

95-72-7209

MOTC-IOT-94-H1DA002-3

# 港灣地區地層構造調查研究



交通部運輸研究所

中華民國 95 年 4 月

95-72-7209

MOTC-IOT-94-H1DA002-3

# 港灣地區地層構造調查研究

著 者：陳圭璋

交通部運輸研究所

中華民國 95 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目資料

台灣地區地層構造調查研究 / 陳圭璋著. -- 初  
版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民95  
面 : 公分

ISBN 986-00-4969-6(平裝)

1. 地質調查 - 臺灣 2. 結構工程

356.232

95007062

台灣地區地層構造調查研究

著者：陳圭璋

出版機關：交通部運輸研究所

地址：臺北市敦化北路 240 號

網址：[www.ihmt.gov.tw](http://www.ihmt.gov.tw) (中文版>中心出版品)

電話：(04) 26587176

出版年月：中華民國 95 年 4 月

印刷者：大興國際科技有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 130 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所台灣技術研究中心網站

定價：全套 200 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書坊臺視總店：臺北市八德路 3 段 10 號 B1•電話：(02)25781515

五南文化廣場：臺中市中山路 2 號 B1•電話：(04)22260330

GPN：1009500944

ISBN：986-00-4969-6 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

95

港灣地區地層構造調查研究

交通部運輸研究所

GPN : 1009500944

定價 200 元

## 交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                         |                          |                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 出版品名稱：港灣地區地層構造調查研究                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                         |                          |                                                              |
| 國際標準書號（或叢刊號）<br>ISBN 986-00-4969-6 (平裝)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 政府出版品統一編號<br>1009500944 | 運輸研究所出版品編號<br>95-72-7209 | 計畫編號<br>94-H1DA002-3                                         |
| 主辦單位：港灣技術研究中心<br>主管：邱永芳<br>計畫主持人：陳圭璋<br>研究人員：陳圭璋<br>聯絡電話：04-26587174<br>傳真號碼：04-265713297 & 04-26564418                                                                                                                                                                                                                                                          |                         |                          | 研究期間<br><br>自 94 年 01 月<br>至 94 年 12 月                       |
| 關鍵詞：震測探測、地層構造、頻譜比、場址效應<br><br>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                         |                          |                                                              |
| 摘要：<br><br>本文利用地球物理法探查蘇澳港區之地層速度構造，以微地動量測之頻譜比來探討蘇澳港區之場址效應及土壤液化潛能。微地動量測之頻譜比與 Haskall Method 理論模擬、2 個 TSMIP 之地震資料分析及井下地震資料分析等結果進行比對分析，並推估地震來襲時地表不同頻率之放大倍率與共振主頻。                                                                                                                                                                                                     |                         |                          |                                                              |
| 出版日期                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 頁數                      | 定價                       | 本出版品取得方式                                                     |
| 95 年 4 月                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 112                     | 200                      | 凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。 |
| 機密等級：<br><input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密<br>（解密條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密，<br><input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密）<br><input checked="" type="checkbox"/> 普通 |                         |                          |                                                              |
| 備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                         |                          |                                                              |

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS  
INSTITUTE OF TRANSPORTATION  
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                              |                                 |                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>TITLE:</b> Soil Structures of the Harbor Areas in Taiwan                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                              |                                 |                                                                                                                                                                                                                               |
| ISBN(OR ISSN)<br>ISBN 986-00-4969-6<br>(pbk)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER<br>1009500944 | IOT SERIAL NUMBER<br>95-72-7209 | PROJECT NUMBER<br>94 – H1DA002-3                                                                                                                                                                                              |
| DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER<br>DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu<br>PRINCIPAL INVESTIGATOR: Kuei-Chang Chen<br>PROJECT STAFF: Kuei-Chang Chen<br>PHONE: 04 -26587174<br>FAX: 04 -26571329 & 04-26564418                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                              |                                 | <b>PROJECT PERIOD</b><br><br>FROM January 2005<br>TO December 2005                                                                                                                                                            |
| <b>KEY WORDS:</b> Seismic survey, Soil structure, Spectral ratio, Site effect                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                              |                                 |                                                                                                                                                                                                                               |
| <p><b>ABSTRACT :</b></p> <p style="margin-top: 20px;">In this study, geophysical methods were used to investigate the soil speed structure. H/V ratios from microtremor measurements were used to study the site effect and soil liquefaction potential of Suao Harbor's area. H/V ratios from microtremor measurements were compared to those given by the Haskall Method's theory simulation and the analytical results of earthquake data from 2 TSMIP and downhole accelerometer. The ground amplification ratio and predominant frequency during earthquake were also investigated.</p> |                                              |                                 |                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>DATE OF PUBLICATION</b><br><br>April 2006                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>NUMBER OF PAGES</b><br><br>112            | <b>PRICE</b><br><br>200         | <b>CLASSIFICATION</b><br><input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL<br><input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET<br><input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED |
| The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                              |                                 |                                                                                                                                                                                                                               |

# 港灣地區地層構造調查研究

## 目 錄

|                        |      |
|------------------------|------|
| 中文摘要.....              | I    |
| 英文摘要.....              | II   |
| 圖目錄.....               | V    |
| 第一章 前 言.....           | 1-1  |
| 第二章 試驗地區地質概況與試驗位置..... | 2-1  |
| 2.1 研究地區地質概況 .....     | 2-1  |
| 2.2 現地調查試驗數量與位置 .....  | 2-1  |
| 第三章 地球物理探測.....        | 3-1  |
| 3.1 折射震測探測 .....       | 3-1  |
| 3.2 反射震測探測 .....       | 3-6  |
| 3.3 表面波譜法(SASW) .....  | 3-11 |
| 3.4 地球物理探測結果 .....     | 3-14 |
| 第四章 微地動量測與場址效應分析.....  | 4-1  |
| 4.1 微地動量測 .....        | 4-1  |
| 4.2 場址效應分析 .....       | 4-3  |
| 4.3 檢測地震監測計之方位 .....   | 4-9  |
| 4.4 近地表 Q 值計算 .....    | 4-10 |
| 4.5 理論模擬地震歷程變化 .....   | 4-11 |
| 4.6 整體場址效應 .....       | 4-12 |
| 4.7 土壤液化潛能分析 .....     | 4-16 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第五章 結論.....           | 5-1 |
| 參考文獻.....             | 6-1 |
| 附錄 現地量測試驗結果           |     |
| 附錄 A 地球物理及微地動試驗野外工作照片 |     |
| 附錄 B 蘇澳港區微地動量測頻譜      |     |
| 附錄 C 蘇澳港區微地動量測單站頻譜比   |     |

## 圖 目 錄

|                                                          |      |
|----------------------------------------------------------|------|
| 圖 2.1.1 蘇澳港區地理位置圖.....                                   | 2-4  |
| 圖 2.1.2 蘇澳港區附近地質圖(重繪自地質調所蘇澳地質圖幅).....                    | 2-5  |
| 圖 2.2.1 蘇澳港區地球物理測線位置圖.....                               | 2-6  |
| 圖 2.2.2 蘇澳港區微地動試驗位置圖.....                                | 2-7  |
| 圖 3.1.1 折射震波探測儀器配置圖.....                                 | 3-17 |
| 圖 3.1.2 折射震測流程圖.....                                     | 3-17 |
| 圖 3.1.3 泛化互換法(GRM)原理之基本模型：(A)速度分析函數，<br>(B) 時間－深度函數..... | 3-18 |
| 圖 3.1.4 折射震測測線 LA-1 速度層剖面圖.....                          | 3-19 |
| 圖 3.1.5 折射震測測線 LA-2 速度層剖面圖.....                          | 3-19 |
| 圖 3.2.1 野外反射震測探測配置圖.....                                 | 3-20 |
| 圖 3.2.2 反射震測施測流程圖.....                                   | 3-20 |
| 圖 3.2.3 反射震測 LR1 P 波速度分布圖.....                           | 3-21 |
| 圖 3.2.4 反射震測 LR2 P 波速度分布圖.....                           | 3-21 |
| 圖 3.2.5 反射震測 LR-1 地層構造原始剖面圖及解釋剖面圖.....                   | 3-22 |
| 圖 3.2.6 反射震測 LR-2 地層構造原始剖面圖及解釋剖面圖.....                   | 3-23 |
| 圖 3.3.1 表面波譜法(SASW)探測儀器配置圖.....                          | 3-24 |
| 圖 3.3.2 表面波譜法(SASW)流程圖.....                              | 3-24 |
| 圖 3.3.3 表面波譜法 SASW 1 (A)頻散曲線圖(B)S 波速度分布圖.....            | 3-25 |
| 圖 3.3.4 表面波譜法 SASW 2 (A)頻散曲線圖(B)S 波速度分布圖.....            | 3-26 |
| 圖 4.2.1 微地動量測 H/V 與理論計算轉換函數比較圖.....                      | 4-19 |
| 圖 4.2.2 TSMIP 地震震央分佈圖.....                               | 4-19 |

|                                                  |      |
|--------------------------------------------------|------|
| 圖 4.2.3 ILA007 在 1999/9/21 地震之地動歷時.....          | 4-20 |
| 圖 4.2.4 ILA052 在 1999/9/21 地震之地動歷時.....          | 4-20 |
| 圖 4.2.5 TSMIP 測站雙站頻譜比平均結果與微地動單站頻譜比<br>結果比較圖..... | 4-21 |
| 圖 4.2.6 井下地震儀陣列地震震央分佈圖.....                      | 4-21 |
| 圖 4.2.7 井下地震儀陣列地震紀錄垂直向之地動歷時.....                 | 4-22 |
| 圖 4.2.8 井下地震儀陣列地震紀錄東西向之地動歷時.....                 | 4-23 |
| 圖 4.2.9 井下地震儀陣列地震紀錄南北向之地動歷時.....                 | 4-24 |
| 圖 4.2.10 井下地震儀陣列垂直向正規化 PGA 隨深度變化圖 .....          | 4-25 |
| 圖 4.2.11 井下地震儀陣列東西向正規化 PGA 隨深度變化圖.....           | 4-25 |
| 圖 4.2.12 井下地震儀陣列南北向正規化 PGA 隨深度變化圖 .....          | 4-26 |
| 圖 4.2.13 地表與 15 米深之頻譜比與微地動單站頻譜比比較圖 ...           | 4-26 |
| 圖 4.2.14 地表與 22 米深之頻譜比與微地動單站頻譜比比較圖 ...           | 4-27 |
| 圖 4.2.15 地表與 35 米深之頻譜比與微地動單站頻譜比比較圖 ...           | 4-27 |
| 圖 4.2.16 地表與 35 米深地層之頻譜比與理論轉換函數比較圖 ...           | 4-28 |
| 圖 4.4.1 衰減因子 Q 隨頻率變化回歸結果.....                    | 4-28 |
| 圖 4.5.1 模擬(上)與觀測(下)加速度在 R 方向比較圖.....             | 4-29 |
| 圖 4.5.2 模擬(上)與觀測(下)加速度在 T 方向比較圖.....             | 4-30 |
| 圖 4.5.3 模擬(上)與觀測(下)速度在 R 方向比較圖.....              | 4-31 |
| 圖 4.5.4 模擬(上)與觀測(下)速度在 T 方向比較圖.....              | 4-32 |
| 圖 4.5.5 模擬(上)與觀測(下)位移在 R 方向比較圖.....              | 4-33 |
| 圖 4.5.6 模擬(上)與觀測(下)位移在 T 方向比較圖.....              | 4-34 |
| 圖 4.6.1 特性週期 4 秒蘇澳港區放大倍率等值圖.....                 | 4-35 |
| 圖 4.6.2 特性週期 3 秒蘇澳港區放大倍率等值圖.....                 | 4-35 |

|                                    |      |
|------------------------------------|------|
| 圖 4.6.3 特性週期 2 秒蘇澳港區放大倍率等值圖.....   | 4-36 |
| 圖 4.6.4 特性週期 1.5 秒蘇澳港區放大倍率等值圖..... | 4-36 |
| 圖 4.6.5 特性週期 1 秒蘇澳港區放大倍率等值圖.....   | 4-37 |
| 圖 4.6.6 特性週期 0.5 秒蘇澳港區放大倍率等值圖..... | 4-37 |
| 圖 4.6.7 特性週期 0.3 秒蘇澳港區放大倍率等值圖..... | 4-38 |
| 圖 4.6.8 特性週期 0.2 秒蘇澳港區放大倍率等值圖..... | 4-38 |
| 圖 4.6.9 蘇澳港區共振主頻等值均佈圖.....         | 4-39 |
| 圖 4.7.1 蘇澳港區 $K_g$ 值等值均佈圖.....     | 4-39 |

# 第一章 前 言

臺灣位於環太平洋地震帶地震頻繁，在震央附近固然造成重大災害，但與震央相距甚遠的地區仍有嚴重之災害產生，較為人知者如在臺北市區及臺中港區在花蓮地震及集集地震時造成嚴重之災害，經專家學者之研究分析指出造成此等現象之原因主要是由於該等地區之地下土層均易造成特定頻率震波之放大。臺灣各重要港區靠近地表之地層大都屬於震波傳遞較慢的鬆軟沖積層或回填層，這些地層均易造成特定頻率震波之放大，因此徹底瞭解港區之局部震波放大效應，以做為災後重建及後續工程設計時之參考是必要的。

要瞭解地層之震波放大效應，則必須先瞭解地層構造。近年來在學界及業界的努力下，已發展出有效的地球物理方法來探測地層構造。本研究運用地球物理探勘技術中之反射震測法、折射震測法及淺層表面波分析等方法來瞭解地層速度構造，並配合鑽井試驗實施井下震測來檢核分析地層分佈。

本研究並以陳圭璋等（2004）所建立之港口場址效應研究方法，利用理論模擬、TSMIP 地震資料分析、井下地震資料分析以及微地動調查，來探討包括放大倍率與共振主頻在內的場址效應，同時亦分析近地表衰減因子，藉此整合出造成災害之場址效應，同時利用微地動結果進行土壤液化潛能分析，以期作為後續建築物設計時抗震減災之參考。

## 第二章 試驗地區地質概況與試驗位置

### 2.1 研究地區地質概況

本計劃所進行之港區地層構造調查研究係以蘇澳港區為主要範圍，調查研究工作主要位於蘇澳港內、南方澳漁港及港區外圍(微地動試驗)。如圖 2.1.1 所示，蘇澳港位於宜蘭縣蘇澳鎮，交通地理上位於台 2 線及台 9 線交叉點，北側緊鄰北方澳軍港，南側為南方澳漁港，東側為海洋，西側處於蘇花公路下方。

依經濟部地質調查所五萬分之一的台灣地質圖 - 蘇澳圖幅(詳圖 2.1.2)，可見港區範圍內從北方澳到南方澳均為蘇澳層(Sa)，有一背斜軸通過蘇澳港偏北之位置，走向朝東，背斜兩翼傾角高達 50~70 度。另外，有一可疑的斷層(虛線)，若延伸可能進入港區，但未經過 LR-1 及 LR-2 測線之位置。蘇澳層(Sa)相當於中央山脈中南部之廬山層，年代為中新世中期，地層單調，走向為東偏南 10 度，均勻向南傾斜 50 度。以暗灰色至黑色板岩及硬頁岩為主，偶夾薄層黑色細粒變質岩。往蘇花公路、臺灣石粉礦場道路、白米河與圳頭溪流域均以厚層板岩為主。在南方澳南方海濱，則以板岩偶夾砂岩或板岩與薄層砂岩互層為主。本層板岩中有發育良好的劈理，在板岩與變質砂岩薄互層所構成的褶皺中，在不同岩性交界處有劈理轉折現象(cleavage refraction)。有些劈理受後期變形作用而形成急轉帶(kink band)。

### 2.2 現地調查試驗數量及位置

本研究計劃工作地點位於蘇澳港區，工作區域包含蘇澳港內、南方澳漁港及港區外圍(微地動試驗)，工作項目包含反射震波探測、折射震波探測、表面波頻譜分析、微地動試驗與液化潛能分析、場址效應分析、淺地層震波衰減因子分析、理論模擬地震之歷程變化及檢測地震監測計方位等八個主要工作項目。本研究總共完成折射震波探測 184m，反射震波探測 1480m，表面波頻譜分析 2 處，微地動試驗 40 點，並進行場址效應分析、淺地層震波衰減因子分析、理論模擬地震之歷程變化及檢測地震監測計方位等項目。工作照片如附錄 A 所示，

各區工作佈置如圖 2.2.1 及圖 2.2.2 所示，工作項目及數量詳述如下：

### 1.反射震測

第一條測線位於蘇澳地震監測站至海邊之中心礁，測線長度 570 公尺，第二條測線位於地震監測站前方填海路上，測線長度 910 公尺，測線編號分別為 LR1 及 LR2，總長度 1480 公尺，測線座標如下表所示。

| No   | 起終點 | 座標         |             | 長度(m) | 備註 |
|------|-----|------------|-------------|-------|----|
|      |     | 縱軸         | 橫軸          |       |    |
| LR-1 | 起點  | 337870.583 | 2721097.149 | 570   |    |
|      | 終點  | 337429.103 | 2720736.149 |       |    |
| LR-2 | 起點  | 336890.718 | 2721226.239 | 910   |    |
|      | 終點  | 337463.112 | 2720574.388 |       |    |

### 2.折射震測

測線位置與反射震測第一條及第二條測線相同，佈置 2 條測線，測線編號為 LA1 及 LA2，共 184 公尺，測線座標如下表所示。

| No   | 起終點 | 座標         |             | 長度(m) | 備註 |
|------|-----|------------|-------------|-------|----|
|      |     | 縱軸         | 橫軸          |       |    |
| LA-1 | 起點  | 337677.926 | 2720940.408 | 92    |    |
|      | 終點  | 337604.248 | 2720885.312 |       |    |
| LA-2 | 起點  | 337321.404 | 2720852.027 | 92    |    |
|      | 終點  | 337387.229 | 2720795.330 |       |    |

### 3.表面波頻譜分析

測線位置位與反射震測相同，測線佈置 2 處，測線編號為 SASW1 及 SASW2，座標如下表所示。

| No | 起終點 | 座標 |    | 長度(m) | 備註 |
|----|-----|----|----|-------|----|
|    |     | 縱軸 | 橫軸 |       |    |

|       |    |            |             |    |  |
|-------|----|------------|-------------|----|--|
| SASW1 | 起點 | 337218.815 | 2720943.496 | 96 |  |
|       | 終點 | 337290.419 | 2720885.506 |    |  |
| SASW2 | 起點 | 337822.043 | 2721080.710 | 96 |  |
|       | 終點 | 337742.928 | 2721079.598 |    |  |

#### 4.微地動試驗與液化潛能分析

量測方式為在蘇澳港內量測 17 點，南方澳漁港量測 16 點，蘇南公路(台 2 戊)旁量測 7 點，總共量測 40 點。

#### 5.場址效應分析

主要分為土層放大倍率分析與土層共振主頻分析二方面，並進行實際地震資料比對。

#### 6.近地表衰減因子(Q 值)分析

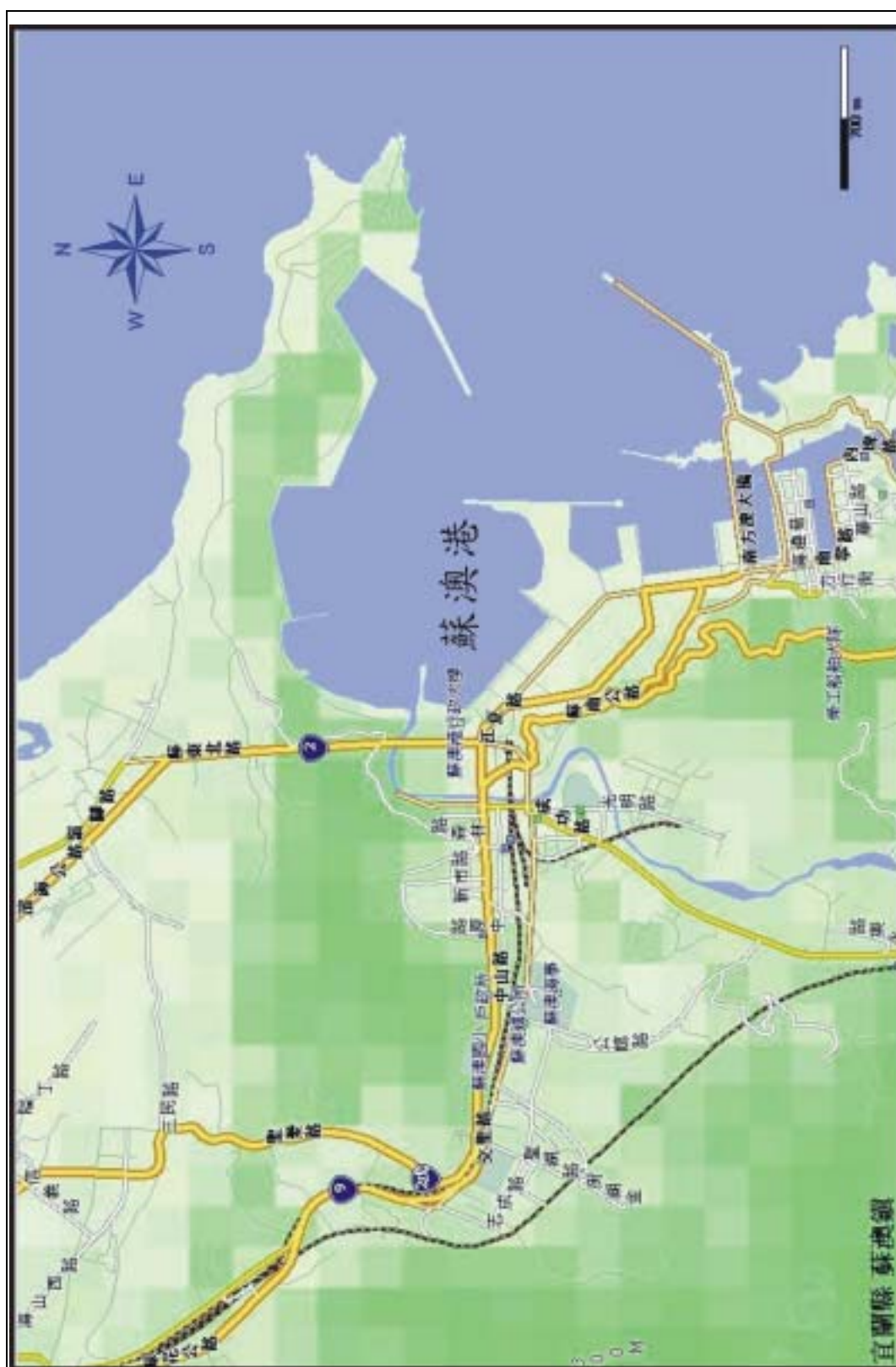
收集港區井下地震儀各個深度收到之地震紀錄並分析頻譜，分析所得之衰減因子(Q 值)必須為隨頻率變化之函數。

#### 7.理論模擬地震歷程

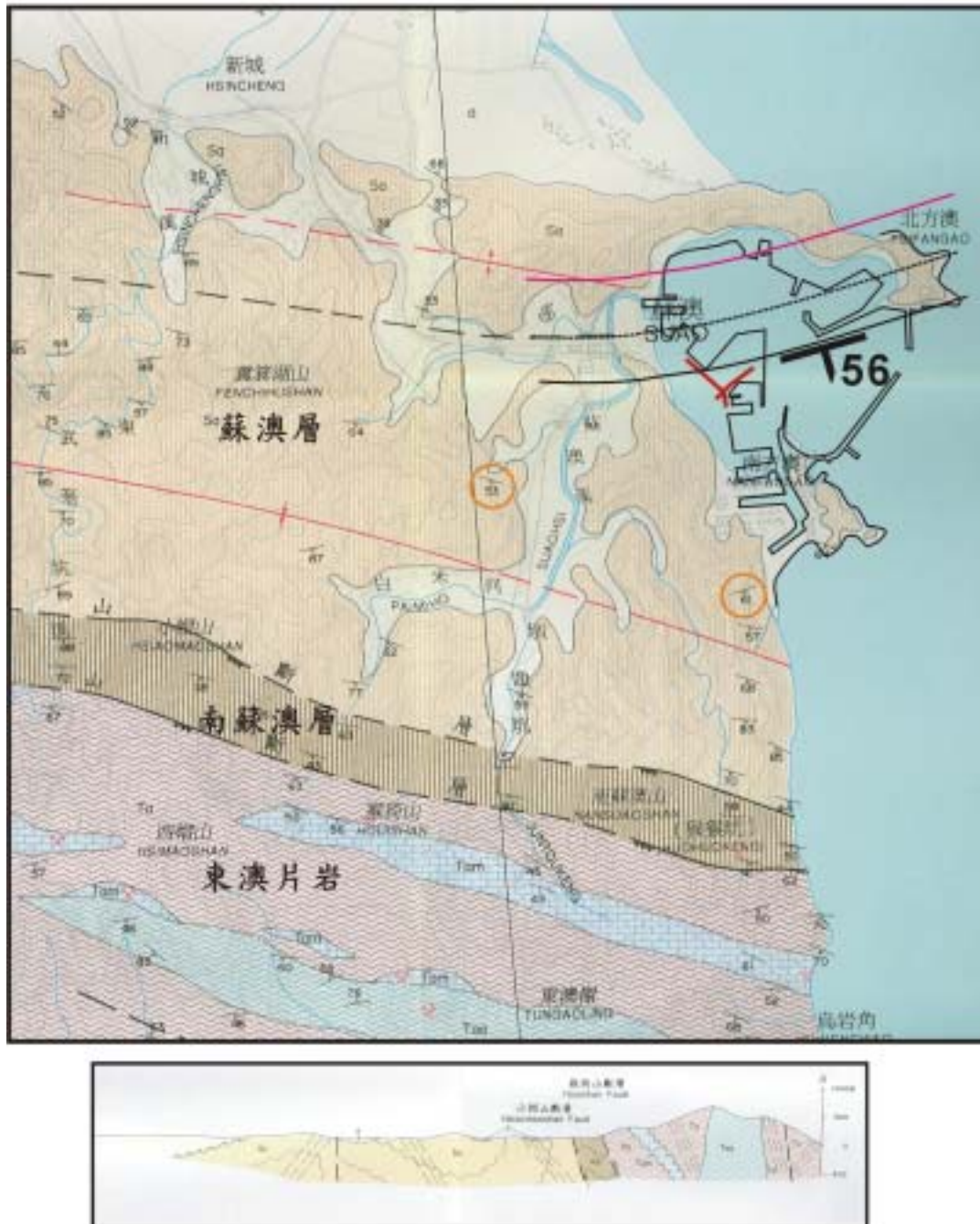
利用地表地震 40 秒以上紀錄歷時，採用 Haskall Method 模擬井下不同深度水平向地震歷時，模擬內容包含加速度、速度及位移三種模式。

#### 8.檢核地震監測計方位

以交叉關聯法(Cross Correlation)校正井下地震儀方位。



**圖 2.1.1 蘇澳港區地理位置圖**



**圖 2.1.2 蘇澳港區附近地質圖(重繪自地質調所蘇澳地質圖幅)**



圖 2.2.1 蘇澳港區地球物理測線位置圖

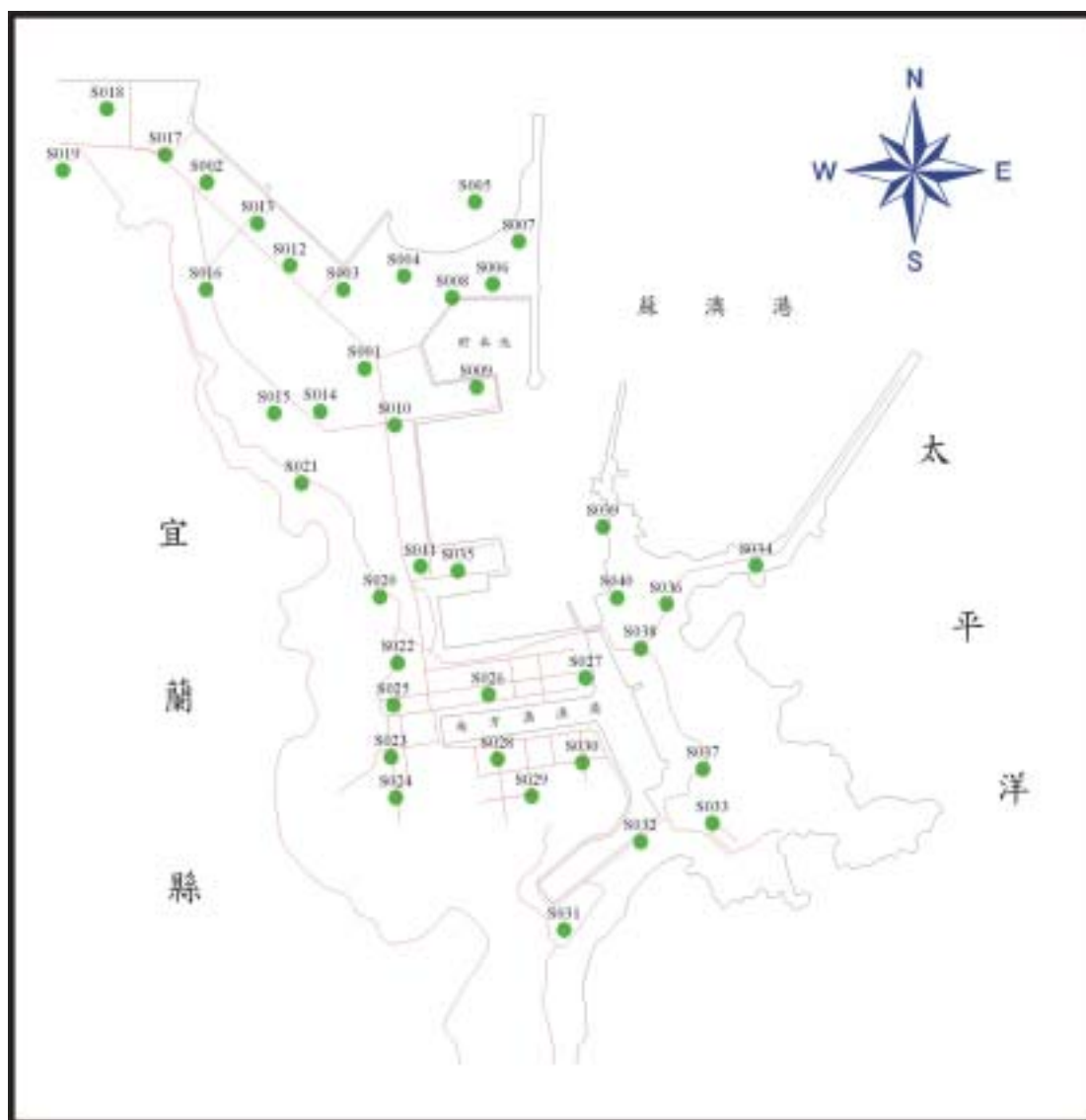


圖 2.2.2 蘇澳港區微地動試驗位置圖

## 第三章 地球物理探測

進行速度構造調查，常採用地球物理方法，本研究同時應用折射震波探測、反射震波探測及表面波譜法(SASW)，其中折射震測所獲得之速度層剖面有助於了解表土層及淺層體波(P Wave)速度構造，反射震波探測所獲得之速度層剖面有助於了解深層體波(P Wave)速度構造，表面波譜法有助於了解地層剪力波(S Wave) 速度構造。將其探測原理及結果分述如下：

### 3.1 折射震波探測

#### 3.1.1 探測原理

折射震測法係藉炸藥(爆竹)引爆或重錘敲擊產生人造震波，傳播於地下地層，因地層間速度不同，震波於層面處，依斯涅爾(Snell)定律發生折射現象返回地表，為埋設於地表之受波器接收。根據其時間距離關係（通稱時距曲線）求出地層之構造。一般來說折射震測法可經濟且準確地探測出地質速度構造，速度層是以震波速度值表示之。由理論上和實驗上均顯示折射震波的傳遞均沿著速度較快的地層，因此由速度慢進入速度快的地層，較易測得其第二層界面，反之，由速度快進入速度慢的地層，則不易測得其第二層界面，易行成一“盲帶”。

#### 3.1.2 儀器設備

折射震測野外儀器設備眾多，主要可分為震源、接收器、震測儀三大部分，其儀器配置示意圖如圖 3.1.1 所示，茲將儀器分述如下：

##### 1.震源(Source)

一般而言震測震源能量的來源包括機械能(重錘、榔頭)與化學能(炸藥、槍械)。震源要求是要高能量、操作方便、容易維修、可重複使用、成本低、效率高與安全之震源，基於上述條件，本研究選擇 EWG 彈簧式震源。

## **2.受波器(Geophone)**

本研究使用的受波器為 OYO Geospace 出產，響應頻率為 14Hz 的速度型受波器。

## **3.震測儀**

震測儀必須具備以下幾項基本功能：(1)較大的動態範圍(dynamic range)，以提升記錄訊號的有效位數。(2)前置低切濾波，在訊號記錄之前，先壓抑低頻的地面波，降低其能量。(3)疊加功能，震測訊號相較雜訊而言通常是相當微弱的，藉由疊加的功能，可以提升震測信號的能量。本研究使用的震測儀為 OYO 公司出產的 DAS-1 其動態範圍達到 120dB，可以記錄到相當微弱的信號，經由處理之後可得較佳信號。

其他輔助儀器包括有啟動器 ( trigger )、啟動器傳輸線、電纜線 ( cable )、皮尺、橡膠錘等等。

### **3.1.3 試驗步驟**

#### **1.測線設計**

依據欲探測之場址或構造物之基址形狀，可能之地層構造情形及目標層之深度，決定測線配置及受波器間距。

#### **2.測線佈置**

依預定之水平間距，於每一測點上釘樁或噴漆並標示編號。

#### **3.受波器之安置**

於每次震測展距安置 24 個受波器，受波器應以鉛錘直立方向穩固的安置在測點上，受波器若安置不穩固，非但接收到之信號較微弱且易受風力等其他外界雜波干擾。另外受波器若偏斜 15° 以上，則將會記錄不良之波形，影響震波判讀之準確性。

#### **4.錘擊點佈置**

一般折射震測之設計為六處炸點，分別位於測線之第 1、8、16、24 個受波器附近及測線兩端遠處。錘擊產生之初達波波形顯示於震測儀之螢幕上。若顯現不甚清晰時，則需作多次錘擊疊加震波，直至足以判斷初達波為止。

## **5. 震測儀操測**

檢視各受波器與震測儀接通狀況良否。測試各受波器之雜訊狀況，同時調整各受波器之放大倍率，並設定濾波頻率、震波取樣速率、延遲時間及信號疊加狀態等參數。疊加震波波形，直至波形清晰後，存入硬碟內。

折射震測施測之基本流程詳圖 3.1.2 所示。

### **3.1.4 資料處理**

#### **1. 挑選初達波**

由每次錘擊所得各受波器原始資料，研讀震波第一初達波走時。若第一初達波位置受雜波干擾不易判讀時，則可使用 FFT 濾波處理或 Analog 濾波處理，以產生清晰之初達波。

#### **2. 繪製時距曲線**

將各測點各受波器之震波走時，以 X 軸為距離軸、Y 軸為時間軸繪成時間距離曲線。

#### **3. 速度層之研算**

由各錘擊（炸點）所得之震波記錄，經挑選初達波繪製成時距曲線後，採用目前發展最為完整之泛化互換法(GRM, Generalized Reciprocal Method)(Palmer, 1980, 1981)，來計算地層之震波速度、速度層厚度、速度層構造、低速層構造等。GRM 之原理涵蓋了傳統的互換法（Reciprocal Method）和海勒斯法（Hales' Method），但能因不同狀況下做適度的修正，且此法較以地表數個點的折射資料來反應地下地層單一點之訊息要可靠很多，故為折射

震測目前最精確及完整之資料處理方法。茲以圖 3.1.3 所示之基本模型，來探討泛化互換法計算地層構造之原理。圖中 A、B 為炸點，X、Y 為受波點，G 為 XY 之中點，R 為 G 在地下層對應點，其計算原理可分兩部分來討論：

### (1)速度分析函數

速度分析函數 $t_v$ 定義如下：

$$t_v = 1/2(t_{AY} - t_{BX} + t_{AB}) \dots\dots\dots (1)$$

$t_{AY}$  =由 A 點產生震波至 Y 點接收之走時

$t_{BX}$  =由 B 點產生震波至 X 點接收之走時

$t_{AB}$  =由 A 點產生震波至 B 點接收之走時

圖 3.1.3 中之實際線部分即為 $t_v$ 計算結果所代表之波徑，經分析代換得

$$t_v = \sum_{j=1}^{n-1} z_{jp} (\cos \alpha_{jn} + \cos \beta_{jn}) / 2v_j +$$

$$AG \left[ \cos \theta_{n-1} / v_n - \sum_{j=1}^{n-2} (\cos \alpha_{jn} - \cos \beta_{jn}) \sin(\theta_j - \theta_{j-1}) \cos \theta_{j-1} / 2v_j \right]$$

$$\dots\dots\dots (2)$$

式中 j=表第 j 層

n=第 n 層為折射層

$\alpha, \beta$  = 根據 Snell's law 所求得之臨界角

$\theta_j$  =第 j 層傾角

$z_{jp}$  =地表任一點 P 以下第 j 層之厚度

因 $t_v$ 和 AG 為線性關係，則方程式之斜率就是 AG 之係數，其倒數為視速度 $V'_n$ ，即

$$\frac{d}{dx}t_v = \frac{1}{V_n'} = \frac{\cos \theta}{V_n} - \sum_{j=1}^{n-2} (\cos \alpha_{jn} - \cos \beta_{jn}) \sin(\theta_j - \theta_{j-1}) \cos \theta_{j-1} / 2V_j$$

..... (3)

當地層傾角不大時

$$V_n \cong V_n' \cos \theta_n$$

如此可計算出折射層之速度，而且由式(1)在不同 XY 值的結果，可分析判斷最佳之 XY 值。

## (2)時間—深度函數

時間—深度函數 $t_G$ 之定義為：

$$t_G = \frac{1}{2} [t_{AY} + t_{BX} - (t_{AB} + XY/V_n')] \dots\dots\dots (4)$$

式中之 $XY/V_n'$ 即為偏移修正項，將由 X,Y 收到之資料對應回地層中之折射點 R，而 $t_G$ 在值則對應至 XY 中點 G 處，其計算結果代表之波徑如圖 3.1.3B 中實線部分所示，經分析代換得：

$$t_G = \sum_{j=2}^{n-1} z_{jG} (\cos \alpha_{jn} + \cos \beta_{jn}) / 2V_j \dots\dots\dots (5)$$

藉由上式的計算，可求得地表任一點以下之地層厚度，且所對應地表面之點係經過偏移修正之結果。

## 3.1.5 探測結果

本次折射震波探測共施測 2 條測線，編號分別為 LA1 及 LA2，每條測線 92m 總長度 184m，受波器間距 4m。第一條測線位於地震站至中心礁，第二條測線位於地震站前方填海路上，折射震波速度層剖面圖如圖 3.1.4 及圖 3.1.5，由本次分析結果，研判蘇澳港區調查試驗 LA1 及 LA2 測線範圍內第一土層為回填土層，速度約介於 0.88km/sec~1.35km/sec，第二層速度約介於 1.54 km/sec~1.80 km/sec，

研判為回填土層及風化岩盤，LA1 測線里程 0~48m 第一層回填土層向東南增厚，顯示地層可能向東南傾斜，茲將結果詳列如下：

#### 1. LA-1 測線探測結果(詳圖 3.1.4)

| 層序 | 地層研判          | P 波速度<br>( km/sec ) | 厚度 ( m )   |
|----|---------------|---------------------|------------|
| 1  | 回填土層          | 1.33 1.35           | 5.02 26.19 |
| 2  | 回填土層及風化<br>岩盤 | 1.54 1.80           |            |

#### 2. LA-2 測線探測結果(詳圖 3.1.5)

| 層序 | 地層研判          | P 波速度<br>( km/sec ) | 厚度 ( m )  |
|----|---------------|---------------------|-----------|
| 1  | 回填土層          | 0.88 1.04           | 0.56 2.44 |
| 2  | 回填土層及風化<br>岩盤 | 1.56 1.60           |           |

### 3.2 反射震波探測

#### 3.2.1 探測原理

##### 1. 反射定律

反射震測原理是在地表以一人工震源產生震波信號，進入地下後，在速度與密度不連續面（通常為地層介面）產生反射，依 Snell 反射定律將信號「反射」回地表，經地表預先設置之受波器收錄。設震源發震時間為零，則震波在地下來回之歷時即可記錄下來，這些記錄經電腦分析後，可用來描繪地下地層構造。

##### 2. 共深點(CDP)方法

CDP 法 ( Common Depth Point ) 是近代反射震測法最主要的觀念，它可讓我們以不同的角度，看同一反射點（稱之為若干重合，Fold），因此可以把反射層「看」得更清楚，更能分別信號與雜波，而提高剖面的可信度。屬於同一 CDP 的描線，其震波雖然在垂直方向上走時相同，但在側向上，因炸點與受波器之距離不同，故走時也有差異，但也因為在一 CDP 聚排內之信號經過之側向距離不同，走時不同，而提供我們有關震波在地層內傳波速度之資料。利用此速度即可將側向走時修正掉（叫做垂直隔距時差修正，NMO）；此時，所有描線全都代表垂直走時，即可將它們加起來，屬反射信的部份就因此而放大加強，至於雜波部份則因不同相位相加而減弱，這個疊加（又叫重合，Stack）的動作，是 CDP 法最有用的部份。CDP 重合後的描線代表震波垂直地層來回之信號，當我們將連續的 CDP 點之描線畫出來，即構成一張震測剖面，此剖面代表地下地層大致分佈情形，當配合其它地質資料，即可對地下構造做合理的解釋。

### 3.2.2 儀器設備

淺層反射震測野外儀器設備眾多，主要可分為震源、接收器、震測儀三大部分，其儀器配置示意圖如圖 3.2.1 所示，茲將儀器分述如下：

#### 1.震源(Source)：

選擇 EWG- 彈簧式震源，理由與折射震波探測相同。

#### 2.受波器(Geophone)：

由於地球本身對於震波而言像一低通濾波器，震波經地底向下傳播之後，高頻信號漸漸被吸收而降低能量，相對的低頻信號就強得多（ $E_x$ ：地面波），為求高解析度，所以淺層反射震測所使用的受波器是要高頻響應的，才能夠提升高頻的反射信號，將低頻信號壓抑。本研究所使用的受波器為 OYO Geospace 出產，響應頻率為 100Hz 的速度型受波器。

### 3.震測儀：

本研究使用的震測儀為 OYO 公司出產的 DAS-1，理由與折射震波探測相同。為提高資料品質，進行 96 波道施測，另外使用沿移開關（Roll along switch）為輔助施測之另一利器，在施測時使用此一裝置，可以將使近站支距（near offset）保持在一固定的距離，可以增加野外工作效率，並可以使 CDP 重合數固定。

其他輔助儀器包括有啟動器（trigger）、啟動器傳輸線、電纜線（cable）、皮尺、橡膠錘等等。

#### 3.2.3 試驗步驟

##### 1.測線設計

測線以直而平坦地形為佳，另依據欲探測之場址或構造物之基地形狀、可能之地層構造情形及目標層之深度，決定測線之配置、測線之長度及測點之間距。本研究間距為 2 公尺。

##### 2.測線測量

依預定之水平間距，於每一測點上釘樁或噴漆並標示編號。

##### 3.受波器佈置

144 個受波器佈置在一直線上(測線上),受波器之間的距離叫站間距(Spacing)，本研究間距為 2 公尺。施測前，可沿測線上以等間距安排測點並給予編號，並將受波器以鉛錘直立方向穩固安置在測點上，若受波器安置不穩固，非但接收到之信號較微弱且受風力等其他外界雜波干擾。

##### 4.震源佈置

典型反射震測易收到二種雜波，一為空氣波，即震波沿空氣直接傳過來的波動，速度在 350m/sec 左右；另一為地面波，又叫地滾(Ground Roll)，這是震波陷在近地表地層內，經多次反射形成共

振而造成。這些雜波皆不具反射波之意義。地面波振幅很大，常掩蓋了有用的反射信號，幸好它們的速度較慢(150m/sec 300m/sec)，本研究近站支距使用 72m，遠站支距使用 262m，目的為避開地面波進入時掩蓋反射波。

## 5.震測儀操測

檢視各受波器與震測儀接通狀況良否。測試各受波器之雜音狀況，同時調整各受波器之放大倍率，並設定濾波頻率、震波取樣速率、延遲時間及信號疊加狀態等參數。疊加震波波形，直至波形清晰後，存入硬碟內。

## 6.施測程序

本研究野外施作時為達到 24 重合(Fold)，使用 6 公尺為一敲擊震源，每完成 16 個炸點後進行移線，即將測線前端的前 48 個受波器移至測線尾端，如此直至整條測線施測完成，施測流程詳圖 3.2.2 如示。

### 3.2.4 資料處理

資料處理的目的是要把影響之雜訊去除，而忠實的將反射訊號表現出來，在本研究中可以分為三大部分：

#### 1.重合前

此步驟是把野外資料轉入工作站，並建立幾何關係及做靜態修正（含高程修正及風化層修正），並開始許多濾波的工作，包括帶通濾波（濾除低頻之地面波或高頻之雜亂雜訊）、陷頻濾波（濾除高壓電之 60Hz 雜訊）、傾斜濾波（濾除地面波或其他線形雜訊）、解迴旋（濾除多次反射或信號振盪現象）等，把一些不需要的雜波濾掉，以提高訊號雜訊比（S/N）。其主要任務是要將雜訊盡量的壓抑，並加強反射訊號的能量。

#### 2.重合中

此步驟主要包括速度分析及殘餘靜態修正，將炸點剖面的資料轉換到同深點聚集做速度分析，獲得速度分布，並以之進行殘餘靜態修正，改善 CDP 重疊性，最後做動態修正並且將其疊加重合，獲得重合後震測剖面。

### 3.重合後

此步驟將所得的重合後剖面做進一步的改進，進行濾波以獲得最後震測剖面（final section），提供做為解釋使用。另外亦做重合後移位（migration），獲得移位後震測剖面（migrated section），以呈現正確之地層位置，並將時間轉換為深度。

#### 3.2.5 探測結果

本次反射震波探測共施測 2 條，第一條測線位於地震站至中心礁，測線長度 570 公尺，第二條測線位於地震站前方填海路上，測線長度 910 公尺測線編號為 LR1 及 LR2，總長度 1480 公尺。本次反射震波探測使用 40MHz 的受波器及 GEOMETRICS 公司 NZ 48 波道震測儀，再連接 4 部 24 波道 GEODE 震測儀，組成 144 波道震測儀，受波器間距為 2 公尺，震源間距 6 公尺，使用 24 重合（Fold）方式累加訊號，用以消除部份地面波雜訊及增加電訊能量，採用機械式震源，以求得較大能量及較深的探測深度，柏油路面上先鑽孔再安插受波器，受波器安置垂直偏斜不超過 15 度，以得到較佳的 P 波速度構造。圖 3.2.3 及圖 3.2.4 為 2 條測線的 P 波速度變化分佈圖，由地層速度變化的位置及清楚的反射界面(反射層較黑且連續)，可得到地層的構造剖面，圖 3.2.5 及圖 3.2.6 為其地層構造剖面圖，左邊縱軸為時間，右邊縱軸為深度，LR1 之 600 公尺位置與 LR-2 之 760 公尺位置相交。由於本次反射層所測得傾斜角度較大，因此將反射剖面深度以線性呈現，以利觀察其角度，由圖中 LR1 及 LR2 藍色線為覆土的部分，震波速度低，約 1500~1700m/sec；綠色線為蘇澳層之地層，震波速度較高，速度 2500~3500m/sec。圖 3.2.5 為 LR1 之震測剖面，以東北-西南方向經過突出海中之堤岸部分，在剖面 400 公尺的位置為地表

之一邊界，兩邊填土方式不同，但厚度一致，約 50 公尺厚。底下為向西南傾斜之蘇澳層地層，視傾角為 28 度。由於雜訊干擾，震測剖面 0.4 秒以下之信號凌亂。圖 3.2.6 為 LR-2 之震測剖面，以西北-東南方向沿著海岸分佈，藍色線為地表填土，厚度約 50~70 公尺，填方尚稱均勻，在測線前端 0~100 公尺位置，蘇澳層之地層很接近地表，研判原來應該是厚層板岩出露處（以紅色線標示），在於此位置西北側近地表應有很好的完整地層。底下之綠色線為蘇澳層之地層，略為破碎（故反射不佳），可能為薄層細粒變質砂岩，視傾角為 44 度。因 LR1 及 LR2 均與該地區之主要地層走向斜交，因此，必須將此二交叉測線之視傾角，一起聯合起來投影，才能找出真正的地層走向及傾角。聯合計算結果為：蘇澳層在港區之地層走向為東偏北 14 度，傾角向南為 56 度，該結果與地調所地質圖所揭示之資料頗為吻合。

### 3.3 表面波譜法(SASW)

#### 3.3.1 探測原理

表面波為地表量測法中最容易產生，振幅最大之震波，一般地表附近傳遞之表面波以雷利波(Rayleigh Wave)為主，而雷利波之特性主要係受地層 S 波所影響，表面波探測基本原理乃藉由量測表面波之相位速度，分析得頻散曲線，再進行 S 波速度層構造之解析，於探測過程中相位速度及頻散曲線分析為表面波探測法之重要步驟。SASW 量測得之相位速度或頻散曲線，可經逆推程序解析出地層之 S 波速度層構造，其具有施測容易、經濟快速且非破壞性之優點。利用多波道式表面波探測法，可增加逆推之準確性，另由多波道之信號比較，可容易判斷出有效之雷利波及無效之雜波，依據判斷得之雷利波及雜波特性，選擇適當之濾波方式濾除雜訊增加 S/N 比，同時增加探測之準確性，並了解地層構造的實際側向變化。

#### 3.3.2 儀器設備

表面波譜探測法野外儀器設備眾多，主要可分為震源、接收器、震測儀三大部分，其儀器配置示意圖如圖 3.3.1 所示，茲將儀器分述

如下:

### **1.震源(Source)：**

選擇 EWG- 彈簧式震源，理由與折射震波探測相同。

### **2.受波器(Geophone)：**

為求得較低頻的表面波(雷利波)，本研究所使用的受波器為 OYO Geospace 出產，響應頻率為 4.5Hz 的速度型受波器。

### **3.震測儀：**

本案中使用的震測儀為 OYO 公司出產的 DAS-1，理由與折射震波探測相同。

## **3.3.3 試驗步驟**

### **1.測線設計**

測線以直而平坦地形為佳，另依據欲探測之場址或構造物之基地形狀、可能之地層構造情形及目標層之深度，決定測線之配置、測線之長度及測點之間距。本研究之間距為 2 公尺。

### **2.測線測量**

依預定之水平間距，於每一測點上釘樁或噴漆並標示編號。

### **3.受波器佈置**

48 個受波器佈置在一直線上(測線上),受波器之間的距離叫站間距(Spacing)，本研究之間距為 2 公尺。施測前，可沿測線上以等間距安排測點並給予編號，並將受波器以鉛錘直立方向穩固安置在測點上，若受波器安置不穩固，非但接收到之信號較微弱且受風力等其他外界雜波干擾。

### **4.震源佈置**

將受波器安置固定不動，以編號 48 之受波器位置為第一震源點，往外延伸以編號 96 之位置為第二震源點，再往外延伸以編號 144 之位置為第三震源點。

## 5. 震測儀操測

檢視各受波器與震測儀接通狀況良否。測試各受波器之雜訊狀況，同時調整各受波器之放大倍率，並設定濾波頻率、震波取樣速率、延遲時間及信號疊加狀態等參數。疊加震波波形，直至波形清晰後，存入硬碟內。

## 6. 施測程序

施測流程詳圖 3.3.2 如示。

### 3.3.4 資料處理

本研究採用多波道式表面波頻譜探測法，將 48 個受波器排成一列，因此可處理基態及高次模組之頻散曲線，此種方式易增加逆推準確性，並有助於判斷有效之雷利波及無效之雜波，增加 S/N 比。多波道式表面波頻譜探測法資料處理分為四大部分：

1. 連接各震源點所得之雷利波紀錄。
2. 將連接後之雷利波紀錄選取適當之波段，經傾斜重合(slant stack)由距離時間域(distance-time domain)轉換至慢度截時域(slowness-intercept domain)。
3. 經傅氏轉換(fourier transform)，轉換為慢度頻率域，由於慢度為速度倒數，因此慢度頻率域即為頻散曲線。
4. 頻散曲線經由逆推即可求出地層 S 波速度構造。

### 3.3.5 探測結果

本研究 SASW 探測 2 處，編號為 SASW1 及 SASW2，測線位置位與反射震測相同，使用 4.5MHZ 的受波器及 48 波道的測線佈置，

受波器間距 2 公尺，利用可產生較大能量的機械式震源，以產生可供分析的 S 波訊號，及達到 100 公尺的探測深度，受波器安置垂直偏斜不超過 15 度，如此方能得到較佳的 S 波速度構造。各測點頻散曲線及速度分布如圖 3.3.3 及圖 3.3.4，由於本測區經由反射震測測得地層傾角向南為 56 度，因此本測區地層並非均質(Homogeneous)且等向性(Isotropic)，其側向變化很大，因此 SASW1 及 SASW2 速度上有明顯不同，結果詳下表所示：

| 深度(m)  | SASW1      | 深度(m)  | SASW2      |
|--------|------------|--------|------------|
|        | Vs (m/sec) |        | Vs (m/sec) |
| 0~3    | 175        | 0~8    | 570        |
| 3~6    | 250        | 8~13   | 620        |
| 6~28   | 230        | 13~19  | 510        |
| 28~37  | 175        | 19~37  | 430        |
| 37~64  | 270        | 37~87  | 650        |
| 64~100 | 110        | 87~100 | 840        |

### 3.4 地球物理探測結果

1. 由折射震測探測可知第一土層為回填土層，P 波速度約介於 0.88km/sec~1.35km/sec，第二層速度約介於 1.54 km/sec~1.80 km/sec，研判為回填土層及風化岩盤，LA1 測線里程 0~48 公尺第一層回填土層向東南增厚，顯示地層可能向東南傾斜。
2. 由反射震測 LR1 及 LR-2 中，回填土層約 50~70 公尺，震波速度低，約 1500~1700m/sec；岩盤為蘇澳層，震波速度較高，速度 2500~3500m/sec。LR1 之震測剖面，以東北-西南方向經過突出海中之堤岸部分，在剖面 400 公尺的位置為地表之一邊界，兩邊填土方式不同，但厚度一致。底下為向西南傾斜之蘇澳層地層，視傾角為 28 度。LR-2 之震測剖面，以西北-東南方向沿著海岸分佈，回

填土底下蘇澳層之地層，略為破碎，可能為薄層細粒變質砂岩，視傾角為 44 度，在測線前端 0~100 公尺位置，蘇澳層之地層很接近地表，研判原來應該是厚層板岩出露處，在此 100 公尺位置之西北側，近地表應有很好的完整的地層。因 LR1 及 LR2 均與該地區之主要地層走向斜交，將此二交叉測線之視傾角，一起聯合起來投影，計算出蘇澳層在港區之地層走向為東偏北 14 度，傾角向南為 56 度

3. 由 2 處表面波頻譜探測法及收集之前埋設井下地震儀所作的 31 公尺懸浮式速度井測法的 S 波探測結果(如下表)，可看出 SASW1 S 波速度和懸浮式速度井測速度頗為接近，但 SASW2 S 波速度則高出甚多，趨近於岩盤中的速度，此除與地層並非均質(Homogeneous)且等向性(Isotropic)，其側向變化很大有關外，並與反射震測結論所述 LR2 西北側，近地表應有很好的完整的地層符合。因此場址效應分析中的速度模型在 0~35 公尺部分可依據 SASW1 表面波頻譜探測法及懸浮式速度井測探測結果。

| 深度<br>(m) | Vs<br>(m/sec) | 深度<br>(m) | Vs<br>(m/sec) | 深度<br>(m) | Vs<br>(m/sec) |
|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|
| 1         | 212.3         | 2         | 229.9         | 3         | 217.4         |
| 4         | 224.7         | 5         | 219.8         | 6         | 232.6         |
| 7         | 298.5         | 8         | 303.0         | 9         | 303.0         |
| 10        | 307.7         | 11        | 317.5         | 12        | 307.7         |
| 13        | 317.5         | 14        | 350.9         | 15        | 327.9         |
| 16        | 289.9         | 17        | 194.2         | 18        | 215.1         |
| 19        | 224.7         | 20        | 246.9         | 21        | 277.8         |
| 22        | 222.2         | 23        | 219.8         | 24        | 217.4         |
| 25        | 307.7         | 26        | 317.5         | 27        | 235.3         |
| 28        | 327.9         | 29        | 263.2         | 30        | 250.0         |
| 31        | 250.0         |           |               |           |               |

4. 綜合地球物理探測結果可建立一速度模型供場址效應分析使用，此一模型在 0~35 公尺 P 波速度可依據折射震測探測結果，35 公尺以下的 P 波速度可依據反射震測探測結果，0~35 公尺 S 波速度部分可依據表面波頻譜探測法及 SASW1 懸浮式速度井測探測結果，50 公尺以下 S 波速度部分可依據 SASW2 懸浮式速度井測探測結果。由港區地層速度構造所建立以供場址效應分析使用之模型如下：

| 深度 ( m ) | P 波速度<br>( m/sec ) | S 波速度<br>( m/sec ) | 密度 ( g/cm <sup>3</sup> ) |
|----------|--------------------|--------------------|--------------------------|
| 0-6      | 1210               | 224                | 1.94                     |
| 6-16     | 1662               | 312                | 2.03                     |
| 16-35    | 1664               | 251                | 2.03                     |
| 35~50    | 1700               | 251                | 2.04                     |
| 50 以下    | 2700               | 500                | 2.24                     |

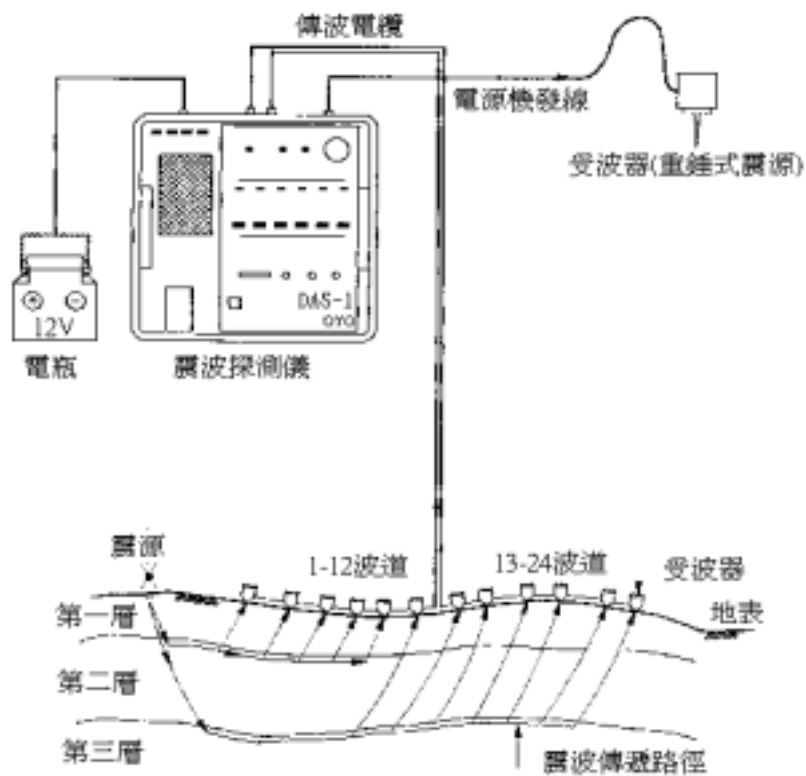
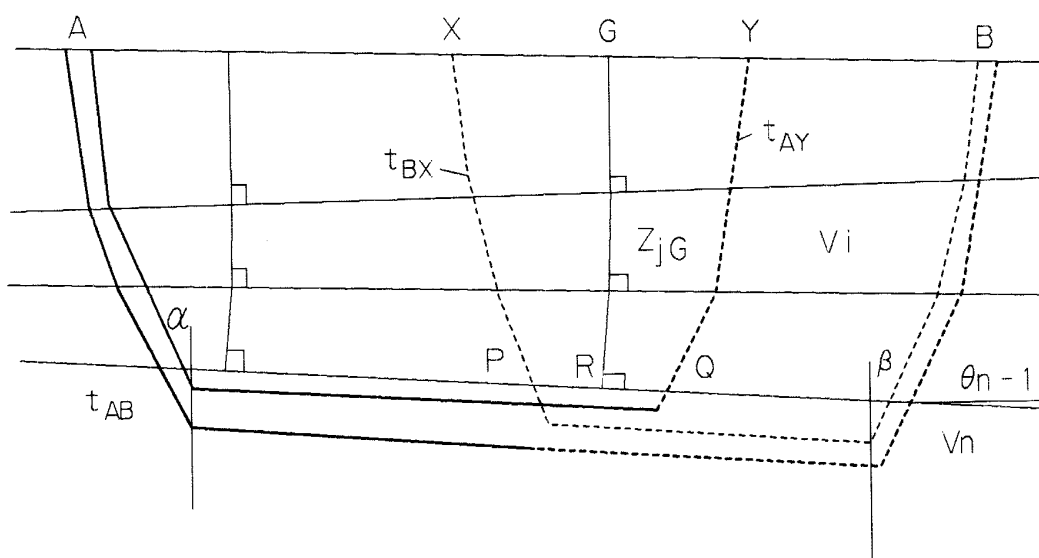


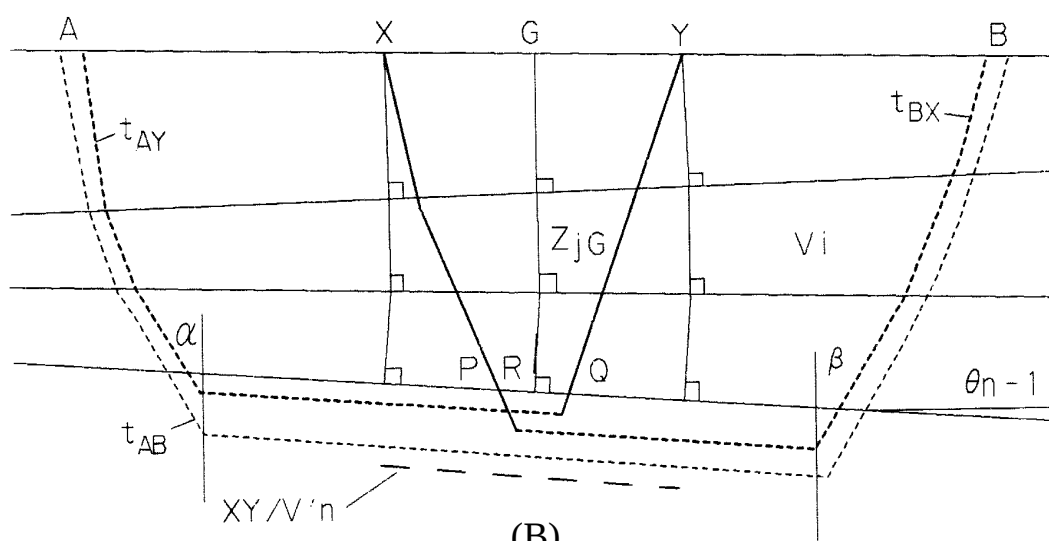
圖 3.1.1 折射震波探測儀器配置圖



圖 3.1.2 折射震測流程圖



(A)



(B)

圖 3.1.3 泛化互換法(GRM)原理之基本模型：

(A)速度分析函數，(B) 時間—深度函數

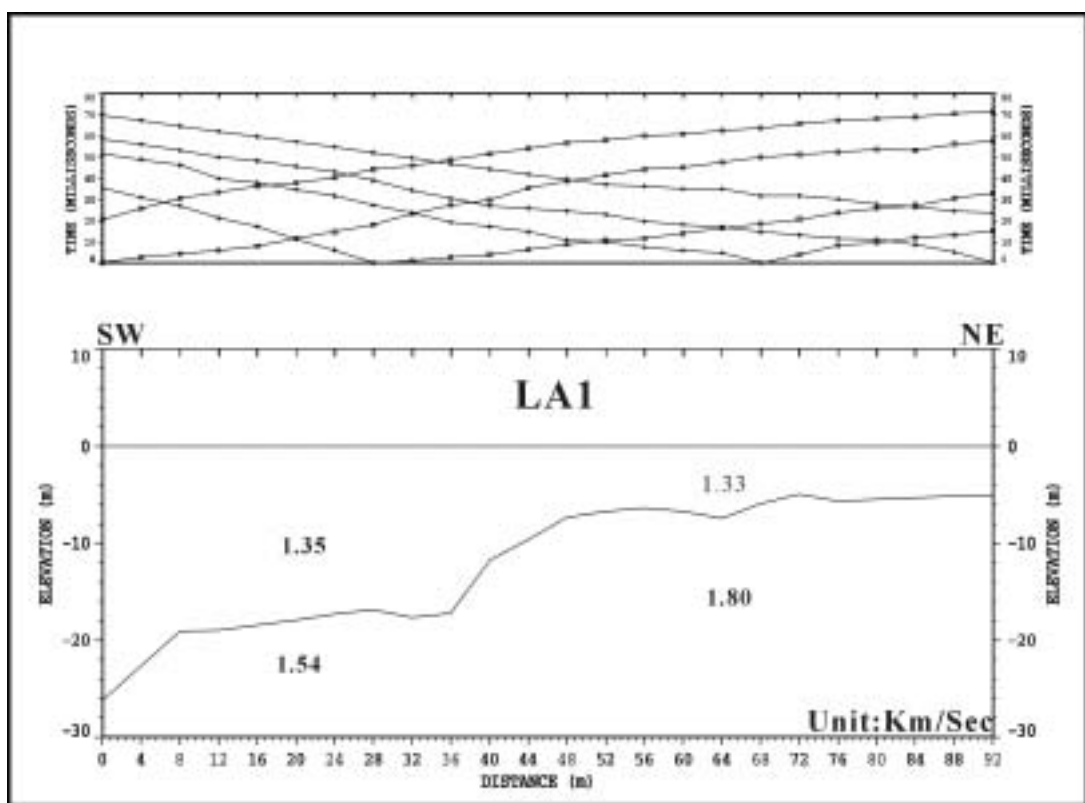


圖 3.1.4 折射震測測線 LA-1 速度層剖面圖

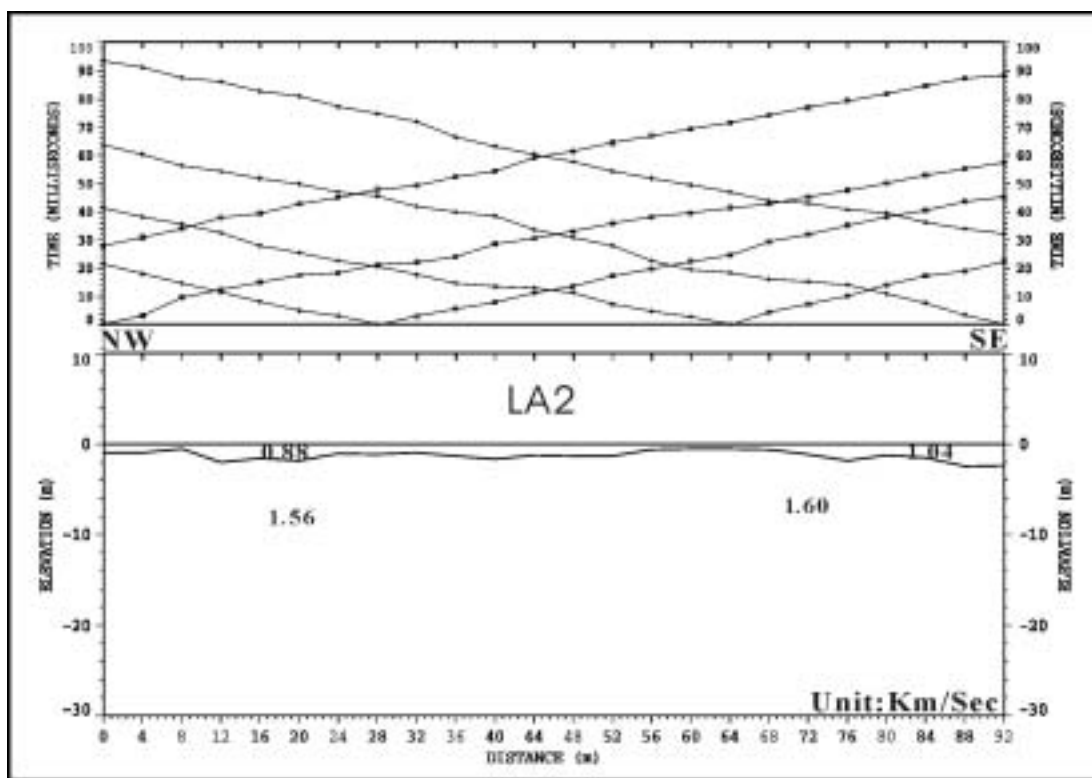


圖 3.1.5 折射震測測線 LA-2 速度層剖面圖

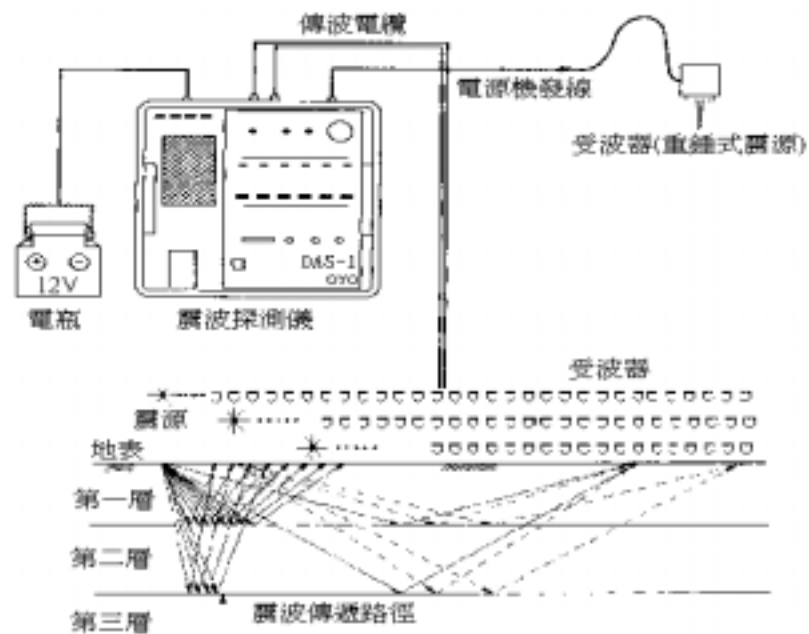


圖 3.2.1 野外反射震測探測配置圖

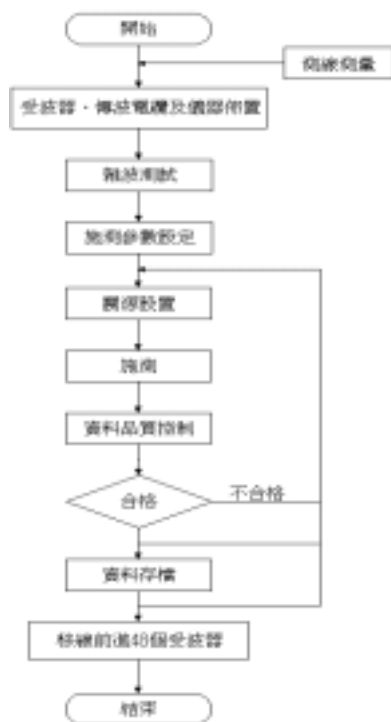


圖 3.2.2 反射震測施測流程圖

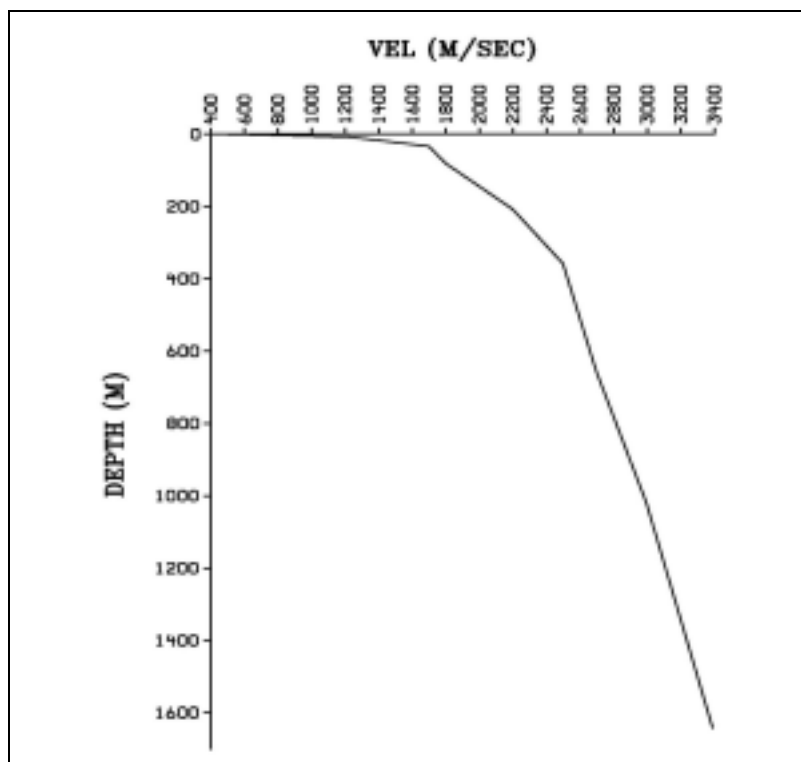


圖 3.2.3 反射震測 LR-1 P 波速度分布圖

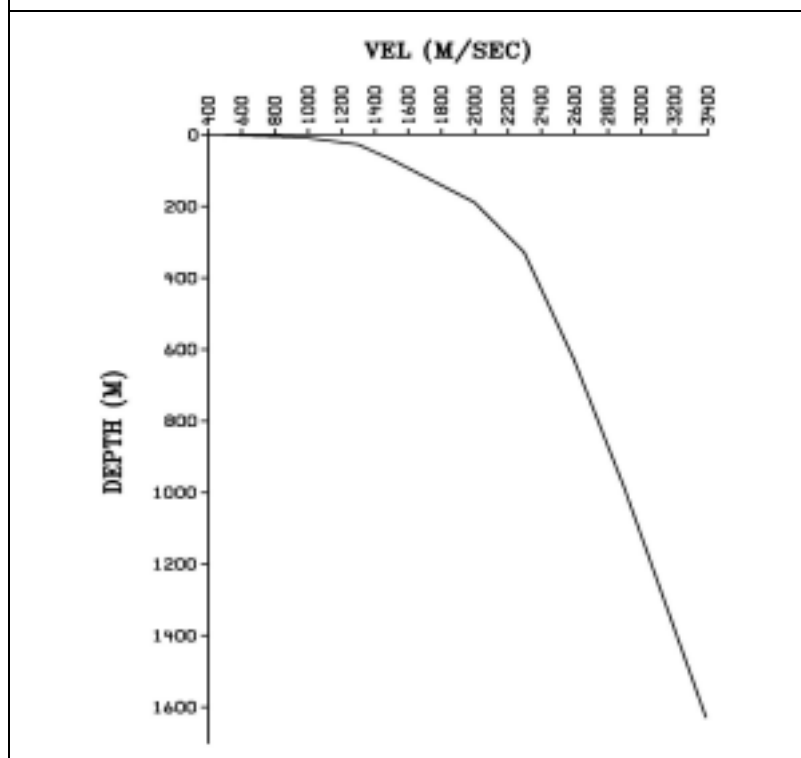


圖 3.2.4 反射震測 LR-2 P 波速度分布圖

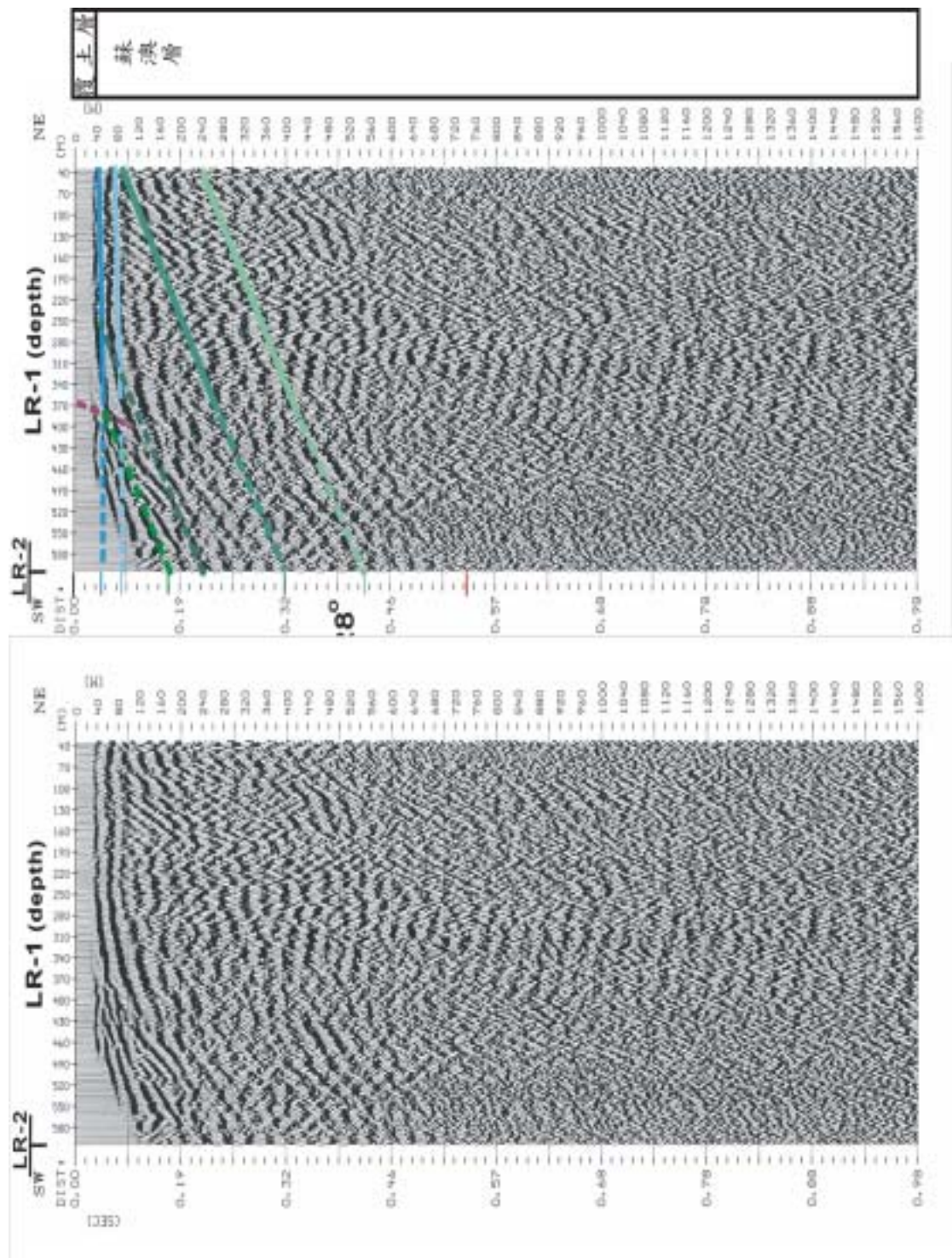


圖 3.2.5 反射震測 LR-1 地層構造原始剖面與解釋剖面圖

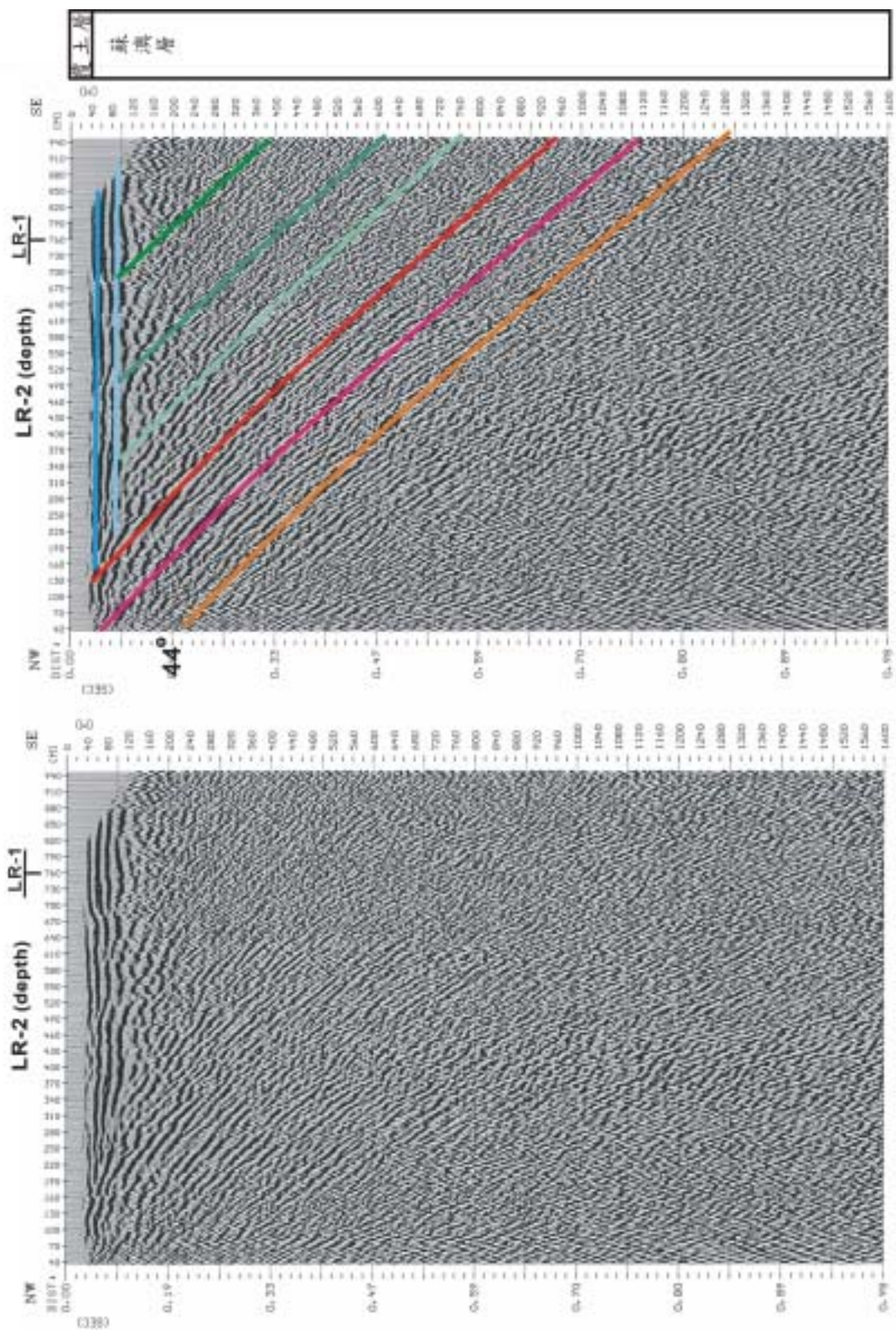


圖 3.2.6 反射震測 LR-2 地層構造原始剖面與解釋剖面圖

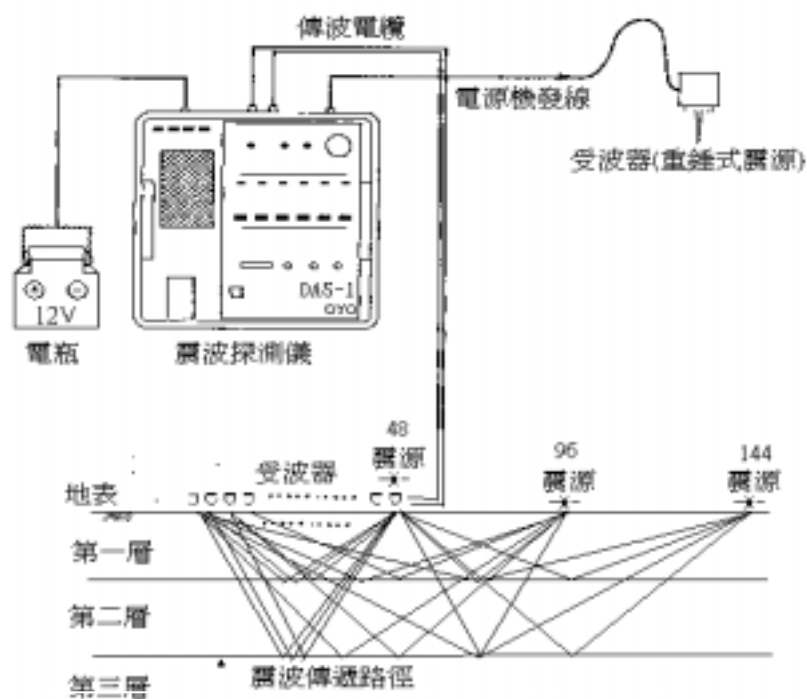


圖 3.3.1 表面波譜法(SASW)探測儀器配置圖

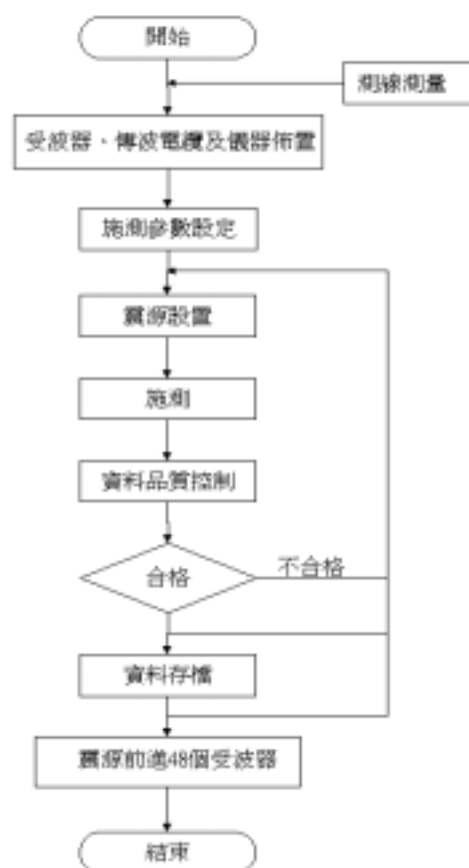
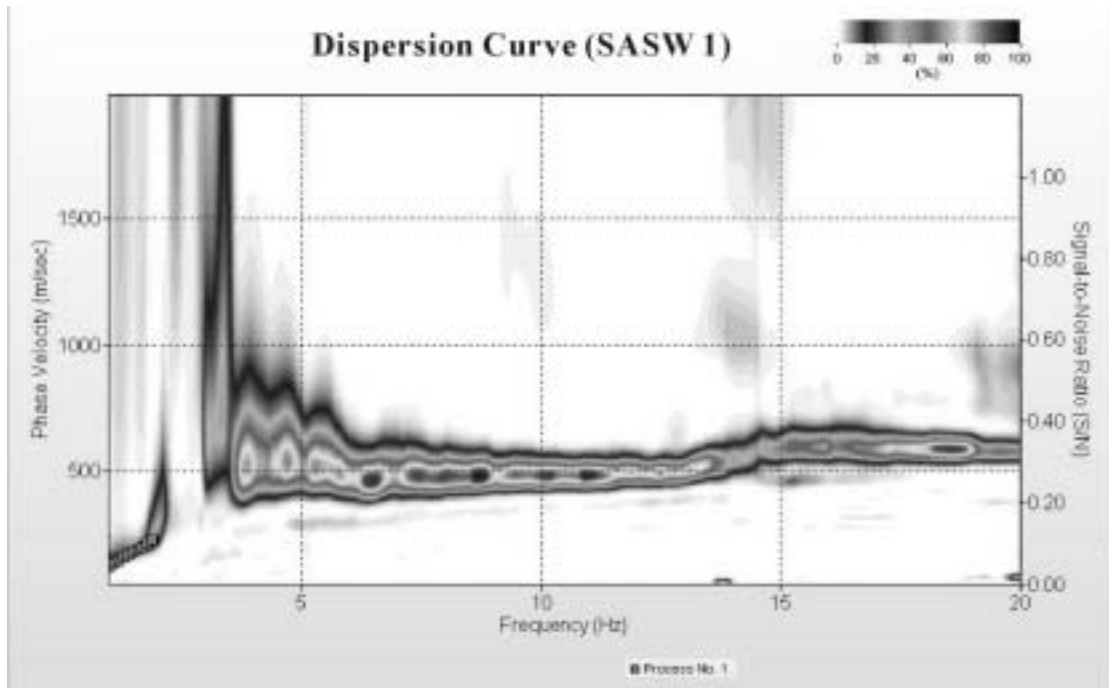


圖 3.3.2 表面波譜法(SASW)流程圖

(A)



(B)

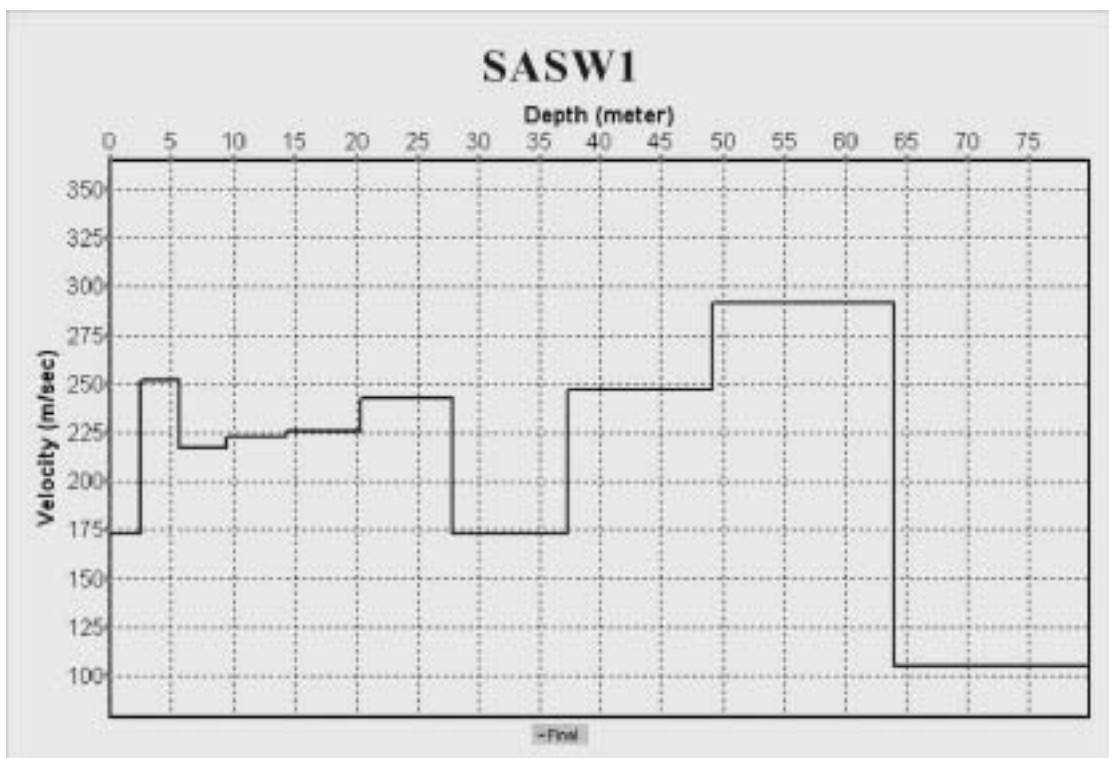
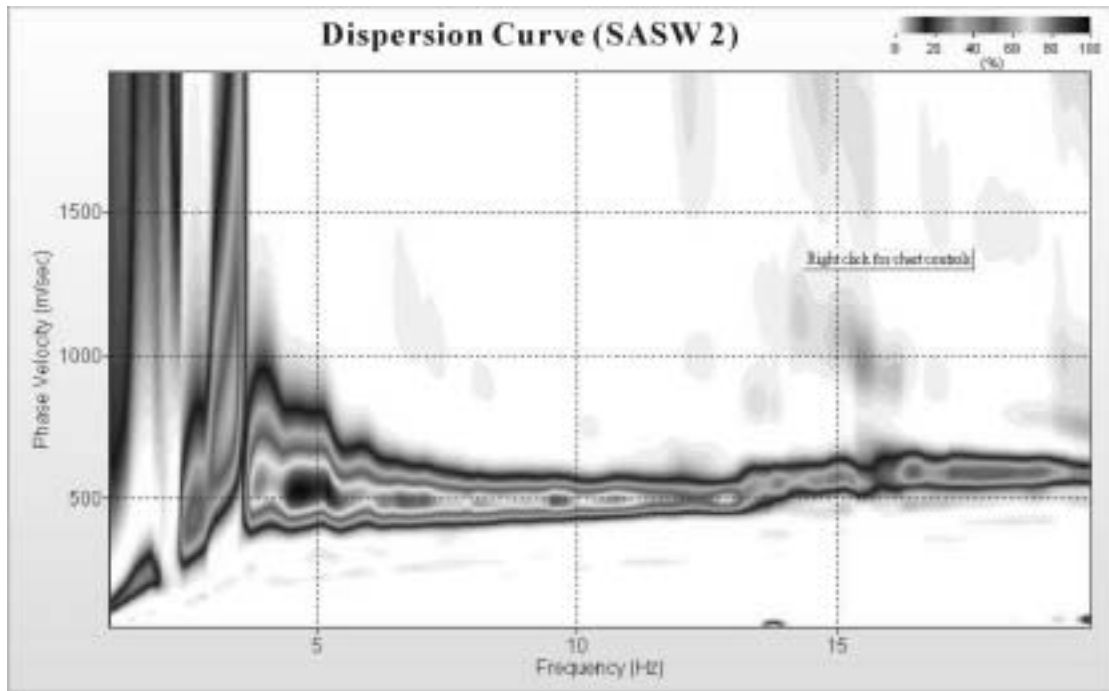


圖 3.3.3 表面波譜法 SASW1 (A)頻散曲線圖(B)S 波速度分布圖

(A)



(B)

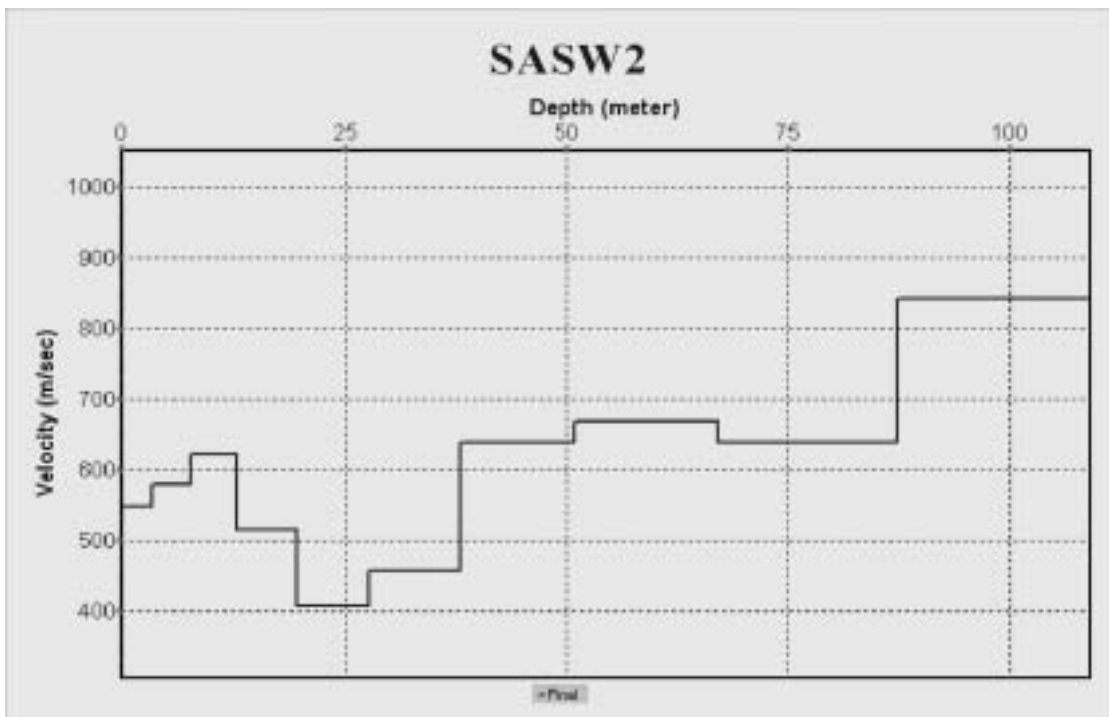


圖 3.3.4 表面波譜法 SASW2 (A)頻散曲線圖(B)S 波速度分布圖

## 第四章 微地動量測與場址效應分析

### 4.1 微地動量測

#### 4.1.1 量測方式

為了能獲得整個蘇澳港區及其週邊地區場址效應，本計畫於在蘇澳港內量測 17 點，南方澳漁港量測 16 點，蘇南公路(台 2 戊)旁量測 7 點，總共量測 40 點。量測諸元如下：

1. 儀器：採用美國 Kinemetrics 公司生產之 K2 地震儀加以量測，並配合記錄啟動器啟動地震儀，所量測之記錄則儲存於地震儀中之抽取式 PCMCIA 記憶卡中。
2. 量測地點：蘇澳港內量測 17 點，南方澳漁港量測 16 點，蘇南公路(台 2 戊)旁量測 7 點，總共量測 40 點，測點分布圖見圖 2.2.2，量測同時以手提式 GPS 定位系統加以定位，以獲得量測資料所在地之確切位置。
3. 資料擷取：量測採樣率設定為每秒 200 點，以獲得高頻訊號，並同時紀錄垂直、東西與南北三向量之微地動，量測時間長度為 180 秒。為了得到品質良好之資料，量測前地震儀之方位必須準確且調校水平。量測前須確認地震儀電量充足，但仍準備了必要時所需輔助電力。量測過程中注意週遭環境變化，紀錄所有可能干擾資料之人為震動源。

#### 4.1.2 資料處理與分析方式

1. 資料處理流程：檢視所有量得之原始紀錄，將每筆記錄中受到人為雜訊干擾之區段剔除。將每筆品質良好量測紀錄以 10 秒為單位，以餘弦制窗擷取下來，最多可獲得 18 個制窗之資料。將時間域之資料做快速傅立葉轉換 (Fast Fourier Transform) 以獲得頻譜

( Amplitude Spectrum ) 資料，所獲得之頻譜資料可作為頻譜比分析之用，各測點頻譜見附錄 B。

2. 分析方式：採用 Nakamura ( 1989 ) 所提出之單站頻譜比法加以分析，並用統計方式獲得平均值與標準偏差。單站頻譜比法如下：

若  $S_V$  代表地表震動之垂直分量之傅氏振幅譜， $B_V$  為地底下半空間之垂直分量之傅氏振幅譜，則震源之振幅效應  $A_S$  為

$$A_S = \frac{S_V}{B_V}$$

再則，若  $S_H$  代表地表震動之水平分量之傅氏振幅譜， $B_H$  為鬆軟土層底部水平分量之傅氏振幅譜，則場址效應  $S_E$  可以表示為

$$S_E = \frac{S_H}{B_H}$$

為了除去來自震源之效應，將上式修正為

$$S_M = \frac{S_E}{A_S}$$

亦即

$$S_M = \frac{\left( \frac{S_H}{S_V} \right)}{\left( \frac{B_H}{B_V} \right)}$$

最後若假設  $B_H/B_V$  之比值為 1，則場址效應可近似為

$$S_M = \frac{S_H}{S_V}$$

此即為單站頻譜比，利用此式只需單站之紀錄即可求出場址效應。

### 4.1.3 量測結果

經過將每個測點所有制窗之頻譜做單站頻譜比，並將每個測點所有制窗之頻譜比加以平均以獲得平均值及標準偏差，以及將 2 個水平分量之頻譜比做均方根（Root Mean Square）等步驟之後，獲得港區各地之場址效應，各測點之單站頻譜比結果見附錄 C。由每個測點之單站頻譜比分析場址效應發現，主要放大的頻段均落在 1~3Hz，主頻放大倍率約在 2~4 倍，且各測點之主要放大頻段與倍率有差異，但此結果為初步結果，將在場址效應分析章節中由理論計算加以驗證。

## 4.2 場址效應分析

### 4.2.1 理論轉換函數計算

綜合之前地球物理方法所得到之港區地層速度構造，並以懸浮式井測所得到之細部速度構造為主（港灣技術研究中心，2004），建立工址所在之地層速度剖面。由於懸浮式井測深度僅 35 公尺即達到岩盤，且並未量得岩盤剪力波速度，因此建立速度模型時，最下方以 500M/sec 之高速層取代。運用數值模擬方式 Haskall Method（Haskall，1953，1960）進行理論場址效應計算，所用之模型為上述所獲得之地層速度剖面。模擬項目為不同深度地層與地表間之震波轉換函數，由此轉換函數（Transfer Function）推估地震來襲時地表不同頻率之放大倍率與共震主頻。所採用之模型如下：

| 深度（m） | P 波速度<br>（m/sec） | S 波速度<br>（m/sec） | 密度（g/cm <sup>3</sup> ） |
|-------|------------------|------------------|------------------------|
| 0.6   | 1210             | 224              | 1.94                   |
| 6-16  | 1662             | 312              | 2.03                   |
| 16-35 | 1664             | 251              | 2.03                   |
| 35~50 | 1700             | 251              | 2.04                   |
| 50 以下 | 2700             | 500              | 2.24                   |

先前在做微地動量測時，測點 SA001 即位於懸浮式井測之測井旁邊，於是將理論模擬之結果與 SA001 所得到之頻譜比加以比對，結果如圖 4.2.1 所示。由圖 4.2.1 可發現，二者之結果在 2Hz 以上之部分接近，但微地動量測 1Hz 處之主頻在理論模擬之中並未出現，推測此一差異有二種原因，第一種為鑽探時所碰到之岩盤僅為區域構造或是薄層，35 公尺以下仍有低速層存在，因此造成低頻之放大，至於低速層形成之原因有可能為地層含水造成剪力波速下降所致；第二種原因則是鑽探時所碰到之岩盤為回填前之地表風化岩盤，剪力波速較真正岩盤為低，在速度對比差異下，地表風化岩盤成為相對低速層，因此造成低頻之放大。此外依照先前反射震測之結果，本區域之回填土層估計在 50~70 公尺左右，亦較鑽探之結果厚，亦支持 35 公尺下存在一低速層之推測。有關上述低速層存在之推測，將再後續分析中進一步討論。

#### 4.2.2 TSMIP 資料分析

為了進一步探討蘇澳港區之場址效應，本研究接著收集港區附近中央氣象局強地動觀測網（Taiwan Strong Motion Instruments Program 簡稱 TSMIP）所紀錄的地震資料進行分析，所使用的測站資料包括位於港區附近之 ILA007 士敏國小，以及位於蘇澳鎮靠近山區之 ILA052 等 2 個測站，由於蘇澳港區位於地震發生頻繁之台灣東部，可用之地震資料較多，因此本研究選用之地震資料均為規模大於 6 且 2 個測站均有記錄之地震，所使用地震之各項參數如下表所示，圖 4.2.2 則為所有使用地震之震央分佈圖，圖 4.2.3 及圖 4.2.4 則為此 2 個測站在 1999 年 9 月 21 日之集集大地震時所記錄之之地動歷時。在本研究中，由於 ILA052 位於附近山區，可視為岩盤參考測站因此將進行雙站頻譜比，同時在微地動量測中，SA016 離強震佔最近，因此後續將以 SA016 之單站頻譜比結果與 TSMIP 測站雙站頻譜比之結果進行比對。

| No | 時間                     | 位置       |           | 深度 km | 規模  |
|----|------------------------|----------|-----------|-------|-----|
|    |                        | 緯度       | 經度        |       |     |
| 1  | 1994 05 23 15 16 58.00 | 23 51.76 | 122 38.14 | 5.5   | 6.0 |
| 2  | 1994 05 24 04 00 40.00 | 23 49.6  | 122 36.20 | 4.4   | 6.6 |
| 3  | 1994 06 05 01 09 30.00 | 24 24.74 | 121 50.26 | 5.3   | 6.5 |
| 4  | 1995 06 25 06 59 07.00 | 24 36.37 | 121 40.11 | 39.8  | 6.5 |
| 5  | 1996 03 05 14 52 27.00 | 23 55.81 | 122 21.69 | 6     | 6.4 |
| 6  | 1997 07 15 11 05 33.00 | 24 37.3  | 122 30.95 | 86.6  | 6.1 |
| 7  | 1999 06 03 16 11 42.00 | 24 24.22 | 122 29.21 | 61.6  | 6.1 |
| 8  | 1999 09 20 17 47 15.00 | 23 51    | 120 46.80 | 5     | 7.3 |
| 9  | 1999 09 20 17 57 15.00 | 23 54.58 | 121 1.60  | 2.9   | 6.4 |
| 10 | 1999 09 20 18 11 54.00 | 23 51.01 | 121 3.62  | 1     | 6.7 |
| 11 | 1999 09 20 18 16 17.00 | 23 50.65 | 121 2.32  | 1.1   | 6.6 |
| 12 | 1999 09 22 00 14 40.00 | 23 50.4  | 120 2.4   | 7.5   | 6.8 |
| 13 | 1999 09 22 00 49 43.00 | 23 45.33 | 121 1.47  | 8.9   | 6.2 |
| 14 | 1999 09 25 23 52 49.00 | 23 51.6  | 121 0.0   | 7.5   | 6.8 |
| 15 | 1999 11 01 17 53 02.00 | 24 25.8  | 121 37.8  | 30.4  | 6.9 |
| 16 | 2000 06 10 18 23 29.00 | 23 53.4  | 121 6.6   | 10.2  | 6.7 |
| 17 | 2000 09 10 08 54 46.00 | 24 3.00  | 121 37.2  | 4     | 6.2 |
| 18 | 2001 06 13 13 17 54.00 | 24 25.2  | 121 25.8  | 54.2  | 6.2 |
| 19 | 2001 06 14 02 35 25.00 | 24 27    | 121 55.8  | 10.4  | 6.3 |
| 20 | 2001 12 18 04 03 00.00 | 23 53.4  | 121 2.4   | 32.2  | 6.7 |
| 21 | 2002 02 12 03 27 25.00 | 23 46.2  | 121 15.6  | 25.1  | 6.2 |
| 22 | 2002 03 31 06 52 49.00 | 24 14.4  | 121 10.2  | 9.6   | 6.8 |
| 23 | 2002 05 15 03 46 05.00 | 24 40.8  | 121 54    | 5     | 6.2 |
| 24 | 2002 05 28 16 45 14.00 | 24 3.00  | 121 10.8  | 5.7   | 6.2 |
| 25 | 2002 09 16 00 03 30.00 | 25 3.6   | 121 22.8  | 173.6 | 6.8 |
| 26 | 2003 06 10 08 40 32.00 | 23 31.2  | 121 40.2  | 27.6  | 6.4 |

根據 Lermo and Chavez-Garcia (1993) 之研究可知，單站頻譜比與雙站頻譜比同樣適用於 S 波之分析，故此處之分析方法採用雙站頻譜比法，以位於不遠處岩盤之 ILA052 為參考測站，分析港區附近之 ILA007 測站，所採用之紀錄為真實地震紀錄中 S 波部分，資料擷取方式為以視窗擷取各筆紀錄 S 波到達後 20 秒之紀錄加以分析，同時將二個水平向之結果進行均方根 (RMS) 處理，圖 4.2.5 為 ILA007/ILA052 之雙站頻譜比結果，同時與 SA016 之微地動單站頻譜比結果進行比對。由圖 4.2.5 可發現此二方法之結果雖然所用資料不同，且分析方法也有差異，但結果趨勢卻十分一致，尤其在 2~4Hz 之部份，不論趨勢或倍率二者都很接近；而在 2Hz 以下之低頻部份，則二者趨勢接近，但是倍率上雙站頻譜比稍低，此現象可能為位於參考站之岩盤為風化岩盤其速度較微地動下方真正岩盤稍低，在速度對比較不明顯之情況下，其放大倍率將有偏低之情形發生，此一現象亦在上年度高雄港區之研究中發現，但是在最重要之主頻部份，二者結果倒是十分一致，此有助於後續分析。值得注意的是，SA016 微地動分析與前節 SA001 相同，均在 1Hz 附近有一放大頻率，亦可間接證實 35 公尺下有一相對低速層之存在。於下面章節有關井下地動觀測陣列資料分析之討論將繼續確認主頻倍率之可靠性，以利後續利用單站頻譜比之主頻及倍率所做之液化潛能分析。

#### 4.2.3 井下地動觀測陣列資料分析

本所於 2004 年在蘇澳港區裝設井下地震儀陣列，以期藉由所收到之地震紀錄進行各方面之研究。由於在鑽探期間僅鑽至 35 公尺即碰到岩盤，因此井下地震儀陣列於地表、15 公尺、22 公尺及 35 公尺共設置 4 部地震儀，在確認方位角後，選取其中資料品質較好且紀錄完整之 26 筆紀錄進行後續分析，下表為本報告中所採用地震之參數，圖 4.2.6 為其震央分佈圖，圖 4.2.7~圖 4.2.9 則為其中振幅最大地震之地動歷時。

| No | 時間               | 位置      |          | 深度 km | 規模  |
|----|------------------|---------|----------|-------|-----|
|    |                  | 緯度      | 經度       |       |     |
| 1  | 2004 11 08 23 55 | 23 52.8 | 122 33   | 10.0  | 6.7 |
| 2  | 2004 11 09 03 38 | 23 57   | 122 30   | 24.1  | 5.3 |
| 3  | 2004 11 10 22 48 | 24 4.20 | 122 24   | 10.0  | 5.5 |
| 4  | 2004 11 11 10 16 | 24 19.8 | 122 11.4 | 13.9  | 6.0 |
| 5  | 2004 12 16 08 10 | 24 3.00 | 122 15.6 | 6.0   | 5.2 |
| 6  | 2005 01 21 22 28 | 24 33.6 | 122 31.8 | 92.1  | 5.9 |
| 7  | 2005 01 27 20 31 | 24 13.2 | 121 45   | 45.6  | 4.8 |
| 8  | 2005 02 01 09 59 | 24 15.6 | 121 46.8 | 5.7   | 5.1 |
| 9  | 2005 02 01 12 57 | 24 34.8 | 121 43.8 | 73.6  | 5.0 |
| 10 | 2005 02 02 00 15 | 24 17.4 | 121 45   | 8.3   | 4.4 |
| 11 | 2005 02 03 07 53 | 24 15   | 121 47.4 | 5.7   | 4.6 |
| 12 | 2005 02 05 18 59 | 24 15   | 121 47.4 | 6.2   | 4.5 |
| 13 | 2005 02 05 19 01 | 24 15   | 121 45   | 4.9   | 5.0 |
| 14 | 2005 02 05 23 53 | 24 14.4 | 121 43.2 | 12.0  | 4.3 |
| 15 | 2005 02 19 04 19 | 24 20.4 | 121 40.2 | 15.3  | 5.2 |
| 16 | 2005 02 28 10 01 | 24 46.2 | 121 2.40 | 7.5   | 4.4 |
| 17 | 2005 03 06 02 59 | 24 39   | 121 49.8 | 10.0  | 4.0 |
| 18 | 2005 03 06 03 27 | 24 39.6 | 121 48   | 10.7  | 4.8 |
| 19 | 2005 03 13 07 42 | 24 12.6 | 121 46.8 | 6.3   | 4.5 |
| 20 | 2005 03 20 07 26 | 24 12   | 122 75   | 19.5  | 5.2 |
| 21 | 2005 04 30 22 48 | 24 2.40 | 121 37.2 | 8.5   | 5.6 |
| 22 | 2005 05 02 05 08 | 24 22.8 | 121 45.6 | 18.5  | 4.6 |
| 23 | 2005 06 02 00 20 | 24 38.4 | 121 4.20 | 64.8  | 6.0 |
| 24 | 2005 06 08 00 45 | 23 59.4 | 121 44.4 | 2.1   | 5.2 |
| 25 | 2005 06 10 09 33 | 24 1.20 | 121 45   | 1.5   | 5.0 |
| 26 | 2005 07 20 21 06 | 24 45   | 122 15   | 7.6   | 5.2 |

在此首先針對最大地動加速度（PGA）隨深度之變化進行分析，並由分析結果對造成場址效應之原因進行初步探討。圖 4.2.10~圖 4.2.12 為擷取不同深度之所有地震紀錄正規化 PGA 值平均後之結果，但是本研究未如先前其他港區研究案一樣加以回歸，原因有二，一為 PGA 值並未隨深度加深而明顯降低，部分深度與方向甚至在較深之 PGA 值反而較大，違反深度越深 PGA 值越小之常理與回歸原則；二為扣除地表自由場 2 倍放大效應後，地表 PGA 值反而最低。造成上述反常現象之原因，為所有井下地震儀均位於同一地層或是速度接近之地層內，因此震波並未放大，同時本區淺層衰減效應高，在高衰減低放大的情形下，本區 PGA 值才會未隨深度加深而降低。

另外仔細觀察 35 公尺深之 PGA 值發現，其不但未明顯降低，東西向之 35 公尺深 PGA 值甚至高於 22 公尺 PGA，證明了 35 公尺深之地震儀並未安裝於岩盤，應仍安裝於與 22、15 公尺地震儀速度相同地層內，此一情形亦支持前面 35 公尺下方仍為低速層之推論。

為了確認正規化 PGA 值隨深度變化之正確性同時檢驗上述之推論，接著進行計算地表與不同深度紀錄之頻譜比，同時並與由微地動觀測所獲得之單站頻譜比結果進行比較，圖 4.2.13~圖 4.2.15 為分析之結果。由圖 4.2.13~圖 4.2.15 發現，地表與不同深度紀錄之頻譜比，隨著深度增加其第一階共振主頻往低頻移動，在地表與 15 米深之頻譜比中，第一階共振主頻約在 5Hz；在地表與 22 米深之頻譜比中，第一階共振主頻約在 3.5Hz；而在地表與 35 米深之頻譜比中，第一階共振主頻約在 2.5Hz。

在前面微地動量測中，測點 SA001 就位於井下地震儀旁邊，若將 SA001 之單站頻譜比結果與井下地震儀不同深度雙站頻譜比結果比對，可發現不同深度之頻譜比主頻，均可對應微地動結果中之主頻，顯示不同深度均有地層之速度對比，在速度對比下也均有共振發生，這與前面推測即使沖積層下方亦有產生共振與放大之結論吻合。特別值得注意的是，微地動之結果不僅反映淺層部分，在速度對比明顯之情形下，微地動可反應深部之地層共振，而由地表/35m 與微地動單站

頻譜比之比對來看，地表/35m 之第一階共振主頻位於 2.5Hz，明顯高於微地動單站頻譜比之 1Hz，顯見 35 公尺下方應還存在速度對比交界面，亦支持先前深部存有低速層之推論。

除此之外，本研究同時比對地表與 35 公尺深之頻譜比與理論轉換函數，以驗證先前所獲得之速度構造，結果見圖 4.2.16。由圖 4.2.16 可發現二者不論是放大倍率或放大頻率均十分接近，僅有理論轉換函數在第一階共振主頻稍低之差異，可見先前所推論之 35 公尺以上之淺部地下速度構造十分準確，可供其他相關方面之應用與參考。

### 4.3 檢測地震監測計之方位

本所於 2004 年在蘇澳港區裝設井下地震儀陣列，以期藉由所收到之地震紀錄進行各方面之研究。由於在鑽探期間僅至 35 公尺即碰到岩盤，因此井下地震儀陣列於地表、15 公尺、22 公尺及 35 公尺共設置 4 部地震儀，由於蘇澳港區位於地震頻繁區域，截至目前為止已紀錄到多筆地震紀錄。在進行分析前，先以 cross correlation 方式進行井下地震儀方位確認，分析步驟為先以地表記錄為準，逐步旋轉井下記錄，同時以帶通濾波方式濾掉高頻訊號，以增加準確度，接著將經過濾波與旋轉之記錄進行 cross correlation 計算，擷取每筆紀錄 correlation 值最高之角度為準確之方位，並將各筆記錄得到之角度進行平均，得到之井下地震儀方位角如下表所示。值得注意的是，此井下地震儀陣列位置並不深，但仍有角度上的差異，另外各角度之標準偏差值與其他港區之研究相比明顯較大，原因為本研究所採用之地震多為近場之淺源地震，因此地震波並非垂直入射，進而造成分析上之誤差，不過本陣列之地震儀角度倒是未隨時間而扭轉變換，始終維持在一定的角度範圍內。

| 深度(m) | 8M | 15M    | 22M    | 35M    |
|-------|----|--------|--------|--------|
| 方位角   | ×  | 北偏西 39 | 北偏西 78 | 北偏西 14 |

|      |   |     |     |     |
|------|---|-----|-----|-----|
| 標準偏差 | × | 4.9 | 6.5 | 5.9 |
|------|---|-----|-----|-----|

## 4.4 近地表 Q 值計算

### 4.4.1 Q 值計算

近地表之鬆軟沖積層除了有強大之放大效應外，同時亦有強大之衰減效應，故評估近地表衰減效應為必須的。首先考慮二測站間之頻譜比與衰減因子  $Q$  之關係，可表示為：

$$\frac{S_1(f)}{S_2(f)} = \exp[-\pi f \tau / Q(f)]$$

其中  $\tau$  為二測站間之走時差，同時  $Q(f)$  亦可表示為：

$$Q(f) = af^b$$

在本研究中， $S_1$ 、 $S_2$  分別表示地表與井下地震紀錄頻譜，由於井下地震紀錄含有自地表全反射之反射波，故  $S_1$ 、 $S_2$  須表示成下式：

$$S_1(f) = 2S_I(f)A_1 \exp\left(\frac{-\pi f \tau}{Q(f)}\right)$$

$$S_2(f) = S_I(f) \left[ 1 + A_1 A_2 \exp\left(\frac{-2\pi f \tau}{Q(f)}\right) \right]$$

其中  $A_1$ 、 $A_2$  為入射（上行波）與反射（下行波）之穿透係數， $S_I(f)$  為入射波，將上面二式合併可得到：

$$\frac{S_1(f)}{S_2(f)} = \frac{2A_1 \exp[-\pi f \tau / Q(f)]}{1 + A_1 A_2 \exp[-2\pi f \tau / Q(f)]}$$

經由數學轉換，可得到：

$$Q(f) = \frac{-\pi f \tau}{\ln \left[ \frac{1 - \sqrt{1 - \frac{A_2 S_1(f)^2}{A_1 S_2(f)^2}}}{A_2 \frac{S_1(f)}{S_2(f)}} \right]}$$

利用上式即可求取衰減因子  $Q$ 。本研究利用上式以及地表與 35 公尺紀錄之頻譜比計算衰減因子  $Q$ ，計算過程中經已知之速度構造推算穿透係數，同時在時間域利用 0.1 秒之移動餘弦視窗進行頻譜平滑化，所得到之結果見圖 4.4.1，而得到隨頻率變化之  $Q$  值如下所示：

$$Q(f) = 1.23f^{0.82}$$

此處所得到之  $Q$  值若與台灣地區整體  $Q$  值比較其值較低，此為近地表  $Q$  值之正常現象，若與前人近地表  $Q$  值之結果比對，包括 Shieh (1992) 研究蘭陽盆地之  $Q$  值、Peng and Wen (1993) 研究花蓮地區沖積層之  $Q$  值以及彭瀚毅 (1998) 研究台北盆地之  $Q$  值，蘇澳港區之近地表  $Q$  值較蘭陽盆地與花蓮低但與台北盆地松山層接近，此為合理之現象。若與同樣屬於港區之台中港、台北港與高雄港之結果比對 (陳圭璋等，2004)，則蘇澳港之  $Q$  值偏低，但仍在同一範圍內，此為本研究之計算受限於地震儀深度僅有 35 公尺，全為回填層，而其他港區則是接近 300 公尺深之計算，除了回填層外也包含了原始地層，因此本研究之  $Q$  值偏低。此外與前人研究另有不同的是， $Q$  值隨頻率變化之係數為 0.82，低於其他區域之研究結果，顯示此區下方之速度低，結構較鬆散，或是含有大量水分，使得高頻部份容易快速衰減，此特性可能造成液化潛能的提高。

#### 4.5 理論模擬地震歷程變化

為了進一步檢驗速度構造與  $Q$  值之可靠性，本研究利用先前所獲得之轉換函數，並配合所計算出之  $Q$  值，進行不同深度時間歷時之模擬，再與真實地震記錄加以比對。用來進行模擬之地震為 2005 年 6

月 2 日之地震記錄，模擬之項目包括原始之加速度記錄，以及經積分後之速度與位移記錄。模擬方式為以地表記錄當作輸入歷時，以進行地下 15、22、35 公尺深之歷時計算，同時計算前先將地表歷時旋轉至徑向（R）以及切向（T），計算長度擷取剪力波開始後 40 秒之記錄，模擬過程中亦將地表自由端反射波列入計算，圖 4.5.1~圖 4.5.6 即為加速度、速度與位移在 R 與 T 方向之模擬與觀測比較圖。由圖 4.5.1~圖 4.5.6 可發現，在淺層的 15 公尺部份，模擬與觀測結果不論是振幅或波相均相當一致，可見所得到速度構造及 Q 值與真實情況十分接近；至於較深層之 22 以及 35 公尺之部分，則發現位移與速度模擬結果與觀測接近，而加速度模擬結果之振幅則較觀測值稍低，但波相與整體趨勢仍十分接近，推測在地層內有變化較劇烈之薄層夾雜其中，使得較能反映薄層之加速度訊號產生變化所致，此外震波在深層部分並非完全如計算時所假設是以接近垂直之入射角入射，也造成一定程度之影響，但就整體而言，模擬與觀測仍屬接近，表示所獲得之深部地下構造與 Q 值與真實情況接近。

## 4.6 整體場址效應

由於頻譜比所顯示的為各測站場址不同頻率之震波放大效應，為比較蘇澳港內及週邊地區不同區域場址效應之變化，在此選定幾個特定頻率，將不同測點同一頻率之振幅比值挑出，並作成等值圖，藉以得知蘇澳港在特定頻率下震波放大之趨勢。基於一般鋼筋混凝土建築物每加一層其共振週期約增加 0.1 秒，例如十層樓之鋼筋混凝土建築物之共振週期為 0.1 秒乘以 10，即為 1 秒。所以此處所選擇之週期為針對高矮不同之鋼筋混凝土建築物，分別為 4 秒、3 秒、2 秒、1.5 秒、1 秒、0.5 秒、0.3 秒及 0.2 秒等 8 個週期加以分析。各頻率之振幅比等值圖見圖 4.6.1~圖 4.6.8，在等值圖製作過程中，由於經 4.2.2 節之各項分析顯示微地動觀測資料之單站頻譜比即可代表該地之場址效應，故並未對觀測資料加以修正，下表為各微地動測點所對應不同週期之放大倍率。

| 測點    | 編號 | 位置 |       |     |       | 不同週期之放大倍率 |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|----|----|-------|-----|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
|       |    | 緯度 |       | 經度  |       | 4.0       | 3.0  | 2.0  | 1.5  | 1.0  | 0.5  | 0.3  | 0.2  |
| SA001 | 1  | 24 | 35.45 | 121 | 51.79 | 2.25      | 2.38 | 1.49 | 1.54 | 1.96 | 1.83 | 1.38 | 1.49 |
| SA002 | 2  | 24 | 35.73 | 121 | 51.52 | 1.61      | 1.63 | 1.92 | 1.93 | 2.16 | 2.31 | 1.68 | 1.75 |
| SA003 | 3  | 24 | 35.57 | 121 | 51.76 | 2.31      | 2.11 | 2.19 | 1.97 | 2.53 | 2.35 | 1.96 | 2.16 |
| SA004 | 4  | 24 | 35.59 | 121 | 51.86 | 1.59      | 2.12 | 2.39 | 1.87 | 2.01 | 2.51 | 2.66 | 2.75 |
| SA005 | 5  | 24 | 35.7  | 121 | 51.99 | 1.70      | 1.96 | 2.28 | 1.90 | 2.16 | 3.45 | 2.97 | 2.80 |
| SA006 | 6  | 24 | 35.58 | 121 | 52.02 | 2.19      | 1.78 | 1.73 | 1.78 | 2.16 | 2.00 | 2.01 | 2.21 |
| SA007 | 7  | 24 | 35.64 | 121 | 52.06 | 1.73      | 1.97 | 2.25 | 1.81 | 1.72 | 1.94 | 1.79 | 2.14 |
| SA008 | 8  | 24 | 35.56 | 121 | 51.95 | 2.18      | 2.13 | 1.89 | 1.72 | 2.20 | 2.40 | 3.02 | 3.92 |
| SA009 | 9  | 24 | 35.42 | 121 | 51.99 | 2.19      | 1.69 | 2.38 | 2.05 | 2.00 | 2.64 | 2.75 | 2.37 |
| SA010 | 10 | 24 | 35.37 | 121 | 51.85 | 1.97      | 1.73 | 1.77 | 2.11 | 2.49 | 2.77 | 1.47 | 1.79 |
| SA011 | 11 | 24 | 35.15 | 121 | 51.89 | 1.85      | 1.66 | 1.68 | 1.83 | 1.79 | 2.15 | 2.68 | 1.81 |
| SA012 | 12 | 24 | 35.61 | 121 | 51.67 | 1.93      | 1.51 | 2.26 | 1.75 | 2.69 | 2.39 | 2.56 | 2.21 |
| SA013 | 13 | 24 | 35.67 | 121 | 51.61 | 2.36      | 1.80 | 2.09 | 2.19 | 2.33 | 2.06 | 2.47 | 2.44 |
| SA014 | 14 | 24 | 35.39 | 121 | 51.72 | 1.86      | 2.12 | 2.09 | 1.80 | 1.88 | 2.08 | 2.66 | 2.12 |
| SA015 | 15 | 24 | 35.39 | 121 | 51.64 | 1.70      | 1.75 | 1.76 | 1.92 | 1.94 | 2.67 | 2.66 | 1.52 |
| SA016 | 16 | 24 | 35.57 | 121 | 51.52 | 1.70      | 1.92 | 1.68 | 1.65 | 1.94 | 3.00 | 2.35 | 1.14 |
| SA017 | 17 | 24 | 35.78 | 121 | 51.45 | 2.21      | 1.94 | 2.40 | 1.92 | 2.15 | 2.33 | 1.14 | 1.49 |
| SA018 | 18 | 24 | 35.85 | 121 | 51.35 | 1.78      | 1.67 | 2.12 | 1.98 | 2.16 | 2.07 | 1.67 | 1.81 |
| SA019 | 19 | 24 | 35.75 | 121 | 51.28 | 1.89      | 1.82 | 1.61 | 1.66 | 1.88 | 1.56 | 1.91 | 1.89 |
| SA020 | 20 | 24 | 35.11 | 121 | 51.82 | 1.46      | 2.03 | 1.62 | 1.92 | 2.16 | 1.77 | 2.01 | 1.94 |
| SA021 | 21 | 24 | 35.28 | 121 | 51.68 | 1.56      | 1.67 | 1.91 | 2.16 | 1.87 | 1.76 | 2.65 | 3.23 |
| SA022 | 22 | 24 | 35.01 | 121 | 51.85 | 1.92      | 2.15 | 1.72 | 1.68 | 1.51 | 1.70 | 1.93 | 1.79 |
| SA023 | 23 | 24 | 34.87 | 121 | 51.84 | 2.03      | 1.76 | 1.77 | 1.70 | 1.75 | 1.70 | 2.07 | 1.15 |
| SA024 | 24 | 24 | 34.81 | 121 | 51.84 | 2.11      | 1.59 | 1.94 | 1.70 | 1.87 | 1.71 | 2.35 | 2.90 |
| SA025 | 25 | 24 | 34.95 | 121 | 51.84 | 1.41      | 1.74 | 2.02 | 1.87 | 1.93 | 1.74 | 1.83 | 0.55 |

|       |    |    |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|----|----|-------|-----|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| SA026 | 26 | 24 | 34.96 | 121 | 52    | 1.97 | 1.40 | 2.36 | 1.93 | 2.45 | 1.48 | 1.82 | 1.36 |
| SA027 | 27 | 24 | 34.99 | 121 | 52.17 | 2.35 | 2.14 | 1.71 | 1.78 | 1.57 | 2.49 | 1.65 | 0.90 |
| SA028 | 28 | 24 | 34.86 | 121 | 52.02 | 1.32 | 1.55 | 2.00 | 2.11 | 1.92 | 2.69 | 1.23 | 0.56 |
| SA029 | 29 | 24 | 34.81 | 121 | 52.08 | 2.09 | 1.85 | 1.74 | 1.92 | 2.03 | 1.71 | 1.97 | 1.11 |
| SA030 | 30 | 24 | 34.86 | 121 | 52.16 | 1.74 | 1.96 | 1.56 | 1.68 | 1.85 | 1.96 | 1.76 | 0.51 |
| SA031 | 31 | 24 | 34.61 | 121 | 52.13 | 2.12 | 1.85 | 1.83 | 1.64 | 1.86 | 2.05 | 1.67 | 0.60 |
| SA032 | 32 | 24 | 34.74 | 121 | 52.26 | 1.97 | 2.22 | 1.89 | 2.10 | 1.90 | 2.51 | 1.34 | 0.52 |
| SA033 | 33 | 24 | 34.77 | 121 | 52.39 | 1.88 | 1.66 | 1.83 | 1.81 | 1.81 | 1.63 | 1.84 | 1.26 |
| SA034 | 34 | 24 | 35.15 | 121 | 52.47 | 1.73 | 1.84 | 1.67 | 1.68 | 2.06 | 2.42 | 2.38 | 1.23 |
| SA035 | 35 | 24 | 35.15 | 121 | 51.95 | 2.16 | 2.61 | 2.17 | 1.82 | 2.37 | 2.46 | 1.93 | 2.04 |
| SA036 | 36 | 24 | 35.1  | 121 | 52.31 | 1.79 | 2.39 | 1.76 | 1.97 | 1.85 | 1.86 | 1.72 | 0.99 |
| SA037 | 37 | 24 | 34.85 | 121 | 52.37 | 1.75 | 2.39 | 2.00 | 1.71 | 1.81 | 1.64 | 1.89 | 1.13 |
| SA038 | 38 | 24 | 35.03 | 121 | 52.27 | 1.72 | 1.40 | 1.82 | 1.82 | 1.77 | 1.63 | 1.63 | 1.04 |
| SA039 | 39 | 24 | 35.21 | 121 | 52.2  | 1.98 | 2.22 | 1.82 | 1.71 | 1.78 | 1.81 | 1.75 | 1.21 |
| SA040 | 40 | 24 | 35.11 | 121 | 52.23 | 1.84 | 1.64 | 1.64 | 1.72 | 1.79 | 1.76 | 1.66 | 0.99 |

由等值圖可發現，在 4 秒~2 秒之低頻部分，放大倍率在 1.5~2.5，整個測區在蘇澳港碼頭與測區南邊的南方澳漁港部分有較高之放大，而測區西邊較遠離海岸的區域放大相對較低。而隨著頻率提高，較大放大之區域向測區西邊內陸以及港區北方移動，放大倍率約在 1.2~4.0，尤其在 0.3 秒與 0.2 秒的高頻部份，由於反應的是地表下 10 公尺內的淺層局部構造，因此各測點之放大差異較大。但是就整體而言，低頻部份之放大較為整體與明顯，放大倍率多在 2 附近，顯示其反應的為整個測區之場址效應，而在高頻部份放大情形則突顯出淺層局部效應，各測點之差異較大。

此外本研究亦同時針對共振主頻做全港區之均佈圖，結果見圖 4.6.9。由等值圖可發現大部分共振主頻落在 1~3.2Hz，與先前之分析相符，若做細部之比較則可發現，測區主頻往北、往西以及蘇澳港碼

頭區較高，往南邊則主頻明顯降低許多，但不論高低仍未超過前面分析所預測之範圍，下表為各微地動測點所對應之主頻。

| 測點    | 編號 | 位置（二度分帶） |       |     |       | 主頻   |
|-------|----|----------|-------|-----|-------|------|
|       |    | 緯度       |       | 經度  |       |      |
| SA001 | 1  | 24       | 35.45 | 121 | 51.79 | 1.01 |
| SA002 | 2  | 24       | 35.73 | 121 | 51.52 | 1.62 |
| SA003 | 3  | 24       | 35.57 | 121 | 51.76 | 2.99 |
| SA004 | 4  | 24       | 35.59 | 121 | 51.86 | 3.27 |
| SA005 | 5  | 24       | 35.7  | 121 | 51.99 | 2.59 |
| SA006 | 6  | 24       | 35.58 | 121 | 52.02 | 1.68 |
| SA007 | 7  | 24       | 35.64 | 121 | 52.06 | 1.74 |
| SA008 | 8  | 24       | 35.56 | 121 | 51.95 | 3.08 |
| SA009 | 9  | 24       | 35.42 | 121 | 51.99 | 2.96 |
| SA010 | 10 | 24       | 35.37 | 121 | 51.85 | 1.80 |
| SA011 | 11 | 24       | 35.15 | 121 | 51.89 | 2.44 |
| SA012 | 12 | 24       | 35.61 | 121 | 51.67 | 3.11 |
| SA013 | 13 | 24       | 35.67 | 121 | 51.61 | 2.66 |
| SA014 | 14 | 24       | 35.39 | 121 | 51.72 | 3.20 |
| SA015 | 15 | 24       | 35.39 | 121 | 51.64 | 3.20 |
| SA016 | 16 | 24       | 35.57 | 121 | 51.52 | 1.77 |
| SA017 | 17 | 24       | 35.78 | 121 | 51.45 | 2.01 |
| SA018 | 18 | 24       | 35.85 | 121 | 51.35 | 1.43 |
| SA019 | 19 | 24       | 35.75 | 121 | 51.28 | 2.69 |
| SA020 | 20 | 24       | 35.11 | 121 | 51.82 | 3.14 |
| SA021 | 21 | 24       | 35.28 | 121 | 51.68 | 3.11 |
| SA022 | 22 | 24       | 35.01 | 121 | 51.85 | 3.08 |
| SA023 | 23 | 24       | 34.87 | 121 | 51.84 | 1.37 |
| SA024 | 24 | 24       | 34.81 | 121 | 51.84 | 3.17 |
| SA025 | 25 | 24       | 34.95 | 121 | 51.84 | 2.93 |
| SA026 | 26 | 24       | 34.96 | 121 | 52    | 1.22 |
| SA027 | 27 | 24       | 34.99 | 121 | 52.17 | 1.89 |
| SA028 | 28 | 24       | 34.86 | 121 | 52.02 | 1.68 |

|       |    |    |       |     |       |      |
|-------|----|----|-------|-----|-------|------|
| SA029 | 29 | 24 | 34.81 | 121 | 52.08 | 1.71 |
| SA030 | 30 | 24 | 34.86 | 121 | 52.16 | 2.26 |
| SA031 | 31 | 24 | 34.61 | 121 | 52.13 | 2.35 |
| SA032 | 32 | 24 | 34.74 | 121 | 52.26 | 1.50 |
| SA033 | 33 | 24 | 34.77 | 121 | 52.39 | 1.71 |
| SA034 | 34 | 24 | 35.15 | 121 | 52.47 | 1.56 |
| SA035 | 35 | 24 | 35.15 | 121 | 51.95 | 2.41 |
| SA036 | 36 | 24 | 35.1  | 121 | 52.31 | 0.58 |
| SA037 | 37 | 24 | 34.85 | 121 | 52.37 | 1.56 |
| SA038 | 38 | 24 | 35.03 | 121 | 52.27 | 2.66 |
| SA039 | 39 | 24 | 35.21 | 121 | 52.2  | 2.47 |
| SA040 | 40 | 24 | 35.11 | 121 | 52.23 | 3.17 |

綜合上述所有分析結果，本研究區域之主頻落在 1~3Hz，造成主要放大之地層為地表至岩盤間之回填層，而地表下 10 公尺內之局部速度變化，造成部份測點 3Hz 以上之高頻部份放大，另外由反射震測分析與先前種種分析顯示，本研究測區之岩盤深度，應較鑽探得到的 35 公尺稍深，可能達到 50~70 公尺。

#### 4.7 土壤液化潛能分析

Nakamura ( 1996 ) 提出利用單站頻譜比法所獲得之主頻  $f_p$  與主頻對應之放大倍率  $A_f$ ，加上經驗公式所獲得之  $K_g$  值可推算土壤液化潛能，其關係式如下：

$$K_g = A_f^2 / f_p$$

上式中  $K_g$  值可代表剪應變，也就是說當  $K_g$  值越大時相對的剪應變也越高，則土壤液化潛能也隨之提高，利用先前微地動分析所獲得之主頻及其對應之放大倍率，即可獲得本區域  $K_g$  值之分佈，結果見圖 4.7.1，下表為各微地動測點所對應之  $K_g$  值。

| 測點    | 編號 | 位置（二度分帶） |       |     |       | K <sub>g</sub> 值 |
|-------|----|----------|-------|-----|-------|------------------|
|       |    | 緯度       |       | 經度  |       |                  |
| SA001 | 1  | 24       | 35.45 | 121 | 51.79 | 9.03             |
| SA002 | 2  | 24       | 35.73 | 121 | 51.52 | 7.71             |
| SA003 | 3  | 24       | 35.57 | 121 | 51.76 | 7.65             |
| SA004 | 4  | 24       | 35.59 | 121 | 51.86 | 3.91             |
| SA005 | 5  | 24       | 35.7  | 121 | 51.99 | 10.36            |
| SA006 | 6  | 24       | 35.58 | 121 | 52.02 | 5.95             |
| SA007 | 7  | 24       | 35.64 | 121 | 52.06 | 5.10             |
| SA008 | 8  | 24       | 35.56 | 121 | 51.95 | 9.15             |
| SA009 | 9  | 24       | 35.42 | 121 | 51.99 | 7.50             |
| SA010 | 10 | 24       | 35.37 | 121 | 51.85 | 9.16             |
| SA011 | 11 | 24       | 35.15 | 121 | 51.89 | 7.54             |
| SA012 | 12 | 24       | 35.61 | 121 | 51.67 | 7.31             |
| SA013 | 13 | 24       | 35.67 | 121 | 51.61 | 7.59             |
| SA014 | 14 | 24       | 35.39 | 121 | 51.72 | 4.61             |
| SA015 | 15 | 24       | 35.39 | 121 | 51.64 | 7.60             |
| SA016 | 16 | 24       | 35.57 | 121 | 51.52 | 11.47            |
| SA017 | 17 | 24       | 35.78 | 121 | 51.45 | 8.80             |
| SA018 | 18 | 24       | 35.85 | 121 | 51.35 | 13.32            |
| SA019 | 19 | 24       | 35.75 | 121 | 51.28 | 3.95             |
| SA020 | 20 | 24       | 35.11 | 121 | 51.82 | 3.40             |
| SA021 | 21 | 24       | 35.28 | 121 | 51.68 | 7.55             |
| SA022 | 22 | 24       | 35.01 | 121 | 51.85 | 3.03             |
| SA023 | 23 | 24       | 34.87 | 121 | 51.84 | 9.12             |
| SA024 | 24 | 24       | 34.81 | 121 | 51.84 | 3.00             |
| SA025 | 25 | 24       | 34.95 | 121 | 51.84 | 3.17             |
| SA026 | 26 | 24       | 34.96 | 121 | 52    | 26.81            |
| SA027 | 27 | 24       | 34.99 | 121 | 52.17 | 11.62            |

|       |    |    |       |     |       |       |
|-------|----|----|-------|-----|-------|-------|
| SA028 | 28 | 24 | 34.86 | 121 | 52.02 | 7.76  |
| SA029 | 29 | 24 | 34.81 | 121 | 52.08 | 6.20  |
| SA030 | 30 | 24 | 34.86 | 121 | 52.16 | 5.50  |
| SA031 | 31 | 24 | 34.61 | 121 | 52.13 | 6.80  |
| SA032 | 32 | 24 | 34.74 | 121 | 52.26 | 8.97  |
| SA033 | 33 | 24 | 34.77 | 121 | 52.39 | 5.07  |
| SA034 | 34 | 24 | 35.15 | 121 | 52.47 | 9.05  |
| SA035 | 35 | 24 | 35.15 | 121 | 51.95 | 7.45  |
| SA036 | 36 | 24 | 35.1  | 121 | 52.31 | 14.73 |
| SA037 | 37 | 24 | 34.85 | 121 | 52.37 | 7.38  |
| SA038 | 38 | 24 | 35.03 | 121 | 52.27 | 3.13  |
| SA039 | 39 | 24 | 35.21 | 121 | 52.2  | 4.41  |
| SA040 | 40 | 24 | 35.11 | 121 | 52.23 | 2.61  |

由圖 4.7.1 發現由於整個港區之主頻均在 1Hz 以上，甚至在部分區域高達 3Hz 以上，因此整個區域之  $K_g$  值並不高，除了位於南方澳漁港的 SA026 測點  $K_g$  值高達 26.81 外，其餘皆在 15 以下，大部分區域甚至在 10 以下。對照陳政治與黃蕙珠（2002）研究南投市液化區之結果發現，南投市於 921 地震中發生液化之區域其  $K_g$  值約為 15~28 之間，非液化區  $K_g$  值則多在 10 以下，而本研所得之  $K_g$  值在港區內僅有 SA026 測點符合  $K_g$  值 15~28 之間的液化條件，很大一部分均在 10 以下的安全區域，故港區在地震來襲時土壤發生液化之可能性不高，即使於大地震來襲時發生液化，也應是小區域之個案，全區應不至於發生大規模的液化情形

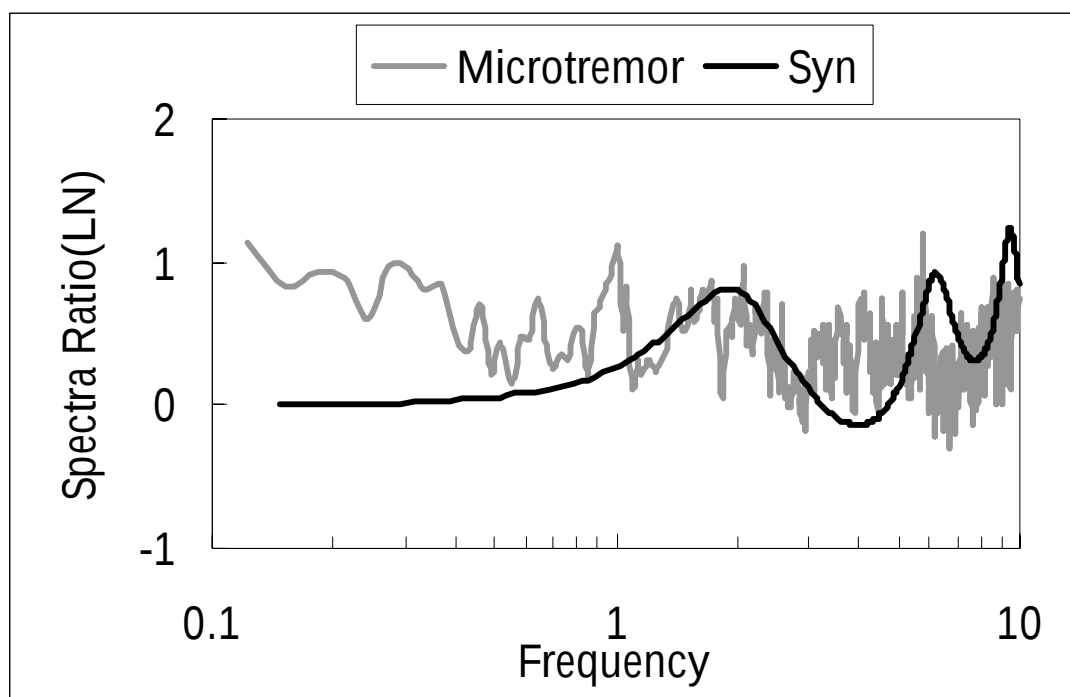


圖 4.2.1 SA001 微地動量測 H/V 與理論計算轉換函數比較圖(灰線為微地動量測 H/V，黑線為理論計算轉換函數)



圖 4.2.2 TSMIP 地震震央分佈圖

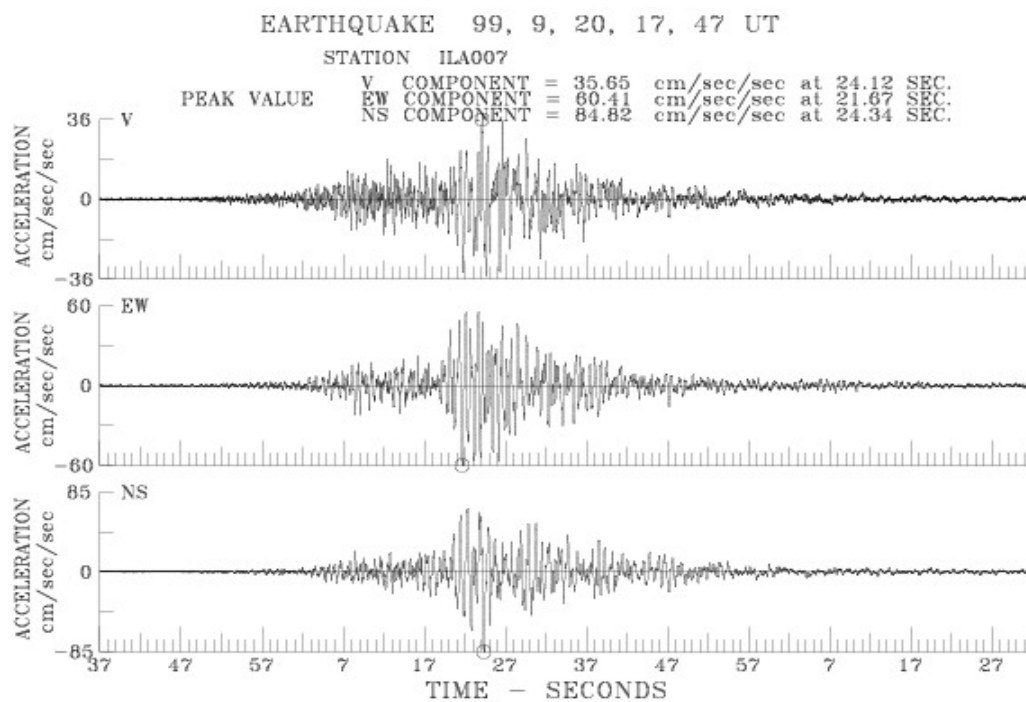


圖 4.2.3 ILA007 在 1999/9/21 地震地動歷時

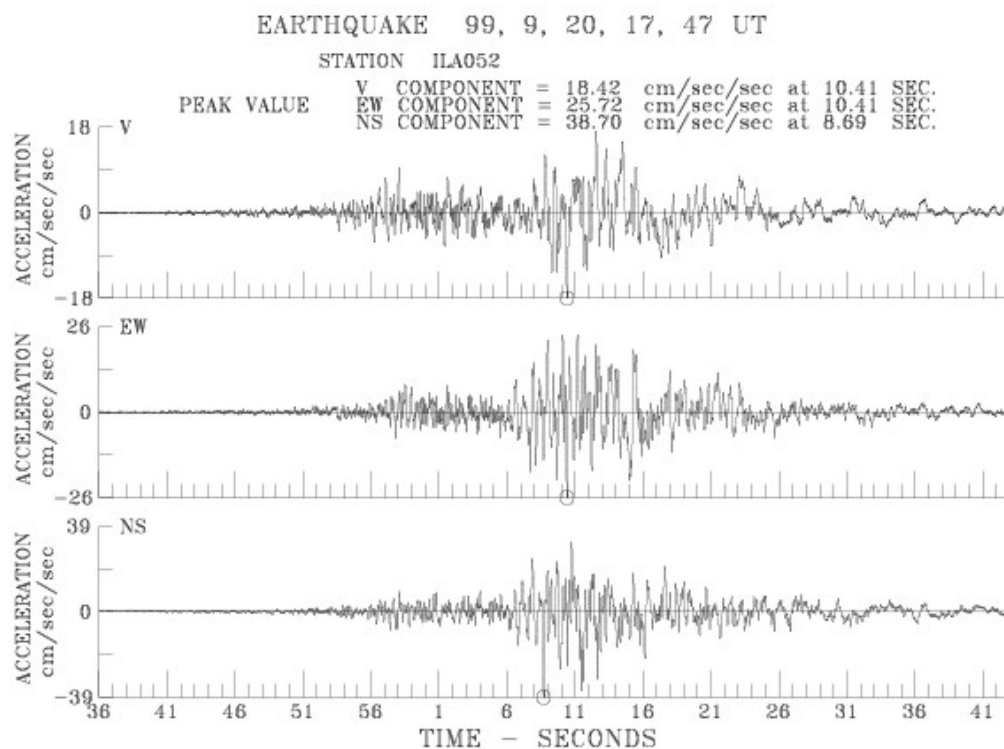


圖 4.2.4 ILA052 在 1999/9/21 地震地動歷時

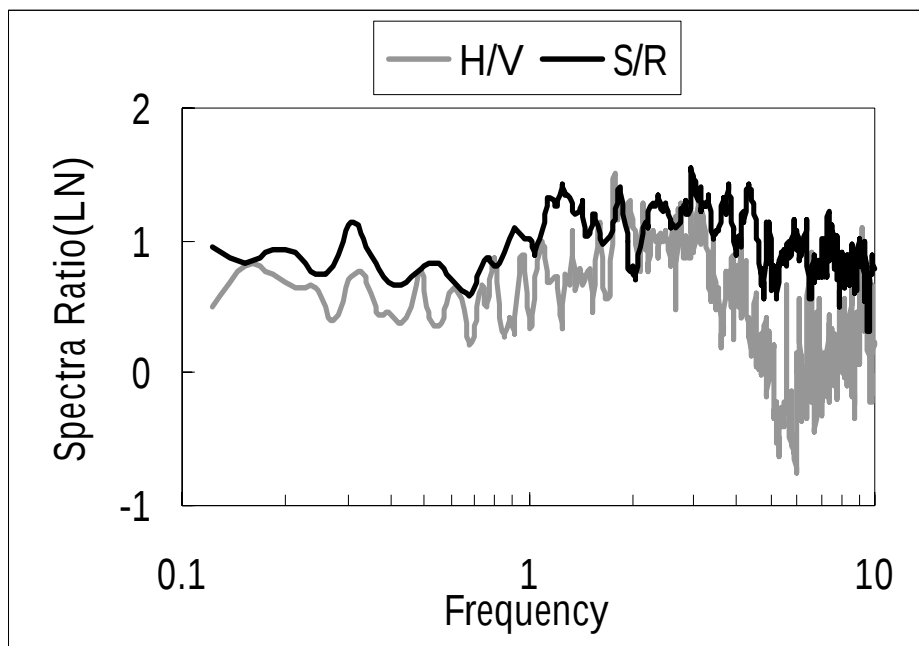


圖 4.2.5 TSMIP 測站雙站頻譜比平均結果與微地動資料單站頻譜比結果比較圖

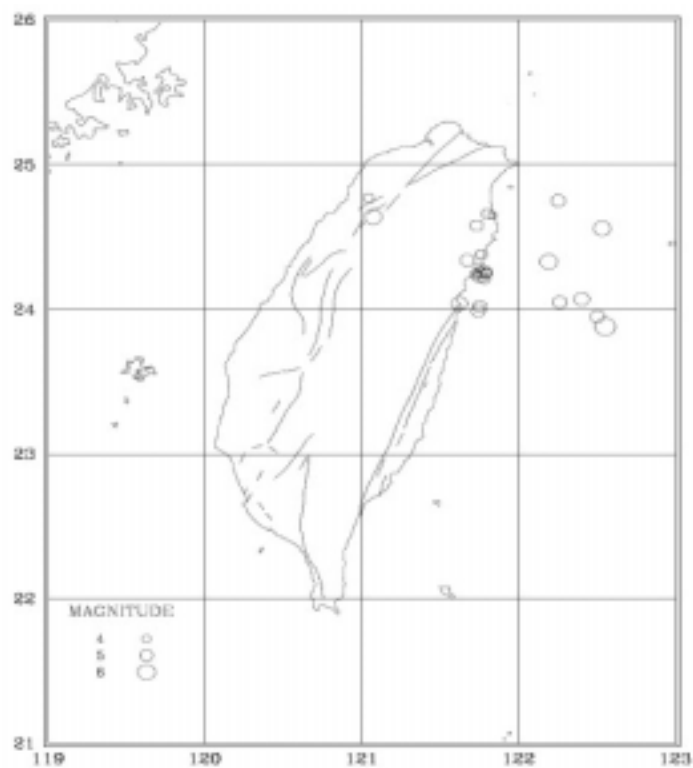


圖 4.2.6 井下地震儀陣列地震震央分佈圖

ACCELEROGRAM OF EQ. 2005-6-2 0:20 UT  
V Component

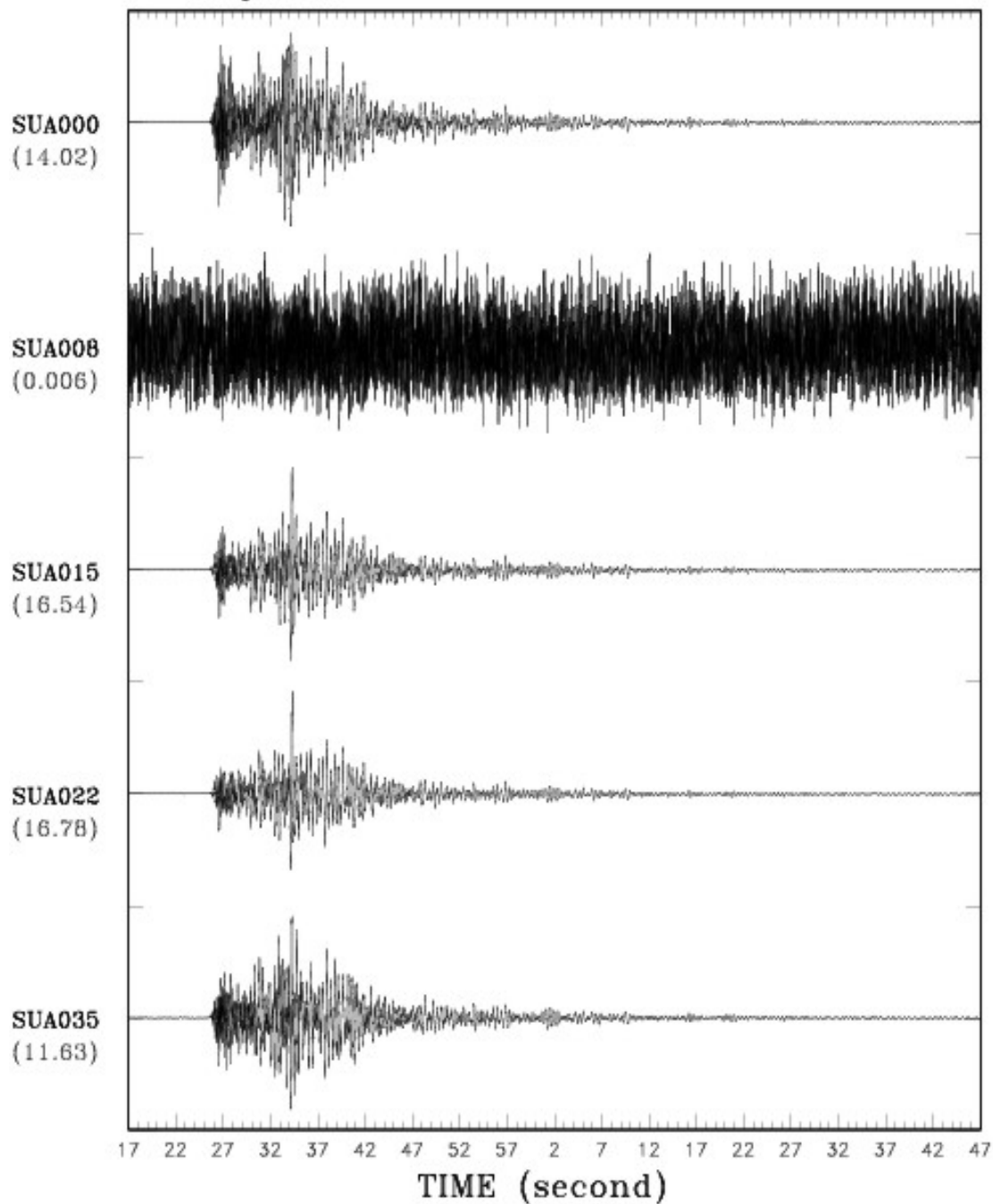


圖 4.2.7 井下地震儀陣列地震紀錄之垂直向地動歷時

ACCELEROGRAM OF EQ. 2005-6-2 0:20 UT  
EW Component

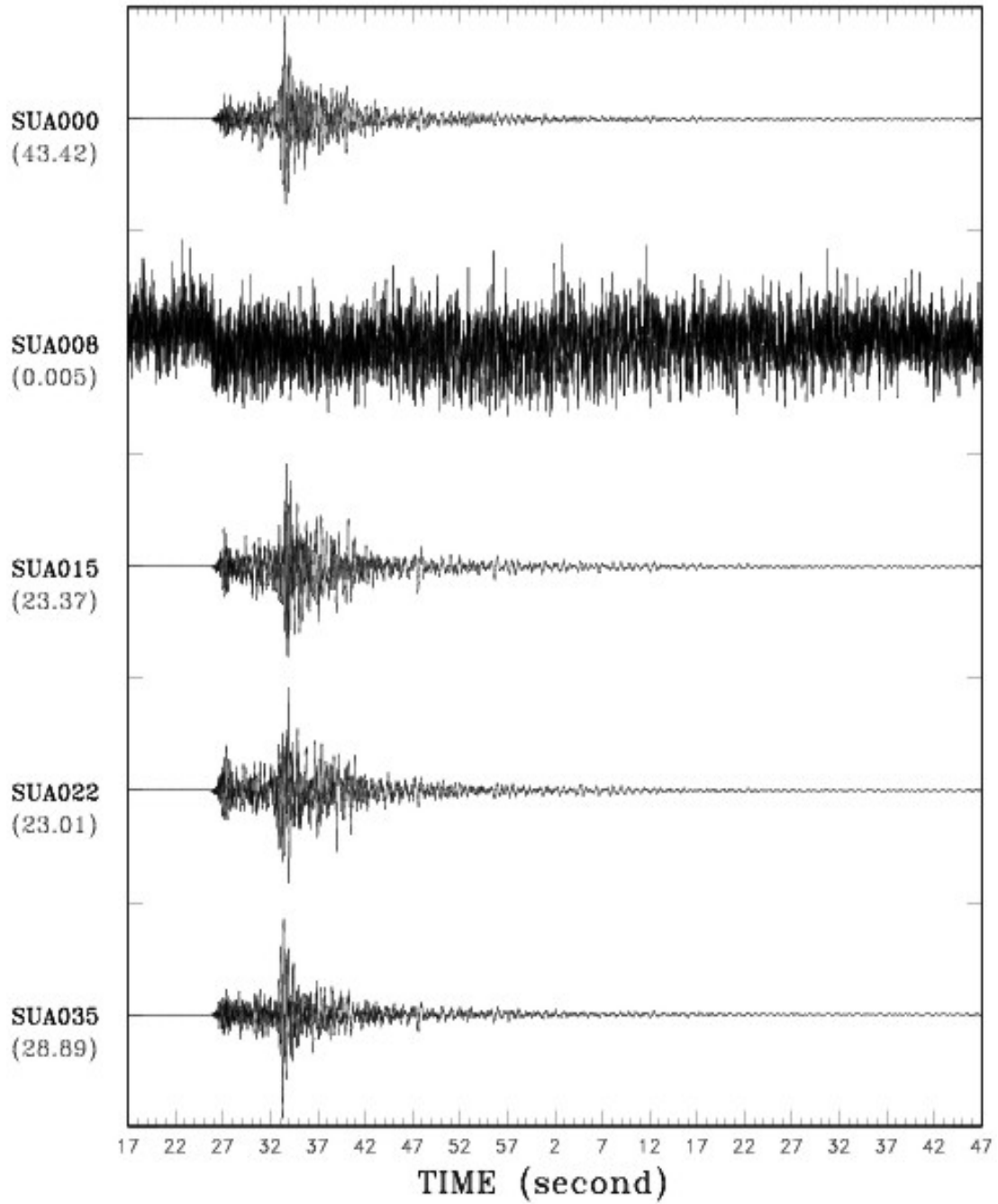


圖 4.2.8 井下地震儀陣列地震紀錄之東西向地動歷時

ACCELEROGRAM OF EQ. 2005-6-2 0:20 UT  
NS Component

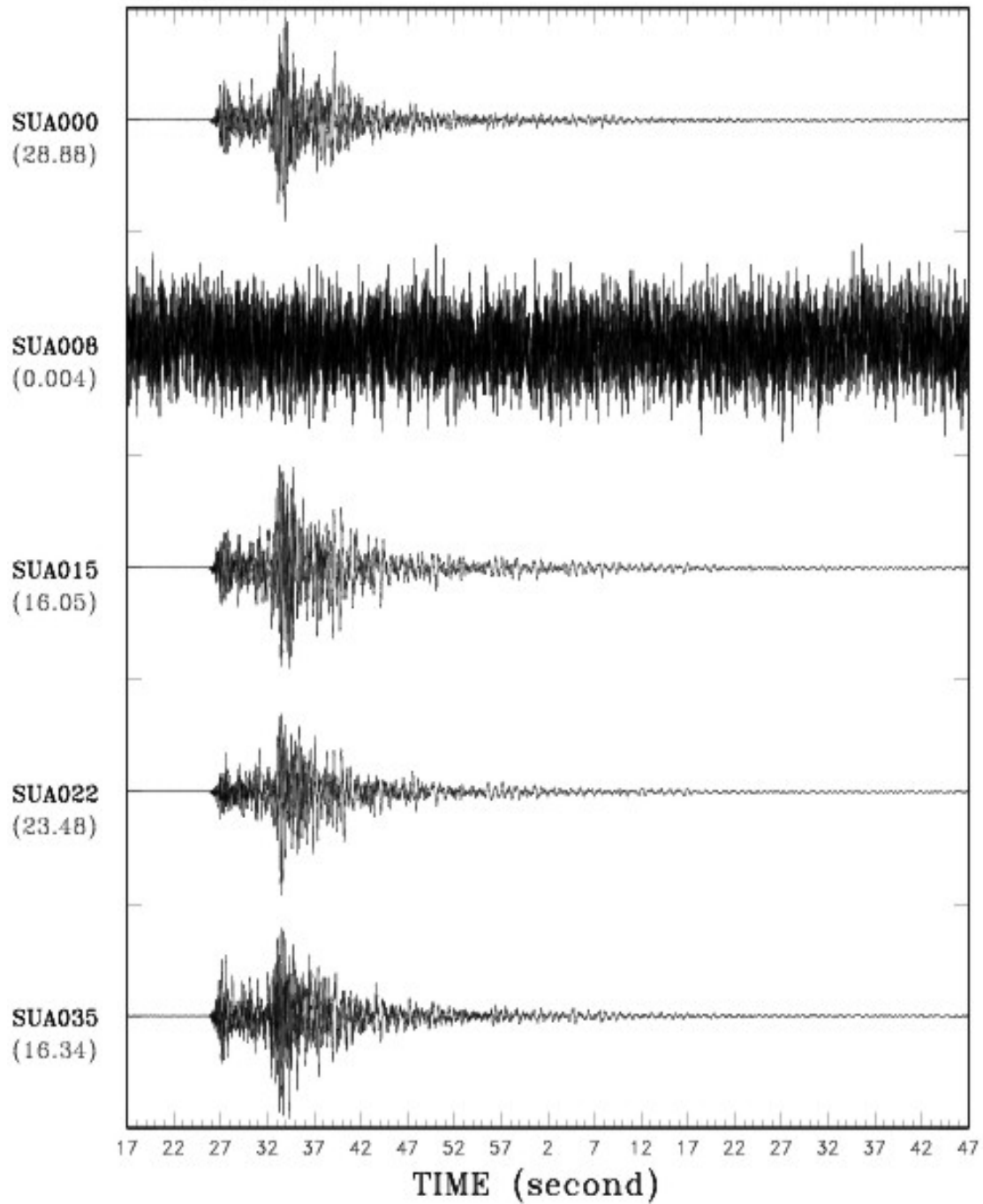


圖 4.2.9 井下地震儀陣列地震紀錄之南北向地動歷時

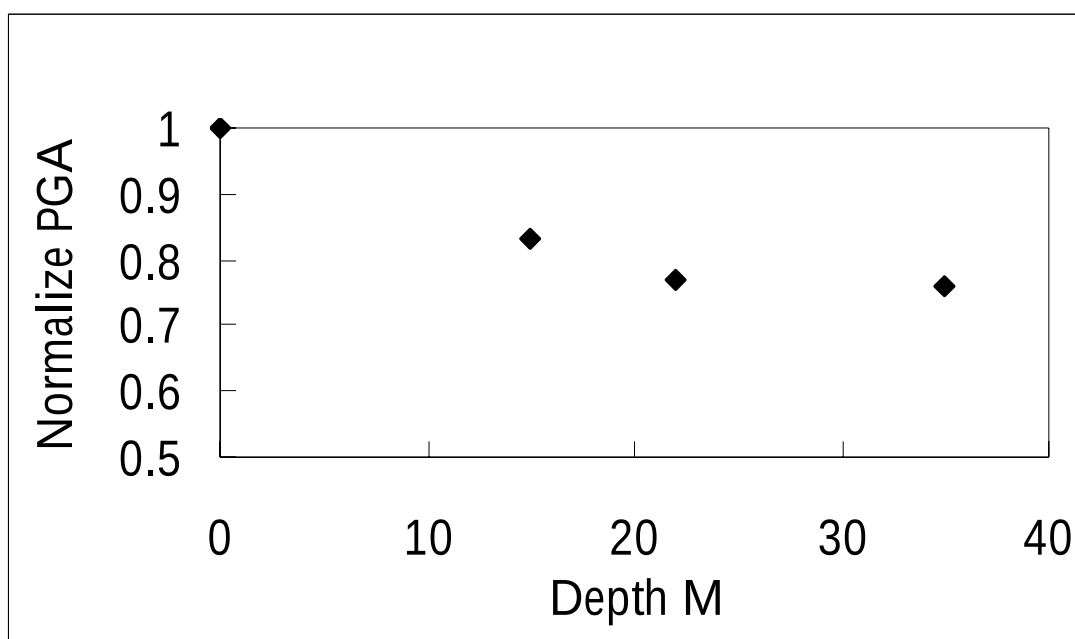


圖 4.2.10 井下地震儀陣列垂直向正規化 PGA 隨深度變化圖

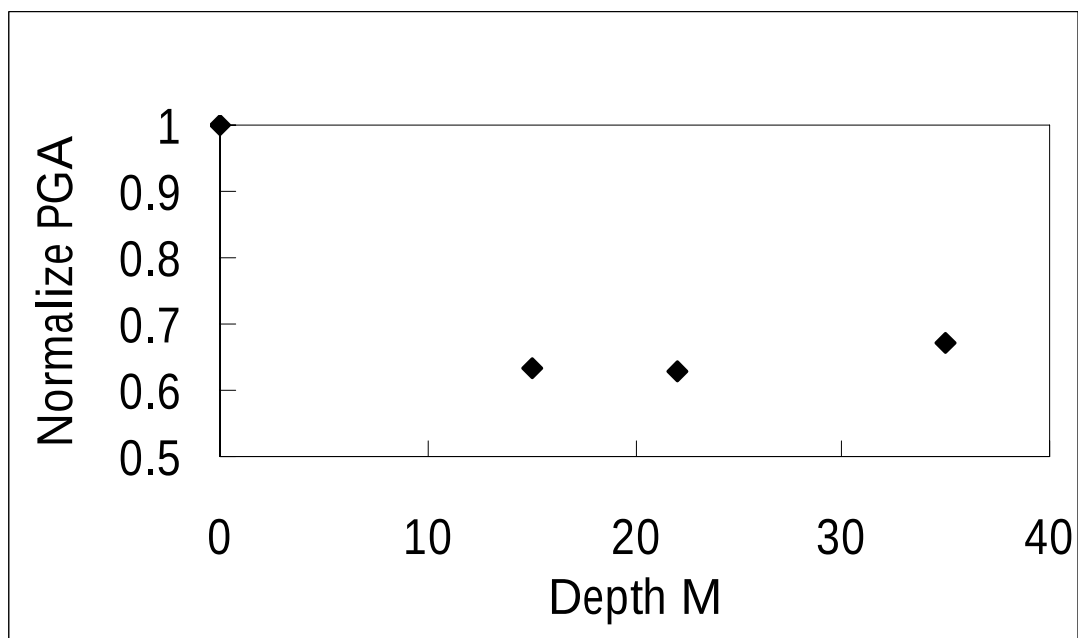


圖 4.2.11 井下地震儀陣列東西向正規化 PGA 隨深度變化圖

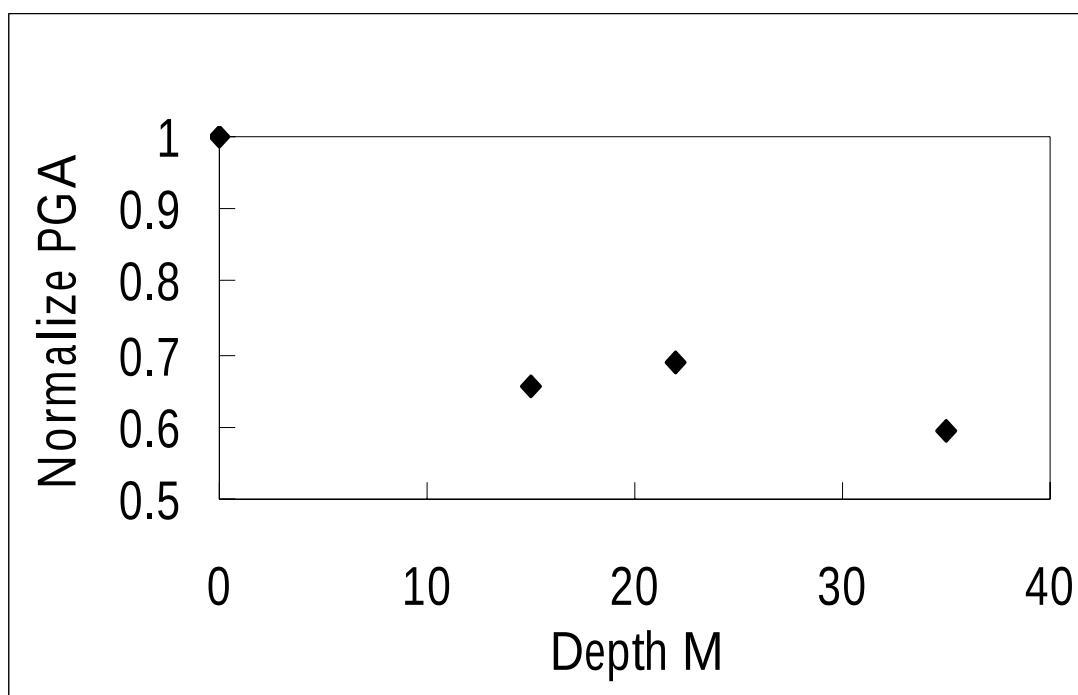


圖 4.2.12 井下地震儀陣列南北向正規化 PGA 隨深度變化圖

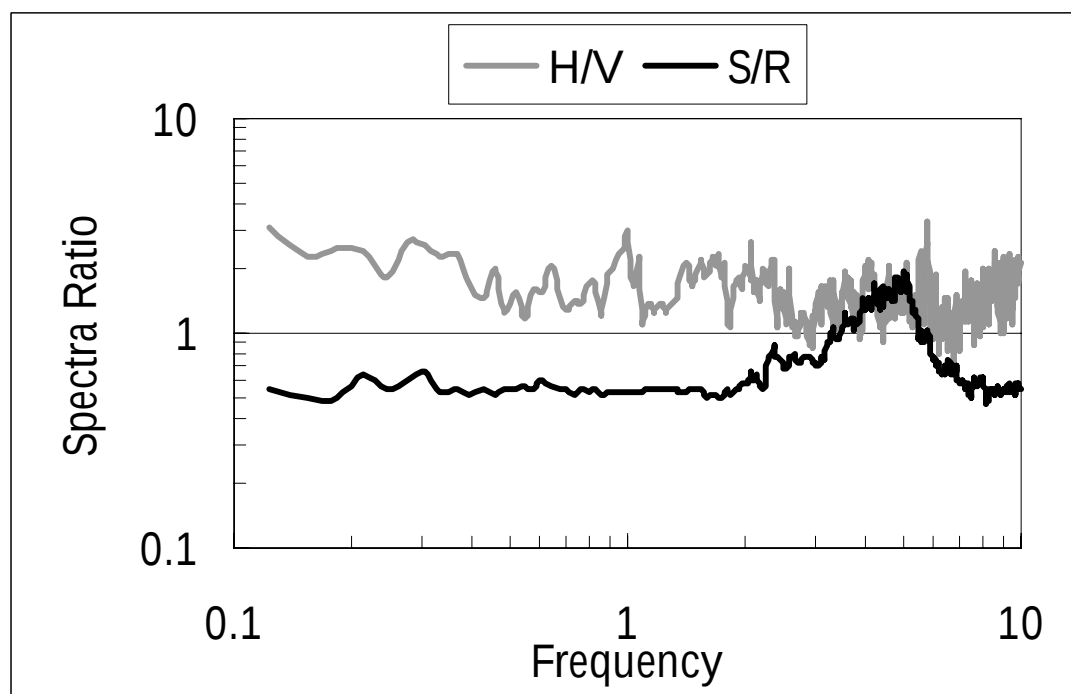


圖 4.2.13 地表與 15 米深地層之頻譜比與微地動單站頻譜比比較圖

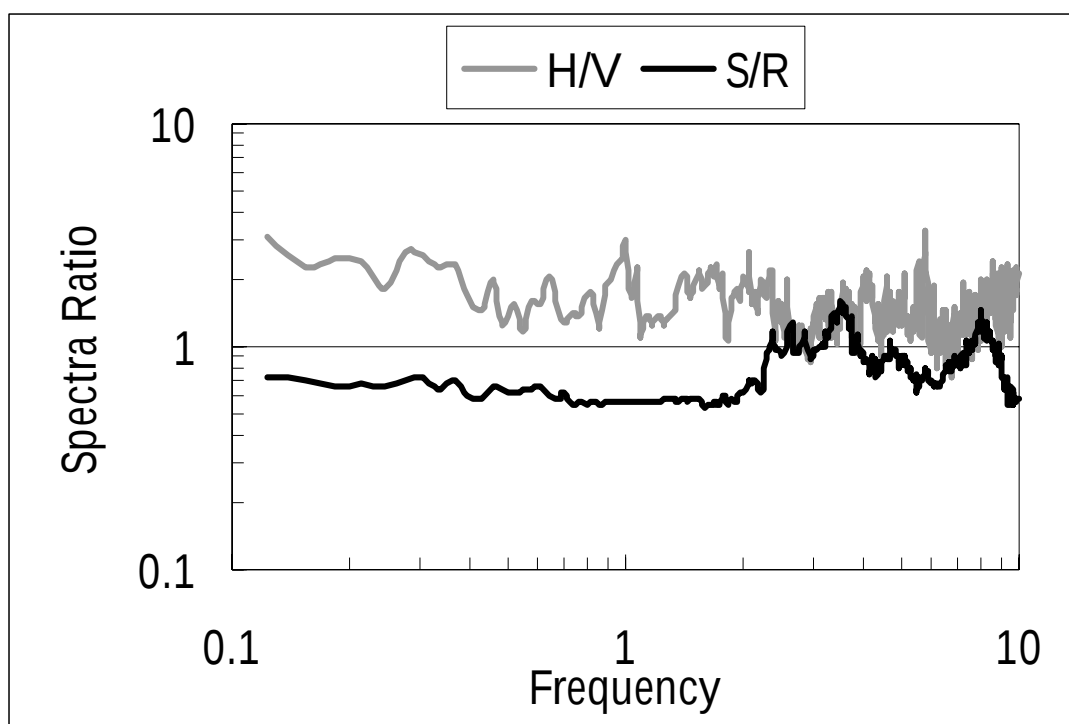


圖 4.2.14 地表與 22 米深地層之頻譜比與微地動單站頻譜比比較圖

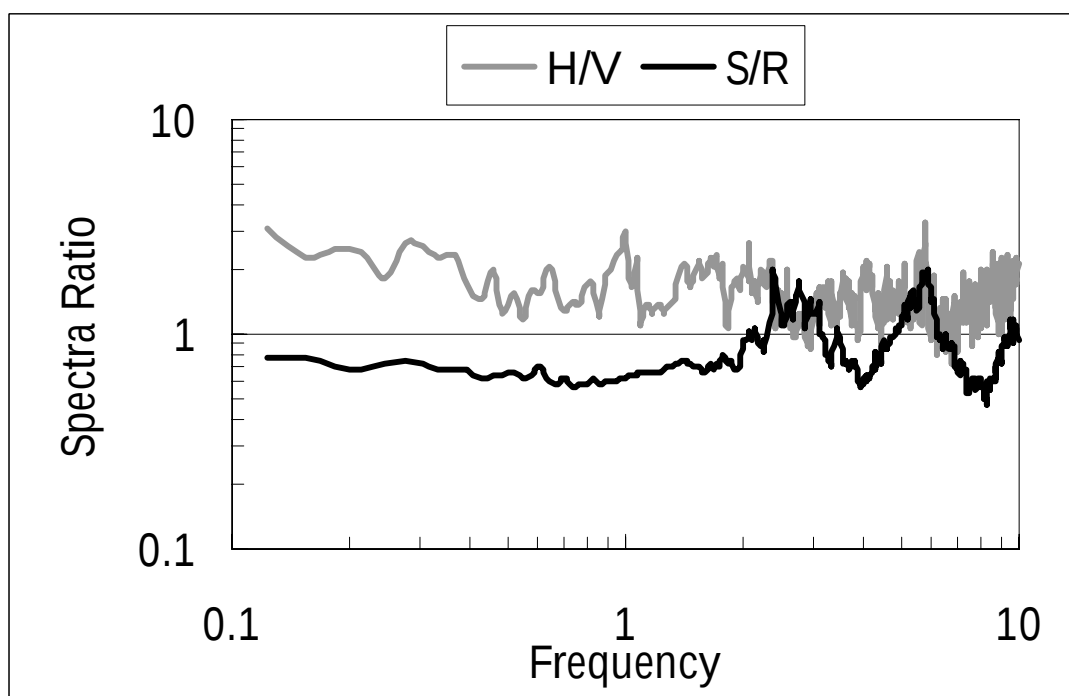


圖 4.2.15 地表與 35 米深地層之頻譜比與微地動單站頻譜比比較圖

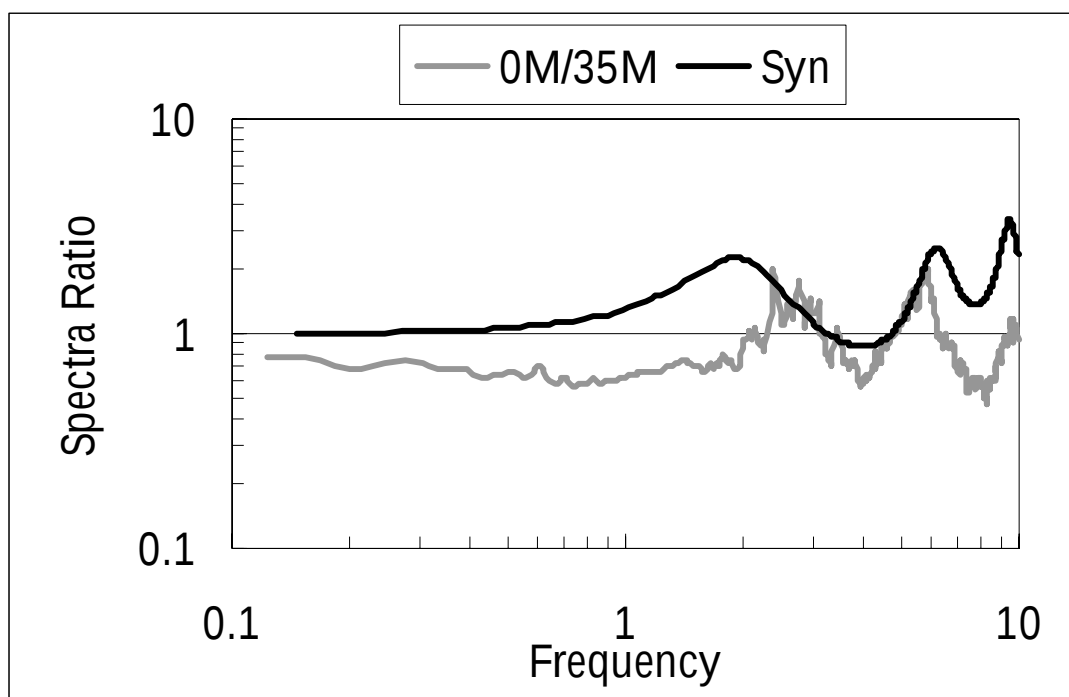


圖 4.2.16 地表與 35 米深地層之頻譜比與理論轉換函數比較圖

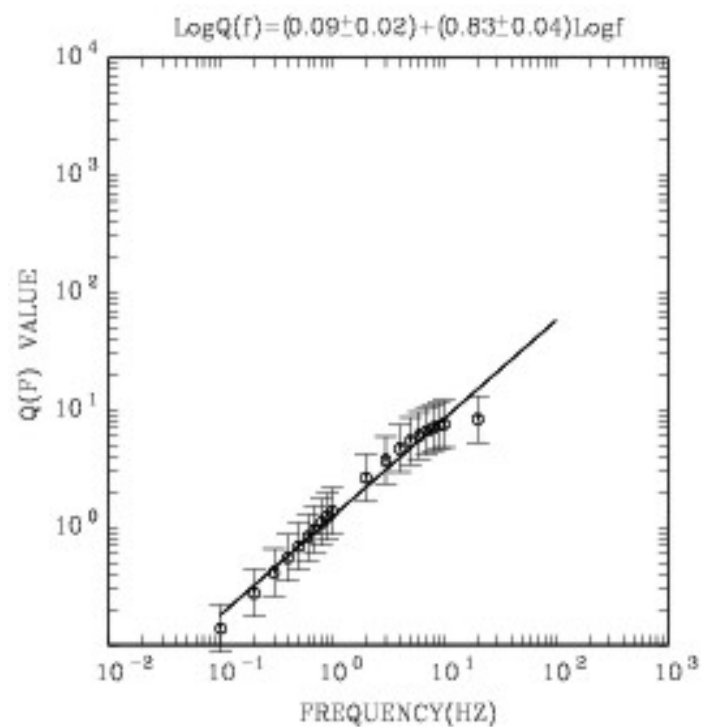


圖 4.4.1 衰減因子 Q 隨頻率變化回歸結果

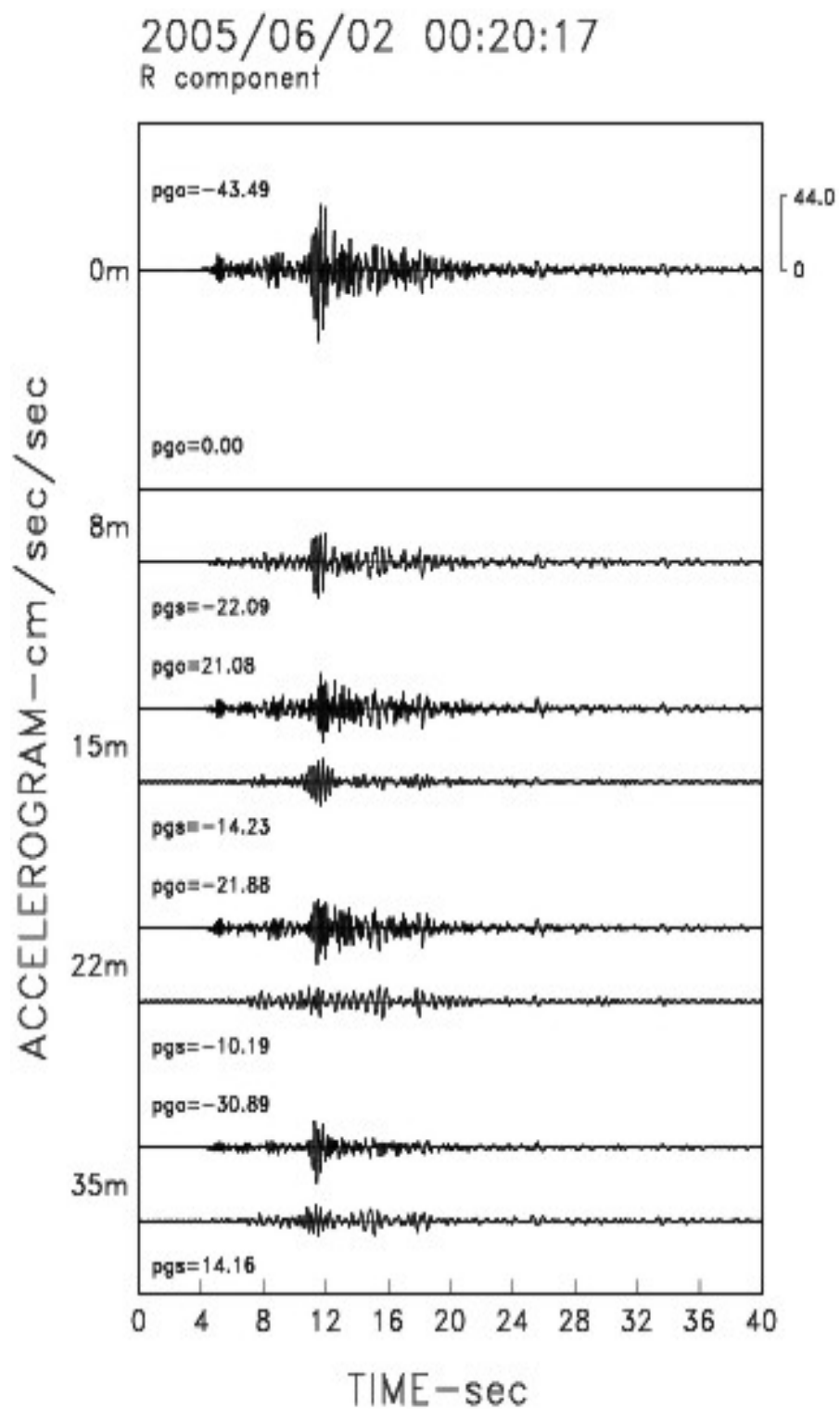


圖 4.5.1 模擬(上)與觀測(下)加速度歷時在 R 方向比較圖

2005/06/02 00:20:17

T component

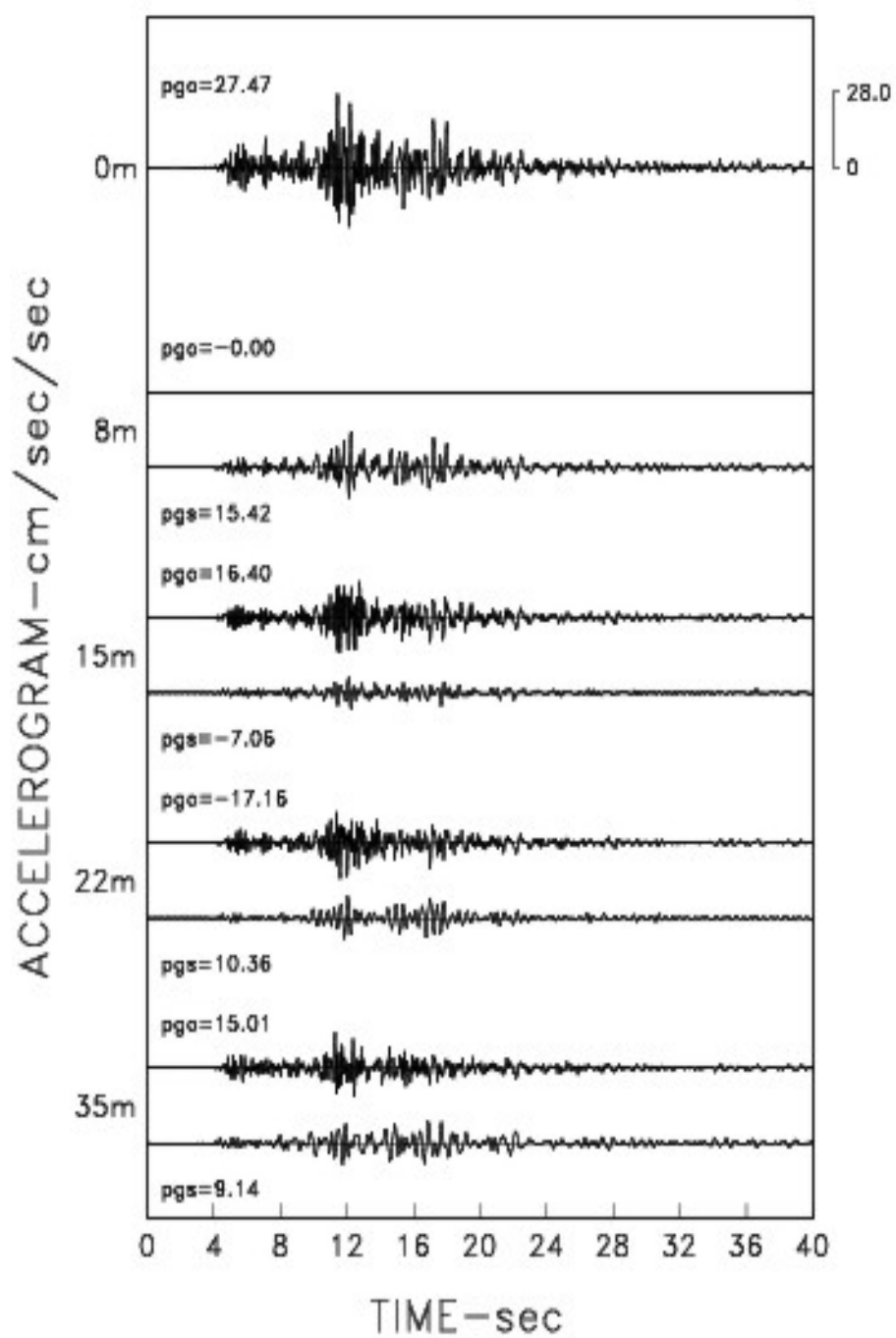


圖 4.5.2 模擬(上)與觀測(下)加速度歷時在 T 方向比較圖

2005/06/02 00:20:17  
R component

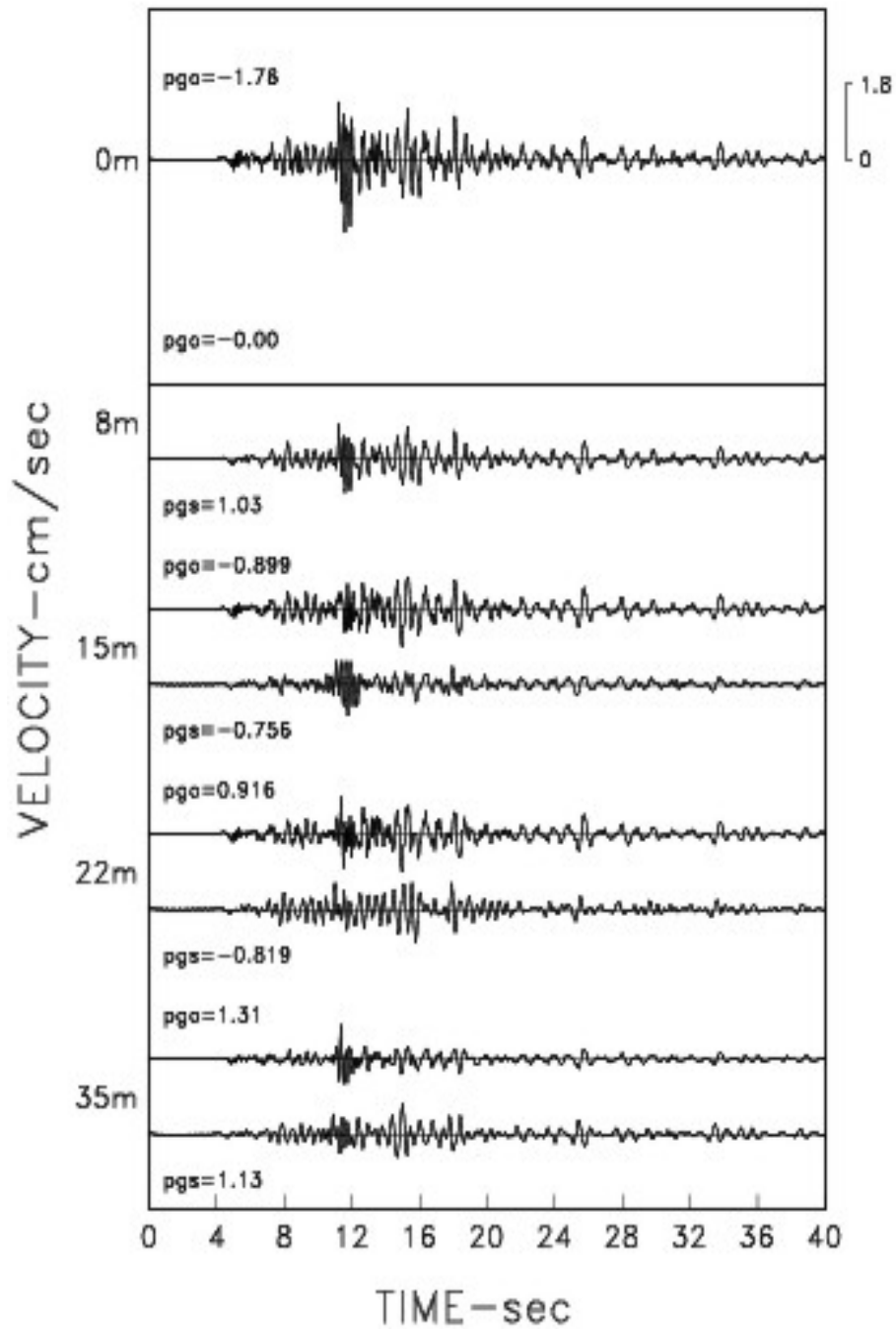


圖 4.5.3 模擬(上)與觀測(下)速度歷時在 R 方向比較圖

2005/06/02 00:20:17

T component

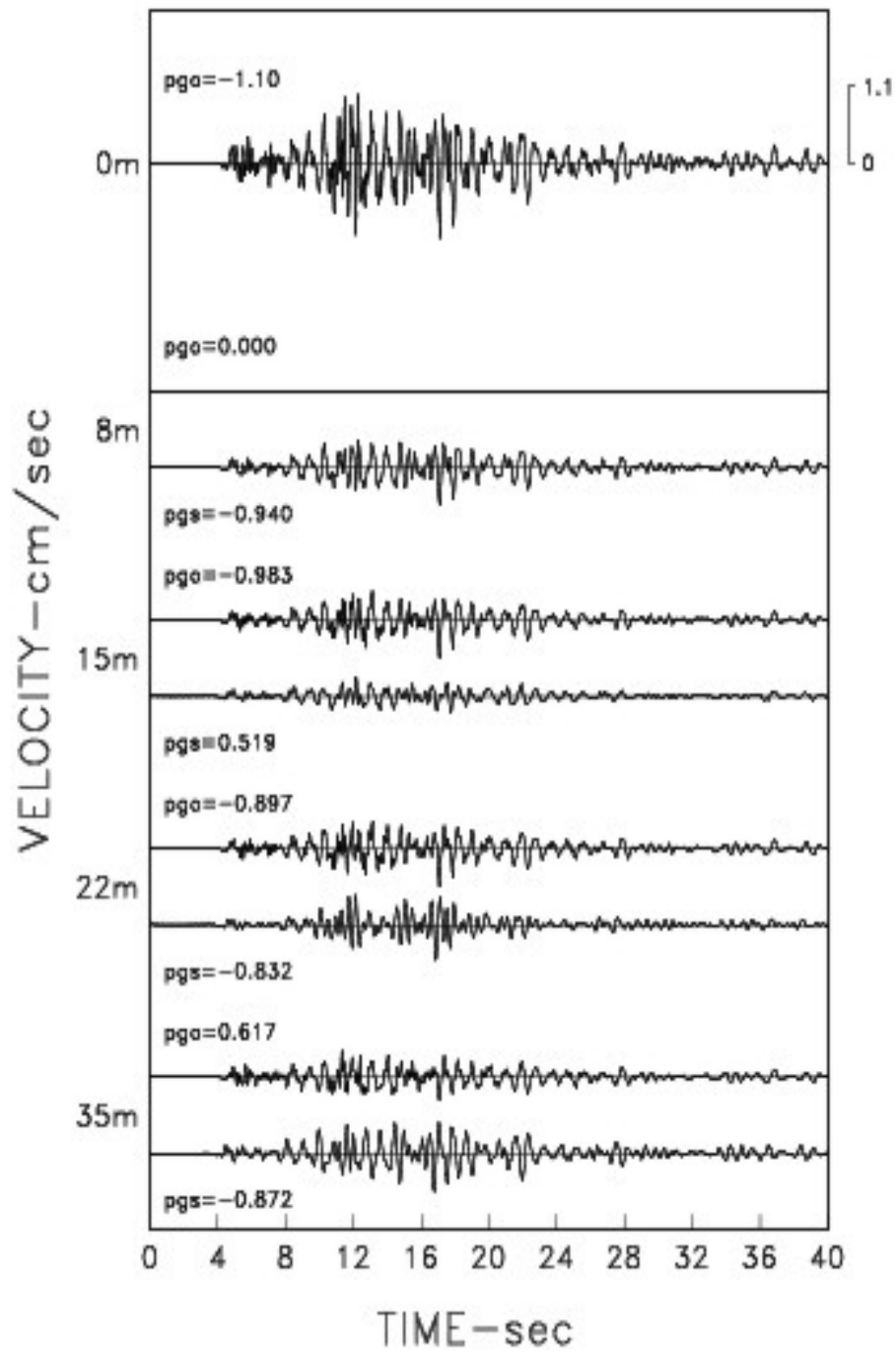


圖 4.5.4 模擬(上)與觀測(下)速度歷時在 T 方向比較圖

2005/06/02 00:20:17  
R component

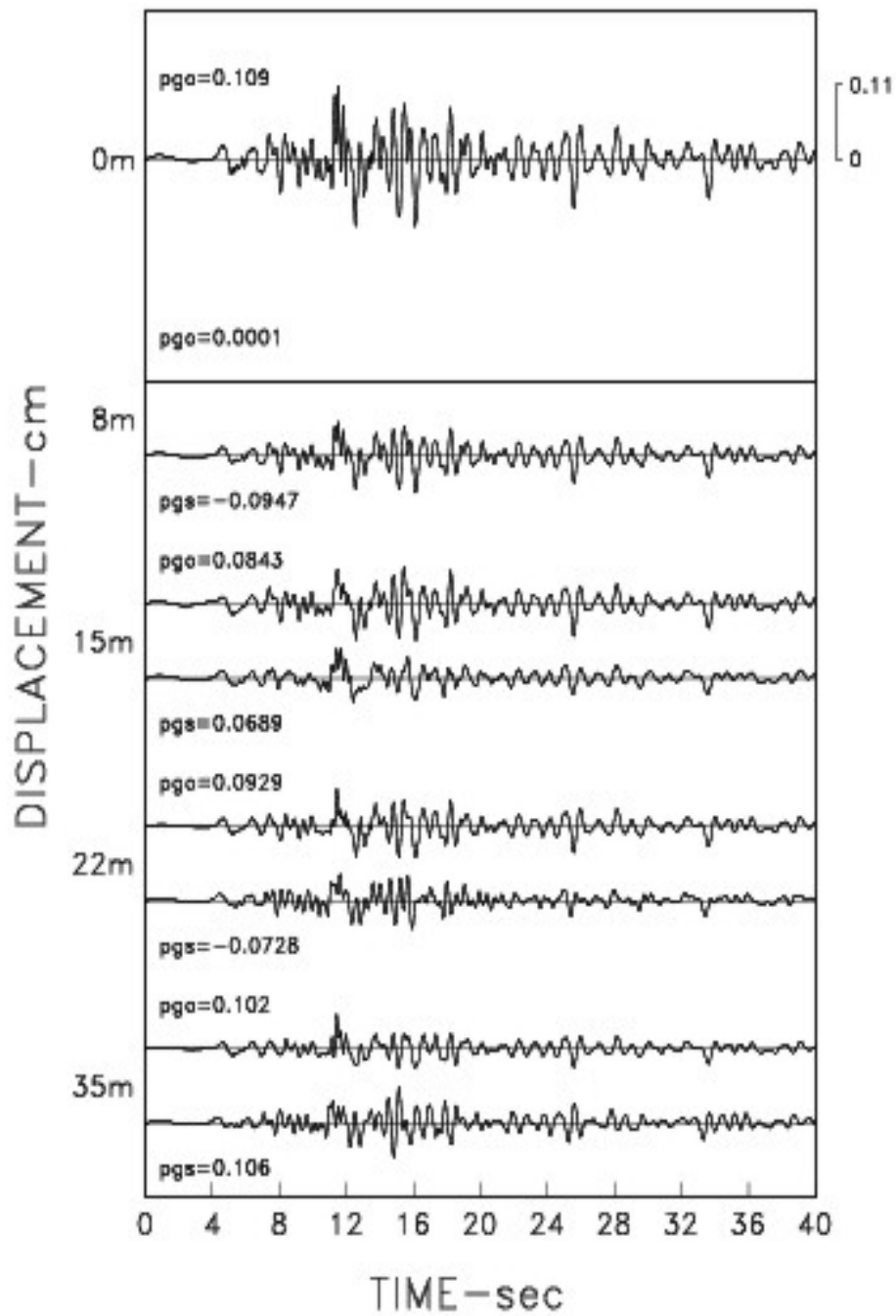


圖 4.5.5 模擬(上)與觀測(下)位移歷時在 R 方向比較圖

2005/06/02 00:20:17  
T component

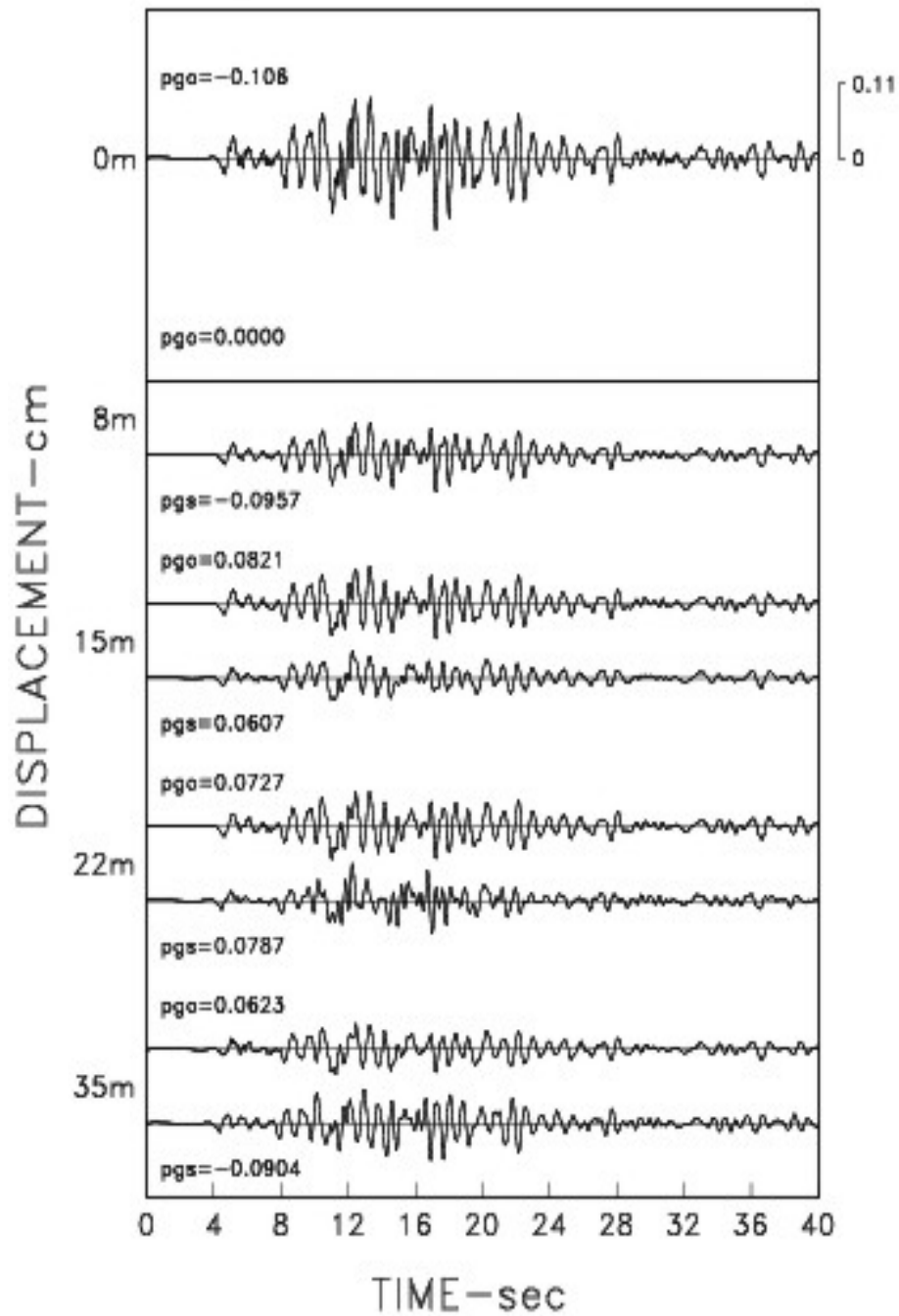


圖 4.5.6 模擬(上)與觀測(下)位移歷時在 T 方向比較圖

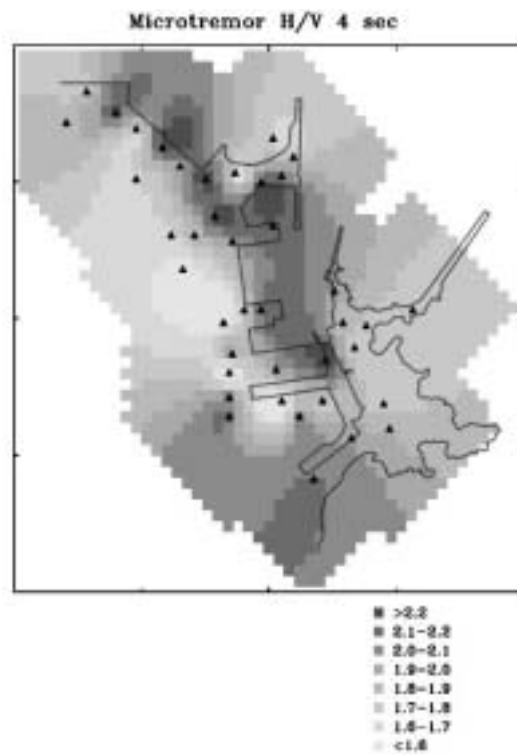


圖 4.6.1 特性週期 4 秒蘇澳港區放大倍率等值圖

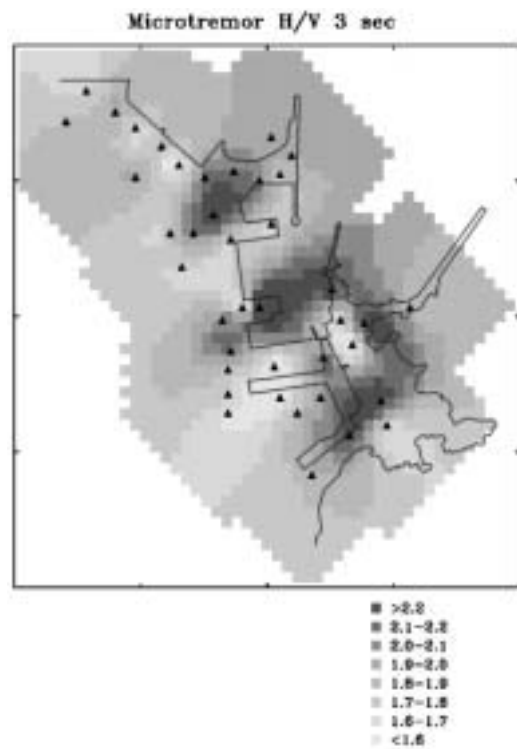


圖 4.6.2 特性週期 3 秒蘇澳港區放大倍率等值圖

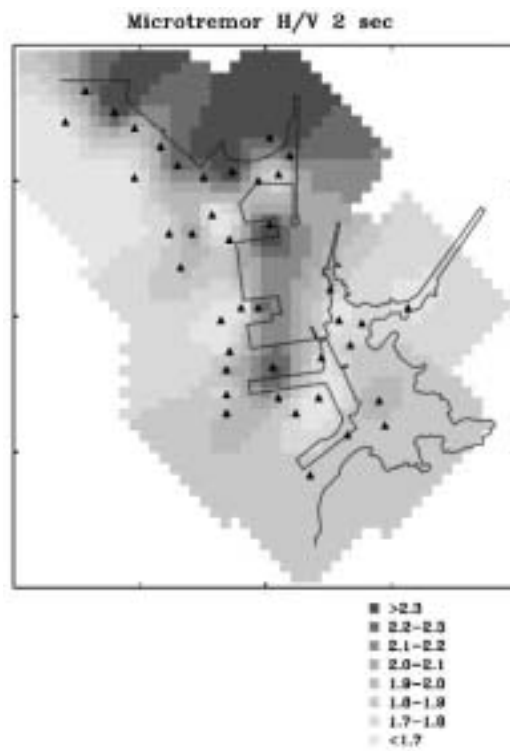


圖 4.6.3 特性週期 2 秒蘇澳港區放大倍率等值圖

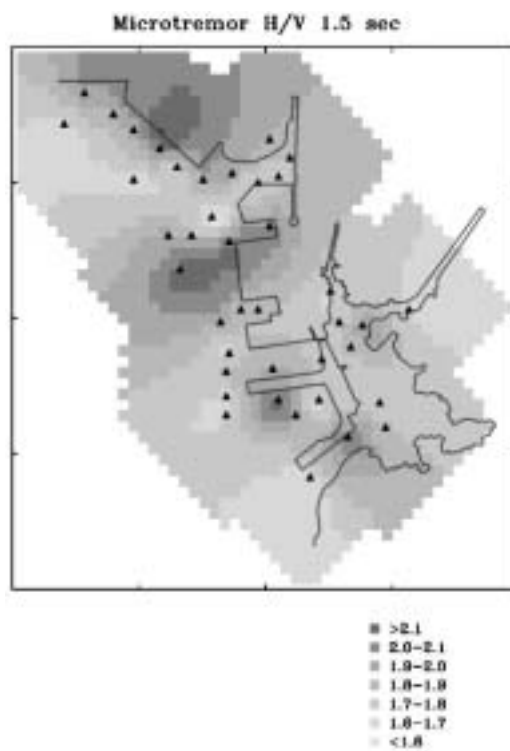


圖 4.6.4 特性週期 1.5 秒蘇澳港區放大倍率等值圖

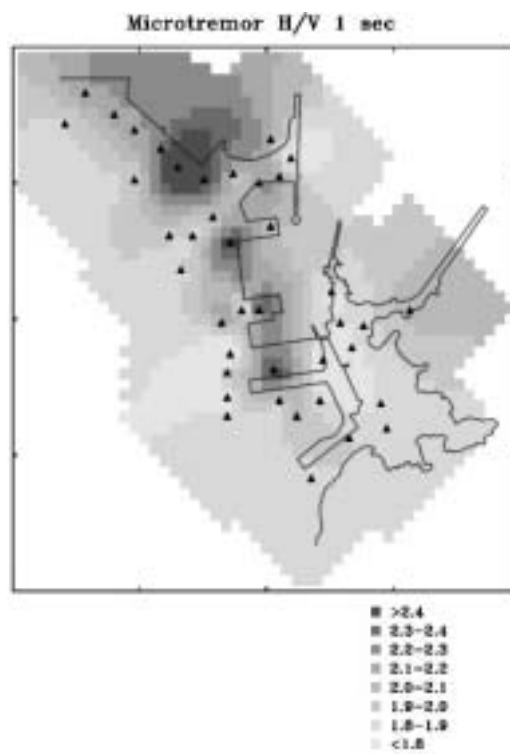


圖 4.6.5 特性週期 1 秒蘇澳港區放大倍率等值均佈圖

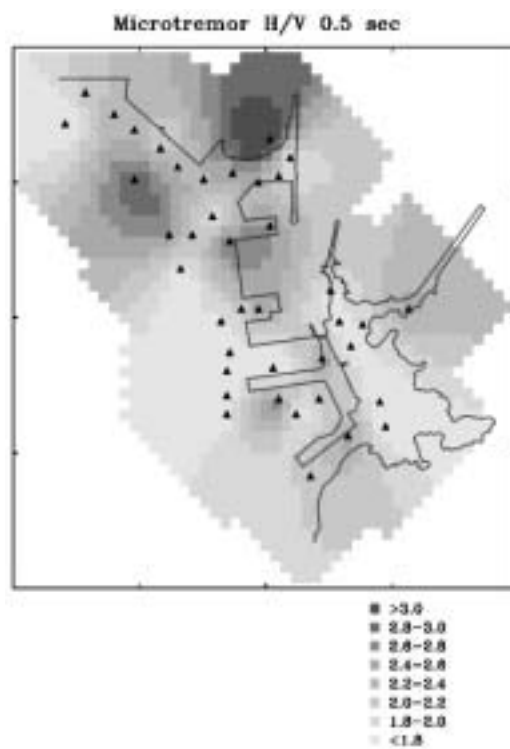


圖 4.6.6 特性週期 0.5 秒蘇澳港區放大倍率等值圖

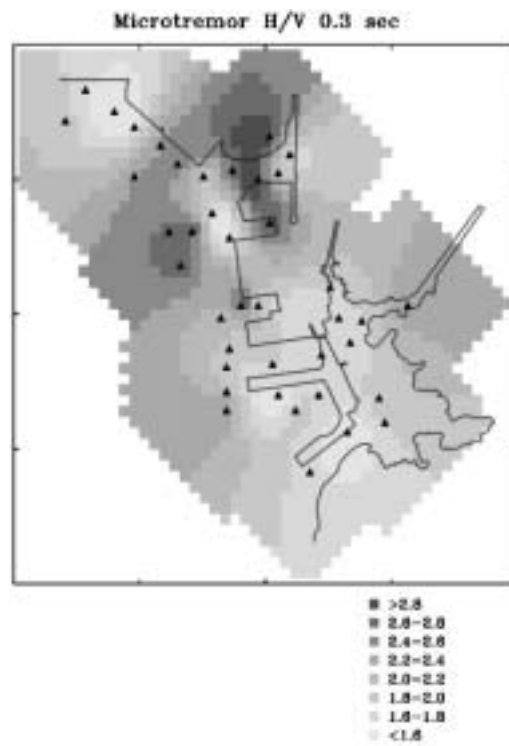


圖 4.6.7 特性週期 0.3 秒蘇澳港區放大倍率等值圖

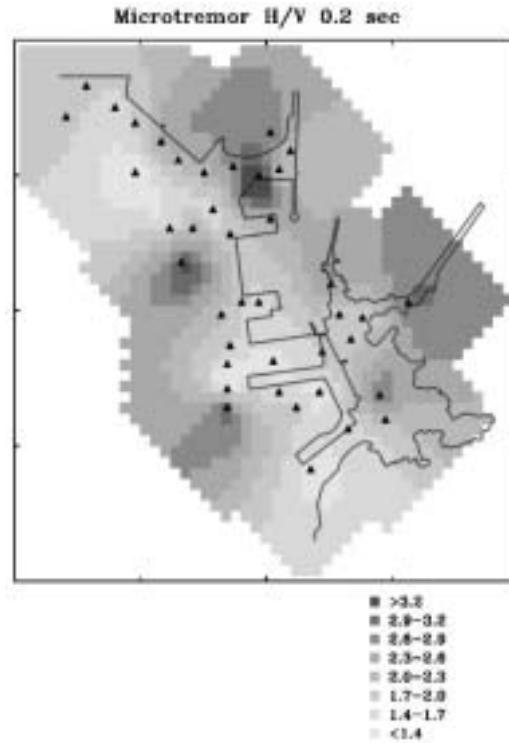


圖 4.6.8 特性週期 0.2 秒蘇澳港區放大倍率等值圖

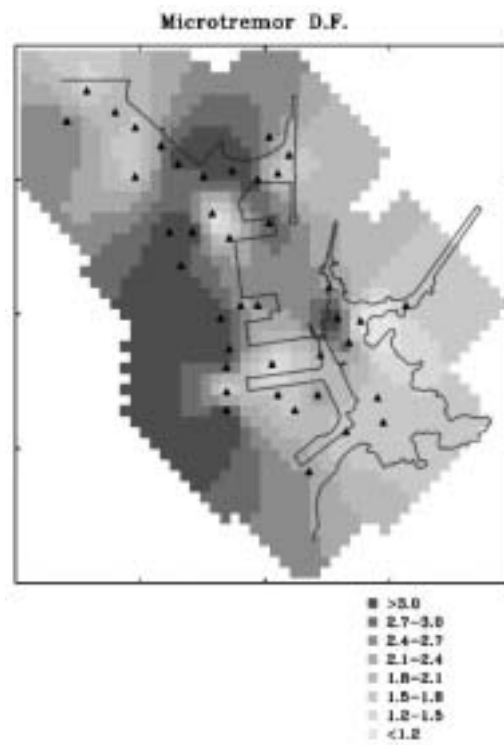


圖 4.6.9 蘇澳港區共振主頻等值均佈圖

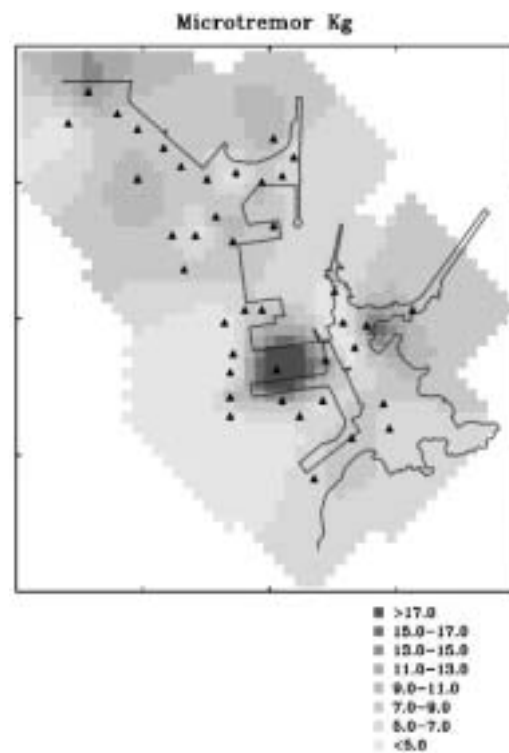


圖 4.7.1 蘇澳港區  $K_g$  值等值均佈圖

## 第五章 結論

本研究計畫之主要工作，乃是藉由地球物理方法，找出蘇澳港之地下速度構造，並利用得到之速度構造與微地動量測，分析蘇澳港之場址效應，以利蘇澳港後續開發時建築物耐震設計之參考；此外蘇澳港區也曾發生液化現象，因此利用微動資料分析液化潛能也是本研究重點。本計畫所採用之地球物理方法包括反射震波探測、折射震波探測、表面波頻譜分析以及懸浮式速度井測等，所得到之速度構造清楚描繪岩盤型貌與地層速度變化，並利用此速度構造搭配鑽探與懸浮式速度井側之淺層速度構造模擬理論之場址效應。經由理論模擬之場址效應與觀測資料之比對，發現微地動分析第一階主頻較低，顯示岩盤深度應較鑽探標示的 35 公尺稍深，同時也顯示微地動量測可反應場址效應。本研究同時利用微地動量測結果，分析港區所在地不同頻段之震波放大倍率均佈圖，由均佈圖可知放大倍率在港區變化之情形，以及隨頻率增加放大倍率變化之趨勢。此外本計畫也利用微地動與單站頻譜比結果推算本區域之放大主頻，並利用所獲得之放大主頻加上其所對應之放大倍率分析港區土壤液化潛能。經反覆計算與驗證後，判斷本研究區域之主頻落在 1~3Hz，造成主要放大之地層為地表至岩盤間之回填層，而地表下 10 公尺內之局部速度變化，造成部份測點 3Hz 以上之高頻部份放大。受到回填層變化與地下水位之影響，低頻部分在蘇澳港碼頭與測區南邊的南方澳漁港部分有較高之放大，隨著頻率提高，較大放大之區域向測區西邊內陸以及港區北方移動，放大倍率約在 1.2~4.0，尤其在 0.3 秒與 0.2 秒的高頻部份，由於反應的是地表下 10 公尺內的淺層局部構造，因此各測點之放大差異較大。本研究所得之  $K_g$  值在港區內僅有 SA026 測點符合  $K_g$  值在 15~28 之間的液化條件，很大一部分均在 10 以下的安全區域，故港區在地震來襲時土壤發生液化之可能性不高，即使於大地震來襲時發生液化，也應是小區域之個案，全區應不至於發生大規模的液化情形。

目前之探測與分析結果僅止於已開發之區域，建議未來仍應在預計開發與更多週邊區域做地球物理與微地動探測，可作為港區後續開

發時規劃之參考，以建立完整之地層速度構造以及場址效應之完整資料庫。

## 參考文獻

1. Wang, C. Y., Chen, G. P. and Jong, D. T., 1994a, The Detection of Active Faults on Taiwan Using Shallow Reflection Seismics, TAO, 5, 277-294.
2. Wang, C. Y., Hsiao, W. C., Sun, C. T., 1994b, Reflection Seismic Stratigraphy in Taipei Basin (I)-Northwestern Taipei Basin, J. Geol. Soc. China, 37, 69-95.
3. Haskell, N. A., 1953. The Dispersion of Surface Wave on Multilayered Media, Bull. Seism. Soc. Am. 43, 17-34.
4. Haskell, N. A., 1960. Crustal reflection of plane SH waves, J. Geophys. Res., 65, 4147-4150.
5. Lermal, J. and Chavea-Garcia F. J., 1993. Site effect evaluation using spectral ratio with only one station, Bull. Seism. Soc. Am. 83, 1574-1594.
6. Nakamura Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, QR of RTR1 30, 1, February.
7. Peng, H. Y. and Wen, K. L., 1993. Downhole instrument orientation and near surface Q analysis from SMART2 array data, TAO, 4, 367-380.
8. Shieh, C. F., 1992, Estimation of Q value by SP/S spectra ratio, TAO, 3, 469-482.
9. 港灣技術研究中心，2004，蘇澳港地震及動態水壓即時監測系統完成報告書，港灣技術研究中心報告。
10. 臺灣省政府交通處港灣技術研究所，1994，臺灣各港區地質調查分析及資料建檔研究。
11. 陳政治、黃惠珠，2002，利用單站頻譜比法探討南投市之土壤液化特性，第九屆臺灣地區地球物理研討會論文集，臺灣中壢。

- 12.陳圭璋、賴聖耀、彭瀚毅、李俊延、張漢忠，2002，臺中港區速度構造調查與場址效應研究（II），第九屆臺灣地區地球物理研討會論文集，臺灣中壢。
- 13.彭瀚毅，1998.臺北盆地場址效應之研究，中央大學博士論文。
- 14.經濟部中央地質調查所全球資訊網(<http://www.moeacgs.gov.tw/>)
- 15.陳華玟、吳樂群、謝凱旋、何信昌，2001，經濟部中央地質調查所蘇澳地質圖幅。

## 附錄 A 地球物理及微地動試驗 野外工作照片

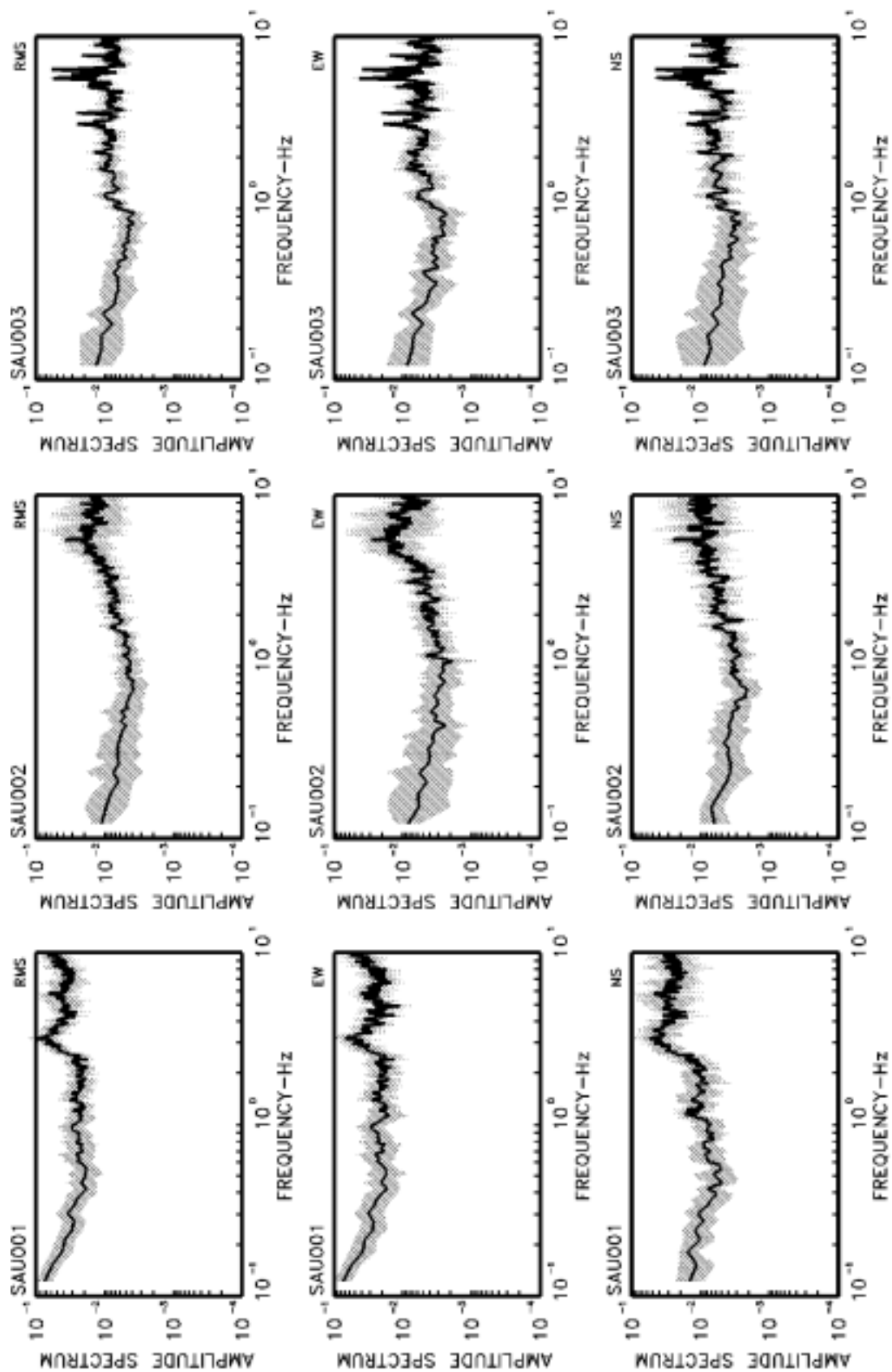


附 A-1

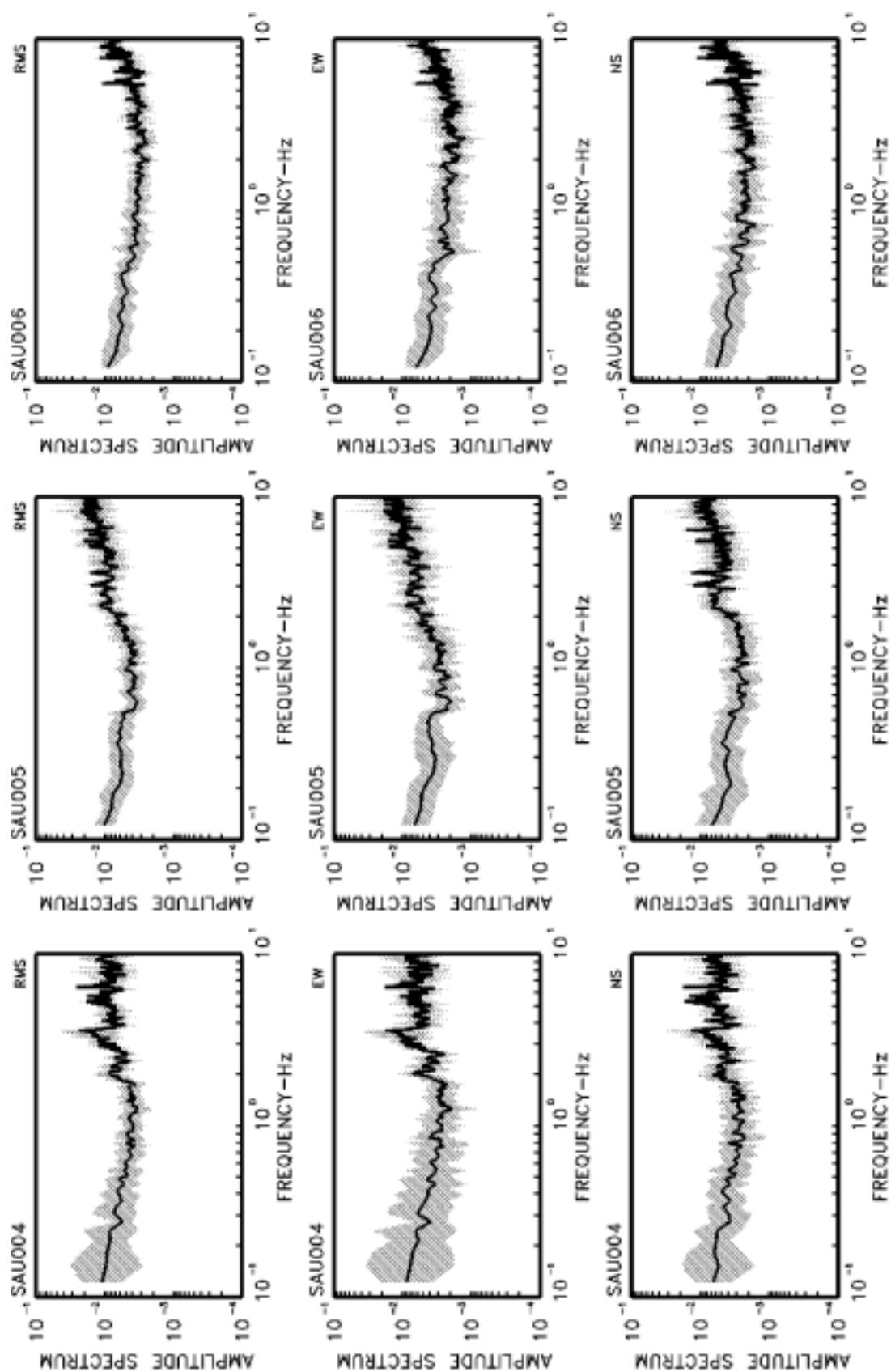


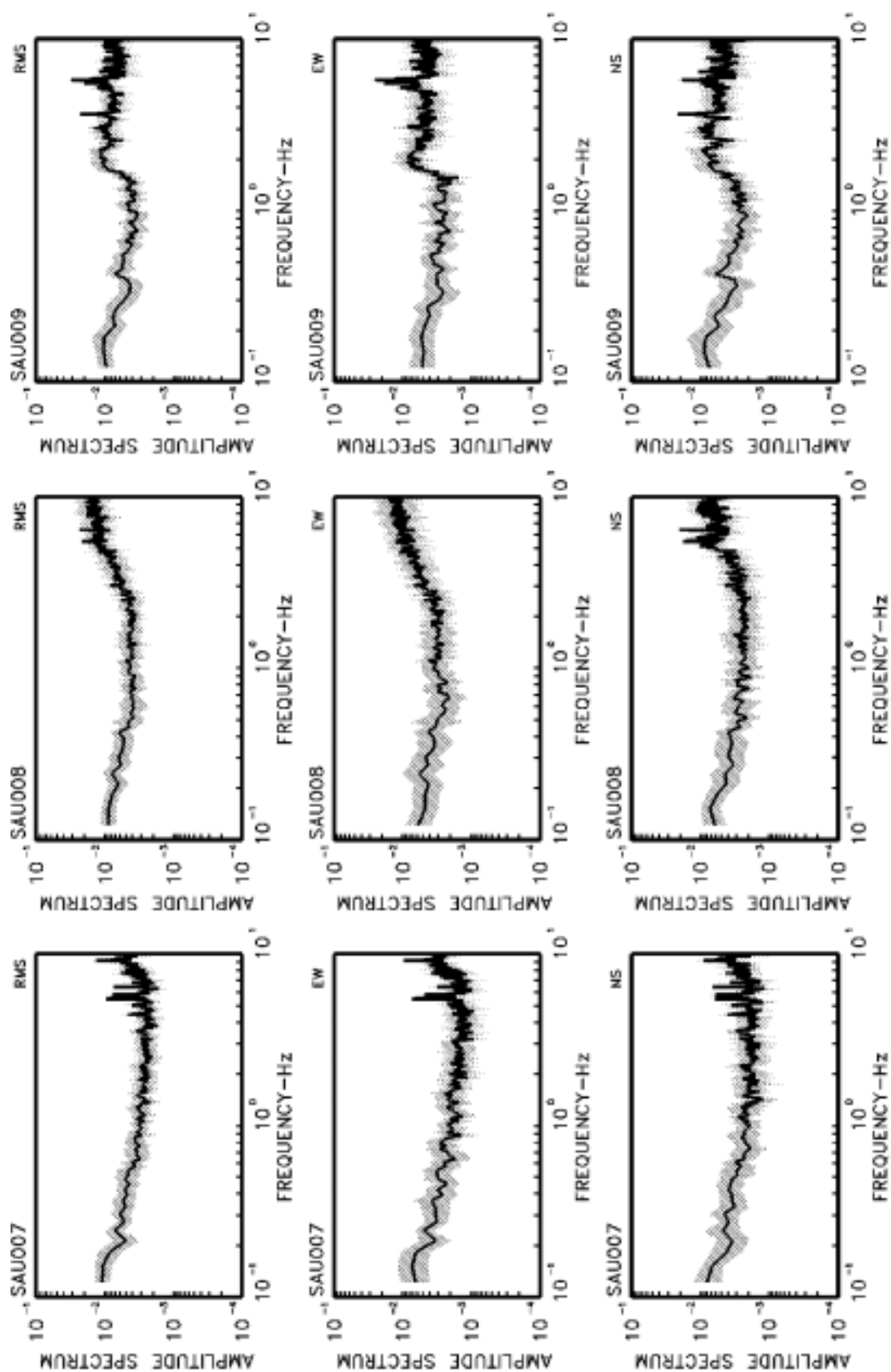
附 A-2

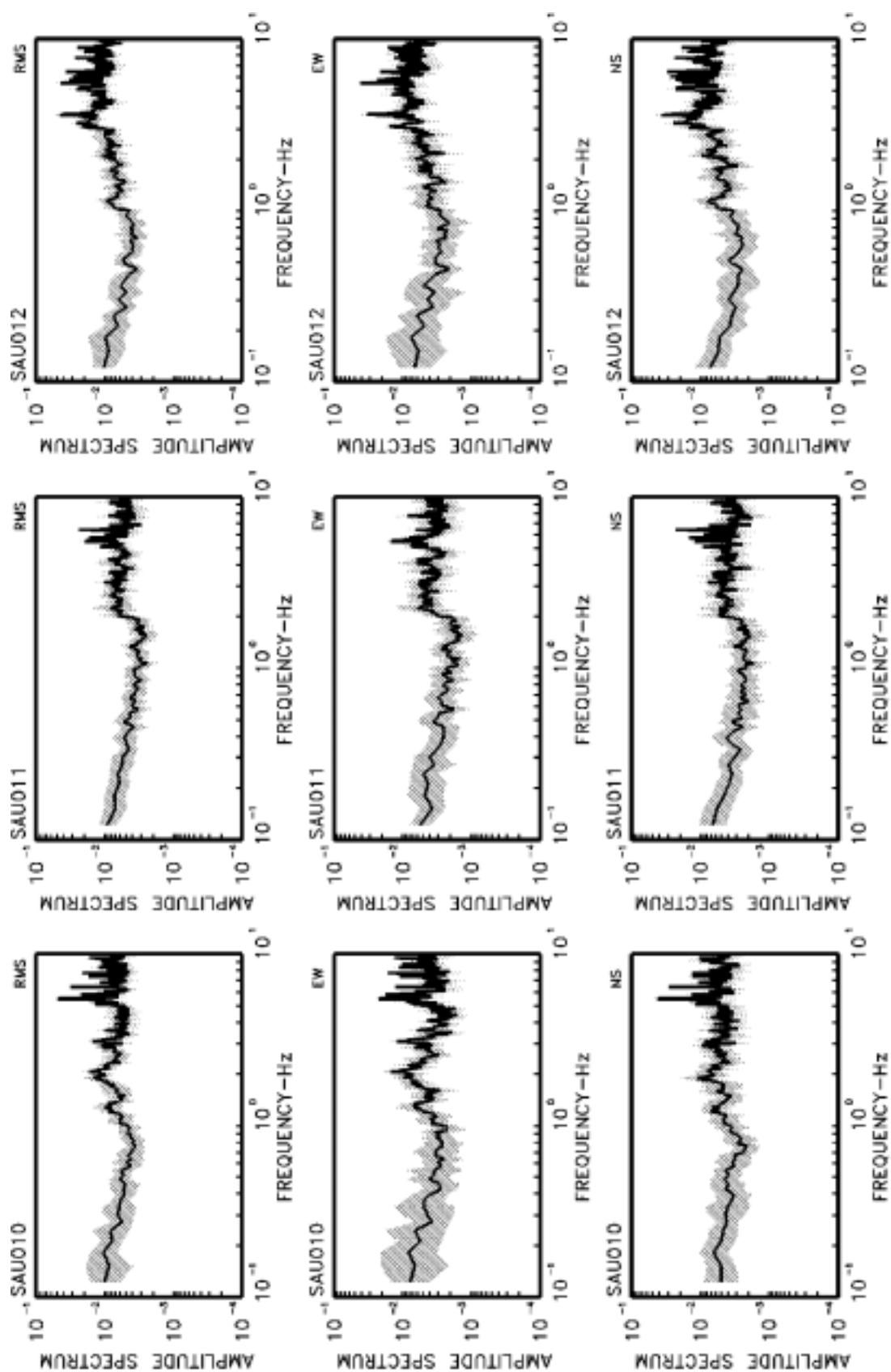
## 附錄B 蘇澳港區微地動量測頻譜

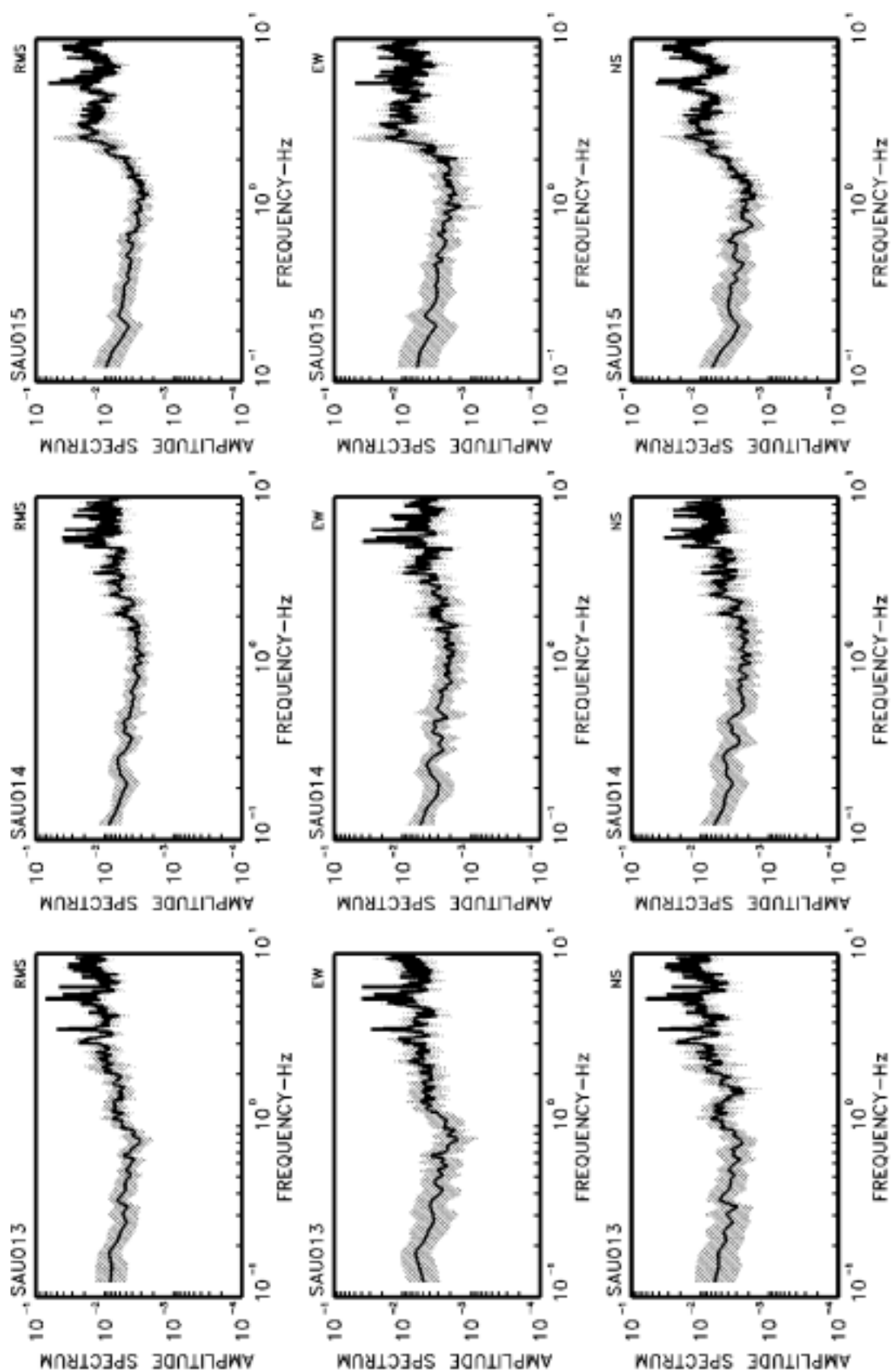


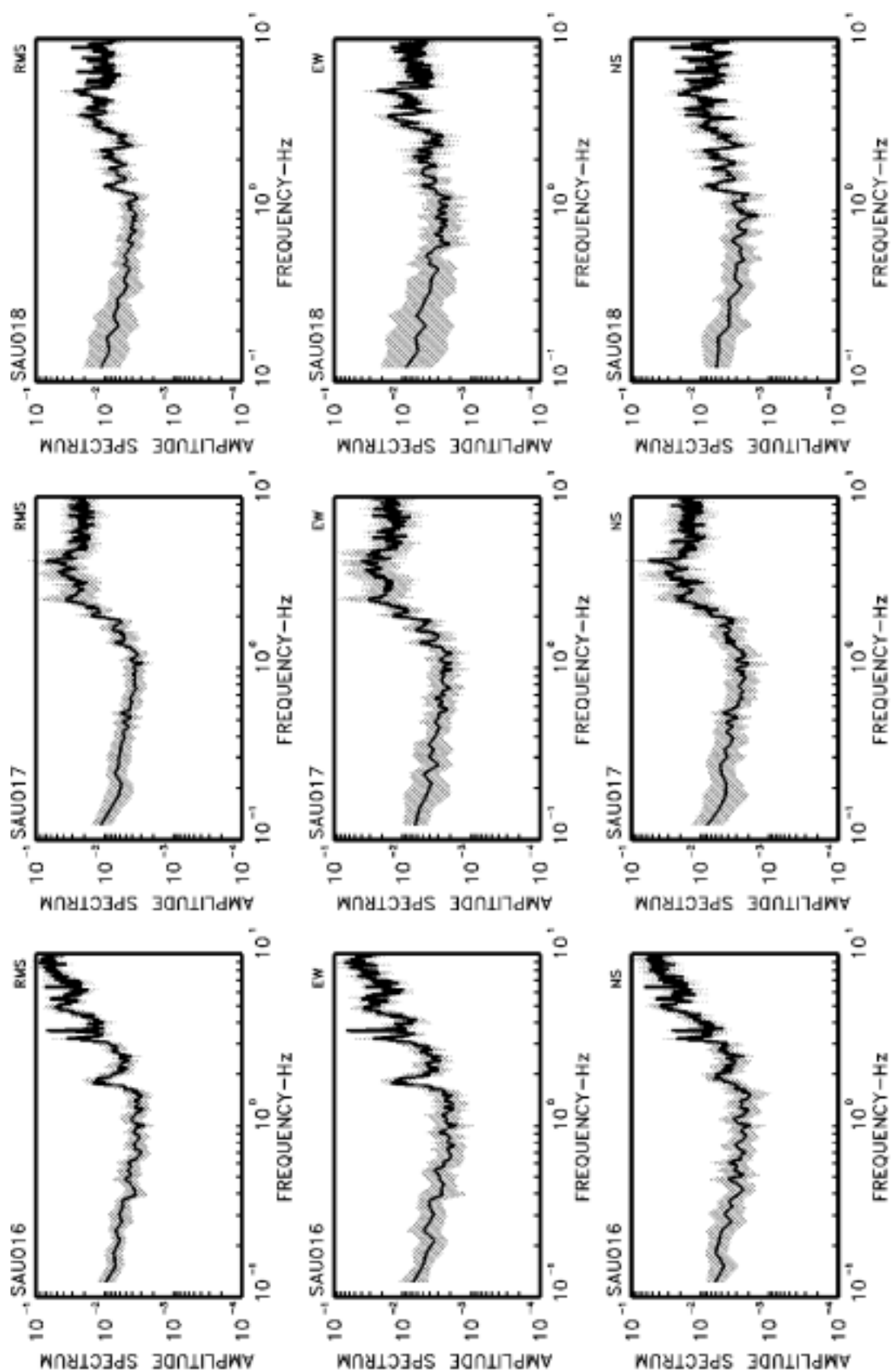
附 B-1

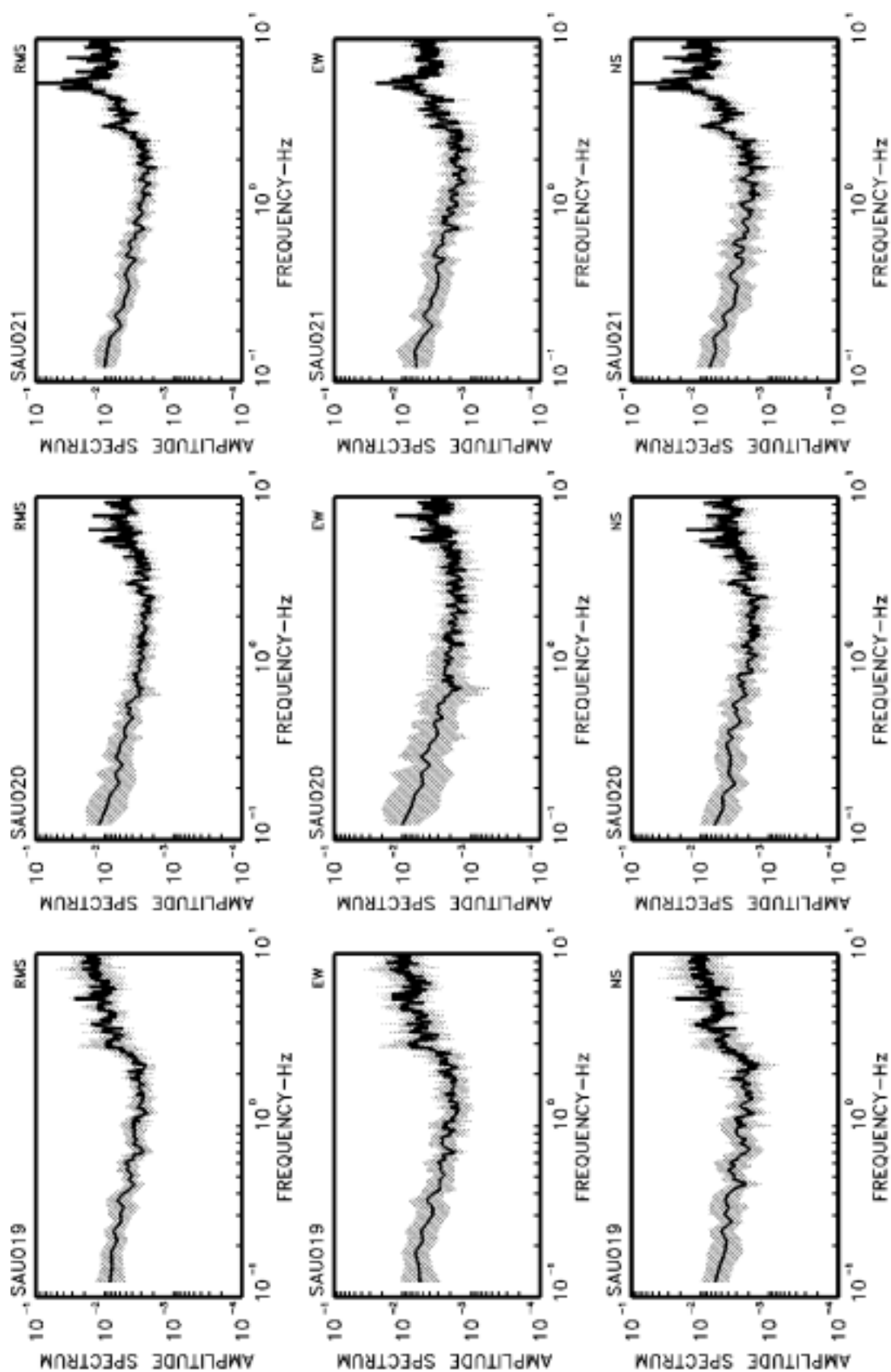


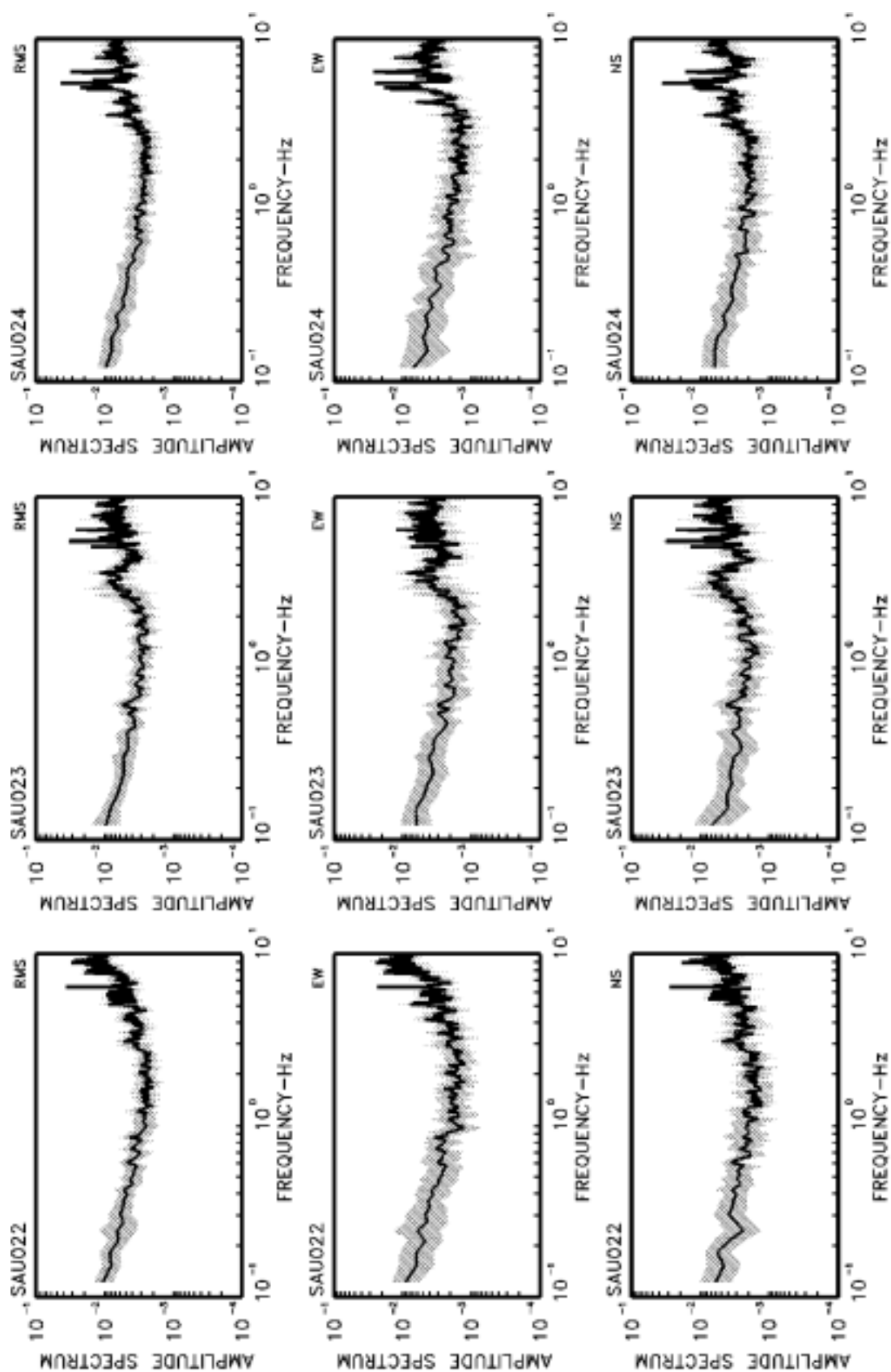


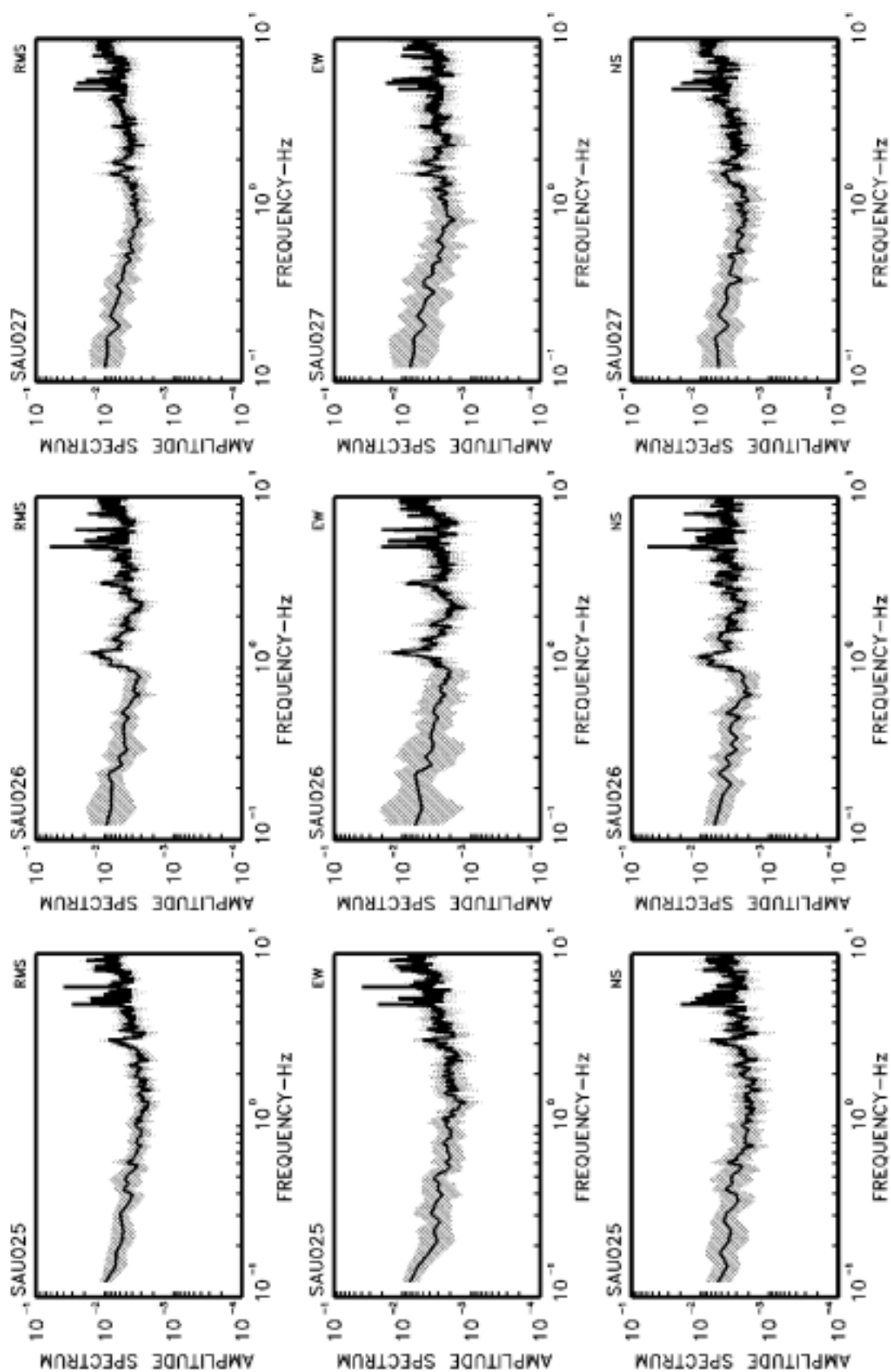


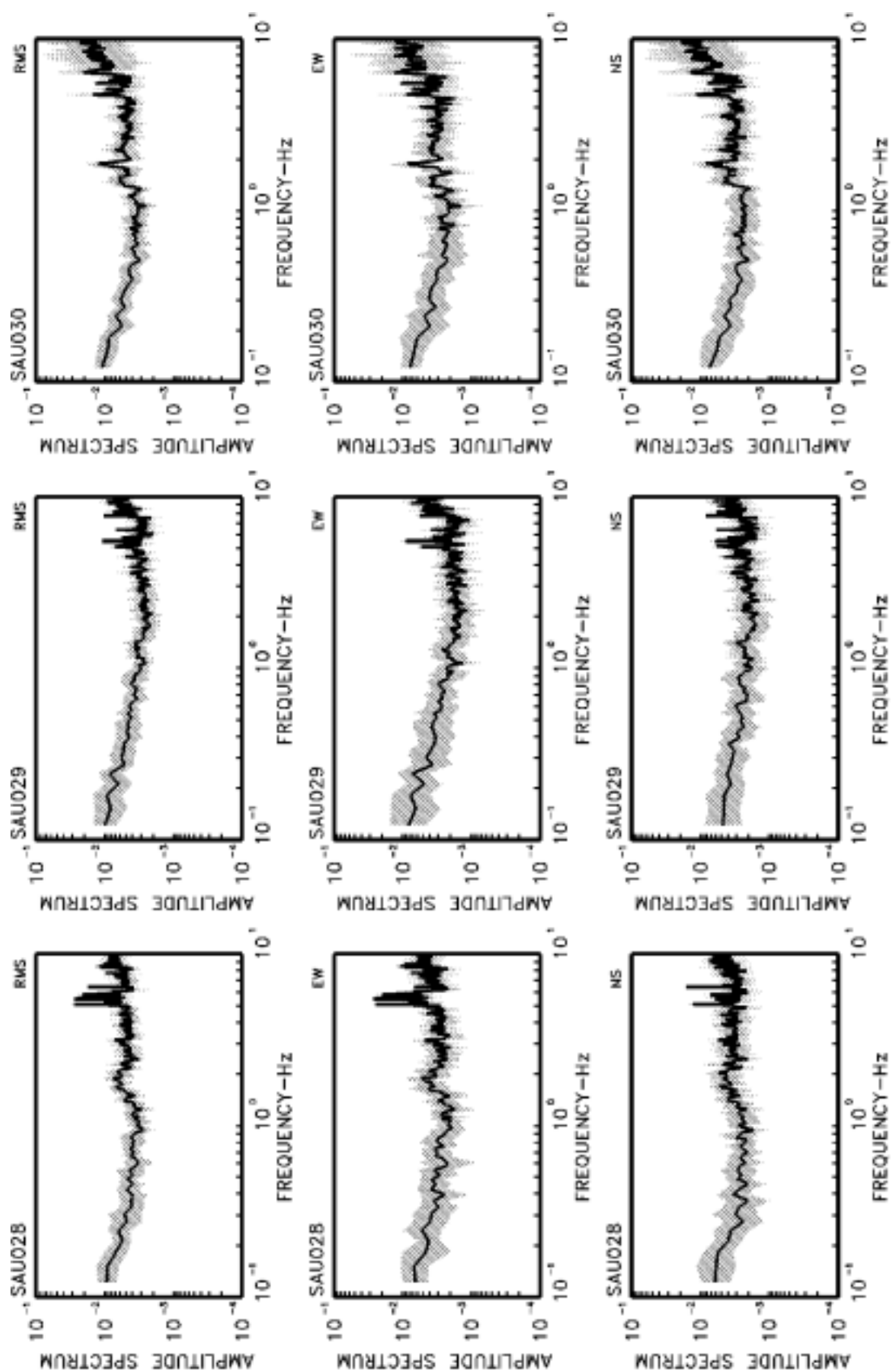


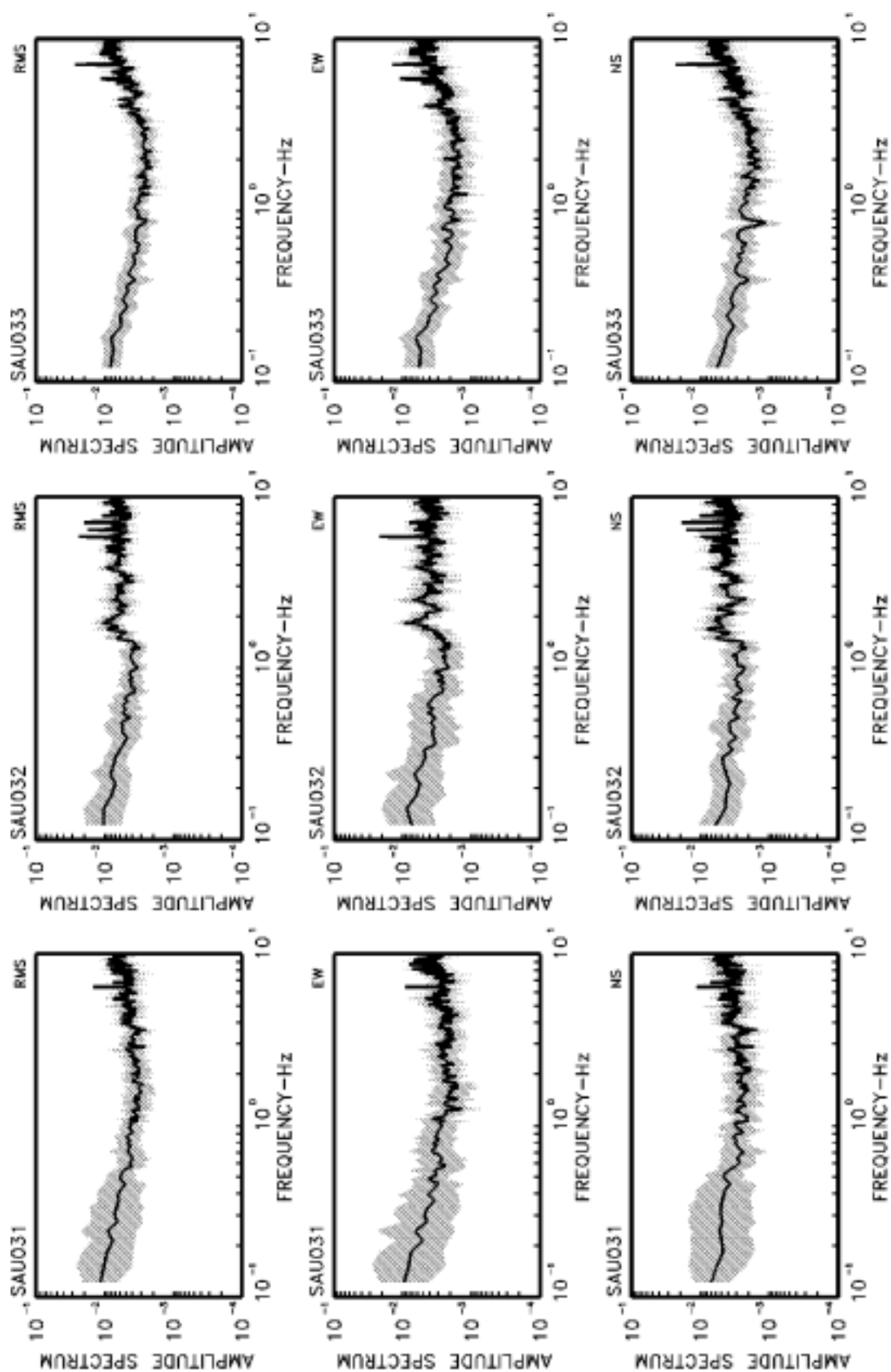


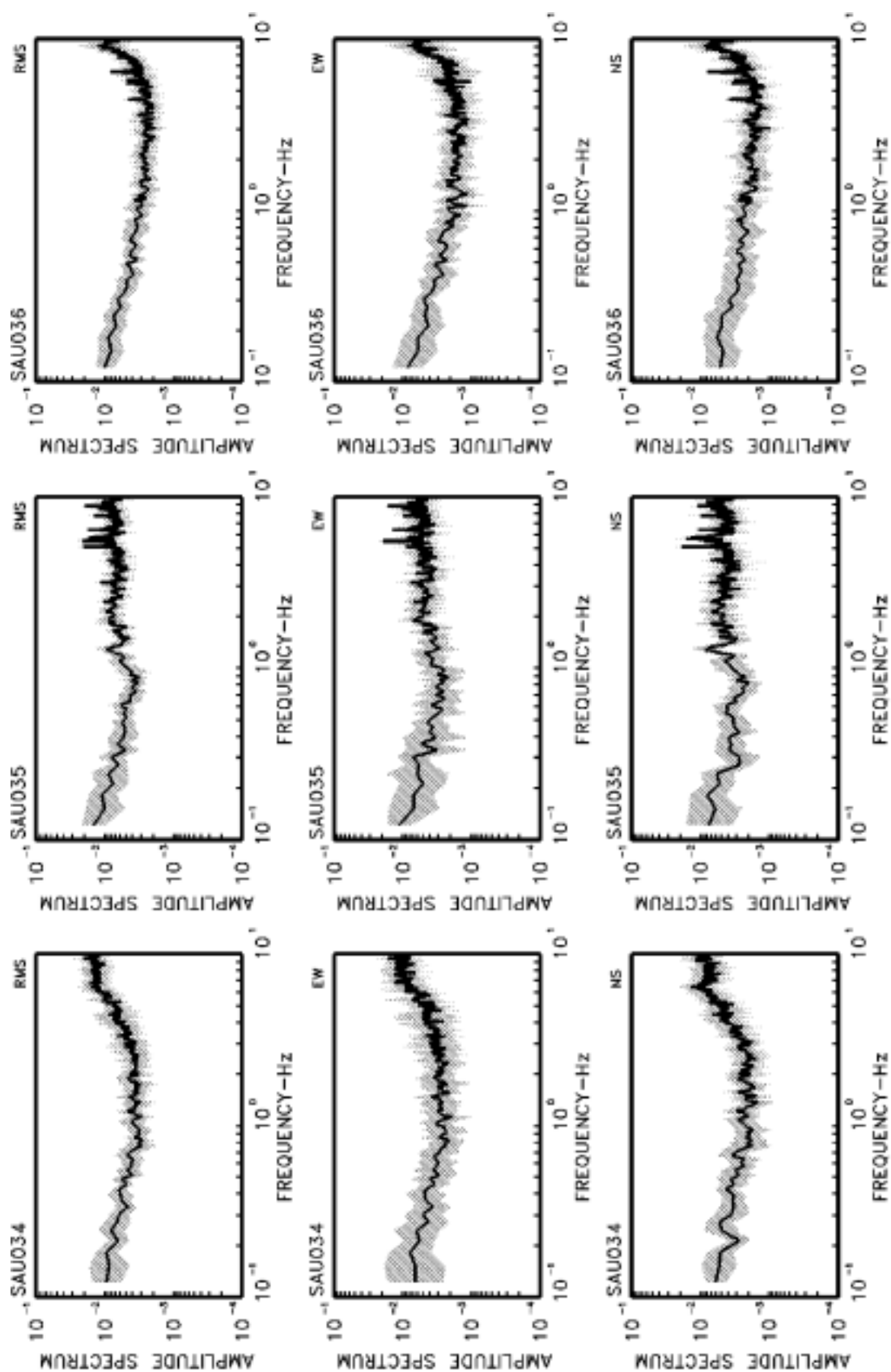


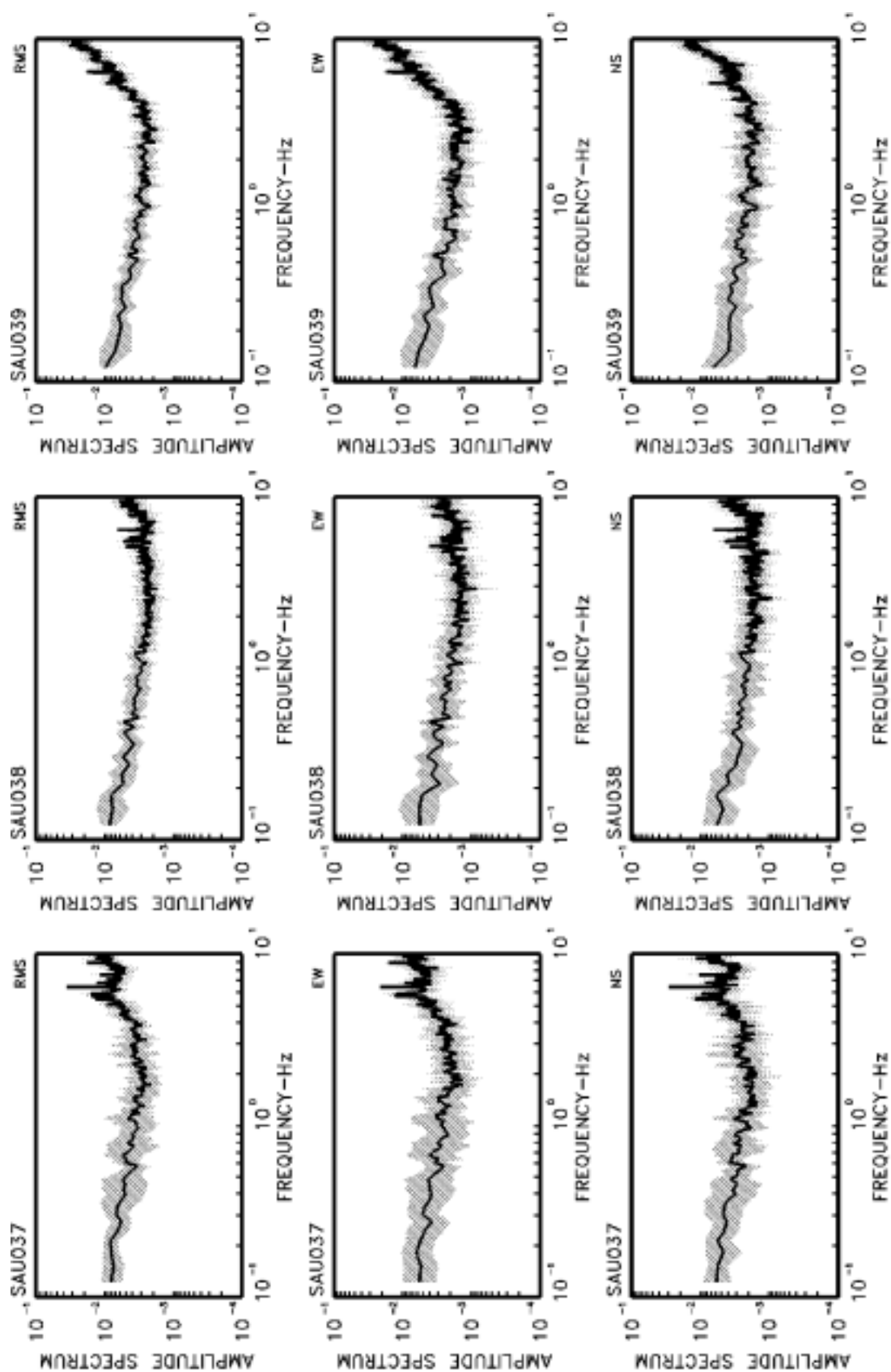


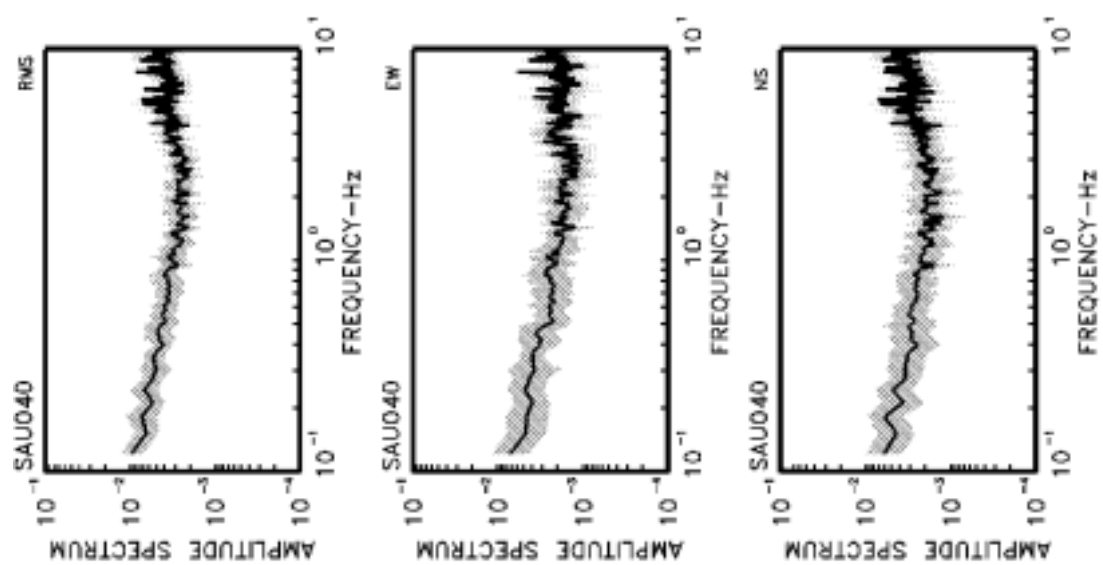




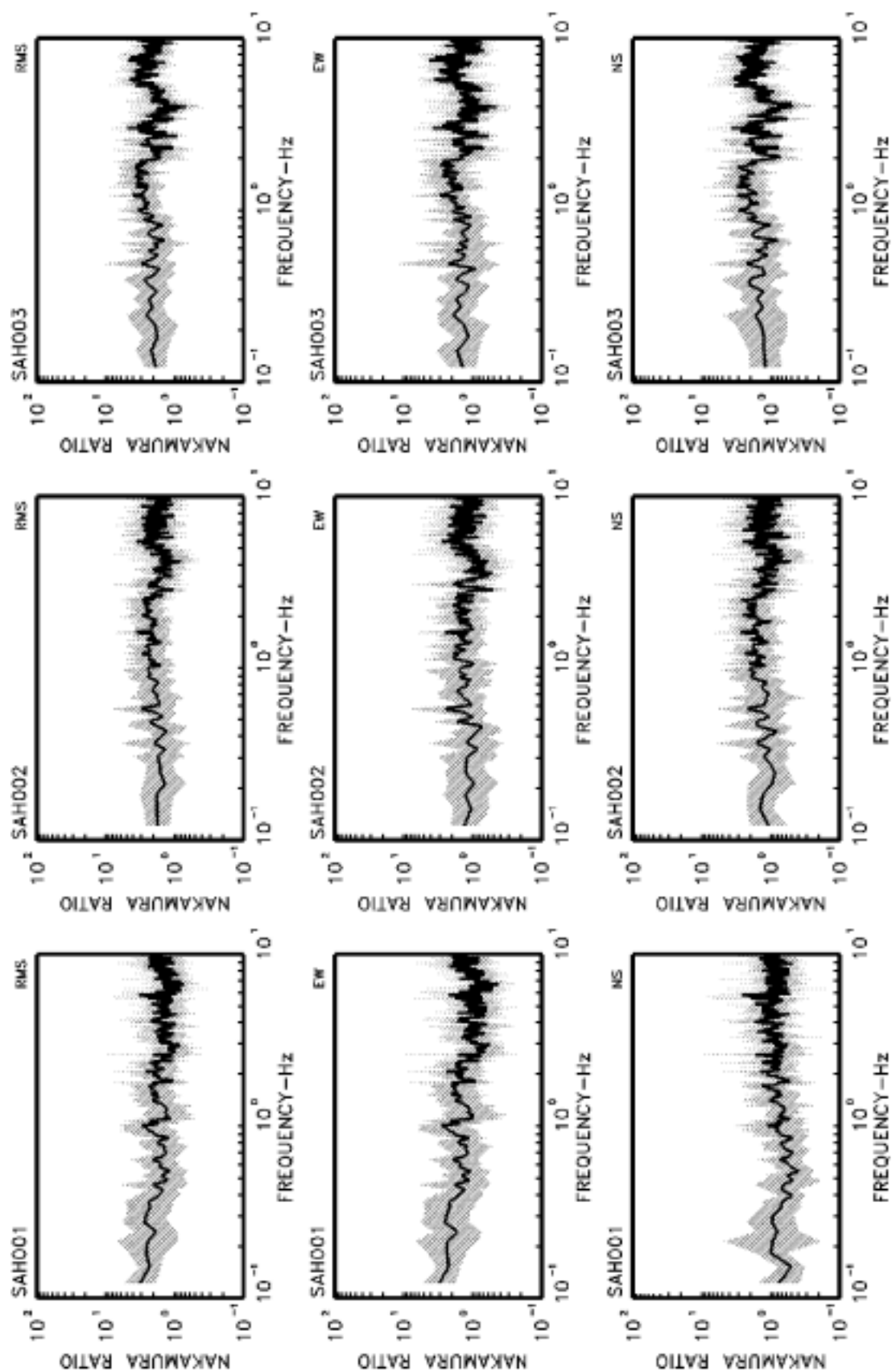




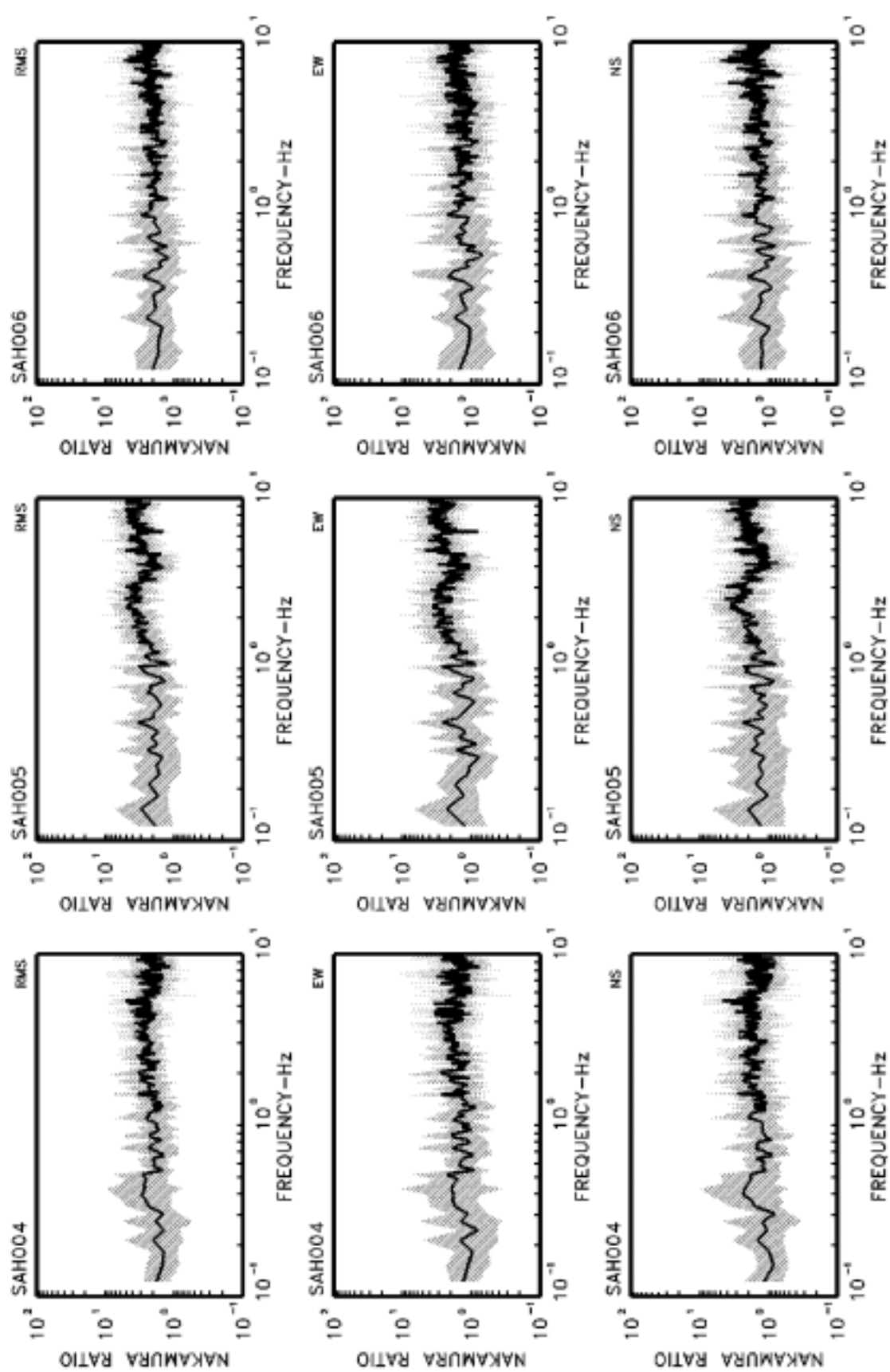




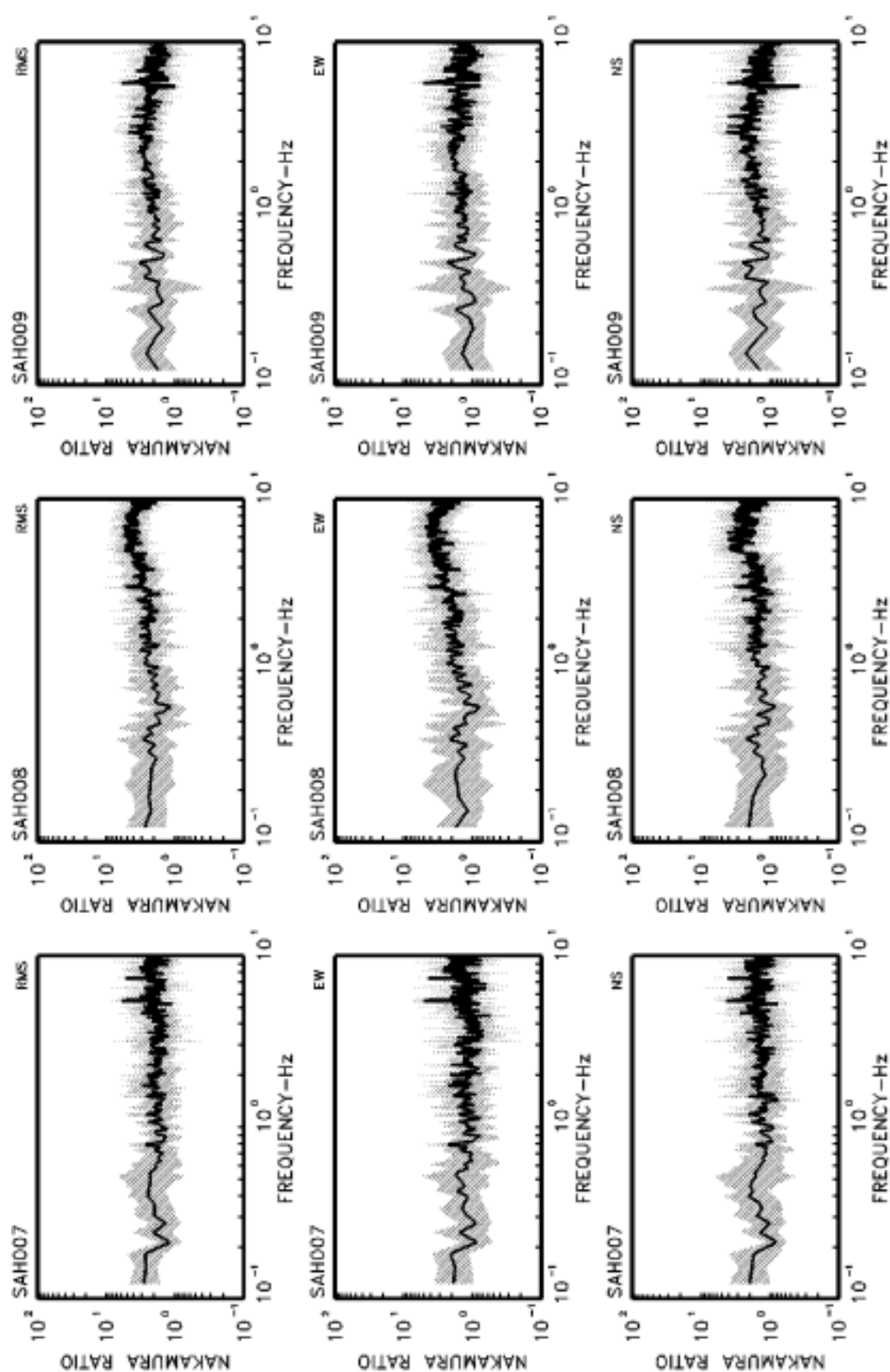
## 附錄C 蘇澳港區微地動量測 單站頻譜比



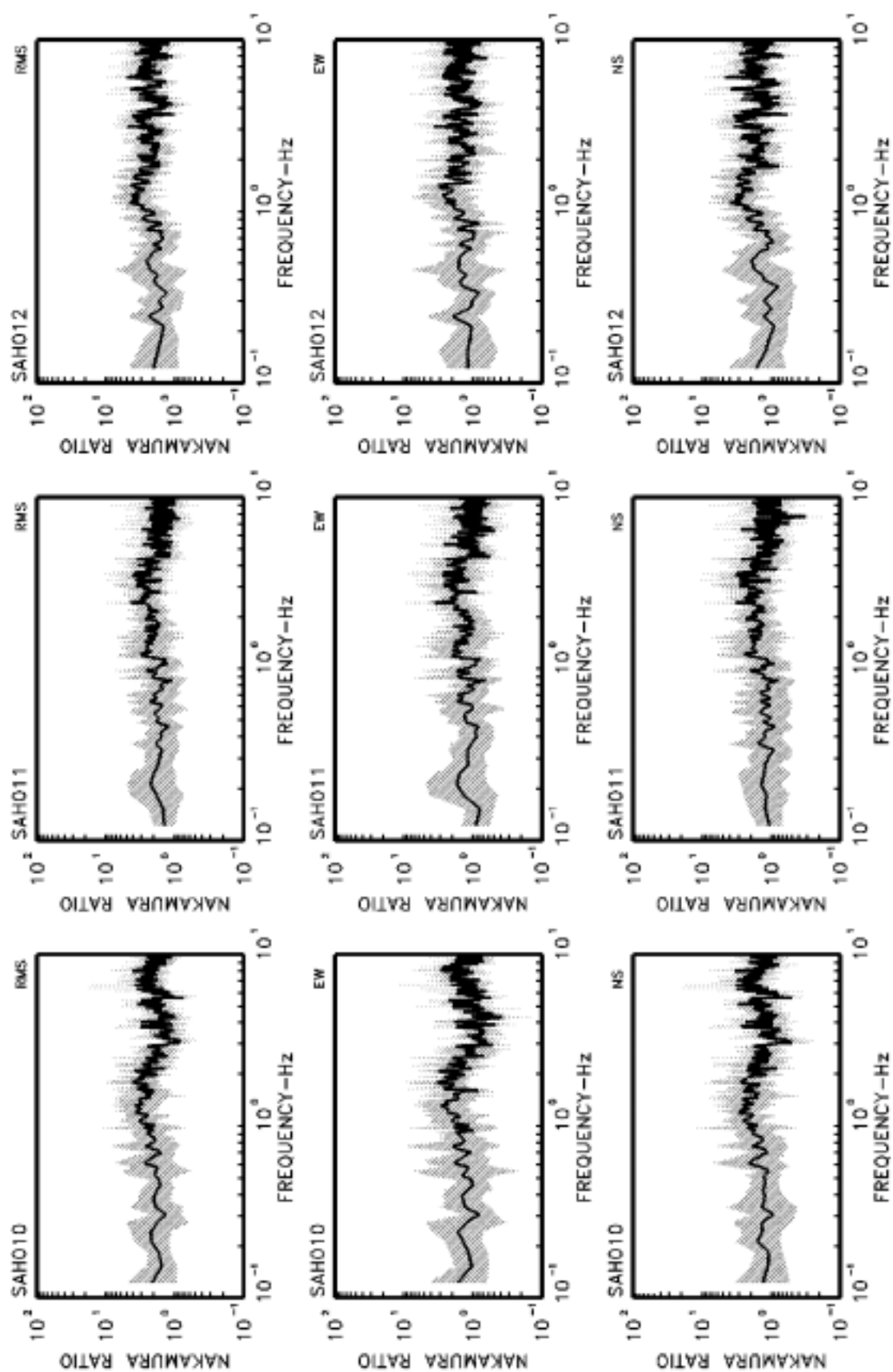
附 C-1



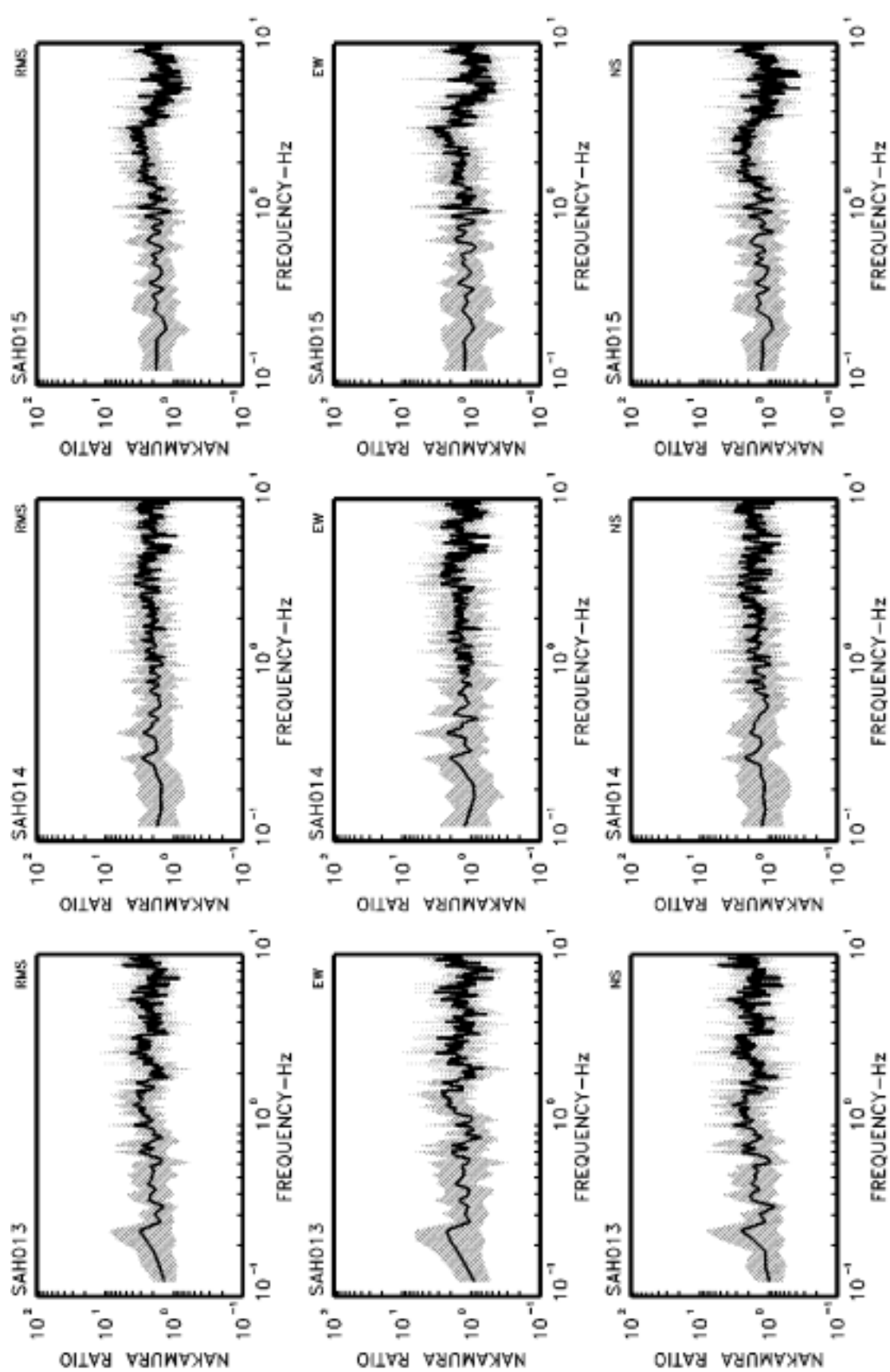
附 C-2



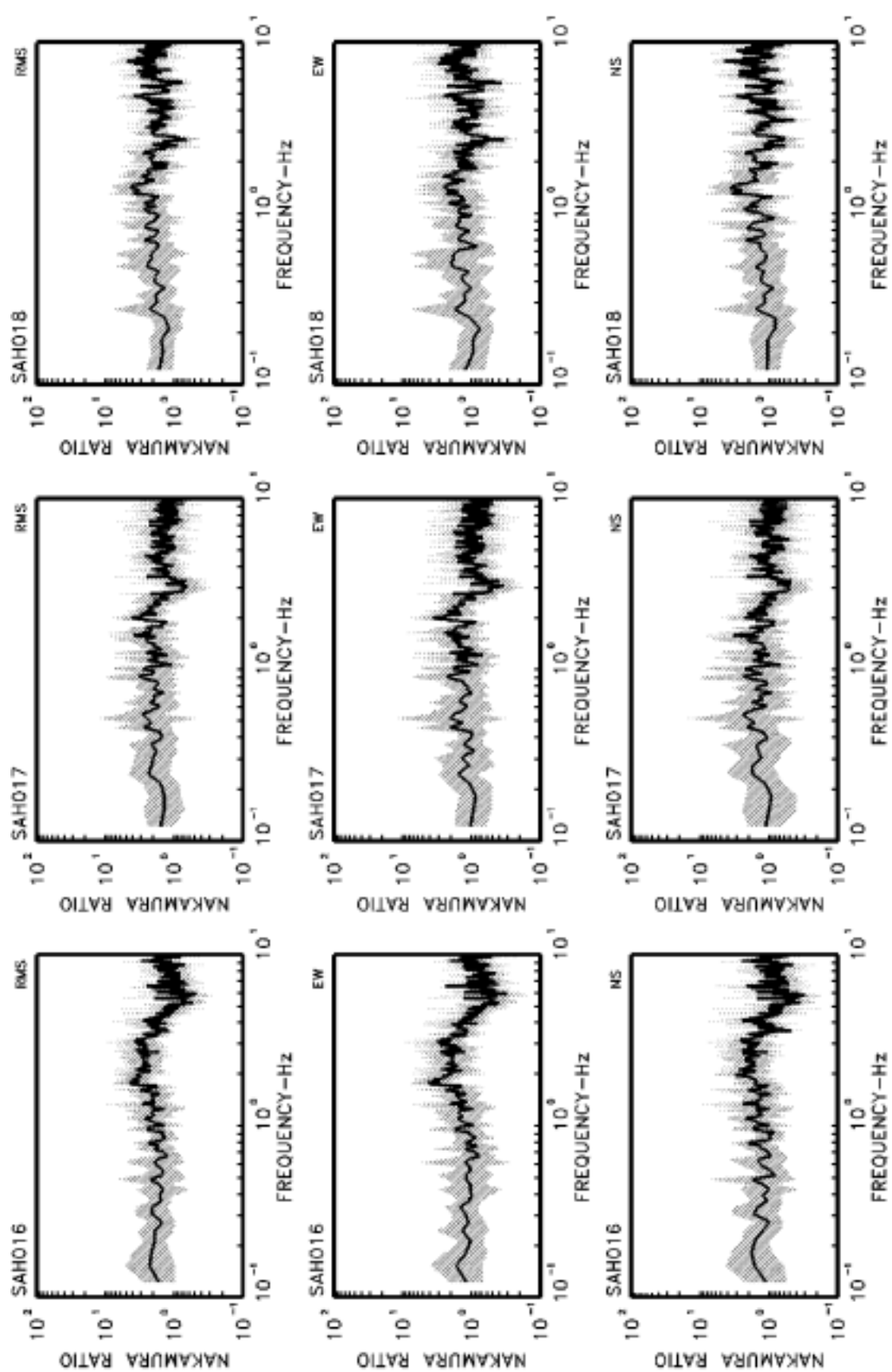
附 C-3



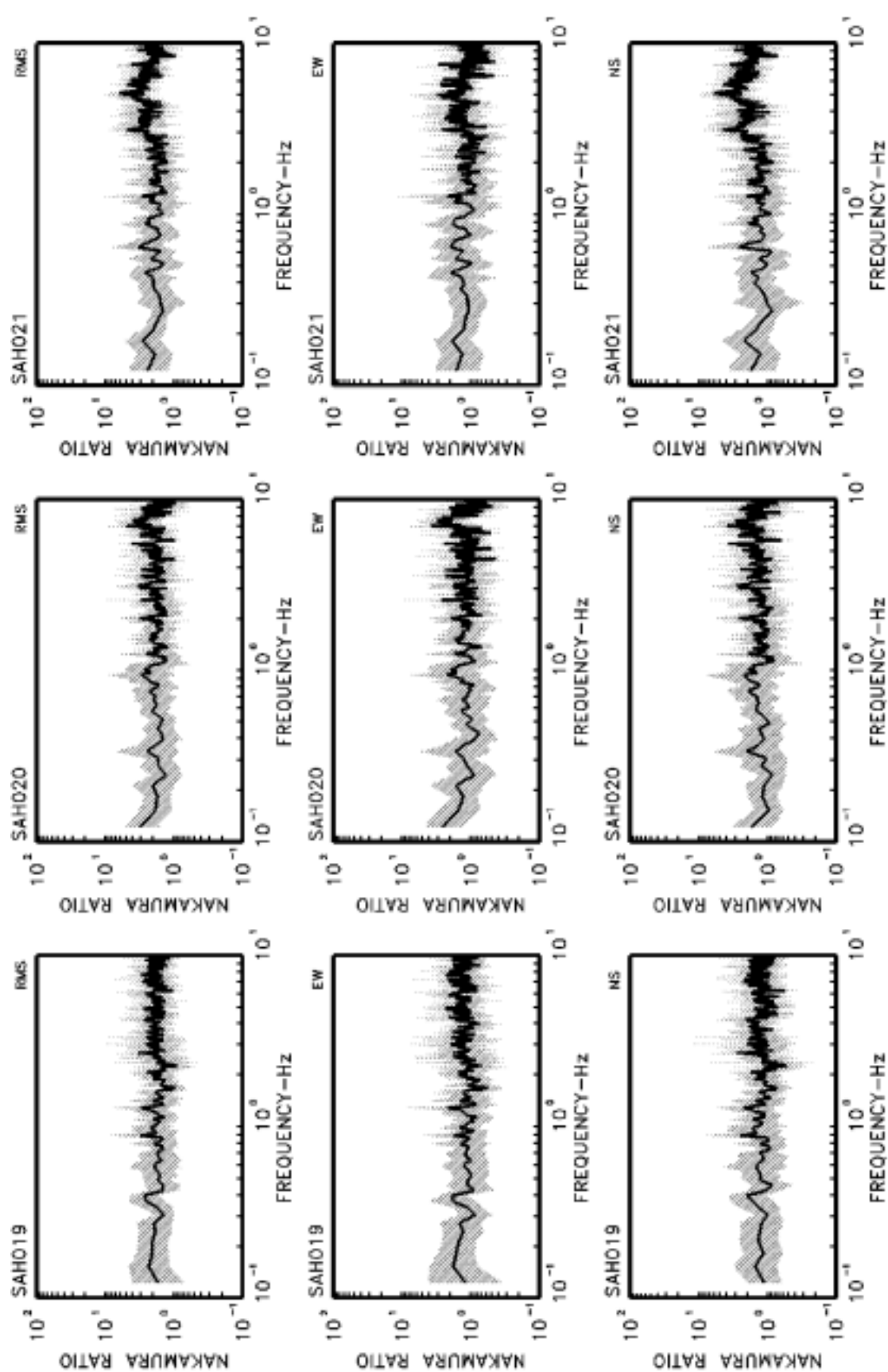
附 C-4



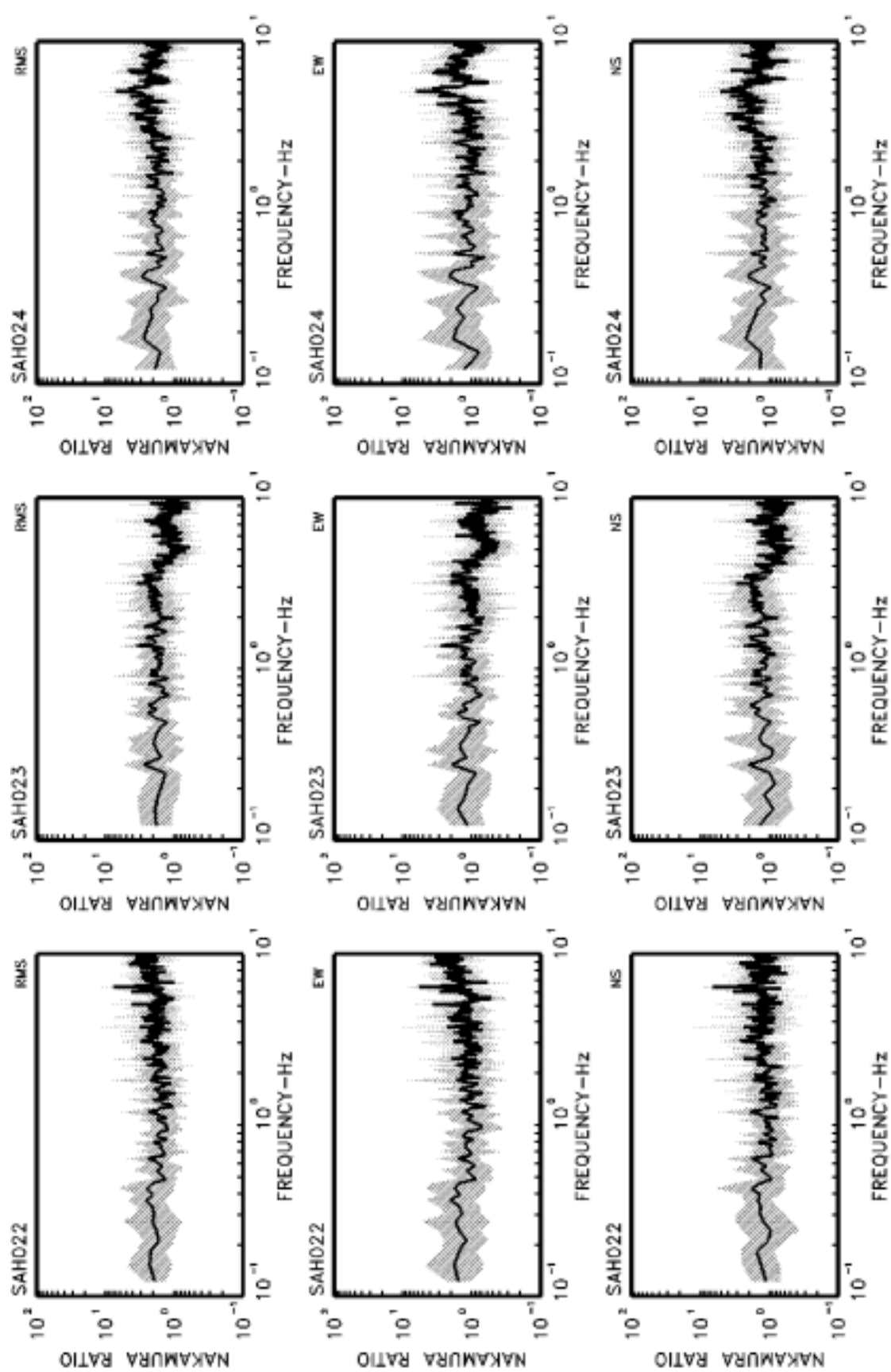
附 C-5



附 C-6



附 C-7



附 C-8

