

高精度潛移地滑監測預警系統

中翰國際科技有限公司 應用小組

講者：鄒致瑋



Follow via
LinkedIn

組員：劉士豪, 林烜生, 陳亮頤

September 28, 2021



背景

- 台灣位處兩個隱沒帶之上以及西太平洋颱風盛行地區，人口稠密，山坡地大量開發，約有90%的人口居住在有兩種以上災害可能衝擊的地區，多以震災與風災為主。(World Bank, “Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis”, 2005)
- 921地震後，全台山崩與地滑等事件分布大量增加，導致其後颱風、強降雨等事件造成的災害規模明顯擴大。



1980年山崩目錄、山崩與地滑地質敏感區圖層套疊 (山崩地質雲端服務平台)



Trimble 監測系統發展

- 從光學電子測距儀測量儀器開始 Trimble已有20年以上的自動監控經驗。
- 在全球已有1000+專案正在運作。
- 專案所使用的感測器從數個至數千個。
- 最長的監測專案已經連續運行15年。
- 全球有100多個經銷及技術合作夥伴擁有豐富的監測經驗。

星載 SAR, GB-InSAR, 全測儀, Trimble 監測系統特點比較

項目	星載 SAR (哨兵一號)	GB-InSAR	全測儀	Trimble 監測系統
測量距離、面積	距離長、掃描面積大 (數百公里)	距離中等(數公尺至數公里)、掃描面積中等	測量人員必須至現場測量，測量範圍最狹窄	距離中等(數公尺至數公里)、掃描面積中等
測量時間	快	中	快	快
測量間隔 (週期)	長，6~12 天	短，數分鐘	數分鐘	可調整
測量精度	公分等級	公釐等級 *	公釐等級	公釐等級 *
植被影響	有，中等	有，嚴重	無	無
後處理速度	慢，數十分鐘	快，數分鐘	慢	快
安排現場人員	無	有	有	無

*GB-InSAR距離70公尺水平網格解析度為37公分，而本監測系統使用之全測儀距離200公尺之精度小於2公釐

提升邊坡監測管理值

- 廖瑞堂等人(2013)建議警戒值為 0.5 (mm/日)
- 他國監測滑動高達 0.04 (mm/時)
- 本自動連續監測系統盼提升國內管理值至 (mm/時) 之水準

滑動型態	深層滑動或填土邊坡		
管理值	注意值	警戒值	行動值
建議	2 (mm/月)	0.5 (mm/日)	10 (mm/日)
代表意義	邊坡已開始滑移或走走停停緩慢移動中	邊坡等速率滑移中	邊坡滑移速率加速，瀕臨破壞
監測對策 (建議範例)	檢查監測系統有無異常 加強目視檢視及監測	加強自動化監測頻率	採嚴密之監測頻率及回傳
因應對策 (建議範例)	進行邊坡穩定調查及評估 提出補強改善規劃	研擬緊急應變對策 進行邊坡緊急補強 長期補修同時進行	人員車輛必須疏散撤離

說明：順向坡平面滑動不宜採用。

地區名	二次潛變速率, V2 (mm/時)	三次潛變開始 速率, V3(mm/時)	地質狀況	滑動型態	滑動深度(m)
日本奈良縣大塔村	0.04	1.48	砂頁岩互層	順向坡(平面滑動)	10
日本高知縣くろし鐵道	2.71	4.60	不明	不明	不明
日本愛媛縣柳谷地滑	1.74	3.44	砂岩、板岩	順向坡(平面滑動)	10
日本長野市地附山	5.08	18.03	凝灰岩	地滑(深層滑動)	65
日本高場山	4.37	7.29	砂頁岩互層	地滑(深層滑動)	25
日本大井川	0.58	5.88	不明	不明	不明
義大利バイオントダム	0.04	2.01	不明	不明	不明
法國 La Clapiere	0.54	1.76	片麻岩	地滑(深層滑動)	100(推估)
智利Chuquicamata鑛山	1.02	7.10	結晶斑岩	施工中滑動	不明

(廖瑞堂, 地工技術 No.136/2013.6)

上海高速鐵路自動化監測

- 項目：
2019年浦東至虹橋機場線施工監測
- 潛在風險：
鄰近香港高鐵軌道設施
- 監測設備：
30套Trimble S9 HP
Robatic TS

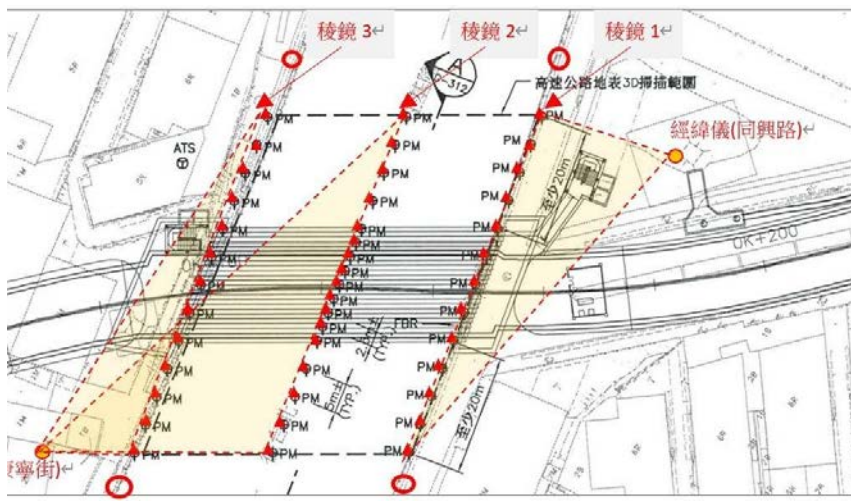


新北市道路工程全測儀自動化監測

(汐止同興路施工讓中山高塞爆 侯友宜：地質不確定性 施工要小心 自由時報 2020.11.28)

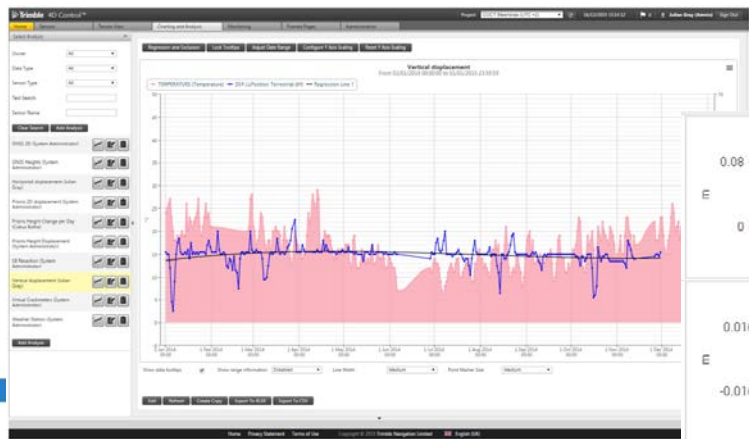
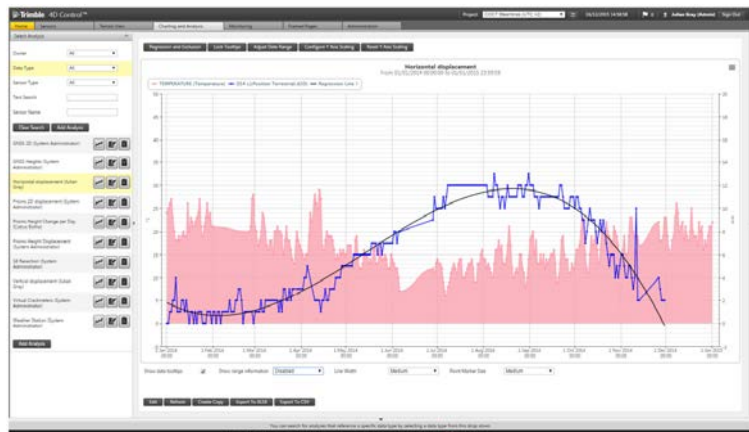
本工程位於高速公路下方，在地質穩定度上充滿不確定性，採用全測儀進行連續觀測以確保工程進行的安全掌握度。

設備: Leica TCA2003 Total Station



Status	Point Name	Station Code	Axis Rotation	Δ Northing [m]	Δ Easting [m]	Δ Height [m]	Δ 2D [m]	Δ 3D [m]	3-σ Δ Northing [m]	3-σ Δ Easting [m]	3-σ Δ Height [m]	3-σ Δ 2D [m]	3-σ Δ 3D [m]	V
▲	P1			0.004	0.000	-0.002	0.004	0.005	0.675	0.675	0.675	0.954	1.169	
●	P2		□	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	874.692	384.447	88.139	955.451	959.507	
●	P3		□	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	947.210	99.634	123.855	952.435	960.455	
●	P4		□	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	959.821	30.098	37.740	960.292	961.034	
●	P5		□	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	874.691	384.449	88.138	955.451	959.507	
●	P6		□	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	947.210	99.634	123.856	952.435	960.455	
●	TS03			-0.004	0.000	0.002	0.004	0.005	0.675	0.675	0.675	0.954	1.169	

Steenbras Lower Dam



監測設備:

裂縫計

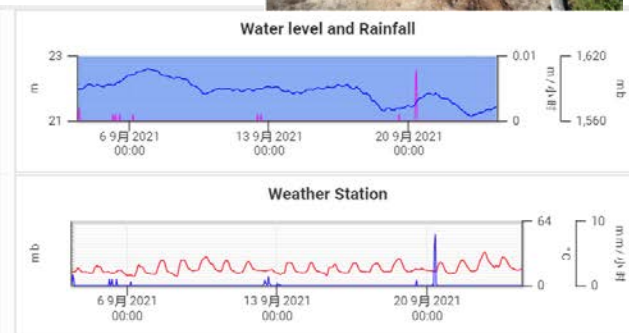
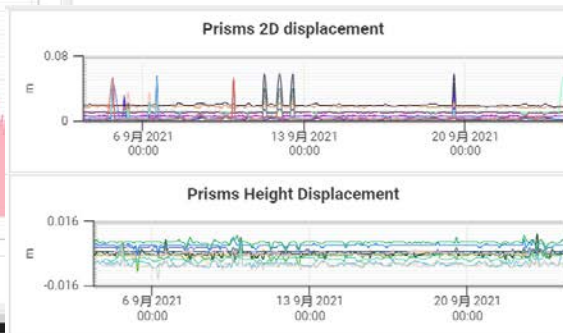
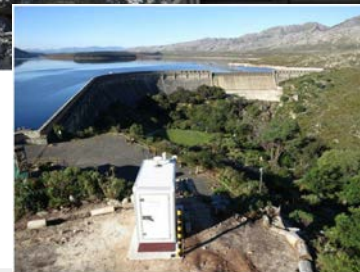
傾斜計

氣象站

Trimble 全測儀

Trimble GNSS接收器

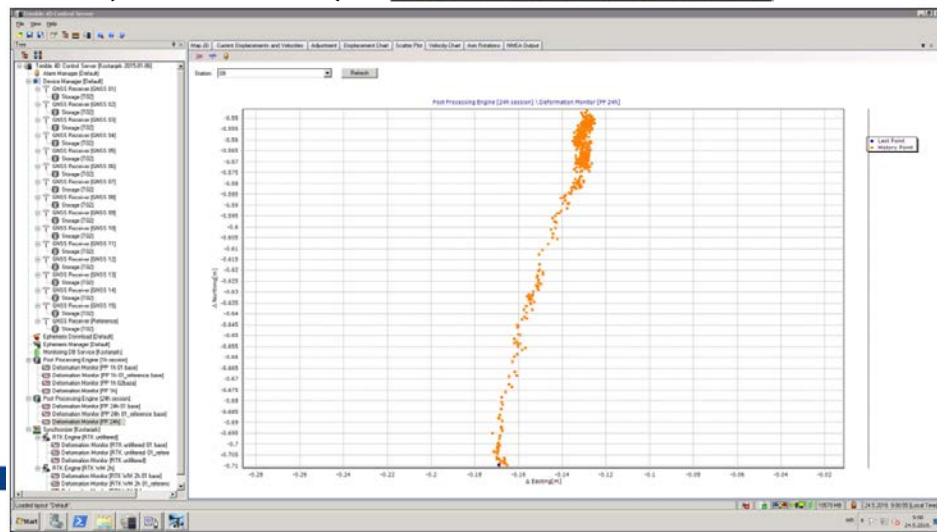
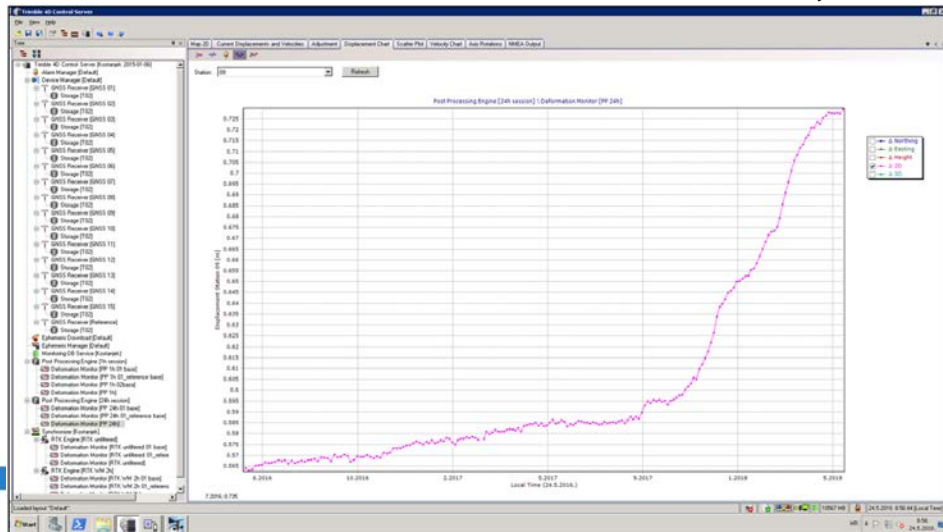
(左圖上: annual水平位移量, 左圖下: annual垂直位移量)



克羅埃西亞深層滑動監測

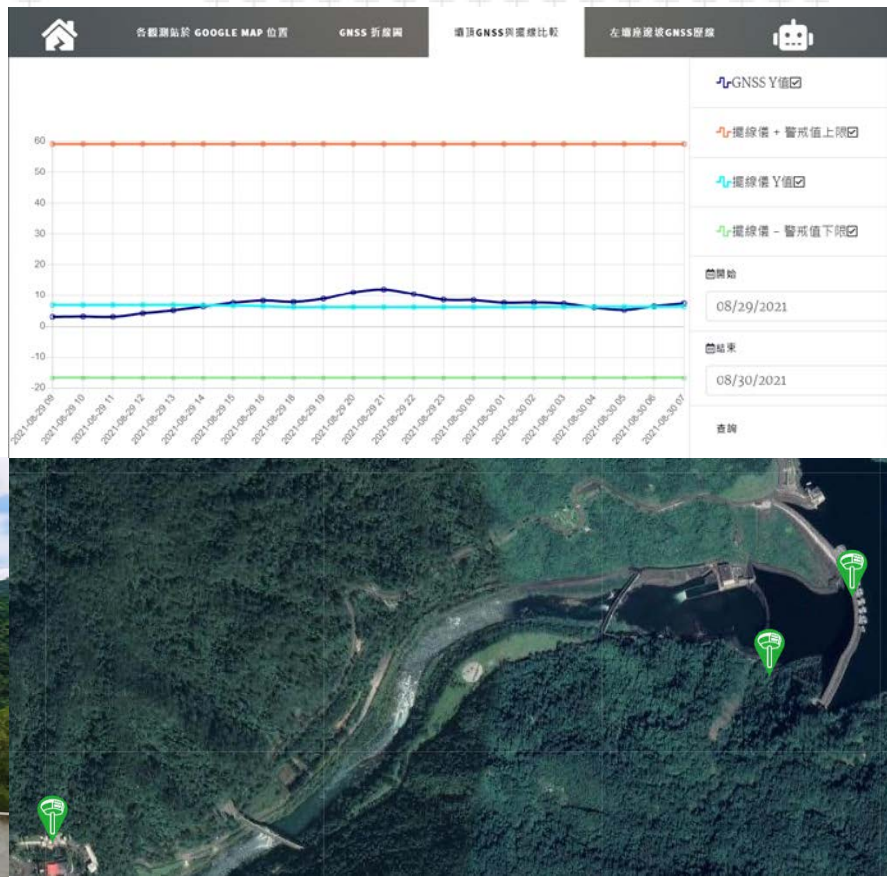
- 監測設備: 15台NetR9 GNSS接收器
- 滑動面積: 約1平方公里
- 監測時間: 2013-2018

(左: 水平位移量, 右: 位移方向)



翡翠水庫GNSS監測站及基準站建置

- 透過GNSS精密靜態釐米 (mm) 定位特性，進行翡翠水庫管理局所管理的水庫壩頂及左壩座邊坡長期位移監測。
- 並且在壩頂部份與管理局既有的擺線儀監測設備進行比對分析，進而輔助判斷及分析壩頂位移的準確性。



翡翠水庫擺線儀與壩頂GNSS位移觀測資料

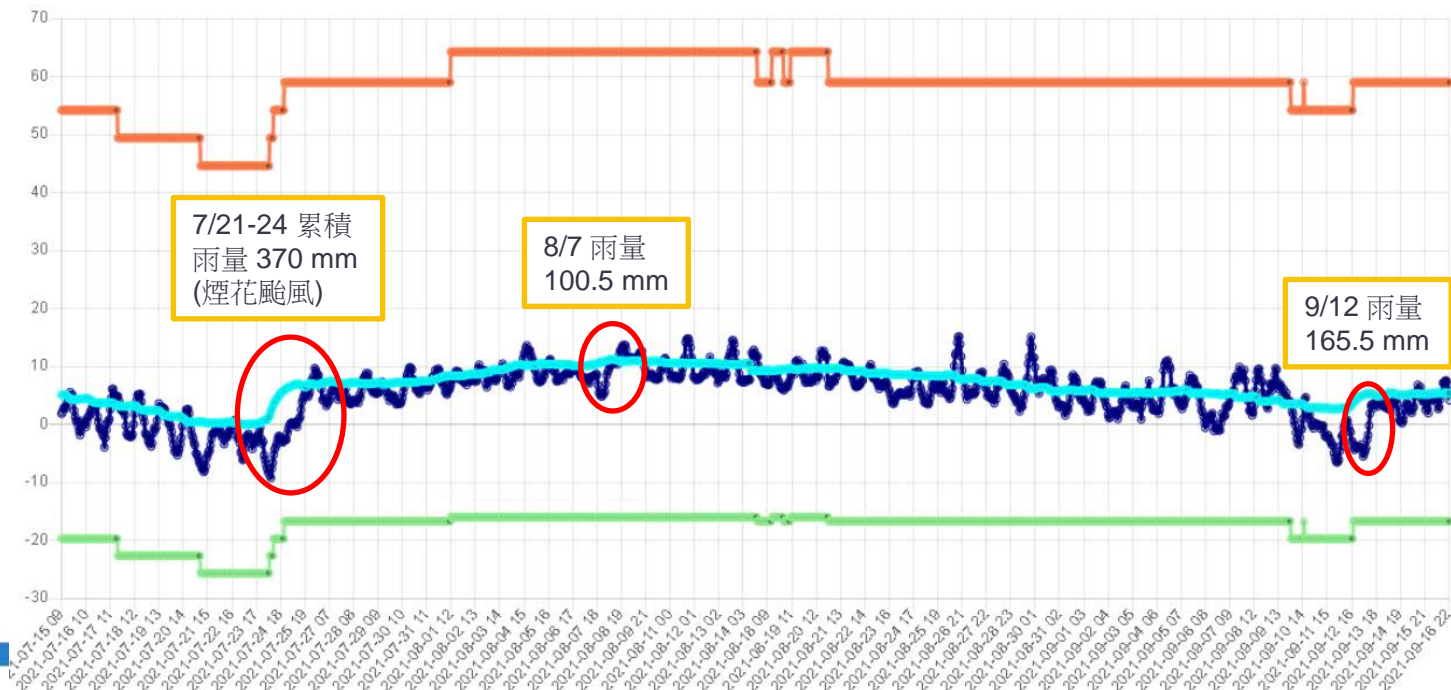


各觀測站於 GOOGLE MAP 位置

GNSS 折線圖

壩頂GNSS與擺線比較

左壩座邊坡GNSS歷



GNSS Y值☑

擺線儀 + 警戒值上限☑

擺線儀 Y值☑

擺線儀 - 警戒值下限☑

雨量參考：翡翠水庫雨量站

應用領域



礦場



自然災害



建築物 and 結構監測

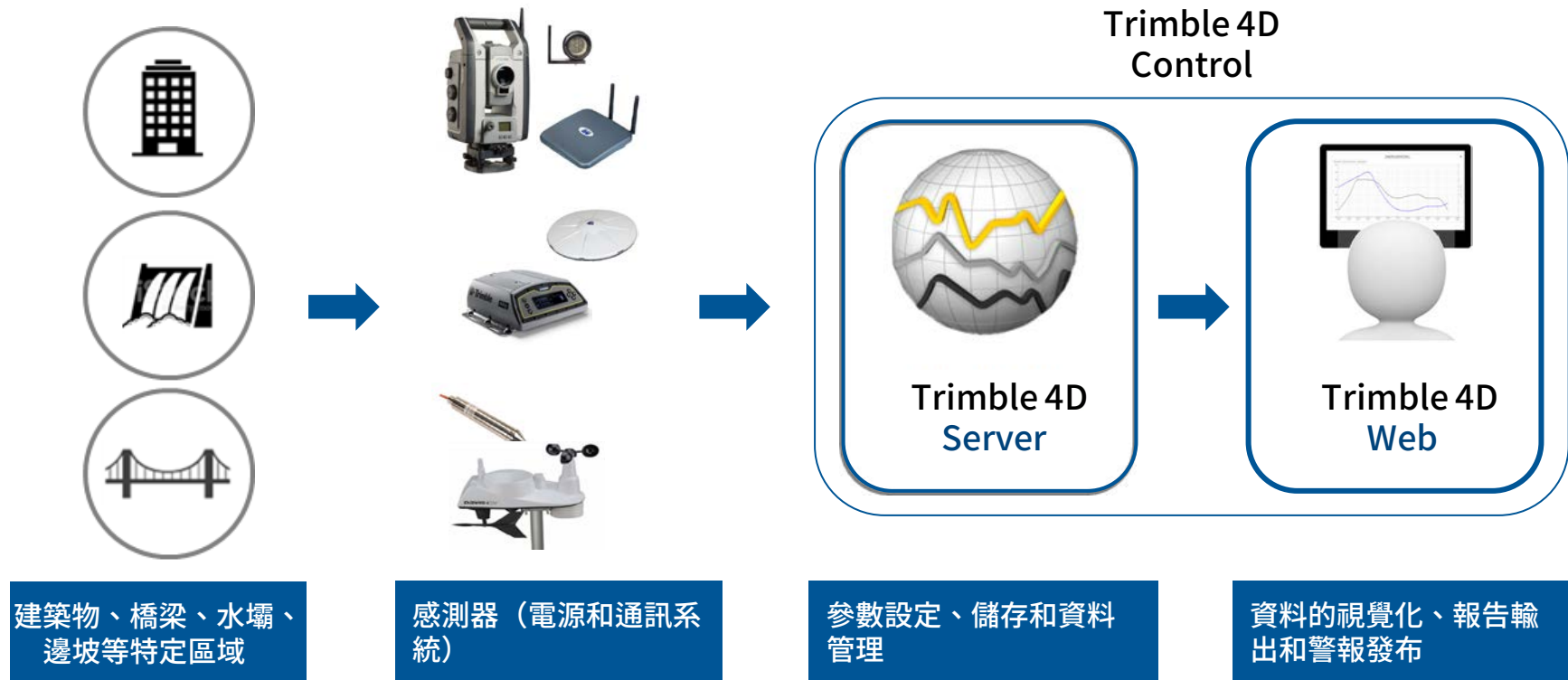


運輸基礎設施



水庫

Trimble 監測系統



Trimble S9 全測儀



- 專門爲了隧道以及監測等大型項目設計的機器人全測儀
- 測角精度 0.5"
- 測量精度 1 mm+2 ppm (稜鏡)
- 測量距離 5500 公尺
- 24/7 全年無休
- 適應惡劣環境
- 完全靜音操作
- 使用最新技術：
 - Trimble DR Plus/HP EDM 精度保證
 - Trimble FineLock 精準鎖定稜鏡
 - Trimble MadDrive 磁浮馬達
 - Trimble VISION 即時影像
 - Trimble SureScan 統一解析度
 - Trimble Locate2Proect 儀器安全

Trimble Alloy GNSS 接收器



- 專為長期連續監測GPS設計
- Trimble Maxwell 7晶片組
- 672 衛星通道
- 資料儲存速率超過 100 Hz
- IP68適應惡劣環境
- 使用最先進的 Trimble EVERESTPlus多路徑抑制技術、Trimble 360、Trimble Sentry 技術
- 接收衛星訊號：



- GPS : L1 C/A、L2E(L2P)、L2C、L5
- GLONASS : L1 C/A2和未加密P碼、L2 C/A和未加密P碼、L3 CDMA
- Galileo : L1 CBOC、E5A、E5B & E5AltBOC、E6
- 北斗 : B1、B2、B3
- QZSS : L1 C/A、L1C、L1 SAIF、L1S3、L2C、L5、LEX/L64
- IRNSS : L5、S段
- SBAS : L1 C/A(EGNOS/MSAS)、L1 C/A和L5(WAAS)
- L段 : Trimble RTX™

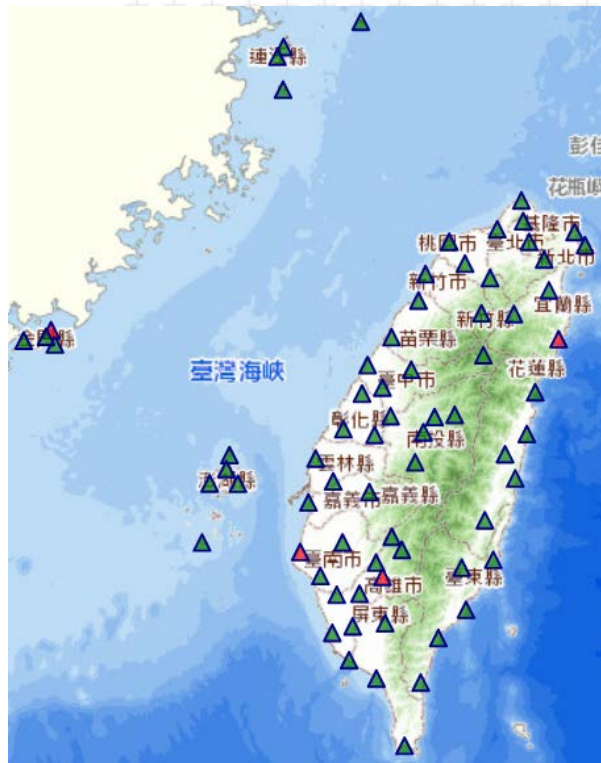
Trimble NetR9 Ti-M GNSS 接收器



- 專為長期連續監測GPS設計
- 2個 Trimble Maxwell 6晶片組
- 440 衛星通道
- 結合T4D，資料儲存速率可達 20 Hz
- 強大的遠端管理功能
- 適應惡劣環境
- 接收衛星訊號：
 - GPS
 - GLONASS
 - Galileo
 - Beidou
 - QZSS
 - SBAS
 - L-Band
 - Trimble RTX Worldwide Corrections

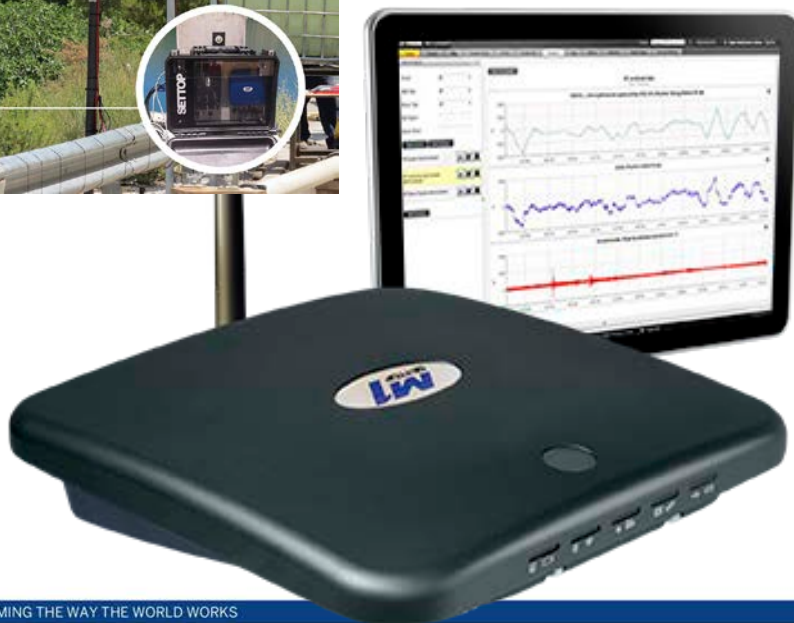
Trimble GNSS 接收器用於參考站深受肯定

- 國內204座衛星基準站，現有178站使用Trimble NetR 與 Alloy 系列。(國土測繪中心衛星基準站資訊)
- 最新機型 Alloy 系列於2018年上市便被各單位積極採購。



(<https://egnss.nlsc.gov.tw/basestationinfo.aspx>)

Settop M1 通訊箱



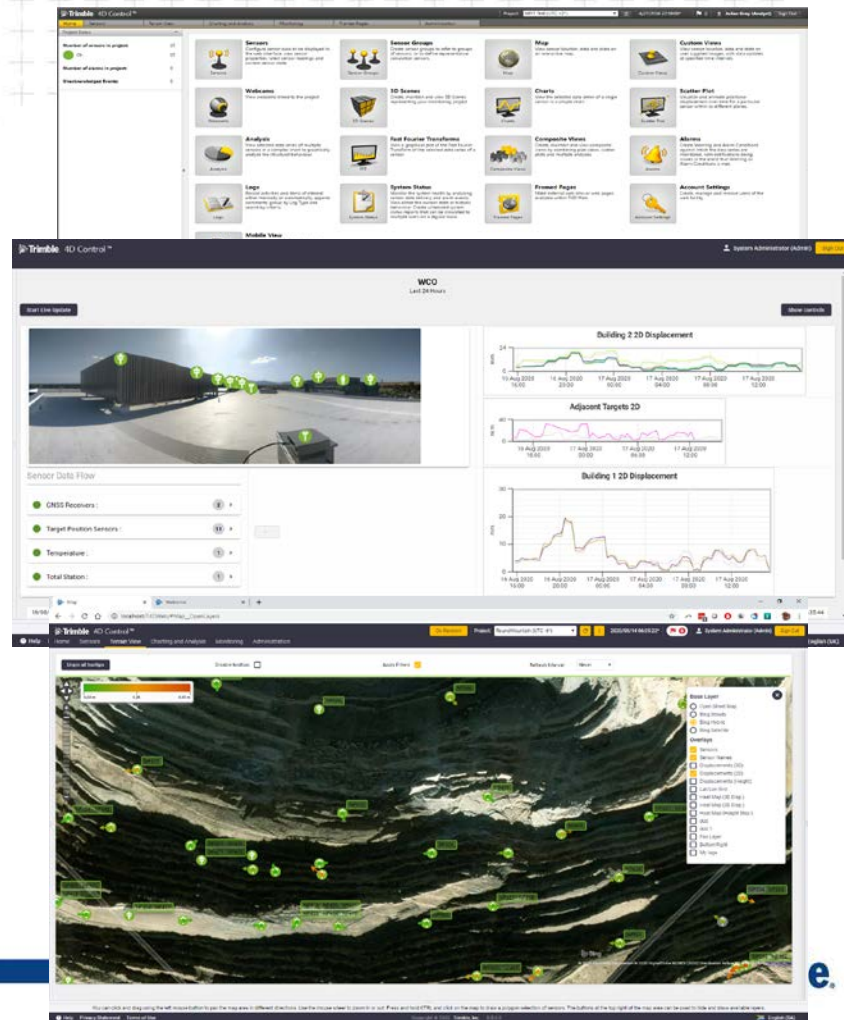
- Trimble S系列全測儀量身訂做
- 身兼 modem 與 datalogger 的工作
- 可透過Wifi, 藍牙, 無線電, 乙太網, 4G GSM, SETTOPSurvey 的獨家IST雲端服務傳輸資料
- 斷電後自動重啟
- Web介面管理免軟體
- 相容多種電源輸入
- 感測器自動偵測
- 支援監視器影像傳輸

Trimble 4D Control

- 以高效率的方式連結感測器的數據
 - 圖像化
 - 感測器於地圖上的所在位置
 - 分析
 - 統計圖表/點位散佈圖
 - 警報
 - 透過設定門檻值以進行全項目的監測作業
- 優勢
 - 同時控制全測儀、GNSS與其他感測器的測量數據並管理，分析數據呈現圖表，即時決策發出警報。
 - 透過 Trimble Business Center 的 Monitoring 模組直接使用測量資料進行處理。
 - 人工測量成果可利用 Trimble Access Monitoring 外業軟體導入 T4D 與 TBC。



THE WAY THE WORLD WORKS



結論

- 近年使用的地面合成孔徑雷達干涉技術，為有效的地表位移連續監測方法，但雷達回波受入射角度與植被影響嚴重，必須遮蔽植被或選擇裸露地與結構物做觀測。(余騰鐸, 2020)
- 台灣邊坡監測系統大多為手動監測，而穩定、高品質的連續自動監測方法可顯著提升位移量管理值，作為預警的依據。
- 以全測儀與GNSS接收器為主體的地表位移、擋土結構等自動連續監測等手段，預期可發揮高精度、高頻率、整體觀測、即時傳輸、即時監控、即時預警、快速整合的優勢，有效彌補遙測方法與傾斜觀測管、伸縮計等直接量測方法之不足。
- 結合警報功能，本監測系統預期在高頻率之整體觀測下掌握災害前兆，發揮緊急預警成效。