

# 第 1 章 大地工程導論 (近代土木水利工程技術 土木水利工程學會)

## 1-1 前言

隨著國內經濟發展與各種重大工程建設之推展，大地工程在過去半世紀以來無論在其複雜度與工作量上都有驚人的成長，本章將大地工程分成大地工探勘、大地工程試驗、大地工程監測、地盤改良、深開挖工程、基礎工程、邊坡穩定與保護工程、隧道工程、大地環境與大地資訊等十個項目、就國內大地工程師在過去這一段時間發展之歷程做一回顧並簡述未來所需面對之挑戰。

## 1-2 大地工程探勘

各類土木水利工程計劃皆須要大地探勘獲得的地質資料，以供規劃、設計、施工和維護運轉時之依據，而工程地質測繪、遙測、地球物理探勘、鑽探、開挖、現場試驗等皆是大地探勘應用之方法。

地表的工程地質測繪可以提供計畫相關地形、地層分析、岩性、地質構造以及水文等資料，為大地探勘之基礎，鑽探則是被應用最廣泛的方法，50 年代鑽探技術主要為岩層鑽探岩心取樣，採用的取樣器為單套或雙套岩心管。至 1969 年十大建設開始，鑽探技術主要為軟弱地層之鑽探及取樣，各種不擾動取樣方法及三套岩心管被引進應用，汽油桶構台式海上鑽探也被使用，1979 年十大建設完成後，十二項及十四項建設展開，特殊的取樣方法被採用，如中油的液化天然氣工程用大型海上固定架進行海上 150 公尺深孔取樣。1990 年六年國建開始後，鋼索取樣法被引進，使鑽探取樣的速度增快，2001 年坪林 TBM 隧道探查，以水平鑽孔 482 公尺了解地質狀況，長距離的導向鑽孔，可沿特定工程結構物之分佈，沿規劃之路徑鑽進，並取得岩樣，以進行地質研判及試驗，未來會大量應用於垂直孔或斜孔不易到達區域或有特殊路徑全程取樣需求之工程。

國道工程建設包括北宜高速公路、北宜高速公路蘇澳延伸段、國道南橫公路、國道東部公路以及高速鐵路等，在路廊評選階段中都應用遙測技術，1989 年最早應用於北宜高速公路工程的路廊評選，以航空照片判釋出路廊沿線崩場地分佈，以供選線之參考。交通部國道新建工程局更於 1994 年將遙測編入「大地工調查作業準則」中，成為一作業規範，將來遙測提供的資料解析度更高，也可發揮遙測影像大面積、周期性之特性。

在現地試驗方面，標準貫入試驗(SPT)在台灣使用的歷史已經非常悠久，如今乃至於可見之未來仍然可能是最普遍使用的現地試驗方法。圓錐貫入試驗(CPT)於 1980 年代被引進台灣，其功能並已結合孔隙水壓與下孔剪力波速之量測。由於台灣西海岸地表大多被砂土所掩蓋，現地試驗如 SPT 與 CPT 都是非常實用之工具，在填海造地品質檢驗與砂土液化潛能調查中大多以此兩種方法為主。傍壓儀(PMT)的使用歷史也有 20 年以上，但早期因為使用不當其結果並不理想，因此並未被普遍的接受，最近 5 年台北金融大樓工程與高速鐵路 220 至 240 標段都有使用傍壓儀來決定軟弱岩石之力學性質提供基樁設計之參數。地球

物理探勘方法尤其是非破壞式之探勘方法優點甚多，將是未來現地試驗方法發展重點之一。國內已有多位學者發展使用表面波做地層探勘之試驗方法。

### 1-3 大地工程試驗

大地工程室內試驗可以約略的分成兩大類來看，第一類是屬於大地工程材料(material element)單元工程性質之試驗。(以下簡稱單元試驗)，第二類則是大地工程物理模型(physical modeling)試驗(以下簡稱模型試驗)。單元試驗之目的在於確定岩石或土壤之力學性質，在試驗時通常假設試體所受之應力與應變是均勻的。模型試驗則是希望能夠於室內觀察大地工程系統在設計受力情況下其整體之行爲。在模型試驗中通常使用縮小之模型作為試體，試體內之應力與應變分佈通常是不均勻的。傳統單元試驗例如壓密、三軸與直接剪力試驗等在國內使用的歷史已有 30 年以上。隨著工程與學術研究發展之需要，國內在單元試驗儀器之功能與複雜度在過去 20 年間已有顯著之改變。在 1980 年代末期首先有資料擷取系統之引進將試驗數據紀錄自動化。當今幾乎所有學術機構與產業界都已全面使用電腦做試驗資料擷取。過去 20 年間國內學術界與部份之顧問公司也引進了動態三軸，扭剪與共振柱試驗，單剪、環剪與真三軸試驗之儀器，對工程技術之提升助益良多。隨著國際學術發展之趨勢，近幾年來國內學者也開始研發使用壓電陶瓷做 bender element，在三軸室內為試體進行剪力波速試驗以及為試體做局部應變之量測以決定大地工程材料之線彈性行爲，大地工程材料在小應變(小於 0.1%)情況下之勁度以及其與應變關係之量測將是未來國際間在單元試驗方面發展重點之一。

模型試驗在國內之發展比較晚，中央大學於 1990 年代中期建立全國第一座也是唯一之離心機試驗裝置，如今已能進行靜態之模型試驗。學術機構在過去 10 年間其他關於模型試驗之發展包括模型擋土牆用來進行橫向土壓力或加勁土壤結果行爲之研究以及在土槽(標度槽)內進行現地試驗或土壤改良來標定現地試驗結果或地盤改良設計之參數等。模型試驗最重要之缺點在於比例或重力以及邊界效應二影響。這些因素之確認或消除仍然是未來在模型試驗發展上之重點。

### 1-4 大地工程監測

早期大地工程監測主要目的是以施工之安全為主要目的，監測之對象包括深開挖以及隧道工程等，在過去 30 年間，台北市鐵路地下化、捷運系統、各種鐵路公路隧道施工、建築物地下室開挖、乃至於台北市基隆河截彎取直等與大地工程相關之施工大多使用監測系統，監測之內容包括地層橫向移動(傾斜儀)、相對位移(伸張儀)、沈陷、深開挖或其他擋土結構系統之受力(壓力元)與孔隙水壓等。在此一期間所使用之監測系統大部分是手動式，很少牽涉自動資料擷取系統。例如使用傾斜探管(inclinometer probe)、機械式伸張儀、磁環式地層下陷監測系統與開口式或氣壓式水壓計等。另一特點是這些監測大多侷限於施工期間，除非有特殊原因，在施工完成後監測工作即停止。現有之技術大多可以應付施工安全監測之需求，過去 10 年來受到國內地質因素、地震與颱風的影響，天然與人造

大地工程系統之災變不斷的發生，因此其穩定性或受力情況下行爲之監測也變得非常重要。有名的案例包括梨山地滑、林肯大郡邊坡崩塌、神木村土石流、集集地震期間之土壤液化、草嶺與九份二山地滑、藝術大學運動場邊坡崩塌等。災害防制監測之特性是其監測是長期的而且監測之地點經常是下易到達或不穩定之區域。因此監測系統可能必須是能夠做自動化連續之監測，數據必須做長距離之傳輸，以及具有事先訂定之預警機制。現有之感應器大多有能力從事自動化連續之監測，例如電子式水壓計以及孔內傾斜探管(in-place inclinometer)等。但是感應器等硬體耐用性、穩定之供電與訊號傳輸系統之改進是未來大地工程監測必須面對之挑戰。近年來光纖與電磁時域反射監測系統以及高頻無線通訊之發展爲此一挑戰提出了部分的解答。預警機制之建立需要經驗累積與理論分析之配合，這是未來大地工程監測在軟體面必須努力之方向。

## 1-5 深開挖工程

十大建設接近尾聲之時亦開展了台灣經濟的蓬勃發展，尤其是台北、台中、高雄等都會城市，各種大型建築物如雨後春筍般紛紛建立。在都會區由於可資利用的建地範圍有限，大型建築物需要的停車空間均只有住下發展，因此深開挖成了超高層建築的一個特色。

民國 65 年以前地下室開挖深度很少超過 8m 者，故開挖擋土結構以鋼軌加橫板及鋼板樁爲主，預壘樁因勁度較大亦時被採用，但價格較高，惟上述擋土結構之水密性均不佳。在台北市有些地質軟弱地區，在開挖深度接近 8m 時，因沿用以往常用之鋼板樁時造成災變，故勁度高，水密性較好之地下連續壁被大量的使用，特別是開挖深度超過 8m 的狀況，地下連續壁於民國 60 年首度採用 BW 工法，民國 61 年引入 ICOS 工法，其後 Kelly-Bar，MHL 工法等陸續被採用，由於 BW 工法需嚴密繁雜的施工品管，而 ICOS 之品管較難，故 MHL 工法在台北捷運的深開挖中被普遍採用。此外，爲克服岩盤及卵礫石層採用 BC-Cutter，及減少棄土處理 SMW 工法等。開挖之支撐大部採用內支撐，但爲了節省工期亦發展出來逆打工法及雙順打工法；對於大面積之開挖，在不影響鄰近建物的情況下採用島式工法。深開挖工程造成損鄰的案件層出不窮，最早的深開挖工程設計只考律檔土結構的安全，而無法了解檔土結構施工及開挖時對鄰近結構物如管線及建物的安全，但在電腦科技發達之後，分析的工具由於台北捷運之推動，由各國的專家引入，如 RIDO、FREW、彈塑性法、Pilewall 等，可以計算並採用監測系統量測結果作爲回饋分析之依據，大大的提昇了對深開挖工程行爲的了解。

目前有關深開挖工程的技術已累積有 30 年以上的經驗，規範亦趨完備，惟深開挖工程之災變仍時有耳聞，究其原因，以往是因地質調查不確實，設計因缺乏規範而失當，現在則以人爲之疏忽居多，如施工不當、設計者未了解採用方法之原意等爲主。改善之計可以落實技師簽訂著手。

雖然深開挖在國內發展的時間甚久，因台灣環境需求的關係，深開挖的經驗在國際上幾乎僅次於日本，深開挖所需的機械設備如連續壁鑽掘機等來自於日本居多，在深開挖工程所裝設的監測儀器甚多，可惜以低價的惡性競爭使得大多數工程的讀值無法使用。深開挖工程，由於民意高漲，對周遭環境的影響越來越被

重視，也被要求有更深入的了解，如房子傾斜幾度還可被接受，否則抗爭賠錢甚至停工。雖然分析工具亦很精密，但由於深開挖工程中未確定因素仍多，故仍需小心的設計，謹慎的施工，正確的監測資料，方能掌握對深開挖的安全。

## 1-6 基礎工程

我國基礎工程之演進對於建築構造而言，主要可概分為淺基礎與深基礎，淺基礎之運用由早期的獨立基腳、版基礎等，隨時代之進展、生活水準之提昇，以及如汽車開放進口等相關政策之影響，建築物容積與地下停車需求日增，而發展至筏式基礎之運用；後再隨建物樓高與重量之增加，且進十年來深開挖技術漸趨成熟，再逐步發展至樁基礎等深基礎工法之運用。

土木工程建設所運用深基礎之型式甚多，如圍堰、沉箱及基樁等；圍堰多使用於沿河海工程構造物，沉箱則常作為堤岸，跨河橋樑等構造物之基礎，此二者多隨港灣、橋樑與堤岸等公共工程建設之推動而發展，如十大建設、十二項建設與六年國建等推動期間廣泛使用，然隨重大公共建設之減少而顯得較為沉寂。

我國工程界最常運用樁基礎承載構造物，其發展與運用歷程甚早，可源自民國六十年推動之十大建設以前，木樁曾用於台北松山火力發電廠及北部火力電廠，主要為長度至 15 公尺頭部直徑 50 公分，尖部 20 公分之錐形樁。十大建設中亦大量採用雷蒙樁、PC 樁，如於南部火力電廠採用長 18 公尺直徑 50 公分之場鑄樁、預鑄樁與預力樁等，台電大林廠於民國 56 年採用雷蒙樁。

有關鋼管樁之運用，則約可溯自華江大橋興建工程於民國 55 年首次採用鋼管樁作為橋樑基礎，而台北大橋亦於民國 56 年，採用鋼管樁作為橋樑基礎，而台北都會區之高樓基礎亦由於噪音振動問題，不利於打擊樁之施工，因此開始採用反循環樁作為建物之基礎，或其他型式之基礎設計，如國泰仁愛路大樓則採用連續壁作為支承樁，而火車站前之新光三越大樓則採用擴作基樁作為基礎。

全套管基樁於十二項建設之北二高工程引進，主要用以克服卵礫石層及堅硬之岩盤，植入式基樁亦在反循環樁底污泥處理不易、全套管基樁費用太高、及打擊貫入式基樁易造成振動噪音問題等因素下，逐步受到採用。

另外，由近幾年之工程需求層面來看，未來將朝複合式基礎之趨勢發展，雖近期已通過相關規範，可於實際工程規劃運用，然因發展時間未足，於其力析技術方面仍尚未熟捻，故為後續可再強化研究之課題。

隨樁基礎之發展與運用，一般而言我國於設計及施工技術方面應已臻純熟且先進，然而或因設計與施工規範尚未及於發展過程，因此部分先進工法技術未能受到重視投入研發，因此後續應重視規範之適時訂定，以期相關工程之工法技術可受到良好之研究，發展與推動。

## 1-7 邊坡穩定與保護工程

邊坡穩定工程技術由早期主要由林務局、水報局等單位所處理表面保護或淺層破壞，逐步進展至交通部、國工局及公路局等單位所處理之深層破壞穩定與保護工法，其主要契機為如水庫、公路等重大公共建設之推動及山坡地開發利用之政策影響。尤其以國道與省道等公路系統建設期間，因路線通過之邊坡穩定需求，

因而引進相關工法、技術、材料與機具等。

我國於邊坡穩定工法方面之演進推展概為:削坡、格框、坡趾加重、地錨與岩錨、加勁工法、土釘、植生與生態工法。其中，擋土設施由早期的漿砌卵石、蛇籠等重力式之簡易擋土牆，後因混凝土材料之取得容易，而演進至懸臂式或扶壁式擋土牆，乃至近期因設計理念轉變而引進採用加勁式擋土設施或擋土排樁等擋土設施。

因邊坡穩定與保護工程技術經驗之累積，近年來工程師察覺更應逐步重視排水處理，如梨山地滑整治工程引用排水廊道、集水井等工法克服排水問題，以將邊坡破壞之形成因子於發生前即予消除或弱化，整治理念之轉變，使相關工法與技術更朝向破壞預防之方向發展。

另對於邊坡基礎地層之穩定工法，雖國外已行之有年，然國內仍僅有零星工程引進與推動，如台中地區工程近期採用之石灰固結工法，然因地下水問題其耐久性仍有待證實，因此本土化之邊坡基礎穩定工法與技術之發展，為有持續探討之價值。

未來，邊坡穩定處理與保護工程之推展趨勢，於規劃設計方面，主要有對環保與生態景觀之重視、預防重於治療、避免大挖大填之設計理念、柔性擋土設施之運用；並且無論是生態工法或是傳統工法，因其各有適用之時機與範疇，於規劃運用方面，將更應朝向適時適所等考量，並如有必要應考量複合使用，方能得到最佳效益。

一般而言我國對於相關工法技術之發展業已成熟，關於工法之再創新方面應較為有限，然而在材料與施工機具方面，其趨勢將配合設計理念之趨勢與轉變，採用對更環保及耐久之材料，並使用效能更高的機具，使相關工法技術之運用範疇更加擴展。

## 1-8 地盤改良

## 1-9 隧道工程

## 1-10 大地環境

## 1-11 大地資訊