MOTC-IOT-IHMT-GA8911

安平港地震監測與港灣資料查詢系統

交　通　部
運輸研究所
港灣技術研究中心 辦理

中華民國八十九年十二月

MOTC-IOT-IHMT-GA8911

安平港地震監測與港灣資料查詢系統

著者：賴聖耀、謝明志、蘇青和、李延恭、陳志芳、單誠基

交通部
運輸研究所 港灣技術研究中心

中華民國八十九年十二月

交通部運輸研究所港灣技術研究中心出版品摘要表

出版品名稱：安平港地震監測與港灣資料查詢系統		
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號 009254890182	港灣技術研究中心出版品編號 MOTC-IOT-IHMT-GA8911
主辦單位：大地工程組 主管：賴聖耀(兼總計劃召集人) 計畫主持人：第一子計劃：賴聖耀，第二子計劃：謝明志， 第三子計劃：蘇青和 研究人員：李延恭、陳志芳、單誠基 聯絡電話：(04)6564216 轉 114 傳真號碼：(04)6571329		研究期間 自 88 年 7 月 至 89 年 12 月
關鍵詞：地震監測，地理資訊系統，現場觀測，數值計算，查詢系統。		

摘要：

本計劃分三個子計劃分別執行，第一子計劃爲「安平港地震監測」，第二子計劃爲「台中港區三維地理資訊系統」，第三子計劃爲「港灣GIS系統－台中港海氣地象資料分析及查詢」。

第一子計劃於安平港埋設地表型、埋入型地震儀與動態孔隙水壓計，探討地震發生時，震波傳遞至各土層不同深度時之特性，及對於軟弱沖積土層之放大效應，並可監測地震動態水壓即時變化。

第二子計劃係採用Bentley公司所發展的MicroStation系統軟體，搭配Geographics地理資訊模組，來建置台中港區三維查詢資料。製作了台中港港池模型導覽、碼頭資料及鑽探資料等查詢展示功能，使用者可利用滑鼠，點選瀏覽各項資料。

第三子計劃也是配合本中心建立之港灣GIS系統，而建立之海氣地象資料分析及查詢系統，系統包括現場觀測及數值計算之潮汐、海流、風、波浪、地形、懸浮質等6項。經分析後之代表性資料圖、月報表、統計圖或統計表，將透過資訊網路提供港務局或相關研究單位查詢及使用。

出版日期	頁數	工本費	本出版品取得方式
89 年 12 月	220	500	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中心免費贈閱；私人及私營機關團體可按工本費價購。

機密等級：

☐限閱 ☐密 ☐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運輸研究所之意見。

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF HARBOR & MARINE TECHNOLOGY
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Seismic Monitoring at AnPeng Harbor Area and Query System of Harbor Data.

ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IHMT SERIAL NUMBER
	009254890182	MOTC-IOT-IHMT-GA8911

DIVISION: Geotechnical division
DIVISION CHIEF: S.Y.Lay
PRINCIPAL INVESTIGATOR: S.Y.Lay, M.J.Hsieh, C.H.Su.
PROJECT STAFF: Y.K.Lee, J.F.Chen, C.C.Shan
PHONE:04-6564216
FAX:04-6571329

PROJECT PERIOD
FROM: July,1999
TO: Dec.,2000

KEY WORDS: Seismic monitor, GIS, query system.

Abstract

This project is divided into three subprojects:

1. The first subproject is "Seismic monitoring at AnPeng harbor area". In this project, we set up a seismic monitoring system at AnPeng harbor in order to monitor the earthquake effects about seismic wave and pore water pressure.
2. The second subproject is "Establish of 3D GIS at Taichung harbor ". In this project, we used Microstation Geographics model to establish the query items of harbor model tour, geographical data, liquefaction analysis, wharf design data..... .
3. The third subproject is "Analysis and query of ocean data at Taichung harbor ". In this project, we collected and treated the data of tide, wind, current and wave of Taichung harbor, then established the query system.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
Dec.,2000	220	500	☐SECRET ☐CONFIDENTIAL ☑UNCLASSIFIED

第一子計畫

安平港地震與動態孔隙水壓監測之研究

89研(11)第一子計畫

安平港地震與動態孔隙水壓監測之研究

執行單位 ： 大地工程組
執行期間 ： 民國八十八年七月一日至
民國八十九年十二月三十一日
計畫主持人 ： 賴聖耀 副研究員兼組長
協同主持人 ： 李延恭、陳志芳
技 術 人 員: 張惠華、李春榮、陳義松、張阿平

摘 要

台灣恰處於太平洋地震帶西環，地震相當頻繁。在強烈地震作用下，港灣地區沖積砂土層與海埔新生地極有可能發生液化而導致港灣設施破壞。

本計畫於安平港埋設地表型、埋入型地震儀與動態孔隙水壓計，探討地震發生時，震波傳遞至各土層不同深度時之特性，及對於軟弱沖積土層之放大效應，並可監測地震動態水壓即時變化。

此外，對於軟弱之沖積或抽砂填土產生之沉陷，本中心曾於各港區埋設 1 至 2 組 200m 深之分層沉陷井，藉著以上監測系統所擷取之寶貴資料，將可以作為港灣構造物設計之參考。

目　錄

照 片 目 錄

圖 目 錄

表 目 錄

第一章、前　言

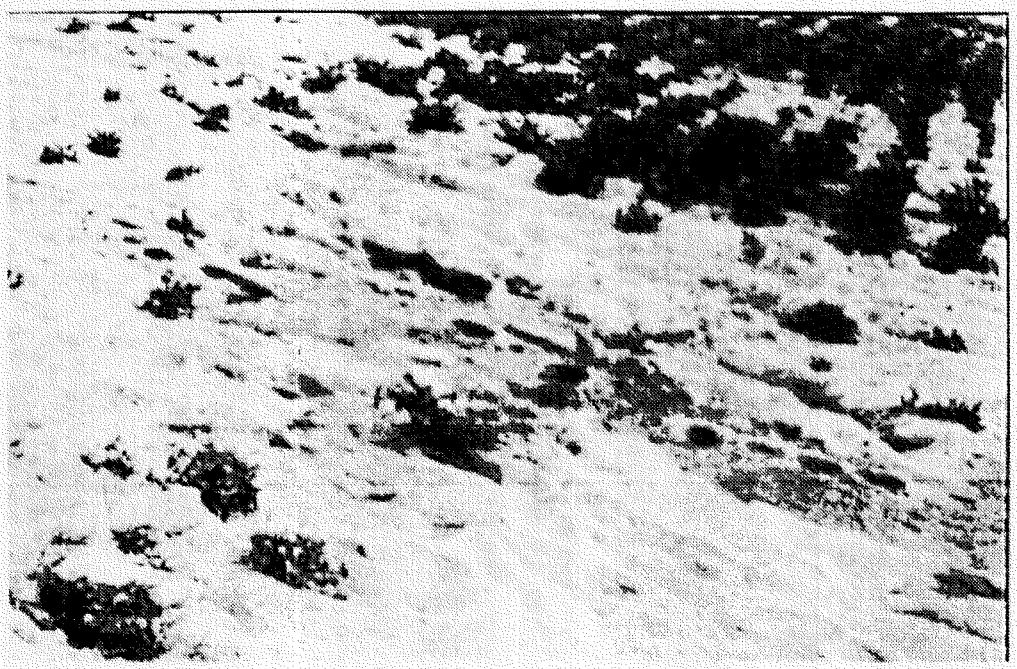
台灣恰處於世界最大且最活耀之太平洋地震帶西環，每年大小地震相當頻繁。在強烈地震作用下，沖積砂土層與海埔新生地極有可能發生液化現象，造成海岸與港灣設施、房屋、地下管線等發生沉陷、傾側與破壞等災害之虞。

最近(1995 年 1 月)同處太平洋地震帶西環之日本發生阪神大地震，造成神戶港之碼頭、岸壁等港灣設施嚴重毀損，港灣機能全面癱瘓，如照片 1-1、1-2 所示，即是港區新生地發生液化所造成之災害。台灣過去亦曾發生類似阪神地震規模之地震，1927、1930、1964 年之台南烈震其地震規模 6.5，其中 1946 年安平港區附近之新化斷層，曾發生一次地震規模 6.3 之破壞性地震，其液化及沉陷災害，如照片 1-3、1-4 所示，1906、1941 年之嘉義烈震其地震規模 7.1，1935 年之台中烈震其地震規模 7.1，及 1999 年地震規模高達 7.3 之集集大地震，因此我們相信台灣發生大地震之可能性很大，地震災害之預防我們須加以重視。而台灣西海岸之安平港、布袋港、台中港等各商港分別處於以上各烈震區，因此港區地震之監測極為重要。

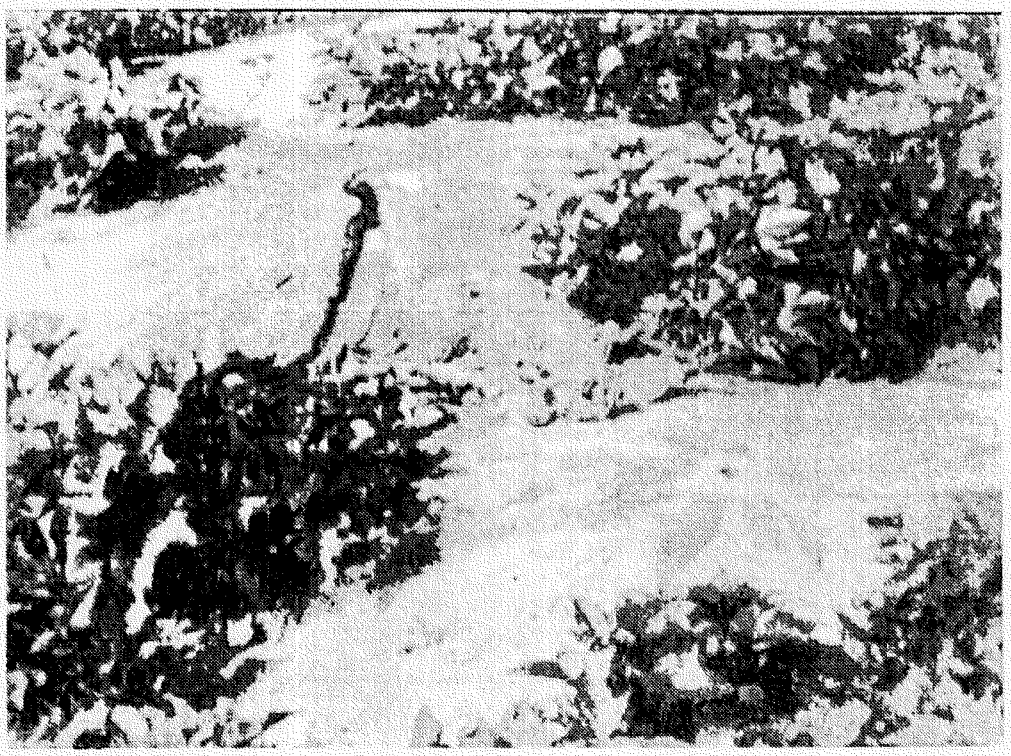
由於台灣西海岸各港區之地質多屬疏鬆軟弱之沖積土層，且厚度多達 150m 以上，而地震來襲時，其剪力波從震源深處向上經地面覆蓋土層，傳達至地面結構物，震波的反射、折射效應，經過軟弱的覆土層，其振幅通常有放大作用，根據墨西哥強烈地震記錄顯示，地表之振幅與岩盤之比值高達四倍，因此本年度擬先於安平港進行分層之地震監測，以探討地震在港區之放大效應，作為安平港區液化危險度分析及港灣設施耐震設計之參考。

照片 1-1 1995年日本阪神烈震，Port Island南碼頭沈箱式碼頭之背填土之砂液化流失，岸肩沉陷很嚴重(約1m左右)

照片 1-2 1995年日本阪神烈震，東神户港渡船碼頭沉箱式碼頭背填土之砂液化流失，岸肩沉陷極嚴重(約3-4m左右)



照片1-3 1946年新化地震，土壤液化造成串列成形之噴砂口（取自鄭世楠等著,1999）



照片1-4 1946年新化地震，沿斷層地裂帶及雞水溪沖積地土壤液化,造成數個直徑約為5公分圓形或橢圓形串列成形之噴砂孔（取自鄭世楠等著,1999）

第二章、相關資料分析

2.1 安平港之位置與地形

安平港位於台南市西側近鹽水溪出海口南側，此區域屬海岸沖積平原，尚為幼年期，故瀕海地區尚為卑濕之沼澤地，海岸遠而淺，沿海砂洲甚為發達，平原面除有少數新成河與延長河切割成漸淺河溝外，地面尚稱完整，地勢平坦且低窪，地形高度均不超過 5 公尺屬於相當平坦地區，安平港北側約 10 公里處為曾文溪之出海口，曾文溪挾帶之沉積物間接影響安平港附近海岸地形。

2.2 安平港地層

安平港地區為全新世沉積區，主要以砂嘴與濱海沉積，新潟湖沉積為主，鄰近周圍尚有台南層，潟湖及沼澤沉積、三角洲沉積等。

曾文溪挾帶沉積物，部份沿著安平港附近沿岸形成砂嘴與濱海沉砂洲。而鹽水溪則挾帶較細粒粉土質土壤堆積於砂洲東側較低窪潟形成了新潟湖沉積。

安平港及其鄰近地區地質分佈情況如圖 2-1 所示，茲將說明如下：

2.2.1 砂嘴與濱海沉積

砂嘴為海濱最常見的沉積現象之一，是一長條砂礫所形成的狹脊陸地上的海灘延伸入海中，大致和海岸線平行，砂嘴沉積由其外形容易分辨出來，其分佈在安平港附近海濱，主要由砂丘形成。

2.2.2 新潟湖沉積

新潟湖沉積主要分佈在潟湖及沼澤沉積區，安平港附近均屬此種沉積層，土地利用大都以鹽田及魚塭為主。

2.2.3 三角洲沉積

三角洲沉積主要分佈在曾文溪入海口前之兩岸，沉積物部份含鹽份，本區在安平

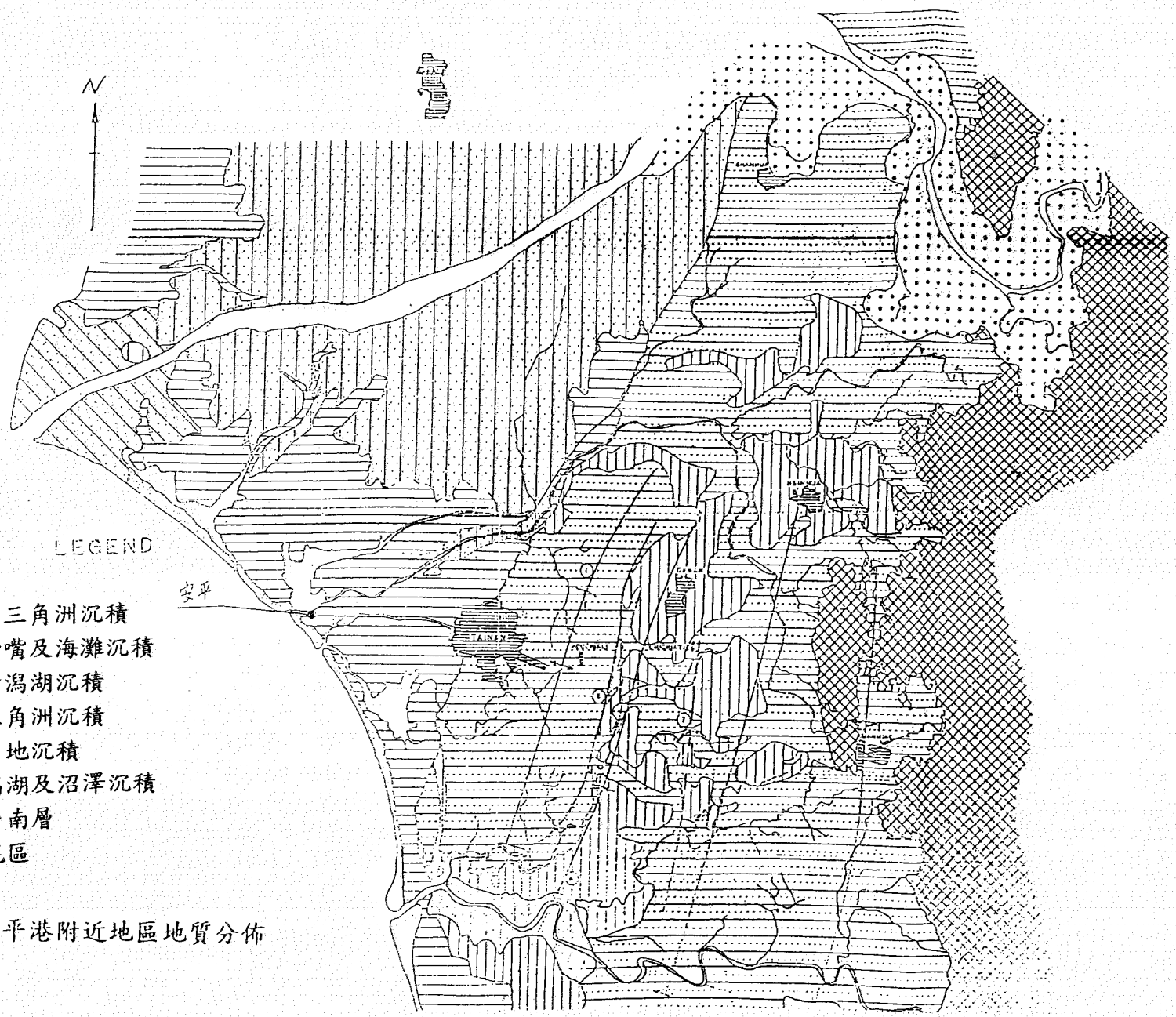


圖 2-1　安平港附近地區地質分佈

港北側與新潟湖沉積及台南層呈不規則之相接。

2.3 安平港區地質

規劃之安平港除了主航道之南、北、內、外防波堤外，尚有客貨、散雜貨、水泥及化學品等 31 席，各類用途碼頭如圖 2-2 所示，其中＃1～＃4 為散雜貨及客貨碼頭，＃5A～＃7 皆是散雜貨碼頭，＃8～＃14 為環保中心、貨櫃及散雜貨碼頭，＃15～＃20 為水泥專用碼頭，＃21～＃31 大都是散雜貨碼頭，僅＃21、＃22 是化學品及油類使用碼頭。

地質大部分屬於漁塭區之地層，表層含有貝殼之細砂或鬆軟之砂質壤土，下層為泥質壤土之沖積層，砂礫則來自曾文溪、鹿耳門溪、鹽水溪及二仁溪。而根據已搜集之安平港鑽探資料，可將港區分為 6 個區域來分析，各個區域之鑽探深度約在 25 公尺～55 公尺左右，而土層大致以 6～8 個層次來研判，茲依各不同區域土層自上而下概述如下：

2.3.1 1、2、3、4 號碼頭

＃1～＃4 碼頭共收集 15 個間距在 25 公尺～50 公尺之海上鑽孔，如圖 2-3 所示，各鑽孔深度為 30M～57M，海床至海平面平均約 6 公尺。土層大略以粉土質細砂(SM)、砂質粉土(ML)或夾粉土質粘土(CL)薄層等三種土層沖積而成。靠近海床面，為 2 至 4 公尺厚之砂質粉土或夾粘土薄層，其標準貫入 N 值在 2 至 5 屬極軟弱稠度。

海床表土層下至 EL.-25M 以中等緊密之灰色粉土質砂土層為主，但於-16M 及-23M 處各有平均約 2 公尺厚之灰色粉土或黏土層。

EL.-25 公尺至 EL.-53 公尺深皆以粉土與砂土層分佈，其中 EL.-28 公尺～EL.-33 公尺及 EL.-36 公尺～EL.-48 公尺是較厚之灰色黏土質粉土層，且有由＃4 碼頭逐漸向＃2、＃1 碼頭尖滅消失之趨勢。

2.3.2 5A、5、6、7 號碼頭

本區地質鑽探，沿著碼頭線共有 25 個孔距皆為 25M 之鑽孔，平均深度在海水面下 27 公尺，鑽探位置較靠近內陸，故水深為 0.5 公尺至 3 公尺左右，如圖 2-4 所示。

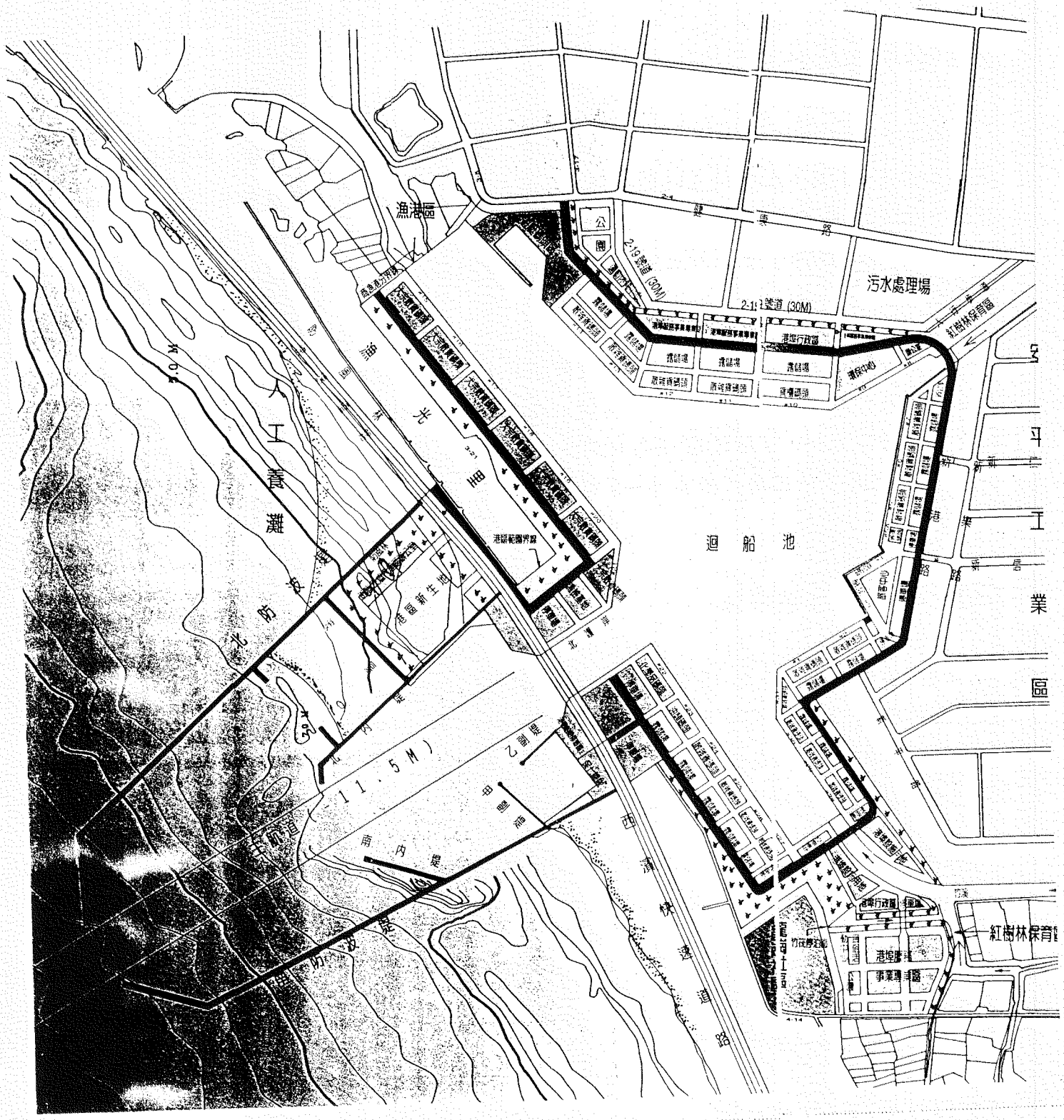


圖 2-2 安平港規劃平面圖

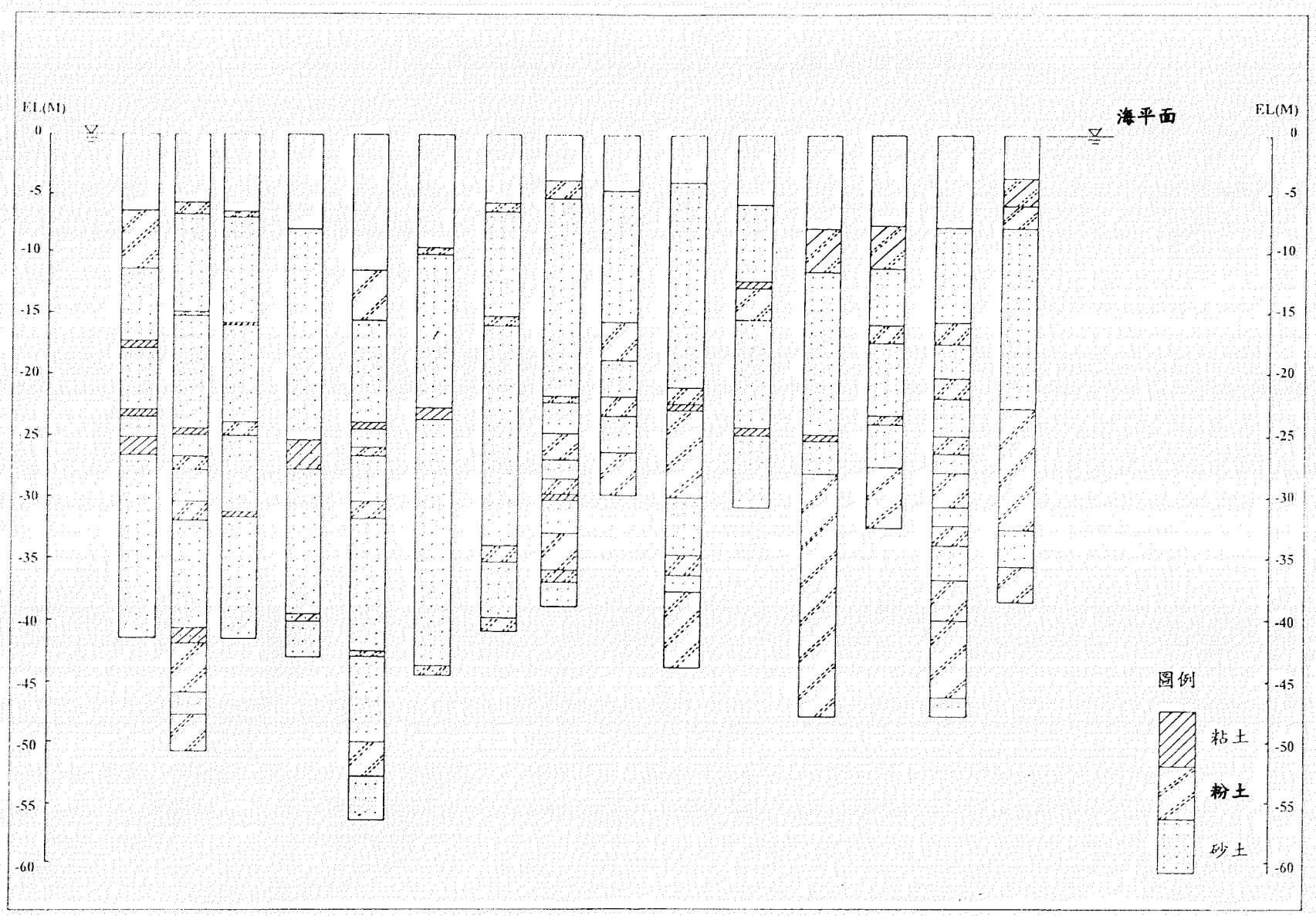


圖 2-3 安平港#1 、#2 、#3 、#4 碼頭地層柱狀圖

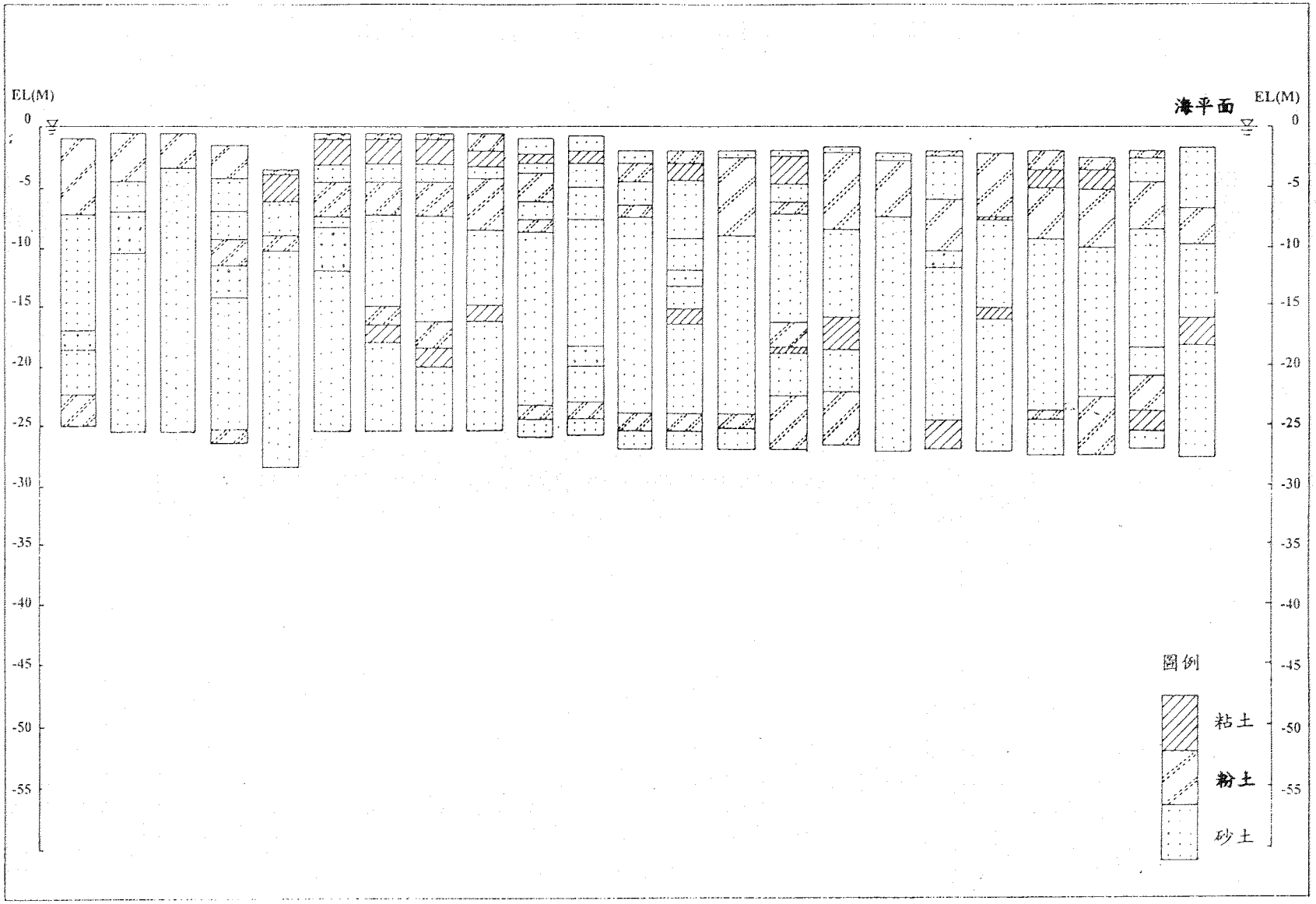


圖 2-4 安平港#5A 、#5 、#6 、#7 碼頭地層柱狀圖

海床面以下約有平均 2.5 公尺厚之極軟弱粘土層，其標準貫入 N 值在 0～1，EL.-5 公尺至 EL.-10 公尺為灰色粉土層，N 值在 2～10 間。

在 EL.-10 公尺以下至 EL.-27 公尺處，則以粉土質細砂(SM)土層較為明顯，分別是 EL.-10 公尺～EL.-17 公尺及 EL. -20 公尺～EL.-24 公尺，而 EL. -17 公尺至 EL. -20 公尺及 EL. -24 公尺至 EL. -27 公尺則為粉土層，且靠近＃7 碼頭區為中塑性黏土層。

2.3.3 8、9、10 號碼頭

本所於＃8、＃9、＃10 碼頭等區共進行 17 孔 30 公尺深之荷式錐貫入試驗(CPT)，根據試驗得知整個地區之土層剖面變化不大，依錐頭阻力研判本區土層，如圖 2-5 所示，可細分為 6 個次層：

表土層厚度約為 2 公尺，屬於砂質粉土，因表土層水份受到蒸發，含水量低，錐頭阻力約為 80～140Kg/cm^2，屬較緊密粉土層。

第二次層為厚約 2 公尺之粉土質細砂，錐頭阻力小於 20Kg/cm^2，為極疏鬆之砂土層。

地表下-4 公尺至-5 公尺有約 1 米厚之軟弱黏土層，在地表下. -5.0M～-8M 間為厚約 2～3 米之粉土質細砂或砂質粉土層，且由＃8 碼頭向西邊之＃10 碼頭漸變為含有細黏土顆粒較多之砂質粉土。

地表下-8 公尺～-13 公尺為厚 5 米之軟弱黏性土層，偶夾 1 米厚之疏鬆砂土層，錐頭阻力在 35～50Kg/cm^2。

深度自地表下 13 米至 25 米為較緊密之粉土質砂土層(SM)，且有些試孔在深度約 20 米處夾有 1 公尺厚之黏土層。

2.3.4 北內堤、北護岸

本區域之鑽探位置在主航道以北之內堤及護岸，海床面自港區外海沿主航道往護岸逐漸昇高，直到北護岸處則是海平面上之陸地。

由地層剖面，如圖 2-6 可知，護岸自地表面以下至 EL.-3.0M 間為灰色細砂夾礫石層，而整個區域自海床面以下至 EL.-43M 間皆以灰色細砂或粉土質細砂層為主，其中

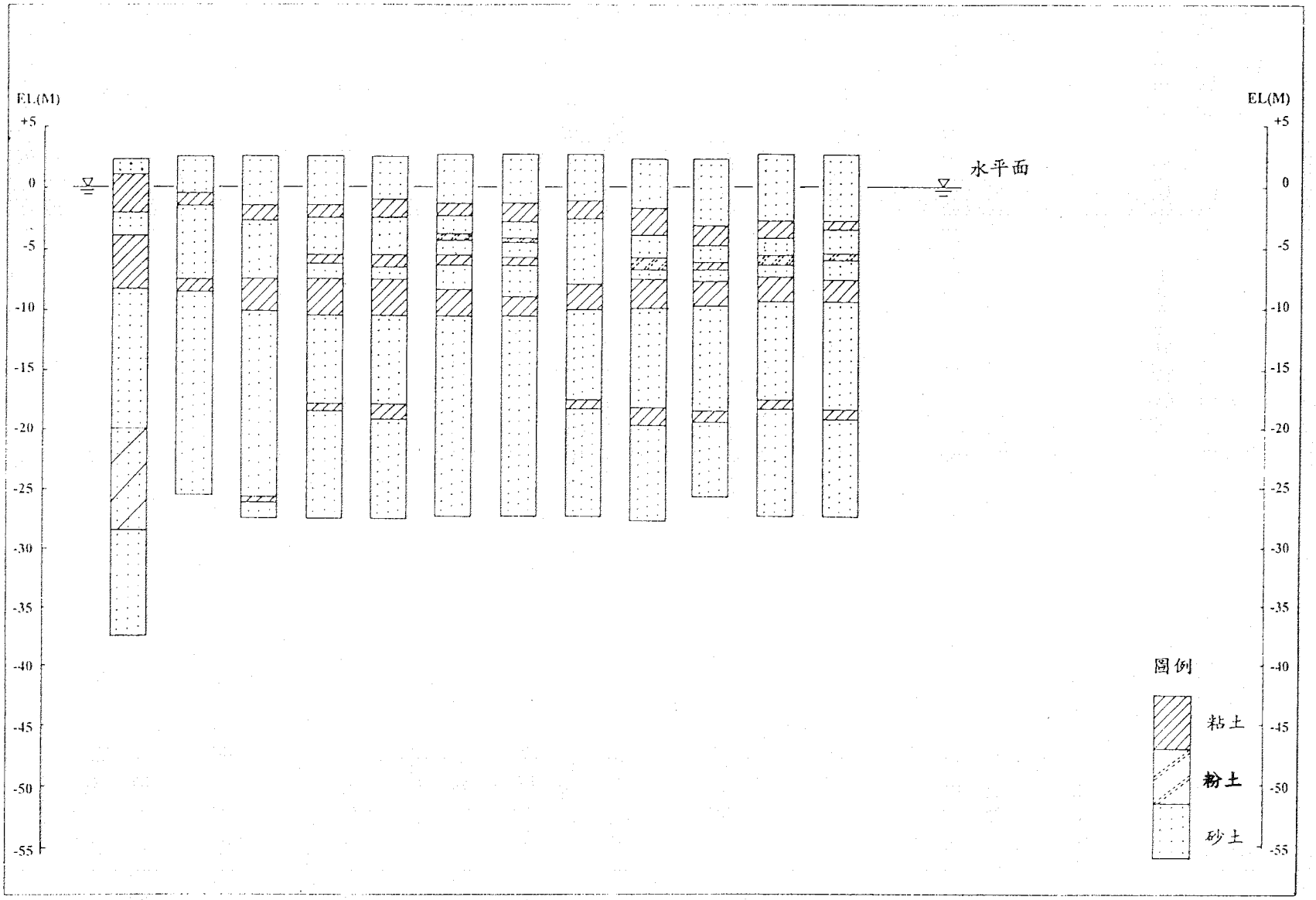


圖 2-5 安平港#8 、#9 、#10 碼頭地層柱狀圖

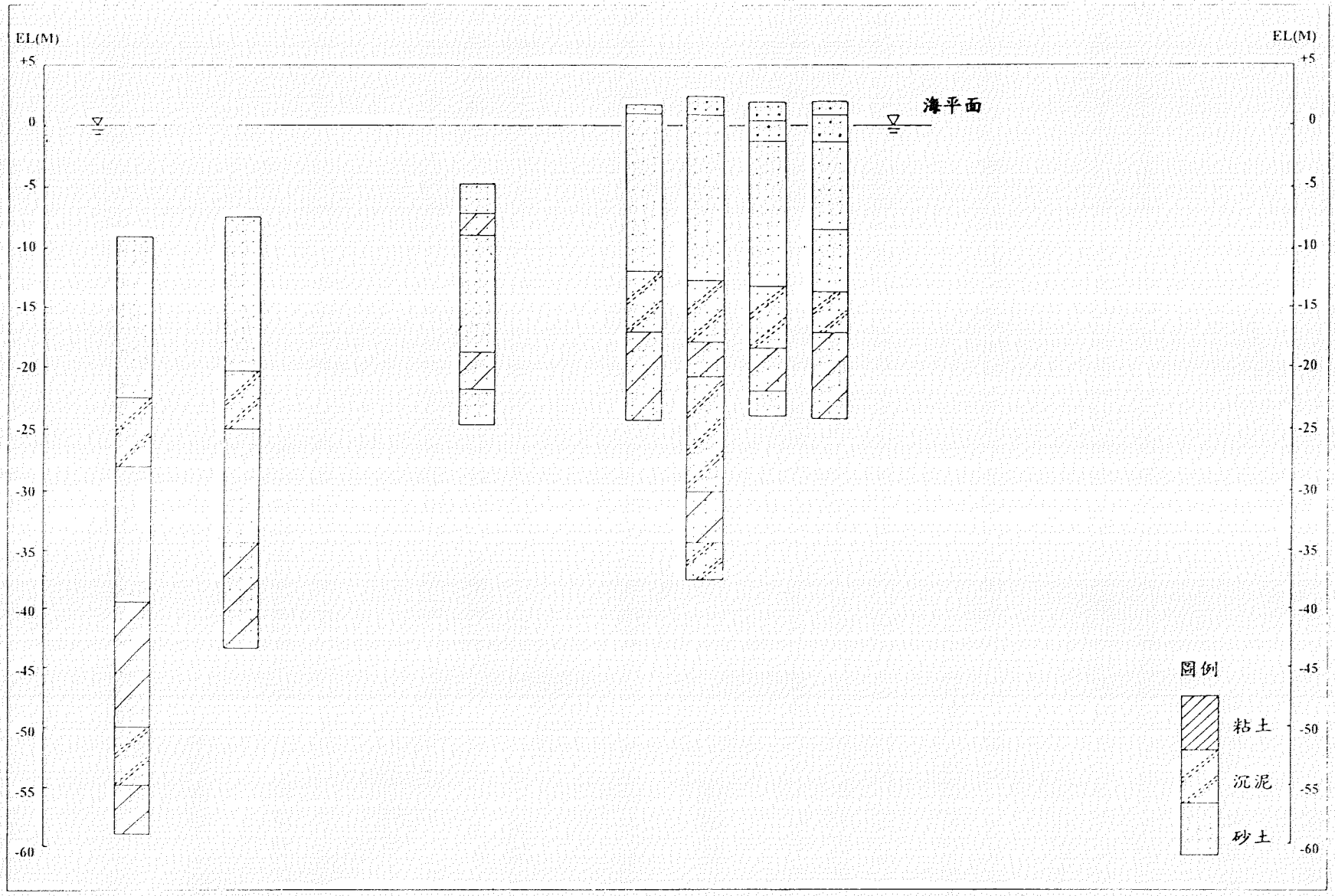


圖 2-6 安平港北內堤及北護岸地層柱狀圖

於 EL.-17M～-22.0M 及 EL.-30M～-33M 則為粉土質細砂夾薄黏土層，並向西側外海逐漸尖滅消失。

2.3.5 南內堤、南護岸

主航道以南之內堤及護岸，共搜集 9 個鑽探孔，由圖 2-7 之剖面概略顯示，海床面亦是由外海之防波堤漸往內護岸昇高，土層主要以灰色細砂、粉土質細砂或粉土質黏土夾細砂為主。

海床面以下至 EL.-28.0M 深皆為灰色細砂或粉土質細砂層，有些鑽孔在 EL.-16.0M～-19.0M 深則偶夾薄層粘土。

深度自 EL.-28.0M 至-32.0M 間是粉土質細砂夾薄黏土或夾薄層粉土。EL.-32M 至-45.0M 間則是中等緊密至緊密之粉土質細砂，N 值在 22～40 間。EL.-45.0M 以下約有 5 米至 15 米厚之粉土質黏土夾細砂或細砂夾薄黏土互層，且以內防波堤之土層較厚。

2.3.6 外防波堤

新建之外廓防波堤地層剖面層次簡單分明，可由 5 個水上鑽孔剖面如圖 2-8 概示如下：

海床面至水面約在 EL.8 米～14.5 米左右，土層自 EL.-8M 至-55M 深皆以灰色粉土質細砂、中細砂為主，海床表土層為 2 米厚之中等緊密砂層，標準貫入試驗 N 值約在 10～16 間，自 EL.-3.5M 以下則為中等緊密至緊密之土層，且隨深度而增加，N 值大致在 13～50 間。

在深度 EL.-17.5M、-28.0M 及-47.5M 深各有一層厚約 0.5 米至 3 米之粉土質黏土層，其 N 值為 6～12，屬軟弱至中等堅實土層。

2.3.7 綜合地層分析

整體而言，安平港在深度-50 公尺範圍內，綜合各區剖面土層，如圖 2-9 所示，簡述如下：

1. EL.0M～EL.-15M：土層分佈以灰色粉土質細砂(SM)為主，海床面以下 2～4 米為軟弱之粉土層(ML)，深度-5M 及-10M 間偶夾有 N 值為 2～10 之軟弱粉土或黏土

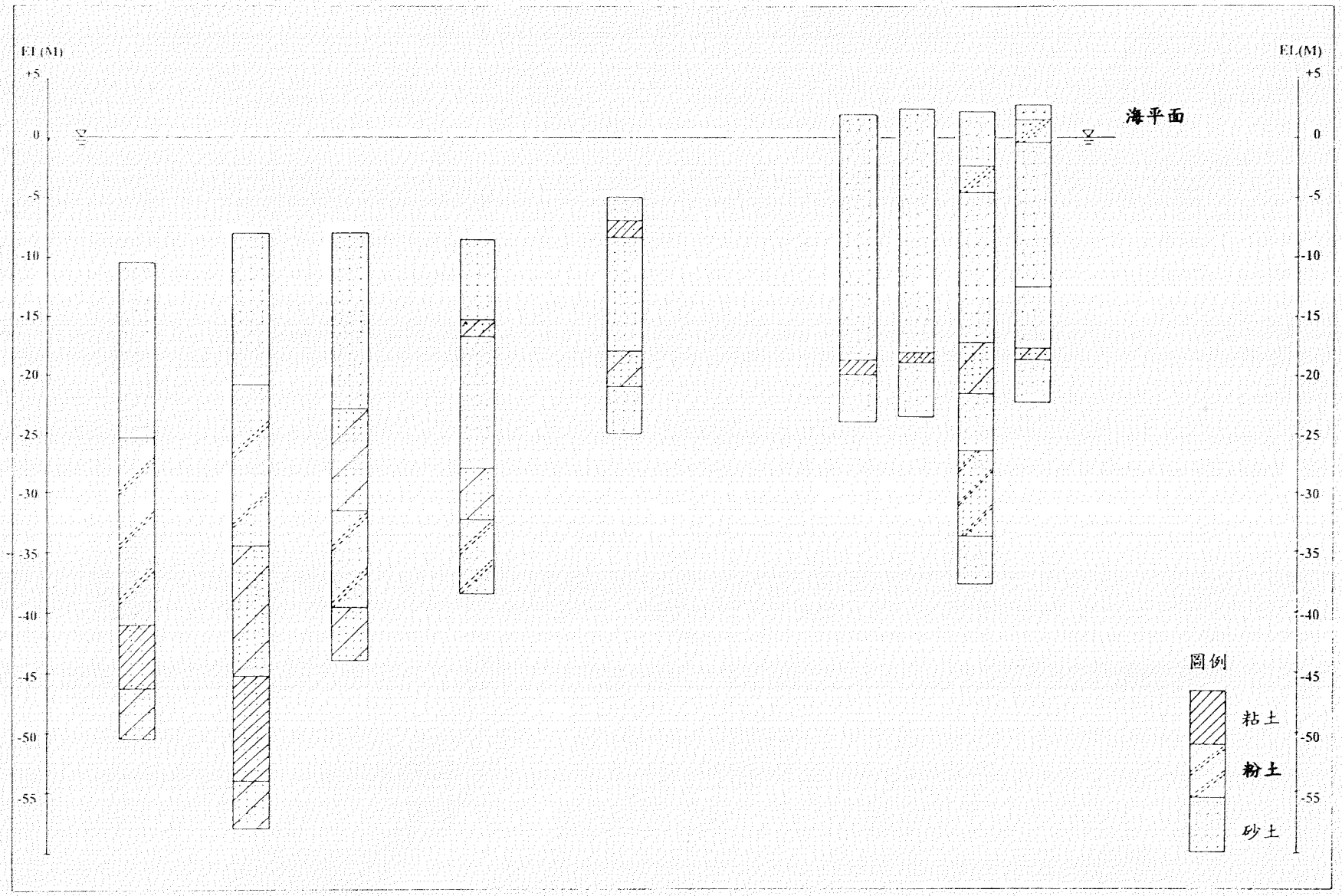


圖 2-7 安平港南內堤及南護岸地層柱狀圖

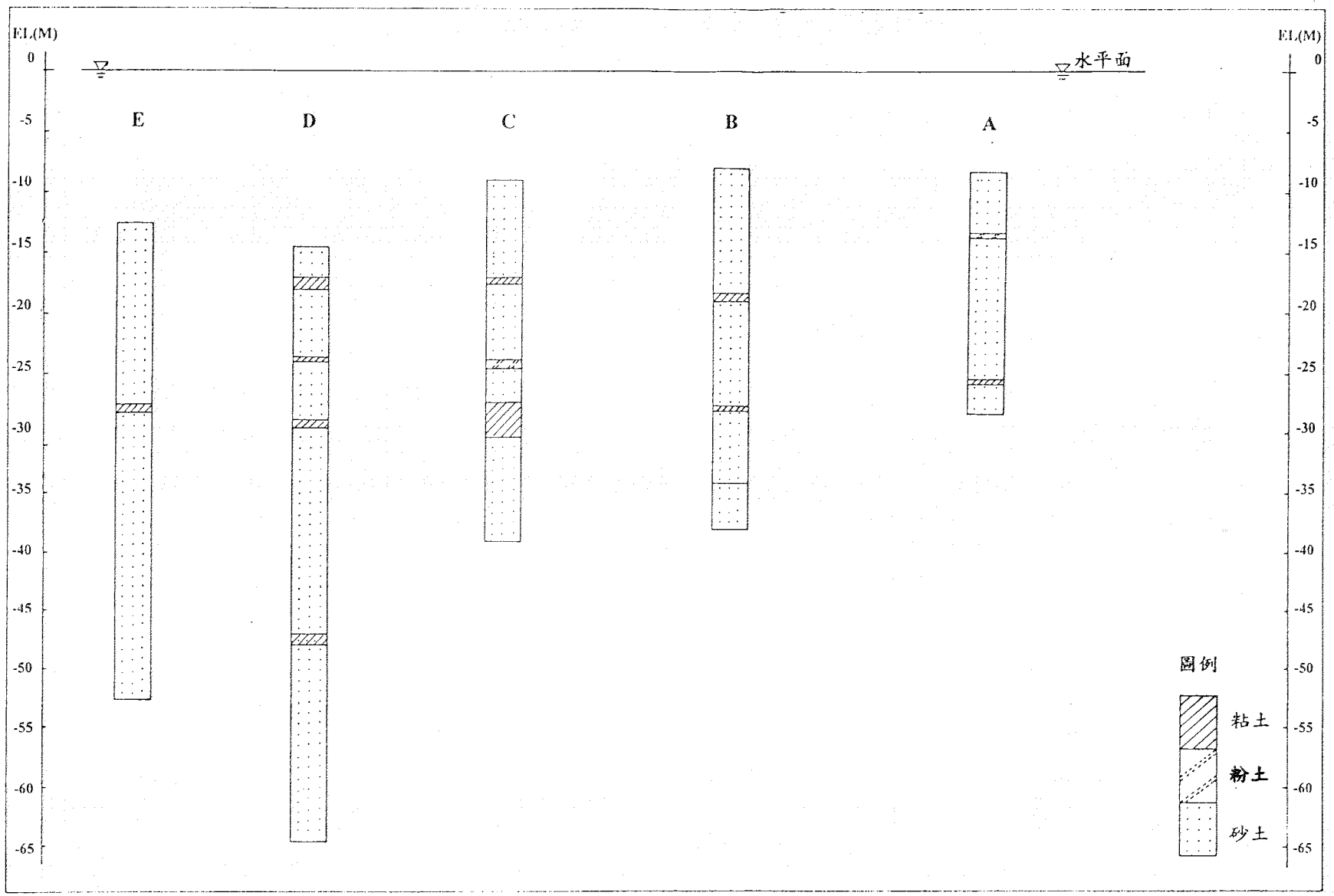


圖 2-8 安平港外防波堤地層柱狀圖

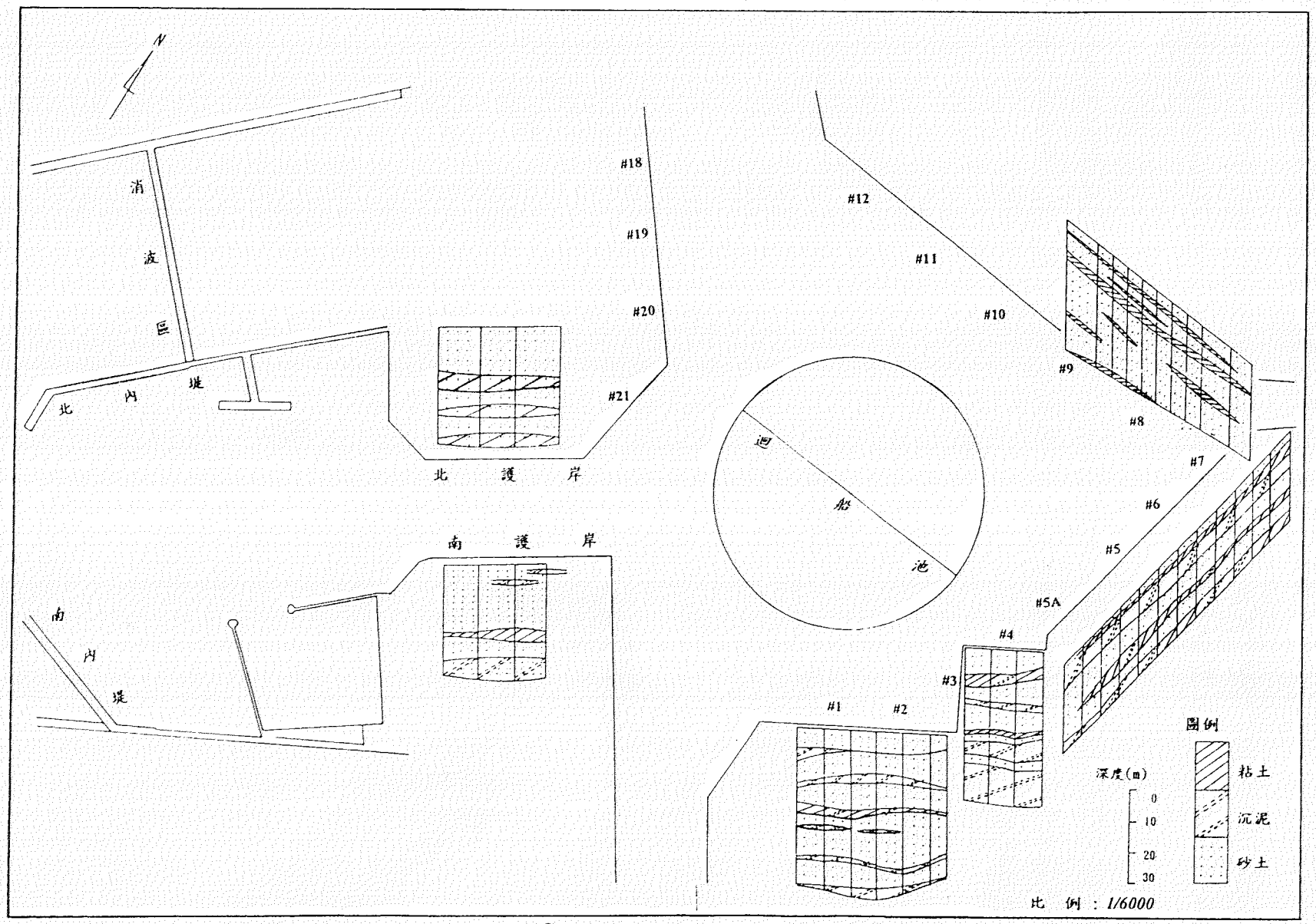


圖 2-9 安平港碼頭地層柵狀圖

薄層。

2. EL.-15M～EL.-20M：具有一層平均為 2～3 米厚之灰色黏土(CL)或粉土層(ML)，N 值在 6～30 間，屬中等堅實至極堅實稠度土層，其中以外防波堤土層較軟弱。

3. EL.-20M～EL.-35M：大致以緊密之粉土質砂(SM)居多，但於-28M～-33M 間有一層厚約 2～5 米之粉土質細砂夾黏土或粉土層，N 值為 22～60 間之極堅實至堅硬土壤。

4. EL.-35M～EL.-50M：大部分為灰色粉土質砂土層，但於-45～-50M 間為一層厚約 2～8 米之灰色粉土質粘土夾細砂土層，N 值約在 22～45 間，此土層分佈以航道之內防波堤較厚。

第三章、分層地震監測系統之建立

3.1 港灣地震反應監測系統

地震發生時土壤之放大作用，係指地震波自地層深處傳至地表面時，震波振幅(位移、速度或加速度)因受土層動力反應之影響而逐漸變大之現象，在 1985 年墨西哥(Mexico)地震，1988 年亞美尼亞(Armenia)地震以及 1989 年美國洛馬普利塔(Loma Prieta)地震中，均有非常重大之災害發生，綜合各戡災報告及研究，可發現其主要震災均係場址效應所引起，由於軟弱土層對地震波之放大作用造成局部地區非常嚴重之損害，因此場址效應的問題普遍引起大家之注意。

而土壤液化大都發生於地表附近之較軟弱沖積土層中，因此，軟弱地盤受震時之振動行為亦為研究土壤液化之重要課題，此即所謂場址效應(site effect)問題。一般而言，影響場址效應之因素甚多，若針對局部場址效應而言，主要因素包括地盤特性及地震動強度，後者係指地盤中土壤材料於不同震度時之非線性效應。因場址效應造成地盤反應之變異性很大，且軟弱地盤上之強震紀錄有限，所以目前工程設計上所使用之設計地震力係數，皆係由硬地盤上之地震紀錄經由地震危害度分析求得，因此這些參數僅適用於硬地盤地區，對於軟弱地盤條件，則須針對場址效應作適當之修正，方能使用，但目前國內各規範對軟弱地盤之設計地震尚無完整、具體的規定。本章將就黃富國(1996)整理世界各國之相關規範及有關案例摘錄如下：

3.1.1 相關規範回顧

1.日本規範

現行日本之耐震設計規範中，直接考慮不同地盤條件對地表最大加速度之影響者甚少，大都只針對不同地盤條件上結構物之設計地震力有所規定，雖然各規範之設計準則並無一致之標準，但其主要原則不外乎將地盤依其土壤種類、厚度、剪力波速或地盤周期不同予以分類，分別給予適當之地盤係數值，對設計地震力作修正；這些針對結構物設計地震力所訂定之地盤係數，雖然無法直接代表地盤條件對地表最大加速度之放大係數，但仍可由其間接瞭解各規範對場址效應之考慮方向。

檢視日本土木研究所新耐震設計法(案)(日本土木研究所，1977)、日本國鐵構造物耐震設計標準(日本國有鐵道，1979)及日本道路橋示方書耐震設計篇(日本道路協會，1990)，三規範對所謂之軟弱地盤雖有其各自的定義，但相對於岩盤或硬地盤而言，均

給予 1.25~1.5 倍之地盤係數值供結構設計時使用，以考慮軟弱地盤之效應。

2.美國規範

美國 AASHTO 橋梁耐震設計說明書(AASHTO,1983)與 ATC3-06 完全一樣，係參考 Seed et al.(1974)之研究成果將地盤分為三類，對不同地盤類別之地盤，各有其正規化之 lg 反應譜，所須之律常數(scaling factor)可由危害度分布圖查得，但對於第三類地盤而言，當 PGA 等於或大於 0.4g 時，可將其乘以 0.8 之係數以考慮軟弱地盤效應，事實上，根據統計資料顯示，此修正係數並非常數，而是隨地盤運動之增大而減少的，通常小於此處所建議之 0.8。

此外，美國加州運輸局之橋梁耐震說明書(CALTRANS，1990)採用 ARS 反應譜設計法，其中之 S 代表土壤放大係數，係由 SHAKE 程式作案例分析歸納所得，當土層厚度逐漸增厚時，或岩盤輸入運動之 PGA 變大時，在短周期範圍內，其 S 值均逐漸減小，此乃由土壤受震之非線性反應所引致。

3.1.2 案例研究回顧

以往有關軟弱地盤地表最大加速度(PGA_S)放大(或折減)效應之案例研究非常多，不勝枚舉，在此僅就國外重要文獻及本土資料之研究成果作一概述，以了解已有之成果及將來發展之趨勢。

1.國外案例

(1)美國

Seed et al.(1975)統計美國西部 23 次地震共 104 個地震紀錄之地表 PGA_s 與岩盤露頭最大加速度 PGA_R 的關係，結果如圖 3-1 所示。當岩盤露頭之 PGA_R 值較小時，在較深厚或較軟弱土層地表之 PGA_S 值明顯較岩盤露頭為大，顯示土層具有放大之作用，但當岩盤露頭之 PGA_R 值較大時，在厚層軟弱土層上紀錄所得之 PGA_S 值反而較岩盤露頭為小，上述兩種情形分界點之 PGA_R 值約介於 0.10~0.15g 之間。Idriss(1990)之研究(圖 3-2)也得到類似之趨勢，惟其分界點之 PGA_R 值較高，約為 0.4g 左右，其樣本空間是 1985 年 9 月墨西哥地震、1989 年 10 月美國 Loma Prieta 地震之資料，以及數值模式之計算結果。

Borcherdt(1994)亦利用 1989 年 10 月美國 Loma Prieta 地震之地震紀錄及豐富的地盤資料作土壤放大係數(反應譜放大係數)之研究，並提出新的地盤分類法如

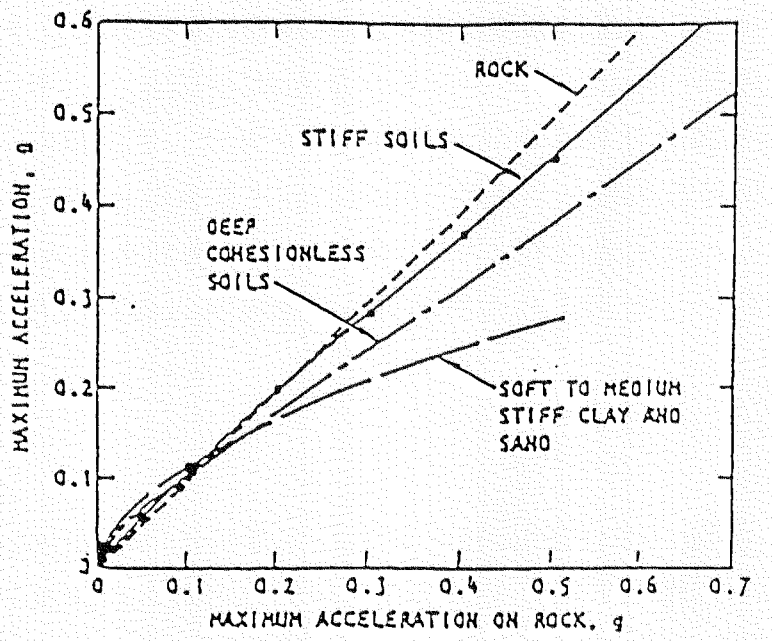


圖 3-1 不同地盤條件之地表與岩盤露頭 PGA 值關係圖
(摘自 Seed et al, 1975)

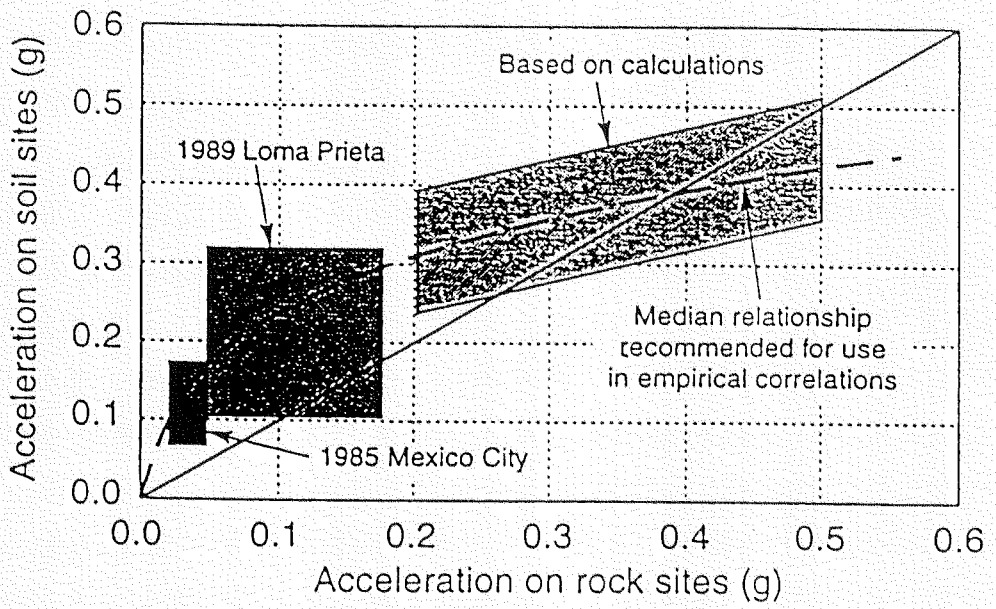


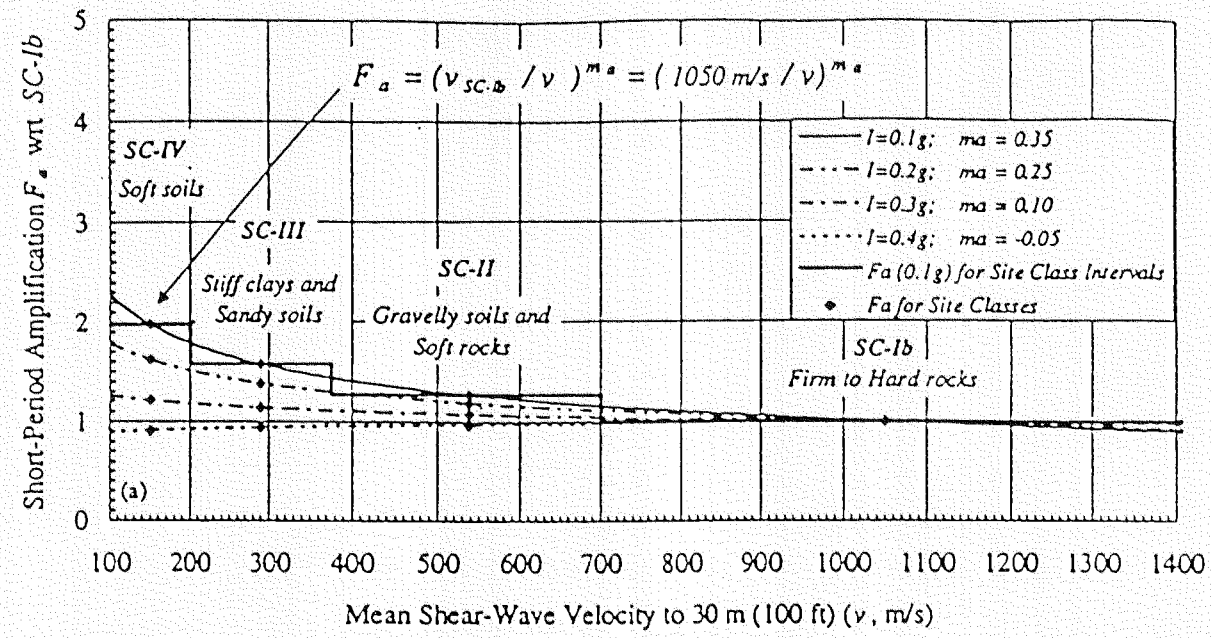
圖 3-2 軟弱地盤地表 PGA 值與岩盤露頭 PGA 值關係圖
(摘自 Idriss, 1990)

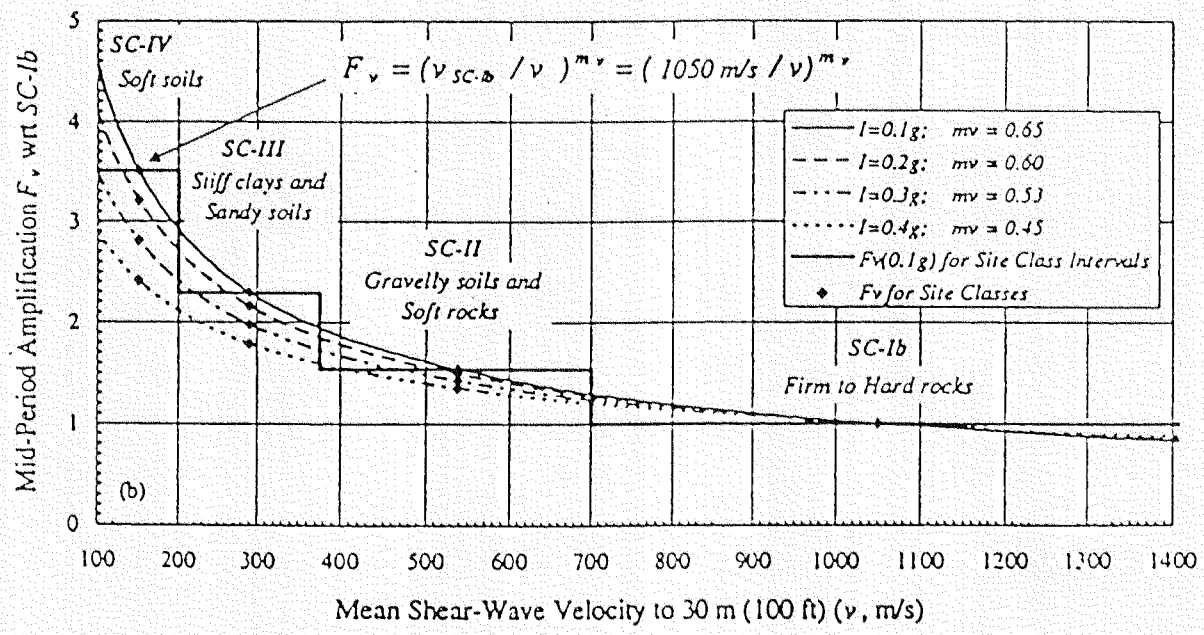
表 3-1 所示，根據近地表地層之材料性質、30m 深度範圍內之平均剪力波速及使土層發生共振放大效應之最小厚度(土層周期大於 0.1 秒)，將地盤分為四類，並根據各類地盤之地震反應資料歸納出短周期(0.1~0.5 秒)及中周期(0.4~2.0 秒)之反應譜放大係數，如圖 3-3 所示；當土層愈軟(波速愈小)、輸入震波愈高頻(周期愈低)，地盤反應之非線性效應愈明顯，圖中顯示，第三類(SC-III)及第四類(SC-IV)地盤之短周期反應譜在岩盤輸入運動之加速度值較小時，有明顯放大作用，但當岩盤輸入之加速度值逐漸增大時，其短周期反應譜之放大係數則逐漸減小，圖中亦顯示，當 I_a=0.4g 時，此兩類地盤之反應譜放大係數均為 0.9，反而有折減之效應。

(2)日本

Kazuhiko & Keiichi(1991)統計日本東京灣附近 Ukishima 公園、Futtsu 岬及 Kannonzaki 三處之下孔最大加速度紀錄與地表最大加速度之比值(RD_{PGA})，所用之地震資料筆數依序為 28, 54 及 124，所得結果如圖 3-4 所示。該三工址之地質剖面如圖上所示，Ukishima 公園近地表為一相當軟弱之沖積土層，剪力波速只有 120~170m/sec，而 Futtsu 岬近地表為砂與粉質砂互層，其剪力波速為 240~300m/sec，另外 Kannonzaki 則為近地表產生風化之堅硬岩石地盤，其剪力波速估計約為 600~1000m/sec。圖示結果顯示 PGA 放大效應主要發生於近地表處，尤其土層較軟弱之 Ukishima 公園工址最明顯，且該工址 RD_{PGA} 值之變異帶寬也較小。

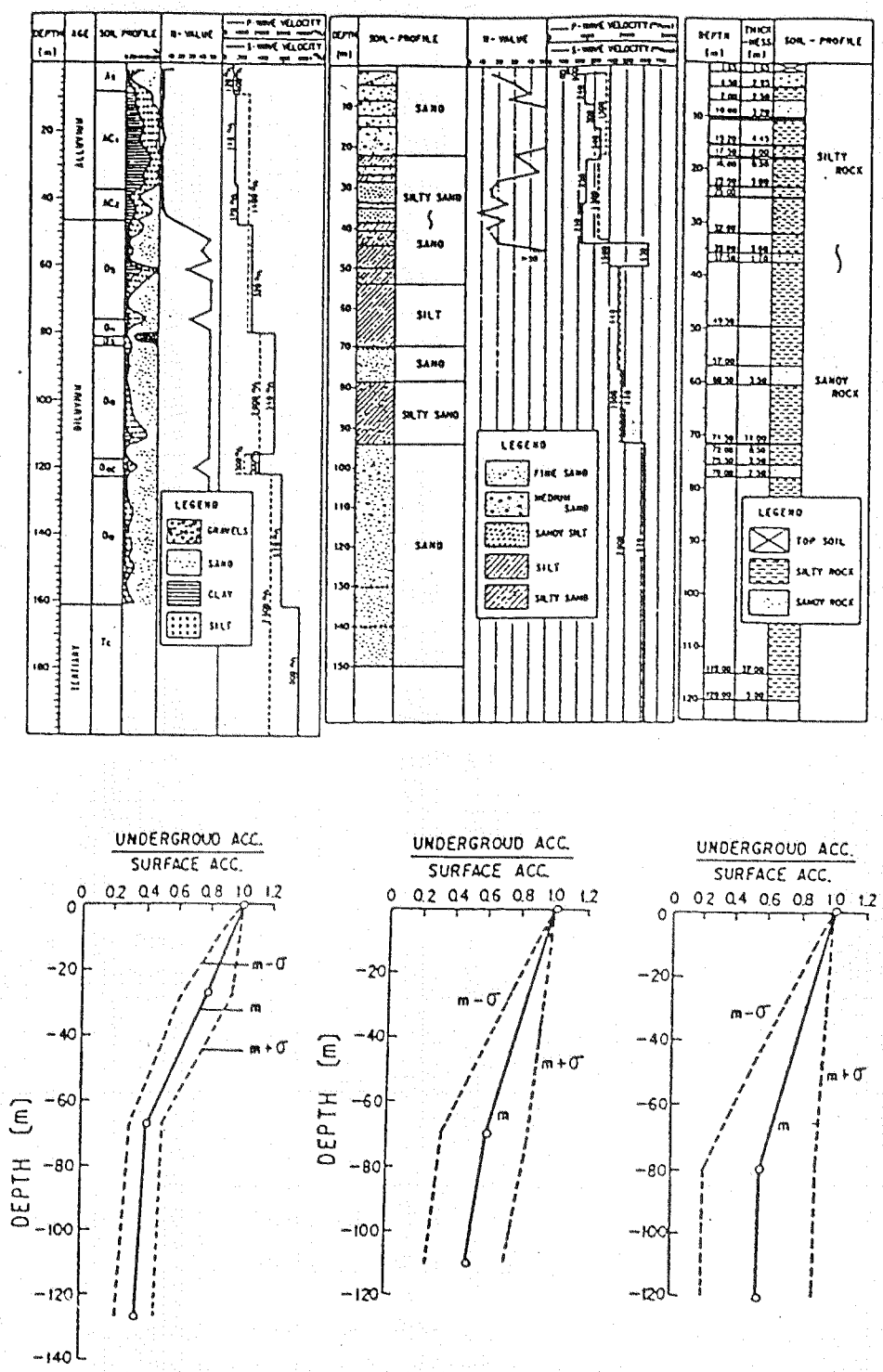
於 1995 年元月時，關西地區則發生規模 7.2 的 Hyogoken-Nanbu 大地震，其中四個工址(簡稱 PI, SGK, TKS 及 KNK 工址)有量測到下孔加速度紀錄，其中 PI 工址近地表處發生嚴重之液化破壞，而 TKS 工址則於地震後發生噴砂現象。該四處工址之剪力波速剖面如圖 3-5 所示，各工址近地表 60m 之剪力波速約 100~400m/sec 左右，其中 KNK 工址最底部為堅硬岩盤，其餘工址埋設地震儀之最深處(約地下 100m)則為更新世(Pleistocene)之礫石土層。此次地震該四工址實測最大加速度隨深度變化之關係如圖 3-6 所示，圖中顯示，除液化工址 PI 外，其餘三工址在地表下 25m 處之 PGA 值與地盤深處之最大加速度 PGA_B 大小差異極微，顯示放大效應主要仍發生於近地表處。至於地表 PGA_S 及 PGA 放大係數 $M_{A,S}$(=PGA_S/PGA_B)與地盤深處 PGA_B 之關係分別如圖 3-7 及圖 3-8 所示，由圖中可知，當 PGA_B 較小時，$M_{A,S}$ 很大，但當 PGA_B 漸大時，由於土壤的非線性效應，因此 $M_{A,S}$ 漸小，至於液化工址 PI，因其地表土層之剪力強度幾已完全喪失，因此地表 PGA_S 遠小於地盤深處之 PGA_B。





(a) Short-period F_a and (b) mid-period F_v amplification factors with respect to *Firm to Hard rock, SC-Ib*, plotted as a continuous function of mean shear-wave velocity, using the indicated equations for specified levels of input ground motion (equations 2 or 4, see text). Amplification factors with respect to *SC-Ib* for the simplified site classes also are shown.

圖 3-3 各種地盤相對於堅硬岩盤之短周期及中周期反應譜放大函數量
(摘自 Borcherdt, 1994)



(a) Ukishima Park (b) Futtsu Cape (c) Kannonzaki

圖 3-4 日本東京灣附近三處工址之地盤最大加速度比值水隨深度變化剖面
(摘自Kazuhiko&Keiichi, 1991)

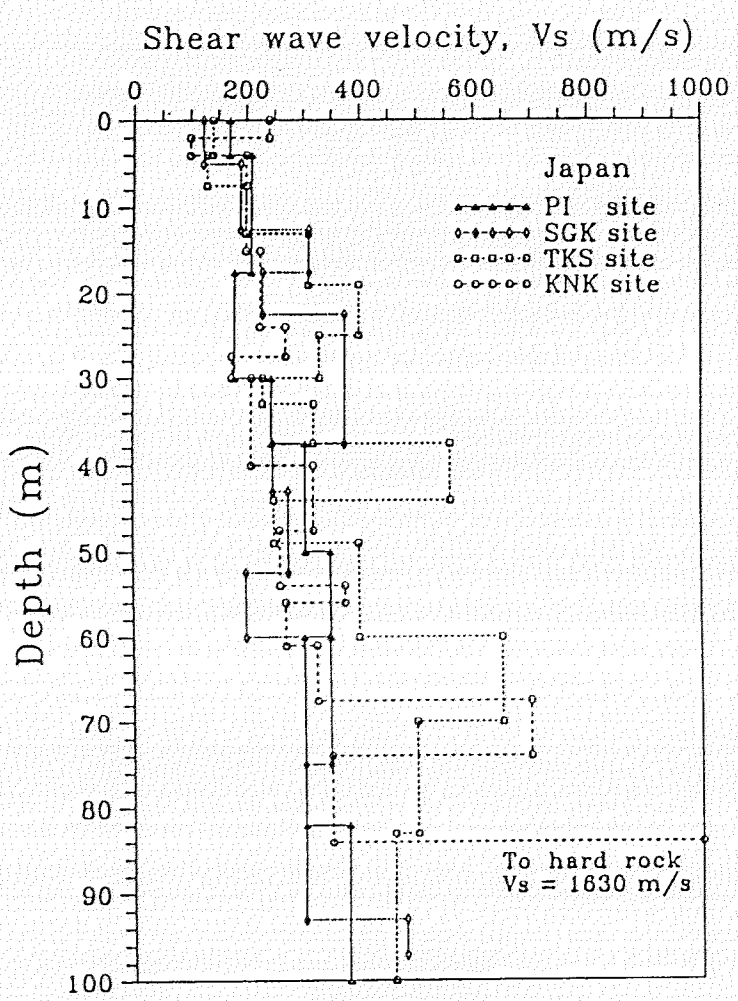


圖 3-5 日本 Kobe 市附近四處工址之剪力波速剖面
(摘自 Sato et al, 1996)

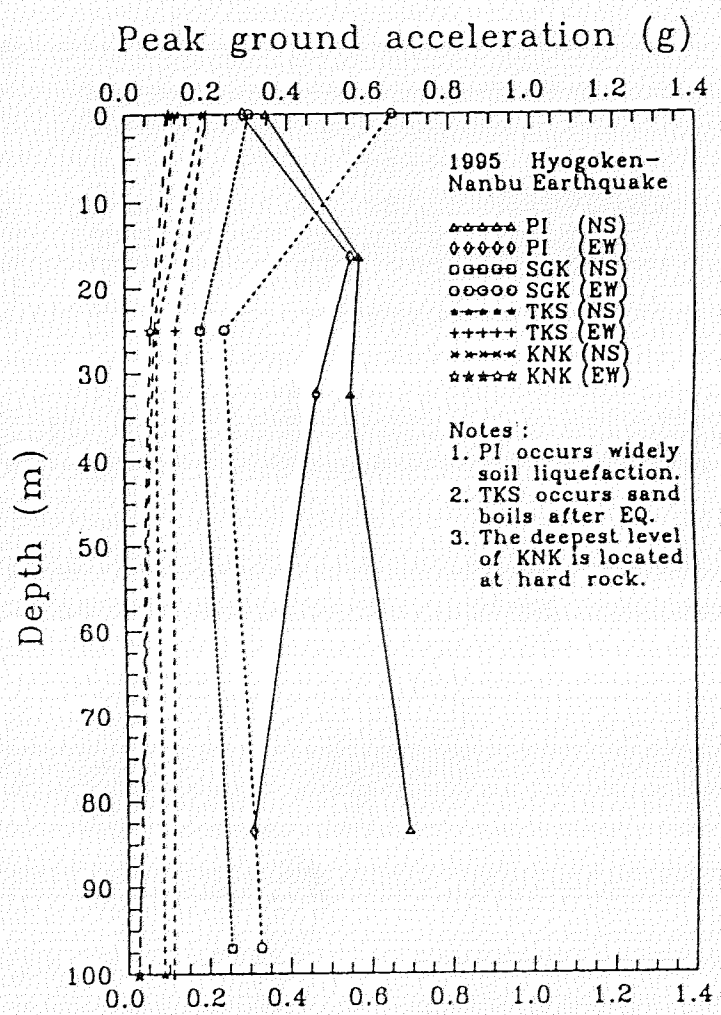


圖 3-6 日本 Kobe 市附近四處工址之地盤最大加速度
隨深度變化剖面(摘自 Sato et al, 1996)

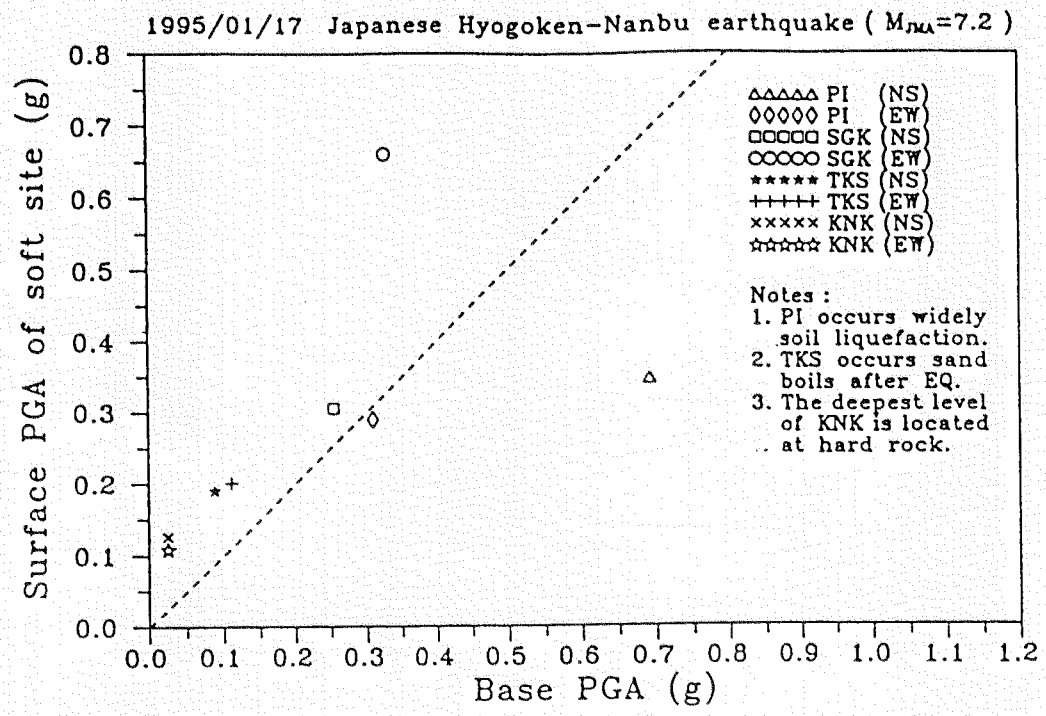


圖 3-7 日本 Kobe 市附近四處工址之地盤最大加速度與量測最深處之地盤最大加速度關係圖（取自 Sato et al, 1996）

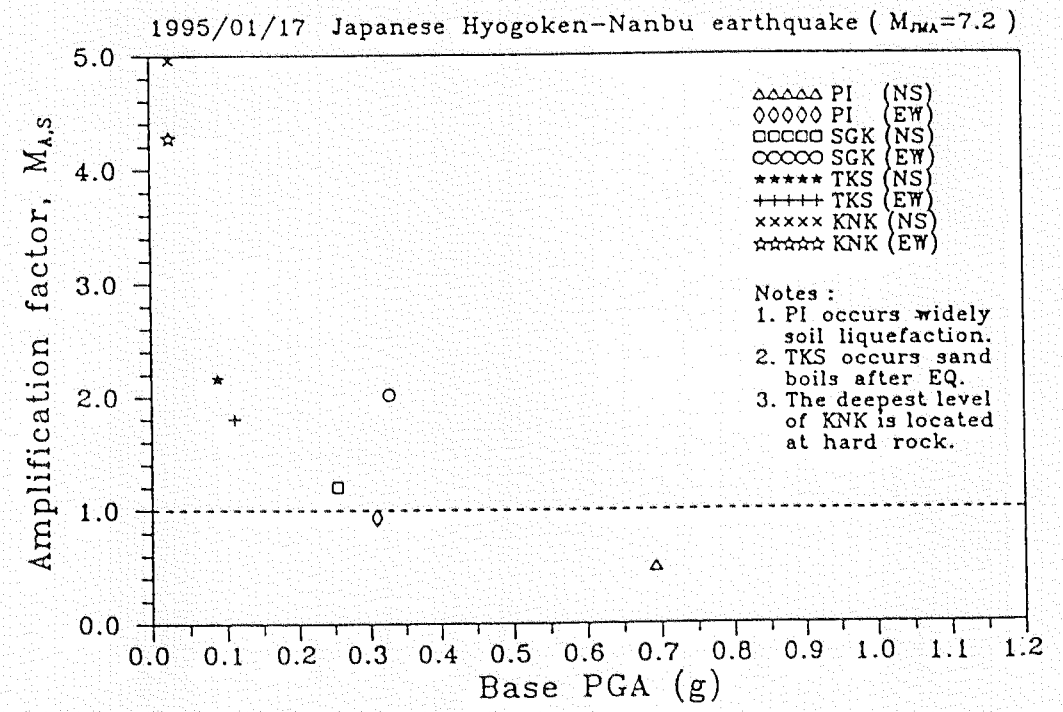


圖 3-8 日本 Kobe 市附近四處工址之土層放大係數（取自 Sato et al, 1996）

此外，Ishihara(1985)曾收集日本地區曾發生土壤液化之地震案例，發現液化工址表面附近約 5 公里以內的地表最大加速度約僅為岩盤露頭紀錄之 0.65~0.9 倍，因此，Ishihara 建議在作土壤液化分析時，土層地表之最大加速度值約可取附近岩盤露頭最大加速度值之 0.8 倍。

2. 國內案例

(1)台北盆地

張吉佐等(1992)曾將台北盆地之表土層及松山層簡化為 60m 厚之地層，利用 SHAKE 程式以人造地震進行地盤受震反應分析，其結果如圖 3-9 所示。圖中亦顯示 PGA 放大係數 $M_{A,S}$(該圖以 α 表示)有隨基盤 PGA_B 增大而減小之趨勢，當 $PGA_B<0.2g$ 時，$M_{A,S}>1.0$；而當 $PGA_B>0.2g$ 時，$M_{A,S}<1.0$。

(2)羅東工址

Wen(1994)曾分析蘭陽沖積平原上 SMART-1 強震陣列資料，比較沖積層地表 PGA 與岩盤露頭 PGA 之關係，發現其比值隨岩盤露頭 PGA 之增加而減小，如圖 3-10 所示，其關係符合 Sugito & Kameda(1990)之理論轉換曲線(S_n=0.45,d_p=60)，比值減小之現象係由土壤之非線性行為所引起。上述統計分析之樣本資料大都為岩盤露頭 PGA 小於 0.2g 者，對於更大之地震動，土壤之非線性行為將更顯著，推測其 PGA 比值將更為減小。

張吉佐等(1992)亦利用 SMART-1 地震資料，再補充全省性強震觀測網 SMA 資料，分析芮氏規模約 5、6、7 地震之軟地盤 PGA 放大係數與硬地盤震動強度 PGA 之變化關係，如圖 3-11 所示，圖中顯示 $M_{A,S}$(該圖以 α 表示)隨硬地盤 PGA 增大而減小，且地震規模愈大，$M_{A,S}$ 愈小。

3.1.3 地震監測系統種類

為確保地震發生時位於軟弱沖積土層結構物之安全，須針對地震所產生之效應進行監測，以作為設計結構物之參考，筆者綜合港灣地區設置地震反應監測系統約可歸納下列四種：

1. 地震監測

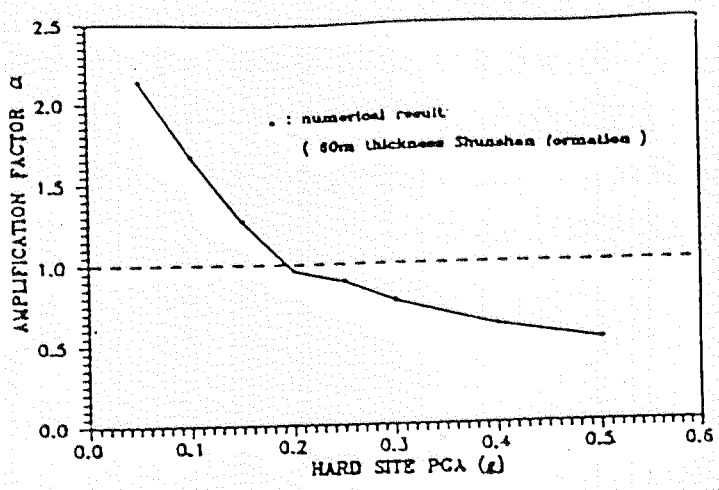


圖 3-9 台北盆地土層放大係數之分析結果（摘自 張吉佐等,1992）

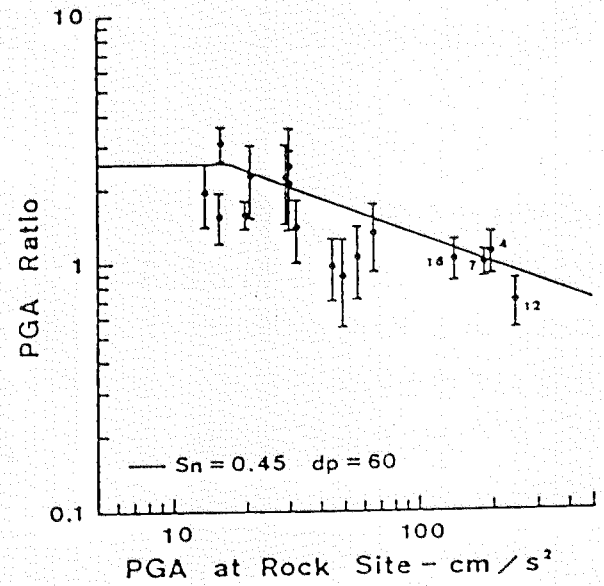


圖 3-10 SMART-1 地震資料之土層放大係數（摘自 Wen,1994）

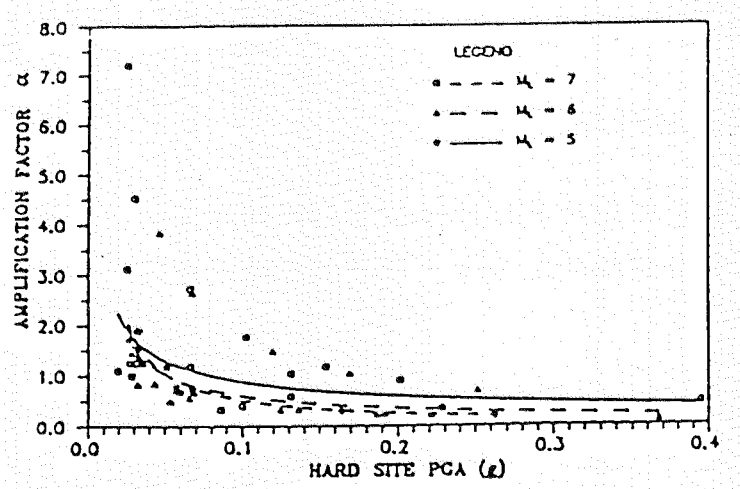


圖 3-11 SMA 與 SMART-1 地震資料之土層放大係數（摘自 張吉佐等,1992）

(1)地表自由場地震力監測

自由場之地震監測為港灣地區最基本之地震監測，其是以三向式之地表地震儀，設置於廣闊空曠地區之地表，再以電纜線連接至室內之監測記錄器。本中心在台中港、安平港、花蓮港及高雄港等地區已完成設置之工作。

(2)地震在軟弱土層之放大效應監測

港灣區地層大都為疏鬆軟弱之沖積土層及浚砂回填土所構成，因此地震在鬆軟地層之放大效應，悠關港灣構造物之安全甚鉅，為了瞭解地震時，地層中震波之傳遞特性，鑽數口井至各個地層，分別於最深之堅硬地盤及不同深度之軟弱土層，埋入埋入型地震計，以監測地震之放大效應。目前本中心在安平港亦完成一組10M、20M、100M、288M 及地表之地震監測系統。

(3)重要構造物之地震反應監測

港灣地區有棧橋式、板樁式、沉箱式等各種不同型式之基礎及碼頭、防波堤、海堤、過港隧道等各種不同構造物，其對地震之反應皆各有不同，為了瞭解地震時，重要構造物之地震反應，亦需安裝地震儀加以監測，本中心目前已在蘇澳、花蓮兩港防波堤各設置乙台地震儀，進行地震反應監測。

2. 動態孔隙水壓監測

在強烈地震之反復作用下，土壤之孔隙水壓會逐漸上升，土壤之承載力會逐漸減低，當土壤之超額孔隙水壓之上升累積至與土壤之垂直壓力相等時即所謂之土壤液化，當此種現象發生的時候，土壤的承載力會瞬間驟降甚至到零的地步，築在其上的結構物也因基礎失去支撐而傾斜或倒塌，而側向之構造物如碼頭、護岸、河海堤亦會因土壤液化增加之側向力，而產生向海側（河側）位移或傾斜等破壞，因此地震時動態水壓之監測，對港灣構造物之安全極為重要，目前本中心在安平港已完成設置一組3M、6M、10M、15M、20M、30M 之動態水壓即時監測系統，以監測地震時淺層動態水壓之即時變化，在台中港、布袋港、安平港、大鵬灣等港區亦分別設置 1 組 200M 分層地下水壓監測系統，以監測港區平時之地下水壓變化，亦可監測地震前後深層地下水壓之變化。

3.地層下陷監測

在強烈地震作用下，港灣地區之沖積層及抽砂浚填土層易產生液化及下陷現象，

而可能影響結構物安全，1906 年之舊金山及 1964 年之阿拉斯加大地震，而發生 5 公分至 30 公分之沉陷者則十分普遍，而 1995 年 1 月 17 日之阪神大地震，造成神戶港區新生地（Port Island）液化後之沉陷，在無基礎構造物之廣闊地區平均液化後之沉陷為 50 公分，最大者為 90 公分；但在港區沉箱式碼頭背填土液化後回填砂外漏被掏空及沉箱位移後砂土填補位移空間造成之沉陷高達 3-4 公尺。921 集集大地震，造成台中港區 1-4 號沉箱式碼頭背填土液化後之沉陷及沉箱位移後砂土填補位移空間造成之沉陷高達 60-100 公分。本中心在台中港、布袋港、安平港、大鵬灣等港區已分別完成 1 至 2 組 200M 深之分層沉陷監測井，平時可監測港區附近抽水、填土等造成之沉陷，地震時，亦可監測地震之下陷量，921 地震台中港監測井即發揮了其沉陷監測功能。

4. 碼頭及地層之傾斜變位監測

地震不但會造成地層下陷，亦會產生側向力使港灣構造物造成位移、傾斜，阪神地震造成港灣碼頭位移 1-5m，921 地震造成台中港 1-4A 碼頭外移 0.5~1.7m，傾斜 2~4%，因此對碼頭及地層之傾斜變位之監測亦為地震反應安全監測之一環，本中心在高雄港區亦埋設 20 支傾斜管，平時可量測碼頭結構隨深度之側向位移變化情形，以判定碼頭結構之穩定程度，地震時，亦可監測其傾斜與位移量。

3.2 地震監測井設立概述

1. 監測規劃

本監測計劃選擇位於安平港區港埠大樓旁之新港橋下(如圖 3-12)適當位置安裝地震及動態孔隙水壓監測儀器，本系統共計有 8 孔，分別為水壓計 3 孔，其安裝水壓計深度為 3M、6M、10M、15M、20M、30M 等 6 支，地震計埋入孔深度為 10M、20M、100M、288M 及地表等 5 孔共安裝 4 組埋入式地震計及一部地表型地震儀後，藉由電纜線組合一起延長到觀測房以自動記錄方式將資料記錄保存在電腦，其儀器架構流程及儀器埋設剖面如圖 3-13、3-14 所示，現就其內容概述如下：

(1)電子式水壓計

電子式水壓計觀測井 3 孔，其深度為 6M、15M、30M，並在每一孔內裝 2 只水壓計分別為 3M、6M、10M、15M、20M、30M 共 6 支，主要是量測地下水的壓力，並與地震計配合可以測得地震來時的地下水位變化，以求得地震時土壤液化的變化情形。所有電子式水壓計經由配管接到觀測房的集錄器上。

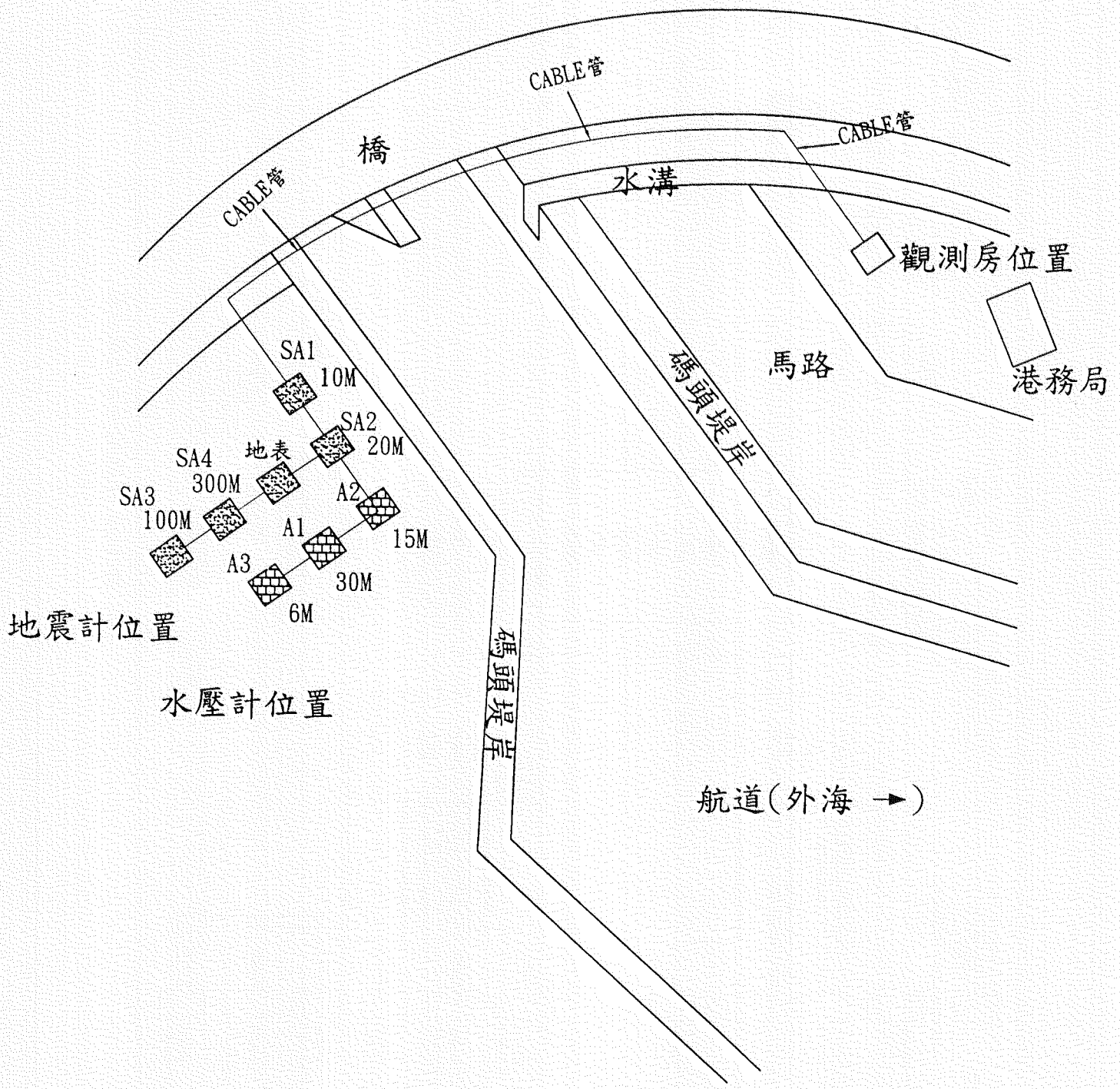


圖 3-12 安平港地震儀及動態孔隙水壓安裝位置圖

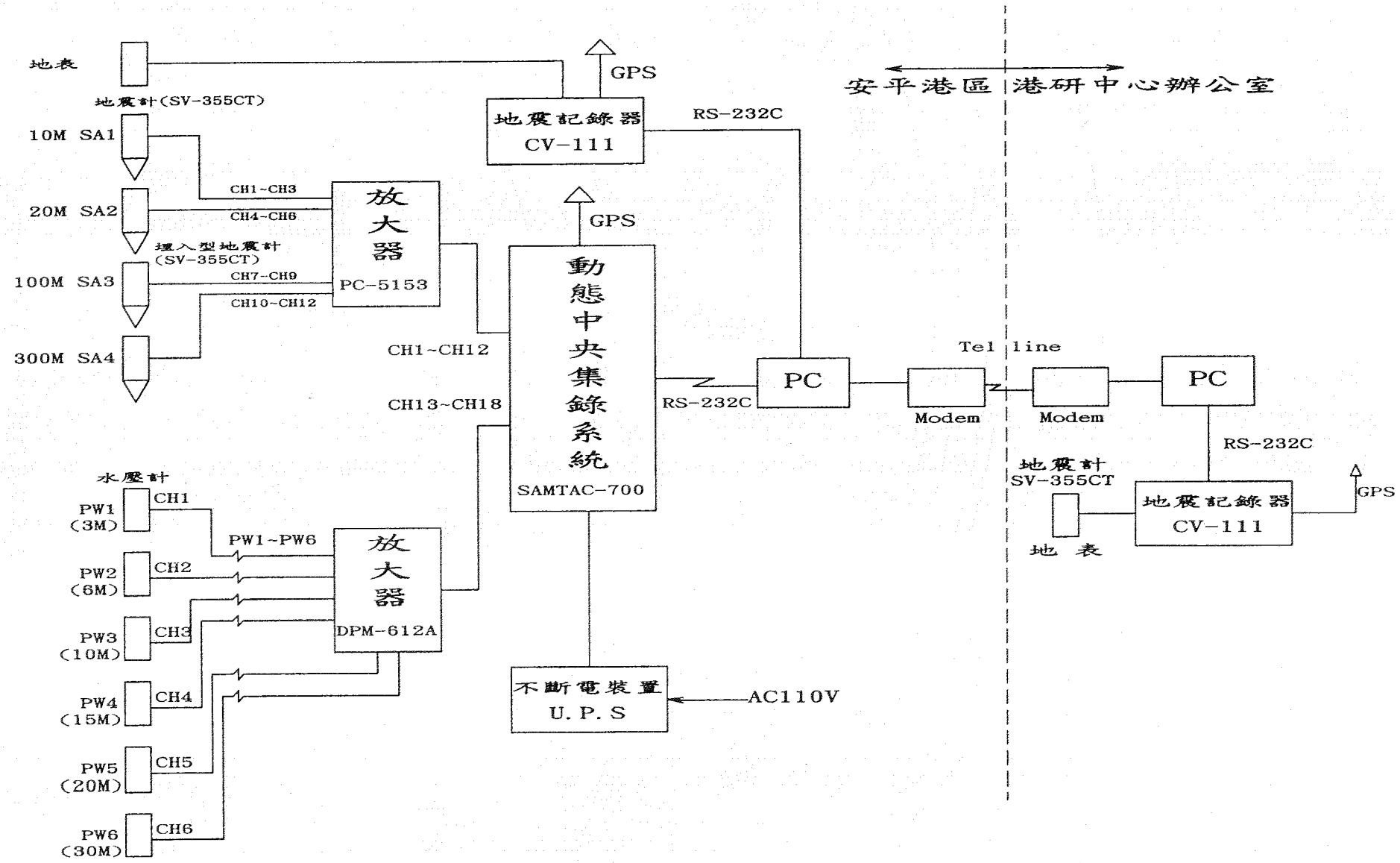


圖 3-13 地震監測系統流程圖

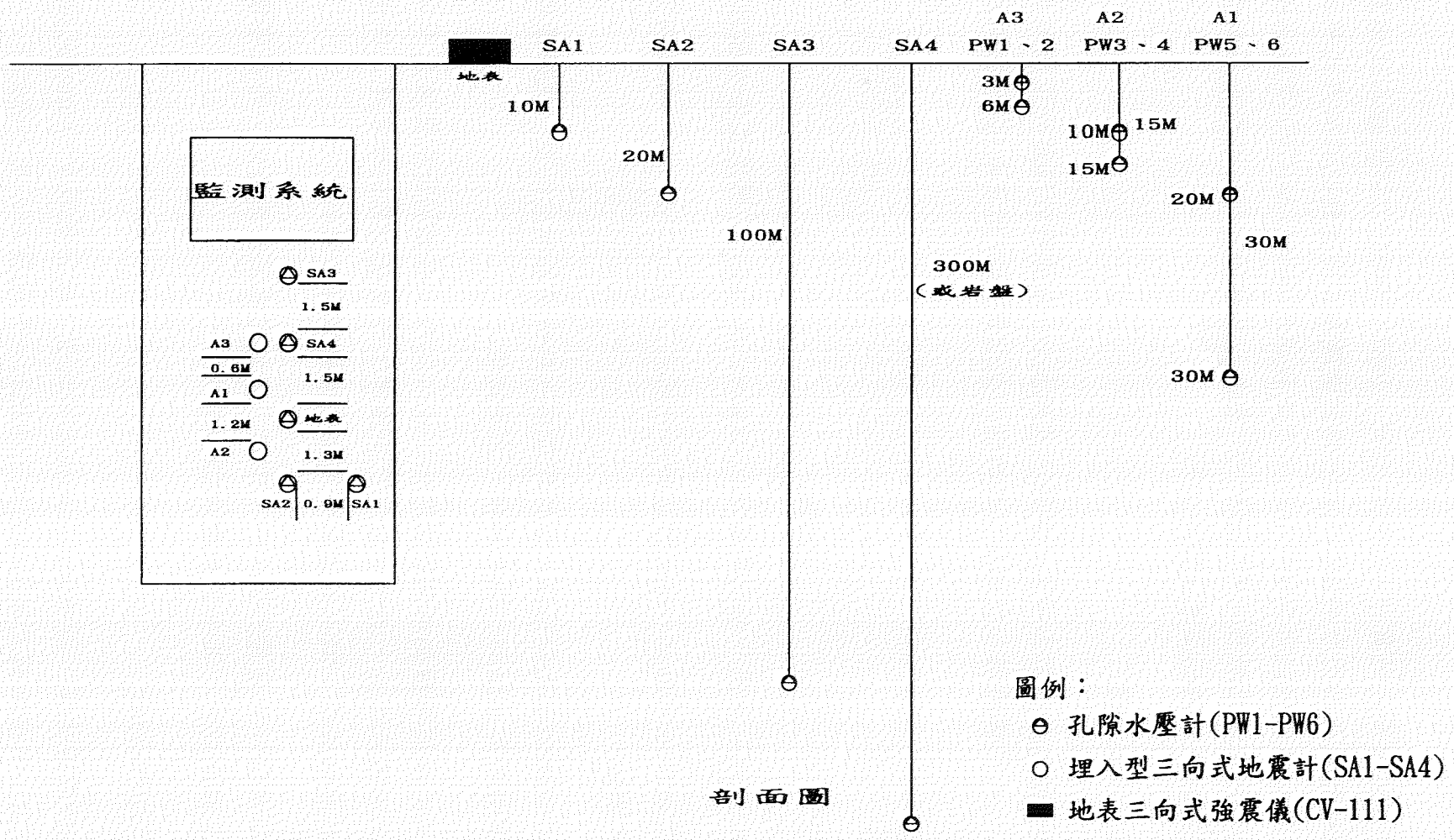


圖 3-14 地震及動態孔隙水壓監測儀器埋設剖面圖

(2)埋入式地震計孔

本工程共有 4 孔埋入式地震計，分別為 10M、20M、100M、288M 埋入式地震計主要是監測地震波在不同層的化以 Cable 傳到觀測房，用自動記錄的方式將資料收集，再由電腦讀取提供研究者作分析。本工程採用 SAMTAC-700 集錄系統，為一先進數位化自動記錄器，可記錄於 IC 卡上，可取回分析，也可經電腦連線傳輸，或直接到集錄器的螢幕上觀看波形。

(3)獨立式地震計及記錄器

本工程在安平港及台中港各安裝一套獨立式地震計，主要用於地震時監測地表的波動及強度，並提供與埋入式地震計做比較，並配備 GPS 做自動校時的功能。

2. 儀器裝設

(1)電子式水壓計，

採用日本 DOBOKU 生產，型式為電阻式 2kg/cm^2 及 5kg/cm^2 耐水壓型水壓計。

(1-1)本地區位於海濱附近，每孔鑽孔深度分別為 30M、15M、6M，每孔內安裝 2 支水壓計。

(1-2)水壓計於地面上先行接線，並於電纜線上註明安裝深度位置，並於接線位置確實做好防水措施，並先行飽和量測初值。

(1-3)待鑽探完成後將預先準備好水壓計，放入孔內，並量測其水壓值是否合理再開始回填水洗石，並用 6 分 PVC 管搗實工作及量測其回填深度，待回填至欲封層位置後，放入皂土至預定位置後再回填七厘石。

(1-4)第二組水壓計皆重覆(1-2)、(1-3)步驟，直到回填至表面為止，再將電纜線連接至觀測箱內，其安裝如圖 3-15 所示。

(2)埋入型地震計(SV-355)

定位及鑽孔位置選定後，鑽井機與地面成水平放置，使用鑽頭§100mm 孔徑以衝擊方式鑽孔，待鑽至預定深度位置後，再進行埋設地震計，其步驟如下：

(2-1)地震計在埋設前要先做安裝的測試檢查，以便確認地震計是否正常。

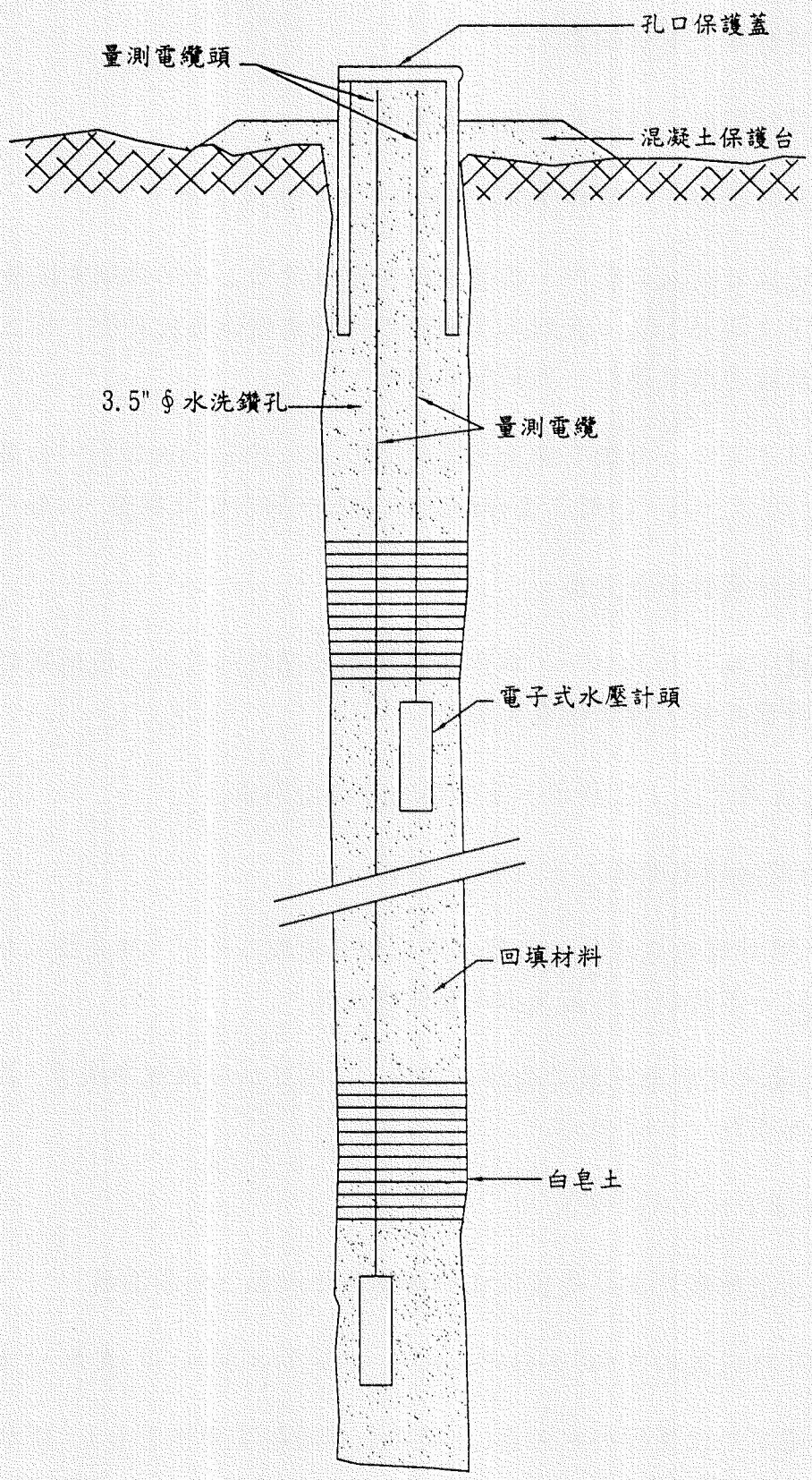


圖 3-15 電子式水壓計安裝示意圖

(2-2)鑽孔至埋設地震計的深度，分別為 10M、20M、100M、288M 等 4 孔。

(2-3)地震計接上不銹鋼索。

(2-4)地震計依所定的深度連接延長電纜線。

(2-5)地震計上方插入連桿(Rod)，連桿 1 支 2 米或 3 米。

(2-6)將地震計放入套管內，藉著纏繞在鑽機滑輪上之不銹鋼索慢慢的放下，連桿 1 支接著 1 支，直到深度通過不銹鋼索的固定夾具後，接上電子式方位計然後再續接連桿，直到安裝深度。

(2-7)以電子式方位計調整深層地震計(300 米、100 米)的方向，如果是淺層地震計(20 米、10 米)則在連桿的上方裝上一個方位計調整，x 軸向為正北。

(2-8)調整地震計的垂直度。

(2-9)在最下端 1 公尺以下，以小石頭及細砂慢慢的放入，使地震計固定，待地震計固定後，再次檢查及測試。

(2-10)把 Rod 1 支 1 支拔出，至全部 Rod 拔出為止。

(2-11)再將細砂全部填入孔內直至地面。

(2-12)地震計埋設完成後，電纜線穿入 PVC 管埋入地下，延長接到控制室，地面上設一不銹鋼保護蓋及水泥台保護措施。

(2-13)若要考慮將來地震計的維修保養，孔內可加設預埋塑膠管，其安裝示意圖如圖 3-16、3-17 所示。

(3)表面型地震計(CV-111 用)

(3-1)表面型地震計主要是裝設在結構物及地表面上的感應器。

(3-2)地震計設置的方向：x 軸向正北方，y 軸和 x 軸成 90˚直角，z 軸垂直向上。

(3-3)在選定的位置打一水泥台(中間要放鋼筋拱鞏固水泥台)，待水泥台乾後，先確定方向後鑽孔。

(3-4)感應器固定後連接電纜線，電纜線依已設之管路接線一直到觀測室。

(3-5)地震計固定後，上方以不銹鋼保護蓋加以保護。

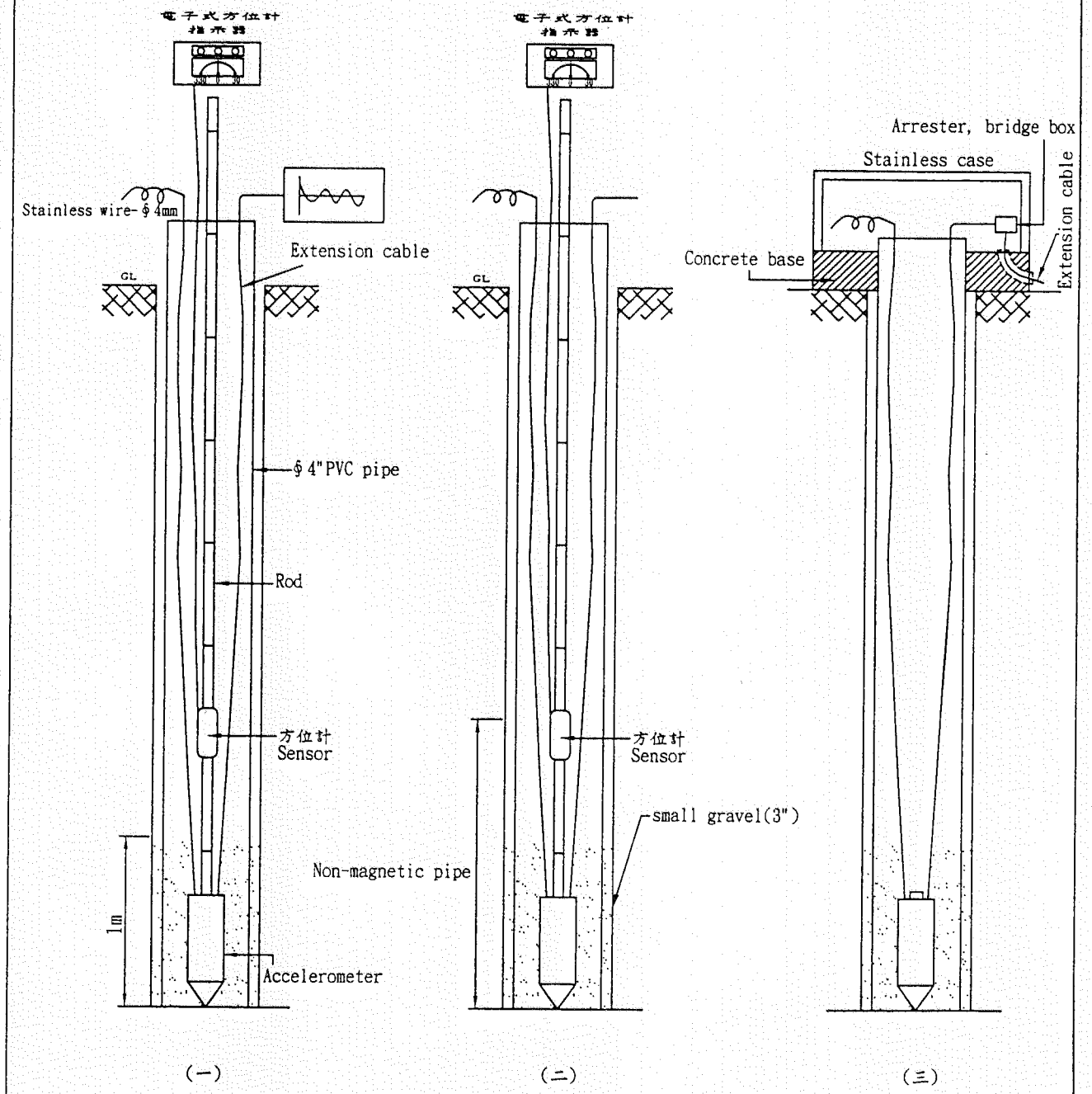


圖 3-16 安平港 100 米、300 米地震計安裝示意圖

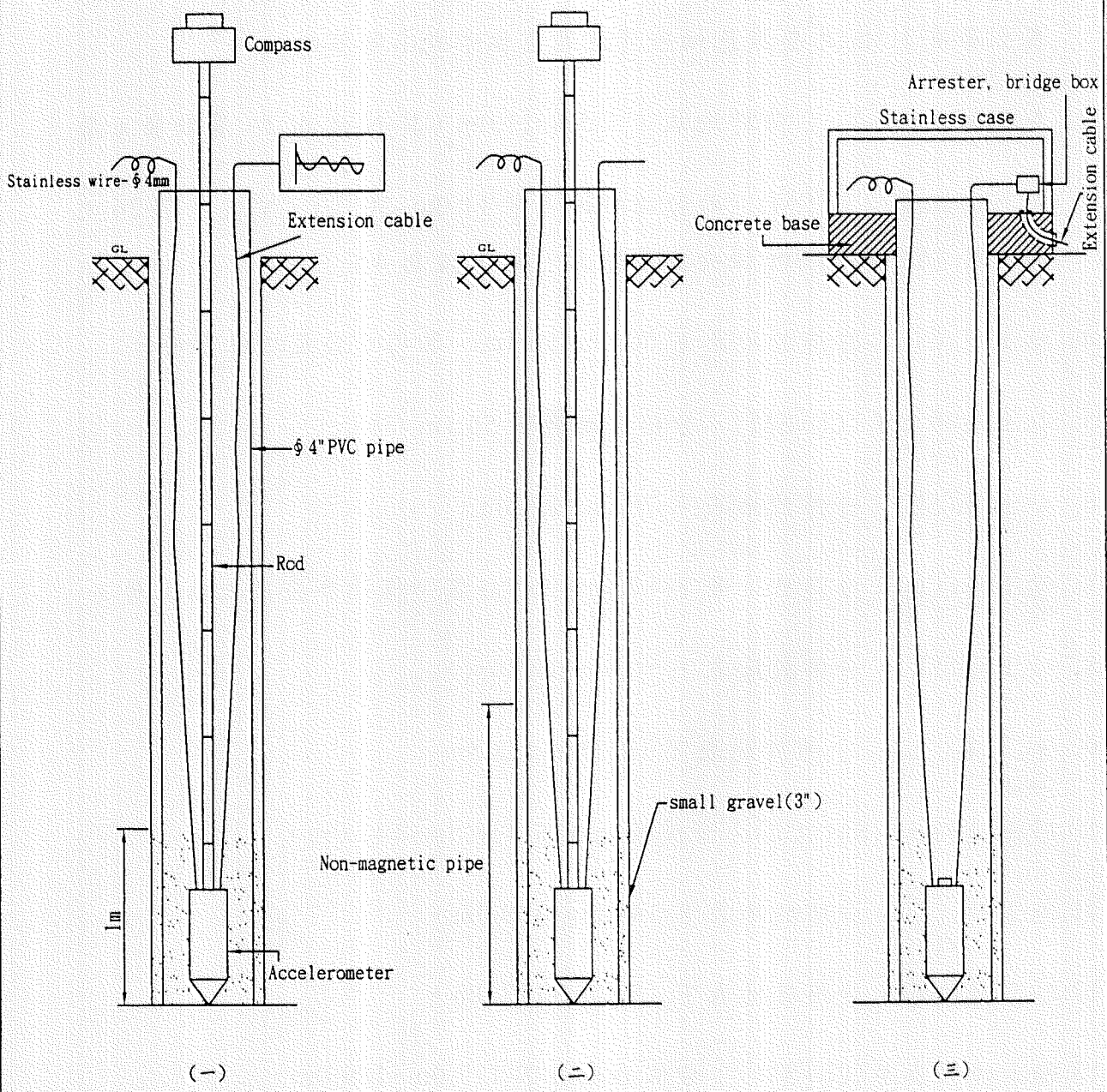


圖 3-17 安平港 10 米、20 米地震計安裝示意圖

3.3 監測井之地質分析

根據安平港地震監測站 300M 鑽探及鑿井資料如圖 3-18 所示：在深度 300 公尺之土層狀況，大致而言，約可分為 20 個次層，分別簡述如下：

1. 灰色沉泥質細砂(SM)：分佈在地表下深 0~7.5m，SPT-N 值為 9~15 之間，表土層有 1.5m 之灰黑色細砂質沉泥夾粗砂或小礫石。

2. 灰色粉土(ML)：分佈於地表下 7.5m~11.0m，其 N 值為 2，屬軟弱土層。

3. 灰色沉泥質細砂(SM)：約分佈於地表下 11.0m~50.0m，N 值自 7~26 之間，於 16.0m~16.8m 深夾少量粘土，其 N 值為 4。

4. 粘土層(CL)：分佈於地表下 50.0m~56.1m，厚約 6 公尺之粘土層。

5. 粘土夾砂土層(CL+SM)：分佈於地表下 56.1m~78.0m。

6. 砂土層(SM)：分佈於地表下 78.0m~87.6m。

7. 粘土層(CL)：分佈於地表下 87.6m~96.9m 處，厚約 9 公尺之粘土層。

8. 砂土層(SM)：分佈於地表下 96.9m~105.0m。

9. 粘土層(CL)：分佈於地表下 105.0m~118.5m。

10. 砂土夾粘土 (SM+CL)：分佈於地表下 118.5m~141.0m。

11. 粘土層(CL)：分佈於地表下 141.0m~159.0m。

12. 砂土層(SM)：分佈於地表下 159.0m~177.0m。

13. 粘土夾砂土層(CL+SM)：分佈於地表下 177.0m~189.0m。

14. 砂土層(SM)：分佈於地表下 189.0m~206.1m。

15. 粘土夾砂土層(CL+SM)：分佈於地表下 206.1m~211.5m。

16.粘土層(SM)：分佈於地表下 211.5m~274.5m。

17.砂土層(SM)：分佈於地表下 274.5m~276.3m。

18.粘土層(SM)：分佈於地表下 276.3m~292.5m。

19.砂土層(SM)：分佈於地表下 292.5m~294.0m。

20.粘土層(SM)：分佈於地表下 294.0m~300.0m。

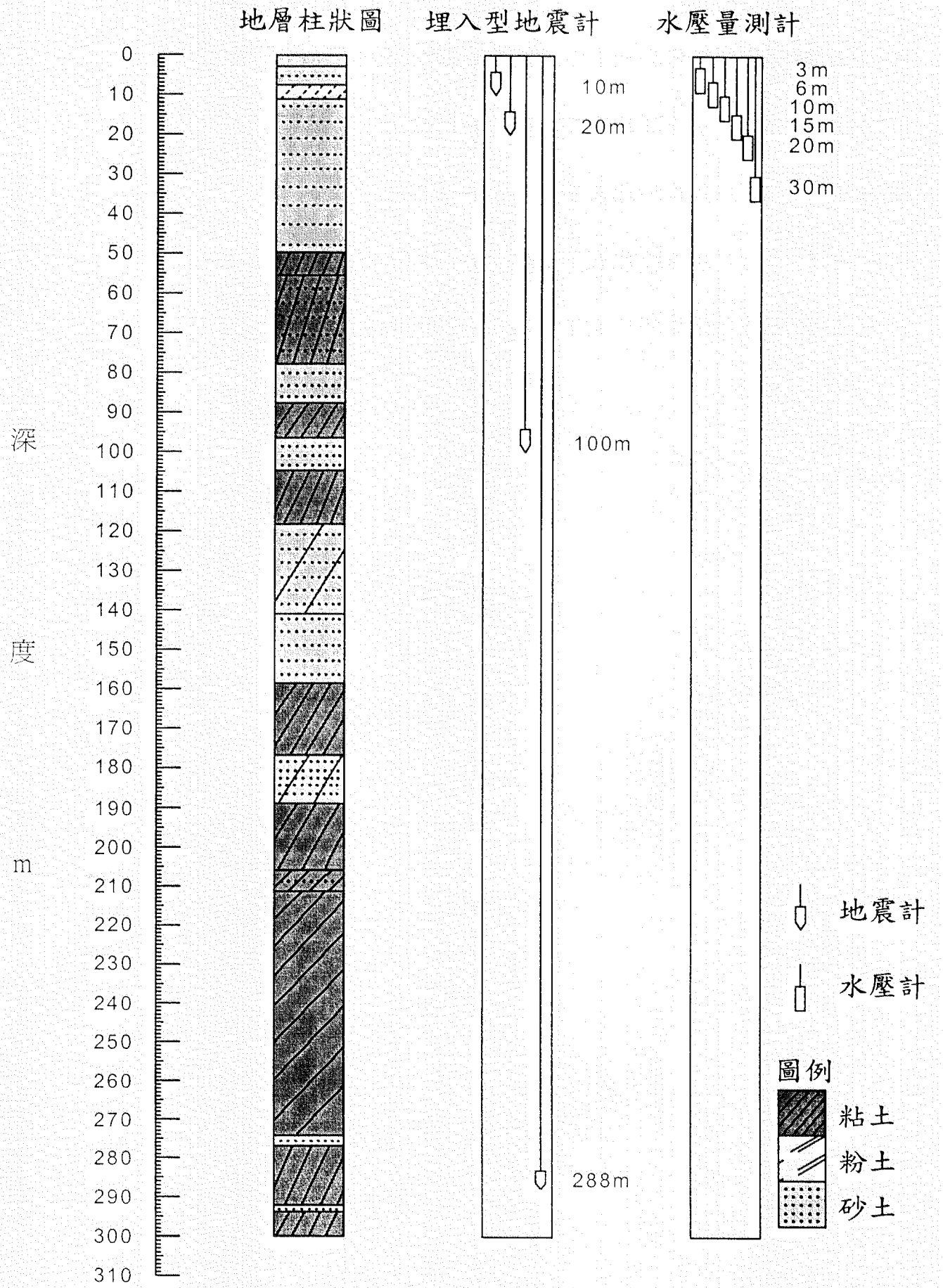


圖 3-18 安平港地震儀及動態孔隙水壓觀測站地層鑿井柱狀圖(300 公尺)

第四章、安平港區地震引致之沉陷分析

4.1 地震引致之下陷行為

台灣恰處於世界最大且最活躍之太平洋地震帶西環，每年大小地震頻繁，地震時基礎構造物之不穩定，常常造成結構物損壞或喪失其使用功能，因此在港灣基礎構造物之設計時，均須考慮地震之影響。由於基礎底面以下之土壤，在受到地震之動態作用力時，將使土壤產生體積壓縮，引致基腳沉陷，而往往又因土層分佈及特性之差異，使基礎產生可觀之差異沉陷，造成結構物損壞或喪失使用功能，故在地震區內，對差異沉陷較敏感及較重要之港灣基礎構造物，均應對其地震引致基礎土壤之沉陷問題加以重視。

茲就地震所引致之土壤液化與沈陷之相關性，地震引致土層之下陷行為等，分述如下：

4.1.1 液化與沈陷相關性之探討

現地土壤承受反覆荷重作用所產生的壓密和液化問題，對大地工程師而言是一項重要而值得研究的問題。

土壤液化後，在其孔隙水壓消散過程將使得土壤產生壓密現象，而使基礎構造產生超額之差異沈陷，致使結構物發生破壞或傾斜現象。一般設計者可能會較為注意淺層土壤之液化問題，其實較深層土壤液化時，雖不致直接影響基礎之支承力，但因超額孔隙水壓消散引致之沉陷，則可能影響結構物之安全，對於沉陷較為敏感及重要之結構物於設計時應作適度之考慮。

根據 Lee & Albaisa(1974)整理多位學者之研究及實地觀測資料，發現不論飽和或不飽和之砂土層在強震或人造反覆前應力作用時，均會產生沉陷現象；對於未發生液化之砂土層沉陷應變量均小於 1%，而發生液化後產

生之沉陷應變量將可達 2%至 5%，Ishihara et al.(1991,1996)亦提出抗液化安全係數與沉陷應變量之相關經驗圖如圖 4-1 所示。如圖 4-1 可明白液化程度與沉陷應變量之關係，或未液化情況（$F_\ell > 1.0$）之沉陷應變量。EERI(1986)提到在一些大地震中曾觀測得沉陷量達一公尺以上者，如 1906 年之舊金山及 1964 年之阿拉斯加大地震，而發生 5 公分至 30 公分之沈陷者則十分普遍。

而 1995 年 1 月 17 日之阪神大地震，造成神戶港區新生地(Port Island)液化後之沉陷，在無基礎構造物之廣闊地區平均液化後之沉陷為 50 公分，最大者為 90 公分如圖 4-2 之統計圖所示；但在港區沉箱式碼頭背填土液化及沉箱位移後砂土填補位移空間造成之沉陷高達 3-4 公尺，如照片 1-1、1-2 所示；Port Island 碼頭岸壁後 150 公尺以內，其基礎土壤液化造成地表之差異沉陷如圖 4-3 所示，由圖 4-3 顯示，沉陷量由岸壁向碼頭後線遞減。

4.1.2 地震引致之下陷行為

現地土壤受到地震之振動作用，產生沉陷的來源有四方面：(1)乾燥或飽和但能充分排水的砂土，因振動作用而有壓實的產生；(2)若砂土為飽和而且未能排水，則在振動作用期間所產生的殘留變形；(3)在振動停止後，超額孔隙水壓消散使砂土再壓密造成沉陷。(4)飽和粘土在承受反復剪力載重後，亦如飽和砂土一樣有再壓密現象，而發生長期沉陷。

1.壓實作用所造成的沉陷

Silver & Seed 1971 以反覆單剪儀器對乾燥砂土施以 0.01%至 0.5%之反覆剪應變，藉以探討乾砂因壓實作用而導致的體積應變。其結論認為體積改變量受垂直應力的影響並不顯著，而主要是與試體所受的剪應變振幅

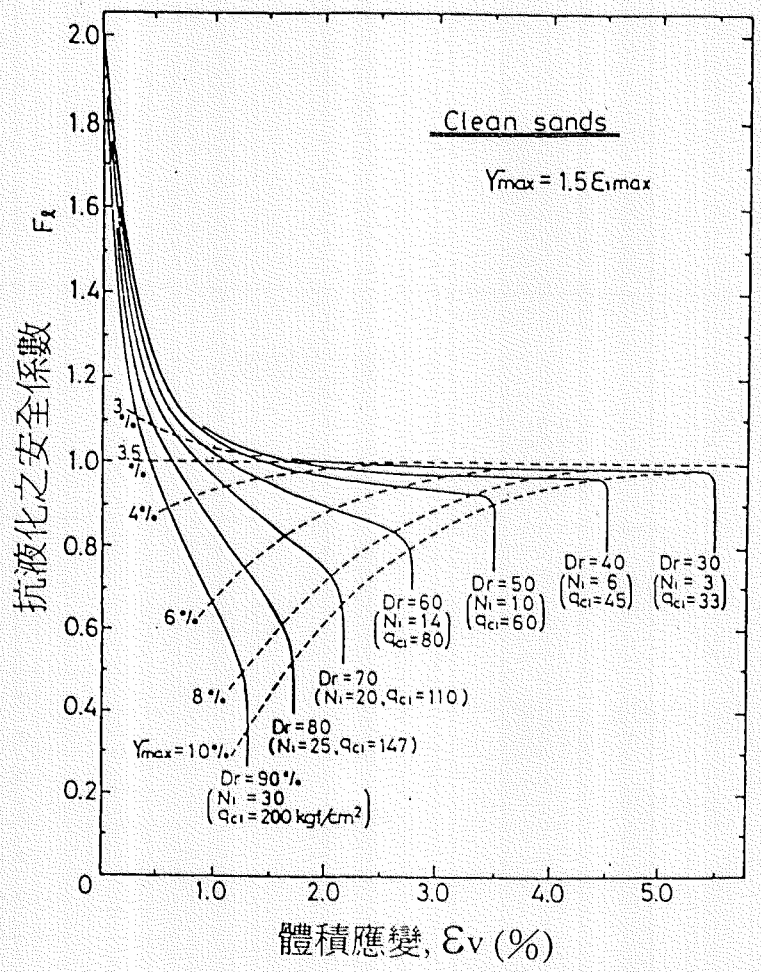


圖 4-1 體積應變與土壤抗液化安全係數之關係
(Ishihara et al. 1991, 1996)

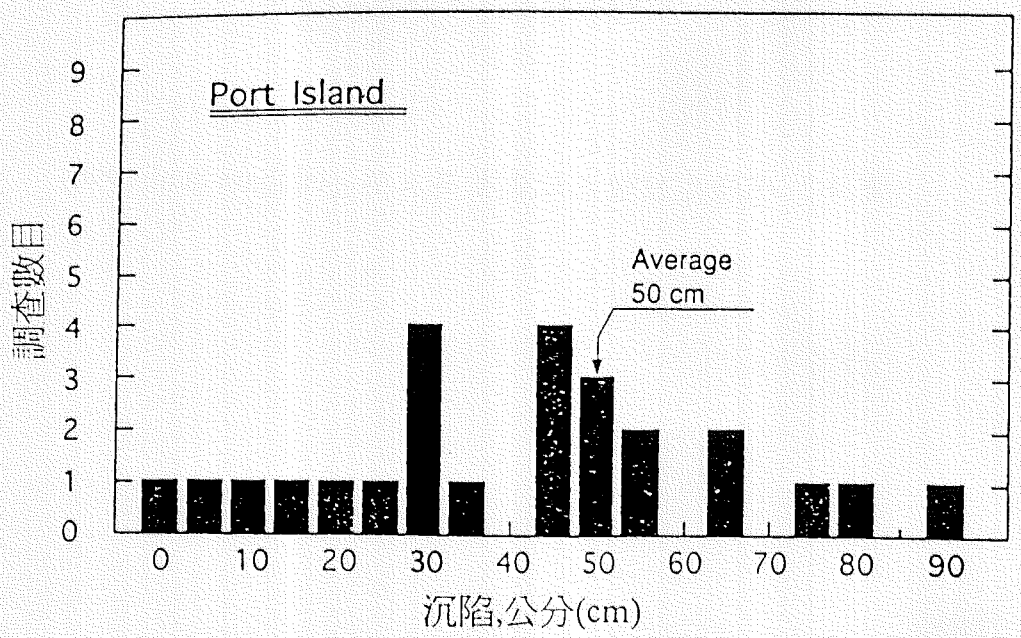


圖 4-2 日本 Port Island 液化後地表沉陷之統計圖
(Ishihara et al. 1996)

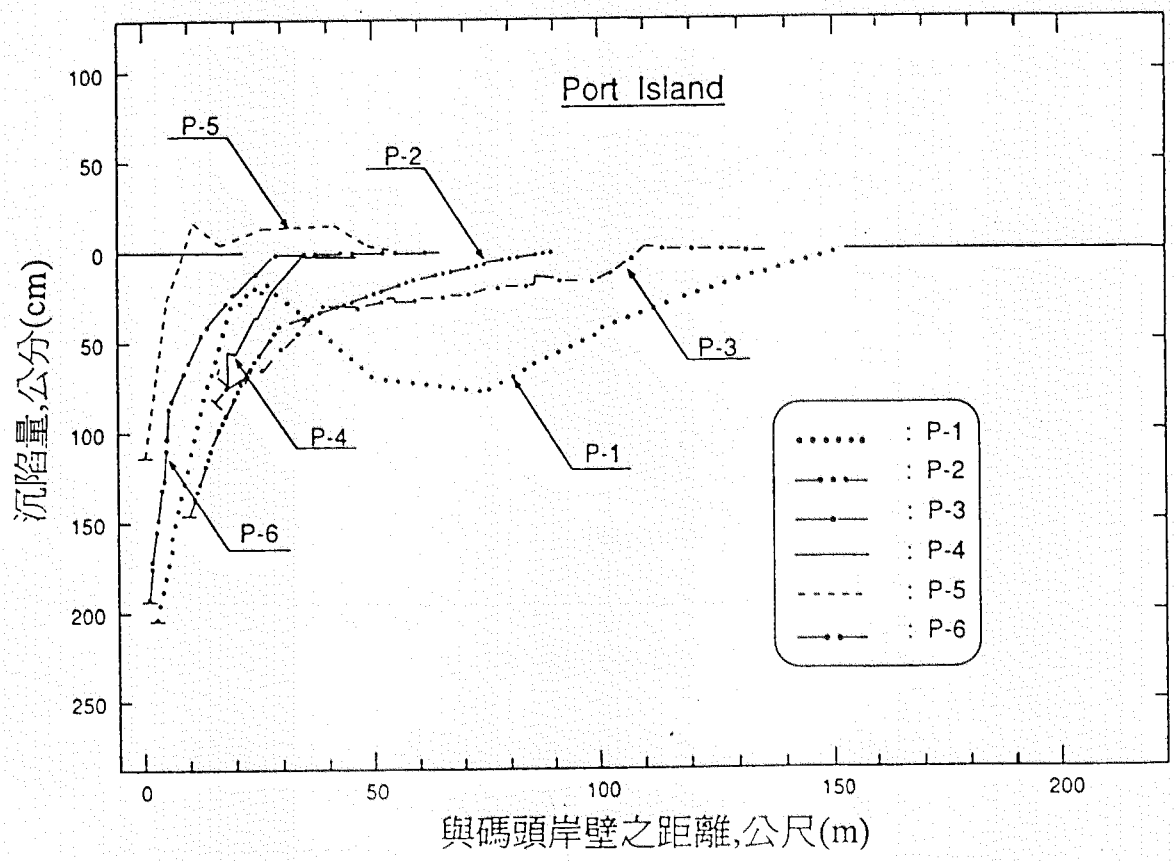


圖 4-3 碼頭岸壁後之地表差異沉陷 (Ishihara et al.1996)

有關。尤其是在剪應變大於 0.05%之後。反覆剪應變可使土壤顆粒移動至較緊密狀態，因而可將之當作決定體積應變的基本參數。同時亦發現當垂直應力增加，則達到某一壓實程度所需的反覆剪應力亦增加。

由 Silver & Seed 的結論乃是以單一方向受剪為依據，而在實際的地震力作用情況，土壤乃是受到多方向剪力的作用，因此 Pyke et al. (1975)以振動桌對乾砂施加多方向振動研究其沉陷行為。其結果發現，多方向水平聯合振動所造成的沉陷，大約等於單方向振動所造成沉陷之和。同時亦指出，若是垂直方向單獨作用的加速度小於 1g，則並不會引起沉陷。但是若垂直方向與水平方向同時作用，則將引起明顯增加的沉陷量。

Youd(1972)對飽和渥太華砂以單應儀器施以反覆剪應變，並使試體能充分排水。其結論亦認為剪應變是砂性土壤引起壓實作用的主要因素，同時反覆剪應變頻率範圍在 10 cycles/min 與 150 cycles/min 之間，對試體的壓實行為沒有明顯的影響。乾砂與飽和而完全排水砂的試體，亦沒有明顯的行為差異。Bhatia et al.用相同的材料與試驗設備，但施加不同的反覆剪應力及靜態剪應力，藉以探討靜態剪應力對反覆體積變化行為的影響。其試驗結果顯示：(A)累積剪應變和體積應變均會隨著反覆應力比和靜剪應力的增加而加大；(B)主要的體積應變發生於最先的 10 個振動週期內，超過 30 個振動週期後，由於緊密化或硬化的現象，產生的體積應變很小；(C)在第一個振動週期過後，體積應變的大小與所施加的靜剪應力大小無關；(D)在任一靜剪應力比下，累積體積應變和剪應變間存在有線性關係。

2. 殘留壓縮應變所造成的沉陷

非均向壓密的試體在受到反覆振動作用期間所產生的不排水殘留變形，亦是造成沉陷的原因之一。Chang 認為殘留變形量的大小受初始應力狀態、反覆荷重所產生的超額孔隙水壓、及土壤性質所影響。並且從“殘

留變形量主要是在反覆軸差應力作用下有效圍壓之降低所引起”的假設中，提出一含有五個參數的半經驗模式加以預測：

$$\frac{\Delta\varepsilon_1}{\Delta_u}=\frac{R_f\left[\frac{\sigma'_d}{\sigma'_{ult}-\sigma'_d}\right]^2\left[\frac{2\sin\phi'}{1-\sin\phi'}\right]}{Kp_a\left[\frac{\sigma'_3}{p_a}\right]^n}+\frac{n\left[\frac{\sigma'_d}{\sigma'_{ult}-\sigma'_d}\right]\left[\frac{\sigma'_{ult}}{\sigma'_a}\right]}{Kp_a\left[\frac{\sigma'_3}{p_a}\right]^n} \qquad (4\text{-}1)$$

上式中 K，n，Rf 為土壤參數，φ'為內摩擦角，p_a為大氣壓力。

3. 砂土再壓密作用所造成的沉陷

Lee 和 Albaisa 1974 以均向壓密動力三軸試驗研究水平地表下砂土受到反覆荷重後由於超額孔隙水壓消散所導致的沉陷。其結論指出，在尚未液化的情況，再壓密之體積應變量將隨著下列各項因素而增加：土壤顆粒尺寸的增加、相對密度的減小、和超額孔隙水壓力的增加。體積應變幾乎是與孔隙水壓的產生方式無關，且通常小於 1%。

Yoshimi 和 Tokimatsu(1975) 將實際的結構模型置於飽和砂土上，以振動桌試驗研究結構物附近的砂土，其孔隙水壓發展情形及影響沉陷的因素。其結論指出：(1)在模型結構物正中心下方所產生的超額孔隙水壓較其他地方為小；(2)當結構物的重量增加，則其正下方的超額孔隙水壓比將降低；(3)當結構物底下的孔隙水壓達到一臨界值，其沉陷量將較顯著增加；和(4)結構物的寬度增加，則會降低沈陷量。

4. 粘土層再壓密所造成的沉陷

Ohara & Matsuda(1988)亦發現，飽和粘土在承受反復剪力載重後，亦如飽和砂土一樣有再壓密現象，產生可觀之長期沉陷。Ohara & Matsuda (1988) 提出一個計算粘土層受震後之壓密沉陷量：

$$\varepsilon_v = \frac{Cdyn}{1+e_o} \times \log\left(\frac{1}{1-Udyn/\sigma'_{vo}}\right) \tag{4-2}$$

式中，ε_v為粘土沉陷應變量，e_o為粘土初始孔隙比，Cdyn 為反復荷重引致壓縮之指數，其介於壓縮指數 C_c與回脹指數 C_s之間，即 $C_s < Cdyn < C_c$，由 Ohara & Matsuda(1988)之個案研究 Cdyn≒1/3C_c；Udyn／σ'_{vo}為正規化之動態孔隙水壓比，其與地震作用力及土壤性質相關。圖 4-4 為墨西哥市一座落於粘土層上之大型建築物於 1957 年大地震後產生大量長期之沉陷觀測結果（Zeevaevt,1973）。

地震力引致之沉陷對於較為深厚且疏鬆之沖積土層，尤其是抗液化安全係數小於 1.6 之土層(Tokimatsu & Seed, 1987)，應對此項沉陷之影響作審慎之考慮。對於此項沉陷之研究，一般均如同液化潛能分析一樣，將其邊界條件簡化為水平地盤且無結構物荷重影響之情況，而於此情況下，土體將呈現單向度壓縮行為，亦即其垂直應變量等於其體應變量。

目前對土層沉陷之評估方法基本上與液化潛能評估法類似可歸為兩種：(1)相關經驗法，即根據現地土層在過去地震作用下之沉陷行為反應與現地進行調查資料（如 SPT-N 值，CPT-q_c值等）之關係，(2)試驗分析法，係採取現地土樣於實驗室中進行動力試驗（如動力三軸試驗、動力單剪試驗或震動桌試驗）以瞭解土壤之體積壓縮行為。在相關經驗法中 Tokimatsu & Seed (1987)曾綜合許多飽和砂土之試驗結果，建議一反覆剪應力比(τav／σ'o)，N 值及體積應變之關係，如圖 4-5 所示；而圖 4-6 則為 Soydemir & Le Count(1984)推估之美國麻州(Masachusetts)地區 N 值與沉陷之關係；圖 4-1 為 Ishihara et al.(1991,1996)建議之 N 值、q_c值、抗液化安全係數及體積應變之經驗關係，以上均可作為沉陷推估之參考。

本文以 Tokimatsu & Seed(1987)所建議之體積應變與反復剪應力比及 N

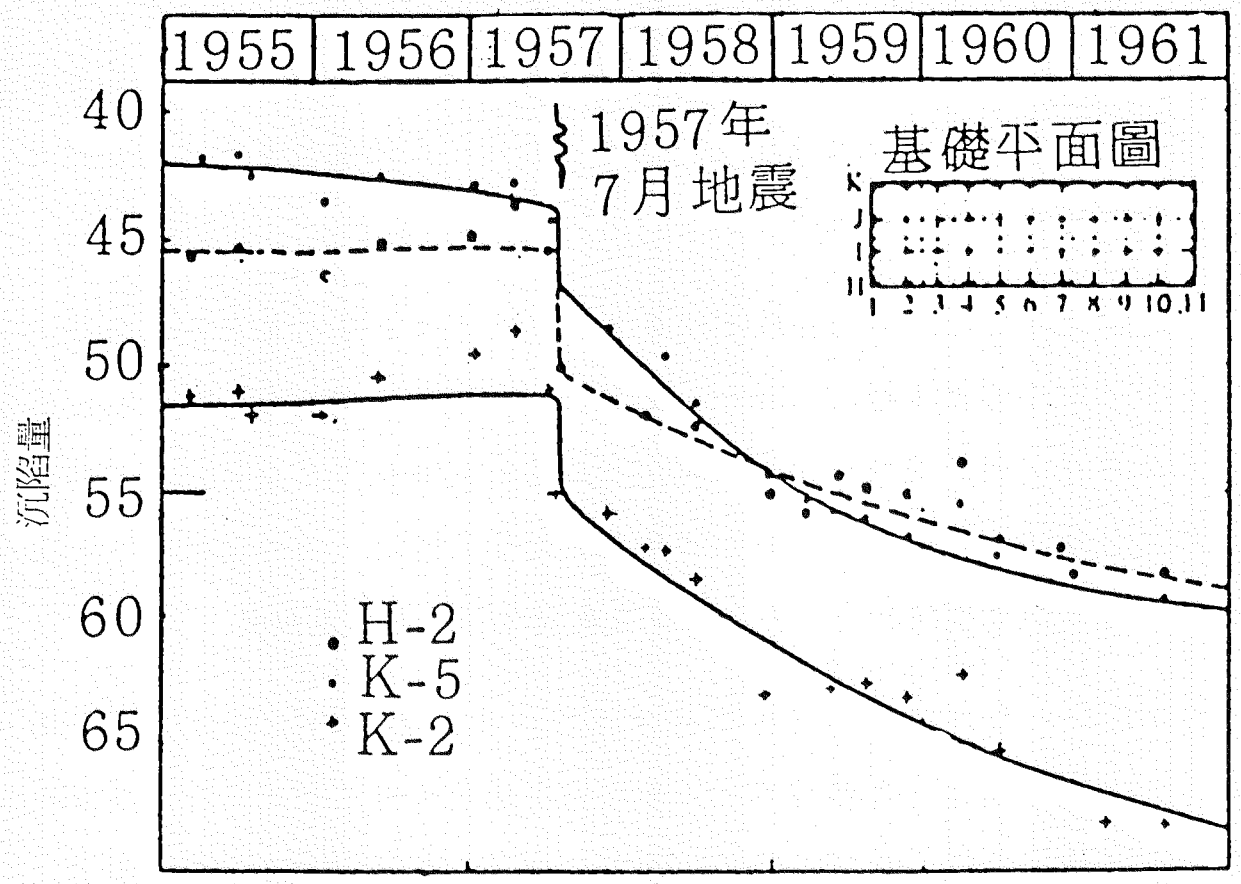


圖 4-4 地震引致粘土層之長期沉陷 (Zeevaert, 1973)

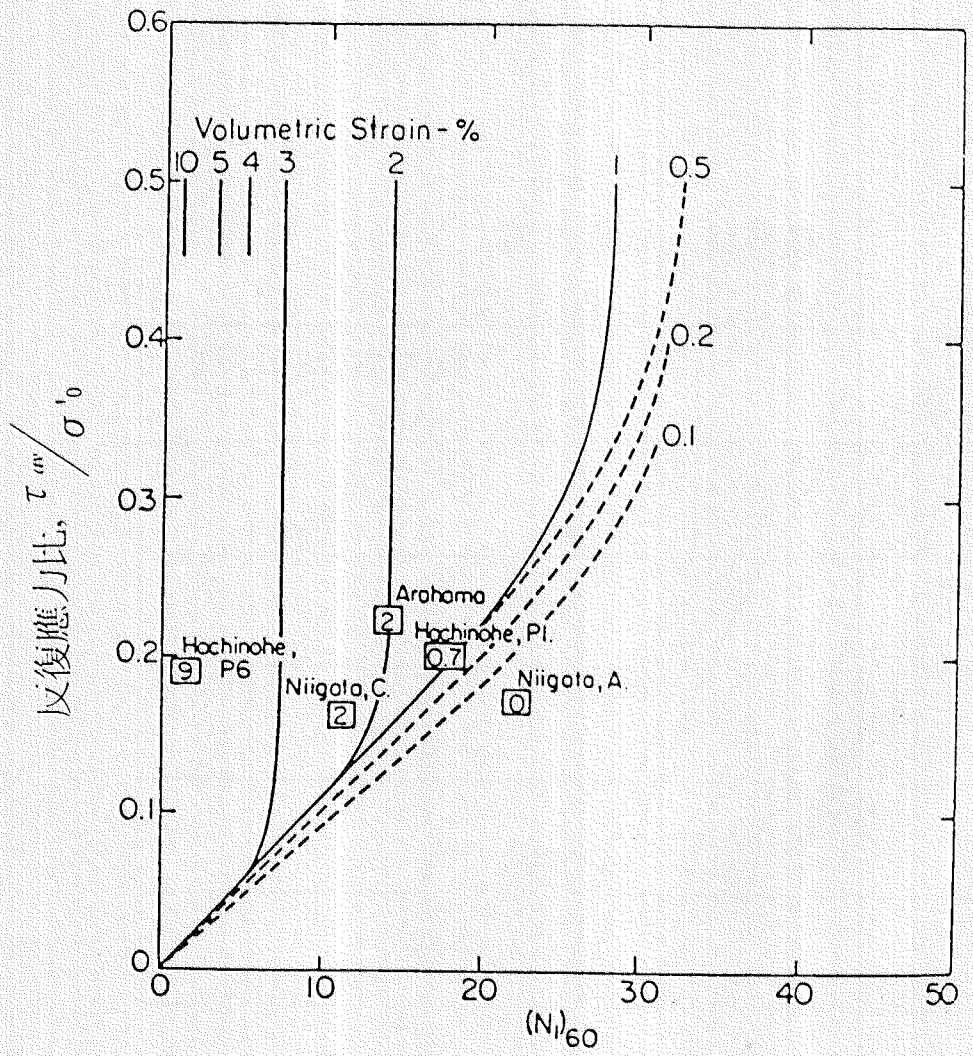


圖 4-5 體積應變與反復應力比及 N 值之關係
(Tokimatsu & Seed,1987)

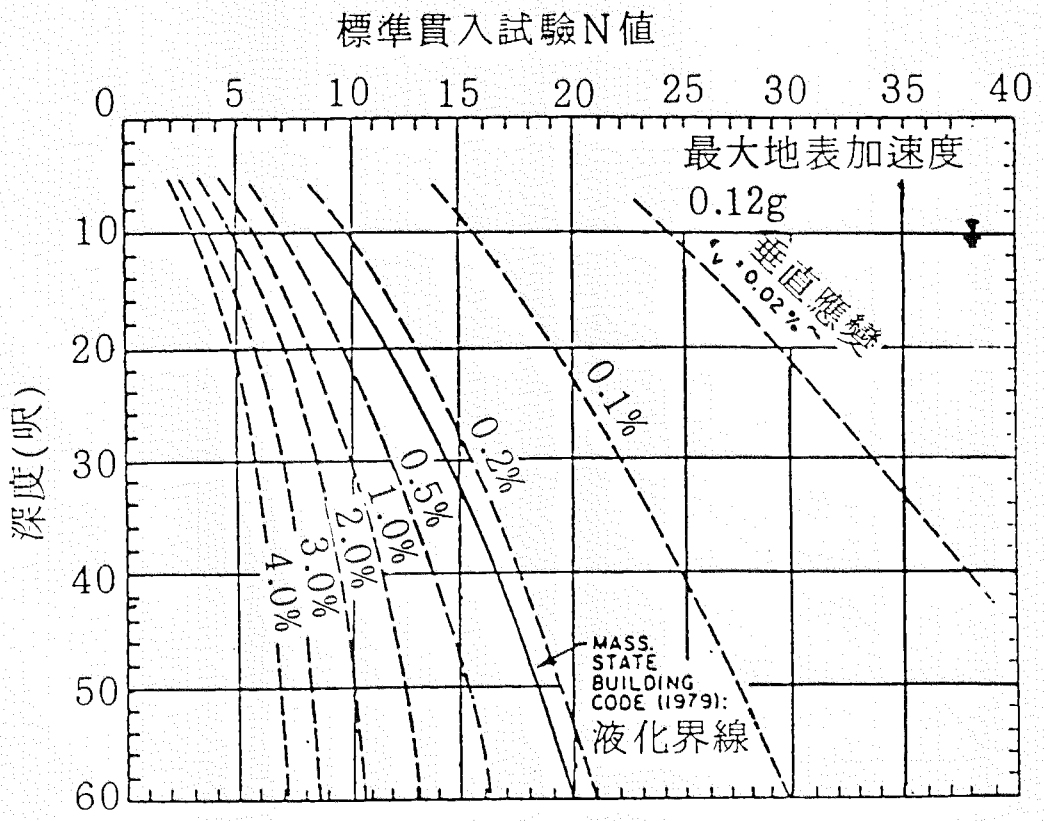


圖 4-6 美國麻州地區地震引致砂土層垂直應變關係圖

(Soydemir & Le Count ,1984)

值之相關經驗圖，如圖 4-5 所示及 Ishihara et al. (1991,1996) 建議之 N 值、抗液化安全係數及體積應變之相關經驗圖，如圖 4-1 所示，為沉陷分析依據。茲分別對安平港區之地震力分析、SPT-N 值評估地震引致沉陷之方法、及安平港區地震引致沉陷分析之結果，分述如下：

4.2 安平港區之地震力分析

4.2.1 安平港附近之活性斷層

安平港附近最具影響之地震斷層為新化斷層，其與安平港之距離約僅 25km。新化斷層於 1946 年 12 月 5 日發生 M 為 6.3 之破壞性地震，震央在北緯 23.1°，東經 120.4°，其震源深度經判斷約在 3km 處，且斷層長約 12km，走向為 ENE-WSW，從新化至永康附近。

4.2.2 安平港設計地震強度之選擇

依據以往之地震紀錄，考慮震源之線性模式與衰減率，推測安平港工址之可能發生最大地震(maximun credible eathquake MCE)。根據下列最大地表加速度衰減率公式，可以推估安平港地區可能遭受新化斷層之最大地表加速度 a_{max}。

Kanai 公式：

$$a_{max} = 1.192e^{0.735M}(R+34)^{-1.743} \quad \text{.....(4-3)}$$

Joyner & Boore 公式：

$$\log_{10}(a_{max}) = -1.352 + 0.2875M - \log_{10}\sqrt{R^2+14^2} \quad \text{.....(4-4)}$$

Campbell 公式：

$$a_{max} = 0.009e^{1.024M}(R+0.04e^{0.94M})^{-1.074} \quad \text{.....(4-5)}$$

Japan Rock Site 公式：

$$\log_{10}(0.981a_{max}) = (\frac{R+75}{100})(-4.92+1.018M-0.06M^2) \quad \text{.....(4-6)}$$

芋聲燾公式：

$$a_{max} = 0.3725e^{0.876M}(R^2+400)^{-0.918} \quad \text{.....(4-7)}$$

上式中，a_{max}=最大地表加速度，單位為 g。

M=地震規模。

R=震源至當地距離，單位為公里。

上述衰減公式(4-3)~(4-6)，係羅俊雄(1990)根據 Kanai、Joyner & Boore、Campbell、Japan Rock Site 所建議之基本型式，再根據 1973 年後台灣地震網(TTSN)已建立，且震源位置測定較精密，所收集之地震資料，求得較合適之係數，而式(4-7)為芋聲燾以 1935 年台中、新竹等五次台灣大地震資料所建立之加速度衰減公式。

本文採用上述衰減公式，求得 M=5.5，6.3，7.0，7.5 等地震規模下之各地表加速度 a_{max}，分別如表 4-1 所示。唯根據 921 集集大地震之地表加速度 a_{max} 記錄資料顯示，沖積土層之地震力皆有放大效應，其加速度 a_{max} 值大部份皆較衰減公式所推估者為高。

表 4-1 安平港各種地震規模之最大地表加速度

模　式	衰減公式	M=5.5 (g)	M=6.3 (g)	M=7.0 (g)	M=7.5 (g)
Kanai	$a_{max}=1.192e^{0.735M}(R+34)^{-1.743}$	0.056	0.100	0.160	0.242
Joyner & Boore	$\log_{10}(a_{max})=-1.352+0.2875M-\log_{10}\sqrt{R^2+14^2}$	0.059	0.100	0.162	0.222
Campbell	$a_{max}=0.009e^{1.024M}(R+0.04e^{0.94M})^{-1.074}$	0.061	0.110	0.163	0.200
Japan Rock Site	$\log_{10}(0.981a_{max})=(\frac{R+75}{100})(-4.92+1.018M-0.06M^2)$	0.075	0.130	0.192	0.223
芋聲燾	$a_{max}=0.3725e^{0.876M}(R^2+400)^{-0.918}$	0.079	0.160	0.295	0.478
平　均　值		0.066	0.120	0.200	0.270

4.3 SPT-N 值評估震陷潛能之方法

本文以 Tokimatsu & Seed(1987)所建議之圖 4-5 體積應變與反復剪應力比及 N 值之相關經驗圖為沉陷分析依據。其分析步驟如下：

1.計算地震引致之反復應力比

地震引致土層的作用強度參數，以無因次之反復應力比 τ_{av}/σ'_o 表示，根據 Seed et al.(1985)方法，反復應力比為飽和砂土層因地震作用引起的平均剪應力 τ，與砂土之有效覆土壓力 σ'_o 之比值，以 SR 表示，其計算式如下所示：

$$SR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_o} = 0.65 \bullet \frac{r_d}{r_m} \bullet \frac{a_{\max}}{g} \bullet \frac{\sigma_o}{\sigma'_o} \qquad (4\text{-}8)$$

其中，

τ_{av}：地震引致土層之平均剪應力，kg／cm ^{2}。

a_{max}：地表最大水平加速度，m／sec^2。

g：重力加速度，m／sec^2。

σ_o：最初垂直覆土壓力，kg／cm ^{2}。

σ'_o：有效覆土壓力，kg／cm ^{2}。

R_d：應力折減因數。

R_m：地震規模影響因素。

2.修正 SPT-N 值至有效覆土壓力 1kg/cm^2 及落錘能量為 60%

土壤抗剪力強度參數以 SPT-N 值表示，不過由於 SPT-N 值，在鑽探時，易受有效應力之影響。因此以現場資料和 SPT-N 值評估土壤液化及沉陷之前，均需將 N 值加以修正，以求得抗剪力強度之相關經驗式，本文以 Liao et al.(1986)方法修正如下表示：

$$N_1 = C_n \bullet N = \sqrt{1/\sigma'_o} \bullet N \qquad (4\text{-}9a)$$

其中，

N_1：修正至有效覆土壓力為 1 kg／cm ^{2} 之正規化貫入 N 值。

C_n：有效覆土壓力之修正係數。

N：標準貫入試驗值。

σ'_o：有效覆土壓力，kg／cm ^{2}。

由於目前世界各國之標準貫入試驗並無統一規範，所得 SPT-N 得值實際上是使用不同擊錘，以不同效率和不同施放能量系統，不同鑽孔穩定液和不同取樣器所量測而得。因此為了使評估土壤抗剪力強度所需之標準貫入值能夠一致，Seed et al.(1985)建議使用一個新的標準化參數$(N_1)_{60}$值，其為進行標準貫入試驗時，施加於鑽桿之能量，為理論自由落錘能量之 60%所量測的貫入值，根據此提議，$(N_1)_{60}$值應為：

$$(N_1)_{60} = N_m \bullet N_1 = N_m \bullet C_n \bullet N \qquad (4\text{-}9b)$$

其中，

$(N_1)_{60}$：修正至落錘能量為 60%之正規化貫入值。

N_m：落錘能量之修正係數。

3.計算體積應變量 ε_v

由(1)、(2)步驟所得之反覆應力比(SR)，及修正之$(N_1)_{60}$，利用圖 4-5，Tokimatsu & Seed(1987)所建議之體積應變與反復應力比及$(N_1)_{60}$之關係圖，計算各深度之體積應變量 ε_v 值。

4.重覆步驟(1)～(3)計算每一點 i 之 ε_v 值，再以下列公式將每一點 i 的沉陷量加以累計計算總沉陷量 S_d

$$S_d = \sum_{i=1}^{N} \varepsilon_{v,i} \bullet \Delta h_i \qquad (4\text{-}10)$$

4.4 安平港區震陷潛能分析結果

安平港位於台灣西部地震帶，大小地震頻仍，1946 年港區附近之新化斷層，曾發生一次規模達 6.3 級之破壞性地震，造成嚴重災害。港區地質屬於河川沖積層，為一深厚之沈泥質細砂（SM）與薄層不良級配細砂（SP）或細砂質粉土（ML）相間之沉積土層，新開發之海埔新生地亦多為細砂與粉土質細砂所組成，在強烈地震地用下，沖積土層與海埔新生地極易發生液化及沉陷而造成碼頭、防波堤等港灣工程破壞，因此對於港區土層液化及沉陷之分析，甚屬需要。

本文以 SPT–N 值評估地震引致沉陷之分析方法，分析安平港區各種地震規模引致沉陷之區域沉陷圖，分別說明如下：

4.4.1 SPT 評估方法之分析結果

本文搜集安平港區現有鑽探資料106孔，共約1300筆N值資料，其相關位置如圖4-7所示，分別以各種設計地震規模M及其可能發生之地表最大加速度Amax，利用Tokimatsu & Seed(1987)所建議之體積應變與反復剪應力比及N值之相關經驗圖，再以本文4-2評估步驟，分析各孔20m內之沉陷量。

本文分析各種地震規模引致安平港區之區域沉陷圖，是以平均地下水位為-1.5m為分析依據，其分析結果分別如圖4-8至圖4-11所示，其中圖4-9，是以1946年安平港區附近之新化斷層，曾發生一次地震規模6.3之破壞性地震，於安平港地表最大加速度約為0.12g，其所引致之沉陷等值圖，其引致港區之最大沉陷量為20公分，平均沉陷量為6.6公分。其餘各種地震規模引致安平港區之區域沉陷，如下所示：M＝5.5，Amax＝0.066g時，其引致港區之最大沉陷量為12公分，平均沉陷量為4.8公分；M＝7.0，Amax＝0.2g時，其引致最大沉陷量為45公分，平均沉陷量為13公分；M＝7.5，Amax

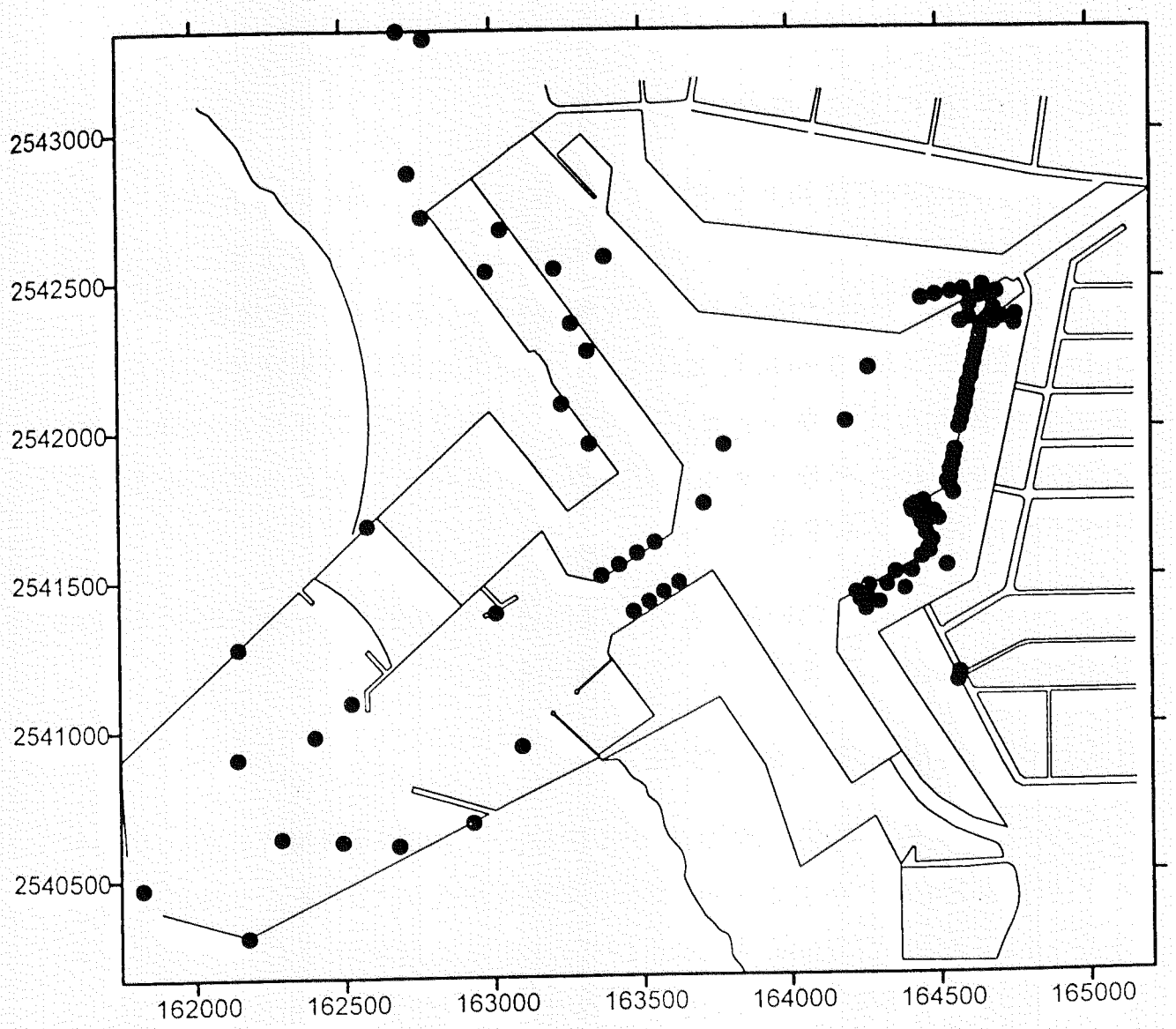


圖 4-7 安平港 114 孔 SPT 鑽探資料之相關位置圖

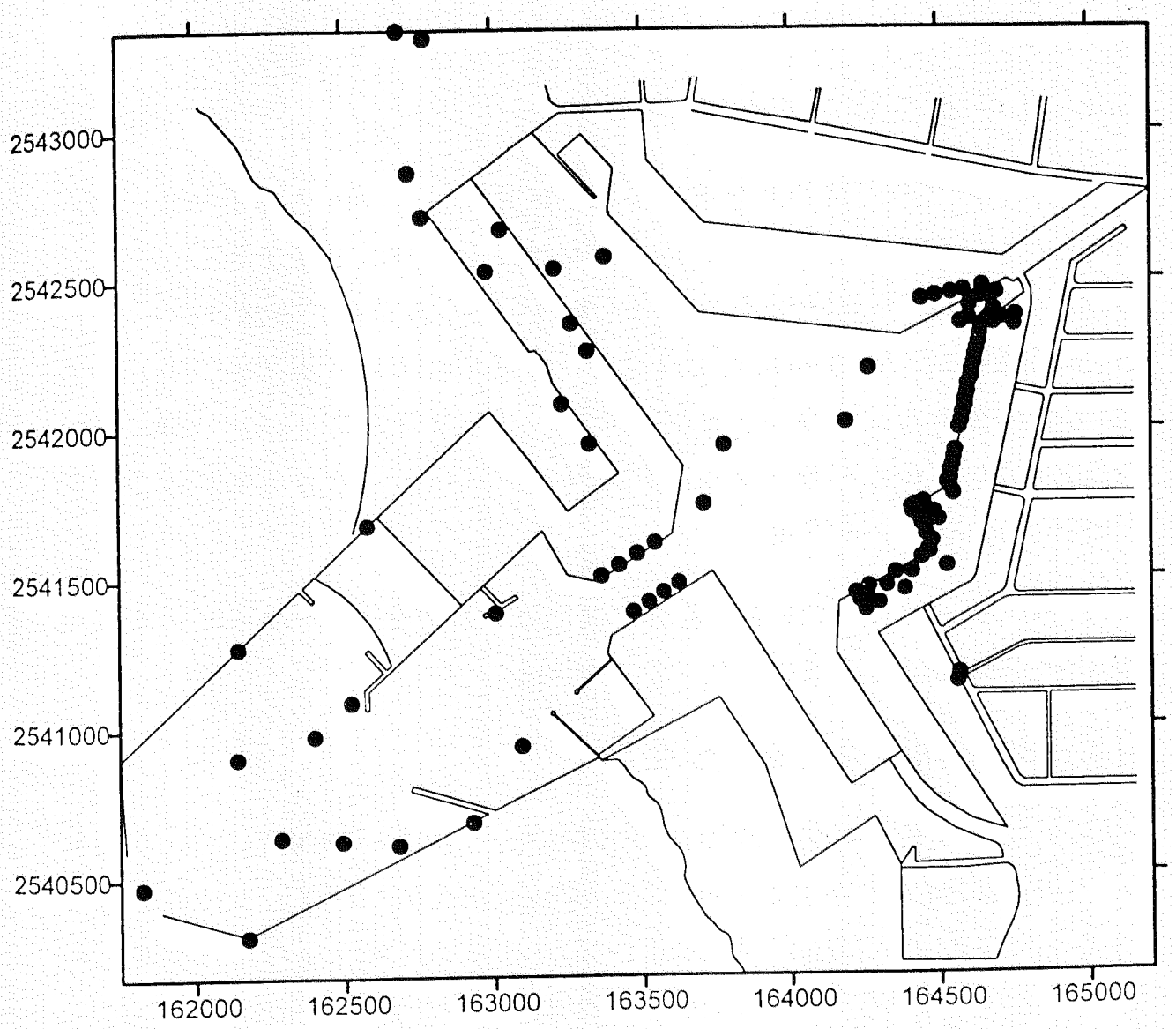


圖 4-7 安平港 114 孔 SPT 鑽探資料之相關位置圖

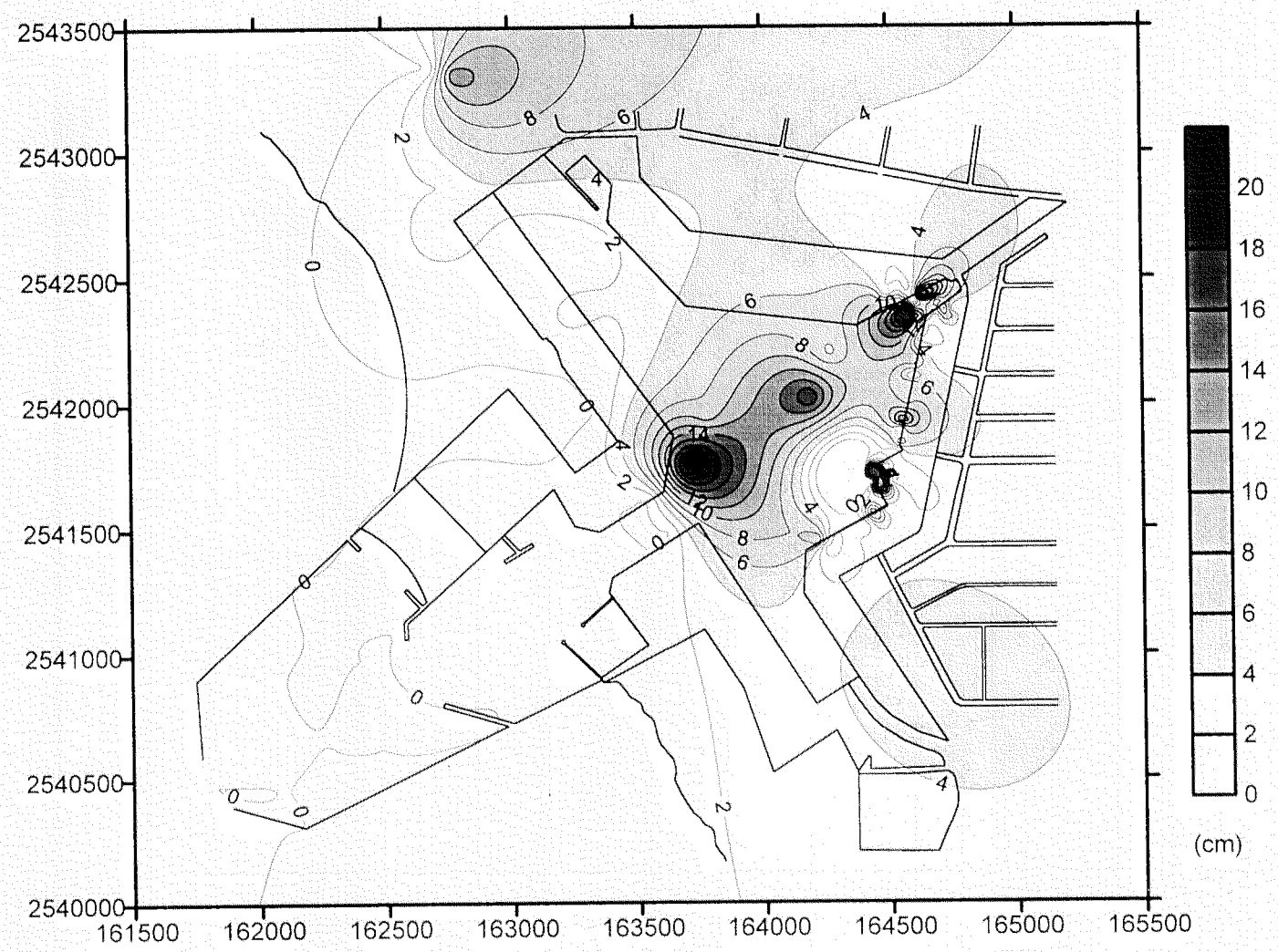


圖 4-9 安平港 SPT 方法評估地震引致沉陷之等值色階圖(M=6.3,Amax=0.12g)

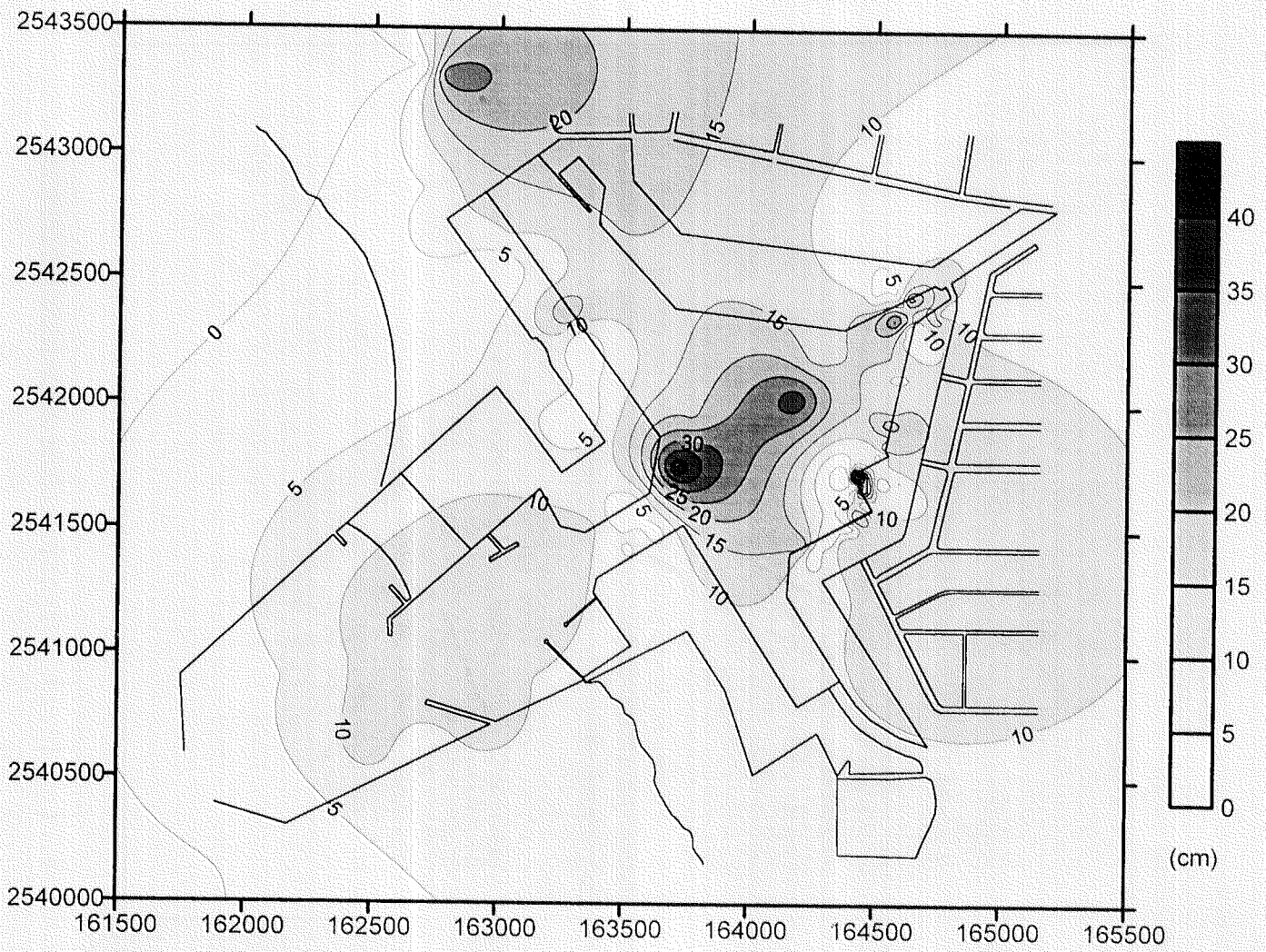


圖 4-10 安平港 SPT 方法評估地震引致沉陷之等值色階圖(M=7.0,Amax=0.20g)

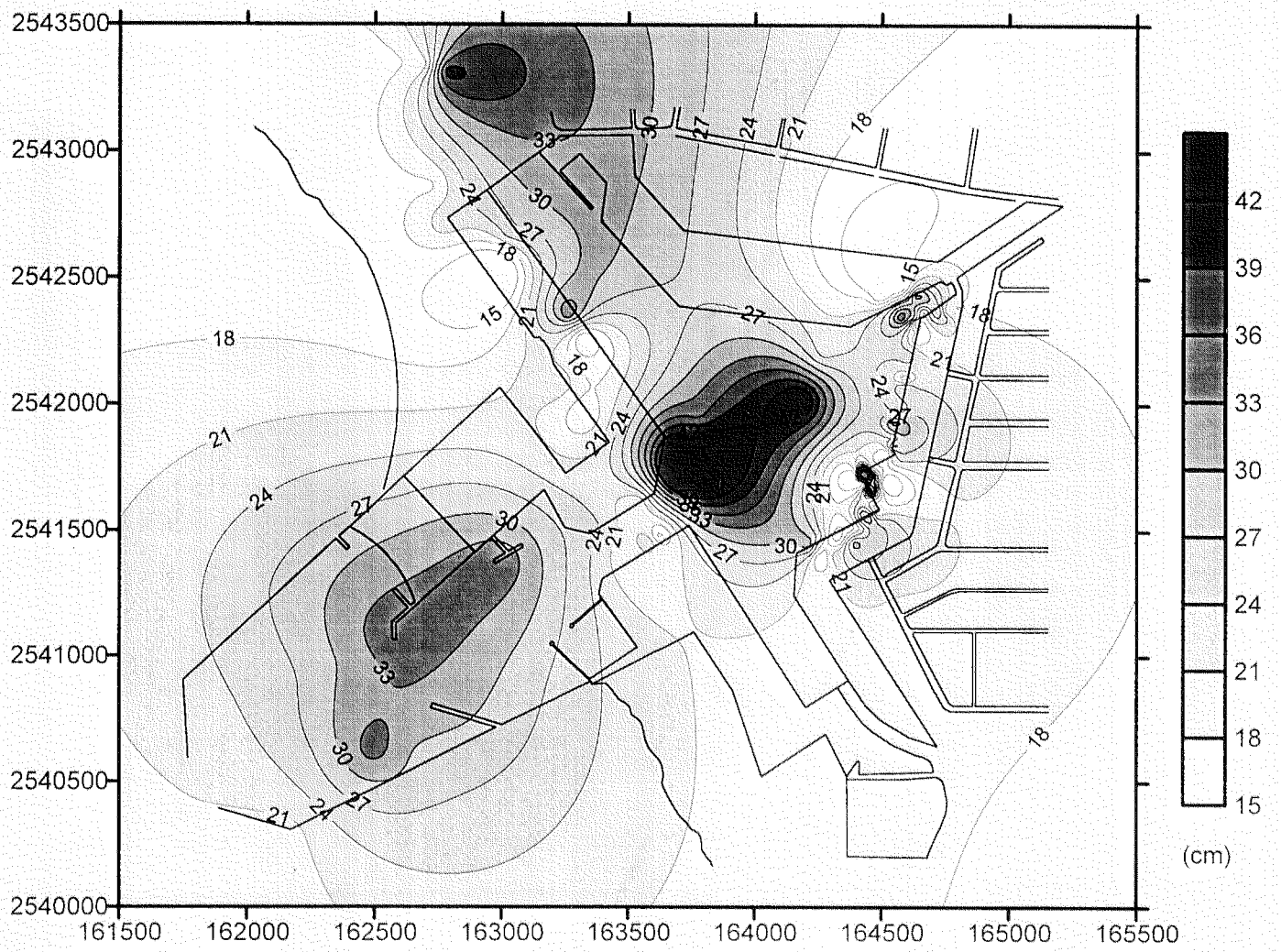


圖 4-11 安平港 SPT 方法評估地震引致沉陷之等值色階圖(M=7.5,Amax=0.27g)

＝0.27g時，其引致最大沉陷量為55公分，平均沉陷量為26公分。

圖4-12，是以1995年日本阪神烈震M＝7.2，其於神戶港區之最大地表加速度Amax＝0.55g為安平港之設計地震，該次地震造成神戶港80％的碼頭全壞及半壞，其150座公用碼頭中，僅有3座耐震碼頭未受到災害，使整個神戶港遭受到毀滅性之打擊，若如此災害性之地震於安平港發生，則其可能引致港區之沉陷等值圖，由圖4-12顯示，最大沉陷量為85公分，平均之沉陷量為57公分，此沉陷分析結果與神戶港之沉陷災害調查結果相當。

若考慮地震在安平港區沖積土層之放大效應為1.3倍,則各種地震規模引致安平港區之區域沉陷，分別如圖4-13至圖4-15所示：M＝5.8，Amax＝0.1g時，其引致港區之最大沉陷量為24公分，平均沉陷量為6.1公分；M＝6.3，Amax＝0.16g時，其引致港區之最大沉陷量為32公分，平均沉陷量為8.6公分；M＝7.0，Amax＝0.25g時，其引致最大沉陷量為55公分，平均沉陷量為20.56公分。

以上2種方法經921地震台中港之震陷分析與現地災害比較結果,筆者初步認為以2種方法皆算合理。

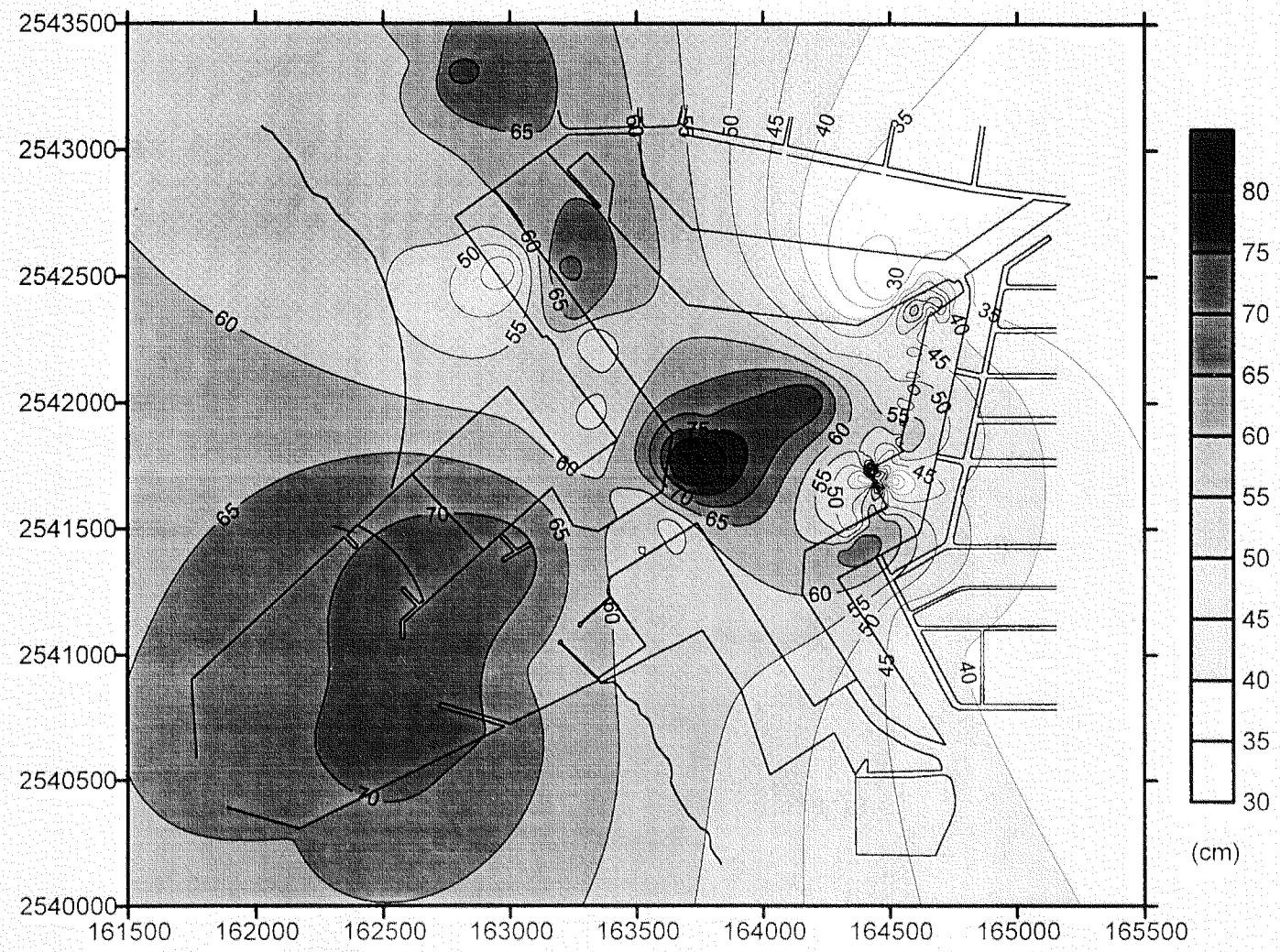


圖 4-12 安平港 SPT 方法評估地震引致沉陷之等值色階圖(M=7.2,Amax=0.55g)

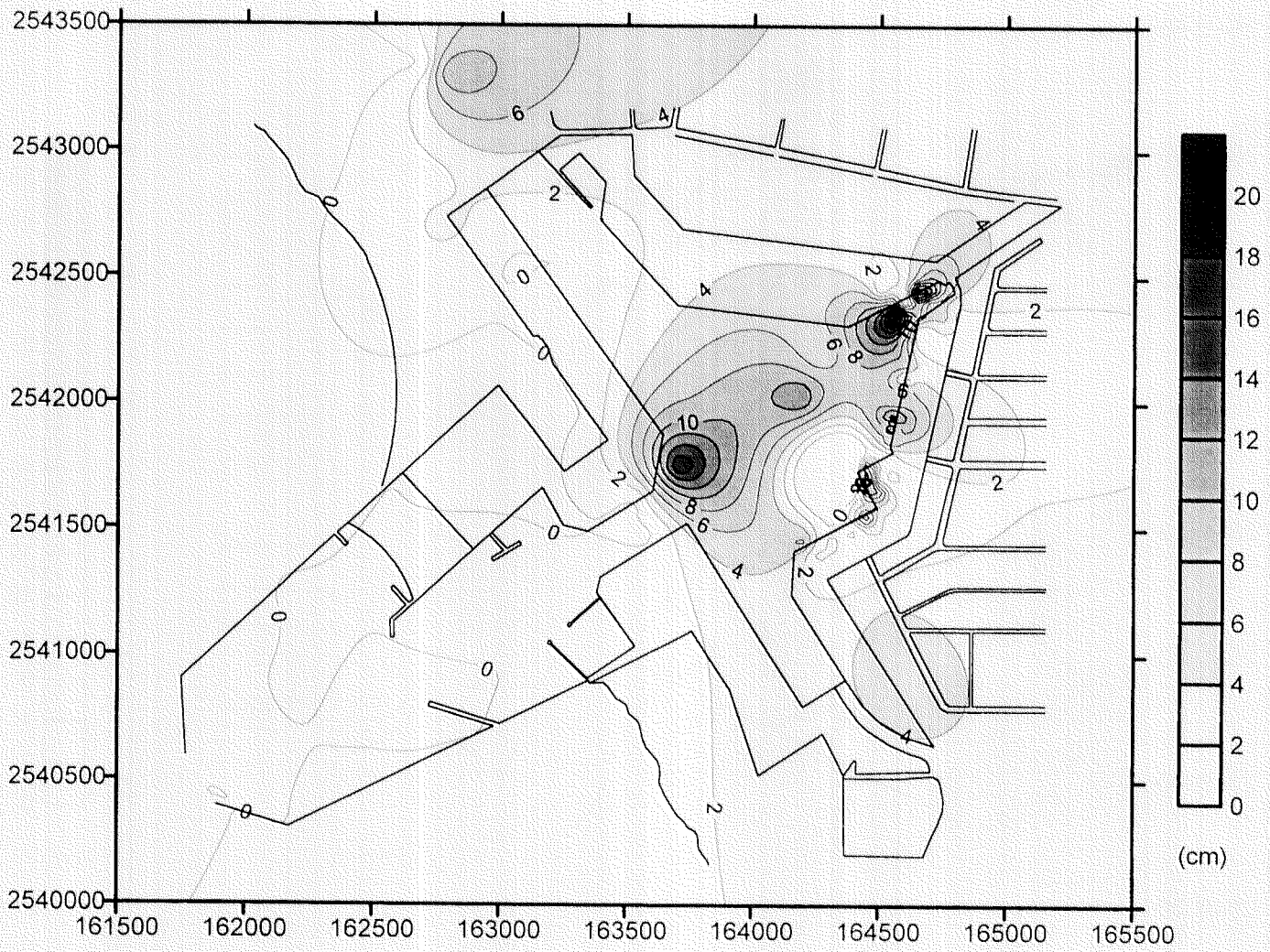


圖 4-13 安平港 SPT 方法評估地震引致沉陷之等值色階圖(M=5.8,Amax=0.1g)

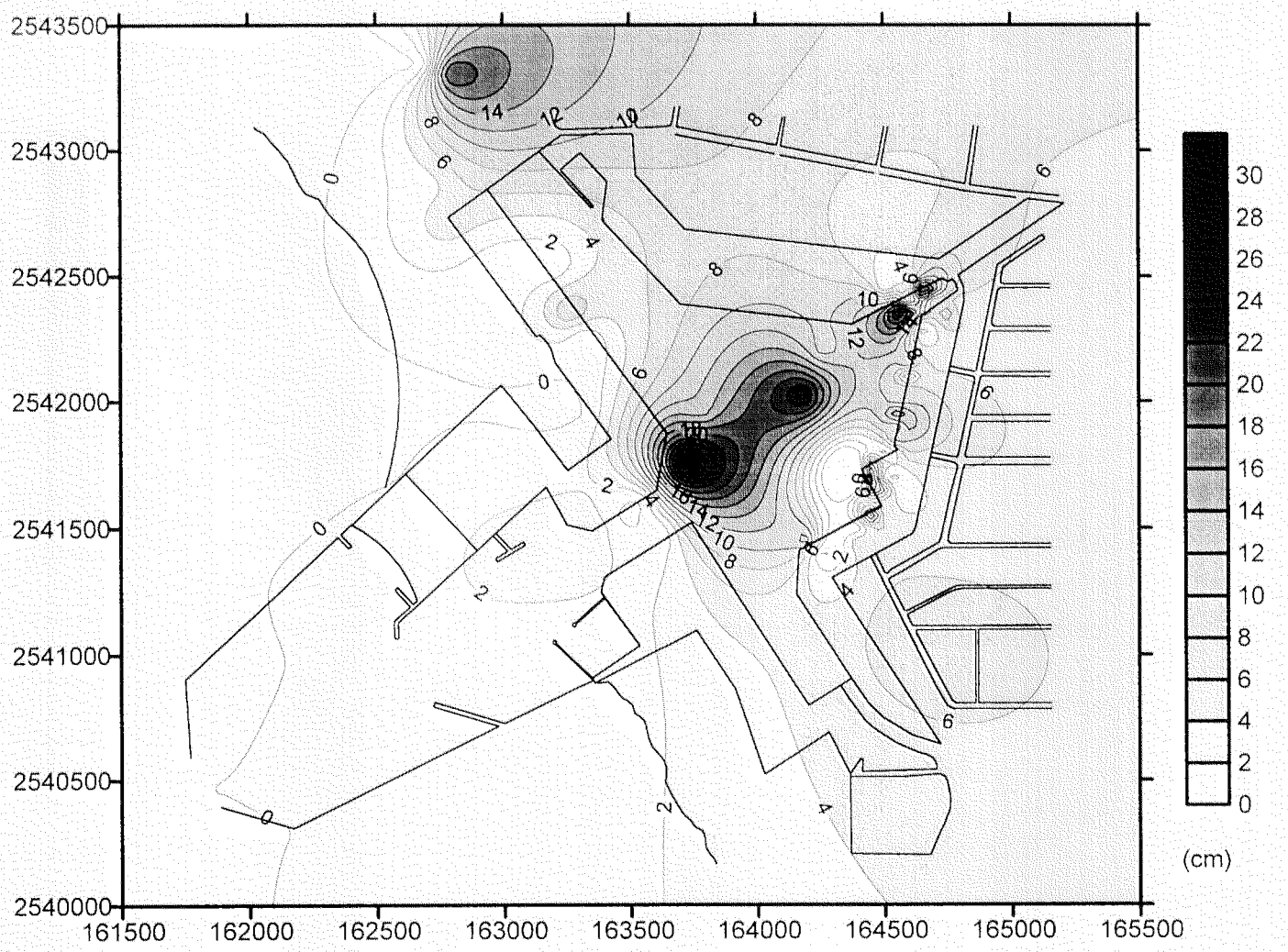


圖 4-14 安平港 SPT 方法評估地震引致沉陷之等值色階圖(1946 年新化斷層引致安平港區之震度 M=6.3,Amax=0.16g)

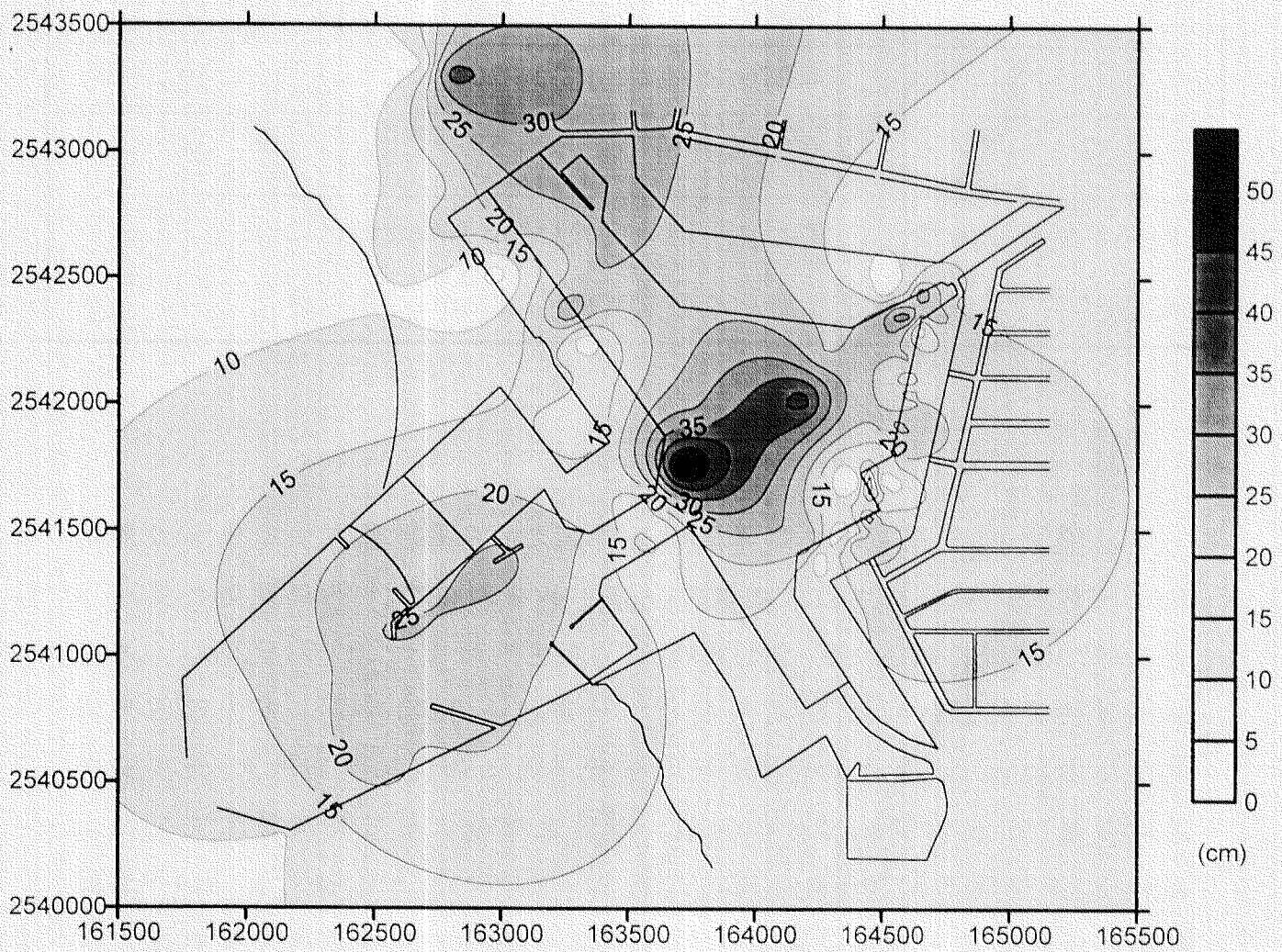


圖 4-15 安平港 SPT 方法評估地震引致沉陷之等值色階圖(M=7.0,Amax=0.25g)

表4-2　安平港區各種設計地震引致土層之平均沉陷量

地震規模 (M)	地表最大加速度 (Amax)	SPT評估方法 (Tokimatsu & Seed,1987) 平均沉陷(cm)	SPT評估方法 (Lai,1990 + Ishihara,1996) 平均沉陷(cm)
5.5	0.066	4.8	0.6
6.3	0.120	6.6	4
7.0	0.200	13	12
7.5	0.270	26	19
7.2	0.550	57	31

※1946年新化斷層發生地震之安平港區震度(M=6.3,Amax=0.12g)

※※1995年日本阪神烈震之神戶港區震度(M=7.2,Amax=0.55g)

綜合圖4-9至圖4-16沉陷等值圖整體觀之，安平港區有四處土質較為鬆軟，極易因地震而造成較大之沉陷災害，其分別位於(1)舊碼頭區之第3、4號碼頭，(2)新碼頭區之8、9號碼頭，(3)未建碼頭區之20、21號碼頭。另由沉陷等值圖整體觀察結果，亦可發現：地震較小時(M<6.3)，安平港區東側沉陷災害較大，地震較大時(M>7.0)，安平港區西側沉陷災害較大，這與安平港區淺層20m之內的地質分佈有關，港區東側砂土層較為疏鬆且偶夾粘土或粉土，而港區西側20m內皆為疏鬆至中等緊密之粉土質砂土層。圖4-9至圖4-16之分析結果，皆以港區為廣闊無碼頭岸壁等港灣構造為分析依據，據1995年神戶港災害調查，及今年921大地震台中港1-4A碼頭震害調查，於碼頭岸壁附近，在強烈地震下，沉箱式碼頭背填土液化沉陷及碼頭岸壁之側傾及位移後砂土填補位移空間，將造成更大之沉陷。

第五章、地震引致沉箱構造物之穩定性分析

港灣構造物如防波堤、碼頭、海堤等，有許多為沉箱式基礎所構成，在受到地震力時，不但構造物本身有慣性力，背填土會引致動態土壓力及動態水壓力，若背填土壤發生液化，亦會產生液化之側壓力，造成港灣構造物更加不穩定，本章，特針對沉箱式之構造物受到地震力時其抗滑動之穩定性加以探討，為了使探討能夠更為清晰，本章分三種狀況加以分析，其中第三種狀況更細分為背填土壤液化、未液化、部分液化三種情形分析，最後以台中港 1~4A 碼頭 921 地震之穩定性分析作釋例說明：

1.沉箱兩側無水及背填土 — 虛擬構造物。

2.沉箱兩側有水但無背填土壤 — 防波堤。

3.沉箱兩側有水且一側有背填土壤 — 碼頭、海堤。

(1)背填土壤未液化情形。

(2)背填土壤液化情形。

(3)背填土壤部份液化情形。

4.沉箱兩側有土有水 — 筏式基礎構造物。

本章分三種狀況沉箱式構造物加以分析：

5.1 沉箱兩側無水及背填土，...貨櫃場之貨櫃

在港灣構造物中並無沉箱兩側無水及背填土之構造物，唯有類似此種狀況之虛擬構造物如貨櫃場之貨櫃，其直接置放於地面且堆疊數層，本節試圖了解其在受地震力時之穩定性。其示意圖如圖 5-1a 所示，當受地震力

時其受力之示意圖如圖 5-1b 所示，由圖 5-1b 顯示，在水平方向僅有沉箱之慣性力及抗摩擦力，因此抗滑動之安全係數 F_S，如下所示：

$$F_s = \frac{\text{抗摩擦力}}{\text{沉箱慣性力}} = \frac{M \cdot N}{K_h \cdot W} = \frac{M \cdot W}{K_h \cdot W} = \frac{\mu}{K_h} \quad \text{(5-1)}$$

式中，K_h 為地震力係數

W 為沉箱之重量

M 為沉箱底面與基礎之摩擦係數，詳如表 5-1 所示。

N 為正向力，其等於沉箱重量 W

若沉箱慣性力大於抗摩擦力，則此沉箱將不穩定，而產生滑動。即 $K_h \cdot W > \mu \cdot W \Rightarrow K_h > \mu$ 時沉箱將產生滑動，由表 5-1 可知一般 $\mu \geq 0.5$，若 $M = 0.6$ 則地震力係數 K_h 大於 0.6，時沉箱將不穩定而產生滑動。921 地震時台中港區之 A_{max} 約為 0.163g，K_h=0.163，$K_h < \mu$，因此並未發現貨櫃場之貨櫃有不穩定或滑動現象。

表 5-1　摩擦係數

項　　目	摩　擦　係　數
混凝土與混凝土	0.5
混凝土與岩層	0.5
水中混凝土與岩層	0.7~0.8
混凝土與拋石	0.6
拋石與拋石	0.8
木材與木材	0.5（乾）~0.2（濕）

5.2 沉箱兩側有水但無背填土...防波堤

在港灣構造物中，防波堤為兩側有水但無背填土之構造物，其示意圖如 5-2a 所示，當其受地震力時，其受力之示意圖，如圖 5-2b 所示，由圖 5-2b 顯示，水平方向之驅動力不但有沉箱本身之慣性力，亦有沉箱兩側海水震盪產生之動水壓力，而抗滑動力僅有摩擦力 $\mu \cdot W'$。而其中沉箱兩側之靜水壓力相等，互相抵消，因此，沉箱受地震力時，其抗滑動之安全係數

(1) 沉箱兩側無水及背填土--貨櫃

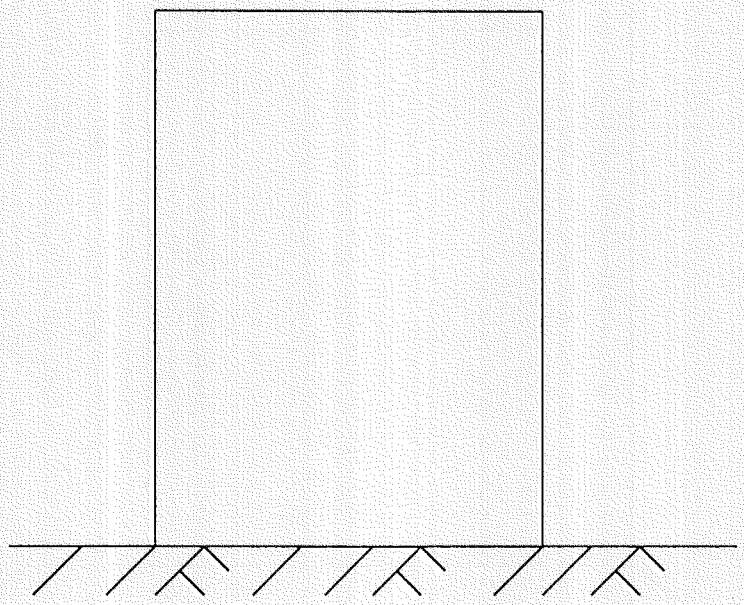


圖 5-1a　兩側無水及背填土之沉箱示意圖

不穩定狀況

當 Kh•W>= μ • W

Kh >= μ

Amax>= μ =0.6

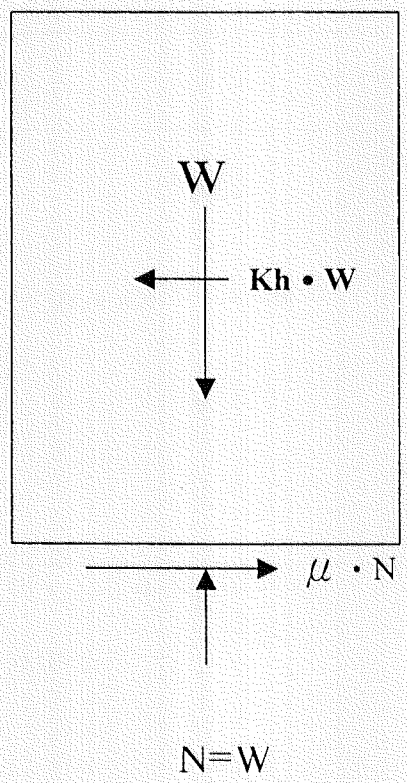


圖 5-1b 地震力作用於兩側無水及背填土之沉箱示意圖

(2) 沉箱兩側有水---防波堤

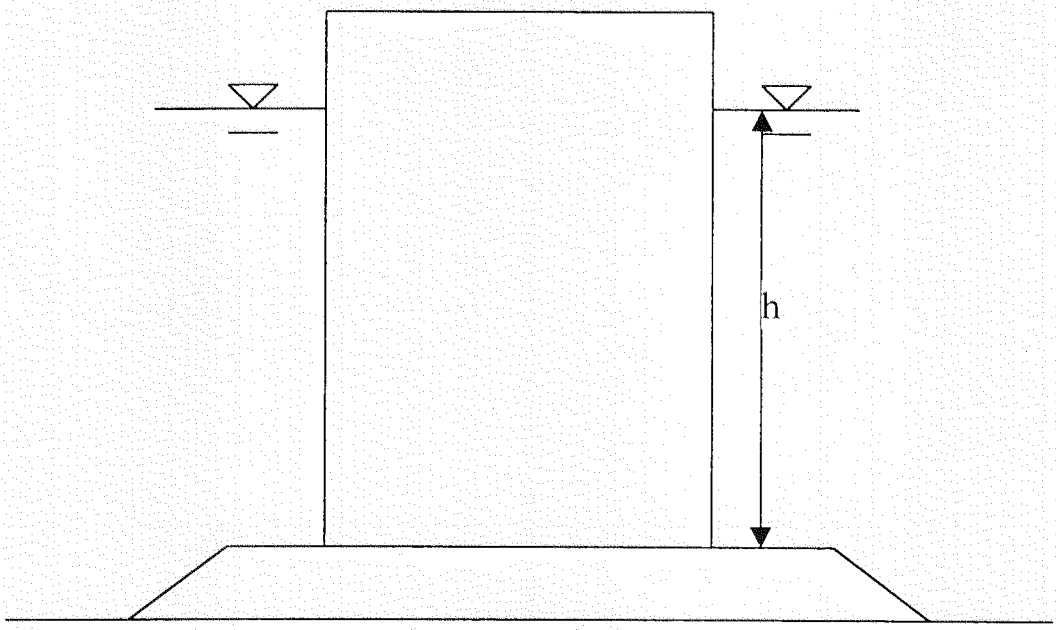
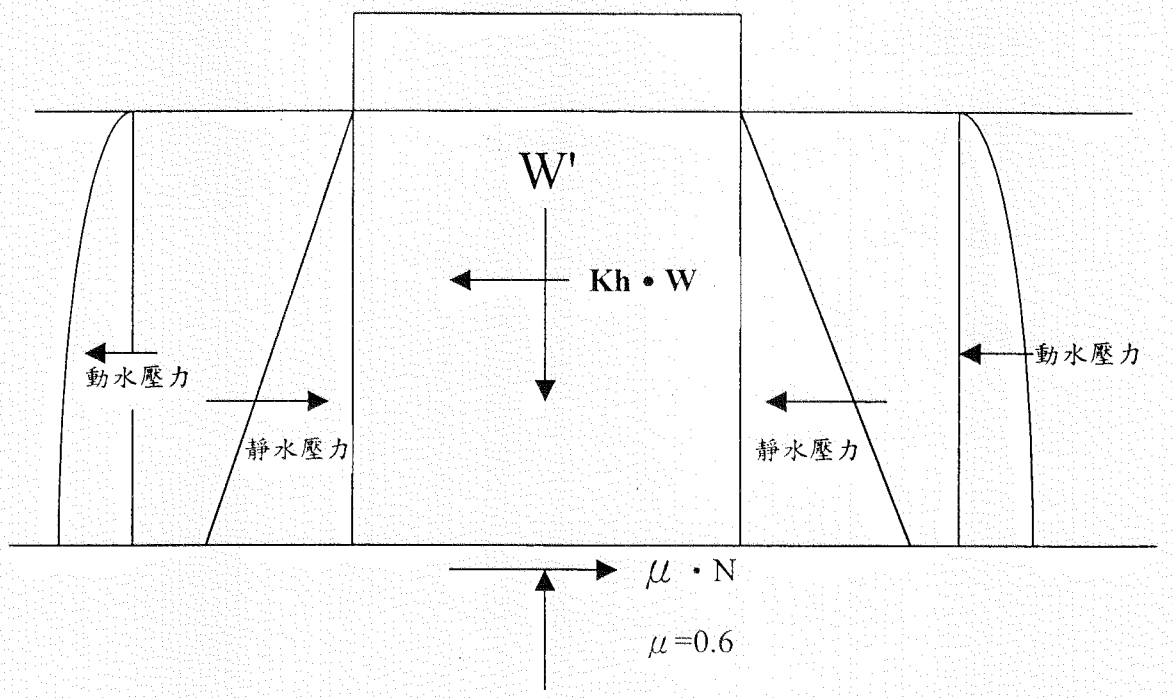


圖 5-2a　防波堤示意圖



N=W'

圖 5-2b　地震力作用於防波堤示意圖

F_s 如下所示：

$$F_s = \frac{\text{抗滑動力}}{\text{沉箱慣性力} + \text{兩側之動水壓力}} = \frac{\mu \cdot W'}{K_h \cdot W + 2 \cdot P_{WE}} \quad \cdots\cdots(5\text{-}2)$$

上式中，W'為沉箱總重減去浮力

P_{WE} 為動態水壓力，可依 Westergaurd(1933)之動水壓力公式計算，

$$P_{WE} = \frac{7}{12} \times K_h \times \gamma_w \times h^2$$

γ_w 為水的單位重(t/m^3)

h 為水深(m)

若沉箱慣性力與沉箱兩側動水壓力之合力大於抗摩擦力，則此沉箱式之防波堤將不穩定而產生滑動，即 $K_h \cdot W + 2P_{DW} > \mu \cdot W'$ 時防波堤將產生滑動，921 地震時台中港防波堤之慣性力與沉箱兩側動水壓力之合力仍小於抗摩擦力甚多，因此並未發現防波堤有不穩定或滑動現象，由於防波堤大小不一，因此每座沉箱之防波堤達不穩定之地震力亦不同，唯經筆者概算分析，台中港防波堤約於地表最大加速度 A_{max} 大於 0.4g 左右，將產生不穩定滑動。

5.3 沉箱兩側有水且一側有背填土壤...碼頭、海堤

沉箱式之碼頭或海堤，有海側及陸側，海側有海水，陸側有背填土壤及地下水，且陸側之地下水位通常高於海側之海水位，地下水位高出海水位之部分稱之殘留水位，一般計算殘留水位以朔望平均低潮位（L.W.L.）以上至朔望平均高潮位（H.W.L.）潮差之 1/3 為標準。

為了探討沉箱式碼頭或海堤受地震力時之穩定性，須分下列三種情況分別探討，即背填土壤未液化時，背填土壤全液化時及背填土壤部分液化時分別探討：

5.3.1 背填土壤未液化之沉箱式碼頭、海堤

背填土壤未液化之沉箱式碼頭，其示意圖如 5-3a 所示，當其受地震力時，其受力之示意圖，如圖 5-3b 所示，由圖 5-3b 顯示，碼頭在水平方向之驅動力，不但有沉箱本身之慣性力，沉箱兩側之靜水壓力及動水壓力，亦有背填土壤之動主動土壓力，而抗滑動力仍然是抗摩擦力 $\mu \cdot W'$，而其中沉箱兩側之靜水壓力不等，在陸側仍有殘留靜水壓力。因此沉箱受地震力時，其抗滑動之安全係數，F_s，如下式所示：

$$F_s = \frac{\text{抗滑動力}}{\text{沉箱慣性力}+\text{陸側之殘留水壓力}+\text{兩側之動水壓力}+\text{動主動土壓力}} = \frac{\mu \cdot w'}{K_h \cdot W + P_W(\text{陸側}) - P_W(\text{海側}) + P_{WE}(\text{陸側}) + P_{WE}(\text{海側}) + P_{AE}} \quad \ldots(5\text{-}3a)$$

上式中，P_W(陸側)：為陸側之靜水壓，$P_W(\text{陸側}) = \frac{1}{2}\gamma_w h_1^2$，

h_1 為陸側水位至沉箱底之深度(m)

P_W(海側)：為海側之靜水壓，$P_W(\text{海側}) = \frac{1}{2}\gamma_w h_2^2$，

h_2 為海側水位至沉箱底之深度(m)

P_{WE}(陸側)：為陸側之動水壓力，依據 Matsuo & O'Hara(1960)建議，

$$P_{WE} = 0.7 \times \frac{7}{12} K_h \times \gamma_w \times h_1^2$$

P_{WE}(海側)：為海側之動水壓力，依據 Matsuo & O'Hara(1960)建議，

$$P_{WE} = \frac{7}{12} K_h \times \gamma_w \times h_2^2$$

P_{AE}：為背填土壤之動態主動土壓力以 Mononobe-Okabe 公式計算，

$$P_{AE} = K_{AE}\left(\frac{1}{2}\gamma h^2 + W\cos\psi\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5\text{-}3b)$$

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi+\psi-\theta)}{\cos\theta\cos^2\psi\cos(\delta+\psi+\theta)[1+A]^2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5\text{-}3c)$$

(3) 背填土壤未液化之沉箱式碼頭、海堤

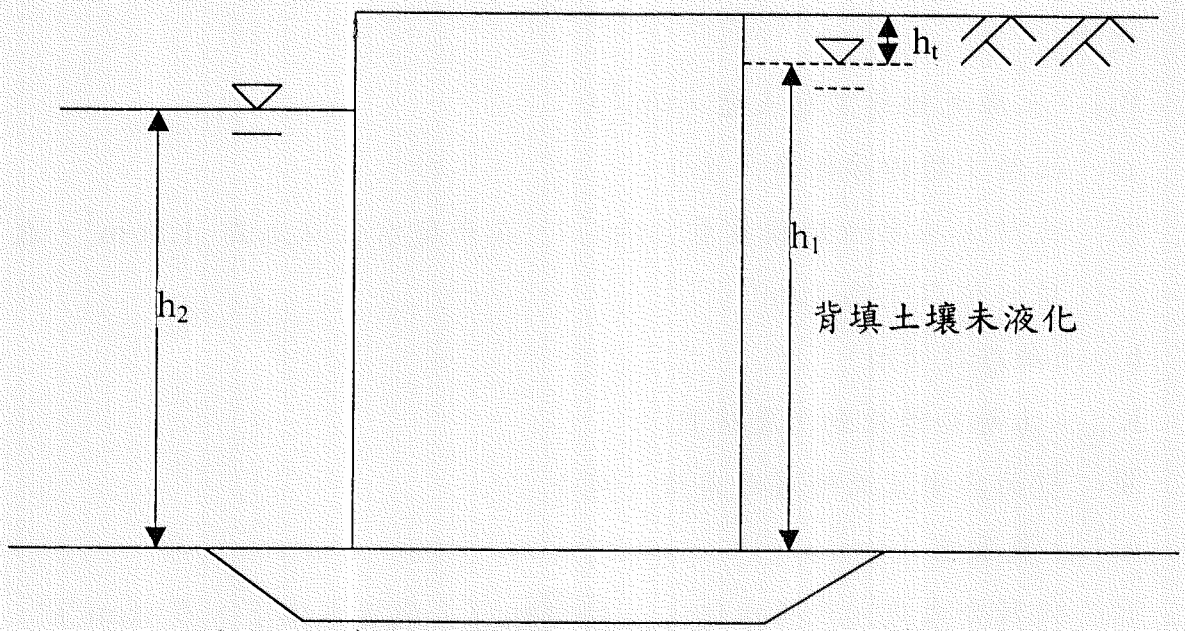


圖 5-3a　背填土壤未液化之沉箱式碼頭示意圖

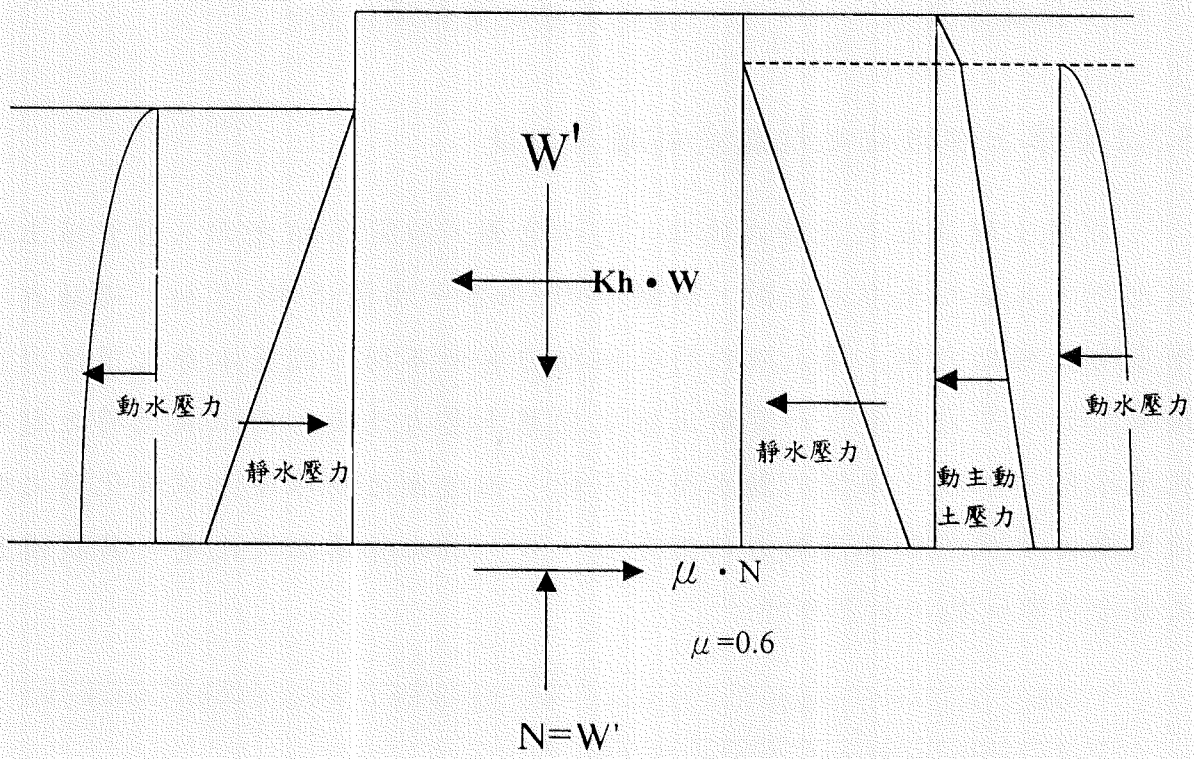


圖 5-3b 背填土壤未液化之沉箱式碼頭受力示意圖

$$\text{where } A = \sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\sin(\phi-\theta)}{\cos(\delta+\psi+\theta)\cos\psi}}$$

式中

P_{AE}：土層之動態主動土壓（t/m^2）

ϕ：土層土壤內摩擦角（度）

γ：土層土壤單位體積重量（t/m^3），在殘留水位以上為 $1.8t/m^3$，在殘留水位以下為 $1t/m^3$。

h：土層厚度（m）

K_{AE}：土層動態主動土壓係數

Ψ：壁面與垂直面所成之角度（度）

w：上載載重（t/m^2）

θ：地震合成角，殘留水位上，$\theta=\tan^{-1}K$；殘留水位下，$\theta=\tan^{-1}K'$

K：震度

K'：換算震度 $K'=\frac{r_{sat}}{r_{sat}-1}K$，$r_{sat}$ 為土壤之飽和單位重。

5.3.2 背填土壤液化之沉箱式碼頭、海堤

背填土壤液化之沉箱式碼頭，其示意圖，如圖 5-4a 所示，當背填土壤液化時，沉箱之受力示意圖，如圖 5-4b 所示，由圖 5-4b 可知，碼頭在水平方向之驅動力與土壤未液化時之驅動力有所不同，沉箱本身之慣性力與兩側之靜水壓力不變，而背填土壤之動態土壓力消失，而以液化時之超額孔隙水壓力取代，海側之動水壓力不變，但陸側之動水壓力以液化時之動流體壓力取代，而抗滑動力仍然是 $\mu \cdot W$，因此背填土液化是，其抗滑動之安全係數，F_S，如下所示：

$$F_S = \frac{\text{抗滑動力}}{\text{沉箱慣性力} + \text{殘留水壓力} + \text{陸側殘留水位以上之動態土壓力} + \text{液化之超額孔隙水壓力} + \text{液化時之動流體壓力} + \text{海側之動水壓力}}$$

$$= \frac{\mu \cdot W'}{K_h \cdot W + P_{W(\text{陸側})} - p_{W(\text{海側})} + p_{LE1} + P_{LE2} + P_{AE1} + P_{WE(\text{海側})}}$$

.....(5-4a)

(4) 背填土壤液化之沉箱式碼頭、海堤

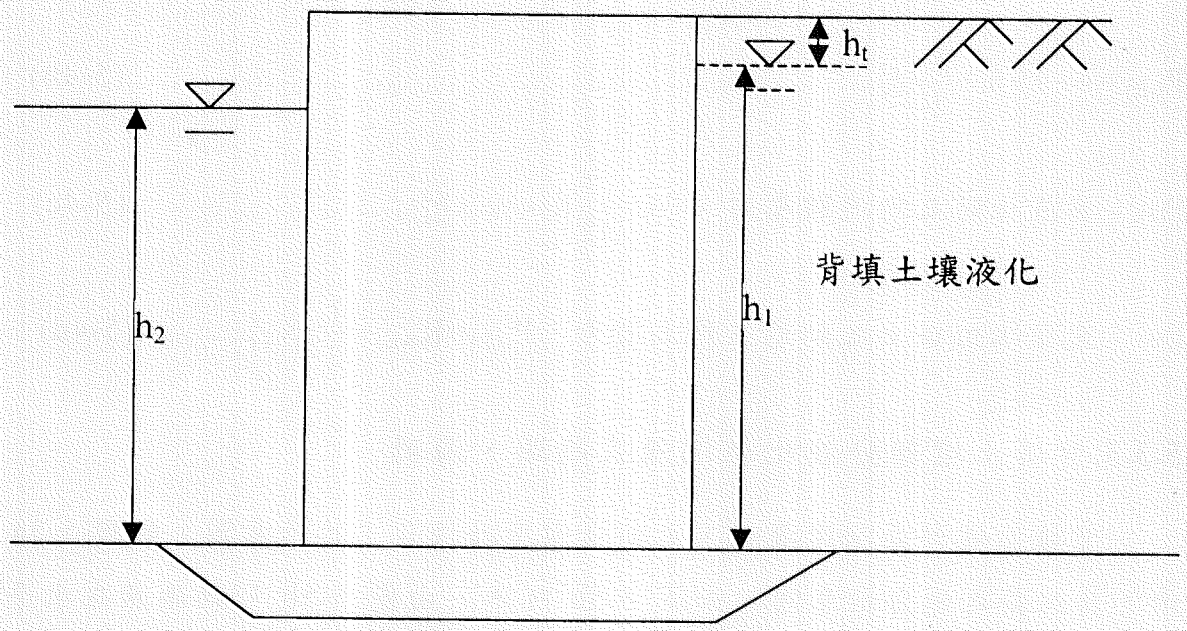


圖 5-4a 背填土壤液化之沉箱式碼頭示意圖

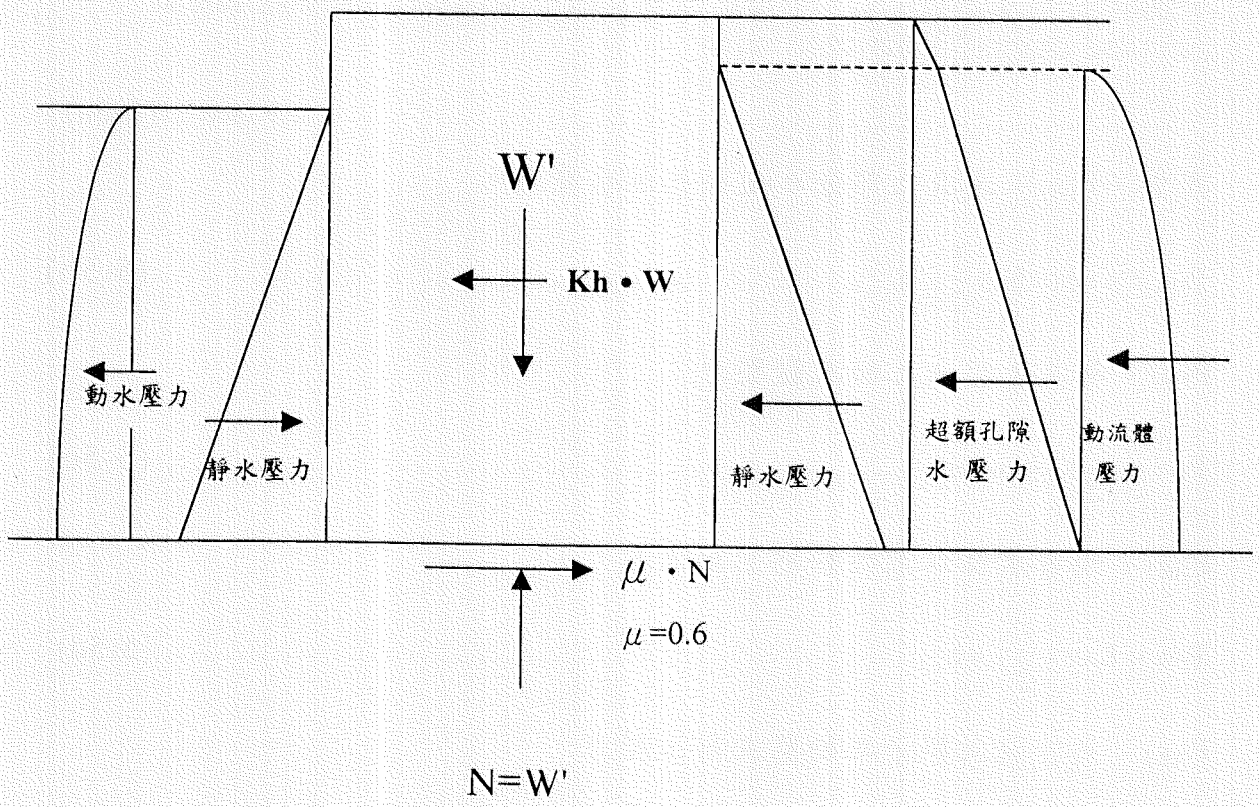


圖 5-4b 背填土壤液化之沉箱式碼頭受力示意圖

式中，P_{AE1}：殘留水位以上之動態主動土壓力

P_{LE1}：為液化時之超額孔隙水壓等於土壤之有效總應力，

$$P_{LE1}=\gamma_t\times h_t\times h_1+\frac{1}{2}\gamma' h_1^2 \quad \text{.....(5-4b)}$$

P_{LE2}：為液化時之動流體壓力，$P_{LE2}=\frac{7}{12}K_h\times\gamma_{sat}\times h_1^2$ .....(5-4c)

P_{AE1}：殘留水位以上之動態主動土壓力，$P_{AE1}=K_{AE1}\times\frac{1}{2}\gamma_t\times\gamma_t^2$ .....(5-4d)

5.3.3.背填土壤部分液化之沉箱式碼頭、海堤

背填土壤部分深度液化，另部分深度非液化，其示意圖，如圖 5-5a 所示，其沉箱之受力示意圖，如圖 5-5b 所示，由圖 5-5b 可知碼頭在水平方向之驅動力為液化與非液化之綜合，而抗滑動力仍然是 $\mu\cdot W'$，其抗滑動之安全係數，F_S，如下所示：

$$FS=\frac{\text{抗滑動力}}{\text{沉箱慣性力}+\text{殘留水壓力}+\text{液化部分之超額孔隙水壓力}+\text{液化部分之動體壓力}+\text{殘留水位以上之動土壓力}+\text{非液化部分動土壓力}+\text{非液化部分之動水壓力}+\text{海側之動水壓力}}$$

$$=\frac{\mu\cdot W'}{Kh\cdot W+PW(\text{陸側})-pw(\text{海側})+pLE1+PLE2+PAE1+PAE2+PWE1+PWE(\text{海側})} \quad \text{.....(5-5a)}$$

式中，P_{LE1}：為液化部分之超額孔隙水壓力，

$$P_{LE1}=\gamma_t\times h_t\times h_L+\frac{1}{2}\gamma' h_L^2 \quad \text{.....(5-5b)}$$

P_{LE2}：為液化部分之動流體壓力，

$$P_{LE2}=\frac{7}{12}K_h\times\gamma_{sat}\times h_L^2 \quad \text{.....(5-5c)}$$

P_{AE1}：殘留水位以上之動態主動土壓力，

$$P_{AE1}=K_{AE1}\times\frac{1}{2}\gamma_t\times h_t^2 \quad \text{.....(5-5d)}$$

P_{AE2}：為非液化部分之動態主動土壓力

$$P_{AE2}=K_{AE2}\times(\gamma_t h_t+\gamma' h_L+\frac{1}{2}\gamma' h_{NL})\times h_{NL} \quad \text{.....(5-5e)}$$

(5) 背填土壤部份液化之沉箱式碼頭、海堤

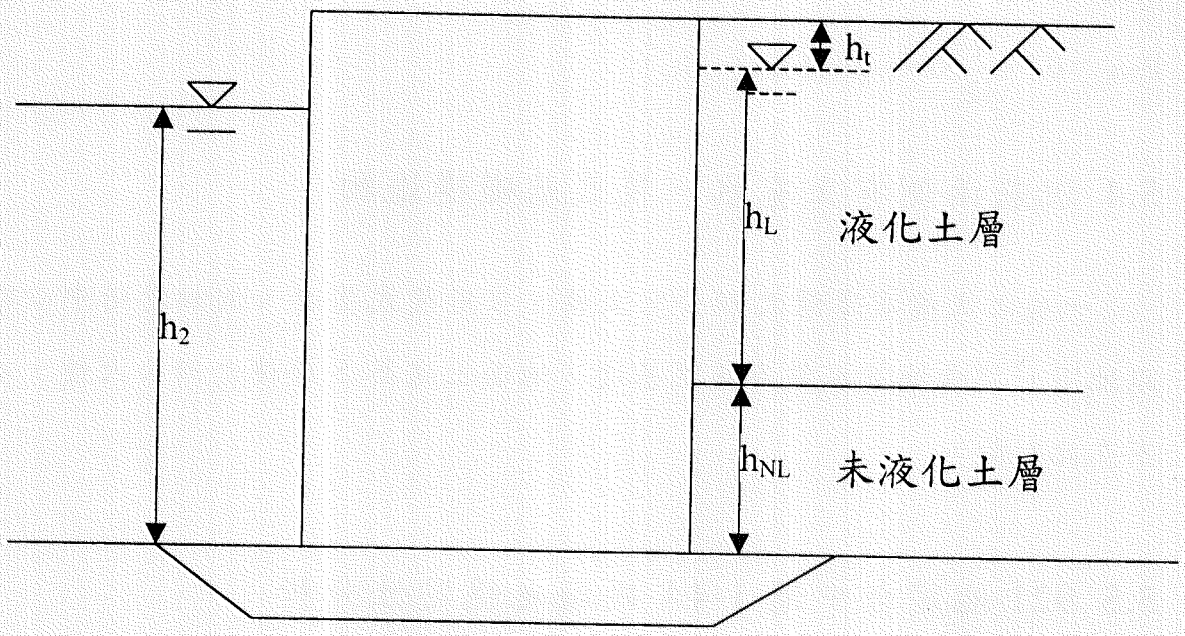


圖 5-5a 背填土壤部份液化之沉箱式碼頭示意圖

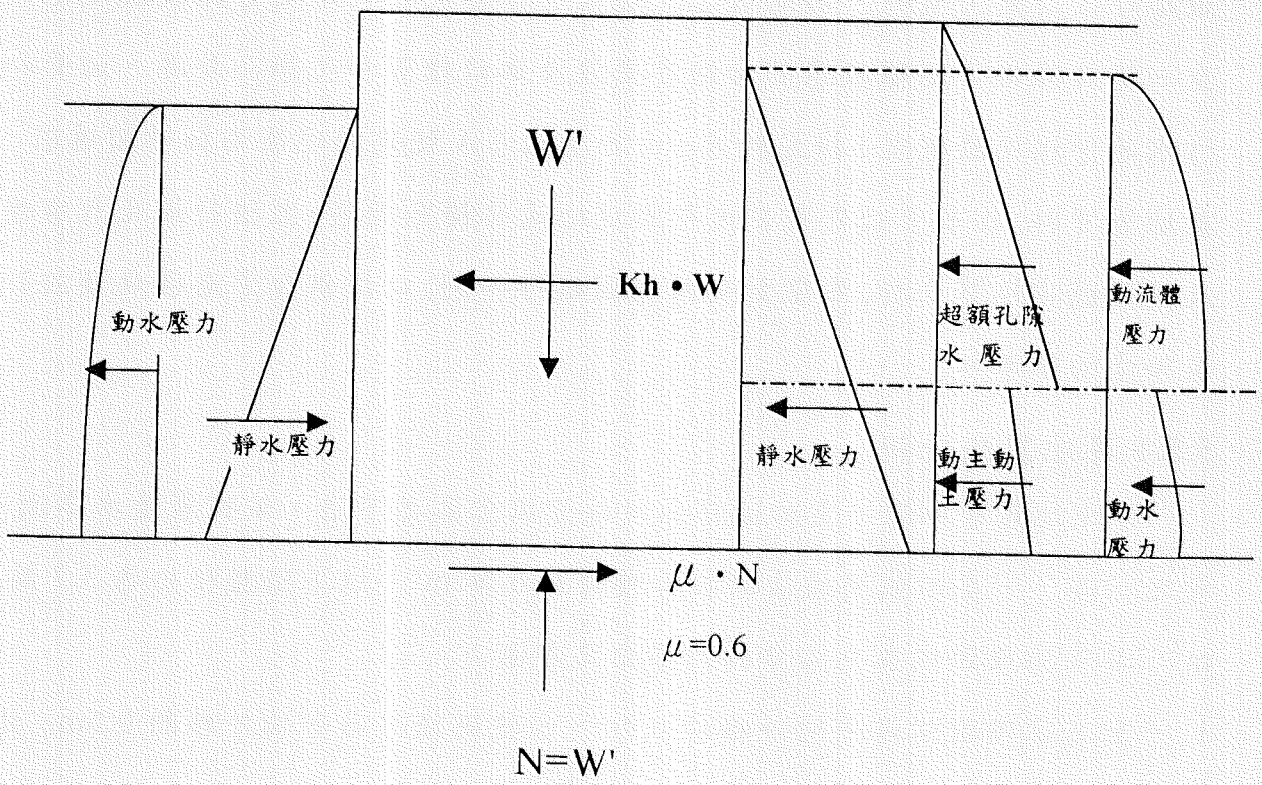


圖 5-5b 背填土壤部份液化之沉箱式碼頭受力示意圖

P_{WE}：(海側)海側之動水壓力，$P_{WE1}=\frac{7}{12}K_h\times\gamma_w\times h_2^2$

P_{WE1}：為非液化部分之動水壓力

$$P_{WE1}=0.7\times\frac{7}{12}K_h\times\gamma_w\left[(h_L+h_{NL})^2-h_L^2\right]$$

5.4 沉箱兩側有土有水一筏式基礎構造物

一般之大樓或港灣之辦公室大樓，常用筏式基礎，例如港研中心即是以地下一樓含地下水箱為筏式基礎，地面上建築 5 層樓之辦公大樓，本節不在此討論。

5.5 921 地震台中港 1-4A 碼頭之穩定性分析

921 大地震台中港區 4000 多公頃中，僅有 1 至 4A 號碼頭 7 公頃多受損較為嚴重，該沉箱碼頭因為地震外移 0.5 至 1.7 公尺，碼頭後線作業區及道路發生崩裂、噴砂、凹洞或隆起現象，緊鄰沉箱碼頭之倉儲棧房地基淘空，機具傾斜，距離較遠的倉儲亦受波及導致糖蜜和化學品外漏、油管和污水等管線塌陷破裂，損失較大。由於 1 至 4A 號碼頭地區為抽砂回填區，無地質資料，故本中心於震災後即對現地地質補充調查，並進行液化危害度及碼頭穩定性等分析，希望對災損原因進行研判，以提供台中港區碼頭設計及維修的參考。

5.5.1 現地震陷分析

921 地震台中港一至四號碼頭後線背填土區之下陷，依據震後水準測量之估算，一至四號碼頭後線總面積約為 6 萬 m^2，總下陷體積約為 3.7 萬 m^3，其下陷原因依本中心分析約可分三方面：

1. 一至三號碼頭沉箱平均外移約 0.9m、四號碼頭沉箱平均外移約 0.5m，共填補沉箱外移之填砂量約有 1.5 萬 m^3。

2. 根據宇泰公司估算一至四號碼頭沉箱基腳淤砂量約有 0.6 萬 m^3。

3. 總下陷體積減去 1、2 項體積，即為背填土區震陷之體積約有 1.6 萬 m^3，因此背填土區液化之平均下陷約為 27 公分。

5.5.2 穩定性分析

台中港 1 至 4A 號碼頭皆屬沉箱重力式碼頭，在受到地震力時，不但構造物本身有慣性力，背填土會引致動態土壓力及動態水壓力，若背填土壤發生液化，亦會產生液化之側壓力，造成港灣構造物更加不穩定，本章分別以 921 台中港 1~3 號碼頭未液化、液化、部份液化之抗滑動之穩定性加以分析探討，其分析結果如表 5-2 所示:

表 5-2 921 台中港 1~3 號碼頭抗滑動之穩定性分析

	未液化	全部液化		部分液化（地表下 2.8~14m 液化）	
地震力係數 K_h	0.163	0.163		0.163	
考慮背填卵石	是	否	是	否	是
抗摩擦力(t/m)	269.41	269.41	430	269.41	348.44
慣性力	124.87	124.87	199.85	124.87	161.67
殘留水壓力	23.48	23.48	23.48	23.48	23.48
動態土壓力 + 陸側動水壓力	112.06	3.13	3.13	49.24	49.24
海側動水壓力	21.10	21.10	21.10	21.10	21.10
液化之動流體壓力	0	51.14	51.14	23.42	23.42
液化之超額孔隙水壓力	0	217.14	217.14	119.17	119.17
抗滑動安全係數	0.96（日本 1999 年基準）1.03（原基準）	0.61	0.83	0.75	0.87

※動態土壓力公式中是否已含陸側動水壓力仍有爭議？

第六章、結論與建議

1.由安平港地震引致之沉陷分析結果顯示，安平港有三處之土質較為疏鬆，極易因地震而造成較大之沉陷災害，其分別位於(1)舊碼頭區之第3、4號碼頭，(2)新碼頭區之8、9號碼頭，(3)未建碼頭區之20、21號碼頭。

2.安平港區各種方法分析各種地震規模引致土層之平均沉陷量如下表:

表　安平港區各種設計地震引致土層之平均沉陷量

地震規模 (M)	地表最大加速度 (Amax)	SPT評估方法 (Tokimatsu & Seed,1987) 平均沉陷(cm)	SPT評估方法 (Lai,1990 + Ishihara,1996) 平均沉陷(cm)
5.5	0.066	4.8	0.6
6.3	0.120	6.6	4
7.0	0.200	13	12
7.5	0.270	26	19
7.2	0.550	57	31
※1946年新化斷層發生地震之安平港區震度(M=6.3,Amax=0.12g) ※※1995年日本阪神烈震之神戶港區震度(M=7.2,Amax=0.55g)			

3.安平港之地震與動態孔隙水壓監測系統始建立完成，各項地震及水壓資料正擷取中，待補充詳細資料後作詳細分析。

4.港灣構造物如防波堤、碼頭、海堤等，在受到地震力時，不但構造物本身有慣性力，背填土會引致動態土壓力及動態水壓力，若背填土壤發生液化，亦會產生液化之側壓力，造成港灣構造物更加不穩定；由921台中港1~3號碼頭抗滑動之穩定性分析顯示，碼頭向海側移動0.5至1.7公尺之

原因，除了地震引致沉箱之慣性力外，可能是背填土部份之液化超額孔隙水壓力及液化時之動流體壓力所造成。液化超額孔隙水壓力約為未液化主動土壓力之1.7倍。

參考文獻

[1].日本土木研究所(1977)，**新耐震設計法(案)**。

[2].日本國有鐵道(1979)，**日本國鐵構造物耐震設計標準**。

[3].日本道路協會(1990)，**道路橋示方書・同解說，V耐震設計編**。

[4].江志俊 (1989)，**超額孔隙水壓與地盤運動之相關性研究**，台灣大學土木系碩士論文。

[5].高雄港務局（1970-1998），**安平港商港區地質鑽探工程報告書**。

[6].張吉佐、黃俊鴻、鄒家琦及王一航(1992)，**不同地盤之地表最大加速度**，第一屆結構工程研討會，南投溪頭，第471-480頁。

[7].張慶龍(1988)，**非均向壓密飽和砂土承受反覆荷重後體積應變特性**，成功大學士木系碩士論文。

[8].黃富國 (1996) ，**土壤液化之危害度分析**，台灣大學土木系博士論文。

[9].港灣技術研究所（1992），**海岸土層下陷行為與預測之研究**，港灣技術研究所82-研(十)研究報告。

[10].港灣研究中心(1999)，**台中港1～4A碼頭921地震液化災損初步調查研究**，港灣研究中心專刊172號。

[11].港灣研究中心(1999)，**港灣地區地層下陷監測研究(II)**，安平港地層下陷監測與資料查詢系統之研究。

[12].賴聖耀（1990），**以標準貫入試驗值建立土壤液化潛能判別模式**，中國土木水利工程學刊，第二卷，第四期，PP.301-311。

[13].賴聖耀，謝明志（1996），**台灣各港區地震引致土層沉陷之研究---台中港**，港灣研究所，85-研（五）-2

[14].賴聖耀，謝明志，李豐博，陳志芳（1998），**布袋港地層下陷監測研究**，第二十屆海洋工程研討會

[15].謝百鍾、柯鎮洋（1989），**基礎耐震設計新擬規範之精義**，地工技術雜

誌第26期，第23-38頁。

[16].顏宗瓊（1992），**反覆荷重下飽和砂土之累積應變比之探討**，成功大學土木系碩士論文。

[17].羅俊雄 (1990)，**地下結構物耐震設計之研究**，中央大學土木工程研究所研究報告。

[18].鄭世楠等人(1999)，**台灣十大災害地震圖集** ,交通部中央氣象局,CWB-9-1999-002-9。

[19].AASHTO (1983). **Guide Specifications for Seismic Design of Highway Bridges**.

[20].Borcherdt, R. D. (1994). **Estimates of Site-Dependent Response Spectra for Design (Methodology and Justification)**, *Earthquake Spectra* Vol.10, No.4, pp. 617-653.

[21].CALTRANS (1990). ***Bridge Design Specifications*, Department of Trans-portation**, California.

[22].Christion, J. T., and Swiger, W. F. (1975), **Statistics of Liquefaction and SPT Results**, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASEC, Vol. 101, No. GT11, pp. 1135-1150.

[23].Helm, D.C. (1975), **One-Dimensional Simulation of Aquifer System Compaction Near Pixley,California,1,Constant Parameters** ,Water Resources Research,Vol.11, No.3, PP.465~478.

[24].Idriss, I. M. (1990). **Response of Soft Soil Sites during Earthquakes**, *Proceedings, H Bolton Seed Memorial Symposium,* J. Michael Duncan (ed.) Vol.2, pp. 273-289.

[25].Ishihara, K., Shimizu., and Yamada,Y., **Pore Water Pressure Measured in Sand Deposits During an Earthquake**, Soils and Foundations，Vol. 21, No.4 (1981).

[26].Ishihara, K., Anazawa,Y., and Kuwano, J., **Pore Water Pressure and Ground Motions Monitored During the 1985 Chiba-Ibaragi**

Earthquake, Soils and Foundations, Vol. 27, No.3 (1987).

[27].Ishihara, K., **Measurement of Insitu Pore Water Pressure During Earthquake**, Proc. Intl. Conf. On Recent Advances in Earthquake Engineering and Soil Dynamics，Missouri, Vol. No.1 (1981).

[28].Ishihara, K., and Yoshimine, M., (1991), **Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes**, Soils and foundations, Vol.32, No.1, pp.173-188.

[29].Ishihara, K. (1985). **Stability of Natural Deposits during Earthquakes**, *Proceeding, Eleventh International Conforence on Soil Mechanics and Foundation,* San Francisco, Vol.1,pp 321-376.

[30].Ishihara, K., Yasuda, S., and Nagase,H., (1996), **Soil characteristics and ground damage**, Special Issue of Soils and Foundations, pp.109-118

[31].Lay,S.Y. & Shieh,M.J.(1995) **The step-loading model of subsidence induced by groundwater level changes with time.** Proceedings of the Fifth International Symposiam on Land Subsidence The Hagne.

[32].Leake,S.A. & Prudic,D.E. (1988),**Documentation of A Computer Program to Simulate Aquifer-System Compaction Using the Modular Finite-Difference Ground-water Flow Model**, U.S. Geological Survey,Report No.88~482, Tucson, Arizona.

[33].Lee, K., and Albaisa, A., (1974), **Earthquake induced settlements in saturated sands**, Journal of ASCE, Vol.100, GT 4, pp.387-405

[34].Liao,S.S.C., D.Veneziano, and R.V.Whitman (1988) **Regression Models for Evaluating Liquefaction Probability**, J. of Geot. Engr., ASCE, Vol.114, No 4, pp. 389-411.

[35].Kazuhiko, K. and Keiichi, T. (1991). **Amplification of Ground Accelera- tion Based on Measured Record**, Proceedings Fourth International Conf- erence on Seismic Zonation, Stanford University, Stanford California, Vol. Ⅱ,pp. 237-244.

[36].Nagase,H., (1984), **Strength and deformation characteristics of sand subjected to irregular loading in multiple directions**, PhD dissertation to the University of Tokyo, (in Japanese).

[37].Nagase, H., and Ishihara, K., (1988), **Liquefaction-induced compation and settlement of sand during earthquakes,** Soils and Foundations, Vol.28, No.1, pp.66-76.

[38].Ohara,S., and Matsuda,H., (1988), **Study on the Settlement of Saturated Clay Layer Induced by Cyclic Shear** , Soils and Foundations, Vol.28, No.3.

[39].Pyke, R., Seed, H. B., and Chan, C. K. (1975). **Settlement of sands under multidirectional shaking**. J. Geotech. Engrg. Div., ASCE, 101(4), 379-398.

[40].Seed, H. B., Murarka, R., Lysmer, J. and Idriss, I. M. (1975). Relationship between Maximum Acceleration, Maximum Velocity, **Distance from Source and Local Site Conditions for Moderately Strong Earthquakes**, *Report No. EERC 75-17*, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California.

[41].Seed, H. B., and Silver,M.L., (1972), **Settlement of Dry sands During Earthquakes**, Jnl. Soil Mechanics and foundations, ASCE, Vol.98, SM4.

[42].Silver, M .L., and Seed,H.B.,(1971), **Volume Changes in Sands During cyclic Loading**, Jnl. Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol.97, SM9.

[43].Soydemir,C., and Lecount,P.L., (1984), **Foundation design for potential liquefaction: A Case Study**, Proc.8th World Conf. Earthquake Engg, San Francisco, California.

[44].Sugito, M. and Kameda, H. (1990). **Nonlinear Soil Amplification Model with Verification by Vertical Strong Motion Array Records**, *Proceedings Fourth U.s. National Coference on Earthquake Engineering,* Palm Springs, California, Vol.1, pp. 555-564.

[45].Tatsuoka, F., Sasaki,T., and Yamada,S., (1984), **Settlement in saturated sand induced by cyclic undrained simple shear,** Eighth World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, Vol. Ⅲ , pp.95-102.

[46].Terzaghi,K.(1943),Theoretical soil mechanics,John Wiley & Sons,New York.

[47].Tokimatsu, K. and Seed,H.B. (1987), **Evaluation of settlements in sands due to earthquake shaking,** Journal of ASCE, Vol.113, GT8, pp.861-878.

[48].Yoshimi, Y., Kuwabara, F., and Tokimatsu, K. (1975). **One-dimensional volume change characteristics of sands under very low confining stresses**. Soil and Found., 15(3), 51-60.

[49].Youd, T. L., **Compaction of Sands By Repeated Shear Straining**, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 98, No. SM7, Proc. Paper 9063, July, 1972, pp. 709-725.

[50].Zeevaert,L. (1973), **Foundation Engineering in Difficult Subsoil Condition** , Van Nostrand-Reinhold Company, New York.

第二子計畫

台中港區三維地理資訊建構系統

89 研(11)第二子計劃

台中港區三維地理資訊建構系統

執行單位：大地工程組

執行期間：民國八十八年七月一日至

民國八十九年十二月三十一日

計劃主持人：謝明志

研究人員：規劃組　單誠基

大地組　賴聖耀

助理人員：張惠華

台中港區三維地理資訊建構系統

目 錄

摘　要

本研究使用的地理資訊系統(Geographic Information System，簡稱GIS)應用軟體，係採用Bentley公司所發展的MicroStation系統軟體，搭配Geographics地理資訊模組，本研究以此來作爲資料處理之主要工具來建置各樣資料。

另以系統所提供的巨集語言，來撰寫查詢程式，再以MDL語言，來撰寫地質查詢及液化分析模組，製作了台中港港池模型導覽、碼頭資料、鑽探資料及海氣象資料等查詢展示功能，使用者可利用滑鼠，點選瀏覽各項資料。

除了上述在三維系統上所建置的資料外，我們也利用既有的二維地理資訊系統—MapInfo繼續擴增資料，本年度內計增補了下述資料：台中港921烈震災損調查資料、新建碼頭斷面資料、堤防斷面資料、及增補6孔鑽探資料等。

此外，本研究也將所建置的部份成果，製作成網頁提供線上查詢，網頁內容包括台中港港池導覽、港區規劃、液化動畫介紹、碼頭立體模型覽視、海氣象資料查詢等。

後續之計劃將繼續建置其它各港之三維模型及相關資料，期使查詢系統內容更加充實，可供港務管理及執行單位使用。

第一章 計畫緣起

本中心在地理資訊系統上的應用，已針對各港埠的特性，先後建置了下列三套系統：

1.民國 86 年，建置「台灣五大港區碼頭地工資料查詢系統」

2.民國 87 年，建置「布袋港區下陷資料查詢系統」

3.民國 88 年，建置「安平港區下陷資料查詢系統」

此三套系統的開發工具，乃以 MapInfo 地理資訊系統為主，製作各種圖層及相關表格，並利用該系統所提供的程式語言發展環境--MapBasic，來設計選單介面，規劃查詢流程並撰寫土壤液化機率分析模組。

由於電腦科技的快速發展，資料傳輸、資料記憶及運算速率等效能不斷地被提升，原本在個人電腦或工作站上所發展的地理資訊系統，也逐漸推出上網供需的新產品，而原先以二維圖形展示的空間資料或查詢成果，也開始以三維模型來提供更近真實的空間視景。但地理資訊系統不管是在網路查詢的發展或是立體視景的發展，目前都受限於硬體條件的不足：前者因既有的網路線頻寬難以擴充，須以新線舖設，工程浩大；後者因一般的個人電腦，無法快速展示須大量記憶及運算的三維圖檔。但權衡這兩項發展，參照個人電腦這幾年來的進步神速，發覺後者比前者，應更容易突破困境，因此本計劃乃決定朝三維系統的方向發展，並選擇台中港區，以動畫模擬方式來建置港區虛擬實境導覽模式。

另將台中港原有碼頭斷面、地質、自然條件等資料加以彙整，增補近兩年新建碼頭及鑽探調查等資料，並結合海象調查統計、數值推算等結果，將查詢架構及資料庫內容再予擴充，盼望所建置之資料庫內容，能涵括更多有用資訊，得以將此查詢系統，提供各港務單位及主管機構來使用。

綜上所述，本計劃的研究動機，可歸納為下列四點：

1.迎合 GIS 發展趨勢：動畫模擬與虛擬實境。

2.資料擴充：

(1)原有碼頭斷面、地質、自然條件等資料。

(2)擴增新建碼頭、堤防等資料。

3.資料結合：

(1)增加海象調查統計、數值推算等資料。

(2)再擴增各組相關資料。

4.推廣使用：推廣予各港務局及相關主管單位。

第二章 計畫目的

2.1 資料建置之重要性

大凡建築工程之規劃設計，皆以搜集環境特性資料為第一要務；而大型的港灣工程，其橫跨之區域動輒數公里以上，區域內的地質及海氣象資料之獲得，乃為最基本之規劃依據。若有完整的港區工程基本資料庫，則港灣建設在工程規劃階段，將可以節省龐大的經費、時間與人力。且因台灣地處環太平洋地震帶，港灣結構物的最大破壞力乃為烈震強浪所帶來的強烈衝擊及其延生的土壤液化、變形等現象。依據 1989 年美國加州灣區烈震調查，受災最嚴重的位置，均在海灣淤泥層及填土區上，1994 年 1 月 17 日，加州又現烈震，報告指出嚴重災區也多在軟弱地層上。隔年同日(1995 年 1 月 17 日)，日本阪神發生加速度達 833 gal 的烈震，回填區大面積液化，可見震災之分佈與地質條件有絕對密切之關係。2000 年 9 月 21 日，台灣發生集集大地震，距震央相隔三十餘公里的台中港，1 號至 4A 等五座碼頭亦嚴重受創。對於地震這類不可預知的天然災害，若能事先確知那些地點於地震時較可能受創，當可事先採取適當之防範措施。另由於台灣每年平均遭受 3.5 次的颱風侵襲，強風引致大浪，沖擊沿海港灣，對港灣海堤造成破壞，尤以東岸面對太平洋的港口，所帶來的損害最為劇烈。且近 20 年來台灣沿海地區地層下陷問題嚴重，每遇豪雨暴潮，甚至平時大潮滿潮，即發生海水倒灌，財產損失不貲，布袋、安平兩港正座落於下陷嚴重的嘉南平原地區，因此港區新生地之填土高程，碼頭堤防之設計高程，宜先預留容許下陷量，以防範未然。對台灣港區而言，建立完整的基本工程資料庫，除了規劃預算階段可獲得省時、省力、省錢等效益外，亦能達到災害防治的目的。將來並可依據這些資料來推災害的可能發生程度及其它工程應用，以作為規劃設計及災害防治上的基本資料。

2.2 資料處理層級

一般對大量資料的處理可區分為三個層級，即規格化、系統化及應用性，對本研究而言，個項資料因提供單位不同，其表格及內容亦有差異，是故資料處理的第一個步驟即是妥善規劃港區的各項資料，訂定統一表格，使各種不同的資料經過整理而達同一規格。

就資料處理之系統化要求而言，即是要建立一個適合於管理及展示資料的資訊系統，本研究計劃所需求的資訊系統，基本上希望具有下列四項功能:

(1)建立港區基本地圖資料系統。

(2)建立港區工程環境資料系統。

(3)能展示港區相關資料。

(4)應用資料並撰寫分析程式。

而本研究資料處理的第三個層次--應用性，乃以發揮上述第四項功能為其理想，即利用所建立的資料來撰寫分析程式推估相關工程性質，以供工程規劃參考。

2.3 資料建檔目的

由於港灣工程資料之獲得常需大量的人力、物力、財力及時間，故取得不易，因此須有計劃的統整典藏各有關單位的珍貴資料，以避免因管理不善而造成資料的損毀或遺失。

電腦化的建檔方式能做大量而有系統的資料儲存工作，並可提供快速且有效的查詢作業服務，真正達到資料共用共享的益處，且未來新的資料又可迅速的補充，使資訊的流通更為便捷。相關資料及查詢系統建置完成後可達到下列目的：

1.以數位化型式收集港埠空間資料及港灣工程基本資料。

2.有效率的存取所收集及建置的資料。

3.針對特定應用加以組合，調適成具目標性的應用系統，並提供中文下拉式選單供使用者使用。

4.藉由港區數值地圖與實地攝影，測繪高度並建立港區 3D 之模型，提供港區導覽。

5.展示台中港區各項調查資料：點選圖面上測量點位可檢索各項海陸象資料。

6.提供工程依據：提供爾後港灣規劃、設計及工程研判上的需求。

7.提供學術資料：可供各學術單位從事研究、分析所需的基本資料。

第三章 系統開發工具

3.1 系統建置基本需求

為包容不同格式的地質、建物、海象等圖檔文件資料，本系統需要能支援各種既有圖檔格式及資料庫的強大能力，並為使製作好的三維模型能以動畫導覽方式展示，本系統需具備下列各項功能：

1. 須具有處理向量(vector)、影像(raster)、電腦輔助設計(CAD)三者的能力，能在以視窗操作為基準的個人電腦上執行。

2. 系統軟體支援 DWG,DXF,DGN 等共通向量格式轉入轉出。

3. 系統軟體支援 FLI, FLC,AVI,TGA,TIF 等動畫格式製作與撥放，並支援既有之 TIFF, JPG,TGA,BMP,PS 等影像格式轉入轉出。

4. 本系統可作 3d 港區模型建置，並可即時展示，模擬各種透視並儲存視角。並可對模型作各種模式上彩(至少支援消隱線、平滑、馮式、光跡追蹤、輻射光)、材質貼圖模擬，並可輸出飛行模擬動畫、關鍵影格動畫製作等功能。

5. 本系統 3D GIS 模型支援 xBase, ODBC, Oracle 等各種資料庫連結介面，並支援 JODBC 以供擴充功能之用。

6. 本系統可在 WINDOWS 98、WINDOWS NT 等作業系統上操作，支援多 CPU 運算。

7. 系統提供下拉式中文選單、圖像指令等人性化操作介面，並支援中文輸入處理，可擴充使用 WINDOWS TRUE TYPE、PostScript、SHX 等字型，而網頁提供中英文視窗圖文選項。

8. 本系統具備 Internet 網頁或相容格式輸出功能，如 JPEG, PNG, CGM, SVF 以及 3D 網際網路物件如 VRML、Panorama 等格式輸出。

9. 本系統可展示港區鑽探資料，可藉由點選圖面上鑽探孔位資料顯示相關資料，並可列出報表以供存檔、列印。鑽孔柱狀圖可以 3D 模式建立，在 3D 圖面上顯示出實際形狀與高度，並且相關特徵屬性可供開關。

10.本系統可依照分析結果繪製機率等值線。等值線圖可疊合地圖等資料提供清楚辨識。

11.本系統以 3D 方式建立，展示台中港區各項調查資料，點選圖面上海象測量儀可顯示依時間檢索各項海象資料，風、流、浪、潮位等。提供歷年海象資料與觀測點建檔、刪除、列印等管理功能。

12.港區之飛行導覽，可藉由港區數值地圖與實地攝影，測繪高度並建立港區 3D 之模型，並可錄製成導覽動畫，在系統中播放，以介紹港區各項設施與設備。3D 模型可以允許在系統中隨時載入，並允許編修。

3.2 系統開發工具

依據系統建置目標以及所需具備之基本需求，本研究使用的地理資訊系統(Geographic Information System，簡稱 GIS)應用軟體，係採用 Bentley 公司所發展的 MicroStation 系統軟體，搭配 Geographics 地理資訊模組，本研究以此來作為資料處理之主要工具。MicroStation 系統原本只發行工作站版，因此系統係以三維立體模式來開發，需要有大量快速記憶及計算能力的硬體才能操作，但也因此軟硬體價格極為昂貴，在歐美多為軍事研發機構在使用。近年來因個人電腦進步神速，Bentley 公司乃將系統改版發行，以個人電腦版降價銷售。該系統為視窗操作軟體，採用下拉式功能表及圖形精靈(icon)模式，提供強大的三維製圖能力及地理資訊處理功能，為一工具箱式的工具軟體，功能及操作都較為繁複，需使用者自行組合運用。該系統主要的功能，依系統核心 MicroStation 及地理資訊模組 Geographics 兩部份分述如下：

3.2.1 系統核心 MicroStation 模組之主要的功能：

1.提供即時存檔, 訂時備份功能

2.可於 DOS/Windows 3.1x/ 95/NT /PowerMAC 上執行

3.直覺式圖像化使用界面(GUI)與交談框, , 並可自訂工作空間(Work space)

4.具有線上求助(Online help)及工具即時提示(Tools tip)功能

5.無限次數 回復/重置(UNDO/REDO) 功能

6.輸出 Vector 或 Raster 資料可預覽列印並轉換印表設備

7.可處理多重線(Mutlilines)並可自訂線型, 線寬, 顏色, 層次及點的屬性

8.具有參數式零件管理資料庫及零件設計功能

9.提功關連式圖佈, 剖面及尺寸標示, 尺寸標準有 ANSI, ISO, DIN, JIS, AS1100 等

10.能計算圖元長度, 面積, 體積, 質心和力矩

11.具有上彩(Rendering), 貼材質(Pattern / Bump Mapping), 透視(Transparency), 消隱線, 反錯覺(Anti-aliasing)功能

12.可編修及自建材質庫

13.可製作及撥放穿越模擬(Fly through) / 陰影研究(Solar study)動畫, 並支援 VRML、QuickTime VR 虛擬實境格式

14.可儲存/編修 24/16/8/2 bits 多種格式高解析影像檔, 並可分割處理不受記憶體限制

15.提供 SQL 界面, 支援 X-BASE(Dbase, FoxPro, Access), ORACLE, Infomix 及 RIS 資料庫界面

16.提功 OLE 2.0 資料鍊結(DDE)功能

17.中文系統內建 big-5 碼, 具有倉頡, 注音, 內碼輸入法, 擴充字型支援 TRUE TYPE Fonts(*.tt*), ACAD 字型(*.shx)

18.具巨集語言可程式化重覆性工作並發展自定工具

19.具程式發展語言(MDL)提供完整編譯功能

3.2.2 地理資訊 Geographics 模組之主要的功能：

1.完全整合 CAD(電腦輔助設計)與 GIS(地理資訊系統)。

2.拓蹼幾何的強大空間分析工具

3.支援 SQL 蒐尋的資料庫管理

4.以特徵為基礎的設計提供對地圖圖元的產生顯示及編修

5.互動式清除工具用以尋找及修正拓蹼錯誤

6.資料庫驅動的主題佈圖及註解

7.強大的影像處理工具以及顯示及列印影像檔

3.3 系統程式語言

MicroStatioon 系統提供兩種程式語言供使用者使用，一為 MDL 語言，另一為 Basic 語言。MDL 為 C 類似語言(C-like Language)， 為 MicroStatioon 所提供給使用者自行開發系統功能的程式工具；Basic 為系統巨集語言，可錄製操作程序、集結不同功能並做簡單的程式撰寫。這兩樣語言工具，可讓使用者自行開發及組合所需功能。本研究利用 Basic 語言來組合下拉式選單的各項功能，並利用 MDL 語言來撰寫地質柱狀圖展繪、液化機率分析及等值分佈展示等功能。

3.4 其它配合軟體

在系統製作的過程中，我們也搭配其它軟體，來做資料處理及成果展示。在資料庫的製作上，我們使用 Microsoft Access 來建構地質資料。在成果網頁的製作上，我們使用 Dream River 軟體來編寫，並用 Flash 軟體來繪製土壤液化的簡易過程。海象分析資料的 PS 成果檔案，我們使用 Gsview 軟體來做展示。數值分析的.FLC 成果檔案，我們使用 AAPlayer 軟體來做展示。經由多樣的配搭，可展現本系統所建置的各項資料成果。

第四章 系統建置

4.1 系統建置工作

本系統之建置，自資料收集彙整，查詢架構規劃，至系統建置完成，共可分十七個工作項目，即 1.資料收集，2.軟體評選，3.系統採購，4.港區影像錄製，5.查詢架構規劃，6.資料轉檔聯結，7.主次模組學習，8.系統語言學習，9.港池三維模型繪製，10.港區三維動畫製作，11.地質資料製作處理，12.海象資料製作處理，13.數值資料製作處理，14.程式編寫，15.網站資料製作，16.系統測試維護，17.報告撰寫等。而工作進度時程，如表 4-1 所示。

表 4-1　工作進度時程表

工作項目＼工作月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	備註
1. 資料收集																			
2. 軟體評選																			
3. 系統採購																			
4. 攝影調查																			
5. 系統規劃																			
6. 資料轉檔聯結																			
7. 主次模組學習																			
8. 系統語言學習																			
9. 港池三維模型繪製																			
10.港區三維動畫製作																			
11.地質資料製作處理																			
12.海象資料製作處理																			
13.數值資料製作處理																			
14.程式編寫																			
15.網站資料製作																			
16.系統測試維護																			
17.報告撰寫																			
進度百分比(%)	5	10	15	20	25	30	37	44	50	57	64	70	75	80	85	90	95	100	

4.2 系統查詢架構說明

港區三維地理資訊系統之建置，為一中程計畫，所規劃為建置台灣五個國際商港的查詢系統。今年為計畫的第一年，設定需完成系統軟體評選採購、確立查詢架構並擇一港區(即台中港)建置系統內容，是故本期計畫只建置台中

港，目前系統查詢架構說明如下：

1.展示台灣重要港區位置示意圖(標示國際及國內商港):

2.進入某一港區(如台中港):

(1)港區模型導覽。

(2)查詢陸象資料：

①查詢顯示碼頭堤防位置分佈、地質鑽孔位置分佈。

②查詢展示各碼頭堤防模型。

③查詢展示各鑽孔柱狀圖。

④查詢展示各鑽孔報表。

⑤查詢展示各鑽孔液化分析成果。

⑥港區液化機率等值線分佈圖展繪。

(3)查詢海氣地象資料:

①查詢並圖示觀測站位置及觀測項目(包括風、波浪、潮汐、海流等四項) 。

②查詢並以表顯示各觀測站風、浪、潮、流等記錄期間，記錄儀器名稱，儀器水深或高度，記錄狀況等項目。

③查詢並顯示風、浪、潮、流實測資料(分月、分季、分年報表)。

④查詢並顯示風、浪、潮、流實測資料(分月、分季、分年資料圖)。

⑤查詢並顯示風、浪、潮、流等統計分析(分月、分季、分年統計表)。

⑥查詢並顯示風、浪、潮、流等統計分析(分月、分季、分年統計圖)。

⑦查詢展示港區海域水深分佈圖(分月、分季、分年)。

(4)查詢數值計算結果:

①全港區流場分佈圖(動態顯示)(分冬、夏兩季) 。

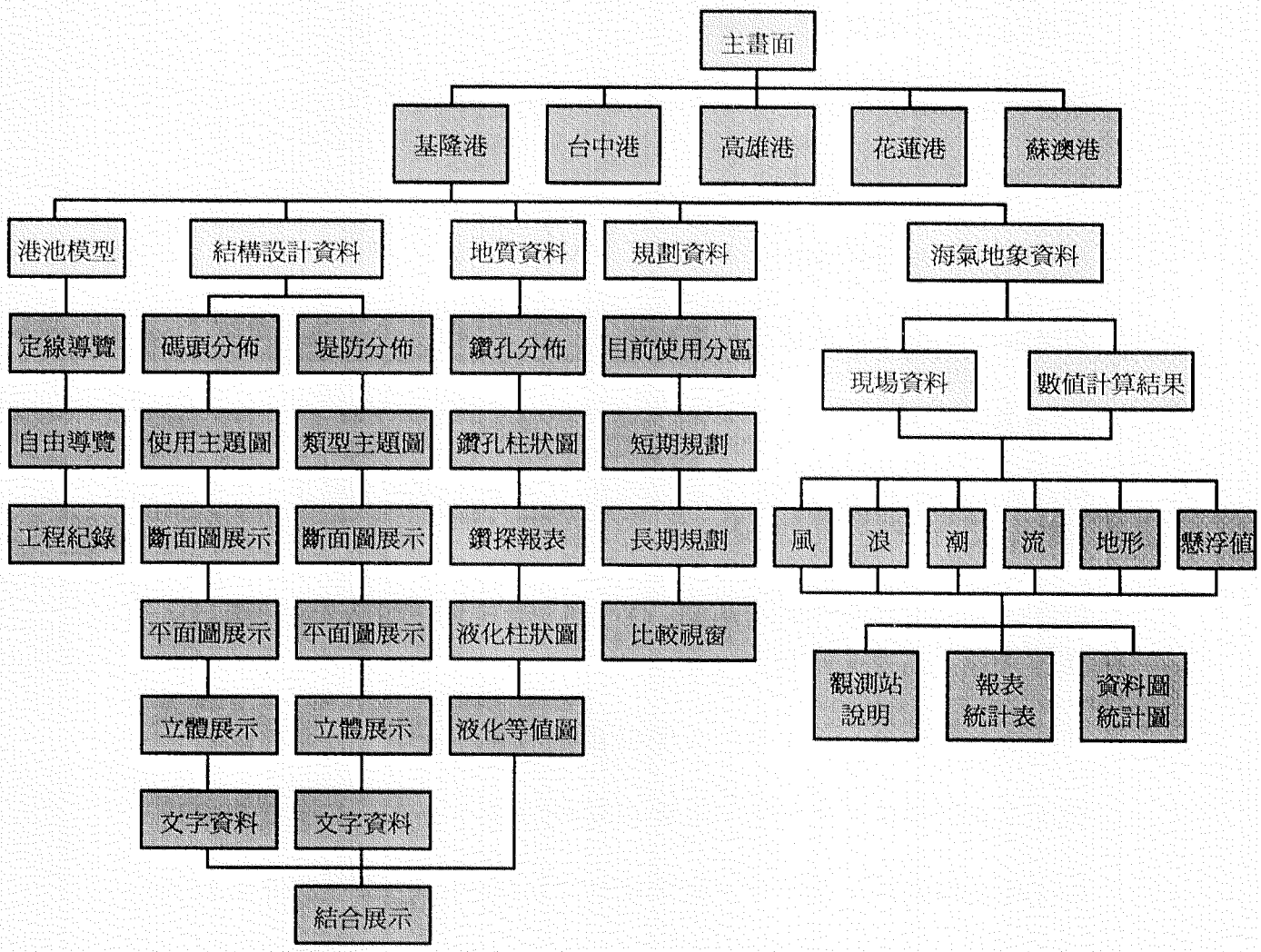
②全港區波場分佈圖(動態顯示)(分冬、夏兩季) 。

③全港區潮位分佈圖(動態顯示)(分大潮、小潮) 。

④全港區水深分佈圖(動態顯示)(分冬、夏兩季) 。

⑤定點之流、波、潮汐、水深隨時間變化圖(分冬、夏及大、小潮不同期間)

而整個系統建置完成後，整體查詢架構預計如圖 4-1 所示。



第五章 系統安裝及查詢操作

5-1 系統安裝

1.硬體需求及作業系統

(1)硬體需求

Pentium 相容 CPU

128MB 以上記憶體, 700MB 以上硬碟空間

滑鼠或數位板等指標器

支援彩色單螢幕或雙螢幕

(2)作業系統：Microsoft Windows 98/NT 作業系統

2.安裝系統核心 MicroStation /J 模組

(1)安裝 MicroStation /J

安裝步驟如下：

①在軟體光碟中\MicroStation\Windows\ 中選擇 Setup.exe 程式啟動安裝。

②選擇典型(Typical)或完全安裝（complete）。

③進入安裝選單後務必選取需用項目（在前面的檢查匡打勾），如 5-1 所示：

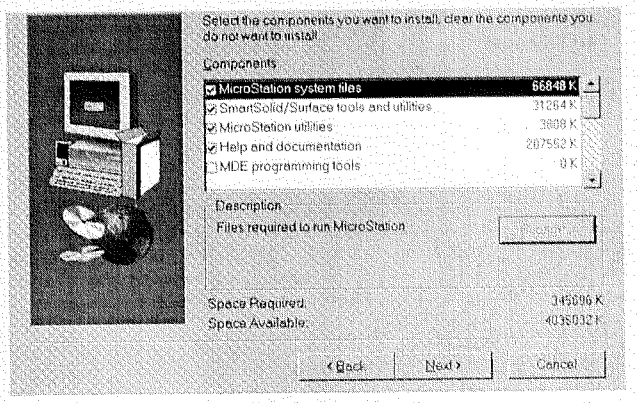


圖 5-1 安裝 Microstation/J 選單項目勾選視窗

建議勾選單目：

①MicroStation Systems files

②SmartSolid

③MicroStation utilities>Font Installer (字形擴充程式)

QuickVision GL 動態顯示功能

QuickVision Viewer and Expoler

④Database> ODBC 選單

3.安裝地理資訊模組 GeoGraphics 7.1

(1)執行 Setup.exe

(2)選擇全部安裝或部分安裝

4.啟動與註冊 MicroStation/ J

(1)打開產品包裝找到註冊卡

(2)填入用戶名稱、公司名稱(英文，正楷大寫)

(3)填入用戶電腦主機名稱(單機版)或 NT 伺服器名稱(網路版)

電腦主機名稱，在 Microsoft Windows 98/NT 作業系統，可以在網路芳鄰按滑鼠右鍵，選<內容>, <識別資料>中的<電腦名稱>取得。使用英文字母（建議不要超過 16 個字母）。此名稱在區域網路中唯一。使用網路版則

以提供註冊伺服器（Select Server）的 Microsoft Windows NT 主機名稱註冊，並在註冊時選用<Server>選單。

選用網路註冊必須是簽署 Select 技術合約的狀態下，MSJ.LIC 內容則宣告註冊伺服器主機位置。

SERVER="serve-namer" IPADDRESS="xxx.xx.xxx.xxx"

(4)填入產品序號(在註冊卡條碼下方 Serial Number)

(5)填入註冊號碼 RegistrationNumber(第一次安裝 MicroStation 填入上述資料後由 MicroStation 產生)，若不清楚可以免填。

(6)在 sighture 地方簽名(中英文皆可，一定要填)

(7)交給或傳真給震洋資訊公司。

(8)升級版請加填原來舊版的產品序號。

(9)三到五個工作天取得用戶執照號碼檔案或磁片 Lcense Number Disk。

(10)安裝單機版請將 msj.lic 拷貝進入 Bentley\Program\licensing 中

5.安裝觀看 .PS 檔案工具

可由安裝光碟或網路下載：

(1)GhostScript 6.0

從安裝光碟\Tools\中選擇 gs601w32.exe (For Windows 98/NT)

或從http://www.cs.wisc.edu/%7Eghost/aladdin/get600.html 下載

(2)GhostView

從安裝光碟\Tools\中選擇 gsv29w32.exe (For Windows 98/NT)

或從http://www.cs.wisc.edu/%7Eghost/aladdin/get600.html 下載

(3)GhostView 中文介面

從安裝光碟\Tools\中選擇 gsview32.zip (For Windows 98/NT)

或從http://www.sccl.com.tw/download/gsview32.zip　下載

安裝後需要執行 GhostView 一次，宣讀版權宣告並進入 GhostView.

6.安裝 Harbor GIS 系統

(1)安裝方法：將 GIS 光碟中的系統拷貝到硬碟，並解除唯讀。

解除唯讀的方式有：(1). 從 DOS 視窗輸入<Drive>:> Attrib –R *.*/s　或 (2).使用尋找檔案（*.*），<全選>後，在<唯讀>選單取消，在<保存>選單打 X 作用。

(2)系統資料預設路徑如下：

Harbor\　預設路徑為 D:\Harbor\

Bentley\　預設路徑為 MicroStation 安裝目錄

GIS\　　預設路徑為　D：\GIS

若變更路徑需修改相關之程式碼。(安裝路徑係由程式碼控制。)

7.宣告 ODBC 資料庫

(1)由 Windows 作業系統來宣告，步驟如下：

(2)開始>設定>控制台, 點選 ODBC 選單，

(3)選擇 Access MDB 資料庫驅動，

(4)宣告 ALL 資料庫，並選擇　D:＼Harbor＼TC＼Database＼TC.MDB 為預設資料庫。

(5)並將 MicroStation GeoGrpahic 捷徑後加上 –wdODBC (方法：在開始>程式集>MicroStation V7.1>MicroStation GeoGraphics 選單按右鍵，鍵入–wdODBC。)

系統安裝設定完成後，即可啟動 Harbor GIS 系統。

5-2 網頁系統安裝

1.Server 部分

(1)安裝步驟：

①暫停 IIS

②將 sea.dll 複製到 IIS 的 scripts 路徑之下。

③啟動 IIS

④複製 link.htm 與 SeaApplet.class 至網頁路徑之下

(2) SeaApplet 參數說明

Example

```
<PARAMNAME="URL"VALUE="http://192.168.1.1/scripts/sea.dll?Search?"
>
<PARAM NAME="PATH" VALUE="c:\inetpub\wwwroot\gis\">
<PARAM NAME="LINK" VALUE="/GIS/">
```

(3)Example 說明

當 applet 按下確認後會將資料送到 http://192.168.1.1/scripts/sea.dll?Search?

並在 c:\inetpub\wwwroot\gis\下尋找所要檔案 tc\w\IM4411I.pdf

找到之後會以 http:// 192.168.1.1/GIS/tc/w/IM4411I.pdf 的方式提供使用者連結

URL 參數必須是 "機器位址/scripts/sea.dll?Search?"

PATH 參數表示 GIS 在磁碟上所存放的位置

LINK 參數表示 GIS 的 URL, for example

若 http://1.1.1.1/gis/tc/w/Ixxxxx.pdf 可以存取

則 LINK 參數必須是 /gis/

2.Browser 部分(一般用戶端)

(1)安裝全域影像 panorama 觀看程式

ZOOM Plug-In Viewer

http://www.mgisoft.com/support/downloads/index.asp

NEW - MGI Software ZOOM Viewer Plug-in (Win95/98/NT) (1.7 M)

MGI Software ZOOM Viewer 3.2 — Plug-in (Mac) (1.4 M)

(2)安裝 FLC 觀看程式（單機）

FlickerFree Player (32-bit) 1.04

http://download.cnet.com/downloads/0-10078-100-896425.html?tag=st.dl.10001_103_1.lst.td

5-3 資料結構

本系統之各項資料放置路徑位置及註解如下：

1.個人電腦 MicroStation GeoGraphics 模組部分

(1)MicroStation 資料庫系統（僅列出與本系統相關部分）

C:\Bentley\Program\

\Licensing 註冊碼

\GeoGraphic 地理資訊模組

C:\Bentley\Workspace

\interfaces \geograph 本計畫介面

\standards 巨集

\projects 專案設定

\users 使用者設定檔

(2)Harbor 專案系統

D:\Harbor TC \

database 資料庫

dgn 設計圖

fea	特徵
idx	索引圖
scr	螢幕表單
seed	底稿檔
sql	查詢
tmp	暫存檔
wrk	工作區
avi	導覽動畫
data	資料
out	輸出檔案
symb	符號
cell	零件庫
mdl	應用程式

(3)海地氣象資料系統

D:\GIS　海地氣象資料

\TC　台中港資料

\W	風資料
\V	波資料
\T	潮資料
\D	地資料
\C	浪資料
\S	懸浮質資料

2.網頁資料部分

本系統網站之各項資料放置路徑位置及註解如下：

c:\inetpub \wwwroot\ 主網頁

\image 影像

\wrl 虛擬模型

\ivr 全域影像

\GIS 海地氣象資料

\TC 台中港資料

\W 風資料

\V 波資料

\T 潮資料

\D 地資料

\C 浪資料

\S 懸浮質資料

c:\inetpub \bin\ Java 程式

5-4 系統查詢操作

本系統提供中文下拉式選單及圖形點選等方式，來讓使用者進行各項資料之查詢。當啟動 MicroStation GeoGraphic 地理資訊系統時，同時選擇開啟 D:\Harbor\Tc\Dgn\目錄下的 Taiwan.dgn 檔，系統即進入查詢主畫面，如圖 5-2 所示。主畫面為一台灣全島地圖，圖上標示台灣各主要國際商港位置，此時於圖上點選台中港，可進行台中港之相關資料查詢。

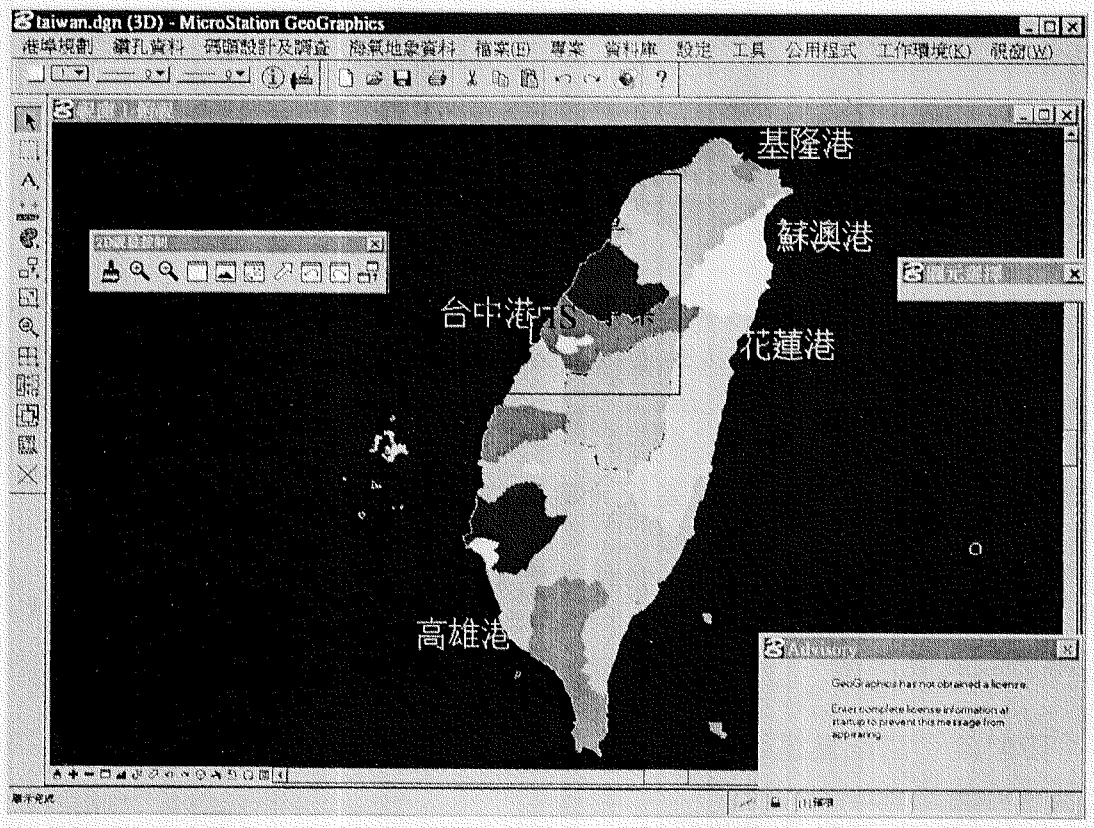


圖 5-2 查詢系統主畫面

為查詢之便利，本系統於 Geographics 模組選單之外，另設計四個新的主選單，提供使用者進行各項資料之查詢使用。此四個新設計的主選單，按照排列順序名稱個各自為：

(1)港埠規劃

(2)鑽孔資料

(3)碼頭設計及調查

(4)海地氣象資料

每個主選單下又另設數個次選單，各選單之功能分別介紹如下：

1.港埠規劃選單

港埠規劃選單中包含港區規劃、導覽、對照圖、景觀模擬，並包括切換港區、回工作主檔以及離開系統等功能。另外次選單所呼叫或聯結檔案等動作以註標之方式，各項次選單之功能分述如下，註解於頁尾：

(1)港區定線導覽 [1]

開啟交談框，選擇已設定路徑之港區 AVI 動畫並播放導覽。

(2)港區自由導覽 [2]

預設開啟視窗 2 立體視窗。可在港區中自由以滑鼠或鍵盤自由前進，同視景控制之"飛行模擬", 預設值鍵盤方向鍵前後為前進後退，左右為旋轉角度。

開啟自由導覽前，應先設定視角與工作視窗（通常為視窗 2）

可以配合使用上彩模式 [3]作即時導覽。

(3)港區設施現況圖

①開啟　開啟港區設施現況圖 [4]

②關閉　關閉港區設施現況圖 [5]

(4)未來規劃現況圖

①開啟　開啟未來規劃現況圖 [6]

②關閉　關閉未來規劃現況圖 [7]

(5)規劃配置對照圖 [8]

同時開啟港區設施現況圖、未來規劃現況圖並左右對照。

(6)景觀模擬

---

[1] 呼叫 AVI.BA（macro avi）

[2] 設定視窗 2 做展示 (View on 2; set camera on 2;CAMERA NAVIGATE)

[3] 視窗左上角{B}下拉上彩視景屬性，勾選上彩模式（線架構、消隱線、平滑）與上彩加速。

[4] 刪除參考檔（reference detach）prsntmap.pln

[5] 刪除參考檔（reference detach）prsntmap.pln

[6] 刪除參考檔（reference detach）futr_map.pln

[7] 刪除參考檔（reference detach）futr_map.pln

[8] 呼叫 ntove.ba

①開啟　天空與水面背景，並讀入材質設定檔。[9]

②關閉　天空與水面背景，並讀入材質設定檔[10]

(7)回工作主檔[11]

回到水系圖工作主檔

(8)選擇港區[12]

讀入台灣地圖，點選後切換其他港區的專案。

(9)離開系統[13]

離開本系統

2.鑽孔資料

鑽孔資料選單包含鑽孔位置圖、資料報表，二維及三維柱狀圖及液化機率分析等功能，說明如下：

(1)鑽孔位置圖

①顯示鑽孔位置[14]

加入鑽孔位置參考圖

②關閉鑽孔位置[15]

關閉鑽孔位置參考圖

③重置鑽孔位置[16]

---

[9] refer attach backqrd.3d

[10] refer detach backqrd.3d

[11] rd=work.dgn

[12] rd=Taiwan;macro openprj.bas

[13] exit

[14] refer attach tch_wells.dgn

[15] refer de tch_wells.dgn

開啟鑽孔位置並重新計算參考圖位置並連結（當資料庫有異動時）

④鑽孔資料報表 [17]

產生報表 點選鑽孔位置並自動產生報表，報表展示視窗如圖 5-3 所表。

report.txt - 記事本

檔案(F) 編輯(E) 搜尋(S) 說明(H)

TC17-01 標準貫入試驗報表

計劃名稱:南海堤地質鑽探
鑽孔編號:SS-16A
提供單位:台中港務局
鑽探公司:台中港務局
試驗公司:台中港務局
鑽探日期:06/11/1980
鑽孔位置:南海堤

X座標:198588.0
Y座標:2685045.0
Z座標:6.43 m
水位計:
埋設深度:0.0 m

鑽孔傾角:90.0
鑽孔孔徑:0.0 cm
鑽孔深度:15.4 m

地下水位深度:-3.35
日期:06/11/1980

深度 (M)	土/岩層說明	土壤岩石分類	取樣率	RQD %	N值	採樣編號	礫石 %	砂土 %	粉土 %	黏土 %	自然含水量%	液性限度 %	塑性指數	總單位重 t/
4.8	灰色粉土質細砂	SM	0.0	0.0	3.0	S001	0.0	0.0	0.0	0.0	32.9	0.0	0.0	1.

圖 5-3 鑽孔資料報表視窗

(2)二維地質柱狀圖

①單孔或多孔展繪 [18]

開啟鑽孔位置，點選單孔或多孔繪點，所點選之孔號會顯示在點選鑽孔視窗上，如圖 5-7 所示。按執行鈕，則柱狀圖即展繪在視窗 1 內，如圖 5-8 所示。

圖 5-4 點選鑽孔顯示視窗

---

[16] rd =tch_wells.dgn ; DSPWELLS

[17] report_one;%d;start d:\harbor\tc\report.bat

[18] rd =tch_wells.dgn;dsplayers_one

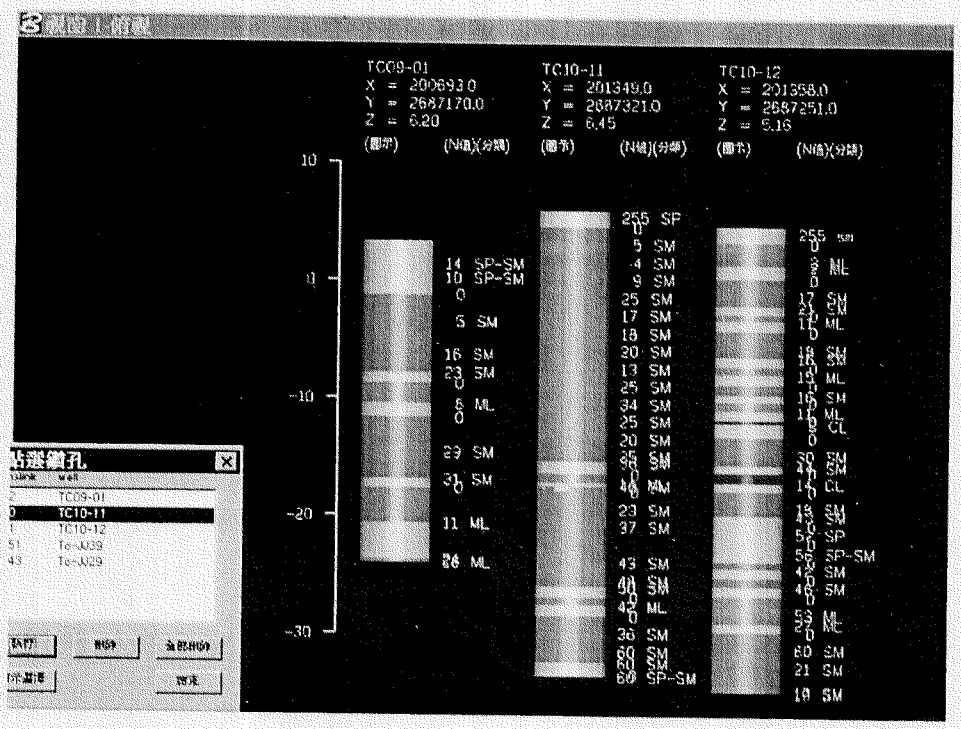


圖 5-5 鑽孔柱狀圖展示視窗

(3)三維地質柱狀圖

①全區展示 [19]

②全區關閉 [20]

③單孔或多孔展繪 [21]

(4)材質模擬

①開啟 [22]，可張貼材質。

②關閉 [23]，可取消材質。

(5)二維鑽孔液化機率柱狀圖

①單孔或多孔展繪 [24]

---

[19] refer attach tch_wells.3d

[20] refer detach tch_wells.3d

[21] dsplayer_well

[22] macro mat01

[23] macro matdel

開啟鑽孔位置，點選單孔或多孔繪點

(6)三維鑽孔液化機率柱狀圖

①全區展示 [25]

讀入三維鑽孔液化機率柱狀圖，以 1999 集集大震強度為準。

②全區關閉 [26]

關閉三維鑽孔液化機率柱狀圖

③單孔或多孔展繪 [27]

連續點選（左鍵）圖面上鑽孔位置，立刻展繪三維柱狀圖，按右鍵（Reset）結束命令。

(7)液化危險度分析

①淺基礎圖開啟 [28]

讀入以淺基礎、1999 集集大震強度為準液化危險度分析圖。

②淺基礎圖關閉 [29]

關閉以淺基礎、1999 集集大震強度為準液化危險度分析圖。

③深基礎圖開啟 [30]

讀入以深基礎、1999 集集大震強度為準液化危險度分析圖。

④深基礎圖關閉 [31]

---

[24] rd=tch_wells.dgn;dsplayers_one

[25] refer attach tch_wells.3d

[26] refer de tch_wells.dgn

[27] dsplayer_well

[28] refer att tch_LL.dgn

[29] refer det tch_LL.dgn

[30] refer att tch_LD.dgn

關閉以深基礎、1999 集集大震強度為準液化危險度分析圖。

⑤危險度分析計算 [32]

計算液化危險度等高線圖

3.碼頭設計與調查

碼頭設計與調查選單包括碼頭位置圖，型態主題圖、資料查詢及設計圖等展示功能，各功能說明如下：

(1)碼頭位置圖

開啟 [33]開啟碼頭位置圖

關閉 [34]關閉碼頭位置圖

(2)碼頭型態主題圖

開啟 [35]開啟碼頭主題圖

關閉 [36]關閉碼頭主題圖

(3)查詢碼頭資料

點選碼頭，查詢碼頭各項資料，查詢視窗如圖 5-6 所示。

(4)碼頭平面圖

開啟 [37]點選碼頭，並載入碼頭相關平面設計圖

關閉 [38]點選碼頭，並載卸碼頭相關平面設計圖

---

[31] refer det tch_LD.dgn

[32] LQANALYZE

[33] refer attach tc_wharf.bas

[34] refer detach tc_wharf.bas

[35] refer attach tc_wharf.thm

[36] refer detach tc_wharf.thm

[37] macro whf_load

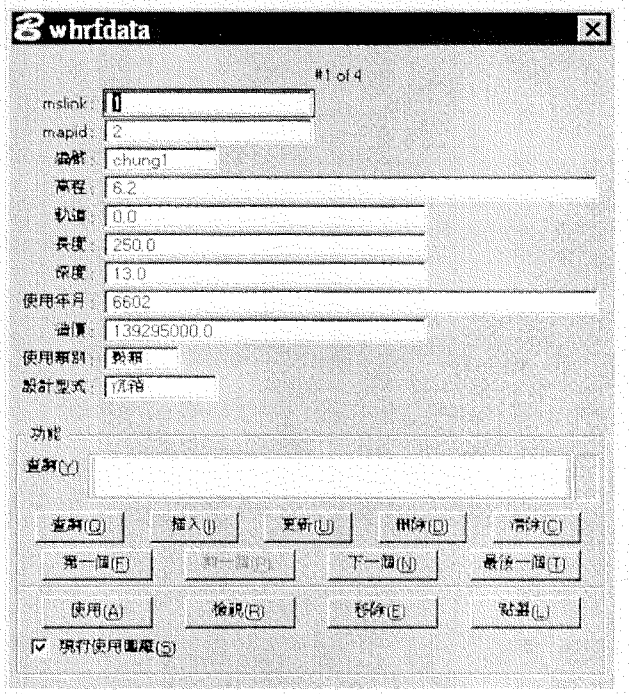
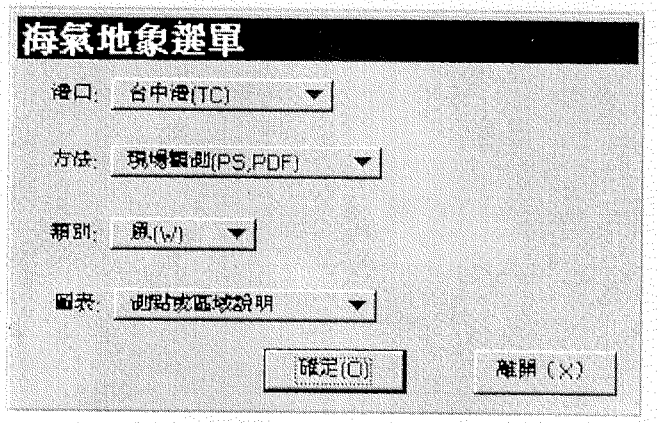


圖 5-6 碼頭資料查詢視窗

4.海地氣象資料

海地氣象資料選單，包括資料查詢及目錄設定等功能，說明如下：

(1)海氣地象資料查詢 [39]二選單視窗如圖 5-7 所示。



查詢海氣地各項資料，顯示或列印（只有 PS 檔）檔案。

列印預設為 LPT1 本機印表機，若安裝網路印表機請修改 seaall.bas 中 PrintItem 敘述。

圖 5-7 海氣地象選單視窗

選單說明:

---

[38] macro whf_unld

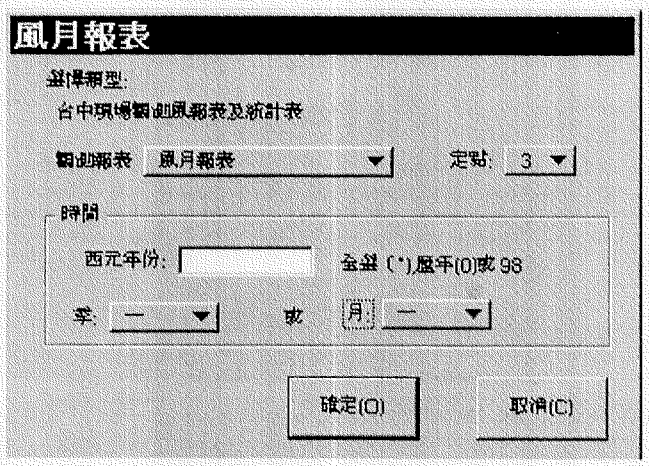
[39] macro seaall3

港口：選擇港區，目前預設為台中港

方法: 現場觀測或數值計算

類別：選擇風、波、潮、浪、流、地形、懸浮物等。

圖表：選擇文件種類，包括說明檔、記錄期間檔、資料圖或統計表等。



若需要時間的文件，會繼續顯示下一個表單（如圖 5-8 風月報表），年份可以輸入兩碼（1999 輸入 99, 2001 輸入 01），並以*代表全選，0 代表歷年資料。

季節與月份則以下拉選單選，只能單選其中一種或全選。

圖 5-8 風月報表查詢視窗

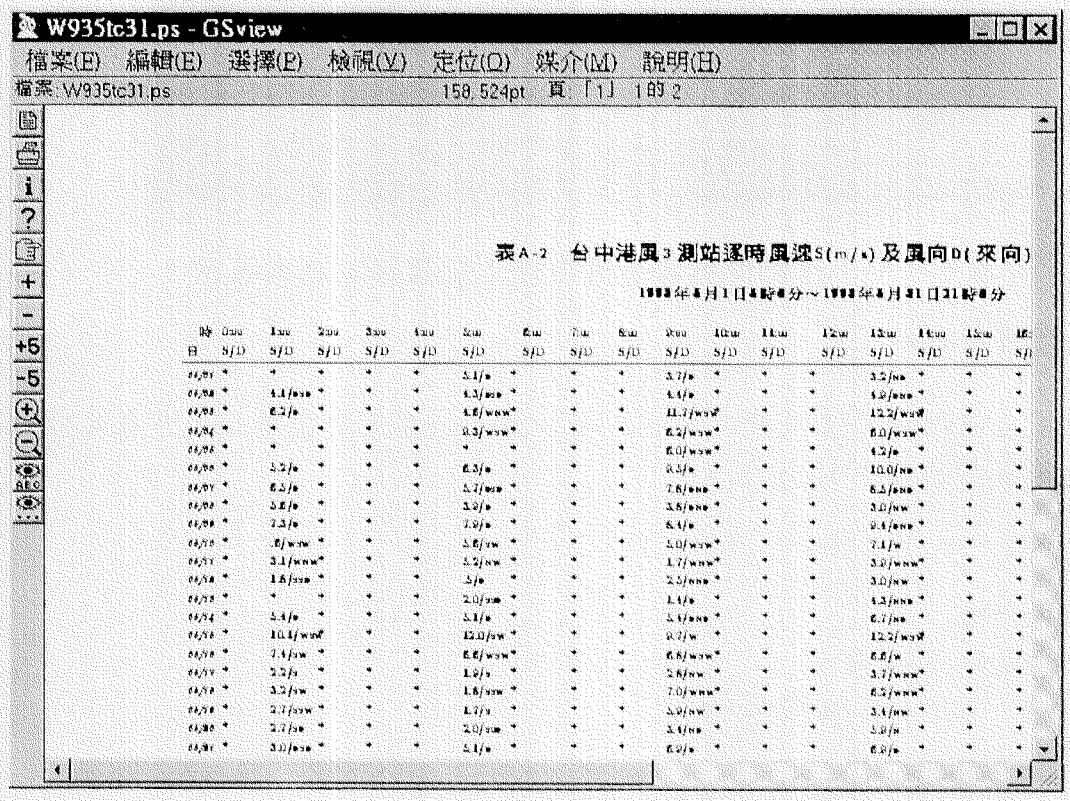


圖 5-9 查詢結果之 GhostView 展示畫面↑

查詢結果之 PS、PDF 檔，乃藉由呼叫 GhostView 顯示(如圖 5-9)，可以轉換其他格式或列印。[40]

查詢結果之 FLC 檔使用 MicroStation 內定電影播放程式顯示，也可以轉換其他格式如 AVI 檔、或影像檔。[41]，而 AVI 檔可用視窗系統內建之媒體播放程式展示。

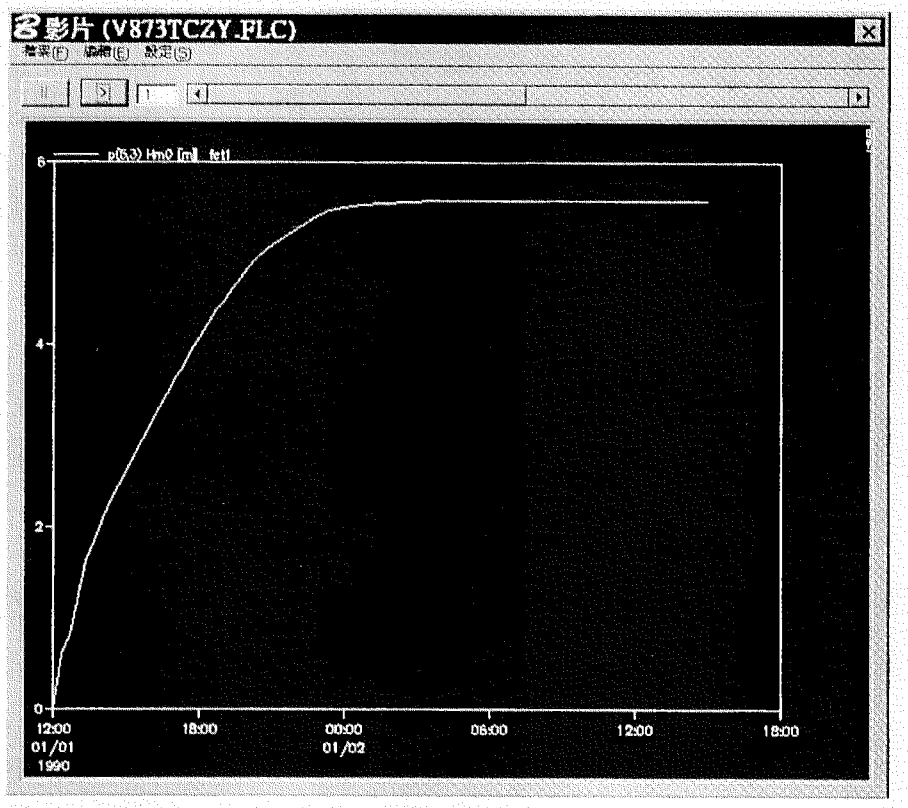


圖 5-9 AVI 檔使用視窗系統內建之媒體播放程式展示。

(2)設定資料目錄 [42]

設定海氣地資料主目錄，預設值為 D:\gis\.將來若變更路徑，可在此修改，設定視窗如圖 5-10 所示。

---

[40] GhostView 轉檔:

EPS、PS: 檔案>另存新檔。

DXF、PDF、WMF 編輯>轉換到向量格式

BMP 編輯>轉貼到點矩陣

GhostView 列印（選擇印表機形式 75DPI to 300DPI ）

旋轉方向: 定位> 順、逆時針或上下顛倒。

[41] 另存 AVI 檔: 檔案>另存新檔>類型選 Windows AVI.

[42] macro setup

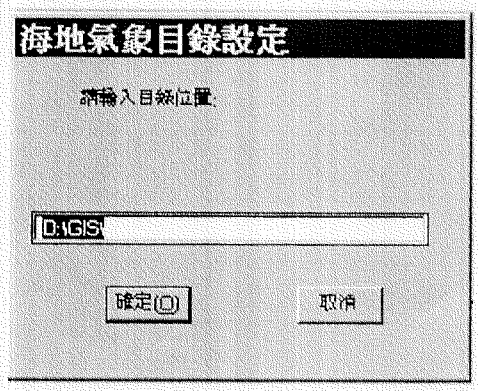


圖 5-10 目錄設定視窗

第六章 二維地理資訊系統資料擴建

今年度除了建置台中港區三維地理資訊系統以外，我們也繼續在既有的二維地理資訊系統上，擴建相關資料，本中心之二維地理資訊系統，係以 MapInfo 為主要建構工具，配合 MapBasic 及 Foxpro 等相關軟體，共同建置查詢資料及撰寫程式。今年度所增建之二維資料，主要分為七大項，略述如下：

1. 台中港 921 烈震#1 至#4A 碼頭災損調查資料

1999 年 9 月 21 日集集發生芮式規模 7.3 的強烈地震，對台灣帶來極大的傷害，台中港也有部份地區受到嚴重創傷，尤以北部 1 至 4A 碼頭及其後線地區，發生沉箱側移，倉房傾斜，地面下陷等災害，為台灣港區有始以來最嚴重的天然災害，本中心亦將此區域之災害資料建入二維查詢系統上，圖 6-1 為台中港區碼頭分佈位置及碼頭資料查詢選單下拉展示情形，藉由滑鼠點選碼頭及選用選單功能項，可查詢 921 烈震災損調查結果。

圖 6-1 台中港區碼頭分佈位置及碼頭資料查詢選單下拉展示圖

圖 6-2 及圖 6-3 為台中港區 1 號及 2 號碼頭烈震損壞情形，利用滑鼠點選左下方的照片選項，可查看烈震災害的影像紀錄。

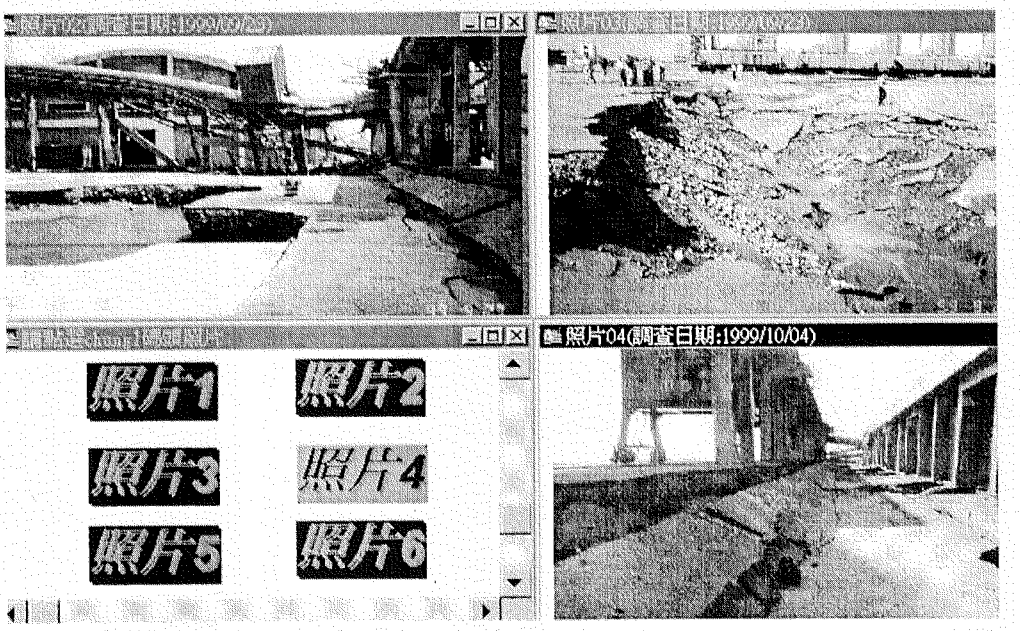
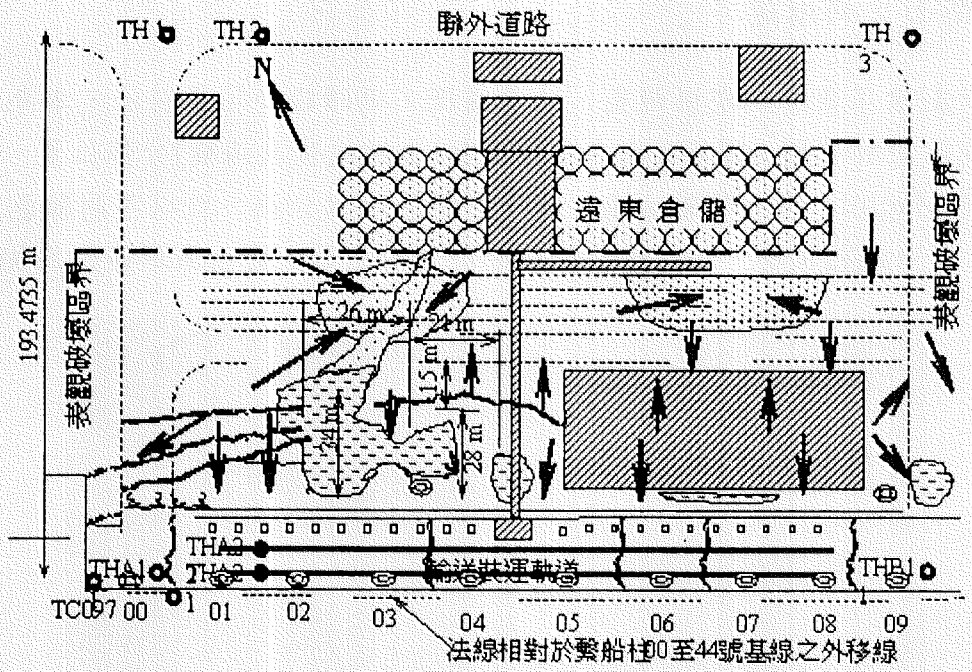


圖 6-2 台中港區 1 號碼頭 921 烈震損壞影像資料查詢結果

圖 6-3 台中港區 2 號碼頭 921 烈震損壞影像資料查詢結果

由這些影像資料，可看見 921 烈震，對台中港的這幾座碼頭，造成結構物傾斜，地面下陷，併有大小坑洞及裂縫，破壞極為嚴重。

圖 6-4 為台中港 1 號碼頭震害破壞的圖示紀錄，圖上標示裂縫、坑洞、側移等註標，可查知整個 1 號碼頭損壞全貌。



一號碼頭主要裂縫、下陷及滑動趨勢平面示意圖 *1999/10 蔡吉立*

圖 6-4 921 烈震後台中港 1 號碼頭主要破壞示意圖

2. 台中港 921 烈震災後復建設計簡易說明資料

另外在災後復建工作上，本查詢系統也用文字簡單地紀錄了各樣災損原因、現象以及所對應的復建設計說明，如圖 6-5 所示。

chung1碼頭重大維修記錄

壹、921災損現象或災損原因	貳、復建設計說明
(1)作用地震力高於原設計震度	(1)設計震度提高，1至4號碼頭由原設計震度 K=0.15提昇至K=0.2，4A碼頭因後線有水泥儲槽，沉箱無法錨碇，抗震性僅提高至K=0.17。
(2)碼頭法線曲折無法靠船	(2)碼頭法線由原法線位置向海側延伸1.7m，使1至4A碼頭法線成一直線，以利靠船，且不佔用太多泊渠水域，以免影響操船作業。
(3)碼頭後線疑似有土沙經沉箱間隙滑入海中	(3)a.於沉箱間隙澆置麻袋混凝土，防止沉箱後側土壤隨潮差由沉箱間隙流入海中。 b.沉箱後側背填濾料予以挖除，重新回填細顆粒濾料及舖設濾層與濾布，防止土砂流入海中。
(4)碼頭後線土壤疑似有液化現象	(4)考量工期與經費等因素，採用半置換工法，以增加土壤抗液化強度。
(5)吸穀機軌道變形扭曲沉陷	(5)利用原軌道重建，使軌道平直、高程一致，以利吸穀機作業。
(6)卸儲輸送系統基礎沉陷損壞	(6)輸送系統之基礎採打設基樁處理。

圖 6-5 災損原因、現象及復建設計說明簡易紀錄

3. 堤防斷面資料增建

本計劃除了既有的港區規劃、地質鑽探、碼頭設計等資料外，本年度內也增建了堤防設計資料，圖 6-6 為台中港堤防(含防波堤及海堤)分佈位置。查詢程式中利用 MapInfo 的主題圖功能，將堤防型態加以分類，並以不同顏色標示來做區分，台中港之堤防：紅色標示部份為沉箱合成堤，藍色標示部份為拋石堤。

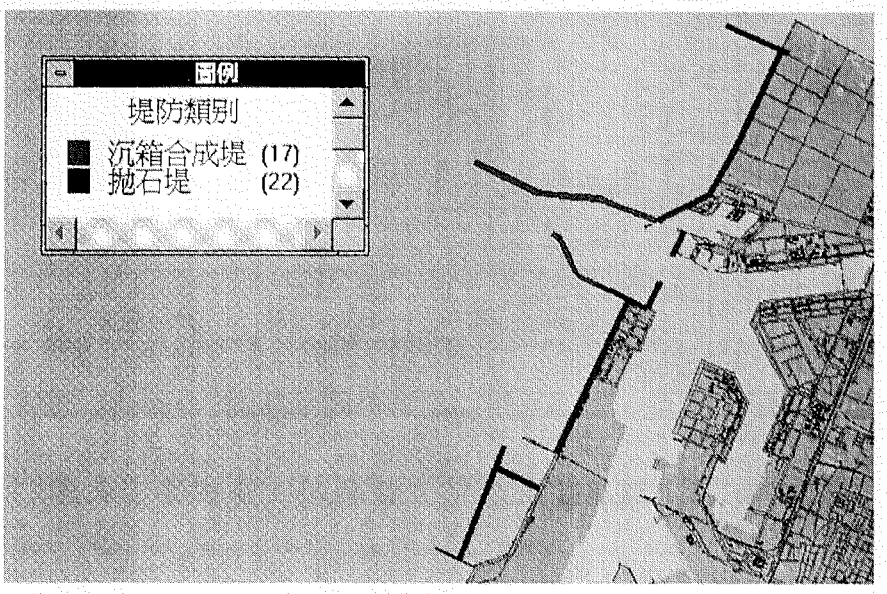


圖 6-6 台中港堤防分佈位置

系統上也可用滑鼠點選某一段堤防，叫出該堤防的設計斷面圖，圖 6-7 為台中港北防波堤中間段的斷面圖，該段為一沉箱式的堤防。

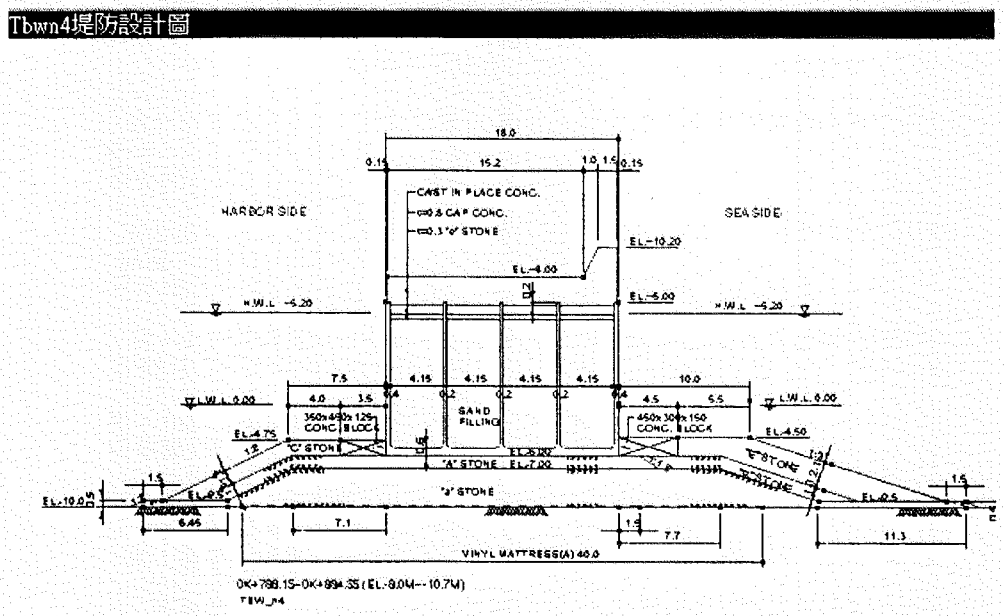


圖 6-7 台中港北防波堤設計斷面圖

4. 台中港新建碼頭斷面資料

台中港為一新興港口，目前正往南方海域擴建，這兩年來所新建的幾座碼頭，本系統也將其設計斷面圖納入，圖 6-8 為新建之 33 碼頭斷面資料，其設計為棧橋式構造，除直立樁外，中間設有斜樁，以抵抗船舶靠岸所帶來的側向衝撞力。

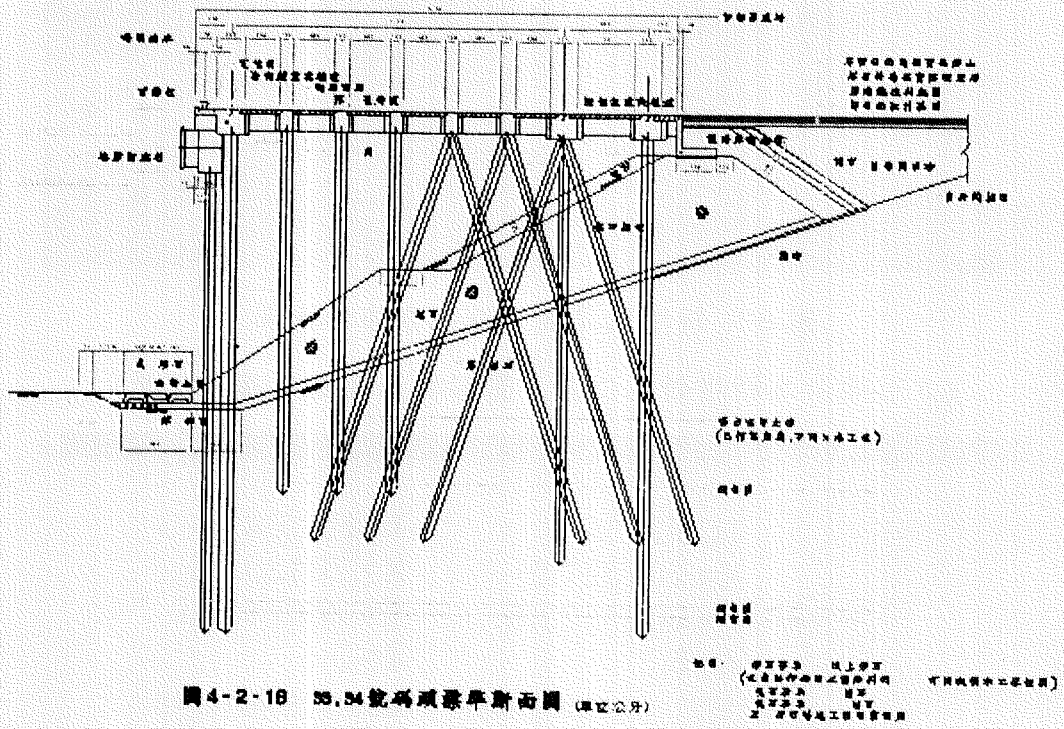


圖 6-8 台中港新建碼頭設計斷面圖

5. 增補台中港鑽探資料

921 烈震之後，本中心在台中港區 1 至 4 號碼頭後線施做了 6 孔地質調查鑽孔，其分佈如圖 6-9 內方形標示位置所示，(圓形標示為既有之鑽孔位置)。利用二維系統內所建置的液化機率分析模組，分析其中兩個鑽孔，結果如圖 6-10 所示，其中有一半以上的土層，在規模 7.3，地表最大加速度 0.16g 的條件下，機率值超過 0.5。

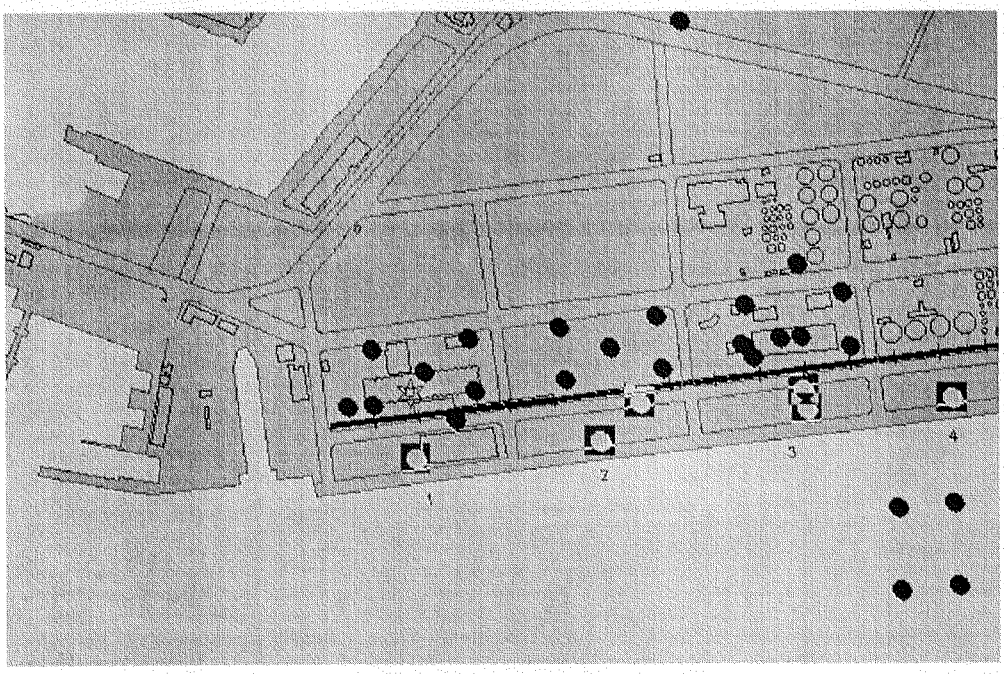


圖 6-9 新增地質調查鑽孔分佈示意圖

(方形標示為新增鑽孔位置，圓形標示為既有鑽孔位置)

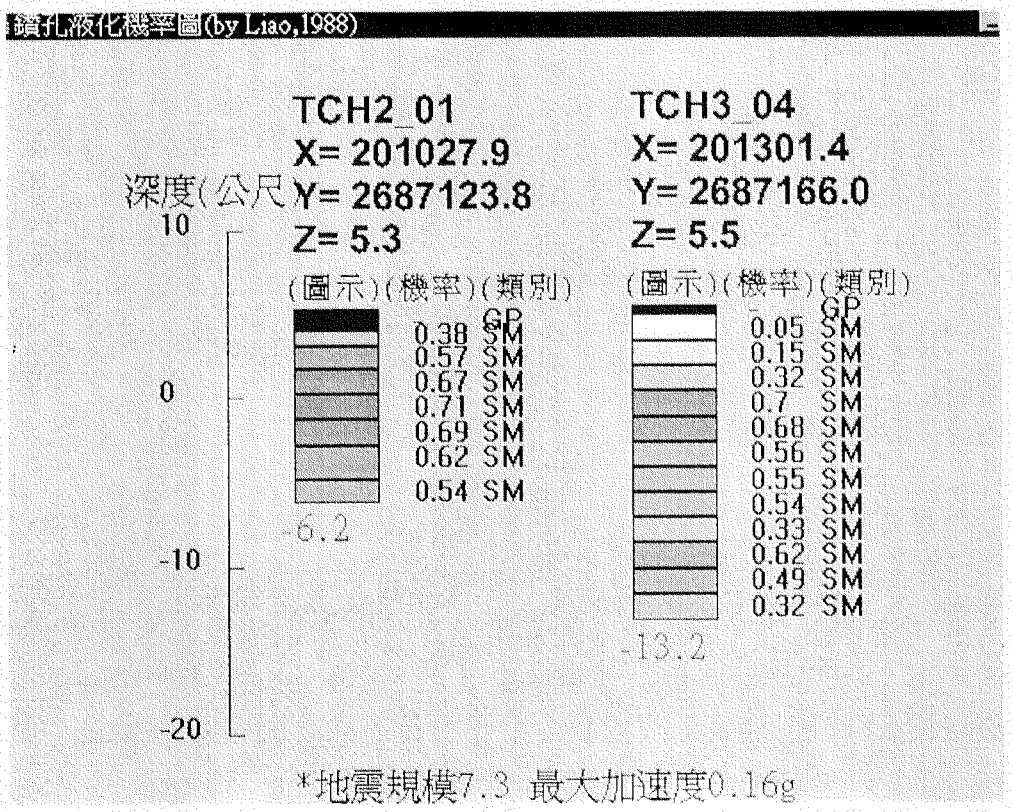


圖 6-10 部份新增鑽孔液化機率分析結果

6. 增補布袋港分層下陷及水壓監測資料

布袋港下陷資料查詢系統，建置至今已有兩年，其中分層下陷監測井之下

陷量及水壓變化，仍持續進行調查，本研究亦將這些調查資料，納入該查詢系統內，其累積下陷量調查結果如圖 6-11 所示。

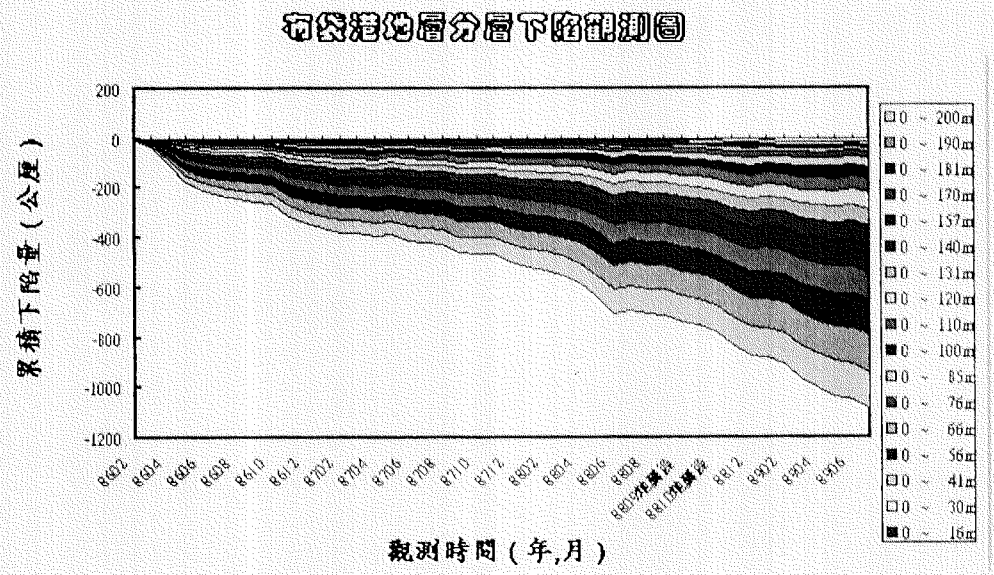


圖 6-11 布袋港分層累積下陷量調查成果

7. 增補安平港分層下陷及水壓監測資料

安平港下陷資料查詢系統，建置至今已過一年，其中分層下陷監測井之下陷量及水壓變化，仍持續進行調查，本研究亦將這些調查資料，納入該查詢系統內，其地層個別壓縮量調查結果如圖 6-12 所示。

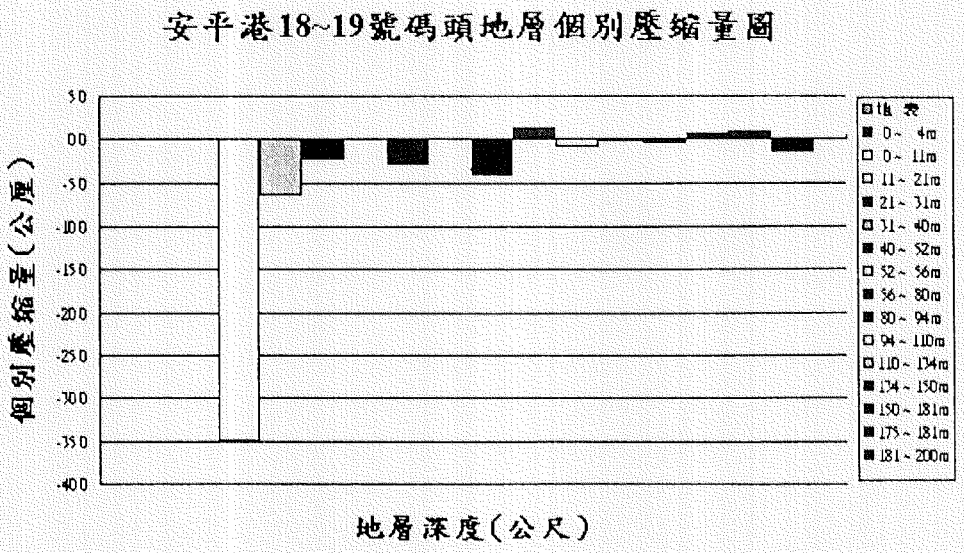


圖 6-12 安平港地層個別壓縮量圖

第七章 結論與建議

1.三維系統後續建議工作：

(1).建置基、高、花、蘇等港三維模型

(2).製作各港三維導覽系統

(3).將部份三維之成果移置二維系統內供查詢使用

2.二維系統後續建議工作：

(1).收集建置蘇澳港堤防斷面資料

(2).增建蘇澳港規劃資料

(3).增建高雄港新建碼頭資料

3.成立 GIS 小組以推動相關工作：

(1).港工資料：

①建置碼頭腐蝕、堤防破壞等調查資料

②建置港池污染調查資料

(2).海工、數模資料：逐年彙整各港海氣象資料

(3).規劃資料：

①增補各港碼頭、堤防資料

②彙整建置碼頭營運資料

(4).大地資料：

①建置各港三維導覽系統

②撰寫 Seed,JRA 等液化分析模組

4.提供規劃設計及災害防治基本資料：

本文利用桌上型地理資訊系統，建置成一套資料查詢管理系統，除了規劃預算階段可獲得省時、省力、省錢等效益外，亦能達到災害防治的目的。將來並可依據這些資料來推估超抽地下水、烈震或填土所引致之下陷可能分佈範圍及其它工程應用，以作為規劃設計及災害防治上的基本資料。

參考文獻

[1] 謝明志、單誠基、賴聖耀、李延恭(1997)， **地理資訊系統在港灣工程資料查詢展示之應用**,第十九屆海洋工程研討會.

[2] 謝明志、賴聖耀、李豐博、陳志芳(1998)，**地理資訊系統在地層下陷與土壤液化之應用研究-以布袋港為例** ,1998 年中華地理資訊協會學術研討會.

[3] 謝明志、單誠基 (1998)，**台灣五大港區碼頭地質資料查詢展示系統簡介**,港灣報導 No.45。

[4] 賴聖耀、謝明志 (1999) ，**港灣地區地層下陷監測研究(II)- 安平港地層下陷監測與資料查詢系統之研究**，港灣技術研究中心。

[5] 港灣研究中心(1999)，**台中港 1～4A 碼頭 921 地震液化災損初步調查研究**，港灣研究中心專刊 172 號。

[6] 賴聖耀（1990），**以標準貫入試驗值建立土壤液化潛能判別模式**，**中國土木水利工程學刊**，第二卷，第四期，PP.301-311。

[7] 賴聖耀，謝明志（1996），**台灣各港區地震引致土層沉陷之研究---台中港**，港灣研究所，85-研（五）-2。

[8] 賴聖耀，謝明志，李豐博，陳志芳（1998），**布袋港地層下陷監測研究**，第二十屆海洋工程研討會。

[9] 施保旭(1997)，**地理資訊系統**，儒林圖書公司。

[10]賴聖耀、李豐博、陳志芳(1997)，**安平港長期性地下水位變化與分層地層下陷監測研究**，港灣技術研究所研究報告 86-研(十)。

[11]賴聖耀(1990)，**以標準貫入試驗值建立土壤液化潛能判別模式**，中國土木水利工程學刊、第二卷、第四期、pp.301-311。

[12]李咸亨、謝浩明(1988)，**大地工程地質資料庫系統及台北市區建檔研究**，內政部營建署。

[13]謝明志、李延恭(1996)，**台灣各港區土層分佈資料微電腦建檔及土壤動態性質分析研究**，港灣技術研究所 85-研(五)研究報告。

[14]李延恭、謝明志、蘇吉立、陳圭璋 (1997)，**高雄港老舊碼頭安全調查及評估研究**，港灣技術研究所研究報告 86-研(九)。

[15]Shan,C.C., Hsieh,M.J., Chu,C.Y.(1998)' **GIS Approach on Kaohsiung Port Facilities Management**，1998 International Conference on Shipping Development & Port Management, March, Kaohsiung, Taiwan.

[16]Lay,S.Y. & Hsieh,M.J.(1995)，**The step-loading model of subsidence induced by groundwater level changes with time**，Proceedings of the Fifth International Symposiam on Land Subsidence The'Hagne.

[17]Liao,S.S.C., D.Veneziano, and R.V.Whitman (1988)，**Regression Models for Evaluating Liquefaction Probability** ,J. of Geot. Engr., ASCE, Vol.114, No.4, pp.389~411.

[18]Seed,H.B., K.Yokimatsu, L.F.Harder ,and R.M. Chung(1985)，**Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluation**，J._of Geot. Engr., ASCE, Vol.111, No.12, pp. 1425~1445.

[19]Baldi, G., Bellotti, R., Chionna, V., Jamiolkowski, M., and Pasqualini, E.(1982), **Design Parametersfor sands from CPT**. Proceeding of the second European Symposium on Penetration Testing, ESOPT II, Vol. 2 Amsterdam, The Netherlands, pp. 425-438.

[20]Christion, J. T., and Swiger, W. F. (1975), **Statistics of Liquefaction and SPT Results**, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASEC, Vol. 101, No. GT11, pp. 1135-1150.

[21]Helm, D.C. (1975), **One-Dimensional Simulation of Aquifer -System Compaction Near Pixley,California,1,Constant Parameters** ,Water Resources Research,Vol.11, No.3, PP.465~478.

[22]Ishihara, K., and Yoshimine, M., (1991), **Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes** , Soils and foundations, Vol.32, No.1, pp.173-188.

[23]Ishihara, K., Yasuda, S., and Nagase,H., (1996), **Soil characteristics and ground damage**, Special Issue of Soils and Foundations, pp.109-118

[24]Lay,S.Y. & Shieh,M.J.(1995) , **The step-loading model of subsidence induced by groundwater level changes with time**. Proceedings of the Fifth International Symposiam on Land Subsidence The Hagne.

[25]Lee, K., and Albaisa, A., (1974), **Earthquake induced settlements in saturated sands**, Journal of ASCE, Vol.100, GT 4, pp.387-405

[26]Liao,S.S.C., D.Veneziano, and R.V.Whitman (1988) , **Regression Models for Evaluating Liquefaction Probability** ,J. of Geot. Engr., ASCE, Vol.114, No 4, pp. 389-411.

[27]Nagase,H., (1984), **Strength and deformation characteristics of sand subjected to irregular loading in multiple directions**, PhD dissertation to the University of Tokyo, (in Japanese).

[28]Nagase, H., and Ishihara, K., (1988), **Liquefaction-induced compation and settlement of sand during earthquakes**, Soils and Foundations, Vol.28, No.1, pp.66-76.

[29]Ohara,S., and Matsuda,H., (1988), **Study on the Settlement of Saturated Clay Layer Induced by Cyclic Shear**, Soils and Foundations, Vol.28, No.3.

[30]Pyke, R., Seed, H. B., and Chan, C. K. (1975). **Settlement of sands under multidirectional shaking**. J. Geotech. Engrg. Div., ASCE, 101(4), 379-398.

[31]Robertson, P. K. and Campanella, R. G. (1985), **Liquefaction Potential of Sands Using the CPT** , Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 111, No. 3, pp. 384-403.

[32]Seed,H.B., and Silver,M.L., (1972), **Settlement of Dry sands During Earthquakes**, Jnl. Soil Mechanics and foundations, ASCE, Vol.98, SM4.

[33]Shibata, T. and Teparaksa, W., (1988), **Evaluation of liquefaction Potentials of Soil Using Cone Penetration Tests**, Soils and foundations, Vol.28, No.2, pp.49-60.

[34]Silver,M.L., and Seed,H.B.,(1971), **Volume Changes in Sands During cyclic Loading**, Jnl. Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol.97, SM9.

[35]Soydemir,C., and Lecount,P.L., (1984), **Foundation design for potential liquefaction: A Case Study**, Proc.8th World Conf. Earthquake Engg, San Francisco, California.

[36]Tatsuoka,F., Sasaki,T., and Yamada,S., (1984), **Settlement in saturated sand induced by cyclic undrained simple shear**, Eighth World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, Vol.Ⅲ, pp.95-102.

[37]Terzaghi,K.(1943),**Theoretical soil mechanics**,John Wiley & Sons,New York.

[38]Tokimatsu, K. and Seed,H.B. (1987), **Evaluation of settlements in sands due to earthquake shaking**, Journal of ASCE, Vol.113, GT8, pp.861-878.

[39]Yoshimi, Y., Kuwabara, F., and Tokimatsu, K. (1975). **One-dimensional volume change characteristics of sands under very low confining stresses**. Soil and Found., 15(3), 51-60.

[40]Youd, T. L., **Compaction of Sands By Repeated Shear Straining**, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 98, No. SM7, Proc. Paper 9063, July, 1972, pp. 709-725.

[41]Zeevaert,L. (1973), **Foundation Engineering in Difficult Subsoil** Condition, Van Nostrand-Reinhold Company, New York.

第三子計畫

港灣 GIS 系統-台中港海氣地象資料分析及查詢

89研(11)第三子計畫

港灣GIS系統-台中港海氣地象資料分析及查詢

執行單位 ： 數學模式組
執行期間 ： 民國八十八年七月一日至
民國八十九年十二月三十一日
計畫主持人 ： 蘇青和研究員

港灣GIS系統-台中港海氣地象資料分析及查詢

摘　　要

本計畫主要配合本中心建立之港灣 GIS 系統，而建立之海氣地象資料分析及查詢系統，系統包括現場觀測及數值計算之潮汐、海流、風、波浪、地形、懸浮質等 6 項，歷年蒐集之資料。本年度主要之分析對象為台中港現場觀測資料，其中潮汐 1 個測站約有 29 年資料(民國 60~88 年)，其他風、波浪、海流則在民國 82~86 間各計有 3~4 個測站之觀測資料。經分析後之代表性資料圖、月報表、統計圖或統計表，將透過資訊網路提供港務局或相關研究單位查詢及使用。

目　　錄

第一章 前　言

台灣四周環海，開發海洋資源、發展航運、從事港灣建設及徹底瞭解港灣設施改善之依據等均需長期可靠之海象、氣象資料作為依據。目前政府為落實台灣成為亞太營運中心之目標，行政院研考會正推動「政府機關電子資料流通」之業務，藉此將五個國際港之海氣象資料以靜態及動態方式透過資訊網路提供國內船舶業者及有關人員查詢，提供國內外各種方便的資訊服務。且隨著港埠業務之增加及船舶交通管理系統之建立，五個國際港之長期即時觀測網站建立甚為重要，如何將五個國際港之海氣象資料以靜態及動態方式透過資訊網路提供國內船舶業者及有關人員查詢，提供國內外各種方便的資訊服務，及各機關間的資訊交換則為重要目標。

十幾年來本所在台灣地區幾個國際港，進行海氣地象等資料觀測站建立長期觀測，以期獲得較長期的海氣象資料。目前搜集歷年之海氣地象等資料已甚為豐碩，但歷年分析之結果，如統計圖及統計表皆甚為分散，港務局或相關研究單位及顧問公司查詢或引用時，不甚方便。近幾年來，地理資訊系統(GIS)的發展,在資料庫的設計、查詢功能之擴充、技術的應用多有極大的進步，因此本所進年也加緊於港灣 GIS 係統之建立。本計畫將配合本所整體 GIS 系統，建立海氣地象之資料分析及查詢系統，最後將歷年海氣象資料以靜態及動態方式透過資訊網路提供國內船舶業者及有關人員查詢，提供國內外各種方便的資訊服務。其次限於長期即時觀測需投入龐大之經費及人力物力, 一般現場觀測點無法做到全面性, 因此為彌補觀測資料站有限局部之限制，也增加數值模式全港區之海象推算結果，以提供較全面性完整之海氣地象資訊。

第二章 海氣地象資料分析及查詢系統

2.1 系統內容

海氣地象資料蒐集、處理、分析及應用流程圖如附圖 2-1，現場觀測首先在欲觀測的地區選定適當的觀測位置，並安置相關的觀測儀器，觀測資料的讀取及處理則為首要並較繁雜的工作，因為資料品質良莠不齊，儀器故障、外力破壞、人為登錄的誤判，皆可能造成資料處理的困擾。

資料經分析後將產生資料檔、資料圖、報表、統計表及統計圖等有用的資料或資訊。資料檔將鍵入資料庫系統，方便以後查詢及引用。配合相關研究計畫，資料圖表或統計圖表也提供研究報告、本中心的年報印製、光碟製作。重要資訊更提供數值計算、模型試驗及規劃設計等使用。

目前海氣象資料分析結果，依使用對象不同分三類，第一類為即時結果展示，配合觀測儀器及資訊傳遞日新月異，在重要的港口可由現場觀測的重要資訊：如波場（波高、週期及波向）、流場（流速、流向）、風場（風速、風向）等透過網路，提供港務局船隻進港或工程施工的依據。

第二類為年報：將當年觀測的各類資料圖表製作詳細的年報及光碟片，此部份的圖表，將包括詳細的逐時記錄資料，為日、月、季等不同時間之統計圖及統計表。年報將建立在本中心 GIS 系統，可透過網路查詢及引用。

第三類為各港代表性結果，將歷年來的資料經分析後，取曲型代表性之結果建立在本中心 GIS 系統，此部份主要內容為各港長期典型之波、流、風、潮等一般特性，提供對象為規畫設計或一般民眾查詢。

海氣地象資料目前包括的項目有：潮汐、海流、風、波浪、地形及懸浮質等 6 項。函蓋之港口則主要為基隆、台中、高雄、花蓮及蘇澳等五個國際港，及目前本中心正進行相關研究之台北港、安平港、布袋港、澎湖鎖港等幾個國內商港。一般海流、波浪、潮汐、風、懸浮質皆為點的觀測（測點）、水深則為區域

性的量測（測區）。海氣象資料特性皆與時間相關，如風、波、流等與季節（夏冬）皆有相同，潮位也與日及月的變化有關。因此時間也是海氣象資料特性考慮重要因子。為了輔助現場觀測資料因點的局部份及資料期間常過短的不足，本系統另增加部份數值模擬的結果，以提供較全面性、完整性的資訊。

2.2 系統流程

各港海氣地象資料圖表查詢系統流程圖，如附圖 2-2，包括現場觀測及數值模擬兩種，項目則有風、波、潮汐、海流、地形及懸浮質等 6 項，查詢內容除重要的統計圖或統計表，各觀測站或觀測區，皆有測站(區)位置、儀器安置、記錄期間等說明。數值模擬部份也有模擬之背景資料、邊界資料、模擬期間等說明。現場分析結果主要為單點、靜態的，但數值模擬則是全面動態的變化圖。

流程圖 2-3a~圖 2-3f 則為現場觀測風、浪、潮、流、地形、懸浮質 6 項資料說明檔、報表、統計表、資料圖及統計圖之詳細內容。流程圖 2-4 則為數值模擬之詳細內容及流程，包括數值計算說明檔，全區分佈圖（動態），定點資料隨時間變化圖（靜態）等。

2.3 系統語言

查詢系統分兩部份，第一部份主要建立在 Micro Station 系統上。程式語言使用系統支援之 Basic 語言設計，其查詢畫面如附圖 2-5 之表單格式。另一部份主要建立在本中心網站上，使用Java 及 C^{++}為程式設計語言，其查詢畫面如附圖 2-6 之表單格式，詳細表單查詢請參閱本中心 GIS 系統使用手冊。

系統處理之圖或表之檔案格式為 pdf 檔、ps 檔或 FLC 動態檔。其次有關海氣地象資料表檔、圖檔及說明檔名稱說明如下：

1. 資料圖及表檔名(例如 V872TC80.PS)之定義說明如下：

(1)第 1 個為資料類別代碼

T：潮汐

C：潮流
W：風
V：波浪
D：地形
S：懸浮質

(2)第 2 及第 3 個代表西元年，例如 87 代表 1987 年之資料。但 44 代表歷年之資料。

(3)第 4 個代表月份或季節或整年，0 代表整年資料，1～9 分別代表 1 月至 9 月，A～C 分別代表 10 月至 12 月 (A=10 , B=11, C=12)，I, J, K, L 分別代表 I=1 月～3 月，J=4 月～6 月，K=7 月～9 月，L=10 月～12 月等 4 季，W 代表冬季(W=12 月～2 月)，N 代表春季(N=3 月～5 月)，S 代表夏季(S=6 月～8 月)，F 代表秋季(F=9 月～11 月)。

(4)第 5 個及第 6 個為港口代碼：
TC：台中港
KH：高雄港
KL：基隆港
SA：蘇澳港
HL：花蓮港
TP：台北港
AP：安平港

(5)第 7 個代表測站名稱，例如 8 代表台中港測站 8。

(6)第 8 個為表號或圖號
表號：1～9，A～H(17 個)。
圖號：I～Z(18 個)。

(7)附加檔名定義為：
現場觀測之檔名為 PS 檔或 PDF 檔。
數值計算之檔名為 FLC 檔或 AVI 檔。

2.觀測站說明檔(例如 INVTC80.PDF)：
第 1 個固定為 I。
第 2 個代表現場觀測(M)或數值結果(N)。

第 3 個代表資料類別代碼。V 為波浪。
第 4 及第 5 個代表港口代碼。TC 為台中港。
第 6 個代表測站名稱。8 為測站編號。
第 7 個為序號。0 為按月,X 為按次。

3.所有資料檔皆放置於 GIS 目錄下 TC 子目錄下之 6 個子目錄 T(潮汐)，C(海流)，W(風)，V(浪)，D(地形) ，S(懸浮質)之下。

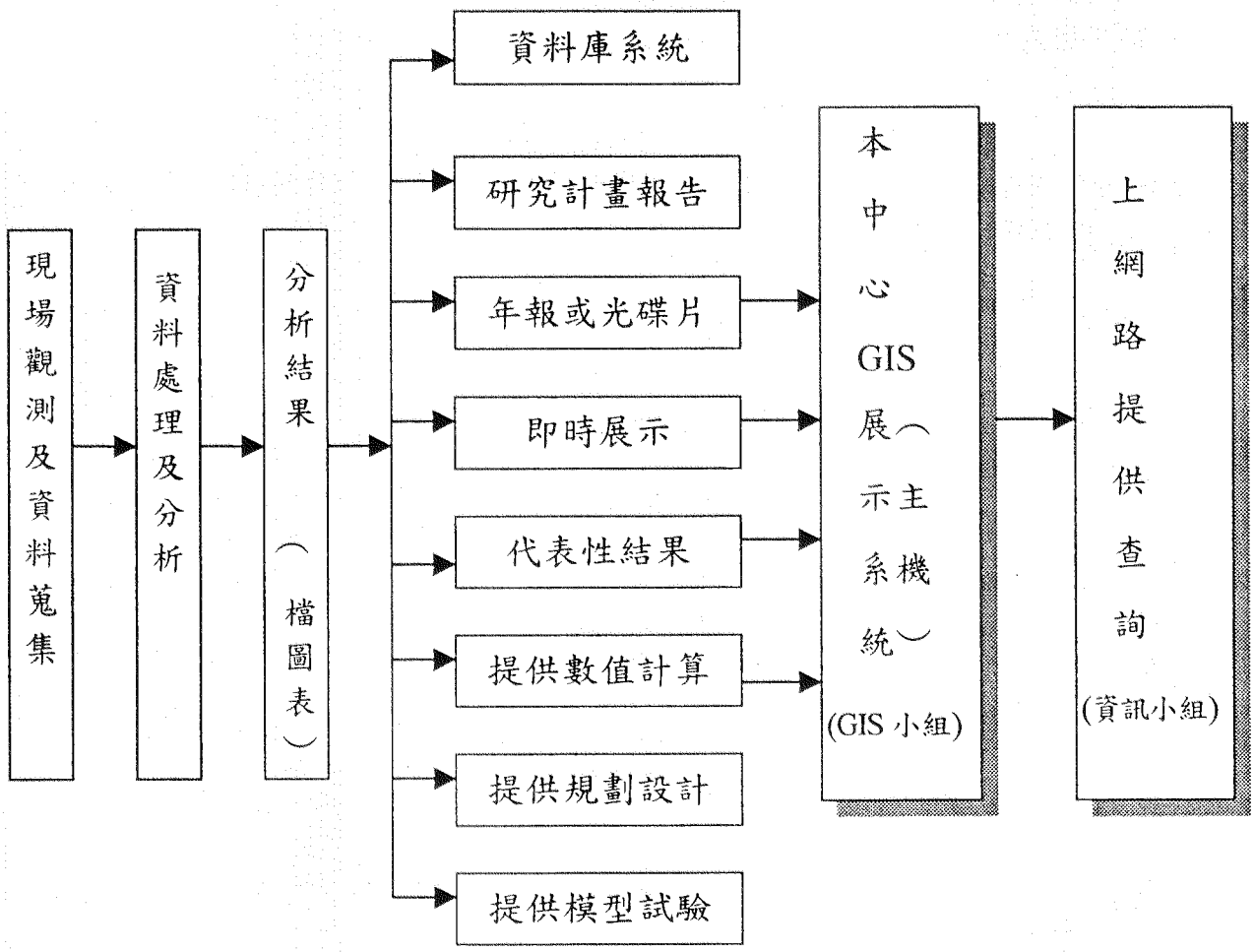


圖 2.1 海氣地象資料蒐集、處理、分析及應用流程圖

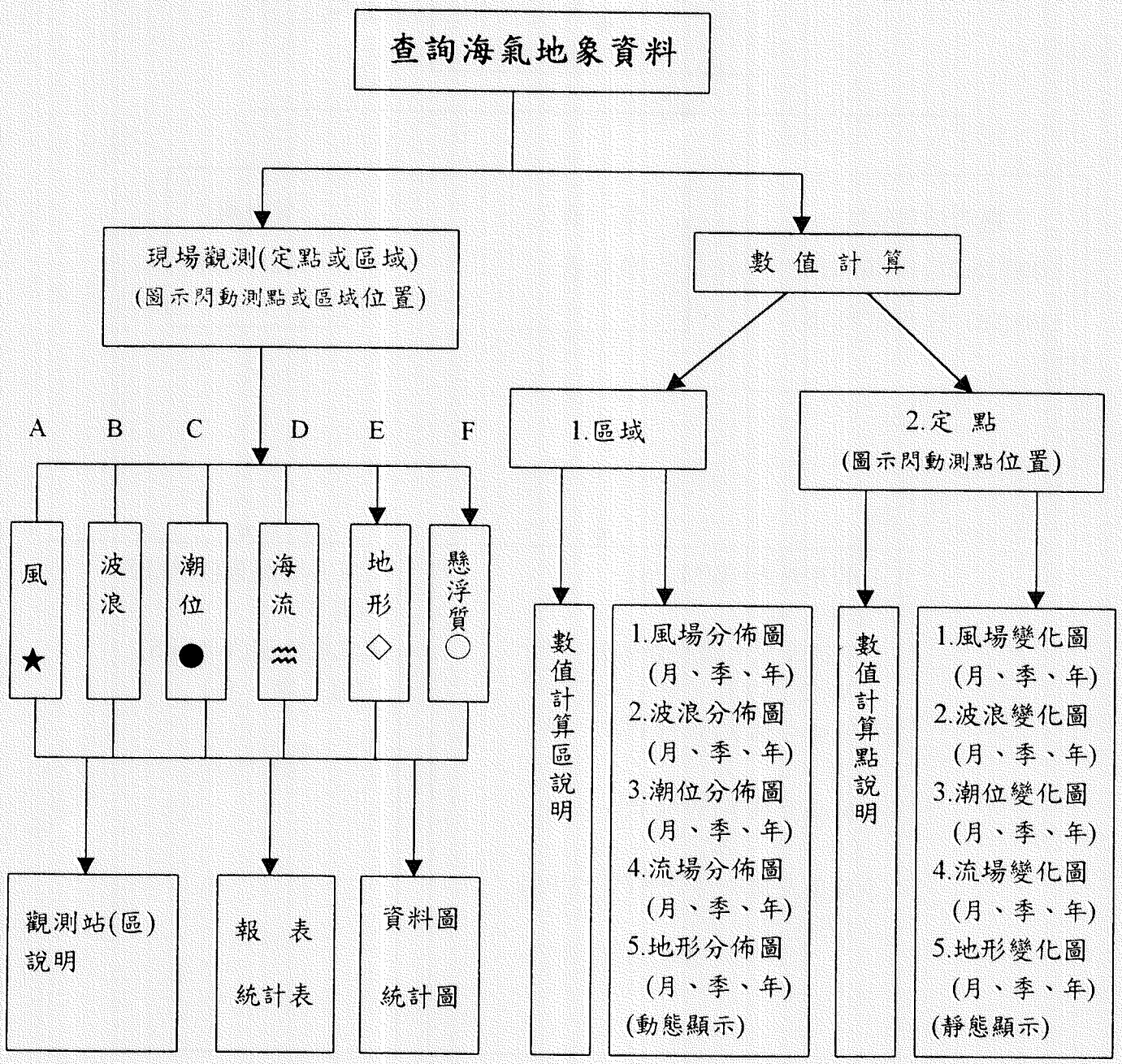


圖 2-2 各港海氣地象資料圖表查詢系統流程圖

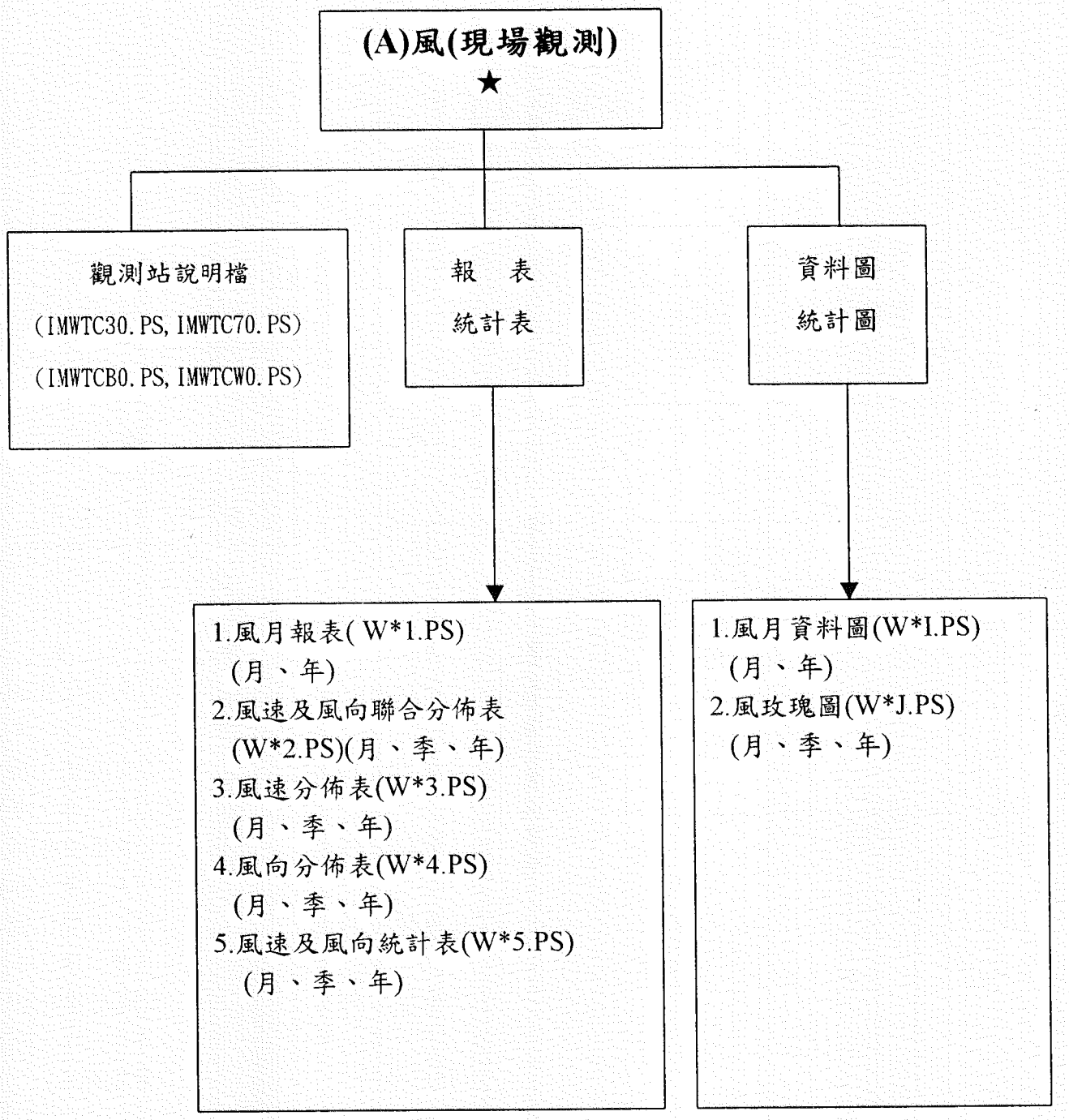


圖 2-3a 風現場觀測統計圖表之內容及流程

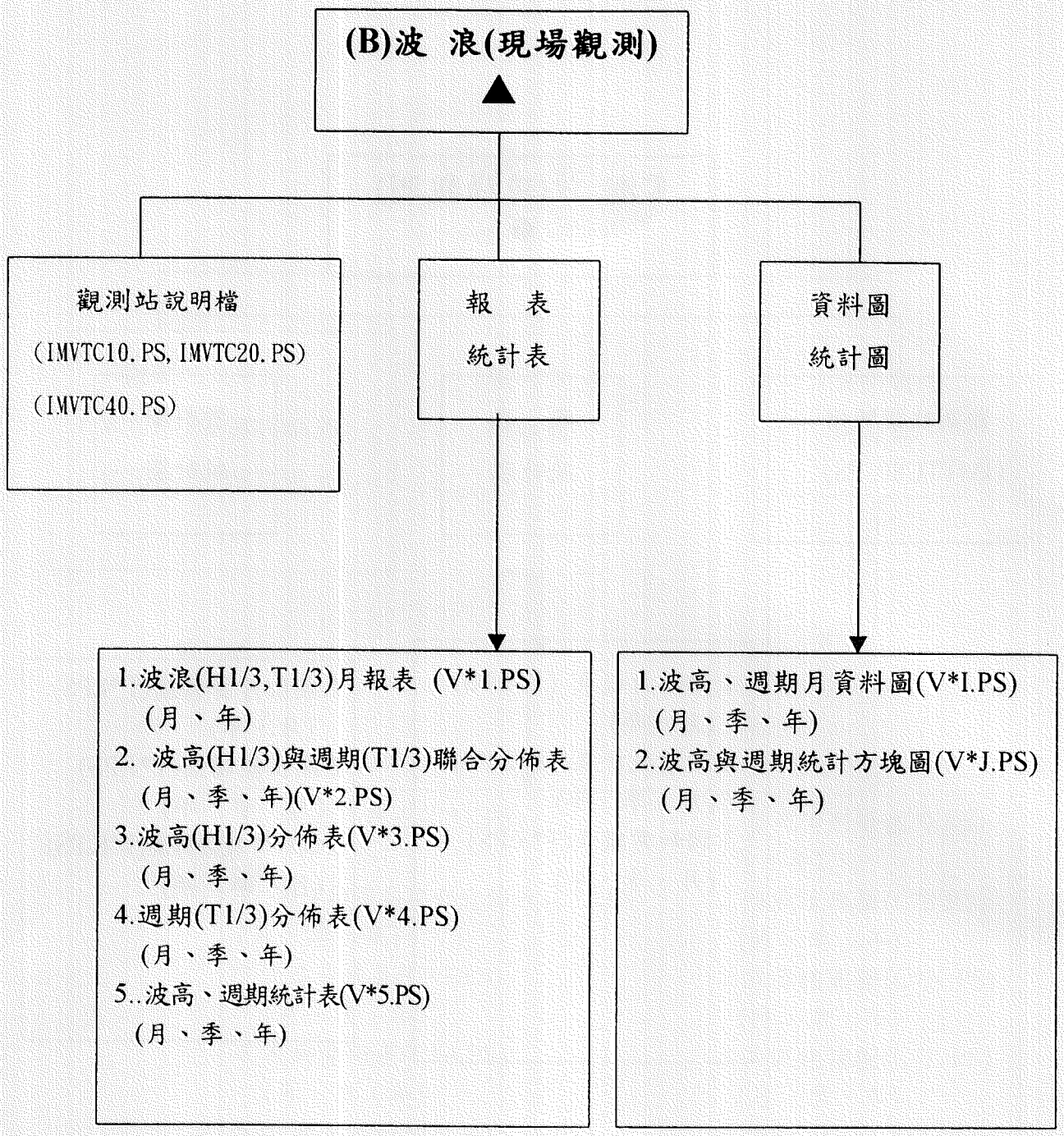


圖 2-3b 波浪現場觀測統計圖表之內容及流程

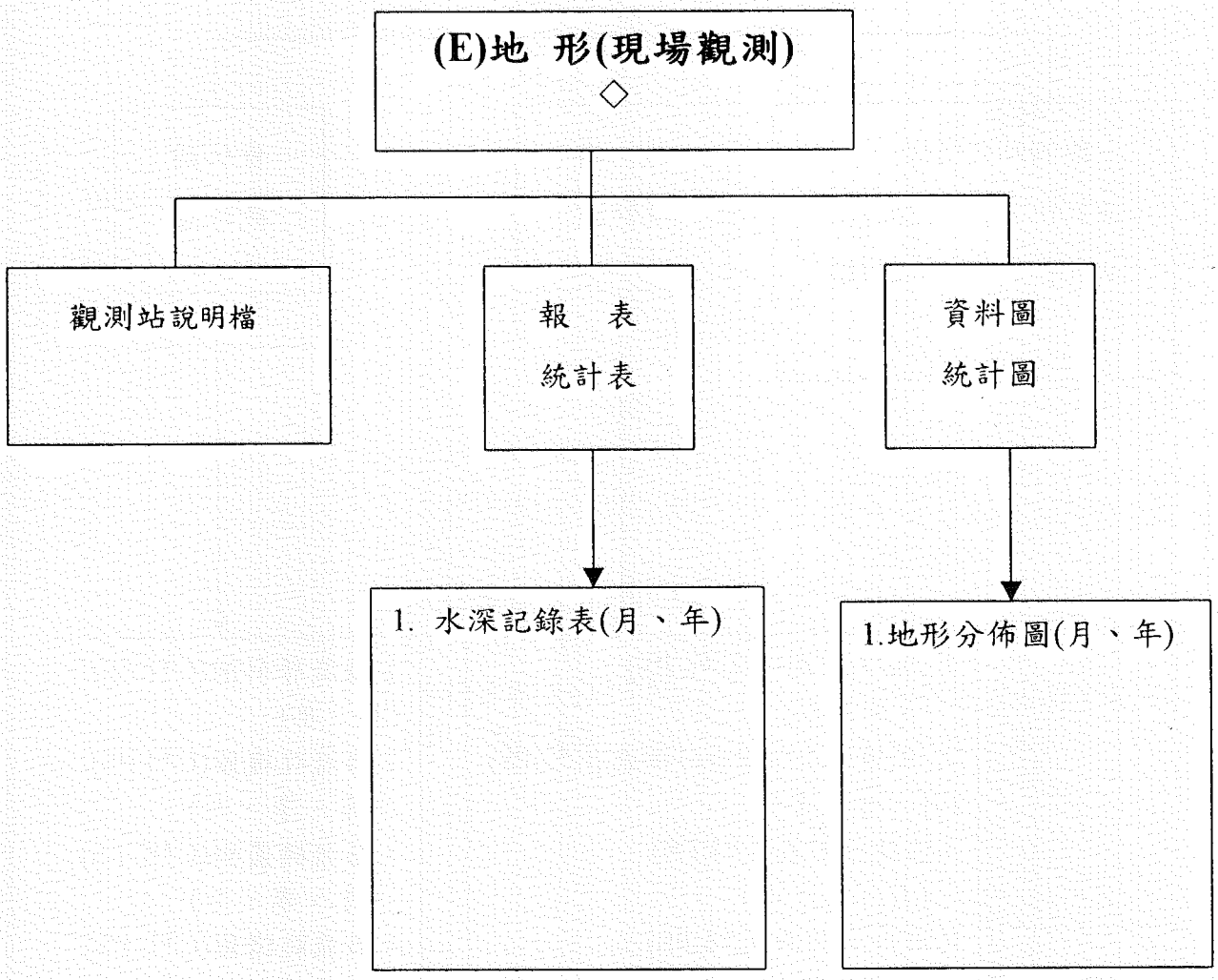


圖 2-3e 地形現場觀測統計圖表之內容及流程

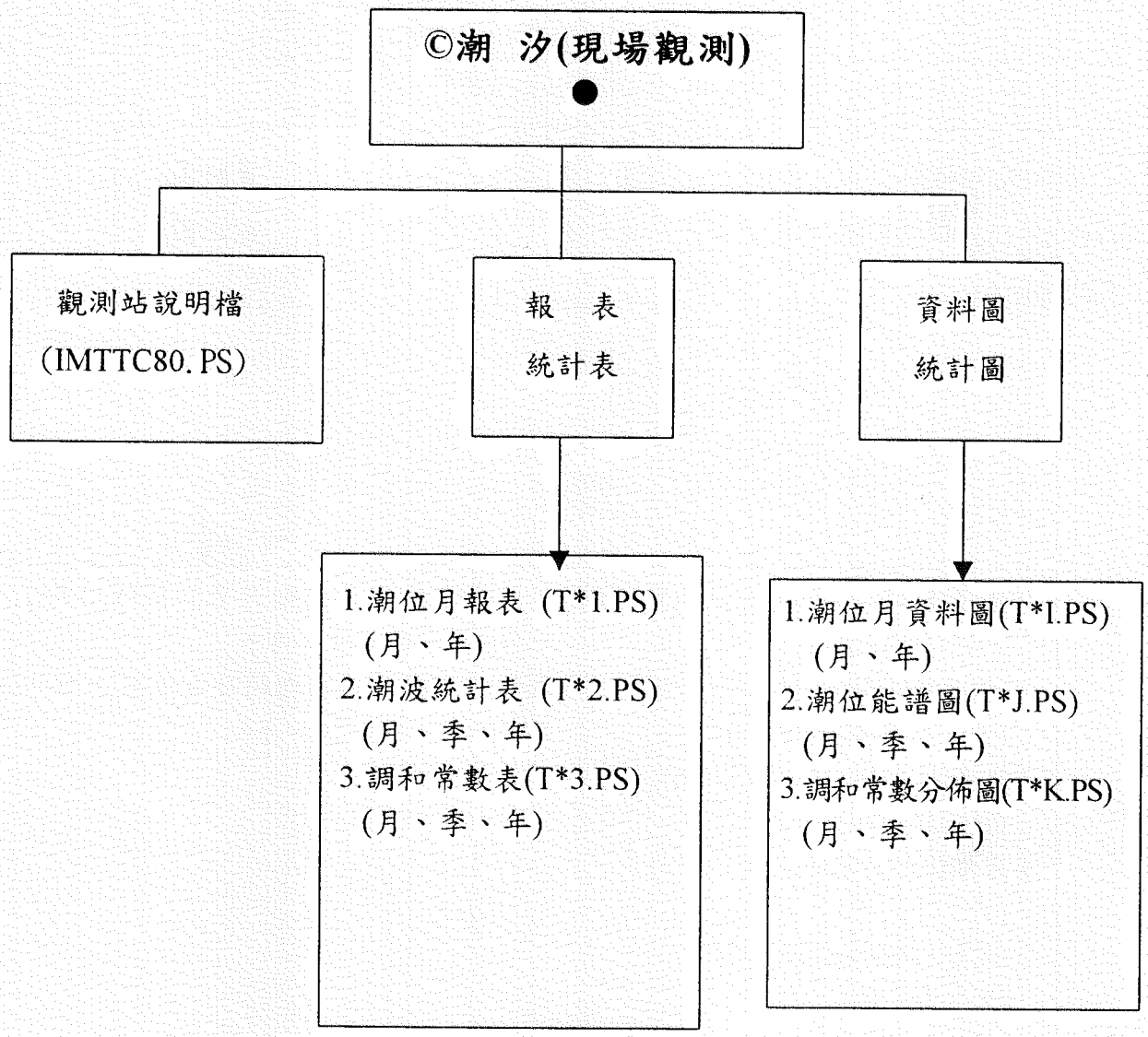


圖 2-3c 潮汐現場觀測統計圖表之內容及流程

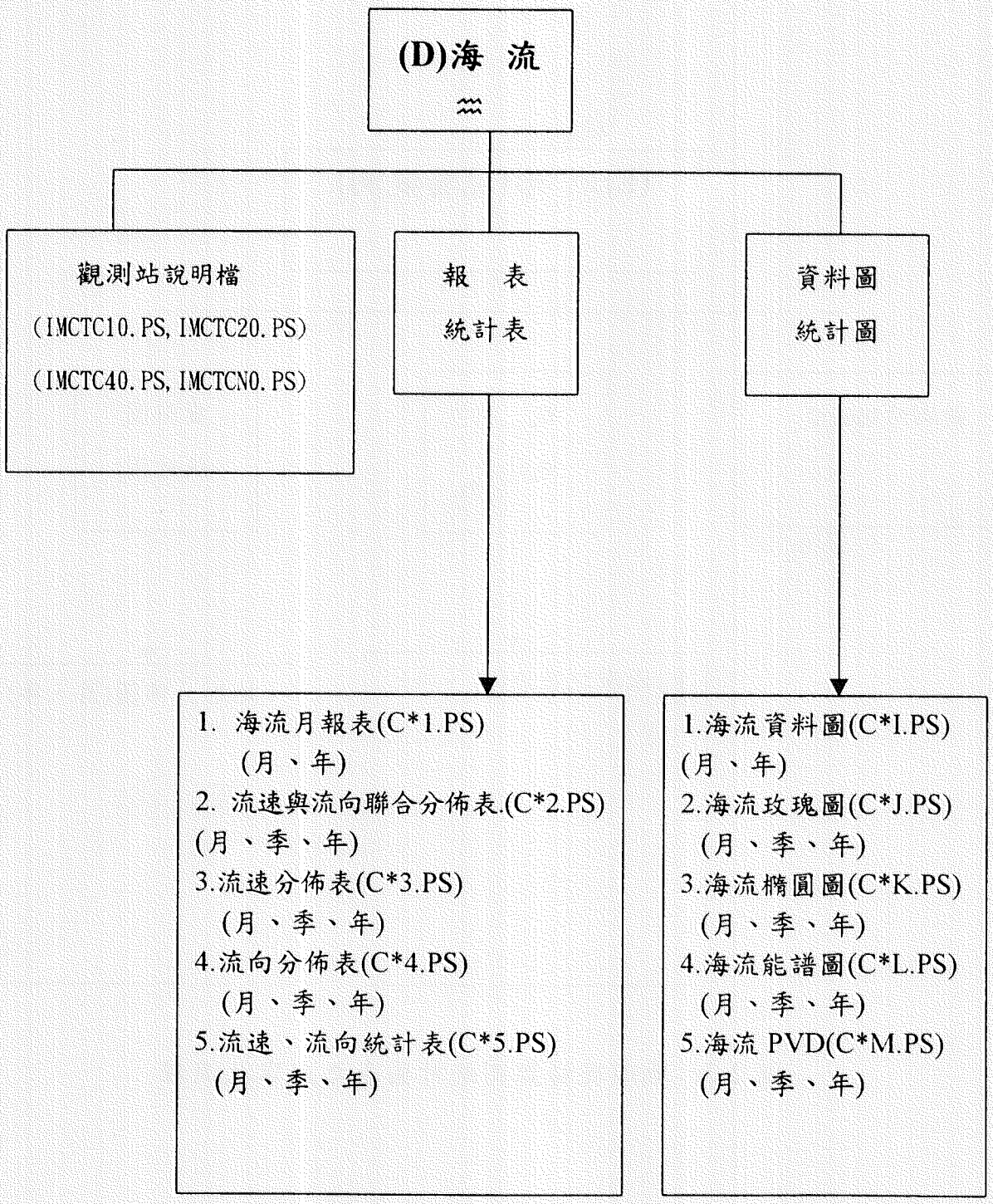


圖 2-3d 海流現場觀測統計圖表之內容及流程

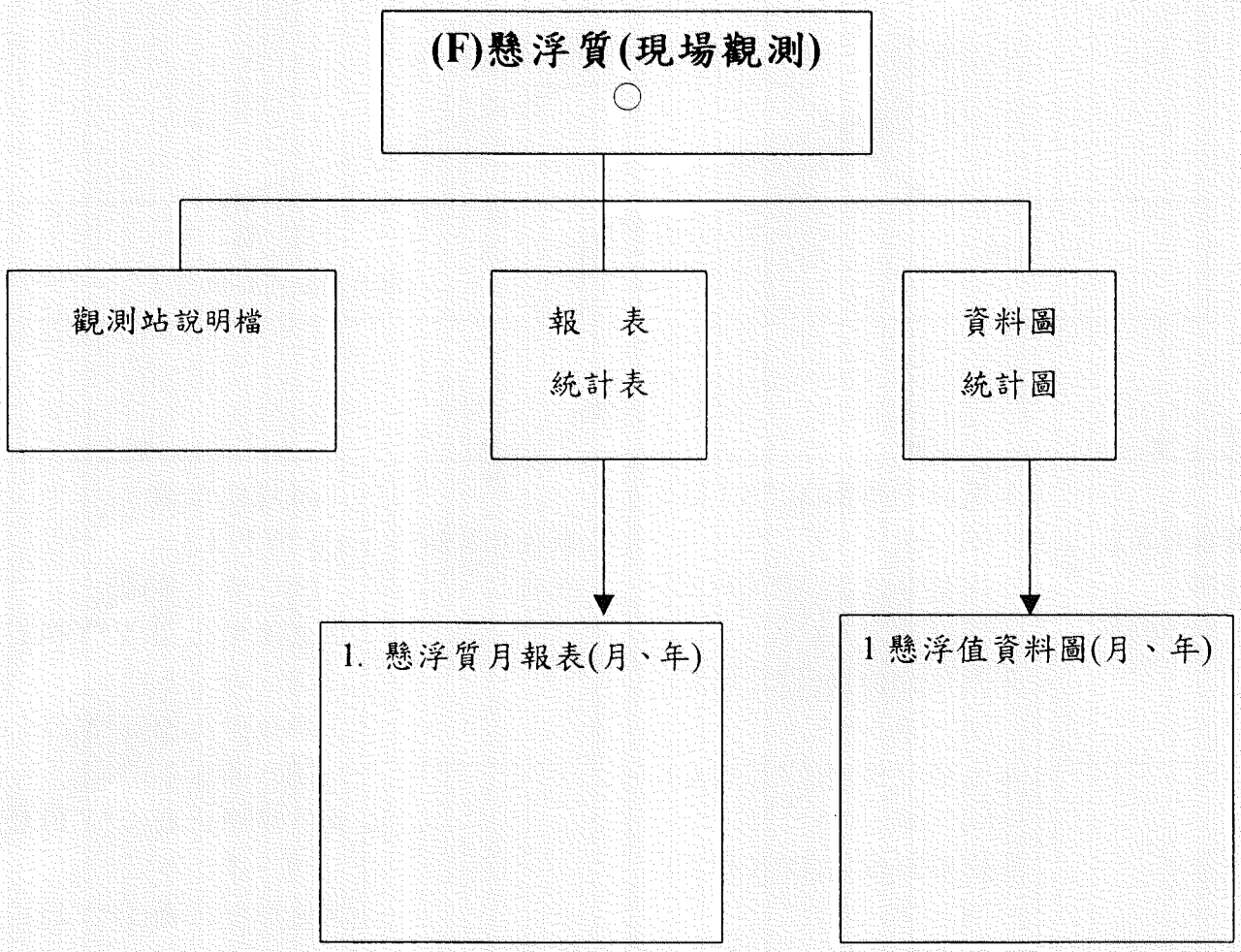


圖 2-3f 懸浮質現場觀測統計圖表之內容及流

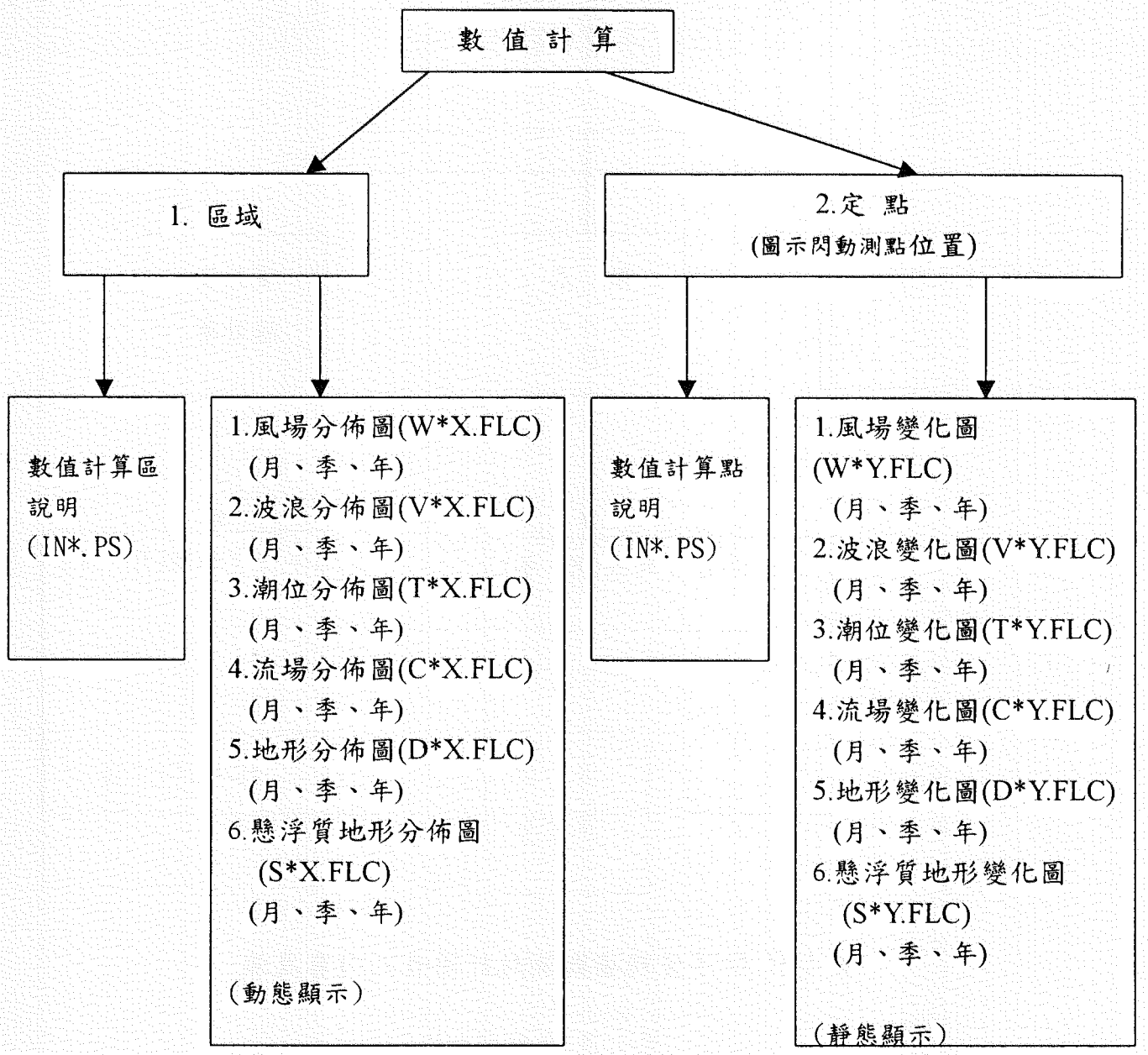
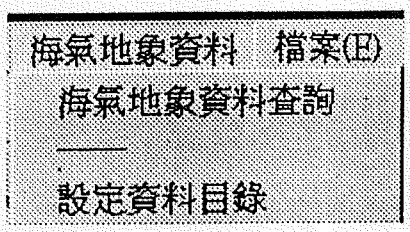
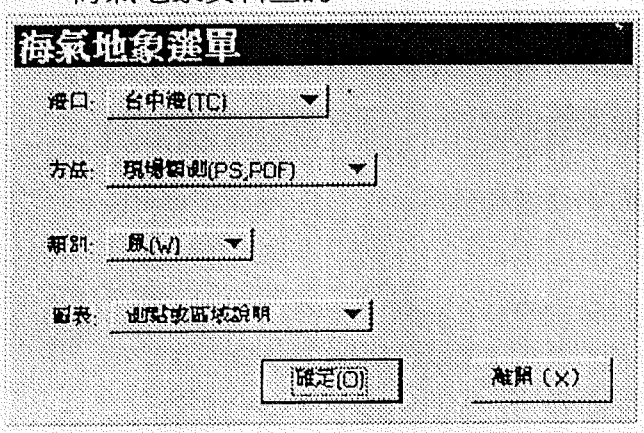


圖 2-4 數值模擬之內容及流程

海地氣象



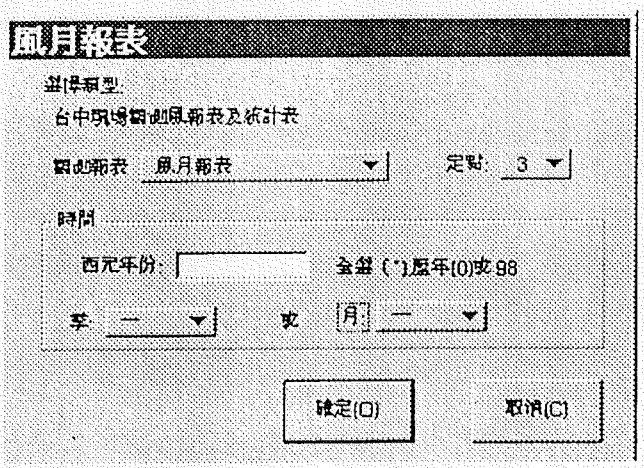
- 海氣地象資料查詢 [43]



查詢海氣地各項資料，顯示或列印（只有 PS 檔）檔案。

列印預設爲 LPT1 本機印表機，若安裝網路印表機請修改 seaall.bas 中 PrintItem 敘述。

選項說明:
港口：選擇港區，目前預設爲台中港
方法: 現場觀測或數值計算
類別：選擇風、波、潮、浪、流、地形、懸浮物等。
圖表：選擇文件種類，包括說明檔、記錄期間檔、資料圖或統計表等。



若需要時間的文件，會繼續顯示下一個表單（如圖風月報表），年份可以輸入兩碼（1999 輸入 99, 2001 輸入 01），並以 *代表全選，0 代表歷年資料。

季節與月份則以下拉選單選，只能單選其中一種或全選。

圖 2-5 Micro Station 系統查詢畫面表單格式

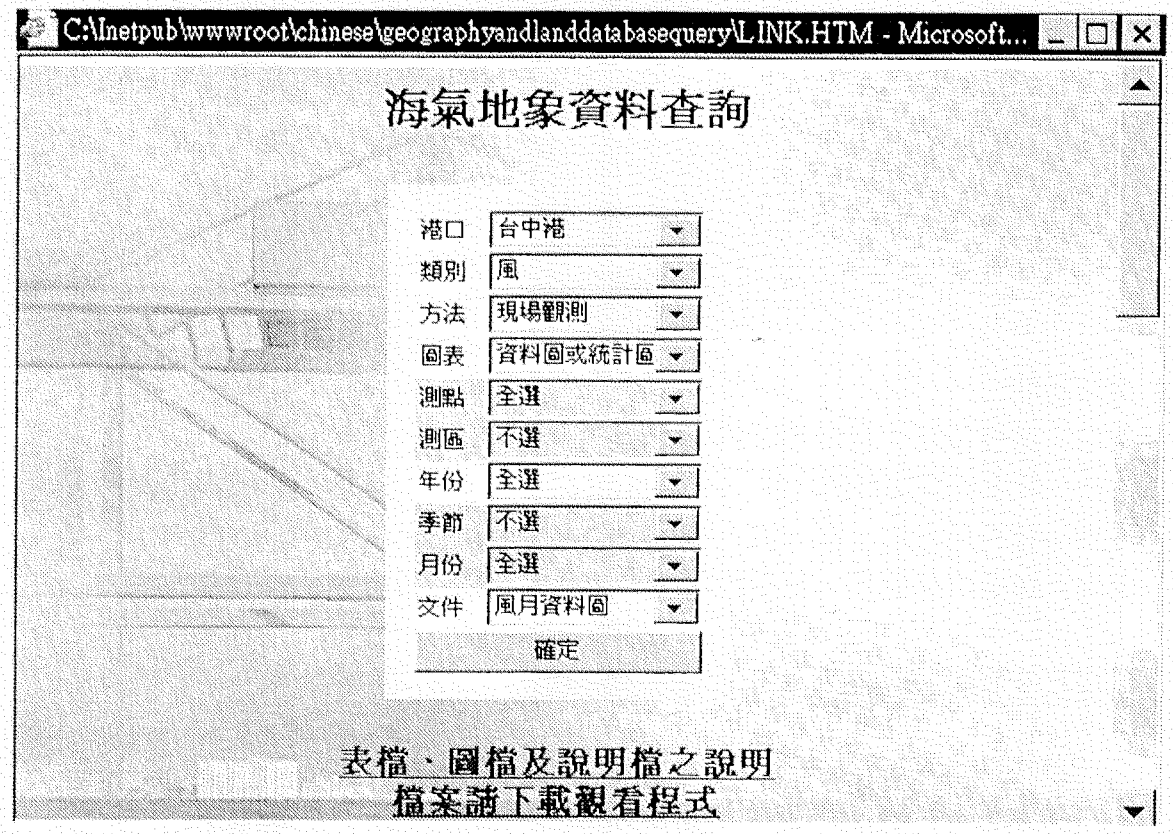


圖 2-6 網路系統查詢畫面表單格式

第三章 台中港海氣地象資料分析結果

本年度主要分析台中港的項目包括潮汐、海流、風及波浪等四項。分述如下：

3.1 潮汐分析

台中港潮汐測站 8 位置如附圖 3-1，蒐集的資料為民國 60 年至今 88 年約有 29 年之資料，其資料記錄期間統計表如附表 3-1，計有 308 個月，月報表如附表 3-2，月資料圖如附圖 3-2，潮波波高及週期統計表如附表 3-3，月能譜圖如附圖 3-3，潮汐分潮振幅及週期統計表如附表 3-4。

3.2 海流分析

台中港海流觀測在民國 83 年之 86 年間計有 4 個觀測站(測站 1、2、2N、4 等，其位置如附圖 3-1)其觀測期間統計表如附表 3-5 至附表 3-8。其月報表如附表 3-9，月資料圖如附圖 3-4，流速及流向聯合分佈表如附表 3-10。重要海流統計量統計表如附表 3-11，海流玫瑰圖如附圖 3-5，海流橢圓圖如附圖 36，海流向量行進圖(PVD)如附圖 3-7，海流能譜圖如附圖 3-8。

3.3 風資料分析

台中港風觀測在民國 82 年至 86 年間計有 4 個測站(測站 3、7、B、W)其位置如附圖 3-1，其觀測期間統計表如附表 3-12 至 3-15。其月報表如附表 3-16，風月資料圖如附圖 3-9，風速及風向聯合分析表如附表 3-17，重要風統計量統計表如附表 3-18，風玫瑰圖如附圖 3-10。

3.4 波浪資料分析

台中港波浪觀測在民國 83~86 年間計有 3 個測站(測站 1、2、4)，其位

置如附圖 3-1，其觀測期間統計表，如附表 3-19 至 3-21。波浪月報表如附表 3-22，月資料圖如附圖 3-11，波高及週期聯合分佈表如附表 3-23，重要波浪統計量統計表如附表 3-24，波高及週期統計方塊圖如附圖 3.12。

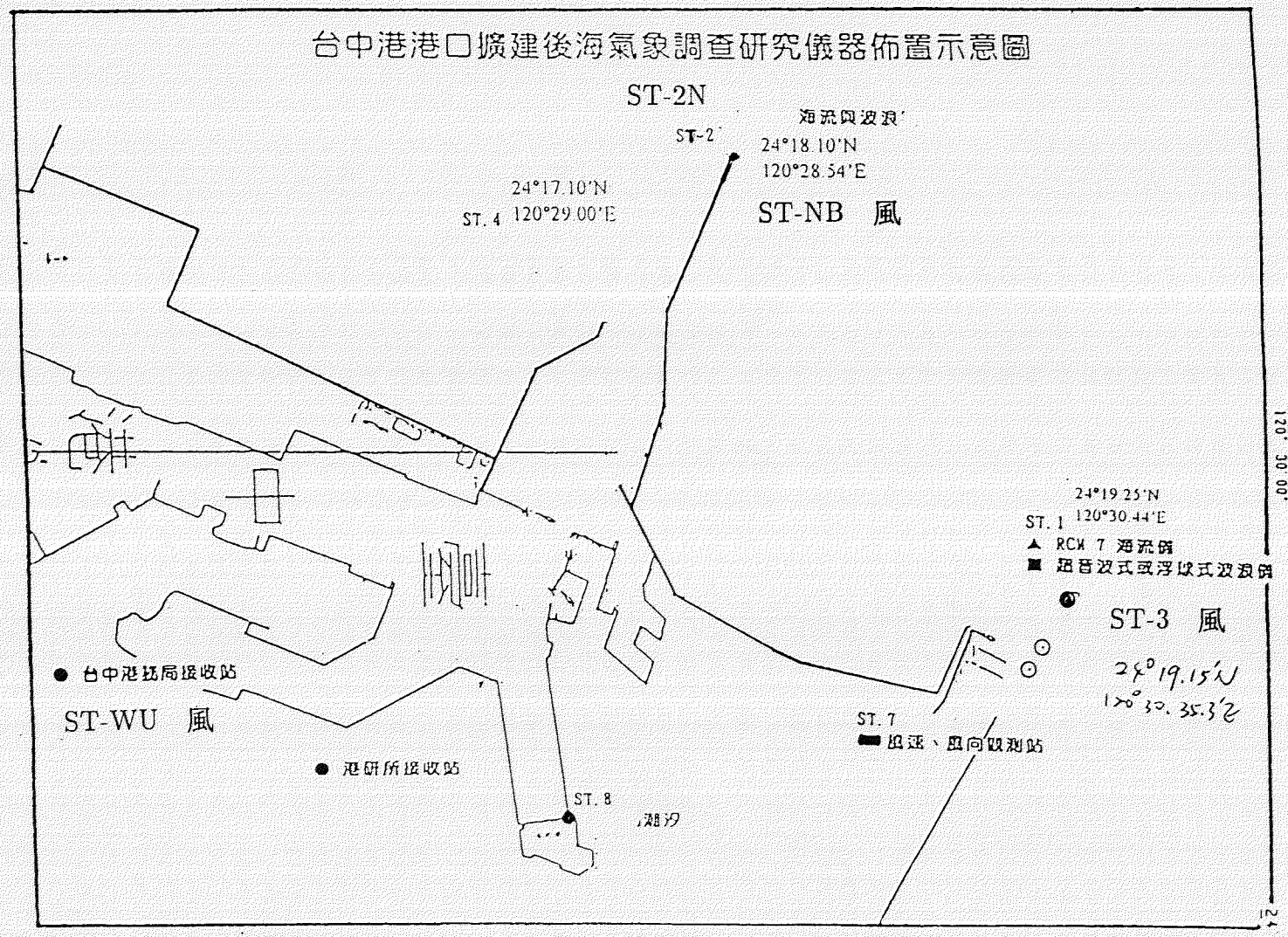


圖3.1 台中港風、波、潮及海流現場觀測站示意圖

表3-1a　台中港現場觀測潮汐資料統計表

序號	測站	年、月	檔名	啓止時間 (日.時:分～日.時:分)	觀測天數	觀測筆數	缺失筆數	實際筆數	資料缺失日
1	TC	1971/03	TI7103TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
2	TC	1971/04	TI7104TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
3	TC	1971/05	TI7105TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
4	TC	1971/06	TI7106TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
5	TC	1971/07	TI7107TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
6	TC	1971/08	TI7108TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
7	TC	1971/09	TI7109TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
8	TC	1971/10	TI7110TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
9	TC	1971/11	TI7111TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
10	TC	1971/12	TI7112TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
11	TC	1972/01	TI7201TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
12	TC	1972/02	TI7202TC.1HE	01.00:00～29.23:00	29	696	0	696	
13	TC	1972/03	TI7203TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
14	TC	1972/04	TI7204TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
15	TC	1972/05	TI7205TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
16	TC	1972/06	TI7206TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
17	TC	1972/07	TI7207TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
18	TC	1972/08	TI7208TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
19	TC	1972/09	TI7209TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
20	TC	1972/10	TI7210TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
21	TC	1972/11	TI7211TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
22	TC	1972/12	TI7212TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
23	TC	1973/01	TI7301TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
24	TC	1973/02	TI7302TC.1HE	01.00:00～28.23:00	28	672	0	672	
25	TC	1973/03	TI7303TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
26	TC	1973/04	TI7304TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
27	TC	1973/05	TI7305TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
28	TC	1973/06	TI7306TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
29	TC	1973/07	TI7307TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	304	440	19～31
30	TC	1973/08	TI7308TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
31	TC	1973/10	TI7310TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	257	487	1～11
32	TC	1973/11	TI7311TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
33	TC	1973/12	TI7312TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
34	TC	1974/01	TI7401TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
35	TC	1974/02	TI7402TC.1HE	01.00:00～28.23:00	28	672	0	672	
36	TC	1974/03	TI7403TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
37	TC	1974/04	TI7404TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	174	546	23～30
38	TC	1974/05	TI7405TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	177	567	1～8
39	TC	1974/06	TI7406TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
40	TC	1974/07	TI7407TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
41	TC	1974/08	TI7408TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
42	TC	1974/09	TI7409TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
43	TC	1974/10	TI7410TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
44	TC	1974/11	TI7411TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
45	TC	1974/12	TI7412TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
46	TC	1975/01	TI7501TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
47	TC	1975/02	TI7502TC.1HE	01.00:00～28.23:00	28	672	0	672	
48	TC	1975/03	TI7503TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	435	309	9～27
49	TC	1975/04	TI7504TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	109	611	26～30
50	TC	1975/06	TI7506TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	441	279	1～19

表3-1b 台中港現場觀測潮汐資料統計表

序號	測站	年、月	檔名	啓止時間 (日.時:分～日.時:分)	觀測天數	觀測筆數	缺失筆數	實際筆數	資料缺失日
51	TC	1975/07	TI7507TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
52	TC	1975/08	TI7508TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	79	665	11～14
53	TC	1975/09	TI7509TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	141	579	7～13
54	TC	1975/10	TI7510TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
55	TC	1975/11	TI7511TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
56	TC	1975/12	TI7512TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
57	TC	1976/01	TI7601TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
58	TC	1976/02	TI7602TC.1HE	01.00:00～29.23:00	29	696	405	291	13～29
59	TC	1976/03	TI7603TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	208	536	1～9
60	TC	1976/04	TI7604TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
61	TC	1976/05	TI7605TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
62	TC	1976/06	TI7606TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	348	372	16～30
63	TC	1976/07	TI7607TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	371	373	16～31
64	TC	1976/08	TI7608TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	705	39	2～31
65	TC	1977/05	TI7705TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	538	206	1～23
66	TC	1977/06	TI7706TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
67	TC	1977/07	TI7707TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	161	583	18～20，26～31
68	TC	1977/08	TI7708TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	87	657	1～4
69	TC	1977/09	TI7709TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
70	TC	1977/10	TI7710TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
71	TC	1977/11	TI7711TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
72	TC	1977/12	TI7712TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
73	TC	1978/01	TI7801TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
74	TC	1978/02	TI7802TC.1HE	01.00:00～28.23:00	28	672	245	427	14～24
75	TC	1978/03	TI7803TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
76	TC	1978/04	TI7804TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	34	686	19～20
77	TC	1978/05	TI7805TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	24	720	5～6
78	TC	1978/06	TI7806TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	182	538	23～30
79	TC	1978/08	TI7808TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
80	TC	1978/09	TI7809TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
81	TC	1978/12	TI7812TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
82	TC	1979/01	TI7901TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	81	663	1～3，31
83	TC	1979/03	TI7903TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	275	469	1～12
84	TC	1979/04	TI7904TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	319	401	17～30
85	TC	1979/05	TI7905TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	430	314	1～2，10～12，17～31
86	TC	1979/08	TI7908TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	208	536	1，23～31
87	TC	1979/10	TI7910TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	325	419	1～9，26～31
88	TC	1980/01	TI8001TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
89	TC	1980/02	TI8002TC.1HE	01.00:00～29.23:00	29	696	24	672	29
90	TC	1980/03	TI8003TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
91	TC	1980/04	TI8004TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
92	TC	1980/05	TI8005TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
93	TC	1980/06	TI8006TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
94	TC	1980/07	TI8007TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
95	TC	1980/08	TI8008TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
96	TC	1980/09	TI8009TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
97	TC	1980/10	TI8010TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
98	TC	1980/11	TI8011TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
99	TC	1980/12	TI8012TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
100	TC	1981/01	TI8101TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	

表3-1c　台中港現場觀測潮汐資料統計表

序號	測站	年、月	檔名	啓止時間 (日.時:分～日.時:分)	觀測天數	觀測筆數	缺失筆數	實際筆數	資料缺失日
101	TC	1981/02	TI8102TC.1HE	01.00:00～28.23:00	28	672	0	672	
102	TC	1981/03	TI8103TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	196	548	3～11
103	TC	1981/04	TI8104TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
104	TC	1981/05	TI8105TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
105	TC	1981/06	TI8106TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
106	TC	1981/07	TI8107TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
107	TC	1981/08	TI8108TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
108	TC	1981/09	TI8109TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
109	TC	1981/10	TI8110TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
110	TC	1981/11	TI8111TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
111	TC	1981/12	TI8112TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	47	697	22～24
112	TC	1982/01	TI8201TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
113	TC	1982/02	TI8202TC.1HE	01.00:00～28.23:00	28	672	0	672	
114	TC	1982/03	TI8203TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	62	682	7～9
115	TC	1982/04	TI8204TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
116	TC	1982/05	TI8205TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
117	TC	1982/06	TI8206TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
118	TC	1982/07	TI8207TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	124	620	26～31
119	TC	1982/08	TI8208TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
120	TC	1982/09	TI8209TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	38	682	1～2
121	TC	1982/10	TI8210TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	8	736	1
122	TC	1982/11	TI8211TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	21	699	2～3
123	TC	1982/12	TI8212TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
124	TC	1983/01	TI8301TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	81	663	1～4
125	TC	1983/02	TI8302TC.1HE	01.00:00～28.23:00	28	672	140	532	23～28
126	TC	1983/03	TI8303TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	15	729	1
127	TC	1983/06	TI8306TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
128	TC	1983/07	TI8307TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
129	TC	1983/08	TI8308TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
130	TC	1983/11	TI8311TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	10	710	1
131	TC	1983/12	TI8312TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
132	TC	1984/01	TI8401TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
133	TC	1984/02	TI8402TC.1HE	01.00:00～29.23:00	29	696	0	696	
134	TC	1984/03	TI8403TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
135	TC	1984/04	TI8404TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
136	TC	1984/05	TI8405TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
137	TC	1984/06	TI8406TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	87	633	1～2，11～14
138	TC	1984/07	TI8407TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
139	TC	1984/08	TI8408TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
140	TC	1984/09	TI8409TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
141	TC	1984/10	TI8410TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
142	TC	1984/11	TI8411TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
143	TC	1984/12	TI8412TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	398	346	15～31
144	TC	1985/01	TI8501TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	319	425	1～13，31
145	TC	1985/02	TI8502TC.1HE	01.00:00～28.23:00	28	672	0	672	
146	TC	1985/03	TI8503TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
147	TC	1985/04	TI8504TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
148	TC	1985/05	TI8505TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
149	TC	1985/06	TI8506TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
150	TC	1985/07	TI8507TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	

表3-1d 台中港現場觀測潮汐資料統計表

序號	測站	年、月	檔名	啓止時間 (日.時:分～日.時:分)	觀測天數	觀測筆數	缺失筆數	實際筆數	資料缺失日
151	TC	1985/08	TI8508TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
152	TC	1985/09	TI8509TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
153	TC	1985/10	TI8510TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
154	TC	1985/11	TI8511TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
155	TC	1985/12	TI8512TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
156	TC	1986/01	TI8601TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
157	TC	1986/02	TI8602TC.1HE	01.00:00～28.23:00	28	672	0	672	
158	TC	1986/03	TI8603TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
159	TC	1986/04	TI8604TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	10	710	1
160	TC	1986/05	TI8605TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
161	TC	1986/06	TI8606TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	90	630	27～30
162	TC	1986/07	TI8607TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	418	326	1～18
163	TC	1986/08	TI8608TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
164	TC	1986/09	TI8609TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	12	708	30
165	TC	1986/10	TI8610TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
166	TC	1986/11	TI8611TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
167	TC	1986/12	TI8612TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
168	TC	1987/01	TI8701TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
169	TC	1987/02	TI8702TC.1HE	01.00:00～28.23:00	28	672	0	672	
170	TC	1987/03	TI8703TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	69	675	14～17
171	TC	1987/04	TI8704TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
172	TC	1987/05	TI8705TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
173	TC	1987/06	TI8706TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
174	TC	1987/07	TI8707TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
175	TC	1987/08	TI8708TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	326	418	18～31
176	TC	1987/09	TI8709TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	105	615	1～5
177	TC	1987/10	TI8710TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
178	TC	1987/11	TI8711TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
179	TC	1987/12	TI8712TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	118	626	19～24
180	TC	1988/01	TI8801TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
181	TC	1988/02	TI8802TC.1HE	01.00:00～29.23:00	29	696	0	696	
182	TC	1988/03	TI8803TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
183	TC	1988/04	TI8804TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	105	615	1～5
184	TC	1988/05	TI8805TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
185	TC	1988/06	TI8806TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
186	TC	1988/07	TI8807TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
187	TC	1988/08	TI8808TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
188	TC	1988/09	TI8809TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
189	TC	1988/10	TI8810TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
190	TC	1988/11	TI8811TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
191	TC	1988/12	TI8812TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
192	TC	1989/01	TI8901TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
193	TC	1989/02	TI8902TC.1HE	01.00:00～28.23:00	28	672	0	672	
194	TC	1989/03	TI8903TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
195	TC	1989/04	TI8904TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
196	TC	1989/05	TI8905TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
197	TC	1989/06	TI8906TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
198	TC	1989/07	TI8907TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
199	TC	1989/08	TI8908TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
200	TC	1990/01	TI9001TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	18	726	30～31

表3-1e 台中港現場觀測潮汐資料統計表

序號	測站	年、月	檔名	啓止時間 (日.時:分～日.時:分)	觀測天數	觀測筆數	缺失筆數	實際筆數	資料缺失日
201	TC	1990/02	TI9002TC.1HE	01.00:00～28.23:00	28	672	363	309	3～13，18～19，23～27
202	TC	1990/03	TI9003TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	149	595	3～5，9～13
203	TC	1990/04	TI9004TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
204	TC	1990/05	TI9005TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	132	612	26～31
205	TC	1990/06	TI9006TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	250	470	1～11
206	TC	1990/07	TI9007TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	30	714	12～13
207	TC	1990/08	TI9008TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	274	470	20～31
208	TC	1990/09	TI9009TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	257	463	1～11
209	TC	1990/10	TI9010TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
210	TC	1990/11	TI9011TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
211	TC	1990/12	TI9012TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	156	588	4～10
212	TC	1991/01	TI9101TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	60	684	1～3
213	TC	1991/02	TI9102TC.1HE	01.00:00～28.23:00	28	672	24	648	19
214	TC	1991/03	TI9103TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
215	TC	1991/04	TI9104TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
216	TC	1991/05	TI9105TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
217	TC	1991/06	TI9106TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	72	648	10～12
218	TC	1991/07	TI9107TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	120	624	2，16～19
219	TC	1991/08	TI9108TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	600	144	7～31
220	TC	1991/09	TI9109TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	288	432	1～12
221	TC	1991/10	TI9110TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
222	TC	1991/11	TI9111TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	240	480	21～30
223	TC	1991/12	TI9112TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	312	432	1～9，28～31
224	TC	1992/01	TI9201TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
225	TC	1992/02	TI9202TC.1HE	01.00:00～29.23:00	29	696	0	696	
226	TC	1992/03	TI9203TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
227	TC	1992/04	TI9204TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
228	TC	1992/05	TI9205TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
229	TC	1992/08	TI9208TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
230	TC	1992/09	TI9209TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
231	TC	1992/10	TI9210TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
232	TC	1992/11	TI9211TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
233	TC	1992/12	TI9212TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	24	720	31
234	TC	1993/01	TI9301TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
235	TC	1993/02	TI9302TC.1HE	01.00:00～28.23:00	28	672	0	672	
236	TC	1993/03	TI9303TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
237	TC	1993/04	TI9304TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
238	TC	1993/05	TI9305TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
239	TC	1993/06	TI9306TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
240	TC	1993/07	TI9307TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
241	TC	1993/08	TI9308TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
242	TC	1993/09	TI9309TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
243	TC	1993/10	TI9310TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
244	TC	1993/11	TI9311TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
245	TC	1993/12	TI9312TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
246	TC	1994/01	TI9401TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
247	TC	1994/02	TI9402TC.1HE	01.00:00～28.23:00	28	672	0	672	
248	TC	1994/03	TI9403TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
249	TC	1994/04	TI9404TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
250	TC	1994/05	TI9405TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	

表3-1f　台中港現場觀測潮汐資料統計表

序號	測站	年、月	檔名	啓止時間 (日.時:分～日.時:分)	觀測天數	觀測筆數	缺失筆數	實際筆數	資料缺失日
251	TC	1994/06	TI9406TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
252	TC	1994/07	TI9407TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	456	288	13～31
253	TC	1994/08	TI9408TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	256	488	1～11
254	TC	1994/09	TI9409TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
255	TC	1994/10	TI9410TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
256	TC	1994/11	TI9411TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
257	TC	1995/01	TI9501TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	220	524	1～6，13，18～21
258	TC	1995/02	TI9502TC.1HE	01.00:00～28.23:00	28	672	0	672	
259	TC	1995/03	TI9503TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
260	TC	1995/04	TI9504TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
261	TC	1995/05	TI9505TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	183	561	16～23
262	TC	1995/06	TI9506TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
263	TC	1995/07	TI9507TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	62	682	1～3
264	TC	1995/08	TI9508TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
265	TC	1995/10	TI9510TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	96	648	1～4
266	TC	1995/11	TI9511TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	456	264	4～8，17～30
267	TC	1995/12	TI9512TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	159	585	1～7
268	TC	1996/01	TI9601TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
269	TC	1996/02	TI9602TC.1HE	01.00:00～29.23:00	29	696	223	473	1～6，13，18～21
270	TC	1996/03	TI9603TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
271	TC	1996/04	TI9604TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
272	TC	1996/05	TI9605TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	112	632	2～6
273	TC	1996/06	TI9606TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
274	TC	1996/07	TI9607TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
275	TC	1996/08	TI9608TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
276	TC	1996/09	TI9609TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
277	TC	1996/10	TI9610TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
278	TC	1996/11	TI9611TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
279	TC	1996/12	TI9612TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	24	720	31
280	TC	1997/01	TI9701TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
281	TC	1997/02	TI9702TC.1HE	01.00:00～28.23:00	28	672	0	672	
282	TC	1997/03	TI9703TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	393	351	11～27
283	TC	1997/04	TI9704TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
284	TC	1997/05	TI9705TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	49	695	1～3
285	TC	1997/06	TI9706TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	297	423	18～30
286	TC	1997/07	TI9707TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	488	256	1～21
287	TC	1997/08	TI9708TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	82	662	14～17
288	TC	1997/09	TI9709TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	10	710	22
289	TC	1997/10	TI9710TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	127	617	6～11
290	TC	1997/11	TI9711TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	191	529	4～5，20～26
291	TC	1997/12	TI9712TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	39	705	11～12
292	TC	1998/01	TI9801TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
293	TC	1998/02	TI9802TC.1HE	01.00:00～28.23:00	28	672	0	672	
294	TC	1998/03	TI9803TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	24	720	31
295	TC	1998/04	TI9804TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	13	707	1
296	TC	1998/05	TI9805TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
297	TC	1998/06	TI9806TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
298	TC	1998/07	TI9807TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
299	TC	1998/08	TI9808TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	192	552	14～21
300	TC	1998/09	TI9809TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	

表3-1g　台中港現場觀測潮汐資料統計表

序號	測站	年、月	檔名	啓止時間 (日.時:分～日.時:分)	觀測天數	觀測筆數	缺失筆數	實際筆數	資料缺失日
301	TC	1998/10	TI9810TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
302	TC	1998/11	TI9811TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	170	550	4～11
303	TC	1998/12	TI9812TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
304	TC	1999/01	TI9901TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
305	TC	1999/02	TI9902TC.1HE	01.00:00～28.23:00	28	672	0	672	
306	TC	1999/03	TI9903TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
307	TC	1999/04	TI9904TC.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
308	TC	1999/05	TI9905TC.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	

表3-2　1971年03月台中港港內潮位站(ST-8)逐時水位觀測值(公分)報表

1971年3月1日0時0分～1971年3月31日23時0分

時 日	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	高潮/時間 (cm/時:分)	低潮/時間 (cm/時:分)	潮差 (cm)	高潮/時間 (cm/時:分)	低潮/時間 (cm/時:分)	潮差 (cm)
1	500	510	496	444	353	255	125	65	56	95	175	305	415	487	505	423	355	275	205	145	70	78	110	175	510/01:00	500/00:00	10	505/14:00	56/08:00	449
2	375	475	498	475	435	348	285	186	104	75	104	175	265	395	475	476	444	388	305	183	95	65	91	115	498/02:00	75/09:00	423	476/15:00	65/21:00	411
3	225	335	425	475	455	415	365	285	225	165	145	175	234	305	315	435	456	415	365	305	225	155	104	95	475/03:00	145/10:00	330	456/16:00	95/23:00	361
4	140	165	215	305	395	405	385	345	305	245	195	180	186	215	265	325	405	400	365	335	295	225	155	107	405/05:00	180/11:00	225	405/16:00	107/23:00	298
5	115	165	208	245	325	375	390	355	323	285	245	215	193	200	225	275	335	385	406	400	355	285	205	155	390/06:00	193/12:00	197	406/18:00	*	*
6	130	127	135	167	225	275	335	395	395	365	335	285	234	185	190	200	234	285	335	365	380	365	315	265	395/07:00	127/01:00	268	380/20:00	185/13:00	195
7	215	165	125	110	135	175	247	325	380	380	373	335	302	245	205	181	184	205	265	315	375	387	373	325	380/08:00	110/03:00	270	387/21:00	181/15:00	206
8	275	205	155	104	95	107	173	234	305	385	405	385	335	285	225	185	158	158	205	255	345	395	405	375	405/10:00	95/04:00	310	405/22:00	158/16:00	247
9	315	265	225	145	77	77	115	175	265	365	415	419	403	345	285	215	157	136	140	175	255	345	415	430	419/11:00	77/04:00	342	430/23:00	136/17:00	294
10	395	335	275	185	104	70	70	125	205	295	405	440	435	375	285	215	157	110	135	175	234	325	405	444	440/11:00	70/05:00	370	444/23:00	110/17:00	334
11	444	385	295	205	175	125	90	103	145	195	275	435	444	395	325	265	185	120	96	104	155	225	315	415	444/00:00	90/06:00	354	444/12:00	96/18:00	348
12	442	395	345	275	195	85	43	55	104	162	275	385	460	444	405	315	225	135	85	77	115	175	245	335	442/00:00	43/06:00	399	460/12:00	77/19:00	383
13	444	475	460	446	275	165	85	57	65	125	215	335	435	450	425	355	275	215	104	70	75	104	165	245	475/01:00	57/07:00	418	450/13:00	70/19:00	380
14	375	444	425	375	295	196	125	65	65	104	175	265	365	444	425	375	315	205	115	85	75	104	155	205	444/01:00	65/07:00	379	444/13:00	75/20:00	369
15	265	345	450	435	385	305	165	95	45	75	145	165	220	305	405	450	415	315	285	185	55	55	104	155	450/02:00	45/08:00	405	450/15:00	55/20:00	395
16	225	295	405	415	355	285	195	115	117	171	268	369	450	492	482	428	347	246	155	103	93	138	229	337	415/03:00	115/07:00	300	492/13:00	93/20:00	399
17	430	486	500	467	376	311	222	159	141	175	245	337	425	481	492	458	387	292	196	131	98	114	171	253	500/02:00	141/08:00	359	492/14:00	98/20:00	394
18	351	426	475	469	421	357	276	206	162	164	205	277	362	432	469	466	421	352	264	184	130	116	137	197	475/02:00	162/08:00	313	469/14:00	116/21:00	353
19	282	364	426	453	439	400	337	268	208	182	192	235	300	367	423	451	437	390	319	241	174	133	127	155	453/03:00	182/09:00	271	451/15:00	127/22:00	324
20	219	290	356	411	419	392	353	307	263	220	191	189	238	294	349	400	423	400	353	304	254	204	157	138	419/04:00	189/11:00	230	423/16:00	138/23:00	285
21	165	210	260	312	362	403	396	363	327	293	261	233	220	241	282	331	378	417	415	369	315	278	205	156	403/05:00	220/12:00	183	417/17:00	*	*
22	131	149	198	256	319	382	432	442	404	377	305	249	208	220	267	320	368	415	446	454	428	371	304	243	442/07:00	131/00:00	311	454/19:00	208/12:00	246
23	186	137	132	173	230	292	358	419	451	450	413	354	285	228	186	182	218	275	351	421	465	464	419	347	451/08:00	132/02:00	319	465/20:00	182/15:00	283
24	253	171	111	90	114	176	273	375	458	498	491	444	364	274	188	142	139	184	269	368	460	509	504	450	498/09:00	90/03:00	408	509/21:00	139/16:00	370
25	360	251	147	83	63	94	182	297	416	500	534	510	442	347	232	142	99	116	195	298	421	505	542	517	534/10:00	63/04:00	471	542/22:00	99/16:00	443
26	442	337	203	100	41	43	105	218	355	459	523	529	473	392	287	156	60	17	52	127	276	400	490	515	529/11:00	41/04:00	488	515/23:00	17/17:00	498
27	481	401	283	162	52	6	19	95	220	352	462	514	502	435	324	200	82	12	6	61	176	310	436	512	514/11:00	6/05:00	508	*	6/18:00	*
28	522	471	372	252	129	40	12	44	136	261	388	481	509	475	390	273	142	38	10	0	76	200	341	454	522/00:00	12/06:00	510	509/12:00	0/19:00	509
29	515	509	448	352	230	121	47	39	92	190	318	427	496	504	451	358	238	121	31	2	26	109	243	373	515/00:00	39/07:00	476	504/13:00	2/19:00	502
30	473	513	496	432	332	222	122	74	86	146	252	365	460	503	486	419	311	201	91	23	16	58	153	280	513/01:00	74/07:00	439	503/13:00	16/20:00	487
31	382	460	486	454	386	298	203	134	104	129	198	288	385	456	473	423	374	280	172	88	42	40	90	183	486/02:00	104/08:00	382	473/14:00	40/21:00	433
最大值	522	513	500	475	455	415	432	442	458	500	534	529	509	504	505	476	456	417	446	454	465	509	542	517						
最小值	115	127	111	83	41	6	12	39	45	75	104	165	186	185	186	142	60	12	6	0	16	40	90	95						

[註1]: 月平均水位＝275公分，最大水位＝542公分，最小水位＝0公分，平均潮差＝353公分，最大潮差＝510公分，最小潮差＝10公分。

[註2]: 每小時記錄一次，資料計744筆，檔名: T713TC80.1HE。

港灣技術研究中心

潮位逐時變化圖

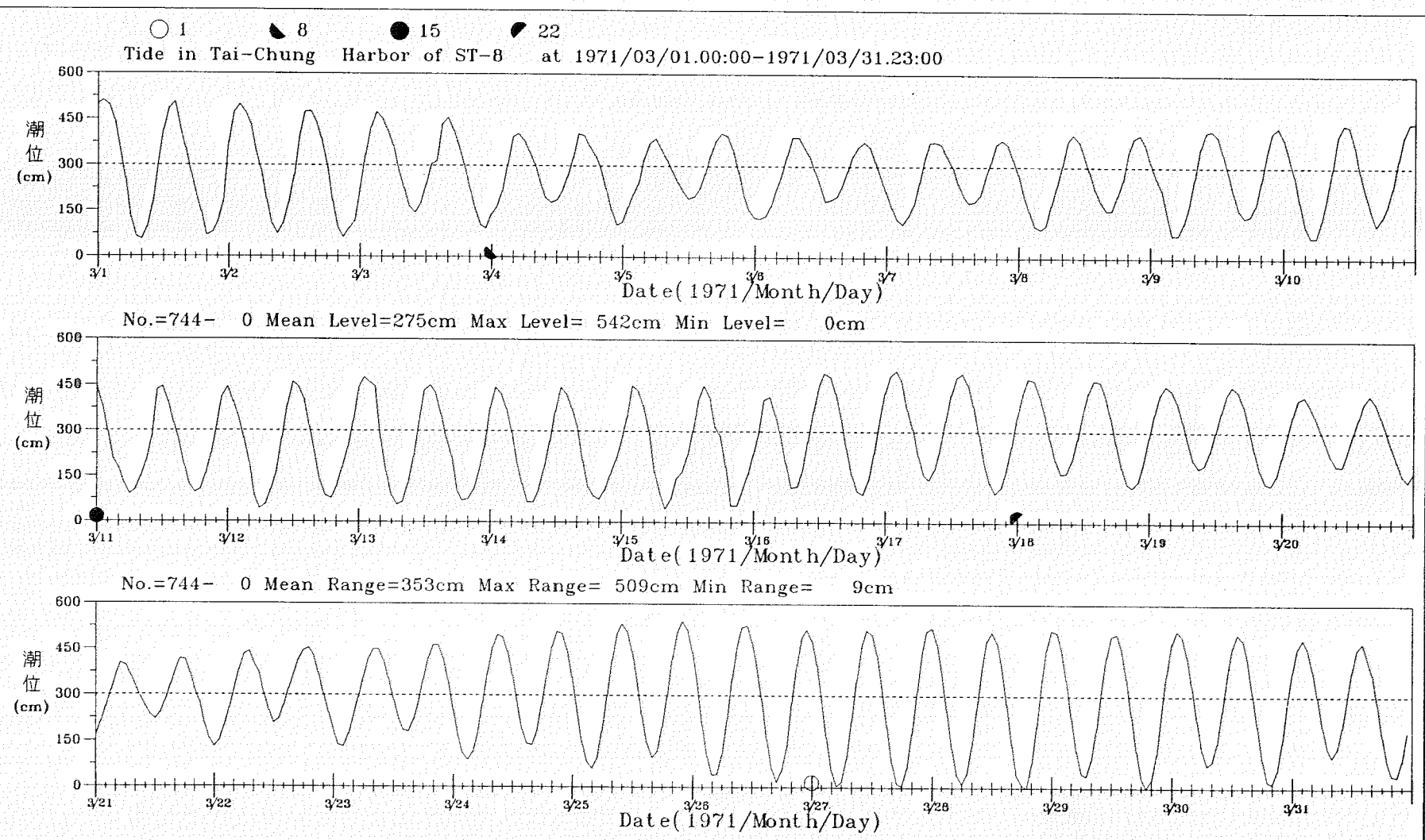


圖3.2 台中港逐時潮位變化圖

T713TC80.1HE | Institute of Harbor & Marine Technology

PLATI1AH.FOR

2000. 12. 8

表3-3　台中港ST-TC潮波波高(公分)及週期(秒)觀測值分月、季及年統計表

地點/日期 測站(年/月)	H_{max} (公分)	T_{max} (小時)	$H_{1/10}$ (公分)	$T_{1/10}$ (小時)	$H_{1/3}$ (公分)	$T_{1/3}$ (小時)	H_{mean} (公分)	T_{mean} (小時)	波數
1972/01	488	13.0	481	13.1	450	12.8	360	12.4	59
1972/02	506	12.8	495	12.5	457	12.5	362	12.4	55
1972/03	508	12.5	501	12.4	458	12.4	369	12.4	59
1972/04	530	12.9	510	12.7	451	12.6	366	12.4	57
1972/05	518	13.3	499	13.2	438	12.7	355	12.4	59
1972/06	510	13.2	494	13.3	434	12.9	356	12.4	57
1972/07	492	13.2	488	13.1	460	12.9	382	12.4	59
1972/08	494	12.7	485	12.7	460	12.6	375	12.4	59
1972/09	510	12.5	494	12.5	462	12.4	374	12.4	57
1972/10	516	12.5	504	12.8	448	12.4	364	12.4	59
1972/11	522	12.9	502	13.0	441	12.5	364	12.4	57
1972/12	522	13.1	501	13.0	438	12.8	356	12.4	59
1972/1～3	508	12.5	492	12.6	454	12.6	364	12.4	175
1972/4～6	530	12.9	497	13.0	442	12.8	360	12.4	175
1972/7～9	516	12.6	488	12.8	459	12.6	377	12.4	177
1972/10～12	522	12.9	498	12.9	441	12.6	361	12.4	177
1972/1～12	540	12.9	494	12.9	450	12.7	366	12.4	706

潮汐振幅譜圖

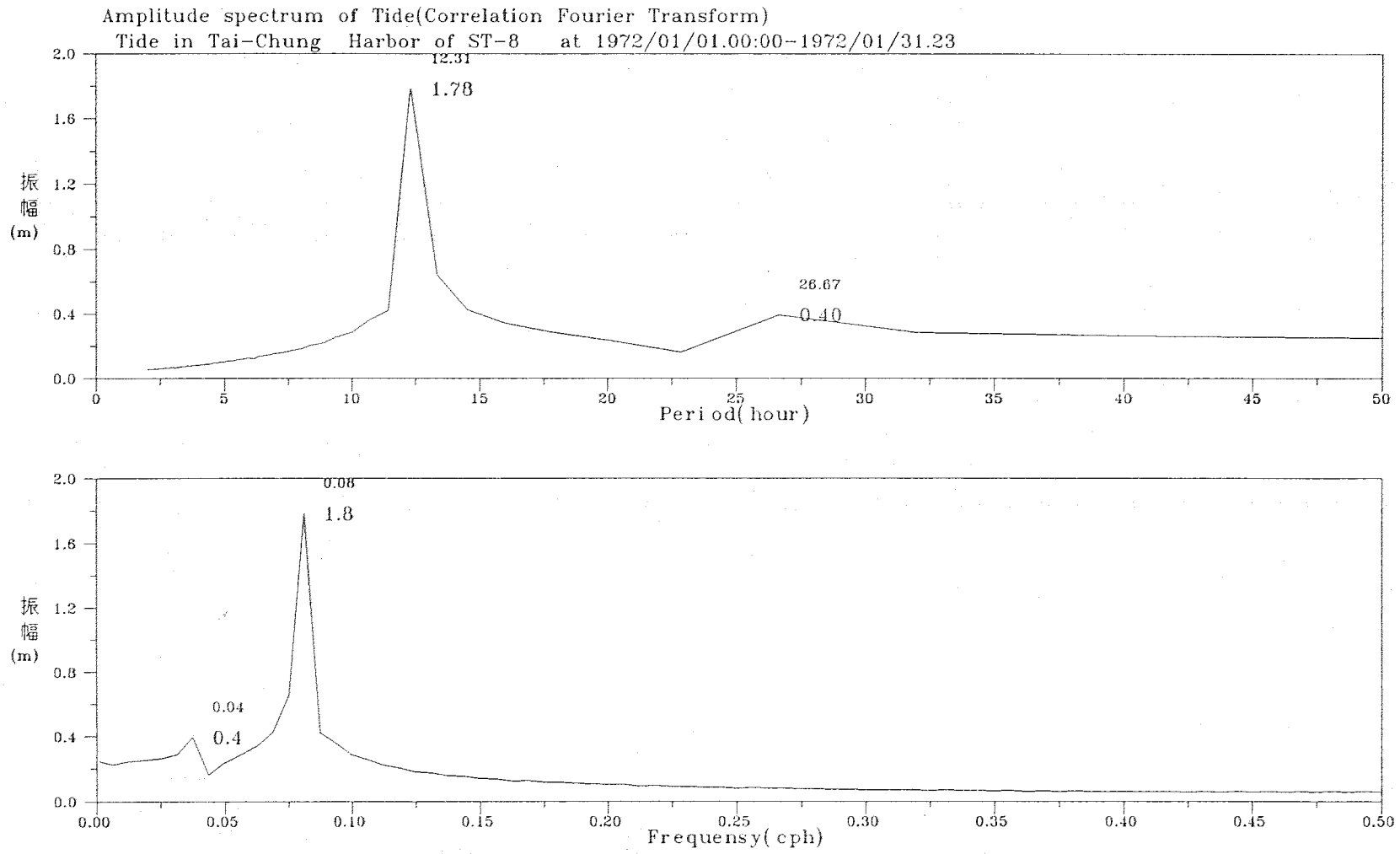


圖3.3 台中港潮位振幅譜圖

T721TC80.TIR | Institute of Harbor & Marine Technology

PLSTI1AH.FOR 2000.12.8

表3-4　台中港ST-TC潮波之分潮振幅(米)及週期(時)統計表

1972/01/01/00:-1972/12/31/22: (8783)

DATA NO : 8783 M = 39 MEAN SEA LEVEL : 2.734825

序號	分潮名稱	振幅(米)	週期(時)	遲角(度)	平衡引數	延時(時)
1	M2	1.7743	12.21	22.4500	-1.7338	-4.2020
2	S2	.5164	12.00	34.6100	.0175	-1.1205
3	N2	.3236	12.45	16.0600	-.4370	-1.4451
4	K1	.2448	25.44	276.3200	3.4315	-5.2996
5	O1	.2045	28.43	-86.1200	-5.2194	-15.2713
6	K2	.1381	13.77	29.5300	3.7312	-5.8421
7	VU2	.0890	12.41	16.6100	-4.8150	-10.2583
8	MU2	.0776	12.66	-175.9000	-3.5182	-.9183
9	P1	.0718	24.07	275.1600	2.9971	-6.9148
10	2N2	.0541	12.69	-33.2800	-5.4234	-9.9463
11	OP2	.0368	13.72	-100.2200	-2.2223	-.9380
12	M4	.0215	6.00	-46.7400	-3.4676	-2.6211
13	MSN2	.0192	11.40	255.9000	5.0039	-10.7776
14	MKS2	.0188	14.02	169.3000	1.9800	-1.9218
15	M1	.0123	26.06	-64.4000	-1.8603	-2.9113
16	MS4	.0115	6.00	327.4900	4.5668	-1.1160
17	OO1	.0083	30.75	315.6300	2.7658	-9.7376
18	2MS6	.0077	3.96	356.1600	2.8331	-2.2035
19	KJ2	.0074	13.71	201.7800	5.6203	-7.8285
20	M6	.0070	3.94	-36.9900	-5.2014	-3.0019
21	PAI1	.0069	25.65	225.3900	6.0804	-15.8877
22	M3	.0068	8.07	109.5000	-2.6007	-5.9459
23	MP1	.0065	25.24	29.5000	-4.7309	-21.4303
24	2MN6	.0062	3.96	-56.3000	-3.9046	-1.9375
25	MK3	.0060	9.25	8.6900	1.6977	-6.1651
26	2Q1	.0059	30.84	-75.5900	-2.6258	-5.8233
27	OQ2	.0057	15.97	39.6900	-2.8588	-7.4425
28	SO3	.0042	9.02	23.3200	1.0812	-7.3133
29	MF	.0039	404.17	222.4200	5.5634	-240.1169
30	MK4	.0030	6.90	279.6000	1.9974	-2.7962
31	MSN6	.0028	3.98	-31.1400	-2.1534	-1.0551
32	2SM6	.0028	3.98	321.7500	4.5843	-.6640
33	X1	.0026	27.69	105.9200	3.1221	-19.7011
34	2MK6	.0021	4.55	308.3200	.2636	-3.3301
35	SN4	.0019	6.06	26.2300	-.4196	-.8602
36	SK4	.0016	6.90	118.2900	3.7487	-4.3859
37	SK3	.0014	8.49	55.1900	3.4489	-4.8306
38	S4	.0014	6.00	11.2800	.0349	-.1546
39	MSK6	.0006	4.57	282.0600	2.0149	-1.8707

表3-5　台中港歷年測站1分月現場觀測海流資料統計表(IMCTC10.PS)

序號	測站	檔名	年、月	啓止時間 (日.時:分～日.時:分)	觀測天數	觀測筆數	缺失筆數	實際筆數	資料缺失日
1	1	C949TC10.1HE	1994/09	22.17:00～30.23:00	9	199	0	199	
2	1	C94ATC10.1HE	1994/10	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
3	1	C94BTC10.1HE	1994/11	06.10:00～30.23:00	25	590	0	590	
4	1	C94CTC10.1HE	1994/12	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
5	1	C951TC10.1HE	1995/01	01.00:00～08.11:00	8	180	0	180	
6	1	C952TC10.1HE	1995/02	12.11:00～28.23:00	17	397	0	397	
7	1	C953TC10.1HE	1995/03	01.00:00～18.06:00	18	415	0	415	
8	1	C957TC10.1HE	1995/07	04.15:00～16.02:00	13	276	0	276	
9	1	C958TC10.1HE	1995/08	12.17:00～31.23:00	20	463	0	463	
10	1	C959TC10.1HE	1995/09	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
11	1	C95ATC10.1HE	1995/10	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
12	1	C95BTC10.1HE	1995/11	01.00:00～05.04:00	5	101	0	101	
13	1	C961TC10.1HE	1996/01	15.12:00～31.23:00	17	396	0	396	
14	1	C962TC10.1HE	1996/02	01.00:00～13.11:00	13	300	0	300	
15	1	C971TC10.1HE	1997/01	30.14:00～31.23:00	2	34	0	34	
16	1	C972TC10.1HE	1997/02	01.00:00～24.21:00	24	574	0	574	
17	1	C973TC10.1HE	1997/03	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	

港灣技術研究中心

表3-6　台中港歷年測站2分月現場觀測海流資料統計表(IMCTC20.PS)

序號	測站	檔名	年、月	啓止時間 (日.時:分～日.時:分)	觀測天數	觀測筆數	缺失筆數	實際筆數	資料缺失日
1	2	C94ATC20.1HE	1994/10	03.10:00～07.03:00	5	90	0	90	
2	2	C94BTC20.1HE	1994/11	06.09:00～30.23:00	25	591	0	591	
3	2	C94CTC20.1HE	1994/12	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
4	2	C951TC20.1HE	1995/01	08.12:00～31.23:00	24	564	0	564	
5	2	C952TC20.1HE	1995/02	12.12:00～28.23:00	17	396	0	396	
6	2	C953TC20.1HE	1995/03	01.00:00～27.14:00	27	639	0	639	
7	2	C957TC20.1HE	1995/07	11.10:00～23.19:00	13	298	0	298	
8	2	C958TC20.1HE	1995/08	12.10:00～31.23:00	20	470	0	470	
9	2	C959TC20.1HE	1995/09	01.00:00～22.17:00	22	522	0	522	
10	2	C961TC20.1HE	1996/01	24.11:00～31.23:00	8	181	0	181	
11	2	C962TC20.1HE	1996/02	01.00:00～13.10:00	13	299	0	299	

港灣技術研究中心

表3-7　台中港歷年測站2N分月現場觀測海流資料統計表(IMCTCN0.PS)

序號	測站	檔名	年、月	啓止時間 (日.時:分～日.時:分)	觀測天數	觀測筆數	缺失筆數	實際筆數	資料缺失日
1	2N	C951TCN0.1HE	1995/01	09.12:00～29.15:00	21	484	0	484	
2	2N	C952TCN0.1HE	1995/02	12.10:00～28.23:00	17	398	0	398	
3	2N	C953TCN0.1HE	1995/03	01.00:00～17.11:00	17	396	0	396	
4	2N	C961TCN0.1HE	1996/01	24.11:00～31.23:00	8	181	0	181	
5	2N	C962TCN0.1HE	1996/02	01.00:00～13.09:00	13	298	0	298	

港灣技術研究中心

表3-8　台中港歷年測站4分月現場觀測海流資料統計表(IMCTC40.PS)

序號	測站	檔名	年、月	啓止時間 (日.時:分～日.時:分)	觀測天數	觀測筆數	缺失筆數	實際筆數	資料缺失日
1	4	C949TC40.1HE	1994/09	29.14:00～30.23:00	2	34	0	34	
2	4	C94ATC40.1HE	1994/10	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
3	4	C94BTC40.1HE	1994/11	03.09:00～30.23:00	28	663	0	663	
4	4	C94CTC40.1HE	1994/12	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
5	4	C951TC40.1HE	1995/01	01.00:00～06.20:00	6	141	0	141	
6	4	C952TC40.1HE	1995/02	11.11:00～28.23:00	18	421	0	421	
7	4	C953TC40.1HE	1995/03	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
8	4	C954TC40.1HE	1995/04	01.00:00～12.11:00	12	276	0	276	
9	4	C957TC40.1HE	1995/07	12.14:00～25.02:00	14	301	0	301	
10	4	C958TC40.1HE	1995/08	12.09:00～31.23:00	20	471	0	471	
11	4	C959TC40.1HE	1995/09	01.00:00～25.11:00	25	588	0	588	
12	4	C95ATC40.1HE	1995/10	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
13	4	C95BTC40.1HE	1995/11	01.00:00～17.12:00	17	397	0	397	
14	4	C95CTC40.1HE	1995/12	12.10:00～25.10:00	14	313	0	313	

港灣技術研究中心

表3-9 1994年10月台中港海流01測站逐時流速S(cm/s)及流向D(去向)觀測值報表

1994年10月1日0時0分～1994年10月31日23時0分

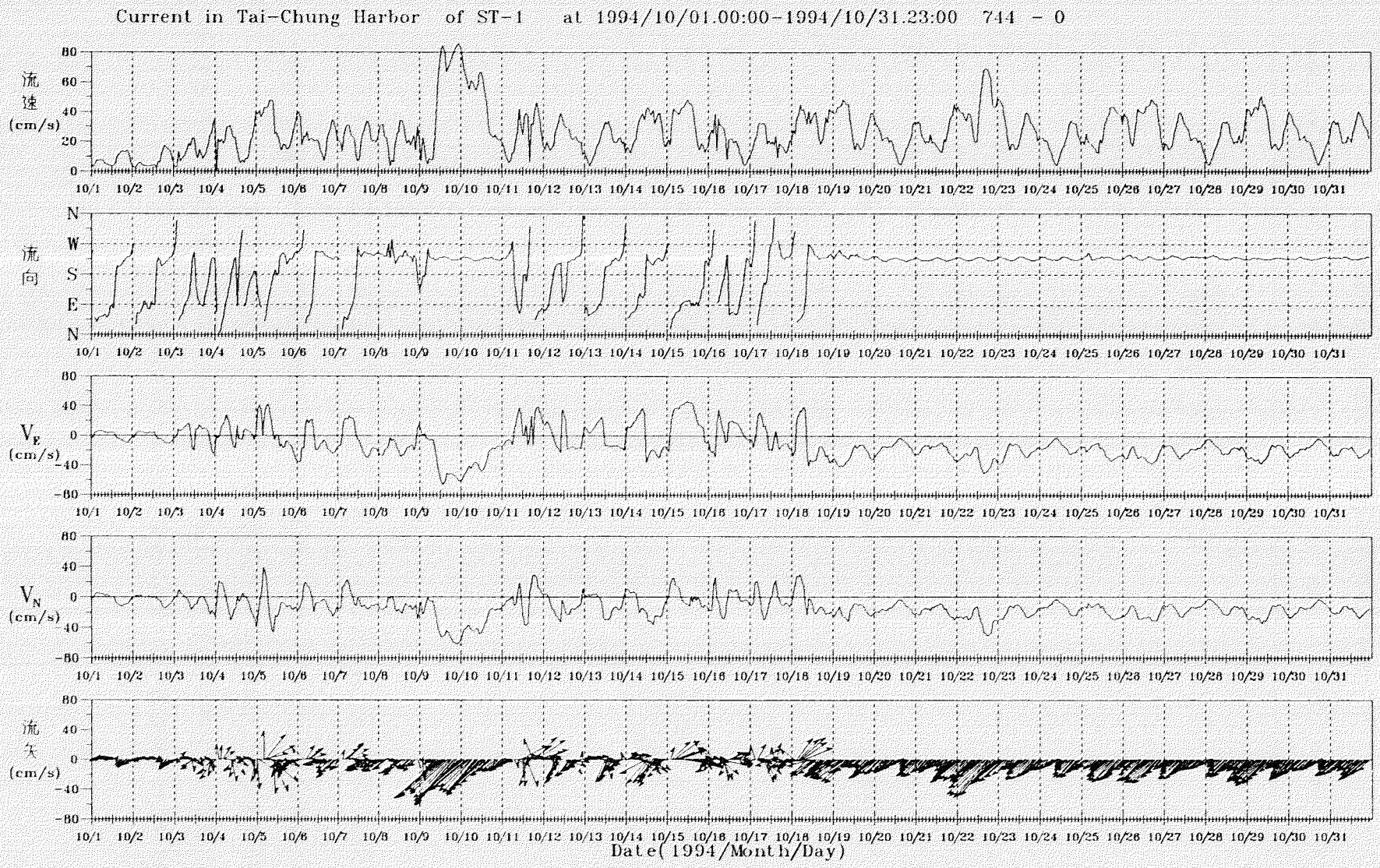
時 日	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	日平均 (cm/s)	日最大 (cm/s,去向)
10/01	04/WSW	03/W	04/ENE	07/NE	07/ENE	07/ENE	07/ENE	06/ENE	04/ENE	04/ENE	03/ENE	03/E	03/E	03/E	04/S	09/SW	11/SSW	12/SW	13/SW	12/SW	12/WSW	13/WSW	12/WSW	06/WSW	07	13/SW
10/02	03/W	02/WNW	02/NE	04/ENE	05/ENE	05/E	04/E	03/ESE	03/ESE	03/E	03/E	03/ESE	04/ESE	04/E	01/SW	06/WSW	06/SW	11/SW	15/SW	17/SW	16/SW	14/SW	14/WSW	09/WSW	06	17/SW
10/03	04/WSW	02/W	03/N	13/NE	06/ENE	08/ENE	09/E	12/ESE	14/ESE	18/SE	17/S	22/WSW	22/WSW	12/SSE	08/ESE	14/ESE	11/E	08/E	10/ESE	12/SE	17/S	23/SSW	24/WSW	32/WSW	13	32/WSW
10/04	34/SW	00/ENE	21/N	19/NNE	21/NE	18/ENE	21/E	29/ESE	29/SSE	30/S	25/SSW	22/SW	22/WSW	14/E	07/SW	05/WNW	07/NW	05/E	08/ESE	08/SE	12/SSE	20/S	23/S	30/SSW	18	34/SW
10/05	40/S	38/SE	40/ESE	36/E	38/N	43/NE	42/ENE	43/ESE	47/SE	48/SSE	46/S	24/SSW	26/S	23/S	18/WSW	13/WSW	18/WSW	17/WSW	14/SW	14/SW	16/WSW	22/SW	27/WSW	31/WSW	30	48/SSE
10/06	38/WSW	39/WSW	36/W	17/W	23/NW	22/NE	26/ENE	20/ENE	21/E	22/ESE	20/S	20/W	20/WSW	18/WSW	13/WSW	11/W	07/WSW	10/WSW	21/WSW	25/WSW	28/WSW	34/SW	32/WSW	28/WSW	23	39/WSW
10/07	20/WSW	20/SW	19/SW	13/NNE	24/ENE	29/ENE	31/NE	30/ENE	23/E	23/ESE	21/SE	11/S	06/W	08/WSW	19/WSW	25/WSW	27/W	33/WSW	33/WSW	29/WSW	21/WSW	20/WSW	20/WSW	19/WSW	22	33/WSW
10/08	23/WSW	30/WSW	31/WSW	31/WSW	23/WSW	22/WSW	14/WNW	03/WSW	07/WNW	06/WSW	17/SW	25/SW	26/WSW	34/WSW	34/WSW	30/WSW	22/W	19/WSW	21/WSW	17/WSW	21/SW	24/WSW	14/WSW	30/S	22	34/WSW
10/09	21/SE	06/SSE	22/S	17/S	08/SW	04/W	08/WSW	07/WSW	07/WSW	19/SW	41/SW	60/WSW	73/WSW	82/WSW	84/WSW	79/WSW	66/WSW	70/WSW	72/SW	76/SW	79/SW	81/SW	84/SW	85/WSW	48	85/WSW
10/10	83/WSW	78/WSW	68/WSW	64/WSW	59/WSW	55/WSW	61/WSW	60/SW	56/SW	54/SW	57/SW	66/SW	66/WSW	62/WSW	54/WSW	47/WSW	33/WSW	25/WSW	24/WSW	22/WSW	24/WSW	22/SW	21/SW	21/SW	49	83/WSW
10/11	19/WSW	16/WSW	11/WSW	08/WSW	05/WSW	07/W	12/WNW	12/SSE	20/SE	27/E	41/ENE	30/E	24/S	36/SSW	39/S	37/SSW	06/NNW	32/ENE	31/NNW	41/NE	46/ENE	41/E	33/E	24/E	25	46/ENE
10/12	16/E	14/E	20/E	16/E	13/SE	15/S	17/SSW	26/SW	29/SW	34/SW	39/SW	35/ESE	31/ESE	29/SE	29/SW	28/SW	22/SW	21/WSW	22/SW	23/WSW	20/WSW	19/WSW	19/WSW	11/N	23	39/SW
10/13	12/E	10/E	06/ENE	03/ENE	06/ENE	08/ENE	11/E	16/E	18/ESE	21/ESE	26/ESE	28/S	33/SW	31/SW	33/SW	29/SW	23/SW	19/SW	19/WSW	19/SW	22/SW	22/WSW	18/WSW	19/WNW	19	33/SW
10/14	12/NNW	16/ENE	14/ENE	12/ENE	16/E	20/E	21/E	29/ESE	34/SE	36/SE	39/ESE	34/SE	41/WSW	43/SW	39/SW	37/SW	41/SW	31/SW	35/WSW	39/WSW	39/WSW	31/SW	21/SW	16/WSW	29	43/SW
10/15	18/W	21/WNW	17/NNE	34/ENE	42/ENE	40/ENE	39/E	38/E	40/E	43/ESE	43/ESE	46/ESE	48/ESE	45/ESE	45/E	43/ESE	33/E	26/ESE	17/E	14/ESE	18/SE	17/SSE	12/SW	15/SW	31	48/ESE
10/16	17/SW	24/WSW	28/WSW	25/NW	38/NW	13/ESE	35/ESE	31/SE	30/SSE	28/S	23/SW	08/WSW	21/ENE	22/ENE	21/E	19/ENE	20/ENE	18/ENE	13/ESE	10/SE	06/SSE	04/SSW	05/WSW	08/WSW	19	38/NW
10/17	10/SW	12/SW	17/WSW	20/N	24/NE	32/ENE	32/ESE	31/SE	32/S	30/SSE	18/S	20/WSW	18/W	20/WNW	17/N	23/NNE	09/WNW	18/W	17/WSW	16/WSW	14/WSW	12/WSW	14/WSW	21/WSW	20	32/ENE
10/18	20/WSW	27/WNW	25/NW	35/NE	38/ENE	45/ENE	40/ENE	41/E	36/ESE	31/SW	40/W	31/W	35/W	38/WSW	39/WSW	32/WSW	21/WSW	18/WSW	20/WSW	27/WSW	36/WSW	32/WSW	42/WSW	40/WSW	33	45/ENE
10/19	40/WSW	39/WSW	39/WSW	43/WSW	43/W	44/WSW	48/WSW	47/WSW	45/WSW	45/WSW	34/WSW	27/WSW	18/WSW	14/WSW	19/WSW	17/WSW	14/WSW	15/WSW	16/WSW	23/WSW	28/WSW	32/WSW	39/WSW	39/WSW	32	48/WSW
10/20	36/WSW	32/WSW	30/WSW	29/WSW	25/WSW	20/SW	22/SW	22/SW	22/SW	19/WSW	21/WSW	18/WSW	13/WSW	11/WSW	06/WSW	04/WSW	04/SW	08/SW	11/SW	15/SW	17/SW	21/SW	24/SW	32/WSW	19	36/WSW
10/21	33/WSW	32/WSW	33/WSW	31/SW	24/SW	22/SW	18/SW	20/SW	19/SW	24/SW	19/SW	19/WSW	17/WSW	16/WSW	14/WSW	12/WSW	13/SW	21/SW	19/SW	26/SW	33/SW	36/SW	37/WSW	45/WSW	24	45/WSW
10/22	41/WSW	43/WSW	40/WSW	39/WSW	39/SW	35/SW	34/SW	39/SW	38/SW	33/SW	23/WSW	19/WSW	19/WSW	37/WSW	49/WSW	59/WSW	68/WSW	69/WSW	68/SW	66/SW	62/SW	45/SW	43/SW	43/WSW	44	69/WSW
10/23	48/WSW	48/WSW	46/WSW	44/WSW	36/WSW	29/WSW	20/SW	14/SW	18/SW	18/SW	15/WSW	14/WSW	16/WSW	22/WSW	27/WSW	31/WSW	38/WSW	39/WSW	37/SW	32/SW	31/SW	28/SW	26/SW	20/WSW	29	48/WSW
10/24	21/WSW	22/WSW	23/WSW	20/WSW	20/WSW	18/WSW	14/WSW	12/SW	07/SW	04/SW	04/SW	07/WSW	11/WSW	14/WSW	16/WSW	20/WSW	23/WSW	30/WSW	34/WSW	33/SW	32/SW	32/SW	25/SW	22/WSW	19	34/WSW
10/25	18/WSW	20/WSW	18/WSW	25/WSW	19/WSW	19/WSW	18/SW	16/WSW	15/SW	12/WSW	12/WSW	21/WSW	19/WSW	24/WSW	32/WSW	36/WSW	37/WSW	43/WSW	43/WSW	43/WSW	40/WSW	39/SW	38/SW	37/WSW	27	43/WSW
10/26	32/WSW	39/WSW	37/WSW	35/WSW	26/WSW	19/WSW	17/WSW	24/WSW	32/WSW	42/WSW	40/WSW	40/SW	39/WSW	39/WSW	43/WSW	43/WSW	44/WSW	48/WSW	47/WSW	45/WSW	45/WSW	34/WSW	27/WSW	18/SW	36	48/WSW
10/27	14/WSW	19/WSW	17/WSW	14/WSW	15/WSW	16/WSW	23/WSW	28/WSW	32/WSW	38/WSW	39/WSW	36/SW	32/WSW	30/WSW	29/WSW	25/WSW	20/WSW	22/WSW	22/WSW	22/WSW	19/WSW	21/WSW	18/WSW	13/WSW	24	39/WSW
10/28	11/WSW	06/WSW	04/WSW	04/WSW	08/WSW	11/WSW	15/WSW	17/WSW	21/WSW	23/WSW	32/WSW	33/WSW	32/WSW	33/WSW	31/WSW	24/WSW	21/WSW	18/WSW	20/WSW	19/WSW	24/WSW	19/WSW	21/WSW	28/SW	20	33/WSW
10/29	38/WSW	42/WSW	41/WSW	37/WSW	39/WSW	42/WSW	43/WSW	40/WSW	48/WSW	50/WSW	44/WSW	45/WSW	39/WSW	33/WSW	23/WSW	15/WSW	17/WSW	18/WSW	16/WSW	14/WSW	16/WSW	18/WSW	27/WSW	30/WSW	32	50/WSW
10/30	35/WSW	40/WSW	38/WSW	35/WSW	31/WSW	29/WSW	28/WSW	21/WSW	21/WSW	22/WSW	24/WSW	20/WSW	20/WSW	19/SW	16/SW	13/WSW	09/SW	05/WSW	03/WSW	07/WSW	09/WSW	13/WSW	16/WSW	19/WSW	20	40/WSW
10/31	21/WSW	28/WSW	33/WSW	34/WSW	31/WSW	33/WSW	28/WSW	23/WSW	18/WSW	19/WSW	19/WSW	23/WSW	21/WSW	19/SW	27/WSW	30/WSW	35/SW	40/WSW	38/WSW	35/WSW	31/WSW	29/WSW	28/WSW	22/WSW	28	40/WSW
平均值	25	25	25	25	24	24	24	24	26	27	27	26	26	27	27	26	23	25	25	26	27	26	26	26		
最大值	83/WSW	78/WSW	68/WSW	64/WSW	59/WSW	55/WSW	61/WSW	60/SW	56/SW	54/SW	57/SW	66/SW	73/WSW	82/WSW	84/WSW	79/WSW	68/WSW	70/WSW	72/SW	76/SW	79/SW	81/SW	84/SW	85/WSW		

[註1]: 海流月平均流速＝25cm/s，最大流速＝85cm/s，其流向爲WSW(去向)。

[註2]: 每小時記錄一次，資料計744筆。檔名: C94ATC10。

港灣技術研究中心

圖3.4 台中港逐時海流變化圖



C94ATC10.1HE

Institute of Harbor & Marine Technology

PLACUTAH.FOR

2000.12.8

表3-10　1994年10月台中港海流1測站流速S(cm/s)及流向D(去向)聯合分佈百分比(%)月統計表

1994年10月1日0時0分～1994年10月31日23時0分

流向 流速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	合計 (%)
0cm/s																		
	.0	.1	.9	.9	.5	.0	.0	.1	.1	.5	.9	.5	.1	.0	.0	.1		5.1
5cm/s																		
	.0	.1	1.3	.5	.3	.1	.3	.0	.0	.9	2.8	.3	.4	.1	.1	.0		7.4
10cm/s																		
	.1	.1	.3	.8	.9	.4	.4	.1	.1	1.9	4.3	.1	.3	.0	.1	.1		10.2
15cm/s																		
	.3	.0	.5	.7	.1	.3	.1	.7	.1	3.1	9.0	.5	.1	.0	.0	.1		15.7
20cm/s																		
	.1	.4	.7	1.1	.4	.4	.0	.8	.3	3.4	9.4	.3	.3	.1	.0	.3		17.9
25cm/s																		
	.0	.0	.3	.1	.5	.1	.1	.4	.1	1.5	4.0	.1	.1	.3	.0	.0		7.8
30cm/s																		
	.0	.1	.5	.4	.3	.5	.3	.4	.1	2.3	6.3	.1	.0	.0	.1	.0		11.6
35cm/s																		
	.0	.1	.1	.4	.5	.3	.0	.1	.3	1.3	5.5	.3	.0	.1	.0	.1		9.3
40cm/s																		
	.0	.3	.7	.4	.7	.0	.0	.1	.0	.7	3.8	.3	.0	.0	.0	.0		6.9
45cm/s																		
	.0	.0	.3	.1	.4	.1	.1	.1	.0	.1	2.2	.0	.0	.0	.0	.0		3.5
50cm/s																		
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.3	.0	.0	.0	.0	.0		.4
55cm/s																		
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.3	.4	.0	.0	.0	.0	.0		.7
60cm/s																		
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.3	.5	.0	.0	.0	.0	.0		.8
65cm/s																		
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.4	.7	.0	.0	.0	.0	.0		1.1
70cm/s																		
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.3	.0	.0	.0	.0	.0		.4
75cm/s																		
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.3	.3	.0	.0	.0	.0	.0		.5
80cm/s																		
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.3	.4	.0	.0	.0	.0	.0		.7
85cm/s																		
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.0	.0	.0	.0	.0		.1
90cm/s																		
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		.0
200cm/s																		
合計(%)	.5	1.3	5.6	5.5	4.7	2.3	1.3	3.0	1.2	17.5	51.2	2.6	1.3	.7	.4	.8		100.0

[註1]: 流速介於20.0cm/s～25.0cm/s佔: 17.9%。流向介於SW～WSW佔: 51.2%。

[註2]: 流速平均值＝ 26.0cm/s ,流速最大值＝ 85.9cm/s ,其流向爲SW 。

[註3]: 流速小於25cm/s佔56.3%;介於25～50cm/s佔39.0%;流速大於50cm/s佔4.7%。

[註4]: 資料每小時記錄一次,合計744筆，檔名: C94ATC10.1HE 。

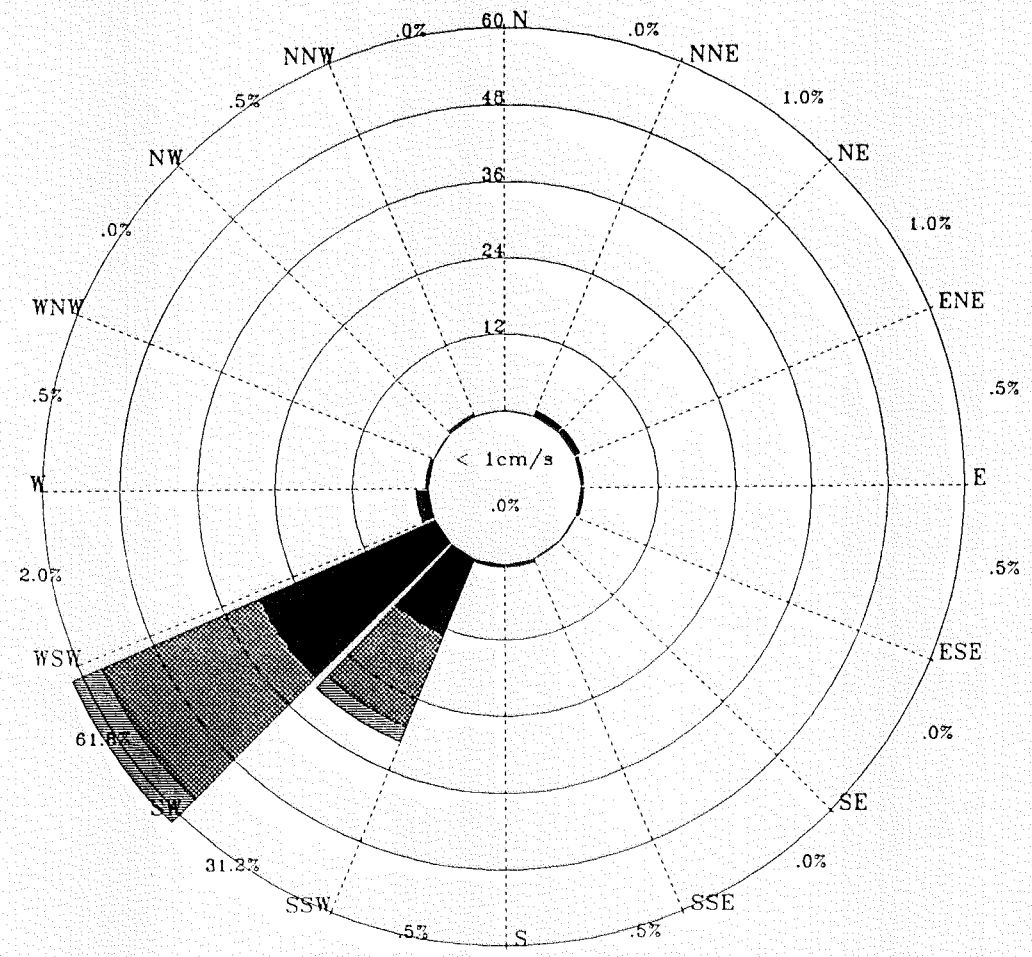
表3-11　台中港海流測站1流速及流向分月、季及年統計表

年、月	觀測點數 (NO)	流速 平均值 (cm/s)	流速/流向 最大值 (cm/s)/(去向)	流速 <25cm/s (%)	流速 25～50 cm/s (%)	流速 50～75 cm/s (%)	流速 >75cm/s (%)	流向 N～E (%)	流向 E～S (%)	流向 S～W (%)	流向 W～N (%)
1994/09	199	21.5	48.7 /SSW	64.8	35.2	.0	.0	2.5	1.0	95.5	1.0
1994/10	744	26.0	85.9 /SW	56.3	39.0	4.7	.0	13.0	11.3	72.4	3.2
1994/11	590	15.1	57.2 /SSW	83.4	15.4	1.2	.0	11.0	10.5	73.4	5.1
1994/12	744	21.2	66.9 /SW	62.2	32.4	5.4	.0	8.7	8.1	76.6	6.6
1995/01	180	18.0	57.3 /SW	74.4	19.4	6.1	.0	7.8	5.0	83.9	3.3
1995/02	397	19.7	50.8 /SW	69.0	30.7	.3	.0	4.5	2.5	86.9	6.0
1995/03	415	17.3	71.8 /SSW	75.4	20.5	4.1	.0	19.3	10.6	62.2	8.0
1995/07	276	12.5	49.1 /SSW	89.9	10.1	.0	.0	30.4	20.3	43.5	5.8
1995/08	463	7.4	43.7 /SW	98.5	1.5	.0	.0	31.3	21.8	41.5	5.4
1995/09	720	15.5	68.3 /SSW	81.4	15.0	3.6	.0	17.4	13.9	64.4	4.3
1995/10	744	18.9	56.2 /SW	72.4	27.0	.5	.0	8.2	4.6	85.9	1.3
1995/11	101	18.6	52.6 /SSW	69.3	27.7	3.0	.0	22.8	.0	74.3	3.0
1996/01	396	23.1	60.2 /SW	54.3	42.4	3.3	.0	.8	2.3	96.2	.8
1996/02	300	25.6	69.4 /SW	56.7	25.3	18.0	.0	4.3	6.0	87.7	2.0
1997/01	34	12.5	31.2 /SW	82.4	17.6	.0	.0	2.9	17.6	73.5	5.9
1997/02	574	33.9	66.9 /ESE	37.1	42.2	20.7	.0	6.4	45.3	47.6	.7
1997/03	744	26.7	77.5 /SSW	54.0	34.0	12.0	.0	13.6	9.9	70.0	6.5

Rose Diagram of current

Current in Tai-Chung Harbor of ST-1 at 1994/09/22.17:00-1994/09/30.23:00

Total data no. 199



1 - 20cm/s	20 - 40cm/s	40 - 60cm/s	60 - 80cm/s	> 80cm/s
50.3%	42.2%	7.5%	.0%	.0%

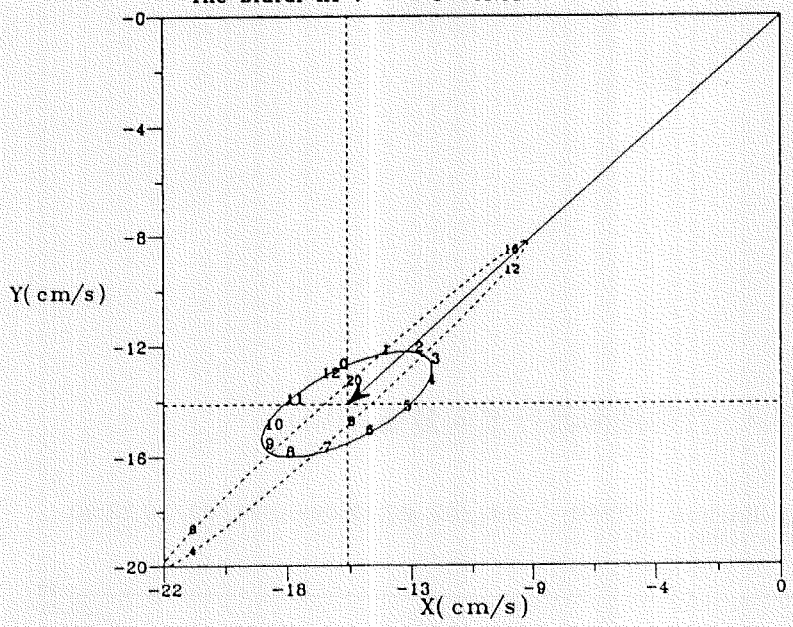
圖3.5 台中港海流玫瑰圖

Ellpise of Tidal Current M1 AMD M2

Current in Tai-Chung Harbor ST-01 1994/09/22.17:00-1994/09/30.23:00

The Semi-Diural M2 T= 12.42

The Diural K1 : T= 23.93



Constant Current :

Current Speed = 20.96 cm/sec

Direction = 228 degree N

The Semi-Diural M2 :

Semi-major axis= 3.34 cm/sec

Orientation = 63 degree N

Semi-minor axis= 1.27 cm/sec

The Diural K1 :

Semi-major axis= 8.78 cm/sec

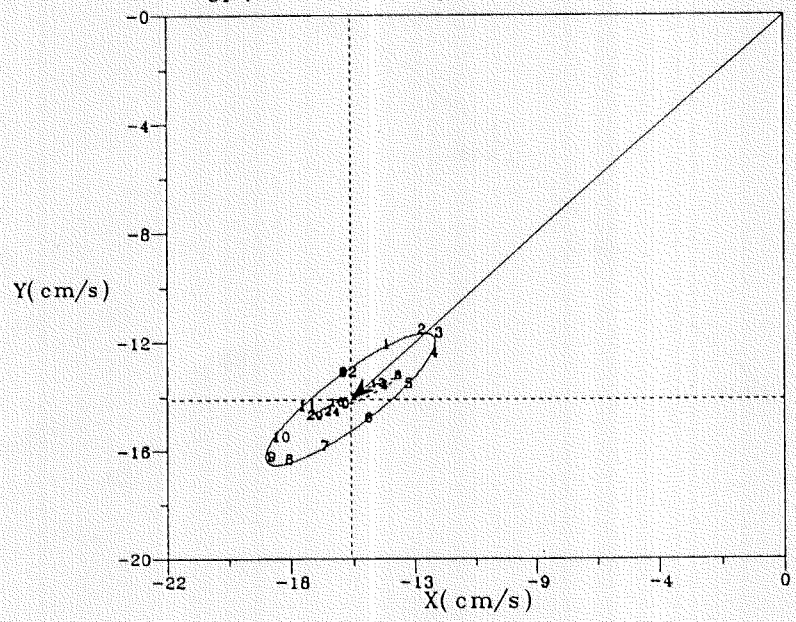
Orientation = 48 degree N

Semi-minor axis= .56 cm/sec

Current in Tai-Chung Harbor ST-01 1994/09/22.17:00-1994/09/30.23:00

S2 : T= 12.00

O1 : T= 25.82



Constant Current :

Current Speed = 20.96 cm/sec

Direction = 228 degree N

S2 :

Semi-major axis= 3.77 cm/sec

Orientation = 52 degree N

Semi-minor axis= .94 cm/sec

O1 :

Semi-major axis= 1.73 cm/sec

Orientation = 64 degree N

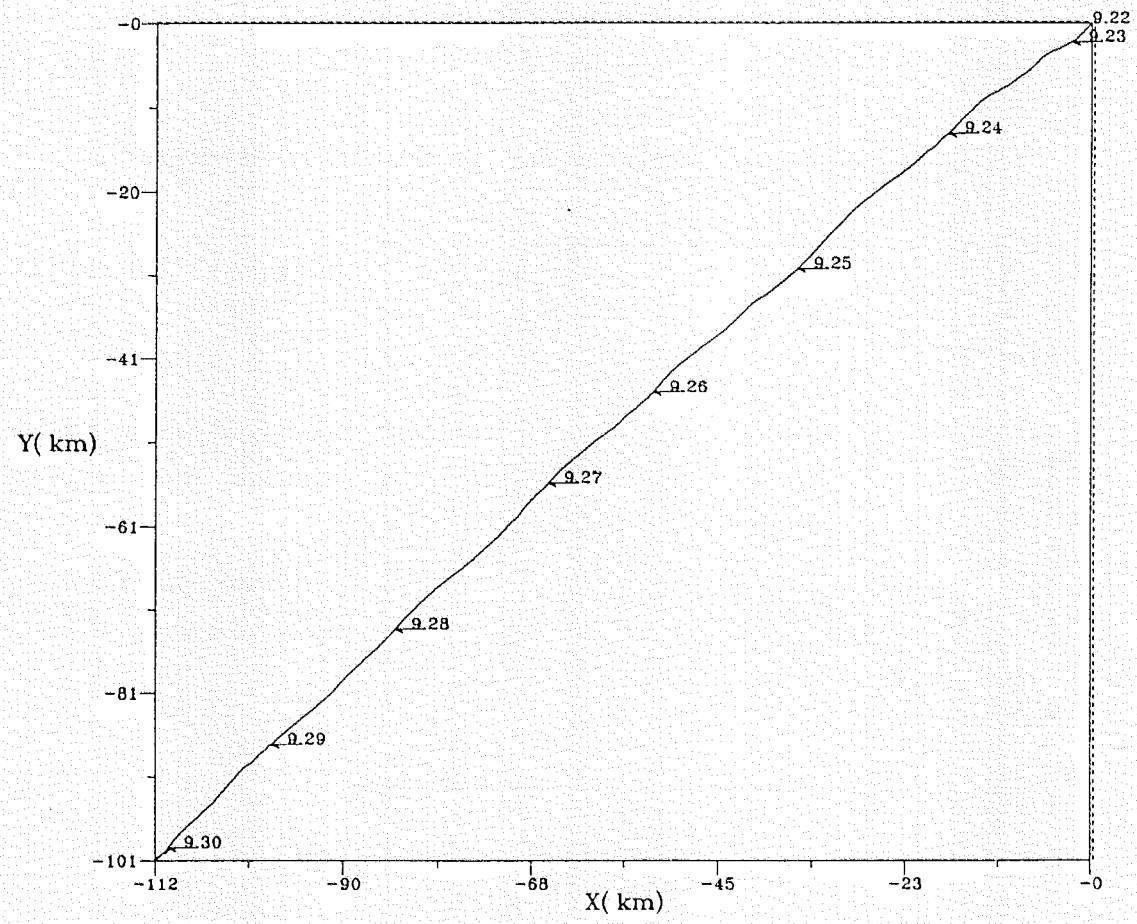
Semi-minor axis= .15 cm/sec

圖3.7 台中港海流橢圓圖

Progressive Vector Diagram

圖3.8 台中港海流行進向量圖(PVD)

Current in Tai-Chung Harbor ST-01 1994/09/22.17:00-1994/09/30.23:00
Total hours: 199 -0



C949TC10.1HA	Institute of Harbor & Marine Technology

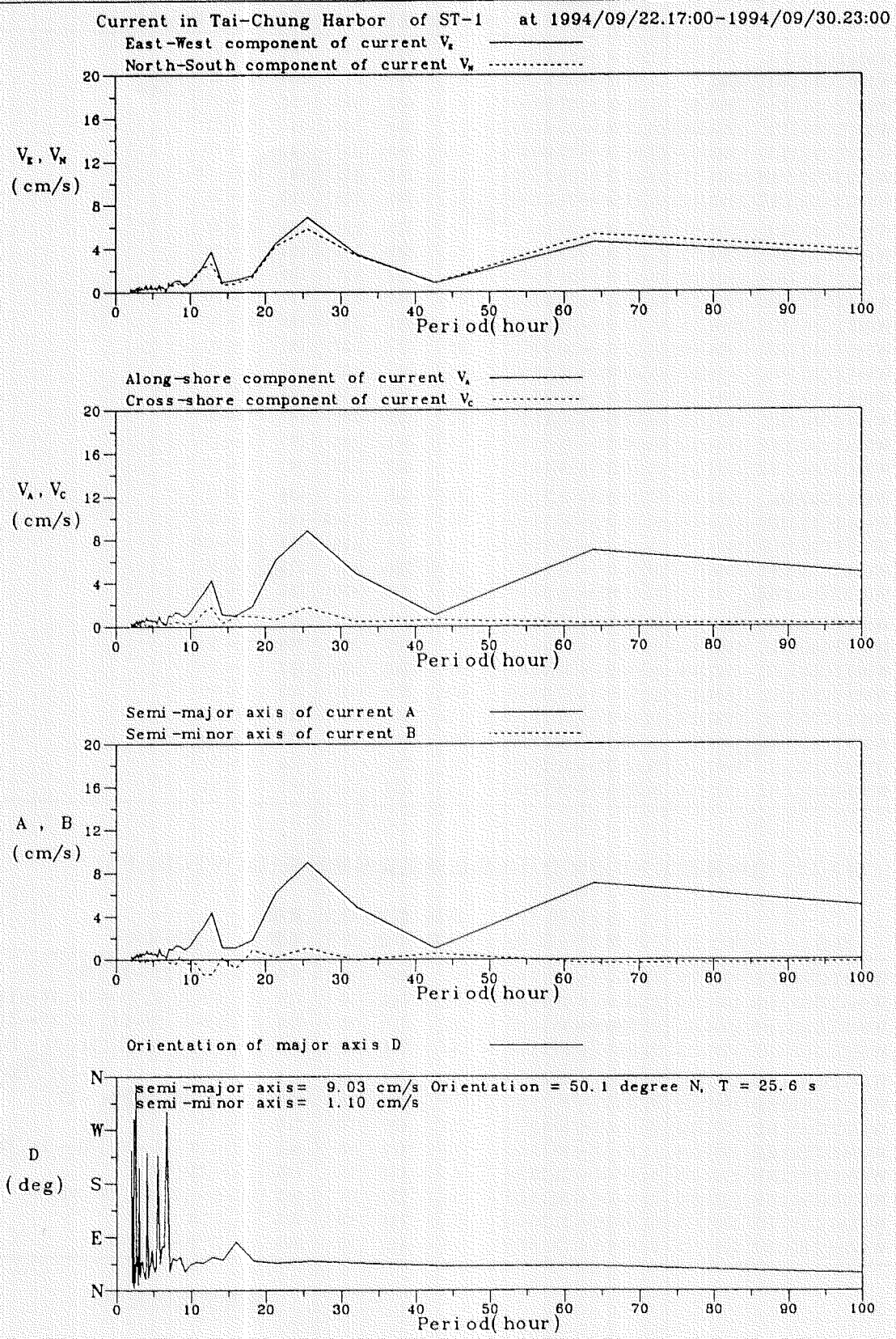


圖3.6 台中港海流能譜圖

C949TC10.CUA | Institute of Harbor & Marine Technology

表3-12　台中港測站3歷年分月現場觀測風資料統計表(IMWTC30.PS)

序號	測站	檔名	年、月	啓止時間 (日.時:分～日.時:分)	觀測天數	觀測筆數	缺失筆數	實際筆數	資料缺失日
1	3	W935TC30.1HE	1993/05	01.05:00～31.21:00	31	737	571	166	1～31
2	3	W936TC30.1HE	1993/06	01.01:00～30.21:00	30	717	617	100	1～30
3	3	W937TC30.1HE	1993/07	01.01:00～27.09:00	27	633	483	150	1～27
4	3	W938TC30.1HE	1993/08	06.17:00～22.01:00	17	369	306	63	6～22
5	3	W939TC30.1HE	1993/09	07.01:00～23.05:00	17	389	337	52	7～23
6	3	W93BTC30.1HE	1993/11	16.13:00～26.21:00	11	249	211	38	16～26
7	3	W93CTC30.1HE	1993/12	01.12:00～31.12:00	31	721	608	113	1～31
8	3	W941TC30.1HE	1994/01	01.12:00～31.16:00	31	725	621	104	1～31
9	3	W942TC30.1HE	1994/02	01.12:00～28.12:00	28	649	545	104	1～28
10	3	W943TC30.1HE	1994/03	01.12:00～31.20:00	31	729	627	102	1～31
11	3	W944TC30.1HE	1994/04	01.00:00～30.20:00	30	717	540	177	1～30
12	3	W945TC30.1HE	1994/05	01.00:00～31.20:00	31	741	555	186	1～31
13	3	W946TC30.1HE	1994/06	01.00:00～30.20:00	30	717	537	180	1～30
14	3	W947TC30.1HE	1994/07	01.00:00～26.16:00	26	617	462	155	1～26
15	3	W948TC30.1HE	1994/08	02.18:00～31.22:00	30	701	526	175	2～31
16	3	W949TC30.1HE	1994/09	01.02:00～30.18:00	30	713	566	147	1～30
17	3	W94ATC30.1HE	1994/10	01.02:00～15.06:00	15	341	266	75	1～15
18	3	W94CTC30.1HE	1994/12	01.15:00～19.14:00	19	432	338	94	1～19
19	3	W955TC30.1HE	1995/05	07.09:00～31.21:00	25	589	451	138	7～31
20	3	W956TC30.1HE	1995/06	01.01:00～20.13:00	50	1189	1049	140	1～30
21	3	W959TC30.1HE	1995/09	19.15:00～30.19:00	12	269	156	113	19～30
22	3	W95ATC30.1HE	1995/10	01.01:00～31.19:00	31	739	464	275	1～31
23	3	W95BTC30.1HE	1995/11	01.01:00～30.09:00	30	705	450	255	1～30
24	3	W972TC30.1HE	1997/02	02.16:00～28.22:00	27	631	591	40	2～28
25	3	W973TC30.1HE	1997/03	01.02:00～31.20:00	31	739	371	368	1～31
26	3	W974TC30.1HE	1997/04	01.04:00～30.22:00	30	715	358	357	1～30
27	3	W975TC30.1HE	1997/05	01.02:00～27.00:00	27	623	321	302	1～26
28	3	W978TC30.1HE	1997/08	14.14:00～31.22:00	18	417	336	81	14～31
29	3	W979TC30.1HE	1997/09	01.02:00～30.22:00	30	717	360	357	1～30
30	3	W97ATC30.1HE	1997/10	01.02:00～31.22:00	31	741	372	369	1～31
31	3	W97BTC30.1HE	1997/11	01.02:00～14.12:00	14	323	162	161	1～14

表3-13　台中港測站NB歷年分月現場觀測風資料統計表(IMWTCB0.PS)

序號	測站	檔名	年、月	啓止時間 (日.時:分～日.時:分)	觀測天數	觀測筆數	缺失筆數	實際筆數	資料缺失日
1	B	W969TCB0.1HE	1996/09	18.18:00～30.23:00	13	294	88	206	19～20，22～26，28
2	B	W96ATCB0.1HE	1996/10	01.00:00～31.23:00	31	744	19	725	2，4～7，9，12～13，16～17，21，31
3	B	W96BTCB0.1HE	1996/11	01.00:00～30.23:00	30	720	85	635	1，3～5，7～10，13，17～21，25，29
4	B	W96CTCB0.1HE	1996/12	01.00:00～31.23:00	31	744	88	656	1，4，8，10，12，21，23～25，27～31
5	B	W971TCB0.1HE	1997/01	01.00:00～31.23:00	31	744	33	711	7，13～14，16，18～21，23～24，30～31
6	B	W972TCB0.1HE	1997/02	01.00:00～28.23:00	28	672	58	614	2～3，18，20，24～27
7	B	W973TCB0.1HE	1997/03	01.00:00～20.19:00	20	476	160	316	4～20
8	B	W974TCB0.1HE	1997/04	11.20:00～30.15:00	20	452	88	364	12～13，15～19，21～23，28～30
9	B	W978TCB0.1HE	1997/08	24.19:00～31.23:00	8	173	25	148	24～28，30
10	B	W979TCB0.1HE	1997/09	01.00:00～30.23:00	30	720	37	683	4，8～12，24，28，30
11	B	W97ATCB0.1HE	1997/10	01.00:00～31.23:00	31	744	19	725	1，4，9，26
12	B	W97BTCB0.1HE	1997/11	01.00:00～18.10:00	18	419	20	399	3，7，9～14，16

港灣技術研究中心

表3-14　台中港測站WU歷年分月現場觀測風資料統計表(IMWTCW0.PS)

序號	測站	檔名	年、月	啓止時間 (日.時:分～日.時:分)	觀測天數	觀測筆數	缺失筆數	實際筆數	資料缺失日
1	WU	W961TCW0.1HE	1996/01	01.00:00～31.23:00	31	744	2	742	8，15
2	WU	W962TCW0.1HE	1996/02	01.00:00～29.23:00	29	696	0	696	
3	WU	W963TCW0.1HE	1996/03	01.00:00～31.23:00	31	744	4	740	5～7，21
4	WU	W964TCW0.1HE	1996/04	01.00:00～30.23:00	30	720	1	719	26
5	WU	W965TCW0.1HE	1996/05	01.00:00～31.23:00	31	744	4	740	26，29
6	WU	W966TCW0.1HE	1996/06	01.00:00～30.23:00	30	720	4	716	1，9，16
7	WU	W967TCW0.1HE	1996/07	01.00:00～31.23:00	31	744	3	741	9，14
8	WU	W968TCW0.1HE	1996/08	01.00:00～31.23:00	31	744	1	743	26
9	WU	W969TCW0.1HE	1996/09	01.00:00～30.23:00	30	720	6	714	2，12，24～25
10	WU	W96ATCW0.1HE	1996/10	01.00:00～31.23:00	31	744	2	742	5，21
11	WU	W96BTCW0.1HE	1996/11	01.00:00～30.23:00	30	720	5	715	1，5，8～9
12	WU	W96CTCW0.1HE	1996/12	01.00:00～31.23:00	31	744	4	740	26，31
13	WU	W971TCW0.1HE	1997/01	01.00:00～31.23:00	31	744	3	741	13，30～31
14	WU	W972TCW0.1HE	1997/02	01.00:00～28.23:00	28	672	10	662	20，24～27
15	WU	W973TCW0.1HE	1997/03	01.00:00～31.23:00	31	744	2	742	10，22
16	WU	W974TCW0.1HE	1997/04	01.00:00～30.23:00	30	720	6	714	9，13
17	WU	W975TCW0.1HE	1997/05	01.00:00～31.23:00	31	744	17	727	18，22，27～31
18	WU	W976TCW0.1HE	1997/06	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	

表3-15　台中港測站7歷年分月現場觀測風資料統計表(IMWTC70.PS)

序號	測站	檔名	年、月	啓止時間 (日.時:分～日.時:分)	觀測天數	觀測筆數	缺失筆數	實際筆數	資料缺失日
1	7	W941TC70.1HE	1994/01	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
2	7	W942TC70.1HE	1994/02	01.00:00～28.23:00	28	672	0	672	
3	7	W943TC70.1HE	1994/03	01.00:00～31.23:00	31	744	3	741	10
4	7	W944TC70.1HE	1994/04	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
5	7	W945TC70.1HE	1994/05	01.00:00～31.23:00	31	744	96	648	3～4，29～31
6	7	W946TC70.1HE	1994/06	01.00:00～30.23:00	30	720	360	360	16～30
7	7	W947TC70.1HE	1994/07	01.00:00～31.23:00	31	744	657	87	1～5，8～31
8	7	W948TC70.1HE	1994/08	01.00:00～31.23:00	31	744	34	710	1，31
9	7	W949TC70.1HE	1994/09	01.00:00～30.23:00	30	720	24	696	16
10	7	W94ATC70.1HE	1994/10	01.00:00～31.23:00	31	744	288	456	2～7，14～20
11	7	W94BTC70.1HE	1994/11	01.00:00～30.23:00	30	720	15	705	21
12	7	W94CTC70.1HE	1994/12	01.00:00～31.23:00	31	744	174	570	24～31
13	7	W951TC70.1HE	1995/01	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
14	7	W952TC70.1HE	1995/02	01.00:00～28.23:00	28	672	0	672	
15	7	W953TC70.1HE	1995/03	01.00:00～31.23:00	31	744	456	288	13～31
16	7	W954TC70.1HE	1995/04	01.00:00～30.23:00	30	720	159	561	1～7
17	7	W955TC70.1HE	1995/05	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
18	7	W956TC70.1HE	1995/06	01.00:00～30.23:00	30	720	1	719	5
19	7	W957TC70.1HE	1995/07	01.00:00～31.23:00	31	744	168	576	25～31
20	7	W95ATC70.1HE	1995/10	01.00:00～31.23:00	31	744	480	264	1～20
21	7	W95BTC70.1HE	1995/11	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
22	7	W95CTC70.1HE	1995/12	01.00:00～31.23:00	31	744	113	631	18～19，24～27
23	7	W961TC70.1HE	1996/01	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
24	7	W962TC70.1HE	1996/02	01.00:00～29.23:00	29	696	0	696	
25	7	W963TC70.1HE	1996/03	01.00:00～31.23:00	31	744	240	504	3，7～9，14，16，25，28～31

港灣技術研究中心

表3-16　1996年08月台中港風WU測站逐時風速S(m/s)及風向D(來向)觀測值報表

1996年8月1日0時0分～1996年8月31日23時0分

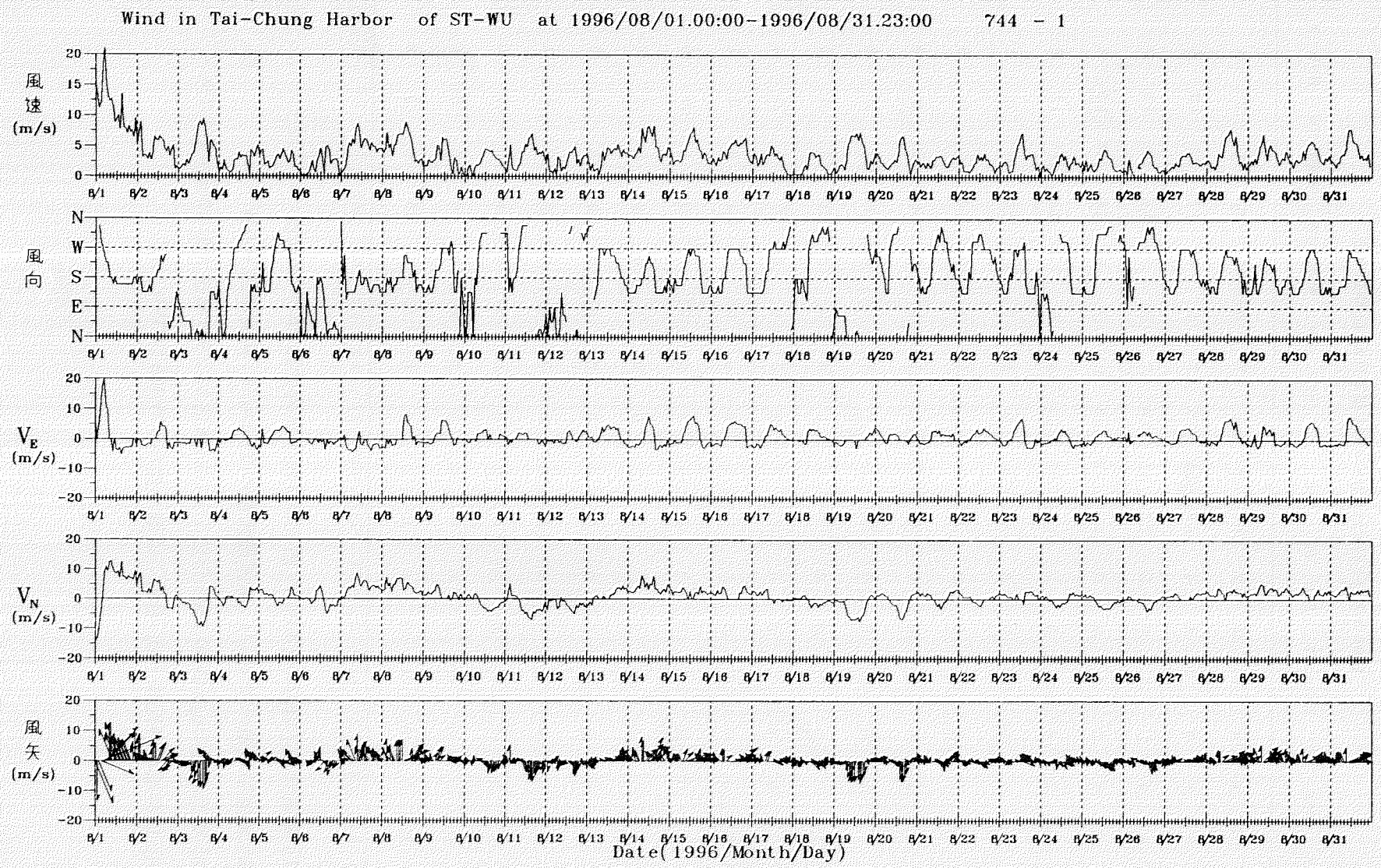
時 日	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	日平均 (m/s)	日最大 (m/s,來向)
08/01	15.3/NNW	13.4/N	11.2/NNW	12.1/WNW	7.7/W	21.1/WSW	15.7/SW	13.2/SW	12.4/S	12.7/S	11.2/SSE	8.9/S	9.3/SSE	10.0/SSE	7.8/SSE	13.5/SSE	8.0/SSE	8.0/SSE	7.1/SSE	8.3/SSE	7.3/SSE	7.5/SSE	6.4/S	9.5/S	11.2	21.1/WSW
08/02	5.1/SSE	7.5/S	8.9/S	3.1/SE	3.5/SE	3.4/SE	2.8/SE	3.9/SSE	2.7/SE	3.9/S	6.6/S	6.0/S	5.9/SSW	6.6/SSW	6.2/WSW	5.9/SW	4.6/WSW	4.0/WSW	4.8/NE	3.4/NNE	4.4/NE	5.1/NE	1.2/E	1.7/SE	4.6	8.9/S
08/03	1.3/ESE	1.2/E	1.6/ENE	2.1/NE	1.7/NE	2.7/NE	2.0/NE	2.6/NE	3.6/N	3.7/N	5.2/N	7.1/NNE	8.6/N	9.0/N	8.4/NNE	9.5/N	7.8/N	5.9/N	2.3/N	5.9/SE	5.8/SE	5.0/SE	4.6/ESE	2.1/ESE	4.6	9.5/N
08/04	.6/SSE	1.5/ENE	1.1/N	2.7/N	1.4/NNE	.9/SE	.8/SSE	.6/SSW	.9/SSW	2.6/W	2.8/W	2.8/W	3.9/WNW	3.0/WNW	3.5/NW	3.2/NW	3.4/NNW	2.1/NNW	.3/NNE	4.3/SSE	4.0/SE	3.2/SSE	4.0/SE	5.1/SE	2.4	5.1/SE
08/05	3.4/SE	4.2/SE	4.4/SW	1.9/SE	2.1/SE	2.5/SE	1.3/SE	1.5/SSW	1.7/SW	2.5/W	3.2/WNW	3.6/NW	2.8/WNW	3.5/WNW	4.5/WNW	3.8/W	3.0/W	2.2/W	2.5/WSW	4.2/SSE	3.5/SSE	1.5/SE	1.6/SE	1.0/SSE	2.8	4.5/WNW
08/06	.9/SE	.2/N	.2/N	.2/N	.4/SE	.6/E	1.3/ENE	2.6/NE	1.2/NE	.7/N	2.7/S	3.3/SSE	4.6/S	3.0/SSE	.5/ESE	4.8/NE	5.0/N	4.4/NNE	2.0/NNE	2.7/NNE	2.8/NE	2.9/NNE	2.5/NNE	.2/N	2.1	5.0/N
08/07	.6/NNW	.8/SSE	1.3/WSW	1.9/ESE	4.4/SE	5.5/SE	4.9/SE	6.2/SE	5.4/SE	8.0/SSE	8.7/S	7.0/SSW	4.7/SSE	5.6/SSE	6.2/S	6.1/S	5.3/SSE	4.2/SE	5.6/SE	4.9/SSE	4.9/SSE	3.9/SSE	4.6/SSE	4.6/SE	4.8	8.7/S
08/08	4.5/SE	3.8/SE	4.5/SE	7.2/S	4.7/SSE	5.3/S	3.3/SE	5.1/SSE	5.2/SSE	6.8/S	6.9/S	7.0/S	6.9/S	7.8/WSW	8.9/WSW	8.0/SW	7.0/SW	6.0/SW	4.0/S	2.5/SSW	2.7/SE	2.1/SSE	2.7/SSE	2.9/SSE	5.2	8.9/WSW
08/09	1.5/SE	1.8/SE	1.7/SE	2.7/SSE	2.4/SE	2.3/SE	2.6/SSE	3.0/SSW	5.1/SSW	4.9/SSW	2.6/SW	6.4/W	6.0/W	6.2/W	5.4/W	3.3/WSW	1.3/WNW	.3/W	3.1/SE	2.6/SE	.9/SSW	.4/N	1.5/S	.5/ESE	2.9	6.4/W
08/10	.1/N	.1/N	1.3/SE	1.9/SE	.6/SE	.2/N	1.5/S	1.9/SSE	1.9/WSW	2.0/WNW	3.0/NW	3.5/NW	4.5/NW	4.5/NW	4.3/N	4.1/NNW	4.3/N	3.5/N	3.1/N	2.9/N	2.8/N	2.5/NW	1.9/NW	1.5/NW	2.4	4.5/NW
08/11	1.2/NW	.7/NW	2.8/SE	5.2/S	1.5/SE	1.1/S	1.0/S	1.0/SSW	1.9/W	2.3/WNW	4.1/NNW	4.1/NNW	5.4/NNW	4.9/NNW	6.3/N	6.5/N	7.0/N	4.3/N	4.8/N	3.6/N	4.0/NNE	3.8/NNE	4.2/N	3.2/NNE	3.5	7.0/N
08/12	2.5/ENE	3.7/N	.8/E	.9/NE	.5/NE	1.4/E	.3/N	3.3/N	2.8/NNE	.9/SE	1.6/ENE	1.3/ENE	2.0/NE	3.4/NW	4.1/NW	4.0/NNW	4.4/N	5.0/N	2.2/NNE	2.9/N	1.8/NW	2.9/NW	3.5/WNW	3.5/NW	2.5	5.0/N
08/13	3.9/NW	2.2/NNW	1.0/NNW	2.1/NNW	.9/ESE	1.2/SE	1.4/SSE	.3/W	1.8/W	4.2/W	2.6/WSW	3.8/W	4.8/W	4.6/W	3.8/WSW	4.3/WSW	4.7/WSW	4.4/SW	5.3/SW	4.2/SSW	3.3/S	4.6/S	3.8/SSE	4.0/SSE	3.2	5.3/SW
08/14	3.6/SE	3.6/SE	3.4/SE	3.0/SE	3.8/SE	3.9/SSE	4.9/SSE	3.9/SSE	8.0/S	6.7/S	5.7/SW	7.9/SW	8.4/WSW	7.3/SW	6.7/SW	8.4/SSW	4.9/SE	4.9/SE	3.2/SE	2.5/SE	3.7/SE	3.7/SSE	3.5/SE	4.9/S	5.0	8.4/WSW
08/15	4.5/SSE	3.4/SSE	2.0/SE	2.6/S	2.7/SSE	2.7/SSE	2.5/SSE	2.8/SSE	4.4/SSW	4.2/SW	5.3/WSW	6.2/W	7.1/WSW	7.4/W	8.1/W	5.8/WSW	6.2/WSW	4.5/WSW	4.3/S	3.0/SE	4.1/SE	3.4/SE	2.2/SE	2.3/SSE	4.2	8.1/W
08/16	2.2/SSE	3.1/SE	2.3/SE	1.9/SE	3.3/SSE	2.6/SE	2.9/SE	4.2/S	3.9/S	3.0/SW	4.5/W	5.0/W	5.6/W	5.4/W	6.2/W	5.3/W	5.1/W	5.7/WSW	5.5/WSW	6.0/SW	6.5/SW	3.6/SE	3.0/SE	2.4/SE	4.1	6.5/SW
08/17	2.5/SE	4.0/SE	3.5/SE	1.8/SE	2.3/SE	3.9/SE	2.0/SE	2.5/SSE	3.6/SSW	3.7/SSW	3.5/W	5.2/W	4.7/W	3.5/WNW	3.9/W	3.2/W	2.8/W	3.4/W	2.0/WNW	1.3/W	.7/WNW	.4/NW	.3/NNW	.3/NNE	2.7	5.2/W
08/18	.5/NE	.5/S	.4/S	.4/SE	.5/SE	.4/S	1.4/SSE	2.0/SE	1.3/ESE	3.0/W	4.1/WNW	4.1/NW	4.0/WNW	3.2/WNW	3.6/WNW	3.7/NW	2.1/NW	1.9/NNW	1.6/NW	1.4/NW	.6/NNW	.5/WNW	.7/N	1.0/N	1.8	4.1/WNW
08/19	1.6/NE	.7/E	1.2/ENE	1.9/ENE	2.1/ENE	1.9/ENE	1.2/ENE	2.9/N	5.4/N	5.9/N	6.9/N	6.8/N	6.7/N	7.2/NNE	6.1/N	7.4/N	6.0/N	5.3/N	3.6/N	1.4/NW	1.4/W	2.7/WSW	2.2/SW	2.9/WSW	3.8	7.4/N
08/20	4.0/W	3.9/WSW	3.2/WSW	2.4/SW	2.3/SSW	1.8/S	1.5/SE	1.4/SE	1.8/W	2.1/WNW	2.4/NW	2.9/NW	2.5/NW	3.7/NNW	6.1/N	6.7/N	6.7/N	4.6/N	4.0/N	2.1/NE	.3/W	1.5/SSW	2.4/SW	3.0/SW	3.1	6.7/N
08/21	2.5/SSW	2.6/S	1.7/SE	2.4/SSE	2.1/SE	1.5/SE	2.4/SSE	1.9/SSE	1.5/S	2.8/W	2.9/W	3.4/WNW	3.3/NW	3.5/WNW	3.5/NNW	2.7/NW	2.0/WNW	1.7/WNW	1.7/WSW	2.4/SW	3.0/SSW	3.3/SW	3.0/S	3.3/S	2.5	3.5/WNW
08/22	3.5/S	2.3/SSE	2.5/SE	1.0/SE	.9/SE	1.0/SE	.8/SSW	1.0/S	1.5/WNW	2.2/WNW	2.4/WNW	3.8/WNW	2.9/NW	3.4/NW	2.8/WNW	3.9/W	2.9/W	3.0/W	2.1/W	2.1/WSW	1.6/SW	.7/WSW	1.5/SSW	1.6/S	2.1	3.9/W
08/23	2.0/S	1.8/SSE	2.5/SE	2.6/SE	2.1/SE	.8/S	.9/SSW	.9/S	2.6/W	3.7/W	5.2/WSW	5.6/W	6.6/W	7.2/W	4.1/WNW	3.0/SSE	3.7/SE	3.5/SE	3.8/SE	3.8/SE	2.3/SE	1.3/SSW	1.8/SSE	.2/N	3.0	7.2/W
08/24	1.4/SE	2.0/SE	1.0/ESE	1.5/SE	.9/ESE	.9/ENE	.2/N	.7/NNE	1.8/NNW	2.7/N	2.4/NW	3.6/NW	4.0/WNW	2.8/WNW	3.6/WNW	2.1/WNW	1.2/W	2.2/S	2.4/SE	3.6/SE	2.1/SE	2.5/SE	2.2/SE	1.7/SE	2.1	4.0/WNW
08/25	2.6/SE	1.2/SSE	2.8/SE	1.0/SE	1.6/SE	2.3/SE	1.3/SE	.9/SSE	1.4/WNW	1.9/NW	3.2/NW	2.9/NW	4.0/NW	4.6/NW	4.3/NW	3.3/NNW	3.2/NNW	2.7/NNW	1.5/N	1.2/NW	1.0/N	1.1/WNW	1.4/NW	.9/WNW	2.2	4.6/NW
08/26	1.0/WNW	1.2/W	.5/E	3.0/WSW	1.5/SE	.7/ESE	.3/SSE	*	1.5/W	2.2/WNW	2.3/WNW	2.7/WNW	3.3/WNW	3.8/NW	4.4/NNW	4.0/NW	3.6/NNW	2.1/NNW	1.6/WNW	1.7/WNW	.9/W	.8/WSW	1.1/SW	1.3/S	2.0	4.4/NNW
08/27	.5/S	.9/SSE	1.2/SSE	1.4/SE	1.9/SE	1.5/SE	2.4/SSE	2.0/SSE	1.8/SW	3.2/W	3.6/W	3.6/W	3.5/W	4.0/W	4.0/W	3.3/WSW	2.3/W	2.5/WSW	2.5/SW	2.3/S	2.0/S	2.1/SSE	2.5/S	2.2/SSE	2.4	4.0/W
08/28	2.7/S	2.9/SSE	2.2/SE	1.6/SSE	1.9/SSE	1.4/SE	2.2/SE	3.9/S	3.6/S	3.3/SW	5.2/WSW	6.5/W	6.8/WSW	7.1/WSW	7.9/WSW	6.2/WSW	5.3/SW	6.8/WSW	3.8/SW	2.4/SSW	2.7/SSW	1.4/SE	2.4/S	1.4/SE	3.8	7.9/WSW
08/29	2.0/SE	2.0/SE	2.8/SE	2.1/SSE	3.1/SW	2.3/SE	3.7/SE	5.1/SSE	5.5/S	7.0/SW	4.4/WSW	2.8/SW	4.7/SW	5.4/SW	4.5/SSW	4.4/SW	4.1/SSE	3.0/SSE	2.0/SE	2.8/SE	3.2/SSE	2.9/SSE	4.3/S	3.7/S	3.7	7.0/SW
08/30	2.4/S	2.7/SSE	1.5/SE	2.4/SE	3.0/SE	2.5/SE	2.6/SSE	2.9/SSE	4.5/S	3.0/SSW	4.6/WSW	5.4/WSW	5.5/W	6.0/W	5.7/W	4.7/WSW	4.9/WSW	3.9/SSW	2.7/SE	2.5/SE	2.2/SE	3.2/SSE	2.8/SE	3.6/SSE	3.5	6.0/W
08/31	2.8/SE	2.6/SE	2.3/SE	1.6/SE	2.5/SE	2.5/SSE	3.5/SSE	3.8/SSE	3.7/SSE	4.7/S	6.9/WSW	7.9/W	7.8/WSW	6.1/WSW	5.7/WSW	5.7/WSW	4.7/SW	3.2/SW	3.7/SSW	3.0/SSW	3.2/S	2.9/S	3.9/SSE	1.8/SE	4.0	7.9/W
平均值	2.7	2.7	2.5	2.5	2.6	2.7	2.4	2.9	3.4	3.9	4.4	4.9	5.2	5.3	5.2	5.2	4.4	3.8	3.2	3.2	2.9	2.7	2.7	2.5		
最大值	15.3/NNW	13.4/N	11.2/NNW	12.1/WNW	7.7/W	21.1/WSW	15.7/SW	13.2/SW	12.4/S	12.7/S	11.2/SSE	8.9/S	9.3/SSE	10.0/SSE	8.9/WSW	13.5/SSE	8.0/SSE	8.0/SSE	7.1/SSE	8.3/SSE	7.3/SSE	7.5/SSE	6.4/S	9.5/S		

[註1]:風月平均風速＝3.5m/s，最大風速＝21.1m/s，其風向爲WSW(來向)。

[註2]:每小時記錄一次,資料計743筆。檔名: W968TCW0.1HE。

港灣技術研究中心

圖3.9 台中港逐時風變化圖



W968TCW0.1HE | Institute of Harbor & Marine Technology

PLAWIIAH.FOR 2000.12.8

表3-17　1996年8月台中港風WU測站風速S(m/s)及風向D(來向)聯合分佈百分比(%)月統計表

1996年8月1日0時0分～1996年8月31日23時0分

風向 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	合計(%)
0m/s																		
	1.7	.4	.4	.1	.5	.7	1.1	.8	.8	.7	.0	.3	.5	.4	.3	.4		9.2
1m/s																		
	.5	.1	.4	1.2	.4	.5	4.8	1.5	1.2	.7	.5	.4	1.1	1.1	1.3	.4		16.3
2m/s																		
	.9	.8	1.1	.3	.0	.1	7.0	3.5	1.6	.7	.9	.8	1.6	1.9	1.3	.7		23.3
3m/s																		
	1.1	.4	.0	.0	.0	.0	3.9	2.8	1.3	1.1	.9	.8	2.0	1.7	1.9	.8		18.8
4m/s																		
	1.1	.3	.4	.0	.0	.1	1.7	1.5	1.2	.5	.8	1.2	1.1	.7	1.1	.8		12.5
5m/s																		
	.9	.0	.1	.0	.0	.0	.9	.8	.4	.3	.7	1.2	1.3	.0	.0	.1		6.9
6m/s																		
	1.3	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.0	1.2	.1	.5	.9	1.1	.0	.0	.0		5.4
7m/s																		
	.4	.3	.0	.0	.0	.0	.0	.5	.4	.1	.5	.7	.4	.0	.0	.0		3.4
8m/s																		
	.1	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.5	.5	.1	.1	.3	.1	.0	.0	.0		2.0
9m/s																		
	.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		.5
10m/s																		
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		.1
11m/s																		
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1		.3
12m/s																		
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.3	.0	.0	.0	.0	.1	.0	.0		.4
13m/s																		
	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.0	.0	.1	.0	.0	.0	.0	.0		.4
14m/s																		
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		.0
15m/s																		
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.0	.0	.0	.0	.1		.3
16m/s																		
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.0	.0	.0		.1
18m/s																		
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		.0
20m/s																		
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.0	.0	.0	.0		.1
50m/s																		
合計(%)	8.6	2.4	2.4	1.6	.9	1.5	19.7	12.5	9.2	4.3	5.4	6.7	9.4	5.9	5.9	3.5		100.0

[註1]: 風速介於2.0m/s～3.0m/s佔: 23.3%。風向介於SE～SSE佔: 19.7%。

[註2]: 風速平均值＝3.5m/s，風速最大值＝21.1m/s，其風向爲WSW。

[註3]: 風速小於5m/s佔80.1%；介於5～10m/s佔18.2%；風速大於10m/s佔1.7%。

[註4]: 資料每小時記錄一次，合計743筆，檔名: W968TCW0.1HE。

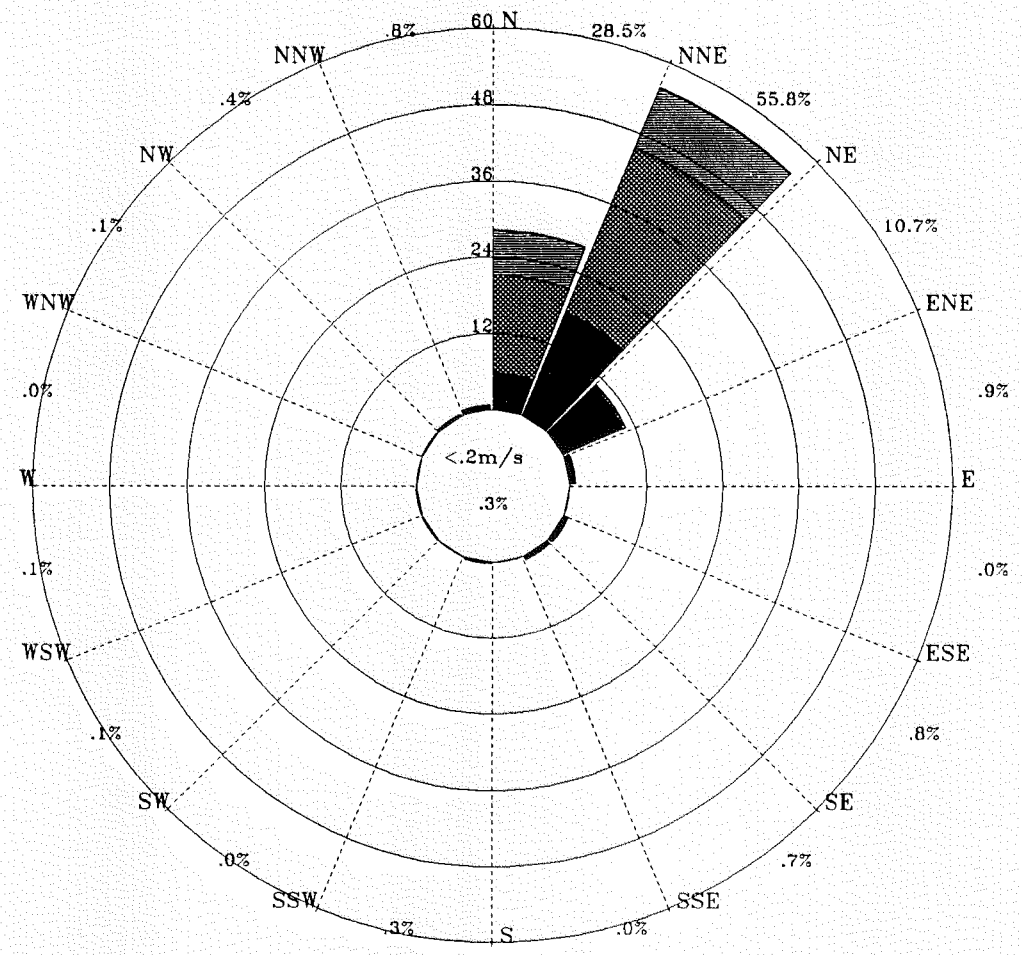
表3-18　台中港風測站3風速及風向分月、季及年統計表

年、月	觀測點數 (NO)	風速平均值 (m/s)	風速/風向 最大值 (m/s)/(來向)	風速 <5m/s (%)	風速 5～10 m/s (%)	風速 10～16 m/s (%)	風速 >16m/s (%)	風向 N～E (%)	風向 E～S (%)	風向 S～W (%)	風向 W～N (%)
1993/05	166	5.4	13.1 /E	49.4	42.8	7.8	.0	33.1	16.3	34.9	15.7
1993/06	100	7.1	16.0 /ENE	26.0	54.0	20.0	.0	68.0	20.0	5.0	7.0
1993/07	150	6.6	12.7 /NE	26.7	66.0	7.3	.0	70.7	15.3	5.3	8.7
1993/08	63	5.0	13.1 /NE	57.1	36.5	6.3	.0	54.0	23.8	11.1	11.1
1993/09	52	5.8	12.7 /WSW	48.1	32.7	19.2	.0	17.3	23.1	53.8	5.8
1993/11	38	11.9	21.3 /WSW	13.2	31.6	23.7	31.6	2.6	.0	92.1	5.3
1993/12	113	10.2	20.4 /WSW	15.9	30.1	43.4	10.6	2.7	4.4	83.2	9.7
1994/01	104	7.1	14.6 /SE	26.9	56.7	16.3	.0	4.8	7.7	69.2	18.3
1994/02	104	7.3	15.6 /WSW	29.8	48.1	22.1	.0	5.8	8.7	71.2	14.4
1994/03	102	7.9	16.6 /WSW	25.5	44.1	28.4	2.0	4.9	13.7	63.7	17.6
1994/04	177	5.0	16.0 /WSW	58.2	35.0	6.8	.0	20.9	17.5	39.0	22.6
1994/05	186	4.9	13.9 /WSW	61.3	29.0	9.7	.0	24.7	26.3	35.5	13.4
1994/06	180	5.1	11.3 /NE	52.8	41.1	6.1	.0	25.6	41.1	21.1	12.2
1994/07	155	3.7	21.6 /WSW	78.7	15.5	3.9	1.9	20.6	26.5	16.1	36.8
1994/08	175	6.0	18.6 /SW	48.0	34.9	14.9	2.3	.0	.0	21.1	78.9
1994/09	147	7.2	14.9 /W	36.7	30.6	32.7	.0	.0	.0	5.4	94.6
1994/10	75	7.7	33.2 /N	41.3	34.7	10.7	13.3	5.3	.0	9.3	85.3
1994/12	94	9.7	18.5 /WSW	25.5	28.7	28.7	17.0	6.4	8.5	66.0	19.1
1995/05	138	5.7	13.7 /WSW	44.9	44.2	10.9	.0	16.7	18.8	39.9	24.6
1995/06	140	7.4	33.4 /ENE	32.1	41.4	25.7	.7	22.9	32.9	23.6	20.7
1995/09	113	7.6	19.6 /W	24.8	49.6	21.2	4.4	.0	3.5	51.3	45.1
1995/10	275	11.2	19.9 /WSW	14.2	18.2	57.5	10.2	2.9	2.9	56.0	38.2
1995/11	255	10.6	20.2 /WSW	20.8	24.3	35.7	19.2	3.1	5.5	62.0	29.4

Rose Diagram of Wind

Wind in Tai-Chung Harbor of ST-WU at 1996/12/01.00:00-1996/12/31.23:00

Total data no. 740



.2 - 5m/s	5 - 10m/s	10 - 15m/s	15 - 20m/s	> 20m/s
37.7%	44.1%	17.0%	.3%	.0%

圖3.10 台中港風玫瑰圖

W96CTCW0.WDB | Institute of Harbor & Marine Technology

表3-19　台中港歷年測站1分月現場觀測波浪資料統計表(IMVTC10.PS)

序號	測站	檔名	年、月	啓止時間 (日.時:分～日.時:分)	觀測天數	觀測筆數	缺失筆數	實際筆數	資料缺失日
1	1	V949TC10.1HE	1994/09	25.12:00～30.22:00	6	131	0	131	
2	1	V94ATC10.1HE	1994/10	01.00:00～31.21:00	31	742	0	742	
3	1	V94BTC10.1HE	1994/11	01.01:00～30.23:00	30	719	0	719	
4	1	V94CTC10.1HE	1994/12	01.01:00～31.23:00	31	743	0	743	
5	1	V951TC10.1HE	1995/01	01.00:00～31.19:00	31	740	0	740	
6	1	V952TC10.1HE	1995/02	01.00:00～28.22:00	28	671	0	671	
7	1	V953TC10.1HE	1995/03	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
8	1	V954TC10.1HE	1995/04	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
9	1	V955TC10.1HE	1995/05	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
10	1	V956TC10.1HE	1995/06	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
11	1	V957TC10.1HE	1995/07	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
12	1	V958TC10.1HE	1995/08	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
13	1	V959TC10.1HE	1995/09	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
14	1	V95ATC10.1HE	1995/10	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
15	1	V95BTC10.1HE	1995/11	01.00:00～30.10:00	30	707	0	707	
16	1	V95CTC10.1HE	1995/12	11.15:00～31.23:00	21	489	0	489	
17	1	V961TC10.1HE	1996/01	03.17:00～31.23:00	29	679	0	679	
18	1	V962TC10.1HE	1996/02	01.00:00～29.23:00	29	696	0	696	
19	1	V963TC10.1HE	1996/03	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
20	1	V964TC10.1HE	1996/04	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
21	1	V965TC10.1HE	1996/05	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
22	1	V966TC10.1HE	1996/06	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
23	1	V967TC10.1HE	1996/07	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
24	1	V968TC10.1HE	1996/08	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
25	1	V969TC10.1HE	1996/09	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
26	1	V96ATC10.1HE	1996/10	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
27	1	V96BTC10.1HE	1996/11	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
28	1	V96CTC10.1HE	1996/12	01.00:00～05.12:00	5	109	0	109	
29	1	V971TC10.1HE	1997/01	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
30	1	V972TC10.1HE	1997/02	01.00:00～28.23:00	28	672	0	672	
31	1	V973TC10.1HE	1997/03	01.00:00～26.23:00	26	624	0	624	

港灣技術研究中心

表3-20　台中港歷年測站2分月現場觀測波浪資料統計表(IMVTC20.PS)

序號	測站	檔名	年、月	啓止時間 (日.時:分～日.時:分)	觀測天數	觀測筆數	缺失筆數	實際筆數	資料缺失日
1	2	V94ATC20.1HE	1994/10	01.12:00～31.23:00	31	732	0	732	
2	2	V94BTC20.1HE	1994/11	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
3	2	V94CTC20.1HE	1994/12	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
4	2	V951TC20.1HE	1995/01	01.00:00～31.19:00	31	740	0	740	
5	2	V952TC20.1HE	1995/02	01.00:00～28.23:00	28	672	0	672	
6	2	V953TC20.1HE	1995/03	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
7	2	V957TC20.1HE	1995/07	11.15:00～21.00:00	11	226	0	226	
8	2	V95ATC20.1HE	1995/10	01.01:00～31.23:00	31	743	0	743	
9	2	V95BTC20.1HE	1995/11	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
10	2	V95CTC20.1HE	1995/12	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
11	2	V961TC20.1HE	1996/01	01.01:00～31.23:00	31	743	0	743	
12	2	V962TC20.1HE	1996/02	01.00:00～29.23:00	29	696	0	696	
13	2	V963TC20.1HE	1996/03	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	

港灣技術研究中心

表3-21　台中港歷年測站4分月現場觀測波浪資料統計表(IMVTC40.PS)

序號	測站	檔名	年、月	啓止時間 (日.時:分～日.時:分)	觀測天數	觀測筆數	缺失筆數	實際筆數	資料缺失日
1	4	V949TC40.1HE	1994/09	29.12:00～30.07:00	2	20	0	20	
2	4	V94ATC40.1HE	1994/10	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
3	4	V94BTC40.1HE	1994/11	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
4	4	V94CTC40.1HE	1994/12	01.01:00～31.23:00	31	743	0	743	
5	4	V951TC40.1HE	1995/01	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
6	4	V952TC40.1HE	1995/02	01.00:00～28.23:00	28	672	0	672	
7	4	V953TC40.1HE	1995/03	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
8	4	V957TC40.1HE	1995/07	13.11:00～31.23:00	19	445	0	445	
9	4	V958TC40.1HE	1995/08	01.01:00～31.23:00	31	743	0	743	
10	4	V959TC40.1HE	1995/09	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
11	4	V95ATC40.1HE	1995/10	01.01:00～31.23:00	31	743	0	743	
12	4	V95BTC40.1HE	1995/11	01.00:00～30.23:00	30	720	0	720	
13	4	V95CTC40.1HE	1995/12	01.00:00～31.23:00	31	744	0	744	
14	4	V961TC40.1HE	1996/01	01.01:00～31.23:00	31	743	0	743	
15	4	V962TC40.1HE	1996/02	01.00:00～29.18:00	29	691	0	691	
16	4	V963TC40.1HE	1996/03	01.09:00～31.17:00	31	729	0	729	

港灣技術研究中心

表3-22　1994年10月台中港測站1逐時示性波高$H_{1/3}$及示性週期$T_{1/3}$月報表

1994年10月1日0時0分～1994年10月31日21時0分

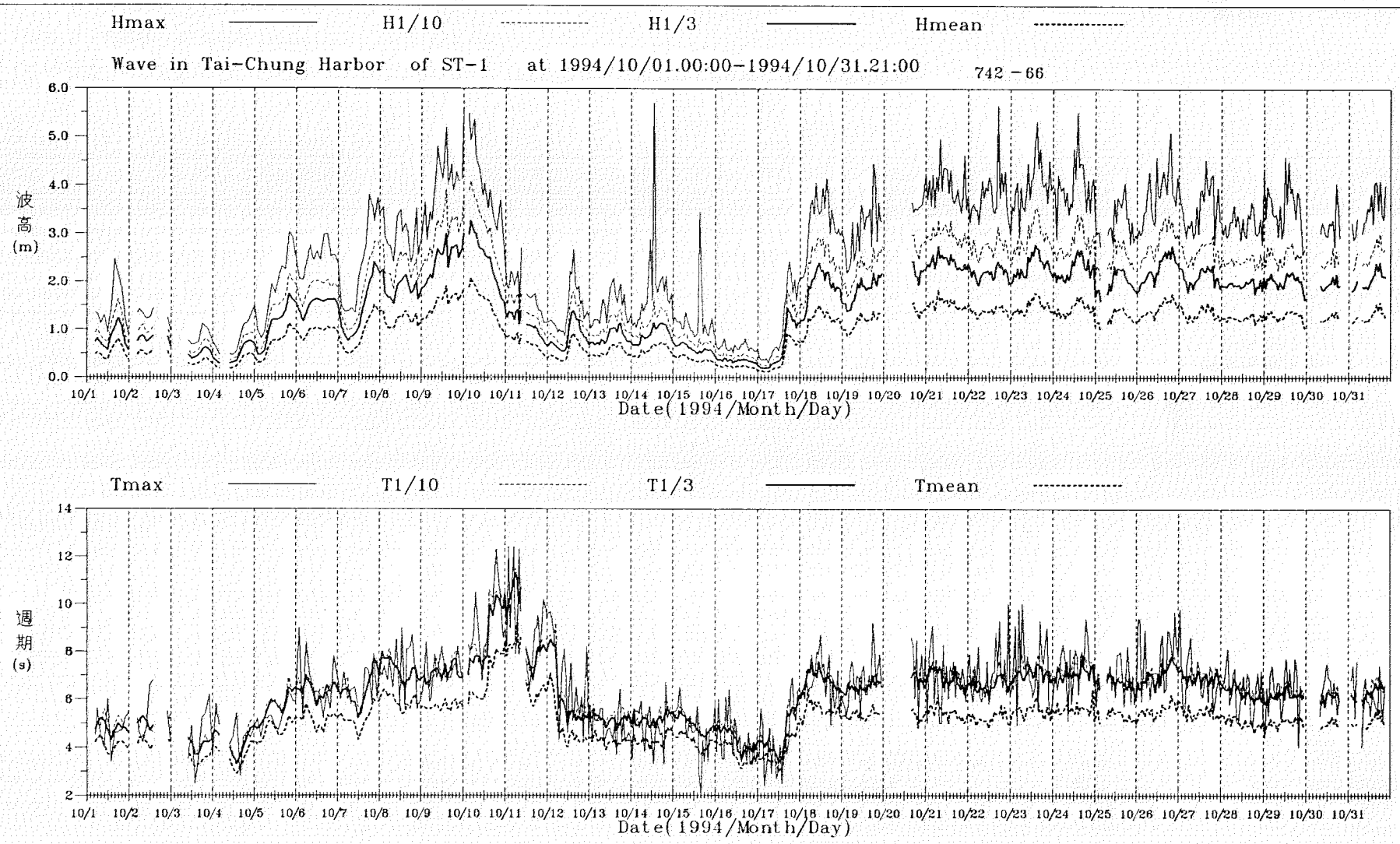
時 日	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	日平均 (公分)	日最大 (公分,秒)
10/01	56/5	*	*	*	*	74/4	81/5	75/5	72/5	67/5	62/5	60/4	57/4	74/4	88/4	97/4	104/4	114/4	124/5	114/4	107/4	87/4	69/4	62/4	82/4	124/5
10/02	56/4	*	*	*	*	75/5	82/5	86/5	87/5	81/5	74/5	76/4	80/4	83/4	87/4	*	*	*	*	*	*	*	85/5	75/5	79/5	87/5
10/03	63/5	*	*	*	*	*	*	46/4	*	*	46/4	43/4	38/4	40/4	41/3	43/3	46/3	50/3	56/4	60/4	62/4	60/4	56/4	49/4	49/4	63/5
10/04	40/4	37/4	34/4	31/4	28/4	*	*	27/4	*	*	28/4	30/3	31/3	33/3	34/3	43/3	50/3	61/3	69/4	72/4	74/4	75/4	75/4	73/4	47/4	75/4
10/05	69/4	57/4	46/4	46/4	47/4	52/5	57/5	75/5	93/5	107/5	119/6	120/5	120/5	120/5	120/5	124/5	126/5	134/5	139/5	158/6	175/6	167/6	162/6	159/6	108/5	175/6
10/06	154/6	146/6	137/6	126/6	116/6	126/6	137/7	146/6	154/6	158/6	161/6	162/6	163/5	162/5	160/6	159/6	158/6	160/6	162/6	162/6	162/6	162/6	163/6	158/6	152/6	163/5
10/07	150/6	127/6	104/6	97/6	87/6	81/6	76/6	81/6	85/5	87/5	91/5	97/5	102/5	121/5	138/5	152/5	166/6	182/6	197/6	206/6	217/7	241/7	233/7	226/7	139/6	241/7
10/08	217/7	221/7	225/8	175/7	171/7	166/7	167/7	161/7	153/7	172/7	190/7	196/7	200/7	203/6	208/6	215/6	200/6	187/6	175/6	179/7	190/7	201/7	162/6	173/6	187/7	225/8
10/09	184/6	187/6	190/7	199/6	206/6	215/6	206/7	227/7	248/7	269/7	263/7	256/7	256/6	277/7	300/7	229/6	250/7	272/7	270/7	274/7	276/7	250/7	258/6	267/6	242/7	300/7
10/10	300/6	*	*	297/7	327/7	315/7	302/7	300/7	284/7	270/7	268/7	267/7	256/7	252/7	250/7	251/10	233/9	216/9	206/9	198/10	184/10	170/10	163/9	159/9	248/8	327/7
10/11	137/10	125/9	137/10	134/10	134/10	119/11	137/11	142/11	111/10	140/10	*	*	110/8	109/7	108/7	107/7	104/6	107/7	101/7	91/8	85/8	81/8	75/8	69/8	111/9	142/11
10/12	64/8	68/8	74/8	72/8	68/8	66/8	61/6	58/5	55/6	55/6	55/5	61/5	86/4	114/5	135/5	140/5	130/5	120/5	121/5	97/5	93/5	85/5	83/5	76/5	84/6	140/5
10/13	68/5	73/5	74/5	69/5	69/5	73/5	68/5	79/5	77/5	70/5	75/4	87/4	101/5	102/5	104/5	102/5	94/4	112/4	113/5	94/5	87/5	81/5	75/5	75/5	84/5	113/5
10/14	74/5	68/5	68/5	68/4	67/4	70/4	89/5	86/5	81/5	82/5	86/5	88/4	100/4	114/5	101/4	104/5	110/5	113/5	112/5	111/5	110/5	99/5	91/5	81/5	90/5	114/5
10/15	74/5	68/5	64/5	68/5	69/5	73/5	73/5	70/5	68/5	61/5	62/5	57/5	56/5	52/4	50/4	56/4	51/4	55/4	60/4	58/4	56/4	58/4	55/4	51/4	61/5	74/5
10/16	44/4	37/4	37/4	37/4	34/4	40/4	40/4	34/4	37/4	37/4	31/4	34/4	34/4	37/3	36/3	37/3	38/3	37/3	37/3	34/4	34/4	33/3	31/4	30/3	35/4	44/4
10/17	25/4	23/4	20/4	20/4	20/4	20/4	20/4	21/3	27/3	30/3	31/3	34/3	34/3	37/3	43/3	74/3	102/4	146/5	137/5	132/5	116/5	122/5	104/5	115/5	60/4	146/5
10/18	114/6	121/6	119/6	128/6	147/6	192/7	186/7	205/7	206/7	219/7	233/6	240/7	222/7	225/7	202/6	220/6	221/7	198/6	187/6	199/6	180/6	189/6	188/6	185/6	188/7	240/7
10/19	155/6	155/6	155/6	138/6	141/6	142/6	158/6	161/6	177/6	198/6	187/6	208/6	190/6	192/6	183/6	188/6	187/6	187/6	219/7	200/6	191/6	216/6	208/6	218/6	181/6	219/7
10/20	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	242/6	243/7	213/7	210/7	194/6	225/6	221/6	226/6	221/7	243/7
10/21	227/6	238/6	232/7	242/7	258/7	227/7	244/7	275/7	250/7	257/7	249/6	253/6	249/6	235/6	259/6	243/6	249/6	233/7	225/6	232/6	225/6	225/6	239/6	226/6	241/7	275/7
10/22	238/6	228/6	209/6	224/6	213/6	197/6	192/6	210/6	217/6	221/6	220/6	224/6	216/6	223/6	204/6	208/6	234/6	243/7	231/7	235/7	216/6	228/6	219/6	196/6	218/6	243/7
10/23	198/6	199/6	218/6	209/7	229/7	207/7	229/7	217/6	210/6	208/7	254/7	243/7	265/7	255/6	278/7	271/7	269/7	244/7	243/7	227/6	242/7	246/7	225/7	219/6	233/7	278/7
10/24	210/6	221/6	200/6	216/7	207/7	217/6	203/6	199/7	217/7	204/6	215/7	247/6	234/7	253/7	269/7	254/6	268/7	254/7	228/7	225/7	249/7	208/6	227/7	239/7	227/7	269/7
10/25	169/6	183/6	184/6	160/6	*	*	*	175/6	198/7	182/7	204/7	234/6	215/6	230/6	227/6	225/6	230/6	215/6	207/6	199/6	199/6	194/6	187/6	182/6	200/7	234/6
10/26	177/6	182/6	194/6	201/6	200/6	206/6	216/7	223/7	223/7	215/7	190/6	221/6	217/6	247/7	245/6	255/7	266/7	251/7	268/7	250/7	276/7	259/7	242/7	240/7	227/7	276/7
10/27	230/7	231/7	226/7	205/6	202/7	179/6	202/7	199/7	185/6	202/6	205/6	208/7	226/7	232/6	223/6	221/7	235/7	227/6	222/6	235/7	189/6	208/7	208/7	186/6	212/7	235/7
10/28	194/6	192/6	191/6	190/6	197/6	199/6	200/6	191/6	195/6	191/6	196/6	188/6	190/6	192/6	203/6	198/6	200/6	208/6	208/6	175/5	192/6	188/6	206/6	182/5	194/6	208/6
10/29	209/6	187/5	208/5	205/5	219/6	205/6	204/6	199/6	185/6	201/6	192/6	187/6	203/6	221/6	213/6	215/6	222/6	210/6	204/6	213/6	200/6	204/6	184/6	163/6	202/6	222/6
10/30	*	*	*	*	*	*	*	*	194/5	184/5	184/6	189/5	194/6	197/6	198/6	213/6	196/6	217/6	190/6	192/5	*	*	*	*	195/6	217/6
10/31	*	*	182/6	184/6	192/6	203/5	*	*	190/6	188/5	191/6	186/6	195/6	203/6	213/6	216/6	240/6	224/6	242/6	213/6	213/6	209/6		*	* 204/6	242/6
平均值	139/6	140/6	141/6	143/6	145/6	143/6	145/6	141/6	152/6	155/6	150/5	155/5	154/5	161/5	164/5	167/6	174/6	174/6	172/6	168/6	165/6	164/6	155/6	150/6		
最大值	300/6	238/6	232/7	297/7	327/7	315/7	302/7	300/7	284/7	270/7	268/7	267/7	265/7	277/7	300/7	271/7	269/7	272/7	270/7	274/7	276/7	259/7	258/6	267/6		

[註1]: 月平均示性波高$H_{1/3}$ = 154公分,月平均示性週期$T_{1/3}$ = 5.8秒・最大示性波高$H_{1/3}$ = 327公分,其對應示性週期$T_{1/3}$ = 7.0秒・

[註2]: 每小時記錄一次,資料計676筆・檔名: V94ATC10.1HE・

港灣技術研究中心

圖3.11 台中港逐時波高及週期變化圖



V94ATC10.1HE	Institute of Harbor & Marine Technology

PLAWV1BH.FOR 2000.12.6

表3-23 1994年10月台中港測站1$H_{1/3}$及$T_{1/3}$聯合分佈百分比(%)統計表

1994年10月1日0時0分～1994年10月31日21時0分

$T_{1/3}$ / $H_{1/3}$	2秒	3秒	4秒	5秒	6秒	7秒	8秒	9秒	10秒	11秒	12秒	13秒	14秒	15秒	50秒	合計(%)
.0 m																
	.0	3.6	5.8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		9.3
.5 m																
	.0	.6	6.8	10.4	1.2	.0	1.6	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		20.6
1.0 m																
	.0	.0	1.2	5.6	2.7	.9	.1	.1	.9	.4	.0	.0	.0	.0		12.0
1.5 m																
	.0	.0	.0	1.6	16.6	2.7	.0	.3	.4	.0	.0	.0	.0	.0		21.6
2.0 m																
	.0	.0	.0	.4	18.3	16.1	.1	.4	.1	.0	.0	.0	.0	.0		35.7
3.0 m																
	.0	.0	.0	.0	.1	.7	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		.9
4.0 m																
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		.0
5.0 m																
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		.0
6.0 m																
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		.0
7.0 m																
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		.0
8.0 m																
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		.0
9.0 m																
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		.0
10.0 m																
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		.0
11.0 m																
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		.0
12.0 m																
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		.0
13.0 m																
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		.0
14.0 m																
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		.0
15.0 m																
	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		.0
50.0 m																
合計(%)	.0	4.1	13.8	18.0	38.9	20.4	1.9	.9	1.5	.4	.0	.0	.0	.0		100.0

[註1]: 波高$H_{1/3}$介於2.0m～3.0m佔: 35.7%。週期$T_{1/3}$介於6.0秒～7.0秒佔: 38.9%。

[註2]: 波高$H_{1/3}$平均值＝1.56m，最大波高$H_{1/3}$＝3.27m，其週期爲7.7秒。

[註3]: $H_{1/3}$小於1m佔29.9%。$H_{1/3}$介於1～2m佔33.6%。$H_{1/3}$大於2m佔36.5%。

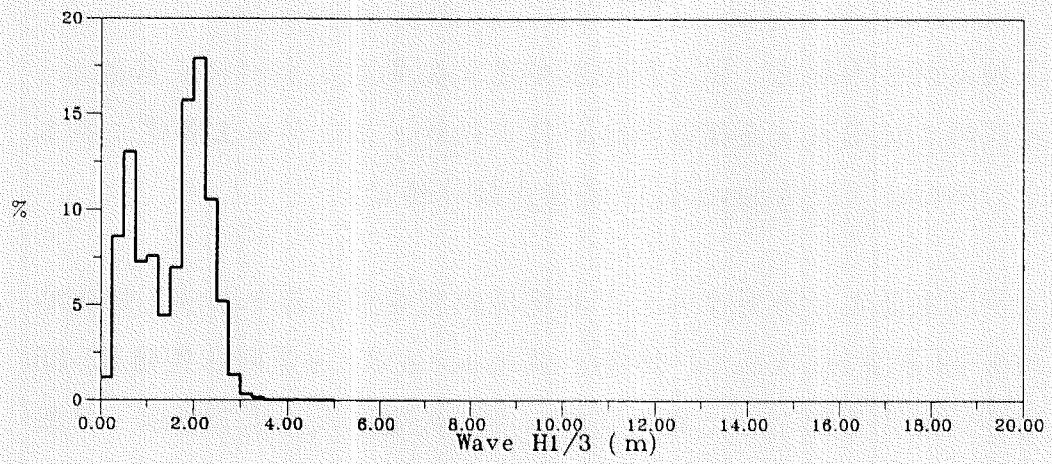
[註4]: 資料每小時記錄一次，合計676筆，檔名: V94ATC10.1HE。

表3-24 台中港測站1示性波高$H_{1/3}$及示性週期$T_{1/3}$統計表

年、月	$H_{1/3}$ 平均值 (米)	$T_{1/3}$ 平均值 (秒)	$H_{1/3}$ 最大值 (米)	/ 週期 (秒)	$H_{1/3}$ 小於1米 (%)	$H_{1/3}$ 1～2米 (%)	$H_{1/3}$ 大於2米 (%)	$T_{1/3}$ 小於6秒 (%)	$T_{1/3}$ 6～8秒 (%)	$T_{1/3}$ 8～10秒 (%)	$T_{1/3}$ 大於10秒 (%)
1994/09	1.2	5.0	1.8	5.5	22.6	77.4	.0	100.0	.0	.0	.0
1994/10	1.6	6.2	3.3	7.7	29.9	33.6	36.5	35.9	59.3	2.8	1.9
1994/11	1.4	6.0	3.0	7.9	21.1	60.0	18.9	43.2	56.8	.0	.0
1994/12	1.5	6.2	3.2	8.2	29.3	37.5	33.2	45.0	50.7	4.3	.0
1995/01	1.5	6.0	3.1	8.1	24.3	52.1	23.5	43.6	55.6	.8	.0
1995/02	1.5	5.7	2.7	6.6	22.7	59.9	17.5	60.4	39.6	.0	.0
1995/03	1.1	5.3	3.8	8.5	53.5	36.8	9.6	78.4	18.6	3.0	.0
1995/04	.9	5.2	2.7	8.0	65.8	25.9	8.3	72.1	27.8	.1	.0
1995/05	.7	4.9	2.6	7.9	77.2	21.1	1.7	87.1	12.9	.0	.0
1995/06	.6	4.8	2.0	6.5	89.3	10.5	.1	91.3	8.7	.0	.0
1995/07	.4	4.7	1.4	7.3	96.9	3.1	.0	88.2	10.1	1.6	.0
1995/08	.3	4.9	1.3	5.7	98.0	2.0	.0	80.5	16.9	2.6	.0
1995/09	1.0	5.7	3.3	7.9	48.2	42.2	9.6	56.9	42.1	1.0	.0
1995/10	1.6	6.3	3.2	8.2	11.8	63.2	25.0	34.6	64.0	1.4	.0
1995/11	1.6	6.2	3.3	8.4	17.0	54.2	28.9	34.9	63.8	1.3	.0
1995/12	1.8	6.4	3.5	8.7	11.7	49.4	39.0	31.6	63.6	4.9	.0
1996/01	1.5	6.1	3.5	8.8	19.4	63.1	17.5	42.7	55.1	2.2	.0
1996/02	1.7	6.3	3.6	9.1	22.9	35.1	42.1	30.4	62.3	7.3	.0
1996/03	1.2	5.6	2.8	7.9	40.1	50.6	9.3	59.4	40.1	.5	.0
1996/04	1.3	5.7	3.5	8.4	45.8	30.8	23.4	53.5	43.2	3.3	.0
1996/05	.8	5.1	2.4	7.4	70.5	26.0	3.5	82.2	17.8	.0	.0
1996/06	.4	4.4	1.0	4.7	99.7	.3	.0	98.6	1.4	.0	.0
1996/07	.5	4.4	5.2	8.8	90.5	4.2	5.3	85.2	12.8	2.0	.0
1996/08	.5	5.1	4.9	9.0	95.2	3.1	1.7	80.2	17.2	2.6	.0
1996/09	1.1	6.0	3.8	8.9	51.9	37.1	11.0	52.5	40.1	7.4	.0
1996/10	1.4	6.2	3.2	8.3	32.4	48.5	19.1	35.8	62.9	1.3	.0
1996/11	1.8	6.7	3.3	8.1	9.8	44.4	45.9	16.2	76.4	7.4	.0
1996/12	1.3	6.2	2.3	6.8	31.2	51.4	17.4	22.9	77.1	.0	.0
1997/01	1.7	5.7	3.5	7.9	19.4	46.6	34.0	59.6	39.1	1.3	.0
1997/02	1.8	5.9	3.2	8.2	16.7	38.7	44.6	48.7	50.4	.9	.0
1997/03	1.2	5.3	3.2	7.9	41.7	38.8	19.6	67.5	32.4	.2	.0

Histogram of H1/3 and T1/3

mean : 1.6m, s.d.: .7m min : .2m, max : 3.3m.
Total Data no. 676
Wave in Tai-Chung Harbor of ST-1 at 1994/10/01.00:00-1994/10/31.21



mean : 6.2s, s.d.: 1.3s min : 3.3s, max : 11.3s.
Total Data no. 676
Wave in Tai-Chung Harbor of ST-1 at 1994/10/01.00:00-1994/10/31.21

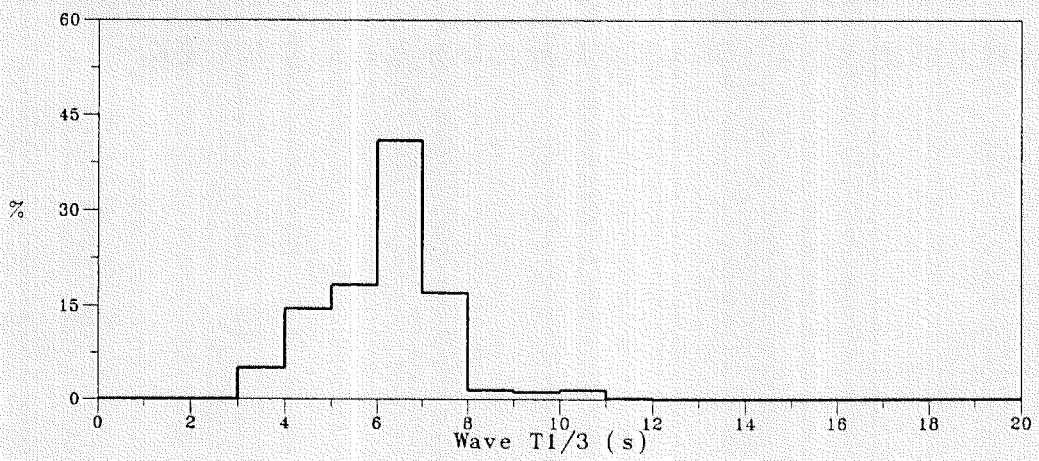


圖3.12 台中港波高及週期統計方塊圖

第四章 結論與建議

1. 本計畫主要配合本中心建立之港灣GIS系統，以建立海氣地象資料分析及查詢系統，系統包括現場觀測及數值計算之潮汐、海流、風、波浪、地形、懸浮質等6項，歷年蒐集之資料。

2. 查詢系統分兩部份，第一部份主要建立在Micro Station 系統上。程式語言使用系統支援之Basic語言設計。另一部份主要建立在本中心網站上，使用Java及C++為程式設計語言。

3. 本年度主要之分析對象為台中港現場觀測資料，其中潮汐1個測站約有29年資料(民國60~88年)，其他風、波浪、海流則在民國82~86間各計有3~4個測站之觀測資料。經分析後之代表性資料圖、月報表、統計圖或統計表，將透過資訊網路提供港務局或相關研究單位查詢及使用。

4. 未來將針對基隆、高雄、花蓮及蘇澳等期他四個國際港，及目前本中心正進行相關研究之台北港、安平港、布袋港、澎湖鎖港等幾個國內商港進行分析，其次數值模擬之部分也是未來研究重點。

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

安平港地震監測與港灣資料查詢系統

著　　者：賴聖耀、謝明志、蘇青和
出版機關：交通部運輸研究所港灣技術研究中心
地　　址：台中縣梧棲鎮中橫十路二號
網　　址：www.ihmt.gov.tw
電　　話：(04)6564216
出版年月：中華民國八十九年十二月
印 刷 者：明昌文具印刷行
地址：台中縣梧北路 142 號
電話：(04)26563150
版(刷)次冊數：初版一刷 199 冊
工 本 費：500 元
展 售 處：
交通部運輸研究所港灣技術研究中心　電話：(04)6564216

GPN：009254890182
ISBN：　　(平裝)