

UHPC 超高性能混凝土案例分享



施忠賢 結構技師

2023/11/17

高雄市立高雄女子高級中學 校門新建工程



這樣的設計 結構該如何思考？





日本岡山 J terrace cafe



嘉義車站站前廣場

UHPC材料特性

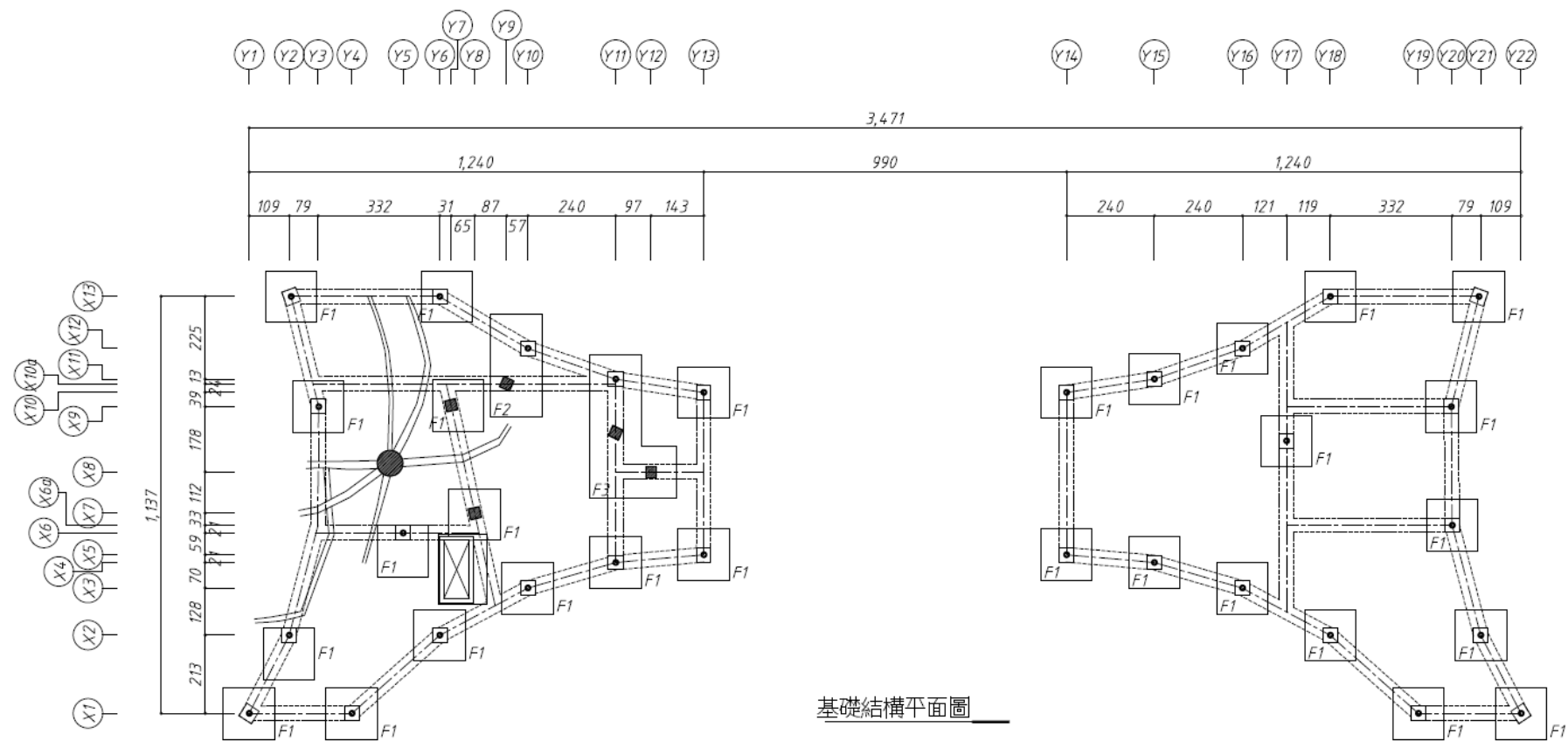
- 高流動性
- 優異力學性
- 優良之裂縫抑制能力
- 優異耐久性
- 提高結構物使用年限
- 減少修繕成本



設計過程



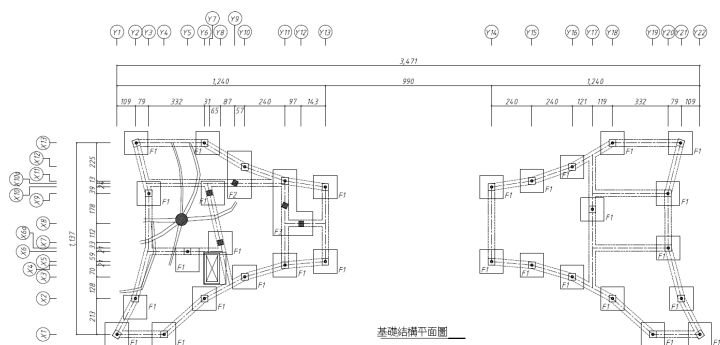
基礎結構平面圖



基礎結構平面圖

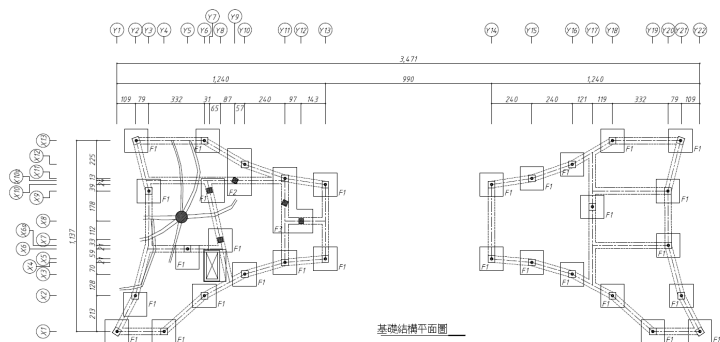
為使樹根透氣，地梁設計40x20且不與土壤接觸

基礎結構平面圖



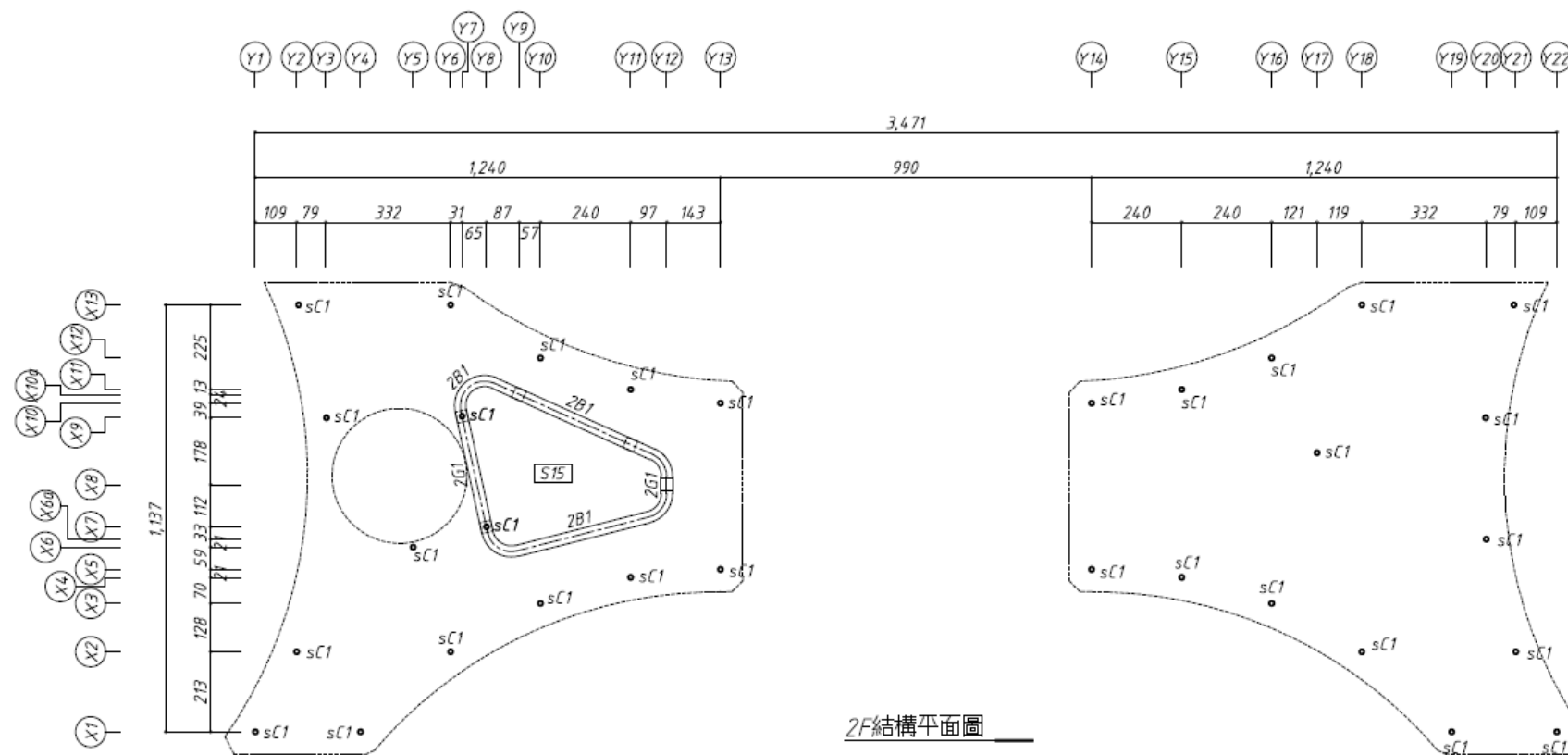
基礎為獨立基礎

基礎結構平面圖



為使樹根透氣，地梁設計40x20且不與土壤接觸

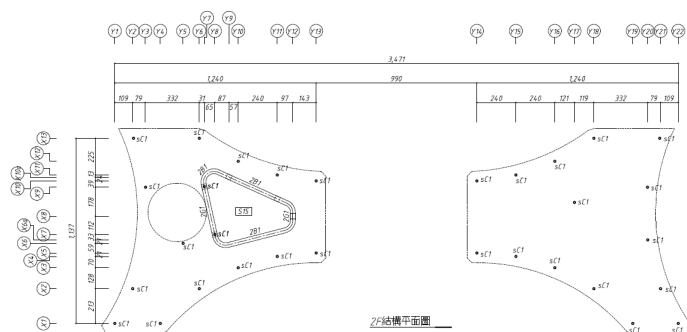
一樓結構平面圖



2F結構平面圖

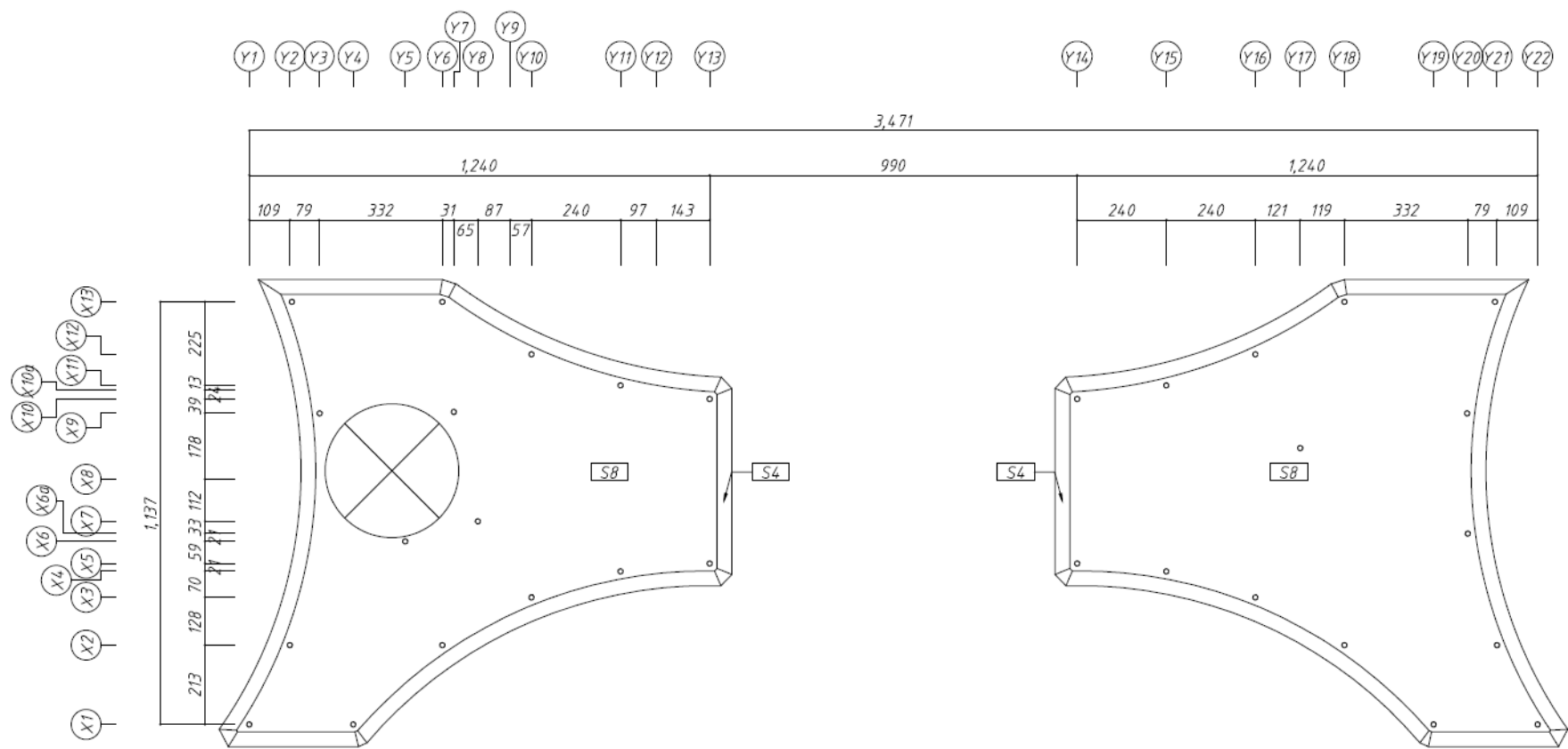
警衛室為一般混凝土

一樓結構平面圖

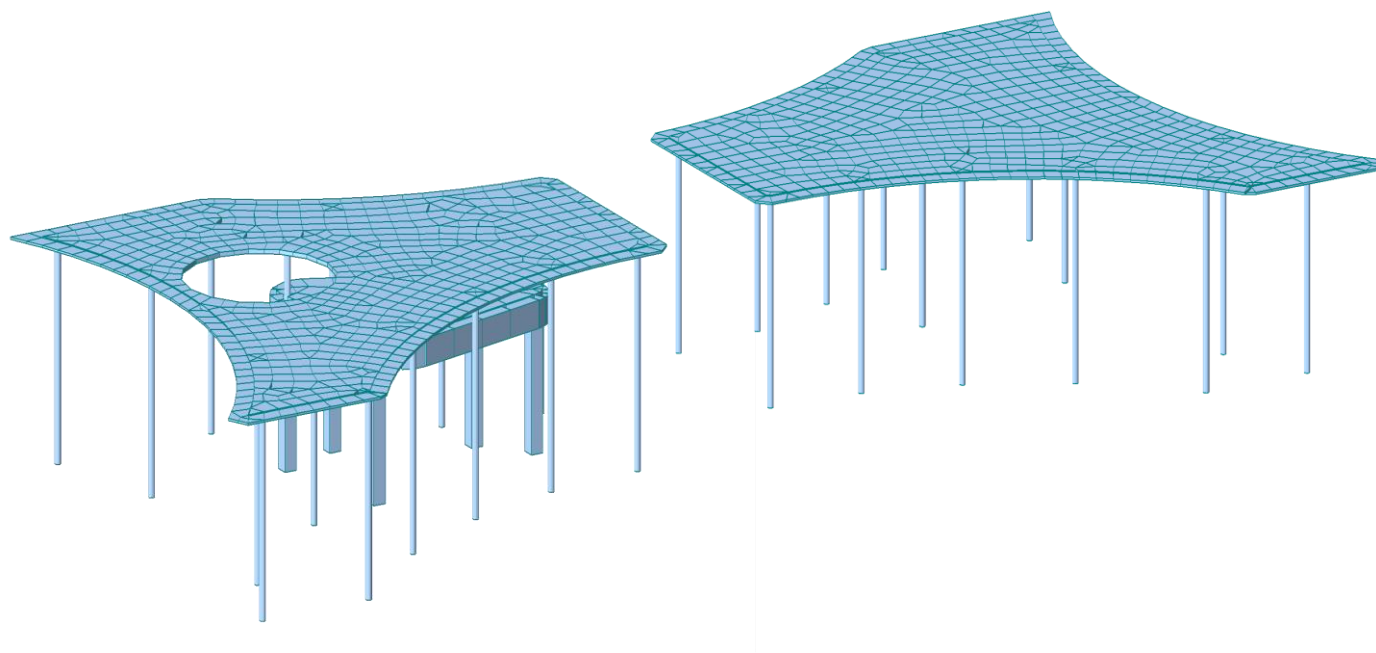


警衛室為一般混凝土

屋頂結構平面圖



結構分析模型



模型資訊

檔案名稱	A03[雄女校門A]Roof8cm_L
屋頂板厚	8 cm
屋頂重	192 kg/m ²
裝修自重	6 kg/m ²
活載重	60 kg/m ²

斷面資料

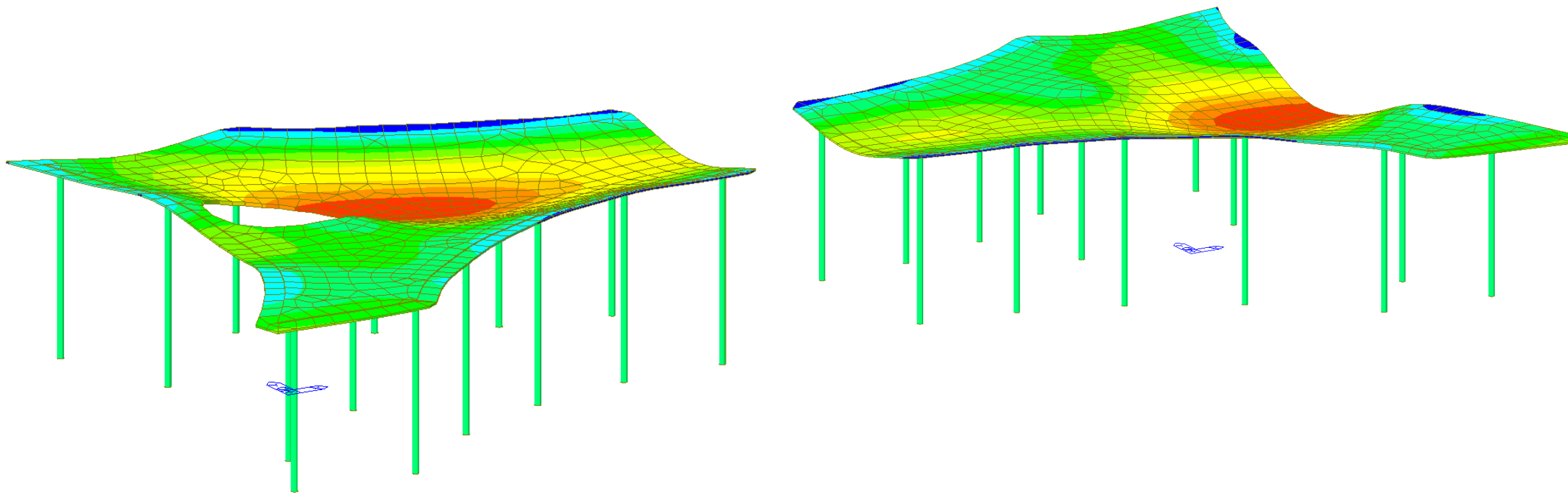
設計斷面	P 139.8×6
管徑	139.8 mm
管厚	6 mm
管徑慣性矩	18,749,884 mm ⁴
空心慣性矩	13,094,632 mm ⁴
斷面慣性矩	5,655,251 mm ⁴

考慮空心柱灌漿

f _c	280 kg/cm ²
E _c	250,998 kg/cm ²
E _s	2,040,000 kg/cm ²
n=E _s /E _c	8.1
混凝土等效慣性矩	1,611,141 mm ⁴
(空心/實心)慣性矩	128%

為使柱斷面盡量小，主頂及柱底設計固接，並考慮柱內混凝土剛度

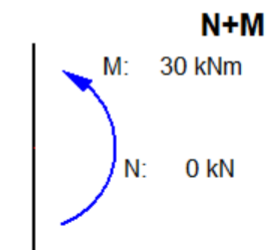
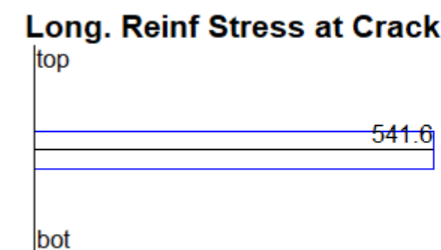
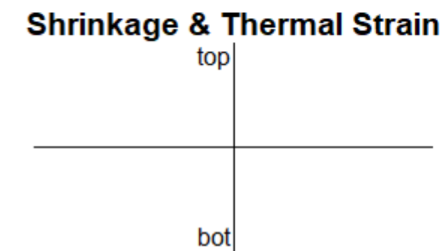
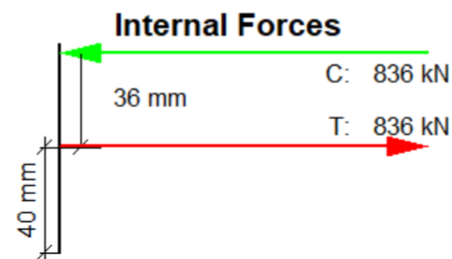
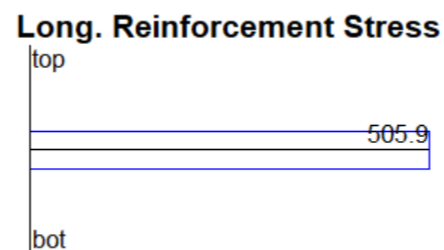
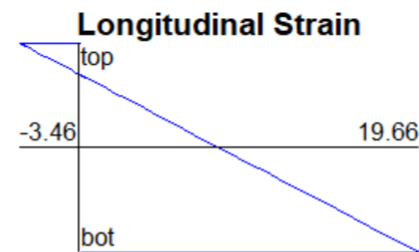
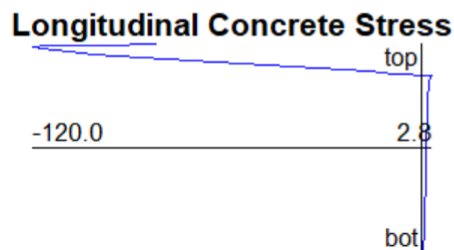
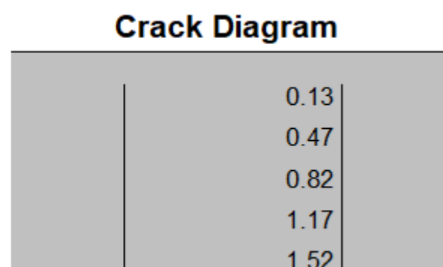
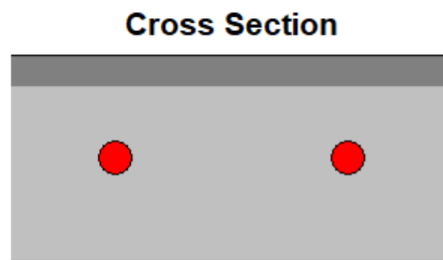
結構分析結果



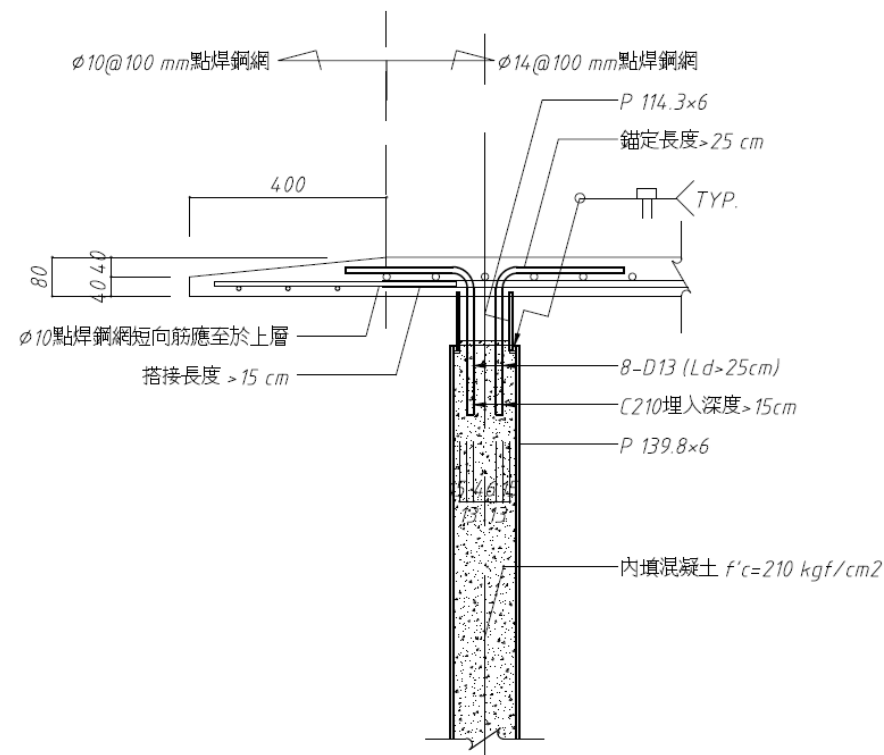
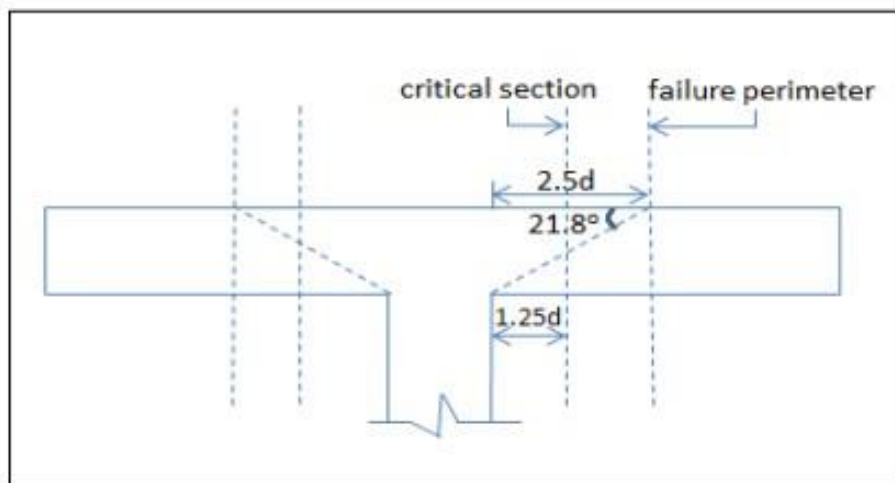
UHPC設計檢核(配筋設計t=8 cm)

Mmax (kN-m/m)			
	Max	Min	AbsMax
1.4D(cLCB1)	6.11	-6.55	6.55
1.2D + 1.6L(cLCB2)	7.37	-7.83	7.83
1.2D + 1.0Ex + 1.0L(cLCB3)	6.59	-6.18	6.59
1.2D + 1.0Ey + 1.0L(cLCB4)	6.65	-11.11	11.11
1.2D - 1.0Ex + 1.0L(cLCB5)	6.59	-9.33	9.33
1.2D - 1.0Ey + 1.0L(cLCB6)	6.90	-5.88	6.90
0.9D + 1.0Ex(cLCB7)	7.30	-5.01	7.30
0.9D + 1.0Ey(cLCB8)	5.48	-8.14	8.14
0.9D - 1.0Ex(cLCB9)	4.67	-7.49	7.49
0.9D - 1.0Ey(cLCB10)	7.09	-4.47	7.09
	7.37	-11.11	11.11

Mmin (kN-m/m)			
	Max	Min	AbsMax
1.4D(cLCB1)	2.67	-14.81	14.81
1.2D + 1.6L(cLCB2)	3.15	-17.94	17.94
1.2D + 1.0Ex + 1.0L(cLCB3)	3.14	-23.44	23.44
1.2D + 1.0Ey + 1.0L(cLCB4)	2.90	-18.61	18.61
1.2D - 1.0Ex + 1.0L(cLCB5)	2.67	-14.55	14.55
1.2D - 1.0Ey + 1.0L(cLCB6)	2.74	-14.21	14.21
0.9D + 1.0Ex(cLCB7)	3.98	-17.03	17.03
0.9D + 1.0Ey(cLCB8)	1.80	-12.79	12.79
0.9D - 1.0Ex(cLCB9)	1.58	-12.46	12.46
0.9D - 1.0Ey(cLCB10)	1.66	-10.61	10.61
	3.98	-23.44	23.44



UHPC細部設計(貫穿剪力檢核)



綜合前述檢核說明，本案鋼柱與 UHPC 版接頭各項檢核結果如下：

1. 設計彎矩 $\phi M_n = 1.63 \text{ tf-m} > \text{需求彎矩 } M_u = 1.27 \text{ tf-m}$
2. 設計剪力摩擦 $= 59.60 \text{ tf} > \text{需求剪力摩擦} = 3.16 \text{ tf}$
3. 設計貫穿剪力 $= 48.19 \text{ tf} > \text{需求貫穿剪力} = 8.32 \text{ tf}$

各構件均滿足規範要求。

UHPC mock-up製作過程

本案設計洩水坡度為1/100，非完全水平，故製作mock-up確認UHPC材料特性。
本次共製作洩水坡度1/50之試體3組，進行實測。

UHPC mock-up 第1組試體

第1組材料配比為高坍流度(60cm)，並由高處往低處卸料，待UHPC材料初凝後再澆置漿體不足範圍。試驗過程中發現第1組材料初凝時間緩慢，進行二次澆置時尚有漿體從低處流出。



UHPC mock-up 第2組試體

第2組材料配比為高坍流度(60cm) ，
並由低處往高處卸料，待UHPC材料
初凝後再澆置漿體不足範圍。
試驗過程中發現主要問題與第1組試
體相同。



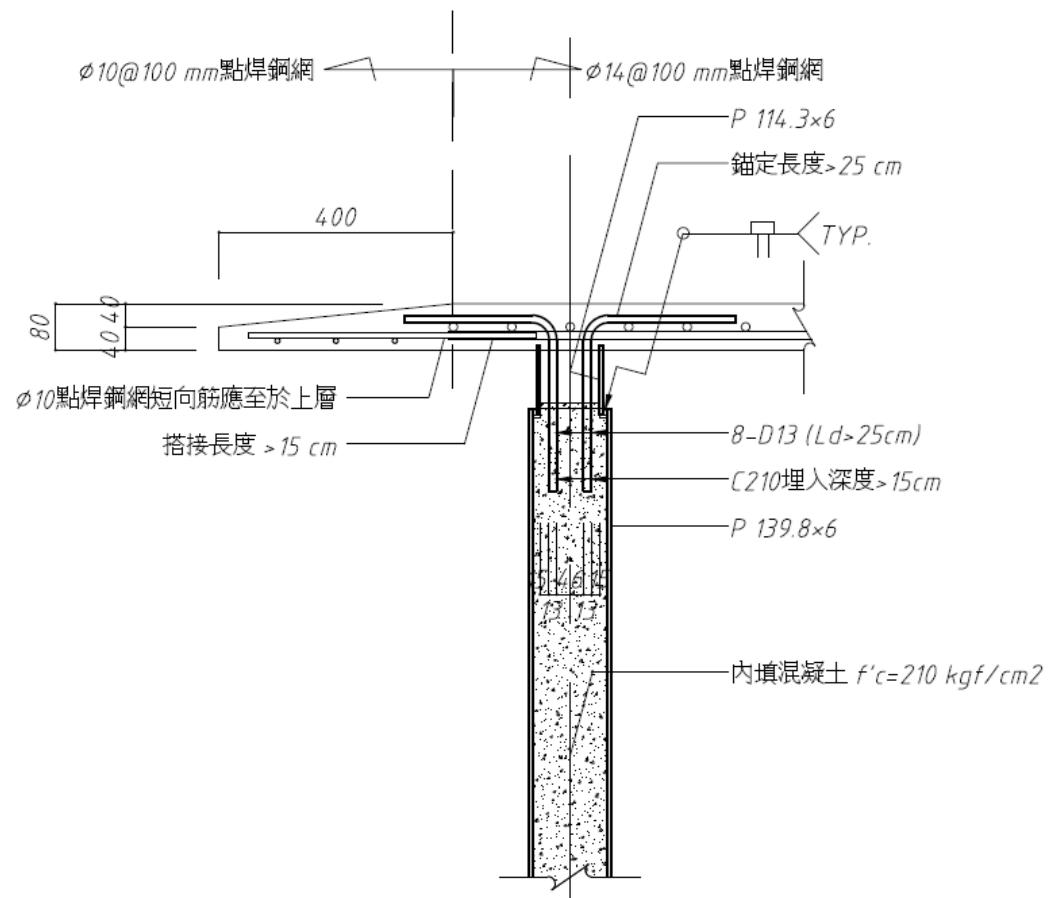
UHPC mock-up 第3組試體

第3組材料配比為低坍流度(35cm)，並由高處往低處卸料，並以曼刀進行抹平。試體製作過程無溢漿問題，材料特性較符合設計需求。

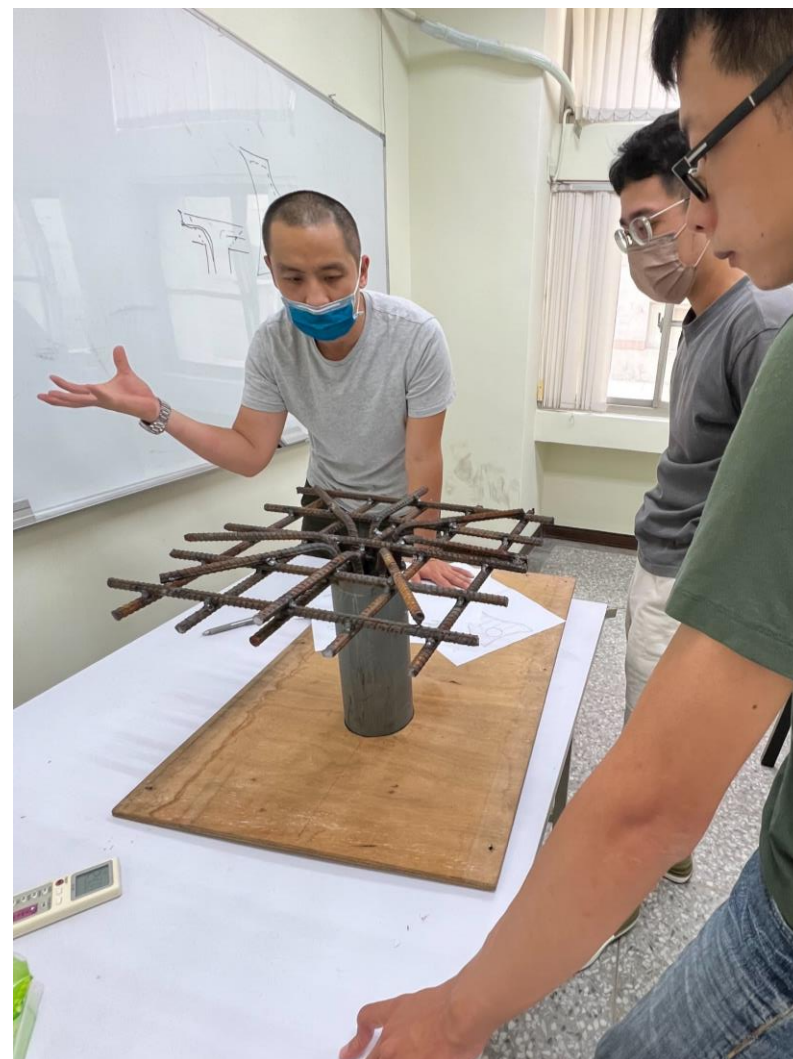


鋼柱柱頂mock-up施工檢討

鋼柱柱頂mock-up施工檢討



(細設階段方案)柱頂細部設計

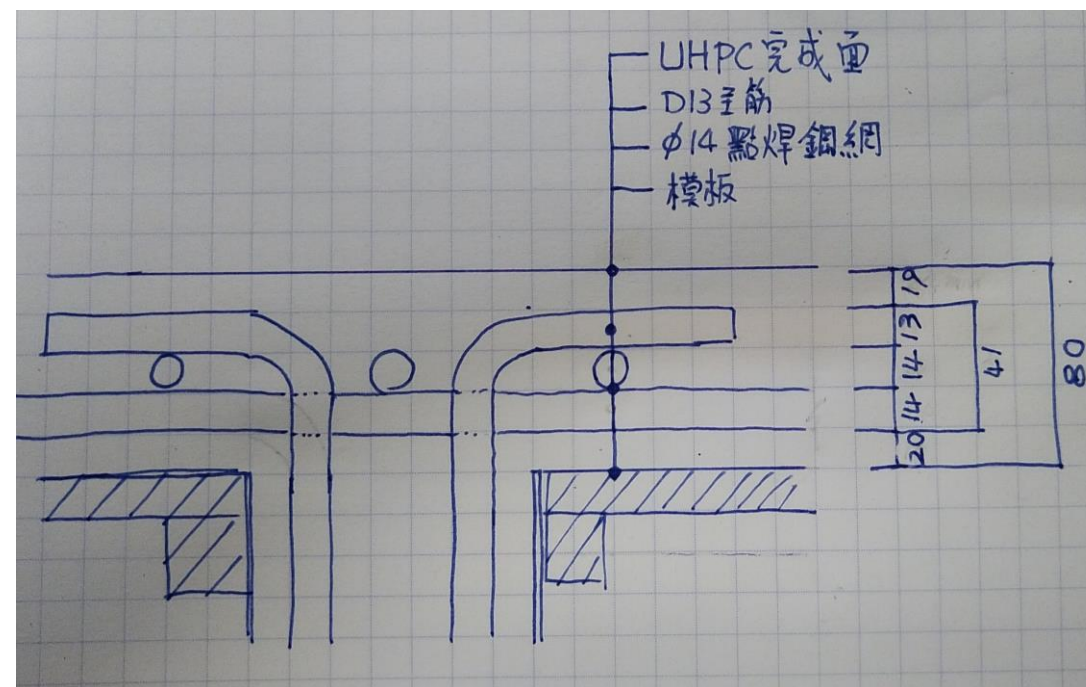


鋼柱柱頂mock-up

鋼柱柱頂mock-up施工檢討



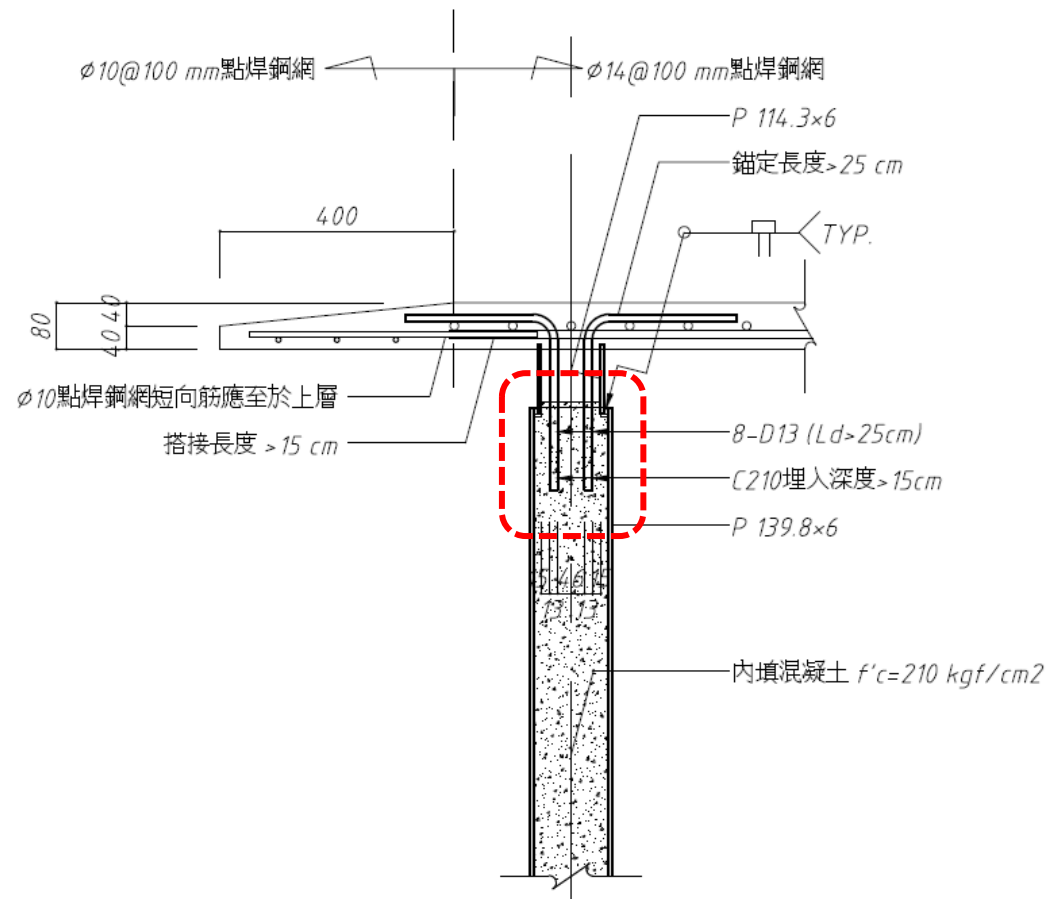
鋼柱柱頂mock-up



UHPC頂板鋼筋施工檢討

鋼柱柱頂mock-up施工檢討

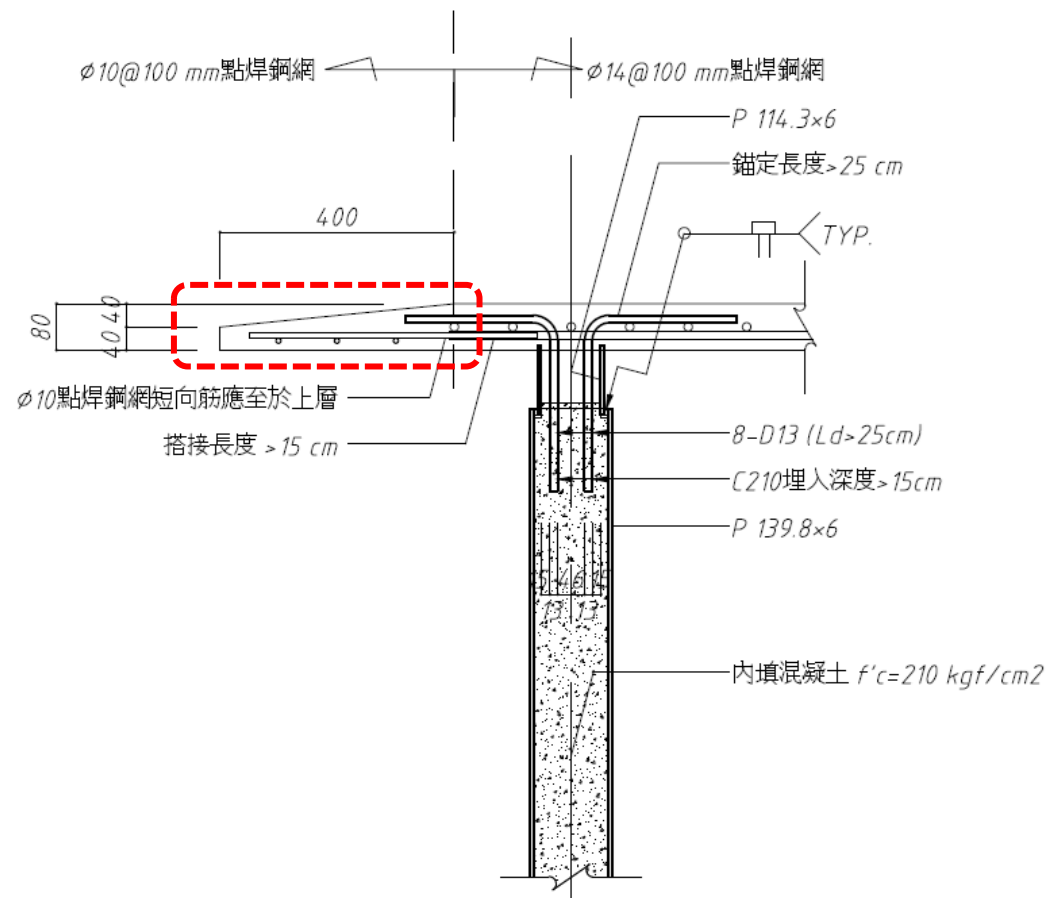
細部設計階段方案為柱頂鋼筋錨定至柱內C210混凝土，施工時發現如果按照本方案施工，錨定鋼筋及點焊鋼網需於柱內混凝土灌漿前施工完成，易產生灌漿困難及點焊鋼網遭混凝土染污等問題。



(細設階段方案)柱頂細部設計

鋼柱柱頂mock-up施工檢討

細部設計階段方案UHPC頂板端部為8cm~4cm漸變樓板，因需大量裁切點焊鋼網，故取消本設計。

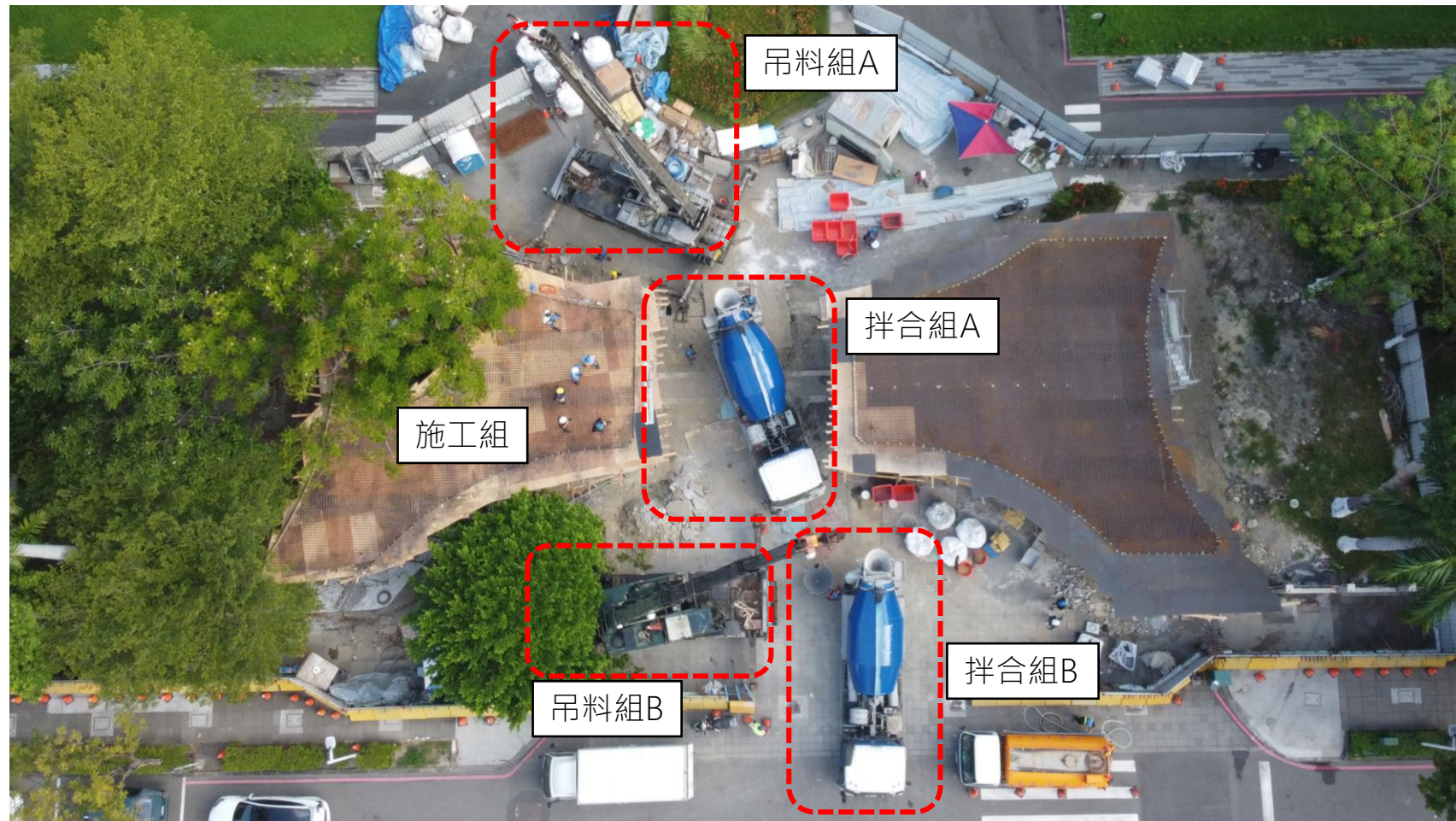


(細設階段方案)柱頂細部設計

校門西側UHPC頂板施工過程

2022.09.17

UHPC澆置施工規劃



UHPC澆置紀錄

2022.09.17 西側屋頂UHPC澆置						
	①拌合開始	②拌合結束	③澆置開始	④澆置結束	④-①	備註
1	09:00	10:07	10:09	10:50	100	
2	09:00	10:58				等待過久 退車
3	11:43	13:02	13:12	13:30	107	
4	13:31	14:53	14:57	15:51	140	
5	14:30	15:51	15:56	16:10	100	
6	16:07	17:04				成品無法澆置 退車
7	16:41	17:45	17:58	18:26	105	
8	18:32	19:19	19:23	19:53	81	
9	19:55	20:28	20:42	21:19	84	21:41地震

西側UHPC頂板澆置現場問題



預拌車未潤車，導致第一批材料坍流度過低。

西側UHPC頂板澆置現場問題



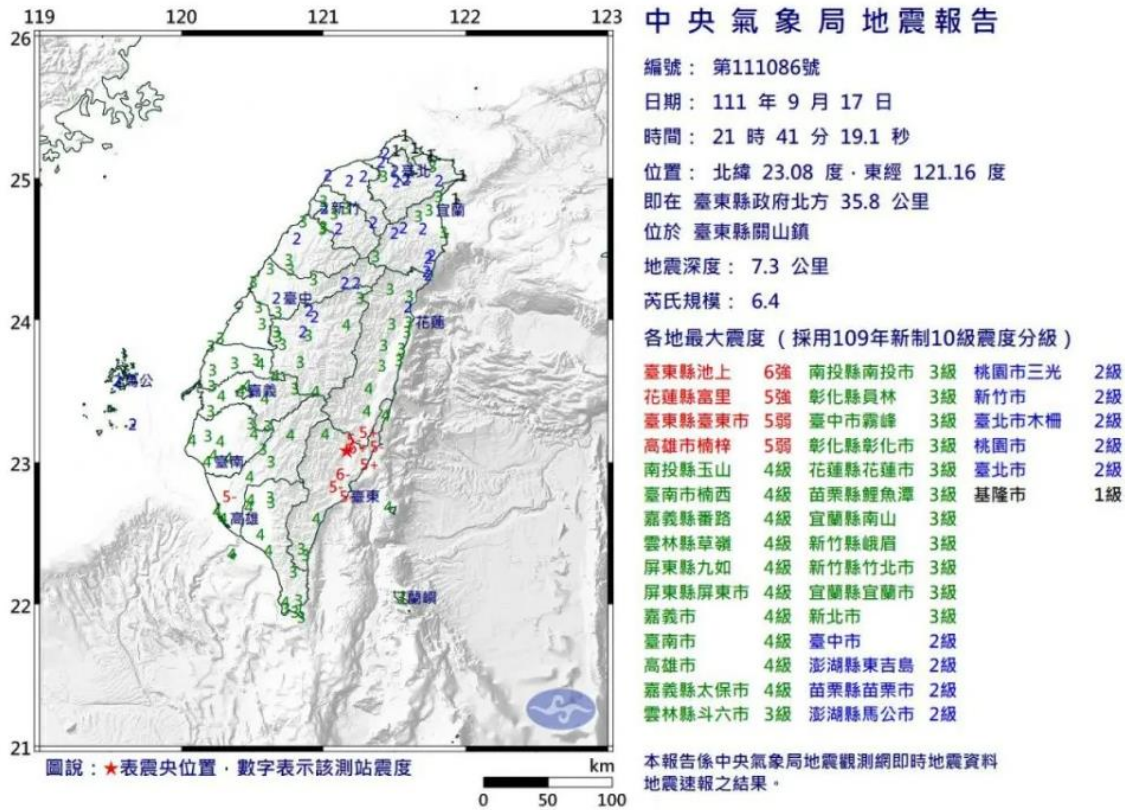
因第1車與第2車同時拌合
第2車等待時間過久整批退料

西側UHPC頂板澆置現場問題



前車剩料未清除乾淨，導致次批材料膠結

西側UHPC頂板澆置現場問題



地震



拆模後確認無明顯震損

校門東側UHPC頂板施工過程

2022.09.24

東側UHPC頂板澆置

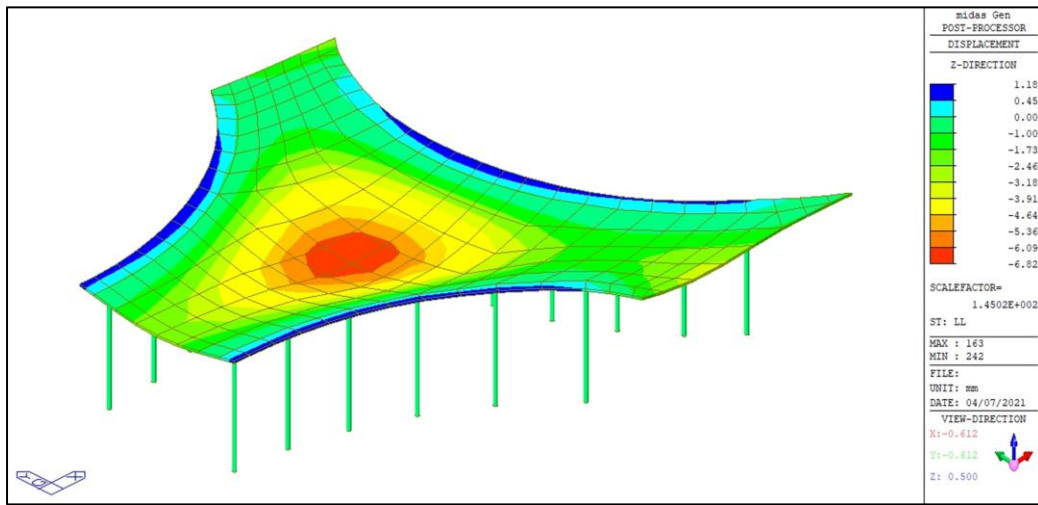
2022.09.24 東側屋頂UHPC澆置						
	①拌合開始	②拌合結束	③澆置開始	④澆置結束	④-①	備註
1	08:50 70	09:41 51	09:45 4	10:00 15	70	1.5m ³
2	10:00 76	10:49 49	10:54 5	11:16 22	76	1.5m ³
3	11:16 64	12:05 49	12:07 2	12:20 3	64	1.5m ³
4	12:20 76	13:16 56	13:17 1	13:33 16	73	1.5m ³
5	13:36 70	14:23 47	14:26 3	14:48 22	72	1.5m ³
6	14:46 69	15:37 51	15:40 3	15:58 18	72	1.5m ³
7	15:55 51	16:46 4	16:50 30	17:20	85	1.5m ³

經施工檢討後，東側頂板皆控制在85分鐘內完成澆置

東側UHPC頂板澆置



□ 2022/12 完工









高雄市立高雄女子高級中學

綜合大樓

大南門碑林建築災後復建工程 委託設計監造案



設計監造單位：施忠賢結構技師事務所

報告者：施忠賢 結構技師

報告時間: 2023/09/01

簡報大綱

1. 建築物概述
2. 基礎解體調查
3. 建築物損壞及規劃修復方式
4. UHPC高性能混凝土工法介紹
5. 建築物耐震能力結果(以+X向為例)
6. 施工照片

一、建築物概述

標的物位於南門公園內，臨近直轄市定古蹟臺灣府城大南門。經查係於日治昭和十年(1935年)設立，當時將45件清代古碑集中陳列於此，目前共計存放63件古碑，其中7件為一級古物，係臺灣第一座且為數量最多之碑林。



名 稱	大南門碑林
構造種類	鋼筋混凝土
地上層數	1層
地下層數	-
基礎型式	推測為獨立基礎
平面配置	一字形
X向尺度	約36.2m
Y向尺度	約7.24m
總樓高	一層高約3.7m 中脊高約5.2m

	X向 (南北向)	Y向(東西向)
標準跨度	3.62m	3.62m
最大跨度	3.62m	3.62m
大梁主要尺寸	20x70	20x45
主要柱尺寸	D=26cm	

二、解體調查

- 基礎

因本案未取得原始圖說，為欲了解基礎型式，故挑選一處較不影響民眾使用上之柱進行基礎解體調查。

調查結果如下表

基礎型式	獨立基礎
是否有地梁	有
埋入深度	約65cm
基礎版寬B	單側寬由柱邊起算約43cm
基礎版厚t	約30cm
其他	基礎下方含有約10cm鵝卵石層



深度約65cm



單側寬約43cm



二、解體調查

- 基礎



地梁位置



開挖深度至板頂約40cm
扣除鵝卵石層10cm
推測版厚約30cm



基板下方有鵝卵石，約10cm

二、解體調查

- 混凝土柱

因本案未取得原始圖說，為欲了解混凝土柱鋼筋現況，故挑選一處較不影響民眾使用上之柱進行混凝土柱解體調查。

調查結果如下表

柱保護層	約5cm
主筋號數	D16(#5)
箍筋號數	D10(#3)
鋼筋損壞情況	鋼筋有鏽蝕情況



原況



解體後



鋼筋已有鏽蝕情況

二、解體調查

- 混凝土柱



保護層厚度約5cm



箍筋直徑約1cm
推測為D10(#3)



主筋直徑約1.6cm
推測為D16(#5)⁴⁶

三、建築物損壞及規劃修復方式

- 混凝土柱

損壞:

現況大部分混凝土柱於上下端部均產生結構裂縫(部分嚴重者中央端亦有結構裂縫)。

規劃修復方式:

採用高性能混凝土(UHPC)進行補強，補強方式與相關UHPC介紹詳下章節簡報。



三、建築物損壞及規劃修復方式

- 混凝土雀替

損壞:

部分雀替與既有柱產生鬆脫現象及混凝土剝落現象，輕微處僅產生裂縫，嚴重處已整塊脫開。

規劃修復方式:

嚴重處:

採用高性能混凝土(UHPC)進行補強，補強方式與相關UHPC介紹詳下章節簡報。

輕微處:

採用裂縫灌注方式填補。



← 損壞程度較小者



← 損壞程度較大者



三、建築物損壞及規劃修復方式

- 頂板

損壞:

大部分頂板油漆已剝落，推斷成因為混凝土中性化於主筋處產生裂縫導致表面膨脹、油漆剝落，嚴重處已有鋼筋鏽蝕混凝土剝落情況。

修復分級:

第一級損壞:油漆剝落

修復方式:磨除表面，檢視裂縫

第二級損壞:表面裂縫

EPOXY裂縫灌注後批土油漆復原。

第三級損壞:鋼筋鏽蝕

鋼筋鏽蝕處理後批土油漆復原。

第三級



第二級



第一級

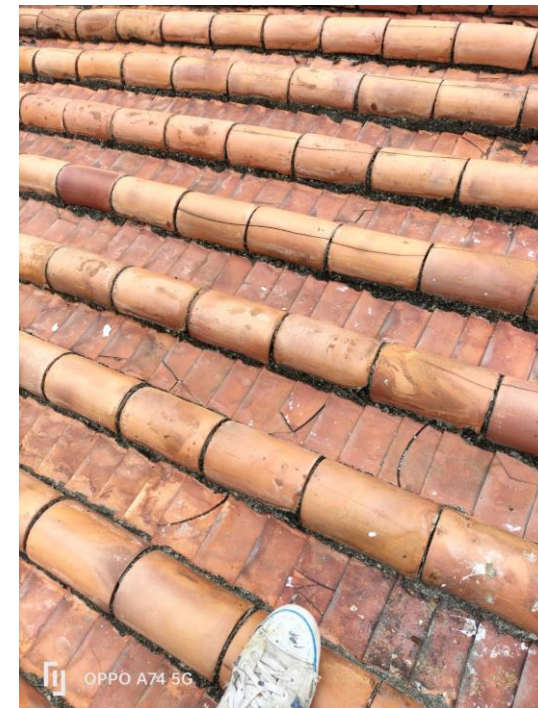


三、建築物損壞及規劃修復方式

- 屋瓦

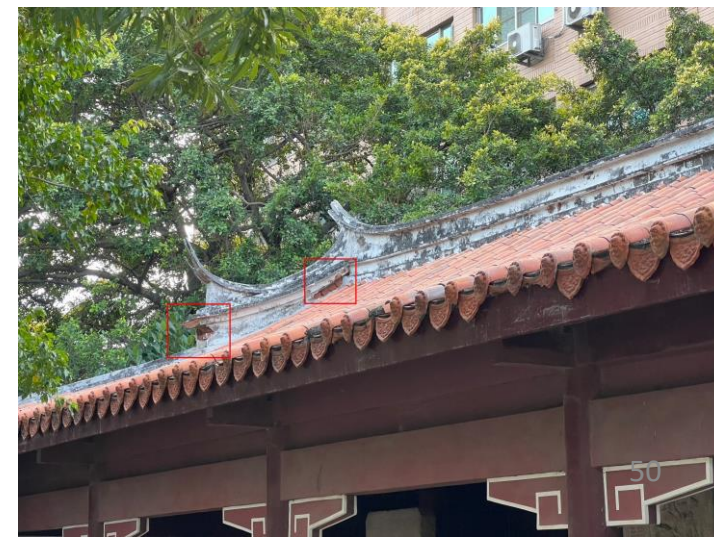
損壞：
屋板剝落、破損。

規劃修復方式：
屋瓦全面檢視修復，堪用者留，
其餘以新瓦片仿現況復原。



- 燕尾與屋脊

損壞：
燕尾斷裂、屋脊破損。
規劃修復方式：
按照現況復原。



三、建築物損壞及規劃修復方式

- 眉梁間

損壞:
部分眉梁間版有裂縫。

規劃修復方式:
採用混凝土灌注方式填補。



四、UHPC高性能混凝土工法介紹

本案原混凝土與UHPC混凝土材料性質比較

項目	抗壓強度 (kgf/cm ²)	彈性模數E (kgf/cm ²)	主筋	箍筋
原混凝土	保守採用 160	189,736	D16	D10
UHPC	1200	443,868	UHPC補強無配筋	

UHPC彈性模數計算公式

$$\text{彈性模數 } E_c = 19000 \sqrt[1/3]{f'_c (MPa) / 10} = 443868 \text{ kgf/cm}^2$$

四、UHPC高性能混凝土工法介紹

- 補強工法介紹

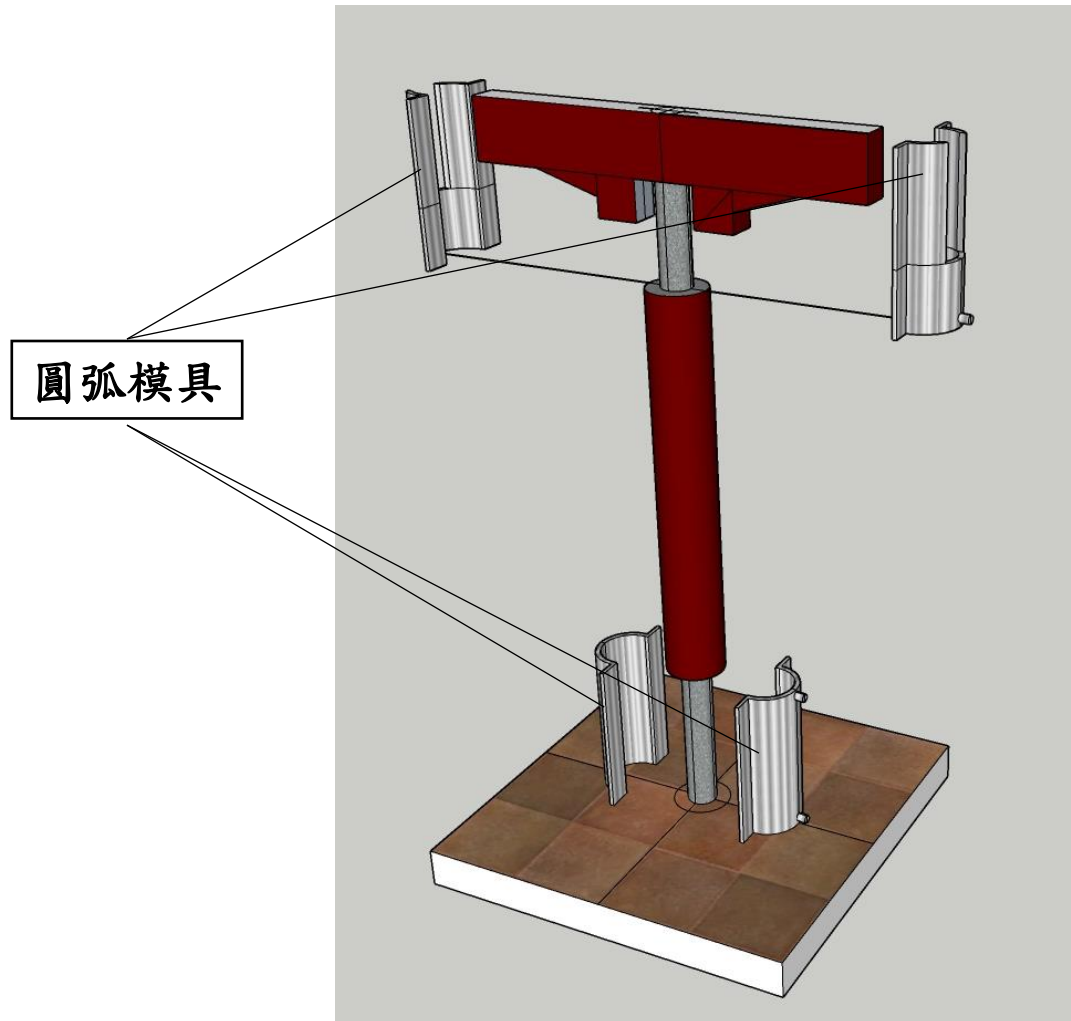


- 將柱受損處敲除剩核心混凝土(原保護層打除)
- 替換鏽蝕的主筋與箍筋

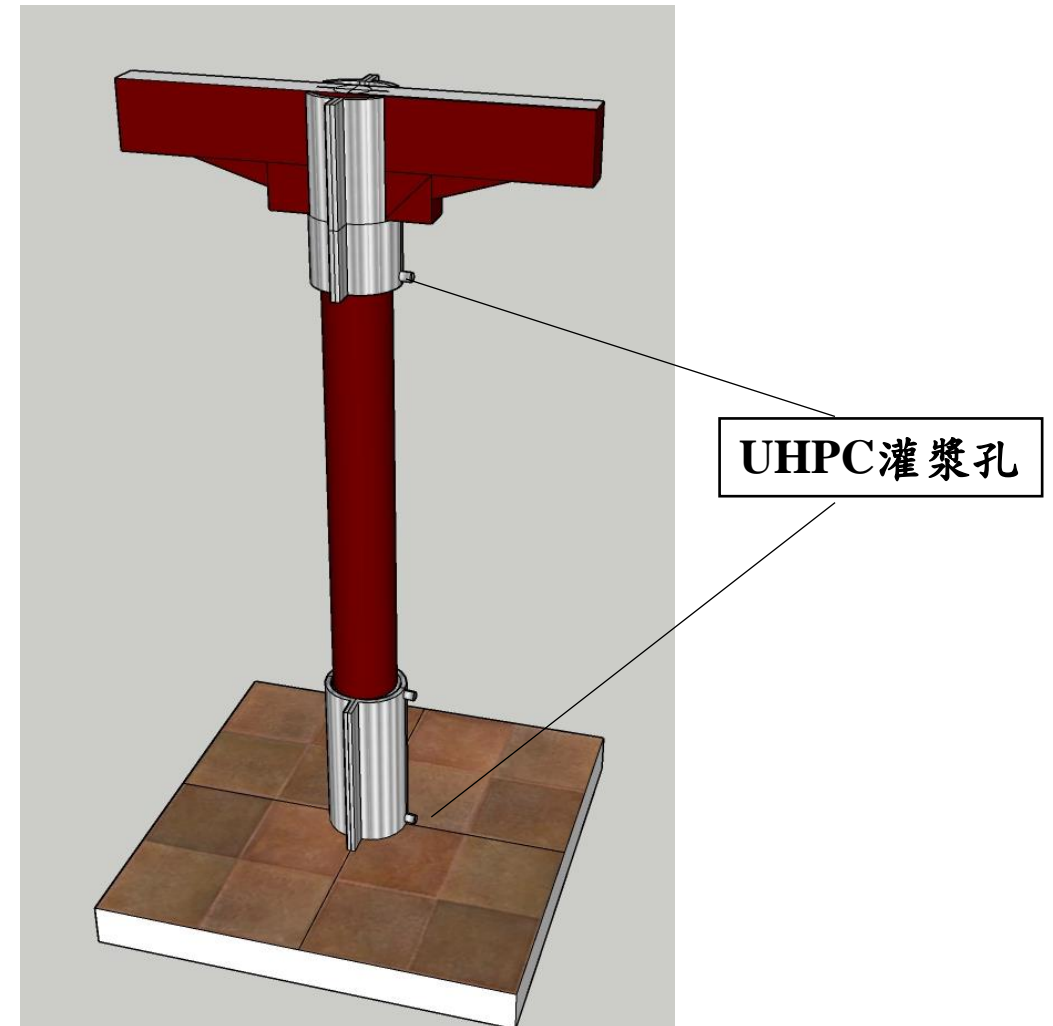
四、UHPC高性能混凝土工法介紹

- 補強工法介紹

模具組立



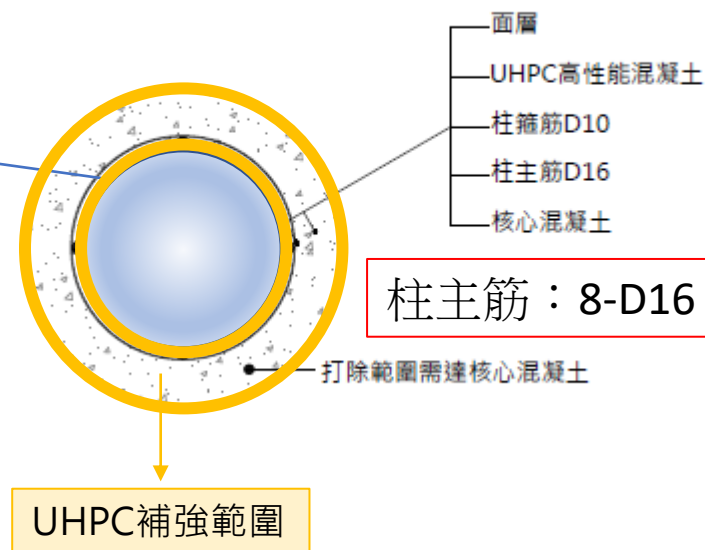
模具組立完成



五、建築物耐震能力結果(以+X向為例)

用途分組	標的物現況性能目標地表加速度 A_p		
第四類	強度控制	位移控制	軸力破壞準則
I=1.0	V_{MAX}	層間變位 $\leq 2.0\%$	有無發生軸向破壞

結構分析未考量此部分強度

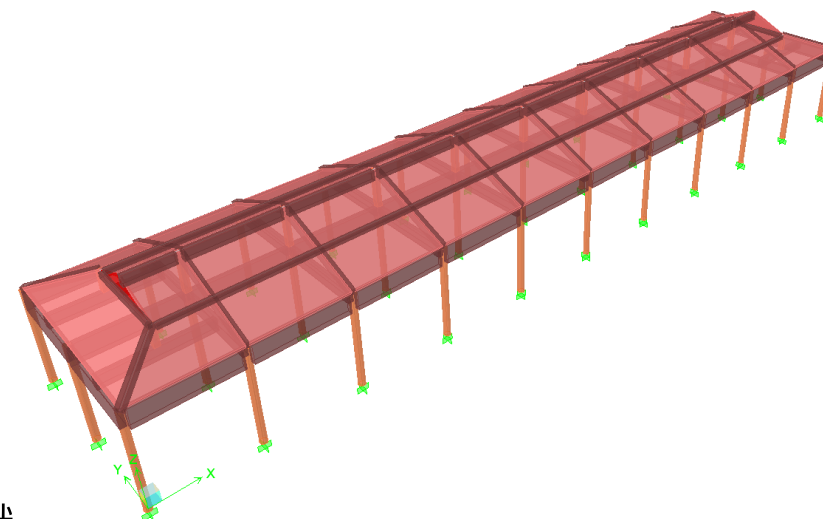


項目	基底剪力 $V(tf)$	屋頂位移 (cm)	475年回歸 期設計地表 加速度 A_T	現況性能 目標地表 加速度 A_p	CDR (A_p/A_T)
補強前	47.64	7.26	0.308	0.195	0.633
補強後	114.76	7.35	0.308	0.340	1.104

位移控制

註:

- 補強僅考慮補強範圍UHPC貢獻，未包含原核心混凝土貢獻。
- 本案RF層高度為3.7m，層間變位 $\leq 2\%$ ，則為 $3.7m \times 0.02 = 7.4cm$ 。



1.

項目

既有柱混凝土打除

施工說明

- 1) 混凝土打除前需進行放樣，確認設計圖打除範圍後並標示(黃線處)，
- 2) 打除之柱周遭架設臨時鋼管支撐。
- 3) 依據設計打至原柱核心混凝土。
- 4) 進行環境清理(打除工程完成)。



步驟1-1.放樣



步驟1-2.架設臨時支撐



步驟1-3.打除完成



步驟1-4.環境清理

2.

項目

鋼筋重新綁紮及除鏽

施工說明

- 1) 原箍筋重新綁紮，原間距20cm調整為10~15cm一組。
- 2) 於端部增設3組D10鋼筋。
- 3) 進行點焊固定。
- 4) 塗佈鏽轉化劑。



步驟2-1.箍筋重新綁紮



步驟2-2.端部新增設3組箍筋



步驟2-3.箍筋點焊固定



步驟2-4.塗佈鏽轉化劑完成

3.

項目

模板組立

施工說明

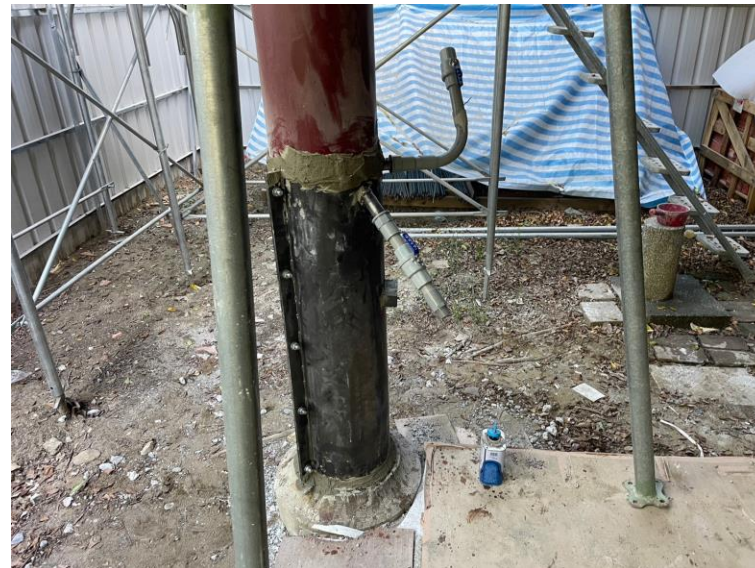
- 1) 訂製鋼模安裝前內側塗佈潤滑油。
- 2) 訂製鋼模以兩片對鎖固定。
- 3) 灌漿交界處填補水泥砂漿避免溢漿。
- 4) 安裝灌漿口、透氣管、溢漿管。
- 5) 安裝振動器。



步驟3-1.塗佈潤滑油(要比對照)



步驟3-2.鋼模鎖固中



步驟3-3.交界處填補水泥砂漿



步驟3-4~5.鋼模組立完成

4.

項目

UHPC灌漿工程(1)

施工說明

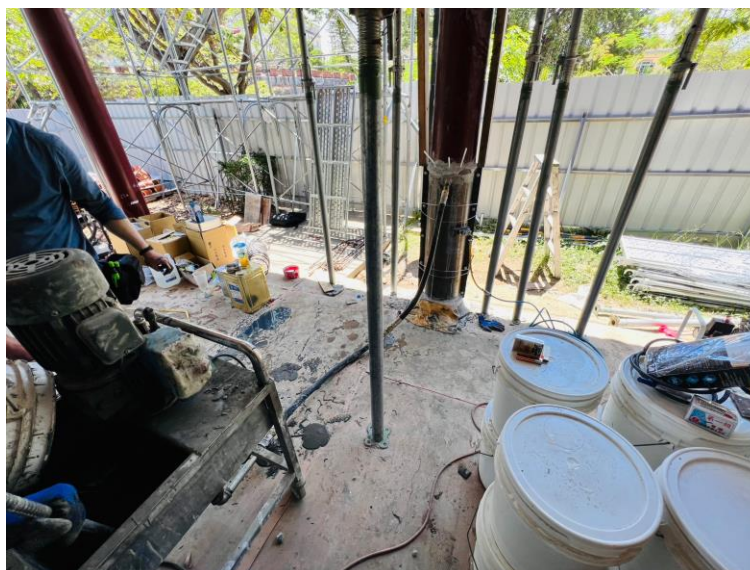
- 1) UHPC於現場攪拌，攪拌過程中添加纖維提升其抗拉強度。
- 2) UHPC抗壓試體、抗彎試體取樣。
- 3) 以高壓灌漿方式將漿體注入柱中，以振動器振動柱內漿體，灌漿過程不可停止攪拌及灌漿。



步驟4-1.UHPC攪拌中(補含纖維照)



步驟4-2.UHPC試體取樣



步驟4-3.高壓灌漿中



步驟4-3a.人工攪拌壓送機

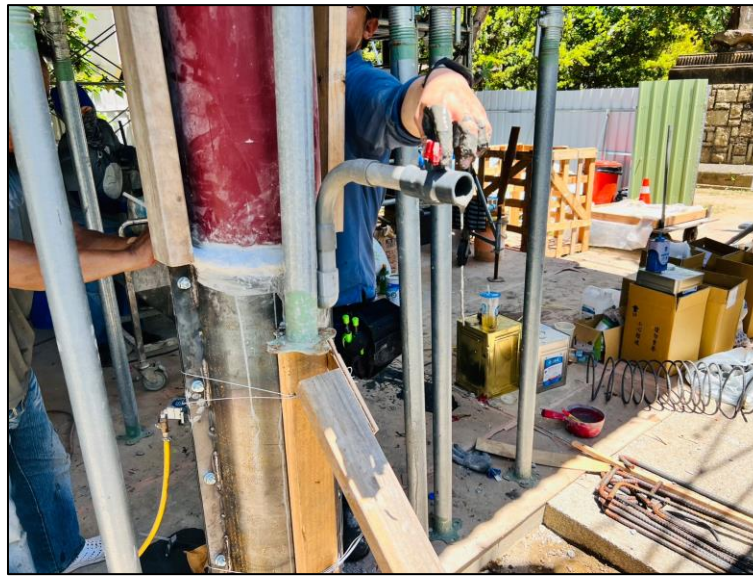
4.

項目

UHPC灌漿工程(2)

施工說明

4) 當溢漿管流出漿體後停止壓送，並於漏漿處填補填縫用發泡劑(灌漿完成)。



步驟4-4.溢漿管溢漿表示已灌滿



步驟4-4a.填縫用發泡劑

5.

項目

拆模及油漆工程

施工說明

- 1) 約12~24HR即可進行拆模。
- 2) 新舊交界處表面以水泥砂漿補平整。
- 3) 補強柱批土油漆。

- 補強工程完成



步驟5-1.拆模完成



步驟5-2.新舊界面處理



😊 Thanks For Your Attention 😊