



Water Works Association
of the Republic of
China (Taiwan)

自來水

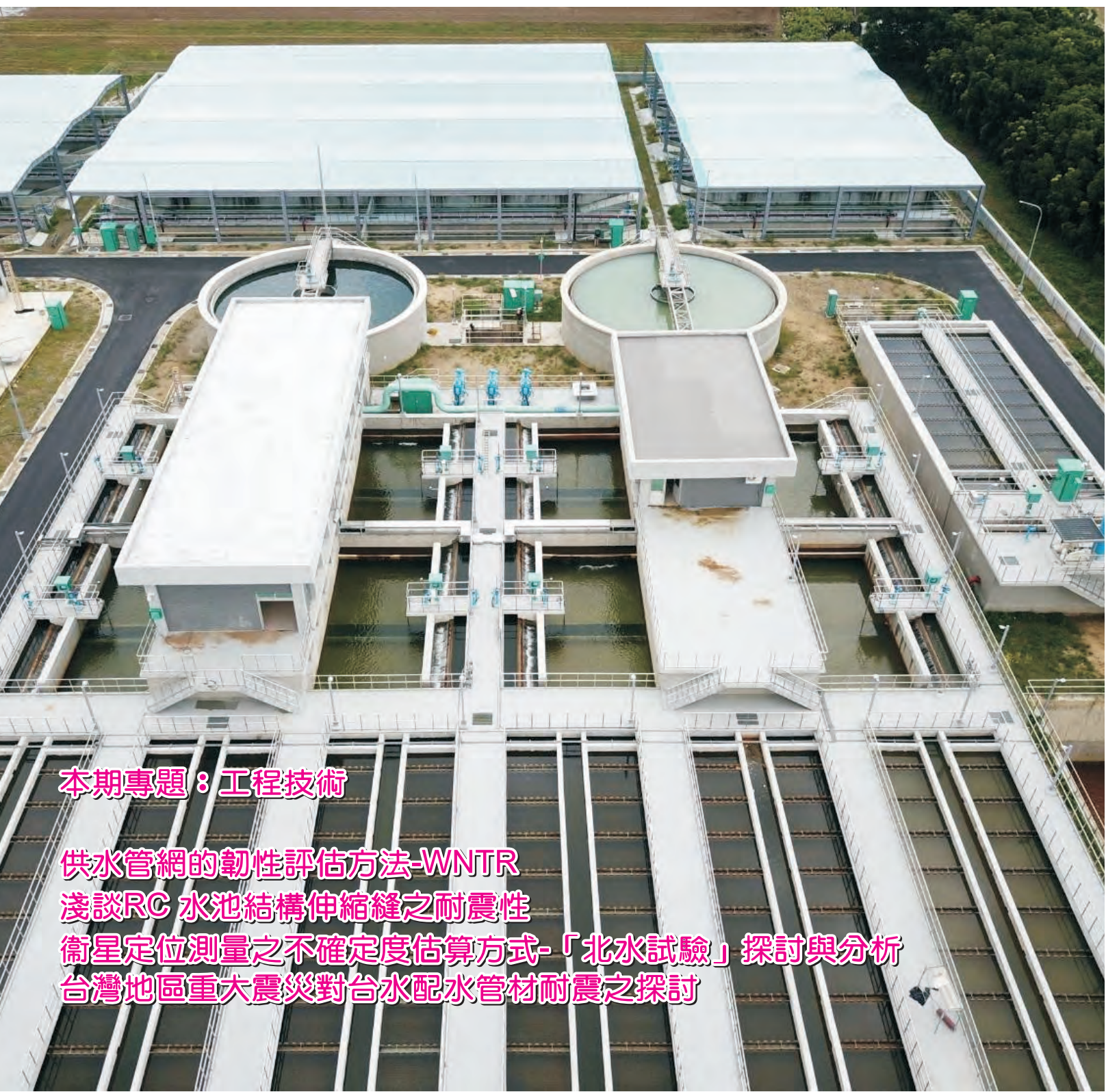
165

WATER SUPPLY QUARTERLY

Volume 42 NO.1 FEB 2023

第42卷 第1期
2023年2月

中華民國自來水協會會刊



本期專題：工程技術

供水管網的韌性評估方法-WNTR

淺談RC 水池結構伸縮縫之耐震性

衛星定位測量之不確定度估算方式-「北水試驗」探討與分析

台灣地區重大震災對台水配水管材耐震之探討

自來水會刊第 42 卷第 1 期(165)目錄



實務研究

- 新建案全面安裝智慧水表建置問題研析與執行成效……………邵功賢、陳正宗、陳煥文…1
- 國內自來水事業導入OSG初步評估……………蔣承廷、張光翹、李丁來……8
- 以快濾池濾料吸附催化氧化法去除水中二價錳研究……………
……………薛志宏、張美惠、周宗毅、張美鳳、張凱迪、李佳陵……15

本期專題 工程技術

- 供水管網的韌性評估方法—WNTR……………羅健成……25
- 淺談RC水池結構伸縮縫之耐震性……………張民崑、王傳政……31
- 衛星定位測量之不確定度估算方式—「北水試驗」探討與分析……………
……………黃欽稜、邱子雯、詹士旻、吳順德……39
- 台灣地區重大震災對台水配水管材耐震之探討……………林子立……49

一般論述

- 高架水塔改建計畫之研討……………曾浩雄……54
- 北投行義路溫泉區取供系統建設及臺北自來水事業附業發展研討……………
……………周璟璇、陳昭明、陳維政……60
- 2022年池上地震台水公司九區處搶修紀實……………蔡政翰、林武榮……66

法規櫥窗

- 自來水工程辦理採購應注意事項—契約變更研析……………謝彥安……74

他山之石

- 赴日本熊本參加「2023年第12屆台美日水系統耐震研討會」出國報告……………吳陽龍……80

協會與你

- 協會訊息……………自來水協會會務組……87
- 歡迎投稿 111年「每期專題」……………73
- 中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法……………38

封面照片：自來水公司提供

自來水會刊雜誌稿約

- 一、本刊為中華民國自來水協會所發行，係國內唯一之專門性自來水會刊，每年二、五、八、十一月中旬出版，園地公開，誠徵稿件。
- 二、歡迎本會理監事、會員、自來水從業人員，以及設計、產銷有關自來水工程之器材業者提供專門論著、實務研究、每期專題、專家講座、一般論述、業務報導、他山之石、法規櫥窗、研究快訊、學術活動、出版快訊、感性園地、自來水工作現場、自來水廠(所)的一天、會員動態、協會與您等文稿。
- 三、「專門論著」應具有創見或新研究成果，「實務研究」應為實務工作上之研究心得（包括技術與管理），前述二類文稿請檢附摘要。「每期專題」由本刊針對特定主題，期使讀者能對該主題獲致深入瞭解。「專家講座」為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。「一般論述」為一般性之研究心得。「業務報導」為國內自來水事業單位之重大工程或業務介紹。「他山之石」為國外新知或工程報導。「法規櫥窗」係針對國內外影響自來水事業發展重要法規之探討、介紹或說明。「研究快訊」為國內有關自來水發展之研究計畫期初、期中、期末報告摘要。「學術活動」為國內、外有關自來水之研討會或年會資訊。「出版快訊」係國內、外與自來水相關之新書介紹。「感性園地」供會員發抒人生感想及生活心得。「自來水工作現場」供自來水從業人員，針對工作現場發表感想。「自來水廠(所)的一天」為提供自來水基層廠(所)的工作現況，增進社會各界對自來水服務層面的認識。「會員動態」報導各界會員人事異動。「協會與您」則報導本會會務。
- 四、惠稿應包含 300 字以內摘要及關鍵字，每篇以不超過十頁為宜，特約文稿及專門論著不在此限，本刊對於來稿之文字有刪改權，如不願刪改者，請於來稿上註明；無法刊出之稿件將儘速通知。
- 五、文章內所引之參考文獻，依出現之次序排在文章之末，文內引用時應在圓括號內附其編號，文獻之書寫順序為：期刊：作者，篇名，出處，卷期，頁數，年月。書籍：作者，篇名，出版，頁數，年月。機關出版品：編寫機構，篇名，出版機構，編號，年月。英文之作者姓名應將姓排在名之縮寫之前。
- 六、本刊原則上不刊載譯文或已發表之論文。投稿一經接受刊登，版權即歸本協會所有。
- 七、惠稿(含圖表)請用電子檔寄至 thomas7735tw@mail.water.gov.tw，並請註明真實姓名、通訊地址（含電話及電子郵件地址）、服務單位及撰稿人之專長簡介，以利刊登。
- 八、稿費標準為專門論著、實務研究、一般論述、每期專題、專家講座、法規櫥窗、他山之石、特載等文稿 900 元／千字，「業務報導」為 500 元／千字，其餘為 400 元／千字，封面照片及文稿中之「圖」、「表」如原稿為新製者 400 元／版面、如原稿為影印複製者，不予計費。
- 九、本會刊於 110 年開始發行電子會刊，內容已刊載於本協會全球資訊網站（www.ctwwa.org.tw）歡迎各界會員參閱。
- 十、本刊中之「專門論著」、「實務研究」、「一般論述」、「每期專題」及「專家講座」，業經行政院公共工程委員會列為技師執業執照換發辦法第四條第一項第六款之「國內外專業期刊」，適用科別為「水利工程科」、「環境工程科」、「土木工程科」。

自來水會刊雜誌

發行單位：中華民國自來水協會

發行人：李嘉榮

會址：臺北市長安東路二段一〇六號七樓

電話：(02)25073832

傳真：(02)25042350

中華民國自來水協會編譯出版委員會

主任委員

黃志彬

副主任委員

李丁來

委員

陳明州、康世芳、武經文、邱福利、

吳能鴻、王明傑、楊人仰

自來水會刊編輯部

臺中市雙十路二段二號之一

行政院新聞局出版事業登記證局第 2995 號

總編輯：李丁來

執行主編：林正隆

編審委員

甘其銓、周國鼎、鄭錦澤、陳文祥、黃文鑑、
梁德明

執行編輯：曾彥中

電話：(04)22244191 轉 376

行政助理：黃香蘭

協力廠商：松耀印刷企業有限公司

地址：台中市北區國豐街 129 號

電話：(04)22386769

新建案全面安裝智慧水表建置問題研析與執行成效

文/邵功賢、陳正宗、陳煥文

摘要

北水處自 109 年起推動新建案全面安裝智慧水表，每年新增安裝數量約為 1 萬只。因新建案裝表案件有安裝時效、安裝場域複雜及智慧水表材料準備匹配性等多項挑戰，透過首（109）年的推動案例累積經驗，進行優化執行方案以加速推動智慧水表建置工作。

優化執行方案於新建案內線檢驗及智慧水表材料備料階段適時有效導入廠商服務自主管理機制，並成功結合具彈性之智慧水表技術選用與全流程安裝管理進而提升建置效能。優化方案相較於過去平均裝置完成時間大幅縮減 84%（由 96 日縮減至 15 日），亦可簡化 40%之備料程序及有效解決智慧水表材料滯存問題，並使智慧水表可達先進先出及可完全匹配使用之管理目標。

未來將進一步針對新建案裝表供需情形進行檢討並嘗試建構合適的供需預測備料模式與特殊案場通訊困難等問題進行優化機制檢討，持續完善推動智慧水表於新建案的安裝作業。

關鍵字：智慧水表、新建案、物料管理

一、前言

臺北自來水事業處（後稱北水處）配合臺北市政府「智慧城市」政策，透過應用資通訊及物聯網技術發展智慧化管理應用及提升北市智慧化生活水平，促進節約用水之目標，於 104 年至 108 年接續推動大用水戶、

府屬機關學校、市府新建社宅及開放智慧宅試辦安裝智慧水表，並自 109 年起推動新建案全面安裝智慧水表，每年新增安裝數量約為 1 萬只。

由於新建案全面安裝智慧水表之推動工作屬首次辦理，因此對於在各新建案之內線檢驗、智慧水表之材料管理、派工安裝及點位建置等時程規劃管理…等執行過程中仍不免面臨許多挑戰。北水處於 109~110 年間執行雖有初步成效，但仍不斷反思檢討，藉由辦理過程汲取經驗並持續規劃優化方案以克服問題提升執行效能，同時以維護用戶權益及減輕機關同仁工作負擔為主要優化目標。

本文主要係歸納北水處因應全國首次辦理大規模新建案全面安裝智慧水表所面臨之問題整理與優化執行方案之成效研析，以提供未來持續推動之參考。

二、109 年新建案安裝智慧水表執行成果與問題檢討

北水處藉由汲取 104 年至 108 年逐步推動智慧水表安裝試辦之經驗，進行 109 年新建案全面安裝智慧水表的推動規劃，並於 110 年 6 月將 109 年所有申請檢驗且完成備料之案件全部順利圓滿地安裝完成，合計執行共 216 案，智慧水表安裝數量達 8 千餘只；然而，在因應新建案全面安裝的業務特性情況下，執行過程仍遇到許多問題(分述如下)須再進一步檢討。

(一)安裝水表與模組時程不同且無法即時派工安裝：依本次實際執行經驗，安裝完水表後，各案模組累積數量後，分 7 批以批次派工安裝辦理，各案約 1 至 6 個月間才能完成讀表通訊模組安裝，且平均安裝日數為 96 日，這對於案場無論是建商或用戶均造成一定程度的困擾，許多申請人不太能接受為何安裝水表跟模組時程上會有這麼大的落差，甚至也有遇到用戶安裝完水表後，後續拒絕安裝通訊模組的情況；也曾發生水表還來不及安裝讀表通訊模組，就已被用戶申請中止用水等案例，間接導致所備妥材料變成需另覓他處安裝的情況，直接增加執行同仁工作負擔。

(二)水表與模組分開備料不易匹配：因為技術多樣化的緣故，水表與模組並非全部採 1 對 1 的方式進行備料與安裝，再加上水表與模組非同時備料，需花相當大的精力與時間來減低設備無法匹配的問題，而且目前國內提供智慧水表服務的廠商日益漸增，設備更為多元發展，不同廠商間的水表與模組亦無法互相匹配使用，對於已知及規劃換裝之標的尚得以因應，但對應用於新建案申裝上，因存在著安裝數量與條件…等各項不確定因子，因此需要更具彈性的執行模式方能順利執行。

(三)讀表通訊模組無法一次大量備料：新建案尚未申請內線檢驗前，在不瞭解案場條件與情況下盲目備料則將不免衍生滯存材料的問題，因此 109 年起改採檢驗

確認需求後的精準備料模式執行，但精準備料隨之而來的就是頻繁的備料次數以及每次少量的材料供應，且平均備料時間仍長達約為 90 日，增加執行困難與困擾。

(四)智慧水表種類多不易管理：目前臺灣智慧水表發展正處於百家爭鳴的階段，讀表技術包含照相式、脈衝式以及電子式技術，通訊技術包含 4G、NB-IoT、RoLa、Sigfox、Cat-M1 乃至於有線傳輸等，供電部分採用市電、太陽能充電或電池供電等，種類繁多不易相互匹配，適用環境也不同，同仁負責包含材料管理、用料設計及領用安裝等，需要有一定程度之專業知識才不至於誤領誤用，這對於要廣泛推動一項業務來說太過於複雜，尚有改進的空間。

三、110 年新建案安裝智慧水表優化執行方案

為了克服前一節所述 109 年度推動時所遇到的問題，於 110 年度研擬新建案安裝智慧水表優化執行方案，以化繁為簡、增進時效、增加執行彈性為主要的優化目標。歸納重要優化內容如下：

1.內線檢驗階段導入廠商服務

內線檢驗階段是距離實際申裝智慧水表最開始也是最重要的把關階段。每個案件於審圖後，通常約需歷經 3~5 年不等時間完成主體建築後，才會來申請內線檢驗，但完成檢驗後，快則 1 日慢則 3 個月會來申請安裝水表，因此內線檢驗是距離實際安裝最接近的起始階段。



109 年時智慧水表內線檢驗是由北水處同仁負責辦理，需於檢驗時確認通訊環境、供電環境以及水表數量、分布與通訊模組選用等，進而準備相對應之模組使用材料。但由同仁主導的智慧水表檢驗方式有很高的可能會遇到一些問題和挑戰，例如同仁對於目前得標廠商所提供的設備種類及應用場合是否熟悉、通訊技術的選用是否合適、現場安裝美觀及安全性的需求考量等，因為廠商間的設備技術有一定程度的差異，且同仁覺得適合安裝智慧水表的案場廠商可能覺得不適合等，因此若於此階段導入廠商服務，由廠商進行用料設計，將可避免技術認知落差或現場安裝工法見解不一致的問題。

內線檢驗階段導入廠商服務，由廠商於現勘時負責確認通訊、電源及安裝環境，並可適時反饋提出改善建議供建商參考施工，規劃讀表通訊模組用料等，檢驗現勘結果由本處同仁審核確認，必要時，僅需針對經廠商研判無法安裝智慧水表的案場進行二次會勘確認，做成紀錄後作為後續雙方辦理的依據。

2.調整讀表通訊模組備料模式

一般來說智慧水表的組成，包含「水量計」加上「讀表通訊模組」，109 年之執行方式採「水量計」與「讀表通訊模組」分開備料辦理。為因應全新且單獨的新建案智慧水表中「水量計」供料需求，北水處利用過去 5 年的新設數量作為預估明年的需求量，並以確保能滿足所有已檢驗的數量為目標作為水表備料機制，以確保「水量計」供料上絕對無虞，「水量計」的供需執行整體而論

尚屬順利。

「讀表通訊模組」的備料部分，基於 109 年度的辦理經驗，讀表通訊模組由北水處同仁於內線檢驗決定所需採用之設備後需經歷平均約 90 日的交貨時間入庫後才能發料，無法適時搭配新建案安裝需求及時安裝，且因為透過各案「以案管制」機制確保每批材料所對應的案場關係，卻也因此導致材料庫存在倉庫過久而無法儘速匹配裝出，佔用倉庫空間。

110 年優化執行方案採讀表通訊模組「不入庫」方式辦理，由廠商依內線檢驗結果適時盤點材料需求，並於新建案申請裝表後接獲北水處通知時揀擇合適之材料直接出貨到案場安裝，具有縮短備料交貨時間、減少庫存空間需求及免去材料滯存問題等多重效益。

3.增加讀表通訊模組種類及技術選用彈性

109 年執行讀表通訊模組備料依實際使用需求分別備料，一旦決定交貨後就不易改變，然而設備種類繁多且不一定通用。技術種類差別包含通訊技術、電源供應、單獨集抄等，因此材料管理採「以案管制」由專人管理以避免誤領誤用，但實際實行起來造成相當大的困擾。

110 年優化執行方案放寬讀表通訊模組種類及技術，無須於內線檢驗時硬性決定該案場所需採用之設備型式，讓廠商能以具有彈性的方式隨時調整通訊技術、電源供應、單獨集抄等設備選用，北水處僅就結果進行管理，不論現場通訊或所採用之技術方式係採用 4G、NB-IoT、單獨回傳或是集中傳輸，

只要能夠將水表資訊正確無誤地回傳即可。

4.調整讀表通訊模組備料安裝時程管理機制

依 109 年執行經驗，讀表通訊模組從備料到資料回傳大致分為 3 個階段：1.檢驗備料階段（平均 90 日）；2.安裝階段（平均 30 日）；3.設定階段（平均 14 日），此 3 階段合計約需 134 日，過程相當的曠日廢時，且分為 3 個管制階段不但增加管理困擾，同時亦是導致模組平均安裝時間長達 96 日之主要原因。

110 年優化執行模式將此 3 階段進行合理整併，搭配三、2 節讀表通訊模組備料模式調整，合併成為「供料安裝及設定階段於 40 日內完成」。整併原因是廠商於辦理各階段作業時總是有快有慢，若可適時放寬各階段的管制時間限制，讓廠商可彈性有效運用，亦可達到各案以最有效率之速度完成智慧水表安裝。

5.建立專案管理中心落實檢驗及安裝機制

因應第三節內線檢驗階段導入廠商服務及調整讀表通訊模組備料安裝管理模式，110 年優化執行方案規劃建立一個以廠商為主體之專案管理中心，並且從檢驗至安裝各階段辦理全流程智慧水表管理機制，以落實各階段之優化執行模式。專案管理中心之任務歸納如下：

- (1)接收內線檢驗資訊即時派員現勘並做成紀錄
- (2)讀表通訊模組生產備料需求管控
- (3)接收安裝智慧水表任務即時派工安裝與系統設定
- (4)讀表通訊模組派發材料
- (5)設備品質確認、完工回報及問題處理

四、優化執行情形與問題檢討

(一)執行情形

執行情形部分以彙整統計於 110 年間採以「優化執行方案」機制進行檢驗且完成安裝的案件，並與 109 年執行模式進行比較檢討。

1.檢驗

110 年北水處申請檢驗新建案已執行合計共 203 案，其中 201 案經廠商檢驗現勘適合安裝智慧水表，適合安裝比例達 99%。

109 及 110 年適合安裝智慧水表的新建案案件規模分析如圖 1 所示。由圖中可知，110 年申請檢驗新建案中屬於 10 只表以下之小型建案就佔了 86 件，近乎是所有案件數之半，而 11~50 只表之獨棟型集合住宅也佔了 56 件，因此，此類小型獨棟型建案就佔了 7 成。反之較具規模之中大型建案計有 59 件約佔 3 成，110 年完工之新建案水表數量與規模與 109 年相較之下顯示，110 年有推出較多戶數建案的趨勢。此案件規模會影響到廠商對於設備採用與生產的決定與考量，對於案場自動讀表設備採用影響重大。

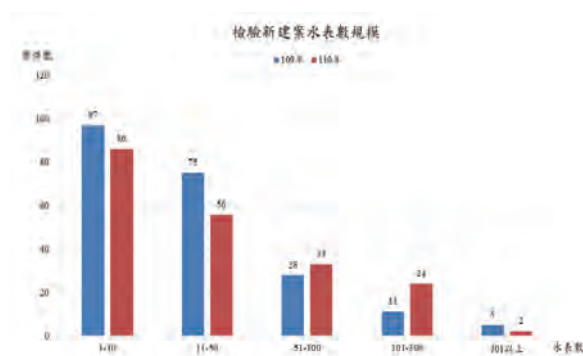


圖 1 109 及 110 年檢驗新建案水表數規模

在不適合安裝的案件於 110 年度僅有 2 件，當中包含了 2 種通訊困難態樣，主要是

以水表表位設置於水表室、水表採分層設置，且該水表室因為無對外窗、以鋼筋混凝土牆及金屬門封閉致無線通訊不良，就好比坐電梯時通訊屏蔽無法使用行動電話一般；另外就是雖然水表設於戶外處，但是因為位於山區，在鑄鐵表箱蓋尚未蓋起前訊號強度 RSRP 亦僅有-125dBm，打電話都有困難，此類案場則無法安裝智慧水表，案例如圖 2 所示。



圖 2 新建案水表表位通訊不良

2.備料

110 年間檢驗新建案用智慧水表所需材料，在「水量計」部分配合倉庫管理，前後共分 6 批次進行備料；在「讀表通訊模組」部分採「優化執行方案」模組不入庫方式辦理，與 109 年備料情況「水量計」及「讀表通訊模組」共 10 批次備料相比，可有效減少 40% 之備料程序及節省模組平均備料約 90 日的時間損耗。

3.安裝

110 年檢驗新建案已完成安裝 186 案，於完成現場檢驗後申請裝表時間主要間隔為 1 至 4 個月，最長亦有等 10 個月之久，平均日數約為 71 日，與 109 年相比差異不大且有近乎一樣表現，詳見圖 3，主要的原因是在等待用戶前來申請，然而此部分主動權在建商而非管理單位，因此不易縮短；而每

案申請並完成安裝水表後，經通報即調整派工安裝模組，各案大約僅需數週即可完成讀表通訊模組安裝，平均為 15 日，相較於 109 年執行實績平均為 96 日而論，已大幅縮短 84% 的工期，相當具有優化成效，詳見圖 4，省下的時間為主要是等待模組交貨及累積案件數量批次安裝的時間。



圖 3 報檢驗至裝表月數分布比例

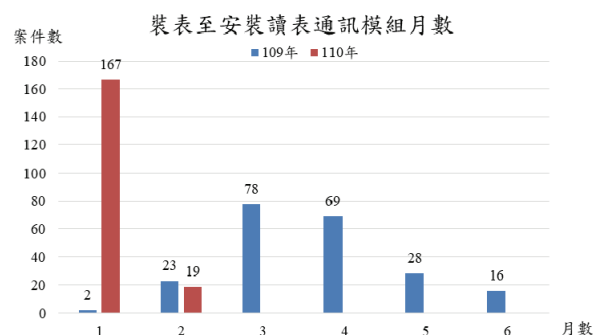


圖 4 裝表至安裝讀表通訊模組月數

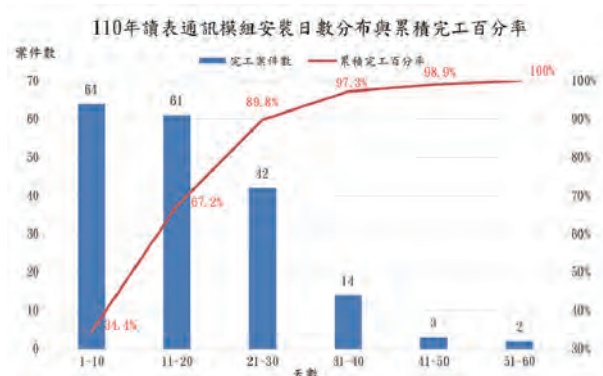


圖 5 110 年讀表通訊模組安裝日數分布與累積完工百分率

若將 110 年讀表通訊模組安裝日數與累計完工比率來看，其結果如圖 5 所示，各案於 20 日以內完成安裝比率為 67.2%，30 日以內完成安裝比率為 89.8%，因此「優化執行方案」可有效於 1 個月內完成近 9 成的智慧水表安裝案件，時間之組成包含材料調配、人員調配、案場安裝時程協調、安裝時間等，此一實績對於未來規範合理之「讀表通訊模組」安裝時間提供重要的參考資訊。

(二)問題檢討

北水處已藉由汲取 104 年至 108 年逐步推動智慧水表安裝試辦之的經驗，成功於 109 年首推新建案全面安裝智慧水表，透過持續之經驗累積，並於 110 年研擬優化執行方案，成功地在檢驗階段、備料模式及安裝效率等獲得不錯的施行成效，然而在因應新建案全面安裝的業務特性情況下，執行過程仍遇到許多新的問題須進一步檢討。

1.新建案完工進度不易掌握影響用料時效

北水處於 110 年辦理新建案安裝智慧水表時，因新建案用料需求與舊表汰換不同，因此需針對新建案水表需求單獨進行預測備料，然而除了因各建案完工進度不易掌握外，在 110 年自 5 月起發生的新冠肺炎第一波疫情等外在因素，亦使得接續 3 個月新建案推案緊縮（遠低於歷年平均值），導致以過去平均需求量進行用料預估的預測機制失準，間接造成水表庫存過多過久問題，詳細各月水表需求量可參考圖 6。另外因水表有分不同口徑，一般而言需求量較少的口徑因無法儲備過多水表材料，反而更容易發生供應不及的問題，舉例來說，口徑 40mm 水表平均每個月需求 30 只，假若庫存平均用

量 3 個月存量為 90 只，但遇到如 110 年 9 月有 2 個案場合計 168 只口徑 40mm 水表需求量時，就會發生不足供料安裝的窘境，因此更完善的新建案水表需求與備料管理及預測模式有賴繼續精進。

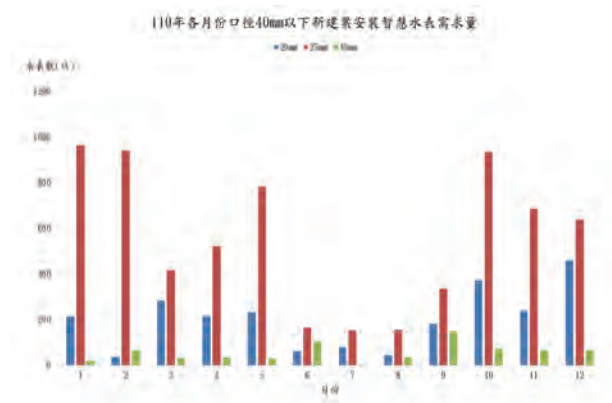


圖 6 110 年度新建案水表需求量

2.案場通訊環境克服

誠如四、(一)、1 節有關新建案水表表位通訊不良所述，因未來高樓層多戶數新建案可能越來越多，因此水表位大多會設計分層設置以利容納大量的水表，也因此將水表分層封閉於管道間情況也會更加頻繁；另外，即便是頂樓陽台能夠容納所有的水表，但幾次安裝超高樓層的經驗發現，樓高在 20 層以上的環境，即使是在戶外，無線訊號都非常不良，原因是因為電信公司手機訊號通常往使用者多的空間發送，而大部分手機使用者都分布在地面層，因此高樓層通訊經常因此被犧牲。再來是重劃區，重劃區過去杳無人煙，區域內手機使用者少因此無線訊號品質不會被重視，但是重劃區前幾批蓋好的新建案會因為此區域尚無人居住，電信公司尚未佈建足量基地台而導致訊號不良，在新裝水表當下的通訊品質很可能不適合安裝智

慧水表，此類區域多半需等到更多的手機使用者入住後有強烈通訊需求時，才會受電信公司所重視。

五、未來展望

北水處為加速推動「智慧城市」政策目標，於國內率先自 109 年起推動新建案全面安裝智慧水表，累積推動經驗並持續優化執行模式，以利政策順利推行，相較於國際上多採既有建物專案批次規劃布建，可供參考辦理經驗較少，確實在推動規劃與執行上具有相當程度的挑戰性。未來，除了針對相關的問題檢討，包含新建案水表需求用料預測以及案場通訊環境克服等，都將持續進行優化機制研擬，期望能健全智慧水表於新建案的管理及建置作業，擴大智慧水表於臺灣的產業與應用發展。

參考文獻

- 1.建置自動讀表系統試辦計畫，臺北自來水事業處，2015。
- 2.智慧水表技術試煉成果報告，臺北自來水事業處，2020。
- 3.邵功賢、陳正宗、陳煥文、游韞研，新建案全面安裝智慧水表推動規劃，第38屆自來水研究發表會，2021。

作者簡介

邵功賢先生

現職：臺北自來水事業處技術科二級工程師

專長：自來水工程設計施工

陳正宗先生

現職：臺北自來水事業處技術科助理管理師

專長：水文分析、自來水工程

陳煥文先生

現職：臺北自來水事業處供應科三級工程師

專長：自來水工程、物料管理

國內自來水事業導入 OSG 初步評估

文/蔣承廷、張光翹、李丁來

摘要

目前自來水事業是採用液氯與次氯酸鈉作為消毒劑，但液氯與次氯酸鈉在運送與貯存過程中，可能有洩漏風險，引發公安問題。且次氯酸鈉會隨著存放時間而使效用衰減。故本研究擬提出在淨水場採用現地生產消毒劑 (On-site chlorine generation, OSG)，依據需求量生產，可提高消毒液之有效性，避免過度生產、貯存導致濃度降低，而效用不彰，且能夠避免貯存、運送期間造成洩漏而延伸的環境汙染與公安問題。

另針對台灣自來水公司南化淨水場、大湳淨水場及七美淨水場就目前批次購藥消毒方式與現場製造進行評估，且經分析 OSG 系統之方案，策略性將 OSG 系統帶入台灣自來水事業並評估其技術可行性、經濟可行性、法規可行性及商轉模式可行性分析，以達到兼具公安、工安、勞安及環境友善之外更具備水質安全及成本效益。

關鍵字：現地生產、次氯酸鹽、氯氣、消毒劑、OSG 系統

一、緣由

淨水場傳統處理流程為原水進入分水井，經前加氯、混凝、沉澱、過濾後，再經後加氯消毒，確保清水水中餘氯及水質安全。而目前自來水事業所採加氯劑係採用液氯和次氯酸鈉兩種消毒劑，液氯於運送途中和貯存於氯倉時，皆有潛在洩漏風險；而次氯酸鈉則會發生濃度衰減、貯存用地空間大

及運送途中可能發生之工安問題，故一般中小型淨水場採用次氯酸鈉為消毒劑，對於大型淨水場仍維持採液氯消毒(惟基於工安考量亦有漸採次氯酸鈉消毒劑之趨勢)。

為降低液氯洩漏風險，並兼顧土地利用效率，倘大型淨水場採用現地生產氯消毒劑方式，將可按需求量生產，提升消毒劑之有效性、減少貯存需求、提升運送之安全 and 操作彈性，另因國內尚無相關 OSG 系統使用經驗，法規、標準規範、操作準則尚未制定，且國內既有鹼氯業者評估無經濟效益，採行觀望態度。然若採用 OSG 系統可降低土地成本、運輸液氯之風險及消毒副產物之產生，在國外已有相當多成功運行的實績，且美國自來水協會也已訂定 OSG 系統操作指引，因此，本研究將針對 OSG 系統進行技術可行性、經濟可行性、法規可行性及商轉模式可行性分析，以期將 OSG 系統帶入台灣自來水事業。

二、國內自來水事業導入 OSG

(一)南化淨水場

初步先以場內最大處理水量 68 萬 CMD 及經調查場內之 1.6~2.0mg/L 有效氯需求加藥量進行計算(取其最大值 2mg/L)，其有效氯之需求量为 $680000\text{m}^3/\text{day} \times 2\text{mg/L} = 1,360\text{kg/day}$ ，初步規劃採用 ClorTec 1500 型號(每座有 2 組電解槽)，共計 3 座(二用一備)，而每座的有效氯產生量为 28.3kg/h (680kg/day)。



De Nora 之 ClorTec 系統產生每公斤有效氯需耗用 4.4kWh 及 3kg 食鹽，同時亦會耗用少量水進行水質軟化後進電解槽產生次氯酸鈉使用，其每組有效氯產量 682kg of FAC/day 預計生產成本之電力費用 7,980 NTD/day、食鹽費用 16,360NTD/day 及耗水費用 1,022 NTD/day，每 kg 有效氯預估成本 37.2 NTD/ kg of FAC，系統預算 1 億 900 萬元，經評估與採購散裝次氯酸鈉比較之效益分析(含折舊，使用年限 25 年)，盈餘約為 1,464 萬元。

(二)大湳淨水場

初步先以場內最大處理水量 47 萬 CMD 及經調查場內之 2~5mg/L 有效氯需求加藥量進行計算(取其最大值 5mg/L)，其有效氯之需求量为 $470,000\text{m}^3/\text{day} \times 5\text{mg/L} = 2,350\text{kg}/\text{day}$ ，初步規劃採用 ClorTec 1800 型號，共計四座(三用一備)，每座有三組電解槽，每座的有效氯產生量为 $34\text{kg}/\text{h}(816\text{kg}/\text{day})$ 。

De Nora 之 ClorTec 系統產生每公斤有效氯需耗用 4.4kWh 及 3kg 食鹽，同時亦會耗用少量水進行水質軟化後進電解槽產生次氯酸鈉使用，其每組有效氯產量 818 kg of FAC/day 預計生產成本之電力費用 7,812 NTD/day、食鹽費用 19,640NTD/day 及耗水費用 1,227NTD/day，每 kg 有效氯預估成本 35.1 NTD/ kg of FAC，系統預算 1 億 3,800 萬元，經評估與採購散裝次氯酸鈉比較之效益分析(含折舊，使用年限 25 年)，盈餘約為 1 億 3,479 萬元。

(三)七美淨水場

初步先以場內最大處理水量 60CMH(1440 CMD)及經調查場內之 0.6mg/L

有效氯需求加藥量進行計算，其有效氯之需求量为 $60\text{m}^3/\text{hr} \times 0.6\text{mg}/\text{L} = 60\text{m}^3/\text{hr} \times 0.6\text{g}/\text{m}^3 = 36\text{g}/\text{hr}(0.864\text{Kg}/\text{日})$ 。

由於七美淨水場之氯離子濃度夠高(達 300mg/L)，故經由評估後可直接利用水中氯離子電解產生次氯酸進行水體消毒，不需額外添加食鹽，其建議之型號為 SRDW 3750；同時亦可考慮添加食鹽以鹵水方式產生次氯酸之系統，其建議之型號為 SRDWB 1200，優勢為能耗較低。

無鹵水系統(SRDW 3750)詳圖 1 以生產有效氯 36 g of FAC/hr 預計生產成本，電力費用 0.102 NTD/ m^3 及食鹽費用 0 NTD/ m^3 ，每 m^3 有效氯預估成本 0.102 NTD/ m^3 ，每 kg 有效氯預估成本 170 NTD/ kg of FAC，系統預算 540 萬元，經評估與採購散裝次氯酸鈉比較之效益分析(含折舊，使用年限 25 年)，盈餘約為虧損 934 萬 3,000 元；另鹵水系統(SRDWB 1200)詳圖 2 以生產有效氯 36 g of FAC/hr 預計生產成本，電力費用 0.0358 NTD/ m^3 及食鹽費用 0.0168 NTD/ m^3 ，每 m^3 有效氯預估成本 0.0526 NTD/ m^3 ，每 kg 有效氯預估成本 87.67 NTD/ kg of FAC，系統預算 620 萬元，經評估與採購散裝次氯酸鈉比較之效益分析(含折舊，使用年限 25 年)，盈餘約為虧損 614 萬 4,000 元。



圖 1 SRDW 3750 設備外型圖



圖 2 SRDWB 1200 設備外型圖

表 1 不同場域之運維成本與資本成本比較表

	南化 淨水場	大南 淨水場	七美淨 水場 (採用 無滷水 系統)	七美淨 水場(採用 滷水 系統)
流量 CMD	68 萬	47 萬	1440	
產水之有效氯 濃度 mg/L	2	5	0.6	
平均氯使用量 kg/天	1,360	2,350	0.864	
鹽 NTD/day	32,624	56,423	0	24.19
電費 NTD/day	15,913	22,443	146.88	51.55
耗水費 NTD/day	2,038	3,525	0	0
維運(O&M)成 本 NTD/Kg	37.2	35.1	170	87.67
系統預算 NTD	1 億 900 萬	1 億 3,800 萬	540 萬	620 萬

三、OSG系統可行性分析

(一)技術可行性

現行 OSG 系統在國外已有許多成功案例可供參考。經過資料收集，僅單一家 OSG 廠商於全世界即有高達上千件實績。其它如以色列 Mekorot Ashkelon 地下水設施 Migdal 4 泵站供應 150-200 立方米/小時的地下水，由於靠近居民區，以色列 Mekorot 水務公司採用現場次氯酸鈉生成來消除液體次氯酸鹽

的運輸和儲存危險，並採用 CQM WATER 現場無鹽水次氯酸鹽生成技術，該系統直接從水源中天然存在的氯化物中生產高達 200 克/小時的混合氧化劑溶液（主要是 100%純次氯酸鹽），這一獨特的系統系列幾乎無需維護，並且易於安裝和操作（自動和遠程）。

再如美國加州聖地亞哥市之 Otay 自來水處理場，每天的處理能力為 34MGD(約 12 萬 8,690CMD)，為大約 10 萬用戶提供飲用水，鑑於自來水場周圍的住宅逐步擴張，聖地亞哥市希望尋求更安全，具有前瞻性的氯替代來源之創新技術，市府官員評估了幾種替代消毒方案，包括：維持氯氣系統正常運行、升級現有的氯氣系統、改為槽車運輸的散裝次氯酸鈉、改為就地產生氯氣並轉化為現場生成次氯酸鈉（通過使用電將食鹽轉化為 0.8%的氯溶液而產生，On-site sodium hypochlorite generation，OSG）系統，從降低對社區的總體風險、簡化操作和降低操作安全培訓要求的角度來看，OSG 系統的安全性和可靠性具有吸引力，聖地亞哥市最後評估決定與 PSI 水技術公司 (PSI Water Technologies)合作，採用該公司的 Microclor® OSG 系統，由 PSI 公司規設兩座 1,000 磅/天氣當量機組。

再比如日本東京都水道局朝霞淨水場，處理能力 170 萬 CMD，處理方法：快濾+高級淨水處理，為該局所營運之 11 座淨水場中，處理能力最大者，該場評估使用液氯之安全性，擬將淨水過程中使用的消毒劑，從液氯轉換為次氯酸鈉。復考量朝霞淨水場之出水規模，從傳統的液氯轉換到次氯酸鈉，消耗量將相當大，需克服藥品儲存、操

作維護、藥品運輸及地震安全等問題，俾提高操作安全性和可靠性，因此決定導入現場次氯酸鈉生產設備，經招商結果由 Hitachi 得標，由該公司在朝霞淨水場安裝次氯酸鈉生產設施，次氯酸鈉供應濃度為 5%，生產能力最大 4,800kg/天（以有效氯計算），供給範圍達 2,000~3,600kg/天，平均 2,300kg/天。綜上案例可知，國外已有多家成功用於自來水場之 OSG 系統，爰引進 OSG 系統技術是可行的。

(二)經濟可行性

本研究依據 AWWA 介紹，區分 5 種供水系統規模（分別為 5,678CMD、2 萬 8,391CMD、5 萬 6,781CMD、28 萬 3,906CMD 及 42 萬 5,859CMD）及三種次氯酸鈉技術的成本範圍，包括以大約濃度 12%交付的散裝液體次氯酸鹽、0.8%溶液濃度的 OSG 次氯酸鹽及 12%溶液濃度的 OSG 次氯酸鹽等，其中散裝次氯酸鹽溶液的主要資本成本項目包括儲罐、某些地區的建築物和化學進料泵，及對現有的氯氣設施進行一些土建場地改造，包括結構、機械、電氣和儀器改造，以適應大宗化學品儲存處理和進料。

而對於 OSG 技術，資本設備通常包括熱水器或冷卻器（如果需要）、鹽水罐、電解槽、整流器、諧波過濾器、軟水器、主控制面板、次氯酸鹽溶液儲罐、氯氣排放鼓風機（如果需要），以及進料泵。高強度 OSG 系統可能需要額外的用於亞硫酸氫鈉、苛性鈉和鹽酸的化學進料系統。與便利化相關的其他成本可能包括建造建築物以容納設備、現場工作、結構和電氣系統升級以及到加藥點的化學進料管道。

另影響散裝次氯酸鹽運維成本的主要項目包括化學品成本、設備維護成本和人工成本。而影響 OSG 系統（低強度和高強度系統，0.8%和 12%）運維成本的主要項目包括鹽、電力、設備維護、電解單元/膜的定期更換和人工。OSG 次氯酸鹽生產的鹽和電力使用可能因不同製造商的設備而異，因此使用產出每磅氯當量需 3.0 磅鹽和 2.0kW·h 電力的標準假設來估算。系統規模越小，人工成本佔設備維護成本的百分比就越大（例如，對於系統規模 5,678CMD 供水量，人工成本=設備維護成本的 40%，而對於規模 425,859CMD 供水量，人工成本=設備維護費用的 25%）

承上分析，在 AWWA 技術手冊中大型場站（共 2 種供水系統規模分別為 28 萬 3,906CMD 及 42 萬 5,859CMD，氯需量分別為 1,419kg/天及 2,128kg/天）採用高強度 OSG 系統資本成本（技術設備費用）皆為「1 億 8 千萬元」較於低強度 OSG 系統分別為「2 億 2,254 萬」及「2 億 7,414 萬」元低，而年操作成本高強度 OSG 分別為「634 萬 8,000 元」及「938 萬 7,000 元」亦低於低強度 OSG 分別為「817 萬 5,000 元」及「1,212 萬 6,000 元」，另採購散裝次氯酸鈉資本成本（技術設備費用）分別為「6,426 萬元」及「9,240 萬元」，年操作成本分別「1,453 萬 5,000 元」及「2,170 萬 2,000 元」，當採用高強度 OSG 相對採購散裝次氯酸鈉時年操作成本可分別節省「818 萬 7,000 元」及「1,231 萬 5,000 元」；另對於小型場站（供水系統規模為 5,678CMD，氯需量為 28.6kg/天即為 1,191g/hr），採用低強度 OSG 系統，年操作成本為「16 萬 8,000 元」，

另採購散裝次氯酸鈉資本成本(技術設備費用)為「909 萬元」,年操作成本為「40 萬 2,000 元」,當採用低強度 OSG 相對採購散裝次氯酸鈉年操作成本可節省「23 萬 4,000 元」,爰於大型場站建議採用高強度 OSG 系統而小型淨水場則建議採用低強度 OSG 系統較符合經濟效益。

另本研究又以台灣自來水公司實際案場並洽詢廠商評估 5 案淨水場設置成本及維護費用,如大南淨水場及南化淨水場等大型淨水場,每天分別需 2,350kg 及 1,360kg 有效氯之需求量,評估設置低強度 OSG 系統之設計、設備及安裝費分別為 1 億 8 千萬及 1 億元(不含土建費用),且評估其他淨水場內目前所購入次氯酸鈉(有效氯 10%)參考成本為 4.95NTD/kg,故可得知其每公斤有效氯之成本為 49.5NTD/kg of FAC。因此,在使用 OSG 後其分別每公斤有效氯可節省 $49.5 - 35.1 = 14.4$ NTD/kg 及 $49.5 - 37.2 = 12.3$ NTD/kg,粗估每年維護費用分別可節省 1 千 2 百萬及 6 百萬元;另對於離島淨水場就七美淨水場進行評估,每小時需 36g 有效氯之需求量,評估設置低強度 OSG 系統(無鹵水系統)之設計、設備及安裝費為 540 萬,每年維護費用可節省 4 萬 6,253 元;另外,評估設置低強度 OSG 系統(鹵水系統)之設計、設備及安裝費為 620 萬元,粗估每年維護費用可節省 6 萬 7,802 元。

綜上經濟性分析,並將輕微和災難性氯氣外洩相關的風險和危害納為成本因素,從降低對社區的總體風險、簡化操作和降低操作安全培訓要求的角度及離島小型淨水場亦須將採購之次氯酸鈉溶液降解並產生消

毒副產物影響用戶之身體健康問題,納為成本因素,雖然若考量 OSG 系統設備維護成本、電極更換成本、預期未來電費成長及建設費折舊攤提,則投資回收年限將延長,但若考量節省土地空間成本可量化效益、降低消毒劑運輸、儲存風險及減少消毒副產物生成之非量化效益,在民意、環保、安全及健康趨勢下,確實有其經濟效益。

(三)法規可行性

經參考高強度 OSG 系統廠牌型號 MS 204,產氯量 1000Kg/d 機型,該機組運轉時,在任一時刻製程管路中儲存之氯氣僅 0.6Kg,未達毒管法規定運作重量 ≥ 50 Kg 之基準及勞動檢查法施行細則規定 5,000Kg 以上之甲類危險工作場所。且經環保署表示運作濃度 $\geq 1\%$ (w/w)且運作重量 < 50 Kg 者,該系統僅需報經直轄市、縣(市)主管機關核可並取得核可文件,系統即可運行。另外,OSG 系統採用之食鹽標準相當於我國高級食鹽之國家標準,因此,具有法規可行性。

另由於採用「低強度現地次氯酸鈉生成系統」,製程中無氯氣生成,不屬於甲類危險場所,可免申請通過「甲類危險性工作場所」安全評估審查,亦不需依據毒性及關注化學物質管理法,報經直轄市、縣(市)主管機關核可並取得核可文件,就適法性而言,是為最推薦系統。

(四)商轉模式可行性

小型淨水場因氯需量少無法達到規模經濟,在國外可參考以色列 Mekorot Ashkelon 地下水設施 Migdal 4 泵站,採用由自來水場購買設備,廠商建置及營運模式,且在場站因水源天然存在氯(地下水源),因此採用不

需加鹽之 OSG 系統且電極具備機械自清功能，幾乎無需維護，並且易於安裝和採遠端操作，該營運模式對於國內離島或深山地區很適宜，自來水場可避免人力投入並取得專業的維護和設備保養。

中、大型淨水場商轉模式在國外可參考東京都水道局朝霞淨水場以 PFI (Private Finance Initiative) 創新措施方式，PFI 屬於「公私協力」(Public Private Partnerships) 範疇，其概念為政府運用民間機構管理能力及商業的專業知識，和民間機構簽訂 PFI 契約，先由民間機構興建、營運公共建設，政府再向民間機構購買該公共建設之公共服務，政府在民間機構營運公共建設後，依據雙方契約所訂之評估指標及規範，檢視民間機構之服務品質有無符合約定，再予以付款，倘未達到績效指標或資產無法提供服務時，則有扣款機制，通過將私營企業的資金、管理知識等引入公共部門開展的社會資本開發和管理領域，有效提高社會資本的一種方法；在國內台灣自來水公司亦有相似之案例，如馬公 3000 噸海水淡化廠，水公司提供土地，廠商提供設備及營運操作，水公司在向該廠商購買海淡水，如水質不符規定則予以扣款及罰金。而對於本案，國內自來水事業無 OSG 系統之專業操作及維護經驗，由專業廠商營運將可帶來品質更優之次氯酸鈉、更有效率之操作及即時設備維護保養等優勢，自來水事業單位更可避免大量人力投入及大筆之資本投資，而廠商亦由長期合約(15 年或 20 年)獲得穩定之報酬，因此該商轉模式在雙方皆有益處情形下係為可行。

四、結論

台灣自來水事業現行消毒方式存在液氯洩漏、次氯酸鈉濃度衰減及交貨時間冗長等公安、工安、職安及無法因應極端氣候之水安全風險，現地生產氯消毒劑 (OSG) 之各面向可行性亟待研究探討。

在 OSG 技術可行性面向，先進國家紛已採行多年，成功案例繁多都為具廠牌者，故其技術可行性殆無疑義。

在 OSG 經濟可行性面向，不論供水規模，同樣新設 OSG 與新設散裝次氯酸鈉消毒，雖不論採高濃度或低濃度 OSG 初設費均較採散裝者為高，但每年操作維護費用不論採高濃度或低濃度 OSG 均較採散裝者為低廉，惟採高濃度之投報回收 (ROI) 年限較低濃度者短得甚多，尤其採散裝者耗地甚多，於人煙稠密地區，效益更為明顯；另就供水規模的大小於 ROI 回收年限，小場回收年限相對較大場者長得多，但 OSG 經濟可行性除需考量成本因素外，尚須綜合考量公安、工安、職安及無法因應極端氣候之水安全等風險之非量化成本因素。總而言之，不管 ROI 投資回收年限的長短與否，OSG 是兼具公安、工安、職安及水安全等經濟可行之技術。

在 OSG 法規可行性面向，就飲用水管理條例/飲用水水質處理藥劑不純物品質管制合規性部分，因 OSG 在電解原料食鹽不純物濃度要求大部分均較現行次氯酸鈉不純物低得甚多，因此其符規性殆無疑義，另就毒性及關注化學物質管理法合規性部份，已邀請環保署化學局於專諮會上確認，低濃度者

因無產生氯氣，自無相關現行液氯使用之諸多法令限制，就算高濃度者雖製程中有氯氣產生，亦可免除現行諸多法令限制；在職安法規合規性部分，經勞動部職安署確認，採用高強度 OSG 系統廠牌型號 MS 204，產氯量 1000Kg/d 機型，該機組運轉時，在任一時刻製程管路中儲存之氯氣僅 0.6Kg，非屬於甲類危險場所。

在 OSG 商轉可行性面向，因現行 OSG 均為國外製造具廠牌者，相關技術及操作規範資訊取得困難，有於現行國內政府採購法之限制及公務人員保守之心態，甚難以現行 DBO 傳統方式發包後由自來水事業從業人員自行操作營運，或可比照東京都水道局以公私合營方式運行，並精進貴我採購合約內容，設法拉長合作年限，爭取廠商合作參與誘因，共創雙贏。

參考文獻

- 1.American Water Works Association M65，2015，ON-SITE GENERATION OF HYPOCHLORITE。
- 2.Generating sodium hypochlorite on-site in South San Diego，WaterWorld, Feb. 29, 2020
- 3.On-Site Sodium Hypochlorite Generation: A Safe and Reliable Disinfection Alternative to Bulk Sodium Hypochlorite and Gas Chlorine，2021 Virtual Quarterly Trainings - Q1 - February 25
- 4.Making Bleach Made Easy, PSI Water Technologies
- 5.浄水場オンサイトの次亜塩素酸ナトリウム製造設備，中村恭之、向野茂生、渡辺浩延，日立評論VOL85.NO.2, 2003

作者簡介

蔣承廷先生

現職：台灣自來水公司工務處機電組工程員

專長：機電工程設計及考工

張光翹先生

現職：台灣自來水公司工務處機電組組長

專長：機電工程專案管理、工程採購及履約、工程規劃設計

李丁來先生

現職：台灣自來水公司副總經理

專長：工程專案管理、環境工程、自來水規設及營管

以快濾池濾料吸附催化氧化法去除水中二價錳研究

文/薛志宏、張美惠、周宗毅、張美鳳、張凱迪、李佳陵

摘要

採取直潭淨水場實廠快濾池濾料，以實驗室管柱試驗，進行濾料披覆吸附催化氧化法去除二價錳研究，結果顯示，水中二價錳之去除與濾料表面自然錳披覆質量呈正相關；進流水自由餘氯濃度越高或濾速越低，去除效果越佳；反洗操作不影響濾料之二價錳去除；單一濾料濾床去除二價錳主要發生於表層濾料，去除效果隨濾料縱深遞減。本法可用於淨水場實際去除原水溶解錳應變操作，為一價廉及操作簡易之有效方法。

關鍵字：濾料披覆(Filter Media Coating)、吸附催化氧化法(Sorption & Catalytic Oxidation)、二價錳去除

一、研究緣起

110 年 1 月北水處發生用戶端自來水水黃事件，發生原因為當時寒流來襲，淨水場上游北勢溪水庫水體發生翻混現象，放流水含高濃度還原性二價錳，加以降雨量少，南勢溪流量低，稀釋度不足，致原水含高濃度溶解性二價錳，淨水場無法有效予以去除，清水錳超出飲用水水質標準。

經此，北水處淨水場除增設線上水中錳偵測設備，以即時監測原水及清水水質外，並希就既有傳統淨水處理程序，不額外添加其他化學藥劑或增設設備下，能否有效去除水中溶解性錳進行研究，以為萬一含溶解錳原水不慎進入淨水場後緊急因應處理之準備。

二、文獻探討

(一)飲用水除錳方法

Tobiason 等人(2016)對飲用水去除錳之方法進行完整文獻回顧，歸納如圖 1 所示，去除錳之方法，須依原水中錳存在的型態決定，若原水中存在顆粒錳，以固液分離程序，如沉澱及過濾，即可有效予以去除；但若原水中存在溶解錳，處理去除難度相對提高。

傳統淨水程序淨水場在不另添加其他強氧化劑(如高錳酸鉀)等化學物質狀況下，利用既有程序進行溶解錳去除，有 2 種途徑，分別為利用提高前氯氧化溶解錳續以沉澱過濾去除，及利用天然或人工產生披覆層(Coating)之過濾池濾料，進行吸附與催化氧化法(Sorption & Catalytic Oxidation)反應去除之。

薛等(2011)以杯瓶試驗研究發現，在北水處既有淨水場混凝中性 pH 下，由於氯之氧化速率很慢，及添加高濃度氯會導致出水超過飲用水水質標準自由餘限值等限制，並非一個有效的處理方法。以降低處理水量，增加接觸氧化時間，亦無法克服此問題，亦非一有效處理策略。

另一去除錳的方法為吸附與催化氧化法，此係利用快濾池濾料(無煙煤及(或)石英砂)表面自然累積之錳氧化物披覆層，吸附水中二價錳後，在自由餘氯存在狀況下，濾料

表面錳氧化物持續催化(Catalyzes)被吸附二價錳與氯之氧化反應，此反應通常極為快速，發生在數秒至數分鐘之間，反應後續產生新的可吸附二價錳之錳氧化物(MnOx)表面，又會產生持續再生(Continuous Regeneration Process)之溶解錳去除能力。Knocke 等人(1988)稱此程序為「天然綠砂效應」(Natural Greensand Effect)，Kohl 及 Medlar (2006) 稱為「誘發性氧化物披覆濾料效應」(Induced Oxide-coated Media Effect (IOCME))。此程序其實在很多淨水場操作及管理人員並不瞭解的狀況下，默默自發性的發生並持續維持反應。

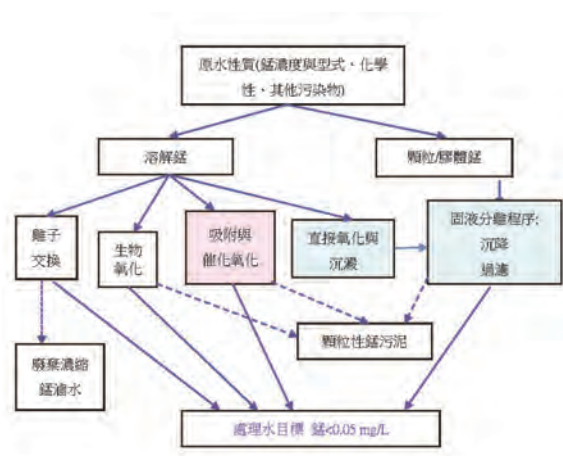


圖 1 淨水場錳去除程序概要(摘譯自^[2])

影響吸附與催化氧化法去除二價錳之因子如下：

1.pH 值

快濾池濾料表面披覆 MnOx 層，在水中無氧化劑(如氯)狀況下，去除二價錳之機制為「吸附」，吸附去除能力和水之 pH 值有關，pH 越高，吸附去除能力越強；反之越低^[1]，但吸附和 MnOx 披覆層具微孔及較高表面積相關，會因吸附位址有限而達飽和。若水中

存在如氯之氧化劑，因會將被吸附之二價錳氧化，形成新的 MnO₂ 層，並持續產生再生除錳效果，而不受 pH 影響^[1]。

2.濾料表面錳氧化物質量

濾料溶解錳去除能力，不論加氯否，與濾料表面披覆錳質量有關，大致而言，濾料表面披覆錳質量越高，去除錳能力越高，但過高之披覆錳質量(>5~10 mg Mn/g)，並不會產生正比例的除錳能力^[1]。

3.濾料外觀與表層錳氧化物特性

濾砂顆粒產生錳氧化物披覆時，會產生外觀變黑現象，稱之為老化(Aging 或 Seasoning)。瞭解濾料表面披覆層性質，有助於探究其去除二價錳之機制。濾料表面形成金屬披覆層，在微觀性質上，表面積和微孔均會增加，此將有助於吸附二價錳離子；存在餘氯以有效去除二價錳狀態下，表層 MnOx 固體氧化態以 4 價錳(Mn(IV))為主，顯示披覆層吸附二價錳，再因加氯氧化生成二氧化錳(MnO₂)，為持續去除二價錳主要機制。

4.濾料表面錳氧化物內含其他金屬(如鋁)之影響

淨水處理常用鋁劑進行混凝，Andrew Jones(2012)研究顯示，鋁同錳一樣，會慢慢累積於濾料表面披覆層中，但鋁的存在不會影響披覆層中的錳對水中二價錳之去除。

5.餘氯濃度與中斷(恢復)加氯

Goodwill(2006)透過實驗室及實廠實驗研究發現，濾床濾料一旦形成披覆層，加氯即可發揮有效去除二價錳效果。加氯中斷，除錳效果下降，加氯再恢復，除錳效果又恢復，反應極為快速。Isam 等人(2010)研究實際案例亦發現，停止濾前加氯之濾床，會失

去除錳能力，但一旦恢復加氯，仍可再生而產生除錳能力。

6.反應時間與濾速影響

Knocke(1991)以實場濾料研究發現，以濾床濾料表面披覆去除溶解錳，只要自由餘氯足夠(>1.0mg/L)，即使在高濾速 5.1 gpm/ft²(約 300m/d)下，都能產生快速有效率且長期之除錳效果，不受濾速過快之影響。

7.濾床濾料種類與深度影響

Islam 等人 2010 年研究發現，濾床採雙層濾料(無煙煤+石英砂)，濾料披覆層主要累積於上層無煙煤部份，越往底部越少；而單層濾料(石英砂)，由於水洗加氯洗反洗較徹底，濾料披覆層則分佈較均勻。披覆錳質量較高(約數十毫克錳/g 濾料)之濾料試驗結果顯示，濾料除錳主要發生在濾床頂部 15~20 公分濾料。

8.濾料表面發展對濾床水損影響及反洗影響

Hargette 等人(2001)以模廠試驗實場濾料，結果顯示經一段時間(1 週)加氯除錳，對濾料有效粒徑及均勻係數等基本性質影響極微，對濁度去除及水損等操作效能亦幾無影響。濾床反洗，會洗掉一小部份表層錳披覆，但反洗後仍保有一定充裕的 MnO_x 披覆物質，可維持持續之去除錳效能。

(二)濾料錳氧化物披覆去除溶解錳反應機制

淨水場加氯有助於快濾池具錳氧化物披覆表層濾料，吸附溶解錳之催化氧化反應，連續再生產生新的溶解錳吸附表面，而將溶解錳有效去除。去除機制如圖 2 所示。研究及處理實際經驗顯示，於濾前加氯，使快濾池出水含 0.5~1.0 mg/L 自由餘氯，pH 在 6.0 以上，即可將約 0.2mg/L 溶解錳，穩定去

除至小於 0.02 mg/L。

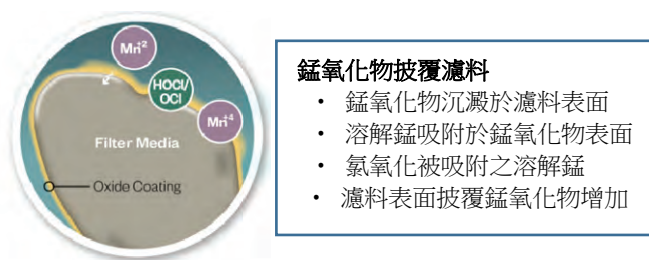


圖 2 氧化物披覆濾料去除溶解錳機制圖(摘譯自^[6])

三、研究方法

本研究以直潭淨水場為對象，採取該場各期代表性快濾池濾料，以實驗室管柱試驗進行測試與溶解錳去除研究。

(一)濾料表面披覆質量決定

濾料樣品以實驗室純水潤洗乾淨，於烘箱 105℃ 乾燥 24 小時，放入乾燥箱冷卻，稱重 1 g 乾燥濾料，置入錐形中，加入 250 ml 1% 硝酸溶液，及約 1g Hydroxylamine sulfate(HAS)，加蓋搖動至少 6 小時充分反應，以 0.45 μm 玻璃纖維濾紙過濾，檢測濾液中鐵、鋁、錳等各項金屬。結果以 mg-金屬/g 濾料表示。

(二)試驗設備

單層濾料試驗設備如圖 3，濾料測試管柱為長 40 公分內徑 3 公分玻璃管柱，管柱底部具多孔玻璃篩，以防止濾料流失，試驗時管柱各填充約 30 公分表層濾料，以定量蠕動幫浦，將配置之不同濃度錳試驗原水，經不同濃度加氯後，由儲槽引入管柱，以設定定量蠕動幫浦刻度及管柱下方塑膠活栓開度，控制管柱過濾出流流速，測試時濾料上需有水頭，控制流出流量達 100 mL/min，以模擬直潭淨水場快濾池實際濾速 200 m/d。

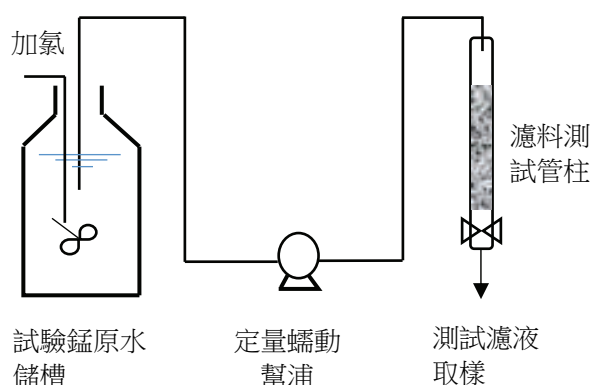


圖 3 單層濾料管柱試驗設備

多層濾料管柱試驗設備如圖 4 所示，管柱加長為 120 公分，由下而上可依序填充下層、中層及表層濾料各 30 公分，除管柱底部設有出水取樣閥外，於管柱側距濾料頂部 30 公分及 60 公分處，各設有 1 出水取樣閥。流速控制以管柱底部出水閥之出水流速為準。

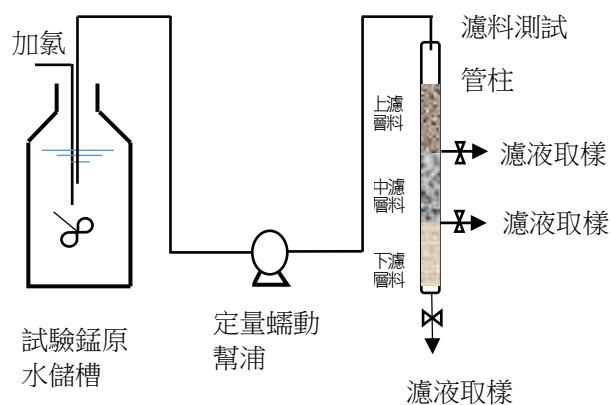


圖 4 多層濾料管柱試驗設備

(三)試驗步驟

1.配製含溶解錳濃度 0.3mg/L 測試原水 10 公升，分別加氯約 0.5 及 1.0mg/L，攪拌均勻，先取樣測溶解錳、自由餘氯、pH 值。不同濾料管柱過濾試驗 1.5 小時，由濾液產生時間起，過程每 10 分鐘濾液取樣 1 次，測自由餘氯、溶解錳、pH 值。以瞭解加氯濃度對濾料去除溶解錳效果之影響及濾料去除

溶解錳之耗氯狀況。

- 2.五快二濾料以降低濾速至 50ml/min，於原水溶解錳配製濃度 0.3 mg/L，分別加氯 0.5 mg/L 及 1.0 mg/L 進行試驗，以瞭解降低濾速對錳去除效果之影響。
- 3.擇一披覆質量較高之濾料，於原水溶解錳配製濃度 0.5mg/L，分別加氯 0.5 mg/L 及 1.0 mg/L 進行試驗，以瞭解披覆質量較高之濾料有否較高之錳去除能力。
- 4.以多層濾料管柱，由下至上各填充 30 公分五快二下層、中層及上層濾料，於原水溶解錳配製濃度 0.3mg/L，加氯 1.0 mg/L，管柱底部出流速度為約每分鐘 100mL(相當於濾速每天 200m)下進行管柱試驗，除底部出水閥每 10 分鐘取樣檢測外，另於管柱側出水閥取樣，以瞭解快濾池不同濾料深度之錳去除能力。

四、結果與討論

(一)濾料表面披覆質量

直潭淨水場各期代表性快濾池濾料表面披覆質量狀況測試結果如表 1，濾料披覆質量顯示較文獻記載為低，原因可能為該場平日原水中溶解錳濃度較低，及淨水程序過濾水餘氯濃度維持較低(通常維持 0.1 mg/L)，致濾料表面累積生成 MnO_x 質量較少。五快二反洗前後表面各金屬含量測試結果幾乎不變；濾料披覆表面錳與鋁及錳與鐵質量均呈線性相關，鐵遠低於錳，與原水中溶解鐵較易氧化有關，鋁則高於錳，與使用鋁混凝劑有關；快濾池表層、中層及下層濾料之披覆金屬質量分析(如圖 5)顯示，濾池縱深濾料表面披覆呈現均勻狀態，即任何深度濾料披覆狀況均約略相同。



(二)各期濾料管柱試驗溶解錳去除結果

五快二濾料表面披覆質量 0.236 mg-Mn/g-濾料，於進流水二價錳濃度 0.30 mg/L，加氯 1.0 mg/L，pH 值 7.6，濾速 200 m/d 下進行管柱試驗，結果如圖 6 所示，進流水加氯後隨即有錳去除反應，初期去除效果極佳，濾液二價錳可低於 0.05 mg/L，隨著過濾時間之增加，二價錳濃度逐漸爬升至穩定之 0.15 mg/L；餘氯則從完全消耗，逐漸爬升至

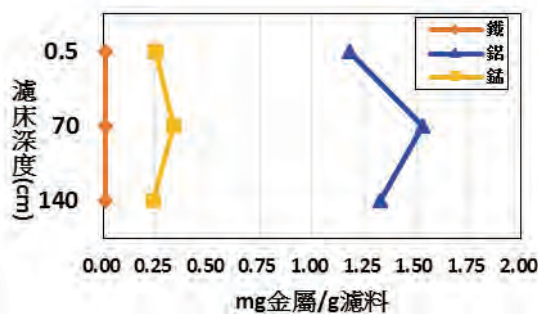


圖 5 五快二濾床不同深度濾料金屬披覆狀況

表 1 直潭淨水場各期代表性快濾池濾料表面披覆質量

濾料別	濾砂表面 錳含量 (mg-Mn/g- 濾砂)	濾砂表面 鐵含量 (mg-Fe/g- 濾砂)	濾砂表面 鋁含量 (mg-Al/g- 濾砂)
一期	0.074	0.0077	0.288
二期	4.42	0.098	13.3
三期	0.044	0.0070	0.196
四期	2.69	0.068	9.26
五期(一)	0.793	0.021	3.09
五(二)反洗 前	0.236	0.011	1.27
五(二)反洗 後	0.216	0.010	1.33
五(二)中層	0.336	0.013	1.53
五(二)下層	0.249	0.013	1.18
六期	0.183	0.046	0.856

0.80 mg/L。此濾料初始養成期反應可能為，濾料披覆表面吸附活化址進行吸附及初期氧化，隨過濾時間增加，氯逐漸用於表面氧化反應(使氧化態增高)後，催化氧化反應始能持續穩定進行。此測試 30 公分濾料穩定去除二價錳約 0.15 mg/L，耗氯約 0.15 mg/L(過濾水餘氯 0.85 mg/L)。

四期代表性快濾池，濾料表面披覆質量 2.69 mg-Mn/g-濾料，於相同條件下進行測試，結果如圖 7，相較於五快二濾料去除錳之效果極佳，過濾水二價錳可達 0.005 mg/L 以下。穩定耗氯約 0.25 mg/L，較披覆較低之五快二濾料略高。

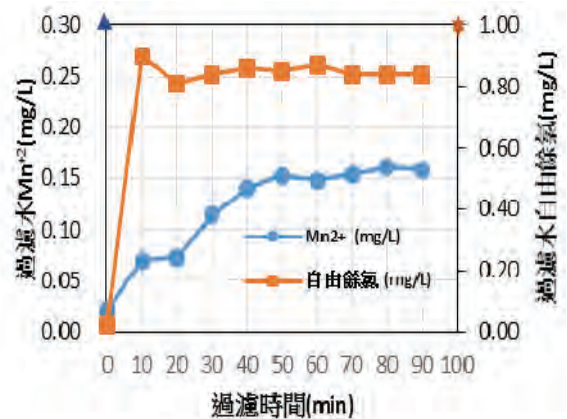


圖 6 五快二濾料管柱試驗結果(二價錳 0.3mg/L、氯 1.0mg/L、濾速 200m/d)

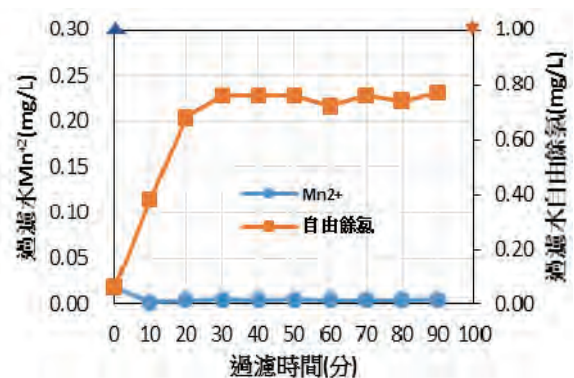


圖 7 四快濾料管柱試驗結果(二價錳 0.3mg/L、氯 1.0mg/L、濾速 200m/d)

直潭淨水場各期不同快濾池濾料，於入流水二價錳 0.3mg/L 及相同加氯及濾速條件下，不同過濾時間過濾水溶解錳濃度，如圖 8 所示，不同濾料披覆質量對二價錳去除有明顯之影響，大致而言，濾料表面披覆質量越高，二價錳去除效果越佳。披覆約 0.8 mg-Mn/g-濾料以上，具極佳且極穩定之除錳效果，除錳效果約 0.25 至 0.30mg/L 以上。披覆 0.2 mg-Mn/g-濾料~0.8 mg-Mn，除錳效果略差，或過濾後期除錳有後繼不足，過濾水二價錳略增現象，除錳效果約 0.15~0.25mg/L。披覆 0.1 mg-Mn/g-濾料以下，除錳效果相當有限，低於 0.1mg/L。再比較過濾水餘氯狀況，如圖 9 所示，可以發現在相同的加氯濃度與濾速下，耗氯濃度與濾料表面披覆錳氧化物質質量成正比，表面披覆錳質量越高，過濾達穩定耗氯濃度越高；反之，耗氯濃度越低，此可能係因加氯於濾料披覆表面，會發生再生作用，提升錳之氧化態，使利於產生催化氧化反應，披覆錳質量越高，披覆表面微孔及表面積越增，所需耗以提升錳氧化態之氯質量越高所致。

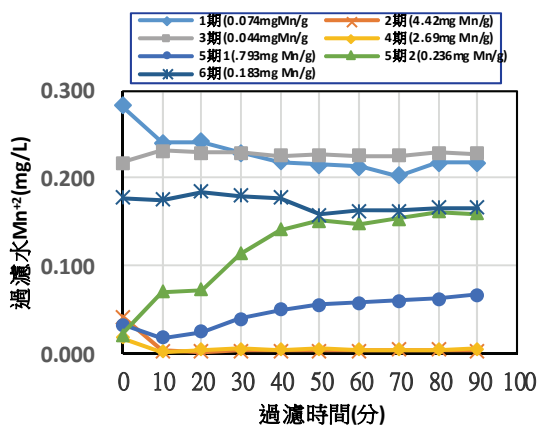


圖 8 不同批覆質量濾料過濾水二價錳濃度變化 (二價錳 0.3 mg/L、氯 1.0 mg/L、濾速 200 m/d)

(三)加氯濃度及濾速對濾料去除二價錳之影響

以五快二濾料於不同加氯濃度及濾速下，分別進行管柱試驗，二價錳去除及耗氯結果，如圖 10 及圖 11 所示。圖 10 可看出，加氯濃度由 0.5mg/L 提升至 1.0mg/L，及濾速由 200m/d 降至 100m/d，皆有助於二價錳之去除，惟二者均僅提升錳去除濃度約 0.05 mg/L。圖 11 則顯示，於此披覆略低濾料，耗氯濃度與加氯濃度無關，但與濾速有關，濾速越低，耗氯濃度越高。

(四)反沖洗對濾料去除二價錳之影響

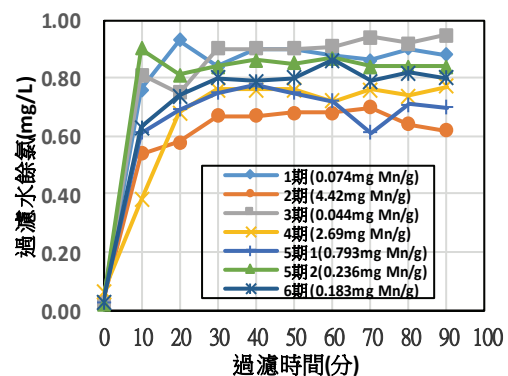


圖 9 不同批覆質量濾料過濾水自由餘氯濃度變化(二價錳 0.3 mg/L、氯 1.0 mg/L、濾速 200 m/d)

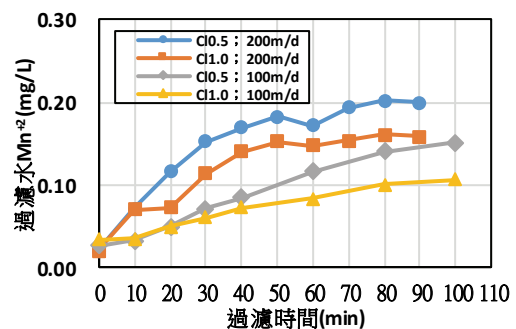


圖 10 五快二濾料加氯濃度及濾速對過濾水二價錳濃度之影響(二價錳.3mg/L)

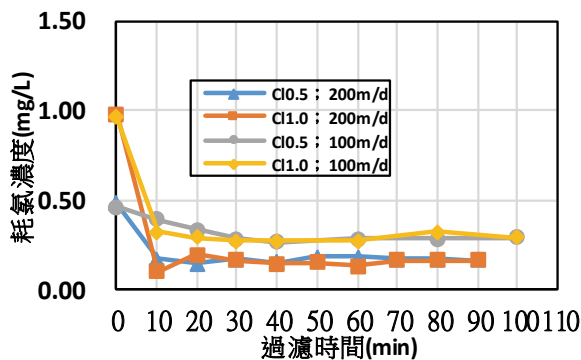


圖 11 五快二濾料加氯濃度及濾速對耗氯濃度之影響(二價錳 0.3mg/L)

以五快二反洗前後濾料，於進流水二價錳濃度 0.30 mg/L，加氯 1.0 mg/L，濾速 200m/d 下進行管柱試驗，結果如圖 12 所示，反洗前濾料達穩定除錳效果所需過濾時間較反洗後濾料長，穩定除錳效果反洗後濾料約比反洗前增約 0.02mg/L，二者幾乎相同。顯示同文獻所述，反洗過程雖會去除少量 MnO_x ，但並不影響整體二價錳之去除。另反洗後濾料明顯耗氯較高，應與反洗後該披覆表面部份被去除，加氯要重新將原來較深層之 MnO_x 披覆，氧化生成 MnO_2 ，才能持續去除二價錳有關。

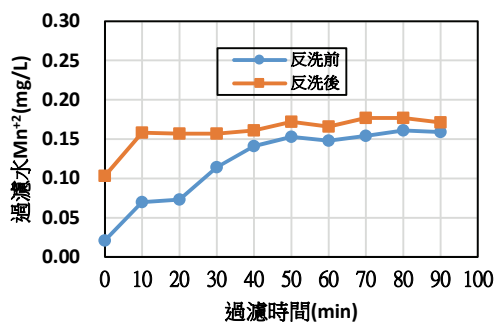


圖 12 反洗對五快二濾料二價錳去除之影響(二價錳 0.3mg/L、氯 1.0mg/L、濾速 200 m/d)

(五)濾料批覆質量對可去除二價錳濃度之影響

選擇表面披覆較高之二期快濾池濾料，披覆質量為 4.42 mg-Mn/g-濾料，於進流水錳濃度 0.3 mg/L 及濾速 200 m/d 下，分別加氯 0.5 及 1.0 mg/L，另於進流水錳濃度 0.5 mg/L 加氯 1.0 mg/L，濾速均保持 200 m/d 下，管柱過濾試驗結果如圖 13 及圖 14 所示。

圖 13 結果顯示，高表面披覆質量濾料，進流水錳濃度 0.3 mg/L，無論加氯 0.5 或 1.0 mg/L，去除錳之效果均佳；且進流水錳濃度達 0.5 mg/L，去除效果亦佳。耗氯結果如圖 14 所示，進流水錳濃度 0.3 mg/L，加氯 0.5 mg/L，穩定耗氯約 0.17 mg/L；加氯 1.0 mg/L，穩定耗氯約 0.36 mg/L；進流水錳濃度 0.5 mg/L，穩定耗氯約 0.35 mg/L。顯示濾料表面披覆質量若夠高，在相同加氯濃度下，有足夠餘裕處理較高濃度之二價錳，且耗氯不會增加。耗氯不增加現象顯示氯係用以氧化固定的吸附二價錳位址，即耗氯與特定濾料批覆狀況及加氯量有關，但與處理進流水中二價錳濃度無關。

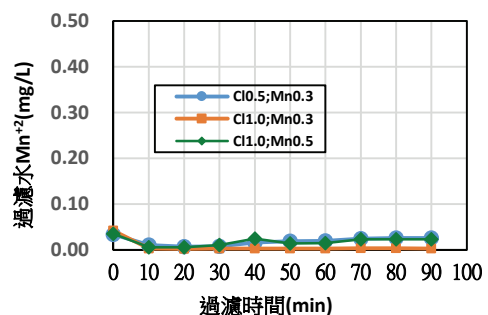


圖 13 二快濾料去除不同濃度二價錳狀況(濾速 200m/d)

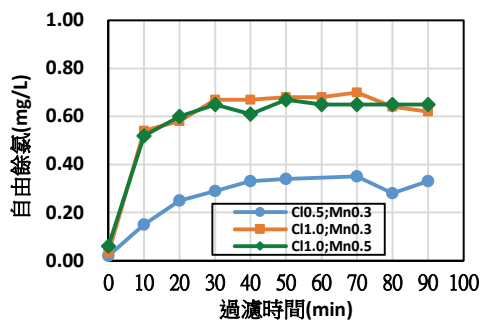


圖 14 二快濾料去除不同濃度二價錳過濾水餘氯狀況(濾速 200m/d)

(六)濾料深度對去除二價錳之影響

圖 3 單層管柱試驗僅採用 30 公分表面濾料進行測試，但由於實廠快濾池具 140 公分深濾料，過濾時理論上有 4 倍以上滯留時間，故採用表層、中層及下層各 30 公分共 90 公分濾料，填充圖 4 多層管柱設備，進行相關測試，以瞭解較深濾料是否有助於二價錳之去除。

測試條件進流水餘氯 0.80mg/L、二價錳 0.3mg/L 及濾速 200m/d，結果如圖 15 及圖 16 所示。圖 15 顯示，管柱最頂部 30 公分濾料可將 0.3mg/L 二價錳去除至 0.20mg/L(去除 0.10mg/L)；60 公分濾料可將 0.3mg/L 二價錳去除至 0.13mg/L(去除 0.17mg/L)，全部 90 公分濾料可將 0.3mg/L 二價錳去除至 0.08mg/L(去除 0.22mg/L)，3 段濾料分別去除掉二價錳 0.10mg/L、0.07 mg/L 及 0.05 mg/L。故不同深度濾料均有去除二價錳之效果，但去除濃度由表層至下層略為遞減，總去除效果並非等於表層濾料去除效果之 3 倍。圖 16 過濾水自由餘氯狀況亦顯示，管柱最頂部 30 公分濾料耗氯 0.20mg/L、中層 30 公分濾料耗氯 0.04 mg/L、下層 30 公分濾料耗氯

0.04mg/L，與圖 15 呼應，氯與濾料表面產生之催化氧化去除二價錳反應，主要發生於表層濾料，中下層濾料貢獻較少。

五、結論與建議

由以上之實驗結果與討論，獲致以下結論與建議：

- 1.直潭淨水場各期快濾池濾料表面錳氧化物披覆質量均不同，與濾料鋪設年代與更換狀況及原水水質有關。濾料表面錳氧化物披覆質量在 0.044 ~4.42mg-錳/g-濾料，較相關文獻所載國外實場濾料披覆質量為低。

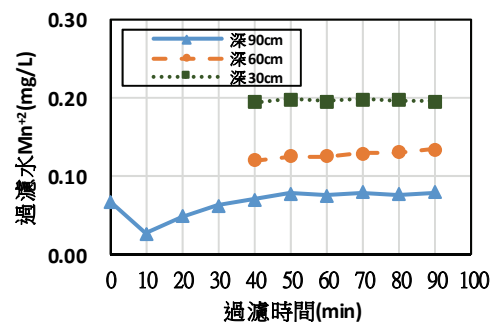


圖 15 五快二濾料濾料深度對去除二價錳之影響(二價錳 0.3mg/L、氯 0.80mg/L、濾速 200m/d)

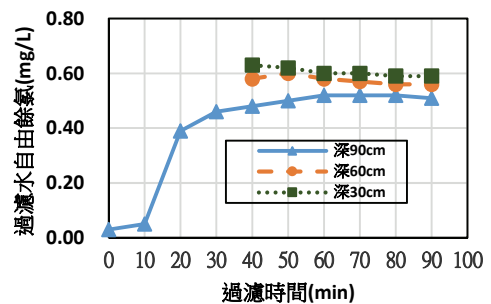


圖 16 五快二濾料濾料深度對過濾水餘氯之影響(二價錳 0.3mg/L、氯 0.80 mg/L、濾速 200m/d)

- 2.管柱實驗結果顯示，在有濾前加氯狀況下，溶解性二價錳之去除效果與濾料表面錳氧化物披覆質量成正相關；即表面披覆

質量越高者，二價錳之去除效果越佳；反之越差。披覆質量在 0.79 mg-錳/g-濾料以上，濾前餘氯 1.0mg/L，可將原水中溶解性二價錳 0.3mg/L 處理至約 0.05 mg/L(飲用水水質標準限值)以下。直潭淨水場二期及四期等 2.69 mgMn/g 濾料以上濾料，甚至可將水中溶解性二價錳 0.5 mg/L 處理至約 0.005 mg/L 以下。濾前餘氯 1.0 mg/L 較 0.5 mg/L 處理溶解性二價錳效果為佳。

- 3.為瞭解實際快濾池濾床濾料縱深約 140 公分之錳去除效果，以上中下層合計 90 公分濾料管柱試驗結果顯示，二價錳去除主要發生於上層 30 公分濾料，中層及下層亦有些微去除能力，但隨濾料深度增加而略降；總去除能力非上層濾料去除能力之 3 倍。
- 4.濾料表面錳氧化物披覆質量越高及濾速越低，濾料去除溶解性二價錳之耗氯濃度越高。濾前餘氯 1.0 mg/L，過濾水餘氯可控制在約 0.70~0.90mg/L 間，於飲用水水質標準範圍內。
- 5.濾料經反洗後，濾料表面披覆金屬微減，加氯催化氧化法可去除二價錳濃度約略相同，反洗操作並不影響其去除二價錳能力。
- 6.現有各快濾池濾料具有天然產生錳氧化物披覆層，可用以去除水中溶解性二價錳，若濾料分析結果於平均粒徑及均勻係數與原濾料差異不大，且操作時濁度去除功能與水頭損失發展，尚不影響淨水濁度去除功能，建議能將老舊濾料予以保留或僅將濾料小於規範部分進行部分更換，以利應變處理不時之需。

六、因應季節性含溶解錳原水淨水場應變操作方案

上游有水庫之淨水場可能遭遇水庫季節性(非常態性)排放含高濃度溶解性二價錳原水狀況，除持續以水庫水體分層採樣檢測及淨水場原水線上監測原水中溶解錳濃度，充分掌握水庫水體層化翻混及原水水質狀況，以避免外部高濃度溶解性二價錳原水進入淨水場外；若高濃度溶解性二價錳原水不慎進入場內，則淨水場應採取緊急應變處理措施，作為第二道防線。

淨水場利用既有處理程序，不另添加處理設備或藥品，處理原水中溶解性錳，第一選擇為利用快濾池濾料之吸附與催化氧化法，它具有低價、操作簡易及去除率佳等優點。利用此法，在平時應先掌握濾料表面錳披覆狀況，若濾料表面錳披覆質量較低者，可去除二價錳濃度較低；較高者，則可處理較高濃度二價錳。

應變處理操作非常簡單，即將前加氯予以提升，使沉澱水(快濾前)餘氯達 1.0mg/L，即可使快濾池濾料發揮去除溶解性二價錳功能，若有不同時期設置之快濾池，可將設置年代較久，濾料表面披覆質量較高之濾床處理水量增加；反之則降低。處理過程隨時監測原水二價錳、沉澱水餘氯及出水二價錳與餘氯。原水二價錳來源排除後，將前加氯調降，應密切監測出水二價錳、餘氯及 pH 值，以免因 pH 值改變，致原被吸附之二價錳釋出。

參考文獻

- 1.薛志宏等，「淨水程序加氯氧化去除原水中溶解錳研究」，中華民國自來水協會會刊，2022 年8月。
- 2.Tobiason J.E. et.al, Manganese removal from drinking sources, Current Pollution Report 2(3), 2016. .
- 3.Isam et. al., Characterization of filter media MnOx(s) surfaces and Mnremoval capability 102:9, JAWWA, 2010.
- 4.Knocke William R. et. al., Soluble Manganese Removal on Oxide-Coated Filter Media,80:12, JAWWA,1988.
- 5.Knocke William R. et al., Removal of Soluble Manganese by Oxide-coated Filter Media: Sorption Rate and Removal Mechanism Issues, J.AWWA, 83:8, 1991.
- 6.Roger Arnold et. al., Evaluate and Optimize Manganese Treatment. AWWA Opflow, Dec., 2021.

作者簡介

薛志宏先生

現職：臺北自來水事業處水質科科長
專長：淨水處理、水質檢驗、水質管理

張美惠女士

現職：臺北自來水事業處水質科二級工程師
專長：淨水處理、水質檢驗

周宗毅先生

現職：臺北自來水事業處淨水科三級工程師
專長：淨水處理

張美鳳女士

現職：臺北自來水事業處水質科三級工程師
專長：水質檢驗

張凱迪先生

現職：臺北自來水事業處水質科三級工程師
專長：水質檢驗

李佳陵女士

現職：臺北自來水事業處水質科三級工程師
專長：水質檢驗

供水管網的韌性評估方法—WNTR

文/羅健成

摘要

WNTR 套裝軟體除具有 EPANET 的功能，並可模擬各種災害事件的情境和修復策略，展現韌性(resilience)。這些災害事件包括：地震、管段漏水、停電、環境變化、管道臨界、火災消防用水、水質污染等。並可整合分析數據、地理資訊及圖形的加值應用，視覺化可幫助研判對策。

關鍵字：WNTR、韌性、脆弱性曲線、傳感器

一、前言

自來水事業為基礎設施(infrastructure)的一環，當遭逢氣候變遷的災害或破壞時，給予自來水事業莫大的挑戰，若能藉由軟體的模擬，瞭解供水管網的壓降造成缺水或水質的變化，瞭解地區損壞狀況，快速維修讓設施恢復功能展現韌性(resilience)。因此，管理軟體除具有分析供水管網水力及水質的功能外，包含能模擬各種災害事件的情境和修復策略。這些災害事件包括：地震、管段漏水、停電、環境變化、管道臨界、火災救火、水質污染等。有些災害評估可以利用 EPANET 達成，但如何整合分析數據、地理資訊及圖形的加值應用，視覺化可幫助研判對策，WNTR 套裝軟體或許是最佳選擇。

二、WNTR的韌性功能簡介

由於管網水力分析套裝軟體眾多且須付費，2000 年美國環境保護署(Environmental Protection Agency, EPA)開發了開源(open source)軟體 EPANET，獲得眾多自來水事業

單位採用。2017 年美國國家基礎設施諮詢委員會(National Infrastructure Advisory Council)要求基礎設施須具減少破壞性事件的規模和(或)持續時間能力的韌性。美國環保署與美國能源部桑迪亞(Sandia)國家實驗室合作開發以 EPANET 為骨幹的套裝軟體 WNTR(Water Network Tool for Resilience)，其具有靈活應用程式界面(API)，且提供一個可用 Python 語言撰寫的靈活平台，並與科學計算套裝軟體(諸如：NetworkX, pandas, NumPy, SciPy, and Matplotlib)相容的界面，也允許更改管網結構和操作，遭遇破壞性事件和恢復操作時，模擬和分析供水管網的彈性。WNTR API 界面可模擬各種災害事件的情境和修復策略。以下摘要敘述 WNTR 的韌性功能與應用案例：

(一)地震災害

2018 年花蓮地震時，台水公司郭前董事長曾詢問能否利用大數據的分析，瞭解花蓮供水管網的損壞程度，縮短修復的時間。當時認為常用的 EPANET 功能無法作這方面的評估。地震的突然發生對自來水系統造成的損害，可能需要數週甚更久才能完全修復地震造成的損壞。自來水系統的水池、加壓設備等設施的損害程度容易判別。但埋在地下的管線的損害程度無法評估。2001 年美國生命線聯盟(American Lifelines Alliance)委託美國聯邦應急管理署(FEMA)和土木工程師學會(ASCE)探討供水系統遭受地震災害損壞可能性的方法，以進行地震損失估計。WNTR

將自來水管網構件的損壞可能性的方法(地震位置和震級計算峰值地面加速度、峰值地面速度)整理成地震脆弱性曲線(Fragility curves)，如圖 1。假設有一地震發生，震央

座標為(124.0,24.0)，震度為芮氏規模 5.5 級，深度為 10,000 公尺，以台北自來水事業處 S10032 小區管網為例，由 WNTR 模擬計算並圖示各管段的損害等級，如圖 2。

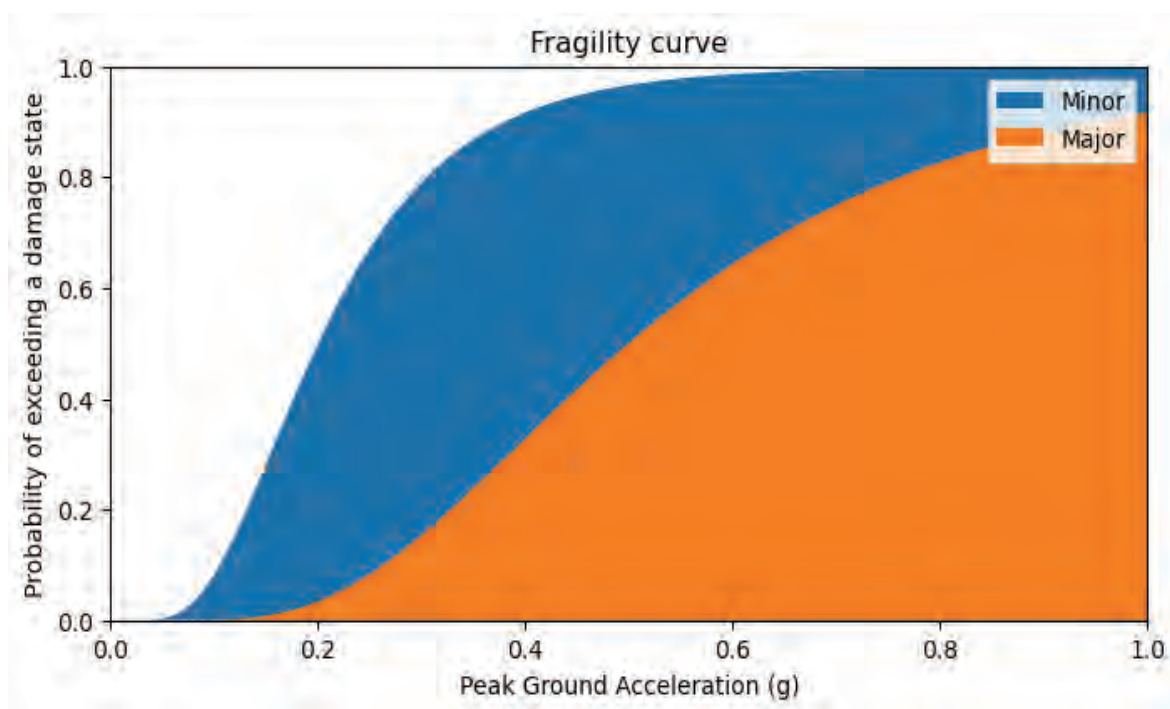


圖 1 自來水管網構件的地震脆弱性曲線

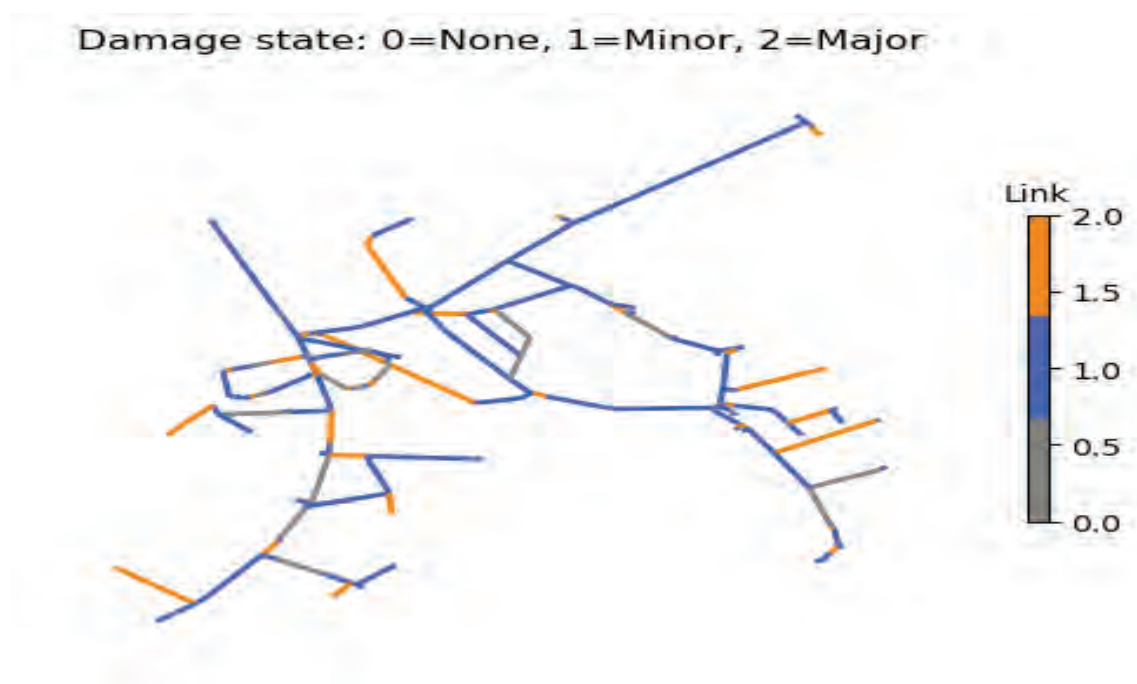


圖 2 S10032 小區管網各管段的地震損害等級圖

(二)火災消防用水

WNTR 可用於火災消防用水的模擬，發生時需要從供水管網中抽取額外的水，由於短時間的大量取水，導致的其他取水點的用水量不足，造成供水管網中的水壓下降的影響。通常的火災的消防最少用水量和持續時間取決於建築物的面積和用途，並規定在建築技術規則第 48 條：水源容量不得小於裝置消防栓最多之樓層內全部消防栓繼續放水二十分鐘之水量，但該樓層內全部消防栓數量超過五個時，以五個計算之。現以 S10032 小區的 418915 節點，取用消防用水量為 $0.252 \text{ m}^3/\text{s}$ ，取水 4 小時，經由 WNTR 的模擬 S10032 小區，消防用水取用前後 12 小時各節點的壓差如圖 3 所示。

(三)傳感器(sensor)的佈置

為瞭解供水系統的水質或壓力的變化，通常在供水管網適當的位置佈放適當數量的傳感器。優化傳感器的放置，能減少檢測供水系統中污染物的確切位置的時間。WNTR 使用 Chama 開源 Python package 來優化傳感器佈放位置，Chama 是桑迪亞國家實驗室和美國環境保護署共同開發的，用檢測供水系統中的污染情況，使用供水系統模型預先計算污染場景，定義可行的傳感器位置和門檻值，並且優化方法選擇一組傳感器以最小化給定目標。以下以 S10032 小區使用 WNTR 和 Sandia 國家實驗室的 Chama repository 來模擬的結果：傳感器的數量與預期偵測時間的對應如圖 4，傳感器的佈設位置如圖 5，各節點模擬偵測時間如圖 6。

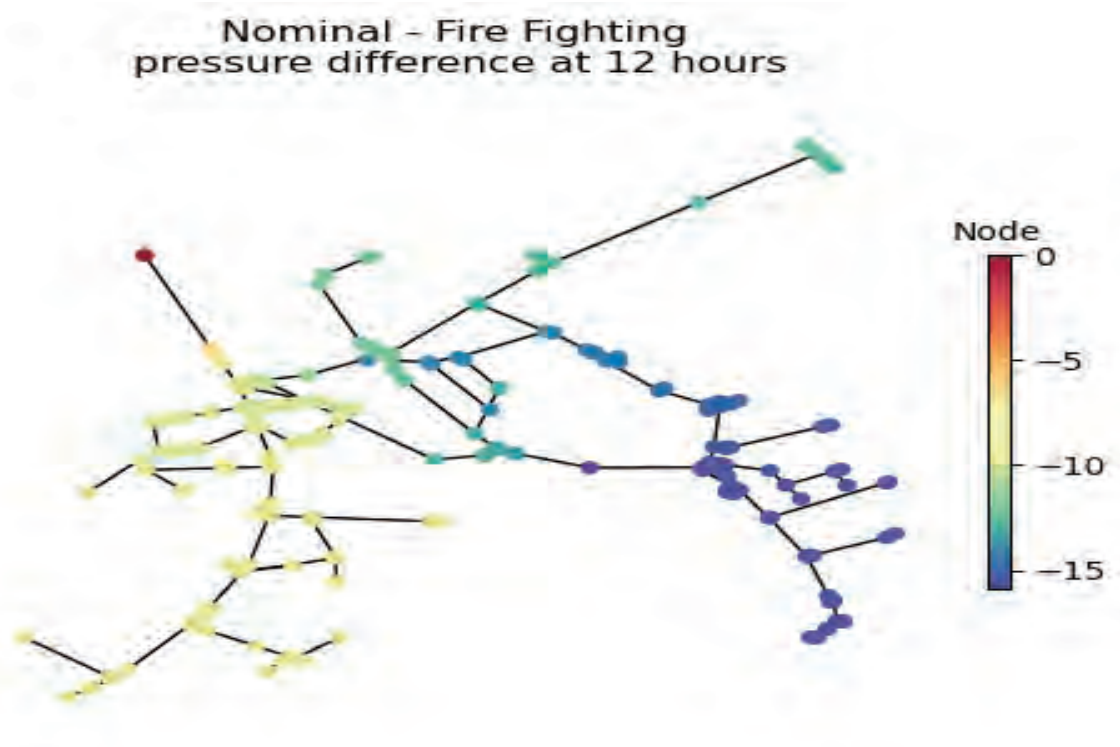


圖 3 S10032 小區消防用水取用前後 12 小時各節點的壓差圖

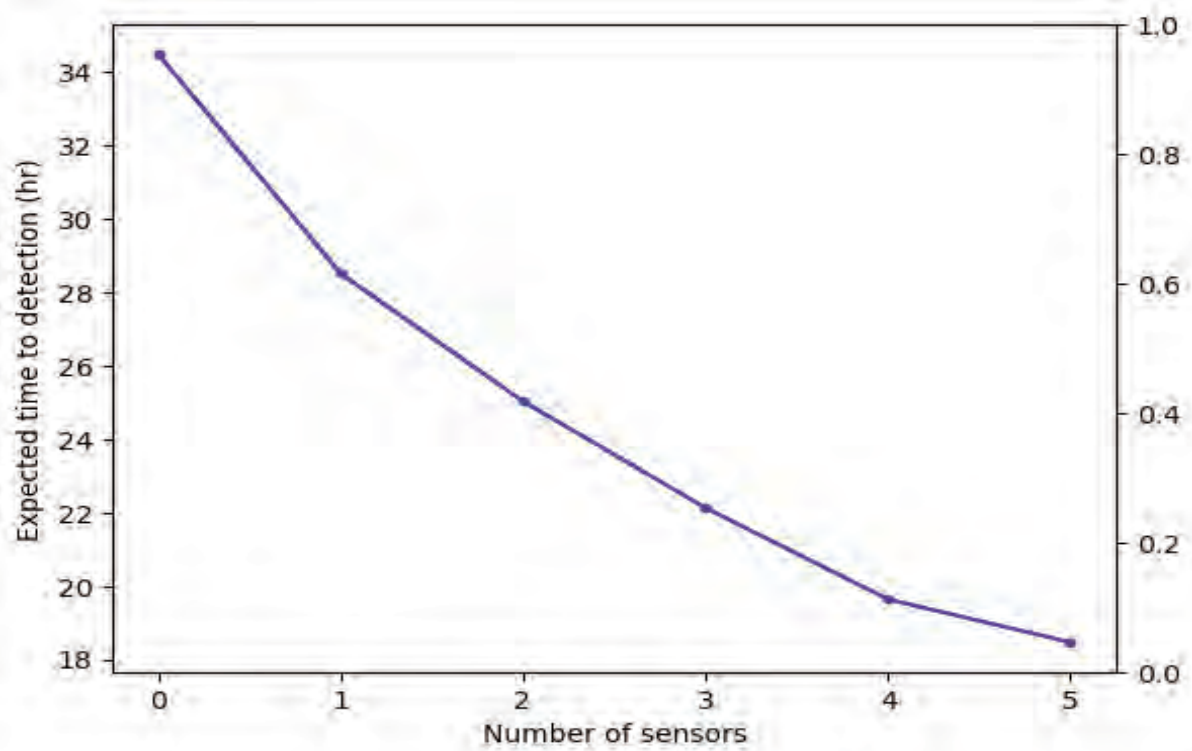


圖 4 傳感器的數量與預期偵測時間的對應圖

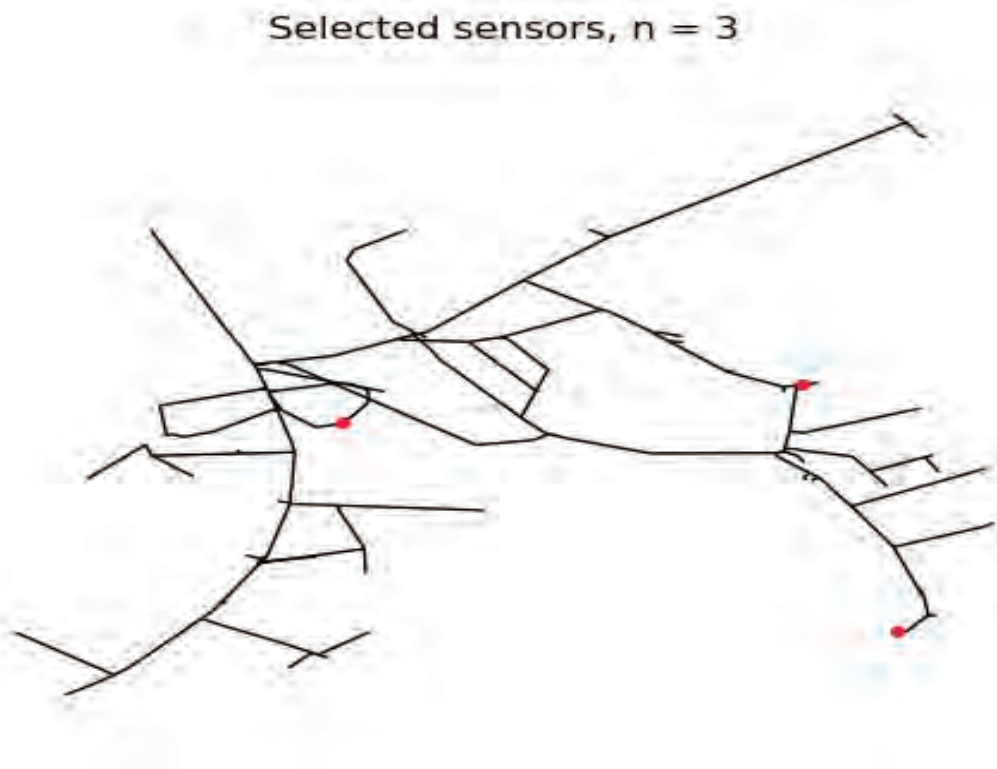


圖 5 S10032 模擬傳感器的佈設位置圖

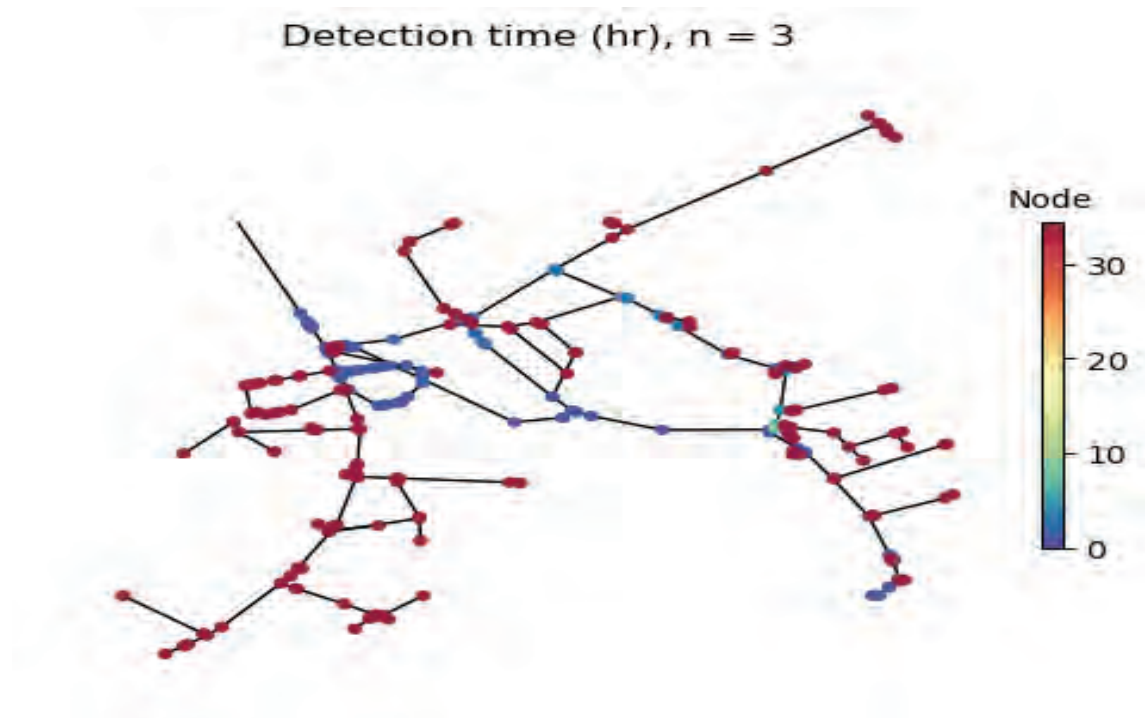


圖 6 S10032 各節點模擬偵測時間圖

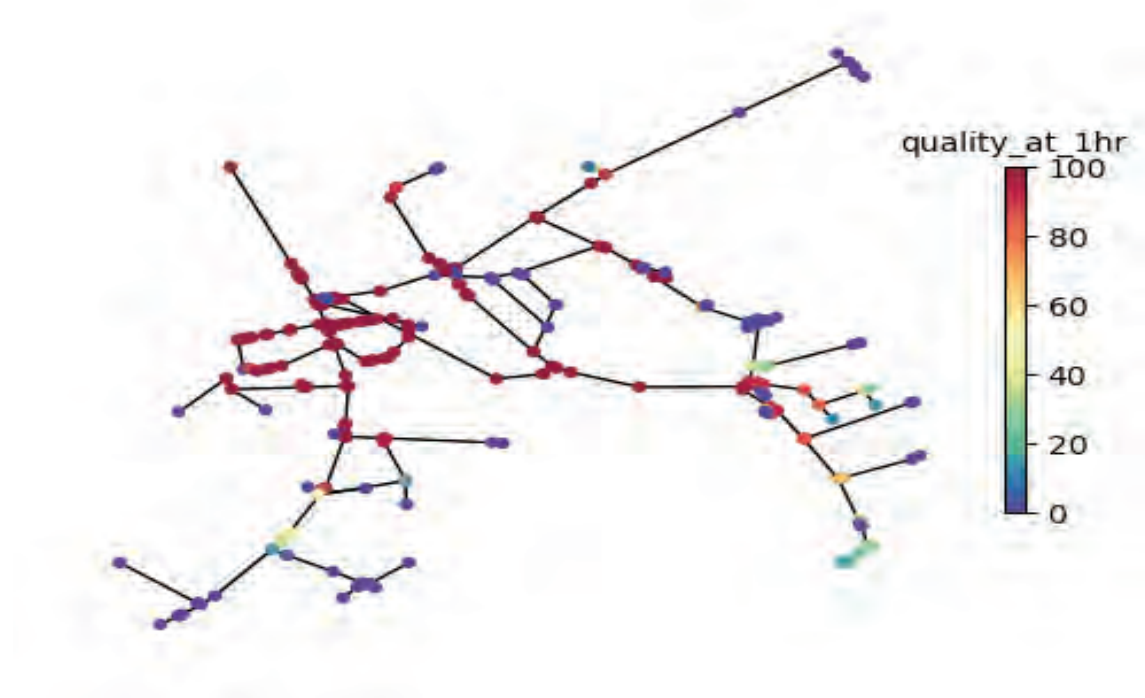


圖 7 S10032 小區 tracer 佈放 1hr 各節點濃度圖

(四)水質污染

WNTR 可模擬水齡(water age)、追蹤物(tracer)及化學污染物在供水管網通過系統傳

播來模擬污染事件，各節點的水質變化情形。以下以 WNTR 來模擬 S10032 小區在取水點佈放 tracer 濃度為 1000 單位，經 1hr 各

節點濃度，如圖 7 所示。

三、結論與建議

- 1.WNTR 係值得採用的開源(open sources)且無償套裝軟體，它在 Python 平台可客製化構建自訂的供配水管網，藉由分析模擬，結果的時間序列數據加值應用，並可將結果視覺化方式呈現，以利決策研判。
- 2.倘若有完整的管網 inp 檔，用 batch 排程可瞭解整體管網及各小區管網遭受地震的損害情形，這種初步評估可供管理者對於管網的損壞程度，排定修復時程，讓設施盡快恢復功能展現韌性。WNTR 所使用的地震脆弱性曲線未包含地質條件，其影響地震加速度的因素，須驗證功能以符合台灣地域的使用。
- 3.傳感器對於供水系統操作提供即時資訊，但傳感器的建置成本，自來水事業單位也是負擔，優選傳感器的建置數量與地點。桑迪亞實驗室的 Chama 是以空氣汙染物設計開發，能否適用壓力傳感器宜的建置應加以驗證。

誌謝

感謝台北自來水事業處黃裕泰先生、張世勳先生及王超穎小姐提供 S10032 小區的 inp 檔始能完成本文。

參考文獻

- 1.Katherine A. Klise, Regan Murray, Michael Bynum, David Hart, Dylan Moriarty :” Water Network Tool for Resilience (WNTR) User Manual ” ,EPA/600/R-17/264 | September 2017
- 2.American Lifelines Alliance:” Seismic Fragility Formulations for Water Systems-Guideline &

Appendices” ,April 2001

- 3.U.S. Environmental Protection Agency:” EPANET 2.2 User Manual” ,EPA/600/R-00/057 September 2000
- 4.Klise, K.A., Nicholson, B., and Laird, C.D. (2017). Sensor Placement Optimization using Chama, Sandia Report SAND2017-11472, Sandia National Laboratories.

作者簡介

羅健成先生

現職：水利技師

專長：自來水工程規劃設計、水力分析及資料分析

淺談 RC 水池結構伸縮縫之耐震性

文/張民豈、王傳政

摘要

台灣 111 年 9 月 18 日才發生芮氏規模 6.8 之地震，重創花蓮多處公共設施，111 年 10 月 11 日花蓮又發生規模 5.9 強震，當日新聞(聯合報)即出現斗大之標題「今年規模 5 以上地震已 55 個，氣象局：台灣進入地震活躍期」。而台灣各地自來水系統中之大型鋼筋混凝土(RC)水池，平時除肩負區域穩定供水之重責大任，在地震發生後更需維持災後緊急維生系統功能。

由於大型水池的伸縮縫常因損壞而發生池水滲漏，本研究將對於大型 RC 水池結構伸縮縫之設計需求及伸縮縫在地震力作用下之耐震性，進行探討並提出相關設計建議，以因應未來台灣可能進入地震活躍期。

關鍵字：水池伸縮縫、耐震

一、前言

111 年 9 月 18 日台灣又發生芮氏規模 6.8 之地震，造成花蓮縣崙天、高寮兩大橋斷裂倒塌及玉里鎮 1 間三樓透天倒塌；由經濟部中央地質調查所在 2021 年公布之台灣活動斷層分布圖顯示，目前台灣已存在 36 條活動斷層(圖 1)，因此造成台灣地震頻繁；故要找到可避開地震地點可興建之自來水設施，實在困難；故需採行合適之結構型式及確實進行結構耐震設計因應，防止震災造成自來水設施損壞。

回顧台灣在 2016 年 2 月 6 日發生規模 6.4 之高雄美濃地震，造成台南市永康、新

化、東區皆有大樓倒塌，其中又以台南市永康區維冠金龍大樓全倒最為嚴重，除造成 115 人死亡，亦壓毀地下 $\phi 2000\text{mm}$ 輸水幹管，使台南約 5 萬戶暫時停水。另外由新聞報導得知，有幾位民眾死亡是因大樓倒塌後陷入地面，造成水管破裂，因大量漏水造成密閉空間淹水而死。我們驚覺，因為天災造成之自來水設施損壞，不僅使區域供水中斷，亦可能因大量漏水快速流入民宅(局限空間)，危害人民生命及財產安全，造成二次災害。

斷層名稱

1 山腳斷層	13 初鄉斷層	25 車瓜林斷層
2 湖口斷層	14 九芎坑斷層	26 旗山斷層
3 新竹斷層	15 梅山斷層	27 潮州斷層
4 新城斷層	16 大尖山斷層	28 恆春斷層
5 獅潭斷層	17 木屐寮斷層	29 米崙斷層
6 三義斷層	18 六甲斷層	30 嶺頂斷層
7 大甲斷層	19 觸口斷層	31 瑞穗斷層
8 鐵砧山斷層	20 口宵里斷層	32 奇美斷層
9 屯子腳斷層	21 新化斷層	33 玉里斷層
10 彰化斷層	22 後甲里斷層	34 池上斷層
11 車籠埔斷層	23 左鎮斷層	35 鹿野斷層
12 大茅埔-雙冬斷層	24 小崗山斷層	36 利吉斷層

(經濟部中央地質調查所 110 年公布)

圖 1 台灣 36 條活動斷層

自來水設施中除了上述之大型輸(配)水管線爆管，易釀成災害外，而位於全國各地負責區域供水調度、保持供水穩定之大型配水池，亦可能因震災造成伸縮縫破壞，大量水體傾洩而出。如民國 88 年發生 921 大地震

時，本公司位於台中市太平區光興路之 1.8 萬 m^3 腦館配水池，因配水池子結構間發生相對位移，造成伸縮縫被拉開而破壞，造成內部蓄水大量傾洩而出，並掏空水池部分基礎(圖 2)。



圖 2 RC 水池之池頂、池底伸縮縫損壞

「水池滲漏修復工法之探討」^[1]研究指出，…伸縮縫容易在結構受外力錯動或材料老化後由接縫處開始滲漏。由於近年來因結構分析設計軟體普及及設計技術提升，水池結構已盡量避免設計伸縮縫，且為減少水資源的流失，台水公司已積極檢討池體伸縮縫修漏及維護工作，如中工處 108 年委託辦理「配水池池體伸縮縫設計、施工及修漏維護方式檢討研究」^[2]；惟目前新設水池伸縮縫及舊有水池之伸縮縫維修工作，僅以達成平時防漏功能為目標，尚無考量伸縮縫之耐震性能及保全措施。本文將探討水池結構伸縮縫設置之必要性，考量地震力作用下，水池伸縮縫之抗震對策，俾對伸縮縫漏水問題治標兼治本。

二、RC 水池結構伸縮縫之設計需求

(一) 混凝土結構伸縮縫需求

由於混凝土凝結初期或硬化過程中會出現體積縮小現象，且混凝土在溫度發生變化時亦會發生收縮或膨脹；然而，混凝土不是彈性物質，因此它不會彎曲或拉伸，所以在膨脹和收縮過程中會移動。如果所發生的收縮或膨脹受到束制，就會對混凝土造成損害^[3]，包括受束制情況下的冷收縮/熱膨脹及受束制的乾縮(Restrained Shrinkage)。因此現場澆置之鋼筋混凝土連續結構，如大型地坪、池牆、基礎版等大面積混凝土施工，均容易因溫度收縮應力引致混凝土發生裂縫。此類結構除非設置永久伸縮縫(工作縫)釋放溫度應力，否則無法避免裂縫產生，亦可見於大型建築物、橋樑、人行道及管道系統等，藉由設置結構伸縮縫，容許位移來減少應力產生。

黃然^[4]研究指出，水泥質複合材料的體積變形可分為隨時間成長所造成的體積變形與立即變形兩大類，其中以隨時間成長的體積變形最為重要，對於構造物的安全性及耐久性影響甚鉅，可分為沉降收縮、塑性收縮、自體收縮、化學收縮、乾燥收縮及潛變等 6 種，其中以自體收縮和乾燥收縮具有較大的影響；該研究最後並依據材料試驗建議降低水灰比(水膠比)、降低孔隙水的表面張力、收縮補償及改變孔隙大小等 4 個方法，改善混凝土收縮與開裂的行為。

本公司早期設計之大型矩形配水池結構，除考量大面積之混凝土結構容易因收縮(膨脹)應力發生裂縫，亦因缺乏三維應用結構分析設計軟體。故大型矩形水池之結構型式，大部分採組合型結構(如圖 3.沙鹿台中港配水中心 4 萬 m^3 配水池)，係由數個小型之

矩型水池(約 2000~3000 m^3)所組成，而各水池間再以伸縮縫相接；其小型之矩型水池則以簡易結構計算分析設計，或參考以往設計案例，故組合型水池結構設置多條縱橫交錯之伸縮縫。惟水池生命週期內，常因地震、不均勻沉陷等原因，造成水池子結構發生位移或碰撞，數年後常易發生伸縮縫損壞漏水情事。

近年拜電腦軟、硬體等資訊科技突飛猛進之賜，目前市面上三維之非線性土木結構分析設計軟體，不僅非常普遍且功能強大，進行全尺寸之大型矩形配水池結構分析設計已非難事。而對於混凝土凝結硬化過程中之行為，亦因許多專家學者之努力與貢獻研究成果，使我們知道在設計較大面積之結構體時，可事先計算混凝土乾縮及溫度差異產生之應力，設置防水伸縮縫。

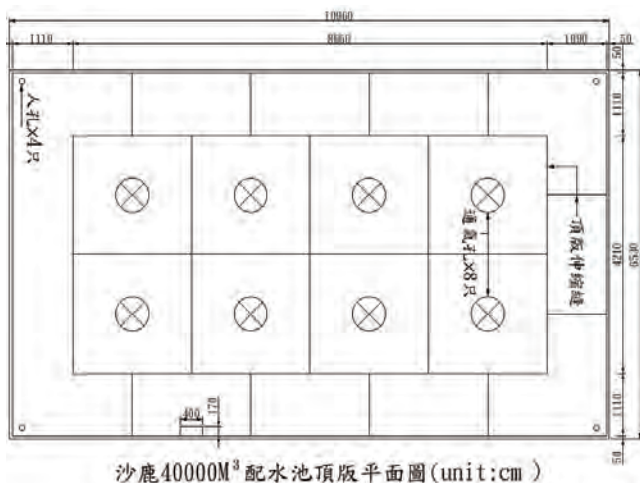


圖 3 沙鹿台中港配水中心 4 萬 m^3 配水池

(二)混凝土結構設置伸縮縫規定

有關設置伸縮縫規定，「自來水設施耐震設計指南及解說」^[5]指出，…伸縮縫的安裝需配合灌築混凝土之施工步驟，以防止混

凝土因乾縮龜裂或溫度變化而產生與伸縮縫接合處的應力集中。在結構較弱的部份，地震時容易產生相對變位而吸收地震能量，然而貯水結構水密性要求較高，因此除結構體必須設置在堅固基礎之外，水池內應盡量避免裝設伸縮縫。通常會每隔 20~30m，設置伸縮縫，此間隔長度之目的是為了使膨脹性水泥充分與伸縮縫密接；而「自來水設備工程設施標準解說」^[6]亦說明，…為減少混凝土因乾燥收縮及溫度伸縮而裂損，每 20~30m 左右應設置伸縮縫；另外 ACI 350.4R^[7]指出伸縮縫常是造成池狀結構長期使用後產生漏水問題的主要原因之一，…，通常僅在一般牆體水平長度超過 45 公尺之大型水池或是幾合形狀不規則之水池設置伸縮縫。

目前台水公司對於伸縮縫設置方式，建議參考 ACI 350.4R 規定，對於非常長之結構(通常大於 45 公尺)始予設置，並依「自來水設備工程設施標準解說」之建議，每 20~30m 設置一道。另為強化伸縮縫之結構強度，減少地震下之破壞情形，伸縮縫兩側增設鋼棒銜接，一側並設置套管以利池版之伸縮。

三、RC水池結構伸縮縫之耐震性探討

目前除大型 RC 水池結構，因應溫度變化及混凝土收縮，設置伸縮縫外，其他如提供人車通行之橋樑結構，及分期興建或鄰接之建築物亦有設置需求。而設置伸縮縫除將相鄰結構斷面完全隔離，允許相鄰結構可自由移動外，仍需保留原整體構造物之功能(如水池蓄水、橋樑可人車通行、鄰接建築物通行及防水性等)，並需依相關規範規定檢討伸

縮縫之耐震性，以避免其成為地震發生時整體結構之弱點。

目前台水公司新建池狀結構伸縮縫均已設計止水帶，防止接縫處漏水，再於溝槽表面以水池樹脂填縫劑填塞防水，並在伸縮縫兩側增設鋼棒銜接，一側並設置套管以利池版之伸縮，以強化伸縮縫之結構強度，詳圖 4、5 所示；另考量地盤發生不均勻沈陷時，則水池底板接縫處設計加大之斷面形成托座，詳圖 6 所示；惟大地震發生時，上開伸縮縫兩側增設之銜接鋼棒，只能抵抗平行伸縮縫之錯動。倘地震方向垂直於伸縮縫方向，則無法防止水池伸縮縫之變形(拉開)作用。

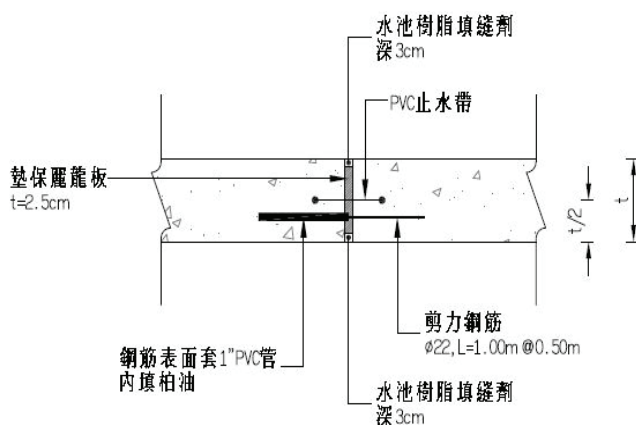


圖 4 水池頂版伸縮縫參考圖



圖 5 伸縮縫止水帶及銜接鋼棒施工

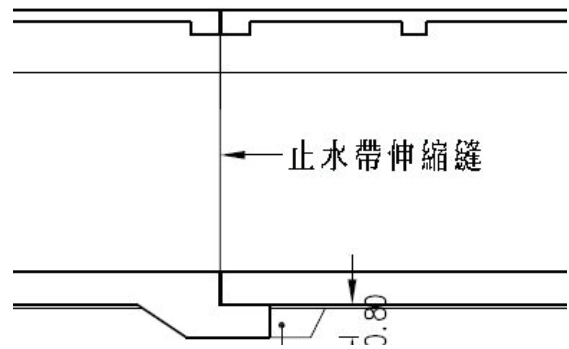


圖 6 水池底板伸縮縫處設計斷面

而 Khanmohammadi (2017)[8]等人以 1:30 縮尺寸雙對稱水池結構（垂直及水平各設一伸縮縫）以不同狀態（有無覆土、池內空池或滿水）進行振動台實驗研究，實驗結果顯示沒有因池體部分之扭轉而對伸縮縫產生任何影響，因此池體各部分之伸縮縫的相對位移可以忽略不計；惟張民豈、潘吉齡、蔡佩勳 (2022)[9]等人以三維非線性分析數值軟體 (FLAC 3D)，分析含伸縮縫之大型鋼筋混凝土水池（長*寬*高:150m*70m*5.7m），在地震力作用下的動力行為。發現當基地下岩盤承受正弦函數 0.5g 加速度時，池底板發生最大加速度反應約比岩盤發生最大加速度時間延遲約為 0.2 秒，此應為地震波從岩盤傳遞到水池底版的時間（圖 7）。同時由圖也可看出，底版之最大加速度可達 1.27g，約為岩盤的最大加速度 0.5g 的 2.5 倍。

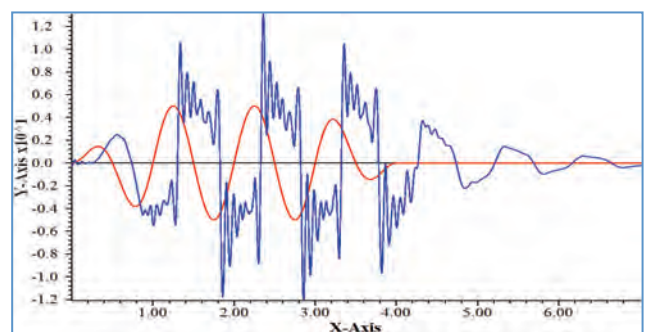


圖 7 岩盤地震(紅色)與池底板(藍色)加速度歷時(單位: m/s^2)

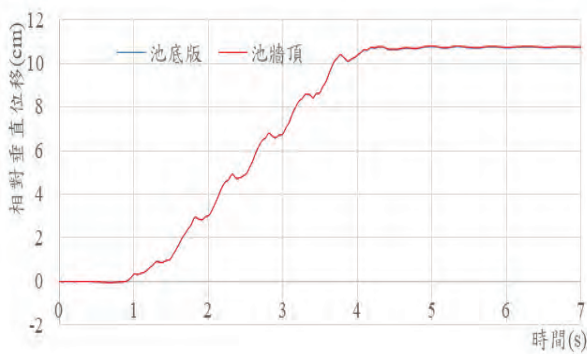


圖 8 伸縮縫兩側節點之相對水平位移

故雖然分析之水池為對稱結構，牆頂與池底版之相對位移曲線幾乎重疊；但在模擬之地震結束後，伸縮縫兩側之牆頂及底版卻仍發生約 10 cm 之相對位移(圖 8)。由以上分析結果顯示，地震時鄰接水池之相對位移過大，應增設水池相對位移限制設施，避免水池因大地震時伸縮縫破壞，大量蓄水傾洩而出，造成二次災害。

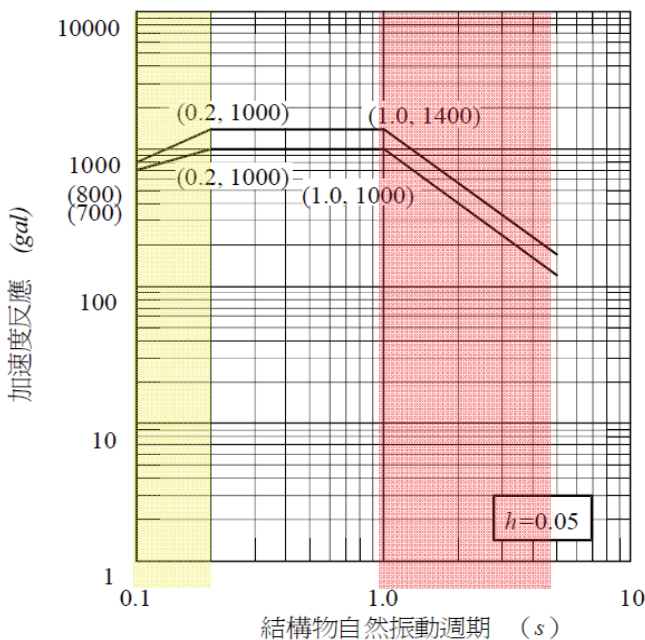


圖 9 第二類地盤加速度反應譜 (第 2 級地震)

另外；目前業界分析水池大都不考慮伸縮縫存在，直接以整體水池進行結構分析設計，倘整體水池之自然震動週期，位於加速

度反應譜中之加速度遞減區(圖 9 紅色區)；此時計算之水平震度係數將低估實際值，建議需再考慮分析伸縮縫存在之水池結構，以計算實際水池結構之水平震度。

四、水池伸縮縫抗震設施

由於發生大地震時，倘水池周邊之覆土深度較淺、或因夯實不確實造成束制較小，則伸縮縫兩側之振動單元可能發生過大之相對位移，將使伸縮縫有被拉開之危機；除可設置容許較大位移量之伸縮縫因應外，否則應增設水池相對位移限制設施，避免水池因大地震時伸縮縫破壞，大量蓄水傾洩而出，造成二次災害。

(一)內置式水池伸縮縫相對位移限制設施

此型式之抗震設施，由於隱藏於水池結構內，故不占用水池空間及影響周邊連結之管線，故需於水池新設時即一併施作，遇大地震受損後修復不易。以下介紹三種型式：

1.伸縮縫兩側池底板增設高拉力鋼索，連接兩側底板，安裝時連接鋼索為鬆弛狀，拉直後可提供伸縮縫之位移量，並藉由鋼索抗拉強度抵抗地震力，避免伸縮縫拉開。

(圖 10)

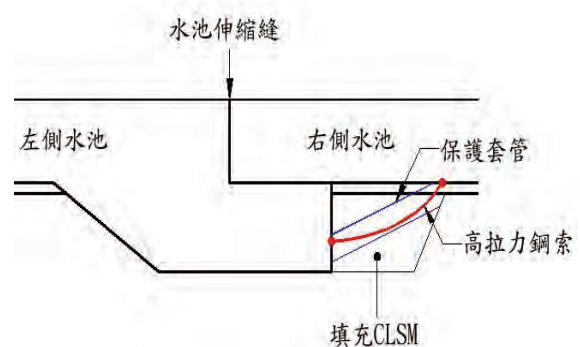


圖 10 伸縮縫兩側池底板增設高拉力鋼索

2.改良目前 RC 水池伸縮縫兩側設計之銜接鋼棒，於活動套管末端增設位移限制裝置，其功能如同橋梁之防震拉桿。平時因混凝土之乾縮或溫差可允許發生小位移，當地震達位移極限時，則由鋼棒抗拉強度抵抗地震力(圖 11)。

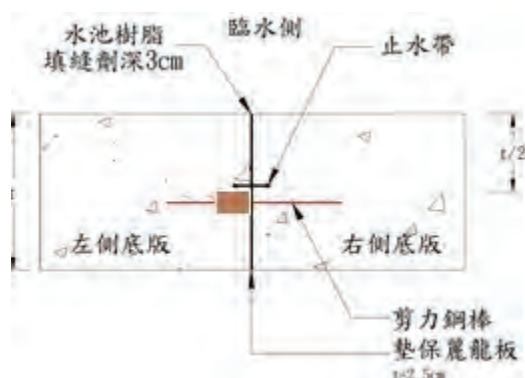


圖 11 伸縮縫兩側銜接鋼棒增設位移限制裝置

3.在伸縮縫旁側增設垂直向之止震鋼棒，利用鋼棒外緣包覆可壓縮材料(保麗龍、橡膠)，提供伸縮縫之位移量，惟當位移達極限時，則由鋼棒剪力強度抵抗地震力(圖 12)。

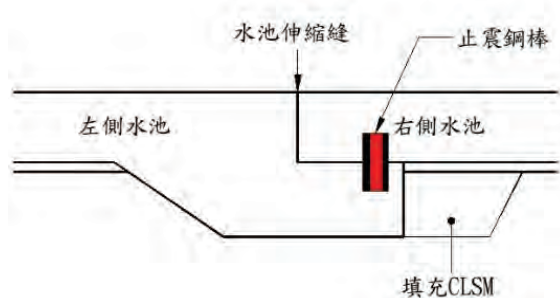


圖 12 伸縮縫旁側增設垂直向之止震鋼棒

(二)內置式水池伸縮縫相對位移限制設施

此型式之抗震設施，由於為外加結構(構件)，不限於水池新設時一併施作，故亦可應用於既有水池之耐震補強，且遇大地震受損後可再修復；惟其需占用水池部分空間，且

於既有水池外施工抗震設施，易受周邊連結管線之限制影響。以下介紹三種型式：

1.於伸縮縫表面增設高拉力不鏽鋼蓋板，連接伸縮縫兩側底板，並在不鏽鋼蓋板單側設置滑動槽(長度同伸縮縫)，由固定螺栓在滑動槽內之位移量，限制伸縮縫拉開，藉由不鏽鋼板拉力強度抵抗地震力，亦可配合設置止水橡膠，增大伸縮縫位移量(圖 13)。

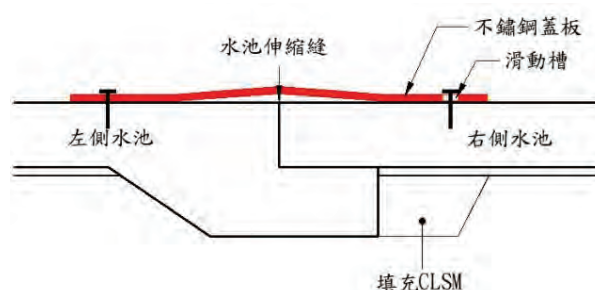


圖 13 伸縮縫表面增設不鏽鋼蓋板、止水橡膠

2.於池牆外部打入比池底更深入之擋土柱(排樁)，限制池底滑動面之活動範圍，避免伸縮縫拉開。藉由擋土柱(排樁)剪力強度抵抗地震力，惟施工時易受水池周邊連結管線之影響(圖 14)。

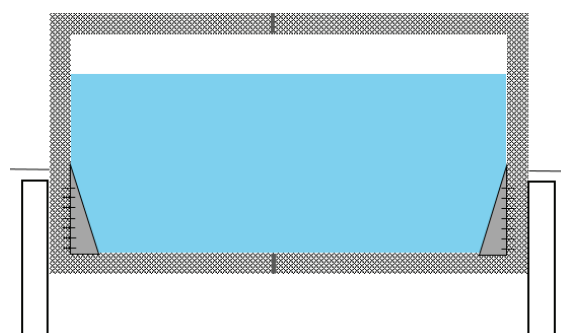


圖 14 池牆外部打設擋土柱(排樁)

3.水池外部以預力鋼纜或 RC 結構牆圍束，藉由預力鋼纜(RC 結構牆)之圍束強度抵抗雙向之地震力，避免伸縮縫拉開。由於工



程費用高，較適用於設置大量伸縮縫之舊有大型組合水池之耐震補強(圖 15,16)。

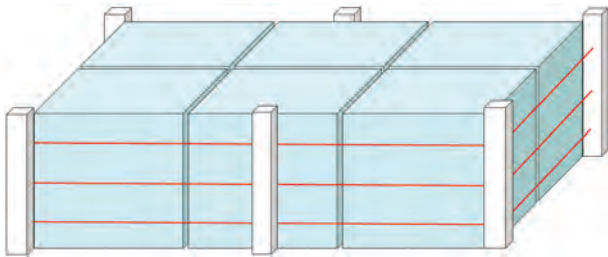


圖 15 水池外部以預力鋼纜圍束

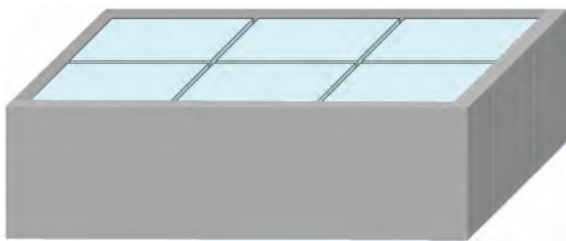


圖 16 水池外部以 RC 結構牆圍束

五、結論與建議

由於地震發生時，當伸縮縫兩側之振動單元發生過大之相對位移，將使伸縮縫有被拉開之危機；因此，對於新設之水池結構，我們建議進行以下措施，避免未來產生水池漏水問題。

- 1.新設水池結構，應盡量採規則且對稱之結構設計，則地震發生時，以降低發生池體之相對位移量。
- 2.新設配水池，考量供水操作水頭(高程)後，池體應採最大埋入深度設計；地震發生時，將可有效降低池體發生相對位移量。
- 3.當規劃一座水池之規模大到需設置水池伸縮縫時(水池長度超過 45 公尺)；建議另評估設置二個(或以上)獨立結構無伸縮縫池體，將有利於後續水池操作維護及清洗，而無伸縮縫池體於施工前，則需詳細規劃混凝土澆置計畫，採分區澆置之施工方

式，有效減少混凝土體積變化產生之裂縫。

- 4.新設水池結構倘需設置伸縮縫，則需再進行設置伸縮縫後之模擬分析，計算地震時相鄰水池振動發生之相對位移，俾利選用合適之伸縮縫寬度及止水帶規格。並依水池結構之規模及重要性，設置多道安全防線，達成水池需具備之耐震性。
- 5.由於台灣地震頻繁，台水公司為進行相關老舊水池之耐震評估補強，刻正委外辦理「自來水池狀構造物耐震評估及補強方案作業手冊」，後續亦將對設置伸縮縫之既有大型水池結構進行耐震評估工作，以避免因伸縮縫拉開而瞬間洩水，危及鄰近居民之生命及財產安全。

參考文獻

- 1.李嘉榮,吳振榮,徐俊雄,楊人仰,謝榮哲,陳彥翔,2017,「水池滲漏修復工法之探討」,中華民國自來水協會研究計畫。
- 2.林明勝,2020,「配水池池體伸縮縫設計、施工及修漏維護方式檢討研究」,台灣自來水公司中區工程處委託成果報告書。
- 3.楊定良,王起平,黃隆茂,2008,「混凝土修補—材料性質選擇要點(一)」,現代營建,Vol.347。
- 4.黃 然,紀茂傑,林世堂,103.12,「國立臺灣海洋大學混凝土收縮開裂機理及防制技術之研究」,內政部建築研究所委託研究報告。
- 5.中華民國自來水協會,2013,「自來水設施耐震設計指南及解說」。
- 6.中華民國自來水協會,1996,「自來水設備工程設施標準解說」。
- 7.ACI Committee 350, 2004, "Design Considerations for Environmental Engineering Concrete Structures(ACI 350.4R-04)."

8. Khanmohammadi, M., Lotfi Rad, P., & Ghalandarzadeh, A. (2017). Experimental study on dynamic behavior of buried concrete rectangular liquid storage tanks using shaking table. Bulletin of Earthquake Engineering, 15, 3747-3776.
9. 張民豈, 潘吉齡, 蔡佩勳, 李季徽, 顏銘宏, 「含伸縮縫之大型 RC 水池耐震分析與研究」, 第 39 屆自來水研究發表會, 台中, 2022。

作者簡介

張民豈先生

現職：台灣自來水股份有限公司工務處組長

專長：建築橋梁結構設計、自來水土木工程

王傳政先生

現職：台灣自來水公司工務處處長

專長：自來水工程規劃設計、施工

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法

中華民國 105 年 8 月 26 日第十八屆第八次理監事聯席會議審議通過

一、目的

為鼓勵本會會員踴躍發表自來水學術研究及應用論文，以提升本會會刊研究水準，特設置本項獎勵辦法。

二、獎勵對象

就本會出版之一年四期「自來水」會刊論文中分「工程技術」、「營運管理」、「水質及其他」等類別，分別評定給獎論文，每類別以 2 篇為原則，每篇頒發獎狀及獎金各一份，獎狀得視作者人數增頒之。

三、獎勵金額

論文獎每篇頒發獎金新臺幣壹萬元整，金額得視本會財務狀況予調整之。

上項論文獎金及評獎作業經費由本會列入年度預算籌措撥充之。

四、評獎辦法

(一) 凡自上年度第二期以後至該年度第二期在本會「自來水」會刊登載之「每期專題」、「專門論著」、「實務研究」及「一般論述」論文，由編譯出版委員會於每年六月底前，每類別推薦 3-4 篇候選論文，再將該候選論文送請專家學者審查 (peer-review)，每篇論文審查人以兩人為原則。

(二) 本會編譯出版委員會主任委員於每年七月底前召集專家學者 5 ~ 7 人組成評獎委員會，就專家審查意見進行複評：

1. 評獎委員以無記名投票，每類別論文勾選至多 2 篇推薦文章，每篇以 1 分計算，取累計分數較高之論文，至多 2 篇，為該類給獎論文。

2. 同一類別如有多篇文章同分無法選取時，以同分中專家審查總分數高低排序，分數再相同，則由評獎委員以無記名投票方式決定。

(三) 選出給獎論文，報經本會理監事會議通過後公佈。

五、頒獎日期

於每年自來水節慶祝大會時頒發。

六、本辦法經由本會理監事會議通過後實施，修訂時亦同。

衛星定位測量之不確定度估算方式— 「北水試驗」探討與分析

文/黃欽稜、邱子雯、詹士旻、吳順德

摘要

自來水工程埋設管線後使用衛星定位法量測坐標據以產製 GML，相較傳統經緯儀法更為方便迅速，然而衛星定位所得到的坐標卻帶有不確定度（Uncertainty），不同的遮蔽環境、不同時間下的大氣狀況、電離層條件都會使得數據飄移，而且不同的衛星定位技術的不確定度也不一樣，長久以來並無量化的評估方法。有鑑於此，臺北自來水事業處（以下簡稱北水）運用鼎堅公司開發的衛星訊號分流技術，使用同一個衛星接收儀，分流到兩個衛星坐標解算系統，避免不同時候測量的差異性，可比較兩系統的優劣，並以北水開發的演算法，計算兩個系統的不確定度，於長興淨水場 5 個遮蔽狀況不同的場域進行，稱為「北水試驗」，為全臺首次辦理的不確定性互比試驗。互比的對象為國土測繪中心與鼎堅公司的衛星坐標解算系統。

關鍵字：衛星定位、不確定度、RTK

一、背景說明

(一)道路主管的要求

管線單位施工後都需進行測量並繳交 GML 資料，以利道路主管機構建置「公共設施管線資料庫」，內政部規定測量方式可採用全測站（Total Station）法，或實施 GPS 全球衛星定位測量。測量精度方面，各道管均要求管線轉折部位 50 公分、管線直線 30 公

分、設施物 30 公分、孔蓋 20 公分、高程 20 公分。由於地下管線為隱蔽部，只有孔蓋露出地表，因此縣市政府道管單位的抽測都是以孔蓋為主，執行抽測的「裁判」若得到結果與管線單位的平面或高程有 20 公分的差距，即判定不合格。

(二)不確定度的困擾

然而衛星定位對同一處施測，於上下午或不同日的測量結果並不會一致，存在重現性及再現性的問題，即量測不確定度（Uncertainty）。雖然目前衛星定位已經演進到多星系、使用精度更高的 RTK 解算技術，學界或文獻皆稱「公分級」的精度，似乎遠小於抽測容許誤差 20 公分，但 2021 年實際執行全臺管線單位首次大規模的抽測，合格率卻低的驚人，或許部份不合格是定心偏差、桿高誤植、誤用浮點解、坐標系統轉換失誤、甚至測錯孔蓋...等人為的「粗大誤差」，但某些不合格案例可排除人為出錯，似乎是不確定度所引起的漂移，而且管線單位與抽測裁判使用的衛星定位「解算系統」並不全然相同，不同系統的不確定度可能也不一樣，都會有數據漂移的情況，因此不是裁判說了算。

(三)衛星定位的技術

臺灣最常用「公分級」精度的衛星定位系統，為內政部國土測繪中心 e-GNSS，是一種 VBS-RTK（Virtual Base Station - Real Time

Kinematic) 稱為「虛擬基站-即時動態」衛星定位系統，或稱 VRS-RTK (Virtual Reference Station - RTK)，須架設數量龐大的參考站聯合解算，點位密布如同網路，國外也稱 Network-RTK，因國土隸屬政府、長期經營，口碑良好，成為各級政府及道管單位的第一指名^[1]，某些政府機關或道路主管單位，甚至於測量作業規範中直接列為管線單位採用的選項，但是也允許驗證後使用其他民間業者的 VBS-RTK，或者是另一種解算系統: Single Base-RTK，稱為「單基站-即時動態」衛星定位系統，北水處 2022 年委外測量管線施工坐標由鼎堅航太公司得標，他們的系統就屬單基站，也宣稱精度為「公分級」。

(四)國土與鼎堅的 RTK

國土測繪中心的 VBS-RTK(以下簡稱國土)經 TAF 認證為校正實驗室，證書所宣告的不確定度(U 值)為 4cm，然而衛星定位測量受到現場遮蔽情況、天候、電離層、衛星數量及分布等諸多因素影響，與一般校正實驗室廠內環境可控條件，狀況大不相同，因此國土的不確定度不可能都是 4cm。國土未註明使用環境與條件的不確定度並不妥適，且評估方式仍有待商榷。鼎堅航太的單基站 RTK(以下簡稱鼎堅)則未申請 TAF 認證，亦不曾評估系統不確定度，雖深知不確定度對於量測結果有顯著影響，卻難以量化，實際使用其系統，得到固定解的速度比國土快，但鼎堅只能定性的說固定解品質應優於國土，而國土卻經常浮點解、甚至有時久候卻難以獲得固定解，即便如此，國土不確定度是否較大、或品質不可靠，尚待釐清。

二、「北水試驗」的方法

(一)PK 賽的目的

為了比較國土及鼎堅兩者孰勝孰劣、並具體計算不確定度，北水處於長興淨水場內選擇 5 處透空遮蔽情況不同的測點，進行「北水試驗」，即白話的 PK 賽。為國內首次進行的能力評比試驗。本試驗的關鍵在於鼎堅開發了「一套接收天線、送入兩系統」的訊號分流技術，可消除不同時間、天候及衛星狀況導致兩套系統接收不同時間訊號的量測差異，完全比較兩系統之間的解算能力。國外雖有 GNSS 不確定度評估法，例如澳洲 ICSM 指引^[2]，但並非訊號分流技術，仍有不同時刻訊號差異的問題。本研究則由北水處開發了不確定度評估的演算法，可由實測數據定量算出 U 值，做為兩者 PK 賽的量化指標之一，並納入北水處委外標案之規範，用於驗證其他衛星定位系統的表現。

(二)鼎堅的分流技術

鼎堅開發的技術詳圖 1，利用同一個 GNSS 天線接收衛星訊號，再利用訊號分配器分流至兩個衛星接收器，其中接收器 1 登入國土帳號密碼，連接國土的 eGNSS 雲端伺服器，傳來內插的虛擬站訊號，接收器 2 則連結鼎堅的 Ntrip Caster 伺服器，傳來基站同步接收的衛星訊號，透過接收器內建 RTK 演算法(Solver)解算坐標，再存入資料庫內。兩者所得解算值不論是固定解、浮點解、差分解、單點解，皆以每秒鐘 1 筆的紀錄頻率，存入鼎堅的時序資料庫內，可透過其 Dashboard 的 UI 介面下載做後續的分析。其

中鼎堅基站位於北市建國北路與南京東路交口附近的高樓上，距離北水試驗場的基線長度為 4.15km，以實體站與 Rover 同步接收衛星進行求解，國土佈設的多個參考站則相距 50km 以內，透過內插方式得到很靠近 Rover 的虛擬站，進行超短基線求解坐標。

(三)北水的不確定度演算法

衛星定位坐標會得到 E、N、h 三個數值，其中以 h 橢球高的離散程度最大，約為 EN 的 2~3 倍左右，因此 h 決定了坐標的精度，即 h 的不確定度可代表坐標的不確定度。h 為時間序列(Time Series)而且屬於「非穩態隨機過程」(Non-Stationary Random Process)，其平均值、標準差皆隨著時間改變，因此不確定度 U 值為時變性 U(t)，不會是一個定值。北水開發的 U 值演算法詳圖 2，採用「滑動視窗法」，先以最小的 t=14 秒視窗寬度，由原點往右框住視窗內的 h 值，

計算這個視窗內的平均值 $\bar{h}$ ，接下來不停往右滑動，每次滑動 1 格(1 秒)，得出許多 $\bar{h}$ ，接著計算這些 $\bar{h}$ 的平均值 μ 與標準差 σ ，然後擴大視窗的寬度 t，並重複上述的演算，就可得到不同 t 的 μ 與 σ ，將 $\mu \pm 2\sigma$ 連成曲線即為不確定性上下包絡線，定義 U 值為 2 個標準差 ($U=2\sigma$)，也就是 $\bar{h}$ 大約 95% 的機率出現在 $\pm U$ 的區間內，而 U 隨著視窗寬度 t 的增加而變小，兩條包絡線也將逐漸貼近 μ 。

(四)演算法的特性

上述演算法只以固定解進行計算，排除浮點、差分、單點解，與外業人員的做法相同，也只採用固定解，而視窗寬度 t 代表外業人員以 t 秒固定解的平均 $\bar{h}$ 當作該次的測量成果，通常外業人員至少等 15 秒~60 秒，但有時候等待至數分鐘，期能蒐集夠多的固定解，平均後的 $\bar{h}$ 較能消除 RMS 隨機誤差，

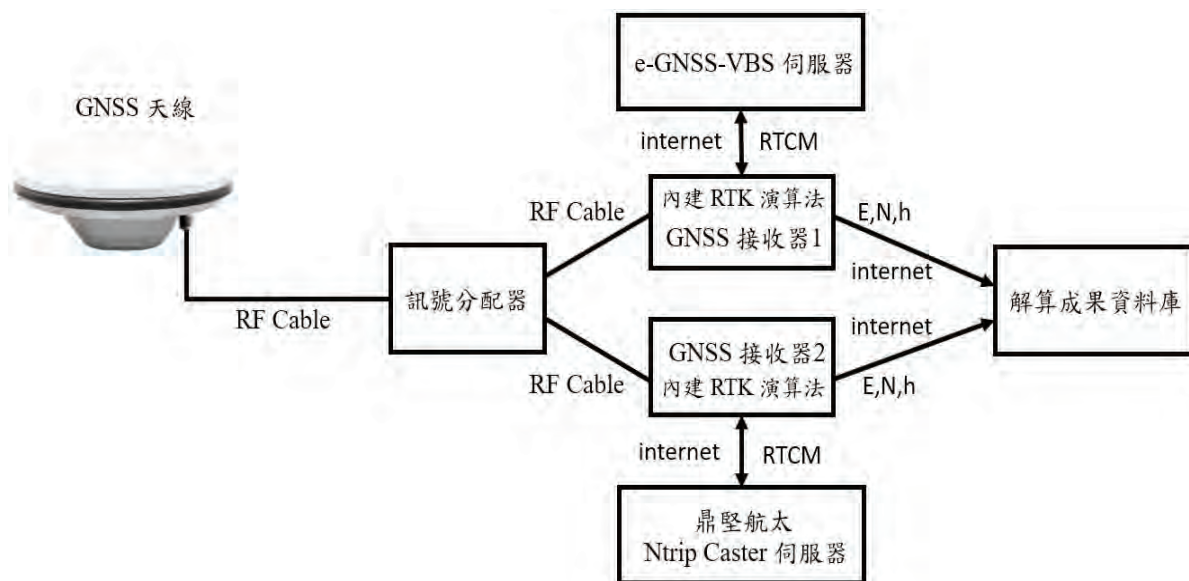


圖 1 鼎堅航太公司開發以同一衛星天線，分流訊號至兩套解算系統的技術

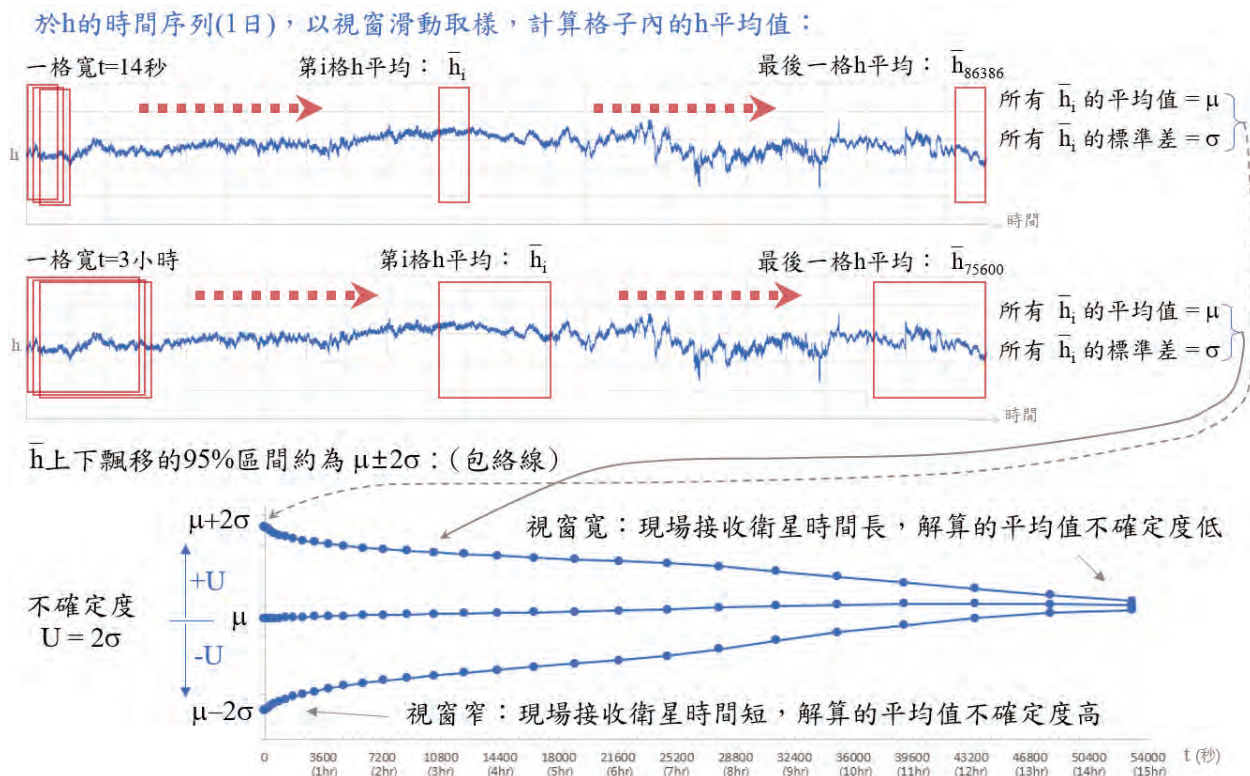


圖 2 北水處開發的不確定度演算法，改變視窗寬度 t 計算不同量測延時下的 U 值

即便如此，等待 1 小時取平均 $\bar{h}$ 仍無法消除不確定度，因為時間序列中心線位置皆有擺動趨勢，下個 1 小時得到的 $\bar{h}$ 仍會飄移，但不確定度較小，除非等待數日至數週取平均，這就是連續測量站 (CORS, Continuously Operating Reference Stations) 消除不確定度的作法。但馬路上的管線定位測量，外業人員交通維持頂多支撐 10 分鐘便會收工，因此 U 值包絡線觀察的重點在於左側「喇叭口」張開的幅度，開口愈大則整套解算系統不確定度較大，被抽測的不合格率較高。

三、「北水試驗」的結果

(一)數據呈現方式

接著透過鼎堅的分流設備並套用北水滑動視窗演算法，於北水長興淨水場內 5 個地點 (圖 3) 比較國土及鼎堅的不確定度，

每個地點至少接收 24 小時的解算結果。其中，EN 值的散佈以點雲呈現於一張二維平面圖，為了讓兩個系統的散佈點錯開、便於觀察、不至於重疊無法識別，國土坐標系統採 e-GNSS 2020、鼎堅採 TWD 97。而 U 值包絡線則以橢球高 h 套入演算法所得，無須事先轉換為正高 H ，因為兩種計算都會得到一樣的包絡線，喇叭開口大小完全相同，只是平移罷了。並繪出 24 小時 h 的固定解時間序列走勢圖供參考。

(二)5 處測點的結果

每個試驗場地均擷取 24 小時的數據進行分析、繪圖。詳圖 4~圖 8。不確定度受現場遮蔽的影響很大，兩個解算系統也有不同的特徵，以下分別說明各測點的結果：

1.一線天：淨水單元之間 (2022 7/25 14:50~7/

26 14:20)。圖 4 的左圖為解算值於 EN 平面的散佈圖，呈現橢圓分布，由於往天頂投影的 SkyPlot 透空區為東北-西南走向，衛星不會被擋住，此方向的解算不確定度較小，而坐標點往地面投影，與 SkyPlot 投影方向相反，所以 EN 離散方向也為東北-西南走向。圖 4 的右下圖顯示國土 h 跳動比鼎堅更顯著，因此右上圖包絡線的開口比鼎堅寬，國土以 10 分鐘固定解取平均的不確定度(U_{10min})已高達 8.8cm，而國土 TAF 證書中所宣告的 $U=4cm$ ，則必須量測 4 小時再取平均才會達到。



圖 3 「北水試驗」的 5 個試驗場地

2.開闊天：供水科頂樓（2022 7/30 15:30~7/31 15:30）。該處除了南方低仰角有山丘，其餘透空良好，國土與鼎堅的 EN 散布皆十分接近圓形，但國土卻有 6.5%的浮點解，於圖 5 左圖中(淡灰色點)呈現較大的游走範圍，離散的延伸寬度約 1.5m。橢球高 h 部分，圖 5 右下的時間序列顯示國土跳動幅度較大，不確定度包絡線的開口比鼎堅

略寬，國土的 U_{10min} 約 4.9cm，雖現場無遮蔽，國土仍需量測 30 分鐘再取平均， U 值方能達到宣告的 4cm。

3.開闊天：長興控制室頂樓（2022 8/8 12:00~8/9 12:00）。該址透空狀況比起供水科頂樓更好，SkyPlot 投影圖顯示為完美 Open Sky，兩者散布點雲於 EN 平面呈現極小的圓球狀，鼎堅與國土幾乎全部固定解，然而 h 的解算結果仍是鼎堅較優，由圖 6 右下圖的時間序列，就可約略看出端倪，經過演算法提取不確定度包絡線，如右上圖所示，鼎堅的左側開口極小，而且到右方尖端都維持很窄，國土的開口雖然比供水科頂樓略小， U_{10min} 約 4.8cm，但包絡線右端卻較寬，主要是國土 h 時間序列存在長週期擺動，因此需要 1.6 小時的固定解平均，才能達到國土宣告的 $U=4cm$ 。

4.半邊天：淨水科大樓西北側（2022 8/10 14:00~8/11 14:00）。該址緊鄰大樓一半天空被遮蔽，以西北-東南向較不會擋住衛星，該方向的不確定度較低，如同前面一線天所提到，因 EN 平面坐標往地面投影，正好與 SkyPlot 的投影方向顛倒，故 EN 平面不確定度高的方向正好是西北-東南，圖 7 左圖分布點散開的方向就是西北-東南，而且國土非固定解(淡灰色)高達 13.5%，延伸寬度達 4.2m，鼎堅則全部固定解。在橢球高 h 的部分，也是以鼎堅較優，圖 7 右下的時間序列，鼎堅較穩定，演算法提取的包絡線也較窄，而國土的開口較寬， U_{10min} 約 6.3cm，需收集 2.2 小時的固定解，取平均後才會達宣告的 4cm。

5.樹遮：長興警衛室後方（2022 8/23 9:20~8/24

9:20) 該址天空充滿枝葉，隨風晃動之下，不確定度大幅提升，圖 8 左圖 EN 平面的固定解分布較為離散，國土出現 17.6% 的非固定解，延伸寬度達 5m，就連鼎堅也出現 1.23% 的非固定解。h 時間序列兩者均明顯跳動，演算法提取 U 值包絡線開口明顯放大，國土 U_{10min} 約 10.9cm，甚至需量測 5.4 小時才能達到宣告的 4cm。

(三)單一指標 U_{10min} 的比較

雖然包絡線可充份量化不同等待時間 t 的不確定度，但資訊量仍過多，不易直接互比，若以外業人員堅持等待 10 分鐘測量的條件，即 $t=10min$ 的橢球高不確定度 (U_{10min}) 作為衡量國土與鼎堅的單一指標，值愈小愈好，更為簡潔明瞭，於 5 種透空環境下，鼎堅均優於國土，整理為圖 9。

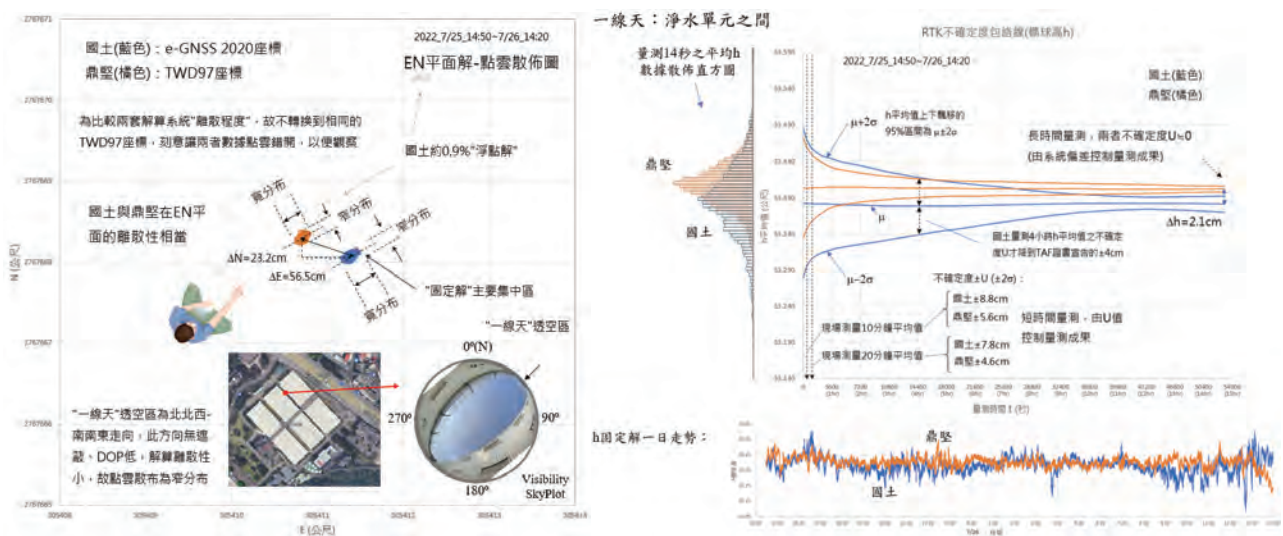


圖 4 一線天：淨水單元之間 (2022 7/25 14:50~7/26 14:20)

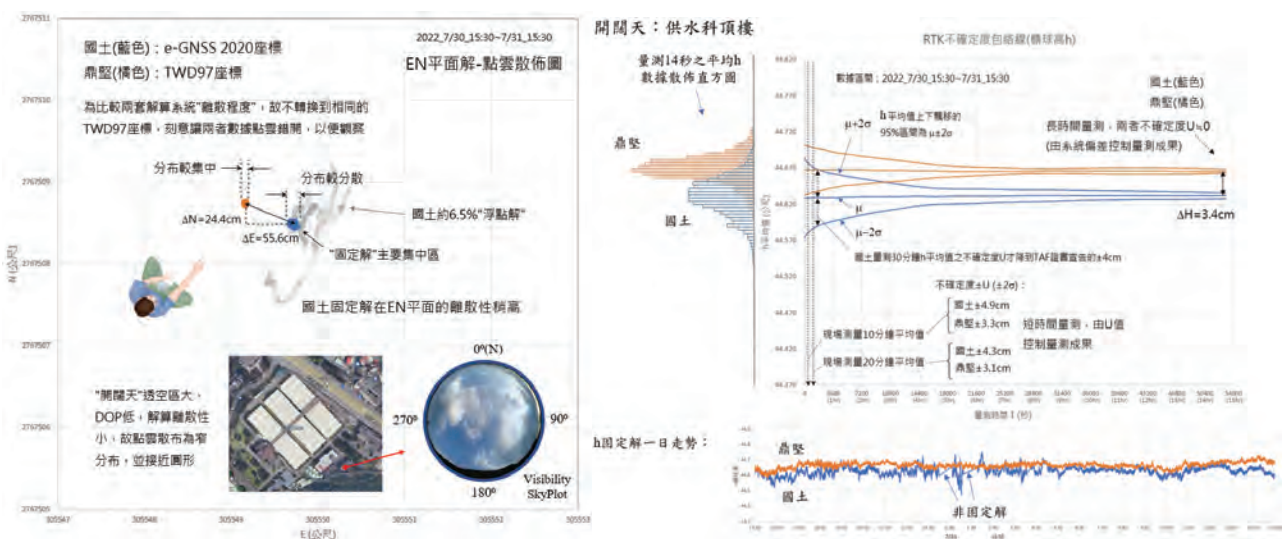
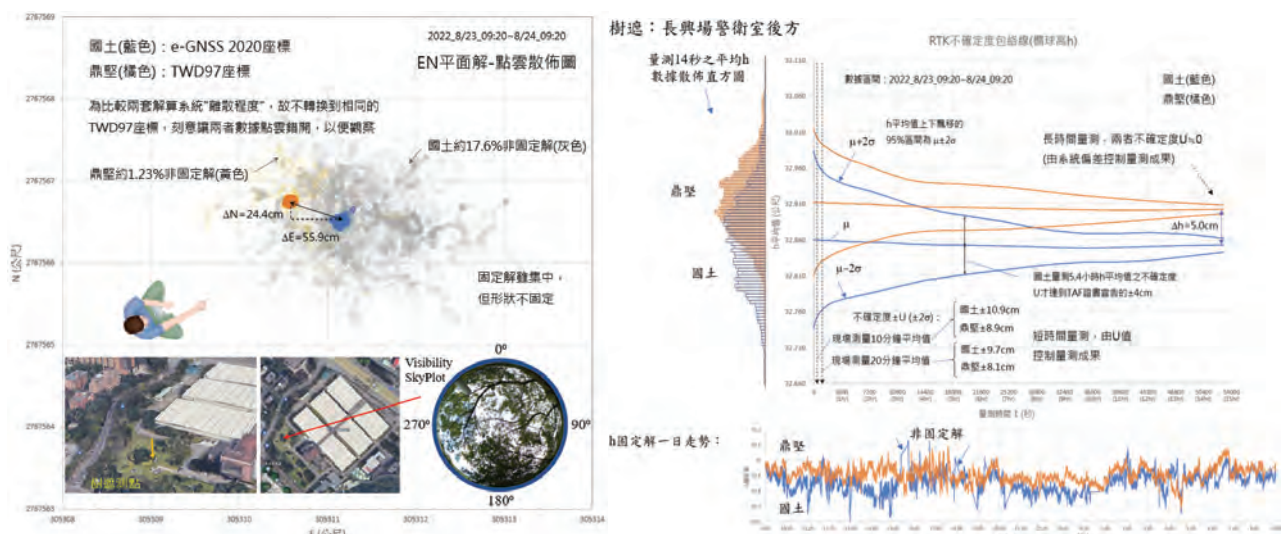
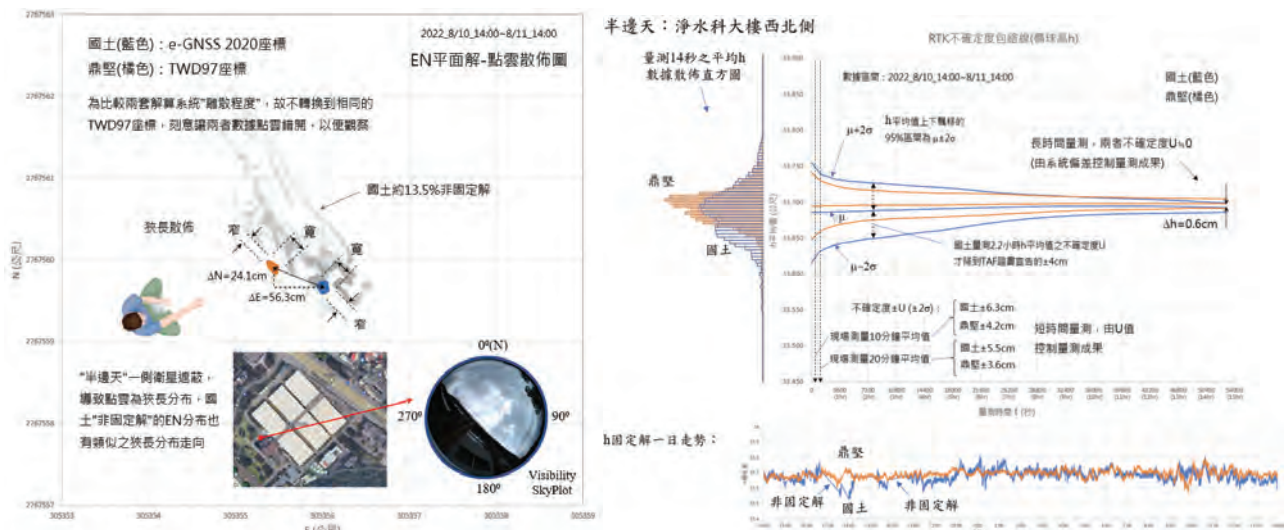
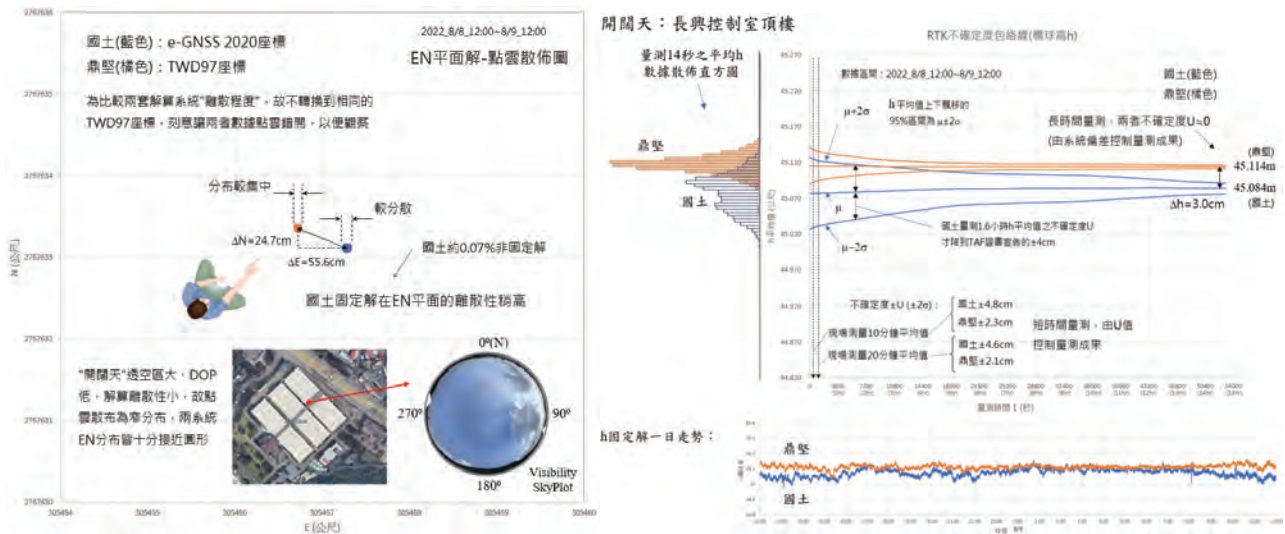


圖 5 開闊天：供水科頂樓 (2022 7/30 15:30~7/31 15:30)



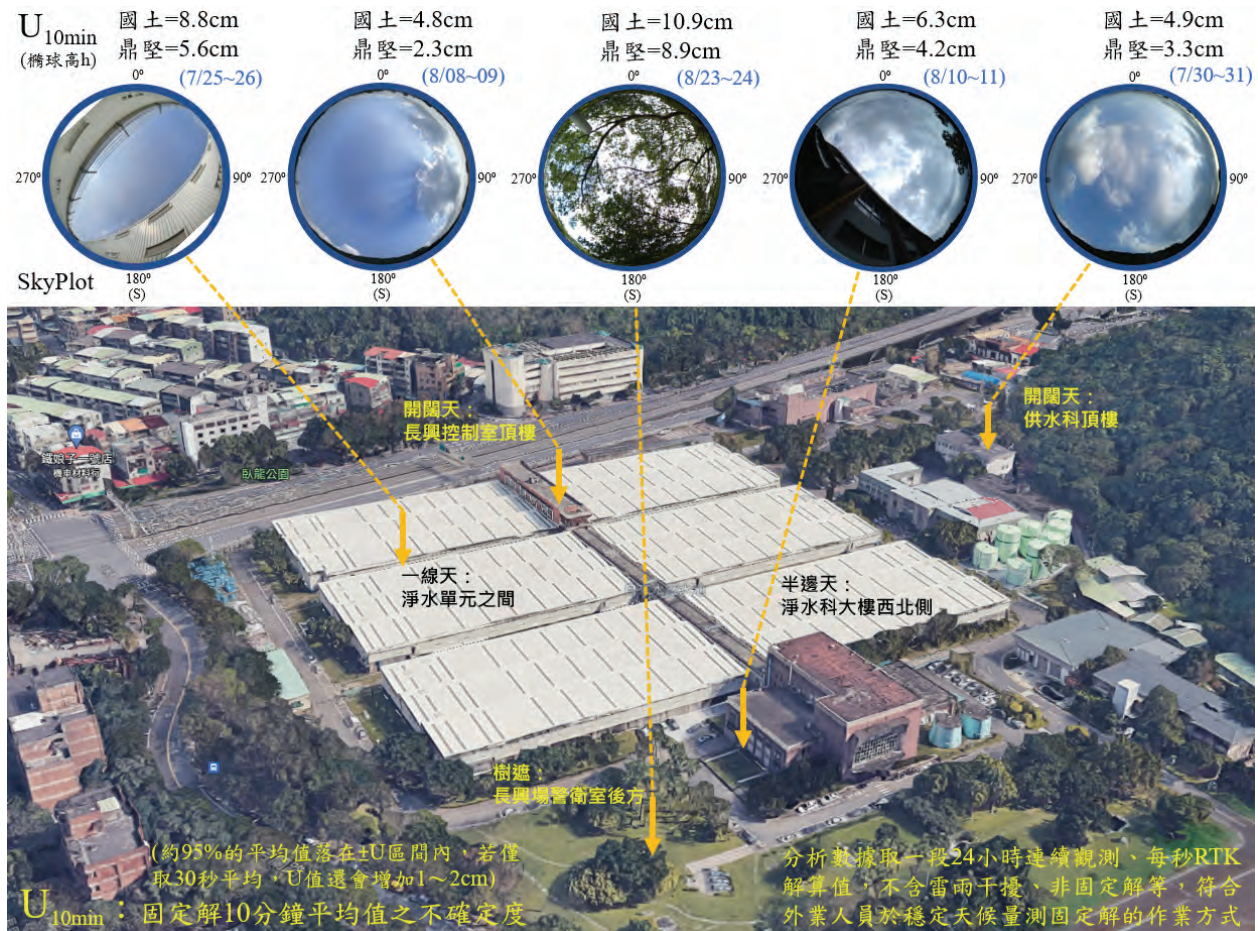


圖 9 以單一指標 U_{10min} 比較國土與鼎堅於 5 個測點之不確定度，鼎堅均優於國土

四、試驗發現與推論

(一)國土偏高的不確定度

國土最糟的不確定度為樹遮下的 10.9cm，似乎只有抽測不合格門檻(20cm)的一半，但由不確定度的定義來看，量測值落於 $\pm U$ 的發生機率為 95%，即帶寬為兩倍 U ($2U=21.8cm$)，當國土自己抽測自己，又通通在人行道樹下作業，很可能就超過 20cm 的合格標準了。如果由國土抽測鼎堅，還要加上兩者的系統性偏差，也很容易發生不合格的狀況。由國土包絡線喇叭口「突擴」的線型， U_{14sec} 通常比 U_{10min} 大了 1~2cm，建議外業人員等待時間應更久，待收集更多

的固定解，所得之平均值將可大大減少 U 值。外業人員出勤時，務必攜帶經緯儀，先由透空良好的「開闊天」取得不確定度較小的坐標，作為基準點，然後用經緯儀以導線量測出待測點的坐標，切勿於雨遮或樹遮下、建物旁半邊遮蔽處，或窄巷及防火巷等地，逕用衛星測量，即便得到固定解，但其不確定度可達 10cm 以上，如不幸又遭遇電離層活動劇烈，i95 指標大於 20 之不利因素，不確定度將更為驚人。不過本試驗使用鼎堅的基站距離北水僅 4.15km，為短基線，誤差放大的情況較輕微，可能是鼎堅表現勝過國土的其中一個原因。

(二)國土解算系統之穩定性欠佳

「北水試驗」也觀察到國土「非固定解」的頻率較高，有時一整日的數據，浮點解、差分解、單點解居然佔了 15% 之多，而大氣擾動或電離層並沒異狀，同一時刻鼎堅皆為固定解。系統不穩問題，為外業人員的惡夢，在車水馬龍的道路中久候不得固定解，作業時遭過往車輛撞擊的意外風險驟然升高。

(三)由星軌看出國土的問題

在不確定度、系統穩定度等方面，為何國土的表現不如預期，由於整個解算系統包含軟硬體，實在很難給出正確答案，但由北水試驗的觀察，有兩項值得國土參考：可能是衛星星系不足，或者是虛擬站內插演算法的問題。透過錄製衛星星軌，國土虛擬站星軌如圖 10，很明顯國土並未接收中國北斗 3 代的訊號，少了一組星系，可能表現略為打折了，據悉，國土各參考站的晶片及軟體尚未升級，雖然衛星訊號收的到，但尚不能處理運用，而 VBS-RTK 參考站數量多，必須每一站都升級才有用，費用較高，相反的，鼎堅的單基站只有一站，很快就完成升級了，成本也相對低廉。此外，由星軌的訊號強度來看，國土虛擬站的內插結果有一個共通的問題，為 Tunnel Vision，以 GPS L1(C/A) 碼為例，如圖 11，天頂至仰角 35 度的內插星軌訊號強度介於 50~55dB-Hz，但仰角 35 度以下，其訊號強度迅速衰弱，僅介於 40~45dB-Hz，而且每個星系均有此狀況，似乎是演算法內插虛擬點所發生的共通問題，當低仰角的訊號偏弱，有可能放大解算值的不確定度。鼎堅則沒有低仰角訊號變弱

的情形，其星軌圖顯示，僅於南方一小塊天空略遭鄰房遮蔽無訊號，如圖 11，問題比國土輕微。即便如此，國土的 VBS-RTK 在其他欠缺民營 RTK 業者的區域，仍保有很大的優勢，因國土的參考站已經布滿臺灣與離島 [3]，使用者只要年費租用帳密，將 Rover 接收的訊號上傳，在臺灣任一個角落都能享有精度優良的雲端 RTK 服務，這概念如同各大雲端業者提供的 SaaS (Software as a Service)。

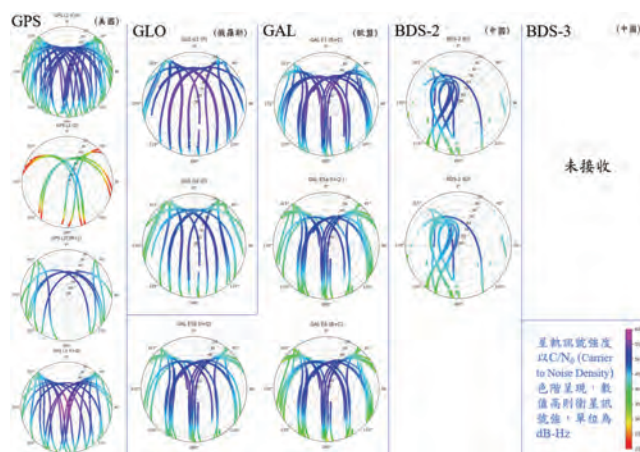


圖 10 國土內插的虛擬站星軌及訊號強度(2022 7/31)，欠缺中國北斗三代星系

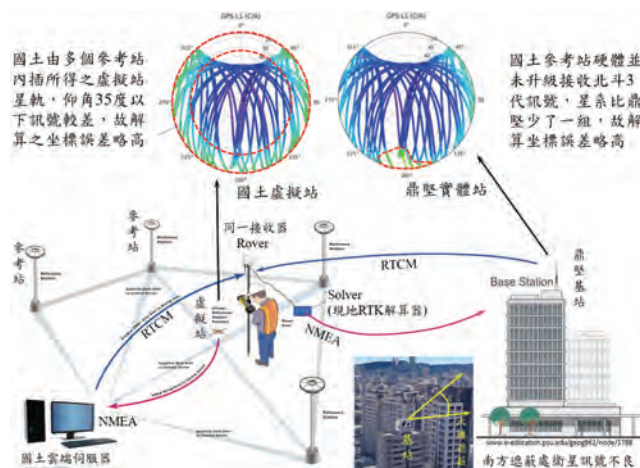


圖 11 國土虛擬站星軌於 35 度以下低仰角訊號強度較低，鼎堅則於南方稍有遮蔽

五、建議

(一)衛星測量業認證制度的建立

由於衛星定位測量就是一種量測行為，每一個廠商或實驗室出具之量測報告，應提供不確定度的資訊（數據飄移、離散程度），以便消費者判斷量測數據的可靠性，當消費者運用量測結果做「符合性」判斷或驗收，不確定度更是衡量驗收通過與否的重要參考，因此國內衛星定位測量產業可參考 TAF 對校正實驗室的認證做法，建立符合衛星量測業的認證制度、研訂不確定度評估方式（如北水演算法）、實施基站坐標追溯，讓管線單位、道管中心或其他消費者有所保障。

(二)衛星測量業定期舉辦互比及交流

各家衛星定位業者也應進行定期的互比，筆者於北水建置流量實驗室並取得 TAF 認證的經驗：建置實驗室很快、但後續的維持很不容易，需定期與國內數家水表商的 TAF 實驗室做量測互比（Inter-lab Comparison），或由工研院量測中心做擂台主，對同一批水表，各家分別測定器差值，再看看哪一家結果離群，可以找出實驗室內引致不確定度的源頭，以圖解決問題，即便國家一級流量實驗室：工研院 NML，也要定期與全球的國家級實驗室進行國際互比，這些活動都是實驗室運營過程必要的，不在於分出高下，而是要發掘問題、解決問題，否則容易陷入自我感覺良好，成果劣化卻不自知。臺灣衛星定位測量界如果能設計互比的機制，定期舉辦 PK 賽、召開賽後研討會，將能一起成長、維持良好的測量精度，提升委託者對於衛星測量定位成果的信心。

致謝

感謝鼎堅航太公司團隊提供儀器設備、人力、支持本研究的進行。

參考文獻

- 1.時佳麟、張瑛興、姚榮昇、謝連達、黃欽稜、黃騰宏、曾美芝、楊凱傑、陳品叡，GIS管線圖資更新機制之研究，臺北自來水事業處110年度自行研究。
- 2.Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping (ICSM). Guideline for Guideline for the Adjustment and Evaluation of Survey Control, Special Publication 1, Version 2.2 (2020).
- 3.內政部國土測繪中心，e-GNSS即時動態定位系統網站<https://egnss.nlsc.gov.tw/>

作者簡介

黃欽稜先生

現職：臺北自來水事業處技術科一級工程師

專長：漏水控制、數值分析、水理模型

邱子雯女士

現職：臺北自來水事業處技術科 圖資股四級工程師

專長：衛星定位測量、GIS 系統應用

詹士旻先生

現職：臺北自來水事業處技術科 圖資股三級工程師

專長：管網改善、衛星定位測量

吳順德先生

現職：國立臺灣師範大學 機電工程學系專任副教授

專長：訊號處理、時頻分析、錯誤診斷

台灣地區重大震災對台水配水管材耐震之探討

文/林子立

摘要

台灣鄰近環太平洋地震帶，並位於在歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊的交界處，地震頻繁，自 1999(民國 88)迄 2022 年的 23 年期間，即發生四次媒體曾大篇幅報導芮氏規模 6.0 以上的地震，並對國際上號稱維生線(Life Line)的自來水供水管線造成嚴重的損壞，筆者均親身參與四次的災後供水復舊工作，希在降低震損的管材選用上提出拙見，供決策者參考。

關鍵字：檢漏、降低漏水、提升售水率

一、前言

臺灣位於在歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊的交界處，地震頻繁，菲律賓海板塊自新生代以來一直朝西北移動，和臺灣的生成有密不可分的關係，但每年 8.2 公分的移動速度，也在東部的花東縱谷、中央山脈、西部麓山帶以及平原區形成一系列的斷層。

筆者自 1982(71)年進入台水公司即從事檢漏、漏水防治及提升售水率的工作迄今，期間 23 年皆參與媒體曾大篇幅報導的四次芮氏規模 6.0 以上，並在國際上號稱維生線(Life Line)的自來水供水管線震損復舊工作，即 1999(民國 88)年 921、17 年後的 2016(105)年台南 0206、2 年後的 2018(107)年花蓮 0206 及 4 年後的 2022(111) 年 0918 池上(玉里)等，對地震破壞既設配水管線有身臨其境的感受，尤其 921 芮氏規模 7 的劇震，

在卓蘭、東勢供水系統，近兩個月的長駐緊急復舊供水為檢漏經驗累積成長期，故在降低震損的管材選用上提出拙見，供決策者參考。

二、作業紀實概述

(一)1999(民國 88)年 921 集集大地震

1999 年 9 月 21 日凌晨 1 點 47 分 15.9 秒發生在臺灣中部山區的逆斷層型地震，總共持續大約 102 秒，全島搖晃。震央位於北緯 23.85 度、東經 120.82 度，處於南投縣集集鎮境內，震源深度 8 公里，芮氏規模 7.3。這場地震肇因於車籠埔斷層的錯動，並且在地表造成長達為 85 公里長的破裂帶、2,417 人罹難，1 個星期內，規模超過 6 的餘震就有 8 次。

由於災區廣泛、供水嚴重受損，台水公司調動 12 個區處的檢漏人力及修漏廠商，約 2 個月方完成緊急復舊的基本供水需求。

筆者時任八區管線隊檢漏技術士，參與 9 月 25 日至 11 月 3 日的第一期四區處卓蘭供水系統及 11 月 7 日至 17 日的第二期石岡、東勢地區等檢漏與緊急修漏復水的工作。

當時如何以檢修漏工法緊急復舊供水的過程，詳參筆者投稿於台灣省自來水股份有限公司台水雙月刊第十七卷第三期(八十九年三月出版)「921 集集大震災區自來水系統緊急檢修漏作業紀實」，謹提供與本探討相關的災損管材(圖 1 至 5)供參。



圖 1 卓蘭系統 ϕ 100-PVCP 內插破裂約 1 公尺長



圖 2 卓蘭系統食水坑 ϕ 150-PVCP 脫接約 20 公分長



圖 3 卓蘭系統食水坑 ϕ 150-PVCP 擠壓變形



圖 4 卓蘭系統 ϕ 100-DIP 接頭碎裂



圖 5 卓蘭系統 ϕ 100-DIP 管體碎裂

(二)2016(105)年高雄美濃 0206 地震

2016 年 02 月 06 日 03 時 57 分位於屏東縣政府北偏東方 27.1 公里 (高雄市美濃區；北緯 22.92 度、東經 120.54 度)芮氏規模 6.6，地震深度 14.6 公里的淺層地震，造成台南市新化 1 次 7 級的劇震，及永康區的維冠金龍大樓 16 層倒塌，並釀成 115 人死亡、96 人受傷，台水公司漏水防治處急調所轄北、中、南區隊及 3 個區處檢漏人力暨多組修漏廠商，不分晝夜積極的檢修漏，並緊急布設 ϕ 1350 DIP 臨時輸水明管供水(圖 6)。



圖 6 台南崑大路緊急布設 $\phi 1350$ DIP 臨時輸水管供水



圖 9 花蓮市中正路 637-1 號 $\phi 200$ -DIP 接頭脫接



圖 7 花蓮市新興路 $\phi 500$ 鋼管扭曲變形



圖 8 花蓮市文化路 102-4 號 $\phi 150$ -PVCP 斷裂

(三)2018(107)年花蓮 0206 地震

2018 年 02 月 06 日 23 時 50 分，由於與琉球海溝的板塊隱沒系統有關，致米崙斷層（Milun Fault）與嶺頂斷層被誘發產生錯動，在花蓮縣政府北偏東方 18.3 公里發生芮氏規模 6.0，地震深度 10 公里，造成花蓮市 1 次 7 級的最大震度，及該市的統帥大飯店大樓一、二樓倒塌、雲門翠堤大樓呈現 45 度傾斜，並釀成多人死傷。

本次地震除 2 條附掛尚志橋 600mm 幹管脫接及扭曲變形受損較嚴重外，尚有多處附掛橋樑、過箱涵等，致花蓮市區及美崙、新城地區停水用戶高達 4 萬戶。自 2 月 7 日至 15 日台水公司急調 12 個區處檢漏人力及多組修漏廠商，不分晝夜積極的檢修漏(圖 7 至 9)，於農曆除夕恢復基本的民生用水需求。

(四)2022(111)0918 台東池上地震

2022 年 9 月 17 日至 19 日發生在台灣台東縣的地震，第一次顯著的前震發生於 9 月 17 日 21 時 41 分 19.1 秒，地震規模 6.6，地震深度 8.6 公里，震央位於台東縣關山鎮，主震發生於 9 月 18 日 14 時 44 分 15.2 秒，

地震規模 6.8，地震深度 7.8 公里，震央位於台東縣池上鄉，造成花蓮縣玉里鎮一棟三層樓房建築倒塌、高寮大橋、崙天大橋斷裂。

本次地震災損的台水供水區域，除 10 區的池上地區外，更嚴重者為 9 區玉里營運所轄管的富里、玉里等供水系統，台水公司急調 13 個區處檢漏人力，並依據 107 年花蓮 0206 地震檢漏經驗所訂定的規範，參與跨區處的檢漏作業組，皆自備可獨立作戰的檢漏儀器設備參與，對無法目視的地下漏水案件，大部分皆可有效的定位，提供後續的修漏作業(詳圖 10 至 15)。



圖 10 富里鄉新興村(77 線) ϕ 100-PVCP 接頭破裂



圖 11 富里鎮寧 60 號前- ϕ 110-ABSP 接頭擠壓破裂



圖 12 富里鎮寧 60 號側- ϕ 110-ABSP 接頭擠壓破裂



圖 13 玉里鎮中華路 6 號 ϕ 100-DIP 折裂



圖 14 玉里中華路 6 號 ϕ 100-DIP 約 0.4M 垂直震幅



圖 15 玉里鎮中華路 6 號 ϕ 100-DIP 垂直震幅折裂口約 8x2 公分

三、既設配水管材探討

由以上筆者參與台灣最近四次大型震災的既設配水管種分析，其在鄰近的斷層帶上：

- (一)PVC(聚氯乙烯塑膠管)，當屬最脆弱的管種，尤其位於套管處的擠壓碎裂或脫接，台水公司所訂的耐用年限為 20 年。
- (二)ABSP(丙烯晴－丁二烯－苯乙烯塑膠管) 塑鋼管於其套管鄰近處，在耐震上仍有其脆弱性，台水公司所訂的耐用年限為 20 年。
- (三)DIP(石墨鑄鐵管)為目前的主力使用管種，惟其接頭及管體處，在斷層帶來回擠壓及對上下左右多角度的劇烈錯動震幅而言，仍可見其脆弱，台水公司所訂的耐用年限為 40 年。
- (四)近期 918 屬震災重度區的富里系統東里小區，其住戶密集區管種為 1996(民 85) 年埋設非套管的英國製 PEP，經查本次震損並無該管種的漏水紀錄，顯示在耐震上屬熱熔接頭的 PEP 為最佳管種，台

水公司所訂的耐用年限為 15 年，惟該管種埋設使用迄今 26 年，追朔尚查無歷史的漏水紀錄。

四、結論

經查現今的高密度聚乙烯塑膠管 (HDPE) 具抗酸鹼、耐衝擊、韌性佳、伸長率、彎曲可撓性優異，小口徑管可捲曲包裝，自配管接合管處至表箱止水栓之間皆無接合處，相對的亦減少漏水處，惟在管線銜接處，採耗時的熱熔工法，處在斷層帶鄰近需具有耐震功能的管種而言，HDPE 確屬可參採的管種之一。

台灣鄰近環太平洋地震帶，如 1999 年 921 數十年逢一次的 20 次頻繁劇震紀錄或 2016 及 2018 兩年間接連出現各 1 次的 7 級劇震，與最近 2022 年 0918 池上(玉里)的震損供水管線，將勢不可避免的永續發生(2018 年花蓮同一米崙斷層帶於 1959 年亦發生 7 級劇震)，如何能於短時間的緊急復舊基本供水，於現今各都會區如火如荼大量建置的分區計量，擇劇震區採用 HDPE，或可驗證其成效。

參考文獻

- 1.林子立，台水雙月刊第十七卷第三期(八十九年三月出版)「921集集大震災區自來水系統緊急檢修漏作業紀實」。
- 2.南亞公司，HDPE管型錄

作者簡介

林子立先生

現職：台灣自來水公司第九區管理處操作課課長
專長：漏水檢測及分區計量診斷與提升售水率

高架水塔改建計畫之研討

文/曾浩雄

摘要

民國 49 年在高雄市五福路與光華路交叉口興建之鋼造高架水塔如圖 1，高架水塔對穩定供水具有相當大之功能(可調節供水增加供水量又可穩定供水壓力)，歷經千辛萬苦才建成之水塔，竟然棄置無法使用，真可謂暴殄天物無以復加。但要以目前高雄區之供水設施將供水壓力提升至 1.6 kgf/cm^2 以上，幾乎是不可能(要全面汰換管線，所費不貲)。

在處於缺水狀態之高雄區增加供水量是目前台水公司當務之急。既然高架水塔因為最低水位太高致無法使用，為何不將水塔水位降低，讓它能發揮功效？改建後之水池可增加共水量達 11,200CMD，可解決即將興建之台積電公司之用水不足之疑慮。何況改建費只需 110 萬元，而且供水 14 天就可收回成本，何樂不為！

關鍵字：水塔、重量、供水量、供水壓力、功效、工程費、可行性。

一、背景說明

長居在高雄市的居民應該都知道五福一路上有一座高架水塔，但可能不知道它並不起任何作用。這座高架水塔是民國 49 年駐台美援顧問團利用美援經費約新台幣五十萬元(當時新台幣五萬元就可在五福路上買一棟三層樓透天厝)，於高雄市苓雅區五福其蓄水量為 $3,800 \text{ m}^3$ ，是為高雄市自來水供水工程之一大建設。



圖 1 高雄市五福路高架水塔圖

但因高雄地區之送水管供水壓力只能維持約 0.7 kgf/cm^2 上下， 1.6 kgf/cm^2 以上之壓力，水才能上升至最低水位。而高雄區之供水壓力只能維持在 0.7 kgf/cm^2 上下，因此水塔建造完成後因水壓不足，迄今無法進水。

若欲使用，則其上游送水管線及下游配水管線必須全部汰舊換新，其耐壓強度需達 3.8 kgf/cm^2 以上。但要全面汰換高雄市區之送配水管談何容易，因此將來使用機會仍然非常渺茫。高雄市政府有鑑於此，乃於 2003 年收回水塔土地之使用權，並拆除水塔四周之圍牆，將此地整建為公園。另透過藝術家將自來水塔重新上漆也打上燈光，賦予自來水公園一個新的開始。

其實當時美援軍團堅持興建該高架水塔，在理論上當然是完全正確，因為設置蓄



水池後淨水場出水可調節社區尖峰與離峰用水，大大減輕淨水場出水量之負擔。但因該處之地面高程為 12m，而水塔之最低水位為 38 m，因此送達該處之操作水頭必須高於 $12 + 38 = 50$ m，才能將水送上水塔，而且在此高壓下自水塔送出之水，會使所有配水管因承受不了該高壓而破管，所以該高架水塔建置完成，迄今均完全無法使用，對供水功能毫無助益。其實日後高雄自來水供水系統也無法承受如此之高壓，因此該水塔也絕對無法發揮其調節供水之功能，除非設法將蓄水箱降低。

二、水塔之尺寸及重量

(一)尺寸

1.水池直徑 28，水池總高度 = 8.18 m，出水高 = 0.6 m。水池材質採用鋼板，其厚度採用 1.0 cm。有效水深 $h = (8 - 0.01 * 2 - 0.6) = 7.56$ m。

(二)重量

1.池頂之總表面積 $A = 821.03 + 117.92 = 938.95 \text{ m}^2$ 。池牆鋼板厚度 = 1 cm，重量 $W = 7.85 \text{ T/m}^3 * 0.01 \text{ m} * 938.95 \text{ m}^2 * 1000 \text{ kg} = 73707.58 \text{ kg}$ 。

2.環繞在水箱的鋼箍採用 150 mm * 75 mm * 6.5 mm U 形鋼，其重量 = $18.6 \text{ kg/m} * 3.14 * 28 \text{ m} = 1635.31 \text{ kg}$ 。

3.懸臂梁採用 8 支 200 mm。其重量 = $21.3 \text{ kg/m} * 14.46 * 8 = 2463.98 \text{ kg}$ 。

4.走道欄杆上下桿採用 2" ϕ 鋼管其重量 = 1278.95 kg。

5.支撐走道三角架採用 50 mm * 50 mm * 4 mm 之等邊角鋼，其重量 = 467.3 kg。

6.曲形梁之重量 = $0.785 \text{ kg/m} * 2 * 3.14 * 8.7 \text{ m} = 42.9 \text{ kg}$ 。

7.支撐架上方水池之總重量 $\Sigma W = 8133287 \text{ kg}$ 。以 81,300 kg 計 = 81.34 噸。

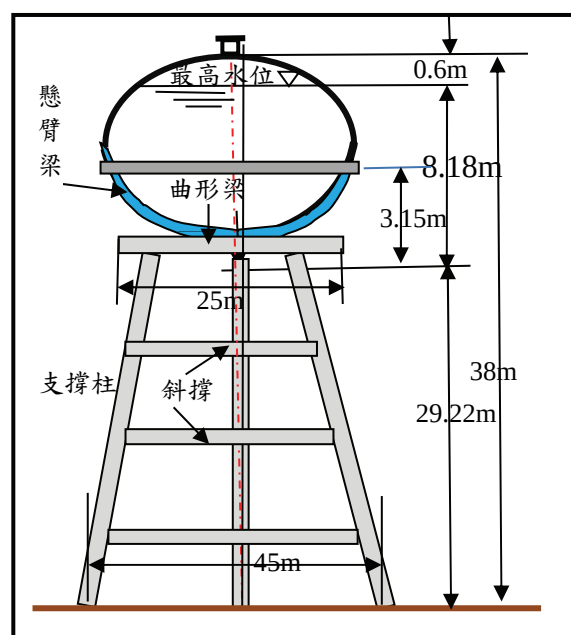


圖 2 高架水塔結構示意圖

8.支撐柱採用 8 支 300 mm * 300 mm * 10 mm 之寬翼 H 形鋼每支撐柱之重量 = $94 \text{ kg/m} * 31.83 = 2992.02 \text{ kg}$ ，8 支共 $8 * 2992.02 = 23936.2 \text{ kg}$ 。橫撐共三層，採用 100 mm * 100 mm * 7 mm 之等邊角鋼 = 9328 kg。合計 33264 kg。

三、水塔之操作水頭

1.從網路透過 Google 查看「高雄市地形地勢海拔」，可查出水塔之地面高程為 EL:12m。水塔之最高水位為 38 m，有效水深 = 8.18 m，因此當地(塔底)管線之操作水頭須達 38m，而水塔之最高水位距離地面 29.82 m ($38 - 8.18$)，因此須有 24m 之剩餘水頭才能讓水上升之最高水位，而當地管線

之操作水頭只約 24 m 亦即剩餘水頭約 10m (24 -14)，與所需之剩餘水頭尚差 14m，以現有高雄市送配水管之狀況而言，將永遠無法達此目標。因此水塔將永遠無法使用。

- 2.去(109) 年台水公司第七區區管理處辦理「109 高雄所分區計量管網委外建置工程分區管網計畫」，由高雄市金獅工程公司得標，本人接受其委辦規劃工作，在委辦過程中金獅公司工作人員曾在高架水塔附近測得其供水壓力=0.74kgf/m²，其操作水頭 = 7.4 m，而高架水塔之水箱有 8.18 m 高，因此水箱底部必須埋入地面下，使其最高水位維持在該處最高壓力之下，亦即最高水位應為 12 m + 7.4 m = 19.4 m。
- 3.從上述計算式中，可知水箱底部必須埋入地面下 12 m-1(9.74 - 8.18) = 0.44 m。

四、水塔之功能

(一)水塔設置位置

- 1.該水塔雄市新興區五福一路與光華路交叉口，該地點是新興區繁華地帶，居民眾多。
- 2.原則上每個工水區均須設置一至數個配水池(視供水面積之大小而定)，五福一路之高架水塔是高雄廣大供中唯一之配水池，其存在誠實難能可貴，現在要在高雄地區覓地興建配水池已完全不可能。
- 3.這座彌足珍貴且屬已高價建造完成之設施，竟然棄置不用，實在是暴殄天物。

(二)水塔可調節之水量

- 1.一般而言，民生用水之尖峰時段約在早上 7 至 8 點、中午 11 至 13 點及晚上 7 至 9

點，亦即每天尖峰與離峰用水都發生三次，因此水塔可調節之水量為其有效容量之三倍=3,800 m³*3=11,400 m³。由此可知改水塔發生調節作用後可增加高雄地區供水量達 11,400CMD。

(三)確定未來水位高

- 1.改善後水塔之水位高應以現場實測壓力結為準。
- 2.在最接近水塔之處選定一是當之測試點(以消防栓為最佳)、可跟弓銓公司租用壓力記錄器，連續三天以上測試管線中之壓力。以連續三天測得最高壓力之平均值做為未來水塔之最高水位。

五、改善方法

(一)降低蓄水水箱

- 1.水塔頂部之蓄水箱重量約 82 噸，故須租用 3 台 50 噸/台數大型起重機(租金約 20,000 元 / 天)，其中兩台負責將水塔分成東、西兩方向予以固定，另外一台負責將焊接工送上水塔支撐柱頂，擔任切/焊支撐柱頂與水塔下方連接處，然後再將尚未焊斷之支撐柱綁住，等其下方也焊斷後再將整根支撐柱吊放在地面上，待全部支撐柱放到地面上後再全部載往台水公司岡山物料存放處。
- 2.現有 1000mm ϕ 進水管同樣焊斷後一起運往岡山物料存放處待用。
- 3.將水塔緩緩降下已鋪設之 PC 座，其下方及其四周宜加鋪透水性之級配並於其下部埋一條多孔 PVC 管(埋置邊溝)，以免下雨時鋼製水箱浸泡在雨水中而腐蝕。
- 4 等全部水塔下方 8 支撐鋼柱及進水管(豎立)



全部焊斷後，再利用起重機將水塔緩緩降下，水塔下降後對整體結構而言反而更加安全(總重量減輕、傾倒力矩更小)。

- 5.現有進水管(1000mm ϕ 鋼管)同樣應予以焊斷，焊除時需於其下方保留約 20cm 長，等水箱下降固定後，焊接工再進入水箱內，將進水管與水箱下方之進水口焊住。
- 6.施工期只要 1 天(焊斷 8 支撐鋼柱可分組同時進行，工程簡單成本不高又無風險。
- 7.為避免水箱埋在地下遭受雨水浸泡，水箱底部應加鋪 15cm 厚之 PC，並於其四周鋪設級配砂石料在埋設 2 順 PVC 管制附近之水溝，以利下雨時排除其四周之積水。

(二)使用起重機

- 1.一般移動式動起重機分為 3 級：a.10T 以下者。b.超過 10T 未滿 100 T 者。c.100T 以上者。
- 2.伸臂卡車起重機輪行起重機(拖車起重機)伸臂伸縮輪行起重機 伸臂不伸縮輪行起重機、履帶起重機、伸臂伸縮履帶起重機。
- 3.本案採用超過 50t 級移動式履帶起重機。

(三)焊接

- 1.10mm 以下的平板或者鋼結構焊接，每米約 200 至 250 元，這僅是人工的加工費用，若加計電費、焊條費用，輔助工種等費用則每米約 400 至 500 元 (與工作場所有關)。
- 2.焊管線則以完成的寸徑數為準，大約每名每天標準焊工能夠焊接 30 ~ 40 寸徑，加上現場安裝，平均工效按照每名焊工日焊接量 25 寸徑計算，每寸徑按照 75 元計

算，亦即焊接 4 吋管之費用=4*75=300 元。

- 3.本案以僱用焊接技術人員處理焊接及焊斷支撐柱，進水管及爬梯之作業為宜。
- 4.改善後之水箱必須降至地面下，因此其原有之支撐柱及進水管均須焊除，不需要之進水管鋸除後，其下端仍須與原有進水管相連接(亦即切斷處須焊接至原有管線上(詳如圖 3)。

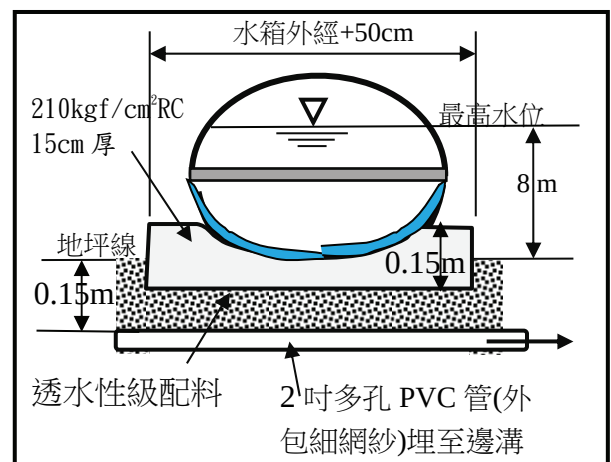


圖 3 改建後高架水塔固定方式示意圖

(四)種植之喬木

- 1.若嫌水塔下降至地面後有礙觀瞻，可於其前後左右種植高喬木(有益無害)擋住路人之視線。
- 2.以台灣原生種 (含歸化種) 較佳，大致上有榕樹、樟樹、茄苳、楓香、麵包樹、菩提樹、鳳凰木、印度紫檀、欖仁、光臘樹、大葉山欖、黃連木、刺桐、相思樹、杜英、朴樹、檫木、紅楠、雨豆樹、黑板樹、黑松、臺灣二葉松、臺灣五葉松、柳杉、馬尾杉、油杉、肖楠、扁柏、鴨腳木、毛柿、烏心石、港口木荷、雀榕、桃花心木、香楠、臺灣欖樹。
- 3.原則上仍以採用庭園用樹(茄苳、重陽木)為

宜。經詢價結果，樹幹直徑為 30cm 之茄苳其價格 38000 元/株，也可採用臺灣欒樹(科別：無患子科)，原產地：台灣特有種樹木。

- 4.若經費充足可於水塔四周各種植 4 棵樹，否則可只種在面向大路(五福一路與光華路)兩側，另外兩面隔著小巷面向大樓則可免種。
- 5.臺灣欒樹樹高 10 公尺；葉互生，二回羽狀複葉，葉長卵形，葉緣具有淺鋸齒緣，樹冠色彩多變。花朵淡黃色，開花期為 9 月上旬至 10 月下旬，果為蒴果，先為淡紫紅色轉為紅褐色，終變土色（灰色）。性喜高溫濕潤和陽光充足的環境；抗風力強，耐旱性佳、耐寒性佳，耐陰性尚可，抗空氣污染力強。

六、施工日數及費用

- 1.若焊斷水塔下方 8 支撐鋼柱分惟兩組同時進行，則全部工作可於一天內完成。
- 2.本案若付諸實施，其所需之工程費概算約 110 萬元整，詳如表 1。

七、工程效益

- 1.水塔改建後可調節之水量約 11,400 m³，對解決高雄區缺水及穩定供水而言，會有相當大之助益，尤其是台積電公司將在高雄楠梓區設廠之際，可大幅降低其缺水之憂慮確保用水之安全。
- 2.增加之出水量若以 65%之售水率及其售價 10 元/m³ 計算，每天可增加水費收入= 10 元/m³ * 11400 * 0.65 = 74,100 元/天。
- 3.工程完工後不需花費任何操作費，因此所花費之工程費 104 萬元，可於 14 天後收

回成成本，一年可收到 27,046,500 元，扣除少額維修費，一年至少可淨得 2700 萬元。

表 1 工程費概算表

項次	項目	單位	數量	單價	複價
1	租用起重機(50 噸級移動式)	台	3	20,000	60,000
2	起重機操作員	人	3	3,500	10,500
3	租用挖土機	台	1	7,000	7,000
4	挖土機操作員(挖基座及種樹等)	人	1	3,000	3,000
5	焊接工(切斷支撐柱橫撐及進水管)	人	4	4,000	16,000
6	焊接材料費(含焊條及瓦斯等費)	式	1	10,000	10,000
7	吊籃	組	2	500	1,000
8	210kg/cm ² 預拌混凝土底座	m	57	3,200	182,400
9	13mm ϕ 鋼筋(含紮工)	Kg	50	35	1,750
10	透水性及配料	m ³	27	600	16,200
11	2" ϕ PVC 管(含鑽孔及包紮細網紗)	m	20	200	4,000
12	種植喬木(含一周內澆水工資)	棵	16	38,000	608,000
13	運搬費(運至岡山物料處存場)	車次	4	2,000	8,000
14	雜費(以上未估入費用)	式	1	13,915	13,915
15	間接費(含工作人員保險費等)	式	1	3%	28,253
16	稅利	式	1	8%	77,601
17	營業稅	式	1	5%	52,381
	合計				1,100,000



八、水塔改建之可行性

1. 水塔之改建在工程技術上絕對可行。
2. 因為該水塔聳立於高雄市五十多年，已成為居民心中之重要歷史文物之一，若聽到要予以改建，可能會引起保護歷史文物組織人士之抗議。二三十年前，台水公司第七區管理處準備拆除早已廢棄不用之岡山高架水塔(如圖，它建於日治時代)時，就因保護歷史文物組織人士之抗議而作罷。但另在準備拆除早已廢棄之鳳山高架水塔前，有保護歷史文物組織人士出面抗爭，但當時的高縣政府基於安全理由，仍准於拆除。



圖 5 岡山高架水塔圖

之安全。

4. 改建方法極為簡單，只須施工一天花費 110 萬元即可完成，而且開始供水後 14 天即可收回成本。

作者簡介

曾浩雄先生

現職：尚潔環境工程公司技師。

專長：自來水工程規劃、設計及施工。

九、結論

1. 高架水塔對穩定供水具有相當大之功能，六十幾年前花費巨資建成之水塔，竟然棄置無法使用，實在可惜。
2. 但要以前高雄區之供水設施將供水壓力提升至 1.6 kgf/cm^2 以上，幾乎是不可能。
3. 若將目前之蓄水箱降至地面使其發揮調蓄功能，可增加高雄區供水量達 11,200CMD 尤其是台積電公司將在高雄楠梓區設廠之際，可大幅降低其缺水之憂慮並確保用水

北投行義路溫泉區取供系統建設及臺北自來水事業附業發展研討

文/周璟璇、陳昭明、陳維政

摘要

北投行義路溫泉區，鄰近陽明山國家公園，擁有豐富的地熱資源，然而當地溫泉業者私自接引河川上游的冷水，引注灌入溫泉露頭，與蒸氣混和調配成溫泉熱水，再以佈滿磺溪岸邊及溫泉露頭區的私接管線輸送至各業者使用，嚴重破壞當地自然資源與地貌景觀。因此，臺北市政府政策性指派臺北自來水事業處建置完善行義路溫泉供水系統並成立行義路溫泉取供事業，囑辦以統一聯合及總量管制方式供應溫泉水，後續再由溫泉主管機關權管單位拆除既有違法溫泉管線設施，恢復國家公園環境景觀，讓溫泉資源及產業永續發展。

關鍵字：溫泉、溫泉取供事業

一、行義路溫泉區溫泉資源

行義路溫泉屬於大屯山系南磺溪流域之雙重溪溫泉區，產狀屬「裂隙溫泉」，亦即產自深入地底的岩石裂隙，歸屬大屯火山放射狀裂隙一環。整體而言，溫泉露頭大都呈噴氣型態，噴氣口外緣有金黃色硫磺結晶，具硫化氫氣味，露頭溫度 67~143°C，酸鹼值 1.6~2.6，區內 7 處溫泉露頭原湯均符合溫泉標準，其中較具代表性的主要成分為溶解固體量(TDS)、硫酸根離子(SO_4^{2-})、總硫化物(TS)，經泉質分析硫酸根離子及總溶解固體濃度符合法規之溫泉泉質標準 (臺北自

來水事業處，民 100)。過去行義路溫泉之形成為地下熱源與地下水結合後流出，或藉人為抽出熱水，溫泉水水層補注水源包括垂直入滲及橫向裂隙補注，溫泉水資源蘊藏量可由容積儲存量估計(體積法)，係將溫泉潛能區範圍體積乘以有效孔隙率而得。以抽出熱水方式取得時，溫泉水資源開發需分析溫泉可用水量(安全出水量)，在水文平衡情況下運用，不影響地下水層或溫泉地下水層儲存量。一般可以藉由補注量推測法，假設入滲補注量與地層熱水至少有 65%以上充份混合時，可以溫泉地下水補注量 50%作為安全出水量。行義路溫泉開發係取用以地面水與溫泉氣井熱源調配方式生成，依據評估棲地品質之建議流量，配合溫泉區上游集水區內既有水權總核發水量等因子，本區以地表水可引用水量 4 萬~17.5 萬 CMD，平均 8.5 萬 CMD，計算溫泉區溫泉水安全出水量，納入溫泉生成設施產出量，故行義路溫泉區溫泉水安全出水量為 7,735 CMD(臺北市政府，民 108)。

行義路溫泉區係由臺北自來水事業處擔任溫泉取供事業，溫泉水生產方式乃由地表設生成池，將地面冷水注入生成池，並引進泉井所噴出熱水及蒸氣混合調配而成(如圖 1)，各生成池溫泉匯流後，透過管線以重力流供應營業戶端使用(周璟璇，民 109)。原計畫以管徑推估本區冷水可引用量為 25,148

CMD，溫泉取用量為 5,348 CMD，但工程開發完成溫泉生成產出量僅為 3,400 CMD，民國 109 年 3 月初期核供量為 808CMD，使用申請總量則為 606CMD。

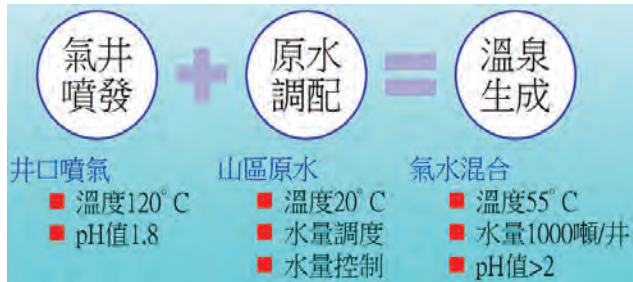


圖 1 行義路溫泉生成方式示意圖

二、溫泉取供系統工程

行義路取供系統工程總開發 3 口溫泉井，系統設施配置如圖 2 (臺北自來水事業處，民 108)。系統設施包括鑽設 H1、H2、H3 三口溫泉氣井，將噴發之蒸氣灌入溫泉生成池，同時由 1,000 噸原水儲水池提供冷水，引入混合形成溫泉熱水。H1、H2、H3 生成池所形成之溫泉水輸送至溫泉儲存池，再由分流裝置分配供應用戶申請使用，並計量管理。原水及溫泉水供應全程均採重力流方式，從引水點最高處至最低處溫泉用戶，高程從 156m 降至 125m，高程差約 31m，管線循行義路山坡地形鋪設配水系統，提供行義路地區溫泉用戶申請接管使用。各項設施說明如下：

1. 原水儲水池：為穩定溫泉系統供應，設置 1,000 噸 RC 構造原水儲水池，提供生成溫泉所需之冷水水源，原水儲水池長 18 m、寬 8.7 m、高 7.67 m，設置溢流管，有效蓄水量 1,000 噸(如圖 3)。
2. 溫泉氣井：開發 3 口溫泉氣井，H1、H2 兩

井位於陽明山國家公園範圍內，H3 井及溫泉儲存池座落在範圍外。原設計井深度 180 m，套管及槽孔管漸縮管徑 10~4 吋，井管及井口設施原採用 316L 不銹鋼管材質，因該溫泉高溫強酸腐蝕性，變更採用抗蝕鈦金屬之引氣管與打氣管(如圖 4)(陳維政、陳昭明、賴輝煌，民 110)。



圖 2 行義路溫泉取供系統設施配置圖



圖 3 溫泉原水儲水池

3. 溫泉生成池：溫泉槽池分為生成池及儲存池兩部分，溫泉生成池設置於溫泉氣井週邊，共三座，長寬均為 4m、高 3.5m，有效容量 56 噸(如圖 5)。

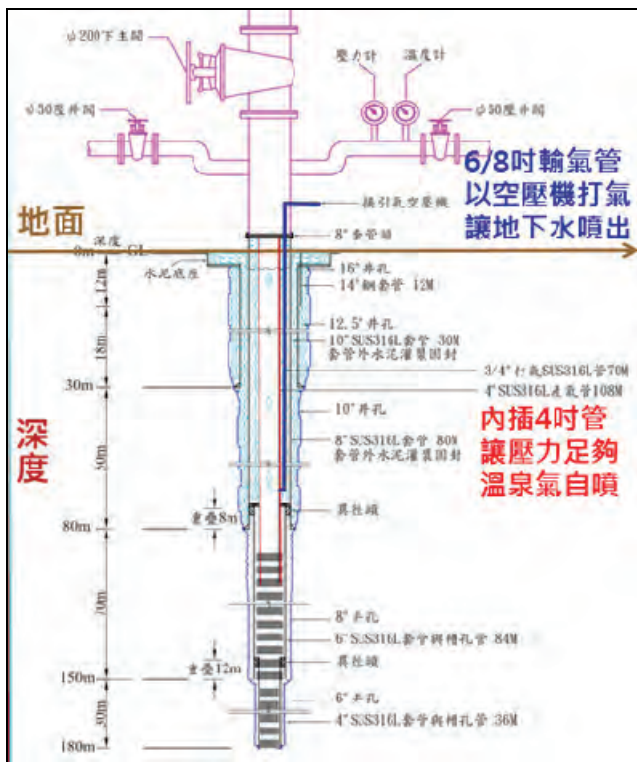


圖 4 溫泉氣井設施斷面圖



圖 5 溫泉生成池



圖 6 溫泉儲存池



圖 7 計量設備—溫泉儲池內三角堰

- 4.溫泉儲存池：溫泉儲存池一座，設於生成池下游，具有整流、儲水、配水等功能，長 7.5m、寬 6.4m、高 1.6m，容積 76.8 噸，預留 $\phi 250\text{mm}$ 溫泉供水幹管出水口 2 支，溫泉配水管出水口用戶接管 $\phi 50\text{mm}$ 25 支(如圖 6)。
- 5.溫泉管線：冷水原水以 $\phi 300\text{mm}$ HDPE 管輸送，自惇敘工商連接泉源路既設 $\phi 350\text{mm}$ PVC 冷水管與 1,000 噸原水儲水池：再利用 2 支 $\phi 200\text{mm}$ 出水管分別提供新北投及行義路溫泉生成之原水。溫泉水輸送管則採用 CPVC 管，聯通溫泉生成池至溫泉儲存池，管外加保溫材，管徑 6 吋。
- 6.計量設備：於溫泉儲存池設置兩處量水三角堰，觀測刻度獲得水量數值，材質採 SUS 316L 不銹鋼板(如圖 7)。
- 7.備援管線系統：考量溫泉生成池年度歲修或突發狀況整修作業時，溫泉供應勢必減量、分時或停止供水，為避免影響用戶用水，另自溫泉生成池建置一套備援管線系統，確保供水無虞(如圖 8)。
- 8.中和設施：溫泉生成池進行水量測試時，採用 NaOH 中和法處理溫泉放流水。配置 45% NaOH 水溶液，以自動加藥機進行加藥

控制，控制排放水水質酸鹼度值接近既有水體水質。



圖 8 備援管線系統

三、維護管理及收費標準

為落實管理、提升服務品質，臺北自來水事業處行義路溫泉區之溫泉設施維護及接水工程施工、漏水及無(缺)水處理等相關作業流程，皆已納入自來水服務網路，外部有客服系統，受理市民申告或查詢各項業務；內部有施工資訊系統，建置設備管理圖資、1999 案件處理及工程狀態管理系統(報案登錄、通知廠商、派員作業、施工資訊維護、原因分析及統計)等，全方位掌握用戶申報案件處理流程及設施維護狀況。

基於溫泉非屬民生基本需求物資，同時也是珍貴稀有天然資源，非取之不盡、用之不竭，故其使用費應充分反映營運成本，以使用者付費原則，避免溫泉附業發展以債養債，加重取供事業經營財務負擔，且可發揮以價制量效果，促進溫泉資源保育與永續發展，因此，而溫泉使用費費率除應反映取供系統工程建置成本外，尚須應涵蓋合理的報酬，以因應事業未來經常性及計畫性的擴建

改善工程、償還債務本金及承擔經營風險，才能提升對用戶的服務品質，並確保取供事業之永續經營(臺北自來水事業處，民 106)。

現階段溫泉可供應量為 3,400CMD。因目前既有業者所提溫泉使用計畫需求求量經審核同意供應約計 1,928CMD，故規劃分階段供水，第一階段民國 107-114 年期間，供應溫泉量為 606CMD；預計未來使用需求增加，再開放溫泉使用申請，規劃第二階段從民國 115-116 年，供應量調增至 3,206CMD，以 10 年合計年化平均供應量為 1,126CMD。

基於輔導提升行義路溫泉區未來的發展性與降低既有溫泉使用業者財務負擔，同時考量使用者付費及未來都市計畫溫泉區開發期程不確定等經營風險，行義路溫泉區溫泉使用費價格採每立方公尺(m^3)平均單價(含稅)37.0 元，包含徵收溫泉取用費，每立方公尺 9 元。

四、經濟效益

由臺北自來水事業處成立並經營溫泉取供事業附業，預期將對社會民眾、地方溫泉產業、溫泉取供業(臺北自來水事業處)及溫泉主管機關(臺北市政府)等四個層面產生經濟效益，分述如下：

(一)社會民眾層面：

1.促進國民健康，增進公共福祉：透過臺北自來水事業處提供優質溫泉，刺激休閒型消費產業，滿足民眾遊憩養生健身需求，使其享受自然景觀及多樣化休閒生活，間接提高民眾旅遊之品質及提供輔助復健養生之利用，增進公共福祉。

2.滿足溫泉用戶需求，保障負擔公平合理之費率：秉持總量管制，統一分配水源規劃原則，提供溫泉用戶穩定、優質之溫泉服務品質及用水設備，以獲得公平合理之費率，降低用戶負擔過重的壓力。

(二)地方溫泉產業層面：

1.開創旅遊新契機，增加旅遊收益：當時推估民國 105 年時之陽明山地區溫泉遊憩的需求人數將達 4,859,828 人次，並預測民國 105 年來臺國際觀光旅客蒞臨臺北市之潛在溫泉遊憩人數約為 736,201 人，由上述數據在在顯示未來隨溫泉遊憩人口增加，預估臺北市的溫泉遊憩產業邁向國際市場的潛力無限(臺北市府，民 108)。

2.加速市府輔導溫泉業者取得溫泉標章營業，保障消費者權益：由於溫泉業者向市府申請核發溫泉標章標識牌時，應備具溫泉取供事業之供水證明及相關文件，始獲得符合溫泉法之營業核可，故臺北自來水事業處成立溫泉取供事業後，可加速市府輔導溫泉業者取得溫泉標章營業，民眾泡湯時，只要認明溫泉標章，表示可享受優質的溫泉水服務，確保消費者泡湯之安全與權益。

3.配合市府溫泉產業發展政策，建立世界級「臺北溫泉」國際觀光旅遊新意象：透過建立溫泉統一開發管理機制，改善溫泉區之環境與景觀，發揮泉源之多樣化利用，以推動溫泉觀光再造，不僅塑造「臺北溫泉」優質休閒新生活，進而建立「臺北溫泉」國際觀光休閒旅遊都會城市意象。

(三)臺北自來水事業處之溫泉取供附業層面：

1.臺北自來水事業處肩負促進溫泉區商機、活絡觀光產業及繁榮地方經濟等政策性任務；同時考量日前物價波動，訂定合理溫泉水價，避免短期內頻頻調價，造成太大衝擊。

2.為期合理經營並兼顧用戶權益，經臺北自來水事業處通盤檢討溫泉供應模式、費率基準及申辦機制等作業，修訂臺北自來水事業處「附設溫泉營業章程」，以提升臺北自來水事業處服務品質及營運效率。

(四)政府主管機關層面：

1.如期繳納溫泉取用費，提升市府之徵收效率：溫泉取用費之徵收依「溫泉取用費徵收費率及使用辦法」規定為每立方公尺溫泉取用量新臺幣 9 元。惟溫泉法施行初期，政府為加強對溫泉業者之教育宣導及輔導，依新北投溫泉經驗，自民國 95~102 年溫泉取用費費率減半徵收新臺幣 4.5 元，於民國 103 年起恢復每立方公尺溫泉取用量新臺幣 9 元，而行義路溫泉區預估每年可徵收 400 萬至 700 萬元。

2.增加行義路地區之土地價值：隨著溫泉養生保健功效愈益受重視，配合提供質優、量足、穩定之溫泉，更可吸引觀光人潮，活絡周邊商圈，進而帶動週邊土地開發，增加行義路地區之土地價值。

3.吸引民間投資，活絡市場經濟：據臺北市溫泉發展協會統計，民國 101-104 年新北投溫泉區開發案總計投資約 49 億元，顯示行義路溫泉區亦將吸引民間投資建設溫泉區，增進觀光旅遊事業產值，活絡市場經濟。

五、結論與展望

臺北自來水事業處附業經營在新北投溫泉取供、用戶管線接水申辦及維護與收費機制等方面，皆已建立完整經營管理制度，藉由臺北自來水事業處溫泉開發管理經驗豐富的優勢，政策性擔任行義路溫泉取供事業，有助於整體溫泉區域的營運管理與水資源調度，可產生經濟、環境景觀及泉源保育等三方面之營運效益。

行義路溫泉區原使用總水量高達 30,000 CMD，現由臺北自來水事業處統一調配供應，溫泉及自來水總量管制最大引水量為 12,000 CMD，節省水量達 18,000 CMD。另外，原現況私建 190 處溫泉生成設施將被本溫泉取供設施取代，現有超過 10 萬公尺的非法私接管線及違建物將由臺北市政府及相關單位進行拆除重整，河川淨空可長達 5 公里以上，環境改善總面積將超過 15 公頃，還給國家公園自然景觀原貌，提升環境品質。

參考文獻

- 1.臺北自來水事業處(民100)。新北投及行義路溫泉區水資源利用計畫書。
- 2.臺北市政府(民108)。臺北市溫泉區管理計畫(修正)。
- 3.周璟璇(民109)。溫泉開發取供之施工探討-以北投行義路溫泉為例。國立臺灣海洋大學。
- 4.臺北自來水事業處(民108)。行義路溫泉產特定專用區溫泉公共供取設施新建工程完工報告。
- 5.陳維政、陳昭明、賴輝煌(民110)。溫泉開發取供系統高溫強酸防蝕對策實務探討。中國礦冶工程學會會刊，65(1)，36-46。
- 6.臺北自來水事業處(民106)。行義路溫泉取供事

業經營管理計畫書。

作者簡介

周璟璇女士

現職：臺北自來水事業處工程總隊四級工程師

專長：自來水工程施工管理

陳昭明先生

現職：臺北自來水事業處工程總隊二級工程師

專長：橋樑設計、建築物及橋樑安全評估與補強設計、自來水工程規劃、設計與施工

陳維政先生

現職：臺北自來水事業處工程總隊副總隊長

專長：水處理工程規劃設計及施工管理、輸水幹管工程技術與管理、管線免開挖更生技術、營建專案管理

2022 年池上地震台水公司九區處搶修紀實

文/蔡政翰、林武榮

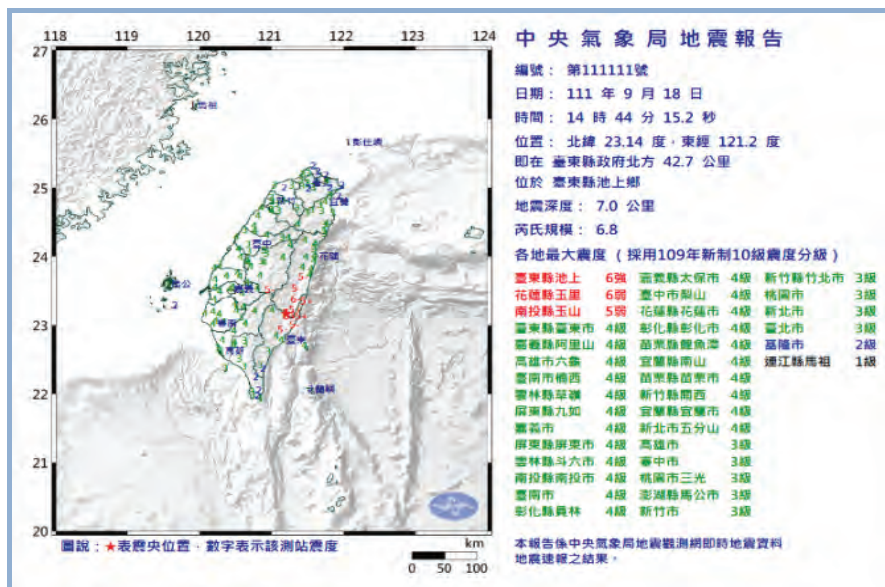
摘要

111 年 9 月 18 日 14 時 44 分在台東發生的規模 6.8 地震（詳圖 1），深度僅 7 公里，震央在台東池上，震度於台東池上 6 強，花蓮玉里 6 弱，餘震持續不斷，9 月份地震約達 234 次，其中有感地震為 64 次。台灣因地理環境之故，地震頻繁發生，且玉里處在歐亞板塊與菲律賓板塊交界處，造成災情比震央的台東池上還嚴重，本次玉里轄區災情嚴重，玉里及富里地區共計 4207 戶停水，本公司緊急成立應變中心，跨區處調派檢漏人力、修漏廠商及設置臨時取水站等應變措施，二十四小時不眠不休全力投入救災搶修，5 天內即恢復供水。

關鍵字：天然災害、緊急應變、管線搶修、地震

一、前言

有鑑 105 年高雄美濃地震芮氏規模 6.4（最大震度為台南市 6 強）及 107 年花蓮地震芮氏規模 6.0（最大震度為花蓮市 7 級），造成當地多處大樓倒塌並釀成人員傷亡慘重的天然災害，心有餘悸，如今 0918 玉里地震再次循環釋放能量，直接影響臺灣鐵路管理局東里車站火車傾斜及月台倒塌；高寮大橋、崙天大橋多處橋樑毀損及 7-11 超商倒塌等災難及玉里供水轄區多處道路震損情形（詳圖 2），造成自來水管線到處漏水（詳圖 3），此地震之不可預期，隨時都可能發生，實不可掉以輕心，遂將本次玉里轄區應變作為紀實檢討，俾利處變不驚，災後有所依循、迅速復原，以求供水順遂。



資料來源：中央氣象局

圖 1 地震報告



圖 2 地震造成多處道路震損情形



圖 3 地震造成自來水管線設備到處漏水

二、災後整備

台水公司第九區管理處(以下簡稱九區處)災後隨即成立緊急應變小組(詳圖 4)，並調派鄰近修漏廠商進場展開搶修，李處長旋即率隊進駐玉里營運所開設前進指揮所(3F 會議室)，區處則為聯繫中心。總公司並由李總經理率領吳副總經理等高階主管及相關單位前往玉里營運所進駐，即時掌握災情指揮調度，並針對各項應變及作法分述如下，期儘快恢復供水，減少民眾用水之不便。

(一)供水量變化：9 月 18 日停水計 4207 戶，範圍涵括玉里、富里及松浦 3 系統，瑞穗系統不受影響，經查玉里所 110 年平均供水量約 12,500CMD，震災時最高達 19,000CMD，災後 10 月 18 日降為 14,000CMD，仍有隱性地漏，持續辦理檢漏中。

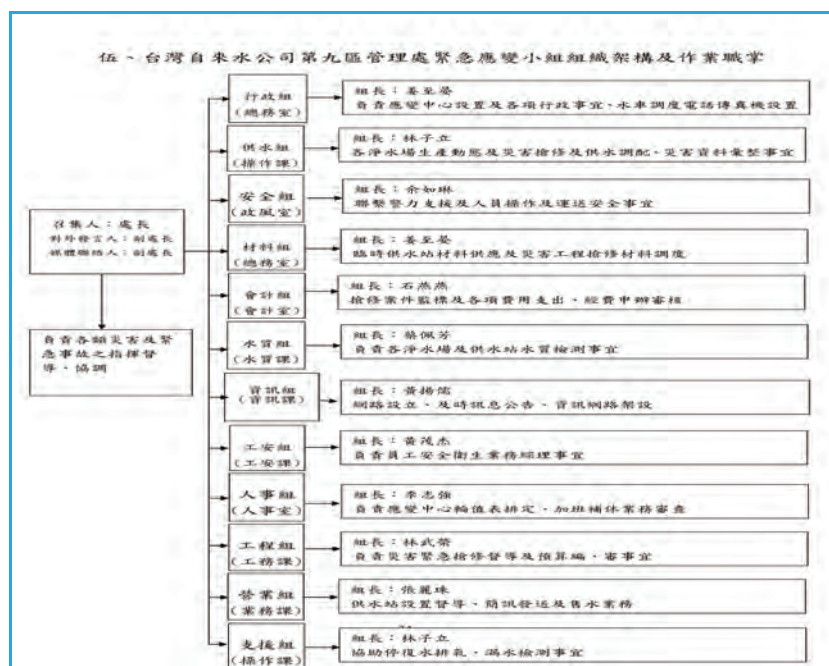


圖 4 緊急應變小組組織架構及作業執掌 資料來源：台水公司緊急應變計畫

(二)主要設備受損：

- 1.高寮大橋附掛 300DIP 全毀。
- 2.玉里淨水場 300DIP 脫接。
- 3.仁愛路一段 300DIP 脫接 5 處。
- 4.玉里大橋 500*200DIP 三通管斷裂。
- 5.吳江橋附掛 500SP 脫接。
- 6.東里淨水場揚水管 300DIP 斷裂。
- 7.阿眉溪西側橋下 200DIP 脫接。
- 8.富里新興村 100ABSP 嚴重損壞 70 公尺。
- 9.萬寧 111 號台九線 500DIP 脫接 4 處。
- 10.崙天大橋附掛 300DIP 全毀。
- 11.富南台 9 線 301K 處 200DIP 脫接 1 處。

(三)跨區修漏支援：因應玉里供水轄區，地處偏鄉狹長，啟動跨區處支援管線修漏廠商，緊急採購簽辦，依「政府採購法第 105 條第 1 項第 2 款」及「特別採購招標決標處理辦法第 2 條、第 5 條、第 6 條及第 7 條」規定辦理。

(四)花蓮縣應變中心支援：

- 1.房屋倒塌壓損管線區域，清除地上障礙物。
- 2.橋樑毀損附掛管線拆除。
- 3.消防局支援醫院、縣府公家機關、集合住宅大用水戶及河東地區等送水，減輕本公司送水車量及人力負擔。
- 4.台電停電淨水場站，優先恢復供電。

三、搶修過程

(一)9 月 18 日：

- 16:00 本處成立緊急應變小組。
- 17:30 明里淨水場停機，影響供水 2,088 戶；松浦淨水場無監控回傳，影響供水 316 戶；玉里市區破管搶修停水約 500 戶，玉里、富里全區壓降影響 9,567 戶。

18:30 本處於玉里所開設前進指揮所並召開第 1 次緊急應變會議；總經理指示調派總處長官、各區處檢漏人力及修漏廠商支援搶修。

(二)9 月 19 日：

02:00 陸續修復客城 300DIP、酸柑大禹里 100DIP、明里淨水場場內 100DIP 及玉里協天宮路口 100DIP 等管線，漸恢復供水，停水 1,750 戶。

(三)9 月 20 日：

2:15 配合花蓮縣政府清理玉里鎮 7-11 倒塌作業，因破管漏水影響路面復原進度，立即配合將管線修復後再移交給路權單位進行路面鋪設。

(四)9 月 21 日：

15:00 萬寧 500DIP 搶修復水，惟東里、萬寧等部落仍有配管地漏及外線漏水尚未修復，該區停水 233 戶，由水車支援送水。

(五)9 月 22 日：

20:00 冷水、松浦及樂合地區等管線修復（詳圖 5、6），本次地震曾造成停水 4,207 戶，全面恢復供水。

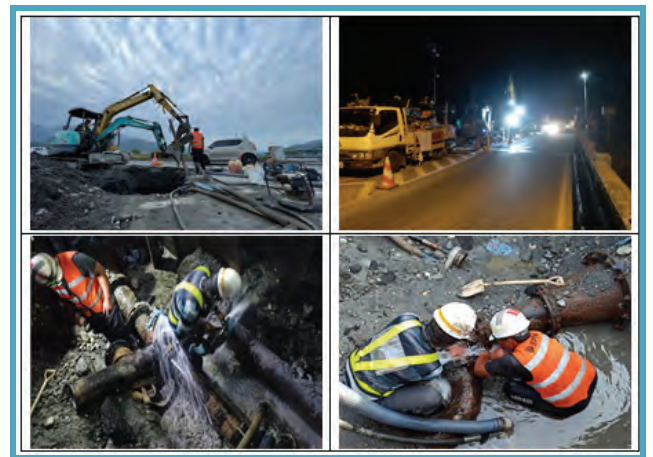


圖 5 玉里大橋管線搶修



圖 6 松浦地區管線搶修

四、應變作為

(一)搶修任務編組及分工：依據台灣自來水股份有限公司緊急應變小組作業要點辦理。

(二)強化並新增通訊群組：

- 1.既設 LINE 群組（各級民代、村里長等），藉以充分掌握無水、漏水訊息及送水需求。
- 2.新設 LINE 群組，強化內部聯繫溝通，如「0918 搶修群組」、「0918 玉里震災群組」、「0918 震災搶修影像群組」、「九區災害應變中心群組」、「九區漏水防治群組」等。

(三)即時處理 1910 客服案件：

- 1.進線統計(供水量、修漏案件)及分析歸納。
- 2.每日 8 點、14 點及 18 點統計民眾進線無水區域地址與件數，公佈於「0918 玉里震災 line 群組」，以利應變中心掌握災情並判斷輕重緩急。
- 3.接獲進線，將民眾預設儲水桶、送水需求及報修漏等案件，送交應變中心處理。
- 4.針對供水量問題案件，派員前往釐清內外線問題，修漏案件則移交修漏組派工處理。

(四)滾動檢討臨時取水站：

- 1.取水桶盤點計 9 區 10 只、屏東區 7 只及新購 23 只，共 40 只。
- 2.供水站，依供水情形滾動檢討設置地點，並隨即公告於本處臉書、官網及停水公告查詢網，最多設置達 40 站。
- 3.行有餘力之餘，支援福音、春日及泰林部落簡水系統等無水地區。
- 4.臨時取水站水位即時監測：儲水桶裝設液位監測 4G 模組，透過「供水監測平台」可即時了解臨時取水站供水情況，掌握液位變化，有利於調派水車迅速補水，確保供水無虞，不讓民眾空手而返。
- 5.取水站撤除時，須注意水塔內之水量不宜直接排入水溝，應以水車回收。

(五)運用 e 化調度水車：

- 1.建立 LINE 送水車群組，有利於水車司機聯繫及管理報到時，即可掃 QR CODE 加入群組中。
- 2.記事本張貼取水點、加水站，可點擊後自動導航。
- 3.分配加水點後，可依分配點位自動導航，人員換班也可不必重新帶路及分配工作。
- 4.水車司機可使用 QR CODE 進入，使用時只須點擊即可顯示地址並啟動導航。

(六)無水案件分工處理：

- 1.經由 1910 客服、本處總機、縣府應變中心及 LINE 群組等接獲無水通報案件，先由玉里所派員前往判斷分案處理。
- 2.表箱另件因素：由勘查人員逕予修復或錄案派工，用戶內線因素（內線漏水、抽水馬達故障、水壓低需加裝抽水馬達等），委婉向用戶妥為說明。
- 3.用戶外線漏水導致無水：可辨認漏水點，

即通報錄案派工，無法辨認漏水點，則通報由檢漏人員協助檢漏定位後再錄案派工。

- 4.所有案件由客服系統、修漏系統控管至結案。

(七)檢漏責任區獨立作戰：

- 1.16 組 32 人(台水 14 組及金盛昌公司 2 組)，獨立作業檢漏，各自投入緊急復舊供水工作。
- 2.玉里、富里、松浦系統既設小區為責任區，執行地毯式漏水檢測。
- 3.玉里鎮市區地下漏水嚴重，造成用戶水壓偏低，將檢漏人員，集中優先處理漏水熱區，尤其圓環小區、玉里小區並安排修漏工班跟上，提升效率早日供水，避免用戶無水可用。
- 4.各淨水場超載出水，先盤點藥品及抽水機備用，停機出水前先通知檢漏人員，並先由淨水場出水之主幹管派員檢漏。
- 5.檢出地上漏水 117 件，地下漏水 84 件，共計 201 件。
- 6.協請 110 年本公司與工研院開發的 AI 輔助檢漏儀器，提供現場疑似地下漏水點的輔助定位參考。

(八)搶修作業不打烊：

- 1.動員檢漏、修漏、供水監測系統等 13 家廠商，計 16 組人力，及本公司 3 組自修人力，24 小時全力搶修，漏水案件 494 件(重複或無漏水案件 153 件)，均已修妥。
- 2.支援廠商反應玉里所轄區各鄉鎮，因地處偏遠，地址難以尋覓，經由本公司圖資查詢系統輕鬆定位，除截圖提供管線圖資外，並將座標複製以 GOOGLE 地圖分享於

修漏群組，可自動導航前往，大幅提升修漏效率。

(九)即時發布新聞訊息：

- 1.最新停水、搶修、送水車數量、路線、設置臨時供水站地點、復水等相關訊息及新聞稿等張貼於公司網站，電視跑馬燈播出，發送各媒體。
- 2.停水宣導：利用社群媒體（FB）發布：
 - (1)總處「台水人員 24 小時輪班作業搶在最短時間恢復供水」，幸福是甚麼？打開水龍頭就有嘩嘩的自來水流出來，雖然很簡單，過程卻很艱辛，台水公司為了大家最簡單的幸福 Day and Night +ing。
 - (2)總處「8 項用水減免 減震災戶負擔」，用戶免申請由台水主動辦理，若下一期突增的地下漏水水費減半，可持修復證明向台水申請。
 - (3)九區處「地震頻繁 檢查漏水小撇步」，以避免持續漏失水量，造成水費暴增。
 - (4)九區處「李總經理率隊視察玉里鎮圓環管線搶修作業，適逢花蓮縣長關心災情」，希冀盡快恢復供水，讓民眾回歸正常。
 - (5)九區處「台水九區處震災搶修最前線」，讓民眾瞭解搶修即時狀況。
 - (6)總處「0918 池上震災，全面恢復供水 感謝各級政府、各界人士、團體鼎力協助」。
 - (7)九區處「花東地區今晚全面恢復供水」，復水期間，管網尚屬脆弱，且主震後仍有餘震，可能造成內、外線脫接致零星用戶無水，若有看到地面漏水現象，請主動通報 1910（地面標示「水」字體為已經檢測可不需通報）或透過本公司供水資訊平台，由村里長及民代群組通報，請用戶共

體時艱、節約用水，九區處全員持續打拼。

(8)總處「預計今晚全面恢復供水」，為了讓民眾盡早可以正常用水，台水同仁出動近 200 人，不眠不休拚搶修，也在今晚，和花蓮、台東縣政府合作努力下，全面復水成功！

(9)九區處「地震過後，家中自來水該注意什麼？」，可查看家中水表，避免水費突增；及地下水（山水）系統與自來水不能混接，容易造成水質污染等異常。

(十)確認各區供水復原：

- 1.透過「供水監測平台」檢視壓力動態圖之畫面，以研判管網復水情形，協助判定檢修漏優先順序。
- 2.藉由供水監控平台，初期每 2 小時鍵入水壓數值並利用自動化格式，分級距顏色管理，比對歷史壓力數值，以研判管網復水情形。
- 3.利用 DMA-WADA 最小流量率並參酌「供水監測平台」檢視壓力動態圖，判定檢修漏優先順序，並驗證管網復水情形，適時回應用戶。
- 4.本公司大數據專案團隊研發之 WADA 系統，近年參考檢漏成效驗證機制，採用「最小流量率」分析，供第一線同仁簡易判讀，更有效率地掌握漏水情形。

五、檢討策進

(一)重要閥栓避免下地：因路權單位推行路平專案，要求管線單位閥栓必須下地，耗費開挖時間、檢漏作業無法分段測試，影響搶修效率，後續持續與路權單位加強溝通協調。

(二)提升監控系統及水壓水量監測設備妥善率：本次震災搶修發現監控站設備故障或資訊誤差，妥善率未達 100%，維護管理尚待加強，已盤點彙整函報總處增配經費辦理改善。

(三)提升搶修作業完整性：各區處支援搶修廠商，修漏監造人員宜一併支援，並落實要求修漏照片的完整性，修漏後確認制水閥門有無恢復、加強辦理排水排氣作業，另有關緊急搶修期間之保險事宜，亦應研議通案處理。

(四)全面查漏重點：水源設施→淨水場水池與管線→加壓站水池與管線→管網→大用戶(異常用水)。

(五)GIS 圖資查詢系統之閥盒，研議增列「下地/未下地」、及「閥開度」等訊息，供現場操作維護同仁即時應用。

(六)研議檢漏人員比照修漏人員，補助手機聯繫通訊費，及「AI 輔助檢漏」與工研院伺服器之通聯費用。

(七)檢漏工作服之套數不足且新進人員尚無制服，研議採購相同工作服，展現有規律的檢漏團隊。

(八)日本實證 DIP(NS 型)效果良好，北水及部份區處亦有試辦經驗，建議鄰近斷層帶、土壤液化風險高、重要保全地區等之管線持續推動使用 DIP(NS 型)，用戶外線採用 SSP。

六、結語與誌謝

台灣四面環海，因地理環境常遭遇各種天然災害，依時間和空間的交互作用，引發的破壞性能量已危害到人類生命財產及經

濟活動，且災害程度因近年來氣候變遷的影響下，天然災害發生已成常態並有持續加劇的趨勢，理因隨時具備防災、搶災、救災與保持勿恃敵之不來，恃吾有以待之的正向觀念態度面對，才能與生存的美麗寶島共存共榮。

搶修期間，承蒙李總經理蒞臨並率領總處各處室長官調度全台資源投入救災復原，方能於極短時間順利恢復供水，救災過程，公司全體不分晝夜搶修及檢漏，並能於行有餘力時，支援簡水系統設置加水站及送水，深受地方政府、民代及民眾讚賞。

本處震災期間，為貫徹公司搶修不打烊政策，同仁齊心為玉里鎮、富里鄉親用水需求打拚，毫無怨言，全力以赴，甚至退休處長、熟悉玉里場站操作之機電退休同仁亦能感同身受，共赴災區協助拚搏搶修，展現一日台水人終身台水人的莫大胸襟，實為吾輩最佳典範，本公司亦於 10 月 18 日由李總經理主持「0918 池上、玉里地震救災檢討及感恩座談會（詳圖 7）」，頒贈獎牌、感謝狀予參與救災廠商、顧問及退休人員，感謝其於救災期間全力協助、投入搶修，在此一併致上十二萬分感恩與謝意。



圖 7 0918 池上、玉里地震救災檢討及感恩座談會大合照

參考文獻

1. 中央氣象局數位科普網，〈臺灣有哪些重要的天然災害〉。[https://edu.cwb.gov.tw/Popular Science/index.php/prevention/151-%E8%87%BA%E7%81%A3%E6%9C%89%E5%93%AA%E4%BA%9B%E9%87%8D%E8%A6%81%E7%9A%84%E5%A4%A9%E7%84%B6%E7%81%BD%E5%AE%B3](https://edu.cwb.gov.tw/PopularScience/index.php/prevention/151-%E8%87%B A%E7%81%A3%E6%9C%89%E5%93%AA%E 4%BA%9B%E9%87%8D%E8%A6%81%E7%9 A%84%E5%A4%A9%E7%84%B6%E7%81%B D%E5%AE%B3)
2. 台灣自來水股份有限公司，〈緊急應變小組作業要點〉，民國108年修訂。
3. 林武榮，〈0918地震復原搶修檢討會議簡報〉，民國111年。
4. 蔡政翰，〈0918地震復原搶修大事紀〉，民國111年。
5. 台灣自來水公司網站，〈首長活動〉，民國111年 10 月 18 日，<https://www.water.gov.tw/ch>

/Event/Detail/71657?nodeId=4546。

作者簡介

蔡政翰先生

現職：台灣自來水公司第九區管理處花蓮給水廠股長

專長：淨水操作

林武榮先生

現職：台灣自來水公司第九區管理處工務課長

專長：土木工程

本刊 112 年「每期專題」

期別	主 題	子 題	時程
42 卷 第 2 期	營運管理	1.供水設施營運操作、2.供水系統維護管理 3.管線失效故障分析、4.管線狀況評估、5. 降低無收益水量、6.集水區保育治理、7.緊急 應變及危機管理、8.管網建模及應用。	5 月
42 卷 第 3 期	水質處理	1.飲用水質政策及監管、2.水源水質管理、 3.天然有機物去除處理、4.水安全計畫、5. 先進水質檢測技術、6.新興污染物調查分析 處理、7.水質監測與管理、8.淨水處理藥劑 申請應用及管理。	8 月
42 卷 第 4 期	供水服務	1.提昇服務品質、2.資訊管理與應用、3.自動 讀表技術應用、4.物聯網及 ICT 技術、5.節 約用水及效率措施、6.可持續的水價、7.進 階抄表管理系統、8.氣候變遷、9.抗旱期間 供水服務與經驗。	11 月

～歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優～

自來水工程辦理採購應注意事項－契約變更研析

文/謝彥安

摘要

自來水工程一直都是政府機關辦理採購時之一大熱門項目，不僅與民生息息相關，其專業程度亦不亞於一般工程，而從投標、開標及得標後，即進入簽訂契約之程序，於此階段，雙方除了覓得律師並於契約上磋商，肇因於自來水工程之高度複雜性，常常亦有契約於塵埃落定後，因為環境、物價或其他因素造成須變更契約或變更工程之情形發生。

而理解我國在工程實務及法律實務上是如何處理契約變更之情形，又是如何善用情事變更原則，使契約之內容有利於自來水從業人員，除了需要熟知相關的法律規定，尚需知悉我國實務上是如何處理變更契約之狀況，更要了解事先須要做何種準備，以萬全之姿做好準備再簽約，才能在履約過程中保護自己不要受到不公平的對待。

關鍵字：契約變更、情事變更、合意

一、前言

自來水工程包括集水、輸水、抽水、淨水與配水五大工程，本質上皆具有專業性、複雜性，而事實上即便在發包以前的規劃設計階段，已花費相當時間、人力、物力審慎評估工程設計圖、工地狀況、工法可行性等，也難以避免業主或承包商無法完全依照原契約履行的情形發生，其主要的原因是自來水工程契約在履約的過程中存在較高的

風險與不確定性。因此，如何針對契約進行合理之變更與調整，即為本文以下討論的核心內容。而就名詞的使用上，工程實務上多混用工程變更、工程契約變更、設計變更等名稱，而本文為說明之便利性，簡要稱之為「契約變更」。在國際工程實務上，「契約變更」的類型分為兩種，一種是正式的契約變更，另一種則是擬制的契約變更，我國公共工程契約目前已接受正式的契約變更類型，尚未規定擬制的契約變更，惟仲裁實務上已漸漸接受此種概念，本文將會介紹上開兩種類型的「契約變更」，並介紹由正式的契約變更所衍生出來的「情事變更」原則。

二、契約變更原因

工程契約需要變更的原因有很多，這與工程契約本身的複雜性密切相關，蓋以工程設計圖小尺寸圖說來說，其中包含設計需求、設計圖、施工情形等，內容動輒數千頁，縱使該設計圖業已經縝密規劃設計，仍不乏有契約條款不明確、設計有缺陷等瑕疵；再者，在工程履約的過程中，也常有一些不可預料的事件發生，包含原料價格、天氣因素、地質差異等等，這些因素可能導致工作範圍的增減、工程時程的改變等等。因此，雙方則有賴於契約變更來加以合理調整雙方間之風險責任分配。

契約變更(Change Order, CO)的主要原因有三，分別為：工程範圍雙方認知不同、業

主需求增減或修改、施工期間遭遇不可預見情況而須修改施工方法等三種情況。而契約變更的項目其實是具有彈性的，端視工程特性及實際需求而定其變更之範圍，一般來說可分為工作項目、工作數量、工作性質、部分終止、工序或趕工等，甚至一個變更如兼具多種項目亦是未嘗不可。

三、正式的契約變更

所謂正式的契約變更，係指依照契約約定的指示權，對工程的變更指示，而依照不同的指示主體則可分為業主指示、承包商建議、雙方合意等類型。

(一)業主指示

1. 業主經常會根據自身需求及便利而辦理契約變更，原則上只要該變更內容並未超出原本合約的範圍內或屬於重大變更，即屬適法。
2. 針對業主是否具有指示變更的權利，我國實務上多採取肯定見解，如台南高分院 91 年度上易字 279 號判決調：「按工程進行中，由於設計圖和現場情形有時未能完全吻合，或發現無法依原設計施工等因素，故一般均在契約中賦予業主變更設計之權，以資因應。」、台灣高等法院 87 年度重上字第 384 號判決：「系爭工程合約已約明被上訴人（即業主）就系爭工程有變更設計之權，…且約明上訴人（即承包商）不得以新增項目單價未議妥而停工，是系爭工程不因嗣後被上訴人變更施工方法及變更設計後工程款之增減，而影響契約之同一性致成為另一新契約。」另外，行政院公共工程會 00700 施工綱要規範 E.1 亦

規定「工程司為期契約工程或工程圓滿完成，得指示承包商辦理契約變更，包括增加、減少、取消、刪除、替代、更改之變更，品質、形狀、性質、種類、位置、尺度、高程或路線之變更，以及施工順序、方法或時程之變更。承包商應接受工程司之指示辦理變更。」、工程採購契約範本第 20 條第 1 款規定：「機關於必要時得於契約所約定之範圍內通知承包商變更契約（含新增項目），承包商於接獲通知後，除雙方另有協議外，應於 30 日內向機關提出契約標的、價金、履約期限、付款期程或其他契約內容須變更之相關文件。契約價金之變更，其底價依採購法第 46 條第 1 項之規定。」

3. 然而，業主雖依據契約約定享有契約的變更權利，但其並非毫無限制，亦即業主要辦理契約變更，仍必須在契約中有契約變更條款，且變更的內容必須在契約約定的範圍之內，或是事前並無約定，亦可事後再由雙方約定相關條款。以下針對我國工程實務有關契約變更限制的說明如下：

(1)重大變更理論

所謂契約的重大變更，本質上是一種契約的違反，業主對於工項為劇烈的改變，導致實際上增加承包商的履行責任。學者王伯儉認為工程變更之範圍應以本合約工程之範圍為限，如超出原訂之工作範圍，而業主要求增加工作時，此即所謂「額外工程」，承包商即無義務一定要依照業主之指示辦理、或可要求另行議價。而我國工程實務亦漸漸採用重大變更理論，如工程採購範本第 20 條第 1 款調：「…契約原有項目，因機關

要求契約變更，如變更之部分，其價格或施工條件改變，得就該等變更之部分另行議價。新增工作中如包括原有契約項目，經承包商舉證依原單價施作顯失公平者，亦同。」交通部臺灣區國道新建工程局的「一般條款」將業主指示辦理「1.增加或減少車道數。2.增加或減少交流道。3.將原設計之路工、橋梁或隧道任兩項互相變更，其變更長度在 150 公尺以上者」等三種變更設計型態列入「重大契約變更」。值得注意的是，有時候契約重大的變更，未必對於承包商不利，但為避免爭議，仍應以承包商確認欲同意該重大變更為宜。

(2)契約同一性

指示變更應不影響「契約同一性」，否則即應以新契約處理，我國法認為契約變更如害及契約同一性，即屬於「契約更改」，使舊契約關係消滅而成立新契約，此部分即為所謂的「額外工程」，承包商並無依照業主的變更指示施作的義務。如高等法院 87 年度重上字第 384 號判決謂：「不因業主變更施工方法，及變更設計後工程款之增減，影響契約之同一性，而成為另一新契約；最高法院判決予以維持，承包商不得拒絕業主之變更命令。」、高等法院 92 年度上易字第 426 號：「原合約內裝工程履行完畢後，業主開始經營賣場後又追加十八項新工作，新工作部分非原合約之變更或增減，為另行追加之工程，原合約規定(逾期申請加減帳以自願無償施工)不能拘束追加之工程。」

(3)顯然違反誠信原則之變更

業主在指示契約變更時，亦不能有濫用權利，違反誠實信用原則的情形發生，例如

大幅追加合約單價不佳的工程項目，承包商因而虧損、惡意追減工作，以便部分工作交由其他指定承包商承攬、變更所需工法超過承包商施工能力亦非承包商投標可預見。故亦有學者認為若業主指示變更的程度，已刪除契約中主要的工作或是刪除後契約工作數量及金額有顯著地減少，已達一定比例時，甚至有將刪減的工作交由他人施作等情形，則應認為該契約變更的指示，已完全改變原契約的設計精神或理念，即非得以契約變更的方式辦理，而屬於契約終止的範疇，承包商依法得依民法第 511 條請求損害賠償。

(4)違反法令之變更

業主的指示若違法法令時，原則上承包商應無遵守之義務。常見的情形有：變更追加後合約總金額超過營造業法對原得標承包商承攬限額(但值得注意的是，在適法性的層面上有不同的解讀可能，如營署中建字第 1023580047 號認為：「…營造業承攬公共工程因物價指數調整或設計變更等不可歸責營造業因素，致結算總價逾越承攬之限額，仍僅得依承攬限額登載於承攬工程手冊，應無違反本法之立法意旨。」)、公共工程變更追加的結果金額違反採購法限制性招標規定、追加使用執照後的二次工程(違反建築法)、建築變更未通過主管機關履勘仍指示承包商施作等等，如最高法院 89 年度台上字第 1574 號則謂：「業主交付變更設計圖與送請主管機關核准之設計圖完全不同，業主既未送請主管機關為變更設計手續，該設計圖即非合法設計圖；因而肯定承包商請求業主完成變更設計手續為有理由。」，亦即承包

商對於未經合法變更之圖說得先予拒絕施作。

(5)已完工及驗收合格後之變更

完工後驗收合格，蓋原合約約定工作均已完成，則應認承包商已盡給付義務。此時，若業主再為指示變更追加時，將影響契約完工範圍、保固期等認定，該命令應屬新工程之要約，承包商得選擇是否接受。

4.再者，肯認業主具有指示變更契約的權利後，尚須探討的亦有承包商是否有先行施作的義務？我國法院傾向承認此等約款之效力。如最高法院 94 年度台上字第 1395 號判決謂：「原審以：…… § 2000mmRCP 水泥管之變更設計，不應核給工期部分：系爭契約第六條約定：『被上訴人在系爭工程原計劃範圍內，有隨時變更設計及增減工程數量之權，如有新增工程項目時，應由雙方協議合理單價，若雙方無法達成協議，得交由仲裁機構議定價格，被上訴人並有要求先行緊急施工之權，上訴人不得異議。』，準此以觀，上訴人在 § 2000mmRCP 水泥管變更設計之議價程序完成前，或變更預算書經審核完畢准予施工之日前，即得要求被上訴人先行施作 § 2000mmRCP 水泥管之變更設計工程。……經核於法洵無違誤。」

(二)承包商建議

承包商對於契約變更部分，只能提出對於契約變更的建議，而是否同意契約變更的決定權仍然在業主，因此承包商應評估需求與目前情況，選擇使用何種變更類型，如有機會爭取有利情況，或許透過協商尋求「雙方合意」之變更方式。例如台北市政府工程採購契約範本第 21 條將「契約原標示之廠

牌或型號不再製造或供應」、「契約原標示之分包承包商不再營業或拒絕供應」、「較契約原標示者更優或對機關更有利」三種情況列為承包商可以建議變更契約的項目。

四、情事變更原則請求變更契約

承包商在開始施工後，可能遭遇的情況非常多樣，例如工程現場情況與原本預定的情況相差甚遠、原物料突然上漲、或承包商已為合理的工地勘查，但實際地形與圖說規範有極大差異等，則承包商得否請求業主增加成本或變更契約內容？得否依據情事變更原則為請求基礎？

(一)民法第 227 條之 2 第 1 項規定「契約成立後，情事變更，非當時所得預料，而依其原有效果顯失公平者，當事人得聲請法院增、減其給付或變更其他原有之效果。」即業主與承包商成立契約後，如果遇到不可預料之情況，而依原來的契約履行對於任一方有不公平的事情時，不管是業主還是承包商都能請求法院變更契約內容，當然，會使用到情事變更的前提為雙方就重新訂立契約變更契約或是訂立補充條款一事無法達成合意。

(二)而情事變更之要件有哪些？我國法院實務上肯認有兩個條件，分別為契約之一方欲請求契約之情事變更，自應係不可歸責於該方之事由及需檢視該風險是否已經雙方評估並納入締結契約之內容，如果在契約訂定時已將該情況納入考量，則無法據以請求情事變更。如最高法院 106 年度台上字第 1607 號民事判決謂：「法律關係發生後，為其基礎或環境，於法律效力終了前，因不可歸責於

當事人之事由，致發生非當初所得預料之劇變，如仍貫徹原定之法律效力，顯失公平者，法院始得依情事變更原則加以公平裁量，而為增減給付或變更其他原有之效果。」及最高法院 103 年度台上字第 2605 號民事判決謂：「因此，當事人苟於契約中對於日後所發生之風險預作公平分配之約定，而綜合當事人之真意、契約之內容及目的、社會經濟情況與一般觀念，認該風險事故之發生及風險變動之範圍，為當事人於訂約時所能預料，基於「契約嚴守」及「契約神聖」之原則，當事人僅能依原契約之約定行使權利，而不得再根據情事變更原則，請求增減給付。」

(三)簡言之，得否向法院依情事變更原則請求變更契約，除須符合上開要件之內容外，尚須仰賴欲請求契約變更之一方提出證據證明其沒有可以歸責的事由已及締約當下之情形及條件無法預測到該情形之變化。

五、擬制的契約變更

(一)所謂擬制契約變更，係指業主或業主之工程司所為的非正式口頭或書面指示，而使承包商履行與原契約所載不同的工作範疇，使契約原訂工程形成變更，進而使承包商有權要求業主對契約價格作一合理的調整。由於此種變更型態並非當事人間明示，而是由客觀情境擬制而來，因此稱為「擬制的契約變更」。其主要的類型有「有瑕疵之規範」、「施工方法之變更」、「契約條款及規範之解釋錯誤」、「過度之檢驗」、「合格工作之拒絕」、「『同等』代替品之拒絕」、「業主供

應有瑕疵之材料、機具及設備」等情形。

(二)惟我國司法實務似尚未承認得以擬制契約變更作為請求權之依據，多半援引誠信原則或其他請求權作為主張，如台灣高等法院台中分院 93 年度建上字第 23 號判決謂：「…就原合約工期外六百零八天及九百九十天之管理成本及費用，不僅不在原合約所約定範圍，亦顯超過一般有經驗之承包商於投標時所得合理預見之情況，是上訴人自得援引情事變更原則請求增加給付。」，惟亦有少數實務判決似有承認擬制契約變更之意味，如最高法院 59 年度台上字第 1005 號判決表示：「因上訴人之增加措施，所借用房屋之價值顯然增加，在我民法使用借貸一節，雖無得請求償還或返還其價值之明文，然依據外國立法例，既不乏得依無因管理或不當得利之法則，請求償還或返還之規定，則本於誠實信用原則，似非不得將外國立法例視為法理而適用。」、台灣高等法院 90 年度上更字第 243 號判決謂：「上訴人(業主)既於上開協調會中指示被上訴人依其指示施工完畢後，再予否認該打拔鋼板樁方式施工，自不得於被上訴人依其指示施工完畢後，再予否認該打拔鋼板樁工作非新增項目。」

六、結論與建議

自來水工程從業人員面對前揭契約變更之爭議，業主雖享有契約的變更權利，但其並非毫無限制，亦即業主要辦理契約變更，仍必須在契約中有契約變更條款，且變更的內容必須在契約約定的範圍之內；另承包商在契約訂立以前就應先檢視自身工程

合約，特別是變更契約的條件，必要時應向業主請求釋疑，並在締約當下確認履行契約時可能遇到的狀況，並考量訂入契約。業主應注意指示變更是否有超過工作範圍，如是承包商可拒絕之或是請求變更追加相應的補償，並養成在締約時或履行契約過程中，隨時要求將重要事項記錄成會議記錄或是用錄音的方式保障自身權利，以防止在日後遇訟時，落得沒有證據可提出之情形。

參考文獻

- 1.本文之法條、判決查詢來源為法源法律網
<https://db.lawbank.com.tw/FLAW/>
- 2.行政院公共工程委員會，工程採購契約範本，104年5月26日修正版。
- 3.黃豐玠，工程契約變更之爭議，工程爭議問題與實務(二)，99年12月，P.17~42。
- 4.謝哲勝、李金松，工程契約理論與實務，107年9月。

作者簡介

謝彥安先生

現職：執業律師、土木技師、國立台灣大學兼任講師、
台北自來水事業處「管線工程廠商領班人員訓練」等課程法律講座

專長：工程法律、廉政倫理、勞資法律

赴日本熊本參加「2023 年第 12 屆台美日水系統耐震研討會」出國報告

文/吳陽龍

一、緣起及目的

臺灣、日本及美國同屬環太平洋地震帶，各種天然災害中，尤以大規模地震對公共給水系統的危害最大，各國無不積極投入自來水系統耐震性與震後應變之研究。為交流彼此技術與經驗，透過美國自來水協會研究基金會(AWWARF, America Water Works Association Research Foundation)與日本自來水協會(JWWA, Japan Water Works Association)為平台，自 1999 年起，每 2 年美、日兩國輪流主辦「美日自來水設施耐震對策研討會」，邀請自來水學者及自來水從業人員參加並發表論文，期能廣泛交流、相互學習與增進情誼。自第 3 屆起，擴大邀請臺灣中華民國自來水協會(CTWWA)參與，針對自來水相關設施之系統效能分析、風險評估與管理、震後應變與恢復、震害經驗與防治技術等議題研討，以提升供水系統防震、耐震的能力，加強災害應變及救災能力，以確保維生供水的安全穩定。

2023 第 12 屆台美日水系統耐震研討會(The 12th JWWA/WRF/CTWWA Water System Seismic Conference) 由日本水道協會及日本熊本市上下水道局主辦，於日本熊本市熊本城大會堂(Kumamoto Jo Hall)舉行，台灣由中華民國自來水協會吳陽龍秘書長率隊，參加及發表論文者包含台灣自來水公司李丁來副總經理及歐尚鑫、吳鍾青工程師，台北自

來水事業處柯祖穎副總隊長、陳國駿工程師、國家地震工程研究中心葉錦勳博士及劉季宇博士、國家災害防救科技中心吳秉儒博士及中興工程顧問公司王侑翔工程師等 10 人參加。其目的期望透過與美國及日本等地震各方面的專家，對地震緊急應變作為、多重複合災害和極端事件的減災方案、災情預測及復原最佳化之規劃以及供水系統提升耐震能力的計畫及作為等互相交換經驗及學習，以期日後對地震防災、減災及救災工作的推動執行上有所助益。



圖 1 會議舉辦地點日本熊本市熊本城大會堂(Kumamoto Jo Hall)

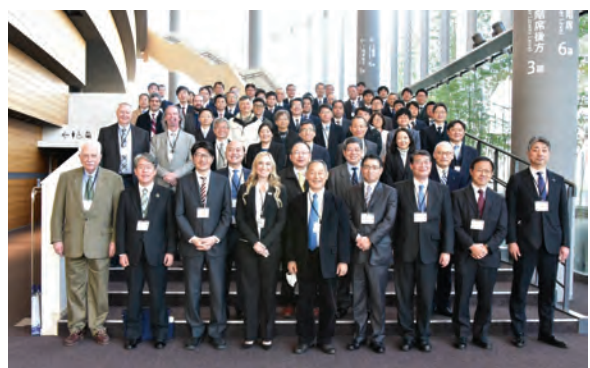


圖 2 所有與會人員合影

二、活動內容

(一)研討會

1.預備會議及開幕

預備會議由吳秘書長、李丁來副總經理及劉季宇博士代表參加，預備會議確認本次會議議程並互相介紹、熊本市長大西一史先生親臨致歡迎詞，並與各國代表合影(如圖 3)並致贈各國代表禮物，各國代表亦回贈市長禮物(如圖 4)及，隨後進入會場舉行開幕式，首先由主辦單位熊本市市長大西史一及 JWWA 理事長青木秀幸先生致歡迎詞及本次活動之主題，繼由美國水研究基金會訂閱者服務總監 Brenley McKenna 女士及 CTWWA 吳秘書長致詞感謝主辦單位用心的安排此次會議及參訪活動，吳秘書長致詞時特別歡迎所有與會者能夠來台參加由 CTWWA 在高雄主辦的 2023 年 IWA-ASPIRE 會議及展覽會。



圖 3 熊本市市長與各國代表合影

2.專題演講

緊接著上場的是三個主題演講，分別由熊本市上下水道局的 Yuji Matsuoka 先生演講“供水系統的基礎設施問題—由熊本地震導致的問題及教訓”，台灣自來水公司李



圖 4 吳秘書長與熊本市市長交換禮物後合影

丁來副總經理主講“台灣自來水公司抗震減災策略”，最後上場的是南加州都會水務局的 Winston Chai 主講“減輕大口徑管道地震風險的綜合策略”。三篇演講均以公司目前推動的抗震減災策略作法來說明地震發生時的應變作為及後續系統的檢討及強化改善措施，獲益良多。

3.研討會

本次研討會設定討論主題包括耐震研究、風險分析技術、減震措施、管網的地震應對、抗震設計及實施、部門合作及緊急應變復原等議題，各議題之參與論文內容如下，研討會情形(如圖 5、圖 6 及圖 7)：

議題一：主持人：Jian Zhang 博士(美國)

參與論文：

- (1)東京水道局 Mizuki Uemura 先生－“輸送設備（原水連接管道）的雙重化和“第二朝霞－東村山線”的開發”（日本）
- (2)Tualatin Valley Water District, Michael J. Britch 先生－“提高大型輸水系統管線設施整體抗震性能的抗震設計質量控制實踐”（美國）

(3)台灣自來水公司吳鍾青工程師－“供水系統風險管理-板新供水改造工程”（台灣）

(4)仙台市水道局 Shunichi Hayasaka 先生－“仙台市地震災害防災信息提供項目的成果”（日本）

議題二：主持人：Nagahisa Hirayama 博士(日本)

參與論文：

(1)台灣自來水公司歐尚鑫博士－“水箱伸縮縫抗震措施研究”（台灣）

(2)橫濱水道局 Rintaro Okada 先生－“從市政供水系統中灌裝水車和接收罐的專用設備的製造”（日本）

(3)南加州大都會水務局 Tao Peng 女士－“虹吸管跨斷層地面沉降設計”（美國）

(4)臺北自來水事業處陳國駿工程師－“地震對網絡消耗和泵送行為的影響”（台灣）

(5)大阪水道局 Takashi Nakai 先生－“大阪市抗震對策強化計劃第 2 版”（日本）

議題三：主持人：葉錦勳博士(台灣)

參與論文：

(1)阪神供水局 Tomohisa Okamoto 先生－“類水庫結構抗震性能評價及提高抗震措施”（日本）

(2)East Bay Municipal Utility District, Raffi Moughamian 先生－“大口徑鋼管對斷層蠕變的響應”（美國）

(3)國家災害防救中吳秉儒博士－“基於網絡的供水系統損傷評估－台灣兩次大地震的案例研究”（台灣）

(4)C.A. Davis Engineering, Craig A. Davis, －“建立震後供水系統服務恢復目標的框

架”（美國）

(5)熊本市上下水道局 Kazumitsu Tashiro 先生－“應對 2016 年熊本地震後的新實際損失”（美國）

議題四：主持人：Andrea Chen 女士(美國)

參與論文：

(1)神戶水道局 Kouhei Mizobuchi 先生－“抗震基本方案抗震措施效果評價及重點設施改進措施驗證”（日本）

(2)Tualatin Valley Water District, Michael J. Britch 先生－“瞬態地面震動在抗震焊接鋼管和球墨鑄鐵管道設計中的實際應用”（美國）

(3)名古屋大學 Nagahisa Hirayama 博士－“地震後配水系統損壞造成經濟活動機會損失評估程序的開發”（日本）

(4)國家地震工程研究中心葉錦勳博士－“台北供水管道的地震危害和脆弱性優先排序”（台灣）

議題五：主持人：Masakazu Miyajima 博士(日本)

參與論文：

(1)國家地震工程研究中心劉竹季宇博士－“矩形含水鋼筋混凝土結構抗震設計與評估”（台灣）

(2)仙台水道局 Yuya Oshikiri 先生－“開發利用東日本大地震災害民族志調查的人才培養培訓教材”（日本）

(3)洛杉磯水電局 Jianping Hu 博士－“水系抗震管網開發”（美國）

(4)Kubota Corporation, Shogo Kaneko 先生－“盾構隧道抗斷層位移管道設計方法”（日本）

議題六：主持人：李丁來博士(台灣)



參與論文：

- (1)名古屋大學 Nagahisa Hirayama 博士－“應急供水數值模擬模型的研製”（日本）
- (2)中興工程公司王侑翔先生－“建立供水幹管標準，以抗震因素取代優先次序”（台灣）
- (3)Meta Water Co., Yuji Kawase 先生－“介紹利用 ICT 加快自然災害後供水服務恢復和荒尾市日常故障排除業務的案例研究”（日本）
- (4)SPA Risk LLC, Charles Scawthorn 先生－“主要應力事件對埋地管道使用壽命的影響”（美國）

議題七：主持人：Jian Zhang 博士(美國)

- (1)Nihon Suido Consultants Co., Ltd., Satoshi Iwatsubo 先生－“日本供水設施地震破壞及抗震設計建議”（日本）
- (2)Colorado Boulder 大學, Bard P. Wham 博士－“抗災伸縮縫評估程序的評估”（美國）
- (3)中華民國自來水協會吳陽龍秘書長－“台北供水系統的液化風險評估”（台灣）
- (4)日本水道協會 Shigeru Imai 先生－“自來水公司和 JWWA 相互支持應對重大災難”（日本）



圖 5 李丁來副總經理擔任議題主持人



圖 6 國家地震研究中心葉錦勳博士及劉季宇博士演請情形



圖 7 研討會情形

4.閉幕典禮及晚宴

閉幕典禮由日本東京大學 Hiroshi Nagaoka 博士、美國代表 Brenley Mckenna 女士及李丁來副總經理發表對本次研討會成果發表感言，接下來由接辦第 13 屆台美日水系統耐震研討會的台灣說明辦理單位及地點，由吳秘書長代表宣佈第 13 屆台美日水系統耐震研討會預訂於 2025 年秋季在台北舉行(如圖 8)，預定舉辦地點為台灣國家地震工程研究中心，並介紹台北的人文地理，便捷的捷運系統，便宜好吃的美食及豐富的文化。

1 月 30 日的晚宴(Speakers Reception)，由 JWWA 宴請所有的論文發表者，由 JWWA



圖 8 吳秘書長報告接辦第 13 屆台美日水系統耐震研討會計畫及介紹台北



圖 9 JWVA 理事長青木秀幸於 1 月 30 日晚宴致詞，熊本市上下水道局長田中陽礼於 1 月 31 日晚宴邀請吳秘書長及美方代表向所有與會者敬酒

理事長青木秀幸先生主持(如圖 9)，他感謝所有論文發表者的準備精彩的論文內容，讓與會者能獲益，希望大家持續支持台美日耐震研討會能永續的辦下去，以提升供水系統的耐震能力，能夠減除民眾因地震造成的缺水問題，1 月 31 的晚宴，由熊本市上下水道局宴請各國代表及論文發表者，宴會由水道局長田中陽礼主持(如圖 9)，他也感謝所有論文發表者的辛勞，對研討會各項工作如有準備不週之處，能夠見諒，同時也歡迎與會者能利用時間到熊本城及各處景點觀光，也希望大家能再來熊本玩，同時明天會去參訪熊本

水道局的水源及設施，對熊本供水的系統及良好水質有所了解，對明天的參訪能有所收穫。

(二)技術參訪

本次技術參訪，主辦特別安排參訪 2016 年熊本大地震震央南阿蘇村的震災遺跡，及熊本地震震災博物館(如圖 10)，熊本大地震的特殊性在於 4 月 14 日晚上 9 點 26 分發生震度 6.5 的前震後，28 小時後再發生震度 7.3 的強震，造成南阿蘇村房屋全倒 699 幢，半倒 989 幢，部分損壞，死亡 31 人，重傷 31 人，輕傷 120 人，80%停水停電，重要交通設施及農水灌溉水路損壞，對當地觀光及經濟造成嚴重損失，後續的豪雨更造成多處山崩災害。

參訪路途經過台積電在熊本市菊陽町的工地，主辦單位特別介紹，熊本市高品質及豐富的水資源是台積電選擇熊本設廠的主要原因，該工廠將於 2024 年底完工投廠，預估將雇用 1700 人，熊本機場也因此開拓與與台灣的直航班機，其對熊本市的经济發展將有甚大的助益。

最後參觀熊本市的水源頭-健軍水源地，熊本市人口 74 萬人，是全國少數全由地下水供應的城市之一，水源地有 38 處，71 口水井，設有配水池 54 個，輸配水管長 3,500 公里，每日平均供水量 25 萬噸，健軍水源地供應全市 1/4 的配水量，約 6 萬噸/，水源地設有 12,000 噸配水池一座及緊急遮斷閥及抽水站及發電設備，以供災害發生時之緊急供水之用，現場亦放有震災時之災害搶修照片(如圖 11)，讓參觀者可以了解當時的救災狀況。



圖 10 熊本地震橋樑及房舍災害遺跡情形



圖 11 緊急供水加壓站及地震災害搶修圖片

三、心得與建議

(一)熊本台美日水系統耐震研討會原訂 2021 舉行，因 Covid-19 疫情關係，主辦單位多次與 WRF 及我方連絡，終於在疫情稍緩後舉行，舉辦地點訂於熊本城附近的

熊本市大會堂，大會堂除了會議室及展覽空間外，亦設有百貨商場、巴士轉運站及飯店，交通便利，機能良好，與會人員住宿至會場僅需步行 5 分鐘，極為方便，主辦單位在會場安排上可謂用心良苦。

- (二)主辦單位於會場旁設有展覽攤位，邀請水系統耐震有關的管線及器材廠商展出其最新研發的產品，參展廠商同時也是研討會的贊助者，這也是主辦單位負責全部研討會支出的主要經費來源，下次輪由我方辦理時，亦可多邀廠商贊助參展，以展示台灣在耐震管材的研發成果。
- (三)由於地層錯動所造成供水系統損壞最為嚴重，因此設計時應慎重考量因地層錯動所可能發生的變位及影響，有必要採用適當的設計、以降低或避免損壞發生。此次研討仍有甚多論文探討管線穿越斷層的設計及案例，可作為日後設計採用的參考，臺北自來水事業處最近對穿越山脚斷層的管線均已考量其斷層錯動的影響，辦理設計施工，以提升管線安全。台灣自來水公司也開始試辦 NS 耐震接頭管線，日後如能對通過斷層的管線採用耐震管材，將可大幅提升供水系統的安全性。
- (四)在供水安全方面，對配水池的耐震能力，伸縮縫的設計及施工至為重要，論文有多篇討論此議題，另外災害發生時的緊急供水的確保也多有討論，如何快速補充緊急配水桶的水量以供民眾取用，部分自來水事業發表的研究成果及經驗，也值得參考採用。
- (五)2025 年台美日水系統耐震研討會論由我方主辦，在論文方面，建議及早準備，將各單位相關的耐震研究成果或推動供水系統耐震的策略、計畫及改善，地震災害搶修經驗，以及如何確保民眾緊急

供水的作法等等，均可鼓勵同仁著作發表，以增加我方論文發表的質量。

作者簡介

吳陽龍先生

現職：中華民國自來水協會前秘書長

專長：水利工程、自來水工程、自來水事業經營管理

協會訊息

文/自來水協會會務組

一、第 55 屆自來水節慶祝大會、中華民國自來水協會第 20 屆第 1 次會員代表大會暨第 39 屆自來水研究發表會經由台水公司第十一區管理處承辦，已於 111 年 11 月 16~17 日假南山人壽教育訓練中心順利圓滿舉辦完成。



圖 1 大會由郭理事長俊銘主持

二、會員代表大會中選舉投票第 20 屆理、監事，當選名單如下：

理事：胡南澤、穆岳鈞、李嘉榮、王明孝、武經文、邱憲龍、李丁來、吳振榮、呂崇德、王亮中、王傳政、丘宗仁、蕭淑貞、董書炎、張煥獎、陳錦祥、馬永賢、陳明州、楊清和、范煥英、張順莉、林財富、邱福利、康世芳、黃志彬、駱尚廉、鄧景名、王文龍、李政宗、楊錦松、黃文田

監事：李文峯、董季琪、王士雲、白榮裕、李慶興、王藝峰、吳能鴻、王根樹、張武達

三、第 20 屆理、監事會第 1 次聯席會議於 111 年 12 月 14 日投票選出李嘉榮先生為理事長、王藝峰先生為監事會召集人、常務理事為胡南澤、范煥英、王明孝、吳振榮、穆岳鈞、陳明州、林財富、鄧景名，常務監事為吳能鴻、白榮裕。

四、第 12 屆台美日水系統耐震研討會 (JWWA/WRF/CTWWA Water System Seismic Conference) 於 2023 年 1 月 30 日至 2 月 1 日於日本熊本市召開，會中由台水公司李丁來副總經理發表 Keynote speech，論文發表共 31 篇，其中日方 14 篇、美方 9 篇、台灣 8 篇，分別由吳秘書長、台水公司歐尚鑫、吳鍾青，北水處陳國駿，國震中心葉錦勳、劉季宇，國家災防中心吳秉儒及中興顧問公司王侑翔發表。整體會議在日方的用心安排下圓滿成功。第 13 屆台美日水系統耐震研討會輪由台灣承辦，將於 2025 年秋季於台北舉辦。

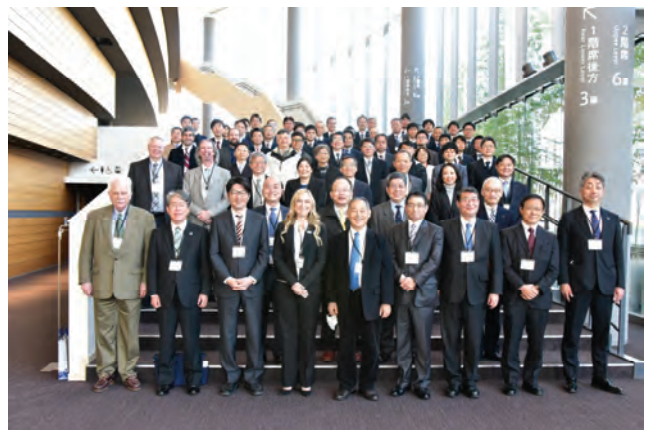


圖 2 耐震研討會所有與會人員合影

五、JWWA 請本協會協助辦理 2023 年海外訓練，於 2 月 21 日至 2 月 24 日於本協會上課，課程由台水公司及北水處的優秀年輕主管及同仁擔任上課講師。藉由此此次訓練可促進台日兩方年輕水專業人員之相互學習交流。



圖 3 2023 JWWA 海外訓練課程上課情形



圖 4 理事長宴請日本來台訓練人員

六、112 年 2 月 15 日第 20 屆理、監事會第 2 次聯席會議決議通過各委員會之副召集人、副主任委員、委員及秘書，各委員會之組成如下：

諮議委員會：

召集人：李嘉榮

副召集人：胡南澤

委員：王藝峰、陳錦祥、林財富、范煥英、鄧景名、黃志彬、馬永賢、楊清和、康世芳

國際事務委員會：

主任委員：林財富

副主任委員：王藝峰

委員：駱尚廉、黃志彬、李丁來、王根樹、周國鼎、陳明州、邱憲龍、童心欣

委員兼秘書：黃良銘

編譯出版委員會：

主任委員：黃志彬

副主任委員：李丁來

委員：陳明州、康世芳、武經文、楊人仰、邱福利、吳能鴻、王明傑

秘書：林正隆

會務委員會：

主任委員：陳錦祥

副主任委員：穆岳鈞

委員：陳維政、張順莉、王淑芳、張煥獎、董季琪、王文龍、李政宗、王亮中、李文峯

財務委員會：

主任委員：康世芳

副主任委員：王明孝

委員：蕭淑貞、楊錦松、白榮裕、黃美玲、呂崇德、黃文田、林珈汶

技術研究委員會：

主任委員：駱尚廉

副主任委員：吳振榮

委員：王傳政、張添晉、徐俊雄、朱撼湘、謝張浩、邱福利、范川江、鄧景名、陳文祥

秘書：林逸彬

管理研究委員會：

主任委員：王根樹

副主任委員：張順莉

委員：王士雲、林孟珠、李慶興、董書
炎、許敏能、柯祖穎、張武達、
謝素娟、楊境維

青年事務委員會：

主任委員：謝宗成

副主任委員：黃欽稜

委員：林志麟、甘其銓、鄭格浩、蘇怡
昌、陳品如、游叡研、劉人嘉

秘書：陳朝旭

IWA Micropol and Ecohazard
Conference)。

十一、協會主辦「第九屆國際水協會亞太地
區會議及展覽會」9th IWA-ASPIRE
2023 即將於 2023 年 10 月 22-26 日於
高雄舉辦，歡迎會員與會共襄盛舉。
相 關 連 結 如 下：[https://iwa-
network.org/events/iwa-aspire-confe-
rence-exhibition-2023/](https://iwa-network.org/events/iwa-aspire-conference-exhibition-2023/)

七、第 20 屆理、監事會第 2 次聯席會議第 1
號提案通過第 56 屆自來水節慶祝大會
暨第 20 屆第 2 次會員代表大會委請臺北
自來水事業處工程總隊籌辦。

八、第 20 屆理、監事會第 2 次聯席會議第 4
號提案通過為本會秘書長吳陽龍先生
屆齡卸任，秘書長一職由陳錦祥先生接
任，並自本（112）年 3 月 1 日起生效。

九、第 20 屆理、監事會第 2 次聯席會議第 6
號提案通過為促進會員聯誼及交流擬
恢復羽毛球、桌球、慢壘、網球等體育
活動。羽毛球請臺北自來水事業處承
辦，桌球請台水公司第四區管理處承
辦，慢壘請台水公司第七區管理處承
辦，網球請台水公司第五區管理處承
辦，於下次理事會提出辦理詳細辦法。

十、第 20 屆理、監事會第 2 次聯席會議同意
王監事根樹臨時動議：由協會與國立臺
灣大學、中華民國環境工程學會共同主
辦 2024 IWA 微污染物研討會(2024