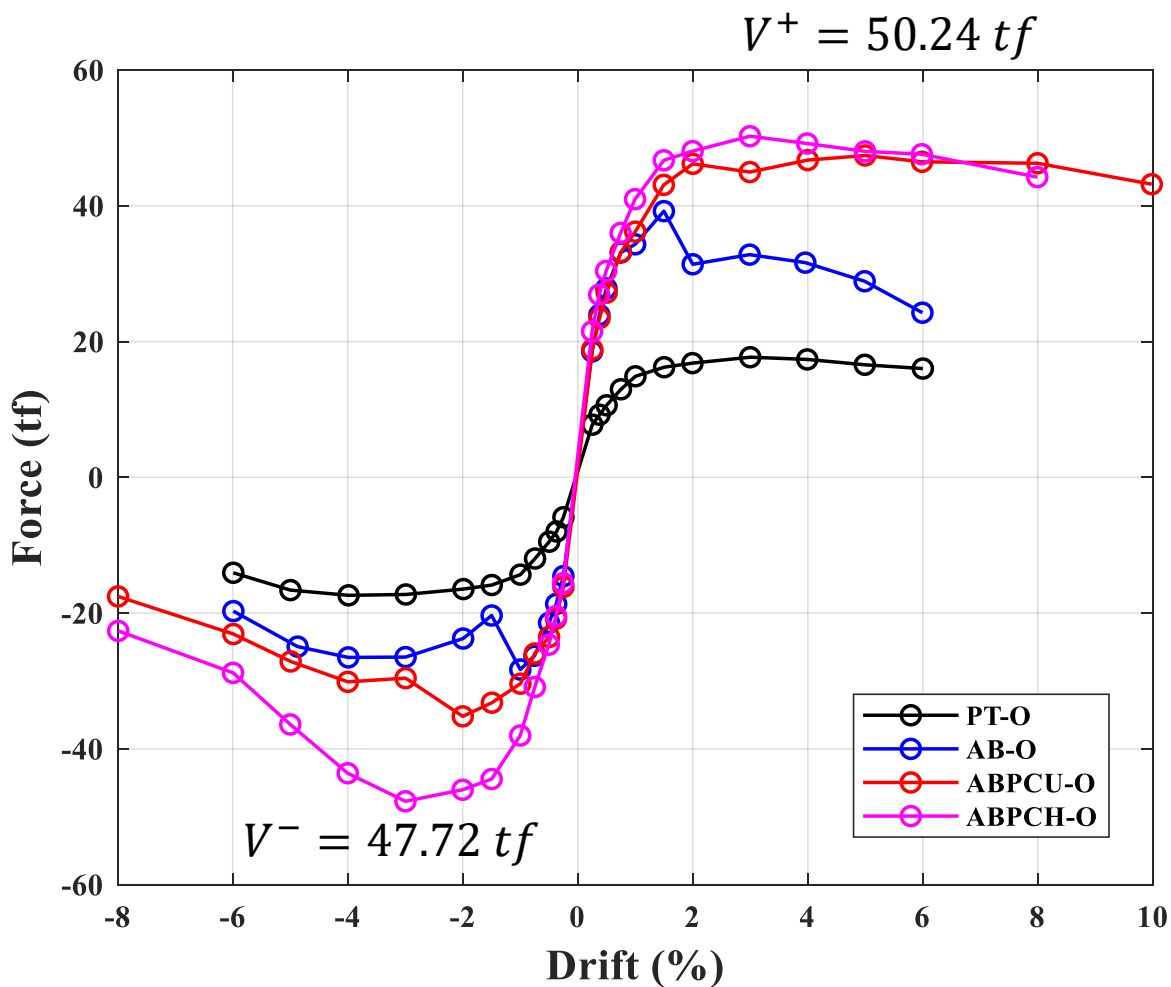
無顯著差異



施作基礎墊片之差異

ABPCH-O	ABPCU-O
閉合式箍筋	組合式箍筋
有墊片	無墊片

施作墊片強度較高



正負方向側推之差異

ABPCH-O ABPCH-O

正方向

負方向

正向最大強度較高

1. 非對稱斷面：與複合斷面
正負方向之斷面強度有關

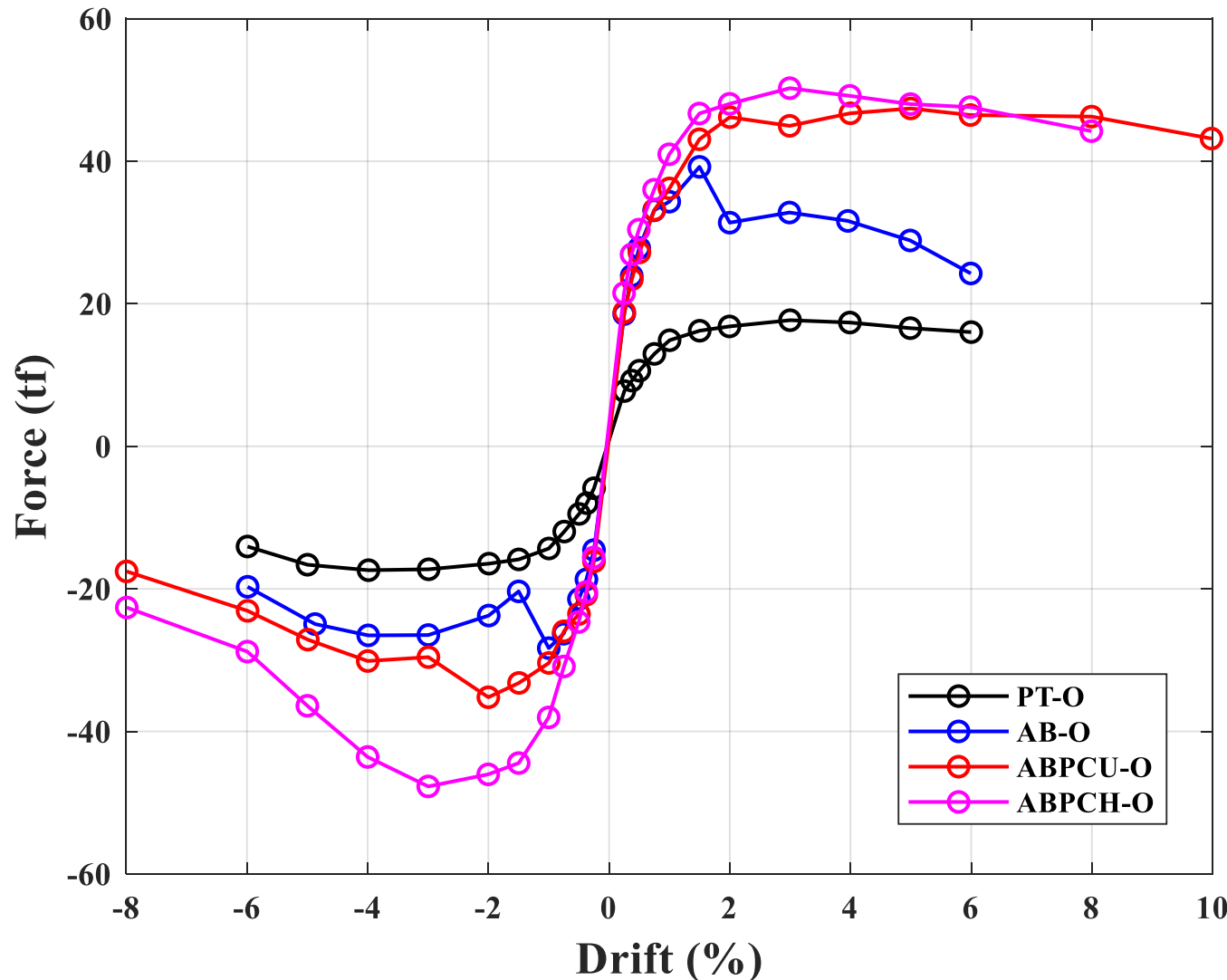
手算強度：

$$\begin{aligned} M^+ &= 142.86 \text{ tf} - \text{cm} \\ M^- &= -133.59 \text{ tf} - \text{cm} \end{aligned}$$
$$\frac{M^+}{M^-} = 0.94$$

合理

面外方向試驗

試體比較



正負方向側推之差異

ABPCH-O ABPCH-O

正方向

負方向

過強度點後
負方向強度衰減較多

1. 外加構架側基礎仍破壞
2. 既有柱嚴重損壞使混凝土無法形成壓力區

介面螺栓數設計

面內方向螺栓數量設計

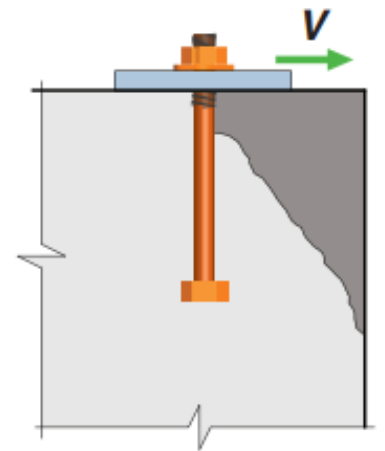
- 補強構架進行詳細評估
- 以外加構架到達最大強度點時之基底剪力作為設計需求($V_{max,in}$)

面內剪力方向

- 單根螺栓剪力強度:

$$V_{anchor} = \min(\phi_{vf} \mu A_s f_y, \phi_{sa} 0.6 A_b f_u)$$

- 螺栓數量: $n_{anchor,in} = \frac{1.25 V_{max,in}}{V_{anchor}}$



面外方向螺栓數量設計-拉力檢核

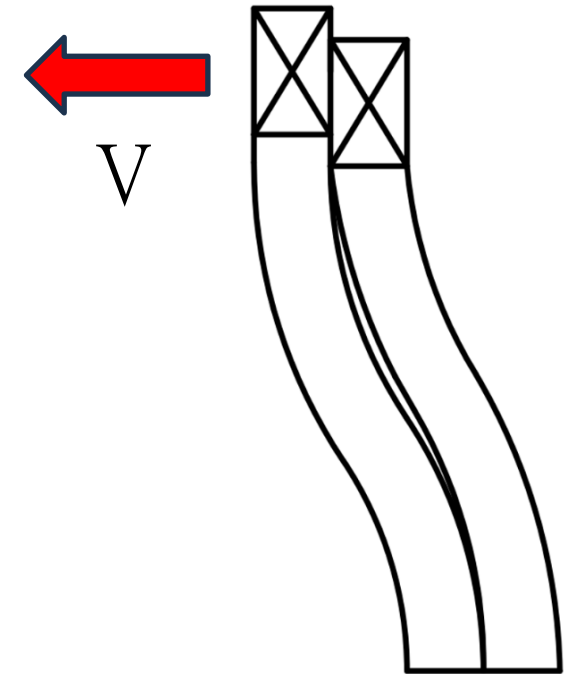
- 取新增柱之面外方向撓曲側向強度, 為最大拉

力強度需求 $V_{max,out}$

- 單根螺栓拉力強度:

$$N_{anchor} = \phi_n A_{se} f_{uta}$$

- 螺栓數量: $n_{anchor_n} = \frac{1.25 V_{max,out}}{N_{anchor}}$



面外方向螺栓數量設計-介面剪力檢核

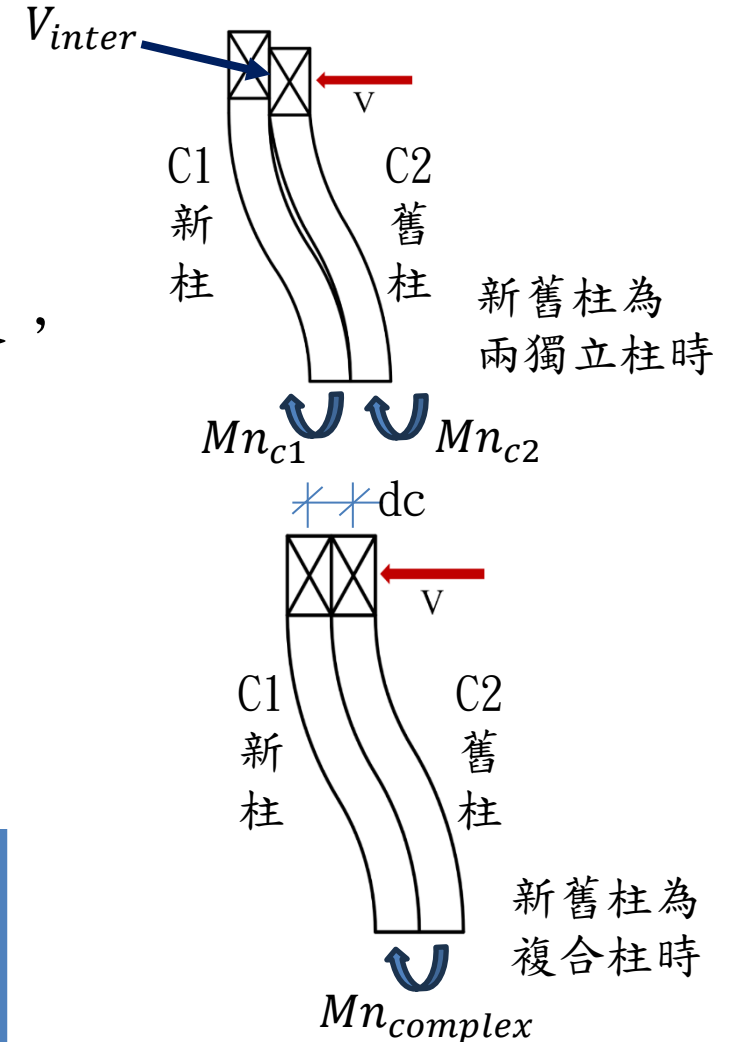
1. 計算複合柱斷面彎矩強度 $Mn_{complex}$
2. 計算個別柱斷面彎矩強度 Mn_{c1} 及 Mn_{c2}
3. 計算彎矩差值 $Mn_{diff} = (Mn_{complex} - (Mn_{c1} + Mn_{c2}))$
4. 設柱心距離為 d_c ，將彎矩差值除以 d_c 即為介面剪力需求，
即 $V_{inter} = Mn_{diff} / d_c$
5. 單根螺栓剪力強度：

$$V_{anchor} = \min(\phi_{vf} \mu A_s f_y, \phi_{sa} 0.6 A_b f_u)$$

則螺栓數需求 $n_{anchor_vo} = V_{inter} / V_{anchor}$

綜合前述，螺栓數需求

$$n_{anchor} = \max(n_{anchor_in}, n_{anchor_n}, n_{anchor_vo})$$



參考圖說

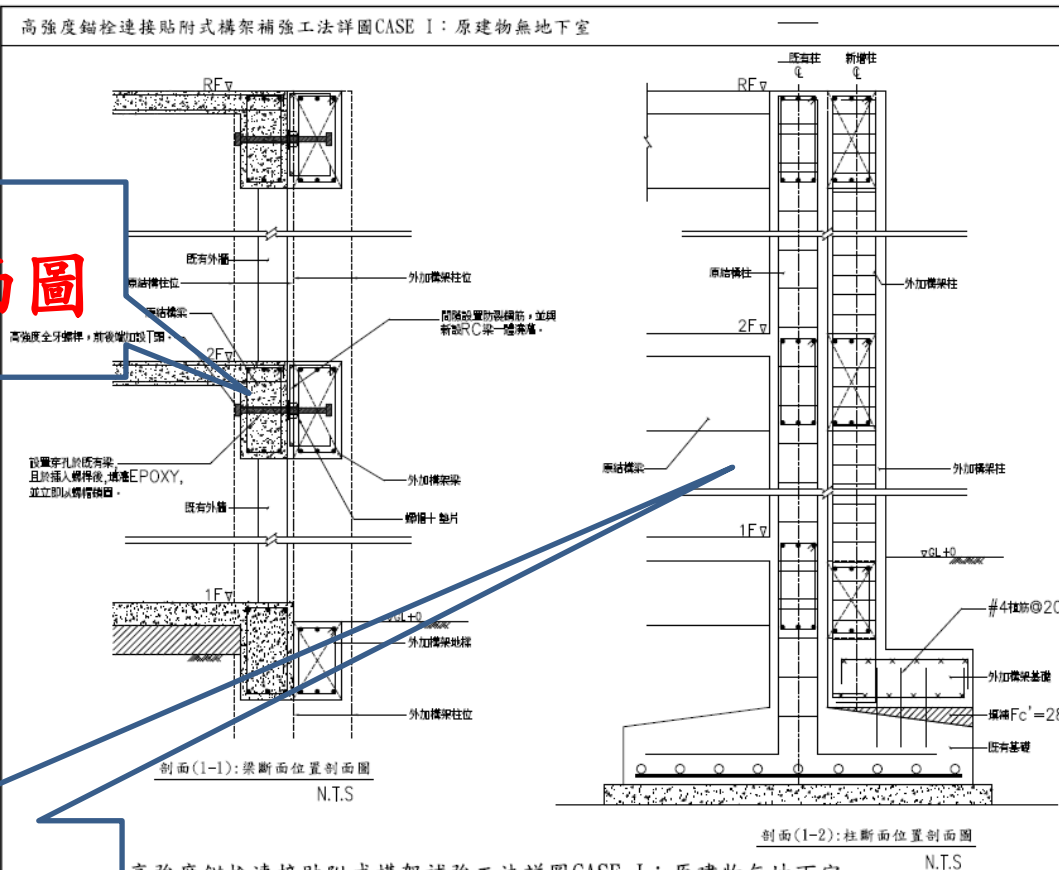
參考圖說

圖說(S1-01)

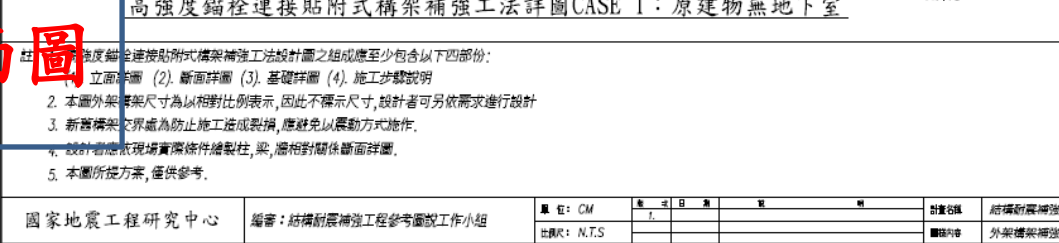
NAR Labs

外加構架補強工法詳圖CASE I：原建物無地下室

梁位置剖面圖



柱位置剖面圖

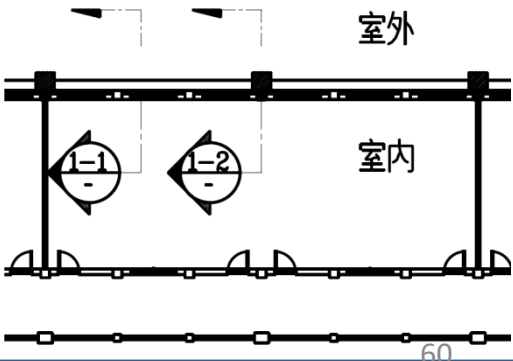
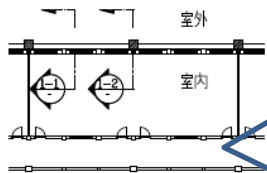


施工步驟

施工步驟說明

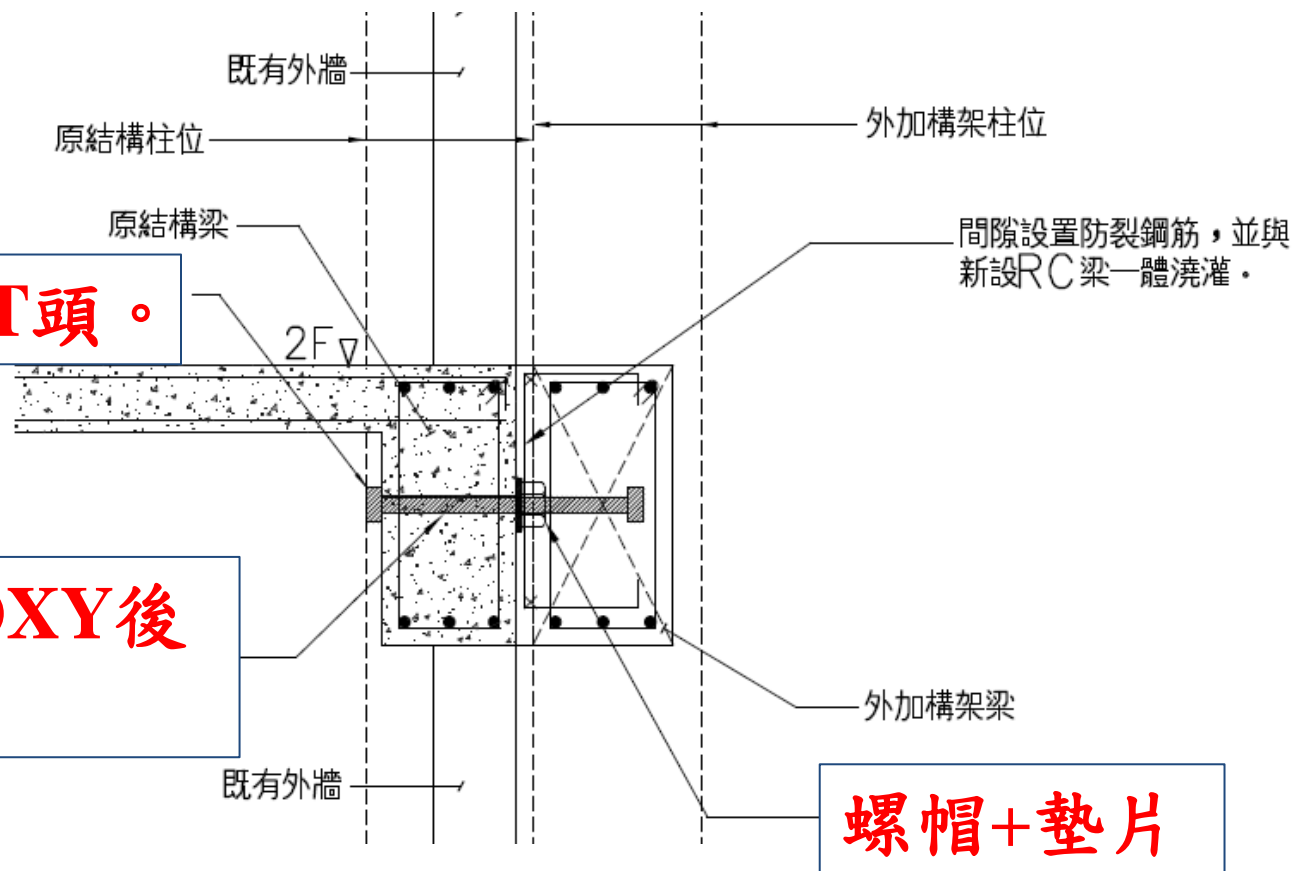
- A. 鋼筋及混凝土材料強度如下：
- (一) 混凝土： $f'c=280\text{Kg}/\text{cm}^2$
 - (二) 鋼筋： $f_y=2800\text{Kg}/\text{cm}^2$ (#3~#5)
 $f_y=4200\text{Kg}/\text{cm}^2$ (#6~#10)
- B. 材料：
- 採用高強度全牙螺絲，其強度應符合ASTM A325或同等強度之螺絲，其強度應達 $6400\text{Kg}/\text{cm}^2$ 以上。
 - 丁頭及螺絲應埋入外加構架範圍外，應先進行封閉處理。
- 施工步驟說明：
1. 防護施工之管線及設施先行遷移。
 2. 根據施工圖說或非破壞性檢測結果，在既有梁腹內預留開孔位置。
 3. 依設計位置由梁內預留孔向外打穿既有構架之鋼筋。
 4. 將帶有螺絲或丁頭的螺絲穿入開孔後，填灌EPOXY。
 5. 在既有構架外側面螺絲上螺絲以固定螺絲。
 6. 螺絲末端螺絲上丁頭固定螺絲。
 7. 一般螺絲外側面有兩道部分螺絲，以便外加構架柱通過。
 8. 一般螺絲外加構架梁上方既有兩道部分螺絲。
 9. 外加構架鋼筋綁紮。
 10. 外加構架鋼筋綁紮。
 11. 外加構架混凝土澆置，最大拉徑不可超過13mm，是混凝土澆置前應先澆置表面。
 12. 既有梁之螺絲孔應使用無收縮水泥砂漿或混凝土填充修補，避免螺絲生鏽。
 13. 螺絲孔應用水泥砂漿或灰泥填塞有外層。
 14. 若有拆除或改裝之管線或設施，應使原並恢復原有功能。

圖例：

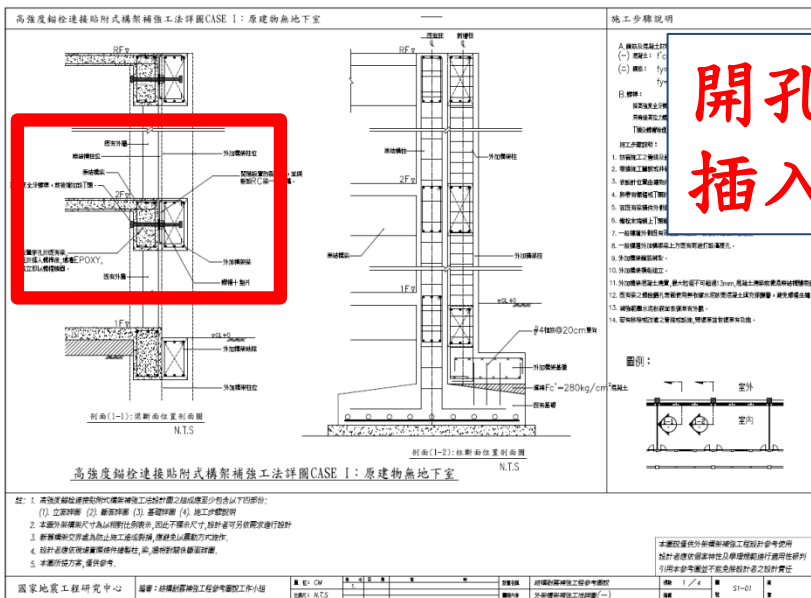


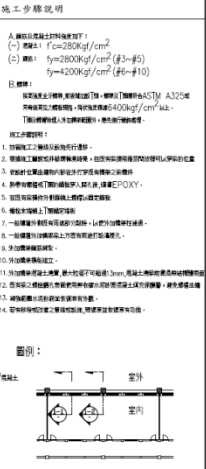
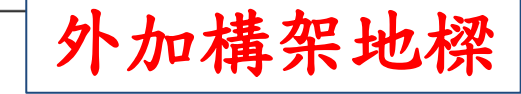
參考圖說 外加構架補強工法詳圖(S1-01)-1

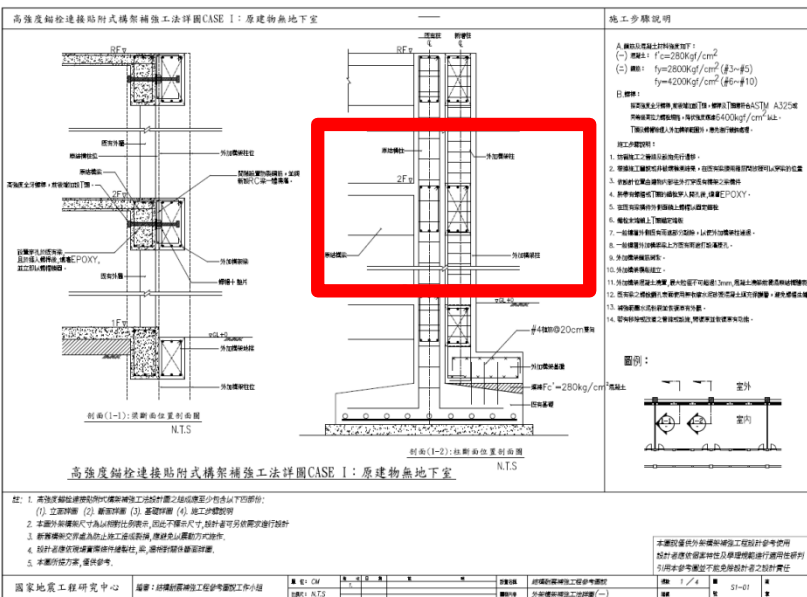
高強度全牙螺桿，前後端加設T頭。



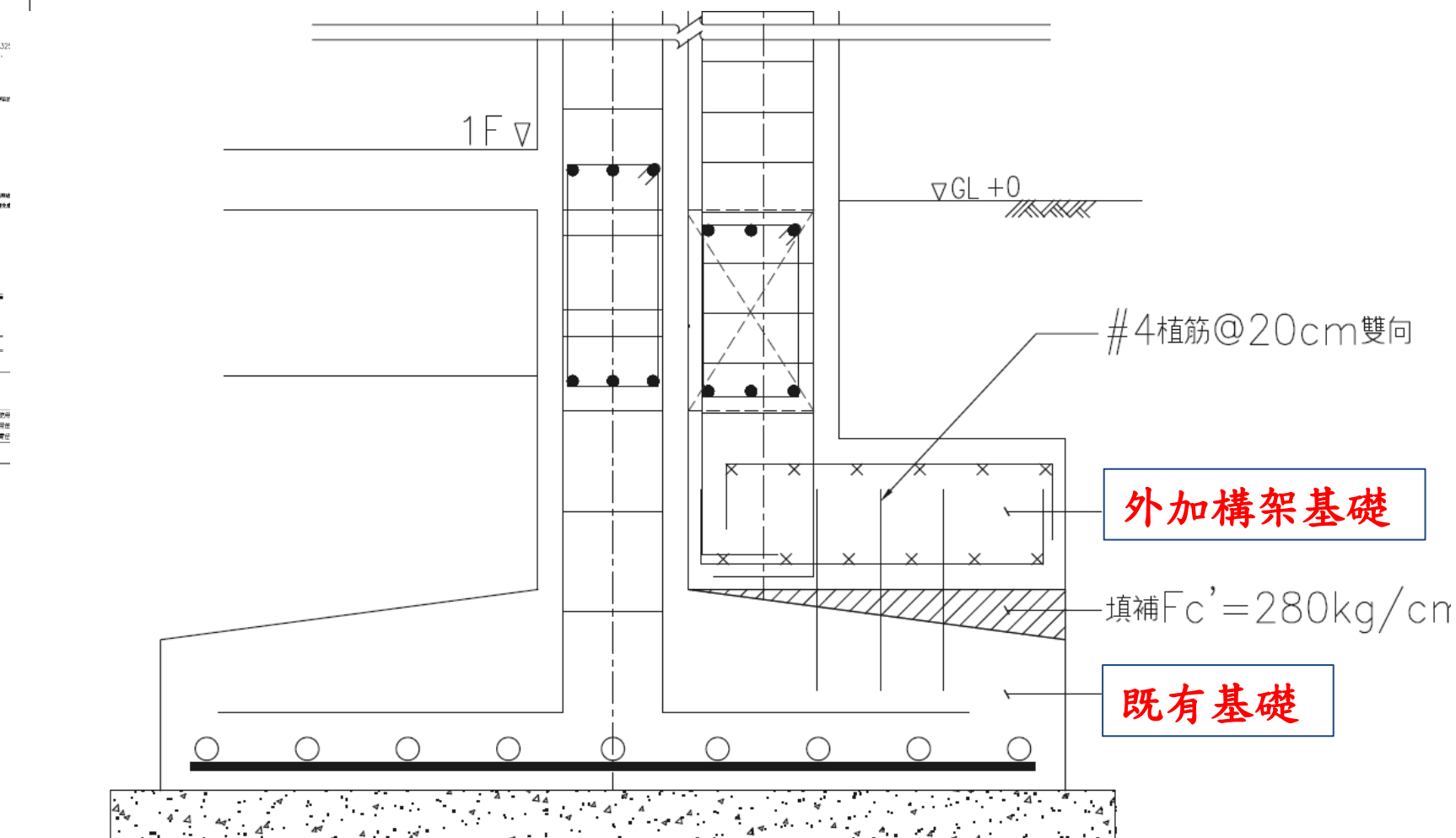
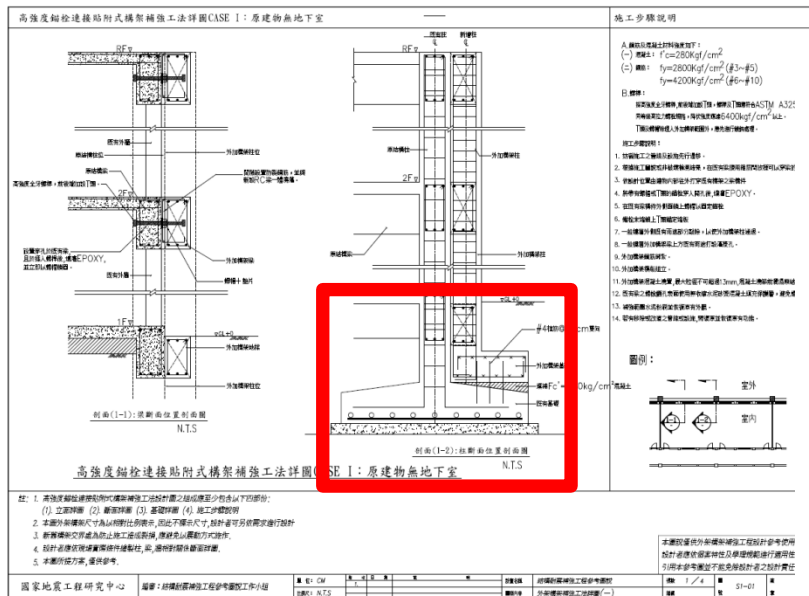
開孔填灌EPOXY後
插入螺桿



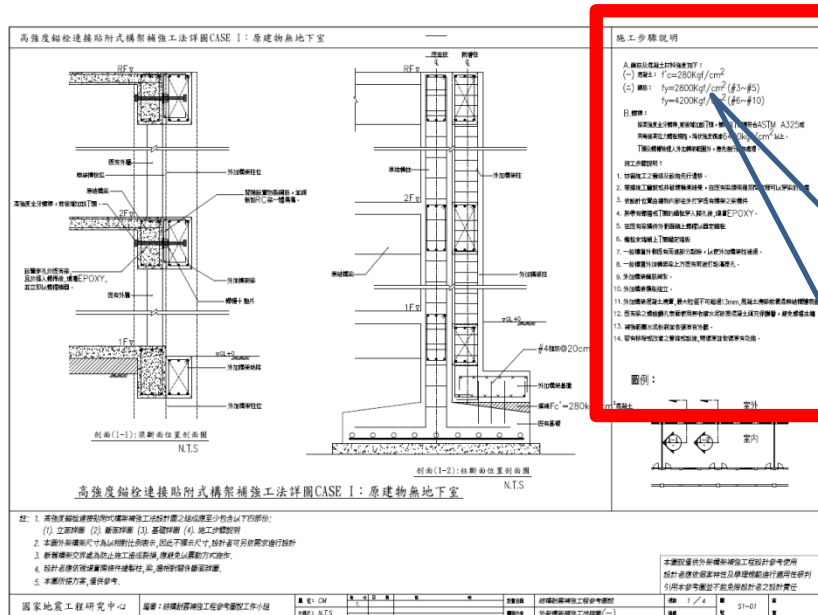




參考圖說 外加構架補強工法詳圖(S1-01)-4



參考圖說 外加構架補強工法詳圖(S1-01)-5



A. 鋼筋及混凝土材料強度如下：

(一) 混凝土： $f'_c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$

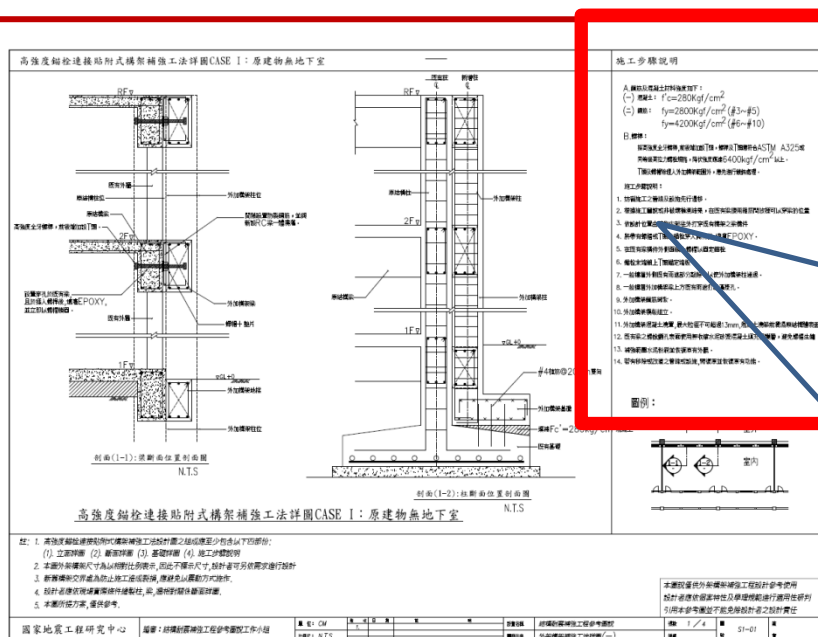
(二) 鋼筋： $f_y = 2800 \text{ Kgf/cm}^2$ (#3~#5)
 $f_y = 4200 \text{ Kgf/cm}^2$ (#6~#10)

B. 螺桿：

採高強度全牙螺桿，前後端加設T頭，螺桿及T頭應符合ASTM A325或同等級高拉力螺栓規格，降伏強度應達 6400 kgf/cm^2 以上。

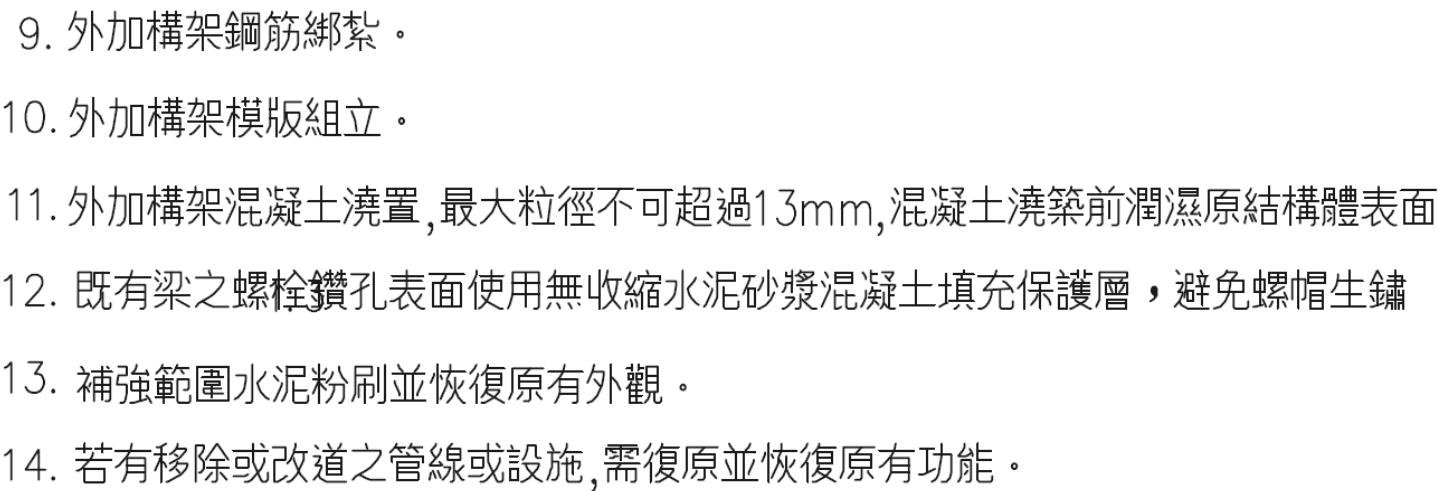
T頭及螺帽除埋入外加構架範圍外，應先進行鍍鋅處理。

參考圖說 外加構架補強工法詳圖(S1-01)-6



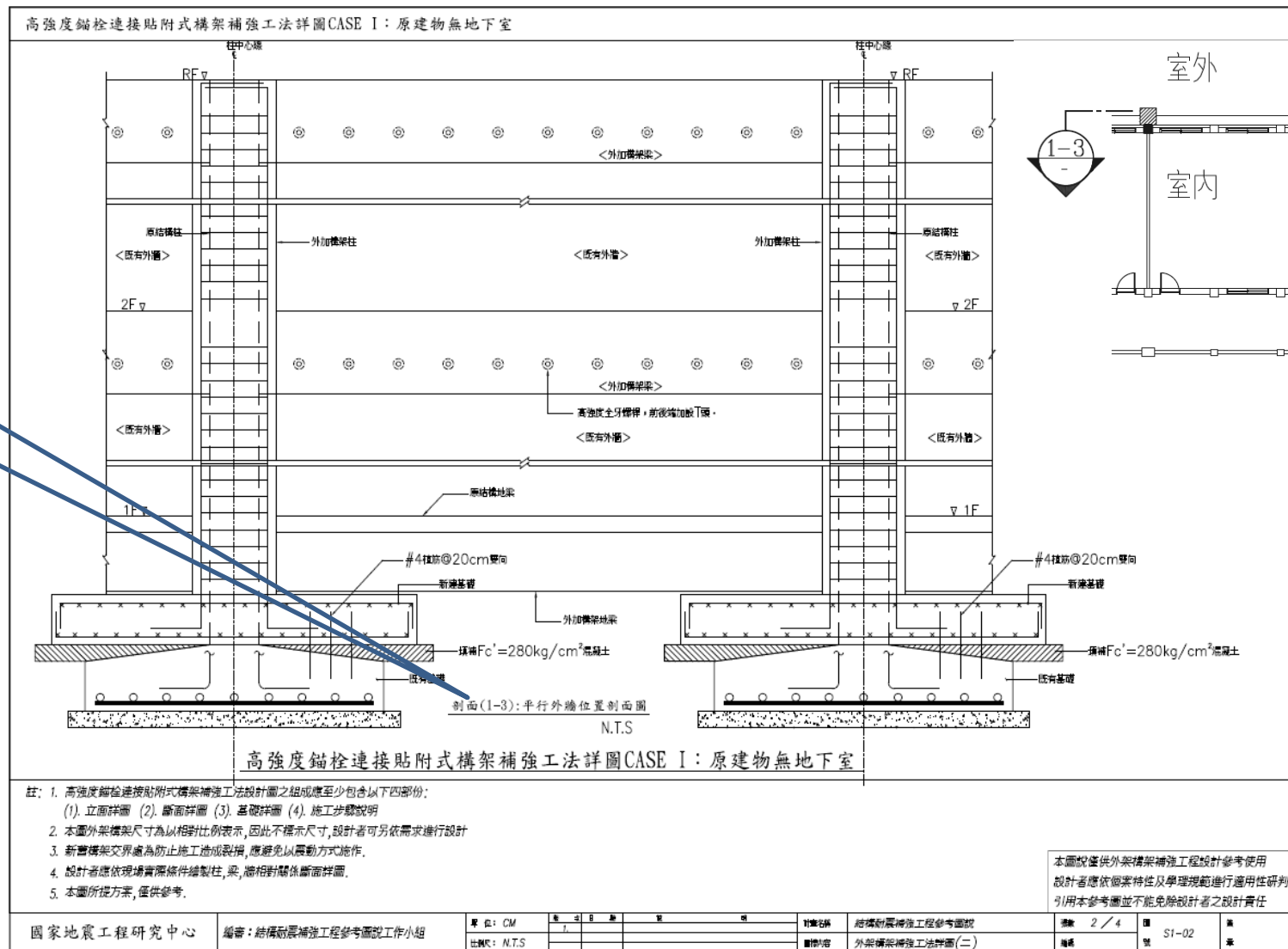
施工步驟說明：

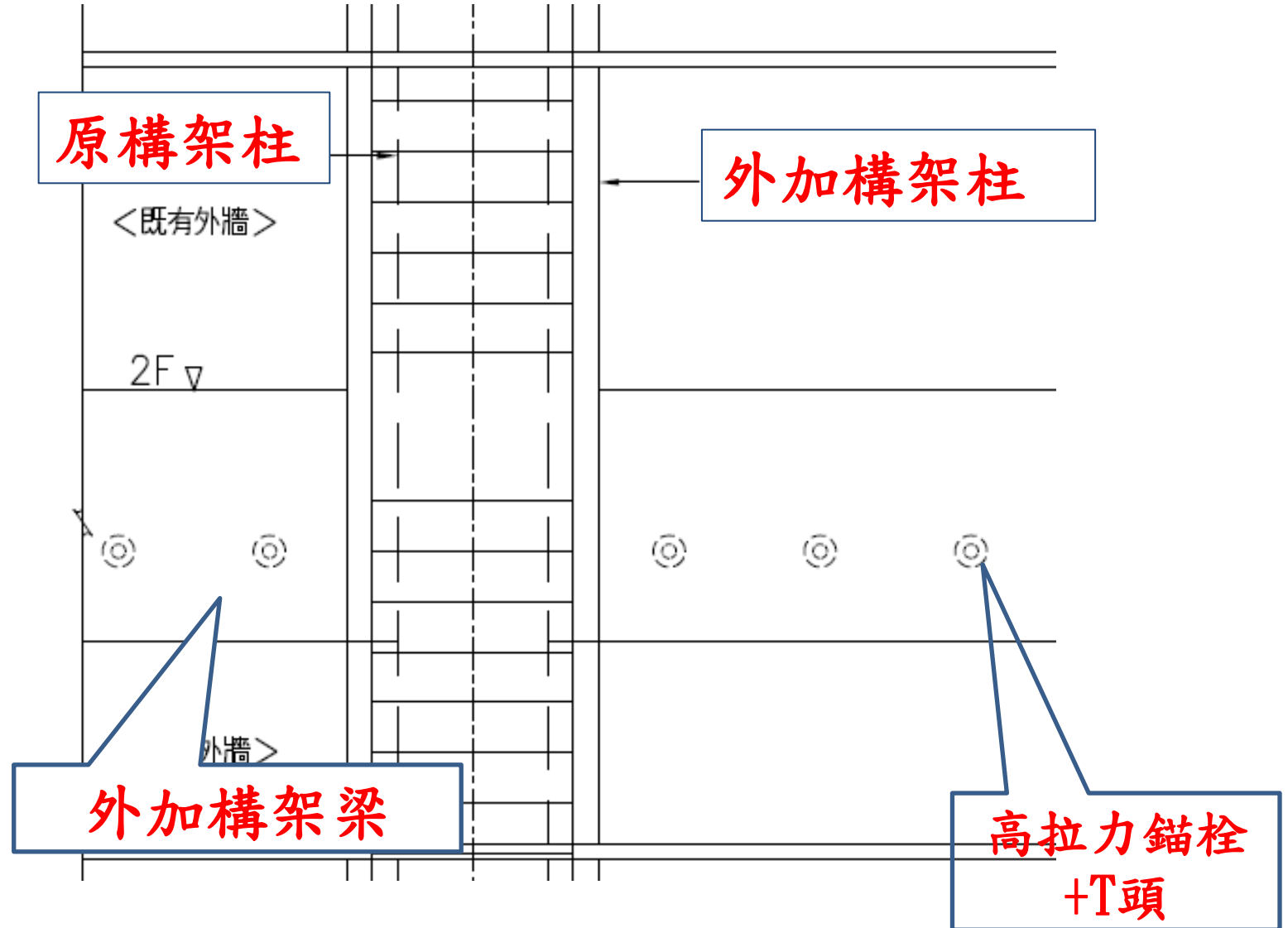
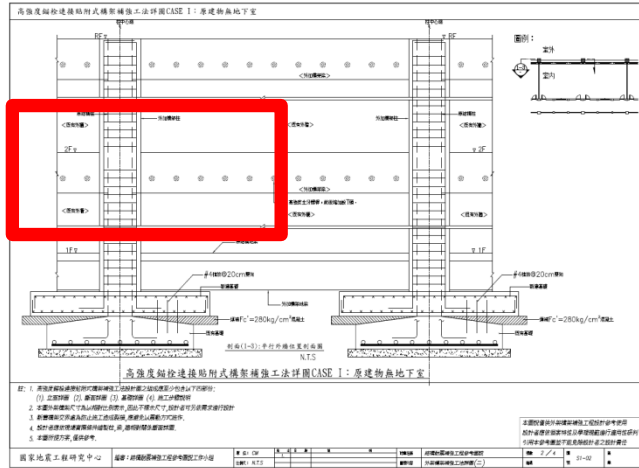
1. 妨礙施工之管線及設施先行遷移。
2. 根據施工圖說或非破壞檢測結果，在既有梁腹兩箍筋間放樣可以穿梁的位置。
3. 依設計位置由建物內部往外打穿既有構架之梁構件。
4. 將帶有螺帽或T頭的錨栓穿入開孔後，填灌EPOXY。
5. 在既有梁構件外側面鎖上螺帽以固定錨栓。
6. 錨栓末端鎖上T頭錨定端板。
7. 一般樓層外側既有雨遮部分敲除，以使外加構架柱通過。
8. 一般樓層外加構架梁上方既有雨遮打設灌漿孔。

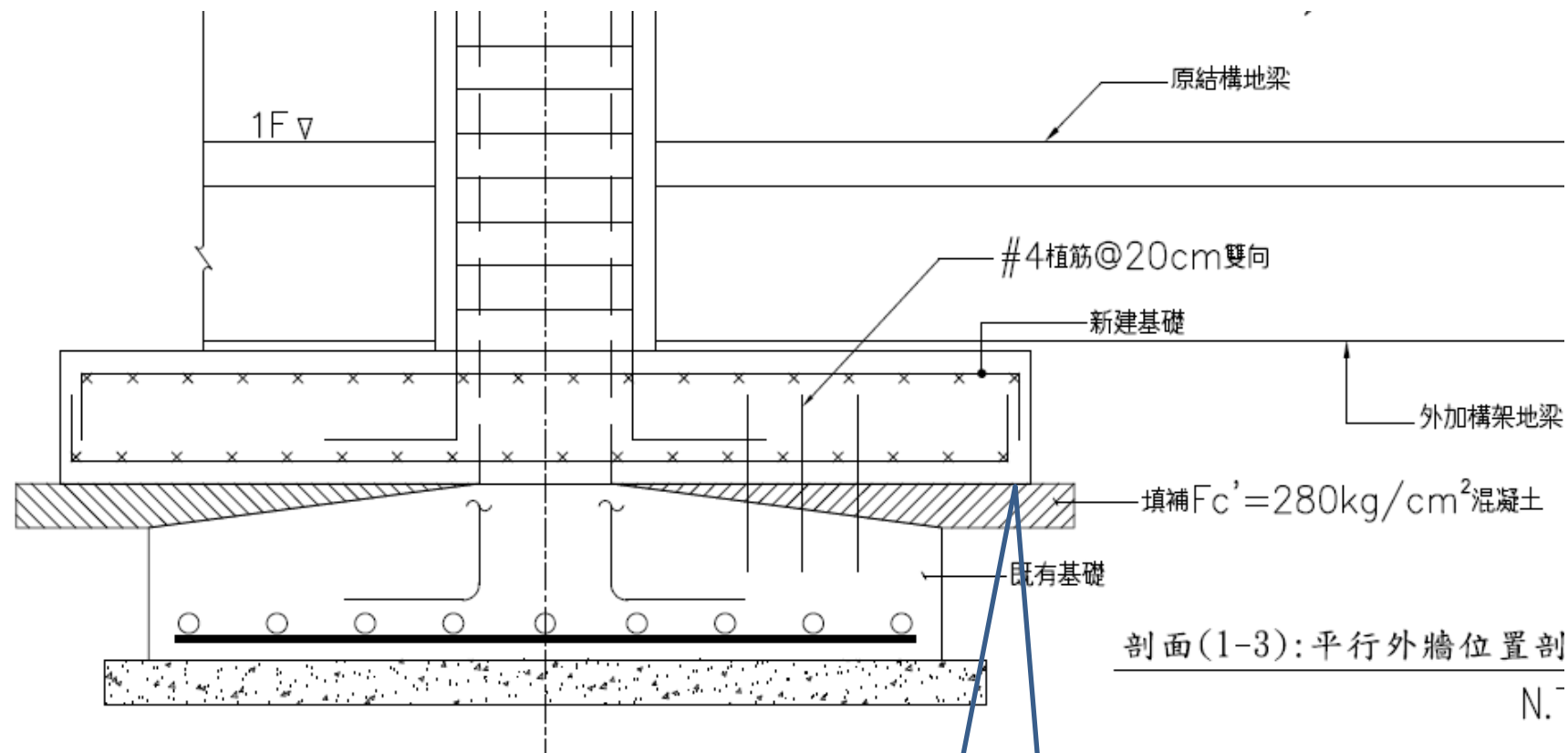
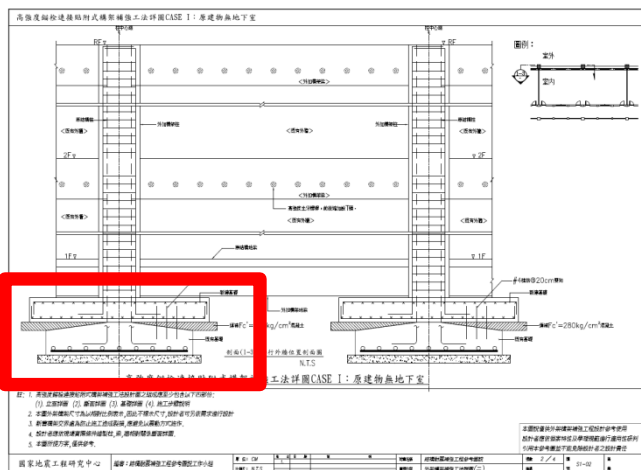


外加構架補強工法詳圖CASE I：原建物無地下室

平行外牆位置剖面圖





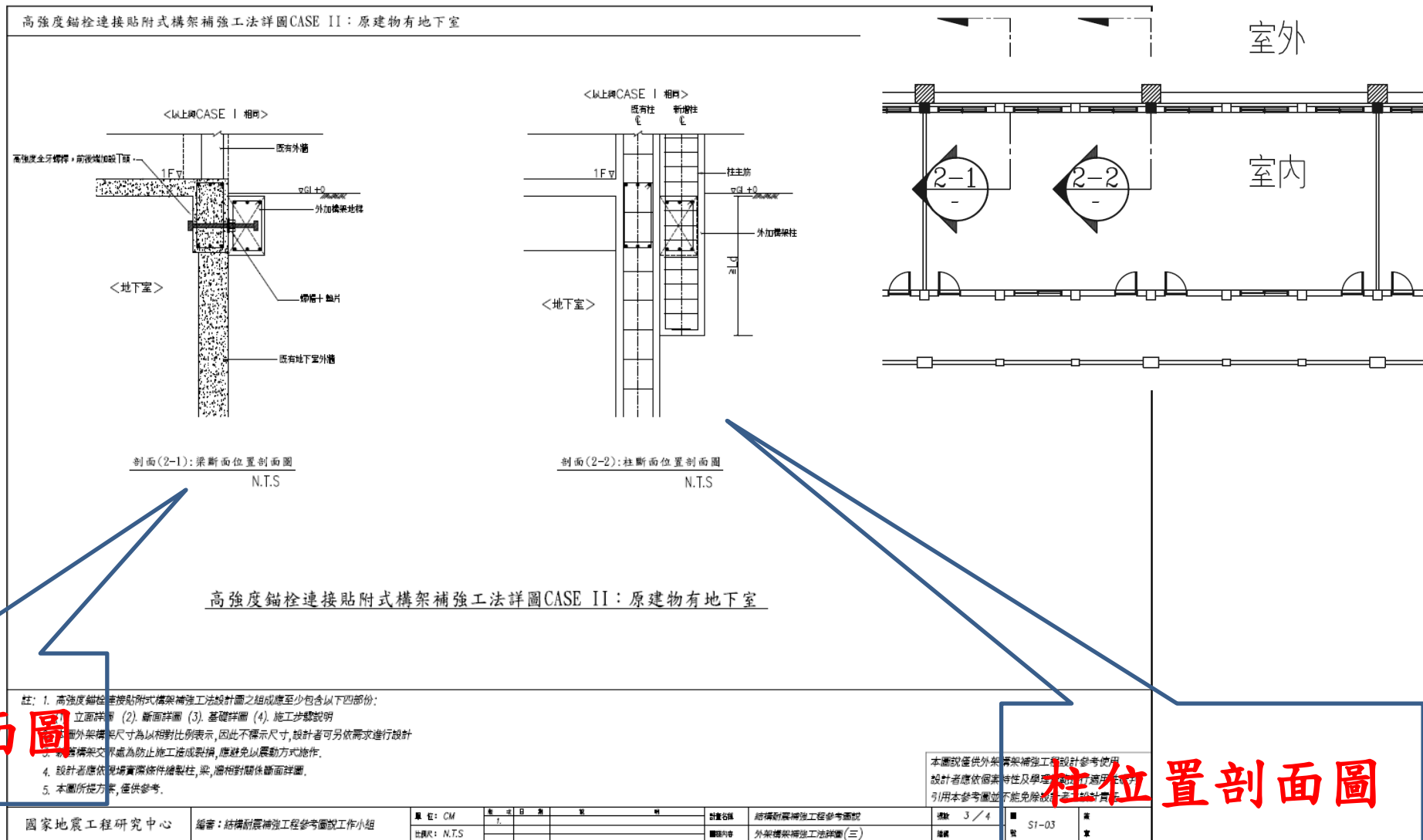


外加構架基礎

參考圖說

圖說(S1-03)

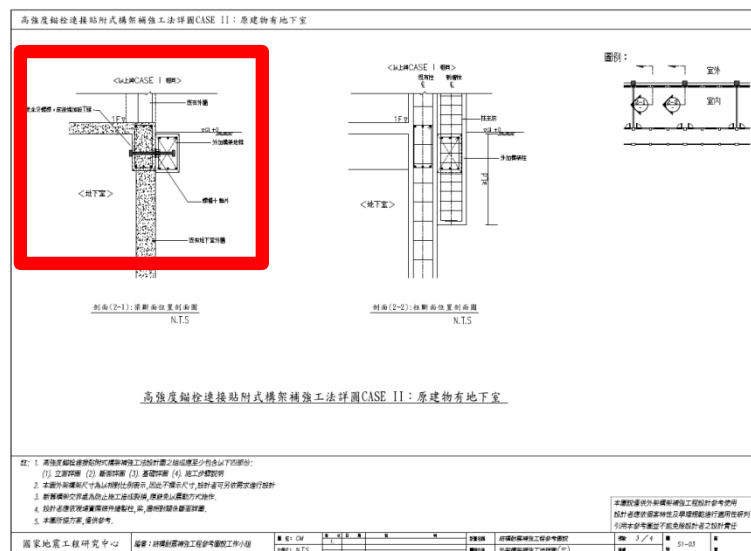
外加構架補強工法詳圖CASE II：原建物有地下室



梁位置剖面圖

柱位置剖面圖

梁位置剖面圖



高強度全牙螺桿，前後端加設T頭。

<以上與CASE I 相同>

既有外牆

1F ▽

▽GL +0

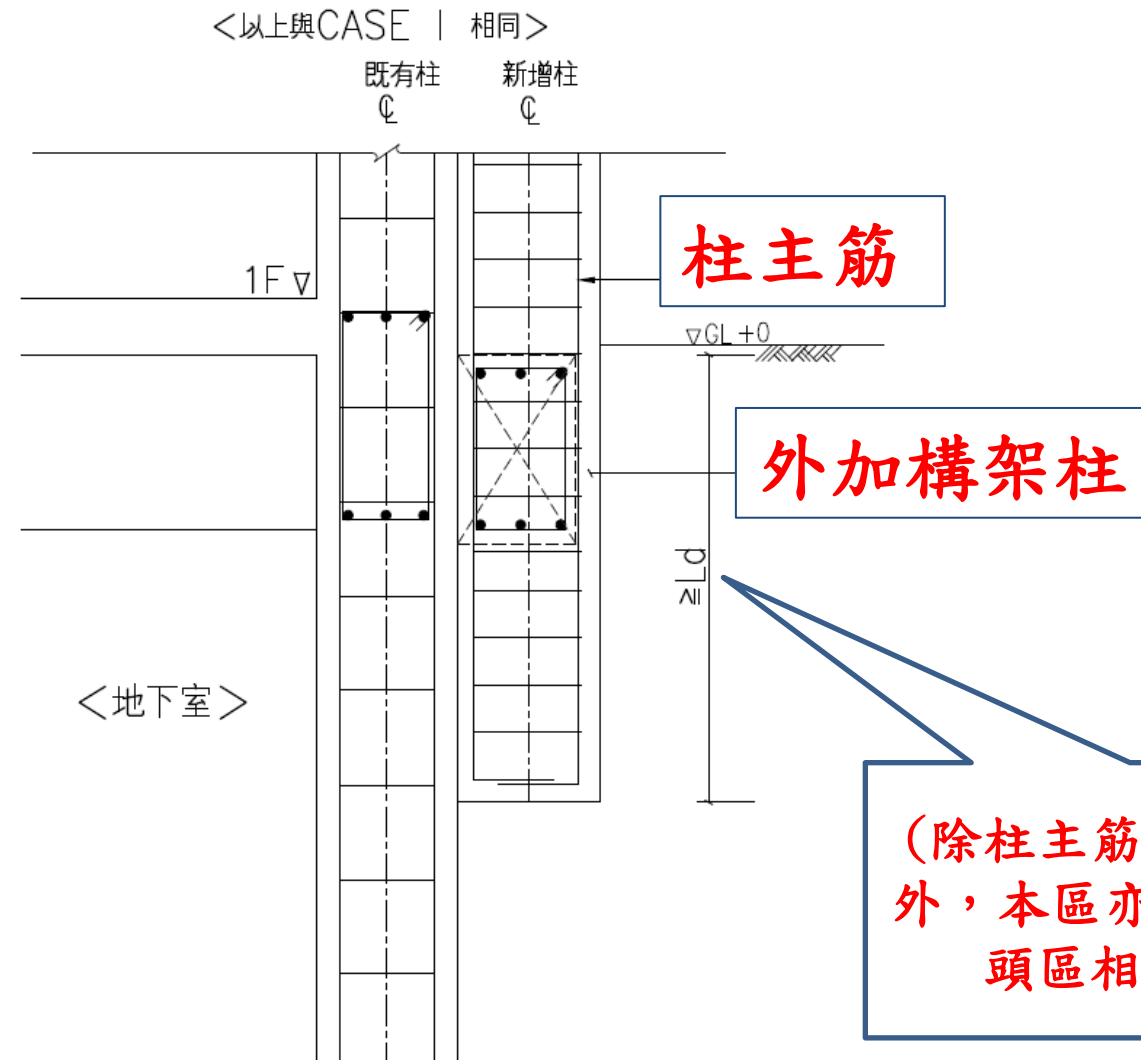
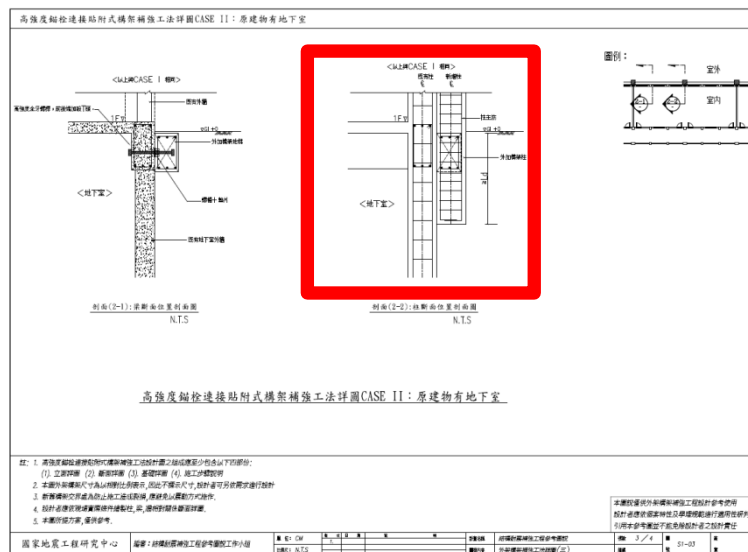
外加構架地樑

<地下室>

螺帽+墊片

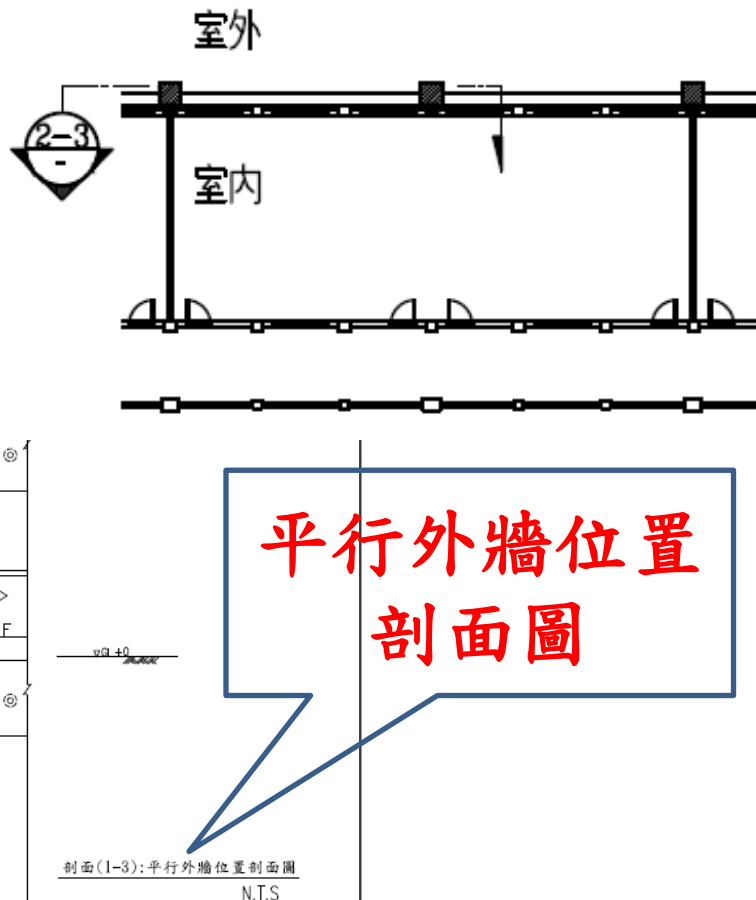
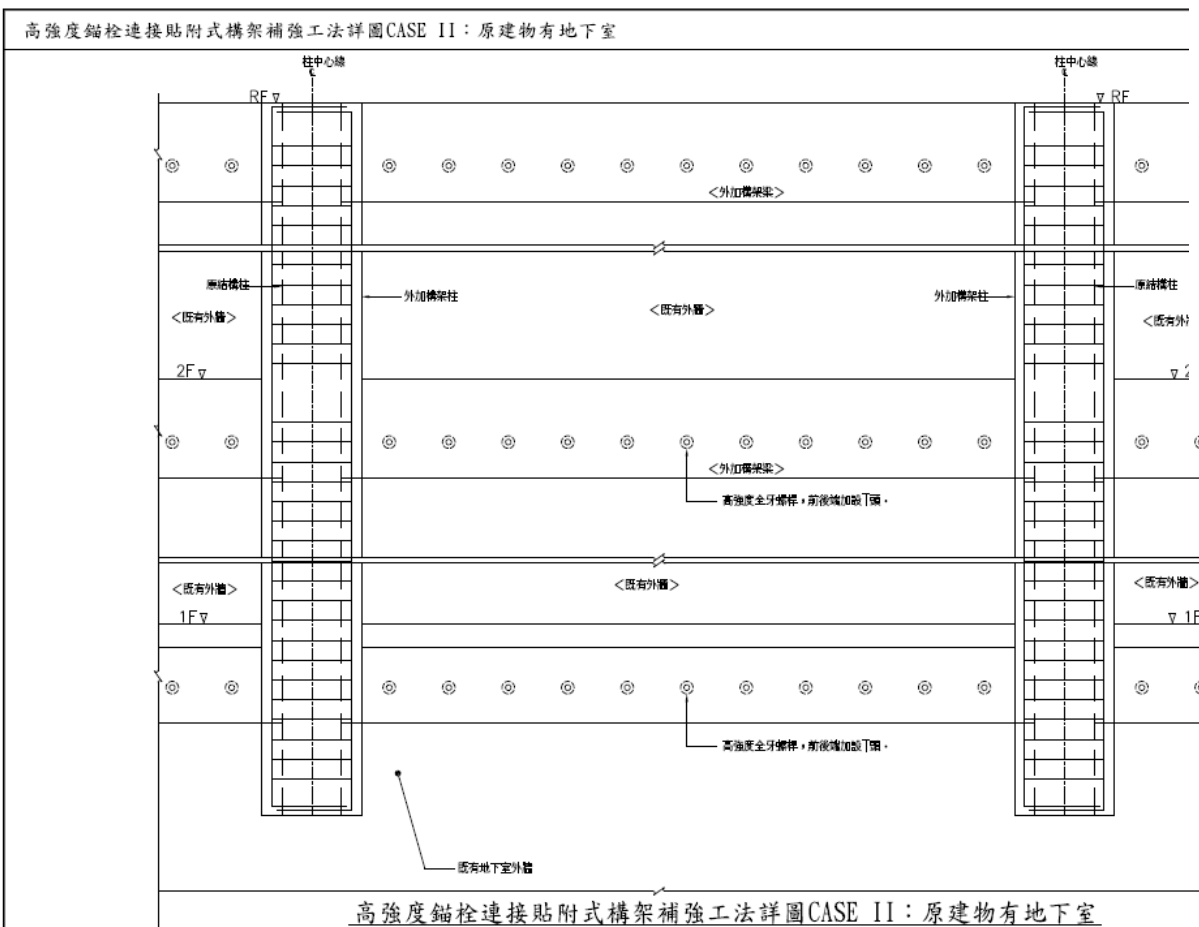
既有地下室外牆

柱位置剖面圖



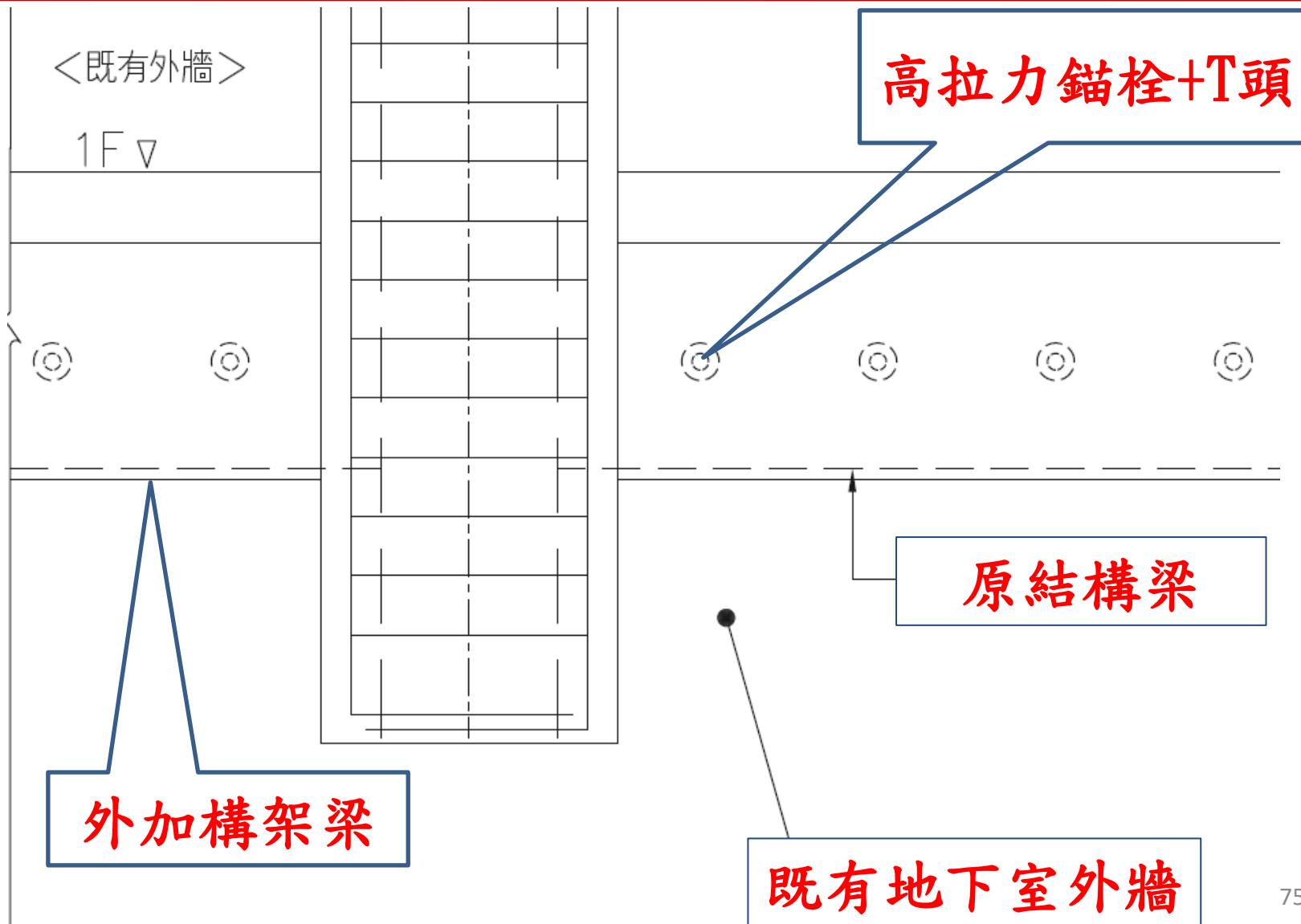
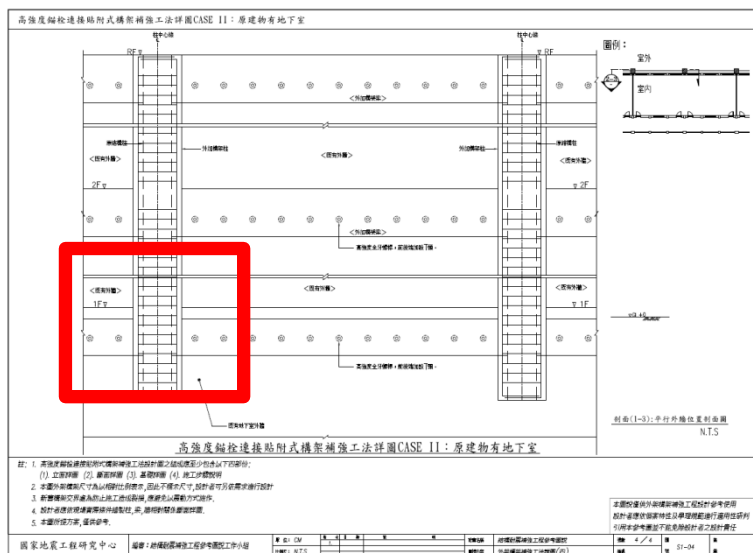
(除柱主筋應達伸展長度外，本區亦應符合梁柱接頭區相關規範。)

外加構架補強工法詳圖CASE II：原建物有地下室



- 註：1. 高強度錨栓連接貼附式構架補強工法設計圖之組成應至少包含以下四部份：
(1). 立面詳圖 (2). 斷面詳圖 (3). 基礎詳圖 (4). 施工步驟說明
2. 本圖外架構架尺寸為以相對比例表示，因此不標尺寸，設計者可另依需求進行設計
3. 新舊構架交界處為防止施工造成裂損，應避免以震動方式施作。
4. 設計者應依現場實際條件繪製柱、梁、牆相對關係斷面詳圖。
5. 本圖所提方案，僅供參考。

本圖說僅供外架構架補強工程設計參考使用
設計者應依實際特性及學理規範進行適用性研判
引用本參考圖說不能免除設計者之設計責任



參考文獻

- 邱聰智，梁瀨芳，李梓綸，鍾立來，賴昱志，鄧凱文，"高強度錨栓連接貼附式構架補強面內行為試驗"，國家地震工程研究中心，NCREE-22-005，臺北，2022。
- 李梓綸，邱聰智，鍾立來，鄧凱文，梁瀨方，賴昱志，"高強度錨栓連接貼附式構架補強面內行為試驗。" 中華民國第十六屆結構工程研討會暨第六屆地震工程研討會，台北，2022, Paper No. 12960.
- 梁瀨方，李梓綸，鍾立來，邱聰智，賴昱志，鄧凱文，"結構耐震補強：以高強度錨栓連接外加RC構架之工法。" 技師報1287期，2021.
- 梁瀨方，"以高強度錨栓連接外加RC構架之補強工法"，國立臺灣大學土木工程學研究所，2021。
- 李梓綸，"高拉螺栓連結貼附式構架補強之面外行為研究"，國立臺灣大學土木工程學系，2022。

感謝聆聽~