

水土保持技師公會

水保技術

論文下載網址: <http://swct.mdu.edu.tw>

坡地防災預警技術(三)－坡地工程的監測技術

蘇苗彬*

國立中興大學土木工程學系 教授

三、坡地工程的監測技術

(一)監測作業概說

監測可以說是包括監督與觀測，而觀測大致又包括觀察及量測兩部份，對工程師而言，大致可區分為三個不同階段，(1)亦即現地踏勘及規劃設計時對現地的了解為第一階段。(2)第二階段則是在施工時為確定地層、基礎、結構物等，是否確如設計時所估計的來發生功能及反應。而在工程完工後，監測仍應繼續的進行，以確保構造物長期的功能及緊急災害發生之提供預警，此可稱為監測之第三階段。而對坡地防災而言，可能造成的災害，如山崩、地滑、土石流等就變成了監測的對象。

在有關的監測工作中，如按上述三個階段區分其有關內容，大致為在踏勘設計階段，需針對基礎位置、地層之變形特性及其強度特性、現地的應力或熱傳導的特性等等，以現地監測或採樣進行室內試驗的方式作調查與監測。於施工中，監測的對象大致為地層及地表位移或變形量、鬆動的區域及應力的分佈。在完工後監測的項目同上一階段，其目的在於確保品質及維護安全。

監測工作中，需要操作簡便及可靠性高的儀器，來預估或了解現地的狀況與變化，尤其在新型的工程作業中，更大、更深或全面的開發，監測因此更顯得重要，其中，監測作業過程所引起

的變化，可以幫助了解使用方法之適用性與將來可能的影響。

整體而言，土木工程師監測作業，可以分三個階段：

1. 現地踏勘及規劃設計時對現地的了解。
2. 施工時為確定地層、基礎、結構物等，是否確如設計時所估計的發生功能及反應。
3. 工程完工後，應繼續進行監測，以確保結構物長期的功能及區域緊急災害之預警。

此三階段的分工與進行方法，與現行環保署對重大工程環境影響的三個階段性任務，環境說明書及環境影響評估，環境影響監測與後續追蹤考核有其精神相似之處。

(二)地滑地調查與監測方法

坡地防災所需的調查與監測，依災害形式的機制，各有不同，山崩屬隨機的狀態，較難預防，而土石流有其形式獨特的機制，有相關之著作與規範說明，在此針對邊坡之滑動與潛移，一併視為地滑地，來看見調查與監測的方法

2.1 地滑地工程中之現況調查方法

(1)地滑地現況調查

地滑地現況調查，包括測定地滑之滑動狀況：範圍、移動方向、滑動量等。

【地形測量】

1. 在地滑地現況調查中之地形測量，包括測定地滑範圍及將臨近地形、滑落崖、龜裂、沼

*通訊作者，電話：04-22872221 轉 234；傳真：04-22862857

E-mail address: mbsu@dragon.nchu.edu.tw

澤及湧水地點等正確的標示於圖表上。標準的方法，應根據各種測量的規定。

- 2.在測量前，先設置基準點，設置之原則為：基準點須在滑動範圍之外，並可作為其它各種量測之共同使用。

【地表滑動量調查】

地表滑動量調查的目的，是為了測定地表之滑動量，以下為標準的調查方法，並視現地狀況選擇適當之調查方法。

- 1.標柱觀測：利用標柱觀測，在地滑地範圍內外之地表面設置供量測的測點，以掌握滑動範圍、方向及速率等。此種方法為掌握實際地滑地移動狀況之最簡單確實的方法。量測的方法有很多種，一般常用的為下列幾種方法：

- a.丁型樁測量：依照丁型樁測量，於地滑地裂縫處，設置丁型樁，作丁型樁移動觀測。這種方法是用来掌握急劇滑動最簡單的方法。
- b.控制線測量：在地滑地兩旁不動地點設可通視之測點作為控制線，並在通過地滑地的控制線上正確的設立測標：一定期間後再觀測，將控制線上變化測量出來以掌握移動量。

使用量測之儀器，在移動量小的時後用皮尺測量距離、移動量大的地區則利用經緯儀測量角度，以測出其距離。標柱的升降量用水準儀量測，並選定基準點以作高低差變化量之觀測。

- c.三角測量：對於大面積或地形惡劣的地區，不適合用控制線測量，可在不動地採二點位置立標柱及設基準點，用三角測量來觀測移動量，此種方法作業複雜且精度不良。
- d.攝影測量：利用空中或地面照相觀測測標，在地滑地內設定測標作攝影，於一定期間後，再作攝影，將前後攝影圖比較以掌握地表移動。

在移動劇烈的地區用 3000 分之一～5000 分之一的照片圖，移動量小的地區用 500 分之一～1000 分之一的照片圖。

- 2.伸縮量觀測：利用伸縮量觀測，分別在滑動範圍內外設置測點，並以鋼鋼線連接，由兩點間伸縮移動量之連續測定，以掌握地滑的移動時間、速度和滑動量。對伸縮觀測的解說如下：

- a.利用伸縮觀測來測定移動量，適用於不動地與移動地之間相對位移大之情況。

- b.計測儀器原則上設在不動地之內，測點則設在與地滑移動方向平行的方向上，並在與龜裂直角的方向設置鋼鋼線。

- c.一般為自動記錄，在移動期間之移動量可明確並連續的記錄。

- 3.地表傾斜觀測：利用水準式傾斜計作地表面傾斜變動之測定，以掌握地滑的移動狀況。過去常使用曲率半徑大的水準器作水管式傾斜計。此種方法乃利用兩個或丁形之水準器，其中一個順著南北方向設置，於一定期間後再予以測定，其間差額即為傾斜量。並利用彼此傾斜量之合成來判定該地點之傾斜方向和傾斜量。因為水管式傾斜計極為精密，所以易受地球自轉、潮汐周圍震動等影響，所以應在地滑地點內外安置傾斜計，以便找出基準點。

水管式傾斜計使用之情況，如在地表無明顯移動處，欲掌握微小之移動時，使用或在地滑停止之地點，欲掌握再次移動時使用。

【結語】

現況調查的成果須包括地形圖和滑動狀況圖，並參考地質調查結果、表層地質圖、概略之地質斷面圖。

2.2 地層滑動面調查

地滑地的滑動面調查，是一項很重要的工作，正確的判定滑動面的深度，才能推估滑動土體的大小，進而對其安定性作符合實際現況的計算，並從而規劃治理的必要性與規模。一般多於地滑地內使用鑽探孔設置計測儀器，以量測地層滑動量及土壓力，一般而言最主要的為量測滑動發生的深度。以下為相關文獻中所述可行的調查方法，應視現地狀況選擇適當的調查方法。

(1) 斷裂感知器(Fracture monitoring)

斷裂感知器為早期簡易式的滑動面(破壞面)觀測的方法，利用脆性物質，如石膏固結填充在鑽孔中，內部設置電阻絲連接成並聯的架構，當地層產生相對位移會折斷石膏塊，也扯斷了並聯電阻，由接線兩端量測電阻量可探知斷裂處的位置。

(2) 滑動面測管法

滑動面測管法適用於滑動量較大之地層，於鑽孔內裝吊測管，以測定滑動面之位置。

滑動面測管是在鑽探調查孔中作一軟性保護套管，在此保護套管中垂懸一口徑較小且較短之測管。經過一定期間後，滑動面附近之保護套管將產生彎曲，利用測管無法通過以判斷滑動面的位置。

這種方法原理簡單，通常用來作其它調查之補助使用，保護套管中之測管，長者比較容易捕捉微小的變動。至於變動大之地區，則以較短之測管較合適。當滑動區域同時出現好幾個滑動面時，須在每一個滑動面的深度以下懸垂一測管。

(3) 應變管測定計法

應變管測定計法適用於滑動量較小之地層，將貼有應變片之應片管插入並固定於鑽孔中，由變形量可以瞭解地層滑動面之位置和滑動之狀況。本方法為量化觀測最早期發展的方法，國內很早就自日本引進，在山坡地使用很多。

【應變管測定計的原理】

在滑動面的計測方法中，此種方法常被使用。基本的方法是在 PVC 管上每一固定間隔，於相對應之位置貼 2 枚(或 4 枚)之應變片(滑動面方向已知用 2 枚，未知用 4 枚)，然後將 PVC 管埋入孔中，孔中的空隙則以砂填充。然後再利用應變片受伸縮時電阻所產生之變化，以讀取測定期間前後讀數之差值，即為測定期間由於地層移動所產生之變形量。

【資料的解析】

利用變形量作變形柱狀圖，深度對變形量作圖，從變形累積量最大之位置決定滑動面發生之深度。

(4) 傾斜觀測管法

傾斜觀測管法乃利用測傾儀測定埋於地層中導管之傾斜角，以掌握地滑面之位置、移動方向和移動量。

【測定】

此種方法是將具有溝槽之導管固定於鑽孔中，底部應深入滑動面下不動位置數米，然後順著溝槽放進測傾儀測定每個深度鉛直軸對 x 軸、y 軸之傾斜，並由測定地層滑動期間傾斜變動的差額推斷滑動面的位置、移動方向和移動量。

此種方法因為有某定間隔的車輪，所以當導管屈曲變形得太嚴重的地滑地不適用，只可用在滑動遲緩的地滑地上(地滑地移動量實際使用之範圍為 5~10cm)，此種方法精度極高。

【解析】

測定間隔為 L (通常為 50cm)，當傾斜角為 θ 時，水平位移量。

(5) 地層伸縮量測定法

地層伸縮量測定乃利用鑽孔將鋼線之一端固定於岩盤或不動之層面內，另一端拉到地表面，連續觀測其間的伸縮量來掌握地滑地之滑動量及土體膨脹變體。

壽川氏所使用的地層移動量計如圖 1 所示，以一固定端附在塑膠管上設置在每隔 1 公尺深的地下，亦即在每個深度將測定板附在 1 公尺長的塑膠管上，並使用不會產生變形之不銹鋼製鋼絲，一端引導至地面，測定板鑽有 20 多個孔，譬如 10 公尺深處須用一 10 公尺長之鋼絲連接，使鋼絲可自由伸縮。

地上有一大約高 1 公尺，寬 0.5 公尺，長 0.5 公尺的測定臺，其中裝置滑車，不銹鋼製的量測器具。引導至地面之各個深度的鋼絲以錘來荷重一定的張力。當某一深度產生土塊移動時，在此一深度底下之鋼絲統統會伸張，以地上計測的鋼絲伸縮來解析滑動面、移動量、土塊變位速度等之根據。

(6) 地滑地中土壓法

地滑地中土壓法乃於地滑地作一阻止滑動之結構，再將應變計或土壓計設置於地層中，藉此可直接或間接的測得地滑地之土壓力。

(7) 地層孔內傾斜測定法(In Place Inclinator)

置入式地層孔內傾斜測定乃利用傾斜儀測定

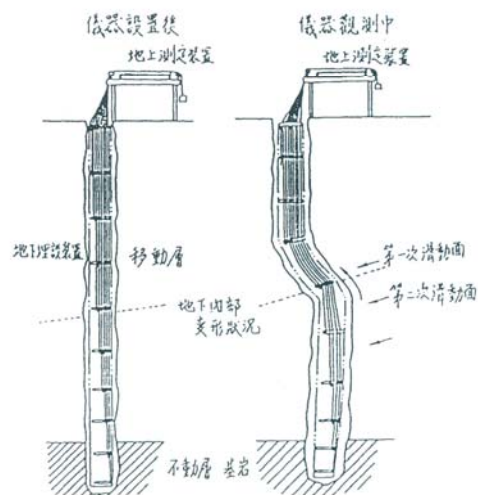


圖 1 鋼線式多層移動量計

埋於地層中導管之傾斜，以掌握地滑面之位置、移動方向和移動量。圖 2 為置入式孔內傾斜示意圖，一般置入式孔內傾斜經費昂貴，受限於安裝間距與數量。

(8)同軸電纜法

將同軸電纜或光纖埋入鑽孔中，因地層滑動變形促使電纜外部產生變形，導致電纜的阻抗係數的改變，藉由阻抗係數來描述電纜的變形型式與變形量，如圖 3(d)。

2.3 工程竣工後之監測調查

(1)地表滑動量之監測

地表滑動之監測：工程竣工後，應於地表面作觀測，以瞭解地表有無滑動。以下為標準調查方法，並視現地狀況選擇適當的調查方法。

- 1.標柱觀測。
- 2.伸縮量觀測。
- 3.地表傾斜觀測。

監測方法根據第一大點地滑地現況調查第 2 點地表滑動量調查。

(2)地層滑動量監測

地層滑動量監測：工程竣工後，應於地層中作觀測，以瞭解地層有無滑動。以下為標準的調查方法，並視現地狀況選擇適當之調查方法。

- 1.應變管測定計法。
- 2.地層孔內傾斜測定法。
- 3.地層伸縮量測定法。
- 4.地滑地中土壓法。

監測方法根據上節地層滑動量調查。

【結語】

各種調查與監測方法，在近年來有許多新的發展，包括具直線性的雷射光或具量測距離能力的雷射，都極有應用的潛力。航照衛星影像及 GPS 定位等對大範圍及小距離的量測也都有長足的發展，值得工程師們考慮學習與應用。

時域反射方法(Time Domain Reflectometry)，包括應用光纖或同軸電纜線的技術，作變形變位的量測或光纖感測器作應變的量測，在過去也有許多新的發展與應用，從各種文獻報導與廠商介紹，可以發現新的科技可提供的能力。

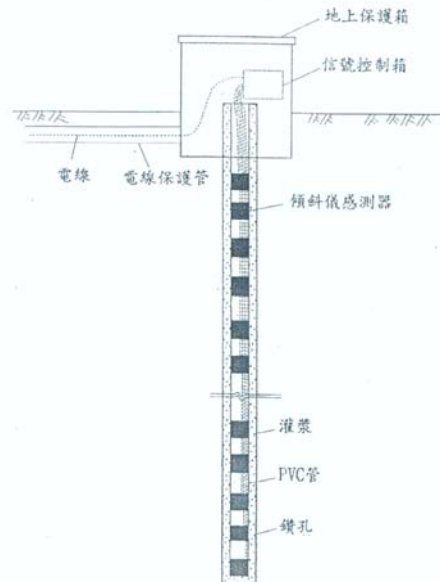


圖 2 鋼線式多層移動量計

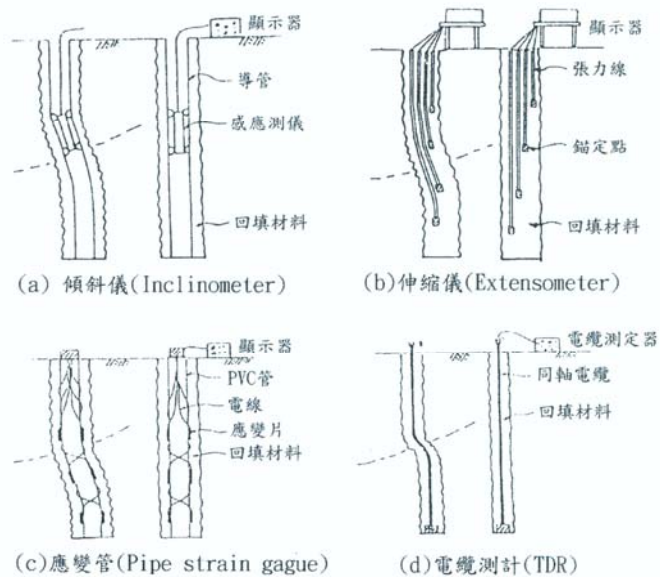


圖 3 常用地層滑動調查方法及變形示意圖

