

## 6. 地質鑽探

謝敬義\*

### 一、前言

地質鑽探是所有地質調查中最被廣泛應用的調查項目之一。小至房屋建築之基地探查，大至大型水力發電工程、核能火力電廠、隧道工程以及邊坡穩定等，自規劃、設計以至於施工階段無不採用鑽探以獲取所需之地質資料。根據統計，地質調查計劃項目中，地質鑽探之採用率約達90%以上。因地質鑽探費用低廉，施工快捷，設備之搬運尚屬方便，所取岩心可直接研判地質情況並供作各項力學試驗，而鑽孔本身亦可供其他目的使用，例如地下水測定、透水試驗、震測試驗、變形試驗、灌漿、地錨裝置等，用途甚多。雖然地質鑽探具有前述諸多用途與好處，但由於鑽探人員之專業素養不足，鑽探資料常無法達到預期成果。筆者數十年的經驗中發現，多數之鑽探業者大多以為鑽探作業並無高深之技術，因此任何工人僅需數天的訓練即可領班操作。另一方面，由於大多數大地工程師或地質師未能在現場監督鑽探之進行並對取出之岩心適時加以鑑定。就目前之瞭解，大部份之鑽探作業所取出之岩心鑑定甚至於係由鑽探工

人加以記錄。此種鑽探成果，在大地工程界比比皆是，寧不令人憂心。許多工程災害案例，雖然涉及設計與施工，但資料之不全或不確實，應為其中影響因素之一。

為喚起鑽探業者以及使用鑽探資料之大地工程師或工程地質師對地質鑽探的重視與瞭解，本文擬就鑽探有關事項，諸如鑽探的目的與方法、鑽探設備、鑽探施工技術、鑽探資料之解析與應用等加以詳細說明與探討，並對目前一些似是而非的觀念與作法加以討論，以供大地工程從業人員之參考。

### 二、鑽探目的及其方法

進行鑽探的目的主要有二：一為利用鑽機及採樣器或岩心管 (Sampler or core barrel) 採取土樣或岩心以供研判鑽探深度範圍內之地下地質情況，並將所取之土樣或岩心進行各項力學試驗；二為利用鑽孔埋設儀器進行各項觀測或試驗以及進行其他地質改良工程如岩栓、地錨、灌漿、基樁埋設及排水等工作。一般而言，所謂地質鑽探通常都同時兼具前述兩大目的。除了深孔鑽探（如鑽孔深度達100公尺以上）或大孔徑如

\*台灣電力公司專業地質師

超過6吋以上之鑽孔以及特殊鑽探如仰孔、斜孔、水平孔等以外，鑽探所需之費用通常並不昂貴，而施工亦頗為快速，但若孔數多，或地形崎嶇不良，設備搬運不便時，則可能顯著增加其費用，以及其施工期限。為了配合前述各種不同的鑽探目的，縮短工期並降低成本，鑽探工作依其設備與作業過程可劃分為各種不同的鑽探方法。擬定鑽探計劃時，可依各類不同鑽探方法之特性以及鑽探之目的而加以適當之規範，以達到經濟而有效的目的。

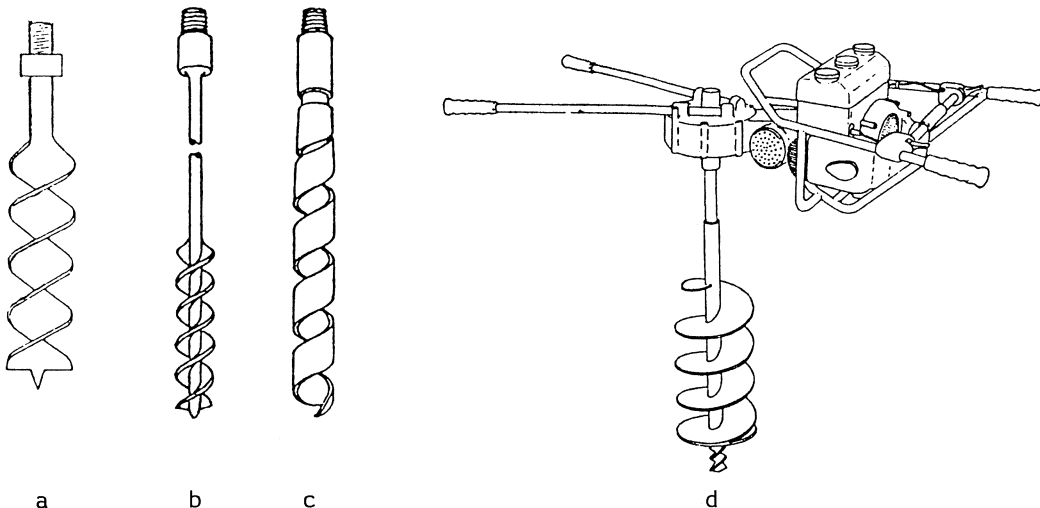
### 2.1 鑽探的方法及其特性

鑽探作業根據其使用的鑽頭機器設備及其機械操作方式，概可分為下列數種：

#### (1) 沖洗法 (Wash boring)

沖洗法係利用長約1.5公尺至2公尺之導管 (drive pipe) 先行打入地下，然後利用配有特殊鑽頭及橫向出水孔之鑽桿以高壓水流，在導管內上下來回沖洗

，將導管內之土壤沖出地面。導管內之土壤洗淨後，再將導管以高壓或打擊方式深入地下1.5公尺至2公尺，然後重述前述步驟將再入土內導管部份之土壤沖洗出地面，如此反覆進行以達到鑽孔之目的。導管之孔徑一般約為4吋或6吋，其目的主要為保持孔壁之穩定，以防止沖洗過程中孔壁崩坍，此種鑽探法適合一般之砂質土壤，對於含有大量礫石土壤則無用武之地。由於沖洗法需利用導管先行打入地下，故其鑽進深度受導管所能貫入地下之深度而定，故其深度有限，一般大約10公尺左右。所沖洗流出地表之土壤碎屑雖可大致瞭解土壤層之情形，但因已經沖洗且部份土壤之顆粒均已遭破壞，故其土壤均無用途，惟在每次沖洗過程中，導管內之土壤洗淨後，可利用各種不同的採樣器在導管底部貫入土層而取出土樣，例如分裂管採樣器 (Split spoon sampler) 等。此種沖洗法大都使用在淺層土壤，其目的為鑽孔後供作埋設抽水井或各種目的之基樁



圖一、螺形鑽頭

之用。不適合地質探查之目的。

#### (2) 螺鑽法 (Auger drilling)

螺鑽法係利用各種形狀之螺絲形鑽頭 (圖一) 利用人力或機械方式旋轉穿入地下。地下之土壤則沿螺紋之紋路反向擠出地面。螺鑽法簡單快速，最簡單之儀器僅需鑽頭，鑽桿及連接鑽桿之十字手把，以人力旋轉手把即可將鑽頭貫入地下。但其深度無法達到5公尺以上。目前大都利用手提式輕便馬達帶動鑽桿之螺鑽法 (如圖一 d)，其深度可達10餘公尺。此種淺層螺鑽法，其孔徑較小，通常係用來探測表層之土壤狀況或埋設土壤測試儀器。另一種大動力之機械式螺鑽機，其口徑可大至10吋至14吋，通常係用來設置予壘樁等樁基礎。

螺鑽法因操作簡便，主要為針對具黏性之土壤，但需在地下水位以上孔壁能自立者較為適用。因此對於軟弱粘土或粗礫石層以及地下水位以上，孔壁易於崩塌者並不適用。

以上沖洗或螺鑽法，基本上均為覆蓋層內取樣或實施貫入試驗，藉以調查土壤狀況為目的。進行此兩種鑽探應依土壤層之地質情況以及鑽探之目的選用適當之鑽頭，方能達到事半功倍之效。如圖一中所示之 (a) 螺旋鑽頭 (Screw Auger)，其螺紋間距大，但螺齒細薄，故適用於不變質粘土或固結良好之土層。 (b) (c) 渦狀鑽頭 (spiral Auger)， (b)之螺齒及螺紋均寬大，適用於乾粘土或含有砂礫土層，而 (c)則適用於較濕軟之粘土。

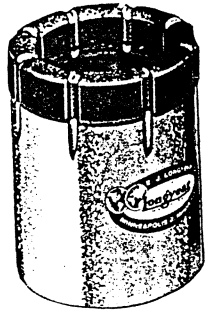
#### (3) 撞擊法 (Percussion or churn

此法係利用鑽機帶有空壓設備之動力，由鑽頭快速之前後振動以達到鑽進之目的，此法因振動劇烈故易擾動土壤或岩石，故不適用於採樣，但因鑽進速度快，其作用類似破岩機 (Rock breaker)，故在進行岩栓或地錨安裝時大都採用此法，但一般之孔徑較小。此種鑽探土壤與岩石均可適用。

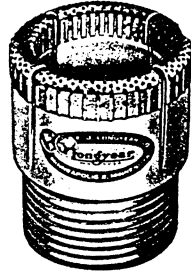
#### (4) 旋轉法 (Rotary drilling)

旋轉法即一般所謂地質鑽探中所最普遍採用者。主要係利用鑽機以高速旋轉方式，配合各種不同目的之鑽頭以及高壓水流在鑽進之同時由水流將石屑 (cutting) 沖出地表。工程地質調查中之岩心鑽探 (Rock Coring) 即利用此種鑽機配合中空之岩心鑽頭 (Core bit) 及岩心管 (Core barrel or core bit) 採取岩心。因地質鑽探的主要目的為鑽取岩心以研判地質並供作試驗，故為獲取良好之岩心採取率必需慎選鑽頭及岩心管。各種不同鑽頭 (如圖二) 之特性及岩心管將在下節鑽探設備及鑽探施工技術中再加以詳細之說明。

一般而言，旋轉鑽探對大地工程而言為最重要之探查方法之一，其深度可達數百公尺，遠較前述數種方法之應用範圍深廣。由於土木或大地工程之地質鑽探大多在100公尺以下，但對於山區隧道工程而言，有時需由地表鑽至隧道預定線時，其深度常需數百公尺。台電曾在瑞山抽蓄計劃中最深鑽進700餘公尺，可能是台灣大地或土木工程中最深之鑽孔 (石油公司之鑽井技術除外)。



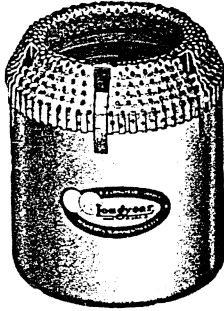
(a)



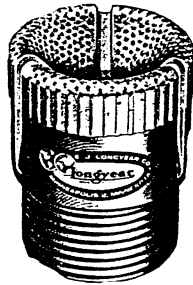
(b)



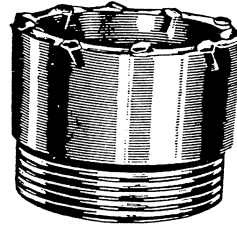
(c)



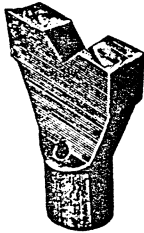
(d)



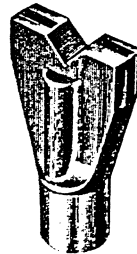
(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)

圖二、各類型鑽頭

### 三、鑽探設備

基本上，鑽探設備概可分為四大部份。(1)鑽機，為鑽探過程中機械傳動之動力設備。(2)鑽頭及岩心管或採樣管，為鑽進及採樣設備。(3)鑽桿及套管(rod and casing Pipe)。(4)其他附屬設備及特殊目的之用具。茲介紹說明如下。

#### 3.1 鑽機(Drill rig)

鑽機為鑽探工程最主要之設備。其主要之組成部份分為：

##### 3.1.1 動力系統：

動力系統可利用電動馬達、柴油或汽油引擎，齒輪轉軸配合傳動裝置，提供鑽軸捲揚機及油壓所需之動力。為鑽機動力之來源。

##### 3.1.2 傳動裝置：

前述動力之輸出，藉包括齒輪、棘輪(Sprocket)或皮帶及各種接合器帶動所需旋轉及上下運動所需之動力。由於配合鑽探時不同地質需要不同之轉速，傳動系統尚包括變速裝置，主要由大小不同之齒輪組合而成。

##### 3.1.3 鑽進設備：

主要為旋轉式鑽軸(Spindle head)，此一轉軸可在垂直平面上作 360° 之轉動，故可作任何角度之鑽進作業。鑽進作業中可配合實際需要調整前進與後退且藉油壓裝置調整鑽進時鑽頭之壓力。

##### 3.1.4 捲揚裝置：

鑽機中另一重要之設備，為鑽探作業中上下鑽桿之捲揚系統，主要由一大型之捲筒(drum)與前述之傳動裝置連結，以大麻繩與三角架上之吊環連結。此一捲揚設備亦可供進行貫入試驗之打擊裝置。

##### 3.1.5 操作系統：

操縱鑽機各項動作之裝置，包括前進後退操作桿，調整轉速鑽頭壓力，抽水機給水、吊重、油壓調節等控制鈕及儀表等。

為便於機動搬運之目的，各部份之重要組件均可分解拆卸。

#### 3.2 鑽頭及岩心管

鑽頭及岩心管為地質鑽探中鑽孔與採樣之主要部件，因此鑽頭須配合岩心管組成一套鑽頭系統。

##### 3.2.1 鑽頭

根據鑽探是否採取岩心，一般而言，鑽頭可分為兩大類，一類為非岩心鑽頭(None core bit)，另一類為岩心鑽頭(Core bit)。依鑽頭之材料又分為鑽石鑽頭及合金鑽頭。(Tungsten carbide bit) 如圖二之(f)。而鑽石鑽頭又依鑽石顆粒之鑲嵌方式可又為表鑲式(Surface set)及孕鑲式(Impregnated Type)二種。前者係將鑽石顆粒鑲置於基材(Matrix)之表面(如圖二中(b),(c),(d),(e))，適用於一般之岩石鑽探，後者係將鑽石顆粒或鑽石細顆粒混合於基材內所構成之鑽頭(如圖二中之(a))，

其所需鑽石份量較前者多，適用於極破碎或特別堅硬之地層。由於高速旋轉鑽進過程中，鑽頭會產生高熱，故須加以冷卻以免損壞鑽頭，配合岩心管之種類，鑽頭中均有數道深淺不一之水槽(Water way)，將抽水機輸送而來循岩心管傳送至鑽頭再沿該水槽一方面冷卻鑽頭，一方面可將鑽進時之岩屑(Cuttings)，隨迴水沖洗至地面。

為配合各種軟硬不同之地層，選用適當之鑽頭為鑽探技術中頗為專業之知識。圖二為各類不同之鑽頭種類。

### 3.2.2 岩心管

岩心管為鑽進時，岩樣儲存之場所。如前所述，鑽探時需用水流冷卻鑽頭並將岩屑沖出地表。因此在鑽進作業中，若深度愈深，則此水流之循環將產生相當之水壓與流速，若直接與岩心接觸，對於較弱岩石如頁岩、泥岩或節理發達之地層，將影響岩心採取率(Core recovery)，為避免水流全面與岩心接觸，岩心管可分為單層岩心管(Single-tube core barrel)，雙層岩心管(Double-tube core barrel)，及三層岩心管(Trippl-tube core barrel)。單層岩心管因水流經鑽桿直接流入岩心管，全面與岩心接觸故不適於軟弱地層。雙層岩心管之設計使水流在岩心管之前端沿外管與內管之間之空隙流入鑽頭之水槽，不致於直接與岩心接觸，故對於軟弱破碎之地層，可獲得較佳之採取率。岩心管提出地面後，岩心係儲留在內管，對於泥岩、頁岩等泥質岩石，因岩心與內管壁緊緊黏住時，欲取出岩心甚為困難，往往需大力敲打岩

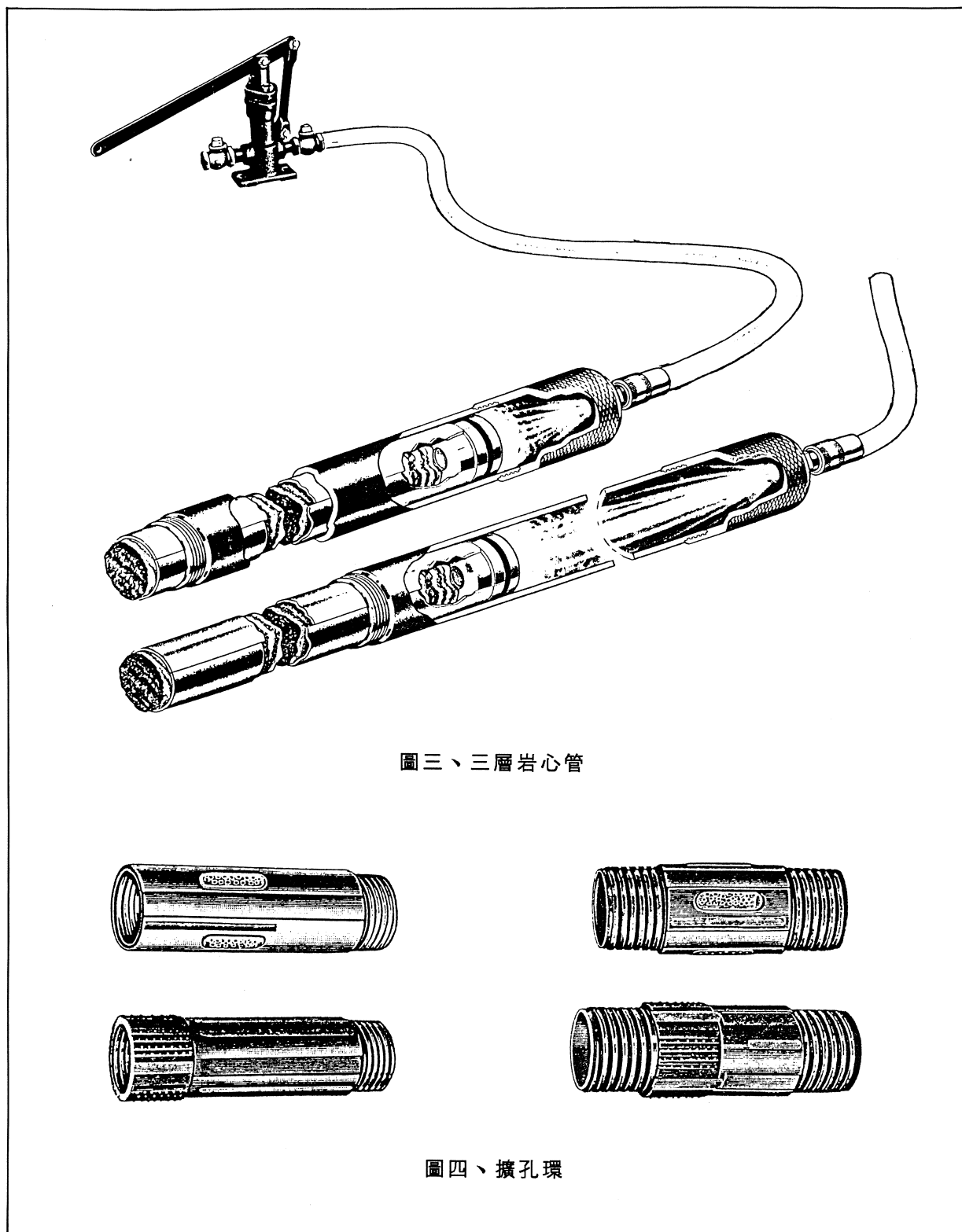
心管而損害岩心之完整。因此又發展出一種叫三層岩心管，其構造與雙層岩心管相似，其內管又分為兩層，其最內層為可分裂式(Split tube)，岩心管取出後其最內管可用簡易之水壓機頂出(如圖三)。岩心即可直接剝開分裂式之最內管而取出，可保持岩心之完整。目前台灣之鑽探業為採取岩心目的之鑽探大都已經採用三層岩心管。

事實上，構成鑽頭系統，除了前述鑽頭與岩心管，尚包括岩心夾(Core lifter)，及擴孔環(Reaming shell)如圖四。岩心夾係放在鑽頭前端唇部之內緣，主要係岩心提起時，阻止岩心掉落，具有彈性之環形片(如圖二之(j))，而擴孔環(如圖四)則位於鑽頭之後端為一短節附有顆粒並稍凸起連接環，其主要目的係將鑽頭鑽進後將孔壁稍加擴大，以增進鑽進之平順。

因此鑽頭系統包括鑽頭本身、岩心夾、擴孔環及岩心管四者必須相容。不能隨意替代使用。

## 3.3 鑽桿及套管(Drill rod and casing pipe)

3.3.1 鑽桿為鑽探中動力連結傳達之主要器材，其構造雖然僅與一般之鋼管(Steel pipe)相似，但其重要性卻不亞於其他之鑽探設備。在鑽探進行中，由於鑽孔加深，必須由加接鑽桿繼續作業。而鑽探作業必須配合迴水，故鑽桿均為中空之鋼管，鑽探時，因鑽桿承受相當大之扭力、壓力以及拉力，故其材質之品管要求甚高，必須由無縫之鋼管組成(Seamless pipe)。一般工程地質用



圖三、三層岩心管

圖四、擴孔環

之鑽桿長度約3公尺，其相接方式多屬平接式 (Flush joint)，即接頭與管身同一尺寸，以避免鑽桿上下運作時發生滯礙而卡住。鑽探時由於岩心管之岩心已飽滿或因故需換用不同之鑽頭，因此須經常反覆拆裝。若深度達數百公尺時，裝拆鑽桿即需花費數小時。若發生孔壁崩坍或卡鑽，則更耽誤鑽探作業。一般之鑽桿口徑均較鑽頭之外徑小，故孔壁與鑽桿之間隙較大，鑽探時，若壓力控制不當，則鑽桿受壓較大而撓曲，旋轉時產生之偏心擺動常影響孔壁之安全性。因此有一種吊索專用鑽桿 (Wire line rod)，其外徑與鑽頭之外徑約相同，此種鑽桿之內空較大，故配合其特殊機械咬合與鋼索捲揚裝置，在鑽探進行時，欲提取岩心管，不需將鑽桿全部提起，僅需將岩心管自中空之鑽桿內提出即可。可省時省力。但此種鑽桿其孔徑大，故能量消耗亦大，故須配合大馬力之動力裝置，以及高壓抽水機，其鑽頭亦較一般昂貴，故成本較高，因此適用於 200公尺以上之深井。

3.3.2 套管 (casing pipe)，為保護孔壁之安定性，在鑽探中埋入孔內之鋼管。通常均先由岩心鑽頭鑽進某一深度後，為防止崩孔，約2-3公尺後再由套管擴孔隨後跟進，如此反覆進行。套管之前端亦有鑽頭稱之為套管鑽頭 (casing bit)。因套管僅為保護孔壁而設，故其材質之要求不高。鑽孔完成後亦可利用鑽機回收。若套管深度太深，則回收困難，增加鑽探成本。因此一般鑽探業都不太願意使用。

### 3.4 其他附屬設備及特殊目的之鑽探配備及用具

以上所述包括鑽機，鑽頭及岩心管，鑽桿及套管等為鑽探工程所不能或缺之主要設備。其他附屬設備如三角架及抽水機亦不可缺乏，但這兩種設備無需專用品。三角架常以圓形鋼管、角鋼、大口徑杉木，其至粗竹桿亦有人使用，而抽水機只要抽水量足夠需要即可，一般規定在  $10\text{kg}/\text{cm}^2$  壓力，其抽水量需  $150\text{l}/\text{min}$  之可調節型抽水機，惟進行壓力透水試驗時抽水機之要求較為嚴格，除抽水量須足夠保持所需壓力之水量外，送水量之穩定性亦非常重要，舊型返復活塞式抽水機不適合於透水試驗之要求，應該採旋轉活葉式之抽水機。

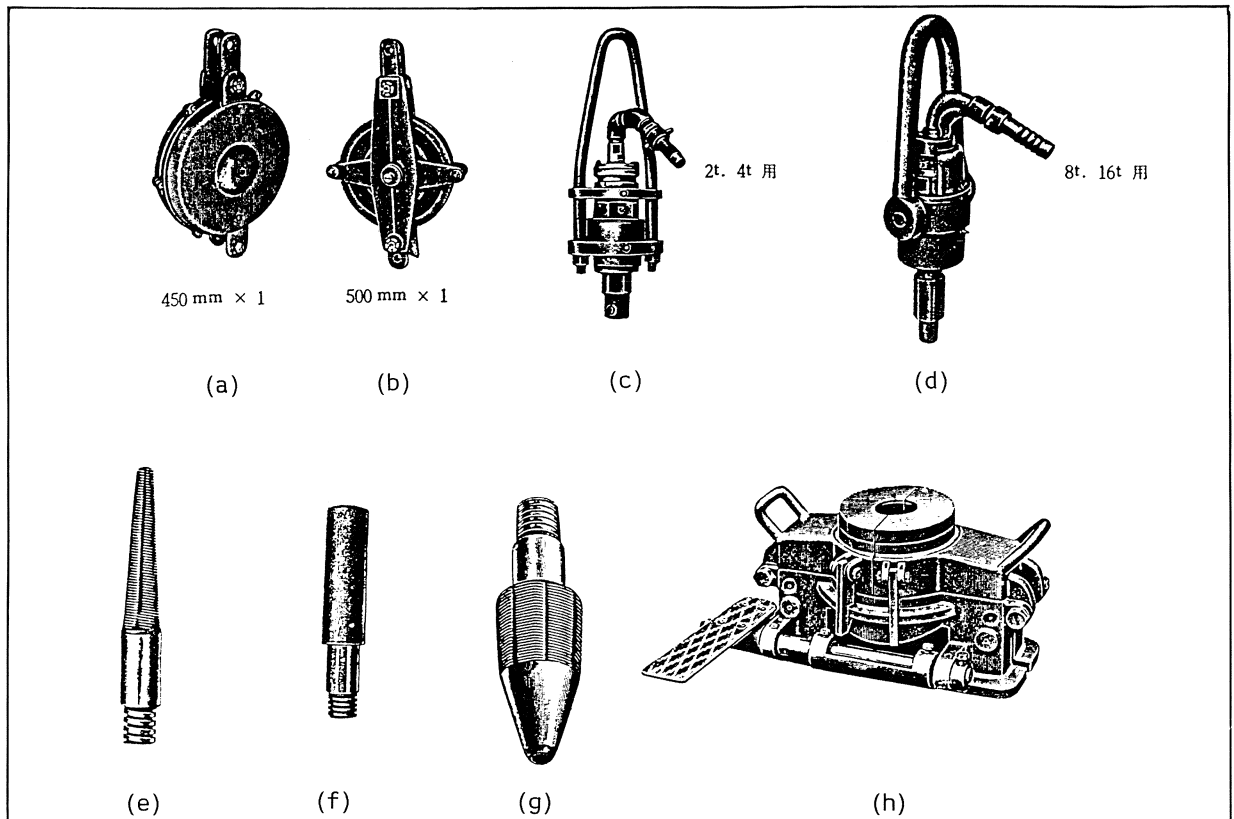
其他鑽探過程中，鑽桿上下操作或萬一鑽探中發生事故如崩孔、卡鑽、鑽桿或套管斷裂時均有各種搶救所需之配備等。

圖五為各項附屬設備及其用途說明。

## 四、鑽探施工技術

地質鑽探的主要目的為採取岩心研判地質並供作試驗以及利用鑽孔進行各項試驗與測定之用。良好的鑽探施工技術，因岩心採取率高，孔壁安定對地質研判以及孔內各項測試工作均有莫大的助益。事實上，孔壁之安定性與岩心採取率之好壞互成因果關係。鑽探過程中，若施工技術不良，孔壁安定處理失當





圖五、(a)(b)滑輪，(c)(d)吊環及進水閥，(e)左旋內徑螺絲栓扣，(f)左旋內環螺扣，(g)左旋套管用螺扣 (h)鑽桿止滑裝置

，鮮有能獲得良好之岩心採取率。但是，目前之鑽探工作岩心採取率不佳往往歸咎於地質不良。以目前完善精良之鑽探設備，除非真正在含有流動地下水之斷層帶內，其他情況下，技術精良，經驗豐富之鑽探專業技工，岩心採取率均可達90%以上。照片一為台電核四基礎鑽探時，地質良好地質，所取之岩心在岩心管內均未折斷，其岩心採取率達100%，照片二、三為在節理甚為發達以及局部斷層帶內所取出之岩心，其採取率亦達90%以上，節理面內之填充物，以及斷層破碎帶之角礫(Fault breccia) 以及斷層泥

均清晰可見，因此進行地質鑽探時，業主或大地工程師或地質師應嚴格要求岩心採取率。目前台電公司大部份之鑽探發包規範均規定除非在地質師確定為真正地質惡劣情況下，若岩心採取率低於60%以下者均不予計價，全孔50%以上岩心採取率均低於60%以下者則以廢孔處理，必須在附近重新施鑽。此一規範之主要目的係迫使鑽探技術人員應盡其所能，發揮鑽探的最佳效果。筆者在近三十年的經驗當中，鑽探結果不良的主因，人為因素居多。因為鑽探作業不僅勞力，有時發生事故或鑽進速度不佳，尚需勞心，尤其在室外曠野，

或深山之中，鑽探過程因每日長時間冗長之單調工作，其辛苦並非局外人所能瞭解，因此容易疲勞煩心甚至產生偷懶之心態，這些人為因素之存在影響鑽探成果至鉅。筆者數十年與老牌字號鑽探公司資深鑽探技術人員相處當中，發現他們的鑽探技術甚為高明，但似未將其高明之技術與經驗流傳給年青的一代。目前之鑽探業似有每況愈下之勢，實為吾輩從事地質調查工作及大地工程從業人員之最大隱憂，就事論事，良好之鑽探施工技術現場作業時應該注意以下各項工作：

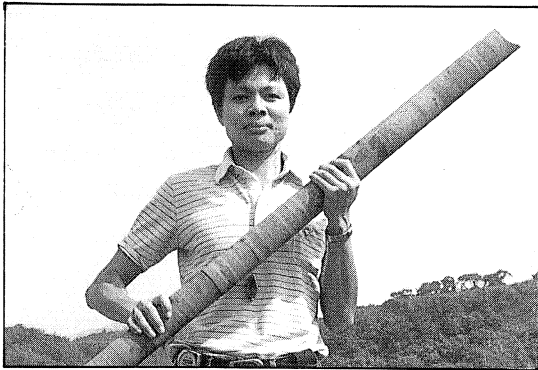
#### 4.1 鑽機架設

鑽探工作開始時，鑽機之組立及架

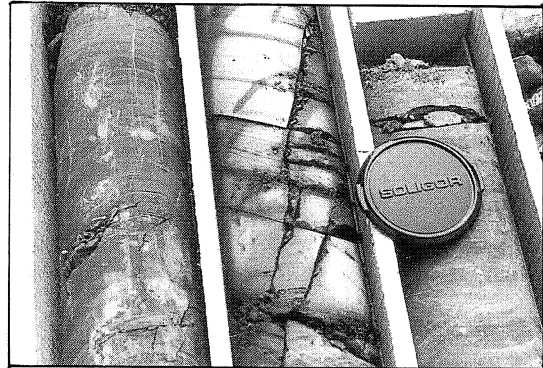
設定最被疏忽的事項為鑽機固定不良。鑽機組立後，必須將鑽機牢牢固定在地面上或鑽台上，由於鑽機組立後，本身為一相當笨重之機器，工人往往以為只要放置地面或簡單以木板或木棒墊在地面保持水平，將鑽機座落其上即可。照片四為目前野外最常看到之鑽機架設情況，鑽機並未牢牢固定在地表或鑽機下方之鑽台上。若鑽機未固定，則鑽探過程中之振動將使鑽孔發生偏孔，影響孔壁之安定性。

#### 4.2 轉速、壓力與循迴水

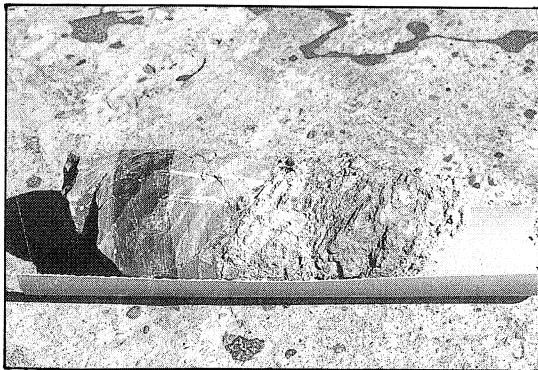
鑽探過程中，鑽進速度之主要因素為鑽機之轉速與鑽頭之壓力。理論上，



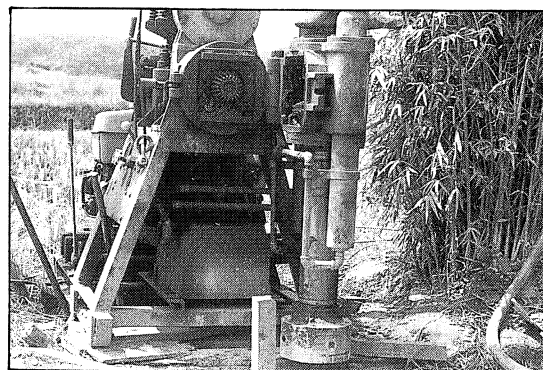
照片一



照片二



照片三



照片四

轉速愈快，鑽頭之壓力愈大，則鑽進速度愈快。因鑽進速度快，故孔底內產生之岩屑 (Cuttings) 愈多，若聚積孔底內之岩屑無法適時清除，則鑽頭表面之鑽石顆粒與岩石表面之接觸減少，而使鑽進效率劇減。因此，鑽探時，必須使用循環水能適時有效將岩屑排出孔外。循環水將岩屑排出孔外，除了循環水之流速與壓力外，其本身之粘性、比重亦有相當重要的關係。因一般的岩石比重約 2.5 至 2.7 左右，清水之比重為 1.0 左右，故在一般淺孔 (100 公尺以下) 之鑽探，以清水作為循環水即可獲得清除岩屑的良好效果 (假定孔內不漏水)，但對於 200 公尺以上之深孔，則其循環水必須採用泥漿，通常多採用皂土 (Bentonite)，因皂土之比重可達 1.8，且其粘度較清水高，且具有良好之造壁性，故使用皂土泥漿作為循環水，除可保護孔壁之安定性外，因其比重與岩屑比重相差不大，故岩屑易懸浮於泥漿中，而被排出孔外。因皂土價格高 (本省不出產)，故常將泥漿回收再使用。鑽探時，在鑽孔附近挖有兩個相通之水槽，一個較深，一個較淺。由孔內流出之循環水以導溝流入第一個深槽中，泥漿內之岩屑沈澱後再流入另一淺槽，由抽水機將淺槽內之泥漿再輸入鑽孔，如此循環使用。

鑽頭之壓力主要以鑽桿重量以及鑽機上之油壓裝置加以控制。在淺孔鑽探時，鑽桿之自重即足符需要，若鑽孔太淺或太深時，則可由油壓系統來調整。因鑽頭壓力大，則可能造成鑽桿撓曲，此時鑽頭因鑽桿彎曲而無法獲得應有之

壓力，同時鑽桿彎曲而旋轉時之擺動可能破壞孔壁之安定性，進而發生卡孔之現象。

#### 4.3 鑽頭與岩心管之選擇

鑽探作業時，由於不同的地質情況，選擇適當的鑽頭亦可大幅改善岩心採取率。如前所述，為配合不同的地質，鑽頭亦有各種不同的設計。其中較主要者，如鑽石鑽頭內鑽石顆粒之鑲置方式，計有表鑲式或孕鑲式。表鑲式鑽石顆粒之粗細及密度、鑽頭刃肉 (kerf) 之厚薄，或合金鑽頭鑽齒顆粒之排列，以及各種鑽頭唇部水槽與岩心管之結構等均可能影響鑽進之效率與岩心採取率之好壞。

一般而言，土壤層之鑽探多採用合金鑽頭，但遭遇砂礫時，常使鑽探工作倍感困難。因砂礫層容易崩孔，若礫石粒徑與孔徑相當或稍小，則易發生滾動現象，此時之鑽探作業動彈不得，因此必須利用厚重之魚尾鑽頭 (如圖二之 (g), (h), (i)) 敲擊，將礫石打碎。對於岩層之鑽探，應依岩石之硬度、節理或破碎情況選擇適當之鑽頭及岩心管。在一般之軟岩如頁岩、泥岩等採用一般之合金鑽頭，配合三層岩心管均可獲得甚佳之採取率。對於中硬岩或砂岩，如石灰質或矽質砂岩，若屬緻密、塊狀岩質，以表鑲式鑽頭配合雙層岩心管亦可得良好之效果。對於極硬岩如石英岩或矽質變質岩等，則採用孕鑲式鑽石鑽頭較佳。對於破碎帶或斷層帶內之鑽探，則需有高度之技術與經驗，除了前述必須考慮適當之轉速、壓力以及循環水以

保持孔壁之安定性外，所選擇之鑽頭亦應以薄刃以及細顆粒鑽石並配合三層岩心管，以及套管(casing pipe)或灌漿固結加以改善。

#### 4.4 加大孔徑

一般之地質鑽探，其孔徑大多採用所謂的NX孔徑，此種孔徑之岩心直徑為2吋，孔徑為3吋。岩心直徑2吋在過去數十年前主要係配合岩石試驗室內力學試驗儀器之規格而設。近年來由於試驗室設備之改良，任何尺寸之岩樣均可輕易切割成所需之尺寸。因此在不良地質地區進行地質鑽探時，若以NX孔徑無法取得理想之岩心時，將鑽孔加大，如岩心直徑3吋至4吋即可大幅改進岩採取率增加地質評估之精確度。

#### 4.5 鑽探時之專注與耐心

如前所述，鑽探成果之良窳與否，除了以上所列鑽探設備之精良與適當之使用外，人為因素亦為關鍵所在。一般之岩心管多為2.5~3公尺左右。岩層鑽探，若屬硬岩，則每分鐘之鑽進速度僅約數公厘，每小時有時僅數十公分。因此，每次下鑽時，3公尺之鑽進須經過數小時之久，因此工人常任令鑽機持續轉動，鑽探時若未專注鑽機之轉動情況，即無法注意是否發生卡鑽或因孔內破碎岩塊之滾動或磨轉而鑽進效果不佳，此種卡鑽或滾動之情況若持續發生，將造成孔壁之不安定，孔內之岩屑亦不易清除，多次累積之下，該孔即無法取得良好之岩心，有時甚至必須廢孔。有經驗之技術工人，應儘可能避免此種狀況

之發生。一發現有鑽進異常現象，即應及時提取岩心管，排除發生鑽進異常之原因，儘可能保持孔壁之安定性，並清除孔內之岩屑，必要時打入套管或灌漿等措施，以恢復正常之鑽進速率與岩心採取率。不可冒然在無法取出岩心時，仍持續鑽進。因岩心無法取出，則持續之鑽進，表示孔內累積之岩屑愈多，則該孔將無法取得良好之採取率而使鑽探益形困難。因此鑽探人員在操作過程中，應專注鑽機之運作情況，遭遇情況應及時提取岩心管，耐心加以處理，「欲速則不達」在鑽探作業中為一至理名言。

## 五、鑽探資料之解析與應用

如前所述，地質鑽探為所有工程地質調查中最被廣泛應用之調查項目。但根據筆者多年之經驗，許多鑽探資料大多未能收集完全，有時甚至於在疏忽中，或誤解中無法達到預期效果。地質鑽探所取得之岩心，係供地質師或大地工程師研判地質之用，而地質師或大地工程師對地質研判之結果又直接或間接影響工程之規劃或設計。因此，岩心之鑑定與描述非常重要。此外，除了岩心之地質判釋外，在鑽探過程中，各種操作之異常現象亦為地質鑽探中相當寶貴之地質資料，此類操作過程之描述最易被技術工人所忽略。以下擬就鑽探資料之解析與應用加以詳細之說明與討論。

## 5.1 岩心之鑑定

一般而言，岩心鑑定概可分為三部分來加以說明：即覆蓋層之鑑定；岩層之鑑定；岩盤界面之鑑定。

### 5.1.1 覆蓋層之鑑定

覆蓋層係指土壤層而言，包括未固結之砂礫、黏土等物質。地質學上大都屬於第四紀(Quaternary)之沈積物。在地質鑽探作業中，岩心之採取為最重要之工作。但對於覆蓋層而言，通常均未訂定嚴格之岩心採取率。因覆蓋層多屬未固結物質，故以岩心管採樣有實際之困難，尤其對於礫石層，鑽探作業有時完全束手無策。因此礫石層之調查，例如骨材來源及數量之調查，並不適合採用地質鑽探，最好改用直井或濠溝開挖。對於一般之砂土層，其鑑定大多以採樣器採取土樣送試驗室進行土壤分類以及各項力學試驗，故覆蓋層詳細之物理性質及其他力學特性，另有詳細之分析報告附錄在地質鑽探報告中。但在岩心鑑定記錄中，覆蓋層之描述仍可利用岩心管所取得之土樣或將部份由採樣器所取得之土樣剝開加以觀察與記錄。因現場所取出之土樣較接近原狀，水份尚未散失，故可得第一手之資料。對於土壤層之鑑定，其分類標準大多以土壤力學上顆粒粗細及含量，如統一分類法(Unified classification system for soils)等加以區分。在地質鑽探岩心剖面鑑定報告上，應特別注意礫石之存在及其粒徑大小與含量；對於黏土層，則應注意其含水量、稠度以及塑性情況。

### 5.1.2 岩層之鑑定

岩心地質鑽探最主要的目的之一就是探查鑽孔可及範圍內之地質情況。因此對於所取出之岩心應儘可能加以詳細描述以作為將來各鑽孔間地層之對比。此種地層對比對於地質構造之評估甚有助益。基本上，岩層鑑定之主要項目包括：

#### (1) 岩石種類

若屬沈積岩，則應認明沈積岩之種類，尤其應注意其顆粒之粗細及顏色。在實際鑑定中，對於粗粒之沈積岩如砂岩、礫岩等多無困難，但對於細粒或泥質沈積岩，在分類上常引起甚多之困擾。例如頁岩(Shale)，泥岩(Mudstone)或粉砂岩(Siltstone)，硬頁岩(Argillite)等不易由岩心加以區別。在沈積岩之學理上，上述泥質沈積岩(Argillaceous rock)雖有分類上之理論依據，有時，在地層之發育中，其特性是漸變的，其間並無明顯之限界，故常增加分類認定上之困難。若從工程地質的觀點來考量，此種顧慮可以採用下列原則來加以克服。(i)儘可能將泥質岩石加以簡化，不必拘泥於詳細之分類名稱。鑑定時，保持統一即定之原則。例如極細粒或泥質沈積岩，若呈塊狀(Massive)，且無明顯規則之裂開性(Fissility)，均可稱之為泥岩。在鑑定過程中，以手剝開岩心，其開裂面以手指或舌頭輕觸，感覺上具有砂質粗糙感者，則可歸類於粉砂岩(Siltstone)，開裂面呈光滑油質感者，若具有規則之開裂面，均可稱之為頁岩；(ii)同一工程計劃地區

，最好由同一地質師或大地工程師來擔任岩心鑑定工作，若地區遼廣或鑽孔甚多，無法由單人全部擔任同一工作。則應由擔任岩心鑑定工作之數人，事先對某一鑽孔共同鑑定，對某些不明顯或具有爭議性之岩石取得共識；(iii) 岩石種類之認定對地質師而言雖非困難的工作，但此項工作最好仍交由對計劃地區之地質瞭解深刻之地質師擔任較為妥善。

對於火成岩或變質岩，因其特性較為明顯，故在野外分類上較無困難。且本省火成岩分佈地區較少，而變質岩則大多分佈於中央山脈以及東部地區。兩者在本島所出現之種類亦較單純。

#### (2) 岩質

除了前述岩石種類以外，最重要的岩石特性就是岩質；包括顏色、硬度、固結或膠結情況、顆粒形狀粗細以及風化程度等。

#### (3) 組織、結構或岩層構造

此類特性包括岩石之層理結構，如層面、夾層或節理之傾角、層理節理之間距、夾層之厚度、岩體之破碎情況、節理面之粗糙度等。

#### (4) 岩心採取率與岩石品質指標 (RQD) 之計算

一般而言，岩心採取率及 RQD 之計算係指岩石地層而言，並不包括覆蓋層。岩心採取率之好壞雖與地質之好壞有關，但並非必然的相互關係。如前所述，精良的鑽探設備以及良好的鑽探設備技術，對於惡劣的地質亦能獲取甚高之採取率。但 RQD 依其定義即為真正反應岩石品質之重要指標。在進行岩體分類並評估岩體強度時，RQD 為重要的考慮

項目之一。雖然 RQD 的定義非常簡單，亦即岩心長度超過 10 公分以上之總長度與總鑽進深度之比值，但是計算標準如何取決，在目前岩心鑑定中常有誤導的情況發生。因為目前的鑽探業大多將所取出之岩心，不管每次提鑽 (Core run) 之深度，一律依岩心大致之深度放置在岩心箱內固定深度之岩心槽內。因一般的岩心箱設計均以保存 5 公尺長度之岩心為標準。岩心箱之長度約為 105 cm 至 110 cm，寬度為 34 cm ~ 40 cm (視岩心直徑之大小而定)，深度為 4 ~ 10 cm 不等。箱內通常分為五格，每格附有隔板以標示鑽探之深度範圍。鑽探工人放置岩心即依此岩心箱之深度刻劃加以區分。例如在深度 6 公尺至 9 公尺範圍內，第一次岩心提鑽時之深度為 6 公尺至 6.8 公尺，岩心長度為 80 公分，此一 80 公分之岩心即保存在第二岩心箱之第一格 6 至 7 公尺之岩心槽內，第二次提鑽深度若為 6.8 公尺至 8.5 公尺，所取岩心為 1.2 公尺，則工人常憑其判斷將此 1.2 公尺長之岩心，將前面 10 公分或 15 公分之岩心放在 6 至 7 公尺之岩心槽內，將其餘之岩心部份放在 7 至 8 公尺岩心槽與 8 至 9 公尺之岩心槽內。岩心箱內僅有依固定規則之深度標準。計算岩心採取率與 RQD 時常造成困擾。若岩心採取率達到 90% 以上，則此困擾較少，因 RQD 等之計算可依不同之岩性岩質或不同種類之岩石來區分計算，若岩心採取率低於 60%，則 RQD 之計算標準即無法取決。因此岩心箱內岩心之保存放置，應依每次岩心提鑽 (Core run) 之深度加以明顯之標示，而岩心採取率及 RQD 之計算標準亦應

依每一岩心提鑽之深度加以計算。無論如何，地質鑽探之成果，最主要的工作為岩心之提取，無法取得良好之岩心採取率，一切地質判斷均屬枉然。

### 5.1.3 岩盤界面之鑑定

在岩心鑑定中，最感困擾的研判就是岩盤界面之深度。假定覆蓋層為砂礫土壤層或鬆散之黏土層，則覆蓋層與岩盤界面之認定甚為容易。但在山坡地帶或崩積層中，覆蓋層內常含有較大之岩塊 (Boulder)，其粒徑有時較鑽孔之孔徑大數倍至數十倍，鑽探時，亦可取出甚為完整之岩心，有如岩層內所取出者，因此若不詳細研究，常易被誤判為岩盤。台電數十年前曾在花蓮木瓜溪中游，利用銅門電廠之尾水引至榕樹發電。該榕樹電廠為一小型半地下結構，建廠前之鑽探資料顯示岩盤界面距地表下為12餘公尺，設計為沈箱式基礎，但沈箱下放至原預計深度時，發現尚未到達岩盤。原鑽探孔內所取出之岩心原為覆蓋層內一大塊卵石，直徑達60餘公分，該卵石曾被挖出地表以供參考，經再次鑽探結果，岩盤界面深達16餘公尺，相差幾達4公尺左右。由此可知，在覆蓋層內，粒徑大於孔徑時，鑑定岩盤界面相當困難。根據筆者多年鑑定岩心之經驗，對上述情況仍有一些論證可供研判之參考。(i) 首先應瞭解鑽孔位置及其附近之地質。因礫石或崩積岩塊大多為外來物質，故取出之岩心是否與鑽孔附近所出露之岩層相同，應詳加對比研究；(ii) 一般之礫石或外來岩塊，大多經過某一段距離之搬運，因此巨礫或大岩塊

多為緻密堅硬之岩石，因此由此取出之岩心多較完整，反之，岩盤面則因長期風化或崩解，由此取出之岩心則較為破碎。(iii) 若岩心採取率良好，在接近岩盤界面時，常可取出較多之細粒或泥質沈積物；(iv) 持續觀察可能已鑽進岩盤之岩心長度1-3公尺，比較岩心之岩質、結構、節理或層理型態等是否具有規則之連續性；(v) 注意鑽探操作時，鑽頭壓力之變化以及可能產生磨鑽之情況。

事實上，岩盤界面之鑑定有時的確非常複雜而難於決定。因此若能保持在30公分至50公分之誤差範圍，應可視為正確之鑑定。

若有足夠之鑽孔數目，且其排列位置適當，則根據此一岩盤界之資料，可繪出岩盤界面之地下構造等高線圖，此種地質圖對大規模基礎開挖工程規劃上，估計岩方與土方數量甚有助益。

## 5.2 鑽探過程中之異常現象

地質鑽探，除了前述鑽取岩心供作地質研判外，在鑽探過程中，機件操作情況、迴水情況、鑽進速度以及孔內崩孔或卡孔等異常現象均可作為地質研判之參考依據。因此在鑽探工程中，每日鑽探作業情況應詳加記載於鑽探日報表中以供地質人員之參考。附表一為台電規格化之鑽探日報表。

### 5.2.1 迴水清況

迴水係鑽探過程中冷卻鑽頭並將岩屑沖洗至地表以加速鑽進為目的。在正常情況下，覆蓋層內因其透水性較大，







### 5.3 鑽孔之其他用途

地質鑽探除了前述鑽取岩心以供研判地質以及力學試驗外，其所遺留之鑽孔尚可供其他用途。例如壓力透水試驗、抽水試驗，埋設地下水觀測孔；震測之試驗、孔內各項力學試驗，地質改良之灌漿孔，排水孔，埋設地錨或其他儀器等用途甚多，不在本文探討範圍之內。

鑽孔完成外，若無其他用途，嚴格而言，孔內若遺有套管均應拔出，空孔並應以水泥砂漿灌入孔內加以封孔。此項工作大多被主辦鑽探工作之業主加以忽略。將來是否可引發後遺症無法預料。因此，鑽孔完成後加以封孔實有必要。

## 六、結論

地質鑽探因費用低廉，機動性高，施工快速，且鑽孔可供其他試驗及測定等用途。在工程地質調查中最被廣泛採用。目前大部份之鑽探作業均無專業地質師或大地工程師常駐現場加以督導，並即時記錄所取之岩心。同時，由於鑽探單價不高或每一鑽探工程數量較少或因位處偏僻，工人工作意願不高，加以鑽探公司多無更新設備之意願，而管理作業亦有缺失，因此鑽探工作常未能達到預期效果。本文在此再強調良好之鑽探成果方能達到正確評估與研判地質之目的。否則鑽探工作只有勞心、勞力與勞財而已。

## 參考文獻

Longyear Bulletin; Diamond Drilling Equipment.

Quido Zaruba Vaitech Mencl; 1976, Engineering Geology, p.504.

Tone Boring Co., Ltd. Drilling Machines and Iquipment.

鄭瑞熾 (民國74年) 鑽探與取樣，工址調查研習會，財團法人台灣營建研究中心