

微地動場址特性分析與地層波速調查

Analysis of Site Effects using Microtremors and Velocity Measurements

主管單位：財團法人國家實驗研究院

郭俊翔¹ 謝宏灝¹ 林哲民¹ 溫國樑^{1,2}

Kuo, Chun-Hsiang¹ Hsieh, Hung-Hao¹ Lin, Che-Min¹ Wen, Kuo-Liang^{1,2}

¹財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心

²國立中央大學地球科學系

摘要

本研究為發展微地動技術，在宜蘭地區的自由場強震站進行微地動量測，並參考國震中心與中央氣象局多年來合作建置之「強震測站場址工程地質資料庫」在此區的資料（共有 48 個測站具鑽探資料），分析此區的微地動特性與場址效應。另外，國震中心在實驗場後方花園空地裝設一套井下地震儀陣列，其前置作業包含微地動分析、鑽探地質調查及地層波速測量，其結果將一併於本報告中說明。宜蘭地區微地動頻譜比之主頻與測站之 Vs30 數值有明顯相關性，當 Vs30 增加時微地動主頻也隨之升高，然而，屬於 D 類與 E 類地盤的測站由於其沖積層厚度幾乎都超過 30 公尺，因此 Vs30 僅能反應出這兩類測站淺部地層的速度差異，使用微地動主頻較難辨識這兩種地盤之間的不同，此情況與台北、高雄、屏東等地區類似。本地區已調查之強震站多分布於宜蘭平原區沖積層上，測站地盤種類以 D 類為主，此類測站各深度波速的變化不大；其次為 C 類測站，主要分布於平原邊緣，其波速隨深度增加之趨勢較為明顯；此區的 B 類測站共有 4 個，從東北角沿宜蘭平原北側向西南方分布，基盤之剪力波速皆高過 1,000 公尺/秒；E 類測站數量最少。平原地區之微地動主頻約在 2 Hz 以下，山區則在 3 Hz 以上。而於國震中心實驗場後方測站之地質鑽探調查結果顯示，此處沖積層厚度為 57.7 公尺，下方則為風化岩層。地層波速測量結果也可看出明顯之速度不連續面在深度 58 公尺處，而進行鑽探前之微地動分析預估沖積層厚度為 50.1 公尺，則略有低估的現象。

關鍵詞：微地動、單站頻譜比、自由場強震站、地盤分類

Abstract

In order to develop a new microtremor technique, this study conducts microtremor measurements at free-field strong motion stations in Ilan, Taiwan. The Engineering Geological Database for TSMIP in this area, which contains 48 stations, is also used to analyze the properties of microtremors as well as site effects. In addition, we installed a downhole array of accelerometers at the National Center for Research on Earthquake Engineering (NCREE). The preparations for microtremor analysis, geological drilling, and PS-logging velocity measurements are introduced in this report. The dominant frequencies of

the Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSr) of microtremors are proportional to the average shear-wave velocity in the first 30 m of the subsoil (V_{s30}) in the Ilan area. The dominant frequency increases with the increase in V_{s30} . However, for stations belonging to classes D and E with a sediment thickness of more than 30 meters, the V_{s30} value can indicate the difference in velocity between the two classes. HVSrs reflect the sedimentary depth, and therefore, it is not easy to define the difference between two classes. We found similar situations in Taipei, Kaohsiung, and Pintong. Most of the strong motion stations are located in plain areas and are classified as class D, showing no significant variations in the shear-wave velocity (V_s) with depths. Stations of class C are mainly distributed at the edge of the Ilan plain and show a larger variation in their V_s values with depth. Four class-B stations are distributed from the northeastern corner, along the north of the Ilan plain to the southwestern corner. The shear-wave velocity of the bedrock is more than 1,000 m/s. There are only three class E stations in the area. The dominant frequencies are less than 2 Hz in the plain area and greater than 3 Hz in the mountainous area. According to drilling results of the borehole at NCREE, the sedimentary depth is 57.7 m, which covers weathering bedrock. A clear velocity increase occurs at a depth of 58 m from the velocity measurement. The estimated depth of the sediment layer is 50.1 m, which is underestimated by the microtremor technique.

Keywords: microtremors, HVSr, free-field strong motion stations, site classification

一、前言

場址效應為區域地質特性對特定頻段之地震波產生放大作用的現象，不論在地震學研究如估計地震規模和震波放大係數等，或是地震工程應用如土壤與結構互制作用和強地動衰減率修正等，都具有相當的重要性。早在 19 世紀地震學家就發現近地表地層特性的差異會引起程度不一的場址效應，場址效應可能造成距離很近的測站強地動特性卻相差甚大，這也代表場址效應在強震地動學上的重要性。

微地動係由各種自然現象（如風吹、海浪、雨水等）與人為活動（如交通、機械振動等）所造成的地表微小振動。與地震相比，其優點在於振動來源隨時存在，僅須短暫之測量時間即可得到足夠的可用資料。在 Nakamura (1989) 提出單站頻譜比 (HVSr) 法後，使用微地動記錄評估場址效應變得相當容易而開始被廣為利用。國震中心與氣象局合作建置之「強震測站場址工程地質資料庫」(EGDT) (郭俊翔等, 2011) 在宜蘭地區已完成 48 個自由場強震站的鑽探及波速調查，其 Vs30 數值與地盤分類 (BSSC, 2001) 也已公佈於該網站上 (Kuo et al., 2012)，本研究建立之微地動 HVSr 地盤模型需參考此成果。

本研究在宜蘭地區(氣象局強震測站編號 ILA)已鑽探之強震測站收集微地動記錄，共完成 43 個測站之測量(圖一)。這些完成微地動和地層波速測量的測站分別包括 2 個 B 類測站、11 個 C 類測站、28 個 D 類測站和 2 個 E 類測站。這些資料可用來分析微地動特性在各種地盤的測站上有何異同。

國震中心在實驗場擴建時曾進行兩孔地質鑽探 (BH1、BH2)，其位置如圖二所示。2013 年在實驗場後方設置一井下地震儀陣列，其地質鑽探 (AH4) 和波速測量結果正好也可用來驗證微地動 HVSr 推估沖積層厚度與計算 Vs30 之準確性，也可檢視使用 Kuo et al. (2012) 所提出之剪力波速經驗式所計算的剪力波速剖面結果。

二、微地動測量與資料處理

本研究所使用之微地動量測儀器有兩種，一為日本東京測振株式會社的六頻道攜帶式地震觀測系統 SAMTAC-801B 記錄器及 VSE-311C 感應器；另外則是美國 Kinemetrics 公司所生產的 K2 內含一 EpiSensor。微地動測量地點皆盡可能靠近強震站以求結果精確，而進行測量時之取樣率為 200 點/秒，連續測量 18 分鐘。資料處理時，對時間歷時採用多視窗平均法，視窗長度定為 8192 個資料點，截切視窗時在其前後端使用 6% 的餘弦處理，波形資料須經過人工檢視，若判定有不合理雜訊則刪除其影響之視窗，但每個測站之選擇視窗數皆須在 20 個以上以確保結果之穩定可靠。將各分量之時間域波形資料經由快速傅立葉轉換至頻率域頻譜後，兩水平向傅氏譜取均方根再與垂直向傅氏譜相除，則可得單站頻譜比，此頻譜比在 5 次平滑化處理 (smooth) 後計算全部視窗結果之平均值，即可得到該測站之單站頻譜比。

三、微地動特性分析

微地動資料經過前述之標準分析流程處理後，所有測站所得之 HVSr 可根據各測站地層波速測量所得之 Vs30 給予其對應的顏色(如圖三)，可明顯看出其主頻隨著 Vs30 增加而往高頻移動的趨勢，並可大約分辨出 HVSr 若為黃色則屬於 D 或 E 類地盤，若

為綠色則屬 C 類地盤，若為藍色則屬 B 類地盤，而其中以 C 類地盤和 D 類地盤佔大多數。

再進一步根據已知的測站場址分類結果 (Kuo et al., 2012)，將這些測站的 HVSR 分成 B、C、D、E 四類並加以平均 (如圖四)，各種測站 HVSR 特性之差異則清楚可見，其主頻隨地盤 Vs30 之增加而逐漸往高頻處移動，顯示若依據微地動 HVSR 之主頻分布確實可辨別出該場址 Vs30 數值之高低 (或指出該地盤之軟硬)。而 HVSR 高頻衰減的現象在 D、E 類的測站中相當明顯，此特性和台北地區結果一致。整體來說，此地區 B 類地盤 HVSR 之主頻約在 10 Hz 以上，C 類地盤 HVSR 之主頻約分布在 4~9 Hz，D 類和 E 類地盤 HVSR 相當近似，皆有兩個放大主頻，分別在 1~2 Hz 與 0.4~0.6 Hz 之間，此特性可能是反應宜蘭平原沖積層厚度之變化，或是代表此平原底下有兩個主要的速度界面。

四、國震中心之地盤特性

國震中心於實驗場後方花園空地處設置一井下地震儀陣列，欲觀測台北盆地之近地表震波場址效應，而前置作業則包括微地動特性分析、地質鑽探調查及地層波速測量等。先在選定之場址進行微地動測量並進行分析，其 HVSR 如圖五所示，分析結果顯示此處應屬於 D 類地盤，Vs30 約 207.2 公尺/秒，沖積層厚度約為 50.1 公尺。之後進行地質鑽探調查，結果指出此處地層基盤深度在 57.7 公尺。

根據國震中心實驗場擴建時之地質鑽探結果指出，BH1 和 BH2 的基盤深度分別為 42.3 和 48.8 公尺，因此顯示國震中心所在地點有一傾斜基盤面。根據這三個地質鑽孔的標準灌入 N 值推估地層剪力波速，使用 Kuo et al. (2012) 之經驗式，結果如圖六所示，其 Vs30 數值分別為 BH1：223.3 公尺/秒、BH2：224.8 公尺/秒、AH4：213.9 公尺/秒。

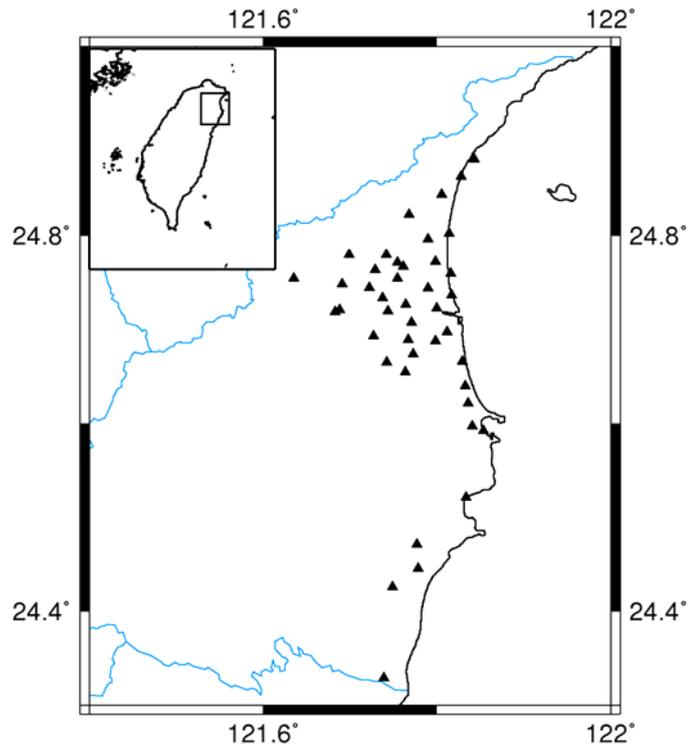
後續使用懸浮式井測系統 (Suspension PS-logging System) 進行地層波速測量，每 0.5 公尺測量一筆波速記錄，其波形記錄依深度排列後可看出地層波速隨深度之變化 (圖七)，也可清楚看出在深度約 58 公尺處有一明顯的速度變化。經資料處理後，P 波和 S 波速度剖面即可繪出如圖八，可看出 S 波速度從約 150 公尺/秒隨深度漸增，至 30 公尺時約達 300 公尺/秒，然後無明顯變化，直到約 58 公尺後到達基盤而波速急遽升高至 1,000 公尺/秒以上，而其 Vs30 數值經計算後為 236.7 公尺/秒，其淺層 S 波速度值和變化情況都和圖六中使用 N 值推估之剖面相當接近。

五、結論

本報告可分為兩個部份，宜蘭地區微地動場址特性分析和國震中心之地盤特性分析。宜蘭地區 B 類地盤之微地動主頻約在 10 Hz 以上，C 類地盤之主頻約分布在 4~9 Hz，D 類和 E 類地盤之 HVSR 相當近似，皆有兩個放大主頻，分別在 1~2 Hz 與 0.4~0.6 Hz 之間，此特性可能是反應宜蘭平原沖積層厚度之變化，或代表平原底下有兩個主要速度界面。國震中心所在位置之下為傾斜基盤，深度變化快速 (40~60 公尺)，使用微地動分析技術推估之基盤深度和 Vs30 都有低估的現象，但誤差不大。與實際測量結果之比較則證實 Kuo et al. (2012) 之剪力波速經驗式準確性相當高。

參考文獻

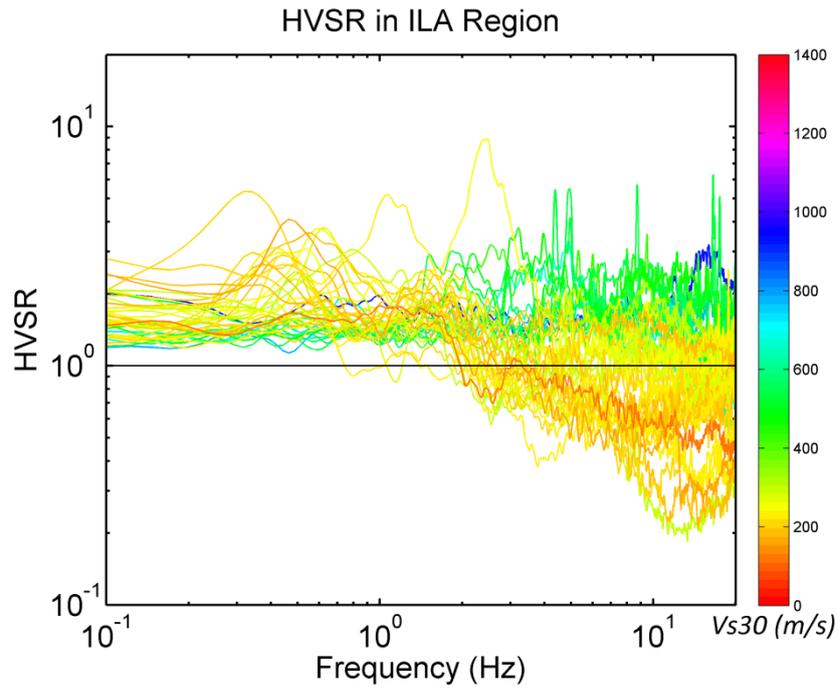
1. 郭俊翔、溫國樑、謝宏灝、林哲民、張道明，2011，「近地表剪力波速性質之研究」，國家地震工程研究中心成果報告，NCREE-11-022，共 82 頁。
2. Building Seismic Safety Council, BSSC (2001), "NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures", Washington, DC.
3. Kuo, C.H., Wen, K.L., Hsieh, H.H., Lin, C.M., Chang, T.M., and Kuo, K.W. (2012), "Site Classification and Vs30 Estimation of Free-field TSMIP Stations Using the Logging Data of EGD", Engineering Geology, 129-130, 68-75.
4. Nakamura, Y. (1989), "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface", Quarterly Report of Railway Technical Research Institute, 30 (1), 25-33.



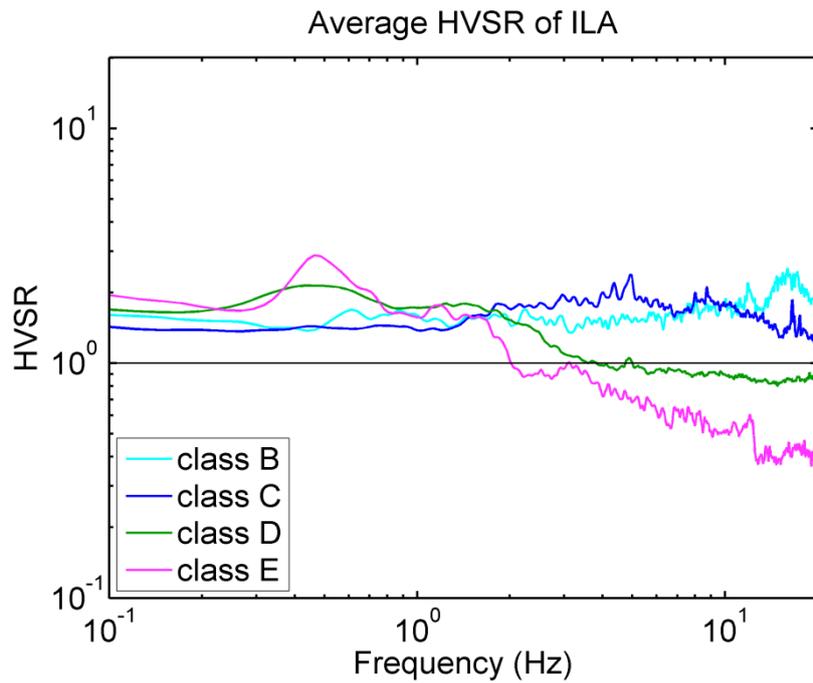
圖一 宜蘭地區已完成微地動測量之強震站分布。



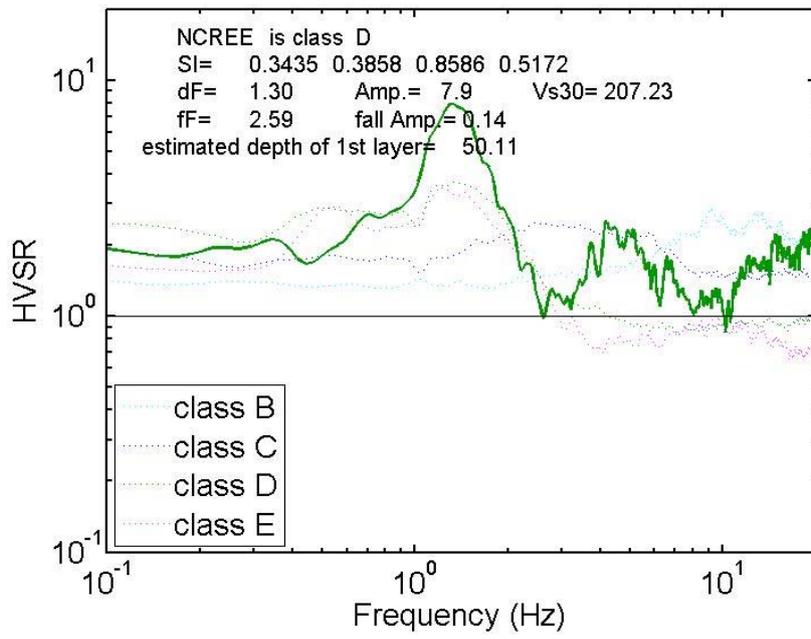
圖二 國震中心內之地質鑽孔位置。



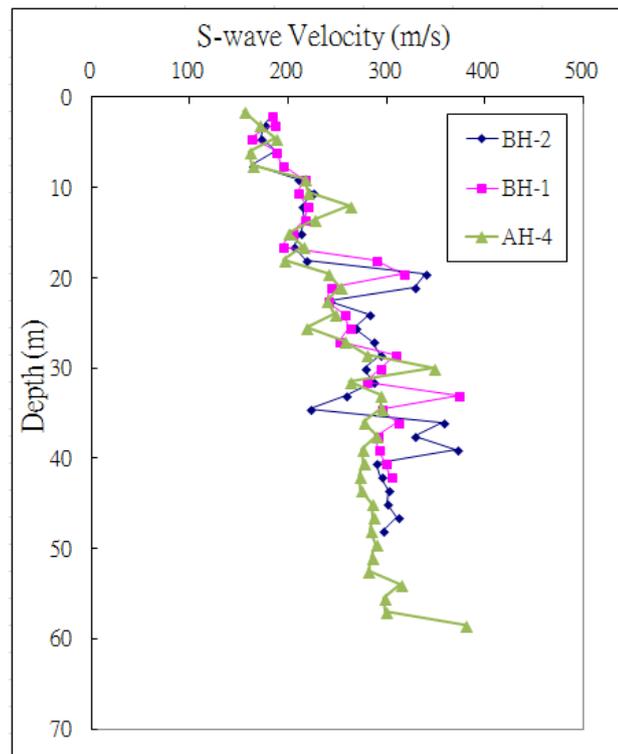
圖三 本研究分析的宜蘭地區 43 個強震測站之 HVSR 與 $Vs30$ 之分布狀況。



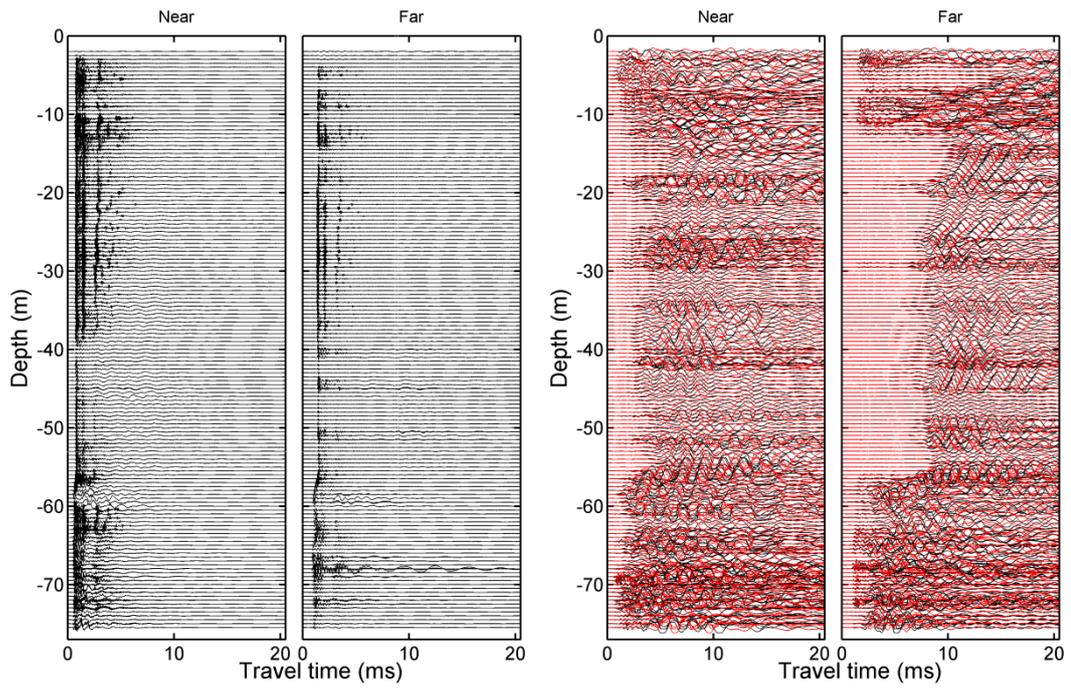
圖四 位於宜蘭地區四種地盤測站的平均 HVSR。



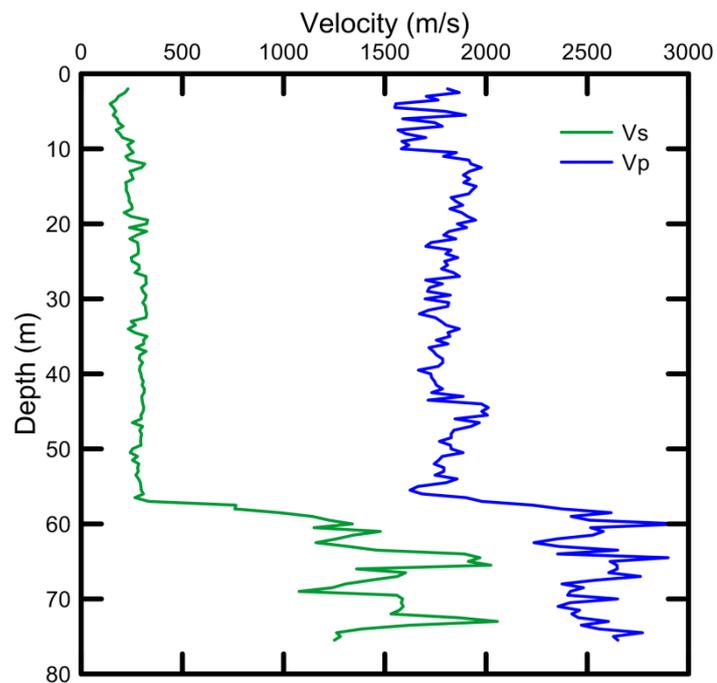
圖五 國震中心 AH4 點位之 HVSR 及分析結果。



圖六 使用經驗式 (Kuo et al., 2012) 推估之剪力波速剖面。



圖七 地層波速測量波形之深度序列，左圖為 P 波，右圖為 S 波。



圖八 井孔 AH4 之波速測量剖面，綠色為 S 波波速，藍色為 P 波波速。