

土壩工程監測系統之設計探討

鄭文隆*

一、前言

壩者，乃阻水之工程結構物，其規劃之目的在於利用集水，蓄水，抬高水位之方法而達到灌溉、給水、防洪、航運、及發電等功能。其表現之結構型態又因壩址附近築壩材料取得之難易，壩址之地質、地形條件等之不同而可能有土壩、土石壩、混凝土重力壩，混凝土拱壩等之不同。在這許多種壩中，由於土壩興建時所需之地質條件較具彈性，且築壩材料易於取得，壩體又較輕，對地震活動的抗危害力也較大，因此被採用的機會也較大。以臺灣地區為例，自二十世紀初期迄今共興建近六十個壩中有半數即是屬於土壩類型，由此亦可見土壩在臺灣地區之適用性大於其他各型壩體。

由於土壩之興建乃大規模填方，且營運期間將執行蓄水、抬高水位等巨大環境項目改變，故興建一壩將導致土地環境大程度改變是可想而知的事，而土地環境實與生態環境為一體兩面之事；故如何確保此水庫之興建不致造成生態環境不良影響乃規劃工程師應思考的項目之一。在此所謂之不良影響應即指水庫興建中乃至蓄水營運期間因壩體工程失敗所引致之下游居民財產生命安全顧慮。若從工程經濟的觀點，興建一水庫動輒數十億乃至百餘億，為確保工程之耐久性以及修補時機的掌握亦應將工程機能追蹤項目列入設計考慮之中。此種追蹤工程結構物機能的設計即是本文以下所欲討論之監測系統，由於監測系統的存在，不但提供了設計者在設計時可引用較恰當的安全係數，亦對水庫管理單位於營運期間提供了狀況掌握的能力，更對下游生態活動提供了信心及預警的保證。也因為這種因素，故愈是高大的壩工設計，其監測系統所扮演的重要性也就愈大。以我國臺灣地區為例，石門水庫、曾

文水庫、東興水庫、鳳山水庫、明德水庫、新山水庫、白河水庫、翡翠水庫、仁義潭水庫等大型水庫之主壩裏均設計有監測系統。由於各種不同材料所築造之壩體中所應設計之監測儀器自不相同無法一併敘述，故本文僅就臺灣地區採用最普遍之土壩中所配置之監測系統，如圖一所示，就個人參與之經驗提出討論。

在一完整的土壩監測系統中應包含有之儀器有水壓計、土壓計，層別沉陷計，傾斜變位計，水平變位計，漏水量量測儀器，表面沉陷觀測點，地震儀等設計，以及控制樁，觀測站等附屬設施。由於壩工監測儀器的發展已有多年歷史，因此上述之各種儀器均有為數甚多的類型可供工業界選擇使用。不同類型設計的產生或因針對特殊功能而設計，或因抄襲而變化某特徵，但對設計者於選用時所必須考慮的要點則是不可變的。換言之，儀器的上市均經過無數次的試驗嚐試及使用者的肯定方能確定其在世界市場的價值，故基本上，名牌的儀器大都有其最基本的功能和使用信心，所不同者，乃在於設計師於選用時應先考慮所面臨的工程在規劃中有什麼樣的狀況需要此監測儀器來輔助配合，而由此欲得之預期要求再去選擇最適用的儀器則應是最佳設計要領。倘若道聽塗說，選擇一項全世界銷售最廣，或最精密，甚至價格最高者作為所面對工程的設計，則將造成浪費或不適用的現象。當然，以上所述乃指名牌儀器而言，但對一般廠牌之儀器亦非全無是處完全不可用，只要設計者針對其功能作一番蒐集和了解也當有異曲同工之妙。一般來說，對監測儀器的選擇，以下幾個項目是必須被考慮的；(1)儀器的可信度；即儀器之感應方法，讀數顯示等表現於原理上的設計。(2)簡單性；愈是設計簡單的儀

* 國立臺灣工業技術學院營建工程技術系副教授

| 水庫 | 監測儀器項目 | 水壓計 | 土壓計 | 層別 沉陷別計 | 傾變 斜位計 | 水變 平位計 | 漏水 量測設備 | 表沉 面點 | 地震儀 |
|-------|-------------|-----|-----|-------------|-----------|-----------|------------|----------|-----|
| 新山水庫 | 電氣式 | ✓ | — | 機械式, 電氣式 | — | 電氣式 | ✓ | ✓ | ✓ |
| 石門水庫 | 氣壓式 | ✓ | — | — | — | — | ✓ | ✓ | ✓ |
| 寶山水庫 | — | — | — | 電氣式 | — | — | ✓ | ✓ | ✓ |
| 東興水庫 | 水壓式, 電氣式 | ✓ | — | 電氣式 | — | 電氣式 | ✓ | ✓ | ✓ |
| 明德水庫 | 水壓式 | ✓ | — | 機械式 | — | 電氣式 | ✓ | ✓ | — |
| 白河水庫 | 水壓式 | ✓ | — | 機械式 | — | 電氣式 | ✓ | ✓ | — |
| 曾文水庫 | 水壓式 | ✓ | — | — | 電氣式 | — | ✓ | ✓ | ✓ |
| 仁義潭水庫 | 氣壓式 | ✓ | 電氣式 | 電氣式 | 電氣式 | 電氣式 | ✓ | ✓ | ✓ |
| 鳳山水庫 | 電氣式 | ✓ | — | 電氣式 | — | 電氣式 | ✓ | ✓ | ✓ |

圖一 本省各大型土石壩或土壩之監測儀器埋置狀況

器，其故障發生之可能性愈低，且故障發生後之故障排除率也較高。(3)監測的耐久性：監測子(sensor)乃儀器之心臟，故其適用壽命至少應大於該監測儀器之設計年限。(4)讀數原點之回歸與校核的容易性：因儀器埋置於現場，必須具備有在現場之校核方式，或儀器本身具有自我修正的功能。(5)附屬設備聯接之容易性：每一項儀器均或多或少帶有連接設備，此等設備之連接應盡量減化以降低誤差產生之累積可能性。(6)抗蝕性：儀器、附屬設備，及觀測站均設置於野外，其耐大自然侵蝕作用，乃至地中化學物質之作用均應列入考慮。(7)讀數表現之簡單性：因量測方法每每不相同，但其最後顯示之量測值應以簡單易分析為佳。

上述之各項僅為選用時之一般法則，以下將針對土壩監測系統中所會遇見之各項儀器作有系統之儀器種類介紹，設計要領，及施工方法說明。

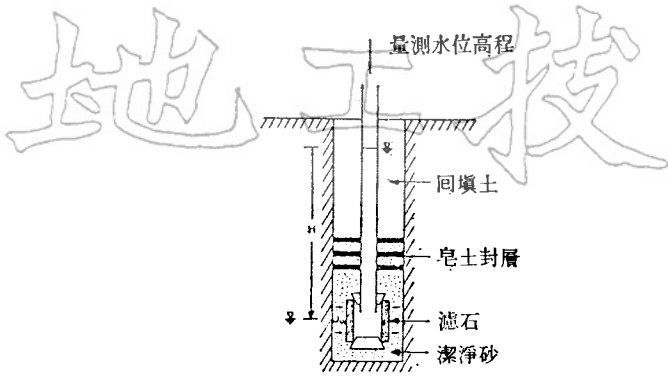
二、水 壓 計

水壓計埋置之目的主要在偵測土壩之壩體及壩基的孔隙壓力。在施工階段，可經由孔隙壓力之量測配合安定分析方法檢討各填方階段之穩定性，以為施工單位控制填方速度之依據，而於施工完畢後之營運期間更可測定蓄水中穩定滲流時期之土壩各

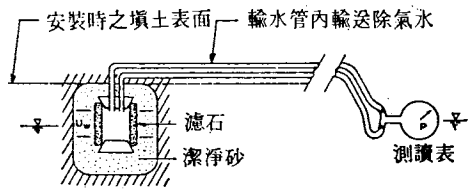
點孔隙壓力以確定其長期穩定性有無變化，且可由排水時期之觀測決定其洩洪速度。由於其功能最明顯故一般土壩中以此項設計最為主要，且市面發展之儀器亦最多。通用之水壓計為數甚多，但一般以開放直管式水壓計(Standpipe Piezometer)，水壓式水壓計(Hydraulic Type Piezometer)，氣壓式水壓計(Pneumatic Type Piezometer)，及電氣式水壓計(Electric Type Piezometer)之使用為最普遍。

圖二為一開放直管式水壓計之示意圖，此種水壓計之設計最簡單，包含有一透水石及觀測管，觀測時由管中之水位高程換算成水壓即成，由於原理簡單，觀測方法簡便且又經濟，故常被選用，其缺點在下方透水石阻塞後儀器功能便停止。開放直管式水壓計之量測因應用水流原理故基本上亦屬於「水壓式」之一型，但以其採用開放系統與上述另外三種為密閉系統不相似故通俗上並不列入水壓式水壓計類。

圖三為一水壓式水壓計之示意圖，由圖中可知其為一密閉系統，量測時應利用外營力(水壓)經由輸水管線將加壓之除氣水送入量測位置，而當壓力水與孔隙水壓平衡時，可由迴水管線之無氣泡水流判定孔隙壓力。此種水壓計早期在歐美被廣泛使



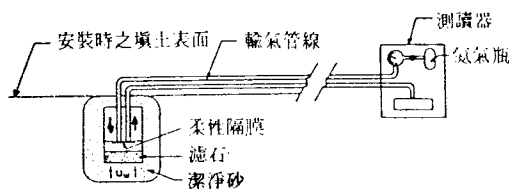
圖二 開放直管式水壓計示意圖



圖三 水壓式水壓計示意圖

用，因此其使用歷史最長，唯其須使用除氣水，且管線因長期置於水中，易受微生物滋擾而阻塞管徑是為缺點，且量測時間亦較其他類型水壓計為久為繁，故有些先進國家之工程已漸漸嚐試其他型之水壓計。此種水壓計之埋設除應注意其輸水管線之滲漏問題外，更應注意其觀測站房位置之決定。設計觀測站房時應考慮在整個水壓計的配線系統中加壓系統的揚程可否達及管線系統之最高位置，及管線中不應有低於大氣壓以下 0.5 kg/cm^2 之壓力存在，此為水壓式水壓計設計時之另一考慮。

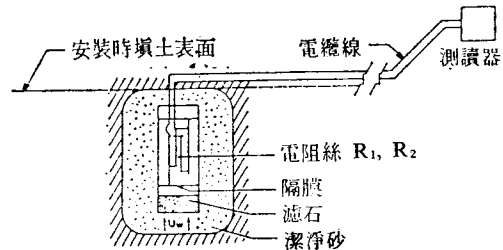
氣壓式水壓計為近年來取代水壓式水壓計最多之設計，其示意圖表現於圖四。其與水壓式水壓計最大不同點為在輸氣管線前端有一柔性隔膜壓住管線通路，當外營力（氣壓）超過隔膜另一側之壓力（孔隙壓）時，輸入之氣體將推開隔膜而沿迴氣管線送回測讀器中而量得土中孔隙壓力。供觀測者使用之加壓氣體一般採用氮氣，取其無毒性之優點。氣壓式水壓計之使用始於 1960 年代初期，最早應



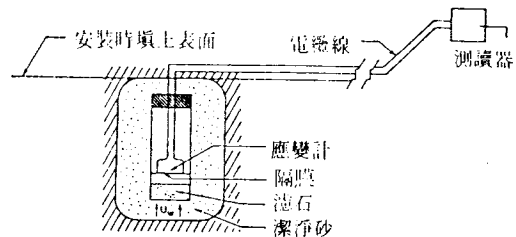
圖四 氣壓式水壓計示意圖

用之高壩為美國加州之 Briones 壩，該壩壩高 88 公尺，由於在當時使用氣壓式水壓計為創新，故設計者於壩中同時埋置氣壓式水壓計及水壓式水壓計二種水壓計，結果發現埋入之水壓式水壓計大概在 10 年至 12 年間全部因管線阻塞而失去功能，但埋置之氣壓式水壓計在埋置後之第 18 年却仍然營運良好。儘管氣壓式水壓計如此良好，但亦有部份缺點，例如氣壓式水壓計無法偵測出小於大氣壓之孔隙壓力，且觀測時間亦長，有些設計甚至需要操作 20 餘分鐘才可正確獲得孔隙壓讀數，因此，在設計時若決定使用氣壓式水壓計則應儘可能減少輸氣管線長度，以減少因觀測而浪費之時間。

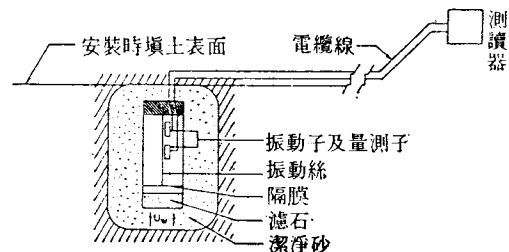
電氣式水壓計亦為常用的水壓計，大概可分為應變計型 (Strain gage type) 及振動絲型 (Vibrating wire type) 等二大類，應變計型水壓計乃利用孔隙壓力引致之應變計中電阻變化原理來量測孔隙壓力，又可分為受制型應變計及無制型應變計二種設計，其組成示意圖繪於圖五及圖六。振動絲型水壓計為最新發展出之水壓計，其組成如圖七所示



圖五 電氣式無制應變計型水壓計示意圖



圖六 電氣式受制應變計型水壓計示意圖

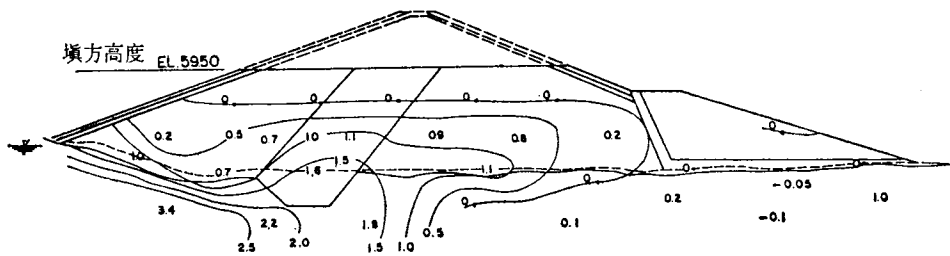


圖七 電氣式振動絲應變計型水壓計示意圖

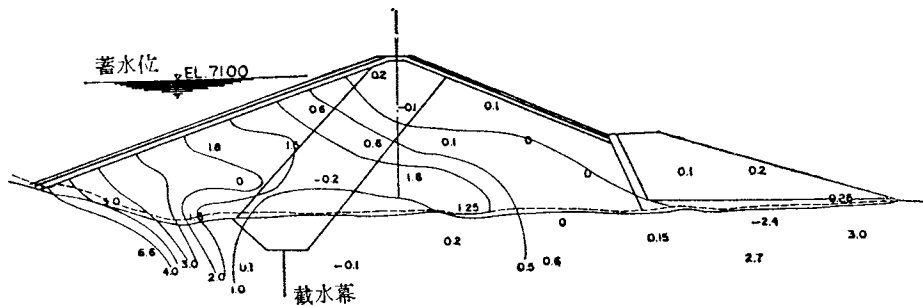
，孔隙壓之偵測係由計頭中之振動絲變化頻率換算而得，這種型式之水壓計為目前公認最具發展潛力之水壓計，但其儀器價格亦較其他型為高。電氣式水壓計之觀測十分簡單，孔隙壓讀數可在瞬間取得，但其最懼雷擊影響，當雷電發生於大壩附近時，極易在電線中引起大量感應電流，若無恰當之避雷設計，極易引致重大損壞，近年來，由於世界各地連續發生幾次因雷擊造成之電氣式水壓計設計失敗，故各大儀器公司均設計有週密之避雷設計，設計工程師於選用此種水壓計時宜特別留意。

由於水壓計之埋設作用包含土壩施工期之監測分析及營運期間的監測作用，故選定其設計位置亦

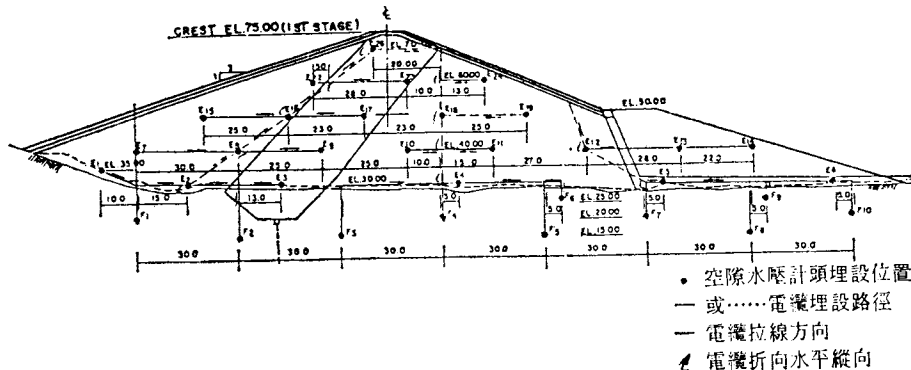
應先行了解此二過程中孔隙水壓將有何種分佈趨勢才易決安埋置位置，通常在施工期間壩體之等孔隙水壓線大致沿壩基不透水層呈平行狀排列，而在滿水位營運期間則沿滲流線趨勢分佈，圖八及圖九即為臺灣北部新山水庫土壩在施工中及營運期間實測繪出之等孔水壓線圖例。由於孔水壓之測得可輔助安定分析之用，故設計者應安排其位置使其量測值能適當的發揮安定分析時的孔水壓的決定，並可安排於壩基中截水幕之二側以校核截水幕之功能，以及安排於濾層附近，以監測濾層之喪失功能否。圖十及圖十一為新山水庫及仁義潭水庫主壩水壓計配置例。



圖八 土壩施工中之孔隙水壓力分佈例 (單位 kg/cm²)

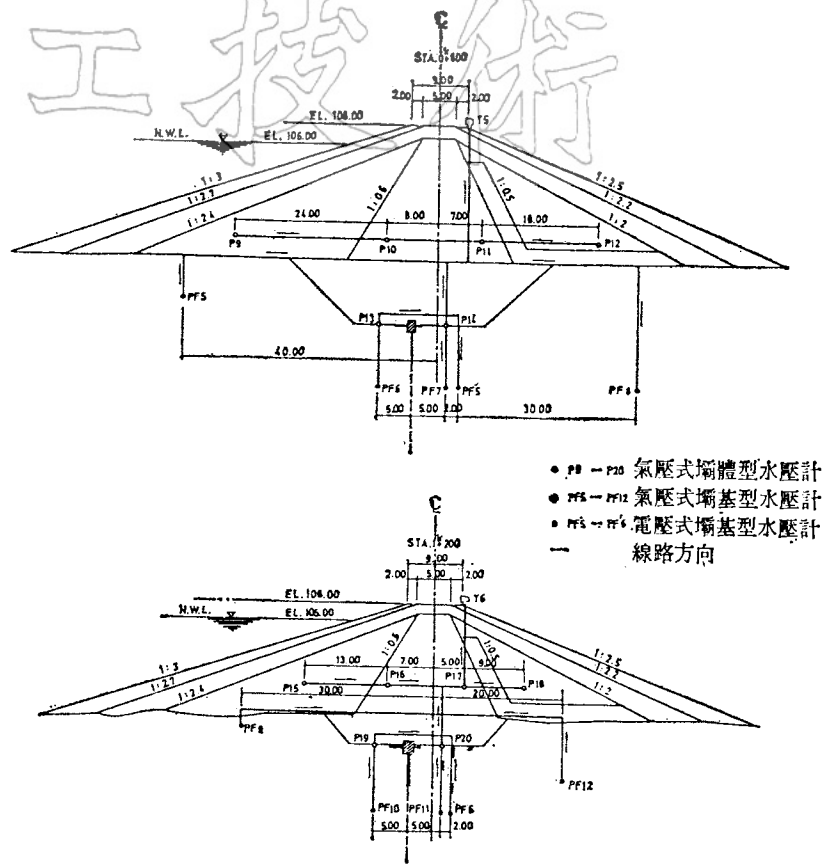


圖九 土壩滿水位營運期之孔隙水壓分佈例 (單位 kg/cm²)



圖十 新山水庫主壩之水壓計設計 (單位: m)

地工技術



圖十一 仁義潭水庫壩壩之水壓計設計 (單位: m)

水壓計之施工方法可分為壩基型及壩體型二種而不同。當埋置壩基型時，需於欲安裝處先行鑽孔，孔之直徑需至少為水壓計頭直徑的兩倍，孔內需注清水，再將潔淨之粗砂傾入厚達 10 公分，再將已浸水 48 小時（儀器進場後應已隨時處於浸水狀態）之水壓計頭放入，再傾入清潔之粗砂，且至少覆蓋計頭 15 公分以上，其上再以皂土與精選不透水土料拌合將該孔完全封閉。如所埋設者為壩體型，則當填方高程達到後，於指定位置開挖一土坑，水壓計頭置入後周圍亦應以原狀土壤回填，坑之上部亦應以皂土予以適當射閉。

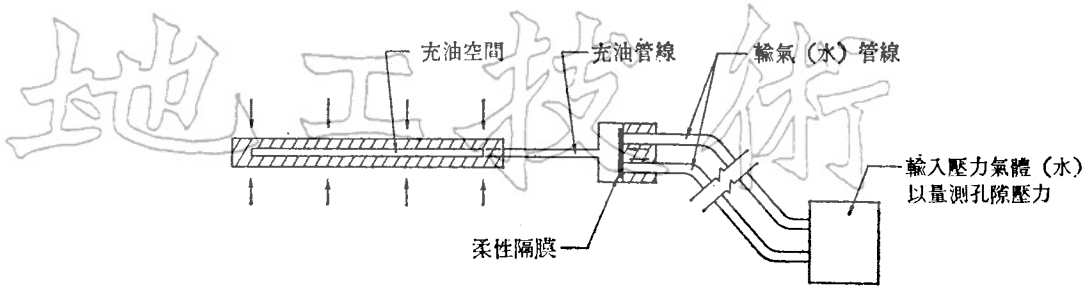
三、土 壓 計

土壓計之使用，主要是量測土體中某一點之土壤總壓力，或結構物面上之土壤接觸應力，其擺置於量測地點之方向亦隨各種設計需求而有水平安置、垂直安置或傾斜安置等不同方式。由於現代土壤力學中之變形理論均以有效應力為分析之根據，故

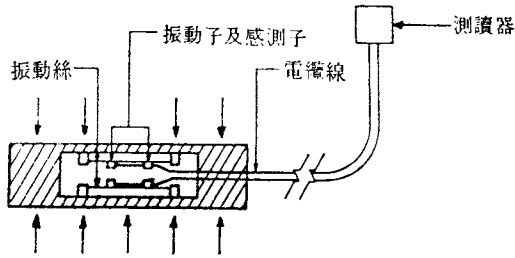
由此土壓計所得之總土應力應配合前節水壓計所得之水壓資料方可得一正確分析。目前流行使用之土壓計，其感測原理有利用水壓、氣壓者，亦有利用應變計或振動絲者，其感測原理均與第二節中所述者雷同，因不論水壓計或土壓計所偵測之對象均是應力，故其原理亦相同。上述幾種土壓計之型態均以示意圖表現於圖十二、十三、十四中。由於土壓計量測值須與孔隙壓力合用方有意義，故壩工設計者常將土壓計之設計位置設定於水壓計附近，以收一石二鳥之功。圖十五即為土壓計與水壓計合併設計之一例。至於土壓力之觀測值讀取則與水壓計部份之讀取方法相同。

四、層別沉陷計

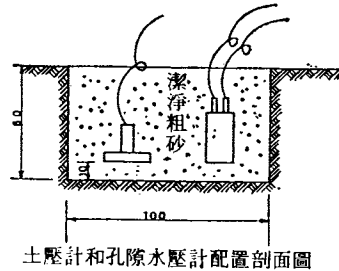
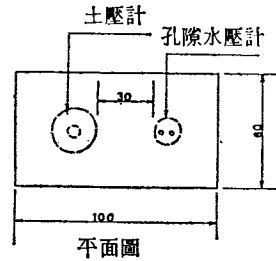
層別沉陷計之埋設目的主要在了解壩體縱剖面之各層沉陷變位情形，由於所欲量測者並非僅全部沉陷量一項故其設計為多段式偵測方式，而通常之設計有機械式及電氣式等二種較為常見。機械式層



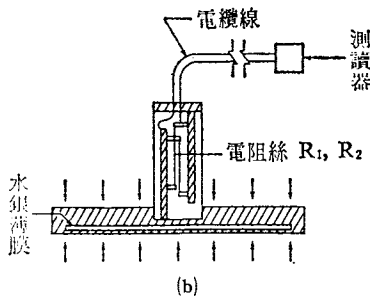
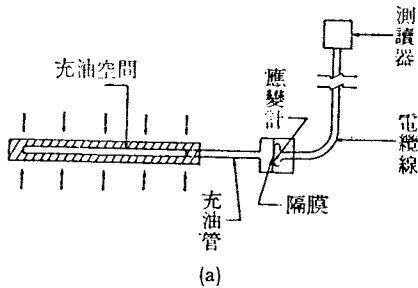
圖十二 氣壓式（水壓式）土壓計示意圖



圖十三 振動絲應變計型土壓計示意圖

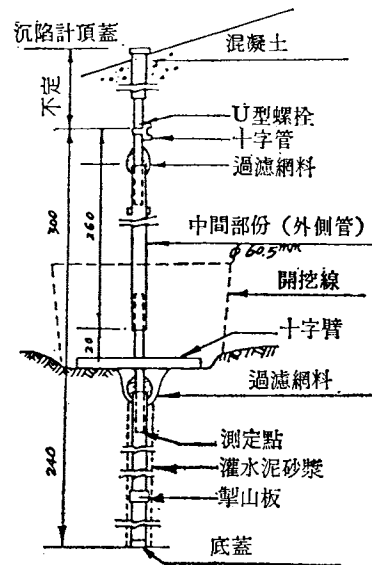


圖十五 土壓計與水壓計合併設計示意圖
(單位：cm)



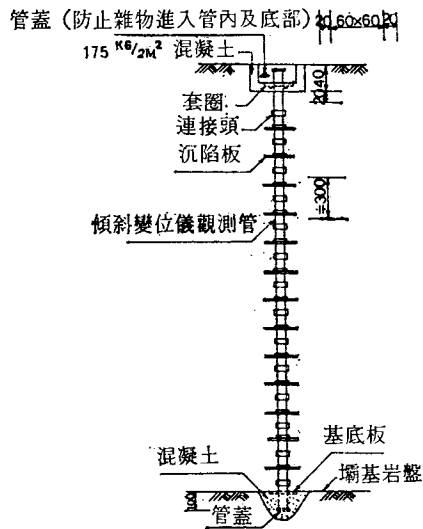
圖十四 土壓計示意圖(a)受制應變計型土壓計
(b)無制應變計型土壓計

別沉陷計可以美國型 USBR 為代表，其組立情形如圖十六所示，其設計含有一可伸縮之觀測管及數個十字臂構造，觀測管與十字臂之十字接合處密接，而觀測管可由壩頂直通壩基之錨定座。當土壩產生垂直向之變形時將帶動十字臂變位，觀測者可於壩頂利用一可伸張之探測子下垂至觀測管中，利用



圖十六 機械式層別沉陷計組立圖 (USBR 型)

其可伸張之特性於預先設計位置張開以量取下放量尺長度，依此原理而量得各層土壤之變形量。電氣式層別沉陷計之量測原理係利用電磁感應原理偵測預埋之沉陷鉸位置，圖十七為電氣式層別沉陷計組立示意圖，如圖所示觀測管係位於各沉陷鉸中央，其與沉陷鉸之關係可為鎖合密接亦可為無接合型，惟若為密接設計，則觀測管應選用可伸縮型觀測管，在沉陷鉸中央開孔旁設計有一感應磁環，當探測子由壩頂觀測管口伸入達磁環位置時，由探測子與沉陷鉸中磁環之電磁感應作用引致壩頂電纜架中發出聲音指示，觀測者由該指示可確定沉陷鉸下沉之位置，如此，可一一測出各沉陷鉸位置而達到剖面之沉陷分佈情形。



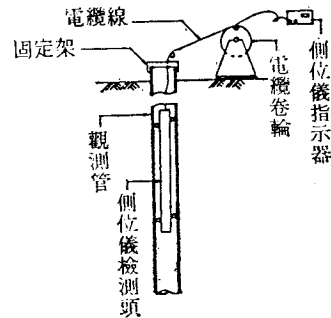
圖十七 電氣式層別沉陷計示意圖 (單位: cm)

層別沉陷計之設計主要在測取壩心黏土層之變形量，故其一般設計位置亦選擇數個斷面，將每個斷面設計數支該種儀器使其貫穿整個斷面，其下則錨定於壩基岩盤中，此種監測儀器之埋設較費工夫，通常有二種方式可資採用；第一種方式為先將觀測管埋置土中並豎立於填方高程之上，其旁先以土堆護住以防填方施工時羊腳滾等重型機具撞壞該管；第二種方式則允許填方高過觀測管高度，亦即允許壩面填方工作自由進行，俟填方達某一階段後再行開挖觀測管附近土坑，接合其上之觀測管後，土坑填土並加以夯實。以上二種方法均可以使用，應以工程人員之熟練程度決定施工方法。觀測管之頂口部應隨時保持封閉，以防雨水，或雜物進入阻塞

其管道。

五、傾斜變位計

傾斜變位計 (見圖十八) 顧名思義為量取側傾變形之一種儀器，其組合包含二部份，一為帶有溝槽之觀測管，另一為帶有滑輪之偵測桿，當量測時，把偵測桿依滑輪槽方向置入觀測管中，由偵測桿連接之測讀器讀取側傾角度。由於其設計外形與層別沉陷計相似，故施工方法亦相同。



圖十八 傾斜變位儀示意圖

六、層別沉陷計暨傾斜變位儀

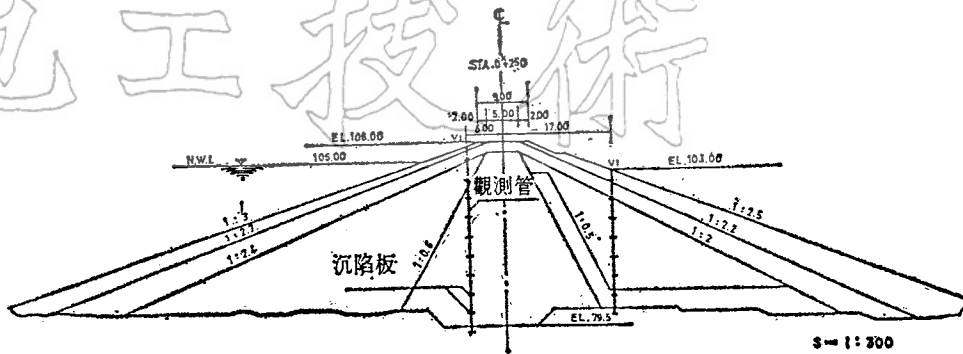
本節所提並非另一種新的儀器，而只是將第四節之層別沉陷計與第五節之傾斜變位儀合併設計而已。因為是合併設計共同使用一觀測管，故觀測管以傾斜變位計之觀測管為主體，選用適當大小之層別沉陷計探測子即可。圖十九為仁義潭水庫層別沉陷計與傾斜變位儀之設計圖例。

不論是層別沉陷計，或是傾斜變位儀，或是合併設計，其觀測管均不應選取太過硬質之材料，因埋置的目的在求取壩體之變形，故以觀測管能隨壩體任意變形者為佳，但亦因觀測管能隨意變形故常導致變形後探測子無法進入觀測管量測而造成法律糾紛，造成糾紛誠屬不幸，但若為避免變形過大而選用勁度甚大之觀測管，則將造成壩體變形與觀測管變形不相符合之現象，如此將導致誤差讀測，失去其原始意義。

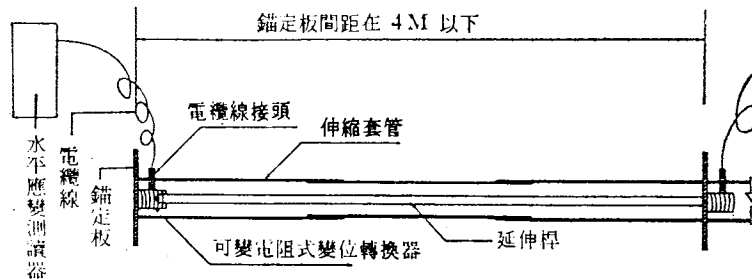
七、水平變位計

水平變位計之埋設目的在於偵測壩之橫斷面或沿壩軸方向之水平向位移量，橫斷面之位移量有助於了解壩體邊坡滑動量之偵測，而縱軸方向之配置更有助於偵測裂縫之存在，決定補救工作之進行。

土工技術



圖十九 仁義潭水庫之層別沉陷計暨傾斜變位儀設計圖



圖二十 可變電阻式水平變位計示意圖

一般常用之儀器亦有機械式及電氣式等二種。機械式則仍以 USBR 之十字臂型代表，該型式之水平變位計係與十字臂型層別沉陷計合併設計，十字臂之二端帶有錨定鈎，當壩體產生水平變位時，帶動二端之錨定鈎，透過連鎖系統可將水平移動系統傳遞至垂直移動系統，而由測定十字臂之變化同時得到垂直與水平之位移量。電氣式水平變位計以可變電阻式水平變位計為代表說明之，該儀器亦具有二端之錨定鈎，鈎間以一連桿連接，端邊並附有一可變電阻器，當連桿受錨定鈎拉伸或擠壓時將導致電阻器之電阻產生變化，從而由壩頂之測讀器讀取變位值。可變電阻式水平變位計較機械式者精密且方便量測甚多，惟因量測範圍預先被固定，故一旦變形量超過預估值，將使該儀器立刻損壞。圖二十為一可變電阻式水平變位計示意圖。在埋設位置之決定，橫斷面上一般設計於壩之中央最大斷面上預期安定係數最低之滑動圓弧附近，而縱軸方向則設計於預估差異沉陷值變化最大之處。可變電阻式水平變位計通常每節約三公尺左右（長度可變化），一組變位計可由數節接合，安裝時需調整延伸桿之初始位置，並使連結點確實牢固，使各單元均能測得相同之壓縮或伸張範圍。安裝時需先挖一溝槽約

50 公分寬 100 公分深，溝內必須平整，先鋪厚 15 公分之壩心土壤再置入水平變位計，再以壩心土壤覆蓋，其覆蓋層最小亦應有 15 公分厚，並應注意使回填土夯實至原狀方層合格。

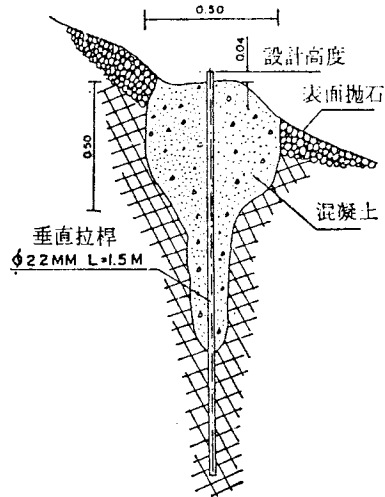
八、漏水量量測

由於土壤材料具有透水性，故水庫於開始蓄水後，下游壩址處會有滲水出現，漏水量偵測即利用此滲水量來作為壩體內部變化之判斷依據。由於滲水之出現為正常發生之現象，故下游之壩址必設計有排水溝，漏水量量測即可利用此排水溝作為收集滲出水之渠道，並於最低程處設計一量水堰即成。量水堰之設計依流體力學原理設計，可以採用混凝土設計，亦可購買現成產品使用。不論是圬工，或金屬成品均需配置一水位計及自動記錄器，以記錄長期之水位變化量，並依流力公式換算水量，作為滲水量變化之依據。

九、表面沉陷點

表面沉陷點為佈設於壩體表面之測量點，為壩工監測系統中處理最易且最經濟之一種設計，其應用之原理僅為普通測量方法而已。設計時除了於壩

體表面每隔十數公尺配置一測量點外，並於壩墩較高程處配置數個控制樁以利觀測進行。圖二十一為本省各土壤常用之表面沉陷點及控制樁設計。表面沉陷點施工時先以鋼筋鑽入填方中，再行開挖鋼筋之周圍，而後灌以混凝土即成。其埋設時機應在填方恰超過埋設高程時即應埋設，否則因堆石護坡之繼續上築將導致施工之困難。



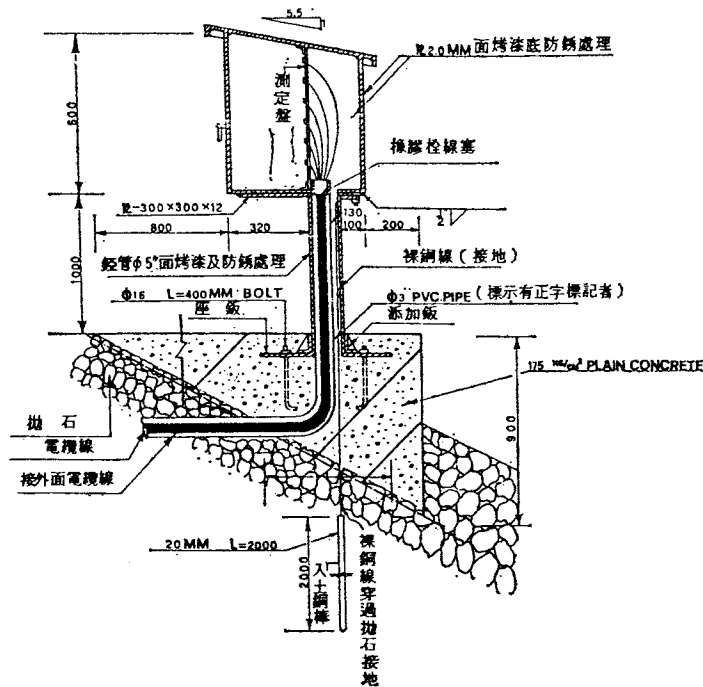
圖二十一 表面沉陷點斷面圖 (單位：m)

十、地震儀

由於本省座落於太平洋島弧之地震帶上，故地震可能引致之危害亦為壩工設計中不可忽視之一環。故通常重要的壩於壩基岩盤及壩頂上各設一部強震儀，若是超過 100 公尺之高壩則於壩之中間高度處再設一部並將各強震儀串聯使用，壩中之各強震儀除供研究該壩之受震特性外，並提供本省地震測定網之一環，故此項監測儀器一般委由中央研究院地球科學研究所統籌辦理以收事功統一之效。目前國內所採用之強震儀多為美製型 SMA-1 儀器，該強震儀可測 0.01 g 以上之地震加速度，並設有計時器可將時間歷程中之全部變化記錄。

十一、觀測站

上述之各種儀器大都包含有二大部份之組合，一為埋設在壩體填方中之儀器本體，另一為量取讀數之測讀器，一般測讀器皆採用手提輕便型之設計。在填方高程逐漸升高之施工期間，連接儀器本體與測讀器之接頭可以暫時之保護性設施保護之，但在壩體施工完畢後之長期營運期間則應設置觀測站以保證儀器接頭之不受損。觀測站之設置有使用觀測站房或使用觀測箱等二種，觀測儀器站房係將所



圖二十二 觀測箱設計圖 (單位：mm)

有儀器之管線全部集結一室，觀測者只須在該房內即可一次作業完畢，觀測箱之設置則取其經濟性，而於壩軸上作多次觀測點之設計，雖對觀測者形成觀測之稍不便，但其可避免各儀器管線因連結過長的不經濟，且減少因管線施工中造成之損害發生性，故不失為一好的設計。不論觀測儀器站房或觀測箱均須把握通風及安全的設計原則，以確保壩中昂貴儀器能有效地使用。圖二十二為嘉義仁義潭水庫所採用之觀測箱設計例。

十二、結 語

壩工監測儀器為相當昂貴的花費，故其設計應使能發揮最大功能方為上策，且埋置於壩基和壩體的各儀器不但不允許發生理設施工的錯誤，更不應允許儀器採購，進場驗收之延誤。一旦因埋設方法之錯誤，例如因施工人員之疏忽，埋置土壓計時上下方向顛倒，或埋置水壓計時忘了將計頭套頭取下，勢將造成讀數取得錯誤或根本無法取得，此種結果不但承包商無法取得工程費用，更造成整個監測系統的喪失功能，前者之損失固然可估計，但後者之損失則將無法估算且難以彌補。因而一個土壩的監測系統欲完全保證其功能，需設計單位、承包廠商，及日後觀測及維護單位的密切配合才行。設計及規劃單位在辦理監測系統工程的設計及發包工作時應提前作業，使各監測儀器能在填方開始前就全部順利完成發包及進場驗收完畢。而在承包廠商方面，為確保工程能順利完成以取得應有之利潤則應選派有經驗之工程師駐場指導施工，並依事先準備好的施工步驟一一檢核施工作業，如此方可確保埋設成功並取得應有之利潤，在完工後，整個監測儀

器依本省之慣例是將系統整個移交營運單位，營運單位亦須選派了解儀器特性的工程師專司觀測及保養維護之責，以保證該系統的長期監測功效。

以上是作者本人以參與壩工監測系統之設計與觀測分析工作經驗之心得，其對於廣泛流行於市面之儀器型別或許尚有疏漏之處，尚祈各界賢達不吝指正。其中部份圖表資料承水利局壩工設計隊提供資料，特此申謝。

參 考 文 獻

- 臺灣省水利局，“新山水庫土壩埋設儀器設計與觀測分析”，壩工叢刊之 43，中華民國六十九年十二月。
- 葉向陽，“東興水庫土石壩工程埋設觀測儀器之檢討”，國立臺灣工業技術學院營建系基礎工程研究室研究報告，中華民國七十年六月。
- 鄭文隆，葉向陽，“東興水庫工程土壩觀測設備觀測及分析”，國立臺灣工業技術學院營建系基礎工程研究室研究報告，中華民國七十二年五月。
- 鄭文隆，葉向陽，王金鐘，“仁義潭水庫主壩觀測設備工程設計建議”，國立臺灣工業技術學院營建系基礎工程研究室研究報告，中華民國七十一年九月。
- DUNNICLIFF, J. (1981) "Long-Term Performance of Embankment Dam Instrumentation", *Proceedings of the Sessions of Embankment Dam Instrumentation Performance at the ASCE International Convention*, May.
- SHERARD, J. L. (1981) "Piezometers in Earth Dam Impervious Sections", *Proceedings of the Sessions of Embankment Dam Instrumentation Performance at the ASCE International Convention*, May.