

都市開挖之鄰房智慧雲端安全監測應用

吉聯資源開發股份有限公司 / 陳保志

隨著都會區的發展，建築設計越來越多樣化，但都會區土地取得有限，為了增加使用空間，建築物的設計已逐漸朝高樓層及深基礎發展^[1]。然而深基礎開挖之施工期間，常容易遭遇地下水的困擾。本應用案例地區的地質分布狀況為地下 1~3m 大約皆是地表覆土，8~12m 為卵礫石夾砂土，以下土層皆為硬砂岩泥岩。可想而知該地區地層透水性相對較佳，開挖過程地下水對其影響更甚。

當前社會資訊流通更加的快速，安全意識提高，因此施工過程須更重視鄰房安全問題。去年國內深開挖工程造成鄰房的破壞，可謂歷年之最，民眾生命財產損失甚鉅。因此開挖過程中由鄰房安全監測儀器的診斷、維護，藉由監測儀器預知其鄰房安全性至為重要。大地或結構建築物體，發生災變都會事先發生一些持續性徵兆與警訊；適性的安全監測系統規畫設計為安全掌握的必要條件。



一、本應用案例使用之監測儀器探討

(一) 全測站 (圖 1) 硬體規格

1. 雙軸補償, 補償範圍 4'。
2. 測角精度: 1 秒。
3. 角度量測: 最小顯示讀數 0.1 秒。
4. 望遠鏡放大倍率 30 倍。
5. 最短焦距 1.7m。
6. 單稜鏡 (圖 2) 可量測 3,500m, 具備稜鏡自動照準稜鏡中心功能達 1,000 公尺。
7. 稜鏡標準測距精度: 1mm+1.5ppm。
8. 具伺服馬達或磁浮馬達功能。
9. 儀器定平基座之圓盒水準器靈敏度 8'/2mm。
10. 儀器本身或控制器需具有內建記憶體 1GB。
11. 作業及存放溫度範圍: -20°C 至 50°C 之間; 或優於上述範圍。
12. 防水、防塵等級: IP55, 儀器重量 (含電池) 7 公斤。
13. 儀器本體具操作面板, 皆具可輸入英文字母之 0-9 實體數字按鍵及功能按鍵。
14. 具備雷射或光學求心器定心裝置。
15. 內藏式可抽換式鋰電池, 工作可連續使用 5 小時以上。
16. 具 RS232 或 USB 以及藍芽傳輸埠功能。



圖 1. 全測站
(摘自 Xinzon 網站圖片)^[3]



圖 2. 稜鏡
(摘自 Xinzon 網站圖片)^[3]

(二) 電子式水壓計 (圖 3) 規格

1. 型式: 振弦式。
2. 範圍: 50PSI (35M)。
3. 精度: 0.1% FS。
4. 解析度: 0.025% FS。
5. 材質: SUS304 或 SUS316 不銹鋼。
6. 訊號線: 4 芯訊號線。



圖 3. 電子式水壓計
(摘自三聯網站: <https://is.gd/s0ybNu>)

(三) NB-IoT 振弦式記錄器 (圖 4) 規格

1. 量測訊號: 振弦訊號。
2. 量測範圍: 300 ~ 7,000 Hz。
3. 精度: 優於 0.02% FS。
4. 解析度: 0.12 Hz。
5. 記憶體: 100,000 筆以上。
6. 傳輸: 無線傳輸及 Android 手機或平板電腦下載。
7. 電力: 使用電池每 1 小時量測 1 次, 可供應 2 年以上電力。
8. 防水: IP67。



圖 4. NB-IoT 振弦式記錄器
(摘自三聯網站: <https://is.gd/iGmDSX>)

(四) 電子式傾斜計 (圖 5)

1. 傾斜軸：雙軸。
2. 精確度：0.005°。
3. 解析度：0.0005°。
4. 長期溫定性：0.003°。
5. 量測範圍：±15°。
6. 輸出信號：4G。
7. 參數設定信號：RS485 (Modbus RTU)。
8. 存儲容量 (筆數)：150,000 筆資料。
9. 工作環境：-40°C ~ 85°C。
10. 電池：型號 18650*2pcs (DC 3.6V)。
11. 尺寸 (mm)：119(L) x 80(W) x 54.5(H)。
12. 防護等級：IP66。



圖 5. 電子式傾斜計

二、現地施作與運轉流程

鄰房沉陷位移量測為目前安全監測較無法採用自動量測的監測項目，所採用的儀器相對一般儀器價格較昂貴，一般皆採用在較重要或特殊的監測場域。本案因已經是發生事故的開挖工區，需更即時的了解鄰房的安全狀況，故採用全測站量測方式進行測量 (圖 6、圖 7)，再將量測資料推送至雲端。

水位監測部份 (圖 9)，因現有地水位計分布位置較廣，故採用 NB-IoT 運作模式執行，除可減少長距離佈線、縮短佈建時間，為符合目前深開挖工地場域要求。

鄰房傾斜所安裝的電子式傾斜計 (圖 8) 因為安裝位置位於鄰房四周角隅處，無電源及佈線不易；故採用電池及各處獨立 4G 訊號傳輸方式，將量測資料送至雲端。



圖 6. 全測站系統安裝

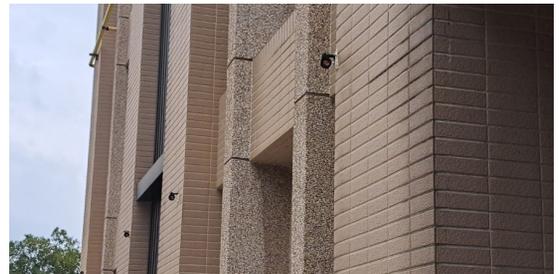


圖 7. 監測菱鏡



圖 8. 電子式傾斜計



圖 9. 水位井紀錄器

三、系統整體架構及配置

本案系統架構 (圖 10) 皆採用目前國內監測系統最為先進之監測設備，水位計採用了振弦式水壓計搭配了 VW-dot 振弦式紀錄器，VW-dot 是一款採用 2 顆 18650 電池供電的紀錄器，傳輸採用 NB-IoT 無線傳輸為傳輸系統，因此佈建方式相對傳統實體佈線方式省下不少現場安裝時間。

電子式傾斜計採用微機電系統傾斜計，亦搭配 2 顆 18650 電池外接小型太陽能充電板，傳輸採用 4G 無線傳輸為傳輸系統，設備安裝亦無需佈設實體線路，安裝上也是相當省時省力。

位移觀測部份採用了全測站進行觀測，全測站現階段亦需佈設 AC110V 市電供電，傳輸採用 4G 無線傳輸為傳輸系統。

後端雲端系統採用 WMS 雲端網頁系統供客戶端查詢監測結果。

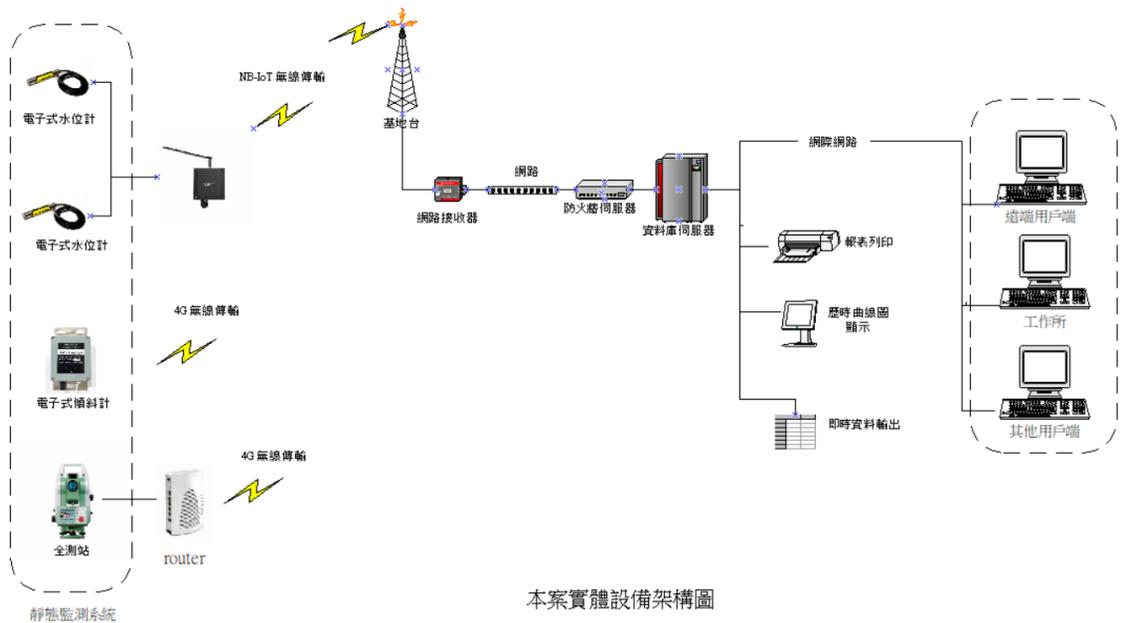


圖 10. 本案實體架構圖

本案例工區配置 (圖 11) 相當多樣的監測儀器，此處僅針對鄰房自動化安全監測部分進行分享。鄰房電子式傾斜計共配置 2 處、電子式水位計配置 2 處、全測站 1 台、位移觀測菱鏡 15 處，佈設於本案後方鄰近之兩棟高樓層大廈，前方鄰一條 40m 大馬路，工區兩側是 8m 及 12m 的馬路，因此主要影響範圍亦是後方兩棟高樓。



圖 11. 本案平面配置圖

四、量測成果探討

本應用案例於去年 8 月期間連續發生 2 次鄰近路面塌陷的小天坑後 (圖 15)，9 月初進場安裝自動化水位觀測井，於 10/15 即量測到整體水位上升的狀況 (圖 12)，接續就發生第 3 次崩塌事件，水位量測成果非常明顯記錄了這段期間的水位變化，因此第 3 次崩塌就可以很快找出原因為前 2 次崩塌後導致抽水機停擺，進而導致基地內水位不斷上升，又進一步將上層土壤浸泡鬆軟後，才導致鄰近路面地層塌陷。

所以要避免地上水位上升，因此需要立即抽水，但又不能讓基地內地下水位降太快，以免引發水位差造成更大規模崩塌。

於本次坍塌後再進行了鄰房沉陷及傾斜的追加自動化量測，本案仍持續觀測中，總體而言截至本文完成時，鄰房沉陷 (圖 13) 及傾斜觀測結果 (圖 14) 皆呈穩定狀況。

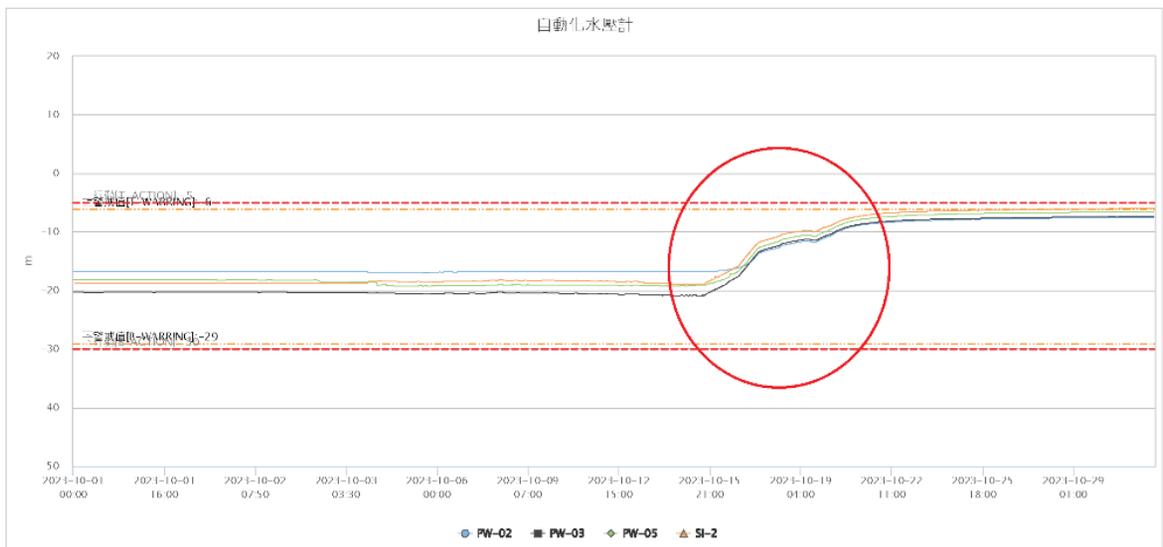


圖 12. 水位階段量測成果曲線

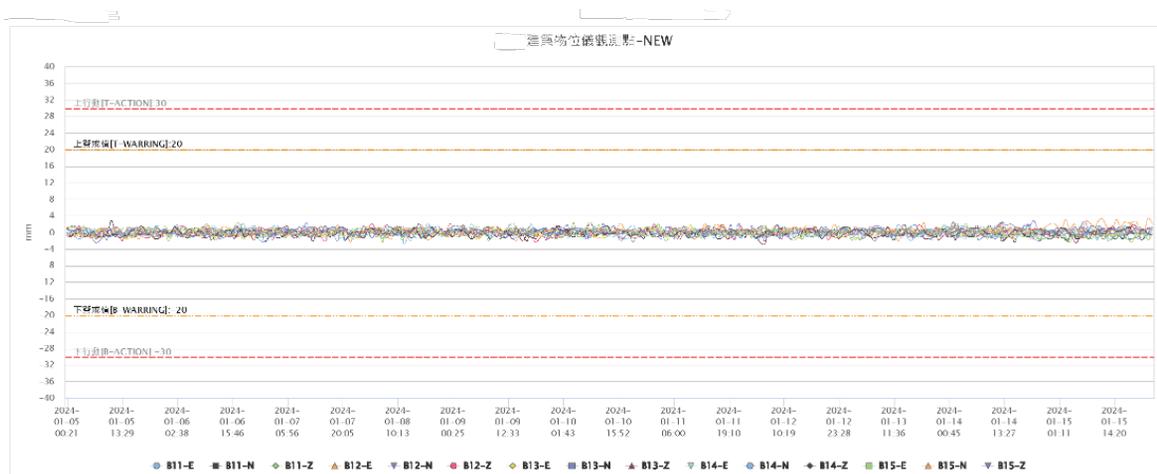


圖 13. 位移觀測點部份點位階段量測成果曲線

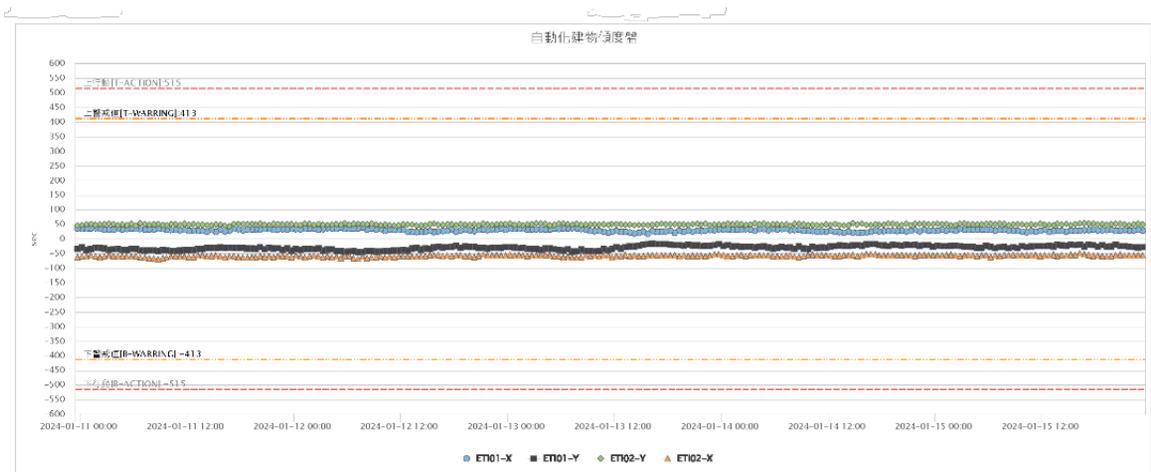


圖 14. 建物傾斜計階段量測成果曲線^[4]



圖 15. 工區現場坍塌狀況 (摘自自由時報新聞, 2023)^[4]

五、結論

工業 4.0 的時代已經到來，通訊及晶圓產業的發達，造就了今日安全監測系統的逐漸轉型^[2]，當然這些也都是需要一些安全監測業的大公司引領前進。仰賴各類型的晶圓感測元件不斷的提升及創新，安全監測已經可以說是越趨簡便和即時，才能夠使得開挖安全監測工作逐漸降低人力的需求。自動化量測逐漸取代人工量測也相對的提升了安全監測的品質及即時性。

都市開挖的破壞行為有很多種類，施工單位需要藉由即時且可靠的監測資訊去判斷工區開挖行為是否對鄰房造成安全性的危害。畢竟真的發生事情絕對是任何人都不願意看到的，

因此設計與施工不能分離，亦需配合監測系統回饋實際狀況，這樣才能提升施工品質，讓施工者安全施工，鄰房居住著安心居住。

參考資料

- [1] 大地工程學會，(2017 年) 建築物基礎開挖工程監測準則。
- [2] 地工技術 No.166 期 吳智偉、陳保志、蘇瑞麟，(2020 年) LPWAN 物聯網系統於大地工程之運用—以捷運萬大線站體開挖工程為例。
- [3] 圖 1. 全測站圖片及圖 2. 稜鏡圖片 (摘自 Xinzon 網站圖片)，網址：<http://qzy.gsxz.net/post/11.html>
- [4] 圖 15. 工區現場坍塌狀況圖片 (摘自自由時報新聞)，網址：<https://news.ltn.com.tw/news/society/breakingnews/4461713>