

出國報告（出國類別：開會、考察）

「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  
報告

服務機關：經濟部台灣自來水公司

姓名職稱：施高級研究員澍育

派赴國家：美國

出國期間：自 102 年 8 月 19 日至 101 年 8 月 29 日

報告日期：102 年 11 月 29 日

系統識別號：C10202870

## 公務出國報告提要

出國報告名稱：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

頁數 32 含附件： 是

出國計畫主辦機關：經濟部台灣自來水公司

聯絡人/電話：施澍育 04-22244191 分機 208

出國人員：施澍育

出國類別：開會

出國地區：美國

出國期間：102 年 8 月 19 日至 102 年 8 月 29 日

報告日期：102 年 11 月 29 日

分類號/目：

關鍵詞：管線耐震對策、地震災損、高地自來水設施、漏水率、平移斷層、破碎帶

內容摘要：

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之邀請參加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」本人隨同相關單位參與並論文發表。

本次會議於 2013 年 8 月 19 日至 8 月 29 日計 10 天召開。集台、美、日產/官/學界人員共同參與，參加之大學院所及相關企業的專家及學者，計有 100 餘人，發表之文章計有 37 篇(美國-10 篇、日本-17 篇、台灣-10 篇)。另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。

考察與研討交流主要項目為：

1. 有關美國加州地區耐震等級與設計基準。
2. 後續既有設施耐震能力提昇基準及策略。
3. 耐震補強實務案例與技術發展趨勢。
4. 舊金山地區供水水壓政策及管理。
5. 高地及平地供水分區劃設理念及方式。
6. 漏水控制與管理。
7. 管線汰換標準及作法。

# 目 錄

頁 次

壹、目的 .....	4
貳、行程 .....	5
參、會議考察紀要 .....	6
3.1 研討會會前研討 (08.20) .....	6
3.2 研討會技術論文發表(2013/8/21~08/22).....	7
3.3 Technical Tour 工程參觀(2013/8/23) .....	11
3.4 CCWD 技術參訪(2013/8/26) .....	17
3.5 EBMUD 拜會與研討(2013/8/27) .....	23
肆、心得及建議 .....	28
4.1 心得 .....	28
4.2 建議 .....	29
附錄一: .....	31

## 壹、目的

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之邀請參加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。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.地震減災措施(SEISMIC MIGITATION 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。

另因舊金山與台灣同處地震帶，過去亦曾受地震侵襲，對於地震後之自來水設施災害、復舊、評估、補強等有豐富經驗，其周邊丘陵地形又與本公司供水區相類似，有關加壓站及配水池之設計及管理方式，諸如如何做好高地供水操作管理、節能減碳，並嚴格控管漏水率等，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。

本次會議集台、美、日產/官/學界人員共同參與，參加之學界及相關企業的專家及學者，共有 100 餘人，發表之文章計有 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 現正施工中之 San Francisco Public Utilities Commossion 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 8.27 與 EBMUD 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體成效及設計參考。

## 貳、行程

表 2.4-1 考察行程

日期 Date	行程考察單位 Visiting place	考察內容 Visiting content
8/19(Mon)	起程 台北→舊金山	◎ 去程
8/20(Tue)	參加台美日地震研討會會前會	◎ 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)之各項設施參訪
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)	舊金山→台北	◎ 回程
8/29(Thr)	舊金山→台北 → 台中	◎ 回程

## 參、會議考察紀要

依研討會(2013年8月20日~23日)及2013年8月26日~27日赴舊金山CCWD與EBMUD自來水單位參訪狀況，分別敘述如下：

### 3.1 研討會會前研討 (08.20)

#### 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，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。

美國加州位於太平洋板塊及北美板塊之間，地震活動頻繁，1906.4.18之am05:13，聖安德列斯斷層(San Andreas fault)在舊金山持續斷裂，毀損了上萬建築物與公共設施及引起大火。地震中造成3千多人喪生，為美國近期最有名之地震，聖安德列斯斷層為橫跨美國加利福尼亞州西部和南部以及墨西哥下加利福尼亞州北部和東部的斷層，依專家研判此斷層活躍性甚高，除San Andreas fault外，舊金山灣區鄰近之斷層尚有the Calaveras, Concord-Green Valley, Greenville, Hayward, Rodgers Creek, and San Gregorio Faults.斷層不僅活躍，每年經測量估算約可達6~30mm/年以上之變化速率，相關設施對策均需納入此項考慮。

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。

本次研討會議程相當緊湊，大會議程一覽表如附錄一。

#### 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，另就舊金山灣區之鄰近斷層研析說明（如圖3.1-1~3）。

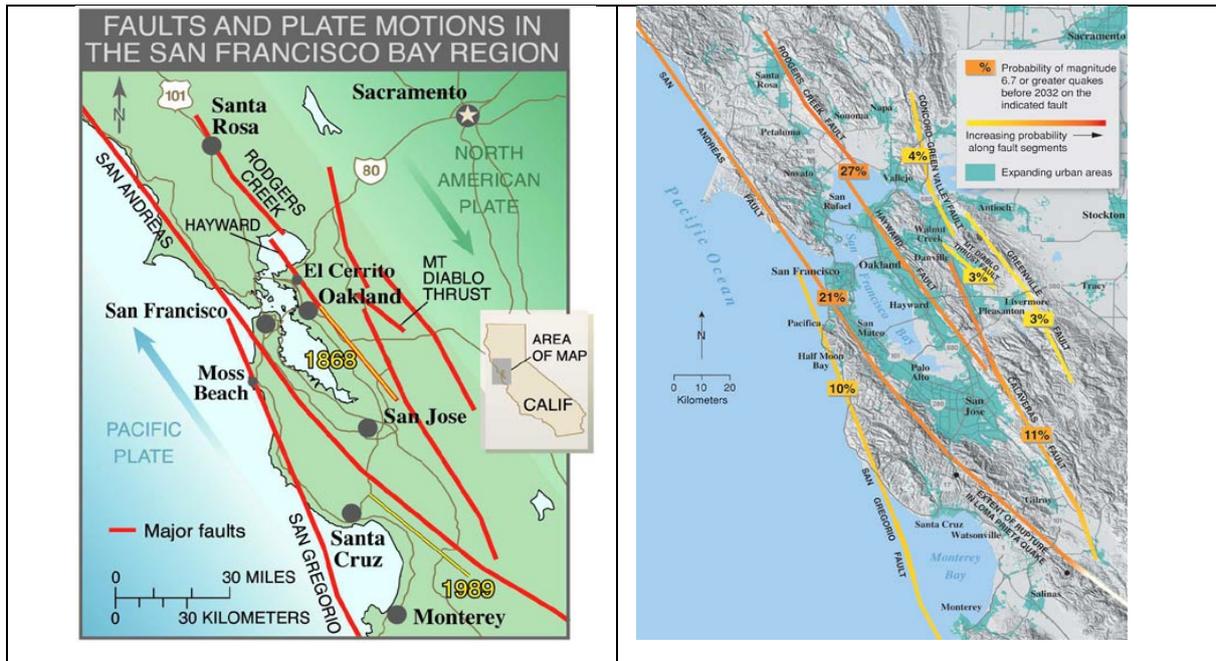


圖 3.1-1 舊金山灣區之鄰近斷層與 USGS 預測評估之再復發潛能機率



圖 3.1-2 1906 舊金山地震災損 [舊金山纜車博物館]

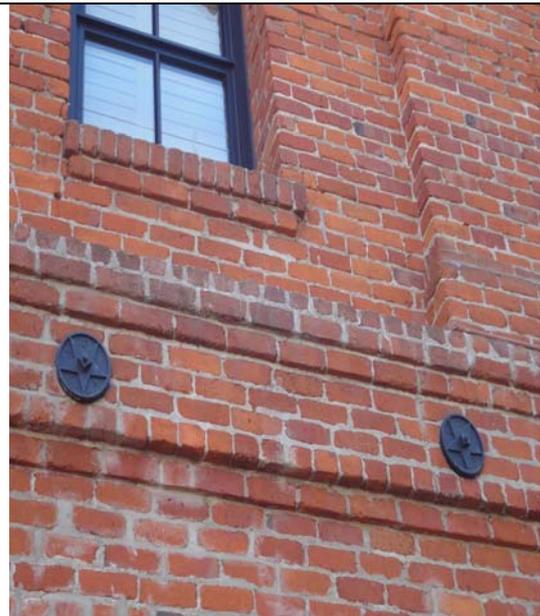


圖 3.1-3 舊金山老舊之磚造建物結構之樑柱履見用 ANCHOR 加強情形

### 3.2 研討會技術論文發表(2013/8/21~08/22)

#### a、開幕式

本年研討會係位於奧克蘭(Oakland) EBMUD-Large Training Center，首先分由美/日/台之 Mr. Alexander Coate(EBMUD General Manage)、Ms. Shonnie Cline(Water Research Foundation 之 Senior Account and Business Development Manager)、Prof. Hiroshi Nagaoka, Professor (Tokyo City University, Chairman of JWWA Water System Seismic Committee)、王桑貴秘書長(Secretary General,Chinese Taiwan Water Works Association)等人簡易致詞，美方大會主席特別強調本次 EBMUD(美國)主辦此一盛會，是自從第 1st & 3<sup>th</sup> & 5<sup>th</sup> 屆以來再次回到美洲國家主辦。WRF/JWWA/CTWWA Water System Seismic Conference 目的是為加強各國自來水系統工程技術之交流，辦理至今年已有 7 屆歷史，並分別由世界各國輪流主辦(4<sup>th</sup> & 7<sup>th</sup> 屆由日本主辦，6<sup>th</sup> 屆由台灣主辦)，每次均深受世界各國自來水從業人員的肯定與熱烈參與。

#### b、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。然對於廣域大面積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方面應予修正考量。

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。

#### C、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、獲益匪淺。



圖 3.2.1-1 本團參加大會人員



圖 3.2.1-2 主席致詞



圖 3.2.1-3 EBMUD 公司與大會會場



圖 3.2.1-4 論文發表



圖 3.2.1-5 論文發表

### 3.3 Technical Tour 工程參觀(2013/8/23)

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 壩為灣區最大的壩，舊壩始建於 1913 年，壩高約 1,200 英尺，長度約 245 英尺，為當時世界上最大的土壩及舊金山灣區之主要水源；為穩定水源及提昇供水水壩耐震性，乃於舊壩附近更新新建水壩。(詳圖 3.3-1~3.3-2)

2. 預期效益：新壩考量強化設計，除可抵抗 M=7 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(工程佈設詳圖 3.3-3~3.3-4)。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。後雖經修復並重新啟用，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。施工中進行調查（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 3.3-5)。
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。

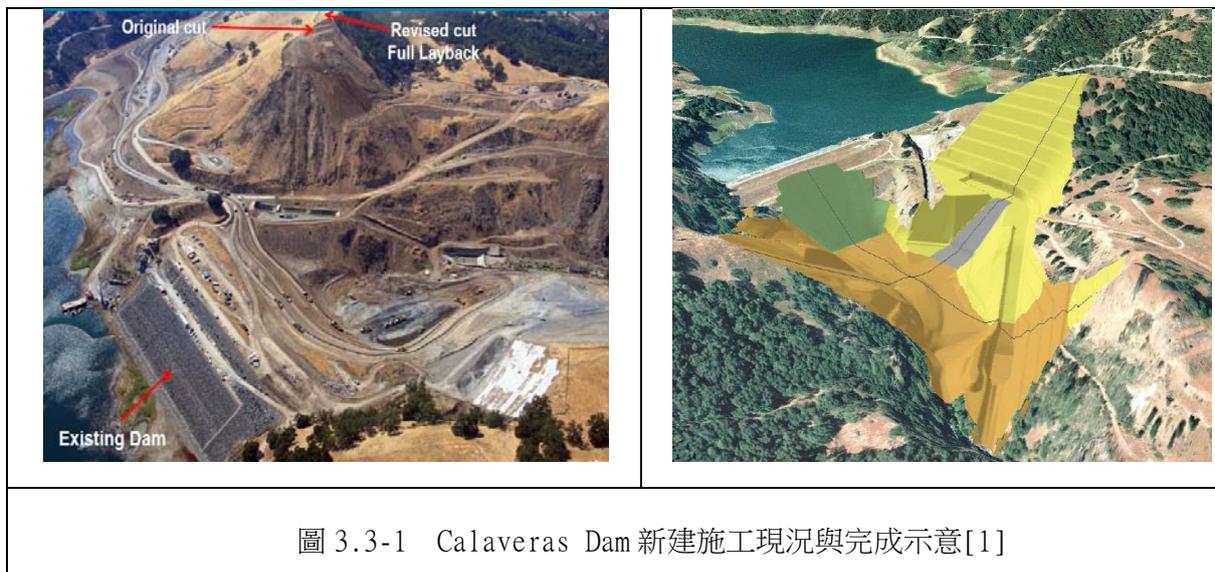


圖 3.3-1 Calaveras Dam 新建施工現況與完成示意[1]



圖 3.3-2 Calaveras Dam 位置[1]

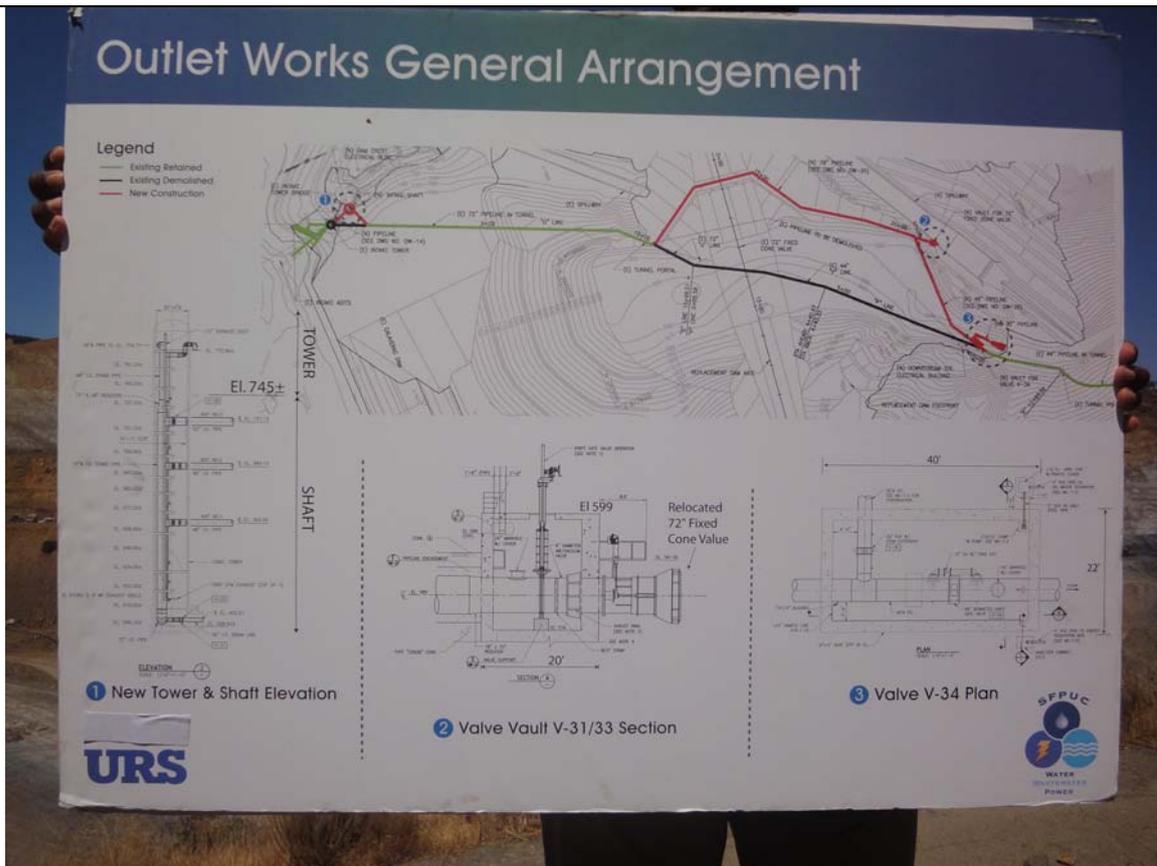


圖 3.3-3 Calaveras Dam 工程佈置

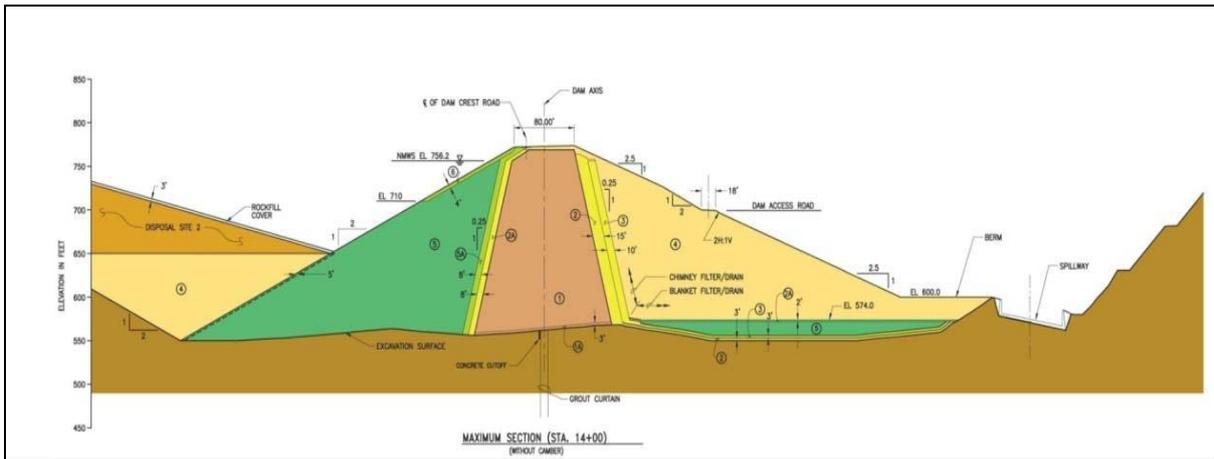


圖 3.3-4 於舊壩下游新建 Calaveras Dam 斷面[1]

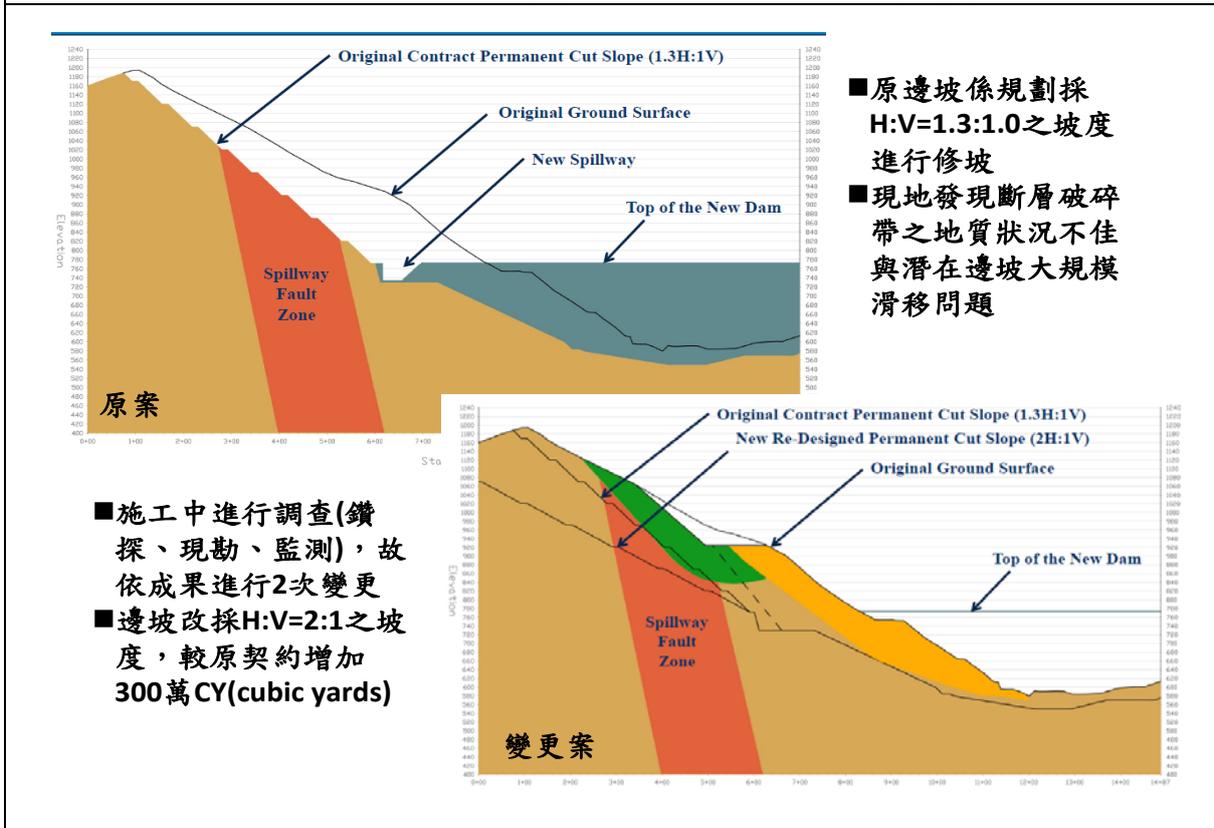


圖 3.3-5 Calaveras Dam 左岸邊坡施工變更示意[1]



圖 3.3-6 右岸坍塌邊坡以地錨暫時穩定



圖 3.3-7 右側新進水口 (INTAKE) 施工



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 3.3-10~11)。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

Hayward 斷層屬平移斷層，自來水幹管穿越處經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(WSSIP, water system improvement project)、供水不中斷之目的，SFPUC 考量幹管穿越交流道處覆土尚淺，搶修尚屬可行，又另考量斷層變位具多方向變位

特性，SFPUC 過斷層防災設計仍採預留空間及中置鋼管之策略，故箱涵兩側各至少留設有 1.5m 以上空間，平時兼作維修巡檢步道，此可滑動式混凝土箱涵有七段(箱涵間僅設有簡易止水條)，另鋼管亦考量可能之各方向變位而於兩端設有球型之 Ball Joint(具 12 度可彎曲能力)及配有千斤頂承受壓縮或拉伸之可滑式 Slip Joint 等耐震設施穿越此斷層。(詳圖 3.3-12~3.3-17)



圖 3.3-12 幹管穿越 Hayward fault [4]

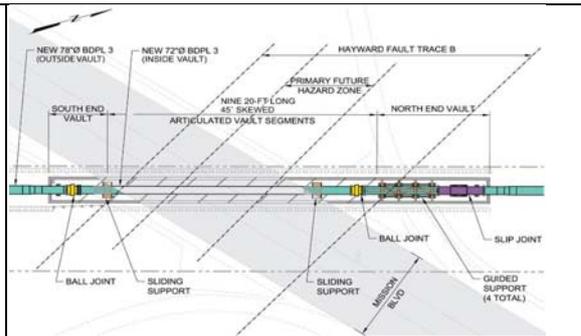


圖 3.3-13 穿越斷層設計理念 [4]

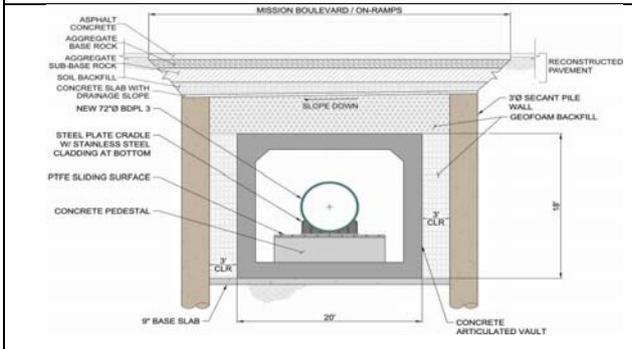


圖 3.3-14 穿越 Hayward fault 之斷面 [4]

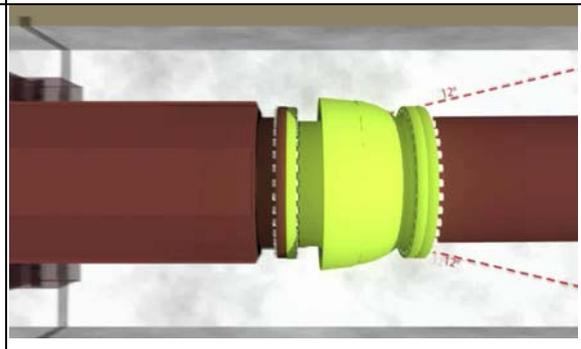


圖 3.3-15 球型接頭 Ball Joint [4]

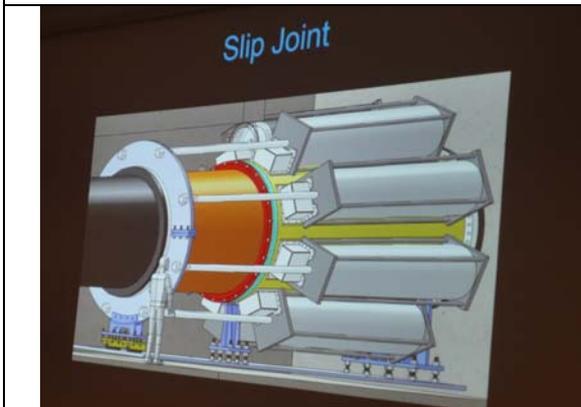


圖 3.3-16 Slip Joint [4]



圖 3.3-17 現場施工情形 [4]

### 3.4 CCWD 技術參訪(2013/8/26)

a、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。

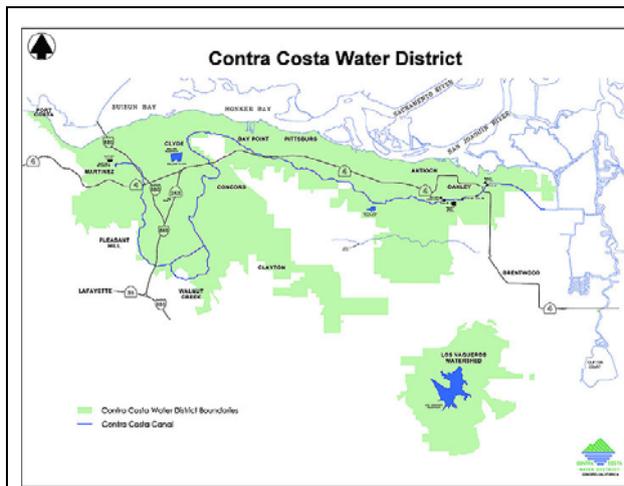


圖 3.4-1 CCWD 營運範圍



圖 3.4-2 1937.11.7 CCWD 運河動土儀式

b、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，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，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。

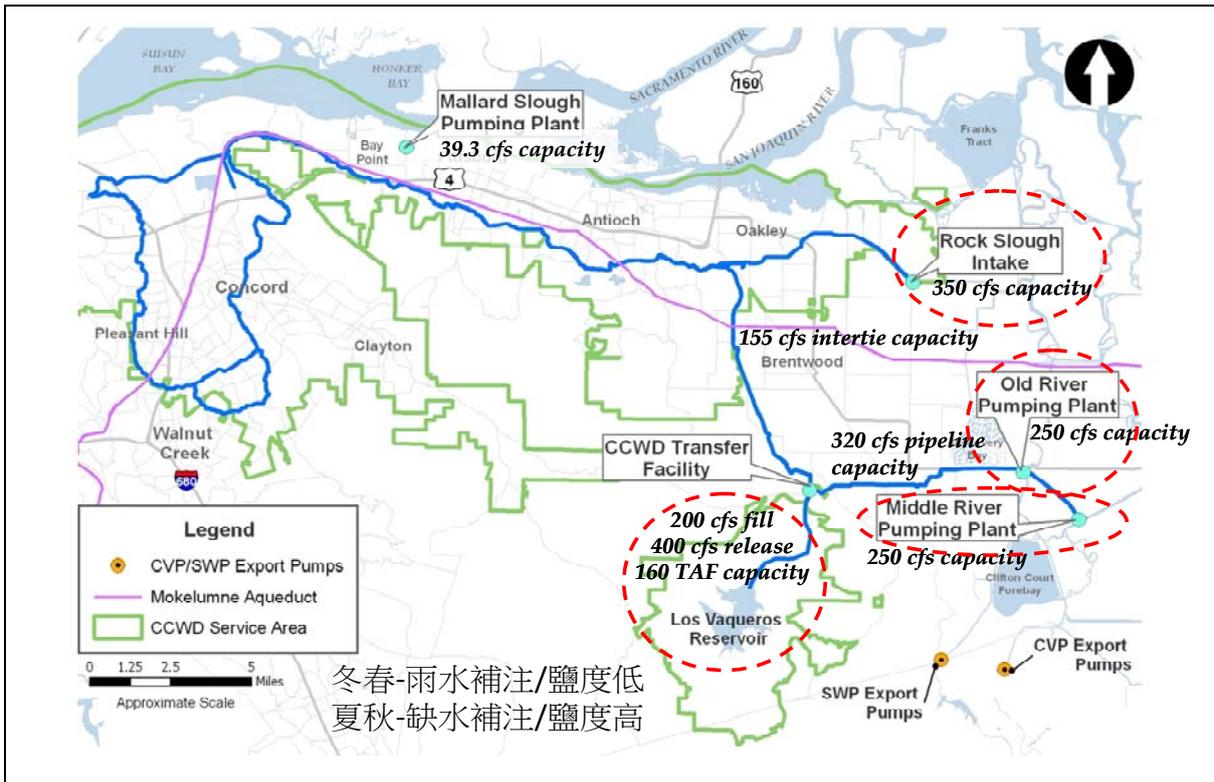


圖 3.4-3 CCWD 之供水設施分佈[2]

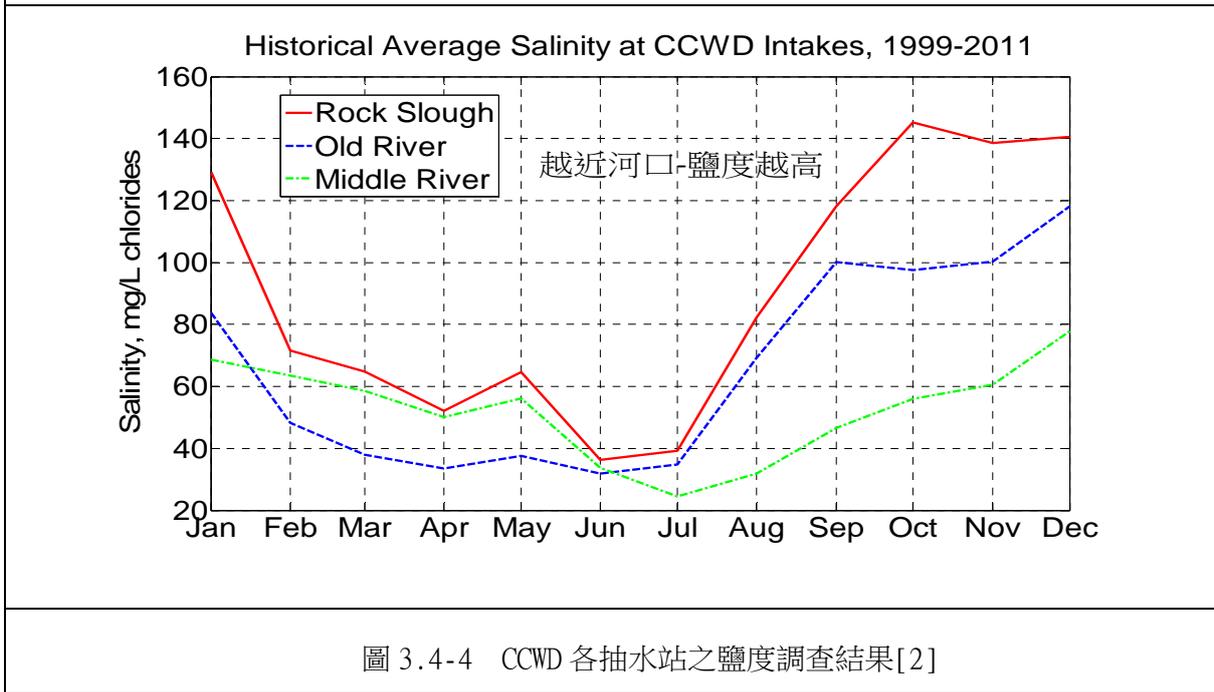


圖 3.4-4 CCWD 各抽水站之鹽度調查結果[2]

c、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(三角洲鹽化問題)、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，欲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。計畫 2011.Apr.01 開始動工
3. 擴建考量：(1)為增加 60,000 英畝之壩高需提昇 34 ft，(2)需使用 1 Million CY 的土/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)施工動線配合需求之修正調整、(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 (freeboard)。其施工構想可詳圖。
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。
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(採用 Geokon、Roctest 等品牌)，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 water treatment plant 之管理中心由專人進行管理。

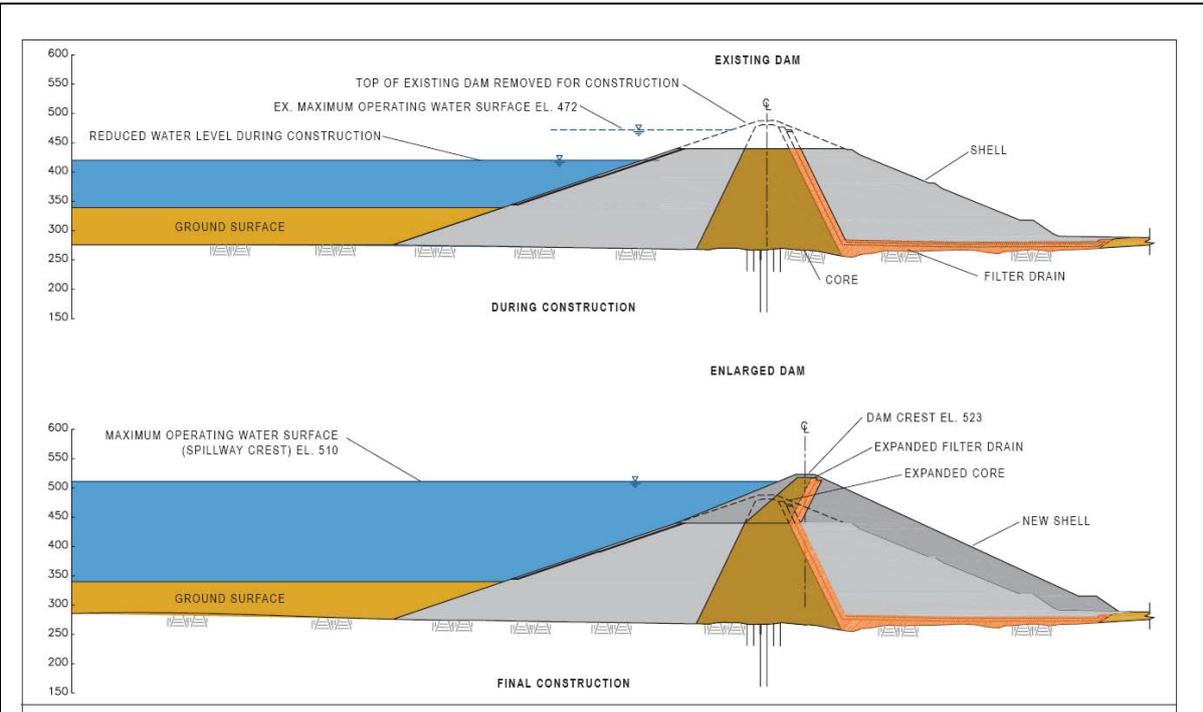


圖 3.4-5 Los Vaqueros Reservoir 壩高提昇施工規劃[3]

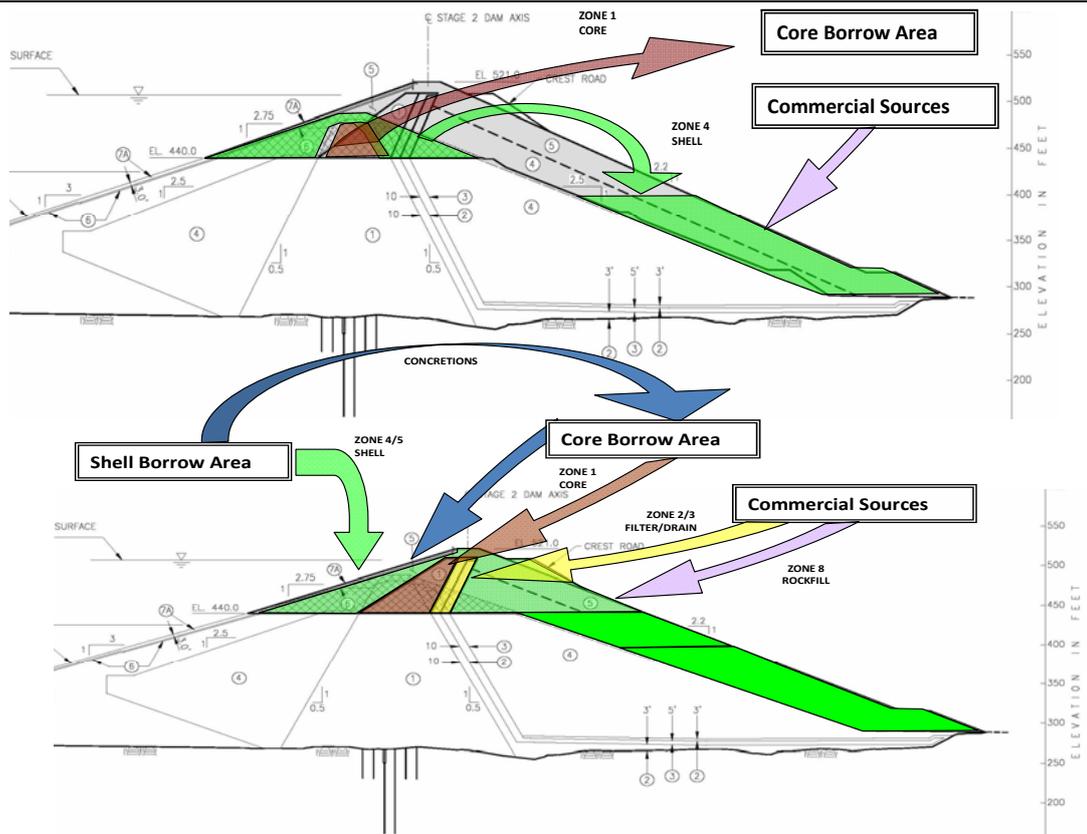


圖 3.4-6 Los Vaqueros Reservoir 擴建斷面與施工規劃[3]

d、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PUMP STA.水量與水庫水位高程外，該廠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water treatment plant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 3.4-7 參觀 Middle River pump Station



圖 3.4-8 自動清除取水口雜物設備



圖 3.4-9 Los Vaqueros Reservoir

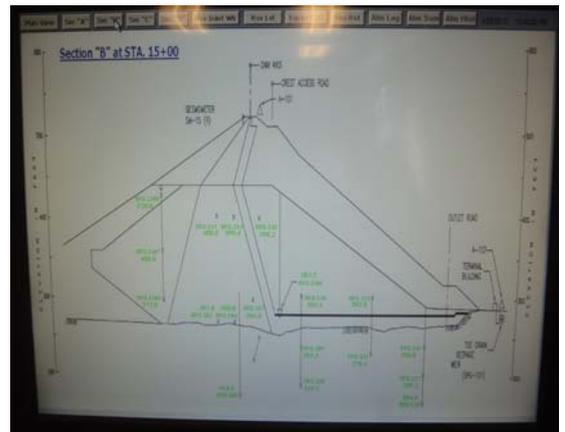


圖 3.4-10 LV Reservoir 自動化監控設備



圖 3.4-11 LV hydro 水力發電設備



圖 3.4-12 LV hydro 水力發電站



圖 3.4-13 CCWD 之 Ballman water treatment plant 之管理中心



圖 3.4-14 各區水位/水壓/水量供輸資訊



圖 3.4-15 Ballman water treatment 儲水水庫



圖 3.4-16 Ballman water treatment 淨水場

### 3.5 EBMUD 拜會與研討(2013/8/27)

3.5.1、單位概況：東灣水務局（EBMUD）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，故構建帕蒂大壩

（Pardee Reservoir, 1929 年完成）、Mokelumne 河（在內華達州）和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。其服務範圍與所遭遇之斷層可詳圖 3.5-1。

EBMUD 主要為客戶提供優良水質和污水處理，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，用水客戶超過 130 萬，東灣流域保護管理範圍達 28000 英畝，每日約提供水 700,000Ton/日，服務範圍達 20 個城鎮、15 個社區。

3.5.2、地點：EBMUD 2F。

3.5.3、研討內容：如下表，EBMUD 代表就其課題進行其研究說明。詳圖 3.5-2~3.5-3。

NO.	EBMUD 講授人員	題 目
1.	David Lee	◎ EBMUD seismic Improvement Program
2.	Tim McGowan	◎ EBMUD Pressure Zone Study
3.	Casey Leblanc	◎ Reservoirs and Pumping Plants Rehabilitation Programs
4.	David Wallenstein	◎ Smart Meters and Pipe Leak Detection
5.	Roberts McMullin	◎ Infrastructure Renewal Program
6.	Rolando Bueno	◎ Asbestos Cement Pipe Corrosion Study

a、EBMUD 耐震強化計畫

EBMUD針對所屬設施進行受損風險、耐震能力與耐震強化型式進行評估，並依結構設施評估、財務分析與預計復舊需求就各類設施進行耐震強化，強化處理包括淨水場之樑柱配筋加強、建物與設備加強錨定、抽水站管線與版結構以FRP包覆加強、儲水槽(water storage tank)用鋼絞線索束帶與噴凝土方式強化混凝土型式儲水槽(詳圖3.5-4~3.5-5)。

而其中輸水幹管穿越HAYWARD斷層部份之地層為岩盤，依調查此斷層每年變位速率達0.25”(6.35mm)/年，故以M=7規模之錯動量約5ft+16%超越機率之可能產生之2.5ft+50年生命周期估算潛變變位量 $50 \times 0.25 = 12.5$ ft，總計水平變位為8.5ft(約3m)，故山岳隧道開挖時於兩側擴挖側導坑以預留所考量之變形空間(約3m，完成後以低強度混凝土填充)，中間主坑則置放一直徑 $\phi$ 2m，長85ft之鋼管(兩側增設基座)，以於緊急狀況時兩端非斷層位置則可以混凝土填充後而與明渠段/界面段銜接，由鋼管提供緊急供水(詳圖3.5-6~3.5-7)。

#### b、AMI 智慧化水錶與檢漏計畫

Advanced Metering Infrastructure (AMI)智慧化水錶搜集用戶每日用水量資料，透過分析可更方便了解用戶區域之用水狀態，以更有效地確認滲漏及用水狀態，並期達省水及供水分配目的。EBMUD的智能電錶目前設置僅約9處4000m範圍，每隔一小時讀取資料，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。另如何精確偵測到水管漏水以降低施工修復開挖破壞之技術有其必要，故EBMUD亦比較現今數種測漏系統之優劣，包括有Sahara Tethered System、Smart Ball、Leakfinder RT、Berkeley Pipeline Leak Detection System等方式，各種方式均具其優缺點，以較先進之Berkeley Pipeline Leak Detection System其初步應用於Berkeley區域(管線總長約250 miles)，其係利用電磁感應及音差原理進行偵測，各不同管種具不同檢測成效，以Cast iron pipe之準確率達71%最佳(詳圖3.5-8~3.5-13)。

c、地下管線更新計畫(Infrastructure Renewal Plan, IRP)

EBMUD之地下管線更新計畫於1970'起即針對管線滲漏問題開始解決與執行，90%以上主要係針對12"以下之管線進行更新，部份之更新則考量區域開發之研擇適當區位進行管線新設(Relocation)或考慮更大水壓需求之管線更新(System Improvements)，採新設更新或滲漏修復方式取決於所需費用，原則每100 miles進行Cost Ratio(財務比率)研析，CR值>1始考量採更新方式，但若滲漏比率高者則優先考量更新，目前EBMUD之各類管線滲漏比率以Cast Ironed Pipe較高(如圖3.5-14)，各區域配合GIS系統就CR值、地震風險、客戶衝擊、災損索償、溪流穿越、修復人力資源、鋪面暫停施工、空間狀態等進行整體評估(如圖3.5-15)；EBMUD目前每年每100 miles之滲漏處僅約19.8處，尚低於AWWA(American Water Works Association)之良好(Well)最低標準；近10年每年更新7 miles，未來則以每年更新40 miles為目標。

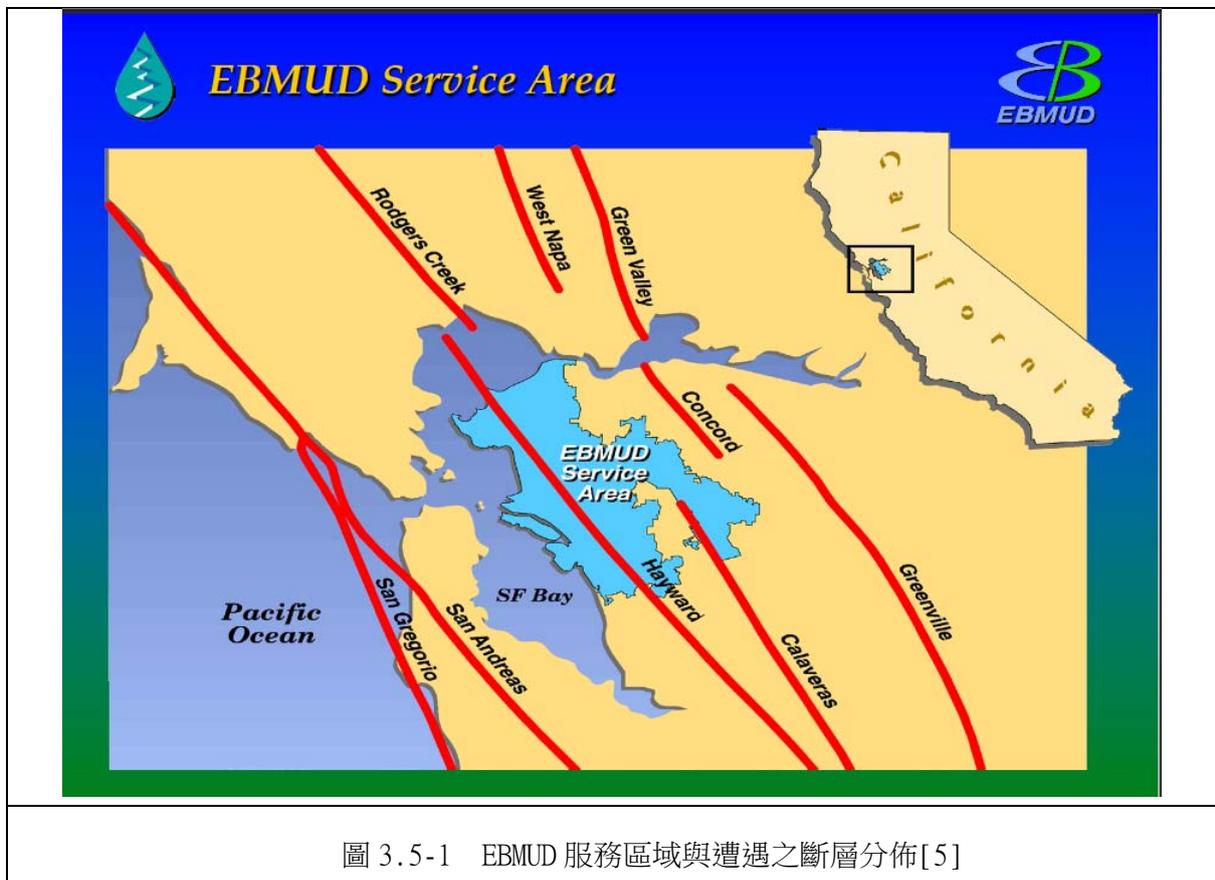


圖 3.5-1 EBMUD 服務區域與遭遇之斷層分佈[5]



圖 3.5-2 與 EBMUD 人員研討



圖 3.5-3 與 EBMUD 人員研討



圖 3.5-4 淨水場之樑柱配筋加強[5]



圖 3.5-5 儲水槽用鋼絞線與噴凝土強化[5]

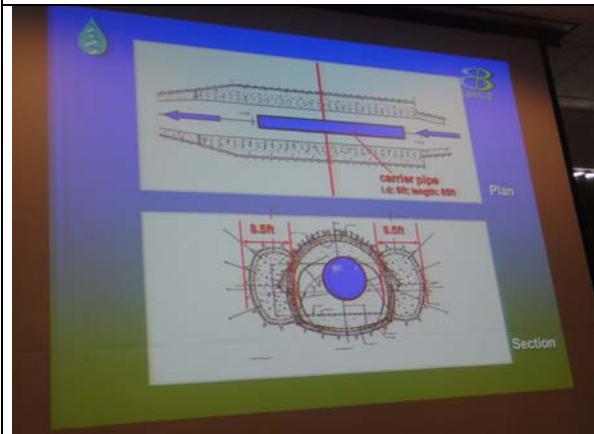


圖 3.5-6 穿越 Hayward 斷層之隧道斷面[5]

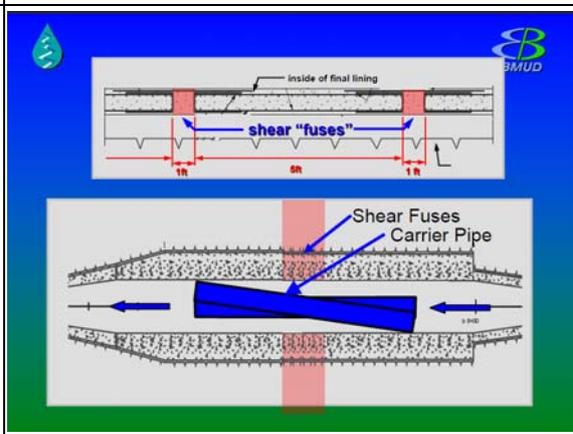


圖 3.5-7 穿越 Hayward 斷層隧道設計[5]



圖 3.5-8 AMI 設置位置及服務範圍[6]



圖 3.5-9 每月使用量資料分析[6]

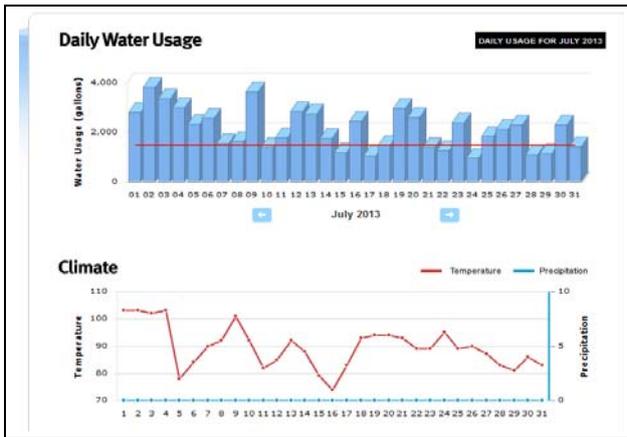


圖 3.5-10 每日使用量資料分析[6]

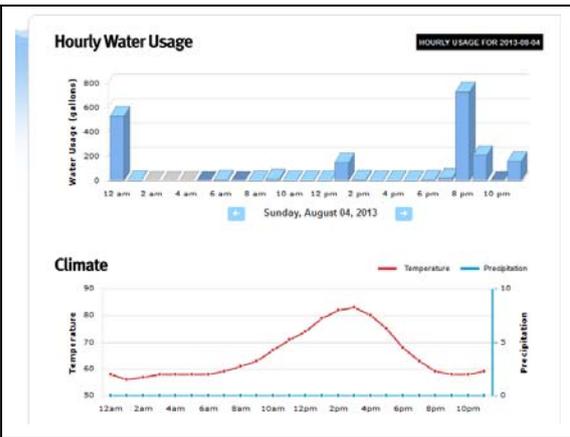


圖 3.5-11 每小時使用量資料分析[6]

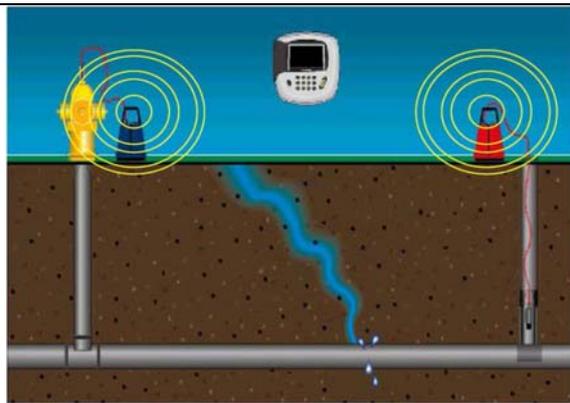


圖 3.5-12 Berkeley Pipe Leak Detection System



- Magnetically attaches to valve pots
- Records sounds every 5 seconds from 2-4 a.m. 2 hours = 1,440 reads daily
- Based on distribution of leak sounds determines leak index from 0-100
- Loggers store leak numbers and graphical data
- Data recovered by a 2-way receiver
- Status announced as we drive by
- Capable of doing both detection and correlation

圖 3.5-13 電磁式滲漏探測器[6]

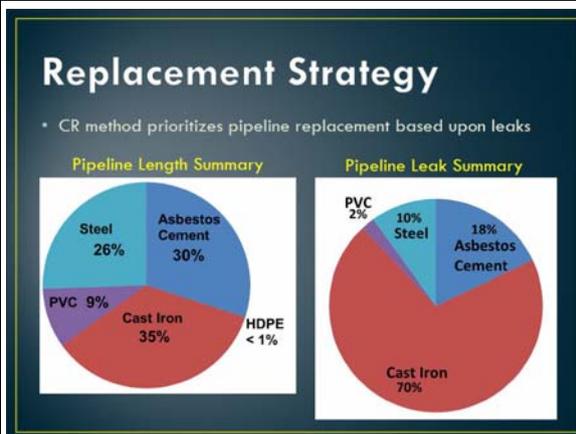


圖 3.5-14 各管種滲漏統計(Leak) [7]

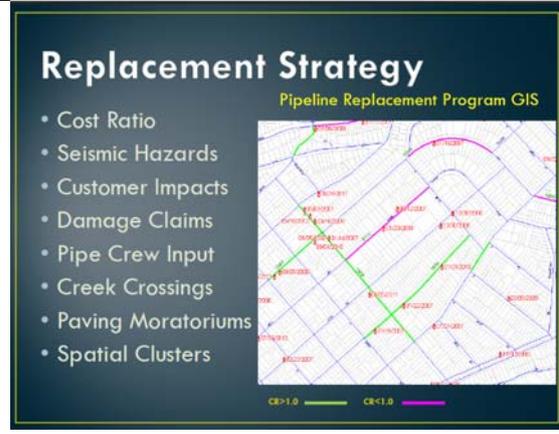


圖 3.5-15 GIS 方式 CR 值估算[7]

## 肆、心得及建議

### 4.1 心得

1. 本研討會為自來水界之年度盛事，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。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，亦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。雖然舊金山幅員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。
2. 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 建議

1. 以今年與會情況，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，本公司實應鼓勵同仁撰寫論文投稿並寬列預算派員參加。
2. 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，本公司同仁亦可藉由論文發表與參與，進行技術交流及提昇。
3. 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。
4. 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。未來本公司自來水耐震與設施耐震提昇的規劃設計可借鏡美、日工程。
5. 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。
6. 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。

7. 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。
8. EBMUD 公司在其區域內水價的計收係依 1. 水表大小 2. 水壓壓力區 3. 使用水量 4. 耐震補強專用等因素考量，且每年均依物價通膨做調整，約在 8~10% 左右，故水價每戶每月約在台幣 1500 元左右，實值得我國制定水價之參考
9. 自來水系統包含許多池狀結構，例如散布於各供水分區的配水池，以及淨水場內的各種水池。國、內外各重大地震事件中，自來水系統震害除地下管線居多外，池狀結構及其附屬設備的損害亦常發生，如集集地震 (1999/9/21, Mw7.6, 豐原第一淨水場、鯉魚潭淨水場、腦館 18,000 噸配水池)。在地震力作用下，自來水池狀結構發生水體與結構的互制效應，動水壓常為結構損壞之肇因。常發生損壞的地方有頂版、頂版與池壁搭接處、池壁(邊柱)、內柱、伸縮縫、基礎，以及附屬抽水泵浦、進出水連接管等。因此，自來水系統池狀結構的耐震安全，十分重要。國內自來水池狀結構，特別是配水池，以矩形、鋼筋混凝土構造，其緣由或為設計簡易、占地及配管減省等。為構築耐震、永續的自來水事業，國內實有必要儘早研擬一本土化之自來水池狀結構耐震設計規範，以為未來相關構造優質耐震設計之依據。

附錄一：

8th WRF/JWWA/CTWWA Water System Seismic Conference Agenda

8/20(Mon)	◎ Conference Venue
9:00 - 9:30	Tour of Conference Venue
9:30 - 10:00	Introduction to Mr. Alexander Coate, General Manager – East Bay Municipal Utility District
10:00	- Free time or Wine Country Tour
17:00	
10:00	- Collaboration Meeting between 2-3 Representatives of WRF/JWWA/CTWWA
12:00	

8/21(Tue)	◎ Conference Venue
7:30 - 8:30	REGISTRATION
8:30 - 8:50	OPENING CEREMONY 1.Mr. Alexander Coate, General Manager – East Bay Municipal Utility District 2.Ms. Shonnie Cline, Senior Account and Business Development Manager – Water Research Foundation 3. Prof. Hiroshi Nagaoka, Professor – Tokyo City University, 4.Mr. 王桑貴– Sectary general of CTWWA
8:50 - 9:50	KEYNOTE SPEECH 1.Mr. Xavier Irias, East Bay Municipal Utility District, "Presentation" (US) 2.Mr. Takuji Okubo, Japan Water Works Association, "2011 the Great East Japan Earthquake and Activities of JWWA" (Japan) 3.Dr. Karl Gee-Yu Liu, NCREE, “Implementation of Seismic Loss Estimation of Water Systems to Utility Emergency Reponse in Taiwan)
9:50 - 17:20	PRESENTATION PART I 1. SESSION 1 SEISMIC DAMAGE ASSESSMENT 2. SESSION 2 EARTHQUAKE STUDIES AND EVALUATIONS 3. SESSION 3 SEISMIC MIGITATION MEASURES 4. SESSION 4 RISK ANALYSIS TECHNIQUES

8/22(Wed)	⊙ Conference Venue
-----------	--------------------

8:30 - 12:15 PRESENTATION PART II  
1. SESSION 5 SEISMIC MEASURES FOR PIPELINES  
2. SESSION 6 EMERGENCY RESPONSE AND RECOVERY  
13:30 - Discussions  
16:45

8/23(Thr.)	⊙ TECHNICAL TOUR
------------	------------------

9:00 - 10:15 Departure by bus and travel  
10:15- Tour San Francisco Public Utilities Commission Tunnel  
11:45 Project  
12:15 - Lunch  
13:45  
14:45 - Tour of Location  
16:00  
17:30 Arrive at Hotel (San Francisco)