

「第 8 屆台、美、日自來水設施耐震對策研討會」 暨考察舊金山自來水耐震及高地區加壓設施

考 察 報 告

考察單位：中華民國自來水協會、臺北自來水事業處暨所屬工程總隊、
台灣自來水公司工務處、國家地震中心、台灣世曦工程顧問
股份有限公司

考察日期：2013/08/19 ~ 08/29

中華民國 102 年 9 月

「第 8 屆台、美、日自來水設施耐震對策研討會」 暨考察舊金山自來水耐震及高地區加壓設施 考察報告

第一章 前言

第二章 計畫目的

第三章 台、美、日自來水設施耐震對策研討會起源

3-1 研討會主辦單位簡介

3-2 自來水設施耐震對策研討會起源及歷屆舉辦經過

第四章 研討會及技術參訪實錄

4-1 自來水設施耐震對策研討會過程

4-2 舊金山公共設施隧道、灣區水庫技術參訪

第五章 自來水設施耐震研討與交流

5-1 水庫、配水池加壓站耐震改進技術參訪

5-2 舊金山耐震能力提升計畫

5-3 自來水設施耐震修復技術及應用評估

5-4 供水管理及配水池加壓站維護計畫

5-5 相關自來水工程設備及應用

第 6 章 心得與建議

6-1 心得總結

6-2 建議事項

第一章 前言

中華民國自來水協會應美國自來水協會研究基金會(AwwaRF)、舊金山公共設施委員會於美國舊金山舉行之 2013 年「第 8 屆台、美、日自來水設施耐震對策研討會」(8th WRF/JWWA/CTWWA Water System Seismic Conference)，主要藉此場合可與美國、日本等自來水協會進行技術研討及就合作研究主題進行協定。本屆研討會包括有 1.地震災損評估(SEISMIC DAMAGE ASSESSMENT)、2.地震研析與評估(EARTHQUAKE STUDIES AND EVALUATIONS)、3.地震減輕措施(SEISMIC MITIGATION MEASURES)、4.風險分析技術(RISK ANALYSIS TECHNIQUES)、5. 管線耐震對策(SEISMIC MEASURES FOR PIPELINES)、6. 緊急應變及復舊(EMERGENCY RESPONSE AND RECOVERY)等六大主題。

本次會議由自來水協會組團，並於 2013 年 8 月 19 日至 8 月 29 日計 10 天前往。本次參與國際研討會係主要邀集台、美、日產/官/學界人員共同參與自來水設施年度盛事，參與之大學院所及相關企業的專家及學者，計有 100 餘人，含 KEYNOTE SPEECH 後之發表文章計有 37 篇(美國-10 篇、日本-17 篇、台灣-10 篇)；參團人員除於會中與各國技術人員洽談或交流外，並參訪觀摩大會所安排 SFPUC 現執行施工中之 San Francisco Public Utilities Commission Tunnel Project 水庫新建工程，以瞭解舊金山自來水工程取水設施改建之工程構想，另 08.26 亦安排拜訪參訪舊金山 Contra Costa Water District (CCWD)已完成之 L.V. 水庫與自來水系統運作構想，最後則於 08.27 與 EBMUD 與該公司相關系統工程師，就供水系統技術作進一步交流研討，對於我國提升自來水系統之耐震評估、營運檢測維護及系統操作等技術新知具具體成效及設計參考。

第二章 計畫目的

2.1 考察目的

台灣位處於地震帶，臺北市係台灣政經中心，爲了確保任何天災後能正常供水，近年北水處不僅針對重要供水設施進行建築物耐震評估並辦理後續補強作業，亦建置防災公園維生貯水槽滿足災後民眾之維生取水；提升自來水設施耐震能力已成爲我國自來水單位重要政策之一。

與台灣相同狀況之舊金山同位處地震帶，亦曾受震害侵襲，過往地震災後之自來水設施震害、復舊、評估、補強等經驗，另舊金山周邊丘陵地形與臺北市高地區相近，其加壓站及配水池之設計及管理方式，亦可作爲台灣高地參考，由於高地供水高耗能，如何做好能源操作管理、節能減碳，並應嚴格控管漏水率等，對自來水事業經營非常重要，故其工程建設技術、發展目標考量、執行方式等，應可提供我國參考與日後相關計畫借鏡。

2.2 考察日期

2012年08月19日(一)至08月29日(四)。

2.3 考察單位人員

本次之考察單位包含產/官/學界，主要人員如下表：

姓名	單位	職稱
王桑貴	中華民國自來水協會	祕書長
范煥英	臺北自來水事業處工程總隊	總隊長
范川江	臺北自來水事業處工程總隊設計科	科長

鄭錦澤	臺北自來水事業處供水科	科長
朱聖心	臺北自來水事業處北區營業分處	股長
施澍育	台灣自來水公司工務處	高級研究專員
施邦築	台北科技大學	教授
葉錦勳	國家地震中心	組長
鍾立來	國家地震中心	高級研究員
劉季宇	國家地震中心	高級研究員
周永川	台灣世曦工程顧問公司	副理

2.3 考察行程

本次之考察內容與行程如下表 2.3-1:

表 2.3-1 考察行程

日期 Date	行程考察單位 Visiting place	考察內容 Visiting content
8/19(Mon)	晚上起程 台北→舊金山	◎ 飛至美國舊金山
8/20(Tue)	參加台美日地震研 討會會前會開始	◎ 拜會美方主席(Introduction to Mr. Alexander Coate, General Manager – East Bay Municipal Utility District)
8/21(Wed)~ 8/22(Thr)	參加台美日地震研 討會	◎ workshop (East Bay Municipal Utility District)
8/23(Fri)	台美日地震研討會 工程參觀	◎ San Francisco Public Utilities Commission Tunnel Project- Calaveras Dam Replacement Project

8/24(Sat)~ 8/25(Sun)	舊金山市政參觀	◎ 舊金山市政參觀與整理會議資料
8/26(Mon)	CCWD拜會與參訪	◎ Contra Costa Water District (CCWD) ◎ 位於舊金山灣東側，其供水系統與北水為相似
8/27(Tue)	EBMUD拜會與參訪	◎ 與 East Bay Municipal Utility District (EBMUD)就舊金山高地供水設施、管網耐震改善計畫、管網測漏技術進行研討
8/28(Wed)	凌晨起程 舊金山→台北	◎ 離美(China Airline)
8/29(Thr)	舊金山→台北	◎ 舊金山搭乘客機回台北

第三章 台、美、日自來水設施耐震對策研討會起源

自來水設施為水資源系統之一環，亦為維生系統中極重要的一部分，人類如長期無水可喝，將無法生存。地震時如自來水設施遭受損壞，其損壞將不僅是構造物之破壞，更藉由震後災區生活用水缺乏或消防用水不足等障礙，進而引起火災擴大或疾病流行等二次災害，因此震災後自來水之維生供應能力，將直接或間接影響地震防災及救災工作之成效，另地震後如何應變、救急、持續供水等風險管理，是一項亟待深思之課題。

臺灣分別針對幾項主要課題進行探討：1.管線耐震評估：前曾委託國家地震中心研究利用地下管線在不同地表震動及永久位移下的災損率作為評估管線耐震能力及地震後修復人力和時間需求的基礎。2.場站設施耐震評估：以北水處雖曾自行辦理評估，為期慎重並符合相關規定，仍陸續於 2010 年辦理 13 處主要場站建物耐震相關評估，並於 2011 年辦理詳細評估。3.維生與風險評估：藉由國外經驗與相關研究經驗回顧、探討合理維生用水量及評析災後水源取得後，以有效規劃及運用大型防災公園內之防災深井及耐震配水池，並探討其聯合運用之可行性與效益，以提供災民必要維生用水量。

在有限的資源下，北水處進行推動相關風險管理主要對策，其重點包含 3 部分：1.強化防災設施能力：提高備援及備載能力，以及強化整體供水設施系統。規劃辦理一系列計畫工程，投入 500 億元為 400 萬人建構降低風險之保單，該等工程陸續完成後有效提昇系統風險管理能力。2.強化應變及復舊能力：提昇各場站監控以及指揮資訊系統（含備援）、準備復舊設備及材料，以及辦理相關年度訓練及應變演練。3.整備維生用水：包含陸續建置維生儲水池、槽、幹管等，以及防災公園維生水池。

臺灣、日本及美國同屬環太平洋地震帶，各種天然災害中，尤以大規模地震對公共給水系統的危害甚鉅，各國無不積極投入自來水系統耐震性與震後應變之研究。為交流彼此技術與經驗，透過美國自來水協會研究基金會(AWWARF,

America Water Works Association Research Foundation)與日本自來水協會 (JWWA, Japan Water Works Association)為平台，自 1999 年起，每 2 年美、日兩國輪流主辦「美日自來水設施耐震對策研討會」邀請自來水學者及自來水協會人員參加並發表論文，期能相互學習、廣泛交流與增進情誼。且自第 3 屆起，擴大邀請英國及臺灣參與，針對自來水相關設施之系統效能分析、風險評估與管理、震後應變與恢復、震害經驗與防治技術等議題研討，此次於美國奧克蘭舉辦「第八屆臺美日自來水設施耐震對策研討會」，其歷屆舉辦時間與地點示如下表。對於許多供水設施因震災導致之損壞或復舊研究有熱烈之討論，希望藉由經驗交流與學術專業探討，以進一步提昇整體耐震應變與風險管理成效。

最後，從日本大地震演變所引發的火災、海嘯和核災等複合式災害，面對難以預測之災變，我們的因應作為仍須作更多檢討，應納入更多複合性災害的想定。未來仍將從多方面持續探討與改進，希望提升整體災害應變及風險管理之能力。我國為地狹人稠而工商業發達之經濟體，311 日本大地震後，造成的海嘯與福島核電廠災害，引發國人對複合型災害應變能力的關切。而臺灣自來水系統之大規模與複合型災害風險評估正在起步，希望藉由臺美日自來水設施耐震對策研討會探討關於自來水設施耐震對策方面之技術及經驗，以提供臺灣公共給水設施整體耐震能力提升與震後復原規劃之參考。

第四章 研討會及技術參訪實錄

第 8 屆台、美、日自來水設施耐震對策考察內容依研討會(2013 年 8 月 20 日~23 日)、2013 年 8 月 26 日~27 日赴舊金山 CCWD 與 EBMUD 自來水單位參訪狀況，個別分述如下：

4.1 研討會會前研討

(一)、大會位置及議程：

本次會議地點位於北加州之舊金山市灣區附近奧克蘭，舊金山市西臨太平洋，2011 年之人口統計約為 82 萬，為加州的第四大城；由於舊金山市由 40 幾座丘陵所構成（最高者約達 120m），市區道路坡度起伏大，為該市特色。而會場位於舊金山市東側之奧克蘭(Oakland)之 EBMUD(East Bay Municipal Utility District)公司總部。

(二)、會前研討

三方派遣代表針對未來自來水之發展、技術合作、研究主題等進行研討，並提供看法供日後執行，台灣代表團由王秘書長、國家地震中心高級研究員劉季宇、北水處工程總隊總隊長范煥英、台水公司高級研究員施澍育代表參加。

(三)、未來研討會會主辦國

去年是由臺灣台北主辦，今年係由 EBMUD(美國)主辦，明年 2014 將由日本主辦，然日本 JWWA 有七處分區，由何區主辦及地點，日方將再協調討論。

4.2 研討會技術論文發表

4.2.1 研討會開幕與 Keynote Speech

(一)、研討會概況

本次研討會會議期間之論文宣讀共計 37 篇，並分別於 1.5 天內同時進行報告與討論，由於參與人員多，為使研討會進行流暢，本次論文宣讀過程嚴格控制時間，簡報 12 分鐘，討論 3 分鐘，另於第二天下午大會則安排直接與論文宣讀者及就各項議題進行多方討論。除使研討會進行流暢，亦可讓有興趣者集中並就各國作法之差異性進行熱烈討論與比較。與會代表們紛紛就自來水設施與問題進行前瞻問題發言，並就所遭遇的問題進行討論與交流，且均認為收穫頗豐、獲益菲淺。

(二)、開幕式

本屆研討會地點位於加州奧克蘭 (Oakland) 的 East Bay Municipal Utility District (EBMUD) -Large Training Center。會議在主辦單位的總經理 Coate 先生，及美國 Water Research Foundation (WRF)的 Cline 先生、日本 Japan Water Works Association (JWWA) 的 Nagaoka 教授及我國自來水協會 Chinese Taiwan Water Works Association, (CTWWA)的王桑貴祕書長致歡迎詞後展開。接著分由美/日/台專家代表分別進行本研討會之三場主題演講 keynote Speech。



圖 4.2.-1 EBMUD 代表致歡迎詞



圖 4.2-2 WRF 代表致詞



圖 4.2-3 JWVA 代表致詞



圖 4.2.4 CTWWA 代表致詞



圖 4.2.5 台灣代表團合影

(三)、Keynote Speech

之後宣佈大會開幕，即分由美/日/台專家代表分別進行本研討會之三場 keynote Speech，其主題及內容主要說明如下：

1. “Mr. Xavier Irias, East Bay Municipal Utility District, "Improving

Seismic Reliability for Water Infrastructure Using Info-Gap Robustness" (US)。於地震頻繁區域具眾多之無確定性，運用 INFO-Gap 技術於極端不確定因素下就眾多策略進行評估分析，可提供具體量化資訊供決策。

2. Mr. Takuji Okubo, Japan Water Works Association, "2011 The Great East Japan Earthquake and Activities of Japan Water Works Association" (Japan) – 2011, Mar 11 PM14:46 發生 311 大地震，震後不僅發生地盤變位與眾多生命財產損失，於鄰近震央附近千葉縣(Iwate)、宮島縣(Miyagi)、福島縣(Fukushima)之供水設施、原水幹管、供水分支管等均嚴重受損，造成 250 萬戶無法供水，震後 JWWA 於東京設立了總部，除對緊急供水方式等提供對策，並由學協會成員、學校教授、工程師等組成調查小組進行調查，本文即對其調查分析評估結果、緊急應變方式等進行說明。然對於廣域大面基及海嘯影響之歷史性震損破壞，於自來水之設計規範修正、飲用水輻射污染檢驗等應予修正考量。

3. Dr. Karl Gee-Yu Liu, National Center for Research on Earthquake Engineering, "Implementation of Seismic Loss Estimation of Water Systems to Utility Emergency Response in Taiwan " (Taiwan) – 都會區震後管線之受損評估佔重要角色，劉博士展示我國地震中心此部份管線耐震研析技術與配合不同管種、口徑及地質液化之資料庫研析成果。目前國震已辦理台灣台北、宜蘭等數處縣市，日後可擴展，技術研析成果已足可供我國管線脆弱性分析所用。

其餘國外單位有關重要論文之發表、研討會工程參觀與拜會 CCWD、EBMUD 等之內容心得，分述如下：

4.2.2 102/08/21 研討會論文發表

(一)、地震災損評估(SEISMIC DAMAGE ASSESSMENT)

1. Mr. Masao Kadowaki, Hanshin Water Supply Authority, Kobe(JPN)–“Influence on Water Supply When a Tsunami Occurs After an Ocean-Trench Earthquake and Measures to Reduce the Influence”。 - 海溝型地震於不同地震規模下對供水區域，可能因海嘯漫產生基礎洗掘淘空(scouring)、沖刷力(washout)、漫流(Inundation)而對取水口、水管橋、設施結構牆有影響，經模擬不同高度之海嘯，可提供不同進水口、淨水場與水管橋等之影響；另因海嘯而水質(如氫離子入侵)降低，而需暫時停水供水，此部份則宜透過其它供水系統(如上游水庫)提供原水。

2. Prof. Masakatsu Miyajima, Kanazawa University, Kanazawa(JPN)–“Verification of a Prediction Method of Earthquake Damage to Water Supply Pipeline by Using Damage Data of the 2011 Great East Japan Earthquake”。 - 作者依 311 震後調查所得之管線破壞狀況研析，於地震低速區仍可能發生大規模液化，且對管線造成影響，經檢討分析，既有之管線災損預測公式宜予修正提昇。

(二)、地震研析與評估(EARTHQUAKE STUDIES AND EVALUATIONS)

1.Mr. Frederick D. Simon, Contra Costa Water District, Concord,(CA,US)–“Kellogg Mine Slope Stability and Deformation Analysis Adjacent to the Los Vaqueros Project”。 - Kellogg Mine 與 CCWD 之 Los Vaqueros 水庫之抽水站(位處泥岩與砂岩地層)與主要幹管甚為鄰近，因開礦所產生之邊坡坡度達 65 度，高度達 50 餘公尺，為避免地震狀況之不穩定而導致邊坡破壞及影響幹管，而決定回填並予以檢核；因主要影響此邊坡者之斷層為 Greenville Fault and West-Tracy Fault，經 PSHA 之地震或然率風險分析，其 100 年、475 年、2475 年迴歸期之 PGA 分別為 0.26g、0.46g、0.73g，經靜態之邊坡穩定分析，回填後之安全係數由 1.2 提昇至 2.0；而動態之邊坡穩定分析，回填後之安全係數各部份之水平地表加速度分別降低

8~25%；最大水平位移則由 2.9'降至 0.3'。此案例邊坡之分析方式與台灣所慣用之 **stable** 程式理念不同，但透過 **PSHA** 之分析與評估手法，可有效掌握其減輕與變位差異量之比較。

2. Mr. Y-C Chou, CECI Engineering Consultants, Inc., Taipei, Taiwan – “Seismic Evaluation and Disaster Countermeasure for Dadu Water Main Project through Shanjiao Fault of Taipei Basin”。- 台北大度自來水幹管工程區段則面對台北都會區有限空間內之地下障礙與密集交通，需採地下潛盾隧道免開挖方式克服明挖施工之交通衝擊與道路禁挖法令限制問題，然此區段潛盾隧道遭遇有多處地下障礙物、捷運與複合式地盤等困難施工問題，加以計畫路線穿越山腳活斷層，為避免日後可能之地盤錯動破壞管線造成大量漏水，管道穿越活斷層以 **MASW** 與 **RIP** 等地物探測方式研析斷層可能破壞範圍，並以合理之有限元素法模擬分析其變形、受力、彎轉影響與合理配置可撓接頭，以降低可能災損、提供快速應變修復與實踐永續經營理念。

3. 臺北盆地附近生長斷層錯動試驗之數值模擬

本報告由北水處北區營業分處股長朱聖心代表發表。綜觀當前臺北都會區相關斷層研究，咸認為臺北盆地西緣的山腳斷層屬於高活動度之正斷層，山腳斷層之錯動將造成覆蓋於臺北盆地的第四紀沉積物變形，進而造成影響區域內之結構物或交通建設及維生管線（油、氣、輸水管...等）破壞。

由鑽孔及定年資料推斷山腳斷層有生長斷層 (**growth fault**) 現象，前由建置砂箱物理模型以無凝聚性砂土進行模擬山腳斷層在有生長斷層情形下，剪切帶發展範圍及地表差異變形之影響。實驗結果顯示正斷層如含有生長斷層，當基盤錯動時，剪切帶會沿原覆土層之剪切帶弱面向上發展。且此剪切帶會比單一覆土層，更為快速發展至地表，錯移率（基盤錯移量/下盤覆土

層厚度)僅需單一覆土層之約 1/3。本研究嘗試以非連續體分析程式(PFC2D)進行砂箱試驗成果之模擬，模擬生長正斷層錯動對上覆土層之剪切帶發展速度及影響範圍。模擬結果顯示與砂箱試驗成果甚為接近，有利後續延伸應用至臺北盆地鄰近斷層帶之管線工程設施設計施作參考。

(三)、地震減輕措施(SEISMIC MITIGATION MEASURES)

1. Mr. Michael Stuhr, Portland Water Bureau, Portland, Oregon, US – “Oregon Resilience Plan for Water”。- 發表者為奧勒岡州水道局總工程師，奧勒岡州於與太平洋交界處面臨 **Cascadia Subduction Zone** 地震帶，針對地震 **M=9.0** 規模之影響，**ORP(Oregon Resilience Plan)** 就 **M=9** 之模擬、商業發展、特殊與重要建築物、能源、資訊與通信、交通、海嘯風險與減輕、自來水與污水等八大部份進行研析；其中之自來水與污水部份，由於震後有供水不足及污水造成污染等問題，故 **ORP** 之 **W/WW(water/wastewater)** 依人口分佈區分為四區進行分析，並依地震規模風險模擬、服務等級訂定、既有系統表現等級預估、辨識與評估地下結構物之相互依賴性、量化預估及需求服務(**desired service level**)等級間之差異、各設施 **50** 年內到達需求服務等級之評估與建議等六大部份進行研究；透過 **GIS** 系統進行分析，可獲各區之脆弱性與震後需復舊期程估計，雖可供管線與設施耐震補強參考，但目前奧勒岡州政府之問題仍為地方廣大，**270miles** 之 **Cast iron pipe** 即需 **24M US**(約新台幣 **730** 億元)，此對財政不豐之州政府為一大課題。

(四)、風險分析技術(RISK ANALYSIS TECHNIQUES)

1. Mr. Roberts McMullin, East Bay Municipal Utility District, Oakland, CA, US – “Water System Seismic Fragility of Embankment Dams, Tank Reservoirs, and Large Diameter Pipelines”。- **EBMUD** 發展自來水系統震後災損預估模式，以模擬評估於主要地震事件下其所管轄之 **29** 處土石壩、

147 處儲水槽及 360miles 幹管之脆弱性，EBMUD 配合 USGS 的格網、SHAKE MAP 與 GIS MAP 為底圖及其它相關資料進行發展與分析評估，所獲結果可供人事訓練調動調整、應變計畫擬定、供水量評估及結構/管線提昇加強、預算控制/調配之參考依據。

2.台北自來水加壓站建物耐震能力評估補強案例介紹，本報告由北水處工程總隊設計科長代表發表范川江。

臺灣地區位處環太平洋地震帶上，平均每年發生之地震達數千次之多，有感地震超過百次；而在 1999 年 9 月 21 日之集集大地震，規模達 7.3，並造成嚴重之災情，建築物嚴重受損或倒塌者近 2 萬棟，死亡人數超過 2,300 人，多處供水設施發生損壞，供水產生中斷，顯見供水設施安全為自來水事業必須重視的問題。隨著歷經數次地震，臺灣地區之建築物耐震設計規範亦經過數次更新，自來水供水設施中之加壓站均據此進行設計；依風險評估，政府機構第一階段規定 1997 年以前興建，且於地震災害發生後必須繼續維持機能運作，與供水直接有關之廠房與建物，必須納入辦理耐震能力評估及補強範圍。

耐震能力評估分初步評估與詳細評估，初步評估供快速篩選優先評估順序對象之用。經初步評估判定為無疑慮者，得不必進行詳細評估；判定為有疑慮及確有疑慮者，除拆除重建外，應進行詳細評估或耐震設計補強。

本次案例介紹為三重加壓站，地下為 5,000 噸水池，地上為 2 層樓建物，屬鋼筋混凝土構造，負責新北市三重地區之供水任務；經耐震能力初步評估及詳細評估後，因耐震能力未達耐震規範要求，故須進行耐震補強作業，經設計採局部增設剪力牆方式滿足建物耐震需求，總經費約美金 100 萬元，辦理期程為 2009 年至 2014 年。

(五)、管線耐震對策(SEISMIC MEASURES FOR PIPELINES)

1. Mr. Takeshi Hara, Kubota Corporation, Tokyo, Japan -

“Implementation of Earthquake Resistant Ductile Iron Pipe in USA”。 - 日本 KUBOTA 公司所生產之 Earthquake Resistant Ductile Iron Pipe (ERDIP) 於 1995 年阪神地震中耐震性經評估甚為良好，故 The Los Angeles Department of Water and Power (LADWP) 對此管甚有興趣，並於 2012~2013.04 期間與 Kubota、KobeW.B.、Sendai W.B.、Kyoto U.等單位合作計畫就管線接合、試驗、規範、手冊、型錄、JWWA in English 等方面進行研討。

2. Mr. Nobuhiro Hasegawa, JFE Engineering Corporation, Tokyo, Japan – “Development of Steel Pipe for Crossing Active Fault, Part 2: Example of Application”。 - 日本活斷層多達 2000 餘條，發生錯動影響幹管位置不易確定，故多採鋼製管材穿越斷層；亦因不同斷層位移型式，管材發生有拉伸(正斷層)、壓縮(逆斷層)、多方向變位(平移斷層)行為，然一般鋼管管材受斷層錯動，其管壁易開裂，故日本 JFE Engineering Corp.公司所生產之特殊鋼管 SPF 則於斷層錯動，其管壁形成脊背形塑性區而無開裂及導致大量幹管漏水。利用鋼管彈塑性變形仍能維持自來水幹管於震後維持大部份通水斷面之理念，於對付幹管穿越大型之斷層變位區域可有效運用。

3.山腳斷層引發規模 7.1 級地震對台北地區供水管網的損害評估及因應

本報告由北水處供水科長鄭錦澤代表台北地區是政治及經濟的中心，對於各類型災害的威脅，應有最壞的打算與最好的準備，而其鄰近的活動斷層－山腳斷層，原屬活動性較低而歸類為第二類活動斷層，但仍不宜輕忽。且近年來有部分研究評估斷層長度可能延伸至外海，致其活動性風險提高。基此，2012 年臺北自來水事業處藉由委託財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心研究「山腳斷層模擬山腳斷層地震自來水管線災損推估」案，評估發現台北地區因鄰近山腳斷層，其管線受損的主要原因為「斷層開裂位移」及「液化沉陷」。在前述 2 種狀況下，北水處評估現有之合約承商施工

人員數量、庫存材料，並提出因應考量之風險管理方案。最後亦一併介紹在前述研究中，選擇以永福水管橋作為示範例實施耐震詳細評估，包含線性靜力與動力歷時分析、非線性靜力側推分析與非線性動力歷時分析，評估其耐震性能水準與檢核，結果發現在行車方向表現不如設計預期，需進行補強。

(六)、緊急應變及復舊(EMERGENCY RESPONSE AND RECOVERY)

1. Mr. Hayato Hirose, Chiba Prefectural Waterworks Bureau, Chiba, Japan – “Damage and Emergency Responses of Chiba Prefectural Waterworks Bureau in the Great East Japan Earthquake”。- 日本千葉縣水道局服務客戶達 300 萬戶，每日供水量約達 100 萬 m³，管轄有 4 處取水站、5 處淨水場、14 處抽水站、8700Km 管線，震後有 83%之災損發生於開墾區，並有 766 處滲漏，漏水主因為接合處之脫落(NS type 接頭則無災損)，由於無法於短期內修復，水道局於國小及抽水站等處緊急供水；另，東京電力之福島核電廠有災損限電，鄰近水源(河川與湖泊)亦發現有受輻射污染情形，初期之降雨，千葉縣水道局暫停取水，且在取水站增加提供粉狀活性炭(powdered activated carbon)以去除吸附之放射性碘(iodine)；2011.Mar.25 後，水道局於處理後之水，偵測所得之放射性碘已低於標準(100 Bq/kg)，2011.Apr.15 後，則已無偵測到放射性碘；放射性銫(radioactive cesium)之標準為 200 Bq/kg，2011.Apr.27 後，亦已無偵測到放射性銫，但先前淨水場含銫之泥餅因受污染，不可隨意棄置回填，僅可暫置於處理場內，量大甚為頭痛。

2. 日本自來水耐震與復舊法規架構與財務協助回顧探討

從美國西岸自來水業相關震災風險潛勢回顧，探討供水系統安全指引，包含老舊設備更新，其中部分尚涉及主要挑戰希望提升日本自來水業系統化與效率化等課題。為了確認不同自來水事業體面臨地震採取適當的對策，日本自來水法訂定相關自來水設施須考量耐震設計。基此，許多不同地震因應

標準被訂定公告實施，以利不同自來水相關團體參照運用。此外，中央主管機關提供國家預算，補助符合條件自來水事業體，以補強耐震不足及因應震災等災損復舊等情事。回顧第一次自來水耐震法規可溯自西元 1957 年，另依日本國會西元 2000 年修訂自來水法，衛生勞工福利部亦頒訂施行細則等行政指導，規範最基本(低)技術準則，供自來水事業間諸多相關耐震基準分類及系統化。自此之後，依曾發生災損及評估主要地震災害風險，辦理制度化提升作業。雖然，日本自來水系統經常遭受天然災害威脅，不過該等事件易造成國家自來水系統大幅地強化的機會，以督促中央與地方政府採取必要之對策，以提升該等系統面對天然災害因應能力，此篇論文探討日本自來水遭受主要天然災害回顧史，遭受相關衝擊下，進而形成制定相關法規與基準，包含目前國家耐震政策及協助計畫。



圖 4.2.6 綜合討論

4.3 Technical Tour 工程參觀

(一)、計畫名稱：San Francisco Public Utilities Commission Tunnel Project-Calaveras Dam Replacement Project

(二)、地點：加州 sunol

(三)、計畫團隊：

1.業主：舊金山公用事業委員會 (SFPUC , San Francisco Public Utilities Commission)

2.設計單位：URS Corporation and City Staff

3.監造單位：Black & Veatch

4.施工單位：Dragados USA、Flatiron West, Inc.Sukut Construction, Inc.

(四)、工程內容：

1.緣由：Calaveras 壩為灣區最大壩，舊壩始建於 1913 年，壩高約 1,200 英尺，長度約 245 英尺，為當時世界上最大土壩及舊金山灣區之主要水源；為穩定水源及提昇水壩耐震性，乃於舊壩附近更新新建水壩。

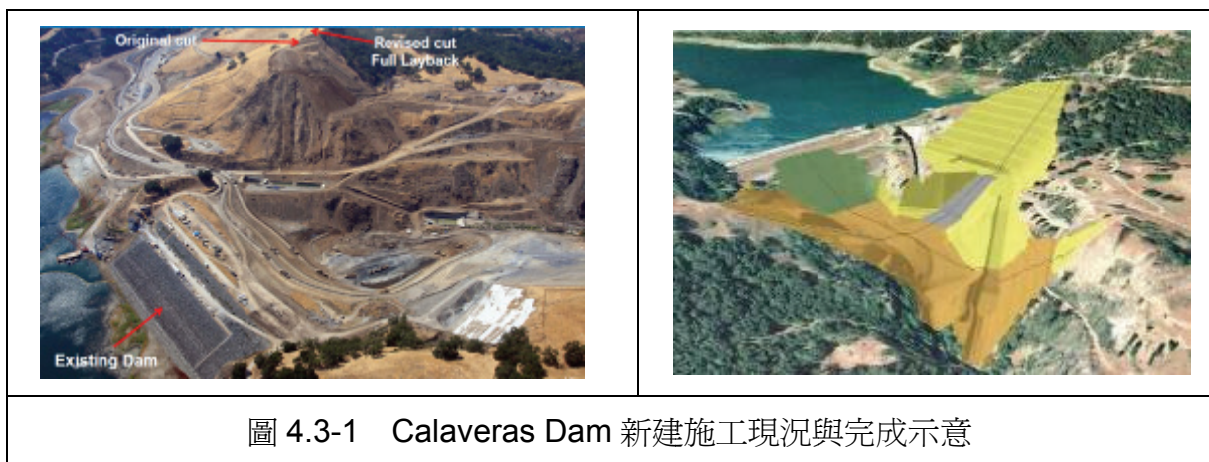
2. 預期效益：新壩考量強化設計，除可抵抗 M7 級以上地震外，並預留未來增大庫容提昇水位之需求，完成後，新壩水位恢復原 96850 英畝之儲水庫容面積與原始 31B.億加侖容量；新土石壩將具 220 英尺高度和 1,210 英尺長壩頂，底座厚度的 1,180 英尺，壩頂厚度 24m，總體積約 3500000 立方碼，溢洪道長 1550 英尺，取水口/井直徑 20 英尺、深 163 英尺、魚梯、直徑 72~78in 之導水鋼管隧道等設施。在 2011 年 9 月舉行動土的建設新的水壩，並預計於 2015 年完成。工程費達 US 621M 美元。

3.水壩功能：續水量達 31 Billion Gallons，可提供聖克拉拉、Alameda、聖馬特奧和舊金山縣 2.5 萬人提供飲用水，為赫奇區域(Hetch Hetchy) 水系統的一部分。

4.營運風險：鄰近 Calaveras 斷層，舊壩於 1918 年曾受震，因孔隙水壓增大，壩體產生平行裂縫而開裂倒塌。後雖經修復並重新啓用，但由於大壩受震後之安全性仍有甚多顧慮，加州州政府舊金山公用事業委員會（SFPUC）基於大壩安全，故自 2001 年以來大壩降低水位，並僅填補做到了滿負荷的 40%。目前施工階段則僅維持 25%之庫容量。

(五)、施工與問題處理：

- 1.邊坡：原邊坡係規劃採 H:V=1.3:1.0 之坡度進行修坡，現地發現斷層破碎帶之地質狀況不佳與潛在邊坡大規模滑移問題。施工中調查(鑽探、現勘、監測)，故依成果進行 2 次變更，邊坡改採 H:V=2:1 之坡度，較原契約增加 300 萬 CY(cubic yards)。另右岸之局部坍塌地則以地錨、型鋼與木矢版等擋土設施作為短期穩定，完成壩底基礎開挖施工後則逐步回填穩定邊坡(詳圖 4.3-5)。
- 2.破碎帶基礎處理(Fractured foundation zone)：施工中發現有破碎帶區段，日後蓄水可能因高水壓而產生滲流路徑並導致壩體潰敗，故經調查及開挖，而預鑽口徑 1~2in 深達 100ft 之鑽孔施予封底灌漿，將可能之滲流路徑堵塞。
- 3.導水隧道(adit)：施工中仍利用既有廊道供水，並以先建後拆之原則新建，新導水隧道完成後，短期暫停供水並施築界面銜接段。



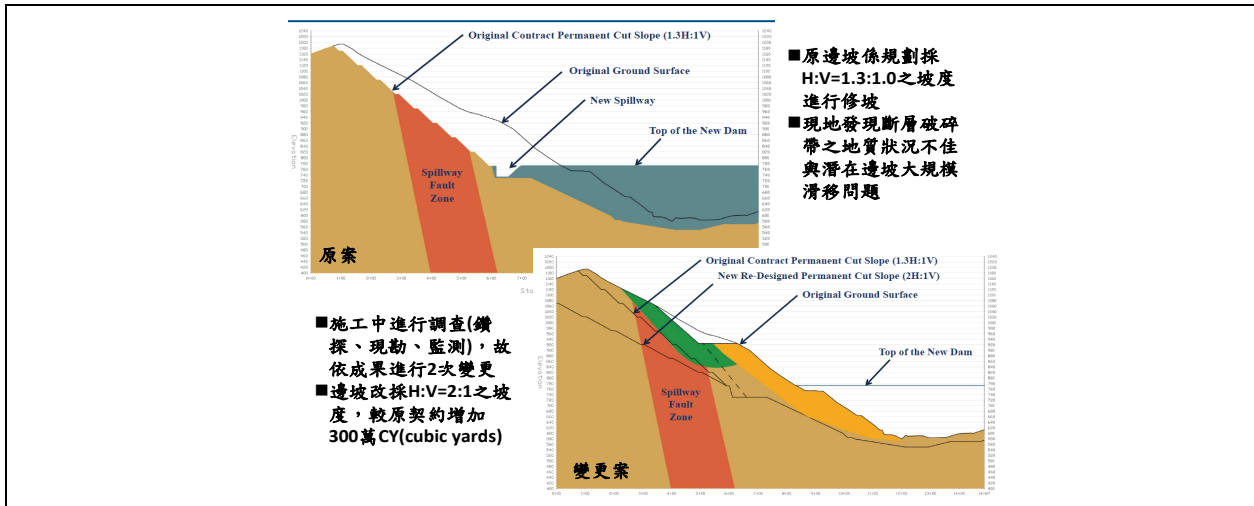


圖 4.3-5 Calaveras Dam 左岸邊坡施工變更示意



圖 4.3-6 右岸坍塌邊坡以地錨暫時穩定



圖 4.3-7 右側新進水口(INTAKE)施工



圖 4.3-8 舊壩及新壩施工情形



圖 4.3-9 工程參訪人員合照



圖 4.3-10 邊坡設立水準監測點



圖 4.3-11 利用 GPS 量測位移

4.取水口(intake): 地質良好, 逐環以鑽機預鑽孔, 安裝炸藥後施爆開挖, 再配合噴漿、岩栓與混凝土襯砌施作。(詳圖 3.3-7)

5.邊坡及壩體監測: 施工中於邊坡部份設立沉陷釘水準監測點, 利用高精度之 GPS 儀器以半自動方式量測沉陷變位, 現場資料即時儲於行動式電腦, 完成後再儲存於辦公室資料庫, 具省力化功效(詳圖 4.3-10~11)。施工完成後亦於壩體及邊坡規劃設置水壓計、傾度管等儀器進行監控。

(六)、SFPUC 之 BDPL 計畫

舊金山公共設施委員會(San Francisco Public Utilities Commission, SFPUC)所轄的 Hetch Hetchy Regional Water System, 提供舊金山灣區 250 萬人口每日約 100 萬噸的飲水需求。這個供水系統興建迄今已經接近百年, 不僅提供區域內民眾充足、安全且衛生的飲水, 也是區域內經濟活動能穩定發展的重要因素。Hetch Hetchy Regional Water System 的水源是來自 Yosemite National Park 的融雪, 先在 Hetch Hetchy Reservoir 儲集後, 再經由 167 英哩的輸水管線, 配送到舊金山灣區的供水區域內。



圖 4.3.12 現場討論



圖 4.3-13 Hetch Hetchy Regional Water System 配置圖

區域供水系統改善計畫此供水系統雖然已持續穩定運作接近百年，但系統卻經過美國三大活動斷層：San Andreas, Hayward,和 Calaveras 斷層。美國地質調查所在 2008 年發布的分析認為，在未來 30 年內，這三條活動斷層會引致大規模地震的機率達到 63%。因此 SFPUC 在 2002 年起即著手擬訂供水系統改善計畫 (Water System Improvement Program, WSIP)，希望灣區的供水系統在改善後，於遭遇大地震事件時，仍能在 24 小時內恢復基本穩定的供給。WSIP 計畫包含 81 個子計畫，執行地區跨越 7 個郡，整個計畫費用達到 46 億美元，改善內容涵蓋一座新的淨水場；改善輸水設施包含輸水管、輸水隧道、加壓站；也包含改善貯水設施如水壩、水庫、配水池等設施。計畫希望能達到 4 個可靠度目標：耐震的可靠度、運送的可靠度、供應的可靠度、及水質的可靠度。這個改善計畫也是美國境內近年最大的供水改

善計畫之一。在 WSIP 計畫內，被認為風險度最高的部分，有一項就是 Bay Division Pipelines 編號 3 和 4 的輸水管，這兩條輸水管在 Fremont 地區的州際公路附近通過 Hayward 斷層。



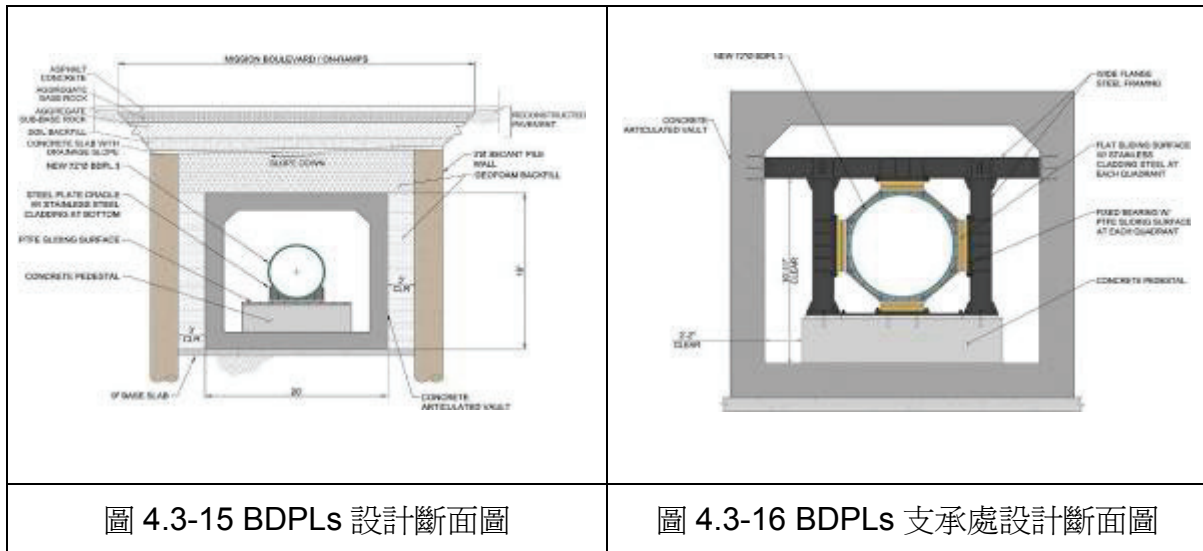
圖 4.3-14 BDPLs 位置圖

Hayward 斷層長約 119 公里，分佈在加州人口密集的舊金山灣區，為該區具重大威脅性的斷層之一。斷層南段最近一次錯動，引致了 1868 年的地震。Hayward 斷層為聖安地列斯斷層系統(San Andreas fault system)的成員之一，該斷層系統調節太平洋板塊與北美洲板塊的相對位移，其中以聖安地列斯斷層為主要的斷層，但其他的系統中的成員也同時扮演重要的角色，均屬於災難型的活動斷層。

由 Hayward 斷層的歷史地震紀錄及地震危害度的分析指出，此斷層再次錯動並引發地震是不可避免的，經過分析，BDPLs 以回歸期 975 年的地震最大地表加速度 1.05g，水平位移 6.5 英呎作為設計基準，輸水管與斷層的交角在 TraceA、B、C 處約為 45-50 度。

由 BDPLs 調查得知該斷層每年平均位移量達 6mm，主要可能之地層破裂帶寬約 23m，第二可能之裂損之區域則約達 60m，為確保耐震性，計畫目標為震後 24 小時內恢復供應基本用水量(平均冬季需水量)及 30 天內恢復供應平均日供水量。SFPUC 於穿越此斷層之設計，新設 ϕ 72 英吋(1830mm)供水鋼管，並設計節塊混凝土箱涵包覆於輸水管外(如圖 4.3-15 及 4.3-16)，節塊混凝土箱涵總長度 300 英呎(91 公尺)，區分 11 個節塊，節塊間之間隙

6 英吋(15 公分)，每個節塊寬 20 英呎(6 公尺)，高 18 英呎(5.5 公尺)，其中 9 個節塊 45 度菱型設計長度總計 200 英呎(61 公尺)，箱涵置於 9 英吋(23 公分)底板上，以減低斷層錯位對管線的影響。箱涵外之 3 英呎(91 公分)切削樁施工中可作為擋土壁使用，完工後亦可達到保護箱涵之作用。



另外為因應可能產生的變位，BDPLs 也採用特殊的 Ball Joint 及 Slip Joint 等耐震管件設施，其中球型接頭(Ball Joint)於箱涵內斷層破裂帶兩側設置，在操作水壓為 125 psi(8.8kg/cm²)情況下，容許 12 度之旋轉角。現場兩處接頭間施作可滑動支承座(Sliding support)，以輔助輸水管受斷層錯位移動使用。而特製的可滑動接頭於箱涵內斷層破裂帶北側設置 1 處，在操作水壓為 125 psi(8.8kg/cm²)情況下，容許 9 英呎(2.7 公尺)壓縮滑動量及 1 英呎(0.3 公尺)伸張滑動量，可承受 95kip-ft(13t-m)彎矩及 55kip(25t)剪力。本接頭亦多造一組作為驗證測試使用。接頭南側施作導引輔助支承座(Guided supports)，其以型鋼製桁架及可滑動承座束制輸水管，以減少斷層錯位時輸水管所受之彎矩與剪力之傳遞，主要讓軸力傳遞至可滑動接頭作用。BDPL3 號管線和 BDPL4 號管線在 Trace WSIP 計畫在穿越 Hayward 斷層處的 BDPLs 設計，是採用最高的耐震標準，相關的設計及試驗，也有國家級

的研究單位提供資助，期望能達成地震後 24 小時內即可恢復基本供水需求，此種重大維生管線的災損預防規劃，值得我們參考。

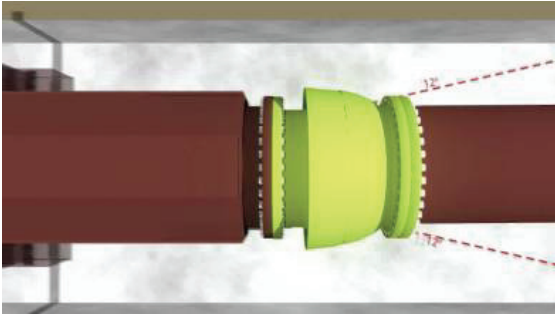


圖 4.3-16 Ball Joint 示意圖

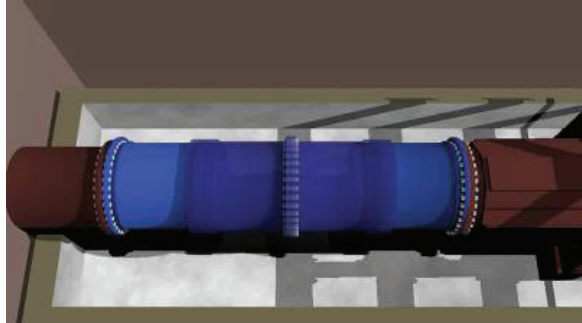


圖 4.3-17 Slip Joint 示意圖

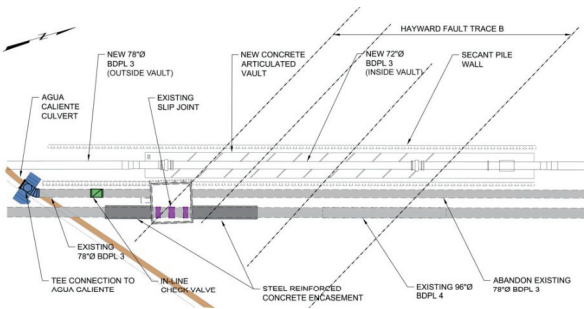


圖 4.3-18 BDPL3 號管線於 Trace B 處的設計平面圖

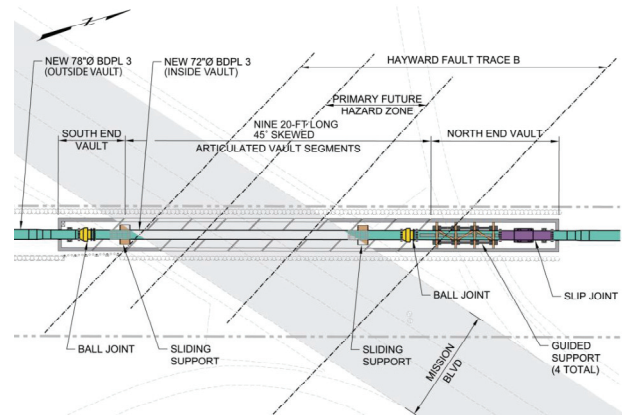


圖 4.3-19 BDPL4 號管線於 Trace B 處的設計平面圖

第五章 自來水設施耐震研討與交流

5-1 水庫、配水池加壓站耐震改進技術參訪(2013/8/26)

本次參訪行程由東灣水務局 EBUD 安排至 Contra Costa Water District (CCWD)之取水壩、取水口及加壓站淨水場參訪，進行現場簡報及說明。

5-1.1 CCWD 技術參訪

- (一)、CCWD 公司與組織：Contra Costa Water District (CCWD)位於舊金山灣東側，主要提供權屬範圍內約 50 萬人之安全乾淨用水。該單位成立於 1936 年，係因農業灌溉和工業用水需求而成立及擴大規模，CCWD 現為加州最大的城市水區和飲用水處理技術的領導者和水源保護單位。成立於 20 世紀初被作為重工業、工廠、農場和沿三角洲農耕興起利用的淡水供應。
- (二)、CCWD 與三角洲：加州供水系統主要係由水庫與導水渠道串聯而成，其中 Contra Costa Canal 則為最早 CVP project，完成於 1948 年。CCWD 所養賴取水之三角洲係由 Sacramento and San Joaquin Rivers 匯流所形成，此水源供應約三分之二加州居民之飲用水及數百萬英畝之灌溉用水，主要之降雨期間為冬季 10~04 月，05~09 月夏/秋季雨量少屬缺水季節，於夏末至初秋之旱季時，當地將發生海水由海灣進入三角洲之鹽化現象，既有之取水口(如 Old River 取水口及 Rock Slough 取水口)因設置位置的關係，將取得水質不佳之原水；為改善此一問題，CCWD 於 2004 年開始計畫於他處新建取水口，即所謂「替代取水口計畫」(Alternate Intake Project, AIP)。由於缺水，海水鹽份入侵三角洲影響取取水及飲用水水質，故冬/春季三角洲鹽度低時，抽水至 Los Vaqueros Reservoir 儲存，夏/秋季由 Los Vaqueros Reservoir 釋放儲水至 Delta 渠道混合以降低鹽度，春季有 90-day 不抽水以保護 Delta 之魚類。

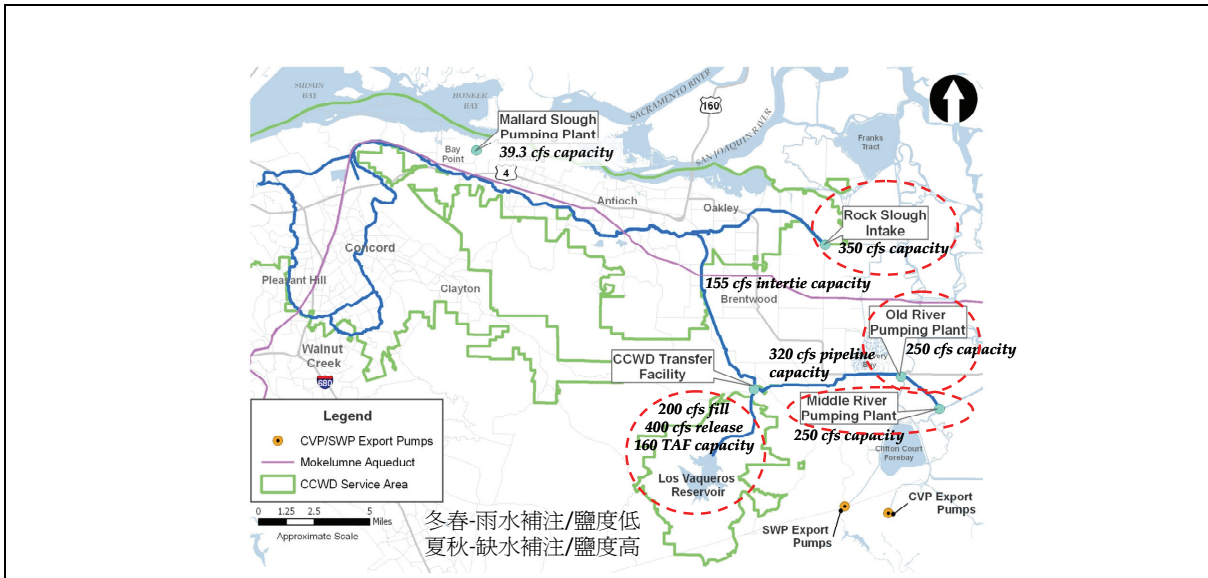


圖 5.1.1-3 CCWD 之供水設施分佈

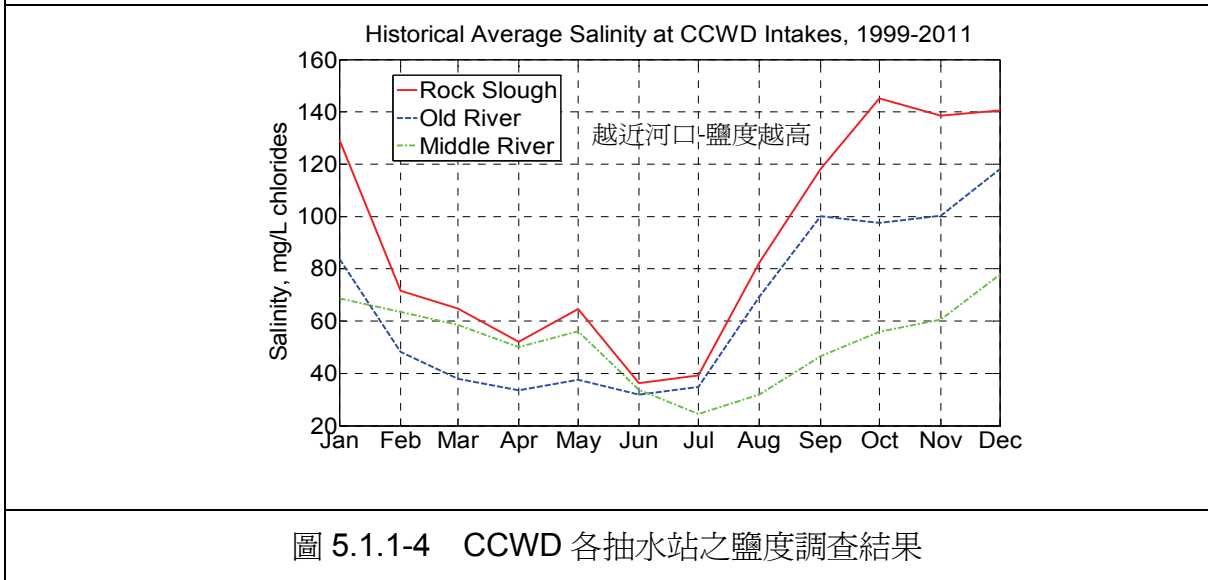


圖 5.1.1-4 CCWD 各抽水站之鹽度調查結果

替代取水口計畫 AIP 之工址位於 Discovery Bay 東側、Victoria Island 南端，由 Victoria Canal 取水；全案分為三項執行子計畫，說明如下：

1、內縮堤岸及現場工作(Middle River Setback Levee and Sitework)：

於取水口後方建造內縮堤岸(Setback Levee)，提供 Victoria Island 之防汛保護；內縮堤岸由當地取得之材料建造，體積達 275,000 立方碼，包含黏土質堤心、排水設施及沈陷監控儀器，並於 Victoria Canal 沿岸設置永久性護岸牆。

2、取水口及加壓站(Middle River Intake and Pumping Station)：本項子計畫包含下列各項，為此次技術參訪加壓站：

- A. 5 台 3000HP 垂直渦輪式幫浦，2 台為變頻式，泵送速率為慢速 250 CFS 使魚類可游開不被吸入。
- B. 1800 平方英尺不鏽鋼雜質過濾器(孔目六分之一英吋)為魚類保護設施之一。
- C. 自動攔污機。
- D. 波浪抑止系統。
- E. 69KV 變電站。
- F. 電力大樓。



圖 5.1.1-6 5 台 3000HP 豎軸式渦輪幫浦



圖 5.1.1-7 自動攔污機

3、輸水管線(Middle River Conveyance Pipeline)：

以潛盾工法向西北方挖掘 90 英尺深之隧道，穿越 Victoria Island 及 Old River 下方，使位於 Victoria Island 上、佔地 7,000 英畝之 Victoria Island 農場得以繼續經營，對保育類 giant garter 蛇之棲息地影響衝擊降到最低；最終建構一長 12,500 英尺、直徑 72 英尺之輸水管，採鋼管銲接，並銜接進入 Old River 加壓站。

(四)、Los Vaqueros Expansion Project

1. Los Vaqueros 水庫及計畫緣由：水庫於 1994 年開始興建並於 1998 年完成，蓄水面積達 100,000 英畝，原興建目的係為三角洲發生災難性問題之緊急備用供水水庫、提昇供水水質、增強三角洲環境、提供水資源管理等，工程造價達 US \$120 million。
2. 水庫擴建計畫緣由：為減輕極端氣候影響，在乾旱期間提供可靠的水量與水質，CCWD 提出擴建 Los Vaqueros Reservoir 水庫容量計畫。擴建計畫包括三主要部份，(1)水庫容量由原 100,000 英畝擴大至 160,000 英畝(TAF)，(2)增加淹沒區之娛樂服務，(3)因水庫擴大而具較高水位與水頭下之加壓站幫浦更新。
3. 擴建考量：(1)為增加 60,000 英畝之壩高需提昇 34 ft，(2)使用 1 Million CY 土/岩石/混凝土、(3)現場施工所需之粘土、砂岩、拋石來源、(4)溢洪道和進水口結構擴建、(5)施工動線配合修正調整、(6)擴大延長壩肩區域之隔幕灌漿、(7) 改善機電和大壩安全監測系統。
4. 壩高提昇施工規劃：因原壩已預留擴充容量機制及安全係數，故壩體增高，整體穩定性應仍在安全要求範圍內，施工擬將壩高由 EL.472'提昇至 EL.507'，首先將水位面降至 EL.430'以使舊壩可降挖至 EL. 440'使既有之粘土心層與濾層出露，以重新調整壩心中軸與將土壩回填至更高高程，壩體每一新施工區塊回填僅允許 10ft 之超高。5. 綠色能源工程：LV 壩高高程為 EL.226m，當下游鹽度增加而需導水時，則放水至水位較低之 EL.135m 淨水場與鹽度高的水混合，以提供適當水質供使用，由於有達約 90m 之高差，於中間設一 hydro 發電站，利用水頭差異進行水力發電。每日約可產生 100MW 之電力供自行使用。

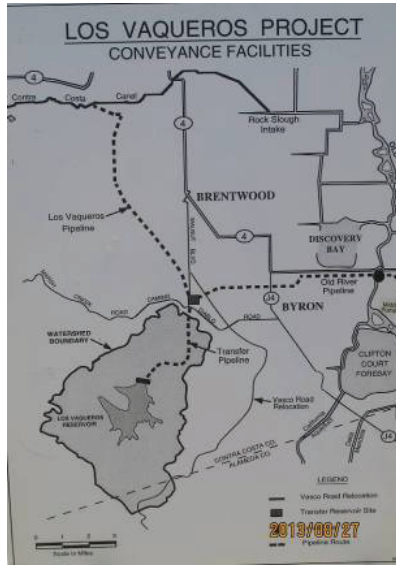


圖 5.1.1-8 中繼加壓及水利發電站位置

6.長期監控系統：LV 壩設有水壓計、傾度管、水堰計等自動化即時監控設施，儀器研擇考慮 30 年耐用期，相關數據於 LV inlet 之監測站彙集後以無線方式傳至 Ballman 淨水場 之管理中心由專人進行管理。

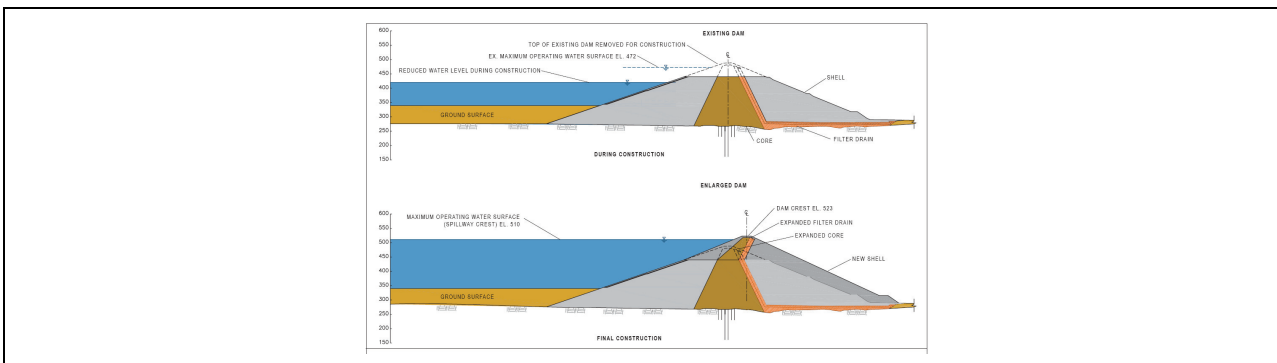


圖 5.1.1-9 Los Vaqueros Reservoir 壩高提昇施工規劃

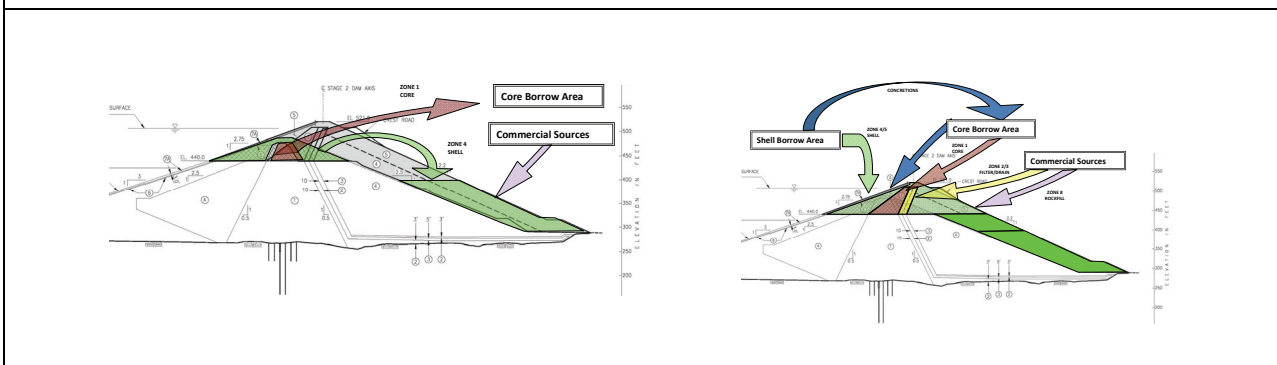


圖 5.1.1-10 Los Vaqueros Reservoir 擴建斷面與施工規劃



圖 5.1.1-11 Middle River 抽水站



圖 5.1.1-12 自動清除取水口雜物設備



圖 5.1.1-13 Los Vaqueros Reservoir

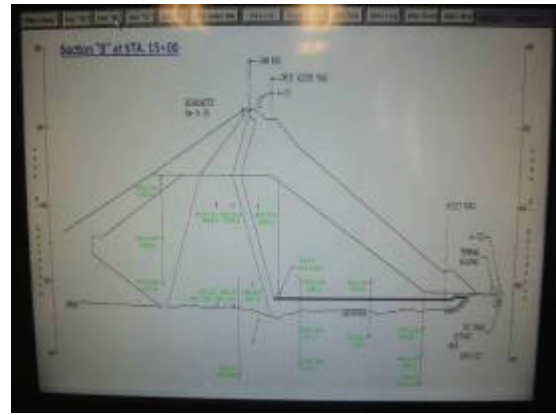


圖 5.1.1-14 LV Reservoir 自動化監控設備



圖 5.1.1-15 中繼 hydro 水力發電設備



圖 5.1.1-16 中繼 hydro 水力發電站

(五)、CCWD 淨水廠

CCWD之Ballman water treatment plant建於1968年，除以最先進的電子設施監控CCWD全區之各抽水站水量與水庫水位高程外，該廠除傳統

水處理流程，另以最新的臭氧消毒水處理技術，提供安全、高優質的飲用水，處理後之水雖有點味道或氣味，但可降低形成致癌化合物，非常安全，此淨水場每天可處理超過350萬噸的水，處理後之污泥則於製乾後外送作為路堤填築材。另由於儲水場區易滋生水生藻類植物，故定期遣人以划船型式割除藻類，以避免水質優養化。



圖 5.1.1-17 Ballman 淨水場之管理中心



圖 5.1.1-18 水位/水壓/水量供輸資訊



圖 5.1.1-19 Ballman 淨水場沉澱池括泥機



圖 5.1.1-20 臭氧生成機



圖 5.1.1-21 Ballman 儲水水庫及除藻機



圖 5.1.1-22 Ballman 淨水場快濾池

5-2 東灣水務局(EBMUD)耐震能力提升計畫

本次參訪行程安排至東灣水務局 EBMUD，進行相關自來水議題討論，研討內容如下表，EBMUD 公司代表就其課題進行其研究之說明。



5-2.1 東灣水務局(East Bay Municipal Utility District, EBMUD)單位簡介

東灣水務局，為此次地震研討會主辦單位，首先由 David Lee 針對公司進行事業體介紹，該公司提供整體供水行銷(wholesale water)、零售供水(retail water)及下水蒐集(wastewater collection)及處理(wastewater treatment)服務。服務範圍為 Contra Costa 及 Alameda 兩郡，面積為 331 平方英哩，用水客戶超過 130 萬人。東灣水務局行政辦事處坐落在奧克蘭，單位初始係因 1923 年嚴重乾旱，本地系統水庫不足，故在 Mokelumne 河流域構建帕蒂大壩 (Pardee Reservoir, 1929 年完成)、Mokelumne 河(在內華達州)水路為一條個大型鋼管輸水管道(目前有三條)，將水從帕迪水庫輸送至東灣市區。EBMUD 淨水廠每日可過濾及處理超過 4 億 2500 萬加侖的用水，而大約 90%之用水來自 Sierra Nevada 山脈西側佔地約 578 平方英哩的 Mokelumne 河集水區，其已提供逾 80 年優質飲用水，東灣流域保護管理範圍達 28000 英畝。

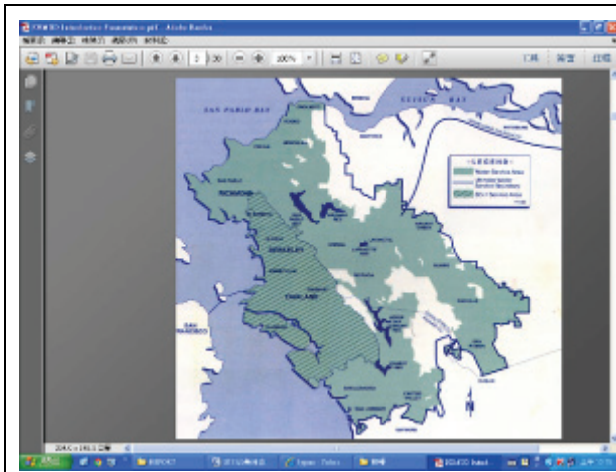


圖 5.2.1-1 EBMUD 服務範圍

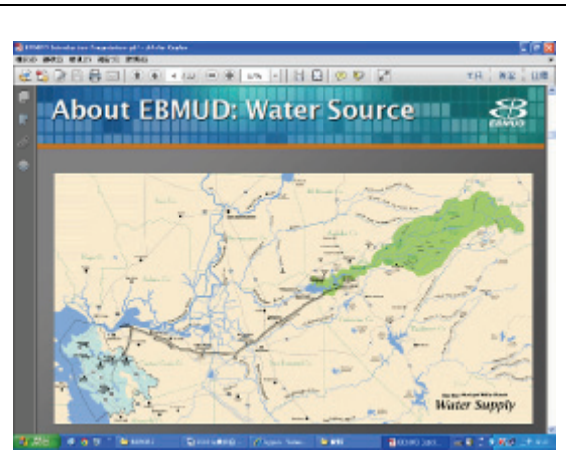


圖 5.2.1-2 EBMUD 水源

目前EBMUD公司擁有及管理在Mokelumne河流域2水庫，5座配水池，91miles原水導水管，4100miles配水管，6座污水處理場，29miles污水管。

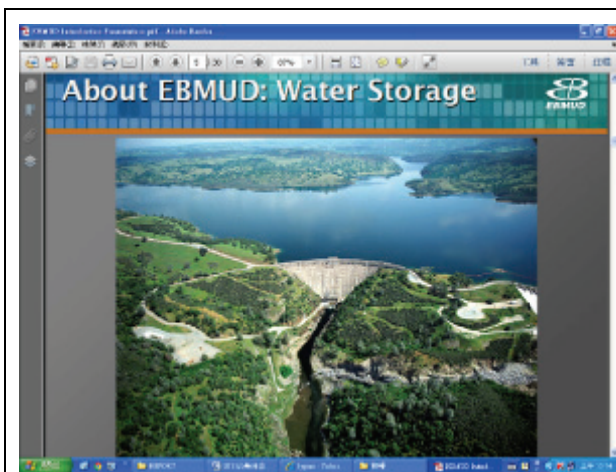


圖 5.2.1-3 EBMUD 水庫

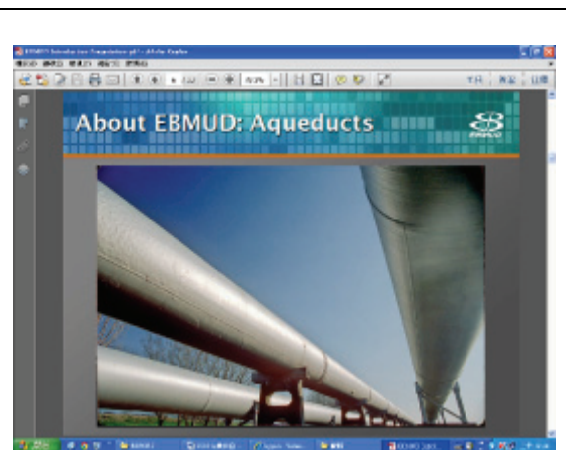


圖 5.2.1-4 EBMUD 導水路

東灣水務局之供水可靠度來自三項控制因素，天候因素、多元供應、基礎設施強化。

天候上主要受澇旱因素，正常年狀況下，82%來自Mokelumne河流域、13%節約用水、5%為循環回收水；但在3年乾旱期條件下，47%來自Mokelumne河流域、17%乾旱期僅及支流水庫、13%節約用水、15%強迫節約用水、5%為循環回收水但仍短缺3%。

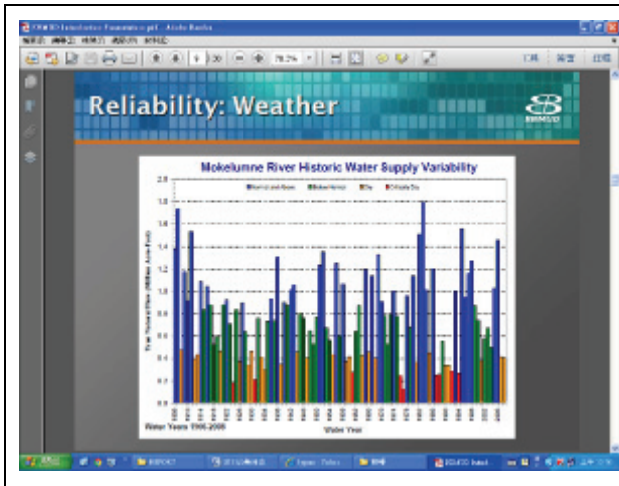


圖 5.2.1-5 Mokelumne 河流量變化



圖 5.2.1-6 氣候因素水源配當

多元供應部分為節約用水及回收再利用、爭取乾旱年新水源、其他自來水事業體備援、地下水、海水淡化。

東灣水務局節約用水部份印製節水行銷書籍書籍，教育民眾植栽節水，選用適當植物，節省水資源。並派遣用水服務團，協助民眾節水教育，協助做好漏水檢測。對於用戶給水漏水，服務團測漏後，第一次水費以減半收費，但第二次後無此優惠。鼓勵民間回收再利用，設計上採雙元系統 (dual system)，將回收水導入生活用水之中，導入回收再利用，其鼓勵措施為水費採累進費率中最低基本費率。



圖 5.2.1-7 節約用水行銷書冊



圖 5.2.1-8 循環水再利用

東灣水務局 EBMUD 亦積極爭取新水源，經多年努力爭取到 Saramental River 新水源，並投入10億美金，新設取水口抽水站及輸送管線，輸送至 Mokelumne 導水路，惟受環保人士抗爭，該項新水源僅於乾旱時使用。地下水源係前瞻系及試辦性質，以增加水源多樣化來源，目前僅為每日5000噸少量試辦，該項試辦工作，並持續觀測地層下陷情形。海水淡化部份亦開始試辦，海淡廠位於 Oakland Bay Bridge 附近，做為石化廠供水來源之一。

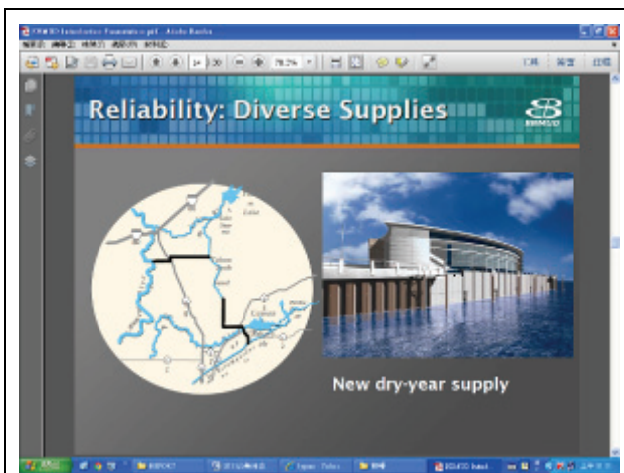


圖 5.2.1-9 開發新水源



圖 5.2.1-10 地下水源開發



圖 5.2.1-11 海水淡化

設施強化部份，包括耐震能力提升計畫(Seismic Improvement Program, SIP) 推動各項補強工程，如水管橋基礎隔震、耐震能力提昇、備援管路、過斷層原水隧道

旁通管Bypass、移動式抽水機快速修復軟管及與其他自來水事業體簽訂緊急備援協定等軟硬體工作。



圖 5.2.1-12 水管導水路基礎隔震

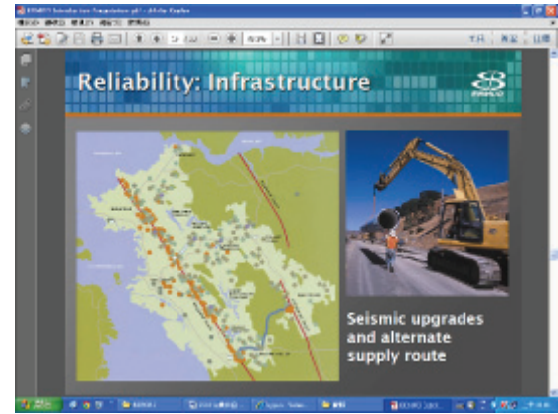


圖 5.2.1-13 耐震能力提昇、備援管路

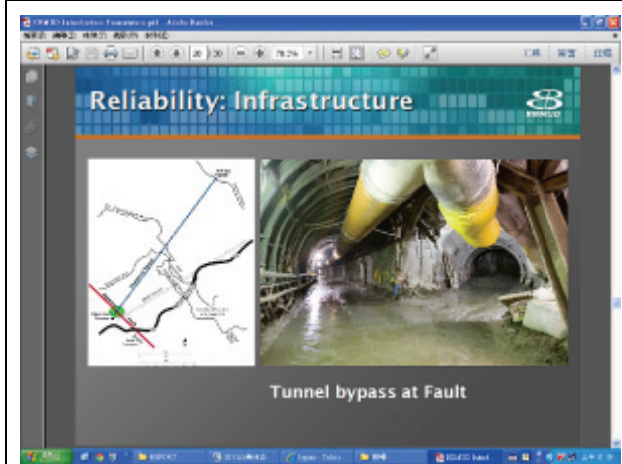


圖 5.2.1-14 過斷層原水隧道旁通管 Bypass



圖 5.2.1-15 移動式抽水機快速修復軟管

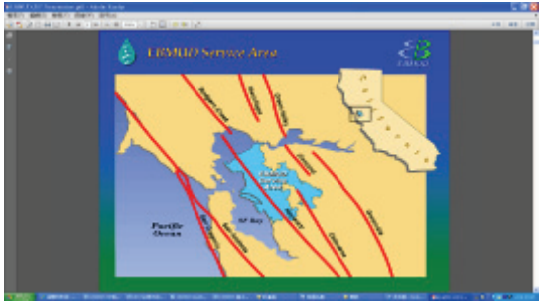
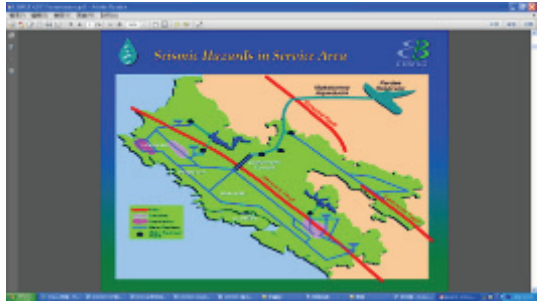
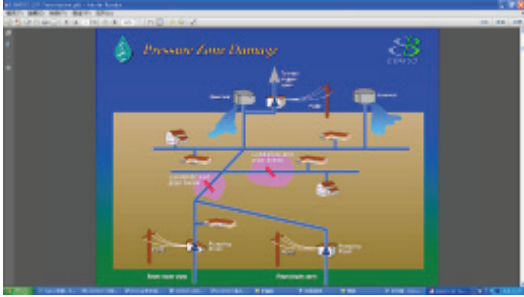
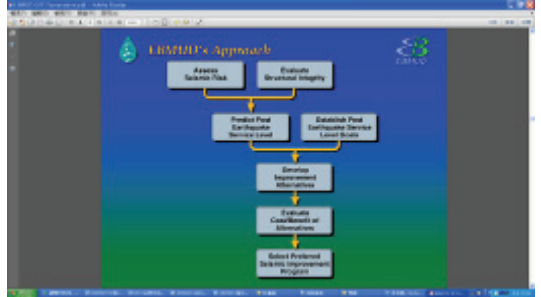


圖 5.2.1-16 緊急備援協定

5-2.2 EBMUD 耐震能力提升計畫(Seismic Improvement Program, SIP)

(一)計畫源起

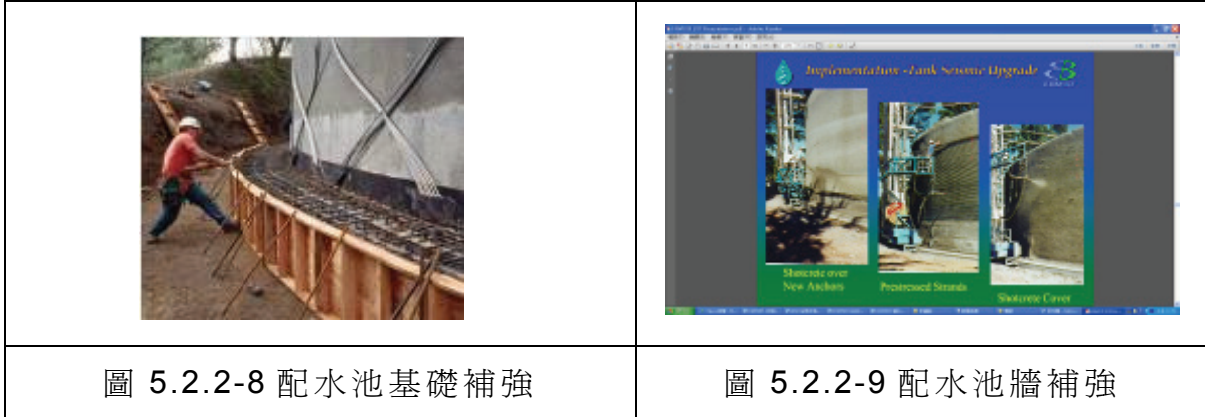
東灣水務局供水區域為舊金山灣東側，供水面積達 325 平方英哩，供水人口數達 130 萬人。由於其供水區域包含/鄰近三大主要活動斷層：Hayward 斷層、Calaveras 斷層及 Concord 斷層，故其於 90 年代初期進行研究，預測於 30 年內發生規模 7 級地震之機率將達 32%；倘若真正發生，將嚴重衝擊其供水設施，約 63%之用戶將面臨供水中斷，預估總經濟損失將高達 20 億美元。經過系統性評估，其董事會於 1995 年，於四項備選方案中正式通過選用本計畫，總預算金額為 1 億 8 千 9 百萬美元，執行期間預計為 10 年。

	
圖 5.2.2-1 供水區域及三大活動斷層	圖 5.2.2-2 地震危害度分析
	
圖 5.2.2-3 壓力區畫災損示意圖	圖 5.2.2-4 SIP 備選方案之評估流程

(二)計畫主要目標共計四項：

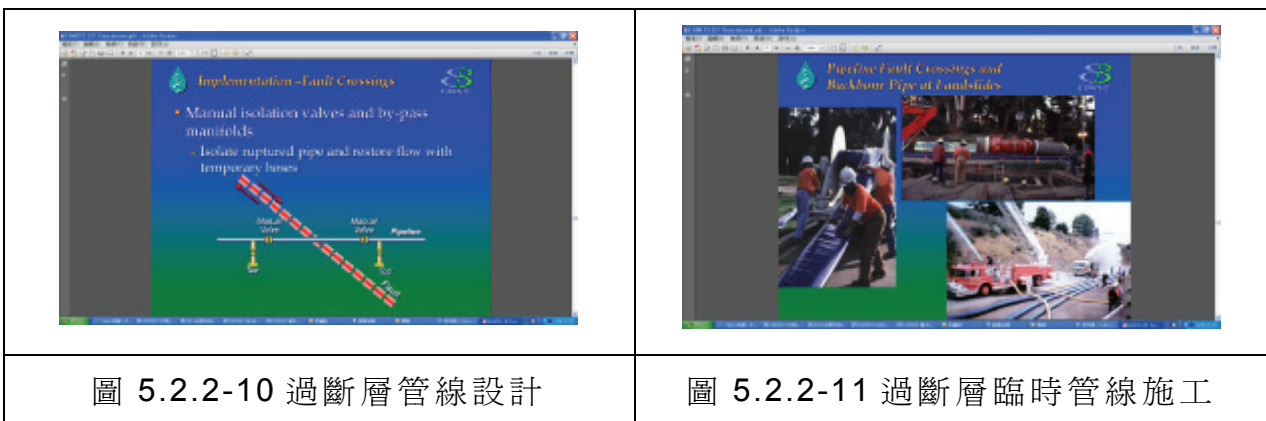
- 1、維護生命安全(Life Safety)。
- 2、提供消防用水(Fire Service)。
- 3、達成客戶服務(Customer Service)。
- 4、水質與公眾健康(Water Quality and Public Health)。

- G. 針對近斷層之混凝土儲水槽，以高強度纜繩包覆纏繞、採多股錨定增加束制，並新增基礎以抵抗滑動，必要時並採噴凝土方式予以強化；此外，亦進行裂縫修補及內襯密封材之更換作業，以防止漏水情況發生。

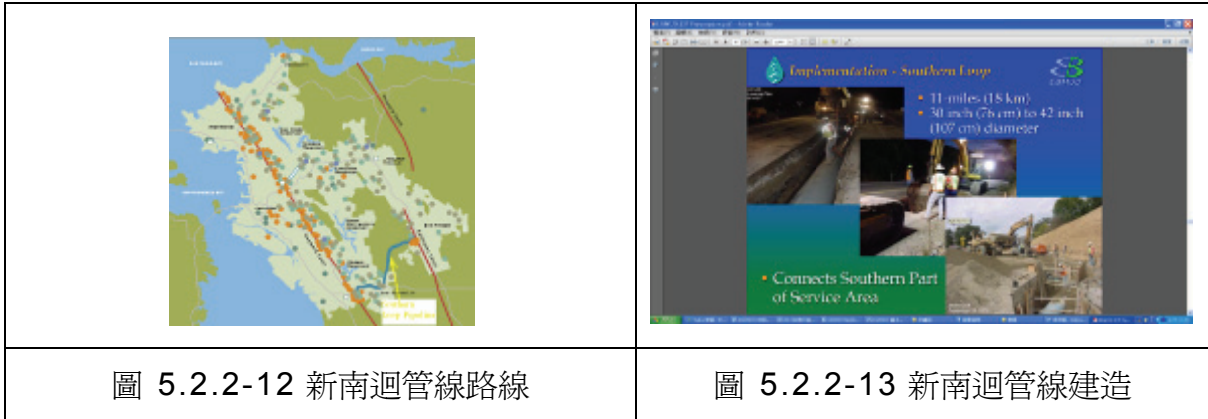


2、輸水系統提升及過斷層段管線改善(Transmission System Upgrades and Pipeline Fault Crossings Improvements): 金額為 5,000 萬美元於規模 7 級地震發生時, Hayward 斷層將產生長達 6 英尺之位移, Calaveras 斷層產生之位移亦可達 3 英尺; 當大地震發生時, 此一位移量將造成埋於地底之管線產生變形, 導致管線破裂、滲漏甚至完全斷裂, 使消防供水能力中斷, 並造成生命財產之危害。

- A. 地震發生時, 過斷層段之管線部分損壞, 此時將臨時軟管置於斷層兩側, 連接未損壞之管線, 搭配手提可攜式幫浦, 形成一「緊急旁通(Bypass)系統」, 可繼續維持供水。
- B. 裝設遙控遮斷閥。
- C. 以較佳之管線材料, 如高密度聚乙烯或外覆塗裝鋼材, 進行管線汰換工作。
- D. 裝設最大偏斜角度可達 15 度之可撓式接頭, 藉以調和地層位移。



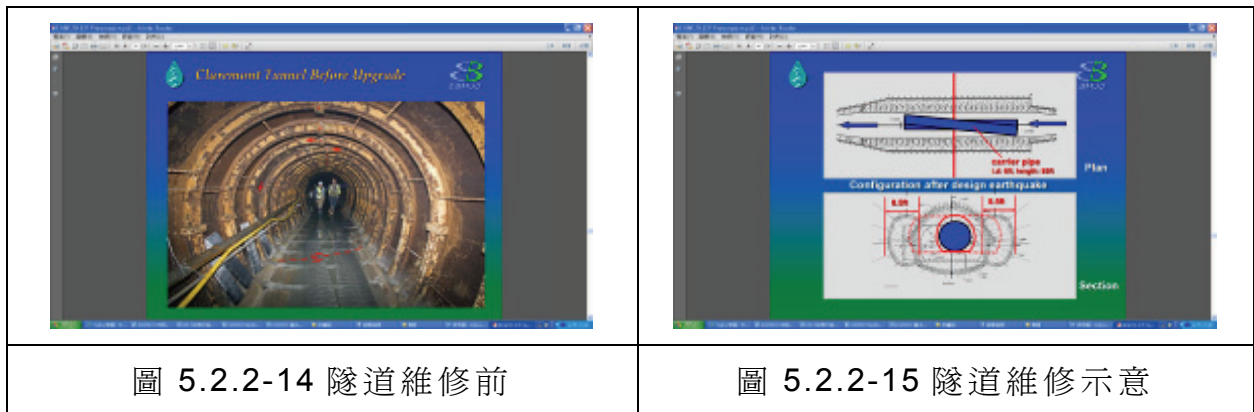
3、新南迴管線建造(New Southern Loop Pipeline Construction)：金額為 3,000 萬美元於 San Ramon Valley 至 Castro Valley 間，興建一條長 11 英哩、管徑達 30~42 英吋之管線，採加厚特殊鋼管設計，埋設於沙溝之中，將可抵抗 Calaveras 斷層之錯動，提供 EBUD 南端供水區域之穩定供水。



4、隧道改善(Tunnel Improvements)：金額為 2,500 萬美元

Claremont 隧道興建於 1920 年代，穿越奧克蘭/柏克萊山，為一清水幹線，直徑 9 英呎，長度 18,000 英呎，供應奧克蘭、柏克萊及阿拉米達約 80 萬居民之用水；因其穿過 Hayward 斷層，故於 2002 年 2 月進行 30 年來首次之停水檢視(為期 7 天)，發現因沿斷層之地震位移造成其內襯損壞，改善方案如下：

- A. 興建 1,570 英呎長之旁通(Bypass)隧道，作為因穿越斷層而弱化部份之備援。
- B. 剩餘約 16,000 英呎長之既有隧道，則以水泥砂漿灌注方式強化混凝土內襯。
- C. 通過主要斷層段之部分(長約 60 英呎)，中間主坑部分置放一直徑 6 英呎、長度 85 英呎之輸水鋼管，且兩側各擴挖 8.5 英呎作為預留變形空間。



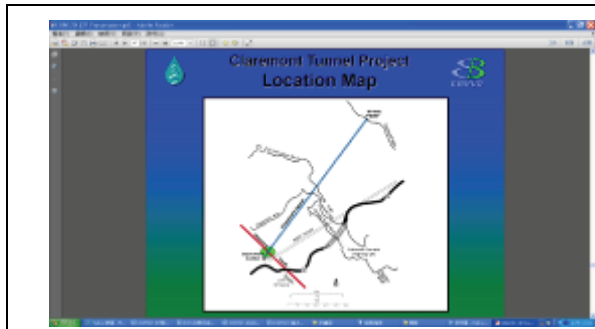


圖 5.2.2-16 隧道斷層示意



圖 5.2.2-17 隧道斷層錯動

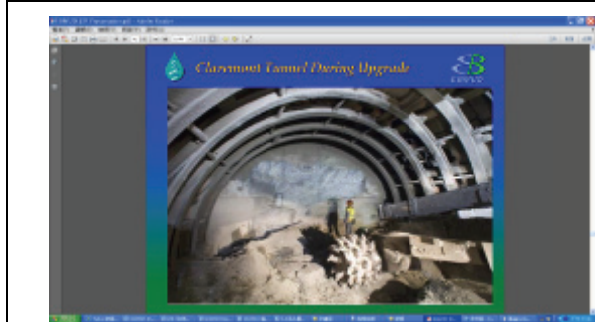


圖 5.2.2-18 隧道施工中



圖 5.2.2-19 隧道維修施工後

5、建物耐震能力提升及設備錨定 (Building Upgrades and Equipment Anchorage)：金額為 900 萬美元。

- A. EBMUD 所轄建物予以耐震補強。
- B. EBMUD 所屬重要設備，如緊急發電機、冷卻器、幫浦等，予以錨定加強。
- C. EBMUD 管理大樓，為一樓高 9 層建物，採新增 50 具活塞阻尼器及加強約 120 處樑柱接頭等複合方式，進行結構耐震補強。



圖 5.2.2-20 建物補強及設施錨碇



圖 5.2.2-21 管理大樓新增阻尼器

6、加壓站提升(Pumping Plant Upgrades)：金額為 500 萬美元。

- A. 提升轄下 110 座加壓站。
- B. 增加緊急備援設備。
- C. 站內設備予以錨定加強。
- D. 站內建物之耐震能力提升。



7、淨水場提升(Water Treatment Plant Upgrades)：金額為 400 萬美元

於 SIP 計畫之始，分析模型顯示 EBMUD 轄下 6 座淨水場中之 5 座，於地震災害發生後，將有無法繼續運作之虞，因此採下列方式予以提升：

- A. 場內電力及機械設備予以加撐加固。
- B. 以新增混凝土柱及剪力牆方式提升場內建物之耐震能力。
- C. 場內建物之木造附屬部份(如屋頂)予以更換整修。
- D. 場內沉澱池及過濾池等予以補強，避免地震時造成崩塌危害。



(四)其他

- 1、計畫開始執行前，積極尋求當地民眾、政府機關及自身股東之支持。
- 2、加強與其他公用事業之溝通聯繫及資訊相互提供。
- 3、進行環境教育，針對東灣居民宣導節水及防災觀念。
- 4、積極參與國際技術交流。
- 5、預計於 2020 年達成每日省水 3,400 萬加崙之目標。

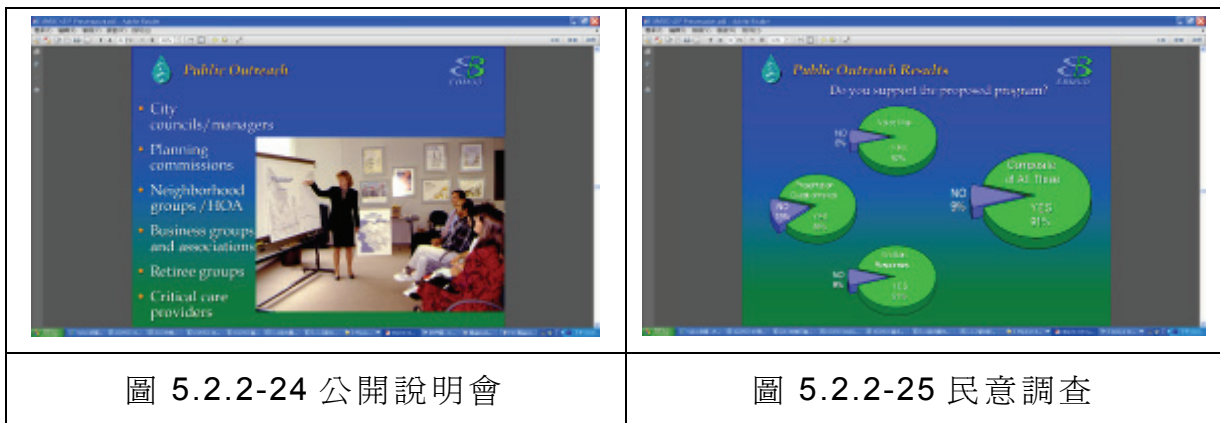


圖 5.2.2-24 公開說明會

圖 5.2.2-25 民意調查

5-3 自來水設施耐震修復技術及應用評估

5-3.1 配水池及加壓站補強計畫

(一)計畫源起

東灣水務局供水區域為舊金山灣東側，供水面積達 325 平方英哩，供水人口數達 130 萬人。其轄下之配水設施(Distribution Facilities)主要分為四類：167 座儲水槽、136 座加壓站、73 座壓力調節閥以及 33 座流率控制站。由於許多配水設施之建造時間距今已相當久遠，出現程度不一之損壞狀況加以評估，決定是否修復或拆除更換。本計畫針對佔比最高之二者：儲水槽及加壓站予以評估，篩選出重點目標進行修復補強，達到資產延壽之目標。

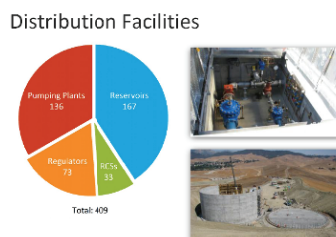


圖 5.3.1-1 EBMUD 配水設施數量統計

(二)儲水槽修復計畫

EBMUD 轄下之 167 座儲水槽主要可分為五類：83 座鋼製儲水槽、59 座混凝土製儲水槽、19 座露天儲水槽、4 座紅木製儲水槽以及 2 座壓力儲槽。

Distribution Reservoirs

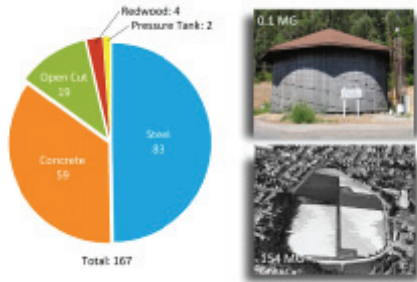


圖 5.3.1-2 儲水槽分類數量



圖 5.3.1-3 鋼製(Steel)儲水槽



圖 5.3.1-4 混凝土製儲水槽



圖 5.3.1-5 露天儲水槽



圖 5.3.1-6 紅木製儲水槽



圖 5.3.1-7 壓力儲槽

1、評估是否修復(Rehabilitate)或拆除更換(Replace)：

由以下 4 個評估重點，決定修復或拆除更換：

- (1) 是否仍有剩餘可使用壽命？
- (2) 儲水槽是否有足夠之容量？
- (3) 槽內水質是否良好？
- (4) 修復費用是否較拆除更換費用便宜？

2、費用估算(Cost Evaluation)：

儲水槽之生命週期估計為 75 年，列出期間內各修復或更換選項(如下所示)之總費用，從中選取最佳執行方案。

- (1) 修復儲水槽並更換木造頂版。
- (2) 更換為具混凝土頂版之混凝土製儲水槽。
- (3) 更換為具鋁製弧形頂板之混凝土製儲水槽。
- (4) 更換為玻璃纖維包覆、螺栓組合之鋼製儲水槽。
- (5) 更換為環氧樹脂包覆、螺栓組合之鋼製儲水槽。
- (6) 更換為環氧樹脂包覆、銲接組合之鋼製儲水槽。

3、根據執行主計畫(Master Planning)，針對佔比最高之三者：鋼製、混凝土製及露天儲水槽，篩選出重點目標。

4、鋼製(Steel)儲水槽修復評估：因其所佔之比率最高，故以每 25 年須更新之頻率進行評估。

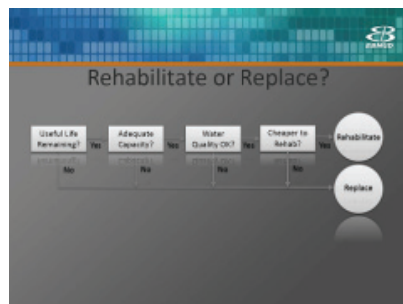


圖 5.3.1-8 修復或拆除更換評估流程

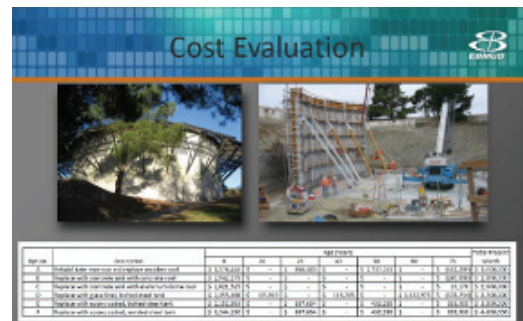


圖 5.3.1-9 費用估算-1

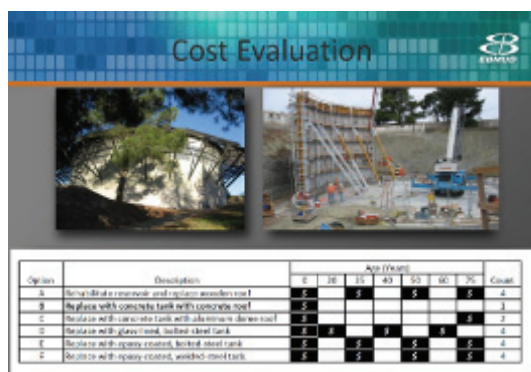


圖 5.3.1-10 費用估算-2



圖 5.3.1-11 執行主計畫

Steel Reservoir Rehabilitation

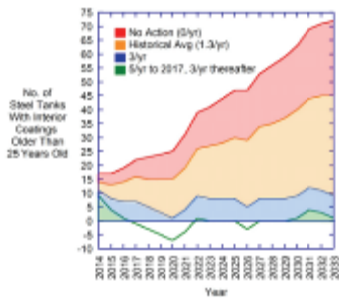


圖 5.3.1-12 鋼製儲水槽修復評估

Steel Reservoir Rehabilitation



圖 5.3.1-13 鋼製儲水槽損壞狀況

(三)加壓站修復計畫

以混凝土取代木造結構，增加加壓站之耐震能力、泵送能力及備援備載能力。

Pumping Plants



圖 5.3.1-14 加壓站修復-1

Diablo Vista Pumping Plant



圖 5.3.1-15 加壓站修復-2

(四)計畫所面臨之挑戰

1. ... 當地政府機關之支持。
2. ... 鄰里居民之溝通協調。
3. ... 顧及眾多股東之權益。
4. ... 停水計畫及調度供水計畫之擬定。
5. ... 用地取得問題。
6. ... 施工期間之噪音、塵埃及振動問題。

5-3.2 管線汰換計畫

東灣水務局(EBMUD)，於西元 1930~2010 年間安裝配水管之管材長度如圖 5.3.2-1 所示，其中 1980 年以前配水管管材主要以石棉混凝土(Asbestos Cement)管、鑄鐵(Cast Iron)管與鋼(Steel)管為主，1980 後則以鋼(Steel)管、PVC 塑膠

管與高密度聚乙烯(HDPE)管爲主。其配水管管材現況分佈比例如圖 5.3.2-2 所示，主要以鑄鐵(Cast Iron)管長 1300 英哩(2092 公里)佔全長 35%、石棉混凝土(Asbestos Cement)管長 1100 英哩(1770 公里)佔全長 30%與 鋼(Steel)管長 990 英哩(1593 公里)佔全長 26%爲主，餘爲 PVC 塑膠管長 360 英哩(597 公里)佔全長 9%及高密度聚乙烯(HDPE)管長 4 英哩(6 公里)佔全長小於 1%。

東灣水務局(EBMUD)始於 1970 年提出管網汰換計畫來改善漏水管網區域，且管汰計畫中 90%爲針對直徑小於 12 英吋(300mm)之配水管。此外，其它的相關管汰計畫說明如下:1.配合市政或其它單位執行管線遷移計畫，達到管線汰換目的。2. 爲提升部份用戶水壓較低區域，執行計畫性管網改善計畫，除滿足流量與水壓需求外，亦達成管線汰換目的。

管汰計畫之評估策方法，採用支出比(Cost Ratio) CR 值來評估其可行性如圖 5.3.2-3 所示。 $CR = \text{管網汰換費用(Replacement Costs)} / \text{管網漏水修復費用(Repair Costs)}$ ，當評估之 CR 值大於 1 時，管網汰換工法爲較經濟有效方法，將列入管汰計畫中執行。近期 EBMUD 評估結果，計有 100 英哩(161 公里)管網長度評估之 CR 值大於 1。另管汰計畫評估重點區域，則以發現漏水較多區域優先執行，其中產生漏水管材主要爲鑄鐵管佔 70%如圖 5.3.2-4 所示。

管網汰換計畫中 CR 值評估結果可於地理資訊系統(GIS)上表示(如圖 5.3.2-5 所示)，以利後續執行管汰之溝通與執行順序參考。基本資料蒐集建立後對於 CR 大於 1 區域，進行管網管汰計畫評估，評估流程如圖 5.3.2-6 所示:1.管網漏水資料庫建立，並評估漏水頻率高低。2.管汰執行優先性評估，考量地震危害度、管汰執行可能造成損鄰情況、對用戶用水影響、現場管線分佈情況(是否有管障)、是否鄰近河川或爲過河段及配合政府路面鋪面維護管理計畫等因子，決定管汰執行潛勢，並依潛勢高低決定管汰區域執行順序。

東灣水務局(EBMUD)管網漏水事件與各會計年度之管汰長度執行情況如圖 5.3.2-7 所示，圖中 1980 年後管網漏水事件每年平均約 750 件，管汰長度每年約 7 英哩(11 公里);美國自來水工程學會(American Water Works Association)提出

良好供水維護系統每年每 100 英哩(160 公里)計有 20 次漏水事件，故 EBMUD 以 10 年平均計算每年每 100 英哩(160 公里)計有 19.8 次漏水事件，在標準值內。近期管汰執行情況如圖 5.3.2-8 所示，2000 年至 2004 年達成每年執行 8 英哩(13 公里)管汰長度目標(汰換率約 0.2%)。2005 年至 2013 年每年執行平均約 7.3 英哩(12 公里)管汰長度，未達 12 英哩(19 公里)目標，另 2013 年執行管汰長度 13 英哩(21 公里)。未來管汰計畫預定每年執行長度如圖 5.3.2-9 所示，圖中顯示管汰計畫可執行之上下限長度與平均每年管汰長度值，EBMUD 則定訂 2022 年達成每年完成 40 英哩(64 公里)管汰長度 (汰換率約 1%)之目標值。

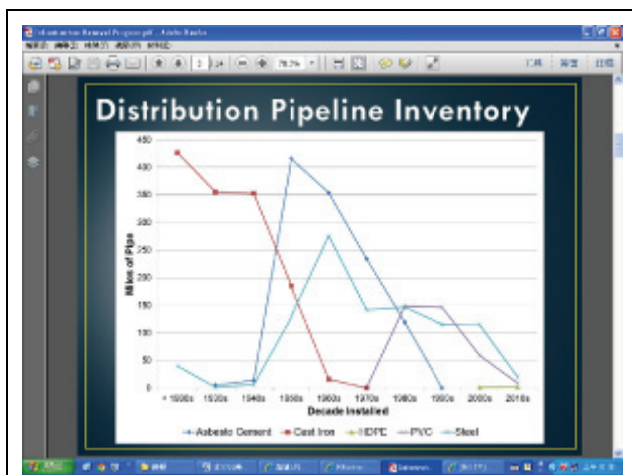


圖 5.3.2-1 配水管財產分類

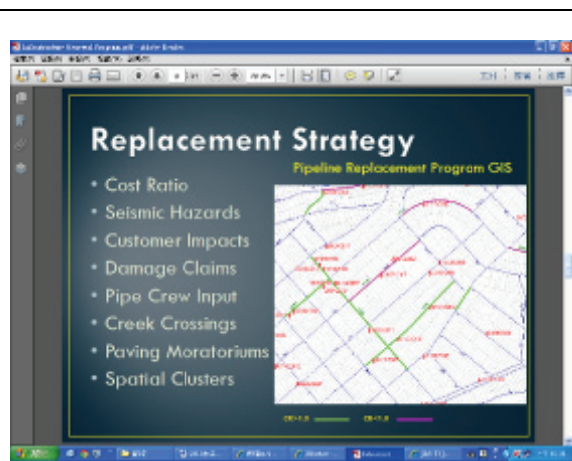


圖 5.3.2-2 管網汰換計畫評估結果於地理資訊系統表示示意圖

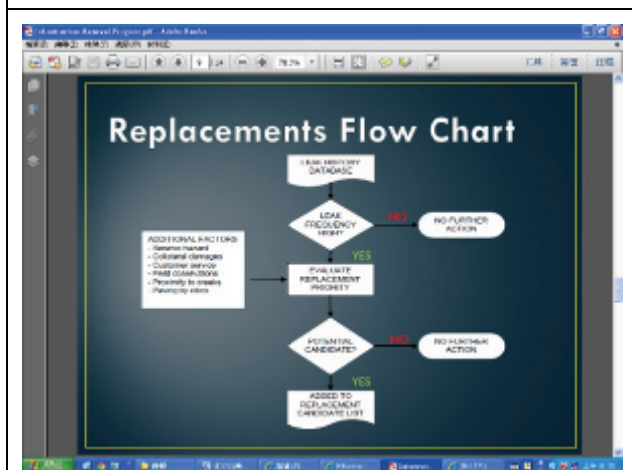


圖 5.3.2-3 配水管汰換流程

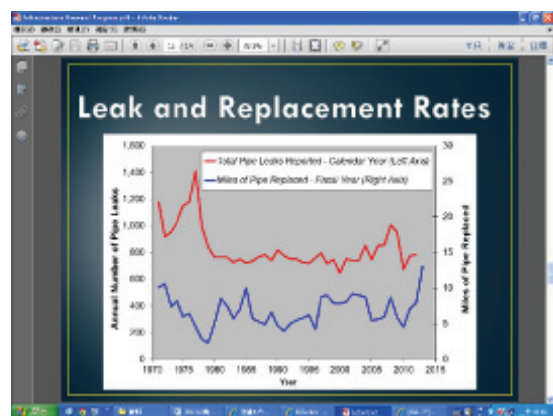


圖 5.3.2-4 歷年漏水率及汰換長度

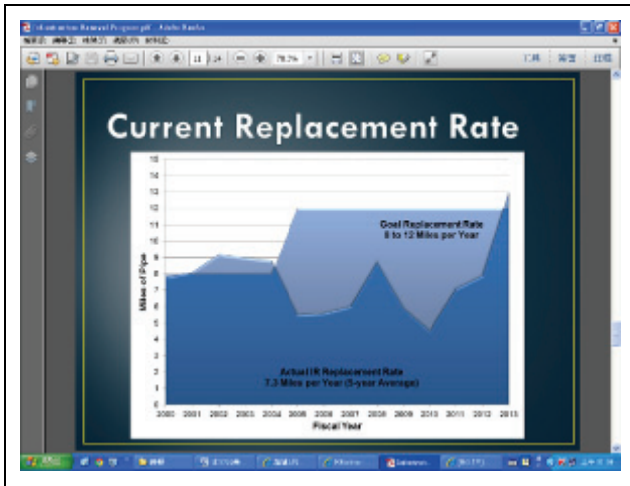


圖 5.3.2-5 管線目前汰換率

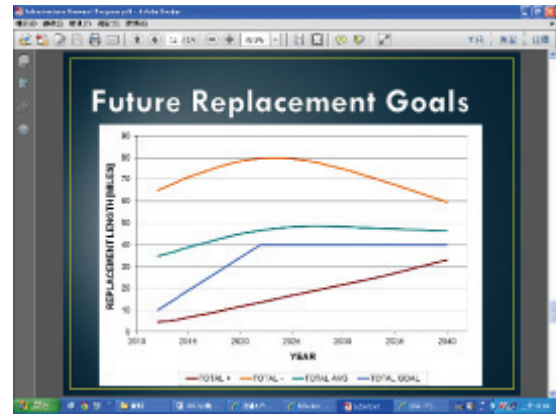


圖 5.3.2-6 管線未來汰換目標

5-4 供水管理及高地供水及壓力分區計畫

東灣水務局主要供水區域為舊金山灣(San Francisco Bay)東側，供水面積達 325 平方英里(841 平方公里)，供水人口數達 130 萬人。其轄下之配水設施計有 167 座儲水槽(Reservoirs)、136 座加壓站(Pumping Plants)及管線總長 4200 英里(6758 公里)，另供水劃設 120 個壓力分區，供水最高高程為 1450 英尺 (442 公尺)。EBMUD 供水區域如圖 5.4-1 所示，原水由 Mokelumne Aqueducts 輸水管送水，分送至 Lafayette、Orinda、Sobrante、Upper San Leandro、Walnut Creek 及 San Pablo(備載使用)等淨水場處理後，依淨水處理供應量區分 5 大區域供應用戶用水，另供水區域高程分佈如圖 5.4-2 所示。

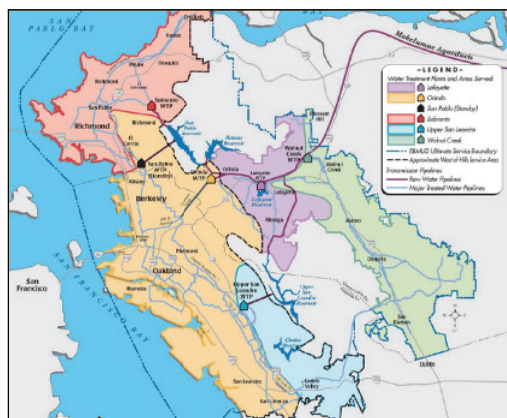


圖 5.4-1 EBMUD 淨水場分佈與供水範圍示意圖

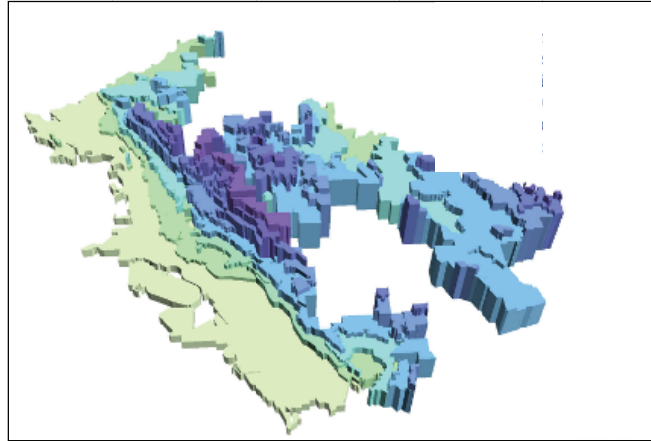


圖 5.4-2 EBMUD 供水範圍高程示意圖

區域內分段加壓供水分區示意如圖 5.4-3 所示，依高程區分 200 英尺 (61 公尺)以下為直接供水區、分區原則為 200 英尺 (61 公尺)以上每增加 200 英尺 (61 公尺)為一加壓分區，該區用戶供水壓力維持在 40psi(2.8kg/cm²)~130psi (9.14kg/cm²)之間。另較高之供水分區與相鄰較低之供水分區設置壓力調節閥作為備援供水使用。

配水池採進水管同一管線設置，即尖峰時段主要由加壓站直接供應用戶用水，離峰時段為配水池主要進水時間，加壓供水時間約每日連續 16 小時。配水池蓄水量採最大日需水量設計，其中 70%儲蓄水量作為緊急狀況應變使用，30%水量作為平日操作供水使用(詳如圖 5.4-5 所示)，最大日需水量原則上每 5 年調查更新以為因應。加壓站設置考量說明如下:1.設計最小抽水流量為 1.5 倍目標年最大日需水量。2.該加壓站設置最大抽水能量之抽水機，另備用 1 台作為備援使用。3.當尖峰用電時段用電成本高時，加壓站可停止加壓，由配水池供水。4.抽水機能量設計需考量於 48 小時間回補填充空池之配水池容量。

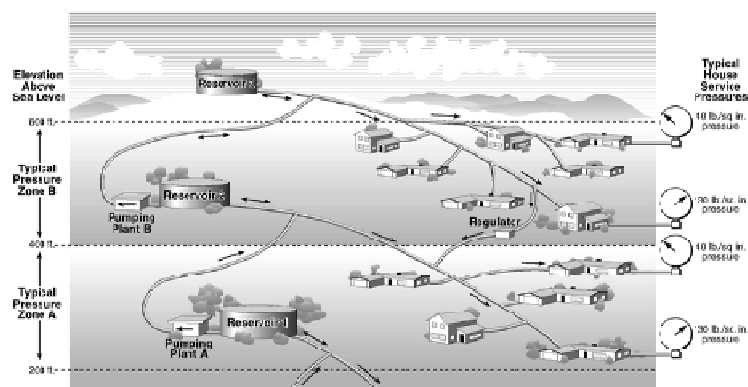


圖 5.4-3 分段加壓供水示意圖



圖 5.4-4 壓力調節閥照片

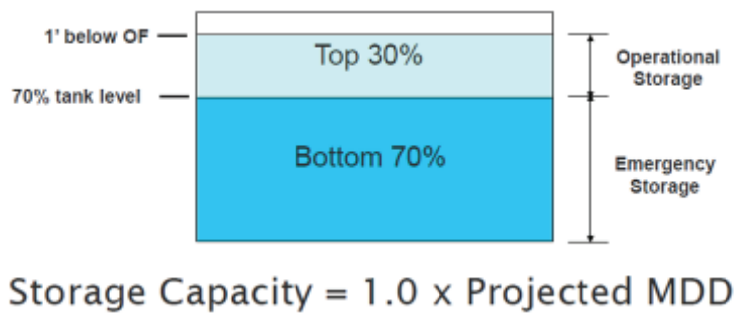


圖 5.4-5 配水池操作示意圖

每一加壓供水區域內之供水壓力如圖 5.4-6 所示，標準之用戶供水壓力維持在 40psi(2.8kg/cm²)~130psi (9.14kg/cm²)之間，小於 40psi(2.8kg/cm²)區域用戶則視況輔以加壓設備(如圖 5.4-7 所示)，大於 80psi(5.6kg/cm²) 區域用戶則輔以壓力調節器(如圖 5.4-8 所示)以保護用戶供水設備。大於 130psi(9.14kg/cm²) 區域則由主要劃設於另一較低之加壓供水區域供水。

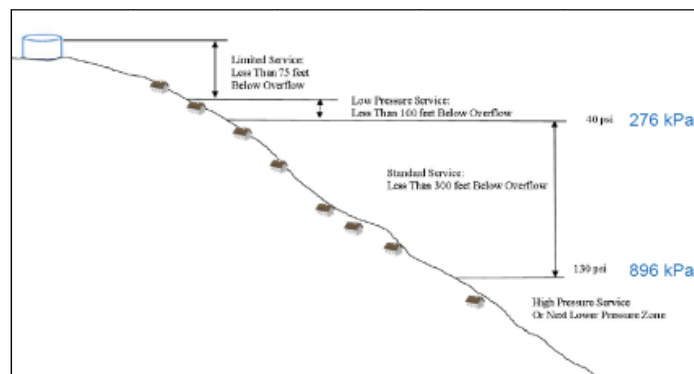


圖 5.4-6 供水分區壓力示意圖

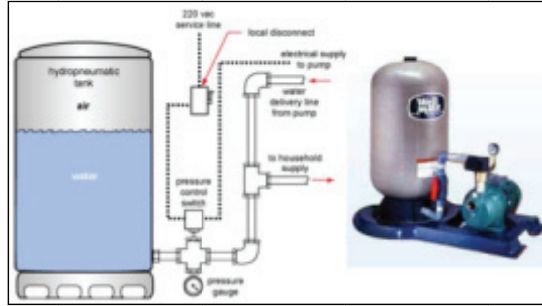


圖 5.4-7 水壓較低處用戶加壓設備示意圖

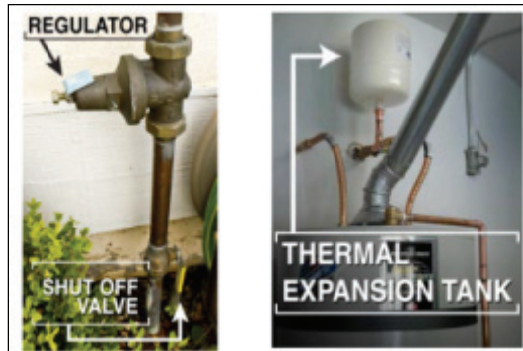


圖 5.4-8 用戶壓力調節設備

東灣水務局供水分段加壓維護費依用戶所在高程分佈位置收費，計費方式如表 5.4-1 所示，高程小於 61 公尺(200 英呎)不需收取加壓費用，高程介於 61 公尺(200 英呎)~183 公尺(600 英呎)每度水加收台幣 5 元，高程大於 183 公尺(600 英呎)每度水加收台幣 11 元。另每戶申請接水費用，依用戶所在分區與申請水錶管徑收費(詳如表 5.4-2 所示)，收取費用介於 47 萬台幣至 345 萬台幣之間。分區劃設主要為參考高程，分區劃設分佈詳如圖 5.4-9 所示。對應參考供水配水池分佈如圖 5.4-10 所示，配水池分佈如前述壓力供水分區原則，主要位於 2 區與 3 區高程較高區域。

Elevation Surcharge based on the energy costs of providing water.					
Elevation Band					
Elevation 0 to 61 meters Gravity flow/no pumping required.	---		---		-
Elevation 61 to 183 meters	\$ 0.50 per 100 3 ³		NT\$5	¥18	per m ³
Elevation above 183 meters	\$ 1.02 per 100 3 ³		NT\$11	¥36	per m ³

表 5.4-1 分段加壓供水維護收費表

METER SIZE (INCHES)		REGION**		
		1	2	3
1.9 cm	3/4	\$15,580	\$26,950	\$34,460
2.5 cm	1	26,020	45,010	57,550
3.8 cm	1-1/2	52,040	90,020	115,100

表 5.4-2 每戶分區接水收費表

註：表示接水費用為美金，台幣計算可乘以 30 計算。



圖 5.4-9 接水收費分區示意圖

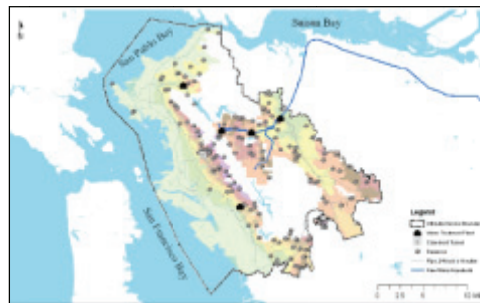


圖 5.4-10 供水系統配水池分佈示意圖

5-5 相關自來水工程設備及應用

5-5.1 智慧化水錶及管線測漏技術 Smart Meters and Pipe Leak Detection

先進智慧化水表管理系統(AMI)，係利用硬體、軟體及通訊、用戶資料及控制等設備，建立一套系統，可進行水量計量、資料蒐集、分析，並通訊聯絡流量裝置如流量計、電子流量計、水壓計及其他臨時或計畫性設施，達成管理之目的。EBMUD 公司提出黑鷹AMI示範計畫，該計畫選定

壓力供水分區，進行以網路架構下及時監控，該壓力分區面積為10平方哩，9個蒐集站(collector)、4000各水表(meter)，控制可使用戶更方便了解自家用水狀態，以更有效地使用水，並達省水目的。EBMUD的智能電錶可採取每隔一小時，更新與記錄用水讀數。目前此屬初期階段，與舊表相較由於價差不大，當有用戶提出需求，EBMUD則免費安裝。用戶透過網際網路登錄，並利用AMI系統，使用及時資訊及累計資料分析，可幫助用戶達成節省水資源目的。

	
<p>圖 5.5.1-1 壓力示範區</p>	<p>圖 5.5.1-2 示範單位</p>
	
<p>圖 5.5.1-3 示範單位年報</p>	<p>圖 5.5.1-4 示範單位月報</p>

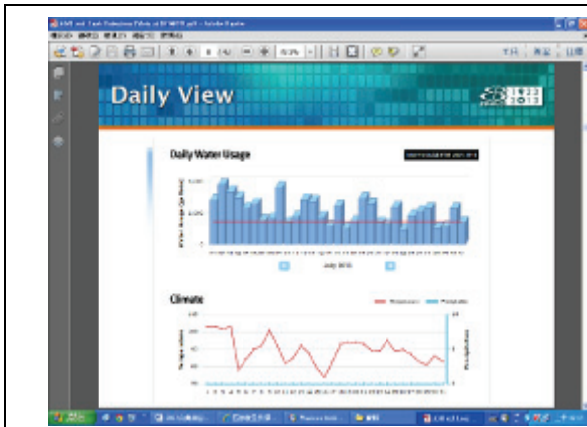


圖 5.5.1-5 壓力示範區日報

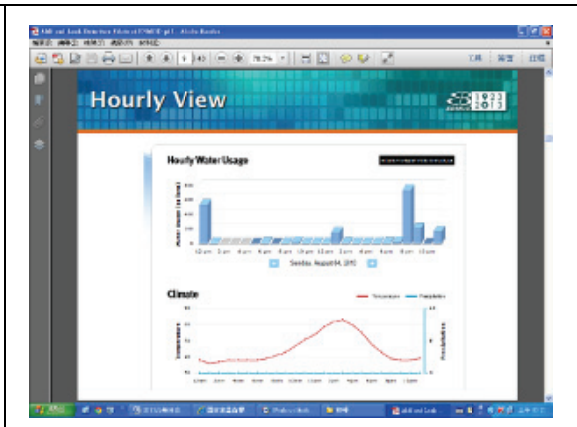


圖 5.5.1-6 示範單位小時報

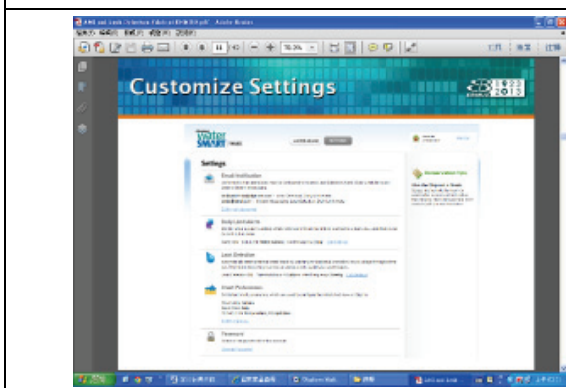


圖 5.5.1-7 顧客資料設定

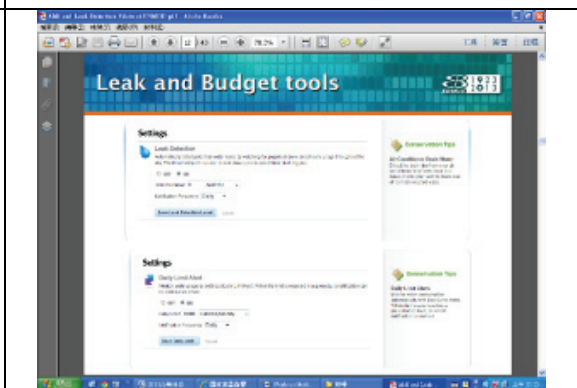


圖 5.5.1-8 漏水及水費資訊

在管線測漏技術上，包括導水路、一般管線及系統測漏三部份，導水路測漏所指為 500MM~2740MM 管路，611KM 長，由 1916 年至 2003 年。一般管線測漏所指為 50MM~500MM 管路，740KM 長，由 1890 年至今。系統測漏部分係利用 AMI 遠端控制技術。導水路測漏利用主動式音訊(Tethered acoustic monitor)、管內移動式音訊(Free swimming acoustic monitor)、相關式音訊(Correlator with enhanced signal processing)。主動式音訊(Tethered acoustic monitor)部分 EBMUD 採用 Sahara 系統，本系統藉由聲音感應器進入管線內，直接偵測漏水位置並評估漏水量大小，最遠偵測距離達 2000m。適用於偵測大管徑 (>250mm)、多種管材質之測漏系統，本儀器具有高感應度(同一線段之不同漏水點均可偵測出)、定位準確(降低施工成本及減少停水區域)、訊號即時回饋、漏水點大小預測，評估修漏方法、供水無需中斷且不會擾動管壁水垢等優點，但費用高，管線愈轉折亦限制其使用性。管內移動式音訊(Free swimming acoustic monitor)部分 EBMUD 採用 SMART BALL 系統，此部分亦如臺北自來水事業處剛引入進行測試

中。相關式音訊(Correlator with enhanced signal processing) 當用聽音法確認管線漏水後，於漏水管線上的兩個閥栓裝設補音器，利用電腦分析振動聲音因漏水傳播時間差及速度而計算出漏水位置，此種方法較經濟便宜。

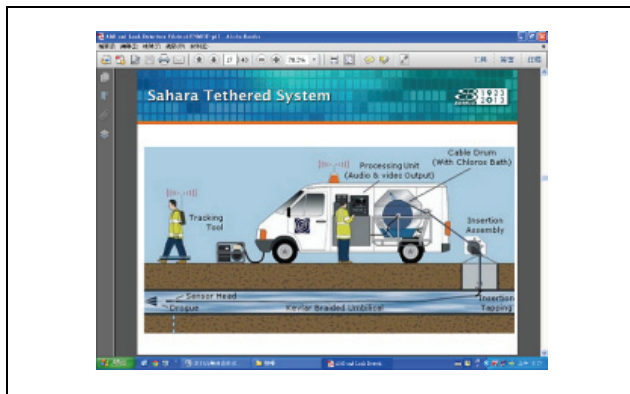


圖 5.5.1-9 主動式音訊

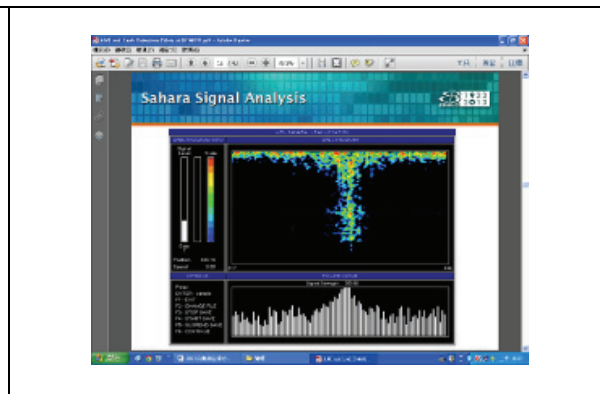


圖 5.5.1-10 主動式音訊號分析



圖 5.5.1-11 管內移動式音訊



圖 5.5.1-12 管內移動式音訊操作

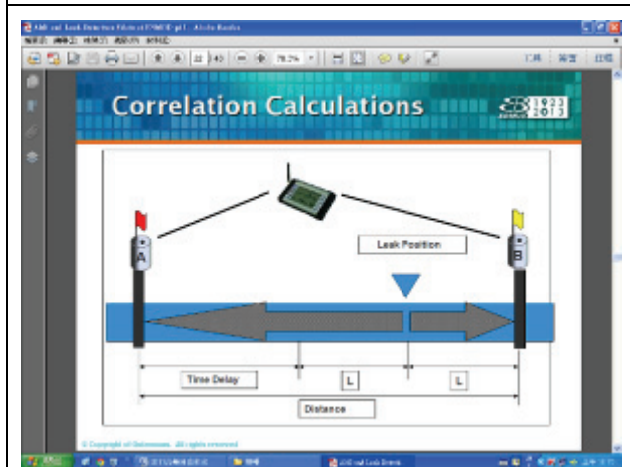


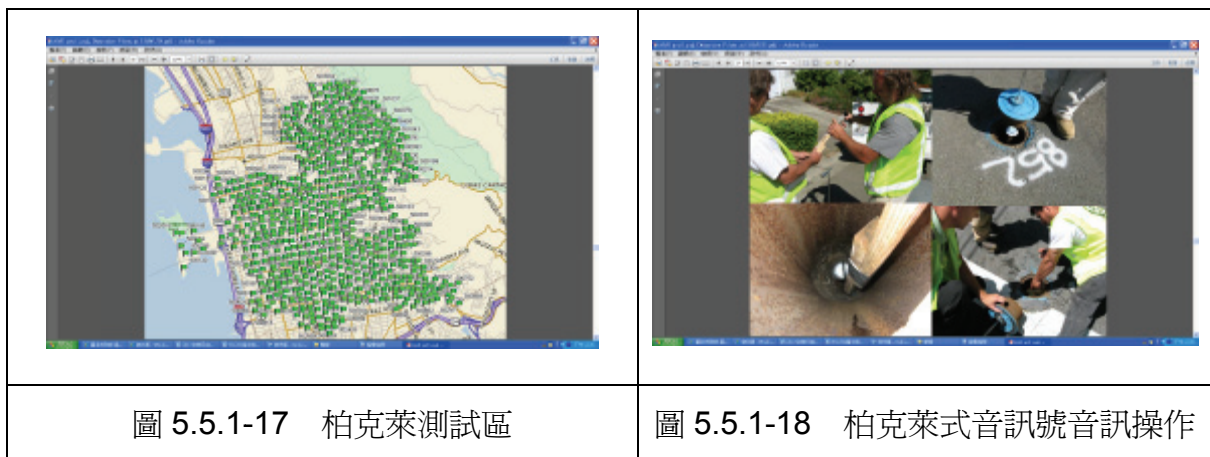
圖 5.5.1-13 相關式音訊



圖 5.5.1-14 相關式音訊操作儀器



利用相關式測漏技術，EBMUD 選定柏克萊高漏水區，進行供水示範側漏，該地區管網為各管種及管齡不同之代表區域，採 850 蒐集點(Loggers)，移動是搜集資料，管線總長 463KM。搜集器可以磁性吸附於閥栓上，為避免干擾每日凌晨 2~4 點，每 5 秒中紀錄一次聲源，利用廣泛佈設搜集器可側漏，依漏水聲訊定義漏水指標(Leak Index)0~100，並作相關示處理後了解漏水點。柏克萊高漏水區測漏計劃成果，測得 233 漏水點，其中 136 點 50mm~500mm 管網上，92 點在給水管，1 點在消防栓，2 點在制水閥。就分析相關資料而言，44%(102)由搜集器(Loggers)聽到，71%(165)在鑄鐵管、17%(39)在鋼管、9%(22)在石綿管、2%(5)在 PVC 管，平均偵測距離約 70M。



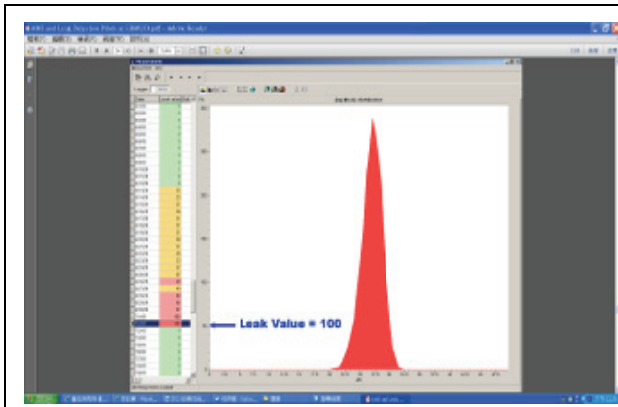


圖 5.5.1-19 音訊分析

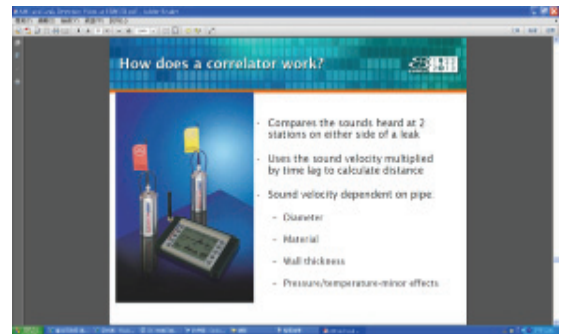


圖 5.5.1-20 音訊搜集器

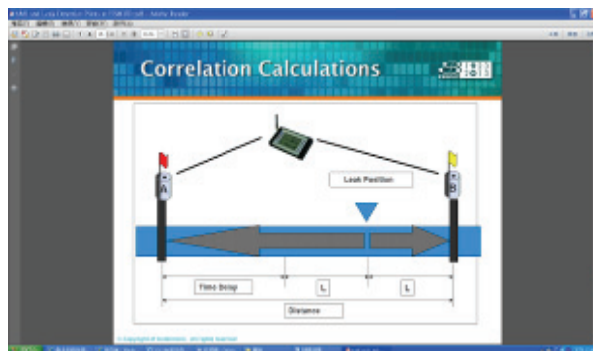


圖 5.5.1-21 相關式音訊操作



圖 5.5.1-22 相關式音訊操作

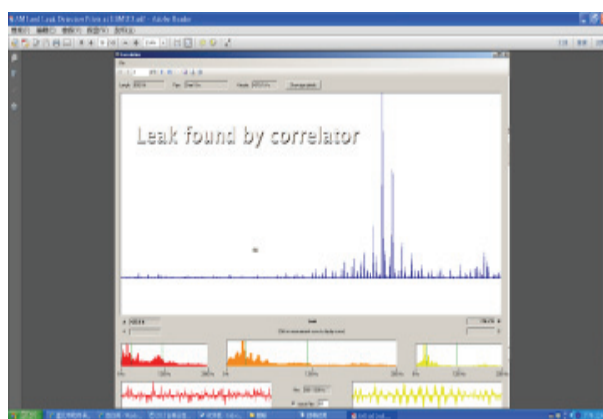


圖 5.5.1-23 相關式音訊分析分析



圖 5.5.1-24 相關式音訊分析後修漏

5-5.2 石棉管汰換計畫 Asbestos Cement Pipe Corrosion Study

石棉管在EBMUD公司管網中，有悠久歷史及比例，依據漏水率及腐蝕老化等因素，進行一系列石棉管汰換計畫。依據統計石棉管1144miles

(28%)、鑄鐵管 1354 miles (33%)、鋼管 1220 miles (30%)、其他管種 387 miles (9%)。就整體漏水率而言，依據統計石棉管 8%、鑄鐵管 74%、鋼管 8%、其他管種 10%。石棉管在 1950~1980 大量採用，1990 年後甚少使用。口徑上 6"~8" 居多。平均每年漏水 126 處，每百 miles 長管線 11 處漏水，最多漏水為管齡 70 年 4" 管居多。EBMUD 對石棉管損壞類型亦進行調查及統計，依發生結果依序為環狀開裂、接頭漏水、1" 以上大孔洞、管軸向開裂、部分環狀開裂、小孔洞。為了解腐蝕老化等因素，EBMUD 亦進行一系列管材取樣及試驗，物理性質及化學性質，包括應變、壓碎、張力、撓屈、密度、PH、掃描式電子顯微鏡等。依統計分析結果，灣區丘陵東部石棉管 AC 管較丘陵西部漏水率為高，可能係腐蝕因子不同。埋設邊坡大於 5% 管線漏水率大於埋設邊坡小於 5% 者為高，可能係邊坡滑動管線受力之故。1950 年代之前石棉管漏水率遠高於 1950 年代之後者，可見腐蝕因子受時間因素左右。在漏水檢測部分採用相關式漏水檢測方法。管線應變損失與漏水率有極高相關性。依據上述資料，設定石棉管基本資料庫及腐蝕率、安全性等制定維護及汰換計畫。

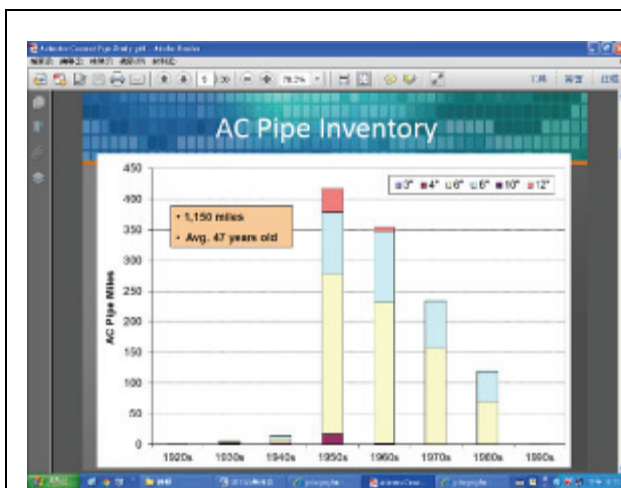


圖 5.5.2-1 石棉管財產分類(年份及口徑)

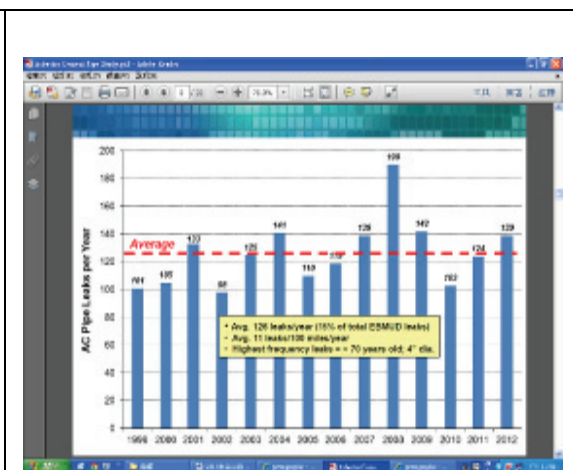


圖 5.5.2-2 石棉管年漏水分析

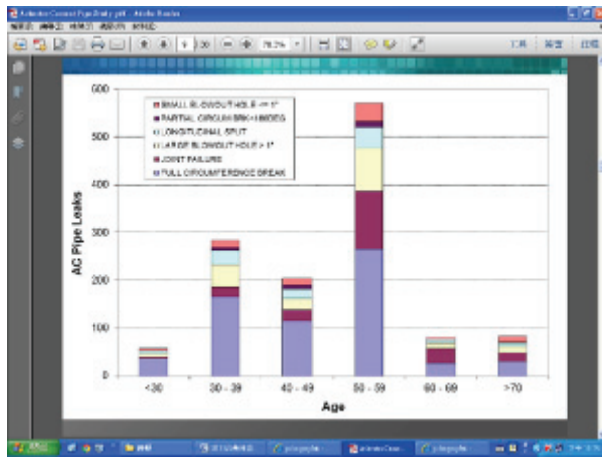


圖 5.5.2-3 石棉管漏水分析(管齡及破壞型態)

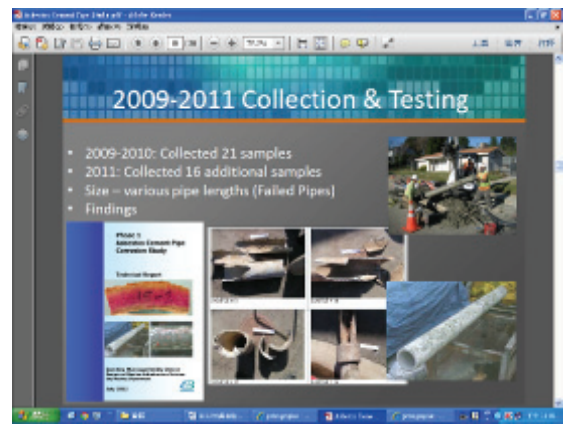


圖 5.5.2-4 石棉管取樣及測試

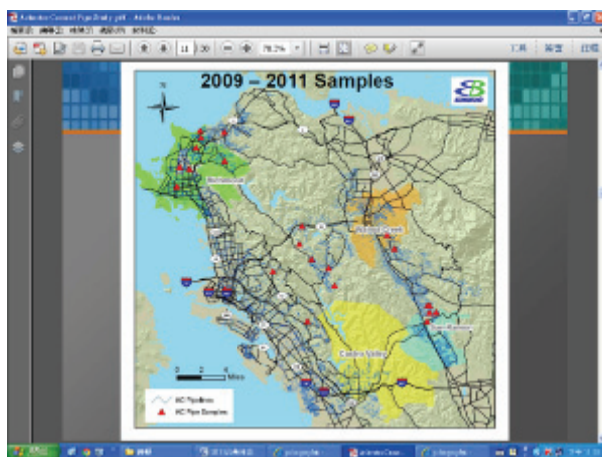


圖 5.5.2-5 石棉管取樣位置

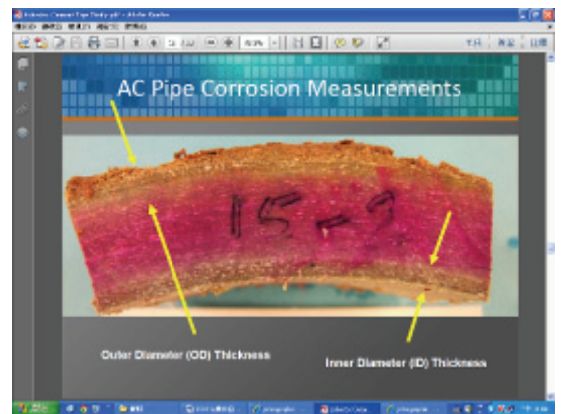


圖 5.5.2-6 石棉管腐蝕測量

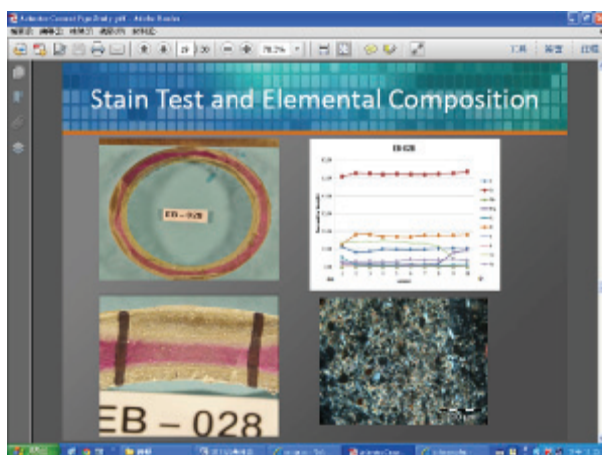


圖 5.5.2-7 石棉管應變測量及組成分析



圖 5.5.2-8 石棉管力學試驗



圖 5.5.2-9 相關式測漏

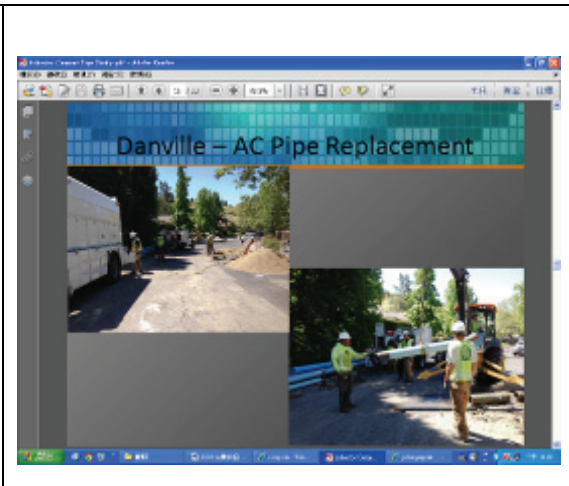


圖 5.5.2-10 石棉管汰換

第四章 考察心得及建議

4.1 考察感言

在本次行程裡，藉由實地的參訪與研討會座談行程，除獲得國際性之自來水設施耐震與維護管理工程技術資料外，另亦可深刻感受到美日對水力資源規劃、應變備用及風險研析等方面的謹慎態度和努力。雖然舊金山幅園近似臺灣且斷層問題與臺灣相近，但由其城市規劃與自來水設施建設管理可看出，舊金山努力地將自來水設施以風險角度，審慎檢討設施耐震與管線對付斷層對策，並努力執行。

由 SFPUC 對 Calaveras 壩之舊壩改建建設所見，面對地震挑戰、庫址選擇不易、環保抗爭與舊有設施之耐震性不足，積極地檢討壩址不利條件，而於原有環境加強改建上水水利建設，此改建考量可為參考；而 CCWD 之 L.V.水庫則整合利用上下游資源，以民營之力改建加高既有壩高、擴大庫容與風險管制，及積極解決環境鹽化且為未來極限氣候鋪路，CCWD 商業營運與面對地震與環境問題之決心；EBMUD 則積極以 GIS 觀念仔細檢討整體管網設施，並對不同類型儲水設施積極改善提昇耐震性；日本則極力推動耐震管材與設施之佈設研析；臺灣地質不佳且人口密集，可用之地更屬有限，大規模之水利工程建設與管理甚為不易，面對不利環境與條件，自來水管線及設施，應開創安全之輸水與管理系統為目標，相關單位除應重視管線之耐震、備援外，更應於有限之人力財力狀況下，有效就細部區域進行地下結構震損災害研析與國土之災害防救措施檢討外，更應考量己身能力條件，面對無可預期之地震災害與極限氣候影響，依風險程度訂定國內自來水管線工程/設施之未來發展與量能提昇策略，以提高供水可靠度。

4.2 感想及建議

就本次參加「第 8 屆台、美、日自來水設施耐震對策研討會」暨考察結

果，提出以下幾點感想及建議：

1. 本研討會為自來水設施界之年度盛事，參加人數雖僅三國百餘人，但各方見解與研析成果值得我國參考及增加專業人員參加度。
2. 以今年與會情況，亞洲國家中，日本無論參與人數及論文篇數都比台灣來得多，且參與者，年輕代表為多，顯現日本於此方面之重視與經驗傳承之落實。
3. 預算不足為舊管換新管之最大障礙，故吸取新的資訊及新的想法以經濟的方式提昇管線與設施系統的耐震能力，為主管機關應有的思維，故以目前評估技術而言，管線汰換執行之優先順序排定，實可利用區域高精度微分化之 GIS 系統進行評估，其數量成果及差異可縮小，以提供最佳化的方式。
4. 由研討會成果瞭解，自來水設施耐震發展之目前趨勢仍為管材、風險研析、GIS 應用及設施耐震等課題，經工程參訪，對這些課題可參考其經驗並納入探討，後續則值得台灣自來水界與司內注意與追蹤。
5. 美國於設施安排之廣度及日本的技術細緻度、研析手法可以作為我國學習仿效的參考與借鏡，配合國內的現況與需求，擬訂適合我國國情及社會習慣之制度與規範，才是最有效、最有利之作法。自來水耐震與設施耐震提昇的規劃設計可借鏡美、日工程。
6. 由於台、美、日國熱烈參與使得本次國際研討會相當順利成功，會議進行中可以感受到世界各國自來水工程界藉由本研討會已經搭起一座知識與經驗交流的橋樑，對於彼此均有莫大之助益；建議自來水協會宜推動加強與國際業界之交流外，亦可鼓勵各界踴躍參與此類國際活動；下屆 (2015) 研討會，將於日本舉辦，協會宜及早通知各會員因應，進行技術交流及提昇。
7. 由本次研討會之 SFPUC 於 Calaveras Dam 更新計畫執行及 CCWD 之 EBMUD 之 Los Vaqueros Reservoir 擴建構想，均架構於面對強大環保

問題及減小環境衝擊下之最佳化技術應用方式，設計為日後預留空間擴建、財政不佳下之階段性施工之預留性安全系及容量作法，應可為參考。

8. 本次研討會之 SFPUC 於幹管穿越 Hayward 斷層對策及 EBMUD 之岩盤地層幹管穿越斷層構想、日本 SPF 耐震管材等，均為寶貴案例可供本公司於類似設計之參考；另日本於防災與救災體系皆以透過民眾之瞭解及參與過程，此有利於突發事件之應變，使在於災害發生時，能立即有效的結合所有資源，在救災時效內，盡力進行搶救，減少傷亡人數，並避免災情的擴大已為維生管線系統防災管理資訊系統建立之必備工具，其與組織體系及資訊整合技術，可作為國內之借鏡。

參考文獻

1. Calaveras Dam Replacement Project, SFPUC, 2013.Aug
2. CCWD and the delta, CCWD, Lucinda Shih, 2013.Aug
3. Los Vaqueros Expansion Project, CCWD, Fred Simon, 2013.Aug
4. Los Vaqueros Expansion Project, CCWD, Fred Simon, 2013.Aug
5. Design of Water Transmission Pipelines Crossing the Hayward Fault, SFPUC, Julie L. Labonte、Stephanie Wong, 2013.Aug
6. Design of Water Transmission Pipelines Crossing the Hayward Fault, SFPUC, Julie L. Labonte、Stephanie Wong, 2013.Aug
7. 2007 Working Group on California Earthquake Probabilities, 2008. The Uniform California Earthquake Rupture Forecast, Version 2, U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1437.