

地盤下陷監測系統
SUBSIDENCE MONITORING SYSTEM

翁坤詩，郭文祥，林衍竹
K. S. Ueng, W. S. Guo and Y. C. Lin

原著載於營建知訊第135期，
1993年12月，56-70頁

*Reprinted from
Construction News No. 135
December 1993,
pp. 56-70*

SUBSIDENCE MONITORING SYSTEM

ABSTRACT

Serious Hazards of subsidence occurred in Taiwan recently, so the subsidence problems are noticed in public. But only few complete monitoring system are set up, due to budget limit in several projects. In this paper, monitoring instruments and measuring methods are introduced, and the complete subsidence monitoring system is suggested at last.

摘要

近年來台灣發生多起嚴重之沉陷災害，引起大眾之注意。但由於經費限制，目前尚無完整之沉陷監測系統。本文介紹了沉陷監測儀器及測量方法，並建議了完整之沉陷監測系統。

關鍵詞

沉陷監測儀器、測量方法、沉陷監測系統

地盤下陷監測系統

翁坤詩 *郭文祥*
***林衍竹

摘要

近年來不斷地傳出地盤下陷引起的災情，於是地盤下陷問題逐漸受各方所重視。但受限於經費及各相關研究單位重視的方向有所不同，因此一直未有一較具多功能之完整監測系統。本文將針對地盤下陷相關的監測儀器及量測下陷之各種方法加以介紹，最後並提出建立完整地盤下陷監測系統之建議。

一、前言

近年來因超抽地下水及工程施工等因素，台灣地區許多濱海地方均發生顯著之地盤下陷，民國八十一年雲嘉地區甚至因而造成農田被海水浸泡幾長達一個月之災情；民國八十二年高屏地區林邊石化工業區，亦因地下水之鹽化，無法取得工業用水被迫停工，損失不貲，故地盤下陷之研究乃刻不容緩，而監測是其中很重要的一

個研究項目。有鑑於此，本文將針對地盤下陷之監測系統加以介紹

一般與地盤下陷相關之監測項目包括：(1)總下陷量，(2)地表下各土層壓縮量與(3)自由水位與受壓水位。常用之量測方法與監測儀器種類如表一所示，茲分別於以下各節說明；最後並對如何建立完整之地盤下陷監測系統提出建議。

二、總下陷量之量測與監測儀器

總下陷量之量測方法主要有水準測量及遙測。

1. 水準測量

此係使用最早與最多之量測方法。國內外多數地盤下陷區亦多係先由水準測量之結果而證明了地盤下陷的發生。水準測量的測量點一般有淺層或地表之基準點（如圖一）以及深層之固定基準點（如圖二）二種。由於淺層之基準點可能亦有下

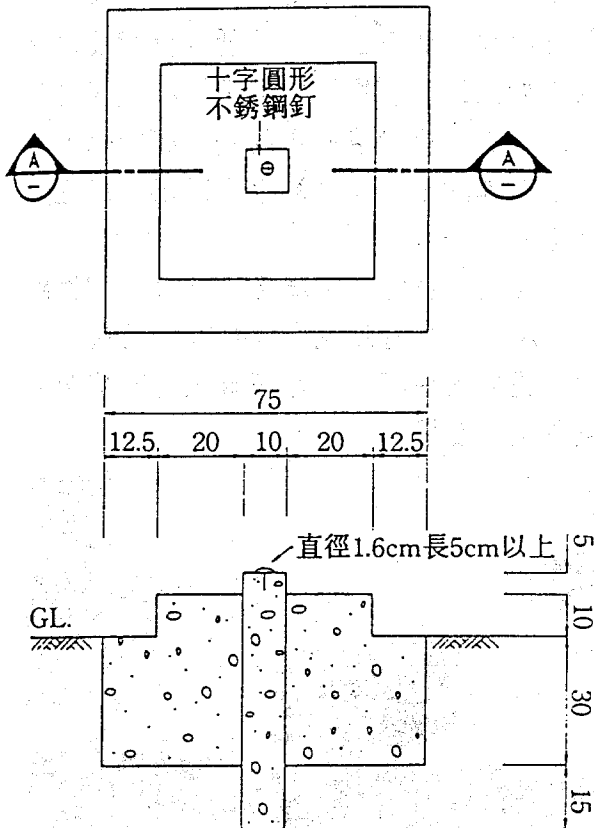
*亞新工程顧問有限公司

**亞新工程顧問有限公司

***國立台灣工業技術學院營建工程技術研究所

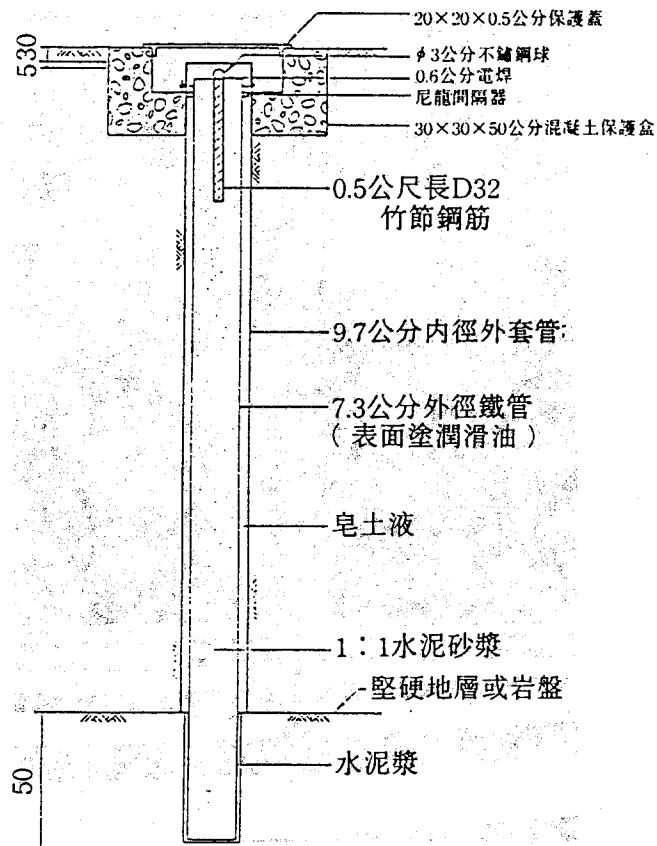
表一 地盤下陷之常用監測法

監測項目	量測方法
總下陷量	1. 水準測量：(1)採用淺層基準點 (2)採用深層固定基準點 2. 遙測：全球定位系統 (GPS)
土層壓縮量	1. 固定式鑽孔伸張儀：(1)單點式：a. 鋼管式 (a)單管(b)雙管(c)吊管 b. 鋼索式 (2)多點式 2. 探測式伸張儀：(1)金屬環感測(2)磁環感測(3)電波式
水壓力/水位	1. 觀測井 2. 水壓計：(1)水力式：a. 開口式 b. 閉口式 (2)電子式 (3)壓氣式



A-A剖面圖

S: 1/10 單位：公分



單位：公分

圖一 沉陷點之埋設示意圖

圖二 永久水準點裝設示意圖

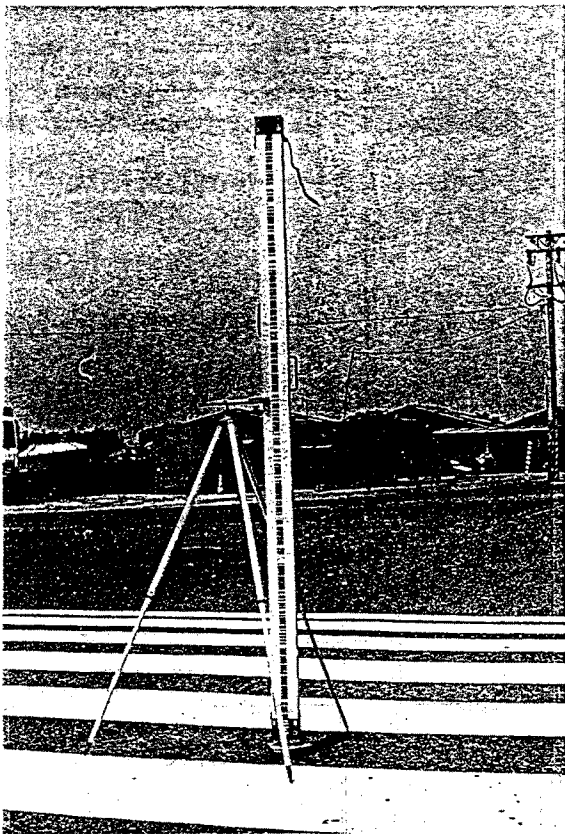
陷的情況，因此於下陷區進行水準測量時，應先設置深層之固定基準點。通常深層之固定基準點以埋在岩盤內最佳；但若沖積層甚厚，基準點應儘可能埋在不動層。以高雄中油LNG接收站為例，其不動層約在地表下160公尺~200公尺以下^[1]。不論淺層或深層之基準點，埋設時應考量向天空的通視性，儘量裝在空曠地區，即可同時作為全球定位系統(GPS)衛星測量之測點用。

水準測量之基點高程如位於地盤下陷區，常會變動，而地磁對測量儀的影響以及氣溫導致光線的折射引起每百公尺高差約有1至5公厘之高程誤差，這些誤差在下陷測定上尚可容許。然水準測量通常須由

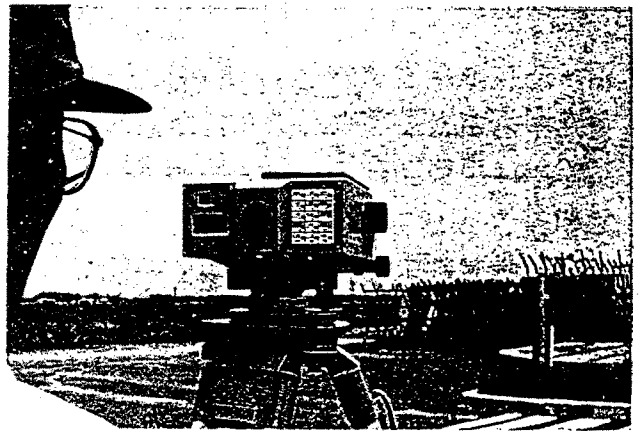
遠方基點測起，由於中途轉點多，累積誤差、儀器誤差，以及人為的觀測誤差在長距離的測定上，常不容忽視。在大範圍的下陷測定上，水準測量最大的限制在於速度慢及人工費用昂貴，但水準測量資料目前仍是監測站不可或缺之校正依據^[2]。

傳統之水準測量若要要求到地盤下陷研究之精度，則需要有經驗豐富之測量工程師，以配備有測微鏡(micrometer)之精密水準儀量測，方可達到一等水準測量之精度，即每公里往返閉合差在 ± 3 mm。近年來，有電子水準儀問世，其每公里往返閉合差可達 ± 0.4 mm，每次測讀之有效量測距離為1.8公尺至60公尺，天候良好時可達100公尺。配備之標尺為鈹鋼條碼尺(如圖三)，此種高精密度水準儀(如圖四)利用影像處理機與記憶體等先進設備，可迅速並自動測讀與紀錄標尺上之條碼讀數，並計算水平距離、高程與高程差。

採用精密電子水準儀，配合鈹鋼條碼尺與尺架，可有效減少人為誤差至最低程度，提高精確度，並且節省人力與時間，值得推廣使用。



圖三 精密水準測量，威特GICL2鈹鋼條碼尺之現場使用情形。其下為尺墊，其左之三腳架為尺架。(81.5.25，地點：中油LNG接收站門口)



圖四 精密水準測量情形。前景為威特NA3000電子式精密水準儀，遠景處為鈹鋼條碼尺。(81.5.25，地點：中油LNG接收站門口)

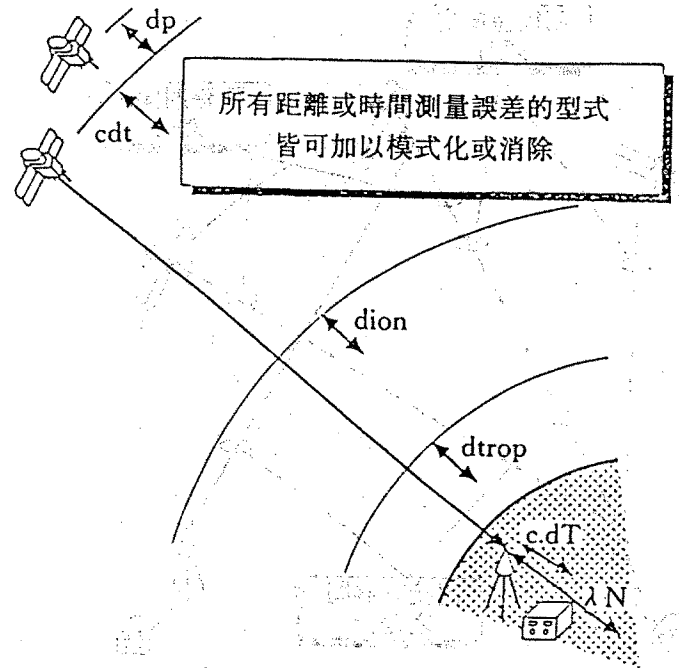
2. 全球定位系統

遙測法為目前正快速發展中之高科技量測法，具有快速測定廣大面積之最大優點。一般用於地盤位移之量測方法有全球定位系統 (Global Position System, GPS)，茲介紹如下：

全球定位系統乃美國國防部原為軍事用途而佈設的全球性全天候導航定時系統，由均勻分於6個軌道面的24顆衛星組成。軌道面傾斜角為 55° ，衛星高度約20,200公里，當全部佈設完成，在全球各地的任何時刻都可同時觀測到4顆以上衛星。GPS衛星測量即為接收GPS衛星發出的無線電訊號，以測定點位三維坐標的測量方法。目前（1993年6月）已有24顆衛星運轉中，在台灣地區可同時接收4顆以上衛星，且其仰角都大於 15° 的時間每天達24小時，故已能用於一般控制測量及每一時段需觀測較長時間的高精度地殼變形測量。

衛星定位測量乃由GPS接收器解碼而獲得航行訊息中廣播星曆，按其可計算衛星各時刻WGS84空間位置；同時觀測四顆以上已知的GPS衛星，接收器能輸出各載波播送天線到接收天線間之虛擬距離。再利用空間後方交會法，可近即時估計得接收天線相位中心之三維座標^(3,4)，因為虛擬距離源自電碼量測，其隨機誤差較大，加上廣播星曆所給的衛星位置偏差亦不小，單站絕對定精度約是95%正確到 ± 100 公尺⁽⁵⁾。

在國外與國內，惟有應用載波相位二次差相對定位法，方能達到高精度GPS衛星定位結果。道理是，相對定位方式利用（至少）兩台GPS接收器，同時間獲取電碼、載波相位數據。對共通性如圖五



dp：距離誤差

cdt：衛星時錶誤差所造成距離誤差

dion：電離層遲延誤差

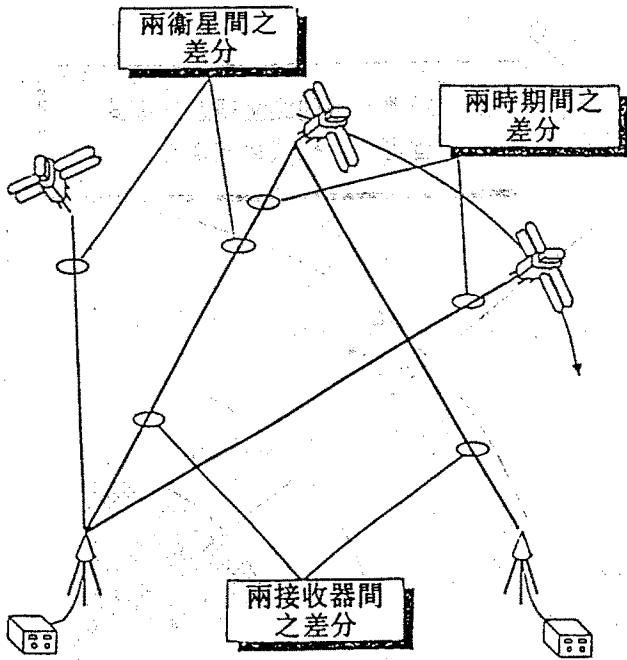
dtrop：對流層遲延誤差

c.dT：接收器時錶誤差所造成距離誤差

λN ：週波未定值

圖五 無線電波測距誤差示意圖

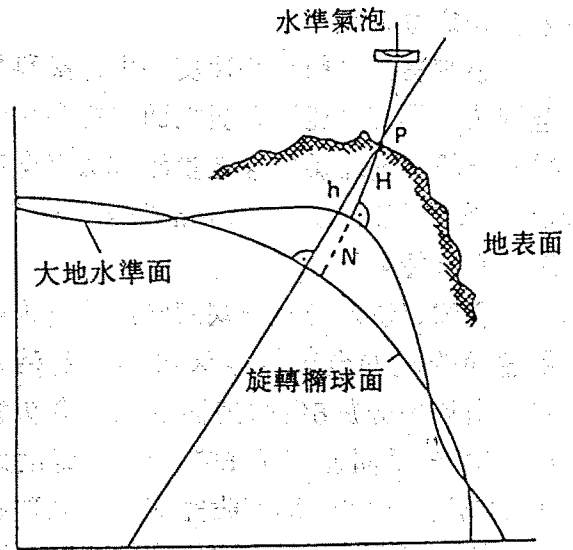
所示之軌道偏差，衛星時鐘誤差⁽⁶⁾、電離層、對流層路徑遲延及接收器時鐘誤差，可做二次差分處理，以消除該等誤差（參見圖六）；所以可以很準確地得到兩站間之相對位置，基線精度通常達 $5\text{mm} + 1\text{ppm}$ ⁽³⁾。只要是透空度好，GPS衛星與接收天線間視線（Line of Sight）條件成立，便是衛星微波測距幾何定位可資應用之時機。除了絕對定位和相對定位的區分外，按精度與時效需求，亦有靜態定位、快速靜態定位和動態定位之分⁽⁷⁾。靜態相對定位往往要處理5小時以上的載波相位數據，只有在非常高精度控制測量時，方採用靜態定位法求定基線端站之位



圖六 電碼、載波相位數據之線性組合的方式

置，因此觀測時間長，數據量龐大等是難避免的缺點。動態定位的優點則在於（近）即時性之幾何定位。陸上車輛、海上船舶、空中飛機與外太空低軌道人造衛星均是運動中載具，其空間位置可利用GPS電碼測距差分定位法來獲取^[4,5,8]。但因受限於可供觀測的衛星顆數，動態定位應用正緩慢普及中。GPS快速靜態相對定位法是將靜態定位之高精度和動態定位之即時性特點，加以整合。快速靜態衛星測量法日漸有取代傳統地面測量法的趨勢。

衛星高程測量方法是將一台接收器置於已知參考點上，藉衛星相對定位方法，便求得其他待定沉陷點的WGS84三維坐標。經過標準的坐標變換公式，可將該坐標變換成WGS84旋轉橢球體之大地經度，大地緯度和幾何高(Geometric Height)。另一方面，傳統水準測量所定的高



幾何高 = 正高 + 大地起伏

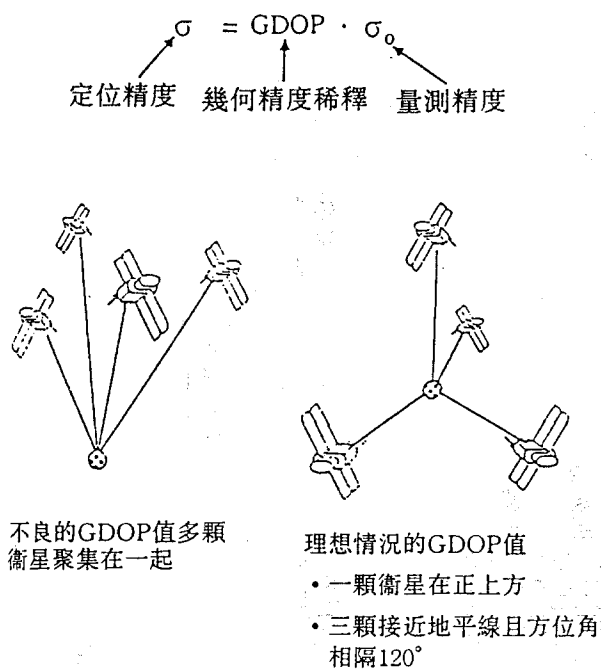
$$h = H + N$$

圖七 幾何高、正高和大地起伏之關係

程差異實代表地球重力場等勢面間差距。自水準基面起算的高程，又稱作正高(Orthometric Height)。點位幾何高與正高間的差值，即所謂大地起伏(Geoid Undulation，如圖七。對50km×50km地區而言，常假設各方向上大地起伏呈線性變化。

GPS衛星測量之精確度與測量時衛星的分佈狀況有極密切關係。定位精度之定義如圖八所示，若衛星聚集在一起如圖八(左)，就會得到不良的GDOP，則定位精度不佳；反之，若衛星分佈如圖八(右)，一顆衛星在上方，另有三顆分佈在四方且方位角相隔約120°，此為理想的狀況，定位精度便會提高。

亞新公司曾於1992年與1993年間，實地以GPS測量高雄永安地區大面積沖填土之沉陷，結果再與NA3000電子水準儀之測量結果比較，其均方根誤差均在2公



圖八 GDOP(幾何精度稀釋)之意義

分之內，證實GPS已能運用在地盤下陷之測量上^[8]。

三、土層壓縮量之計測

土層壓縮量之計測儀器主要可分成固定式鑽孔伸張儀和探測式伸張儀。說明如下：

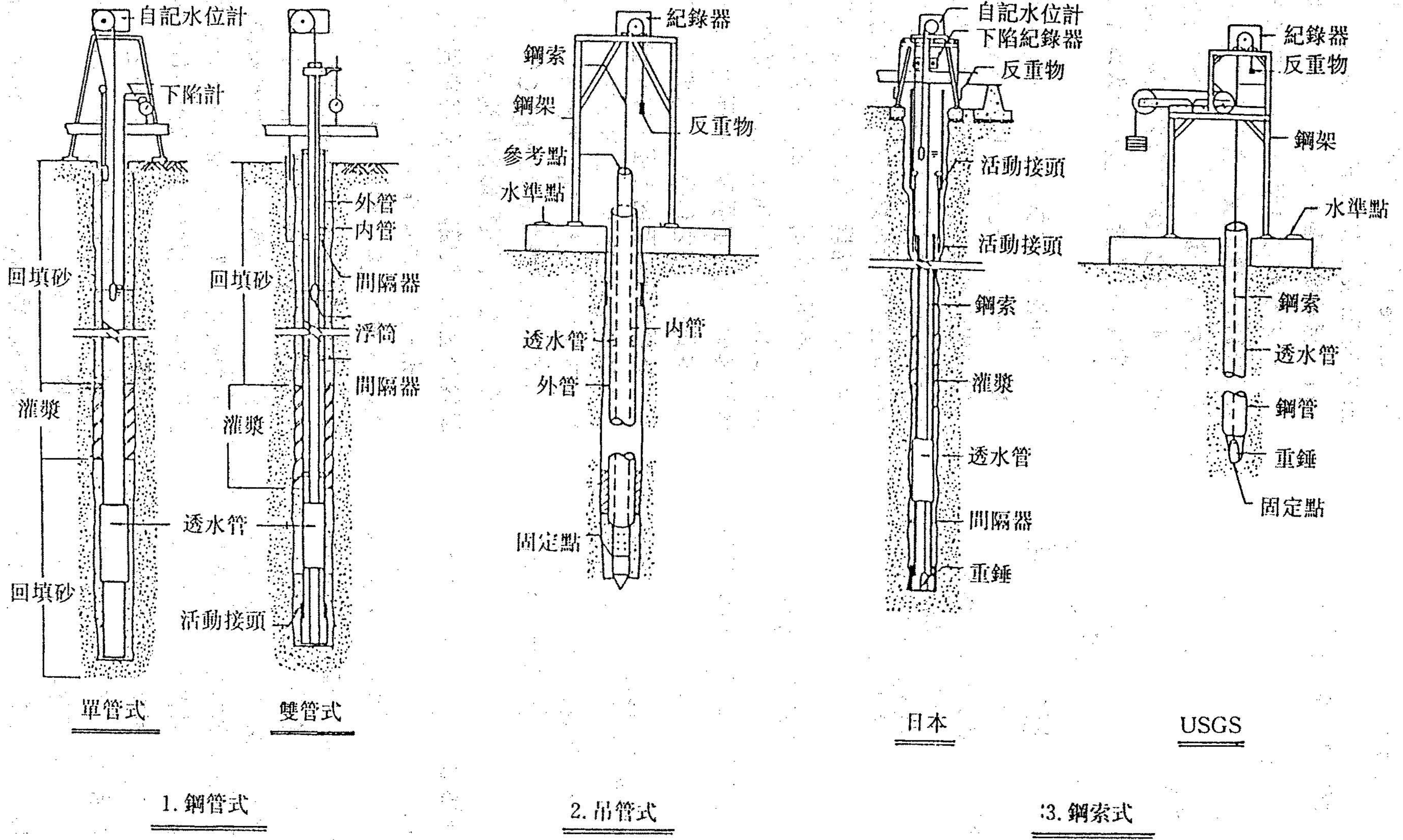
1. 固定式鑽孔伸張儀 (Fixed Borehole Extensometer)

固定式鑽孔伸張儀 (Fixed Borehole Extensometer) 係指固定裝設鋼管、鋼索或測桿於土層或岩石鑽孔中之儀器，量測時不使用移動式探測器 (Movable Probe)，而係量測固定點之間或固定點與地表之距離變化量，以得到土層之位移量。圖九為固定式鋼管與鋼索伸張儀示意圖，其中單管式因鋼管可能受土層與鋼管間之負摩擦力影響而向下移動，因此精度較差；鋼索式具有容易設置之優點，但鋼

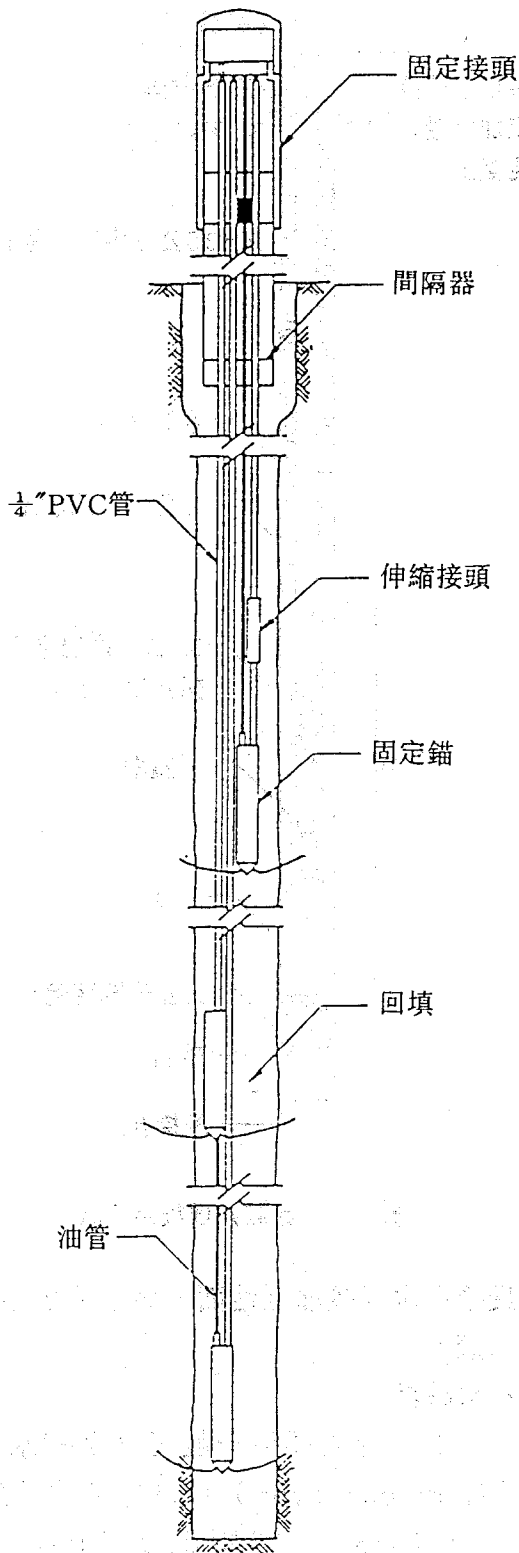
索 (Cable) 與外套管間之摩擦易影響量測之精確度；吊管式 (Free-standing Pipe) 係美國地質調查所 (USGS) 針對鋼索式之缺點改進而成^[9]，精確度高，工業技術研究院能資所曾於雲林縣口湖鄉裝設此種伸張儀一處^[2]，另外AIT亦曾於曼谷地區裝設此種類型之儀器，其裝設深度達400公尺左右，量測效果均相當良好。

另外國內常採用之多點式伸張儀 (Multipoint Borehole Extensometer) 亦屬於固定式鑽孔伸張儀之一種，圖十為其埋設方法示意圖及細部詳圖。多點式伸張儀每組可同時埋設多支內桿，以分別監測各土層之壓縮量，埋設深度係以不同土層之交界面為原則。伸張儀之量測係使用機械式測微尺 (Micrometer) 於地面上量測其測桿之伸出長度。相同測桿於不同量測時間所量測之伸長量差值即為其固定錨位置至地面範圍內土層之位移量。為考慮PVC外套管於周圍土層下陷時，將承受向下之負摩擦力，而向下滑動，以致可能將同時向下推動連結於PVC管底端之測桿固定錨，而嚴重影響量測結果。因此建議於埋設伸張儀時，每支固定錨之上端均裝設一支特殊伸縮接頭 (Telescoping Joint，參見圖十細部詳圖)，將固定錨與PVC管隔離，當PVC管向下滑動時不致同時向下推動固定錨，PVC管之允許滑動量約為30公分。除伸縮接頭之外，鑽孔之回填亦為裝設伸張儀時須考慮之重要因素。由於伸張儀係用來量測地表下土層之位移量，因此回填材料之壓縮性與強度應以接近原土層為原則，始可達到其量測目的。

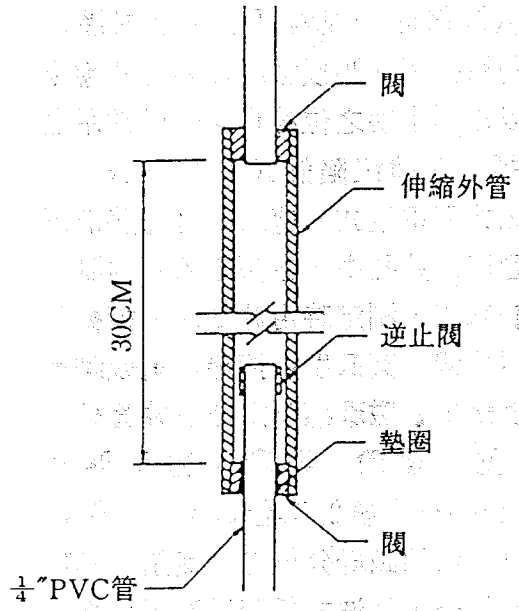
2. 探測式伸張儀 (Probe Extensometer)



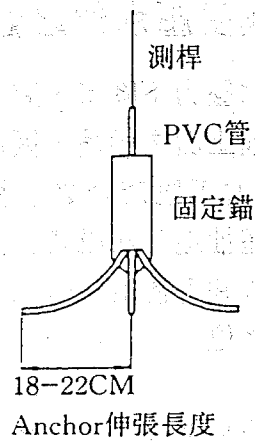
圖九 固定式鋼管與鋼索伸張儀示意圖



伸張儀埋設示意圖



伸縮接頭細部詳圖



固定錨細部詳圖

圖十 伸張儀埋設方式及細部詳圖

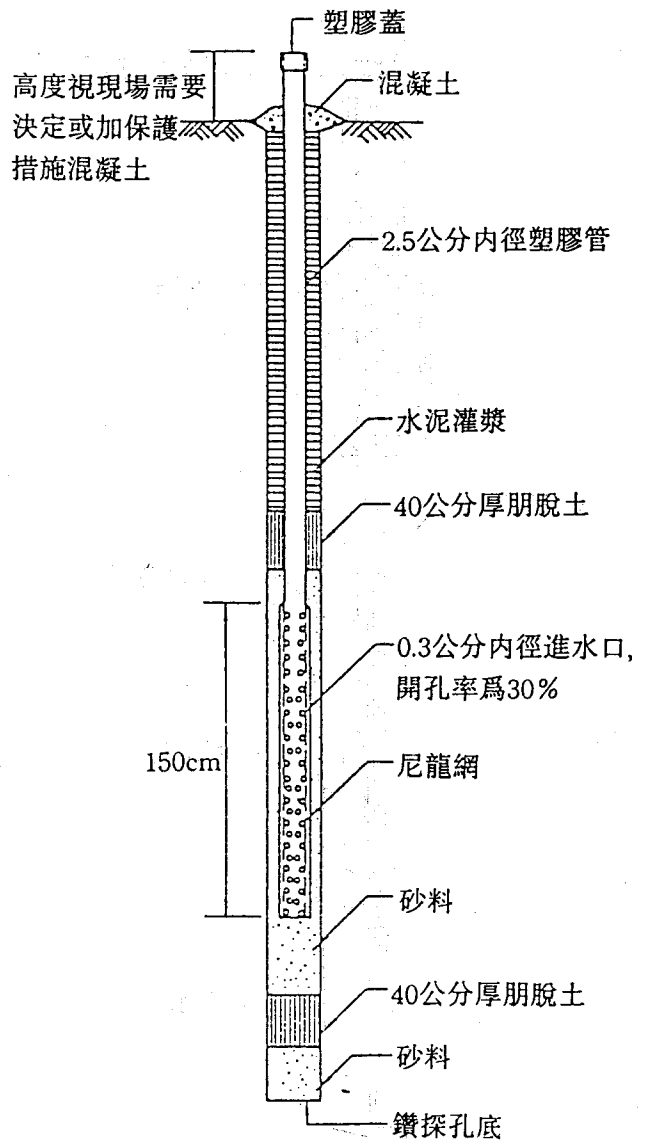
本項設備即一般常稱之感應式層別針，為利用探棒探測預埋鑽孔內之感應環位置，以得到土層之位移量。一般常用之型式包括：連續沉陷計式（Sondex）、磁環感測式與電波式。連續式是先將浪形伸縮槽管埋入井孔中，在預定探測的測點裝設不銹鋼環，測定時由井口放入探棒測定金屬環位置，其深度由探棒電纜或鋼尺上的刻度讀出。磁環感測式係在井管外圍套接多重磁鐵環，再利用磁簧開關（Reed Switch）檢測其位置。本法儀器構造簡單，然因磁場分佈有一範圍，其精度較差。另外，電波式係利用高頻無線電波（44MHz）感應井管外之軟磁環，再以探測器測定軟磁環中心位置，由指針左右偏轉以及鋼尺測深。探測式伸張儀之裝設較為困難，量測誤差亦較大，精確度較固定式差，較適用於土層縮量大的情況。

四、自由水位與受壓水位之觀測

土層中之孔隙水壓力下降時，將使其有效應力增加而引起土壤之壓縮，因此水壓力之量測亦為地盤下陷調查之重要一環，尤其是對於因超抽地下水或填土而引起下陷之區域，觀測井可使用在砂土層中以量測淺層之地下水位。

1. 觀測井

觀測井主要功能是量測自由含水層之水位，故一般而言，不致太深（大都在10公尺以內）。埋設之詳細圖如圖十一。觀測井之材料為內徑至少25.4公厘之塑膠管，管的底端以上1.5公尺段之管壁須加鑽進水孔，管外需包以尼龍網或不織布。回填的砂質礫石材料粒徑應在1公厘至5公厘間，所有砂料及膨土粒均須加以夯實，

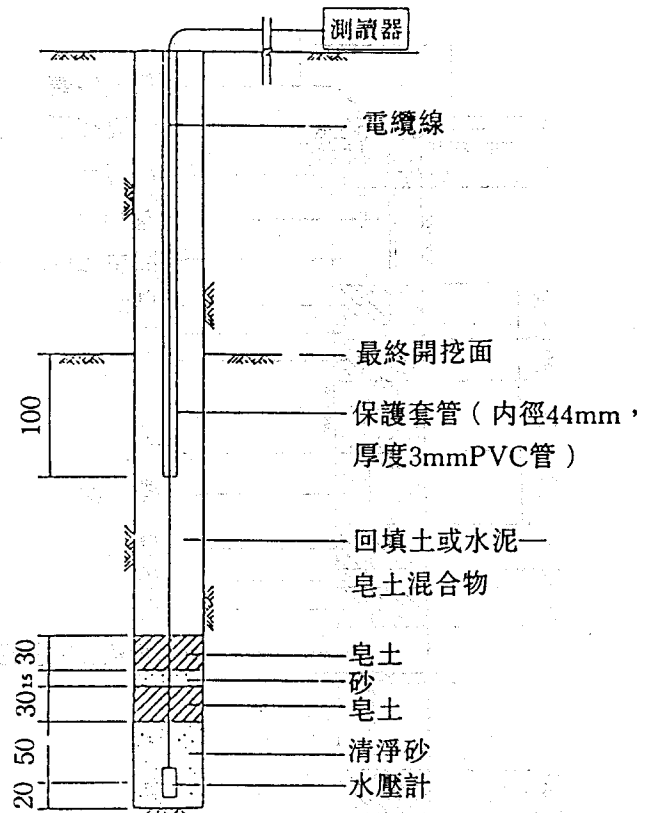
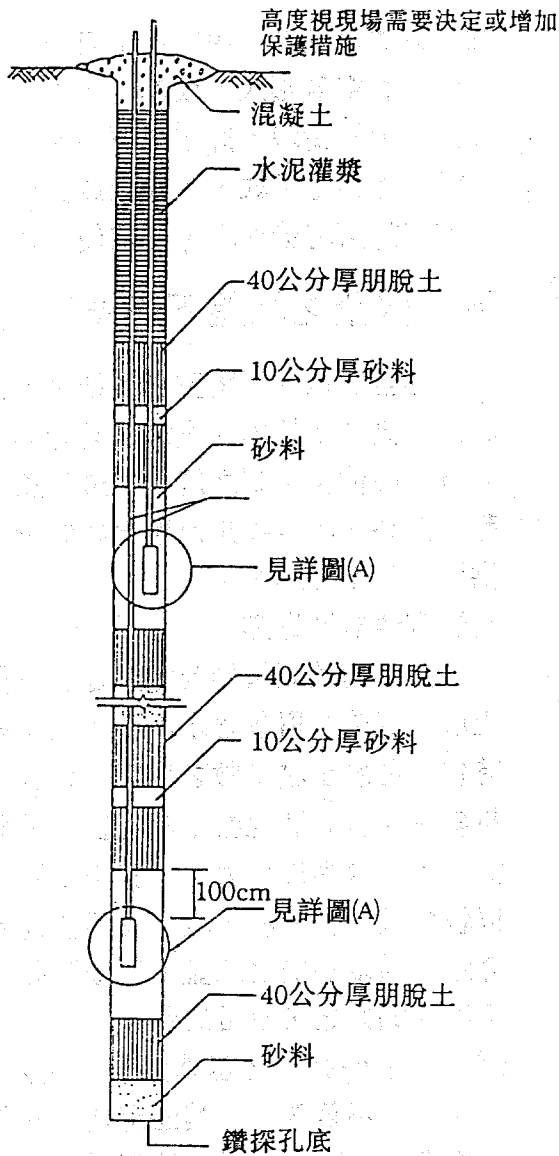


圖十一 觀測井埋設詳細圖

最後用水泥漿灌至地面，而後將塑膠管口加蓋。

2. 水壓計

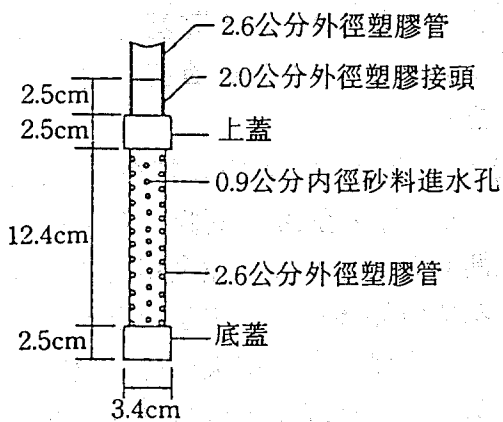
水壓計之種類一般可分為(一)水力式（Hydraulic Type），(二)電子式（Electrical Type），(三)壓氣式（Pneumatic Type）。其埋設方式大致相同，裝設之詳細圖分別如圖十二、圖十三、圖十四。三種型式之水壓計各有其特色，分別說明如下：



註：

1. 單位：公分
2. 裝設水壓計之土層與其上、下土層之交界處應參照圖示之方式以皂土封填

圖十三 電子式水壓計裝設示意圖

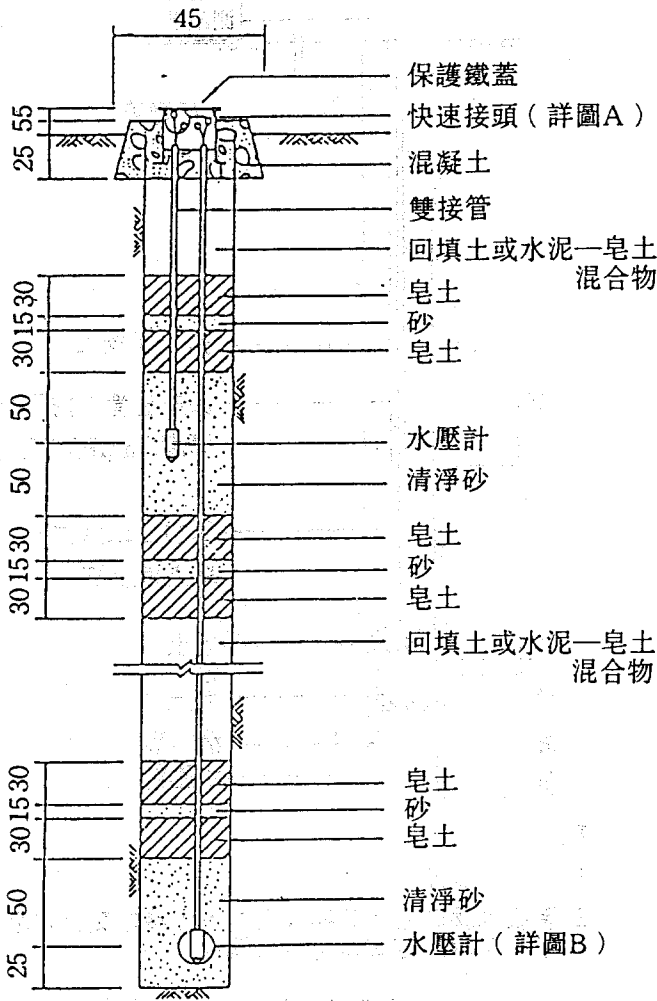


詳圖(A)

圖十二 水壓計裝設詳細圖

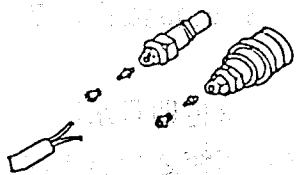
(一)水力式水壓計：此種水壓計因其成本最便宜，且其計讀設備也最平常（利用三用電錶或一般水位計即可），故使用率最高。但只適用於透水性較高之砂土層；若是低透水性的粘土層，則水壓力之量測最好利用電子式或壓氣式水壓計。

(二)電子式水壓計：本型的特色即是水壓計頭以電子式感應器取代傳統之燧石水壓計頭，其可迅速反應出水壓之變化，不論是砂土層或粘土層均適用。缺點是計讀設備及儀器成本較高。但近年來電子科技發展迅速，造價上逐日降低，已漸有普及現象。

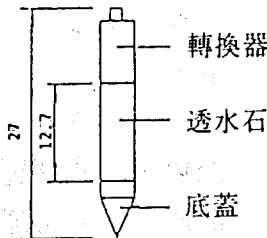


註：

1. 單位：公分
2. 裝設水壓計之土層與其上、下土層之交界處應參照圖示之方式以皂土封填



詳圖A



詳圖B

圖十四 壓氣式水壓計裝置圖

(三)壓氣式水壓計：由字面上可知，本儀器即是將空氣壓入，俟其打入之壓力與周圍壓力平衡時，計讀該壓力。本型水壓計功能如電子式，設備及成品亦相近，唯其計讀時較繁瑣，目前使用率較低。

五、健全之地盤下陷監測系統

健全之地盤下陷監測系統應包括良好的監測儀器及精確的量測，同時具備資料分析、評估及預測之能力，最後還需要完整之資料庫，以收集及整合相關資料，可供決策者參考運用。

1. 監測儀器及量測

完善的監測儀器應涵蓋總沉陷量、各土層之沉陷量與各含水層水壓之量測，同時包括各層土壤參數之取得，以利日後分析參考。各有關地盤下陷之監測儀器及量測設備綜合整理於表二。其中量測設備應以較先進、較便利、較準確為前提。本文介紹一種多功能之地盤下陷觀測井。地盤下陷觀測井之裝設目的包括：

(一)作為水準測量之基準點：中央內桿為1吋實心不銹鋼棒，其固定端位於各鑽孔之孔底，頂端則露出地面約75公分，可作為精密水準測量基準點 (Bench Mark)，以引測調查工作之各沉陷點高程。

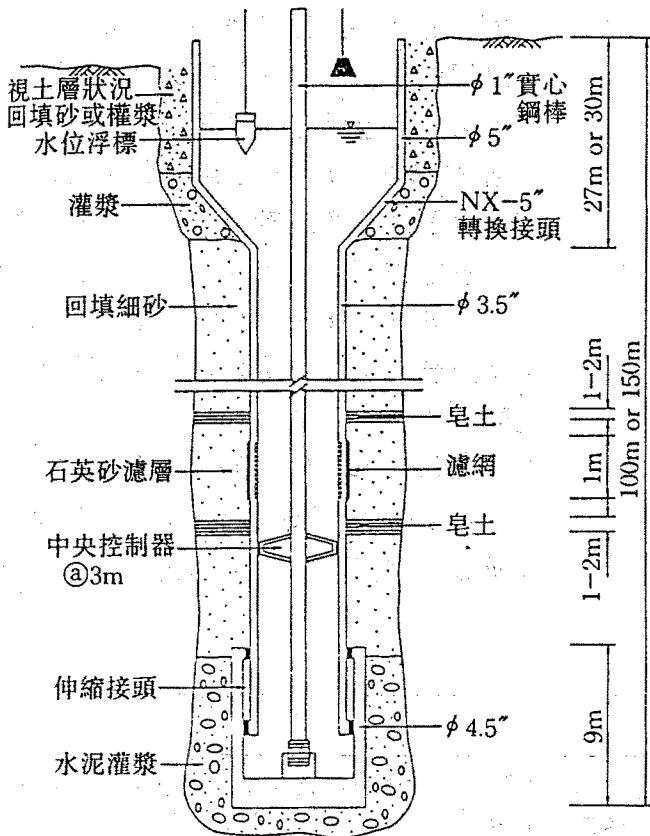
(二)水位觀測：本儀器外管為直徑3.5吋之NX套管，在適當位置穿孔，作為水位觀測井之進水孔，並利用自動式連續紀錄儀量測該位置之水位深度。

(三)沉陷觀測：利用中央內桿裝設電子式沉陷計 (LVDT)，以量測地表面與內桿之相對位移量。

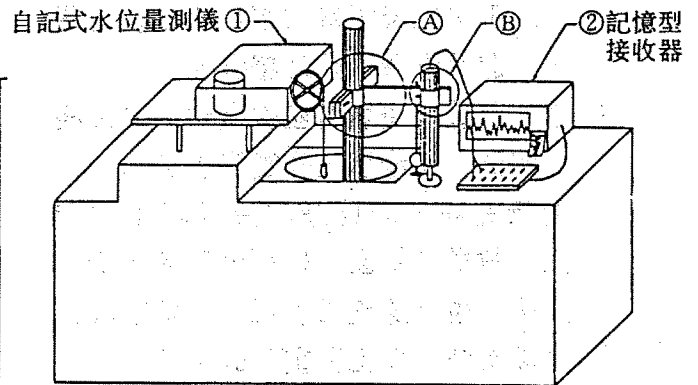
其埋設方法示意圖及平台配置圖分別參考圖十五及圖十六。

表二 地盤下陷監測儀器及量測設備

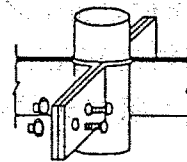
監測儀器	目的	量測設備
參考點 (深層)	沉陷量測基準參考點	NA3000 ; GPS
沉陷點 (淺層)	沉陷量量測	NA3000 ; GPS
鑽探	瞭解地層 / 取樣	旋轉式鑽機
取樣	實驗室試驗	劈管 / 薄管取樣器
多點式伸長儀	分層監測堀壓縮量	測微尺
水壓計	量測各水層水壓變化	水位量測計
地盤下陷觀測井	連續記讀水壓變化 連續沉陷變化	自記式水位計 自記式沉陷計



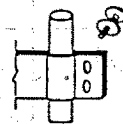
圖十五 地盤下陷觀測井地下系統構造示意圖



平台立體示意圖



Ⓐ：測桿固定詳圖



Ⓑ：測針固定詳圖

圖十六 地盤下陷觀測井平台裝設配置圖

2. 大地工程數值分析

大地工程理論分析模式之建立，必須有完整之資料及分析程式。就本項工作進行所需，依次有下列幾項：

(一) 土壤參數

進行地盤下陷之分析時應先取得適當之土壤參數，此必借重實驗室之試驗。一般而言，所需之試驗項目有一般土壤物理性質試驗、三軸壓縮試驗（ \overline{CIU} 和 \overline{CAU} ）、單向度壓密試驗及三軸透水試驗。其試驗目的如表三所示。

(二) 荷重狀況

施工中之浚填或抽水均將改變土層狀況，進而影響沉陷之趨勢。

(1) 浚填荷重：浚填所產生之應力增量相當明顯，而浚填工作實際上又非一次進行完畢，因此應收集其填土之時間、數量及範圍，以利分析。分析時則需考慮實際施工狀況，以多階段方式逐次施加填土荷重，計算地表下每一公尺位置之應力增量，再輸入分析程式中，以計算浚填荷重產生之沉陷量。有關浚填荷重產生之應力增量可採用亞新公司之MAA TEK應力分析程式求得，該程式係依據Boussi-

nesq (1885) 之均勻等向線性彈性理論解，求得矩形均勻荷重作用下之應力增量。

(2) 抽水之影響：台灣地區地盤下陷問題主要由於過度抽取地下水所致，因此分析時水位及水壓之考量亦為重點之一。水壓變化資料之取得一般是埋設水壓計，而後定期量測。但最佳之監測法應是埋設自記式水位計，連續記錄水壓之變化，以避免因監測時間間隔過長，遺漏監測空檔時的重大變化，以致分析錯誤。

有關水壓力之數值分析，吾等曾於永安地區利用SEEP程式^[10]進行水壓力之回饋分析，其所得結果與監測值比較，可得滿意結果，惟工程應用上，可於規劃階段，即依基地狀況及土層分佈，分別埋設水壓計以實際量測值求得各土層應力變化量，再代入沈陷分析程式中。如此，將監測系統功能與分析方法相結合，可提高沈陷預估可信度。

(三) 沉陷分析

取得上述各項資料後，即可進行沉陷分析。分析程式之選擇必須能符合過去所發生之沉陷史；亦即先進行回饋分

表三 實驗室試驗目的

試驗項目	試驗目的
一般土壤物理性質試驗	土壤之含水量、單位重、阿太堡限度、顆粒分析及比重以瞭解土壤之物理性質及分類之依據，並估算覆土載重
三軸壓縮試驗 (\overline{CIU})	粘性土壤之均向剪力強度參數 ($C, \phi, \bar{C}, \bar{\phi}$)
三軸壓縮試驗 (\overline{CAU})	粘性土壤之非均向剪力強度參數 ($C, \phi, \bar{C}, \bar{\phi}$)
單向度壓密試驗	粘性土壤之壓密 (C_v) 及體積壓縮係數 (mv)
三軸透水試驗	土壤之滲透係數 (k)

析，兩者大致相符時，再利用其建立之模式進行預測。

在沈陷分析程式之應用上，目前工程界已有多種程式可供應用，其中 CONSOL 程式係由 Wong 及 Duncan 所發展⁽¹¹⁾，它採用隱性有限差分法 (Implicit Finite Difference Method) 來解 Terzaghi 的單向度壓密方程式 (One-Dimensional Consolidation Equation)，其曾於台中火力發電廠⁽¹²⁾及中油 LNG 廠⁽⁸⁾ 沈陷分析時使用，並與監測結果進行比較，並得合理之結果。

預估沉陷量非常重要，因為它是設計者與決策者於工程規劃及設計之初，用來考量沉陷問題的重要參數；由此預估的沈陷量可避免設計者過於保守或冒險的設計，而造成日後施工成本的浪費。CONSOL 程式雖足以適用於單向度壓密之分析，但尚無法運用於三度空間問題的解析，此需大地工程界先進及同仁共同努力方可達成。

3. 建立資料庫

由於地盤下陷監測系統所取得之監測資料，其種類及數量龐大，故應做有系統的分類及彙整，以方便使用者或決策者查詢與利用。近年來，引進之地理資訊系統 (Geographic Information Systems, GIS)，即為結合了圖形與屬性等空間資料的電腦化系統，因功能強大而廣受歡迎與運用。地盤下陷資料庫亦可以 GIS 為架構，將不同類型之資料，建立於共同座標系統下，以便於輸入、儲存、管理、操作、分析及展示。因 GIS 具疊合分析之能力，亦即可以對數種不同類型而涵蓋同一地區之數層資料進行綜合性分析，並提供環境資源之規劃及管理方面的決策支援，避免傳統使

用類比圖形資料中易發生主觀及遺漏之缺失。且因系統中儲存之資料均為數值化，因此資料之更新及補充更為快捷與方便。

六、結論

健全的地盤下陷監測系統應具備良好的監測儀器與先進之量測設備；監測的對象應包括總沉陷量、各土層之沉陷量、各含水層之水壓及各土層之工程性質。地盤下陷之監測為一長期性之工作，資料量龐大，故需一多功能之電腦系統，將其分門別類地儲存，而後進行大地工程數值分析，甚至預估沉陷量，以供決策者與設計者參考。然而目前仍有許多問題尚待解決，也有許多技術尚待提昇，譬如：

- (一)如何發展一些儀器及設備，可以更有效、更準確、更快速地量測沉陷量。
- (二)如何發展更完善的大地工程分析模式，以精確預估沈陷量。
- (三)如何發展專家系統，解決資料庫與決策者之界面問題，並將地盤下陷資料庫建立得更完善。
- (四)如何發展警示系統，以供決策者處理地盤下陷問題，並降低其危害性。

以上各問題皆需結合各相關領域的專家學者，合力研發，方可達成。

七、誌謝

本文部份資料係取自行政院公共建設督導會報委託亞新工程顧問公司進行之有關地盤下陷研究工作報告，承該兩單位准許發表引用，特此誌謝。潘國樑博士、秦中天博士、顏東利先生以及陳江淮先生對本文提供不少寶貴意見，敬表謝忱。

參考文獻

1. 亞新工程顧問公司 (1992), "台灣各地區地盤下陷研究(-)", 行政院公共建設督導會報專案研究計畫成果報告。
2. 李伯當和黃鎮台, (1992), "地盤下陷監測方法之探討", 土工技術, 第36集。
3. Wells, D., Beck N., Delikaraoglou, D., Kleusberg, A., Krakiwsky, E. J., Lachapelle, G., Langley, R. B., Nakiboglu, M., Schwarz, K. P., Tranquilla, J. M., and Vanicek, P., (1986), "Guide to GPS Positioning", Canadian GPS Associates, Fredericton.
4. Leick, A., (1990). "GPS Satellite Surveying", John Wiley and Sons, New York.
5. Brown, A., (1989). "Extended Differential GPS", Navigation, Vol. 36, NO. 3, pp.265-285.
6. Interface Control Document ICD - GPS - 200, (1987), Rockwell int'l Corp., Downey, California, pp.66-86.
7. Beutler, G., Gurtner, W., Rothacher, M., Wild, U., and Frei, E., (1989), "Relative Static Positioning with the Global Positioning System: Basic Technical Considerations" Proc. Int'l Asso. of Geodesy Sym. 102, Eninburg, Scotland, pp.1-23.
8. 亞新工程顧問公司 (1993), "台灣各地區地盤下陷研究(二)", 行政院公共建設督導會報專案研究報告。
9. Lofgren, B. E., 1976, "Hydrogeologic Effects of Subsidence, San Joaquin Valley, California," Proc. 2nd Int. Sym. Land Subsidence, Anaheim, California, pp.113-123.
10. Geotechnical Engineering Department, University of California, Berkeley, California, (1975), "SEEP", User's Guide.
11. Wong, K. S., and Duncan, J. M., (1984), "Consol: A. Computer Program for 1-D Consolidation Analysis of Layered Soil Masses", Manual.
12. 亞新工程顧問公司, 1992, "台中發電廠第五至八號機工程相關之土壤試驗及基礎分析工作, 第二期工作報告", 第一冊, 台灣電力公司核能火力發電工程處, 169頁。