94-54-7150 MOTC-IOT-93-H1DA003-3

港灣地區地層構造調查研究 (3/3)



交通部運輸研究所

中華民國九十四年四月

94-54-7150 MOTC-IOT-93-H1DA003-3

港灣地區地層構造調查研究 (3/3)

著者:陳圭璋

交通部運輸研究所

中華民國九十四年四月

國家圖書館出版品預行編目資料

港灣地區地層構造調查研究(3/3) / 陳圭璋著. --初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民94 面 ; 公分 參考書目:面 ISBN 986-00-0948-1(平裝) 1. 地質調查 - 臺灣 2. 港埠工程 356.232 94007089

| 港灣地區地層構造調查研究 (3/3) | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|
| 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(中文版/中心出版品) | | | | | |
| 電 話:(04)26587176 | | | | | |
| 出版年月:中華民國九十四年四月 | | | | | |
| 印刷者:飛燕印刷有限公司 | | | | | |
| 版(刷)次冊數:初版一刷 120 冊 | | | | | |
| 本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站 | | | | | |
| 定 價:200 元 | | | | | |
| 展 售 處: | | | | | |
| 交通部運輸研究所運輸資訊組•電話:(02)23496880 | | | | | |
| 三民書局重南店:臺北市重慶南路一段 61 號 4 樓•電話: (02)23617511 | | | | | |
| 三民書局復北店:臺北市復興北路 386 號 4 樓•電話: (02)25006600 | | | | | |
| 國家書坊臺視總店:臺北市八德路三段 10 號 B1• 電話: (02)25787542 | | | | | |
| 五南文化廣場:臺中市中山路6號•電話:(04)22260330 | | | | | |
| 新進圖書廣場:彰化市中正路二段 5號·電話:(04)7252792 | | | | | |
| 青年書局:高雄市青年一路 141 號 3 樓•電話:(07)3324910 | | | | | |

GPN: 1009401153

ISBN:986-00-0948-1(平裝)

港灣地區地層構造調查研究 (3/3)



GPN:1009401153 定價 200 元

交通部運輸研究所出版品摘要表

| 出版品名稱:港灣地區地層構造調查研究(3/3) | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|------------|--------------|--|--|--|
| 國際標準書號(或叢刊號)政 | 友府出版品統一編號 | 運輸研究所出版品編號 | 計畫編號 | | | |
| ISBN 986-00-0948-1(平裝) | 1009401153 | 94-54-7150 | 93-H1DA003-3 | | | |
| 主辦單位: 港灣技術研究中 | 心 | | 研究期間 | | | |
| 主管: 邱永芳 | | | 自 93 年 01 月 | | | |
| 計畫主持人:陳圭璋 | +畫主持人:陳圭璋 至 93 年 12 月 至 93 年 12 月 | | | | | |
| 研究人員:陳圭璋 | | | | | | |
| 聯絡電話: 04-26587174 | | | | | | |
| 傳真號碼: 04-265713297 & 04-26564418 | | | | | | |
| | | | | | | |

摘要:

本文利用地球物理法探查高雄港區之地層速度構造,以微地動量測之頻譜比來探討 高雄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 | | |
|-------------------------------------|-----|------|--|--|--|
| | | | 凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品,公營 | | |
| 94年4月 | 174 | 200 | 、公益機關團體 反學校 可函治本所免質贈閱;私人及私 營機關團體可按定價價購 | | |
| 継家笙奶・ | | | | | |
| 俄名守叙· | - 1 | 144 | | | |
| 限閱 機密 極機密 絕對機密 | | | | | |
| (解密【限】條件: 年 月 日解密, 公布後解密, 附件抽存後解密, | | | | | |
| 工作完成或會議終了時解密, 另行檢討後辦理解密) | | | | | |
| 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

| TTLE: Soil Structure of Harbor Areas in Taiwan (3/3) | | | | | | | |
|---|---|---|-----------------------------------|---------|----------------------------|---------------------|--|
| ISBN (OR ISSN) GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER IOT SERIAL NUMBER PROJECT NUMBER ISBN 986-00-0948-1 1009401153 94-54-7150 93 - HIDA003-3 DIVISION IRABOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER PROJECT PERIOD PROJECT PERIOD DIVISION DIFF. Kuel-Chang Chen PROJECT PERIOD PROJECT PERIOD PROMET STAFF. Kuel-Chang Chen PROJECT PERIOD PROJECT PERIOD PHONE: 04 -2657174 PROJECT STAFF. Kuel-Chang Chen PROJECT STAFF. Kuel-Chang Chen PHONE: 04 -265717329 & 04-26564118 PROJECT STAFF. Kuel-Chang Chen PROJECT STAFF. Kuel-Chang Chen REV WORDS: seismic survey, soil structure, spectral ratio, site effect PROJECT STAFF. Kuel-Chang Chen PROJECT STAFF. Kuel-Chang Chen PROJECT STAFF. Kuel-Chang Chen PROJECT STAFF. Kuel-Chang Chen PROJECT STAFF. Kuel-Chang Chen PROJECT PERIOD SETRACT: In this study, geophysical methods were used to investigate the soil speed structure. H/V Pratios from micro tremor measurements were compared to those simulated by the Haskall Method and the analytical results of earthquake data from 2 pieces of TSMIP and down hole accelerometer. The ground amplification ratio and predominant resonant frequency during earthquake were also investigated. CLASSIFICATION DATE OF PUBLICATION NUMBER OF PAGES PRICE CLASSIFICATION April 2005 NUMBER OF PAGES PRICE CLASSIFICATION To viewex expressed in this publicat | TITLE: Soil Struct | TITLE: Soil Structure of Harbor Areas in Taiwan (3/3) | | | | | |
| ISBN 986-00-0948-1 1009401153 94-54-7150 93 - HIDA003-3 (pbk.) PROJECT PERIOD PROJECT PERIOD DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu PROJECT PERIOD PROJECT STAFF: Kuci-Chang Chen PROJECT PERIOD PROJECT STAFF: Kuci-Chang Chen PROJECT TAFF: Kuci-Chang Chen PHONE: 04-26587174 FROM January 2004 TO December 2004 PO December 2004 PHONE: 04-26587174 FROM January 2004 Tatios from micro tremor measurements were used to investigate the soil speed structure. H/V ratios from micro tremor measurements were used to study the site effect and soil liquefaction potential of Kaohsiung Harbor area. H/V ratios from micro tremor measurements were compared to those simulated by the Haskall Method and the analytical results of earthquake data from 2 pieces of TSMIP and down hole accelerometer. The ground amplification ratio and predominant resonant frequency during earthquake were also investigated. DATE OF PUBLICATION NUMBER OF PAGES PRICE SECRET CONTIDENTIAL UNCLASSIFIED The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications. Communications. | ISBN (OR ISSN) | GOVERN | MENT PUBLICATIONS NUM | BER | IOT SERIAL NUMBER | PROJECT NUMBER | |
| (pbk.) PROJECT PERIOD DIVISION THARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Kuci-Chang Chen PROJECT STAFF: Kuci-Chang Ch | ISBN 986-00-0948-1 | | 1009401153 | | 94-54-7150 | 93 - H1DA003-3 | |
| DIVISION IHARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Kuej-Pang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Kuej-Chang Chen PROJECT STAFF: Kuej-Chang Chen Project I for those simulated by the Haskall Method and the analytical results of earthquake data from 2 pieces of TSMIP and down hole accelerometer. The ground amplification ratio and predominant resonant frequency during earthquake were also investigated. DATE OF PUBLICATION April 2005 NUMBER OF PAGES 174 200 CLASSIFICATION SECRET CONFIDENTIAL UNCLASSIFIED The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications. | (pbk.) | | | | | | |
| PRINCIPAL INVESTIGATOR: Kuei-Chang Chen PROJECT STAFF: Kuei-Ch | DIVISION: HARBOR | & MARIN | E TECHNOLOGY CENTER | | | PROJECT PERIOD | |
| PROJECT STAFF: Kuei-Chang Chen PHONE: 04-265571329 & 04-2656418 TO December 2004 KEY WORDS: seismic survey, soil structure, spectral ratio, site effect ABSTRACT: In this study, geophysical methods were used to investigate the soil speed structure. H/V ratios from micro tremor measurements were used to study the site effect and soil liquefaction potential of Kaohsiung Harbor area. H/V ratios from micro tremor measurements were compared to those simulated by the Haskall Method and the analytical results of earthquake data from 2 pieces of TSMIP and down hole accelerometer. The ground amplification ratio and predominant resonant frequency during earthquake were also investigated. DATE OF PUBLICATION April 2005 NUMBER OF PAGES 174 PRICE 200 CLASSIFICATION SECRET CONFIDENTIAL UNCLASSIFIED The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications. SUMER OF the Ministry of Transportation and Communications. | PRINCIPAL INVESTI | GATOR: K | uei-Chang Chen | | | FROM January 2004 | |
| FAX: 04-26571129 & 04-26564418 KEY WORDS; seismic survey, soil structure, spectral ratio, site effect ABSTRACT: In this study, geophysical methods were used to investigate the soil speed structure. H/V ratios from micro tremor measurements were used to study the site effect and soil liquefaction potential of Kaohsiung Harbor area. H/V ratios from micro tremor measurements were compared to those simulated by the Haskall Method and the analytical results of earthquake data from 2 pieces of TSMIP and down hole accelerometer. The ground amplification ratio and predominant resonant frequency during earthquake were also investigated. DATE OF PUBLICATION April 2005 NUMBER OF PAGES 174 PRICE 200 CLASSIFICATION SECRET CONFIDENTIAL UNCLASSIFIED The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications. Number of the Ministry of Transportation and Communications. | PROJECT STAFF: Kue PHONE: 04 -26587174 | ei-Chang C 1 | hen | | | TO December 2004 | |
| KEY WORDS: seismic survey, soil structure, spectral ratio, site effect ABSTRACT: In this study, geophysical methods were used to investigate the soil speed structure. H/V ratios from micro tremor measurements were used to study the site effect and soil liquefaction potential of Kaohsiung Harbor area. H/V ratios from micro tremor measurements were compared to those simulated by the Haskall Method and the analytical results of earthquake data from 2 pieces of TSMIP and down hole accelerometer. The ground amplification ratio and predominant resonant frequency during earthquake were also investigated. DATE OF PUBLICATION NUMBER OF PAGES April 2005 174 200 CLASSIFICATION SECRET CONFIDENTIAL UNCLASSIFIED UNCLASSIFIED | FAX: 04 –26571329 & | 04-265644 | 18 | | | | |
| ABSTRACT: In this study, geophysical methods were used to investigate the soil speed structure. H/V ratios from micro tremor measurements were used to study the site effect and soil liquefaction potential of Kaohsiung Harbor area. H/V ratios from micro tremor measurements were compared to those simulated by the Haskall Method and the analytical results of earthquake data from 2 pieces of TSMIP and down hole accelerometer. The ground amplification ratio and predominant resonant frequency during earthquake were also investigated. DATE OF PUBLICATION April 2005 NUMBER OF PAGES 174 PRICE 200 CLASSIFICATION SECRET CONFIDENTIAL UNCLASSIFIED The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications. Classifications. | KEY WORDS: seism | nic surve | y, soil structure, spectral | ratio | o, site effect | | |
| In this study, geophysical methods were used to investigate the soil speed structure. H/V ratios from micro tremor measurements were used to study the site effect and soil liquefaction potential of Kaohsiung Harbor area. H/V ratios from micro tremor measurements were compared to those simulated by the Haskall Method and the analytical results of earthquake data from 2 pieces of TSMIP and down hole accelerometer. The ground amplification ratio and predominant resonant frequency during earthquake were also investigated. DATE OF PUBLICATION April 2005 NUMBER OF PAGES 174 PRICE 200 CLASSIFICATION SECRET CONFIDENTIAL UNCLASSIFIED The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications. Transportation and Communications. | ABSTRACT: | | | | | | |
| DATE OF PUBLICATION April 2005NUMBER OF PAGES 174PRICECLASSIFICATION SECRET CONFIDENTIAL UNCLASSIFIEDThe views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation are communications. | In this study, geophysical methods were used to investigate the soil speed structure. H/V ratios from micro tremor measurements were used to study the site effect and soil liquefaction potential of Kaohsiung Harbor area. H/V ratios from micro tremor measurements were compared to those simulated by the Haskall Method and the analytical results of earthquake data from 2 pieces of TSMIP and down hole accelerometer. The ground amplification ratio and predominant resonant frequency during earthquake were also investigated. | | | | | | |
| DATE OF PUBLICATION April 2005NUMBER OF PAGES 174PRICE 200SECRET CONFIDENTIAL UNCLASSIFIEDThe views expressed in this publication are not necessarily those of the window of the supervised o | | | | | | CLASSIFICATION | |
| April 2005 174 200 CONFIDENTIAL UNCLASSIFIED The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications. | DATE OF PUBLIC | ATION | NUMBER OF PAGES | | PRICE | SECRET | |
| UNCLASSIFIED The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications. | April 2005 | | 174 | | 200 | CONFIDENTIAL | |
| The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications. | | UNCLASSIFIED | | | | | |
| | The views expressed in | this public | ation are not necessarily those o | f the I | Ministry of Transportation | and Communications. | |

港灣地區地層構造調查研究 (3/3)

目 錄

| 中文摘要 |
|------------------------------|
| 英文摘要 |
| 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 2-2 |
| 第三章 地球物理探測 |
| 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) |
| 3.4 地球物理探測結果 3-13 |
| 第四章 微地動量測與場址效應分析4-1 |
| 4.1 微地動量測 |
| 4.2 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 4-21 |

| 第五章 | 〕結論 | 5-1 |
|-----|-----------|-----|
| 參考了 | 文獻 | 5-1 |
| 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 高雄港區微地動量測頻譜

附錄 C 高雄港區微地動量測單站頻譜比

| 圖 2.1.1 高 | 高雄港區地理位置圖 | 2-5 |
|-----------|------------------------------|------|
| 圖 2.1.2 蒼 | 高雄港區附近地質圖(重繪自地質調所高雄地質圖幅) | 2-6 |
| 圖 2.1.3 高 | 高雄圖幅高雄都會區鑽井達基盤深度圖(吳樂群,2000). | 2-7 |
| 圖 2.2.1 高 | 高雄港區地球物理測線位置圖 | 2-8 |
| 圖 2.2.2 高 | 高雄港區微地動試驗位置圖 | 2-9 |
| 圖 3.1.1 打 | 折射震波探測儀器配置圖 | 3-19 |
| 圖 3.1.2 打 | 折射震測流程圖 | 3-19 |
| 圖 3.1.3 法 | 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 | 3-20 |
| 圖 3.1.4 扌 | 折射震測測線 LA-1 速度層剖面圖 | 3-21 |
| 圖 3.1.5 打 | 折射震測測線 LA-2 速度層剖面圖 | 3-21 |
| 圖 3.1.6 書 | 折射震測測線 LA-3 速度層剖面圖 | 3-22 |
| 圖 3.2.1 | 野外反射震測探測配置圖 | 3-22 |
| 圖 3.2.2 反 | 反射震測施測流程圖 | 3-23 |
| 圖 3.2.3 点 | 反射震測 LR-1 P 波速度分布圖 | 3-23 |
| 圖 3.2.4 点 | 反射震測 LR-2 P 波速度分布圖 | 3-24 |
| 圖 3.2.5 点 | 反射震測 LR-3 P 波速度分布圖 | 3-24 |
| 圖 3.2.6 加 | 反射震測 LR-4 P 波速度分布圖 | 3-25 |
| 圖 3.2.7 点 | 反射震測 LR-1~LR-4 地層構造原始剖面圖 | 3-26 |
| 圖 3.2.8 反 | 反射震測 LR-1~LR-4 地層構造解釋剖面圖 | 3-27 |
| 圖 3.3.1 署 | 表面波譜法(SASW)探測儀器配置圖 | 3-28 |
| 圖 3.3.2 署 | 表面波譜法(SASW)流程圖 | 3-28 |
| | | |

圖目錄

圖 3.3.3 表面波譜法 LS-1-1 (A)頻散曲線圖(B)S 波速度分布圖 3-29 圖 3.3.4 表面波譜法 LS-1-2 (A)頻散曲線圖(B)S 波速度分布圖 3-30 圖 3.3.5 表面波譜法 LS-2 (A)頻散曲線圖(B)S 波速度分布圖 3-31 圖 3.3.6 表面波譜法 LS-3 (A)頻散曲線圖(B)S 波速度分布圖 3-32 圖 3.3.7 表面波譜法 LS-4 (A)頻散曲線圖(B)S 波速度分布圖 3-33 圖 4.2.1 微地動量測 H/V 與理論計算轉換函數比較圖 4-26 圖 4.2.2 TSMIP 地震震央分佈圖 4-26 圖 4.2.3 KAU045 在 1999/9/21 地震之地動歷時 4-27 圖 4.2.4 KAU047 在 1999/9/21 地震之地動歷時 4-27 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

| 圖 4.4.1 | 衰減因子Q隨頻率變化回歸結果 | 4-36 |
|---------|-------------------------|------|
| 圖 4.5.1 | 模擬(上)與觀測(下)加速度在 R 方向比較圖 | 4-37 |
| 圖 4.5.2 | 模擬(上)與觀測(下)加速度在T方向比較圖 | 4-38 |
| 圖 4.5.3 | 模擬(上)與觀測(下)速度在 R 方向比較圖 | 4-39 |
| 圖 4.5.4 | 模擬(上)與觀測(下)速度在T方向比較圖 | 4-40 |
| 圖 4.5.5 | 模擬(上)與觀測(下)位移在 R 方向比較圖 | 4-41 |
| 圖 4.5.6 | 模擬(上)與觀測(下)位移在 T 方向比較圖 | 4-42 |
| 圖 4.6.1 | 特性週期4秒高雄港區放大倍率等值圖 | 4-43 |
| 圖 4.6.2 | 特性週期3秒高雄港區放大倍率等值圖 | 4-43 |
| 圖 4.6.3 | 特性週期2秒高雄港區放大倍率等值圖 | 4-44 |
| 圖 4.6.4 | 特性週期 1.5 秒高雄港區放大倍率等值圖 | 4-44 |
| 圖 4.6.5 | 特性週期1秒高雄港區放大倍率等值圖 | 4-45 |
| 圖 4.6.6 | 特性週期 0.5 秒高雄港區放大倍率等值圖 | 4-45 |
| 圖 4.6.7 | 特性週期 0.3 秒高雄港區放大倍率等值圖 | 4-46 |
| 圖 4.6.8 | 特性週期 0.2 秒高雄港區放大倍率等值圖 | 4-46 |
| 圖 4.6.9 | 高雄港區共振主頻等值均佈圖 | 4-47 |
| 圖 4.7.1 | 高雄港區 Kg值等值均佈圖 | 4-47 |

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。臺灣西部沿海各重要港區靠近 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。本研究為三 年之研究計畫,將針對臺中港、臺北港及高雄港等地區進行地層構造 調查及場址效應分析,本年度為研究計畫之第三年,研究地區為高雄 港區。

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。

除了利用地球物理方法所得之地層速度構造來反應震波放大倍 率及主頻,本研究蒐集分析一組設置於地面及井下之地震儀量測記錄 ,來確認地層之放大倍率及主頻。此外亦進行現地微地動觀測以瞭解 高雄港區放大倍率的平面分佈情形,藉由微地動觀測結果及前述地球 物理方法與地震觀測數據,將可分析出結構物遭受破壞的原因,該等 結果對日後港區工程結構物規劃設計將有助益。

1-1

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

本年度之港區地層(東側至中山路為止)構造調查研究係以高雄港 區為主要範圍。其理位置如圖 2.1.1 所示,調查地區包括高雄港區 內、旗津、西子灣及港區外圍(東側至中山路為止),其位處之行政區 則包含高雄市之鼓山區、前鎮區、小港區及旗津區等,西側臨臺灣海 峽,港區許多聯外道路可接臺 17 線,並可由臺 17 線直接上國道 1 號 高速公路。

依經濟部地質調查所的臺灣地質圖 - 高雄圖幅(詳圖 2.1.2),本區 下部岩層主要為古亭坑層,其出露主要位於半屏山及壽山地區,出露 岩層岩性為青灰色泥岩夾薄層砂岩,西子灣地區地層上部夾有高雄石 灰岩透鏡體及半屏山石灰岩透鏡體,由西子灣進入高雄都會區,主要 河流有愛河及前鎮溪,沖積層不整合覆蓋在古亭坑層之上,其厚度依 沉積位置而有所變化,沖積層主要由砂、礫石及泥所組成。依吳樂群 (2000)所述高雄平原區的地下構造複雜,多數地區受到褶皺系統(可能 與泥岩貫入或逆斷層活動有關)的影響,位於古地形高區或低區的沉積 物所呈現的沉積層序各有差異,由地質調查所在高雄都會區所鑽的七 口井(楠梓、勝利、灣內、莊敬、鹽埕、五權及小港)可見其基盤深度 不一(圖 2.1.3),由基盤出現高度及相對地層層位可知楠梓、勝利、 灣內、莊敬、鹽埕及小港屬於古地形高區,五權及中洲屬於古地形低 區。高雄平原區顯然有著複雜的地下地質構造,及可能為一系列背 斜、向斜及逆斷層構造。

本次調查區域主要地質構造為北側的半屏山背斜、壽山斷層及東 南方的鳳山斷層、鳳山背斜,其中半屏山背斜、鳳山斷層及鳳山背斜 走向主要由震測資料及重力異常推估,壽山斷層根據高雄捷運局所做 的調查報告(1995),其經由航照判釋、淺層反射震測、鑽探調查、試 溝調查及碳-14 定年所作研判分析,推測壽山斷層位置係由壽山向東 北延伸呈北 35°東,向東南傾斜 80°,為一東南側相對上升的高角度逆 斷層,斷層並未穿覆於古亭坑層之上的沉積物,由腐木定年資料得知 八千多年來斷層未再活動過。

2-1

2.2 現地調查試驗數量及位置

本年度工作地點位於高雄港區,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。本年度總共完成折射震波探測 276m,反射震波探測 1624m,表面波頻譜分析 5 處,微地動試驗 108 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。現地試驗工作照片如附錄 A 所 示,各試驗工作工作佈置如圖 2.2.1 及圖 2.2.2 所示,試驗項目及數量 詳述如下:

1.反射震測

佈置 4 條測線,第一條測線位於旗津地震站前方道路(旗津渡輪站),長度為 580 公尺,第二條測線位於加工出口區旁(擴建路),第 三條測線位於加工出口區旁之建基路上並垂直第二條測線佈置,第 二條及第三條測線長度各 406 公尺,第四條測線位於中山大學前蓮 海路上,測線長度 232 公尺,測線編號為 LR-1~LR-4,總長度 1624 公尺,座標如下表所示。

| No | キコック図ト | | 座標 | 長度(m) | /#==+ |
|------|--------|------------|-------------|-------------|--------|
| | 起於却 | 縱軸 | 橫軸 | | 11月1日土 |
| | 起點 | 176247.001 | 2500079.000 | 7 90 | |
| LK-I | 終點 | 176399.962 | 2499519.520 | 580 | |
| | 起點 | 178419.000 | 2499165.010 | 107 | |
| LR-2 | 終點 | 178035.903 | 2499030.580 | 406 | |
| | 起點 | 177864.110 | 2499576.000 | 406 | |
| LR-3 | 終點 | 178002.060 | 2499194.231 | | |
| LR-4 | 起點 | 174576.000 | 2502245.000 | 222 | |
| | 終點 | 174549.540 | 2502475.486 | 232 | |

2.折射震測

測線位置與反射震測第一條、第二條及第三條測線相同,佈置3條 測線,測線編號為LA-1~LA-3,共276公尺,座標如下表所示。

| | | 座標 | | | |
|-------|-----|------------|-------------|-------|--|
| No | 起終點 | 縱軸 | 橫軸 | 長度(m) | 1 イイ (有) |
| та 1 | 起點 | 176297.001 | 2499880.011 | | |
| LA-1 | 終點 | 176312.125 | 2499789.250 | 92 | |
| 1 4 2 | 起點 | 178207.998 | 2495084.989 | 92 | |
| LA-2 | 終點 | 178293.347 | 2499119.331 | | |
| 1 4 2 | 起點 | 174515.010 | 2502598.989 | | |
| LA-3 | 終點 | 174530.330 | 2502691.000 | 92 | |

3.表面波頻譜分析

測線位置位與反射震測相同,測線佈置 5 處,測線編號為 LS-1-1~LS-4,座標如下表所示。

| | ナコックロー | | 座標 | | / /// |
|--------|--------|------------|-------------|-------|------------------|
| No | 起終點 | 縱軸 | 橫軸 | 長度(m) | 1有註 |
| 1011 | 起點 | 176376.010 | 2499578.890 | | |
| LS-1-1 | 終點 | 176424.638 | 2499469.118 | 96 | |
| 1010 | 起點 | 176285.090 | 2499955.211 | | |
| LS-1-2 | 終點 | 176301.831 | 2499860.682 | 96 | |
| 18.2 | 起點 | 178208.000 | 2499084.691 | | |
| LS-2 | 終點 | 178297.056 | 2499120.513 | 96 | |
| 10.2 | 起點 | 177887.002 | 2499514.109 | | |
| LS-3 | 終點 | 177850.661 | 2499602.961 | 96 | |
| LS-4 | 起點 | 174515.010 | 2502598.989 | | |
| | 終點 | 174530.792 | 2502693.683 | 96 | |

4.微地動試驗與液化潛能分析

量測方式為在高雄港區內量測 52 點,旗津地區量測 26 點,港 區外至中山路間(含西子灣)量測 30 點,總共量測 108 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 高雄港區地理位置圖



圖 2.1.2 高雄港區附近地質圖(重繪自地質調所高雄地質圖幅)



圖 2.1.3 高雄圖幅高雄都會區鑽井達基盤深度圖(吳樂群, 2000)



圖 2.2.1 高雄港區地球物理測線位置圖



圖 2.2.2 高雄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,於每一測點上釘椿或噴漆並標示編號。

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,定義如下:

 $t_{v} = 1/2(t_{AY} - t_{BX} + t_{AB})....(1)$

t_{AV} =由 A 點產生震波至 Y 點接收之走時

t_{RX} =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*,計算結果所代表之波徑,經分析代 換得

$$t_{v} = \sum_{j=1}^{n-1} z_{jp} (\cos a_{jn} + \cos \beta_{jn}) / 2vj + AG \left[COS\theta_{n-1} / v_{n} - \sum_{j=1}^{n-2} (\cos a_{jn} - \cos \beta_{jn}) \sin(\theta_{j} - \theta_{j-1}) \cos \theta_{j-1} / 2v_{j} \right]$$

式中 i=表第 i 層

n=第 n 層為折射層

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

 θ_{j} =第 j 層傾角

 Z_{ip} =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

 $\frac{d}{dx}t_{v} = \frac{1}{Vn'} = \frac{\cos\theta}{Vn} - \sum_{j=1}^{n-2} \left(\cos a_{jn} - \cos\beta_{jn}\right) \sin\left(\theta_{j} - \theta_{j-1}\right) \cos\theta_{j-1} / 2Vj$ (3)

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

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)時間一深度函數

時間一深度函數_t,之定義為:

 $t_{G} = \frac{1}{2} \left[t_{AY} + t_{BX} - \left(t_{AB} + XY / V_{n}' \right) \right]$ (4)

式中之*XY/V[']*,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:

$$t_{G} = \sum_{j=2}^{n-1} z_{jG} \left(\cos \alpha_{jn} + \cos \beta_{jn} \right) / 2V_{j}$$
 (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 3 條,測線編號分別為 LA-1~LA-3,每 條測線 92m,總共長度 276m,受波器間距 4m。分別佈置於旗津地震 站旁、擴建路及蓮海路(中山大學內),折射震波速度層剖面圖如 圖 3.1.4~圖 3.1.6,由本次分析結果,研判本基地測線範圍內第一土層 為回填土及其下的黏土層或粉土層,速度約介於 0.91 km/sec~1.18 km/sec,第二土層 LA-1 及 LA-2 速度約介於 1.50 km/sec~1.59 km/sec,研判仍為砂土層,LA-3 速度約介於 1.81 km/sec~2.09 km/sec,研判其已屬於石灰岩地層,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 (km/sec) | 厚度(m) |
|----|---------|---------------------|-----------|
| 1 | 回填土或細砂層 | 0.91 1.01 | 4.20 7.13 |
| 2 | 砂土層 | 1.50 1.59 | |

2. LA-2 測線探測結果(詳圖 3.1.5)

| 層序 | 地層研判 | P 波速度 (km/sec) | 厚度 (m) | | |
|----|---------|---------------------|-----------|--|--|
| 1 | 回填土或粉土層 | 0.92 1.17 | 1.40 6.79 | | |
| 2 | 砂土層 | 1.54 1.57 | | | |

3. LA-3 測線探測結果(詳圖 3.1.6)

| 層序 | 地層研判 | P 波速度 (km/sec) | 厚度 (m) | |
|----|---------|---------------------|------------|--|
| 1 | 回填土或粉土層 | 0.96 1.18 | 1.23 13.51 | |
| 2 | 石灰岩 | 1.81 2.09 | | |

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,茲將儀器分訴如 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(Ex: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。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,於每一測點上釘椿或噴漆並標示編號。

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),本案間距為 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 60m,遠站支距使用 250m,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 16 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 4 條,第一條測線(LR-1)位於地震站前 方道路(旗津渡輪站),長度為 580 公尺,施測方向由北向南施測;第 二條測線(LR-2)位於加工出口區旁(擴建路),施測方向由東向西施 測;第三條測線(LR-3)位於加工出口區旁之建基路上並垂直第二條測 線佈置,施測方向由北向南施測,第二條及第三條測線長度各 406 公 尺,第四條測線(LR-4)位於中山大學前蓮海路上,施測方向由南向北 施測,測線長度 232 公尺,總長度 1624 公尺。本次反射震波探測使 用 100MHz 的受波器為 96 波道的,測線佈置 DAS-1 震測儀,受波器 間距為 2 公尺,震源間距 6 公尺,使用 16 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~圖 3.2.6 為 4 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 3.2.7~圖 3.2.8 為其地層構造剖面圖,左邊縱軸為時間,右邊縱軸為深度,由圖中 LR-1 及 LR-3 的南北向震測剖面中可看出古亭坑層略為向東南南傾斜約 25°,沖積層不整合覆蓋在古亭坑層之上,在 LR-2 的東西向震測剖面中可看出地層構造非常平緩,117m 以內為沖積層,P 波震波速度小於 1700m/sec,LR-4 的南北向震測剖面中約在 140m 以內其 P 波速度可達 1900m/sec,可能為石灰岩,其與下方的古亭坑層以不整合接觸,古亭坑層仍略為向東南南傾斜約 25°。

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,茲將儀器分訴 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。

3-11

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,於每一測點上釘椿或噴漆並標示編號。

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(slownessintercept domain)。
- 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

本次 SASW 探測 5 處, 編號為 LS-1-1~LS-4, 測線於旗津地區佈 置 2 處, 於擴建路、建基路及蓮海路(中山大學內)各佈置 1 處, 使用 4.5MHZ 的受波器及 48 波道的測線佈置, 受波器間距 2m, 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 100m 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~圖 3.3.7, 探測結果詳下表所示:

3-13

| 深度(m) | LS-1-1 | 深度(m) | LS-1-2 | 深度(m) | LS-2 | 深度(m) | LS-3 | 深度(m) | LS-4 |
|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|
| | Vs (m/sec) |
| 0~3 | 206 | 0~12 | 218 | 0~8 | 172 | 0~14 | 185 | 0~10 | 360 |
| 3~12 | 174 | 12~22 | 163 | 8~18 | 300 | 14~24 | 269 | 10~20 | 556 |
| 12~34 | 277 | 22~64 | 272 | 18~39 | 415 | 24~39 | 330 | 20~40 | 392 |
| 34~80 | 246 | 64~80 | 240 | 39~80 | 354 | 39~80 | 281 | 40~80 | 647 |
| 80~100 | 380 | 80~100 | 340 | 80~100 | 510 | 80~100 | 402 | 80~100 | 852 |

3.4 地球物理探測結果

- 由折射震測探測可知第一土層為回填土及其下的黏土層或粉土層, P 波速度約介於 0.91 km/sec~1.18 km/sec,第二土層 LA-1 及 LA-2 P 波速度約介於 1.50 km/sec~1.59 km/sec,研判仍為砂土層,LA-3 速度約介於 1.81 km/sec~2.09 km/sec,研判其已屬於石灰岩地層。
- 2. 由反射震測 LR-1 及 LR-3 的南北向震測剖面中可看出古亭坑層略 為向東南南傾斜約 25°,沖積層不整合覆蓋在古亭坑層之上,在 LR-2 的東西向震測剖面中可看出地層構造非常平緩,117m 以內為 沖積層,P 波震波速度小於 1700m/sec;LR-4 的南北向震測剖面中 約在 140m 以內其 P 波速度可達 1900m/sec,可能為石灰岩,其與 下方的古亭坑層以不整合接觸,古亭坑層仍略為向東南南傾斜約 25°。
- 3. 由 5 處表面波頻譜探測法及收集之前埋設井下地震儀所作的 269m 懸浮式速度井測法的 S 波探測結果(如下表),可看出除了 LS-4(中 山大學前)接近地表為石灰岩地層,其 S 波速度可高至 852 m/sec 外,其餘趨勢頗為一致,因此場址效應分析中的速度模型在

0m~100m 部分可依據表面波頻譜探測法及懸浮式速度井測探測結果。

| 深度 | Vs | 深度 | Vs | 深度 | Vs |
|-----|---------|-----|---------|-----|---------|
| (m) | (m/sec) | (m) | (m/sec) | (m) | (m/sec) |
| 1 | 212.3 | 2 | 229.9 | 3 | 219.5 |
| 4 | 215.0 | 5 | 212.8 | 6 | 198.0 |
| 7 | 241.0 | 8 | 259.7 | 9 | 294.1 |
| 10 | 241.0 | 11 | 277.8 | 12 | 207.7 |
| 13 | 333.3 | 14 | 333.3 | 15 | 327.9 |
| 16 | 327.9 | 17 | 307.7 | 18 | 303.0 |
| 19 | 344.8 | 20 | 344.8 | 21 | 327.9 |
| 22 | 392.2 | 23 | 384.6 | 24 | 384.6 |
| 25 | 370.4 | 26 | 344.83 | 27 | 357.1 |
| 28 | 357.1 | 29 | 357.1 | 30 | 322.6 |
| 31 | 289.9 | 32 | 294.1 | 33 | 317.5 |
| 34 | 303.0 | 35 | 281.7 | 36 | 312.5 |
| 37 | 294.1 | 38 | 333.3 | 39 | 344.8 |
| 40 | 317.5 | 41 | 344.8 | 42 | 357.1 |
| 43 | 344.8 | 44 | 350.9 | 45 | 333.3 |
| 46 | 377.4 | 47 | 307.7 | 48 | 377.4 |
| 49 | 363.6 | 50 | 377.4 | 51 | 377.4 |
| 52 | 370.4 | 53 | 377.4 | 54 | 434.8 |
| 55 | 416.7 | 56 | 322.6 | 57 | 327.9 |
| 58 | 327.9 | 59 | 327.9 | 60 | 377.4 |
| 61 | 392.2 | 62 | 370.4 | 63 | 392.2 |
| 64 | 384.6 | 65 | 363.6 | 66 | 357.1 |
| 67 | 377.4 | 68 | 327.9 | 69 | 317.5 |
| 70 | 339.0 | 71 | 384.6 | 72 | 363.6 |
| 73 | 416.7 | 74 | 357.1 | 75 | 357.1 |
| 76 | 339.0 | 77 | 327.9 | 78 | 344.8 |
| 79 | 333.3 | 80 | 377.4 | 81 | 377.4 |
| 82 | 392.2 | 83 | 377.4 | 84 | 392.2 |
|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
| 85 | 327.9 | 86 | 357.1 | 87 | 344.8 |
| 88 | 344.8 | 89 | 334.0 | 90 | 384.6 |
| 91 | 384.6 | 92 | 384.6 | 93 | 384.6 |
| 94 | 377.4 | 95 | 392.2 | 96 | 370.4 |
| 97 | 363.6 | 98 | 298.5 | 99 | 298.5 |
| 100 | 363.6 | 101 | 363.6 | 102 | 357.1 |
| 103 | 425.5 | 104 | 454.6 | 105 | 350.9 |
| 106 | 333.3 | 107 | 327.9 | 108 | 425.5 |
| 109 | 425.5 | 110 | 476.2 | 111 | 444.4 |
| 112 | 400.0 | 113 | 357.1 | 114 | 408.2 |
| 115 | 408.2 | 116 | 408.2 | 117 | 408.2 |
| 118 | 454.6 | 119 | 384.6 | 120 | 454.6 |
| 121 | 377.4 | 122 | 392.2 | 123 | 487.8 |
| 124 | 444.4 | 125 | 434.8 | 126 | 434.8 |
| 127 | 476.2 | 128 | 416.7 | 129 | 416.7 |
| 130 | 444.4 | 131 | 425.5 | 132 | 434.8 |
| 133 | 392.2 | 134 | 392.2 | 135 | 392.2 |
| 136 | 384.6 | 137 | 327.9 | 138 | 281.7 |
| 139 | 263.2 | 140 | 357.1 | 141 | 344.8 |
| 142 | 339.0 | 143 | 333.3 | 144 | 416.7 |
| 145 | 425.5 | 146 | 384.6 | 147 | 350.9 |
| 148 | 392.2 | 149 | 363.6 | 150 | 400.0 |
| 151 | 465.1 | 152 | 454.6 | 153 | 512.8 |
| 154 | 465.1 | 155 | 434.8 | 156 | 408.2 |
| 157 | 400.0 | 158 | 384.6 | 159 | 400.0 |
| 160 | 370.4 | 161 | 408.2 | 162 | 384.6 |
| 163 | 370.4 | 164 | 444.4 | 165 | 434.8 |
| 166 | 392.2 | 167 | 416.7 | 168 | 444.4 |
| 169 | 392.2 | 170 | 408.2 | 171 | 425.5 |
| 172 | 408.2 | 173 | 434.8 | 174 | 434.8 |
| 175 | 465.1 | 176 | 392.2 | 177 | 487.8 |
| 178 | 465.1 | 179 | 454.6 | 180 | 434.8 |

| 181 | 476.2 | 182 | 487.8 | 183 | 434.8 |
|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
| 184 | 487.8 | 185 | 487.8 | 186 | 512.8 |
| 187 | 487.8 | 188 | 500.0 | 189 | 476.2 |
| 190 | 476.2 | 191 | 434.8 | 192 | 454.6 |
| 193 | 392.2 | 194 | 400.0 | 195 | 425.5 |
| 196 | 500.0 | 197 | 425.5 | 198 | 392.2 |
| 199 | 425.5 | 200 | 425.5 | 201 | 487.8 |
| 202 | 434.8 | 203 | 487.8 | 204 | 500.0 |
| 205 | 500.0 | 206 | 512.8 | 207 | 465.1 |
| 208 | 512.8 | 209 | 500.0 | 210 | 512.8 |
| 211 | 487.8 | 212 | 500.0 | 213 | 500.0 |
| 214 | 454.5 | 215 | 500.0 | 216 | 555.6 |
| 217 | 540.5 | 218 | 540.5 | 219 | 487.8 |
| 220 | 512.8 | 221 | 512.8 | 222 | 588.2 |
| 223 | 512.8 | 224 | 526.3 | 225 | 540.5 |
| 226 | 571.4 | 227 | 555.6 | 228 | 512.8 |
| 229 | 540.5 | 230 | 540.5 | 231 | 526.3 |
| 232 | 571.4 | 233 | 526.3 | 234 | 540.5 |
| 235 | 571.4 | 236 | 571.4 | 237 | 555.6 |
| 238 | 571.4 | 239 | 588.2 | 240 | 512.8 |
| 241 | 555.6 | 242 | 512.8 | 243 | 526.3 |
| 244 | 540.5 | 245 | 526.3 | 246 | 500.0 |
| 247 | 540.5 | 248 | 526.3 | 249 | 540.5 |
| 250 | 625.0 | 251 | 606.1 | 252 | 588.2 |
| 253 | 625.0 | 254 | 606.1 | 255 | 555.6 |
| 256 | 588.2 | 257 | 625.0 | 258 | 625.0 |
| 259 | 606.1 | 260 | 625.0 | 261 | 625.0 |
| 262 | 588.2 | 263 | 588.2 | 264 | 625.0 |
| 265 | 606.1 | 266 | 645.2 | 267 | 714.3 |
| 268 | 689.7 | 269 | 690.0 | | |

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 0~7m P 波速度可依據折射震測探測結果,7m 以下的 P

波速度可依據反射震測探測結果,0m~100m S 波速度部分可依據 表面波頻譜探測法及懸浮式速度井測探測結果,100m 以下的 S 波 速度仍延續據懸浮式速度井測 S 波探測結果。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 (m/sec) | S 波速度 (m/sec) | 密度 (g/cm ³) | | |
|---------|--------------------|------------------|--------------------------|--|--|
| 0-7 | 1100 | 190 | 2.00 | | |
| 7-30 | 1700 | 340 | 2.04 | | |
| 30-40 | 1600 | 290 | 2.02 | | |
| 40-117 | 1650 | 360 | 2.03 | | |
| 117-190 | 1750 | 390 | 2.05 | | |
| 190-250 | 1850 | 450 | 2.07 | | |
| 250 以下 | 2000 | 700 | 2.10 | | |







圖 3.1.2 折射震測流程圖



(A)



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 3.1.6 折射震測測線 LA-3 速度層剖面圖



圖 3.2.1 野外反射震測探測配置圖













圖 3.2.5 反射震測 LR-3 P 波速度分布圖



圖 3.2.6 反射震測 LR-4 P 波速度分布圖



圖 3.2.7 反射震測 LR-1~LR-4 地層構造原始剖面圖



圖 3.2.8 反射震測 RL-1~LR-4 地層構造解釋剖面圖





圖 3.3.2 表面波譜法(SASW)流程圖







圖 3.3.3 表面波譜法 LS-1-1 (A)頻散曲線圖(B)S 波速度分布圖



(B)



圖 3.3.4 表面波譜法 LS-1-2 (A)頻散曲線圖(B)S 波速度分布圖





(B)



圖 3.3.5 表面波譜法 LS-2 (A)頻散曲線圖(B)S 波速度分布圖



(B)



圖 3.3.6 表面波譜法 LS-3 (A)頻散曲線圖(B)S 波速度分布圖



| \cap | D | 1 |
|--------|---|---|
| | D |) |
| · · · | _ | |



圖 3.3.7 表面波譜法 LS-4 (A)頻散曲線圖(B)S 波速度分布圖

(A)

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

為了能獲得整個高雄港區及其週邊地區之場址效應,本計畫於高 雄港區內量測 52 點,旗津地區量測 26 點,港區外至中山路間(含西子 灣)量測 30 點,,總計量測了 108 個測點,量測諸元如下:

- 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:於港區與旗津內儘可能以平均的方式選擇測點,由於 高雄港區域極大,加上許多私人產業於夜間無法進行量測,測點 選擇較困難,在測點必須涵蓋全港區原則下,最後量測了 108 個 測點,測點分布圖見圖 2.2.2,較預期多出許多,量測同時以手提 式 GPS 定位系統加以定位,以獲得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

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1Hz以下,放 大倍率最高可達3倍以上。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,並以前面章 節懸浮式速度井測所得到之細部速度構造為主,建立工址所在之地層 速度剖面。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 共振主頻。配合井下地震儀擺放位置所採用之模型如下:

| | P 波速度 | S 波速度 | |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| 深度(m) | (m/sec) | (m/sec) | 密度(g/cm3) |
| 0-7 | 1100 | 190 | 2.00 |
| 7-30 | 1700 | 340 | 2.04 |
| 30-40 | 1600 | 290 | 2.02 |
| 40-117 | 1650 | 360 | 2.03 |
| 117-190 | 1750 | 390 | 2.05 |
| 190-250 | 1850 | 450 | 2.07 |
| 250 以下 | 2000 | 700 | 2.10 |

先前在做微地動量測時,測點 KH088 即位於懸浮式井測之測井 旁邊,於是將理論模擬之結果與 KH088 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 , 二者之結果就整個趨勢而言 十分類似,均是在高頻部份 5~6Hz 附近有一明顯放大,放大倍率在 2~4 之間,依照地層速度調查與地層厚度為波長 1/4 時之共振原理估 算,此一放大應為最靠近地表 10 米內之地層所造成。此外在高頻處 二者之趨勢十分吻合,由於高頻反應出的部分為細部及淺部之構造, 因此判斷地層速度調查在淺層部分十分準確,但除了趨勢外在倍率部 份模擬值有偏高之現象,此應為模擬時尚未考慮衰減效應所致。此外 在 1~2Hz 附近亦有一個主要共振頻率,且模擬與觀測在倍率上亦十分 接近,同樣以地層厚度為波長 1/4 時之共振原理估算,此一放大應為 117 米內之沖積地層所造成。而在低頻部份不論是微地動觀測或是理 論轉換函數,雖然二者在倍率上有差異,但均在 0.5~0.6Hz 附近有放 大情形,若同樣依照地層厚度為波長 1/4 時之共振原理估算,0.6Hz 之放大應來自 250 米深以上之地層共振,此一結果亦將由後續地震資 料分析時得到進一步確認。若是對照地質資料與前面地球物理探測結 果,深度 117 公尺以下應屬於古亭坑泥岩層,但由於 117~250 公尺之 古亭坑泥岩層速度較低,因此形成另一深部之共振地層,才會在低頻 處造成一明顯主頻,此一特性與臺北盆地類似,此一結果亦將由後續 地震資料分析與地震歷時模擬時得到進一步確認。

4.2.2 TSMIP 資料分析

為了進一步探討高雄港區之場址效應,本研究收集港區附近中央 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 區內之 KAU045 高雄氣象站,以及位於港區北邊壽山之 KAU057 等 2 個測站,所使用的資料則為 25 個加速度值較大且 2 個測站均有紀錄 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~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紀錄之之地動歷時。在本研究中,由於 KAU057 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,KH066 即位於 KAU045 附近,因此後續將 以 KH066 之單站頻譜比結果與 TSMIP 測站雙站頻譜比之結果進行比 對。

| | | 位 | 置 | | 10 1# | |
|----|------------------------|---------|----------|-------|--------------|--|
| No | | 緯度 | 經度 | 深度 km | 規模 | |
| 1 | 1994 1 20 5 50 15.57 | 24 3.9 | 121 51.1 | 49.4 | 5.5 | |
| 2 | 1995 4 25 8 29 2.96 | 22 38.8 | 120 30.5 | 43.6 | 5.4 | |
| 3 | 1996 5 29 21 56 12.38 | 22 45.1 | 120 37.8 | 31.8 | 4.4 | |
| 4 | 1996 7 6 1 27 5.47 | 22 40.0 | 120 30.9 | 26.9 | 5.1 | |
| 5 | 1996 9 5 23 42 7.88 | 22 0.1 | 121 22 | 14.7 | 7 | |
| 6 | 1997 1 26 21 33 37.74 | 22 45.1 | 120 14.4 | 32.8 | 4.1 | |
| 7 | 1997 3 11 9 29 40.33 | 22 20.7 | 120 3.7 | 32.8 | 4.2 | |
| 8 | 1997 6 5 0 42 52.35 | 22 38.1 | 120 19.4 | 37.2 | 4.1 | |
| 9 | 1997 7 4 18 37 30.51 | 23 3.4 | 120 47.4 | 5.1 | 5.1 | |
| 10 | 1998 7 17 4 51 14.96 | 23 30.2 | 120 39.8 | 2.8 | 6.2 | |
| 11 | 1998 11 17 22 27 32.52 | 22 49.9 | 120 47.4 | 16.4 | 5.5 | |
| 12 | 1999 9 21 1 47 12.60 | 23 51 | 120 46.8 | 1.1 | 7.3 | |
| 13 | 1999 9 21 5 46 37.60 | 23 36.6 | 120 49.8 | 5 | 6.4 | |
| 14 | 1999 9 22 8 14 40.90 | 23 50.4 | 120 2.4 | 7.5 | 6.8 | |
| 15 | 1999 9 26 7 52 50.00 | 23 51.6 | 121 0.0 | 7.5 | 6.8 | |
| 16 | 1999 10 22 10 19 1.30 | 23 30.6 | 120 24 | 12.1 | 6.4 | |
| 17 | 1999 10 22 11 10 17.10 | 23 32.4 | 120 25.2 | 7.2 | 6 | |
| 18 | 1999 11 2 1 53 5.60 | 23 25.8 | 121 37.8 | 30.4 | 6.9 | |
| 19 | 2000 5 8 0 18 15.00 | 22 30.6 | 120 24.6 | 37.5 | 5.2 | |
| 20 | 2000 6 11 0 23 32.60 | 23 53.4 | 121 6.60 | 10.2 | 6.7 | |

| 21 | 2000 12 11 3 30 48.60 | 23 4.8 | 120 11.4 | 16.5 | 5.3 |
|----|------------------------|---------|----------|------|-----|
| 22 | 2003 6 10 16 40 32.70 | 23 31.2 | 121 40.2 | 27.6 | 6.5 |
| 23 | 2003 911 655 5.90 | 22 43.8 | 121 22.2 | 88.8 | 5.8 |
| 24 | 2003 11 6 21 58 38.80 | 23 7.8 | 120 27 | 14.7 | 5.2 |
| 25 | 2003 12 10 12 38 15.20 | 23 6.0 | 121 20.4 | 10 | 6.6 |

根據 Lermo and Chavez-Garcia(1993)之研究可知,單站頻譜比 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 KAU057 為參考測站,分析港區內之 KAU045 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 KAU045/KAU057 之雙站 頻譜比結果,同時與 KH066 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,但結果卻十分-致,在 1Hz 以上之高頻部份,不論趨勢或倍率 二者都很接近,僅有在 2~3Hz 中間部分雙站頻譜比有偏高之現象;而 在 1Hz 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,此現象可能為位於壽山之岩盤其速度較下方岩盤稍低,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,此一推論將 於後續分析中加以驗證,但是在最重要之主頻部份,二者結果倒是十 分一致(1.13Hz 及 2.38Hz),此有助於後續分析。以下有關井下地動 觀測陣列資料分析之研究將繼續確認主頻及倍率之可靠性,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 2003 年在高雄港區裝設井下地震儀陣列,以期藉由所收 集到之地震紀錄進行各方面之研究,此井下地震儀陣列於地表、 15 米、30 米、97 米及 293 米共設置 5 部地震儀,截至目前為止已紀 錄到 22 筆地震紀錄,在此選取其中資料品質較好之 14 筆紀錄進行分析,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 則為其中振幅最大之地震之地動歷時。

| NT | □土 目目 | 位 | 置 | 汉 由 1 | 4日 + 甘 | |
|----|------------------------|----------|----------|--------------|---------------|--|
| NO | | 緯度 經度 | | /木/支 KIII | 况假 | |
| 1 | 2003 11 6 2158 38.80 | 23 7.8 | 120 27 | 14.7 | 5.2 | |
| 2 | 2003 11 14 18 12 46.00 | 23 7.2 | 120 27.6 | 15.1 | 4.6 | |
| 3 | 2003 11 21 18 59 22.10 | 22 4.8 | 120 24.0 | 56.5 | 5.1 | |
| 4 | 2003 12 10 12 38 15.20 | 23 6.0 | 121 20.4 | 10.0 | 6.6 | |
| 5 | 2003 12 10 16 46 44.20 | 22 55.8 | 121 22.8 | 13.6 | 5.5 | |
| 6 | 2003 12 11 8 1 49.80 | 22 46.8 | 121 25.2 | 12.6 | 5.7 | |
| 7 | 2003 12 16 21 56 59.90 | 23 7.2 | 121 19.8 | 13.1 | 5.3 | |
| 8 | 2003 12 18 0 27 24.30 | 22 36.6 | 121 24.0 | 13.6 | 5.8 | |
| 9 | 2004 4 23 22 4 30.00 | 22 54 | 120 36.6 | 21.2 | 5.0 | |
| 10 | 2004 5 8 4 17 58.00 | 22 56.4 | 120 35.4 | 6.9 | 5.2 | |
| 11 | 2004 5 8 4 36 14.80 | 22 33.6 | 120 0.00 | 41.4 | 4.1 | |
| 12 | 2004 5 16 14 4 8.30 | 23 5.4 | 121 59.4 | 12.5 | 6.0 | |
| 13 | 2004 5 19 15 4 12 00 | 22.42 | 121 23 4 | 8 7 | 6.5 | |
| 14 | 2004 6 6 8 9 8.20 | 22 31.8 | 120 58.8 | 3.3 | 5.0 | |

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 值平均後加以回歸 之結果,不同方向之正規化 PGA 值隨深度變化之函數如下列所示:

垂直向:Normalize PGA (D) = exp (-0.1556D^{0.3800})

東西向: Normalize PGA (D) = exp (-0.2066D^{0.3246})

南北向: Normalize PGA (D) = exp (-0.2226D^{0.2863})

由圖 4.2.10~圖 4.2.12 分析,首先發現觀測與回歸結果十分吻合 (尤以南北向更佳),顯示地震資料品質符合回歸要求。另外值得注意 的是淺部地層固然造成 PGA 放大,100 公尺以下之地層亦有造成 PGA 放大,此點不論觀測或回歸均十分明顯,顯示在100 公尺以下雖 已進入古亭坑泥岩層,但是速度對比依舊存在,此點也可間接證明前 面理論模擬與觀測分析之推論。

為了確認正規化 PGA 值隨深度變化之函數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 4.2.16 為 分析之結果。由圖圖 4.2.13~圖 4.2.16 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 3Hz;在地表與 30 米深之頻譜 比中,第一階共振主頻約在 2Hz;在地表與 97 米深之頻譜比中,第 一階共振主頻約在 1Hz;在地表與 293 米深之頻譜比中,第一階共振 主頻約在 0.5Hz。

在前面微地動量測中,測點 KH088 就位於井下地震儀旁邊,若 將 KH088 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應淺層部分,在速度對比明 顯之情形下,微地動可反應深部之地層共振,而由放大倍率來看,深 達 250 公尺以上之整個地層之共振,造成了高雄港區之主要放大頻 率。

除此之外,本研究同時比對地表與293米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,其結果見圖 4.2.17。由圖 4.2.17 可發現二者不論是放大倍率或放大頻率均十分吻合,可見先前 利用多種地球物理方法所獲得之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

本所設置 5 部井下地震儀陣列於地表、15 米、30 米、97 米及 293 米處,截至目前為止已紀錄到 22 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,分析步驟為以地 表紀錄為準,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 之計算,擷取每筆紀錄 correlation 值最高之角度為準確之 方位,並將各筆紀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,井下 293 公尺深之地震儀其方位變化劇 烈,且有週期性之趨勢,其方位隨日期變化之情形如圖 4.3.1 所示。 由該圖可發現,方位角隨日期在一定角度內變化,且變化頻率有週期 性之現象,推測地震儀受到電纜扭力未全然釋放之影響,仍然在左右 旋轉中,值得後續進一步分析。

| 深度(m) | 15 | 30 | 97 | 293 |
|-------|------|-------|------|--------|
| 方位角 | 北偏東5 | 北偏東 6 | 北偏東1 | 北偏西 39 |
| 標準偏差 | 2.8 | 3.4 | 6.8 | 21.8 |

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:

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

其中*⁻*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 A₁、A₂ 為入射(上行波)與反射(下行波)之穿透係數, S₁(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:

| O(f) = - | $-\pi f \tau$ |
|-----------------|---|
| 𝔅())= −− In | $\left[\frac{1 - \sqrt{1 - \frac{A_2 S_1(f)^2}{A_1 S_2(f)^2}}}{A_2 \frac{S_1(f)}{S_2(f)}}\right]$ |
| | |

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 293 米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: $Q(f) = 9.12 f^{0.89}$

此處所得到之 Q 值若與臺灣地區整體 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)研究臺北盆地之 Q 值,高雄 港區之近地表 Q 值較相對具有堅硬地盤(hard rock)的蘭陽盆地與花蓮 為低,但較具軟弱地盤(weak rock)的臺北盆地高,此為合理之現象。 若與同樣屬於港區之臺中港之 Q 值結果比對(陳圭璋等,2002),則 高雄港之 Q 值稍低,但仍在同一範圍內。但是與前人研究稍有不同的 是,Q 值隨頻率變化之係數為 0.89,低於其他區域之研究結果,顯示 此區下方地層之速度低,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,再與真實地震紀錄加以比對。用來進行模擬之地震為 2003 年 12 月 10 日之地震紀錄,模擬之項目包括原始之加速度紀錄,以及經積 分後之速度與位移紀錄。模擬方式為以地表紀錄當作輸入歷時,以進 行地下 15、30、97、293 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 之紀錄,模擬過程中亦將地表自由端反射波列入計算,圖 4.5.1~4.5.6 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 可發現,在淺層的 14 以及 30 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 99 以及 297 公尺之部分,則發現位移模擬結果 之振幅較觀測值稍低,而速度與加速度模擬結果之振幅則較觀測值稍 高,但波相與整體趨勢仍十分接近,推測在深層部分有變化較劇烈之 薄層夾雜其中,使得較能反應薄層之高頻速度以及加速度訊號產生變 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下之震波放大效應, 為比較高雄港區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, 藉以得知高雄港區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。

| | 編 | 編 位置 | | | | 不同週期之放大倍率 | | | | | | | |
|-------|---|---------|-------|-----|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 測點 | 號 | 然 | 〕度 | 經 | 度 | 4.0 | 3.0 | 2.0 | 1.5 | 1.0 | 0.5 | 0.3 | 0.2 |
| KH001 | 1 | 22 | 32.93 | 120 | 19.24 | 2.24 | 2.09 | 2.18 | 1.96 | 2.43 | 1.20 | 1.09 | 0.96 |
| KH002 | 2 | 22 | 32.77 | 120 | 19.38 | 1.64 | 2.05 | 2.16 | 2.11 | 2.88 | 1.63 | 1.03 | 1.25 |
| KH003 | 3 | 22 | 32.42 | 120 | 19.63 | 1.63 | 1.78 | 2.10 | 2.20 | 2.29 | 1.29 | 1.30 | 1.70 |
| KH004 | 4 | 22 | 32.22 | 120 | 19.68 | 1.36 | 1.65 | 2.10 | 2.09 | 1.78 | 1.68 | 1.40 | 1.66 |
| KH005 | 5 | 22 | 32.53 | 120 | 19.35 | 2.05 | 2.26 | 2.47 | 2.17 | 2.12 | 1.57 | 1.66 | 1.99 |
| KH006 | 6 | 22 | 32.81 | 120 | 19.19 | 1.76 | 2.36 | 1.93 | 2.04 | 2.23 | 1.15 | 1.34 | 1.36 |
| KH007 | 7 | 22 | 32.88 | 120 | 19.05 | 1.39 | 1.61 | 1.82 | 2.91 | 1.67 | 1.20 | 1.12 | 1.04 |
| KH008 | 8 | 22 | 32.59 | 120 | 19.16 | 1.68 | 2.52 | 2.78 | 2.11 | 2.05 | 1.09 | 1.31 | 1.65 |

| KH009 | 9 | 22 | 33.67 | 120 | 19.51 | 1.81 | 1.65 | 1.99 | 2.74 | 2.03 | 1.47 | 0.78 | 0.52 |
|-------|----|----|-------|-----|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| KH010 | 10 | 22 | 33.96 | 120 | 19.26 | 1.49 | 2.24 | 2.03 | 2.64 | 1.82 | 0.99 | 0.86 | 0.67 |
| KH011 | 11 | 22 | 33.79 | 120 | 19.36 | 1.56 | 1.94 | 1.71 | 2.52 | 1.81 | 1.16 | 0.78 | 0.51 |
| KH012 | 12 | 22 | 33.94 | 120 | 19.12 | 1.53 | 1.57 | 2.38 | 3.02 | 1.94 | 0.85 | 0.60 | 0.53 |
| KH013 | 13 | 22 | 33.69 | 120 | 19.25 | 1.85 | 2.23 | 2.26 | 3.46 | 1.90 | 1.06 | 0.81 | 0.63 |
| KH014 | 14 | 22 | 33.55 | 120 | 19.38 | 1.58 | 1.75 | 2.14 | 2.97 | 1.94 | 1.05 | 0.73 | 0.48 |
| KH015 | 15 | 22 | 34.15 | 120 | 19.12 | 2.53 | 2.90 | 3.37 | 3.04 | 1.83 | 1.37 | 1.49 | 1.34 |
| KH016 | 16 | 22 | 34.3 | 120 | 19.09 | 1.87 | 2.23 | 2.69 | 2.33 | 2.07 | 1.27 | 1.19 | 1.00 |
| KH017 | 17 | 22 | 34.36 | 120 | 18.8 | 1.98 | 2.40 | 3.11 | 2.71 | 2.37 | 1.22 | 0.92 | 0.85 |
| KH018 | 18 | 22 | 34.83 | 120 | 18.41 | 1.74 | 1.80 | 2.20 | 3.07 | 2.09 | 1.09 | 0.99 | 0.89 |
| KH019 | 19 | 22 | 34.67 | 120 | 18.53 | 1.55 | 1.55 | 1.98 | 3.17 | 2.09 | 1.32 | 0.93 | 0.91 |
| KH020 | 20 | 22 | 34.47 | 120 | 18.73 | 1.43 | 1.70 | 1.97 | 2.48 | 1.79 | 1.13 | 0.84 | 0.77 |
| KH021 | 21 | 22 | 36.47 | 120 | 17.23 | 2.11 | 1.96 | 1.96 | 2.97 | 2.18 | 1.29 | 0.95 | 0.91 |
| KH022 | 22 | 22 | 36.28 | 120 | 17.29 | 1.44 | 2.20 | 2.45 | 2.87 | 2.19 | 1.37 | 1.00 | 0.80 |
| KH023 | 23 | 22 | 36.04 | 120 | 17.37 | 2.14 | 2.02 | 2.31 | 3.17 | 2.23 | 1.53 | 1.27 | 1.03 |
| KH024 | 24 | 22 | 35.7 | 120 | 17.54 | 1.88 | 2.15 | 2.00 | 2.28 | 1.87 | 1.27 | 1.01 | 1.14 |
| KH025 | 25 | 22 | 35.34 | 120 | 17.75 | 2.12 | 1.43 | 1.78 | 2.76 | 1.71 | 1.38 | 0.91 | 0.55 |
| KH026 | 26 | 22 | 36.33 | 120 | 17.48 | 2.18 | 1.95 | 2.08 | 2.79 | 2.16 | 1.49 | 1.41 | 1.36 |
| KH027 | 27 | 22 | 35.7 | 120 | 17.79 | 2.47 | 3.08 | 2.08 | 2.12 | 1.91 | 1.21 | 0.74 | 0.90 |
| KH028 | 28 | 22 | 36.01 | 120 | 17.58 | 1.85 | 2.38 | 1.90 | 2.15 | 1.74 | 1.20 | 0.69 | 0.56 |
| KH029 | 29 | 22 | 35.54 | 120 | 17.95 | 1.64 | 2.61 | 2.59 | 2.40 | 2.02 | 1.29 | 1.16 | 1.11 |
| KH030 | 30 | 22 | 35.46 | 120 | 18.05 | 2.46 | 2.51 | 2.29 | 2.22 | 1.63 | 1.11 | 0.66 | 0.51 |
| KH031 | 31 | 22 | 35.33 | 120 | 18.17 | 1.90 | 2.64 | 2.09 | 1.90 | 1.53 | 1.29 | 0.65 | 0.60 |
| KH032 | 32 | 22 | 35.27 | 120 | 17.97 | 2.21 | 2.51 | 1.85 | 1.95 | 1.41 | 0.97 | 0.54 | 0.52 |
| KH033 | 33 | 22 | 36.92 | 120 | 17.19 | 2.86 | 2.48 | 2.63 | 2.82 | 2.29 | 1.59 | 1.04 | 1.26 |
| KH034 | 34 | 22 | 36.99 | 120 | 17.03 | 2.37 | 3.83 | 3.02 | 3.17 | 2.87 | 1.76 | 1.48 | 1.23 |
| KH035 | 35 | 22 | 37.07 | 120 | 16.88 | 2.62 | 2.64 | 2.91 | 2.72 | 3.34 | 1.43 | 1.79 | 2.04 |
| KH036 | 36 | 22 | 37.12 | 120 | 16.68 | 2.35 | 2.99 | 2.20 | 2.58 | 2.19 | 1.21 | 1.06 | 0.99 |

| | - | | | | | | | | | | | | |
|-------|----|----|-------|-----|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| KH037 | 37 | 22 | 37.16 | 120 | 16.47 | 1.98 | 2.56 | 2.44 | 3.27 | 2.88 | 1.50 | 1.17 | 1.13 |
| KH038 | 38 | 22 | 36.81 | 120 | 16.08 | 2.05 | 2.71 | 2.72 | 2.93 | 2.60 | 1.42 | 1.21 | 1.04 |
| KH039 | 39 | 22 | 36.53 | 120 | 16.31 | 1.79 | 2.94 | 2.49 | 2.60 | 1.93 | 1.39 | 1.43 | 1.21 |
| KH040 | 40 | 22 | 36.3 | 120 | 16.45 | 1.85 | 3.10 | 2.65 | 2.08 | 1.55 | 1.16 | 1.02 | 0.99 |
| KH041 | 41 | 22 | 36.03 | 120 | 16.67 | 1.75 | 2.83 | 2.84 | 2.17 | 1.53 | 1.10 | 1.02 | 1.10 |
| KH042 | 42 | 22 | 35.78 | 120 | 16.87 | 3.03 | 3.16 | 2.38 | 1.64 | 1.71 | 1.34 | 0.88 | 0.86 |
| KH043 | 43 | 22 | 35.53 | 120 | 17.13 | 3.19 | 2.06 | 2.41 | 1.85 | 1.48 | 1.24 | 1.00 | 0.94 |
| KH044 | 44 | 22 | 35.3 | 120 | 17.32 | 2.23 | 2.63 | 2.09 | 2.32 | 1.74 | 1.10 | 1.42 | 1.21 |
| KH045 | 45 | 22 | 35.22 | 120 | 17.18 | 2.23 | 2.90 | 2.39 | 1.82 | 1.17 | 1.15 | 0.94 | 0.94 |
| KH046 | 46 | 22 | 35.48 | 120 | 17 | 2.20 | 2.79 | 2.13 | 1.78 | 1.38 | 1.01 | 0.93 | 1.03 |
| KH047 | 47 | 22 | 35.71 | 120 | 16.8 | 2.55 | 3.29 | 2.31 | 1.82 | 1.19 | 0.80 | 0.60 | 0.60 |
| KH048 | 48 | 22 | 36.04 | 120 | 16.57 | 2.19 | 2.50 | 2.62 | 2.30 | 1.27 | 1.07 | 1.06 | 1.19 |
| KH049 | 49 | 22 | 36.32 | 120 | 16.36 | 2.76 | 2.62 | 2.48 | 2.66 | 1.48 | 1.02 | 0.83 | 0.76 |
| KH050 | 50 | 22 | 36.57 | 120 | 16.1 | 1.65 | 2.87 | 2.89 | 2.82 | 2.03 | 1.35 | 1.23 | 1.10 |
| KH051 | 51 | 22 | 34.99 | 120 | 17.47 | 2.74 | 3.01 | 2.74 | 1.96 | 1.58 | 1.09 | 1.08 | 1.04 |
| KH052 | 22 | 22 | 34.78 | 120 | 17.57 | 2.52 | 2.55 | 2.09 | 1.79 | 1.49 | 0.90 | 0.96 | 0.90 |
| KH053 | 53 | 22 | 34.16 | 120 | 18.07 | 2.05 | 2.92 | 1.79 | 1.43 | 1.44 | 0.60 | 0.64 | 0.59 |
| KH054 | 54 | 22 | 34.32 | 120 | 18.08 | 2.28 | 2.91 | 1.80 | 1.63 | 1.62 | 0.65 | 0.56 | 0.48 |
| KH055 | 55 | 22 | 33.94 | 120 | 18.28 | 2.14 | 3.19 | 2.11 | 1.88 | 1.73 | 0.84 | 0.57 | 0.60 |
| KH056 | 56 | 22 | 34.02 | 120 | 20.81 | 2.23 | 2.18 | 2.42 | 2.50 | 2.73 | 1.53 | 1.38 | 0.95 |
| KH057 | 57 | 22 | 33.73 | 120 | 20.83 | 2.09 | 2.04 | 2.47 | 2.07 | 2.36 | 1.31 | 1.20 | 1.21 |
| KH058 | 58 | 22 | 33.24 | 120 | 20.29 | 1.55 | 2.07 | 1.92 | 1.63 | 2.35 | 1.17 | 0.96 | 0.47 |
| KH059 | 59 | 22 | 33.36 | 120 | 20.38 | 1.86 | 1.99 | 1.84 | 1.89 | 2.38 | 1.35 | 0.86 | 0.62 |
| KH060 | 60 | 22 | 33.47 | 120 | 20.19 | 2.30 | 2.12 | 2.40 | 2.13 | 1.90 | 1.24 | 1.21 | 1.07 |
| KH061 | 61 | 22 | 33.54 | 120 | 20.02 | 2.31 | 1.97 | 1.89 | 1.87 | 2.16 | 1.03 | 0.90 | 0.59 |
| KH062 | 62 | 22 | 33.78 | 120 | 19.79 | 1.78 | 1.91 | 2.58 | 2.34 | 2.60 | 1.29 | 0.99 | 1.06 |
| KH063 | 63 | 22 | 33.73 | 120 | 20.25 | 2.08 | 2.23 | 2.37 | 2.24 | 2.52 | 1.48 | 1.40 | 1.24 |
| KH064 | 64 | 22 | 34.01 | 120 | 20.48 | 1.67 | 1.71 | 2.05 | 2.13 | 2.86 | 1.21 | 1.17 | 1.26 |

| KH065 | 65 | 22 | 33.89 | 120 | 19.97 | 1.74 | 2.45 | 2.33 | 2.13 | 2.38 | 1.11 | 1.04 | 1.16 |
|-------|----|----|-------|-----|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| KH066 | 66 | 22 | 34.16 | 120 | 20.12 | 1.47 | 2.34 | 2.15 | 2.42 | 2.22 | 1.66 | 1.25 | 1.55 |
| KH067 | 67 | 22 | 34.07 | 120 | 19.75 | 1.69 | 2.25 | 2.04 | 2.24 | 2.33 | 1.38 | 1.05 | 0.93 |
| KH068 | 68 | 22 | 34.44 | 120 | 19.47 | 1.79 | 2.25 | 2.31 | 2.59 | 1.78 | 1.28 | 1.01 | 1.24 |
| KH069 | 69 | 22 | 33.96 | 120 | 18.92 | 1.62 | 2.38 | 2.37 | 3.43 | 2.29 | 1.10 | 1.36 | 1.58 |
| KH070 | 70 | 22 | 34.05 | 120 | 18.79 | 1.62 | 2.24 | 2.40 | 3.61 | 2.81 | 1.05 | 0.87 | 1.12 |
| KH071 | 71 | 22 | 34.32 | 120 | 18.73 | 1.62 | 2.28 | 2.78 | 2.78 | 2.05 | 1.30 | 1.13 | 0.84 |
| KH072 | 72 | 22 | 34.67 | 120 | 19.19 | 1.22 | 2.80 | 2.16 | 2.04 | 2.06 | 1.16 | 0.91 | 0.91 |
| KH073 | 73 | 22 | 34.85 | 120 | 19.58 | 1.50 | 2.45 | 2.67 | 2.97 | 2.50 | 1.34 | 1.34 | 1.39 |
| KH074 | 74 | 22 | 35.18 | 120 | 19.34 | 1.86 | 1.94 | 2.21 | 2.25 | 2.37 | 1.37 | 1.27 | 1.36 |
| KH075 | 75 | 22 | 35.33 | 120 | 18.96 | 1.53 | 2.00 | 1.69 | 1.91 | 2.26 | 1.40 | 1.48 | 1.48 |
| KH076 | 76 | 22 | 34.91 | 120 | 18.98 | 2.29 | 2.52 | 2.12 | 2.43 | 1.91 | 1.08 | 0.93 | 0.80 |
| KH077 | 77 | 22 | 34.86 | 120 | 18.8 | 2.58 | 2.07 | 1.94 | 2.11 | 1.85 | 1.13 | 0.80 | 0.78 |
| KH078 | 78 | 22 | 34.96 | 120 | 18.54 | 1.80 | 2.14 | 1.94 | 2.68 | 2.23 | 1.51 | 0.98 | 0.88 |
| KH079 | 79 | 22 | 35.41 | 120 | 18.53 | 1.71 | 2.06 | 2.32 | 2.59 | 2.07 | 1.25 | 1.08 | 1.57 |
| KH080 | 80 | 22 | 35.64 | 120 | 18.91 | 1.82 | 1.75 | 1.52 | 2.05 | 1.98 | 1.42 | 1.17 | 1.16 |
| KH081 | 81 | 22 | 34.31 | 120 | 18.02 | 2.23 | 2.31 | 1.83 | 2.40 | 1.88 | 1.11 | 1.11 | 0.97 |
| KH082 | 82 | 22 | 34.5 | 120 | 17.93 | 2.70 | 2.36 | 2.30 | 2.25 | 2.16 | 1.26 | 0.96 | 1.48 |
| KH083 | 83 | 22 | 34.61 | 120 | 17.83 | 2.34 | 2.70 | 2.01 | 2.50 | 2.11 | 1.33 | 1.33 | 1.67 |
| KH084 | 84 | 22 | 34.49 | 120 | 17.79 | 2.60 | 2.40 | 2.41 | 2.08 | 1.50 | 0.76 | 0.76 | 0.66 |
| KH085 | 85 | 22 | 33.26 | 120 | 18.88 | 2.30 | 2.15 | 1.67 | 2.09 | 1.89 | 1.27 | 1.01 | 0.83 |
| KH086 | 86 | 22 | 33.36 | 120 | 18.71 | 1.66 | 2.45 | 1.96 | 2.12 | 2.20 | 0.96 | 0.70 | 0.76 |
| KH087 | 87 | 22 | 33.58 | 120 | 18.52 | 2.33 | 2.70 | 2.07 | 1.82 | 1.69 | 0.90 | 0.66 | 0.51 |
| KH088 | 88 | 22 | 35.91 | 120 | 16.97 | 2.76 | 2.94 | 2.49 | 2.55 | 2.12 | 1.41 | 1.03 | 1.37 |
| KH089 | 89 | 22 | 36.28 | 120 | 18.4 | 2.45 | 2.05 | 2.01 | 1.88 | 2.22 | 1.25 | 1.27 | 1.06 |
| KH090 | 90 | 22 | 36.39 | 120 | 18.13 | 1.63 | 1.84 | 2.47 | 2.09 | 2.57 | 1.55 | 1.45 | 1.27 |
| KH091 | 91 | 22 | 36.9 | 120 | 18.15 | 2.33 | 2.18 | 2.16 | 2.29 | 2.61 | 1.99 | 1.28 | 1.06 |
| KH092 | 92 | 22 | 36.83 | 120 | 17.8 | 1.70 | 2.01 | 1.89 | 2.57 | 2.41 | 1.71 | 1.35 | 1.23 |

| KH093 | 93 | 22 | 36.81 | 120 | 17.53 | 2.20 | 1.79 | 2.69 | 2.44 | 2.32 | 1.58 | 1.66 | 1.92 |
|-------|-----|----|-------|-----|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| KH094 | 94 | 22 | 36.72 | 120 | 17.75 | 2.45 | 2.87 | 2.12 | 2.40 | 2.26 | 1.88 | 1.61 | 1.53 |
| KH095 | 95 | 22 | 36.61 | 120 | 17.86 | 2.86 | 1.91 | 2.10 | 1.93 | 1.87 | 1.74 | 1.44 | 1.40 |
| KH096 | 96 | 22 | 36.94 | 120 | 17.57 | 1.45 | 2.08 | 1.97 | 2.52 | 2.03 | 1.03 | 1.24 | 1.22 |
| KH097 | 97 | 22 | 37.09 | 120 | 17.63 | 2.06 | 2.76 | 2.28 | 2.13 | 2.40 | 1.43 | 1.35 | 1.08 |
| KH098 | 98 | 22 | 37.15 | 120 | 18.04 | 1.43 | 2.07 | 2.26 | 2.18 | 2.08 | 1.37 | 1.57 | 1.09 |
| KH099 | 99 | 22 | 37.32 | 120 | 17.71 | 1.66 | 1.68 | 2.19 | 2.06 | 2.74 | 1.69 | 1.82 | 1.29 |
| KH100 | 100 | 22 | 37.51 | 120 | 17.5 | 1.96 | 2.13 | 1.96 | 1.99 | 2.57 | 1.95 | 1.64 | 1.61 |
| KH101 | 101 | 22 | 37.26 | 120 | 17.21 | 2.00 | 2.71 | 2.59 | 2.46 | 2.23 | 1.34 | 1.48 | 0.97 |
| KH102 | 102 | 22 | 37.51 | 120 | 17.04 | 1.45 | 1.83 | 2.10 | 2.37 | 2.41 | 1.73 | 1.20 | 1.23 |
| KH103 | 103 | 22 | 37.47 | 120 | 16.74 | 1.22 | 2.18 | 1.99 | 1.92 | 2.45 | 2.79 | 1.79 | 1.36 |
| KH104 | 104 | 22 | 37.33 | 120 | 16.25 | 1.51 | 2.07 | 2.07 | 2.28 | 2.66 | 1.35 | 1.15 | 1.06 |
| KH105 | 105 | 22 | 37.12 | 120 | 16.09 | 2.00 | 1.77 | 1.88 | 1.74 | 1.75 | 2.37 | 2.20 | 2.25 |
| KH106 | 106 | 22 | 36.1 | 120 | 18.24 | 1.61 | 2.32 | 2.05 | 1.91 | 1.97 | 1.86 | 1.32 | 1.24 |
| KH107 | 107 | 22 | 35.72 | 120 | 18.56 | 1.59 | 2.00 | 2.01 | 1.87 | 2.13 | 1.61 | 1.10 | 1.05 |
| KH108 | 108 | 22 | 36.09 | 120 | 18.57 | 1.65 | 1.74 | 2.49 | 2.62 | 2.14 | 1.54 | 1.49 | 1.47 |

由等值圖可發現,整個港區之放大趨勢呈現旗津與港區靠海部分 在低頻時有較大之放大倍率,而隨著頻率提高,較大放大之區域向內 陸以及港區南北兩方移動。但是就整體而言,低頻部份之放大較為明 顯,放大倍率多在2以上,最高可達4,而在高頻部份放大情形明顯 降低,大部分落在2以下,甚至部分區域小於1。

此外本報告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均落在 1Hz 以下,與先前之分 析相符,若做細部之比較則可發現主頻在靠近港區南北兩端與內陸處 較高,往海邊與旗津則漸漸變低,但不論高低仍未超過前面分析所預 測之範圍,此點亦與先前推測主要之共振來自於深達 250 公尺整層共 振之結論符合,下表為各微地動測點所對應之主頻。

| 泪川聖上 | 编品 | | 土祖 | | | |
|-------|------|----|-------|-----|-------|------|
| | 利用シル | 緯 | 度 | 經 | 工火 | |
| KH001 | 1 | 22 | 32.93 | 120 | 19.24 | 0.95 |
| KH002 | 2 | 22 | 32.77 | 120 | 19.38 | 0.98 |
| KH003 | 3 | 22 | 32.42 | 120 | 19.63 | 1.13 |
| KH004 | 4 | 22 | 32.22 | 120 | 19.68 | 0.55 |
| KH005 | 5 | 22 | 32.53 | 120 | 19.35 | 0.49 |
| KH006 | 6 | 22 | 32.81 | 120 | 19.19 | 0.89 |
| KH007 | 7 | 22 | 32.88 | 120 | 19.05 | 0.67 |
| KH008 | 8 | 22 | 32.59 | 120 | 19.16 | 0.58 |
| KH009 | 9 | 22 | 33.67 | 120 | 19.51 | 0.61 |
| KH010 | 10 | 22 | 33.96 | 120 | 19.26 | 0.61 |
| KH011 | 11 | 22 | 33.79 | 120 | 19.36 | 0.61 |
| KH012 | 12 | 22 | 33.94 | 120 | 19.12 | 0.61 |
| KH013 | 13 | 22 | 33.69 | 120 | 19.25 | 0.61 |
| KH014 | 14 | 22 | 33.55 | 120 | 19.38 | 0.61 |
| KH015 | 15 | 22 | 34.15 | 120 | 19.12 | 0.70 |
| KH016 | 16 | 22 | 34.3 | 120 | 19.09 | 0.70 |
| KH017 | 17 | 22 | 34.36 | 120 | 18.8 | 0.52 |
| KH018 | 18 | 22 | 34.83 | 120 | 18.41 | 0.64 |
| KH019 | 19 | 22 | 34.67 | 120 | 18.53 | 0.61 |
| KH020 | 20 | 22 | 34.47 | 120 | 18.73 | 1.22 |
| KH021 | 21 | 22 | 36.47 | 120 | 17.23 | 0.64 |
| KH022 | 22 | 22 | 36.28 | 120 | 17.29 | 0.58 |
| KH023 | 23 | 22 | 36.04 | 120 | 17.37 | 0.67 |
| KH024 | 24 | 22 | 35.7 | 120 | 17.54 | 0.67 |
| KH025 | 25 | 22 | 35.34 | 120 | 17.75 | 0.67 |
| KH026 | 26 | 22 | 36.33 | 120 | 17.48 | 0.61 |
| KH027 | 27 | 22 | 35.7 | 120 | 17.79 | 1.01 |
| KH028 | 28 | 22 | 36.01 | 120 | 17.58 | 0.70 |
| KH029 | 29 | 22 | 35.54 | 120 | 17.95 | 0.49 |
| KH030 | 30 | 22 | 35.46 | 120 | 18.05 | 0.49 |
| KH031 | 31 | 22 | 35.33 | 120 | 18.17 | 0.55 |

| KH032 | 32 | 22 | 35.27 | 120 | 17.97 | 0.37 |
|-------|----|----|-------|-----|-------|------|
| КН033 | 33 | 22 | 36.92 | 120 | 17.19 | 0.70 |
| KH034 | 34 | 22 | 36.99 | 120 | 17.03 | 0.73 |
| KH035 | 35 | 22 | 37.07 | 120 | 16.88 | 0.85 |
| KH036 | 36 | 22 | 37.12 | 120 | 16.68 | 0.67 |
| KH037 | 37 | 22 | 37.16 | 120 | 16.47 | 0.73 |
| KH038 | 38 | 22 | 36.81 | 120 | 16.08 | 1.01 |
| KH039 | 39 | 22 | 36.53 | 120 | 16.31 | 0.37 |
| KH040 | 40 | 22 | 36.3 | 120 | 16.45 | 0.37 |
| KH041 | 41 | 22 | 36.03 | 120 | 16.67 | 0.49 |
| KH042 | 42 | 22 | 35.78 | 120 | 16.87 | 0.46 |
| KH043 | 43 | 22 | 35.53 | 120 | 17.13 | 0.55 |
| KH044 | 44 | 22 | 35.3 | 120 | 17.32 | 0.70 |
| KH045 | 45 | 22 | 35.22 | 120 | 17.18 | 0.46 |
| KH046 | 46 | 22 | 35.48 | 120 | 17 | 0.43 |
| KH047 | 47 | 22 | 35.71 | 120 | 16.8 | 0.37 |
| KH048 | 48 | 22 | 36.04 | 120 | 16.57 | 0.49 |
| KH049 | 49 | 22 | 36.32 | 120 | 16.36 | 0.46 |
| KH050 | 50 | 22 | 36.57 | 120 | 16.1 | 0.46 |
| KH051 | 51 | 22 | 34.99 | 120 | 17.47 | 0.49 |
| KH052 | 52 | 22 | 34.78 | 120 | 17.57 | 0.40 |
| KH053 | 53 | 22 | 34.16 | 120 | 18.07 | 0.37 |
| KH054 | 54 | 22 | 34.32 | 120 | 18.08 | 0.37 |
| KH055 | 55 | 22 | 33.94 | 120 | 18.28 | 0.37 |
| KH056 | 56 | 22 | 34.02 | 120 | 20.81 | 1.28 |
| KH057 | 57 | 22 | 33.73 | 120 | 20.83 | 1.19 |
| KH058 | 58 | 22 | 33.24 | 120 | 20.29 | 1.07 |
| KH059 | 59 | 22 | 33.36 | 120 | 20.38 | 1.04 |
| KH060 | 60 | 22 | 33.47 | 120 | 20.19 | 1.22 |
| KH061 | 61 | 22 | 33.54 | 120 | 20.02 | 1.01 |
| KH062 | 62 | 22 | 33.78 | 120 | 19.79 | 0.89 |
| KH063 | 63 | 22 | 33.73 | 120 | 20.25 | 0.46 |
| KH064 | 64 | 22 | 34.01 | 120 | 20.48 | 0.98 |
| KH065 | 65 | 22 | 33.89 | 120 | 19.97 | 0.40 |
| KH066 | 66 | 22 | 34.16 | 120 | 20.12 | 0.89 |
|-------|----|----|-------|-----|-------|------|
| KH067 | 67 | 22 | 34.07 | 120 | 19.75 | 1.13 |
| KH068 | 68 | 22 | 34.44 | 120 | 19.47 | 1.31 |
| KH069 | 69 | 22 | 33.96 | 120 | 18.92 | 0.70 |
| KH070 | 70 | 22 | 34.05 | 120 | 18.79 | 0.70 |
| KH071 | 71 | 22 | 34.32 | 120 | 18.73 | 0.64 |
| KH072 | 72 | 22 | 34.67 | 120 | 19.19 | 0.37 |
| KH073 | 73 | 22 | 34.85 | 120 | 19.58 | 0.70 |
| KH074 | 74 | 22 | 35.18 | 120 | 19.34 | 1.01 |
| KH075 | 75 | 22 | 35.33 | 120 | 18.96 | 0.82 |
| KH076 | 76 | 22 | 34.91 | 120 | 18.98 | 0.55 |
| KH077 | 77 | 22 | 34.86 | 120 | 18.8 | 0.92 |
| KH078 | 78 | 22 | 34.96 | 120 | 18.54 | 0.70 |
| KH079 | 79 | 22 | 35.41 | 120 | 18.53 | 0.64 |
| KH080 | 80 | 22 | 35.64 | 120 | 18.91 | 0.40 |
| KH081 | 81 | 22 | 34.31 | 120 | 18.02 | 0.64 |
| KH082 | 82 | 22 | 34.5 | 120 | 17.93 | 0.58 |
| KH083 | 83 | 22 | 34.61 | 120 | 17.83 | 0.73 |
| KH084 | 84 | 22 | 34.49 | 120 | 17.79 | 0.43 |
| KH085 | 85 | 22 | 33.26 | 120 | 18.88 | 0.64 |
| KH086 | 86 | 22 | 33.36 | 120 | 18.71 | 0.95 |
| KH087 | 87 | 22 | 33.58 | 120 | 18.52 | 0.37 |
| KH088 | 88 | 22 | 35.91 | 120 | 16.97 | 0.37 |
| KH089 | 89 | 22 | 36.28 | 120 | 18.4 | 0.92 |
| KH090 | 90 | 22 | 36.39 | 120 | 18.13 | 0.79 |
| KH091 | 91 | 22 | 36.9 | 120 | 18.15 | 0.79 |
| KH092 | 92 | 22 | 36.83 | 120 | 17.8 | 0.89 |
| KH093 | 93 | 22 | 36.81 | 120 | 17.53 | 1.13 |
| KH094 | 94 | 22 | 36.72 | 120 | 17.75 | 0.98 |
| KH095 | 95 | 22 | 36.61 | 120 | 17.86 | 0.52 |
| KH096 | 96 | 22 | 36.94 | 120 | 17.57 | 0.70 |
| KH097 | 97 | 22 | 37.09 | 120 | 17.63 | 0.89 |
| KH098 | 98 | 22 | 37.15 | 120 | 18.04 | 1.25 |
| KH099 | 99 | 22 | 37.32 | 120 | 17.71 | 1.19 |

| KH100 | 100 | 22 | 37.51 | 120 | 17.5 | 1.37 |
|-------|-----|----|-------|-----|-------|------|
| KH101 | 101 | 22 | 37.26 | 120 | 17.21 | 0.76 |
| KH102 | 102 | 22 | 37.51 | 120 | 17.04 | 0.89 |
| KH103 | 103 | 22 | 37.47 | 120 | 16.74 | 1.13 |
| KH104 | 104 | 22 | 37.33 | 120 | 16.25 | 1.40 |
| KH105 | 105 | 22 | 37.12 | 120 | 16.09 | 1.83 |
| KH106 | 106 | 22 | 36.1 | 120 | 18.24 | 0.55 |
| KH107 | 107 | 22 | 35.72 | 120 | 18.56 | 0.37 |
| KH108 | 108 | 22 | 36.09 | 120 | 18.57 | 0.73 |

綜合上述所有分析結果,本研究區域之主頻落在 1Hz 以下,造成 主要放大之地層為地表至地下 100 公尺間之沖積層,其造成之主頻在 0.8~1Hz,另外沖積層與部份古亭坑層組成另一深達 250 公尺以上之 共振地層,造成了 0.4~0.6Hz 之共振主頻。

4.7 土壤液化潜能分析

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。

| に見ていた。 | 約号 | | V /= | | | |
|--------|-------|----|-------|-----|-------|----------------------------------|
| 川和 | 利冊 5元 | 緯度 | | 經度 | | л _g 1 <u>в</u> |
| KH001 | 1 | 22 | 32.93 | 120 | 19.24 | 10.94 |
| KH002 | 2 | 22 | 32.77 | 120 | 19.38 | 23.15 |

| KH003 | 3 | 22 | 32.42 | 120 | 19.63 | 7.41 |
|-------|----|----|-------|-----|-------|-------|
| KH004 | 4 | 22 | 32.22 | 120 | 19.68 | 15.14 |
| KH005 | 5 | 22 | 32.53 | 120 | 19.35 | 20.53 |
| KH006 | 6 | 22 | 32.81 | 120 | 19.19 | 14.76 |
| KH007 | 7 | 22 | 32.88 | 120 | 19.05 | 28.60 |
| KH008 | 8 | 22 | 32.59 | 120 | 19.16 | 18.20 |
| KH009 | 9 | 22 | 33.67 | 120 | 19.51 | 23.41 |
| KH010 | 10 | 22 | 33.96 | 120 | 19.26 | 17.33 |
| KH011 | 11 | 22 | 33.79 | 120 | 19.36 | 21.98 |
| KH012 | 12 | 22 | 33.94 | 120 | 19.12 | 25.99 |
| KH013 | 13 | 22 | 33.69 | 120 | 19.25 | 39.96 |
| KH014 | 14 | 22 | 33.55 | 120 | 19.38 | 24.52 |
| KH015 | 15 | 22 | 34.15 | 120 | 19.12 | 23.51 |
| KH016 | 16 | 22 | 34.3 | 120 | 19.09 | 18.02 |
| KH017 | 17 | 22 | 34.36 | 120 | 18.8 | 36.56 |
| KH018 | 18 | 22 | 34.83 | 120 | 18.41 | 27.56 |
| KH019 | 19 | 22 | 34.67 | 120 | 18.53 | 22.55 |
| KH020 | 20 | 22 | 34.47 | 120 | 18.73 | 7.39 |
| KH021 | 21 | 22 | 36.47 | 120 | 17.23 | 22.17 |
| KH022 | 22 | 22 | 36.28 | 120 | 17.29 | 24.25 |
| KH023 | 23 | 22 | 36.04 | 120 | 17.37 | 38.95 |
| KH024 | 24 | 22 | 35.7 | 120 | 17.54 | 15.38 |
| KH025 | 25 | 22 | 35.34 | 120 | 17.75 | 26.47 |
| KH026 | 26 | 22 | 36.33 | 120 | 17.48 | 26.26 |
| KH027 | 27 | 22 | 35.7 | 120 | 17.79 | 10.12 |
| KH028 | 28 | 22 | 36.01 | 120 | 17.58 | 9.55 |
| KH029 | 29 | 22 | 35.54 | 120 | 17.95 | 26.91 |
| KH030 | 30 | 22 | 35.46 | 120 | 18.05 | 18.98 |

| KH031 | 31 | 22 | 35.33 | 120 | 18.17 | 20.39 |
|-------|----|----|-------|-----|-------|-------|
| KH032 | 32 | 22 | 35.27 | 120 | 17.97 | 20.90 |
| KH033 | 33 | 22 | 36.92 | 120 | 17.19 | 15.63 |
| KH034 | 34 | 22 | 36.99 | 120 | 17.03 | 27.57 |
| KH035 | 35 | 22 | 37.07 | 120 | 16.88 | 20.19 |
| KH036 | 36 | 22 | 37.12 | 120 | 16.68 | 13.96 |
| KH037 | 37 | 22 | 37.16 | 120 | 16.47 | 27.02 |
| KH038 | 38 | 22 | 36.81 | 120 | 16.08 | 13.18 |
| KH039 | 39 | 22 | 36.53 | 120 | 16.31 | 31.21 |
| KH040 | 40 | 22 | 36.3 | 120 | 16.45 | 46.40 |
| KH041 | 41 | 22 | 36.03 | 120 | 16.67 | 25.76 |
| KH042 | 42 | 22 | 35.78 | 120 | 16.87 | 20.38 |
| KH043 | 43 | 22 | 35.53 | 120 | 17.13 | 18.42 |
| KH044 | 44 | 22 | 35.3 | 120 | 17.32 | 11.95 |
| KH045 | 45 | 22 | 35.22 | 120 | 17.18 | 18.12 |
| KH046 | 46 | 22 | 35.48 | 120 | 17 | 19.96 |
| KH047 | 47 | 22 | 35.71 | 120 | 16.8 | 22.92 |
| KH048 | 48 | 22 | 36.04 | 120 | 16.57 | 21.73 |
| KH049 | 49 | 22 | 36.32 | 120 | 16.36 | 35.38 |
| KH050 | 50 | 22 | 36.57 | 120 | 16.1 | 40.28 |
| KH051 | 51 | 22 | 34.99 | 120 | 17.47 | 26.38 |
| KH052 | 52 | 22 | 34.78 | 120 | 17.57 | 18.37 |
| KH053 | 53 | 22 | 34.16 | 120 | 18.07 | 21.71 |
| KH054 | 54 | 22 | 34.32 | 120 | 18.08 | 22.01 |
| KH055 | 55 | 22 | 33.94 | 120 | 18.28 | 43.42 |
| KH056 | 56 | 22 | 34.02 | 120 | 20.81 | 11.96 |
| KH057 | 57 | 22 | 33.73 | 120 | 20.83 | 16.93 |
| KH058 | 58 | 22 | 33.24 | 120 | 20.29 | 13.49 |

| KH059 | 59 | 22 | 33.36 | 120 | 20.38 | 12.48 |
|-------|----|----|-------|-----|-------|-------|
| KH060 | 60 | 22 | 33.47 | 120 | 20.19 | 9.41 |
| KH061 | 61 | 22 | 33.54 | 120 | 20.02 | 8.50 |
| KH062 | 62 | 22 | 33.78 | 120 | 19.79 | 16.68 |
| KH063 | 63 | 22 | 33.73 | 120 | 20.25 | 24.20 |
| KH064 | 64 | 22 | 34.01 | 120 | 20.48 | 14.05 |
| KH065 | 65 | 22 | 33.89 | 120 | 19.97 | 29.61 |
| KH066 | 66 | 22 | 34.16 | 120 | 20.12 | 12.88 |
| KH067 | 67 | 22 | 34.07 | 120 | 19.75 | 7.29 |
| KH068 | 68 | 22 | 34.44 | 120 | 19.47 | 8.89 |
| KH069 | 69 | 22 | 33.96 | 120 | 18.92 | 36.01 |
| KH070 | 70 | 22 | 34.05 | 120 | 18.79 | 42.01 |
| KH071 | 71 | 22 | 34.32 | 120 | 18.73 | 28.47 |
| KH072 | 72 | 22 | 34.67 | 120 | 19.19 | 36.50 |
| KH073 | 73 | 22 | 34.85 | 120 | 19.58 | 21.52 |
| KH074 | 74 | 22 | 35.18 | 120 | 19.34 | 12.48 |
| KH075 | 75 | 22 | 35.33 | 120 | 18.96 | 11.29 |
| KH076 | 76 | 22 | 34.91 | 120 | 18.98 | 22.22 |
| KH077 | 77 | 22 | 34.86 | 120 | 18.8 | 9.20 |
| KH078 | 78 | 22 | 34.96 | 120 | 18.54 | 23.24 |
| KH079 | 79 | 22 | 35.41 | 120 | 18.53 | 27.03 |
| KH080 | 80 | 22 | 35.64 | 120 | 18.91 | 20.95 |
| KH081 | 81 | 22 | 34.31 | 120 | 18.02 | 13.64 |
| KH082 | 82 | 22 | 34.5 | 120 | 17.93 | 28.24 |
| KH083 | 83 | 22 | 34.61 | 120 | 17.83 | 14.68 |
| KH084 | 84 | 22 | 34.49 | 120 | 17.79 | 20.34 |
| KH085 | 85 | 22 | 33.26 | 120 | 18.88 | 10.74 |
| KH086 | 86 | 22 | 33.36 | 120 | 18.71 | 16.87 |

| KH087 | 87 | 22 | 33.58 | 120 | 18.52 | 25.85 |
|--------|-----|----|-------|-----|-------|-------|
| KH088 | 88 | 22 | 35.91 | 120 | 16.97 | 46.95 |
| KH089 | 89 | 22 | 36.28 | 120 | 18.4 | 13.74 |
| KH090 | 90 | 22 | 36.39 | 120 | 18.13 | 14.26 |
| KH091 | 91 | 22 | 36.9 | 120 | 18.15 | 21.50 |
| KH092 | 92 | 22 | 36.83 | 120 | 17.8 | 16.01 |
| KH093 | 93 | 22 | 36.81 | 120 | 17.53 | 8.54 |
| KH094 | 94 | 22 | 36.72 | 120 | 17.75 | 14.53 |
| KH095 | 95 | 22 | 36.61 | 120 | 17.86 | 16.55 |
| KH096 | 96 | 22 | 36.94 | 120 | 17.57 | 27.34 |
| KH097 | 97 | 22 | 37.09 | 120 | 17.63 | 14 66 |
| KH098 | 98 | 22 | 37.15 | 120 | 18.04 | 8.12 |
| KH099 | 99 | 22 | 37.32 | 120 | 17.71 | 13.25 |
| KH100 | 100 | 22 | 37.52 | 120 | 17.5 | 9.63 |
| KH101 | 101 | 22 | 37.26 | 120 | 17.21 | 18 36 |
| KH102 | 101 | 22 | 37.51 | 120 | 17.21 | 11.30 |
| KH102 | 102 | 22 | 37.51 | 120 | 16.74 | 17.03 |
| KI1103 | 103 | 22 | 27.22 | 120 | 16.74 | 10.95 |
| КП104 | 104 | 22 | 27.12 | 120 | 16.23 | 10.85 |
| KHI05 | 105 | 22 | 37.12 | 120 | 10.09 | 6.47 |
| KH106 | 106 | 22 | 36.1 | 120 | 18.24 | 22.37 |
| KH107 | 107 | 22 | 35.72 | 120 | 18.56 | 29.73 |
| KH108 | 108 | 22 | 36.09 | 120 | 18.57 | 17.51 |

由圖 4.7.1 發現由於整個港區之主頻均在 1Hz 以下,甚至在部分 區域低達 0.5Hz 以下,因此整個區域之 K_g 值偏高,除了南北兩端與 內陸部分區域因主頻較高使得 K_g 值在 15 以下外,大部分區域均在 15 以上,旗津與碼頭部份區域甚至高達 30 以上,有的地區更高達 40。 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, 而本研究所得到之 K_g 值在港區內有很多區域在 15 以上, 加上海邊地下水位一般而言較高, 故港區在地震來襲時土壤 發生液化之可能性較高。



圖 4.2.1 KH088 微地動量測 H/V 與理論計算轉換函數



圖 4.2.2 TSMIP 地震震央分佈圖







圖 4.2.4 KAU057 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



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. 2003-12-10 12:38 UT

4-29

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. 2003-12-10 12:38 UT

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 30 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 97 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 293 米深地層之頻譜比與微地動單站頻譜比比較圖



圖 4.2.17 地表與 293 米深地層之頻譜比與理論轉換函數比較圖



圖 4.3.1 293 公尺井下地震儀方位角隨日期變化圖



圖 4.4.1 衰減因子 Q 隨頻率變化回歸結果

$$\begin{array}{c} 2003 \ 12 \ 10 \ 12:38 \\ R \ component \\ \end{array}$$

圖 4.5.1 模擬(上)與觀測(下)加速度歷時在 R 方向比較圖



圖 4.5.2 模擬(上)與觀測(下)加速度歷時在 T 方向比較圖



圖 4.5.3 模擬(上)與觀測(下)速度歷時在 R 方向比較圖



圖 4.5.4 模擬(上)與觀測(下)速度歷時在 T 方向比較圖



圖 4.5.5 模擬(上)與觀測(下)位移歷時在 R 方向比較圖



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 秒高雄港區放大倍率等值圖



圖 4.6.2 特性週期 3 秒高雄港區放大倍率等值圖



圖 4.6.3 特性週期 2 秒高雄港區放大倍率等值圖



圖 4.6.4 特性週期 1.5 秒高雄港區放大倍率等值圖





圖 4.6.5 特性週期 1 秒高雄港區放大倍率等值均佈圖



圖 4.6.6 特性週期 0.5 秒高雄港區放大倍率等值圖





圖 4.6.7 特性週期 0.3 秒高雄港區放大倍率等值圖



圖 4.6.8 特性週期 0.2 秒高雄港區放大倍率等值圖

Microtremor D.F.





圖 4.6.9 高雄港區共振主頻等值均佈圖



圖 4.7.1 高雄港區 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,找出高雄港區 之地下速度構造,並利用得到之速度構造與微地動量測結果,分析高 雄港區之場址效應,以利高雄港區後續開發時建築物耐震設計之參 考。本研究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,所得到之速度構造深達 1400 公尺, 並利用此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,發現二者十分接近,顯示本速度構造相 當精確,同時也顯示微地動量測可反應場址效應。本計畫同時利用微 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,以及隨頻率增加造成放大倍 率變化之趨勢。此外本研究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 1Hz 下, 分成 0.8~1Hz 以及 0.4~0.6Hz 二個部份, 造成主要放大 之地層為地表至地下 100 公尺間之沖積層造成 0.8~1Hz 之主頻:另外 沖積層與部份古亭坑層組成另一深達 250 公尺以上之共振地層,造成 了 0.4~0.6Hz 之共振主頻。受到沖積層變化之影響, 旗津及港區靠海 部分之主頻較低且放大倍率較高,越往南北兩邊及內陸則主頻升高但 放大倍率降低,而土壤液化潛能分析方面,由部分區域高達 30 以上 之 K。值研判,港區在地震來襲時土壤發生液化之可能性很高,尤其 是旗津與碼頭區域。若與其他港灣地區之研究成果比對(陳圭璋等, 2004), 高雄港區之主頻明顯偏低, 其共振主頻主要來自沖積層與深 部地層,而非淺層人工回填區域,這與臺中、臺北港區明顯不同,其 情形更類似臺北盆地等具有鬆軟沖積層之地區,其低頻放大明顯且倍 率高。

參考文獻

- 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.
- 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 Despersion of Surface Wave on Multilayered Media, Bull. Seism. Soc. Am. 43, 17-34.
- Haskell, N. A.,1960. Crustal reflection of plane SH waves, J. Geophys. Res., 65, 4147-4150.
- 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.
- Nakamuram 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 deta, 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,2003。高雄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 高雄地質圖幅。
- 16.聯合大地工程顧問股份有限公司,2001. 臺北港行政區土壤液化防 治對策及設計。

附錄 A 地球物理及微地動試驗 野外工作照片



附圖 A.1 地球物理野外工作照片



附圖 A.2 微地動試驗野外工作照片

附錄B 高雄港區微地動量測頻譜



附 B-1




附 B-3



附 B-4



附 B-5



附 B-6



附 B-7



附 B-8



附 B-9



附 B-10



附 B-11



附 B-12



附 B-13



附 B-14



附 B-15



附 B-16



附 B-17



附 B-18



附 B-19



附 B-20



附 B-21



附 B-22



附 B-23



附 B-24



附 B-25



附 B-26



附 B-27



附 B-28



附 B-29



附 B-30



附 B-31



附 B-32



附 B-33



附 B-34



附 B-35



附 B-36

附錄 C 高雄港區微地動量測 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



附 C-9



附 C-10



附 C-11



附 C-12



附 C-13



附 C-14



附 C-15



附 C-16



附 C-17



附 C-18



附 C-19



附 C-20



附 C-21



附 C-22



附 C-23



附 C-24



附 C-25



附 C-26



附 C-27



附 C-28



附 C-29



附 C-30



附 C-31



附 C-32



附 C-33



附 C-34



附 C-35



附 C-36