

坡地社區減災營造與智慧防災系統整合研發— 預力地錨破壞監測及整體系統穩定性之強化

Enhancement of Monitoring Pre-stressed Ground-anchors and Integrated Safety Monitoring System for Hillside Residential Communities

主管單位：內政部建築研究所

郭治平¹ 鄧福宸² 沈哲緯³
Kuo, Chihping¹ Teng, Fu-chen² Shen, Che-Wei³
林宛瑩⁴ 吳晉維¹
Lin, Wan-Yin⁴ Wu, Chin-Wei¹

¹ 明新科技大學土木工程與環境資源管理系

² 國立臺灣科技大學營建工程系

³ 興創知能股份有限公司

⁴ 台灣地球觀測學會

摘要

台灣由於地狹人稠，都會區提供居住用地有限，因此山坡地社區比例極高。然而由於地質條件不良且面臨日益頻仍之極端降雨，坡地社區中的邊坡監測自動化為提供在地化預警的重要方法之一。由於預警所需的管理值建立需要長期的觀測以取得相關數據，因此監測儀器的耐久性與穩定性相當重要。社區中除了自然邊坡外，人工擋土設施中，地錨是常見提供穩固的方法，其工作荷重的變化相當重要，但相關之監測並不常見於坡地社區。建研所近年以坡地社區智慧防災系統研發為中心，已陸續完成自然邊坡與整合型一般人工邊坡智能感測器，本年度計畫除再加入預力地錨監測功能外，亦宜針對選定之坡面進行數值分析，以了解監測坡面可能之破壞機制，而為了強化自動化坡地社區邊坡監測系統之完整性與針對傳輸穩定性及設備耐候性進行研究，擬將進行下列之研究項目，未來長期維運或可參考 IOTA 的 Tangle 概念建立以租代買的區塊鍊支付機制，以全面推動山坡地社區監測。

關鍵詞： 坡地社區、整合性監測、地錨擋土牆

ABSTRACT

Hillside residential communities in Taiwan are threaten by landslide disasters caused by extreme rainfall events, thus the forecasting and warning system based on automation monitoring system on slopes is crucial for the communities. To accumulate huge amount of monitoring data to establish the Slope Management Forewarning Value, the durability and stability of monitoring devices is the key components. Most of slopes with artificial retaining structures are protected by anchors, however the working load of the anchors are rarely monitored. This study aims to integrate a monitoring unit for pre-stressed anchors into the intelligent monitoring system for artificial slopes developed by ABRI. Numerical simulations on the selected slope will be conducted to investigate possible failure mechanism. A complete monitoring package for landslide disaster forecasting and warning system is developed and used in promoting the automation monitoring services for hillside residential communities.

Keywords : Hillside residential communities, Integrated Safety Monitoring System, Retaining Wall with Pre-stressed Ground-anchors

一、前言

近年極端降雨事件頻傳，邊坡監測及防災預警實為山坡地社區安居之重要議題，山坡地社區開發需施作擋土設施，周緣邊坡也存在崩塌威脅，然以往山坡地社區監測多以人工定時記錄，常遭遇山坡地社區局部降雨及邊坡位移資訊無法即時協勤防災管理。

台灣為一高山島，人口眾多，土地資源卻十分有限，在地狹人稠的人口壓力之下，有限的國土資源往往過度開發利用。平原與盆地地區的開發無法滿足國人生活需求的情況下，乃擴張至丘陵山區開發。但在需求甚殷之下，往往過度地擴張，許多山坡地不當地開發為建地，破壞了原有的水土保持，進而對台灣自然環境與台灣民眾生命財產造成重大衝擊與危害。此外，因為山坡地大自然的條件屬於破碎地質，加上地震與颱風的誘因，所以山坡地的開發所形成的聚落，成為重要的保全對象。因此，如何兼顧國土開發利用與環境保育，以維護台灣自然山林生態以及確保民眾生命財產安全，已成為台灣社會當前最重要的環境課題。台灣地質構造複雜為全世界地殼變動最激烈地區之一，頻繁的地震、每年頻繁之颱風侵襲加上人為土地開發不當，經常造成山崩、地層滑動、地盤下陷、房屋傾斜龜裂、土石流等嚴重災害，導致人民生命財產嚴重的傷害與損失。1999年921地震等重大災害後，凸顯出防災科技研究對防減災工作之重要性。依據世界銀行在2005年發行的Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis報告中指出，台灣約有73%的面積及人口暴露在三種以上的天然災害危險當中。

由於台灣中北部麓山帶地質常見膠結不良軟弱砂岩，膠結不良之軟岩其節理經常較不發達，而此等岩性之邊坡往往易發生漸進破壞，不少邊坡破壞之原因乃根源於軟弱岩石之材料力學因素。坡地破壞型態中，順向坡造成之危害居多，如表1-1(紀宗吉2010)所整理，誘發因素若分為先天不良(受重力變形的潛移作用、地下水分佈)與後天失調(颱風、豪雨、地震等)，則需強而有力的擋土設施，方有機會達到保全目的。在坡地開發工程，為取得用地與安全，地錨系統為最常用之擋土設施。

鑑此，基於前期計畫「山坡地社區智慧防災系統可行性研究—邊坡智能感測暨雲端運算」、「山坡地社區智慧防災系統精進—人工邊坡智能感測器研發與雲端系統擴充應用」成果，已研發自然邊坡之土壤邊坡智能感測器與人工邊坡智能感測器，係整合微機電感測器、無線傳輸技術與雲端分析技術，建構適合山坡地社區邊坡智慧防災監測儀器，提升邊坡災害預防及應變作為，將山坡地社區防災層面提升至人工邊坡局部危害徵兆觀測精度與建立智慧防災網絡。

二、研究地區與研究方法

在前期計畫執行過程中發現，如何兼顧提升儀器耐候性與降低開發、維運成本，方可順利推廣給坡地社區。因此開發低功耗與低成本之感測器與傳輸技術以降低設置與電力消耗成本，為本研究案於工程技術上之重要課題；藉由政府公部門或產險事業等單位推行給坡地社區居民使用，為本研究案於產品商轉技術上之重要課題。

為使坡地社區監測項目更趨完善，除了過去已經開發之微降雨量、地層變位量、裂縫變化量、土壤含水量、結構物傾斜量、結構物(或地表)加速度之感測與監測外，本年度增加降雨量、地下水水位(地下水壓)與地錨荷重變化等監測項目。

另外過去採用之通訊方式為傳統之 WIFI、4G 等方式，雖然訊號穩定但耗電量高(>1W)，需要藉由路燈供電；之後採用低功耗無線傳輸之 Weightless 技術，雖然可進行雙向傳輸、功耗較低且在市內效果良好，但在野外因耐候性等因素導致穩定性不佳。本年度將採用現行相當熱門之低功耗無線傳輸 LoRa(<0.005W)與 NB-Iot(<0.1W)技術進行交叉搭配，取得通訊品質與耗電資料，除可提供整體系統穩定性之強化外，期能一舉降低成本，並將研發成果商品化後，推廣給社區居民。

上述之監測成果除彙整至建研所已開發建置之防災資訊平台外，並進行回饋分析，已提出監測物理量對應之管理值，供社區管理單位與居民面臨邊坡產生微變化而至於巨大變化前，尋求工程技術支援之參考依據。

無線傳輸已廣泛應用於坡地防災上，然隨著監測規模擴大，勢必需要開發穩定且低功耗、低成本之整合型監測器及無線傳輸技術。物聯網(Internet of Thing: IOT)是智慧城市的基石，近期發展出來的低耗能長距離廣域無線網路技術(LPWAN Low Power Wide Area Network)如 Weightless、LoRa、SIGFOX、NB-IOT 等的應用更是非常多元。

在山坡地社區邊坡利用 LPWAN 的各種終端監測裝置，將大量感測器的監測數據及現況，先回傳基地站址，再統一傳輸至管理平台進行分析、管理或通報，以期能夠在超過警戒值時儘速採取防災行動。一般社區範圍內有數多處邊坡皆須進行監測，如能在具有電力供應及網路通訊處設置基地站，例如社區辦公室，再將所有感測器監測訊號傳回基地站，由通訊網路上傳至雲端平台，便可大幅度降低過往使用數個電信門號所衍生的費用。

如能透過此新一代的無線通訊技術，作為本案在智能感測器之資料蒐集通訊平台，將可創新出許多智慧防災系統應用。本研究目標及效益如下列：

1. 篩選一處坡地社區地錨擋土牆，設置1只地錨荷重計、1只水壓計與1只雨量計進行自動化連續監測。
2. 進行整合性監測系統之耐候性、傳輸穩定性與建置成本之研究
3. 建置低成本自主供電系統。
4. 整合監測數據至建研所防災資訊平台。
5. 辦理社區說明會，並針對完成之自動化監測系統研提推廣應用機制與途徑。

2.1 研究方法

2.1.1 人工邊坡監測器

根據中華民國大地工程學會-山坡地監測準則(2016)建議，山坡地監測儀器種類繁多，包括量測氣候、水文、邊坡位移及構造物應力或變形等各類儀器。其量測所得之物理量不同，於不同型態邊坡災害之適用性亦有所不同，監測系統規劃時應根據研判之可能災害類型加以選擇。

監測儀器設備的選擇，應單純而不複雜、能在所埋置的監測環境中有最好的耐久性、對氣候溫度、溼度的變化有最小的敏感性、材料零件不致因施工機具、水、塵土或其他化學作用之影響，依然能夠正常運作等之特性者為佳。相同監測儀器種類，其精度、重複性、量測範圍、適用溫度等可能有所差異。監測系統設計者應先依據山坡地之特性，研判山坡地環境及待測物理量可能分布範圍，據以選擇最適之儀器規格。而對於採自動監測之電子式儀器，亦需考量感測器、資料擷取設備、資料傳輸設備之耗電量。

如邊坡發生不穩定時，將使得構築於邊坡上之構造物應力改變、變形或傾斜，因此可加以監測，研判邊坡之穩定性。

以下針對本計畫設置之感測器進行簡要說明：

1. 構造物傾斜計(Tiltmeter)：安裝於擋土構造物或建物之表面，用以監測擋土牆或建築結構體，因邊坡變位導致構造物產生之傾斜變化情形。構造物傾斜計型式可分為盤式及電子式二類型。
 - (1) 盤式傾斜計：將傾斜觀測盤安裝於待測之構造體表面上，傾斜觀測盤上具有四個外凸銅柱，監測方式為以人工方式攜帶測傾儀量測，測傾儀需確實倚靠銅柱，以進行四個方向之傾斜量監測。
 - (2) 電子式傾斜計：以電子感測原件製作之測傾儀器，一般於自動化監測系統使用。測傾感測器之型式甚多，例如電漿式、振弦式、MEMS等，不同感測器型式之量測範圍、精度、反應時間、功率等規格均不相同，設計者需依據推估構造物之可能傾斜變化量、資料擷取系統及電源供應系統等綜合考量。本案例中分別以電子式雙軸傾斜儀與三軸加速度計進行差異變位量之推估依據。
2. 裂縫計(Crackmeter)：安裝於構造物之裂縫二端，以監測裂縫寬度變化。裂縫計型式可分為機械式及電子式二類型。
3. 水分計：本計畫採用電容式水分感測器，此型感測器由三個電極所組成，其功能就像是一個電容器。量測時插入土壤中，四周土壤形同電介質，利用振盪器去驅動電容器產生一個正比於土壤介電常數的訊號。由於水的介電常數大於土壤礦物質及有機質，因此含水量的變化可透過感測電路進行立即性的偵測。量測之單位為體積含水量VWC%(Volumetric Water Content)，VWC代表一定體積的土壤中水與土壤的體積比(%)，在飽和狀態下相當於土壤孔隙所佔的百分率。此型感測器使用簡便，不需要太多維護工作，配合記錄器能長期監測、記錄土壤水分變動的趨勢。
4. 雨量計：雨量為目前國內邊坡防災預警工作中，最容易取得之管理值，可讓社區居民直接有感。圖1為預定裝設之雨量筒規格、照

片。將以市售之低成本輕量化高耐候性(塑鋼材質)之雨量筒，作為未來推廣給社區之首要安裝監測儀器。

量測範圍	200 mm
系統精度	1.5mm @ 50 mm
感測器型式	傾倒式雨斗
取樣頻率	10 min
紀錄頻率	30min
輸出格式	JPEG



圖1、本研究採用之雨量監測系統示意圖

5. 水壓計：地層中超額孔隙水壓之消長為邊坡穩定之主要因素之一，故掌握地下水頭之變化為邊坡監測之重要課題，因此本研究規劃於既有之水位觀測井安裝全自動連續自記式水壓計。本計畫預計使用之水壓計將俟放置深度與長時地下水位面確認後再進行最適容量選定。圖2為預計採用之水壓計、模組與可能之規格。

		量測範圍	0-6 bar (0-61 m)
		感測器型式	壓阻式薄膜
		系統精度	1 cm (水頭壓力)
		線長	60 m (PVC)

圖2、本研究採用之自動化連續記讀水壓觀測記模組

地錨荷重計：地錨是一種經濟有效的錨固技術，廣泛應用於邊坡工程中，例如高陡邊坡的補強加固、滑坡的治理等。地錨與岩土體的錨碇結合效果，受地層特性、組件材料、施工工藝及管理維護等因素影響；由於地錨為隱蔽工程，因此，於地錨施工前或施工階段，須進行現場試驗(例如證明試驗、適用性試驗)，以取得設計參數或驗證其效果是否能滿足設計需求；此外，於地錨服役後，為驗證設計的妥適性及掌握工作地錨的服務性能，亦常需進行長期監測或檢測，量測項目一般包括地錨荷重、位移、應力隨時間的變化、地層的潛變位移等；對於變異性大的地層或軟弱岩土等，也可能需要更廣泛的監測與檢測計畫。地錨荷重計則擔任重要的角色，如圖2-5所示，由於其長期處於受力狀態，其耐候性與穩定性更需注意。



圖3、本研究採用之地錨荷重計

2.1.2 低功耗無線傳輸

隨著資訊及通訊技術(Information and Communication; ICT)的發展，無線監測網域(Wireless Sensor Network; WSN)，指在場域內分散佈建特殊功能的感應及傳輸元

件，用來監測和記錄環境的現況資訊，並將資料透過通訊技術蒐集到遠端伺服器來進行分析、判斷及反應，一直都是國內外相關產官學研界積極投入研究發展的領域，早期希望各種監測設備所蒐集之資訊能透過不同的無線平台傳輸，如 Zigbee、WiFi、2G、3G 或 4G 等，但多受到傳輸距離、消耗電力及傳輸費用之限制，而無法在廣大的區域來佈建。

近 2~3 年來，新發展的低耗能長距離廣域無線網路技術(Low Power Wide Area Network；LPWAN)，包含 LoRa、Sigfox、NB-IoT、Weightless 等無線通信技術皆已逐漸成熟，全球的物聯網與通訊廠商也積極廣設各種跨域或獨立的 LPWAN 基地台，將長距離、高覆蓋率、低功耗、低成本優勢與高端傳感器和智慧裝置結合，開始提供相關創新服務。因此，如能透過此新一代 IoT 通訊技術加以實證，將可大幅擴展物聯網的應用情境，包含應用於各種生活需求，改善生活環境。

對應於物聯網時代大量數據傳輸需求之應用情境，低耗能長距離廣域無線網路系統(Low Power Wide Area Network, LPWAN)即為近年物聯網新發展的重點技術之一，現今已廣泛應用在智慧工廠、城市、社區、農漁牧業等領域。主要具備以下 5 大優勢。

1. 低成本：適合大量應用，減少期初建置與營運成本。
2. 大範圍：無需繁複的基礎建設，具更強的穿透力與更遠的傳輸距離。
3. 低功耗：減少電池能量消耗，以增加裝置或感測器的使用時間。
4. 非授權頻率：適用於全球各個國家的佈建。
5. 頻寬費低：使用頻寬通訊費低廉。

本計畫之無線傳輸系統測試採 NB-IoT 技術。NB-IoT 的全名為 NarrowBand IoT，顧名思義，就是為物聯網裝置設計的窄頻無線電通訊技術，它是由 3GPP(3rd Generation Partnership Project，第三代合作夥伴計劃，功能為制定國際電信標準的組織)所提出的通訊標準，以目前手機使用的行動通訊技術為基礎，讓透過電池提供電力運作的物聯網裝置，能夠具有長距離通訊的能力，以及保持長續航力的特色。

不同於 LoRa 採用非授權頻譜(Unlicensed Spectrum)，NB-IoT 則是採用授權頻譜(Licensed Spectrum)，兩者主要的差異在於是否需要無線通訊使用的頻段，是否需要經過主管機關分配與授權電信商使用。簡單地說，一般手機使用通訊頻段，就是屬於需要受到管制的授權頻譜，申請執照後才能使用，一般人不能私自架設基地台，而 Wi-Fi 無線網路則屬於非授權頻譜，大家都不需申請即可自行在家中裝設熱點。

由於 LoRa 採用的是非授權頻譜，因此在使用的過程中不會產生相關費用，然而因為 NB-IoT 採用頻率低於 1GHz 授權頻譜，根據 NB-IoT vs LoRa Technology 白皮書的資訊，這種 sub-GHz 頻譜中，每 MHz 的申請成本約為美金 500 萬元，另一方面，因為 NB-IoT 需要仰賴行動通訊的基地台，所以在建置成本上會比較高。

不過也就是因為 NB-IoT 使用授權頻譜，因此訊號比較不會受到干擾，能夠避免在裝置繁多的環境中發生彼此干擾的問題。而且相較於 LoRa 使用的通訊方式為非同步通訊協定(Asynchronous Protocol)，NB-IoT 使用的同步通訊協定(Synchronous

Protocol)能夠降低通訊的延遲。

舉個例子來說，LoRa 就像是寄平信，雖然便宜，但是寄達時間比較不能掌握，且有信件可能會遺失，然而 NB-IoT 則像是限時掛號，能夠確保信件能準時寄達。由於 NB-IoT 具有這種服務品質(Quality of Service, 簡稱 QoS)的特性，能夠確保資料能正確地傳輸到目的地，因此更適合用於如收銀系統、火災警報等牽涉到金融與安全的應用情境。

2.2 研究區域

本計畫之研究區域選定位於新北市新店區某社區之人工邊坡進行，以下對於此區域的氣象、地質、社區概況及預訂監測之人工邊坡等進行說明。

2.2.1 氣象資料

研究區域之降雨高峰期間大致落於每年 6 月 9 月，與一般北部之坡地社區面對之降雨條件類似。平均日照時間約 2~5 小時，對於太陽能發電不太足夠，因此仍區開發高效能儲電系統。

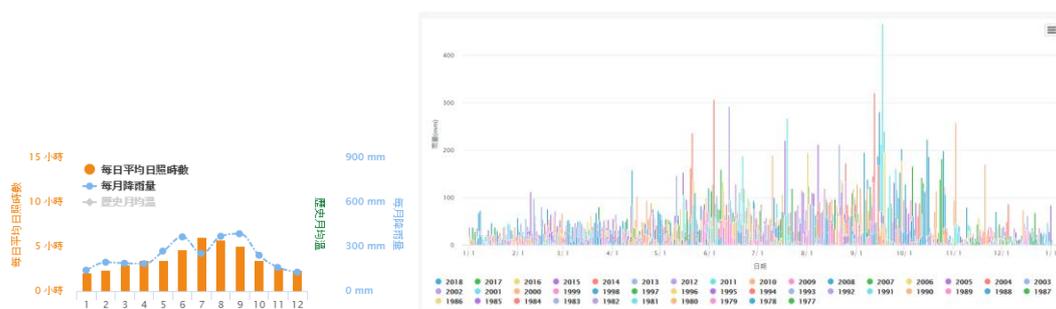


圖4、研究區域附近歷年雨量資料(水利署01A410測站)

2.2.2 現況照片

社區南側為三個單為組成之地錨擋土牆，照片如圖5所示。



(a)計畫團隊與擋土牆



(b)擋土牆已明顯變形且滲水



(c)擋土牆後之自然岩層



(d)擋土牆非常高聳且緊貼社區建物

圖3、研究區域現況照片(108/03/21)

2.2.4 地質資料

本計畫之研究區域選定位於新北市新店區某社區進行。研究區域高程大約 E.L.180M，並未發現順向坡地形。主要地質為大桶山層(Nk)，從東北海岸南延到臺灣中部，大桶山層廣布在雪山山脈帶的主要褶曲構造的中間。本層的下部由暗灰色到黑色硬頁岩和顏色相近的灰色細粒砂岩和泥砂岩互層構成。硬頁岩和砂岩或粉砂岩彼此漸變，兩者間難作明顯的劃分，層厚通常在十公分到二公尺之間。堅硬緻密的泥質粉砂岩抗蝕力強，常沿著河床形成陡壁，地形上和砂岩的豚脊狀地貌很相似，這是大桶山層一個最顯著的特徵。大桶山層的上部由暗灰色堅緻的硬頁岩和砂質頁岩羈雜著少量砂岩或泥質粉砂岩的互層組成，硬頁岩或泥岩在濕的時候呈塊狀，乾時就顯出良好的裂面或劈理面。一般層理有的明顯，有時也並不明顯，但是破劈理或板劈理比較發達。

2.3 整合型監測器研發

本計畫將延續 107 年度已研發適合於社區人工邊坡使用之低功耗、低成本整合型監測器，包含雙軸向傾斜儀、裂縫量測應變計等，本年度再添加雨量計、水壓計與地錨荷重計。訊號傳輸改採透過 NB-IoT 進行連結，並將佈設於示範山坡地社區中人工邊坡牆面進行將監測。各項監測器說明如下：

1. 雙軸向傾斜儀

傾斜變位計/微機電式傾斜計主要應用於水庫、水壩、堤防之傾斜變位長期觀測；鄰近開挖工地之建物傾斜監測；連續壁施工監測；橋樑或高架道路之墩柱及橋面傾斜監測；超抽地下水或潛盾施工引致之地表差異沉陷引發結構傾斜監測等。本計畫規畫裝設雙軸傾斜儀，為微機電式 MEMS 傾斜變位計(Micro-Electro-Mechanical-Systems)的設計目的在於永久裝設在結構物上以求觀測該結構物之長期傾斜變位量，將以自動量測方式，頻率為每 10 分鐘至少 1 次，若監測期間傾斜儀 5 分鐘變化幅度大於 1 度時，則改以頻率為每分鐘 1 次。

2. 裂縫量測應變計

振弦式裂縫計(拉伸式)係用於監測裂縫的擴張與收縮，包括：水壩混凝土結構結合處、岩石隧道表面裂縫、橋樑橋墩表面裂縫、捷運高架橋樑柱表面裂縫、混凝土結構物結合處等。振弦式裂縫計(拉伸式)採用振弦式位移感測器測量裂縫，裂縫計內部包含一組振動鋼弦敏感元件，鋼弦一端被固定，另一端則連接到彈簧拉力棒，裂縫變形時帶動拉力棒的移動，使彈簧改變了鋼弦的振動頻率，這個振動頻率的大小與裂縫開合大小成比例關係。

3. 水壓計

電子式水壓計以自動化監測之方式，即時掌握地下水壓之變化情形，並與雨量監測之成果進行比對，用以初步推估降雨對於地下水壓之影響。範圍：7.0 kg/cm²、精度：0.025 % FSR 解析度：±0.1 % FSR(1kg/cm²=98.1KPa 優規)。

4. 雨量計

採用自計傾倒式雨量計，以 0.5mm 為單位，並連結自動監測站內資料記錄器；其中雨量計規格，量測精度達每降雨累積達 50mm 誤差小於 1.5mm 內。預計每小時

紀錄一筆資料，視需要調整紀錄頻率。相關照片如圖 3-5 所示。

5. 地錨荷重計

地錨荷重計用於監測擋土牆或邊坡上地錨或岩錨之預力變化，也可應用於地下開挖、靜力試樁、托底之支撐等。本研究採用振弦式地錨荷重計，容量為 100T，靈敏度 $<0.025\%FS$ 。內部包含 3~6 個振弦式感應器，等距離圍繞軸心安裝在一個合金鋼圓柱體內，並在上下配備荷重承壓板，地錨荷重計內部的振弦式感應器透過多芯電纜線連接到讀數儀或自動化集錄器上可以精確快速反應荷重計本體當下所承受的預力。

6. 整合式感測器封箱與測試

上述之感測器需透過類比數位轉換器，將類比訊號轉換成數位訊號後，再利用低功耗長距離無線傳輸技術傳送至雲端。除感測器須外露外，其餘元件皆可整合至一箱體中，尺寸與照片如圖 4 與 5 所示。預計安裝於現場之示意圖如圖 6 所示，其中各項重要元件如通訊元件、雙軸傾斜儀、訊號轉換器、長效電源等皆固定於箱內並進行防水封裝。未來箱體尺寸、形式與材質皆可因地形條件、監測內容進行調整。

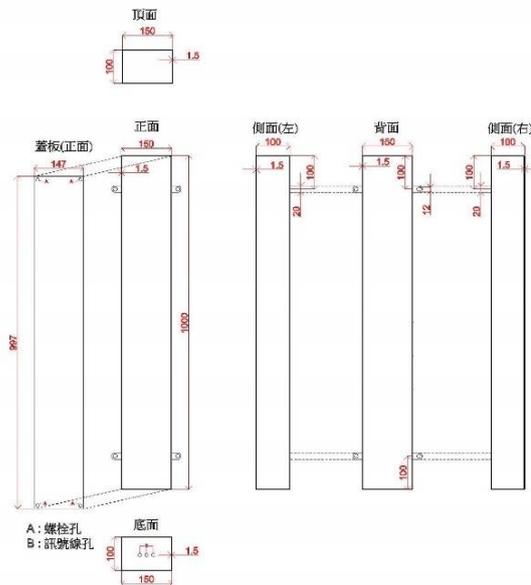
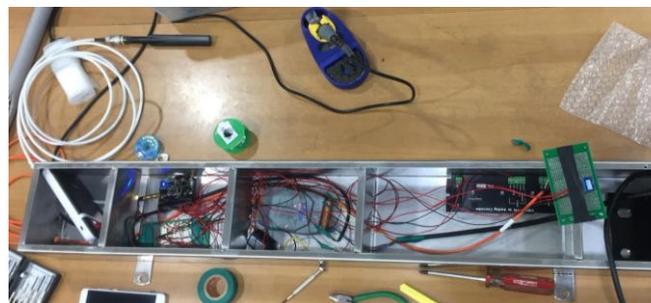


圖4 整合感測器外箱之尺寸



(a) 箱體



(b) 裝箱過程

圖5 整合感測器外箱施作

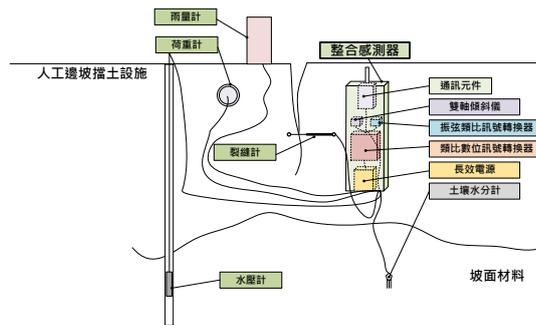


圖6 整合感測器於現場安置完畢示意圖與透視圖

2.4 地錨揚起試驗與監測系統安裝

團隊將透過地錨設計資料與揚起試驗了解其設計荷重與殘餘荷重。方仲欣等人(2014)歸納地錨預力揚起案例後指出，地錨於鎖定預力完工之後，其預力將隨著時間而變化；為瞭解地錨的長期工作性能，可以採用「地錨荷重計」長期監測其預力變化情形，或於使用階段擇機辦理「揚起試驗」(Lift-off Test)以檢測地錨之既存荷重(或稱殘餘荷重)。其原理係利用當施拉荷重大於地錨之既存荷重時，該地錨會有較明顯變位之特性，經由此變位量即可評估判讀該地錨之既存荷重。一般而言，造成地錨應力和位移的變化，主要原因包括鎖定時抗張材的滑動損失、護管與抗張材的摩擦損失、抗張材的鬆弛、地層的潛變行為、地層壓密、臨近工程施工影響、溫度的變化、各種衝擊作用、以及岩土體應力狀態的變化等。

本研究於關鍵性地錨擋土牆進行地錨揚起試驗，因無法取得相關設計資料，僅能直接施作揚起試驗取得既存荷重。團隊以 1000T 之千斤頂施做。地錨揚起試驗裝置示意照片如圖 4-3 所示，成果闡釋須注意事項列於表 1。取得殘餘荷重後，置入地錨荷重計進行長期監測。表 4-3 為成果判釋後研判可能之地錨健康程度與邊坡穩定狀態，將如實紀錄並提出建議對策。

三、研究成果

3.1 地錨揚起試驗

團隊分別於 107/03/21 與 107/05/26 至現地現勘與挑選地錨，經現場評估後選出四處外觀已經破損漏水之地錨施作，經敲開錨頭透之照片如下圖 7 所示。從照片中可看出，G1、G2 錨頭為傳統錨頭；G3、G4 為可調式錨頭。根據交通部臺灣區國道高速公路局 100 年研究資料之目測檢視判斷建議，如表 1 所示，本研究區域之錨頭皆為極差。



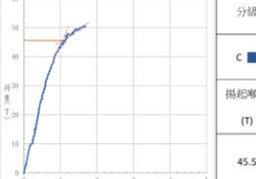
圖7、受測地錨挑選

表1 地錨檢測評估分級建議表

分級	檢測目的	A.極差	B.不佳	C.尚可	D.正常
保護座外觀檢視	• 地錨外觀(包括保護座、承壓結構及坡面滲水)異常狀況調查 • 水質腐蝕性				
錨頭組件檢視	錨頭組件銹蝕及滲水情形	錨頭有深層銹蝕，鋼鍵或錨頭表面可見局部鐵銹碎片和裂縫，分佈面積大於50%以上，鋼鍵橫切面已因銹蝕而變形	嚴重銹蝕或滲水錨頭有深層銹蝕，鋼鍵或錨頭表面可見局部鐵銹碎片和裂縫，但分佈面積小於50%	輕微銹蝕或滲水，錨頭有銹蝕現象，銹蝕深度淺薄，無法量測或小於0.1mm	無銹蝕或無滲水
內視鏡檢視	檢查錨頭背面鋼鍵銹蝕、自由段無漿長度及滲水情形	鋼鍵呈深褐色，表面已有珊瑚狀或瘤狀突起或銹蝕面積達90%以上	鋼鍵呈深褐色，表面略粗糙，尚無珊瑚狀或瘤狀突起或銹蝕面積介於50~90%	鋼鍵呈淺褐色，但表面光滑或銹蝕面積介於10~50%	無異狀或銹蝕面積未達10%
揚起試驗	地錨殘餘荷重確認	$Tr > 1.2Tw$ 或 $Tr \leq 0.2Tw$	$0.2Tw < Tr \leq 0.5Tw$	$0.5Tw < Tr \leq 0.8Tw$	$0.8Tw < Tr \leq 1.2Tw$

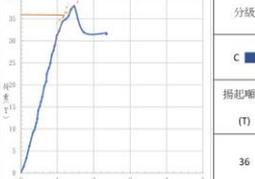
由於 G3、G4 地錨為可調式錨頭，需訂製特殊夾具，耗時耗工，因此直接進行除鏽作業與加上保護蓋；僅 G1、G2 地錨施作揚起試驗，成果如表 2、3。由表 2 可看出，G1 之既存荷重約 45T，為正常之試驗成果，因此以此地錨作為後續監測之地錨。由表 3 可看出，G2 之既存荷重約 36T，對照地錨既存荷重及健全度之概略判斷標準(譯自日本獨立行政法人土木研究所等，2008)，為鎖定功能異常之試驗成果。

表 2 G1 地錨檢測成果

位置:	地錨編號: G1	鋼鍵型式: 7-12.7mm	剩餘長度(cm): 3				
承壓結構: 格柵面板	底版尺寸: 350x350x30mm	承壓版尺寸: 200x200x25mm	角度: 16°				
握線器形式: $\phi 125mm$ t50mm	自由段無漿段長度(m): 0.24						
錨頭組件檢視	錨頭銹蝕程度分級 <input type="checkbox"/> X級 <input type="checkbox"/> A級 <input checked="" type="checkbox"/> B級 <input type="checkbox"/> C級 <input type="checkbox"/> D級 防銹脂 <input type="checkbox"/> 無異狀 <input type="checkbox"/> 劣化 <input type="checkbox"/> 無防銹脂 承壓版 <input type="checkbox"/> 無異狀 <input type="checkbox"/> 變形 <input type="checkbox"/> 浮出 <input checked="" type="checkbox"/> 劣化 握線器 <input type="checkbox"/> 無異狀 <input checked="" type="checkbox"/> 銹蝕 <input type="checkbox"/> 功能喪失 滲水狀況 <input checked="" type="checkbox"/> 無異狀 <input type="checkbox"/> 輕微 <input type="checkbox"/> 嚴重 說明:						
內視鏡檢測	自由端灌漿情況 <input type="checkbox"/> 滿漿 <input checked="" type="checkbox"/> 未滿漿 鋼鍵銹蝕程度分級 <input type="checkbox"/> X級 <input checked="" type="checkbox"/> A級 <input type="checkbox"/> B級 <input type="checkbox"/> C級 <input type="checkbox"/> D級 鋼絞線散開 <input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 可見灌漿管或回漿管 <input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 內部潮濕或有地下水 <input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 說明:						
揚起試驗檢測	 <div style="display: flex; align-items: center;">  <table border="1" style="margin-left: 10px;"> <tr> <td>分級</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>揚起噸數 (T)</td> <td>45.5</td> </tr> </table> </div>			分級	C	揚起噸數 (T)	45.5
分級	C						
揚起噸數 (T)	45.5						

註: X.功能喪失(黑色), A.極差(紅色), B.不佳(黃色), C.尚可(藍色), D.正常(綠色)

表 3 G2 地錨檢測成果

位置:	地錨編號: G2	鋼鍵型式: 7-12.7mm	剩餘長度(cm): 2.5				
承壓結構: 格柵面板	底版尺寸: 350x350x30mm	承壓版尺寸: 200x200x25mm	角度: 17°				
握線器形式: $\phi 125mm$ t50mm	自由段無漿段長度(m): 0.19						
錨頭組件檢視	錨頭銹蝕程度分級 <input type="checkbox"/> X級 <input type="checkbox"/> A級 <input checked="" type="checkbox"/> B級 <input type="checkbox"/> C級 <input type="checkbox"/> D級 防銹脂 <input type="checkbox"/> 無異狀 <input type="checkbox"/> 劣化 <input type="checkbox"/> 無防銹脂 承壓版 <input type="checkbox"/> 無異狀 <input type="checkbox"/> 變形 <input type="checkbox"/> 浮出 <input checked="" type="checkbox"/> 劣化 握線器 <input type="checkbox"/> 無異狀 <input checked="" type="checkbox"/> 銹蝕 <input type="checkbox"/> 功能喪失 滲水狀況 <input checked="" type="checkbox"/> 無異狀 <input type="checkbox"/> 輕微 <input type="checkbox"/> 嚴重 說明:						
內視鏡檢測	自由端灌漿情況 <input type="checkbox"/> 滿漿 <input checked="" type="checkbox"/> 未滿漿 鋼鍵銹蝕程度分級 <input type="checkbox"/> X級 <input checked="" type="checkbox"/> A級 <input type="checkbox"/> B級 <input type="checkbox"/> C級 <input type="checkbox"/> D級 鋼絞線散開 <input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 可見灌漿管或回漿管 <input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 內部潮濕或有地下水 <input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 說明:						
揚起試驗檢測	 <div style="display: flex; align-items: center;">  <table border="1" style="margin-left: 10px;"> <tr> <td>分級</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>揚起噸數 (T)</td> <td>36</td> </tr> </table> </div>			分級	C	揚起噸數 (T)	36
分級	C						
揚起噸數 (T)	36						

註: X.功能喪失(黑色), A.極差(紅色), B.不佳(黃色), C.尚可(藍色), D.正常(綠色)

3.2 邊坡監測系統運作情形

現場安裝本研究計畫之監測設備裝設完畢後照片如圖 8 所示，地錨荷重計設置於離地約 3M 高之地錨，並於其上方之牆頂與牆背設置太陽能板、雨量筒與其他相關設備。以外觀而言並不顯目。

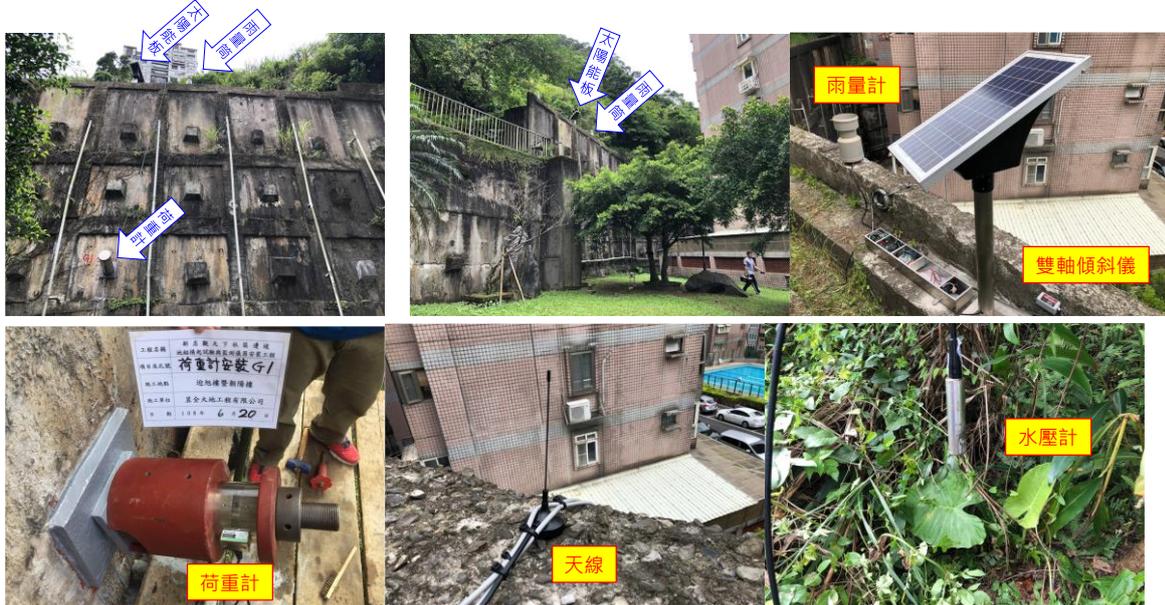
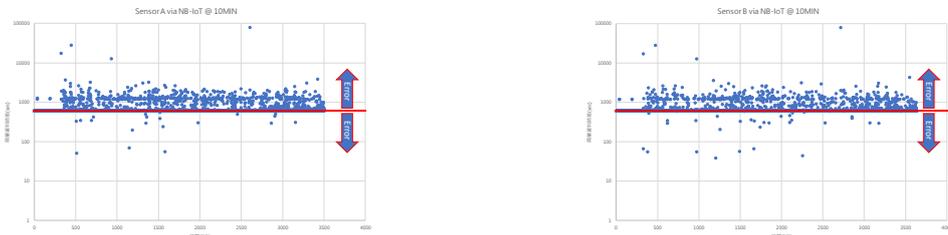


圖9、現場監測儀器裝設完畢後照片

3.3 通訊系統運作情形

本研究採用 LTE Cat NB1 傳輸規格之收發器，頻帶為 Band 1/ Band 3/ Band 5/ Band 8/ Band 20/ Band 28，靈敏度為-116dBm，最大傳輸能量為 23 dBm(Class 3)，傳輸速率為上傳 26.15 kbit/s、下載為 62.5 kbit/s。現場採用 10 分鐘 1 筆之傳送頻率，經隨機抽樣統計測試時間為期 30 天，以 10 分鐘 1 筆資料計算之，總資料筆數需為 4320 筆。因此若測試時間實收筆數少於 4320 筆，則視為確定漏失；圖 5-7(a)所示之資料經歸納可得感測器 A(水位計)之確定漏失率為 18.8%；圖 5-7(b)所示之資料經歸納可得感測器 B(雨量筒)之確定漏失率為 15.8%。由於漏失率不低，且誤點時間偏高，因此未來採用 NB-IoT 為監測通訊方式時，仍須注意此現象。



(a) 水位計搭配NB-IoT之紀錄

(b) 雨量筒搭配NB-IoT之紀錄

圖10、本研究採用NB-IoT之某段時間傳輸紀錄

四、結論與建議

4.1 結論

1. 低功耗傳輸系統建置與系統強化方面：本年度改採用較為容易裝設之 NB-IoT 通訊技術取代過去採用之 Weightless 通訊技術於本研究，該技術已廣為應用於都會區之智慧住宅或精密廠房中，且因電信廠商已針對 NB-IoT 通訊服務於都會區開設基地台，對於本研究之監測系統而言應用上，其穩定性與價格容易實現，目前已確認可順利通訊，強化過去系統之穩定性與耐候性，且可降低電力使用之需求與建置費用。因此本系統經強化後可提供建研所防災資訊平台更穩定之監測數據，提供使用者場域的即時監測資料。此外因平台能提供更多元的資訊服務，已介接防救災相關公開資料，如氣象局即時雨量以及國家災害防救科技中心公開示警訊息等，未來可供專業人士、社區居民、研究人員等使用。
2. 地錨擋土牆檢監測作業與坡地社區智慧防災系統應用推廣方面：地錨擋土牆在台灣的坡地社區相當常見。然而既有坡地社區之居民對於地錨擋土牆的功能並不熟悉，更無法瞭解地錨品質與既存荷重對於保護邊坡與社區之重要性。國內進行地錨檢監測之作業大多施行於道路邊坡，在坡地社區施作之案例卻相當少見。
3. 本年度計畫之示範試區一開始並不清楚社區內地錨之狀況，經過團隊進行一連串之檢測，包含目視、內視得知地錨銹蝕現況與揚起試驗取得既存荷重，並擇一進行相關之地錨荷重監測。上述作業皆製作成防災講習與座談會之教材，於示範社區辦山坡地社區智慧防災系統應用推廣說明會後，不但讓社區居民願意出資進行相關地錨維護作業以及裝設本研究研發之檢監測系統，與會之物業管理、保險等業界代表與專家學者皆肯定相關之研發成果與推廣方式。

4.2 建議

1. 建研所歷年主辦多項關於坡地社區自然邊坡、人工邊坡等監測設備與系統之研發，以及相關監測管理值之推估方法，並以示範社區進行驗證示範工作。然而因為尚未遭遇足夠規模之天災事件以驗證各種監測器之管理值，且可能因類似試驗造成社區居民之疑慮，因此建議未來相關參數取得與管理值驗證試驗，可考慮選擇於無保全對象之擋土設施或空地以模型試驗進行。
2. 坡地社區經常採用背拉式地錨擋土牆作為爭取用地之方式，雖然目前新建坡地社區對於監測邊坡之規範，然而既有坡地社區之擋土設施監測則無；由於既有坡地社區中傳統地錨之服務現況(包含鏽蝕情況、既存荷重)無法由外觀或居民自主巡檢得知，勢必得透過專業技術團隊執行外觀檢視、揚起試驗、除蝕防鏽、荷重監測等工作。目前各地方政府主管單位已在執行年度例行性之相關社區邊坡巡檢作業，因此建議各地方政府主管單位協助宣導啟發社區居民自主尋求專業協助之相關意識。
3. 邊坡社區之擋土設施可由本研究研發之相關檢監系統進行長期邊坡監測作業，以提供坡地社區啟動擋土設施維護與更新進行、或防災避難之參考依據。然而這些研發成果仍需推廣與商轉之單位。建議保險業者與物業管理業者可推出應用坡地

社區整合性監測之相關商品。設計該產品所需要之大量坡地社區災害生命財損報告，建請內政部營建署於保險業者與物業管理業者提出需求時提供相關資料。

參考文獻

1. 中華民國大地工程學會，2017。山坡地監測準則 (TGS-SLOPEM106)。
2. 內政部建築研究所，(2018)，「山坡地社區智慧防災系統精進—人工邊坡智能感測器研發與雲端系統擴充應用」。
3. 行政院農業委員會水土保持局，(2014)，「103 年寶山潛在大規模崩塌地區調查監測系統維運與擴充計畫」。
4. 行政院農業委員會水土保持局，(2018)，「長距離低功耗廣域網路連結物聯網於監測資料傳遞應用上最佳化配置研發」。
5. Hoult, N.A., Bennet, P.J., Stoianov, I., Maksimović, C., Middleton, C.R., Graham, N.J.G. and Soga, K. (2009) : “Wireless Sensor Networks: creating ‘Smart Infrastructure’,” Proceedings of ICE, Civil Engineering, Vol. 162, August 2009, pp. 136–143
6. Hughes, J., Yan, J., Soga, K. (2015): “Development of wireless sensor network using bluetooth low energy (BLE) for construction noise monitoring,” International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, Vol.8, No. 2, pp.1379-1405
7. Nawarz, S., Xu, X., Rodenas-Herr'aiz, D., Fidler, P., Soga, K. and Mascolo, C. (2016) : “Monitoring A Large Construction Site Using Wireless Sensor Networks,” Proceedings of the 6th ACM Workshop on Real World Wireless Sensor Networks, pp. 27-30