

# 水之養命 — 自來水管網之 省力化及延壽維管新思維

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科長

吳世紀／臺北自來水事業處工程總隊股長

李順敏／台灣世曦工程顧問股份有限公司資深協理

周永川／台灣世曦工程顧問股份有限公司副理

林俊良／台灣世曦工程顧問股份有限公司正工程師

## 前言

臺灣位處地震帶且地盤條件不佳，自來水管網面臨嚴峻之耐震考驗，於人口密集且日益繁榮之都會區，不僅空間狹小，各類地下管線亦多，加以國民生活水準提高，都會區民眾對道路交通、路面等環境品質要求高，於道路下大面積開挖進行老舊幹管汰換、維修等工作均面臨困難處境，推行不易。故有限空間之省力化檢修、汰舊維護兼顧耐震作為，逐年降低滲漏水率、延長使用年限、確保供水安全已為供水主管機關之重要課題。

本文將以臺北自來水事業處（簡稱北水處）針對大口徑輸水幹管所採行之省力化維護及快速化維修實務作法，進行主要幹管清洗、檢視及修復等設計及施工實務探討，並就國外技術與思維進行檢討，俾利後續策進改善及推廣適用，同時可為其他單位之參考。

## 管線漏水致因

自來水供水系統與都市建設發展同步，主要幹管多屬早期建置埋設，管齡普遍老舊，復隨都市進步與繁榮，其他民生管線包括衛生下水道、瓦斯、光纖、固網、通訊等各類管線相繼於後期施設，於有限之道路空間層疊交錯佈設，導致早期建置之自來水幹管常

被其他地下管線覆蓋，造成老舊幹管汰換及維護困難，因此，老舊管線長年使用下，無法獲得適當之維護及補強，導致管材之惡化，致使漏水率亦逐年攀升。

漏水率高之另一主因係自來水管線多位處覆土淺（3～8m）之易擾動帶，管身或管件受到過大外力或過大內壓力或不均勻荷重時，易引致管體的破裂、斷裂之破管或爆管現象；另於接頭部位，其間縫隙常因劣化並加以外力荷重而逐漸變大，如止水塑膠墊圈材質老化或受侵蝕、地震、震動移位；亦有管體因水質或土質之腐蝕影響產生破洞而有滲漏，或為閥栓閉鎖不全、設備損壞而滲漏；管線滲漏異狀如圖 1<sup>[1]</sup>。

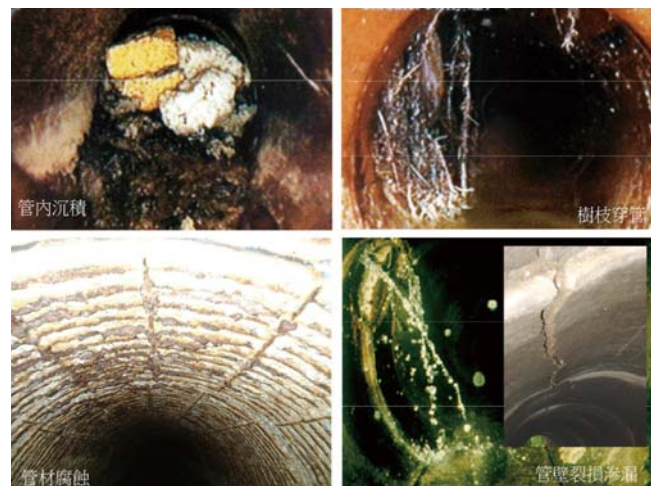


圖 1 地下維生管線之常見異狀（引自子申應用材料公司）

造成前述之漏水並非單一，可能為多項複合因素，然依呂崇德、黃文吉（2004）之調查，管線材料質劣化問題應為首要，尤其埋設環境若交通量大且有重車輾壓，此甚易造成破管問題；除上述材質問題外，規劃設計不良（如荷重條件採擇不佳）、操作不當（如抽水機不當關機造成水錘壓力）、施工品質不佳（如接合時橡皮墊未確實安放及接頭螺栓未鎖緊）、施工意外挖損、埋設環境變異（如沉陷、地震、邊坡滑動）等因素亦為部份之可能肇因。

### 幹管省力化免開挖檢視

管線埋設於地下，狀態檢修以明挖辨識最為直接且效果佳，但於現地以大面積破壞之調查方式，費用不僅高、困難度大且需辦理管制、復舊等配合作業，因耗時較長，長期衝擊交通而造成不便，而常引致民怨，故研發出透地雷達（Ground Penetration Radar）、漏水探知器、金屬管探測器、聽音棒等小口徑管線免開挖且省力之檢測方法，施行依管線管種、管徑需求辦理，所得效果亦不同；管徑 700 mm 以下則利用自走式電視檢視器（CCTV）逐段檢視管內損壞狀況並錄影保存。對於自來水管徑 1,000 mm 以上（含）之檢測，則可以人員進入管內方式直接檢查，配合工具則有採用攝錄影機、照相機等，將管體損壞狀況拍攝錄影存證，作為清理、修膳之依據。此免開挖檢視工法說明如下：

#### ● 自走式 CCTV 管內攝影調查

免開挖維護工法主要係藉由人孔進入管內，以人工目視及量測方式檢視。口徑小於 700 mm 以下之管線則採機械自走式攝影機 CCTV 進行管內調查，調查內容包括接頭、管身及內襯等，並依檢視結果再進一步評估是否該修復或補強；如北水處轄區口徑 700 mm 以上之輸水管材以延性鑄鐵、一般鑄鐵管以及鋼襯預力混凝土管為主，在正常使用環境下，少數管身雖發現有嚴重腐蝕、鑄造品質不良或遭受外力破壞之管斷問題，整體而言，大口徑輸水管管身破裂所導致之漏水較少發生，主要漏水多於接頭因素所造成。

以目前自來水業最普遍使用之延性鑄鐵管為例，採柔性承插式 K 型接頭為接合方式，故檢視之內容為目視管身狀況以及丈量內部接頭間隙是否超出容許值，接頭間隙容許值包括二個指標：有效插入深度及撓角（如圖 2），若

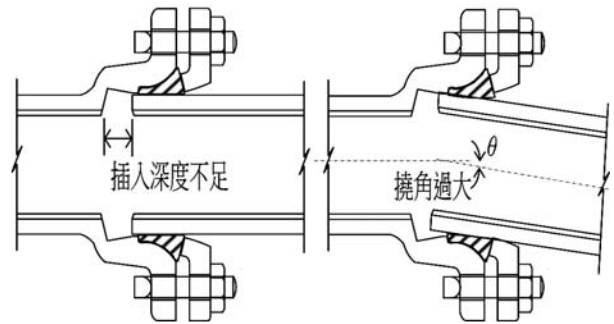


圖 2 接頭插入深度及撓角異常示意

大口徑輸水幹管有效插入深度或撓角超過容許範圍則有脫落爆管危機，可能釀成巨大災變，不得不慎。其容許撓角及間隙值隨口徑大小而異（如表 1），管徑越大則其容許撓角越小、容許間隙越大，而接頭檢視修復之最主要目的即在於確認接頭現況是否超出容許值，並及時進行補強措施，防範於未然。

表 1 K 型接頭容許撓角及間隙

管徑 (mm)	800	900	1000	1200	1500	1650	2000	2600
容許撓角	2°10'	2°00'	1°50'	1°30'	1°30'	1°30'	1°30'	1°30'
容許間隙 (mm)	64	64	72	72	72	90	105	141

#### ● AMI 智慧化水錶

美國加州舊金山之 EBMUD（East Bay Municipal Utility District）公司為減少漏水率，近期於用戶端採用了 Advanced Metering Infrastructure（AMI）智慧化水錶，藉以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，以更有效地確認區域之滲漏及用水狀態，期達省水及供水分配目的。EBMUD 的智能電錶每隔一小時可讀取用水資料、更新與記錄用水讀數。目前此屬初期階段，EBMUD 可配合提出需求之用戶提供免費安裝之服務。

#### ● 快速非破壞檢漏及定位技術

區域掌握有滲漏水問題，然如何精確偵測到實際水管漏水位置，以明確降低施工修復造成之開挖破壞，此技術有其發展必要；EBMUD 比較現今數種非破壞性測漏系統之優劣，包括有 Berkeley Pipeline Leak Detection System、Smart Ball、Sahara Tethered System、Leakfinder RT 等方式，各方法以非破壞性之電磁法、超音波法配合音差原理等物理方式探測應用；經其將

各方法初步應用於舊金山 Berkeley 區域（管線總長約 250 miles），以 Berkeley Pipeline Leak Detection System（詳圖 3）較佳，此法於各不同管種檢測，檢測成效以於 Cast iron pipe 之準確率達 71% 為最佳。國內則以 Smart Ball 有執行實績。

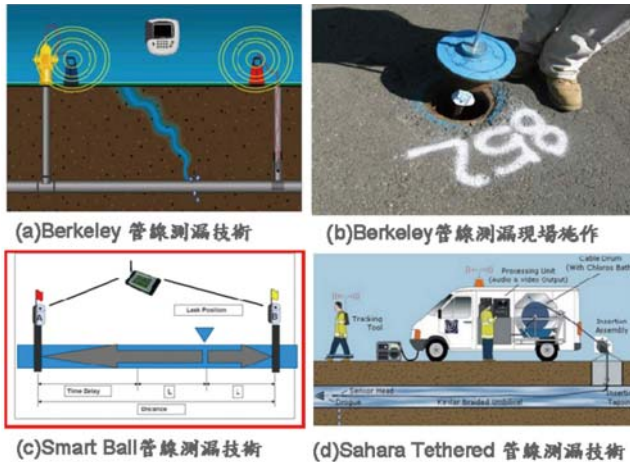


圖 3 舊金山 EBMUD 之非破壞檢漏技術

## 幹管免開挖修復實務探討

### 免開挖修復工法概述

免開挖工法係指以免開挖或儘量減少開挖之方式，完成地下管線設置、修復或更新之技術。經蒐集國內外可運用於自來水管線工程之各種免開挖工法，於中、大管徑管線汰換之免開挖修復工法可以區段修復新設（Installation）、線上置換（Renew）及局部修補（Rehabilitation）三大方式進行區分，詳表 2。

表 2 免開挖工法分類

區段修復	內襯工法	水泥砂漿內襯、環氧樹脂內襯、現場固化內襯、
	內套管工法	傳統內套管、緊貼內套管、鋼管內套管法
線上置換	裂管工法	-
局部修補	接頭套環修漏	-

### 國內免開挖修復案例

近年來，北水處主要應用於幹管維護修，復施工方法包括有內套環工法、鋼襯板工法、內套環及鋼襯板組合修復工法、現場內襯固化工法（CIPP）等四種，適用性各自有異，茲分述如下：

### 1. 內套環工法

此法係利用人力進入管內針對單點組裝內套環之止水工法，內套環首先於管內組成片狀止水膠圈並於施加預力於不銹鋼邊框，將膠圈環外撐於舊管管壁上固定，而達到止水之目的，屬於一種柔性修復方式；橡膠圈環及不銹鋼邊框，一般較常應用於柔性接頭處修復，完成後仍維持原有接頭吸收變形之能力（如圖 4）。

此法為北水處目前最廣運用之幹管維護修復方式，幹管可修復口徑最小為 700 mm，北水處之清一幹線（與清二幹線互為備援管線），於 73 完工啟用至今已近 30 年，此幹管徑自最上游淨水廠出口端之 3,400 mm 出水管接至下游配水池端 1000 mm 進水管，此區段長達 3,500 m，藉由沿線排氣閥人孔進入管內利用高壓噴水槍洗清管壁深褐色管垢（圖 5），再檢視接頭及管身有無異常，並逐一量測接頭間隙；檢視此區段之預力混凝土管（PCCP）及延性鑄鐵管段（DIP），局部管段發現包括 2,500 mm-3 處及 1,000 mm-4 處之接頭異常且具漏水之虞。修復方式后經評估后採內套環修復補強（圖 6）。

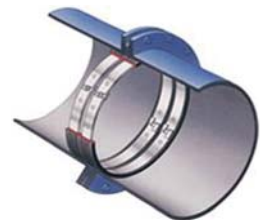


圖 4 內套環修復工法



圖 5 內套環不銹鋼固定框施預力



圖 6 2500 mm 內套環完成

## 2. 鋼襯板工法

因北水處清一幹線上游隧道段壁體曾有明顯滲漏情況，該管段先前曾採用玻璃纖維 FRP 塊狀補丁方式及鋼襯板結構修補管壁，經多年後檢視，部分修復板有整塊剝離壁面而遭水流沖至下游卡住閘類造成維護問題。後續隧道段之檢修設計採內套鋼襯板之工法補強修復（圖 7），此法係採塗覆環氧樹脂之鋼板（厚度 10 mm）或不鏽鋼板於大口徑輸水幹管內焊接組合成連續性之內套管，屬剛性修復方式，鋼襯內套管與舊管內壁間隙採無收縮水泥填補，內套管二端採膨脹螺栓穿孔環狀加固固定，避免補強板與舊管間之錯動或脫離，長度較短管段則採 SUS304 不銹鋼卷（圖 8），此工法較適用於幹管口徑大於 2,000 mm 有鋼筋混凝土襯砌或管壁較厚之隧道結構型式輸水管段。

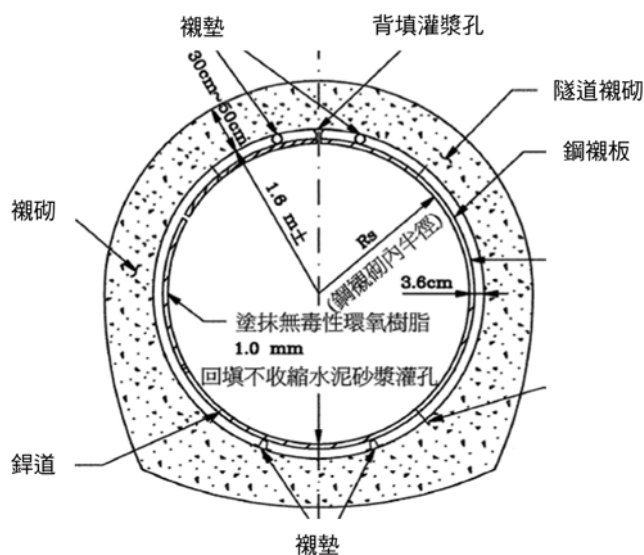


圖 7 清一幹線內襯以鋼襯板補強



圖 8 鋼襯板補強施工

## 3. 內套環及鋼襯板組合修復工法

北水處位於新店寶慶街之供水幹管係以推進工法穿越路口之 RCP 內穿 1,000 mm DIP 管段，作為備援管線暫未通水，經管內檢視結果發現管身破損嚴重，有遭污水下水道推進掘進機頭穿破（如圖 9）問題，因管段為推進段深度極深且上方為重要幹道無法以明挖方式補強。經評估，破損管段以就地保護原則採內套環及鋼襯板工法修復，此法係以不銹鋼板內襯包覆破損處，並於二端點處以內套環加固止水（如圖 10），補強施工主要係利用鄰近既有排氣閘人孔進出吊運人員、物料及機具，由於施工人員位於管徑 1,000 mm 之狹小局限空間內進行鋼襯板運輸及銲接組合，銲接作業會產生大量有害氣體，故管內通風排氣等勞安措施均作嚴格要求及落實。

## 4. 現場內襯固化工法

於口徑 500 mm ~ 1,000 mm 之幹管，北水處曾應用內管更生方式，此法係於欲修復之管段兩端開設工作井，斷管後利用水壓將塗有 EPOXY 之不織布內襯軟管穿入舊管內緊貼管壁，再將水加溫固化形成 EPOXY 內襯軟管，固化後內襯管具有半結構強度，管身或接頭可獲連續性之線狀修復；以公館污泥管之修復例進行說明，該處管材為 RCP 內穿 500 mm 之 DIP，穿越最熱鬧且行人車輛密集之商圈路段，有多次發生漏水現象，因本管段係管中管形式，致 DIP 管之確切漏水點難以覓得，且現場環境交通繁忙難以封路全段開挖汰換，故經評估後採全段內襯固化工法（Cured-In-Place Pipe, CIPP）進行約 120 m 長之內襯更生（圖 11）。

考量到達管段末端為立面彎管，必須增加內襯管穿管水頭壓力，因此，加高發進塔高度俾使水頭壓力足以突破內襯軟管與舊管間之摩擦阻力進而穿越立面彎頭出坑。此外，鑒於到達井位處行人稠密區，亦縮小範圍以避免影響行人通行（圖 12），於二週之停水期間內順利完成舊管清洗、排水、穿管、加熱固化、端點處理及全段試水等作業，成效良好。此法建議適用於受損範圍大、密度高或老化程度較嚴重管段，施工需於空管狀態施工，備援供水系統需予配合及考量。

## 管網設施延壽／抗震技術與思維

台灣位處於地震帶，為確保震災後能正常供水，針對重要供水設施進行耐震評估、提升自來水設施耐



圖 9 管身遭污水管橫向穿破



圖 10 鋼視板及內套環之組合

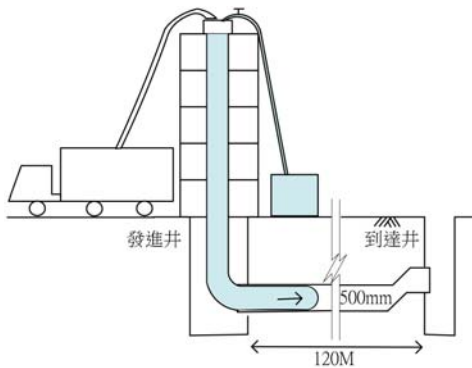


圖 11 污泥管內視固化工法示意圖

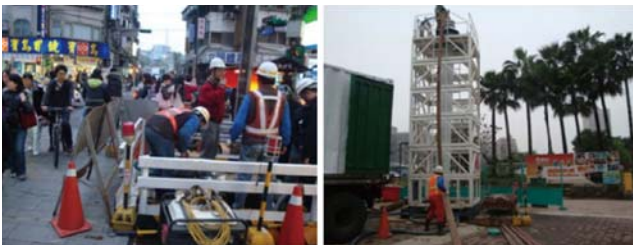
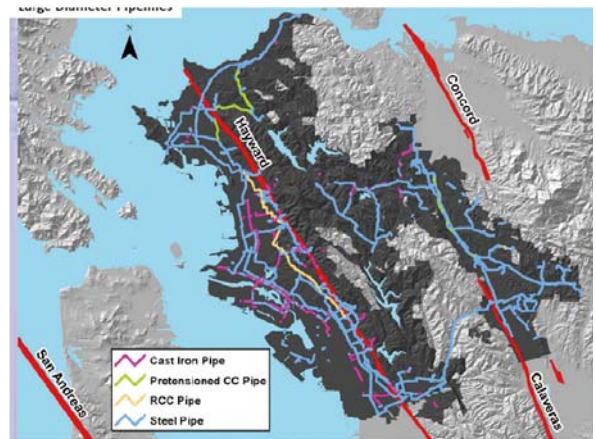


圖 12 到達井位於行人稠密區及發進壓力塔配置

震能力，已成為我國自來水單位主管機關重要政策之一，為減少震損、停水期間及例行維修耗費，國外於相關之技術與作為分述如下：

### 管網風險、脆弱性評估及強化計畫

美國加州位於太平洋板塊及北美板塊間，地震活動頻繁，1906.4.18 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。地震造成 3 千多人喪生，此斷層橫跨美國加州西部、南部以及墨西哥下加利州北部和東部，活躍性甚高，除此斷層外，舊金山灣區鄰近之斷層尚有 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 ~ 30 mm / 年以上之變化速率，對主要供水之 EBMUD 公司，斷層對自來水設施／管網之影響除需評估其可能之發生風險外，管網設施之脆弱性亦需整體評估，以為耐震補強措施執行之考慮依據。EBMUD 公司發展自來水系統震後災損預估系統，配合 USGS 的格網、SHAKE MAP 與 GIS MAP 為底圖及其它相關資料，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 360 miles 幹管之脆弱性，所獲結果可供 EBMUD 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（詳圖 13）。



Total Percent Summary

Pipe Material	G1	G2	H3	H4	H5	SA6
Cast Iron	85%	81%	73%	73%	73%	65%
Reinforced CC	71%	57%	31%	31%	31%	24%
Pretensioned CC	12%	8%	6%	6%	6%	6%
Steel < 1950	15%	14%	14%	14%	14%	8%
1950 < Steel < 1970	6%	6%	6%	6%	6%	0%
1970 < Steel	2%	2%	2%	2%	2%	0%
<b>Total</b>	<b>18%</b>	<b>17%</b>	<b>15%</b>	<b>15%</b>	<b>15%</b>	<b>10%</b>

圖 13 自來水幹管 GIS 脆弱性及不同震度規模之各管種破壞分析

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，強化處理對象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。

### 震後應變及管材、接頭抗震強化

日本活斷層多達 2000 餘條，阪神地震 (1996 年) 後各類管線管材及接頭震損嚴重，之後於管線及接頭部份發展有多款之抗震接頭及抗震管材，於積極推廣及佈設下，東日本 311 大地震 (2011 年) 之管線抗震效益已有顯現；依 311 地震後調查了解，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。其中，千葉縣水道局服務客戶達 300 萬戶，每日供水量約達 100 萬 m<sup>3</sup>，管轄有 4 處取水站、5 處淨水場、14 處抽水站、8,700 Km 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，由於無法於短期內修復，水道局於學校及鄰近抽水站等處緊急供水；另震後調查於 NS type 接頭無災損，耐震具成效，美國加州相關供水及學術單位則針對此類型接頭進行研究及合作發展。

近期日本於管線抗震之其他新發展，包括有針對發生斷層錯動時之影響幹管位置不易確定問題研析防災對策，一般遭遇此狀況設計施工多採鋼製管材穿越斷層，然斷層移位型式不同，管材受震則可能發生有拉伸 (正斷層)、壓縮 (逆斷層)、多方向變位 (平移斷層) 行為，一般鋼管管材受斷層錯動，管壁易開裂漏水，日本 JFE Engineering Corp. 生產 SPF 特殊鋼管材料具彈塑性，於斷層錯動受震變位後其管壁延展形成脊背形塑性區<sup>[6]</sup>，不易開裂特性而於震後仍可維持斷面大部份供水，幹管穿越大型之斷層變位區域可考量運用。另日本推動供水幹線耐震化多年，積極採用耐震延性鑄鐵管 (Earthquake Resistant Ductile Iron Pipe)，其接頭除能抗拉脫外，並能提供約 ±1% 管長之拉伸與收縮量，及約 6 ~ 8 度之彎曲角度，已於歷次重大地震事件中獲得驗證，能有效抵抗震害。(詳圖 14)

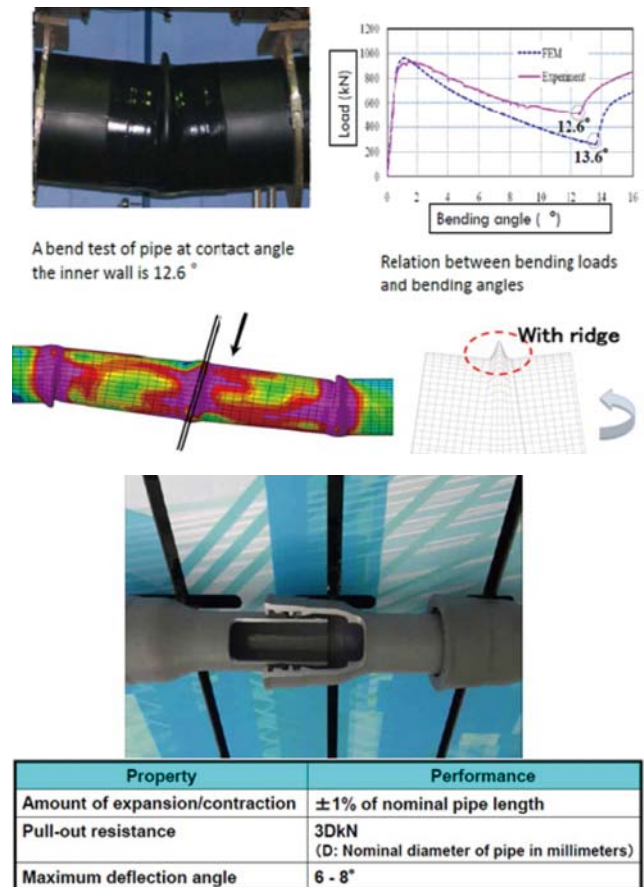


圖 14 JFE 之 SPF 自來水幹管抗彎曲變形試驗分析及 ERDIP 耐震管

### 淺覆蓋層幹管之穿越活斷層對策

加州 Hayward 斷層屬平移斷層，幹管穿越處之該斷層每年平均位移量調查得知可達 6 mm，主要可能之地層破裂帶寬約 23 m，第二可能之裂損之區域則約達 60 m。為確保此區段供水系統之耐震性及達供水不中斷之目的，加州州政府舊金山公用事業委員會 (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 所採穿越活斷層之幹管抗震設計係採預留空間及中置鋼管之策略，其箱涵為可滑動式混凝土箱涵 (七段，箱涵間僅設有簡易止水條)，箱涵兩側各至少留設有 1.5 m 以上空間，平時兼作維修巡檢步道；對各方向可能之斷層變位，鋼管考量於兩端設有球型 (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型 (Slip Joint) 等抗震設施，詳圖 15 ~ 16。

### 深覆蓋層幹管之穿越活斷層對策

EBMUD 輸水幹管於 Claremont 附近穿越 Hayward

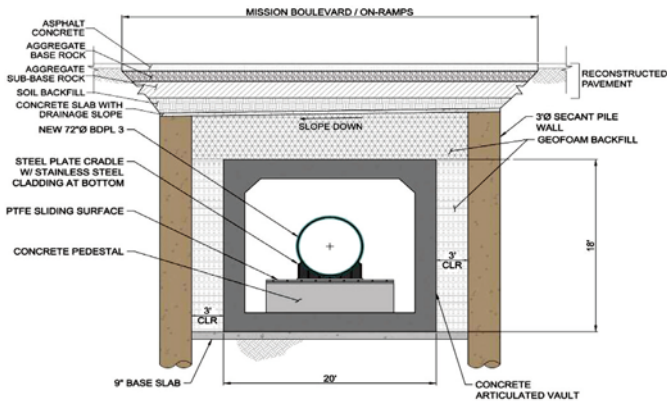


圖 15 穿越 Hayward fault 幹管斷面 [7]

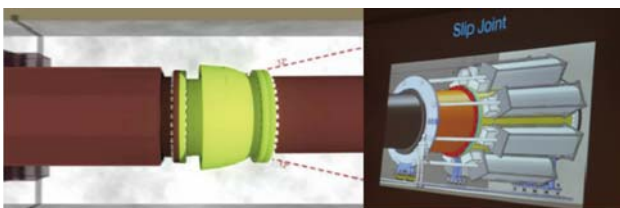


圖 16 球型 (Ball Joint) 及可滑型 (Slip Joint) 接頭 [7]

斷層，斷層區段覆土厚達 200ft (約 60 m)，無法以明挖箱涵方式穿越，幹管抗震對策需配合所採用之山岳隧道方式研擬；依調查，Hayward 斷層每年變位速率達

0.25” (6.35 mm) / 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 年生命週期估算潛變變位量  $50 \times 0.25 \div 1ft$ ，總計水平變位為 8.5ft (約 3 m)，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 3 m，完成後以低強度混凝土填充)，中間主坑則置放一直徑  $\phi 2$  m，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 17)。

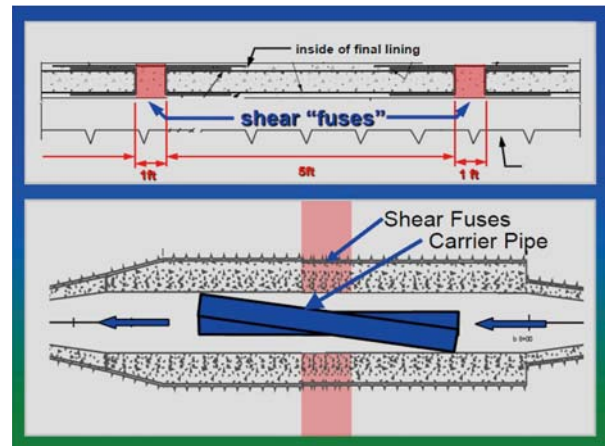


圖 17 穿越 Hayward 斷層隧道設計 [5]

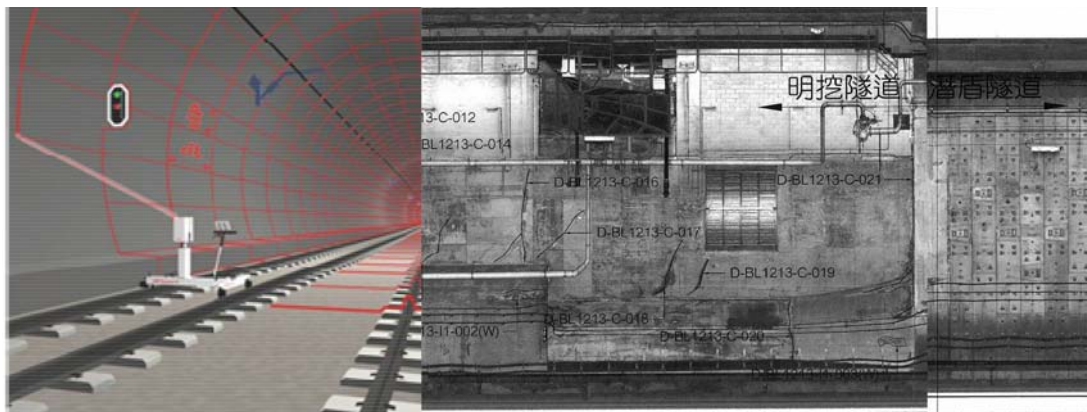


圖 18 GRP5000 影像掃描及管線陀螺定位儀 (引自宏遠及佑益測量公司資料)

## 管線系統之永續管理


地下管線系統有營運時段與斷水時限限制，輸水幹管傳統係以人為目視方式進行檢測調查記錄，此不僅耗時且所獲得之調查成果記錄易有疏漏。考慮縮短檢測時間、減少調查疏漏、提高效率精度、及降低營運衝擊等維護管理需求。一定管徑（2.5 m 以上較佳）之混凝土襯砌型式輸水隧道，可比照鐵路、捷運系統之利用雷射或光源攝像（配合光源）全周面掃描系統（如 GRP5000、TS360、CDS、LTSS 等）進行連續之電子化影像記錄，所得之裂縫、滲漏水等異狀檢測成果可以電子化資料庫方式建置，供生命週期內隧道異狀變化比對、安全評估研判及維修補強之參考依據。

另鑑於國內管線常因圖資不明致施工挖掘遭破壞而衍生二次災損，為利管線管理及避免影響，管線位置定位（Pipeline Mapping）及配合 GIS 資料庫建置有其必要，此可利用陀螺儀定位原理之慣性定位儀施測，此於舊管線或完工後之新設管線（直徑約 5 ~ 80 cm）進行 X、Y、Z 座標量測定位（50 m 長之量測誤差約 3.75 cm），可供日後道路現場挖掘精確辨識參考或管線衝突之管理檢討。（詳圖 18）

## 結論

地下自來水幹管之檢視與維護需要長時間停水，在不能影響用水之原則下，必須有足以替代供水之備援管線，因此，重要供水幹管建立備援系統並定期停水檢修維護，延長自來水幹管系統使用壽命，已成為自來水事業永續經營發展之必然趨勢；此外，都會區老舊管線汰換、健全管網以降低漏水率及建立地下管線精確定位資訊則亦為重要之長期目標，如何有效應用有限之人力資源，配合環境擇定最佳之省力化檢修方式、因地制宜採免開挖工法修復及管線定位 / 資料庫建置技術，也是未來供水管網管理維護之重要課題；另臺灣地質條件不佳，用地受限且地震頻繁，自來水管網設施除應重視管線之耐震、抗震及備援外，更應於有限之人力財力狀況下，有效就細部區域進行風險與效益研析，依風險程度訂定國內自來水管線工程 / 設施之未來發展與抗震量能提昇策略，以提高供水可靠度及建構更安全有保障之供水系統。

## 參考文獻

1. 呂崇德、黃文吉，「台灣地區自來水漏水問題與對策之研究」，(2004)。
2. 中華民國自來水協會，「自來水開挖設施維護管理指南」，(2008)。
3. 中華民國自來水協會，「自來水設備工程設施標準解說」，(2006)。
4. 中華民國地下管道技術協會，「免開挖技術指南」，(2000)。
5. David Wallenstein, EBMUD, "AMI and Leak Detection Pilots at EBMUD", Oakland, CA, USA, 8th WaterRF/JWWA/CTWWA Water System Seismic Conference, Aug., (2013)
6. Mr. Takuji Okubo, JWWA, "2011 The Great East Japan Earthquake and Activities of JWWA", Oakland, CA, USA, 8th WaterRF/JWWA/CTWWA Water System Seismic Conference, Aug., (2013)
7. Mr. Nobuhiro Hasegawa, "Development of Steel Pipe for Crossing Active Fault, Part 2: Example of Application", Oakland, CA, USA, 8th WaterRF/JWWA/CTWWA Water System Seismic Conference, Aug., (2013)
8. "Design of Water Transmission Pipelines Crossing the Hayward Fault", SFPUC, Julie L. Labonte、Stephanie A. Wong, Oakland, CA, USA, 8th WaterRF/JWWA/CTWWA Water System Seismic Conference, Aug., (2013)
9. "EBMUD Seismic Improvement Program", EBMUD, David Lee, Oakland, CA, USA, 8th WaterRF/JWWA/CTWWA Water System Seismic Conference, Aug., (2013) 

熱聚酯標線材料

彩色鋪面材料

(熱熔式、反應型、冷噴型)

透水性標線

特殊機能型標線材料

標線施工機械、機具

