

# 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科

第三名

030810

應用聲紋分析原理於建築物隱藏管路探測之研究

學校名稱：屏東縣立崇文國民中學

作者：  國二 朱嗣雍  國二 林意欣  國二 顏伯蒼	指導老師：  吳明耀
---	------------------

關鍵詞：聲紋分析、建築物隱藏管路

# 應用聲紋分析原理於建築物隱藏管路探測之研究

## 摘要

本研究以混凝土試體代替實際之牆壁，採用電腦軟體為研究工具測試後取得錄音檔，進行聲紋分析以輸出頻譜圖。我們由頻譜的特徵將麥克風可測量之頻率範圍分成低頻和高頻二個頻段，從中選出一組特徵頻率後加以分析比較，以找出可判別管徑和材質的差異。本研究所提出的方法，可以有效應用在判別建築物中隱藏管路之探測上，主要研究成果以下三點。

一、**在管徑方面**：PVC 管各試體頻譜圖的低頻部份出現明顯的規律性。在低頻部份，其特徵頻率隨著管徑的增加而有下降之趨勢，且均低某基準值(300Hz)；在高頻部份數據受鐵錘影響，故無明顯差異。

二、**在材質方面**：鐵管試體之圖形和數據在「低頻」部份明顯較高，PVC 管試體之數據均較低；在高頻部份數據受鐵錘影響，故無明顯差異。

三、**在隱藏管路判別方面**：可以利用「低頻」的位置當成主要的判別依據。如果試體的「低頻」特徵頻率能高於背景雜訊，將可以判定為內含管路。

## 壹、研究動機

在菜市場經常可以看到有經驗的顧客藉由拍打西瓜所產生的振動或是聲音的音色，以了解水果是否美味或果皮的厚薄。在國中二年級上學期自然與生活科技的「波與聲音」單元中則提到，不同的樂器有獨特的發音特性，主要是聲波的波形不同。在生活中，我們發現在建築物牆壁或是結構體中，經常必需埋設不少的管路，例如：水管、電氣管路，甚至是瓦斯管。一旦施工完成後隱藏管路的實際位置將不易得知，如果後來需要施工或鑽孔時，會有挖破管路的危險，因此選擇此主題進行探究。除此之外，如果能夠“透視”一般人無法看穿的牆壁，對我們國中生而言實在是有著莫大的吸引力。

聲音的波形一般是以時間軸為橫軸，振幅的分貝值為縱軸，有著一長串連續起伏的波峰和波谷，在我們搜集到的資料中顯示，光從波形圖似乎無法直接量化和進行判別。而聲紋分析所產生的頻譜圖則可以顯示聲音在不同頻率上的分佈情形，我們研判有可能從中獲得聲波更進一步資訊。因此，本研究以電腦軟體為研究工具，將測量所產生的波形檔案轉換為頻譜圖以進行分析。軟體方面選用容易取得的自由軟體：Audacity。此軟體經常用於樂曲的編輯，其具有波形圖和頻譜圖的輸出功能，此外它也支援中文易於操作，具有即時錄音、編輯、混音、調整音高、過濾和多種的特效。

## 貳、研究目的

本研究透過電腦軟體分析混凝土試體的錄音檔，將波形檔轉換成頻譜圖，主要目的在於判定是否在牆壁中有隱藏的管路，以及探討管路管徑和材質在頻譜圖上是否具有明顯可供區別的特徵。研究目的如下所述。

- 一、探討具有不同管徑管路牆壁的聲紋特性
- 二、探討具有不同材質管路牆壁的聲紋特性
- 三、由頻譜圖判定牆壁中是否有隱藏管路

## 參、研究設備及器材

- 木塊 5\*10\*20 公分
- 磚塊 5\*10\*20 公分
- 混凝土塊 5\*10\*20 公分
- 水泥砂漿(比例 1:3)
- PVC 水管 1/2 英吋、1 英吋、2 英吋，長度均為 10cm
- 鐵管 1/2 英吋，長度為 10cm
- 保麗龍板
- 鐵架乙具
- 麥克風乙部(具可撓曲彎管)
- 電腦乙部
- 頻譜分析軟體 Audacity(版本 1.3.12)

## 肆、研究過程及方法

本實驗過程首先建立不同管徑和材質混凝土標準試體，將鐵錘以相同高度和角度釋放後以固定方式敲擊試體右側平面的中心位置，於左側以麥克風採用單聲道 44.1kHz 的取樣頻率錄音後。以頻譜分析軟體加以處理產生頻譜圖，每個試體分別進行上述程序四次以上，並手動篩選適合之數據，接著將取得的數據進行分析比較。

### 一、製作混凝土試體

本研究所需的試體製作一般的標準流程，即製模、配管、灌漿、養護和拆模等五個步驟。試體尺寸均定為 10cm\*10cm\*10cm，先以木板組成模板，將不同材質或管徑的管路固定於正中央位置，灌入 1:3 水泥砂漿，放置陰涼處每天澆水進行養護七天以上，拆模後並靜置七天以上待混凝土較為堅固和乾燥之後，放置於保龍板上依實驗裝置圖之設計進行測量。



圖 1 製作模板。



圖 2 模板與各式管路



圖 3 配管



圖 4 灌漿後拆模圖



圖 5 待測試體(部份)



圖 6 空管測試示意圖

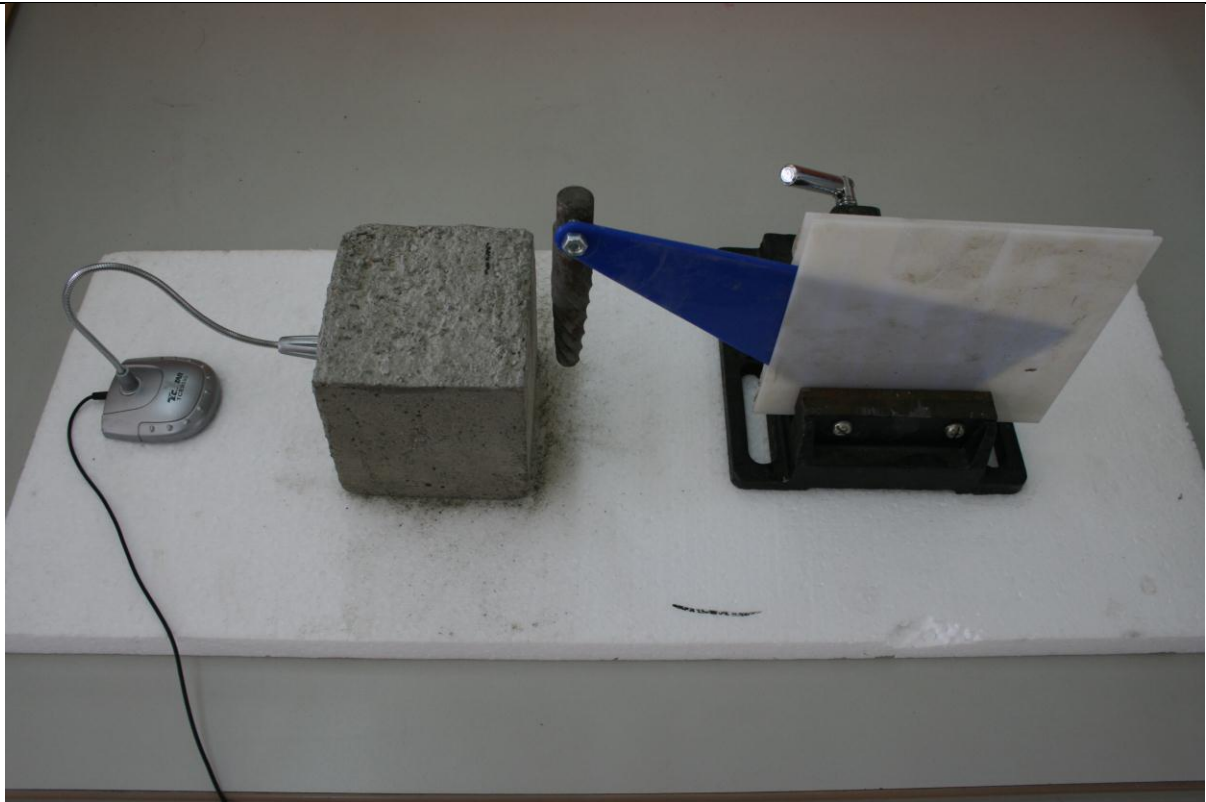


圖 7 實驗裝置圖



圖 8 麥克風細部圖(包覆泡綿膠以防震)



圖 9 鐵架及活動式鐵錘之細部圖

## 二、各試體的聲紋特性的測量與數據處理

### (一)、測量

1. 將混凝土模型放置在保麗龍板上，選定中央位置，將麥克風緊貼，在另一側中心位置以一鐵槌敲擊，以軟體記錄不同位置的聲音約 3 秒鐘。同一試體測量五次，取得五個錄音檔案。
2. 依序改用不同管徑模型，分別重複上述步驟。

## (二)、數據分析處理

1. 每個錄音檔的目標訊號前方為背景雜訊，如下圖 8 所示。選取此部份輸出頻譜圖，取得背景特徵頻率值。
2. 每個錄音檔刪除前後的背景雜訊後選取 100 毫秒的長度，再輸出頻譜圖，取得分貝值最高或次高的頻率，軟體需進行一連串的測試以找出最佳設定。同一試體的五次測量值，依不同頻段加以平均，而取得試體的特徵頻率。
3. 試體之特徵頻率若與背景雜訊頻率接近，則該數據將不予採用。
4. 將實心試體和不同管徑 PVC 管試體的數據加以分析比較，並製作成折線圖。
5. 將實心試體和不同材質試體的數據加以分析比較，並製作成折線圖。

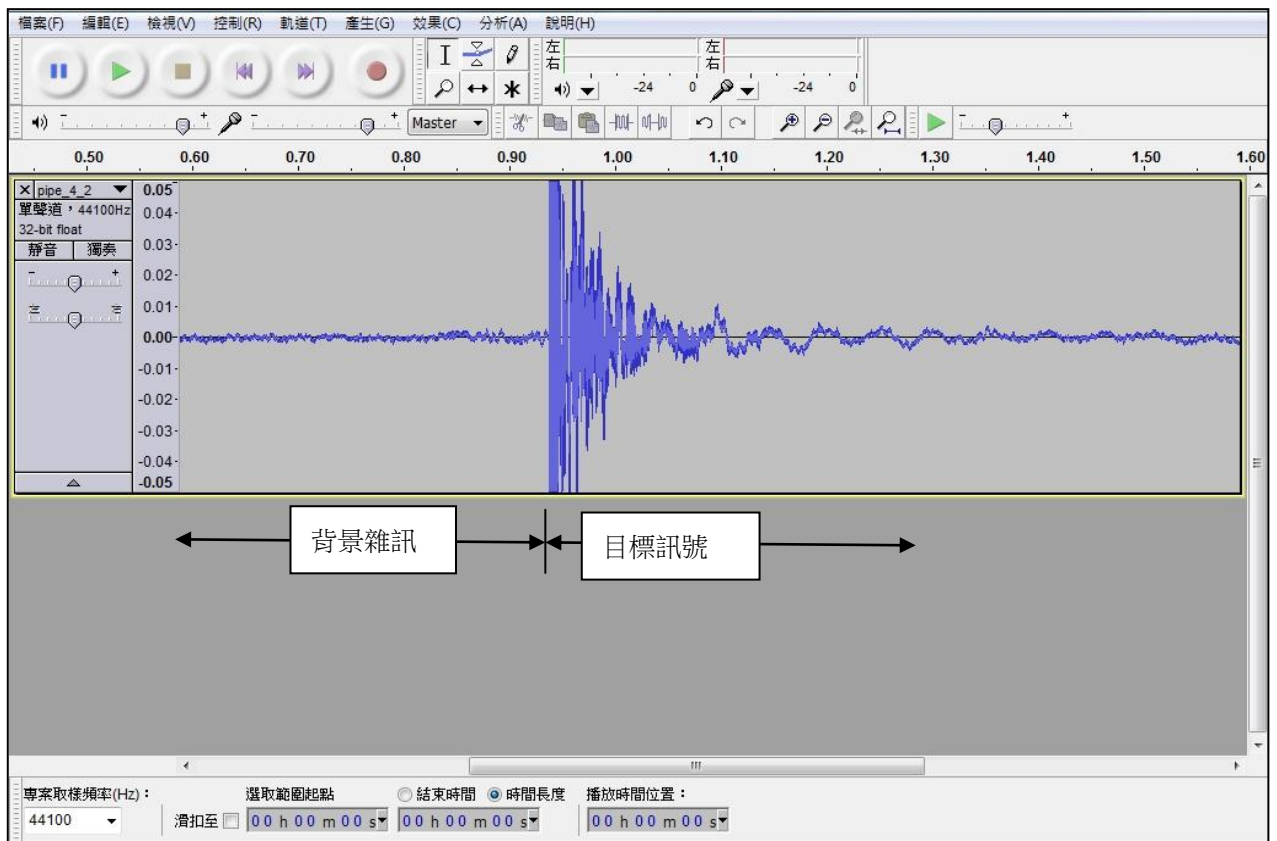


圖 10 Audacity 軟體操作畫面及波形圖

## 伍、研究結果與分析

每一試體均進行五次的測試而得到四個頻譜圖，軟體在進行一連串的測試後及參閱軟體說明後之最佳設定如下：算法=頻譜，函數=Hanning Window，大小=1024。因此將 0~20000Hz 範圍，在約 5000Hz 左右兩側分成「低頻」和「高頻」二個頻段，每頻段中選定一個分貝數最高之頻率，在刪除較明顯之極端值後，求出各頻段的平均值，以組合成該試體的特徵值(頻率)。

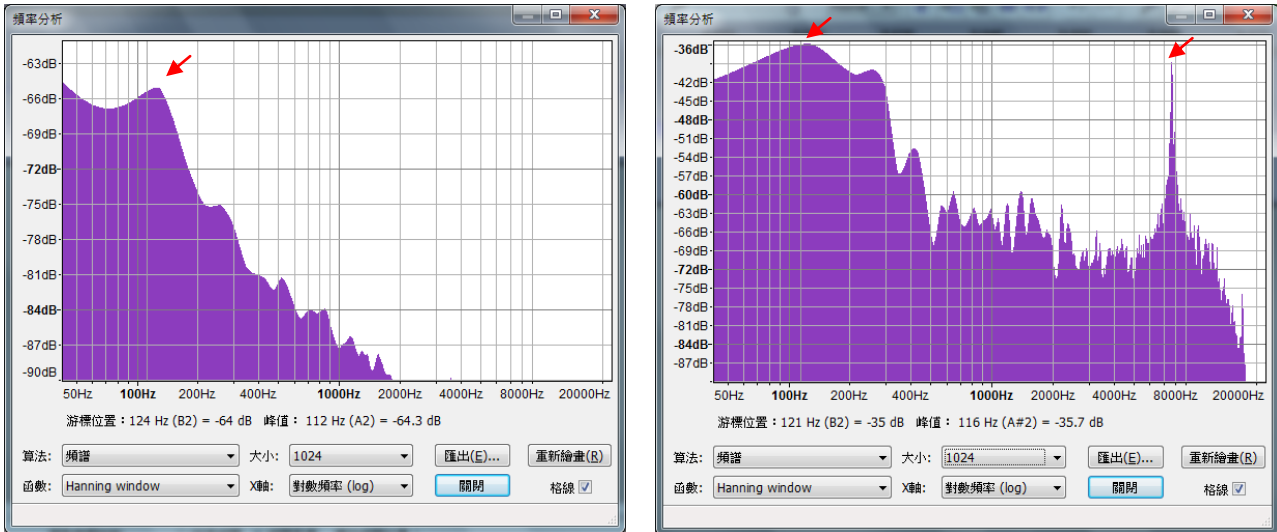


圖 11 實心試體部份頻譜圖。(左：背景雜訊圖。右：目標訊號圖)

表 1 實心試體(無管) 各頻段之特徵頻率

實驗次序 \ 頻段	背景雜訊(Hz)	低頻(Hz)	高頻(Hz)
1	112	116	7611
2	112	108	7620
3	113	112	7617
4	115	101	7625
5	107	96	7626
平均值	<b>112</b>	<b>107</b>	<b>7620</b>

說明：低頻<背景雜訊，無法辨識。

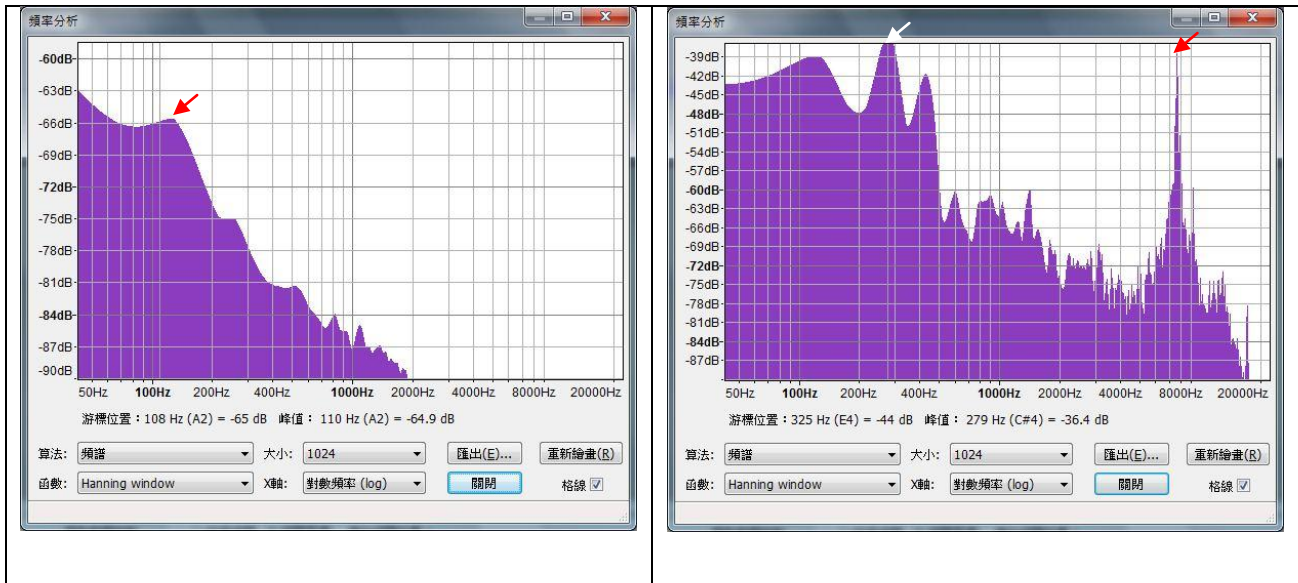


圖 12 試體(1/2 英吋, PVC 管) 部份頻譜圖。(左：背景雜訊圖。右：目標訊號圖)

表 2 試體(1/2 英吋, PVC 管)各頻段之特徵頻率

實驗次序 \ 頻段	背景雜訊(Hz)	低頻(Hz)	高頻(Hz)
1	240*	277	7617
2	110	279	7597
3	240*	277	7585
4	111	279	7616
5	236*	280	7651
平均值	<b>111</b>	<b>278</b>	<b>7613</b>

說明：\*該數據刪除。



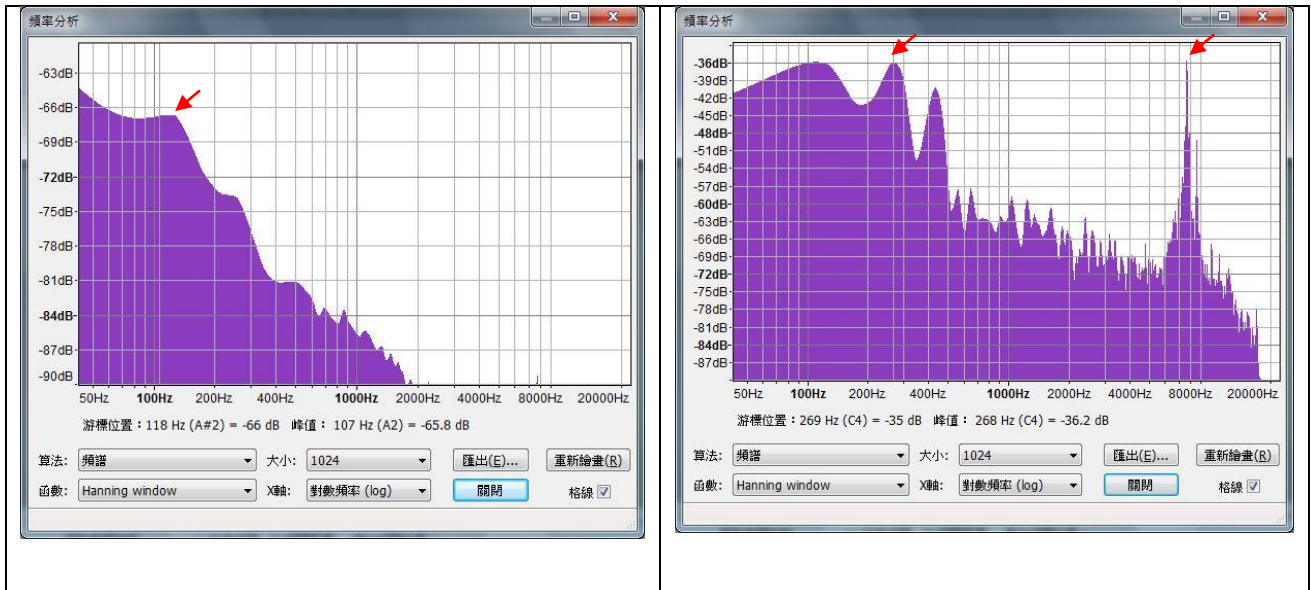


圖 13 試體(3/4 英吋，PVC 管) 部份頻譜圖。(左：背景雜訊圖。右：目標訊號圖)

表 3 試體(3/4 英吋，PVC 管)各頻段之特徵頻率

實驗次序 \ 頻段	背景雜訊(Hz)	低頻(Hz)	高頻(Hz)
1	107	268	7624
2	113	269	7628
3	111	271	7628
4	112	292	7640
5	108	272	7622
平均值	<b>110</b>	<b>274</b>	<b>7628</b>

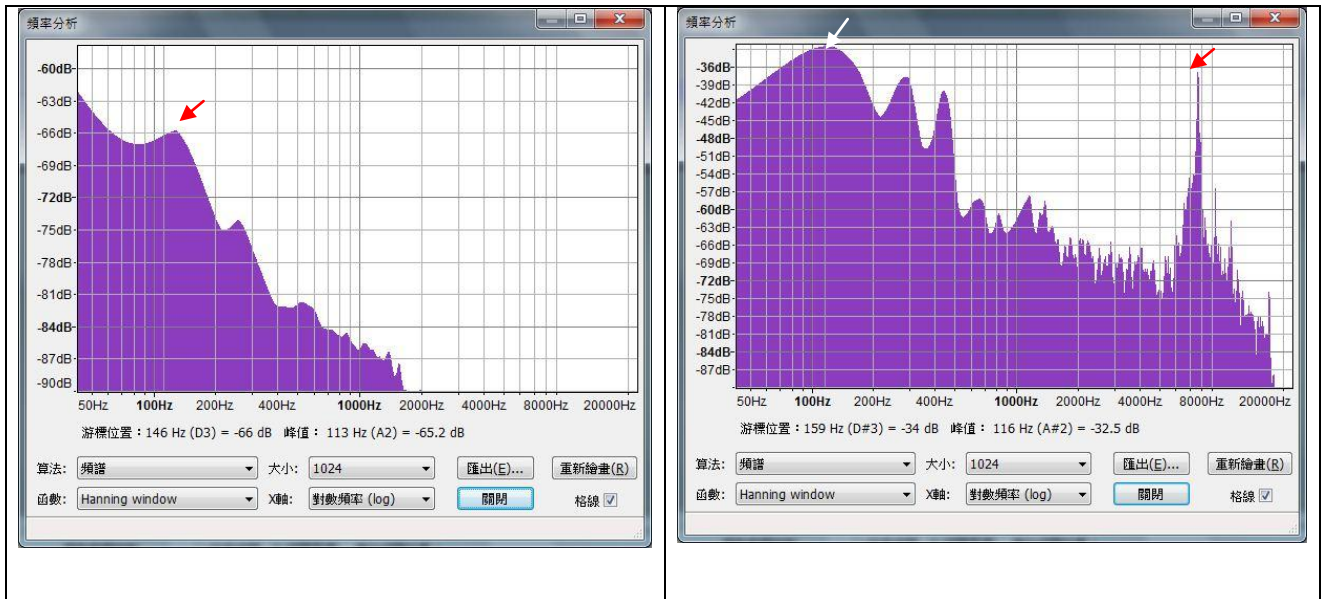


圖 14 試體(1 英吋，PVC 管) 部份頻譜圖。(左：背景雜訊圖。右：目標訊號圖)

表 4 試體(1 英吋，PVC 管)各頻段之特徵頻率

實驗次序 \ 頻段	背景雜訊(Hz)	低頻(Hz)	高頻(Hz)
1	113	116	7644
2	116	111	7646
3	112	117	7643
4	112	111	7646
5	108	111	7641
平均值	<b>112</b>	<b>113</b>	<b>7644</b>

說明：低頻≡背景雜訊，無法辨識。

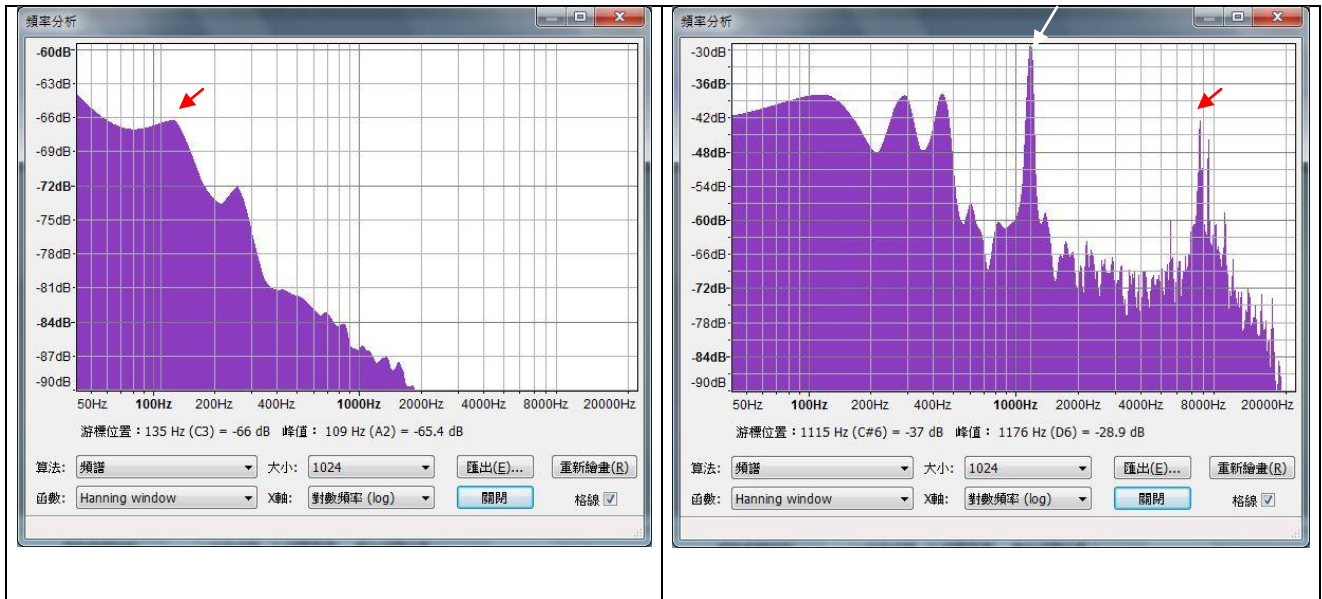


圖 15 試體(1/2 英吋，鐵管) 部份頻譜圖。(左：背景雜訊圖。右：目標訊號圖)

表 5 試體(1/2 英吋，鐵管)各頻段之特徵頻率

實驗次序 \ 頻段	背景雜訊(Hz)	低頻(Hz)	高頻(Hz)
1	119	1176	7646
2	246*	1176	7606
3	242*	1176	7623
4	110	1176	7620
5	110	1176	7603
平均值	<b>113</b>	<b>1176</b>	<b>7620</b>

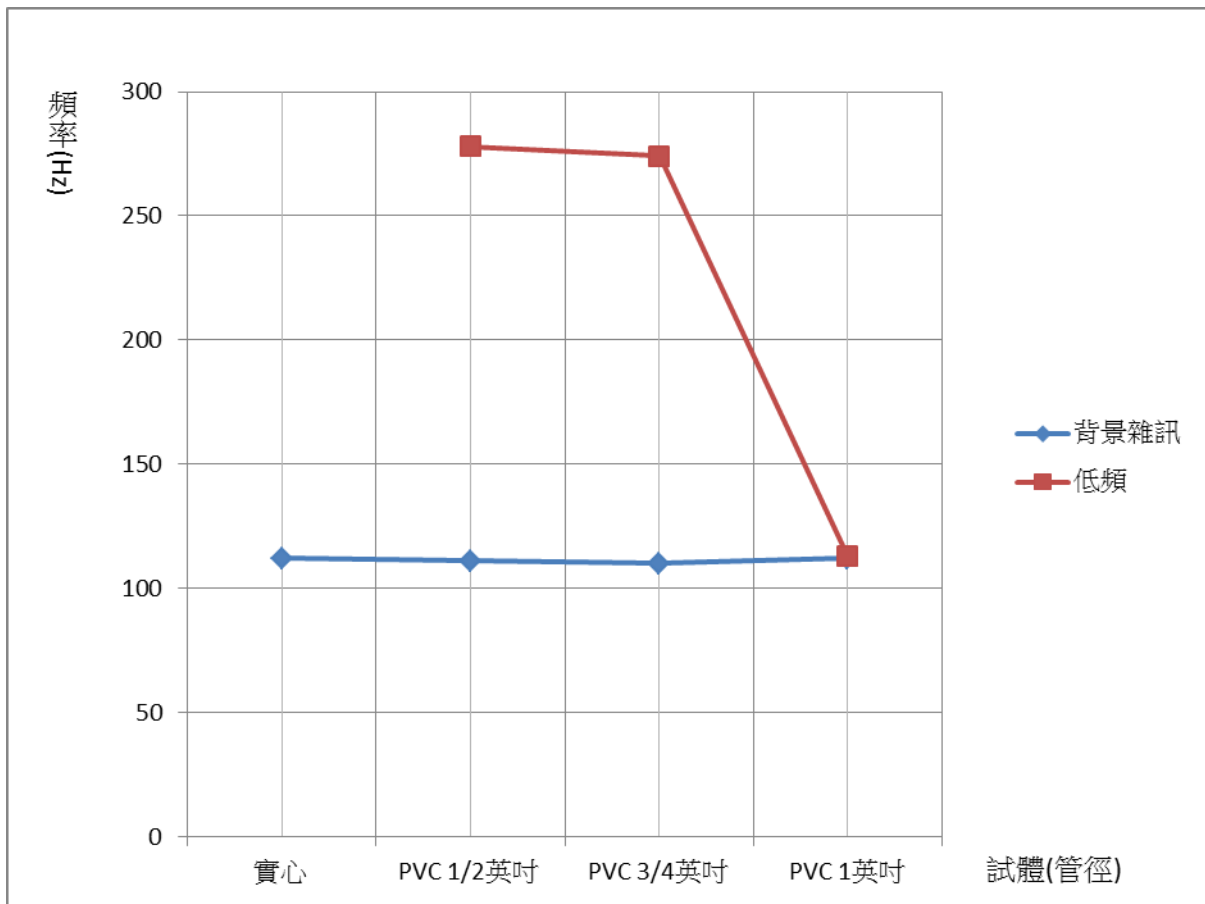


圖 16 不同管徑管路試體綜合比較分析圖

表 6 不同管徑管路的試體各頻段之特徵頻率(值)彙整表

管徑 \ 頻段	背景雜訊	低頻(Hz)	高頻(Hz)	備註
實心	112	107	7620	低頻<背景雜訊
PVC 1/2 英吋	111	278	7613	
PVC 3/4 英吋	110	274	7628	
PVC 1 英吋	112	113	7644	低頻=背景雜訊

結果分析：

- 隨著管徑增加，在低頻部份有下降趨勢，與圖 21 空管的趨勢相同。高頻在比例上並無明顯之差異。
- 由折線圖可以發現較為明顯的差異出現在「低頻」的位置。特別是 1/2 英吋和 3/4 英吋 PVC 試體，其「低頻」頻率均低於某基準值(300Hz)且高於背景雜訊，此結果可當成判別是否有上述管路存在的主要依據。

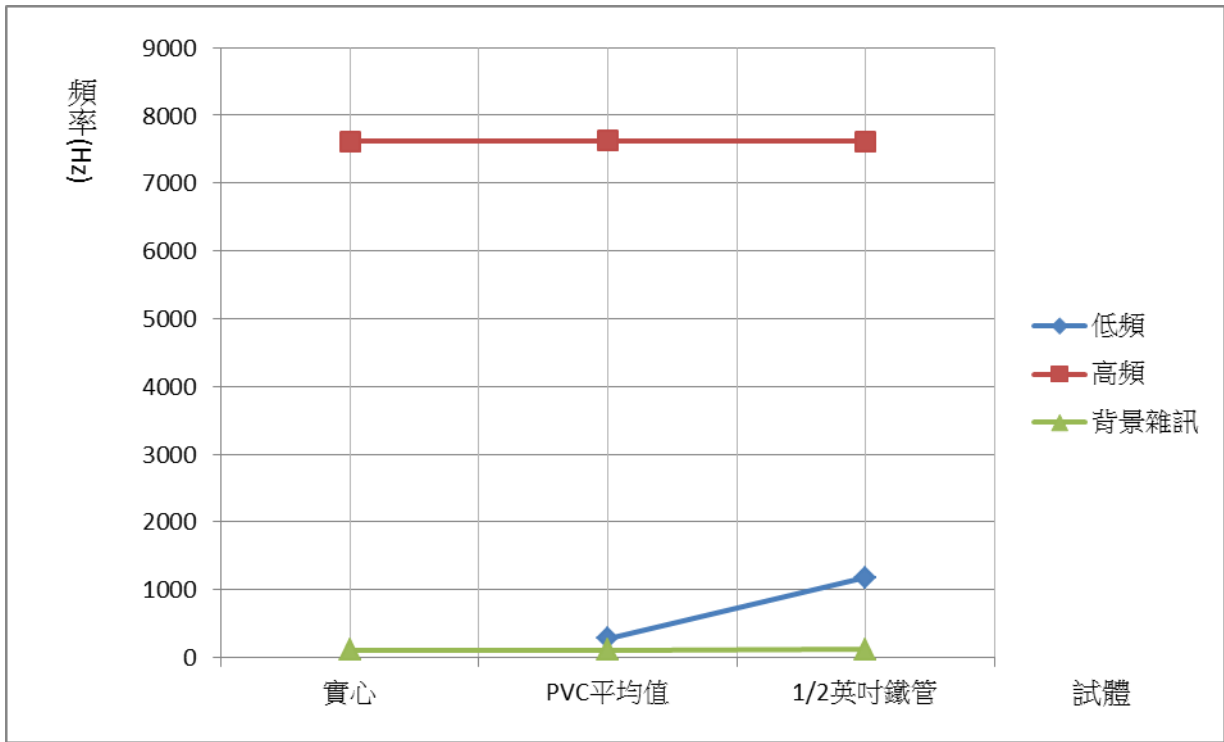


圖 17 不同材質管路試體綜合比較分析圖

表 7 不同材質管路的試體各頻段之特徵頻率(值)彙整表

材質 \ 頻段	背景雜訊	低頻	高頻	備註
實心	112	107*	7620	低頻<背景雜訊
PVC 管各管徑 平均值	111	278	7628	
1/2 英吋鐵管	113	1176	7620	

結果分析：

- 鐵管試體在低頻為最高，具有明顯特徵，PVC 管試體在低頻部份數值較低，高頻部份則均無明顯差異。因此在材質類別上，可以由低頻位置加以判別出是否具有鐵管。
- 由折線圖可以發現三種材質最大的差異出現在「低頻」的位置，如果試體的「低頻」特徵頻率能高於背景雜訊，將可以判定為內含管路。

## 陸、討論

本研究在頻譜圖明顯可區分出低頻和高頻兩部份，因此再進一步測試各空管的頻率以了解低頻和高頻的聲音的來源。經研判，PVC 試管低頻的數據變化趨勢與 PVC 空管的趨勢相同，鐵管試體與鐵管空管有接近的低頻數據，而高頻部份頻率與鐵錘的頻率接近。因此，以低頻數據為受管徑和材質的影響，高頻數據則受鐵錘影響。

表 8 空管及鐵錘頻率測試值

	1/2 英吋 (PVC)	3/4 英吋 (PVC)	1 英吋 (PVC)	1/2 英吋(鐵管)	鐵錘
混凝土試體	278	274	113	1176	7626 註 1
空管平均值	569	544	386	1168	7625

註 1: 此數據來自表 7 各試體高頻數據之平均值

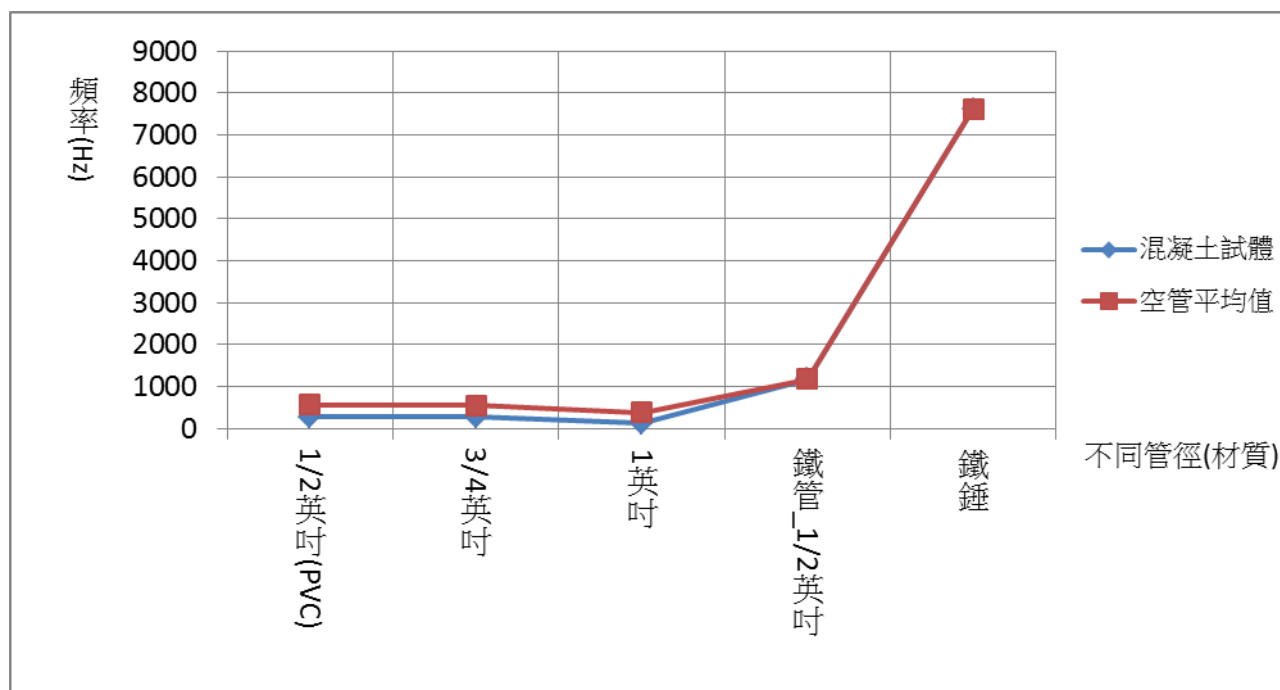


圖 18 空管及鐵錘頻率趨勢變化圖

## 柒、結論

本研究以混凝土試體代替實際之牆壁，採用電腦軟體加以測試取得錄音檔，進行聲紋分析以輸出頻譜圖，從可測得之頻率範圍從中選出一組特徵頻率後加以分析比較，以找出可判別管徑和材質的差異。我們發現，本研究所提出的方法，可以有效應用在判別建築物中隱藏管路之探測上，研究成果主要有以下三點：

- 一、在管徑方面：PVC 管各試體頻譜圖的低頻部份出現明顯的規律性。在低頻部份，其特徵頻率隨著管徑的增加而有下降之趨勢，且均低某基準值(300Hz)；在高頻部份數據受鐵錘影響，故無明顯差異。

二、在材質方面：鐵管試體之圖形和數據在「低頻」部份明顯較高，PVC 管試體之數據均較低；在高頻部份數據受鐵錘影響，故無明顯差異。

三、在隱藏管路判別方面：可以利用「低頻」的位置當成主要的判別依據。如果試體的「低頻」特徵頻率能高於背景雜訊，將可以判定為內含管路。

本研究採用特定尺寸之試體用以代替實際之牆壁進行測試，有助於控制實驗變因和測量數據。在實際應用上，因為各式牆壁在厚度、組成和混凝土配比等等各方面均不太可能相同，因此必須先獲得各式牆壁的實心試體的基準值，因此未來的研究方向，將進行更多不同類型的標準試體的測量，以建立各式牆壁可供參考使用的「特徵頻率表」。

## 捌、參考資料

1. 翰林出版社。自然與生活科技，第三章：波與聲音。第三冊，2010。
2. 黃兆龍。混凝土性質與行為。詹氏書局，2007。
3. 頻譜分析。維基百科。<http://zh.wikipedia.org/wiki/頻譜>，2010。
4. Audacity, <http://audacity.sourceforge.net/>，2011。

## 【評語】 030810

1. 本研究採用聲納技術探測建築物之隱藏管路。研究主題雖屬既存之課題，但對於國中生在學習聲紋診測與訊號處理方面亦屬不可多得之好課題。
2. 本研究之書面、看板及口頭報告均屬詳實，團隊合作默契亦佳。若能在聲紋分析原理與診測辨識方面多加深入，結果將更可觀。