93-63-796 MOTC-IOT-92-H1BA01-3

港灣地區地層構造調查研究 (2/3)



交通部運輸研究所

中華民國九十三年四月

93-63-796 MOTC-IOT-92-H1BA01-3

港灣地區地層構造調查研究 (2/3)

著者:陳圭璋

交通部運輸研究所

中華民國九十三年四月

港灣地區地層構造調查研究 (2/3) 者:陳圭璋 著 出版機關:交通部運輸研究所 地 址:台北市敦化北路 240 號 網 址:www.iot.gov.tw/chinese/lib/lib.htm 雷 話:(02)23496789 出版年月:中華民國九十三年四月 印刷者: 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網站 定 價: 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:台北市重慶南路一段 61 號 4 樓•電話:(02)23617511 三民書局復北店:台北市復興北路 386號4樓•電話:(02)25006600 國家書坊台視總店:台北市八德路三段 10 號 B1•電話: (02)25787542 五南文化廣場:台中市中山路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: 1009301425

港灣地區地層構造調查研究 (2/3)

交通部運輸研究所

GPN:1009301425 定價 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(2/3)						
國際標準書號(或叢刊號)	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號	計畫編號			
	1009301425	93-63-796	92-H1BA01-3			
主辦單位:港灣技術研究中	uù		研究期間			
主管:邱永芳			自 92 年 01 月			
計劃主持人:陳圭璋			至 92 年 12 月			
研究人員:						
聯絡電話:04-26587174						
傳真號碼:04-26571329						
關鍵詞:震測探測、地層構造、頻譜比、場址效應						
摘要:						

本文利用地球物理法探查台北港區之地層速度構造,以微地動量測之頻譜比來探 討台北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	
93年4月 150 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: 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

TITLE: Soil Stru	cture of Har	bor Areas in Taiwan (2/3))	
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMEN	NT PUBLICATIONS NUMBER 1009301425	IOT SERIAL NUMBER 93-63-796	PROJECT NUMBER 92-H1BA01-3
DIVISION: HAR DIVISION DIRE PRINCIPAL INV PROJECT STAFF PHONE: 886-4-20 FAX: 886-4-2657	BOR & MARI CTOR: Yung-F ESTIGATOR: 3: 5587176 1329	NE TECHNOLOGY CENTE Jang Chiu Kuei-Chang Chen	R	PROJECT PERIOD FROM Jan. 2003 TO Dec. 2003
KEY WORDS: S	Seismic surve	y, soil structure, spectral rat	io, site effect	
ABSTRACT: In this s H/V ratios fr liquefaction measurements results of ear ground ampli also investiga	tudy, geophy om microtre potential o s were comp rthquake dat fication rati ted.	ysical methods were used emor measurements were of the Taipei Harbor bared to the Haskall Meth ta from 2 pieces of TS o and predominant reso	d to investigate the e used to study the area. H/V ratios nod theory simulation MIP and downhole nant frequency duri	soil speed structure. site effect and soil from microtremor on and the analytical accelerometer. The ng earthquake were
DATE OF PUB April 20	LICATION 004	NUMBER OF PAGES 150	PRICE	CLASSIFICATION SECRET CONFIDENTIAL UNCLASSIFIED
The views expressed	d in this publicat	ion are not necessarily those of th	e Ministry of Transportatio	n and Communications.

港灣地區地層構造之調查研究 (2/3)

目 錄

中文摘要I
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 2-1
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 3-7
3.3 表面波譜法(SASW) 3-11
3.4 地球物理探測結果 3-15
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 近地表 Q 值計算 4-8
4.4 整體場址效應 4-10
4.5 土壤液化潛能分析 4-15
第五章 結論與建議
參考文獻

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 台北港區微地動量測頻譜
- 附錄 C 台北港區微地動量測單站頻譜比

圖目錄

啚	2.1.1	台北港地理位置圖(摘自聯合大地,2001)	. 2-3
圕	2.1.2	台北港區附近地質圖(重繪自地質調所林口數值地質圖).	. 2-4
圕	2.2.1	台北港區地球物理測線位置圖	. 2-5
圕	2.2.2	台北港區微地動試驗位置圖	. 2-6
圕	3.1.1	折射震波探測儀器配置圖	3-17
圕	3.1.2	折射震測流程圖	3-17
圕	3.1.3	泛化互換法(GRM)原理之基本模型:(A)速度分析函數,	, 2 10
		(B) 时间	3-18
啚	3.1.4	折射震測測線 LA-1 速度層剖面圖	3-19
圕	3.1.5	折射震測測線 LA-2 速度層剖面圖	3-19
圕	3.1.6	折射震測測線 LA-3 速度層剖面圖	3-20
圕	3.1.7	折射震測測線 LA-4 速度層剖面圖	3-20
圖	3.1.8	折射震測測線 LA-5 速度層剖面圖	3-21
圖	3.1.9	折射震測測線 LA-6 速度層剖面圖	3-21
圕	3.1.10) 折射震測測線 LA-7 速度層剖面圖	3-22
圕	3.2.1	野外反射震測探測配置圖	3-22
圕	3.2.2	反射震測施測流程圖	3-23
圕	3.2.3	反射震測 LR-1 P 波速度分布圖	3-23
圕	3.2.4	反射震測 LR-2-1 P 波速度分布圖	3-24
圕	3.2.5	反射震測 LR-2-2 P 波速度分布圖	3-24
圕	3.2.6	反射震測 LR-3 P 波速度分布圖	3-25
圕	3.2.7	反射震測 LR-1(A)地層構造原始剖面圖	3-26

圖 3.2.7 反射震測 LR-1(B)地層構造解釋剖面圖	3-27
圖 3.2.8 反射震測 LR-2-1(A)地層構造原始剖面圖	3-28
圖 3.2.8 反射震測 LR-2-1(B)地層構造解釋剖面圖	3-29
圖 3.2.9 反射震測 LR-2-2(A)地層構造原始剖面圖	3-30
圖 3.2.9 反射震測 LR-2-2(B)地層構造解釋剖面圖	3-31
圖 3.2.10 反射震測 LR-3(A)地層構造原始剖面圖	3-32
圖 3.2.10 反射震測 LR-3(B)地層構造解釋剖面圖	3-33
圖 3.3.1 表面波譜法(SASW)探測儀器配置圖	3-34
圖 3.3.2 表面波譜法(SASW)流程圖	3-34
圖 3.3.3 表面波譜法(SASW)紀錄圖	3-35
圖 3.3.4 表面波譜法(SASW)頻散曲線圖	3-35
圖 3.3.5 LS-1~LS-4 S 波速度分布圖	3-36
圖 3.3.6 LS-5~LS-8 S 波速度分布圖	3-36
圖 3.3.7 LS-9~LS-10 S 波速度分布圖	3-37
圖 4.2.1 微地動量測 H/V 與理論計算轉換函數比較圖	4-18
圖 4.2.2 TSMIP 地震震央分佈圖	4-19
圖 4.2.3 TAP050 及 TAP049 在 1996/6/25 地震之地動歷時	4-20
圖 4.2.4 不同 TSMIP 測站單站頻譜比結果	4-21
圖 4.2.5 TSMIP 測站單站頻譜比平均結果與微地動資料單站	熲
譜比結果比較	4-21
圖 4.2.6 井下地震儀陣列地震震央分佈圖	4-22
圖 4.2.7 井下地震儀陣列地震紀錄之地動歷時	4-23
圖 4.2.8 井下地震儀陣列正規化 PGA 隨深度變化圖	4-26
圖 4.2.9 地表與不同深度地層之頻譜比圖	4-27

VI

圖 4.2.10) 地表與深度 297 米地層之頻譜比與理論轉換函數	
	比較圖	4-29
圖 4.3.1	衰減因子 Q 隨頻率變化回歸結果	4-30
圖 4.3.2	模擬與觀測加速度在 R 方向比較圖	4-31
圖 4.3.2	模擬與觀測加速度在 T 方向比較圖	4-32
圖 4.3.2	模擬與觀測速度在 R 方向比較圖	4-33
圖 4.3.2	模擬與觀測速度在 T 方向比較圖	4-34
圖 4.3.2	模擬與觀測位移在 R 方向比較圖	4-35
圖 4.3.2	模擬與觀測位移在 T 方向比較圖	4-36
圖 4.4.1	特性週期4秒台北港區放大倍率等值圖	4-37
圖 4.4.2	特性週期3秒台北港區放大倍率等值圖	4-37
圖 4.4.3	特性週期2秒台北港區放大倍率等值圖	4-38
圖 4.4.4	特性週期 1.5 秒台北港區放大倍率等值圖	4-38
圖 4.4.5	特性週期1秒台北港區放大倍率等值圖	4-39
圖 4.4.6	特性週期 0.5 秒台北港區放大倍率等值圖	4-39
圖 4.4.7	特性週期 0.3 秒台北港區放大倍率等值圖	4-40
圖 4.4.8	特性週期 0.2 秒台北港區放大倍率等值圖	4-40
圖 4.4.9	台北港區共振主頻等值均佈圖	4-41
圖 4.5.1	台北港區 Kg 等值均佈圖	4-41

第一章 前 言

台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 台北市區及台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。台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 年之研究計劃,將針對台中港、台北港及高雄港等地區進行地層構造 調查及場址效應分析,本年度為研究計劃之第二年,研究地區為台北 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。本研究將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,本研究將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 解台北港區放大倍率的平面分佈情形,藉由微地動觀測結果及前面地 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 等結果對港區日後規畫設計工程結構物將有助益。

1-1

第二章 試驗地區地質概況與試驗位置

2.1 研究地區地質概述

本年度之港區地層構造調查研究係以台北港區為範圍。其地理位 置如圖 2.1.1 所示,台北港屬台北縣八里鄉訊塘村濱海地區,位處於 淡水河入海口西南岸,對外交通目前以聯外道路與中山路及省道台 15 線相連接,往南接西部濱海快速道路,可直達苗栗、台中,往北可連 接八里、淡水、五股地區道路及國道 1 號高速公路,或經關渡大橋跨 河至淡水、北投等地,構成綿密優良路網。未來更可經由規劃興建中 的八里 新店線快速道路,直通板橋、中永和及新店,接通國道 3 號 高速公路及北宜快速道路。

依據聯合大地工程顧問股份有限公司『台北港行政區土壤液化防 治對策及設計報告』(2001),及工研院能資所出版『台灣省政府建設 廳環境地質資料庫』(1991)所述,台北港行政區附近地層除抽砂回填 層之外,上層為現代沖積層,其下為更新世大南灣層。現代沖積層主 要由泥、粉土、砂及礫石組成,主要分布於台灣海峽沿岸及紅水仙溪 河谷。大南灣層為一平緩海象沉積岩層,出露於林口台地西北側,主 要由細粒砂岩、粉砂岩、頁岩和泥岩互層所組成,於岩層中常夾有礫 石凸鏡體或不規則團塊,岩層厚度約數十公分至數公尺之間,層面發 育不佳;新鮮露頭呈淡灰色至淡青灰色,岩層膠結差,易碎裂且顆粒 易分離為砂、粉砂及泥土。

依經濟部地質調查所的林口地區地質圖(詳圖 2.1.2),本區地層屬 於第四紀,地質構造較單純,地層位態皆十分平緩或彼此以不整合接 觸,依林口地區地質圖所切剖面,可發現大南灣層之下為觀音山層, 主要由砂岩及泥岩互層所組層,上部夾礫岩層,距離本基地最近的斷 層為金山 新莊斷層,位於基地東南側約8公里。

2.2 現地調查試驗數量及位置

本年度研究地點位於台北港區,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 及 淺 地 層 震 波 衰 減 因 子 分 析 等 六 個 主 要 工 作 項 目 。本年度總共完成折射震波探測 644m,反射震波探測 2258m,表面波頻譜分析 10 處,微地動試驗 51 點,並近行場址效應 分析及淺 地 層 震 波 衰 減 因 子 分 析 。現地試驗工作照片如附錄 A 所示,各試驗工作佈置如圖 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

東碼頭區佈置 3 條測線,第一條測線(LR-1)貫穿台北港聯外道路至岸邊,測線長度 679 公尺,第二條測線(LR-2)位於地震觀測站前方道路並垂直第一條測線佈置,其中 LR-2-1 測線長度 383 公尺,LR-2-2 測線長度 765 公尺,第三條測線(LR-3)位於東碼頭最右側(東側),測線長度 431 公尺,總長度 2258 公尺。

2.折射震測

測線位置大致與反射震測相同,於東碼頭區平均佈置 6 條測線,於台北港大門外之聯外道路上佈置 1 條測線,測線編號為 LA-1~LA-7,總長度 644 公尺。

3.表面波頻譜分析

測線位置位大致與反射震測相同,測線於東碼頭區平均佈置9 處,於台北港大門外之聯外道路上佈置1處,測線編號為LS-1~LS-10。

4.微地動試驗與液化潛能分析

量測方式為在東碼頭內以均勻分佈的方式量測 29 點,東碼頭 以外依結構物特性及功能量測 22 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。



圖 2.1.1 台北港地理位置圖(摘目聯合大地,2001)



圖 2.1.2 台北港區附近地質圖(重繪自地質調所林口數值地質圖)



圖 2.2.1 台北港區地球物理測線位置圖







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-IFFT 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:

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

式_{t_{AY}} =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

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

.....(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

 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)

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)時間一深度函數

時間一深度函數 t_g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 B.4 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

本年度研究折射震波探測共施測 7 條,測線編號分別為 LA-1~LA-7,每條測線 92m,總共長度 644m,受波器間距 4m。東碼頭 區平均佈置 6 條測線,於台北港大門外之聯外道路上佈置 1 條測線, 折射震波速度層剖面圖如圖 3.1.4~圖 3.1.10,由本次分析結果,研判 本調查測線範圍內第一層為回填土及其下的細砂層或粉土層,速度約 介於 0.50 km/sec~0.95 km/sec, 第二層速度層仍為砂土層, 速度約介 於 1.45 km/sec~1.73 km/sec, 茲將結果詳列如下:

屆字	地層研判	P 波速度	厚 (m)
) <u> </u>)],		(km/sec)	
1	回填土或細砂層	0.80 0.95	7.5 15.9
2	砂土層	1.45 1.52	

1. LA-1 測線探測結果(詳圖 3.1.4)

2. LA-2 測線探測結果(詳圖 3.1.5)

岡ウ	地層研判	P 波速度	回 府(m)
<i>酒厅</i>		(km/sec)	序皮(III)
1	回填土或細砂層	0.55 0.60	4.91 8.75
2	砂土層	1.61 1.63	

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	回填土或細砂層	0.58 0.68	2.90 5.52
2	砂土層	1.60 1.62	

4. LA-4 測線探測結果(詳圖 3.1.7)

層序	地層研判	P 波速度 (km/sec)	厚度(m)
1	回填土或細砂層	0.58 0.80	4.80 10.83
2	砂土層	1.57 1.73	

5. LA-5 測線探測結果(詳圖 3.1.8)

層序地	地層研判	P 波速度	厚度(m)
		(km/sec)	
1	回填土或細砂層	0.68 0.75	5.00 6.75
2	砂土層	1.61 1.62	

6. LA-6 測線探測結果(詳圖 3.1.9)

層序	地層研判	P波速度 (km/sec)	厚度(m)	
1	回填土或細砂層	0.50 0.80	4.11 6.54	
2	砂土層	1.60 1.62		

7. LA-7 測線探測結果(詳圖 3.1.10)

層序	地層研判	P 波速度	厚度(m)	
,⊟,].		(km/sec)		
1	回填土或細砂層	0.71 0.74	3.58 6.00	
2	砂土層	1.63 1.66		

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(叫若干重合, 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

本研究反射震波探測共施測 4 條,佈置於東碼頭區,第一條測線 (LR-1)貫穿台北港聯外道路至岸邊,測線長度 679 公尺,施測方向由 南向北施測;第二條測線(LR-2)位於地震站後方道路並垂直第一條測 線佈置,其中 LR-2-1 測線長度 383 公尺,LR-2-2 測線長度 765 公 尺,施測方向由西向東施測;第三條測線(LR-3)位於東碼頭最右側(東 側),測線長度 431 公尺,施測方向由南向北施測,總長度 2258 公 尺。本研究反射震波探測使用 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 3.2.10 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地層構造略為向南傾,在 LR-2-1 及 LR-2-2 的東 西向震測剖面中可看出地層構造略為向南傾,在 1450m 以內的 P 波速 度構造在 1400m/sec~3500m/sec 之間,依其速度構地層深度在 120m 以內為沖積層,震波速度約為 1400m/sec~1778m/sec,深度 在 250m 以下為觀音山層,速度約 2527m/sec~3400m/sec,觀音山層以 下的反射層尚須較多的深層鑽孔及地質資料對比方能研判其地層。

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。

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。

3-13

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(如圖 3.3.3)。
- 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(如圖 3.3.4)。
- 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

本年度研究 SASW 探測計進行 10 處,編號為 LS-1~LS-10,測線

於東碼頭區平均佈置 9 處,於台北港大門外之聯外道路上佈置 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。探測結果如圖 3.3.5~圖 3.3.7 及下表所示:

深度(m)	LS-1 Vs (m/sec)	深度(m)	LS-2 Vs (m/sec)	深度(m)	LS-3 Vs (m/sec)	深度(m)	LS-4 Vs (m/sec)
0~10	227.7	0~5	200	0~4	197.7	0~5	218.7
10~35	260.4	5~28	230.4	4~27	220	5~33	250.4
35~50	337.2	28~45	307.2	27~40	327.2	33~50	347.2
50~70	378.9	45~75	350.9	40~80	380	50~80	375.9
70~100	351.4	75~100	349.9	80~100	361.4	80~100	359.4

深度(m)	LS-5 Vs (m/sec)	深度(m)	LS-6 Vs (m/sec)	深度(m)	LS-7 Vs (m/sec)	深度(m)	LS-8 Vs (m/sec)
0~4	197.3	0~6	217.3	0~4	207.3	0~5	207.3
4~33	254.9	6~35	230.9	4~27	243.1	5~35	235
33~46	338.2	35~60	348.2	27~45	328.2	35~62	339.2
46~63	390.6	60~80	380.6	45~80	380.6	62~80	397.6
63~100	377.8	80~100	367.8	80~100	360	80~100	370

深度(m)	LS-9 Vs (m/sec)	深度(m)	LS-10 Vs (m/sec)		
0~3	200.1	0~5	210.1		
3~28	248.4	5~30	252.4		
28~44	345.7	30~60	355.7		
44~70	391.5	60~78	393.5		
70~100	380.9	78~100	370.9		

3.4 地球物理探測結果

- 由折射震測探測可知第一層速度層約在地表下 2.5m~10m 之間,對 比港區以前的鑽探資料可知,第一層為回填土及其下的細砂層或粉 土層,速度約介於 0.50 km/sec~0.95 km/sec,第二層速度層仍為砂 土層,速度約介於 1.45 km/sec~1.73 km/sec。
- 2. 由反射震測探測在 LR-1 及 LR-3 的南北向震測剖面中可看出地層 構造略為向南傾,在 LR-2-1 及 LR-2-2 的東西向震測剖面中可看出 地層構造略為向西傾,在地表下 1450m 以內的地層其 P 波速度構 造在 1400m/sec~3500m/sec 之間,依其速度構造推估,深度 120m 以內為沖積層,震波速度約為 1400m/sec~1778m/sec,深度 120m~250m 為大南灣層,震波速度約為 1980m/sec~2327m/sec,深 度 250m 以下為觀音山層,速度約 2527m/sec~3400m/sec。
- 由 10 處表面波頻譜探測法及收集之前埋設井下地震儀所作的 292m
 懸浮式速度井測法的 S 波探測結果,可看出其趨勢頗為一致,在 地表下 30m~36m 之地層以下其 S 波速度明顯增高。因此本研究場

址效應分析中的速度模型在地表下 0m~100m 地層部分可依據表面 波頻譜探測法及懸浮式速度井測探測結果。

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 一模型在地表下 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,地表下 100m 以下的地層其 P 波速度可依據反 射震測探測結果,地表下 100m 以下的地層其 S 波速度仍延續依據 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)
0-8	1754	200	2.05
8-36	1639	230	2.03
36-50	1694	320	2.04
50-110	1820	360	2.06
110-220	1980	403	2.10
220-292	2040	581	2.11
292-550	2667	581	2.23
550-900	3333	581	2.37
900-1450	3478	581	2.40






圖 3.1.2 折射震測流程圖





(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



3.1.6 折射震測測線 LA-3 速度層剖面圖



圖 3.1.7 折射震測測線 LA-4 速度層剖面圖



圖 3.1.8 折射震測測線 LA-5 速度層剖面圖



圖 3.1.9 折射震測測線 LA-6 速度層剖面圖



圖 3.1.10 折射震測測線 LA-7 速度層剖面圖













圖 3.2.4 反射震測 LR-2-1 P 波速度分布圖



圖 3.2.5 反射震測 LR-2-2 P 波速度分布圖



圖 3.2.6 反射震測 LR-3 P 波速度分布圖



圖 3.2.7 反射震測 LR-1(A)地層構造原始剖面圖



圖 3.2.7 反射震測 RL-1(B)地層構造解釋剖面圖

w	LR-2-1	-3E
DIST:	90 90 110 110 110 110 110 110 110 110 11	CMD
8	and a state of the state of the second	- 14 g
- CSE	and the second strangent with the state	- 28
=	A second s	- 62
0.10	and a construction of the second s	- 101
-		- 123
		- 166
0+20		- 219
=		- 241
		295
0+30		- 322
=		- 385
=		- 447
0.40		- 978
-		- 540
0.50		- 602
-		- 666
	Cilling the second second	- 700
0.60		- 766
=	Constant of the second of provide second sec	- 633
-	and the second s	- 867
0+70-	Comment and a second and a got	- 933
Ξ	A second se	- 1000
Ξ		- 1055
0.80-	A MARKET MARKET OF THE AND A MARKET AND A	- 1100
Ē	Contract of the second s	- 1167
Ξ	Construction of the second second second	- 1234
0.90	State and a street street and a good	- 1267
Ξ		- 1334
Ξ	A CANTRACT COMMENTS AND	- 1901
1.00-		- 1939
		16 FOLD

圖 3.2.8 反射震測 LR-2-1(A)地層構造原始剖面圖



圖 3.2.8 反射震測 LR-2-1 (B)地層構造解釋剖面圖



圖 3.2.9 反射震測 LR-2-2(A)地層構造原始剖面圖



圖 3.2.9 反射震測 LR-2-2 (B)地層構造解釋剖面圖



圖 3.2.10 反射震測 LR-3(A)地層構造原始剖面圖

e	LR-3	57	
DICT.	LK-2-1	N	
0.00-	20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 2	38800	
2		215 8	沖
2	States in a fail Sailford in S	14 W - 11 O	積
1	A start of the part of the local start of the start of the		層
-	A CONTRACTOR OF A CONTRACTOR O		3th
0.10-	Carp Target and the second	WWW - 81	- 積
		- 100	一層
-	No. of the Article of	MAN - 119	*
-	Numerous a service and the service of the service o	- 13P	th.
-	the second secon	159	140
0.20-	A second s	- 179	13
100	No management of the second of the	- 205	增
-		- 231	
2	Construction of the second	- 257	
-		- 283	
0.30-	Suprement the second second second second	- 309	觀
-		- 337	-92-
-	Section of the sectio	2000 - 365	
12	And the second sec	10/0 - 392	35
		- +20	18
0.40-		448	
- 2	The way many many many	10 A = 476	
	and the second s	- 504	
		- 532	
	Currenter	560	
0.50-	Share and the second	588	
1		623	
	A second s	AST - 657	恭
-	Contraction and a second and and and and and and and and and a	- 692	整
	State have been and the second state of the	A - 727	
0.60-	Contraction and the second	762	
	Channel Channel Channel	1211 - 796	
	And the state of t	ANN - 831	
-	Comparison of the second	11/11 - 866	
	The second second as an at an an at and	901	
0.70-	Company of the second s	AN 936	
-	Contractor and a second s	A - 970	
	Consequence and it was a life and reading the second	- 1005	25-
-		4 - 1040	雅
	The second	000 - 1075	
0,80 -	Country when when an an an and the second of the	1109	
	Construction of the second	W10 - 1144	
-	The set of the first set of a product of the set of a set of the	- 1179	
10	Construction of the Party of th	1214	
	The second supervised and the supervised of the second state	MM - 1248	
0.90-		1283	
-	-Carl Bring and a summing and a summing	1318	
3	and all a second the second	- 1353	200
-	CONTRACTOR AND	55 - 1300	噩
	States and the second	1422	
1.00-	WONDER MIN FOR FUTUR TO AN TURA CONTRACT ON TURA IN TWO	MAX	

圖 3.2.10 反射震測 LR-3 (B)地層構造解釋剖面圖





圖 3.3.2 表面波譜法(SASW)流程圖







圖 3.3.5 LS-1~LS-4 S 波速度分布圖



圖 3.3.6 LS-5~LS-8 S 波速度分布圖



圖 3.3.7 LS-9~LS-10 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

為了能獲得整個台北港區及其週邊地區之場址效應,本研究計畫 於港區內及其週邊地區各處均加以施測,總計量測了 51 個測點,量 測諸元說明如下:

- 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:於港區中儘可能以平均的方式選擇測點,各測點間距 離 100~200 公尺,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 BH/BV 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,主要放大的頻段均在1Hz~2Hz之 間,放大倍率最高可達4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:

深度(m)	P 波速度 (m/sec)	S 波速度 (m/sec)	密度(g/cm3)
0-8	1754	200	2.05
8-36	1639	230	2.03
36-50	1694	320	2.04
50-110	1820	360	2.06
110-220	1980	403	2.10
220-292	2040	581	2.11

於微地動量測時,測點 TH026 位於懸浮式井測之測井旁邊,於是 將理論模擬之結果與 TH026 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 1~2Hz 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 36 米內之地層所造成。此外在高頻處二者結果十分吻 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。此外除了 1Hz 附近之主要共振頻率外,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 0.6Hz 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 200 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。至於二者在低頻部份倍 率上之差異,原因主要是微地動本身反應的主要是淺層地層所造成之 效應,對造成低頻放大之深層地層原本就較不靈敏,加上單站頻譜比 法主要目的在找共振主频,因此若主频接近則低頻部份放大倍率上之 差異是可接受的。

4.2.2 TSMIP 資料分析

為了進一步探討台北港區之場址效應,本研究收集台北港區附近 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 於台北港區附近之 TAP050 八里國小,以及同樣位於淡水河南岸但較 接近台北盆地之 TAP049 米倉國小等 2 個測站,所使用的資料則為 11 個加速度值較大且 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 則為 此 2 個測站在 1996 年 6 月 25 日地震時所記錄之之地動歷時。至於距 離台北港區不遠之淡水一帶雖然仍有許多 TSMIP 測站,但由於其位 於淡水河北岸,屬於不同系統之地層構造,因此其頻譜比無法代表本 區域之基本場址效應,故不在本研究採用範圍之內。

N.	口之日日	位	置	涩 由 lum	甘枯	
NO	144181	緯度 經度		休反 KIII	况作关	
1	1994 1 2 05:50 15.57	24° 3.89'	121° 51.14'	49.4	5.5	
2	1994 5 23 15:16 58.75	23° 51.76'	122° 38.14'	5.5	6	
3	1994 5 24 4:00 40.49	23° 49.6'	122° 36.2'	4.4	6.6	
4	1994 6 5 1:09 30.09	24° 27.74'	121° 50.26'	5.3	6.5	
5	1995 2 23 5:19 2.78	24° 12.22'	121° 41.22'	21.6	5.7	
6	1995 3 24 4:13 51.09	24° 38.28'	121° 51.64'	76	5.6	
7	1995 4 24 10:04 0.96	24° 39.1'	121° 37.33'	63	5.2	
8	1995 6 25 6:59 7.09	24° 36.37'	121° 40.11'	39.8	6.5	
9	1995 7 14 16:52 46.48	24° 19.22'	121° 51.06'	8.7	5.8	
10	1996 7 29 20:20 53.53	24° 29.33'	122° 20.82'	65.6	6.1	
11	1997 6 24 16:37 12.89	25° 7.18'	121° 34.79'	8.5	3.7	

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,故此處之分析方法與微地動所採用之方法相 同,同樣採用單站頻譜比法,不同處在於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 4.2.4 為 TAP050 與 TAP049 等 2 個不同測站所得到之單站頻譜 比結果。由圖 4.2.4 可發現此二測站雖然所在位置不同,但其單站頻 譜比結果不論在高頻或低頻區域,放大主頻率與放大倍率均十分吻 合,可見本區域地下速度構造十分接近,因此 TAP050 之結果即可代 表本區域淺部及深部構造之基本場址效應。由 TAP050 之頻譜比結果 可知,本區域有二個主要放大頻率,第一主頻位於 0.8~1Hz,放大倍 率在 4~6 倍之間,此外在 4~5Hz 之高頻部份有另一較小之主頻,放大 倍率約為 3~5。接著本研究進一步將港區內微地動分析結果與 TAP050 之頻譜比進行比對,以確認港區內場址效應與本區域基本場址效應之 差異。圖 4.2.5 即是將微地動觀測分析結果與 TAP050 之分析結果繪在 一起加以比對,由圖 4.2.5 可發現二者倍率有些許差異,一般而言 TAP050 之倍率較微地動結果稍高,但主頻位置十分一致。值得注意 的是二者在 1Hz 附近的第一主頻處,倍率十分接近,可見造成此一主 頻之地層速度構造可能涵蓋台北港區附近區域。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 2002 年在台北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、 14 米、30 米、99 米及 297 米共設置 5 部地震儀,截至目前為止已紀 錄到 9 筆地震紀錄,在此選取其中資料品質較好之 8 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 則為其中振幅最大之地震之地動歷時。

Na	中。目	位	置	涩 庄 lum	坦坩
INO		緯度	經度	/木/支 KIII	况假
1	2003 5 15 9:42 6.00	25° 18'	122° 14.8'	4.3	5.4
2	2003 5 26 17:16 36.00	24° 42'	121° 41.4'	70.3	4.9
3	2003 6 9 13:4 54.00	24° 23.4'	121° 51'	9.7	5.3
4	2003 6 10 16:32 42.00	23° 31.2'	121° 40.2'	27.6	6.5
5	2003 6 12 21:14 12.00	24° 22.8'	121° 49.8'	12.9	5
6	2003 6 17 23:9 48.00	23° 33.6'	121° 36.6'	18.8	5.9
7	2003 7 13 23:30 30.00	24° 28.2'	121° 52.8'	16.4	5
8	2003 7 18 10:20 36.00	24° 35.4'	121° 50.4'	72.6	5.4

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 4.2.8 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 (-0.027D^{0.682})

東西向:Normalize PGA(D) = exp(-0.184D^{0.359})

南北向:Normalize PGA (D) = exp (-0.136D^{0.378})

由分析觀測與回歸分析結果有幾點特別值得注意,首先由水平向 觀測結果發現,地表下 30 公尺深之 PGA 值大於 14 公尺深之 PGA 值,此點違反一般深度越深 PGA 值越小之情況,推測造成此一不尋 常之原因為此二深度之地震儀位於同一地層,故未發生振波因穿透低 速層所發生之放大現象,相反的由於衰減因素造成能量降低,使得地 層較深之 PGA 值大於淺部之 PGA 值,對照地層速度構造調查結果, 此二深度之地震儀均位於深度 8~36 公尺之第二層內,亦符合上述之 推測。另一值得注意的是 PGA 值明顯之放大不在淺層與地表之間, 而是發生在地表下 30 與 100 公尺之間,同樣對照地層速度構造調查 結果,港區內地下地層剪力波速度對比最大之介面位於地表下 36 公 尺處,此點也說明 PGA 值明顯之放大不在淺層與地表之間,而是發 生在地表下 30 與 100 公尺之間的原因。綜合上述情形,初步推測造 成 1Hz 附近主要放大之地層為地表至 36 公尺深之地層。

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 4.2.9 為計算之結果。由圖 4.2.9 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 14 米深地層之頻譜比中, 第一階共振主頻約在 4~5Hz 之間,但在地表與 30 米深地層之頻譜比 中最明顯之共振主頻位於 6Hz 附近,但是在 2Hz 附近有另一較小之放

4-7

大,此二主要放大應為地表與 14 米深地層之頻譜比中 4~5Hz 主頻分 離之結果,但基本上可視為同一型態,此點支持前面認為此二深度位 於同一地層之推論。接著將此結果與微地動觀測所獲得之單站頻譜比 結果之主頻比對,發現微地動之主頻較低,可見台北港區主要放大之 地層介面應較 30 公尺更深,亦符合先前推測之結果。而在地表與 100 米與 297 米深地層之頻譜比中,其第一階共振主頻降至 1~2Hz 之間, 恰好與微地動觀測所獲得之單站頻譜比結果中之主頻符合,顯示造成 微地動觀測所獲得之單站頻譜比中之共振主頻,其地層介面應位於 30~100 公尺之間,加上地層厚度為波長 1/4 時之共振原理估算,造成 港區主要放大之地層確實為地表至 36 公尺間之地層。此結論可做為 後續全港區場址效應細部評估時之依據。

除此之外,本研究同時比對地表與 297 米深地層之頻譜比與理論 轉換函數,以驗證先前所獲得之速度構造,結果見圖 4.2.10。由圖 4.2.10 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 近地表 Q 值計算

4.3.1Q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 τ 為二測站間之走時差,同時Q(f)亦可表示為: $Q(f) = af^{b}$ 在本報告中, *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) = -	$-\pi f \tau$
2())- In	$\left[\frac{1\!-\!\sqrt{1\!-\!\frac{A_2S_1(f)^2}{A_1S_2(f)^2}}}{A_2\frac{S_1(f)}{S_2(f)}}\right]$

利用上式即可求取衰減因子 Q。本報告利用上式以及地表與 297 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 4.3.1,而得到隨頻率變化之 Q 值如下所示:

 $Q(f)=10.7f^{1.12}$

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,台北 港區之近地表 Q 值較蘭陽盆地與花蓮低但較台北盆地高,此為合理之 現象。若與同樣屬於港區之台中港之結果比對(陳圭璋等,2002), 則台北港之Q值稍低,但仍在同一範圍內。

4.3.2 時間歷時模擬

為了進一步檢驗地層速度構造與 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 2003 年 6 月 10 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 14、30、99、297 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 4.3.2 至圖 4.3.7 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。由以上之比較圖可發現,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,可見本研究所得到之地層速 度構造及 O 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,使得較能反映薄層之高 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O值與真實情況接近。

4.4 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 比較台北港區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 得知台北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

4-10

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 4.4.1~圖 4.4.8,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。

泪哩上	编驰	位置(二	不同週期之放大倍率								
	까마 가지	Х	Y	4.0	3.0	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
TH001	1	288545	2782679	1.458	1.621	2.033	1.941	2.571	2.092	1.188	0.818
TH002	2	288463	2782736	1.469	1.593	1.502	1.855	1.797	1.897	1.439	0.821
TH003	3	288693	2782791	2.349	2.337	1.391	1.675	2.129	1.335	0.915	0.887
TH004	4	288563	2782861	2.529	3.326	1.606	2.068	2.676	2.436	1.766	1.179
TH005	5	288446	2782967	1.676	1.811	1.749	2.27	2.238	2.065	1.377	1.554
TH006	6	288555	2783048	3.105	2.606	2.015	2.093	2.337	1.552	1.308	1.076
TH007	7	288716	2783227	1.822	3.393	2.414	2.255	3.67	1.863	1.491	1.074
TH008	8	288681	2782979	1.485	2.362	1.926	2.277	2.825	1.427	0.925	0.781
TH009	9	288751	2782840	1.636	1.991	1.588	2.386	2.989	1.455	1.132	1.384
TH010	10	287526	2784307	3.067	3.141	2.199	2.11	2.873	1.63	1.793	2.233
TH011	11	288482	2784769	2.046	1.858	1.908	2.325	2.814	1.025	1.466	1.746
TH012	12	289261	2783975	1.685	1.765	1.743	2.592	2.927	1.365	1.33	1.411
TH013	13	289115	2783817	1.984	1.955	1.885	2.045	2.729	1.6	1.684	1.477
TH014	14	288956	2783633	1.803	1.933	1.78	2.491	2.775	1.548	1.612	1.33

TH015	15	289048	2783452	2.042	1.795	1.595	2.489	3.449	1.474	1.226	1.438
TH016	16	289137	2783530	1.462	2.025	1.603	1.85	2.923	1.694	1.339	1.469
TH017	17	289242	2783383	2.144	1.491	2.481	2.262	2.869	1.825	1.769	1.529
TH018	18	289258	2783674	1.517	2.143	1.665	2.267	2.521	1.677	1.609	1.375
TH019	19	289423	2783852	2.199	1.722	1.93	2.117	2.772	1.637	1.282	1.399
TH020	20	289543	2783719	1.8	1.981	2.031	2.927	3.232	1.842	1.712	1.439
TH021	21	289398	2783559	1.904	2.402	1.465	2.362	3.093	1.685	1.915	1.479
TH022	22	289069	2783240	1.607	1.617	1.483	1.943	3.054	1.895	1.743	1.59
TH023	23	288917	2783083	1.805	1.779	2.049	2.104	2.901	1.618	1.104	1.39
TH024	24	288831	2782964	1.577	1.59	1.769	2.444	3.037	2.158	1.655	1.264
TH025	25	288802	2783038	1.754	1.566	1.725	2.084	2.68	1.707	1.625	1.879
TH026	26	288753	2782739	1.839	2.087	2.269	2.335	3.012	1.924	1.642	1.58
TH027	27	289698	2783585	1.487	1.552	2.067	2.437	2.87	1.504	1.602	1.155
TH028	28	289390	2783280	2.275	1.632	2.009	1.966	3.062	1.397	1.011	0.96
TH029	29	289034	2782952	1.48	1.74	1.779	1.992	3.105	1.977	0.916	1.096
TH030	30	288874	2782441	1.938	2.055	1.714	2.08	2.385	2.387	1.642	1.553
TH031	31	288802	2782318	2.416	1.898	1.973	1.781	2.421	2.612	2.156	2.823
TH032	32	288659	2781921	1.943	1.996	1.797	1.866	2.231	1.89	1.267	1.383
TH033	33	289005	2782507	2.266	1.651	1.808	1.504	3.062	1.889	0.983	1.026
TH034	34	289015	2782305	1.526	1.961	1.892	1.731	2.166	1.832	1.289	1.51
TH035	35	289184	2782422	1.724	1.984	1.891	2.259	2.585	2.21	1.755	1.888
TH036	36	289597	2782574	1.358	1.906	1.766	2.305	2.166	2.092	1.892	1.711
				-							

TH037	37	289522	2783038	2.98	3.462	2.293	2.2	2.798	1.652	1.298	1.374
TH038	38	289443	2782852	1.783	1.726	1.685	1.942	2.473	2.551	1.604	1.907
TH039	39	289498	2782446	2.348	1.725	2.458	2.152	2.357	2.303	1.931	2.132
TH040	40	289866	2783029	1.612	1.891	1.836	2.213	2.494	1.995	1.424	1.817
TH041	41	289897	2783215	2.319	2.464	1.696	1.933	2.49	2.048	1.688	1.841
TH042	42	290056	2783294	1.931	2.419	2.374	1.967	2.173	1.982	1.459	1.584
TH043	43	290346	2783645	1.918	2.756	1.969	2.071	2.403	1.672	1.236	0.898
TH044	44	290828	2784054	1.908	1.766	1.899	2.357	3.196	1.729	1.98	1.504
TH045	45	290777	2783793	2.246	2.022	1.893	2.143	2.724	1.422	1.598	1.658
TH046	46	290608	2783669	2.106	2.314	1.991	2.676	3.102	1.79	1.668	1.502
TH047	47	290725	2783259	2.063	2.711	2.076	2.351	2.573	1.864	1.449	1.799
TH048	48	290143	2783473	2.017	2.059	1.971	2.1	2.438	2.237	1.529	1.313
TH049	49	290117	2783041	2.388	2.121	1.931	2.617	2.85	2.242	1.69	1.618
TH050	50	290093	2782766	2.255	1.862	1.628	2.053	2.205	2.236	1.985	1.288
TH051	51	288803	2782559	1.35	1.717	1.678	2.015	2.407	1.992	1.344	1.544

由等值圖可發現,在 4~1.5 秒的低頻部份整個區域之變化並不劇 烈,大體上放大倍率均落在 1.5~2.7 之間,但在主頻附近的 1 秒放大 倍率等值圖則可明顯看出差異,即靠近海邊與港區有較大之放大,往 山邊則明顯放大較少,且其邊界十分明顯,此一結果可視為地下地層 變化之反應。此外在高頻部份此區域之放大相對於低頻而言小很多, 很少超過 2.5,且靠近山邊處有較大之趨勢,此點也顯示沖積層往山 邊漸漸變薄。

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

4.4.9。由等值圖可發現大部分共振主頻均落在 1~2Hz 之間,與先前之 分析相符,若做細部之比較則可發現主頻在靠近山邊處較高,往海邊 與港區則漸漸變低,但不論高低仍未超過前面分析所預測之範圍,此 點亦與先前推測沖積層往山邊漸漸變薄之結論符合,下表為各微地動 測點所對應之主頻。

(1)) 聖上	编辑	位置(二	主祖	
	利用 ンプ	Х	Y	
TH001	1	288545	2782679	1.13E+00
TH002	2	288463	2782736	1.31E+00
TH003	3	288693	2782791	1.28E+00
TH004	4	288563	2782861	1.52E+00
TH005	5	288446	2782967	1.43E+00
TH006	6	288555	2783048	1.37E+00
TH007	7	288716	2783227	1.37E+00
TH008	8	288681	2782979	1.43E+00
TH009	9	288751	2782840	1.03E+00
TH010	10	287526	2784307	3.07E+00
TH011	11	288482	2784769	2.05E+00
TH012	12	289261	2783975	8.30E-01
TH013	13	289115	2783817	1.06E+00
TH014	14	288956	2783633	1.12E+00
TH015	15	289048	2783452	1.01E+00
TH016	16	289137	2783530	8.50E-01
TH017	17	289242	2783383	1.31E+00
TH018	18	289258	2783674	1.31E+00

TH019	19	289423	2783852	1.04E+00
TH020	20	289543	2783719	1.25E+00
TH021	21	289398	2783559	9.10E-01
TH022	22	289069	2783240	9.70E-01
TH023	23	288917	2783083	9.40E-01
TH024	24	288831	2782964	1.43E+00
TH025	25	288802	2783038	1.31E+00
TH026	26	288753	2782739	1.37E+00
TH027	27	289698	2783585	9.70E-01
TH028	28	289390	2783280	1.15E+00
TH029	29	289034	2782952	1.31E+00
TH030	30	288874	2782441	1.64E+00
TH031	31	288802	2782318	1.61E+00
TH032	32	288659	2781921	1.49E+00
TH033	33	289005	2782507	1.09E+00
TH034	34	289015	2782305	1.12E+00
TH035	35	289184	2782422	1.71E+00
TH036	36	289597	2782574	1.80E+00
TH037	37	289522	2783038	1.16E+00
TH038	38	289443	2782852	1.52E+00
TH039	39	289498	2782446	2.04E+00
TH040	40	289866	2783029	1.92E+00
TH041	41	289897	2783215	1.22E+00
TH042	42	290056	2783294	1.37E+00
TH043	43	290346	2783645	1.43E+00
TH044	44	290828	2784054	1.15E+00
-------	----	--------	---------	----------
TH045	45	290777	2783793	1.22E+00
TH046	46	290608	2783669	1.03E+00
TH047	47	290725	2783259	1.10E+00
TH048	48	290143	2783473	1.40E+00
TH049	49	290117	2783041	1.74E+00
TH050	50	290093	2782766	2.71E+00
TH051	51	288803	2782559	1.28E+00

綜合上述所有分析結果,本研究區域之主頻落在 1~2Hz,造成主要放大之地層為地表至地表下 36 公尺間之沖積層,受到沖積層變化之影響,海邊及港區之主頻較低且放大倍率較高,越往山邊則主頻升高但放大倍率降低。

4.5 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之可代表剪應變,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 4.5.1,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)		V ~ 估
		Х	Y	ng le
TH001	1	288545	2782679	1.46E+01
TH002	2	288463	2782736	5.12E+00
TH003	3	288693	2782791	6.85E+00
TH004	4	288563	2782861	1.16E+01
TH005	5	288446	2782967	1.67E+01
TH006	6	288555	2783048	9.04E+00
TH007	7	288716	2783227	1.70E+01
TH008	8	288681	2782979	9.78E+00
TH009	9	288751	2782840	1.07E+01
TH010	10	287526	2784307	3.07E+00
TH011	11	288482	2784769	2.05E+01
TH012	12	289261	2783975	2.05E+01
TH013	13	289115	2783817	1.14E+01
TH014	14	288956	2783633	1.20E+01
TH015	15	289048	2783452	1.68E+01
TH016	16	289137	2783530	2.69E+01
TH017	17	289242	2783383	1.41E+01
TH018	18	289258	2783674	1.28E+01
TH019	19	289423	2783852	1.44E+01
TH020	20	289543	2783719	1.87E+01
TH021	21	289398	2783559	1.61E+01
TH022	22	289069	2783240	1.59E+01
TH023	23	288917	2783083	1.55E+01

TH024	24	288831	2782964	1.45E+01
TH025	25	288802	2783038	1.08E+01
TH026	26	288753	2782739	1.37E+01
TH027	27	289698	2783585	1.58E+01
TH028	28	289390	2783280	1.60E+01
TH029	29	289034	2782952	1.53E+01
TH030	30	288874	2782441	1.02E+01
TH031	31	288802	2782318	6.60E+00
TH032	32	288659	2781921	7.90E+00
TH033	3	289005	2782507	1.70E+01
TH034	34	289015	2782305	7.98E+00
TH035	35	289184	2782422	7.04E+00
TH036	36	289597	2782574	8.00E+00
TH037	37	289522	2783038	1.49E+01
TH038	38	289443	2782852	1.11E+01
TH039	39	289498	2782446	6.49E+00
TH040	40	289866	2783029	5.88E+00
TH041	41	289897	2783215	1.27E+01
TH042	42	290056	2783294	7.81E+00
TH043	43	290346	2783645	5.76E+00
TH044	44	290828	2784054	1.48E+01
TH045	45	290777	2783793	8.87E+00
TH046	46	290608	2783669	1.85E+01
TH047	47	290725	2783259	1.00E+01
TH048	48	290143	2783473	6.64E+00
TH049	49	290117	2783041	6.68E+00

TH050	50	290093	2782766	5.44E+00
TH051	51	288803	2782559	1.60E+01

由圖 4.5.1 發現海邊及港區之主頻較低且放大倍率較高,而其 K_g 值也較高,越往山邊則主頻升高但放大倍率降低,則其 K_g 值相對較 低,換言之海邊及港區土壤液化潛能較高,越往山邊土壤液化潛能相 對較低。仔細比對可發現,此一土壤液化潛能高低分佈趨勢十分明顯 且為漸進式,港區內之 K_g 值最高達 20 以上,而遠離海邊之靠山地區 K_g 值則不到 8。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 值在台北 港內大部份地區其值在 15 以上,加上海邊地下水位一般較高,故台 北港區在地震來襲時土壤發生液化之可能性很高。



圖 4.2.1 微地動量測 H/V 與理論計算轉換函數比較圖







圖 4.2.3(續) TAP049 在 1996/6/25 地震地動歷時

4-21



圖 4.2.4 不同 TSMIP 測站單站頻譜比結果



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







圖 4.2.7 井下地震儀陣列地震紀錄之垂直向地動歷時



圖 4.2.7(續) 井下地震儀陣列地震紀錄之東西向地動歷時



圖 4.2.7(續) 井下地震儀陣列地震紀錄之南北向地動歷時



圖 4.2.8 井下地震儀陣列垂直向正規化 PGA 隨深度變化圖



圖 4.2.8(續) 井下地震儀陣列東西向正規化 PGA 隨深度變化圖



圖 4.2.8(續) 井下地震儀陣列南北向正規化 PGA 隨深度變化圖



圖 4.2.9 地表與深度 14 米地層之頻譜比圖



圖 4.2.9(續) 地表與深度 30 米地層之頻譜比圖



圖 4.2.9(續) 地表與深度 100 米地層之頻譜比



圖 4.2.9(續) 地表與深度 297 米地層之頻譜比



圖 4.2.10 地表與深度 297 米地層之頻譜比與理論轉換函數比較圖



圖 4.3.1 衰減因子 Q 隨頻率變化回歸結果



圖 4.3.2 模擬與觀測加速度在 R 方向比較圖



圖 4.3.3 模擬與觀測加速度在 T 方向比較圖



圖 4.3.4 模擬與觀測速度在 R 方向比較圖



圖 4.3.5 模擬與觀測速度在 T 方向比較圖



圖 4.3.6 模擬與觀測位移在 R 方向比較圖



圖 4.3.7 模擬與觀測位移在 T 方向比較圖



圖 4.4.1 特性週期 4 秒台北港區放大倍率等值圖



圖 4.4.2 特性週期 3 秒台北港區放大倍率等值圖



圖 4.4.3 特性週期 2 秒台北港區放大倍率等值圖



圖 4.4.4 特性週期 1.5 秒台北港區放大倍率等值圖



圖 4.4.5 特性週期 1 秒台北港區放大倍率等值均佈圖



圖 4.4.6 特性週期 0.5 秒台北港區放大倍率等值圖





圖 4.4.7 特性週期 0.3 秒台北港區放大倍率等值圖



圖 4.4.8 特性週期 0.2 秒台北港區放大倍率等值圖





圖 4.4.9 台北港區共振主頻等值均佈圖



圖 4.5.1 台北港區 K_g 等值均佈圖

第五章 結論與建議

本研究計畫之主要工作,乃是藉由地球物理方法,找出台北港之 地下速度構造,並利用得到之速度構造與微地動量測,分析台北港區 之場址效應,以利台北港區後續開發時建築物耐震設計之參考。本研 究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 面波頻譜分析以及安裝井下地震儀所施作的懸浮式速度井測等,所得 到之速度構造達 1450 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。本研究計畫同時利用微地動量測結果,分析台北港區在不同頻段 之震波放大倍率均佈圖,由均佈圖可知放大倍率在台北港區變化之情 形,以及隨頻率增加造成放大倍率變化之趨勢。此外本研究計畫也利 用微地動與單站頻譜比結果推估本區域之放大主頻,並利用所獲得之 放大主頻加上其所對應之放大倍率分析台北港區土壤液化潛能。經反 覆計算與驗證後,研判本研究區域之主頻落在 1~2Hz,造成主要放大 之地層為地表至地表下 36 公尺間之沖積層,受到沖積層變化之影 響,海邊及港區之主頻較低且放大倍率較高,越往山邊則主頻升高但 放大倍率降低,而土壤液化潜能分析方面,由台北港區之高 K。值研 判該地區在地震來襲時土壤發生液化之可能性很高。

目前之探測與分析結果僅止於已開發之區域,建議未來仍應在未 開發區域做地球物理探測,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。

5-1

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.
- 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. 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,第九屆台灣地區地球物理研討會論文集,台灣中壢。
- 10.陳圭璋、賴聖耀、彭瀚毅、李俊延、張漢忠,2002。台中港區速度 構造調查與場址效應研究(II),第九屆台灣地區地球物理研討會 論文集,台灣中壢。
- 11.彭瀚毅, 1998.台北盆地場址效應之研究, 中央大學博士論文。

- 12.李奕亨,1996. 使用反射震測法研究台北盆地松山層剪力波速度構造,國立中央大學地球物理研究所碩士論文。
- 13.經濟部中央地質調查所全球資訊網(http://www.moeacgs.gov.tw/)
- 14.聯合大地工程顧問股份有限公司,2001.台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 台北港區微地動量測頻譜


































附錄 C 台北港區微地動量測 單站頻譜比





















附 C-10







附 C-13









附 C-17