國立臺灣大學碩、博士學位論文格式規範

95學年度第1學期第1次教務會議通過

95.9.22

一、論文次序

1. 封面（含側邊）【詳附件1】
2. 書名頁（內容同封面）【詳附件2】
3. 論文口試委員審定書【詳附件3】
4. 序言或謝辭
5. 中文摘要及關鍵詞5-7個
6. 英文摘要及關鍵詞5-7個
7. **目錄【詳附件4】**
8. 圖目錄
9. 表目錄
10. **論文正文**
11. **參考文獻**
12. 附錄
13. 封底

二、封面（含側邊）：【詳附件1】

封面：封面中各行均須置中，包括中、英文校名、院別、系所別、學位、論文題目、撰者名、指導教授及提出論文之年(民國、西元)月。

側邊：包括校名、系所別、學位、論文中文題目、撰者姓名及提出論文之年(民國)月。

三、論文口試委員審定書【詳附件2】

碩、博士班研究生學位論文考試經考試委員評定成績及格，但須修改者，應依考試委員之意見修改論文並經指導教授及系主任、所長（是否須簽章依各院系所規定）於論文次頁之「論文口試委員審定書」簽章核可後，方得繳交論文。

四、序言或謝辭（依個人意願自行決定是否撰寫）

須另頁書寫，舉凡學生撰寫論文後的感想，及在論文完成的過程中，獲得指導教授及其它老師有實質幫助之研討及啟發，或行政、技術人員、同學及親友等幫忙者，皆可在此項次誌謝，內容力求簡單扼要，以不超過一頁為原則。

五、中文摘要：

＊不超過三頁，其內容應包含論述重點、方法或程序、結果與討論及結論。

＊經系、所同意以英文撰寫論文者，仍需附中文摘要。

六、英文摘要：  
不超過三頁。

七、目錄：【詳附件3】

包括各章節之標題、參考文獻、附錄及其所在之頁數。

八、圖目錄：包括各章節之圖及其所在之頁數(若圖擷取自參考文獻，則須標註來源)。

九、表目錄：包括各章節之表及其所在之頁數(若表擷取自參考文獻，則須本文表之位置標註來源)。

十、論文正文

* 論文以中文或英文撰寫為原則，雙面印刷，但頁數為80頁以下得以單面印刷（彩色圖片亦可單面印刷）。

＊紙張：除封面、封底外，均採用白色A4 80磅之白色模造紙裝訂。

＊字體：

原則上中文以12號楷書（細明體及標楷體為主），英文以12號Times New Roman打字，中文撰寫以1.5間距，英文則以雙行間距，本文留白上3公分、下2公分、左右各3公分，字體顏色為黑色，文內要加標點，全文不得塗汙刪節，不得使用複寫紙，各頁正下方應置中註明頁碼。

十一、參考文獻

列出引用之中英文期刊論文及書目，須包含作者姓氏、出版年次、書目、技術資料或期刊名稱、版序、頁碼等內容。

十二、封面（底）：碩、博士論文報告均應裝訂成冊。

* 平裝本：採用淺色200磅銅西卡紙或雲彩紙（上亮P）裝訂之（A4）。
* 精裝本：碩士班紅底燙金字；博士班黑底燙金字（A4）。

十三、各系、所得依其學術領域之特殊性另訂各系、所統一格式，惟主體架構仍請依本規範訂定。

十四、論文繳交

圖書館收平裝本或精裝本2冊（數學、物理、化學、海洋、社會科學院、法律學院各系所3冊）

字體大小

章節、小節: 14

內文: 12

(附件4)

目 錄

第一章 導論………………………………………………………………….. #

1.1前言……………………………………………………… #

第二章 研究方法………………………………………………………………. #

2.1地聲檢知器、電磁感應式地震儀

2.2響應函數

2.3假設、參數檢定方法

2.4最陡下降法(Steepest Descent Method)

第三章 實驗分析與結果………………………………………………………. #

3.1室內試驗

3.2現場試驗

第四章 結論與建議………………………………………………………. #

參考文獻………………………………………………………. #

1. **導論**

**1.1前言**

土石流為山區常見天然災害。乃因台灣地勢起伏大，降雨量又十分可觀，加上人口密度較高、部分山坡地被開發為居住使用，每當發生土石流常造成人員傷亡、財產損失。因此我們也發展出了相應的預防對策，像是現場雨量站、鋼索檢知器、攝影機、地聲檢知器等等，能在災難發生前能有所察覺，做出及時應變，另外儀器蒐集到的資訊也可以供往後研究使用。

其中地聲檢知器(Geophone)為常見的土石流監測儀器之一，提供我們現場地地表震動訊號，蒐集每當上游發生土石流，岩石敲擊地面震波傳到儀器所在位置的震動速度資料。過去已有許多關於此部分的研究，包括直接對時域資料(時間—震動速度或位移)做土石流震源波傳遞的研究，或是對經過傅立葉轉換後的頻率資料，做一些土石流的特徵頻率分析和能量研究等等。然而多年下來，鮮少有關於現場儀器內部參數精準值的研究。現場的地聲檢知器長期暴露於大自然、且受到外界震動影響，時間久了內部的參數值有可能改變。

剛買來未安裝的地聲檢知器附有原廠的參數值，可供參照依據，要是不放心，也可以在試驗室的控制環境中檢定出參數值。然而一旦安裝在現場，會要求必須非常穩固，以避免儀器被土石流破壞沖走，常見像是設置岩石上、壩體中等等，除了取出困難外，若真的取出再放回也可能改變整個接收的效能與位置，跟過去蒐集到的資料有所出入，所以必須設計一個在現場檢定地聲檢知器的各項參數的方法，本文將介紹這些參數的重要性、與如何在現場檢定出參數值。

1. **研究方法**

**2.1地聲檢知器、電磁感應式地震儀**

在討論如何檢定現場地聲檢知器參數方法之前，需先對其內部構造(參數來源)有一定的了解。地聲檢知器運作原理如地震學領域使用的電磁感應式地震儀一樣，藉由儀器擺放位置的震動速度訊號轉換成電壓訊號紀錄。

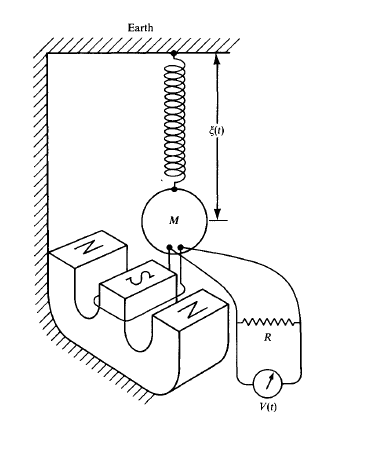


圖1 電磁感應式地震儀結構概念圖(Aki & Richard，2002)

電磁感應式地震儀基本構造如圖1，具彈性係數(k)的彈簧、質量(M)的擺錘連接銅線線圈通過磁鐵，另有一個負責量測電壓的裝置。若整個儀器上下震動，彈簧會拉伸、擠壓帶動擺錘，造成線圈反覆進出磁鐵，根據法拉第定律，線圈若有離開磁鐵趨勢，線圈就會有感應電流，使之產生一個跟磁鐵吸引的磁場去反抗線圈原運動方向；反之線圈若是靠近磁鐵則產生排斥的磁場去反抗線圈原運動方向，其功能類似於阻尼力，以表示之。另外已知生成的電壓(E)正比於線圈靠近或遠離的運動速度()，而阻尼力也與感應電流()成正比。即、，其中G為發電常數(Generator Constant)或稱電壓敏感係數(Intrinsic Voltage Sensitivity)，跟線圈緊密程度、磁鐵強度等有關，又歐姆定律(電阻)。綜合前幾式得到:



簡單來說整個過程就是外部震動過後，線圈以某個速度靠近或遠離磁鐵產生了一個電壓，又以系統電阻決定了電流、得到反抗的原運動方向的阻尼力。地震儀內部系統如擺錘系統，需考量慣性力、阻尼力、彈簧力，動量守恆方程式為

 (1)

(Aki & Richard，2002)*M*為擺錘質量、*z(t)*為擺錘在內部的位移、*u(t)*為外部地表震動位移或是整個地震儀位移、為感應電流產生的阻尼力、*k*為彈簧係數、*G*為發電常數、*R*為系統總電阻。將式(1)移項整理、係數改寫之後得到

 (2)

其中為阻尼常數(Damping Constant)、為系統自然角頻率(Undamped Angular Frequency)。注意這邊必須修正阻尼常數，因為之前未考量到在地震儀中空氣所造成的阻力，需增加一個開路阻尼(Open Circuit Damping)參數，將修正。



圖2 兩款會用到的地聲檢知器，左:GS-20DX、右:GS-32CT (Geospace Technologies網站)

我們要檢定的地聲檢知器，常見應用包含地層波速量測、水下聲音量測、土石流監測，外型如圖2所示，使用的原理與電磁感應式地震儀一樣，詳細參數給定如表1。

表1 地聲檢知器給定的參數

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 地聲型號 | | GS-20DX(神木村) | GS-32CT(實驗室) |
| 參數 | *G*(Volt/(m/s)) | 27.6 | 27.48 |
| (rad/s) |  |  |
| *M*(kg) | 0.011 | 0.0112 |
| ()  銅線電阻 | 395 | 395 |
| (%) | 30 | 31.6 |

**2.2響應函數**

當土石流發生時，土石、砂敲擊地面造成震源，震波隨介質傳到地聲檢知器所在位置，引起一連串上下左右各方向的震動，被記錄成時間對應電壓大小資料，若要分析土石流資訊，通常會使用將電壓時域傅立葉轉換(圖3)過後的頻域資料，因頻域資料才能顯示不同頻率的波振幅、相位。可以說頻率就像說話音調高低特色、振幅就像說話大小聲能顯示能量，所以土石流事件中若某幾個頻率的振幅特別大，表示為此事件特有的頻率特徵(李欣輯，2000)。

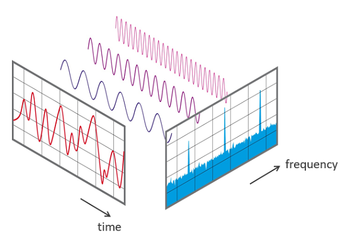


圖3 時域資料經傅立葉轉換示意圖( <https://ithelp.ithome.com.tw/m/articles/10205296> )

然而儀器記錄到的第一手及傅立葉轉換過後的資料都是電壓，跟地表真實震動速度轉換的頻域資料有些差異，不同頻率波的振幅有倍數的關係、為振幅響應，相位也有差距、為相位響應，以下證明電壓、地表震動速度響應關係。會用到傅立葉正、逆轉換，及微分函數的轉換。

正轉換:  (3a)

微分函數轉換:  (3b)

逆轉換:  (3c)

時域 轉成頻域函數會是複數，用極座標的表示為 ， 物理意義上表示角頻率，代入不同可得表示振幅、表示相位，因此可得完整的頻域資料，不同能對應到振幅與相位。於是將式(2)動量方程式用式(3a)、(3b)、(3c)的概念改寫



 (4)

以上為震動位移與內部位移的關係，然而電磁感應式地震儀第一手資料是電壓，因此我們想知道的是測得電壓跟地表震動速度的響應關係，定義響應函數，又根據前面所說的電壓、速度的關係()，我們可得



然後根據式(4)改寫的部分

 (5)

或是將*h*展開



響應函數物理意義為，表示測得電壓與地表震動速度頻域資料，各角頻率波的振幅大小比跟相位差。後面將大量用到振幅響應函數。

振幅響應函數:  (6)

相位響應函數: 

值得一提的是，現代的地震儀或地聲檢知器為了數位化量測資訊，通常會將電壓資料透過類比-數位轉換器(Analog-to-Digital Converter，ADC)將類比訊號轉換成數字儲存。在絕大多數的情況下，此部分的轉換都是線性轉換，響應函數可能需要乘上一個係數(count/volt)，且要考量外接ADC所產生的電阻，根據Templeton(2013)在IRIS的規範網站的說明(<https://ds.iris.edu/NRL/sensors/sercel/passive_responses.html>)

；若沒有，則

為類比-數位轉換器產生的電阻、為分流阻抗(shunt resistor)、為輸入阻抗(input impedance)，所以最終系統的總電阻(*R*)應該是銅線電阻()加上類比-數位轉換器電阻()。常用的ADC型號為PCI-1713U，，

此外過去的研究，部分學者會直接使用電壓做分析，或是直接透過振幅響應去簡單換算量測的震動位移或速度做分析，因為只考慮振幅的大小變化，或特徵頻率範圍，且沒有與別型號的儀器做比較，因此即使不考慮完整的儀器響應函數，其結果與結論並不會受到影響。但未來若要應用於地表真實震動的理論波形，或不同地聲檢知器比較，就必須將儀器響應函數完整的考量進來。也就是為什麼確定現場儀器參數這麼重要，一旦響應函數錯了，將無法從電壓得知真實震動資訊。

**2.3假設、參數檢定方法**

要證明這樣可行: 假設兩組放置極近的地聲檢知器受相同震源事件影響下，所在位置的地表震動速度經過傅立葉轉換後，頻域訊號中各頻率的振幅大小會是一樣的，意味具有相同的震動特徵及能量。如此就可以利用一個全新或參數已知的標準地聲儀器去測現場震動，進而檢定待測地聲儀器，詳細方法及理論如下。

將一參數已知的標準地聲儀器帶去現場，放置於無法移動的待測儀器旁邊(距離極近)，給予一敲擊震源，兩儀器會收到一段電壓時域資料，可將之傅立葉轉換成電壓頻域資料，並且兩者都取振幅。因標準地聲儀器參數是已知的，可以從(式6)得到其振幅響應函數，得到不同角頻率情況下，電壓振幅與地表震動速度振幅的倍數關係，經計算可得真實的地表震動速度各個頻率的振幅，後面將以稱之。這個檢定方法的重點就在於假設了兩儀器受到的震動特徵相同之後，待測地聲儀器照理來說算出來也會是一樣的。現在待測地聲儀器還未知，我們要做的就是不斷的猜測待測儀器的參數組(*G、、h*等參數*)*，即嘗試不同的頻率響應曲線，試著跟待測儀器電壓頻域資料算出震動速度頻域資料比較，當兩者震動速度頻域資料誤差最小，就是答案。待測儀器的頻率響應函數為



將各參數打開來之後會發現變得有點複雜，簡化、重令新參數，

 (7)

又待測儀器的電壓頻域取振幅的資料為已知，將之表示為，則每一組參數猜測出來的震動速度頻域振幅資料為

 (8)

我們的目的是要找到猜測(待測)跟真實地表振幅最相近的時候，會取樣幾個角頻率的震動速度振幅做比較，使用最小平方法，尋找誤差最小值。目標函數(Z)為



*n*為取樣的點數，目標函數表示各取樣點的誤差平方取平均

再根據式(8)改寫，目標函數變成



 (9)

*G、a、b、*為未知的儀器參數；:角頻率、:標準地聲儀器震動速度振幅、:待測地聲儀器電壓振幅，為已知的取樣點值。因此目標函數(Z)可視為*G、a、b、*的函數，想尋找當*G、a、b、*為何，Z是最小值。

首先，先將目標函數正規化，判斷各項尺度大小，表2為各參數尺度大小，原參數除以特徵大小，變成尺度為O(1)的無因次參數。

表2 各參數尺度、無因次化

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 未知參數 | 已知參數 |
| 特徵大小 | 特徵大小為標準地聲儀器的值 | 特徵大小為已知電壓、速度振幅資料大概的尺度 |
| 無因次化 |  |  |

代回原目標函數式(9)。

為式子簡潔，、簡化成、；、簡化成、。













**2.4最陡下降法(Steepest Descent Method)**

已知目標函數，且要得到它的最小值，數值方法中可藉由最陡下降法(Steepest Descent Method)求得其值。

1. **實驗分析與結果**

**3.1室內試驗**

**3.2現場試驗**

1. **結論與建議**

**參考文獻**

1. 陳語(2020)。論地聲能量在壩體中的傳遞。國立台灣大學土木工程學系研究所碩士論文，台北市。取自<https://hdl.handle.net/11296/u4eq4n>
2. 李欣輯(2000)。地聲探測器應用於土石流預警。國立台灣大學土木工程學系研究所碩士論文，台北市。取自<https://hdl.handle.net/11296/kbrpbz>
3. 王立宏(2017)。流體力學必勝秘笈。台北市: 王立宏。
4. Keiiti Aki, Paul G. Richards(2002). Quantitative Seismology. California: University Science Books.
5. Peter M.Shearer.(2009). Introduction to seismology. New York: Cambridge University Press.