

崩塌地三層次排水整治及成效追蹤 —以臺南市道 175 線 25.4K 路段 為例

高振誠 青山工程顧問股份有限公司 / 副總經理、大地技師

陳昭維 青山工程顧問股份有限公司 / 總經理、大地技師

邱昶瀚 青山工程顧問股份有限公司 南區辦事處 / 經理

林育玄 青山工程顧問股份有限公司 南區辦事處 / 組長

章之嘉 青山工程顧問股份有限公司 南區辦事處 / 工程師

陳世仁 臺南市政府工務局 / 局長

徐敏哲 臺南市政府工務局 第二工務大隊 / 大隊長

邱揚真 臺南市政府工務局 第二工務大隊 / 工程員

一、前言

臺南市市道 175 線 25K+400 路段，為來往六甲區與楠西區主要交通路線，位置如圖 1 所示。早期本路段每逢颱風豪雨，常發生地層滑動造成路面下陷、附近農舍及產業道路開裂，影響用路行車安全。



圖 1 地理位置圖

本路段屬舊崩塌地，早期由公路局代為管養，投入許多心力，民國 84 年曾一次大豪雨事件造成路面下陷約 1.5 公尺，阻斷交通，公路局再搶通道路為優先的條件之下，即進行路基擋土牆補強及 AC 鋪設工程。惟至 94 年間，因颱風豪雨影響，再度產生較大滑動，使道路及下邊坡擋土設施有明顯下陷約 2 公尺。為徹底瞭解重複致災的原因，其後 95 年起進行相關調查及監測工作，找出滑動深度，100 年先以短期保護用路安全為主，於路基下方施作一道抗滑樁、地錨補強及地表排水改善工程，路基有趨於較穩定，惟因 102 ~ 106 年期間道路管養單位轉換為南市府，至 106 年時道路因抗滑樁下邊坡仍有持續較大滑動陷落影響，排樁下邊坡崩崖陷落而樁身露出，逐漸使公路路面有下陷及裂縫情形產生，南市府其後再於樁身施打繫梁地錨，加以緊急補強。

107 ~ 113 年南市府接續進行調查及監測工作，豪雨時道路上邊坡地下水位有上升 10 ~ 25 m，汛期產生額外較大水壓力，滑動現象則加劇，顯示地下水上升為滑動之主要誘因，下邊坡仍存在一明確滑動之 N1-1 塊體，其滑動深度約 20 m。

於 107 ~ 108 年期間顯示樁身地錨補強及水平集水管排水改善後，乾季趨於穩定，道路尚屬穩定，惟上邊坡地下水仍有較大上升量，以及抗滑樁下邊坡仍有滑動，綜合滾動檢討滑動機制、規模及活動性，接續整體整治設計理念「排水為主，擋土為輔」，分年分期進行三層次排水整治，110 年於道路上邊坡設置 2 座大口徑集水井、坡面水平集水管及坡趾壓重工程，加以導排上升之地下水，經近年監測滾動評估，汛期間路基抗滑樁以上大致呈現穩定，有初步成效，112 ~ 113 年接續完成下邊坡地表排水改善、坡面水平集水管及地錨補強工程，隨即遇 113 年 7 月凱米颱風累積達 1,766.5 mm（楠西站）降雨量侵襲，由颱風過後監測及現地勘查，道路及排樁穩定，下邊坡無明顯較大滑

動位移，顯示採三層次排水整治，達到良好成效。調查區災害及整治重要大事紀，如圖 2 所示。

二、調查及觀測

2.1 地形及水系

調查區地形由東南向西北傾斜，趾部緊鄰南勢坑溪上游，東南鄰烏山嶺，烏山嶺稜線呈東北 – 西南走向，略與道路（舊為市道 174 線，近期改為 175 線）線形平行。所在坡面地勢由東側之烏山嶺（海拔約 467 m）向西下降至 150 m，並沒入南勢坑溪上游，區域範圍平均坡度約 20° ~ 25°，接近坡頂烏山嶺則坡度陡升為 40° 左右，為典型舊崩塌地冠部地形，立體地形圖如圖 3 所示。



圖 2 調查區災害及整治重要大事紀



圖 3 調查區立體地形圖（底圖摘自 Google Earth 衛星影像）

水系方面，西側為南勢坑溪上游由此向南流經調查路段之趾部，調查區兩側形成各有一道山溝，乾季無水，雨季則因降雨或有地下水補注，則有溪水，整體坡面山溝或蝕溝由東南向西北流入南勢坑溪上游。

2.2 地質概況

參考經濟部地質調查及礦業管理中心地質資料查詢網五萬分之一地質圖（玉井圖幅，民國 93 年），如圖 4，調查區之區域地質及環境地質概述如下：

1. 地層：主要出露岩層為六重溪層（Lu）及頂部之糖恩山砂岩（Tn）。

六重溪層泥岩，受到附近斷層構造影響，地層膠結性不佳且破碎，上覆崩積層易透水，使土岩界面泡水軟化易形成滑動弱面。岩性上以細粒至粉砂質層狀砂岩為主，顏色淡灰至灰色，風化後常呈黃棕色。



圖 4 五萬分之一區域地質圖（改繪自經濟部地質調查及礦業管理中心-地質資料查詢網五萬分之一地質圖）

糖恩山砂岩主要分布於烏山嶺山系稜線附近，主要為厚層細砂岩，其中夾有細砂岩與粉質砂岩互層，大環境層面位態大都呈南北走向，向東傾斜 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 。岩性以厚層塊狀砂岩及頁岩互層為主。

2. 構造：範圍坡頂為烏山頭斷層（崙後斷層）通過，為逆斷層且呈東北－西南走向。烏山頭斷層為台灣南部地區的主要逆斷層，屬觸口斷層系統之一支。可於 175 線道路楠西隧道以東邊坡地區，由地形及斷層兩側岩層岩性之差異判斷斷層位置。

3. 環境地質：調查區屬於確定高潛勢岩體滑動。

2.3 遙測影像判釋

針對調查區蒐集 102 ~ 110 年間等不同年份之 Google 衛星影像或 SPOT 衛星影像進行綜合判釋，如圖 5。

公路局於 100 年進行路基排樁地錨補強及地表排水改善工程，完工後經過 101 ~ 106 年，路基無明顯下陷。106 年道路下邊坡坡面多處裸露，期間僅針對產業道路毀損部分進行修補，而下邊坡農路起始端滑動邊界有新填補水泥，顯示道路路基下邊坡仍有滑動。108 年下方農路起始段再次重新鋪設，而在排樁附近則進行地錨補強及排水改善工程，提升路基保護及邊坡抗滑力。110 年於道路上邊坡新設 2 座大口徑集水井，以改善邊坡額外水壓力，下方農路全線重新鋪設，並於坡趾施作石籠擋土設施加以趾部壓重，提升整體邊坡穩定。

2.4 地滑表徵現勘地表調查成果

現場勘查內容包含崩塌地現況、路面及擋土構造、地表排水系統、趾部隆起及趾部護岸構造等，現場調查成果詳圖 6 所示。

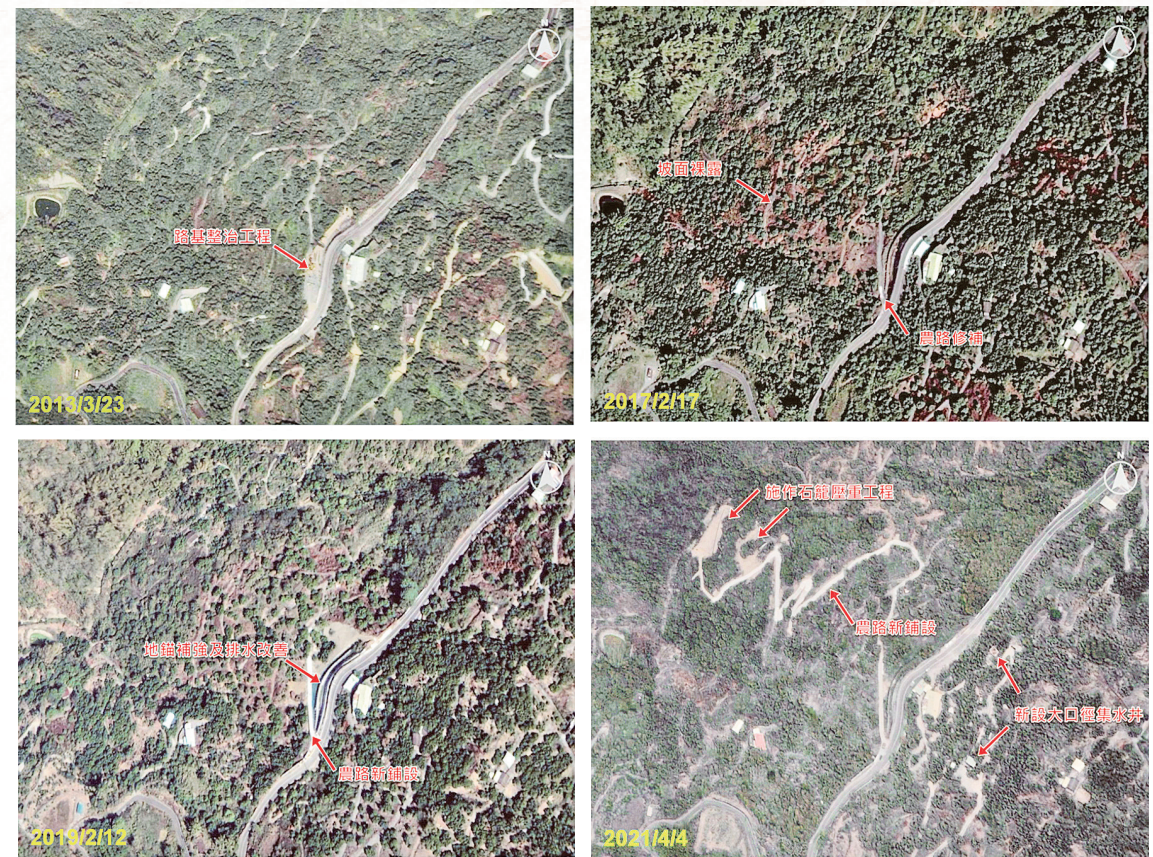


圖 5 遙測衛星影像圖

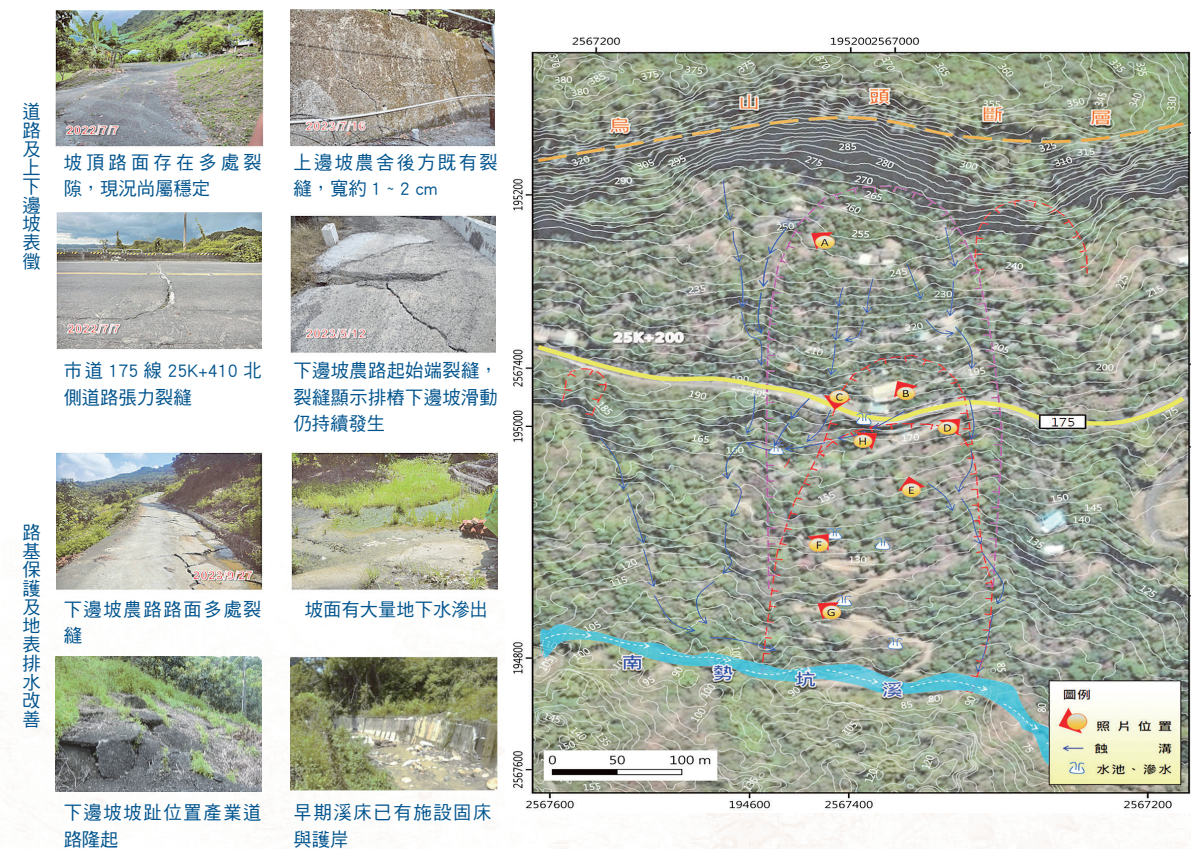


圖 6 市道 175 線 25K+410 地滑邊坡現勘位置照片圖

2.5 地質鑽探調查

於 106 ~ 107 年之鑽探調查共鑽設 12 孔，孔深介於 20 ~ 60 m 之間，總深度為 550 m。鑽探位置及地質剖面如圖 7 所示。調查區之地層由上而下概分為三個層次，分別為 (1) 崩積層、(2) 風化泥岩層及 (3) 泥岩層，除崩積層為黃棕色土

砂及塊石組成，局部塊石有大於 1 公尺，為易入滲及地下水流通，風化泥岩層多以泥質為基質，部分為泥質砂岩，破碎且多裂隙及有銹染情形。為可能地下水流通或補注層。土岩介面多為砂質泥岩，含泥量高，故易在土岩介面浸水軟化形成滑動面。

2.6 滑動規模研判

綜合地形資料、地表表徵及傾斜管監測成果，研判本調查區可分為 N1、N1-1 及 N2 三個可能滑動塊體，其中 N2 係以地形加以推估，N1 及 N1-1 則為路基排樁分切之滑動塊體，各滑動塊體活動性及初步研判資料整理如表 1 及圖 7 所示。

175 線道路位於 N1 塊體頭部，排樁下方 N1-1 滑動區域內之傾斜管皆有明顯滑動，滑動深度約 15 ~ 20 m，滑動面多發生於土岩界面，滑動面趾部則出露在溪岸上方邊坡。

表 1 各滑動塊體表徵及活動性初步研判

滑動塊體		N1 (確定)	N1-1 (確定)	N2 (潛在)
邊坡不穩定表徵	崩崖地形	V	V	V
	崩積材堆積	V	V	V
	道路或構造物開裂	V	V	—
	滲水	V	V	
	蝕溝		V	V
監測滑動深度 (m)		整治後無明顯滑動	20	無明顯滑動
近期邊坡活動性		△	◎	×

◎：近期活動性極為活躍，邊坡已發生崩塌
△：近期活動性不明確
×：活動性不明確
—：未見表徵

2.7 地下水調查

1. 地電阻探測

調查區邊坡可能存在複雜地下水特性，為提高對地下水特性之掌握，先進行較大範圍之地電阻探測，初步瞭解可能之地層、地質構造及地下水分布情形後，可提供鑽孔佈設及規劃相關地下水調查及監測位置規劃。本調查區佈設之地電阻測線包含 L1 ~ L7 等 7 條測線，測線長度為 250 ~ 350 m，總佈設長度為 2,000 m，以縱橫井字交錯佈設，如圖 8。研判地下水可能流徑，選取橫向 L2 ~ L4 等 3 條測線。綜合研判調查區位於上邊坡左右兩側較可能存在較大地下水流徑，下邊坡則左側為主要地下水流徑。

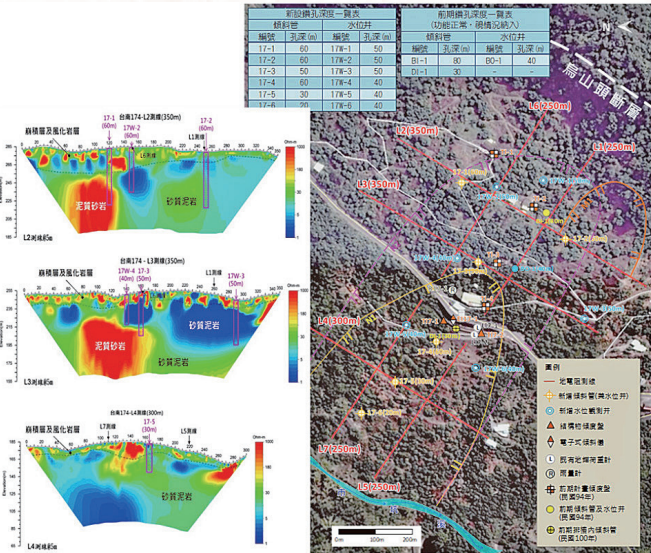


圖 8 地電阻探測及監測儀器平面位置圖

2. 地下水觀測

107 ~ 112 年地下水位監測包含 8 孔傾斜觀測管（兼水位觀測井）、5 孔水位觀測井可進行手動地下水位觀測，其中部分裝設電子式水壓計，以取得水位連續變化。茲就道路上下邊坡分述如下。

(1) 道路上邊坡側：道路上邊坡側手動水位監測儀器包含傾斜觀測管（兼水位井）及水位觀測井，計 11 孔，監測成果如圖 9 所示。由監測成果可知，1 ~ 4 月枯水期，常時水位介於深度約 7 ~ 33 m 之間；6 ~ 8 月豪大雨期間，地下水位則可快速升高至深度約 3 ~ 25 m 之間，其中上邊坡 17-2 孔地下水位上升幅度最大，可達約 25 m，顯示附近區域地層可能存在地下水補注流徑。

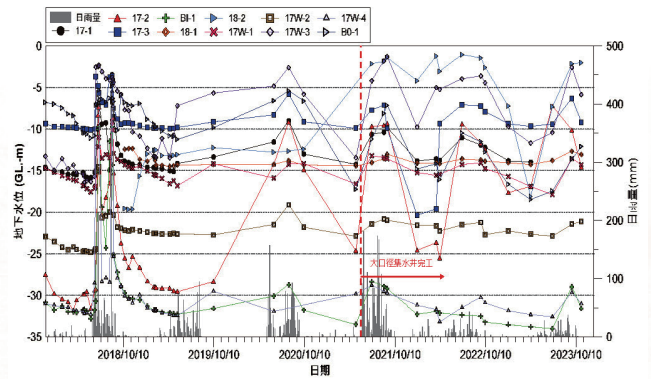


圖 9 道路上邊坡各孔水位手動監測成果

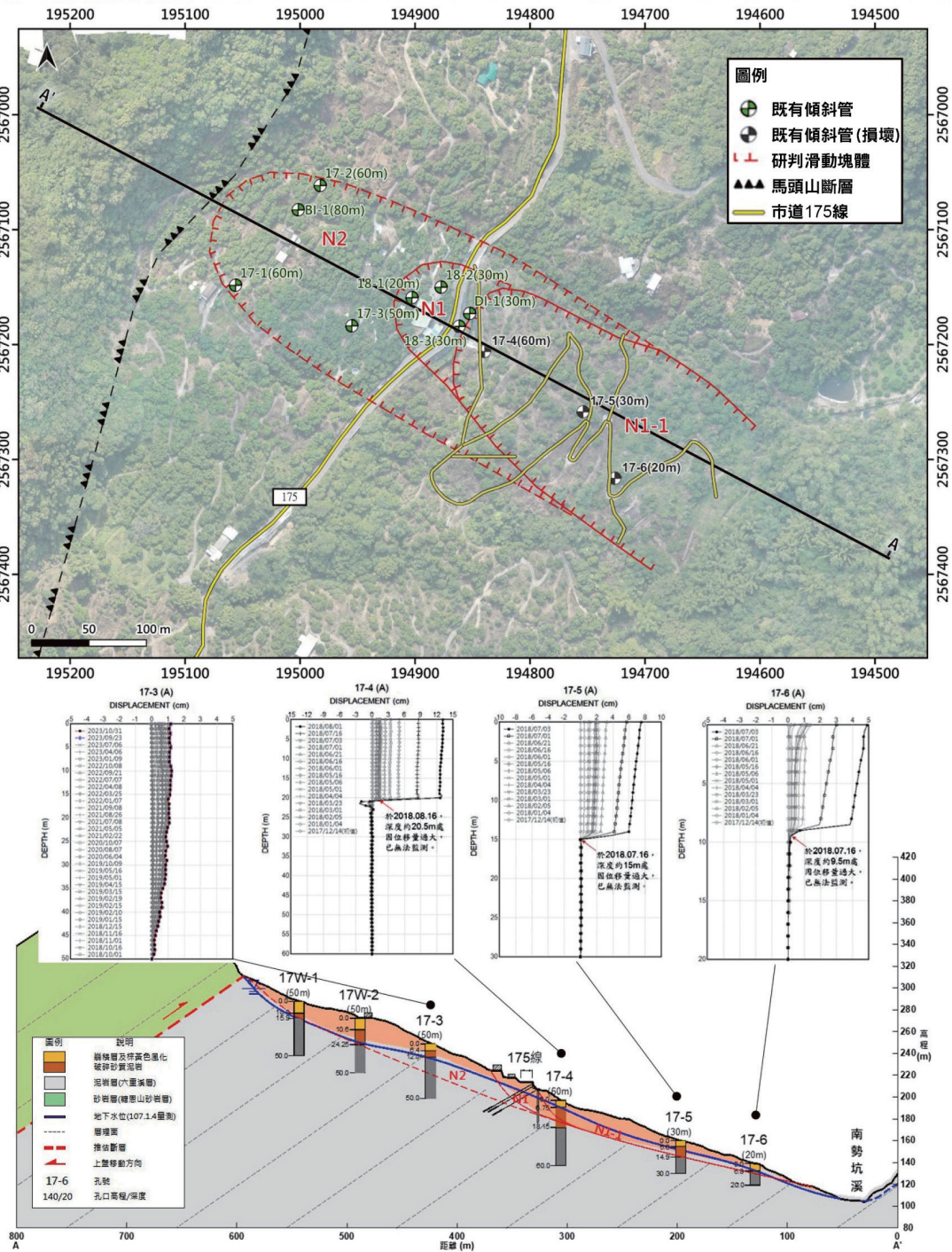


圖 7 邊坡觀測井及滑動面監測成果（摘自台南市府 106 年地質及監測成果報告）

(2) 道路下邊坡側：道路下邊坡側手動水位監測儀器包含傾斜觀測管（兼水位井）及水位觀測井，計 2 孔，監測成果如圖 10 所示。由監測成果可知，1～4 月枯水期，常時水位則已有偏高，深度約為 2～12 m 之間，6～8 月豪大雨期間，地下水位可升高至深度約 1～8 m 之間。整體而言道路下邊坡側地下水位偏高，且有下降緩慢之特性，長時間處於高水位，不利於邊坡穩定性。

3. 地下水水質試驗

本調查區上邊坡鄰近烏山頭斷層，地層較為破碎，使地下水文較為複雜。由降雨量及地下水觀測成果顯示，上邊坡各孔地下水位於豪大雨期間均有顯著上升現象，透過區域地下水水質分析，以瞭解區域地下水質成分及破碎泥岩內是否有地下水流動，可供後續地下排水規劃參考。

參考地電阻探測、地質探查及水位觀測成果，17W-3 及 17W-4 等 2 孔水位觀測井岩芯較為破碎，且位於地下水可能流徑，故 107 年 11 月進行 2 孔地下水樣採樣，係利用貝勒管（Bailers）進行採樣，試驗成果整理如表 2。

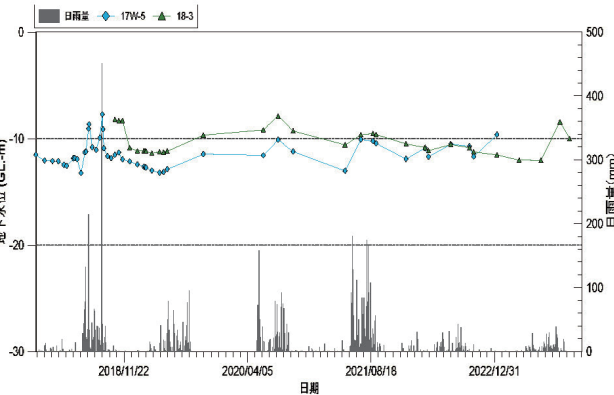


圖 10 道路下邊坡各孔水位手動監測成果

表 2 地下水水質試驗成果（民國 107 年）

孔號	17W-3	17W-4
水體深 (m)	50	40
鈣 Ca^{2+} (meq/L)	34.60	17.10
鈉 Na^{+} (meq/L)	132.00	198.00
鉀 K^{+} (meq/L)	3.28	3.93
鎂 Mg^{2+} (meq/L)	7.78	4.24
氯鹽 Cl^{-} (meq/L)	7.30	16.60
硫酸鹽 SO_4^{2-} (meq/L)	29.70	14.90
碳酸氫根離子 HCO_3^{-} (meq/L)	461.00	578.00

根據水質試驗成果於水質菱形 Piper 圖上之落點，水質樣本 17W-3 及 17W-4 之 2 組均屬於 (II) 區，研判泥岩中地下水屬受壓地下水或深層地下水，未受汙染之深層或侷限含水層地下水體，2 組地下水離子濃度分布及六軸式水質形狀 Stiff 圖離子濃度形狀差異不大，應屬相同水體，研判泥岩內地下水流動應為甚慢。

4. 地下水檢層試驗

地下水檢層試驗調查之目的，係為在調查地下水脈的分佈及其不同深度水平向流動的狀況，其檢測方式係利用量測溶解於鑽孔中地下水電解質食鹽濃度變化，以判別地下水脈位置及流動現象。通常使用之電解質為食鹽（NaCl），將其加入鑽孔內之地下水中後，每隔 10 分鐘量測一次各深度地下水之比電阻值，觀察其隨時間之變化量。由 17W-1 及 17W-3 等 2 孔，於 107 年 11 月試驗結果顯示常時水位於泥岩面以下無明顯地下水流動現象，如圖 11 所示。

三、滑動原因研判及整治規劃

3.1 滑動原因研判

綜合研判可能滑動原因說明如下：

1. 地質條件差：為典型老舊崩塌地之地形，地質岩盤為泥岩，易因泡水致強度弱化，而於土岩界面產生滑動。
2. 地下水豐沛：道路上邊坡地下水位具有上升快速及上升量大之特性，道路下邊坡則地下水長期偏高，雨季豪大雨則地下水幾乎到地表，調查區下邊坡皆可見多處地下水自坡面滲出情形，顯示地滑區之地下水位甚為豐沛而複雜。
3. 蝕溝侵蝕：調查區之兩側皆有蝕溝，地表水皆匯集於兩側蝕溝，在側向侵蝕及下切持續作用下，而地表水匯集於蝕溝，亦將增加地表水入滲。

3.2 邊坡滑動整治方針及規劃

經調查及監測結果，整體邊坡滑動塊體分布及地下水流徑已有較明確掌握，整體整治方針

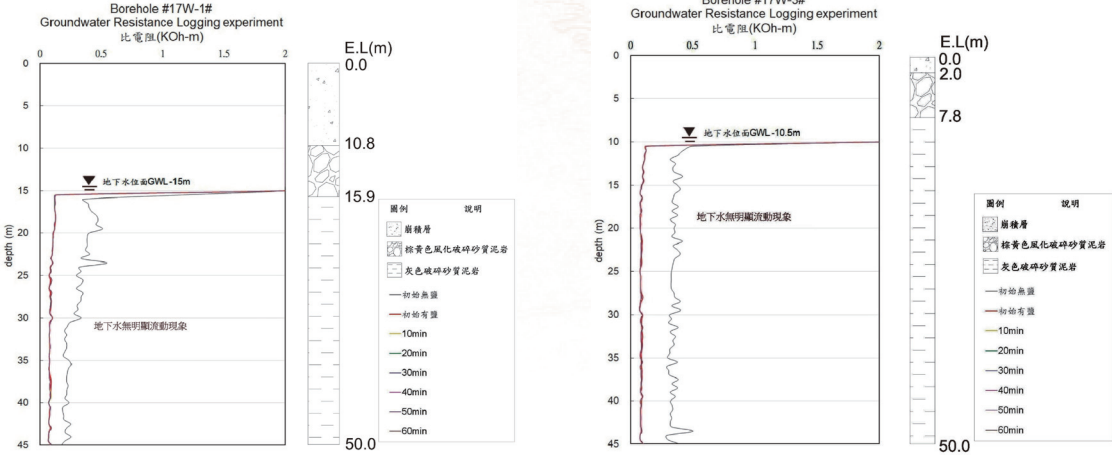


圖 11 17W-1 及 17W-3 孔地下水檢層試驗結果(民國 107 年)

為「以排水為主，擋土為輔」規劃以降除誘發地層滑動之地下水為主，採三層次排水整治工法，包含地表排水改善、坡面水平集水管及大口徑集水井，以導排不同深度流動之地下水，分年分期循序漸進施工，配合監測追蹤滾動式修正整治方案，可逐步達到長期穩定之整治成效及有效運用經費，整體整治工程平面圖如圖 12 所示。

其中對於較深層地下水，採用大口徑集水井工法，若可有效導排地下水，為有效且經濟的好選擇，故優先規劃於 N1 塊體上方施作 2 座大口徑集水井，井內集水管則佈設於土岩界面以上，期將地下水源頭截除，降低補助水源，提升邊坡穩定性。

3.3 整治工程歷程

自民國 74 年，道路即長期受邊坡滑動導致路基下陷，歷年整治工程彙整如圖 13 所示。

四、整治成效追蹤

4.1 地下水位變化（上邊坡）

地下排水工法之所以能提升邊坡穩定性，主要係透過排出地下水後，地下水位下降，使得邊坡安全係數提升。因此，必須確認施作地下排水後，地下水位確實有降低，才能認定地下排水工法對於邊坡穩定性有所效益。由監測資料可知，於 110 年 5 月上邊坡 2 座大口徑集水井、坡面水平集水管及地表排改善等三層次排水完竣後，邊坡上段 BO-1 孔位乾季常時水位相較歷年監測資料，降低約 8 m，BI-1 孔位乾季常時水位相較歷年資料，降低約 2 m。且 BI-1 孔位經整治後高水位明顯受到控制，顯示三層次排水有助於導排上邊坡補注之汛期豪大雨之地下水，其成效良好，如圖 15 所示。

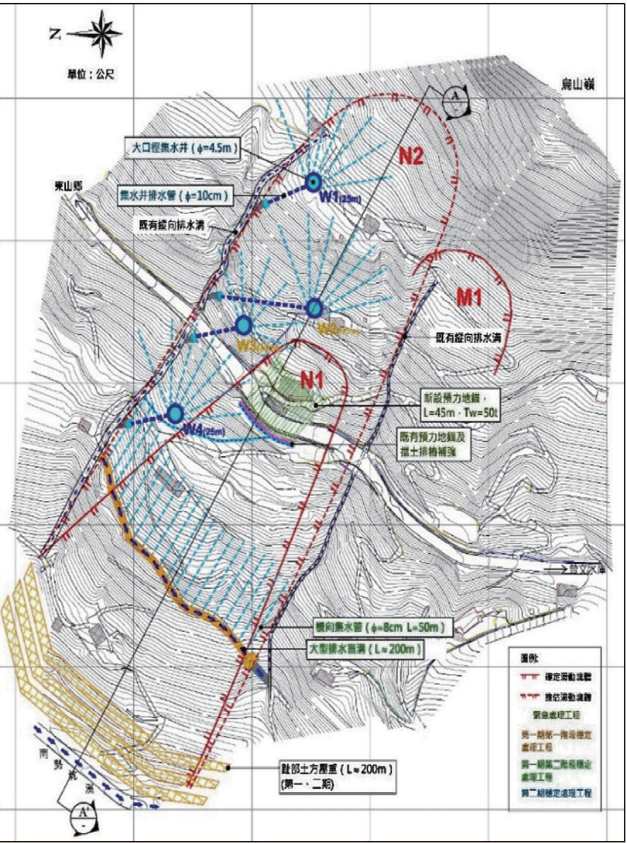


圖 12 邊坡滑動整體整治平面（摘自南市府 106 年地質及監測成果報告）

(a) 民國 100 年整治工程斷面圖 (摘自「174 線 50K+650 路基保護工程」設計圖)

(b) 民國 100 年路基保護工程竣工照片

(c) 民國 110 年三層次地下排水工程剖面圖（摘自「108 年度 8 月利奇馬颱風及 0813 豪雨六甲區南勢坑市道 175 線 25K+410 道路邊坡災害復建工程」設計圖）

(d) 民國 110 年大口徑集水井竣工照片

圖 15 地下水位監測成果與整治工程施作分析

圖 13 整治工程斷面圖及竣工照片

112 年道路下邊坡縱向陡槽溝

110 年左側邊坡水平集水管出水效果良好

2 座大口徑集水井導排上升地下水

110 年工程餘土於趾部回填壓重

圖 14 整治工程竣工照片

4.2 地層變位

1. 排樁上邊坡

調查區自民國 74 年即長期受邊坡滑動導致路基下陷，歷經多次道路修復及改善工程，早期施作 RC 擋土牆 + 微型樁及地錨多針對路基進行保護，且有重複致災，於 100 年針對滑動採用抗滑樁 + 地錨，以及於 108 年施作繫梁地錨補強工程，因有掌握滑動深度，而有其功效，後續則於 110 年施作大口徑集水井及坡面水平集水管抑制地下水上升，其開挖出土石，節能減碳再運用於坡趾施作石籠擋土設施回填，增加坡趾壓重效益。

其後進入汛期，於豪大雨後上邊坡、樁內傾斜管及結構物傾度盤皆無明顯變化增量產生，由 DI-1 傾斜管及 TI17-2 傾度盤監測追蹤，顯示既有路基排樁及排樁以上之路基及上邊坡尚屬穩定，監測成果及整治工程施作期程詳圖 16 所示。

2. 排樁下邊坡

排椿以下之邊坡下段仍有持續滑動產生，19EV-1 自動化垂直式孔內伸縮計，安裝於排椿下之邊坡中，於 109 年 5 月啟動監測後，汛期間下邊坡有較大潛移下陷，乾季仍有位移，至 110 年 5 月進而量測到下陷之收縮量約 60 mm，110 年 8 月盧碧颱風時產生較大的瞬間位移，位移量約 190 mm，惟其後進入乾季期間明顯無滑動，111 年汛期則約 96 mm 位移量，2 座大口徑集水井完工後，對下邊坡穩定似乎亦有提升，如圖 17 所示。

3. 地錨預力

分期地錨補強後，施工中有安裝地錨荷重監測追蹤，有 L17-1、L17-2 及 19L-1 ~ 19L-8 既有地錨荷重計，共計 10 組。其中 L17-1 及 L17-2 為椿帽梁上，監測成果如圖 18 所示，110 年 2 座大口徑集水井完工後監測，地錨荷重計預力大多約 50 噸，預力無明顯變化，顯示上邊坡地下排水設施完竣後提升穩定。

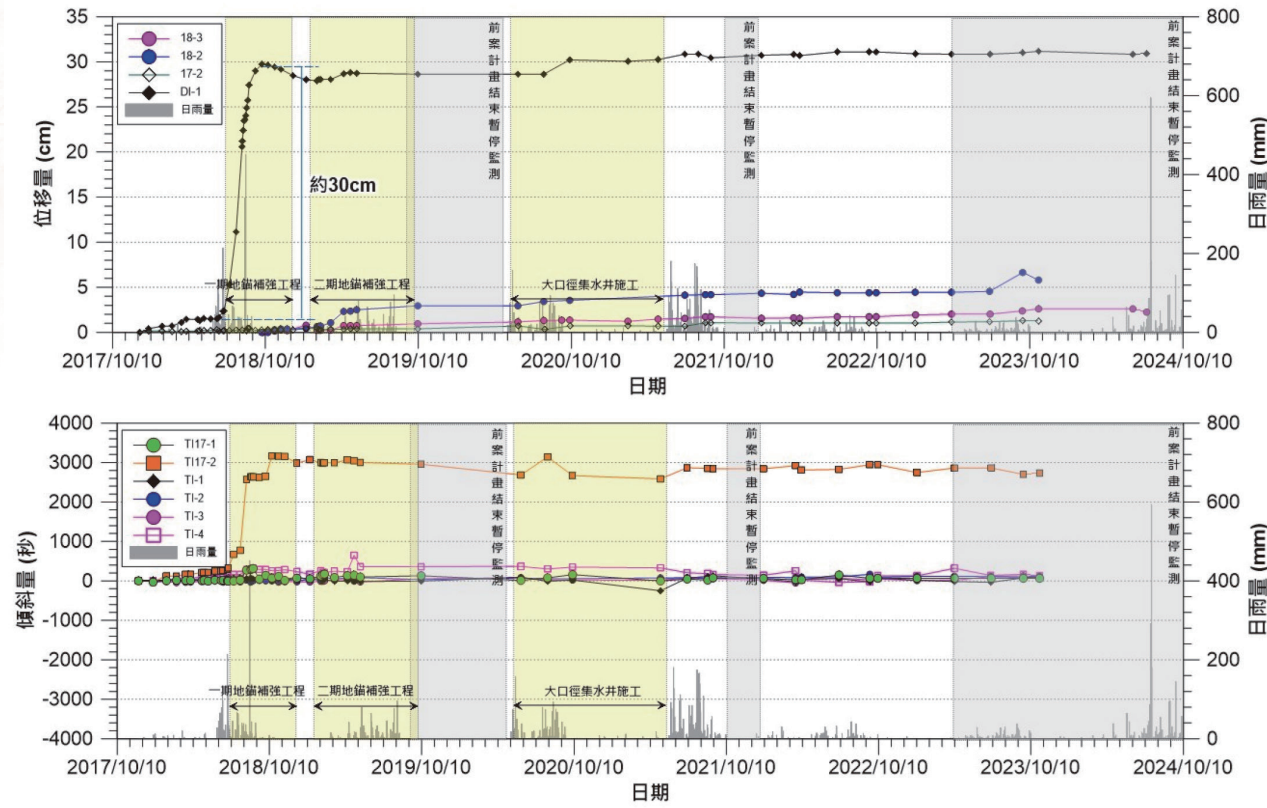


圖 16 上邊坡地層變位監測成果與整治工程施作分析

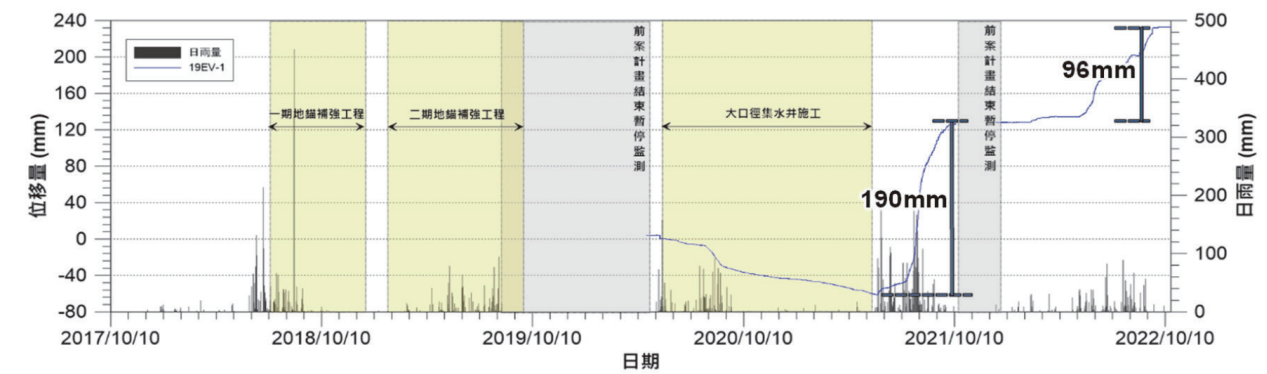


圖 17 下邊坡地層變位監測成果與整治工程施作分析

五、結論

本案為舊崩塌地，早期每經颱風來襲即有明顯滑動，致使道路下陷及路基擋土牆設施損壞，屬易致災路段，在公路搶修通車壓力之下，僅能先恢復路基為首要，故在未知滑動深度、範圍及原因情形下，無法有效改善。其後經由詳細地質、地下水及滑動面監測調查後，「找出病因，對症下藥」，除以抗滑樁及地錨工法提供路基保護。主要採用地表排水改善、坡面水平集水

管（地下淺層）及大口徑集水井（地下深層）之三層次排水，使地下水位上升之主要滑動誘因得以有效改善，分期分年整治，且透過補充調查及監測追蹤滾動檢討，大幅提高整治成功率。於 113 年 7 月凱米颱風侵襲 3 天累積雨量高達 1,766.5 mm，期間由監測成果顯示整體邊坡穩定性大幅提升，雨後現場巡視亦可見地表排水設施快速將雨水導除至趾部溪流，大量地下水受坡面水平集水管及大口徑集水井導出，排水成效良

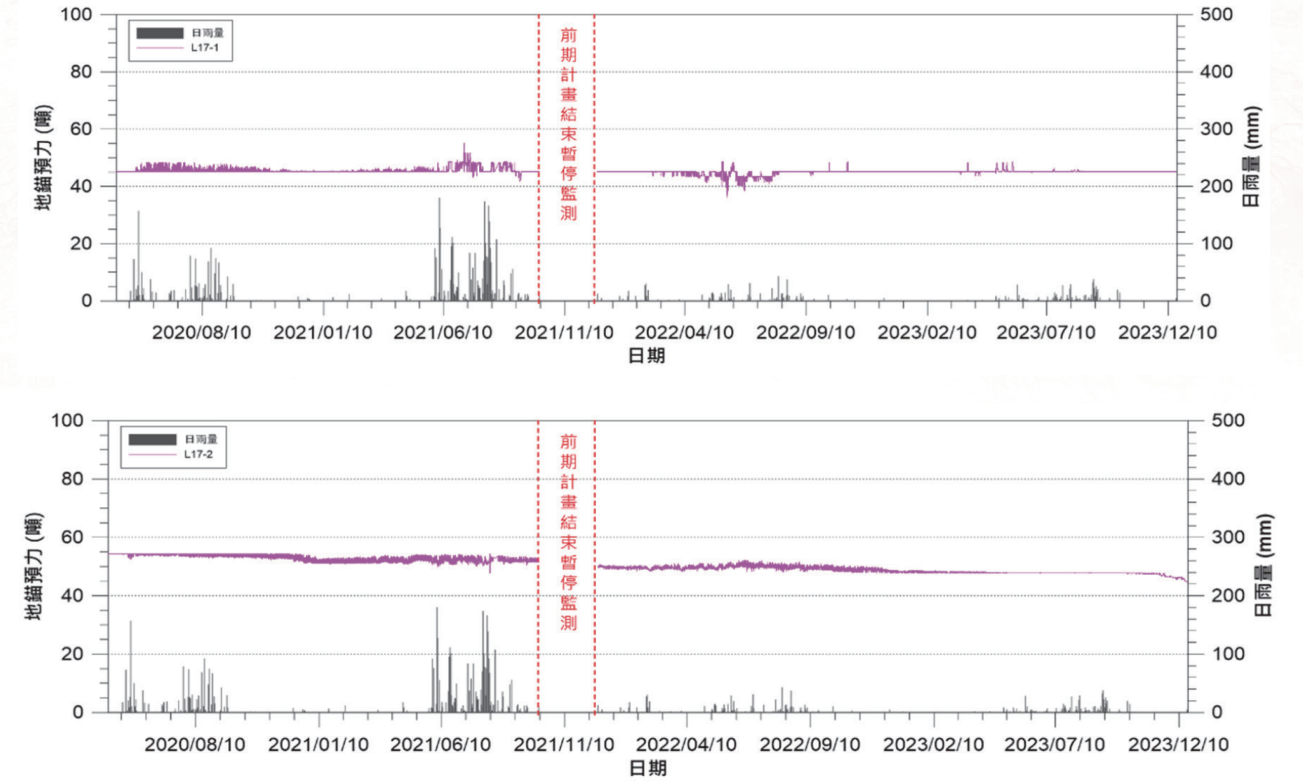


圖 18 抗滑樁帽梁上 L17-1 及 L17-2 地錨荷重計量測成果

好。排樁前無明顯陷落，工程餘土運至趾部壓重的石籠擋土，亦無明顯推出隆起，可說成功挺過凱米強颱。

參考文獻

1. 廖洪鈞、廖瑞堂（2000），「坡地社區開發安全監測手冊」，內政部營建署。
2. 廖瑞堂（2001），「山坡地護坡工程設計」，科技圖書股份有限公司。
3. 廖瑞堂（2008），「坡地災害防治對策及案例」，科技圖書股份有限公司。
4. 經濟部中央地質調查所、青山工程顧問股份有限公司（2022），「潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊（第二版）」。
- 上野將司（2001），「地すべりの形状と規模を規制する地形・地質要因の検討」，Landslides-Journal of the Japan Landslide Society, Vol. 38, No. 2, pp. 105-114。

5. 交通部公路局雲嘉南區養護工程分局、青山工程顧問股份有限公司（2006），「174 線 50k+650 路基保護工程委託測量、設計及鑽探監測工作」委託技術服務，地質鑽探調查成果報告書。
6. 交通部公路局雲嘉南區養護工程分局、青山工程顧問股份有限公司（2007），「174 線 50k+650 路基保護工程委託測量、設計及鑽探監測工作」委託技術服務，總結報告。
7. 臺南市政府工務局、青山工程顧問股份有限公司（2021），「108-110 年度六甲區南勢坑市道 175 線 25K+410 地滑邊坡監測及預警系統建置服務工作」委託技術服務，總結監測成果報告。
8. 臺南市政府工務局、青山工程顧問股份有限公司（2024），「110-112 年度溪北山區市道地滑邊坡監測及預警系統建置服務工作」委託技術服務，總結監測成果報告。