

技術講座專欄

拾貳 工址調查(上) (Site Investigations, I)

洪 如 江*

一、 工址調查之目的

1.1 選址或選線

土木水利工程，尤其是規模龐大者或路線長遠者，選址或選線正確者，已經是成功的一半。選址或選線如有錯誤，常引致工期之延誤、工程經費之膨脹、災變、甚至失敗。選址或選線不當，通常是由於主事者的經驗不足、或智識不足、或自信過度膨脹、或捨不得花小錢從事調查。

大型之土木水利工程，其選線及選址，常受國家整體經濟建設觀點之影響，甚至受到政治之左右，而非純由工程技術觀點而定。但在整體考慮的範圍內，還是略有伸縮與調整之餘地，必須由技術人員負大部份責任，非可草率從事，而將責任推給經濟規劃或政治階層；同理，經濟規劃者或政治階層之人物，亦不宜對技術上之細節，提供太多之指導。舉例而言，某鐵路之一隧道，原案為穿越一時動時停之崩積土，施工中之隧道發生側移、開裂、充水等災害多次，後改部份明挖通過，本案隧道如

因有岩爆等疑慮，及時改至南方之枋山東進。又活動中之崩坍地、梯田之趾部、地陷區、以及斷層帶附近等，皆為極不利之工址。

1.2 求得工址特性供設計、施工之用

所有土木水利工程，皆須建於地上或地下。因此，工址之地形、地質、水文、強度、壓縮性、水力學性質、及工作性皆須明白，始能從事設計及施工。某工程對工址特性瞭解不足，以美金數百萬元購置大型開挖機械二部，開挖速度太慢並受落磐埋沒；又某深開挖工程，在乾季調查，未遭遇地下水，濕季開挖之時，地下水位升高，排水及擋土費用追加不少，這略向山側平移一、二百公尺或下移數十公尺，即可在良質岩盤中通過，絲毫不影響該一鐵路之目標。某校區、選址於地名為溝子口之山溝出谷之處，每逢山洪暴發，山溝洪流，受阻於該校區，水分兩路，繞校區之外圍而會合於校區之下游，致整個校區為孤島，並受污泥淹浸之苦，本案選址，可能係由毫無工程常識之行政人員所從事。南迴鐵路，原選線擬以長而且深之隧道穿越南大武山（標高二千多公尺），

*國立臺灣大學土木工程學系教授

兩個案例，都是調查不足，影響施工。又高速公路圓山橋在圓山頭之龐大橋墩，由美國之地工技術顧問從事工程地質及基礎之研判，未發現岩層（傾向基隆河）中夾有一厚約二公尺之軟弱黏土，致美國橋梁工程師將橋墩設計在此一黏土夾層之上，所幸施工者（大陸工程公司）自行追加調查，並請本地學者研判，終於發現該一黏土夾層，導致橋墩設計之變更，將橋墩砌置深度下降，並與圓山頭背後之山坡地切斷。

1.3 尋找合適之土石方作為施工材料

土方工程，例如土石壩、路堤、河堤、新生地填築等等，皆需大量土石材料，因此，採石場及借土區皆須詳加調查其品質、數量、開採方法、搬運、存放及加工方式。此外，挖後之殘坡，必須不發生坍方或坡面沖蝕，否則可能使下游房舍、田地及交通受到坍方或泥流之災；而景觀之維護，也是採石、借土工程所必須注意者。

不少借土區用坡趾開挖，多次造成機具及操作人員被埋事件。其殘坡，在晴天已達臨界穩定狀況；雨天難免坍方。八一五股水災，陸光一村之泥石流，有可能來自其側背借土區殘坡。

正在施工（榮工處施工）中之五股工業區，其借土區之坡面保護，為以往借土區殘坡所少見者。

1.4 研究新工程對鄰地或結構物之影響

高樓及地下鐵路深開挖工作，是否引起鄰屋下陷、傾斜或龜裂？大壩附近之隧道開挖開炸，是否會使大壩及附屬設施受損？山坡地開發是否使上側、下側、及左右兩側之土地及房舍受到不良影響？

1.5 尋找合適之棄方地點

工程開挖，難免有不合用之土石方，必須在合適之地點，按合適之方式堆置，使其不發生崩坍、潰散等災害。近年來，並包括尋找垃圾及礦渣堆置場成為重要工作。

1.6 為處理天然災害及工程災害

自然災害，例如坍方、地陷、泥石流、液化……等等；工程災害，例如隧道落磐、房屋傾倒、大壩崩潰、挖填方工程之潰散或沖蝕……等等，都需要從事工址調查之後，才能明白原因而對症下藥。

法國 MALPASSET 拱壩崩潰之後，工址調查發現前所未知之弱面。意大利 VAIONT 水庫，因坍方致水庫之水潑出，越壩頂而下，造成慘案，事後工址調查，發現崩落之土石，停留在弱面之上，可能在史前已有滑移之前科。

英國(U.K.)南威爾斯，煤礦棄渣堆置緩坡上，多年之後，在豪雨後突然潰流至坡下之小學中，埋死學童一百多人。事後工址調查，發現：棄渣風化、軟化是主要原因；但工址性質特殊，棄渣與地表之接觸面水壓難於消散也是原因之一。

由此可見，工址調查，對追究災變之原因有其貢獻。

二、工址調查總論

2.1 工址調查之分段

工址調查，為工程作業之一部分，應配合工程作業之分段。

大規模之工程計畫，依序分為下列幾階段：

- (1) 踏勘(Reconnaissance)
- (2) 工程環境之評估
- (3) 可行性分析
- (4) 規劃
- (5) 基本設計與規範之制訂
- (6) 發包
- (7) 施工與細部設計
- (8) 維護與監測

大部分工程計畫，尤其規模不大者，不致有上述之分段，最小者，只有設計、施工兩階段。但無論如何，上述之分段，可以合併，但次序不得顛倒。

某大工程計畫，已經完成規劃，再從事工程環境評估，發現該工址係在一活動之坍方區內，整治極為困難，需耗費之金錢與時間，可能超過工程本身者，該一工程計畫只好另尋合適之工址。

就工址調查而言，最重要之原則為：

(1)工程作業之每一階段，皆需有工址調查：在舊式的土木工程作業，先辦工址調查，再行規劃，然後設計，最後施工，但在規劃、設計及施工之階段不再有工址調查，如此，經常在設計之時發現以前之調查不足或調查項目不合需要。現代工程作業之觀念，每一階段皆需有其工址調查，但範圍、精度及程度不同。

(2)愈是在前的階段，工址調查的

範圍(Coverage)廣

精度(Precision)低

程度(Extend)低而簡略

愈是在後的階段，工址調查的

範圍小，集中在主要結構之處

精度高

程度高而密集

至於範圍、精度、及程度之定義，請見2.2.1

(3)不同階段之工址調查，不得替代使用：例如，規劃階段之工址調查不足於供設計、施工之需，因精度不足；反之，設計及施工用之工址調查，也不足供規劃之用，因範圍不足。正如戰略地圖（小比例尺）不可作為營作戰地圖；而縫合所有營作戰地圖，並不等於一張戰略地圖，也不得作為營作戰地圖。

2.2 各階段工址調查之範圍、精度、與程度

2.2.1 定義

(1)調查範圍(Coverage)

工址調查之範圍，指調查之平面面積及深度。愈是在前之階段，調查範圍愈廣，但其投資比其後階段少。

(2)精度(Precision)

工址調查之精度，在地形測量及地質調查方面，以所繪製平面圖及剖面圖的比例尺表示之；在土壤與岩石試驗方面，通常以試體尺寸、試驗種類、試驗數量等等方式來表示。為提高精度，常需較精密之設備、訓練有素之技術人員，與較密集之調查作業。

(3)程度(Extend)

工址調查之程度，指調查工作對工址變異性及工程特性比未調查之前能增進多少瞭解。為提高程度，常需較多之投資、較高級之專家。

若以射擊比喻之，長射程大砲可以涵蓋較廣之戰區。精度較佳之中短射程砲或機槍，密集射擊一個比較小的地方，擊中目標之誤差較低。較多之砲，由較有智慧之砲兵司令，擬定周詳之射擊計劃，並供應較充裕之砲彈，可以造成敵陣較高程度之損失。

2.2.2 踏勘階段

(1)範圍

調查之範圍，及於影響到本工址的各種因素所在之地，及於受本工程影響之社會。甚至要勘查從事下一階段調查工作、人員、機具進出之路線，辦公、宿舍、倉庫之地點。

(2)精度

1/50,000，1/25,000為主，少數1/100,000及1/10,000。

(3)程度：

踏勘階段之工作，主要在調查概念之形成，常需要最高級之工程人員（例如總工程師）與最有學識及經驗的專家，提供最有價值之指導原則，指出以後需要調查之重點，並避免走進重大錯誤之方向。

2.2.3 工程環境評估階段

(1)範圍：

①河川集水區的全部（例如台灣任何一條主要或次要河川）或部分（例如大陸較長的河川或台灣主要河川）。

②距主要結構物（例如大壩、核電廠、甲級度量衡檢定所、戰略機艦基地、重要反應器實驗室……等等）最近一條活性斷層之遠端以內之地帶。

③距工址最近的強震震央以內之地帶。

④工址及附近可能受到洪水泛濫之範圍。

⑤造成工址地層變動、地質作用、大地應力之地層，其平面外界以內及立面下界以上之部分。

⑥可能影響到本工程之坍方或崩積土外界以內。

⑦風化、破碎深度。

(2)精度：

1/25,000，1/10,000為主，少數1/50,000及1/5,000。

(3)程度：

有利及不利條件（尤其指大環境之條件）之

澄清。

先進國家，有不少工程計劃，通不過工程環境評估而被迫中斷（不論工程環境以外之環境評估），因此，重大工程需自行聘請專家，澄清可能引起爭論之工程環境問題。

地質調查：只辦到一般地質調查及地表地質調查。

調查方法：應用遙測、航照、深孔鑽探及取樣試驗，但數量少；少數開挖調查。

調查項目：包括大地應力、活性斷層、震度、風化度及風化速率、地盤下陷率、水文變化率……等等，並初擬解決構想。

2.2.4 可行性分析階段

(1)範圍

找出技術上可行、財務上可行之各種方案，調查各方案（而不只是最佳方案）所在工址或路線，其調查範圍，一般而言，限於工址之內或受工程作業直接影響所及之界限以內，以山區公路為例，及於挖方可能引起坍方之外界以內。

進一步，照本階段調查精度及程度，擬出解決或控制上一階段（指工程環境評估階段）所找出的工程環境問題的可行方案，通常，要有幾個候選方案，而調查範圍，必須包括所有候選方案在內，不可咬定一個方案。

(2)精度

1/5,000, 1/2,000 (或1/1,000)。

(3)程度

工址工程性質之定性調查。

只要做到足供可行性分析，能證明技術上可行、財務上可行之程度即可，不必做到足夠選定那一個方案之程度。

地質調查：做出一般地質圖、地表地質圖、岩盤地質圖。

調查方法及項目：應用地球物理探測、鑽探、取樣、少數開挖調查、定性之室內及當地土壤及岩石力學試驗（例如分類試驗、工程性質試驗、貫入試驗、震測、抽水試驗等）。

2.2.5 規劃階段

(1)範圍：

就各候選方案加以規劃比較，最後決定一最佳方案。因此，調查範圍及於各方案所涵蓋之範圍或路線，大致與上一階段相同或略小。

(2)精度：

1/1,000至1/2,000。局部1/100至1/200。

(3)程度：

工址工程性質之定性至半定量調查。

地質調查：做出一般地質圖、地表地質圖、岩盤地質圖、與工程地質圖。

調查方法及要項：地球物理探測、鑽探及取樣、開挖調查（相當數量）、各種定性至半定量之試驗（當地及室內）。

2.2.6 基本設計階段

(1)範圍

工址範圍之內，尤其把重點放在主要結構物所在地及鄰近。調查深度，及於荷重影響小於10%（或5%）之範圍，如為深基（樁基、墩基或沉箱），則荷重係由深基之底面向下計算。

(2)精度

部份1/100至1/200，指需要設計的結構物、挖方、填方等部分。

(3)程度

工址工程性質之定量。

地質調查：做出一般地質圖、地表地質圖、岩盤地質圖、工程地質圖。

調查方法及要項：

- ①各結構物所在地及附近之詳細精密鑽探及取樣。
- ②各主要結構物所在地之開挖調查。
- ③周密之當地試驗及室內試驗，集中於主要結構物。
- ④模型試驗：只有最重要之結構物才需要。
- ⑤難型試驗：例如倒算(Back Analysis, 有譯之為反求法)、隧道或地下廠房之試挖、試填(Trial Embankment)等。

2.2.7 發包及投標階段

(1)範圍

投標者就以往之調查結果進行求證，有時並追加調查以製作：

- ①施工計畫
- ②替代方案

(2)精度

追加部分之調查，精度與基本設計相同。

(3)程度

就業主或其工程師而言，各種調查須足於制定細部設計及施工之規範。國內大多將規範之制定，歸於基本設計階段；而將發包與投標，歸之於施工階段，營造廠也很少在投標之前從事印證調查或提出替代方案。

2.2.8 施工階段**(1)範圍**

就開挖部分，辦理調查，製備平面圖及剖面圖，尤其注重與以前各階段（主要是設計階段）者比較。

安裝監測記錄儀器，從事監測、繪製適當比例尺之歷時曲線。

為檢驗施工效果，有不少測量、鑽探、試驗工作。

(2)精度

製備之地形、地質圖，其比例尺應與設計階段者相同(1/100或1/200)，以便套圖。

監測儀器之精度，通常很高，常達0.01mm，0.1kg/cm²，0.01g。

(3)程度

地形測量及地質調查方面做到可與設計階段完成者比對校核為度。必要時追加一些鑽探及試驗。

監測用之調查工作，需足於校核設計之假設。檢驗用之調查、測量、檢驗等工作，需足於判定施工之品質，使合格之施工通過驗收，不合格者廢棄重做。

2.2.9 營運及維護之階段

繼續監測工作，校核主要結構之安全。

可能有新生災變或破壞，需要相當程度之調查。

如有追加工程，視其規模從事不同程度之調查。如規模大者，可能又回到作業程序中的某一階段，重新開始一連串之工址調查。

2.3 工址調查程序

每一工程作業階段之工址調查，都應該有下列程序：

(1)已有資料之整理：包括前一階段工址調查結果之檢討。

(2)查看工地(Site Inspection)：攜帶已有之資料，前往工址比對，並對本階段工址調查工作，從事安排與佈署。查看工地與工程計畫之踏勘階段是不同的，不可混為一談。查看工地是為工址調查作準備；而工程計畫之踏勘階段，是為整個工程，從事最初步瞭解與協調，常牽涉到非技術性的人員與團體。

(3)初步調查：從事本階段工址調查之定性至半定量初查，以全面性、概括性之瞭解為主。一般而言，初查之鑽孔少而深，樣品之品質略低於詳查者。

(4)詳細調查：為本階段工址調查之定量詳查，或以較淺之鑽孔補充初查之不足，或補充鑽孔於重要結構物之處或地質複雜之處，樣品之品質高於初查者。

(5)調查報告之編印：每一階段之工址調查，皆應編印一完整之工址調查報告，以供該一階段工程作業之用。筆者常見不少工址調查，成果甚佳，但未集中編印成冊，易於散失。

2.4 各種工程之主要調查項目**2.4.1 一般性之工址調查要目**

本文擬就土木水利工程一般工址調查項目方面加以討論。筆者認為：每一種工程都有其特殊性，但也有其一般性及共通性，因此，有些工址調查項目是許多種甚至每一種土木水利工程都需要的。

(1)地形與地勢：尤其注意與工程有關之地貌及水系特徵。

(2)地質構造：包括原生地質構造、次生地質構造與軟弱夾心。

(3)土壤與岩石之力學性質及工程性質。

(4)工程環境：例如大地應力、活性斷層、地震、地下水、洞穴、大規模崩積土、地盤下陷、風化、侵蝕、礦坑等等。這些項目，常延伸至工址以外，甚至全在工址以外之遠處但却對工址有影響者。

(5)已有之工程：在擬使用之工址之內或其鄰地，可能已有一些工程結構物，當新工程開始之後，可能互相影響。

2.4.2 特殊工址調查重點

請參考洪如江(民國72年4月)"各種工程

工址調查之重點”一文(原載地工技術雜誌第2期)。在該文中會對各種土木水利工程之特殊工址調查重點加以討論。

三、遙測與航照判讀

3.1 一般性介紹

遙測與航照，為“無接觸式”(Non-Contact)工址調查方法；調查之結果常需經過解釋或研判之程序，才能得知工址調查所需要的項目(地形與地勢、地質構造、土壤與岩石之力學性質及工程性質、工程環境、相鄰工程之相互影響)；遙測與航照也是間接的調查方法之一。

遙測與航照，雖然是間接的調查方法，但是却有直接方法所欠缺的許多優點：

- (1)廣域性：可以看到工址的全景甚至包括工址相鄰地區之景象，避免見木不見林之缺點。美國陸地衛星四號(Landsat-4)一次取像可以涵蓋 $185\text{km}\times 185\text{km}$ 之範圍；法國測點衛星(Spot)一次取像可以涵蓋 $60\text{km}\times 60\text{km}$ 之範圍。
- (2)多波譜性：由人前往工址以肉眼、一般照相機、或普通測量儀器，從事調查之時，只能看到可見光(Visible Light，波長 $0.39\mu\text{m}\sim 0.77\mu\text{m}$)所顯示者。遙測與航照可採用可見光以外之波段，以拍攝工址影像，顯示其他方法所難於求知之象徵。美國陸地衛星四號(Landsat-4)之多譜掃描器(Multispectral Scanner Subsystem，簡稱MSS)及主題測圖儀(Thematic Mapper，簡稱TM)之波長及地物辨認重點如下：

波 段	使用波長， μm		辨認地物之重點或主要應用
	TM	MSS	
1 (藍光)	0.45~0.52		淺海(海岸)研究 土壤與植物之區別
2 (綠光)	0.52~0.60	0.5~0.6	水之固體物污染、植物健康
3 (紅光)	0.63~0.69	0.6~0.7	植物類別、土地利用 地質研究
4 (反射紅外光)	0.76~0.90	0.7~0.8 0.8~1.1	植物、土壤、岩石之區分
5 (中紅外光)	1.55~1.75		植物水份、岩石類別
6 (熱紅外光)	10.40~12.50		地物溫差、崩積土
7 (中紅外光)	2.08~2.35		水溫

- (3)視覺性：遙測與航照得以人眼所熟習之彩色相片或黑白相片呈現在人眼之前，而非以許多符號或圖形表示，使閱讀者印象深刻。
- (4)先驅性：在許多交通不能到達之深山，其地形、地勢、地質、與資源，未為人知，以遙測及航照之方法，即可拍得其影像、測得其特性，解除其神秘性。
- (5)快速性：當工址情況有迅速變化(例如坍方、淹水、震災、人禍等等)，派人直教蒞臨

當地調查，可能不夠快，而且難於掌握變化之過程。由遙測及航照可以迅速拍得全景，必要時並可連續拍照或定時拍照，以顯示當地情況之動態。以美國陸地衛星(Landsat-1, 1972-1978; Landsat-2, 1975-1980; Landsat-3, 1978-1983; Landsat-4, 1982-)為例，已由美國接收了一百多萬張MSS影像及一萬張以上TM影像；而由美國盟邦接收站所接收之MSS影像近三百萬張，TM

影像數千張；取像之地表面積超過三百多億“次-平方公里”(有些土地被取像多次)，平均每天取得之影像超過三百張。這些影像絕大部份已經做了處理及應用。除了衛星取像之外，還有航照數量也不少，由此可見遙測之快速性及大量性。

遙測與航照也有缺點，主要為：影像比例太小，解像力不高；以人造衛星所能拍攝之影像而言，美國陸地衛星四號(Landsat-4)，以多譜掃描儀(Multispectral Scanner Subsystem，簡稱MSS)取像者，最佳可得1:200,000之影像，地面解像力(Ground-Resolution)為79m；以主題測圖儀(Thematic Mapper，簡稱TM)，最佳可得1:100,000之影像，地面解像力為30m。惟民國74年升空之法國測點衛星(Spot)，最佳可得1:50,000左右之影像，地面解像力可達20m(MSS取像)或10m(全色)，其地面分離之最小距(Minimum Ground Separation)為10m或5m，且為立體。軍事衛星之地面解像力已到達什麼程度，雖然尚未公開，但眾信已接近1公尺。航照之比例尺較大，地面解像力也較高，但尚難達工程規劃(至少1:2,000)及工程設計(1:100至1:200)之需求。

3.2 遙測之原理

遙測，利用地表各種物體(自然或人造，有生命的或無生命的)之幅射、反射(電磁波)能力之差異，以空載(人造衛星、飛機等)感應器感應、記錄並顯示之，以辨認各物體之現象。

地球表面之物體，其幅射波(最大波長 $9.6 \times 10^{-6} \text{ m}$ ，亦即 $9.6 \mu\text{m}$)已屬紅外光(Infra-red)範圍，非人眼所能見之。因此，為辨認地表之各物體，可以熱紅外光掃描法(Thermal Infra-red Scanning)以接收地表各物體之幅射波，或用其他方法接收地表各物體之反射波。

熱紅外光掃描法對溫度變化甚為敏感，因此宜在地表物體溫度已趨穩定之拂曉時段實施之，並且，在此一時段，岩土與水之溫差最大，最適於分辨原生地層與崩積土層(飽含水份)。常用波段為 $4.5 \sim 5.5 \mu\text{m}$ 及 $8.5 \sim 13.5 \mu\text{m}$ 。

接受地表物體反射波以辨認各物體的方法，也可以分成兩大類：利用太陽光之反射波或投射人工電磁波。

利用太陽光之反射波，僅能在白天進行，通常以照像或攝影紅外光法拍攝地表物體之影像。受雲層之干擾。

投射人工電磁波至地表，再行接收其反射波之方法，目前在民用方面，以雷達波取像最為有效，日夜皆可進行，但為避免電訊干擾，常在夜間進行。不受雲層之干擾為其優點。

由於地表各種不同物體，在不同狀態下，對於不同之電磁波，具有不同之靈敏度，因此，遙測乃儘量利用此種特性，辨認地表物體之種類、狀態、及分佈。茲舉數例如下：

- (1)以 $0.7 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 反射紅外光投射取像，草皮反射最強、碎石路次之、土壤最弱；以 $0.6 \sim 0.7 \mu\text{m}$ 紅光投射取像，則碎石路之反射遠超過草皮及土壤(潘國樑，民國74年)。
- (2)以熱紅外光($10.40 \sim 12.50 \mu\text{m}$)投射取像，宜於黎明之時進行，因其時岩石與水之溫差最大，最易在影像上區分。崩積土含水多，散熱慢於岩石，於拂曉時分，陽光尚未照射之時，岩石經一夜之散熱，已較崩積土之水份為冷，故熱紅外光取像，最適於崩坍地、斷層帶之調查。

進一步資料，請參閱農委會(民國73年10月)遙感探測第四期“遙測技術在工程地質上之應用”，潘國樑(民國74年)“遙測在工址調查之應用”(台灣營建研究中心：工址調查)。

3.3 人造衛星遙測

1972年，美國發射地球資源衛星ERTS-1，揭開人造衛星遙測序幕。其後，美國發射Landsat-2至Landsat-5，飛行高度約七百至一千公里，以MSS及TM取回平面(Mono)影像，地面解像力最佳30m(TM)或79m(MSS)，其使用波段示於3.1(2)。蘇聯、印度、及法國也相繼發射民用人造衛星，即將發射者尚有歐洲、日本等國。

法國在今(1985)年發射之測點衛星(Spot)，航高832km，地面解像力為20m(多譜儀取像)或10m(全色態系統)，已逐漸接近超大

型工程計畫之最粗略需求。所用波段為：0.51~0.73 μm (全色態)，0.50~0.59 μm 、0.61~0.68 μm 、0.79~0.89 μm (多譜)。

3.4 側視雷達取像

由飛機載運側視雷達，飛行於航高約三、四千公尺之航線，向兩側地表投射微波(在 10^{-4}m ~ 10^{-1}m 之範圍內)，取得帶狀地表反射之數位化資訊，經資訊處理轉換成地表之帶狀影像，由多條航線所獲得之重疊帶狀影像，鑲嵌成地表之大區域影像。

地表高低不平，坡向不一，坡面與雷達波愈接近正交者反射愈強，坡面背於雷達波者為陰影，因此，側視雷達影像之最大功效在於研判地形、地質構造、線型、及水系等特徵。

側視雷達影像之比例尺約在1:100,000至1:250,000，地面解像力約30公尺，為介於人造衛星與航照之間的一種遙測方法。

我國台灣地區於民國70年間，由工業技術研究院礦業研究所委託美國 MARS公司完成台灣全島之側視雷達影像乙幅(比例尺1:250,000)，並經資料分析，製備比例尺相同之水系圖、線型圖、與地質構造圖各一幅。

3.5 高空航照

由U-2或RB-57飛機，裝置航照攝影儀器，在15,000公尺以上之航高拍攝地表之立體航照。影像之比例尺大約在1:125,000左右，最大為1:40,000。

高空航照，目前以軍事用途為主。

3.6 傳統航照

通常以慢速飛機裝置攝影機拍攝地表之立體黑白照片、普通彩色照片、紅外線黑白照片、紅外線彩色照片或熱紅外線照片。飛機航高大致在一千公尺至一萬公尺之間，照片比例尺常為1:20,000左右，我國台灣地區大部分已拍攝1:25,000黑白航照，放大為1:5,000並加繪等高線印行。必要時可降低飛機航高至300公尺左右，以拍攝1:1,000左右之航照。

以上所談論之航照皆為可供製圖者，若自行以攜帶式或手持式照相機，由輕型飛機或直升機上拍攝地表影像，則更為詳細但難用於製

備正確之正規地圖。

近年來，已發展出數位式照像、取像方法之航照，減少失真；便於資訊之保存及處理；製圖之比例尺得迅速變化；並可進行二次資訊處理，例如由電腦自動計算並繪製剖面、坡度、坡向、辨認地物等等；也可經由數位化之電話傳送航照至他地。

四、地球物理探勘

4.1 一般性介紹

地球物理探勘，量測地盤之物理特性(諸如傳波速度、電阻、密度、重力加速度、磁力等等)，並由這些物理特性在地盤中(水平方向及鉛直方向)之變化或異常，以研判地盤中之界面(例如層面、不整合面、斷層、洞穴、水位等等)或岩體及土體之工程特性。地球物理探勘，作為工址調查的方法，通常難於獨立應用，而需採用直接方法(例如鑽探、開挖、或當地試驗等)印證之，但可減少直接方法之數量。

表12.1 示工址調查中適用之地球物理方法。

4.2 震測法(Seismic methods)

震測法分折射法(Refraction Method)與反射法(Reflection Method)，常用於測定地中之界面。界面兩側之縱波速度(P-Wave Velocity, 或 V_p)或剪力波速度(S-Wave Velocity, 或 V_s)，須不相同，始能由此法測定界面。表12.2示各種物質之縱波速度。

震測法求出土壤或岩石之傳波速度之後，亦可利用理論公式計算土壤或岩石之彈性常數，例如：

$$E = \rho V_p^2 \cdot \left\{ \frac{(1-2\nu)(1+\nu)}{(1-\nu)} \right\}$$

$$G = \rho V_s^2$$

4.2.1 震測折射法 (Seismic Refraction Method)

震測折射法，通常在地表或近地表之某點引發(以炸藥引爆、氣錘撞擊、或重錘敲擊)地盤震動，然後量記震波由一次發震點(即原引發點)或二次發震點至測震點(或稱受波器)之傳波時間。由於發震點與測震點之距離一定，故能算得發震點至各測震點之傳波速度與

表12.1 工址調查中適用之地球物理方法(BS5930:1981)

問題	或 目 標	例	方 法 及 說 明
地質	地層上問題	土壤覆於岩盤上 ①砂礫覆於岩盤上，水位在砂礫下部 ②砂礫覆於岩盤上，水位在砂礫上部 ③黏土覆於岩盤上，上軟下硬海床	陸地： 震測折射法 電阻法 電阻法或震測折射法 海域：連續剖面震測反射法
	沖蝕問題 (洞穴問題見最後一排說明)	潛伏河道 潛伏沖蝕面(Karstic Surface)	震測折射法(效佳)或 電阻法(上覆地層之寬度須大於深度) 電阻法(等電阻線)
	地質構造	潛伏斷層、岩脈	電阻法(等電阻線，效佳) 震測折射法(效佳)或反射法 磁重力法(大斷層)
資源	水	資水層位置 海水界面	電阻法(效佳)或震測折射法
	砂礫	砂、礫覆於黏土	陸地：電阻法 海域：連續剖面震測；側向掃描聲納；迴音法
	岩石	沉積岩中之侵入岩體	磁測
	黏土	黏土包	電阻法
工程參數	彈性模數、密度、孔隙率	動態彈性模數 檢驗地盤改良效果	地表震測法求傳波速度、或加單孔或多孔之越孔震測。鑽孔地球物理檢測
	岩石可挖性(Rippability) 土壤腐蝕力	選擇開挖方法	震測(地表傳波速度) 地表電阻法 Redox 潛勢
人工埋藏物	電纜、管道等	陸地涵管 海域溝槽 海域管道	磁探儀 電磁場探測儀 迴音法；側向掃描聲納 側向掃描聲納；磁測；高速發震之連續剖面震測 (對半埋物特別有效)
	直坑、橫坑及洞穴	直坑、石灰岩空洞、礦坑	電阻法(效佳)；磁測(等磁線)；紅外線航照(限空地)；越孔法震測；詳細重力測量(適用於大規模空洞)

表12.2 各種物質之縱波速度(摘自 CLAYTON et al, 1982)

物	質	$V_p, m/s$
表土 (乾)		200~ 300
表土 (濕)		300~ 600
填方 (乾)		<1,000
填方 (飽和)		1,200~1,800
砂質黏土 (乾)		400~ 600
砂質黏土 (飽和)		1,300~2,400
沖積土及黏土		500~1,500
硬黏土 (微裂, 飽和)		1,000~2,500
水 (依溫度及含鹽量而定)		1,430~1,680
海水		1,460~1,530
粉土 (沉泥)		1,500~1,600
砂礫 (飽和)		1,600~1,800
砂頁岩		1,000~3,500
石灰石及白雲石		4,000~6,000
新鮮火成岩及變質岩		4,000~6,000
鹽岩		4,800~7,000

地層厚度。

圖12.1示震測折射法之原理，其中之下圖示水平之二地層系統，第一層之傳波速度為 V_1 ，厚度為 H_1 ；第二層之傳波速度為 V_2 ；S為發震點；1、2、3、……12為測震點（受波器）；A為震波接觸地層界面之點，SA為直接入射波，A1為反射波，AR為折射波；C為臨界點，即 $r=90^\circ$ ，而 r 為折射角； i 為入射角； i_c 為臨界入射角。在C點，反射波與折射波重合走向B點。在C點之右方，折射波沿界面向右走，並以界面為新的（二次）發震點（諸如E、F、G、H、……各點），由此二次發震點向上發出震波（稱為頭波，Head Waves）至地表而為測震器7、8、9、10、11、12所感受。ED(E7)、F8、G9、H10……等，皆為臨界折射波分別在地層界面所產生之頭波，但一般人亦稱之為折射波。各頭波皆與界面垂直線夾 i_c 之角(DIX,1939)。在CE之間，亦有臨界折射波所產生之頭波，但皆慢於地表直接波到達測震器。1至6之各受波器先感受沿地表之直接波，折射波（所產生之頭波）慢到；受波器7，沿地表之直接波(S7或SD)與折射波（所產生之頭波，亦即SC+CE+ED)同時到達；自受波器7之後，折射波先到，直接波後到。

將圖12.1(b)之各受波器與發震點之距離 x 為橫座標，以各受波器首到波之時間為縱座標，繪製 $x-t$ 曲線，示如圖12.1(a)之實線，可得二折線，第一段直線之斜率即為 $1/V_1$ ；第二段直線之斜率即為 $1/V_2$ ；二直線之折點在 $x=SD$ 之點。

例11.1 折射法震測結果如圖12.1，求解

(1)求 V_1 及 V_2

由圖， $x_7=SD=350m$ ， $x_s=0$

$$t_7 = 0.35 \text{ sec}, t_s = 0$$

$$\therefore V_1 = x_7 / t_7 = 350m / 0.35 \text{ sec} = 1,000m/\text{sec}$$

$$x_{12} = 600m$$

$$t_{12} = 0.475 \text{ sec}$$

$$\begin{aligned} \therefore V_2 &= (x_{12} - x_7) / (t_{12} - t_7) \\ &= (600 - 350) / (0.475 - 0.35) \\ &= 250m / 0.125 \text{ sec} \\ &= 2,000m/\text{sec} \end{aligned}$$

(2)求 H_1

$$t_7 = (SC + ED) / V_1 + CE / V_2$$

$$SC = H_1 / \cos i_c$$

$$ED = SC = H_1 / \cos i_c$$

$$V_1 = 1,000m/\text{sec}$$

$$CE = SD - SB$$

$$SD = x_7 = 350m$$

$$SB = 2H_1 \tan i_c$$

$$\therefore \sin i_c = V_1 / V_2 = 0.5$$

$$\therefore i_c = \sin^{-1} 0.5 = 30^\circ$$

$$t_7 = 0.35 \text{ sec}$$

$$\therefore 0.35 = [(H_1 / \cos 30^\circ) + (H_1 / \cos 30^\circ)] / 1,000 + (350 - 2H_1 \tan 30^\circ) / 2,000$$

解之得 $H_1 = 100m$

4.2.2 震測反射法

震測反射法，以往常用於海域、港區之調查。每條測線佈置12或24個受波器(Geophone)，炸點位於中央二受波器之中點(圖12.2)。炸藥引爆之後，各受波器測記直接波（炸點）及反射波到達時間。其原理示於圖12.3。

若地層之P-波速度已知，則各地層之界面即可求得。至於P波速度之求法有：

- (1)另由直接法測定之：有下孔法、越孔法、及孔內連續檢速（分別為Down-hole、Cross-hole、及Continuous Velocity Logging)。
- (2)由震測資料分析推估：有 $X^2 - T^2$ 法及 $T - \Delta$

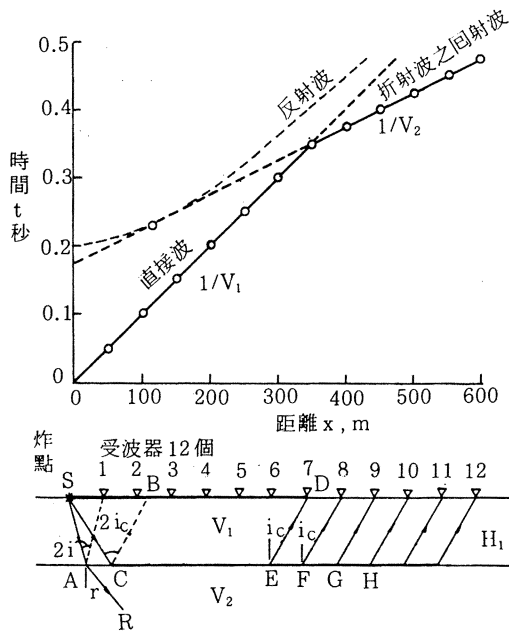


圖12.1 震測折射法之原理

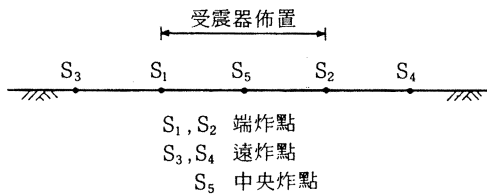


圖12.2 震測反射法之典型炸點位置 (CLAYTON et al, 1982)

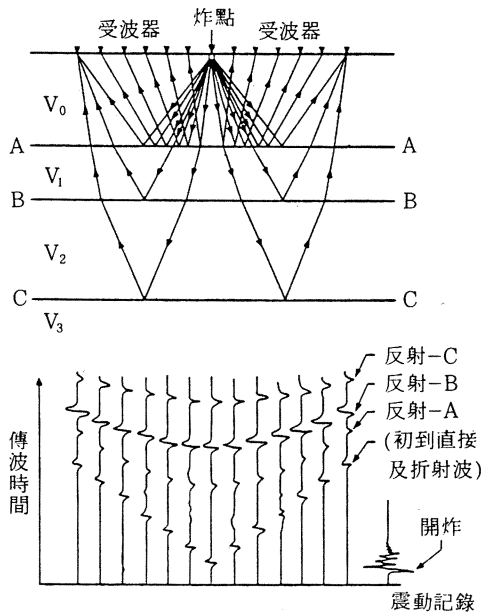


圖12.3 震測反射法原理示意圖 (CLAYTON et al, 1982)

T法。X為炸點至受波器之地表距離，T為其傳波時間。於 X^2-T^2 法，將記錄數據繪製 X^2 (橫座標)對 T^2 (縱座標)關係曲線，其斜率為 $1/V^2$ 而截距為 $4Z^2/V^2$ 。Z為反射界面之深，V為某反射界面以上各層速度平方和之開二次方根。於 $T-\Delta T$ 法，某一反射界面以上之地層的傳波速度可用下式算得：

$$V = \frac{X}{(2T_0 \Delta T)^{1/2}}$$

式中， ΔT = 某一反射界面T-X圖之正常移走(Normal Moveout)

X = 炸點至受波器距離

4.3 電探(Electrical Resistivity methods)

電探，常用於測定地下水位、地層界面等。通常在地表插入四銅棒為電極，如圖12.4之A、B、M、及N。通電於A、B二銅棒，量M、N二銅棒之電位差。表12.3示四銅棒佈置之不同花式。

電位差電極(M與N)間地盤之視電阻 ρ_a 為：

$$\rho_a = F_d \cdot R$$

或 $\rho_a = F_a \cdot \Delta V / I$

式中， F_d = 距離因素，見表12.3。

R = 電位差電極間地盤量到之電阻，其實是 $\Delta V / I$ 。

ΔV = 電位差電極(M與N)所量到之電位差

I = 電流極(A與B)所通過之電流

變化各銅棒之間距則可獲得許多 ρ_a 值。繪 ρ_a 對電極(銅棒)間距之關係曲線，是為“現場曲線”(Field Curve)。將現場曲線與理論曲線(Theoretical or Master Curves)比對，即可獲得各地層之深度及其視電阻。比對(Matching)或對圖之方法說明，略佔篇幅，不詳加

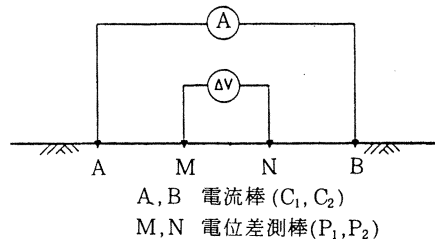


圖12.4 地電阻探測之一般電極佈置 (CLAYTON et al, 1982)

介紹，可參考有關之書籍，如 CLAYTON et al(1982)，有較為簡明之介紹。

表 12.4 示各種土壤及岩石之電阻，圖 12.5 示地下水鹹度與地盤土壤孔隙率對電阻之影響。

表 12.3 電探常用之電極花式種類

電極花式名稱	電極花式示意圖	距離因素	說明
Wenner		$2\pi a$	不適合有斷層、地下坑洞之地盤
Schlumberger		$\frac{\pi(L^2-l^2)}{2l}$	較不敏感 量測速度慢
Central electrode		$2\pi b\left(\frac{1}{a(a+b)} + \frac{1}{d(d+b)}\right)$	電流極不動， 量測速度快， 適合電阻變化大者

表 12.4 各種岩石、土壤之地電阻概值 (CLAYTON et al, 1982)

材	料	地電阻 (Ωm)
黏土		3~30
飽和有機黏土或粉土		5~20
沙質黏土		5~40
飽和無機黏土或粉土		10~50
黏質沙		30~100
硬質半飽和黏土及粉土飽和沙礫		50~150
頁岩、乾黏土、粉土		100~500
沙、礫		100~4,000
沙岩		100~8,000
結晶岩		200~10,000
良質結晶岩		1,000~10,000
岩鹽		71,100

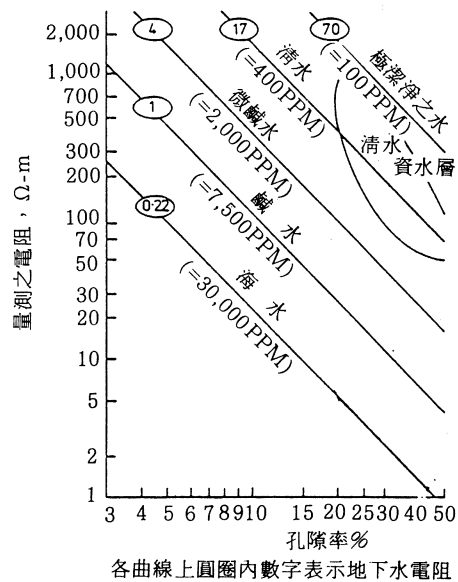


圖 12.5 地下水鹹度及土壤孔隙率對地電阻的影響(GUYOD,1964)