

國立交通大學
土木工程學系碩士班
碩士論文



研究生：黃建勳

指導教授：廖志中 博士

中華民國九十六年九月

漏水聲波的特徵頻率

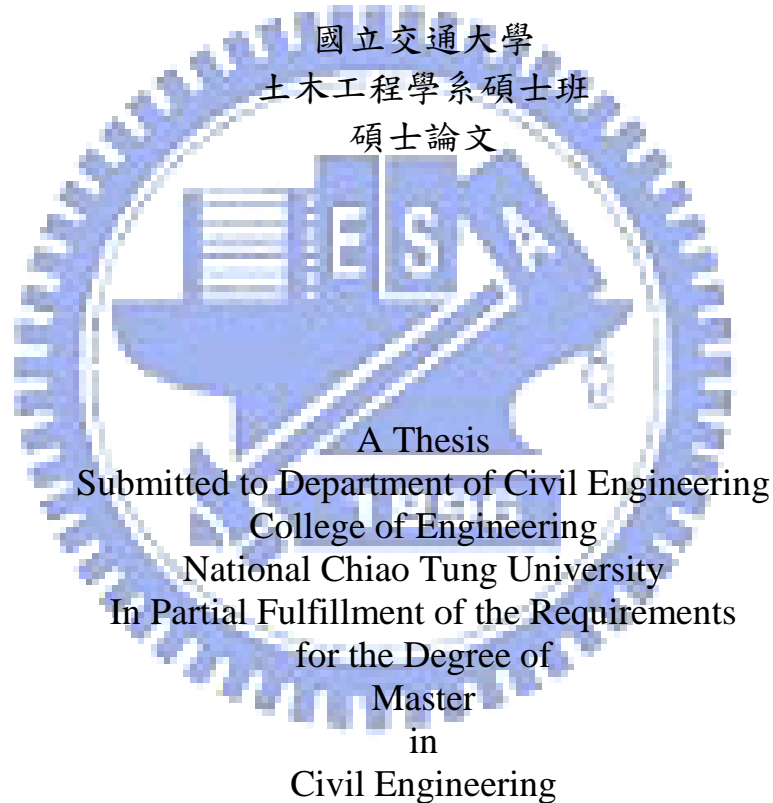
The characteristic frequency of the leakage wave

研究生：黃建勳

Student: Chien Hsung Huang

指導教授：廖志中 博士

Advisor: Dr. Jyh Jong Liao



September 2007
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十六年九月

漏水聲波的特徵頻率

學生：黃建勳

指導教授：廖志中 博士

國立交通大學土木工程學系碩士班

摘 要

供水管網系統是城市居民賴以生存與發展的基礎建設，自來水事業單位除積極的健全管網系統提高用戶用水品質外，更擔任維護保持安全及高效率供水重任，自來水管線一旦有漏水情形發生，將會造成水質、水壓、水量、供水連續性及安全性的影響且將亦遭受經濟、社會效益的損失。

國內目前對於自來水管的維護管理工作已朝向分區化、自動化的監測，但現行漏水點位的檢測定位仍仰賴經驗豐富及專業的檢測人員進行地毯式現地管線聽音為主，這樣的聽音辨位法會因主、客觀環境的干擾影響其判斷性及準確度。本研究以現地測錄疑似漏水點與另一比較點之聲音，先以兩聲波波形、平均均方根振幅進行初步分析，再以快速傅利葉轉換 (Fast Fourier Transform, FFT) 獲得頻譜圖後，利用高、低頻變化求得拐角頻率作為漏水聲波之特徵頻率內涵，並依據現地開挖後管線的實際狀態，來驗證聲波比較分析法對漏水點位判斷的準確性；最後本研究建立一分析判定流程作為爾後自來水管線進行檢測漏水時採用，以確定管線漏水存在與否，使未來漏水檢測工作邁向量化、合理化及科學化的範疇。

關鍵字： 聽音法、快速傅利葉轉換、波形、振幅、頻譜分析、拐角頻率

The characteristic frequency of the leakage wave

Student : Chien-Hsung Huang

Advisor: Dr. Jyh-Jong Liao

Department of Civil Engineering
National Chiao Tung University

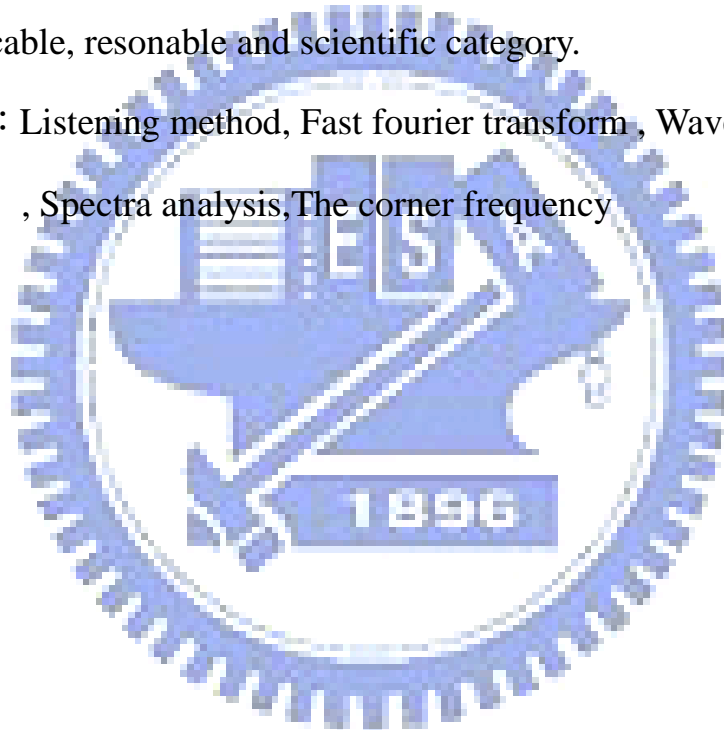
Abstract

Water supplying pipe system is the basal infrastructure which all citizens rely on for living and developing. Tap water enterprise units do constructively integrate the completion of the system for improving the water quality, also assert and maintain the safety and the ability with effective water supplying. As long as leakages occurring in the water network, it will cause bad effects to the water quality, the pressure, the capacity, the continuity of water supplying, and the safety, on the other hand, it might cause the damage on economic and social benefit.

The maintainence of water supplying pipes has been improved with the district area and auto monitoring. However locating leakage still need to depend on the experience of inspection engineers , who determine the leakage from listening the leakage noise using a leakage instrument. The accuracy of the listening method might be affected by subjective and site conditions. This research aims to present an approach to identify the leakage points by the spectra analysis of leakage noise recoreded from a leakage instrument. The approacch presented is as follows : First, the waveform and the root mean square of amplide recorded at a potential leakage point were compared with that at the point far away from the potential point. Then , the waveform in

frequency domain for both waves was obtained by Fast Fourier Transform (FFT). The results of Fast Fourier Transform show that the corner frequency of leakage noise is about 500-600 hertz. Based on the results of spectra analysis and the results of inspecting the pipe in the dig hole, it can be find the the proposed approach is accurate enough for leakagedetecting.Finally,this research set up judge procedure for engineer to confirm the pipeline leaks or not. Hence, the leakage detecting using proposed approach will be toward to the quantifiable, resonable and scientific category.

Key words : Listening method, Fast fourier transform , Waveform, Amplitude , Spectra analysis,The corner frequency



誌 謝

寫這一段感恩的每一字句，是在這論文研究的每一章節中一直不斷在腦海中產生迴旋！

人生最重要的力量是『選擇的力量』！感謝廖志中老師在6年前對我的鼓勵，讓我重新選擇回到學校去完成自己內心渴望追求的碩士學位，雖然這3年的在職求學過程漫長、距離遙遠，但是在廖老師不斷指導以及潘以文老師、林志平老師的鼓勵下，也使我深深感受到這份喜悅的成果，謝謝老師們的用心！

對於自來水管線漏水的領域是從無知開始的，這個探索的歷程裡特別感謝臺北自來水事業處吳股長奕鈞的啟發指導、張幫工程師司士勳的資料提供、盛安資訊公司鄭董事長其欣、雷迪國際實業有限公司李芳銘、Tony 哥的實務建議以及單位長官的體諒與支持，終於完成這一篇漏水檢測的初步研究。

一同成長的同學、伙伴是最能加速達成目標的推手，感謝大地組同學們(阿華、小傑、仁弘、賴哥等...)，雖然我是班上的老將，但是跟你們在一起這3年，我又重新恢復年輕的活力與學習力；在這裡還要感謝「真我中心學」-吳學文講師及家族伙伴們，選擇和你們一起成長是一次很重要的決定，也讓我瞭解到真正的自己。

最後滿心感恩我的久吉爸爸、邱萍媽媽、哥哥、姊姊、現在未來的雅文老婆以及未來岳父母，有你們的默默支持與鞭策，才能造就我去達成全方為的內、外在圓滿。

黃建勳 96年9月

目錄

| | |
|-----------------------|----|
| 摘要..... | i |
| Abstract..... | ii |
| 致謝..... | iv |
| 第一章、緒論..... | 1 |
| 1.1 研究動機..... | 1 |
| 1.2 研究目的..... | 2 |
| 1.3 論文內容..... | 2 |
| 第二章、文獻回顧..... | 4 |
| 2.1 漏水管理方法..... | 4 |
| 2.2 漏水控制歷程和方法..... | 6 |
| 2.2.1 漏水控制歷程..... | 6 |
| 2.2.2 漏水控制方法..... | 9 |
| 2.3 漏水控制指標..... | 10 |
| 2.4 漏水及漏水量的探討..... | 13 |
| 2.5 分區計量與漏水量的估算..... | 16 |
| 2.5.1 分區漏水量的觀測計算..... | 17 |
| 2.5.2 分區漏水量的公式計算..... | 19 |
| 2.6 漏水聲的種類及傳播..... | 21 |
| 2.7 漏水檢測方法..... | 22 |
| 第三章、台灣地區漏水區域檢測現況..... | 30 |
| 3.1 傳統式區域檢測..... | 30 |
| 3.2 新型設備區域檢測..... | 39 |

| | |
|------------------------------|----|
| 3.3傳統式區域檢測與漏水噪音監控系統檢測比較..... | 43 |
| 第四章、探測儀器與漏水音分析..... | 45 |
| 4.1實驗儀器..... | 46 |
| 4.2測錄漏水音及分析..... | 48 |
| 第五章、現地檢測成果分析與驗證..... | 55 |
| 5.1現地檢測..... | 56 |
| 5.2成果討論..... | 82 |
| 5.3漏水檢測判斷流程..... | 83 |
| 第六章、結論與建議..... | 84 |
| 6.1結論..... | 84 |
| 6.2建議..... | 85 |
| 參考文獻..... | 87 |
| 簡歷..... | 91 |



圖目錄

| | |
|---|----|
| 圖1.1研究流程圖 | 3 |
| 圖2.1四項基本漏水管理方法（臺北自來水事業處「自來水簡訊」， 2004） | 6 |
| 圖2.2福岡市有效率與給水量歷線（范煥英、梁世誠、許敏能，2006） | 8 |
| 圖2.3壓力 P_1/P_0 與漏水量 L_1/L_0 關係圖（Julian Thornton,2003） | 15 |
| 圖2.4 A L R 時間圖（P.Malithong et.al.,2005） | 16 |
| 圖2.5分區計量圖（P.Malithong et.al.,2005） | 16 |
| 圖2.6南1區分區計量範圍示意圖（勢豐實業股份有限公司，2005） | 17 |
| 圖2.7典型24小時分區計量觀測流量變化圖（P.Malithong et.al.2005） | 18 |
| 圖2.8漏水音（修改自深圳市水務集團有限公司，2005） | 21 |
| 圖2.9聽音棒（摘自 http://www.fujitecom.co.jp/ ） | 23 |
| 圖2.10漏水探測儀（摘自 http://www.fujitecom.co.jp/ ） | 24 |
| 圖2.11相關式測漏儀（徐新旋，2004） | 25 |
| 圖2.12相關式測漏法現地檢測圖（徐新旋，2004） | 26 |
| 圖2.13漏水振動器（摘自 http://www.palmer.co.uk/ ） | 27 |
| 圖2.14透地雷達（徐新旋，2004） | 28 |
| 圖2.15透地雷達室內試驗模型與檢測影像圖（Eyuboglu et al,2003） | 28 |
| 圖2.16氣體追蹤法（徐新旋，2004） | 29 |
| 圖3.1傳統式區域檢測作業流程圖 | 31 |
| 圖3.2區域檢測工區劃分（盛安資訊股份有限公司，2006） | 32 |
| 圖3.3閘栓及水表聽音（盛安資訊股份有限公司，2006） | 33 |
| 圖3.4路面聽音檢測（盛安資訊股份有限公司，2006） | 34 |

| | |
|--|----|
| 圖3.5漏水點確認（盛安資訊股份有限公司，2006） | 35 |
| 圖3.6不同口徑漏水件數分析圖（盛安資訊股份有限公司，2007） | 38 |
| 圖3.7漏水噪音監控系統（G R Fricke and J Manuel,2005） | 39 |
| 圖3.8澎湖縣馬公市漏水監測系統安裝位置（雷迪國際實業有限公司， 2006） | 40 |
| 圖3.9 Permalog安裝於水管管件上（雷迪國際實業有限公司，2006） | 41 |
| 圖3.10 Patroler進行巡查接收（摘錄自網站 http://www.palmer.co.uk/ ） | 41 |
| 圖4.1現地實驗於疑似漏水點上路面檢測 | 45 |
| 圖4.2現地試驗於非漏水點之管線上方路面檢測 | 46 |
| 圖4.3 HG-10漏水探測儀頻率設定方式（摘自 http://www.fujitecom.co.jp/ ） | 47 |
| 圖4.4Cool Edit2000之取樣頻率及解析度設定選項畫面 | 49 |
| 圖4.5常用的視窗函數（王彥博、鍾立來、李建良，2003） | 51 |
| 圖4.6 Cool Edit2000之頻譜分析筆數及視窗選項畫面 | 52 |
| 圖4.7 Cool Edit2000之聲波統計分析選項畫面 | 53 |
| 圖4.8頻譜參數圖（黃秀霞、梁延剛，2002） | 54 |
| 圖5.1現地檢測流程圖 | 55 |
| 圖5.2現地檢測點位A1及A2之自來水管線圖 | 57 |
| 圖5.3 A1測點之聲波歷時圖 | 58 |
| 圖5.4 A2測點之聲波歷時圖 | 58 |
| 圖5.5 A1測點之頻譜圖 | 60 |
| 圖5.6 A2測點之頻譜圖 | 60 |
| 圖5.7 A1測點之現地開挖狀況 | 61 |
| 圖5.8現地檢測點位B1及B2之自來水管線圖 | 62 |

| | | |
|-------|--------------------------|----|
| 圖5.9 | B1測點之聲波歷時圖 | 63 |
| 圖5.10 | B2測點之聲波歷時圖 | 63 |
| 圖5.11 | B1測點之頻譜圖 | 65 |
| 圖5.12 | B2測點之頻譜圖 | 65 |
| 圖5.13 | B1測點之現地開挖狀況 | 66 |
| 圖5.14 | 現地檢測點位C1、C2之自來水管線圖 | 67 |
| 圖5.15 | C1測點之聲波歷時圖 | 68 |
| 圖5.16 | C2測點之聲波歷時圖 | 68 |
| 圖5.17 | C1測點之頻譜圖 | 70 |
| 圖5.18 | C2測點之頻譜圖 | 70 |
| 圖5.19 | C1測點之現地開挖狀況 | 71 |
| 圖5.20 | 現地檢測點位D1及D2之自來水管線圖 | 72 |
| 圖5.21 | D1測點之聲波歷時圖 | 73 |
| 圖5.22 | D2測點之聲波歷時圖 | 73 |
| 圖5.23 | D1測點之頻譜圖 | 75 |
| 圖5.24 | D2測點之頻譜圖 | 75 |
| 圖5.25 | D1測點之現地開挖狀況 | 76 |
| 圖5.26 | 現地檢測點位E1及E2之自來水管線圖 | 77 |
| 圖5.27 | E1測點之聲波歷時圖 | 78 |
| 圖5.28 | E2測點之聲波歷時圖 | 78 |
| 圖5.29 | E1測點之頻譜圖 | 80 |
| 圖5.30 | E2測點之頻譜圖 | 80 |
| 圖5.31 | E1測點之現地開挖狀況 | 81 |

圖5.32 現地檢測判定流程圖83



表目錄

| | |
|---|----|
| 表2.1國際自來水協會標準配水量平衡表(江春盛,2006,改編自IWA,2001) | 12 |
| 表2.2夜間最小流量經驗值(黃立,2004) | 19 |
| 表2.3壓力修正係數(P.Malithong et.al,2005) | 20 |
| 表3.1漏水量計算(盛安資訊股份有限公司,2007) | 37 |
| 表3.2巡查儀接收數據(雷迪國際實業有限公司,2006) | 42 |
| 表3.3區域檢漏型式比較 | 44 |
| 表5.1檢測成果分析表 | 82 |



第一章、緒論

1.1 研究動機

臺灣平均年降雨量達2,500公釐，約為全球降雨平均值之三倍，然而受到地形限制，每人每年可分配之雨量卻遠低於世界之平均值。對於現今因全球氣候暖化水資源有限且珍貴之情況下，有效降低自來水管線造成漏水量將與開發水源同等重要。由於台灣地區供水系統中老舊管線仍佔大部分，因此，自來水事業單位目前皆以汰換管線為第一要務，以臺北自來水事業處為例，正進行「臺北自來水供水管網改善計畫」，總期程預定30年，汰換管線長度3,656公里，工程經費429億元，並以30年降低漏水率20個百分點為計畫目標。然而，在積極投入大量資金與時間進行老化管網改造之時，若能在加強漏水檢測、提高漏水點定位的精確度、迅速完成漏水點搶修，方可以較小投資得到更大的效益。

國內現行測漏法多是以視覺及聽覺為主，即正常天候下檢視漏水點附近地面潮濕積水或由專業人員使用測漏工具如聽音棒、漏水探測器等，將漏水處所產生的聲音利用管件、地面等介質傳遞到人耳後判定漏水點；這樣的聽音辨位法多需仰賴於長年的訓練及經驗的累積，但仍難免會因現地檢測時主、客觀環境中的其他聲音使聽音者對判斷漏水聲音的聽力降低，這樣的「掩蔽效應 (masking)」容易造成檢測人員的誤判，影響檢、修漏的效率及成本的增加。為使能在檢測方法更科學化、合理化，本研究將針對管線漏水的特性分析說明，並回顧國內、外先進國家常用的探測方法，最後，利用區域檢測所獲得疑似漏水點以漏水探測儀

器進行現地探測後，測錄疑似漏水點及四周管線之聲音來進行頻譜分析後，比較分析自來水管線漏點與非漏點的聲波特徵，以提供爾後漏水檢測量化的參考。

1.2 研究目的

本研究是利用日本富士地探株式會社所製造的漏水探測儀（HG-10）對自來水管線疑似漏水處與非漏水處進行測錄，接著針對漏水聲波歷時及進行快速傅利葉轉換（Fast Fourier Transform, FFT）後頻譜圖，比較分析以找出漏水聲波的振幅、頻率等特徵，使得爾後進行探測時更能利用科學化儀器迅速、精確的找出漏水點位。

1.3 論文內容

本論文共分五個章節。第一章為緒論，說明研究動機與目的；第二章為文獻回顧，針對本次研究主題進行相關文獻回顧；第三章為介紹區域檢測方法，說明傳統式與新型設備區域檢測實務的規劃與進行步驟；第四章研究方法，內容包括現地試驗研究儀器與方法；第五章將本次現地試驗測錄資料整理分析並依據試驗結果進行現地開挖驗證；第六章為本研究結論及建議。

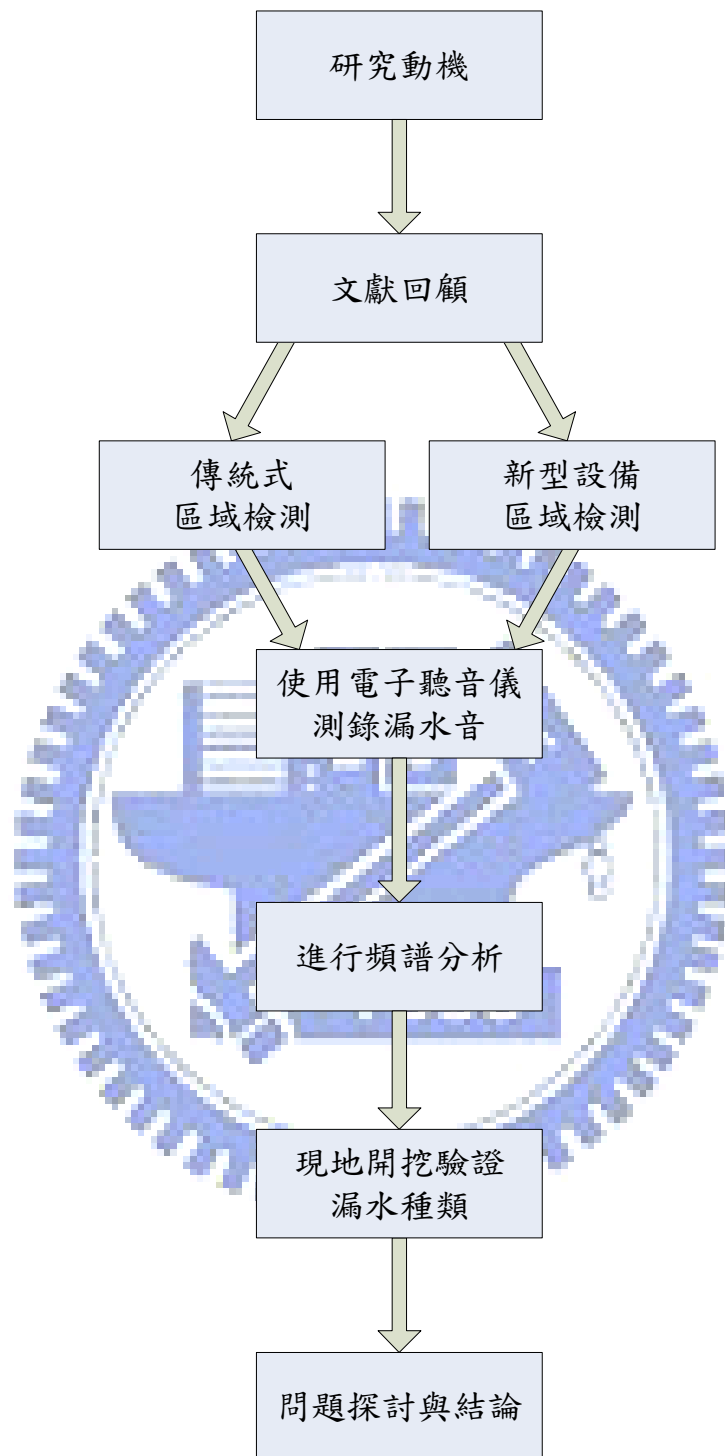


圖 1.1 研究流程圖

第二章、文獻回顧

本研究將回顧相關文獻在漏水這個問題上所提出管理及控制的基本手法，針對目前自來水管線單位對所屬管線進行漏損控制衡量的指標以及影響管線漏水量的原因予以探討，並進一步說明分區計量方法在管理供水區域內用水量變化狀態，最後說明自來水管線產生漏水時其聲音的種類、特徵及現今國內、外所使用的檢測漏儀器及方法介紹。

2.1 漏水管理方法

漏水問題的關注，源自於飲水衛生問題的重視，因為自來水管線系統為供應用水需保持相當水壓，因此漏水是由管內往外產生。但是萬一遇到停水或其他原因，造成管內水壓降低時，原先漏出去的水會帶著污染物迴流進管內，引發二次污染。由此可見，漏水將會發生很大的飲水衛生風險，因此必須予以控制。目前在水資源貧乏及社會經濟考量下，如何在漏水控制費用和水資源節約之間取得平衡，亦為世界各國自來水事業單位值得探討的課題。國際自來水協會（International Water Association, IWA）針對漏水問題提出四項基本漏水管理方法（The four basic methods of management real losses, Lambert A.O,2001）：

- 一、管線汰換
- 二、水壓管理
- 三、漏水檢測
- 四、修漏效率品質

此四手法之管理架構如圖2.1用來控制及改善漏水情況，圖2.1中大矩形區塊為改善前總漏水，小矩形區塊為四大手法改善後仍無法避免的漏水量（Unavoidable Annual Real Losses，UARL），然而兩區塊間的差額就是進行檢修漏所必需付出的人力、物力、財力所達成合理的漏水量。

所謂「無法避免的漏水量」指的是在現今的技術及條件下，無論採用何種技術、手段，都無法避免供水系統的最小漏水量，然而，這一最小量對於不同的管網系統其值也是相異的。國際自來水協會(IWA) 綜合了世界上多個國家資料，得出一個綜合考慮供水系統主要配水管長度、管件接頭數、給水管總長度、系統平均壓力等因素的不可避免漏水量的計算公式（Lambert et al.,1999）：

$$\text{UARL (gallons/day)} = (5.41L_m + 0.15N_c + 7.5L_p) \times P \quad (2.1)$$

L_m ：主要配水管長度（miles）

N_c ：管件接頭數（number）

L_p ：給水管總長度（miles）

P ：水管內平均壓力（psi）

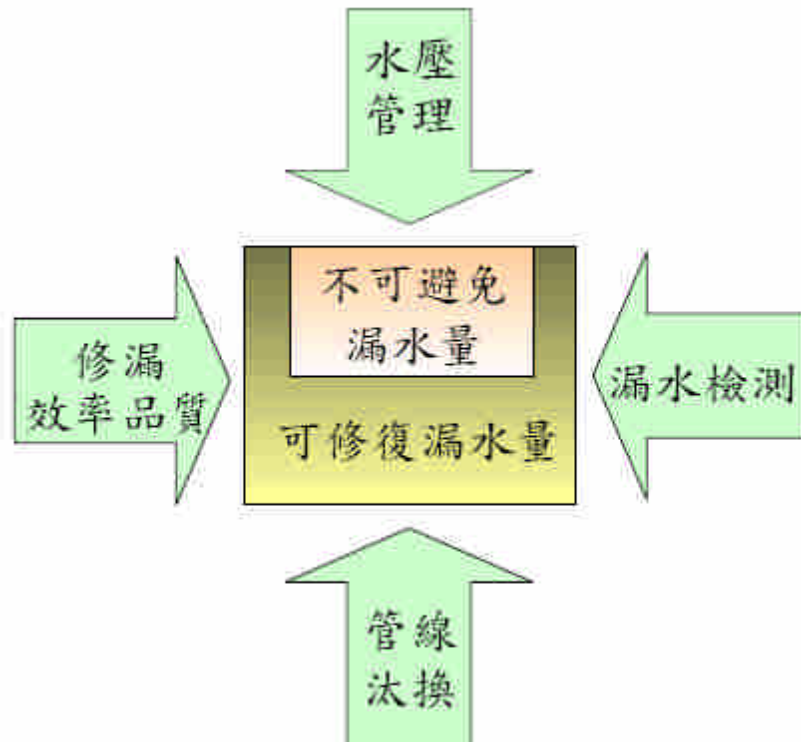


圖 2.1 四項基本漏水管理方法
 (臺北自來水事業處「自來水簡訊」，2004)

2.2 漏水控制歷程和方法

2.2.1 漏水控制歷程

世界各國對於漏水控制的演進歷程，一般可分為四個階段 (Bays,1984)：

第1階段：沒有確實的漏水控制方式，不知要從何處著手才能合乎經濟效益。

第2階段：從摸索中找到方法並實施漏水控制，卻非最適當之方法。

第3階段：尋找到並採用適當的方法，但執行的程度不當。

第4階段：應用合乎經濟且有效率的控制漏水方法。

日本的福岡市於1956年起投入大量的經費汰換老舊管線，其汰換速度約為5%，相當於每20年全面換新一次。並接續發展配合計量法對區塊執行檢漏作業，目前已將自來水管線供水效率提升至96.9%，如圖2.2所示（范煥英等，2006）；另外，美國、德國、瑞士等國每年汰換老舊水管的速率亦在1.4~3.5%之間，這些先進國家多已應用最有經濟效率的方式來控制漏水。



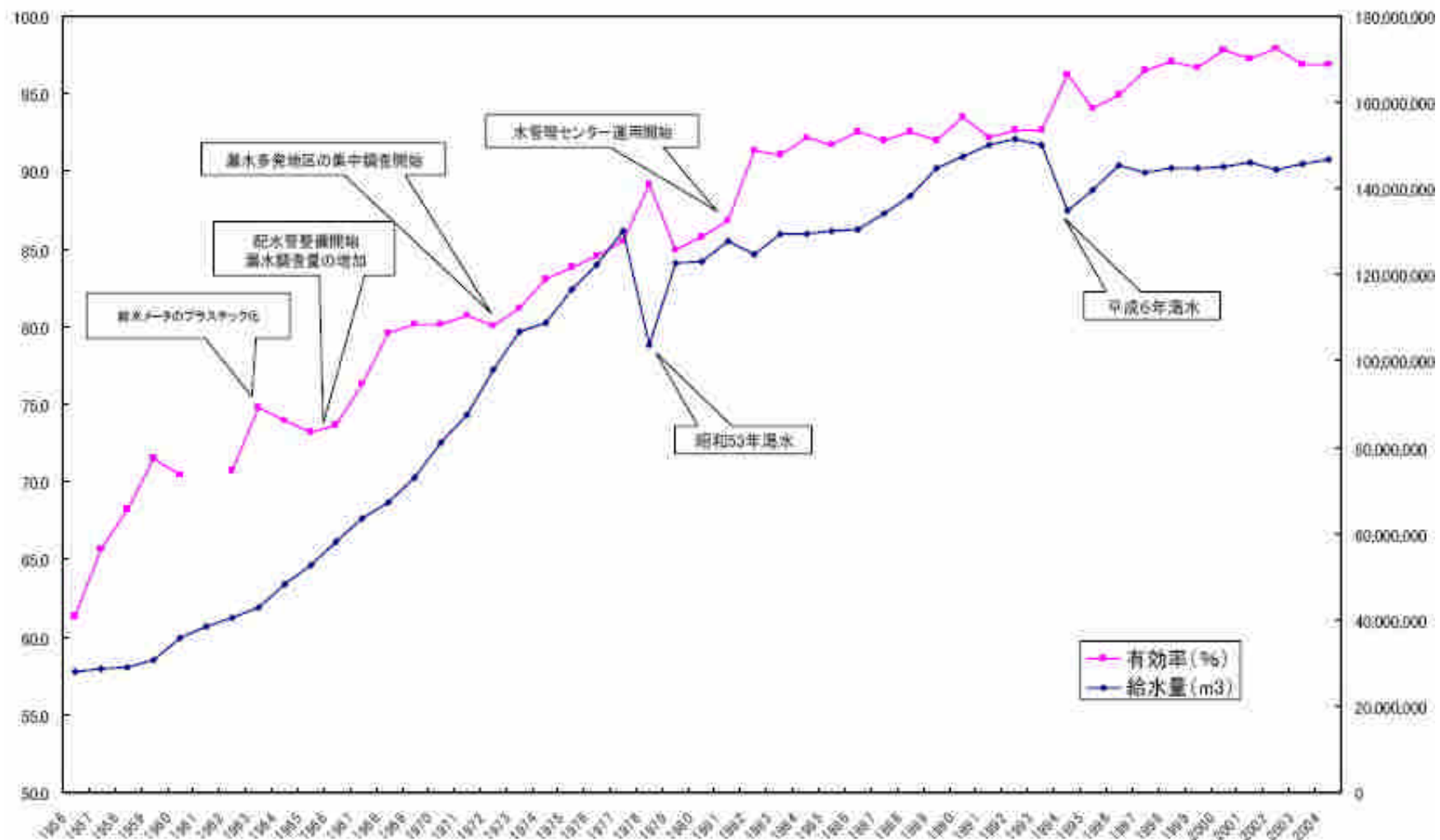


圖 2.2 福岡市有效率與給水量歷線（范煥英、梁世誠、許敏能，2006）

然而在台灣，自來水事業單位雖也投入物力、人力進行管線汰換，但因初期尚為起步階段汰換老舊管線的速度不足，且因「分區計量」對國內自來水事業單位而言亦為一種新型態管理手法，無相關成功案例可資遵循；為此，臺北自來水事業處經由蒐集國外對於自來水管線之防漏、維護與汰舊換新等技術，以及漏水改善之成果經驗分享等基礎研究與規劃，於2004年提出『臺北自來水供水管網改善計畫』，建立完整改善計畫之架構，並同時推動輸、配水管線汰換改善、防漏分區規劃及改善、緊急供水能力設施改善、供水綜合設施改善、GIS與配水監控系統改善及設計施工規範整備等事項，期望能夠有效解決供水管網現所面臨的諸多問題，預期在30年內（2005至2034年）將漏水率由27%降低至10%。因此，台灣的漏水控制歷程已由第3階段起步，即將邁入先進國家的之林的第4階段。

2.2.2 漏水控制方法

日本水道協會（1977）提出防制漏水對策如下：

一、基礎對策

分為防漏準備、現況調查、管材研究的改良及開發、技術開發。防漏工作需事前充分準備、規劃，包含經費來源及分配、人員織調整、自來水管線圖蒐集及設定區域、分區計量表的校正、水壓測定、配水量及漏水量分析、漏水原因調查分析，另外積極研發改善水管材質、接頭型式及相關附屬設備並針對漏水量測定法、地下管線探測、檢漏方法及修漏等技術性工法進行研發。

二、應變治療對策

作業方式可分機動及計畫性作業，前者針對地面漏水的通報案件即時派員修理完成，後者對地下漏水部分經由有系統、有效率的檢測手法分析判斷後即早發現與修復。

三、預防性對策

強調於事前預防漏水發生的重要性，應從自來水管線的完整規劃、設計、施工開始，採用有效耐震性、耐久性、耐蝕性及水密性的優良管材，按照相關規範進行施工；對於老舊管線加強管理，依計畫汰換配水管、給水管等系統；此外，將橫跨道路的管線予以單一化減少損壞機率，用戶水表設施安裝於私人用地處、安裝防蝕防漏的另件及加強彎管部分等保護設施。對自來水管線亦需派員巡邏及檢測、並定時進行水壓管理及調整。

2.3 漏水控制指標

供水管網系統的漏損包含輸、配、供水管及其配件的漏水，世界各國目前均致力於降低漏水量的工作，因此國際上對於衡量管網漏損的控制工作主要以「漏損率」、「未計費水量率」、「單位管長漏水量」三種指標來探討及評定管網系統的健全度，其分別定義如下（深圳市水務集團有限公司，2005）：

一、漏損率

漏損率用來表示區域內供水系統漏損程度的方法。

$$\text{漏損率} = \frac{\text{【漏水量】}}{\text{【供水總量】}} \times 100\% \quad (2.2)$$

二、未計費水量率

計費或未計費水量是以總配水量中有無水費收入而分成，依據國際自來水協會（IWA）所制訂標準配水平衡表，如表2.1所示，配水量可先分為認定有效配水量及損失的水量，然其分類的內容再依據自來水事業單位收費與否分成收費水量與無費水量。

$$\text{未計費水量率} = \frac{\text{【配水量} - \text{計費水量】}}{\text{【配水量】}} \times 100\% \quad (2.3)$$



表 2.1 國際自來水協會標準配水量平衡表（江春盛，2006，改編自 IWA,2001）

| 項目 | | 分類內容 | | 備註 |
|------------------------|---|---|---|---------------------------|
| 配水量 Input Volume | 認定有效水量 Authorized Consumption | 計費水量 Billed Authorized Consumption | 表計費量 Metered Consumption | 計費水量 Revenue Water |
| | | | 無表計費量 Unmetered Consumption | |
| | | 未計費水量 Unbilled Authorized Consumption | 表計未收費量 Metered Consumption | 無費水量 Non-Revenue Water |
| | | | 無表計未收費量 Unmetered Consumption | |
| | 損失水量 Water Losses | 明顯損失量 Apparent Loss | 違章用水量 Unauthorized Consumption | |
| | | | 水表誤差水量 Metering Inaccuracies | |
| | | 真實損失量 Real Loss | 輸配水管漏水量 Leakage on Distribution | |
| | | | 蓄水池溢漏水量 Leakage and Overflow at Storage Tank | |
| | 給水管漏水量 Leakage on Service Connection | | | |

三、單位管長漏水量

單位管長漏水量為管徑75mm以上自來水管網系統中年漏水總量換算成每小時每公里水管的漏水量 ($m^3/hr/km$)，此衡量法是在考慮漏水多發生於接頭及管的破損處，然而隨著管網系統中水管長度的增加，發生漏水的機會亦隨之增大，所以用此方法可以更合理評估管網系統的漏損程度。

2.4 漏水及漏水量的探討

漏水在自來水事業的經營上是一種無法擺脫的包袱，在1976年聯合國人類環境會議主題「水：生命的重要源泉」(Water: Vital Resource for Life)曾指出，開發中國家有超過50%的都市為漏水問題所苦(駱尚廉，1997)；尤其埋設於地下管線隨著現代科技的發達日漸複雜，造成的漏水亦無法立即發現處理，使得漏水量一直高居不下；因此，對於漏水形成之原因及造成漏水量多寡等多個影響因素下，本研究將針對主要三個要因敘述如下：

一、水管材質及設計施工不良

自來水管線長期承受著內、外壓力的負荷，管件材質的優劣直接影響著自來水系統的壽命，台灣地區在多年以前採用塑膠管、PB管(聚丁烯管)、鍍鋅鐵管、鉛管等，因材質強度不若現今使用的延性鑄鐵管及不鏽鋼管，已成為造成漏水的主要因素，以臺北自來水事業處95年檢漏作業發現，塑膠管漏水件數佔全年比例43.7%。另外，在管線的設計及施工上亦需考量各區域地質、地形高程變化及交通流量等因素適時裝設排氣閥，設置管件固定台等保護措施。目前自來水事業單位多已投入人力、

物力進行供水管線汰換工程，以有效降低漏水量。

二、水壓

為能有效提供各區域用戶用水，自來水輸送皆經加壓，因此自來水皆屬於受壓系統。然而管內水壓的高低不僅為造成漏水之因素，卻也深深影響著漏水量的多寡。白天因用水量大，水管水壓低，漏水量較小，但深夜時刻用水量減小時，則造成管中水壓升高而導致漏水的加速。

漏水點的形狀可能有很多種，但大多數的情況下大約都是孔狀，漏水孔在水力學上相當於一個孔口，因此可按照其水力方程式，針對一個孔面積為A，在壓力為P狀態下其造成的漏水流率 (m^3/sec) (Roberson & Crowe, 1988)：

$$L = C_d \times A \times (2 \times g \times P)^{0.5} \quad (2.4)$$

P：管內外壓差 (m)

g：重力加速度 $9.81 m/s^2$

C_d ：漏水係數，與水管的材質、管徑、水壓及漏水點形狀有關，依據深

圳市水務集團有限公司「供水管道檢漏工」建議設定為0.6~0.62

另外，對於同供水系統範圍內，原有漏水量會受到系統操作壓力的變化而改變，而管內壓力變化與漏損比例的關係，可依公式2.5 (Julian Thornton, 2003) 表示如下：

$$L_1/L_0 = (P_1/P_0)^{N1} \quad (2.5)$$

N1=0.5 (金屬管材中一般較大的滲漏點)

1.5 (非金屬管材或接頭及其他配件漏水)

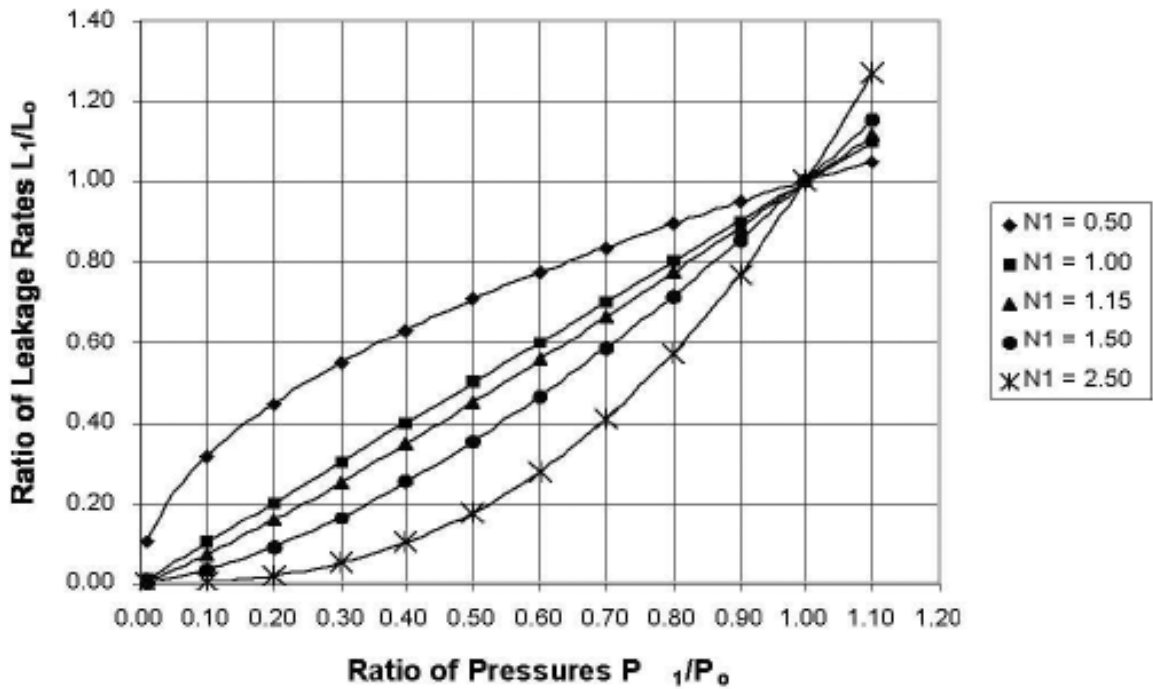


圖 2.3 壓力 P_1/P_0 與漏水量 L_1/L_0 關係圖 (Julian Thornton, 2003)

三、漏水延時

漏水時間的長短亦是造成漏水量多寡重要因素，因此若能及早將漏水點進行修復，則所造成的損失也會降低。Malithong 等人 (2005) 提出漏水延時的三個時期 A.L.R (圖 2.4) 定義如下：

- (一) 發現時間 (Awareness Time) : 指自來水事業單位首次發現漏水存在的時間開始算起。
- (二) 檢测定位時間 (Location Time) : 利用人為或科技儀器檢測、定位漏水點的時間
- (三) 修復時間 (Repair Time) : 動員機械、人員進行水管修復工程的時間，一般來說自來水事業單位都以縮短此時程為搶修第一目標。

$$ALR = \text{【Awareness Time】} + \text{【Location Time】} + \text{【Repair Time】} \quad (2.6)$$

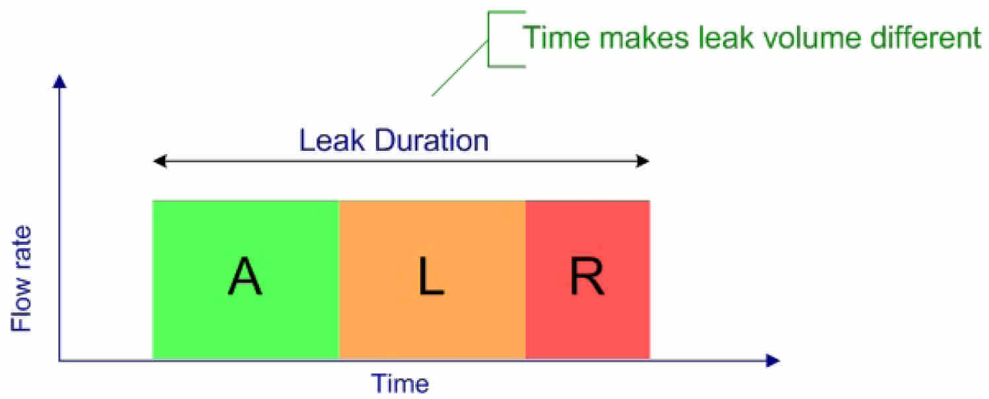


圖 2.4 A L R 時間圖 (P.Malithong et.al.,2005)

2.5 分區計量與漏水量的估算

分區計量 (District Metering Area, DMA) 係以用戶數約1,500~3,000 戶為一供水系統(Bays,1984)，將分區周圍制水閥封閉，保留一或二處進水端後，形成閉合獨立的系統 (圖2.5)，在此分區進水處裝設超音波或電磁流量計以記錄進水流量。

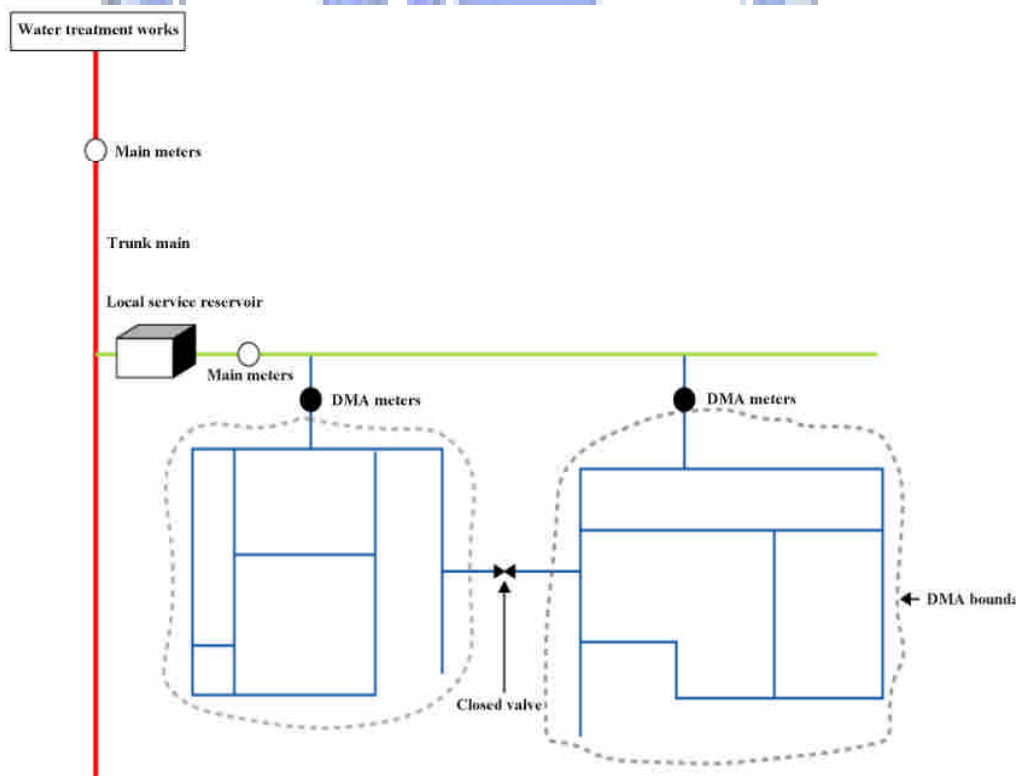


圖 2.5 分區計量圖 (P.Malithong et.al.,2005)

由於自來水事業單位供水區域廣闊，以臺北自來水事業處為例，其範圍不僅包含全臺北市區外，亦有臺北縣新店市、永和市、中和市、三重市及部分汐止市七個里，管線長度六千多公里；因此，將供水區域範圍進行分區管理，將能有效、正確的評估水量變化；目前臺北自來水事業處已開始著重分區計量的管理工作，圖2.6為臺北市新光路一段、秀明路二段、指南路二段以街廓劃分獨立區塊，M表示該處安裝計量表。

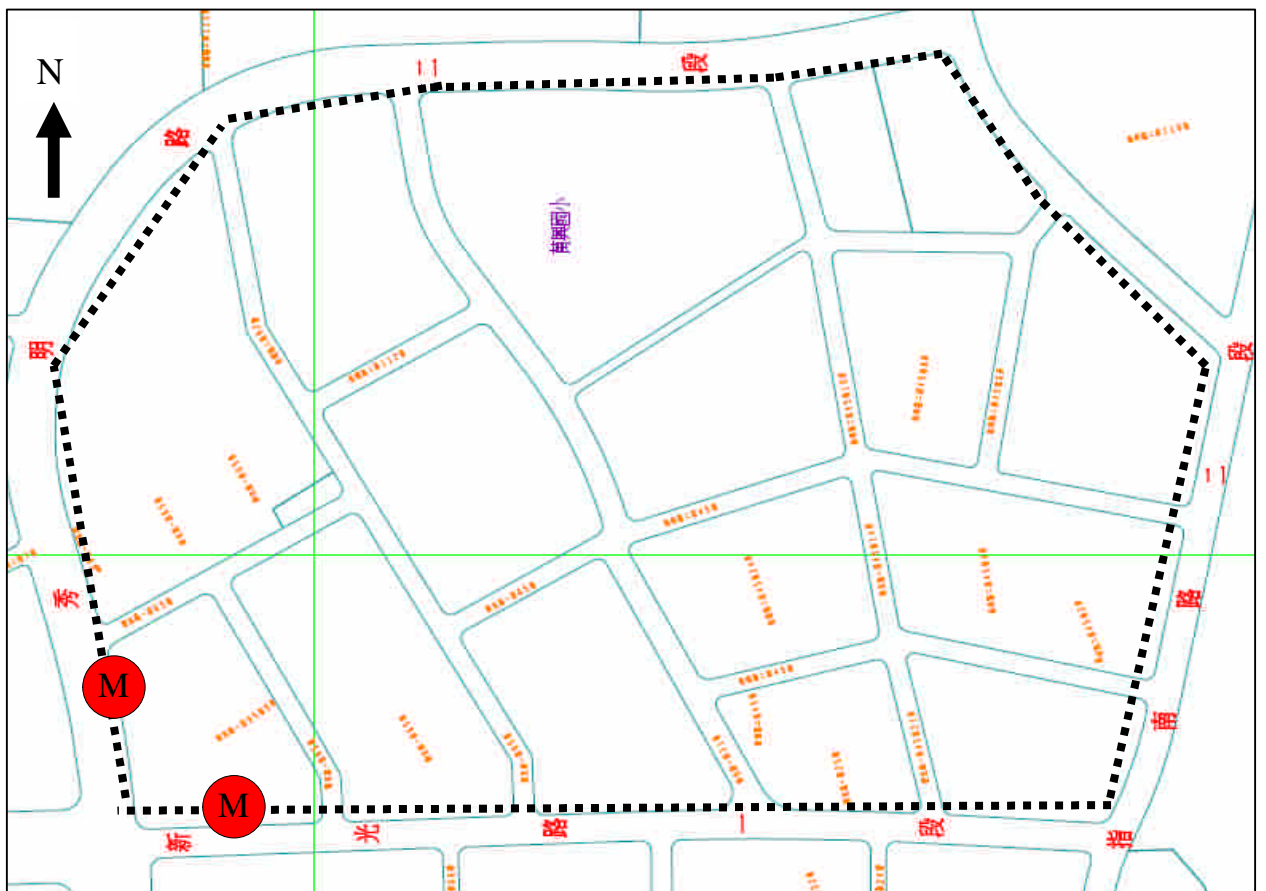


圖 2.6 南 1 區分區計量範圍示意圖（勢豐實業股份有限公司，2005）

2.5.1 分區漏水量的觀測計算

由於分區供水系統的獨立性，使得管理者可以輕易從計量表記錄資料中看出每一小時該區域內用水量的多寡（圖2.7），然而這些每一時段的用水總量中隱含著區域內漏水總量；當在日間時段時，由於處在用水頻

繁狀態下，因此無法判定此區域內是否會有漏水之狀況，但是當深夜時刻，正常情況下由於用水量已較為少量，黃立（2004）認為每個管網系統在此時段都有一最小流量利用表2.2所列出經驗數據計算此區域實際用水量後，然後比較24：00到04：00時段內夜間流量的平均值，則可以判斷出可能的漏水總量。此外，利用進水端水表所獲得進水量資料，與分區內用戶用水總量進行計算分析後，亦可掌握分區售水量及分區漏水嚴重程度。依據上述夜間流量分析及分區總售水量分析後，將可視其漏水情況進而規劃檢測作業，正確快速的測出漏水點位分區計量表若採用超音波或電磁流量計可同時記錄連續之瞬時流量、日平均流量及夜間最小流量，對於管理者將可以提供更多用水變化訊息。

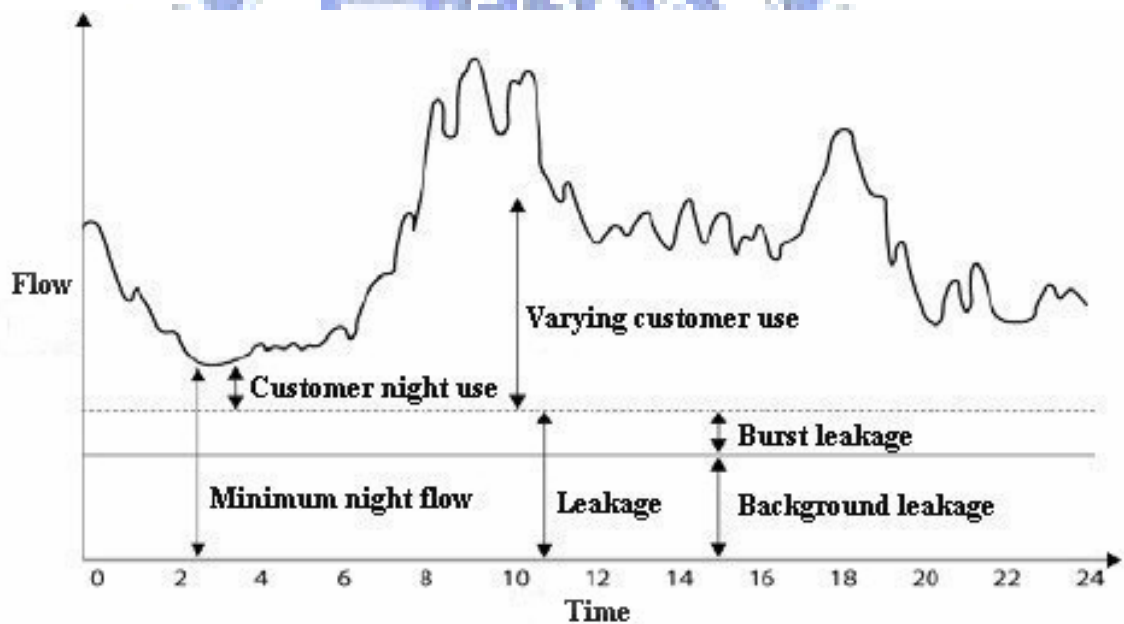


圖 2.7 典型 24 小時分區計量觀測流量變化圖 (P.Malithong et.al.2005)

表 2.2 夜間最小流量經驗值（黃立，2004）

| 用戶人數（人） | 公升／每人·每分鐘 |
|----------------|-------------|
| <15,000 | 0.010 |
| 50,000~150,000 | 0.020~0.025 |
| >500,000 | 0.050~0.100 |

2.5.2 分區漏水量的公式計算

Malithong 等人（2005）提出分區計量觀測流量變化圖 2.7 表示供水區域內每日流量變化資料中，有兩種常態漏水存在，為背景滲漏量及管爆裂水量，然而此兩種情況所造成的漏水量可以如下列公式進行計算：

一、背景滲漏量（Background leakage）

多發生在管件的接頭所產生的少量漏水量，在每 50 公尺的自來水管長度其漏水量：

$$LB \text{ (L/hr/50m)} = \text{【ICF】} \times \text{【PCF】} \times \text{【4} \times \text{接頭數】} + \text{【0.04} \times \text{主幹管長】} \quad (2.7)$$

ICF 為基礎設施狀態因子（Infrastructure Condition Factor），其值一般介於 0.5~2 之間，0.5 表示此區域供水系統為最佳狀態，2 則表示此區域供水系統處於不良狀態。

PCF 為壓力修正係數（pressure correction factors）可由表 2.3 得修正係數。其中平均區域夜間壓力（AZNP，Average Zone Night Pressure）為區域內分部各處之水壓量測計於夜間最小流量發生期間所測得的最高、最低壓力值：

$$AZNP = (P_{\text{hight}} \times S) + (1 - S) \times P_{\text{low}} \quad (2.8)$$

$$P_{\text{av}} = (P_{\text{hight}} + P_{\text{low}}) / 2 \quad (2.9)$$

P_{hight} ：夜間最小流量期間最高壓力

P_{low} : 夜間最小流量期間最低壓力

P_{av} : 夜間最小流量期間平均壓力

S : 測點比 P_{av} 高壓的數量的比率

表 2.3 壓力修正係數 (P.Malithong et.al,2005)

| 平均區域夜間壓力 (m) AZNP | 壓力修正係數 PCF |
|-------------------|------------|
| 20 | 0.33 |
| 25 | 0.43 |
| 30 | 0.53 |
| 35 | 0.64 |
| 40 | 0.75 |
| 45 | 0.87 |
| 50 | 1.00 |
| 55 | 1.13 |
| 60 | 1.27 |
| 65 | 1.41 |
| 70 | 1.56 |
| 75 | 1.72 |
| 80 | 1.88 |
| 85 | 2.05 |
| 90 | 2.22 |

二、管爆漏水量 (Burst Leakage)

為造成瞬間龐大漏水量的一種情形，有時會直接造成道路路面凹陷或因水力衝擊引起坡面坍塌現象。此漏水量的估算以漏水延時及流速來計算，但破裂流速的大小將視自來水管的種類、尺寸大小及管內壓力的影響。

$$L_{leakage} = (A + L + R) \times V \quad (2.10)$$

A : 發現時間 (Awareness Time)

L : 檢測定位時間 (Location Time)

R : 修復時間 (Repair Time)

V : 管內流率

因此，藉由上述兩種漏水量的計算方式，將可提供管理者更進一步計算分析所記錄水量變化資料。

目前台灣的自來水事業單位已開始投入大量心力將供水區域進行分區計量，並依據每一分區計費水量率（計費水量÷配水量×100%）的多寡，來著手進行管線汰換、用戶計量表更新等工程手段，期望能更有效控管供水狀況、降低漏水率。

2.6 漏水聲的種類及傳播

供水管網所擔負的任務是將淨水輸送到用戶，以解決民生需求，然而在這過程中若有漏水情況發生時，噴出水管的水會與漏水邊緣摩擦，以及與周圍介質衝擊或流動產生不同頻率、不同振幅的漏水聲波（圖 2.8）；藉由聲波分析，可由漏水聲振幅特性大小來判斷漏水點位置。

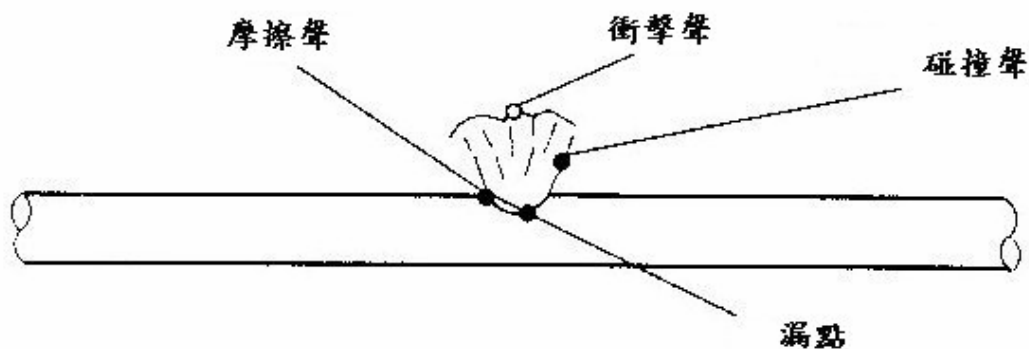


圖 2.8 漏水音（修改自深圳市水務集團有限公司，2005）

漏水聲的種類通常可分為三種（深圳市水務集團有限公司，2005）：

一、漏口摩擦聲

管內因管壓作用下於水管破損處噴出與漏口邊緣摩擦產生漏水聲波，其頻率通常為100~2500Hz，漏水聲波並藉著水管為介質向四周傳播，傳播距離通常與水壓、管徑、管材及漏水處破裂尺寸等有關；所以若在距離此處不遠的制水閥、消防栓等外露管材處，利用偵測感應器可接收到此漏水聲波。

二、水頭衝擊聲

因管壓作用噴出的水與四周回填物質撞擊產生的漏水聲波，其傳遞方式是以球面波向上至地面，頻率通常為100~800Hz，此為我們在路面以聽音儀器發現漏水的重要途徑。

三、水流與介質碰撞聲

噴出的水在地面下流動時帶動回填材如砂、級配等周圍物質流動，並使之產生相互摩擦產生的聲波，其頻率通常較低，無法在地面上聽測的到，但可把聽音棒等器材插入地表下探測，可為檢測漏水點位最終確認提供相關依據。

2.7 漏水檢測方法

地下漏水存在的平均生命週期為2年（American Water Works Association,1986），相較於現今使用延性鑄鐵管、不鏽鋼管等管材壽命30~40年明顯的短，因此檢漏的工作必需在其生命週期的初期儘快找出，否則等到後期進行抽換更新管線時才消滅漏水處，這樣所造成的長期漏水量將會相當可觀。

漏水點檢測方法可區分為：被動性檢漏和主動性檢漏。被動性檢漏是待水已冒出地面後才被發現，此漏水量已隨著時間漸漸大增。主動性的檢漏就是在水管的漏水處尚未冒出地面前便以各種儀器進行檢測，其檢漏方法主要有：

一、聽音法（徐新旋，2004）

1、聽音棒：

由棒體和聽筒組成最原始檢漏設備（圖2.9），尋找並確定漏水地點，棒體從底端部傳導聲音到共振腔使振動膜片產生更大振動，將耳朵緊貼聽筒即可進行探測。此儀器可使用於外露管材進行止水栓聽音、閘栓聽音，另外可於管線上方直接進行路面聽音。聽音棒依其製作材質可分木製和金屬製，木聽音棒在地面效果較好，金屬聽音棒則對於插入地下接觸到管壁時確認漏水位置有很大作用。此法簡單、便利，但因無其他科技器材輔助，需要經驗豐富的檢測人員來進行判斷，目前區域檢測定位疑似漏水點時亦用此當作驗證手法來協助更精確的進行測漏工作。



圖 2.9 聽音棒（摘自 <http://www.fujitecom.co.jp/>）

2、漏水探測儀

隨著科技的發達，對於檢漏速度及精確度的要求也大幅更為增加，因此延伸聽音棒原理發展出電子聽音儀（圖2.10），此儀器將漏水聲波利用探頭濾波後拾取漏水音，主機將信號放大後以耳機監聽。聽音儀的高放大倍數使微弱的漏水聲音能夠被探測到，提高檢測人員工作效率，但

由於人耳朵對聲音的感覺程度與實際音量的大小非成正比之關係，而是為對數關係，耳朵的敏感度在大音量時會大幅度下降，僅在微小音量時保持高敏感度，因此聽音儀的使用操作時音量不宜過大；此檢測法方便、迅速，且透過儀器擷取聲波放大及專業測漏人員判讀，為目前國內進行檢測漏水工作的主要手法；此外隨著國外不斷研發創新儀器的濾波、放大等功能，可提高操作者的判讀準確性，但是對各種聲音的分辨和分析能力還是需要更多的方法來驗證。本文將以此檢測法為基礎，現地側錄疑似漏水點位的聲音來進行頻譜分析，以找出漏水音的相當特性作為日後的發展。



圖 2.10 漏水探測儀（摘自 <http://www.fujitecom.co.jp/>）

二、相關式測漏法：

漏水時所發出的聲音會利用水管為傳播介質傳遞，因此在水管兩端埋設裝置感應器（圖2.11、圖2.12），利用漏水聲音傳到兩端感應器的時間差，依據公式2.8（Osama hunaidi et.al,2004）來分析振動聲音相關性計算出漏水位置。由於漏水聲是一種連續波，沒有明確的起點和終點，一

般無法判定時間差，因此使用了相關分析技術進行處理後，一個原始訊號經過各種途徑分別傳播後，會產生極大的變化，甚至特性完全改變。但是仍存在自原始訊號的部份資訊，這些資訊是相關的；所以相關處理就是將兩個資訊進行分析比較，以判別彼此相關程度，得到兩個信號的時間遲滯（ π ）。目前國內已採用此方法來進行檢測工作，惟因過程中對於檢測段需完整知道管線材質及各長度，否則會導致計算聲波於介質傳遞誤差，也會造成漏水點位相關位置計算錯誤。因此，相關式檢測法進行需配合自來水管線單位所建立正確自來水地理資訊系統，方能達到最佳檢測結果。



圖 2.11 相關式測漏儀（徐新旋，2004）

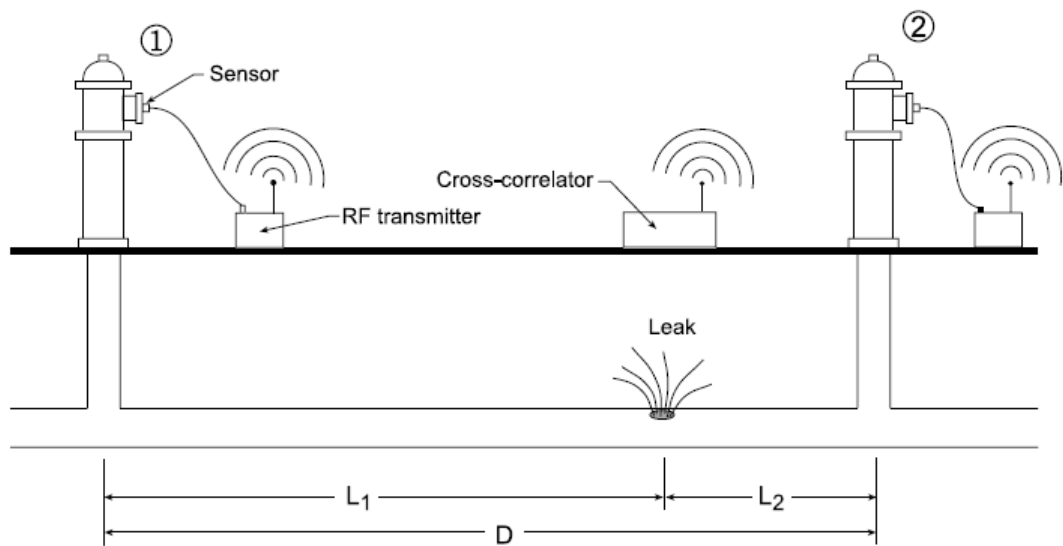


圖 2.12 相關式測漏法現地檢測圖（徐新旋，2004）

對於兩個信號的時間遲滯 π ，計算漏口對兩端的相對距離：

$$\pi = (L_1 - L_2) / C \quad (2.11)$$

C：管材傳遞波速

三、漏水振動器

將漏水振動器（圖2.13）安放在外漏管線之制水閘或消防栓等設施，利用夜間周遭干擾聲音較小且管內水壓穩定的情況下，搜集水管因漏水產生振動音，由記錄的波形變化判斷漏水與否，並可初步計算出漏水位置，但其精確度較差，所以一般會在輔以其他檢測法進行。目前國內對於離島地區如澎湖縣馬公市，已開始著手建立新的檢測系統進行水管的初步體檢，不僅可減少檢測人員來往奔波，亦可將人力、物力有效投注於疑似漏水區段，以提高檢測效率。



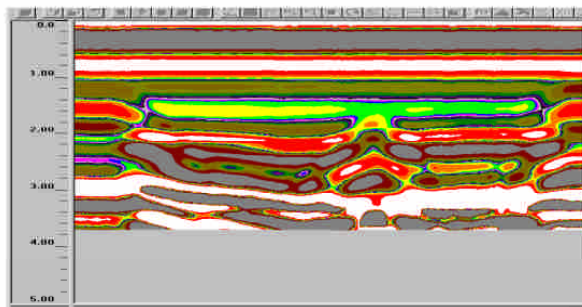
圖 2.13 漏水振動器 (摘自 <http://www.palmer.co.uk/>)

四、透地雷達法

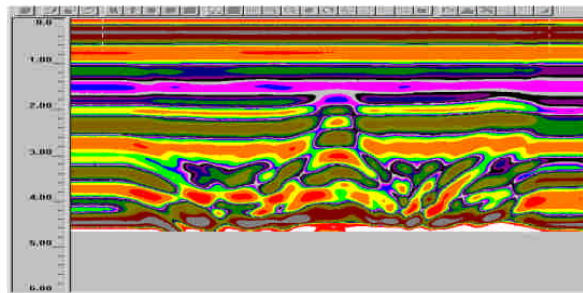
透地雷達 (Ground Penetrating Radar, 圖2.14) 自70年代開始發展的一種非破壞性檢測法，其藉由不斷發射固定中心頻率之雷達波至欲偵測目標，利用電磁波遇到不同物質介面造成不同的反射波能量，由地表的接收天線接收並分析雷達波信號，一般來說透地雷達的用途以普遍的用於地下管線調查、掩埋古蹟等；進一步廣泛使用GPR在漏水點位的偵測上是利用漏水處四周土壤因有異常飽和，使得接收影像會產生有不同變化，惟在現地因地下回填物及管線狀況複雜，故檢測影像分析判斷無法達成一定的精確度。國外對於GPR檢測漏水已建立實驗室試驗模型(圖2.15)，未來配合高頻或超高頻電磁波的應用及對影像訊號處理更臻完美化，將可使的檢測漏水工作更為快速便捷。



圖 2.14 透地雷達 (徐新旋, 2004)



With PVC pipe



With Metal pipe

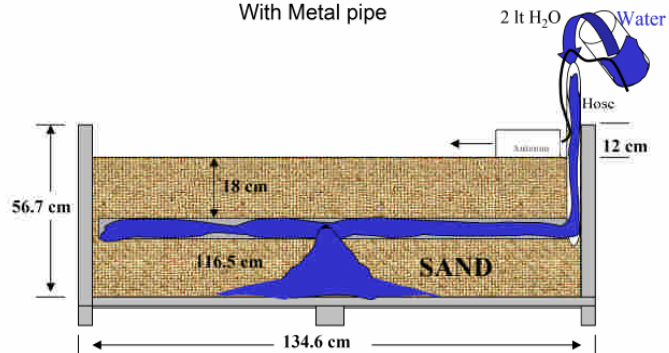


圖 2.15 透地雷達室內試驗模型與檢測影像圖 (Eyuboglu et al,2003)

五、氣體追蹤法

氫氣是比重最小、穿透能力最強的氣體，10 mm厚的水泥地2~4小時就能穿過，一般泥地1小時以內可以穿過，以5%氫氣及95%氮氣混合為安全、無毒、無味、不可燃且無腐蝕性的「追蹤氣體」，將此氣體注入水管上游端內，讓它隨水而流，氣體由漏水點溢出時，檢測人員利用氫氣檢漏儀的氣敏探頭遇到1PPM 濃度以上氫氣時，主機就會警報告知路面下方就是管道漏水處（圖2.16）；使用氣體檢漏操作很簡便，不需要聲學檢漏經驗的累積，此法在聲音干擾極大的環境下或是在新敷設且尚未加壓的水管為較佳之檢測方式，但國內因既有自來水管線皆為加壓且通過流量大的水管，在使用氣體檢漏時，往往造成的消耗量太大、不易偵測，因此此方法在歐洲使用機會較多，國內目前在供水管道很少使用。



圖 2.16 氣體追蹤法（徐新旋，2004）

第三章、台灣地區漏水區域檢測現況

自來水管線埋設於道路下方遍佈各街道，對於管線平日的巡查維護，若無法有效的規劃進行將會導致漏水的長期存在。區域檢測的方法是將原本大區域的供水管網以2~3公里配水管長或2,000~5,000戶居民劃分為一小區檢漏的範圍，以便進行檢測人員、機具的佈設規劃，由於區域檢測所劃分的區塊規模類似於分區計量（District Metering Area，DMA），因此建議爾後可將兩方法同時合併於區塊內使用，不僅可快速檢視區域內用水量變化情形，並可同時進行檢測工作找出漏水點，將使得自來水事業單位對於管線維護管理更為簡易實用，又能減少檢漏人員的工作強度，取得較好的漏損控制效果。因此，對於區域檢漏可歸納出以下之優點：

- （一）通過有系統地檢測，可以瞭解掌握管網供水狀況
- （二）周期性的檢測與流量的觀測，可在早期發現漏水點
- （三）能迅速定位修復漏水點，減少漏水量

3.1 傳統式區域檢測

目前國內使用的方法多為傳統式區域檢測，將供水區域劃分區塊後進行各種測漏工法，以尋獲正確漏水點位進行修復，圖3.1為進行傳統式區域檢測時的作業流程圖。

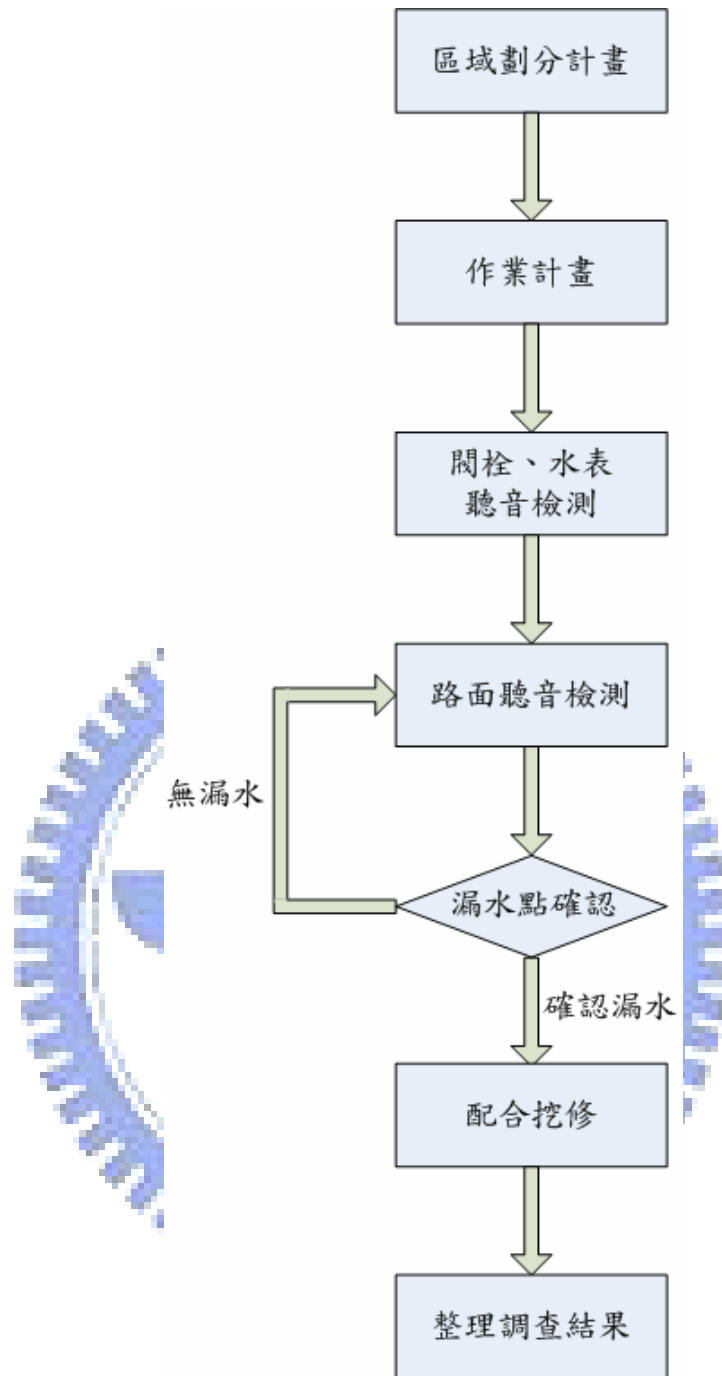


圖 3.1 傳統式區域檢測作業流程圖

一、作業流程說明

(1) 作業計畫

將供水範圍區域利用自來水管線地理資訊系統進行圖資整理後，編繪出檢測工區（圖3.2），有鑑於各區域內配、給水管長度、種類及過去漏水歷史的狀況不一，另依據修漏經驗而言，對已發生過漏水的該段管線，

其後續復發比率極高，因此可將管線劃分工區後依據各年度管線地下漏水檢修漏業務統計資料進行檢修漏當量（漏水件數／公里）之量化分析，評定各區域為狀況Ⅰ、狀況Ⅱ、狀況Ⅲ等．．．，並於接續進行區域檢測計畫時，針對各狀況區安排規劃檢測的頻率，如此可將有效的人力集中於可能漏水區域內，以提高檢測作業的效率。

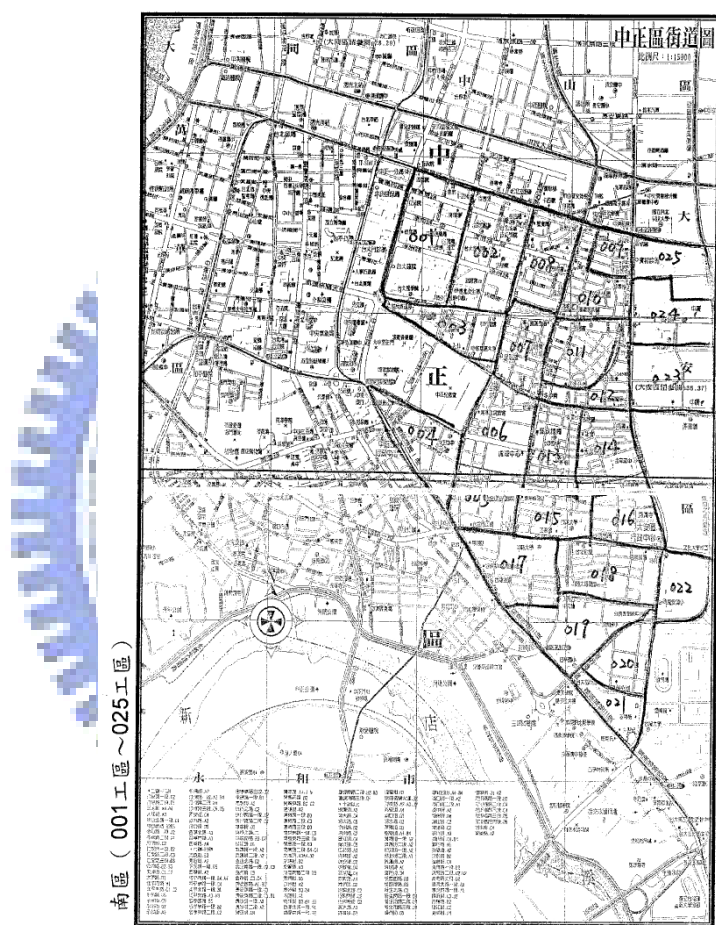


圖 3.2 區域檢測工區劃分（盛安資訊股份有限公司，2006）

(2) 作業準備

對於各檢測區域進行調查人員分組及器材整備後，各組人員需先進行檢測區域的環境調查，主要工作有：

- ① 依據自來水管線圖資系統瞭解其位置、管種、管徑、走向、埋設深度等基本資料。

②對於調查區域內的其他管線可由其管理單位進行套繪作業，尤其排水設施內水的流動常造成檢測人員的誤判，因此若能事先瞭解管線分佈將可達成事半功倍之成效。

(3) 閘栓水表聽音檢測

為進行夜間路面聽音檢測的先前探測，利用聽音棒直接聽測外露管件之閘栓及水表前給水管，以檢查是否有疑似漏水聲之存在，並於四周目視勘查路面有否積水、水溝異常水流等現象，將有疑似漏水音之閘栓、水表註記後，於下一階段進行更為細密的檢測。



圖 3.3 閘栓及水表聽音（盛安資訊股份有限公司，2006）

(4) 路面聽音檢測

此項作業一般在噪音干擾較少的夜間進行，現地探測前先利用管線圖於路面上進行管線定位後，檢測人員使用漏水探測儀直接探測、補抓傳達到地表的漏水音，檢測出有漏水情形時進行噴漆標記。



圖 3.4 路面聽音檢測（盛安資訊股份有限公司，2006）

(5) 漏水點確認

對於探測出疑似漏水點，以鑽頭在路面鑽出直徑20mm孔洞後，利用探測棒及聽音棒插入後，確認管線附近地底潮濕狀態及漏水產生之噴射音，如有冒水時，亦可利用有無餘氯反應來判定是否為自來水。



圖 3.5 漏水點確認（盛安資訊股份有限公司，2006）

(6) 配合挖修

將檢測資料送交工程單位，會同進行挖修作業，並紀錄管件破損狀況及推估漏水量。

二、作業成果

以臺北自來水事業處於95年進行檢漏工作為例，其檢測出地下漏水共4,233件，其中進行區域性漏水檢測為3,754件，另外因配合搶修及民眾通報漏水所進行檢測為479件；檢出漏水量依據「95~96管線委外檢測工作成果報告書」漏水量計算公式（公式3.1）計算後共81,758CMD，其再依其作業天數為242日曆天進行效益分析，平均日檢測為17.49件/日，平均日檢測漏水量為337.84CMD/日。

$$\text{漏水量 } Q_{\text{leak}} = \text{漏水斷面積} \times \text{水壓} \times \text{水壓流量} = A \times P \times Q_p \quad (3.1)$$

其中

$A = \text{漏水管線三分之一圓周長} \times 0.1 \text{公分}$

$P = 1.5 \text{ kg/cm}^2$

$Q_p = 38.488 \text{ cm}^3/\text{kg}$



表 3.1 漏水量計算（盛安資訊股份有限公司，2007）

| 漏水管種 | 13mm | 20mm | 25mm | 40mm | 50mm | 75mm | 100mm | 150mm | 200mm | 250mm | 300mm | 350mm | 合計 |
|----------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 件數 | 365 | 1337 | 1176 | 800 | 323 | 108 | 30 | 47 | 19 | 1 | 10 | 4 | 4220 |
| 比例 | 8.65% | 31.68% | 27.87% | 18.96% | 7.65% | 2.56% | 0.71% | 1.11% | 0.45% | 0.02% | 0.24% | 0.09% | 100% |
| 漏水量(CMD) | 2677 | 16624 | 18170 | 19398 | 10050 | 4383 | 1785 | 4261 | 1831 | 150 | 1410 | 1019 | 81758 |
| 比例 | 3.27% | 20.33% | 22.22% | 23.73% | 12.29% | 5.36% | 2.18% | 5.21% | 2.24% | 0.18% | 1.72% | 1.25% | 100% |

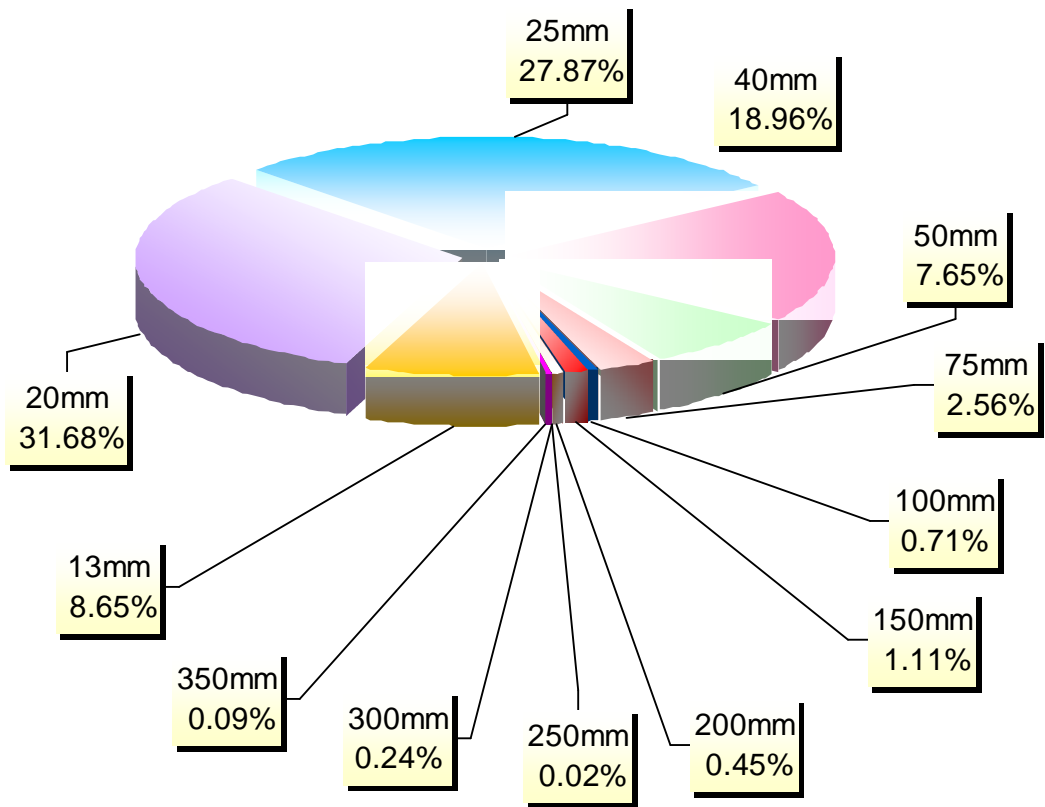


圖 3.6 不同口徑漏水件數分析圖 (盛安資訊股份有限公司, 2007)

3.2 新型設備區域檢測

新型設備區域檢漏與傳統式區域檢漏法不一樣，它是使用偵測器，分散設置於測漏區域內自來水管及附屬設施上，設定夜間時段欲偵測時間（通常為凌晨用水量較少之時段），檢測人員將會利用巡查儀擷取偵測器所記錄資料進行分析判讀，如水管有漏水情形時，再利用檢漏人員於疑似漏水管線之區段進行點位探測、定位。



圖 3.7 漏水噪音監控系統（G R Fricke and J Manuel,2005）

一、漏水噪音監控系統

漏水噪音檢漏儀是最新發展的測漏技術，偵測器（Permalog）內部設有漏水分析軟體和無線電發射報警功能，利用底座強力磁鐵吸附在自來水管線的制水閥、地下式消防栓等外露管件上，每天深夜記錄2小時的漏水聲音，將採集到的聲音進行分析後，若有漏水發生，就以無線電發

射訊號。檢漏人員每天攜帶巡查儀(Patroler)巡視安置偵測器的區域，當經過偵測器50公尺左右就可收到發出的無線電訊號。此外，為便於檢漏人員更迅速便捷的掌握管線狀況，亦可將偵測儀連結接到GSM傳送器，利用簡訊傳送，將警報訊號傳送到管理人員手機或監控中心電腦。

二、案例說明

澎湖縣年平均降雨量約1,000公釐，蒸發量卻高達1,800公釐，主要供水來源僅靠幾座小型水庫及海水淡化等水源供水，再加上每年90萬名的觀光客所增加的用水量，必要時需由高雄利用船舶運水，因此造成供水成本高且不穩定，因此台灣自來水公司於澎湖縣馬公市設置漏水噪音監控系統來監控管線，不僅於漏水發生初期就可及時進行維修，對於大量漏水造成水資源流失浪費有極好的效果，而且亦可減少監測人員為進行檢漏作業往來交通及作業成本。



圖 3.8 澎湖縣馬公市漏水監測系統安裝位置(雷迪國際實業有限公司, 2006)

(1) 安裝作業

依自來水管線圖上標示閘栓位置，每200公尺安放一個偵測儀，於制水閘或消防栓上。



圖 3.9 Permalog 安裝於水管管件上 (雷迪國際實業有限公司, 2006)

(2) 巡查檢測

利用巡查儀安置於車輛上，以時速30~40公里左右之車速經過安裝地點處即可接收偵測儀記錄資料。



圖 3.10 Patroler 進行巡查接收 (摘錄自網站 <http://www.palmer.co.uk/>)

(3) 資料分析

巡查儀所接收所有偵測器的數據資料下載至電腦後，可查看比對各偵測器噪音強度及分佈，以判斷管線是否有漏水狀況，進而派遣檢漏人員前往進行漏水點檢測及定位。表3.2為民國95年11月14日巡查儀接收各偵測器所傳送資料，其中編號10060921、10060933、10060934、10060935號顯示有異常漏水聲。

表 3.2 巡查儀接收數據（雷迪國際實業有限公司，2006）

| 系列號 | 地址 | 最近日期 | 最近狀態 | 最近主噪聲強度 | 最近噪聲分佈範圍 |
|----------|-----|------------|------|---------|----------|
| 10060911 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 5 | 18 |
| 10060912 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 16 | 33 |
| 10060913 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 13 | 41 |
| 10060914 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 20 | 25 |
| 10060915 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 15 | 47 |
| 10060916 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 13 | 41 |
| 10060917 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 20 | 25 |
| 10060918 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 13 | 38 |
| 10060919 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 16 | 16 |
| 10060920 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 14 | 5 |
| 10060921 | 復國路 | 14/11/2006 | 漏水 | 74 | 3 |
| 10060922 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 14 | 19 |
| 10060923 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 27 | 21 |
| 10060924 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 19 | 22 |
| 10060925 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 14 | 34 |
| 10060926 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 20 | 25 |
| 10060927 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 20 | 15 |
| 10060928 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 14 | 5 |
| 10060929 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 13 | 33 |
| 10060930 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 23 | 18 |
| 10060931 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 14 | 6 |
| 10060932 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 6 | 21 |
| 10060933 | 介壽路 | 14/11/2006 | 漏水 | 53 | 2 |
| 10060934 | 介壽路 | 14/11/2006 | 漏水 | 33 | 0 |
| 10060935 | 介壽路 | 14/11/2006 | 漏水 | 44 | 2 |
| 10060936 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 26 | 11 |
| 10060937 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 14 | 10 |
| 10060938 | 未安裝 | 14/11/2006 | 不漏水 | 0 | 0 |
| 10060939 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 14 | 5 |
| 10060940 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 14 | 10 |
| 10060941 | | 14/11/2006 | 不漏水 | 7 | 2 |

3.3 傳統式區域檢測與漏水噪音監控系統檢測比較

漏水噪音監控系統未來將可逐步取代傳統檢測人員於夜間以步行方式進行地毯式檢測漏點，利用此系統監測可找出疑似漏水管線段，但在那縮小的區段內仍需檢測人員利用相關儀器來準確的定位出漏水點。因此，我們可以歸納出表3.3兩種區域檢測的比較優、缺點以作為日後自來水管線單位進行檢漏作業規劃的參考。



表 3.3 區域檢漏型式比較

| 區域檢測型式 | 優點 | 缺點 |
|----------|---|---|
| 傳統式區域檢測 | <p>專業檢測人員經驗豐富</p> <p>漏水點定位正確</p> <p>地毯式進行檢漏可完全找出漏水點</p> | <p>多半需在夜間進行，作業成本較高</p> <p>每次作業檢漏管線長度僅4~6公里</p> <p>路面檢測需注意交通安全</p> |
| 新型設備區域檢測 | <p>工作效率高</p> <p>不需要專業的聽漏經驗</p> <p>比傳統測漏方法更靈敏、更快捷</p> <p>每日皆可獲取監測資料</p> <p>全區域永久監測</p> <p>重覆巡查使漏水程度不再擴大發展，降低漏水率</p> <p>不受監測區域大小和管網複雜程度的影響</p> <p>提高查漏效率，集中作業在實際存在的漏水點上</p> | <p>監測儀器成本費用高</p> <p>安裝後，保管不易</p> <p>精確漏水點仍需借助其他方法</p> |

第四章、探測儀器與漏水音分析

本研究依據傳統式檢測法中經驗豐富的檢測人員進行現地檢測後，在疑似之漏水點噴漆，隨後在該點位置以漏水探測儀擷取聲波訊號並儲存於電腦（圖4.1），俾便進行後續之頻譜分析。此外，並於此點位相當距離外的管線上方亦進行另一檢測作業（圖4.2），將可完整獲取此段管線之聲波資料，以便於進行比較分析後，判斷漏水與非漏水的存在情形。

本研究利用Cool Edit 2000來分析測錄之漏水聲波，Cool Edit 2000為David Johnston研發由Syntrillium Software Corporation所發行音頻處理軟體。本文利用此軟體來進行漏水聲波之快速傅利葉轉換，以瞭解聲波訊號之頻率內涵(frequency content)及主要聲波頻率所在，並分析比對訊號間振幅及頻譜的差異，其結果將有助於初步判斷、確認施測點下方之管線是否有漏水的狀況。



圖 4.1 現地實驗於疑似漏水點上路面檢測



圖 4.2 現地試驗於非漏水點之管線上方路面檢測

4.1 實驗儀器

本研究透過傳統檢測經驗判斷的方式，將耳朵所聽到的漏水聲音經由傳輸至電腦測錄成數位音檔，並同時進行頻譜分析，將能突破傳統式主觀因素可能造成的誤判，使檢測工作能著重於科學化及量化的比較分析。

(一) 漏水探測儀

本研究之檢測採用日本富士地探株式會社所製造專業漏水探測器型號為HG-10，以下為此儀器各部介紹：

- (1) 放大器：可利用高、低頻率選擇鍵來設定9種不同檢測頻率，以能有效過濾不需要的聲波頻率（圖4.3）。本試驗為能擷取各類聲波予以分析，故設定100~1200Hz來進行探測。

| LOW | | | HIGH | | | Filter Combination |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|
| 100 | 200 | 400Hz | 600 | 800 | 1200Hz | |
| <input type="checkbox"/> | | | <input type="checkbox"/> | | | 100Hz ~ 600Hz |
| <input type="checkbox"/> | | | | <input type="checkbox"/> | | 100Hz ~ 800Hz |
| <input type="checkbox"/> | | | | | <input type="checkbox"/> | 100Hz ~ 1200Hz |
| | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | | | 200Hz ~ 600Hz |
| | <input type="checkbox"/> | | | <input type="checkbox"/> | | 200Hz ~ 800Hz |
| | <input type="checkbox"/> | | | | <input type="checkbox"/> | 400Hz ~ 1200Hz |
| | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | | 400Hz ~ 600Hz |
| | | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | | 400Hz ~ 800Hz |
| | | <input type="checkbox"/> | | | <input type="checkbox"/> | 400Hz ~ 1200Hz |

圖 4.3 HG-10 漏水探測儀頻率設定方式 (摘自 <http://www.fujitecom.co.jp/>)

- (2) 手控拾音器：手控按鈕來控制靈敏度0.7V/g的拾音器進行探測，並配以特別設計的防風球，可有效地減小風聲的干擾。
- (3) 耳機：利用拾音器所探測聲音經過放大器後，以8歐姆立體聲耳機讓檢測人員進行判讀是否為漏水聲音。
- (4) 音量調整鈕：提供檢測人員進行聽音時擴大拾音器擷取聲音，本研究為使各點測錄聲音放大強度相同，以利測點間比較分析，統一將擷取之音量調訂為『9』。

(二) 筆記型電腦

將漏水探測儀所擷取的聲音利用傳輸線傳送至筆記型電腦內，並以軟體Cool Edit 2000進行後續處理分析。

4.2 測錄漏水音及分析

聲音係一種以波動形式存在的能量，可利用筆記型電腦配備之麥克風輸入漏水探測儀所偵測之音波訊號，惟輸入之電壓訊號通常為類比訊號（Analog Signal），可利用音效卡之語音訊號處理晶片將該類比訊號轉換為數位訊號（Digital Signal），以便儲存於電腦並進行相關之訊號後處理分析。現場進行漏水聲波錄音時，主要藉由專門處理語音訊號的軟體Cool Edit 2000，由於它的功能能輕易的輸入的語音訊號、存檔、分割與預覽，如此便可以更省時的處理漏水音訊號。

（一）靈敏度

表示感測器輸入與輸出之關係，即物理量（振動量）與對應之輸出電壓的關係，其單位通常為一電壓（V）/ 物理量（加速度、速度、位移），本研究測試時採用日本富士地探株式會社製造專業漏水探測器型號HG-10靈敏度大於0.7V/g。

（二）錄音設定及長度

現場進行漏水聲測錄時，設定左、右雙聲道、16bit解析度，並以一分鐘為總錄音時間長度，以擷取穩定而有效之聲波長度，可避免外界所造成瞬間干擾。

（三）取樣頻率（Sample rate）

每一秒鐘所擷取之訊號點數即為取樣頻率(f_s)，而其倒數即為取樣周期(Δt)。取樣頻率之設定與吾人欲擷取訊號之最大頻率有關，若所須分析之漏水聲波的頻寬為 f_A ，則根據取樣定理之規定，取樣頻率($1/\Delta t$ (Hz))至少須為訊號之最大頻率的2倍，方可保留原始資料的頻率內涵，以避

免聲波中高頻反應被誤以為低頻反應的混淆情形 (aliasing)。取樣周期可依4.1式計算：

$$\Delta t \leq \frac{1}{2f_A} \quad (4.1)$$

通常自來水管漏水處所產生聲波頻率介於 100~2500Hz，因此本研究將依 Cool edit 2000 程式內預設最小取樣率設定為 6000 Hz。

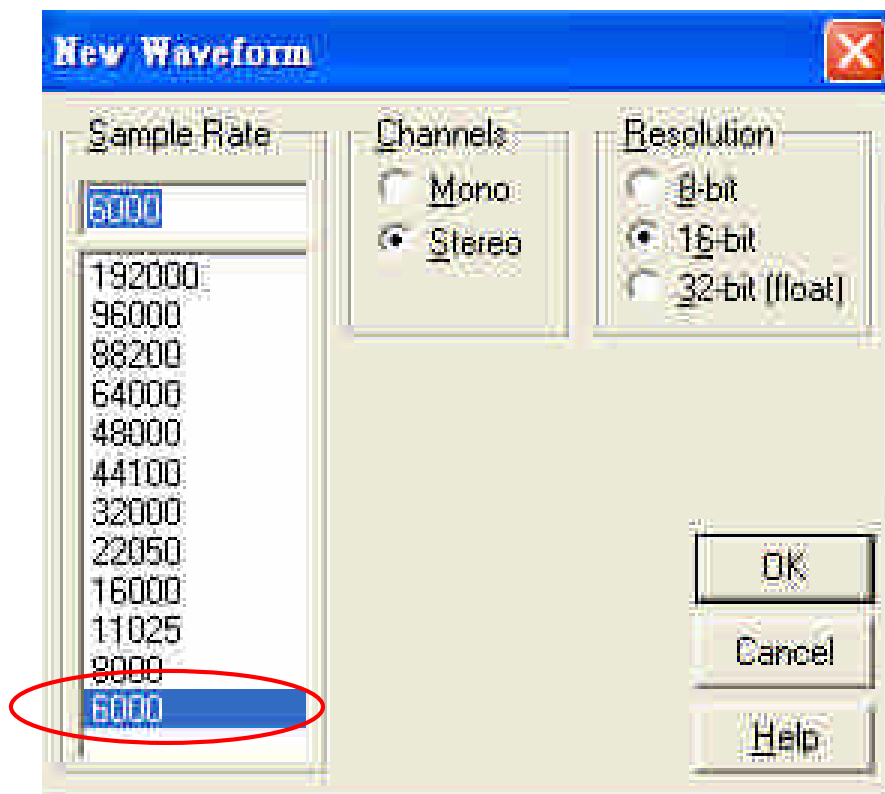


圖 4.4Cool Edit2000 之取樣頻率及解析度設定選項畫面

(四) 快速傅利葉轉換 (Fast Fourier Transform, FFT)

在科學或工程的研究中，以傅利葉轉換為基礎進行訊號處理與分析的應用最為常見，其可將時間域的歷時訊號轉換為頻率域的頻譜圖 (spectrum)，俾便瞭解訊號的頻率內涵。簡言之，傅利葉轉換即是將訊號(如振動或聲波訊號)分解成許多不同頻率的正弦波之和，可將時間序列上之函數 $x(t)$ 轉換成頻率域之函數 $X(f)$ ，或將頻率域之函數 $X(f)$ 逆轉換成時間序

列上之函數 $x(t)$ ，其數學積分公式定義如下：

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i2\pi ft} dt \quad (4.2)$$

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f)e^{i2\pi ft} dt \quad (4.3)$$

由於電腦數位化時代的來臨，為處理所擷取之離散訊號及因應電腦數位環境之運算工作，此時必須將連續時間之傅利葉轉換進行適當的修正，以便將連續時間之傅利葉轉換修正為離散傅利葉轉換(Discrete Fourier Transform, DFT)的型式：

$$X\left(\frac{n}{NT}\right) = \sum_{k=0}^{N-1} x(kT)e^{-i2\pi nk/N} \quad n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (4.4)$$

上式是以取樣間隔 T 對連續時間信號 $x(t)$ 做 N 個取樣，以變成為離散時間信號 $x(kT)$ ，亦是將 N 個時間樣本點和 N 個頻率樣本點聯繫起來的動作。其中 NT 即是取樣長度，而一個恰當的取樣長度最好為訊號振動週期的整數倍，處理上一般會把 NT 當作是 $x(kT)$ 的最大週期。一般在表示時可省略時間單位 T 及頻率單位 $\frac{1}{NT}$ 進而簡潔地表示成如下的型式：

$$X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k)w^{nk} \quad n = 0, 1, 2, \dots, N-1; \quad w = e^{-i2\pi/N} \quad (4.5)$$

然而利用離散方程進行運算在早期電腦運算速度不快時仍需耗費相當多的時間，因此1965年Codey與Tukey發表了一系列快速傅利葉轉換的論文，主要內容為能提升傅利葉變換計算效率的方法，其計算時間正比於 $n \log_2^N$ 。該方法主要是利用離散傅利葉轉換重覆循環之特性，發展出新的演算方法，可減少運算量，再加上近年來計算機運算能力的提升，遂大幅提升了傅利葉轉換之計算效率。

(五) 取窗法 (Bendat J.S. and Piersol A.G.,2000)

有限頻寬訊號通常具有無限時寬，惟進行傅利葉轉換時僅能選取有限時間的訊號，實際上可視為將該時間訊號乘上一個視窗函數進行分段或稱為取窗。視窗函數之選擇將會影響分析結果，若視窗函數之頻譜具有主瓣極窄，旁瓣極小之特性，即信號頻域能量集中在主瓣內，則可避免因訊號取窗或分段所引起之其它頻率成份的干擾，可有效降低誤差值。圖4.5為Hanning、Flat top及Uniform 視窗曲線，由於現實環境之波動訊號通常為週期訊號及隨機訊號組合而成，因此本研究將採用Hanning視窗可緩和輸入訊號兩端之振幅，以便使得訊號呈現週期函數的形式。

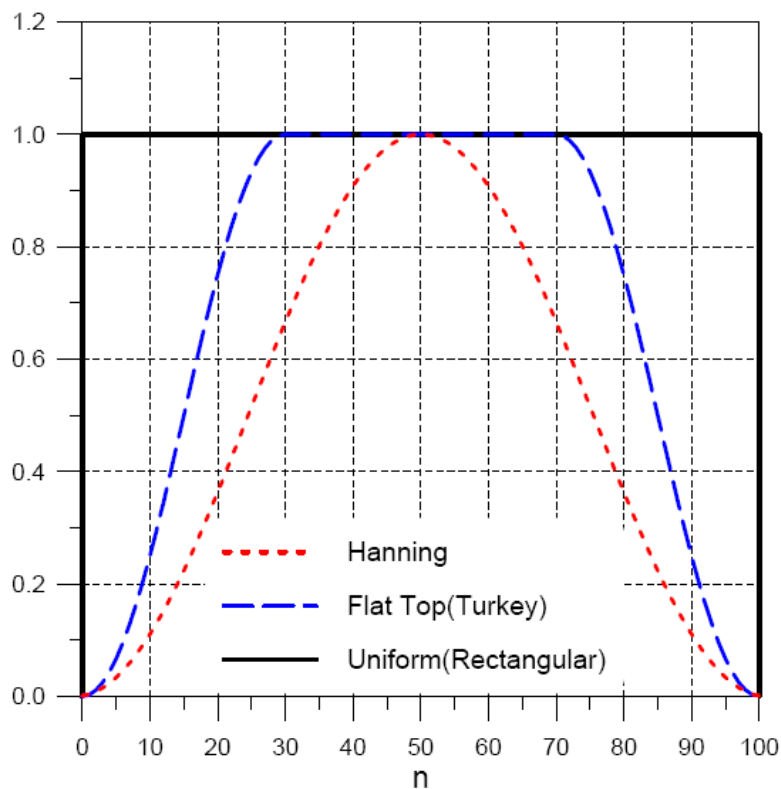


圖 4.5 常用的視窗函數 (王彥博、鍾立來、李建良，2003)

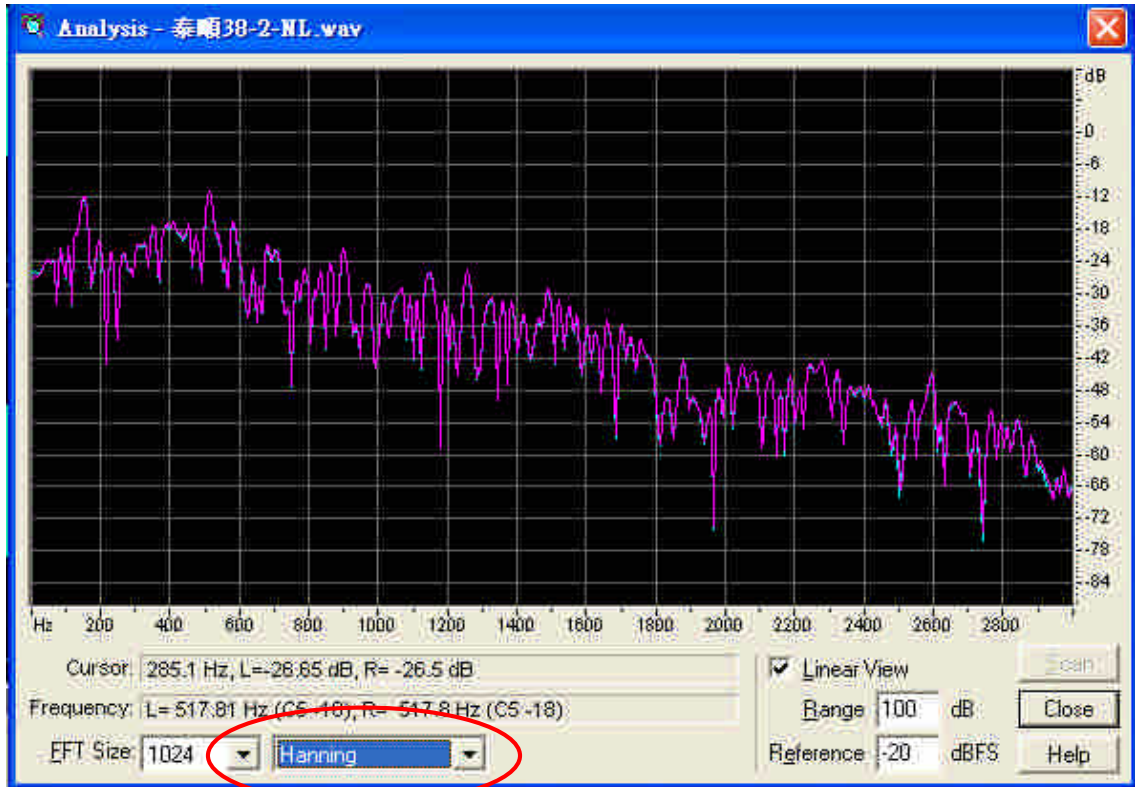


圖 4.6 Cool Edit2000 之頻譜分析筆數及視窗選項畫面

(六) 平均均方根振幅 (Average RMS Power)

漏水是一種長期、穩定的聲波狀態，進行歷時分析時可先將整段測錄的聲波中受人、車等外界干擾所造成之突波去除，僅擷取穩定之聲波進行歷時資料所測的相對振幅值之平均均方根計算，將有助於瞭解聲波相對振幅的大小差異 (圖4.7)。

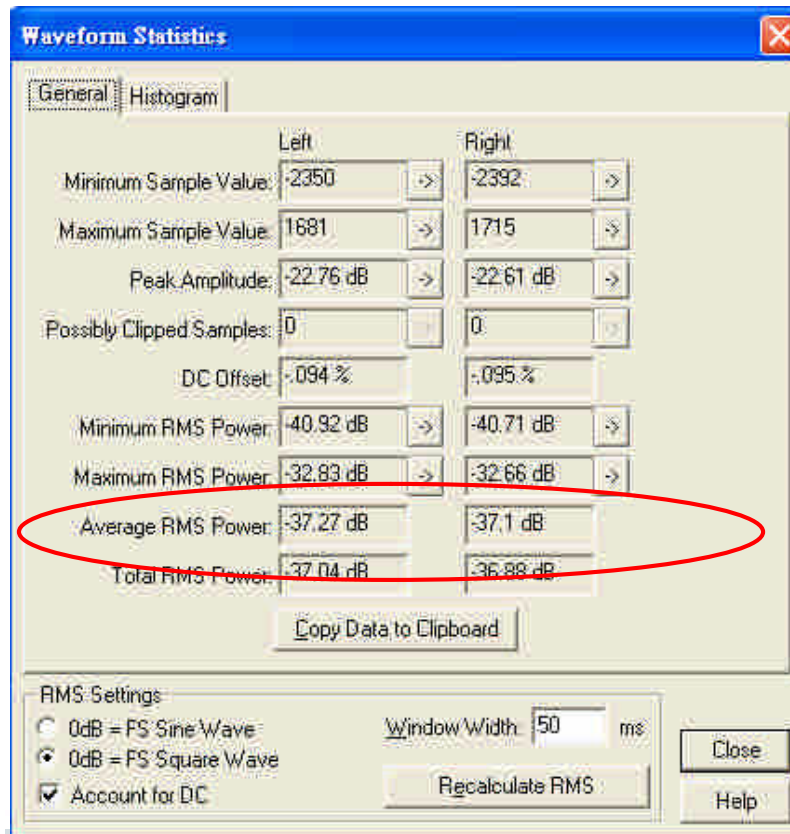


圖 4.7 Cool Edit2000 之聲波統計分析選項畫面

(七) 頻譜分析 (frequency spectra)

對於聲波訊號的性質研究，可先由觀察其波形之變化來著手，但是一般訊號之波形多是雜亂變化的，因此僅以波形來分析聲波訊號的性質已難以完全分辨其差異，利用快速傅利葉轉換的方法 (FFT=1024pts)，可將一個訊號所含各次諧波強度展示出來，使兩測點聲波的訊號特徵易於分析比較。

(八) 拐角頻率 (corner frequency)

聲波頻譜圖可以依照其波動型態找出三個頻譜參數：低頻高度 (Q)、拐角頻率 (f_0) 及高頻衰減斜率 (γ) 來描述，如圖4.8所示，隨頻率的增加，信號的波動趨勢率會在某點之後突然作很大的變化，這種低頻趨勢及高頻趨勢出現交點時，其對應頻率稱之為拐角頻率。

本文研究自來水漏水現象為一種穩定且持續的聲波特徵，因此對於現地測錄所得各式聲音（包含：漏水音、管壓流動聲及其他雜音等）經過頻譜分析後，漏水聲波於低頻與高頻間必展現出一較大頻譜能量，利用低頻高度與高頻衰減率來找出此特徵頻率及對應尖峰振幅，將可提供檢測人員更精確的判斷分析。

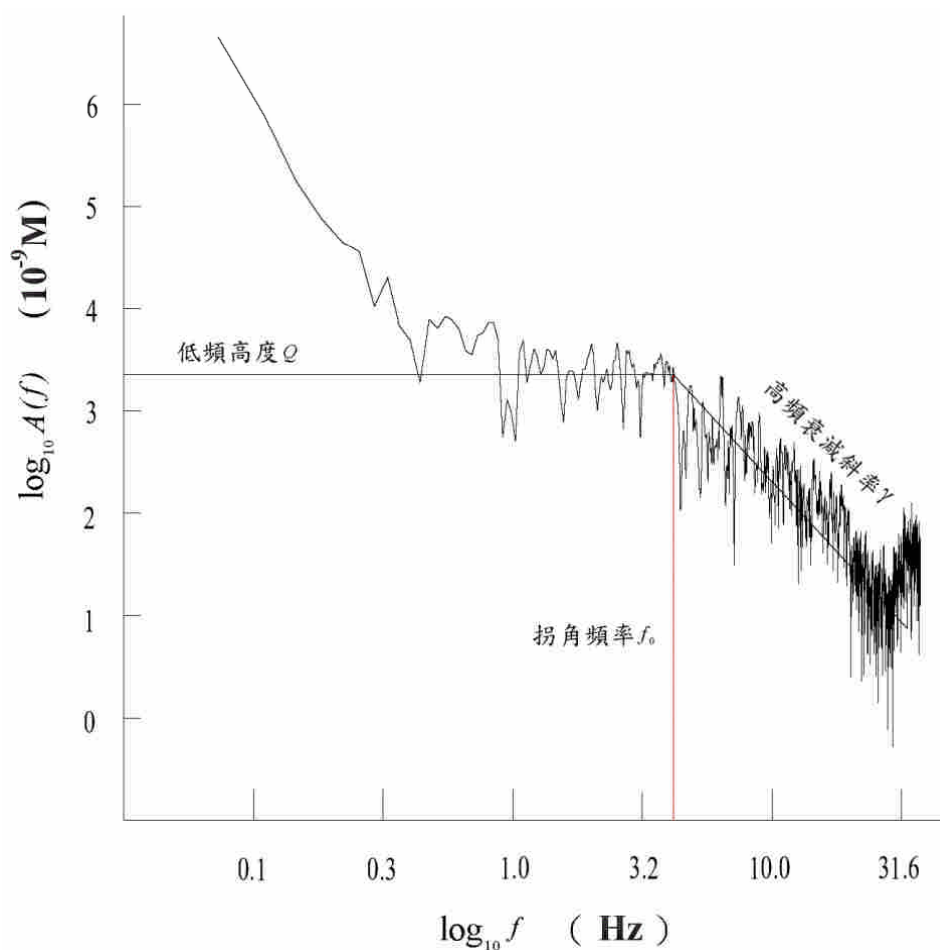


圖 4.8 頻譜參數圖（黃秀霞、梁延剛，2002）

第五章、現地檢測成果分析與驗證

本章將以五個現地檢測後所得的聲波錄音檔 (*.wav) 利用 Cool edit 2000 進行歷時分析與頻譜分析，以瞭解疑似漏水點位與無漏水點位之波形、振幅與頻率分佈之差異，俾便歸納出漏水檢測之判斷準則，可供日後檢測人員更精確地確認漏水點之位置。

下列為施作現地檢測時流程圖：

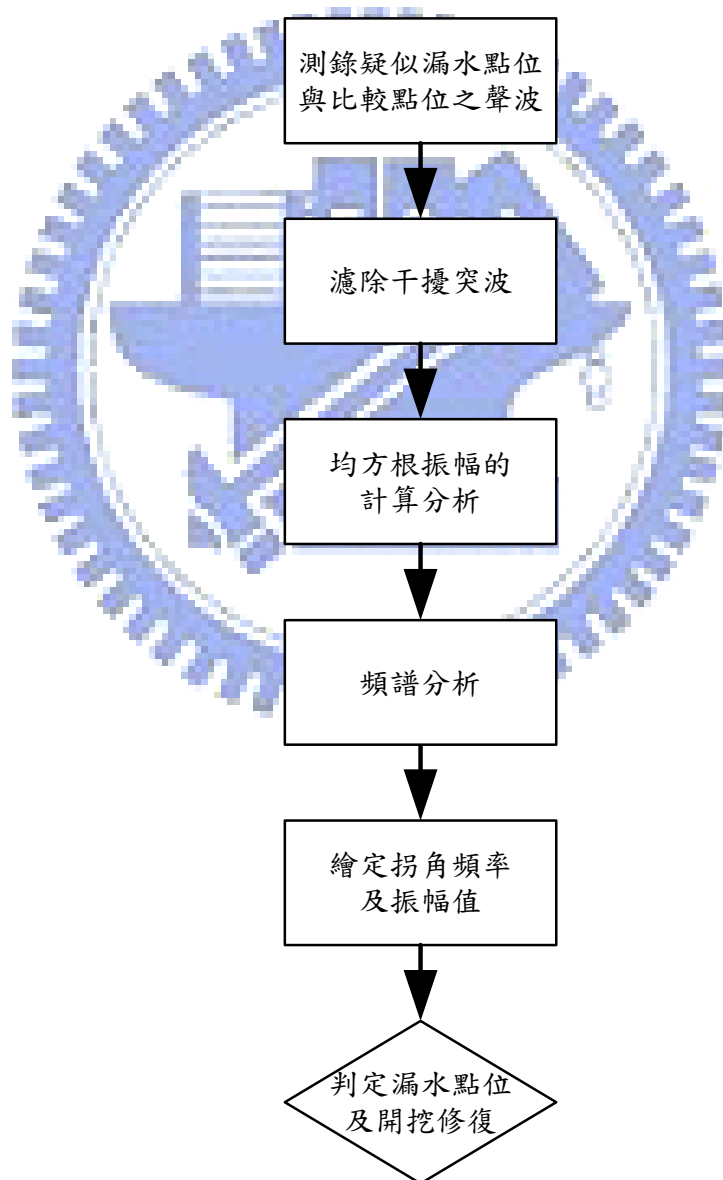


圖 5.1 現地檢測流程圖

5.1 現地檢測

本實驗係利用臺北市區內自來水管線先以傳統式聽音方法，由檢測人員找出五個疑似漏水點後，再以本研究之方法於疑似點與相近比較點進行地面聲音測錄，現地實驗十個點位的檢測資料分析如下：



(一) 疑似漏水點：杭州南路2段61巷42號

(1) 現地量測地點：

A1－杭州南路2段61巷42號（疑似漏水點）

A2－杭州南路2段61巷38號（相近比較點）

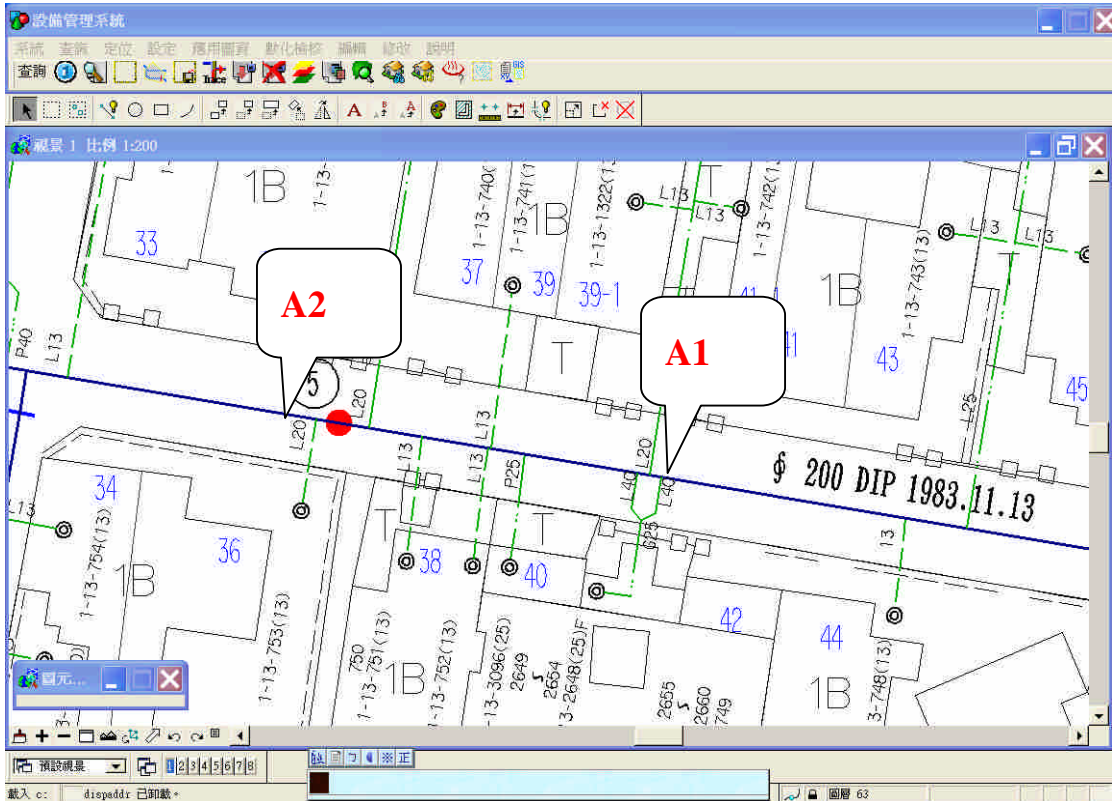


圖 5.2 現地檢測點位 A1 及 A2 之自來水管線圖

(2) 現地量測時間：

A1－96年5月31日上午03：22

A2－96年5月31日上午03：28

(3) 現地量測之歷時記錄

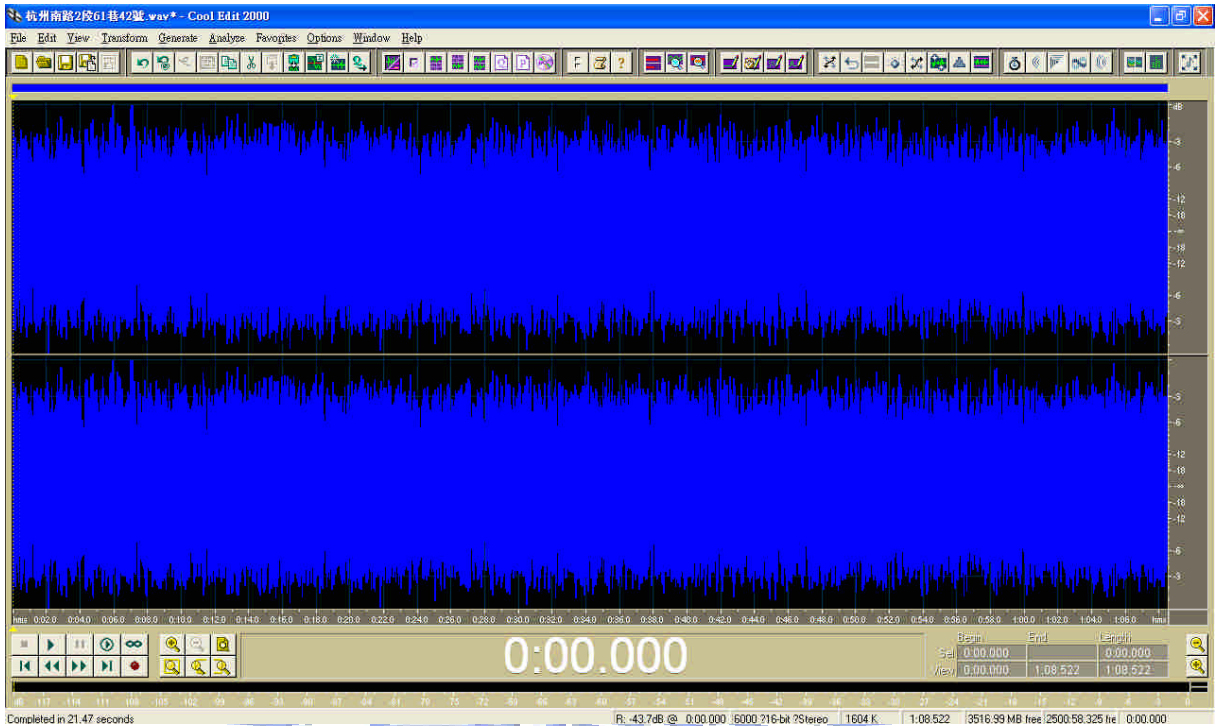


圖 5.3 A1 測點之聲波歷時圖

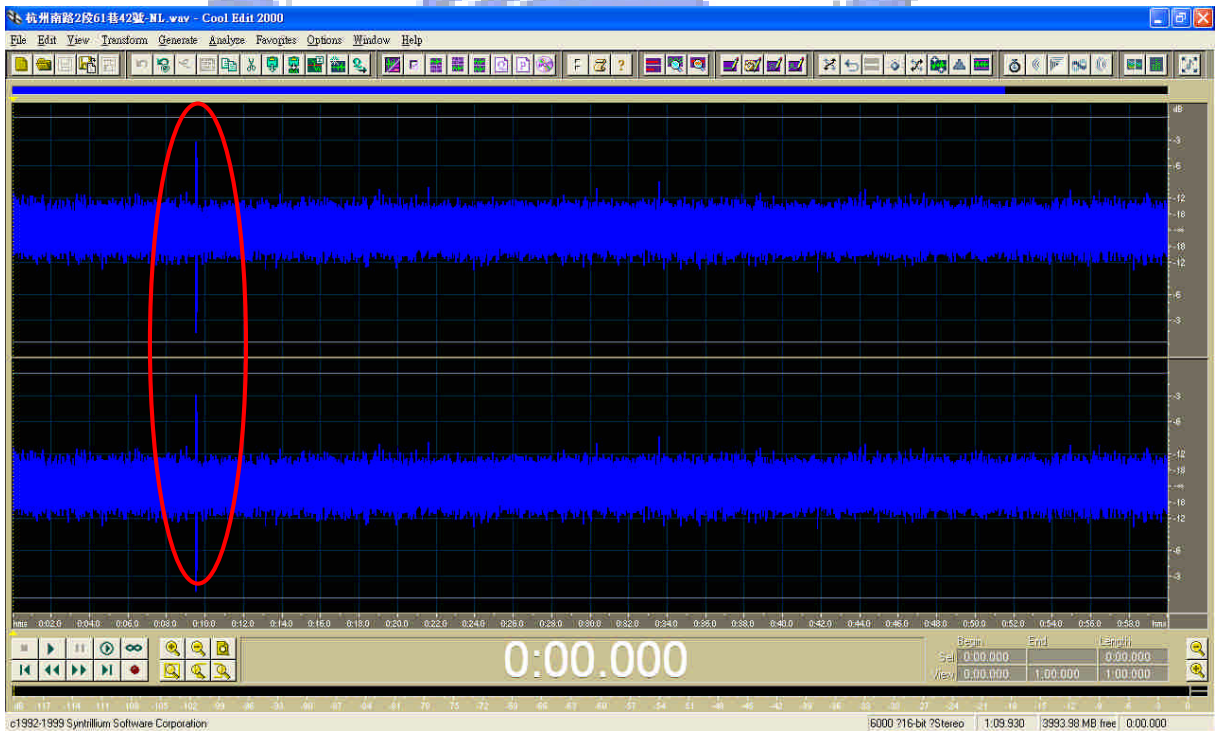


圖 5.4 A2 測點之聲波歷時圖

①波形

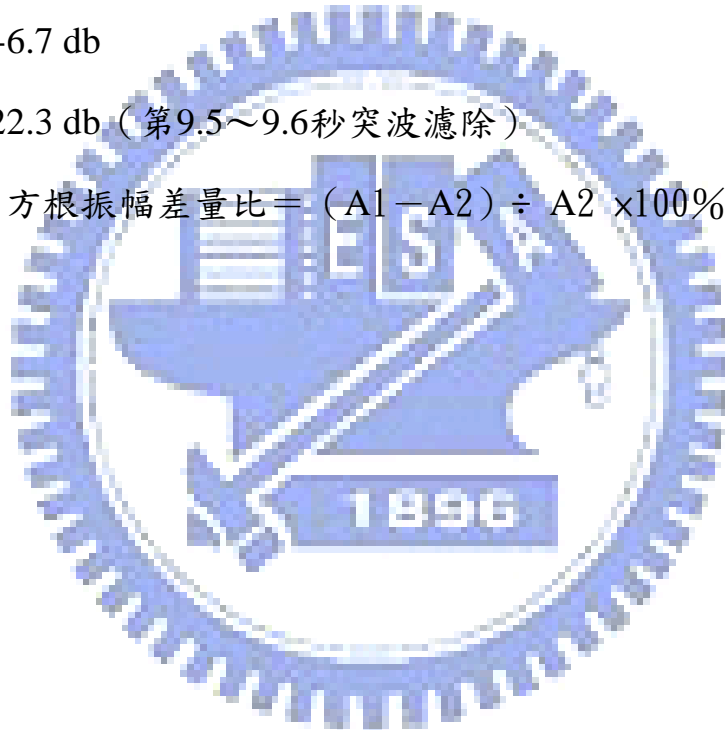
由圖 5.3 及圖 5.4 之聲波歷時圖可知，A1 測點之聲波較為平穩 (stationary)，表示錄音過程較無干擾存在，A2 測點於第 9.5~9.6 秒間則有人、車通行過產生突波，分析時可先將該突波予以濾波後再進行後續分析；此外，疑似漏水點 A1 之聲波較 A2 聲波的振幅大。

②平均均方根振幅

$$A1 = -6.7 \text{ db}$$

$$A2 = -22.3 \text{ db (第 9.5~9.6 秒突波濾除)}$$

$$\text{平均均方根振幅差量比} = (A1 - A2) \div A2 \times 100\% = 69.8\%$$



(4) 現地量測記錄之頻譜圖



圖 5.5 A1 測點之頻譜圖

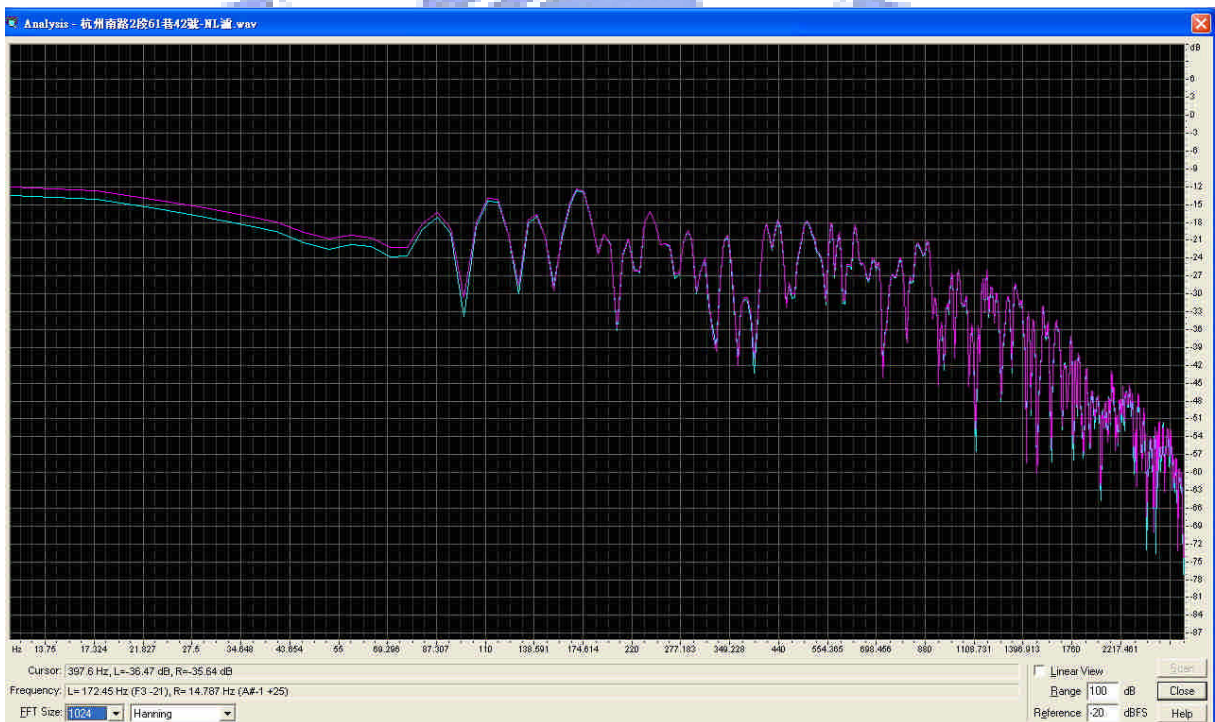


圖 5.6 A2 測點之頻譜圖

由圖5.5可知，疑似漏水點A1之頻譜圖拐角頻率556Hz處有一顯著峰值，其最大值為6.8db，而圖5.6 A2之頻譜圖則無顯著之峰值出現，可以判知測點A1應有漏水產生一特殊之聲波頻率。

(5) 驗證

現場開挖後，地面下0.7公尺處有一管線圖資系統上無顯示的鉛管 $\Phi 13$ mm發生漏水情形，本次檢測比較分析判讀結果相符。



圖 5.7 A1 測點之現地開挖狀況

(二) 疑似漏水點：泰順街38-2號

(1) 現地量測地點：

B1－泰順街38-2號（疑似漏水點）

B2－泰順街38-5號（相近比較點）

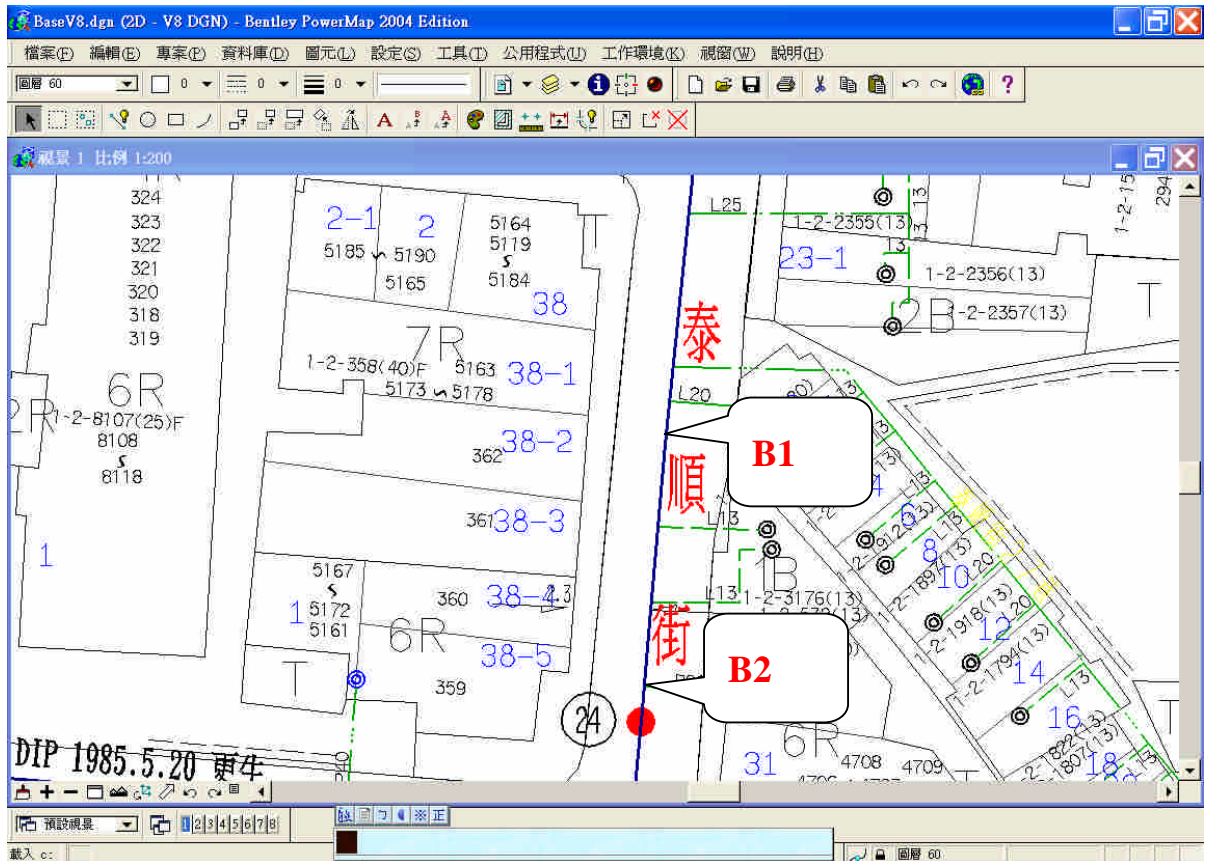


圖 5.8 現地檢測點位 B1 及 B2 之自來水管線圖

(2) 現地量測時間：

B1－96年6月3日上午03：17

B2－96年6月3日上午03：26

(3) 現地量測之歷時記錄

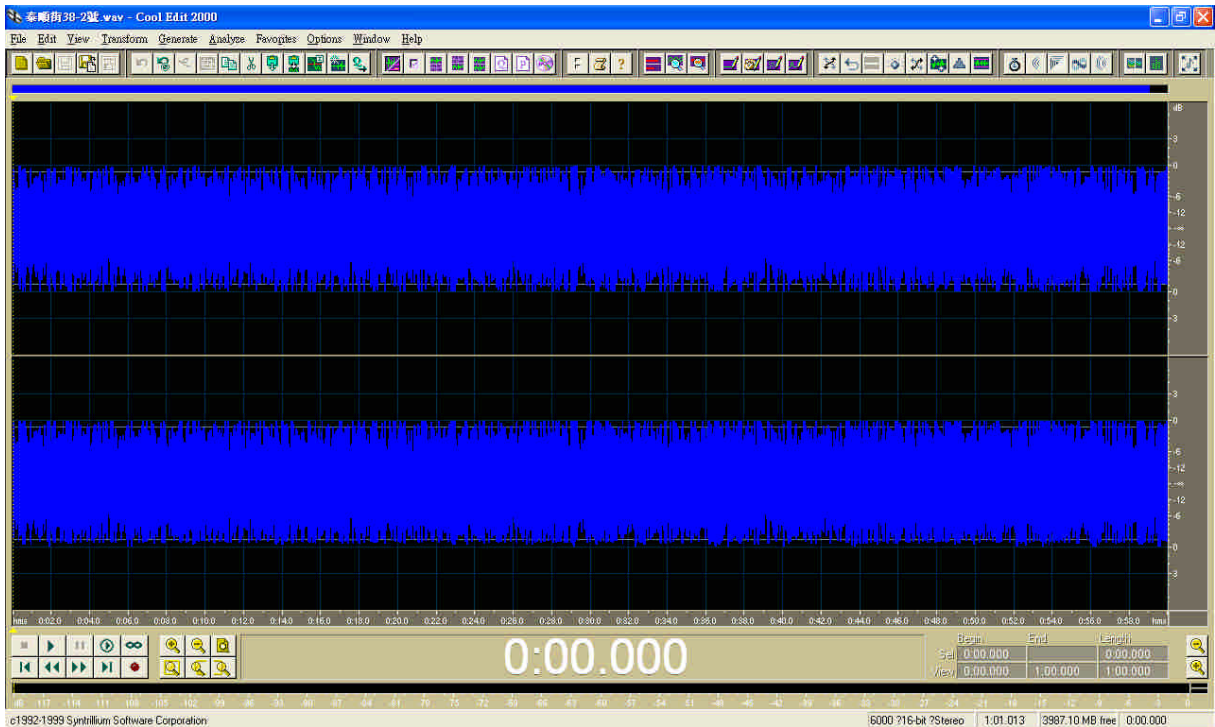


圖 5.9 B1 測點之聲波歷時圖

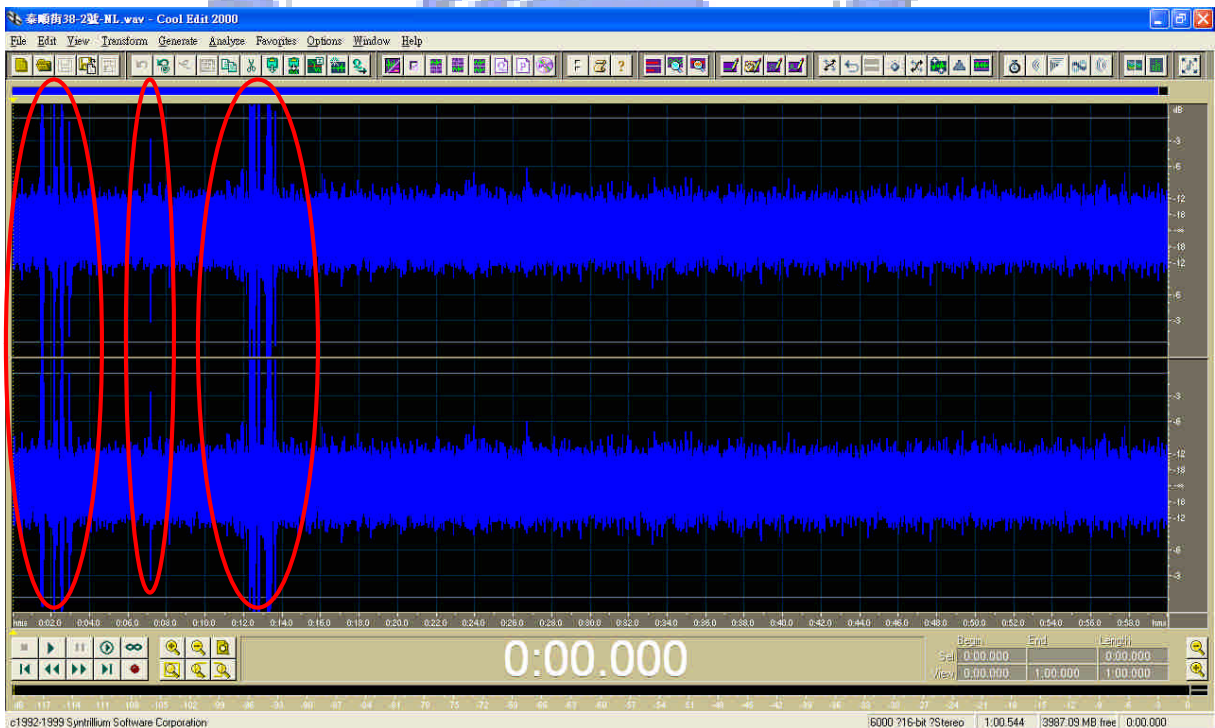


圖 5.10 B2 測點之聲波歷時圖

①波形

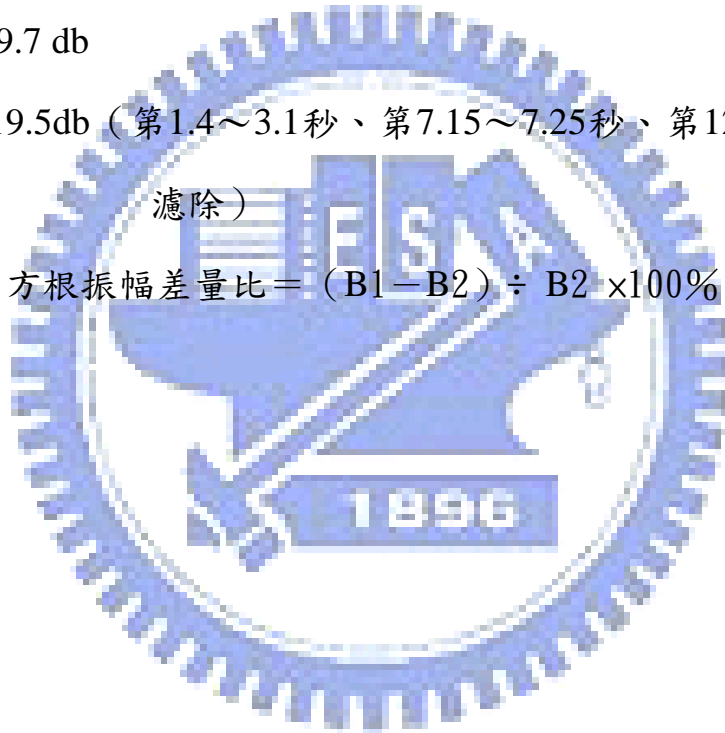
由圖5.9及圖5.10之聲波歷時圖可知，B1測點之聲波較為平穩(stationary)，表示錄音過程較無干擾存在，B2測點於第1.4~3.1秒、第7.15~7.25秒及第13.2~13.7秒則有人、車通行過產生突波，分析時可先將該突波予以濾波後再進行後續分析；此外，疑似漏水點B1之聲波較B2聲波的振幅大。

②平均均方根振幅

$$B1 = -9.7 \text{ db}$$

$$B2 = -19.5 \text{ db} \text{ (第1.4~3.1秒、第7.15~7.25秒、第12.3~13.7秒突波濾除)}$$

$$\text{平均均方根振幅差量比} = (B1 - B2) \div B2 \times 100\% = 50.1\%$$



(4) 現地量測記錄之頻譜圖



圖 5.11 B1 測點之頻譜圖

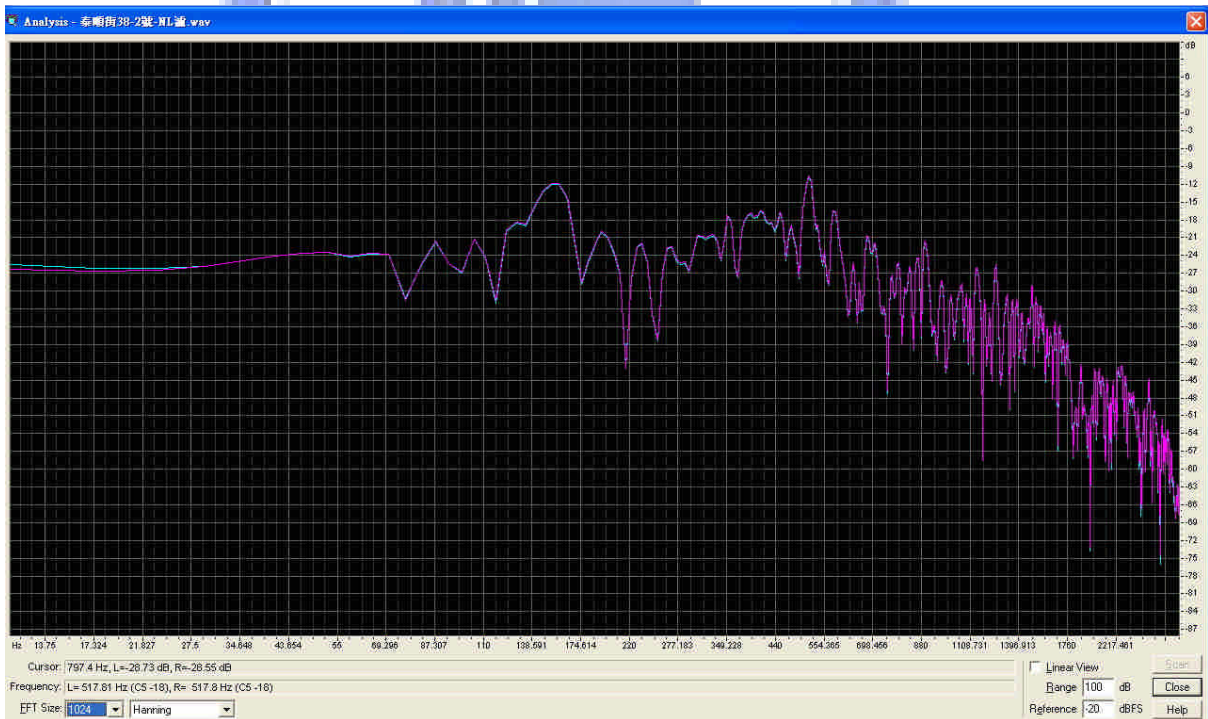


圖 5.12 B2 測點之頻譜圖

由圖5.11可知，疑似漏水點B1之頻譜圖拐角頻譜517Hz處有一顯著峰值，其最大值為10.04db，而圖5.12B2之頻譜圖則無顯著之峰值出現，可以判知測點B1應有漏水產生一特殊之聲波頻率。

(5) 驗證

現場開挖後，地面下1.4公尺處鑄鐵管 $\Phi 200\text{mm}$ 上有一漏口，與本次檢測比較分析判讀結果相符。



圖 5.13 B1 測點之現地開挖狀況

(三) 疑似漏水點：杭州南路1段27號

(1) 現地量測地點：

C1—杭州南路1段27號（疑似漏水點）

C2—杭州南路1段29號（相近比較點）

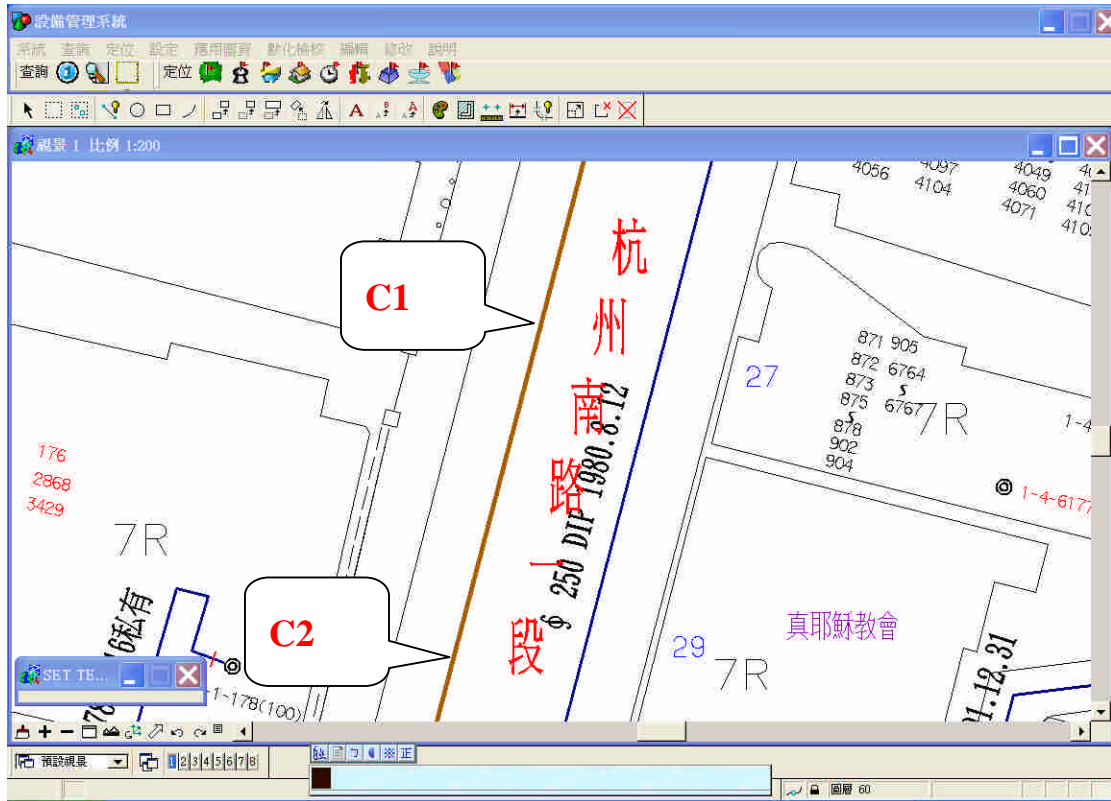


圖 5.14 現地檢測點位 C1、C2 之自來水管線圖

(2) 現地量測時間：

C1—96年6月3日上午03：50

C2—96年6月3日上午03：56

(3) 現地量測之歷時記錄

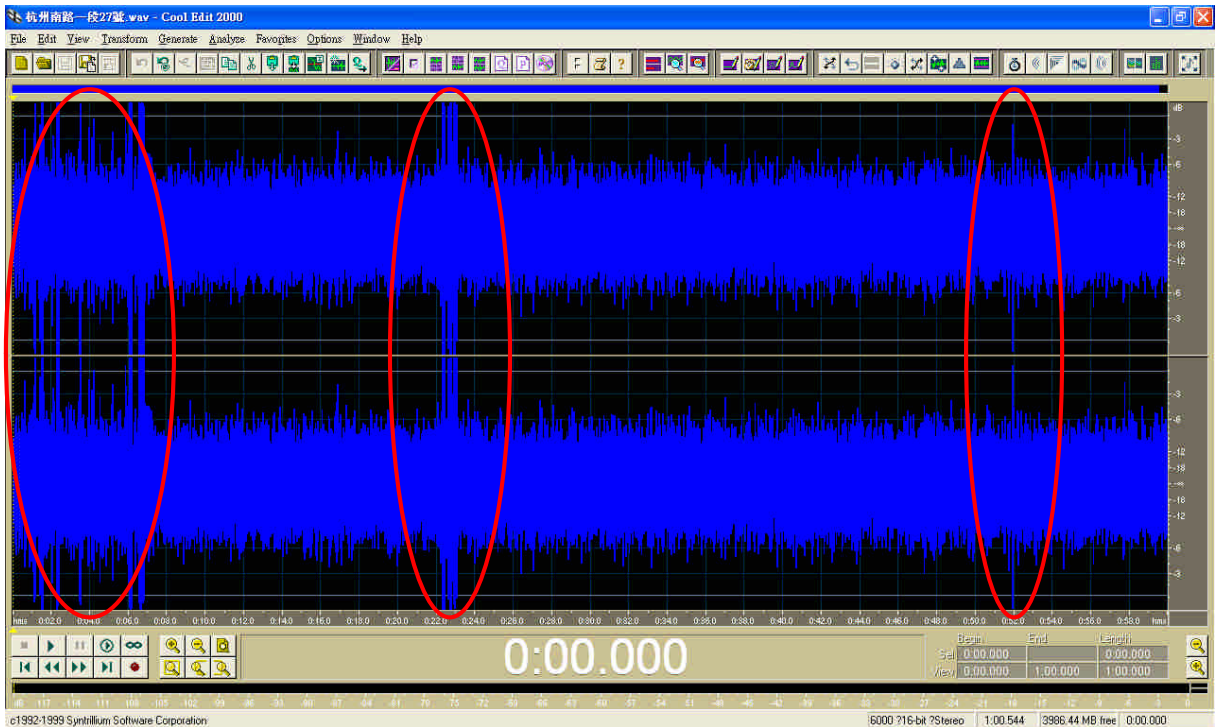


圖 5.15 C1 測點之聲波歷時圖

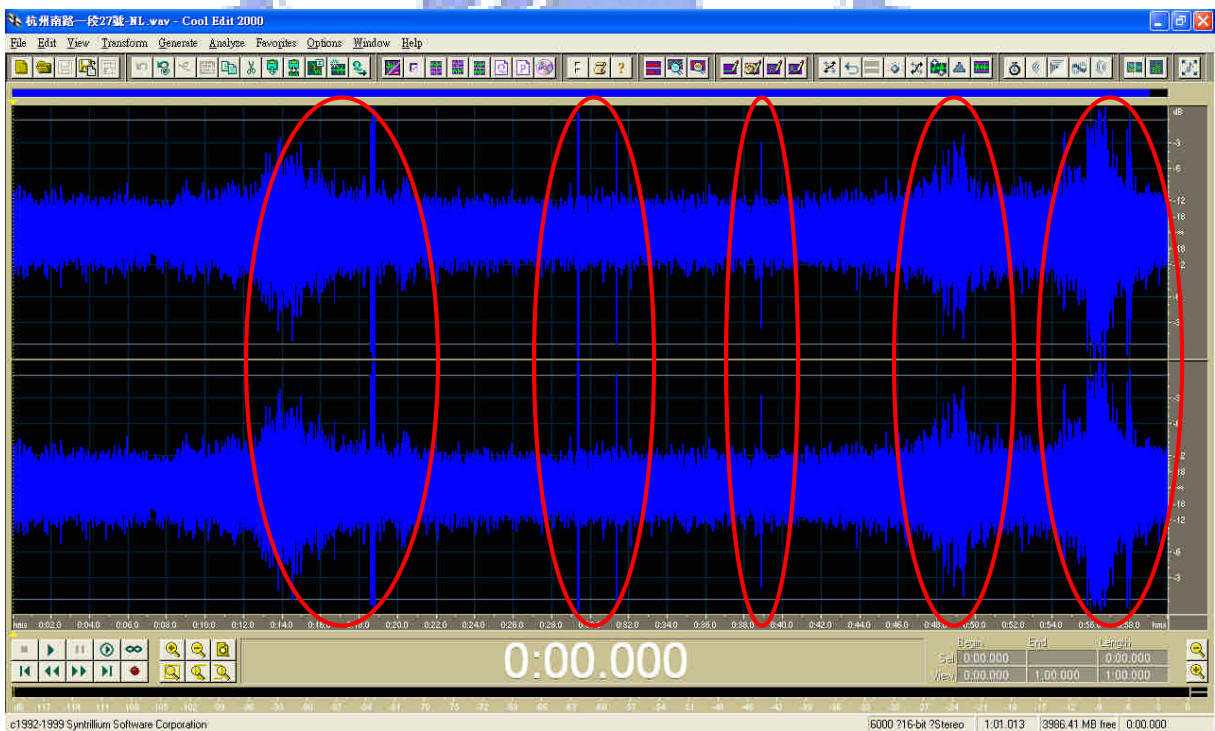


圖 5.16 C2 測點之聲波歷時圖

①波形

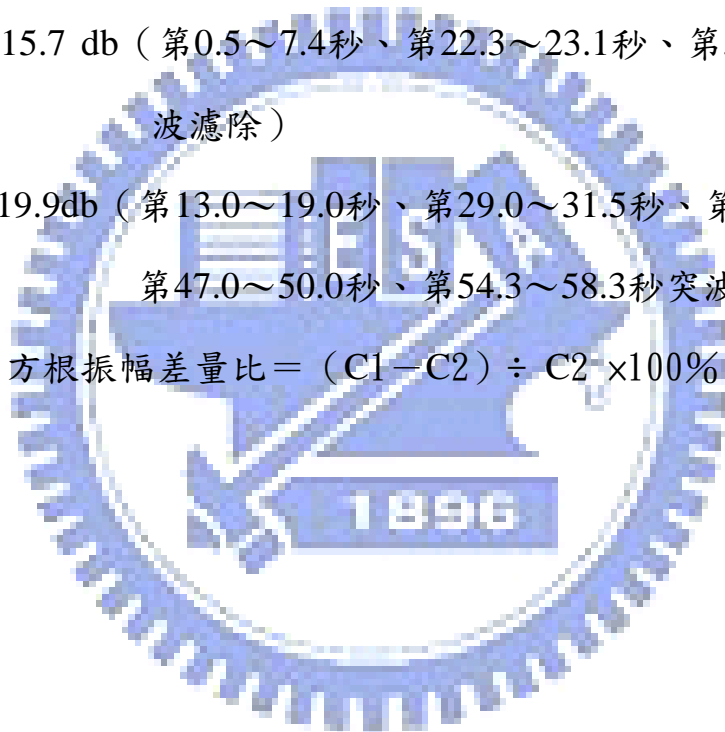
由圖5.15及圖5.16之聲波歷時圖可知C1測點於第0.5~7.4秒、第22.3~23.1秒、第51.9~52.10秒及C2測點於第13.0~19.0秒、第29.0~31.5秒、第38.8~39.0秒、第47.0~50.0秒、第54.3~58.3秒有人、車通行過產生突波，分析時可先將該突波予以濾波後再進行後續分析；此外，疑似漏水點C1之聲波較C2聲波的振幅大。

②平均均方根振幅

C1=- 15.7 db (第0.5~7.4秒、第22.3~23.1秒、第51.9~52.10秒突波濾除)

C2=- 19.9db (第13.0~19.0秒、第29.0~31.5秒、第38.8~39.0秒、第47.0~50.0秒、第54.3~58.3秒突波濾除)

平均均方根振幅差量比 = $(C1 - C2) \div C2 \times 100\% = 21.1\%$



(4) 現地量測記錄之頻譜圖



圖 5.17 C1 測點之頻譜圖



圖 5.18 C2 測點之頻譜圖

由圖5.17、圖5.18，測點C1之頻譜圖於頻率557Hz處有一顯著峰值，其最大值為-4.41db，而C2之頻譜圖於頻率509Hz處亦有一顯著峰值，其最大值為-3.31db，兩尖峰振幅之差量比率33.2%，可以初步判知兩測點的管線狀態相似且主要聲波頻率振幅值小，另外依據自來水管線圖顯示道路下方為大管徑 $\Phi 600\text{mm}$ 鑄鐵管，因此研判為大口徑管線內壓力流所產生之聲波。

(5) 驗證

現地開挖後並無發現管線漏水之情形，與比較分析結果相同。



圖 5.19 C1 測點之現地開挖狀況

(四) 疑似漏水點：寧波東街20號

(1) 現地量測地點：

D1－寧波東街22號（疑似漏水點）

D2－寧波東街20號（相近比較點）

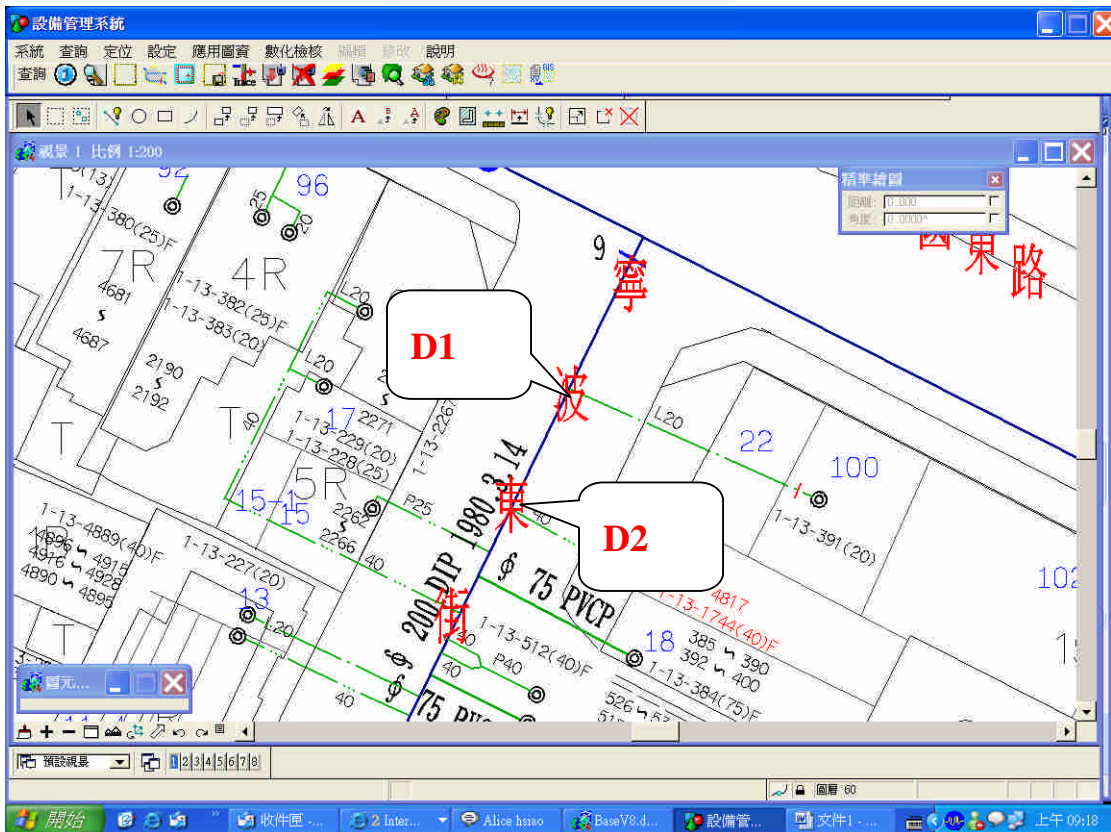


圖 5.20 現地檢測點位 D1 及 D2 之自來水管線圖

(2) 現地量測時間：D1－96年6月13日上午01：56

D2－96年6月13日上午02：04

(3) 現地量測之歷時記錄

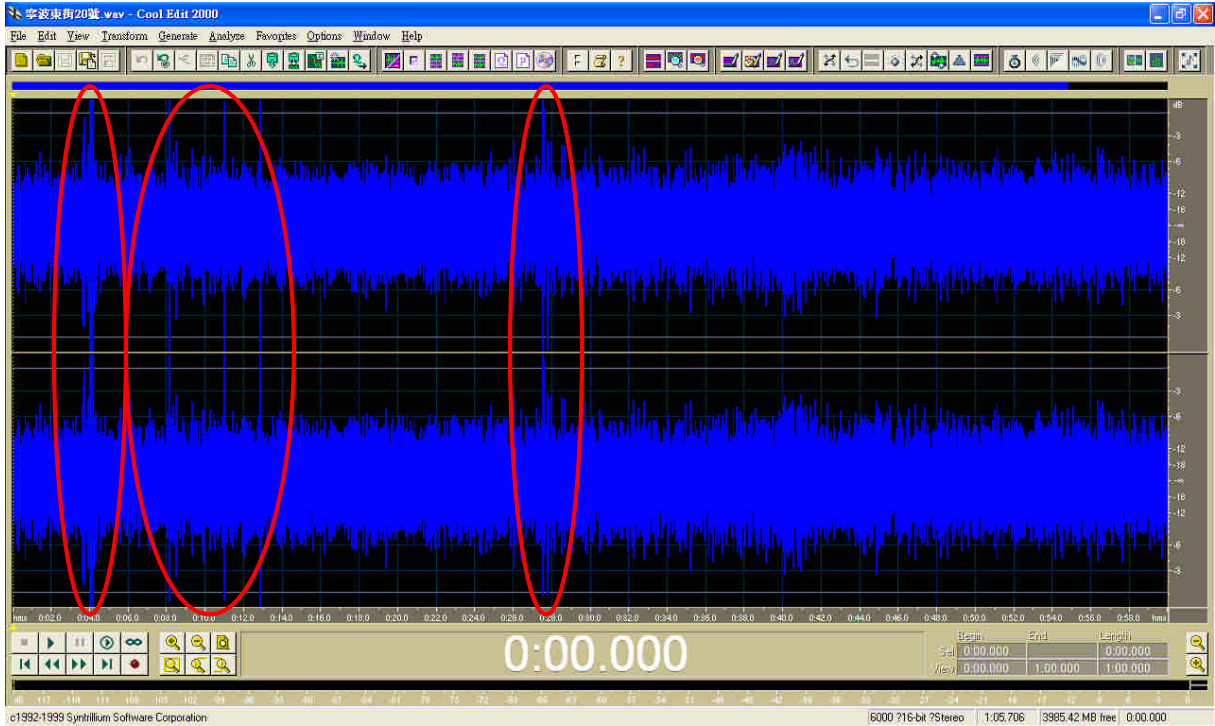


圖 5.21 D1 測點之聲波歷時圖

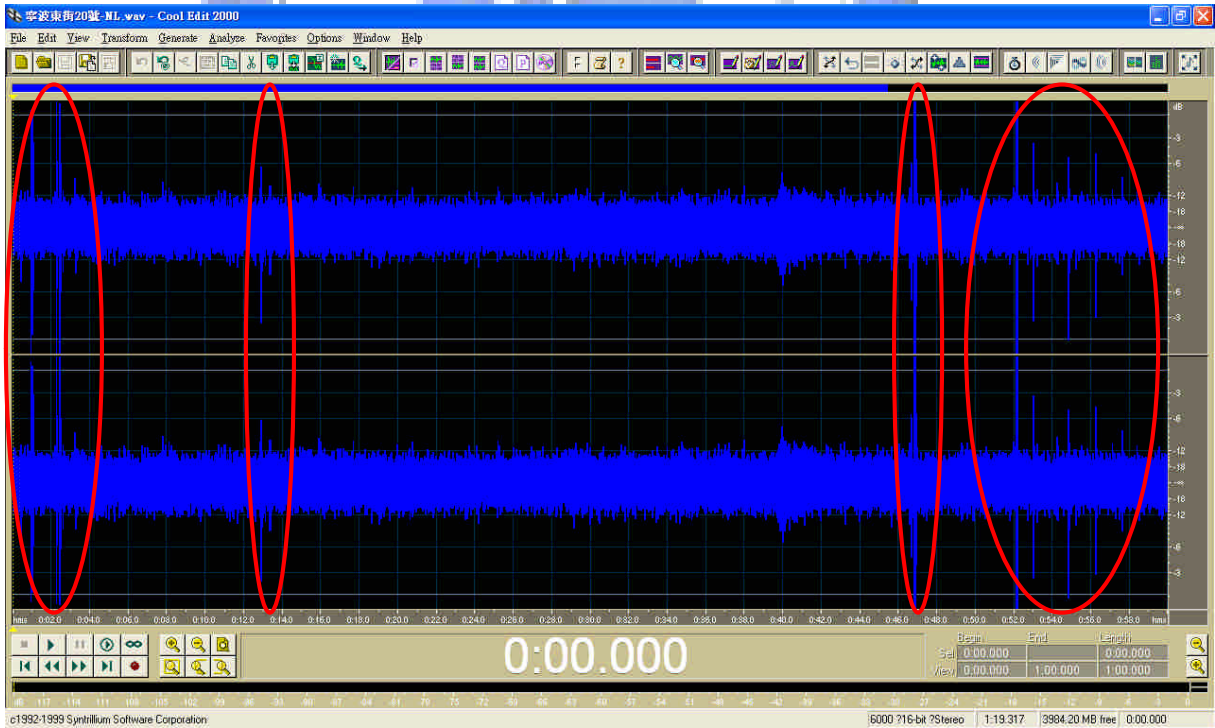


圖 5.22 D2 測點之聲波歷時圖

① 波形

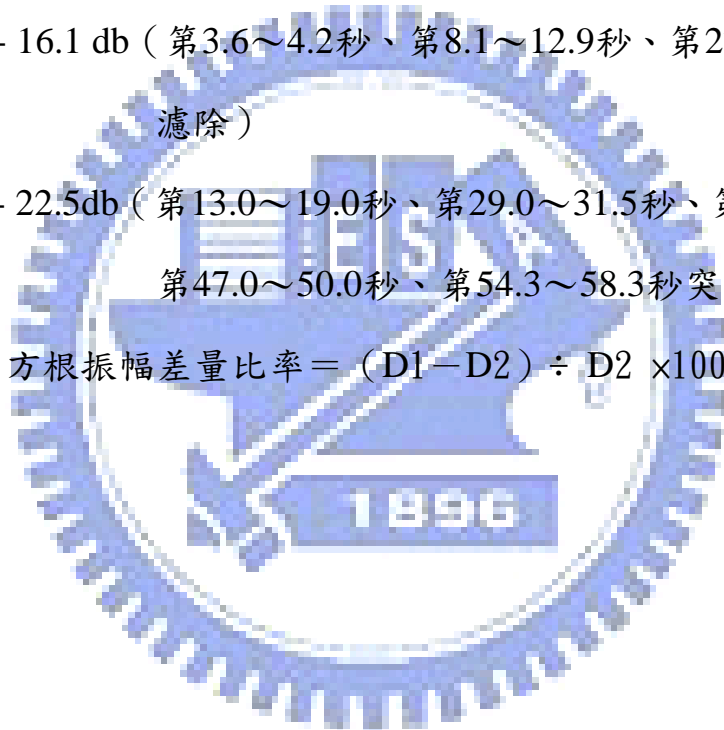
由圖5.21及圖5.22之聲波歷時圖可知D1測點於第3.6~4.2秒、第8.1~12.9秒、第27.4~27.9秒，D2測點於第0.5~2.5秒、第12.8~13.4秒、第46.5~47.0秒、第52.1~57.7秒有人、車通行過產生突波，分析時可先將該突波予以濾波後再進行後續分析；此外，疑似漏水點D1之聲波較D2聲波的振幅大

② 平均均方根振幅

D1 = - 16.1 db (第3.6~4.2秒、第8.1~12.9秒、第27.4~27.9秒突波
濾除)

D2 = - 22.5db (第13.0~19.0秒、第29.0~31.5秒、第38.8~39.0秒、
第47.0~50.0秒、第54.3~58.3秒突波濾除)

平均均方根振幅差量比率 = $(D1 - D2) \div D2 \times 100\% = 28.4\%$



(4) 現地量測記錄之頻譜圖

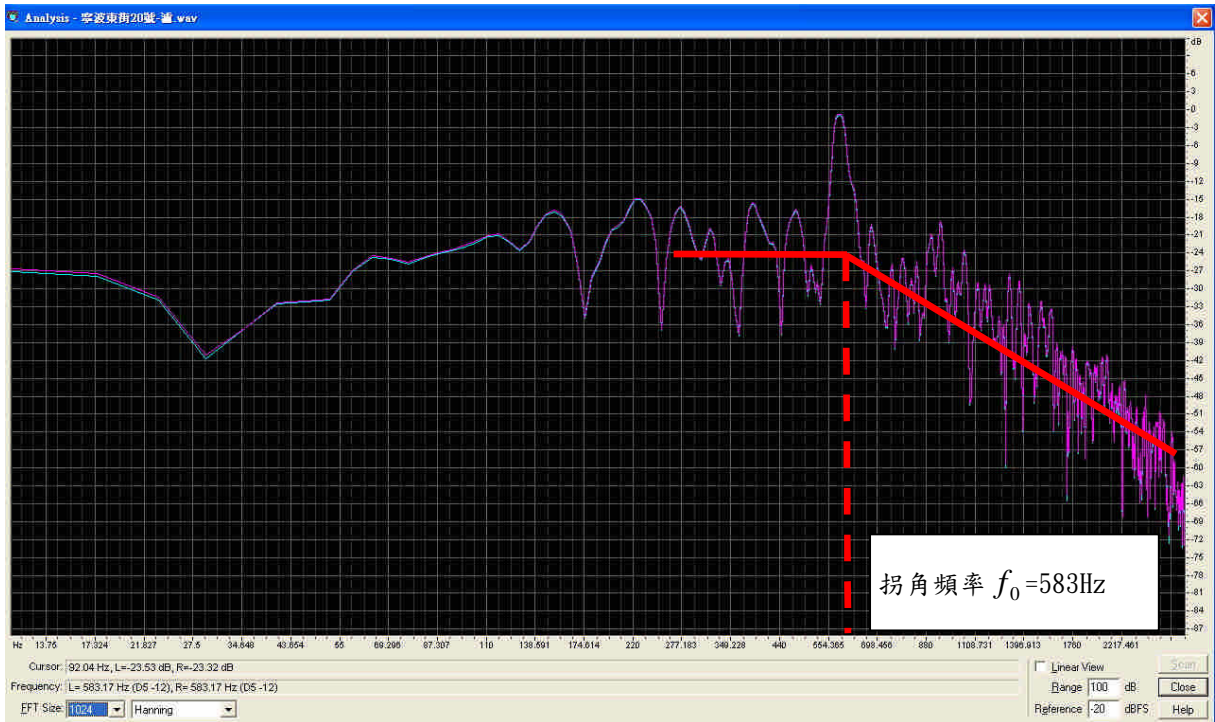


圖 5.23 D1 測點之頻譜圖

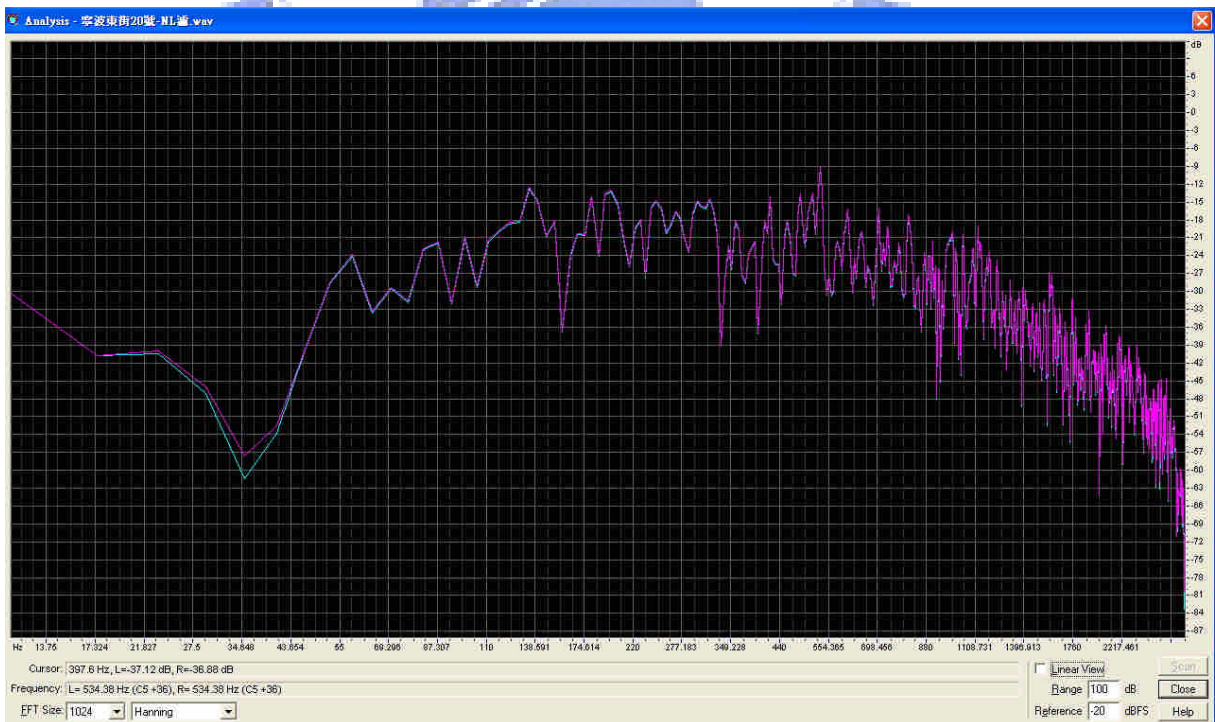


圖 5.24 D2 測點之頻譜圖

由圖5.23可知，疑似漏水點D1之頻譜圖拐角頻率583Hz處有一顯著峰值，其最大值為-0.73db，而圖5.24D2之頻譜圖則無顯著之峰值出現，可以判知測點D1應有漏水產生一特殊之聲波頻率。

(5) 驗證

現場開挖後，地面下1公尺處塑膠管 $\Phi 20\text{mm}$ 上有一漏口，與本次檢測比較分析判讀結果相符。



圖 5.25 D1 測點之現地開挖狀況

(五) 疑似漏水點：信義路四段30巷42號

(1) 現地量測地點：

E1－信義路四段30巷42號（疑似漏水點）

E2－信義路四段30巷42號（相近比較點）

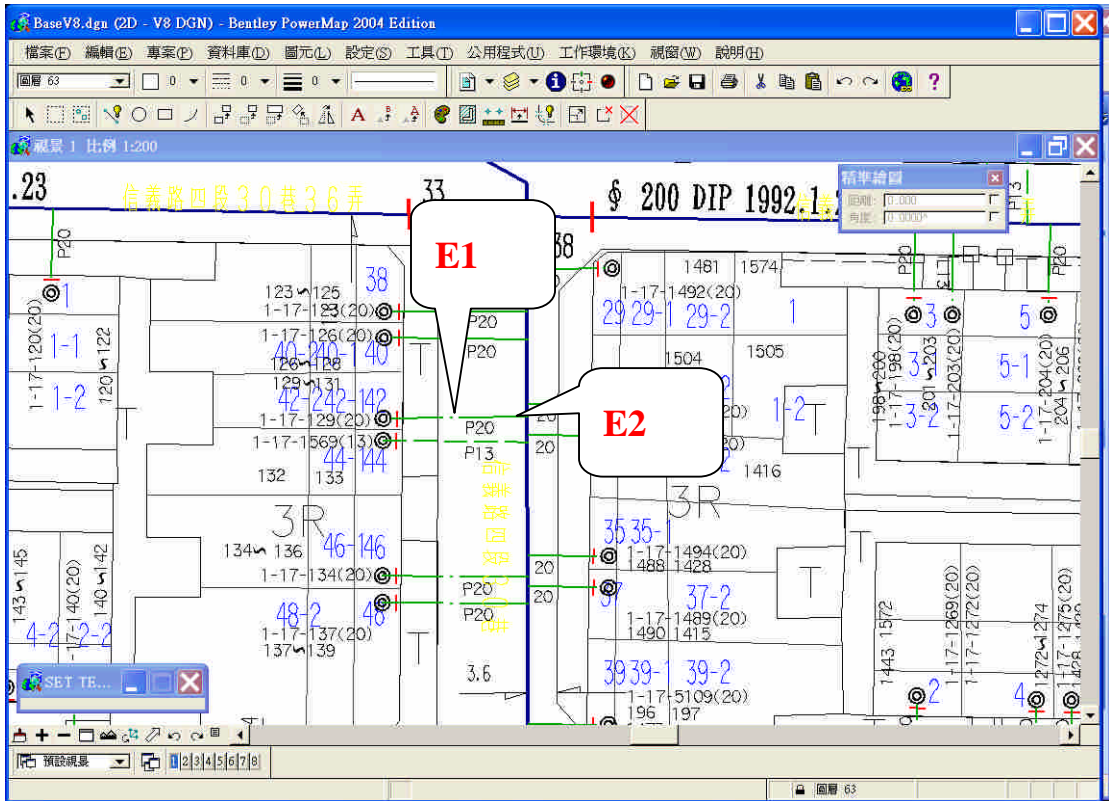


圖 5.26 現地檢測點位 E1 及 E2 之自來水管線圖

(2) 現地量測時間：E1－96年7月1日上午02：35

E2－96年7月1日上午02：40

(3) 現地量測之歷時記錄

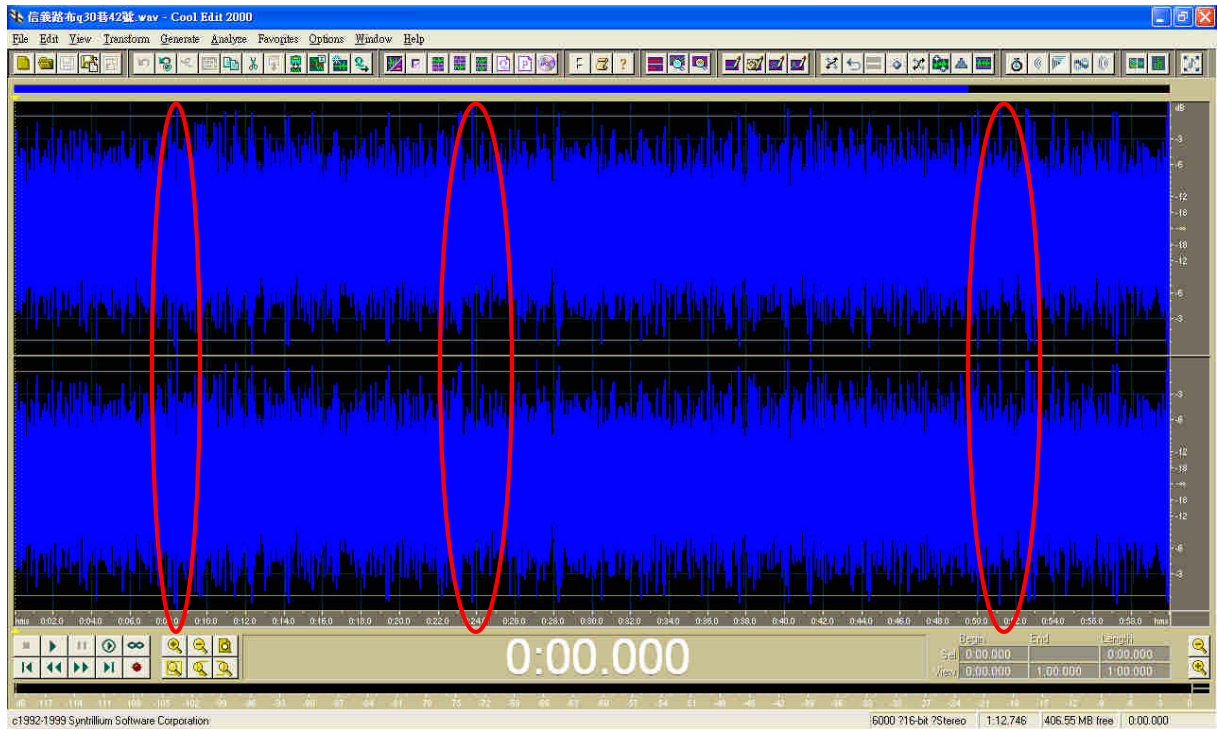


圖 5.27 E1 測點之聲波歷時圖

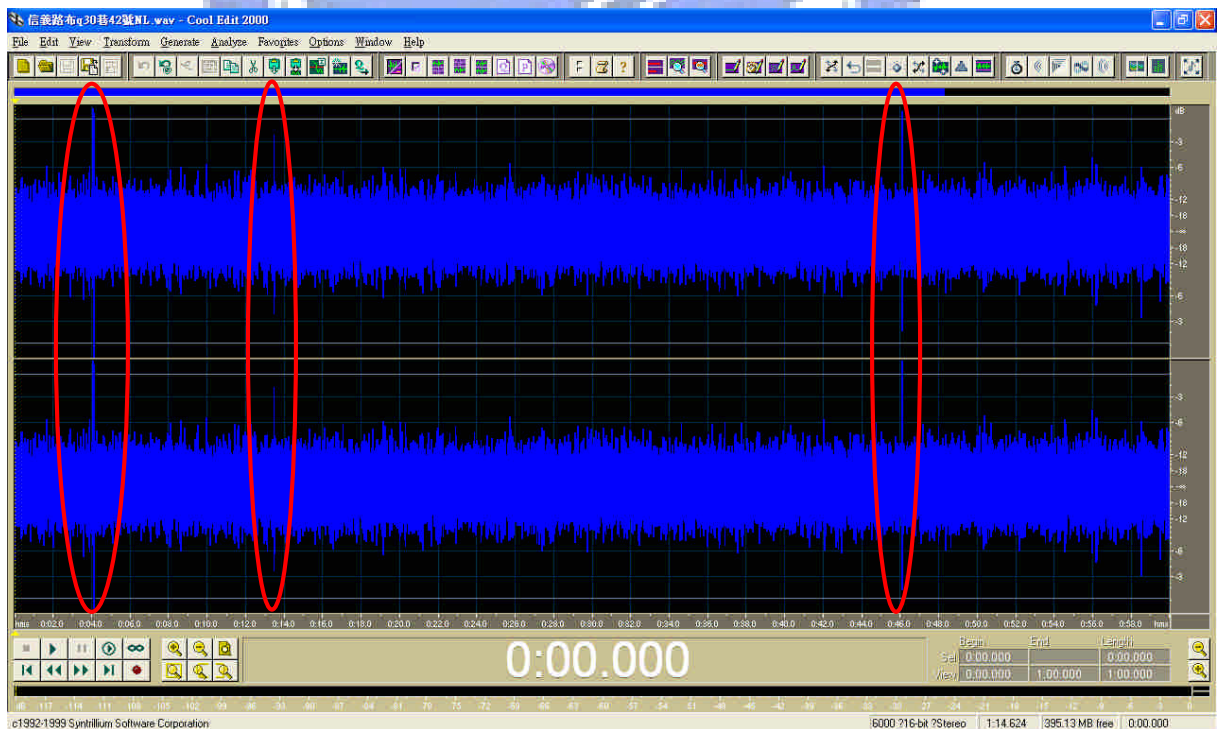


圖 5.28 E2 測點之聲波歷時圖

① 波形

由圖5.27及圖5.28之聲波歷時圖可知E1測點所得較不穩定的聲波但所造成之突波皆屬於瞬間且並未有大幅的變化，研判應為給水管進、出水時小管徑內壓的瞬間變化；另外E2測點於第4.0~4.2秒、第13.4~13.5秒、第46.0~46.2秒有人、車通行過產生突波，分析時先將該突波予以濾除後再進行後續分析；此外，疑似漏水點E1之聲波較E2聲波的振幅大。

② 平均均方根振幅

$$E1 = -12.2 \text{ db}$$

$$E2 = -17.8 \text{ db (第4.0~4.2秒、第13.4~13.5秒、第46.0~46.2秒突波濾除)}$$

$$\text{平均均方根振幅差量比率} = (E1 - E2) \div E2 \times 100\% = 31.4\%$$

(4) 現地量測記錄之頻譜圖



圖 5.29 E1 測點之頻譜圖



圖 5.30 E2 測點之頻譜圖

由圖5.29可知，疑似漏水點E1之頻譜圖拐角頻率540Hz處有一顯著峰值，其最大值為2.12db，而圖5.30E2之頻譜圖拐角頻率535Hz處亦有一峰值，其最大值為-4.86db，兩尖峰振幅之差量比率143.6%，表示兩點位並非因同管線之穩定狀態；測點E1及E2位於同一給水管線 $\Phi 20\text{mm}$ 塑膠管，兩點相距1公尺，檢測聲波結果顯示有相近頻率但因距離關係造成其振幅值變化大，因此可以判知測點E1應有漏水現象。

(5) 驗證

現場開挖後，地面下0.2公尺處塑膠管 $\Phi 50\text{mm}$ 上有一漏口，與本次檢測比較分析判讀結果相符。

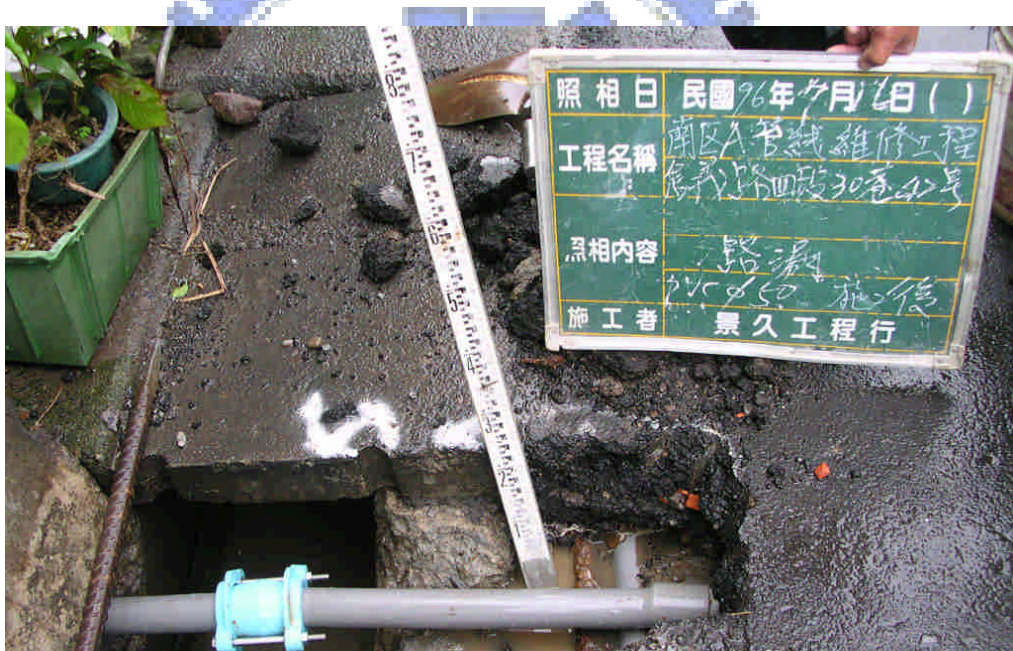


圖 5.31 E1 測點之現地開挖狀況

5.2 成果討論

表 5.1 檢測成果分析表

| 點位 | A1 | A2 | B1 | B2 | C1 | C2 | D1 | D2 | E1 | E2 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 水管種類 | 鉛管 | | 鑄鐵管 | | 鑄鐵管 | | 塑膠管 | | 塑膠管 | |
| 水管口徑 (mm) | 13 | | 200 | | 600 | | 20 | | 50 | |
| 深度 (M) | 0.7 | | 1.4 | | 1.2 | | 1.0 | | 0.2 | |
| 均方根振幅 (db) | -6.7 | -22.4 | -9.8 | -19.6 | -15.7 | -19.9 | -16.1 | -22.5 | -12.2 | -17.8 |
| 差量比率 | 69.8% | | 50.1% | | 21.1% | | 28.4% | | 31.4% | |
| 尖峰頻率 (Hz) | 556 | - | 517 | - | 557 | 509 | 583 | - | 540 | 535 |
| 尖峰頻率振幅 (db) | 6.8 | - | 10.04 | - | -4.41 | -3.31 | -0.73 | - | 2.12 | -4.86 |
| 差量比率 | - | | - | | 33.2% | | - | | 143.6% | |
| 漏水判定 | 漏水 | - | 漏水 | - | 無漏水 | | 漏水 | - | 漏水 | - |

- (1) 聲波歷時資料經過快速傅利葉轉換後，可在頻譜圖上找出顯著之峰值，表示此訊號中所內含該頻率的能量比例高，本次量測所獲得的漏水聲波特徵頻率介於500~600Hz之間。
- (2) 漏水聲波經過FFT分析後，可發現鑄鐵材質水管的主要頻率振幅 (db值) 遠大於其他材質。
- (3) 對於現地檢測過程中，因無可避免的會遭受到外界人員、車輛通行或其他聲音干擾，因此分析過程中先進行濾除突波的處理，以避免干擾誤差。
- (4) C1、C2檢測水管為大管徑鑄鐵管 Φ 600mm，因擷取聲音中內含管內壓力流所生成穩定且持續的聲波，故經兩測點頻率、振幅比較分析後可判定非漏水特徵。

5.3 漏水檢測判斷流程

本研究現地檢測疑似漏水點與比較點之聲波資料分析判定及開挖驗證後，可建立一分析判定流程（如圖5.32）作為爾後自來水管線進行檢測漏水時採用，以確定管線漏水存在與否。

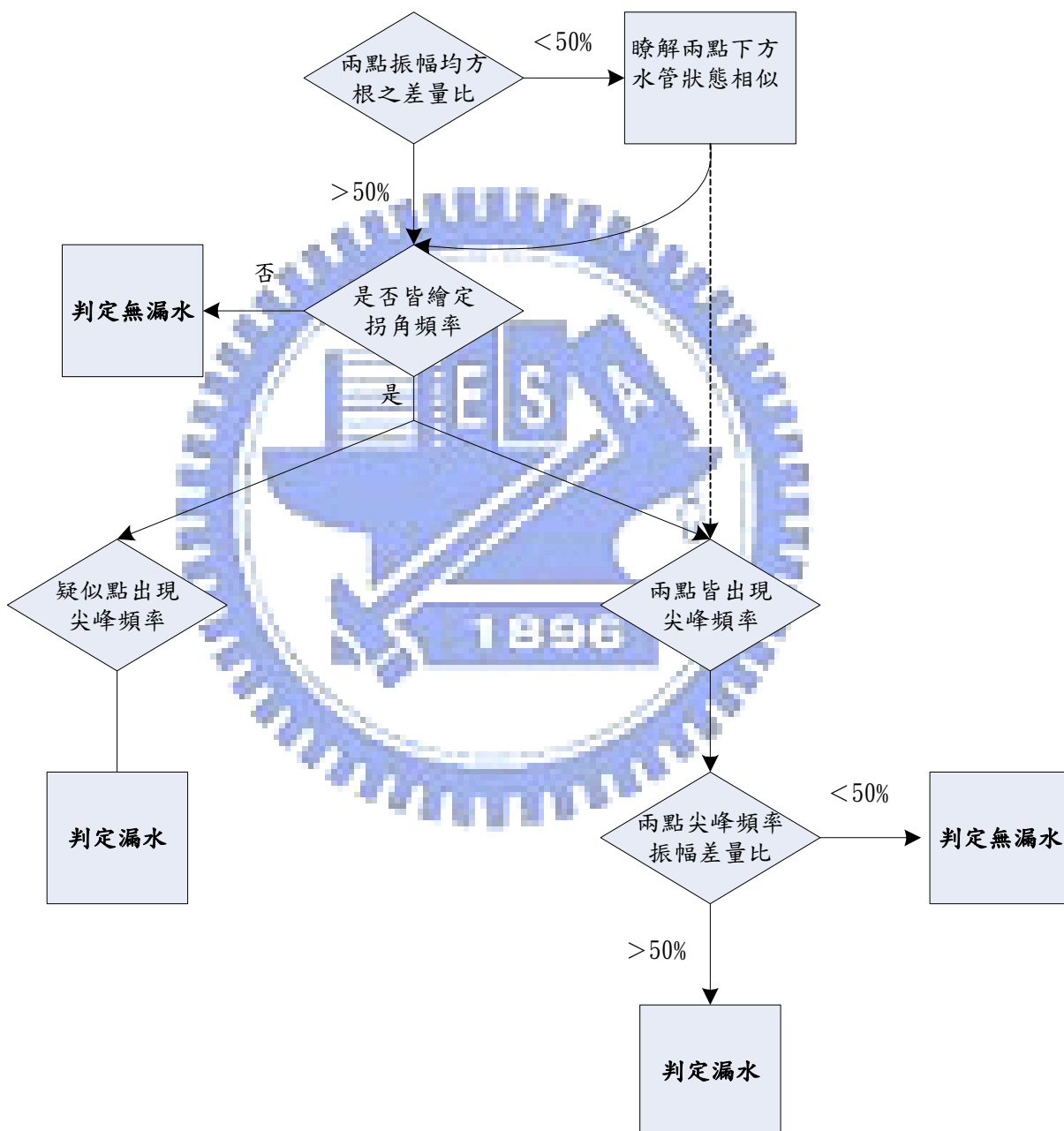


圖 5.32 現地檢測判定流程圖

第六章、結論與建議

6.1 結論

本研究以現地測錄資料來進行頻譜分析後，可以瞭解漏水聲波訊號主要頻率及內涵，以提高現場漏水檢測判斷的準確度，下列為研究成果獲取之結論：

- (1) 未來檢測人員可依據本研究提出之判定流程來獲取更精確之點位判定。
- (2) 對於現地檢測工作不僅於檢測過程中需掌握地下管線位置、方位及走向，並需第一時間掌握檢測聲波歷時圖所擷取聲波訊號的穩定性及大小，以避免後續分析造成誤差。
- (3) 擷取聲波資料進行平均均方根計算及差量比較後，可以瞭解聲波訊號能量的差異，有助於檢測人員初步瞭解各點位下水管狀態穩定與否。
- (4) 對於研究成果中漏水聲波頻率、振幅的差異，表示聲波能量因受到水管材質的種類、埋設深度及管徑大小的影響，因此本研究採用兩測點的分析比較法，來減少量測水管的外在條件及環境變動的差異性。

6.2 建議

(一) 檢測漏工作的建議

- (1) 檢測工作的第一步驟就是要確實掌握地面下自來水管的種類、位置及走向，因此建議進行檢測工作前利用自來水管線地理資訊管理系統，蒐集正確、完整的管線圖及屬性資料，將使現地檢測作業更準確。
- (2) 建議自來水管線埋設工程進行時，確實遵照道路挖掘規定，回填正確材料及厚度，將可避免地表所擷取漏水聲波因傳播介質的不確定，導致檢測工作複雜變化，
- (3) 由於台灣地區城鄉皆以邁入都市化，進行自來水管汰換工程所需耗費人力、物力及社會成本相當龐大，因此後續管線維護管理更甚重要，建議應著重於管線檢測的管理工作，建立長期性的設備化區域檢測、培訓更專業檢測人員，將使地下漏水無所遁形。

(二) 後續研究建議

- (1) 本研究主要針對同一水管上漏水與非漏水的聲波比對差異來進行判別，建議後續研究能對管內壓力、水管的材質、口徑、漏口發生的位置、形狀及水管埋設深度的變化進行分析歸納，使檢測工作導入「專家系統化」的作業模式。
- (2) 本研究以比較分析方式對漏水點與非漏點之頻譜差異進行檢測分析，但對於測錄聲波中無法完整辨識漏水聲波之特性，建議後續研究可採用小波 (Wavelet) 分析理論所具有時間-頻率域上的多解析度特性，針對不同的聲波頻帶做適當的分析，更能提高檢測準確度。
- (3) 依據過去修漏工程經驗，修妥後的同一管線『漏水復發率』相對的提高，因此應將自來水管線損壞資料列檔追蹤並增加該段管線檢測頻率，且對後續之研究建議可針對管線漏損復發情形進行統計分析，將可提供管理單位對於檢測作業規劃的參考指標。

參考文獻

1. 臺北自來水事業處，「臺北自來水供水管網改善計畫」，2004。
2. 駱尚廉，「減少漏損及無費水之經濟研究」，中華民國自來水協會，1997。
3. 臺北自來水事業處，「漏水管理四大主軸」，自來水簡訊，第二期，2004。
4. Bays,「漏水控制」，卞全忠譯，自來水會刊雜誌，第9期，10-17頁，1984。
5. 范煥英，梁世誠，許敏能，「赴日本考察漏水改善之小區計量規劃與執行心得報告」，臺北自來水事業處，2006。
6. 日本水道協會，「防止漏水措施針南」，臺北自來水事業處譯，1977。
7. 江春盛，「台灣自來水管網漏水評估與管理之研究」，南華大學管理科學研究所，碩士論文，2006。
8. 深圳市水務集團有限公司，「供水管道檢漏工」，中國建築工業出版社，北京，2005。
9. 黃立，「供水管網的系統檢漏」，德中交流，IFAT China 2004 特刊，19-25頁，2004。
10. 徐新旋，「檢漏設備與原理」，雷迪國際實業有限公司，2004
11. 林尚祺，「自來水管線漏水檢測方法」，自來水會刊，第二十四卷第一期，94-101頁，2005。
12. 盛安資訊股份有限公司，「臺北自來水事業處 95~96 管線委外檢測工作成果報告書」，2006。

13. 雷迪國際實業有限公司，「漏水分析儀培訓課目」，2006。
14. 張智遠，「心、肺音分離之電子聽診系統設計及其在個人保健上之運用」，國立成功大學電機工程學系，碩士論文，2004。
15. 王彥博，鍾立來，李建良，「高科技廠房之微振動量測技術」，結構工程期刊，第十八卷第四期，45-74 頁，2003。
16. 楊哲彰，「人耳聽覺現象之基礎探討」，元智大學最佳化設計實驗室，2005。
17. 呂崇德，「台灣地區自來水漏水問題與對策之研究」，國立台灣海洋大學河海工程學系，碩士論文，2004。
18. 中華自來水暨下水道研究社，「介紹英國漏水控制與檢測技術」，自來水會刊雜誌，第十二期，47-77 頁，1984。
19. 厲靜明，馬福康，「對我國供水管網漏損水平的評價」，中國給水排水，第六卷第二期，49-50 頁，1990。
20. 黃秀霞、梁延剛，「數字化地震數據與震源參數的測定：廣東河源地震的震例分析」，華南地震，第二十二卷第一期，57 -63 頁，2002。
21. Lockwood,A. , Murray,T. , Stuart,G. and Scudder,L. “Locating leaks from water supply pipes using the passive acoustic method” , Journal of Water Supply : Research and Technology, Vol.54,No.8,pp.519-530,2005 。
22. Weimer,D., “Water loss management and techniques” , The IWA 2nd World Water Congress,Berlin,Germany,2001 。
23. Lambert,A.O. ,“International Report on Water Loss Management and Techniques”, The IWA 2nd World Water Congress,Berlin,Germany,2001 。

24. Julian Thornton, “Managing leakage by managing pressure : a practical approach” ,Water 21,pp.43-44, 2003 ◦
25. McKENZIE R and Wegelin W,“Leakage reduction through pressure management in South Africa”, Proceedings IWA conference, Cyprus 2002 ◦
26. Malithong,P.,Gulphanich,S. and Suesut,T., “Water loss Control in DMA Monitoring System Used Wireless Technology” ,International Conference on Control,Automation and Systems,Kintex,Gyeong Gi,Korea,2005
27. American Water Works Association, California-Nevada section “Water Audits and Leak Detection Guidebook” ,1999
28. Osama Hunaidi,Alex Wang,Marc Bracken,Tony Gambino and Charlie Fricke, “Acoustic methods for locating leaks in municipal water pipe networks” , International Conference on Water Demand Management ,Dead Sea,Jordan,pp.1-14,2004 ◦
29. Sami Eyuboglu, Hanan Mahdi, and Haydar Al-Shukri, “Detection of Watre Leaks Using Ground Penetrating Radar” , The 3rd International Conference on Applied Geophysics, Orlando,America,2003 ◦
30. Paul Fanner, “Assessing real water losses : a practical approach” ,Water 21,pp.49-50, 2004 ◦
31. G R Fricke and J Manuel, “Leak Detection Program : The City of Mount Pearl” , Leakage 2005-Conference Proceedings,Halifax,Canada , pp.1-7,2005 ◦

32. Bendat J.S. and Piersol A.G., “ Random Data-Analysis and Measurement Procedures” ,3rd edition,John Wiley & Sons,New York,2000 ◦



黃建勳

| | |
|--------|--|
| 出生日期 | 民國 62 年 10 月 16 日 |
| 住址 | 板橋市稚暉街 37 巷 12 號 3 樓 |
| 電話 | 02-29534857，0936040246 |
| E-mail | Huang.mgv@msa.hinet.net |
| 學歷 | <ul style="list-style-type: none">•民國 78 年 9 月~81 年 6 月 台北市立成功高中•民國 81 年 9 月~85 年 6 月 國立交通大學土木工程系•民國 93 年 9 月~96 年 9 月 國立交通大學土木工程研究所大地工程組 |
| 興趣 | 籃球、壘球、自行車等運動及電腦 |
| 考試及訓練 | <ul style="list-style-type: none">•民國 89 年 1 月 特種考試台灣省及福建省基層公務人員考試土木工程職系•民國 89 年 8 月 公務人員高等考試三級土木工程職系•民國 89 年 12 月 專門職業及技術人員高等考試土木技師•民國 91 年 9 月 行政院勞工委員會辦理隧道襯砌作業安全衛生教育訓練 |
| 工作經歷 | <ul style="list-style-type: none">•民國 87 年 9 月~民國 88 年底 宇泰顧問公司•民國 89 年 3 月~民國 89 年 6 月 中壢市公所工務課•民國 89 年 12 月~民國 90 年 12 月 臺北市政府工務局養護工程處•民國 90 年 12 月~民國 92 年 1 月 交通部公路總局規劃組規劃科•民國 92 年 1 月~ 臺北自來水事業處南區營業分處 |