



# 第六章

## 基礎與開挖

# 目 錄

一、緒言 .....	6-1
二、土壤結構與地盤性質 .....	6-2
2.1 前言 .....	6-2
2.2 球狀形土壤之物理及工程性質 .....	6-3
2.3 片狀形土壤之物理及工程性質 .....	6-9
2.4 統一土壤分類法及應用 .....	6-17
2.5 應用實例說明 .....	6-23
三、基礎施工災害之類型及機制 .....	6-28
3.1 擋土壁管湧之災害 .....	6-28
3.2 開挖面砂湧之災害 .....	6-29
3.3 開挖面隆起之災害 .....	6-31
3.4 擋土支撐系統之災害 .....	6-34
3.5 擋土壁破壞之災害 .....	6-35
3.6 基礎上浮之災害 .....	6-36
四、基礎開挖工法 .....	6-39
4.1 明挖工法 .....	6-40
4.2 順打工法 .....	6-43
4.3 雙順打工法 .....	6-46
4.4 逆打工法 .....	6-51
4.5 島式工法 .....	6-59
五、結語 .....	6-63

## 第六章 基礎與開挖

### 一、緒言

建築物地下基礎開挖施工中不僅要安全完成，而且也要考慮不致在施工中、完工後影響鄰房基礎之安全。如果基礎型式選擇不當、設計方式錯誤，因為不適合在該地盤施作，或者施工管理不良，則基礎開挖過程不但容易造成本身施工危險，例如傾斜、沉陷、上浮或倒塌，而且產生鄰房龜裂、傾斜與沉陷。因此，工程師必須對地盤的土壤性質與地下水狀況有深入的了解，才能順應土性與水性，設計最適合的擋土設施與開挖工法，確保施工安全快速，而且經濟。

由建築物地下基礎開挖災變實例之研究與統計得知，災變產生之原因絕大多數屬於設計錯誤與選用工法不當，反而很少是施工不良所致；無可否認我國目前存在的設計與施工分離的機制仍然有改善的必要，有些設計人員很少有機會到施工現場體驗與磨練，而且缺乏足夠的實務經驗，自己閉門造車或是有樣學樣，設計出不符實際需求的擋土設施與開挖工法，還要求按圖施工不得變更設計，缺乏客觀的設計檢討與審查機制，雖然有許多的檢查表及嚴密的觀測系統，若是設計方向錯誤，施工方法再如何嚴謹也無助於安全的開挖施工，反而危機重重。

施工災害往往對國家社會造成大規模的損失及資源的浪費，因此如何預防基礎施工災害的發生？或如何於施工災害發生時，採取適當的應變措施，使災害的規模能夠盡量減小？對於主管機關而言頗為重要。若施工災害無法妥善處理，衍生出其他的糾紛與社會問題。

本單元係以建築物地下基礎開挖施工過程及完工後可能發生之災變，探討災變之成因及防災、救災對策，同時，針對地盤土壤的種類與工程性質詳細的敘述，而且，說明如何利用統一土壤分類的結果，選擇最適合的擋土設施、開挖工法與抽排水計畫，希有助於工程技術人員之警惕與提昇技術品質，防止工程施工災變之產生。

## 二、土壤結構與地盤性質

### 2.1 前言

地下基礎施工就如同手術台病人剖腹開刀一般，操刀之醫生在動刀之前，必須研判病人之各種病理檢驗報告、病人本身之身體條件及手術之目標，綜合全盤條件作正確的研判分析並擬定手術之計畫，進一步模擬在手術中可能產生之各種狀況與應變之對策，以確保病人之生命安全。同樣地，在基礎施工之前，除了對基地周遭環境作現況調查、確立施工之目標（地下挖方之規模與深度）、擋土安全措施之設計及防災應變計畫外，最重要的是深入了解基地之土壤性質。

地盤乃是由土壤、地下水及空氣（孔隙）所構成，依其構成之比例及成份之不同而各有其特性，因此，在基礎開挖之前，必須先了解識其性，在淺層無地下水之表層開挖與深層有地下水之裡層開挖，其「工法」與「技術」是截然不同的，故欲達成施工之目標必先了解地層之狀況，以免釀成更多之施工災害。

如圖 2-1 所示，土壤依其顆粒粒徑的大小可分為粗顆粒土壤（即粒徑大於 0.074mm）及細顆粒土壤（即粒徑小於 0.074mm）兩種，若以 USCS（統一土壤分類法）來區分，一般 12"（304.8mm）以上為塊石，12" 至 3"（76.2mm）為卵石，3" 至 4 號篩（4.76mm）為礫石，4 號篩至 200 號篩為砂土，而 200 號篩（0.074mm）以下為沉泥與黏土。而依土壤顆粒之形狀又可將土壤分為球狀形土壤與片狀形土壤，球狀形土壤包括塊石、卵石、礫石及砂土等粗粒料，以及無塑性的粉土沉泥等細粒料，片狀形土壤則僅包括粘土；此兩種土壤的物理性質不同，而導致工程性質差異很大，圖 2-2 所示，分別敘述如下：

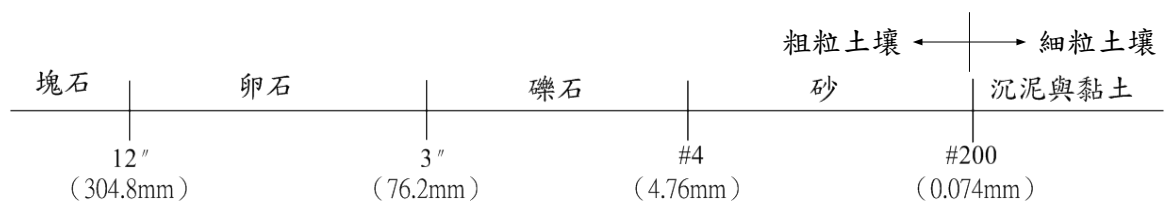


圖 2-1 篩網區分粒徑大小示意圖

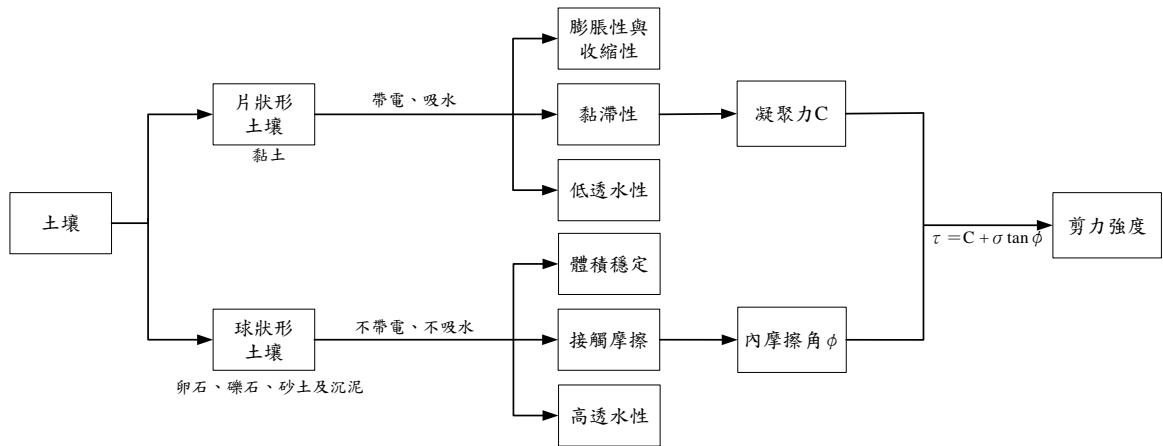


圖 2-2 土壤種類與工程性質關係圖

## 2.2 球狀形土壤之物理及工程性質

### 2.2.1 球狀形土壤之物理性質

球狀形土壤包括塊石、卵石、礫石、砂及沉泥，除了沉泥為細粒料，其餘皆為粗粒料，屬於停留在 200 號篩以上之土壤，其最重要之物理性質為級配與相對密度，敘述如下。

#### 1. 級配

為了獲得球狀形土壤的粒徑尺寸，將烘乾後的球狀形土壤置於一套篩網組上，篩網組為網眼由大而小之不同篩號之組合，經搖篩機振動後，分別計算停留在各篩網上之重量百分比，再以土壤粒徑為對數橫座標，累積通過百分比為算數縱座標，繪於半對數座標圖上，即可求得球狀形土壤之粒徑分佈曲線。

經由粒徑分佈曲線，可得到球狀形土壤大小之級配，所謂級配，指的是球狀形土壤大小排列的組合。若為優良級配，表示粒徑由大至小皆有，而大顆粒間的孔隙由中顆粒來填充，而中顆粒間的孔隙由小顆粒填充，形成一個緊密的排列；若級配不良，可能有兩種情形或其組合，一種是粒徑大小皆相似，稱為均勻級配，另一種則是缺乏某一粒徑範圍的土壤，稱為跳躍級配，如圖 2-3 所示。

圖 2-4 得知，優良級配之土層剪力強度大，自力性良好可形成自然垂直邊坡；均勻級配剪力強度相對性較小，所以只能形成有安息角之邊坡。

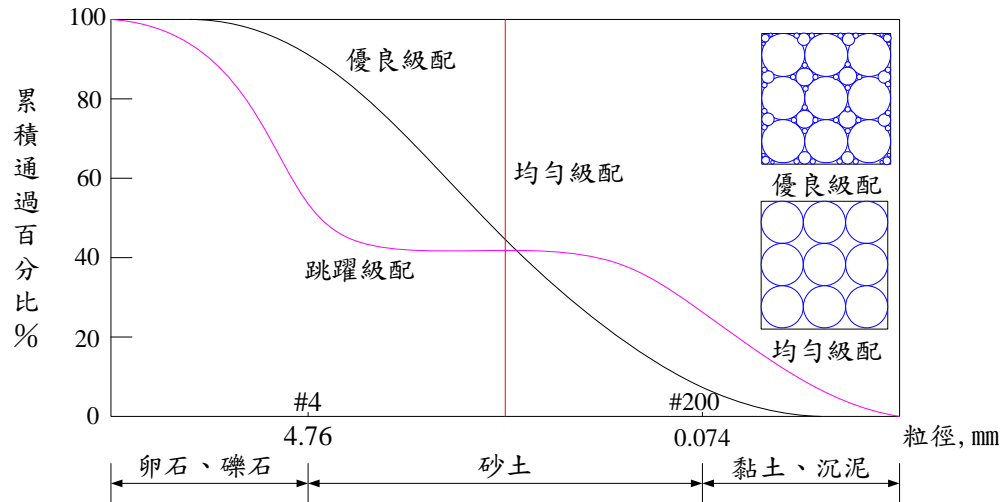


圖 2-3 粒徑分佈之特徵曲線

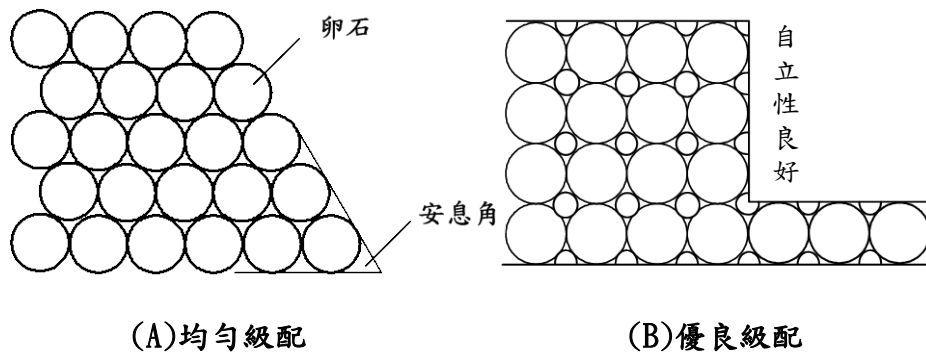


圖 2-4 均勻級配與優良級配之邊坡比較圖

## 2. 相對密度

相對密度一般用來評估已知級配的球狀形土壤排列組合的緊密程度，定義如式 (2.1)。 $D_r$  數值以百分比表示，其鬆緊的對應值如所表所示，數值越大，表示越緊密，孔隙越小，反之，則孔隙越

大，越疏鬆。兩種不同級配的球狀形土壤，分別達到  $D_r$  為 100% 的相對密度，其單位重卻不相同，級配較佳者其單位重較大。

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (2.1)$$

式 (2.1) 中：

$D_r$ ：相對密度，通常以百分比表示

$e$ ：現地土壤之孔隙比

$e_{\max}$ ：土壤最疏鬆狀態下之孔隙比

$e_{\min}$ ：土壤最緊密狀態下之孔隙比

表 2-1 球狀形土壤緊密度與相對密度之關係

相對密度 $D_r$ (%)	0 ~ 1 5	1 5 ~ 5 0	5 0 ~ 7 0	7 0 ~ 8 5	8 5 ~ 1 0 0
緊 密 程 度	非 常 鬆	鬆	中 等 緊 密	緊 密	非 常 緊 密

### 2.2.2 球狀形土壤之工程性質

球狀形土壤之工程性質，主要與級配及相對密度有關，以下分別針對滲透性、壓縮性及剪力強度等工程性質分別敘述。

#### 1. 滲透性

球狀形土壤不帶電而不吸水，所以具有透水性，當水遇到球狀形土壤時，能夠在顆粒間孔隙中流動。若土壤為優良級配，大顆粒間的孔隙被中至小的顆粒所填充，造成地下水流動較不容易，所以滲透性較差；而對於相對密度較高之球狀形土壤，由於排列組合較緊密，孔隙較小，滲透性較差。反之，不良級配或相對密度較低之球狀形土壤，顆粒間孔隙較大，水可自由進出，所以滲透性較佳。但是，級配優良與否的影響比相對密度的影響大很多。

## 2. 壓縮性

球狀形土壤本身不帶電，並不會吸水，因此，含水量不會造成體積改變，但是球狀形土壤可能因為級配或相對密度的不同，在受外力後，造成體積改變，形成壓縮，工程上稱為沉陷。

優良級配的土壤，顆粒間接觸點多，當受到基礎載重壓力時，會將應力分散而較無應力集中效應，土壤顆粒壓碎而沉陷的可能性不高，即便是顆粒可能會被壓碎，但孔隙空間很小，造成顆粒碎片填入孔隙較少，產生沉陷量較少；反之，不良級配的土壤，顆粒間接觸點少，容易造成應力集中的現象，導致顆粒容易被壓碎，而碎片填入孔隙造成大量沉陷，如圖 2-5 球狀形土壤應力分佈示意圖所示。所以級配越優良的土壤，承载力越大，而且壓縮性也愈小。

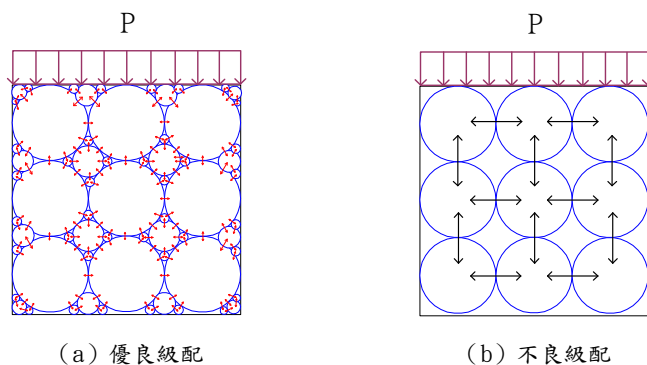


圖 2-5 球狀形土壤應力分佈示意圖

## 3. 剪力強度

球狀形土壤顆粒之間因無吸附水層，顆粒間是利用直接接觸產生



摩擦角( $\phi$ )， $\tan \phi$ 即為摩擦係數，摩擦角的大小來自於級配優良與否，優良級配可以提供較大的摩擦角，而 $\tau = \sigma \tan \phi$ 公式中， $\sigma$ 及 $\phi$ 兩參數必須同時存在才能提供球狀形土壤的剪力強度，所以球狀形土壤之剪力強度是由正向應力( $\sigma$ )和摩擦角( $\phi$ )所提供。影響球狀形土壤圍壓力的增大有二項可能原因，一為覆土壓力的增加，一為側向變形的束制，造成顆粒間的正向應力也愈大，所以，剪力強度才增加。摩擦力的大小，則視顆粒間正向應力及摩擦係數而定，而摩擦係數則與下列兩因素有關：

### (1) 顆粒形狀

形狀不規則，呈現多稜角狀者，顆粒之間能因稜角發揮互鎖的能力，顆粒間摩擦係數明顯增加。

### (2) 級配

級配能直接顯示出球狀土的緊密度，若為優良級配，則表示大顆粒之間的孔隙有小顆粒填塞，緊密度高，顆粒接觸點多，摩擦係數相對提高。

圖 2-6 得知，球狀形土壤無凝聚力，無法彼此連結，因此開挖後自然崩落呈穩定邊坡，而降雨後不會因為土層含水量增加而降低其剪力強度，所以降雨前後均維持相同邊坡穩定角度。該穩定角度即為安息角，安息角的大小和球狀形土壤的內摩擦角 $\phi$ 成正比關係。

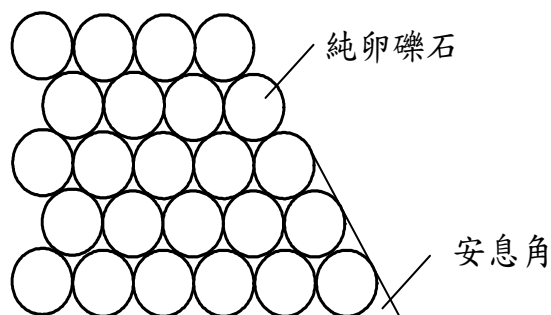


圖 2-6 級配不良的球狀形土壤邊坡自立性不佳

級配優良的球狀形土壤，自立性良好，如圖 2-7 所示，其次，級

配優良的球狀形土壤，側向土壓力較小，如果地下水位很低，則可選用鋼軌木板條擋土牆，既經濟又安全，是最佳的選擇。當地地下室開挖時，擋土牆兩側土壓不平衡，導致擋土牆向開挖側位移，擋土牆後側地表產生裂縫，級配優良的球狀形土壤內摩擦角大，裂縫距擋土牆較近，而級配不良的球狀形土壤，內摩擦角較小，裂縫距擋土牆較遠，如圖 2-8 所示。



圖 2- 7 級配優良的球狀形土壤邊坡自立性良好

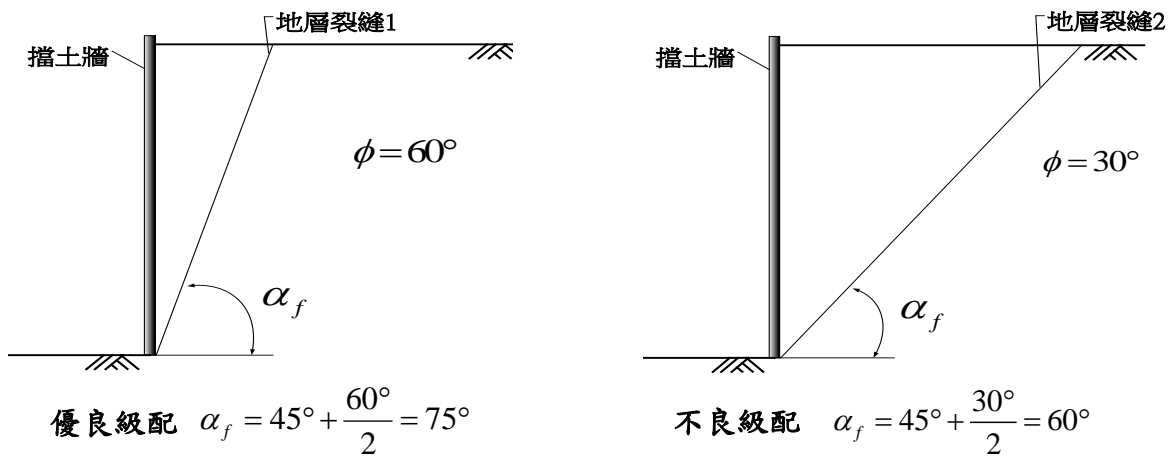


圖 2- 8 擋土牆後側裂縫位置示意圖

砂土層中施作土壤標準貫入試驗，希望藉由 N 值推估土壤的  $\phi$  值，如果 N 值相同的砂土，則  $\phi$  值也應相同。但是根據  $\tau = \sigma \tan \phi$  可得知，砂土層剪力強度來源包含正向應力及  $\phi$  角。其次說明，為何在砂土層中的標準貫入 N 值，必須依照深度修正 N 值，才可用修正後的 N 值，來評估砂土的力學性質。由圖 2-9 得知，隨著貫入土層越深，砂土層的正向應力會增加，雖然  $\phi$  值相同，但是剪力強度增加，所提供的摩擦阻力變大，N 值也變大，但是因為假設摩擦角沒有變化，所以須對 N 值作修正以利於判斷  $\phi$  值。

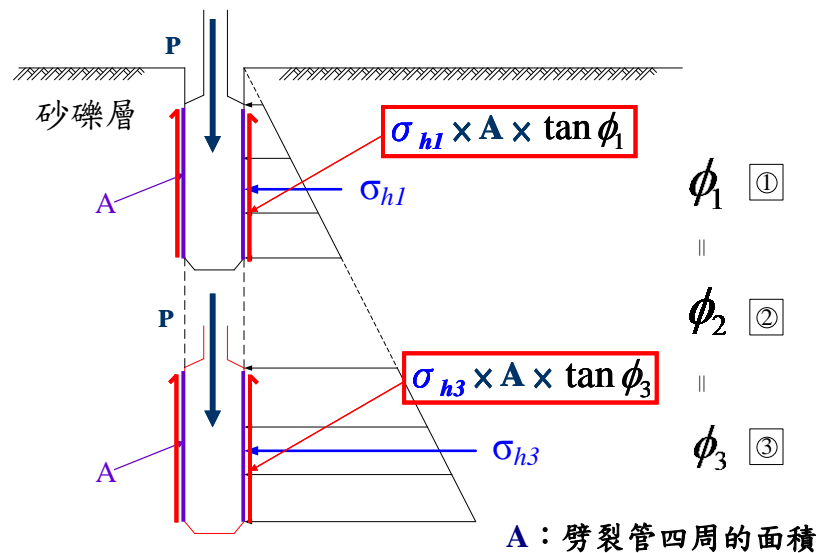


圖 2-9 球狀形土壤 SPT-N 貫入示意圖

## 2.3 片狀形土壤之物理及工程性質

### 2.3.1 片狀形土壤之物理性質

片狀形土壤一般工程上指的是黏土，而黏土與水混合後會發展出塑性的一種顆粒，為過 200 號篩粒徑非常小之顆粒。有關其物理性質內容簡單介紹如下：

#### 1. 粒徑

由於黏土顆粒非常細小，為通過 200 號篩之顆粒，無法以篩分析試驗區分顆粒大小，所以必須藉由比重計試驗來區分，而試驗係根據流體力學中之 Stoke's Law 分析，由沈降的時間來推估土壤顆粒粒徑大小，再由不同沉降時間的液體單位重，推估小於某粒徑所有土壤的重量，進而求得累積通過百分比之粒徑分佈曲線。

## 2. 比表面積

定義為土壤單位重量之表面積。舉例來說，有一黏土顆粒的重量為  $W$ ，總面積為  $A$ ，比表面積則為  $A/W$ ，而且，厚度越薄的黏土，比表面積越大。

## 3. 帶電性

就黏土微觀而言，由於顆粒尺寸非常的小，厚度非常薄，比表面積非常大，造成顆粒表面的負電荷多，而且電荷所引起的電化力遠大於重力。

## 4. 吸水性

水是由兩個氫原子與一個氧原子所組成，其中兩個氫原子各帶一個正電，而氧原子帶兩個負電，所以形成中性，但是因為其原子排列的組合不對稱，造成一端帶正電，另一端帶負電，如圖 2-10 中水分子所示。

當黏土遇到水後，雙極性的水分子的正電端可被帶負電荷的黏土顆粒所吸引，而水分子的負電端會再吸引另一水分子的負電端，這就是黏土有吸水性的原因。通常黏土吸引水的多寡在工程上稱為含水量 ( $\omega$ )，定義為水重除以乾土重。

所有吸引在黏土顆粒四周的水，最內層受到強烈吸引的一層稱為吸附水層，中間為吸引力影響達到極限的一層稱為擴散層，兩層合稱為電雙層水，而最外層的水則不受黏土顆粒表面負電荷吸引力影響，稱為自由水層。所以，比表面積大者，顆粒表面的負電荷量越多，吸附水層越厚，如圖 2-10 黏土電雙層水示意圖所示。

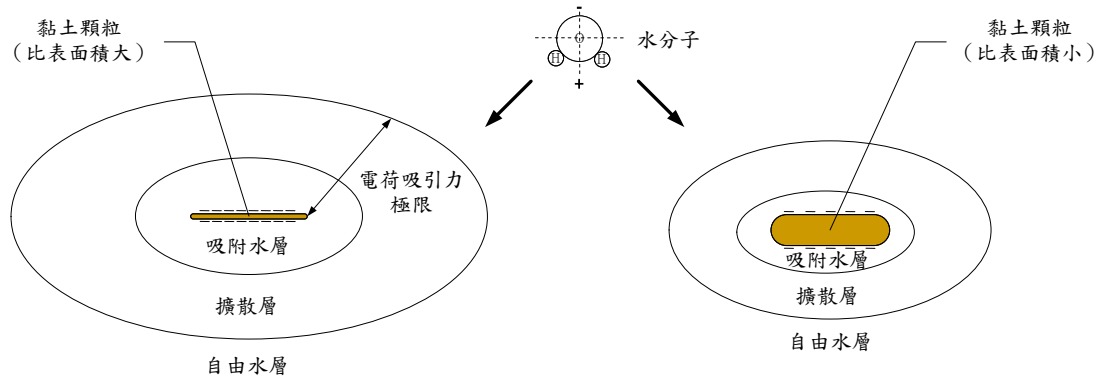


圖 2-10 黏土電雙層水示意圖

## 5. 體積變化性

黏土依其含水量多寡可劃分為四種狀態，分別為液態、塑態、半固態及固態。由液態轉變為塑態之含水量定義為液性限度 (LL)，由塑態轉變為半固態之含水量定義為塑性限度 (PL)，由半固態轉變為固態之含水量定義為縮性限度 (SL)，如圖 2-11 所示。

黏土表面電荷具有吸水形成電雙層的特性，因此，黏土的體積會增加，而且吸水越多體積越大。但是，當黏土因高溫漸漸失去電雙層時，體積也會收縮，當收縮到一極限值時，雖然含水量持續降低，但是，黏土體積不再收縮，該極限含水量即為縮性限度，如圖 2-11 的 SL。

黏土在失去水分的過程中，因體積的收縮造成張力裂縫，如圖 2-11 所示；水泥也是黏土的一種，水泥與水拌合成水泥漿，水泥因吸水體積增大，在水化過程中，水泥的含水量漸漸減少，因此，初凝時即有裂縫的產生。在水泥漿中加入粗細骨材，即成為混凝土，同理，混凝土初凝時產生的裂縫，皆為水泥體積收縮造成。

因此，如果要避免裂縫的產生，水泥的用量要盡量減少，少到能滿足強度及工作度的要求即可，同時水化過程要保持混凝土的水分，減少乾縮的裂縫。

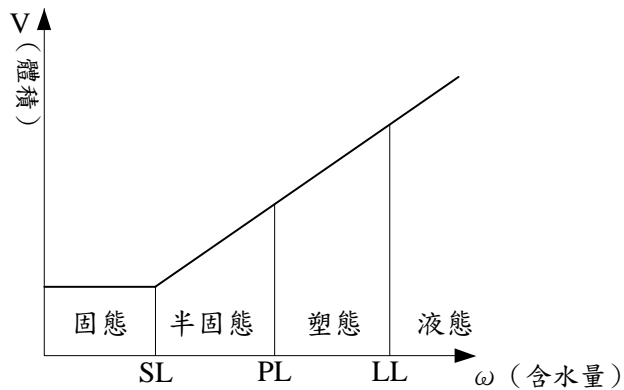


圖 2-11 黏土體積與含水量之關係



圖 2-12 黏土體積收縮而砂礫體積不變

### (1)液性限度 (LL)

黏土產生流動之最小含水量即為液性限度。試驗時將通過 40 號篩之土樣與水拌合成的土糰抹於銅杯，再以標準之刮溝器在土糰中央劃開成兩半（如圖 2.13a），以每秒二轉之速率，搖動曲柄使銅杯以落距 1cm 往復地抬高及落下敲擊底座，當敲擊 25 次時兩半土壤恰好閉合 1.3cm 的長度（如圖 2.13b），在這種流動度時，其含水量定義為液性限度。





圖 2-13 液性限度試驗

## (2) 塑性限度 (PL)

塑性限度是黏土成為塑性狀態的下限值，用以測試沉泥在細粒料中的最大含量。而液性限度與塑性限度的差值為塑性指數 (PI)，可用以判斷黏土的含量多寡，當塑性指數愈高，土壤細料中黏土含量也愈高；反之，則趨向沉泥含量高。

試驗方式則是將黏土在玻璃板上搓揉成直徑 0.32cm 之土條，並且斷裂成數段 0.8~1cm 帶有細裂紋之土條，此時土條之含水量即定義為塑性限度。

## (3) 縮性限度 (SL)

當黏土水分逐漸減少，土壤的體積就會隨著縮小，直到達成平衡狀態，亦即水分雖然繼續減少，但是體積維持不變。因此，定義土樣體積不再縮小之最大含水量即為該土樣之縮性限度。

## 6. 應力與應變關係

當黏土含水量極小時，土壤的行為類似固體，其應力與應變之關係有明顯之尖峰點，過了此尖峰點應力隨著應變增加而下降；而含水量高時，土壤的行為則像液體般可以流動，其應力與應變之關係貼平橫軸，因此，黏土的力學行為受含水量之多寡所控制，如圖 2-14 所示。

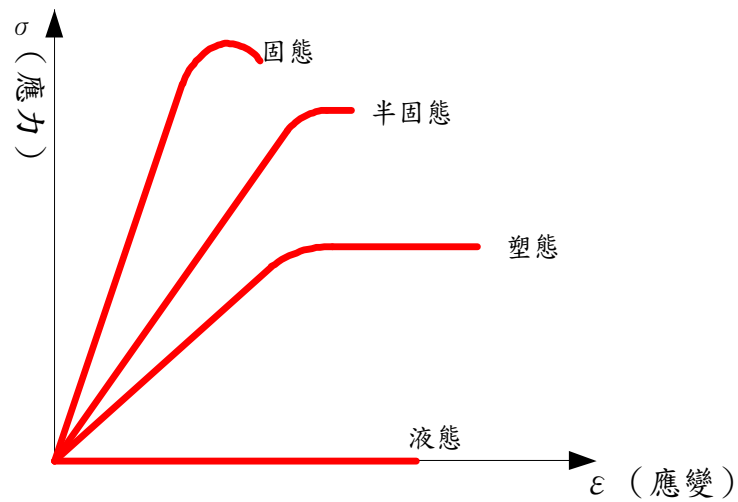


圖 2-14 應力與應變之關係

### 7. 黏滯度

當黏土接觸水分時，正負電之間的吸引力，導致黏土顆粒四周的吸附水具有黏滯性，而這黏滯性即為黏土的塑性或稠度。若將黏土與原子作比較，如圖 2-15 所示，黏土顆粒如同原子核，而水分子如同電子，愈內層的水分子（電子），受到黏土（原子核）的吸引力愈強，最外圍的水分子吸引力最弱，因此，當黏土（原子核）受外部能量（熱能）影響，外層的水分子（電子）最易跳離，因為吸引力小，稠度低，黏滯度低；而內層水分子（電子）則因電荷吸引力強，不能脫離移動，代表吸引力大，稠度高，黏滯度高。

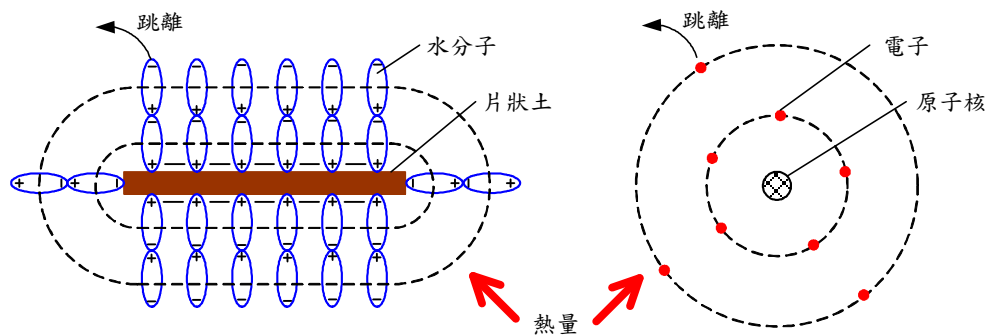


圖 2-15 黏土與原子比較圖



因此，黏土含水量越大，吸附水層愈厚，外圍水分子的吸引力愈弱，則黏土的稠度越低，黏滯度越低；反之，含水量越小，吸附水層越薄，正負電荷之間的距離越小，正負電荷之間的吸引力越強，黏土與外圍水分子的吸引力越強，稠度越高，黏滯度越高。

#### 8. 蒙脫土、伊利土及高嶺土之比較

蒙脫土、伊利土及高嶺土各有不同的液性限度 (LL)，這三種黏土的比表面積分別為蒙脫土  $800\text{m}^2/\text{g}$ 、伊利土  $80\text{m}^2/\text{g}$ 、高嶺土  $15\text{m}^2/\text{g}$ ，當三者分別達到各自的液性限度之含水量時，黏土顆粒吸附水層最外圍的水分子，受到黏土表面負電荷的吸引力皆相同，也就是粘滯度相同，凝聚力相同，剪力強度也相同。而比表面積越大的黏土，表面所帶的負電荷越多，黏土顆粒表面至吸附水層最外圍水分子的距離越大（吸附水層越厚），即含水量越高；反之，比表面積越小者，表面所帶的負電荷越少，黏土顆粒表面至吸附水層最外圍水分子的距離越小（吸附水層越薄），即含水量越低。所以，黏土的比表面積愈大，該黏土的液性限度也愈大。

#### 2.3.2 片狀形土壤之工程性質

片狀形土壤之工程性質，主要與含水量有關，分別依滲透性、壓縮性及剪力強度，敘述如下。

##### 1. 滲透性

由於黏土帶有負電荷，能夠吸水，所以，當水遇到黏土時，水皆被黏土所吸收不再流出，直到含水量超過液性限度，黏土像液體般的流動。因此，水遇到黏土時，如果不是被吸引住，形成吸附水層，造成後面的水無法通過，就是滲流力小於黏土顆粒間的黏滯力，而無滲透性可言，故黏土層可視為不透水層。

##### 2. 壓縮性

土體體積縮小的現象，稱為土壤的壓縮性。對於黏土，主要是含水量的減少，造成體積收縮的現象，工程上稱為壓密沉陷。由於黏土的比表面積很大，帶有許多的負電荷，可以吸引水分子而體

積膨脹，當失去水份時，則體積收縮。因此，比表面積愈大的土壤，或是PI值愈大的黏土，其膨脹性及壓縮性也就愈大。

### 3. 剪力強度

剪力強度主要由凝聚力 ( $C$ ) 與摩擦角 ( $\phi$ ) 所提供，但是黏土顆粒四周已佈滿水分子，顆粒之間並無實際的接觸，而是隔著黏土顆粒的吸附水層作接觸，所以顆粒之間只有凝聚力 (黏滯力)，而並無摩擦角。

當黏土含水量低時，意謂顆粒的吸附水層較薄，黏滯性高，而顆粒間藉由此黏滯性高的吸附水作介面，黏土顆粒間因此形成較高的凝聚力。反之，若含水量高，黏土顆粒的吸附水層較厚，顆粒間由黏滯性較低的自由水層作介面，黏土顆粒間的凝聚力較低。因此，黏土含水量多寡，影響其黏滯度，而黏滯度影響凝聚力，凝聚力則影響剪力強度的大小。

如粘土含水量在塑態或半固態時，吸附水層薄即粘滯度大，所以凝聚力大或剪力强度高，自立性佳可以垂直開挖；但是長期綿綿細雨後，粘土過度吸水含水量高，黏滯度降低凝聚力變小，剪力強度變低，如含水量達到液性限度後，土壤呈現液體狀態，邊坡會發生流動崩塌，如圖 2-16 所示。

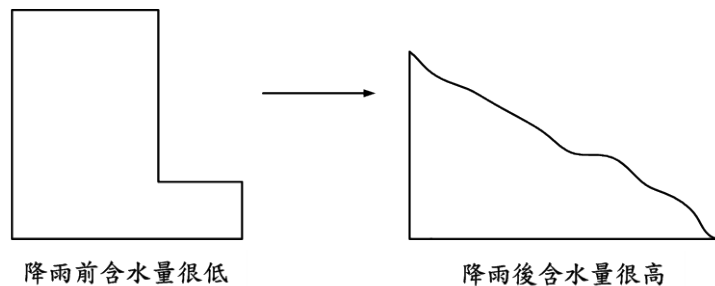


圖 2-16 片狀形土壤邊坡穩定示意圖

其次說明，為何在黏土層中的標準貫入  $N$  值，不須依深度修正  $N$  值，可直接利用工地的  $N$  值，來評估黏土的力學性質。在黏土層

中進行標準貫入試驗，希望藉由 N 值推估土壤的剪力強度，由於飽和黏土顆粒之間沒有直接接觸，所以摩擦係數為零，也就是  $\phi$  值為零，所以剪力強度僅為凝聚力 C 值。因此，N 值相同的黏土，其凝聚力也相同，亦即剪力強度相同，雖然劈裂管在不同深度的正向應力不同，但是摩擦阻力相同，所以，在黏土層中標準貫入試驗的 N 值不須隨深度作修正，與砂土層不同，如圖 2-17 所示。

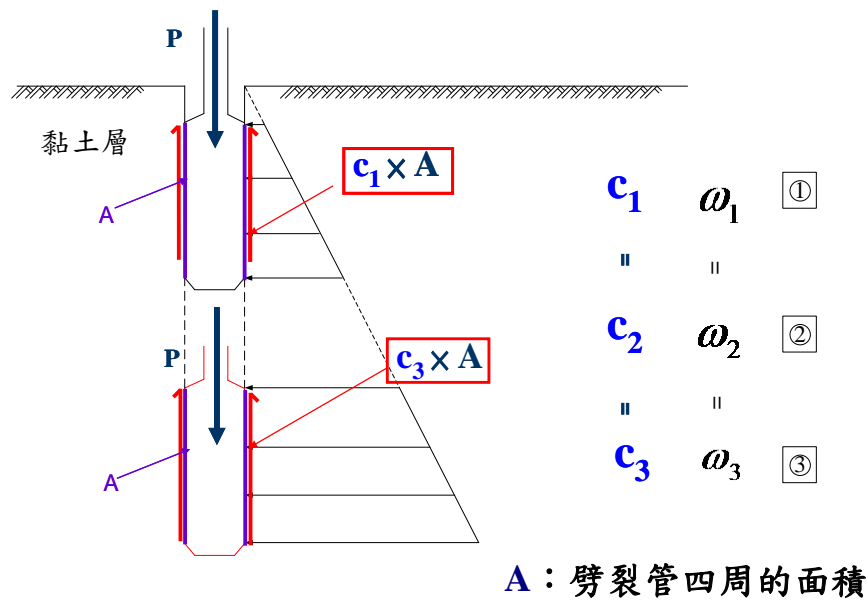


圖 2-17 片狀形土壤 SPT-N 貫入示意圖

#### 2.4 統一土壤分類法及應用

前面 2.2 節與 2.3 節分別敘述的是球狀土壤與片狀土壤的物理性質與工程性質，但是，地盤在實際的形成過程中，經常含有不同比例混合的片狀土壤與球狀土壤，那麼這種混合的土壤的工程性質，有多少源自於片狀土壤，又有多少來自於球狀土壤，有什麼規律可循，土壤分類的目的就是要解決這個疑問。

在進行統一土壤分類前，必先瞭解到鑽探取樣之過程，一般以沖洗鑽探為主，鑽孔時，以泵浦水經由中空鑽桿流至管底噴水孔，沖洗地盤並將

鑿碎之土壤帶出，並且於每 1.5m 或土層變化處進行標準貫入試驗 (SPT) 求得 N 值，同時利用劈管取樣器或薄管取樣器，將所取得之土樣送至實驗室，進行一般物理性質試驗或力學試驗，其作業流程圖如圖 2-18 土壤分類試驗作業流程圖所示。

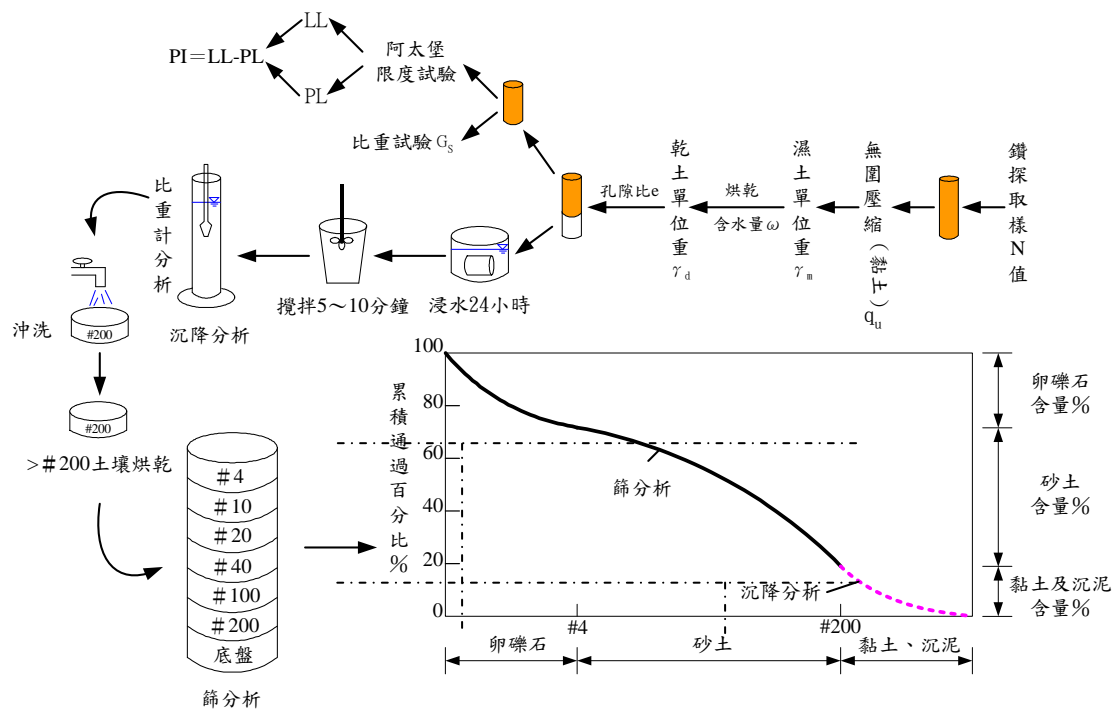


圖 2-18 土壤分類試驗作業流程圖

經由上述的試驗流程，可得到兩個分類土壤的重要參數，一個是球狀形土壤的粒徑分佈曲線，另一個為片狀形土壤阿太堡限度與指數，配合圖 2-19 與圖 2-20 即可獲得土壤之分類。分類之結果字頭代表主要土壤之成分，字尾代表主要土壤成分之性質或是次要土壤成分之種類，其分類所用之符號如表 2-2 所示。



表 2-2 統一土壤分類法之符號說明

字頭		字尾			
主要土壤成分	符號	主要土壤成分之性質	符號	次要土壤成分	符號
礫石 (gravel)	G	優良級配 (well graded)	W	粉土質 (silty)	M
砂 (sand)	S	不良級配 (poorly graded)	P	黏土質 (clayey)	C
粉土或沉泥 (silt)	M	低塑性 (low plasticity)	L		
黏土 (clay)	C	高塑性 (high plasticity)	H		
有機土 (organic soil)	O				
泥炭土 (peat)	Pt				

統一土壤分類的內容與作業程序分別說明如下：

### 1. 細粒土壤

當土樣通過 200 號篩的重量大於等於 50%，依統一土壤分類法該土壤屬於細粒土壤，分類依據的參數為液性限度 (LL) 與塑性指數 (PI)，並且配合使用 Casagrande 塑性圖 (圖 2-20) 來決定細粒土壤的分類，其橫座標為 LL，以 50% 為分界，大於 50% 為高塑性或高壓縮性 (H)，反之為低塑性或低壓縮性 (L)，而縱座標為 PI，以 A 線為界線，A 線上方原則為黏土 (C)，但是，若塑性指數介於 4~7，屬於過渡區，以 CL-ML 來表示，下方為粉土 (M) 與有機土 (O)。

### 2. 粗粒土壤

當土樣通過 200 號篩的重量小於 50%，依據統一土壤分類法，該土壤屬於粗粒土壤，而粗粒土壤包括砂土及礫石，如果砂土重大於停留 200 號篩上土重的一半，則該粗粒土壤為砂土 (S)，所以土壤分類的第一個英文字母是 S；反之，如果礫石重佔粗料重一半以上，則該土壤分類的第一個英文字母為 G (礫石)。雖然此種土

壤粗粒料佔 50%以上，但是其工程性質卻可能受細粒料重量的比例所影響，而細粒料的重量比例可分為 5%以下、12%以上及 5%~12%三個區間，以下將針對不同細粒料含量比例的影響作說明。

(1) 細粒料含量 5%以下

分類的第一個英文字母為 S 或 G 中之一，其次，當細粒料含量在 5%以下時，表示細粒料含量極少，無法完全填塞粗粒料之間的孔隙，如圖 2-21 所示，所以，粗粒料之間仍然能夠互相直接接觸，所以，粗粒料間的摩擦係數不受細粒料的影響，這種土壤的工程性質完全由粗粒料來決定，由 2.2 節得知，球狀土壤的工程性質由級配來決定。所以，這種土壤的工程性質完全由主要土壤成分 S 或 G 的級配來決定。類似的原理，所以瀝青混凝土的用量不可太大，一般為 5-6%，用量太大，瀝青混凝土的強度則由決定瀝青，而非級配優良的骨材。

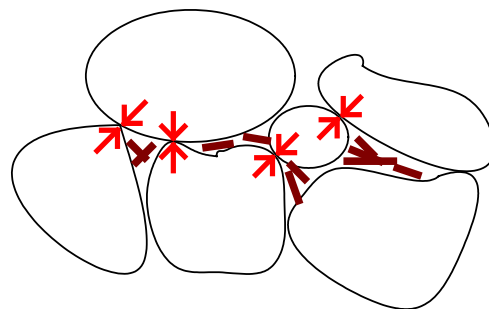


圖 2-21 細料含量 5%以下土壤結構示意圖

因為該土壤的工程性質完全受粗粒料級配所控制，不受細粒料的影響，所以，第二個英文字母為優良級配 (W) 或是不良級配 (P)，而 W 或 P 可以藉由級配特性 ( $C_u$ 、 $C_d$ ) 來判定，優良級配需同時滿足的條件如下：

$$SW \begin{cases} C_u \geq 6 \\ C_d = 1 \sim 3 \end{cases} \quad GW \begin{cases} C_u \geq 4 \\ C_d = 1 \sim 3 \end{cases}$$

一般來說，SP 的孔隙比 SW 大，因此，SP 透水性較佳，在地下水滲流過程中，SP 及 SW 皆不易發生淘空的現象，SP 土壤的顆粒較均勻，其顆粒尺寸皆大於其孔隙尺寸，所以沒有淘空情形。而 SW 土壤的級配很好，顆粒間的孔隙更小，而且顆粒間交錯組合，細小顆粒不易隨著地下水流動。因此，SP 及 SW 的滲流水一般皆很乾淨，不易產生擋土壁管湧的災害。此外，SW 土壤顆粒的接觸點遠多於 SP 土壤，所以，摩擦阻力的潛能較大，所以，內摩擦角 $\phi$ 值也較大，承载力也較高。

## (2) 細粒料含量 12% 以上

當細粒料土壤將粗粒料顆粒間的孔隙填滿時，細料的含量約佔全部土壤重量的 5%，而當細粒料含量達 12% 或以上時，表示粗粒料的顆粒已被細粒料隔開，粗粒料間沒有直接接觸，如圖 2-22 所示。

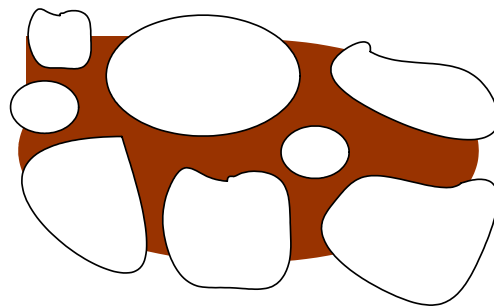


圖 2-22 細料含量 12% 以上土壤結構示意圖

由於粗粒料的顆粒被細粒料所包覆，粗粒料無法直接接觸產生摩擦力，所以整體土壤的工程性質由細粒料主控；此外，細粒料因其種類不同（沉泥或黏土）而有不同的工程性質，所以必須利用阿太堡試驗的結果（LL 與 PI），搭配圖 2-20，來判別細粒料為黏土（C）或是沉泥（M），因此，土壤分類的第二個英文字母是 C 或是 M。例如，SC 土壤的透水性非常低，雖然砂土顆粒為透水性土壤，但是，砂土顆粒被黏土完全包覆，由於黏土本身是不透水



的片狀土壤，所以，SC 土壤的透水係數可以比美 CL 的土壤，因此，擋土壁外側的土壤如為 SC，則不需擔心發生漏水及管湧的現象。而 SM 土壤不但有透水能力，並且還有可能被滲流淘空之虞，因為砂土和沉泥皆為球狀土壤，無吸水性質，所以具有透水性，在滲流過程中，極細小的球狀土壤（沉泥），因缺乏凝聚力，很小的流速即可帶動沉泥流動。當沉泥淘空時，土壤之孔隙比增加，滲流流速增加，此時可以帶動較大粒徑的球狀土壤，如此，週而復始，淘空的空間愈大，地下水流動愈快，即容易造成擋土壁管湧的現象。

### (3) 細粒料含量 5% ~12%

土壤中，粗細粒料分佈不均勻，當細粒料含量介於 5% ~12%之間時，則可能形成部份區域細粒料少，未填滿粗粒料間的孔隙，粗粒料彼此能夠直接接觸；另一部份則分佈較多的細粒料，將粗粒料完全包覆隔開，如圖 2-23 所示，因此，細粒料含量介於 5% ~12%之間，土壤同時具備細粒料或粗粒料主導的工程性質，必須同時考慮粗粒料及細粒料的特性，所以，統一土壤分類的結果為雙組合，例如 SW-SC。

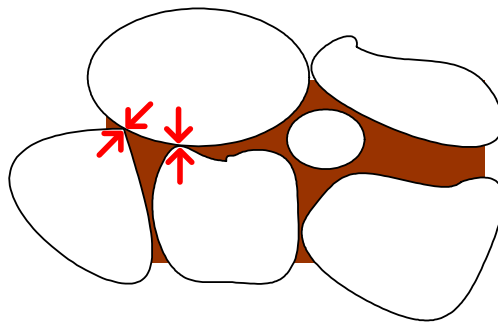


圖 2-23 細料含量 5%~12%間土壤結構示意圖

## 2.5 應用實例說明

上節已介紹完統一土壤分類法，接下來進一步列舉一些實際工程中之例子，利用統一分類法來預估片狀土壤與球狀土壤不同比例混合後的工程性質。

## 1. 林口紅土卵礫石層

位於林口台地的土層屬於紅土卵礫石層，此土層是由卵礫石及紅土（黏土）混合而成的，紅土佔整個土層的比例小於 50%，但是超過 12%，土壤的分類為 GC，若要在此土層進行開挖的工作，邊坡的安息角則受到細粒料所控制。如果將林口紅土卵礫石中的紅土及礫石分開，分別討論其工程性質，然後再將二種土壤合併後綜合討論。茲分別敘述如下：

若在純粹的卵礫石層中，要開挖垂直邊坡，會因為卵礫石無凝聚力無法彼此黏結，自然崩落成穩定的邊坡。當此坡面遇到大雨侵襲，坡面仍然能維持原狀及穩定性，這是由於卵礫石的剪力強度是靠顆粒之間的接觸摩擦力所建立的，並不會因為雨水而受影響，因此，能夠維持原來坡面的穩定性。

此外，如果卵礫石的級配愈良好，則安息角或內摩擦角就愈大；在三峽地區的卵礫石層開挖時，邊坡可以非常的陡峭，就是因為良好的級配，使大小顆粒交錯排列而互相鎖制，所以，可以近乎垂直的角度開挖。但是，含有砂土及沉泥的級配優良卵礫石，大雨侵襲邊坡會引發細粒料及砂土的流失，而破壞了交錯排列的互鎖機制，使級配優良的卵礫石局部變成級配不良的卵礫石，所以容易發生垂直邊坡滑動崩坍的現象，因此，防止雨水沖刷坡面，是維持級配優良卵礫石層垂直邊坡穩定的重要因素。

另一個情況是，在純紅黏土中進行開挖，如果黏土的含水量在塑態或半固態的範圍，吸附水層薄，黏滯度大，凝聚力大，剪力剪强度高，可以安全地無支撐垂直開挖，如圖 2-24 (a) 所示。但是，若經歷數星期的綿綿細雨，使得黏土過度的吸水，含水量變大，超過液性限度，黏滯度降低，凝聚力減小，剪力強度降低，所以開挖後邊坡容易發生坍塌，如圖 2-24 (b) 所示。

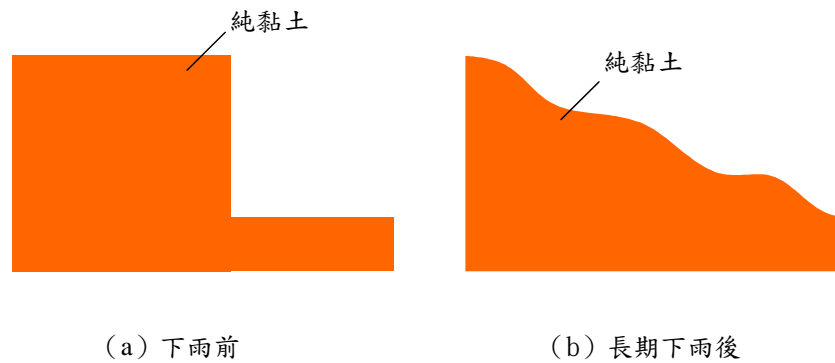


圖 2-24 純黏土開挖邊坡

林口台地的紅土卵礫石層，雖然卵礫石為主要土壤成分，而黏土為次要土壤成分，但是整體土壤工程性質卻不是卵礫石及黏土的特性合併，而是必須考量細粒料含量的比例。當黏土含量 $>12\%$ ，卵礫石混合黏土之後，卵礫石被黏土所包覆，卵礫石間並無直接的接觸，紅土卵礫石層的剪力強度與透水性皆由黏土控制。當進行斜坡明挖後，靠著黏土的凝聚力，互相黏結，以維持坡面的穩定，如圖 2-25 (a) 所示。而若此坡面經過雨水的長期浸潤，則會因黏土吸收過多的水，含水量變大，黏滯度變低，凝聚力變小，剪力強度降低，造成滑動坍塌的情形，如圖 2-25 (b) 所示，這個現象與純黏土開挖的情況是相同的，因此，證明了當細粒料的重量比例雖然小於 50%但是超過 12%時，雖然黏土在整個土壤中不是主要土壤成分，但是，整體土壤的力學行為卻受次要土壤的細粒料所控制。

其次，探討在紅土卵礫石層中選擇擋土壁種類時，依據黏土的性質，應採用鋼軌樁加板條工法的擋土壁，這是最經濟而且施工性良好的擋土壁工法。為何捨棄止水性良好的鋼板樁，而採用止水性差的鋼軌樁板條工法呢？因為紅土卵礫石層中的主要成份為卵礫石，在打擊或震動埋設鋼板樁時，不但容易造成樁頭破損，而且公母接頭也容易拉扯脫槽，因此，預定打設深度不易達成，而且止水性也會大打折扣。另一方面，堅硬又具彈性的鋼軌樁則容易貫入這種卵礫石層土壤至設計深度，而且在地下室開挖階段，

由於紅土卵礫石層的自立性很好，容易在鋼軌樁之間裝設木板條，再回填板條後方之空隙。其次，紅土卵礫石層的透水性很低，雖然擋土壁為透水性板條，但是，沒有漏水及管湧的問題。其次，雖然鋼軌樁加板條擋土牆的勁度比其他擋土牆要小，但是，因為紅土卵礫石層的自立性較佳，側向土壓力不大，也不需要較大勁度的擋土牆，鋼軌樁加板條擋土牆是最經濟而且安全的最佳選擇。

在林口紅土卵礫石層中的邊坡開挖，主控邊坡地盤穩定性的因素在於次要土壤成分的黏土及其含水量；但是，為何選擇鋼軌樁加板條擋土牆，而不選擇型鋼加板條的擋土牆，主要因素是土壤中粒徑的卵石，型鋼無法順利植入，必須配合水刀來植入型鋼，但是卻使黏土含水量增加，可謂得不償失，因此，鋼軌樁加板條擋土牆仍是最佳選擇，除非開挖深度超出鋼軌樁使用的可能，才採用型鋼取代鋼軌樁。在卵石含量多的土壤，水刀常用來引孔，但是要注意高壓水會大幅增加黏土的含水量，而嚴重減少紅土卵礫石層的強度，不良的副作用必須事先評估。

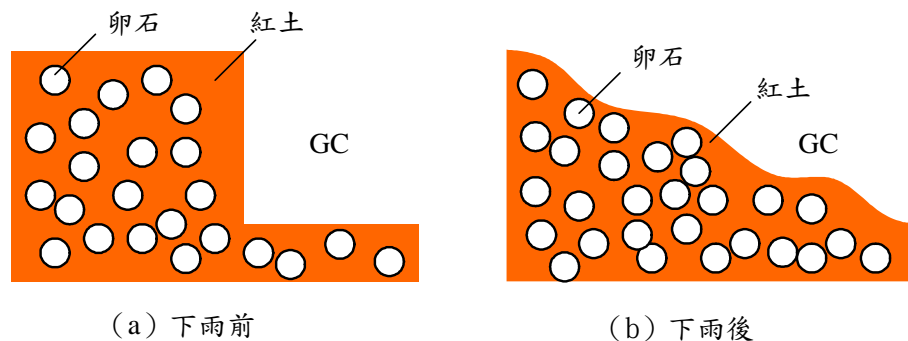


圖 2-25 紅土卵礫石層的開挖邊坡

## 2. 工地密度試驗

工地密度試驗的目的為了求得工地滾壓土壤的乾土單位重，承包商想快速獲得結果，有時會在工地以炒菜鍋將片狀形土壤（黏土）加熱炒乾，來獲得土壤之乾土重，這種方式是不正確的，原因是片狀形土壤的含水量由吸附水層及自由水層所提供，需要由不同的溫度（熱能）來烘乾（表 2-3），但利用炒菜鍋加熱方式無法控制其溫度，造成不同的含水量及乾土重，所以，必須利用試驗室

內的標準烘箱，才可以控制烘乾能量及時間，一般皆以 105°C 為共同的能量烘乾土樣，才能得到客觀統一的含水量數據。

但是，如果工地密度試驗的土樣為球狀性土壤，因球狀型土壤帶電非常少，幾乎沒有吸附水層，顆粒狀土壤的水分子容易去除，較無溫度高低產生的差異性。如果需利用炒鍋炒乾土壤，而且可以提供炒鍋溫度達 105 度以上，也就是達到水的沸點，則可消除球狀形土壤表面水，是可以考慮接受此法。

表 2- 3 片狀形土壤進行烘箱實驗數據

烘箱溫度(24 小時)	50°C	110°C	1300°C
乾土重(g)	90	80	70
含水量(%)	11	25	43

### 3. 水對於土壤之特性

靜止的水對於片狀形土壤影響較大，原因是片狀形土壤本身帶電會吸引水分子，其剪力強度來源是由吸附水層的粘滯性所提供，靜止的水提供片狀形土壤有充裕的時間吸水，使得含水量增加，含水量增加黏滯性降低，剪力強度降低，失去原有強度。但是，片狀形土壤則不受流動水的影響，例如：下雨後在坡面形成的表面逕流，時間較短促，黏土沒有足夠的時間吸水，因此，含水量不易改變，凝聚力不易減小，流動的水則不易沖刷黏土面層。

球狀形土壤剪力強度來源是顆粒間直接接觸產生摩擦角 ( $\phi$ )，當流動的水本身推力大於球狀形土壤顆粒間摩擦力，會帶走球狀形土壤顆粒，改變原本土壤級配，使摩擦角降低，剪力強度降低，失去原有強度，所以流動的水對於球狀形土壤影響較大，例如在某基地位於級配優良卵礫石層(球狀形土壤)，地下室開挖採用斜坡明挖工法，在地下室施作期間，必須保護邊坡穩定，如果工地有地工格網和帆布兩種材料，應選用帆布覆蓋坡面，因為級配優良土層顆粒與顆粒間，存在互制的關係，細顆粒箝制中顆粒，中

顆粒阻擋粗顆粒，所以只要細顆粒流失，會連帶影響中顆粒及粗顆粒；而雨水沖刷及地表水逕流使得土壤中的細顆粒流失，使得級配優良土層改變為級配不良，進而影響其剪力強度及其穩定性而造成土層崩落，所以必須在開挖邊坡表面使用不透水材料覆蓋，以阻擋地表水及雨水沖刷，達到邊坡穩定之功能。但是，浸置在靜止水中的球狀形土壤，其級配或剪力強度則不受任何影響。

### 三、基礎施工災害之類型及機制

地盤是由土壤、空氣及地下水所構成，其複雜性往往導致基礎施工階段各種不同狀況之危機，而不同的土壤亦具有不同的工程性質，如粘土為片狀形土壤，沈泥及其他顆粒土壤為球狀形土壤，兩大類土壤的力學性質差異甚大，因此，在這兩種土壤的地盤中開挖施工，會造成的施工災害種類亦不同。常見之基礎施工災害大致可分為下列七種類型：(1) 擋土壁管湧之災害 (2) 開挖面砂湧之災害 (3) 開挖面隆起之災害 (4) 擋土壁支撐系統之災害 (5) 擋土壁破壞之災害 (6) 基礎上浮之災害 (7) 其他破壞形式之災害。各種的基礎施工災害類型均有其發生破壞之機制，破壞之原因亦不相同，分別作探討。

#### 3.1 擋土壁管湧之災害

地下擋土壁為一種止水性的擋土結構物，若因施工不慎而產生裂縫，則在裂縫處將形成透水路徑，尤其在具透水性之地層中，地下水位高時，在土體內產生滲流，而於裂縫處，水力坡降大到足以破壞土壤顆粒間的黏結力及摩擦力後，地下水先將土壤中的細顆粒帶出，顆粒間的阻力減少，水力坡降增加，再將較大顆粒的土壤帶出，並一直往上游面延伸，形成滲流管道，此現象稱為管湧 (piping)。

管湧現象，在開始時僅是很微弱的水流，然後慢慢形成水路而流量漸增，水與砂均勻的被帶出並逐漸向地盤內部深入形成管狀。例如在基礎開挖的擋土壁面如有孔洞，若未及時堵住孔洞，則壁體外淘空部位更容易充

滿周圍之地下水，形成一股巨流加速擴張淘空之破壞範圍，逐次造成其上方鄰近道路及房屋之沈陷，其示意圖如圖 3-1 所示。

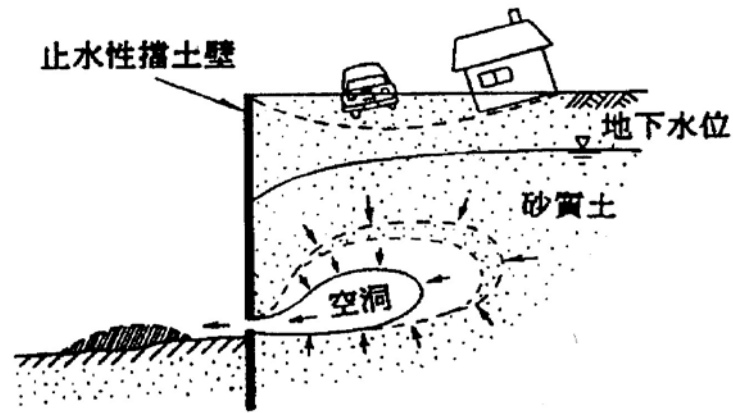


圖 3-1 擋土壁管湧災害示意

### 3.2 開挖面砂湧之災害

砂湧主要發生於開挖面下為透水性良好之砂質土層，當進行基礎開挖，基地內外兩側水位差甚大時，會使地下水由擋土壁底端上湧至開挖面並夾雜砂土冒出開挖面，進而導致開挖面之破壞，其示意圖如圖 3-2 所示。

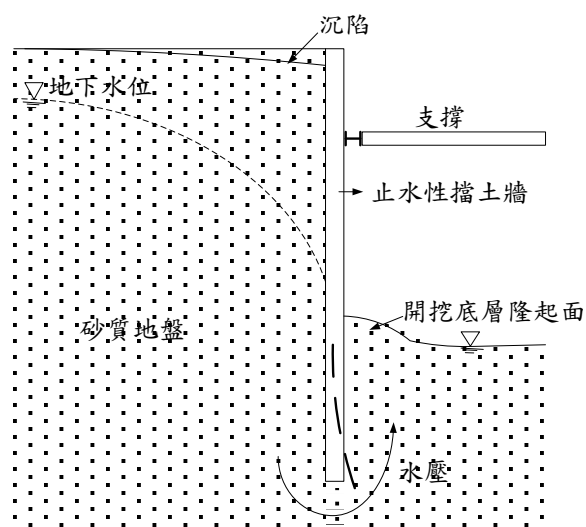
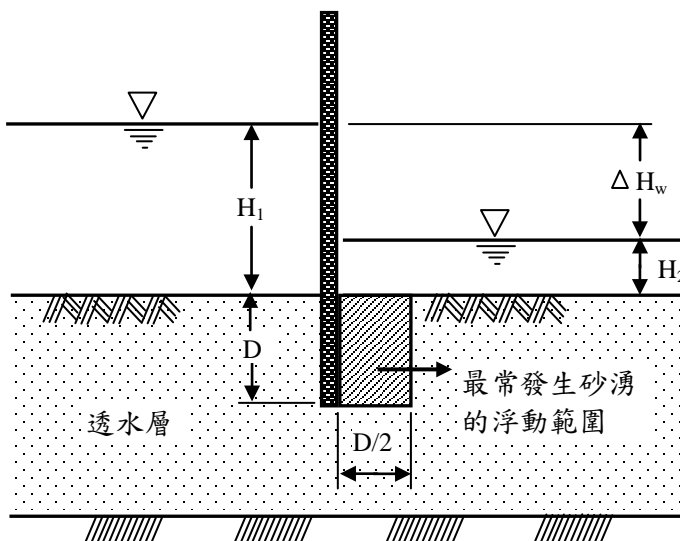


圖 3-2 開挖過程中因流砂而產生之砂湧示意圖

此外，基礎施工不慎亦常導致砂湧的產生，分別敘述如下：

1. 開挖完成，施作地下室結構體完成後，於抽拔中間柱時，地下水容易因為摩擦阻抗減小的關係，夾帶土砂往上滲流。在有可能產生此種破壞的工址，一般係建議採用截斷中間柱的方式處理。
2. 中間柱打設時，若貫入至壓力水層，會由於地底下之總水頭大於地表面之總水頭，地下水將延著中間柱往上滲流，造成開挖底面大量湧水，甚至造成湧砂的嚴重情形。
3. 地下室開挖時須將地下水抽降至開挖面下，以利開挖作業之進行。若因為快速抽水，而產生較大之水力坡降，使向上之滲流壓力超過土壤之有效應力，因而造成開挖面之砂湧。此時，在抽水井四周會發生嚴重的沈陷。根據 Terzaghi 在進行模型試驗後，以距離版樁  $D/2$  內之土體檢核砂湧，如圖 3-3 所示，其中  $D$  為版樁貫入透水層之深度，施工中若不管制而任意降水，將使水頭差  $H$  變大，水力坡降  $i$  同時變大，安全係數  $FS$  變小，導致發生砂湧的危險性提高。
4. 在砂礫質土壤中進行全套管樁鑽掘時，如果不當降低樁內地下水高程，由於地盤內地下水位高於樁內水位，開挖底面的砂湧現象，如圖 3-4 所示。



$$FS = \frac{W'}{U'} = \frac{V\gamma'}{V(i_{av}\gamma_w)} = \frac{\gamma'}{i_{av}\gamma_w} \geq 1.5$$

$$\text{或 } FS = \frac{W'}{U'} = \frac{D \times \frac{D}{2} \times \gamma'}{(\gamma_w h_a) \times \frac{D}{2}} = \frac{2D\gamma'}{\gamma_w \Delta H_w} \geq 1.5$$

式中  $W'$ ：土壤浸水重

$U'$ ：土壤向上滲流壓力（不含靜態水壓）

$\gamma'$ ：浸水單位重

$V$ ：砂湧浮動範圍之體積

$i_{av}$ ：砂湧浮動範圍底部之平均水力坡降， $i_{av}\gamma_w$  為單位體積的滲流壓力

$h_a$ ：砂湧浮動範圍底部平均滲流水頭，

$$\text{取 } h_a = \frac{\Delta H_w}{2}$$

圖 3-3 Terzaghi 砂湧之檢核



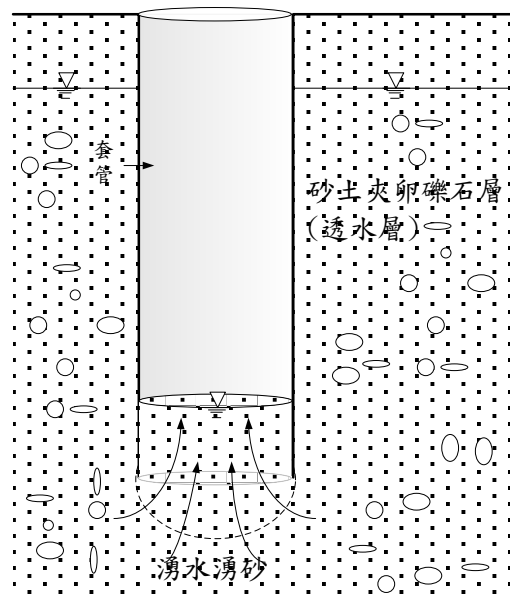


圖 3-4 基樁工程中因流砂因流砂而產生之砂湧

### 3.3 開挖面隆起之災害

易發生於軟弱粘土地盤之開挖工程，開挖作業進行至某種深度後，開挖背面之土壤重量超過支持該土重之下部黏土抵抗力，開挖底部失去平衡，因而沿著滑動面產生塑性流動，背面土壤向開挖底面內側迂迴流動，於開挖底面造成鼓起現象，此種現象稱為隆起。發生隆起破壞的機制可分為四大類，分別敘述如下：

#### 1. 彈性回脹隆起：

一般的地下室開挖常會使土壤解壓，產生回脹量，基地底部即會隆起。如圖 3.5 所示，此  $e-\log p$  圖中  $cd$  路徑，為解壓過程，正如土壤受開挖的影響，覆土壓力減少，孔隙比  $e$  會增加。所增加之孔隙比為  $\Delta e$ ， $cd$  段之斜率為  $C_s$  (膨脹指數)，整個土體的回脹隆起量  $\Delta V = \Delta e V_s$ 。由此可知，開挖會造成土體的解壓，導致開挖底部的隆起。

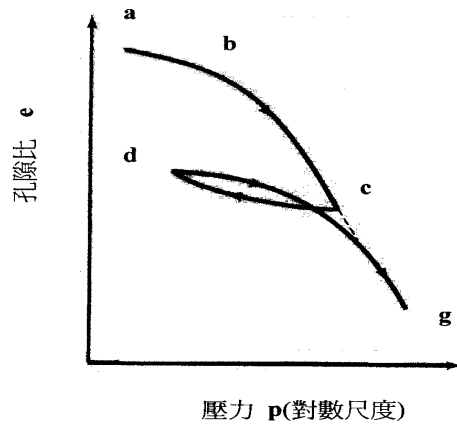


圖 3-5 土壤加壓、解壓及再壓過程之 e-log p 圖

## 2. 塑性流隆起：

黏土的含水量  $\omega$  大於液性限度 LL，此時，黏土的黏滯性小，稠度低，處於液態狀況，因此，土壤會沿著滑動面產生塑性流動，向開挖面底部流動造成隆起，如圖 3-6 所示。

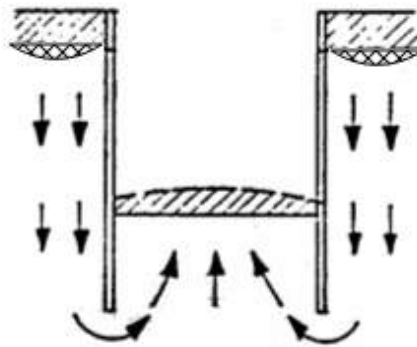


圖 3-6 粘土塑性流造成之隆起現象

## 3. 擠壓隆起：

在靠近開挖面處，由於擋土壁向開挖面變形，連帶地把土壤推擠向上，因此產生開挖底面的隆起，如圖 3-7 所示。

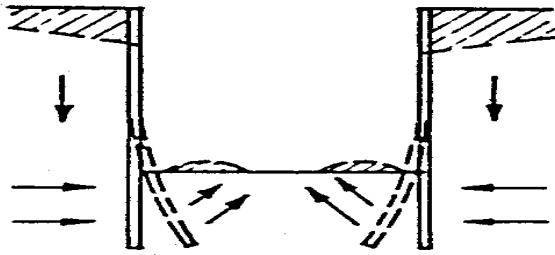


圖 3-7 擠壓隆起示意圖

#### 4. 上浮隆起：

在開挖面底部若為一層較薄之粘土層，且其下為受壓水層，則可能因粘土層自重不足，而無法抵抗受壓水層向上之浮力，而造成開挖面隆起，連帶影響中間樁及內支撐系統之安全，如圖 3-8 所示。

隆起現象易使周圍地盤沉陷，而且引起支撐系統的中間柱上浮及水平支撐的挫屈等破壞現象，進而使擋土系統崩壞。若事前研判結果，推測可能會產生隆起現象，應採取下列措施：

- (1) 採用剛性高之擋土壁，其設置深度須達良質地盤。
- (2) 改良開挖底面下之軟弱地盤，以增加地盤之抗剪強度。
- (3) 開挖區域面積很大時，可實施分區開挖。
- (4) 擋土壁外側為空地時，可鏟除部分周圍地盤，以減輕擋土壁背面上土壤之荷重，減少作用在滑動面之破壞力矩。
- (5) 鄰接構造物，可實施托換基礎，使該構造物之荷重直接傳遞到良質地盤，不為隆起破壞力矩所影響。

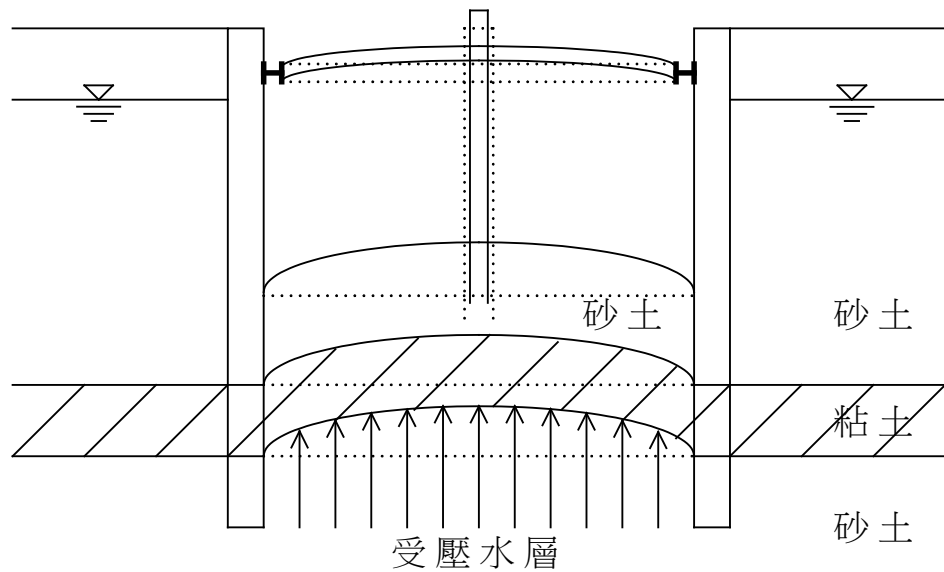


圖 3-8 粘土層擠壓隆起示意圖

### 3.4 擋土支撐系統之災害

基礎開挖時，常利用支撐系統穩定已開挖之擋土牆，然後再進行下一階段的開挖作業。一般的開挖工程多用工型鋼或工型鋼之組合支撐或鋼製構架等，也有採用鋼筋混凝土梁支撐者，本節將對型鋼支撐系統的破壞模式詳加敘述。一般支撐工法，先行開挖再行架設支撐，故在開挖後及支撐架設前後，擋土牆已經發生側向位移，所以會隨著開挖的進行，擋土牆側向位移量將隨之增加，若擋土壁側移過大則將導致失敗，因此為避免支撐系統拆除造成擋土壁過大的變形，支撐系統於拆除前須加以評估。

擋土支撐系統的破壞有多種因素，有可能因為細長比太大而容易挫屈，也可能因為局部構件如斜撐的架設不當，人為的施工不當或溫度變化的熱脹冷縮，同樣會干擾支撐的穩定性，其他導致支撐架構破壞的因素可歸納如下：

1. 支撐安裝精度不良，產生鬆動。
2. 使用材料不當，勁度不足，發生彎曲變形。
3. 支撐間隔過大，導致壁體變形。
4. 接頭、接合部補強方式不佳，產生挫屈。

5. 支撐架設時機不當，造成擋土壁的變形。
6. 不當之開挖或超挖，導致架構不穩定。
7. 支撐負荷之載重過大，產生挫屈。
8. 重型機械等地表上方載重過大，造成支撐架構之不穩定。
9. 支撐預力過大造成擋土壁體接縫裂開。
10. 撐系統架設太慢，施工時只考慮施工便利而忽略“時間”之重要性，因為破壞則在開挖後及支撐系統架設前可能發生，故開挖時破壞機率將逐漸增加。
11. 中間樁根入深度不足，結合部分未按標準接合施工，支撐系統之橫擋材之應力條件和斜撐固定與否而造成失敗。

支撐之壓縮變形包括支撐構件本身之彈性變形，以及支撐與橫擋、橫擋與擋土壁體等接合部之變形，前者於設計階段時可予以正確推估，而後者則與施工時之確實性有密切關係。支撐架設時機的延誤可分為超挖所引起之延誤，以及架設程序之延誤兩種。前者會導致支點間距離過大而產生較大的變形，後者則依地盤之潛變特性而異。

### 3.5 擋土壁破壞之災害

擋土壁係一永久性而且相當剛性的結構物，用來支撐壁體背後的地盤，它的用途範圍極廣，諸如開挖公路、鐵路路塹、填築路堤等護坡或建築地下構造物之側壁均須施設擋土壁。此外，擋土壁的常用功能包含：

1. 穩定邊坡減少挖方，也可提高山坡的使用平面空間。
2. 穩定河渠兩岸，疏導水流。
3. 在平地開挖地下室，擋土壁可用來支持開挖面，如地下連續壁。

擋土壁可能會因底面滑動、傾覆、基底承载力不足、過大的沈陷量及牆身強度不夠而發生破壞，因此設計時須多方考慮。由於擋土壁牆背之回填土壤排水不佳時，造成牆背水位之升高，產生可觀之水壓力，對擋土壁穩定性有極為不利的影響，應設法以洩水孔（Weep hole）及多孔排水管

作為排水設施，以降低地下水位，減低水壓力，增加擋土結構的穩定性。

擋土壁破壞之模式除了由土壤的側向力所造成的主動破壞及被動破壞之外，尚有下列四種之破壞機制，分別敘述如下：

#### 1. 擋土壁體貫入地盤深度不足而造成壁體的破壞

由於貫入深度不足，在凝聚性及非凝聚性地盤中會有不同的破壞機制，這些在前幾個子節已有敘述，茲再次簡要說明如下：

- (1)地盤為非凝聚性土壤，開挖底部發生砂湧現象。
- (2)地盤為凝聚性土壤，開挖底部發生隆起現象。
- (3)由於擋土牆外側承受主動土壓力，擋土牆內側承受被動土壓力，由於被動土壓力必須配合擋土壁的顯著位移，因而導致擋土壁向內擠進。

#### 2. 擋土壁體施工不良

- (1)擋土壁體接頭處理不當。
- (2)止水壁公母單元端版的泥膜沒有刷除，導致接頭處漏水。
- (3)連續壁配筋量多，主筋間距小、預留筋施工困難，也容易造成混凝土澆置困難而造成蜂窩。

#### 3. 開挖底面下方於擋土壁體貫入深度範圍內，如係透水性佳之砂質土壤，而且擋土壁體內外側之地下水高程差異很大時，壁體可能因砂湧而造成破壞。

#### 4. 開挖底面下方土層中，如具不透水層，而且在此不透水層下方有壓力水層時，該不透水層底面將承受相當大之上舉水壓力，如果該上舉之水壓力超過不透水層之自重，則會造成大底上浮，使擋土壁失去地盤的支持而造成破壞。

### 3.6 基礎上浮之災害

一般於基礎底版完成後，工程人員都鬆了一口氣，警戒心亦隨之下降，等到地下室結構體完成，且支撐全部拆除後，地下室結構體偏偏於此時發

生上浮。所謂「上浮」現象，可由著名的阿基米德原理來加以說明，一個物體所受到的浮力，即為排開同體積的液體重，當物體所受到的浮力大於物體本身的重量時，此時物體就會上浮。基礎上浮之處理沒有太多的理論，主要還是依靠現場應變。首先須釐清發生上浮之原因，而後根據現場之狀況採取對策。

有關基礎上浮破壞的機制，可以想像一個固定體積空的可樂罐子，埋在水中的砂土裡，此時可樂罐子所受的浮力等於排開同體積砂土及水的重量，但是由於可樂罐子與砂土之間的摩擦力大於它所受到土壤的浮力，因此不會發生上浮的現象。若此時發生大地震，使得水中的砂土因地震的強度太大，導致砂土中的超額孔隙水壓累積上升至與原來的有效圍壓相同，產生砂土液化的現象，此時可樂罐子與土壤之間的摩擦力即為水的剪力強度，可是因為水幾乎沒有剪力強度，所以可樂罐子就會發生上浮的現象。

由於基礎結構體之重量並非均衡分佈，而且地下室外牆與土壤之接觸狀況在各邊亦不相同，造成基礎較少呈現均勻上浮之現象。根據實際的案例顯示，上浮之基礎皆有某一角落的上浮量較大，該角落可能是因為重量較輕，或該處外牆與土壤之間的摩擦力較低，而造成上浮量較大。一般而言，不均勻上浮之基礎常常卡在土層中，較難使其沉回原高程。基礎上浮時基礎底版與打底用之 10cm 厚 PC 脫離，所形成之間隙充滿地下水及隨地下水流入之砂土，如圖 3-9 所示，而堆積於此間隙之砂土頂住底版，將導致後續處理時地下室難以沉回原始高程。由於基礎上浮時，因結構體陡然承受一個外力，有可能導致結構體略有損壞的現象。

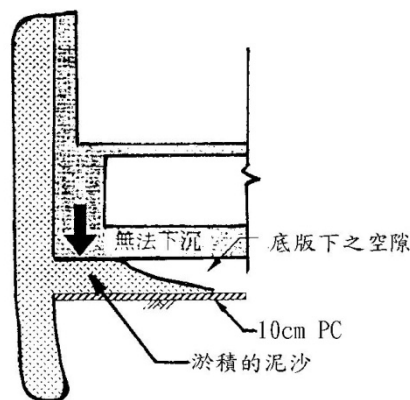


圖 3-9 筏基底版遭淤積泥砂而造成傾斜

結構體施工階段，須隨時保持完成之結構體重量大於地下水作用於基礎底版之浮力。若水浮力大於結構體之重量，基礎即會有上浮之傾向，此時若地下室側壁與土壤間之摩擦力不足以抑制水的浮力，基礎即會發生上浮現象。造成基礎上浮之條件有下列四點：

### 1. 地下室結構體已完成

由於地下室結構體完成後（包括中間柱拔除封孔及封井等作業），地下室即成為一個完整的封閉結構，其行為即是一個"浮"於土層及地下水中之筏式基礎，此時地下室底版已能承受足額之地下水壓，故構成上浮之第一個條件。

### 2. 開挖擋土用之鋼軌樁或鋼版樁已拔除

上浮現象亦有常見於臨時擋土用之鋼軌樁或鋼版樁全部拔除或部份拔除後，其原因有二，一是地表水、施工用水或雨水沿拔樁後形成之孔隙滲流進入底版下方，造成預期外之高地下水壓，如圖 3.10 所示。另一原因則是鋼軌樁或鋼版樁於未拔除前與地下室側壁緊貼，故可提供地下室結構體較大之抗浮阻力。待鋼版樁或鋼軌樁拔除後，地下室側牆外之土壤因拔樁影響而鬆動，可提供之抗浮摩擦力亦隨之降低，地下水壓升高後地下室上浮之可能性因而大增。

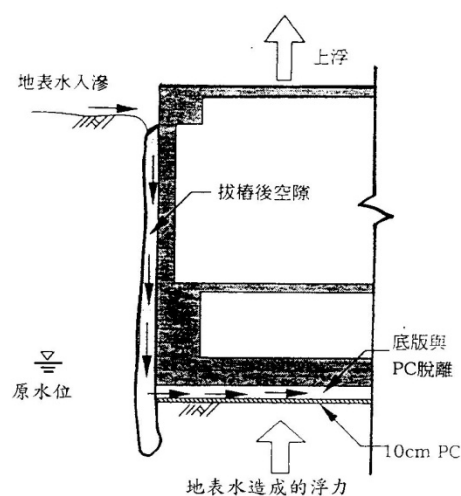


圖 3-10 拔樁引致地下室上浮之示意圖



### 3. 工地已停止抽水或地下水位突然上升

上浮須有足夠之水浮力才能發生，若工地持續進行抽水並將地下水位控制在可接受之範圍內，則基礎上浮不可能發生。此外，若地下室結構體完成後，由於施工人員的疏忽而關閉抽水井，造成地下水位陡然上升而導致基礎上浮。

### 4. 因暴雨影響造成基礎底版面下水浮力劇增

由於短期間雨量過大，排水系統無法宣洩，致使地表水四處竄流，並沿著地下室外牆與土壤之間隙到達基礎底版面，短期間形成巨大之水浮力而造成結構體上浮。

## 四、基礎開挖工法

基礎開挖的種類眾多，因為開挖的順序、擋土的形式或施工的方法不同，可分類為：逆打工法、島式工法、明挖工法、壕溝式工法與沉箱工法，如圖 4-1 所示。本節將對於目前常使用的施工方法，介紹各種工法的施做流程與作業內容，再搭配施工圖說明，並簡單介紹各工法施工中的要點，以及單一工法變形使用的情況，與不同種類混合搭配使用的情況分別敘述。

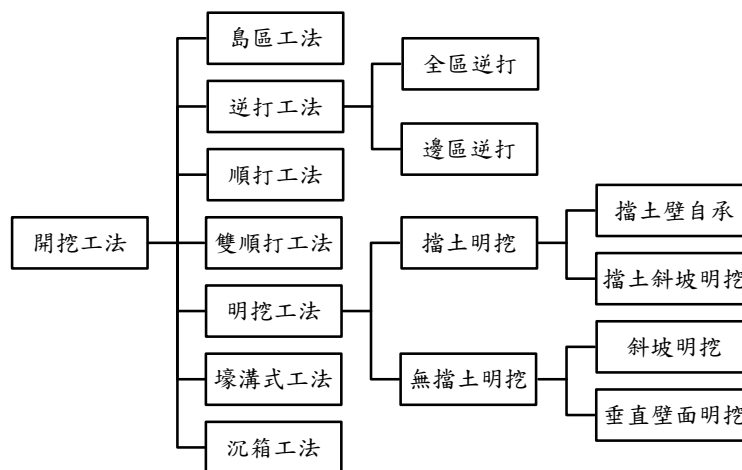


圖 4-1 基礎開挖工法種類示意圖

## 4.1 明挖工法

明挖工法於開挖區內無設置支撐系統，而是利用開挖區四周邊坡，來消除側向土水壓力，並利用土壤的自立性，達到開挖壁面穩定的一種基礎開挖工法。基地整地完成後，由上往下採用斜坡開挖至大底，接著打設 PC 鋪面，然後由下而上施做基礎底版、地樑與各層地下室樓版，直到完成地下室，最後以土石回填建物外牆與邊坡之間隙，各階段施工剖面如圖 4-2 所示。

明挖工法因為有無施做擋土壁，可分為擋土明挖與無擋土明挖，如圖 4-3 所示，其中無擋土明挖又依照開挖壁面的坡度，再區分成：垂直壁面明挖工法與斜坡明挖工法；而擋土明挖又因為擋土壁的情況，區分為：擋土斜坡明挖與擋土壁自承工法。

擋土斜坡明挖因施做擋土壁，配合邊坡抵抗地下室開挖時的側向土水壓力，因此可減少邊坡所需的腹地面積與開挖的土方量，如圖 4-4 所示。

### 1. 適用情況

#### (1) 自然邊坡穩定的地質條件

因以斜坡作為擋土設施，所以基地所在土質需在無外力之下，自然呈現穩定的狀態。

#### (2) 地下室開挖深度淺

若開挖深度過深，會使得側向壓力過大，造成邊坡不穩定。

#### (3) 地下室開挖面積寬闊

建物地下室構築範圍不需達全部基地，即有足夠大之空地，使得周邊有設置邊坡之空間。

### 2. 工法優點

(1) 不需擋土設施及擋土支撐，所以施工成本比其他開挖工法低。

(2) 因無擋土支撐，故能節省架設及拆除支撐的時間，並且有良好的施工作業面給機械開挖，故開挖工期較短。

### 3. 工法缺點

- (1) 需有廣闊的開挖面積，使其能構築建築物外部之邊坡，不適合小面積開挖。
- (2) 若於軟弱黏土地盤或疏鬆砂土地盤上，因坡面角度要小且坡趾至建物間退縮距離增加，故基地面積需更廣，不適用於深開挖。
- (3) 易受地下水及雨水影響，造成開挖坡面崩坍。
- (4) 基礎完成後，需大量的回填土，回填基礎與斜坡間之空隙。

### 4. 施工過程注意要點

- (1) 為一經濟的開挖工法，利用自然的邊坡穩定開挖，無需使用擋土支撐。
- (2) 施工時，必須確保邊坡之穩定性，並防止地下水位過高，造成開挖底部發生砂湧災害。
- (3) 坡頂及坡趾需設置排水設施，以免地表逕流之侵蝕及沖刷，同時也可避免積水造成基礎上浮。
- (4) 應作坡面保護，防止坡面風化或侵蝕。
- (5) 需避免完工回填後，基礎上浮的情況。

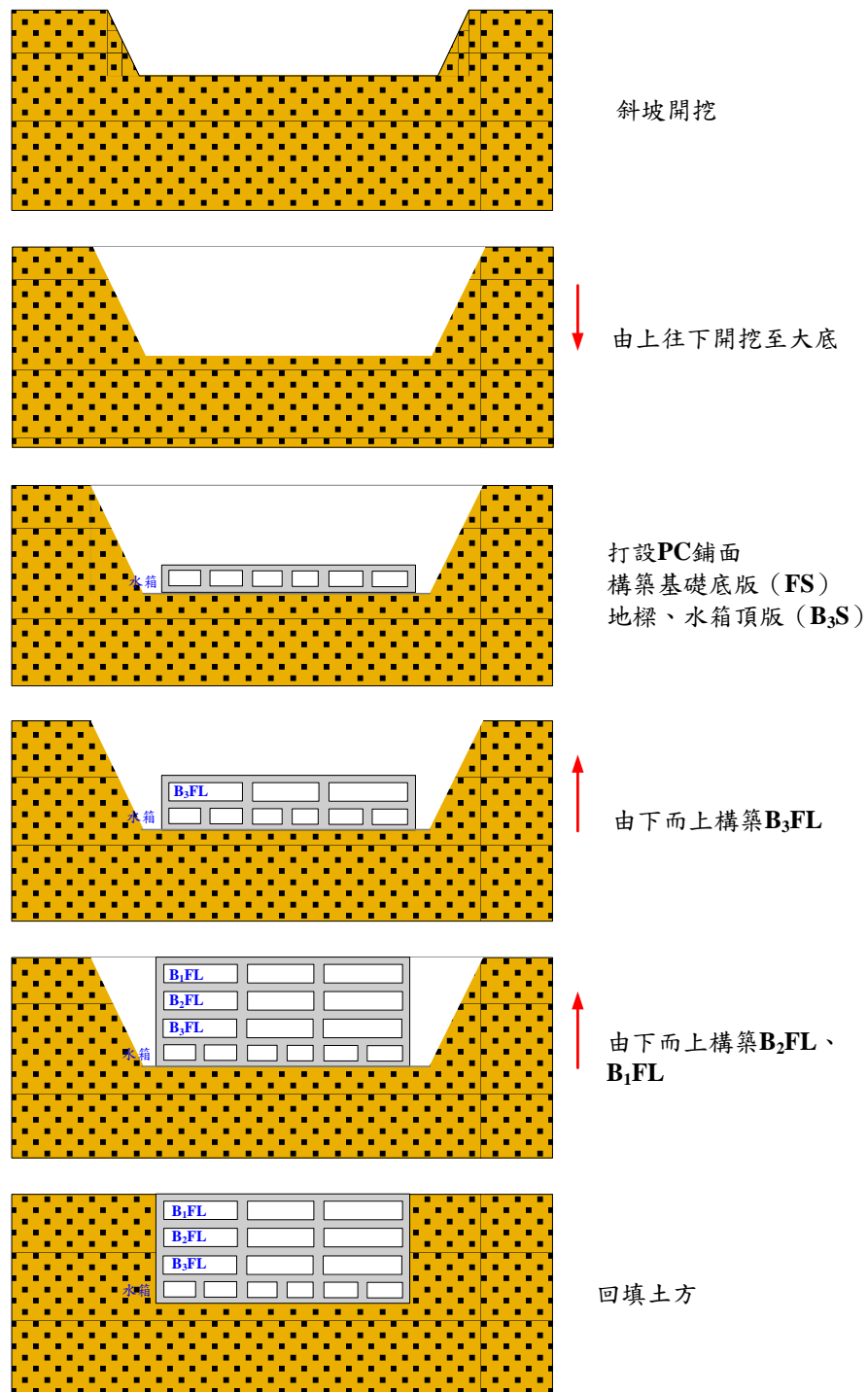


圖 4-2 斜坡明挖工法地下室施作流程剖面示意圖

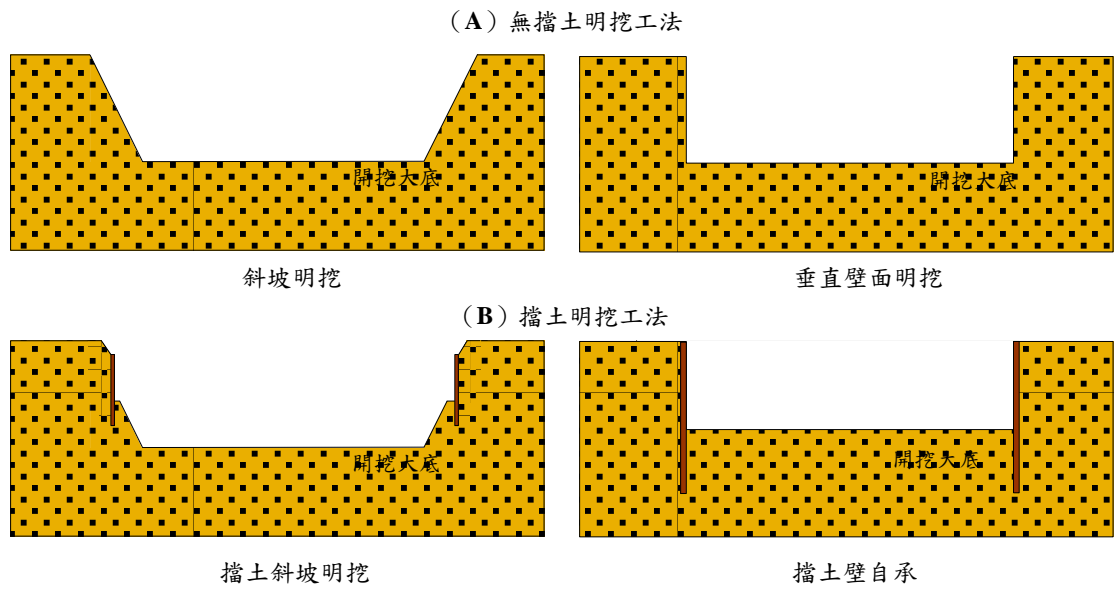


圖 4-3 無擋土明挖工法與擋土明挖工法剖面示意圖



圖 4-4 擋土斜坡明挖工法減少邊坡腹地面積與開挖土方量

#### 4.2 順打工法

順打工法為目前最常見的開挖工法，利用擋土壁配合內支撐或外支撐系統，抵擋側向土水壓力。基地首先施作擋土壁，隨即開挖第一階土方，接著架設一層臨時性的水平支撐，並施做臨時施工構台，如此由上往下反覆開挖土方與架設支撐至大底設計深度，當開挖完成後，於底面打設 PC

鋪面，然後施做地樑與基礎水箱，當等待基礎養護至足夠強度後，拆除最下層之臨時支撐，接著往上構築上一層地下結構物，然後等待樓版養護至足夠強度後，以此樓版作為永久水平支撐，再拆除上一層臨時支撐，反覆同樣步驟，由下而上施做直到完成建物，各階段施工剖面如圖 4-5 所示，現場施做情形如圖 4-6 所示。

#### 1. 適用情況

適用於大部分的開挖工程，為目前最常見的開挖工法。

#### 2. 工法優點

- (1) 受基地或地盤等條件影響較小，即不管基地地質為何，皆可使用。
- (2) 無多餘的開挖，所以回填土使用量少。

#### 3. 工法缺點

- (1) 開挖區內以交錯之內支撐系統抵擋側向土水壓力，易妨礙開挖機械作業、支撐系統的架設及地下室建物的施工。
- (2) 若開挖面積廣闊，長度超過約 100m 時，易造成支撐接頭鬆弛、材料收縮、施加預力損失等現象，而導致支撐作業困難。
- (3) 施工作業受天氣的影響，如：下雨天無法出土、電焊品質不良或開挖面泥濘造成作業困難。
- (4) 施工作業產生的噪音較大。
- (5) 地下室開挖暴露的時間較長，易產生損壞鄰房事件。

#### 4. 施工過程注意要點

- (1) 使用擋土壁及支撐系統，作為抵擋側向土水壓力的設施。
- (2) 支撐需在各段開挖深度完成後，立即予以架設，避免擋土壁變形過大，又每階段超挖深度應該在該支撐下 50cm 左右。

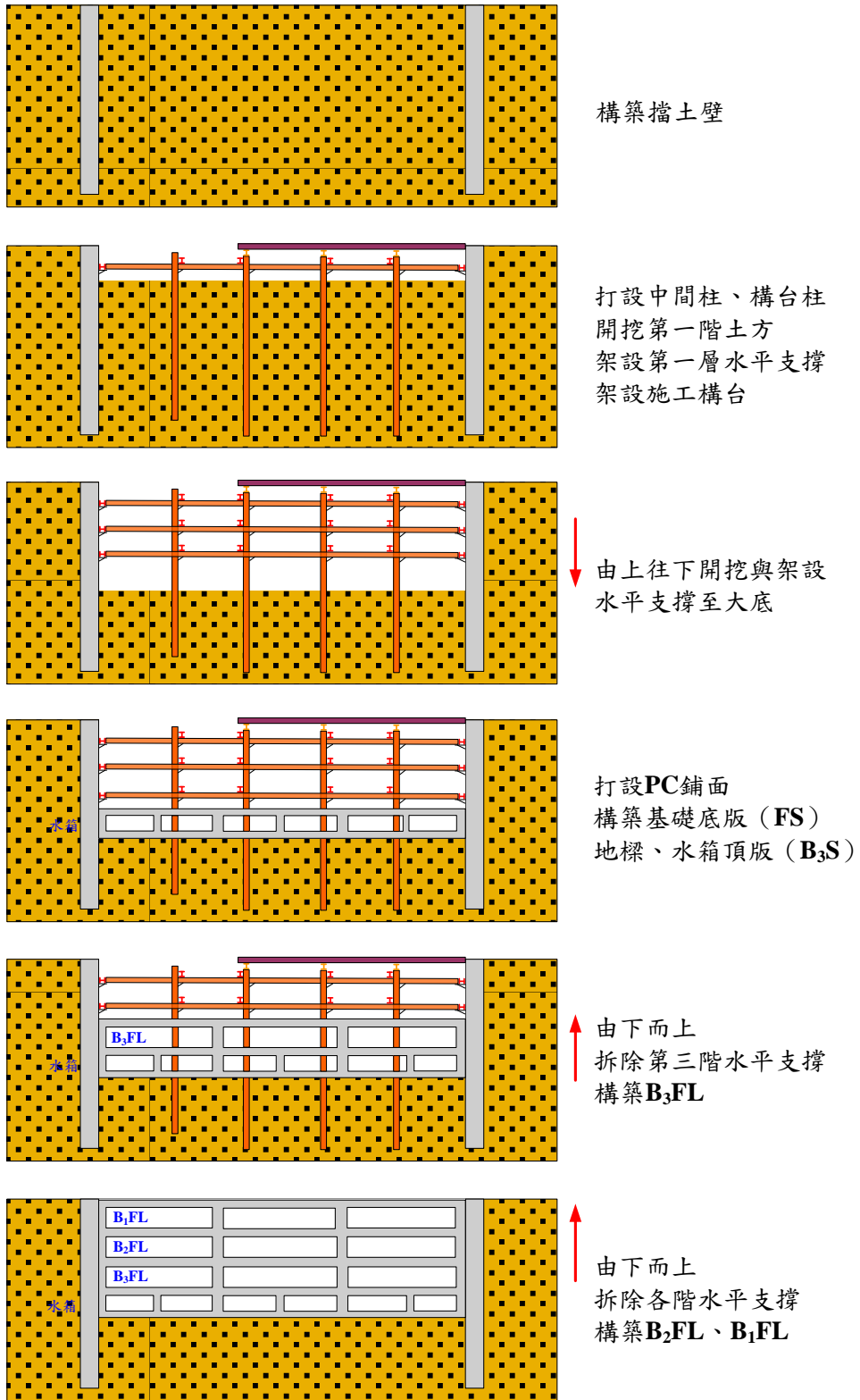


圖 4-5 順打工法地下室施作流程剖面示意圖



圖 4-6 順打工法現場施做情形

### 4.3 雙順打工法

雙順打工法為縮短工期而採用，利用擋土壁配合內支撐或外支撐系統，來抵擋側向土水壓力，基地首先施作擋土壁，隨即開挖第一階土方，接著架設一層臨時性的水平支撐，並施做臨時施工構台，如此由上往下反覆開挖土方與架設支撐至大底設計深度，當開挖完成後，於底面打設 PC 鋪面，然後施作地樑與基礎水箱，並設立永久性支撐鋼柱到地面，隨即施做一樓樓版結構，即為轉換層，作為施工構台與材料堆置場所。此後以兩個工作面同時施工，地下室部分待基礎養護至足夠強度後，拆除最下層之臨時支撐，接著往上構築上一層地下結構物，然後等待樓版養護至足夠強度後，以此樓版作為永久水平支撐，再拆除上一層臨時支撐，反覆同樣步驟，由下而上施做直到完成地下室；同時地面樓層因一樓樓版已施作完成，所以可以繼續由下而上構築直到完成建物，各階段施工剖面如圖 4-7 所示。

雙順打工法另外一種施做方法，首先施作擋土壁與扶壁，並打設臨時構真柱，隨即開挖第一階土方，並施做一樓樓版結構，由臨時構真柱支承，作為一支撐架構，之後向下反覆開挖土方至大底設計深度，再往上施作地下結構，此時因一樓樓版已經先行完成，所以可以同時向上構築建物，各階段施工剖面如圖 4-8 所示。



## 1. 第二類雙順打工法適用情況

### (1)縮短工期：

因先施做一樓樓版，接著地下室土方開挖至大底，再由基礎層與地面樓層同時向上施工，所以可用以縮短工期。

### (2)地下室開挖深度深大於 15m 時：

A. 因採用明挖工法於開挖深度過深時，易造成鄰近居民不安全之心理因素。

B. 若採用內支撐工法，則會因開挖過深而支撐架設困難。

C. 地面層 R.C 樓版搭配連續壁與 T 型單元扶壁，可有效抵擋側向土水壓力，勁度較 H 型鋼高，可以避免因支撐勁度不足，造成擋土壁側向變位過大。

### (3)地下室開挖空間形狀特殊：

A. 因開挖平面形狀不規則時，容易造成內支撐系統架設困難。

B. 因開挖基地地形有高低差時，會使內支撐系統沒有支撐反力，而無法施做。

### (4)軟弱土層承载力不足需要施做基樁時：

因地下室開挖過程中，上部結構的重量採用鋼柱傳遞至基樁承載，所以當軟弱土層開挖時，需施做基樁增加承载力，則採用雙順打工法可以減少施工成本，且增加施工安全。

## 2. 第二類雙順打工法工法優點

(1)由於地上、地下結構物同時施工，且無須花費時間架設或拆除臨時擋土支撐，因此可節省工期。

(2)地面層 R.C 樓版搭配連續壁與 T 型單元扶壁，勁度高，可有效抵擋側向土水壓力，其擋土的安全性相對較高，適用於側向土壓力大的軟弱地盤。

(3)因以地面層 R.C 樓版搭配連續壁與 T 型單元扶壁作為擋土支撐，所以適用於條件特殊之工地，如開挖平面形狀不規則、基地有高低

差或側壓不平衡等。

- (4)已完成的地面層樓版可作為材料堆置場或施工作業場使用，無須另外架設施工構台。
- (5)因地下室開挖、鋼筋綁紮或澆置混凝土等，皆在地面層樓版下進行，所以施工不受天候的影響。

### 3. 第二類雙順打工法工法缺點

- (1)地下結構的施工皆在地面層樓版下進行，所以施工作業性不良，並且容易發生通風不良及照明不夠等問題。
- (2)基樁因需支撐建物重量，所以施做及吊放地下鋼柱時，柱位與垂直精度必須相當準確。
- (3)地下室開挖期間，如果扶壁施工不良，容易產生連續壁側向變位過大，造成損鄰的問題。

### 4. 第二類雙順打工法施工過程注意要點

- (1)T型單元扶壁必須與連續壁結合，提高擋土設施的勁度，作為抵擋側向土水壓力的主要構件。
- (2)上部結構施工進度必須搭配構真柱的無側向支撐長度而施工，避免構真柱挫屈破壞。

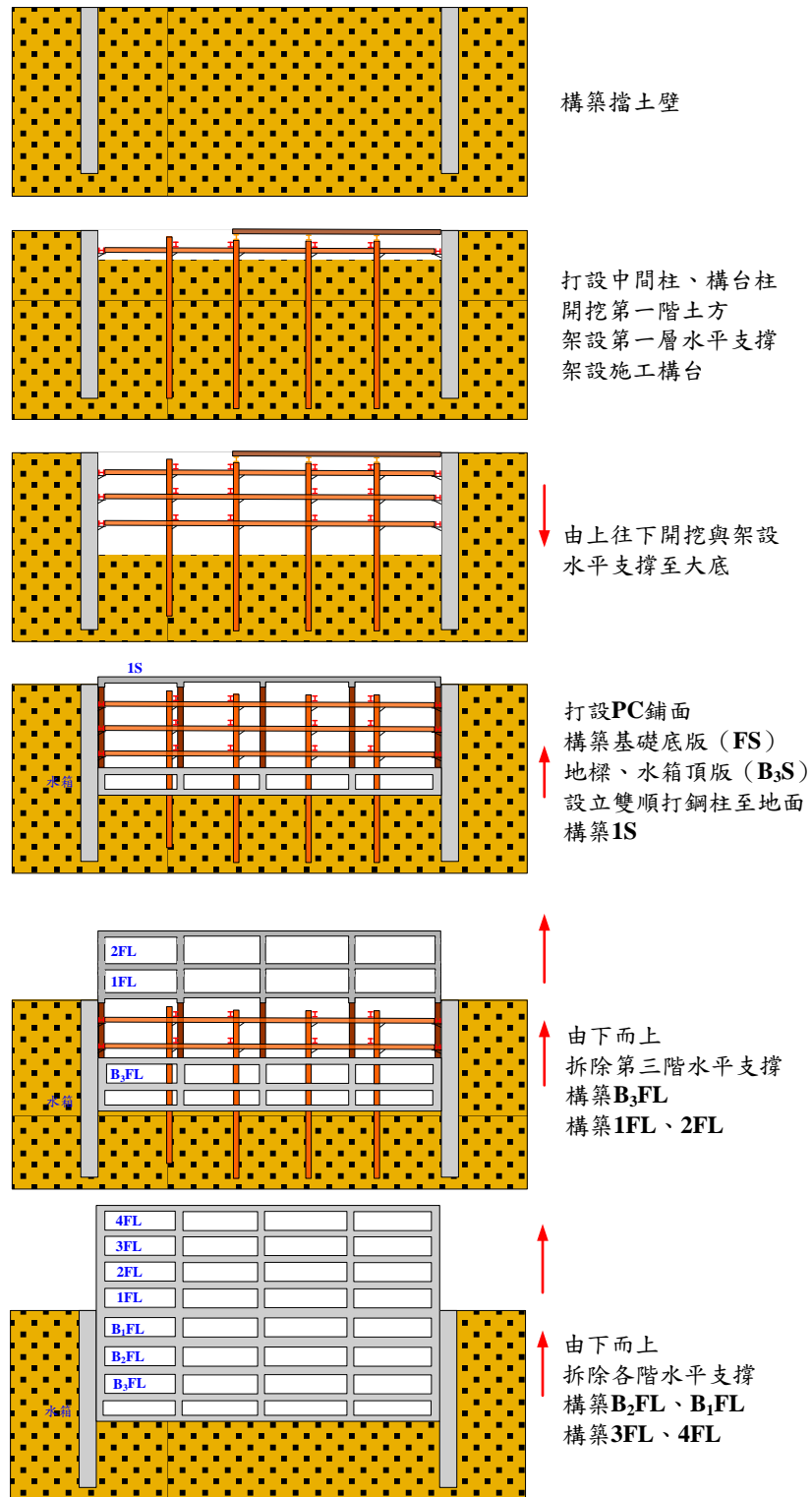


圖 4-7 第一類雙順打工法地下室施做流程剖面示意圖

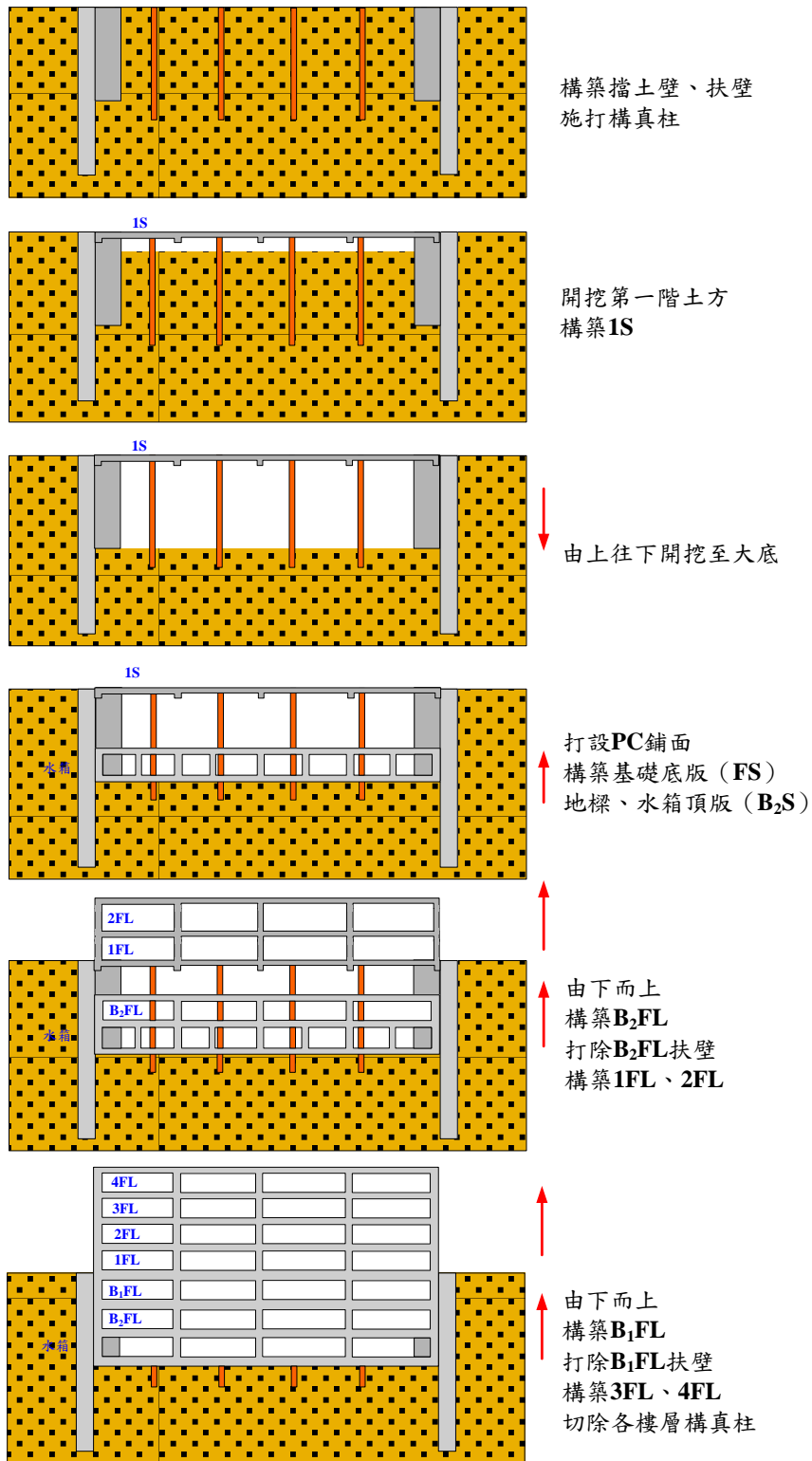


圖 4-8 第二類雙順打工法地下室施作流程剖面示意圖

#### 4.4 逆打工法

逆打工法的施工，通常以一樓樓版為起始層，分為向上與向下兩個工作面同時施做，地下室開挖以連續壁配合已完成的樓版，來抵擋地盤側向土水壓力，並且利用逆打鋼柱來支承已構築完成的上部結構體荷重，逆打鋼柱是埋置在基樁內，作為承受上部結構的垂直載重，或者地震來時的水平力，逆打工法施作時，首先構築連續壁，然後施做基樁，同時逆打鋼支柱於鋼構廠加工，配合基樁施工時吊放鋼支柱埋置於基樁內，在混凝土初凝後將空打段予以回填，於逆打起始層進行土方開挖及工作面 PC 澆置，並進行起始層之結構體施工，接著施做上部結構體，並於起始層混凝土養置達到設計強度，可以承載預估的側向土水壓力時，即可進行下層土方開挖與結構體的施工，由上而下順序施作，反覆施做至地下室完成，同時上層建物也繼續構築，當下層結構體完成後，利用該樓混凝土養護的時間，進行起始層下方柱牆接頭的二次施工，施做流程剖面示意如圖 4-9 所示。

逆打工法是利用逆打鋼柱來支承已構築完成的上部結構體荷重，其中因為支承方式的不同，可分為「利用本體鋼骨柱支撐方法」、「利用假設支撐柱（構真柱）方法」等，在選擇時需視建物的構造而定，假如構造物為鋼骨結構時，則可利用鋼骨柱作為支撐建物的支柱，若不是則須施打構真柱來當支承用，以下分別作介紹：

##### 1. 利用本體鋼骨柱支承方法

若建物結構採用鋼骨結構設計時，則可採用本體鋼柱作為支撐建物的支柱，當連續壁施工完成後，即可開挖至一樓樑深與樑下基樁挖掘和澆注，並於基樁內埋設鋼骨柱，孔內空打部分以碎石回填，接著架設版樑鋼骨或鋼筋，澆置一樓之樓版，作為第一層之擋土構架，然後開挖地下一樓，架設版樑鋼骨或鋼筋，澆置地下一樓之樓版，同時開始進行地上樓面的建築，然後依序往下開挖，澆置該層樓版，直到地下室完成，如圖 4-9 所示。

##### 2. 利用假設支撐柱（構真柱）方法

若建物結構採用鋼筋混凝土設計時，則需採用構真柱支持建物，當擋土壁施工完成後，即可作第一階段開挖，並打設構真柱，接著澆

置地面層及 B1 層樓版之混凝土作為擋土支撐，然後才繼續開挖下一階，同時進行地上樓面的建築，然後依序往下開挖，澆置該層樓版，直到地下室完成，如圖 4-10 所示。

除了傳統全區開挖的逆打工法，現在也發展出邊區逆打施工，僅在地下室四周採用逆打，以連續壁配合扶壁加上肋版，抵擋側向土水壓力，如圖 4-11 與圖 4-12 所示，基地首先施做連續壁，隨即開挖第一階土方，接著將四周扶壁以樓版作為肋版連結，增加連續壁抵抗變形的能力，如此反覆開挖土方與施做肋版至大底設計深度，當開挖完成後，於底面打設 PC 鋪面，然後施做地樑與基礎水箱；中央區塊由下往上構築地下結構體，並與邊區結構體（肋版）連結，直到完成地下室建物，施做流程剖面示意如圖 4-13 所示。

### 3. 適用情況

#### (1) 縮短工期：

因先施做一樓版，接著地下室基礎與地面樓層同時施工，所以可用以縮短工期。

#### (2) 地下室開挖深度深大於 15m 時：

- A. 因採用明挖工法於開挖深度過深時，易造成鄰近居民不安全感之心理因素。
- B. 若採用內支撐工法，則會因開挖過深而支撐架設困難。
- C. 因以地下室結構 R.C 樓版抵擋側向土水壓力，勁度較 H 型鋼高，可以避免因支撐勁度不足，造成擋土壁側向變位過大。

#### (3) 地下室開挖空間形狀特殊：

- A. 因開挖平面形狀不規則時，容易造成內支撐系統架設困難。
- B. 因開挖基地地形有高低差時，會使內支撐系統沒有支撐反力，而無法施做。

#### (4) 軟弱土層承载力不足需要施做基樁時：

因逆打工法中上部結構的重量，使用逆打鋼柱傳遞至基樁承載，

所以當軟弱土層開挖時，需施做基樁增加承載力，則採用逆打工法可以減少施工成本，且增加施工安全。

#### 4. 工法優點

- (1)由於地上、地下結構物同時施工，且無須花費時間架設或拆除臨時擋土支撐，因此可節省工期。
- (2)地下室開挖後，以 R.C 樓版作為擋土支撐，勁度高，其擋土的安全性相對較高，適用於側向土壓力大的軟弱地盤。
- (3)因以地下室結構 R.C 樓版作為擋土支撐，所以適用於條件特殊之工地，如開挖形狀不規則、基地有高低差或側壓不平衡等。
- (4)地下室因為由地面層往下施做，已完成的樓面版可作為材料堆置場或施工作業場使用，無須另外架設施工構台。
- (5)因地下室開挖、鋼筋綁紮或澆置混凝土等，皆在地面層樓版下進行，所以施工不受天候的影響。

#### 5. 工法缺點

- (1)地下結構的施工皆在地面層樓版下進行，所以施工作業性不良，並且容易發生通風不良及照明不夠等問題。
- (2)基樁因需支撐建物重量，所以施做及吊放地下鋼柱時，柱位與垂直精度必須相當準確。
- (3)因採用 R.C 樓版作為擋土支撐，因樓版間距較大，容易於開挖期間因無側向支撐長度過長，產生連續壁側向變位過大，造成損鄰的問題。
- (4)因為由地面層往下施工，所以柱與牆壁會產生二次接縫，需採用無收縮水泥填補，使得處理上較為複雜。
- (5)二次接縫易造成地下室結構的弱面及滲水的情況。
- (6)逆打鋼柱因鋼材需求量大，且需焊接組裝費時，所以鋼材需要預購的時程，無法隨時可取得。

#### 4. 施工過程注意要點

- (1) 一樓樓版需預留開口，作為開挖土方輸出或材料進入之用。
- (2) 在施築地下結構體時，可同時由一樓往上構築上部建物，縮短工期。
- (3) 逆打鋼支柱需承受建物重量，所以施做基樁及吊放鋼柱時，位置與垂直精度必須相當準確。
- (4) 地下室施工作業，需有良好的通風及照明設施。
- (5) 鋼柱接頭的鋼筋續接與柱、壁的二次接縫，需採用無收縮水泥妥善的處理。



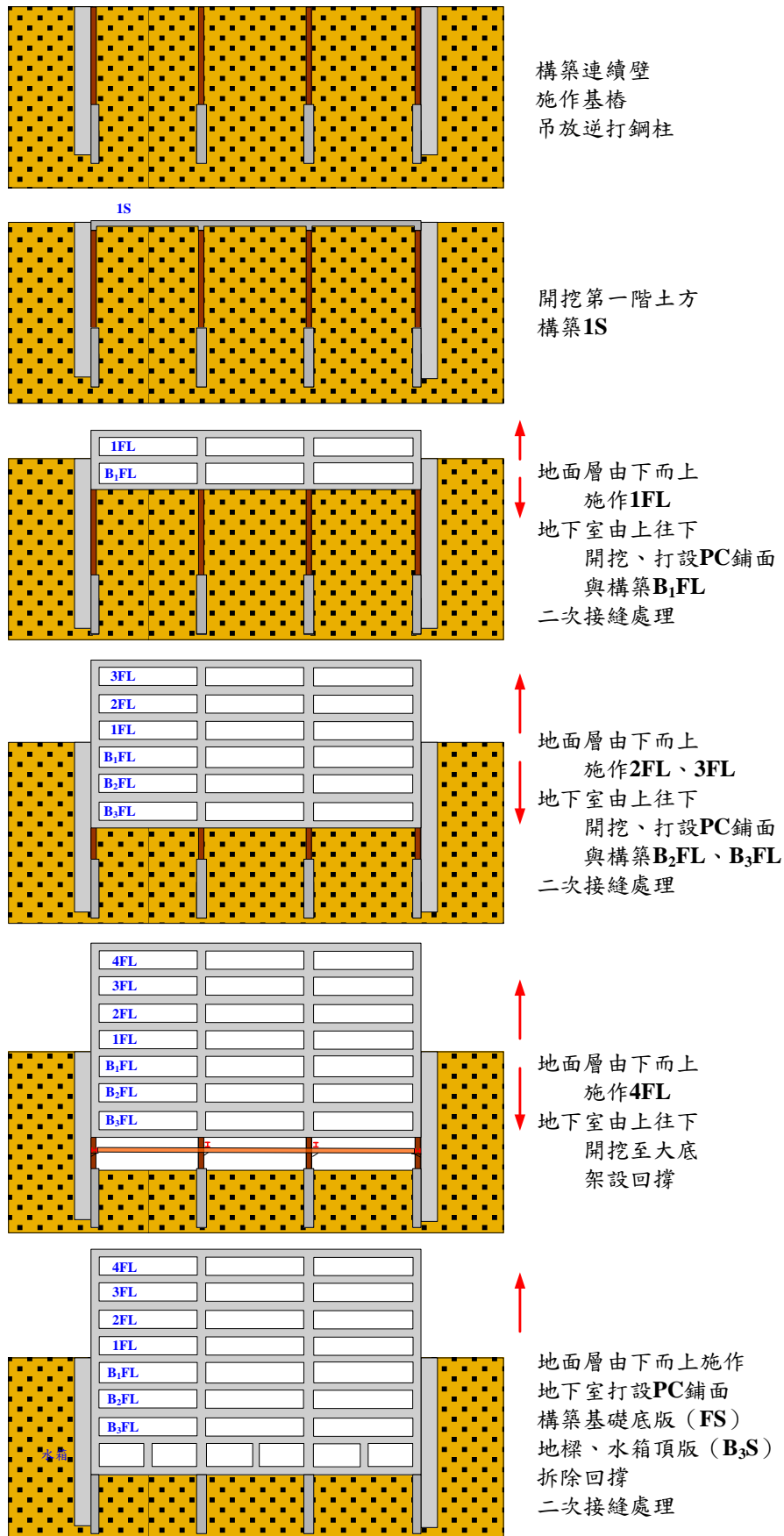


圖 4-9 以本體鋼骨柱支承之逆打工法地下室施作流程剖面示意圖

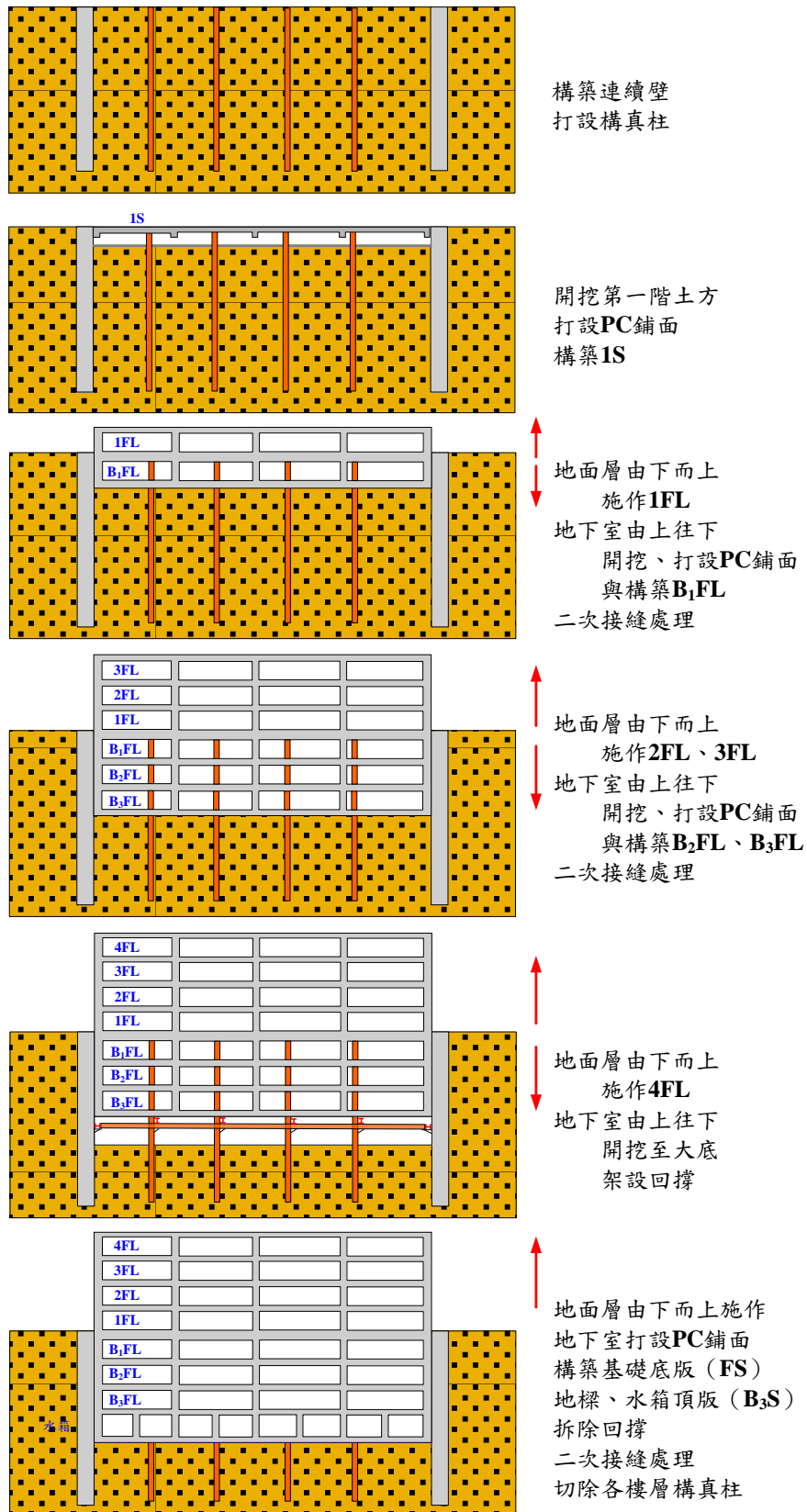


圖 4-10 以假設支撐柱（構真柱）之逆打工法地下室施作流程剖面示意圖

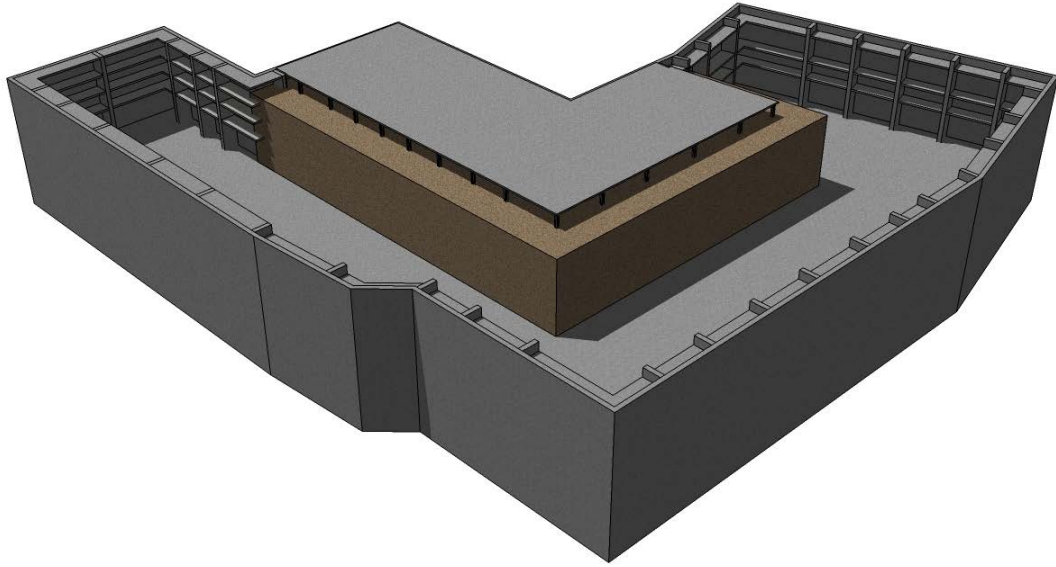


圖 4-11 基地邊區逆打示意圖

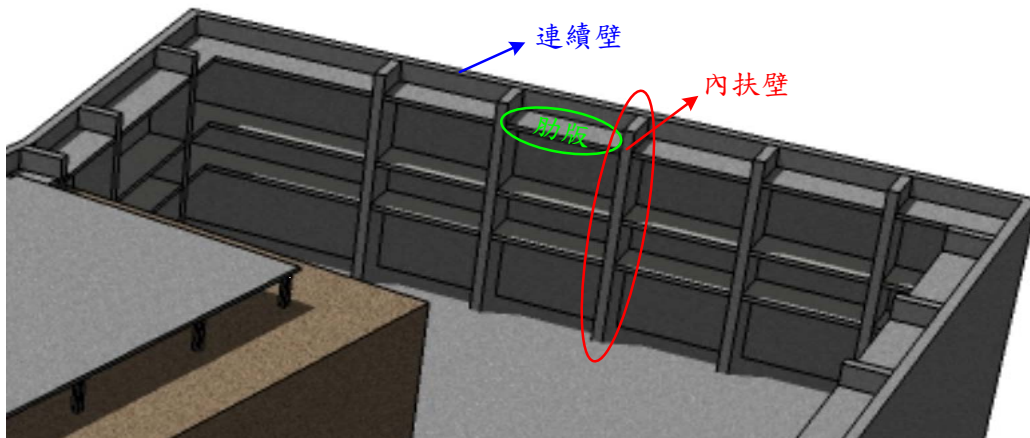


圖 4-12 邊區逆打連續壁、扶壁與肋版示意圖

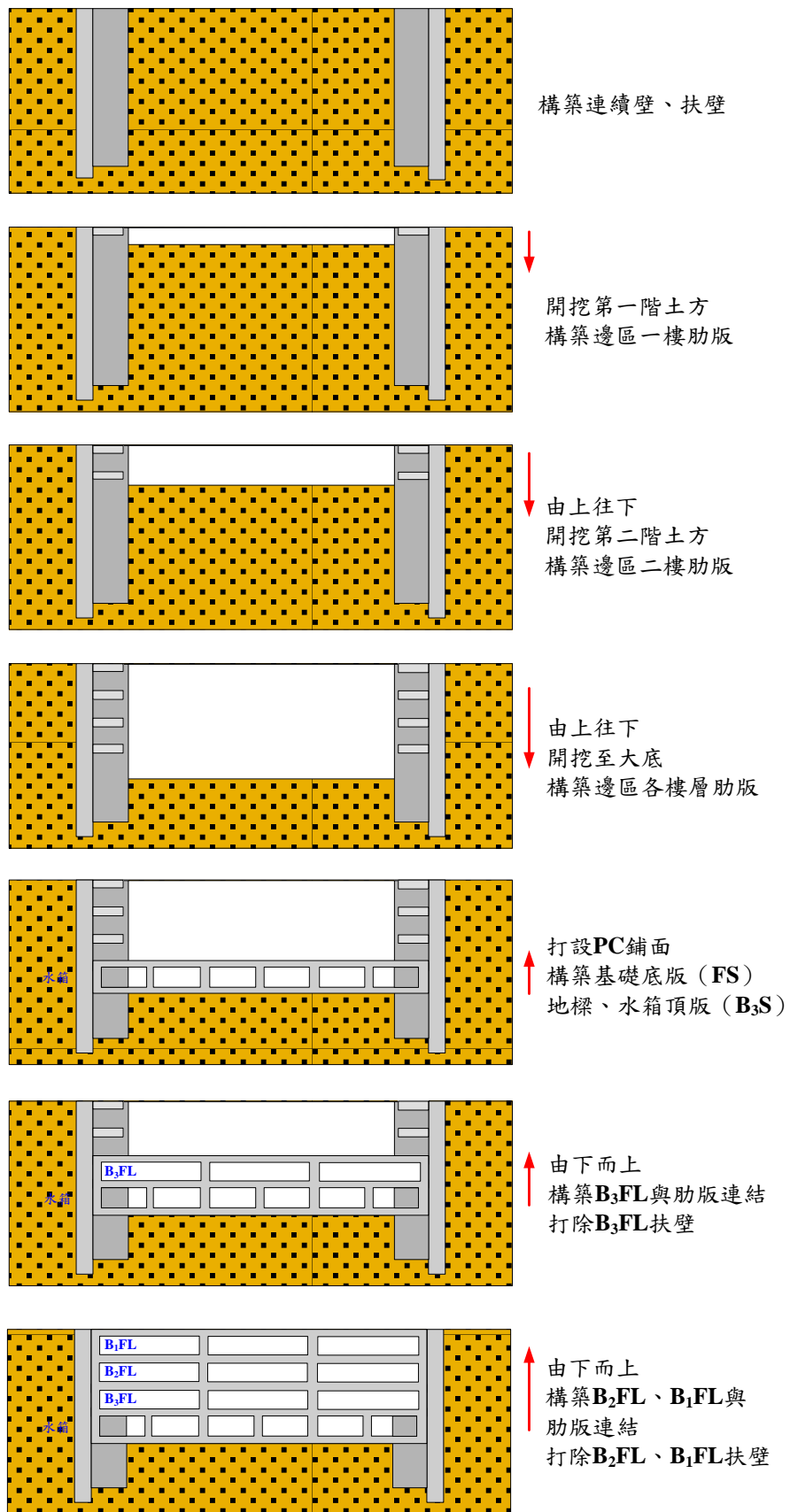


圖 4-13 邊區逆打工法地下室施作流程剖面示意圖

## 4.5 島式工法

島式工法的施工，地下室分為中央島區與邊區兩個部分施做，島區開挖時保留擋土壁內側的土壤坡面，消除側向土水壓力，邊區開挖時，採用已完成之島區建物作為支撐反力，以支撐系統抵擋側向土水壓力，基地首先施做擋土壁，接著以斜坡方式開挖島區土方至大底，並在過程中打設邊區中間柱，當開挖完成後，於底面打設 PC 鋪面，然後由下而上施做島區建物之地樑、基礎底板與各層地下室樓版，直到完成島區地下室，接著開挖邊區第一階土方，並利用島區結構體之反力，架設斜向擋土支撐，然後由上而下反覆開挖邊區土方與架設斜向支撐至大底設計深度，接著打設 PC 鋪面，然後由下往上順序施做邊區地下室結構體，並與島區建物連結，直到地下室完成，各階段施工剖面如圖 4-14 所示。

### 1. 適用情況

(1)地下室開挖面積寬闊

(2)地下室開挖深度淺時：

若開挖深度過深，會使得側向壓力過大，造成邊坡不穩定。

(3)擋土壁與周圍邊坡，在中央部開挖時能自立與穩定：

因分為島區與周圍邊坡兩次施工，中央島區開挖時，四周邊坡為沒有支撐的狀況，所以需要較佳的自立性。

(4)增加結構體之施工縫，不會產生結構上之問題時：

因為地下室建物分成島區與周圍邊坡兩次施做，其兩者間造成的施工縫，不會產生結構上之問題。

### 2. 工法優點

(1)因為僅需要在島區結構體周圍開挖時使用臨時支撐，所以支撐材料使用量較全面開挖使用之支撐材料少。

(2)因為僅於島區結構體周圍開挖時使用臨時支撐，所以支撐長度短，因此支撐材料鬆弛或收縮，造成預力不足的情況較少。

(3)地下室開挖形狀不規則時，可將地下室分為兩部分，中央島區的規

則區塊，以及周圍邊坡的不規則區塊分別施工。

### 3. 工法缺點

- (1) 因軟弱地盤土壤自立性不佳，由於邊坡穩定的關係，所以島區工法不適用於軟弱地盤開挖。
- (2) 地下室工程分成島區及周圍邊坡兩次進行，因此工期較長且複雜。
- (3) 地下室構造分成島區及周圍兩次施工，因此兩者連接處需另行處理，易造成結構體上的弱面。
- (4) 開挖深度越深，因所抵擋側向土水壓力提高，造成周圍所需邊坡寬度增加，則中央島區部分範圍越小。
- (5) 島區周圍邊坡部分開挖，因為作業空間小且含有臨時支撐，所以施工作業性不良。

### 4. 施工過程注意要點

- (1) 施工時，必須確保邊坡之穩定性，並防止地下水位過高，造成開挖底部發生砂湧災害。
- (2) 坡頂需設置排水設施，坡面應做保護，以免表面水之侵蝕及沖刷。
- (3) 地下結構體工作縫的施工，對於止水、結構整體的安全性與結構上的差異沉陷等，需妥善的處理。

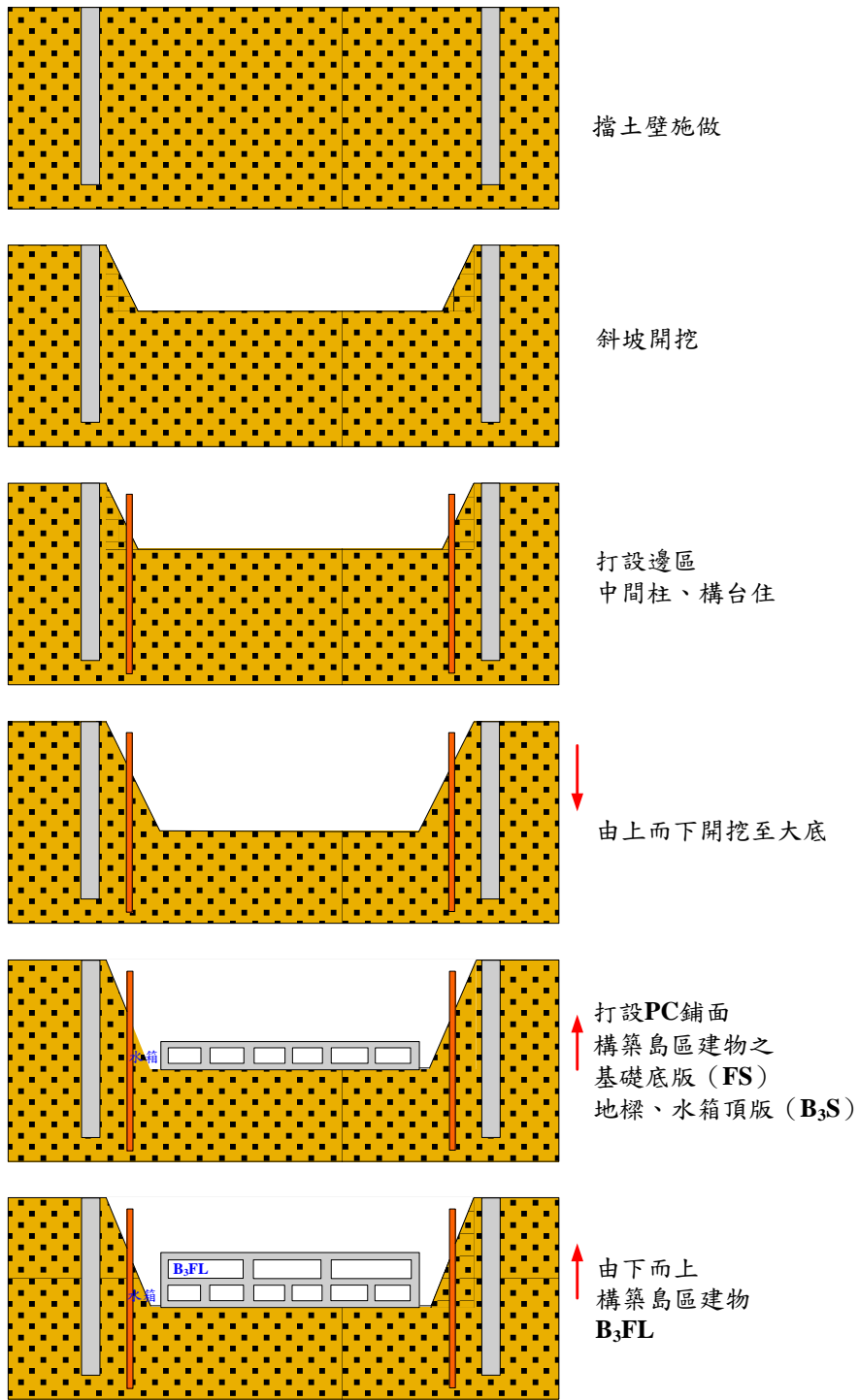


圖 4-14 島式工法地下室施作流程剖面示意圖

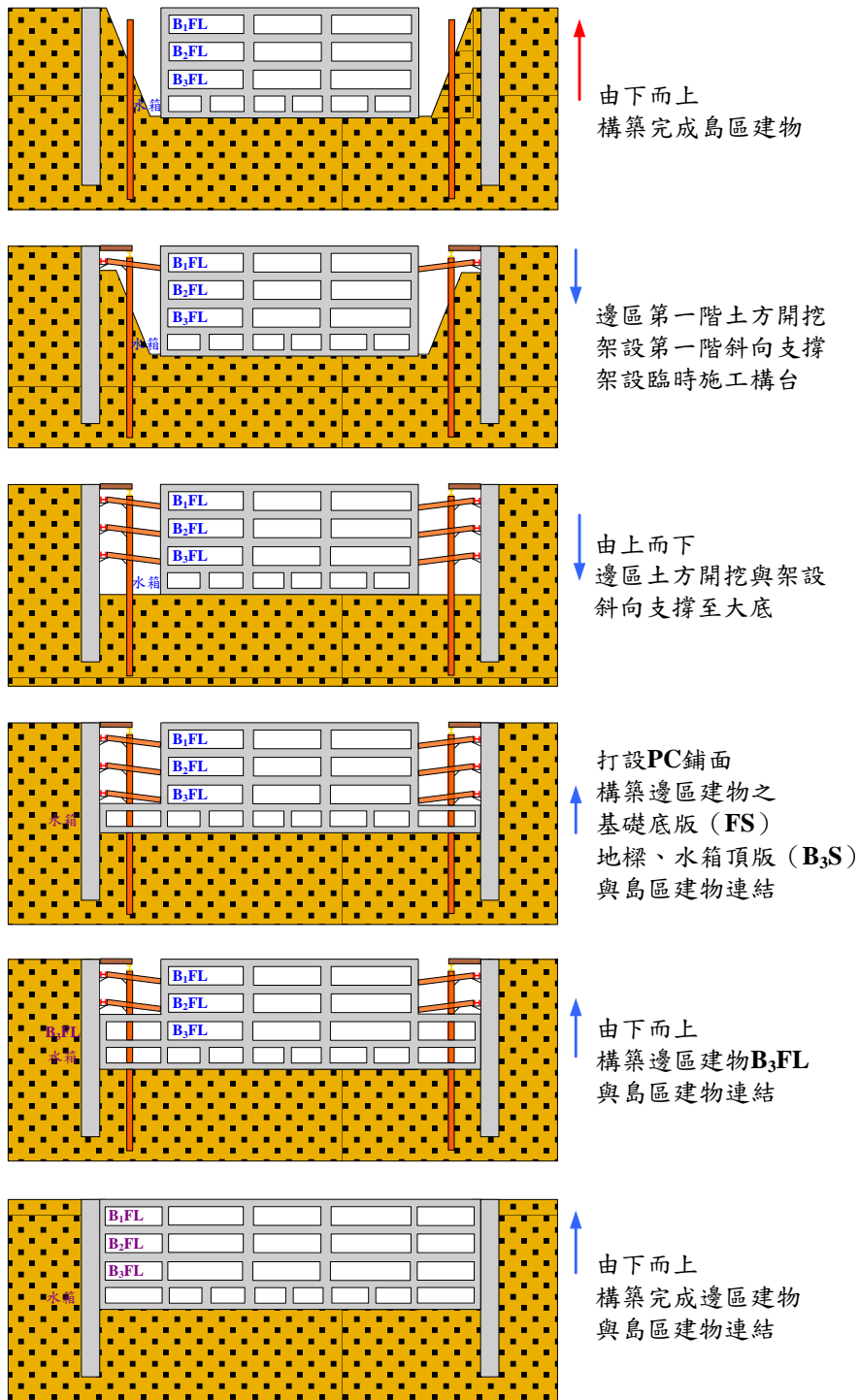


圖 4-14 島式工法地下室施作流程剖面示意圖 (續)



## 五、結語

在軟弱黏土地盤進行地下室開挖階段，常常發生的破壞模式即為「隆起」破壞；而在鬆散砂土地盤進行地下室開挖階段，常常發生擋土壁漏水的管湧破壞或是開挖面砂湧的破壞模式。這些破壞模式都已經是經典之作，但是，在這些發生施工災害的工地，其施工計畫並未針對該工地地質及基礎類型所可能引發的基礎施工災害，擬定緊急應變計畫，沒有做到防患於未然。工程之成敗關鍵，常常決定於基礎工程之施作是否順利得當；無論是在軟弱黏土地盤或者是在鬆散砂土地盤進行開挖，所發生之災害，其破壞模式均有跡可尋。若能在工程設計階段即考慮到此破壞模式，則可做到防範於未然。但是營造廠商及監造單位，須要建立對基礎施工災害整體的認知，以及對災害發生後應該採取何種適當的緊急應變措施，以利於工程發生災變時，減輕災害受損之程度。

建議現場施工之品管人員及監造工程師，由其他基礎工程災害之經驗中多吸取經驗，並注意以下事項：

1. 應注意施工災害發生的類別及原理，並對可能發生之災害保持高度警覺心，有關災害的微小徵兆，均應予以防範。例如：在軟弱黏土地盤進行地下室開挖階段，常常發生的破壞模式即為「隆起」破壞；在鬆散砂土地盤進行地下室開挖階段，常常發生擋土壁漏水的管湧破壞或是開挖面砂湧的破壞模式。這些均為破壞模式之典型，應於施工計畫階段即針對工地地質及基礎類型所可能引發的施工災害，擬定緊急應變計畫防患於未然。
2. 平時應建立正確之應變處理措施與方法，方不致於緊急時採取錯誤之方法，造成更大之損害。
3. 建立施工災害的緊急通報系統，以利於緊急時獲取適當搶救資源。並地災害搶救的編組及訓練。

此外，亦可採取適當之防範措施，以降低災害發生及損失，簡述如下：

1. 邀請學者專家成立審查小組，進行施工計畫的審查。高雄市政府建管處在民國 82 年及台北縣政府工務局在 88 年即已開始這種審查的

措施，使施工災害比率降低許多。為了減低審查的人力及財力的負擔，可以規定地下室開挖超過某一深度或是擋土壁採用有滲水之虞的排樁或鋼板樁或是施工地點在土質不良的地區等等指標，作為審查案件的篩選標準。

2. 施工計畫應包括可能發生施工災害的類型及應變措施，同時應列明救災的指揮系統、通報系統、搶救資源、搶救權責編組、搶救人員名冊及連絡電話等等。其次，施工計畫也應列明工地周圍地下各種管線的位置及開關閘門的位置，以作為工地緊急應變時之所需。
3. 施工災害之損失與衍生之賠償與工程保險制度結合。施工災害的原因除了係施工不當外亦可能是設計疏失所衍生的結果，因此，主管機關除了應確保所管轄的工程皆能受保險制度的保障，其中施工方面需投保營造綜合保險並附加第三人意外責任險及鄰房龜裂倒塌責任險等附加險，而設計方面則需投保建築師及技師專業責任險。
4. 儘早建立災害通報系統及緊急搶救體系。除了建立並且落實工地的搶救災害組織，進而配合地方政府的二及三級的搶救災害層級，共同協力搶救施工災害，不但可以預防施工災害，還可以防止二次災害。