

深開挖設計監造 如何避免災變

A、基地調查與鑽探報告

B、深開挖連續壁從MHL工法改變到SMW工法

主講人：楊勝德建築師

A、基地調查與鑽探報告

B、深開挖連續壁從MHL工法改變到SMW工法

楊勝德建築師事務所

深開挖設計監造 如何避免災變

深開挖連續壁從MHL工法改變到SMW工法

主講人：楊勝德建築師

B、深開挖連續壁從MHL工法改變到SMW工法

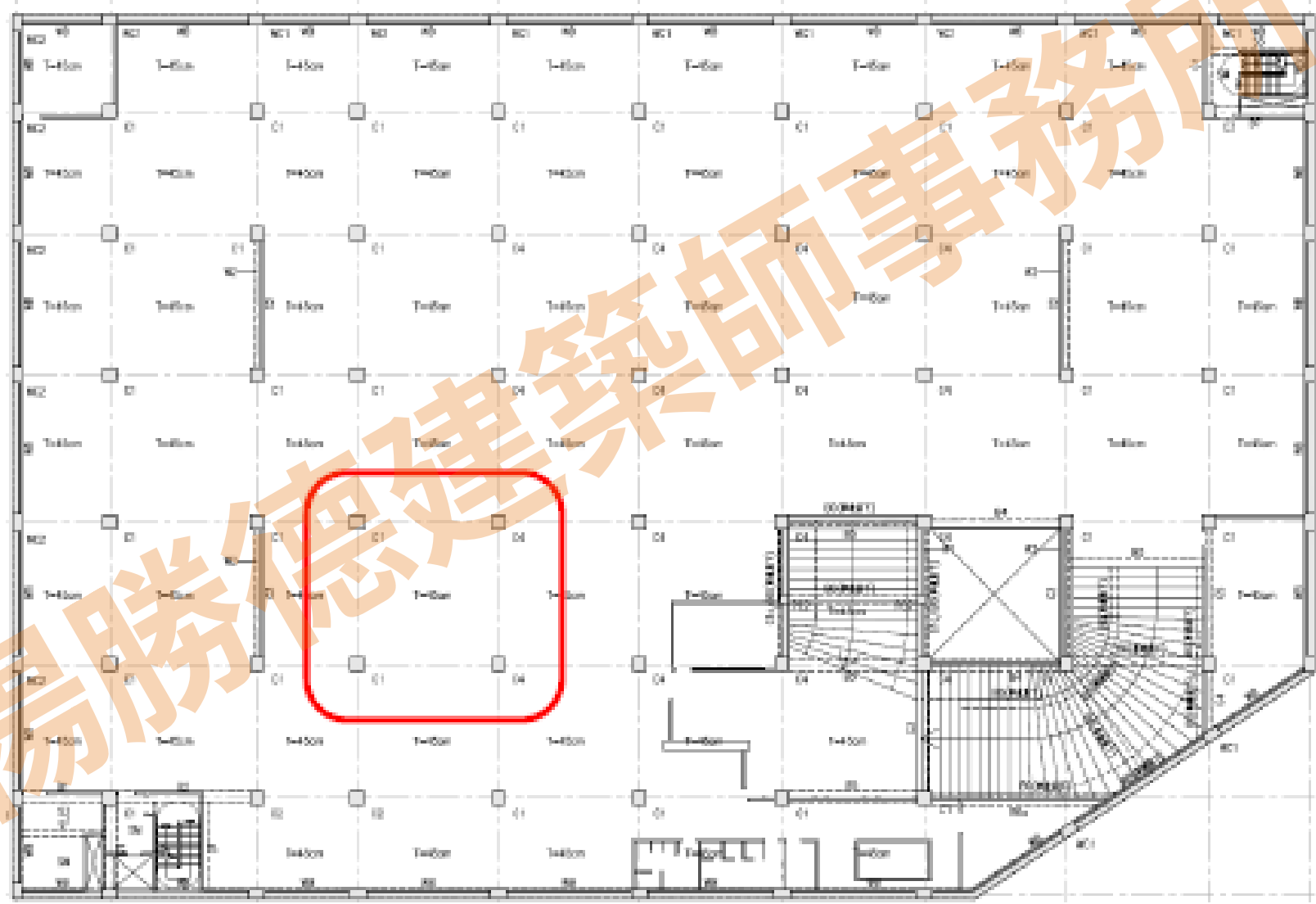
1. 建築工程災變與災變的潛在因素
 - 1.1 建築工程災變
 - 1.2 災變的潛在因素
2. 擋土設施_連續壁、鋼板樁、預壘樁
 - 2.1 連續壁 Diaphragm Wall
 - 2.2 鋼板樁 Sheet Pile Wall
 - 2.3 預壘樁 Secant Pile Wall
3. 從MHL工法改變到SMW工法_案例說明
 - 3.1 地質改良
 - 3.2 MHL連續壁_施工過程重大缺失
 - 3.3 變更設計_SMW連續壁
 - 3.4 SMW連續壁到底是什麼工法
4. SMW(Soil mixing wall)連續壁工法
 - 4.1 複合牆與非複合牆
 - 4.2 三軸式與五軸式鑽掘機
 - 4.3 SMW工法概述
5. SMW工法施作_實際記錄
 - 5.1 試鑽與取樣
 - 5.2 施工過程
 - 5.3 地下室開挖過程
 - 5.4 PVC防水膜施工
6. 結論

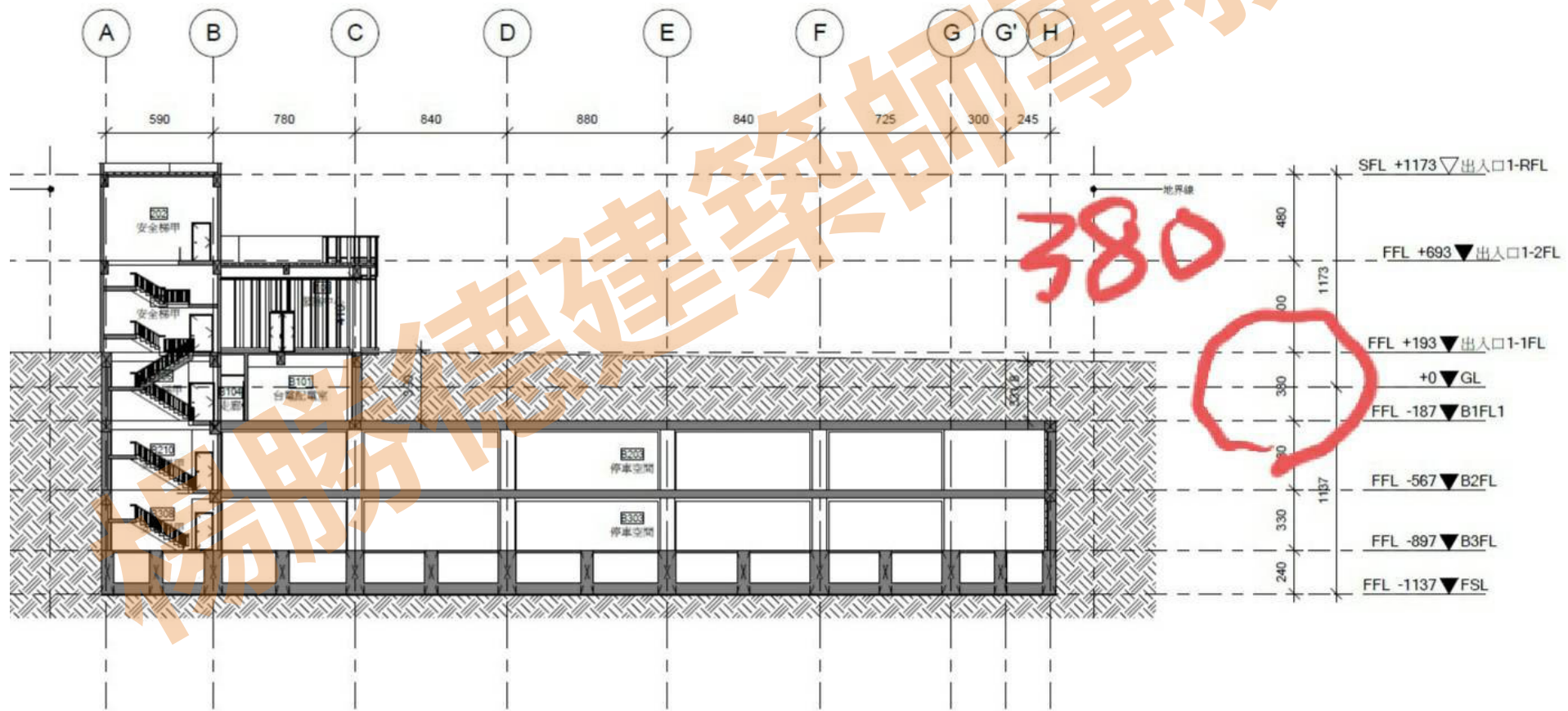
1、建築工程災變與災變的潛在因素

1.1 建築工程災變

- ▶ 「xx地下室停車場」結構設計失誤、疏失
 - 結構設計沒有外部審查。
 - 載重面積估算失誤8.4/4.2cm(災變當天晚上有人點出災變原因)
 - 經手單位工程人員看過設計圖說都沒有警覺心？
 - 地下一層停車場用途樓板厚450mm，頂蓋覆土3~3.8m厚，頂蓋厚500mm。
- ▶ 「大直xx」地下開挖的疏失，非單一原因造成
 - 結構設計避開外部審查。
 - 連續壁與地層改良施工秩序錯誤。
 - 連續壁厚度設計600mm、施作500m。
 - 監測數值已達「警戒值」，應注意不注意。

取此範圍無梁版進行檢核





貫穿剪力檢核

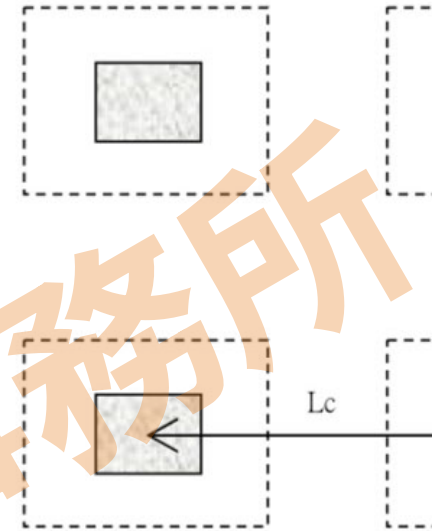
1. 基本性質

$$\begin{aligned} \text{跨距 } L_c \times B_c &= 840.00 \text{ cm} \times 840.00 \text{ cm} \\ \text{柱寬 } C_Lc \times C_Bc &= 80.00 \text{ cm} \times 80.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{無梁版厚 } h &= 50.00 \text{ cm} \\ \text{柱頭版有效版厚 } d_c &= 46.00 \text{ cm} \\ \text{無梁版有效版厚 } d &= 46.00 \text{ cm} \\ f_c' &= 245.00 \text{ kgf/cm}^2 \\ f_y &= 4200.00 \text{ kgf/cm}^2 \\ \text{保護層 } d' &= 4.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_{DL} &= 5000.00 \text{ kg/m}^2 \\ w_{LL} &= 500.00 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{總設計載重 } w_u = 1.2w_{DL} + 1.6w_{LL} = 6800 \text{ kgf/m}^2 = 6.8 \text{ tf/m}^2$$



2. 柱頭版貫穿剪力強度

$$\begin{aligned} V_u &= 6.8 \times [4.2 \times 4.2 - (0.8 + 0.46) \times (0.8 + 0.46)] = 109.16 \text{ tf} \\ \phi V_c &= 0.75 \times 1.06 \times \sqrt{245} \times (2 \times 126 + 2 \times 126) \times 46 / 1000 = 288.4952 \text{ tf} \end{aligned}$$

3. 無梁版貫穿剪力強度

$$\begin{aligned} V_u &= 6.8 \times [4.2 \times 4.2 - (2.8 + 0.46) \times (2.8 + 0.46)] = 47.68432 \text{ tf} \\ \phi V_c &= 0.75 \times 1.06 \times \sqrt{245} \times (2 \times 326 + 2 \times 326) \times 46 / 1000 = 746.424 \text{ tf} \end{aligned}$$

1.2 災變的潛在因素_高地下水水位

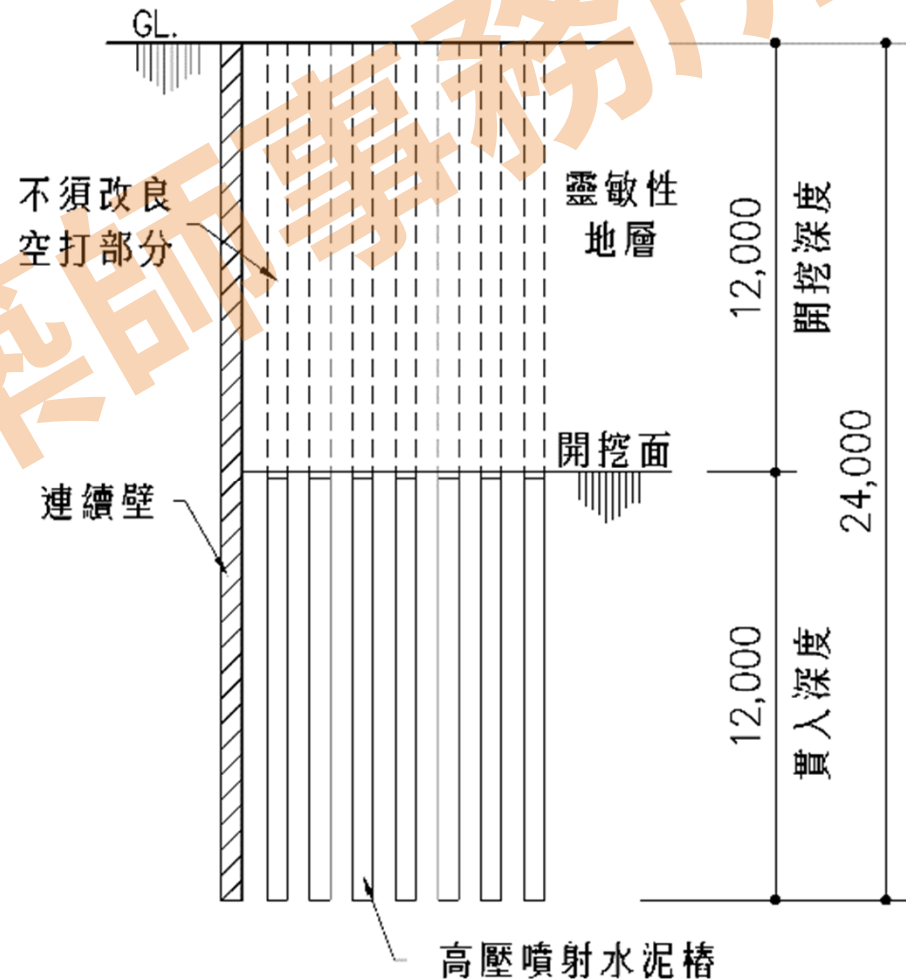
- ▶ 地下水水位若在地表下 1 ~ 3 公尺，一開挖就會遇到地下水。如：沖積層、港灣區、廢河道截彎取直區。
- ▶ 高地下水水位，深開挖容易造成擋土壁滲漏，鄰房沉陷、地層滑動。因此地下連續壁、支撐系統，都要相當小心謹慎。開挖區內降水與開挖區外降水，值得探討？
- ▶ 地下室在高地下水區可能會遇到：地下水上浮力。工程上會有：抗浮力設計。常用方式：厚底版、抗浮錨樁。尤其在地下室超挖區塊，更應增加靜重(呆重)，來抵抗浮力。

1.2 災變的潛在因素_軟弱土層、靈敏性土壤

- ▶ 軟弱粉土質黏土或粉土質細砂（沈泥質細砂）。
- ▶ 「靈敏度」(St)：軟弱黏土未受擾動的強度與「重塑」後在相同含水量之強度之比值。
 - $St \leq 4$ 不靈敏，
 - $4 < St \leq 8$ 靈敏，
 - $St > 8$ 極靈敏。
- ▶ 高有機質沉泥地層，如沼澤地，屬「極靈敏性」土壤。
- ▶ 基隆河廢河道截彎取直區的很多地層都屬於「靈敏性」土壤。
- ▶ 靈敏性土壤經過擾動後導致強度大幅降低，作為建築基地使用時要特別小心。

1.2 災變的潛在因素_地質改良與土壤擾動

- ▶ 改良案例
 - 軟弱粉土質黏土或粉土質細砂。
 - 地下室開挖深度12m。
 - 連續壁深度24公尺。
 - 地質改良深度範圍為地下12-24m，地下0-12m不需改良。
- ▶ 地質改良的螺旋鑽掘機鑽入地層，擾動了不需改良的「靈敏性」地層，降低了它的強度。
- ▶ 螺旋鑽掘機倒旋轉拔管時，經過不需地質改良的地層，若再水洗「噴漿口」，會把爛泥巴攪動得更爛，更具「靈敏性」。



2、擋土設施_連續壁、鋼板樁、預壘樁

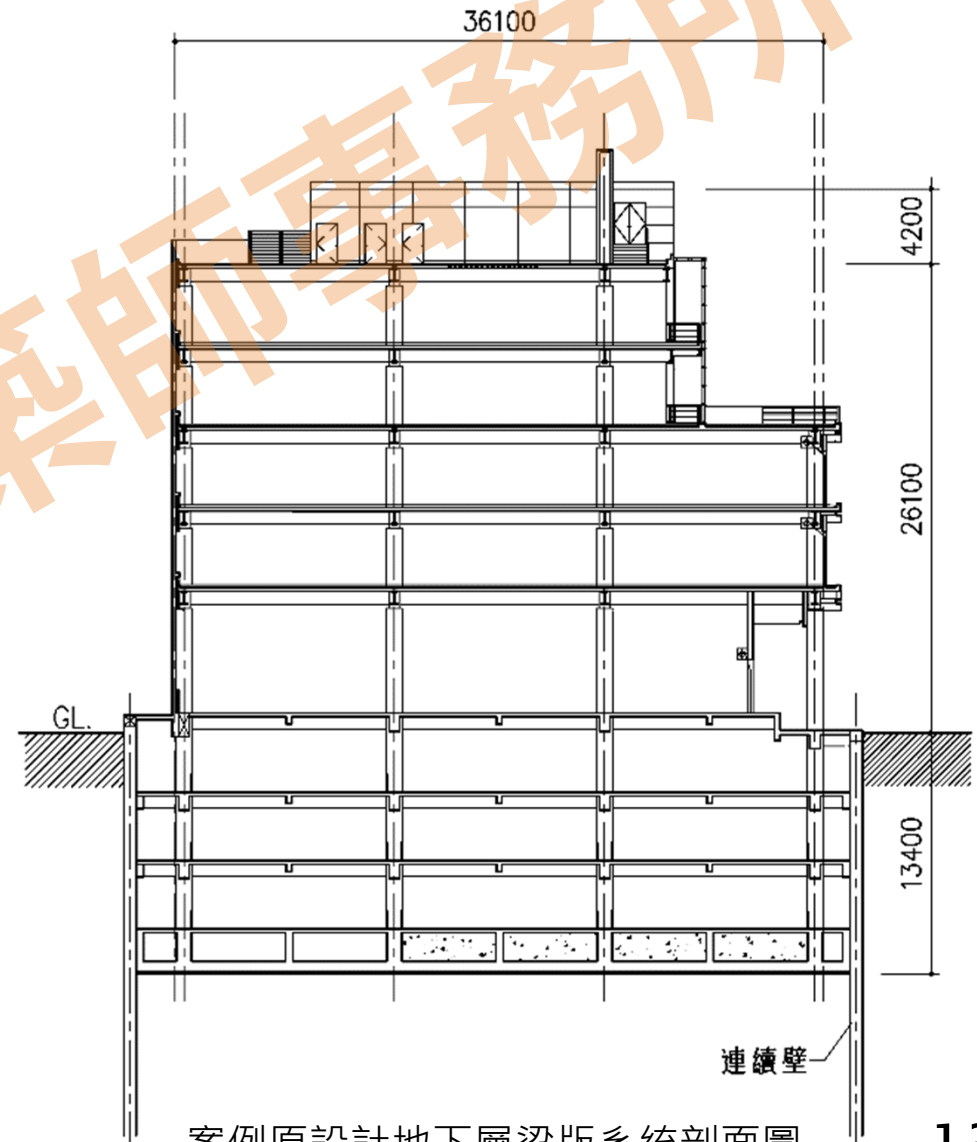
- ▶ 2.1 連續壁：...MHL影片、日本高崎市SMW影片
- ▶ 2.2 鋼板樁：...XX二廠，濱海工業區，高地下水位、地層屬軟弱「沈泥質細砂」、雙層鋼板樁(避免發生災變)。高雄災變照片。
- ▶ 2.3 預壘樁：...三重六張街案、開挖地層差不多是「粉土質細沙」。
圖面有註明:「止水樁施作深度開挖面以下1.5m，施工廠商可依現況作適當調整」。

預壘樁之間的止水樁，施作不確實，導致擋土壁體漏水。

單樁的施工，鋼筋籠會相互隔開混凝土(或砂漿)部分，無法重疊。

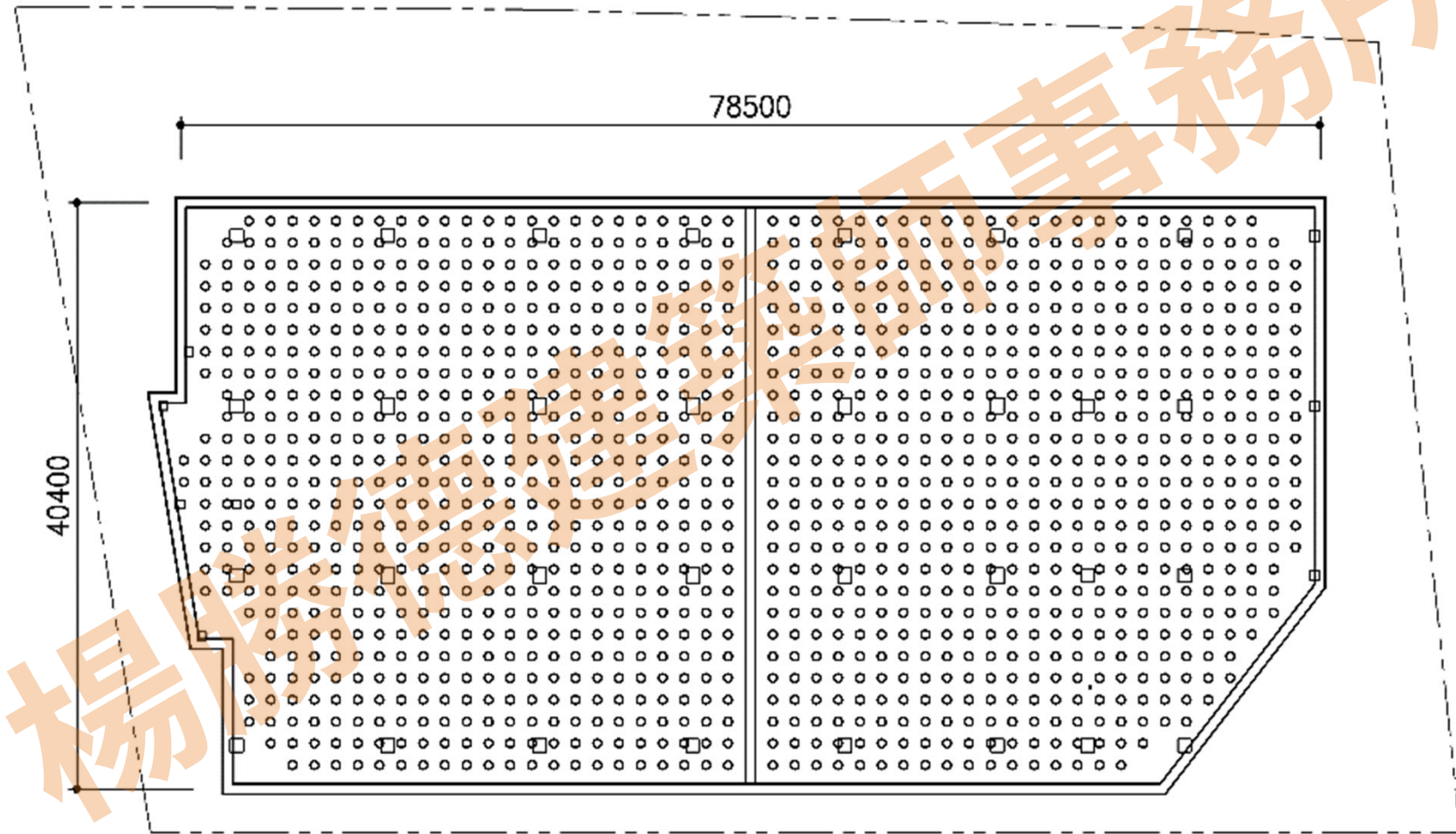
3、從MHL工法改變到SMW工法_案例說明

- 地下三層地上六層
- 基地位於基隆河截彎取直區，屬極軟弱地層。



案例原設計地下層梁版系統剖面圖

3.1 地質改良

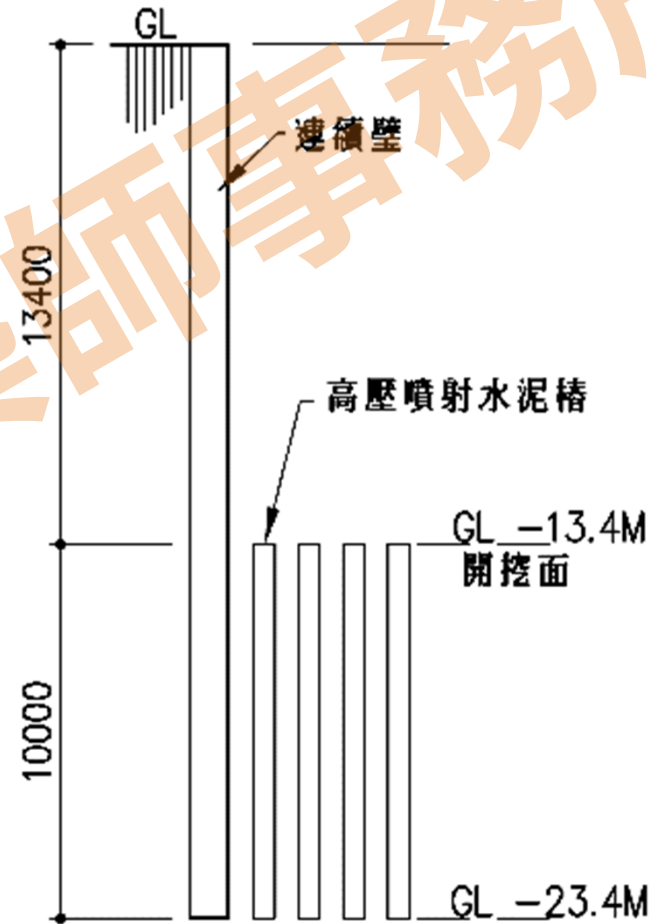


高壓噴射水泥樁配置圖

3.1 地質改良

- ▶ 原設計標示「噴射水泥樁」之規格、數量、試驗、檢驗要求如下：

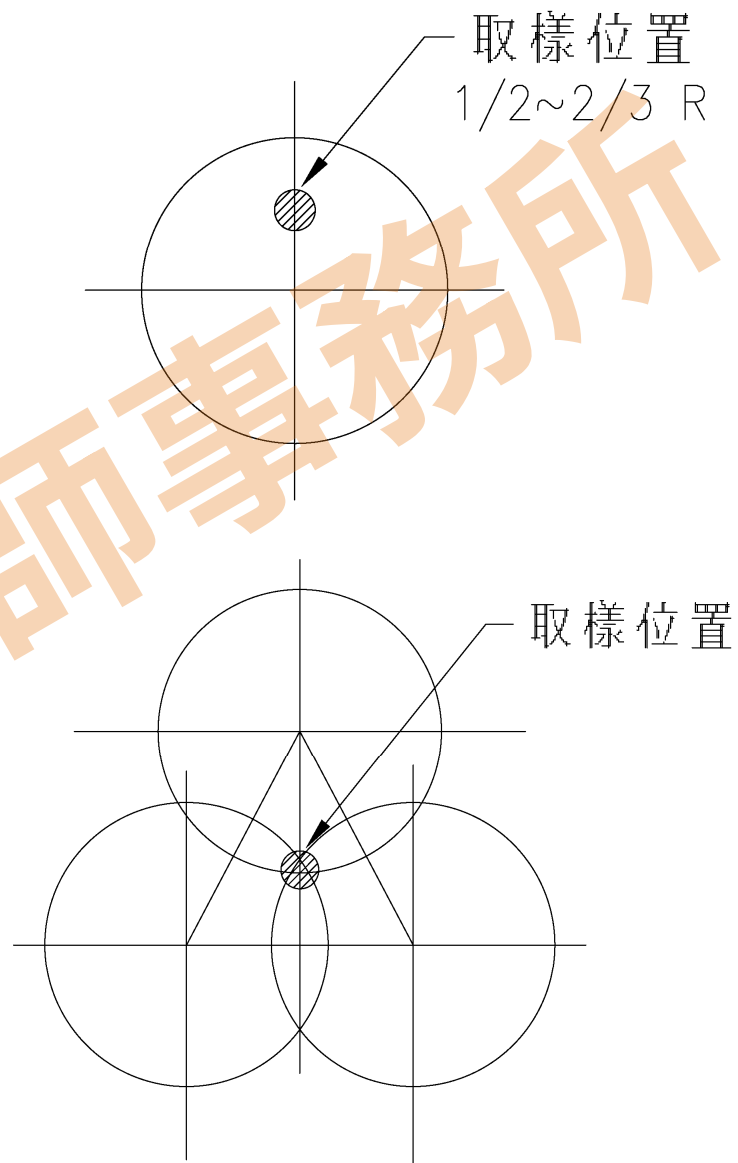
- 噴射水泥樁徑 $D=600\phi\text{MM}$ ，改良範圍自 $\text{GL}-13.4\text{M}$ ~ $\text{GL}-23.4\text{M}$ 。
- 連續壁內噴射水泥樁以矩陣方式排列，最大間距為 1500MM ，總支數為 1250 支。



高壓噴射水泥樁
剖面示意圖

3.1 地質改良_檢驗

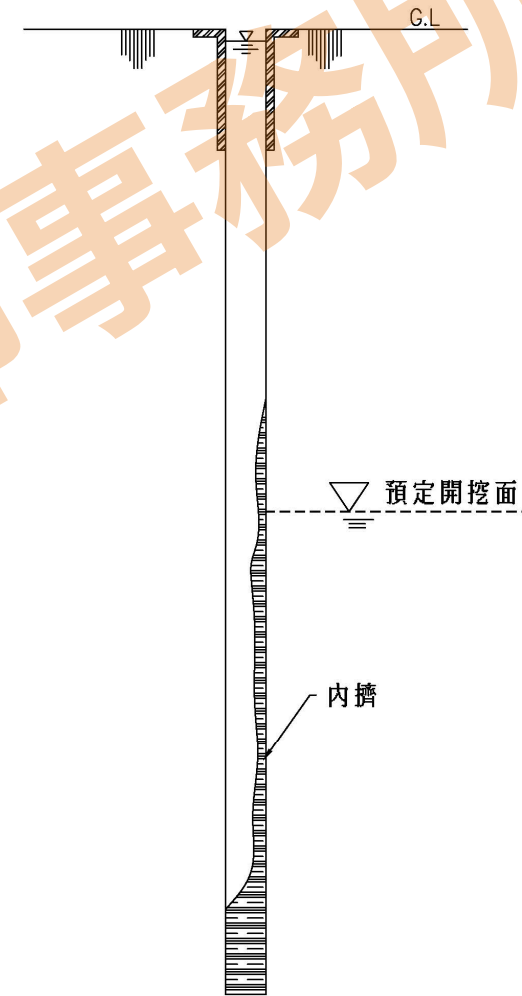
- ▶ 施工前，先作試樁及檢驗，試驗樁體抗壓強度。
 - 其單軸抗壓強度 Q_U 不可低於 $15\text{kgf}/\text{cm}^2$ ；
 - 樁體採取不合格長度不得大於 0.5 公尺。



標準貫入錐試驗
(CPT)用樁示意圖

3.2 MHL連續壁_施工過程重大缺失

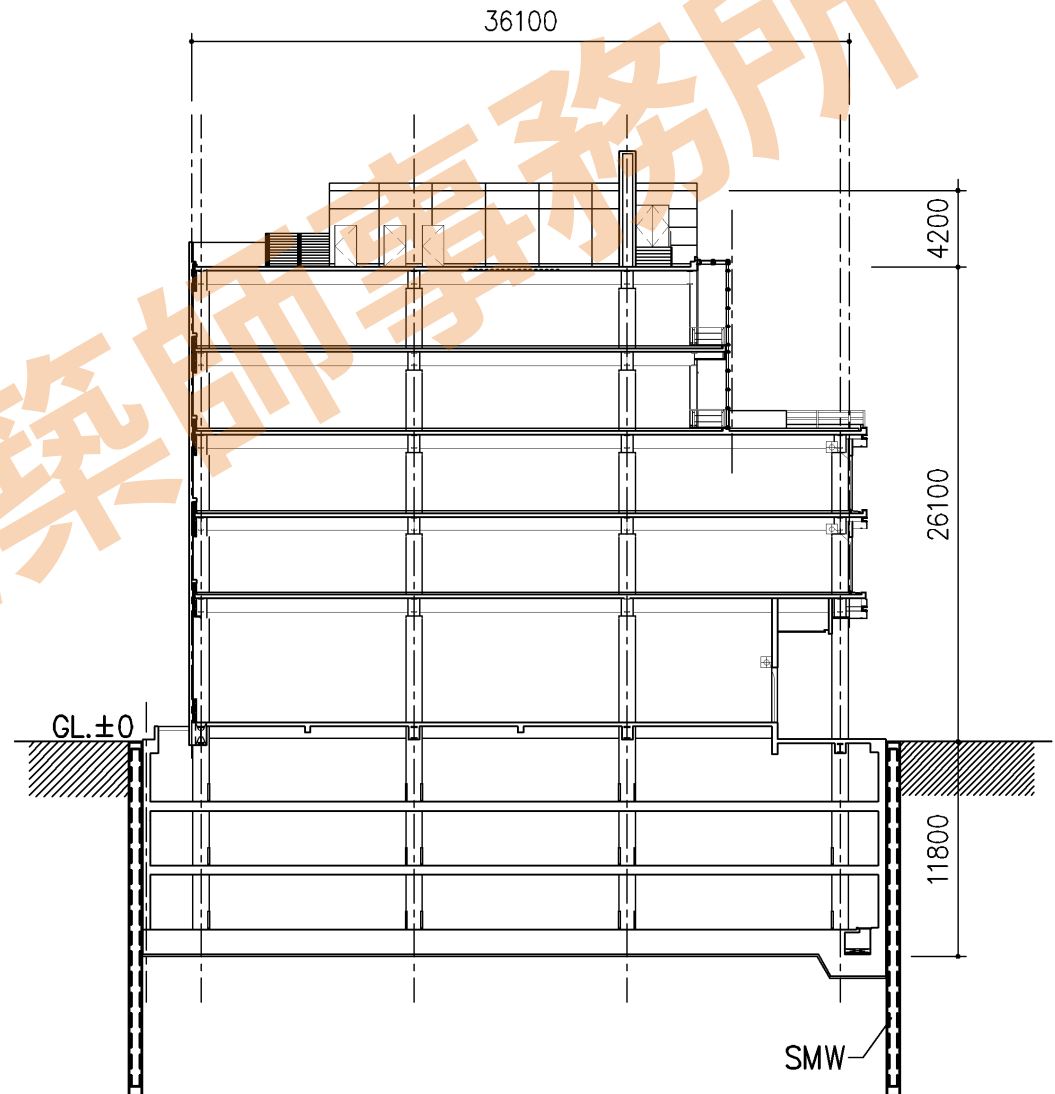
- ▶ 連續壁第一個單元施工十幾天，來來回回作了幾次的超音波檢測，壁體空間一直沒辦法成形，整個過程施工品管人員及監造人員都很在意。
- ▶ 後來決定灌漿了，大家盯著連續壁計算多少混凝土的使用量，原先預計45方，結果少了4、5方，一成以上。當場決定停工，再作討論，避免未來災變發生。



連續壁開挖基地土壤崩落嚴重示意圖

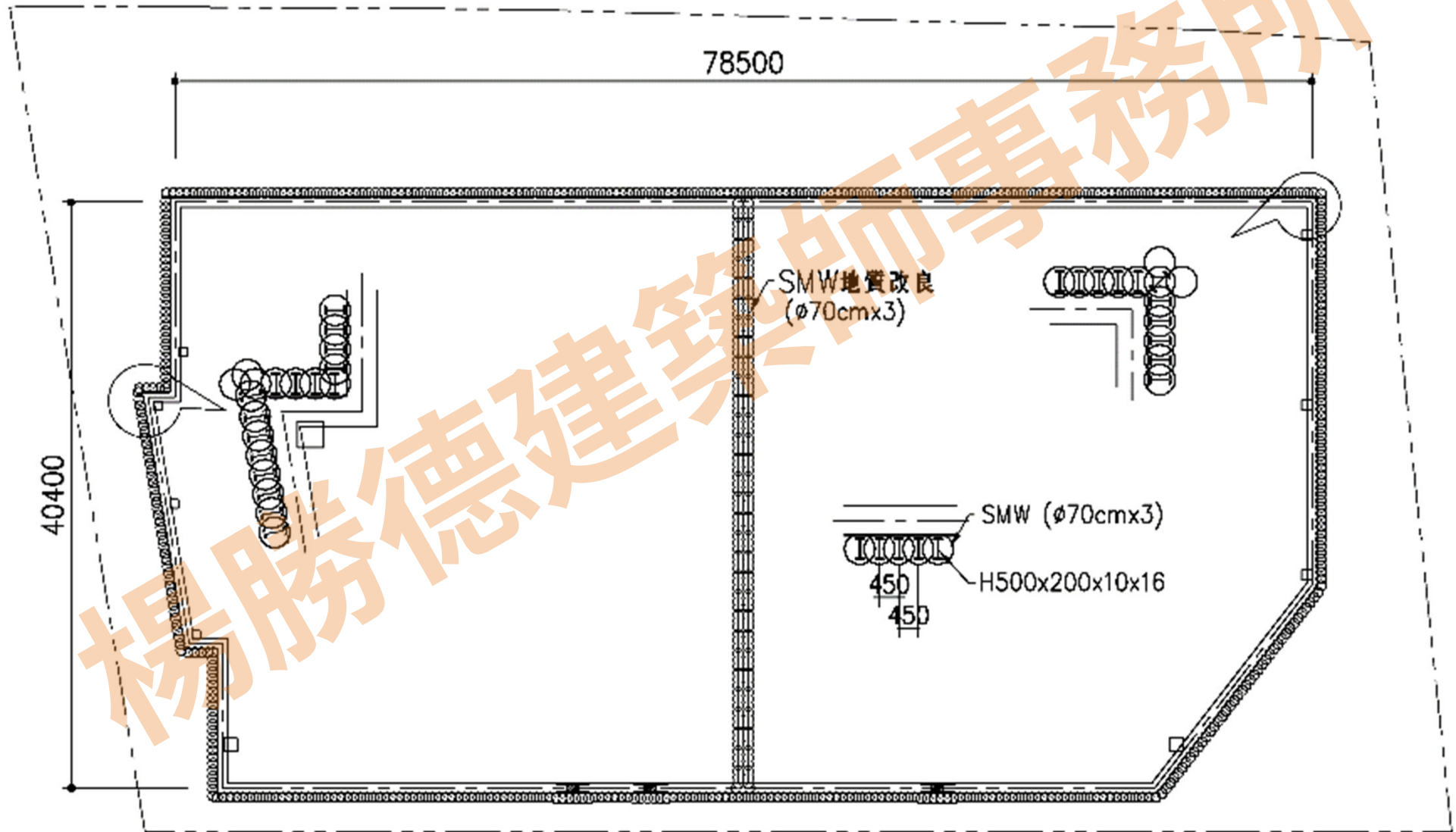
3.3 變更設計_SMW連續壁

- ▶ 連續壁MHL工法改為SMW工法 (SMW-soil mixing wall)。
- ▶ 地下層樓版及基礎改為平版結構，減少開挖的深度。
- ▶ 開挖深度由原來的-13.2m減少為-11.8m，支撐為4層，最下面2撐距離各縮小為3m。



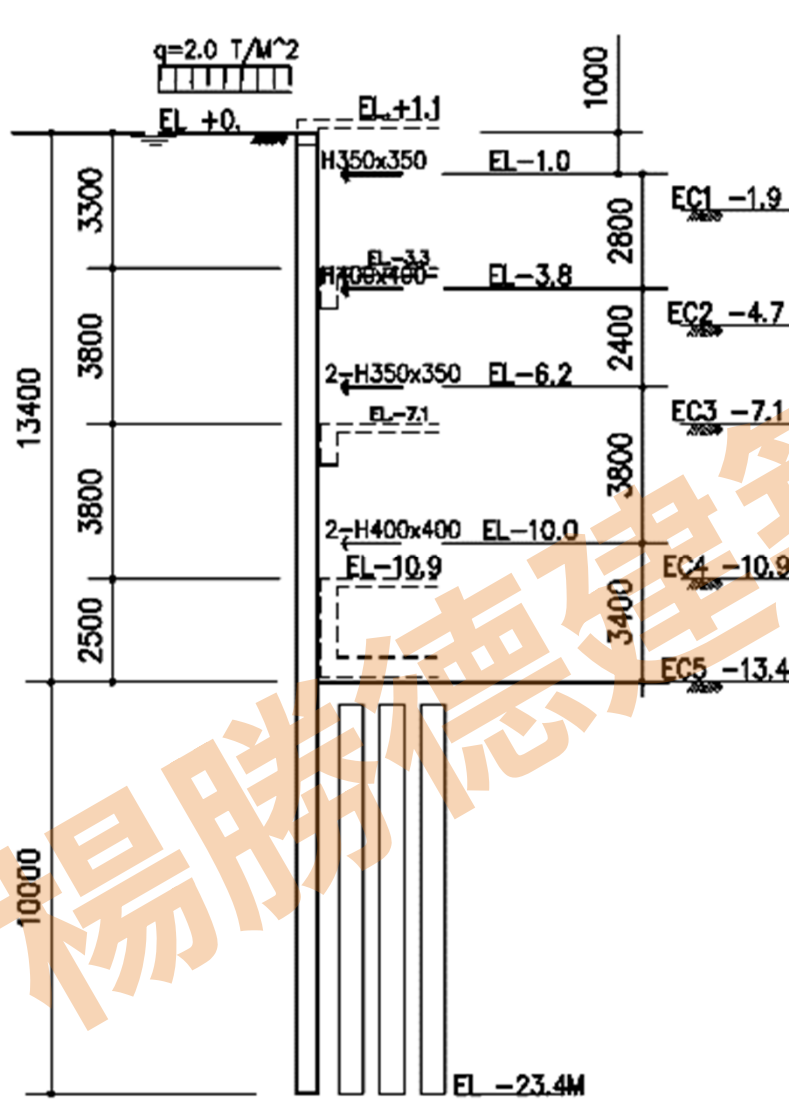
案例變更設計地下層無梁版剖面圖

3.3 變更設計_SMW連續壁配置圖

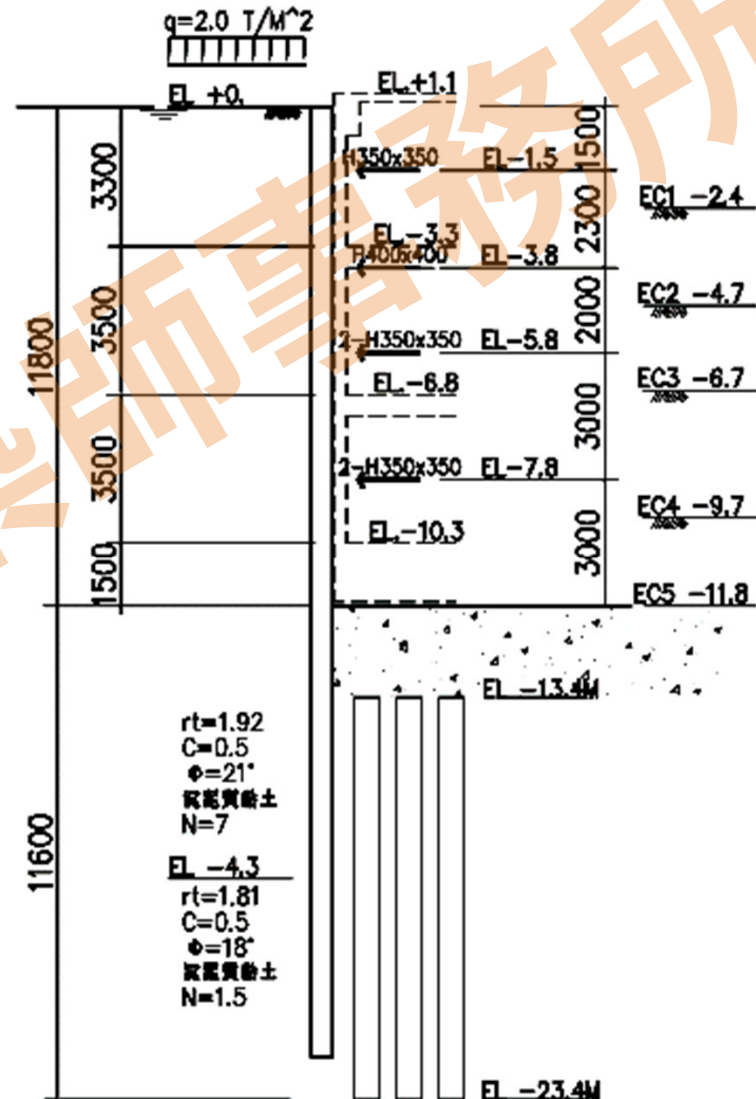


SMW柱列式連續壁配置圖

3.3 變更設計_地下開挖深度縮小

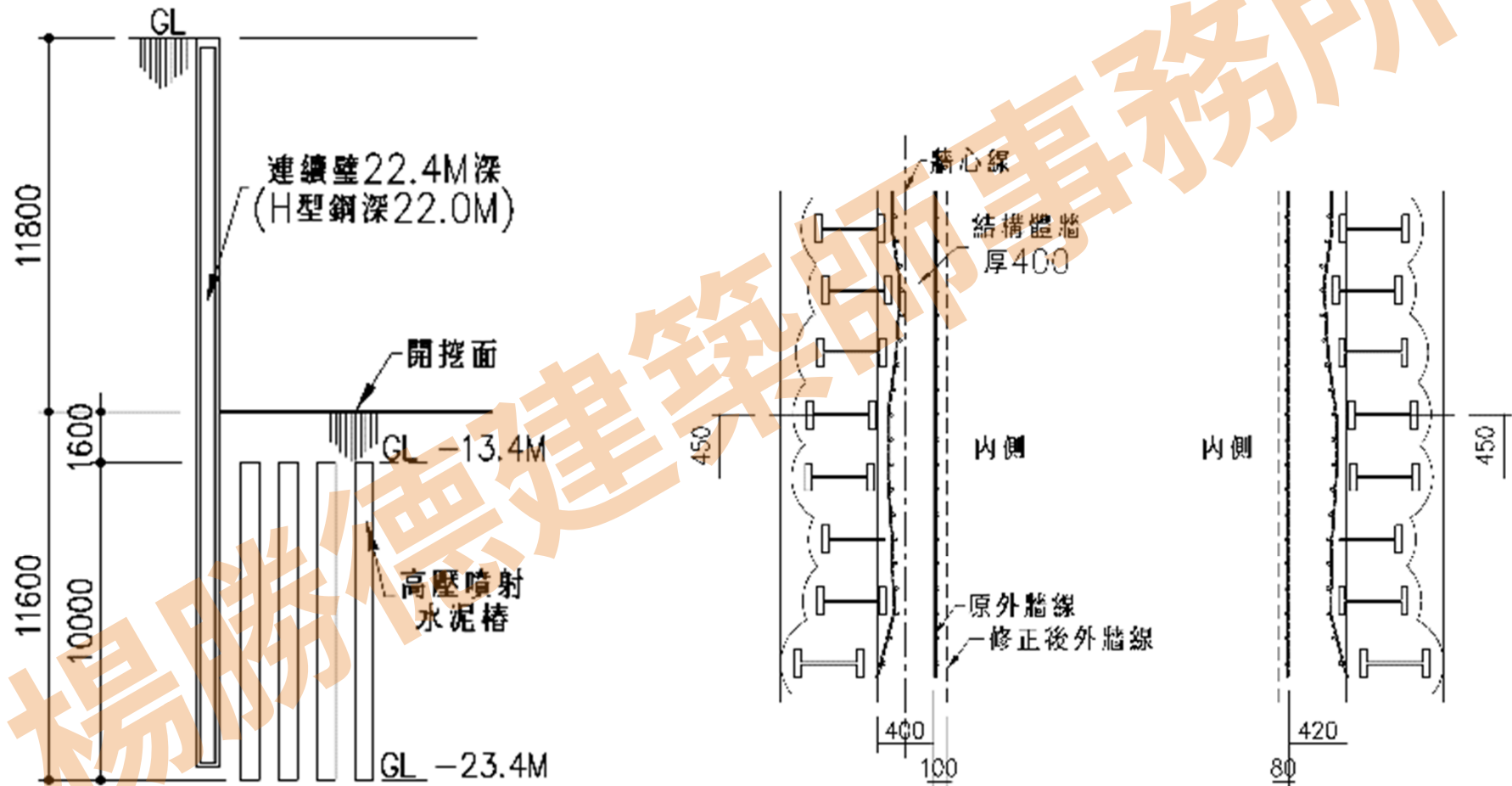


地下開挖13.4m，5挖4撐剖面圖



地下開挖11.8m，5挖4撐剖面圖

3.3 變更設計_SMW連續壁

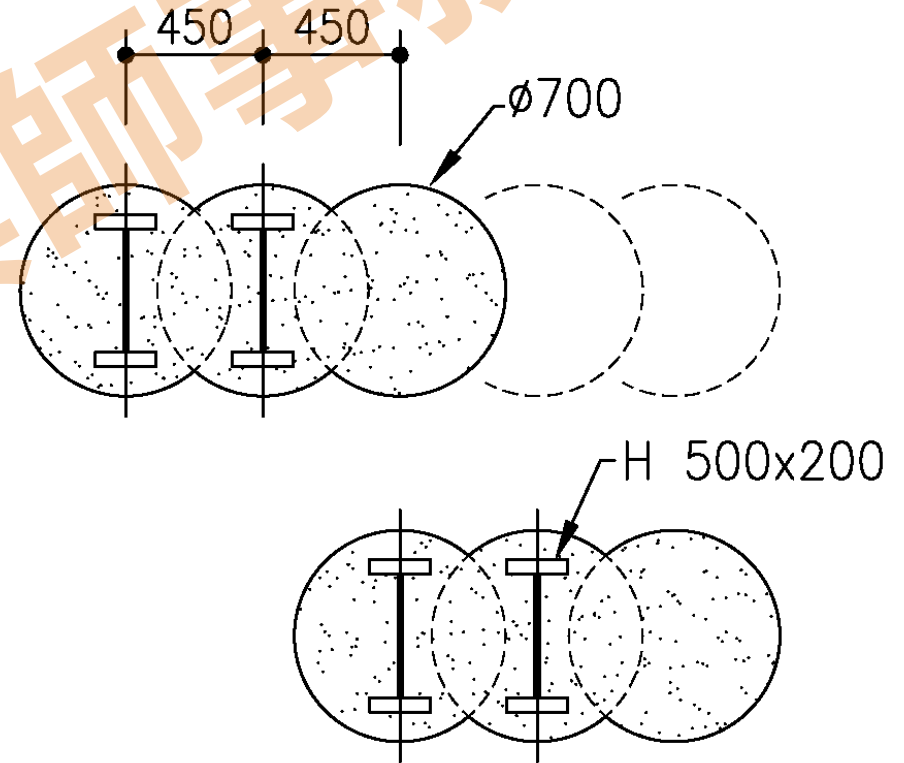


高壓噴射水泥樁及SMW
剖面關係圖

SMW連續壁擋土牆與40cm厚外牆
配筋關係圖

3.4 SMW連續壁到底是什麼工法

- ▶ SMW = Soil Mixing Wall
(土壤攪拌排樁牆)
- ▶ 用多軸鑽機鑽入地底
- ▶ 同時噴入水泥漿
- ▶ 把原土壤與水泥攪拌
- ▶ 形成一整排水泥土牆
- ▶ 水泥牆彼此重疊止水性佳。
- ▶ 水泥土牆會插入H型鋼，用來增加結構強度。



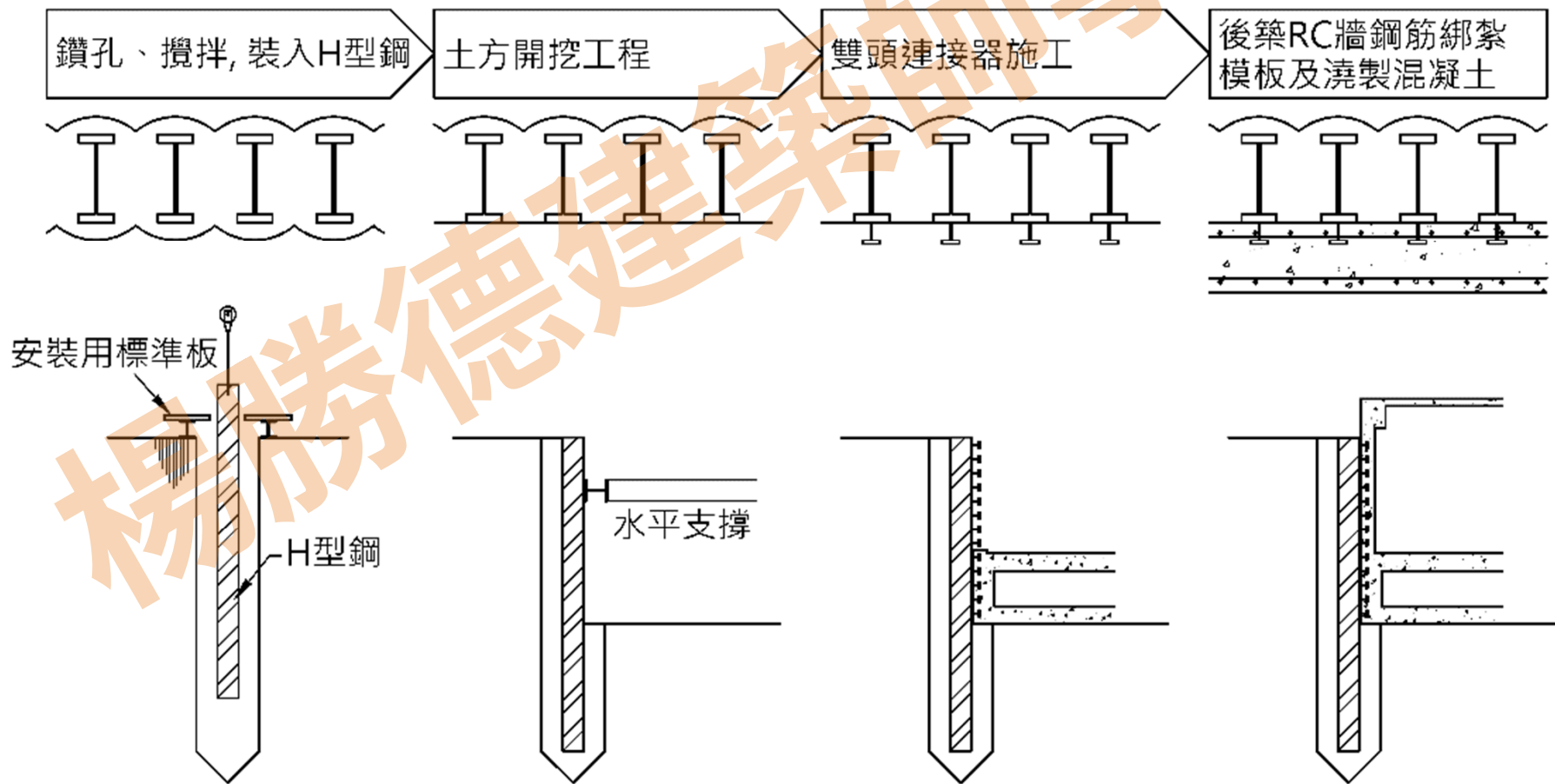
4、SMW(Soil mixing wall)連續壁工法

- ▶ 由鑽掘機鑽入土層一定設計深度後攪拌泥土，於鑽機底部噴口噴出水泥硬化劑，再逐步提升鑽機同時噴漿與攪拌，直達地面拔出鑽機，
- ▶ 然後插入芯材H型鋼後，一組排樁作業才算完成。
- ▶ 接續再移動鑽掘機到下一組排樁位置繼續施工。
- ▶ **SMW**連續壁與「預壘樁」不同。預壘樁是鑽孔清除孔洞內之土壤後灌入水泥砂漿，再插入圓形鋼筋籠。



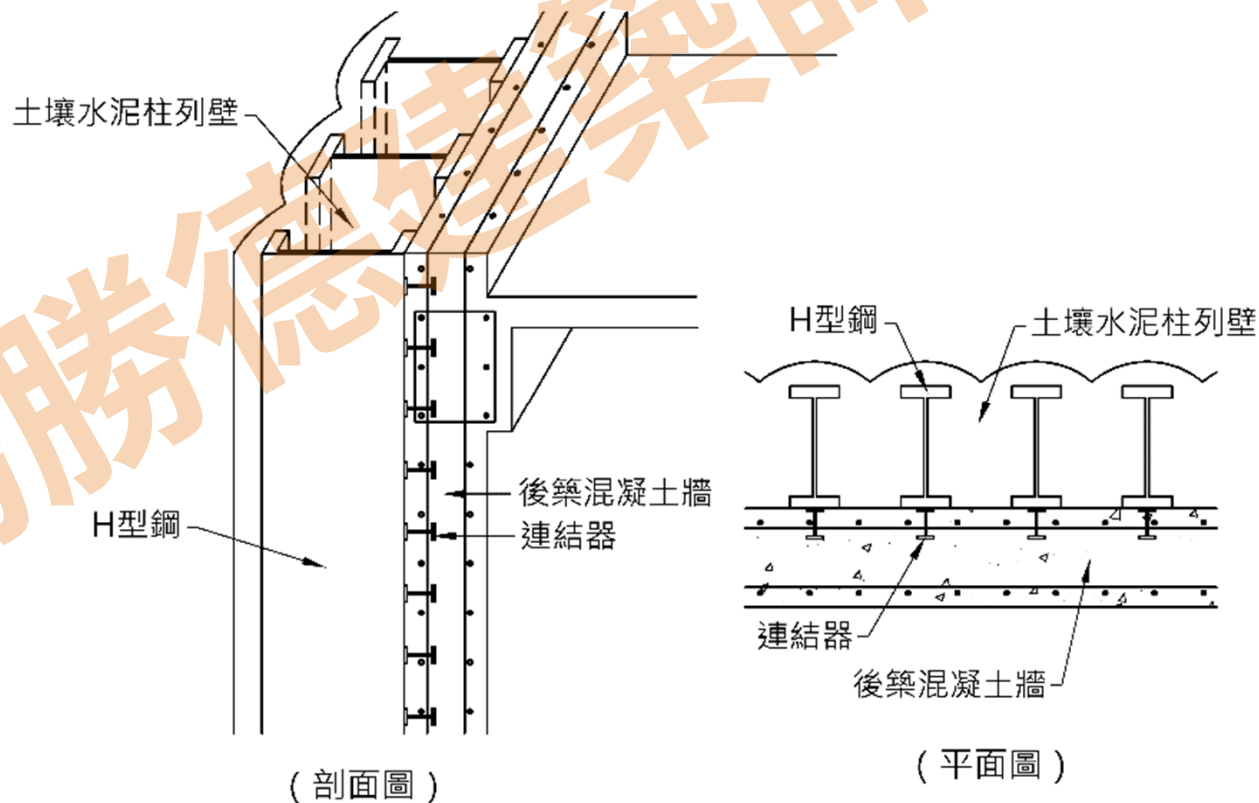
4.1 複合牆與非複合牆

- ▶ SMW壁體與地下室外牆兩者分次構築但須使之成為一體，稱為「複合牆」。



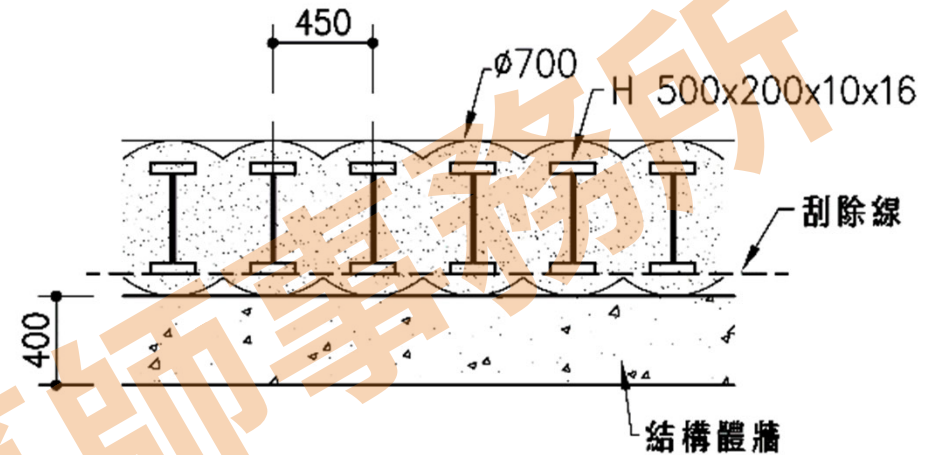
4.1 SMW工法：「複合牆」

- ▶ 牆體非常堅固，理論上可減少地下室外牆厚度以節省費用，
- ▶ 但地下室外牆外側無法施作防水膜，防水性也較差，又工期會延長許多。



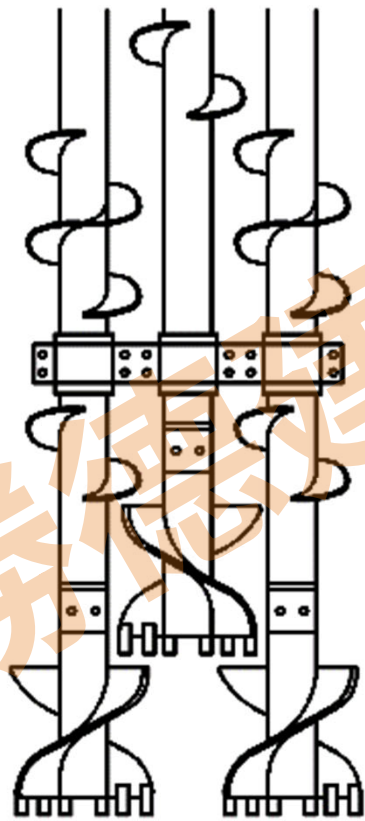
4.1 SMW工法：「非複合牆」

- ▶ SMW壁體完成，開挖階段沿著H型鋼柱內側翼板刮除硬化的泥漿塊，使其形成平整的壁面。

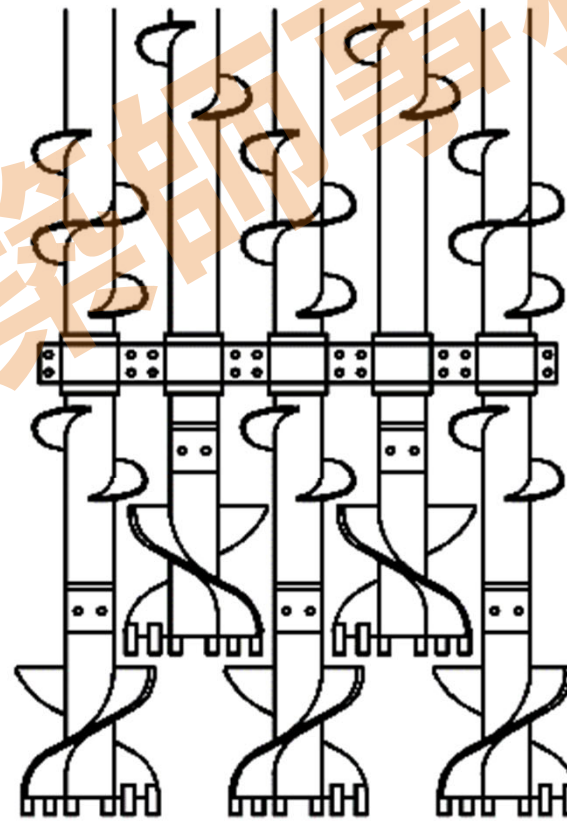


4.2 三軸式與五軸式鑽掘機

- ▶ SMW鑽機有三軸式及五軸式。



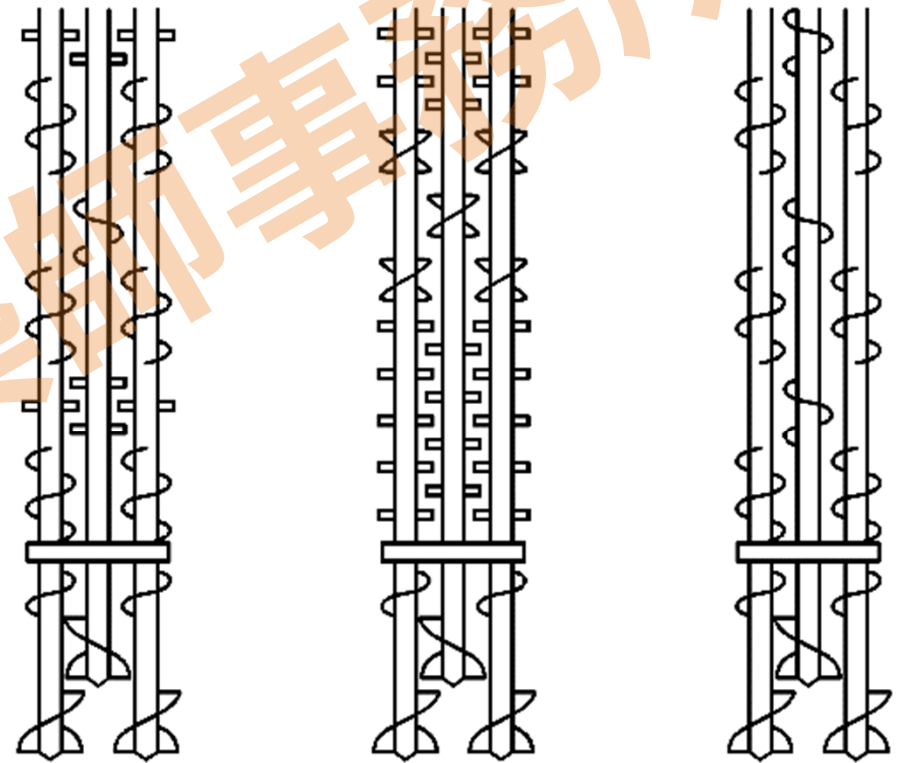
(a) 三軸螺旋鑽機



(b) 五軸螺旋鑽機

4.2 三軸式鑽掘機

- ▶ 三軸式鑽掘機鑽掘攪拌噴漿完成後，
- ▶ 第一、二孔插入二支H型鋼，預留第三孔作為鑽掘下一組排樁的導引孔，
- ▶ 第三孔屬重複鑽掘孔，如此每鑽三孔只插入二孔H型鋼，接續重複循序施作。



(a) 砂質土用

(b) 黏性土用

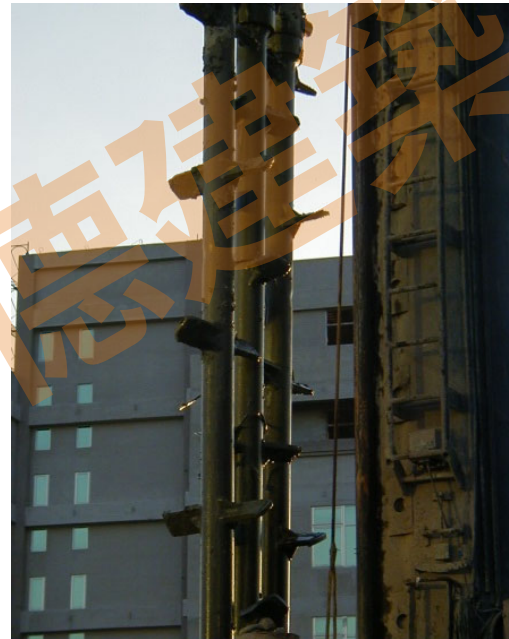
(c) 砂質土用

5、SMW工法施作 實際紀錄

楊勝德建築師事務所

5.1 試鑽與取樣

- ▶ 三軸式鑽掘機進場，作事前驗證



5.1 試鑽與取樣

- ▶ 試鑽到底後，取鑽桿上附著之攪拌泥土樣本。
- ▶ 另插入芯材H型鋼再拔出，取附著於H型鋼上泥土樣本。



5.1 試鑽與取樣

- ▶ 將兩種樣本試體作試驗抗壓強度，用以決定攪拌機提升速度與噴出水泥硬化劑的使用量。



5.2 施工過程

- ▶ 鑽掘機施工三軸聯動鑽掘攪拌噴漿



5.2 施工過程

- ▶ 噴漿完成後，開始吊裝插孔2支一體的芯材H柱，並有適當的導板以求垂直放置的精準度，



5.2 施工過程

- ▶ 每支H柱22m長
H500x200x10x16 重
量達1940kg，可完全依
靠自重順暢下滑入孔，其
偏斜程度亦可控制。
- ▶ 後來改進為單支芯材H柱
吊裝插孔，其施工過程
更為順暢。



5.3 地下室開挖過程

- ▶ 沿著H柱內側翼板刮除硬化的泥漿塊，形成平整的壁面。



5.3 地下室開挖過程

- ▶ 沿著H柱內側翼板刮除硬化的泥漿塊，形成平整的壁面。



5.4 PVC防水膜施工過程

- ▶ SMW壁體屬非結構體，為開挖之臨時性壁體
- ▶ 壁體整平後鋪貼一層2mm PVC防水膜，再構築地下室結構體外牆，
- ▶ 兩個壁體完全分離，使建築物整體下陷量或上浮力都與SMW壁體無關。



6、 結論

1. 地下室開挖工程災變都不是單一原因造成的，從地質調查、分析、開挖支撐設計、監測等，都有可能發生疏失，多個疏失加在一起，才會發生不可收拾的災變。
2. 本講題探討在軟弱土層同時要做連續壁與地質改良。究竟連續壁先做，還是地質改良先做，答案是要先做連續壁。
3. 本案例另有的特殊點在於高爐爐石粉大量的使用，取代水泥，響應環保。

MHL與 SMW工法造價比較

開挖擋土工程

- ▶ 實例地下三層、地上六層，地下開挖面積 $3,150\text{m}^2$ ，原設計地下結構屬RC構造梁柱抗彎抗矩構架、地上結構為鋼構造。
- ▶ MHL連續壁 $W=0.7\text{m}$ 、 $H=23.4\text{m}$ ，造價 $36,850,000$ 元；變更設計為SMW連續壁 $\phi 700 \times 3$ 、 $H=22.4\text{m}$ ，造價 $31,429,000$ 元；省掉接近 $5,400,000$ 元。
- ▶ 挖土、棄土省掉 $1,470,000$ 元，共省 $6,870,000$ 元。
- ▶ 但變更設計PVC防水膜多 $1,300,000$ 元、減壓工法多了 $5,400,000$ 元，共增 $6,700,000$ 元。
- ▶ 相互扣抵，工程費差不多。

土木結構工程

- ▶ 地下RC結構體部分由 $119,500,000$ 元增為 $122,400,000$ 元，增加 $2,900,000$ 元。