自來水會刊第 36 卷第 4 期目錄

實務研究

水管橋表面局部塗裝防苔塗料試辦成果……李鴻利……1

本期專題　新興議題與再利用

水質檢測預警機制建立－陽性控制菌株中間查核與環境落菌數測試……陳伊玟、黃文惠……9

自來水淨水污泥應用於高壓地磚之研究……彭靖芳、洪世政、陳豪吉……21

淨水污泥應用於控制性低強度材料之研究……鍾錦珍、彭靖芳、陳豪吉……33

運用大數據解析危機傳播策略可行性－以颱風為例……周麗娟……44

一般論述

探討自來水中三鹵甲烷生成及其健康風險評估……張琰竑……53

他山之石

參加國際水協會(IWA)『永續資產管理—領導時代研討會』紀實……文其正、許嘉軒…… 63

感性園地

臺灣現代化自來水建設之開拓者都市的醫師－濱野彌四郎……吳世紀……76

工作現場

捷運施工造成自來水管線漏水之搶修及保護措施……田友仲、李中彥……85

廠所的一天

大口徑地下推進管段漏水搶修個案探討……陳柏維、葉清華……87

協會與你

歡迎投稿 107年「每期專題」……75

本刊新增「自來水廠（所）的一天」單元……32

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法……20

封面照片：台灣自來水公司提供

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、一般論述、每期專題、業務報導、專家講座、他山之石、法規櫥窗、協會與您、會員動態、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），前述二類文稿請儘量附英文題目及不超過 150 字之中英文摘要，本刊將委請專家審查。「每期專題」由本刊針對特定主題，邀請專家學者負責籌集此方面論文予以並列，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、惠稿每篇以三千至壹萬字為宜，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。

七、惠稿(含圖表)請用電子檔寄至 aael@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，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、本刊係屬贈閱，如擬索閱，敬請來信告知收件人會員編號、姓名、地址、工作單位及職稱，或傳真(02)25042350 會務組。本刊將納入下期寄贈名單。

十、本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。

十一、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 92 年 3 月 26 日工程企字第 09200118440 號函增列為技師執業執照換發辦法第五條第一項第四款之「國內外專業期刊」，適用科別為「水利工程科」、「環境工程科」、「土木工程料」。

自來水會刊雜誌

發 行 單 位：中華民國自來水協會
發　行　人：胡南澤
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

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

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
駱尚廉、葉宣顯、康世芳、王根樹、林財富、陳曼莉、范煥英、洪世政、莊東明

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：陳品如
電　　話：(04)22244191 轉 266

行政助理：古蓁苓

印　　刷：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

水管橋表面局部塗裝防苔塗料試辦成果

文/李鴻利

摘要

臺北自來水事業處對於水管橋外觀維護部分，明訂每 7 年為一週期定期辦理，惟於維護完成約半年後水管表面常孳生青苔，水管橋佈滿青苔之現象，可能造成民眾觀感不佳，甚至對用水品質產生質疑。

本次試辦 3 家廠商共 7 種抑制青苔生長之塗料，並在清二水管橋辦理局部塗裝塗料試辦工程，自 104 年 11 月至 106 年 1 月共 434 天定期觀察，觀察結果僅含氣凝膠隔熱漆之塗料具有抑制青苔滋長成效，其餘塗料皆無法抑制青苔生成，且在 105 年 5 月至 6 月及 105 年 9 月下旬至 11 月這二段觀察期間，青苔滋長特別快速。另擇 2 日進行現場溫度量測，量測結果無論現場環境溫度為 26℃或 35℃，含氣凝膠隔熱漆之塗料與現場環境溫度僅相差 4~5℃，而其他塗料表面溫度在周遭環境溫度為 35℃時，其溫差甚至相差近 22℃，故研判塗料或管材若具有「隔熱效果」，應可抑制水管橋管線表面青苔生成。

一、前言

臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）對於水管橋外觀維護部分，考量水管橋塗裝塗料過程受汛期及氣候影響甚鉅，故於 10 月初方開始進場辦理水管橋表面清潔及塗料塗裝，工期約 120 天至 180 天，完成時間約為翌年 2 月至 4 月，且每 7 年為一週期定期辦理。惟在臺灣高溫潮濕環境下，水管橋管體外面常有結露發生，易伴隨青苔孳生，且該現象多於水管橋維護完成約半年後即發生。不僅如此，結露現象亦會匯集成水滴滴至堤外自行車道或休閒區域，造成民眾不便，甚至誤認為管線漏水。前述在管壁孳生青苔及滴水現象，易造成民眾觀感不佳，甚至對用水品質產生質疑。

為研究是否有塗料可抑制水管表面生長青苔，且考量水管橋塗料過程受氣候影響甚鉅，故北水處搜集相關塗料產品資訊並於中安大橋旁第二條清水幹線之水管橋（以下簡稱中安大橋旁清二水管橋）辦理水管橋管線局部塗裝塗料試辦工程。倘該等塗料能抑制青苔生長，不僅可保持水管橋美觀，且有助於台北好水之行銷。

二、水管橋青苔生長原因

有鑑於水管橋塗料過程受氣候影響甚鉅，故僅能在 10 月初方可開始進場辦理塗料塗裝，俟完成後已是翌年 2 月至 4 月期間。自 5 月開始，氣候逐漸轉為夏季高溫季節，因自來水管多設置於地底下，長期不受日曬，僅在河川處管線會以水管橋或附掛橋樑方式跨越，位於地下管線之自來水溫度較地面上低，當較低溫之自來水從地底下管線經過水管橋之管線時，此時水管橋管壁內水溫明顯低於周遭環境溫度，在濕度高且管壁內外溫差更大的環境中，水管橋水管管體外面常有結露發生，而藻類及菌類等生物在大氣中浮遊後落在管壁上，搭配管壁上水份滋養，易在管壁上孳生青苔。以北水處永福橋旁清一水管橋、中安大橋旁清二水管橋、劍潭水管橋、圓山水管橋等 4 座水管橋為例，

其在管壁上皆有生滿青苔之現象，詳如圖 1~4。

圖 1　永福橋旁清一水管橋青苔孳生情形

圖 2　清二水管橋青苔孳生情形

圖 3　劍潭水管橋青苔孳生情形

圖 4　圓山水管橋青苔孳生情形

三、試辦方案

為防止水管橋水管表面青苔孳生有礙觀瞻或管壁水滴滴落影響橋下之民眾通行，故本次找尋 3 家塗料廠商共 7 種相關抑制青苔生長之產品，並於 104 年 11 月期間在中安大橋旁清二水管橋辦理水管橋管線局部塗裝塗料試辦工程，本試辦工程先進行水管表面清洗，俟表面乾燥後再塗裝試辦塗料，每種塗料塗裝面積約為 1 平方公尺，以下將說明各個產品、觀察週期及方式。

(一)產品說明

1.產品 A-1（底漆：HI-PON 20 塗料，面漆：HI-PON 防霉塗料）：

本試樣係在原有管面塗裝 HI-PON 20 DEGLO 變性環氧樹脂塗料（厚度 50μm）作為底漆，該底漆具有防蝕機能，在底漆上塗裝 HI-PON 防霉塗料（厚度 30μm）作為面漆，詳圖 5。該面漆係在製程中添加防黴劑等藥品，藉由添加防黴劑以抑制青苔及黴菌生長。

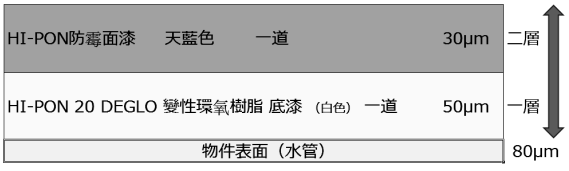


圖 5　產品 A-1 塗料塗裝示意圖

2.產品 A-2（底漆：HI-PON 20 塗料，面漆：5400F 永氟龍塗料加 2.5% MarineProtect）：

本試樣係在原有管面塗裝 HI-PON 20 DEGLO 變性環氧樹脂塗料（厚度 50μm）作為底漆，在於底漆上塗裝添加 2.5% MarineProtect 之 5400F 永氟龍塗料（厚度 20μm）作為面漆，詳圖 6。該添加劑具有銀離子的殺菌效果，主要用於船底在水中時，防止貝類及藻類附著於船底表面。

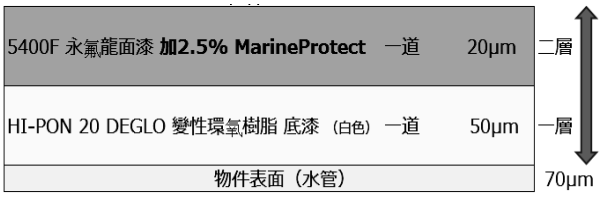


圖 6　產品 A-2 塗料塗裝示意圖

3.產品 A-3（底漆：HI-PON 20 塗料　面漆：5400F 永記永氟龍塗料加 5% Kabi Block 406-Y）：

本試樣係在原有管面塗裝 HI-PON 20 DEGLO 變性環氧樹脂塗料（厚度 50μm）作為底漆，在於底漆上塗裝添加 5% Kabi Block 406-Y 之 5400F 永氟龍塗料（厚度 20μm）作為面漆，詳圖 7。該添加劑具有抑制藻類滋長，該產品在日本水管橋試辦該類型塗料，其抑制青苔生成長效果佳。

圖 7　產品 A-3 塗料塗裝示意圖

4.產品 A-4（底漆：HI-PON 20 塗料，面漆：5400F 永記永氟龍塗料，面漆上塗膜光觸媒）：

本試樣係在原有管面塗裝 HI-PON 20 DEGLO 變性環氧樹脂塗料（厚度 50μm）作為底漆，在於底漆上塗裝 5400F 永氟龍塗料（厚度 30μm）作為面漆， 於面漆上分別依序塗上光觸媒塗膜 P-1 與光觸媒塗膜 M-VX，詳圖 8。

該光觸媒因內含二氧化鈦（TiO2），其二氧化鈦在照射到紫外線後，表面便產生活性氧，氧化後會分解異味或雜菌類，不僅達到除臭抗菌效果，此外，因光觸媒具有易溶於水之親水性，故只要下雨即可帶走表面的髒污。簡言之，該產品標榜塗膜具有自潔效果，可去除表面所附著之異物。

圖 8　產品 A-4 塗料塗裝示意圖

5.產品 A-5（底漆：HI-PON 20 塗料，面漆：5400F 永記永氟龍塗料，面漆上塗膜無光觸媒）：

不同於 A-4 產品，該產品毋需透過太陽光（紫外線）照射即可發揮抗菌、除臭或防污功用，主要係因該產品內含磷酸二氧化鈦，故在無紫外線照射下亦可發揮與光觸媒相同效果。

圖 9　產品 A-5 塗料塗裝示意圖

6.產品 B-1（底漆：水性環氧樹脂塗料，保溫漆：氣凝膠隔熱漆，面漆；防霉塗料）：

本試樣係在原有管面塗裝水性環氧樹脂塗料（厚度 200 μm）作為底漆，在於底漆上塗裝氣凝隔熱漆（厚度 2000 μm），最後再塗上防霉塗料（厚度 60 μm）作為面漆。該隔熱漆係具有低熱傳導性，隔絕管線內外溫差，藉此降低溫差以減少結露現象發生，進而達到抑制青苔之效果，詳圖 10。

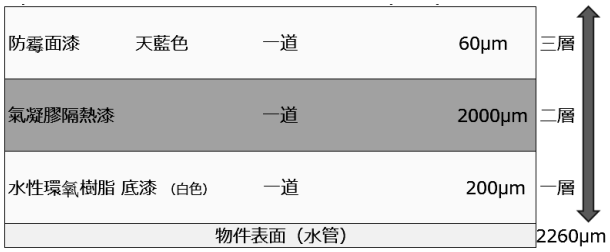


圖 10　產品 B-1 塗料塗裝示意圖

由於氣凝膠隔熱漆成本較高，故為瞭解缺少氣凝膠隔熱漆之差異性，另漆 1 處（產品 B-2），即在原有管面僅塗水性環氧樹脂塗料（厚度 200 μm）作為底漆，而防霉塗料（厚度 60 μm）作為面漆，詳圖 11。

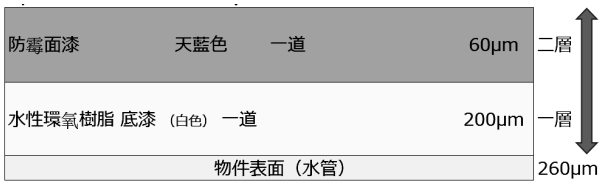


圖 11　產品 B-2 塗料塗裝示意圖

7.產品 C（ScotchkOOO Epoxy Primer 防腐蝕底漆）：

本試樣在原有管面僅塗裝 ScotchkOOO Epoxy Primer 防腐蝕底漆（厚度 125 μm），藉該塗料以防止青苔生長。

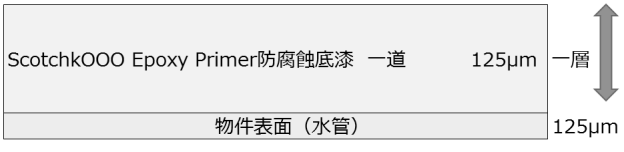


圖 12　產品 B 塗料塗裝示意圖

(二)觀察週期及方式

為瞭解前述試辦塗料抑制青苔生長情形，故在塗裝後分別觀察 3 個月、半年、1 年後抑制青苔之成效，觀察過程中一旦發現青苔開始生長時，即變更為每個月觀察 1 次，以利掌握所塗裝之試辦塗料抑制青苔生長後續情形。

本次試辦以目視方式觀察於水管橋管線上之試辦塗料是否可有效抑制青苔生長，或能否達到產品預期之成效（如雖無法有效抑制青苔，惟塗膜會與表面青苔污垢發生化學反應，並在下雨後，青苔污垢會隨雨水被沖刷掉）。若青苔仍會生長，則觀察青苔在試辦塗料上之生長速度。

四、觀察結果

本次試辦塗料，有關產品 A-1 至 A-5 於 104 年 11 月 18 日完成塗裝作業，產品 B-1 及 B-2 於 104 年 11 月 12 日完成塗裝作業，產品 C 於 104 年 11 月 4 日完成塗裝作業。本次各種產品觀察至 106 年 1 月 18 日止（即完成塗裝後約 428 天至 443 天），茲將觀察結果以青苔生長比例表示歸納如表 1。

表 1 各試辦塗料表面青苔分佈百分比

觀察日期	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	B-1	B-2	C
2015/11/18	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/2/22	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/5/12	10	4	2	10	15	0	100	5
2016/6/15	65	80	70	40	100	0	100	60
2016/7/15	2	5	2	1	6	0	5	1
2016/8/19	2	8	2	1	6	0	5	5
2016/9/20	55	40	35	45	30	0	5	15
2016/10/20	85	90	55	65	100	0	100	25
2016/11/21	85	100	100	90	100	0	100	90
2016/12/15	100	100	100	100	90	0	100	100
2017/1/18	100	100	100	100	90	0	100	100

(一)產品 A-1 至 A-5 觀察結果

產品 A-1 至 A-5 在完成塗裝後第 177 天就開始生長青苔，且自 105 年 5 月 12 日至 6 月 15 日變化最為明顯，青苔幾乎生長於整個試辦面積。惟在 7 月 15 日再次觀察，塗料表面之青苔有明顯減少現象，經瞭解在 6 月 16 日至 7 月 14 日期間，多次發生超大豪雨氣候，試辦區域上之青苔受到超大雨勢侵襲，青苔即被沖刷掉，觀察其未試辦塗裝之管線，管線正上方亦有相同現象，惟附著較深且已枯萎之青苔並無法完全沖刷掉，另可發現管線兩側及下方仍佈滿青苔（圖 13 為下雨前，圖 14 是超大豪雨後），因超大雨勢直接落下僅能將迎雨面之青苔沖刷掉，並無法沖刷管線兩側及下方之青苔所致。

雖試辦表面經超大豪雨沖刷表面青苔，但僅維持 2 個月左右時間青苔未再滋長，該期間青苔未再滋長之主要原因係該期間為夏季，天氣較為乾燥，不利青苔生長之環境，但在 105 年 9 月中旬觀察時，青苔已開始生長，到 10 月 20 日進行觀察時，試辦表面幾乎都有明顯青苔生長。分析為何於 10 月 20 日起青苔生長如此快速，主要因該時間已進入「秋分」季節，且 10 月 23 日為中國 24 節氣之「霜降」，亦即暑氣慢慢消退，在夜晚和早晨，地面水蒸汽遇冷就凝結成露珠。在水管橋上管內水溫明顯低於外面溫度，且因節氣特性，導致水管表面易形成露珠，有利青苔生長之環境，故自 105 年 10 月中旬青苔即開始快速滋長，11 月中旬至 1 月青苔生長速度有趨緩之傾向。產品 A-1 及 A-5 在 106 年 1 月 18 日（完成後 428 天）觀察試辦表面青苔生長情形，明顯看出青苔已長滿整個試辦表面。

圖 13　下雨前水管橋青苔生長情形
（青苔生長整個水管）

圖 14　超大豪雨後水管橋青苔生長情形
（水管上半面青苔被沖刷，但兩側並未洗淨）

綜上所述，上述產品皆無法抑制青苔生長，另有關產品 A-4 至 A-5 於面漆上塗抹一層光觸媒塗膜或無光觸媒塗膜，皆標榜具有自潔效果，惟觀察至目前為止，該自潔效果並無法與其他類型之產品有明顯差異性，亦即無法在一般雨勢下即有自潔效果，以突顯其獨特性。

(二)產品 B-1 至 B-2 觀察結果

產品 B-1 為在底漆及防霉面漆中間塗裝一層氣凝膠隔熱漆。因氣凝膠隔熱漆成本較高，為瞭解缺少氣凝膠隔熱漆之差異性，故另漆 1 處未塗裝氣凝膠隔熱漆作為對照組（產品 B-2），對照組在完成塗裝後第 191 天就開始生長青苔，雖 105 年 7 月 15 日（完成後 247 天）觀察青苔有明顯減少現象，其原因與前揭相同，係受到多日超大豪雨沖刷所造成，惟塗料表面顏色已變質且無光澤，在 10 月 20 日（完成後 344 天）觀察時，試辦表面已再次長滿青苔，故缺少氣凝膠隔熱漆情況下，僅塗裝防霉面漆並無法抑制青苔生長。

產品 B-1 自 104 年 11 月 12 日塗裝完成，觀察至 105 年 1 月 18 日共 434 天，期間表面並無生長青苔，且目視顏色並無變化，觀察過程中雖表面會有白色鳥糞，但下雨後鳥糞即被沖刷乾淨，故該產品觀察至目前為止，具有防止青苔生長之成效。

(三)產品 C 觀察結果

產品 C 在完成塗裝後第 191 天就開始生長青苔，塗料顏色亦開始產生變化，在 105 年 5 月 12 日至 6 月 15 日青苔滋長最為顯著。在 7 月 15 日觀察塗料表面之青苔有明顯減少現象，其原因與前揭之原因相同，係受超大豪雨所造成。惟在 9 月中旬，青苔開始生長，至 10 月 20 日這次觀察，青苔已快速生長至整個試辦表面，而在 11 月中旬至 1 月青苔生長速度有趨緩之傾向。故該產品並無法抑制青苔生長，且其顏色目前無水藍色，與水管橋塗料顏色規定不符，另在經過約半年時間，其顏色會發生變化。

五、原因分析

經 434 天觀察試辦防苔塗料，僅產品 B-1 具有抑制青苔生長效果，該產品除與其他產品在化學成份不同外，其最大差異性在於該產品具有「隔熱效果」。為瞭解不同塗料影響管線表面溫度變化，故分別於 106 年 4 月 20 日及 6 月 1 日辦理現場溫度量測作業。106 年 4 月 20 日現場量測周遭環境溫度約 26℃，現場量測產品 A-1 至 A-5 試辦塗料表面溫度介於 16~17℃；產品 B-1（含氣凝膠隔熱漆）表面溫度為 22.2℃；產品 B-2 對照組不含氣凝膠隔熱漆之試辦塗料表面溫度為 16.5℃，其溫度與其他試辦塗料量測溫度相近；產品 C 試辦塗料表面溫度為 17.2℃；未塗裝試辦塗料之原塗料表面溫度為 16.3℃。

另 106 年 6 月 1 日現場量測周遭環境溫度約 35℃，現場量測產品 A-1 至 A-5 試辦塗料表面溫度介於 12~13℃；產品 B-1（含氣凝膠隔熱漆）表面溫度為 29.7℃；產品 B-2 對照組不含氣凝膠隔熱漆之試辦塗料表面溫度為 14.7℃，其溫度與其他試辦塗料量測溫度相近；產品 C 試辦塗料表面溫度為 15.6℃；未塗裝試辦塗料之原塗料表面溫度為 12.6℃。

綜上，各試辦塗料表面溫度與現場周遭環境溫度比較，無論現場周遭環境溫度為 26℃或 35℃，產品 B-1（含氣凝膠隔熱漆）試辦塗料表面溫度與現場周遭環境溫度僅相差 4~5℃，而其他塗料表面溫度在現場溫度周遭環境為 26℃時，其溫差相差近 10℃，若現場溫度周遭環境為 35℃時，其溫差甚至相差近 22℃。研判可能因產品 B-1 試辦塗料具有「隔熱效果」，使管壁外面漆溫度與周遭

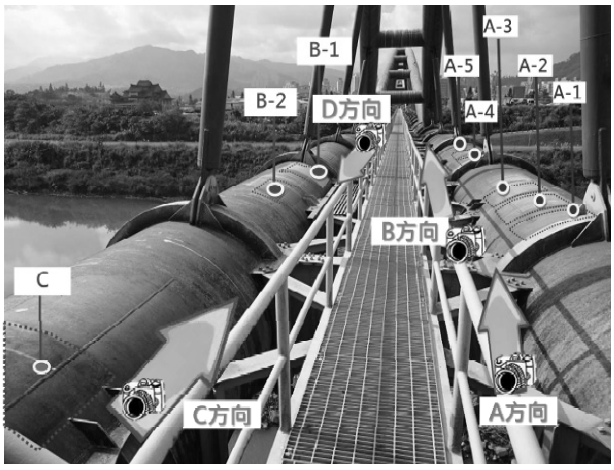


圖 15　106 年 1 月 18 日觀察照片全景圖

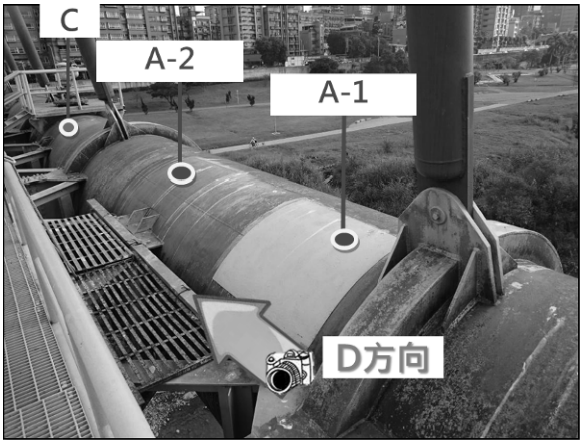


圖 18　106 年 1 月 18 日觀察 C 方向照片

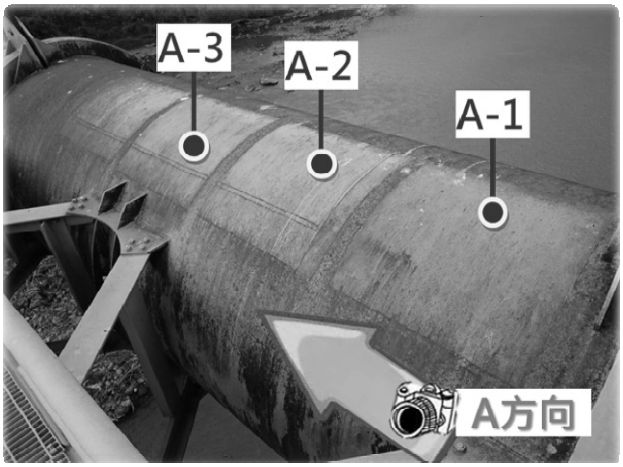


圖 16　106 年 1 月 18 日觀察 A 方向照片

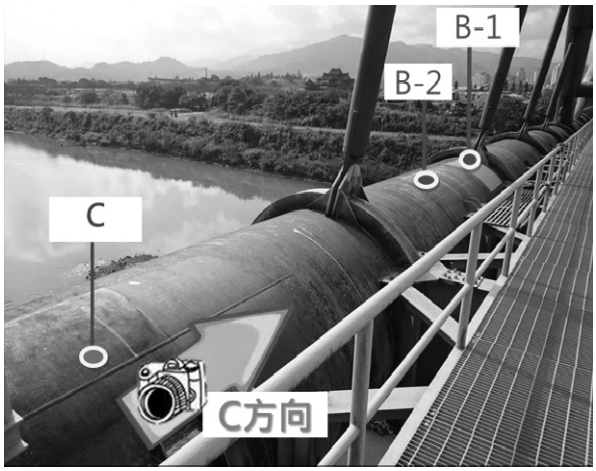


圖 19　106 年 1 月 18 日觀察 D 方向照片

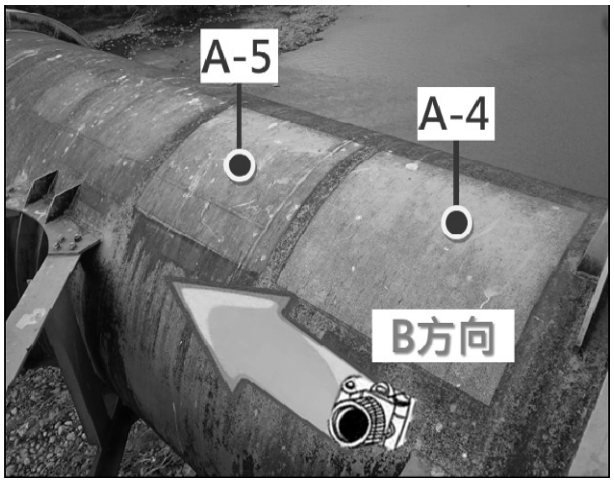


圖 17　106 年 1 月 18 日觀察 B 方向照片

環境相近，避免管線表面因溫差產生結露，進而防止青苔生長，在觀察期間該試辦塗料表面無滋生青苔，且與其他長滿青苔之試辦塗料有明顯差異性，從圖 15 至 19 可看出水管橋之水管表面，僅只有產品 B-1 試辦塗料並未滋生青苔，其餘試辦區域或未塗裝試辦塗料區域皆已生滿青苔。

六、結論與建議

本處有 4 座大型水管橋位於市中心堤外河川上，因目標明顯，無論民眾在堤外騎乘自行車或汽機車行駛橋樑時，常易成為關注焦點，然水管橋之水管佈滿青苔及滴水現

象，不僅有礙美觀，易造成市民對北水處自來水品質存有疑慮。探究原因，因水管橋上之水管管內水溫與管外環境溫度差異形成溫差，當溫差過大時，易在水管表面產生結露，該環境有利於青苔生長，故在高溫潮溼季節，青苔易在水管橋上之水管滋長。

為避免水管橋水管表面青苔孳生有礙美觀或管壁水滴落影響橋下之民眾通行，北水處找尋 3 家廠商共 7 種產品，並在清二水管橋進行局部塗裝塗料試辦工程，藉此瞭解上述產品抑制水管表面生成青苔之成效。經 104 年 11 月至 106 年 1 月定期觀察結果，除產品 B-1 試辦塗料於觀察期間水管表面具有抑制青苔生長外，其餘產品在 105 年 5 月至 6 月及 105 年 9 月下旬至 11 月這二段期間，青苔生長特別快速，其中產品C在完工後191天，目視顏色已發生變化。在 105 年 6 月中旬至 7 月中旬期間，試辦區域上之青苔因多次受到超大雨勢侵襲而被沖刷掉，故青苔有明顯減少現象，然在未塗裝試辦塗料區域亦有此現象，顯見試辦塗料除產品 B-1 試辦塗料外，其餘試辦塗料與未試辦區域在防止青苔生長成效並無明顯不同。另產品 B-4 及 B-5 於面漆上塗抹一層光觸媒塗膜或無光觸媒塗膜，皆標榜經化學反應且下雨後即能達自潔效果，惟觀察至今，與其他類型之產品並無明顯差異性。

經觀察 1 年 3 個多月各項試辦塗料產品抑制青苔成效，發現僅產品 B-1 試辦塗料具有抑制青苔生長，且經現場量測產品 B-1 試辦塗料表面溫度與現場周遭環境溫度，無論現場周遭環境溫度為 26℃或 35℃，兩者僅相差 4~5℃，而其他塗料表面溫度在現場溫度周遭環境為 26℃時，其溫差相差近 10℃，若現場溫度周遭環境為 35℃時，其溫差甚至相差近 22℃。研判可能因產品 B-1 試辦塗料具有隔熱效果，可降低自來水管壁內外溫度傳遞，使管壁溫度與周遭環境相近，避免管線表面因溫差產生結露，進而防止青苔生長，故在觀察期間產品 B-1 試辦塗料表面具有抑制青苔滋長之成效，與其他長滿青苔之試辦塗料有明顯差異性。

綜結上述，本次試辦 3 家廠商共 7 種抑制青苔生長之塗料，僅產品 B-1 含氣凝膠隔熱漆之試辦塗料在 434 天觀察期間具有抑制青苔滋長之成效，其餘塗料皆無法抑制青苔生成。另經本次觀察結果，塗料或管材若可降低自來水管壁內外溫度傳遞，具有隔熱效果，應可抑制水管橋管線表面青苔生成。

作者簡介

李鴻利先生

現職：臺北自來水事業處供水科三級工程師

專長：自來水工程設計、施工及自來水供水調配、水管橋維護管理。

水質檢測預警機制建立-陽性控制菌株中間查核與環境落菌數測試

文/陳伊玟、黃文惠

摘要

為提供民眾安全且質優的自來水，本公司落實水中微生物檢測，為確保檢測品質，並建立檢測預警機制，本研究以建立陽性菌株中間查核機制與環境落菌數測試為目的，冀以合乎高品質之微生物檢測。陽性控制菌株是水中微生物檢測不可或缺之實驗材料，因此菌株品質更需受嚴格管控，本研究以現有陽性菌株利用短期冷凍保存法保存凍管，並建立菌株中間查核機制，以革蘭氏染色法快速鑑定菌株特性，以確保短期冷凍保存法不造成菌株變異。同時本研究利用落菌法，連續 6 個月進行微生物檢測環境落菌數測試，以密集監控環境微生物數目，作為微生物實驗室之背景參數參考。

研究結果發現在-20℃條件下，凍管經保存 6 個月仍可活化並維持原有菌株特性，並以此制定陽性菌株中間查核機制。同時連續 6 個月監控之環境落菌數平均值約為 12 至 23 CFU，菌落數變化趨勢不大，實驗室可藉由長期累積環境落菌數之數據，自行制訂管制值，以監控微生物實驗室環境變化，建立環境異常預警機制。

關鍵字：凍管、菌株中間查核機制、革蘭氏染色法、環境落菌數測試

一、前言

本公司為提供民眾安全且質優的自來水，從原水端到清水端各環節，皆嚴密落實水質檢測，確保出廠清水符合環保署訂定之飲用水水質標準。其中，水中總菌落數、大腸桿菌群密度不但是飲用水水質標準的重要管控項目，對於飲用者健康更是息息相關，因此水中微生物檢測是自來水水質檢測的重點項目。為符合「環境微生物檢測通則—細菌」(NIEA E101.03C)之品管規定，實驗室可自行培養陽性控制菌株或陽性水樣作為正控制組，因陽性水樣的變異性較大，菌數難以預測，故一般仍常使用品質穩定高的陽性菌株。本公司於 104 年度申請 TAF 認證時，微生物評審委員建議應建立菌株中間查核機制，以避免菌株因長期培養而發生變異或遭受污染，並適時保存低代數備用菌株，以確保實驗品質。另一方面，評審委員也建議可以定期監控微生物實驗室之背景值，如：環境落菌數、溫度、濕度等，因此本研究即以此二項建議事項為主軸進行探討。

妥善保存菌株是培養流程中不可或缺的環節，重要關鍵是使菌株代謝處於低活性狀態，因此保存方法多以低溫、乾燥和隔絕空氣等因素設計。最常使用之菌株保存方法為超低溫或液氮冷凍保存法與冷凍乾燥保存法，皆屬於長期保存法，已經由許多文獻證實，可使菌種在超低溫或乾燥環境下維持一定活性，依菌種特性不同，至少能保存 1 年至 3 年不等；然而此兩種方法有其限制，前者需使用超低溫冷凍櫃或液態氮桶保存，後者於凍管製作過程中需使用乾冰與抽真空設備，製作過程也較繁複。考量實驗室

現有設備僅有-20℃冷凍櫃，若購置超低溫冷凍櫃或液態氮桶，將大幅提高實驗成本；另一方面，陽性菌株單價不高，因此希望能以短期冷凍保存法保存低代數菌株，以取代高代數菌株，降低發生菌種變異的機率，以維持實驗品質。故本研究流程為在菌株生長狀態良好下取適量菌數進行凍管製作，並以短期冷凍方式將凍管保存於-20℃冷凍櫃。約每隔 1 個月取出凍管活化，連續 6 個月觀測菌株經歷不同冷凍時間保存之活性，並以平板塗盤與革藍氏染色法鑑定菌株特性，並建立中間查核機制，以確認短期冷凍保存法效果，與菌株特性未發生變異或污染，以提供檢測品質預警機制。

在定期監控微生物實驗室之背景值方面，如:環境落菌數、溫度、濕度等，後兩者可透過添購溫濕度計進行監控，因此本研究決定連續 6 個月測試環境落菌數，以監控微生物實驗室之環境因子，作為環境背景數據，建立環境異常預警機制。

二、文獻回顧

(一)菌株簡介

本研究使用之陽性菌株為檸檬酸桿菌(Citrobacter freundii, BCRC 12291)，檸檬酸桿菌(Citrobacter freundii)為兼氣厭氧性革蘭氏陰性菌，屬於腸道細菌科(Enterobacteriaceae family) [2]，菌體外型為短桿狀，並具有鞭毛可以運動[3]。根據 Lapage 於 1970 年研究指出，檸檬酸桿菌(Citrobacter freundii)以冷凍乾燥保存法可以保存長達 10 至 18 年[4]。

(二)冷凍保存法

為避免於長期培養微生物菌株過程中，發生菌株污染或變異，會適時製作凍管，以保留低代數菌株。凍管保存關鍵是使微生物代謝降低，目前最常用之保存方式為冷凍保存法[5]，為細菌、細胞最常用之保存法，依保存溫度不同，可以分為超低溫(-50~-80℃)與液氮(-196℃以下)等。原理是將先以甘油(glycerol)或二甲基亞碸(Dimethylsulfoxide)混合培養基配製為10%~30%抗凍劑[6]，經滅菌或過濾後備用。取等量抗凍液與菌液混合，分裝於保存菌株用的凍管，視設備而定，保存於-50~-80℃或液氮桶等環境。保存溫度越低，凍管保存期限越長[7]，優點是超低溫環境較不易受溫度波動影響，多數菌株約能維持數年之久，適宜進行長期保存，但缺點是需備有超低溫冷凍櫃設備，液態氮桶也需定期添加液態氮維持溫度。考量實驗室現有設備為-20℃冷凍櫃，若購置抽真空設備或液態氮桶，恐增加實驗成本。評估菌株特性與成本效益下，決定使用-20℃冷凍櫃進行短期冷凍保存法。

(三)革蘭氏染色

菌種可依培養特性及菌落特徵快速鑑定，如選擇性培養基、生長速率、染色法、菌體外觀等[8]，因檸檬酸桿菌屬於革蘭氏陰性菌，故本研究選用革蘭氏染色進行鑑別。革蘭氏染色法原理是利用細菌細胞壁脂質含量多寡，而將細菌染成不同顏色，若細菌被染成藍色者稱為革蘭氏陽性菌；被染成紅色的則歸類為革蘭氏陰性菌，此為目前細菌分類的重要依據[9]也是最常用之染色技術，唯須留意菌株年齡可能會影響染色特性，尤以革蘭氏陽性菌易失去保留初染能力，而顯示錯誤結果，導致部份菌體染呈紫色，部份呈紅色，影響判讀[10]。

(四)環境落菌數測試方法

現有環境落菌數標準是針對國內藥廠

潔淨室規範之「空調系統確效作業指導手冊」[11]，目的是作為藥廠無菌作業環境之空調系統確效允收標準，表 1 為藥廠測定標準參考。雖然目前對於 BSL-1 等級實驗室並未管制環境落菌數，但本作業手冊之方法仍具有相當參考價值，能用以制定環境落菌數測試計畫。

落菌法是在設定時間內，直接測定可能沉落的微生物數量，空氣浮游微生物通常會附著在較大粒子上而沉落於培養皿，經收集後並培養計數落菌數，採樣位置建議為需管控之環境與可能遭受微生物污染之位置。

表 1　落菌法測試之參考標準

清淨度等級	落下菌(動態)CFU/4hrs 時(90mm)(無菌製劑區)	落下菌(動態)CFU/1hr 時(90mm)(無菌製劑區)
Class 100,000	＜100	＜20
Class 10,000	＜50	＜5
Class 100	＜5	＜1

※行政院衛生署公告之「執行確效作業參考標準」，清淨度等級為藥廠作業場所潔淨度等級，一般微生物實驗室無此分級規定。

參、研究方法

(一)實驗材料

1.菌種資料

(1)菌種名稱：檸檬酸桿菌 Citrobacter freundii，BCRC12291 (ATCC8090)，購自食品工業研究所。

(2)培養條件：培養溫度：35±1℃。

2.試藥與材料

(1)菌株液態培養液：Nutrient Broth，配製濃度為 8 g/L。

(2)固體營養培養基：Nutrient Agar，四區劃盤用，配製濃度為 23 g/L。

(3)平板計數培養基：Plate Count Agar，落菌數測試用，配製濃度為 22.5 g/L。

(4)冷凍保存溶液：由 20%甘油(glycerol)+80% 8g/L Nutrient Broth 混合配製而成。

(5)市售革蘭氏染劑，含結晶紫、碘液、脫色劑、沙紅。

(6)培養皿：9 cm 無菌培養皿。

3.儀器

(1)35±1℃細菌培養箱。

(2) -20℃冷凍櫃。

(二)菌株繼代培養

1.以無菌接種環自菌體懸浮液刮取兩圈，滴入新配製之 Nutrient Agar 營養培養基，置於培養箱中 35±1℃培養。

2.以無菌接種環刮取一圈菌體懸浮液，於 Nutrient Agar 營養培養基邊緣以四區劃線法塗盤，以檢驗菌種之純度與活化情形。

(三)凍管製作

1.事先配製含 20% glycerol 之 Nutrient Broth 液態培養液作為冷凍保存溶液，並於冷凍前一日繼代菌株，使菌種維持在高活性狀態。

2.取含有菌種之培養液，加入等量之冷凍保存溶液，使甘油最終濃度為 10%，並分裝至冷凍小管中。

3.將凍管於 4℃冰箱放置約 20 分鐘後，再迅速放入-20℃冷凍櫃。

(四)凍管解凍

1.從-20℃冷凍櫃取出凍管後迅速置於水浴器以 37℃解凍。

2.將已解凍之菌液注入 Nutrient Broth 液態培養液，混勻後置入培養箱培養約 24 小時。

3.隔天取出前一日解凍並培養之菌液，繞取兩圈菌液至新鮮配製之 Nutrient Broth 液態培養液，作為繼代菌種，並四區劃線法塗盤，以檢驗菌種之純度與活化情形。

(五)革蘭氏染色法

1.製作塗片：沾取菌液置於載玻片上，使其自然風乾後，於酒精燈上過火固定。

2.依序用結晶紫、碘液、脫色液、沙紅分次將塗片染色，並以無菌稀釋水沖洗。

3.待塗片風乾後，再觀察塗片染色顏色。

(六)環境落菌數測試

本研究以微生物實驗室為測定範圍，以實驗室對角交叉點中為中央落點，並在其餘四塊區域中心點作為落點，分別為左上、左下、右上與右下，另以培養箱進出區域之工作檯面作為第 6 個落點，示意圖如圖 1 所示。

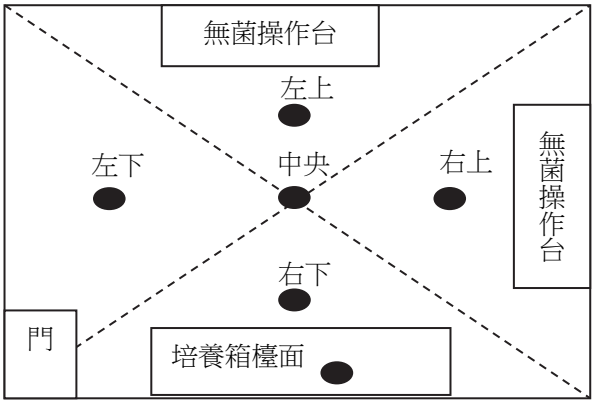


圖 1　微生物實驗室環境落菌數測試落點示意圖

測試方法如下：

1.事先配製 Plate Count Agar 平板計數培養基，於各測試落點放置一組培養基，開蓋並暴露 1 小時。

2.收集培養皿後，於培養箱內在 35±1℃培養 48±3 小時。

4.取出培養皿並計數落菌數，菌落數以 CFU 為單位。

肆、結果與討論

(一)菌株冷凍保存

本研究於菌株第 N+29 代進行菌株冷凍保存，為使菌株處於生長最適化狀態，將菌株繼代後 24 小時內進行冷凍保存作業。參考相關文獻冷凍保存法，採用 20% glycerol，與 8g/L Nutrient Broth 液態培養液均勻混合，作為冷凍保存溶液。接著取適量菌液，加入等量之冷凍保存溶液，使 glycerol 最終濃度為 10%，分裝至冷凍小管。進行冷凍時採階梯式降溫，將凍管先放入 4℃冰箱降溫，使菌株適應低溫，再迅速放入-20℃冷凍櫃保存。

(二)凍管解凍

於冷凍保存後每隔 1 個月，取出凍管回融進行活化，凍管解凍與後續鑑定革蘭氏染色法時程表如表 2 所示，每批次為每隔一個月取出凍管活化。

表 2　解凍時程表與菌株代數對照表

批次	凍管存放時間	解凍細胞鑑定之菌株代數	工作菌株代數(對照組)
	進行凍菌	-	N+29
1	1 個月	N+29	N+34
2	2 個月	N+30	N+39
3	3 個月	N+30	N+43
4	4 個月	N+30	N+48
5	5 個月	N+30	N+54
6	6 個月	N+31	N+58

(三)以劃盤法觀察菌株形態

將繼代後之菌株，以四區劃盤法於 Nutrient Agar 營養培養基上觀察菌株形態，如圖 2 所示。除了第 1 批解凍菌株因活化時程較短，於培養基上所生長菌落較少，其餘 5 批菌株在解凍後隔日即進行繼代與更換培養液，再進行塗盤。從圖中可觀察出第 2 批至第 6 批之菌數密度與工作菌株相當接近，生長形態也無明顯差異。由第 6 批解凍結果顯示，當凍管經-20℃冷凍保存 6 個月時，仍能被活化並穩定培養。另一方面，各批工作

菌株(N+34、N+39、N+43、N+48、N+54、N+58)除作為對照組外，也可以從菌落形態觀察出工作菌株在持續繼代培養時，與初代菌株對照下，並未發生走菌或形態變化。後續將拉長試驗間隔，約相隔 6 個月後再取出存放一年之凍管測試，以訂定凍管最長保存時間。

(四)以革蘭氏染色法測試菌株特性

為快速鑑定解凍菌株是否保有原菌株特性，接著利用革蘭氏染色法鑑定菌株是否為革蘭氏陰性菌。革蘭氏染色法是依據細菌細胞壁結構不同，利用染色之方法將細菌分為革蘭氏陽性菌與革蘭氏陰性菌兩大類。革蘭氏陽性菌染色結果為藍紫色，革蘭氏陰性菌染色結果為紅色。將解凍後的菌株培養約 1 或 2 代後，使菌株穩定生長時進行革蘭氏染色，另以工作菌株作為對照組。由圖 3 顯示，菌株分別經冷凍 1 至 6 個月後，經革蘭氏染色為紅色，均保有革蘭氏陰性菌屬性，不因凍菌過程而改變特性，同時也顯示各批工作菌株(N+34、N+39、N+43、N+48、N+54、N+58)皆維持革蘭氏陰性菌特性。由圖 2、圖 3 可以作為中間查核機制結果，證實持續培養中之工作菌株，未發生形態變化與革藍氏特性變異。

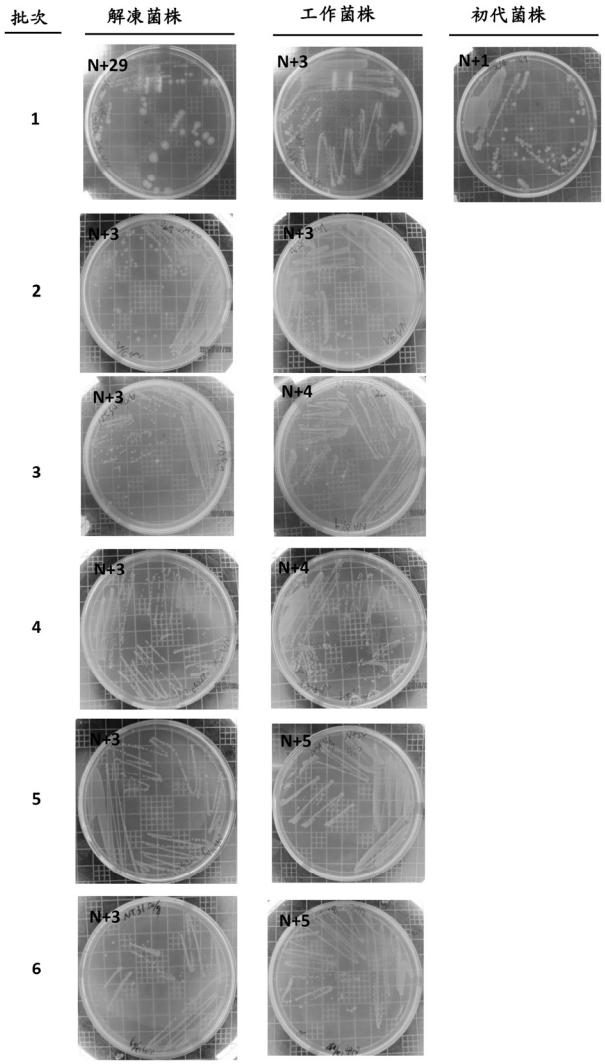


圖 2　各批解凍菌株與同期工作菌株之菌落生長形態對照

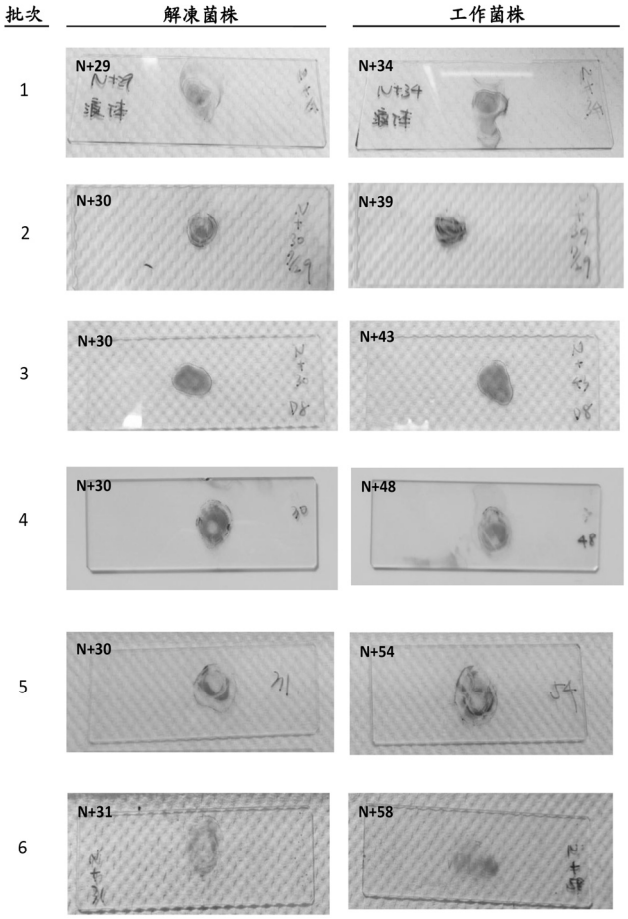


圖 3　各批解凍菌株與同期工作菌株之革蘭氏染色結果對照

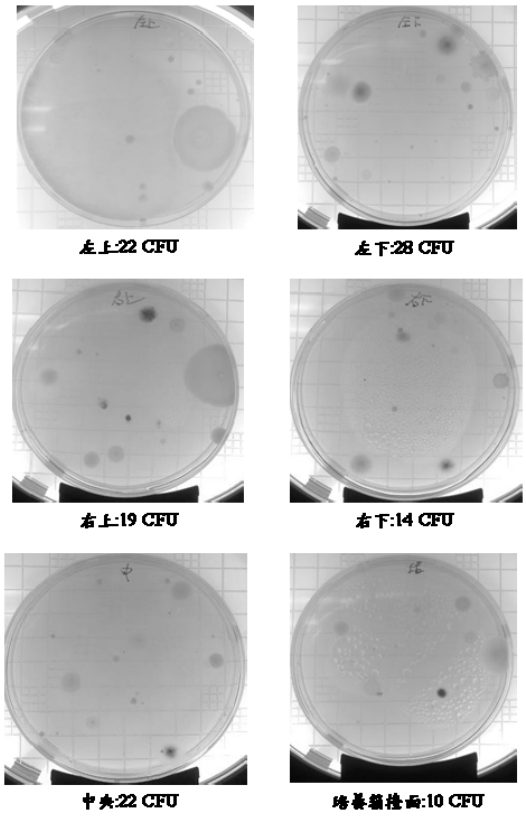


圖 4　第 1 批環境落菌數測試

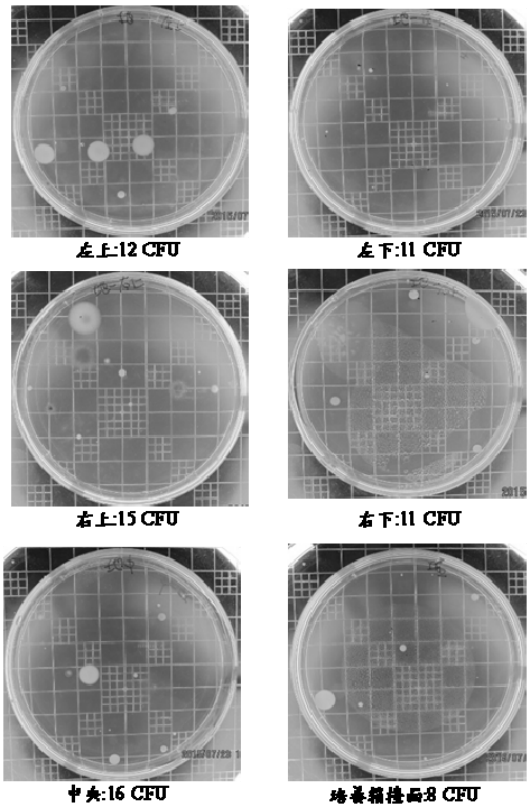


圖 5　第 2 批環境落菌數測試

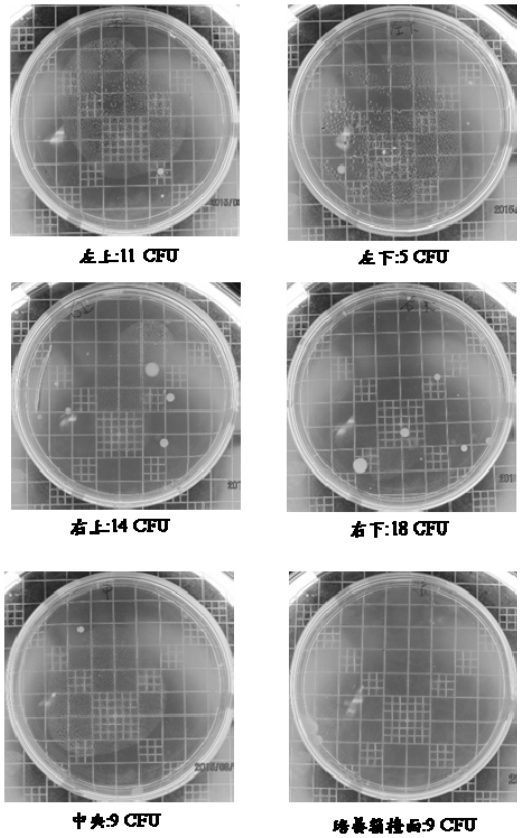


圖 6　第 3 批環境落菌數測試

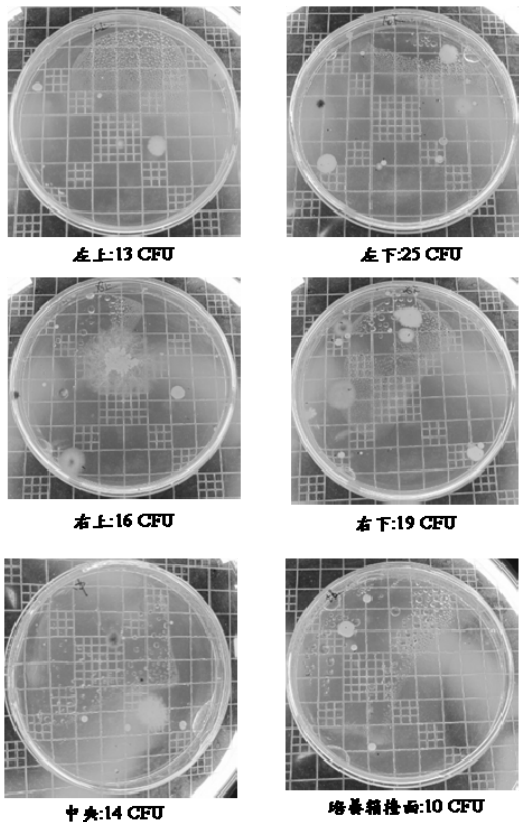


圖 7　第 4 批環境落菌數測試

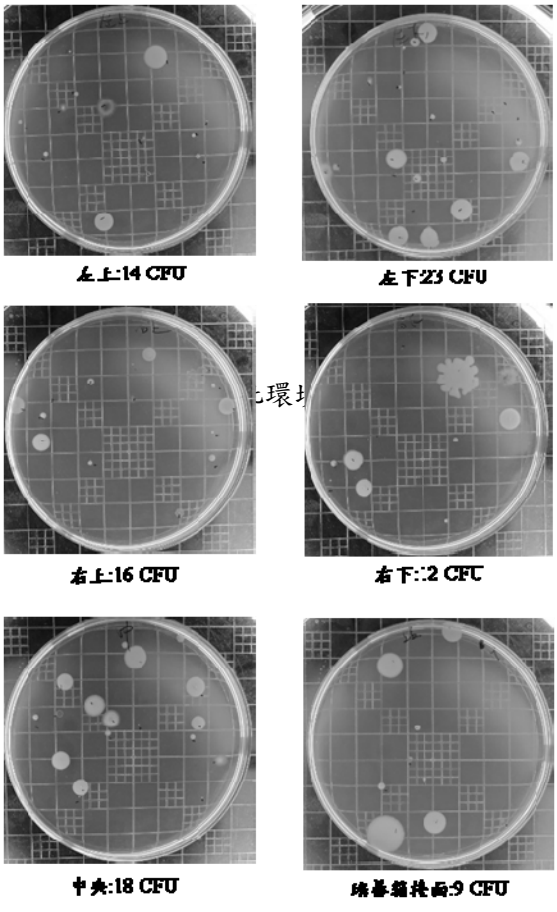


圖 8　第 5 批環境落菌數測試

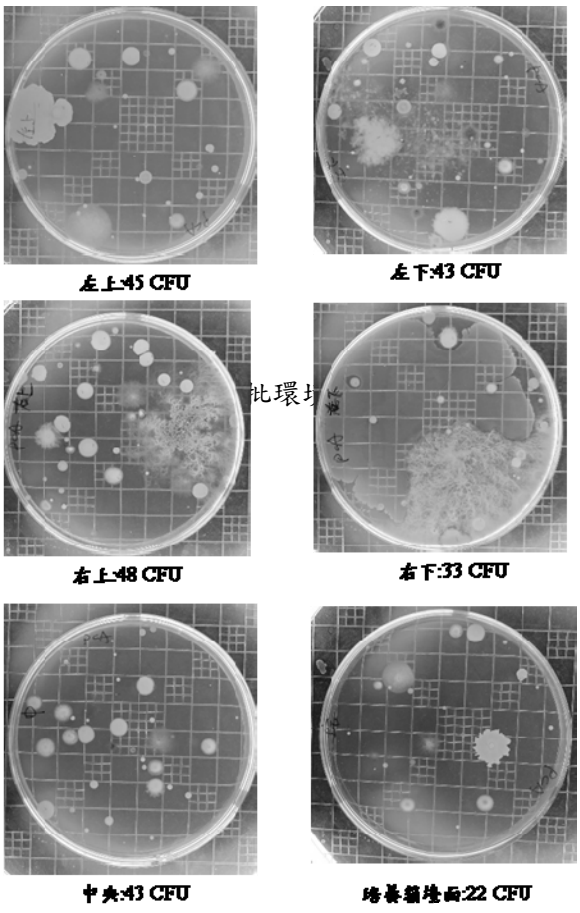


圖 9　第 6 批環境落菌數測試

表 3　各批環境落菌數統計(單位：CFU)

測試批次	左上	右上	中央	左下	右下	培養箱檯面	各批落菌數平均值
1	22	19	22	28	14	10	20
2	12	15	16	11	11	8	13
3	11	14	9	5	18	9	11
4	13	16	14	25	19	10	17
5	14	16	18	23	12	9	16
6	45	48	43	43	33	22	39
各落點落菌數平均值	20	22	21	23	18	12	

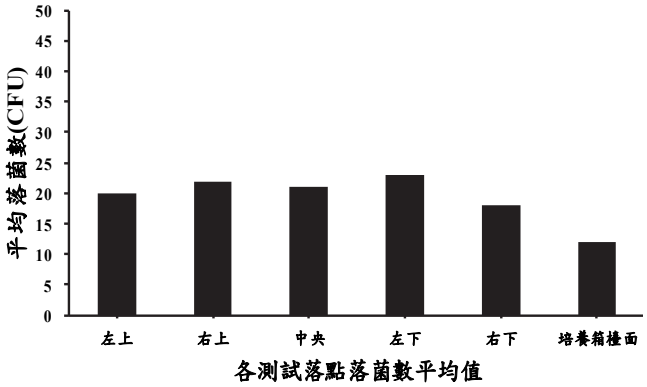


圖 10　各測試落點落菌數平均值(單位: CFU)

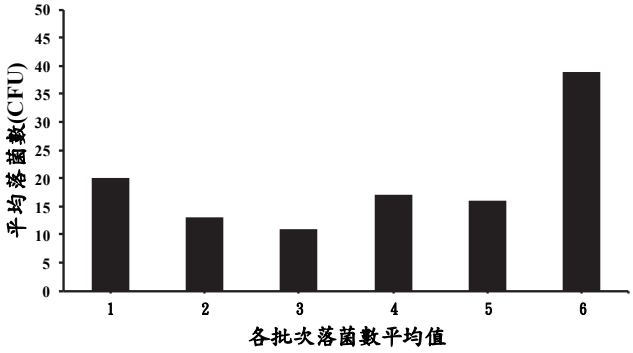


圖 11　各批次落菌數平均值(單位: CFU)

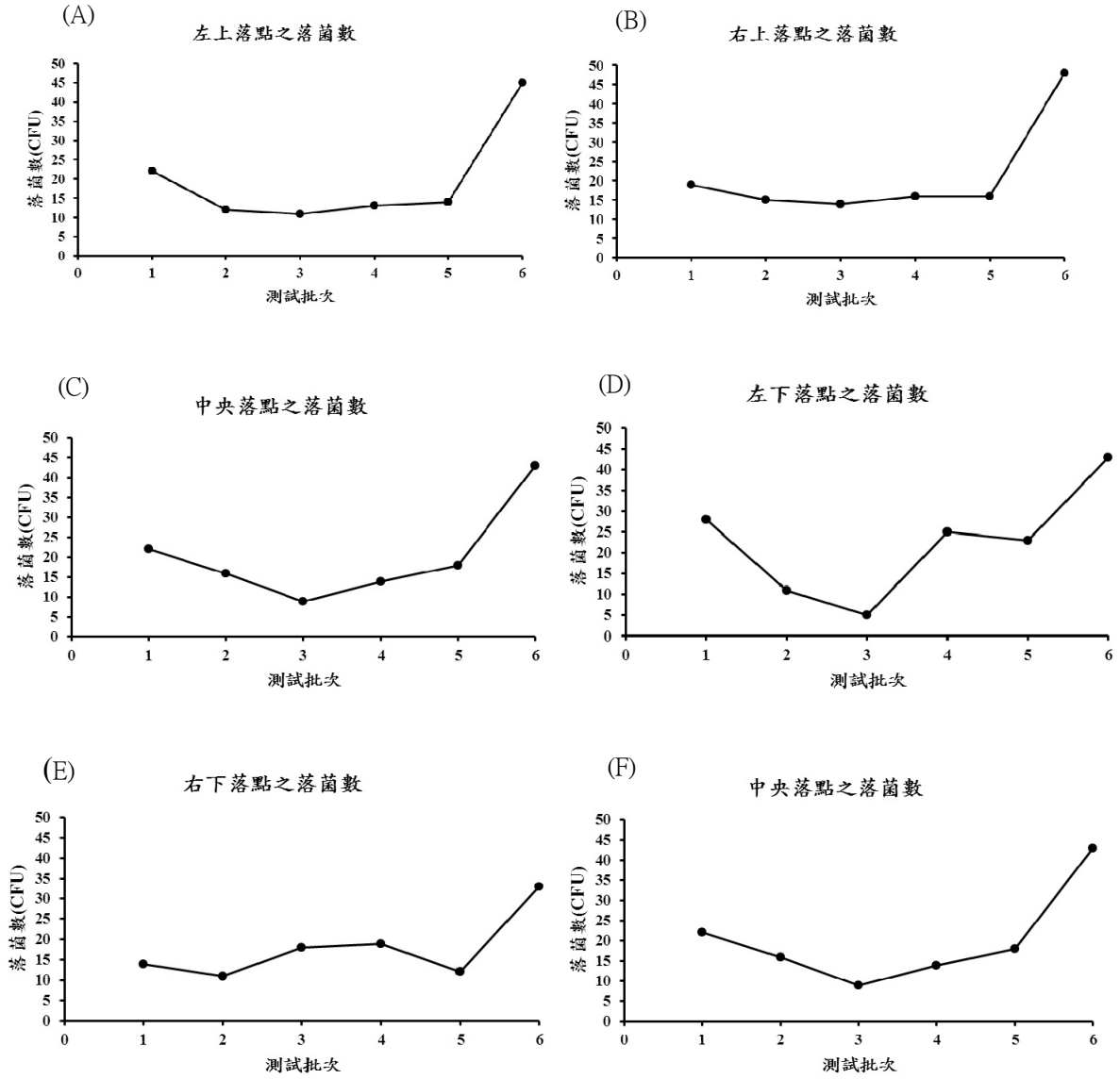


圖 12　各測試落點於連續 6 個月監控之環境落菌數分布(單位: CFU)

(五)環境落菌數測試

本研究共連續測試 6 個月，各批總菌落數測試結果如圖 4~9，各批環境落菌數統計如表 3。圖 10、圖 11 分別為各測試落點、各批次環境落菌數平均值，各批次落菌數分布圖如圖 12 所示。由圖 10 可以發現，連續 6 個月所監控之環境落菌數平均值約為 12~23 CFU。由圖 11、12 可以看出前 5 批之落菌數相近，變化趨勢不大，然而在第 6 批有偏高的趨勢，推測可能是當周連日下雨，環境濕度偏高，導致空氣中微生物數量較高。根據表 2 無菌室之清淨度等級 class100,000 標準[11]為每落下菌數<20 CFU，本研究微生物室測試結果，前五批次平均落菌數為 11~20 CFU，若以單次落點分析，有 70%之落點落菌數小於 20 CFU，顯示微生物室雖非無菌室等級，但有 70%機率可以符合標準。

目前對於 BSL-1 等級實驗室並未管制環境落菌數，因此可以用此數據自行建立實驗室背景值，定期測試環境落菌數，累計長期數據後再自訂管制值。若環境落菌數有異常增加或趨勢偏高時，可以提前判定環境是否有遭受污染，作為環境異常變化之預警。未來實驗室若進行落菌數測試時，應同時考量溫度、濕度的因素，進一步探討環境落菌數變化趨勢。

伍、結論

(一)陽性菌株(Citrobacter freundii, BCRC 12291)中間查核機制

本研究以短期冷凍保存法進行菌株，由實驗結果顯示，存放達 6 個月之凍管仍可被成功活化，生長速度與菌種型態與原菌種無明顯差異。利用革蘭氏染色法查核菌株特性，各批解凍活化後之菌株均保有革蘭氏陰性菌之特性，不受冷凍過程影響。此外，持續培養之工作菌株培養至 N+58 代(約培養 1 年)後仍保有革蘭氏陰性菌特性，可初步確認菌株特性未發生變異。

綜合上述討論可以歸納要點如下：

1.在-20℃下，凍管可保存 6 個月仍可活化並維持原有菌株特性。

2.密集查核工作菌株在第 N+34、N+39、N+43、N+48、N+54、N+58 代之特性，並未發生形態變化或革蘭氏特性變異。

3.執行繼代培養時，每次均以塗盤法確認菌株形態，故可以計畫在每隔 10 至 20 代查核革蘭氏特性一次。

4.根據本研究結果，初步制定中間查核機制如圖 13，以期在繼代培養過程中能適時查核菌株特性，並製作儲備凍管備用，並以此查核機制作為微生物檢測品質預警機制。

5.工作菌株使用代數限制會依菌株特性、使用目的而異，檸檬酸桿菌為表現穩定菌株，依本研究為例，約可以培養至 50 代(約培養 1 年)，一般最好是 10~20 代即更換年輕菌株(約培養 2~3 個月)，而本研究為先進行冷凍保存測試，故先以現有 N+29 代之陽性菌株測試冷凍保存效果，若日後購買新菌株時，可以將菌株於 N+10 代內進行冷凍保存，以延長菌株使用期限。

6.以成本效益考量，在不進行凍菌情形下，若每 10~20 代更換年輕菌株(約培養 2~3 個月)，食工所販賣之檸檬酸桿菌凍管價格為每支新台幣 1500 元，12 個區處每年更換 6 次菌株共需花費 108,000 元(1500x12 區處

x6 =108,000)，若培養途中發生污染，則須購買更多菌株。若在菌株低代數時期即製備凍管，依本研究結果顯示凍管可保存 6 個月，並於接近 6 個月前重新解凍菌株，使菌株從低代數時期繼續培養，並使用活化之菌株重新製備凍管，至少可以持續培養 1 年半至 2 年(如圖 14)。使用凍管保存時，若 1 年更換 1 次菌株，則花費 18,000 元(1500x12 區處 x1 =18,000)，共可以省下 90,000 元，存放設備-20℃冷凍櫃為現有儀器，不需要再購置超低溫冷凍櫃(市價約 60,000~80,000 元)，更可以節省購置儀器成本。

(二)環境落菌數測試

1.由連續 6 個月的監控結果，可以觀察出落菌數變化趨勢不大。未來可以再考量溫濕度因素，進一步探討環境落菌數的變化趨勢。

2.環檢所公告之「大腸桿菌群檢測方法－濾膜法」並未規定實驗必須在無菌操作台內進行，因此環境潔淨度相當重要。目前對於 BSL-1 等級實驗室並未管制環境落菌數，若利用表 3 數據自行建立實驗室背景值，未來可以長期監控環境落菌數，並加入溫濕度等變因，累計多筆數據後再自訂管制值，作為環境異常變化之預警。

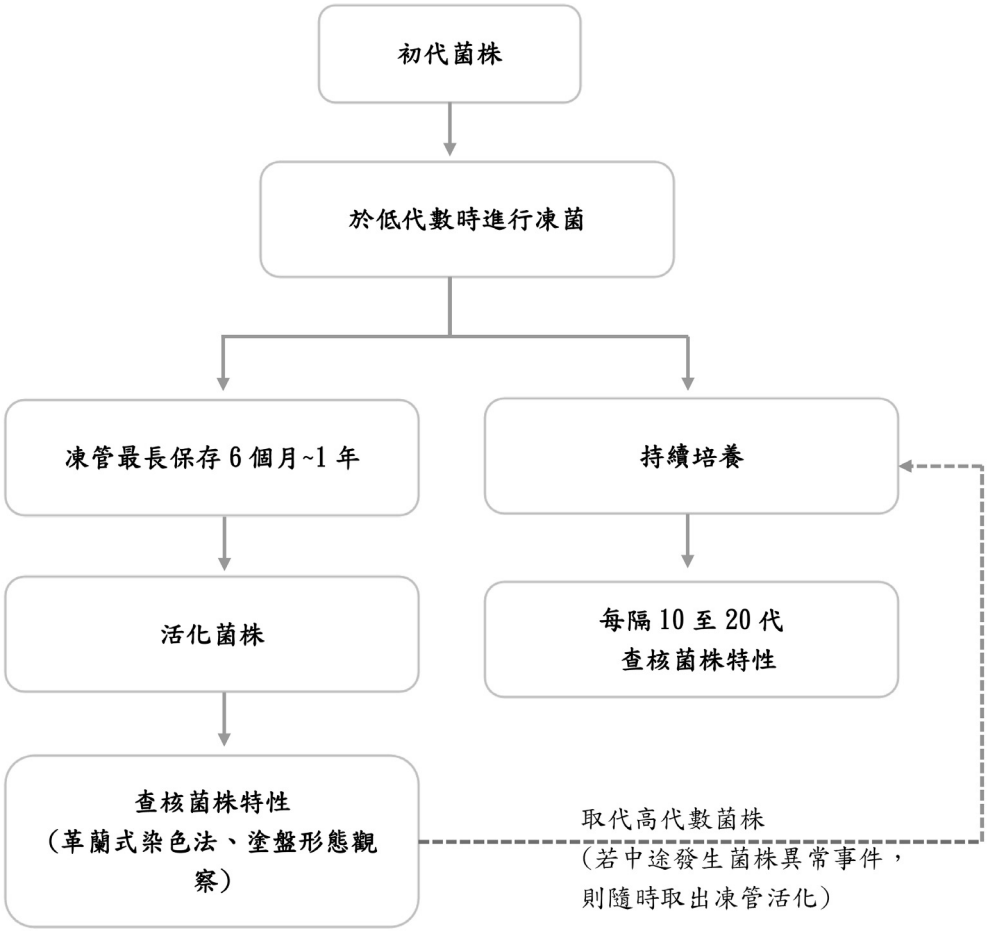


圖 13　陽性菌株(Citrobacter freundii, BCRC 12291)中間查核機制

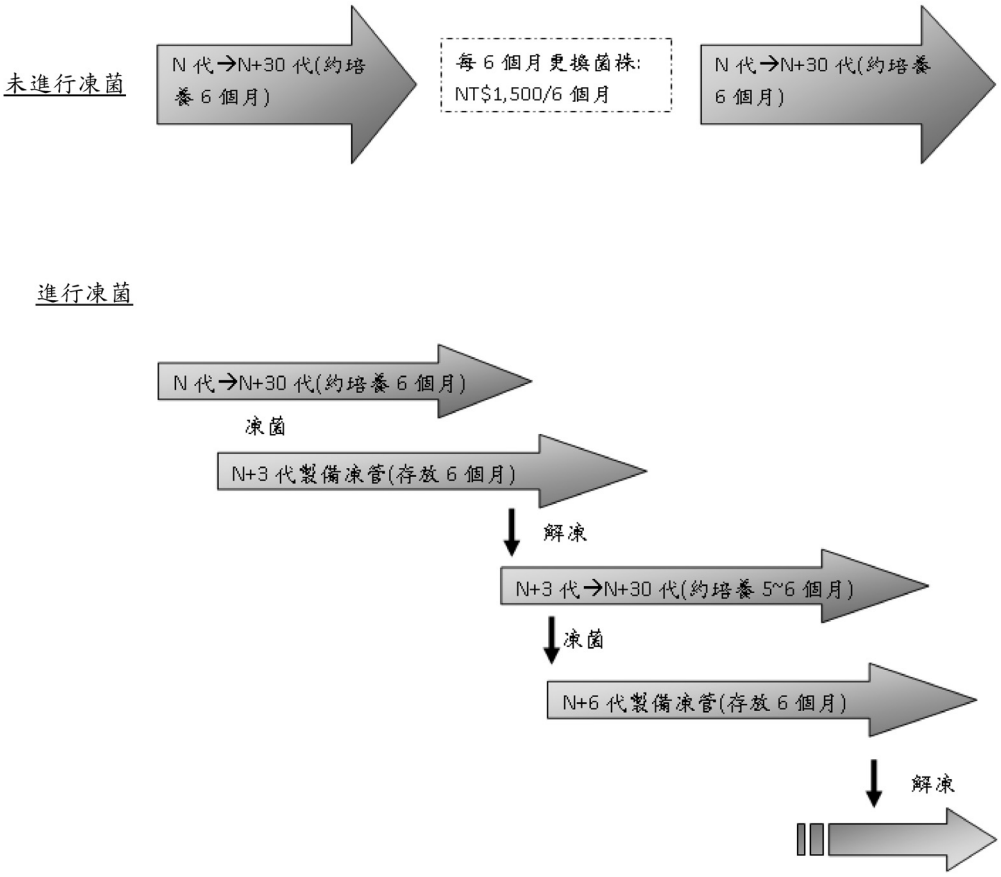


圖 14　菌株短期凍管保存成本效益說明

參考文獻

1.「環境微生物檢測通則—細菌」NIEA E101.03C，102年6月3日環署檢字第1020046146號公告。

2.“Pathogen Safety Data Sheet — Infectious Substances.” Public Health Agency of Canada. 2012.

3.Wang JT,Chang SC, Chen YC, Luh KT. “Comparison of antimicrobial susceptibility of Citrobacter freundii isolates in two different time periods.” The Journal of Microbiology, Immunology and Infection, 2000.

4.Lapage SP, Shelton JE, Mitchell TG and Mackenzie AR. “Culture collections and the preservation of bacteria.” In Methods in Microbiology, 1970.

5.江晃榮「微生物菌種保存法」華香園出版社(1985年12月初版)。

6.Kutzner HJ. “Storage of Streptomyces in soft agar and by other methods.” Experimentia, 1972.

7.Swift HF. “A Simple Method for Preserving Bacterial Cultures by Freezing and Drying.J Bacteriol.” 1937.

8.蔡文城「實用臨床微生物診斷學」九州出版社(2011年1月第10版)。

9.Brock TD. “Pioneers in Medical Laboratory Science: Christian Gram 1884” Hoslink. Retrieved,2010.

10.Reynolds J, Moyes RB and Breakwell DP “Differential staining of bacteria: acid fast stain.” Current Protocols in Microbiology, 2009.

11.「現行藥品優良製造規範－空調系統確效作業指導手冊」行政院衛生署中華民國九十一年八月公告。

作者簡介

陳伊玟女士

現職：台灣自來水公司第六區管理處 水質課 工程員

專長：水質分析、水質管理

黃文惠女士

現職：台灣自來水公司第六區管理處 水質課 課長

專長：水質分析、水質管理、淨水處理

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審議通過後實施，修訂時亦同。

自來水淨水污泥應用於高壓地磚之研究

文/彭靖芳、洪世政、陳豪吉

摘要

本文是在探討淨水污泥使用於高壓冷結地磚產製之可行性，研究中淨水污泥使用量取膠結料重量之 0%、35%、70%及 105%，另外變化爐石取代水泥用量及細骨材與膠結料重量百分比，共規劃 48 組配比以製做試體，按照高壓冷結地磚之攪拌、鑄模、養護及裁製等標準步驟，針對壓鑄出高壓冷結地磚之材料特性進行評估之。

實驗結果顯示，48 組配比之 28 天抗壓強度介於 280 kgf/cm^2~700 kgf/cm^2，其中以淨水污泥使用比例對於高壓冷結地磚抗壓強度影響最為顯著，其次為細骨材使用量。28 天之抗彎強度則介於 44kgf/cm^2~118kgf/cm^2 間，變數中以淨水污泥使用量對於抗彎強度影響最為顯著。在相同膠結料狀況下，利用爐石粉代替水泥，僅略為影響試體之抗彎強度，細骨材之用量對於抗彎強度影響並不顯著。

當淨水污泥用量為膠結料重量之 105%，爐石粉取代水泥用量為 30%，細骨材用量為膠結料重量之 200%~250%時，可製做出力學性能表現與一般C級地磚相近之高壓冷結地磚。

一、前言

依據環保署統計資料，台灣之自來水淨水污泥每年約有幾近 20 萬公噸產出。雖然淨水污泥不是有害性廢污泥，但目前國內相關法規，已將淨水污泥公告為事業廢棄物，不可隨意棄置，同時也列為「公告應回收或再利用廢棄物」。有鑑於此，近年來對於淨水污泥再利用之研究也隨之展開，其再利用方法不外乎使用淨水污泥為配料進行磚塊燒製、水泥產製及使用於培養土等[1-5]。

本文主要是利用台灣自來水公司淨水場淨水污泥，探討其以低耗能之高壓冷結方式製作高壓地磚之可行性，研究上選定自來水公司北、中、南各一座大型淨水廠的淨水污泥，首先在試驗室內參考物理及化學成分分析結果，進行高壓冷結地磚產品產製技術之研發，並利用實廠大型設備，進行產品實廠量產試驗。產製成功的淨水場淨水污泥產品，再行檢驗其物理與工程性質。

二、研究背景

淨水污泥產生是由淨水處理廠經由抽取水庫、河川及地下水等，在水處理過程中以固液分離程序：快混、膠凝、沉澱、過濾、消毒，以去除水中微量有機污染物、微細濁度或懸浮固體，最後進行濃縮、脫水、乾燥等程序，最終產生的污泥，稱之為淨水污泥，經由脫水程序則形成淨水淤泥餅。[6-11]

淨水廠處理程序方式(以抽取地下水為例)淨水廠水源為抽取地下水體，經由氣曝塔中分水盤將其地下水分為多個水柱已利氧化，並流入接觸池，在氣曝塔及接觸池均可注入次氯酸鈉去除水中鐵、錳並將其污泥由小顆粒結合為較大顆粒。再經由快濾池使污泥沉澱，此時污泥量於快濾池到達一定高度時，再經由反沖洗程序將其污泥排入污泥沉

澱池，沉澱池中淨水污泥沉澱達一定處理量時，在將其上部水抽取後，淨水污泥再行辦理曝曬作業，使水分蒸發。

淨水污泥主要成分為懸浮固體、硫酸鋁或多元氯化鋁等混凝劑、微量有機物及大量水分，因此淨水污泥其主要受到懸浮固體及混凝劑等影響。懸浮固體是由黏土及細沙組成，主要成分為 SiO_2 及 Al_2O_3，混凝劑主要成分則需視添加鋁鹽類混凝劑或鐵鹽類混擬劑，其他化學成分包括 MgO_2、CaO、Na_2O 等，其含量最大為 SiO_2 ，Al_2O_3 次之（主要是採用鋁鹽類混凝劑所致），最近幾年分析結果如表 1 所示，淨水污泥化學成分變化量不大，其中鋁、鐵會隨混凝劑添加物的不同而有所影響，台灣淨水處理場較常使用為鋁鹽類混泥劑，除價格較鐵鹽類混擬劑便宜外，適合各種水質且不會有色度問題，惟添加鋁鹽類混泥劑會造成淨水污泥量增加。

淨水污泥 pH 值約 6.5 左右屬中性污泥，在此範圍內重金屬物質不易溶出，且淨水污泥因水質來源乾淨穩定，在淨水過程中所添加的混凝劑性質單純，故污泥中重金屬含量並不高，表 2 為相關研究針對淨水污泥 TCLP(Toxicity characteristic leaching procedure, TCLP) 重金屬溶出特性之結果。表中顯示，淨水污泥之 TCLP 含量遠低於法定標準，

表 1　淨水污泥化學成分組合表

參 考	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	Na_2O	K_2O	CaO
顏笠安(2009)	51.08	34.62	6.13	2.02	1.21	3.67	0.77
林忠逸(2003)	54.47	29.12	7.25	1.12	0.67	3.55	0.93
謝寅雲(2001)	53.57	20.92	6.63	1.84	--	--	0.29
康世芳(2001)	52.37	24.23	6.49	1.83	--	--	0.37

表 2　淨水污泥的毒性特性溶出試驗（TCLP）

參考文獻	重金屬元素（mg/L）					
	Zn	Cu	Pb	Cr	Cd	Hg
北水處（2001）[a]	0.2	ND	0.12	ND	ND	ND
北水處（2001）[b]	0.89	0.05	0.62	ND	0.03	ND
孫國鼎（2002）	1.45	0.284	0.156	0.823	0.098	—
台灣自來水公司[c]	—	<0.1	<0.5	<0.1	ND	0.0008
法規標準	—	15.0	5.0	5.0	1.0	1.0

屬於一般事業廢棄物，故淨水污泥屬於穩定無害的無機性污泥。[12-16]

目前淨水場污泥的處置方式，是委託合格的處理機構來清運污泥，而再利用方式大多數仍以重新回用於污水處理程序中、使用於建築材料以及土壤基質應用三大類，但實場應用量仍與自來水公司淨水場污泥產出量相差甚遠，故積極尋求一大量且實用之淨水污泥再利用模式實為必要。

三、研究方法

本研究選定國內三座淨水場，分別為北部板新淨水場、中部豐原第一淨水場、南部坪頂淨水場，採取其淨水污泥，作為試驗時之淨水污泥試體，並依每座淨水場淨水污泥之基本性質及特性，製作高壓冷結水泥地磚。

為減少試驗之工作量，高壓冷結水泥地磚配比設計採用田口實驗設計法方式，將影響高壓地磚試驗結果之各項控制因子（淨水污泥用量與膠結料用量百分比、爐石粉取代水泥用量百分比、細骨材用量與膠結料用量百分比及纖維與膠結料用量百分比等）定義成四種不同的控制水準；並依據表 3 以每因子有四個水準條件，將原先有 44 個實驗組合簡化之，並利用數理統計之變異性概念探討各項因子組合後，統計出各項控制因子之最佳水準條件，進而找出高壓冷結地磚之合宜配比。試驗材料如表 4 所示。

表 3　高壓冷結地磚之實驗控制因子及水準

因子水準	控制因子			
	淨水污泥與膠結料之重量百分比(%) A	細骨材與膠結料之重量百分比(%) B	爐石取代水泥比率(%) C	纖維與膠結料之重量百分比(%) D
1	0	100	0	0
2	35	150	10	0.25
3	70	200	20	0.50
4	105	250	30	0.75

表 4　高壓冷結地磚之試驗材料

材料名稱	規格及性質
水泥	臺灣水泥公司所生產的波特蘭第 I 型普通水泥。
爐石粉	中聯資源公司所生產之 4000 級爐石粉。
細骨材	天然砂，S.S.D.比重 2.63，吸水率 1.31 %，F.M 為 2.93。
淨水污泥	台灣自來水公司板新淨水場、豐原第一淨水場與坪頂淨水場，含水率為 60%。
PP 纖維	採用符合中國國家標準之產品。

表 5　高壓冷結地磚試製配比表(kg)

配比編號	水泥	爐石粉	淨水污泥	水	細骨材	纖維
C-000AAA	100	0	0	40	100	0
C-000BBB	90	10	0	40	150	0.25
C-000CCC	80	20	0	40	200	0.5
C-000DDD	70	30	0	40	250	0.75
C-035ABC	90	10	35	40	100	0.5
C-035BAD	100	0	35	40	150	0.75
C-035CCA	70	30	35	40	200	0
C-035DCB	80	20	35	40	250	0.25
C-070ACD	80	20	70	40	100	0.75
C-070BDC	70	30	70	40	150	0.5
C-070CAB	100	0	70	40	200	0.25
C-070DBA	90	10	70	40	250	0
C-105ADB	70	30	105	40	100	0.25
C-105BCA	80	20	105	40	150	0
C-105CBD	90	10	105	40	200	0.75
C-105DAC	100	0	105	40	250	0.5

淨水污泥產製高壓冷結地磚之配比參酌直交設計表之實驗組合，經計算確定各組成材料之用量如表 5 所示，配比表中膠結料用量固定為 100 kg，各項材料用量則依照表中試驗變數計算後得知。

每組水泥依上述各組試驗配比，採用強制式水平雙軸拌和機拌製拌和完成後，先測其新拌水泥坍流度，並予以記錄；隨後，即澆置至方塊試體（50×50×50 mm）與矩形抗彎試體（40×40×160 mm）。試體依事前規劃時程進行拆模、養護，直到試驗齡期(7 與 28 天)前一天取出，以進行抗壓強度與抗彎強度試驗。

配比編號對照表

C-070ABC

a　b c d e

a：C（豐原給水廠）、T（板新給水廠）、K（坪頂給水廠）

b：淨水污泥與膠結料重量百分比：　070（70%）、105（105%）

c：細骨材與膠結料重量百分比：A（100%）、B（150%）、C（200%）、D（250%）

d：爐石粉取代水泥重量百分比：A（0%）、B（10%）、C（20%）、D（30%）

e：纖維用量與膠結料重量百分比：A（0%）、B（0.25%）、C（0.5%）、D（0.75%）

四、試驗結果與分析

1.淨水污泥基本性質分析

淨水污泥顆粒粒徑分析結果如表 6 所示。由中位粒徑分析結果可知，各淨水場污泥其豐水期時之污泥粒徑皆大於枯水期，顯示於豐水期因進廠之原水濁度較高，故污泥之顆粒粒徑亦較大，但豐水期與枯水期之中

位粒徑差距不大。另豐水期時三淨水場之污泥中位粒徑分別為 0.007 mm、0.010 mm 與 0.008 mm。就統一土壤分類而言，3 座淨水場之污泥試樣基本上皆屬粉土或粘土質沉積物（粒徑≦0.075 mm 之成份佔總量 85%以上），且各場淨水污泥的比重（乾基）約介於 2.6～2.75 間，與一般土壤的比重相近。表 7 為淨水場污泥的化學組成分析，主要成分 SiO_2 及 Al_2O_3 約佔 70%~80%，唯板新淨水場之污泥含有較低之二氧化矽與較高之燒失量，可能會對後續再利用之用水量造成影響。表 8 則為淨水污泥樣品 TCLP 檢測結果，結果顯示均可符合規定。

2.淨水污泥高壓地磚之性質

本研究在利用淨水污泥產製高壓冷結地磚時，主要之考慮因素為較高之污泥使用量，使能有較佳之污泥再利用效益。故配比上有別於常見高壓地磚，本研究只使用#4 篩以下之細粒料與粉體材料，不使用粗粒料。詳細之配比如表 5 所示。表 9~表 11 分別為板新淨水場、豐原第一淨水場及坪頂淨水場之淨水污泥 28 天齡期抗壓試驗結果之統計分析。經分析各配比之資料與試驗結果可知，淨水污泥使用比例對於抗壓強度的影響最為顯著，在相同膠結料量的情況下，污泥添加比例越高，其抗壓強度越低。其他影響顯著性依次為細骨材使用比例、爐石粉使用比例及纖維用量。綜觀上述 4 項因子，除了淨水污泥使用比例外，其餘 3 項因子對淨水污泥高壓冷結地磚的抗壓強度影響並不明顯。若就爐石粉取代水泥比例而言，則 30%是一個較具經濟效益之選擇。至於細骨材與纖維之使用量，對於試體之抗彎強度影響並不明顯，故建議細骨材比例選擇 200%~250%，而纖維則選用 0.25%。表 12 為三座淨水場淨水污泥高壓冷結地磚配比之抗彎強度試驗結果。由表中可知，48 組配比之 7 天抗彎強度介於 21 kgf /cm2 ~ 97 kgf /cm2；28 天抗彎強度介於 44 kgf /cm2 ~ 118 kgf /cm^2。經分析各配比之資料與試驗結果發現，抗彎強度之趨勢與抗壓強度者相似，隨著淨水污泥使用比例增加，高壓冷結地磚之抗彎強度顯著降低。在相同膠結料量的情況下，利用爐石粉取代水泥，雖然會略為影響試體抗彎強度，但幅度並不明顯，故若就爐石粉取代水泥比例而言，30%是一較具經濟效益之選擇。至於細骨材與纖維之使用量，對於試體之抗彎強度影響並不明顯。

表 6　淨水污泥之物理性質

試樣	比重	塑性指數 P.I. (%)	中位粒徑 D_{50} (mm)		成分 (% wt.)							
					礫石		砂土		粉土		粘土	
					＞4.75 mm		4.75 mm-0.075 mm		0.075 mm-0.005 mm		＜0.005 mm	
			豐水期	枯水期	豐水期	枯水期	豐水期	枯水期	豐水期	枯水期	豐水期	枯水期
板新淨水場	2.62	10	0.007	0.005	0	0	6	1	52	46	42	53
豐原淨水場	2.60	13	0.010	0.009	0	0	12	3	56	68	32	29
坪頂淨水場	2.7	27	0.008	0.007	0	0	4	2	78	68	18	30

表 7　淨水污泥之化學成分分析(101 年度)

淨水場	板新(%)	豐原(%)	坪頂(%)
SiO_2	44.16	60.19	61.9
Al_2O_3	25.87	20.29	15.9
Fe_2O_3	6.29	4.6	5.83
Na_2O	0.53	0.53	ND<0.01
MgO	1.82	1.5	1.46
MnO	0.12	0.09	0.103
CaO	0.46	0.54	2.5
K_2O	3.83	4.03	2.96
TiO_2	0.65	0.59	0.757
P_2O_5	0.28	0.14	ND<0.01
SO_3	0.48	0.28	ND<0.01
Cr_2O_3	0.02	0.01	ND<0.01
SrO	0.01	0.01	0.017
Rb_2O	0.02	0.02	ND<0.01
NiO	0.01	0.01	0.029
CuO	0.01	-	ND<0.01
ZrO_2	0.02	0.03	0.006
Cl	0.03	-	ND<0.01
BaO	-	0.02	-
ZnO	0.02	-	0.022
Br	-	-	-
Y_2O_3	-	-	-
As_2O_3	-	-	-
燒失量	15.37	7.11	5.5
合計	100	100	97

資料來源：自來水公司提供

表 8　淨水污泥 TCLP 檢驗結果(mg/L) (101 年度)

淨水場	總汞	總鎘	總硒	六價鉻化合物	總鉻	總鉛	總砷	總銅	總鋇
法規標準	0.2	1	1	2.5	5	5	5	15	100
豐原淨水場	<0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.003	N.D.	1.13
坪頂淨水場	ND (<0.0005)	ND (<0.008)	ND (<0.038)	ND (<0.01)	ND (<0.014)	<0.100 (0.016)	ND (<0.042)	<0.100 (0.064)	0.833
板新淨水場	N.D.	N.D.	0.002	0.02	0.069	N.D.	0.0025	0.052	0.333

資料來源：自來水公司提供

表 9　板新淨水場試體抗壓強度結果統計分析

配比編號		淨水污泥(%)	細骨材(%)	爐石粉(%)	纖維(%)	-	試驗結果 (kgf/cm^2)	
T-000AAA		0	100	0	0	-	699.28	
T-000BBB		0	150	10	0.25	-	645.37	
T-000CCC		0	200	20	0.5	-	656.21	
T-000DDD		0	250	30	0.75	-	709.47	
T-035ABC		35	100	10	0.5	-	411.87	
T-035BAD		35	150	0	0.75	-	419.33	
T-035CCA		35	200	30	0	-	406.80	
T-035DCB		35	250	20	0.25	-	476.00	
T-070ACD		70	100	20	0.75	-	270.13	
T-070BDC		70	150	30	0.5	-	252.93	
T-070CAB		70	200	0	0.25	-	365.87	
T-070DBA		70	250	10	0	-	371.87	
T-105ADB		105	100	30	0.25	-	199.60	
T-105BCA		105	150	20	0	-	262.32	
T-105CBD		105	200	10	0.75	-	241.32	
T-105DAC		105	250	0	0.5	-	290.37	
極差分析	K1	2710.33	1580.88	1774.85	1740.27	1669.53	T=	6678.75
	K2	1714.00	1579.96	1670.43	1686.84	1612.68	T^2=	44605657.04
	K3	1260.80	1670.20	1664.67	1611.39	1647.01	P=	2787853.56
	K4	993.61	1847.71	1568.80	1640.25	1749.52	Q_T=	3237289.47
	k1	677.58	395.22	443.71	435.07	417.38	S_T=	449435.90
	k2	428.50	394.99	417.61	421.71	403.17		
	k3	315.20	417.55	416.17	402.85	411.75		
	k4	248.40	461.93	392.20	410.06	437.38		
	極差 R	429.18	66.71	51.51	32.22	34.21		
	主次順序	A>C>B>D						
	優水平	A1	B4	C1	D1			
	優組合	A1B4C1D1						

表 10　豐原第一淨水場試體抗壓強度試驗結果統計分析

配比編號		淨水污泥(%)	細骨材(%)	爐石粉(%)	纖維(%)	-	試驗結果(kgf/cm^2)	
C-000AAA		0	100	0	0	-	699.28	
C-000BBB		0	150	10	0.25	-	645.37	
C-000CCC		0	200	20	0.5	-	656.21	
C-000DDD		0	250	30	0.75	-	709.47	
C-035ABC		35	100	10	0.5	-	428.67	
C-035BAD		35	150	0	0.75	-	473.20	
C-035CCA		35	200	30	0	-	509.07	
C-035DCB		35	250	20	0.25	-	563.07	
C-070ACD		70	100	20	0.75	-	291.47	
C-070BDC		70	150	30	0.5	-	358.40	
C-070CAB		70	200	0	0.25	-	444.13	
C-070DBA		70	250	10	0	-	471.20	
C-105ADB		105	100	30	0.25	-	233.60	
C-105BCA		105	150	20	0	-	249.38	
C-105CBD		105	200	10	0.75	-	244.13	
C-105DAC		105	250	0	0.5	-	278.67	
極差分析	K1	2710.33	1653.01	1895.28	1928.93	1864.88	T=	7255.31
	K2	1974.00	1726.35	1789.37	1886.17	1724.57	T^2=	52639571.56
	K3	1565.20	1853.55	1760.13	1721.95	1834.21	P=	3289973.22
	K4	1005.78	2022.40	1810.53	1718.27	1831.65	Q_T=	3710027.22
	k1	677.58	413.25	473.82	482.23	466.22	S_T=	420053.99
	k2	493.50	431.59	447.34	471.54	431.14		
	k3	391.30	463.39	440.03	430.49	458.55		
	k4	251.45	505.60	452.63	429.57	457.91		
	極差 R	426.14	92.35	33.79	52.67	35.08		
	主次順序	A>C>B>D						
	優水平	A1	B4	C1	D1			
	優組合	A1B4C1D1						

表 11　坪頂淨水場試體抗壓強度試驗結果統計分析

配比編號		淨水污泥(%)	細骨材(%)	爐石粉(%)	纖維(%)	-	試驗結果 (kgf/cm^2)	
K-000AAA		0	100	0	0	-	699.28	
K-000BBB		0	150	10	0.25	-	645.37	
K-000CCC		0	200	20	0.5	-	656.21	
K-000DDD		0	250	30	0.75	-	709.47	
K-035ABC		35	100	10	0.5	-	512.93	
K-035BAD		35	150	0	0.75	-	532.00	
K-035CCA		35	200	30	0	-	624.80	
K-035DCB		35	250	20	0.25	-	617.60	
K-070ACD		70	100	20	0.75	-	397.07	
K-070BDC		70	150	30	0.5	-	409.20	
K-070CAB		70	200	0	0.25	-	415.60	
K-070DBA		70	250	10	0	-	465.60	
K-105ADB		105	100	30	0.25	-	312.67	
K-105BCA		105	150	20	0	-	278.80	
K-105CBD		105	200	10	0.75	-	266.53	
K-105DAC		105	250	0	0.5	-	301.47	
極差分析	K1	2710.33	1921.95	1948.35	2068.48	1992.61	T=	7844.60
	K2	2287.33	1865.37	1890.44	1991.24	1968.71	T^2=	61537749.16
	K3	1687.47	1963.15	1949.68	1879.81	1966.48	P=	3846109.32
	K4	1159.47	2094.13	2056.13	1905.07	1916.80	Q_T=	4209412.90
	k1	677.58	480.49	487.09	517.12	498.15	S_T=	363303.58
	k2	571.83	466.34	472.61	497.81	492.18		
	k3	421.87	490.79	487.42	469.95	491.62		
	k4	289.87	523.53	514.03	476.27	479.20		
	極差 R	387.72	57.19	41.42	47.17	18.95		
	主次順序	A>C>B>D						
	優水平	A1	B4	C4	D1			
	優組合	A1B4C4D1						

表 12　高壓冷結地磚試製之抗彎強度試驗結果(kgf/cm^2)

配比編號	7 天	14 天	28 天	配比編號	7 天	14 天	28 天	配比編號	7 天	14 天	28 天
T-000AAA	97.57	100.83	118.41	C-000AAA	97.57	100.83	118.41	K-000AAA	97.57	100.83	118.41
T-000BBB	84.52	90.09	103.17	C-000BBB	84.52	90.09	103.17	K-000BBB	84.52	90.09	103.17
T-000CCC	82.36	90.63	104.91	C-000CCC	82.36	90.63	104.91	K-000CCC	82.36	90.63	104.91
T-000DDD	92.30	104.98	114.98	C-000DDD	92.30	104.98	114.98	K-000DDD	92.30	104.98	114.98
T-035ABC	57.94	63.84	64.03	C-035ABC	51.66	64.01	73.84	K-035ABC	66.83	74.74	77.70
T-035BAD	72.46	77.98	80.06	C-035BAD	71.70	76.05	84.88	K-035BAD	76.48	87.70	96.09
T-035CCA	63.47	70.50	81.86	C-035CCA	58.13	72.62	78.91	K-035CCA	76.27	87.23	91.20
T-035DCB	65.34	82.31	96.91	C-035DCB	70.59	78.91	86.55	K-035DCB	77.20	81.73	102.31
T-070ACD	39.32	47.32	53.58	C-070ACD	49.45	52.71	54.28	K-070ACD	53.23	61.62	15.60
T-070BDC	42.29	50.91	54.98	C-070BDC	50.20	53.34	62.98	K-070BDC	54.73	63.30	73.64
T-070CAB	57.89	59.91	71.88	C-070CAB	58.05	68.41	75.49	K-070CAB	75.68	81.68	81.68
T-070DBA	56.84	61.73	73.48	C-070DBA	60.95	67.34	81.21	K-070DBA	73.88	78.54	78.54
T-105ADB	31.78	34.10	37.90	C-105ADB	18.24	21.23	25.13	K-105ADB	44.23	49.13	55.97
T-105BCA	40.73	63.07	70.78	C-105BCA	21.87	25.43	46.76	K-105BCA	47.64	50.65	57.60
T-105CBD	23.05	40.66	56.41	C-105CBD	31.29	32.03	40.51	K-105CBD	47.88	51.75	63.26
T-105DAC	39.23	43.50	51.19	C-105DAC	43.09	10.90	44.05	K-105DAC	53.67	58.26	67.36

由表 9~表 12 分析可知，不添加淨水污泥時其抗壓強度及抗彎強度最佳，唯本次實驗在於利用淨水污泥製作高壓冷結地磚，經考量地磚力學性能、再生資源使用率及經濟性綜合分析結果，其淨水污泥用量為水泥重量 105%，細骨材用量為水泥重量 200%~250%，其爐石粉及纖維於極差分析中對於抗壓及抗彎強度雖略有影響，但幅度並不明顯，故考量經濟性部分，爐石粉代替水泥重量取 30%為最佳選擇，且力學性質表現上與一般高壓地磚(C 級磚)之性能相近。

3.淨水污泥高壓地磚經濟效應分析

由於淨水污泥高壓冷結地磚之產製過程及設備與普通高壓地磚相似，故其產製階段之成本差異，主要因配比不同所致。計算成本依據配比如表 5 所示，各項材料之單價如表 13 所示，計算結果如表 14 所示。根據上述條件推估，普通高壓地磚原料成本約為每噸 995 元；高壓冷結地磚之成本，則依配比而定，約為每噸混凝土 664 ~ 797 元；高壓冷結地磚之材料成本約為普通高壓地磚者之 66% ~ 80%，亦即使用淨水污泥產製高壓冷結地磚時，雖然淨水污泥在產製時可能須提高設備操作費用約 100 ~ 200 元/噸，但對廠商而言淨水污泥高壓冷結地磚在市場上應具有相當之競爭力。

表 13　計算成本時各項材料成本

水泥	2400 元/噸
爐石粉	1200 元/噸
細粒料	600 元/噸
淨水污泥	-700 元/噸
纖維	200000 元/噸

表 14　高壓冷結地磚價格(kg/m^3)

配比編號	水泥	爐石粉	淨水污泥	水	細骨材	纖維	材料成本(元/噸)
一般地磚	174	43	0	87	695	0.54	995
T-070CDA	174	43	152	87	543	0.54	797
T-085CDA	168	42	179	84	526	0.53	750
T-100CDA	163	41	204	82	510	0.51	706
T-115CDA	158	40	228	79	495	0.49	664
C-070CDA	174	43	152	87	543	0.54	797
C-085CDA	168	42	179	84	526	0.53	750
C-100CDA	163	41	204	82	510	0.51	706
C-115CDA	158	40	228	79	495	0.49	664
K-070CDA	174	43	152	87	543	0.54	797
K-085CDA	168	42	179	84	526	0.53	750
K-100CDA	163	41	204	82	510	0.51	706
K-115CDA	158	40	228	79	495	0.49	664

五、結論

(一)本研究針對淨水污泥與膠結料重量百分比、細骨材與膠結料重量百分比比例、爐石取代水泥重量百分比及纖維與膠結料重量百分比等參數考量下進行試驗，發現淨水污泥用量為膠結料重量之 105%，爐石粉取代水泥用量為 30%，細骨材用量為膠結料重量之 200%~250%，可製做出力學性能與一般 C 級地磚相近之高壓冷結地磚，且製作方式與一般高壓冷結地磚相似。

(二)淨水污泥高壓冷結地磚材料成本，約為每噸混凝土 664 ~ 797 元，為普通高壓地磚者之 66% ~ 80%。雖然淨水污泥高壓冷結地磚在產製時可能須提高設備操作費用約 100 ~ 200 元/噸，但總價上與普通高壓地磚價格差異不大。

(三)綜上所述，本案淨水污泥之使用量為膠結料重量之 105%，抗壓、抗彎皆能達 C 級磚之標準;且生產過程低耗能環保，價格上與一般地磚價差甚微，如申請得相關環保標章，對廠商而言，淨水污泥高壓冷結地磚在市場上應具有相當之競爭力。

參考文獻

1.劉又瑞，「淨水污泥混合營建廢棄土製磚及燒結人造骨材的研究」，碩士論文，國立交通大學環境工程所，2001。

2.王靜逸，「淨水場污泥再利用技術及用途評估之研究」，碩士論文，國立交通大學環境工程所，2007。

3.林東燦，「污泥類廢棄物取代部分水泥原料燒製環保水泥之可行性研究」，碩士論文，國立中央大學環境工程研究所，2006。

4.顏笠安，「淨水場混凝污泥質量特性與脫水泥餅再利用初步評估」，碩士論文，國立中央大學環境工程研究所，2009。

5.林志鴻，「淨水污泥再利用於水泥生料之研究」，碩士論文，國立中央大學環境工程研究所

，2010。
6.紀宗男，「淨水污泥餅資源化應用於管溝回填材料之研究」，碩士論文，淡江大學土木工程學系。2003
7.劉世翊，「淨水污泥再製輕質骨材可行性研究」，碩士論文，國立中興大學土木工程學系。2011
8.孫國鼎，水庫淤泥及淨水污泥再利用之製磚之研究，碩士論文，國立交通大學環境工程研究所。
9.江康鈺、陳宜晶、簡光勵，「淨水污泥燒製磚材之材料特性研究」，自來水會刊第二十三卷第三期，2004。
10.林忠逸，「廢棄污泥燒成環保水泥之化學反應特性研究」第十八屆廢棄物處理技術研討會論文集。2003
11.康世芳，「淨水污泥餅再利用技術調查及應用於台北自來水事業處淨水廠可行性評估期末報告」，台北市自來水事業處。2001
12.張添晉，「淨水處理廠廢棄污處裡技術之研究」，中華民國自來水協會，1997
13.陳豪吉，「高壓冷結型水庫淤泥磚壁之研究之成果報告」，國立中興大學土木工程系，成果報告，2013。
14.顏聰，「自來水淨水污泥再利用成輕質骨材之可行性研究」，台灣自來水公司委託研究計畫報告，中華民國101年1月。
15.周彩樓、尚琦、尹洪江，「淨水場沉澱池污泥超輕陶粒的研究」，熱固性樹脂（中國），第4期，第83-86頁，1999。
16.賀君、王啟山、任愛玲，「給水廠及污水廠污泥製陶粒技術研究」，環境工程學報（中國），第3卷，第9期，第1653-1657頁，2009。

作者簡介

彭靖芳女士

現職：國立中興大學土木工程學系博士生

專長：廢棄污泥再利用、混凝土材料

洪世政先生

現職：台灣自來水股份有限公司水質處 處長

專長：自來水處理技術、水質管理

陳豪吉先生

現職：國立中興大學土木工程學系教授

專長：混凝土材料、結構分析、輕質粒料研究

本刊新增「自來水廠（所）的一天」單元

「自來水廠(所)的一天」，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之認識，以激勵自來水基層單位士氣，並留下歷史印記，含照片每篇最多六頁(3000 字以內)，歡迎踴躍投稿。

淨水污泥應用於控制性低強度材料之研究

文/鍾錦珍、彭靖芳、陳豪吉

摘要

本研究探討自來水淨水污泥應用於控制性低強度材料 CLSM （Controlled Low Strength Materials）之可行性，以淨水污泥來取代混凝土中的細骨材部分，並進行相關材料性質、材料配比及試產 CLSM 之工程性質進行分析。

研究成果顯示，所選定之三座淨水場其淨水污泥的中位粒徑介於 0.007 mm~0.010 mm。其淨水污泥比重約介於 2.63~2.73 間，與一般土壤的比重相近。經研究後，使用分散劑先進行淨水污泥造漿，為較適合之淨水污泥前置處理方式，以利後續之 CLSM 拌合工作。依試驗後所設定之配比產製 CLSM，其抗壓強度介於 50 kgf/cm2~75 kgf/cm^2 之間，已可符合 CLSM 之工程需求。其淨水污泥取代細骨材比例以 30%與 40%之試驗結果最佳。爐石粉之取代比例建議採最高值 30%。若採用含鐵鹽淨水污泥產製 CLSM 時，只要在速凝劑部分做適當調配即可符合需求。

經由 CLSM 試產分析之成果得知，利用淨水廠污泥製作 CLSM，確實有極高可行性，其各項性能均可符合公共工程委員會對於 CLSM 之要求。

關鍵字：淨水污泥、抗壓強度、控制性低強度材料。

一、前言

自來水公司淨水場淨水污泥再利用以製磚、培養土為主及少量水泥原料等三種。再利用成培養土部分除需取得經濟部再利用許可外，尚受到農委會 97 年 3 月 27 日公告之「肥料種類品目及規格」相關規定，需再取得「肥料登記證」，方可進行培養土(有機栽培介質)的再利用，再利用資格取得相當不易，造成部分淨水污泥再利用發包不易暨再利用成本上升，自來水公司目前正積極多面向開發污泥再利用項目，以尋求淨水污泥再利用新的方向，期能加速污泥再利用管道、降低污泥再利用費用。

本研究目的主要探討台灣自來水公司淨水場之淨水污泥冷結固化再利用於 CLSM 之可行性研究；以發展具有實用效益之再利用產品。

二、研究背景

基本上淨水污泥之性質隨著原水水質、混凝劑種類及混凝操作方式等之不同而異。主要成分包括懸浮固體、鐵鋁氫氧化物、混凝劑、水分及微量的有機物。化學成分主要以 SiO_2 為主，其中 SiO_2 來自於原水中的砂土礦物（石英），而 Al_2O_3、Fe_2O_3 為源自於黏土礦物及混凝加藥的鋁系或鐵系混凝劑。另外，還包括微量的 K_2O、Na_2O、CaO、MgO 及硫酸鹽類等。

影響污泥含水率的因素很多，然而淨水污泥由於原水性質單純，污泥含水率主要視混凝劑的使用與脫水的方式有著明顯的不同。一般來說，由於添加鐵鹽混凝劑所產生的膠羽密度較高、沉澱較快，所以鐵鹽污泥含水率最低。當原水硬度高時，就需以石灰

軟化，添加石灰所產生石灰污泥含水率將高於鐵鹽污泥。雖然以鐵鹽混凝沉澱效果較佳，污泥含水率也較低，然而會因增加水中色度而受到限制。利用石灰作為混凝劑則會增加污泥固體量。雖然添加硫酸鋁及 PACL 所生成鋁鹽污泥含水率較高，但是由於鋁鹽混凝劑價格低廉可大量使用，又適合各種水質且不易增加色度等優點，而廣為各水廠所採用[1]。

隨著原水水質的不同，淨水污泥中有機物含量也會不同。若原水水質來自潔淨的集水區，有機物含量將相對較低，無法提供生物反應，故淨水污泥不易腐敗，亦不產生好氧、厭氧等消化反應。淨水污泥本身 pH 值約 6.5 左右屬中性污泥，在此範圍內重金屬物質不易溶出，且淨水污泥因水質來源乾淨穩定，在淨水過程中所添加的混凝劑性質單純，故污泥中重金屬含量並不高[1-4]。

目前淨水場污泥的處置方式，是委託合格的處理機構來清運污泥，歷年淨水場於污泥再利用的方式中，多以做為水泥原料、製磚及栽培土為主，且目前合格的再利用機構，也是以這三種再利用方式為主[5]。

三、控制性低強度材料(CLSM)之工程特性

為促成 CLSM 之應用與推廣，美國混凝土學會（ACI）及美國材料試驗協會（ASTM）已訂定許多標準與規範[6-9]。CLSM 之組成與混凝土類似，主要為水、膠結料（水泥、卜作嵐材料）、骨材及其他化學摻料。由於 CLSM 係回填夯實之替代性材料，故須透過配比技術控制其強度，使其可便利於將來之再開挖（以人工或機具方式）。若以混凝土材料觀之，CLSM 可被定義為一種 28 天抗壓強度不超過 90 kgf/cm^2 之營建材料[6,10]。一般而言，典型的 CLSM 組成中（質量比）如表 1 所示，80%~85%為細骨材（粒徑：0.075~4.45 mm）或填充料，10%~15%為補充性膠結材料，5%~10%為水泥，用水量為 250~400 L/m^3 [11,12]。

CLSM 之工作性檢驗主要採用 ASTM C143 之坍度、坍流度或 ASTM D6103 規定之管流度試驗方法。若欲達到密佈管線間能獲致良好的充填效果，ASTM C143 之流度試驗應達 400 mm 以上，而 ASTM D6103 管流度

表 1　CLSM 與混凝土之組成比較

使用材料	CLSM	一般混凝土
水泥膠結料(kg/m^3)	100~200	250~450
卜作嵐材料(kg/m^3)	50~100	0~100
水(kg/m^3)	180~220	180~220
水膠比	>1	0.4~0.55
粗粒料用量(kg/m^3)	200~400	700~1100
細粒料用量(kg/m^3)	1280~1480	700~1000
摻料	速凝劑、發泡劑	減水劑、強塑劑

表 2　CLSM 之性質需求

項目	試驗方法	要求標準
管流度(cm)	ASTM D6103	20~30
坍流度(cm)	CNS 1482	40 以上
落沉強度試驗	ASTM D6024	一般型:12 小時
粗粒料用量(kg/m^3)		400 以下
抗壓強度(kgf/cm^2)	行政院公共工程委員會施工綱要規範(第 03377 章)	90 以下

試驗則應落於 150~200 mm 之間。以管線工程為例，一般以 20~70 kgf/cm^2 最為適當。但為便於後續鋪面層的施工，一般會要求 CLSM 的早期強度。以台北市養工處 CLSM 材料規範為例，其 28 天的抗壓強度不超過 90 kgf/cm^2，且 12 小時抗壓強度不得低於 7 kgf/cm^2。此外，一般 CLSM 之滲透性約介於 10^{-4}~10^{-5} cm/sec 之間，而具較高強度或細骨材料添加量較高之 CLSM，其滲透係數將會降低至 10^{-7}cm/sec。有關 CLSM 之性質需求，茲列述如表 2[10,13]。

四、研究方法

本研究選定北中南各一座淨水場(北部板新淨水場、中部豐原第一淨水場、南部坪頂淨水場)之淨水污泥作為本研究試驗時之污泥樣品。首先探討淨水污泥產製 CLSM 之可行性。為了解 CLSM 配比組成對所產製 CLSM 性質之影響，本研究利用田口實驗設計法的概念，採取 L16(45)直交表，將影響試製結果之各項控制因子（淨水污泥用量、水膠比、卜作嵐材料取代水泥用量百分比及粗細骨材用量等）定義成四種不同的控制水準；然後，應用數理統計學的變異數分析探討各因子水準組合在 CLSM 新拌與硬固性質的表現，以評估最佳的配比組成。然後利用商業預拌廠設備進行量產試製及產品測試。

淨水污泥產製之控制性低強度材料，其試驗之評估指標包括 CLSM 之單位重、管流度、抗壓強度、落沉強度及體積穩定性試驗。由於淨水污泥顆粒粒徑較細，原則上本計畫用以取代砂作為填充料。根據專業知識、以往的研究結論和經驗，從影響試驗指標的諸多因子中，通過因果分析篩選出五項需要考察的試驗因子，即淨水污泥取代砂（細骨材）之百分比、水膠比、爐石粉取代水泥之百分比、粗粒料用量及速凝劑用量百分比。試驗因子選定後，再根據所掌握的資訊資料和相關知識，設定每個因子之水準，以盡可能把水準值取在理想區域內。

為確保所產製 CLSM 能符合工程上的管流度、抗壓強度等性能需求，妥為規劃其組成之適宜配比範圍，再藉由後續試製試驗求得最佳配比，以使實際量產能獲致最大的經濟效益。乃將影響 CLSM 試製結果之各項控制因子定義成不同的控制水準如表 3 所示，並探討各項控制因子水準組合在 CLSM 特性上的表現，以評估最佳的處置。本研究共規劃四種淨水污泥用量，其取代砂之重量百分比分別為 10%、20%、30%及 40%；其中，0%之配比為控制組（對照組），其餘配比則為實驗組。

表 3　CLSM 試製之實驗控制因子及水準

因子 水準	控制因子				
	污泥取代率(%) A	水膠比 B	爐石取代率(%) C	速凝劑用量(%) D	粗骨材用量(kg/m^3) E
1	10	0.8	0	2.75	400
2	20	1.0	10	3.00	350
3	30	1.2	20	3.25	300
4	40	1.4	30	3.50	250

表 4　CLSM 試製之直交表

試驗 組合	控制因子及其水準					評估指標	
	污泥取代率(%) A	水膠比 B	爐石取代率(%) C	速凝劑用量(%) D	粗骨材用量(kg/m^3) E	新拌 性質	硬固 性質
1	10	0.80	0	2.75	400		
2	10	0.95	10	3.00	350		
3	10	1.10	20	3.25	300		
4	10	1.25	30	3.50	250		
5	20	0.80	10	3.25	250		
6	20	0.95	0	3.50	300		
7	20	1.10	30	2.75	350		
8	20	1.25	20	3.00	400		
9	30	0.80	20	3.50	350		
10	30	0.95	30	3.25	400		
11	30	1.10	0	3.00	250		
12	30	1.25	10	2.75	300		
13	40	0.80	30	3.00	300		
14	40	0.95	20	2.75	250		
15	40	1.10	10	3.50	400		
16	40	1.25	0	3.25	350		

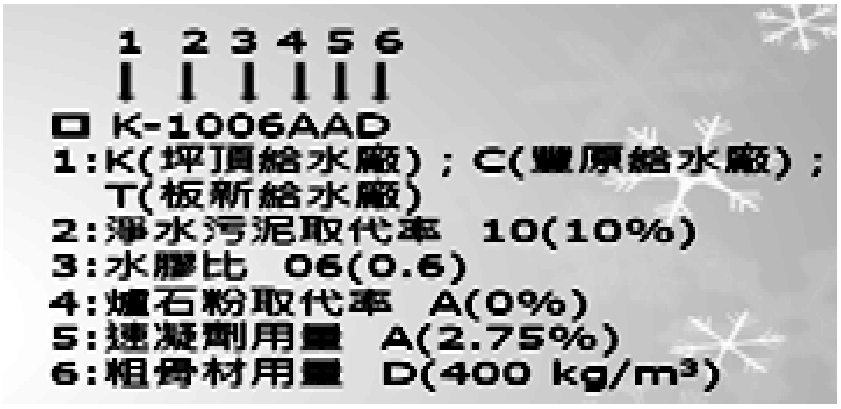


圖 1　試體編號示意圖

表 5　坪頂淨水場污泥 CLSM 配比表 (kg/m^3)

配比編號	水膠比	膠結材		水	速凝劑	粗粒料	細粒料	污泥	減水劑
		水泥	爐石						
K-1006AAD	0.60	200	0	120	5.50	400	1,462	162	3.00
K-1008BBC	0.80	180	20	160	6.00	350	1,407	156	2.00
K-1010CCB	1.00	160	40	200	6.50	300	1,352	150	1.00
K-1012DDA	1.20	140	60	240	7.00	250	1,297	144	0.00
K-2006BCA	0.60	180	20	120	6.50	250	1,417	354	0.00
K-2008ADB	0.80	200	0	160	7.00	300	1,299	325	0.00
K-2010DAC	1.00	140	60	200	5.50	350	1,159	290	0.00
K-2012CBD	1.20	160.0	40	240	6.00	400	1,042	260	0.00
K-3006CDC	0.60	160.0	40	120	7.00	350	1,161	497	1.27
K-3008DCD	0.80	140.0	60	160	6.50	400	1,047	449	2.00
K-3010ABA	1.00	200.0	0	200	6.00	250	1,099	471	1.00
K-3012BAB	1.20	180.0	20	240	5.50	300	988	423	0.00
K-4006DBB	0.60	140	60	120	6.00	300	1,020	680	2.00
K-4008CAA	0.80	160	40	160	5.50	250	995	663	1.10
K-4010BDD	1.00	180	20	200	7.00	400	847	565	0.00
K-4012ACC	1.20	200	0	240	6.50	350	820	547	0.00

在五個因子及每因子有四個水準之條件下，若進行全面試驗，則試驗的規模將很大（有 45 個實驗組合）。故必須應用數理統計學的基本知識，討論如何合理地安排試驗、取得資料，然後進行綜合科學分析，從而儘快獲得最優組合方案。根據試驗材料因子及各因子的參數水準，選擇 L16(45)直交表來安排試驗方案，再採用數理統計的方法處理數據，可迅速地分析在諸多因子中對試驗特性指標有顯著影響的效果因子，以確定最佳特性指標的因子組合。表 4 為淨水污泥試製 CLSM 之直交表。

淨水污泥 CLSM 在進行配比設計時分為兩階段，第一階段為利用直交試驗設計法，進行較多之試驗變數支配比試驗，CLSM 之配比將參酌直交設計表之實驗組合，經計算確定各組成材料之用量，詳細之配比如表 5 所示；第二階段則為依據第一階段之成果，進行較重要配比變數的試驗，最後求得較佳之淨水污泥 CLSM 配比。其中，配比編號如圖 1 所示。

依前述規劃的各組試驗配比，採用強制式水平雙軸拌和機拌製混凝土。每組混凝土配比拌和完成後，先量測其新拌性質（管流度、單位重、含氣量），並予以記錄；之後，即澆鑄圓柱試體（100 φ×200 mm）及長方形試體（75×75×285mm）。試體依規劃齡期拆模，隨即置於養護室中養護，直到試驗齡期前一天才取出，以進行抗壓強度試驗及體積穩定性試驗。

五、研究結果討論與分析

一般混凝土預拌廠之各項原料均存放於桶槽中，若將淨水污泥置入桶槽，恐會發生無法計量與下料之狀況，此為淨水污泥應用於 CLSM 時，必須面對之課題。為克服此一問題，在進行 CLSM 產製技術研擬時，第一階段即是如何將污泥分散以利後續製程使用。

本研究進行污泥前處理時，所使用之分散劑為台灣 SIKA 公司所生產之編號 530 與 550 兩種分散劑，試驗乃在淨水污泥不同含水狀態下(80%與 100%)，添加不同比例之分散劑(重量比，0.5%、1%與 1.5%)，在浸泡後進行管流度試驗，以量測淨水污泥添加分散劑後之流動性。表 6 與表 7 為高雄坪頂淨水場淨水污泥分散性試驗結果，表中結果顯示，就分散性而言，使用分散劑 530 具有較佳之分散效果，在進行淨水污泥再利用時，污泥在分散後須有一定之工作性，且漿體必須均勻，不可有析離之現象產生(液體與粉體分離)。在經濟效益的考量下，本研究選擇之前處理方式為，淨水污泥含水率 80%，添加分散劑 530，用量為 0.5%，以作為後續 CLSM 所使用之淨水污泥前處理方式。

對於 CLSM 之抗壓強度要求，規範或工程單位常有不同的規定，例如:ASTM 規定 CLSM 抗壓強度為 40 kgf/cm^2 以下；公共工程委員會施工綱要規範「第 03377 章 控制性低強度回填材料」為 90 kgf/cm^2 以下；自來水公司的材料檢驗標準則為 20~50 kgf/cm^2。經考量台灣目前最常採用之公共工程委員會施工綱要規範，本研究以抗壓強度 90 kgf/cm^2 以下，作為評估淨水污泥 CLSM 之參考依據。

本研究利用正交設計法共拌製 48 組配比。表 8 ~ 表 9 為三組淨水污泥之 CLSM 抗壓強度試驗結果。

就高雄坪頂淨水場淨水污泥 CLSM 配比之抗壓強度試驗結果可知，16 組配比之 28 天抗壓強度介於 36.3 kgf /cm^2 ~ 138.97 kgf

/cm^2，經分析各配比之資料與試驗結果發現，淨水污泥用量對於抗壓強度的影響最為顯著，其次為水膠比。在相同膠結料量的情況下，污泥添加比例越高，其 28 天抗壓強度越低；而隨著水膠比的提高，抗壓強度也相對降低。由於就 CLSM 而言，並非強度越高越好，而是以低於 90 kgf/cm^2 為標準，故本研究 4 種污泥取代率中，以 30%與 40%之試驗結果最能符合 CLSM 之需求，較高的取代率除可使抗壓強度符合需求外，另一方面亦可對淨水污泥再利用提供較大之效益。

此外，就爐石粉取代水泥比率而言，爐石粉取代率由 0%~30%對於抗壓強度之影響差異不大，故對爐石粉取代率建議採最高者，亦即水泥用量之 30%，此因較大之水泥取代率，除可降低成本外，亦可降低 CO_2 排放量，有提升節能減碳之功效。

表 6　坪頂淨水場淨水污泥分散試驗管流度結果

分散劑	530			550		
含水率	0.5%	1%	1.5%	0.5%	1%	1.5%
80%	21	30	42	17	23	25.5
100%	31.5	36.5	48	23	29	37.5

表 7　坪頂淨水場淨水污泥分散試驗結果照片

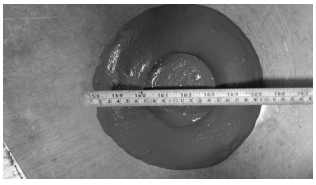
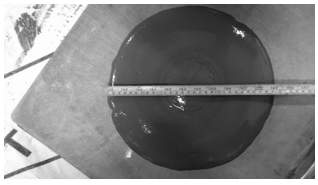
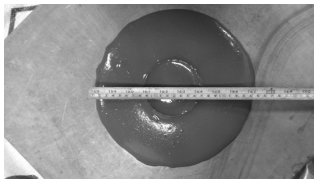
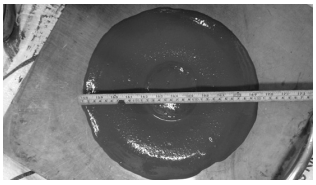
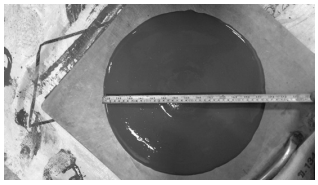
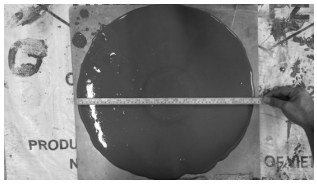
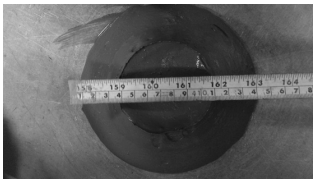
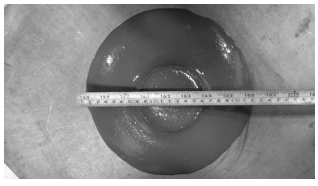
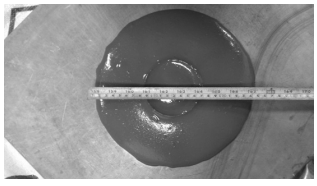
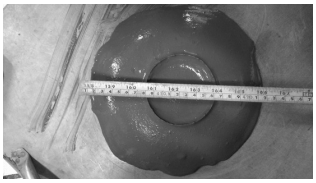
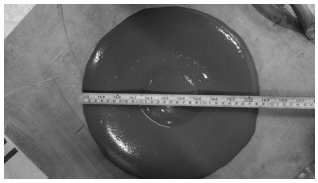
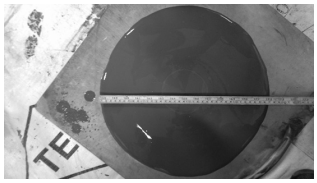
分散劑	530		
含水率	0.5%	1%	1.5%
80%			
100%			
坪頂淨水場	550		
含水率	0.5%	1%	1.5%
80%			
100%			

表 8　坪頂淨水場淨水污泥 CLSM 抗壓強度試驗結果(kgf/cm^2)

	1 天	7 天	28 天
K-1006AAD	28.69	107.90	138.97
K-1008BBC	16.68	94.05	119.93
K-1010CCB	10.30	79.69	132.07
K-1012DDA	6.82	57.31	102.11
K-2006BCA	15.81	86.10	126.17
K-2008ADB	11.17	65.17	89.50
K-2010DAC	7.11	53.79	112.60
K-2012CBD	5.00	30.63	53.84
K-3006CDC	7.07	48.16	89.57
K-3008DCD	4.32	47.05	86.51
K-3010ABA	6.82	35.65	47.70
K-3012BAB	4.95	27.64	44.04
K-4006DBB	4.31	33.65	54.91
K-4008CAA	4.34	35.05	59.83
K-4010BDD	4.94	29.84	45.95
K-4012ACC	5.12	24.59	36.35

表 9　豐原第一淨水場淨水污泥 CLSM 抗壓強度試驗結果(kgf/cm^2)

	1 天	7 天	28 天
C-1006AAD	18.10	64.81	183.57
C-1008BBC	11.33	44.69	145.47
C-1010CCB	7.49	43.19	94.77
C-1012DDA	4.49	37.11	79.14
C-2006BCA	12.88	57.17	120.10
C-2008ADB	0.75	1.07	78.81
C-2010DAC	0.69	0.57	33.09
C-2012CBD	0.44	1.22	49.04
C-3006CDC	2.09	2.39	72.82
C-3008DCD	1.26	1.59	55.63
C-3010ABA	0.79	1.84	49.97
C-3012BAB	0.33	0.78	39.68
C-4006DBB	2.34	1.97	27.04
C-4008CAA	1.64	1.64	31.33
C-4010BDD	3.98	37.03	37.20
C-4012ACC	2.44	30.11	29.29

就豐原第一淨水場淨水污泥 CLSM 配比之抗壓強度試驗結果可知，16 組配比之 28 天抗壓強度介於 29.29 kgf /cm^2 ~ 183.57 kgf /cm^2，經分析各配比之資料與試驗結果可知，淨水污泥用量對於抗壓強度的影響最為顯著，其次為水膠比。在相同膠結料量的情況下，污泥添加比例越低，其 28 天抗壓強度越高；而隨著水膠比的降低，抗壓強度則相對提高。

就台北板新淨水場淨水污泥 CLSM 配比之抗壓強度試驗結果可知(表 10)，16 組配比之 28 天抗壓強度介於 19.36 kgf /cm^2 ~ 127.56 kgf /cm^2。經分析各配比之資料與試驗結果發現，與上述兩個淨水場之淨水污泥有相同之趨勢，淨水污泥用量對於抗壓強度的影響最為顯著，其次為水膠比。在相同膠結料量的情況下，污泥添加比例越低，其 28 天抗壓強度越高；而隨著水膠比的降低，抗壓強度

則相對提高。就 CLSM 而言，本研究 4 種污泥取代率中，以 30%與 40%之試驗結果最能符合 CLSM 之需求。此外，就爐石粉取代水泥比率而言，爐石粉取代率由 0%~30%對於抗壓強度之影響差異不大，故爐石粉取代率建議採最高者。

由上述三個淨水場之淨水污泥所拌製的 CLSM 抗壓強度試驗結果可知，淨水污泥用量對於抗壓強度的影響最為顯著，其次為水膠比。由於本研究採用正交設計法設計試驗配比，經分析上述數據，尋找出各淨水場之較佳參數，重新進行配比設計，以驗證參數之可行性。所以依據各組污泥取代率所得出之抗壓強度，將實驗結果挑選出介於 50kgf/cm^2 ~ 90kgf/cm^{2}間之配比；再進行新配比重新配製，重新進行各配比之抗壓試驗及進行後續量測各試體之體積變化率(體積穩定性分析)進行驗證。

表 11 為淨水污泥 CLSM 重新設計後之配比，而表 12 則為新配比之抗壓強度試驗結果。新配比之淨水污泥取代率為 30%與 40%，而其他各項配比參數則依據第一階段之試驗結果分析而得。由表 12 可知，淨水污泥取代率 30%與 40%拌製所得之 CLSM，其抗壓強度約介於 50kgf/cm^2 ~ 90kgf/cm^{2}間，已可符合工程對 CLSM 這項材料之強度要求。

本研究考量力學性能、再生資源使用率與經濟性後，綜合分析選定水膠比 1.0，爐石粉取代水泥用量 30%，淨水污泥取代細粒料 30% ~ 40%，粗骨材用量為 350 kg/m^3，為較佳之配比參數。該配比其具有較低之水泥用量與較高之淨水污泥用量，且在力學性能表現上亦可符合 CLSM 之要求。依完成之試驗成果可知，利用淨水廠污泥製作 CLSM，確實有極高可行性，其各項性能均可符合公共工程委員會對於 CLSM 之要求。

表 10　板新淨水場淨水污泥 CLSM 抗壓強度試驗結果(kgf/cm^2)

	1 天	7 天	28 天
T-1006AAD	26.04	121.97	127.65
T-1008BBC	12.90	78.84	96.13
T-1010CCB	8.15	57.19	89.55
T-1012DDA	4.58	42.90	87.43
T-2006BCA	9.52	72.77	85.94
T-2008ADB	11.77	38.05	69.83
T-2010DAC	4.32	31.16	56.13
T-2012CBD	4.30	26.30	47.90
T-3006CDC	4.22	31.03	48.35
T-3008DCD	2.88	24.88	37.18
T-3010ABA	7.87	28.91	33.26
T-3012BAB	5.87	18.12	32.99
T-4006DBB	0.52	12.59	21.27
T-4008CAA	0.48	14.10	20.45
T-4010BDD	1.88	18.84	24.67
T-4012ACC	3.88	14.28	19.36

表 11　調整後淨水污泥 CLSM 配比(kg/m^3)

配比編號	水膠比	膠結材		水	速凝劑	粗粒料	細粒料	汙泥	減水劑
		水 泥	爐石						
T-3010AAD	1.00	200.00	0.00	220.00	5.50	350.00	992.50	425.36	1.50
T-4010BBD	1.00	180.00	20.00	250.00	6.00	400.00	769.00	512.67	1.00
C-3009BAA	0.95	160.00	40.00	160.00	5.50	350.00	1089.25	466.82	2.00
C-4008BAA	0.80	160.00	40.00	190.00	5.50	400.00	857.61	571.74	1.50
K-3010DAB	1.00	140.00	60.00	220.00	5.50	250.00	1046.06	448.31	1.00
K-4008DAB	0.80	140.00	60.00	250.00	5.50	300.00	820.59	547.06	0.50
U-2009BAA	0.95	160.00	40.00	160.00	5.50	300.00	1126.04	482.59	1.00
U-3008BAA	0.80	160.00	40.00	190.00	5.50	250.00	949.14	632.76	0.50

註:U 為鐵污泥

表 12　調整後淨水污泥 CLSM 抗壓強度(kgf/cm^2)

配比編號	1 天	7 天	28 天
T-3010AAD	4.30	29.59	66.17
T-4010BBD	4.25	27.35	57.46
C-3009BAA	0.82	4.56	50.65
C-4008BAA	1.34	8.72	67.85
K-3010DAB	5.27	35.54	75.74
K-4008DAB	4.32	32.33	62.78
U-2009BAA	0.00	14.80	65.81
U-3009BAA	0.00	5.49	51.78

六、結論

本次選定板新、豐原第一及坪頂等三座淨水場，進行淨水污泥應用於 CLSM 研究，預期可提高淨水污泥之再利用價值及廣度。由研究討論出獲得下列結論：

1..使用分散劑進行淨水污泥造漿，為合宜之污泥前製處理方式。造漿後之淨水污泥漿，利用擠壓法輸送與計量，可降低後續再利用之困難性。

2.以各場淨水污泥依本研究擬定之配比產製之 CLSM，其抗壓強度介於 50 kgf/cm^2 ~ 75 kgf/cm^2 之間，已可符合 CLSM 之工程需求。利用淨水污泥產製 CLSM 時，污泥取代率以 30%與 40%之試驗結果最能符合 CLSM 之需求。爐石粉之取代率由 0% ~

30%對於 CLSM 抗壓強度之影響差異不大，故爐石粉取代率建議採最高值 30%。

3.依完成之試驗成果可知，利用淨水廠污泥製作 CLSM，確實有極高可行性，其各項性能均可符合公共工程委員會對於 CLSM 之要求。

參考文獻

1.林東燦，「污泥類廢棄物取代部分水泥原料燒製環保水泥之可行性研究」，碩士論文，國立中央大學環境工程研究所，2006。

2.林忠逸，「水處理工程廢棄污泥及煉鋼廢爐渣燒製環保水泥之材料特性研究」，碩士論文，國立中央大學環境工程研究所，2004。

3.劉又瑞，「淨水污泥混合營建廢棄土製磚及燒結人造骨材的研究」，碩士論文，國立交通大學環境工程所，2001。

4.王靜逸，「淨水場污泥再利用技術及用途評估之研究」，碩士論文，國立交通大學環境工程所，2007。

5.顏笠安，「淨水場混凝污泥質量特性與脫水泥餅再利用初步評估」，碩士論文，國立中央大學環境工程研究所，2009。

6.ASTM STP 1331. The design and application of controlled low strength material (flowable fill). In: Howard AK, Hitch AKJL, editors. ASTM, West Conshohocken (PA), USA; 1998.

7.ACI Committee 229, Controlled low-strength materials, ACI 229R-99, American Concrete Institute, Farmington Hills (MI), USA; 1999.

8.ASTM D 4832-02. Standard test method for preparation and testing of controlled low strength material (CLSM) test cylinders. Annual book of ASTM standards, vol. 04.08. West Conshohocken (PA); 2007.J.H. Tay, W.K. Yip, Sludge Ash as Lightweight Concrete Material, J. Envir. Engrg. Volume 117, Issue 6, pp. 834-844, 1991.

9.ASTM C 403/C 403M-06. Standard test method for time of setting of concrete mixture by penetration resistance. Annual book of ASTM standards, vol. 04.02. West Conshohocken (PA); 2007.

10.行政院公共工程委員會施工綱要規範，第03377章：控制性低強度回填材料，2013年10月30日完整版第V6.0版

11.「控制性低強度材料於土木工程應用之研究」，內政部營建署，中華民國九十一年十月。

12.Ayers ME, Wang SZ, Zamon W. Optimization of flowable fill mix proportions. In: Adaska WS, editor. Controlled low-strength materials. Farmington Hills (MI): ACI; 1994. p. 15－38. ACI-SP-150.

13.TFHRC, Coal fly ash – user guideline – flowable fill, Turner Fairbank Highway Research Center, US Department of Transportation, FHW, Mclean (VA), USA; 2004.

作者簡介

鍾錦珍女士

現職：台灣自來水股份有限公司第四區管理處水質課課長

專長：自來水處理、水質管理及檢測

彭靖芳女士

現職：國立中興大學土木工程學系博士生

專長：廢棄污泥再利用、混凝土材料

陳豪吉先生

現職：國立中興大學土木工程學系教授

專長：混凝土材料、結構分析、輕質粒料研究

運用大數據解析危機傳播策略可行性－以颱風為例

文/周麗娟

一、緒論

鑲崁在南太平洋上璀璨耀眼的福爾摩沙寶島-臺灣，位於颱風行徑路線上，每年夏秋之間，常有颱風。近十年統計，總計有 230 個颱風行徑該路線，發佈警報計有 50 個颱風，每年平均約 4 到 5 個颱風侵襲臺灣；加上氣候變遷影響，臺灣發生極端暴雨的頻率已有明顯增加之趨勢。若以近 3 年侵臺風災顯示，以 2015 年最為嚴重，當年侵臺之颱風計有 6 件，分別為紅霞颱風、昌鴻颱風、蓮花颱風、蘇迪勒颱風、天鵝颱風暨杜鵑颱風，其中以 8 月 7 日蘇迪勒颱風(強颱)共伴效應所帶來之豪雨，影響最大，無論是總雨量或風速均高過 2009 年莫拉克颱風(中颱)，為臺灣有史以來造成傷亡最慘重的颱風。

比起地震或海嘯，颱風原屬較可預期性天災，然而全球暖化導致天候異常，人為因素造成土壤流失，整體環境破壞的程度比我們想像中更為複雜；當組織面對各種災難發生時，大眾媒體無法第一時間提供人們所需資訊，容易造成社會的不安；倘若傳播錯誤或扭曲的訊息，容易造成民眾誤解，加上網路與行動裝置普及率高，該訊息在各社群媒體間發酵速度與範圍將以倍數性成長，組織必須立即面對瞬間暴增的訊息流量，在有限的時間內處理任何可能發生的狀況，避免讓該流量變成風暴，一發不可收拾。

在這危機四伏的年代中，危機傳播策略對於組織危機管理至為重要，臺北自來水事業處(以下簡稱北水處)身肩五百萬人之用水安全，更需積極面對。基於此，本研究探討如何運用大數據協助政府組織危機傳播策略之可行性，以 2015 年北水處面對蘇迪勒颱風暴雨造成原水濁度創歷史新高為研究個案，並以該案為基準點，從量化與質化的角度分析，探討 2015 年至 2017 年風災期間之網路輿論，比較這 3 年來颱風發生時網路輿情聲量消長之情形，研判網友正負面情緒，反證北水處危機傳播策略在新媒體環境下，如何化危機為轉機。

關鍵字：危機傳播策略、新媒體、大數據、網路輿情

二、研究背景與動機

由於通訊技術發展迅速，在數位浪潮推波助瀾下，行動網路改變了人與人的溝通管道，創造了網路社交平台的崛起，驅動了傳播媒體的變革。據財團法人臺灣網路資訊中心 2017 年 7 月公布，全國上網人數已達 1,879 萬人，整體上網率高達 80.0%，最主要上網方式為行動電信網路(周羿伶，2017)，自 2008 年臉書以種菜遊戲紅遍全臺灣，2009 年 8 月起，臺灣網友停留在社群網站的時間已超過入口網站，2017 年統計，在社群網站中每週使用 LINE 和臉書頻率高達 85%，從小學生到銀髮族，超過 8 成的人都有臉書帳號(中央社，2017)，超過 93%民眾透過 LINE、臉書、部落格、BBS、噗浪、推特或 IG 等社群網站，分享購物、旅遊、美食經驗等訊息，而有更多的人依照社群網站口碑做決定。

社群網站(Social Networking Sites, SNSs)已成為溝通、選擇、意見交流和訊息共享等重要社交平台，與臺灣人的生活已密不可分。

過去，政府機關與新聞媒體互動，存在著魚幫水、水幫魚的狀態，在傳統媒體的把關下，對於新聞的來源，多多少少可以過濾把關，然現今多元媒體爆炸性的增長，線上閱讀人數快速增加，世界各國印刷出版業逐年衰退與轉型下，記者為求有高的「搶眼率」，在新媒體時代下，「24 小時新聞」已過時，取而代之的是「24 秒新聞」。大多新聞記者為了追求高速度、高點擊率，無論資訊正確與否，先求有再求真，甚至有假帳號、假消息、刻意製造新題材、誇張聳動新聞標題等各式各樣的手法(區家麟，2017)，主要目的係為爭取在不同載具上露出的機會。

在瞬息萬變的年代中，任何組織都可能發生危機，水能載舟亦能覆舟，有時媒體反而是加速危機擴大的背後推手，任何不正確或會造成民眾恐慌之訊息一旦傳播開來，星星之火足以燎原，該訊息串聯的速度，在各社群媒體間將快速擴散，彼此交互影響。隨著幾次重要事件如美國總統歐巴馬採用大量臉書催票、2009 莫拉克風災社群網路自發性動員救災、太陽花學運夾腳拖鞋 iPad 直播等等，我們可以發現，社群網站與新聞關係愈來愈緊密，數位科技催生媒體轉型，社群媒體(Social Media)創造了新媒體時代已經來臨。

三、相關研究

(一)大數據

大數據（又稱巨量資料、大資料）係由 2010 年 IBM 提出的《Big data》，其最早的概念源自過去十幾年廣泛運用的資料倉儲、資料採礦(Data mining) 、資料分析和統計應用等技術，有人將大數據定義為 3V，分別為 Volume（容量）、Velocity（及時）和 Variety（多樣），但也有人另加上 Veracity（真實性）和 Value（價值）兩個 V(李欣宜，2015)。無論是幾個 V，在大數據時代，其首要條件，便是收集大量的資料，當樣本數大到接近甚至等於母體的狀況下，資料的完整性與預測的準確度將大幅提升。

然數據是「死」的，如只一味盲目收集愈來愈多的數據存在資料庫中，無法分析和使用，便無法產生有價值的數據。不同的數據，含金量不同，同一組數據，在不同的環境下分析，亦產生不同的價值，端看企業組織如何應用。《大數據的工作力》作者戴文波特提及：「大數據應用在職場上的價值分為三種：降低成本價值、提升決策水準價值、改善產品與服務價值(江裕真譯，2014)」。換言之，大數據資料探勘最重要的目的在於，協助決策者，做出更精準的決策，幫助管理者，規劃更理想的業務行銷、創造更佳的產品。進而襄助組織提高監測預警的能力，避開危機。

為讓數據「活」用起來，首要條件，需正確收集數據，從「企業價值」及「顧客價值」兩大面向著手；一方面收集時，應衡量該數據是否對企業有所助益，只記錄對企業有幫助的數據，即企業價值；另一方面，衡量該數據對顧客的價值，如何利用該數據幫助企業，為顧客提供更好的

服務，即顧客價值(車品覺，2014)。大數據唯有透過正確的收集與提供，方能協助組織透過觀察外部資料，進而融入決策、產品及服務。

而這些資料和傳統資料最大的不同在於：網路大數據時代的資料大多屬於非結構化資料(Unstructured data)，也就是最原始的資料模式，例如部落格文章、網路留言片段文字、一支影片等等。過去小數據的時期，企業內部資料多半是結構化資料結構化(Structured data)資料或半結構化資料(Semi-structured data)，所謂結構化的資料，例如關聯式資料庫，每筆資料都有自己的欄位，程式依照系統分析師所定義的欄位，將獲取的原始資料進行分類後，逐一放置所屬的欄位，整整齊齊，有效率地進行運算產製報表，主要提供管理者進行事業決策；而半結構化資料係同時具有結構化與非結構化的雙重性質，換言之，半結構化資料中具有部分資料含有固定的欄位，例如水號、電話號碼等，但也有部分的資料含有一連串文字，例如客訴電話文字內容等等。

長久以來，基於技術面及成本面考量，企業組織一直以來也將重心放在結構化與半結構化的內部資料。自從資訊革命與知識經濟的興起，大數據業已成為公私部門重視的議題。國外政府運用大數據來協助施政品質案例不少，反觀國內大數據在臺灣政府機構仍屬萌芽期，目前大多仍利用小數據協助政策推廣。有鑒於此，國發會於 2015 年 1 月 13 日規劃的藍圖報告中，敘明「政府可在『社會安全』、『經濟發展』與『環境永續』三大面向，透過大數據來加強施政『精準度』(鐘嘉德等人，2015)」。而北水處早於 2015 年配合市府智慧公宅政策，於先進讀表基礎建設（AMI）中採用智慧型讀表（AMR），取代兩個月人工抄表作業，改以隨時隨地觀察用戶端用水、使用時段、使用長短。其所收集和分析的數據量，比早期人工抄表要處理的數量龐大許多，並利用內部大數據分析技術來協助用戶端水資源管理。

在本研究中，將從內部提升到外部，量化分析方面，利用國內社群媒體觀測平台 OpView 資料庫，從自訂的關鍵字搜尋每日超過百萬筆網路輿情資料，再利用布林邏輯排除與主題無關之輿論；以目前最受歡迎的社群媒體-臉書為例，每日資料流量超過 500 TB 之大數據，大多是量大、片段、碎化的非結構化訊息。而社群網站中的非結構化訊息即是「大數據」頻譜的一部分。社群媒體中的非結構化數據可為社會現象和公民意見提供有用的見解，對政府政策和企業決策至關重要。質化部分，筆者將利用網頁資料探勘技術，進行發文內容深度挖掘，綜整一個議題下，網友所關心子議題，冀研究結果能提供組織施政規畫之參考。

(二)網頁資料探勘技術

評估非結構化資料的「質量」並不容易，因為「質量」是一個不確定的術語，「質量」一詞涵蓋了一個對象的特徵與規範價值觀等相關性標準比較。過去，在沒有統一的分析標準情況下，是很難評估非結構化資料的質與量。現今技術改變了我們的世界，也發展出很多的研究分法。隨著硬體儲存設備價格大幅下降、軟體及雲端技

術成熟，從早期的資料探勘概念也衍伸到網頁資料探勘。Zaiane(1999)將網頁資料探勘分為三大類：網頁內容探勘(Web content mining)、網頁結構探勘(Web structure mining)及網頁使用行為探勘(Web usage mining)。

而本研究解析網路輿情大數據業屬於網頁內容探勘(Web content mining)的一種，簡易來說，這種方法源自於多年前被應用在各大研究中，質化分析的「內容分析法」，例如某新聞稿提及「柯 P」一名詞，便將該名詞標記起來，並且記錄 1 次，從數篇新聞稿中對於被標記的名詞，進行排行榜，就可以找到當期最熱門發燒的話題人物；現今很軟體例如 NVIVO、MAXQDA 等等，業能取代早期人工的標記工作。然而，這樣的軟體限於技術，分析對象侷限於結構化文章，例如論文、報告、新聞稿等較嚴謹文章，無法分析非結構化網路輿論，因為其內容較零碎、片段甚至是夾雜錯別字或空白格的發言。

對於大數據時代的內容分析法除透過爬文軟體機器人外，並需搭配懂得自然語言處理的語意分析軟體，每日處理高達 60 億筆非結構化資料，從字、詞、句子、段落到文章，還需搭配標點符號及空白的判讀，這對於現今語意分析和人工智慧的科學家來說，一點也不困難。網路泛科技專欄報導，早於 2013 年，英國電腦科學家透過語意分析技術，發現哈利波特作者 J.K. 羅琳和偵探小說作家 Robert Galbraith 寫作手法極為雷同，才讓 J.K.羅琳化名為 Robert Galbraith 一事曝光(李允誠，2016)。其語意分析的關鍵就在於利用強大的演算能力，讓軟體學習閱讀大量文字，進行上下文、段落分類，輔以人工關鍵字校正比對 (楊立偉、邵功新，2016)。

四、案例討論

(一)歷史回顧

大臺北地區自來水 97%來自於南勢溪，造成 2015 年渾水最主要的原因，係為蘇迪勒颱風瞬間暴雨沖刷南勢溪上游造成嚴重崩坍。從經濟部中央地質調查所福山雨量站資料指出，蘇迪勒颱風為 200 年來短時間降雨最強之颱風，無論是從每小時雨量、3 小時雨量、6 小時雨量、12 小時雨量等等均高於往年颱風降雨量(林錫宏等人，2015)，加上集水區水土保持不佳，短時間累積大量的降雨量導致河川暴漲，大量土石流造成原水濁度瞬間飆升超過 3 萬度，為平日之千倍以上，超過淨水場處理最大限度，嚴重影響自來水正常供水。

(二)輿情分析

從事件發生這段時間，本研究以「颱風」關鍵字逐一爬文瞭解，蘇迪勒颱風造成大臺北地區不單渾水、停水事件等等，還有台電搶修被打、討論颱風天百貨商場是否停業及陳珮琪 PO 文道歉關臉書等事件。筆者將爬文內容限縮與「濁水」相近字如渾水、缺水、停水等相關之關鍵字賡續搜尋各大新聞、討論區及社群網站媒體，時間為 2015 年 8 月 7 日至 24 日，結果發現(圖 1)，新聞主文最高點落在 2015 年 8 月 16 日，也就是當日各大網路媒體發文量高達 1,368 則，而造成各網路媒體爭相報導的內容為：颱風過後 7 天柯市長道

歉事件。針對這則新聞網友最高回文數為 1,091 則。

從圖 2 熱門頻道統計，發現網路新聞媒體以 YAHOO 新聞主文加回文最高，總計 1,603 則(主文 155 則，回文 1,448 則)，其次為 YAHOO!奇摩粉絲團，總計 1,035 則(主文 8 則，回文 1027 則)，接著為批踢踢(PTT)1,012 則(主文 292 則，回文 720 則)。

圖 1　2015/08/7~08/24 蘇迪勒颱風濁水網路新聞趨勢圖

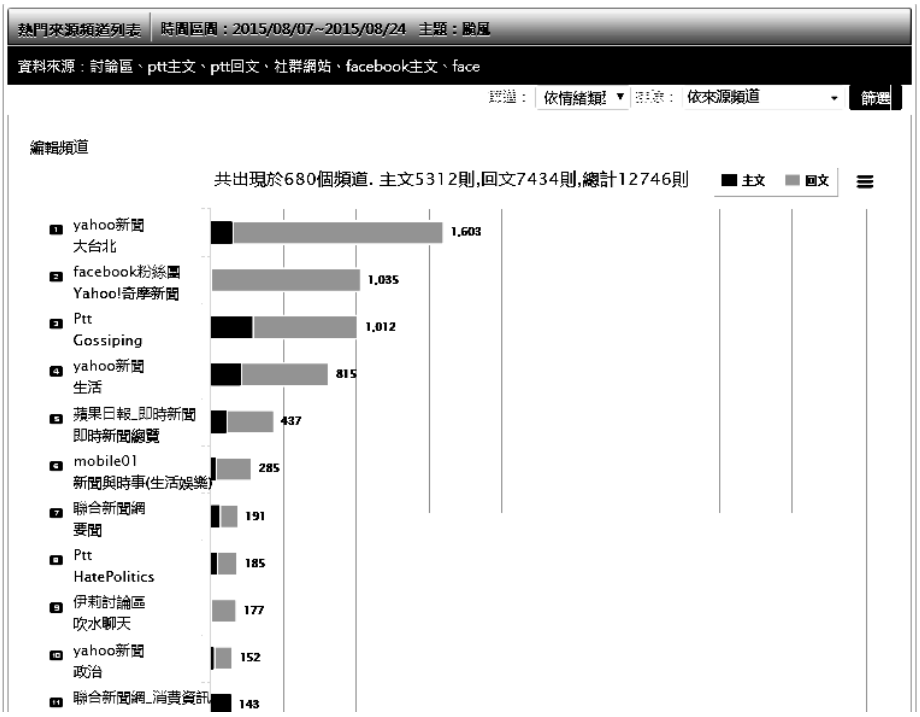


圖 2　2015/08/7~08/24 蘇迪勒颱風濁水網路熱門頻道分布圖(截取前 11 名)

(三)策略應對

提倡「危機傳播研究」Coombs (1999)指出危機傳播策略可分為言語與非言語，也就是文字與行動。歷史回顧到蘇迪勒颱風發生當下，北水處為因應颱風來襲，循例各淨水場保持高度警戒，進行自主檢查與督導查核，8 日凌晨超猛烈暴雨降臨，沖刷南勢溪上游，原水濁度忽然飆高遠大於淨水場最大處理能力，加上停電造成 24 處小型加壓站無法出水，相關淨水處理緊急應變機制旋即啟動；各淨水場暨加壓站等相關工作人員徹夜不眠不休全力搶救出水，19 時即陸續恢復正常過濾出水，9 日凌晨陸續啟動各加壓站，6 時 30 分調度人力進行排水作業。9 日至 12 日每日派員進行供水轄區水質檢測，結果均符合飲用水標準。

從事件發生開始，北水處均同步對外發布新聞稿，透過各管道如市府觀傳局 Line 群組、區公所、緊急應變中心等通知里長里民，且主動告訴民眾，災後處理作為及搶救進度報告等。從北水處發布新聞稿期間，發現新聞主文最高量日期為 8 月 9 日 92 則(全文重點轉載算 1 則，如圖 3)。分析該新聞網路輿情正負情緒比，總聲量數 92 則，正面聲量數 7 則(7.6%)，負面聲量數 24 則(26.1%)，中立聲量數 61 則。賡續進行 8 月 10 日輿論情緒比資料探勘，發現負面聲量數已經降為 1 則，到 8 月 11 日時已完全沒有網友討論聲量。

(四)網路傳播

當組織發布新聞稿時，在茫茫網海中，要如何尋出組織新聞稿被轉載的流向?及網友正負聲量的來源?從圖 4(左)以關鍵字「颱風」探勘訊息傳播趨勢，彙整後以視覺化圖像呈現，可以發現蘇迪勒颱風事件，被網友轉傳最為熱烈的時間點，落在 2015 年 8 月 11 日到 17 日，此部分與新聞主文發文量最高點 2015 年 8 月 16 日相呼應。另圖 4(右)

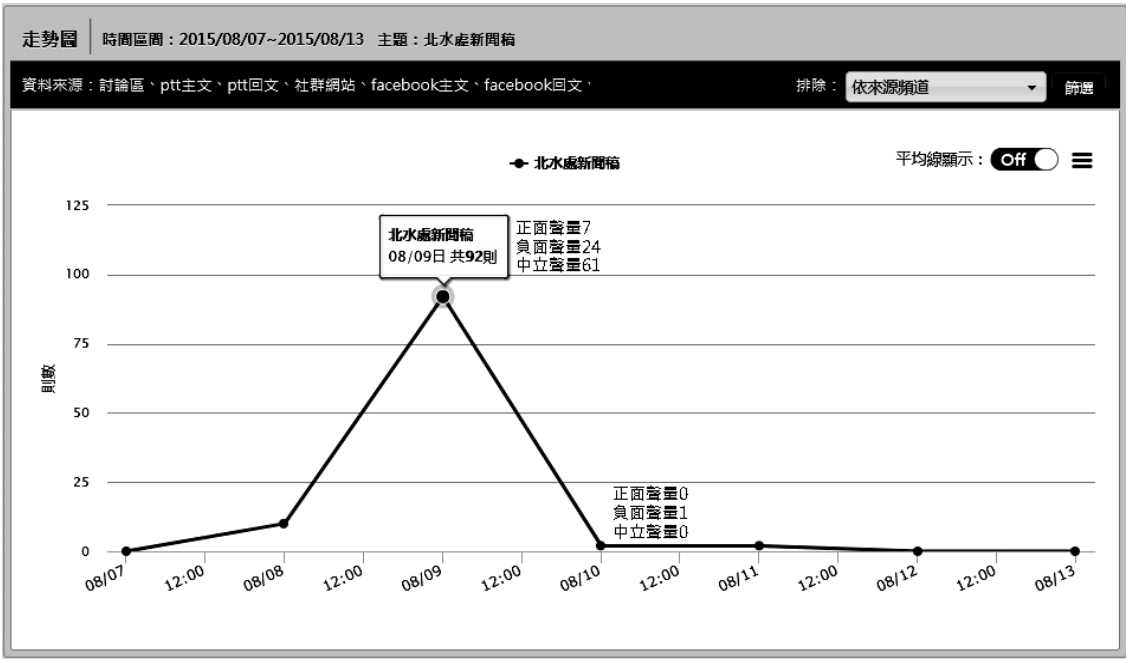


圖 3　2015/08/7~08/12 北水處新聞稿(含重點轉載)趨勢圖

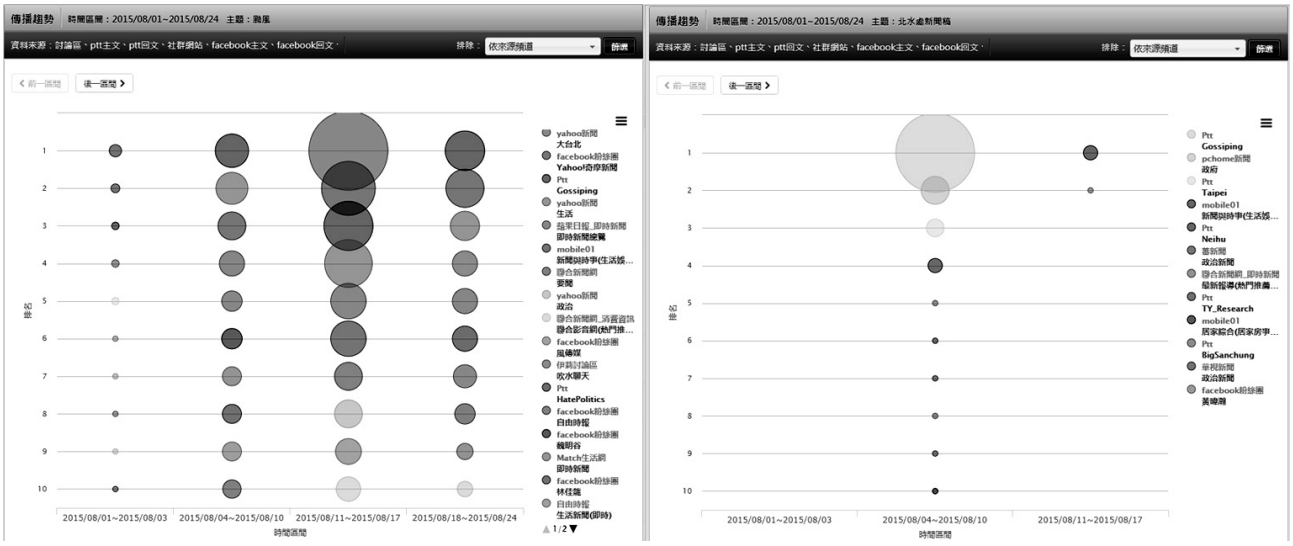


圖 4　2015/08/7~08/24 颱風新聞(左)與北水處新聞稿(右)各社群網站傳播趨勢圖

圖 5　2015/08/7~24 蘇迪勒颱風濁水關鍵字風暴圖

以北水處所有發布新聞稿內容逐文搜尋，發現被轉載到批踢踢(PTT)中社群網站討論區最為熱烈。

在危機事件處理過程中，最重要的動作即為第一時間對外回應與溝通。彭懷恩(2006)指出「危機出現後，應盡快進行有效的危機公關，而 24 小時內是應對危機的最佳時機，也被稱為危機處理的黃金 24 小時，原因不僅僅因為媒體的猜測會在這個時間裡大量湧現，如果拖延，對企業的損失將呈幾何級數放大。」從上述大數據資料分析可以發現，成功的危機傳播策略不但可以幫助組織化險為夷，更可協助組織重新贏得外界的支持與認可。

為佐證上述案例結果，確認北水處危機處理策略確實逐漸遠離風暴核心，筆者另從關鍵字風暴圖進行驗證，所謂關鍵字風暴圖，同樣利用爬文軟體機器人，在龐大輿論文章中，抓出被討論最多次數的名詞與關鍵字「颱風」，兩者之間相關度；計算指標為「共同提及次數、出現頻率」等等，採用語意分析技術演算法，同樣以視覺化結果呈

現，協助管理者了解危機現況的風暴核心(圖5，離關鍵字「颱風」愈近，愈是風暴的核心)。

(五)關注議題

從上述研究發現，在新媒體時代背景下，網路輿情可說是組織危機傳播策略的風向球，透過大數據分析，協助組織觀察危機在各個社群媒體間發酵的程度，及擴散的範圍。本研究進一步以 2015 到 2017 年侵臺颱風時間為母數，從網友回文數進行子議題統計分析。從圖 6 發現，2015 年網友最關心的議題是濁水，2016、2017 年颱風期間民眾最關心的議題為是否停水？

而 2017 年停水的聲量大幅度小於 2016 年。其原因可能有二，2017 年颱風均為中輕度颱風，不如前兩年均有強颱出現；另一原因可能係為人們記憶會隨時間逐漸沖淡。反證發現，2016 年停水子議題為 3 年內網路輿情聲量最高，高達 6500 則，應是颱風來時，網友記憶猶新，擔心 2015 年舊事重演。

所謂危機係充滿著不確定性、突發性與偶然性，對組織具有殺傷力之衝擊；鑒於外在環境變化快速，危機發生時，組織必須隨時機動調整策略或執行技術，此時若能輔以網頁探勘技術，逐一往下挖掘網友所關注的議題，進一步解析民眾在網路社群討論些什麼?找出網路輿情方向，了解目標群眾的想法與需求，將可進階協助組織度過危機，並確認下一步策略方向。

五、結論

在這古騰堡級巨變的資訊時代，伴隨著人手一台智慧型手機，訊息的傳播週期更短、速度更快，社群網站成了民眾傳播的媒介，從部落格、臉書，到現在最熱門的直播平台。「資訊」與「危機傳播策略」有著密不可分的關係，當危機開始發生時，若能提供決策者先期正確的「資訊」，將可協助決策者做出更精準的判斷。從本研究大數據社群輿情可證，組織內部除了以緊急應變計畫

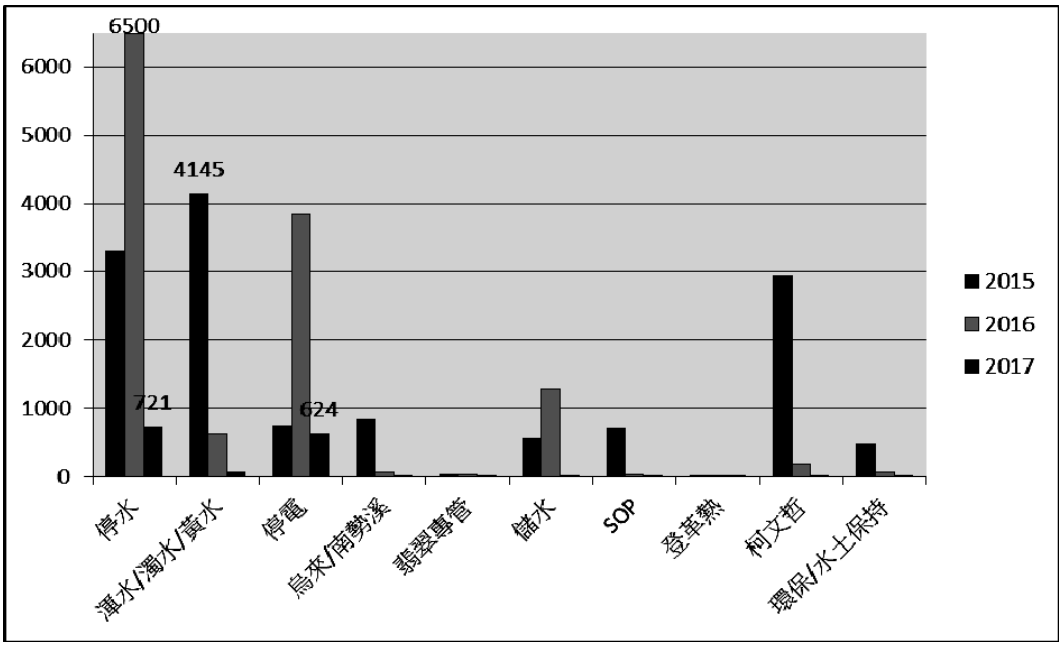


圖 6　2015、2016、2017 年颱風期間網友回文關心議題統計圖表

行動盡快解除危機外，對外策略性危機溝通具有緩和輿情效果，只要妥善處理危機傳播，將可縮短危機期間，並修補危機所造成的傷害。

危機傳播策略與危機處理是相輔相成，如同天秤兩端，危機傳播處理得宜的組織裡，當面對危機處理時，除可有效控制危機發散，也可幫助組織減少危機處理；然若僅依賴危機傳播處理，卻無危機管理能力，將會給組織帶來滅頂之災。2015 年臺北的自來水可說是歷經前所未有的挑戰，接連而來的各種難關，深深考驗著北水處；危機就是轉機，蘇迪勒颱風雖造成了渾水事件，卻也促成了翡翠水庫專管計畫，進而造福了大臺北地區民眾，包含新北市新莊、五股等市民，也讓共飲翡翠水的目標提早達陣。優秀的領導者能在組織的關鍵時刻，帶領團隊乘風破浪突破難關，創造另一個契機。

參考文獻

1.中央社(2017)。台灣人愛黏社群網站8成有這個網站帳號，2017年10月6日取自科技新報網站，網址：https://technews.tw/2017/05/01/facebook-is-most-popular-social-network-in-taiwan/。

2.江裕真譯(2014)。大數據的工作力-如何運用巨量資料，打造個人與企業競爭優勢，Thomas H. Davnport原著，頁31-94。臺北:遠見天下出版。

3.李允誠(2016)。大數據專題（三）／文字也是數據，語意分析掌握電腦背後的情感，2017年11月11日取自泛科技網站，網址：https://panx.asia/archives/50161

4.李欣宜(2015)。一次搞懂大數據，2017年11月5日取自數位時代網站，網址：https://www.bnext.com.tw/article/35807/bn-2015-03-31-151014-36。

5.車品覺(2014)。大數據的關鍵思考。臺北:天下雜誌股份有限公司。

6.周羿伶(2017)。2017 年台灣寬頻網路使用調查」結果公布，15 年來首次超越 ADSL／VDSL，行動連網成主要上網方式，2017年9月30日取自財團法人網路台灣網路資訊中心，網址：https://www.twnic.net.tw/NEWS4/144.pdf。

7.林錫宏、紀宗吉、費立沅(2015)。蘇迪勒颱風在新北市南勢溪及平廣溪的地質災害。地質季刊，34(3)，頁18-21。

8.區家麟(2017)。時代給媒體的考驗：你是否成為點擊率的囚徒，2017年10月6日取自The New Lens 關鍵評論網站，網址：https://www.thenewslens.com/article/70604。

9.彭懷恩(2006)。別怕媒體-經營媒體關係。臺北：米羅文化。

10.楊立偉、邵功新(2016)。社群大數據-網路口碑及輿情分析。臺北:前程文化事業有限公司。

11.鐘嘉德、柴惠珍、高崎鈞、曹元良(2015)。我國大數據政策推動現況，2017年11月5日取自國家發展委員會網站，網址：https://www.ndc.gov.tw/cp.aspx?n=4D21C7BE105121C3&s=B6A343E18E04B378

12.Coombs, W.T. (1999). Crisis management: Advantages of a relational perspective. Relationship Management: A Relational approach to the study and Practice of Relations,279-299.

13.Zaiane, O.R. (1999). From resource discovery to knowledge discovery on the internet. Infrastructure for Web Knowledge Sharing.

作者簡介

周麗娟小姐

現職：臺北自來水事業處西區分處抄表股股長

專長：專案管理、用戶服務

探討自來水中三鹵甲烷生成及其健康風險評估

文/張琰竑

一、三鹵甲烷(Trihalomethanes, THMs)生成

臺灣地區現今飲用水最主要來源是直接取自河川，隨著經濟及工商業的蓬勃發展，臺灣地區河川已遭到有毒化學物質(如農藥、重金屬、有毒廢水等)的嚴重污染，也衍生出各種致病菌，增加水媒疾病之傳播機率。原水中的有機物及氨氮含量日益增多，將增加原水預氯處理的加氯量，致使三鹵甲烷等可能致癌物的生成潛能（formation potential）大增。目前自來水的飲水消毒較常見的方式如加氯、臭氧、紫外線及加熱等處理方法。臺灣地區自來水淨水場目前最廣泛運用及主要的淨水消毒法是採用加氯消毒方法，大部分採取添加氯氣或次氯酸（ClO_2）進行淨水消毒，並於自來水中維持適量的餘氯量，目的是為了確保在輸送過程中的水質安全，防止水媒傳染病之發生；重要的是其具有良好的消毒效果、價格低廉及運用限制較小等優點。

淨水程序中形成三鹵甲烷的簡單反應如下：氯＋（溴離子或碘離子）＋有機前質（precursors）－→三鹵甲烷（THMs）＋其他鹵化有機物。如此形成 THMs 的反應並非瞬間的，而是在加氯一段時間後，仍持續進行反應。故許多調查顯示，THMs 在水中的濃度往往在配水池或配水系統中，較淨水場出水的濃度來得高。

三鹵甲烷(Trihalomethanes, THMs)是指甲烷（CH_4）中的三個氫原子，為鹵族元素氯與溴所取代，一般很少自然存在於水體中，但在自來水淨水場加氯去除臭味及消毒過程中，水中有機物與氯、溴反應所形成；而主要的生成物包括氯仿($CHCl_3$，TCM)、一溴二氯甲烷($CHBrCl_2$，BDCM)、二溴一氯甲烷($CHBr_2Cl$，DBCM)、溴仿($CHBr_3$，TBM)等，此四者合稱總三鹵甲烷(TTHMs)，因其沸點較低，是屬於揮發性有機化合物，其中以氯仿的出現頻率及濃度較高。

三鹵甲烷生成的主要影響因素說明如下：

(一)有機前質：所謂有機前質乃是，原水中的腐植質和一些具有乙醯基團（acetyl group）的低分子量有機物，又依許多學者研究，有機前質包括：腐植酸（humic acid）、腐植質、黃酸（fulvic acids）、乙醇、乙醛、丙酮、三氯丙酮、苯丙酮、乙醯乙酮單寧素、木質黃酸鹽、酚類胺基酸、脂肪酸、藻類的葉綠素及外細胞質產物、酚、鄰苯二酚、對苯二酚、1,3,5 苯三酚等。

(二)加氯濃度：在加氯反應中，水中無機物如 Fe^{2+}、Mn^{2+}、H_2S、NH_3等，會很快消耗所加入的氯，當無機物的耗氯量達飽和時，多餘的氯才會與有機物反應，此時所加入的氯量與 THMs 生成量成正比。而在有機物消耗掉氯後，須加入足夠的氯量來飽和瞬時及短期的有機耗氯量後，多餘的氯才能產生長期性的有效餘氯，此時再多加氯也不會增加 THMs 的

生成。

(三)pH 值：一般認為 pH 值愈高，生成 THMs 的量愈多，因此若想降低產生 THMs，在消毒時應將水的 pH 值保持在中性，或微酸性較佳。

(四)溫度：通常溫度愈高反應愈快，故在一定的加氯量情況下，當溫度愈高，THMs 的生成量愈大。

(五)反應時間：THMs 的生成量會隨著反應時間的增加而增大，此亦即自來水配水系統的 THMs 濃度會比淨水場出水較高的原因。

(六)其他物質作用：如溴離子存在，則會促進 $CHCl_3$ 以外其他三鹵甲烷的生成，1995 年 Shukairy et al.研究發現水中 Br^-/DOC 值相當重要，當該值增加時，會形成更多的 TTHMs，而當該值減少時，其形成之 TTHMs 則以含氯之 THMs 為主。NH_3-N 存在會與氯結合為結合餘氯，而影響 THMs 的生成。

二、文獻回顧

消毒副產物最早是在 1970 年代初期，由美國環境保護署(US EPA)於 New Orlean 淨水廠處理後之清水中發現含有原本並不存在於原水中的多項有機化合物。1974 年 Rook 首先發現飲用水利用加氯作為消毒劑時，在消毒過程消毒劑與水中有機物形成多種致癌性化消毒副產物（Disinfection by products, DBPs）。研究顯示 DBPs 中含有鹵乙酸類（Haloacetic acids, HAAs）、鹵乙腈（Haloacetonnitriles,HANs）、鹵化酮類（Haloketones, HKs）、氯化苦味素（Chloropicrin, CP）、三鹵甲烷（Trihalomethanes,THMs）等。其中 THMs 佔 DBPs 的 60%、HAAs 佔 20%、HANs 佔 12%、HK 佔 5%、CP 佔 3%；由此可知 THMs 為自來水加氯消毒中含量較高的 DBPs。

1976 年美國國家癌症學會出版的報告顯示，THMs 對實驗動物存在引發癌症腫瘤的機率。1978 年美國訂定飲用水總三鹵甲烷最高許可量為 0.1mg／L，日本亦繼其後訂定同樣標準，加拿大亦設定了 0.35mg／L。

美國哈佛及威斯康辛醫學院研究報告指出，自來水供應系統加氯過程中產生的消毒副產物，會輕微增加致癌機率，惟美國自 1979 年加嚴飲用水中加氯消毒副產物的水質標準後，此致癌風險已大為降低。另該研究強調不會停止加氯，因為減少或停止加氯會導致飲用水中微生物污染的風險提高，且比起致癌的風險要高出許多，美國南部某些地區曾因停止加氯，而發生疑似霍亂、傷寒等水媒疾病的流行。

1993 年 Jimenez et al.研究指出 5 至 20% 的 THMs 出現在飲用水的加氯過程當中，且 THMs 各衍生物均具有致癌性質，影響公共大眾身體健康之風險。同年，世界衛生組織國際癌症研究署（IARC）將總三鹵甲烷(Total Trihalomethanes,TTHMs)中的氯仿、一溴二氯甲烷之致癌性分類為 Group 2B（可能人體致癌物），二溴一氯甲烷、溴仿之致癌性分類為 Group 3（目前無法證實為人體致癌物）。

1998 年 Chun et al. 流行病學研究顯示飲用含有 THMs 之飲用水會引發如膀胱癌、結腸或直腸等癌症之發生，甚至引起肝臟方面的疾病。

2001 年台北醫學院公衛學系徐氏發表

一篇關於 THMs 癌症風險之評估研究，指出氯仿是臺灣地區自來水中危害健康風險最重要之因子，尤其臺灣南部地區風險約佔 87.5～92.5%。

1994 年美國環保署修訂飲用水中總三鹵甲烷最大限值為 0.08 mg／L(年平均值)，並於 1998 年公告飲用水消毒副產物要求所有公共給水系統於 2004 年符合前述管制值。

三、三鹵甲烷對健康的危害

雖然為預防水媒疾病的發生，不得不在淨水程序中加氯消毒，且 1995 年 Bull 研究顯示加氯消毒所引起的危害遠低於水媒疾病所造成的危害，但不可否認這些消毒副產物還是有其一定的危害性，所以各國為維護民眾健康與兼顧自來水飲用安全，皆有明訂自來水中消毒副產物之容許標準，總三鹵甲烷為飲用水中最主要的加氯消毒副產物，目前我國飲用水水質標準中總三鹵甲烷的標準值為 0.08 mg／L，與美國標準相同，美國環保署依據成人體重 70 kg 及每人每日飲水量 2 公升等因素，計算出總三鹵甲烷最大容許值為 0.08 mg／L。

1995 年 Bull et al.研究顯示每天以 120 或 250 mg／Kg 之 THMs 物種劑量連續注入老鼠體內 14 天，都會引起老鼠肝腫大或其他肝方面疾病，而在 50 至 125 mg／Kg 的劑量下同樣注射 14 天，則會引起免疫系統方面的損傷。在流行病學研究亦顯示，飲用水消毒副產物與膀胱癌、直腸癌之發生具有正相關，1998 年 Yang et al.調查臺灣地區使用加氯消毒飲用水之族群，其膀胱癌、肺癌、直腸癌及腎臟病變明顯高於非使用之族群。

總三鹵甲烷會產生暈眩、疲倦、頭痛、肝毒、腎毒、甚至具有致癌性。除了口服飲水、飲食外，也可能因淋浴、游泳，而經由呼吸及皮膚吸收，進入人體。

三鹵甲烷對健康的影響，主要是針對氯仿而言，因為它是在飲用水中出現頻率最高且影響最大者。氯仿最早是作為麻醉劑，由物質安全資料表(MSDS)顯示，氯仿主要可使中樞神經系統衰退，並且還會影響心臟、肝及腎的功能。氯仿的立即毒性往往是失去知覺，然後可能會隨著昏迷而造成死亡。暴露在氯仿 24～48 小時後，腎即受傷害，經過 2～5 天後可發現肝受損；而因氯仿所造成的昏迷症狀，則須經好幾天才會復原。

針對致癌性來說，美國國家癌症研究所以氯仿摻入食物中餵食 Osborne-Mendel 大白鼠與 B6C3-F1 小白鼠，劑量為 90 或 180mg/kg。結果在 111 星期後，發現雄大白鼠因明顯肝惡性腫瘤而大部分死去，雌大白鼠卻不曾死亡，但發現有甲狀腺腫瘤。

至於一溴二氯甲烷，1990 年在美國癌症研究機構(AWWA)研究發現長時間暴露在高劑量下會傷害肝及腎臟，此外也發現該物質具有致突變性。二溴一氯甲烷研究則發現長時間暴露在高劑量下會傷害肝及腎臟，在致癌性方面會引起小鼠及雄性大鼠之腎臟腺瘤與少數大腸腫瘤。溴仿與引起人類膀胱結腸直腸胰臟癌有密切關係，長期接觸會損傷肝臟及胃。

四、THMs 癌症風險評估

1983 年美國國家科學研究院(NRC)提出

風險評估架構步驟(如圖 1)：危害物鑑定(Hazard Identification)、劑量反應評估（Dose-response Assessment）、暴露評估(Exposure Assessment)及風險特性描述(Risk Characterization)。基於評估步驟，可利用美國環保署（USEPA）提供之 Benchmark 模式(BMD)進行劑量反應之研究；暴露途徑評估方面假設人體暴露劑量方面是以終生暴露為基礎，經由食入、吸入與皮膚接觸作為主要暴露途徑。其他因子包括不同的體重、人體對毒性物質的吸收率及暴露的時間，均會產生不同的暴露結果。

有鑑於 THMs 對人體之危害，在癌症風險評估方面，依 USEPA 法規以風險值 1×10-6 作為危害的基準。

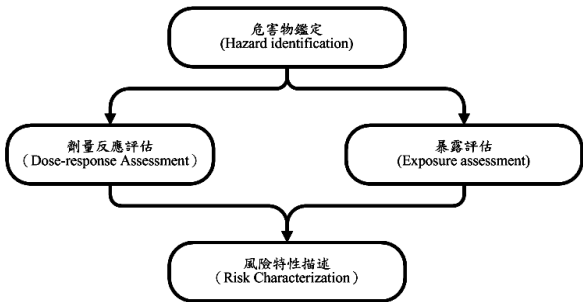


圖 1　風險評估架構步驟

(一)危害物質之鑑定（Hazard Identification）

表 1 顯示 USEPA 定義有害物質是否對於人類產生危害做出評估；根據流行病學調查及動物實驗結果，將致癌性的資料區分為五種等級，TTHMs 四種成分之致癌性分類，氯仿(TCM)、一溴二氯甲烷(BDCM)及溴仿(TBM)為第二類（Group B2）屬「可能是人體致癌物」，而二溴一氯甲烷(DBCM)則為第三類（Group C）屬「也許是人體致癌物」。另國際癌症研究署將二溴一氯甲烷及溴仿歸類為第三類（Group 3）屬「目前無法證實為人體致癌物」，此與美國環保署對 TTHMs 的致癌分類略有不同。

表 1　USEPA 之致癌性分類

Group	分類	說明	THMs 衍生物
Group A	人類致癌物	人體研究致癌證據充足	
Group B1	人類致癌物（Probable）	人體研究致癌證據有限	
Group B2	人類致癌物（Probable）	人體研究致癌證據不足或是無資料 氮動物試驗致癌證據充足	TCM BDCM TBM
Group C	人類致癌物（Probable）	人體研究致癌證據不足或是無資料且動物試驗致癌證據有限	DBCM
Group D	缺乏資料，故未歸類	人體研究及動物試驗資料缺乏	
Group E	非人類致癌物	人體研究及動物試驗證明為非致癌物	

(二)劑量反應評估（Dose-Response Assessment）

美國環保署（USEPA）以 Crump 於 1984 年所提出的標竿劑量（Benchmark Dose，BMD）的方法來取代傳統毒物學中所定義之 NOAEL/LOAEL 值；該模式假設每一物種個體對於試驗之化學物質皆有其反應及可靠性的忍受程度，且其反應程度是依據特定的機率分佈。1996 年 Casarett and Doull 及 1998

年 Edler and Kopp-Schneider 之研究顯示其中之多階段模式（Multistage Model）為一種推測性模式，對於描述致癌性（Carcinogenesis）之假設理論有很好的預測結果。

依 USEPA 定義，若 BMD 值低於此劑量，則引發癌症的機率將相當低。最低反應標竿劑量（Lower-Bound Confidence Limit on the BMD）定義為外加 10%的風險所評估濃度值，其較接近於實際引發癌症的劑量值。

(三)暴露評估（Exposure Assessment）

人類可能接觸 THMs 的暴露途徑主要有食入、吸入及皮膚接觸，於食入暴露途徑方面，假設僅考慮經由飲水作為接觸暴露途徑。以最近 5 年(101 年~105 年)臺北自來水事業處(以下簡稱北水處)5 座淨水場作為研究對象，每年 4 季檢測 1 次清水總三鹵甲烷的濃度，並作成紀錄，表 2 顯示 101 年~105 年清水總三鹵甲烷檢測結果，比較第三季檢測平均值與其他三季檢測平均值有統計上的顯著差異，由此可見第三季自來水中總三鹵甲烷的檢測平均值偏高。1997 年 Arora et al. 曾針對美國 21 個淨水廠 TTHMs 生成進行季節影響分析，結果顯示當夏季平均水溫 22.2 ℃，配水系統中 TTHMs 平均濃度為 89 μg/L，冬季平均溫度降至 5℃時，配水系統中 TTHMs 亦隨之降至 29 μg/L。2000 年 Batterman et al.研究顯示 TTHMs 除了隨反應時間、pH 值增加外，一旦當溫度升高時 TTHMs 亦隨之增加。

所供 101 年~105 年清水中總三鹵甲烷之年平均值為 0.00667 mg／L，則飲用者終生平均每日劑量（Lifetime Average Daily Dose, LADD）依公式計算如下：

$$LADD=\frac{C \times IR \times EF \times ED \times f}{BW \times AT}$$

=(污染物濃度x攝入量x接觸頻率x暴露期間x吸收率)/(平均體重x終生年數)

公式中

C：年平均值 0.00667 mg／L；

IR：攝入量 2L/day

EF：接觸頻率 365day/yr；

ED：暴露期間 70yr

f：吸收率 90%；

BW：平均體重 60kg

AT：終生年數 70yr×365day/yr

$$LADD=\frac{0.00667\times2\times365\times70\times0.9}{60\times365\times70}$$

$=2.001\times10^{-4}$ mg / kg・day

表 2　101~105 年臺北自來水事業處淨水場清水總三鹵甲烷檢測結果統計　　單位：mg/L

年次	第一季	第二季	第三季	第四季	年平均值
101	0.00765	0.00627	0.00740	0.00336	0.00620
102	0.00649	0.00693	0.01197	0.00345	0.00721
103	0.00698	0.00483	0.01273	0.00359	0.00703
104	0.00664	0.00892	0.01015	0.00425	0.00749
105	0.00498	0.00547	0.00629	0.00505	0.00545
年度平均值	0.00655	0.00648	0.00971	0.00394	0.00667

除氯仿外，一溴二氯甲烷、二溴一氯甲烷及溴仿等 3 種三鹵甲烷的致癌斜率（Slope Factor, SF）係採用美國環保署之公告值，分別為 3.4×10^{-2}、4.0×10^{-2} 及 4.5×10^{-3}(mg/kg・day)；

一溴二氯甲烷之致癌風險(Cancer Risk, CR)

$CR1=LADD \times SF=2.001 \times 10^{-4} \times 3.4 \times 10^{-2}=6.8 \times 10^{-6}=7\times10^{-6}$

二溴一氯甲烷之致癌風險(Cancer Risk, CR)

$CR2=LADD \times SF=2.001 \times 10^{-4} \times 4.0 \times 10^{-2}=8.004 \times 10^{-6}=8\times10^{-6}$

溴仿之致癌風險(Cancer Risk, CR)

$CR3=LADD \times SF=2.001 \times 10^{-4} \times 4.5 \times 10^{-3}=9.005 \times 10^{-7}=9\times10^{-7}=0.9\times10^{-6}=1\times10^{-6}$

$\Sigma CRi=CR1 + CR2 + CR3=7\times10^{-6}+8\times10^{-6}+1\times10^{-6}=16\times10^{-6}$

以上健康風險評估因缺少氯仿之致癌斜率資料，故無法計算氯仿的致癌機率。

總而言之，北水處所轄供水地區民眾長期飲用含總三鹵甲烷之年平均值為 0.00667 mg／L 的自來水，飲用期間長達 70 年，且總三鹵甲烷之年平均值維持在 0.00667 mg／L 左右，則當地民眾每一百萬人口在暴露 70 年後，可能會有 16 人因飲用自來水而罹患癌症，致癌風險非常低。

自來水中添加之氯量極低，只在 0.4~0.6 ppm 左右，對人體是無害的，水中的氯容易揮發及為光所分解，於照光或未加蓋情況下，很快即可消散。北水處對三鹵甲烷致癌性的問題相當重視，早已持續進行檢驗監測，歷年來檢驗結果顯示，所供應的自來水三鹵甲烷含量均遠低於歐、美、日等先進國家及我國飲用水水質標準限值(80ppb)，對健康影響微乎其微，民眾不必驚慌，可安心直接飲用。

在吸入及皮膚接觸的途徑方面，2003 年鄧氏假設淋浴洗澡最主要的接觸途徑，固只考量淋浴為接觸暴露因子途徑。由於空氣中的 THMs 濃度會受到不同引響參數的影響，故 1992 年 Little 發展數學模式推估洗澡時浴室空氣中 THMs 的濃度。

每個人三鹵甲烷的暴露來源發現飲水暴露比較低，其實淋浴的影響比較大，當進行 10 分鐘淋浴時，身體也暴露於氯的侵害中，而所吸收的氯往往要比飲用三公升含氯的水可多達 100 倍！眾所周知，氯是一種危害健康的物質，而且與多種疾病(包含癌症)都有關聯。大多數人總會想辦法清除飲用水中的餘氯，然而，研究結果顯示，清除淋浴洗澡用水中的餘氯及化學污染物，比清除飲用水中的餘氯更重要。依報導指出，熱水澡洗愈久，吸入的致癌物就愈多。專家及醫師提醒，很多民眾因為怕冷刻意延長洗熱水澡的時間，若浴室密不通風，沐浴時間愈久恐吸入愈多致癌物「三鹵甲烷」。主要原因係因臺灣的自來水都以氯做為消毒劑，最常見的副產物就是致癌性的「三鹵甲烷」，它不僅具有肝毒性、腎毒性、致癌性，長期吸入過多恐造成膀胱癌、結直腸癌，甚至是孕婦流產。更有醫師指出，「三鹵甲烷」具揮發性，80%是靠呼吸道吸入，而 20%是經由皮膚吸收，所以淋浴時間不要超過 5 分鐘，或是加裝除氯或是通風設備。在浴室裡面其實只有 1/3 是進入皮膚滲到體內的，大部分都是在浴室中因為碰到熱水加熱，碰到蓮蓬頭被噴發出來或者是時間長慢慢蒸發出來，這些原因讓它跑到空氣中從肺部吸收下來，有研究指出在浴室洗澡洗5分鐘跟洗10分鐘比較，洗 10 分鐘三鹵甲烷的量是 5 分鐘的 4 倍而不是 2 倍。

人們飲用的自來水，都是經氯化消毒滅

菌處理過的。氯處理過的水中可分離出 13 種有害物質，其中鹵化烴、氯仿還具有致癌、致畸作用。當水溫達到 90℃時，鹵代烴含量由原來 53 μg/kg 上升到 177 μg/kg，超過國家飲用水衛生標準的 2 倍。專家指出，飲用未煮沸的水，患膀胱癌、直腸癌的可能性增加 21%-38%。當水溫達 100℃，此兩種有害物質會隨蒸氣蒸發而大大減少，惟燒開水也容易吸入大量三鹵甲烷，尤其民眾習慣在水沸騰後把蓋子掀開，繼續煮 3、5 分鐘，來去除自來水中的「氯」，如此反而使致癌物「三鹵甲烷」揮發到空氣中。醫師建議水煮開之後再多煮 5 分鐘，因為水在加熱的過程當中三鹵甲烷還繼續在合成，加熱至 100℃時，三鹵甲烷合成到最高，所以加熱煮開了要繼續滾 5 分鐘，讓三鹵甲烷蒸發掉的時候，請記得要把排油煙機打開，把蒸氣抽走，因為三鹵甲烷很容易被肺吸收進去。

另外，前幾年網路曾經流傳一則訊息提醒民眾「蒸食物一定要用煮沸過的開水，用已過濾掉氯的水來蒸東西」，否則自來水有氯，而氯有致癌危險，造成人心惶惶。醫師表示很多人擔心自來水經過氯消毒，可能殘留消毒副產物「三鹵甲烷」，其為低沸點的揮發性有機化合物，長期大量暴露可能有致癌疑慮，目前世界衛生組織（WHO）列為證實動物有致癌風險，但造成人類罹癌則無相關證據，或是無足夠證據證明會導致癌症，換句話說，並無人類會因此得到癌症的充分實證。

五、颱風暴雨相關因應措施及飲水注意事項

臺灣大學環境工程研究所及成功大學環境工程系等團隊聯手針對蘇迪勒颱風進行影響供水水質的調查，採樣分析發現颱風後兩天自來水與飲水台水質總三鹵甲烷，比颱風前升高 4 成至 2 倍多，溶解性有機碳等物質也增加，即使煮沸後飲用，仍然不安全，面對這些潛藏致癌殺手，不得不慎！此項研究成果報告已於 2016 年登上國際期刊 (Nature-Scientific Reports)。

臺大等團隊研究顯示蘇迪勒颱風過後總三鹵甲烷濃度最高增高為 2 倍，主要是因為颱風期間原水中天然有機物增加，導致經加氯生成的消毒副產物亦增加。該研究採取捷運新店松山線碧潭站等 6 站的飲水台及龍頭水共計 12 個水樣，檢驗總三鹵甲烷，結果龍頭水颱風前最大值 32.8 μg/L，颱風後最大值 64.9 μg/L；飲水台颱風前最大值 25.8 μg/L，颱風後最大值 56.1 μg/L，皆低於我國及歐美日等國飲用水水質標準限值。

該研究推估總三鹵甲烷濃度增加與暴雨沖刷山坡地，帶來大量農藥及肥料等造成溶解性有機碳有關，數值雖無超標，但很接近容許值，長期飲用仍有不好影響，且過去認為煮沸 2 到 3 分鐘可揮發。但此次研究發現風災後的總三鹵甲烷較不容易揮發，5 分鐘總去除率才七成，可能與有機物來源不同有關。行政院環保署表示，目前我國飲用水水質標準總三鹵甲烷管制限值為 0.08 mg/L，與美國相同，且較加拿大、歐盟、英、法、日本等的管制限值(0.1 mg/L)嚴格，即使暴雨後濃度增加，風險仍然極低。目前國際上淨水處理消毒方式主要仍採用加氯消毒，施行消毒副產物的飲用水水質標準後，危害風險已大幅下降，且若減少或停止加氯

會導致飲用水中微生物危害風險提高，比起消毒副產物的風險要高出許多，因此加氯消毒為必要之惡，若民眾仍不放心，依日本研究及我國行政院環保署環境檢驗所實驗結果，自來水煮沸到 100℃後打開鍋蓋繼續煮沸 3~5 分鐘可再降低三鹵甲烷含量。且北水處亦表示，通常颱風後總三鹵甲烷監測值會較平常高一點，平日監測濃度約 8μg/ L 以下，颱風後約 10μg/ L 以下，均遠低於國家標準 80μg/ L，民眾毋須擔憂水質。

颱風暴雨相關因應措施及飲水注意事項：

(一)行政院環保署於天災時會督導地方環保機關及自來水事業確認供水區內災損及水源水質濁度，並於災後督促地方環保局及自來水事業單位加強飲用水水質抽驗工作，近 5 年（101 年至 105 年）間針對全國自來水供水系統進行水質抽驗，總三鹵甲烷合格率 99.9%，且 97.5%以上檢出濃度低於管制限值 1/2（0.04mg/L，低於德國管制限值），顯示其危害風險甚低；且加強飲用水安全宣導，以確保飲用水安全無慮。

(二)颱風後要注意飲用水安全，飲水要煮沸後再飲用，如有停水後恢復供水時，可先打開水龍頭流數分鐘再取用煮沸，如擔心水有味道或有殘餘消毒副產物，可在煮沸後將蓋子打開，再多煮 5 分鐘。飲用井水或山泉水等簡易自來水用戶，更應注意確實煮沸後才可飲用，以確保安全無慮。

(三)煮開水時全程開抽油煙機，以便抽排出有毒空氣。

建議住戶及管理委員會等單位於颱風後儘速清除水井或水池的污泥並刷洗乾淨，必要時可進行消毒，讓住戶喝得更安心。

六、三鹵甲烷的控制技術

控制三鹵甲烷的三個基本原則說明如下：

(一)在加氯之前，去除三鹵甲烷前驅物質：

目前去除三鹵甲烷和三鹵甲烷前驅物質的技術包括氧化、曝氣（aeration）、吸附、樹脂、澄清（如混凝、直接過濾等）、原水控制、調整 pH、強化混凝 (enhanced coagulation，EC)、降低加氯量、改變加氯點（changing the point of chlorination）、薄膜過濾、逆滲透（RO）、生物處理、替代消毒劑（如臭氧、氯胺、二氧化氯、高錳酸鉀、紫外線）等。

在去除分子量較大的三鹵甲烷前驅物質方面，混凝沈澱處理具良好效果，可使三鹵甲烷生成量降低至相當程度。且因混凝沈澱處理是一般淨水場操作人員所熟習的技術，對三鹵甲烷前驅物質的混凝沈澱處理，毋須另外變更淨水場原有加藥設備或藥品種類，亦不須更改其原有的淨水處理程序。因此，美國及日本皆認為採用較完善的混凝沈澱處理，在加氯之前先將水中之有機物質（亦即三鹵甲烷的前驅物質）降低至相當程度，是一項最為有效而可行的技術。

(二)在 THMs 形成後去除之：

對去除已生成的三鹵甲烷，一般可行方法為曝氣或活性碳吸附，但水中三鹵甲烷之濃度不高，氣－液間的質量傳送效率有限，須長時間曝氣。另外，活性碳對三鹵甲烷的吸附能力欠佳，吸附所需時間較長，就經濟

上考量，去除已生成的三鹵甲烷，在實用上有其限制。

(三)使用另一種不會形成三鹵甲烷的消毒劑：

使用臭氧、二氧化氯等與水中有機物質的反應產物，恐怕亦可能面臨如三鹵甲烷的問題，在改變消毒劑方面須審慎考慮檢討。

七、結論

臺灣地區水源污染情況日益嚴重，淨水場取水口的河川或湖泊水質，常不符合水體分類及水質標準，加之水資源分配不均與開發困難，致使乾淨水源不易取得。此外，我國自來水水價低廉，水費收入不敷成本，使得自來水事業單位無法提升淨水處理技術及管線維護工作，但其仍需確保提供安全衛生的飲用水，故請大家一起來保護我們共有的水源水質，以維護全民健康。

自來水中總三鹵甲烷是原加氯消毒之副產物，由於總三鹵甲烷是影響人體健康物質，因此，飲用水水質標準訂定總三鹵甲烷之最大限值為 0.08 mg/L，北水處 101 年~105 年清水中總三鹵甲烷之年平均值為 0.00667 mg／L，遠低於管制標準值，由此可知北水處對三鹵甲烷可能影響飲用者健康與致癌風險的問題相當重視，早已持續進行檢驗監測，要求所轄 5 座淨水場每季檢測 1 次清水中總三鹵甲烷的濃度，歷年來檢驗結果顯示，所供應的自來水三鹵甲烷含量均遠低於歐、美、日等先進國家及我國飲用水水質標準限值。且通常颱風後總三鹵甲烷監測值會較平常高一點，平日監測濃度約 8 μg/ L 以下，颱風後約 10 μg/ L 以下，均遠低於國家標準。

水是構成人體的重要成分，民眾長期飲用北水處供給的自來水，承受總三鹵甲烷致癌風險非常低，飲用水相對安全。民眾如仍對總三鹵甲烷有所疑慮，可煮沸開水後打開蓋子再煮沸 3-5 分鐘，進一步降低自來水中總三鹵甲烷的含量，讓三鹵甲烷蒸發掉的時候，請記得要把排油煙機打開，把蒸氣抽走，如此將更能確保居家飲水之安全衛生。

參考文獻

1.Rook, J.J., “Formation of haloforms duringchlorination of natural water”, Water Treat. Exam, Vol. 23, pp. 234-243, 1974.

2.Bellar T.A., Lichtenberg J.J., and Kroner R.C., TheOccurrence of Organohalides in Chlorinated Drinking Water, EPA-670/4-74008, Cincinnati, Ohio, 1974.

3.National Research Council (NRC), “Risk Assessment in the Federal Government:Managing the Process”, NAS Press, Washington, DC, USA. ,1983.

4.Crump K.S., An improved procedure for low-dose carcinogenic risk assessment from animal data, J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol. 5,pp.339-348, 1984.

5.Morrow C.M. and Minear R.A., Use of regression models to link raw water characteristics to trihalomethane concentration in drinking water, Wat.Res. 21, pp.41-48, 1987.

6.曾迪華，三鹵甲烷是什麼，科學月刊，1991年8月。

7.Little, John C., “Applying the two-resistance theory to contaminant volatilization in showers”, Environ. Sci. Technol. 26, pp. 1341-1349,1992.

8.Fayad N.M., Seasonal variation of THMs in Saudi Arabian drinking water. J.Am.Wat.Wks.Assoc., 85, pp.46-50, 1993.

9.Jimenez M.C.S., Dominguez A.P. and Silverio J.M.C., Reaction kinetics of humic acid with sodium hypochlorite,Wat.Res. 27, pp.815-820, 1993.

10.World Health Organization（WHO）,Guidance for drinking water quality,2nd ed. Geneva, 1993.

11.Chun Y.Y., Chiu H.F., Cheng M.F. and Tsai S.S., Chlorination of drinking water and cancer mortality in Taiwan. Environment Research Section A 78,pp.1-6, 1998.

12.Shin, D., Chung, Y., Choi, Y., Kim, J., Park,Y., Kum, H., “Assessment of disinfection byproducts in drinking water in Korea”, J. Expo Anal Environ Epidemiol; 9, pp.192-199,1999.

13.王正雄、鄭資英、陳麗霞、張小萍、傅千育、洪文宗及郭季華，”自來水三鹵甲烷含量之調查研究”，中華民國自來水協會會刊,第20 卷第4 期，第3-16 頁，2000年。

14.Hsu, C.H., Jeng, W.L., Chang, R.M., Chien, L.C.and Han, B.C., “Estimation of potential lifetime cancer risk for trihalomethanes from consuming chlorinated drink water in Taiwan”, Environment Research, Section A, 85, pp.77-82, 2001.

15.黃智、楊志輝、鍾裕仁，利用粉狀活性碳降低消毒程序中總三鹵甲烷的生成，中華民國自來水協會會刊，第21卷，第2期，第36-45頁，2002年5月。

16.鄧雅謓，”飲用水中三鹵甲烷生成及其致癌風險評估”，國立台灣大學環境衛生研究所，碩士論文，2003年。

17.李漢鏗、葉怡巖、陳韋銘、王國堅，自來水中總三鹵甲烷之健康風險評估，中華民國自來水協會會刊，第23卷，第4期，第1-16頁，2004年12月。

18.World Health Organization (WHO), Health-based targets, Guidelines for Drinking-water Quality, First Addendum to 3rd Edition, Vol. 1 Recommendations,pp. 37-47, 2006.

19.張森和、洪慶宜、巫月春、施雯玲，自來水中總三鹵甲烷及其健康風險評估之研究，中華民國自來水協會會刊，第27卷，第3期，第46-50頁，2008年8月。

20.International Agency for Research on Cancer (IARC),Overall Evaluations of Carcinogenicity to Humans,List of all agents, mixtures and exposures evaluated to date (http://www.iarc.fr/) online 8/15/2008.

21.USEPA, National Primary Drinking Water Regulations, Drinking Water Contaminants (http://www.epa.gov/safewater/contaminants/) Online 8/15/2008.

22.USEPA , Table Summarizing Updated Input Values for EPA’s 2015 Final Updated Human Health Criteria, 2015.

作者簡介

張琰崚先生

現職：臺北自來水事業處淨水科三級工程師

專長：化學工程、環境工程、淨水處理、自來水工程設計及施工

參加國際水協會(IWA)『永續資產管理—領導時代研討會』紀實

文/文其正、許嘉軒

前言

資產管理的方法和技術漸趨複雜且範圍日益廣泛，對於世界各地的自來水及污水專業人員而言都是極大的挑戰，在面對嚴峻的經濟條件和不斷增長的客戶需求，需尋求高效率低成本的解決方案方能提升服務價值，欲達成此目標，必須透過先進的工具、技術、軟體和管理方法，藉由會議討論、專家對話、吸收有關新興技術，工藝和材料最新資訊，可提升風險管理評估技能，幫助從業人員更深刻了解顧客需求，降低成本增加收益，進而促進管理體系改善及整體團隊能力提升。

永續資產管理領導時代研討會(Leading Edge Sustainable Asset Management of Water and Wastewater Infrastructures，以下簡稱 LESAM)是由國際水協會(International Water Association，以下簡稱 IWA)旗下的資產管理專業團隊所推動，2004 年於舊金山揭開序幕，是自來水及下水道產官學界每二年一度的盛事，會議集結了公用事業、顧問、監管機構、學者專家和資產管理人員共同研商前瞻性的議題，包括資產管理主要挑戰、解決方案和最新趨勢。

2017 年 6 月 20 日至 6 月 22 日舉行的 LESAM 2017 已邁入第 7 屆，會議地點選在挪威特隆赫姆(Trondheim)知名學府挪威科技大學(Norwegian University of Science and Technology，以下簡稱 NTNU)， NTNU 是挪威第一學府，以頂尖的自然科學與工業技術見長，作育無數英才，曾培育出 4 位諾貝爾獎得主，本屆會議共有來自全球五大洲 28 國 149 位代表參加。

2015 年日本橫濱舉辦第 6 屆 LESAM，臺北自來水事業處(以下簡稱北水處)第 1 次派員參加，獲益良多，會後研提之各項建議包括退休金重新精算、工程設施營運保險等亦逐步推動，深具效益。2017 年再度派員出席會議，不僅擷取資產管理最新資訊，更主動參與論文發表。氣候變遷是全球自來水及下水道業者共同面對的挑戰，這次會議也有許多城市代表發表這方面的文章，北水處以 Disaster Derived Asset Loss Estimate Mode in Pricing of Water Rate 為題，與各國代表一同分享北水處在面對氣候變遷問題下的因應作為，除致力於固定資產改良擴充外，2016 年水價調整時，更在水價公式及計算中新增災害準備因子，提升未來面對天災的應變能力，以期能減輕政府財政負擔。

一、城市背景概述

特隆赫姆舊名尼達洛斯(Nidaros)，於西元 997 年建立，在西元 1217 年之前為挪威的首都，目前是挪威的第三大城市，也是全挪威的教育中心、科技中心、藥物研究中心，約有三萬名學生在這裡接受高等教育，但其當地人口只有 17 萬人。

特隆赫姆的地理位置位於尼德河(Nidelva)及特隆赫姆峽灣(Trondheimsfjord)

匯流點，也是特隆赫姆區的中心。當地氣候屬於海洋性氣候，平時沿海地方容易刮大風。夏季的平均最高氣溫約為 18.4oC，最低溫度約為 10.3 oC，氣候十分涼爽宜人，冬季平均最高氣溫約為 3.7 oC，最低約為-6.5 oC，全年大約有 198 天下雨或下雪天氣，水資源相當豐富。因位於高緯度，在夏天，日出時間約為 3:00，而日落時間約為 23:40，但太陽只是位於地平線稍下方，天空仍微微亮，所以每年自 5 月 20 日至 7 月 20 日，特隆赫姆是屬於永晝，這對大多數與會代表而言都是種相當新奇的經驗。而在冬天，日出的時間約為 10:00，而日落時間約為 14:30，白天只有 4 個小時。大會工作人員告訴筆者，冬天天氣好的時候遇太陽活躍期，可以看見極光，只要連續住一星期以上，應該會有好天氣，幾乎確認能看到極光，聽到這個訊息，燃起了下次想要私人再度造訪的慾望。

特隆赫姆在挪威的位置
經緯度: 63°25′N 10°23′E

國家	挪威
郡	南特倫德拉格郡
政府	
‧市長	Rita Ottervik
面積	
‧總計	342.26 平方公里（132.15 平方英里）
人口（2012）	
‧總計	176,309 [1]
時區	歐洲中部時間（UTC+1）
‧夏令時	歐洲中部夏令時間（UTC+2）
網站	www.trondheim.kommune.no

圖 1　特隆赫姆在挪威的相對位置

(一)無紙化貨幣政策澈底

在挪威，因為在歷史上受過瑞典及丹麥的統治，分別組成過瑞典-挪威聯盟及卡爾馬聯盟，所以挪威人對於加入國家之間的聯盟並沒有好感，所以分別於 1972 與 1994 年舉行入歐公投，都沒有成功，另一個原因是，挪威並不想和北海周邊的國家分享豐富的油氣與漁業資源，故迄今未加入歐盟，與歐洲保持者若即若離的關係，目前仍使用自己的貨幣挪威克朗(NOK)，未使用歐元，由於臺灣的銀行並未提供挪威克朗兌換服務，必須先換美金或歐元再到當地兌換挪威克朗，會有二次匯兌手續費用，然而我們在出國前即打聽清楚，在挪威所有的商業交易，不分金額都可使用信用卡刷卡，因此筆者此行雖攜帶了美金應急，到當地並沒有兌換挪威克朗，果然，所有交易均能使用信用卡，待在挪威這幾天，完全沒有機會看到挪威貨幣的樣貌，貨幣無紙化執行得相當澈底，值得臺灣學習，可以節省政府貨幣發行成本，加快交易速度，亦能促進觀光發展。

圖 2　隨身型信用卡刷卡設備

(二)特隆赫姆的水價

挪威是水資源相當豐沛的國家，世界上最高的 35 座瀑布中挪威就有十座，雖受水力發電條例的影響，70%以上的大河限定為水力發電使用，然水資源依舊充足，與臺灣動輒缺水的情形恰恰相反，因此在水價制定上也呈現截然不同的方式。

由於北水處去年調整過水價，這次參訪我們也特別詢問了特隆赫姆與奧斯陸的水價現況。特隆赫姆的水費和污水下水道處理費用係由市議會每年依據市政府對排污費的規定來決定，參採全部成本法的原則，整體收入必須能完全收回市政府供水和污水下水道處理所有相關的費用，每戶都必需支付自來水及污水處理費用，每年計費 1 次，計費模式分為二種：

1.依據抄表指針計價

安裝水表的用戶依實際抄表度數來計算費用，自來水費用每立方米含稅價 NOK 11.43(約新臺幣 43 元)，污水下水道使用費用每立方米含稅價 NOK 12.89(約新臺幣 49 元)。此外尚須收取水表年租金，管徑 1/2" 至 1 "(13mm 至 25mm)年租金含稅價 NOK 255 (約新臺幣 969 元)，管徑超過 1"年租金含稅價 NOK 406(約新臺幣 1,543 元)。

倘屋主未配合抄表、儀表斷線或表體顯示不正常時，則依前年的用水量或過去三年的平均用水量計算年費。

2.依照建築物大小計算

未安裝水表家戶依建物面積計算，水費每平方米含稅價 NOK 34.20(約新臺幣 130 元)，污水下水道使用費用每平方米含稅價 NOK38.69 (約新臺幣 147 元)，用水量不受限制，對於房屋面積大但用水量少之家戶，申請裝表可以節省費用。然不屬於住宅用途的物業、噴泉或水池面積大於 3 立方米，應安裝水表。

此外尚收取類似基本費的費用，用於維護市政供水和下水道系統，自來水費用含稅價為 NOK415(約新臺幣 1,577 元)，污水下水道費用含稅價 NOK473(約新臺幣 1,797 元)。

二、主辦單位介紹

特隆赫姆為全挪威地區的教育重鎮，本次研討會主辦挪威科技大學 (Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet，簡稱 NTNU)是位於特隆赫姆的一所公立大學，是挪威最頂尖的工程學與工業技術的研究重鎮，該校有 4 位校友曾獲得諾貝爾獎的殊榮。

挪威科技大學的歷史可追溯至 1760 年的特隆赫姆學會(Det Trondhiemske Selskab)。1910 年成立挪威理工學院，即為今天挪威科技大學的前身，在 1968 年，挪威政府將特隆赫姆市內幾所高等教育學府結合為一所綜合性的大學，含挪威理工學院、挪威科學人文學院、科學博物館、醫學院、特隆赫姆藝術學院、及特隆赫姆音樂學院組成特隆赫姆大學，1996 年更名為挪威科技大學。

三、大會開幕式

大會開幕式由 IWA 策略資產管理專家團隊主席 Helena Alegre 介紹 LESAM 宗旨，LESAM 的願景是成為水事業整合性資產管理的國際網路，主要目標在喚起資產管理意識，善用前瞻性的科學並落實實踐，協助鞏固關鍵原則，並成為一個愉快有效的合作團隊，在之前召開的 LESAM 會議留給我們許

多珍貴的論文集、建立了專家互動的網路、也分享了不同團體在基礎建設上的寶貴經驗，除此之外，也確立了 IAM 的關鍵原則：

1.進對 IAM 重要性之理解及意識。

2.值導向以及目標導向之 IAM。

3.求成本、風險及產出間的平衡。

4.進健全評估系統及系統化的方針。

屆的 LESAM，討論重心在於管線的狀態與更新，是工程面的探討，經過歷次會議的洗禮與交流，本屆會議的重點已提升到系統及組織的價值，包括服務、員工都是討論的範疇，不再侷限於工法的施作，更結合了科學、經濟、商業管理及統計分析等專業，是整合性的管理模式，有助於提升效率效能，以面對極端氣候、循環性經濟及提供綠能方策。

由 NTNU 教授 Sveinung Sægrov 進行 LESAM2017 簡介，包含參與國家、人數及參展廠商及主辦單位重要幕僚成員，並熱情歡迎所有人的參與。

圖 3　IWA 策略資產管理專家團隊主席 Helena Alegre 進行開幕演說

四、迎賓音樂會

迎賓音樂會在特隆赫姆最著名的尼達洛斯大教堂(Nidaros Cathedral)進行，尼達洛斯大教堂興建於西元 1070 至 1300 年間，1327 年遭祝融燒毀，曾於 1531 年重建，又因西部坍塌關閉，1869 年再次開始重建，到 2001 年正式完成。尼達洛斯大教堂是挪威國家級教堂，也是北歐重要的聖地，挪威國王的加冕儀式即在此舉行，教堂內有二座管風琴，是此次迎賓音樂會的主角，大會安排我們在教堂閉館後進入，整個音樂會是專門為大會參加貴賓所舉行的，在神聖的教堂中，配合雙管風琴悠揚的旋律，那種莊嚴的環場音效，真是震憾人心，教堂內部平時參觀是不允許拍照的，我們這次也享受到貴賓的禮遇，得以在內部拍照，留下珍貴的紀念。

圖 4　達洛斯大教堂(Nidaros Cathedral)

五、會議主題

本次研討會口頭報告共有 55 篇，8 個子題，海報有 21 篇，分二個會場同時舉行，8 個子題分別為：

1.IAM 最佳實用現況 Best practices in IAM

2. 短期及長期計畫 Short and long-term planning

3.進階的資料管理 Advanced data management

4.創新的科技 Innovative technologies

5.自來水及污水設施動力能源管理 Water and wastewater utility energy management

6. 進階的經濟模組 Advanced economic modeling

7.消費者的期望 consumers expectations

8.風險評估及復原能力 Risk assessment and resilience

六、自來水相關議題專論

因本次研討會論文發表相當的多，有關污水處理及自來水相關論文，口頭報告有 55 篇，海報有 21 篇，在此僅選擇數篇對於北水處業務有關連且有啟發性的論文來闡述。

(一)橫濱市未來計畫之水壓力調查

WATER PRESSURE SURVEYING IN YOKOHAMA CITY FOR STUDYING FUTURE PLAN

本篇為日本橫濱市水道局提出之論文，以長期使用資產管理方法制定更新設施的計畫。目前該局自來水設施正在進入汰換期，計畫已考慮到未來用水量的減少，需要重新考慮適當的自來水設施的規模。當橫濱市水道局制定汰換計畫時，自來水設備規模會經由電腦分析來確定。因此，該局在橫濱市佈置 601 個水壓監測點監測水壓，以確定現場測量值來確認分析值的正確性。另外，自 2008 年以來的七年間進行調查，藉以改善轄區內低水壓區及高水壓區的分布，解決長期以來的問題。

比較 2008 年和 2015 年之間的 455 點壓力間測點的水壓數據，該局嘗試改善一些水壓低的供水區塊及水壓較高供水區塊，以下說明其改善方法。

首先，對於壓力偏低或偏高的區塊，調整其供水範圍大小。如圖 5 所示，在加壓系統區塊和重力流動系統區塊相鄰的地方調整邊界閥，調整至適合之壓力，如偏高壓之加壓供水系統可藉由調整邊界閥位置，或新設部分邊界閥並關閉，改變部分區域為重力流系統及改變供水範圍，即可解決加壓系統高水壓的問題。

第二個解決方法是改善供水管網，以改變供水範圍，如圖 6 所示在 2008 年改善的一個範例。供水區塊 1 為含水庫的供水系統，壓力較高，區塊 2 為一般供水系統，區塊 1 與區塊 2 相鄰，供水區塊 2 的一部分水壓較低，在相鄰區塊 2 中埋設新的管網，調整界閥增加了水庫的供水範圍。這使得相鄰區塊 1 擴大了範圍，並該善了低壓供水區域。但是依舊有低水壓區和高水壓區無法改善的區塊，舉例說明。

如圖 7 所示一塊重力流低壓區塊希望藉由鄰近之加壓區塊來改善壓力。但由於一些天然的屏障，如道路主幹道、河流或地下大型箱涵等，需要一條穿過此等障礙之新自來水管線，由於成本巨大，目前還無法改善該區水壓，而到目前為止，還沒有出現供水問題。因此，主幹道、河流等幾個方面阻礙了相鄰區塊與管道之間的區塊調整，因為做局部改善經費相當龐大，目前還沒有較好的解決方法。

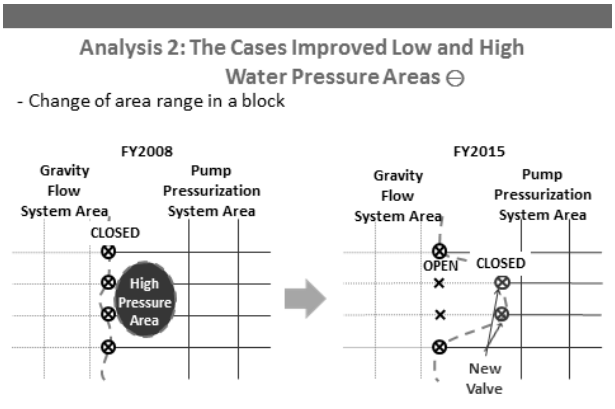


圖 5　改變供水範圍以解決加壓系統高水壓

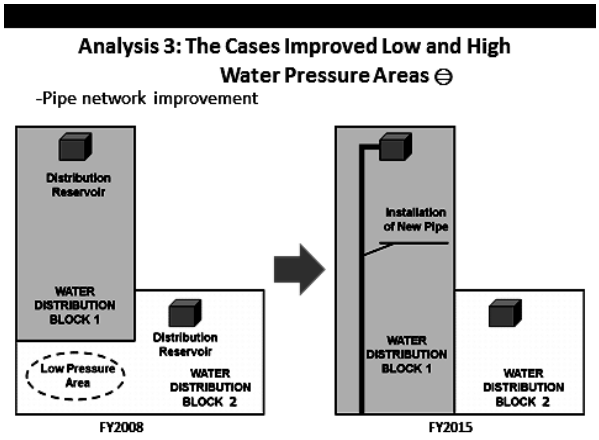


圖 6　藉由管網施工改善供水範圍

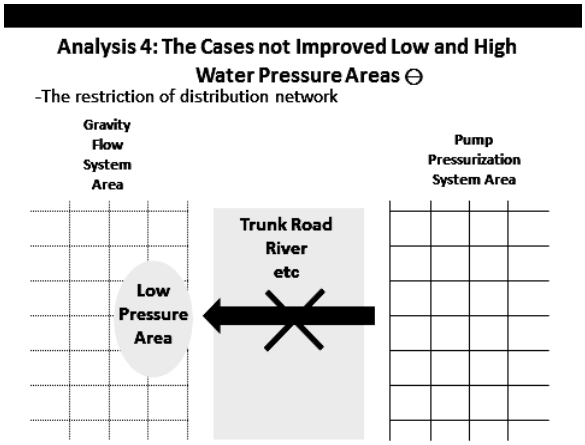


圖 7　因地形阻礙無法改善供水區域

其次，由於地形的因素。如圖 7 所示。一塊加壓供水區塊因部分的區高程較低，所以壓力偏高，為了解決高水壓，如果依照前面的方法調整鄰近重力流區塊面積，使其納入重力流區塊範圍內，雖然可以解決這部分壓力偏高的情形，但又造成鄰近區塊壓力下降之後果。所以這種方法是要經過現場多次試驗才能決定是否能採用。

另外，橫濱市水道局積極採用改進技術和改進材料來改善能源有效的利用。例如，橫濱市水道局目前在 100mm 或更高管徑的球狀石墨鑄鐵管的內襯中施加了水泥砂漿，與北水處現行使用管材相同。目前橫濱市水道局專注於內襯改良，該局採用了環氧樹脂塗料，用於做為球狀石墨鑄鐵管內襯。由於環氧樹脂具有比砂漿更薄的襯裡厚度，所以水管通道橫截面積可變大。可以預期將來經分析時可在某些管線中縮小尺寸。另外，與砂漿相比，環氧樹脂在水流速方面被認為是比較優越的，其優點也可以在試驗中得到證實。因此，採用具有環氧樹脂的球狀石墨鑄鐵管，可以減少能量損失。

現行北水處輸配水管絕大多數均採用水泥砂漿襯裡之球狀石墨鑄鐵管，在數年前即開始評估採用環氧樹脂內襯之自來水管，目前只有極少部分採用環氧樹脂內襯水管，通常是使用於高地供水系統，因此等系統為封閉系統，用戶數及用水量較少，自來水於管中滯留情況較嚴重，如採用水泥砂漿襯裡之管材，會造成水泥溶出，水質酸鹼值偏高且滯留，影響用戶用水品質。因北水處尚未訂定環氧樹脂內襯直管之規範，目前僅少量採用，發包承商以連工帶料之方式施作，北水處預計在未來二年內會訂出規範，進而大量使用此等管材。

環氧樹脂內襯將來訂規範時，也會考慮到國內外使用的經驗，北水處將會注意以下事項規範的訂定：

1.訂定樹脂內襯塗佈時之溫度，製造商為省成本，會降低內襯塗佈之溫度，溫度不夠高，將嚴重影響內襯與管材之附著力，將來容易造成內襯剝離。

2.訂定足夠的樹脂內襯拉拔強度，足夠的拉拔強度較不易剝離。

3.在安裝給水栓機具方面亦有相關規定，由國外經驗顯示，如果施作鞍帶鑽孔機鑽頭

角度不夠尖銳，鑽孔時速度不夠快，鑽孔時將不會直接鑽破樹脂內襯，造成內襯局部變形及剝離，影響管材使用壽命。

4.在防鏽銅套方面，亦可於外圍加一層橡膠，才可於金屬切割面做完全的保護。

因將來採用樹脂內襯表面平滑，會使水頭損失減少及水流速增快，可減少不少加壓的耗能，將來在進行管網水利分析，汰換管線時，可考慮人口變化的趨勢(人口變少)，可將一些自來水管口徑縮小，增加自來水在水管中之流速，這樣比較不會造成自來水在管中滯留及沉澱雜質，對於用戶用水安全有相當大的助益，此為將來北水處規劃自來水管汰換計畫考量之方向之一。

(二)城市水資源管理中的多重資產管理潛能

ON THE POTENTIAL OF INTEGRATED MULTI-UTILITY ASSET MANAGEMENT IN URBAN WATER MANAGEMENT

本篇為奧地利學者所提出之論文，闡述城市基礎設施由多個不同子系統組成，在城市地區共享相同有限的公共空間。這些系統整體上幾乎不可互相替代。因此，在的城市基礎設施中，資產管理僅分開觀察關注特定領域(例如供水，污水，雨水)，並沒有考慮到這些子系統之間的相互作用

如今，這些基礎設施大部分仍然以集中式結構為一體，(例如，街道，各種管線，下水道等)放置在一起(例如管道和下水道被放置在道路下方)。通過系統分析各種案例研究道路，水和污水網絡的相關性。分析可分為地理分析和圖形分析。地理分析為分析系統的地理位置。結果顯示，平均而言，50%的街道網絡長度與自來水及污水管網長度 80%-85%相關。因為這樣的管線系統被設置在道路下方，特別是在高度密集的城市化區域中。隨著人口密度的減少，街道的水基礎設施網絡總量也將減少。

這種綜合多用途方法的主要是解決這個高度複雜的問題，而不是單獨檢視所有的公共管線，這些管線在街道網中設置在一起，因此，道路網被認為是所有網絡的交集，道路更新計畫必須被優先考慮。採用這種分析方法主要側重於經濟觀點，藉由各管線相關性找出最經濟的更新方案。

為了說明多重管線更新管理的理念，說明如圖 8 所示，這項工作探討街道鋪面及所包含的各種管路設施及其預期使用壽命。如果我們假設所有這些管線壽命都達到了下限，我們可以研究可以進行管線更新的時間點。如果我們假設圖形中三角形頂點為管線開始發生老舊損壞的起點，三角形終點為管材壽命終點，我們可以將其間的時期定義為管材服務品質的不確定期。當然，最好的汰換管線時間越接近管材使用年限，越能獲得最大的經濟價值。如果我們分別檢視每個管線系統，最佳的汰換時間是管材設計使用年限，也就是三角形最右側的地方(見圖 8 左上圖)。所以，在 100 年間，對於道路下的六個管線系統，我們將需要六次施工。

預期壽命較短的系統(道路網、電力及電信電纜)。如果我們增加電力或電信更新的頻率，可以將必要的施工週期減少到三次(見圖 8 右上圖)。如果我們不想提早更換我們需要的電纜(見圖 8 左下圖)，則必要的施工周期增加為四次。如果我們調整各系統汰換的時間點，圖 8 的右下圖顯示了本案例的最佳解

決方案，在 100 年間，只需開挖路面汰換管線 3 次。

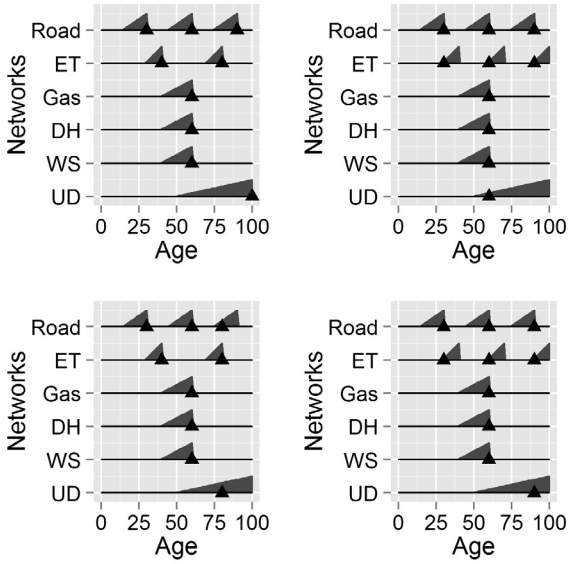


圖 8　多重管線更新管理示意圖

當然，這個簡化的例子並不代表真實系統間相關的複雜性，但它卻反映了可藉由各管線汰換年限的調整，求出最佳道路挖掘及管線更新次數，以求得最大經濟效率。可使城市基礎設施更新工程得到最佳化的模式。

文中提到二部分，一是大數據的應用，大數據的應用已經在我們的日常生活相當普及，例如我們在開車時使用 GOOGLE 來導航，GOOGLE 可以算出最佳路線及即時的路況，估算出到達目的地時間，其原理就是透過即時的大數據分析，資料來源為所有相關用戶的手機定位上傳資料，由所有用戶的移動情形判別所有路段及移動速率來規劃路線。本文提到歐洲議會和歐盟理事會(2007 年)制定了歐洲基礎設施資訊(INSPIRE)，其中包括城市基礎設施資訊(包括水基礎設施)的免費數據交換，即為大數據之應用，因為這些多樣化的子系統，其各種功能，應考慮不同系統之間的相互作用，做為資產管理決策並提出可能的解決方案。數據交換不僅對於數據資料管理很重要，而且對於規劃施工須採取之措施也很重要。

二是所有的相關系統汰換計畫，均要配合主體的路面更新計畫來更新，需要有一個在上階主導單位，評估各系統汰換年限是否可有調整空間，以求得道路於某期間之挖掘次數，最佳化為最少次數，期能節省道路重複開挖之鉅額工程成本及社會成本。

目前，北水處對於臺北市、新北市等路權單位提出之路面更新計畫，均加強配合汰換管線，前經北水處評估，配水管 DIP 使用壽命為 40 年，惟如路權單位提出更新計畫時，未免使用年限未到不配合汰換，而過幾年使用年限已到又要提出汰換需求，重複挖掘路面多出路面銑鋪成本，經評估可提前汰換民國 74 年以前埋設之 DIP，在北水處支出成本上來說最為有利，已經符合了本章論文調整管線汰換時機以符合最大效益的資產管理的方法，惟在臺灣，各管線單位分屬公、民營，市政府對於各管線汰換時程並無約束力，各管線汰換期程仍各行其道，通常是以使用年限來規劃，尚未有一個強有力的整合單位能夠像本論文中要求各管線單位以整體最佳化的汰換時機來考慮，如能採用文中方法，相信可以減少不必要的道路挖掘。將來如臺北市道路管線中心，能夠將道路更新計畫及各管線汰換更新計畫統籌規劃，相信將可使總體施工成本降至最低，也大幅降低社會所付出的衝擊成本。

七、技術參訪-Hoevringen treatment plant

圖 9　汙水處理場入口

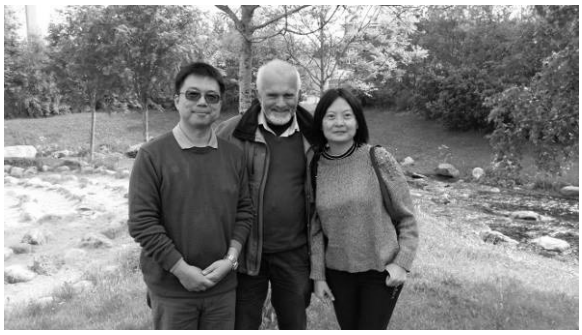


圖 10　與研討會會主席 NTNU 教授 Sveinung Sægrov 合影

在三天的研討會結束，第四天主辦單位安排了工程參訪，參觀特隆赫姆市最大的汙水處理廠，特隆赫姆的 Hoevringen 汙水處理廠為一座現代化的一級汙水處理廠，位於特隆赫姆市西邊濱特隆赫姆峽灣(Trondheimsfjord)，設計日處理汙水量 10 萬噸，負責處理特隆赫姆市 2/3 以上之汙水處理，另一處 Ladehammeren 汙水處理廠則負責其餘 1/3 部分；Hoevringen 汙水處理廠有完善的汙水處理及汙泥處理設備，並有應付進水負荷變化大之特點，其設備位於山中隧道內，(Ladehammeren 汙水處理廠亦同)，擁有三只平行隧道儲存槽，隧道總長度 450m，可免於受當地氣候嚴寒影響汙水處理運作，而利用汙泥發酵產生的沼氣，可充分運用生成的熱能。

最後經過污水處理過的淨化水，藉由二根排水管排入距岸邊 180m，48-65m 深的峽灣海中。特隆赫姆峽灣為北海的一部分，海水流動性及汙染物稀釋力強，經評估不會對峽灣海水造成汙染，所以這也是 Hoevringen 汙水處理廠只需有強化一級汙水處理能力的原因。

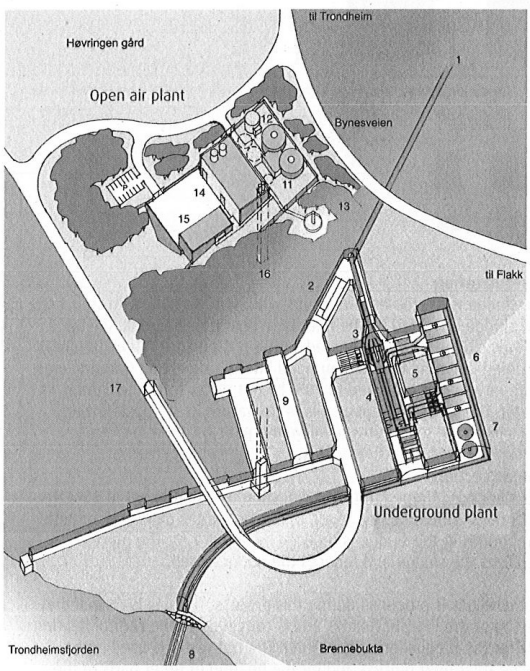


圖 11　Hoevringen 汙水處理廠平面配置圖

Hoevringen 汙水處理廠分為地上建築物及地下建築物二部分，辦公區及汙泥處理設備為地上式建築物，汙水處理主體設備則設置於山中岩洞中，汙水處理設備設置於岩洞中主要為在建設初期考慮到戰爭的因素，避免受到戰火摧殘，因在第二次世界大戰時，德國入侵挪威即是由 1940 年 4 月 9 日登陸特隆赫姆並於同日內占領；另外一個主要原因為因挪威冬季氣候寒冷，設置於岩洞中可保持廠區的溫度及控制水溫，降低低溫對於設備運作的影響，這對於我們亞熱帶國家來說，是比較新奇的見聞。

圖 12　山洞中之汙水處理廠

圖 13　汙水處理設備

挪威對於汙水處理的副產物汙泥排放有嚴格的標準，Hoevringen 汙水處理廠採用巴斯特消毒法及厭氧消化處理沉澱汙泥，可有效去除泥中的病毒，之後將消毒後的汙泥送入厭氧消化罐，產生之沼氣可供燃燒工汙水處理廠所需之熱源，厭氧消化後之汙泥進行離心脫水，產生之汙泥最後大部分使用於土地肥料。

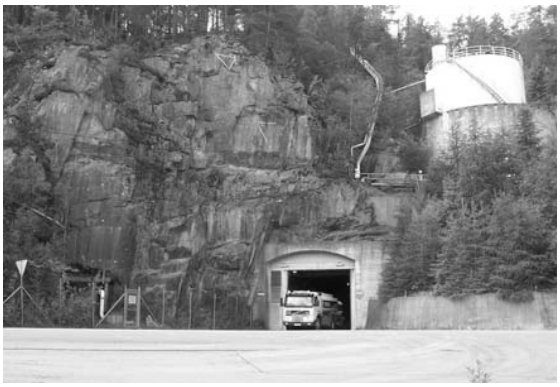


圖 14　置於山洞中之油槽

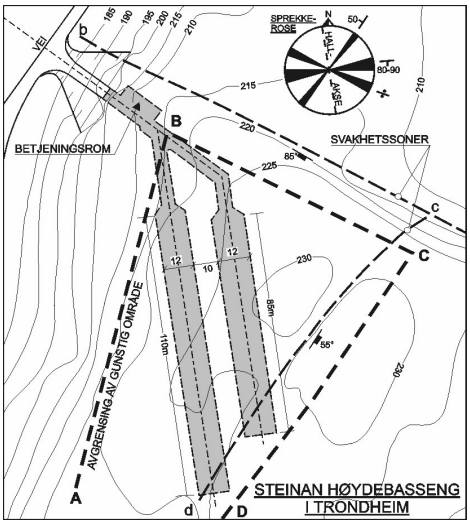


圖 15　特隆赫姆市 Steinan 22000 噸地下配水池

其實在特隆赫姆不只汙水處理設備設置於山洞中，其餘像自來水配水池、儲油槽甚至食物的儲存也多使用岩洞來儲存。

在自來水方面，在特隆赫姆 50 年前，開始使用 1000 噸的岩洞內配水池，在 1979 及 1993 年，第二個(Steinan)及第三個地下配水池(Hogasen)相繼開始使用，此二個配水池容量均為 22000 噸，均採用二只平行隧道式儲水槽，最近啟用的地下配水池為 1997 年啟用 5000 噸配水池 Reppeasasen，挪威當局曾計算評估，當配水池容量如超過千噸，配水池設置於岩洞中將較設置於地面上，其建築及維護成本較為低廉。

Hoevringen 汙水處理廠淨水處理後產生的汙泥，因富含有機質，多數用在園藝植栽的土壤，而且甚受園藝業者的歡迎。

同樣的，在臺北自來水事業處淨水場淨水處理後一樣有產生汙泥餅，但目前的用途只有製磚供營建業使用。本處正研究是否可用於園藝、作為陶土原料以及作為道路回填低強度高流動性混凝土(CLSM)的原料，目前碰到一些問題，分述如下：

1.園藝用土：因自來水淨水處理後產生之淤泥餅，有機物含量不像汙水處理產生之汙泥那樣高，淨水淤泥成分多屬無機物，故較無作為植物肥料之效果，不過仍可以做為園藝栽培土壤之用。

2.做為陶土原料：因淨水產生之淤泥顆粒細緻，初步的試驗結果如於陶土中混入 60% 以上之淤泥，製作陶器是可行的，但因淤泥內有一些小量非無機物雜質需先去除，初期前置處理設備約需 300 萬的經費，目前沒有廠商願意投資此項目。

3.用於 CLSM 原料：用於 CLSM 原料經研究證實確為可行，水處每年可生產 5-7 萬噸的淤泥餅，評估如拌合廠 CLSM 採用淤泥做原料每年可消化約 1 萬噸的量，但淤泥每噸的處理費用偏高，處理費大於 1000 元/噸，經洽相關混凝土拌合場投資意願不高，也許將來處理技術精進，費用降低後，就可能大量採用淤泥做為 CLSM 原料。

八、與會心得與結論

參加這次挪威科技大學主辦的永續資產管理—領導時代研討會(LESAM 2017)，因投稿論文甚多，其中不乏有許多值得有關我們自來水從業人員參考學習的地方，以下列舉一些我們這次行程的一些心得。

(一)在日本橫濱市水道局發表的「橫濱市未來計畫之水壓力調查」中，將人口趨勢列入規畫中，我們可以知道，在臺灣與日本相同的必須面對少子化嚴重，人口日益變少的趨勢，日本預估在 2065 年後，也就是 50 年後，人口將由現在的 12,000 萬人下降至 8,800 萬人，減少約三分之一(日本厚生勞動省)，臺灣預估在民國 150 年後人口由 2,300 萬人下降至 1,600 萬人(國發會)，所以在規劃將來的自來水管網汰換，必須考慮到如此大的變因，經由管線數值分析，可縮小新設配水管口徑，以減少輸配水耗能及減少自來水在水管中停留的時間，而不是一昧地將舊有管線汰換成原口徑的新管線。

(二)而在 Franz Tscheikner-Grat 發表之「關於城市水資源管理綜合多用途資產管理的潛力」，論文中提出一個簡單明瞭，卻很有用的資產管理辦法，應用於道路工程及管線汰換上，他認為各管線汰換最好及最省錢的汰換時機並不是要等到使用年限到了以後再汰換，而是配合道路更新工程為主體，考量管線是否提前更新，節省巨額的道路恢復費用，需有一個強有力的機關主導各管線機構，介入分析及檢討各個管線機構的管線汰換時機，調整求出最佳的汰換時間點，可減少在一段長時期內，道路挖掘的次數，減少大量的金錢及社會成本。在這點，北水處已評估使用之 DIP 配水管，雖然使用年限為 40 年，但在配合路權單位更新路面時，如於民國 74 年前埋設之 DIP 配水管，或民國 75 至 79 年間埋設有多次漏水紀錄之 DIP 配水管，均可提前汰換最符合經濟效益，與本篇論文之概念相同。但其餘如瓦斯、電力、電信、寬頻各家管線是否能配合道路更新調整管線汰換期程，因牽涉到公、私營單位，目前只有路權單位進行管線整合計畫，依各家提出需求排定工序，並未介入分析各管線單位最佳之汰換方案，來降低道路挖掘次數，此部分尚有發展的空間。

(三)各地區因水資源條件不同，在水價訂定上有很大差異：挪威有著得天獨厚豐沛的水資源，計費設計可以完全不考慮使用量，每年依建物大小收取固定費用，

計費簡單爭議少，還能撙節抄表及換表費用，臺灣這方面成本就真的很高昂，裝設總表及分表，每 8 年必須換表 1 次，另外每二個月派員抄表一次，還必須有專責人員複查確認抄表是否有誤，水表是否故障等，過程中還有許多表位不良問題要克服，需投入較多的人力因應客戶各種疑難雜症。

(四)在這次各國代表發表的論文中，可以看到大數據分析在不同方面的運用，無論是伊朗的水質參數調查、柏林的洪水預測模式、德國評估預測管網尚可使用期間等，多仰賴大數據分析技術，以獲取更多智能的、有價值的、深入的訊息，北水處在這方面運用上尚有發展的空間，以水表為例，現行水表汰換係依水表製造年份之順序更換，然而如同汽車使用哩程數一樣，使用量大的表容易損壞，目前這部分分析資訊較為缺乏，未來可運用大數據，蒐集不同口徑不同用量水表使用及損壞狀況，以歸納出各口徑水表最適當的使用上限，達到度數使用上限的水表即提前汰換，以確實掌握營收。

參考文獻

1.特隆赫姆市政府官網，https://www.trondheim.kommune.no/vann/gebyr/

2.LESAM2017 大會資料及活動官網，https://www.ntnu.edu/lesam2017

3. M. R. Mohebbi1, K. Azam Vaghefi, A. Montazeri1, R. Saeedi, S. Oktaie(2017) Setting water tariff based on modified drinking water quality index

4.United Nations Environment Programme Global Environment Monitoring System (GEMS)/Water Programme(2007),Global Drinking Water Quality Index Development and Sensitivity Analysis Report

5. 維基百科

6.WATER PRESSURE SURVEYING IN YOKOHAMA CITY FOR STUDYING FUTURE PLAN T. Isoyama, T. Konishi, Y. Shibata, N. Takei

7. ON THE POTENTIAL OF INTEGRATED MULTI-UTILITY ASSET MANAGEMENT IN URBAN WATER MANAGEMENT Franz Tscheikner-Gratl, Michael Mair, Wolfgang Rauch, Jeroen Langeveld, Manfred Kleidorfer Sanitary engineering, Delft University of Technology, P.O., The Netherlands 2Unit of Environmental Engineering, Institute of Infrastructure, University of Innsbruck, Austria

8. Use of the Underground in the City of Trondheim, Norway Einar BrochNorwegian University of Science and Technology, Norway

作者簡介

文其正先生

現職：臺北自來水事業處南區營業分處二級工程師兼股長

專長：管網改善工程規劃、設計、監造及小區計量

許嘉軒小姐

現職：臺北自來水事業處南區營業分處二級管理師兼股長

專長：資產管理規劃、財務預測與管理

本刊 107 年「每期專題」

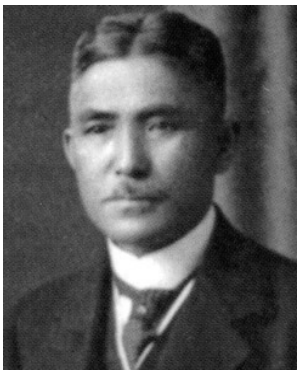
期別	主　題	子　　題	時程
37 卷 第 1 期	工程技術	自來水工程規劃、設計與案例、工程應用、無自來水地區延管工程、工法改良、工程管理、輸配水系統規劃、自來水實務、用水改善實務、新工法及新技術等。	2 月
37 卷 第 2 期	營運管理	自來水營運管理、續效評估、供水穩定設施操作及維護與管理、供水應變、漏水防治、分區計量、洩漏檢測、免開挖技術、智慧供水（智慧水表、智慧管網）、合理水價、用戶服務、人力資源、資訊管理、資產管理、能源管理、安全管理、管線狀況評估（管線健康檢查）、形塑水未來等。	5 月
37 卷 第 3 期	水質處理	水質安全、多重屏障、水質檢驗、水質監測、淨水藥劑、消毒、過濾、臭味處理、供水操作、淨水處理、海水淡化、淨水高級處理、綠色生產等。	8 月
37 卷 第 4 期	新興議題	新興水質項目應對、突發事件預警、供水緊急應變、危機管理、氣候變遷與調適、國際水情、淨水用藥、廢水回收、淨水污泥再利用等。	11 月

～歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優～

臺灣現代化自來水建設之開拓者
都市的醫師－濱野彌四郎

文/吳世紀

一、前言



濱野彌四郎 1869-1932)

1895 年起日本開始於臺灣施行殖民統治，濱野彌四郎於 1896 年偕同其東京帝國大學衛生工程學老師威廉・巴爾頓 (William K.Burton)來臺，任職臺灣總督府技師規劃水道相關工程建設，來臺三年後，巴爾頓不幸於 1899 年返鄉途中病逝於東京，濱野彌四郎繼承其恩師遺志，繼續擘劃執行臺灣各地自來水工程建設，至 1919 年離臺為止，總計於臺灣奉獻 23 年，期間完成包括基隆、臺北、臺中、彰化、嘉義、臺南、高雄等各主要都市自來水供水系統之建設，提供潔淨用水，徹底改善生活衛生環境，杜絕水源傳染疾病，奠定未來臺灣現代化發展之基礎，居功厥偉。但其名聲不若恩師－「臺灣自來水之父」巴爾頓，亦不如部屬－「臺灣嘉南大圳之父」八田與一，然而，其為臺灣現代化自來水建設所做的貢獻卻不容抹滅，身為自來水事業之從業人員，對這位臺灣自來水建設之開拓者，應有基本的認識，為紀念這位對臺灣現代化建設奠定重要基礎之工程師，爰撰文介紹濱野彌四郎之生平及來臺建設自來水事業之重要歷程。

二、成長經歷

濱野彌四郎，1869 年出生於日本千葉縣成田市寺台村(東京成田機場所在地附近)，為當地農民大地主黑川久兵衛之次子，原名黑川彌次郎，幼年天資聰穎，學習力佳，時值明治維新推行國民義務教育之初，於 1876 年入讀成田小學，1882 年入千葉中學，1886 年考試合格進入當時招收士族子弟為主的菁英養成學校－東京第一高等學校，寄宿於東京，該年東京霍亂大流行，根據紀載，東京火葬場當時日以繼夜燃燒著超過三千五百具罹患霍亂者遺體，災情慘烈，稻場紀久雄所著[都市的醫師－濱野彌四郎的軌跡]書裡，針對 18 歲的彌次郎為逃離霍亂肆虐的東京地區而徒步返鄉的過程，有如下的描述：「翌朝彌次郎告別女房東，在晨曦中出發，夏天清晨的微冷的空氣使皮膚冷爽，早曉的星星靜靜地在天空中亮著，即將破曉的晴空尚未籠罩在不幸的陰影下，但是人們的心像是被死神糾纏著般地沉重。彌次郎往故鄉方向，走在還沒有行人的路上，忽然間發現一隻白狗，好像要說甚麼似地仰視著彌次郎，他開始走，狗就低著頭、鼻子幾乎要觸地嗅聞著，跟在後面走著。彌次郎突然回首看到遠處一縷白煙緩緩上升(火葬場燃燒霍亂罹災者的遺體)，忍住悲傷往白煙的方向雙手合十，默默祈禱，對於疫病所造成人間煉獄般的情景，心中悲憤交加。」

濱野昇(1854-1920)

不幸的是，黑川彌次郎仍沒躲過霍亂的攻擊，於返鄉抵達家門不久後罹患霍亂，住進家鄉附近佐倉市的順天堂醫院治療，進而結識該院院長濱野昇，並深受其賞識，濱野昇為佐倉當地之仕紳，東京帝大醫學院畢業之醫師及政治家(時為縣議員)，因無子嗣繼承，乃於 1888 年收養時年 20 歲的黑川彌次郎，改名為濱野彌四郎，此時養父濱野昇 35 歲，其後於 1890 年更當選眾議院議員，為當時唯一具有醫師身分的國會議員，致力於推動預防肺結核等醫療現代化之立法及健全醫療體系，濱野昇尋求連任落選後於 1895 年受邀擔任日本軍方接收臺灣之隨行醫務官員，並被總督府任命為當時「大日本臺灣病院(即臺大醫院之前身)」創院院長，不久後即離開臺灣。[都市的醫師]書裡描述濱野昇曾向彌四郎說:「都市與人一樣是活著的，就像是一個人體，健康的都市必須有潔淨的飲用水、新鮮的空氣和綠地空間，而衛生工學就是要保護都市人間生活的技術，從事此類工事的人就好像是『都市的醫師』。」，彌四郎的思想及觀念受養父影響極深，其日後遠赴臺灣從事衛生工事似乎也是受到其養父影響，繼承其未竟之志業。

巴爾頓(1856-1899)

濱野彌四郎於 1893 年進入東京帝國大學工學院土木工程科就讀，成為蘇格蘭出身的英國衛生工學專家威廉・巴爾頓的學生，跟隨其學習衛生工程相關專業智識。威廉・巴爾頓係於 1887 年應日本政府之聘出任東京帝國大學土木工程科衛生工學外籍教授兼任內務省衛生局技師顧問，其規劃設計的上、下水道工程幾乎遍及日本各地，進而結識其長官內務省衛生局局　長後藤新平，彼此相知相惜、肝膽相照，1896 年日本治臺之初，後藤新平兼任臺灣總督府衛生顧問，曾隨同伊藤博文總理、新任總督桂太郎等人來臺考察衛生狀況，深刻體會當時臺灣衛生環境之惡劣，於是極力遊說巴爾頓到臺灣總督府擔任衛生工事顧問，改善衛生環境。[都市的醫師]書中，後藤曾對巴爾頓說：「臺灣的風土民情與日本全然不同，其治理與建設實屬不易，現階段軍政統治已經到達極限，接下來即將回歸到民政治理，開始興殖產業推動建設，其中上下水道等攸關民生之衛生工事建設刻不容緩，現在正是需要你們出場的時刻。」

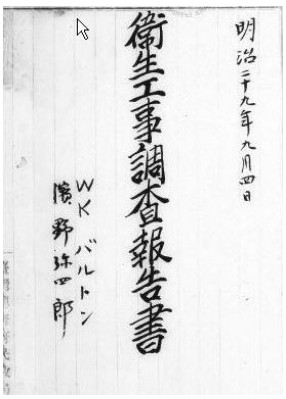
此時巴爾頓與日本政府第三任之約聘到期，正準備帶著日籍妻子、女兒返回離開 9 年的祖國，最後卻被其好友後藤氏的雄辯與熱忱說服，答應邀約前往臺灣，並帶著其剛畢業的得意門生濱野彌四郎一同成行擔任其助手，從事臺灣全島衛生工事之擘劃及建設，不僅改變了他的命運，也影響了濱野彌四郎的一生。

三、新天地

(一)初任總督府技師

「船一路向基隆航行，因夕陽而成金黃色的茫茫大海環繞在彌四郎四周，好像要燒盡一切似的亞熱帶夕陽依舊火熱，巴爾頓站

到單獨一人倚靠船舷的彌四郎旁邊，回憶九年前在要到日本的船上也看過類似的場景，驚嘆偌大的夕陽就好像是昨日的情事一般，巴爾頓獨自訴說著」，[都市的醫師]一書描述濱野彌四郎與巴爾頓在前往臺灣船上的情景，似乎暗示著巴爾頓未來的命運，1896 年 8 月 5 日二人抵達臺灣，此時總督府民政局局長為水野遵、衛生課長加藤尚志，巴爾頓為總督府技師顧問，濱野彌四郎為臺灣總督府民政局衛生課技師，敘六等官，並於該年年底與其養母之妹宮崎久米結婚。



衛生工事調查報告書

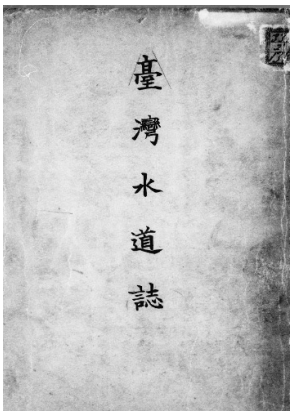
巴爾頓和彌四郎主要負責臺灣水道衛生事業之調查及規劃，此時的臺灣武裝抗日活動尚未完全平息，在接下來的一個月內，師徒二人不在舒適的總督府辦公室裏辦公，而是冒著隨時會遭遇武裝人士及原住民突襲的危險，到各地荒野山區調查水源地，往復來回於臺北、基隆、臺中等地詳細地調查各地衛生條件及水道規劃，隨即於 9 月 4 日完成「衛生工事調查報告書」，內容包括基隆、臺北、臺中等主要都市之衛生現況及上下水道等規劃調查報告，深得水野遵局長之信賴與支持。[都市的醫師]一書描述二人於野外踏勘水源的情景：「梅雨季節期間，巴爾頓與彌四郎二人進入新店溪上游探勘水源，經過屈尺進入龜山一帶之山區，該山區上游區域為原住民盤據出沒之處，日本人遭襲擊的事件時有所聞，該日，經過二、三小時的徒步跋涉，突然間『轟--』一聲槍響在山谷迴盪，二人迅速躲到岩石後隱蔽，經過一段死寂後，一個手持長槍的人悄悄現身搜尋二人身影，卻反遭彌四郎突襲奪槍，巴爾頓對那人說：『我們來這裡只是為了勘查探尋安全用水的水源，請你放心！』，此後接下來的幾天，二人進入該區域來來回回數次，就再也沒發生甚麼事。然而幾日後，巴爾頓卻開始出現了畏寒、發燒等症狀，罹患惡性瘧疾而住進醫院。」。

(二)巴爾頓病逝

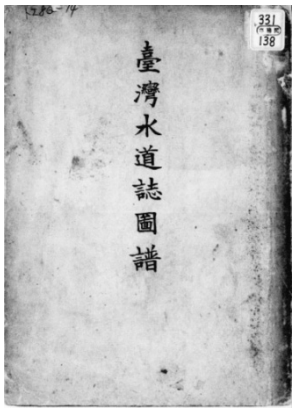
1898 年後藤新平出任總督府組織改制後集行政、立法、司法大權於一身之民政長官，百尺竿頭、更進一步，親自督導推動巴爾頓與彌四郎負責執行的水道設施規劃建設，在後藤新平的全力支持下，師徒二人全島調查踏勘水源，規劃各地之自來水系統，當時衛生環境險峻惡劣，霍亂、傷寒、瘧疾、鼠疫等傳染病橫行，躲過武裝人士的襲擊，卻躲不過看不到且無所不在的疫癘之氣罹患惡疾，彌四郎的恩師巴爾頓因調查探勘水源而感染惡性瘧疾後，經住院治療幸而痊癒，然而在身體健康已受影響之情況下，仍奮力不懈進行臺北、基隆水道計畫之制定及臺北下水道規則之檢討等工作，巴爾頓與彌四郎，於其後來的三年間，共同完成了臺南、安平、鳳山、嘉義、高雄、澎湖馬公等地之水道調查報告，以及基隆水道的設計定案及開工，亦曾赴上海、香港及新加坡等地考察當地水道工事建設。最後，巴爾頓於來臺的第三年(1899 年)春天又感染赤痢，治療後健康狀況已大不如前，乃毅然決定返回闊別近 12 年的故鄉英國，然而，卻在該年 8 月 5 日返鄉經東京途中，因先前感染瘧疾赤

痢等疫病而使身體孱弱，致引發惡性肝臟腫囊而病逝東京，彌四郎此時正進行基隆水道施工作業，聞訊後悲慟不已，乃為其恩師發起募捐，安葬於東京青山靈園。

(三)繼承恩師遺志



臺灣水道誌



臺灣水道誌圖譜

濱野彌四郎繼承其恩師遺志，不負所望，及至 1919 年離開臺灣前的 23 年間，陸續完成臺北、基隆、淡水、北投、士林、臺中、彰化、斗六、嘉義、大甲、高雄、屏東等各都市之自來水工程建設，堪稱臺灣自來水事業建設之奠基者，濱野並將當時全臺自來水事業發展歷程，以詳盡的文字、設計圖、配合照片編撰成「臺灣水道誌」及「臺灣水道誌圖譜」二冊，發表於 1918 年在臺灣舉辦的日本上水道協議會，為臺灣自來水事業留下寶貴的文獻紀錄，其中前言一段內文如下:「回顧臺灣水道歷史的二大恩人，當屬前民政長官後藤新平男爵和故巴爾頓氏，…巴爾頓氏為臺北水道之水源探勘而勞力費心，不顧炎暑、濕雨，踏勘新店溪上游而長途跋涉深山野溪，致被惡性瘧疾所襲，終於 1899 年 8 月 5 日去逝，可謂臺灣衛生工程規劃之最先及最大犧牲者，然而臺灣衛生工程設施之基礎，係仰賴當時巴爾頓氏之計畫而確立，今日繼承其計畫施行於臺灣各地，料應足以瞑目。」，濱野氏將建設臺灣自來水事業之主要的功勞都歸於其恩師巴爾頓，以致後人尊稱巴爾頓為「臺灣自來水之父」，顯見其不凡的胸襟及尊師情懷。

1910 年，濱野所屬土木部工務課中新進一位來自石川縣金澤、同屬東京帝大土木工程科出身，剛畢業的年輕人，此人就是後來被稱為「嘉南大圳之父」的八田與一，剛進總督府時初任技手，於 1915 年升任七等技師，為濱野彌四郎的部屬，在其指導下，二人共同從事濱野投注大量心血規劃多年、規模龐大的臺南水道興築事業，對於八田後來擘畫設計的嘉南大圳工程有很大的幫助。臺南水道於 1912 年正式編列預算興建，原定 4 年完工，最後卻因第一次世界大戰戰事及材料費用上漲導致預算追加及工期展延，遲至 1922 年才全部完成，濱野於 1919 年離開臺灣時仍未完工，無緣目睹其心血之完成樣貌。

(四)離開臺灣

1919 年濱野經由其帝大學長佐野藤次郎介紹接任神戶市技師長職務，準備離開台灣，為了紀念為臺灣自來水事業殉身的恩師巴爾頓，濱野向當時總督明石元二郎申請使用臺北水道水源地處的土地，作為巴爾頓銅像座碑用地，並擔任銅像建設委員長，在其多方奔走及募集資金下，終於順利於 3 月 30 日揭幕，各界人士包括臺北廳長在內超過百人出席儀式，這也是濱野為報答其恩師在臺最後的使命，同時，總督府為表彰濱野彌四郎的功績，在其離開臺灣前升敘高等官二等

技師。濱野未能目睹臺南水道完工之遺憾，由敬慕濱野技師的舊屬八田與一彌補其缺憾，1921 年在八田與一等人之熱心發起下，於臺南水道水源地內建立濱野彌四郎之銅像，並於臺南水道即將完成前正式揭幕，就如同本人一樣的銅像守護著親自催生的心血成果，並由濱野友人總督府前文書課長木村匡(時任臺灣商工銀行頭取)撰寫碑文：「濱野君千葉縣佐倉人也資性溫雅持身謹嚴明治二十九年七月畢業帝國大學工科當時臺灣歸我帝國版圖未幾衛生設備缺如同袍之斃於瘴癘者不遑枚舉君奮然提少壯之軀來奉職臺灣總督府至大正八年四月辭職其間前後二十三載始終一貫參劃衛生設施俾臺灣衛生設備有隔世之感其功績可謂偉矣中如臺南水道之策計猶君心血最為灌注之處排萬難以期於成閱十有一載克竣厥功化疫癘之地而為樂土其努力有足多者余之於君相識有歲茲際立像之舉用誌不朽爰述數言鐫之於銅云爾　大正十年十一月　友人木村匡」。

巴爾頓銅像

濱野彌四郎銅像

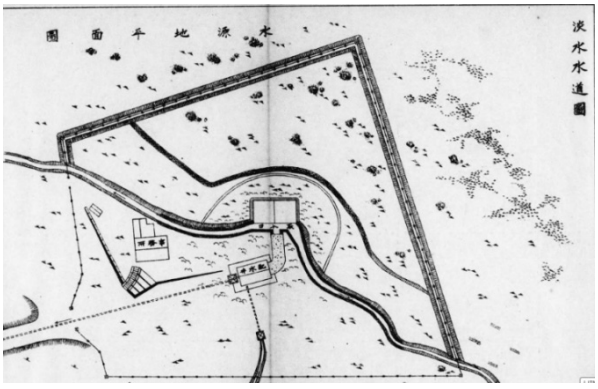
巴爾頓與彌四郎師徒二人的銅像，一北一南分別佇立於畢生奉獻的臺北水道(臺北自來水博物館內)與臺南水道(臺南山上淨水廠內)水源地，成為最浪漫的情景，可惜，後來因二次大戰期間金屬資源匱乏，銅像可能因被徵收熔毀而消失，僅剩下殘破的碑座，之後被政府於濱野銅像碑座上改立「飲水思源」新碑，僅存碑座屹立於原地。2005 年臺南出身的企業家兼藝術家許文龍先生得知濱野彌四郎的事蹟後，深深地覺得應該給予他該有的評價，為表示其敬意，特地親自塑造濱野彌四郎的半身像，並鑄成銅像，放置於整修後的台座，恢復其原有樣貌，供來此地的人們追思懷念。同年臺南水道被指定為國定古蹟，臺南市政府亦規劃將原臺南水道所在地之山上淨水場規劃整修作為自來水博物館，除能成為另一處深具歷史意義的古蹟觀光名勝之外，更將能讓更多的人瞭解並親眼目睹濱野彌四郎對台灣自來水事業的貢獻。

四、水道建設成果

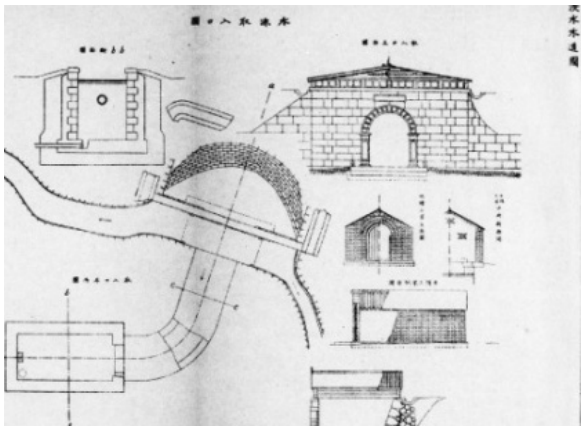
依據濱野彌四郎 1918 年彙編之臺灣水道誌，鉅細靡遺記載其在臺 23 年親自參與見證之自來水建設，於其離臺前，已完成基隆、臺北、士林、北投、淡水、金包里、巴陵、大甲、臺中、彰化、斗六、嘉義、打狗(高雄)、阿猴(屏東)、恆春、卑南、璞石閣(花蓮玉里)、叭哩沙(宜蘭三星)等計 18 處自來水系統，另外，臺南、花蓮港、大目降(臺南新化)等 3 處尚處施工狀態中，茲就淡水、基隆、臺北、臺南等四處代表性之水道建設擇要說明如下：

(一)淡水(滬尾)水道

淡水乃日治初期日軍登陸運輸與補給的重要港口，又與行政中樞臺北舟車往來便利，不潔的衛生環境將加速疫情之傳播及蔓延。1895 年總督府委派丹麥籍技師翰森(E.Hansen)調查於大屯山麓之水梘頭及雙峻頭二處水源，利用距離淡水街道較近之雙峻頭湧泉作為水源，直接以重力流方式直接供應淡水市區街道用水。1896 年動工，巴爾頓與彌四郎抵台後曾重新進行調查及修正，將管線材質變更設計全改用鑄鐵管並擴大管徑，1899 年完工，總工程費十萬二千餘円，主要工程內容為取水工及清水送配水管線，為臺灣現代化自來水設施之濫觴。其設計圖說及工程照片如下：



淡水水道雙峻頭水源地平面配置圖

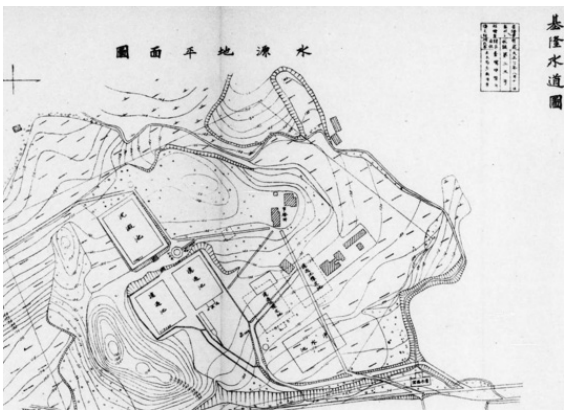


雙峻頭水源地設計圖

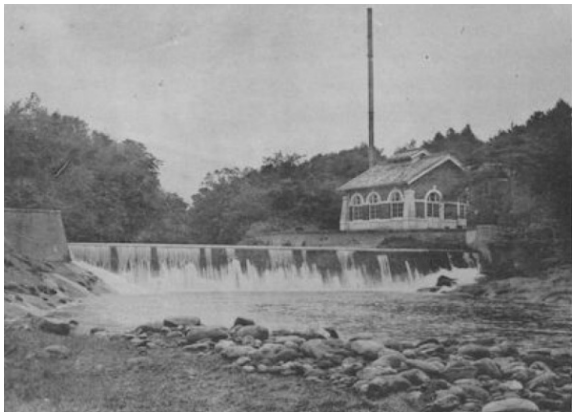
雙峻頭湧泉取水室

(二)基隆水道

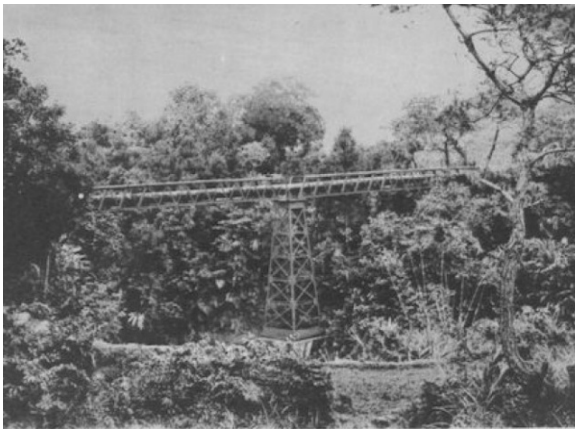
基隆港為日本治台之優先港灣建設，為北臺灣之門戶，因此上水道等衛生工程亦須優先施設，在巴爾頓與濱野彌四郎的探勘調查下，發現基隆北向面海，南側三面環山地勢較高，決定於基隆暖暖之西勢溪與東勢溪匯流下方築堰取原水，加壓導水至左側地勢較高之沉澱池、過濾池等淨水設施(目前暖暖淨水廠所在地)，1898 年開工，1902 年完工，總工程費四十六萬七千餘円，主要工程內容為取水口堤堰、原水導水管、沉澱池、過濾池及清水送配水管線，為當時臺灣第二座完成的自來水系統，與簡易自來水系統的淡水水道相較，基隆水道可說是臺灣第一座有完整的沉澱、過濾等淨水流程的自來水系統。其設計圖說及工程照片如下：



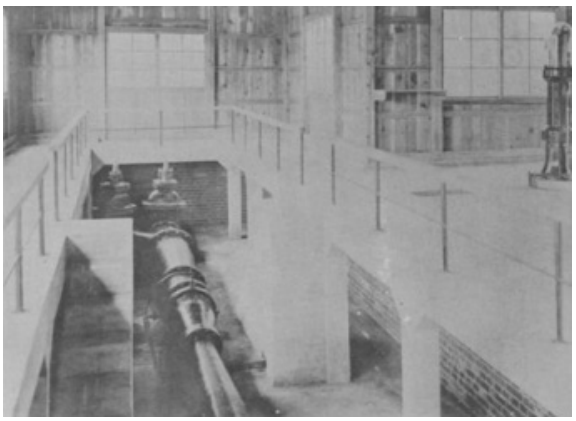
基隆水道淨水場平面配置圖



取水堰及唧筒室



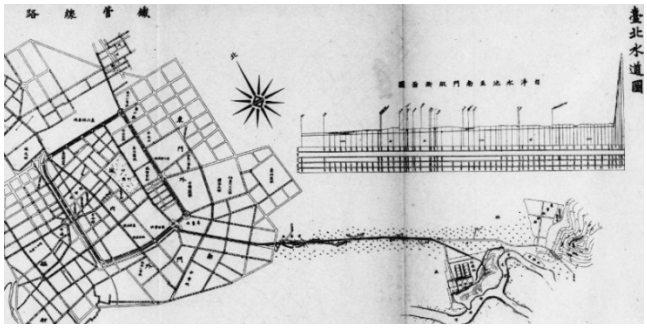
送水管水管橋



唧筒室流量計

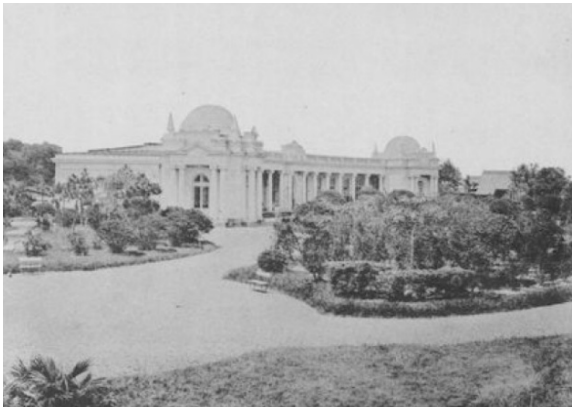
(三)臺北水道

1903 年總督府成立臺北市街給水調查委員會進行調查規劃，濱野彌四郎為其中委員，當時臺北水道有三方案選擇，第一方案為直接引用淡水水梘頭之湧泉，再重力式由北往南供應臺北市街；第二方案為於新店溪上游新店街(碧潭)附近高地建淨水場，將清水重力式送至公館觀音山配水池後再供應臺北市街；第三方案為就近於公館觀音山下之新店溪畔建淨水場，淨水處理後加壓送至高處觀音山配水池，再重力供應市區街道。經評估後，第一方案送水距離太長，且湧泉原係作為灌溉用水，須給予農業補償；第二方案與第三方案相比，第二方案位於上游水質較佳，然而費用高出約三十萬元，故在財政之考量下決定採用第三方案，計畫供水人口 12 萬人，然因當時財政拮据，而遲至 1907 年始動工，於 1909 年完工通水，總工程費一百八十四萬餘円，工程內容包括:原水取水工、原水導水管、唧筒室、沉澱池、過濾池、淨水池、清水送配水管等設施，完工時為全臺灣第三座自來水供水系統，也是當時規模最大之自來水設施，所在地位於目前臺北公館的自來水博物館園區。其設計圖說及工程照片如下：

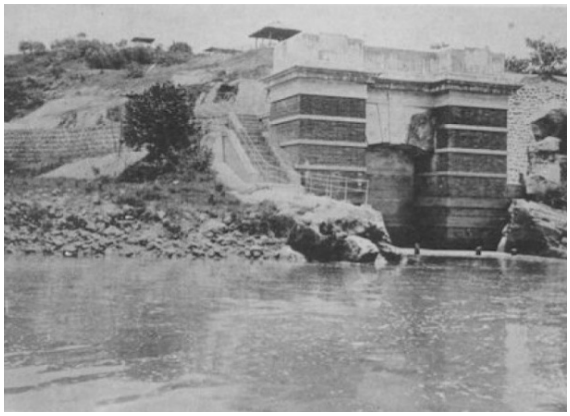


臺北水道供水範圍平面圖

臺北水源地沉澱池及過濾池淨水設施



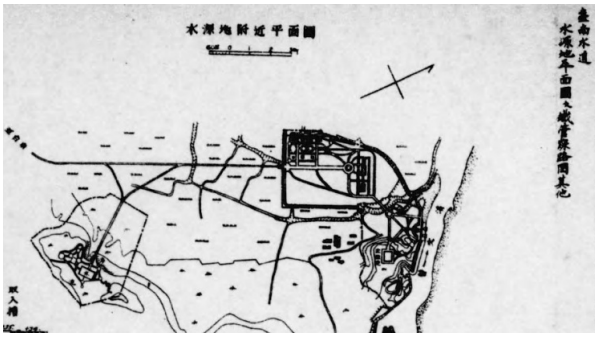
原水唧筒室



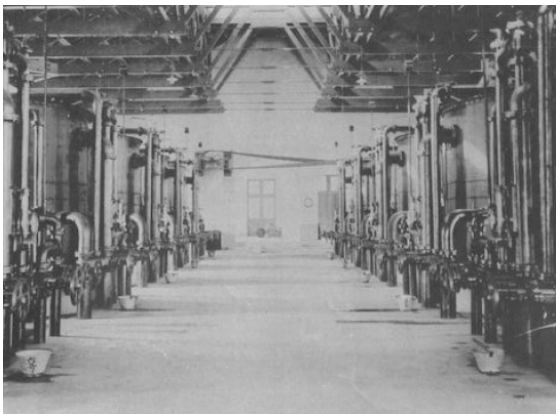
新店溪取水設施

(四)臺南水道

總督府針對衛生工事的建設優先順序採先港口、後都市的大方針下，及至 1910 年初，淡水、基隆、臺北等地自來水系統均已建設完成，而且高雄及嘉義也已規劃完成準備動工，然而臺南為當時南臺灣首府，與臺北並列為臺灣二大都會區，且長期地下水質不佳，卻遲無自來水設施建設，經過多年爭取預算終獲核准通過，原預算金額二百六十三萬円，主要設施包括:取水工、原水導水管、唧筒室、沉澱池、快濾筒、淨水池、清水送配水管等，還有緊急備用之小型火力發電廠等，其規模為當時全國之最，由濱野彌四郎擔任主任技師，於 1912 年起開工，預定工期四年，但開工後適逢第一次世界大戰爆發，導致歐洲進口之原物料費用上漲以及製造延期，包括採購英國製造進口之臺灣第一套快濾筒設備 14 臺亦無法如期製造及安裝，在整體工程主要材料設備製造及供應延遲之情況下，工期及預算一再追加，最終 1922 年完工，共耗費十年，總工程費追加至四百三十三萬餘円。其設計圖說及工程照片如下：



臺南水道水源地平面配置設計圖



過濾筒室內部

淨水池流量計算

淨水池上部通氣孔

五、結語

日本治理臺灣五十年(1895-1945)，其間共歷任 19 總督，但卻鮮少有人認識這些最高統治者，反觀，與民生福祉息息相關的第一線建設執行者，諸如：八田與一、濱野彌四郎等土木工程師卻讓後人緬懷不已，濱野作為總督轄下一名沒沒無聞的專業技術官僚，一生為推動自來水建設而奮力不懈的工程師，作出貢獻，造福人群，實踐了他在紀念巴爾頓銅像揭幕時的致詞：「盡一己之天職並加以實現，這才是生命能得以永續的原因。」，從濱野的致詞中我們體會到生命的永續在於創造讓後人緬懷的價值，而不在於有限生命的名利與權位，作為一個工程技術人員，其遺留之無形價值觀，更甚於有形的建設，讓後世永懷追思。

(後記：濱野彌四郎與妻久米育有三男三女，長女幼年歿，返日後任職神戶市政府，1932 年彌四郎病逝於東京，年 64 歲。其遺族於 1945 年二次大戰東京大空襲中傷亡殆盡，僅次男濱野秀雄倖存(1985 年逝)，秀雄氏之子濱野陽一郎任職企業界。)

參考文獻

1.稻場紀久雄，都市的醫師-濱野彌四郎的軌跡，水道產業新聞社
2.臺灣水道誌，臺灣總督府民政部土木局
3.臺灣水道誌圖譜，臺灣總督府民政部土木局
4.陳文添，臺灣自來水事業的功勞者-濱野彌四郎，臺灣文獻
5.小野昇(劉克強譯)，台灣自來水創造人－濱野彌四郎之傳記「都市的醫師」讀後感想，自來水會刊雜誌第四十五期
6.陳耀南，台灣自來水最初二十年之建設，自來水會刊第十八卷第一期
7.網站：
国立国会図書館(http://www.dl.ndl.go.jp)
臺灣總督府職員錄系統(http://who.ith. sinica edu.tw/mpView.action)
維基百科https://zh.wikipedia.org/wiki/
http://www.baxleystamps.com/litho/ ogawa/ogawa_open-air-life.shtml

作者簡介

吳世紀先生

現職：臺北自來水事業處工程總隊 股長

專長：自來水管線工程規劃、設計、施工

捷運施工造成自來水管線漏水之搶修及保護措施

文/田友仲、李中彥

一、前言

捷運萬大-中和-樹林線第一期興建路段由捷運中正紀念堂站起，向西沿南海路下方過和平西路後接西藏路轉萬大路、經地下穿越果菜市場及新店溪後，至保順路、保生路轉中山路、連城路至金城路，並於金城路北側農業區設置機廠及設一支線車站鄰莒光路，全長約 9.5 公里（含機廠支線約 700 公尺），共設 9 座地下車站及 1 座機廠。其中 LG06/Y12 站位於連城路與景平路口附近，可與環狀線轉乘。

捷運萬大線已進入密集施工階段，其中 CQ861A 標於 LG06 站實施到達端超高壓地盤改良灌漿作業，於 106 年 5 月中下旬 2 次不慎因灌漿造成地盤隆起，使臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）300mmDIP 管線因變形過大導致漏水，以下針對漏水搶修過程及後續管線保護措施略述如下。

二、漏水修理

(一)北水處於 106 年 3 月 18 日晚間接獲捷運包商皇昌營造通報基地內湧出大量清水，經協調捷運廠商抽水後，發現係連城路 113 號旁 300mmDIP 管線接頭處漏水，研判因高壓灌漿導致管線下方地面隆起，超出管線容許變形而漏水，因接頭處無法包覆止漏帶，經 19 日凌晨緊急剪管修理約 3 公尺(詳圖 1)，於 19 日凌晨 5 時接通復水。

(二)106 年 3 月 29 日又接獲捷運局通報基地內灌漿後大量湧水，經抽水後發現於連城路 125 號處因高壓灌漿導致管線下方地面隆起，造成自來水管線變形而漏水，因管線變形過大，連帶使旁邊既設 300mm 不斷水制水閥失去止水效果，經擴大關水後，剪管修理約 8 公尺完妥，並增設一只制水閥，修漏時因變形量過大，須以彎頭才得以連接兩端管線(圖 2)。

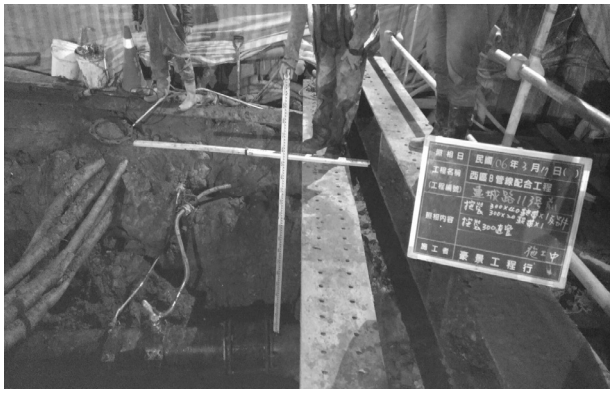


圖 1　106 年 3 月 18 日接頭漏水及剪管修理

圖 2　106 年 3 月 18 日漏水修理

三、保護措施

北水處對捷運高壓灌漿導致 2 次漏水事件甚為重視，主動邀請捷運局召開會議研議後續基地內管線保護措施，敘述如次：

(一)將回漿區土壤開挖至管線下方 1m，避免灌漿過程壓力推擠(圖 3)。

圖 3　開挖至管線下方避免管線擠壓

(二)管線先以鋼索吊掛固定，並設置監測儀器，如於灌漿過程發現管線有推擠抬起，先行停工清除管線周遭土壤，避免持續推擠造成變形(圖 4)。

(三)採取以角鋼固定自來水管線，並將角鋼焊接於平台型鋼，避免管線遭推擠位移(圖 5)。

圖 4　儀器檢測灌漿過程管線變形量

圖 5　管線以角鋼焊接固定

四、工作心得

經採取因應措施（包含清除管線周遭土壤、鋼索吊掛、設置監測儀器、使用角鋼固定），後續捷運工地灌漿時觀察均未再擾動自來水管線，由此研判相關保護措施已達到預期效果。爾後捷運工地地盤改良區域之管線建議可先行遷移，並於適當地點設置可撓管及增設制水閥，以避免試挖或灌漿等施工過程損及管線及漏水之風險。

作者簡介

田友仲先生

現職：臺北自來水事業處西區分處三級工程師

專長：自來水工程設計、施工。

李中彥先生

現職：臺北自來水事業處西區分處股長

專長：自來水工程設計、施工、契約規範。

大口徑地下推進管段漏水搶修個案探討

文/陳柏維、葉清華

一、現況

位於台南市永康區自強路 120 號前側溝有異常水流，經查係為台灣自來水公司第六區管理處，以下簡稱(本處)潭頂廠至配水中心 1500mm 推進鋼管(WSP) (民國 84 年埋設)滲漏，該管線因穿越高速公路故以推進施工，管頂覆土深約 7~8 公尺，推進長度 345 公尺。漏水量估計約 1700~2200CMD。以兩點相關儀檢測漏水點，預判漏水點位置，距偵測起始端約 135 公尺處，如圖 1。

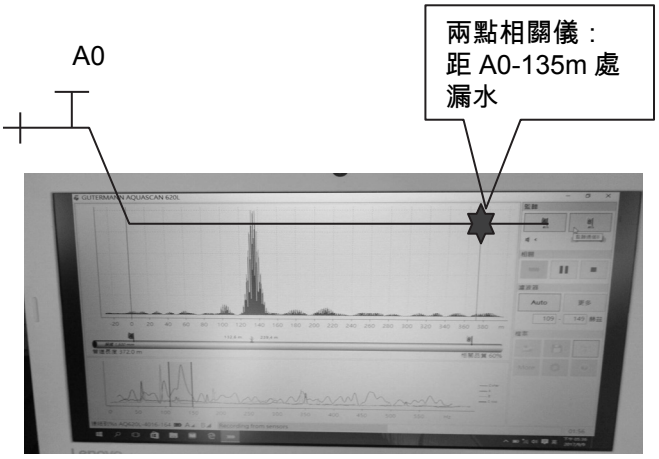


圖 1　兩點相關儀檢測漏水點

二、搶修方法

漏水處路寬約 8 米，兩側房屋緊鄰側溝邊，沿路家庭式小工廠林立，上空並有高壓電線交錯，因此，無法於漏水位置處直接開挖修理。為考量供水穩定及克服深達 8 公尺之地下管線施工作業安全，本計畫型搶修，分三階段進行。

(一)第一階段：漏水處前後蝶閥新設安裝

深達地下八公尺之管內施工，施工人員之安全當為首要考量，其次因作業環境特殊，估計施工耗費的時間勢必較久，為降低施工期間停水影響區域及確保維修時施工安全。維修第一階段，於漏水點前後非推進段位置處，新設 1500m/m 蝶閥各一只，以一次性停水 23 小時施工完成此階段，完成後，後續之持續性修復作業，將不影響供水，且可確保施工時絕不會有上下游仍保持供水管線內的水，突然意外灌入修復段的事情發生，以確保人員安全。相關新設蝶閥安裝資訊，如圖 2~4。

(二)第二階段：水中檢視及簡易止漏

因長期漏水後，漏水處鄰近地層恐有掏空之虞，若貿然將推進管段之水抽乾，內外壓失衡，管外土層中之地下水經由破漏處回滲入管內，會有污染水管及加速地層下陷的可能性，於是在進行推進管段抽空排水前，於第一階段完成後，先行派潛水夫進入仍保持滿管的推進管內進行檢視攝影，了解漏水處狀況後供地面人員研判該如何進行下一步的搶修參考，同時並由潛水夫進行漏水處的初步簡易止漏作業，如圖 5。

(三)第三階段：內套環安裝止漏

推進管漏水處狀況確認，並完成初步簡易止漏後，即進行推進管段抽排水作業，以利內套環施工人員能進入管內施工。內套環安裝施工，如圖 6。

三、搶修效益

(一)漏水位置係位於接頭處，經丈量裂縫，長約 50 公分，寬約 0.35 公分，水壓

3.5Kg/cm^2，以修漏系統計算，漏水量約1765CMD，與預估值甚為接近，經搶修後每日可實質減少約 1800CMD 的漏損水量。

(二)可避免因長期間的漏水，造成路基下陷，危害鄰近住家房屋，或危及道路使用人性命財產等事情發生。

(三)南部地區因年雨量分布不均，每年進入冬季後常面臨缺水的威脅，若持續性大量的漏水，除造成水資源的浪費影響供水的品質外，更會有損水公司在管理上的形象。

圖 2　新設蝶閥安裝位置

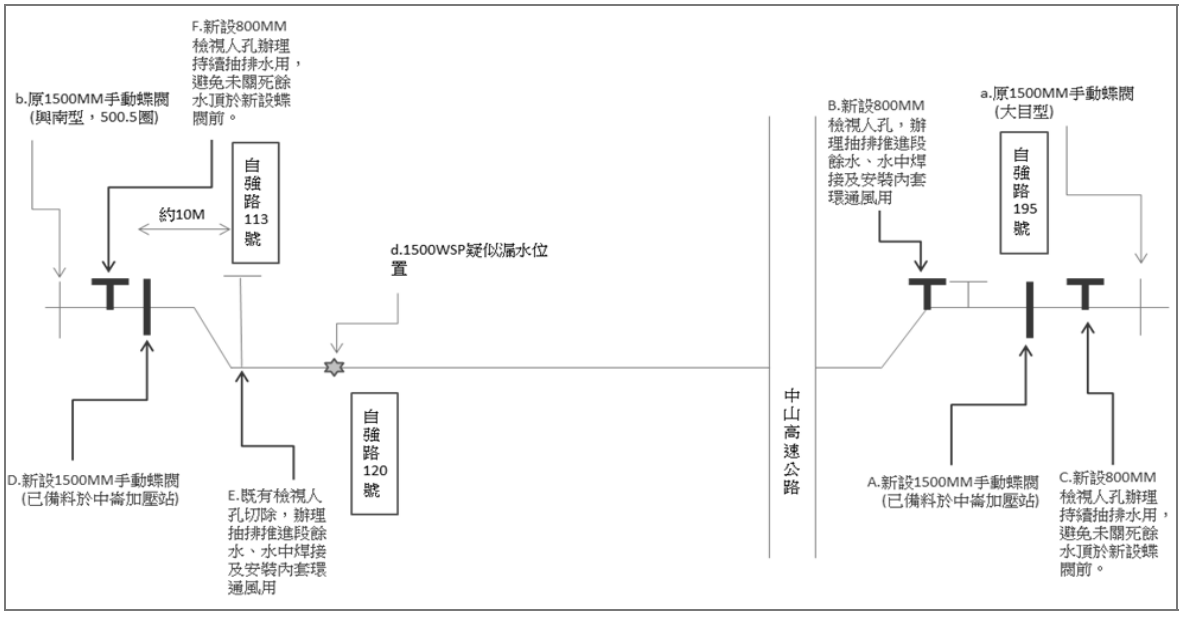


圖 3　新設蝶閥安裝示意

圖 4　新設蝶閥施工

圖 5　潛水夫管內水中檢視及簡易止漏作業

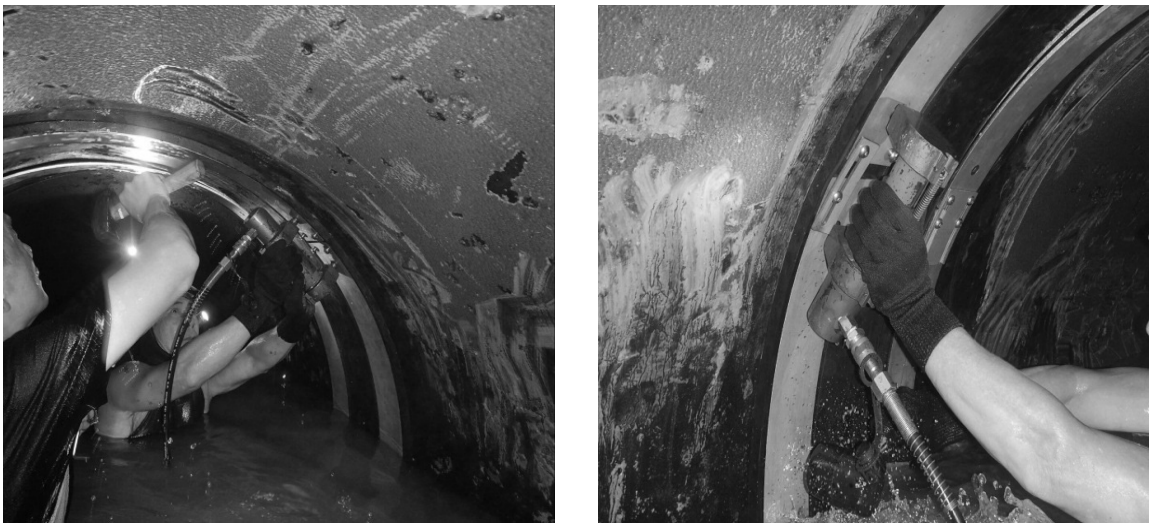


圖 6　內套環施工作業

四、結論與建議

(一)本案兩點相關儀進行檢測漏水點之資訊，與實際漏水點位置，準確度雖有點偏低但尚能接受。兩點相關儀擺設距離 354 公尺，測出漏水點位置顯示距起點(A0)為 135 公尺(水流路線)，以實際測距輪丈量漏水點距離為 129 公尺(管身長度)，誤差率 1.69%。準確度雖有點偏低，但對於漏水資訊的提供也是一項不錯的參考。(129-135)/354*100%=1.69%。對於推進管段之檢測維護管理，建議每年可以兩點相關儀進行檢測一次。另於橋樑段，無論是水管橋或是由河床底下通過的管線，於進橋板處大都是以鋼管安裝，年久極易因腐蝕而造成滲漏，且漏水流入河道內不易被發覺，聽漏檢查也不易，因此建議也可運用此種檢測漏工具來進行檢漏。

(二)WSP 推進管，承插接頭處為兩段式膠圈防漏設計，當承插接頭處因外力拉扯而脫開時，脫離第一段膠圈的距離為 36mm，雖有第二段膠圈仍有止水功能不至於馬上漏水，但建議承插容許拉開間距以 40mm 為管控機制，檢視承插接頭處脫開超過 40mm 的間距，即應採取預防性維護措施，例如以內套環方式加固。

(三)本次修漏時進行推進管內之檢視，發現每一口(5 公尺一處)承插接頭，均以焊接方式固定，整條管線均無任何可繞性，當有外力作用時(例如地震)，會有應力集中的情形發生，極容易於脆弱點產生破裂而漏水，建議此種施工作業應更加謹慎小心，確實依施工規範施工，不可擅自變更施工內容。

(四)內套環施工過程安全性佳，並可節省開挖及停水時間，值得參考運用。

(五)藉由去年(105)完成的「六區供水監測平台」，在本次施工之供水調配上發揮極大效益，大大降低停水所造成的衝擊，各供水轄區宜加速更完善的建置。

(六)事前多方且充分的溝通，在搶修過程中，可以有效減少民眾的抗議並有助於施工的順利。

作者簡介

陳柏維先生

現職：台灣自來水公司第六區管理處工程師兼股長

專長：土建及管線工程規劃設計

葉清華先生

現職：台灣自來水公司第六區管理處工程師兼廠長

專長：淨廢水處理及供水調配