

邊坡監測設施介紹與應用——以藤枝林道地滑整治規劃為例

文/圖 林中村 ■ 林務局集水區治理組簡任技正(通訊作者)
張寬勇 ■ 台北科技大學土木與防災研究所教授
鄭光炎 ■ 台北科技大學土木與防災研究所教授
林秀勇 ■ 林務局屏東林區管理處治山課技正
陳昶華 ■ 交通部公路總局第一區養護工程處工務員
吳重君 ■ 勇霖工程顧問有限公司土木技師與大地技師

一、前言

藤枝林道位於高雄縣六龜鄉與桃源鄉，為通往藤枝森林遊樂區與周邊居民主要道路，藤枝林道沿邦腹溪右岸稜線山麓起伏而上，沿線地層主要為廬山層，以中新世的硬頁岩和板岩系為主，平均降雨量為4305.3mm(中央氣象局統計1994年至2009年)，其中5至9月份因逢梅雨及颱風季節，降雨量較多，12月份降雨量最少，全年降水日數平均130天。

藤枝林道2k周邊曾於94年海棠颱風期間引發大規模崩塌，地滑潛勢區由2K(崩塌區中央)向上延伸至4K路基(崩塌冠部)，向下延伸至邦腹溪畔(崩塌趾部)，崩塌面積約10公頃，沿線邊坡崩塌與路基流失嚴重，屏東處災後積極辦理數件搶修與復建工程，暫時穩定崩塌與維持道路通行。

為求該崩場地根本之整治，該處於96年起辦理坡地鑽探與監測計畫，將監測成果做為整治規劃之參考依據，本文因篇幅限制將聚焦於監測工作與2K路基邊坡整治規劃之探討。

二、邊坡監測常用系統介紹

監測系統主要係為掌握地滑潛勢區之滑動深度、速率與規模，以及地下水變化、結構物潛變與路基下陷速率等資料，以綜合研判滑動機制與評估整治工法之重要依據。以下首先介紹藤枝工區應用之監測設施，包括傾斜觀測管、水位觀測井、傾度盤、沉陷觀測釘、裂縫計、地錨荷重計等儀器。

(一)傾斜管 (Borehole Probe Pipe)

傾斜管是邊坡監測系統中，最常使用也最為重要的監測系統儀器，因其直接反應不同地層深度之滑移變位分布，孔位應布設於崩塌區

主要剖面上，而滑動深度影響整治工法評估最大，故布設時應估計滑動面之深度，並使傾斜管深度超過滑動面以下。

傾斜觀測管主要儀器構件包括雙軸式導槽管材(內有兩組共四條導槽)、傾斜感應器(Probe)、測讀電纜(Cable and Cable Reel)及電子測讀器(Read-out Device)等，傾斜儀感應器(Inclinometer Probe)之原理是在其內部設有兩組正交之伺服加速計，可同時量兩個測點間之傾斜角度(垂直度)。傾斜觀測管安裝與觀測步驟如下：

(A)於設計圖或工程司指示之位置，以鑽機鑽掘直徑約10至15cm之垂直孔至設計深度，亦可利用鑽探後空孔來裝設傾斜管(如圖1所示)以節省費用。

(B)傾斜管組合時各節導槽須對正，使傾斜管導槽能連續且不偏斜，並適當調整使一組導槽軸線平行坡面傾向，傾斜管與鑽孔間由底部向上分層回填粗砂，頂端須加保護蓋。

(C)觀測時將傾斜感應器以滑輪組件放入傾斜管一組導槽內，並以電纜連接傾斜感應器及指示器，自孔底至孔頂每隔一定間距(一般為0.5m)，由指示器連續測讀傾斜管之側向位移情況，完成後換測讀另一垂直向導槽，將所測讀之值與起始測讀之值比較，求出地層之側向位移量及傾斜方向。

(二)水位觀測井

水位觀測井設置主要目的係為量測基址鄰近區域之地下水位變化，水位觀測井安裝與量測步驟如下：

(A)鑽掘直徑約10cm之井孔，應鑽孔至預定埋設



(1)利用鑽機鑽孔或鑽探後空孔安裝管材



(2)傾斜儀沿凹槽放入管中，兩軸各量一次。

圖1 傾斜觀測管安裝照片

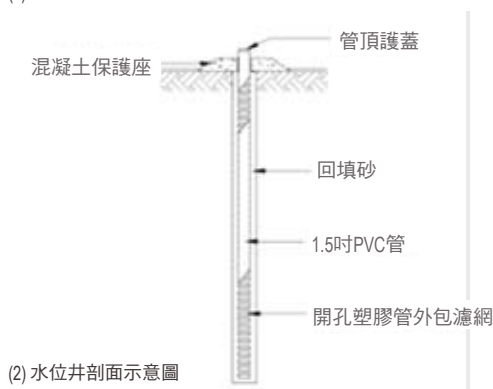
深度下約40cm處。開放式水位觀測井可利用鑽探後空孔裝設水位觀測井，或將傾斜觀測管材底部開孔與包覆不織布，以增加水位觀測資料蒐集。

(B)鑽孔完成後於孔底回填約40cm厚之潔淨砂料，依設計圖說預定深度，將觀測管(內徑至少1英吋之塑膠管)放入孔內，並於觀測管孔壁間填入透水砂料。井口應予適當之保護，「試水」作業以確認水位升降正常，靜置數日後以水量測計量測取得初值。(如圖2所示)

(C)水位觀測井係將PVC管埋設於地下水位以下，利用水位指示器量測時尖端有一感應頭，當接觸到水時，將形成短路，並發出嗶嗶的聲音，量測線本身為一具刻度之尺規，測得當時之水位深度。



(1)水位量測放入水位指示器



(2) 水位井剖面示意圖

圖2 水位量測照片與示意圖

(三)傾度盤(Tiltmeter)

傾度盤觀測原理為當建築或結構物發生傾斜時，裝設於牆面之傾斜計亦隨之傾斜，其所產生之傾斜角可轉換成訊號輸至量測儀器而顯示出讀數，由此讀數可計算傾斜量之大小。傾度盤安裝與量測步驟如下：

(A)利用電鑽在預定裝設位置鑽孔後，以膨脹螺絲將傾斜計固定架裝設於牆面上，裝設後固定架之頂面應保持水平(如圖3(1)所示)。

(B)將符合規格並測試性能正常之傾斜計或傾斜計固定盤安裝於固定架上，安裝時應使測軸對準量測方向後再固定之。

(C)觀測時將傾斜計安置於固定盤上，再將傾斜計連接電纜線端接上量測儀器(如圖3(2)所示)，



(1)安裝時應要求水平安置底座與固定



(2)將儀器置於固定盤量測後，再旋轉量測方向。

圖3 傾度盤安裝與量測過程照片

待顯示之讀數穩定後記錄之，再據以計算出傾斜量。固定盤要選在施工過程不易破壞處，量測時要分兩個方向量測，每次量測應固定儀器的方位，避免左右傾度數值正負之誤判。觀測結果之計算如下：擋土牆高 $\times \tan$ 傾斜角=傾斜量(mm)

(四)沉陷觀測釘

沉陷觀測釘為地面垂直變位的監測，一般設置於路面與RC構造物頂面上，交錯設置沉陷觀測點，以了解此區域各處之沈陷分佈情形，並得知邊坡下陷之速率以及滑動之方向，做為後續設計之參考。

沉陷觀測釘位置應選擇不易被破壞或遮蓋之處，並使測點通視良好，另外於基地外尋找穩固地點設置永久水準點(BM點)(如圖4所示)，採



(1)地表沉陷點



(2)地表沉陷點亦可設置於結構物

圖4 地表沉陷點設置照片

用一般水準測量方法量測各沉陷點之高程，經與原初始高程比較，即得沉陷量之大小。觀測結果之計算： $\text{量測高程} - \text{初始高程} = \text{沉陷量}$

(五)裂縫計(Crack Gauge)

量測既有結構物裂縫之開裂速率與變化情形，以判斷擋土牆及邊坡土層之穩定程度，進而控制監測區域邊坡之安全。簡易之量測方法則是採用兩支透明尺規黏於裂縫兩側，雖無法量測精確與微小變位，但對於了解邊坡變位情形已足夠。

安裝步驟如下：於選定位置裂縫二側裝設裂縫尺與指標歸零，固定尺固定於裂縫二側並拍照記錄尺標刻度(如圖5所示)，持續直接讀取二裂縫尺之刻度差即為裂縫展開程度。

(六)荷重計(Anchor Load Cell)

新建或既有擋土牆面增設地錨可提高牆



(1)簡易式裂縫計之安裝示意



(2)簡易式裂縫計之測讀示意

圖5 裂縫計設置照片

體穩定性，並抑制該區域地滑潛勢，但地錨設置後需長期監測地錨預力變化，以檢核地錨效益與評估地錨安全，提供後續於該區域地錨工程規劃設計參考。先將可重複施加預力之既有地錨預力卸除，安裝荷重計與承壓板(如圖6所示)，再按原設計預力分階段施加於地錨，檢查輸出訊號後完成安裝作業。

作為長期監測使用時，則應定期觀測，並於地震或暴雨後增加觀測次數，以了解地錨是



(1)地錨荷重計詳圖(摘自 Geokon型錄) (2)地錨荷重計量測照片

圖6 地錨荷重計量測照片與示意圖

表1 藤枝林道2K工區96年監測設施數量統計表

傾斜觀測管(孔)	傾斜管深度(m)	水位觀測井(孔)	傾度盤(組)	沈陷觀測釘(點)	裂縫計(組)
18	579	18	7	96	14



圖7 藤枝林道2K工區鑽探孔位與傾斜觀測管分布圖

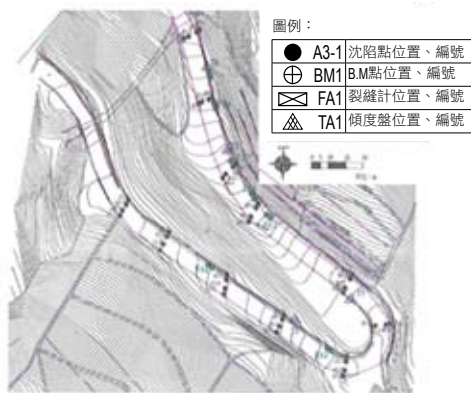


圖8 藤枝林道2K工區監測儀器(傾度盤、裂縫計、沉陷釘)配置圖

否以達降伏應力，以利辦理緊急措施，如疏散人員、進行地錨補孔計畫。

三、藤枝林道監測應用與整治規劃

藤枝林道全長19公里，因地勢陡峭加上溯源侵蝕、坡面岩盤風化等影響，因此每有豪雨即造成邊坡地滑災害，藤枝林道2K周邊路段曾

於94年海棠颱風時引發大規模崩塌，地滑潛勢區由2K(崩塌區中央)向上延伸至4K路基(崩塌冠部)，向下延伸至邦腹溪畔(崩塌趾部)，崩塌面積約10公頃，屏東處為根本之整治而於96年起辦理坡地鑽探與監測計畫。

(一)藤枝林道2K工區監測配置

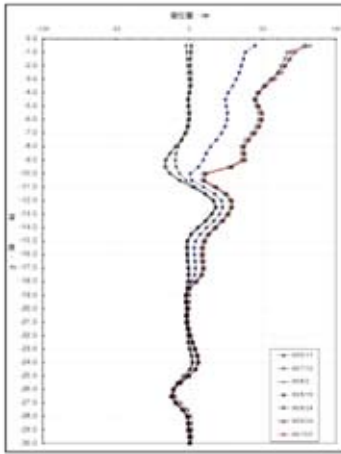
藤枝林道2K於96年初先進行10孔地質鑽探與岩心取樣，並利用鑽探後空孔設置10孔傾斜觀測管兼水位觀測井(A1至A10)，並於周邊區域設置傾度盤、沉陷觀測點、裂縫計、自記式水位計、地錨荷重計等監測設施。

為因應96年8月豪雨後工區原沈陷及滑動之情形快速加遽，並有非常明顯之地滑範圍擴大跡象，為全盤掌握2K至4K工區邊坡穩定狀況，96年11月起辦理追加鑽探與監測數量，增設8支傾斜觀測管(A11至A18)，並將監測作業延續至96年底，監測設施數量統計詳表1所示，圖7為藤枝林道2K工區傾斜觀測管分布圖，中央髮夾彎為林道2K位置，上方髮夾彎為林道4K位置。整治工程完工後岩層漸趨穩定，部分監測設施納入後續案件至今仍延續監測中。

(二)典型邊坡監測成果與整治規劃彙整

由藤枝林道2K監測設施之典型代表，藤枝林道2.05K路中央之A10傾斜觀測管成果顯示，96年8月梧提與聖帕颱風累積2,100mm雨量後，地表主軸方向累積8.5cm位移量，主要滑動面深度位

A-10傾斜管變位量與深度之關係(主軸)(96年)



A-11傾斜管變位量與深度之關係(主軸)(97年)

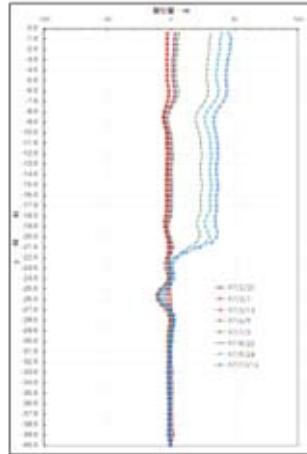


圖9 藤枝林道2K工區之A10與A11傾斜管監測結果

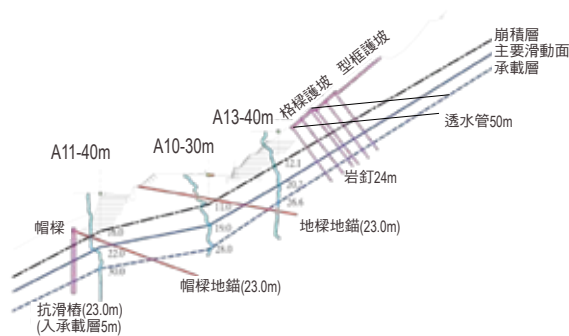


圖10 藤枝林道2K周邊監測成果、地形剖面與整治規劃套繪圖

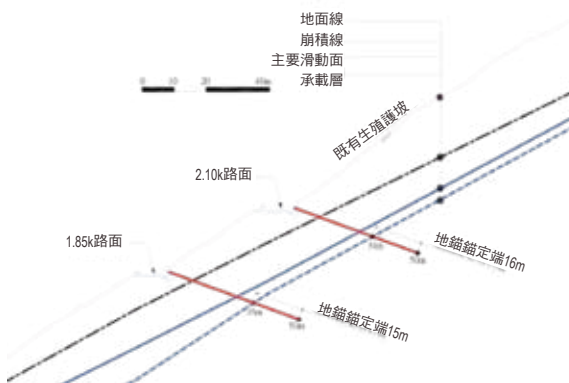


圖11 藤枝林道2K周邊之預力地錨錨定深度計算檢核圖

於19m，深度28m以上另有一內凹線型，研判為路基下陷引致管材挫曲，可保守訂為承載層。

由藤枝林道2K下邊坡路外之A11傾斜觀測管成果顯示，97年7月卡玫基颱風累積2,200mm雨量，以及9月辛樂克颱風累積1,900mm雨量後，地表主軸方向累積4.8cm位移量，主要滑動面深度位於22m，深度28m以上另有一內凹線型，研判為岩層滑移下層反曲或路基下陷挫曲之故，可訂為承載層。

將上述A10、A11與周邊A13監測成果彙整，套繪地形剖面與既有結構，將主要滑動面與深層滑動面各別連線，套繪抗滑樁計畫線型與樁頂高程，即可確認入承載層樁長(一般3m-5m)與計畫總樁長。

藤枝林道2K周邊監測成果與地形剖面套繪，亦可用以評估地錨錨定長度，地錨錨定端皆錨定於承載層以下，且錨定長度規範要求最小長度10m以上，以發揮永久錨定承載力，藤枝1.85K與2.10K既有擋土牆增設地錨(圖10)，檢算地錨錨定長度分別為15m與16m。

(三)藤枝林道2K工區整治工程簡介

依據前期鑽探與監測成果資料，依據工區內地滑變動程度分區，評估整治或補強結構物之優先順序，據以研擬規劃2K周邊之第一期至第三期工程案之整治大綱。第一期工程以藤枝林道4k工區路基復建為主，已於96年12月完工，第二期工程於2K工區以地錨加固既有擋土牆，並進行2K上邊坡之坡面植生護坡工程，已於97年3月完工。

藤枝第三期工程發包4,256萬元，共區分為



(1)地錨裝設之鑽孔作業



(2)鑽設格樑岩釘作業



(3)基樁鑽掘與鋼筋籠製作



(4)超音波檢測樁體混凝土澆置品質

圖12 藤枝第三期工程之代表施工照片

A至C等3工區，A工區為2.1K上邊坡格樑護坡工程，B工區為2K周邊邊溝與地錨工程，C工區為1.9K下邊坡抗滑樁工程，97年8月18日開工，已於98年4月完工。

藤枝第三期工程之代表施工照片詳圖10所示：(1)為既有擋土牆增設地錨，鑽堡在2.1K路旁鑽孔作業照片。(2)為2.05K上邊坡吊車調掛小型鑽機，在坡面鑽設格樑岩釘作業照片。(3)為大型基樁鑽掘機，在1.85K下邊坡鑽掘與製作鋼筋籠。(4)為抗滑樁樁頂劣質混凝土打除與清理，以超音波檢測樁體混凝土澆置品質。

(四)莫拉克豪雨考驗

2009年8月8日莫拉克颱風帶來豐沛的雨量重創藤枝林道，造成全線19公里中大小崩塌48處，長4公里餘，佔全長5分之1以上。本次颱風期間御油山雨量測站測得降雨量統計說明如下：8月7日雨量501mm，8日雨量1,283mm，9日雨量583mm，10日雨量423mm，11日雨量105mm，其中8月7日至9日共三日累積雨量達2,367mm(約為本區年均雨量之57.8%)，7日至11日共五日累積雨量達2,895mm(約為本區年均雨量之70.7%)。

藤枝林道2K周邊災情勘查受損輕微，顯示第一至第三期整治工程設施有發揮預期穩定功效，大幅降低滑動變位量，建議延續監測既有設施以掌握評估此區域長期地滑整治成效。圖13為藤枝林道2K周邊災情勘查：(1)為2.1K擋土牆第二期工程施做水平集水管，災後8月10日出水仍像消防栓噴水。(2)為下邊坡第三期工程施做抗滑樁工區現況，顯示坡面穩定無災害。(3)94年海棠颱風造成大崩塌的情形，而(4)為經整治後，經歷莫拉克颱風(2009/8/17)災後之照片，



(1)水平排水管排除地下水情形



(2)下邊坡施做抗滑樁穩定情形



(3)94年海棠颱風崩塌情形



(4)莫拉克颱風後穩定情形

圖13 藤枝林道2K周邊莫拉克颱風後之實地情形

顯示2K上邊坡地滑潛勢區崩塌坡面植生復育良好，抗滑樁、格梁護坡、噴漿縱橫溝、水平集水管與既有加勁擋土牆等複式整治工法有良好成效。

五、結論與建議

本文介紹了坡地常用之監測設施，並以藤枝林道2K工區作為監測成果應用範例，透過邊坡監測系統可以了解地滑潛勢區之滑動機制、深度、速度與規模，進而設計出合適的整治工法。故將此監測成果與整治規劃作綜合性介紹，以下數點結論與建議，供林業工作同仁於林道維護與地滑整治之參考：

- (一)林道維護需運用防災、減災、避災觀念，以「災前」監測規劃與惡化前積極治理，取代「災後」因交通阻斷而需積極辦理之搶修復建。前期監測成果確認滑動機制，後續監測成果用以評估整治後成效，配合持續監測，可預警災害端倪而及時補強。
- (二)於深層滑動坡面，單用淺層之護坡與擋土工法(如植生、掛網護坡、擋土牆等)對滑動之坡面整治效果低。依據監測資料評估工區因受地形限制、岩層結構分佈不一等因素，評估適合該工區之鑽掘機具，使施工可行及經濟性達到最佳之整治工法，如深層地滑用抗滑樁、地錨等工法，搭配地下水排除之複合式整治，可明顯展現其治理後之整治成效。
- (三)藤枝2K周邊整治前地滑活躍，整治工程完成後大致穩定，建議林道災害初期搶通後，若有明顯地滑潛勢跡象，應及早鑽探與建置監測，作後續永久整治之規劃設計依據，並應持續監測以評估整治成效。⚠️

參考文獻(請逕洽作者)