

# 捷運工程大區域開挖施工實務

- 一. 緣起
- 二. 工程概要
- 三. 地質及地下水狀況
- 四. 規劃設計
- 五. 施工實務
- 六. 高風險施工管理
- 七. 施工經驗回饋
- 八. 結語

110年10月15日  
主講人：吳其璋



## 一. 緣起

臺北都會區大樓林立且交通繁忙，大眾捷運系統的推展確實為民眾帶來極大的方便，惟為減少對整體環境之衝突，多採用地下結構系統，因此站體區之深開挖工程即成為施工重點，尤其於系統交會處，更有其超深開挖之需求。以臺灣桃園國際機場聯外捷運系統臺北車站新建工程為例，本工程施工從地質及地下水狀況、開挖降水作業、群井試驗、分區開挖、多功能連續壁（分區連續壁、地中壁、扶壁）之配置、複合式基礎（壁樁、基樁、連續壁）之配置、建物保護方案、施工安全監測、基樁施作、車站開挖及支撐系統架設、橫置連續壁切割敲除、管線探挖及保護、安全監測、交通維持計畫及高風險施工管理均有著墨，尤其本工區位於臺北車站交通要道，其施工困難度及風險極高，代表性已足夠含括其他大規模機廠開挖施工。

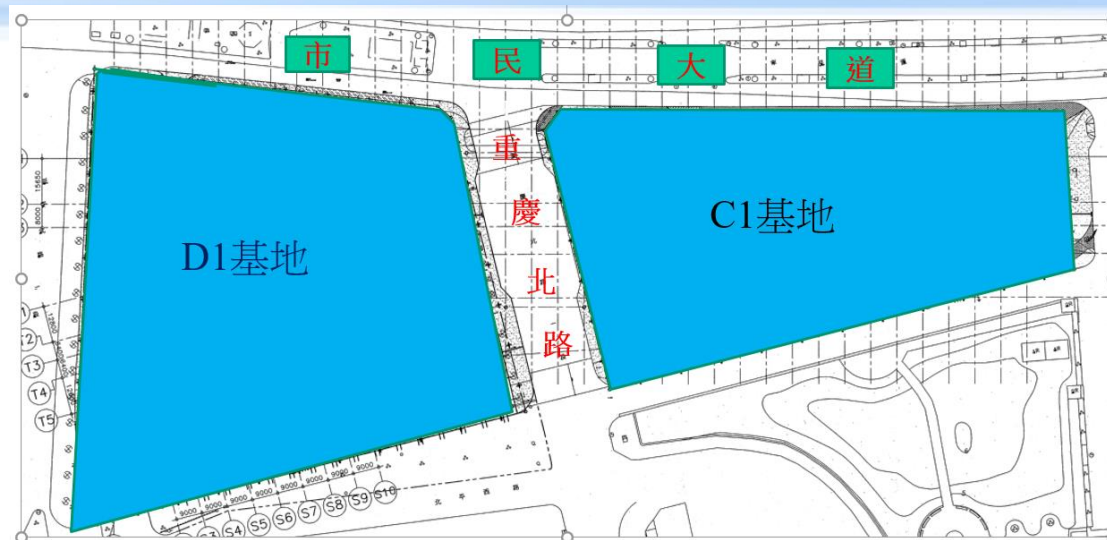
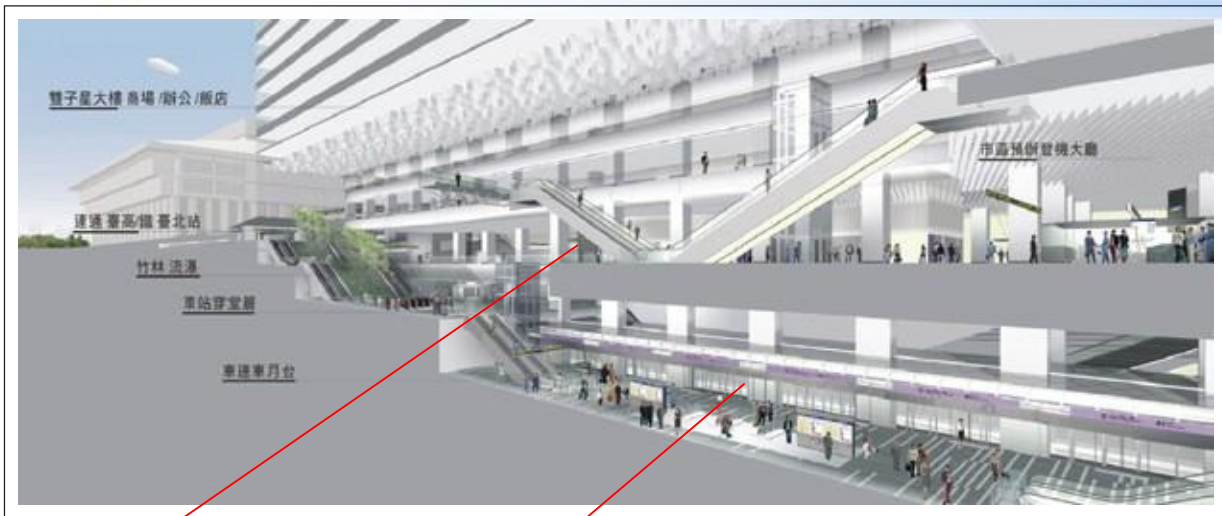


## 二. 工程概要

A1臺北車站與C1/D1大樓共構土木結構工程屬臺灣桃園國際機場聯外捷運系統建設計畫CA450B區段標施工範圍，其工程位於臺北車站特定專用區C1及D1用地，基地北臨市民大道，南側為未來15公尺計畫道路，西延平北路為界，東至特定區綠地西側，C1及D1東半街廓之間以重慶北路相隔，C1區用地位於重慶北路東側，重慶北路西側為D1東半街廓用地。A1站採與C1/D1聯開大樓地下層全面連通共構之形式興建，地下共設計四層，開挖深度約為 27.1公尺，地下結構單層面積約 25,775平方公尺，其中，B4層為開發大樓之地下停車場，B3層為捷運月臺層、停車場及聯開大樓機電設備區，B2層為開發大樓貨物裝卸區及機電設備區，B1層為台北站車站大廳包含臨停接送區、計程車及中型巴士排班區、預辦登機櫃檯、車站公共區及付費區等皆在此樓層。

A1站上方為兩棟聯合開發商業大樓，C1基地大樓為地上 56 層，樓高約 243公尺；D1基地大樓為地上 76 層，樓高約 322 公尺；兩棟大樓於地上12層採退縮設計形成塔樓意象。大樓之建築設計以商場、辦公室及旅館為主要建築用途，兩棟大樓之間設計人工平臺作為連接。





地下樓層剖面圖

B1穿堂層

B3月台層



商業大樓示意圖

C1D1基地現況



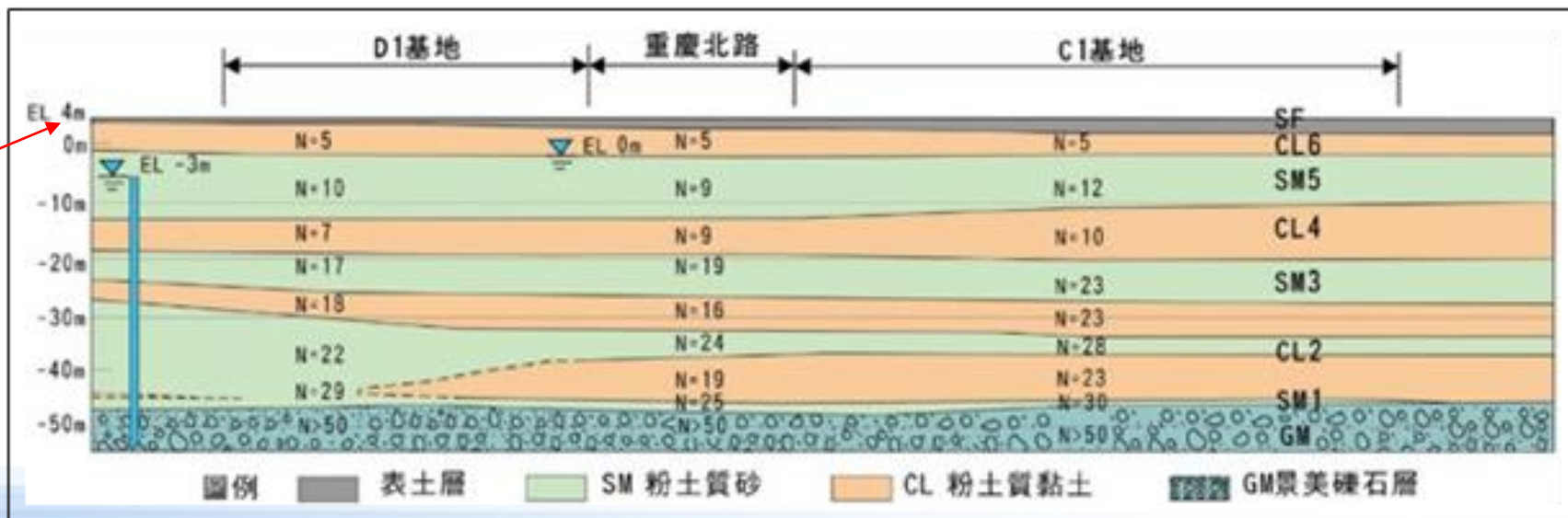
### 三. 地質及地下水狀況

#### ➤ 在松山層方面

C1與D1兩者最大的差異在於松二層之存在性，C1區松二層厚約14m，中間夾有薄層細砂，底部約位於地表下 (GL) -47.2m。而D1區之松二層中所夾細砂層逐漸變厚，使粘土層被上下分隔成為僅有薄層存在，且使松二粘土層下半部由東向西逐漸變薄，至D1西側時完全幾乎完全尖滅。

對深開挖的影響主要為松二粘土層於C1區為具有明顯的厚層存在，使C1區深開挖須對景美礫石層降水以克服景美層對松二粘土層的上舉水壓。而於D1西側則因開挖面以下砂性土層居多，因此必須注意連續壁貫入深度與景美層水壓控制，避免砂湧現象產生。

地表GL 0m =  
 EL 4m

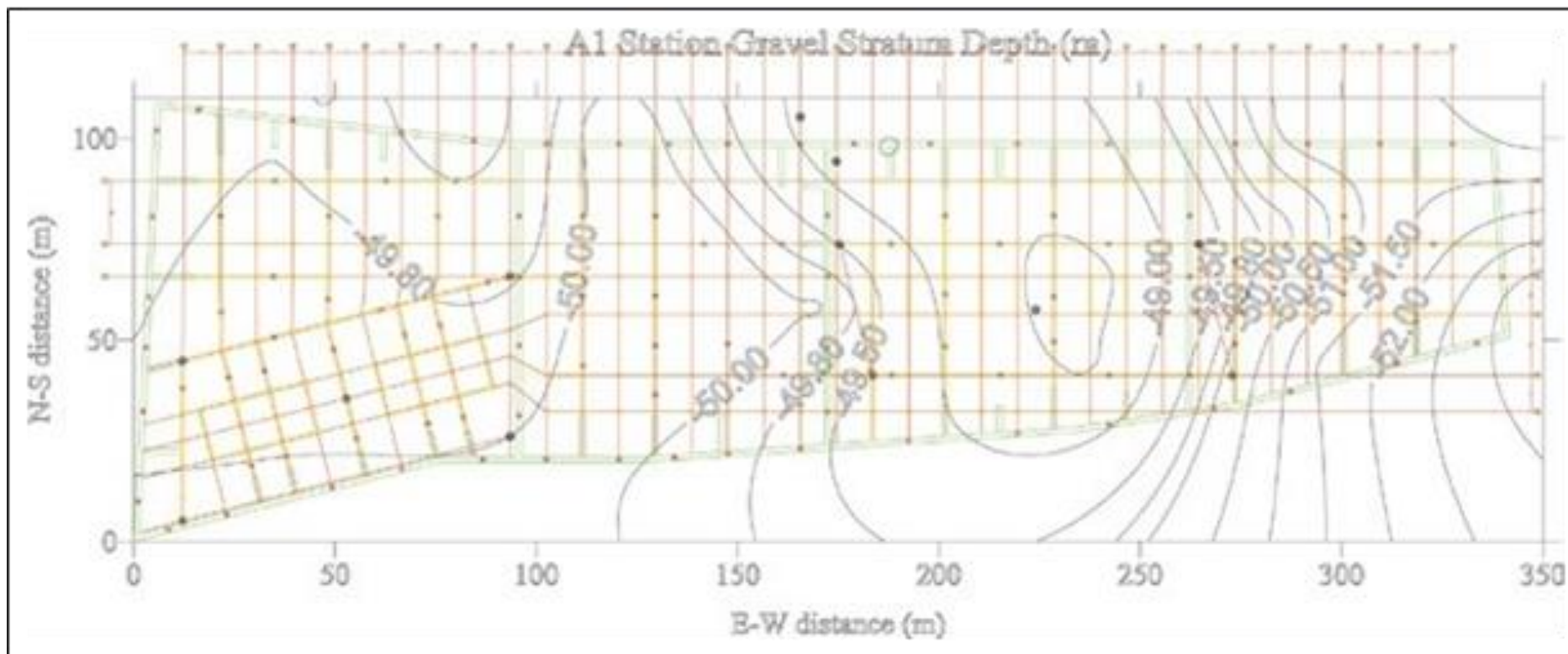


C1/D1基地地層剖面圖



➤ 在景美層方面

景美層約位於地表下49~52m，依據補充鑽探資料繪製評估景美礫石層分布深度等高線。



本基地地下水文狀況，依據細部設計廠商DA115標補充地質調查、交通部高速鐵路工程局規劃階段及鄰近相關工程所進行之水位、水壓觀測資料顯示，在松山層部分地下水約位於地表（GL）下3m~4m，設基地地表平均高程（EL，設基隆海平面高程為0m）為EL. 4m，則地下水位高程約為EL. 1m，約呈靜態水壓分布。

而在景美層方面，景美層水位歷年之下降與回昇狀況，於1970~1980年間景美層水位高程最低約為在EL. -40m，之後以每年約1~2m的速度回昇。並進一步收集近期鄰近新莊線CK570G（08車站）、松山線G14車站、交九轉運站大樓、台電輸變電工程處於玉泉公園等處之鑽探結果顯示，景美層水位最近已回升至EL. -3.8~-3.5m，預計施工時景美層水位將回昇至EL. -3m，因此本標設計時預計採用EL. -3m。



## 四. 規劃設計

### (一) 規劃設計考量

#### C1/D1 聯合開發大樓大地工程課題及對策

	課題	影響說明	對策
1	大面積開挖支撐細長比太大、支撐接頭多	<ul style="list-style-type: none"> <li>影響支撐系統穩定</li> <li>連續壁側向變形過大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>規劃分區連續壁兼轉換橫檔</li> <li>支撐型鋼間增焊斜桿或蓋板加強支撐勁度</li> </ul>
2	開挖範圍大工期長、連續壁變形大	<ul style="list-style-type: none"> <li>開挖潛變擴大</li> <li>對臺高鐵隧道與地下街將造成側向解壓，須有保護措施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>規劃分區連續壁兼轉換橫檔</li> <li>聯結支撐組件增加支撐勁度</li> <li>設置地中壁、扶壁及連續壁施工壁溝保護</li> </ul>
3	景美層水壓對大深度開挖的影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>造成開挖土層上舉管湧 (Blow-in) 現象</li> <li>干擾臺北盆地地下水文的平衡</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>配置連續壁分區開挖，區隔風險</li> <li>景美層水壓以抽水降壓、封底灌漿等控制</li> <li>大區域聯合水文監測，避免不必要抽水</li> </ul>
4	D1區松二層局部漸減不見的影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>影響開挖穩定分析及抽水控制規劃</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>增加補充地質調查確認漸減位置</li> <li>配置分區連續壁，區隔地層差異對深開挖工程的影響</li> </ul>
5	超高層大樓之淨載重分別達 90T/m <sup>2</sup> 、120T/m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>單一採用 2.0m 型式基樁仍不足以承受高樓區載重</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>利用外圍連續壁、地中壁及增設壁樁等措施搭配基樁設計</li> </ul>

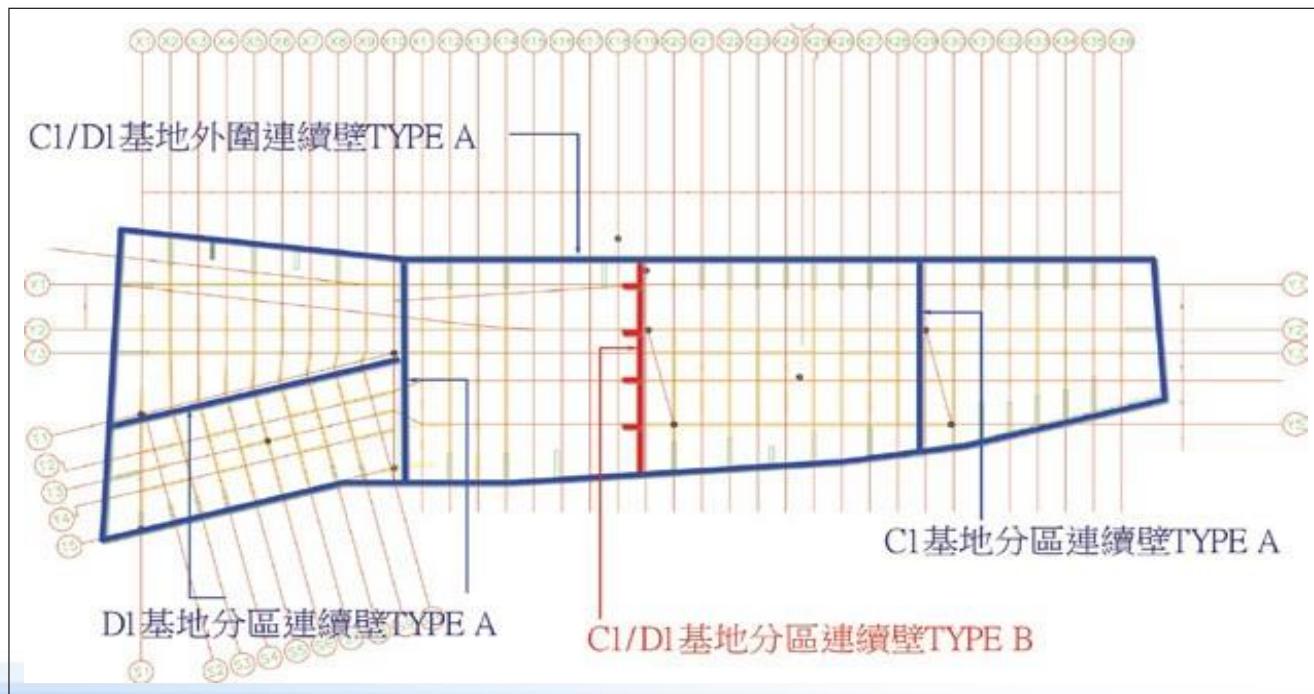




## (二) 開挖擋土規劃設計

### ➤ 開挖分區及支撐加勁

在2.8公頃的大面積開挖基地，其東西向距離長達340公尺，南北向寬度則由60公尺變化至120公尺，藉由縮小工作範圍，分散施工風險的概念，設計規劃採用連續壁來分割開挖基地範圍，將東西向切成四區塊，長度距離大約85公尺一區，在南北向寬度較大的一區，再切成南北兩區。



C1/D1 基地開挖分區圖



➤ 大範圍深開挖採分區連續壁設計之目的

1. 降低南北側連續壁之開挖變形。
2. 當做東西向（長向）支撐的轉換橫擋。
3. 減少支撐長度，增加支撐勁度。
4. 縮小開挖範圍，降低開挖風險。

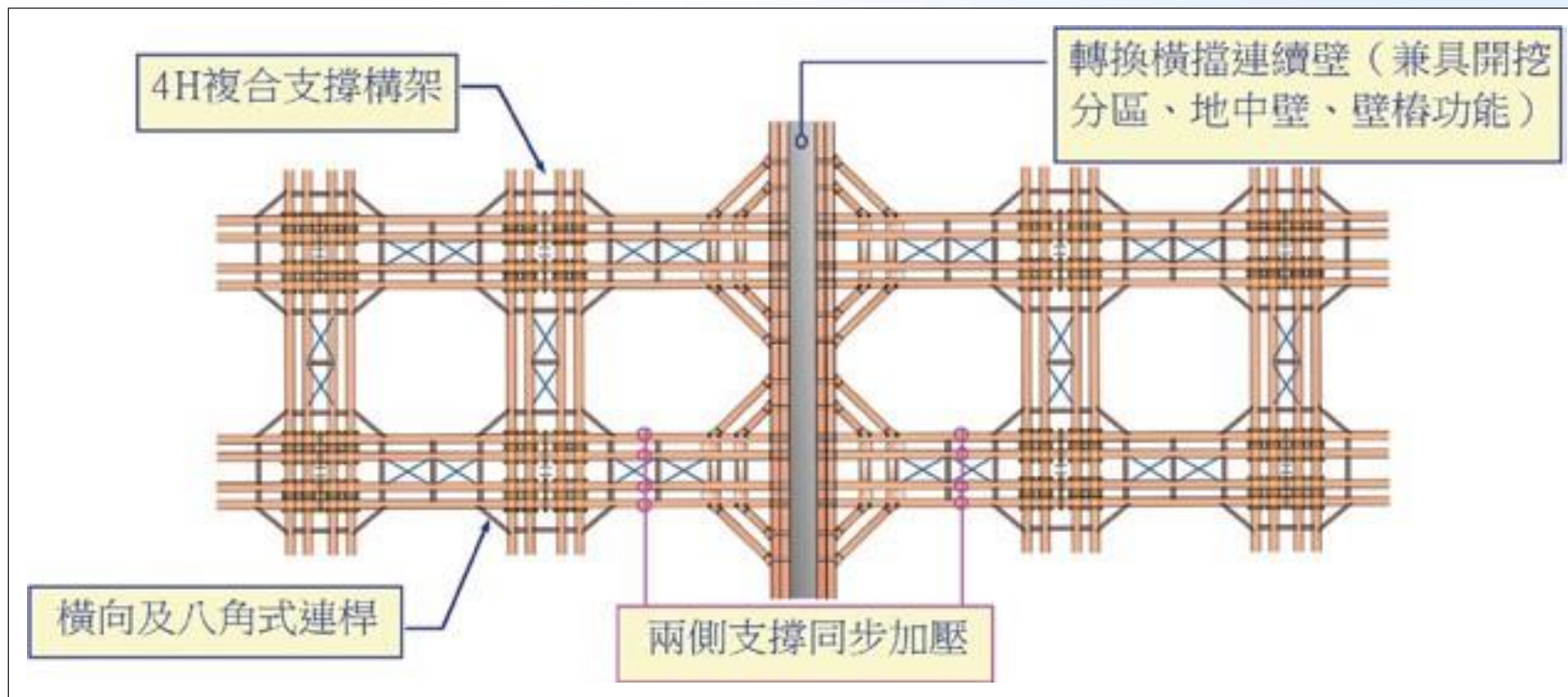
➤ C1/D1基地開挖分區後之水平支撐問題

1. 支撐細長比還是太大，勁度不足。
2. 支撐間距需加大，以便提供鋼結構投料空間。
3. 與壁體非正交支撐，有支撐側向滑動的隱憂。

➤ C1/D1基地大範圍開挖之水平支撐對策

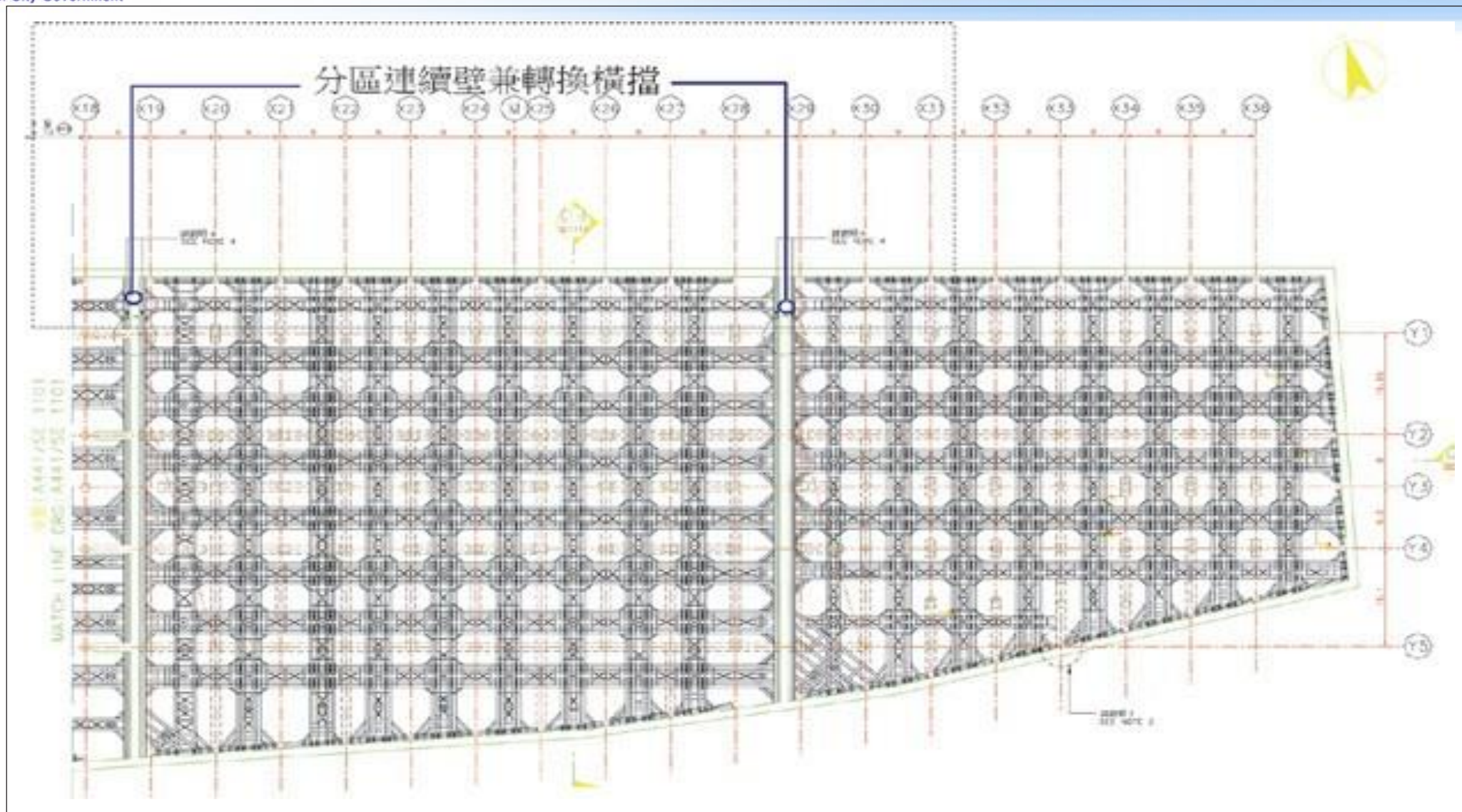
1. 設置四道分區連續壁以縮小開挖範圍。
2. 配置4H複合型鋼支撐構架，加強支撐勁度。
3. 水平支撐及中間柱系統外圍設置橫向、斜向繫桿，形成八角穩定構架。
4. 支撐與連續壁非正交區段，應檢核橫擋的抗滑性，必要時需設置止滑設施。





4H複合型鋼支撐構架圖

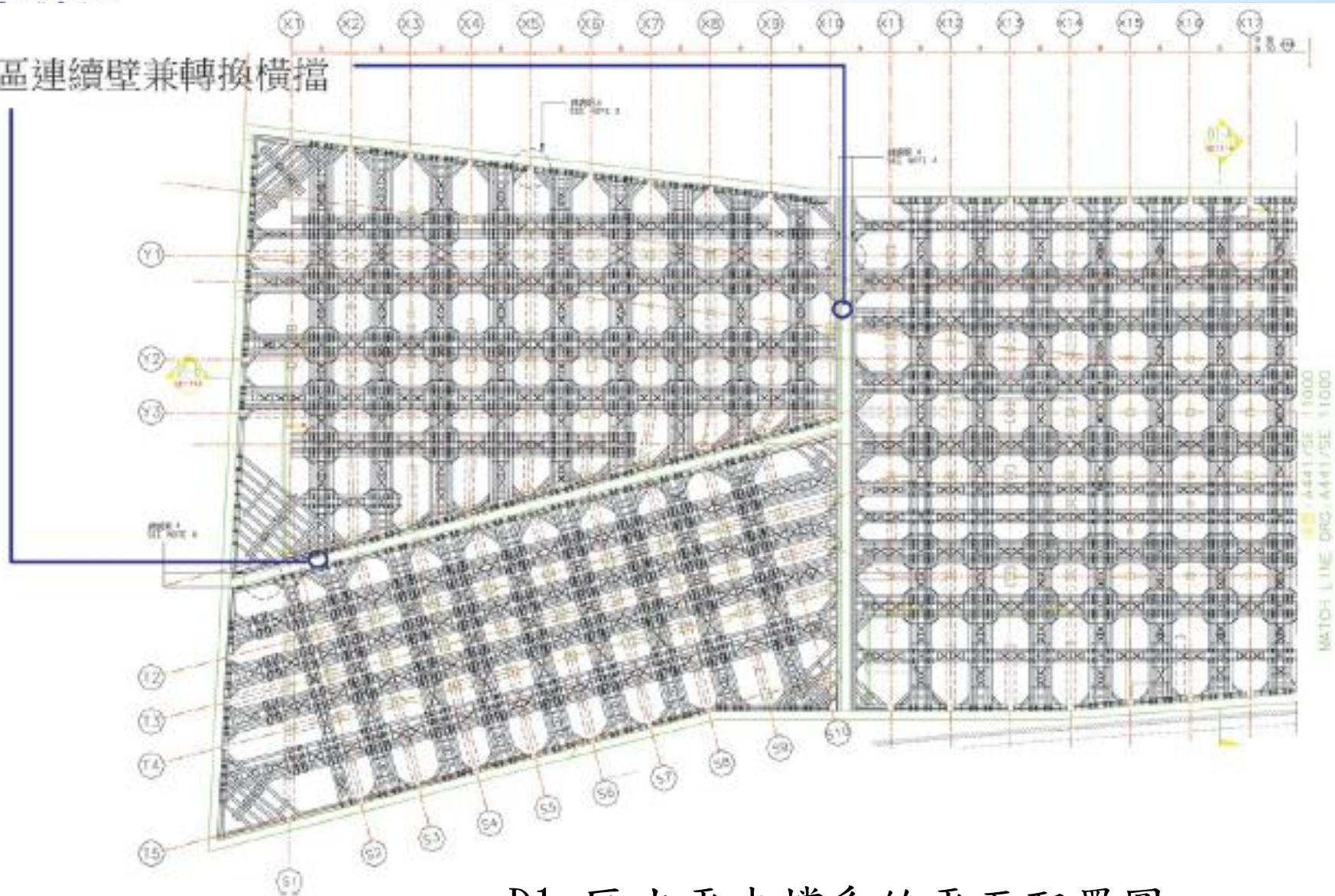




C1 區水平支撐系統平面配置圖



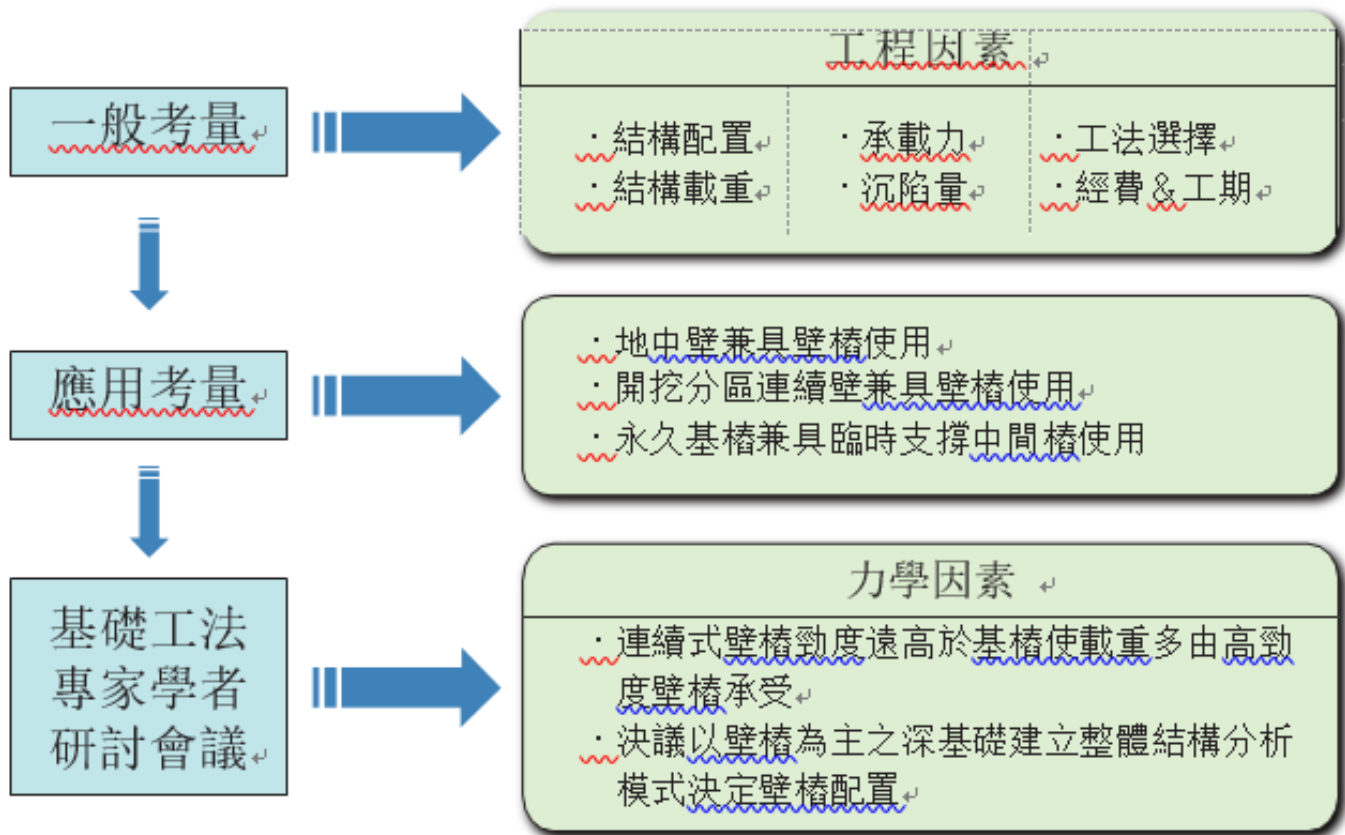
分區連續壁兼轉換橫擋



D1 區水平支撐系統平面配置圖



### (三) 超高層大樓基礎規劃設計



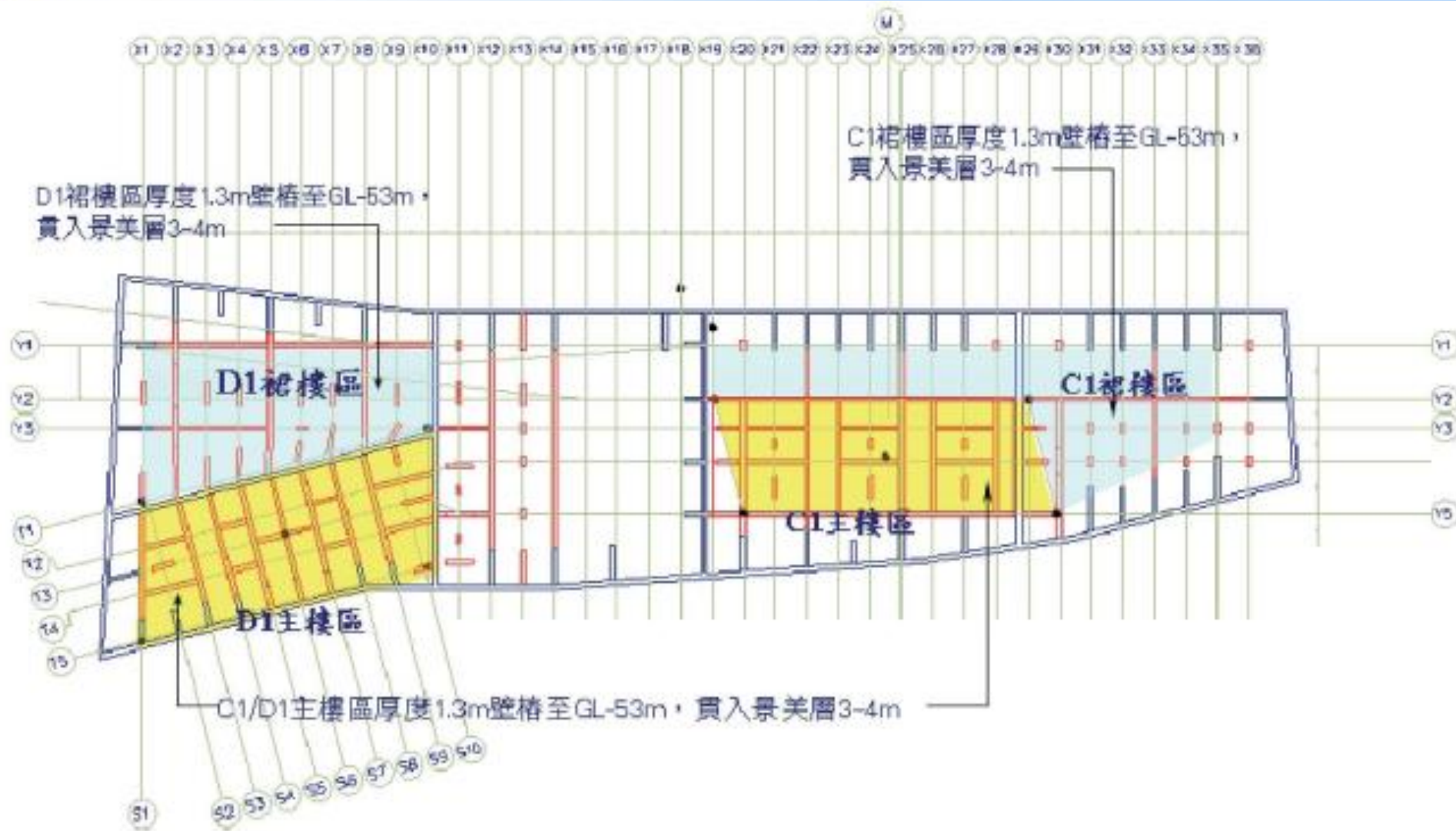
超高層大樓基礎規劃示意圖



既然已不可避免要使用基樁工法，那麼當做輔助擋土措施的地中壁，只要混凝土強度與基樁一樣，預留樁頭與基礎妥善銜接，就是一支很好的條型基樁（我們稱它為壁樁）；同理外圍連續壁及開挖分區連續壁，一樣只要與基礎妥善銜接，也是可以兼做承載壁樁使用的；另外永久性基樁搭配結構柱位配置，設計支撐系統時也配合柱位那麼其永久基樁就可兼具臨時支撐中間樁使用了！其特性可歸納為下列四項：

1. 複合式基樁的多功能運用。
2. 地中壁兼具壁樁使用。
3. 外圍連續壁及開挖分區連續壁兼具壁樁使用。
4. 永久基樁兼具臨時支撐中間樁使用。





C1/D1 超高層大樓基礎壁樁配置示意圖





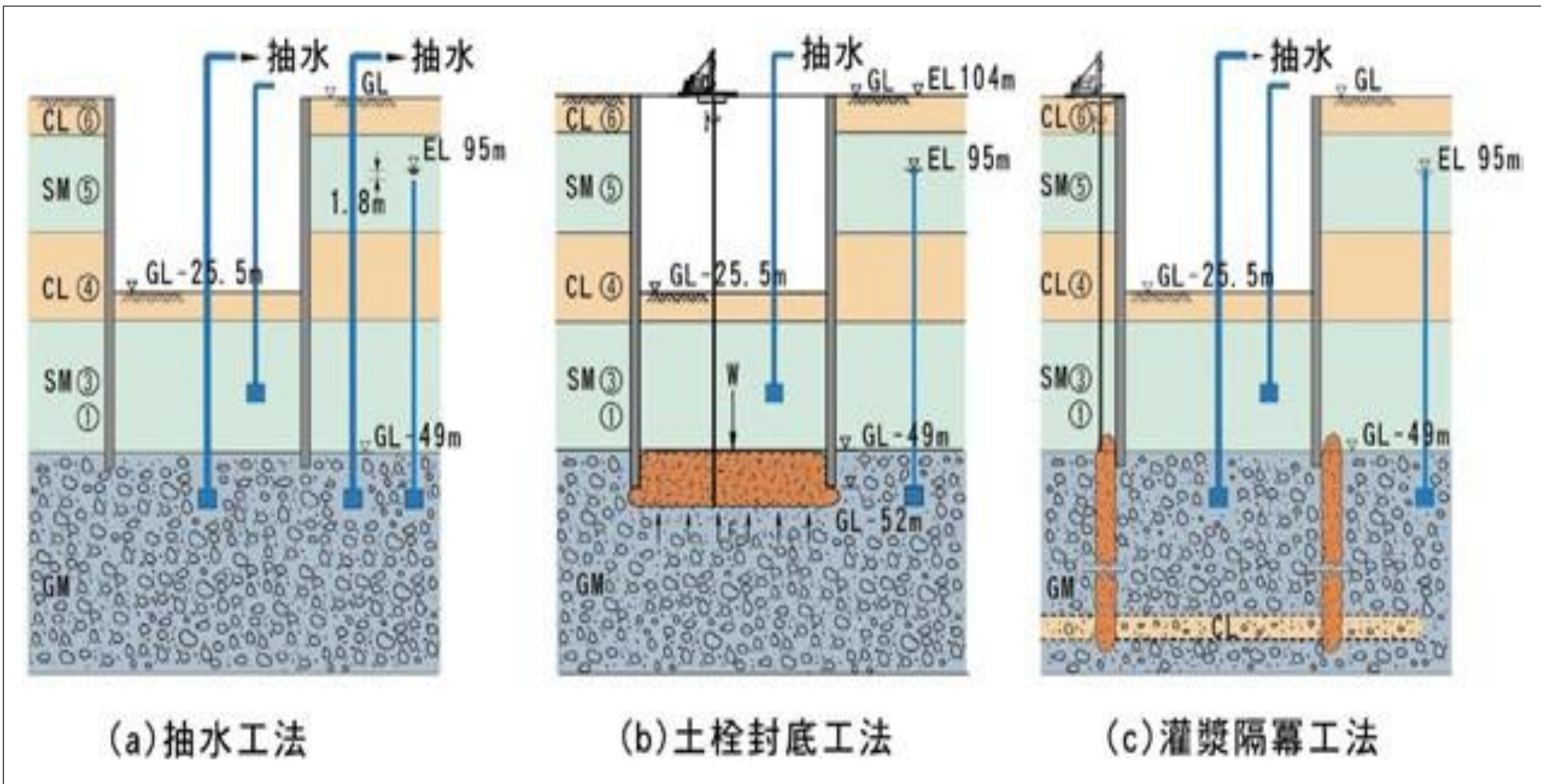
## (四)開挖降水分析設計

### 1. 景美層水壓控制工法

### 景美層水壓控制工法比較表

工法	工法說明	工法優點	工法缺點
<ul style="list-style-type: none"> <li>大口徑抽水工法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>於開挖區內外，設置深水井（口徑 66cm）深入景美層中。</li> <li>臺北捷運案例有261標、262標之通風豎井及201F標R13S車站。</li> <li>依新莊線景美層抽降5m經驗，影響範圍達5km，地表沉陷約10mm。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>工程費最低（約2億元）</li> <li>配合工期短。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>對臨近高、臺鐵隧道及周遭建物須評估影響。</li> <li>抽水影響範圍大，環境影響層面廣。</li> <li>預估每小時抽水量高達1500立方公尺以上。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>土栓封底工法 (grouted plug)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>於開挖區內部連續壁底端，以雙柵管灌漿構築封層。</li> <li>臺北捷運兒童交通公園旁的通風豎井、永安市場站及新莊線大橋國小站即是典型的案例。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工影響範圍小</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工費高達 8 億元</li> <li>配合工期長。</li> <li>景美層中連續壁施工費時費力。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>灌漿隔幕工法 (cut-off wall by grouting)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>自連續壁底端灌漿直達景美層下方的粘土層形成一截水牆，即可於車站內抽取景美層水位，解決上舉問題。</li> <li>中和線 CC277標有兩處連絡通道豎井即是以此工法施工。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工影響範圍小</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工費用預估在 15 億元以上（以貫入深 GL-80m 概算），視景美層下方粘土層位置而定，且配合工期長。</li> <li>改良後截水功能之成效測試不易。</li> </ul>





景美層水壓控制工法示意圖



依前述施工需求，對松山層及景美層抽降水所規劃降水需求，設計尚要檢核項目如下：

1. 依先行施工之前期現場抽水試驗後，將進一步確認調整預埋井數及口徑。

➤ 開挖降水評估

基地深開挖景美層之降水控制深度

結構名稱	開挖深度 (m)	連續壁貫入深度 (m)	降低水頭 (m)	
			SM/GM 層	額外抽水
C1 基地	27.1	52	EL. -46.2m	7m
D1 基地	27.1	52	EL. -45.8m	8.4m



2. 周邊排水系統可容納A1車站與鄰近G14站施工之聯合抽水之排水量。

時期	A1 車站與 G14 車站開挖，對景美層抽水同時最大排水量與鄭州路南側排水箱涵允許容量比較
常時	排水箱涵 6.46cms > 抽水量 (2.65+1.2) cms (OK)
暴雨	排水箱涵 4.06cms > 抽水量 (2.65+1.2) cms (OK)



### 3. A1車站、G14及G15車站聯合抽水造成之壓密沉陷量，對臺高鐵隧道行車營運不得影響。

#### G14車站與C1/D1基地同時抽水時程與產生壓密沉陷量評估

		97年	98年	99年	
					
點位		第I階段 97/3/19-98/3/11 357日	第II階段 97/3/11-99/5/5 420日	第III階段 99/5/5-99/12/11 220日	總沉陷量 (mm)
A	降水壓(T/m <sup>2</sup> )	7.3	12.0	7.0	8.7
	沉陷量(mm)	2.5	4.2	2.0	
B	降水壓(T/m <sup>2</sup> )	9.0	13.0	9.0	10.3
	沉陷量(mm)	3.1	4.6	2.6	

■考慮G14, G15及A1車站聯合抽水並取各階段降水壓之峰值  
 ■假設連續抽水，忽略抽水間斷期間  
 縱向差異沉陷量  $d = 0.3 \text{ mm}/10\text{m} < 3.2 \text{ mm}/10\text{m}$  (高鐵軌床容許變位量之規定) · OK



## (五)鄰近建物保護及安全監測

### 1. 建物保護方案

鑑於本基地開挖範圍廣大、兩側建築物結構差異性大，原則提出開挖區內減緩連續壁體變形之措施及開挖區外鄰近建物地盤強化低壓灌漿保護等建物保護的方式。開挖基地之建物保護方案，

- 1.1 C1/D1基地開挖區內，實施連續壁型對撐式地中壁，地中壁於開挖面上不配筋，混凝土 $f_c'$ 採用 $7\text{N/mm}^2$ ；緊貼外圍連續壁單元，則回填 $14\text{N/mm}^2$ 無筋混凝土，作為扶壁。開挖面下配筋兼作壁樁使用，混凝土強度 $f_c'$ 採用 $25\text{N/mm}^2$ 。
- 1.2 於重慶北路開挖區不利施作地中壁區域，以高壓噴射灌漿 GL-5m至GL-40m施作，高壓噴射灌漿改良樁能增強土壤被動抵抗力，以抑制連續壁變形及地表沈陷量之發展。
- 1.3 在開挖區外之鄭州路地下街、臺高鐵隧道、臺鐵地下停車場等鄰近建物，實施建物基礎下方雙環塞低壓灌漿，改良深度約由地表下5m至30m。



## 2. 施工安全監測

### 2.1 明挖覆蓋車站

明挖覆蓋工區依照開挖分區或約每50m設1~2處監測斷面，每個監測斷面將有壁中傾度管、支撐應變計、鋼筋應力計及地表型沉陷點6~8個。

### 2.2 鄰近建物、高架結構與公共管線

在捷運工程影響範圍內之建物，四個角隅柱位設置結構型沉陷點至少一個。若建物為指定保護建物、加強保護建物或緊鄰捷運工程開挖區段之建築物、地上構造物，則在建物或構造物朝開挖面方向柱位至少設置1個傾斜儀。裂縫計則依建物現況，設置在現有裂縫上；管線型沉陷點原則上設置在管線的伸縮縫處。

### 2.3 開挖區內底面

布設隆起桿、電子式水壓計約每40m 1個斷面，電子式水壓計埋設於開挖底面下的粉土質砂土或礫石層中。開挖區外水位觀測井及水壓計約每60m~100m一支。



## 2.4 臺高鐵路隧道

為觀測隧道結構垂直沉陷量，布設水平桿式沉陷計於隧道南北兩邊側牆每2~3m一支，每9m~10m加設1支3m垂直桿式沉陷計，將所有沉陷計串聯，並於第一支處設3D自動測沉系統之測沉菱鏡基準點，配合隧道頂部菱鏡沉陷點即時觀測。

為觀測隧道結構傾斜程度，布設電子傾斜計於隧道側牆，在隧道南北兩邊側牆約每30m一組，另在隧道結構伸縮縫處，裝設接縫計，量測接合處之開合變位。

對於臺高鐵路隧道安全監測方案，由於營運中之臺高鐵路隧道，安全監測人員無法隨時進入，因此對臺鐵、高鐵路隧道軌道，設置電子自動化監測系統，包括採用電子傾斜計、電子式桿式沉陷計、3D 自動測沉系統等方式進行臺高鐵路隧道之自動化監測。



## 2.5 水壓之控制及水平支撐系統

C1/D1基地深開挖工程，因松四層底部及景美層水壓之控制及水平支撐系統，是本開挖工程安全最重要的控制因素，故應選擇重點項目儀器如電子式水壓計、支撐應變計等，為電子式儀器，採用自動監測管理，對特殊工程施工期間（如開挖期間、大量抽降水時及地震過後）可立即機動調整增加監測頻率，連續掌握現場即時資訊。





## 五. 施工實務

- 連續壁、壁樁基礎施作
- 基樁施作
- 松山層、景美層祛水施工及管理
- 車站開挖及支撐系統架設
- 橫置連續壁切割敲除
- 鄰近建物保護及安全監測



# (一)連續壁、壁樁基礎施作

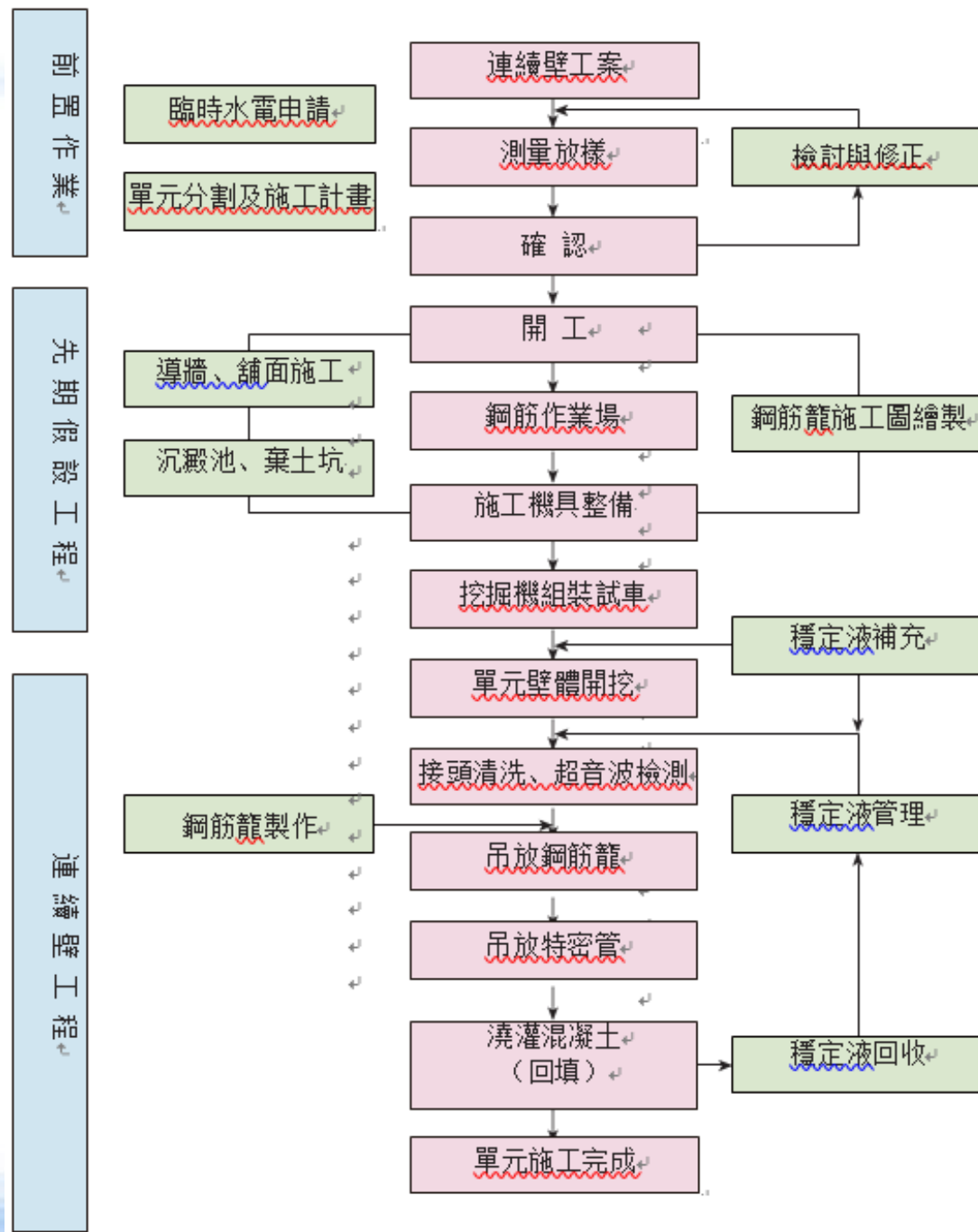
## 1. 連續壁、壁樁施作



C1區單元分割圖

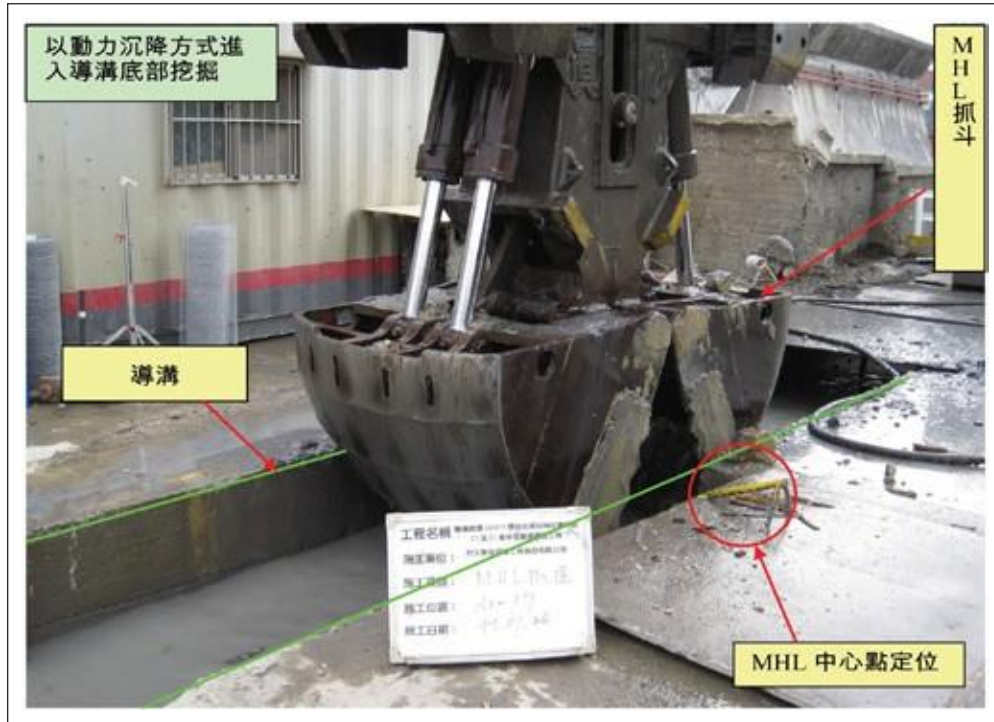
C1連續壁單元分割圖





連續壁施工流程圖





M. H. L. 抓掘機施工照片



三點吊法吊放鋼筋籠施工照片

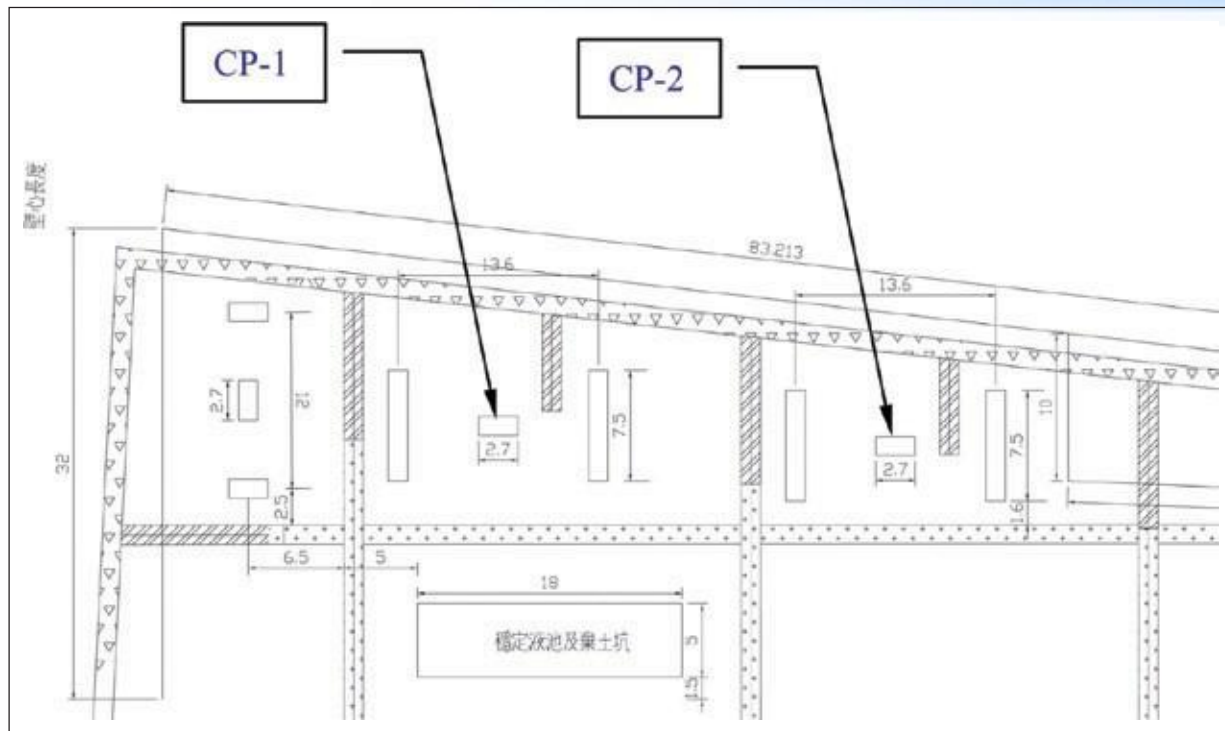


## 2. 前期載重試驗

壁樁之前期載重試驗是為求取壁樁承载力參數以回饋設計之用，故以極限載重試驗為之，是為本工程優先工作，本工程應先試樁完成後，經確認後方可繼續施做壁樁。壁樁之工作載重試驗為驗證試驗，以證明已完成之工作壁樁足以承擔設計荷重。試樁時間應考慮試樁施工過程中孔隙水壓及地層強度變化之影響，且應等待混凝土強度足夠達到設計強度後方可進行試驗。所有試驗樁均在載重試驗前先進行超音波跨孔完整性試驗，以瞭解基樁結構體之品質。

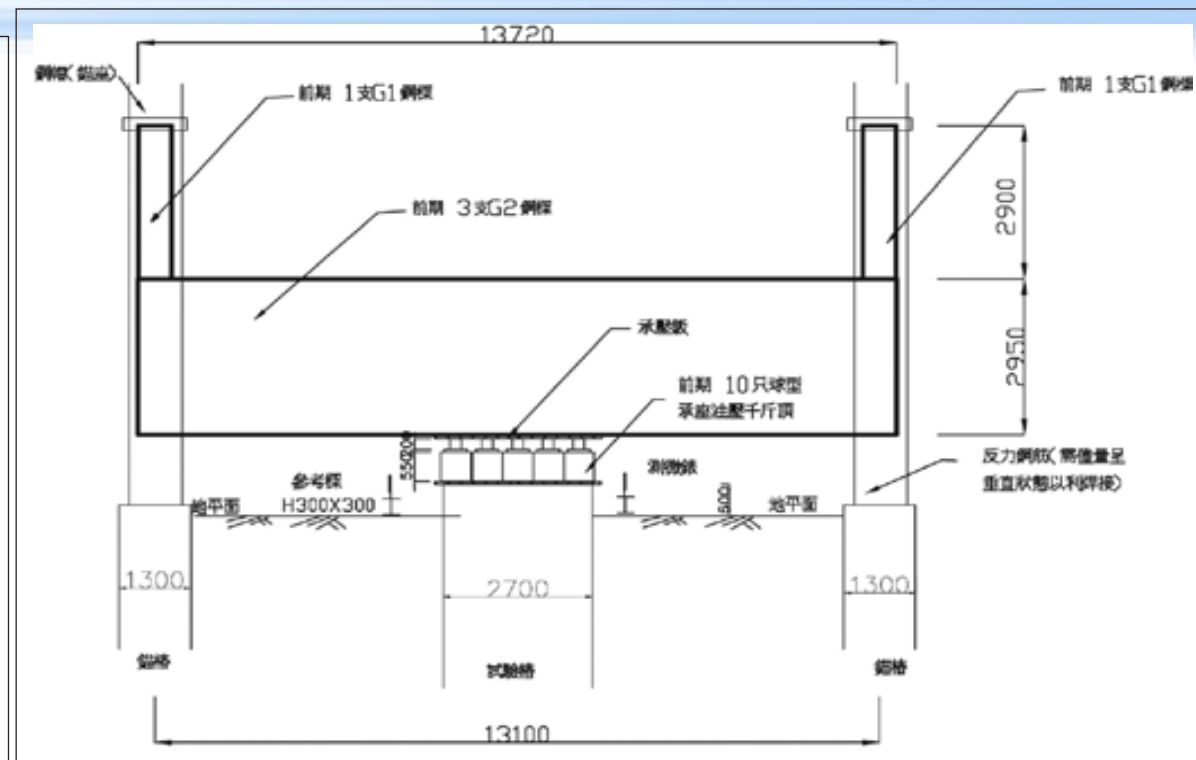
本工程依規定進行2組前期載重試驗，依設計試驗載重噸數，加載於空打段（即空打段均須製作鋼筋籠並澆置混凝土），空打段則採消除摩擦力設施降低摩擦力，並由安裝於空打段底部處之鋼筋應力計，於試驗時立即計算實際樁頂受力。





試驗主樁與錨樁之配置圖

樁號	樁厚 (m)	樁寬 (m)	樁底高程 GL: m	空打深度 GL: m	試驗載重 (tons)	礫石深度 (m)	試驗類別
CP1	1.3	2.7	-53.0	-27.0	4600	48.8	抗壓
CP2	1.3	2.7	-52.0	-27.0	5600	48.9	抗壓



CP1 抗壓載重試驗立面配置圖

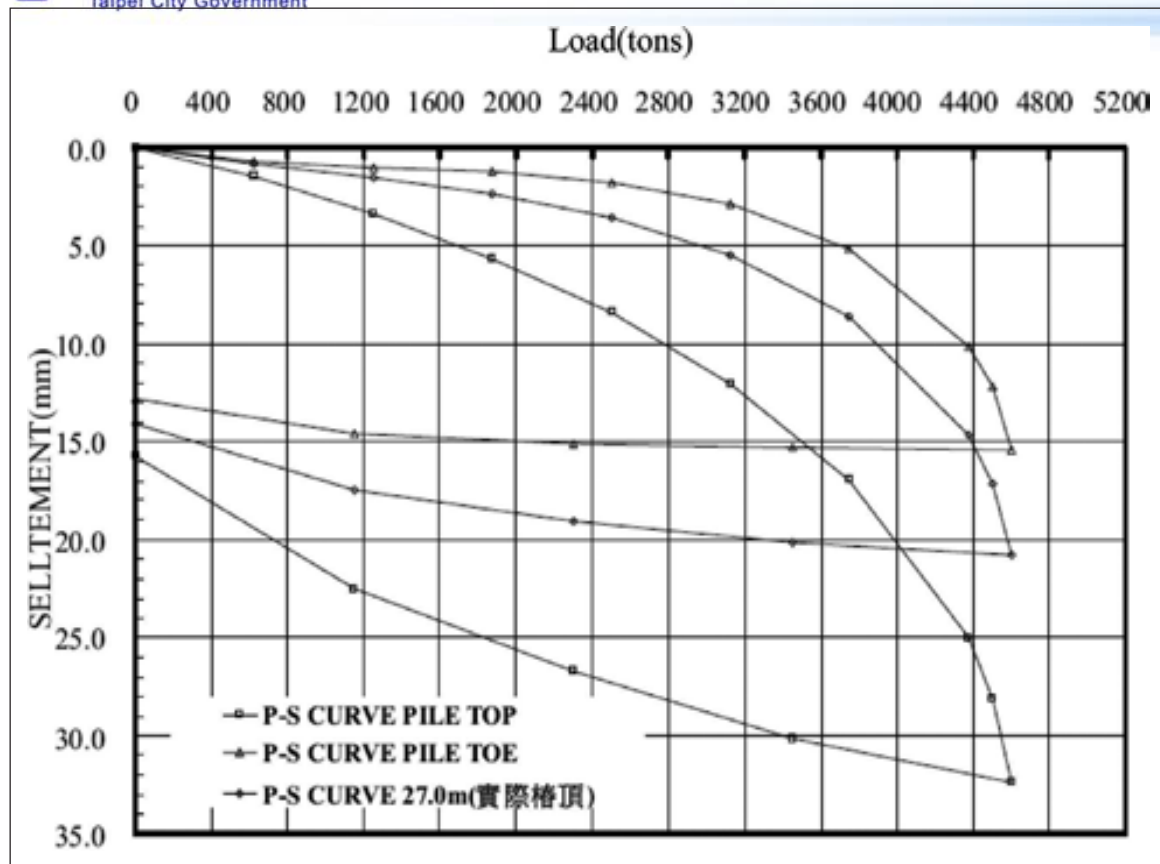
樁號	樁厚 (m)	樁寬 (m)	樁底高程 GL (m)	備註欄
AP3	1.3	7.4	-53.7	CP1 錨樁
AP4	1.3	7.9	-53.5	CP1 錨樁
AP5	1.3	7.7	-53.5	CP2 錨樁
AP6	1.3	7.9	-53.5	CP2 錨樁



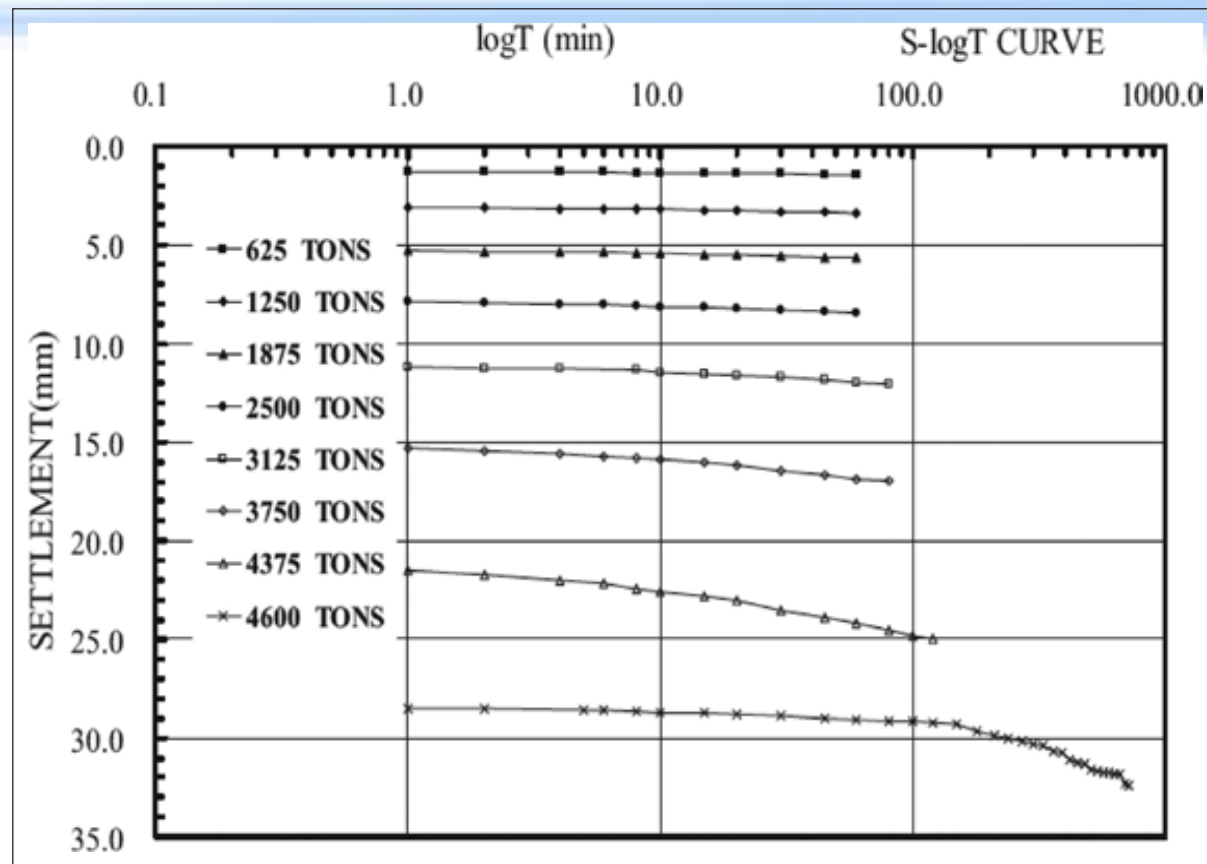


壁樁抗壓載重試驗





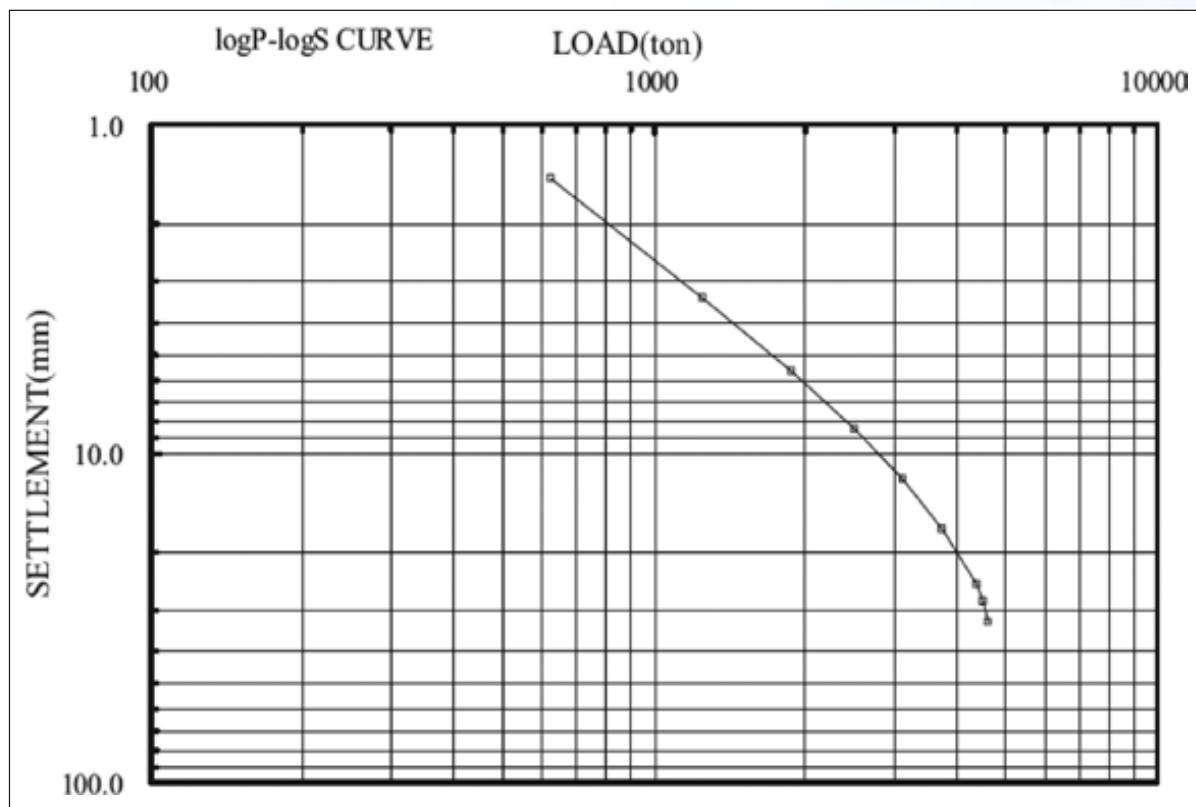
CP1 載重—沉陷量 (P-S) 關係圖



CP1 logT —沉陷量關係圖







CP1 載重—沉陷量 (logP-logS) 關係圖

## 試驗結果

- 由試驗樁沉陷、受力傳遞行為皆正常、承載能力亦可達設計需求之狀況研判，應不致有影響基樁功能之顯著缺陷發生。
- 基樁試驗過程並未呈現明顯之降服或極限趨勢外；樁身尚有較深層之土層／礫石層部分之摩擦力仍尚未達極限值，樁底點承力受力不大，顯示基樁之承載能力尚未完全發揮，應可符合設計需求。



## (二) 基樁施作

項次	施工區域	基樁型式	樁位編號	數量	預估樁深
1	C1 區	1.5m	P2H 1~44	44 支	53 m
		1.2 m	P3 1~97	97 支	53 m
		1.0 m	P4 1~31	31 支	39 m
2	重慶北路區	2.0 m	P1 1~20	20 支	55 m
		1.5 m	P2 1~5	5 支	53 m
		1.2 m	P3 98~210	113 支	53 m
3	D1 區	1.5 m	P2 6~11	6 支	53 m
		1.5 m	P2H 45~100	56 支	53 m
		1.2 m	P3 211~285	75 支	53 m
		1.0 m	P4 32~60	29 支	39 m

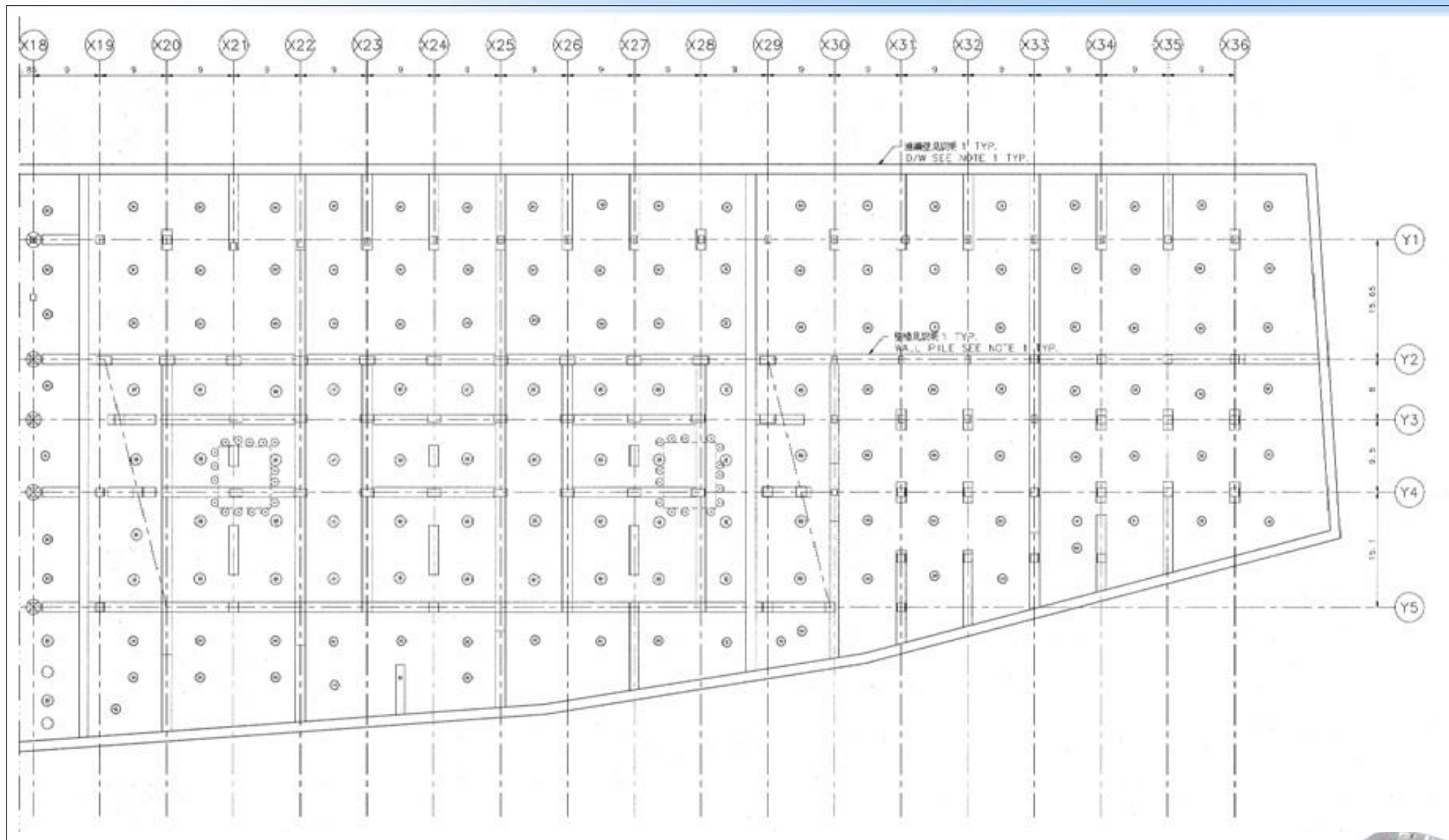
場鑄基樁內容及數量



項次	施工區域	基樁型式	樁位編號	型鋼尺寸	數量	型鋼長度
1	C1 區	P2H	1~8、11~12、15~24、27~28、31~32、35~44	H458×417×30×50	34 支	28.5m
			9、10、13、14、25、26、29、30、33、34	H414×405×18×28	10 支	28.5m
		P3	1~9、11~15、17~23、25~30、32~39、41~42、45~46、48~50、53~55、57~59、61~63、65~67、69~72、74~76、78~81、83~96	H458×417×30×50	81 支	28.5m
			24、31	H458×417×30×50	2 支	30.7m
			40、43~44、47、52、56、60、64、68、73、77、82	H414×405×18×28	12 支	28.5m
			10、16、51、97	H400×400×13×21	4 支	28.5m
2	重慶北路區	P3	98~165	H458×417×30×50	68 支	28.5m
3	D1 區	P2H	91、99、100	H400×400×13×21	3 支	28.5m
			56、61、66、86	H414×405×18×28	4 支	28.5m
			45~55、57~60、62~65、67~85、87~90、92~99	H458×417×30×50	49 支	28.5m
		P3	194、198~199、227~228、233~235、243、261~262、268~271、277~280、285	H400×400×13×21	20 支	28.5m
			217、223、229、236~237	H414×405×18×28	5 支	28.5m
			166~193、195~197、200~216、218~222、224~226、230~232、238~242、244~260、263~267、272~276、281~284	H458×417×30×50	95 支	28.5m

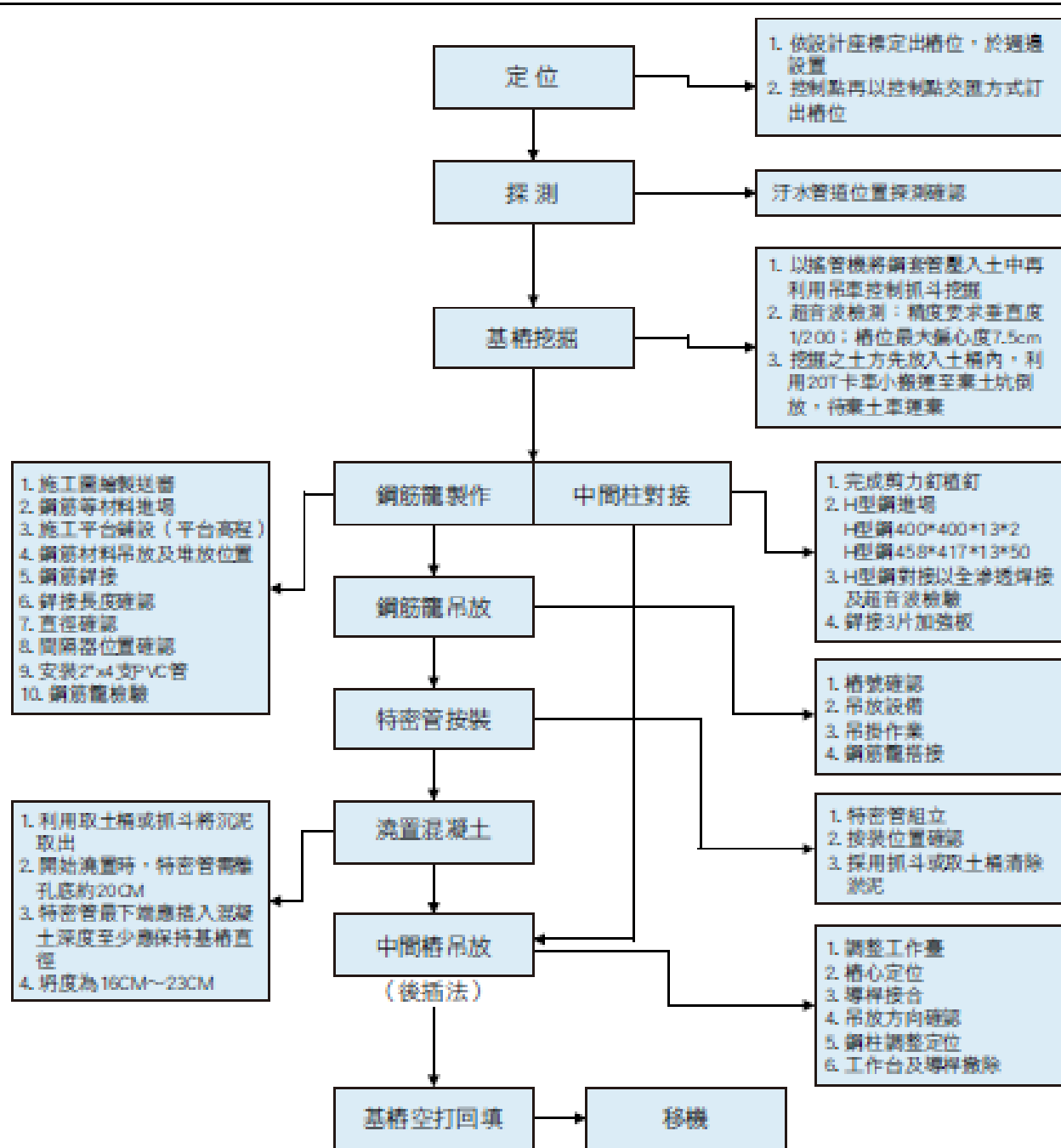
## 支撐鋼柱內容及數量





C1 區基樁配置圖





## 全套管基樁施工流程





全套管基樁抓斗



全套管基樁鋼套管 (D=1.0m ~ D=2.0m)



全套管基樁掘樁



基樁混凝土澆置完成，主體開挖支撐系統—中間柱型鋼吊放插入混凝土



### (三)松山層、景美層祛水施工及管理

#### 1. 松山層祛水

基地內周邊皆設置深度GL-52~-53m 之連續壁，而松山層深度為GL-50m，故基地內與基地外的松山層已被連續壁隔斷，抽水時無須考慮基地外松山層地下水補注情況，所以C1基地內松山層規劃配置21口40m深的抽水井，D1基地內松山層規劃配置45口40m深的抽水井，即可滿足抽降水需求。

儀器名稱	代碼	監測頻率（針對人工量測）	警戒值		行動值	
水位觀測井	OW	抽水期間每日一次隨後每週二次	以開挖前之平均值為基準值，1m 落差及 1m 漲昇		再超過警戒值 1m	
電子感應式水壓計 49M（區內景美礫石層上覆之砂土層）電子感應式水壓計 57M（區內、區外景美礫石層）	PZT	抽水期間每日一次隨後每週二次自動監測系統（區內）	警戒值（EL.+m）		行動值（EL.+m）	
			分區	C1 區	分區	C1 區
			第八階開挖	> -4.5	第八階開挖	> -3.5
			第九階開挖	> -10.0	第九階開挖	> -9.0
			局部柱位降挖	> -11.5	局部柱位降挖	> -10.5
			FS 版完成	> -8.5	FS 版完成	> -7.5
			地梁完成	> -7.4	地梁完成	> -6.4
B4F 版完成	> +3	B4F 版完成	> +4			

現場監測頻率表與安全監測安全管理值



儀器名稱	代碼	監測頻率（針對人工量測）	警戒值		行動值	
			警戒值（EL.+m）		行動值（EL.+m）	
			分區	C1 區	分區	C1 區
區內電子感應式水壓計 30M（區內松三層）	PZT	抽水期間每日一次隨後每週二次自動監測系統	第四階開挖	-	第四階開挖	-
			第五階開挖	>-2.6	第五階開挖	> -1.6
			第六階開挖	>-8.4	第六階開挖	> -7.4
			第七階開挖	>-14.3	第七階開挖	> -13.3
			第八階開挖	>-20.8	第八階開挖	> -19.8
			第九階開挖	>-24.2	第九階開挖	> -23.2
			局部柱位降挖	>-25.0	局部柱位降挖	> -24.0
			區外電子感應式水壓計 30M（區外松三層） 水壓計 32M	PZT	抽水期間每日一次隨後每週二次	以開挖前之平均值為基準值，1m 落差及 1m 漲昇
區外豎管式水壓計 52M（區外景美礫石層）	PZS	抽水期間每日一次隨後每週二次	以各階段深井啟動二天後為基準值，1m 漲昇		再漲昇超過警戒值 1m	
區外豎管式水壓計 30M（區外松三層）	PZS	抽水期間每日一次隨後每週二次	以開挖前之平均值為基準值，1m 落差及 1m 漲昇		再超過警戒值 1m	

## 現場監測頻率表與安全監測安全管理值





## 2. 景美層祛水

景美層位於松山層之下，主要由卵礫石所組成，工程上可視為良好之承載層。景美層抽水井係利用連續壁施工時已預埋之鋼管（壁中井）進行施工，依據連續壁設計圖說，本基地連續壁（厚度1.3m）深度52~53m，約貫入卵礫石層2~3m，並預埋深度約與連續壁同深，直徑約為60~70cm鋼套管，內置抽水管，管徑16”（40cm）。

- C1區單井分級抽水試驗。
- 第一階段群井抽水試驗，14口抽水井逐一開啟抽水。
- 第二階段群井抽水試驗，依據第一階段群井試驗結果估算14口井抽水能量可能不足，因而增設4口井後再進行大水量且長時間抽水之群井試驗。
- 鄰近基地抽水互制：鄰近之松山線CG590A標G14車站共打設24口景美層深井，自G14車站抽水試驗起，兩標即每周互通景美層抽水管控資訊，並於抽水營運調整前通報對方，使雙方能及早因應，避免發生非預期性之水壓大幅升降變化，共同維持景美礫石層水壓之穩定性。



# C1區18口群井同步抽水試驗程序及水量與水位觀測時間表

階段	內容	說明
A	抽水井同步開啟	18 口抽水井同步開啟，控制抽水量於 6CMM。抽水時間達 5 天以上且水位洩降量與對數時間值 ( $\log(t)$ ) 之關係曲線達轉折後並趨於穩定。
	抽水量量測頻率	各抽水井抽水機開始後： 0 ~ 2hr 連續量測； 2 ~ 36hr：每 2hr 量測 1 次； 36hr ~：每天量測 2 次； 4hr 以後至少每 2hr 量測 1 次至群井抽水試驗結束。
	觀測井水位量測頻率 (抽水階段)	區內電子感應式水壓計：自動化觀測 ( 頻率每 1 分鐘 1 次以上 ) 區外電子感應式水壓計及豎管式水壓計： 0 ~ 12hr：每 hr 量測 1 次； 12 ~ 36hr：每 2hr 量測 1 次； 36hr ~：每天量測 2 次；
B	抽水井筏門全開	18 口抽水井之控制閘門同步全開，使各抽水機以最大出水量抽水預估抽水量可由 6CMM 增加至 6.5 ~ 8CMM，以加速抽降至管控水壓之時程。
	抽水量量測頻率	各抽水井筏門全開後： 0 ~ 2hr 連續量測； 2 ~ 36hr：每 2hr 量測 1 次； 36hr ~：每天量測 2 次。
	觀測井水位量測頻率 (抽水階段)	區內電子感應式水壓計：自動化觀測 ( 頻率每 1 分鐘 1 次以上 ) 區外電子感應式水壓計及豎管式水壓計： 0 ~ 12hr：每 hr 量測 1 次； 12 ~ 36hr：每 2hr 量測 1 次； 36hr ~：每天量測 2 次；

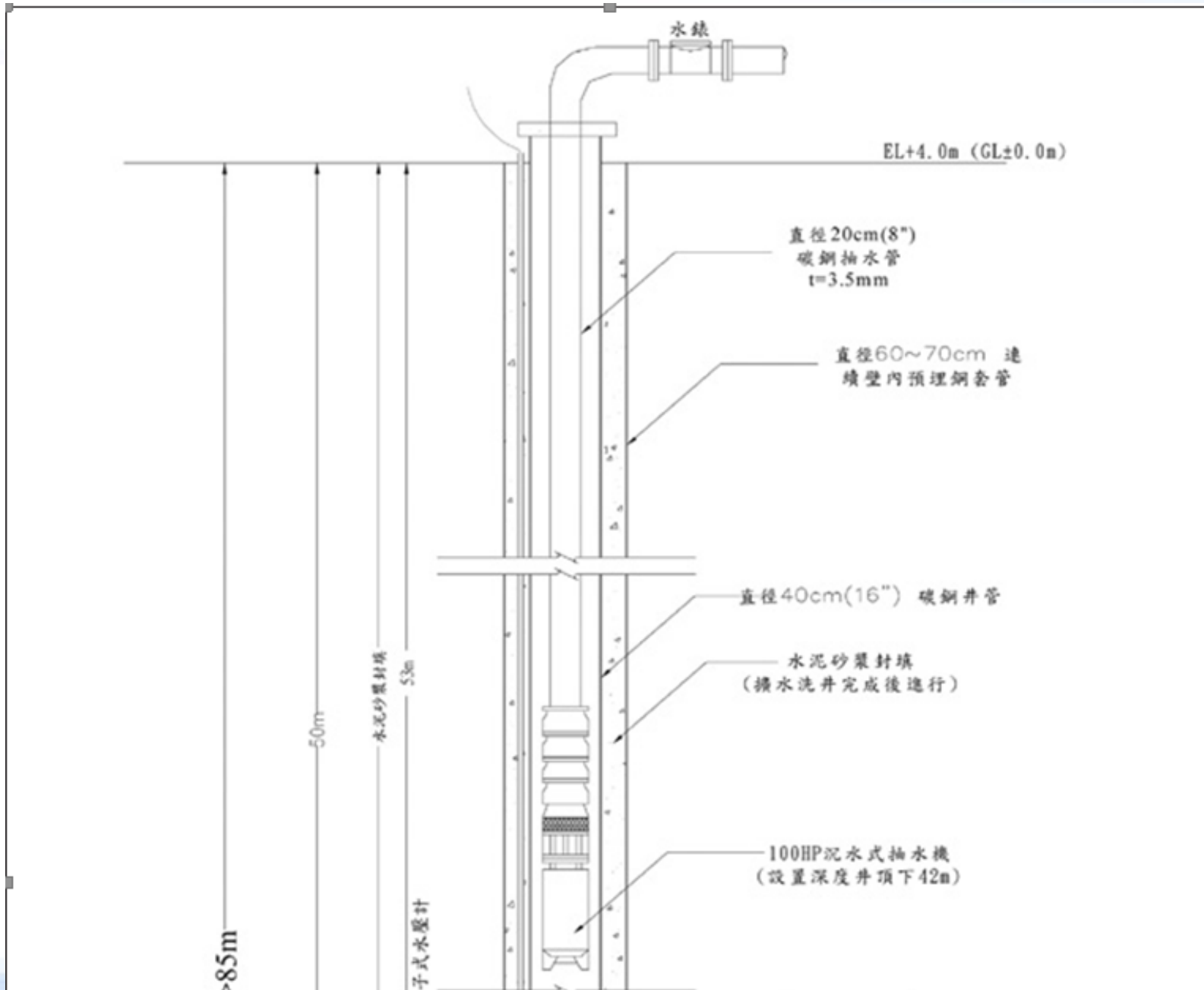


階段	內容	說明
C	抽水井逐口停抽	每 24 小時關閉 1 口抽水井，逐口關閉抽水井直到無法維持水位低於管控水位，再持續抽水三天以上，確認水位呈微幅下降之趨勢，以評估滿足管控水位所需之抽水井數。
	抽水量量測頻率	每天量測 2 次。
	觀測井 水位量測頻率 (抽水階段)	區內電子感應式水壓計：自動化觀測（頻率每1分鐘1次以上）區外電子感應式水壓計及豎管式水壓計：每天量測 2 次；
D	觀測井 水位量測頻率 (回升階段)	區內電子感應式水壓計：自動化觀測（頻率每1分鐘1次以上）區外電子感應式水壓計及豎管式水壓計： 回升 0 ~ 12hr：每小時量測 1 次 回升 12 ~ 36hr：每 2 小時量測 1 次 回升 36hr ~：每天量測 2 次，持續至水位回升已達相對穩定狀態

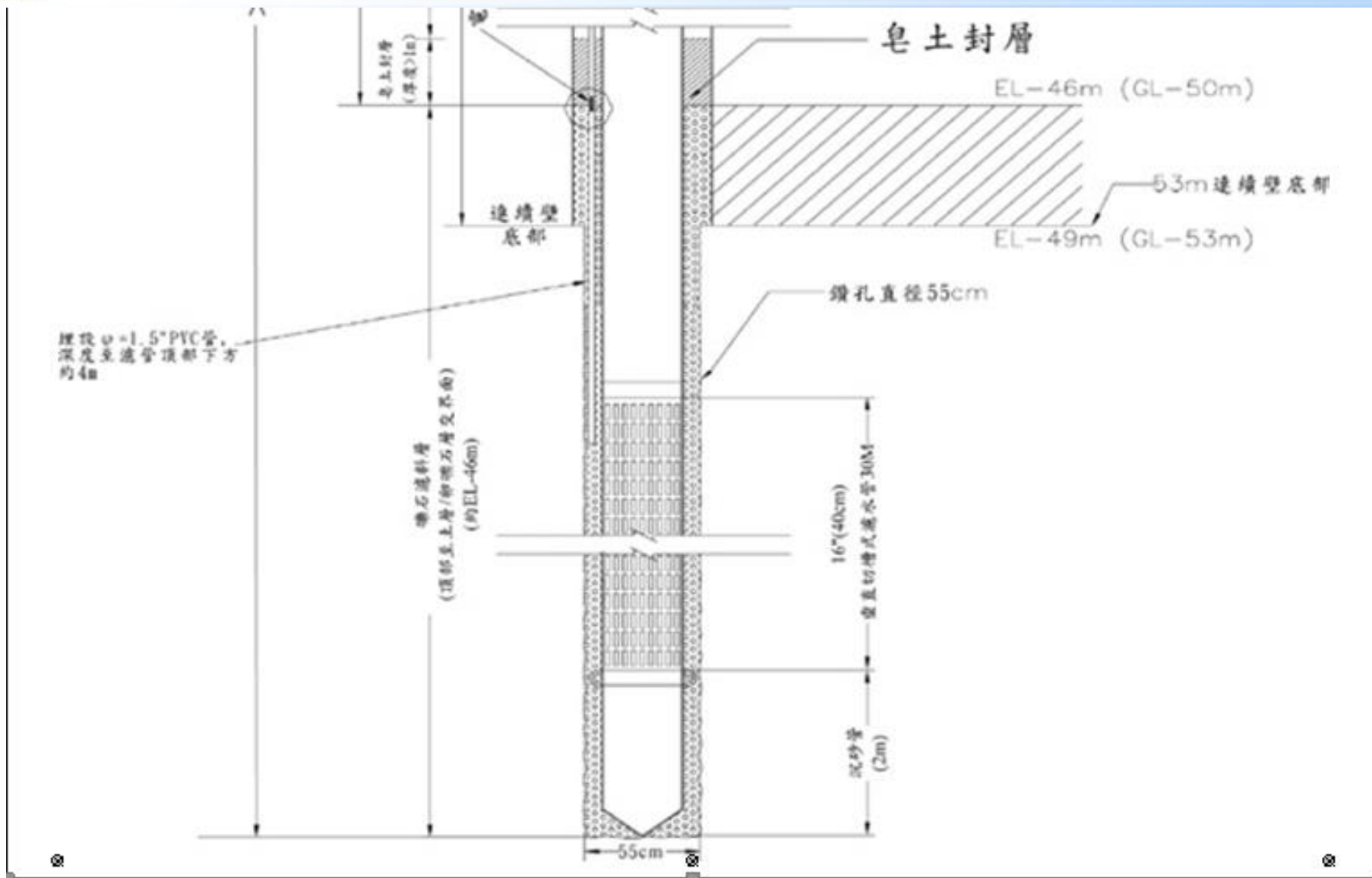
註：預定 C 階段每 24 小時逐口關閉抽水井，直到無法維持水位低於管控水位為止；實際關井順序將視區內深層水位之回升情形而定。



# 景美層抽水 井構造圖1/2



景美層抽水  
井構造圖2/2

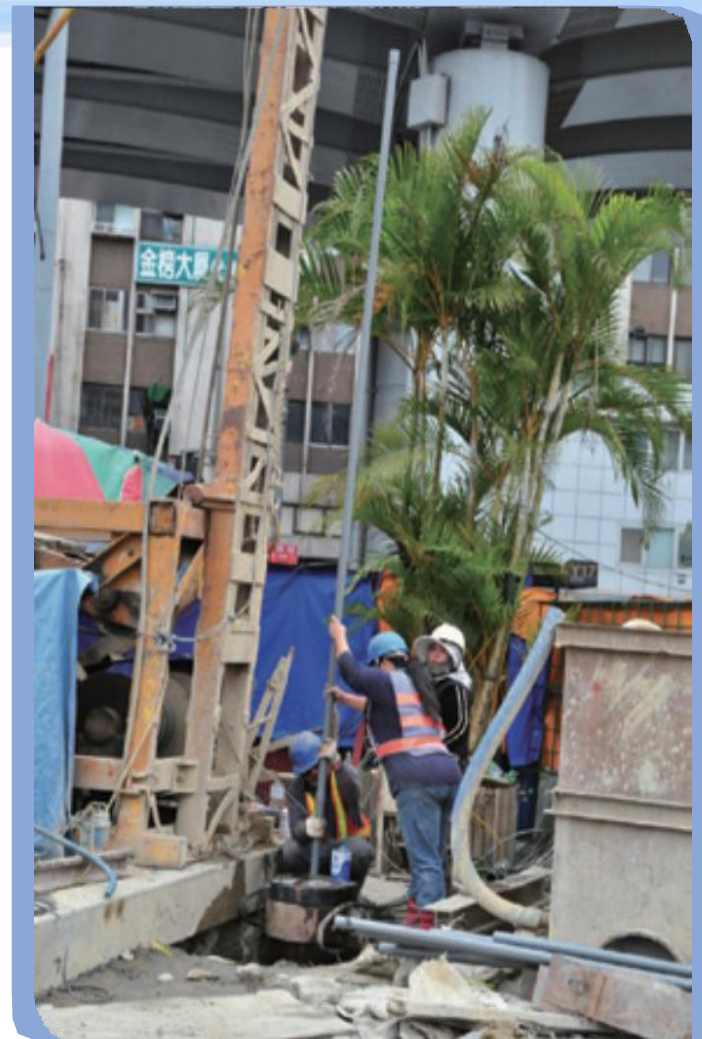




景美層抽水井鑽掘



井管安裝



觀測井安裝





洗井



抽水馬達安裝

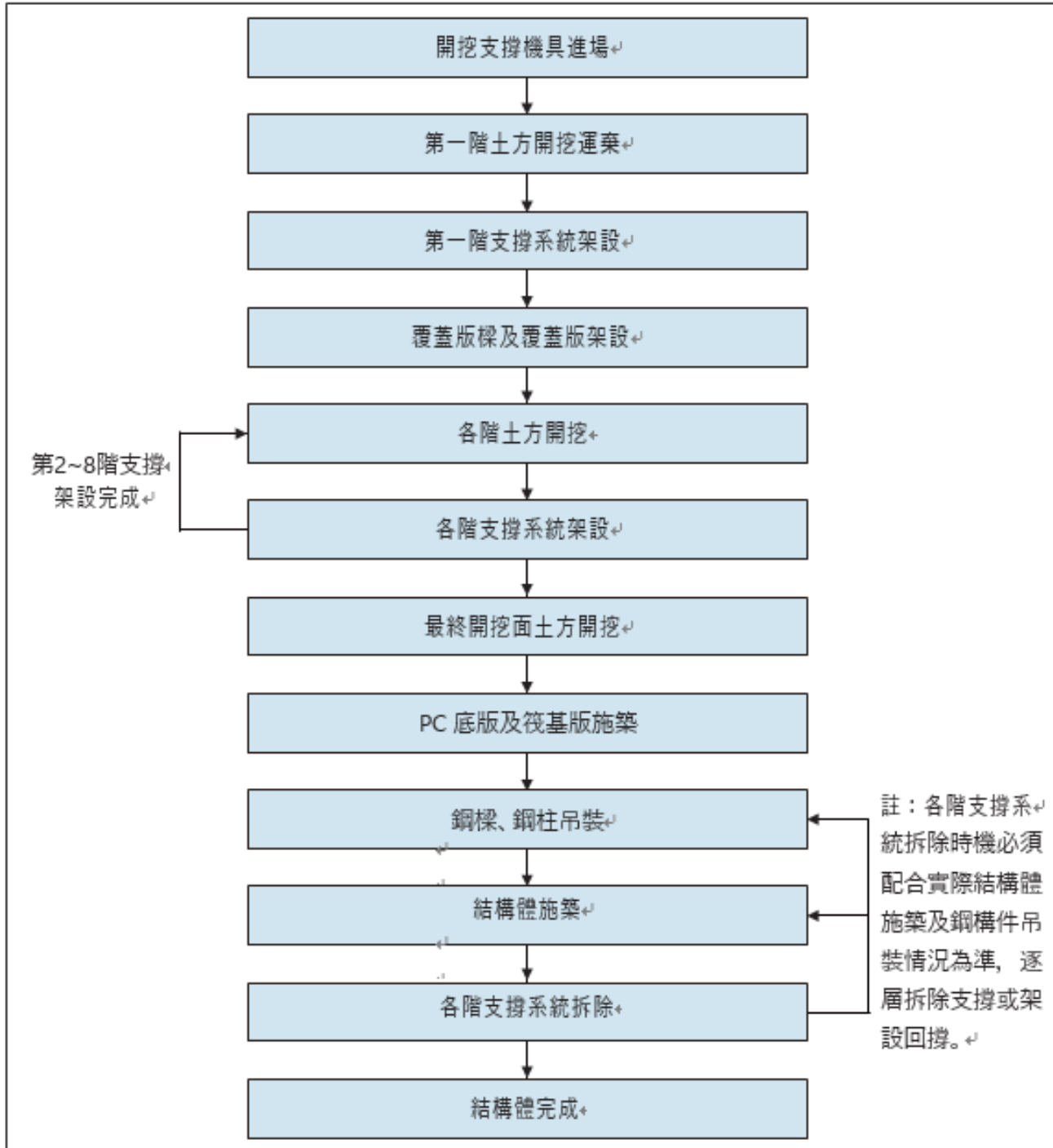


試抽作業

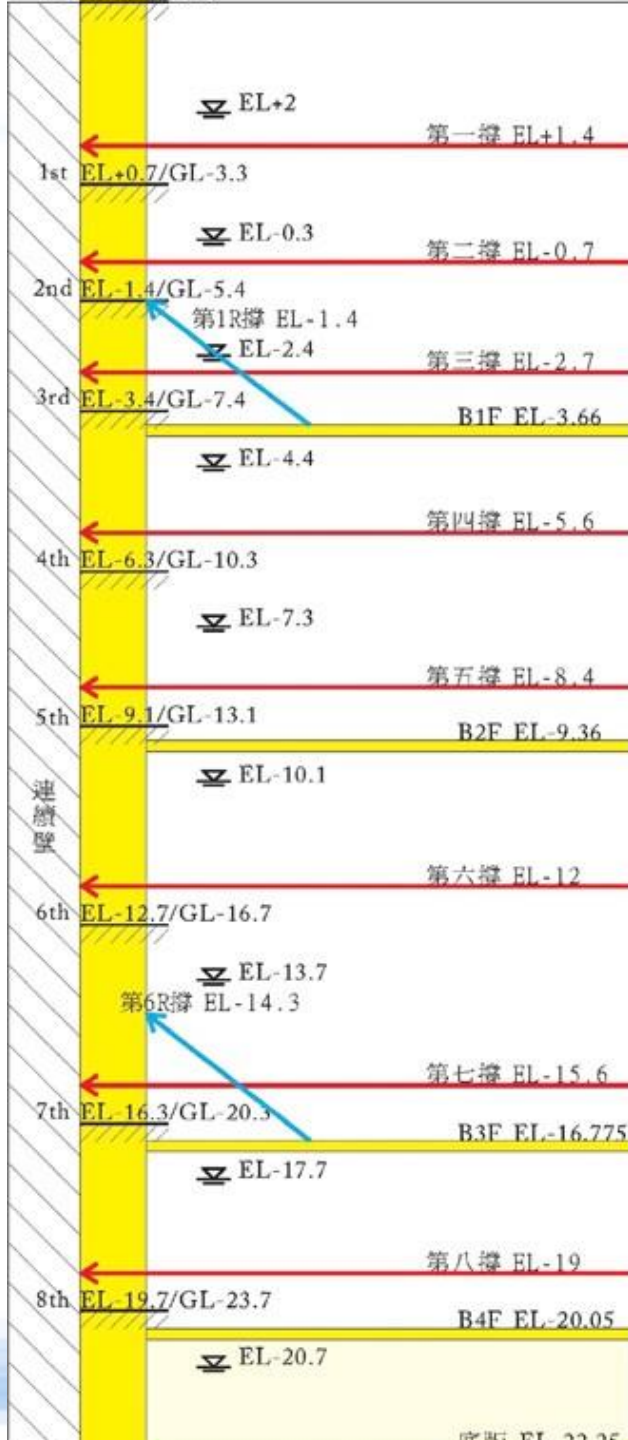


## (四) 車站開挖及支撐系統架設

開挖支撐施工流程圖





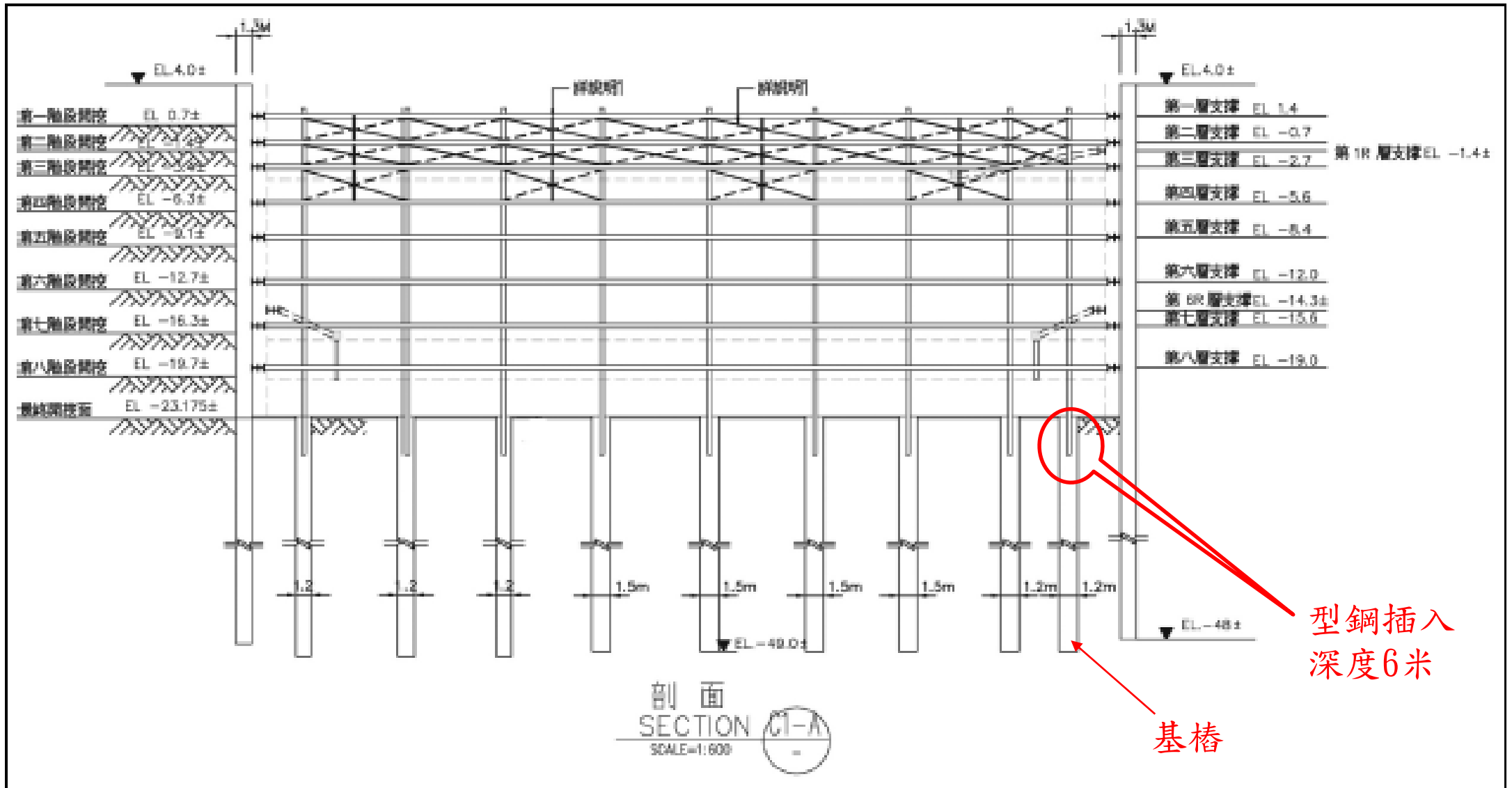


1	1st	0.7	-0.3	一	1.4		
2							
3	2nd	-1.4	-2.4	二	-0.7		
4							
5	3rd	-3.4	-4.4	三	-2.7		
6							
7	4th	-6.3	-7.3	四	-5.6		
8							
9	5th	-9.1	-10.1	五	-8.4		
10							
11	6th	-12.7	-13.7	六	-12		
12							
13	7th	-16.3	-17.3	七	-15.6		
14							
15	8th	-19.7	-20.7	八	-19		
16							
17	9th	-23.175	-24.175				
18						PC	-23.05
19						底版	-22.25
20						地樑	-20.25
21						B4F	-20.05
22				八	拆除		
23						B3F	-16.775
24				七	拆除		
25				6R	-14.3		
26				六	拆除		
27						B2F	-9.36
28				6R	拆除		
29				五	拆除		
30				四	拆除		
31						B1F	-3.66
32				三	拆除		
33				二	拆除		
34				1R	-1.4		
35				一	拆除		
36						1F	5.14
37				1R	拆除		
38						2F	11.14
39						3F	17.14

註1: 連續壁深度=52m  
 2: 開挖深度係由設計地面高程(EL+4m/GL0.0m)起算。  
 3: 各樓層高程係依980731版變更圖說

## 開挖支撐施工步驟及深度一覽表





C1區南北向開挖及支撐立面圖



## 安全支撐型式規格一覽表

階	方向	設計 高程 (EL.m)	設計 深度 (GL.m)	支撐型鋼	設計 軸力 (ton/ 支)	預力 (ton/ 支)	警戒 值 (ton/ 支)	行動 值 (ton/ 支)	容許 軸力 (ton/ 支)	圍苓型鋼		單、雙角 撐型鋼
										雙圍苓	單圍苓	
8	南北	-19	-23	4H414×405× 18×28	220	180	198	275	279	2H400×408× 21×21	H458×417× 30×50	2H350×350× 12×19
										2H414×405× 18×28	H498×432× 45×70	H400×400× 13×21
	東西	-18.6	-22.6	4H400×408× 21×21	208	180	187	260	279	2H400×408× 21×21	H458×417× 30×50	2H350×350× 12×19
										2H414×405× 18×28	H498×432× 45×70	H400×400× 13×21

註：開挖深度係由設計地面高程（EL+4m/GL0.0m）起算，東西向橫撐架設於南北向橫撐之上

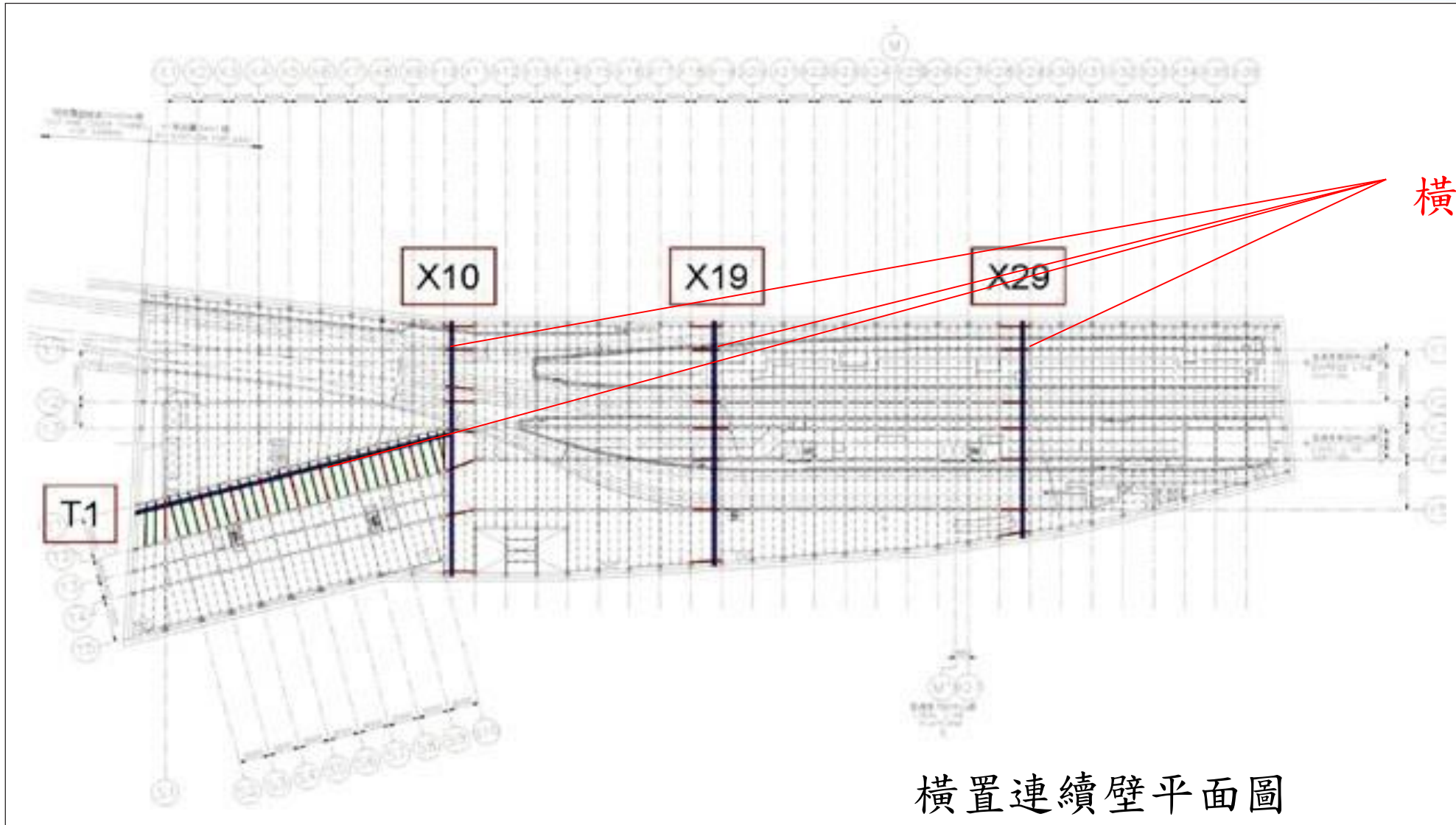


## (五) 橫置連續壁切割敲除

由於A1車站基地幅員寬廣，為避免後續開挖後，水平臨時支撐長度過長導致支撐勁度衰減，並考量基地整體開挖時程之管控不易，D1區移交時程與C1區移交時程不同等因素，而將基地以四道橫置連續壁切割成獨立的五區。

配合後續鋼構吊裝階段，能藉由該穿樑開孔使東西向之大樑穿過，使位於橫置連續壁東西兩側之鋼構得互相聯結，而提高整體結構之穩定性，並確保鋼構安裝精度。後續結構體完成後，因空間使用需求，勢必不可能再保留各橫置連續壁，故必須在考量滿足整體施作時程的前提下，在適當的時機點，配合相關工序【(1) X29 → (2) X19及X10 → (3) T1】將之以契約規定之低震動工法將之破除。



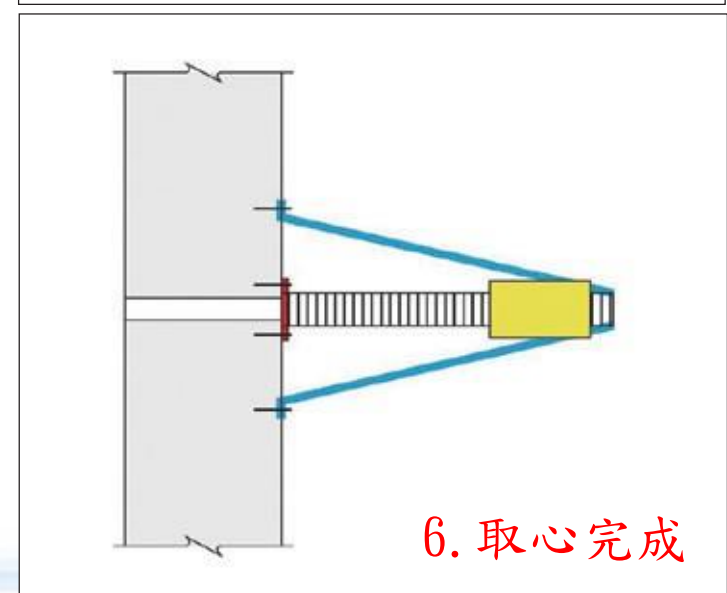
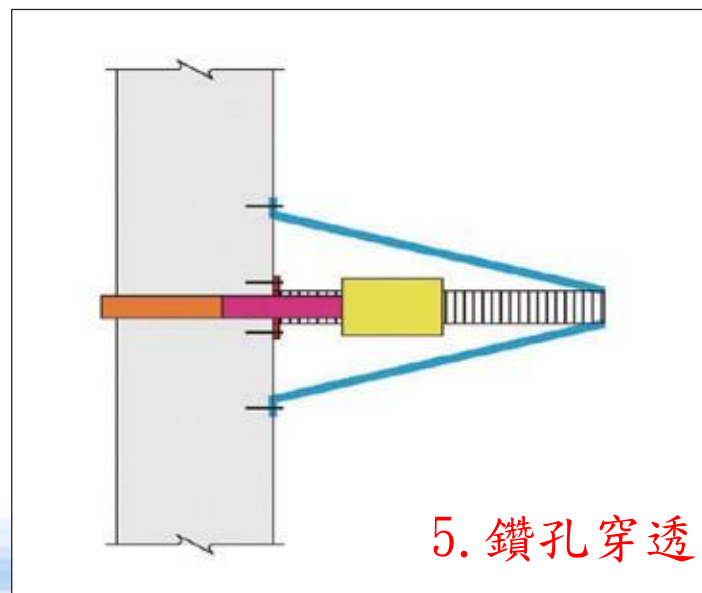
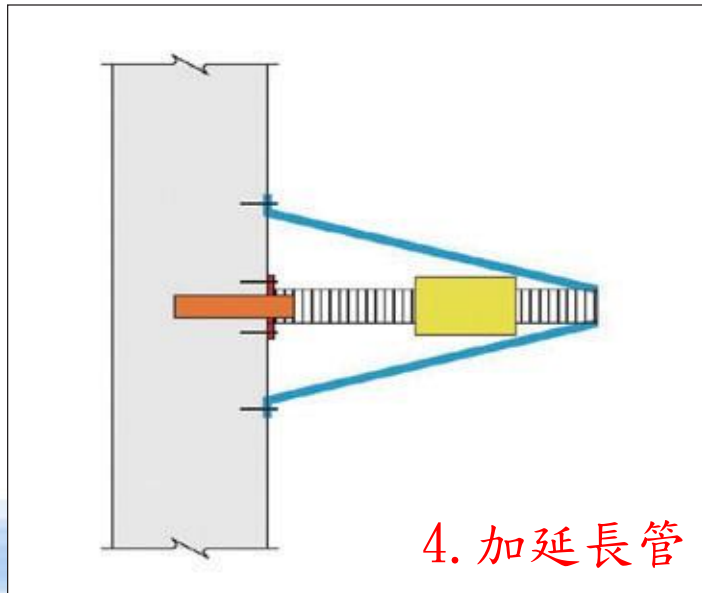
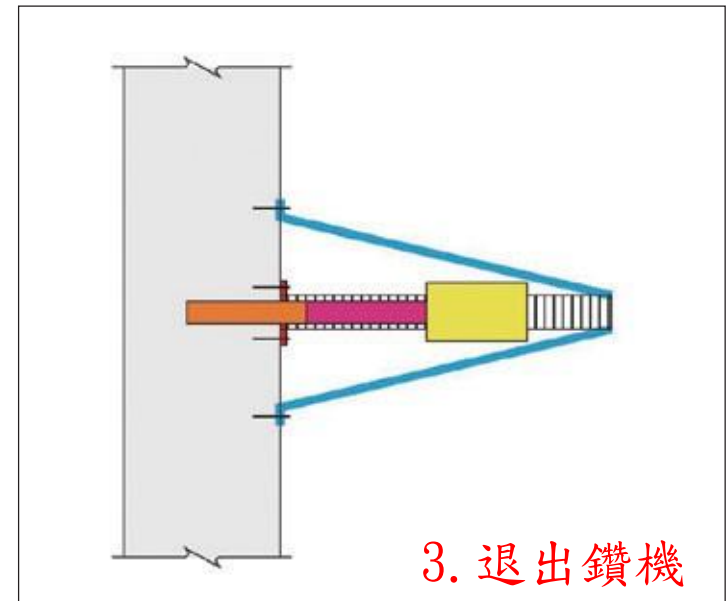
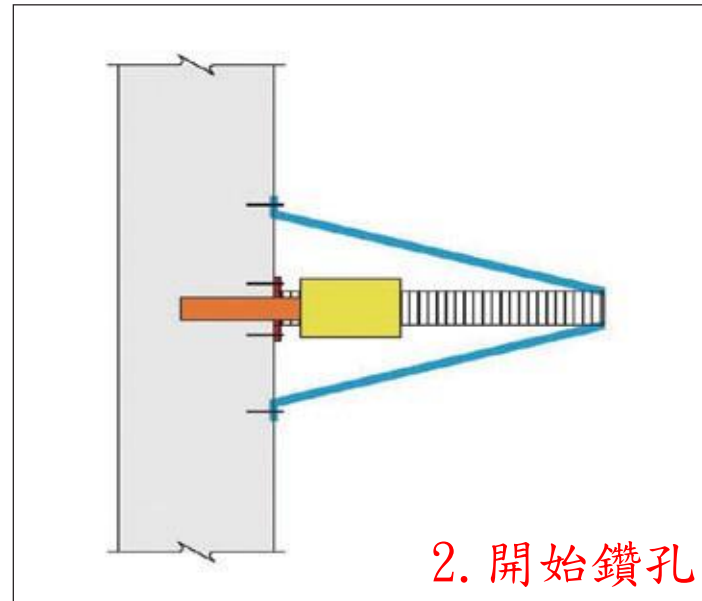
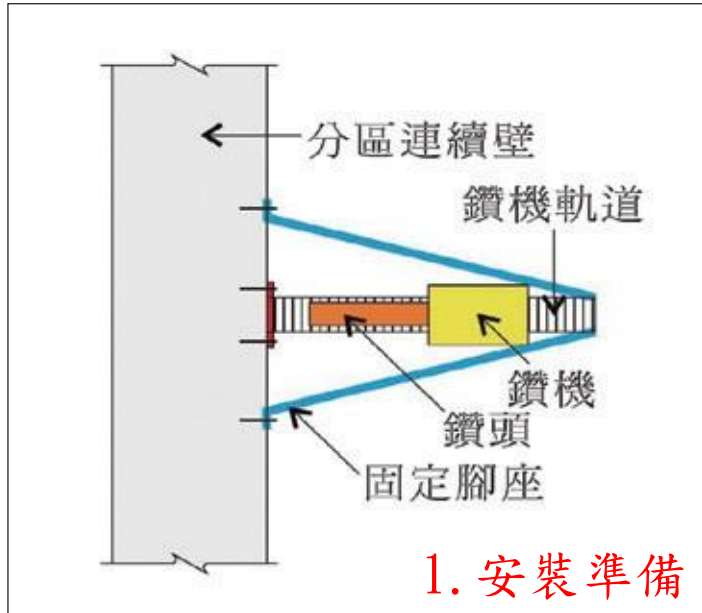


橫置連續壁

橫置連續壁平面圖



## 切割前引孔步驟





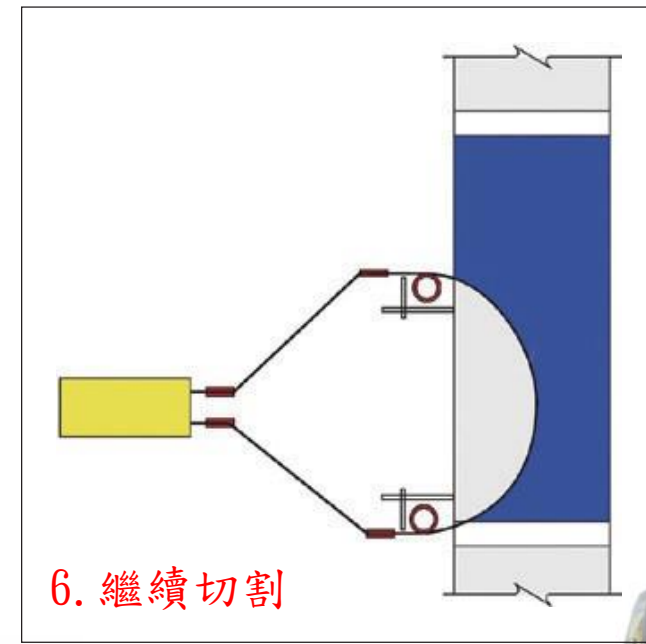
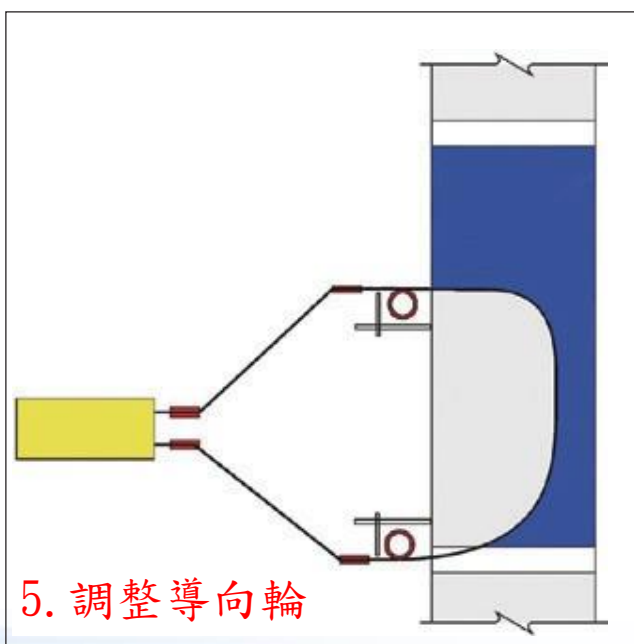
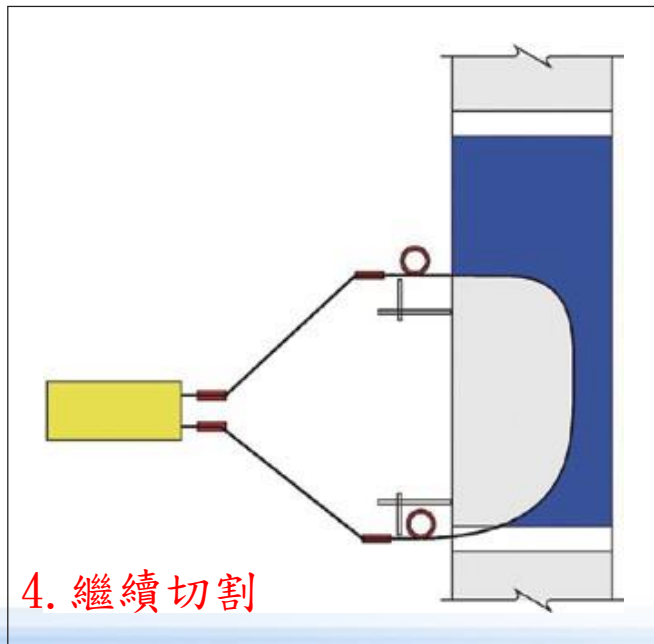
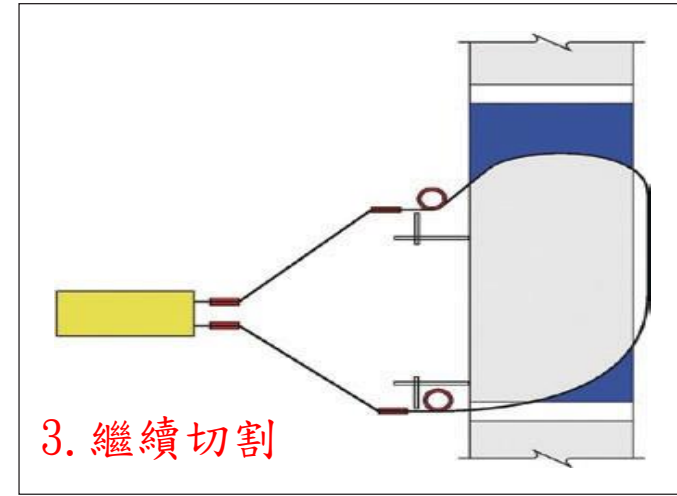
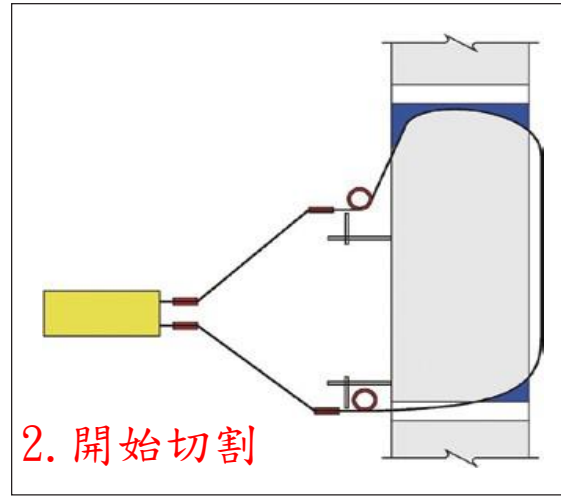
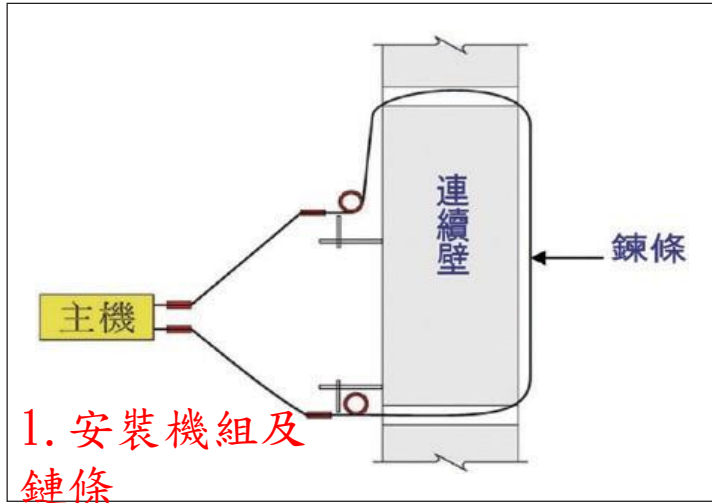
切割前引孔照片



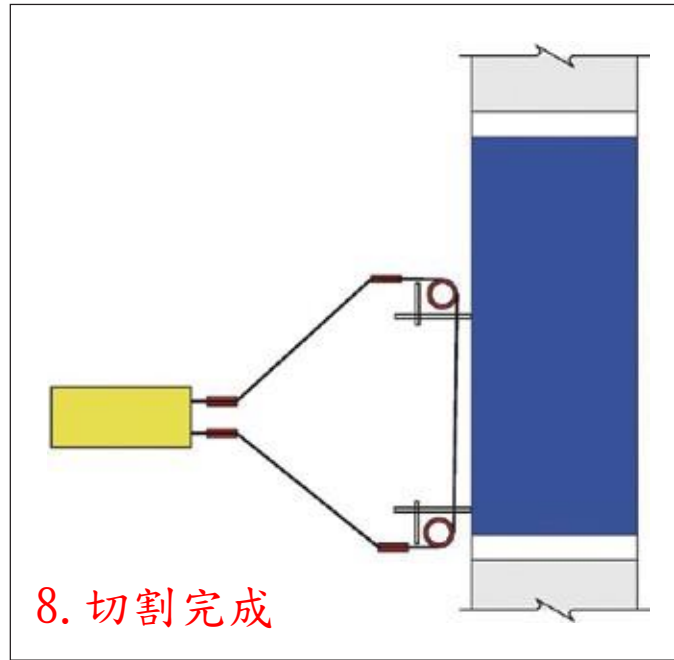
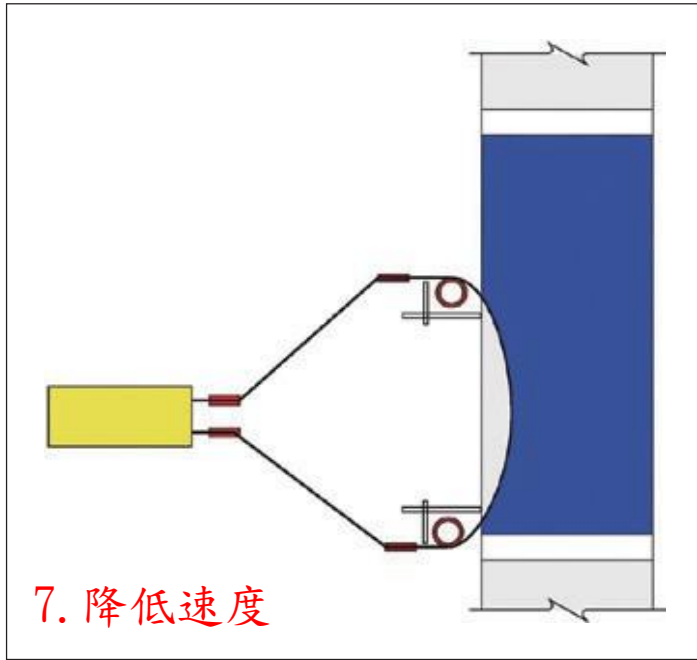
切割前引孔照片



# 電動鏈鋸切割操作步驟









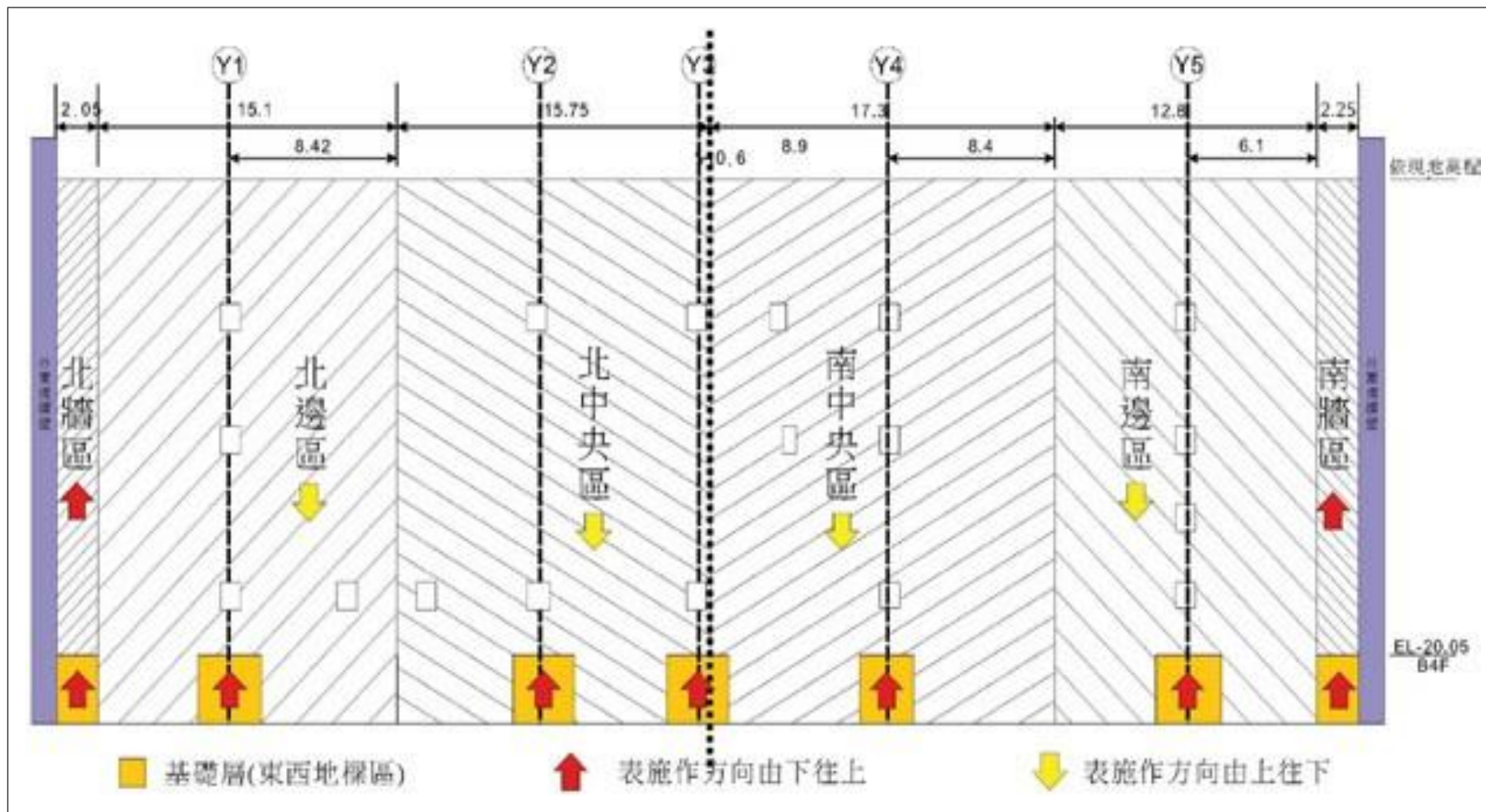
電動鏈鋸切割照片



電動鏈鋸切割照片

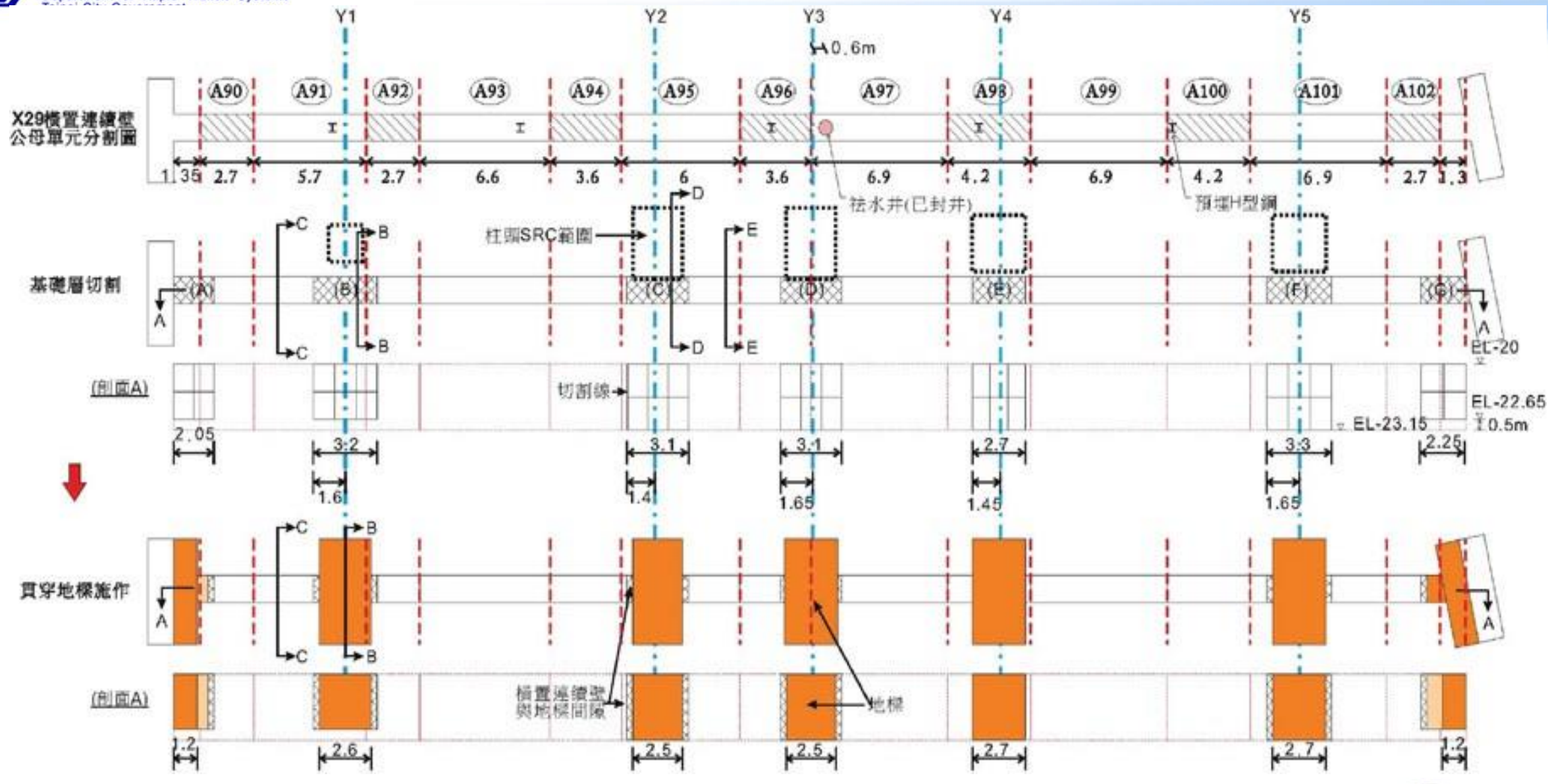


橫置連續壁切割工項分兩區，而各分區中又分四區分階段進行切割，分別為基礎區、牆區、邊區、中區等四區。



X29橫置連續壁連續壁切割分區圖

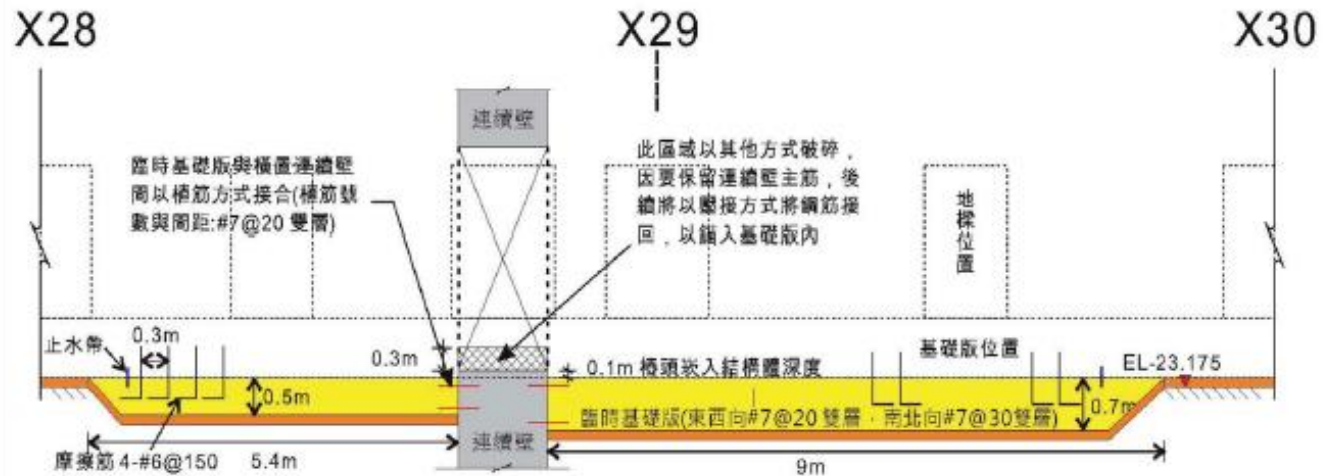




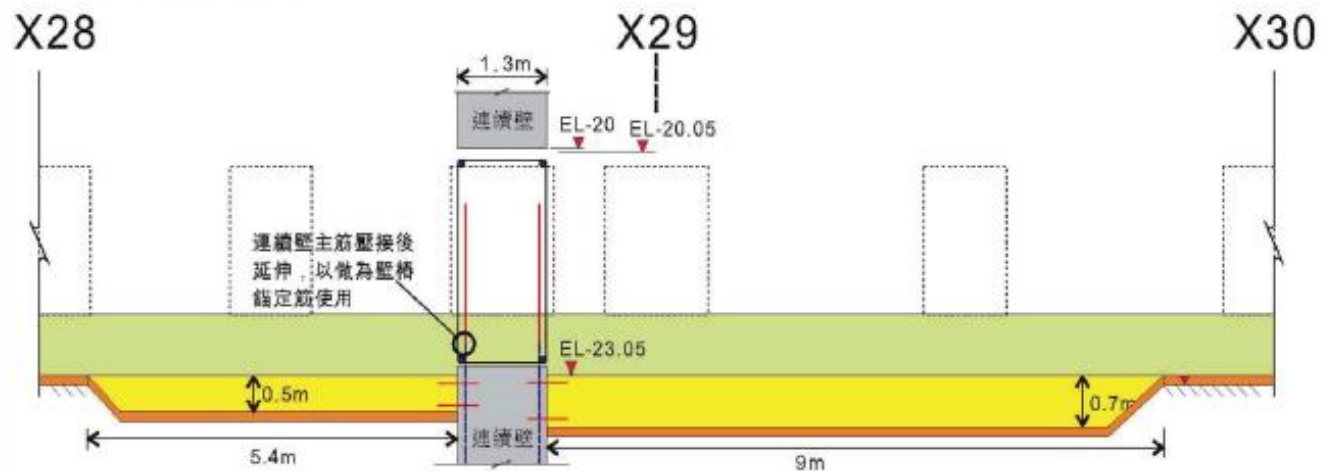
施工主流程與連續壁切割相關流程



1. 初始狀況

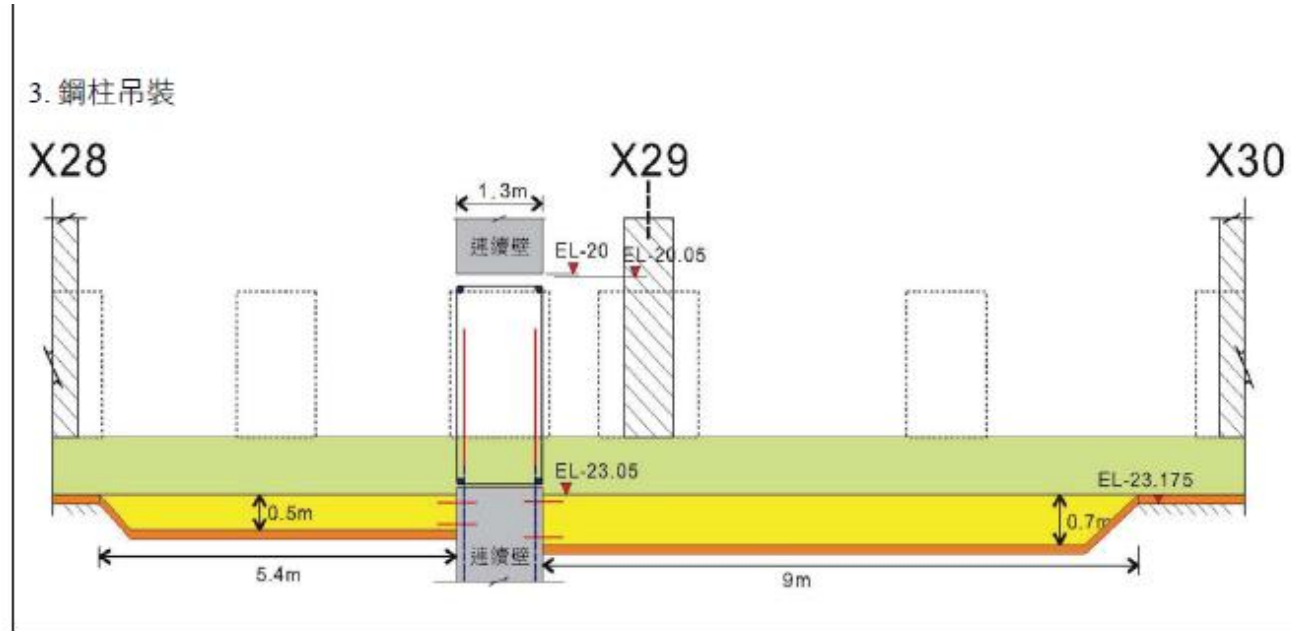


2. 切開區基礎版施作



裙樓區基礎層地樑範圍施作工序 (縱剖面, 剖面B)

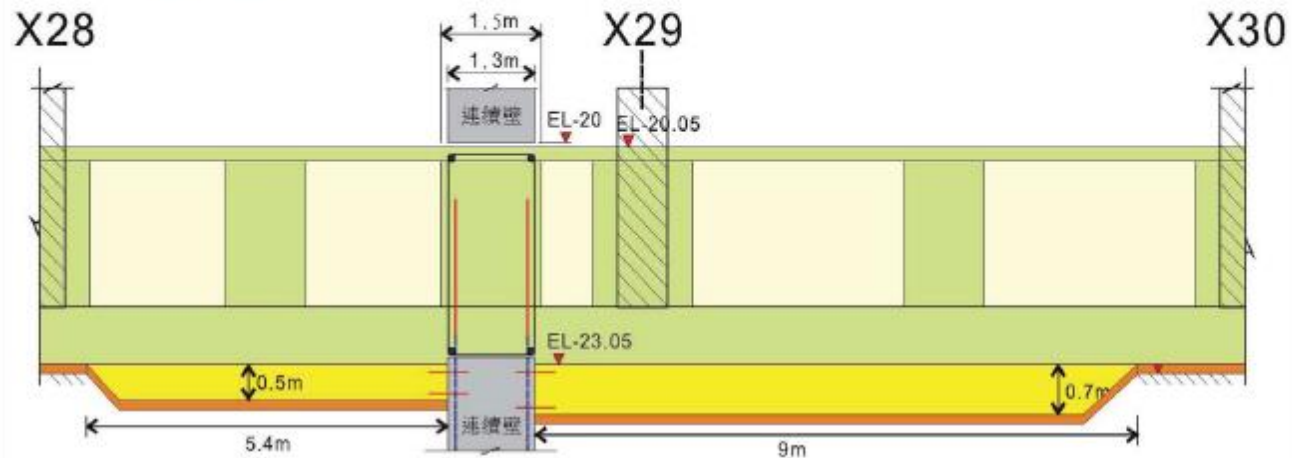




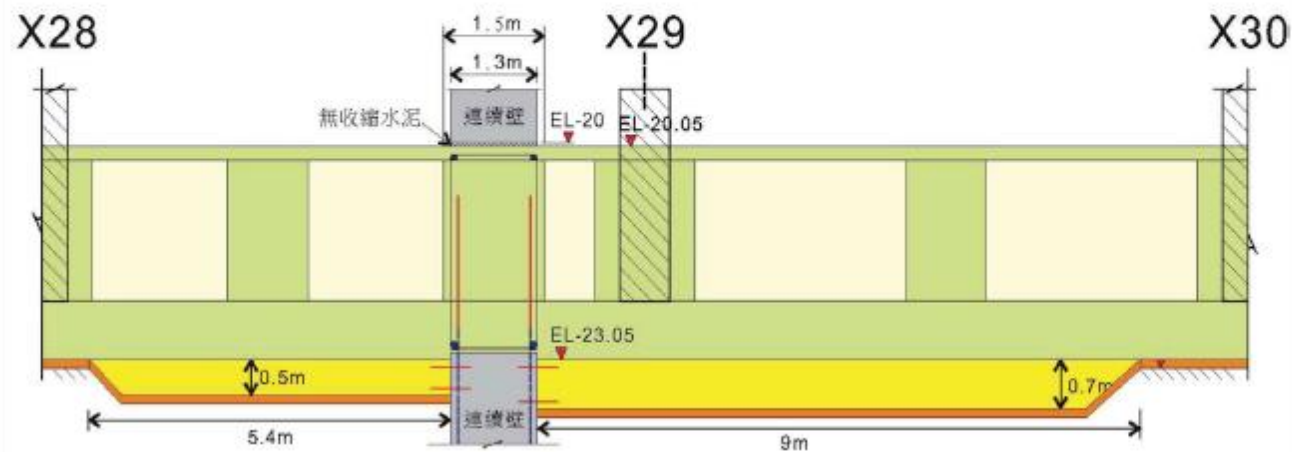
裙樓區基礎層地樑範圍施作工序（縱剖面，剖面B）



4. 地樑及 B4F 版施作



5. 無收縮水泥施作



裙樓區基礎層地樑範圍施作工序 (縱剖圖, 剖面B)





混凝土塊推出照片



混凝土塊吊離照片





(六) 鄰近建物保護及安全監測 現況調查 → 建物保護 → 安全監測

監測系統儀器表 (1/2)

量測	裝設之儀器	單位	代號	數量	
				CA441	CA450
地下水位及孔隙水壓	水位觀測井	處	OW	3	4
	電子感應式水壓計	處	PZT	6 孔	35 孔
	豎管式水壓計	處	PZS	-	11 孔
連續壁之變形	連續壁中傾度管	公尺	SID	741	-
	自動監測連續壁中傾度管	公尺	SID_A	285	-
支撐應力	應變計	個	VG	-	2040
連續壁之應力	鋼筋應力計	組	RB	72 組	-
毗鄰地表及建物位移	沉陷觀測點 (地表型)	處	SM	33	5
	沉陷觀測點 (裝於硬體結構)	處	SB	105	365
	沉陷觀測點 (公共管線型)	處	SU	5	5
	沉陷觀測點 (淺層部分)	處	SSI	8	22
	土中傾度管	公尺	SIS	570	810
	傾斜計, 臨時鈹	組	TI	19	57
	裂縫計	組	CG	-	-
	裂縫儀	組	CM	25	50



## 監測系統儀器表 (2/2)

量測	裝設之儀器	單位	代號	數量	
				CA441	CA450
開挖底部	隆起桿	孔	HI	-	16
參考點 (高程基準)	永久水準點	公尺	BM	60	60
自動化監測儀器	電子式傾斜計	組	ETI	10	11
	電子式桿式變位計	組	ELB	160	196
	全測站經緯儀 (菱鏡)	組	TS	10	20
	電子式相對變位計	組	ACM	-	17



## 六. 高風險施工管理

高技術工程項目之說明及施工應依據本局品質管理系統程序書之「捷運工程施工期間高危險工作項目加強管制作業流程」執行高技術工程項目之加強管制作業。於NTP後三個月內，由本局、細部設計廠商、承攬廠商、學者專家針對本標之環境特性、鄰近建物狀況、地質狀況及所採用工法等檢討確認屬高技術之施工項目、風險等級及施工應注意事項等；建立及制定高危險工項之開工管制表及施工查核表，經本局核可後據以執行。考量A1車站開挖基地緊臨臺/高鐵隧道、市民高架橋及臺鐵地下停車場，與多棟國定及市定古蹟僅以延平北路相隔，周圍管線複雜，開挖面積大、深度深，施工過程中並需配合開挖抽降松山層及景美層之地下水位，為降低大地風險對順利達成計畫目標的影響，須擬定深開挖高風險施工項目管控。



## 深開挖風險評估表 (1/2)

項次	施工項目	可能反應事件			發生頻率	後果嚴重性	風險等級	管控方法	緊急應變措施
		風險因子	反應事件	影響後果					
1	臨臺高鐵隧道側地盤改良	連續壁變形過大	連續壁變位增加	連續壁變位過量	II	3	四	監測變位趨勢、調整低壓灌漿方式、現場巡視	停止灌漿調整工法監測頻率增加
2	開挖支撐作業	超挖/開挖面曝露時間過久	連續壁變位增加；支撐變形；開挖面破壞	連續壁變位增加	IV	2	四	定高程避免超挖、隨挖即撐、支撐預壓	詳 3.3.5 節
		水平支撐變形		連續壁變位增加	IV	2	四	支撐補強、監測、現場巡視、自主檢查	立即架設支撐及 3.3.6 節
		連續壁漏水、漏砂		道路、管線、結構物受損、開挖區破壞、工期延宕	III	3	三	自主檢查、通知關聯承商處理、監測、現場巡視	堆疊砂包、灌漿地改及詳 3.3.5 節
		連續壁變形過大		高鐵營運中止、古蹟受損破壞	III	3	三	停止開挖、監測、緊急搶修、現場巡視	備待命機組、急結劑先予修補、止水灌漿、阻截水路
		中間柱沉陷/上浮		結構物受損（臺鐵地下停車場、北側地下街）	III	4	四	停止開挖、支撐補強、監測、現場巡視	詳 3.3.5 節
		非連續性橫擋滑動		安全支撐變形，連續壁變位增加	IV	2	四	停止開挖、支撐補強、監測、現場巡視	詳 3.3.5 節
				安全支撐變形，連續壁變位增加	III	2	四	停止開挖、支撐補強、監測、現場巡視	詳 3.3.5 節、3.3.6 節



## 深開挖風險評估表 (2/2)

項次	施工項目	可能反應事件			發生頻率	後果嚴重性	風險等級	管控方法	緊急應變措施
		風險因子	反應事件	影響後果					
2-1	機坑開挖支撐作業	開挖面滑動	開挖面破壞	開挖面破壞	III	2	四	停止開挖、支撐補強、監測、現場巡視	詳 3.3.6 節
		開挖面漏水		開挖面破壞	II	1	四	封底止水灌漿地盤改良、降低水位	詳 4.4.4 節
3	景美層祛水	開挖區內鑽孔未回填	湧水現象上舉破壞	開挖面破壞、支撐破壞	II	3	四	隆起桿監測、降低水位	詳 4.4.4 節
		開挖面湧水、湧砂		道路、管線受損	II	3	四	水位觀測井、降低水位	詳 4.4.3 節
		水位突昇		結構物受損	II	5	四	電子水壓計監測、降低水位	詳 4.4.3 節
		祛水系統故障		開挖區湧水、支撐破壞	II	3	四	定期維護、監測、現場巡視、自主檢查	詳 4.4.3 節

**發生頻率** I：非常不可能發生 II：不大可能發生 III：偶爾發生 IV：可能發生 V：極可能發生  
**後果嚴重性** 1：輕微的 2：重大的 3：嚴重的 4：極嚴重的 5：災難性的  
**風險等級** 一：無法接受 二：難以接受 三：不希望 四：可容許 五：可忽略



## 七. 施工經驗回饋

### (一) 連續壁及壁樁基礎

單一基地大規模之外圍擋土連續壁、扶壁及壁樁工程，於施工過程、壁體槽溝穩定、載重加成效應及重覆擾動、抓具唧水效應、盆地交互沉積地層地下水位控制、槽溝切割土體有效地盤改良、機組空間承載及施工風險因子控制，於施工及設計上皆宜面面俱到。在軟土工區內，土體經多次密集開挖切割，近鄰重複施工擾動，對於連續壁槽溝開挖穩定極為不利，稍有不慎足以造成工安事件。故於施作密集連續壁時應於初期規劃施工動線、避免機具載重過度集中而造成地層失穩。並妥善安排施工工序、開口部分儘速回填、減少暴露時間

### (二) 祛水施工

臺北盆地景美礫石層之水壓洩降，受盆地內任一處之景美礫石層抽水作業影響，並與抽水位置、抽水量及抽水歷時等直接相關，因此應瞭解盆地內大型抽水、長期抽水工地之抽水營運規劃與實際抽水量體，以掌握與本基地



抽水管控互動之關連性，並將各大型抽水工地之營運納入評估，互通抽水運作調控內容，以防非預期性之水壓大幅升降，尤以鄰近之松山線G14車站亦於同時期採行祛水作業為緊密相關，並視各基地之實際水壓洩降觀測結果長期同步微調各基地之抽水運作內容，必要時並可尋求其他抽水工地之緊急支援，共同維持景美礫石層水壓之穩定性。

### (三) 開挖及支撐

#### 1. 變位監測值及細部設計階段最大變位值之比較

區域	SID 編號	量測值 mm	設計斷面	設計值 mm	%	南北平均值
C1 區北側	1003057	6.7	C1-N1	22.4	29.91%	
C1 區南側	1007057	14.8	C1-S1	23.9	61.92%	45.9%
C1 區北側	1004057	14.6	C1-N1	22.4	65.18%	
C2 區南側	1006057	6.7	C1-S1	23.9	28.03%	46.6%
C1 區東側	1005057	18.9	C1-E1	40.0	47.25%	

附註：壁中傾度管SID-1003057 與 SID-1007057，SID-1004057 與 SID-1006057 互為南北對撐點因此取  $(29.91\%+61.92\%)/2=45.9\%$  及  $(65.18\%+28.03\%)/2=46.6\%$  兩平均值作參考



2. 由上表發現，C1 區開挖至大底層時，連續壁之實際變位值約為細部設計值之 50%。這個現象代表整體基本設計規劃之完善。再者，現場施作支撐品質之良好掌控，對連續壁之變位控制必有相當之助益。此外，尚有另一原因應是 C1 區與基地外相鄰的三側（東、南、北）皆存有地下進接結構物所致。

#### （四）低震動壁體切割

##### 1. 切割工法比較

配合結構體施作，並進行水平支撐拆除時，須配合進度把分區連續壁進行拆除，在這時亦為避免採用傳統之機具直接敲除，所造成之噪音、粉塵及震動等問題，甚或可能因震動之傳遞（分區連續壁與外圍連續壁於結構上乃為共築），影響與基地相鄰之臺高鐵路隧道內監測儀器之判讀，造成停駛之危機，因此以低震動進行分區連續壁的拆除更為必要。





評測項目	人工（機械）鑿除	水鑽排孔	盤鋸	鑽石鏈鋸
施工效率		0.2m <sup>2</sup> /h	3~5m <sup>2</sup> /h	1~2m <sup>2</sup> /h
主要耗材成本		+	+	++
可切斷鋼筋	否	可	可	可
可乾式切割	可	否	否	可
噪音等級	100dB (A)	90dB (A)	90dB (A)	79dB (A)
精確度	± 15.0 cm	± 5.0 cm	± 0.5 cm	± 1.0 cm
產生震動	有	無	無	無
最佳切割深度	≤ 0.5 m	≤ 1.0 m	≤ 0.5 m	≤ 3.0 m
粉塵	有	無	無	無

切割工法比較表

2. 由於鑽石鍊鋸切割工法之主要耗材「鑽石鍊條」單價甚高，為免花費過鉅造成成本負擔，故於切割時應儘量規劃採用最經濟之切割路線，亦即在吊運能量得以負荷之前提下，將每切割塊放大，減少切割之面積，使工進加速；另因本案基地位處市中心，交通繁忙，且基地內動線不佳，故於切割塊之吊運處理上亦應妥善安排，儘量安排於夜間進行吊運，並於吊出後立即安排上車運出工地，以減輕對基地內日間作業之干擾。



## (五) 建物保護灌漿

各次試灌管控表

灌漿次	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
皂土配比 (kg/m <sup>3</sup> )	50	50	40	30	30
灌漿流量 (L/min)	10 ~ 12	10	10	10	10
提升 @100cm 灌漿深度	35 ~ 17±	-	-	-	-
提升 @66cm 灌漿深度	-	35 ~ 20±	35 ~ 20±	35 ~ 20±	-
提升 @33cm 灌漿深度	-	20± ~ 5	20± ~ 5	20± ~ 5	17± ~ 5
壓力增量 (kg/cm <sup>2</sup> )	<3	<2	<2	<2	<2
同步灌漿孔數 (孔)	2	1	4	4	2
同步灌漿間距 (m)	10	-	15 ~ 20	>30	-
跳階灌漿 (隔日灌)	-	-	-	-	分兩階

對緊鄰結構進行建物保護灌漿作業前，建議應先透過試灌動作，以建立控制參數，實際施工階段並配合現況調整灌注量及灌注壓力；本標藉由試灌管控表及監測資料回饋，找出最為合適之灌漿管理方式，以作為後續全區灌漿之原則。使得後續灌漿過程中各監測儀器之連續壁變位均可控制至量測誤差範圍內，歷時變位狀況也都管控在正常的範圍內，此一作法，可為其他類似工程之參考。



## (六) 自動化安全監測

1. 自動化監測儀器具有得到連續性的觀測資料並具備自動化全程觀測、即時傳輸等優點，可取得設計所需之充分資料。綜觀自動化觀測可得到連續性的觀測值，且對於南側臺高鐵路隧道因常時無法隨意進入的特性及對環境衝擊性較低，並有監測資料快速、即時性、精確，並可減少大量之量測人力等優點，對於如此靠近臺高鐵路隧道結構體施工之特性，其自動化監測具有其不可替代性之優點。
2. 自動化監測資料顯示臺高鐵路隧道箱涵結構並未因本工地施工而造成安全上之疑慮，故本案之各項規劃設計及現場施工皆屬合理且妥善。



## 八. 結語

由現場監測系統的回饋資料反應，各項數據均在管理值範圍內，亦無損鄰案件發生，皆顯示在細部設計規劃的完備，監造及施工單位的努力下，據此成果推估，此一位於都市精華區內大區域深開挖之成果是成功的。

對於大面積且近接重要地下結構之深開挖工程在下列議題上應可有進一步探討及經驗回饋：

1. 對擋土結構及支撐系統之監測值並未達到警戒值，表示整體基本設計規劃是完善的。再者，現場施作支撐品質之良好掌控，對連續壁之變位控制必有相當之助益。
2. 藉由建物保護灌漿試灌管控及監測資料回饋，找出最為合適之灌漿管理方式，以作為後續全區灌漿之原則，使得後續灌漿過程中各監測儀器之連續壁變位均可控制至量測誤差範圍內，此一作法，可為其他類似工程之參考。
3. 大面積之深層開挖挖除土方量相當龐大時，解壓回彈效應較大進而抵消沉陷量後，產生隆起現象。



報 告 完 畢 。

