

# 複合式加勁結構在緊鄰斷層破碎帶之應用

吳嘉文<sup>1</sup> 張家銘<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 盟鑫工業股份有限公司國內業務處 主任工程師

<sup>2</sup> 盟鑫工業股份有限公司 國外業務處 工程師

## 摘要

臺灣由於土地狹小山區佔全島 70% 以上且缺乏豐富天然資源，經濟發展導向以出口為主。早期為因應工業快速成長，縮短物資運輸時間及成本，興建大量公路系統。近年來則隨著都市人口加速成長及休閒產業的普及，更提高了山區道路的使用率。地理位置上位處環太平洋地震帶上造成地質較破碎，且特殊地理位置夏、秋兩季易受颱風暴雨侵襲，導致山區道路崩塌機率較其它國家頻繁。

本案例為緊鄰斷層帶，造成地質材料較破碎，崩積層排水不良導致暴雨期間道路邊坡穩定性降低產生大規模坍滑案例。由於回包式加勁工法具有施工設備簡易、施工便捷不易受地形限制、人力成本低等優點，在有效控制現地土壤夯實品質情況下，搭配排水系統並結合排樁及地錨工法成為複合式加勁結構，經傾斜管及水位觀測井監測結果顯示邊坡滑動已獲得有效控制。

關鍵詞：山區道路、斷層帶、崩積層、坍滑、複合式加勁結構。

## Application of a Complex Reinforced Structure next to Fault Zone

### ABSTRACT

Transport infrastructure is one of the main influence factors on urban development. In early Taiwan, with local rapid growth, Taiwan government substantially built roadway systems to reduce transport time and cost. Furthermore, the demand of hilly road is increasing in recent years with population growth and tourism development. As a result of lying in the circum-Pacific seismic zone and the marine tropical zone, comparison of other country Taiwan comes with fragmental geology and succumbs to attacks of server tropical storms. Slope failure, erosion, collapse or road damage happened frequently after torrential rain.

The hilly road in this case locates next to fault zone. Due to fragmental geology and poor drainage, slope instability apparently happened and brought out the extensive collapse. Wrap-around reinforced structure gradually became proposed hilly road repair method due to its flexible structure and rapid construction. Moreover, in-situ soil was successfully used as backfill material in Taiwan due to the lack of natural aggregate, which further reduced construction cost. Under well-controlled compaction quality of in-situ soil and thoughtful arrangement of drainage system circumstances, here complex reinforced structure combined with drilling piles and soil anchors was built. Through one year of inclinometer monitor and water level observation wells, increment of overall slope was decreased with ground depth and almost none displacement is detected under 10m depth.

*Key Words:* Hilly Road, Fault Zone, Collapse, Landslide, Complex Reinforced Structure.

## 一、前言

基樁在大地理應用上除可做為上部結構的承載基礎或抗浮系統外，在貫入深度超過邊坡潛在滑動面達一定深度後，又可做為坡趾下方基礎土壤補強結構。地錨結構常被用在都市深開挖的背拉支撐系統、抗浮系統，更常被用在邊坡及擋土牆中抵抗滑動輔助結構，其力學機制是經由錨碇段中漿體與周圍土層固結，提供結構所需錨碇力，經自由段鋼鍵施拉預力並鎖定後將土層中錨碇力傳遞至結構物上。加勁結構是由加勁格網與回填土壤間之摩擦阻抗提供結構體所需之穩定來源。本案例即是結合上述三種工法搭配排水系統，在緊鄰斷層破碎帶進行道路工程修復。

## 二、災變原因探討及地質情況描述

工址施工初期邊坡已產生大量位移，公路單位更在上邊坡打設水平排水管與坡面噴漿溝處理用以導出邊坡入滲水與截取坡面地表水，道路兩側並打設鋼軌樁維持道路單線通車，確保地滑區之暫時穩定。唯2007年6月8日工址因暴雨造成路基坍塌長度約80m，高差約30m之滑動破壞，下邊坡地錨護坡也在滑動後造成多組地錨拉斷破壞，坡趾處並形成一明顯隆起現象，邊坡栽植檳榔樹也因坍塌呈現傾斜情況如圖1,2所示。

根據現地鑽探報告顯示，工址4km範圍內鄰近之地質構造，包括有水里坑斷層、車埕斷層、深坑斷層、雙冬斷層(大茅埔-雙冬斷層)、集集大山向斜、大岸山向斜及頂崁向斜等；其中雙冬斷層為中央地質調查所公告之活動斷層。車埕斷層和水里坑斷層分別位在工址的東西兩側且相當接近，約100~200公尺間，呈逆斷層型式向西逆衝；故工址地層受這兩斷層之影響，接近地表地層相當破碎或已呈斷層泥狀；地層位態相當混亂，一部份向東傾斜，另一部份因斷層剪裂擾動有倒轉向西傾斜之情形。覆蓋邊坡主要由坡地崩積層及回填層所構成，另水里坑斷層切過本區域之西側，研判坍塌區之岩體應受斷層之影響，至岩體較破碎並可能存在一受壓水層，詳圖3,4所示[1]。

另根據中央氣象局雨量統計資料顯示，邊坡滑動前一天當地累積降雨量為123mm，滑動當天仍有88mm，現勘後也發現道路上邊坡已有多處張力裂縫產生，導致降雨之入滲水滲入坡地堆積層中，當邊坡地質材料排水不良導致土層內部孔隙水壓升高後，路基邊坡土層穩定性大幅尚失後產生大規模坍塌。同時根據現場鑽探結果顯示，由孔頂往下約5m為崩積土，5m~35m為破碎頁岩夾斷層泥，35m~60m為較完整硬頁岩，地下水位約在崩積層與破碎頁岩層間，如圖5所示。綜合以上資料顯示導致邊坡破壞主因為地質材料破碎下地層中含水量問題，故道路修復上設計單位也特別注意排水問題的解決。各土層之工程性質如表1所示。

## 三、工法選擇與穩定分析

由於破壞區系屬水庫水質水源保護區內，考量基礎部分將遭遇水庫蓄水時水位升降問題，且根據鑽探報告由既有路面往下35m處才有強度較高之硬頁岩，設計單位採直徑1.5m，間距2.5m，長度20~30m之全套管基樁打設在總高度8.5m RC擋土牆上方做為複合式加勁工法基礎保護結構。RC牆面打設三階地錨。擋土牆上方則採回包式加勁擋土牆，格網埋置長度分別為10m及8m，牆面坡度(V:H)為1:0.3，牆高為17m分4階施做。為有效解決排水問題，加勁結構中並配有完整之內外部排水系統，回填材料則現地土壤做為回填料(破碎頁岩含沉泥)。邊坡穩定採常時、地震及暴雨三種狀態進行分析，結果如表2及圖6,7,8所示。



圖1 地滑後情況



圖2 上邊坡臨時擋土措施



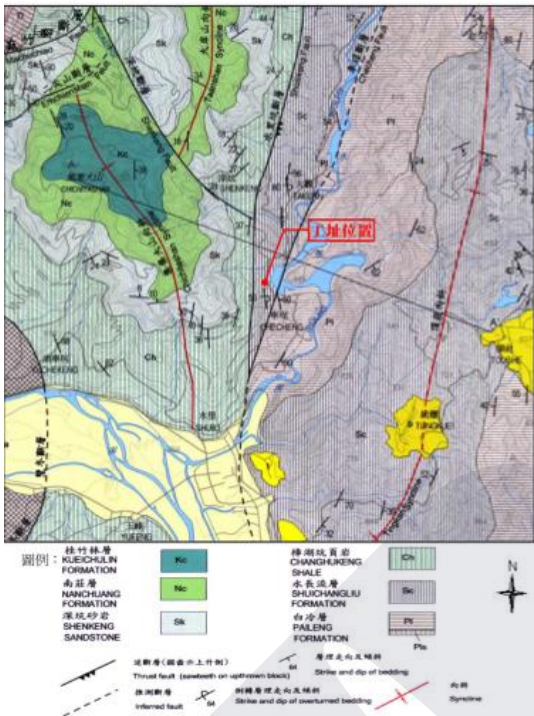


圖 3 區域地質圖(中央地調所)

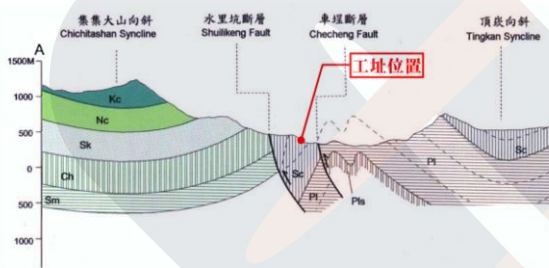


圖 4 區域地質之 A-A'剖面(中央地調所)

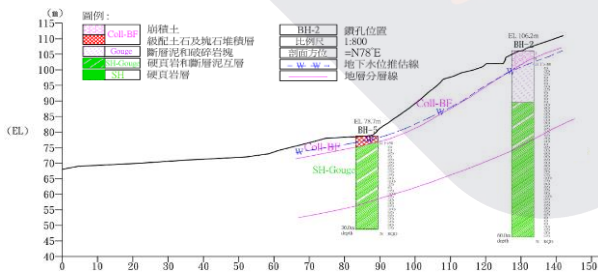


圖 5 地層及地下水位分佈

表 1 土壤工程性質

土壤種類	$\gamma(\text{kN/m}^3)$	C(kPa)	$\phi(^{\circ})$
崩積層	20.58	5	27
破碎頁岩及斷層泥	19.3	14.5	23.5
硬頁岩	23.62	56	34

表 2 邊坡穩定分析

狀態	常時	暴雨	地震
Factory of Safety	1.57	1.12	1.21

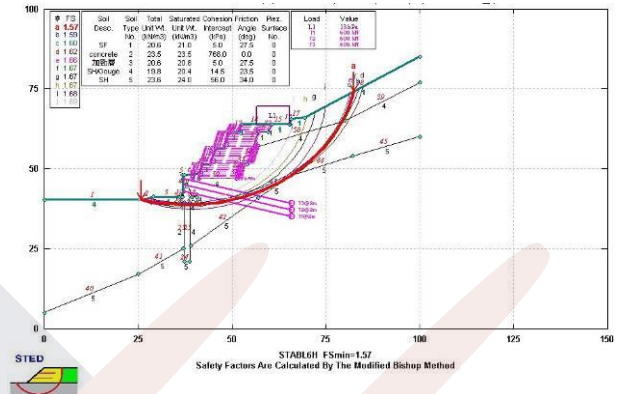


圖 6 邊坡穩定分析(正常模式)

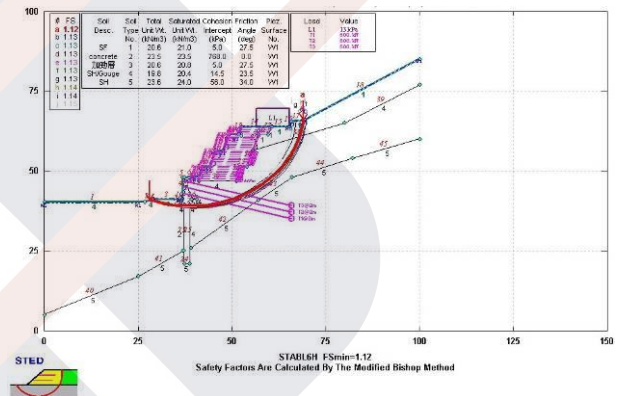


圖 7 邊坡穩定分析(暴雨模式)

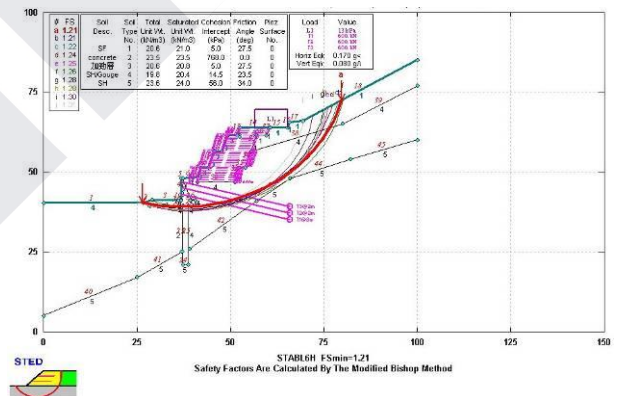


圖 8 邊坡穩定分析(地震模式)

## 四、施工

施工順序依序為排樁打設、施做 RC 擋土牆、地錨、排水系統、加勁擋土牆施做，最後為路面修復，設計斷面如圖 9，修復後如圖 10 所示。

### 4.1 排樁及 RC 擋土牆

打設直徑 1.5m，間距 2.5m，長度 20m~30m 場鑄式鑽掘樁，樁頭並與 8.5m 高 RC 擋土牆連接，基樁除可將 RC 擋牆載重傳遞至工程性質較佳之土層外，又可做為複合式加勁結構之止滑抵抗結構。

### 4.2 地錨

為有效提高基礎結構之止滑抵抗，RC 擋牆施工完成後，在牆面預定位置處分別施做垂直及水平間距皆為 2m，自由段長度 30m，錨碇段長度 10m，傾角 15 度，設計錨碇荷重為 60t 的地錨。其中自由段長度並通過破碎頁岩層，使錨碇段完全座落在地質材料較完整的硬頁岩層。

### 4.3 排水系統

為有效排除邊坡內、外部的地下水或地表水，分別在第 2 及第 3 階加勁區後方原始邊坡面打設長度 15m 水平間距 2m 的水平排水管，交界處設置厚度 30cm 碎石包做為排水通道，牆體內並設置水平及垂直間距為 2m 的水平排水管，超過 1.5m 厚排水粒料鋪設在加勁結構最底層，牆面及退階處設置縱、橫向截水溝做為坡面截水系統，減少暴雨時地表水漫流沖刷。

### 4.4 回包式加勁擋土牆

在排樁、RC 擋土牆、地錨及深層排水系統設置完成後，採逐階回填夯實方式分 4 階施做回包式加勁擋土牆，各層回包長度均為 2m，土工加勁格網縱向極限強度大於 200kN/m，為抵抗因高填方所引致側向力，第一階格網之各層厚度採 0.3m 回填夯實，其餘分層厚度均固定為 0.5m，回填料採現地土壤直接回填，大多為破碎頁岩塊並含少量沉泥。

## 五、邊坡監測及判讀

由於工址緊鄰多條斷層帶造成地質材料極為破碎，地下水易集中於斷層泥中，為了觀測結構完成後長期變形情況，設計單位分別在道路上邊坡及加勁區設置 8 孔傾斜管與 6 處水位觀測井進行邊坡位移及地下水水位變化的監測，時間為期一年，位置如圖 11 所示。各傾斜管最大位移處、累積最大變位量及最終變位速率整理如表 3，。

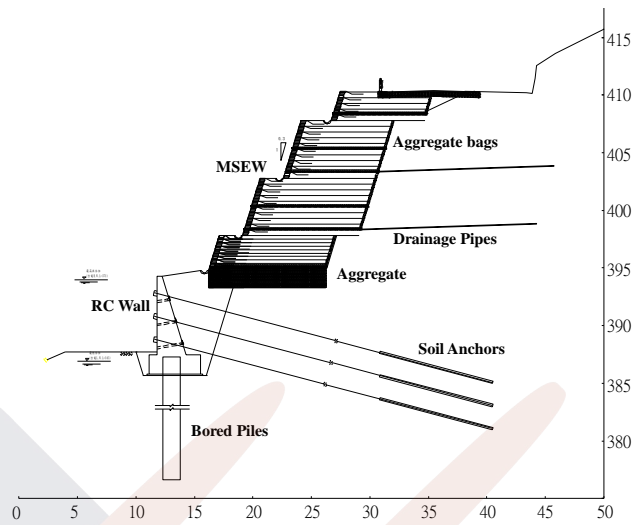


圖 9 複合式加勁結構設計斷面圖



圖 10 完工後全景

表 3 傾斜管累積變位量及變位速率

管號	位置	累積變位 (mm)	最大位移處	變位速率* (mm/月)	變位速率** (mm/月)
SO1	上邊坡	11	孔下 0.5m	0.01	0.002
SO2		14	孔下 2m	0.004	0.003
SO3		13	孔口	0.01	0.003
SO4		8	孔下 2m	0.0004	0.002
SO5	加勁區	32	孔口	0.03	0.007
SO6		22	孔口	0.02	0.005
SO7		19	孔口	0.02	0.004
SO8		11	孔下 9m	0.01	0.002

\*5 個月觀測時間  
\*\*12 個月觀測時間



### 5.1 傾斜管監測

本工址之傾斜管分別施置在道路上邊坡RC擋牆後方及加勁區各4孔，孔深均為20m。觀測結果如圖12, 13所示，上邊坡4孔最大變位量多半發生在由孔頂向下約2m處(約等於RC擋土牆高度)，初期變位量可能由擋土牆後方回填土所造成，深度超過18m有明顯收斂現象，一年後累積最大變位量為14mm，變位速率也由初期半年0.0004~0.01mm/月到一年後0.002~0.003mm/月。

加勁區變位量依傾斜管座落位置而變化，最大變位量集中在孔口及孔下約9m處，孔口處變位較大原因與加勁結構覆土較薄有關，其中SO-8位在結構角隅端且管周圍七厘石回填可能沒有很確實，變位量較無參考價值；SO-6、SO-7位在整個結構主應力方向上變位量也較一致，深度超過13m以下有一明顯反曲點，對應地層分佈約在破碎頁岩與第二階加勁回填區底部，往下變位量在前方基樁及地錨束制後已明顯縮小，另加勁區初期變位量發生時間與上邊坡剛好相反，前者集中在初期，後者集中在末期，如圖14所示。一年中累積最大變位量為32mm，變位速率也由半年0.01~0.03mm/月降低到0.002~0.007mm/月。

根據日本地滑對策技術協會1978[2]對不穩定邊坡活動性分級表，以變位速率做分級如表4，案例月變位量無論5個月或一年均在0.5mm以下，研判上下邊坡在這一觀測中已呈穩定。

表4 不穩定邊坡之活動性分級建議表

(日本地滑對策技術學會，1978)

變動種別	日變位量 (mm)	月變位量 (mm)	一定方向的累積傾向	活動性判斷	摘要
緊急變動	20 以上	500 以上	非常顯著	急速崩壞	崩壞型 泥石流型
確定變動	1 以上	10 以上	顯著	活潑運動中	崩積土滑動 深層滑動
準確定變動	0.1 以上	2.0 以上	略顯著	緩慢運動中	粘土滑動 回填土滑動
潛在變動	0.02 以上	0.5 以上	稍稍有	有待繼續觀測	粘土滑動 崖錐滑動

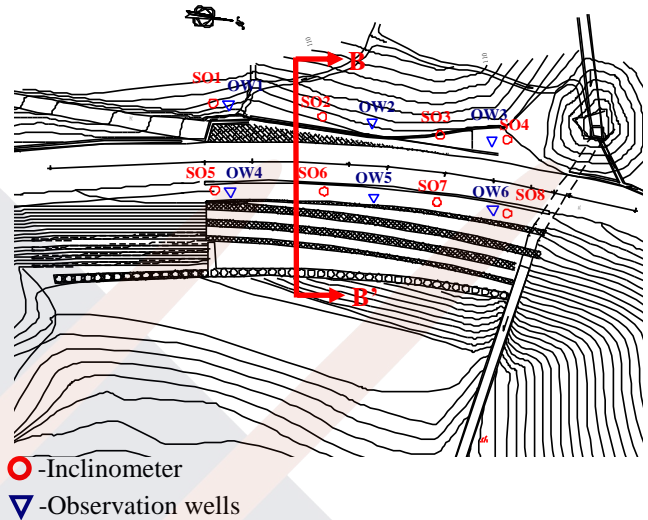


圖 11 監測設施配位置圖

### 5.2 水位觀測井監測

再由水位觀測井觀測水位變化情況顯示，在施工完成初期的旱季，水位最低已低於破碎頁岩層往下約10~15m，在莫拉克颱風侵襲過後月底測得水位約上升2.5m，至觀測日止約1年上邊坡水位已變化不大，加勁區的水位則往上再升高2.5m，唯此部分水位均在破碎頁岩層中，而非原先之崩積層中，各推估水位線如圖15所示，最終流線系根據工址擋土牆排水孔約略排水位置推測，分施工後、風災後及1年後表示，水位面多位在最下階加勁層上(1.5m厚排水粒料層)。

### 5.3 變位速率與累積雨量關係

根據廖瑞堂對於邊坡穩定性研判指出，邊坡實際位移量的大小不是研判的主要依據，而位移速率及位移趨勢才是反應邊坡穩定與否的主要指標[3]。將觀測位移量與時間以變位速率方式表示，再與中央氣象局臨近測站之雨量與地下水位變化比較如圖16, 17。

圖上顯示，上下邊坡在施工完成初期變位速率較高，且加勁區明顯大於上邊坡淺覆蓋區。隨著完工時間拉長以現地土壤(大部分為頁岩及沉泥)做為回填材料之加勁區在土壤應力重組或土壤長期壓密後，變位速率也逐漸穩定。另參考中央氣象局臨近雨量測站資料，工址處上邊坡地下水位面隨莫拉克風災夾帶豪雨上升超過2m，加勁區更超過4m，之後兩者水位面直至量測結束已相當接近，但修復邊坡變位速率並未隨之提高，而結構變位速率也隨觀測時間趨於穩定，研判結構在排水系統確實設計與施工下，當遭遇破碎地質又需採高填方情況時，複合式加勁工法確實可被考慮。

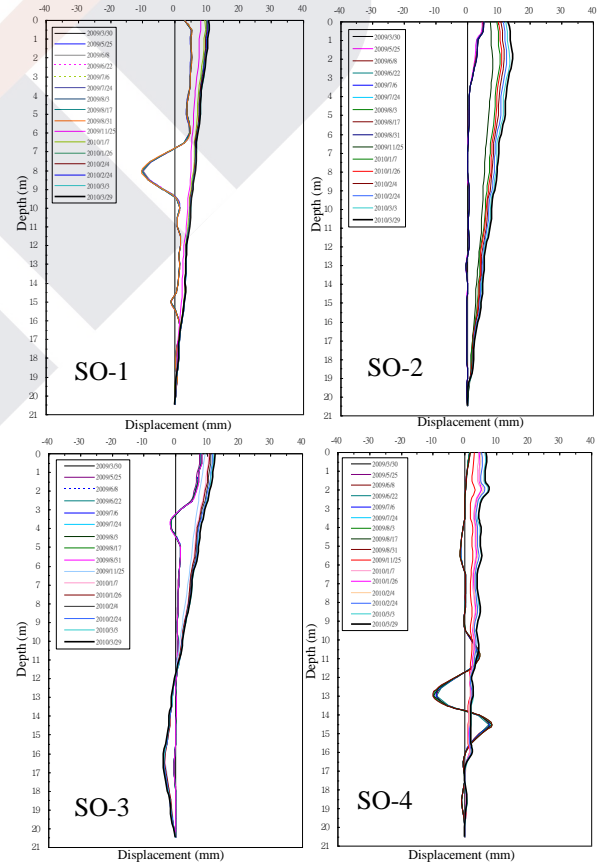


圖 12 上邊坡傾斜管觀測

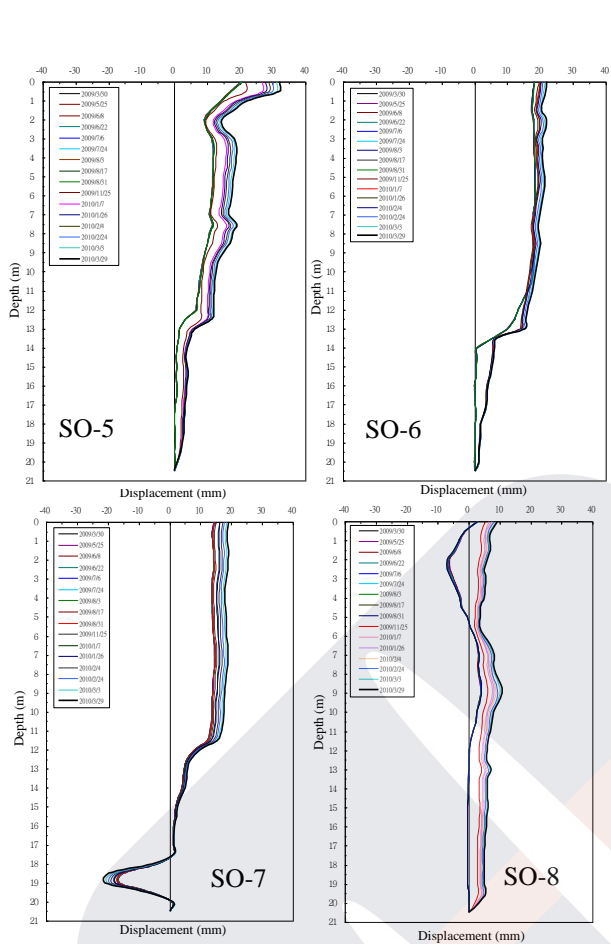


圖13 加勁區傾斜管觀測

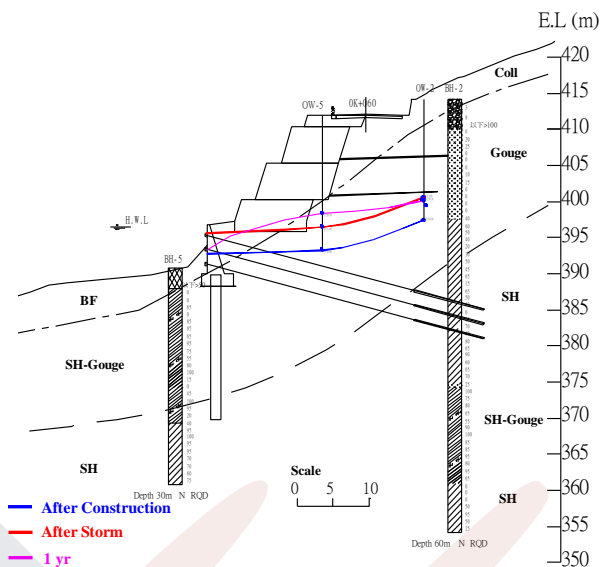


圖15 地下水位變化與地層分佈關係(B-B'剖面)

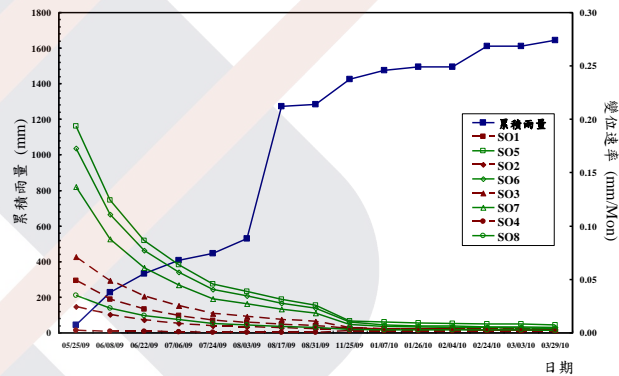


圖16 累積雨量與變位速率關係

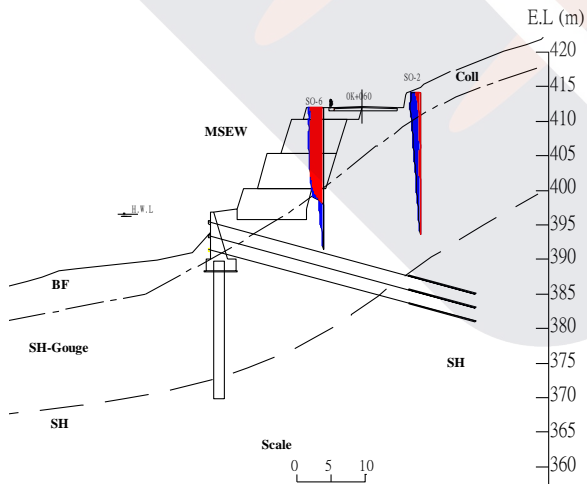


圖14 側向位移與地層分佈關係(B-B'剖面)

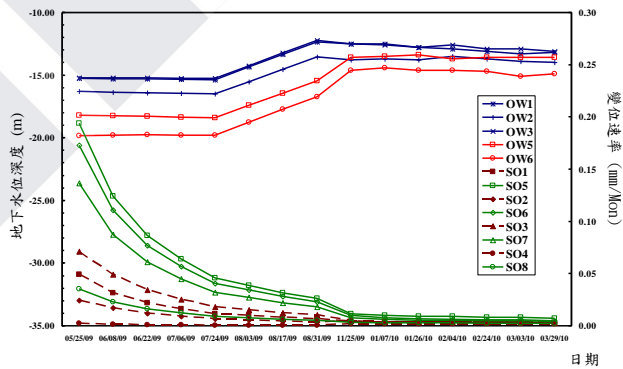


圖17 地下水位變化與變位速率關係

---

## 六、結論

本案例為緊鄰斷層帶，造成地質材料較破碎，崩積層排水不良導致暴雨期間道路邊坡穩定性降低下產生大規模坍塌。

設計上採剛性與柔性共構之複合式加勁結構，配置內外部排水系統同時控制現地回填料夯實品質，由傾斜管及水位觀測井經一年期間監測，期間並遭遇莫拉克風災，但修復邊坡變位速率並未隨水位面提高而增加，變位速率隨時間增加而趨於穩定，研判結構在排水系統確實設計與施工下，當遭遇破碎地質又需採高填方情況時，複合式加勁工法確實可被考慮。

## 參考文獻

- [1] 南投縣政府(民國96年6月)，「96-0608 豪雨復建縣道131線29k處道路災修復建工程」委託地質探查及測設監造工作，地質探查報告書，南投。
- [2] 地すべり地滑對策技術協會 (1978)，”地すべり對策技術設計實施要領”，Vol.2，日本。
- [3] 廖瑞堂(民國90年8月)，「山坡地護坡工程設計」，科技圖書股份有限公司，台北，頁154。