

MOTC-IOT-93-H1EA011

布袋港漂沙及地層下陷觀測研究計畫(V)



交通部高雄港務局 主辦

交通部運輸研究所 執行

中華民國九十三年十二月

MOTC-IOT-93-H1EA011

布袋港漂沙及地層下陷觀測研究計畫(V)



交通部高雄港務局 主辦

交通部運輸研究所 執行

中華民國九十三年十二月

MOTC-IOT-93-H1EA011

布袋港漂沙及地層下陷觀測研究計畫(V)

著 者：賴聖耀、張富東、邱永芳
、謝明志、陳志芳

交通部高雄港務局 主辦

交通部運輸研究所 執行

中華民國九十三年十二月

布袋港漂沙及地層下陷觀測研究計畫(V)

交通部運輸研究所

交通部運輸研究所代辦研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：布袋港漂沙及地層下陷觀測研究計畫(V)			
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號	計畫編號 93-H1EA011
主辦研究單位：高雄港務局 主管：楊義忠 主辦人員：張國明、王貞雄 聯絡電話：07-5622480 傳真號碼：07-5322182	本所執行單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 計畫主持人：賴聖耀、張富東 研究人員：邱永芳、謝明志、陳志芳、陳圭璋、蘇吉立、賴瑞應、曾文傑 聯絡電話：04-26587186 傳真號碼：04-26564418		研究期間 自 93 年 1 月 至 93 年 12 月
關鍵詞：地層下陷、地下水壓、漂沙			
摘要： 布袋港介於朴子溪和八掌溪中間濱海地區，其地層大都屬現代沖積層，土層疏鬆軟弱壓密固結尚未全部完成，極可能因附近地區養殖業大量抽取地下水、港區大規模海埔新生地回填等原因造成地層下陷，而影響港區工程及各樣設施之安全；另布袋港位於外傘頂洲南側，然近年來受外傘頂等沙洲逐漸消失以及臨近濱海工業區之急速開發影響，其漂沙活動變化趨劇，而此現象對布袋四周海域與航道港口設施，恐有阻塞之虞。有鑑於此，為了解地層下陷及漂沙對布袋港之影響程度並防患於未然，故以長期現場調查及監測來分析其地層下陷行為與地形變化特性，以提供港區工程及港航安全之參考。本計劃分為兩個子計劃，第一子計畫為布袋港地層下陷現場觀測研究，第二子計畫為布袋港漂沙現場監測研究。			
出版日期	頁數	工本費	本 出 版 品 取 得 方 式
93 年 12 月	448	700	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按工本費價購。
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之意見。			

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

TITLE: The Investigation of Ground Subsidence and Sediment Transport at the Pudai Harbor Area(V)			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER 93-H1EA011
DIVISION: Kaohsiung Harbor Bureau DIVISION CHIEF: Y. C. Yong ADMINISTRATION STAFF: K. M. Chang, Z.H.Peng, J. S. Wang PHONE: 07-2633480 FAX: 06-5322182			PROJECT PERIOD FROM: Jan., 2004 TO: Dec., 2004
RESEARCH AGENCY : Harbor & Marine Technology Center PRINCIPAL INVESTIGATOR: S.Y. Lai, F. T. Chang PROJECT STAFF: U.F. CHIU , M. J. Hsieh ,J.F.Chen , K.C. CHEN, G.L.Su, R.I. Lai, U.J. Jier ADDRESS: No.2, Chung-Heng 10 th Rd., Wuchi, Taichung 435, Taiwan PHONE: 04-26587186			
KEY WORDS: Ground Subsidence、 Sediment Transport			
ABSTRACT: Pudai harbor is located in Pudai, Chiayee, in which soils are generally loose, soft and underconsolidated. It is concerned that the ground subsidence occurred due to the local overdrawing of ground water and the massive land reclamation which would affect the safety of harbor engineering and her facilities. In addition, Pudai harbor lies to the south of Waisanting barrier, Recently the activity of littoral drift varies very strongly by the gradual disappearance of those sand bars and the fast development of nearby industry areas, the entrance channels and the water area may be blocked up due to this phenomena. Therefore it is necessary to collect the in-situ investigation and monitoring data to analyze the behavior of ground subsidence and the characteristics of coastal morphologic variety, that could help the harbor engineering and the voyage safety.			
DATE OF PUBLICATION Dec., 2004	NUMBER OF PAGES 448	PRICE 700	CLASSIFICATION ☐ SECRET ☐ CONFIDENTIAL ☐ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

第一子計畫

布袋港地層下陷現場觀測研究

全 程 計 畫：自 88 年 9 月至 93 年 12 月

本年度計畫：自 93 年 1 月至 93 年 12 月

計畫主持人：賴 聖 耀 研究員

協同主持人：謝明志、陳志芳

研 究 人 員：陳圭璋、蘇吉立、賴瑞應、曾文傑

布袋港地層下陷現場觀測研究

計畫摘要

布袋港位處於嘉義縣布袋鎮，介於朴子溪和八掌溪中間濱海地區，其地層大都屬現代沖積層，土層疏鬆軟弱壓密固結尚未全部完成，極可能因附近地區地下水抽取、大規模海埔新生地回填、地震等原因造成地層下陷。因此，對布袋港地層下陷之瞭解與觀測，極為重要。

本計畫為五年之中期計畫(89-93 年度)，於布袋商港區內，設立 1 組深度 400 公尺之永久水準監測站，及 1 組深度約 300 公尺之分層沉陷監測井及分層水壓監測井，進行長期監測，以瞭解垂直方向各土層之下陷行為，並以地層下陷水準測量，每年定期施測全區域性之水準，以瞭解水平方向全區域性之沉陷變化，亦以電子錐貫入試驗（CPT）及標準貫入試驗（SPT）進行地質調查，以瞭解港區之地質特性及分佈，並進行地質建檔，據此分析港區地震造成之液化危害度及地層下陷潛能，並繪製區域性液化危害度及地層下陷潛能分佈圖。

對於地層下陷水準測量資料，地質調查之 SPT 及 CPT 資料，監測之地下水位、地層下陷數據資料，及本地區之自然條件、地層下陷災害紀錄、區域性地層下陷潛能分佈圖等資料，本計畫亦將彙整處理製作成電腦檔案，並利用桌上型地理資訊系統及程式語言撰寫成分析查詢系統，以下拉式選單設計及物件點選等查詢方式提供使用者查閱及分析資料，建置成一套資料查詢管理系統。綜合上述沉陷監測、下陷潛能分析結果，及資料查詢管理系統，以期能對港灣工程提供規劃設計之參考，並成為工程安全監測之一環。

布袋港地層下陷現場觀測研究

目 錄

中文摘要	I
第一章 前言	1-1
第二章 布袋港地質概況及相關資料分析.....	2-1
第三章 港灣地區地層下陷行為與分析方法	3-1
第四章 海埔地填土之沉陷分析	4-1
第五章 地層下陷監測結果分析	5-1
第六章 地表沉陷水準測量	6-1
第七章 地震與動態孔隙水壓監測.....	7-1
第八章 CPT 試驗之本土化液化分析模式	8-1
第九章 SPT 試驗之本土化液化分析模式.....	9-1
第十章 布袋港區液化危害度分析.....	10-1
第十一章 布袋港區地震引致沉陷之分析.....	11-1
第十二章 布袋港區地層速度構造與場址效應分析	12-1
第十三章 資料建檔及查詢展示系統之開發	13-1
第十四章 結論與建議.....	14-1
參考文獻	15-1
附錄 A：CPT 試驗及液化潛能評估結果.....	A-1
附錄 B：微震動量測結果	B-1

附錄 C：布袋港及附近地區水準檢測成果表	C-1
附錄 D：期末報告審查意見及處理情形	D-1

圖 目 錄

圖 2-1 布袋港地理位置.....	2-2
圖 2-2 台灣西海岸地形圖	2-2
圖 2-3 布袋港區地層柱狀圖(一).....	2-3
圖 2-4 布袋港區地層柱狀圖(二).....	2-4
圖 2-5 布袋港區地層柵狀圖	2-5
圖 2-6 布袋港附近地區地層下陷圖	2-6
圖 3-1 沉陷分析之流程圖	3-2
圖 3-2 自由水位下降引致之有效應力增量分佈	3-4
圖 3-3 受壓水位下降引致之有效應力增量分佈	3-5
圖 3-4 布袋港沉陷模擬分析與分層下陷之觀測資料比較	3-11
圖 4-1 地球物理探測測線位置圖	4-5
圖 4-2 應力影響因素 I 與 m 和 n 之關係圖	4-5
圖 4-3 布袋港海埔地填土 3.666m 之應力增量圖	4-6
圖 4-4 布袋港第二期海埔地土 3.666m 之沉陷分析結果	4-6
圖 4-5 布袋港第二期海埔地填土 3.666m 之沉陷等值區	4-7
圖 4-6 布袋港第二期 海埔地填土 1.666m 之立體沉陷圖	4-7
圖 4-7 布袋港第二期埔地填土 3.666m 之 0-10 年沉陷歷時曲線.....	4-8
圖 4-8 布袋港第二期海埔地填土 3.666 之 5-10 年沉陷歷時曲線....	4-8
圖 5-1 布袋港地層下陷監測井位置圖	5-2
圖 5-2 系統儀器架構流程圖	5-3

圖 5-3 電子式地下水壓計安裝示意圖	5-7
圖 5-4 開口式水壓計安裝示意圖	5-8
圖 5-5 沉陷計安裝示意圖	5-10
圖 5-6 磁感式層別沉陷安裝示意圖	5-11
圖 5-7 布袋港分層沉陷及水壓量測觀測站地層柱狀圖	5-12
圖 5-8 布袋港 300 公尺沉陷及水壓監測站鑿井地層柱狀圖	5-15
圖 5-9 布袋地區月平均降雨日數($\geq 10\text{mm}/\text{日}$)	5-16
圖 5-10 布袋港深層水位變化(自記式)	4-19
圖 5-11 布袋港深層水位變化(自記式)	5-20
圖 5-12 布袋港分層水位變化(手動量測)	5-21
圖 5-13 布袋港分層水位變化(自記式)	5-22
圖 5-14 布袋港分層水位變化(手動量測)	5-24
圖 5-15 布袋港分層個別下陷量圖	5-25
圖 5-16 布袋港分層累積下陷量圖	5-26
圖 5-17 布袋港分層累積下陷量圖	5-27
圖 5-18 布袋港(300m)分層個別下陷量圖	5-29
圖 5-19 布袋港(300m)分層累積下陷量圖	5-30
圖 5-20 布袋港永久水準站安裝示意圖	5-35
圖 5-21 布袋港永久水準點觀測站	5-36
圖 6-1 嘉義縣沉陷水準測量檢測範圍	6-2
圖 6-2 布袋港區沉陷水準測量檢測範圍	6-2
圖 6-3 嘉義縣沉陷水準測量測線、環線佈置圖	6-3

圖 6-4 布袋港區沉陷水準測量測線、環線佈置圖	6-3
圖 6-5 嘉義縣沈陷測量 89 年至 92 年度累積下陷量圖	6-8
圖 6-6 嘉義縣沈陷測量 91 年至 92 年度累積下陷量圖	6-9
圖 6-7 布袋港區沈陷測量 89 年至 92 年度累積下陷量圖	6-10
圖 6-8 布袋港區沈陷測量 91 年至 92 年度累積下陷量圖	6-11
圖 7-1 地震與動態孔隙水壓監測系統流程圖	7-8
圖 7-2 地震及動態孔隙水壓監測儀器埋設剖面圖	7-9
圖 7-3 電子式水壓計安裝示意圖	7-10
圖 7-4 布袋港 300 公尺地震計安裝示意圖	7-11
圖 7-5 布袋港 10、20、100 公尺地震計安裝示意圖	7-12
圖 7-6 布袋港地震儀及動態孔隙水壓觀測站地層鑿井柱狀圖	7-13
圖 7-7a 布袋港 2002 年 3 月 31 日 14 時 53 分地震(東西向).....	7-14
圖 7-7b 布袋港 2002 年 3 月 31 日 14 時 53 分地震(南北向)	7-15
圖 7-7c 布袋港 2002 年 3 月 31 日 14 時 53 分地震(垂直向).....	7-16
圖 7-8a 布袋港井下地震儀東西向之最大加速度隨深度變化圖	7-17
圖 7-8b 布袋港井下地震儀南北向之最大加速度隨深度變化圖	7-17
圖 7-9a 布袋港井下地震儀東西向正規化之最大加速度 隨深度變化圖	7-18
圖 7-9b 布袋港井下地震儀南北向正規化之最大加速度 隨深度變化圖	7-18
圖 7-10 應力折減因數 r_d 隨深度之變化範圍	7-19
圖 7-11 軟弱地盤震波放大效應之非線性(Idriss,1990).....	7-19
圖 7-12a 布袋港東西向震波放大倍率與最大加速度之關係圖	7-20

圖 7-12b 布袋港南北向震波放大倍率與最大加速度之關係圖	7-20
圖 8-1 淨砂、粉土質砂、粉土等三種土壤之 R_f 值繪於 常態或然率圖上	8-16
圖 8-2 台中港 CPT 試驗與土壤分類之邏輯迴歸分析結果	8-16
圖 8-3 CPT 試驗之 $\sqrt{q_{c1N}}$ 值繪於常態或然率圖上	8-17
圖 8-4 反復應力比 CSR7.5 繪於對數常態或然率圖上	8-17
圖 8-5 $R_f \leq 0.45\%$ 邏輯模式之液化機率曲線圖	8-18
圖 8-6 $0.45\% \leq R_f \leq 1.05\%$ 邏輯模式之液化機率曲線圖	8-18
圖 8-7 $1.05\% \leq R_f \leq 2.8\%$ 邏輯模式之液化機率曲線圖	8-19
圖 8-8 淨砂、粉土質砂、粉土等土壤以 PL=0.5、PL=0.3 為液化 為液化判別式之比較	8-19
圖 8-9 淨砂液化邏輯模式 PL=0.5、PL=0.3 與 Olsen(1997)、 R&W(1997)及修正之 Seed 等方法之比較	8-20
圖 8-10 粉土質砂液化邏輯模式 PL=0.5、PL=0.3 與 Olsen(1997)、 R&W(1997)及修正之 Seed 等方法之比較	8-20
圖 8-11 粉土液化邏輯模式 PL=0.5、PL=0.3 與 Olsen(1997)、 R&W(1997)及修正之 Seed 等方法之比較	8-21
圖 8-12 邏輯模式 PL=0.5、PL=0.3 之抗液化安全係數與液化 機率之關係圖	8-21
圖 8-13 液化案例之 $\sqrt{F_S}$ 、 $\sqrt{F_S^*}$ 值繪於常態或然率圖上	8-22
圖 8-14 非液化案例之 F_S 、 F_S^* 值繪於對數常態或然率圖上	8-22
圖 8-15 貝氏定理 PL=0.5、PL=0.3 之抗液化安全係數與液化 機率之關係圖	8-23
圖 9-1 $0\% \leq FC \leq 10\%$ 之 SPT 試驗 $\sqrt{(N_1)_{60}}$ 值繪於常態	

或然率圖上	9-16
圖 9-2 0% $\leq$ FC $\leq$ 10%之 CSR7.5 值繪於對數常態或然率圖上	9-16
圖 9-3 10% $\leq$ FC $\leq$ 20%之 SPT 試驗 $\sqrt{(N_1)_{60}}$ 值繪於常態 或然率圖上	9-17
圖 9-4 10% $\leq$ FC $\leq$ 20%之 CSR7.5 值繪於對數常態或然率圖上 ..	9-17
圖 9-5 20% $\leq$ FC $\leq$ 30%之 SPT 試驗 $\sqrt{(N_1)_{60}}$ 值繪於常態 或然率圖上	9-18
圖 9-6 20% $\leq$ FC $\leq$ 30%之 CSR7.5 值繪於對數常態或然率圖上 ..	9-18
圖 9-7 30% $\leq$ FC $\leq$ 40%之 SPT 試驗 $\sqrt{(N_1)_{60}}$ 值繪於常態 或然率圖上	9-19
圖 9-8 30% $\leq$ FC $\leq$ 40%之 CSR7.5 值繪於對數常態或然率圖上 ..	9-19
圖 9-9 0% $\leq$ FC $\leq$ 10% 液化判別圖(58 組液化及 70 組 非液化案例).....	9-20
圖 9-10 10% $\leq$ FC $\leq$ 20% 液化判別圖(77 組液化及 95 組 非液化案例).....	9-20
圖 9-11 20% $\leq$ FC $\leq$ 30% 液化判別圖(64 組液化及 32 組 非液化案例).....	9-21
圖 9-12 30% $\leq$ FC $\leq$ 40% 液化判別圖(37 組液化及 29 組 非液化案例)	9-21
圖 9-13 FC=5%、FC=15%、FC=25%、FC=35%等液化 判別式-C(P)=0 之比較	9-22
圖 9-14 FC=5%、FC=15%、FC=25%、FC=35%等液化 判別式(P=0.15)之比較	9-22
圖 9-15 FC=5%之判別模式與 Seed(NCEER 1997)及 T & Y(1983)Cs=85 比較	9-23

圖 9-16	FC=15%之判別模式與 Seed(NCEER 1997)及 T & Y(1983) $C_s=85$ 比較	9-23
圖 9-17	FC=25%之判別模式與 Seed(NCEER 1997)及 T & Y(1983) $C_s=85$ 比較	9-24
圖 9-18	FC=35%之判別模式與 Seed(NCEER 1997)及 T & Y(1983) $C_s=85$ 比較	9-24
圖 9-19	液化案例之 $\sqrt{F_s}$ 值繪於常態或然率圖上	9-25
圖 9-20	非液化案例之 F_s 值繪於對數常態或然率圖上	9-25
圖 9-21	貝氏定理 $C(P)=0$ 、 $p=0.15$ 之抗液化安全係數與液化 機率之關係圖	9-26
圖 9-22	判別模式之液化分析流程	9-27
圖 10-1	台灣地區造成百人以上死亡之重大災害地震震央分佈圖	10-6
圖 10-2	布袋港區 39 孔鑽探資料位置圖	10-7
圖 10-3	布袋港區地震引致土壤液化之危害度($M_w=6.5$, $A_{max}=0.10g$) 賴(2002)安全係數法+Iwasaki(1982)深度加權法	10-7
圖 10-4	布袋港區地震引致土壤液化之危害度($M_w=7.0$, $A_{max}=0.15g$) 賴(2002)安全係數法+Iwasaki(1982)深度加權法	10-8
圖 10-5	布袋港區地震引致土壤液化之危害度, 賴(2002)安全係數法 +Iwasaki(1982)深度加權法($M_w=7.5$, $A_{max}=0.23g$; 新訂耐震 設計規範乙區)	10-8
圖 10-6	布袋港區地震引致土壤液化之危害度, 賴(2002)安全係數法 +Iwasaki(1982)深度加權法($M_w=7.5$, $A_{max}=0.33g$; 新訂耐震 設計規範甲區).....	10-9
圖 10-7	布袋港區土壤液化之機率危害度 ($M_w=6.5$, $A_{max}=0.10g$) 賴(2002)液化機率法+賴、謝(1996)深度加權法	10-9

圖 10-8 布袋港區土壤液化之機率危害度 ($M_w=7.0$, $A_{max}=0.15g$) 賴(2002)液化機率法+賴、謝(1996)深度加權法	10-10
圖 10-9 布袋港區地震引致土壤液化之機率危害度, 賴(2002)液化機率法 +賴、謝(1996)深度加權法($M_w=7.5$, $A_{max}=0.23g$; 新訂耐 震設計規範乙區).....	10-10
圖 10-10 布袋港區地震引致土壤液化之機率危害度, 賴(2002)液化機率法 +賴、謝(1996)深度加權法($M_w=7.5$, $A_{max}=0.33g$; 新訂耐震 設計規範甲區).....	10-10
圖 11-1 體積應變與反復剪應力比及 N 值之相關經驗圖	11-2
圖 11-2 N 值、 q_c 值、抗液化安全係數及體積應變之經驗關係	11-3
圖 11-3 布袋港區地震引致沉陷之等值色階圖 ($M_w=6.5$, $A_{max}=0.10g$) 賴(2002)安全係數法+Ishihara et al.(1991,1996)法.....	11-10
圖 11-4 布袋港區地震引致沉陷之等值色階圖 ($M_w=7.0$, $A_{max}=0.15g$) 賴(2002)安全係數法+Ishihara et al.(1991,1996)法.....	11-10
圖 11-5 布袋港區地震引致沉陷之等值色階圖 ($M_w=7.5$, $A_{max}=0.23g$) 賴(2002)安全係數法+Ishihara et al.(1991,1996)法.....	11-11
圖 11-6 布袋港區地震引致沉陷之等值色階圖 ($M_w=7.5$, $A_{max}=0.33g$) 賴(2002)安全係數法+Ishihara et al.(1991,1996)法.....	11-11
圖 12-1 地球物理探測測線位置圖	12-3
圖 12-2 微震動量測點位置圖	12-3
圖 12-3 折射震測測線 RA1 速度層剖面圖.....	12-9
圖 12-4 折射震測測線 RA2 速度層剖面圖.....	12-10
圖 12-5 折射震測測線 RA3 速度層剖面圖.....	12-11
圖 12-6(a) CDP 炸測法之施測方式	12-12
圖 12-6(b) CDP 點之觀念	12-12

圖 12-7(a) 反射震測 RL1 地層構造解釋剖面圖.....	12-13
圖 12-7(b) 反射震測 RL1 P 波速度分佈圖	12-14
圖 12-8(a) 反射震測 RL2 地層構造解釋剖面圖.....	12-15
圖 12-8(b) 反射震測 RL2 P 波速度分佈圖	12-16
圖 12-9(a) 反射震測 RL3 地層構造解釋剖面圖.....	12-17
圖 12-9(b) 反射震測 RL3 P 波速度分佈圖	12-18
圖 12-10 表面波譜法(SASW)SW1 及 SW3 S 波速度分佈圖	12-19
圖 12-11(a) 懸浮式速度井測(P-S Logging)探測結果圖(0~50m)	12-20
圖 12-11(b) 懸浮式速度井測(P-S Logging)探測結果圖(50~100m).....	12-21
圖 12-11(c) 懸浮式速度井測(P-S Logging)探測結果圖(100~150m).....	12-22
圖 12-11(d) 懸浮式速度井測(P-S Logging)探測結果圖(150~200m).....	12-23
圖 12-11(e) 懸浮式速度井測(P-S Logging)探測結果圖(200~250m).....	12-24
圖 12-11(f) 懸浮式速度井測(P-S Logging)探測結果圖(250~300m)	12-25
圖 12-12 懸浮式速度井測(P-S Logging)波形範例圖	12-26
圖 12-13 數值模擬與 BD008 觀測所得之頻譜比比對.....	12-30
圖 12-14 微地動單站週期 4 秒振幅比等值圖	12-32
圖 12-15 微地動單站週期 3 秒振幅比等值圖	12-33
圖 12-16 微地動單站週期 2 秒振幅比等值圖	12-34
圖 12-17 微地動單站週期 1.5 秒振幅比等值圖	12-35
圖 12-18 微地動單站週期 1 秒振幅比等值圖	12-36
圖 12-19 微地動單站週期 0.5 秒振幅比等值圖	12-37
圖 12-20 微地動單站週期 0.3 秒振幅比等值圖	12-38

圖 12-21 微地動單站週期 0.2 秒振幅比等值圖	12-39
圖 12-22 微地動測點單站頻譜比主要放大頻率等值圖	12-40
圖 13-1 查詢系統起始畫面	13-10
圖 13-2 水準點檢測樁之位置	13-11
圖 13-3 所選測點之歷年下陷變化圖	13-11
圖 13-4 布袋港地區民國 89 年至 90 年累積下陷量分析圖	13-12
圖 13-5 布袋港區鑽孔位置分佈圖	13-12
圖 13-6 鑽孔柱狀圖.....	13-13
圖 13-7 地震強度輸入對話框	13-13
圖 13-8 鑽孔液化機率分析柱狀圖	13-14
圖 13-9 港區土層液化危險度等值分佈圖之一	13-14
圖 13-10 港區地震下陷分析圖之一	13-15
圖 13-11 觀測井位置圖視窗.....	13-15
圖 13-12 分層觀測沉陷資料圖視窗	13-16
圖 13-13 分層觀測水壓資料圖視窗	13-16

表 目 錄

表 4-1 布袋港填土 3.666m 引致地層各層次之沉陷分析表.....	4-4
表 5-1 監測井座標高程一覽表.....	5-3
表 5-2 沉陷計感應環安裝深度一覽表.....	5-4
表 5-3 地下水壓觀測站水壓計埋設資料表(200m).....	5-5
表 5-4 嘉義縣布袋等十鄉鎮市各井深水井數量數量(民國 84 年)	5-32
表 6-1 環線閉合差分析表	6-5
表 7-1 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-21
表 7-2 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-21
表 7-3 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-22
表 7-4 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-22
表 7-5 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-23
表 7-6 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-23
表 7-7 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-24
表 7-8 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-24
表 7-9 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-25
表 7-10 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-25
表 7-11 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-26
表 7-12 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-26
表 7-13 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-27
表 7-14 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-27

表 7-15 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-28
表 7-16 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-28
表 7-17 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-29
表 7-18 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-29
表 7-19 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-30
表 7-20 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-30
表 7-21 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-31
表 7-22 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-32
表 7-23 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值	7-33
表 8-1 液化機率各種迴歸模式之比較	8-10
表 11-1 布袋港區各種地震引致之液化危害度及平均沉陷量	11-9
表 12-1 RA1 測線探測結果	11-4
表 12-2 RA2 測線探測結果	12-4
表 12-3 RA3 測線探測結果	12-5
表 12-4 表面波譜法之探測結果	12-7
表 12-5 懸浮式速度井測之探測結果	12-8
表 12-6 數值模擬所採用之地層速度	12-29
表 14-1 布袋港區各種地震引致之液化危害度及平均沉陷量	14-2

第一章 前 言

1.1 計畫緣起

布袋港位於本省西南部嘉義縣境內，布袋鎮以西濱海地區，面臨台灣海峽，北及西北側海域有統仙洲、箔子寮汕及外傘頂洲所構成之峽長沙洲，形成天然屏障，目前已完成五座碼頭，其他相關營運設施正陸續施工中。唯布袋港介於朴子溪和八掌溪中間濱海地區，其地層大都屬現代沖積層，土層疏鬆軟弱壓密固結尚未全部完成，極可能因附近地區地下水抽取、大規模海埔新生地回填、地震等原因造成地層下陷，而影響港區工程及各樣設施之安全。

近年來由於地下水大量之開發引致之地層下陷問題，在台灣各地區，已是一種普遍現象。而在沿海地區，亦由於養殖業大量開發抽取超額之地下水，導致愈演愈烈之地層下陷。其中嘉義地區累積最大下陷量約 1.0~1.5 公尺，由於超抽地下水易造成區域性之地下水位下降，港灣地區雖無超抽地下水，但受到附近沿海地區超抽地下水之影響，其地下水位大多已降到海平面以下，有引發海水入侵之疑，若水位繼續下降，恐會導致地層下陷。因此為維護港區工程及各樣設施之安全，有必要設立沉陷監測井，以瞭解垂直方向各土層之下陷行為，並以地層下陷水準測量，每年定期施測全區域性之水準，以瞭解水平方向全區域性之沉陷變化，以對布袋港之地層下陷更深入瞭解。

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或沉陷現象，造成海岸與港灣設施、房屋、地下管線等發生破壞之災害。1906、1941、1964 年之嘉義烈震其地震規模 7.1，87 年 7 月 17 日嘉義瑞里發生地震規模 6.2 之地震，88 年 10 月 22 日嘉義梅山發生地震規模 6.4 之地震，亦造成嚴重災害，因此我們相信嘉義地區發生大地震之可能性很大，而布袋港正處於地震災害最頻繁之嘉義烈震區，加上港區之地質多屬疏鬆軟弱之沖積土層、港灣碼頭設施大都由

抽砂填土而成，在強震作用下，極易造成基礎土壤液化或沉陷，致使碼頭破壞，尤其貨櫃碼頭之貨櫃裝卸及堆置漸朝自動化設計，碼頭地面少許之差異沉陷，皆易使碼頭自動化之機械設備損壞或喪失使用功能。

因此本計劃針對布袋港，進行港灣地質、地層速度構造調查，並進行井下地震、地下水壓、地層下陷之長期監測及定期施測水準測量，以探討布袋港區動、靜態之地層下陷行為，提供港灣工程規劃設計之參考，並成為工程安全監測之一環且達海岸之保育。

1.2 研究方法

1.地層下陷水準檢測

- (1)於布袋商港區適當位置設置 10 個水準基點，以為檢較港區碼頭線、防波堤線等地層下陷情形之依據。
- (2)為確保高程檢測之準確性，宜自地層下陷區外引測一等水準點至已埋設之水準基點測得各點高程。
- (3)每年定時施測水準乙次，施測 5 年，以瞭解水平方向全區域性之沉陷變化。

2.地層分層沉陷及水壓之監測

- (1)於布袋商港區內，第一年設立 1 組深度 300 公尺之分層沉陷監測井，第二年再設立 1 組深度 300 公尺之分層水壓監測井，進行長期監測，以瞭解垂直方向各土層之下陷行為。
- (2)每月定期以無線電波層別沉陷儀量測分層地層下陷，由各沉陷感應磁環之相對移動，可分析各土層之沉陷量；而分層水壓計可由水壓自動量測系統，設定量測時間暫存 IC 卡內，再定期至現地取回 IC 卡，於室內進行分析。

3.地質及地層速度構造調查

- (1)第一年以電子式水壓錐貫入試驗(CPTU)進行孔區域性之地質調查。由 CPTU 試驗所量得之錐端阻抗 q_c 值，摩擦阻抗 f_s 值及動態孔隙水壓 u 值等量測參數，可進行土壤分類判別，以瞭解港區地質分佈情形。
- (2)第二年以折射震波探測、反射震波探測、表面波譜法(SASW)及懸浮式速度井測(P-S Logging)等四種地球物理探測方法，以瞭解港區地層速度構造情形。

4.地震及液化監測系統

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，在強烈地震作用下，極有可能發生液化或沉陷現象，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，埋入井下地震計，以監測地震之放大效應。

另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、海堤亦會因土壤液化增加之側向力，而產生向海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。

本計畫第三年在布袋商港區設置完成一組 300m、100m、20m、10m、0m 之井下地震監測井之地震監測系統及一組 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，作為港灣設施耐震設計之參考。

5. 400m 永久水準點監測站之設置

第四年於布袋港區設置 1 孔 400m 永久水準點監測站，藉由安裝於深層堅硬土層並以套管與周圍土壤隔離之不動點，作為港區碼頭線、防波堤線等水準測量之依據。

6. 資料建檔及查詢展示系統之開發

第五年彙整布袋港區地層下陷水準測量資料，地質調查之 SPT 及 CPT 資料，監測之地下水位、地層下陷數據資料，及本地區之自然條件、地層下陷災害紀錄、區域性地層下陷潛能分佈圖等資料，將彙整之資料處理製作成電腦檔案，並利用桌上型地理資訊系統及程式語言撰寫成分析查詢系統，以下拉式選單設計及物件點選等查詢方式提供使用者查閱及分析資料，建置成一套資料查詢管理系統。綜合上述沉陷監測、下陷潛能分析結果，及資料查詢管理系統，以期能對港灣工程提供規劃設計之參考，並成為工程安全監測之一環。

第二章 布袋港地質概況及相關資料分析

2.1 布袋港之位置與地形

布袋港位於本省西南部嘉義縣境內，布袋鎮以西濱海地區，面臨台灣海峽，北及西北側海域有統仙洲、箔子寮汕及外傘頂洲所構成之峽長沙洲，形成天然屏障，在兩沙洲軸線以東之內灘地，除環繞周邊之潮溝兩側低窪地被用於牡蠣養殖外，中央部較高灘地已開發完成海埔新生地約 126 公頃(如附圖 2-1)。

本區海岸線向陸地凹入形成灣澳灘地，由於海岸分別有北港溪、朴子溪、八掌溪及急水溪等四溪在附近海入海裡以及外傘頂洲所帶下之沙量，將會間接對布袋港海岸地形發生影響(如附圖 2-2)。

2.2 布袋港區地質

布袋港開發計劃包括南北向之海堤、防波堤及散貨、雜貨、客貨、砂石貨等各項用途碼頭 20 席外，尚有新生地、防風林、堆貨場等港埠設施。而整個區域地層屬海岸沖積土層，根據本中心搜集布袋港 10 餘孔海上鑽探資料顯示，在深度-30 公尺範圍內，綜合其剖面土層(如圖 2-3、2-4、2-5)簡述如下：

2.2.1 EL.0M ~ EL.-6M：土層分佈以沉泥質細砂(SM)為主，標準貫入試驗 N 值為 6~14 間之疏鬆土層，而深度-0.6M~-3M 之間偶夾有 N 值為 2-9 之軟弱沉泥層(ML)，以內港之第一期海埔新生地較明顯。

2.2.2 EL.-6M ~ EL.-27M：為一層 10~20 米厚軟弱至堅硬之粘土質沉泥層(ML)，N 值約在 4~20 之間，但於-13.0M~-21.0M 處有一層約 3~5 米厚之中等緊密沉泥質細砂(SM)，N 值在 10~30 之間，分佈以南海堤較厚並逐漸向外海之航道口尖滅消失。



圖 2-1 布袋港地理位置

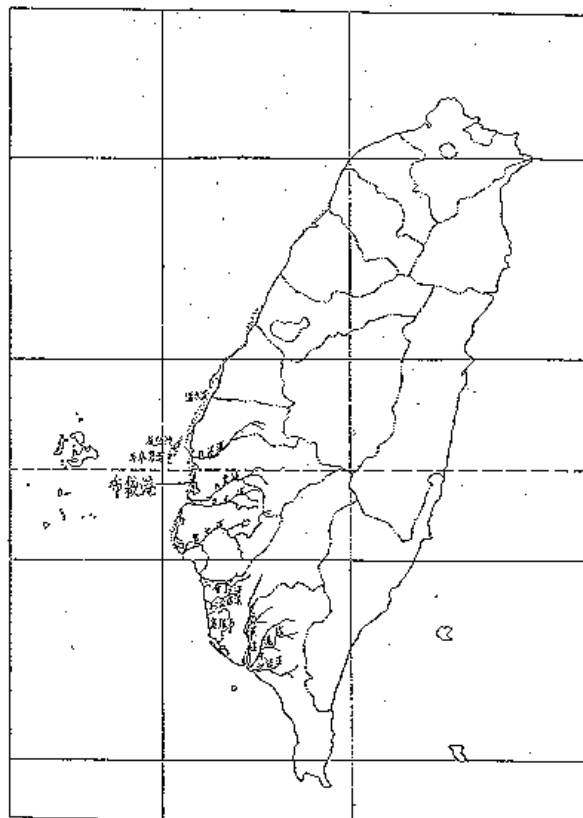


圖 2-2 台灣西海岸地形圖

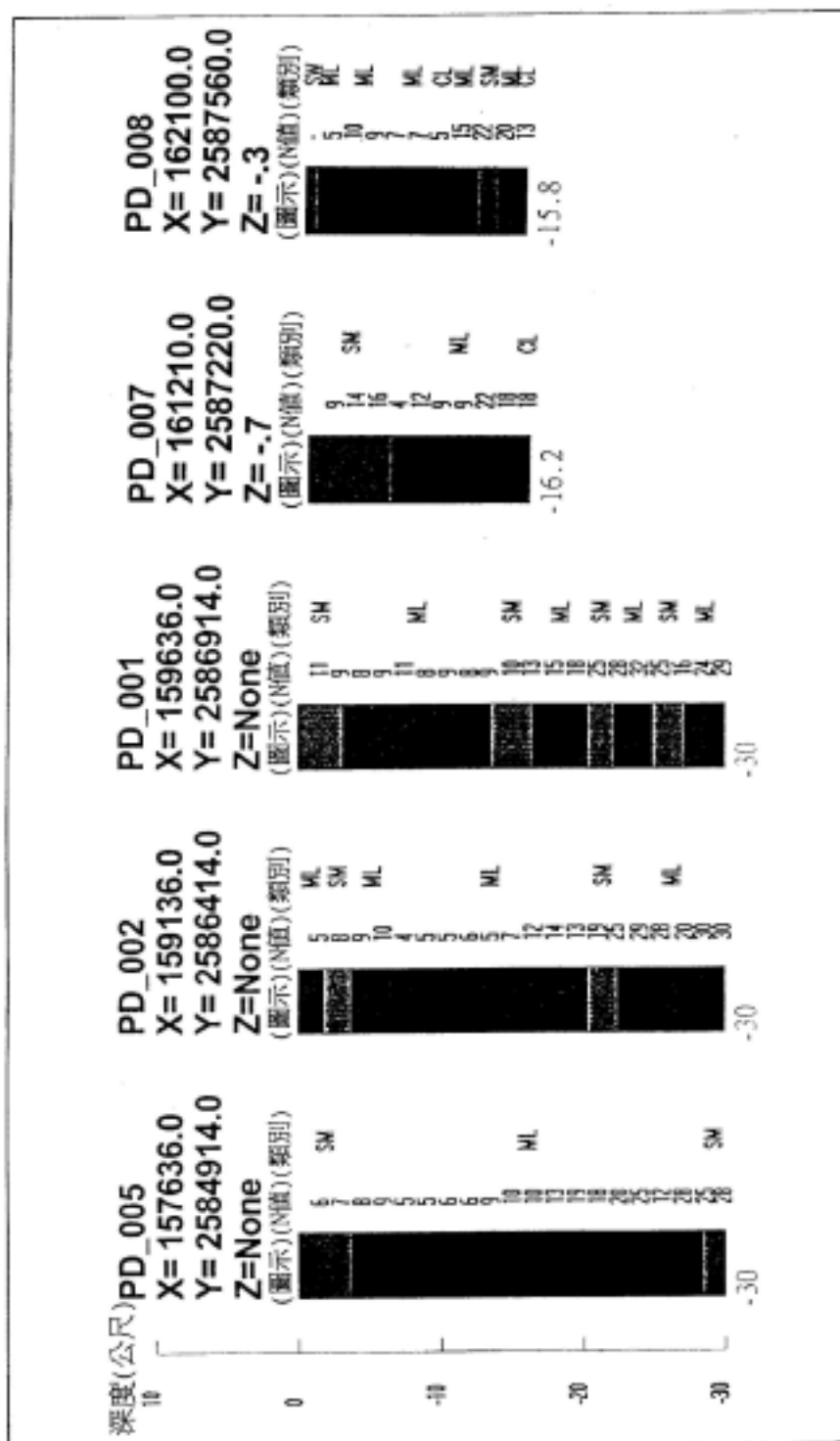


圖 2-3 布袋港區地層柱狀圖(一)

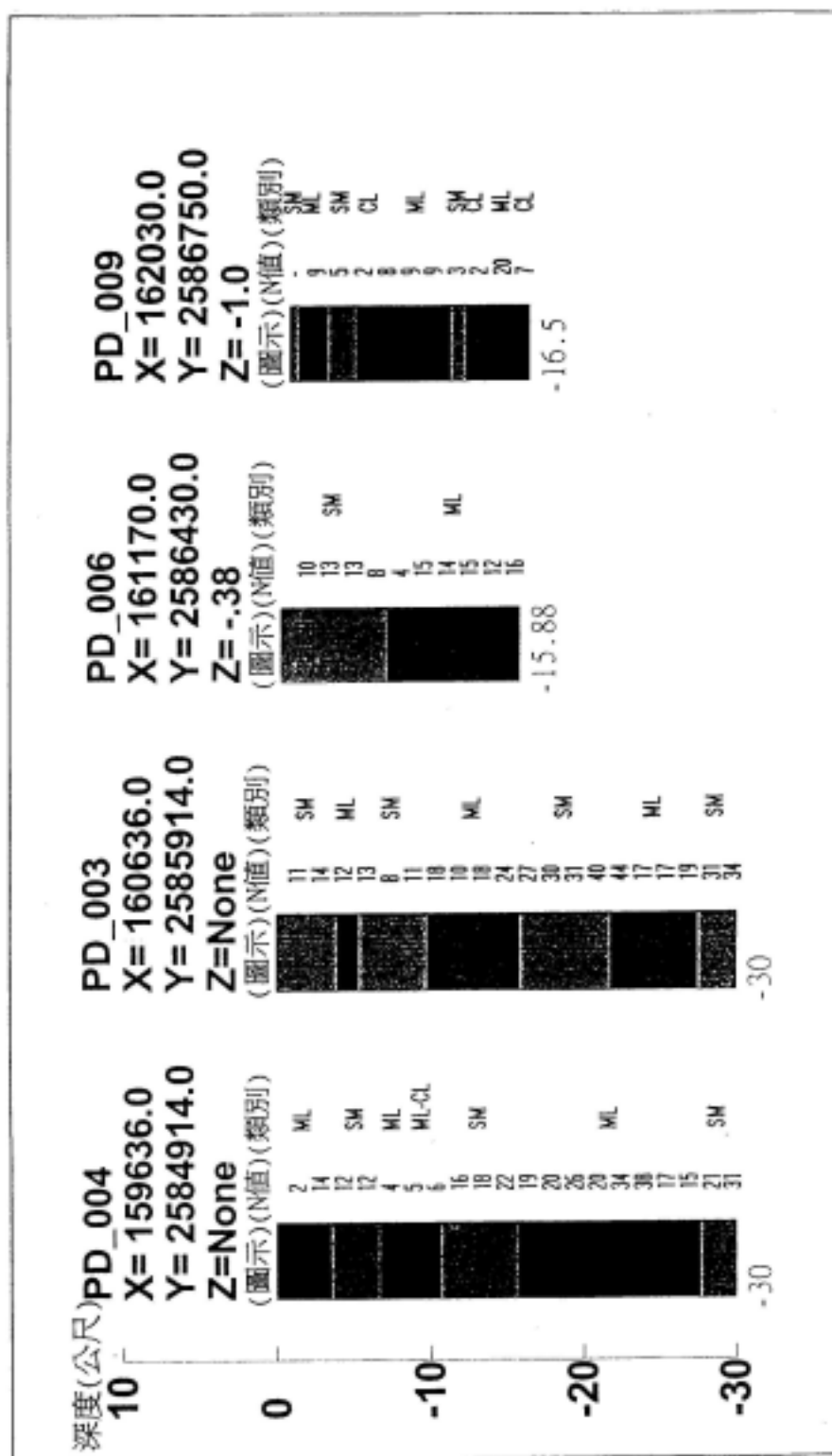


圖 2-4 布袋港區地層柱狀圖(二)

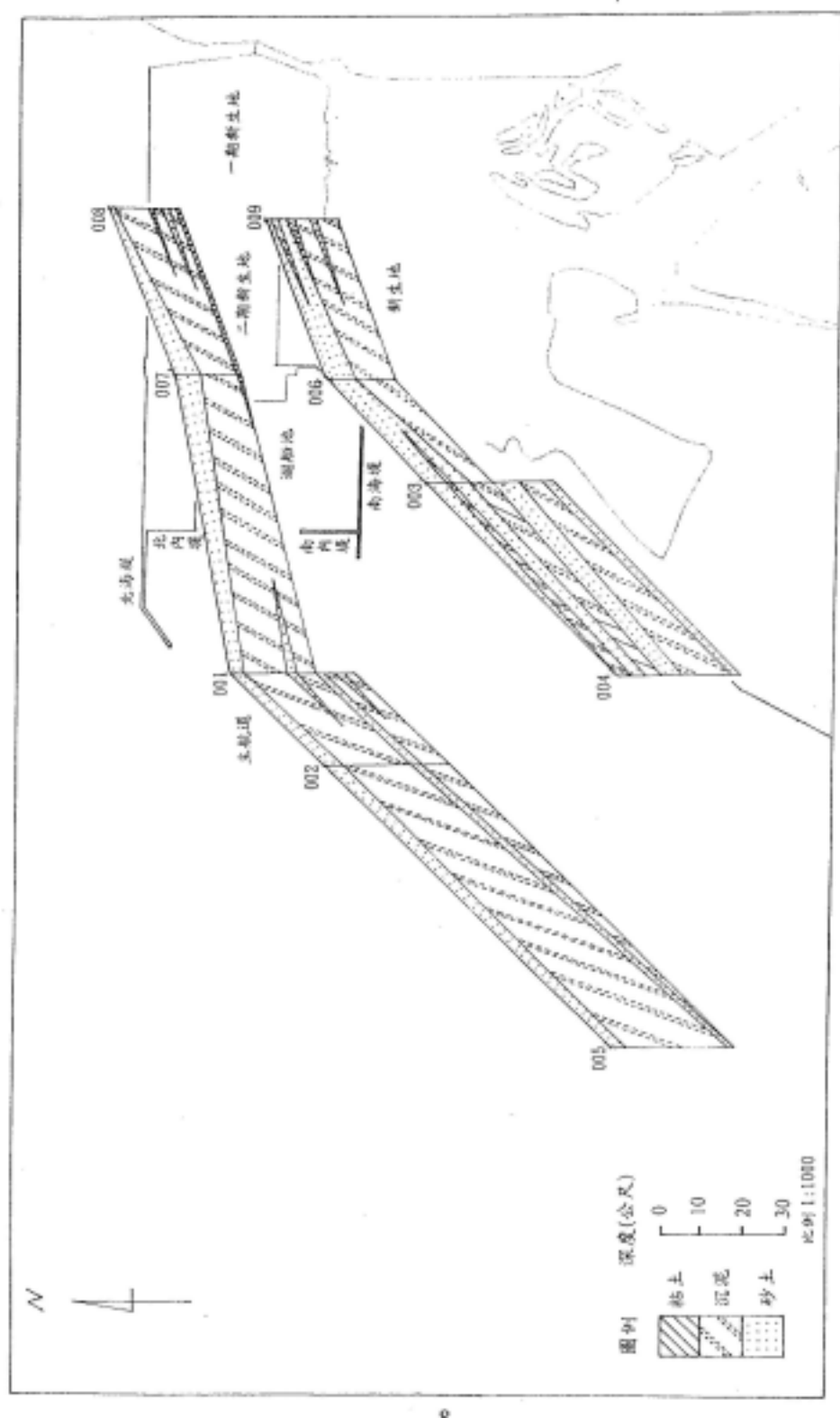


圖 2-5 布袋港區地層柵狀圖

2.2.3 EL.-27.0M ~ EL.-30.0M：由地層柱狀圖得知深度-27.0M 至 -30.0M 處為中等緊密到緊密之沉泥質細砂(SM)土層，N 值約在 20~35 間，土層大致分佈在南海堤及外海處。

2.3 布袋港附近地區之沉陷

根據省水利處於嘉義沿海地區地盤下陷水準檢測報告(如附圖 2-6)，自民國 77 年至 83 年布袋地區總下陷量約 45~70 公分，平均每年沉陷量約在 7~10 公分，而 83~85 年之累計下陷量約 25 公分，其中最嚴重地區為東石鄉，平均每年沉陷約 10 公分。另根據經濟部水資局(2000)之地層下陷檢測報告，嘉義沿海地區之下陷中心位於網寮一帶，民國 77~88 年之最大累積下陷量約 1.21 公尺，且 78~85 年為該區下陷速率最嚴重時段；民國 85 年以後下陷速率趨緩，至民國 88 年底為止，年平均下陷速率約 3.8 公分，而 88~89 二年之累積下陷量以網寮國小測站之 10.3 公分最多。

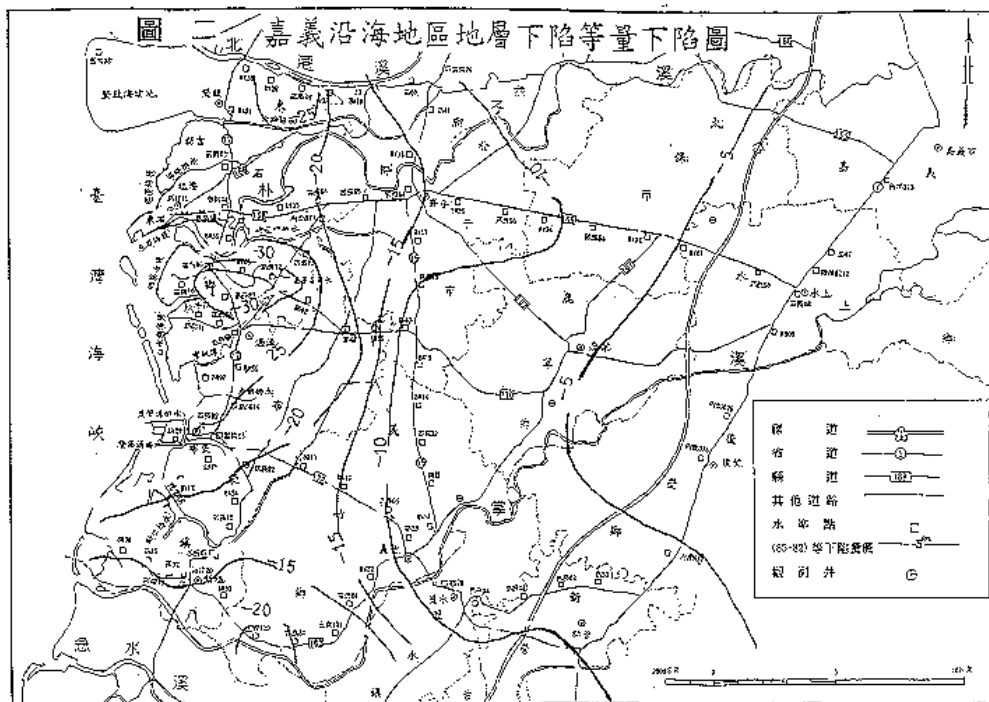


圖 2-6 布袋港附近地區地層下陷圖

第三章 港灣地區地層下陷行為與分析方法

港灣地區地層下陷之原因，非常複雜，如大地應力作用所引致地殼之升降，地震作用引致港灣地區沖積砂土層與海埔新生地發生液化而產生嚴重之下陷，防波堤為港灣之重要構造物，大都由大型沉箱連接而成，有極大的荷重，亦會產生嚴重之下陷；另港灣碼頭設施大都由抽砂填土而成，大規模之填土易造成區域性之不均勻沉陷，及港灣附近地區超抽地下水易造成區域性之地下水位下降，導致港區地層下陷等，依據世界各地研究觀察結果，大部分之地層下陷，皆因過量開發地下水資源而產生，台灣西南海岸港灣地區之地層下陷亦然。因此本文特就超抽地下水之下陷行為，分述如下：

一般而言，無論是港灣構造物荷重或超抽地下水造成之地層下陷，大都因土層受到外力而產生壓縮所致，所以欲對地層下陷進行分析之前，首需對整體土層所受有效應力增量之分佈情形，及整體土層之下陷行為與各分層土壤壓縮特性進行瞭解，然後再應用壓密理論進行沉陷分析，如圖 3-1 所示。

從土壤力學中壓密理論的觀點來看，地層下陷的主要原因是土壤受到壓力，使土壤內之孔隙水逐漸排出，體積發生變化導致土壤壓密現象，由於壓密作用，地層表面將有沉陷變形產生。所謂之土壤受到壓力，是指土壤在土層中受到比原來存在土層中有效應力更大之應力，即有效應力增量，亦即有效應力增量存在之土層才有土壤壓密或壓縮現象，而有效應力所指為地層中土壤顆粒之間（即架構）所承受的應力，與孔隙水壓力共同組成地層中的總應力，一般認為只有有效應力的部份才會影響地層的架構，其改變為造成地層下陷的主因，因此對土層內有效應力增量分佈之研判極為重要。

茲就超抽地下水，其所引致有效應力增量之分佈情形、下陷行為、分析方法等，分述如下：

3.1 有效應力增量分佈

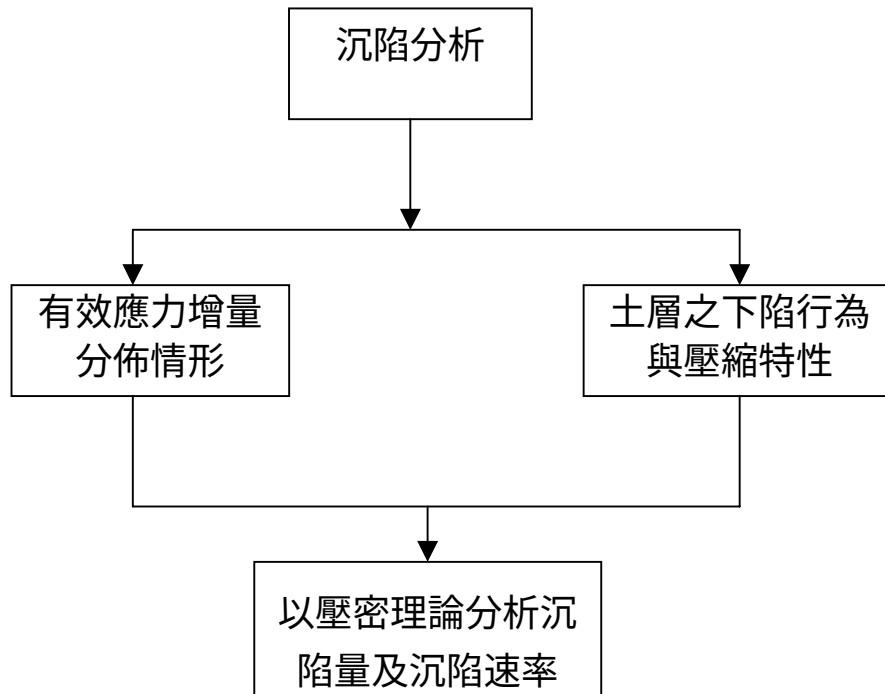


圖 3-1 沉陷分析之流程圖

超抽地下水引致地層下陷，一般可分為二類(7)，一為自由水位下降引致之淺層沉陷，另一為受壓水位下降引致之深層沉陷。若由於自由水層受到過量抽水，引致自由水位下降，其有效應力增量僅分佈於最淺層自由水層及其下之難透水層(Aquitard)或粘土層，而其他之受壓水層(Aquifer)及粘土層則無有效應力增量產生，其分佈情形如圖 3-2 所示，由於在有效應力增量存在之土層，才有土壤之壓密或壓縮現象，因此超抽自由水層產生之沉陷屬於淺層沉陷。若由於受壓水層受到過量抽水，而致受壓水位下降，其有效應力增量如圖 3-3 所示，除分佈於該超抽受壓水層外，並分佈於其上下之難透水層或粘土層，而最淺層之自由水層及其他之受壓水層與粘土層則無有效應力增量產生，由於超抽受壓水層引致之有效應力增量產生於土層深處，土壤之壓密或壓縮亦發生於深處，因此此種沉陷屬於深層沉陷。

3.2 超抽地下水之下陷行為

超抽地下水引致之沉陷，不論是超抽自由水層或受壓水層，由於其影響之區域範圍均很廣大，因此其沉陷特性屬於區域沉陷，亦由於屬於均勻沉陷，且是無聲無息的情況下進行著沉陷，一般均不易察覺，往往等到發生海水倒灌、排水情況惡化等災害時，才察覺到地層下陷。

大部分海岸地層下陷皆因過量抽取受壓含水層中地下水而產生之沉陷，此種沉陷不但其影響達於土層深處，更由於其沉陷主因，是土層深處之受壓含水層及其上下之難透水層或粘土層，受壓縮而產生地層下陷，故稱為深層沉陷(Deep subsidence)，此種沉陷行為，相當於一水力起重機(Hydraulic jack)將荷重舉高後突然水壓力減少時之情形，此時荷重即漸漸下降。在發生區域沉陷時，主要因受壓含水層中水壓因過度抽取地下水而下降，受壓含水層及其上下之粘土層受到壓縮，此稱為受壓縮土層，而此受壓土層至地表面間之土層並未受到壓縮，只是整體隨受壓縮土層之壓縮而向下移動產生地層下陷，故地面之沉陷與受壓含水層中水壓之減少量成正比。當地下水繼續超抽時所發生之沉陷，在地下水文學裡稱為活性沉陷(Active subsidence)。當過量抽水已遏止，地下水壓已趨穩定後，地面之沉陷並不立即停止，而仍將持續一段時間，惟其沉陷速率隨時間而漸趨緩和，最後始停止，此期間所發生之沉陷，在地下水文學裡稱為「稽延沉陷」(Lag subsidence)或「殘餘沉陷」(Residual subsidence)(2)，通常在活性沉陷後，殘餘沉陷仍將繼續數十年，而後沉陷方可認為全部停止。

在整個壓縮之土層中，受壓含水層中之砂土層為立即壓縮，即在超抽受壓含水層之地下水位下降時，立即壓縮，此為活性沉陷之主要部分。受壓含水層中亦含有大部分之夾層粘土(Interbeds)，由於含水層之水流是互通的，因此夾層粘土產生全面排水之壓密沉陷，其壓密速率較快，夾層粘土之厚度，雖然很薄，但受壓含水層中有多層夾層粘土，累積之總壓密沉陷量亦很可觀，此夾層粘土之沉陷影響部分之活性沉陷量及大部分初期之稽延沉陷。

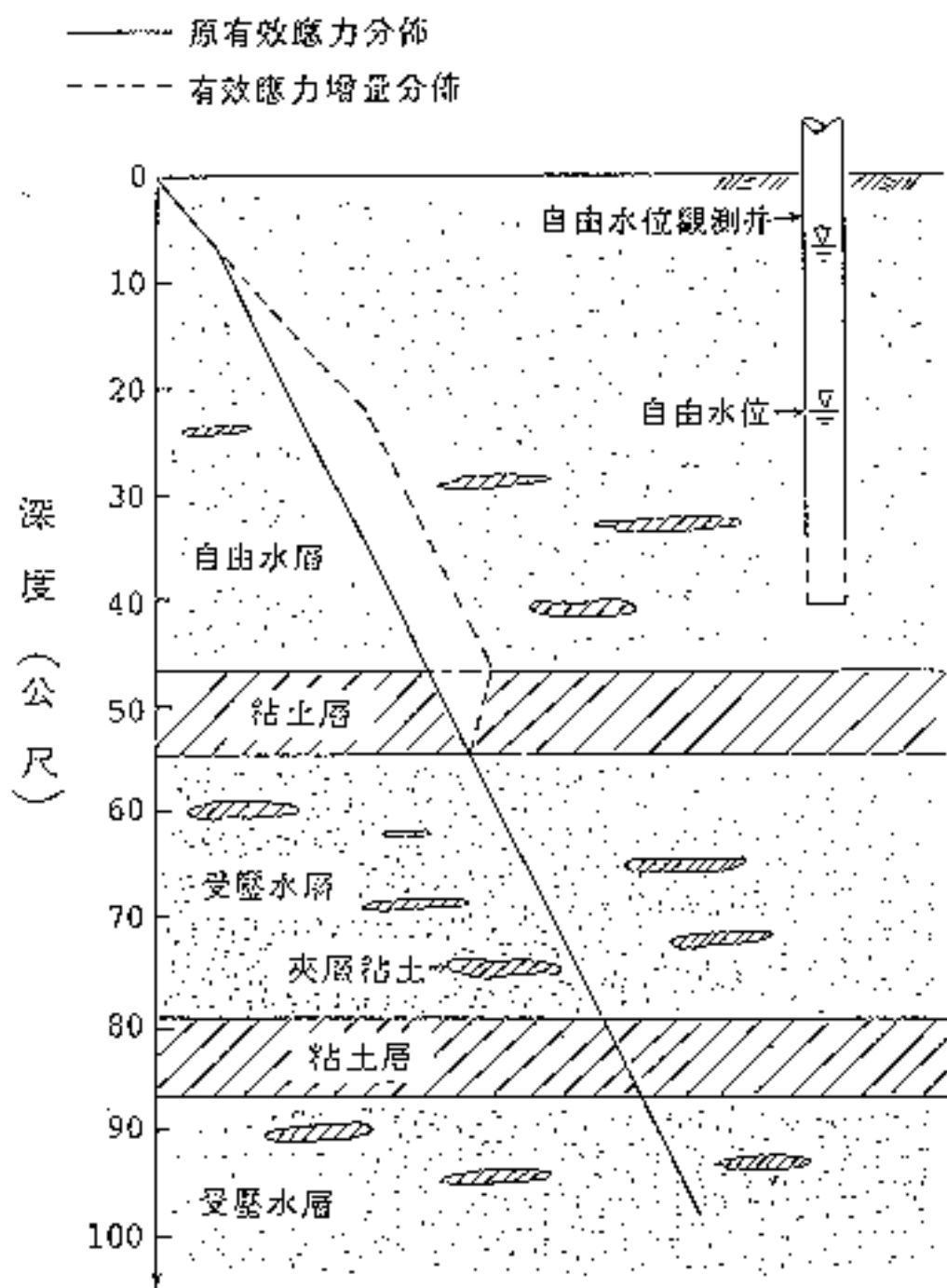


圖 3-2 自由水位下降引致之有效應力增量分佈

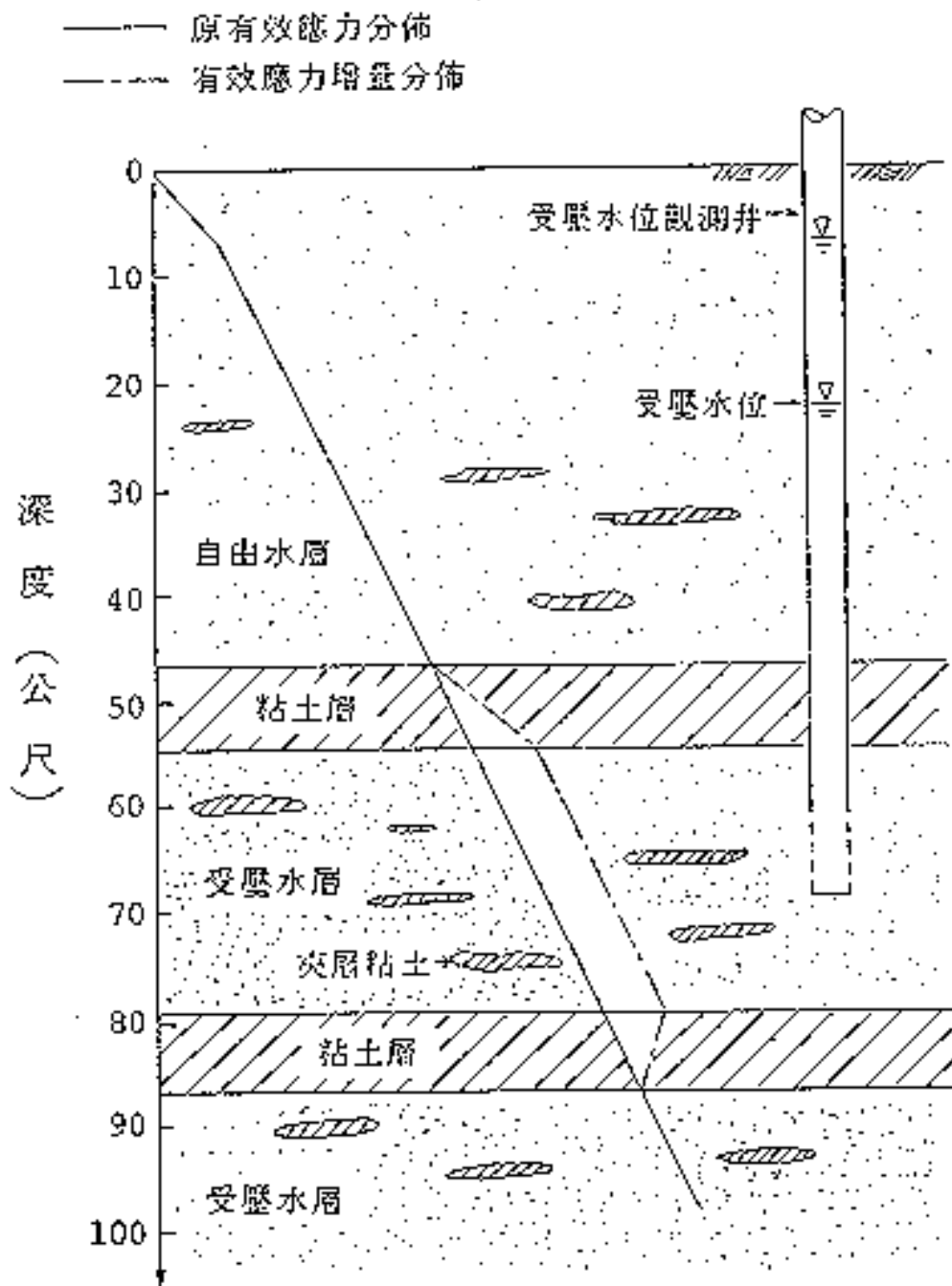


圖 3-3 受壓水位下降引致之有效應力增量分佈

受壓含水層上下之難透水粘土層，雖為高壓縮性之土壤，但在受壓含水層過量超抽地下水時，產生單向受壓之壓密沉陷，其總沉陷量為雙向受壓沉陷之一半而已，且其土層較厚，壓密速率極慢，對活性沉陷影響極微，為稽延沉陷之主要來源。

若地層下陷是由於自由水層超抽地下水而引起者，則其沉陷主要來源，為自由水層中砂土之立即壓縮，及自由水層中夾層粘土全面排水之壓密，與自由水層下一層難透水粘土層之單向、受壓之壓密現象。

3.3 地層下陷分析方法

因地下水位下降造成之地層下陷，其下陷量大小與土壤種類有關。砂質土層的沈陷速度較快但沈陷量較小；而粘性土層之壓縮則較具延滯性且沈陷量也較大。

因地下水位下降所引致的地表壓密沉陷之分析方法大致可區分為兩類，一為基於 Terzaghi 壓密理論之“分離式方法”(decoupled approach)與另一為基於 Biot 理論之“耦合式方法”(coupled approach)，前者是先求出孔隙水壓力之分佈，再應用有效應力觀念計算土層之應變及地表壓密沉陷量。後者是基於孔隙水與介質之間存在某種互制關係，以介質位移和孔隙水壓力為基本變數之耦合壓密理論。

1. Terzaghi 壓密理論

本文以 Terzaghi(1943)之單向壓密理論分析地層下陷問題。該理論係利用飽和土壤內孔隙水在穩定層流情況下之連續條件，及有效應力原理和土壤本身之應力－應變關係推得計算式。其基本之假設為(1)土壤是飽和狀態，(2)土壤顆粒與水有不同壓縮度，(3)孔隙水流符合達西定律(Darcy law)，(4)土壤之壓縮性與滲透性在受壓過程中保持不變。

依據 Terzaghi 建議，正常壓密土壤之極限沉陷量之計算，如下所示。

$$S_u = \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot H \cdot \log\left(\frac{P'_0 + \Delta\sigma'_{vo}}{P'_0}\right) \dots\dots\dots (3-1)$$

式中， S_u ：極限沉陷量

C_c ：壓縮指數

e_0 ：初始孔隙比

P'_0 ：初始壓密應力

H ：土層厚度

$\Delta\sigma'_{vo}$ ：有效應力增加量

若土壤之壓密性質或孔隙比隨深度有很大的變化，或截然為不同土層，則總沉陷量 S 為各土層沉陷量之總和。

極限沉陷量求得之後，利用以下壓密方程式，則可計算歷時性之沉陷量 $s(t)$ 。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \dots\dots\dots (3-2)$$

式中， u ：孔隙水壓

C_v ：壓密係數

t ：時間

z ：深度

Taylor(1948)對上式壓密方程式，提出一個以 Fourier 級數展開的方式來表示的數學精確解，如下所示：

$$U(t) = 1 - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} \exp\left[-\frac{(2n+1)^2 \pi^2}{4} T_v\right] \dots\dots\dots (3-3)$$

式中， $U(t)$ ：平均壓密度，定義如式(3-4)

T_v ：時間因數

$$U(t) = 1 - \frac{\int \Delta u dz}{\int \Delta u_0 dz} \dots\dots\dots (3-4)$$

而式(3-3)中之時間因數 T_v 與時間 t 之關係如下所示：

$$T_v = \frac{C_v \times t}{H_{dr}^2} \dots\dots\dots (3-5)$$

式中， H_{dr} ：最長之排水路徑長

因此各土層在各壓密應力之歷時性沉陷量 $s(t)$ 如下所示：

$$S(t) = S_u \times U(t) \dots\dots\dots (3-6)$$

2. Biot 耦合壓密理論

有關土壤的耦合壓密理論首先係由 Biot (1941) 提出的。Verruijt (1969)、Bear & Corapcioglu (1981) 等曾對 Biot 壓密理論作過研究，以地下水流動觀點推導壓密模式，其基本假設為：(a) 土壤完全飽和；(b) 孔隙水可壓縮，且其壓縮性僅與孔隙水壓力有關；(c) 土壤之固體顆粒不可壓縮；(d) 孔隙水滲流遵循 Darcy 定律；(e) 土壤為均質且均向性之線彈性介質；(f) 土壤介質之應變量微小；(g) 影響孔隙率之主要因素為介質的有效應力。根據以上假設，該壓密理論之基本方程式如下所示：

$$\left. \begin{aligned} G\nabla^2 S_x + \frac{G}{1-2\nu} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} - \frac{\partial p}{\partial x} &= 0 \\ G\nabla^2 S_y + \frac{G}{1-2\nu} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} - \frac{\partial p}{\partial y} &= 0 \\ G\nabla^2 S_z + \frac{G}{1-2\nu} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} - \frac{\partial p}{\partial z} &= 0 \\ k\nabla^2 p &= \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + n\beta \frac{\partial p}{\partial t} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-7)$$

式中 $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ ， S_x 、 S_y 、 S_z 分別表土壤介質在 x 、 y 、 z 方向上的位移。 $\varepsilon = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}$ 為介質之體積應變量， p 表超額孔隙水壓力(excess pore water pressure)， E 、 ν 、 G 分別表土壤在排水情況下所測得之平均楊氏係數(Young's modulus)、平均柏松比(Poisson's ratio)、以及平均剪力係數，其中 $G=E/2(1+\nu)$ 。 k ， n ， β 亦分別表土壤之滲透係數(permeability)，孔隙率(porosity)及孔隙水之壓縮係數(compressibility)。

由於地下水位觀測井所測得之水位變化，可代表鄰近區域亦有相同之水位變化，而且地下水位變化引致之地層下陷屬於區域沉陷，因

此若考慮為單向度之壓密過程，即 $S_x = S_y = 0$ ， $\varepsilon = \frac{\partial S_z}{\partial z}$ ， $\frac{\partial S_x}{\partial x} = \frac{\partial S_y}{\partial y} = 0$ ，可將基本方程式(3-7)簡化如下：

$$2\eta G \frac{\partial^2 S_z}{\partial z^2} - \frac{\partial p}{\partial z} = 0,$$

$$-k \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 S_z}{\partial z \partial t} + n\beta \frac{\partial p}{\partial t} = 0 \quad \dots\dots\dots (3-8)$$

其中 $\eta = (1-\nu)/(1-2\nu)$ 。式中土壤位移 S_z 與孔隙水壓力 p 同時出現在方程式中，為一耦合壓密模式。

若考慮一土壤厚度為 H ，受到瞬間荷重 P_0 ，則其壓密沉陷，經式(3-8)解析得如下所示：

$$S_z = \frac{4P_0 H}{\pi^2 \eta G} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \times \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{(2n+1)\pi}{2H_d} \right)^2 C_v t \right] \right\} \dots\dots\dots (3-9)$$

式中，壓密係數 $C_v = \frac{k}{n\beta + \frac{1}{2\eta G}}$ ， H_d 為排水路徑長，若為單向排水

$H_d = H$ ，若為雙向排水 $H_d = H/2$

3.4 地層下陷模擬預測

地層下陷模擬預測，是根據分層之水位資料及地層之土壤分類，來求地層之沉陷歷線，並與定期量測之沉陷資料比較，以了解地層下陷之力學行為。Lai and Hsieh (1995) 以 Biot (1941) 壓密理論為基礎，發展階段性荷重模式 (Step-loading model) 之地層下陷預測模式，唯該文僅考慮水位下降過程，土壤有效應力增加之加壓變形，而忽略了水位上升及再下降過程中之解壓及再壓所產生之微量變形。賴聖耀等人 (1998) 以大地工程界所熟悉之 Terzaghi (1943) 壓密理論為基礎，且考慮水位下降、上升、再下降之加壓、解壓、再壓等變形特性，發展

另一個階段性荷重模式。茲將賴聖耀等人（1998）之階段性荷重模式，簡述如下：

$$s(t) = \sum_{i=1}^m \left\{ \frac{8H_i}{\pi^2} \sum_{j=1}^k \left\{ C_{\varepsilon ij} \times \log \frac{P'_{ij} \pm \gamma_w h_{ij}}{P'_{ij}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \times \left[1 - \exp \left[- \left(\frac{(2n+1)\pi}{2H_{di}} \right)^2 \times C_{vi} \times (t - t_{ij}) \right] \right] u(t - t_{ij}) \right\} \right\} \quad (3-10)$$

式中， $s(t)$ ：第 t 時間之地層下陷量。

m ：土層數。

H_i ：第 i 層土壤厚度。

k ：水位變化階段數。

$C_{\varepsilon ij}$ ：第 i 層土壤在第 j 個水位變化階段之土壤壓縮、回彈或再壓縮係數。

水位下降時： $C_{\varepsilon} = C_{c\varepsilon} = C_c / (1 + e_0)$ ， $C_{c\varepsilon}$ 為壓縮係數、 C_c 為壓縮指數、 e_0 為初始孔隙比。

水位上升或水位再下降時： $C_{\varepsilon} = C_{r\varepsilon} = C_r / (1 + e_0)$ ， $C_{r\varepsilon}$ 為回彈係數， C_r 為回彈指數。

P'_{ij} ：第 i 層土壤在第 j 個水位變化階段之有效應力。

γ_w ：水之單位重。

h_{ij} ：第 i 層土壤在第 j 個水位變化階段之水位變化量。水位下降為正，水位上升為負。

H_{di} ：第 i 層土壤之排水路徑長度，單向排水， $H_{di} = H_i$ ，雙向排水
 $H_{di} = H_i / 2$

C_{vi} ：第 i 層土壤之壓密係數。

t_{ij} ：第 i 層土壤在第 j 個水位變化階段之起始時間。

$u(t - t_{ij})$ ：為 Heaviside Step 函數，當 $t < t_{ij}$ 時， $u(t - t_{ij}) = 0$ ，當 $t \geq t_{ij}$ 時，

$$u(t - t_{ij}) = 1。$$

賴聖耀等人（1998）之階段性荷重模式，經由布袋港沉陷模擬分析結果，如圖 3-4 所示，並與分層地層下陷之觀測資料比較，比較結果極為相近。

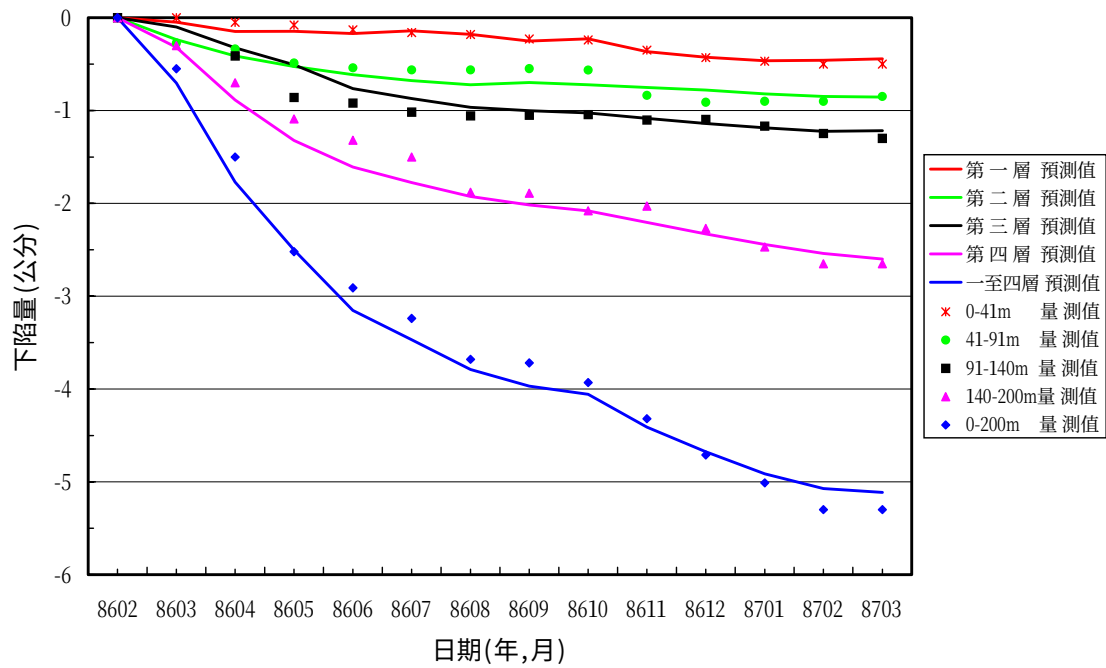


圖 3-4 布袋港沉陷模擬分析與分層下陷之觀測資料比較

第四章 布袋港海埔地填土之沉陷分析

布袋港除商港區之港灣設施由抽砂填土而成外，在商港區與魚港區之間有兩期之海埔地，第一期海埔地有 66 公頃，第二期海埔有 60 公頃，如圖 4-1 所示。第二期海埔地為最近幾年才填造完成，由於靠近商港區，成為商港區之附屬用地，因此其填土荷重所造成之沉陷行為亦有必要瞭解。

由圖 4-1 可知，第二期海埔地成梯字形，其回填寬度約為 660m，長邊為 1020m，短邊為 790m，目前高程約為 3.166m，而未填土前高程約為-0.5m，因此其填土高度約為 3.666m。

本文分別就填土荷重之應力分析，沉陷量分析以及沉陷之速率分析，來探討海埔地填土之沉陷行為。

4.1 應力分析

Boussineq 1885 年發展一套數學式來決定因表面上之點荷重下任何一點之應力，使用其公式之積分技巧，可得位於撓性矩形載重面積角隅下已知點之垂直應力，如式(4-1)：

$$\Delta P = \int_{y=0}^L \int_{x=0}^B \frac{3q_0(dx dy)Z^3}{2\pi(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} = q_0 I \dots\dots\dots (4-1)$$

式中， ΔP 為應力增量，

I 為影響因素，如圖 4-2 所示，圖中 $m=B/Z$ ， $n=L/Z$

茲計算布袋港海埔地第二期填土區中點 O，土層第 8 層次，目前深度為 48.7~75.3m 之沉泥至粘土層(CL-ML)應力增量，以說明應力增量之計算方法。茲將梯形之填土區分為矩形及三角形兩填土區分別計算。

(1) 矩形填土區

$$Z = (48.7 + 75.3) / 2 - 3.666n = 58.334\text{m}$$

$$B = 660 / 2 = 330\text{m}$$

$$L = 790 / 2 = 395\text{m}$$

$$q_0 = 0.2 \times 3.166 + (0.2 - 0.1) \times 0.5 = 0.6832 \text{ kg/cm}^2$$

$$m = B/Z = 330 / 58.334 = 5.657$$

$$n = L/Z = 395 / 58.334 = 6.771$$

$$\text{查圖 5-2 得 } I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = 0.244$$

$$\Delta P_1 = q_0 \times (I_1 + I_2 + I_3 + I_4) = 0.6668 \text{ kg/cm}^2$$

(2) 三角形填土區對 O 點粘土層之應力增量

$$\text{以積分公式得 } \Delta P_2 = 0.0144 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 = 0.6812 \text{ kg/cm}^2$$

依照(1)(2)步驟可計算填土區其他點各個層次土層之應力增量，茲將矩形填土區 AB 剖面 200m 深之應力增量繪成應力增量等值線色階圖，如圖 4-3 所示。由圖 4-3 可知，同一深度之應力增量，在填土區中點最大，然後漸遞減至填土邊緣。

4.2 沉陷量分析

茲以填土區中點 O，土層第 8 層次，深度 48.7~75.3m(CL-ML)之沉陷量分析，說明沉陷量之計算方式

$$S = H \times \frac{C_c}{1 + e_0} \times \log \frac{\sigma'_0 + \Delta P}{\sigma'_0}$$

$$S = H \times C_{c\varepsilon} \times \log \frac{\sigma'_0 + \Delta P}{\sigma'_0}$$

$H=26.65\text{m}$, C_{α} 值參考表 4-1 第 5 列, $C_{\alpha}=0.1$

$$\sigma'_0 = r' \times Z = (0.2-0.1) \times 58.334 = 5.8334 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Rightarrow S = 26.65 \times 0.1 \times \log \frac{5.8334 + 0.6812}{5.8334}$$

$$= 0.1278\text{m}$$

$$= 12.78\text{cm}$$

其他層次之土層應力增量及沉陷量計算方法同上，層次之沉陷量如表 4-1 所示。其總沉陷量為 70.41 公分。

依據上述方法亦可計算填土區各點之總沉陷量，而非填土區受附近填土荷重而引致之沉陷，亦可計算而得，圖 4-4 為填土區及附近三角形非填土區各點之總沉陷量，將其繪成沉陷等值線色階圖及立體沉陷圖，其分別如圖 4-5、4-6 所示，由圖 4-4、4-5、4-6 顯示：填土區之沉陷量較非填土區沉陷量為大；由填土區之沉陷分析顯示：填土區之中點沉陷量最大，然後沉陷量漸遞減至填土邊緣；由非填土區之沉陷分析顯示，距離填土區愈近，沉陷量愈大，距離填土區愈遠，其沉陷量愈小。

4.3 沉陷速率

由於海埔地之利用，須視沉陷較穩定後才可使用，以免產生過大之差異沉陷，致使上部之構造物及相關設施損壞或喪失功能，因此海埔地填土產生沉陷之沉陷速率分析亦很重要。

圖 4-7 為布袋港第二期海埔地填土 3.666m 之沉陷歷時曲線，由圖 4-7 顯示：於填土完成後之初期，其沉陷速率較大，然後漸緩，而由於布袋港之地質土壤含粘土、沉泥量相當高，而粘土之沉陷速率較慢，由圖 4-7 顯示，雖然歷時 10 年，其沉陷仍未完成，其沉陷量為 60 公分，為總沉陷量(70.41cm)之 85%，因此布袋港海埔地填土產生之沉陷，若

欲完全穩定，可能須 30~40 年。另此海埔地填土至今約已 9 年，沉陷量為 59 公分，約為總沉陷之 84%，由圖 4-8 沉陷速率顯示，目前每年沉陷約 0.7 公分，提供此海埔地往後開發利用時之參考。

表 4-1 布袋港填土 3.666m 引致地層各層次之沉陷分析表

層次	土層分類	土層深度 (m)	厚度 (m)	壓縮係數 $C_c \varepsilon = C_c / (1 + e_0)$	有效應力 (kg/cm ²)	應力增量 (kg/cm ²)	沉陷量 (cm)
1	SP	0-9.5	9.5	0.025	0.2667	0.6832	-8.0459
2	ML	9.5-11.6	2.1	0.075	0.6884	0.6832	-4.7153
3	SP	11.6-14.1	2.5	0.025	0.9184	0.6832	-1.5095
4	SM+CL	14.1-32.8	18.7	0.05	1.9784	0.6831	-12.0443
5	SM	32.8-36.5	3.7	0.028	3.0984	0.6829	-0.8962
6	CL-ML	36.5-41.1	4.6	0.1	3.5134	0.6828	-3.5477
7	SM	41.1-48.7	7.6	0.028	4.1234	0.6825	-1.4155
8	CL-ML	48.7-75.3	26.65	0.1	5.8334	0.6812	-12.7829
9	SM+CL	75.3-82.4	7.1	0.055	7.5184	0.679	-1.4664
10	CL	82.4-84.75	2.35	0.2	7.9909	0.6782	-1.6628
11	ML	84.75-87.2	2.45	0.075	8.2309	0.6778	-0.6315
12	SM	87.2-91.15	3.95	0.028	8.5509	0.6771	-0.3661
13	CL	91.15-95.8	4.65	0.2	8.9809	0.6762	-2.9321
14	SM	95.8-108.2	12.4	0.028	9.8334	0.6742	-0.9999
15	CL+SM	108.2-115.2	7	0.075	10.8034	0.6715	-1.3748
16	SM	115.2-132.2	17	0.028	11.3034	0.6699	-1.1902
17	CL+SM	132.2-139.3	7.1	0.1	13.2084	0.6629	-1.5099
18	CL+SM	139.3-147.35	8.05	0.129	13.9659	0.6596	-2.0814
19	CL	147.35-157	9.65	0.2	14.8509	0.6555	-3.6204
20	ML	157-164.35	7.35	0.075	15.7009	0.6512	-0.9729
21	SM+CL	164.35-170.15	5.8	0.035	16.3584	0.6477	-0.3423
22	CL	170.15-172.5	2.35	0.2	16.7659	0.6454	-0.771
23	SM	172.5-175.8	3.3	0.028	17.0484	0.6438	-0.1859
24	CL	175.8-200	24.2	0.15	18.4234	0.6354	-5.3457
				總沉陷量 70.41cm			

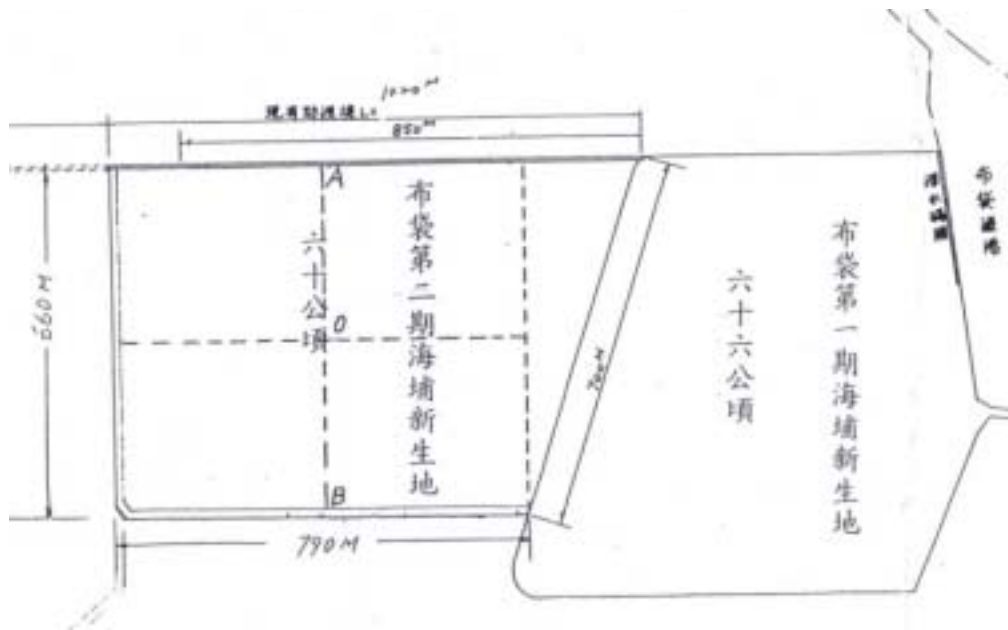


圖 4-1 布袋港第二期海埔新生地平面圖

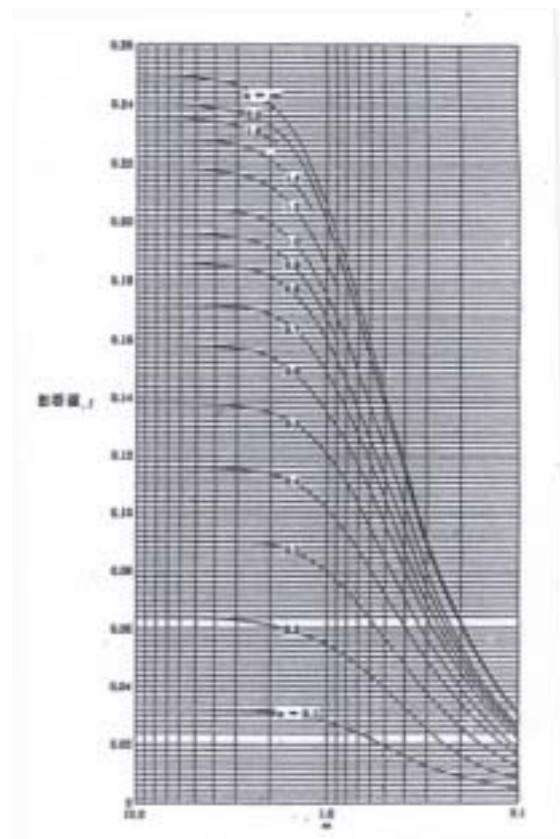


圖 4-2 應力影響因素 I 與 m 和 n 之關係圖

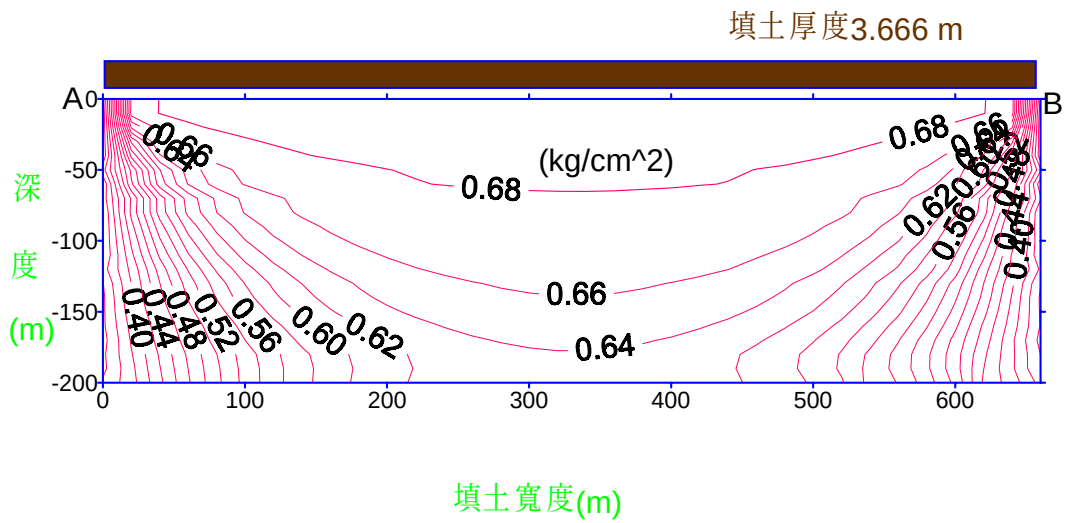


圖 4-3 布袋港海埔地填土 3.666m 之應力增量圖

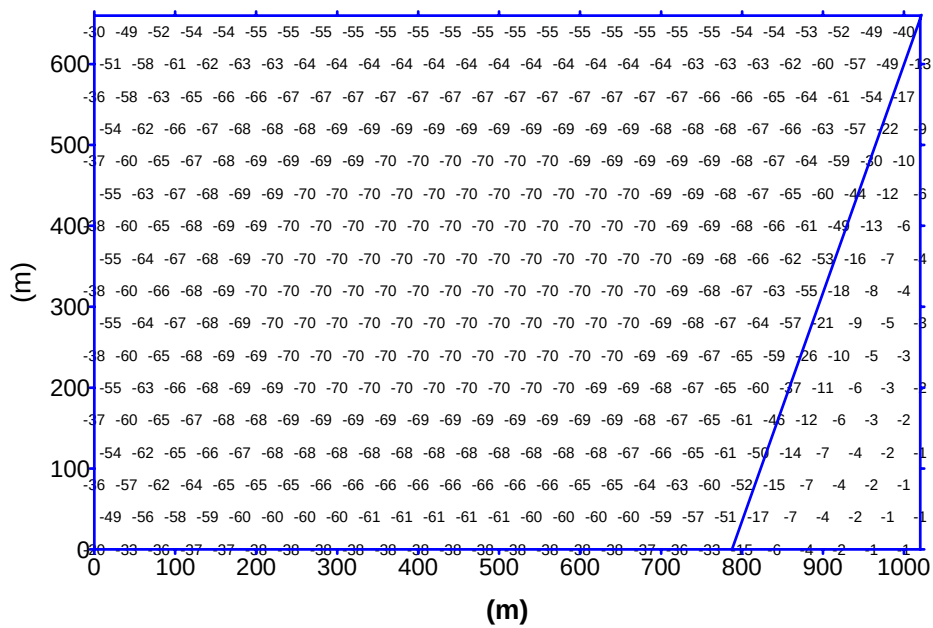


圖 4-4 布袋港第二期海埔地土 3.666m 之沉陷分析結果(cm)

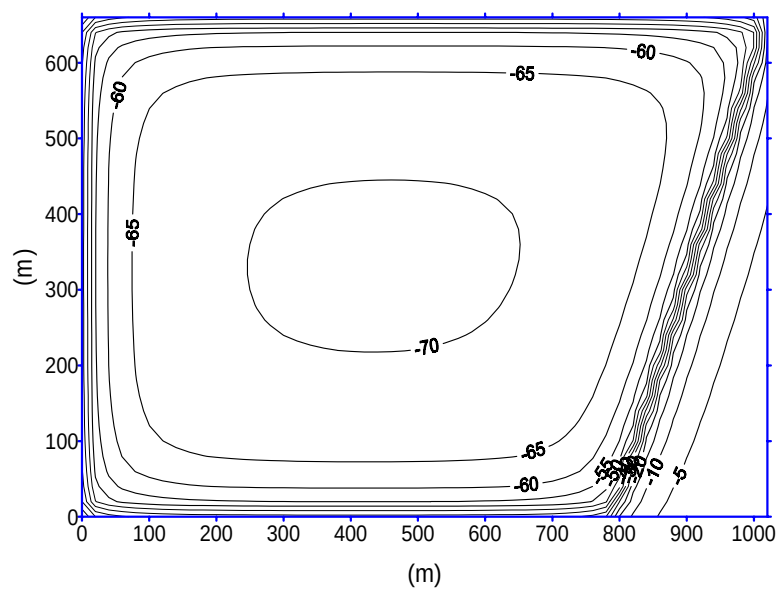


圖 4-5 布袋港第二期海埔地填土 3.666m 之沉陷等值區(cm)

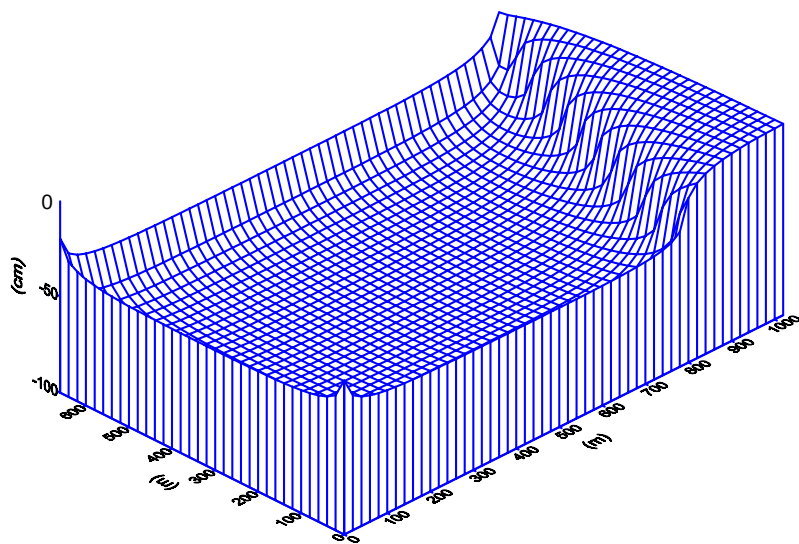


圖 4-6 布袋港第二期 海埔地填土 1.666m 之立體沉陷圖

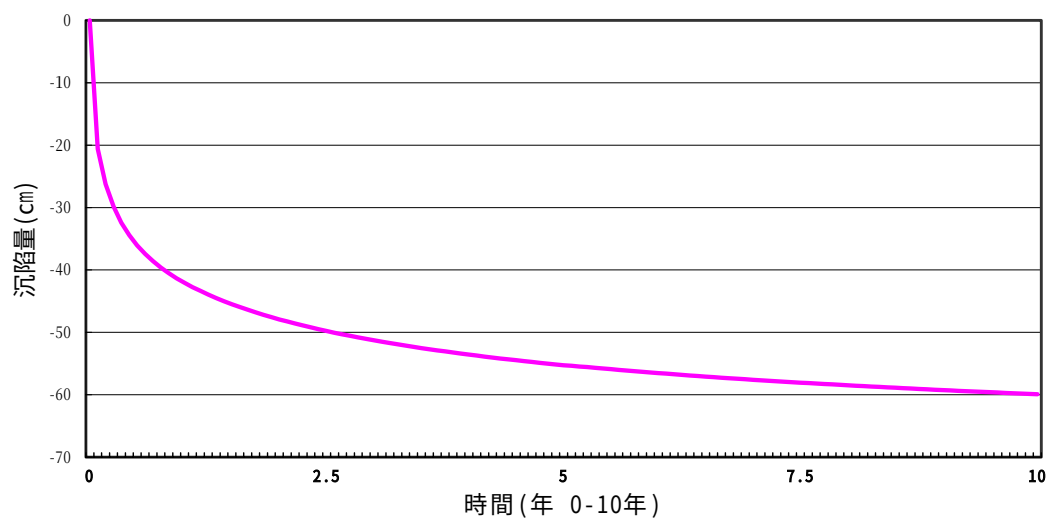


圖 4-7 布袋港第二期埔地填土 3.666m 之 0-10 年沉陷歷時曲線

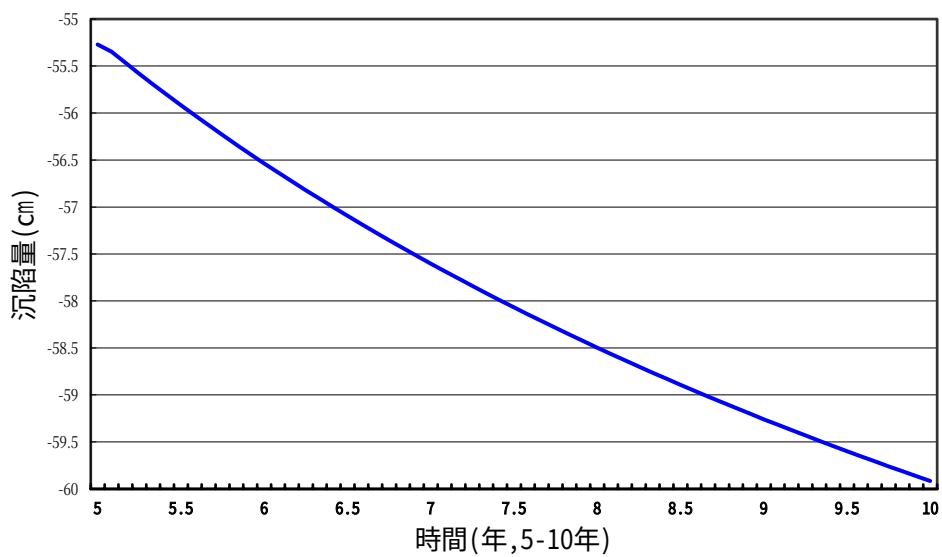


圖 4-8 布袋港第二期海埔地填土 3.666 之 5-10 年沉陷歷時曲線

第五章 地層下陷監測結果分析

本中心曾於布袋港區第二期海埔地之西北角隅設置一組 200M 之下陷與水壓監測井，本計劃另選擇於布袋商港近南堤之砂石碼頭區，亦設置一組 300M 之下陷與水壓監測井，其位置如圖 5-1 所示。

5.1 監測系統規劃與安裝

5.1.1 位置與深度

地下水壓的大小、水位之深度及變化皆對地層下陷有極大影響，且水壓計必須埋設在透水性良好之受壓水層裡，並在其上下不透水層以皂土進行封層，才能量得正確水壓；本中心曾於布袋港區第二期海埔地之西北角隅設置一組 200M 之監測井，其位置如圖 5-1 所示，監測井之座標如表 5-1，300m 監測井位置亦如圖 5-1。

200M 監測井共計三孔，分別為分層沉陷觀測井深度 200M，安裝磁感式磁環 18 只，水壓計鑽探孔 200M，安裝電子式水壓計 3 只，開口式水壓計孔 180M，安裝開放式水壓計 4 只並於管口內放置電子式水壓計，並採用自動記錄方式其儀器架構流程如圖 5-2 所示，300M 監測井共計三孔，分層沉陷觀測井一孔，深度 300M，安裝磁感式磁環 30 只，水壓計二孔，分別為 100M 及 300M，每孔安裝電子式水壓計 4 只，共計 8 支，現就其內容概述如下：

1. 電磁場式分層沉陷觀測井 2 孔，其深度為 200M 及 300M，於主要土層層次變化之處裝設沉陷環，使量測結果可以顯示個別層次之土層沉陷變化量，沉陷觀測井裝設後將以無線電波層別沉陷儀測量沉陷環之深度變化，以求得各深度土層沉陷之變化情形，200M 沉陷計感應環安裝深度如表 5-2，300M 安裝深度如圖 5-8 所示。

2. 電子式水壓計觀測井

200M 水壓監測井共有 7 組電子式水壓計，3 組安裝於鑽探試驗孔內，4 組安裝於開放式水壓計管口內，前 3 組其安裝深度為 131、68、

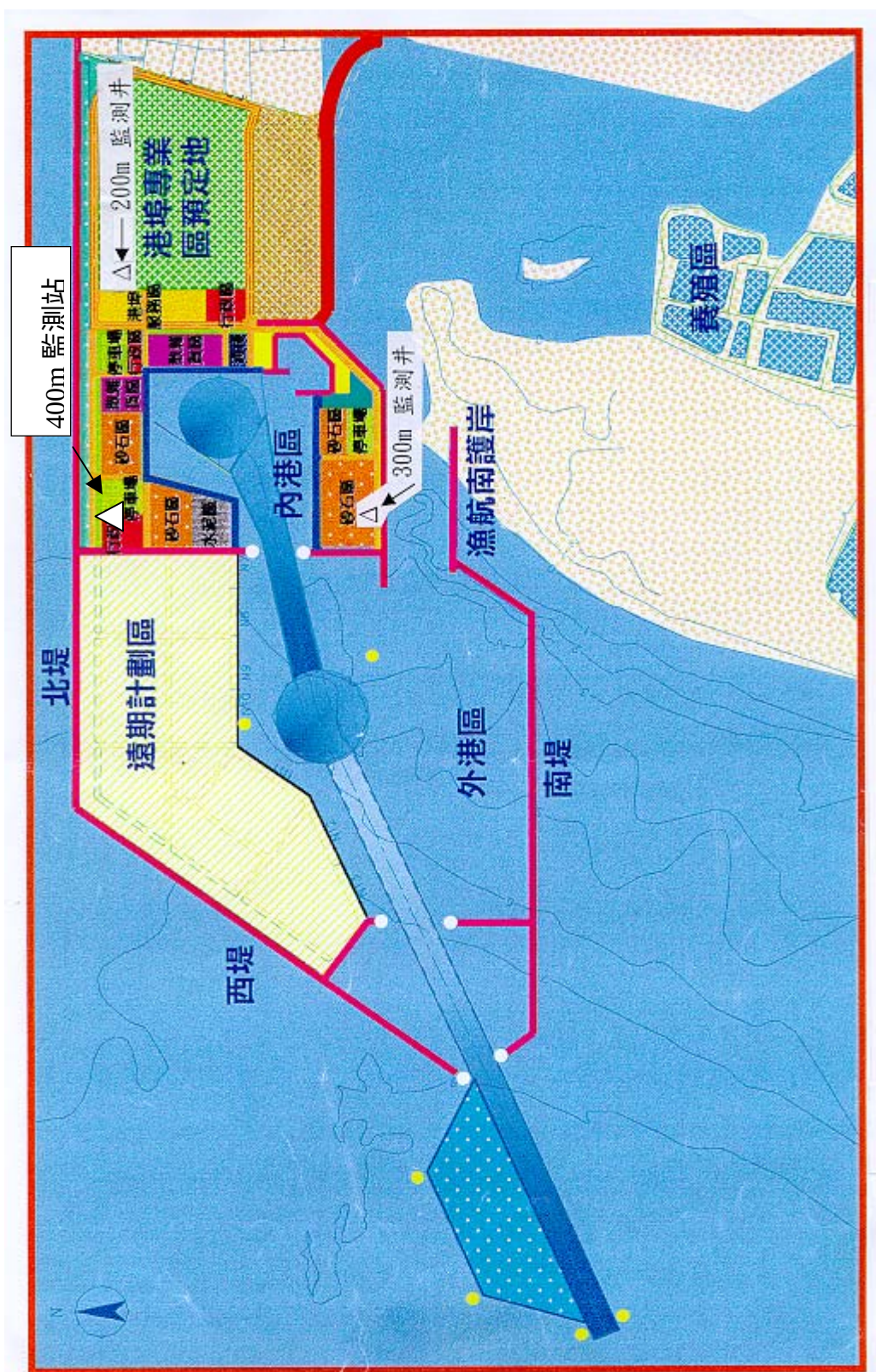


表 5-1 監測井座標高程一覽表

監測井編號	高程	縱座標 N(m)	橫座標 E(m)
水壓井 OW-1	3.166	2587280.959	161254.669
水壓井 OW-2	3.498	2587281.740	161268.649
沉陷井 S-B	3.416	2587281.574	161264.043

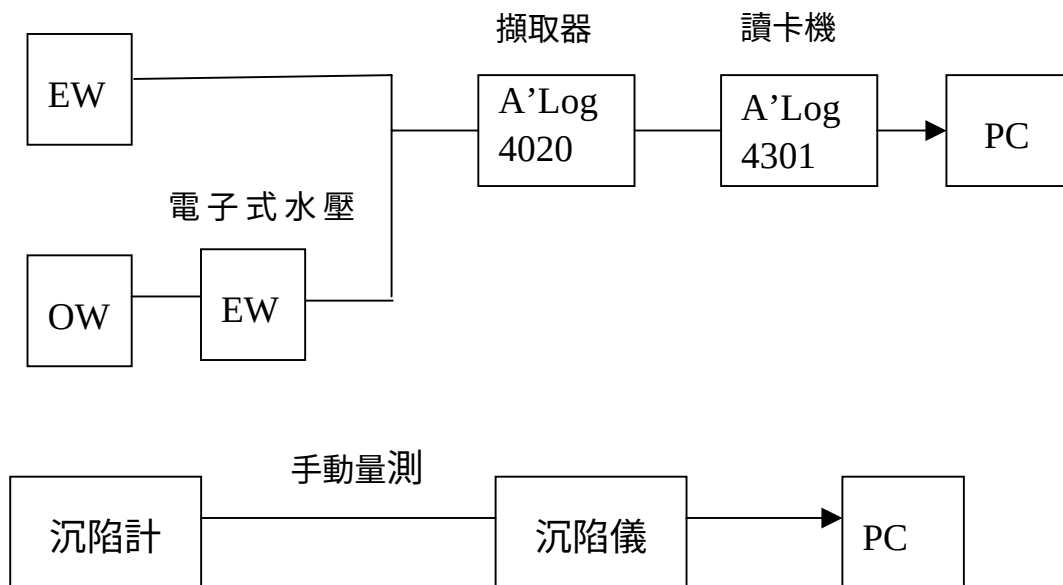


圖 5-2 系統儀器架構流程圖

表 5-2 沉陷計感應環安裝深度一覽表

序 號	埋設深度(m)
S1	8.2620
S2	15.7775
S3	29.6330
S4	40.5855
S5	55.5480
S6	65.5630
S7	75.5140
S8	85.4690
S9	100.4705
S10	110.4515
S11	120.4515
S12	130.7385
S13	140.4410
S14	157.4565
S15	170.4380
S16	180.6975
S17	190.4455
S18	200.4735

44M，開放式水壓計安裝深度為 178、143.5、105、34M，而電子式水壓計則安裝於壓力水頭下 10M 處，所有電子式水壓計經由配管接至同一個自動記錄器，本觀測井採用 IC 卡自動記錄器地下水位資料每 6 小時自動記錄於 IC 卡上，取回 IC 卡後以讀卡機讀出記憶之資料。300M 水壓監測井共有二孔，每孔安裝 4 組電子式水壓計共計 8 組，安裝深度分為 305、250、200、150、103、85、50、35M。

水壓計安裝深度如表 5-3 所示。

表 5-3 地下水壓觀測站水壓計埋設資料表(200m)

儀器編號	原廠編號	埋設深度	記錄器編號	初值(飽和)	較正係數	水頭高(管口)	備 考
OW-1	35549	44M	CH2	27	0.00339		電子式水壓計
	35550	68M	CH3	125	0.00331		電子式水壓計
	39332	131M	CH5	-134	0.00680		電子式水壓計
OW-2		34M				4.07M	開放式水壓計
		105M				24.46M	開放式水壓計
		143.5M				24.81M	開放式水壓計
		178M				25.26M	開放式水壓計
	25986	14.07M	CH1	115	0.000673		電子式水壓計
	25985	34.46M	CH4	296	0.000673		電子式水壓計
	25987	34.81M	CH6	147	0.000672		電子式水壓計
	25983	35.26M	CH7	-315	0.000672		電子式水壓計

水壓計埋設資料表(300m)

水位井安裝深度	封層深度	水壓計編號	較正係數 kg/cm ²	安 裝 深 度 (m)	水位量測(m)
35M	30M	4290024	0.001166	12.42	2.42
50M	42M	4290029	0.001170	12.92	2.92
85M	72M	4290034	0.001121	25.33	15.33
101M	95M	4290035	0.001166	25.92	17.51
150M	140M	5820031	0.001195	30.19	20.19
200M	192M	5820034	0.001184	30.55	20.55
250M	225M	5820040	0.001104	31.91	21.91
305M	295M	5820042	0.001089	32.39	22.39

5.1.2 儀器裝設

1. 電子式水壓計

本水壓計採用日本 DOBOKU 生產, 型式為電阻式 20kg/cm^2 、 10kg/cm^2 及 2kg/cm^2 耐水壓型水壓計。

- (1) 因本地區位於海濱附近及鑽孔深度為 200M 及 300M, 因此施鑽時先採用皂土保護孔壁以防崩孔, 待鑽探至預定深度後再以清水置換, 直到迴水無皂土成份, 再開始安裝儀器。
- (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。
- (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, 待回填至欲灌漿(封層)位置, 利用 PVC 管將水泥及皂土混合液以灌漿機打入預定位置, 然後再回填七厘石。
- (4) 第二組及第三組水壓計皆重覆 (2)、(3) 步驟, 直到回填至表面為止, 再將電纜線連線至觀測箱內, 其安裝示意圖如圖 5-3 所示。

2. 開放式水壓計

- (1) 安裝方式與電子式水壓計安裝步驟相同。
- (2) 當開放式水壓計完成保護措施後, 先用水位指示器量測其自然水頭高, 然後再將電子式水壓計安裝於水頭水位下 10M 處, 再將電纜線連線至觀測箱內便完成, 其安裝示意圖如圖 5-4 所示。

3. 地盤分層沉陷觀測井

本沉陷井採用日本 DOBOKU 生產之磁感式沉陷環, 磁環及安卡皆為防腐蝕不銹鋼材質, 井管為南亞 2.5 英吋井管, 為耐腐蝕及酸鹼材質。

- (1) 鑿井到達預定深度 210M 或 310M 時, 儘量清除孔內沉泥, 靜置 1 小時後檢查孔深以作為安裝深度及沉砂管長度之依據。

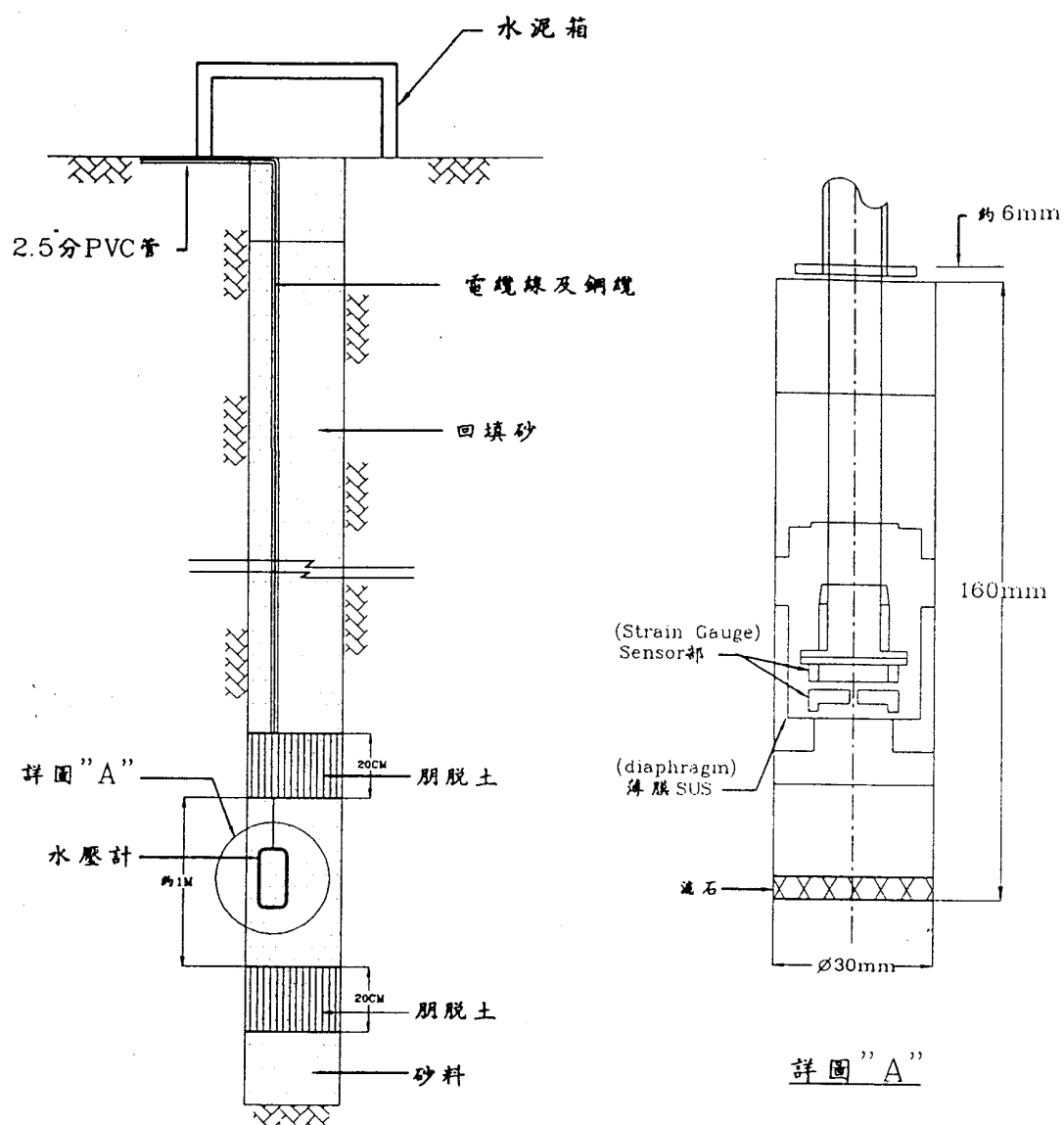


圖 5-3 電子式地下水壓計安裝示意

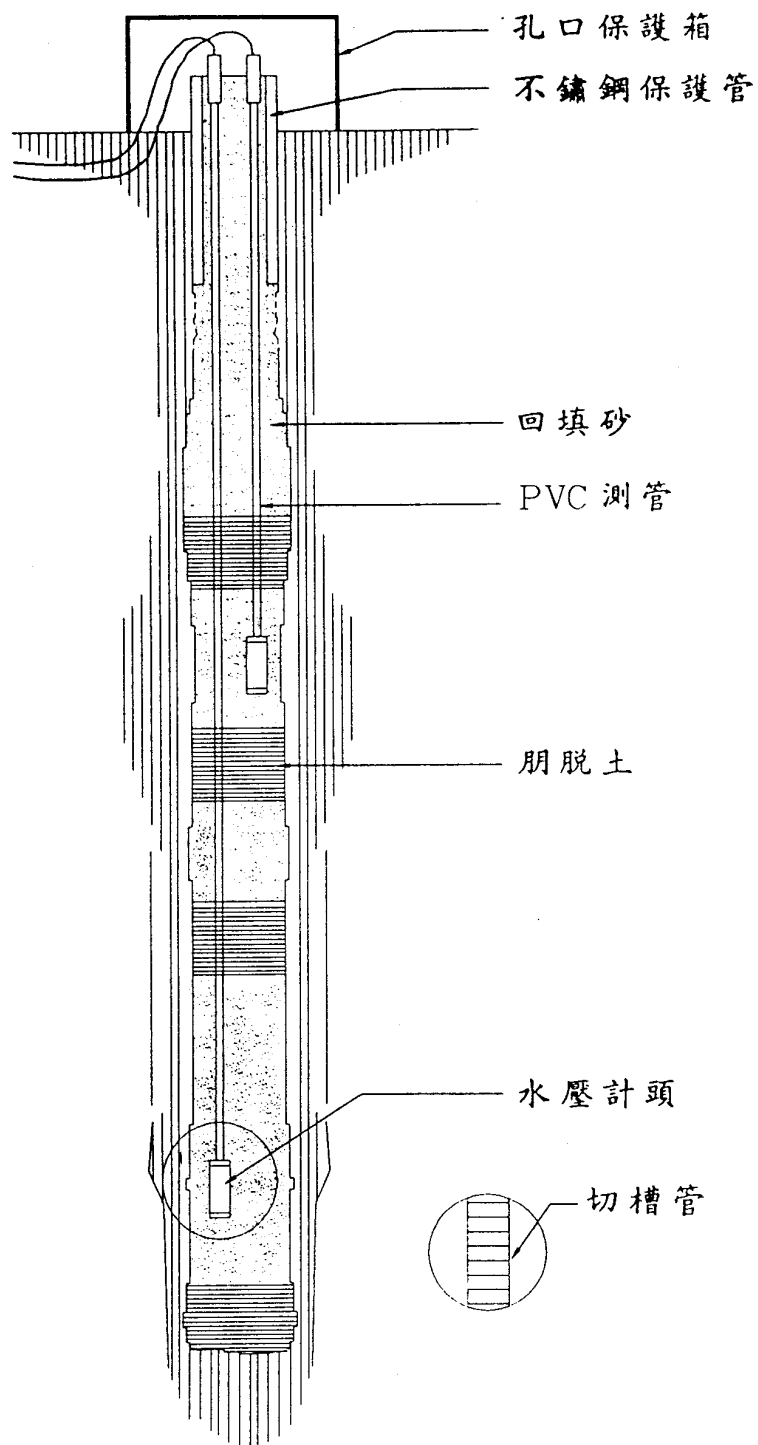


圖 5-4 開口式水壓計安裝示意圖

- (2)依據土層資料決定沉下磁環安裝位置，並將量測管安裝摩擦切管排列於地面，並依序編號及記錄長度再固定沉陷磁環於預定安裝深度，並連接燃燒樹脂導線。
- (3)於量測井管底部安裝沉砂管及止水活閥以便量測導管順利及垂直下井，並於止水活閥處以鋼纜牽引避免導管下放時因過重產生失敗。
- (4)待量測井依秩序完成後，再利用燃燒樹脂機打開磁環，使安卡可順利固定於土壤上，便可進行回填工作，回填原料以河砂，慢慢回填以防崩孔造成量測管損害，所有作業完成後便可進行孔口保護台及洗孔作業，並待測孔穩定後可做初值設定。
- (5)安裝示意圖如圖 5-5、5-6 所示。

5.2 監測井地質分析

1.200M

布袋港監測站在深度 200 公尺之土層，根據現場鑽探資料如圖 5-7 所示，約可分為 24 個次層，分別簡述如下：

- (1)棕黃色細砂(SP)：分佈在地表下深 0~9.5m 且含有貝屑，SPT-N 值為 8~17 間，表土層有 0.45m 之回填礫石夾棕黃色細砂。
- (2)灰色砂質沉泥(ML)：分佈於地表下 9.5~11.6m 深，其 N 值為 3，屬軟弱土層。
- (3)灰色細砂(SP)：分佈於地表下 11.6~14.1m，N 值為 13 屬中等緊密土層。
- (4)灰色細砂夾薄粘土層(SM+ML)：約分佈於地表下深度 14.1~32.8m，其 N 值自 7~24 之間，屬軟弱粘土及中等緊密砂土層。
- (5)灰色細砂(SM)：分佈於地表下 32.8~36.5m，N 值平均為 25 之中等緊密土層。

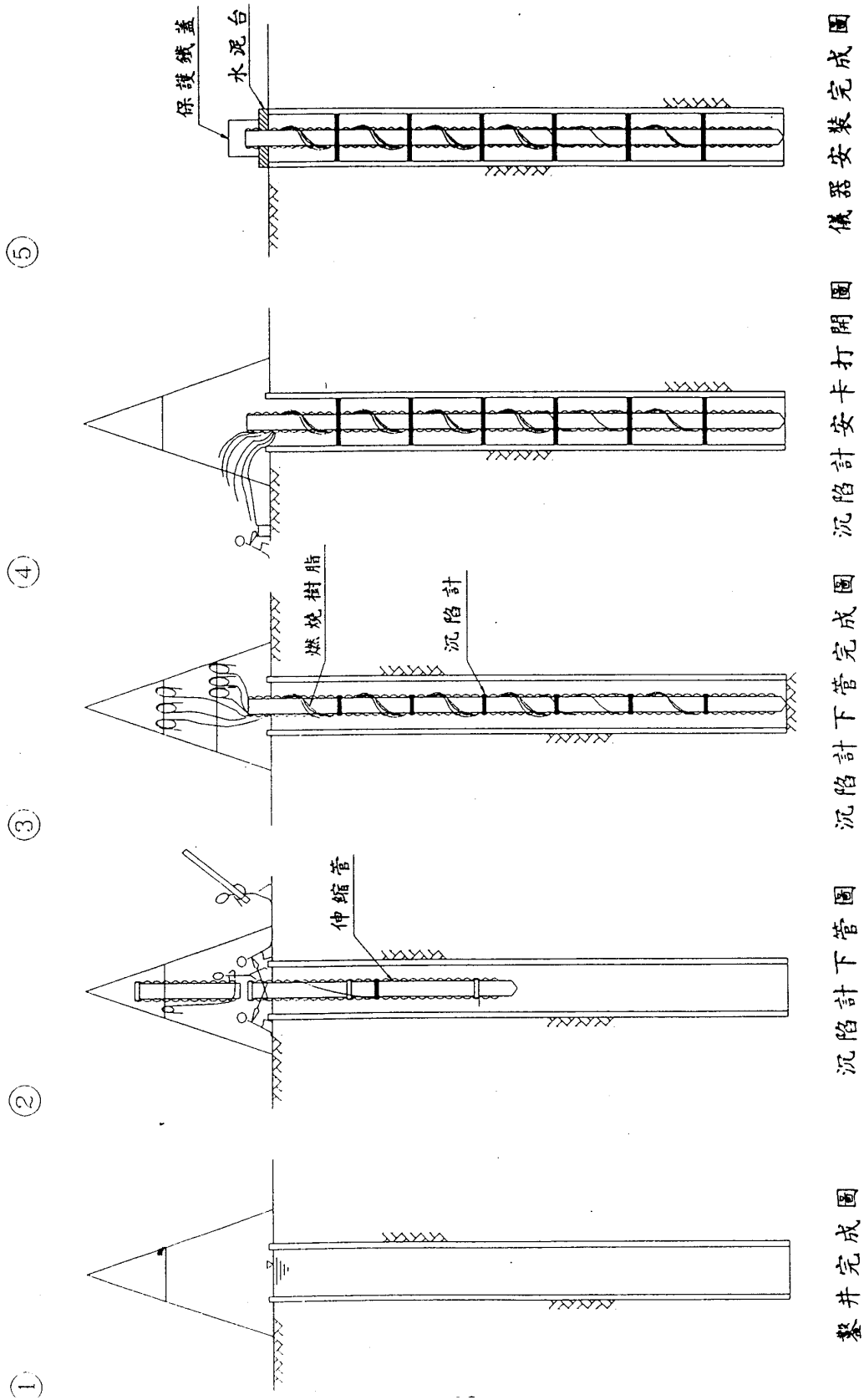


圖 5-5 沉陷計安裝示意圖

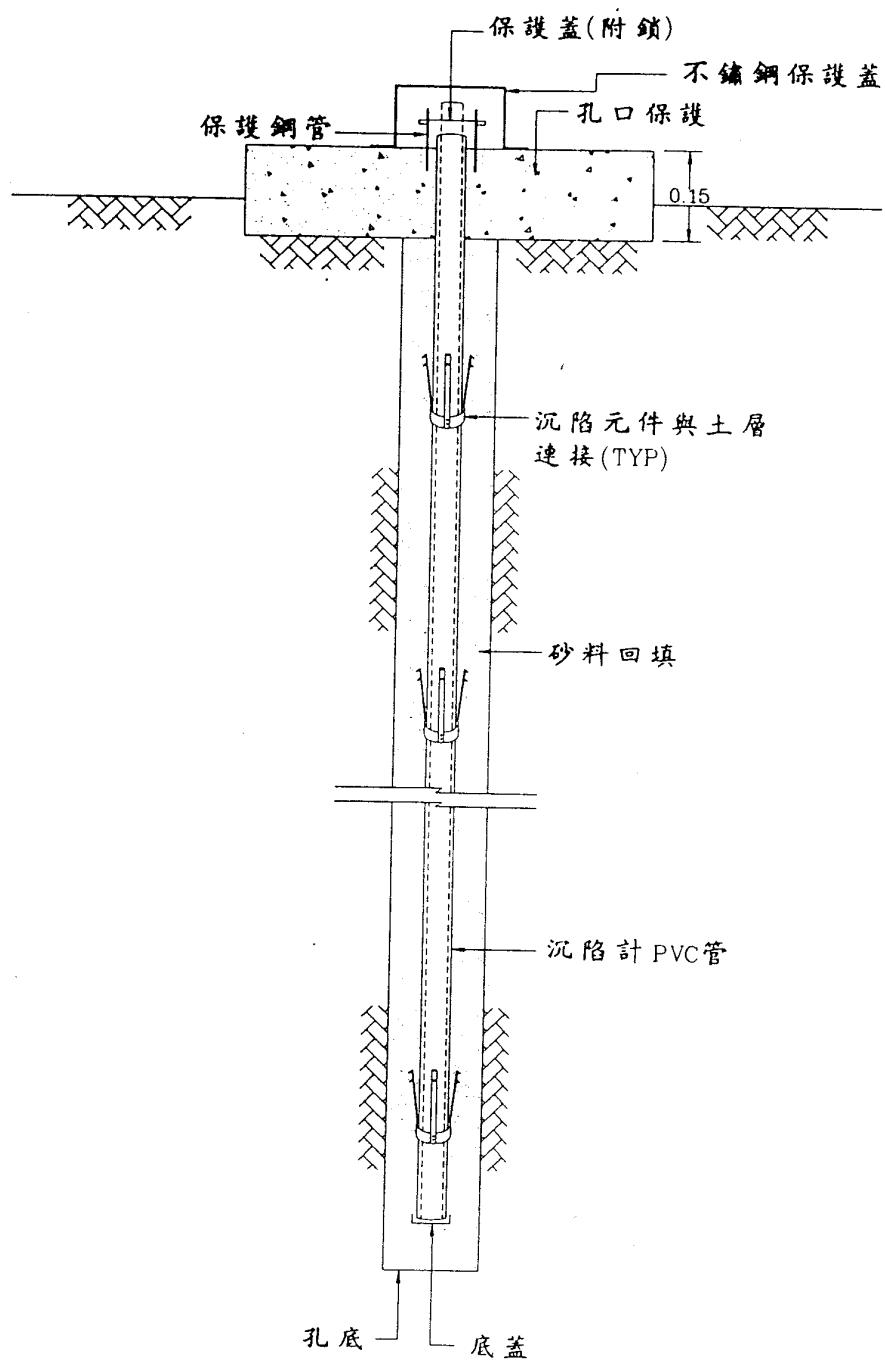


圖 5-6 磁感式層別沉陷安裝示意圖

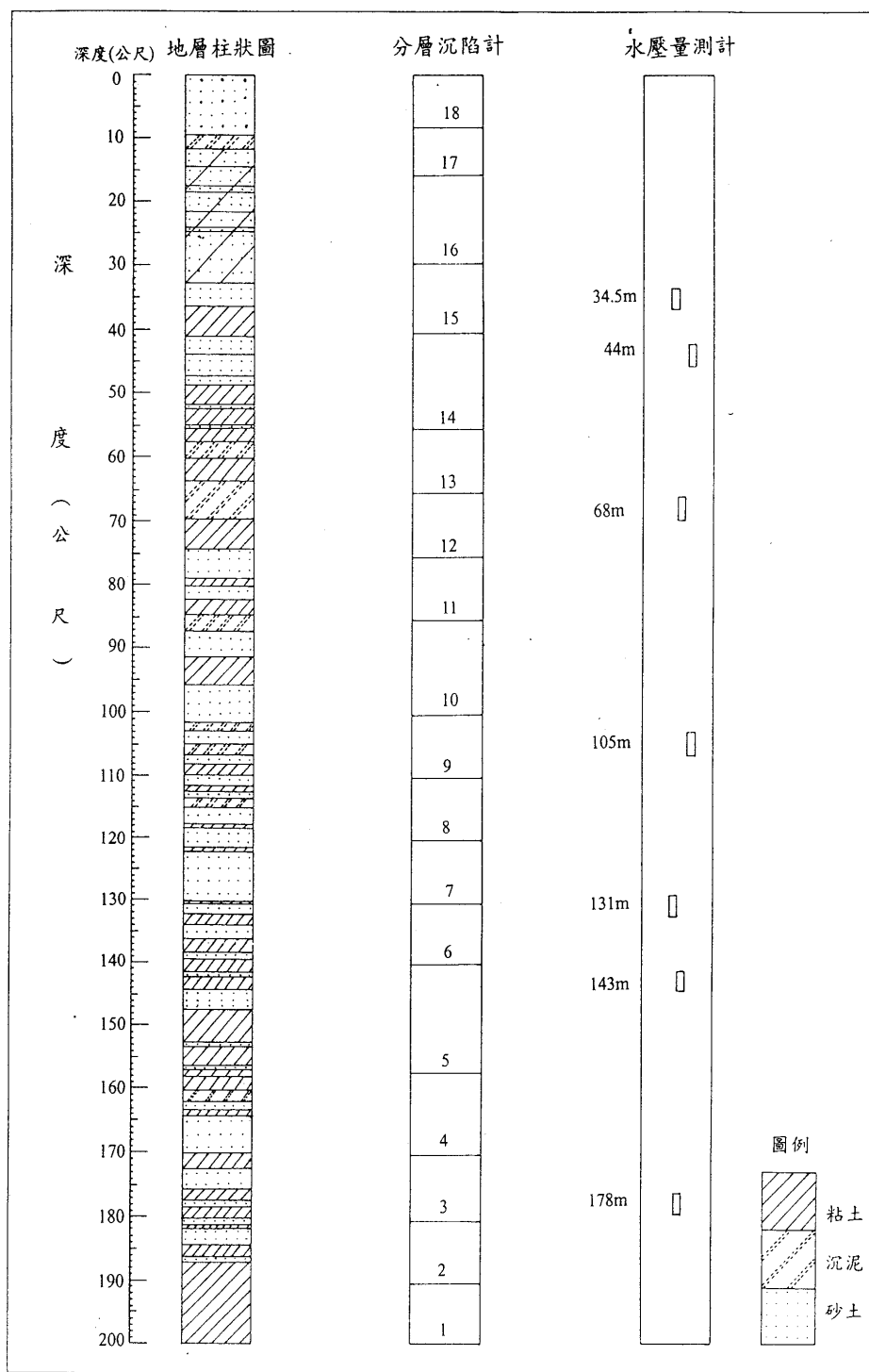


圖 5-7 布袋港分層沉陷及水壓量測觀測站地層柱狀圖

- (6)灰色粘土或砂質沉泥層(CL~ML)：分佈於地表下 36.5~41.1m, N 值在 12~16 間, 屬中等堅硬土層。
- (7)灰沉泥質細砂(SM)：分佈於地表下 41.1~48.7m, N 值為 41 之中等緊密土層。
- (8)灰色泥質粘土至砂質沉泥(CL~ML)：分佈於地表下 48.7~75.3m, N 值為 15~34 間, 屬中等堅硬土層, 其中於深度 52~52.5m, 58~60m, 64~66m 為沉泥質細砂(SM)土層, N 值為 34~40 間之中等緊密土層。
- (9)灰色泥質細砂含泥質粘土(SM+CL)：分佈於地表下 75.3~82.4m, N 值於 28~74 之間。
- (10)灰色沉泥質粘土(CL)：分佈於地表下 82.4~84.75m, N 值約為 40。
- (11)灰色砂質沉泥(ML)：分佈於地表下 84.75~87.2m, N 值約為 41。
- (12)灰色沉泥質細砂(SM)：分佈於地表下 87.2~91.15m, SPT-N 值為 45。
- (13)青灰色沉泥質粘土(CL)：分佈於地表下 91.15m~95.8m, N 值介於 28~36 之間。
- (14)青灰色沉泥質細砂(SM)：分佈於地表下 95.8~108.2m, SPT-N 值在 50~77 時貫入土層為 4~9cm。
- (15)灰色泥質細砂含砂質粘土(CL+SM)：分佈於地表下 108.2~115.2m, N 值為 31 及 50 時貫入土層約 4cm。
- (16)灰色沉泥質細砂(SM)：分佈於地表下 115.2~132.2m, 其 SPT-N 值為 60 時貫入土層約 7cm。
- (17)灰色粘土含泥質細砂(CL+SM)：分佈於地表下 132.2~139.3m, N 值為 100 時貫入土層約 13cm。
- (18)褐色或灰色粘土含沉泥質細砂(CL+SM)：分佈於地表下 139.3~147.35m, N 值為 30 時貫入土層約 3cm。
- (19)灰色粘土(CL)：分佈於地表下 147.35~157m, N 值為 50~60 時貫入土層約 38~40cm。

- (20)灰色沉泥(ML)：分佈於地表下 157~164.35m，N 值為 60 時貫入土層約 4cm。
- (21)灰色細砂含灰色粘土(SM+CL)：分佈於地表下 164.35~170.15m，SPT-N 值在 60 時貫入土層約 4cm。
- (22)灰色粘土(CL)：分佈於地表下 170.15~172.5m，SPT-N 值在 100 時貫入土層約 7cm。
- (23)灰色細砂(SM)：分佈於地表下 172.5~175.8m，N 值在 100 時貫入深度約 7cm。
- (24)灰色粘土(CL)：分佈於地表下 175.8~200m，N 值為在 100 時貫入土層約 5~13cm。

2.300M

監測井在深度 300 公尺之土層，根據現場鑿井資料如圖 5-8 所示，約可分為 21 個次層，分別簡述如下：

- (1)棕黃色細砂(SP)：分佈在地表下深 0~11m 且含有貝屑。
- (2)灰色砂質粉土(ML)：分佈於地表下 11.0~29.4m 深，屬軟弱土層。
- (3)灰色細砂(SP)：分佈於地表下 29.4~33.0m。
- (4)灰色泥質粘土至砂質粉土(CL~ML)：約分佈於地表下深度 33.0~81.2m。
- (5)灰色細砂(SM)：分佈於地表下 81.2~92.0m。
- (6)青灰色粘土至砂質粉土層(CL~ML)：分佈於地表下 92.0~101.0m。
- (7)青灰色粉土質細砂(SM)：分佈於地表下 101.0~107.0m。
- (8)灰色泥質粘土至砂質粉土(CL~ML)：分佈於地表下 107.0~111.0m 間。
- (9)灰色沉泥質細砂(SM)：分佈於地表下 111.0~133.0m。
- (10)灰色沉泥質粘土至砂質粉土(CL~ML)：分佈於地表下 133.0~141.6m。

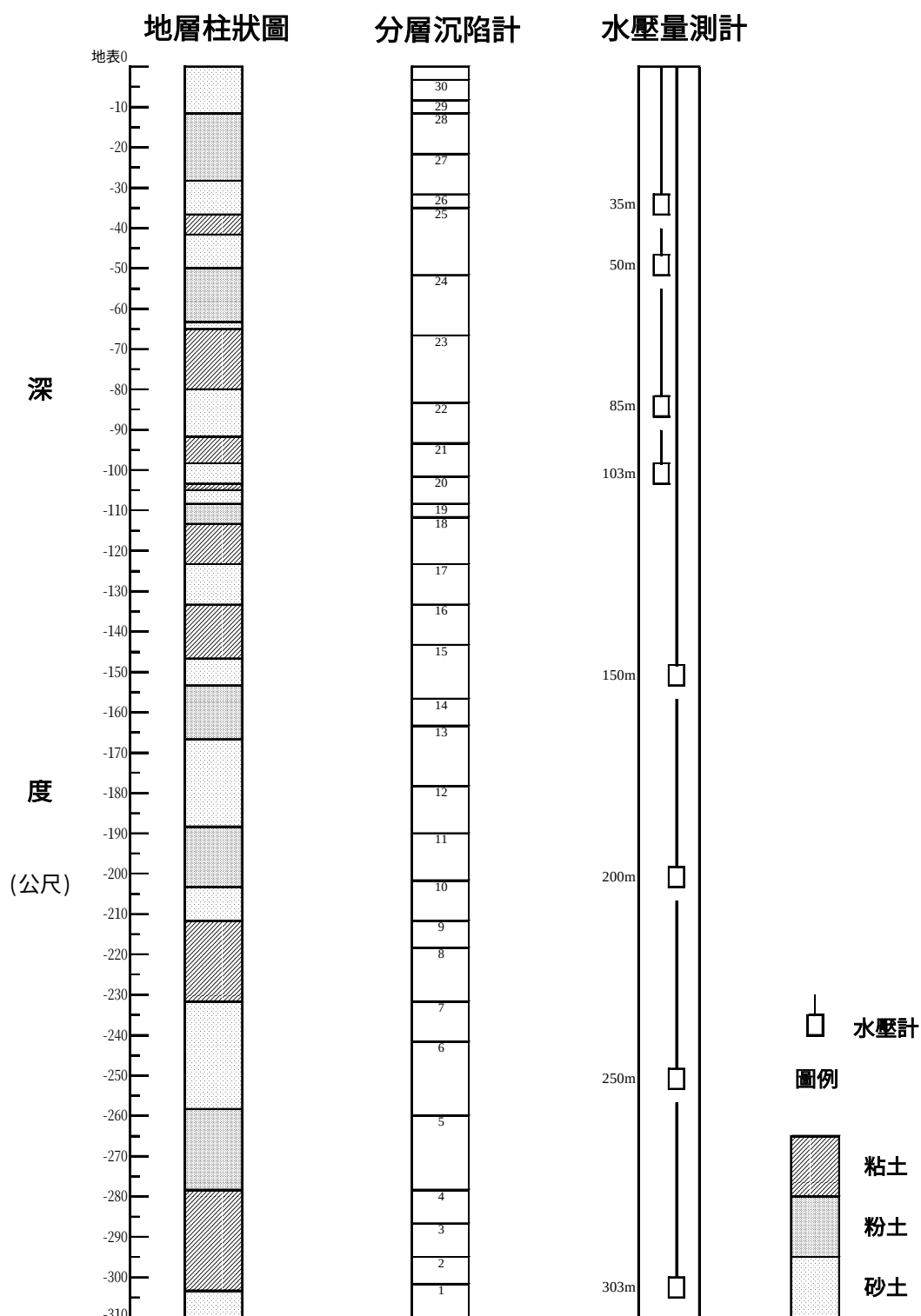


圖 5-8 布袋港 300 公尺沉陷及水壓監測站鑿井地層柱

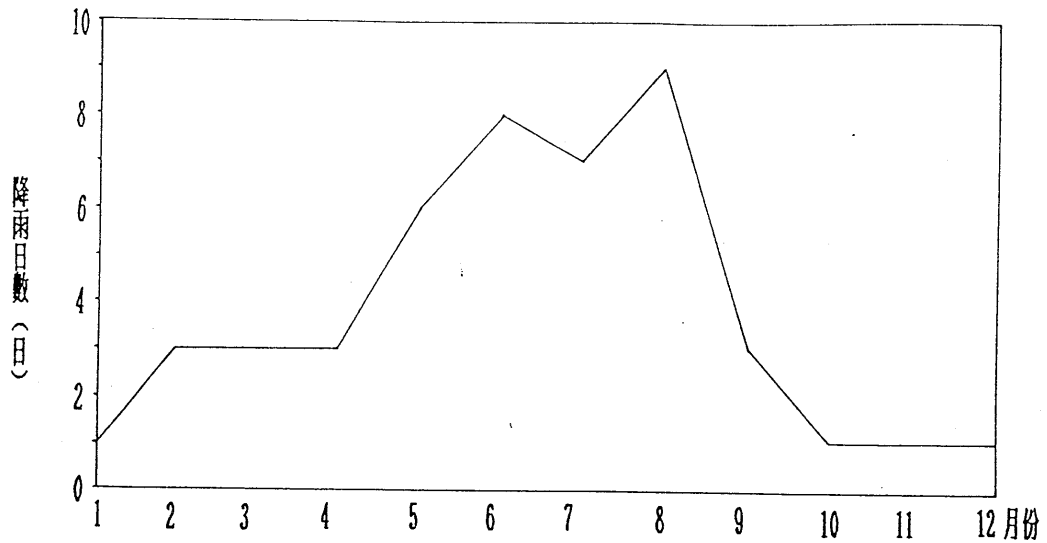


圖 5-9 布袋地區月平均降雨日數($\geq 10\text{mm}/\text{日}$)

- (11)灰色粉土質細砂(SM)：分佈於地表下 141.6~162.0m。
- (12)灰色粉土質粘土至砂質粉土(CL~ML)：分佈於地表下 162.0~176.5m。
- (13)灰色粉土質細砂(SM)：分佈於地表下 176.5m~189.0m。
- (14)灰色粉土質粘土至砂質粉土(CL~ML)：分佈於地表下 189.0~201.0m。
- (15)灰色泥質細砂(SM)：分佈於地表下 201.0~210.0m。
- (16)灰色粘土(CL)：分佈於地表下 210.0~216.0m。
- (17)灰色泥質細砂夾粘土(SM+CL)：分佈於地表下 216.0~239.0m。
- (18)灰色粉土質細砂(SM)：分佈於地表下 239.0~259.0m。
- (19)灰色粘土至砂質粉土(CL~ML)：分佈於地表下 259.0~277.0m。
- (20)灰色粉土質細砂(SM)：分佈於地表下 277.0~284.4m。
- (21)灰色粘土至砂質粉土(CL~ML)：分佈於地表下 286.0~300.0m。

5.3 監測結果分析

地下水位變化會引起地層之變化，而雨量及地下水抽取量會引起地下水位及地下水壓之變化，因此雨量、地下水位、地層下陷三者存在著某種相關性，茲分別說明其量測結果及其相關性。

5.3.1 雨量

布袋港位於嘉義沿海地區，其雨量分析乃依據台鹽總廠布袋氣象站記錄，如圖 5-9 所示，每年降雨量皆集中在 6、7、8 月，其餘月份雨量不大。

5.3.2 地下水位分析

1. 200m

本所於布袋港區第二期海埔地西北角隅，埋設 200 公尺深之分層水壓觀測站，共埋設 7 支水壓計，其深度分別為 34m、44m、68m、105m、131m、143m、178m，自 86 年 7 月 22 日開始以自動量測系統量測，其中 86 年 8 月 15 日至 9 月 22 日、87 年 6 月 17 日至 8 月 18 日、87 年 12 月 25 日至 88 年 1 月 20 日、89 年 10 月 18 日至 90 年 2 月 14 日及 92 年 8 月 15 日迄今，因水壓自動量測儀故障，而缺乏資料，茲將分層地下水壓 (t/m^2) 正規化為分層地下水位 (m)，以利比較，分別如圖 5-10 至圖 5-11 所示。由於其中 34m、105m、143m、178m 之水壓計為開放式，亦可以手動定期量測，手動量測自 86 年 4 月開始量測，每月量測一次。其量測結果如圖 5-12 所示。

由圖 5-10 及圖 5-11 顯示：34m 處之水位變化介於-3.3 ~ -3.7m 之間反復性之震盪，並無多大變化；44m 處之水位大約介於-5.5 ~ -7.0m，自 92 年 5 月起則向下降至-8.3m；68m 之水位介於-6.5 ~ -12m 之間，其中 87 年聖嬰年雨量較豐，全年水位較高，而 88 年 3 ~ 6 月、89 年 4 ~ 6 月、90 年 3 ~ 5 月、91 年 6~7 月及 92 年 4~5 月雨量少時，呈現較低水位，88 年 7 ~ 9 月及 89 年 6~8 月雨量較豐時，水位又漸上升。

由圖 5-11 及圖 5-12 顯示：105m 處之水位變化極大，最高水位

-16.6m，最低水位-27.6m，在 87 年聖嬰年雨量較豐時，水位較高，88 年 3 6 月、89 年 6 月、90 年 5 月、91 年 5 月、92 年 3~5 月及 93 年 3~6 月雨量較少時，水位明顯降低，88 年 7 9 月、89 年 6~8 月及 90 年 6~9 月雨量較豐時，水位漸漸上升；131m 處之水位變化亦極大，最高水位-17m，最低水位可能為-24m，其水位大小及變化與 105m 處水位相當，應是屬於同一含水層，目前因水壓計故障而無資料。143m 及 178m 水位大小及變化亦很相當，亦屬同一含水層，其最高水位為-17.8m，最低水位為-28.0m，其水位變化與 105m、131m 處相似。

綜合各地層之地下水位資料，如圖 5-13 所示，該圖顯示布袋港水層約可分為 5 個層次，34m 水位為第 1 含水層之水位，44m 水位為第 2 含水層之水位，68m 水位為第 3 含水層之水位，105m、131m 水位為第 4 含水層之水位，143m、178m 水位為第 5 含水層之水位。由水位變化現象顯示：第 1、2 層水位變化較小，較無超抽地下水現象，第 3、4、5 層地下水位低且變化極大，超抽地下水現象明顯，而且在 87 年聖嬰年雨量較豐時，水位較高，88 年 3 6 月、88 年 10 月 89 年 5 月、89 年 10 月 90 年 5 月、90 年 10 月~91 年 5 月、92 年 2 月~5 月及 93 年 3~6 月雨量較少時雨量較少時，水位漸漸降低，表示旱季時，超抽地下水較為嚴重。

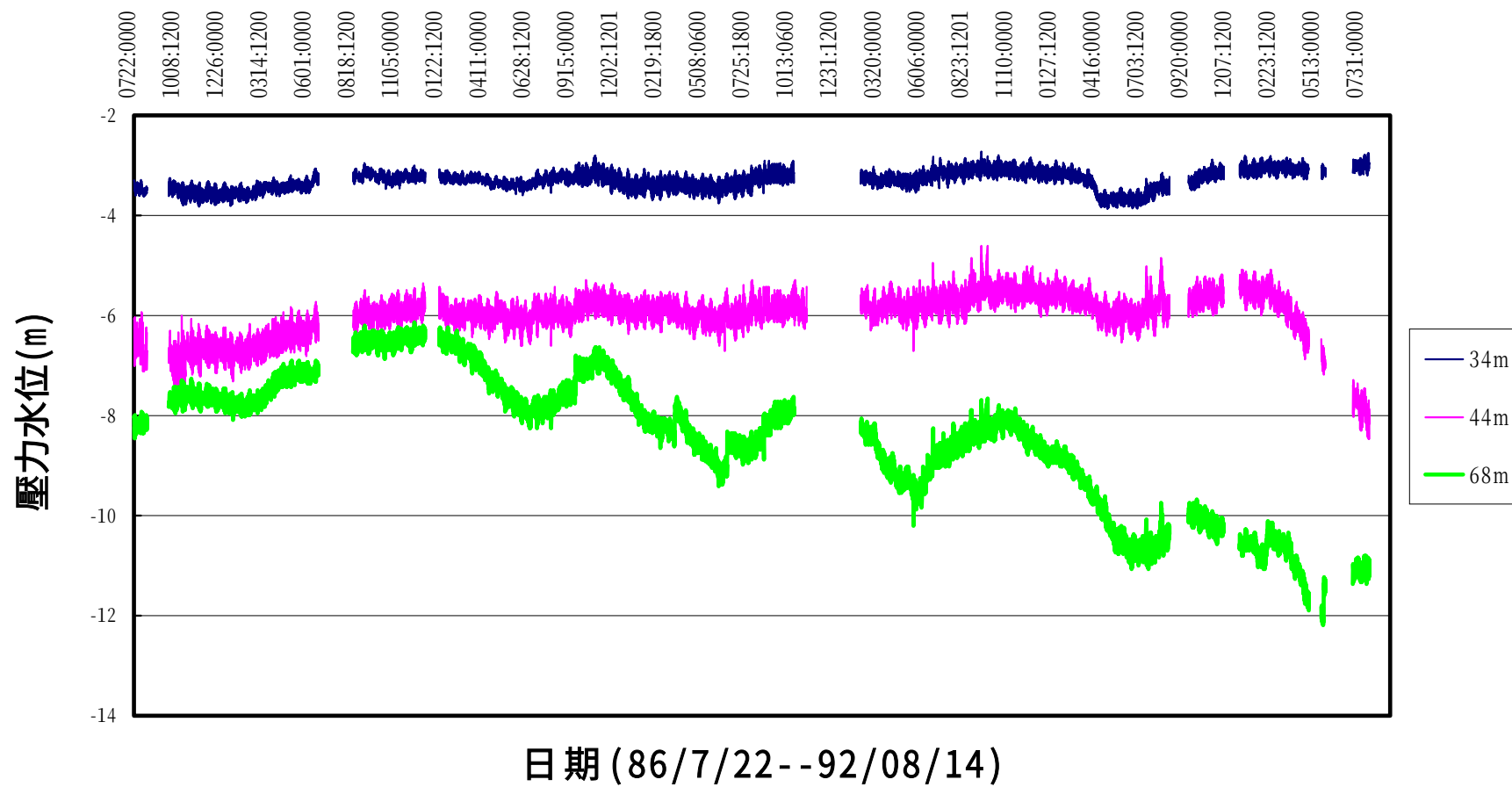


圖 5-10 布袋港深層水位變化(自記式)

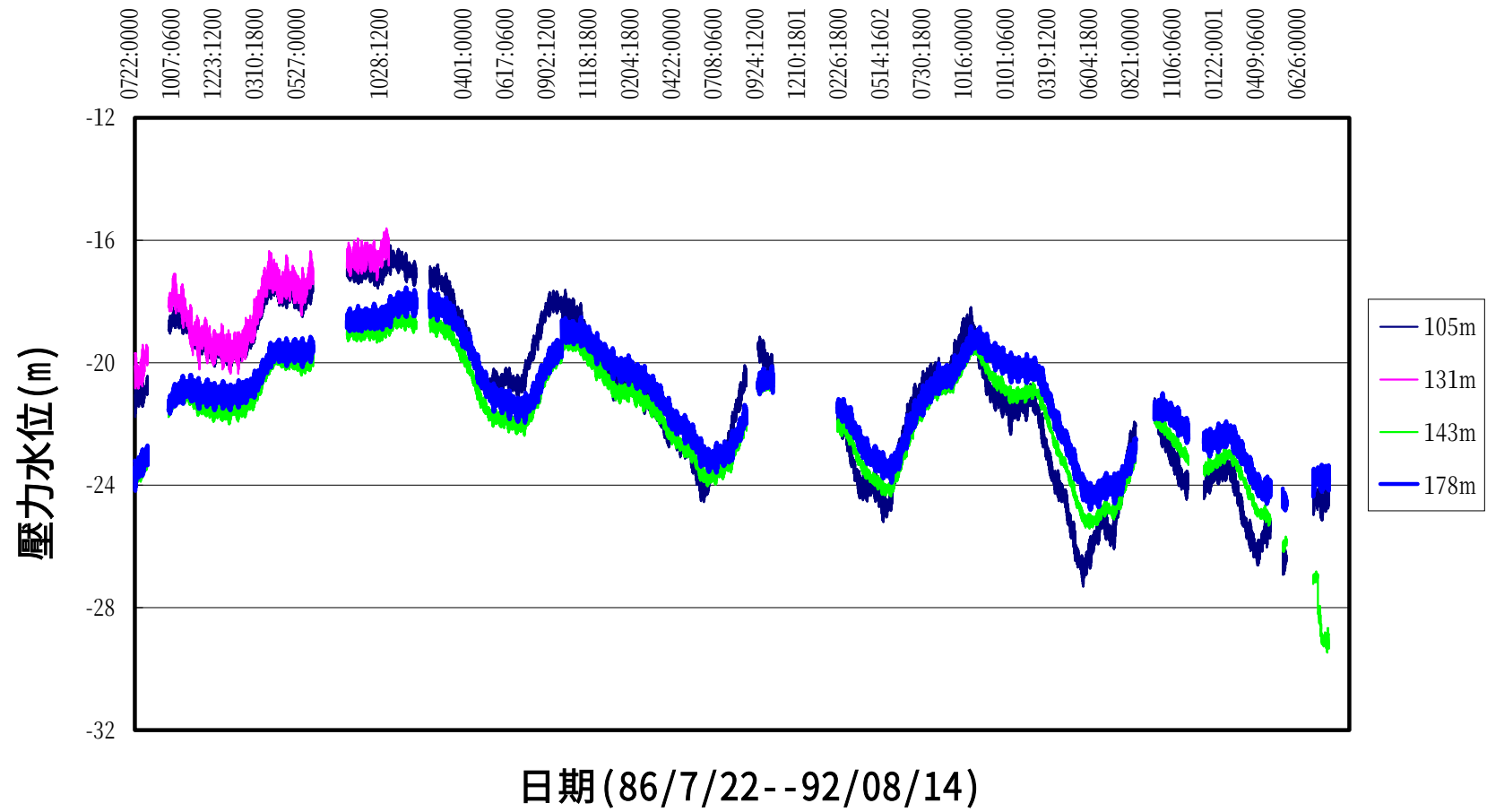
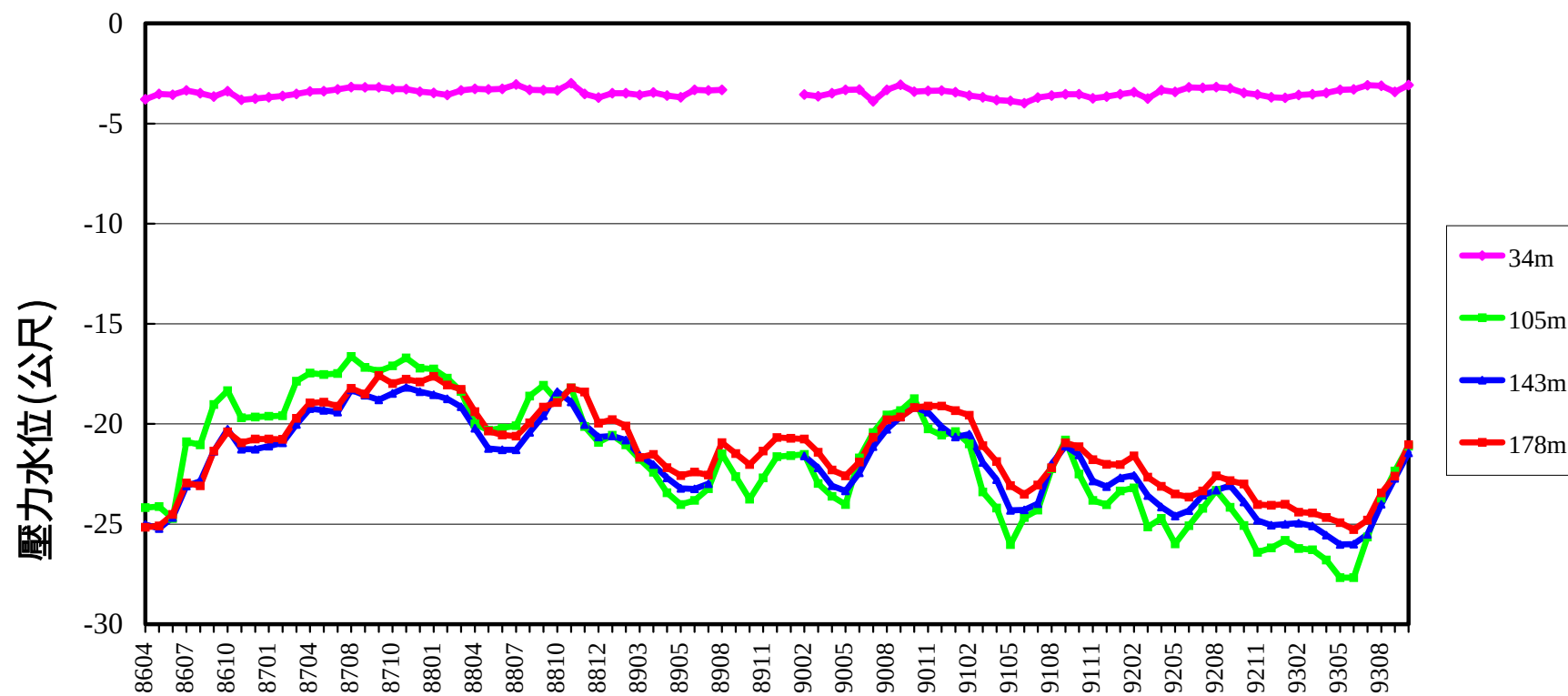
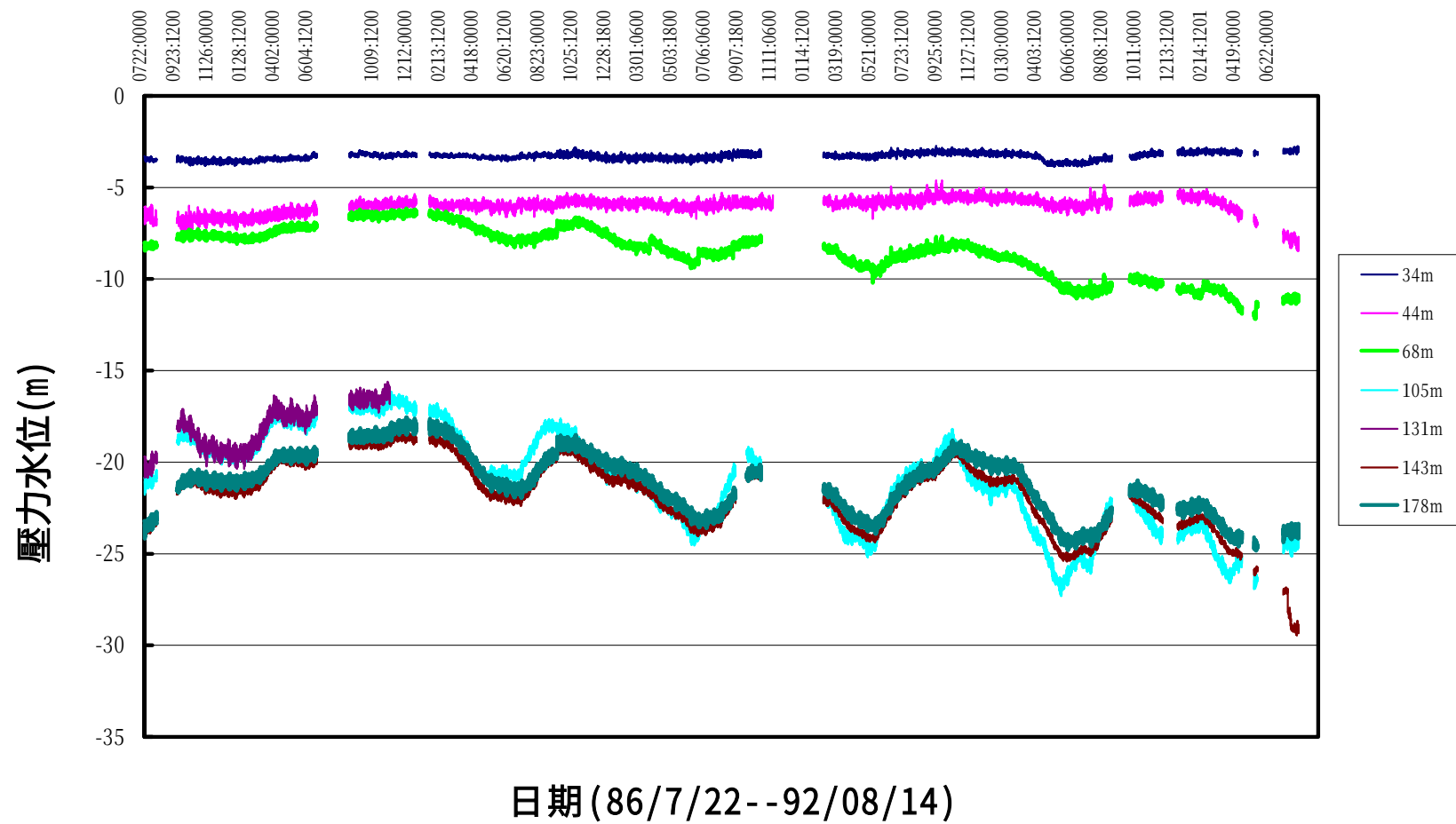


圖 5-11 布袋港深層水位變化(自記式)

布袋港(200m)分層水位變化(手動量測)



量測日期(86年4月-93年10月)
圖 5-12 布袋港分層水位變化(手動量測)



2. 300m

於 90 年度選擇位於沉陷監測井旁之適當位置安裝兩孔深層水壓監測井，分別為 100 公尺及 300 公尺，每孔埋設四支水壓計，其深度為 35m、50m、85m、103m、150m、200m、250m、303m 共八支(如圖 5-8)，並自 90 年 9 月起進行定期量測，如圖 5-14 顯示，35 及 50m 之水位介於 -2.4 -3.5m 之間，屬淺層水位，85 及 103m 為較深層之水位介於 -15 -24m 之間且屬同一含水層，其中以 91 年 5 月及 93 年 6 月之水位分別降至 -22m 及 -24m 較明顯變化，150m 及 200m 之水位介於 -19.2 -23.3m 之間亦屬同一含水層，250m 深層之水位介於 -21~27m 之間，而 303m 之水位又屬另一含水層，其水位介於 -22~-25m 之間變化。

5.3.3 分層地層下陷分析

1. 200m

為了探討布袋港不同深度之壓縮行為，於港區第二期海埔地西北角隅之位置，設立 200m 深之分層地層下陷監測井，分別在深度 8、16、30、41、56、66、76、85、100、110、120、131、140、157、170、181、190、200m 之位置安裝一個沉陷磁環，共 18 個磁環，每個月之中旬定期以無線電波監測儀量測各沉陷磁環之相對移動變化量，以分析不同深度地層之壓縮量，資料值由鈰鋼尺上之刻度讀取，其最小刻度為公厘。

圖 5-15 為至民國 93 年 10 月止，不同深度地層之壓縮量，以柱狀圖形表示，負值表壓縮，正值表回脹，圖中所有的量測數值均以地表為參考點所計算之相對壓縮量，由圖 5-15 可發現較淺之地層壓縮量較小，壓縮量較大之地層為 140、157m 及 170、181m 之深度，而此地層屬粘土層，且深層超抽地下水較嚴重，因此壓縮量較大。

圖 5-16 為不同時期不同深度之感應磁環相對於地表感應磁環之累積曲線比較圖，由圖 5-16 顯示，從 86 年 2 月至 93 年 10 月之 7 年 8 個月期間，布袋港地表至 200 公尺間之沉陷總量為 392 公厘，而其中 140、200m 之沉陷量 201 公厘，約佔總沉陷量之 51%，由此資料顯示，布袋港第二期海埔地區之沉陷屬於深層沉陷。

布袋港(300m)分層水位變化(手動量測)

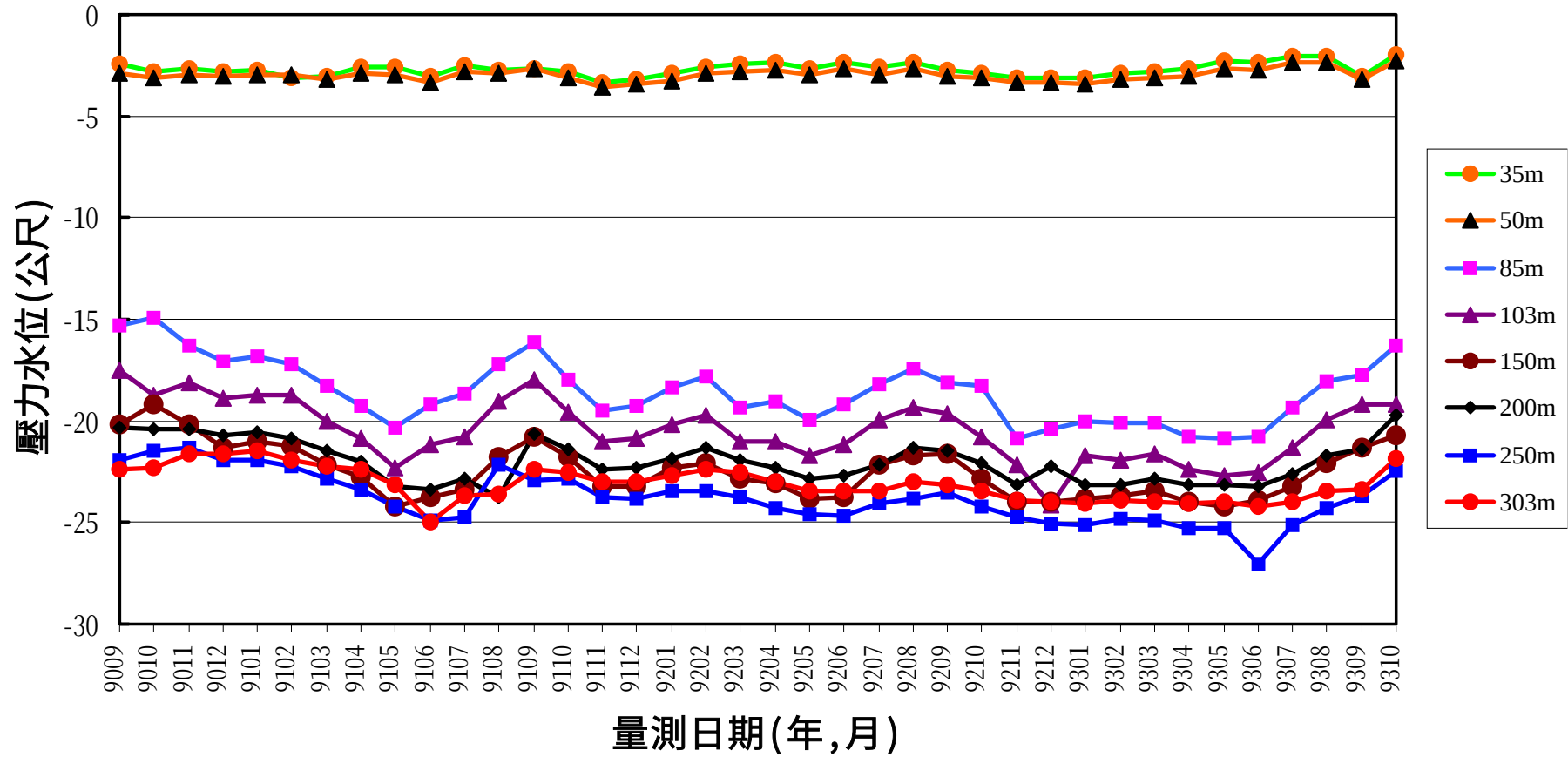


圖 5-14 布袋港分層水位變化(手動量測)

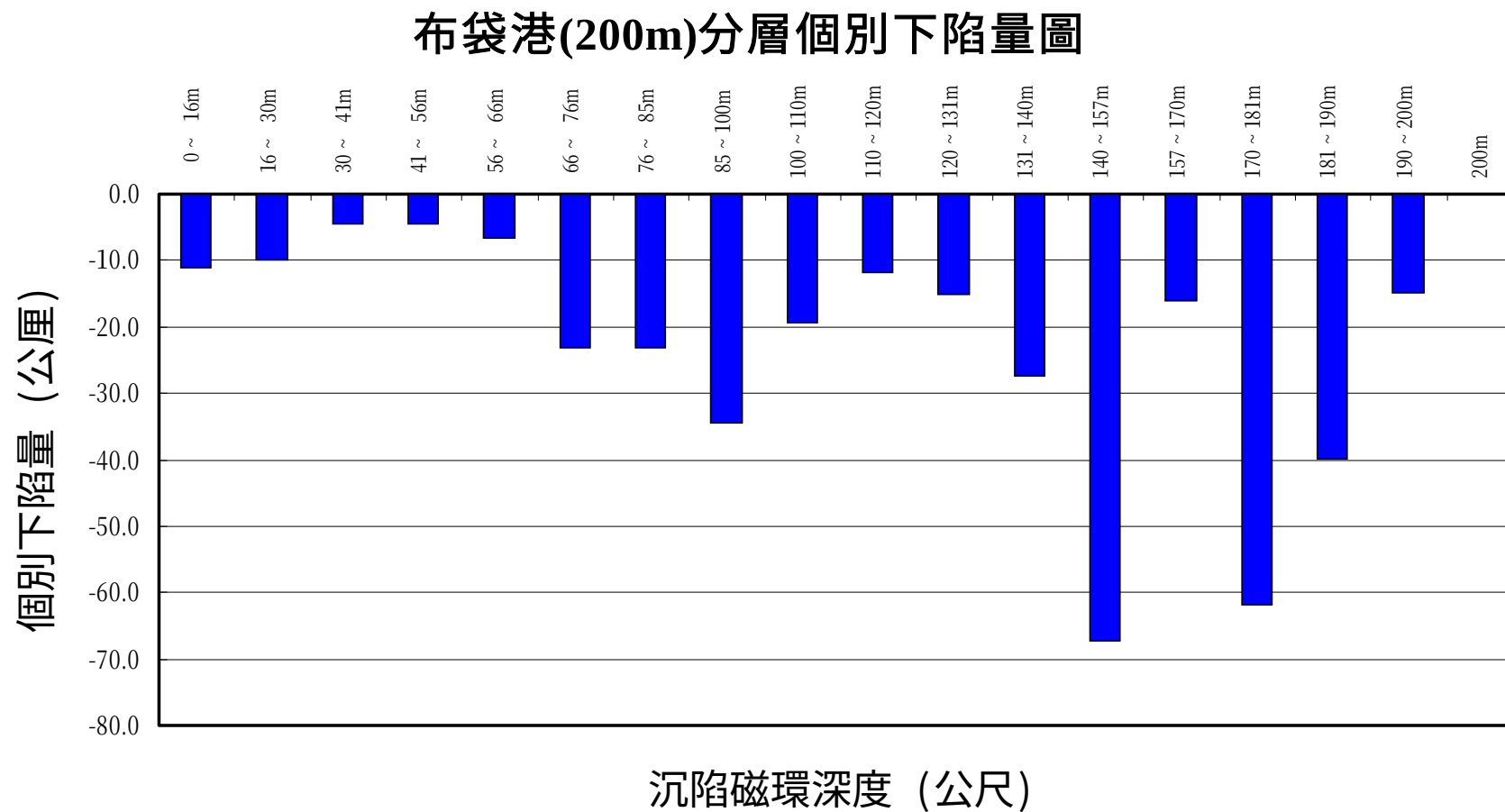
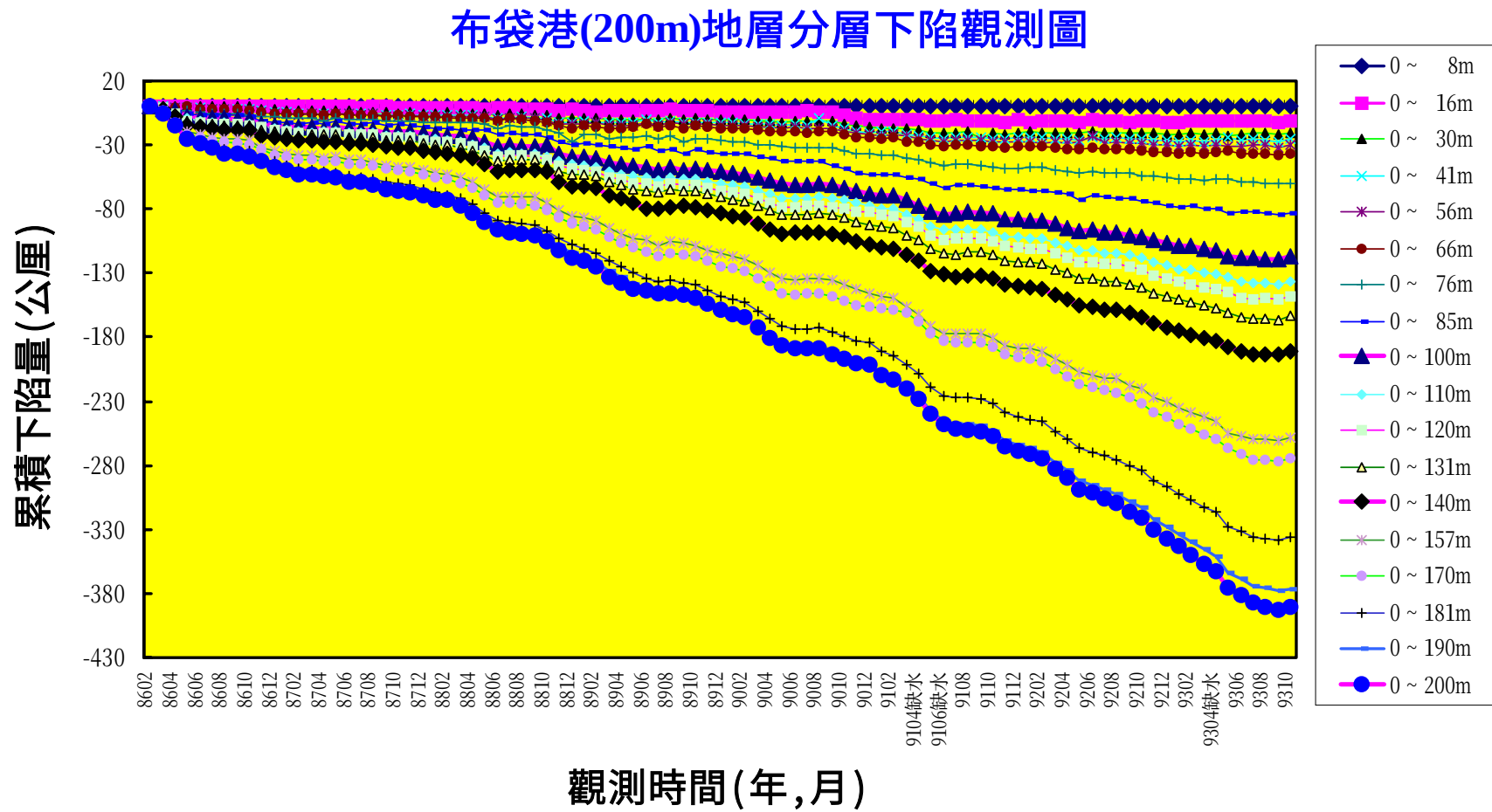


圖 5-15 布袋港分層個別下陷量圖



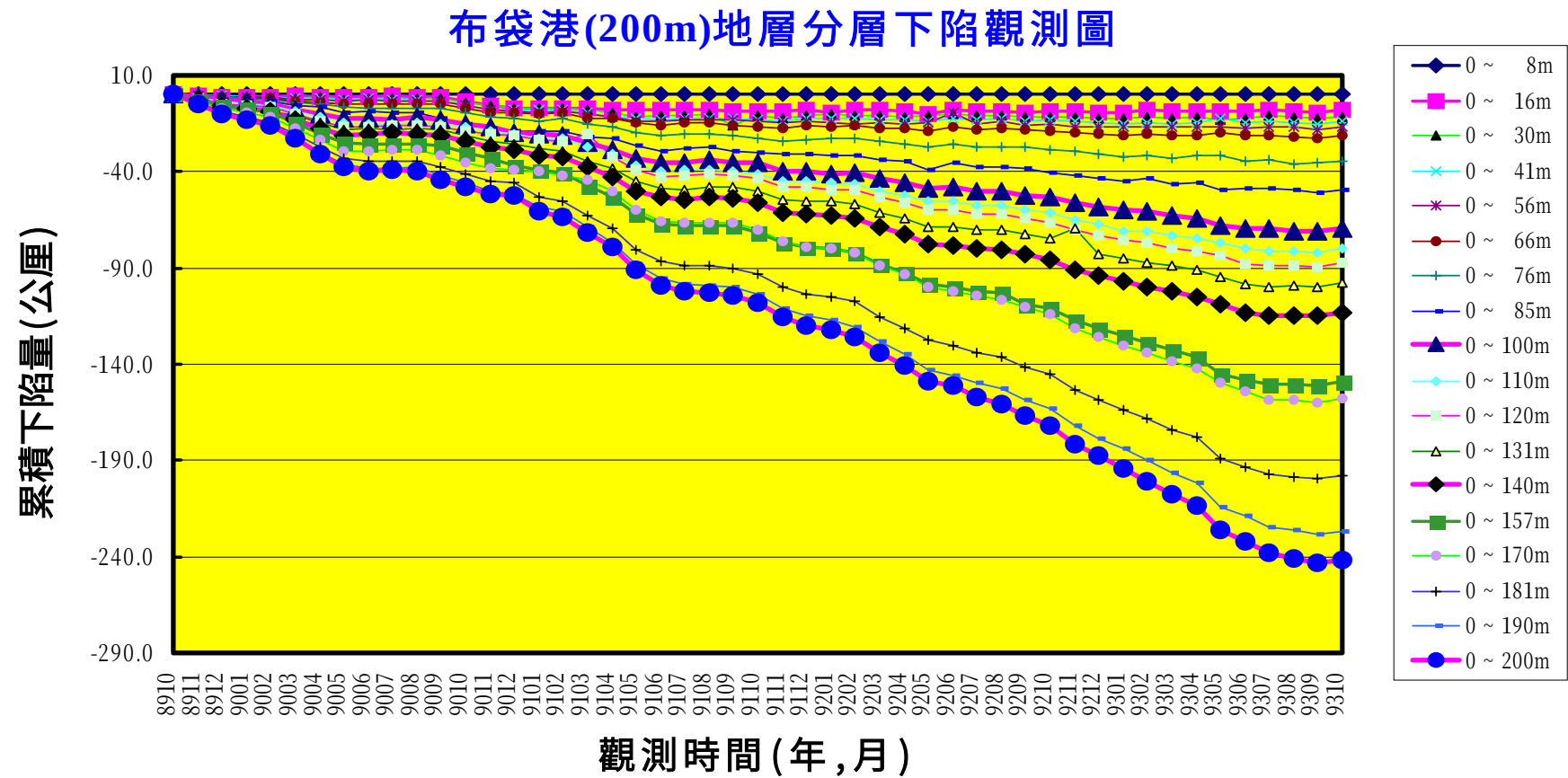


圖 5-17 為 89 年 10 月至 93 年 10 月止期間之累積沉陷總量 240 公厘

2. 300m

另於商港近南堤之砂石碼頭區，亦完成設置 300 公尺深之地層下陷監測井，分別於深度 3、7、11、21、31、35、51、66、83、94、102、109、112、123、134、142、156、163、178、190、202、212、218、231、241、261、278、285、294、300m 之位置各安裝一個沉陷磁環，共計 30 個(如圖 5-8)。圖 5-18 為至民國 93 年 10 月止，不同深度地層之個別壓縮量，可發現較深之地層壓縮量較小，壓縮量較大之地層為 66~83m 及 94~102m 之深度，而此地層屬粘土層，因此壓縮量較大。

由圖 5-19 分層觀測圖顯示，自 89 年 10 月~93 年 10 月止，4 年之沉陷總量約 39.8 公分，分別為 90 年沉陷量約 7.40 公分、91 年沉陷量約 7.07 公分、92 年沉陷量約 11.55 公分、93 年沉陷量約 13.68 公分，監測期間 90 年 8 月時該區進行鑿井，導致 90 年較 91 年沉陷大，92 年 2 月時該區再進行新填土約 2m，導致 92 年及 93 年沉陷增大許多。各分層沉陷量大約可區分為 7~66m、66~102m、102~190m、190~300m 等 4 個層次來分析，其中以 66~102m 之累積沉陷量 14.9 公分，所佔比例最大，約佔總沉陷量之 37%，102~190m 之沉陷量為 16.1 公分約佔總沉陷量之 40%，190~300m 之沉陷量較少為 1.9 公分，約佔總沉陷量之 5%，綜合以上得知，66~190m 深度之累積沉陷量為 31 公分約佔總沉陷量之 77%，與 200m 監測井監測結果比較，總沉陷量較大一些，而且主要沉陷之深度不同，因此需要進行長期之監測，再進一步探討原因。

5.3.4 相關性分析

1. 200m

綜合上述地質、雨量、分層地下水位及分層地層下陷之分析，本節簡要之探討其間之相關性。淺層地下水位屬於局部性，其受港區抽

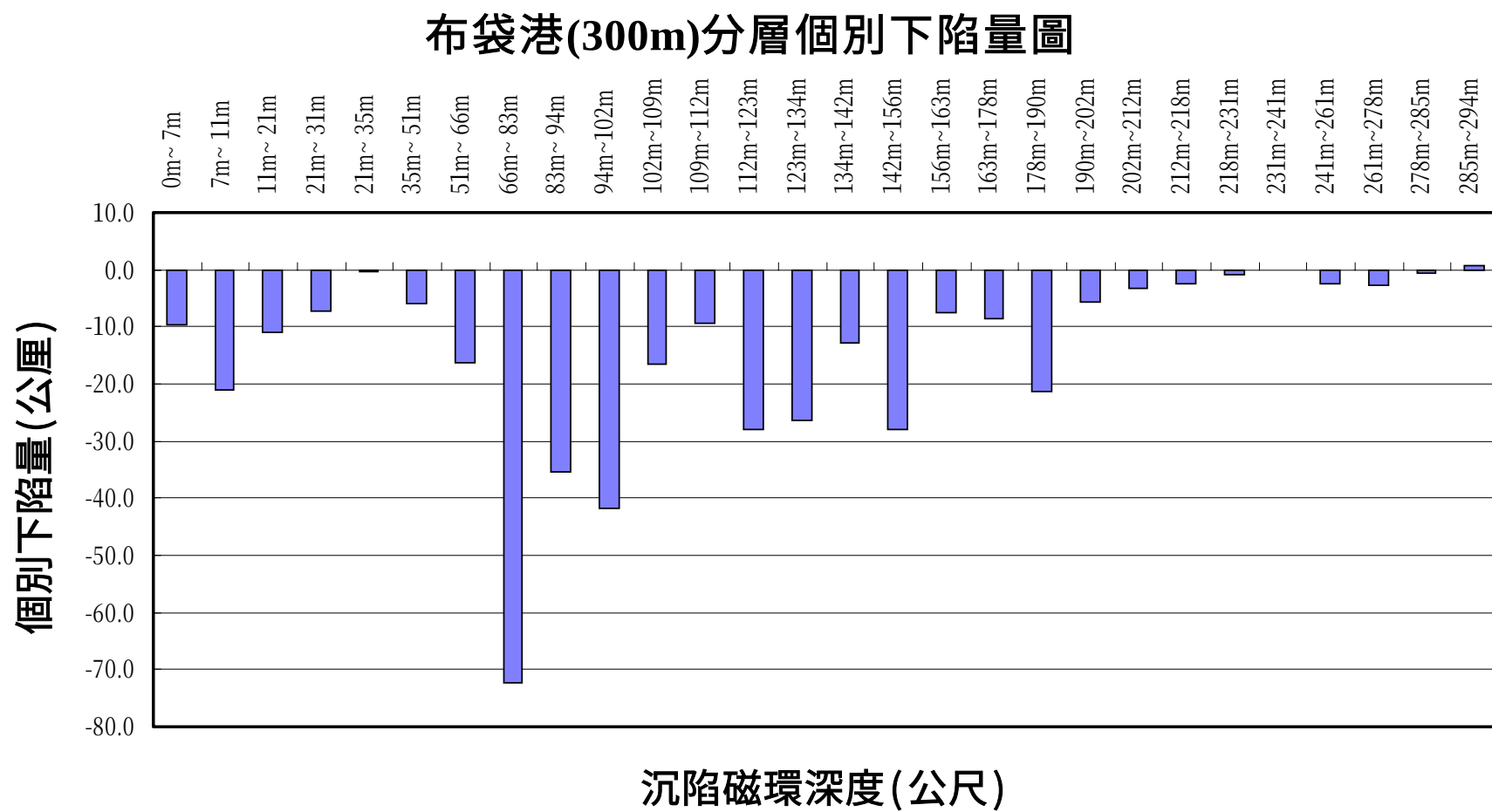


圖 5-18 布袋港(300m)分層個別下陷量圖

布袋港(300m)地層分層下陷觀測圖

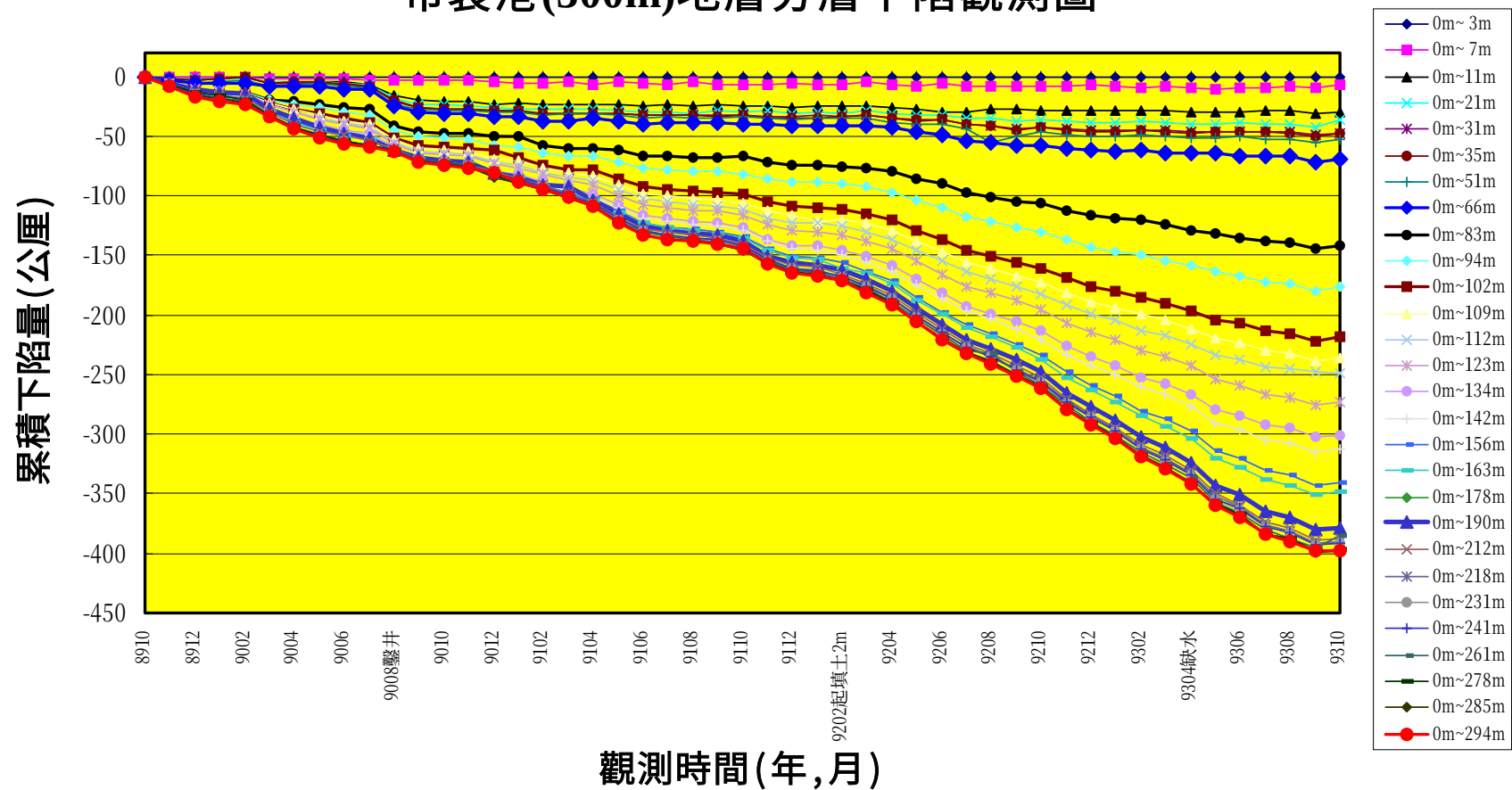


圖 5-19 布袋港(300m)分層累積下陷量圖

水之影響，若是鄰近區域之抽水，則較不影響，而深層之地下水位屬於區域性，港區及附近區域之抽水皆會對其影響，由於港區並無抽水現象發生，淺層水位應無多大變化，但淺層水位除了受漲退潮之潮位影響外，受到雨量之影響最大，7、8 月雨季時，水位上升，11、12 月旱季時，水位下降，因此淺層土層若無抽水引致壓密水位下降之影響，僅受季節性雨量之影響，則淺層土層僅會因水位上升受解壓而微小之膨脹，水位下降時受再壓而微小之壓縮，整體而言不太會有沉陷發生，此可由圖 5-15 及圖 5-16 得知，8m ~ 16m 之土層僅少量壓縮得到說明，而 34m 之地下水位，雖屬淺層水位，但由於 9.5 ~ 11.6m 有沉泥層，14.1 ~ 32.8m 有細砂夾多層之薄粘土，因此 34m 之水位已非純自由水位而是半受壓水位，因此附近區域之抽水亦會影響其水位變化，而由表 5-4，水井之調查，布袋鎮 10 ~ 30m 之水井有 909 口，是淺層抽水之主要深度，故 34m 之水位於 11、12 月旱季時因抽水較多，而水位較低，致使淺層土壤 0 ~ 41m 亦有些壓縮量。而深層之地下水位理應較不受到雨量變化之影響，而受到深層抽水之影響較大，其中 44m 之水位無多大變化，雖然 41 ~ 66m 土層大多為粘土層或沉泥層，其土層壓縮量亦極小。而 68m 之水位變化較 44m 水位為大，又 66 ~ 85m 之土層大多為粘土層或沉泥層其土層之壓縮量較大；105m、131m、143m、178m 處之水位變化極為明顯，因此 85 ~ 200m 之土層沉陷亦很明顯，100 ~ 200m 之水位屬於較深層之水位，理應不太受雨量分佈之影響，若有受雨量補注之影響亦應有一段延遲現象，但此處深層水位，卻於 7、8 月雨季時水位逐漸上升，11、12 月旱季時水位逐漸下降，其原因何在？依本研究之見解，乃因雨季時地面水源充足，附近工業區或漁塭區減少使用地下水，而較少抽水，故深層水位上升，而旱季時，地面水源缺乏，引起附近工業區或漁塭區，大量抽取地下水，致使深層水位急速下降，亦引發深層之地層下陷。而由圖 5-16 分層沉陷顯示：壓縮量較大之位置，大多發生在抽水層鄰近深度之粘土層，即發生在砂土層厚度較大之鄰近的粘土層，如 131 ~ 157m，170 ~ 180m 即是抽水層鄰近之粘土層，其壓縮量最大。另由表 5-4 水井之

調查，可發現 150m 深以上之水井有 319 口，佔抽水井之比例極高，因此 143m、178m 之水位最低且變化大，因此沉陷量亦大，由分層沉陷資料圖 5-16 顯示，140 ~ 200m 之沉陷量約佔總沉陷量 51%。

2. 300m

因 300m 監測井相關性資料有限，由水位變化及分層沉陷等量測資料圖 5-14、5-18 及圖 5-19 顯示分析，總沉陷量自 89 年 10 月 ~ 93 年 10 月止約 398 公厘，其中以 66 ~ 102m 之土層沉陷量 149mm 為最大，0~11m 之沉陷量 29mm 次之，依據柱狀圖 5-8 所示，65 ~ 80m 及 92 ~ 101m 土層皆為粘土層，其土層之壓縮量較大，因適逢旱季且 80 ~ 92m 及 101~107m 水層又受到超抽地下水之影響，水位明顯降低，所以沉陷量亦最大。而 0~11m 之沉陷則為鑿井及填土荷重引起之沉陷。

表 5-4 嘉義縣布袋等十鄉鎮市各井深水井數量數量(民國 84 年)

單位:口

井深(m) 鄉鎮市別	10 以下	10-30	30-50	50-80	80-100	100-150	150 以上	合 計
東石鄉	454	811	114	169	271	343	283	2,445
布袋鎮	312	909	84	21	53	178	319	1,876
朴子市	58	1,498	1,099	271	81	141	108	3,256
義竹鄉	109	918	401	115	17	29	311	1,900
六腳鄉	10	2,280	500	151	53	21	13	3,028
太保市	143	1,155	641	88	27	72	32	2,158
新港鄉	215	3,895	410	26	16	224	52	4,838
民雄鄉	536	2,039	327	402	40	245	157	3,746
溪口鄉	254	1,970	212	66	48	86	42	2,678
鹿草鄉	776	549	189	489	167	28	6	2,204
合計	2,867	16,024	3,977	1,798	773	1,367	1,323	28,129
比例%	10.2	57.0	14.1	6.4	2.7	4.9	4.7	100

資料來源:民國 84 年嘉義農專調查結果

5.4 永久水準點觀測站

布袋港選擇第二期海埔地之綠地位置，設置一 400 公尺深之永久水準點觀測站，並於孔口處設置自動量測系統(如圖 5-20、5-21 所示)，可定期量測港區之沈陷量，亦可作為該地區實施水準測量時之引測點，現就設置方式簡述如下：

1. 外管安裝工作

- (1)於指定位置以鑿井機作業，進行直徑約 8 英吋，鑽孔深度為 408 公尺。
- (2)以適當的穩定液保護液面，不致使孔徑擴大崩孔。
- (3)備妥一套 372 公尺長有縫黑鋼管及 20 公尺長不銹鋼管(每根鋼管長 6M、外徑 141mm、厚度 4.5mm、CNS 2056)作為外套管，下管前每支鋼管標示連接編號及長度，並依標示之順序，逐一併排於地面上，再於外表塗擦二層以上之乳性瀝青，作防銹措施。
- (4)待鑿井深度到達地下 408 公尺後，取出鑿桿，再將前(第三)項之黑鋼管依編號逐一吊放至孔底，當作外套管以保護孔壁(鋼管間之聯接，以全滿焊接方式連結)。
- (5)回填已篩洗之中細砂至鑿井孔壁與外套管間之孔隙，使外套管牢固於孔壁。
- (6)鑿井過程並詳細記錄各土層變化資料，並製表參考。

2. 內管安裝作業

- (1)備妥一套 354 公尺長之有縫黑鋼管及 54 公尺長不銹鋼管(每根鋼管長 6M、外徑 89mm、厚度 4mm、CNS 2056)之作為內套管，下管前每支鋼管標示連接編號及長度，並依標示之順序，逐一併排於地面上，並進行內管(4' ϕ)NX 套管外部黃油塗裝作防銹措施。
- (2)將側向噴射灌漿鑽頭與 ϕ 89mm(厚度 4mm)之內管底部連接，然後將各內管以全滿焊接或鎖螺牙方式逐一連接、並每隔 18M 放置

一間隔器 逐漸吊放至鑽孔內，待內管前端(最底部)確定達到 408M 後，則施作高壓灌漿作業。

(3)施作側向高壓灌漿時，需配合漿液流量將內管慢慢旋轉並提升到 407M，待灌漿完畢，即可立刻將內管壓入水泥柱內至 408M，即可固定內桿。

(4)安裝完成內管後，於管內灌入 1:1 水泥砂漿至管頂。

(5)最後以乳性瀝青填充內外管間之空隙，管口則以螺帽作保護，螺帽頂焊接不銹鋼珠作水準測量之參考點，則完成安裝工作。

5.5 小結

1.由布袋港 200m 之地下水位監測結果顯示：淺一層(34m) 水位約在 -3.3m~3.7m 間反復振盪，淺二層(44m) 水位由-7m 漸升至-5.5m 自 92 年 3 月開始下降由-5.5 漸降至-8m，而淺三層(68m)水位自 87 年開始下降由-6.3 漸降至-12m;深層之 105m、143m 及 178m 處之地下水位已分別降至-28m、-26m 及-25.3m，由此可知，布袋港區內雖無超抽地下水之現象，而布袋港附近地區超抽深層之地下水，致使港區之深層水位受影響而且有逐年下降之趨勢。

2.由布袋港舊填土區之 200m 地層下陷監測井監測結果顯示：自 86 年 2 月 93 年 10 月止，近 7.5 年之沉陷總量約 39.1 公分，分別為 86 年沉陷量約 5 公分、87 年聖嬰年沉陷量約 3 公分、88 年沉陷量約 4 公分、89 年沉陷量約 5 公分，90 年沉陷量約 5 公分，91 年沉陷量約 5.5 公分，92 年沉陷量約 6.5 公分，93 年沉陷量約 6.9 公分，其中百分之五十之沉陷在深度 140~200 公尺處發生，百分之二十五之沉陷在深度 66~110 公尺處發生，因此在監測深度 200m 之外，即較 200m 以上更深之處亦可能有沉陷發生。

3.由布袋港 300m 之地下水位監測結果顯示：35 及 50m 之水位介於-2.4 -3.5m 之間，屬淺層水位，85 及 103m 為較深層之水位介於-15

-24m 之間且屬同一含水層，其中以 91 年 5 月及 93 年 6 月之水位分別降至-22m 及-24m 較明顯變化，150m 及 200m 之水位介於-19.2 -23.3m 之間亦屬同一含水層，250m 深層之水位介於-21~27m 之間，而 303m 之水位又屬另一含水層，其水位介於-22~-25m 之間變化較小。

- 4.由布袋港新填土區，約於 87 年填土 4-5m，92 年再填土約 2m，其 300m 地層下陷監測井監測結果顯示：自 89 年 10 月 93 年 10 月止，4 年之沉陷總量約 39.8 公分，分別為 90 年沉陷量約 7.40 公分、91 年沉陷量約 7.07 公分、92 年沉陷量約 11.55 公分、93 年沉陷量約 13.68 公分，監測期間 90 年 8 月時該區進行鑿井，導致 90 年較 91 年沉陷大，92 年 2 月時該區再進行新填土約 2m，導致 92 年及 93 年沉陷增大許多。各分層沉陷量大約可區分為 7~66m、66 102m、102 190m、190 300m 等 4 個層次來分析，其中以 66 102m 之累積沉陷量 14.9 公分，所佔比例最大，約佔總沉陷量之 37%，102 190m 之沉陷量為 16.1 公分約佔總沉陷量之 40%，190 300m 之沉陷量較少為 1.9 公分，約佔總沉陷量之 5%，綜合以上得知，66 190m 深度之累積沉陷量為 31 公分約佔總沉陷量之 77%，與 200m 監測井監測結果比較，總沉陷量較大一些，而且主要沉陷之深度不同。

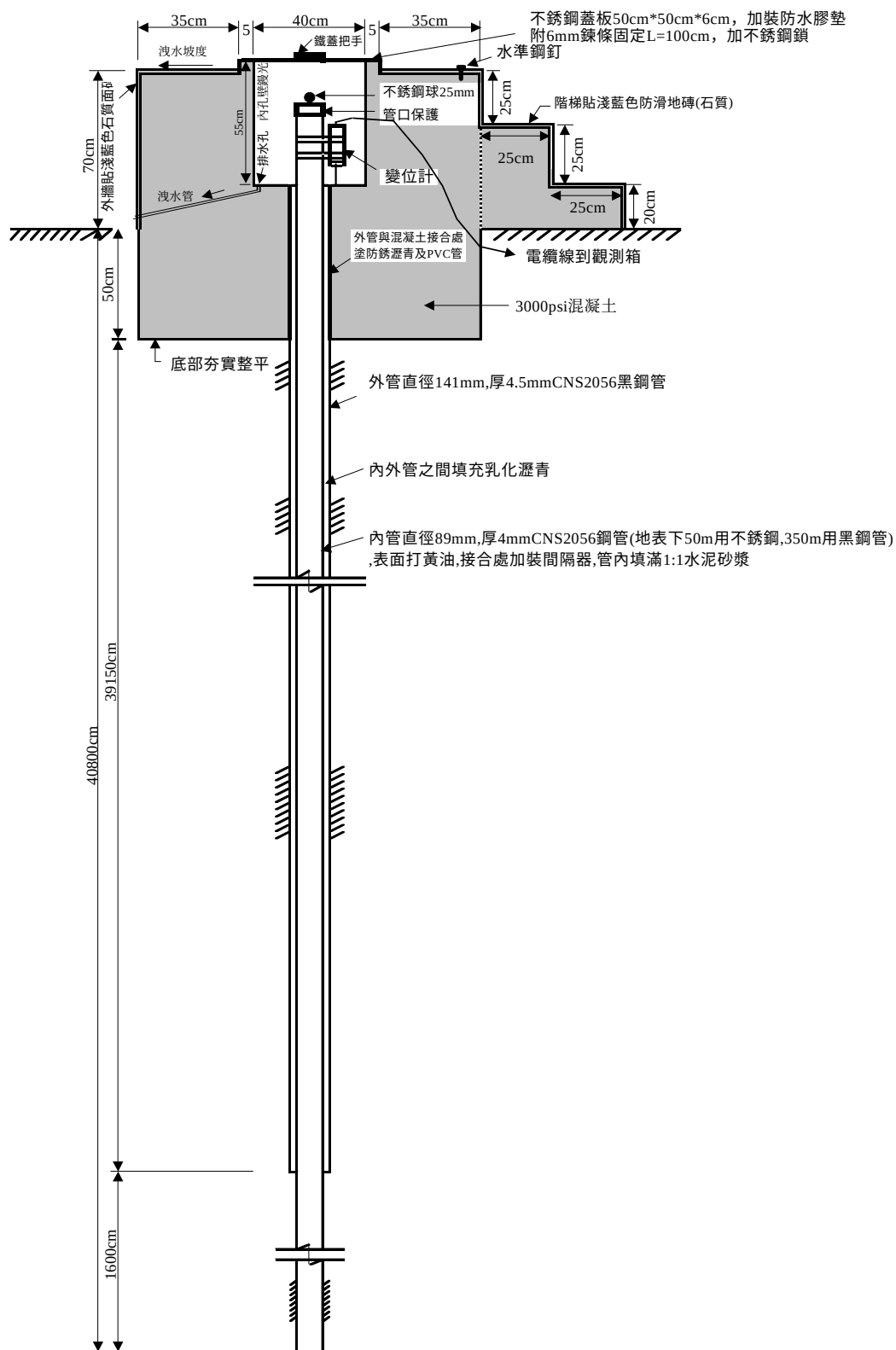


圖 5-20 布袋港永久水準站安裝示意圖



圖 5-21 布袋港永久水準點觀測站

第六章 地表沉陷水準測量

6.1 水準測量檢測範圍及測量環線

布袋地區水準測量路線分為兩個部分，一為檢測台一線嘉義至新營段一等水準點並引測大迴路基線，進行基線檢核及水準沉陷檢測，一等水準測量路線為沿台一線自嘉義縣水上鄉水準點「G1135」至台南縣新營市一等水準點「內部 078」；大迴路基線測量路線為自台一線一等水準點「內部 078」往西沿南 76 線、南 74 線、台 172 線、轉北沿台 17 線、往東轉 170 線閉合至台一線一等水準點「BM9803」，里程共約 65 公里。另沿台 19 線自嘉義縣朴子市監測點「水資嘉 12」至義竹鄉水準點「嘉 23」進行檢核線之水準測量，里程約 10 公里；一為進行布袋鎮及布袋港區監測點水準測量，里程共約 13 公里，本次測量工作範圍如圖 6-1、圖 6-2 所示，測量環線，如圖 6-3、圖 6-4 所示。

6.2 水準測量作業方法與規範

水準測量作業的重點是藉由測量程序與步驟的安排來消弱誤差的影響。野外作業相關之方法與規範參考交通部運輸研究所港灣技術研究中心委辦測量規範、內政部規範及聯勤總部測量隊之作業手冊而釐定作業準則手冊，有關於規範部分簡述重點如下：

- (1) 水準點之間各測段均作往返測量，且按先往測再返測順序進行。
- (2) 控制系統檢測，各測段的往測與返測的差值，其允許誤差為 $3\text{mm}\sqrt{k}$ （ k 為公里數）。
- (3) 主水準路線，各測段的往測與返測的差值以及環線的閉合差，其允許誤差為 $3\text{mm}\sqrt{k}$ （ k 為公里數）。
- (4) 兩水準點高程觀測應由同一台儀器自一水準點出發，閉合於另一水準點，不可用不同水準儀施測於臨時節點的高程值相加組合。



圖 6-1 嘉義縣沉陷水準測量檢測範圍

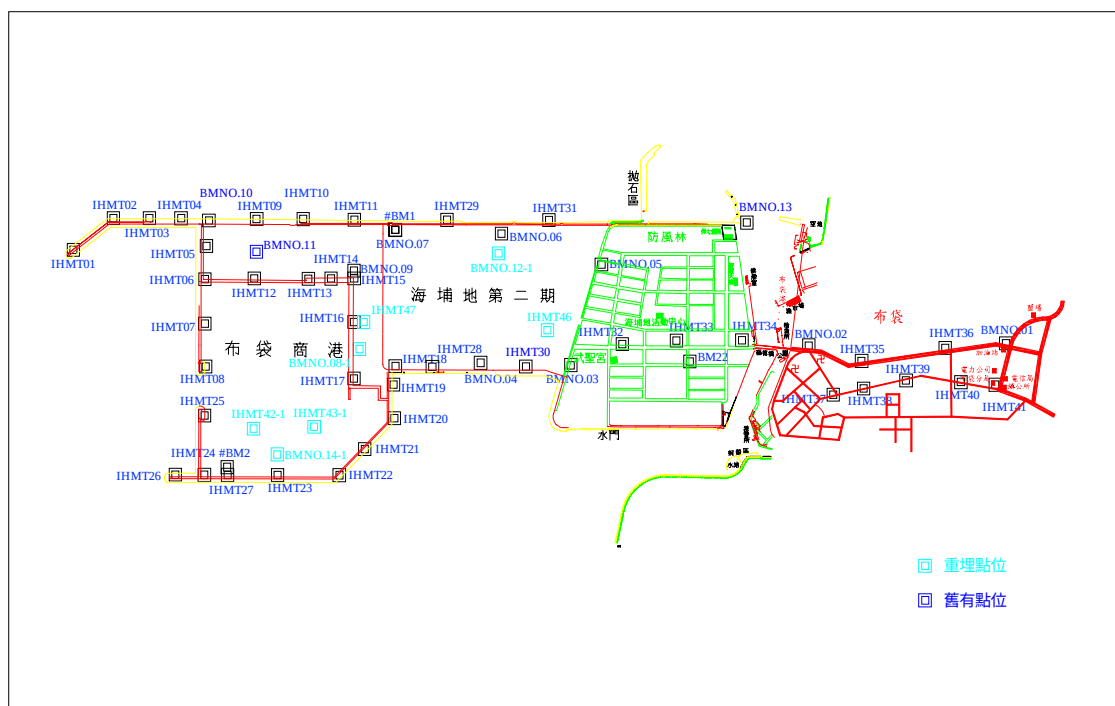


圖 6-2 布袋港區沉陷水準測量檢測範圍

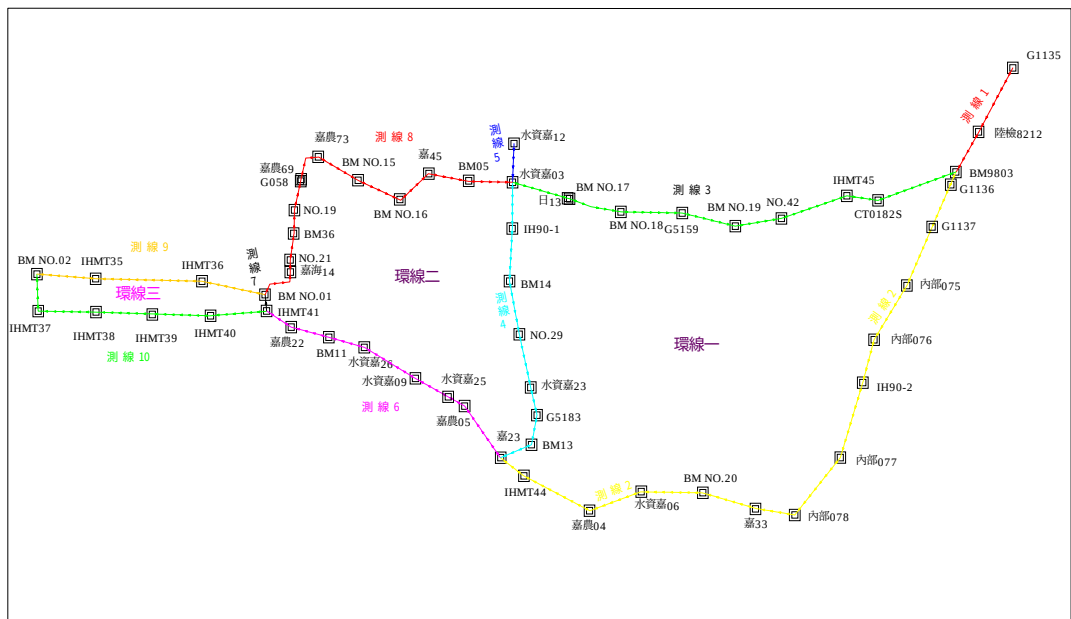


圖 6-3 嘉義縣沉陷水準測量測線、環線佈置圖

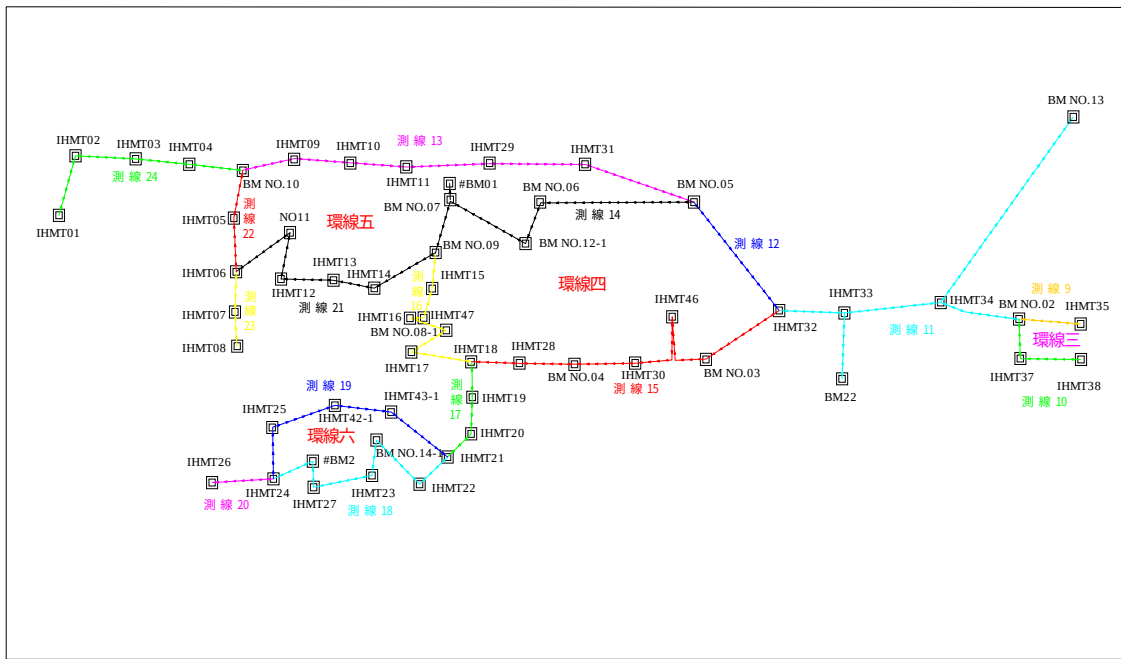


圖 6-4 布袋港區沉陷水準測量測線、環線佈置圖

- (5)水準測量使用的儀器是 Zeiss Dini-11 一等精密電子自動水準儀，配合精密鈹鋼尺作業，精密鈹鋼尺皆附有圓形水準器及扶尺，減少標尺的晃動。
- (6)觀測時標尺與儀器距離約五十公尺，前後視距約相等，以減除視準軸誤差及折光誤差。作業時觀測手配備雷射槍，達到快速量距及精準調整前後視距相等；最大前後視距差：每一測站前後視距差不得大於 1 公尺。
- (7)各測段以直接水準測量進行往返觀測，各節點為同一標尺放置(即測站的次數為偶數)。
- (8)往返兩次觀測整置儀器及標尺位置不得為同一地點。亦不可用反號之結果作為返測或往測。
- (9)高程所有計算及提送成果均至公尺後小數點第五位。

水準測量內業成果計算的檢核分為三個階段，首先檢討每一測段往返高程差的差值是否小於規範允許誤差的限定值，如超過則必須重測。第二階段依幾何條件檢核閉合誤差，判定環線閉合網的閉合差是否小於規範允許誤差的限定值。經過前二個階段的品管處理，可挑選出觀測誤差較大的觀測值，並進一步判定是否重測以提高精度。第三階段依據最小二乘法理論整體平差，以高程差為觀測量，距離的倒數為權，組成間接觀測方程式，整體平差並加入觀測值的可靠度分析。

6.3 水準測量分析

水準測量成果分析分為控制系統分析、環線分析、水準網平差分析三個步驟，控制系統分析目的為確認高程起算基點屬穩定不具顯著的高程變化，以確保測區兩個時期具有相當的高程基準。環線分析目的乃應用幾何閉合條件，確認測量成果的內在精度。水準網整體平差階段提供高程平差成果、高程的精度指標、可靠度指標與數據偵錯。

6.3.1 控制系統分析

嘉義地區水準測量控制系統，由台一線嘉義縣劉厝附近一等水準點「內部 073」起，沿台一線公路至台南縣新營市一等水準點「內部 078」止，因劉厝「內部 073」已毀失，改以次點「BM9803」為起點，控制系統全長約 12.367 公里，觀測期間為民國九十三年六月。

嘉義地區地層下陷分析工作，往年經濟部水資源局及八十九年港灣技術研究中心主幹線係以嘉義縣水上鄉一等水準點「BM9803」為高程基準起算點。控制系統分析目的即為檢測主幹線測量高程差是否在測量允許誤差內，以判定計算固定點水準高程沒有顯著變化可資引用，以此點高程為固定值目的在和本港區去年的計算方法有一致性，確保下陷分析架構在相同基礎。

主幹線「BM9803」至「內部 078」本年度測量觀測高程差往返平均值為 7.92370 公尺。九十二年度測量觀測高程差往返平均值為 7.93080 公尺。本次測量成果與去年原高差相差 7.10mm，小於允許誤差 10.59mm，顯示主幹線路段地層穩定，檢測成果無誤，故仍採用「BM9803」為計算基準。

6.3.2 水準環線分析

嘉義縣布袋地區及布袋港區水準網各閉合環線的觀測精度分析如表 6-1，每個閉合環線的閉合差觀測精度皆在允許誤差內。

表 6-1 環線閉合差分析表

水準閉合 環線編號	測線關係	閉合環線 總長度(km)	環線閉合差 (mm)	允許誤差 (mm)
一	(02)-(04)+(03)	50.432	-0.89	21.31
二	(04)+(06)+(07)+(08)	33.031	-4.76	17.23
三	(07)+(09)-(10)	2.158	0.54	4.41
四	(15)+(16)-(14)+(12)	4.317	1.85	6.23
五	(21)+(22)+(13)+(14)	4.635	0.14	6.46
六	(18)+(19)	2.164	-1.88	4.41

6.3.3 水準網平差分析

水準測量平差一般常用的方法有水準幹線分級平差與最小二乘法整體平差。分級平差的步驟首先將主幹線依據已知高程值為閉合條件(或附合條件)，平差改正數依距離配賦平差，支線高程則再依所完成平差之主幹線高程為已知固定值條件，再去平差支線上的高程。此法簡易明瞭，缺點是誤差逐級傳播，若組成水準網形，偵錯與精度估計的分析都很困難。本作業採最小二乘法嚴密整體平差方式，平差原理係將所有水準點與節點以觀測距離之倒數為其權值，進行整體誤差配賦。

6.4 水準測量結果

由嘉義縣地區及布袋港區地表沉陷水準測量之分析，嘉義縣地區 89 年至 93 年之累積下陷如圖 6-5 所示，其中 92 年至 93 年之累積下陷如圖 6-6 所示；布袋港區 89 年至 93 年之累積下陷如圖 6-7 所示，其中 92 年至 93 年之累積下陷如圖 6-8 所示。

由圖 6-5 及圖 6-6 顯示，嘉義縣地區之下陷量，由東向西逐漸增加，至沿海之東石鄉及布袋鎮下陷量最大。布袋鎮 89 年至 93 年之四年累積下陷約為 20 公分，其中 92 年至 93 年之一年累積下陷約為 7 公分。

由圖 6-7 及圖 6-8 顯示，布袋港新填土區(商港區) 之下陷量，較布袋港舊填土區(第二期海埔地) 之下陷量大。布袋港新填土區(商港區)89 年至 93 年之四年累積下陷為 30-35 公分，其中 92 年至 93 年之一年累積下陷為 9-16 公分。布袋港舊填土區(第二期海埔地)89 年至 93 年之四年累積下陷為 23-27 公分，其中 92 年至 93 年之一年累積下陷為 6-7 公分。

由布袋鎮、布袋港舊填土區、布袋港新填土區近三年下陷量之比較分析顯示：布袋港新填土區下陷量最大，每年以 9 至 10 公分之速率沉陷中；布袋港舊填土區下陷量次之，每年以 6 至 7 公分之速率沉陷

中；布袋鎮下陷量較小，每年以 5 至 6 公分之速率沉陷中。

由海埔地填土沉陷量與地層下陷觀測井之記錄，及水準測量近三年下陷量之比較分析顯示：(1)200m 沉陷井：水準測量為 21.33 cm、觀測井之記錄為 19.33 cm、填土沉陷分析為 1 cm。(2)300m 沉陷井：水準測量為 36.90cm、觀測井之記錄為 31.29 cm、填土沉陷分析為 9 cm。由此可見布袋港之沉陷，大部份為附近地區超抽之地下水所造成之沉陷，而且水準測量之沉陷皆較與觀測井之記錄為大。

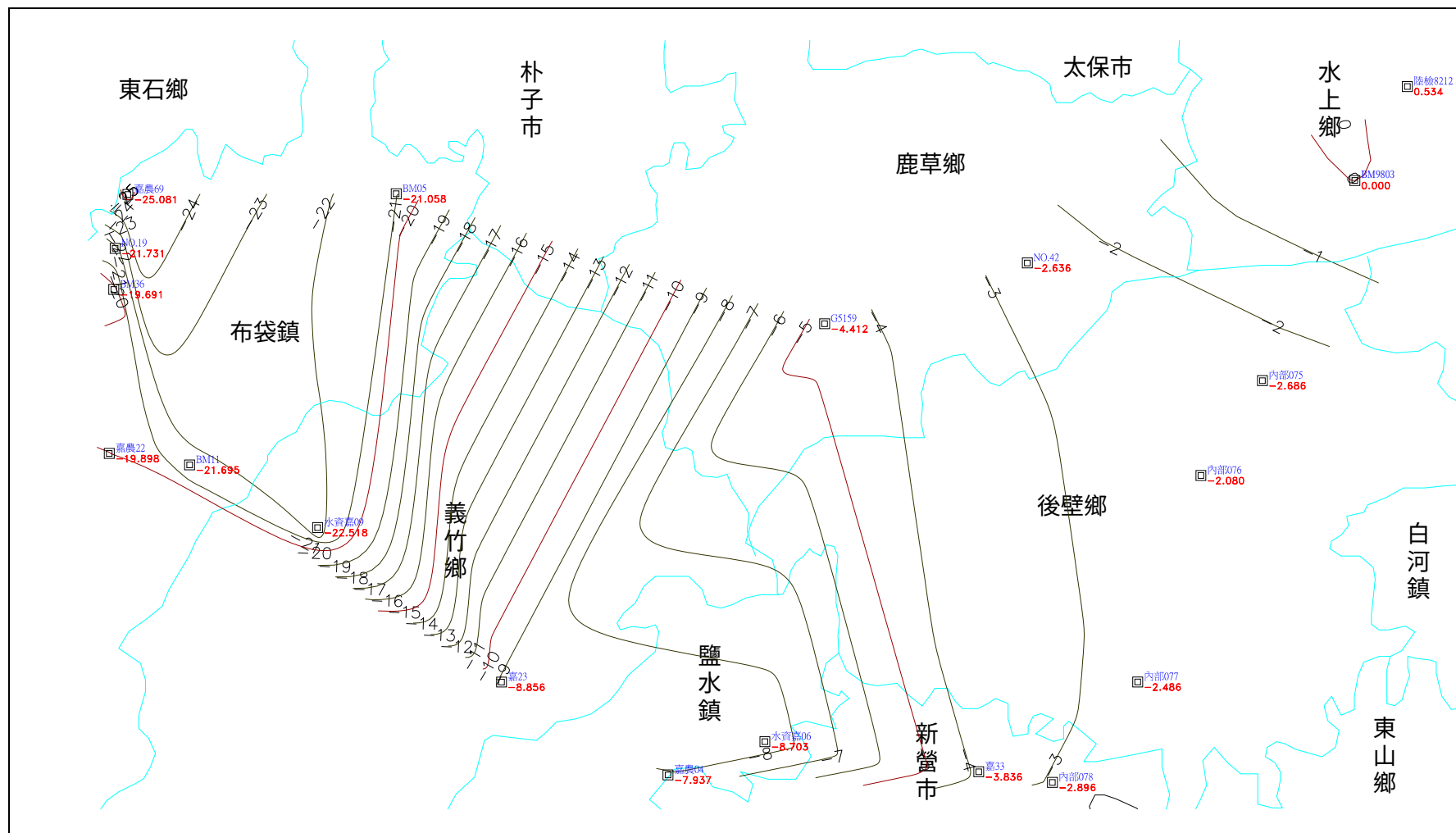


圖 6-5 嘉義縣沈陷測量 89 年至 93 年度累積下陷量圖(公分)

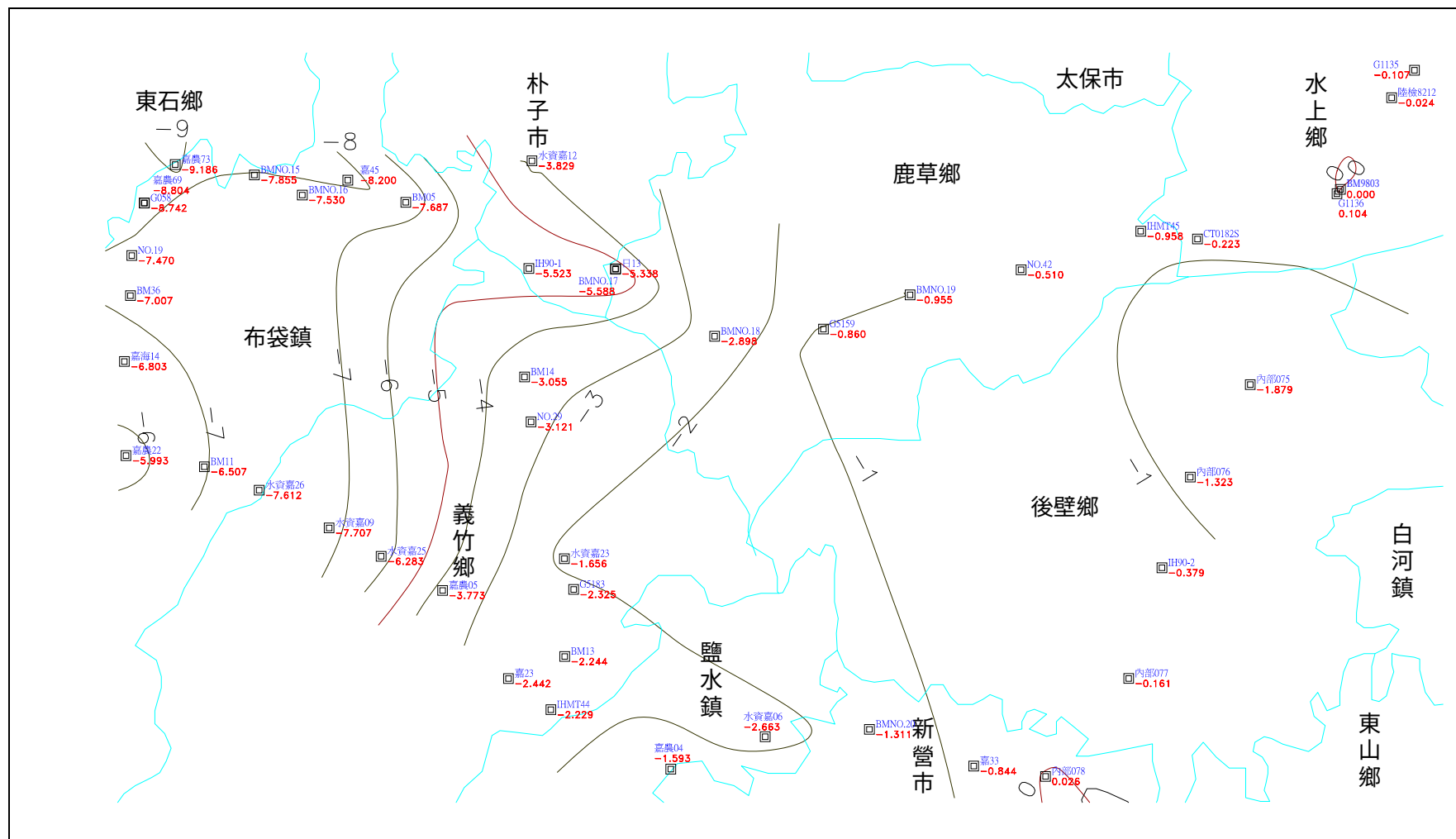


圖 6-6 嘉義縣沈陷測量 92 年至 93 年度累積下陷量圖(公分)

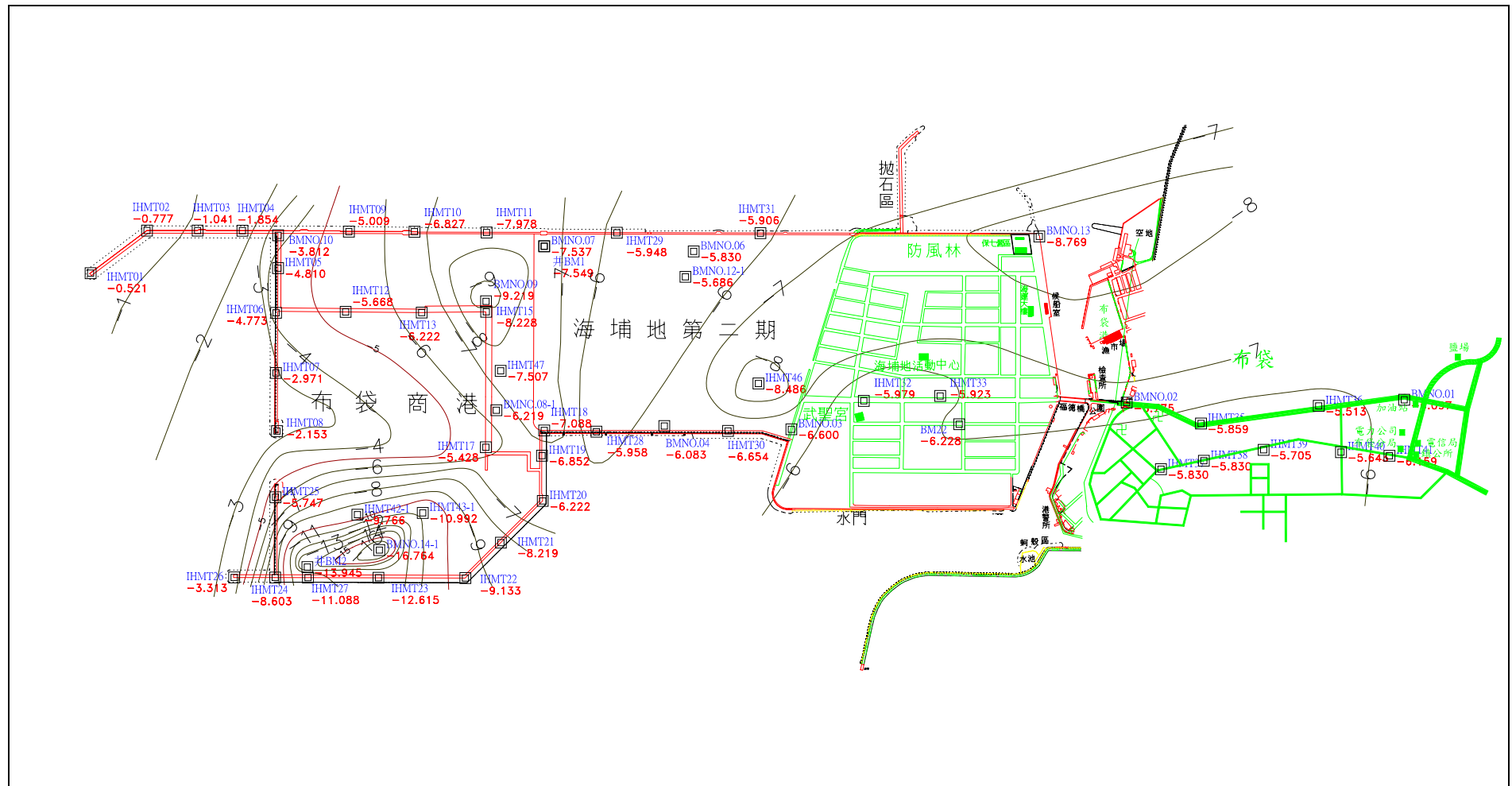


圖 6-8 布袋港區沈陷測量 92 年至 93 年度累積下陷量圖(公分)

第七章 地震與動態孔隙水壓監測

7.1 港灣地震反應監測系統

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，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

(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，設置於寬度空曠地區之地表，再以電纜線連接至室內之監測記錄器。

(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。

(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。

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，土壤之承载力會逐漸減低，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，土壤的承载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、海堤亦會因土壤液化增加之側向力，而產生向海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，本計畫在布袋港已完成設置一組 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，亦設置 1 組 35M、50M、85M、100M、150M、200M、250M、300M 之深層分層地下水壓監測系統，以監測港區平時之水壓變化，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。本計畫在布袋港已分別完成 1 組 200M 及 1 組 300M 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。

7.2 地震監測井設立概述

1. 監測規劃

本監測計劃選擇位於布袋港近南堤之砂石碼頭區(如圖 5-1)適當位置安裝地震及動態孔隙水壓監測儀器，布袋港監測站現況示意圖，如照片 7-1 所示，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、300M 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 7-1、7-2 所示，現就其內容概述如下：

- (1)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。
- (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、300M 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 Akashi AJE-8200 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，也可經連線傳輸至電腦的螢幕上觀看波形。
- (3)獨立式地震計及記錄器，本工程在布袋港砂石碼頭區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。



照片 7-1 布袋港地震及動態孔隙水壓監測站

2.儀器裝設

(1)電子式水壓計

本工程採用日本 Tokyo Sokki 生產，型式為電阻式 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 及 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 耐水壓型水壓計。

- (a)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。
- (b)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。
- (c)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。
- (d)第二組水壓計皆重覆(b)、(c)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 7-3 所示。

(2)埋入型地震計(JTS-003,JEP-4B3)

(a)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 $\phi 100\text{mm}$ 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。

(b)地震計埋設步驟

- a.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。
- b.鑽孔至埋設地震計的深度，分別為 10M、20M、100M、300M 等 4 孔。

- c.地震計接上不銹鋼索。
- d.地震計依所定的深度連接延長電纜線。
- e.地震計上方插入連桿(Rod)，連桿 1 支 2 米或 3 米。
- f.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。
- g.以電子式方位計調整深層地震計(300 米)的方向，如果是淺層地震計(100 米、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。
- h.調整地震計的垂直度。
- i.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。
- j.地震計固定後，再次檢查及測試。
- k.把 Rod 1 支 1 支拔出，至全部 Rod 拔出為止。
- l.再將細砂全部填入孔內直至地面。
- m.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。
- n.地面上設一不銹鋼保護蓋及水泥台保護措施。
- o.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 7-4、7-5 所示。

(3)表面型地震計(JEP-4A3)

- (a)表面型地震計主要是裝設在結構物及地表面上的感應器。
- (b)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。

- (c)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。
- (d)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。
- (e)地震計固定後，上方以不銹鋼保護蓋加以保護。

7.3 監測井之地質分析

根據地震監測站 300M 鑿井資料,其地層柱狀圖如圖 7-6 所示。

7.4 地震監測資料分析

布袋港地震儀及動態孔隙水壓監測系統之安裝工作，於元月剛完成，今年度雖未有強震之觀測資料,唯小地震非常頻繁,0.3gal 以上之地震觀測資料已有 40 多組，其各深度之最大加速度如表 7-1 至 7-23 所示。本文即以 40 多組初步探討布袋港震波放大特性。圖 7-7 為振幅較大之 331 之地震歷時圖。圖 7-8 為數組最大加速度隨深度變化圖。為探討布袋港震波放大特性，本文將 40 多組地震之各深度之最大加速度正規化，即將各深度之最大加速度除以地表之最大加速度。並加以統計迴歸分析，正規化之最大加速度隨深度變化之迴歸分析結果，如圖 7-9 所示，迴歸函數，如下列所示。其中由於地表之垂直向最大加速度記錄器仍在維修中,資料不正確,因此今年度未進行統計迴歸分析。

$$\text{東西向: } PGA = \exp(-0.29 * (\text{深度})^{0.27}) \quad R^2 = 0.94$$

$$\text{南北向: } PGA = \exp(-0.34 * (\text{深度})^{0.24}) \quad R^2 = 0.93$$

由圖 7-9 迴歸分析結果可發現: 自 300m 至 20m,其厚度達 280m 之地層，正規化之最大加速度由 0.26 放大至 0.52，約放大 2 倍；但自 20m 至地表，其厚度僅 20m 之地層，正規化之最大加速度由 0.52 放大至 1，放大亦達 2 倍；由此可知地震震波放大，主要來自淺層地層，

但深層地層之震波放大效應仍不能忽略。圖 7-10 為 Seed & Idriss (1971)有關應力折減因數隨深度變化範圍之研究, 由圖 7-9 布袋港震波放大特性初步探討結果亦可發現,布袋港淺層地層之震波放大稍大於 Seed & Idriss (1971)之平均值。

Idriss(1990)對軟弱地盤震波放大效應之研究結果, 如圖 7-11 所示, 由圖 7-11 可發現: 震波放大有非線性效應, 即各最大加速度值之震波放大效應不同。因此為進一步探討布袋港震波放大效應之非線性, 本文亦分析布袋港震波放大倍率與最大加速度之關係, 如圖 7-12 所示。由圖 7-12 可發現: 布袋港震波放大倍率約於 2.5-5.5 倍之間,平均約為 4 倍,由於皆為小地震,並未發現有非線性效應,俟有一些大地震時再進一步分析。

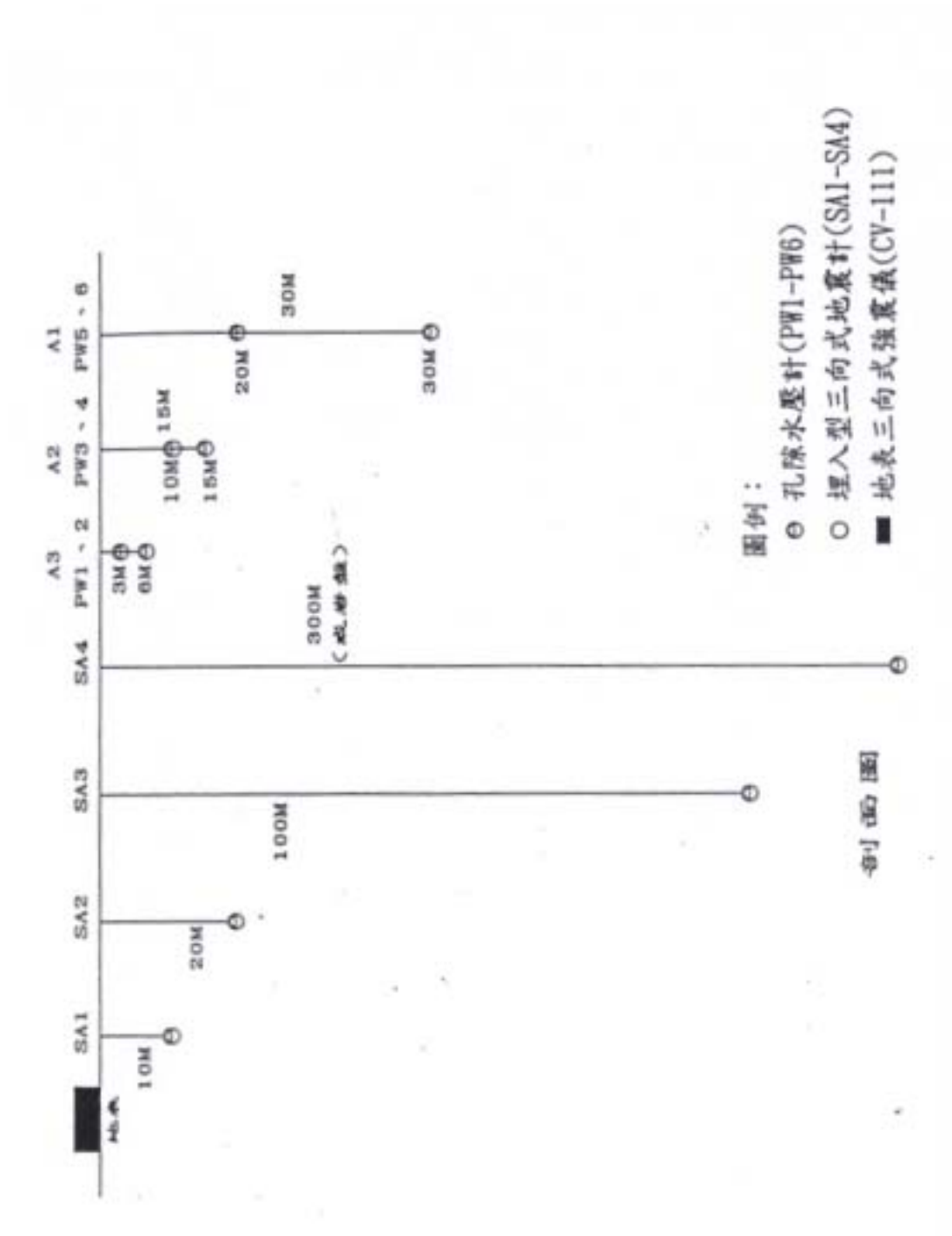


圖 7-2 地震及動態孔隙水壓監測儀器埋設剖面圖

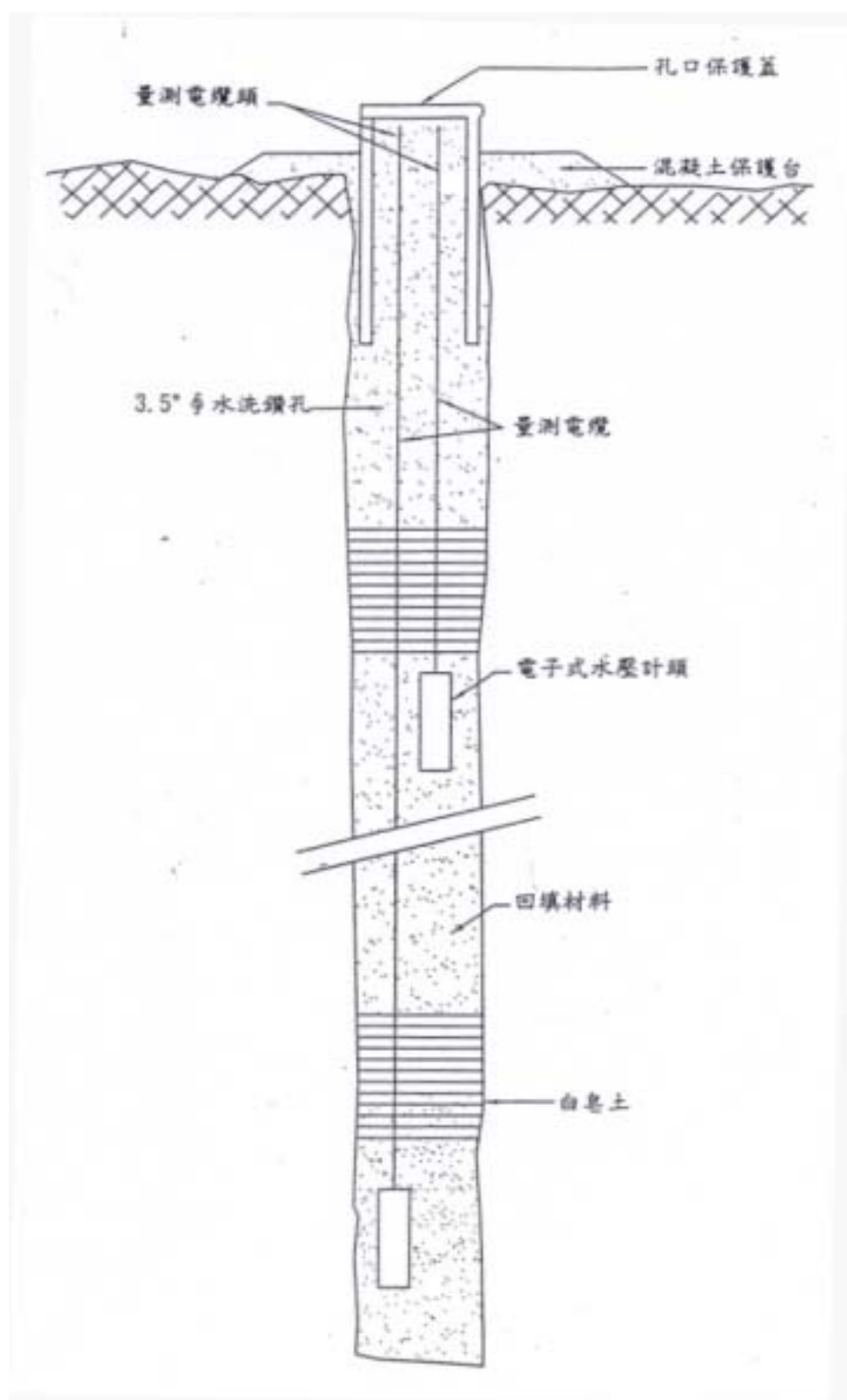


圖 7-3 電子式水壓計安裝示意圖

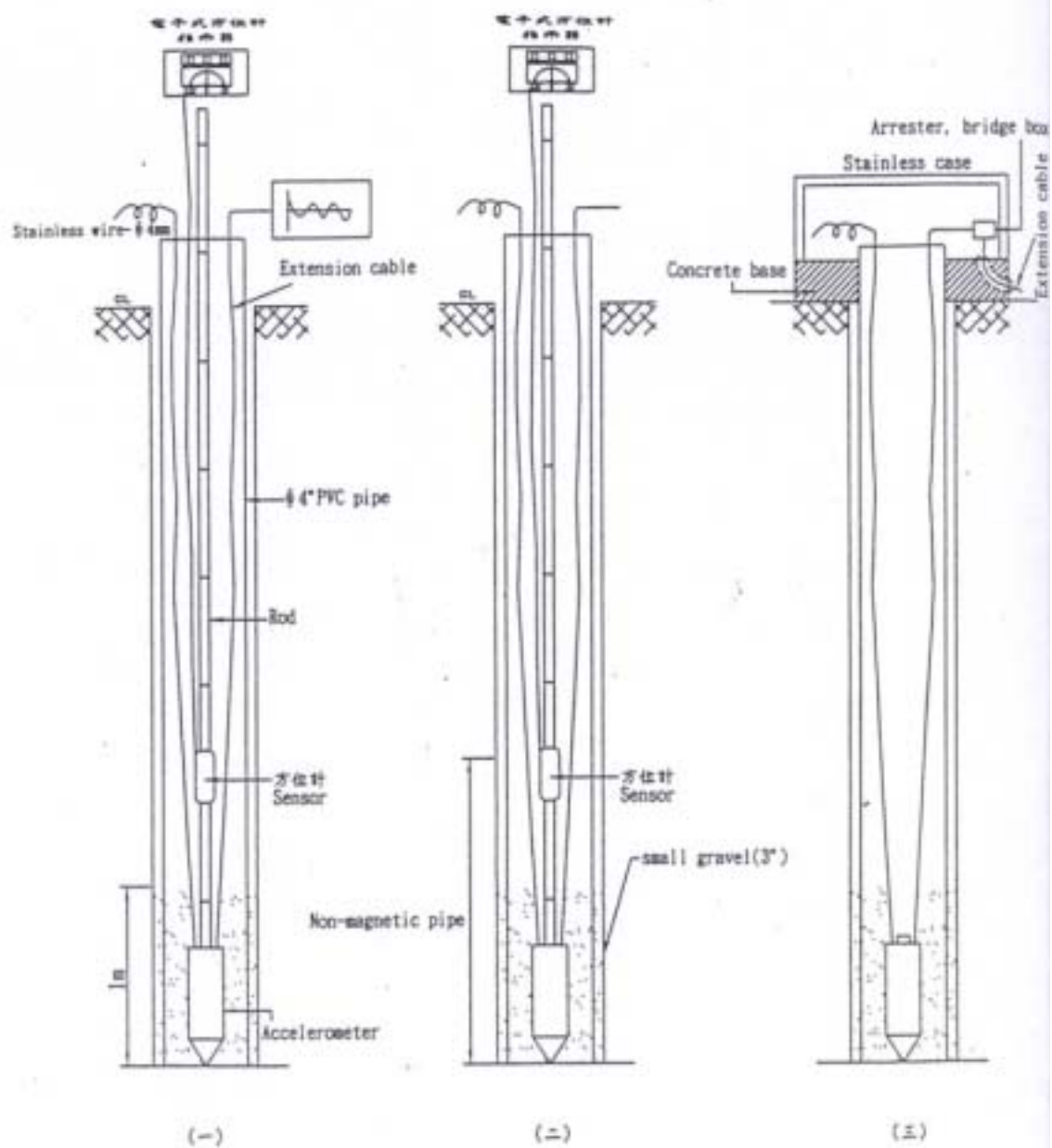


圖 7-4 布袋港 300 公尺地震計安裝示意圖

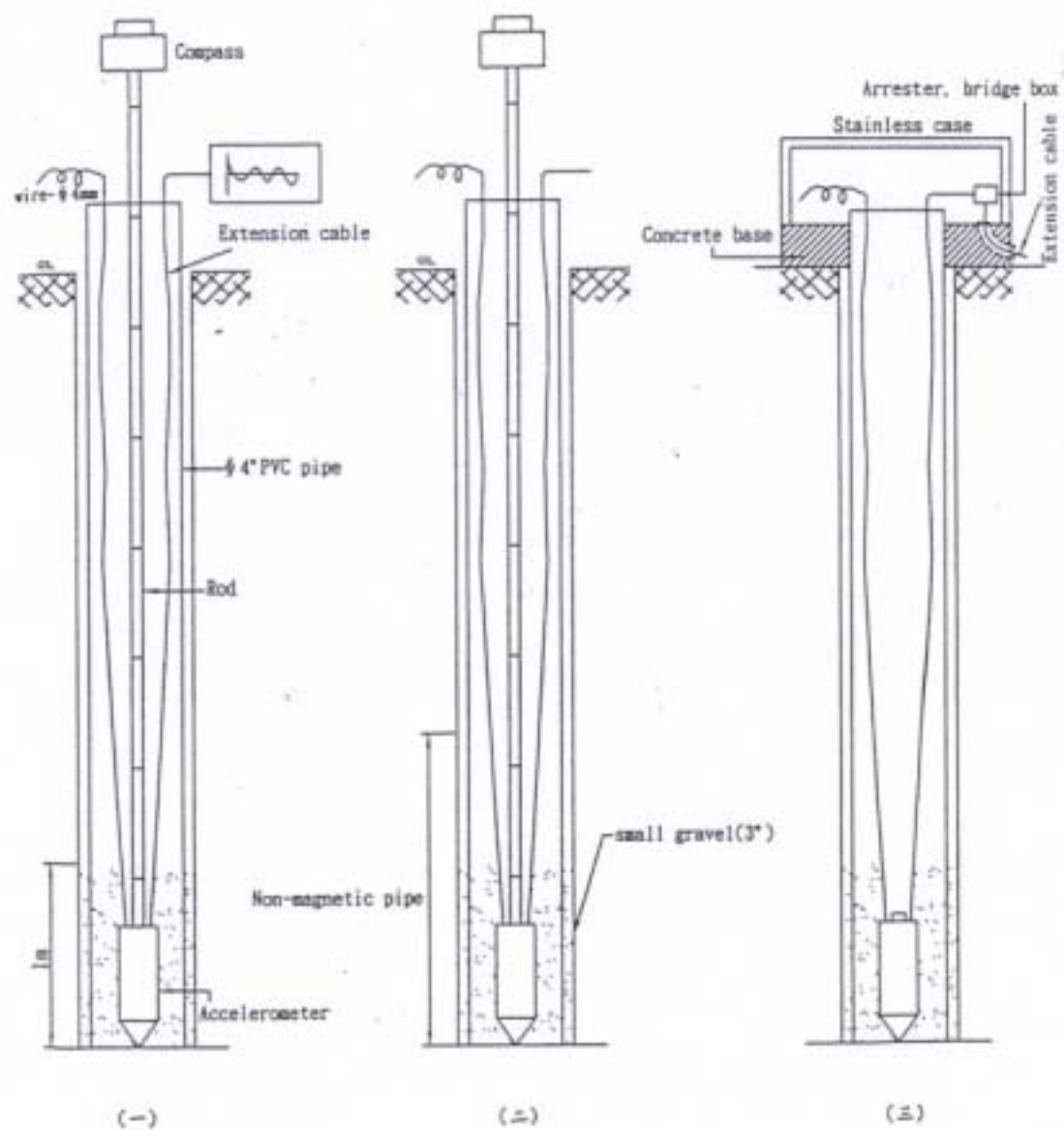


圖 7-5 布袋港 10、20、100 公尺地震計安裝示意圖

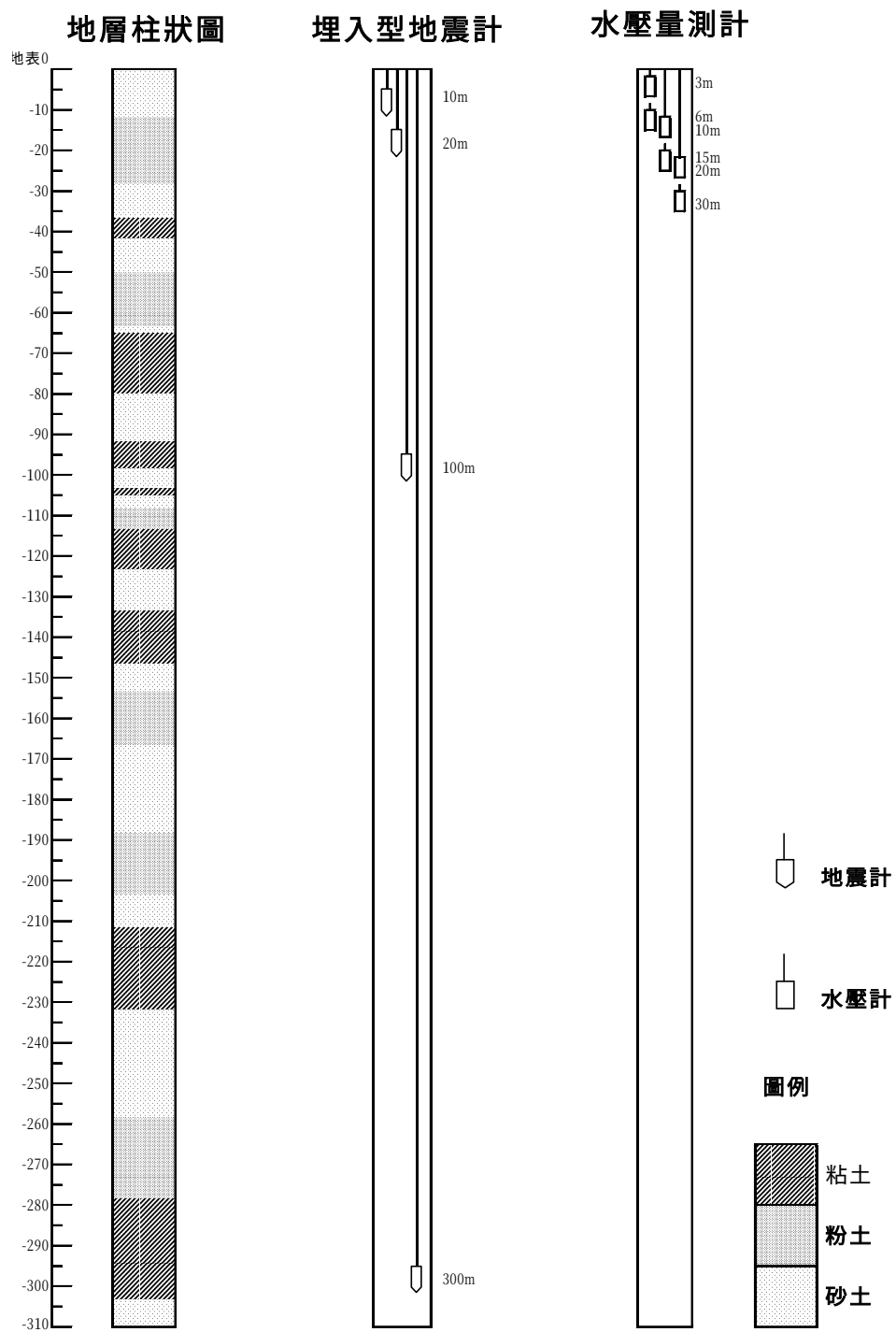


圖 7-6 布袋港地震儀及動態孔隙水壓觀測站地層鑿井柱狀圖
(300 公尺)

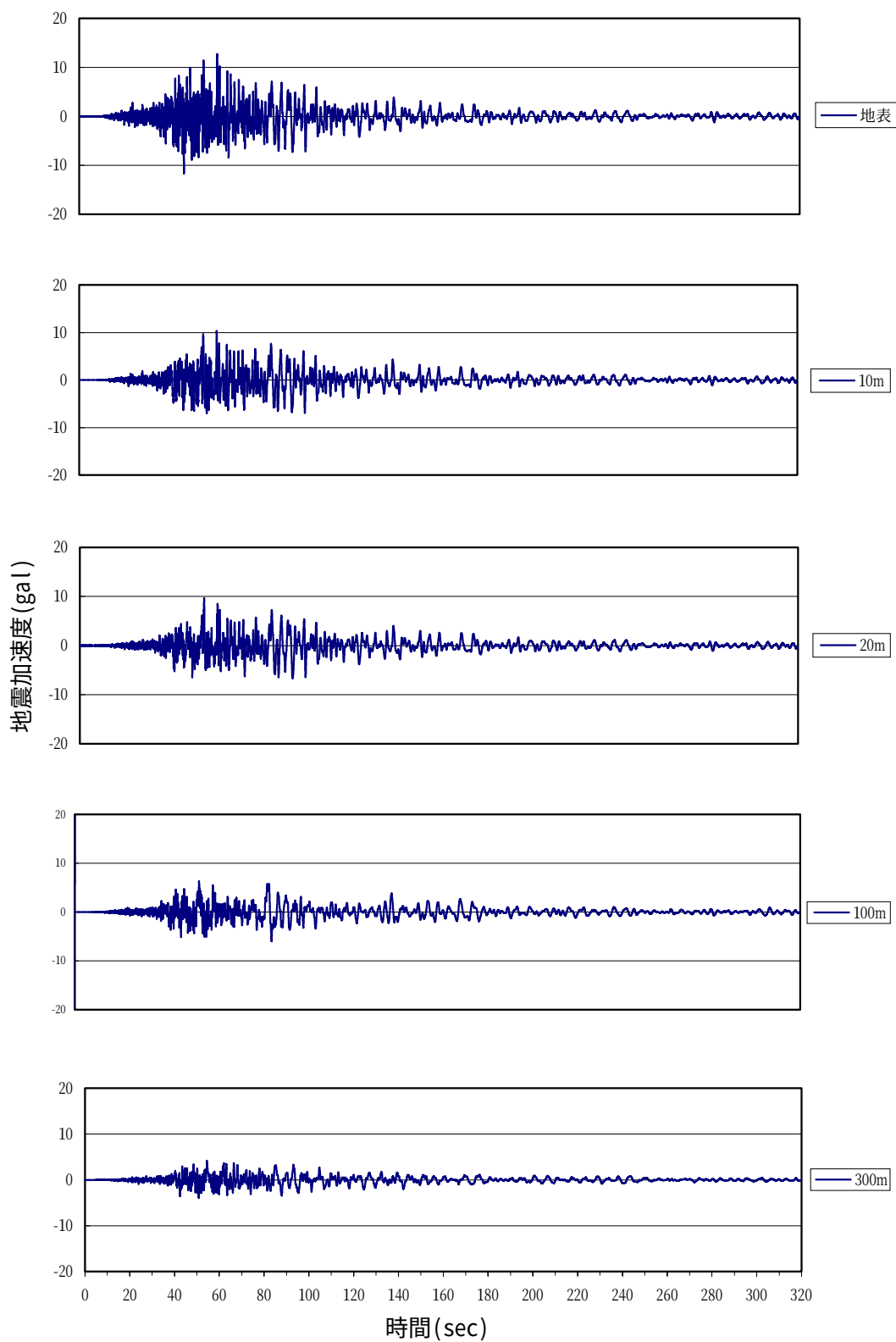


圖7-7a 布袋港2002年3月31日14時53分地震(東西向)

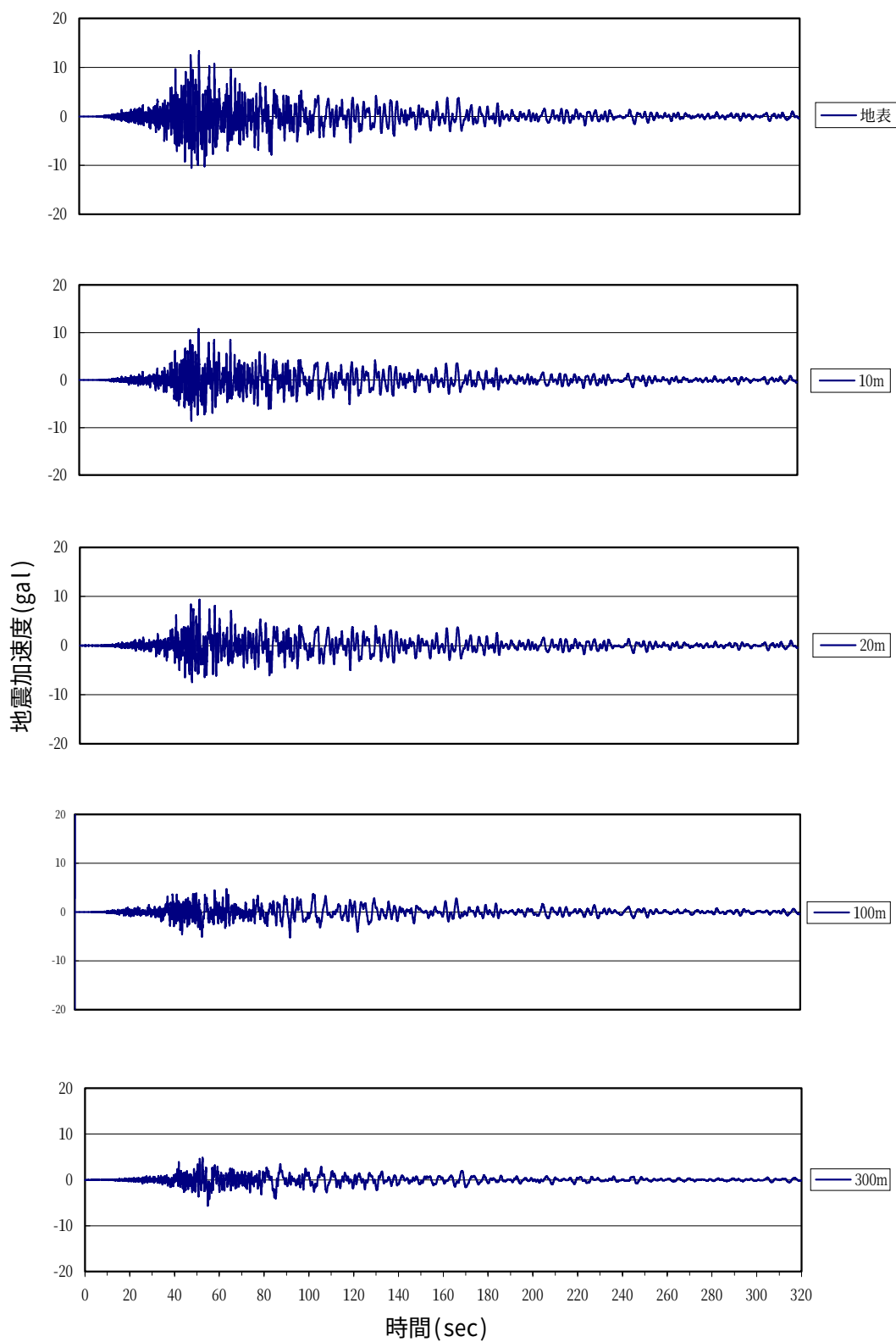
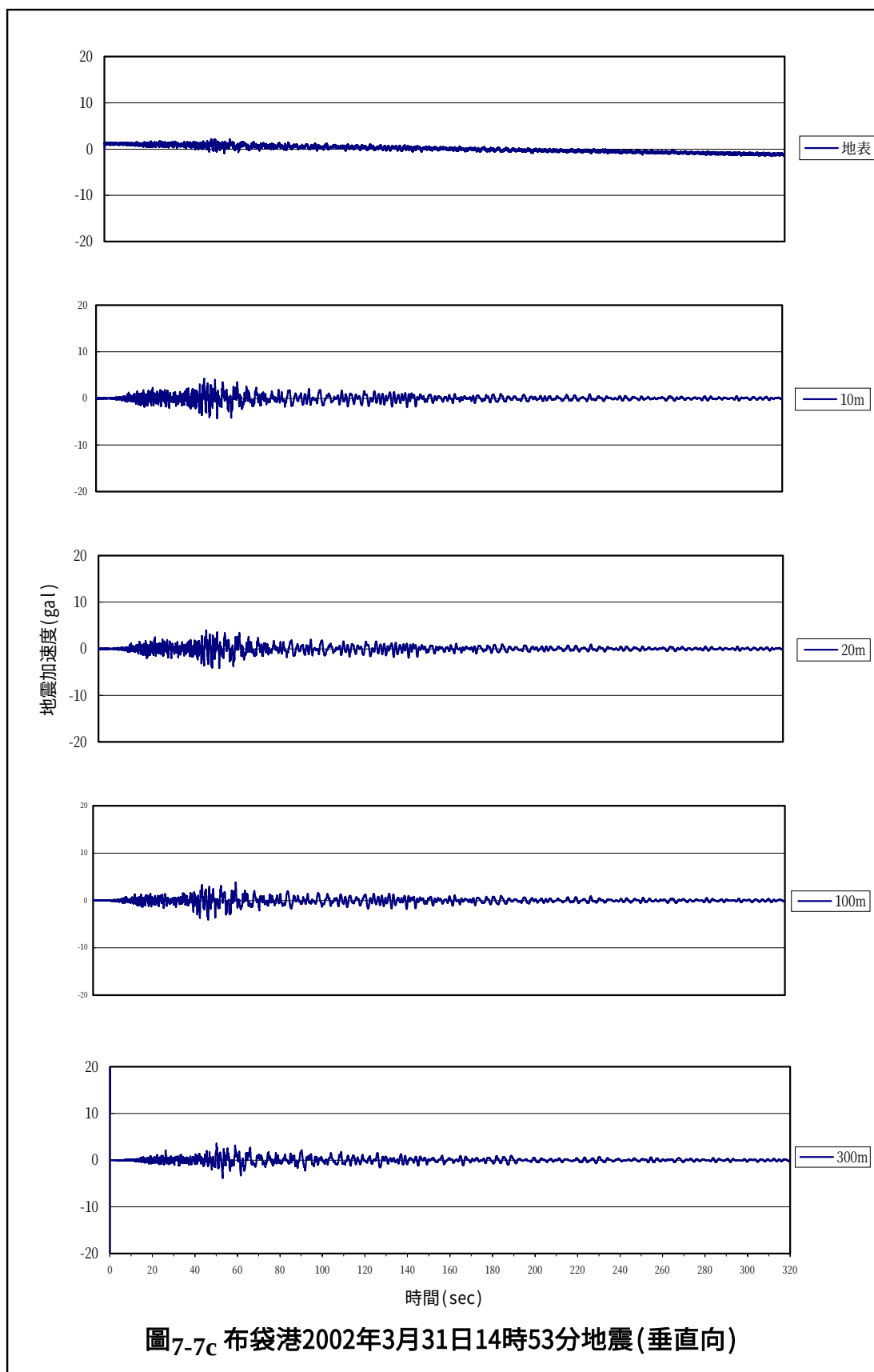


圖7-7b 布袋港2002年3月31日14時53分地震(南北向)



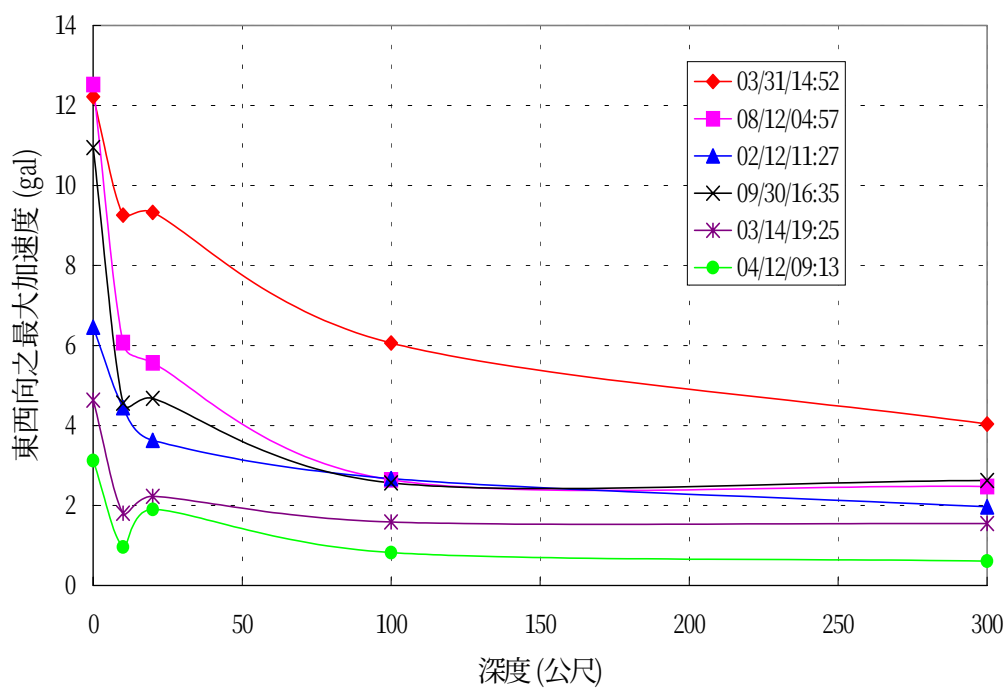


圖 7-8a 布袋港井下地震儀東西向之最大加速度隨深度變化圖

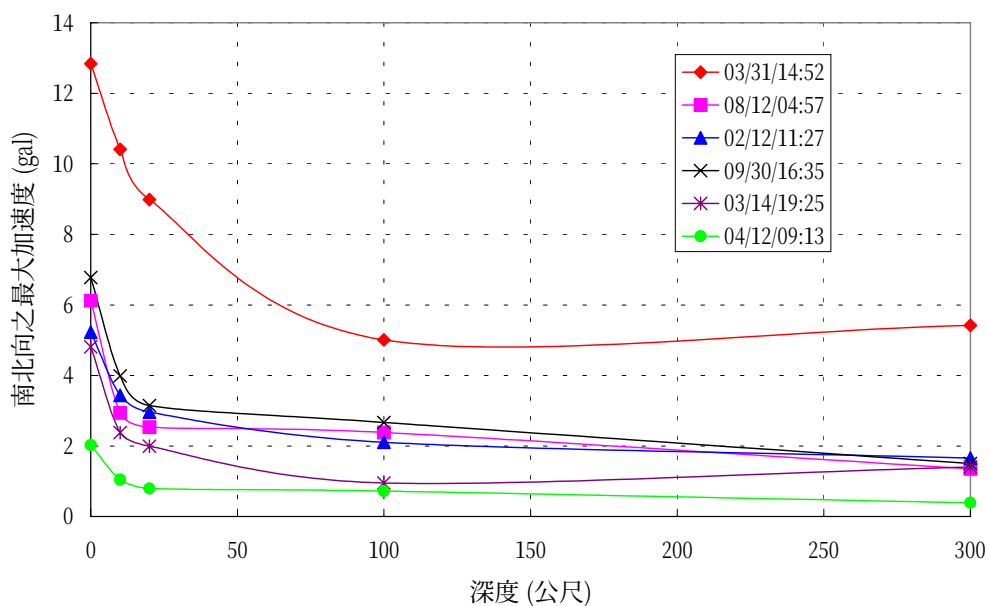


圖 7-8b 布袋港井下地震儀南北向之最大加速度隨深度變化圖

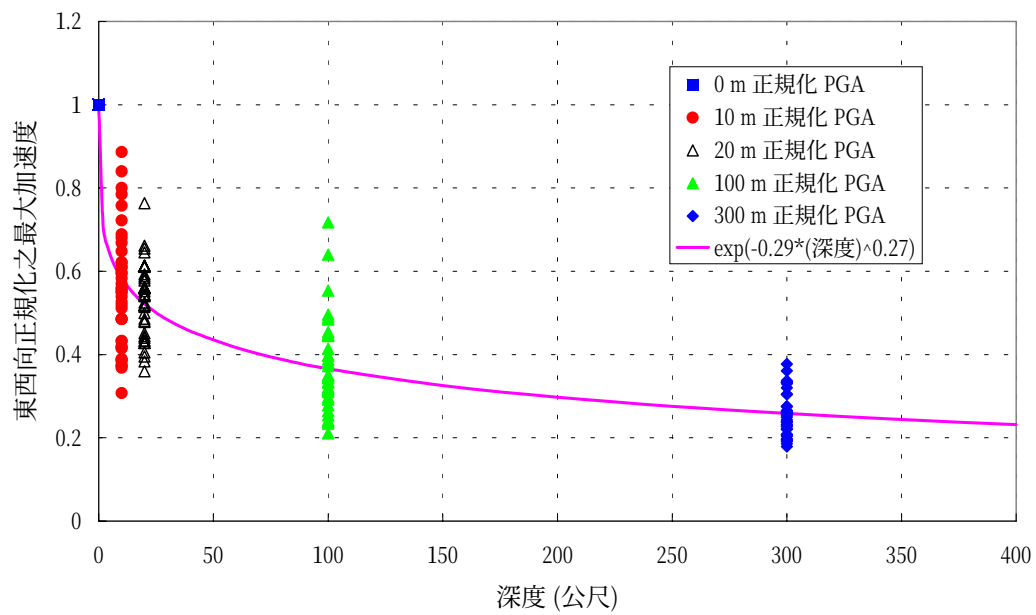


圖 7-9a 布袋港井下地震儀東西向正規化之最大加速度隨深度變化圖

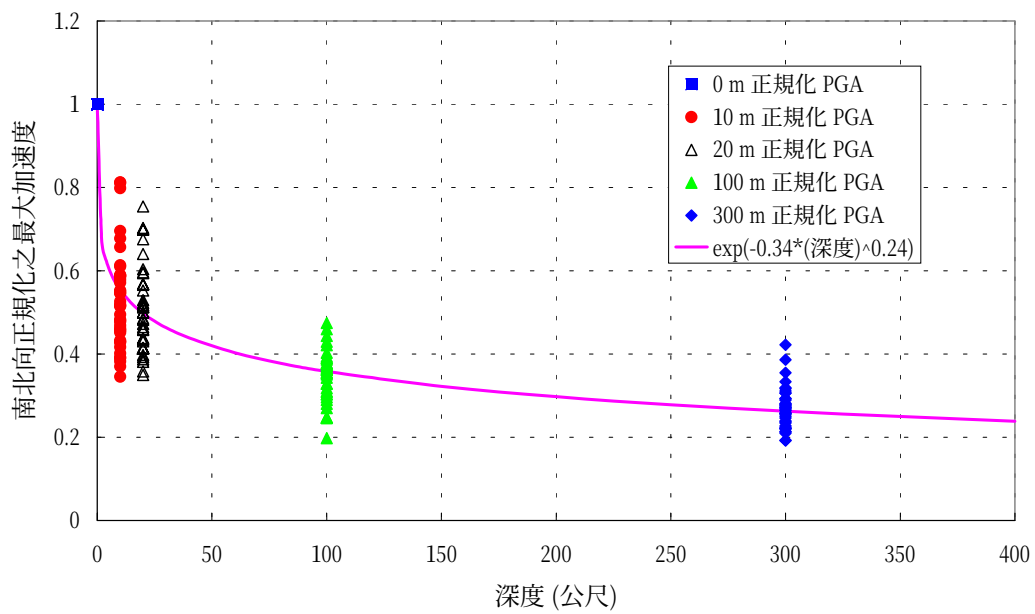


圖 7-9b 布袋港井下地震儀南北向正規化之最大加速度隨深度變化圖

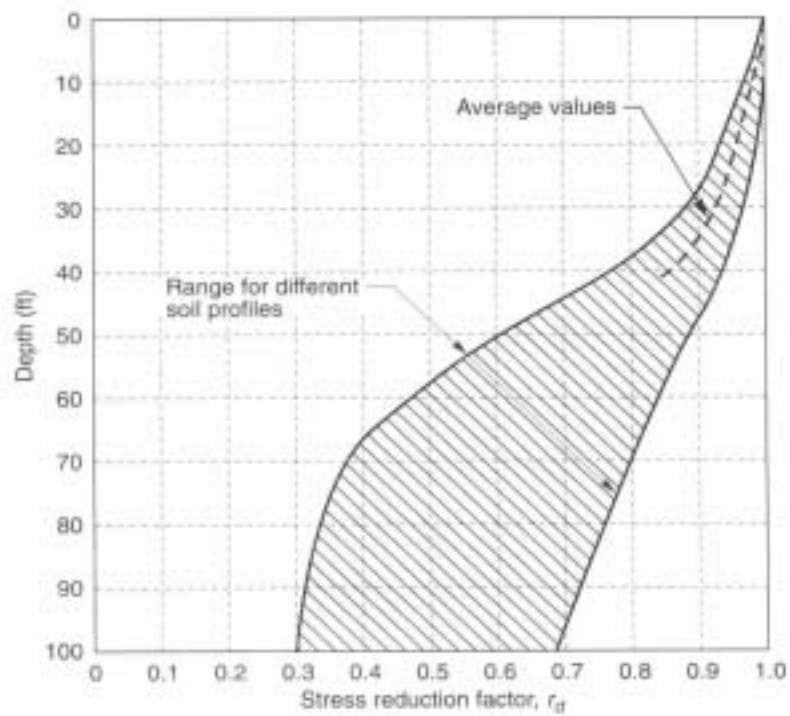


圖 7-10 應力折減因數 r_d 隨深度之變化範圍 (Seed & Idriss, 1971)

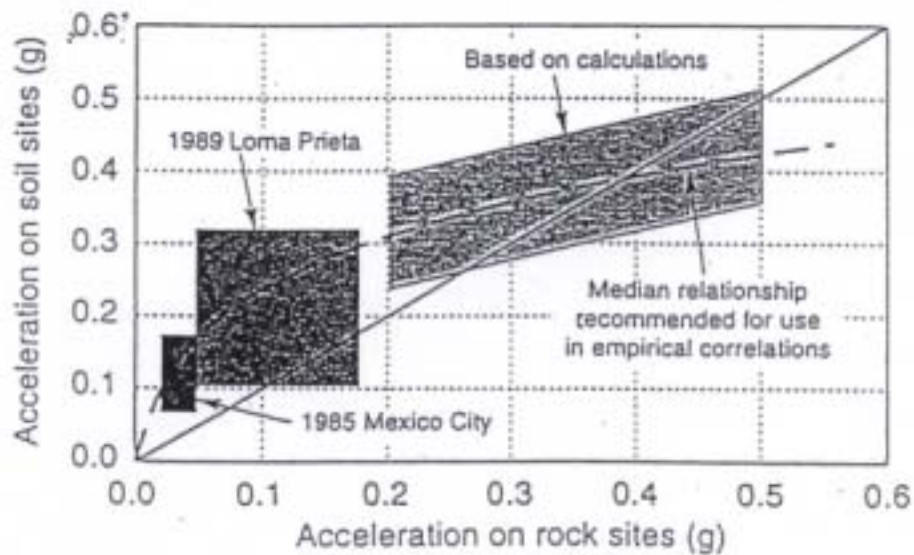


圖 7-11 軟弱地盤震波放大效應之非線性 (Idriss, 1990)

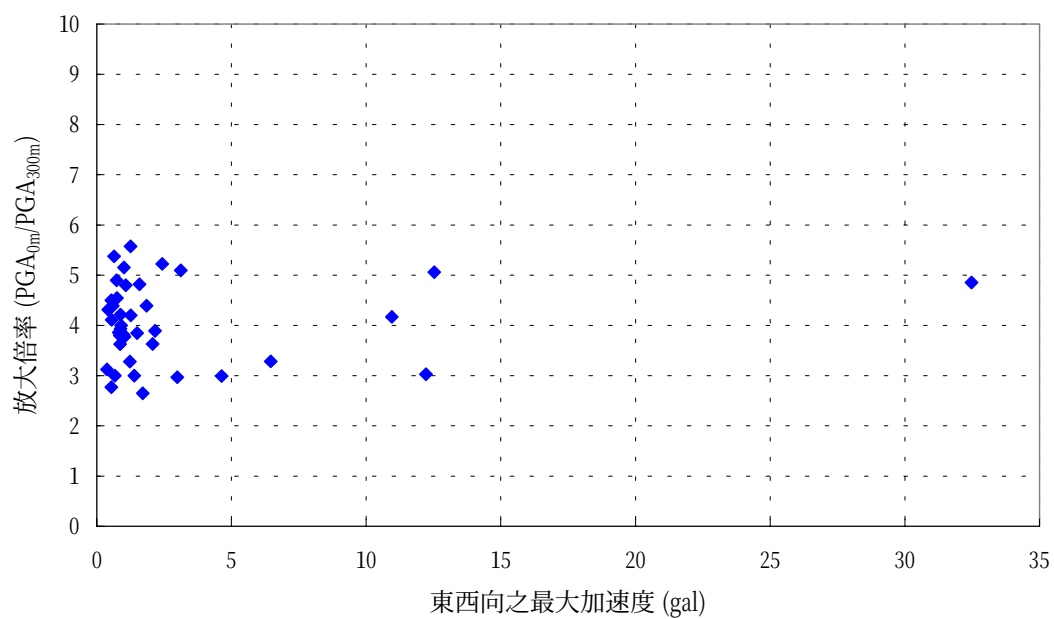


圖 12-a 布袋港東西向震波放大倍率與最大加速度之關係圖

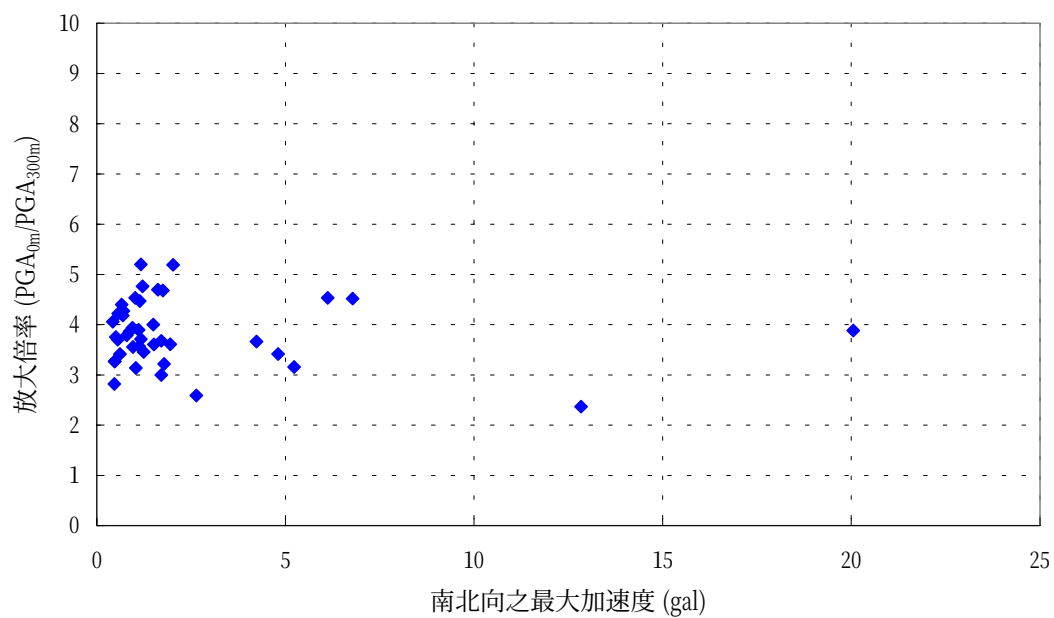


圖 12-b 布袋港南北向震波放大倍率與最大加速度之關係圖

表 7-1 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002 年 2 月份共 3 筆)

編號：1/3 規模：6.2 深度：25.1km			編號：2/3 規模：5.2 深度：24.2km		
震央位置：北緯：東經：			震央位置：北緯：東經：		
地震時間：02/02/12/112726.3			地震時間：02/02/12/120038		
記錄時間：02/02/12/112756			記錄時間：02/02/12/120125		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m	-1.768	1(南北)	300m	-0.155
2(東西)	300m	-2.096	2(東西)	300m	-0.107
3(垂直)	300m	0.877	3(垂直)	300m	-0.008
4(南北)	100m	2.248	4(南北)	100m	-0.154
5(東西)	100m	2.850	5(東西)	100m	-0.210
6(垂直)	100m	-1.118	6(垂直)	100m	-0.413
7(南北)	20m	-3.157	7(南北)	20m	0.288
8(東西)	20m	-3.870	8(東西)	20m	0.240
9(垂直)	20m	-1.765	9(垂直)	20m	-0.109
10(南北)	10m	3.664	10(南北)	10m	0.218
11(東西)	10m	4.746	11(東西)	10m	0.254
12(垂直)	10m	1.774	12(垂直)	10m	-0.130
13(南北)	地表	5.579	13(南北)	地表	-0.507
14(東西)	地表	-6.888	14(東西)	地表	0.462
15(垂直)	地表	-1.469	15(垂直)	地表	0.400

表7-2 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年2月份-共3筆)

編號：3/3 規模：4.3 深度：9.4km			編號：規模：深度：		
震央位置：北緯：東經：			震央位置：北緯：東經：		
地震時間：02/02/19/225254			地震時間：		
記錄時間：02/02/19/225316			記錄時間：		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m	-0.176	1(南北)	300m	
2(東西)	300m	-0.192	2(東西)	300m	
3(垂直)	300m	0.128	3(垂直)	300m	
4(南北)	100m	0.208	4(南北)	100m	
5(東西)	100m	-0.304	5(東西)	100m	
6(垂直)	100m	0.112	6(垂直)	100m	
7(南北)	20m	-0.352	7(南北)	20m	
8(東西)	20m	-0.288	8(東西)	20m	
9(垂直)	20m	-0.144	9(垂直)	20m	
10(南北)	10m	-0.320	10(南北)	10m	
11(東西)	10m	-0.320	11(東西)	10m	
12(垂直)	10m	-0.144	12(垂直)	10m	
13(南北)	地表	-0.608	13(南北)	地表	
14(東西)	地表	-0.672	14(東西)	地表	
15(垂直)	地表	-	15(垂直)	地表	

表 7-3 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002 年 2 月份共 3 筆)

編號：1/4 規模：4.8 深度：9.5km			編號：2/4 規模：3.9 深度：0.7km		
震央位置：北緯：東經：			震央位置：北緯：東經：		
地震時間：02/03/14/192554.5			地震時間：02/03/17/020925.8		
記錄時間：02/03/14/192607			記錄時間：02/03/17/020954		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m	0.912	1(南北)	300m	0.144
2(東西)	300m	-0.912	2(東西)	300m	0.144
3(垂直)	300m	-0.587	3(垂直)	300m	0.064
4(南北)	100m	-1.787	4(南北)	100m	-0.186
5(東西)	100m	1.422	5(東西)	100m	0.176
6(垂直)	100m	0.597	6(垂直)	100m	0.064
7(南北)	20m	-2.576	7(南北)	20m	-0.280
8(東西)	20m	-2.576	8(東西)	20m	0.256
9(垂直)	20m	-0.832	9(垂直)	20m	0.106
10(南北)	10m	2.000	10(南北)	10m	0.211
11(東西)	10m	2.336	11(東西)	10m	0.341
12(垂直)	10m	-0.944	12(垂直)	10m	0.106
13(南北)	地表	4.005	13(南北)	地表	0.541
14(東西)	地表	-4.418	14(東西)	地表	0.632
15(垂直)	地表	-1.165	15(垂直)	地表	0.224

表7-4 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年3月份-共4筆)

編號：3/4 規模：4.0 深度：7.8km			編號：4/4 規模：6.8 深度：9.6km		
震央位置：北緯：東經：			震央位置：北緯：東經：		
地震時間：02/03/27/224516			地震時間：02/03/31/145254		
記錄時間：02/03/27/224553			記錄時間：02/03/31/145335		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m	-0.112	1(南北)	300m	-5.782
2(東西)	300m	0.144	2(東西)	300m	-4.304
3(垂直)	300m	0.064	3(垂直)	300m	-4.000
4(南北)	100m	-0.112	4(南北)	100m	-5.344
5(東西)	100m	-0.176	5(東西)	100m	-6.464
6(垂直)	100m	0.064	6(垂直)	100m	-4.224
7(南北)	20m	0.208	7(南北)	20m	9.584
8(東西)	20m	0.256	8(東西)	20m	9.952
9(垂直)	20m	0.080	9(垂直)	20m	-4.224
10(南北)	10m	0.208	10(南北)	10m	11.107
11(東西)	10m	0.368	11(東西)	10m	9.874
12(垂直)	10m	0.080	12(垂直)	10m	-4.437
13(南北)	地表	0.454	13(南北)	地表	13.694
14(東西)	地表	0.592	14(東西)	地表	13.037
15(垂直)	地表	0.384	15(垂直)	地表	2.211

表7-5 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年4月份-共4筆)

編 號：1/4 規模：5.4 深度：10.3km			編 號：2/4 規模：4.0 深度：11.9km		
震央位置： 北緯： 東經：			震央位置： 北緯： 東經：		
地震時間： 02/04/04/020610			地震時間： 02/04/04/162747		
記錄時間： 02/04/04/020714			記錄時間： 02/04/04/162811		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m	-0.176	1(南北)	300m	0.240
2(東西)	300m	0.208	2(東西)	300m	0.240
3(垂直)	300m	0.128	3(垂直)	300m	-0.160
4(南北)	100m	-0.272	4(南北)	100m	-0.288
5(東西)	100m	-0.256	5(東西)	100m	0.320
6(垂直)	100m	0.176	6(垂直)	100m	0.125
7(南北)	20m	0.368	7(南北)	20m	0.403
8(東西)	20m	-0.352	8(東西)	20m	-0.688
9(垂直)	20m	0.192	9(垂直)	20m	-0.133
10(南北)	10m	-0.512	10(南北)	10m	0.448
11(東西)	10m	-0.416	11(東西)	10m	0.704
12(垂直)	10m	0.192	12(垂直)	10m	-0.160
13(南北)	地表	-0.736	13(南北)	地表	0.928
14(東西)	地表	0.576	14(東西)	地表	1.338
15(垂直)	地表	0.800	15(垂直)	地表	0.688

表7-6 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年4月份-共4筆)

編 號：3/4 規模：4.4 深度：9.7km			編 號：4/4 規模：5.6 深度：7.0km		
震央位置： 北緯： 東經：			震央位置： 北緯： 東經：		
地震時間： 02/04/12/091343.7			地震時間： 02/04/20/164757.1		
記錄時間： 02/04/12/091407			記錄時間： 02/04/20/164848		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m	0.416	1(南北)	300m	0.592
2(東西)	300m	0.653	2(東西)	300m	0.496
3(垂直)	300m	-0.208	3(垂直)	300m	0.240
4(南北)	100m	-0.768	4(南北)	100m	-0.688
5(東西)	100m	0.880	5(東西)	100m	-0.864
6(垂直)	100m	0.240	6(垂直)	100m	0.256
7(南北)	20m	-0.848	7(南北)	20m	1.008
8(東西)	20m	2.032	8(東西)	20m	1.360
9(垂直)	20m	0.400	9(垂直)	20m	0.352
10(南北)	10m	1.120	10(南北)	10m	-1.040
11(東西)	10m	1.024	11(東西)	10m	-1.120
12(垂直)	10m	0.464	12(垂直)	10m	-0.416
13(南北)	地表	-2.160	13(南北)	地表	1.904
14(東西)	地表	3.328	14(東西)	地表	-2.592
15(垂直)	地表	-0.080	15(垂直)	地表	0.048

表7-7 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年5月份-共4筆)

編號：1/4 規模：6.2 深度：5km			編號：2/4 規模：6.2 深度：5.7km		
震央位置：北緯：東經：			震央位置：北緯：東經：		
地震時間：02/05/15/114605.6			地震時間：02/05/29/004516.7		
記錄時間：02/05/15/114650			記錄時間：02/05/29/004619		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m	-1.088	1(南北)	300m	0.496
2(東西)	300m	-1.072	2(東西)	300m	-0.496
3(垂直)	300m	-0.848	3(垂直)	300m	-0.336
4(南北)	100m	1.248	4(南北)	100m	-0.784
5(東西)	100m	1.762	5(東西)	100m	-0.720
6(垂直)	100m	0.800	6(垂直)	100m	-0.368
7(南北)	20m	1.968	7(南北)	20m	1.168
8(東西)	20m	-1.952	8(東西)	20m	0.960
9(垂直)	20m	1.136	9(垂直)	20m	-0.480
10(南北)	10m	2.288	10(南北)	10m	1.456
11(東西)	10m	-2.128	11(東西)	10m	1.168
12(垂直)	10m	1.184	12(垂直)	10m	-0.496
13(南北)	地表	-2.816	13(南北)	地表	1.824
14(東西)	地表	3.184	14(東西)	地表	1.488
15(垂直)	地表	0.032	15(垂直)	地表	-0.032

表7-8 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年5月份-共4筆)

編號：3/4 規模：5.9 深度：91.1km			編號：4/4 規模：4.9 深度：10.7km		
震央位置：北緯：東經：			震央位置：北緯：東經：		
地震時間：02/05/30/145339.2			地震時間：02/05/31/012726.6		
記錄時間：02/05/30/145444			記錄時間：02/05/31/012810		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m	0.256	1(南北)	300m	-0.160
2(東西)	300m	0.208	2(東西)	300m	0.128
3(垂直)	300m	-0.144	3(垂直)	300m	-0.080
4(南北)	100m	-0.272	4(南北)	100m	0.256
5(東西)	100m	0.416	5(東西)	100m	0.256
6(垂直)	100m	-0.176	6(垂直)	100m	-0.096
7(南北)	20m	0.416	7(南北)	20m	0.368
8(東西)	20m	0.592	8(東西)	20m	-0.224
9(垂直)	20m	-0.288	9(垂直)	20m	0.112
10(南北)	10m	0.576	10(南北)	10m	0.336
11(東西)	10m	0.464	11(東西)	10m	0.336
12(垂直)	10m	0.256	12(垂直)	10m	0.144
13(南北)	地表	-1.008	13(南北)	地表	-0.704
14(東西)	地表	1.072	14(東西)	地表	-0.400
15(垂直)	地表	-0.032	15(垂直)	地表	-0.032

表7-9 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年6月份-共4筆)

編號：1/4 規模：5.5 深度：24.9km			編號：2/4 規模：5.0 深度：16.1km		
震央位置：北緯：東經：			震央位置：北緯：東經：		
地震時間：02/06/14/152208.9			地震時間：02/06/23/171956.6		
記錄時間：02/06/14/152306			記錄時間：02/06/23/172029		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m	0.448	1(南北)	300m	-0.336
2(東西)	300m	-0.416	2(東西)	300m	-0.288
3(垂直)	300m	-0.272	3(垂直)	300m	0.144
4(南北)	100m	0.608	4(南北)	100m	0.464
5(東西)	100m	-0.608	5(東西)	100m	0.432
6(垂直)	100m	0.304	6(垂直)	100m	0.176
7(南北)	20m	-1.136	7(南北)	20m	-0.496
8(東西)	20m	-0.704	8(東西)	20m	0.608
9(垂直)	20m	-0.400	9(垂直)	20m	0.176
10(南北)	10m	0.736	10(南北)	10m	0.736
11(東西)	10m	1.088	11(東西)	10m	0.528
12(垂直)	10m	-0.512	12(垂直)	10m	-0.208
13(南北)	地表	1.616	13(南北)	地表	1.200
14(東西)	地表	-1.600	14(東西)	地表	-1.088
15(垂直)	地表	0.000	15(垂直)	地表	0.000

表7-10 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年6月份-共4筆)

編號：3/4 規模：5.1 深度：17.1km			編號：4/4 規模：3.7 深度：14.9km		
震央位置：北緯：東經：			震央位置：北緯：東經：		
地震時間：02/06/24/091220.4			地震時間：02/06/30/214242.8		
記錄時間：02/06/24/091310			記錄時間：02/06/30/214307		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m	-0.336	1(南北)	300m	-0.272
2(東西)	300m	-0.288	2(東西)	300m	-0.240
3(垂直)	300m	0.144	3(垂直)	300m	0.112
4(南北)	100m	0.464	4(南北)	100m	0.320
5(東西)	100m	0.432	5(東西)	100m	0.336
6(垂直)	100m	0.176	6(垂直)	100m	0.160
7(南北)	20m	-0.496	7(南北)	20m	-0.464
8(東西)	20m	0.608	8(東西)	20m	-0.368
9(垂直)	20m	0.176	9(垂直)	20m	0.128
10(南北)	10m	0.736	10(南北)	10m	-0.448
11(東西)	10m	0.528	11(東西)	10m	-0.368
12(垂直)	10m	-0.208	12(垂直)	10m	0.176
13(南北)	地表	-1.248	13(南北)	地表	-1.296
14(東西)	地表	-1.088	14(東西)	地表	0.960
15(垂直)	地表	-	15(垂直)	地表	-0.032

表7-11 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年7月份-共3筆)

編號：1/3 規模：5.0 深度：66.5km			編號：2/3 規模：5.9 深度：3.2km		
震央位置：北緯：東經：			震央位置：北緯：東經：		
地震時間：02/07/07/180103.4			地震時間：02/07/11/153620.4		
記錄時間：02/07/07/180151			記錄時間：02/07/11/153728		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m	-0.144	1(南北)	300m	0.608
2(東西)	300m	0.128	2(東西)	300m	-0.448
3(垂直)	300m	0.080	3(垂直)	300m	-0.288
4(南北)	100m	-0.256	4(南北)	100m	0.640
5(東西)	100m	0.192	5(東西)	100m	-0.688
6(垂直)	100m	0.096	6(垂直)	100m	-0.288
7(南北)	20m	-0.304	7(南北)	20m	-1.376
8(東西)	20m	-0.336	8(東西)	20m	1.072
9(垂直)	20m	0.128	9(垂直)	20m	-0.480
10(南北)	10m	-0.336	10(南北)	10m	1.072
11(東西)	10m	-0.336	11(東西)	10m	-0.736
12(垂直)	10m	-0.176	12(垂直)	10m	-0.528
13(南北)	地表	-0.608	13(南北)	地表	1.824
14(東西)	地表	-0.576	14(東西)	地表	-1.968
15(垂直)	地表	-0.272	15(垂直)	地表	-0.496

表7-12 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年7月份-共3筆)

編號：3/3 規模：5.4 深度：82.1km			編號：規模：深度：		
震央位置：北緯：東經：			震央位置：北緯：東經：		
地震時間：02/07/18/125230.5			地震時間：		
記錄時間：02/07/18/125314			記錄時間：		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m	-0.160	1(南北)	300m	
2(東西)	300m	0.240	2(東西)	300m	
3(垂直)	300m	0.080	3(垂直)	300m	
4(南北)	100m	0.272	4(南北)	100m	
5(東西)	100m	0.224	5(東西)	100m	
6(垂直)	100m	-0.096	6(垂直)	100m	
7(南北)	20m	-0.400	7(南北)	20m	
8(東西)	20m	0.512	8(東西)	20m	
9(垂直)	20m	-0.160	9(垂直)	20m	
10(南北)	10m	0.256	10(南北)	10m	
11(東西)	10m	0.352	11(東西)	10m	
12(垂直)	10m	-0.144	12(垂直)	10m	
13(南北)	地表	-0.592	13(南北)	地表	
14(東西)	地表	0.944	14(東西)	地表	
15(垂直)	地表	-0.352	15(垂直)	地表	

表7-13 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年8月份-共5筆)

編號：1/5 規模：4.1 深度：11.4km			編號：2/5 規模：4.3 深度：15.1km		
震央位置：北緯：東經：			震央位置：北緯：東經：		
地震時間：02/08/06/152040.1			地震時間：02/08/12/045726.7		
記錄時間：02/08/06/152102			記錄時間：02/08/12/045737		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m	0.272	1(南北)	300m	1.440
2(東西)	300m	0.320	2(東西)	300m	2.640
3(垂直)	300m	-0.160	3(垂直)	300m	-1.024
4(南北)	100m	-0.400	4(南北)	100m	-2.544
5(東西)	100m	-0.416	5(東西)	100m	2.816
6(垂直)	100m	-0.176	6(垂直)	100m	-1.184
7(南北)	20m	-0.672	7(南北)	20m	-2.704
8(東西)	20m	0.880	8(東西)	20m	5.936
9(垂直)	20m	-0.208	9(垂直)	20m	-1.488
10(南北)	10m	0.640	10(南北)	10m	-3.136
11(東西)	10m	-0.800	11(東西)	10m	6.480
12(垂直)	10m	0.240	12(垂直)	10m	-1.664
13(南北)	地表	-1.216	13(南北)	地表	-6.528
14(東西)	地表	1.344	14(東西)	地表	13.360
15(垂直)	地表	-0.832	15(垂直)	地表	-0.930

表7-14 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年8月份-共5筆)

編號：3/5 規模：4.3 深度：15km			編號：4/5 規模：6.0 深度：13.2km		
震央位置：北緯：東經：			震央位置：北緯：東經：		
地震時間：02/08/20/180144.6			地震時間：02/08/29/010530.8		
記錄時間：02/08/20/180208			記錄時間：02/08/29/010610		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m	0.400	1(南北)	300m	-0.576
2(東西)	300m	0.240	2(東西)	300m	-0.688
3(垂直)	300m	-0.272	3(垂直)	300m	0.368
4(南北)	100m	0.464	4(南北)	100m	0.736
5(東西)	100m	-0.288	5(東西)	100m	-0.816
6(垂直)	100m	0.224	6(垂直)	100m	0.384
7(南北)	20m	0.816	7(南北)	20m	-0.912
8(東西)	20m	0.560	8(東西)	20m	-1.072
9(垂直)	20m	-0.384	9(垂直)	20m	0.480
10(南北)	10m	0.752	10(南北)	10m	1.136
11(東西)	10m	0.544	11(東西)	10m	-1.616
12(垂直)	10m	-0.480	12(垂直)	10m	0.544
13(南北)	地表	1.872	13(南北)	地表	-2.080
14(東西)	地表	0.912	14(東西)	地表	-1.824
15(垂直)	地表	0.608	15(垂直)	地表	0.640

表7-15 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年8月份-共5筆)

編號：5/5 規模：4.8 深度：24.2km			編號： 規模： 深度：		
震央位置： 北緯： 東經：			震央位置： 北緯： 東經：		
地震時間： 02/08/29/213619.8			地震時間：		
記錄時間： 02/08/29/213708			記錄時間：		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m	0.224	1(南北)	300m	
2(東西)	300m	0.224	2(東西)	300m	
3(垂直)	300m	0.176	3(垂直)	300m	
4(南北)	100m	-0.320	4(南北)	100m	
5(東西)	100m	-0.288	5(東西)	100m	
6(垂直)	100m	0.160	6(垂直)	100m	
7(南北)	20m	0.512	7(南北)	20m	
8(東西)	20m	-0.512	8(東西)	20m	
9(垂直)	20m	0.192	9(垂直)	20m	
10(南北)	10m	-0.496	10(南北)	10m	
11(東西)	10m	0.560	11(東西)	10m	
12(垂直)	10m	-0.224	12(垂直)	10m	
13(南北)	地表	0.848	13(南北)	地表	
14(東西)	地表	0.864	14(東西)	地表	
15(垂直)	地表	0.384	15(垂直)	地表	

表7-16 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年8月份)

編號： 規模： 深度：			編號： 規模： 深度：		
震央位置： 北緯： 東經：			震央位置： 北緯： 東經：		
地震時間：			地震時間：		
記錄時間：			記錄時間：		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m		1(南北)	300m	
2(東西)	300m		2(東西)	300m	
3(垂直)	300m		3(垂直)	300m	
4(南北)	100m		4(南北)	100m	
5(東西)	100m		5(東西)	100m	
6(垂直)	100m		6(垂直)	100m	
7(南北)	20m		7(南北)	20m	
8(東西)	20m		8(東西)	20m	
9(垂直)	20m		9(垂直)	20m	
10(南北)	10m		10(南北)	10m	
11(東西)	10m		11(東西)	10m	
12(垂直)	10m		12(垂直)	10m	
13(南北)	地表		13(南北)	地表	
14(東西)	地表		14(東西)	地表	
15(垂直)	地表		15(垂直)	地表	

表7-17 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年9月份-共10筆)

編號：1/10 規模：5.6 深度：2.5km			編號：2/10 規模：6.0 深度：35.5km		
震央位置：北緯：東經：			震央位置：北緯：東經：		
地震時間：02/09/01/135622.7			地震時間：02/09/01/150733.9		
記錄時間：02/09/01135734			記錄時間：02/09/01/150841		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m	0.192	1(南北)	300m	-0.18
2(東西)	300m	0.160	2(東西)	300m	-0.11
3(垂直)	300m	-0.096	3(垂直)	300m	-0.13
4(南北)	100m	-0.240	4(南北)	100m	0.21
5(東西)	100m	0.272	5(東西)	100m	-0.19
6(垂直)	100m	0.112	6(垂直)	100m	0.07
7(南北)	20m	0.336	7(南北)	20m	0.33
8(東西)	20m	0.336	8(東西)	20m	0.27
9(垂直)	20m	0.208	9(垂直)	20m	-0.16
10(南北)	10m	0.400	10(南北)	10m	-0.33
11(東西)	10m	0.304	11(東西)	10m	-0.21
12(垂直)	10m	0.224	12(垂直)	10m	-0.15
13(南北)	地表	-0.656	13(南北)	地表	-0.64
14(東西)	地表	0.784	14(東西)	地表	0.50
15(垂直)	地表	-0.288	15(垂直)	地表	0.17

表7-18 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年9月份-共10筆)

編號：3/10 規模：5.5 深度：26km			編號：4/10 規模：5.5 深度：40km		
震央位置：北緯：東經：			震央位置：北緯：東經：		
地震時間：02/09/06/190201.8			地震時間：02/09/08/065933.1		
記錄時間：02/09/06/190220			記錄時間：02/09/08/070027		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m	5.504	1(南北)	300m	0.304
2(東西)	300m	-7.456	2(東西)	300m	-0.400
3(垂直)	300m	2.080	3(垂直)	300m	0.192
4(南北)	100m	-6.800	4(南北)	100m	0.448
5(東西)	100m	8.384	5(東西)	100m	-0.416
6(垂直)	100m	2.752	6(垂直)	100m	0.160
7(南北)	20m	-8.160	7(南北)	20m	-0.544
8(東西)	20m	12.464	8(東西)	20m	0.656
9(垂直)	20m	-2.880	9(垂直)	20m	-0.320
10(南北)	10m	11.008	10(南北)	10m	-0.464
11(東西)	10m	19.728	11(東西)	10m	-0.544
12(垂直)	10m	-3.696	12(垂直)	10m	0.384
13(南北)	地表	21.392	13(南北)	地表	1.184
14(東西)	地表	34.640	14(東西)	地表	-1.312
15(垂直)	地表	3.152	15(垂直)	地表	-1.136

表7-19 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年9月份-共10筆)

編號：5/10 規模：5.5 深度：102.4km			編號：6/10 規模：6.8 深度：173.6km		
震央位置：北緯：東經：			震央位置：北緯：東經：		
地震時間：02/09/10/163814.8			地震時間：02/09/16/080331.2		
記錄時間：02/09/10/160001			記錄時間：02/09/16/080451		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m	-0.368	1(南北)	300m	-1.232
2(東西)	300m	-0.240	2(東西)	300m	0.608
3(垂直)	300m	0.160	3(垂直)	300m	-0.400
4(南北)	100m	0.512	4(南北)	100m	-1.264
5(東西)	100m	-0.368	5(東西)	100m	1.584
6(垂直)	100m	0.128	6(垂直)	100m	-0.752
7(南北)	20m	-0.816	7(南北)	20m	2.176
8(東西)	20m	0.560	8(東西)	20m	-1.056
9(垂直)	20m	0.272	9(垂直)	20m	0.768
10(南北)	10m	-0.720	10(南北)	10m	-3.056
11(東西)	10m	0.704	11(東西)	10m	1.344
12(垂直)	10m	0.304	12(垂直)	10m	0.752
13(南北)	地表	1.728	13(南北)	地表	-4.512
14(東西)	地表	1.152	14(東西)	地表	2.208
15(垂直)	地表	0.880	15(垂直)	地表	-

表7-20 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年9月份-共10筆)

編號：7/10 規模：4.5 深度：11.5km			編號：8/10 規模：5.0 深度：10.7km		
震央位置：北緯：東經：			震央位置：北緯：東經：		
地震時間：02/09/19/122154.5			地震時間：02/09/25/064319.8		
記錄時間：02/09/19/122216			記錄時間：02/09/25/064404		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m	0.400	1(南北)	300m	0.384
2(東西)	300m	0.352	2(東西)	300m	0.272
3(垂直)	300m	0.304	3(垂直)	300m	-0.160
4(南北)	100m	0.464	4(南北)	100m	0.496
5(東西)	100m	0.544	5(東西)	100m	-0.464
6(垂直)	100m	0.288	6(垂直)	100m	-0.160
7(南北)	20m	0.688	7(南北)	20m	-0.464
8(東西)	20m	0.736	8(東西)	20m	0.688
9(垂直)	20m	0.352	9(垂直)	20m	0.240
10(南北)	10m	0.592	10(南北)	10m	0.768
11(東西)	10m	-0.880	11(東西)	10m	0.832
12(垂直)	10m	0.480	12(垂直)	10m	0.240
13(南北)	地表	1.600	13(南北)	地表	1.328
14(東西)	地表	1.696	14(東西)	地表	1.040
15(垂直)	地表	0.624	15(垂直)	地表	0.480

表7-21 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年9月份-共10筆)

編號：9/10 規模：5.3 深度：5.5km			編號：10/10 規模：5.3 深度：5.2km		
震央位置：北緯：東經：			震央位置：北緯：東經：		
地震時間：02/09/27/130746.7			地震時間：02/09/30/163503.2		
記錄時間：02/09/27/130827			記錄時間：02/09/30/163526		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m	0.240	1(南北)	300m	1.600
2(東西)	300m	-0.592	2(東西)	300m	2.800
3(垂直)	300m	0.192	3(垂直)	300m	1.360
4(南北)	100m	0.592	4(南北)	100m	2.848
5(東西)	100m	-0.672	5(東西)	100m	-2.736
6(垂直)	100m	-0.208	6(垂直)	100m	1.328
7(南北)	20m	0.640	7(南北)	20m	3.360
8(東西)	20m	-1.040	8(東西)	20m	4.992
9(垂直)	20m	-0.288	9(垂直)	20m	2.128
10(南北)	10m	-0.576	10(南北)	10m	4.256
11(東西)	10m	-0.848	11(東西)	10m	4.864
12(垂直)	10m	-0.352	12(垂直)	10m	2.480
13(南北)	地表	1.248	13(南北)	地表	-7.232
14(東西)	地表	2.304	14(東西)	地表	11.680
15(垂直)	地表	-0.352	15(垂直)	地表	-3.584

布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年9月份)

編號： / 規模： 深度：			編號： / 規模： 深度：		
震央位置：北緯：東經：			震央位置：北緯：東經：		
地震時間：			地震時間：		
記錄時間：			記錄時間：		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m		1(南北)	300m	
2(東西)	300m		2(東西)	300m	
3(垂直)	300m		3(垂直)	300m	
4(南北)	100m		4(南北)	100m	
5(東西)	100m		5(東西)	100m	
6(垂直)	100m		6(垂直)	100m	
7(南北)	20m		7(南北)	20m	
8(東西)	20m		8(東西)	20m	
9(垂直)	20m		9(垂直)	20m	
10(南北)	10m		10(南北)	10m	
11(東西)	10m		11(東西)	10m	
12(垂直)	10m		12(垂直)	10m	
13(南北)	地表		13(南北)	地表	
14(東西)	地表		14(東西)	地表	
15(垂直)	地表		15(垂直)	地表	

表7-22 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年10月份-共2筆)

編號：1/2 規模：4.4 深度：7.8km			編號：2/2 規模：4.2 深度：146km		
震央位置：北緯：東經：			震央位置：北緯：東經：		
地震時間：02/10/07/085548.4			地震時間：02/10/15/134004.3		
記錄時間：02/10/07/085622			記錄時間：02/10/15/134028		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m	0.176	1(南北)	300m	0.240
2(東西)	300m	0.256	2(東西)	300m	0.224
3(垂直)	300m	0.112	3(垂直)	300m	0.224
4(南北)	100m	-0.272	4(南北)	100m	-0.336
5(東西)	100m	0.288	5(東西)	100m	-0.240
6(垂直)	100m	-0.112	6(垂直)	100m	-0.224
7(南北)	20m	0.448	7(南北)	20m	0.528
8(東西)	20m	-0.480	8(東西)	20m	-0.512
9(垂直)	20m	0.160	9(垂直)	20m	-0.192
10(南北)	10m	0.352	10(南北)	10m	-0.416
11(東西)	10m	0.576	11(東西)	10m	-0.528
12(垂直)	10m	-0.208	12(垂直)	10m	0.288
13(南北)	地表	0.752	13(南北)	地表	1.088
14(東西)	地表	-0.928	14(東西)	地表	0.944
15(垂直)	地表	-	15(垂直)	地表	-0.480

布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年10月份-共2筆)

編號：3/ 規模： 深度：			編號：4/ 規模： 深度：		
震央位置：北緯：東經：			震央位置：北緯：東經：		
地震時間：			地震時間：		
記錄時間：			記錄時間：		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m		1(南北)	300m	
2(東西)	300m		2(東西)	300m	
3(垂直)	300m		3(垂直)	300m	
4(南北)	100m		4(南北)	100m	
5(東西)	100m		5(東西)	100m	
6(垂直)	100m		6(垂直)	100m	
7(南北)	20m		7(南北)	20m	
8(東西)	20m		8(東西)	20m	
9(垂直)	20m		9(垂直)	20m	
10(南北)	10m		10(南北)	10m	
11(東西)	10m		11(東西)	10m	
12(垂直)	10m		12(垂直)	10m	
13(南北)	地表		13(南北)	地表	
14(東西)	地表		14(東西)	地表	
15(垂直)	地表		15(垂直)	地表	

表7-23 布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年11月份-共 筆)

編號：1/ 規模：4.1 深度：11.2km			編號：2/ 規模：5.7 深度：109.2km		
震央位置：北緯：東經：			震央位置：北緯：東經：		
地震時間：02/11/08/114143.8			地震時間：02/11/10/080703.7		
記錄時間：02/11/08/114201			記錄時間：02/11/10/0807		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m	0.176	1(南北)	300m	0.352
2(東西)	300m	0.128	2(東西)	300m	-0.240
3(垂直)	300m	0.096	3(垂直)	300m	0.144
4(南北)	100m	-0.176	4(南北)	100m	0.272
5(東西)	100m	-0.256	5(東西)	100m	0.352
6(垂直)	100m	-0.112	6(垂直)	100m	0.064
7(南北)	20m	-0.192	7(南北)	20m	-0.656
8(東西)	20m	-0.272	8(東西)	20m	-0.416
9(垂直)	20m	-0.144	9(垂直)	20m	-0.224
10(南北)	10m	0.224	10(南北)	10m	0.608
11(東西)	10m	-0.384	11(東西)	10m	0.368
12(垂直)	10m	-0.192	12(垂直)	10m	-0.256
13(南北)	地表	0.496	13(南北)	地表	1.104
14(東西)	地表	-0.688	14(東西)	地表	-0.720
15(垂直)	地表	-	15(垂直)	地表	-

布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2002年11月份-共 筆)

編號：3/ 規模：深度：			編號：4/ 規模：深度：		
震央位置：北緯：東經：			震央位置：北緯：東經：		
地震時間：			地震時間：		
記錄時間：			記錄時間：		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	300m		1(南北)	300m	
2(東西)	300m		2(東西)	300m	
3(垂直)	300m		3(垂直)	300m	
4(南北)	100m		4(南北)	100m	
5(東西)	100m		5(東西)	100m	
6(垂直)	100m		6(垂直)	100m	
7(南北)	20m		7(南北)	20m	
8(東西)	20m		8(東西)	20m	
9(垂直)	20m		9(垂直)	20m	
10(南北)	10m		10(南北)	10m	
11(東西)	10m		11(東西)	10m	
12(垂直)	10m		12(垂直)	10m	
13(南北)	地表		13(南北)	地表	
14(東西)	地表		14(東西)	地表	
15(垂直)	地表		15(垂直)	地表	

第八章 CPT 試驗之本土化液化分析模式

本章搜集布袋港、台中港、彰濱工業區、員林、霧峰、南投等地之 921 地震現場液化與非液化案例 CPT 試驗共 174 組數據，利用統計分類法中之邏輯迴歸法，以純 CPT 現場試驗數據之錐端阻抗 q_c 值與摩擦比 R_f 為分析參數，建立 CPT 試驗評估液化機率之模式，並以液化機率 $P_L=0.5$ 、 $P_L=0.3$ 為判別式，分別建立理論上及工程實用上兩種抗液化安全係數 F_s 之公式，再以邏輯迴歸法及貝氏定理，分別建立抗液化安全係數 F_s 與液化機率 P_L 之關係式。

8.1 前言

921 集集地震雖然造成中部多處土壤液化災害，但亦提供許多液化案例，可建立本土化之液化分析模式。當今世界上工程界著名之土壤液化評估方法，大多是累積許多地震液化案例及大量現場或室內試驗研究成果，並針對工程實務應用發展而成。早期由於標準貫入試驗 SPT-N 值之地震液化案例現場觀測數據資料較多，CPT 液化潛能評估法乃將 CPT- q_c 與 SPT-N 值之間轉換，唯近年來累積地震災區發生液化與非液化之現地 CPT 試驗資料亦相當豐富，本文搜集布袋港、台中港、彰濱工業區、員林、霧峰、南投等地之 921 地震現場液化與非液化案例 CPT 試驗共 174 組數據，如表 1 所示。因此可直接以 CPT 試驗之地震液化案例資料，建立 CPT 液化潛能評估之本土化模式。

以地震液化與非液化案例現場觀測數據資料，建立現場試驗之液化潛能評估模式，主要是建立土壤抗液化強度 CRR 與現場試驗值之關係式或關係圖，欲求得其關係，有傳統經驗判斷法及統計分類法。傳統方法所推導之相關經驗式或相關經驗圖(Shibata & Teparaksa, 1988; Seed, Idriss & Arango, 1983; Seed & De Alba, 1986; Robertson & Campanella, 1985; Stark & Olson, 1995; Olson, 1997; Robertson & Wride, 1997)，雖經嚴謹之經驗判斷分析，但仍缺乏統計上的根據。

本文利用統計分類法中之邏輯迴歸法，先建立以 CPT 試驗之摩擦比 R_f 判別土壤分類，再根據 921 地震現場液化與非液化案例 CPT 試驗共 174 組數據，亦利用邏輯迴歸法，以純 CPT 現場試驗數據之無因次化之錐端阻抗 q_{cIN} 值與摩擦比 R_f 為分析參數，建立以 CPT 試驗評估液化機率之本土化模式。並以液化機率 $P_L=0.5$ 、 $P_L=0.3$ 為判別式，分別建立理論上及工程實用上兩種抗液化安全係數 F_s 之公式，再以邏輯迴歸法及貝氏定理，分別建立抗液化安全係數 F_s 與液化機率 P_L 之關係式。

8.2 土壤分類之邏輯迴歸分析

8.2.1 土壤分類之邏輯迴歸方法

土壤分類之邏輯迴歸分析，係以 A 類土壤之調查資料及 B 類土壤之調查資料，建立以 m 個解釋參數表示 A 類土壤之可能機率(P_A)函數。因此 A 類土壤之可能機率 $P_A(X)$ 為被給定之已知 m 個解釋參數之函數，可表示如下式所示：

$$P_A(X) = \frac{1}{1 + \exp[-(\beta_o + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_m x_m)]} \dots\dots\dots (8-1)$$

上式之 $P_A(X)$ 介於 0 與 1 之間，藉著邏輯轉換(Logit Transformation)，將 $P_A(X)$ 轉換為 $-\infty$ 至 ∞ 之單調變化函數 $Q_A(X)$ (Cox, 1970)，如下式所示：

$$Q_A(X) = \log \text{it}[P_A(X)] = \ln \left[\frac{P_A(X)}{1 - P_A(X)} \right] \dots\dots\dots (8-2a)$$

$$= \beta_o + \beta_1 x_1 + \dots\dots + \beta_m x_m \dots\dots\dots (8-2b)$$

式(8-1)、(8-2)中， $x_1, x_2, \dots, x_m$ 為解釋參數，依據 Cox(1970)之意見，以上之解釋參數須符合常態分佈，其為土壤分類特性參數之函數。而 $\beta_o, \beta_1, \dots, \beta_m$ 為迴歸係數，必須由可資利用之 A 類土壤之調查資料及 B 類土壤之調查資料，進行邏輯迴歸分析推定之。

本文以 CPT 試驗之摩擦比 R_f 值表示土壤分類之解釋參數。如下式所示:

$$R_f = \frac{f_s}{q_c} * 100\% \dots\dots\dots (8-3)$$

其中,

R_f : CPT 試驗之摩擦比(Friction ratio),%。

f_s : CPT 試驗之摩擦阻抗(Friction resistance)值, kg/cm^2 。

q_c : CPT 試驗之錐端阻抗(Tip resistance)值, kg/cm^2 。

式(8-3) R_f 值經下一節之或然率圖檢定分析, 其符合常態分佈。根據式(8-1)

A 類土壤之可能機率 P_A 可表示成式(8-4) 所示。

$$P_A = \frac{1}{1 + \exp[-(\beta_0 + \beta_1 \cdot R_f)]} \dots\dots\dots (8-4)$$

以 Y 為指示參數, 即 A 類土壤時 $Y=1$, 非 A 類土壤時, 即 B 類土壤時 $Y=0$ 。根據最大似然性法(Maximum Likelihood)加以推定其似然性函數(Likelihood Function)如下式所示:

$$L(X; \beta) = \prod [P_A(X_i)]^{Y_i} [1 - P_A(X_i)]^{(1-Y_i)} \dots\dots\dots (8-5)$$

其似然性函數之對數可推導得

$$\begin{aligned} \ln[L(X; \beta)] = & \sum_{i=1}^n -\ln[1 + \exp[-(\beta_0 + \beta_1 \cdot (R_f)_i)]] \\ & + \sum_{i=1}^{n_1} -[(\beta_0 + \beta_1 \cdot (R_f)_i)] \end{aligned} \dots\dots\dots (8-6)$$

式中, n : 為 A 類土壤與 B 類土壤之調查資料數。

n_1 ：為 B 類土壤之調查資料數。

吾人可將 $L(X; \beta)$ 對 β 微分並置為零，求出 $\hat{\beta}_i$ ，此時似然性函數往往為極大，然而傳統上往往先將似然性函數取對數，再求其極大值，即

$$\frac{\partial \ln[L(X; \beta)]}{\partial \beta_i} = 0 \dots\dots\dots (8-7)$$

因此迴歸係數 $\beta_o, \beta_1, \beta_2$ 之最大似然性推定值，可由下列聯立方程式組來解得：

$$\frac{\partial \ln(L)}{\partial \beta_o} = \sum_{i=1}^n \frac{\exp[-(\beta_o + \beta_1 \cdot (R_f)_i)]}{1 + \exp[-(\beta_o + \beta_1 \cdot (R_f)_i)]} - \sum_{i=1}^{n_1} 1 = 0 \dots\dots\dots (8-8a)$$

$$\frac{\partial \ln(L)}{\partial \beta_1} = \sum_{i=1}^n \frac{(R_f)_i \cdot \exp[-(\beta_o + \beta_1 \cdot (R_f)_i)]}{1 + \exp[-(\beta_o + \beta_1 \cdot (R_f)_i)]} - \sum_{i=1}^{n_1} (R_f)_i = 0 \dots\dots\dots (8-8b)$$

由式(8-8)求出 $\hat{\beta}_i$ 之解，此邏輯迴歸模式是否適當，可利用 Horowitz(1982)提議之修正似然性比之指數(Modified Likelihood Ratio Index, MLRI) ρ^2 ，加以判定，其定義如式(8-9)：

$$\rho^2 = 1 - \frac{\ln[(\hat{\beta})] - \frac{(m+1)}{2}}{\ln[L(0)]} \dots\dots\dots (8-9)$$

式中， $\ln[L(\hat{\beta})]$ ：最大似然性函數。

$\ln[L(0)]$ ： $\beta = 0$ 之似然性函數。

m ：解釋參數之數目。

理論上 ρ^2 是介於 0 與 1 之間，若 ρ^2 高於 0.4 以上，即表示該邏輯迴歸模式良好。

8.2.2 土壤分類之邏輯迴歸模式

欲建立土壤分類之邏輯迴歸模式，首需檢視土壤分類之解釋參數是否符合常態分佈。本文以台中港 CPT 試驗之土壤分類數據共 111 組，分別以淨砂(SP, SP-SM)、粉土質砂(SM)、粉土(ML)等三種土壤 R_f 資料進行或然率分析，這些資料經或然率圖檢定，其結果如圖 8-1 所示，由圖 8-1 顯示：淨砂、粉土質砂、粉土等三種土壤之 R_f 值於常態或然率圖上皆接近直線，因此 CPT 試驗之 R_f 值符合常態分佈。

本文以 R_f 為土壤分類之解釋參數，分別以淨砂(SP, SP-SM)、粉土質砂(SM)與粉土質砂(SM)、粉土(ML)等二組土壤分類，建立土壤分類之邏輯迴歸模式，其分析結果如下所示：

模式一：淨砂、粉土質砂之土壤分類邏輯迴歸模式

經台中港 CPT 試驗之土壤分類分析得淨砂之資料 24 組、粉土質砂之資料 61 組，進行推定分析，得土壤分類邏輯迴歸模式如圖 8-2 及式 (8-10)：

$$P_{SP} = \frac{1}{1 + \exp[-(7.54 - 16.89 \cdot R_f)]} \dots\dots\dots (8-10)$$

其修正之似然性指數 $\rho_1^2 = 0.6783$

以上述 $P_{SP} = 0.5$ 為判別式，分析得 $R_f = 0.45\%$ ，因此淨砂與粉土質砂之判別分界為 $R_f = 0.45\%$ 。

模式二：粉土質砂、粉土之土壤分類邏輯迴歸模式

經台中港 CPT 試驗之土壤分類分析得粉土質砂之資料 61 組、粉土之資料 26 組，進行推定分析，得土壤分類邏輯迴歸模式如圖 8-2 及式 (8-11)：

$$P_{SM} = \frac{1}{1 + \exp[-(13.49 - 12.85 \cdot R_f)]} \dots\dots\dots(8-11)$$

其修正之似然性指數 $\rho_1^2 = 0.6061$

以上述 $P_{SM} = 0.5$ 為判別式，分析得 $R_f = 1.05\%$ ，因此粉土質砂與粉土之判別分界為 $R_f = 1.05\%$ 。

由於未搜集到粉土質粘土之 CPT 土壤分類資料，因此無法針對粉土與粉土質粘土之土壤分類進行邏輯迴歸分析，本文僅以接近粉土之臨界下限值 $R_f = 2.8\%$ 為粉土與粉土質粘土之判別分界。

由以上土壤分類之綜合分析得知， $0\% \leq R_f \leq 1.05\%$ 為淨砂， $0.45\% \leq R_f \leq 1.05\%$ 為粉土質砂， $1.05\% \leq R_f \leq 2.8\%$ 為粉土。

8.3 液化機率之邏輯迴歸分析

8.3.1 液化機率之邏輯迴歸方法

液化機率之邏輯迴歸分析，係以液化之調查資料及非液化之調查資料，建立以 m 個解釋參數表示液化機率(P_L)之函數。本文以 Robertson & Wride (1998)建議之式(8-12)無因次化之錐端阻抗 q_{c1N} 值表示土層特性之參數，以式(8-13)反復應力比($CSR_{7.5}$)表示地震強度之參數。

$$q_{c1N} = C_N \cdot \frac{q_c}{P_a} = \sqrt{P_a / \sigma'_o} \cdot \frac{q_c}{P_a} \dots\dots\dots(8-12)$$

其中，

q_{c1N} ：修正至有效覆土壓力為 1 atm 之無因次化之錐端阻抗值。

C_N ：有效覆土壓力之修正係數。

q_c ：CPT 試驗之錐端阻抗(Tip resistance)值。

P_a : 1 大氣壓力(1 atm)

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_o} = 0.65 \cdot \gamma_d \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_o}{\sigma'_o} \dots\dots\dots (8-13a)$$

$$CSR_{7.5} = CSR / MSF \dots\dots\dots (8-13b)$$

其中,

CSR：地震強度參數,無因次化之反復應力比。

$CSR_{7.5}$ ：修正至地震規模 $M_w=7.5$ 之反復應力比。

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 。

γ_d ：應力折減因數。

MSF：地震規模影響因素(Magnitude Scaling Factor)。

根據 Liao et al.(1988)所建議之土層深度 Z 與 γ_d 之關係式如下:

$$\begin{aligned} \gamma_d &= 1.0 - 0.00765Z, & Z \leq 9.15 \text{ m} \\ &= 1.174 - 0.0267Z, & 9.15 \text{ m} < Z \leq 23 \text{ m} \dots\dots\dots (8-14) \end{aligned}$$

根據 Idriss (1999)所建議之地震規模 M_w 與 MSF 之關係式如下:

$$\begin{aligned} MSF &= 37.9(M_w) - 1.81 && \text{for } M_w \geq 5.75 \\ &= 1.625 && \text{for } M_w < 5.75 \dots\dots\dots (8-15) \end{aligned}$$

由於式(8-12)之 q_{c1N} 值及式(8-13)之 $CSR_{7.5}$ 值皆不符合常態分佈，不能成為邏輯迴歸分析之解釋參數，經下一節之或然率圖檢定分析結果， $\sqrt{q_{c1N}}$ 值及 $\ln(CSR_{7.5})$ 值符合常態分佈。因此以 $\sqrt{q_{c1N}}$ 值及 $\ln(CSR_{7.5})$ 值為液化特性之解釋參數。其液化機率 P_L 可表示成式(8-16) 所示。

$$P_L = \frac{1}{1 + \exp[-(\beta_o + \beta_1 \ln(CSR_{7.5}) + \beta_2 \sqrt{q_{c1N}})]} \dots\dots\dots (8-16)$$

式(8-16)迴歸係數 $\beta_o, \beta_1, \beta_2$ 之推定值，可由下列聯立方程式組來解得：

$$\frac{\partial \ln(L)}{\partial \beta_o} = \sum_{i=1}^n \frac{\exp[-(\beta_o + \beta_1 \ln(CSR_{7.5})_i + \beta_2 (\sqrt{q_{c1N}})_i)]}{1 + \exp[-(\beta_o + \beta_1 \ln(CSR_{7.5})_i + \beta_2 (\sqrt{q_{c1N}})_i)]} - \sum_{i=1}^{n_i} 1 = 0 \dots\dots (8-17a)$$

$$\frac{\partial \ln(L)}{\partial \beta_1} = \sum_{i=1}^n \frac{\ln(CSR_{7.5})_i \cdot \exp[-(\beta_o + \beta_1 \ln(CSR_{7.5})_i + \beta_2 (\sqrt{q_{c1N}})_i)]}{1 + \exp[-(\beta_o + \beta_1 \ln(CSR_{7.5})_i + \beta_2 (\sqrt{q_{c1N}})_i)]} - \sum_{i=1}^{n_i} \ln(CSR_{7.5})_i = 0$$

\dots\dots\dots (8-17b)

$$\frac{\partial \ln(L)}{\partial \beta_2} = \sum_{i=1}^n \frac{(\sqrt{q_{c1N}})_i \cdot \exp[-(\beta_o + \beta_1 \ln(CSR_{7.5})_i + \beta_2 (\sqrt{q_{c1N}})_i)]}{1 + \exp[-(\beta_o + \beta_1 \ln(CSR_{7.5})_i + \beta_2 (\sqrt{q_{c1N}})_i)]} - \sum_{i=1}^{n_i} (\sqrt{q_{c1N}})_i = 0$$

\dots\dots\dots (8-17c)

由式(8-17)求出 $\hat{\beta}_i$ 之解，此邏輯迴歸模式是否適當，仍以式(8-9)之修正似然性比之指數 ρ^2 ，加以判定。

8.3.2 液化機率之邏輯迴歸模式

欲建立 CPT 評估液化機率邏輯迴歸模式，首需檢視 CPT 資料是否符合常態分佈。本文以 921 地震共 174 組數據，依據第二章土壤分類之邏輯迴歸分析結果分組進行或然率檢定，即分別以淨砂($R_f \leq 0.45\%$)、粉土質砂($0.45\% \leq R_f \leq 1.05\%$)、粉土($1.05\% \leq R_f \leq 2.8\%$)等三組資料進行或然率分析，這些資料經或然率圖檢定，其結果如圖 8-3 至圖 8-4 所示，由圖 8-3 顯示，CPT 試驗之 $\sqrt{q_{c1N}}$ 值符合常態分佈，由圖

8-4 顯示，反復應力比 $CSR_{7.5}$ 符合對數常態分佈，因此若將反復應力比取對數 $\ln(CSR_{7.5})$ 即符合常態分佈。

因此本文以 $\sqrt{q_{c1N}}$ 及 $\ln(CSR_{7.5})$ 為液化特性之解釋參數，分別以 $R_f \leq 0.45\%$ 、 $0.45\% \leq R_f \leq 1.05\%$ 、 $1.05\% \leq R_f \leq 2.8\%$ 等三種土壤，建立 CPT 評估液化機率之邏輯迴歸模式，其分析結果如下所示：

模式一：淨砂($R_f \leq 0.45\%$)之液化機率邏輯迴歸模式

經 921 地震現地資料分析得淨砂之液化資料 17 組、非液化資料 20 組，進行推定分析，得液化機率邏輯迴歸模式如圖 8-5 及式(8-18)：

$$P_{L1} = \frac{1}{1 + \exp[-(21.8 + 6.8\ln(CSR_{7.5}) - 1.36\sqrt{q_{c1N}})]} \dots\dots\dots(8-18)$$

其修正之似然性指數 $\rho_1^2 = 0.4709$

模式二：粉土質砂($0.45\% \leq R_f \leq 1.05\%$)之液化機率邏輯迴歸模式

經 921 地震現地資料分析得粉土質砂液化資料 30 組、非液化資料 51 組，進行推定分析，得液化機率邏輯迴歸模式如圖 8-6 及式(8-19)：

$$P_{L2} = \frac{1}{1 + \exp[-(19.6 + 6.4\ln(CSR_{7.5}) - 1.26\sqrt{q_{c1N}})]} \dots\dots\dots(8-19)$$

其修正之似然指數 $\rho_2^2 = 0.4817$

模式三：粉土($1.05\% \leq R_f \leq 2.8\%$)之液化機率邏輯迴歸模式

經 921 地震現地資料分析得粉土之液化資料 41 組、非液化資料 13 組，進行推定分析，得液化機率邏輯迴歸模式如圖 8-7 及式(8-20)：

$$P_{L3} = \frac{1}{1 + \exp[-(19.6 + 5.9\ln(CSR_{7.5}) - 1.48\sqrt{q_{c1N}})]} \dots\dots\dots(8-20)$$

其修正之似然性指數 $\rho_3^2 = 0.5752$

將模式一至三之比較如表 8-1。

表 8-1 液化機率各種迴歸模式之比較

土壤分類	資料數目	邏輯之迴歸式	ρ^2
$R_f \leq 0.45\%$	37	$Q_L = 21.8 + 6.8 \ln(CSR_{7.5}) - 1.36 \sqrt{q_{c1N}}$	0.4709
$0.45\% \leq R_f \leq 1.05\%$	81	$Q_L = 19.6 + 6.4 \ln(CSR_{7.5}) - 1.26 \sqrt{q_{c1N}}$	0.4817
$1.05\% \leq R_f \leq 2.8\%$	54	$Q_L = 19.6 + 5.9 \ln(CSR_{7.5}) - 1.48 \sqrt{q_{c1N}}$	0.5702

以上之邏輯迴歸模式，不但可直接以 CPT 試驗定量評估土壤液化機率，亦可以液化機率 $P_L=0.5$ 為判別式定性評估土壤液化潛能。因此本文分別將 $R_f \leq 0.45\%$ 、 $0.45\% \leq R_f \leq 1.05\%$ 與 $1.05\% \leq R_f \leq 2.8\%$ 之液化邏輯迴歸模式，以液化機率 $P_L=0.5$ 為判別式，劃於圖 8-8 互相比較，並進行統計迴歸，以 $CRR_{7.5} = CSR_{7.5}$ ，則抗液化強度 $CRR_{7.5}$ 與 q_{c1N} 之關係如式(8-21)：

$$CRR_{7.5} = \exp[(0.2169 - 0.0760R_f + 0.0658R_f^2) \sqrt{q_{c1N}} - (3.426 - 0.9002R_f + 0.5539R_f^2)] \quad \text{.....(8-21)}$$

理論上，以液化機率 $P_L=0.5$ 為判別式較合理，但工程實務上常以較保守之液化機率為判別式，因此本文亦將將液化機率 $P_L=0.3$ 之判別式亦劃於圖 8-8 互相比較，並進行統計迴歸，則抗液化強度 $CRR_{7.5}^*$ 與 q_{c1N} 之關係如式(8-22)：

$$CRR_{7.5}^* = \exp[(0.2169 - 0.0760R_f + 0.0658R_f^2) \sqrt{q_{c1N}} - (3.5451 - 0.8809R_f + 0.5519R_f^2)] \quad \text{.....(8-22)}$$

上述之式(8-21)、(8-22)僅適用 $0 \leq R_f \leq 2.8\%$ ，即淨砂、粉土質砂及

粉土等土壤 由圖 8-8 $P_L=0.5$ $P_L=0.3$ 之判別式皆可發現：在相同之 q_{cIN} ，抗液化強度反復應力比 $CRR_{7.5}$ 之大小分別為： $R_f \leq 0.45\%$ 最小、 $0.45\% \leq R_f \leq 1.05\%$ 次之、 $1.05\% \leq R_f \leq 2.8\%$ 最大，與實際之土壤情況極為吻合。

以上述 $P_L=0.5$ 為判別式分析液化潛能，其土壤之抗液化強度， $CRR_{7.5}$ ，以式(8-21)計算，地震引致土層之作用強度， $CSR_{7.5}$ ，以式(8-13)計算，其抗液化之安全係數， F_s ，如下所示：

$$F_s = CRR_{7.5} / CSR_{7.5} \dots\dots\dots(8-23)$$

以較保守之 $P_L=0.3$ 為判別式分析液化潛能，其土壤之抗液化強度， $CRR_{7.5}^*$ ，以式(8-22)計算，地震引致土層之作用強度， $CSR_{7.5}$ ，以式(8-13)計算，其抗液化之安全係數， F_s^* ，如下所示：

$$F_s^* = CRR_{7.5}^* / CSR_{7.5} \dots\dots\dots(8-24)$$

8.4 邏輯迴歸模式與傳統相關經驗法之比較

本文之邏輯迴歸模式，不但可直接以 CPT 試驗定量評估土壤液化機率，亦可以液化機率 $P_L=0.5$ 、 $P_L=0.3$ 為判別式定性評估土壤液化潛能。因此本文以液化機率 $P_L=0.5$ $P_L=0.3$ 為判別式，分別與 Olson(1997)、Robertson & Wride(1997) 簡稱 R & W(1997)及修正之 Seed 法相互比較，以探討其差異性。比較結果如圖 8-9 至圖 8-11 所示。其中修正之 Seed 法，由 Youd & Idriss(1997) 以邏輯迴歸模式修正 Seed et al.(1985)之 SPT-N 法，本文再以港研所(1984) q_c 與 N 相關性之研究成果，即淨砂以 $(q_c/N)=4$ 、粉土質砂以 $(q_c/N)=3.7$ 、粉土質砂以 $(q_c/N)=3$ ，轉換為修正之 Seed CPT- q_c 法。

由圖 8-9 至圖 8-11 之比較可發現：於淨砂、粉土質砂及粉土等三種土壤之情況，於 $q_{cIN} \leq 70$ 附近時，本文 $P_L=0.3$ 模式之抗液化強度，皆相當接近於修正之 Seed CPT- q_c 法之相關經驗曲線；於淨砂及粉土質砂土壤時，本文 $P_L=0.5$ 、 $P_L=0.3$ 模式之抗液化強度大於 Olson(1997)、R & W

(1997) 之相關經驗曲線許多；於粉土土壤時，本文之 $P_L=0.5$ 、 $P_L=0.3$ 模式，與 Olson(1997)、R & W (1998) 之相關經驗曲線則相差甚多。

整體而言：本文 $P_L=0.5$ 之邏輯判別式，為理論上液化與非液化之分界線；本文 $P_L=0.3$ 之邏輯判別式及修正之 Seed CPT- q_c 法，介於為理論分界線與液化臨界下限；而 Olson(1997)、R & W (1997) 法，為液化臨界下限之經驗判斷分析法，因此 Olson(1997)、R & W (1997) 法最為保守。由賴、謝(1999)、亞新工程顧問公司(2000)、Chu et al.(2000)、Lin et al.(2000) 等，針對 921 地震之台中港、員林、霧峰、南投等地區之液化危險度分析可發現，Olson(1997)、R & W (1997) 等 CPT- q_c 法較保守，而 Youd & Idriss al.(1997)修正 Seed et al.(1985)之 SPT-N 法較適中。

8.5 抗液化安全係數與液化機率之相關性

本文分別以邏輯迴歸模式及貝氏定理，建立抗液化安全係數 F_s 與液化機率 P_L 之相關性。

邏輯迴歸模式不但可分析土壤液化機率，亦可以液化機率 $P_L=0.5$ 、 $P_L=0.3$ 為判別式，計算土壤抗液化之安全係數， F_s 、 F_s^* 。本文以式(8-18)至式(8-20)之邏輯迴歸模式，計算液化及非液化案例，獲得 174 組(P_L, F_s) 及 (P_L^*, F_s^*)，並以迴歸分析建立抗液化安全係數與液化機率之關係，如式(8-25)-式(8-26)及圖 8-12 ($R^2=0.82$, $R^{*2}=0.84$)所示：

$$P_L = \frac{1}{1 + 0.3(F_s)^3 + 0.7(F_s)^7} \dots\dots\dots(8-25)$$

$$P_L^* = \frac{1}{1 + 0.5(F_s^*)^3 + 1.8(F_s^*)^7} \dots\dots\dots(8-26)$$

本文亦以貝氏定理(Juang et al., 1999) 分析土壤液化機率，其分析方法如式(27)所示：

$$P_{LB} = \frac{f_L(F_S)}{f_L(F_S) + f_{NL}(F_S)} \dots\dots\dots(8-27)$$

式中:

P_{LB} : 貝氏定理分析之土壤液化機率。

$f_L(F_S)$: 為液化案例安全係數 F_S 之機率密度函數。

$f_{NL}(F_S)$: 為非液化案例安全係數 F_S 之機率密度函數。

由圖 8-13 液化案例安全係數 F_S 、 F_S^* 之或然率圖檢定顯示，液化案例之 $\sqrt{F_S}$ 、 $\sqrt{F_S^*}$ 值符合常態分佈，由圖 8-14 非液化案例安全係數 F_S 、 F_S^* 之或然率圖檢定顯示，非液化案例之 F_S 、 F_S^* 值符合對數常態分佈，因此液化案例安全係數之機率密度函數， $f_L(F_S)$ 、 $f_L(F_S^*)$ ，可表示如下式：

$$f_L(F_S) = \frac{1}{0.214 * \sqrt{8\pi * F_S}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{F_S} - 0.793}{0.214} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(8-28)$$

$$f_L(F_S^*) = \frac{1}{0.201 * \sqrt{8\pi * F_S^*}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{F_S^*} - 0.741}{0.201} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(8-29)$$

非液化案例安全係數之機率密度函數， $f_{NL}(F_S)$ 、 $f_{NL}(F_S^*)$ ，可表示如下式:

$$f_{NL}(F_S) = \frac{1}{0.322 * F_S * \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(F_S) - 0.353}{0.322} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(8-30)$$

$$f_{NL}(F_S^*) = \frac{1}{0.322 * F_S^* * \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(F_S^*) - 0.221}{0.322} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(8-31)$$

將式(8-28)-式(8-31)代入式(8-27) 之貝氏定理，分析液化及非液化

案例，獲得 174 組(P_{LB} , F_S) 及 (P_{LB}^* , F_S^*)，並以迴歸分析建立抗液化安全係數與液化機率之關係，如式(8-32)-式(8-33)及圖 8-15($R^2=0.98$, $R^{*2}=0.99$)所示：

$$P_{LB} = \frac{1}{1 + (F_S / 0.98)^{5.2}} \dots\dots\dots(8-32)$$

$$P_{LB}^* = \frac{1}{1 + (F_S^* / 0.86)^{5.3}} \dots\dots\dots(8-33)$$

由圖 8-12 及圖 8-15 顯示，以 $P_L=0.5$ 為判別式，建立之抗液化安全係數與液化機率關係，當 $F_S=1$ 時， $P_L=0.5$ 、 $P_{LB}=0.47$ 。以 $P_L=0.3$ 為判別式，建立之抗液化安全係數與液化機率關係，當 $F_S^*=1$ 時， $P_L^*=0.3$ 、 $P_{LB}^*=0.31$ 。

8.6 小結

- 1.由土壤分類之邏輯迴歸分析得知： $0\% \leq R_f \leq 0.45\%$ 為淨砂、 $0.45\% \leq R_f \leq 1.05\%$ 為粉土質砂、 $1.05\% \leq R_f \leq 2.8\%$ 為粉土。
- 2.本文以 921 地震現場液化與非液化案例 CPT 試驗共 174 組數據，建立以 CPT 評估液化機率之邏輯迴歸模式，不但可定性評估土壤液化潛能，亦可定量評估土壤液化機率，提供工程設計更多之資訊。
- 3.本文所建立之邏輯迴歸模式，是以 CPT 現場試驗數據之錐端阻抗 q_{c1N} 值與摩擦比 R_f 為分析參數，不需其他非 CPT 試驗之數據，並以簡易之相關式表示，在液化分析上甚為方便。
- 4.本文不但以液化機率 $PL=0.5$ 為判別式，建立理論上之抗液化強度 $CRR_{7.5}$ 與 q_{c1N} 之關係式，即式(8-21)；亦以較保守之液化機率 $PL=0.3$ 為判別式，建立適用於工程上之抗液化強度 $CRR_{7.5}$ 與 q_{c1N} 之關係式，即式(8-22)。提供液化分析上更多之資訊。

5. 本文邏輯迴歸模式與傳統相關經驗法之比較可發現：於淨砂、粉土質砂及粉土等三種土壤之情況，於 $q_{c1N} \leq 70$ 附近時，本文 PL=0.3 模式之抗液化強度，皆相當接近於修正之 Seed CPT- q_c 法之相關經驗曲線；於淨砂及粉土質砂土壤時，本文 PL=0.5、PL=0.3 模式之抗液化強度大於 Olson(1997)、R & W (1998) 之相關經驗曲線許多；於粉土土壤時，本文之 PL=0.5、PL=0.3 模式，與 Olson(1997)、R & W (1998) 之相關經驗曲線則相差甚多。
6. 本文分別以邏輯迴歸模式及貝氏定理，建立抗液化安全係數與液化機率之關係式，即式(8-25)-式(8-26)及式(8-32)-式(8-33)，其相關性皆甚良好。

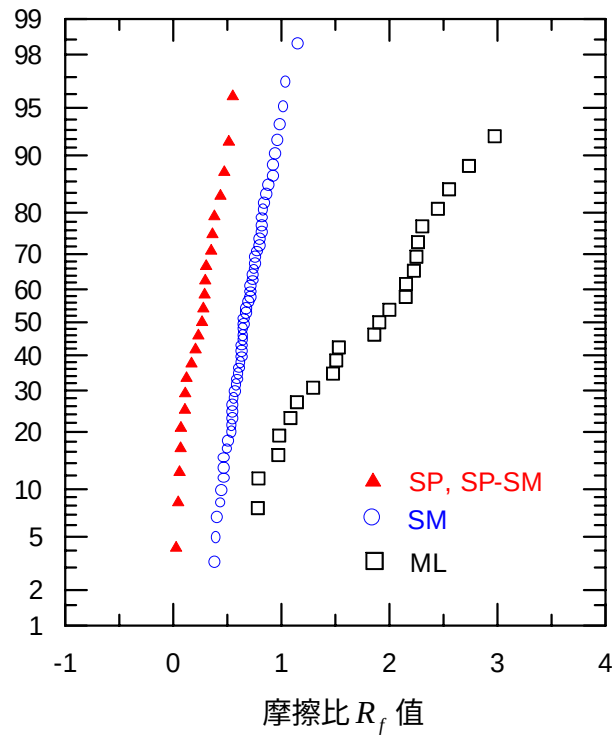


圖 8-1 淨砂、粉土質砂、粉土等三種土壤之 R_f 值繪於常態或然率圖上

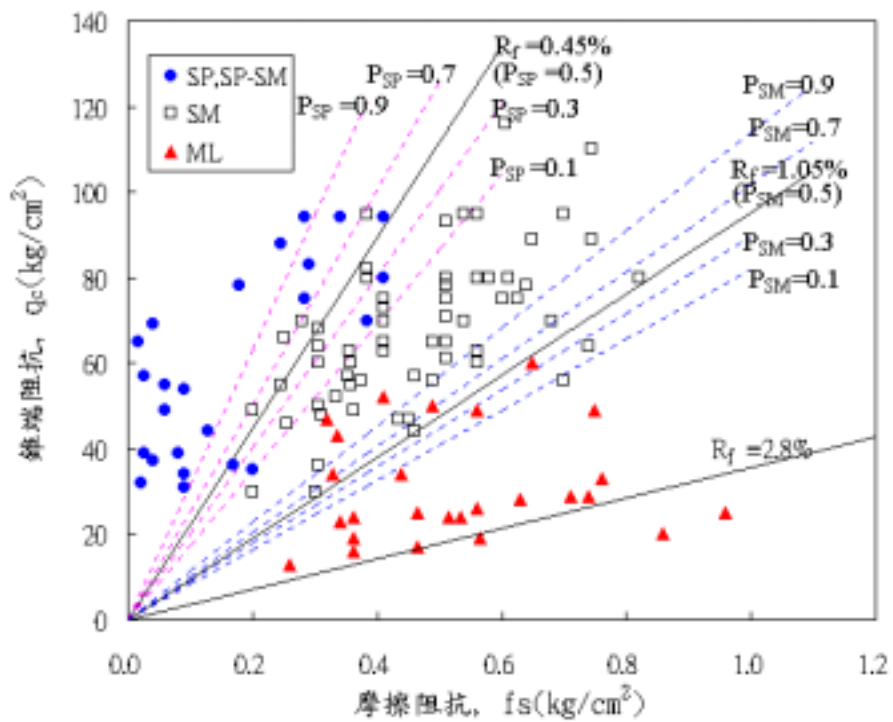


圖 8-2 台中港 CPT 試驗與土壤分類之邏輯迴歸分析結果

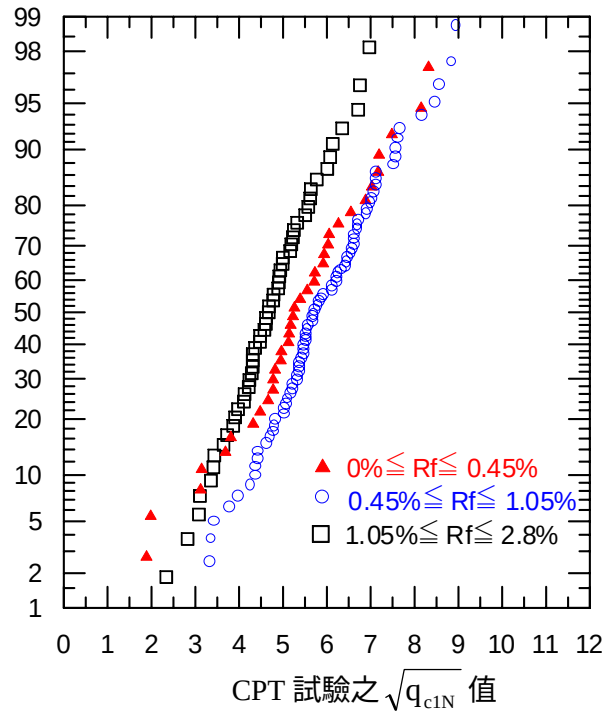


圖 8-3 CPT 試驗之 $\sqrt{q_{c1N}}$ 值繪於常態或然率圖上

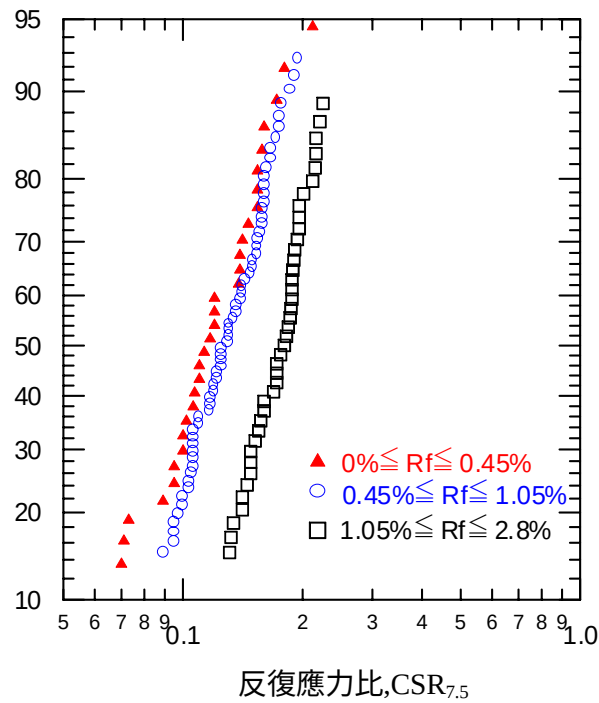


圖 8-4 反復應力比 $CSR_{7.5}$ 繪於對數常態或然率圖上

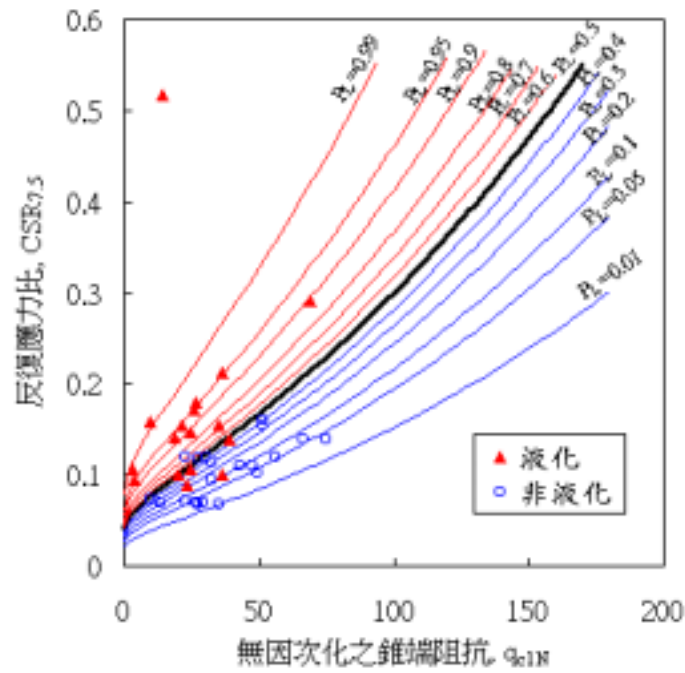


圖 8-5 $R_f \leq 0.45\%$ 邏輯模式之液化機率曲線圖

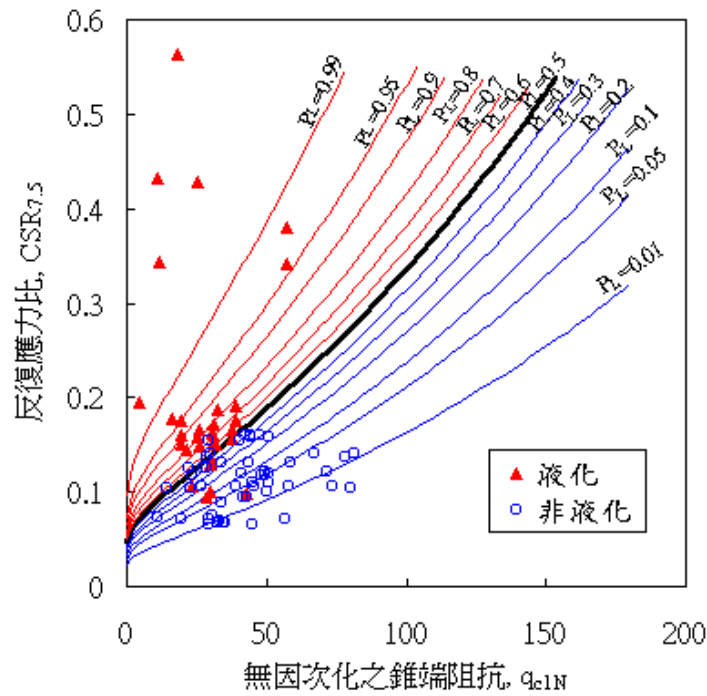


圖 8-6 $0.45\% \leq R_f \leq 1.05\%$ 邏輯模式之液化機率曲線圖

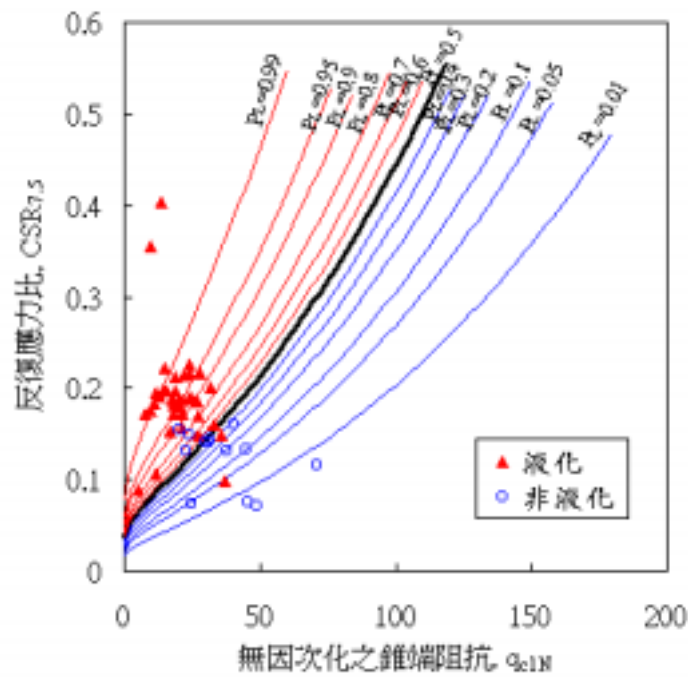


圖 8-7 $1.05\% \leq R_f \leq 2.8\%$ 邏輯模式之液化機率曲線圖

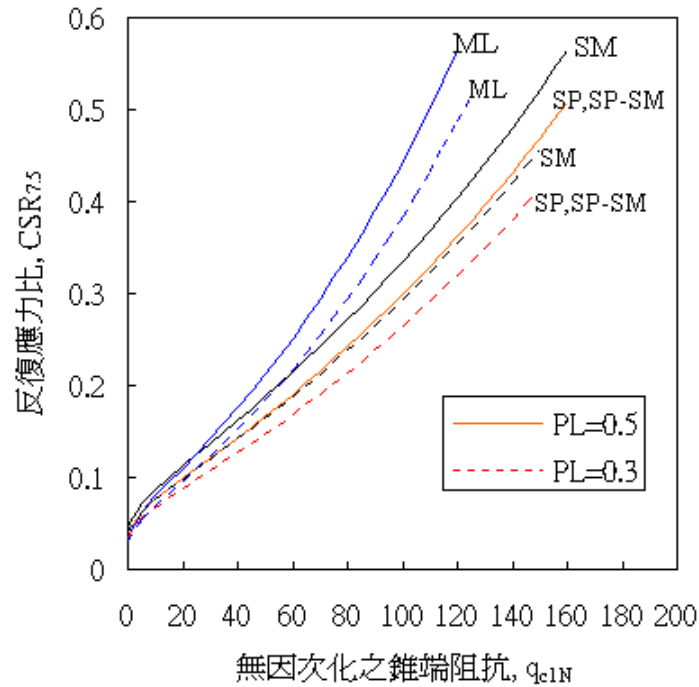


圖 8-8 淨砂、粉土質砂、粉土等土壤以 $P_L=0.5$ 、 $P_L=0.3$ 為液化判别式之比較

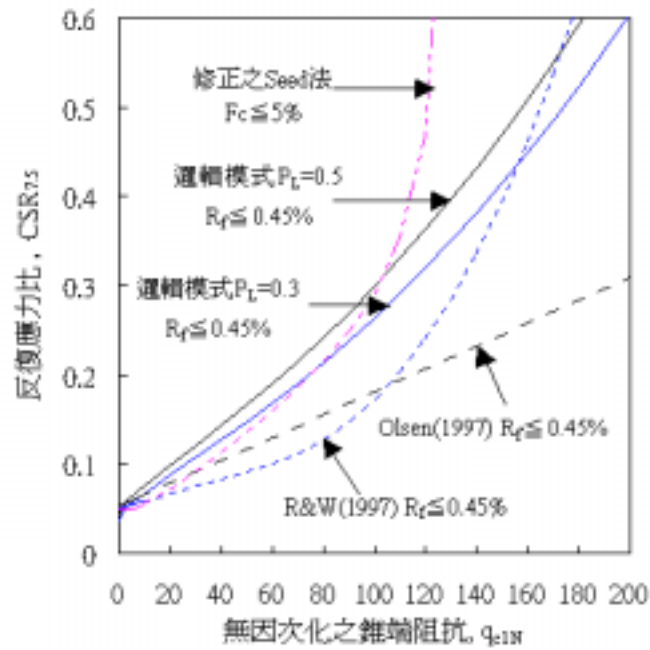


圖 8-9 淨砂液化邏輯模式 $P_L=0.5$ 、 $P_L=0.3$ 與 Olsen(1997)、R&W(1997)及修正之 Seed 等方法之比較

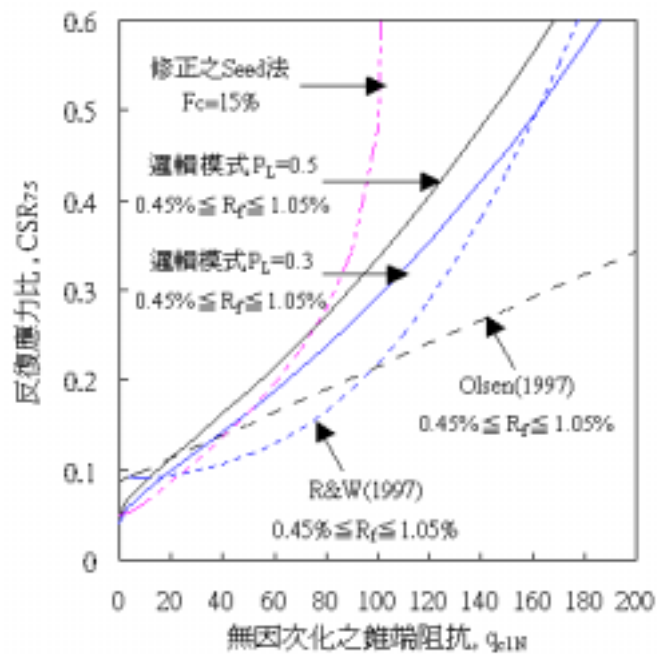


圖 8-10 粉土質砂液化邏輯模式 $P_L=0.5$ 、 $P_L=0.3$ 與 Olsen(1997)、R&W(1997)及修正之 Seed 等方法之比較

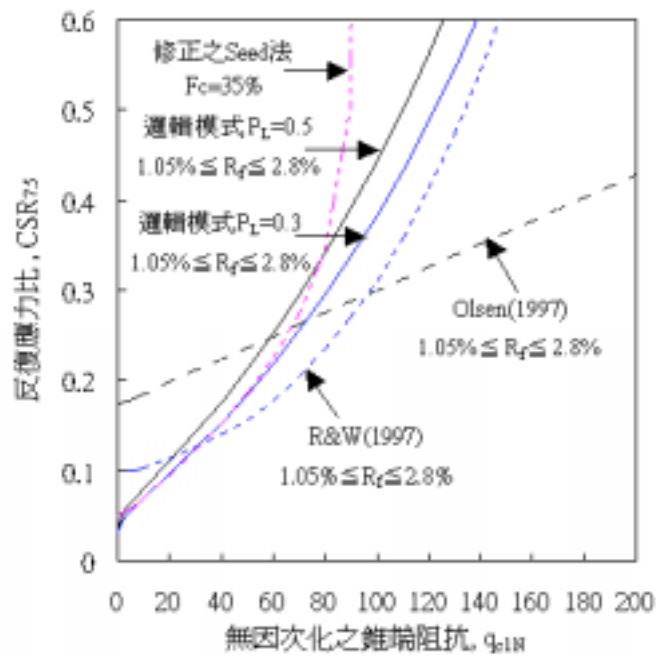


圖 8-11 粉土液化邏輯模式 $P_L=0.5$ 、 $P_L=0.3$ 與 Olsen(1997)、R&W(1997)及修正之 Seed 等方法之比較

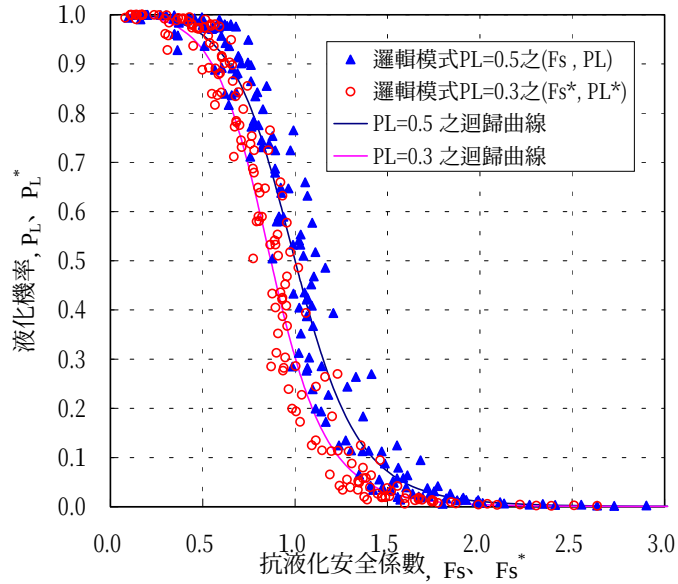
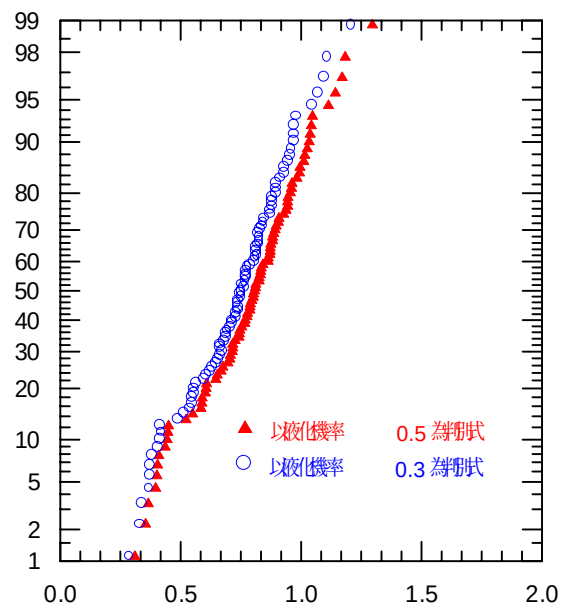
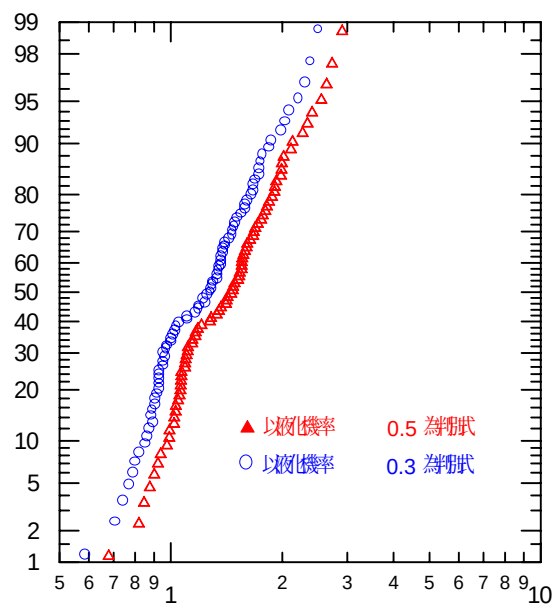


圖 8-12 邏輯模式 $P_L=0.5$ 、 $P_L=0.3$ 之抗液化安全係數與液化機率之關係圖



液化案例之 $\sqrt{F_S}$ 、 $\sqrt{F_S^*}$ 值

圖 8-13 液化案例之 $\sqrt{F_S}$ 、 $\sqrt{F_S^*}$ 值繪於常態或然率圖上



非液化案例之 F_S 、 F_S^* 值

圖 8-14 非液化案例之 F_S 、 F_S^* 值繪於對數常態或然率圖上

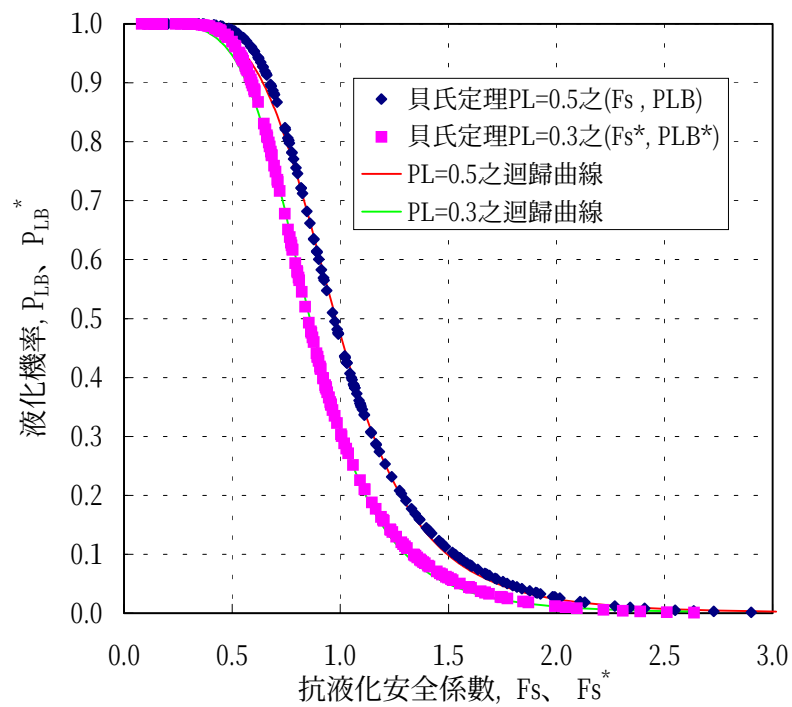


圖 8-15 貝氏定理 $PL=0.5$ 、 $PL=0.3$ 之抗液化安全係數與液化機率之關係圖

第九章 SPT 試驗之本土化液化分析模式

9.1 前言

在地震活動頻繁的區域，以土壤為材料之工程構造物或工址，均須考慮土層液化之可能性，當今世界上工程界著名之土壤液化評估方法，大多是累積許多地震液化案例及大量現場或室內試驗研究成果，並針對工程實務應用發展而成。而現場試驗被發展用來評估液化潛能者：有標準貫入試驗 (SPT)、荷式錐貫入試驗 (CPT)或震測剪力波試驗 V_s 等。其中以標準貫入試驗，為全世界最廣泛使用之現場試驗，歷年地震發生時，所進行的 SPT 試驗和現場觀測數據資料甚豐，目前地震災區發生液化與非液化之現地 SPT 試驗資料，有 Hwang et al. (2001) 所蒐集 921 集集地震液化與非液化案例 288 組、Liao et al. (1988) 所蒐集世界各國液化與非液化案例 278 組及 Boulanger et al. (1997) 所蒐集美國 Loma Prieta 地震液化與非液化案例 26 組，因此本文乃根據以上共 592 組，為目前世界上最充足之 SPT 現場液化與非液化案例數據，以較合理之統計方法，發展出一個以 SPT 評估土壤液化潛能之本土化及全球化分析模式。

以 SPT 評估土壤液化潛能之分析方法，須先建立土壤抗液化強度 X_R 與 SPT-N 值之關係式或關係圖，欲求得 X_R 與 SPT-N 值之關係，有傳統經驗判斷法及統計分類法。由於傳統方法所推導之相關經驗式或相關經驗圖，如 Seed 簡易經驗法 (1971, 1985, 1997 NCEER)、Tokimatsu & Yoshimi 簡易經驗法 (1983)、日本道路橋協會簡易經驗法 (1990, 1996) 等方法，在數據上常顯得較不足，而且推導之方法，亦偏重於經驗判斷，較缺乏統計上的根據。因此，其推導之經驗式或經驗圖較易產生偏差。

欲求得 X_R 與 SPT-N 值之關係，目前之統計方法約有三種：(1) 判別分析法，(2) 邏輯迴歸法，(3) 最小錯誤分類法，由於各種方法皆各具特色及適用性，本文乃根據以上共 592 組，為目前世界上最充足之 SPT

現場液化與非液化案例數據，利用多變數統計之判別分析方法，建立以標準貫入試驗值評估土壤液化潛能之判別模式，及其可能導致誤差判斷之機率。並分別與 Seed et al.(1997 NCEER)、Tokimatsu & Yoshimi (1983)簡易經驗法(簡稱 T&Y 法)等方法所提出之相關經驗曲線相互比較。以利工程師進行工程規劃、設計之參考。

9.2 判別分析

判別分析(discriminant analysis)是多變數統計分析之一個步驟，即將一群現地調查資料區分為兩個種類；就本文來講，是將地震區液化與非液化之 SPT 資料，加以統計分析求得適當之判別式區分液化與非液化兩個種類，以便能由工址之現地調查資料，評估工址之液化潛能，及其可能導致誤差判斷之機率。

依據 Christian & Swiger(1975)及賴聖耀(1990)之建議，進行判別分析之現地調查資料須符合三項假設，即：

- 1.全部現地調查資料皆為隨機調查所得。
- 2.判別分析之參數須符合常態分佈。
- 3.現地調查資料兩種個別種類之變異性(variances)及相關性(correlation)須與全部調查資料之變異性、相關性相同。

若地震區液化與非液化之現地貫入試驗資料，符合上述三項假設，則其液化潛能之判別式，依 Christian & Swiger(1975)之意見，可表示如下式：

$$V = \left[X - \frac{1}{2}(\bar{X}_\ell + \bar{X}_{n\ell}) \right]^T S^{-1}(\bar{X}_\ell - \bar{X}_{n\ell}) \dots\dots\dots(9-1)$$

式中

V ：判別參數； $V \geq 0$ 表示非液化， $V < 0$ 表示液化。

X ：液化解釋參數之向量

$\bar{X}_\ell$ ：現地調查資料中，液化部分解釋參數平均值之向量，其中下標 ℓ 符號表示液化。

$\bar{X}_{n\ell}$ ：現地調查資料中，非液化部分解釋參數平均值之向量，其中下標 $n\ell$ 符號表示非液化。

S^{-1} ：全部調查資料變異性矩陣 S 之反矩陣。

由式(9-1)之判別分析，僅能尋找一條液化與非液化之理論分界曲線，本文以應用更廣泛之新的判別式(Lai et al., 2004)進行判別分析，新的判別式為式(9-1)結合誤差機率函數(function of probability of misclassification) $C(P)$ ，如式(9-2)所示，依此新的判別式可尋找數條液化與非液化之分界曲線，再依工程之重要程度，選擇較合理誤差機率函數之理想分界曲線。

$$V_p = \left[X - \frac{1}{2}(\bar{X}_\ell + \bar{X}_{n\ell}) \right]^T S^{-1} (\bar{X}_\ell - \bar{X}_{n\ell}) - C(P) \dots\dots\dots (9-2)$$

式中

V_p ：判別參數； $V_p \geq 0$ 表示非液化， $V_p < 0$ 表示液化，其中下標 P 符號表示誤差機率。

P ：誤差機率(probability of misclassification)

$C(P)$ ：誤差機率函數

式(9-1)及式(9-2)之液化解釋參數，包括地震強度解釋參數 SR ，及土壤抗液化強度之解釋參數 XR ，因此液化解釋參數之向量 X 可以下式表示：

$$X = \begin{Bmatrix} SR \\ XR \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (9-3)$$

現地調查資料中，液化部分解釋參數平均值 $\bar{X}_\ell$ 之向量可表示成下

式：

$$\bar{X}_t = \left\{ \begin{array}{c} \overline{SR}_t \\ \overline{XR}_t \end{array} \right\} \dots\dots\dots(9-4)$$

式中

$\overline{SR}_t$ ：液化部分地震強度解釋參數 SR_t 之平均值。

$\overline{XR}_t$ ：液化部分土壤抗液化強度解釋參數 XR_t 之平均值。

而現地調查資料中，非液化部分解釋參數平均值 $X_{n\ell}$ 之向量亦可表示成下式：

$$\bar{X}_{n\ell} = \left\{ \begin{array}{c} \overline{SR}_{n\ell} \\ \overline{XR}_{n\ell} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (9-5)$$

式中

$\overline{SR}_{n\ell}$ ：非液化部分地震強度解釋參數 $SR_{n\ell}$ 之平均值

$\overline{XR}_{n\ell}$ ：非液化部分土壤抗液化強度解釋參數 $XR_{n\ell}$ 之平均值

全部調查資料變異性矩陣 S 如下式所示：

$$S = \begin{bmatrix} \text{Var}(SR) & \text{Cov}(SR, XR) \\ \text{Cov}(SR, XR) & \text{Var}(XR) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (9-6)$$

式中

$\text{Var}(SR)$ ：地震強度解釋參數 SR 之變異數

$\text{Var}(XR)$ ：土壤抗液化強度解釋參數 XR 之變異數

$\text{Cov}(SR, XR)$ ： SR 與 XR 之協方差(covariance)

判別分析之判別式，除受液化解釋參數之影響，亦受誤差機率函數 $C(P)$ 之影響，而誤差機率 P ，並不是工址之液化機率，而是表示預測工址為非液化，事實上工址發生了液化之機率，亦即以該判別式區

分液化與非液化有或然率 P 之可能誤差，其誤差機率之參數 α 如下式所示：

$$\alpha = (\bar{X}_\ell - \bar{X}_{n\ell})^T S^{-1} (\bar{X}_\ell - \bar{X}_{n\ell}) \dots\dots\dots (9-7)$$

而誤差機率函數 $C(P)$ 為誤差機率 P 及誤差機率參數 α 之函數，如下式所示：

$$C(P) = \sqrt{2\alpha} \text{erf}^{-1}(1-2P) - \frac{\alpha}{2} \dots\dots\dots (9-8)$$

式中

erf^{-1} ：為誤差函數 erf 之反函數

erf ：為誤差函數，其定義為：

$$\text{erf}(Y) = \int_0^Y \frac{2}{\sqrt{\pi}} \exp(-X^2) dX \dots\dots\dots (9-9)$$

由以上之判別分析，可將現地之調查資料，加以統計分析，獲得適當之判別式 V_p ，其為地震強度解釋參數 SR 、土壤液化強度解釋參數 XR 及誤差機率函數 $C(P)$ 之函數，可表示成 $V_p = f[SR, XR, C(P)]$ ，以預測工址屬於液化或非液化，並說明該判別式可能導致誤差判斷之機率。

9.3 SPT 評估土壤液化潛能之參數

震災地區之 SPT 現場數據包括土壤抗液化之強度及地震引致土層之作用強度。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_{av} ，與砂土之有效覆土壓力 σ'_o 之比值，並修正至地震規模 $M_w=7.5$ 以 $CSR_{7.5}$ 表示，其計算式如下所示：

$$CSR_{7.5} = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_o} = 0.65 \cdot \frac{\gamma d}{MSF} \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_o}{\sigma'_o} \dots\dots\dots (9-10)$$

其中，

$CSR_{7.5}$: 修正至地震規模 $M_w=7.5$ 之反復應力比。

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 。

γ_d : 應力折減因數。

γ_m : 地震規模影響因素。

MSF : 地震規模影響因素(Magnitude Scaling Factor)。

根據 Liao et al.(1988)所建議之土層深度 Z 與 γ_d 之關係式如下：

$$\begin{aligned}\gamma_d &= 1.0 - 0.00765Z, \quad Z \leq 9.15 \text{ m} \\ &= 1.174 - 0.0267Z, \quad 9.15 \text{ m} < Z \leq 23 \text{ m} \dots\dots\dots (9-11)\end{aligned}$$

根據 Idriss (1999)所建議之地震規模 M_w 與 MSF 之關係式如下：

$$\begin{aligned}MSF &= 37.9(M_w)^{-1.81} \quad \text{for } M_w \geq 5.75 \\ &= 1.625 \quad \text{for } M_w < 5.75 \dots\dots\dots (9-12)\end{aligned}$$

而土壤抗液化之強度參數以 SPT-N 值表示,不過由於 SPT-N 值, 在鑽探時, 易受有效應力及落錘能量之影響。因此以現場資料和 SPT-N 值評估土壤液化潛能之前, 需將 N 值加以修正, 本文以 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：

$$(N_1)_{60} = N_m \cdot C_n \cdot N \dots\dots\dots (9-13)$$

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， $N_m=(ER/60)$ ， ER 為落錘能量比(%)。

C_n ：有效覆土壓力之修正係數，依 Liao & Whitman(1986)之建議，

$$C_n = \sqrt{1/\sigma'_o} , \quad \sigma'_o \text{ 為有效覆土壓力, kg/cm}^2。$$

N ：標準貫入試驗值。

本文之 921 地震液化與非液化案例 288 組資料之落錘能量比 (Energy Ratio)，乃參考亞新工程顧問公司(2000)於員林地區施作落錘能量檢測之結果，其經驗公式如下所示：

$$ER=30*(Z/11)+50 \quad \text{for } Z \leq 11m \quad \dots\dots\dots (9-14)$$

$$ER=80 \quad \text{for } Z > 11m \quad \dots\dots\dots (9-15)$$

3.4 SPT 評估液化潛能之判別模式

欲建立 SPT 評估液化潛能之判別式，首需檢視 SPT 資料是否符合判別分析之三項假設，本文以世界各震災區共 592 組資料進行檢定分析，由於本文所蒐集之 SPT 資料為世界各地震區之調查結果，因此假設其屬於隨機資料，而液化參數之變異性、相關性及機率分佈之檢定，說明如下：

本文分別以 $0\% \leq FC \leq 10\%$ 、 $10\% \leq FC \leq 20\%$ 、 $20\% \leq FC \leq 30\%$ 與、 $30\% \leq FC \leq 40\%$ 等四組資料進行或然率圖檢定及統計分析，這些資料經或然率圖檢定，其結果如圖 3-1 至圖 3-8 所示，由圖 3-1 至圖 3-8 顯示：SPT 試驗之 $\sqrt{(N_1)_{60}}$ 值符合常態分佈，而反復應力比 $CSR_{7.5}$ 符合對數常態分佈，因此若將反復應力比取對數 $\ln(CSR_{7.5})$ 即符合常態分佈。經統計分析， $\sqrt{(N_1)_{60}}$ 、 $\ln(CSR_{7.5})$ 兩解釋參數之液化、非液化與全部資料之變異係數相當一致，而 $\sqrt{(N_1)_{60}}$ 與 $\ln(CSR_{7.5})$ 之相關性，由液化、非液化

與全部資料之相關係數，亦大致一致。

因此，本文以 $\sqrt{(N_1)_{60}}$ 為土壤抗液化強度之解釋參數，以 $\ln(CSR_{7.5})$ 為地震強度之解釋參數，根據第二節之判別分析，可得液化潛能之判別式，如式(9-16)所示：

$$V_p = \left[\left\{ \frac{\sqrt{(N_1)_{60}}}{\ln(CSR_{7.5})} \right\} - \frac{1}{2} \left\{ \frac{\sqrt{(N_1)_{60}}}{\ln(CSR_{7.5})} \right\}_{liq} + \left\{ \frac{\sqrt{(N_1)_{60}}}{\ln(CSR_{7.5})} \right\}_{non-liq} \right]^T \cdot \begin{bmatrix} \text{Var}(\sqrt{(N_1)_{60}}) & \text{Cov}[\sqrt{(N_1)_{60}}, \ln(CSR_{7.5})] \\ \text{Cov}[\sqrt{(N_1)_{60}}, \ln(CSR_{7.5})] & \text{Var}[\ln(CSR_{7.5})] \end{bmatrix}_{liq. \text{ and } non-liq}^{-1} \cdot \left[\left\{ \frac{\sqrt{(N_1)_{60}}}{\ln(CSR_{7.5})} \right\}_{liq} - \left\{ \frac{\sqrt{(N_1)_{60}}}{\ln(CSR_{7.5})} \right\}_{non-liq} \right] - C(P) \quad (9-16)$$

誤差機率參數 α ，如式(3-17)

$$\alpha = \left[\left\{ \frac{\sqrt{(N_1)_{60}}}{\ln(CSR_{7.5})} \right\}_{liq} - \left\{ \frac{\sqrt{(N_1)_{60}}}{\ln(CSR_{7.5})} \right\}_{non-liq} \right]^T \cdot \begin{bmatrix} \text{Var}(\sqrt{(N_1)_{60}}) & \text{Cov}[\sqrt{(N_1)_{60}}, \ln(CSR_{7.5})] \\ \text{Cov}[\sqrt{(N_1)_{60}}, \ln(CSR_{7.5})] & \text{Var}[\ln(CSR_{7.5})] \end{bmatrix}_{liq. \text{ and } non-liq}^{-1} \cdot \left[\left\{ \frac{\sqrt{(N_1)_{60}}}{\ln(CSR_{7.5})} \right\}_{liq} - \left\{ \frac{\sqrt{(N_1)_{60}}}{\ln(CSR_{7.5})} \right\}_{non-liq} \right] \quad (9-17)$$

因此本文分別建立 $0\% \leq FC \leq 10\%$ 、 $10\% \leq FC \leq 20\%$ 、 $20\% \leq FC \leq 30\%$ 與、 $30\% \leq FC \leq 40\%$ 等四組 SPT 評估土壤液化潛能之判別模式，其分析結果如下所示：

模式一： $0\% \leq FC \leq 10\%$ 之液化判別模式

世界各震災區共 592 組資料，分析得 $0\% \leq FC \leq 10\%$ 之液化資料 58 組、非液化資料 70 組，進行判別分析得判別模式，如下式所示：

$$V_p = 0.9450876\sqrt{(N_1)_{60}} - 2.406358 \ln(CSR_{7.5}) - 7.80260 C(p) \dots\dots\dots (9-18)$$

其誤差機率參數 $\alpha = 1.917175$

其誤差機率函數 $C(P)$ ，如下式所示：

$$C(P) = 1.95815 \operatorname{erf}^{-1}(1-2P) - 0.958587 P \dots\dots\dots (9-19)$$

模式二： $10\% \leq FC \leq 20\%$ 之判別模式

世界各震災區共 592 組資料，分析得 $10\% \leq FC \leq 20\%$ 之液化資料 77 組、非液化資料 95 組，進行判別分析得判別模式，如下式所示：

$$V_p = 1.107534\sqrt{(N_1)_{60}} - 2.245728 \ln(CSR_{7.5}) - 8.11655 C(p) \dots\dots\dots (9-20)$$

其誤差機率參數 $\alpha = 2.354608$

其誤差機率函數 $C(P)$ ，如下式所示：

$$C(P) = 2.170073 \operatorname{erf}^{-1}(1-2P) - 1.177304 P \dots\dots\dots (9-21)$$

模式三： $20\% \leq FC \leq 30\%$ 之判別模式

世界各震災區共 592 組資料，分析得 $20\% \leq FC \leq 30\%$ 之液化資料 64 組、非液化資料 32 組，進行判別分析得判別模式，如下式所示：

$$V_p = 0.8621721\sqrt{(N_1)_{60}} - 1.503677 \ln(CSR_{7.5}) - 5.65012 C(p) \dots\dots\dots (9-22)$$

其誤差機率參數 $\alpha = 2.171423$

其誤差機率函數 $C(P)$ ，如下式所示：

$$C(P) = 2.08395 \operatorname{erf}^{-1}(1-2P) - 1.08571 P \dots\dots\dots (9-23)$$

模式四： $30\% \leq FC \leq 40\%$ 之液化判別模式

世界各震災區共 592 組資料，分析得 $30\% \leq FC \leq 40\%$ 之液化資料 37 組、非液化資料 29 組，進行判別分析得判別模式，如下式所示：

$$V_p = 0.8938813 \sqrt{(N_1)_{60}} - 1.403875 \ln(CSR_{7.5}) - 5.443882 - C(p) \dots\dots\dots (9-24)$$

其誤差機率參數 $\alpha = 2.078286$

其誤差機率函數 $C(P)$ ，如下式所示：

$$C(P) = 2.038767 \operatorname{erf}^{-1}(1-2P) - 1.039145 \dots\dots\dots (9-25)$$

為了使工程界瞭解判別模式之應用，分別將 $0\% \leq FC \leq 10\%$ 、 $10\% \leq FC \leq 20\%$ 、 $20\% \leq FC \leq 30\%$ 與、 $30\% \leq FC \leq 40\%$ 等四組判別模式，繪製於圖 3-9~圖 3-12，並以誤差機率函數 $C(P)=0$ 即液化與非液化誤差機率相等之判別式，劃於圖 3-13 互相比較，並進行統計迴歸，以 $CRR_{7.5} = CSR_{7.5}$ ，則抗液化強度 $CRR_{7.5}$ 與 $(N_1)_{60}$ 之關係如下式：

$$CRR_{7.5} = \exp[(0.3865548 + 0.0072398 FC) \sqrt{(N_1)_{60}} - (3.3597395 + 0.0186297 FC - 0.0001093 FC^2)] \dots\dots\dots (9-26)$$

理論上，以誤差機率函數 $C(P)=0$ 為判別式較合理，其誤差機率 p 約為 0.2，但工程實務上常以較保守之誤差機率為判別式，因此本文將誤差機率 $p=0.15$ 之判別式，亦劃於圖 3-14 互相比較，並進行統計迴歸，則抗液化強度 $CRR_{7.5}^*$ 與 $(N_1)_{60}$ 之關係如式(22)：

$$CRR_{7.5}^* = \exp[(0.3865548 + 0.0072398 FC) \sqrt{(N_1)_{60}} - (3.6762598 - 0.0150227 FC + 0.0020571 FC^2 - 0.0000343 FC^3)] \dots\dots\dots (9-27)$$

由圖 3-13 及圖 3-14 $C(P)=0$ 、 $p=0.15$ 之判別式皆可發現：在相同之 $(N_1)_{60}$ ，抗液化強度反復應力比 $CRR_{7.5}$ 之大小分別為： $30\% \leq FC \leq 40\%$ 最大、 $20\% \leq FC \leq 30\%$ 次之、 $10\% \leq FC \leq 20\%$ 再次之、 $0\% \leq FC \leq 10\%$ 最小，與實際之土壤情況極為吻合；但於 $(N_1)_{60} \leq 5$ (以 $C(P)=0$ 為判別式)、及於 $(N_1)_{60} \leq 8$ 時 (以 $p=0.15$ 為判別式)，其各種土壤之抗液化強度反復應力比 $CRR_{7.5}$ 皆相當接近。

以上述 $C(P)=0$ 為判別式分析液化潛能，其土壤之抗液化強度， $CRR_{7.5}$ ，以式(9-26)計算，地震引致土層之作用強度 $CSR_{7.5}$ ，以式(9-10)計算，其抗液化之安全係數 F_s ，如下所示：

$$F_s = CRR_{7.5} / CSR_{7.5} \dots\dots\dots (9-28)$$

以較保守之 $p=0.15$ 為判別式分析液化潛能，其土壤之抗液化強度 $CRR_{7.5}^*$ ，以式(3-27)計算，地震引致土層之作用強度 $CSR_{7.5}$ ，以式(9-10)計算，其抗液化之安全係數 F_s^* ，如下所示：

$$F_s^* = CRR_{7.5}^* / CSR_{7.5} \dots\dots\dots (9-29)$$

9.5 判別模式與傳統相關經驗法之比較

SPT 評估液化潛能之方法，傳統上較偏重於經驗判斷所推導出之相關經驗式或相關經驗曲線，其中以 Seed et al.(1997 NCEER)、T&Y(1983)簡易經驗法等方法較為工程界所接受及使用，由於其相關曲線包括細料含量 FC 之影響，本文以 $FC = 5\%$ 、 $FC = 15\%$ 、 $FC = 25\%$ 、 $FC = 35\%$ 等 Seed et al.(1997 NCEER)、T&Y(1983) 之相關經驗曲線，分別與本文建立之 $C(P)=0$ 、 $p=0.15$ 之判別模式相互比較，比較結果如圖 9-15~圖 9-18 所示。

由圖 9-15 $FC = 5\%$ 淨砂模式之比較可發現：於 $(N_1)_{60} \leq 10$ 時，本文之 $C(P)=0$ 模式與 T&Y(1983)之曲線相當接近，本文之 $p=0.15$ 模式與 Seed et al.(1997 NCEER)之曲線相當接近；於 $10 \leq (N_1)_{60} \leq 20$ 時，本文之 $C(P)=0$ 模式與 Seed et al.(1997 NCEER)之曲線相當接近，於 $20 \leq (N_1)_{60} \leq 30$ 時，本文之 $C(P)=0$ 、 $p=0.15$ 模式，介於 Seed et al.(1997 NCEER)曲線與 T&Y(1983)曲線之間；於 $(N_1)_{60} > 30$ 時，本文模式小於 Seed et al.(1997 NCEER)曲線與 T&Y(1983)曲線甚多。

由圖 9-16 $FC = 15\%$ 粉土質砂模式之比較可發現：於 $(N_1)_{60} \leq 20$ 時，本文之 $C(P)=0$ 模式與 Seed et al.(1997 NCEER)之曲線接近；於 $20 \leq (N_1)_{60} \leq 30$ 時，本文之 $p=0.15$ 模式與 T&Y(1983)之曲線接近；於 $(N_1)_{60} > 30$ 時，本文模式小於 Seed et al.(1997 NCEER)曲線與 T&Y(1983)曲線甚多。

由圖 9-17 $FC = 25\%$ 粉土質砂模式之比較可發現:於 $(N_1)_{60} \leq 11$ 時, 本文之 $C(P) = 0$ 、 $p = 0.15$ 模式小於 Seed et al.(1997 NCEER)曲線與 T&Y(1983)之曲線; 於 $15 \leq (N_1)_{60} \leq 23$ 時, 本文之 $C(P) = 0$ 模式與 Seed et al.(1997 NCEER)之曲線接近; 於 $16 \leq (N_1)_{60} \leq 30$ 時, 本文之 $p = 0.15$ 模式與 T&Y(1983)之曲線接近; 於 $(N_1)_{60} > 30$ 時, 本文模式小於 Seed et al.(1997 NCEER)曲線與 T&Y(1983)曲線甚多。

由圖 9-18 $FC = 35\%$ 粉土質砂模式之比較可發現: 除了於 $14 \leq (N_1)_{60} \leq 19$ 時, 本文之 $C(P) = 0$ 模式與 Seed et al.(1997 NCEER)曲線相當接近外;其餘 $(N_1)_{60}$ 時, 本文之模式與 Seed et al.(1997 NCEER)曲線與 T&Y(1983)曲線相當甚多。

整體而言: 於 $(N_1)_{60} \leq 10$ 時, 除了於 $FC = 5\%$ 淨砂模式外, 本文 $FC = 15\%$ 、 25% 、 35% 等模式之抗液化強度皆小於 Seed et al.(1997 NCEER)曲線與 T&Y(1983)曲線。於 $10 \leq (N_1)_{60} \leq 30$ 時, 本文之 $C(P) = 0$ 模式與 Seed et al.(1997 NCEER)之曲線接近, 本文之 $p = 0.15$ 模式與 T&Y(1983)之曲線接近; 於 $(N_1)_{60} > 30$ 時, 由於本文模式之曲線較平直, 本文模式小於 Seed et al.(1997 NCEER)曲線與 T&Y(1983)曲線甚多。

9.6 液化機率模式

以判別模式分析液化潛能, 僅能計算土壤抗液化之安全係數, F_s 、 F_s^* 。本文進一步以貝氏定理(Juang et al., 1999) 分析土壤液化機率, 其分析方法如下式所示:

$$P_{LB} = \frac{f_L(F_s)}{f_L(F_s) + f_{NL}(F_s)} \dots\dots\dots (9-30)$$

式中:

P_{LB} : 貝氏定理分析之土壤液化機率。

$f_L(F_s)$: 為液化案例安全係數 F_s 之機率密度函數。

$f_{NL}(F_S)$ ：為非液化案例安全係數 F_S 之機率密度函數。

本文以式(9-26)至式(9-29)之判別模式，計算液化及非液化案例，獲得 F_S 及 F_S^* ，這些資料經或然率圖檢定，其結果如圖 9-19 至圖 9-20 所示，由圖 9-19 液化案例安全係數 F_S 、 F_S^* 之或然率圖檢定顯示，液化案例之 $\sqrt{F_S}$ 、 $\sqrt{F_S^*}$ 值符合常態分佈，由圖 9-20 非液化案例安全係數 F_S 、 F_S^* 之或然率圖檢定顯示，非液化案例之 F_S 、 F_S^* 值符合對數常態分佈，因此液化案例安全係數之機率密度函數 $f_L(F_S)$ 、 $f_L(F_S^*)$ ，可表示如下式：

$$f_L(F_S) = \frac{1}{0.188 * \sqrt{8\pi * F_S}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{F_S} - 0.763}{0.188} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (9-31)$$

$$f_L(F_S^*) = \frac{1}{0.171 * \sqrt{8\pi * F_S^*}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{F_S^*} - 0.678}{0.171} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (9-32)$$

非液化案例安全係數之機率密度函數， $f_{NL}(F_S)$ 、 $f_{NL}(F_S^*)$ ，可表示如下式：

$$f_{NL}(F_S) = \frac{1}{0.511 * F_S * \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(F_S) - 0.485}{0.511} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (9-33)$$

$$f_{NL}(F_S^*) = \frac{1}{0.513 * F_S^* * \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(F_S^*) - 0.260}{0.513} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (9-34)$$

將式(9-31)-式(9-34)代入式(9-30) 之貝氏定理，分析液化及非液化案例，獲得 (P_{LB}, F_S) 及 (P_{LB}^*, F_S^*) ，並以迴歸分析建立抗液化安全係數與液化機率之關係，如式(9-35)-式(9-36)及圖 9-21($R^2=0.99$, $R^{*2}=0.99$)所示：

$$P_{LB} = \frac{1}{1 + 0.6(F_S)^3 + 0.4(F_S)^8} \dots\dots\dots (9-35)$$

$$P_{LB}^* = \frac{1}{1 + 1.5(F_S^*)^3 + 1.9(F_S^*)^8} \dots\dots\dots (9-36)$$

由圖 9-21 顯示，以 $C(P)=0$ 為判別式，建立之抗液化安全係數與液化機率關係，當 $F_S = 1$ 時， $P_{LB} = 0.5$ 。以較保守之誤差機率 $p=0.15$ 為判別式，建立之抗液化安全係數與液化機率關係，當 $F_S^* = 1$ 時， $P_{LB}^* = 0.23$ 。

9.7 判別模式之液化分析流程

根據第 9-4 節抗液化安全係數及 9-6 節液化機率之研究成果，可以將 SPT 試驗評估液化潛能之分析步驟以簡化之數學式表示，其分析之流程圖如圖 9-22 所示。

9.8 小結

1. 本文對於以現地貫入試驗評估液化潛能之研究，提供了進一步之分析方法，本文發展之判別模式，不但有傳統上評估土壤是否可能液化之功能，更進一步指出該判別式可能導致誤差判斷之機率，提供工程設計更多之資訊。
2. 本文不但以誤差機率函數 $C(P)=0$ 為判別式，建立理論上之抗液化強度 $CRR_{7.5}$ 與 $(N_1)_{60}$ 之關係式，即式(9-26)；亦以較保守之誤差機率 $p=0.15$ 為判別式，建立適用於工程上之抗液化強度 $CRR_{7.5}$ 與 $(N_1)_{60}$ 之關係式，即式(9-27)。提供液化分析上更多之資訊。
3. 由本文建立之判別模式可發現：在相同之 $(N_1)_{60}$ ，抗液化強度反復應力比 $CRR_{7.5}$ 之大小分別為：30% ≤ FC ≤ 40% 最大、20% ≤ FC ≤ 30% 次之、10% ≤ FC ≤ 20% 再次之、0% ≤ FC ≤ 10% 最小，與實際之土壤情況極為吻合；但於 $(N_1)_{60} \leq 5$ (以 $C(P)=0$ 為判別式)、及於 $(N_1)_{60} \leq 8$ 時 (以 $p=0.15$ 為判別式)，其各種土壤之抗液化強度反復應力比 $CRR_{7.5}$ 皆相當接近。
4. 本文所建立之判別模式，與 Seed(1997 NCEER)簡易經驗法、T&Y(1983)簡易經驗法比較，於 $(N_1)_{60} \leq 10$ 時，除了於 $FC = 5\%$ 淨砂模

式外，本文 $FC = 15\%$ 、 25% 、 35% 等模式之抗液化強度皆小於 Seed et al.(1997 NCEER)曲線與 T&Y(1983)曲線；於 $10 \leq (N_1)_{60} \leq 30$ 時，本文之 $C(P)=0$ 模式與 Seed et al.(1997 NCEER)之曲線接近，本文之 $p=0.15$ 模式與 T&Y(1983)之曲線接近；於 $(N_1)_{60} > 30$ 時，由於本文模式之曲線較平直，本文模式小於 Seed et al.(1997 NCEER)曲線與 T&Y(1983)曲線甚多。

5. 本文以貝氏定理，分別建立以 $C(P)=0$ 及 $p=0.15$ 為判別式之抗液化安全係數與液化機率的關係式，即式(3-35)及式(3-36)，其相關性皆甚良好。

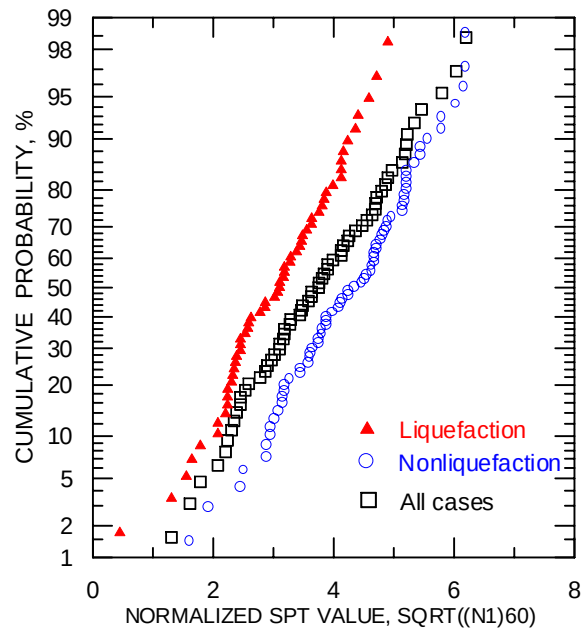


圖 9-1 $0\% \leq FC \leq 10\%$ 之 SPT 試驗 $\sqrt{(N_1)_{60}}$ 值繪於常態或然率圖上

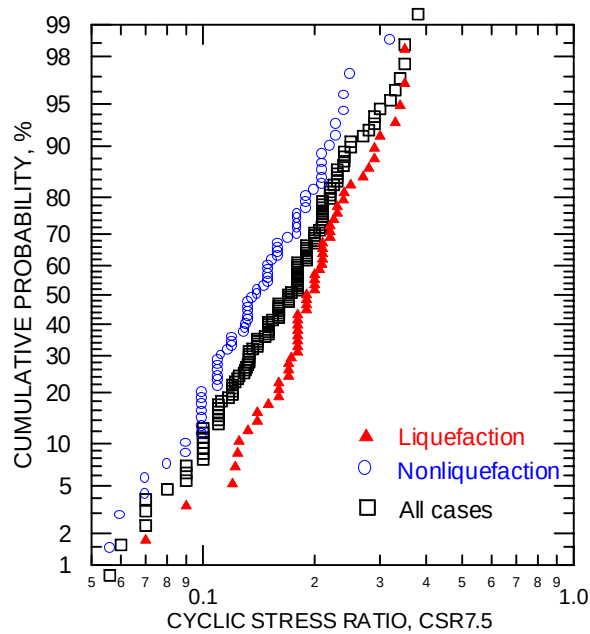


圖 9-2 $0\% \leq FC \leq 10\%$ 之 $CSR_{7.5}$ 值繪於對數常態或然率圖上

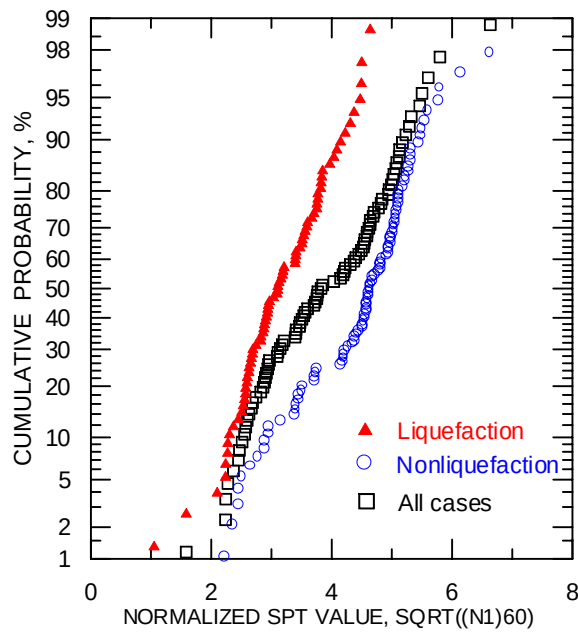


圖 9-3 $10\% \leq FC \leq 20\%$ 之 SPT 試驗 $\sqrt{(N_1)_{60}}$ 值繪於常態或然率圖上

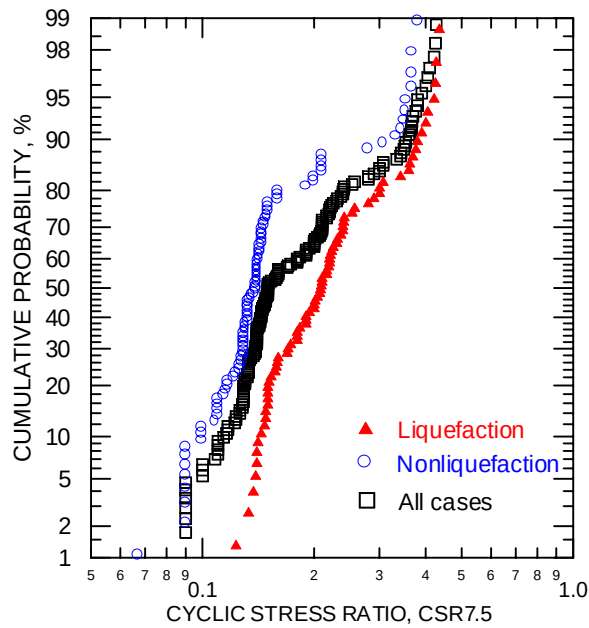


圖 9-4 $10\% \leq FC \leq 20\%$ 之 $CSR_{7.5}$ 值繪於對數常態或然率圖上

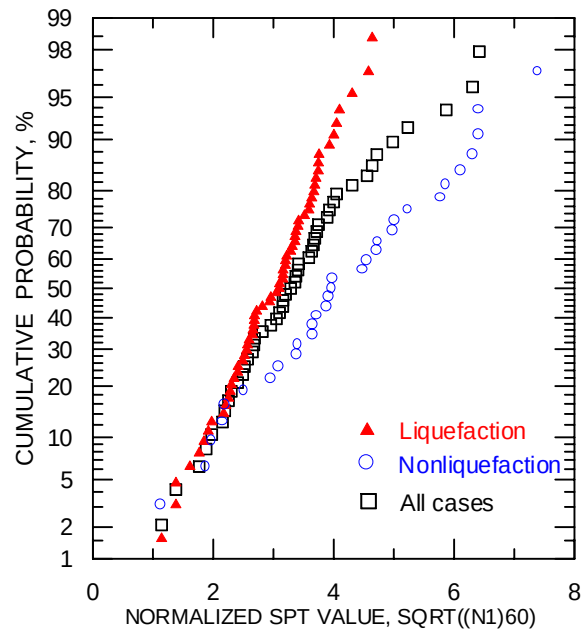


圖 9-5 $20\% \leq FC \leq 30\%$ 之 SPT 試驗 $\sqrt{(N_1)_{60}}$ 值繪於常態或然率圖上

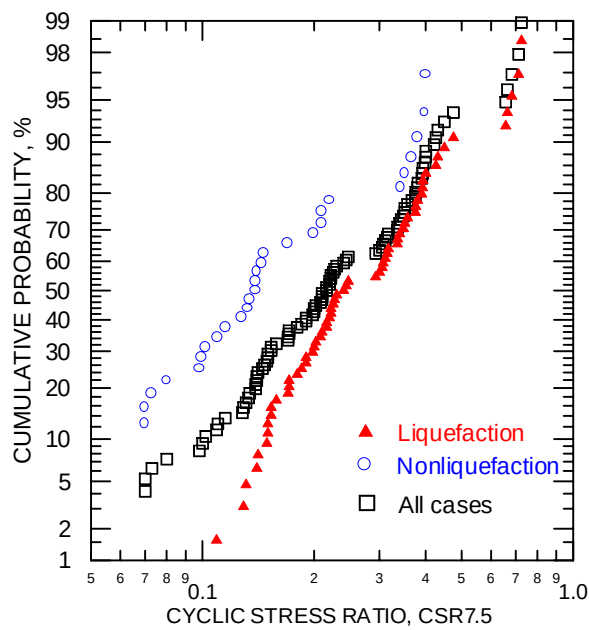


圖 9-6 $20\% \leq FC \leq 30\%$ 之 $CSR_{7.5}$ 值繪於對數常態或然率圖上

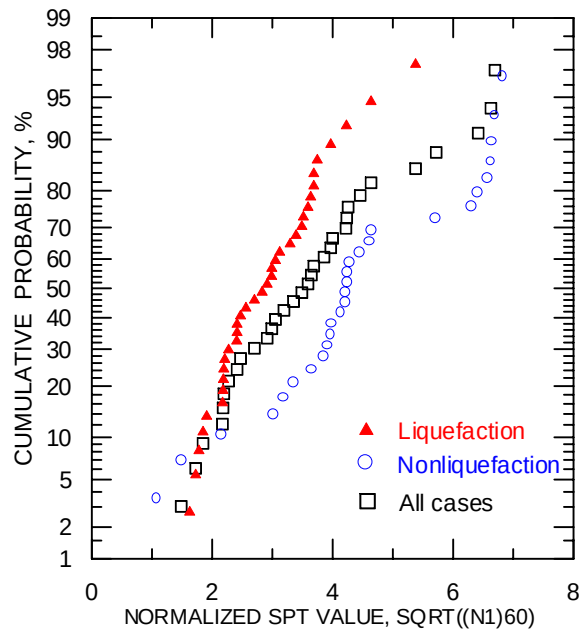


圖 9-7 $30\% \leq FC \leq 40\%$ 之 SPT 試驗 $\sqrt{(N_1)_{60}}$ 值繪於常態或然率圖上

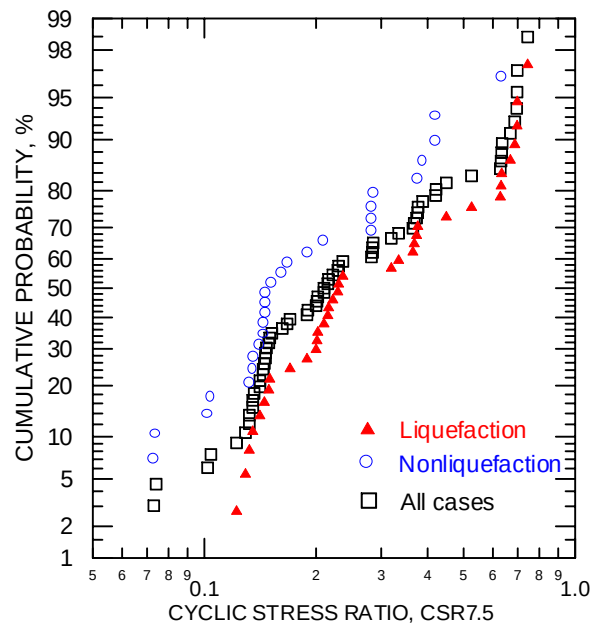


圖 9-8 $30\% \leq FC \leq 40\%$ 之 $CSR_{7.5}$ 值繪於對數常態或然率圖上

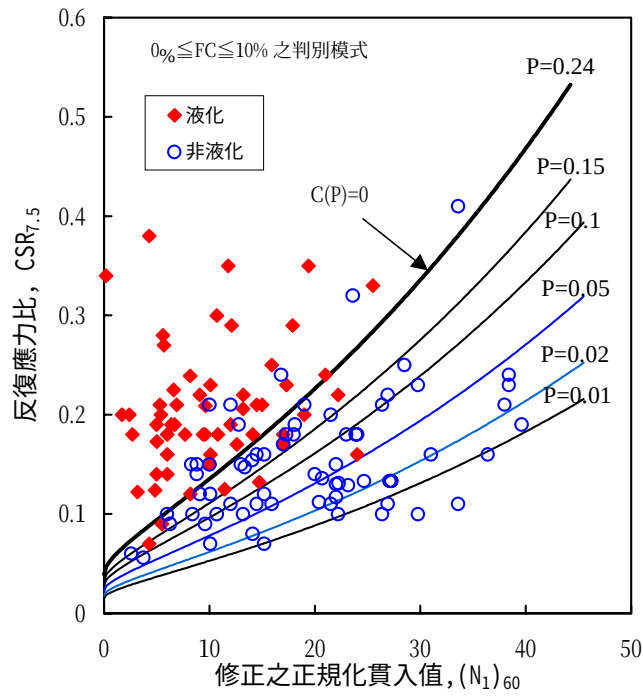


圖 9-9 $0\% \leq FC \leq 10\%$ 液化判別圖
(58 組液化及 70 組非液化案例)

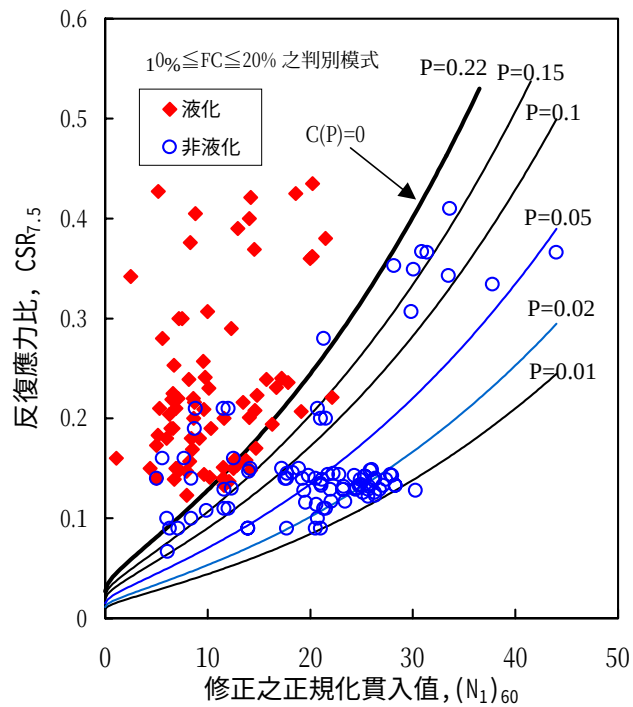


圖 9-10 $10\% \leq FC \leq 20\%$ 液化判別圖
(77 組液化及 95 組非液化案例)

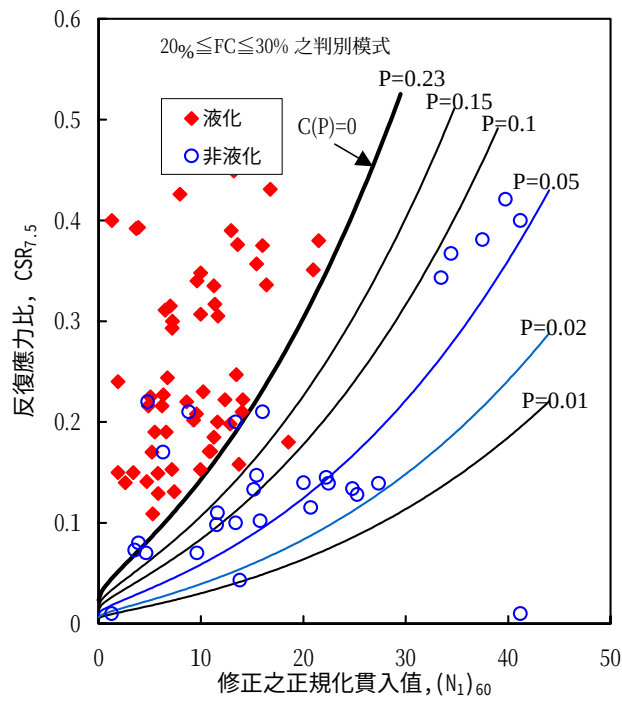


圖 9-11 $20\% \leq FC \leq 30\%$ 液化判別圖
(64 組液化及 32 組非液化案例)

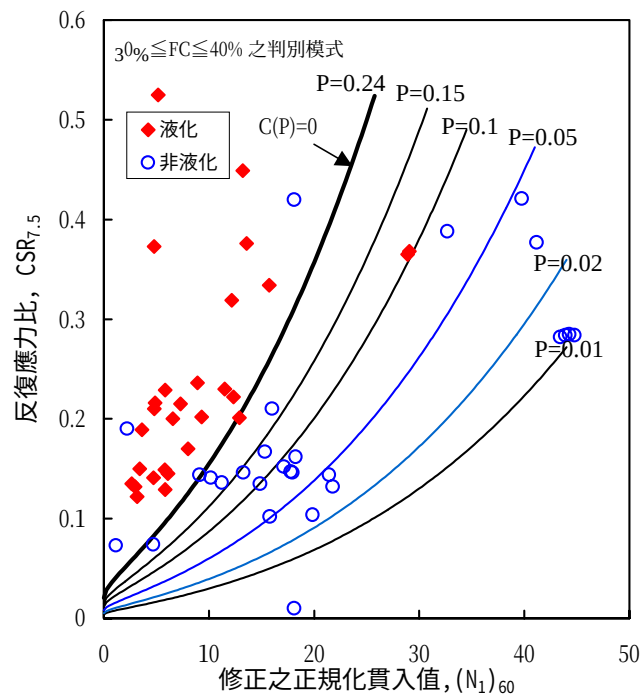


圖 9-12 $30\% \leq FC \leq 40\%$ 液化判別圖
(37 組液化及 29 組非液化案例)

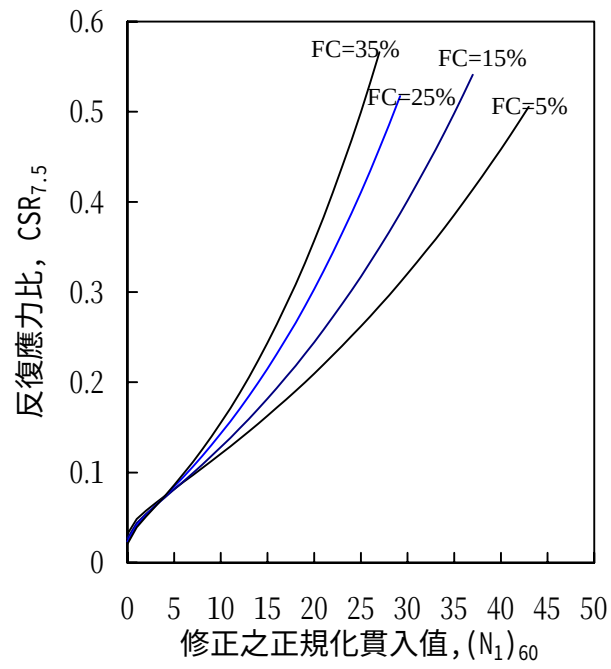


圖 9-13 FC=5%、FC=15%、FC=25%、FC=35%等
液化判別式- $C(P)=0$ 之比較

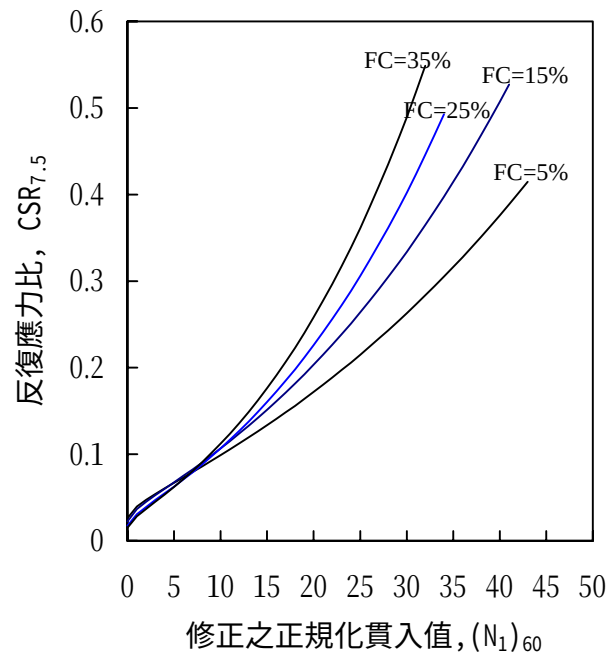


圖 9-14 FC=5%、FC=15%、FC=25%、FC=35%等
液化判別式($P=0.15$)之比較

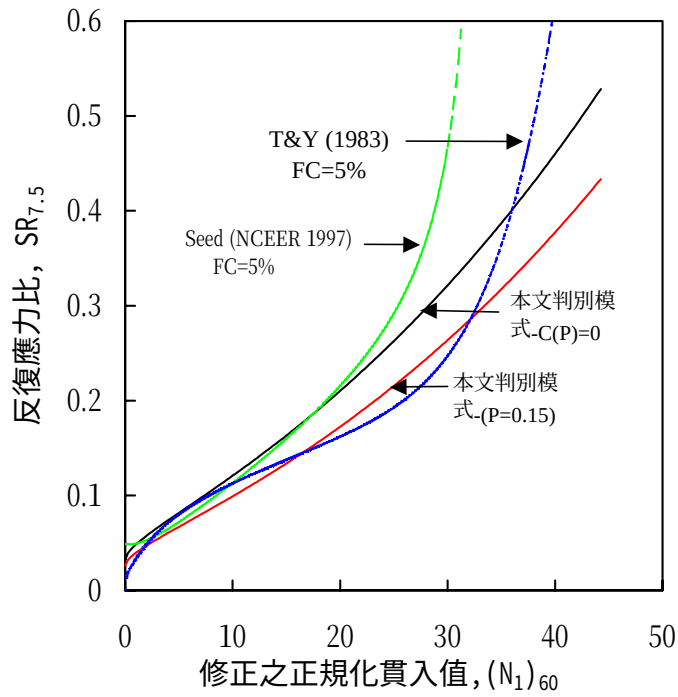


圖 9-15 FC=5%之判別模式與 Seed(NCEER 1997) 及 T&Y(1983) $C_s=85$ 比較

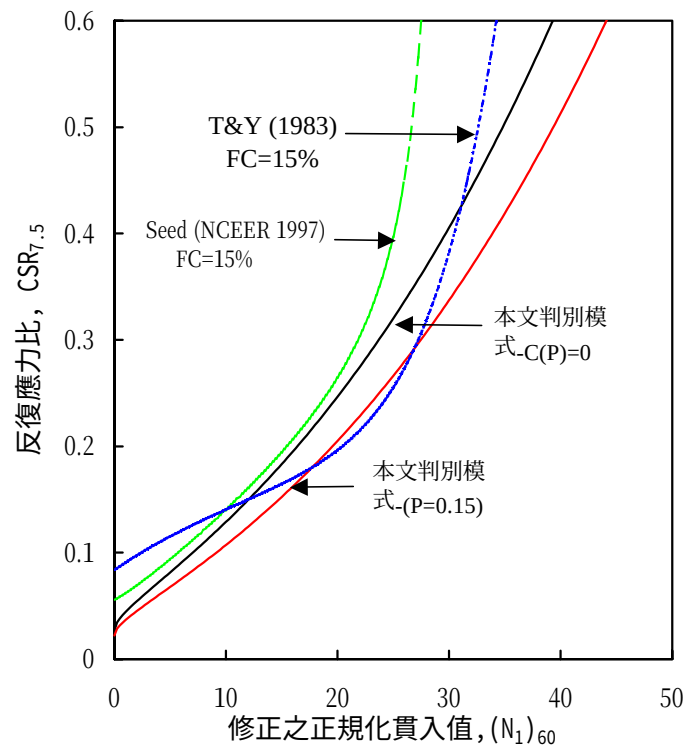


圖 9-16 FC=15%之判別模式與 Seed(NCEER 1997) 及 T&Y(1983) $C_s=85$ 比較

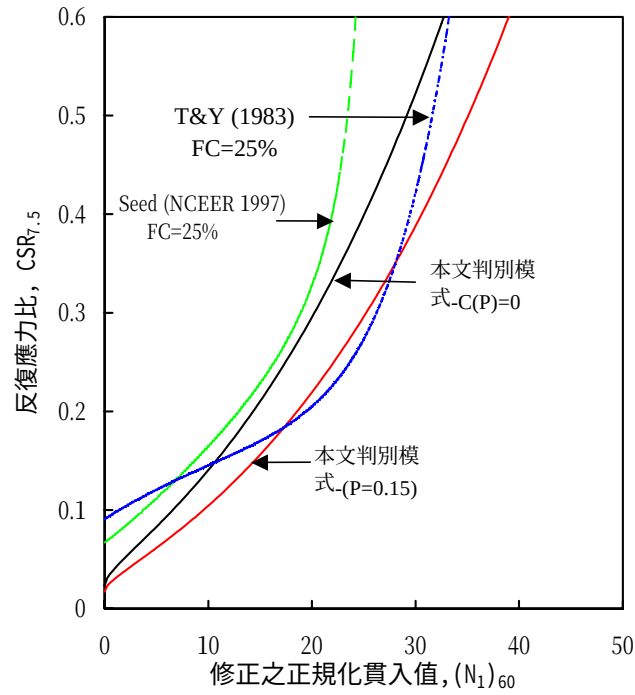


圖 9-17 $FC=25\%$ 之判別模式與 Seed(NCEER 1997) 及 T&Y(1983) $C_s=85$ 比較

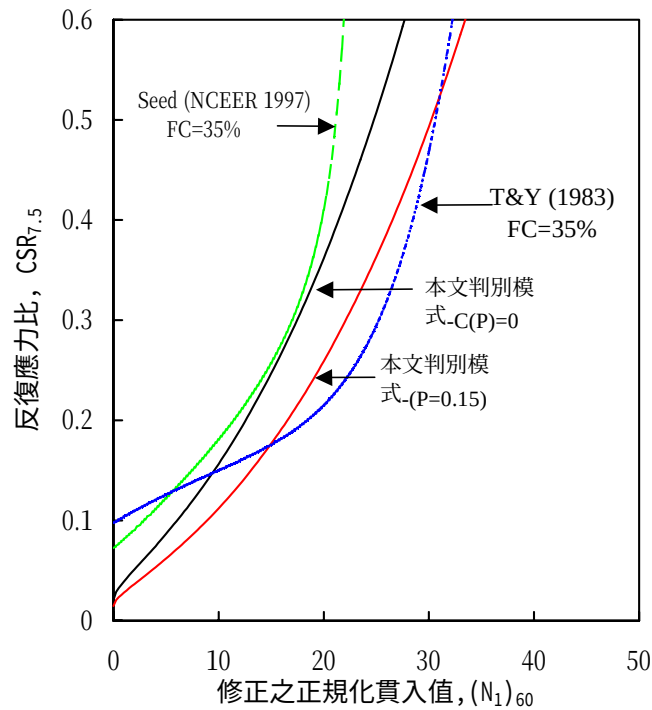


圖 9-18 $FC=35\%$ 之判別模式與 Seed(NCEER 1997) 及 T&Y(1983) $C_s=85$ 比較

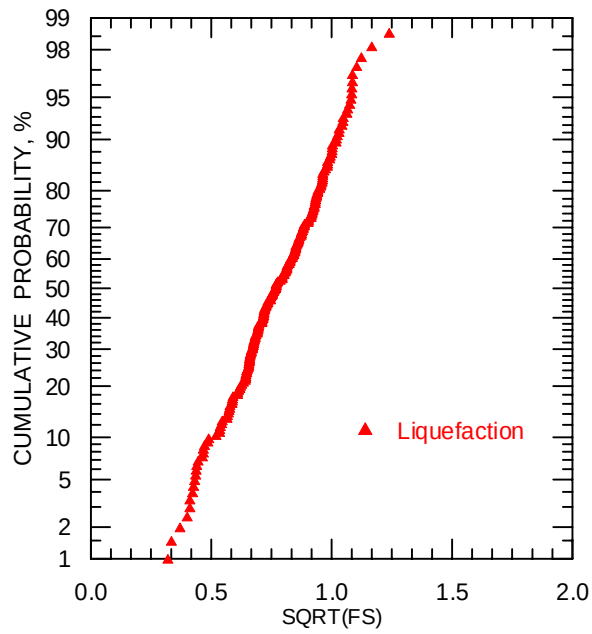


圖 9-19 液化案例之 $\sqrt{F_s}$ 值繪於常態或然率圖上

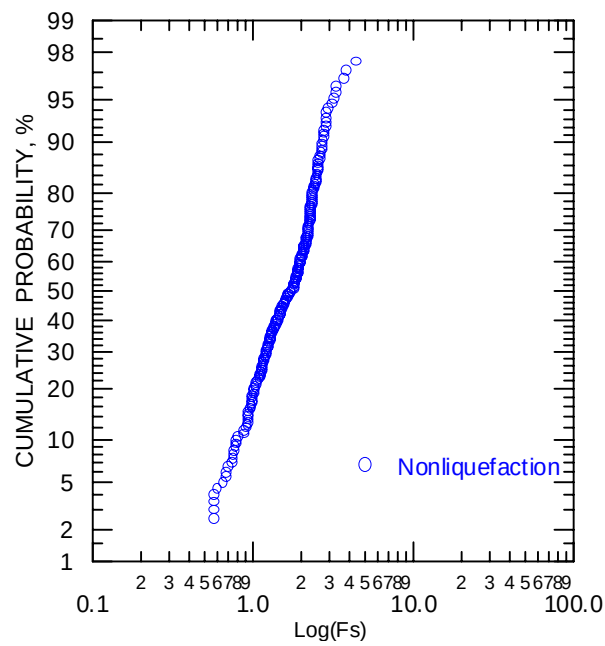


圖 9-20 非液化案例之 F_s 值繪於對數常態或然率圖上

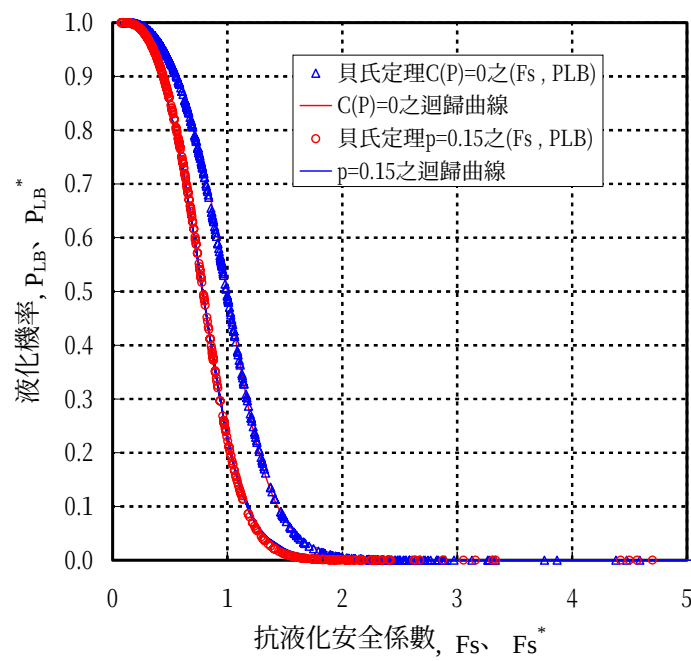


圖 9-21 貝氏定理 $C(P)=0$ 、 $p=0.15$ 之抗液化安全係數與液化機率之關係圖

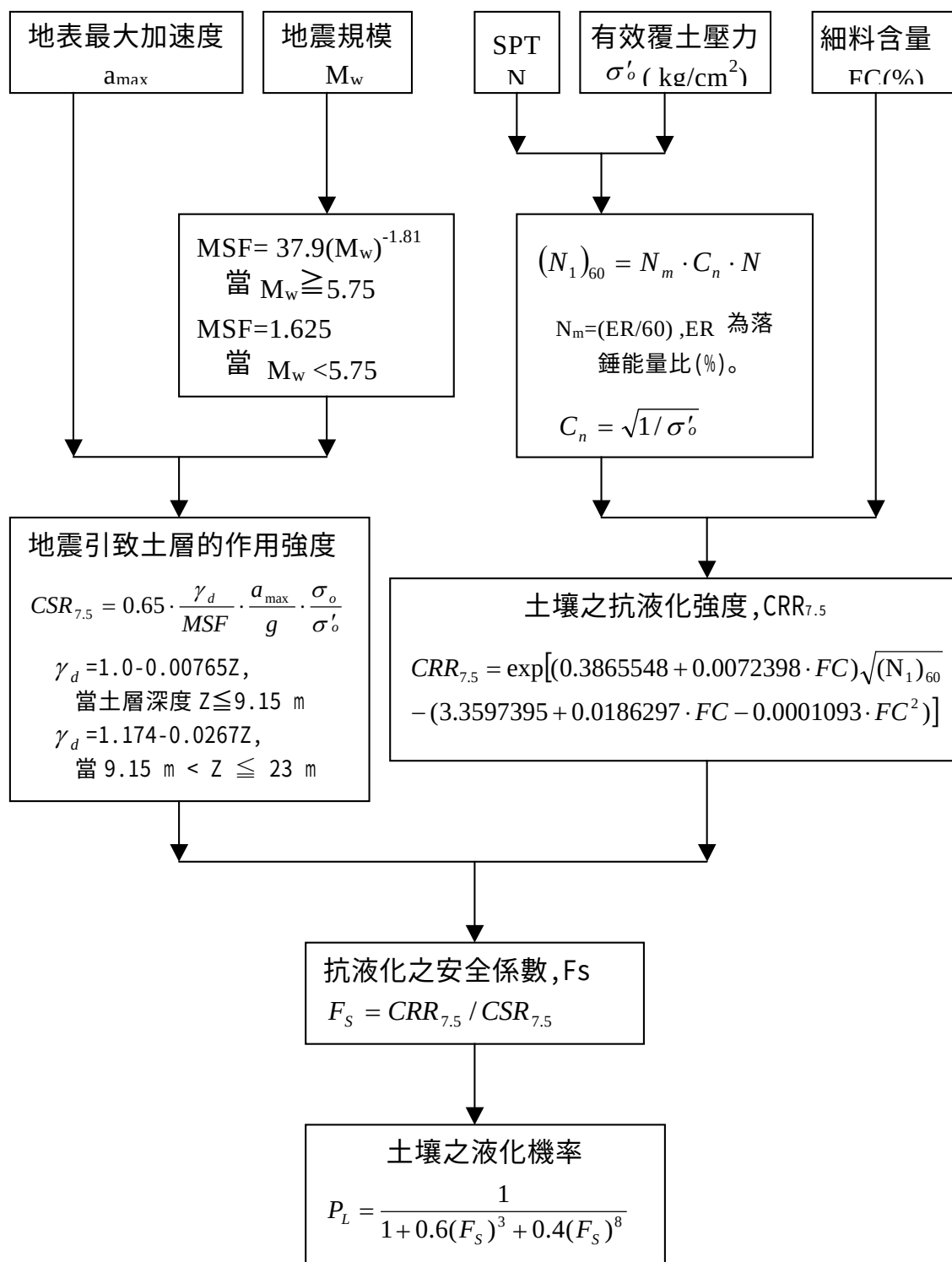


圖 9-22 判别模式之液化分析流程

第十章 布袋港區液化危害度分析

10.1 液化危害度分析方法

本文分別以第九章新建立之本土化液化分析模式，進行布袋港區液化潛能評估。

依上述液化評估法分析，進行液化潛能評估時，所獲得的結果僅為各鑽孔地表下某一深度之砂土層是否液化，對於整個鑽孔而言，是否為液化區仍無定論。因此，為了涵蓋土層各深度之液化情形及更深入探討整個地區之液化潛能分佈圖，本文再分別以Iwasaki等人(1982)安全係數深度加權法、及賴聖耀、謝明志 (1996) 液化機率深度加權法，分別分析布袋港區各種模擬地震之液化危害度。茲將此兩種深度加權法略述如下。

10.1.1 安全係數危害度分析

若鑽孔液化分析結果是以安全係數來表示，本研究採用Iwasaki之深度加權法加以評估液化危害度，Iwasaki等人(1982)考慮深度的影響，提出一評估液化潛能之深度加權法，建議以液化潛能指數 (Liquefaction Potential Index) IL表示任一鑽孔之液化危險程度。

$$IL = \int_0^H F(z) \cdot W(z) dz \dots\dots\dots (10-1)$$

其中

IL 為液化潛能指數，介於 0~100 之間

$$F(Z)=1-F_L(Z) \quad \text{for } F_L(Z)<1.0$$

$$F(Z)=0 \quad \text{for } F_L(Z)>1.0$$

$$W(Z)=10-0.5Z$$

Z：距地表之深度，單位 m

H：鑽孔深度

Iwasaki等人(1982) 依此分析過去6次地震中，64個液化區域和23個非液化區域的資料，綜合整理後，提出下列指標：

- (1) $IL \geq 15$ 高度液化災害風險，地表發生明顯液化表徵機會較高，如噴砂或顯著沈陷等現象
- (2) $5 \leq IL < 15$ 中度液化災害風險，地表發生明顯液化表徵機會低，但深層可能液化，地表沈陷量不明顯。
- (3) $0 < IL < 5$ 輕微液化災害風險，液化之可能性很低
- (4) $IL = 0$ 非液化潛能區

10.1.2 液化機率危害度分析

若鑽孔液化分析結果是以機率值來表示,依上述液化機率評估法分析，進行液化機率評估時，所獲得的結果僅為各鑽孔地表下某一深度之砂土層液化機率，對於整個鑽孔而言，液化危害程度如何仍無定論。因此，為了涵蓋土層各深度之液化情形及更深入探討整個地區之液化危害程度分佈圖，則採用賴聖耀 謝明志(1996)之深度加權法加以評估。賴聖耀 謝明志 (1996)考慮深度的影響，提出一評估液化危險度之深度加權法，建議以液化危險度 P_{LW} 表示任一鑽孔之液化危險程度。

$$P_{LW} = \frac{\int_0^{20} P_L(z) \cdot W(z) \cdot dz}{\int_0^{20} W(z) \cdot dz} \dots\dots\dots (10-2)$$

上式中

$P_L(z)$ ：為各孔各個深度之液化機率，介於 0~1 之間

P_{LW} ：為各孔之液化危險度，介於 0~1 之間

$W(z)$ ：為權重函數， z 為深度(公尺)。 $W(z)=1-0.05z$

吾人可以仔細觀察式10-1、10-2所代表的意義，式10-1之 F_L 為安全係數，依照液化的觀點， $F_L < 1.0$ 的液化機率為 $P_L > 0.5$ 。而式10-1對 $F_L > 1.0$ 的土層並不計算其液化危害度，因此其所計算的液化危害度範圍若對應到機率的觀點來看，約是計算液化機率 P_L 在0.5~1.0的範圍，至於0.0~0.5之間的範圍則不加以計算，而式10-2之 P_{LW} 所計算之液化危害度，其所使用液化機率 P_L 的範圍在0.0~1.0之間，約為式10-1之 IL 所計算液化危害度範圍的兩倍多。由於液化潛能指數，介於0~100之間，故當式10-1液化危害度指數為15時，其為液化潛能總指數之15%，其所對應到式10-2之液化危險度機率約為0.4。因此本文參考Iwasaki等人(1982)安全係數法之液化潛能分級，建議液化危害度機率法之分級，如下所示：

- (1) $P_{LW} \geq 0.4$ 高度液化災害風險，地表發生明顯液化表徵機會較高，如噴砂或顯著沈陷等現象
- (2) $0.2 \leq P_{LW} < 0.4$ 中度液化災害風險，地表發生明顯液化表徵機會低，但深層可能液化，地表沈陷量不明顯。
- (3) $0 < P_{LW} < 0.2$ 輕微液化災害風險，液化之可能性很低
- (4) $P_{LW} = 0$ 非液化潛能區

10.2 布袋港區附近之斷層與地震

台灣位處於環太平洋地震帶西側，受到歐亞大陸與菲律賓海板塊間的碰撞與擠壓作用，導致台灣地區地震頻繁，自古以來常發生大地震，災情慘重者不少。根據鄭世楠和葉永田(2002)的統計結果顯示，

造成百人以上死亡的重大災害地震有14次，其分佈圖如圖10-1所示，其中嘉義地區地震規模 M_L 超過7.0有3次：分別是1792年嘉義地震(713人死亡)、1906年梅山地震(1,258人死亡) 與1941年中埔地震(358人死亡)。嘉義地區之重要活動斷層有梅山斷層、九芎坑斷層、大尖山斷層及觸口斷層，而此四個斷層亦為影響布袋港之重要活動斷層。

10.3 布袋港區液化危害度分析結果

本文搜集布袋港區現有鑽探資料39孔，共約700筆N值資料，其相關位置如圖10-2所示，分別以①地震規模 $M_w=6.5$ ，布袋港之地表最大加速度 $A_{max}=0.1g$ ；②地震規模 $M_w=7.0$ ，布袋港區之地表最大加速度 $A_{max}=0.15g$ ；③新訂耐震設計規範乙區地震強度 $A_{max}=0.23g$ ；④新訂耐震設計規範甲區地震強度 $A_{max}=0.33g$ 等四種地震條件，並利用標準貫入試驗(SPT)之土層調查資料來評估布袋港區土層液化危害度。

本文分析各種地震強度引致布袋港區之液化危害度，是以平均地下水位為-1.0m為分析依據，本文新模式賴(2002)安全係數法+Iwasaki(1982)深度加權法之分析結果，如圖10-3至圖10-6所示；本文新模式賴(2002)液化機率法+賴、謝(1996)深度加權法之分析結果，如圖10-7至圖10-10所示。

由圖10-3及圖10-7二種模式分析結果均顯示：地震規模 $M_w=6.5$ ，布袋港之地表最大加速度 $A_{max}=0.1g$ 時，布袋港極大部份地區屬於輕微液化災害風險，液化之可能性很低，僅極小部份地區屬於中度液化，因此 $A_{max}=0.1g$ 可視為布袋港區液化之臨界地表加速度。

由圖10-4及圖10-8二種模式分析結果顯示：地震規模 $M_w=7.0$ ，布袋港之地表最大加速度 $A_{max}=0.15g$ 時，布袋港大部份地區屬於中度液化災害風險，地表發生明顯液化表徵機會低，但深層可能液化，地表沈陷量不明顯；僅小部份地區屬於輕度液化。

由圖10-5及圖10-9二種模式分析結果顯示：地震規模 $M_w = 7.5$ ，布袋港之地表最大加速度 $A_{max} = 0.23g$ 時，即布袋港發生新訂耐震設計規範乙區地震強度 $A_{max} = 0.23g$ ，布袋港大部份地區屬於高度液化災害風險，地表發生明顯液化表徵機會較高，如噴砂或顯著沈陷等現象；僅小部份地區屬於中度液化。

由圖10-6及圖10-10二種模式分析結果顯示：地震規模 $M_w = 7.5$ ，布袋港之地表最大加速度 $A_{max} = 0.33g$ 時，即布袋港發生新訂耐震設計規範甲區地震強度 $A_{max} = 0.33g$ ，布袋港全部份地區屬於高度液化災害風險，地表發生明顯液化表徵機會較高，如噴砂或顯著沈陷等現象。

由圖10-3至圖10-6及圖10-7至圖10-10二種模式分析結果比較顯示：賴(2002)本土化安全係數法與賴(2002)本土化液化機率法之液化危險程度極為相似。由圖10-3至圖10-10分析結果亦顯示：港區液化危險程度，由圖中心附近位置往兩側漸大。

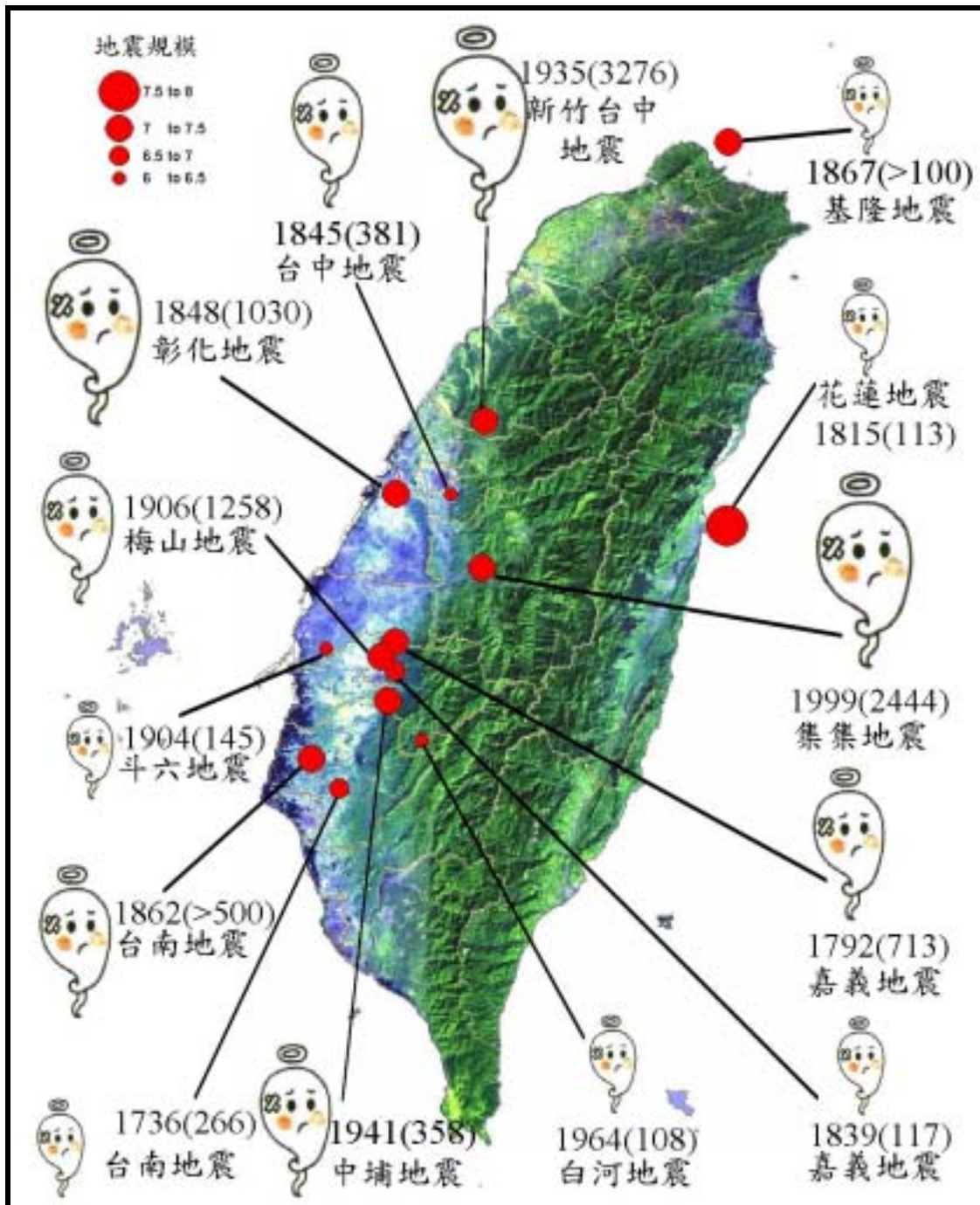


圖 10-1 台灣地區造成百人以上死亡之重大災害地震震央分佈圖
(鄭世楠、葉永田, 2001)

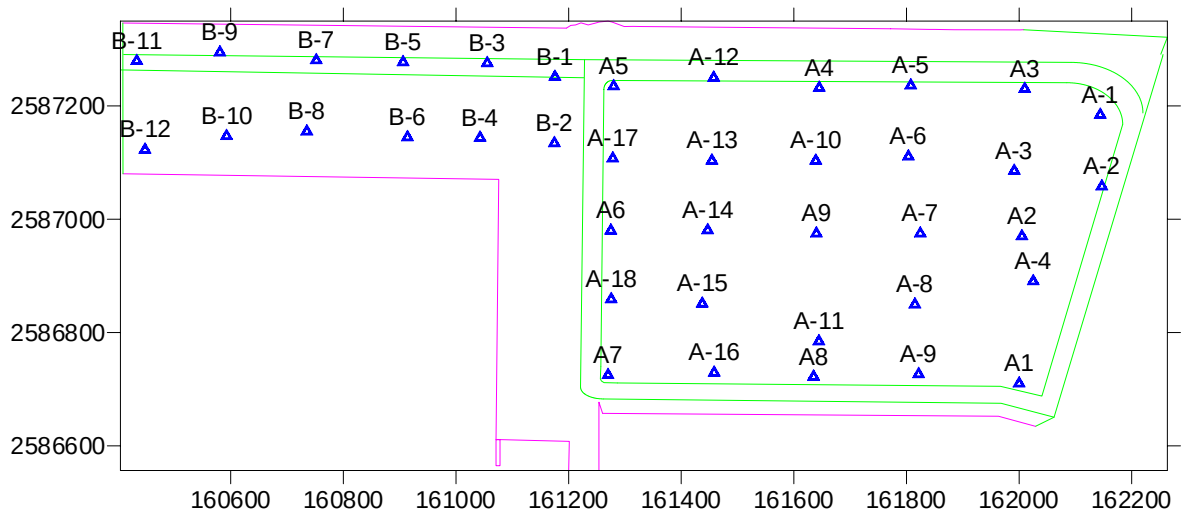


圖 10-2 布袋港區 39 孔鑽探資料位置圖

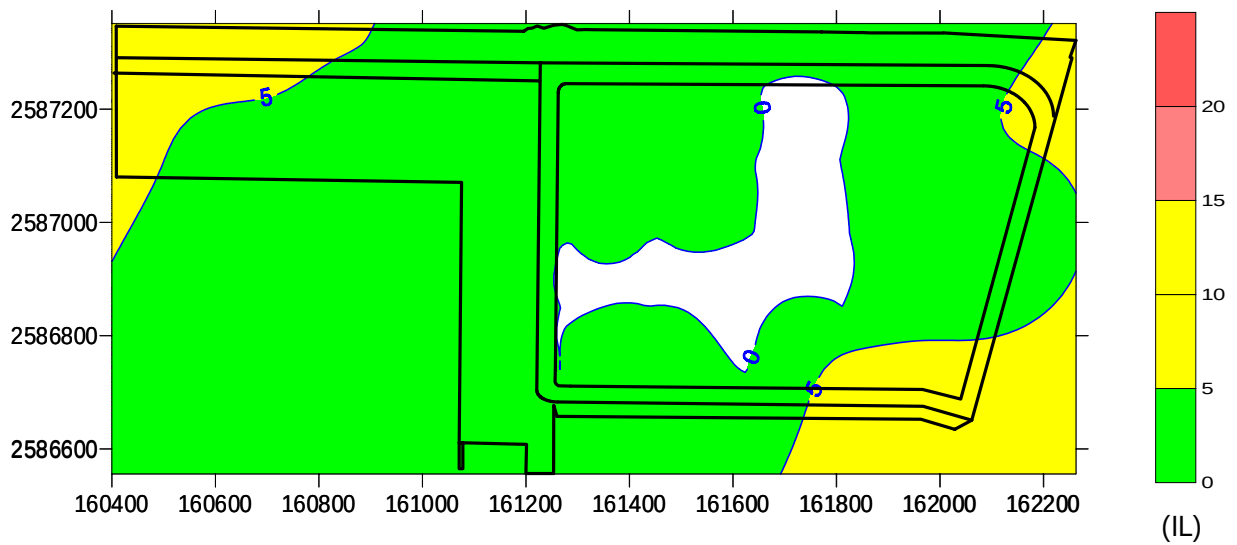


圖 10-3 布袋港區地震引致土壤液化之危害度 ($M_w=6.5$, $A_{max}=0.10g$)
賴(2002)安全係數法+Iwasaki(1982)深度加權法

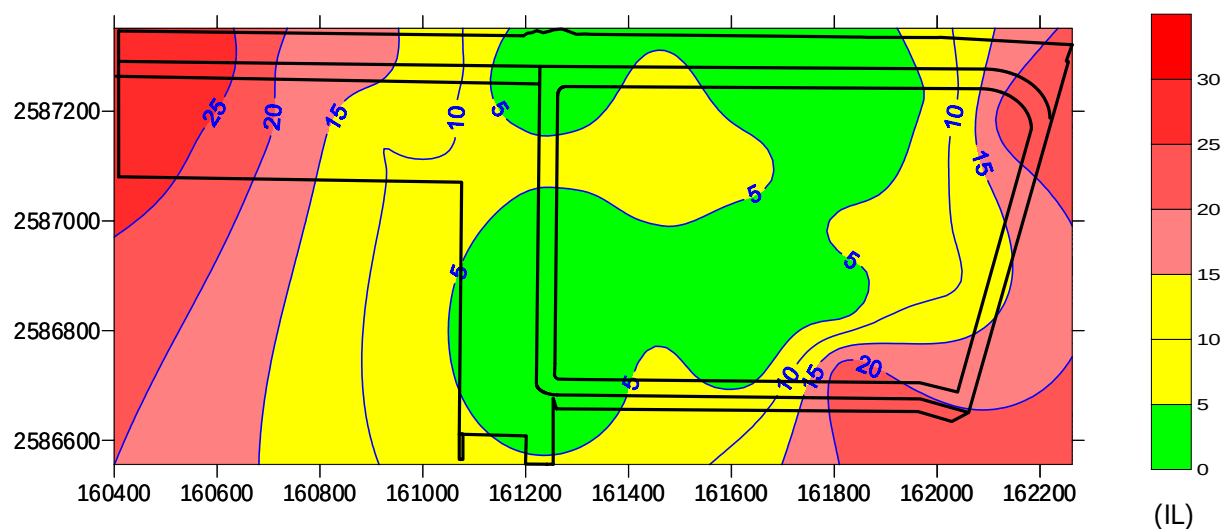


圖 10-4 布袋港區地震引致土壤液化之危害度 ($M_w=7.0$, $A_{\max}=0.15g$)
賴(2002)安全係數法+Iwasaki(1982)深度加權法

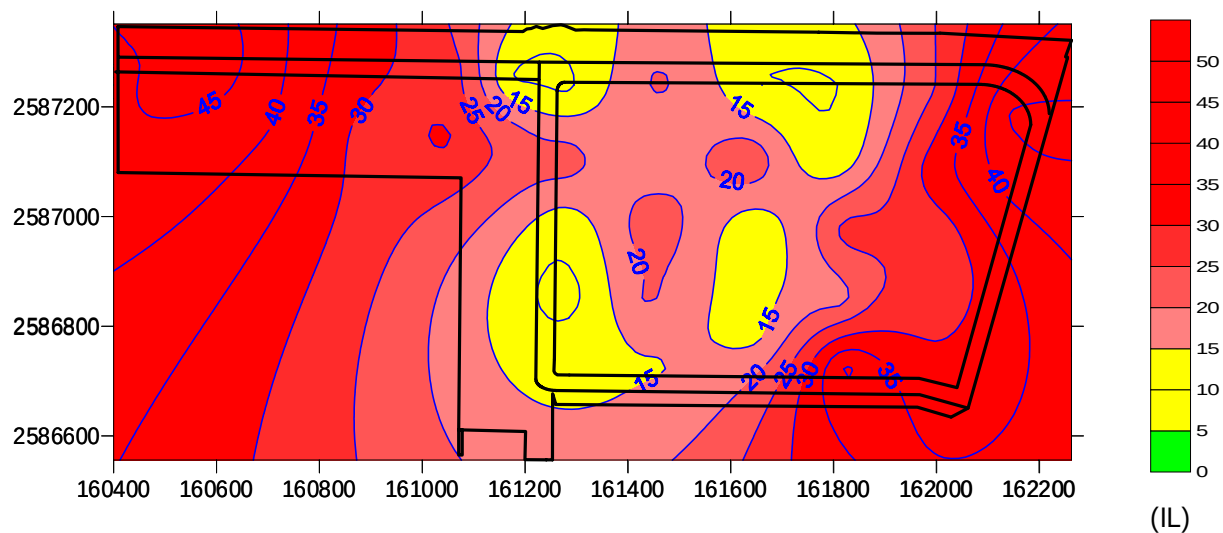


圖 10-5 布袋港區地震引致土壤液化之危害度
賴(2002)安全係數法+Iwasaki(1982)深度加權法
($M_w=7.5$, $A_{\max}=0.23g$; 新訂耐震設計規範乙區)

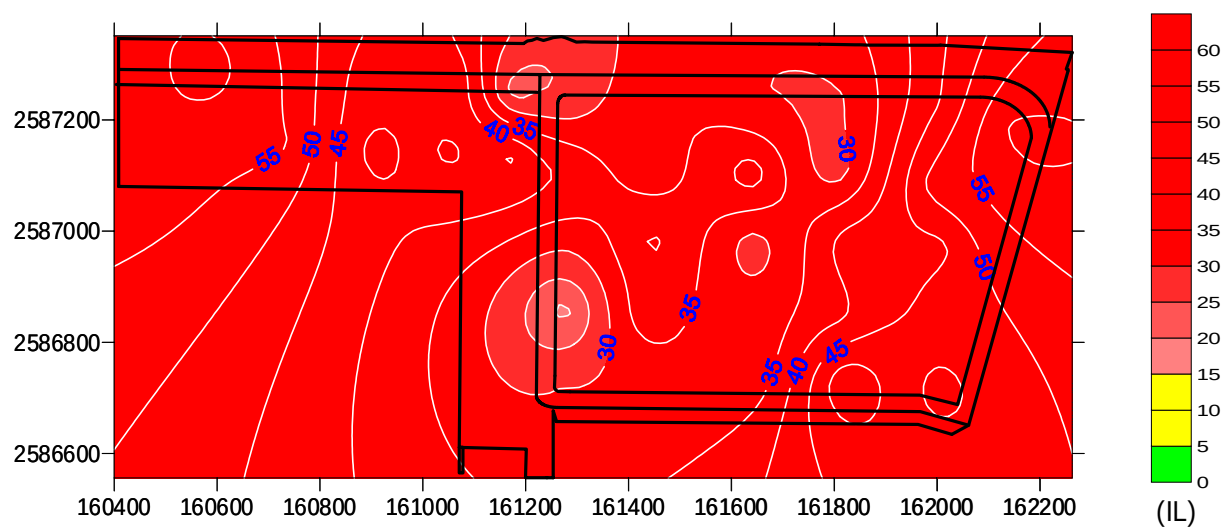


圖 10-6 布袋港區地震引致土壤液化之危害度
 賴(2002)安全係數法+Iwasaki(1982)深度加權法
 ($M_w=7.5$, $A_{max}=0.33g$; 新訂耐震設計規範甲區)

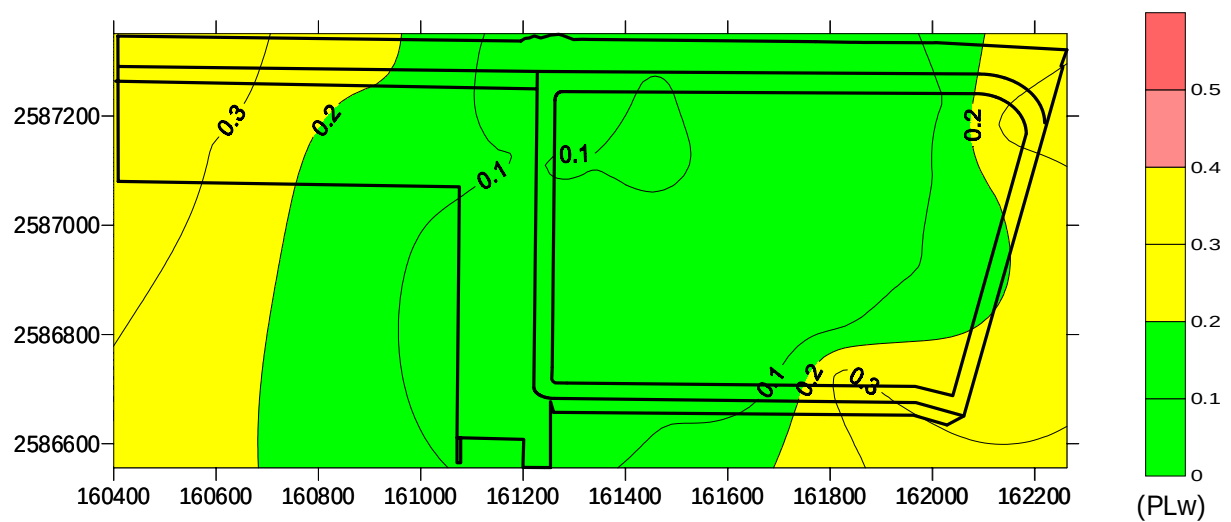


圖 10-7 布袋港區土壤液化之機率危害度 ($M_w=6.5$, $A_{max}=0.10g$)
 賴(2002)液化機率法+賴、謝(1996)深度加權法

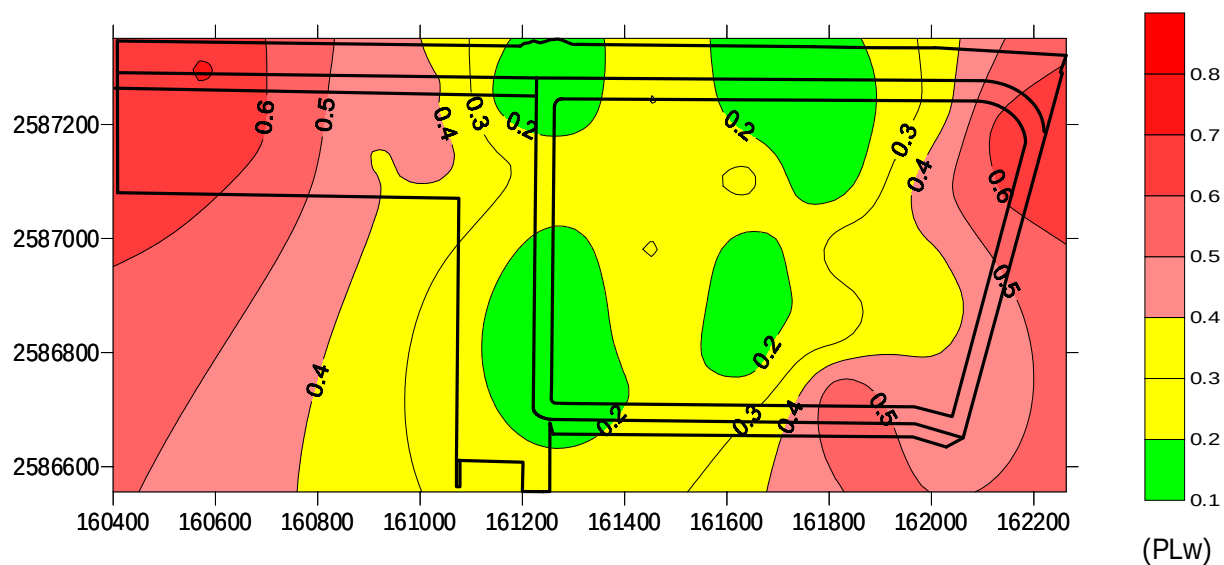


圖 10-8 布袋港區土壤液化之機率危害度 ($M_w=7.0$, $A_{max}=0.15g$)
賴(2002)液化機率法+賴、謝(1996)深度加權法

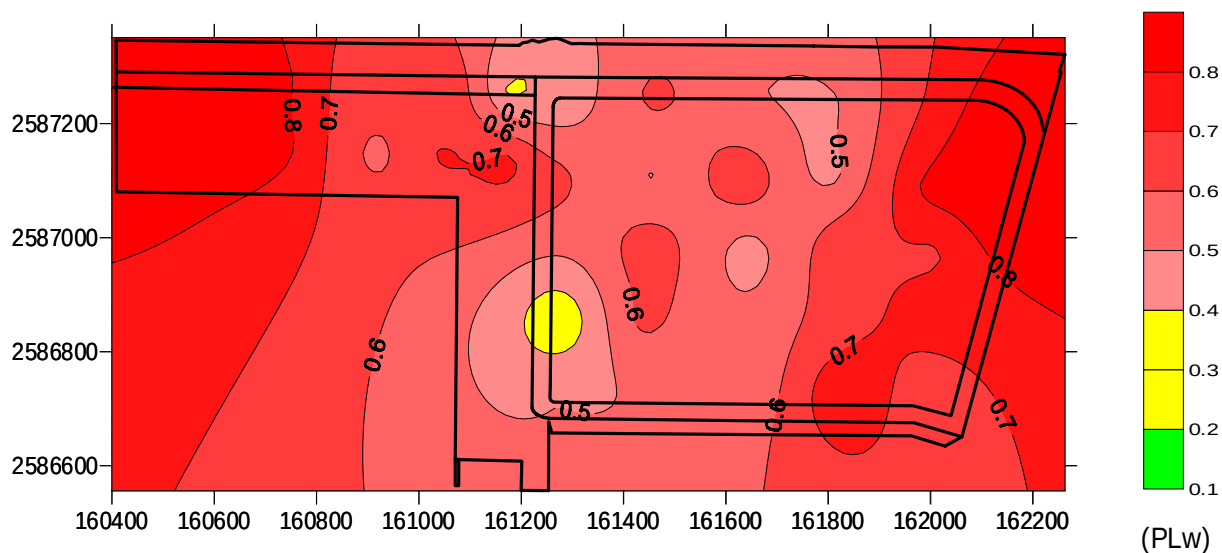


圖 10-9 布袋港區地震引致土壤液化之機率危害度
賴(2002)液化機率法+賴、謝(1996)深度加權法
($M_w=7.5$, $A_{max}=0.23g$; 新訂耐震設計規範乙區)

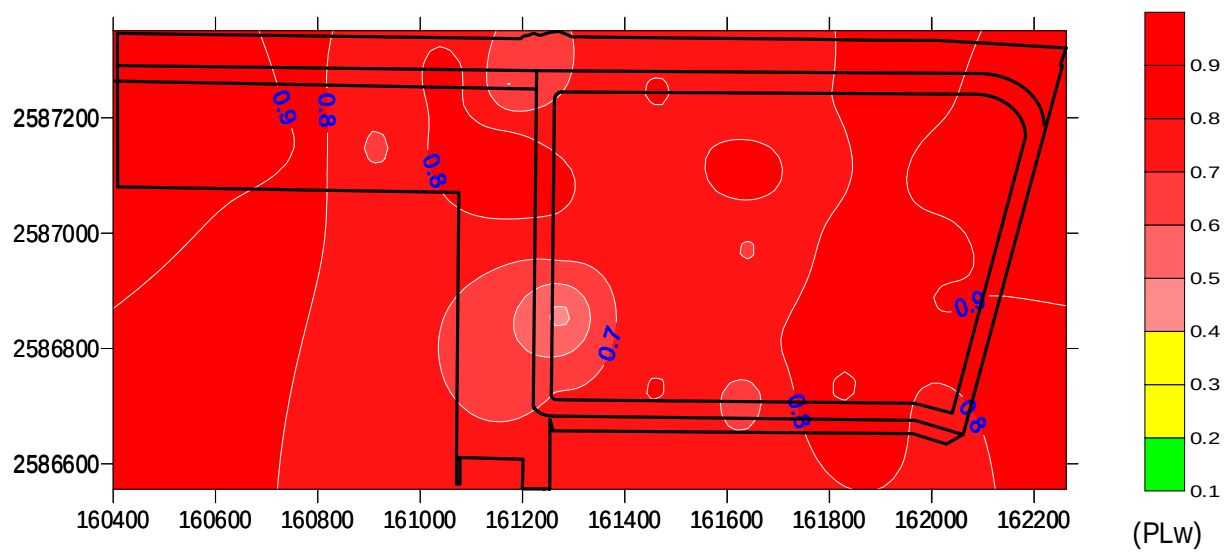


圖 10-10 布袋港區地震引致土壤液化之機率危害度
 賴(2002)液化機率法+賴、謝(1996)深度加權法
 ($M_w=7.5, A_{max}=0.33g$; 新訂耐震設計規範甲區)

第十一章 布袋港區地震引致沉陷之分析

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。

目前以現地試驗評估土層沉陷方法有兩種：一為 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(τ_{av}/σ'_o)、N 值及體積應變之關係，如圖 11-1 所示；另一為 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，如圖 11-2 所示，以上均可作為沉陷推估之參考。

本文以 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圖為沉陷分析依據，其中抗液化安全係數之分析，以第九章新建立之 SPT-N 值評估液化潛能之本土化分析模式為依據。茲分別對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、SPT-N 值評估地震引致沉陷之方法、及布袋港區震陷潛能分析之結果等，分述如下：

11.1 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。

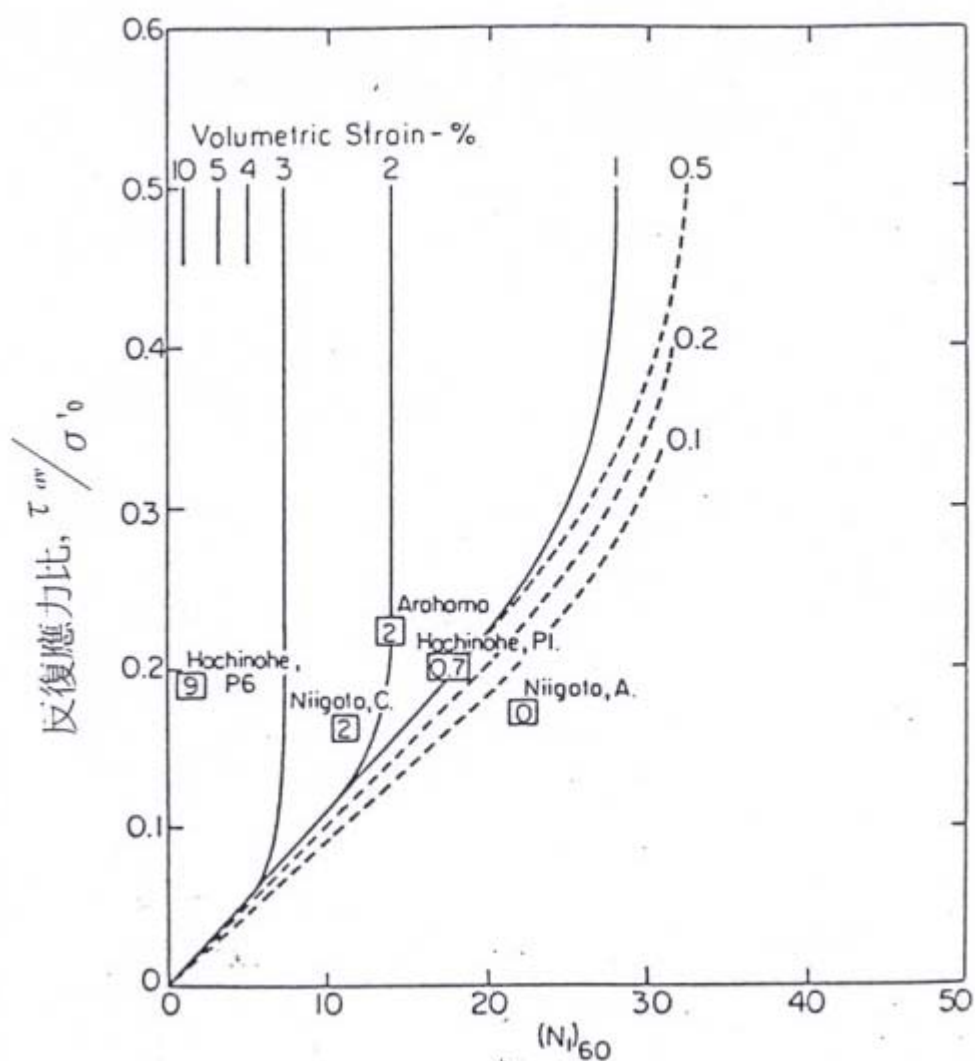


圖 11-1 體積應變與反復剪應力比及 N 值之相關經驗圖
(Tokimatsu & Seed,1987)

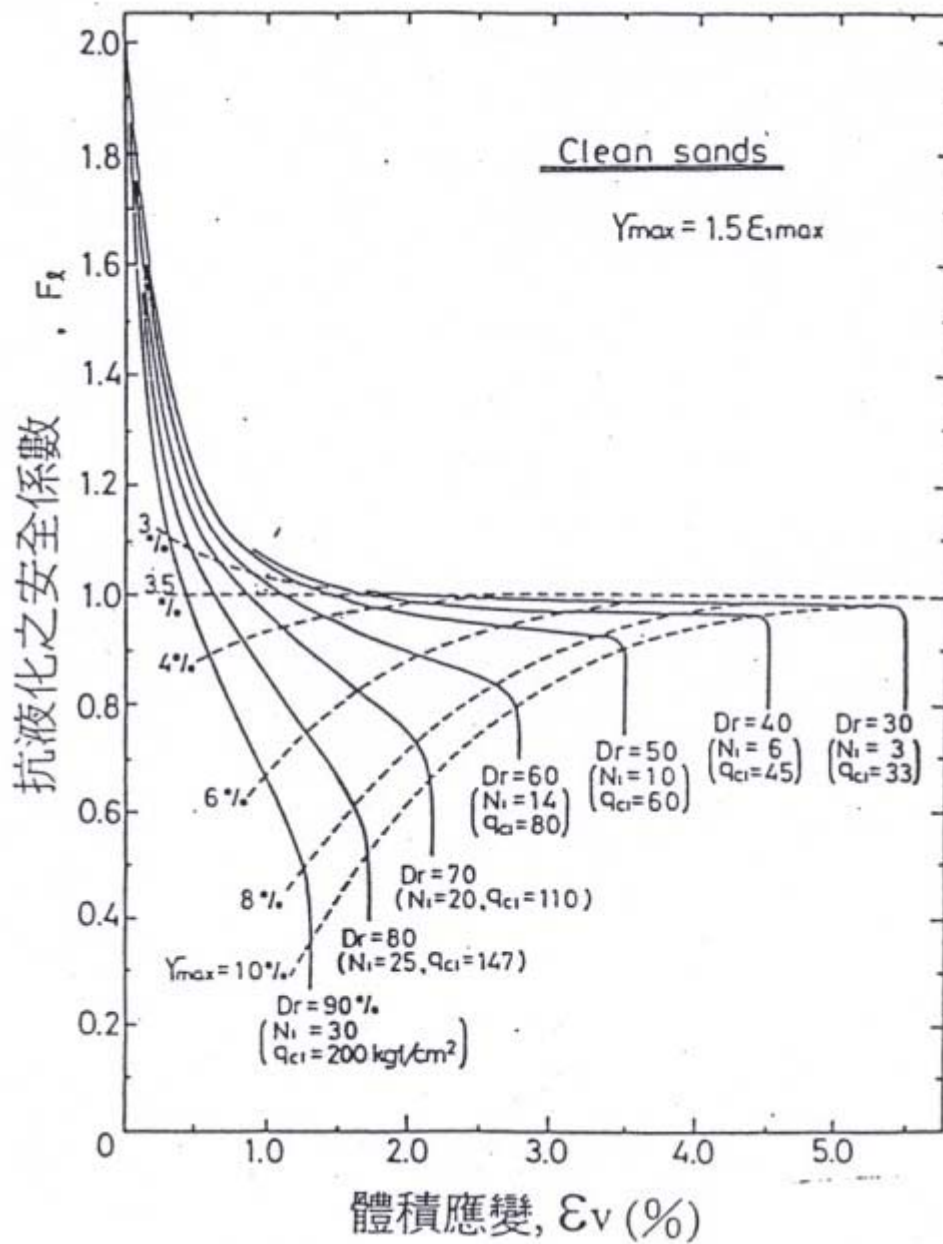


圖 11-2 N 值、 q_c 值、抗液化安全係數及體積應變之經驗關係 (Ishihara et al.,1991,1996)

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 11-2 所示。如圖 11-2 可明白液化程度與沉陷應變量之關係，或未液化情況($FL > 1.0$)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，Port Island 碼頭岸壁後 150 公尺以內，其土壤液化造成地表之沉陷量由岸壁向碼頭後線遞減。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，台中港區 1-4 號沉箱式碼頭後線 100 公尺以內，其土壤液化造成地表之沉陷量亦由岸壁向碼頭後線遞減。在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十幾個大坑洞深度高達 4-5 公尺。

11.2 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。

11.2.1 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(1971)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，對試體的壓實行爲沒有明顯的影響。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.(14)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。

11.2.2 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：

$$\frac{\Delta \varepsilon_1}{\Delta u} = \frac{R_f \left[\frac{\sigma'_d}{\sigma'_{ult} - \sigma'_d} \right]^2 \left[\frac{2 \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} \right]}{K p_a \left[\frac{\sigma'_3}{p_a} \right]^n} + \frac{n \left[\frac{\sigma'_d}{\sigma'_{ult} - \sigma'_d} \right] \left[\frac{\sigma'_{ult}}{\sigma'_a} \right]}{K p_a \left[\frac{\sigma'_3}{p_a} \right]^n} \dots\dots\dots (11-1)$$

上式中 K, n, Rf 為土壤參數， ϕ' 為內摩擦角， p_a 為大氣壓力。

11.2.3 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，則會降低沉陷量。

11.2.4 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：

$$\varepsilon_v = \frac{C_{dyn}}{1 + e_0} \times \log \left(\frac{1}{1 - U_{dyn} / \sigma'_{vo}} \right) \dots\dots\dots (11-2)$$

式中， ε_v 為粘土沉陷應變量， e_0 為粘土初始孔隙比， C_{dyn} 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 $C_s < C_{dyn} < C_c$ ，由 Ohara & Matsuda(1988)之個案研究 $C_{dyn} = 1/3 C_c$ ； U_{dyn} / 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。

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。

11.3 賴聖耀(2002)結合 Ishihara et al.(1991, 1996)之震陷潛能分析步驟：

本文以以 Ishihara et al.(1991,1996)建議 N 值、抗液化安全係數及體積應變之經驗關係圖，如圖 11-2 所示，為沉陷分析依據，其中抗液化安全係數之分析，以第九章賴聖耀(2002)新建立之 SPT- N 值評估液化潛能之本土化分析模式為依據。其分析步驟如下：

其分析步驟如下：

1.計算土層抗液化之安全係數 F_L ：

以第九章圖 9-22 本土化分析模式之液化分析流程，計算土層抗液化之安全係數 F_L 。

2.計算體積應變量 ε_v

計算 N1 值及 FL，再利用圖 11-2 即 Ishihara et al.(1991,1996)建議之 N1 值、抗液化安全係數 FL 及體積應變之相關經驗圖，計算某一點之體積應變 ε_v 值。

3.重覆步驟(1) (2)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

$$S_d = \sum_{i=1}^N \varepsilon_{v,i} \cdot \Delta h_i \dots\dots\dots (11-3)$$

11.4 布袋港區震陷潛能分析結果

本文搜集布袋港區現有鑽探資料 39 孔，共約 700 筆 N 值資料，其相關位置如圖 10-2 所示，分別以①地震規模 $M_w=6.5$ ，布袋港之地表最大加速度 $A_{max}=0.1g$ ，約為布袋港區液化之臨界震度；②地震規模 $M_w=7.0$ ，布袋港區之地表最大加速度 $A_{max}=0.15g$ ，約為 1906 年梅山地震之布袋港區震度；③新訂耐震設計規範乙區地震強度 $A_{max}=0.23g$ ；④新訂耐震設計規範甲區地震強度 $A_{max}=0.33g$ 等四種地震條件，並利用標準貫入試驗(SPT)之土層調查資料，評估各種地震強度引致布袋港區之震陷潛能。

本文分析各種地震強度引致布袋港區之震陷潛能，是以平均地下水位為-1.0m 為分析依據，本文新模式賴(2002)安全係數法+ Ishihara et al.(1991,1996)之分析結果，如圖 11-3 至圖 11-6 所示。其中圖 11-3，是以地震規模 $M_w=6.5$ ，布袋港之地表最大加速度 $A_{max} = 0.1g$ ，其所引致之沉陷等值圖，其引致港區之最大沉陷量為 50 公分，平均沉陷量為 12.53 公分。圖 11-4，是以 1906 年梅山地震之布袋港區震度，地震規模 $M_w=7.0$ ，布袋港區之地表最大加速度 $A_{max}=0.15g$ ，其所引致之沉陷等值圖，其引致港區之最大沉陷量為 70 公分，平均沉陷量為 31.20 公分。圖 11-5，是假設布袋港不幸遭受耐震設計規範乙區地震強度

$A_{max}=0.23g$ ，其所引致之沉陷等值圖，其引致港區之最大沉陷量為 90 公分，平均沉陷量為 53.17 公分。圖 11-6，是假設布袋港不幸遭受耐震設計規範甲區地震強度 $A_{max}=0.33g$ ，則其可能引致港區之沉陷等值圖，最大沉陷量為 110 公分，平均之沉陷量為 64.19 公分。圖 11-3 至 11-6 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 1999 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。

茲將以上分析各種地震強度引致布袋港區之液化機率危害度及震陷潛能整理如表 11-1 所示。

表 11-1 布袋港區各種地震引致之液化危害度及平均沉陷量

地震條件	地震規模 (M_w)	地表最大加 速度, A_{max} (g)	液化危 害度 IL	液化機率 危害度 P_{LW}	平均 沉陷 (cm)	危害度等 級
布袋港區液化之 臨界震度	6.5	0.10	2.30	0.13	12.53	輕度
1906 年梅山地震 之港區震度	7.0	0.15	9.67	0.35	31.20	中度
新訂耐震設計規 範乙區	7.5	0.23	25.14	0.64	53.17	嚴重
新訂耐震設計規 範甲區	7.5	0.33	41.35	0.81	64.19	極 嚴重

綜合圖 10-3 至圖 10-10 及圖 11-3 至圖 11-6 之液化機率危害度及沉陷等值圖整體觀之，布袋港區有三處土質較為鬆軟，極易因地震而造成較嚴重之液化及沉陷災害，其分別位於(1)第二期海埔地之東北角隅，(2) 第二期海埔地之東南角隅，(3)商港區之西北角隅。

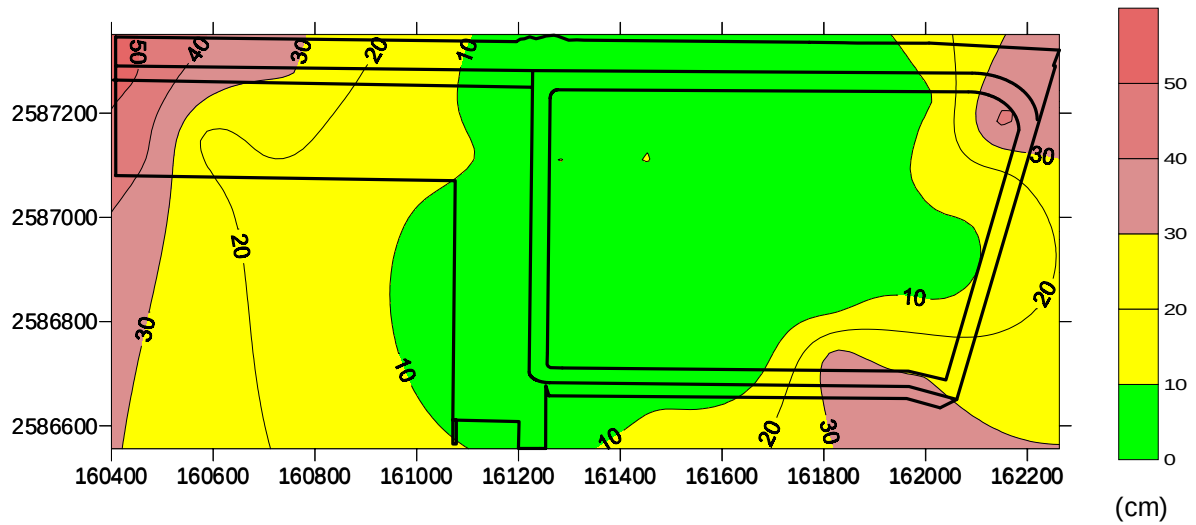


圖 11-3 布袋港區地震引致沉陷之等值色階圖 ($M_w=6.5$, $A_{max}=0.10g$)
賴(2002)安全係數法+Ishihara et al.(1991,1996)法

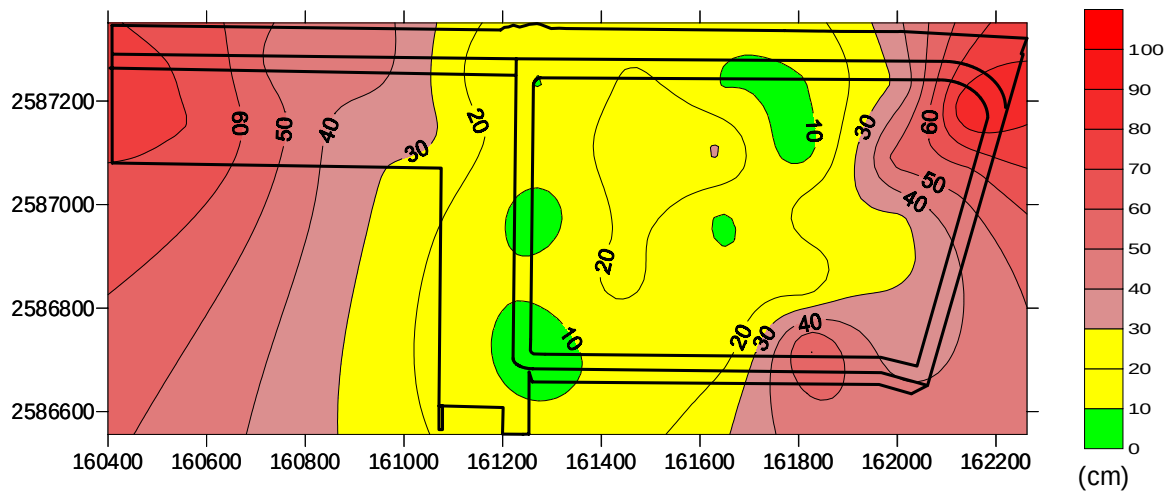


圖 11-4 布袋港區地震引致沉陷之等值色階圖 ($M_w=7.0$, $A_{max}=0.15g$)
賴(2002)安全係數法+Ishihara et al.(1991,1996)法

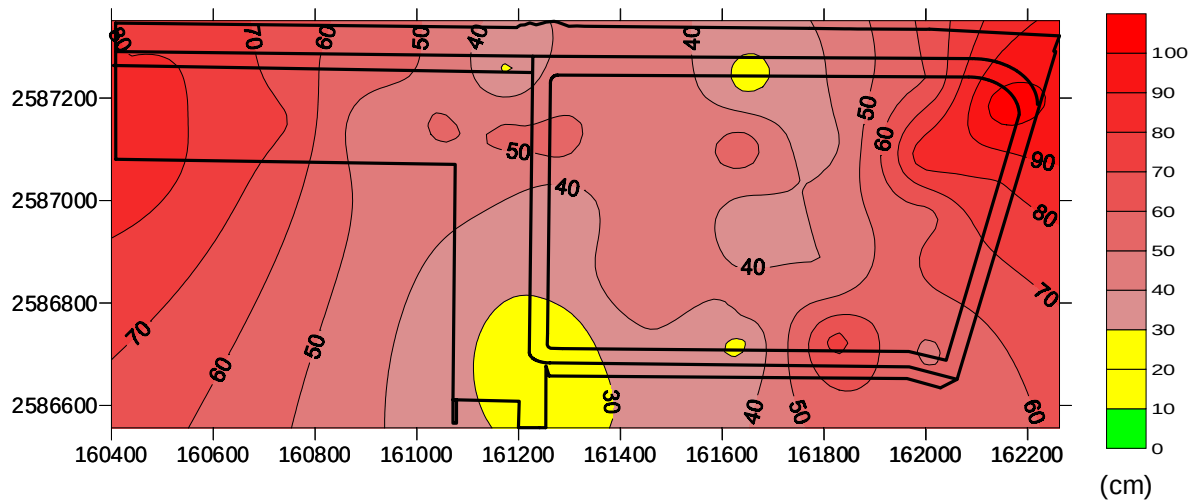


圖 11-5 布袋港區地震引致沉陷之等值色階圖 ($M_w=7.5$, $A_{max}=0.23g$)
賴(2002)安全係數法+Ishihara et al.(1991,1996)法

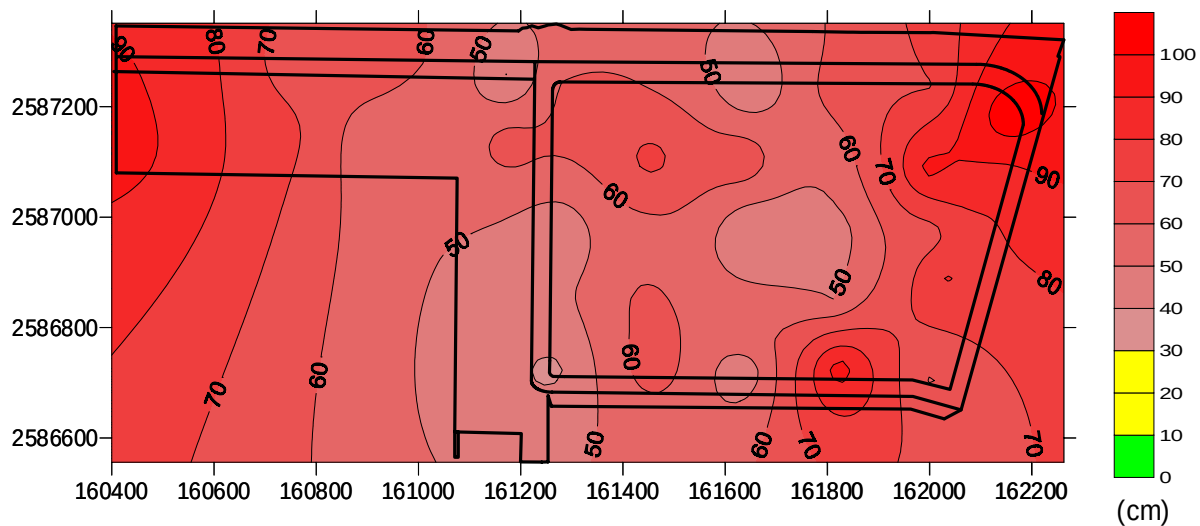


圖 11-6 布袋港區地震引致沉陷之等值色階圖 ($M_w=7.5$, $A_{max}=0.33g$)
賴(2002)安全係數法+Ishihara et al.(1991,1996)法

第十二章 布袋港區地層速度構造與場址效應分析

布袋港區地質多屬疏鬆軟弱之沖積土層及海埔新生地，地震來襲時，震波從震源深處向上經過軟弱的覆土層，振幅通常有放大作用。由於沖積土層之震動阻抗較岩盤及洪積地盤為小，同時沖積地盤又有卓越週期，使其在地震時可能因共振而生較強之振動，因此為瞭解布袋港區之震波放大作用，對港區地層速度構造之調查，及場址不同頻率之放大倍率與共震主頻之研究，極為重要。

本文以折射震波探測、反射震波探測、表面波譜法(SASW)及懸浮式速度井測(P-S Logging)等四種地球物理方法，調查布袋港區之地層速度構造，其中折射震波探測有助於了解淺層體波(P Wave)速度構造，反射震波探測所獲得之速度層剖面有助於了解深層體波(P Wave)速度構造，表面波譜法有助於了解地層剪力波(S Wave)速度構造，懸浮式速度井測為直接量測地層的 P 波和 S 波的細部速度構造，並可和前面三種方法的速度構造做對比。

以上述所獲得之地層速度構造，運用數值模擬方式 Haskall Method(Haskall, 1960)進行理論場址效應計算，模擬項目為不同深度地層與地表間之震波轉換函數，由此轉換函數 (Transfer Function) 推估地震來襲時地表不同頻率之放大倍率與共震主頻。

由理論場址效應分析與微震動量測之頻譜比做對比，發現兩者分析結果十分類似(彭，1998)，因此為了能獲得整個布袋港區之場址效應，本文於港區內各處均加以施測微震動量測，總計量測了 40 個測點，將每個測點所有之頻譜做單站頻譜比，獲得整個布袋港區之場址效應。

12.1 測區描述及探測位置

本次地球物理探測工作位於嘉義縣布袋港，探測位置位於商港區

四周, 探測項目包含折射震波探測、反射震波探測、表面波譜法(SASW)及懸浮式速度井測(P-S Logging), 折射震波探測佈置三條測線 RA1(345 公尺)、RA2(460 公尺) 及 RA3(805 公尺), 總長度為 1610 公尺, 其中 RA1 位於海防班哨後方至堤防之間, 由西向東施測, 300m 地震監測井位於測線 80m 處, RA2 位於高雄港務局布袋港辦事處前柏油路面上, 由南向北施測, RA3 位於北堤旁邊柏油路面上, 由西向東施測, 200m 地震監測井位於測線 535m 處; 反射震波探測佈置三條測線 RL1(357 公尺)、RL2(429 公尺) 及 RL3(735 公尺), 總長度為 1521 公尺, 其測線位置與折射震波探測測線重合; 表面波譜法(SASW) 佈置二條測線 SW1(96 公尺)及 SW2(96 公尺), 其測線位置與折射震波探測測線 RA1 及 RA3 重合; 懸浮式速度井測(P-S Logging), 位於布袋港海防哨 300m 地震監測站, 圖 12-1 為地球物理探測測線位置圖, 圖 12-2 為微震動量測點位置圖。

12.2 探測原理及探測結果

1. 折射震波探測

(1) 探測原理

折射震測法係藉炸藥(爆竹)引爆或重錘敲擊產生人造震波, 傳播於地下地層, 因地層間速度不同, 震波於層面處, 依斯涅爾(Snell)定律發生折射現象返回地表, 為埋設於地表之受波器接收。根據其時間距離關係(通稱時距曲線) 求出地層之構造。一般來說折射震測法可經濟且準確地探測出地質構造是以震波速度值大中小表示之(通稱速度層)。由理論上和實驗上均顯示岩石震波速度對岩石之彈性係數及岩層的地質狀態有直接關係, 因此以折射震測法所探測出之速度層剖面圖, 是工程設計及施工上之重要參考資料。

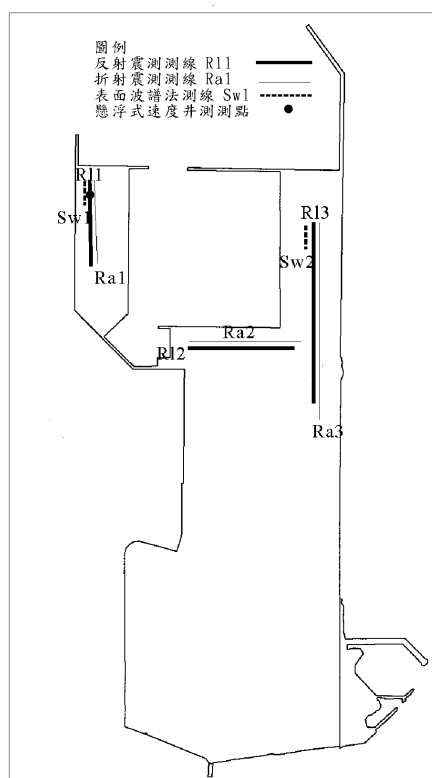


圖 12-1 地球物理探測測線位置圖

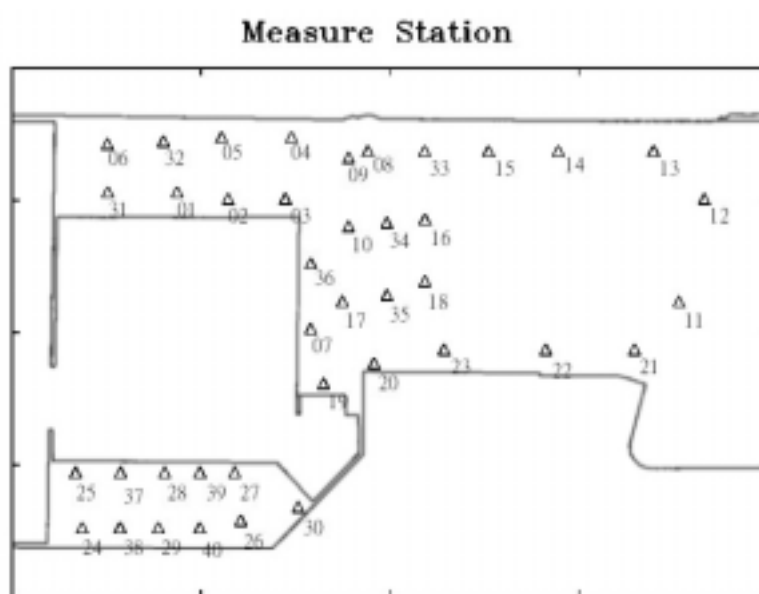


圖 12-2 微震動量測點位置圖

(2)探測結果

本次折射震波探測共 安排施測三條震測線，其測線編號分別為 RA1(345 公尺)、RA2(460 公尺)及 RA3(805 公尺)，施測總長度為 1610 公尺，每條測線中再分別以 115 公尺為一條子測線，受波器間距 5 公尺，採用 14HZ 受波器及 24 波道的測線佈置，其中 RA1 子測線為 RA1-1~RA1-3, RA2 子測線為 RA2-1~RA2-4, RA3 子測線為 RA3-1~RA3-7，圖 12-3、圖 12-4 及圖 12-5 為 RA1~RA3 速度層剖面圖，由本次分析結果，研判本基地測線範圍內第二層速度層仍為砂土層，由於受到地下水位及回填時輾壓影響，其速度介於 1.54 km/sec 1.82 km/sec，茲將折射震波結果詳列如表 12-1 表 12-3：

表 12-1 RA1 測線探測結果(詳圖 12-3)

層序	地層研判	P 波速度 (km/sec)	厚度 (m)
1	表土層或回填土	0.36 0.60	0.38 3.55
2	砂土層	1.58 1.82	

表 12-2 RA2 測線探測結果(詳圖 12-4)

層序	地層研判	P 波速度 (km/sec)	厚度 (m)
1	表土層或回填土	0.33 0.70	2.06 3.83
2	砂土層	1.54 1.77	

表 12-3 RA3 測線探測結果(詳圖 12-5)

層序	地層研判	P 波速度 (km/sec)	厚度 (m)
1	表土層或回填土	0.36 0.77	2.02 4.38
2	砂土層	1.58 1.74	

2. 反射震波探測

(1) 探測原理

(a)反射定律

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

(b)共深點(CDP)方法

CDP 法（Common Depth Point）（如圖 12-6）是近代反射震測法最主要的觀念，它可讓我們以不同的角度，看同一反射點（叫若干重合，Fold），因此可以把反射層「看」得更清楚，更能分別信號與雜波，而提高剖面的可信度。屬於同一 CDP 的描線，其震波雖然在垂直方向上走時相同，但在側向上，因炸點與受波器之距離不同，故走時也有差異，但也因為在一 CDP 聚排內之信號經過之側向距離不同，走時不同，而提供我們有關震波在地層內傳波速度之資料。利用此速度即可將側向走時修正掉（叫做垂直隔距時差修正，NMO）；此時，所有描線全都代表垂直走時，即可將它們加起來，屬反射信的部份就因此而放大加強，至於雜波部份則因不同相位相加而減弱，這個疊加（又

叫重合, Stack) 的動作, 是 CDP 法最有用的部份。CDP 重合後的描線代表震波直地層來回之信號, 當我們將連續的 CDP 點之描線畫出來, 即構成一張震測剖面, 此剖面代表地下地層大致分佈情形, 當配合其它地質資料, 即可對地下構造做合理的解釋。

(2)探測結果

本次反射震波探測共施測三條測線, 測線編號分別為 RL1(357 公尺)、RL2(429 公尺) 及 RL3(735 公尺), 總長度為 1521 公尺, 探測位置與 RA1、RA2 及 RA3 相同。本次反射震波探測使用 100HZ 的受波器及 48 波道的測線佈置, 受波器間距為 3 公尺, 使用至少 12 重合 (Fold) 方式累加訊號, 用以消除部份地面波雜訊及增加電訊能量, 採用機械式震源, 以求得較大能量, 柏油路面上先鑽孔再安插受波器, 受波器安置垂直偏斜不超過 15 度, 以得到較佳的 P 波速度構造。圖 12-7~圖 12-9 為三條測線的地層構造剖面圖及 P 波速度變化分佈圖, 由圖中可看出在 600m 以內的 P 波速度構造在 1400m/sec~2800m/sec 之間, 且三條測線有一致的變化。

3. 表面波譜法(SASW)

(1)探測原理

表面波為地表量測法中最容易產生, 振幅最大之震波, 一般地表附近傳遞之表面波以雷利波(Rayleigh Wave)為主, 而雷利波之特性主要係受地層 S 波所影響, 表面波探測基本原理及藉由量測表面波之相位速度, 分析得頻散曲線, 再進行 S 波速度層構造之解析, 於量測過程中相位速度及頻散曲線分析係為表面波探測法之重要步驟。表面波譜法(SASW)量測得之相位速度或頻散曲線, 可經逆推(Inverse)程序解析出地層之 S 波速度層構造, 其具有施測容易、經濟快速且非破壞性之優點。利用多波道式表面波探測法, 可獲

得較多的資料，增加逆推之準確性，另由多波道之信號比較，可容易判斷出有效之雷利波及無效之雜波，依據判斷得之雷利波及雜波特性，選擇適當之濾波方式濾除雜訊增加 S/N 比，同時增加探測之準確性，並了解地層構造的實際側向變化。

(2)探測結果

本次表面波譜法(SASW)於 300m 地震井及 200m 沉陷井，各安排一條測線，編號為 SW1 及 SW2，探測位置與 RA1 及 RA3 相同，使用 4.5MHZ 的受波器及 48 波道的測線佈置，受波器間距 2m，利用可產生較大能量的機械式震源，以產生可供分析的 S 波訊號，及達到 100m 的探測深度，受波器安置垂直偏斜不超過 15 度，如此方能得到較佳的 S 波速度構造。探測結果如圖 12-10 及表 12-4 所示：

表 12-4 表面波譜法之探測結果

深度 (m)	SW1	SW2	備註
	Vs (m/sec)	Vs (m/sec)	
0.0 9.0	124	100	
9.0 19.0	272	228	
19.0 35.0	344	376	
35.0 63.0	360	412	
63.0 100.0	410	480	

4. 懸浮式速度井測(P-S Logging)

(1)探測原理

懸浮式速度井測(P-S Logging)是利用結合震源、率波館和兩組受波器所構成的一體化形式探測管，其可直接懸吊於孔內水中量測 P 波和 S 波速度，而不需將受波器緊靠於孔壁。兩組受波器的間距

是 1 米，其可同時量測 P 波和 S 波的傳遞時間。又此種懸吊式受波器的構造幾乎和水的密度相等，因此即使其在水中亦可有效量測 S 波。而震源是利用水平螺線線圈集擊槌在孔內液體中產生一壓力波(pressure wave)，然後經孔壁轉換成實體波(P 和 S)放射狀的傳播到地層。當此實體波傳遞到每一個感應器所相對應之孔壁時，在孔內液體中先轉換成壓力波，再由受波器接收訊號。

(2)探測結果

位於布袋港 300m 地震監測站，試驗前由中心現場監工人員指定之試孔為施測地點。將量測儀放置孔底再逐漸上升量測，每上升一公尺量測一點，每個測點至少疊加 5 次。每個測點同時量測 P 波及 S 波，量測 S 波時需要以正向與反向震源各量測一次，以得到比對波形。由於探測管的上部受波器位於兩米處，因此由井下兩公尺量起，其量測結果 P 波和 S 波如圖 12-11 所示，並簡述如表 12-5：

表 12-5 懸浮式速度井測之探測結果

深度 (m)	V _p (m/sec)	V _s (m/sec)	備註
2.0 11.0	1470	180	
11.0 21.0	1470	224	
21.0 31.0	1470	190	
31.0 199.0	1754	246	
199.0 223.0	1754	307	
223.0 244.0	1851	307	
244.0 262.0	1851	333	

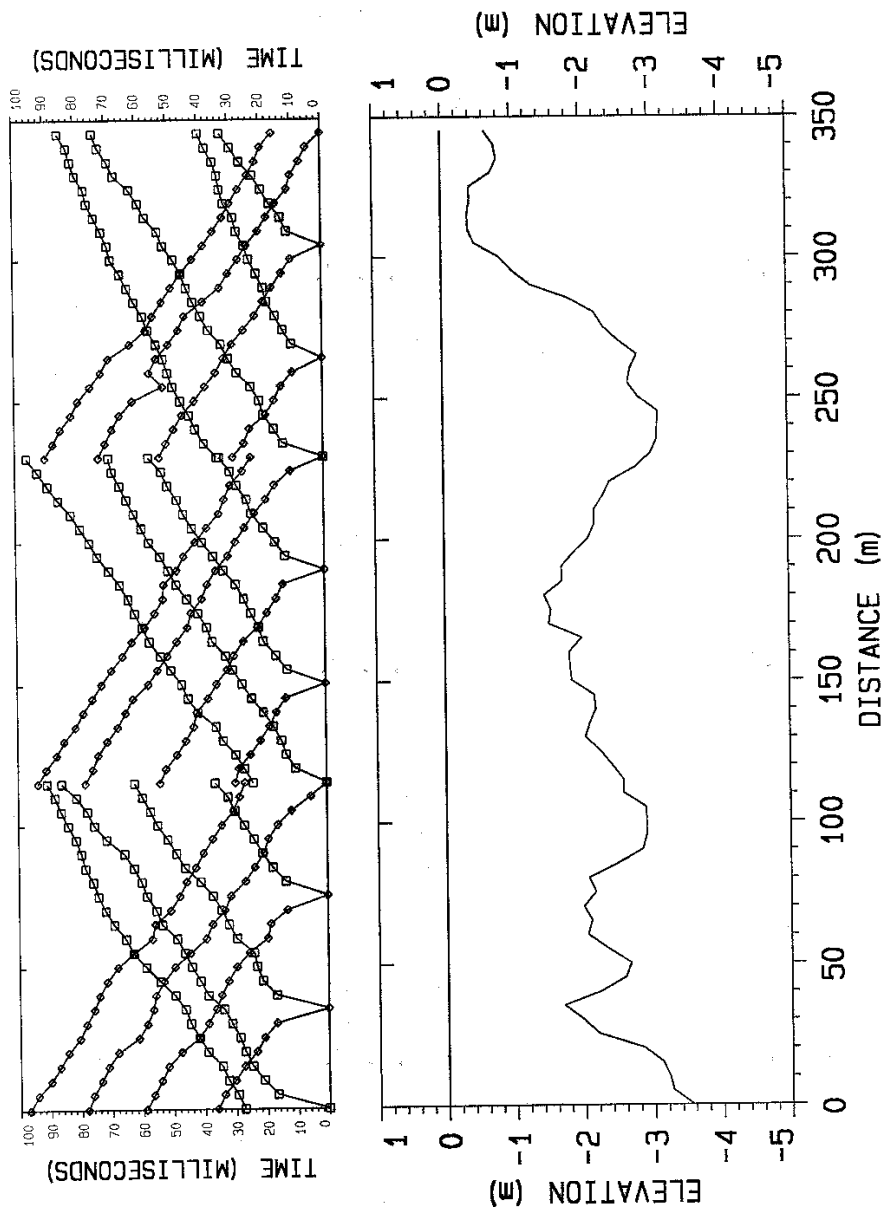


圖 12-3 折射震測測線 RA1 速度層剖面圖

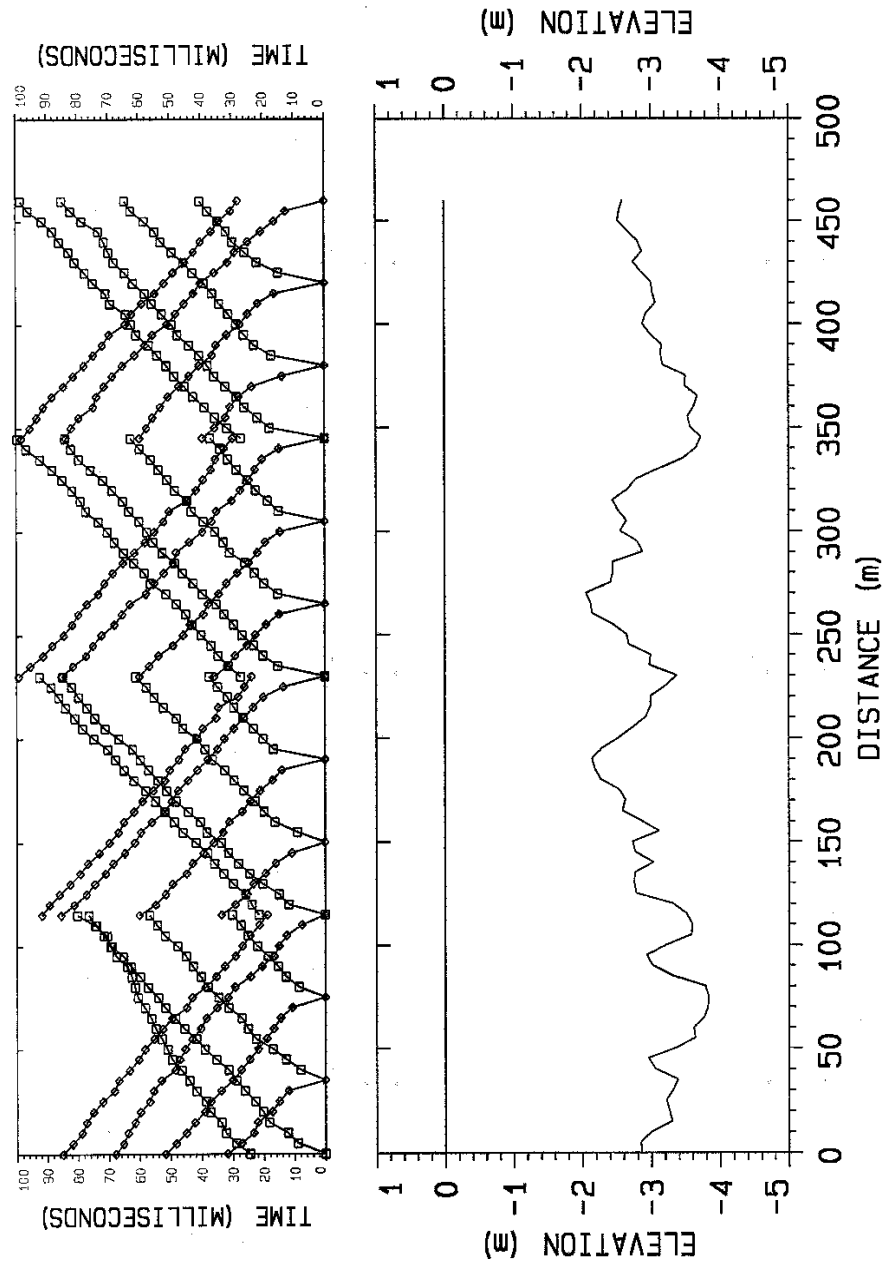


圖 12-4 折射震測測線 RA2 速度層剖

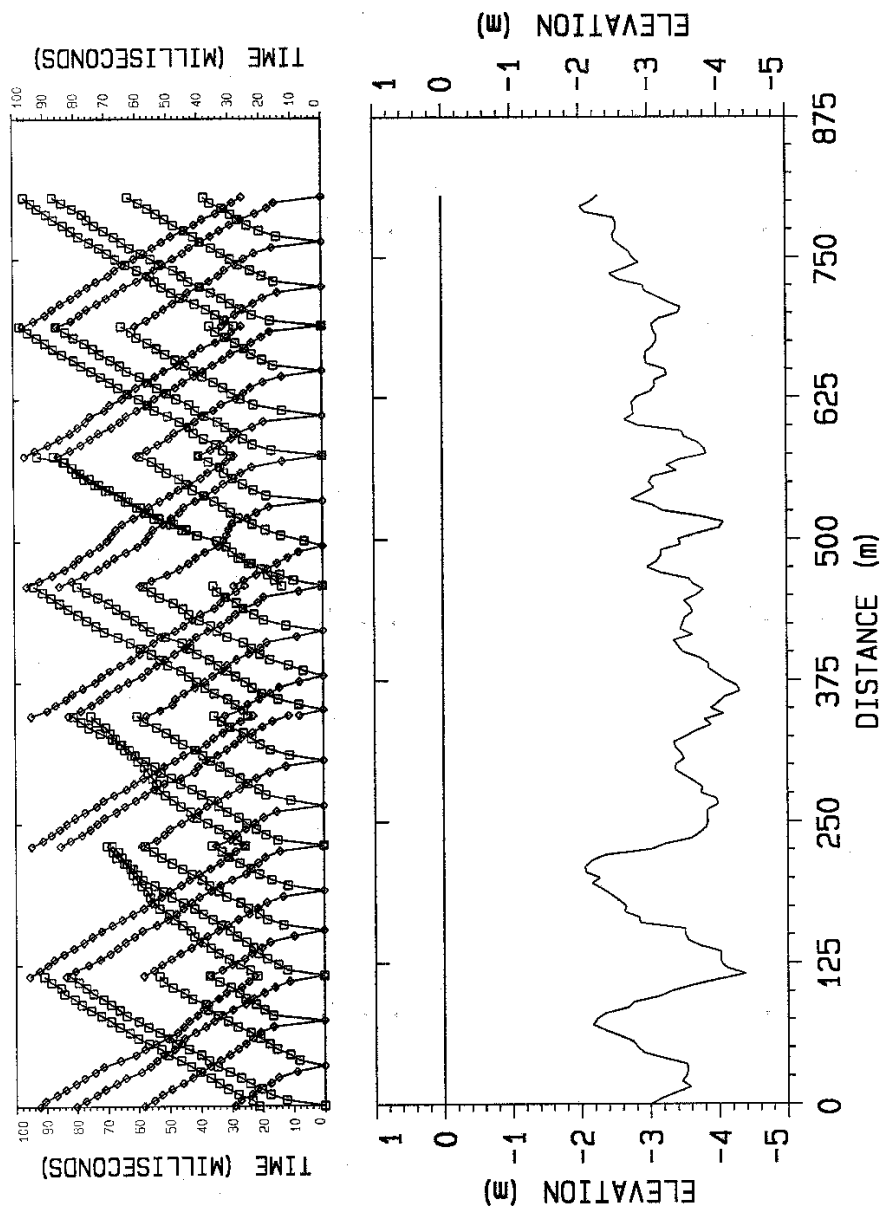


圖 12-5 折射震測測線 RA3 速度層剖

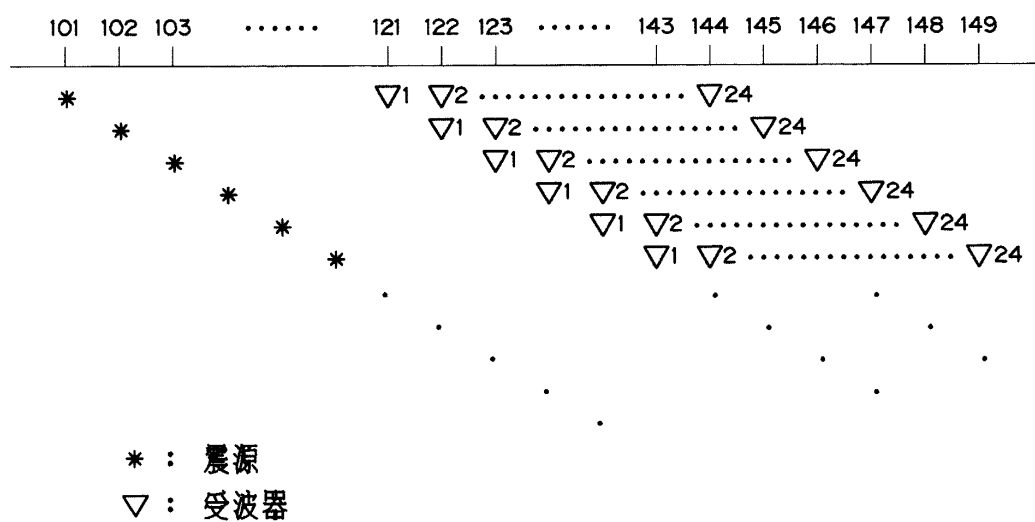


圖 12-6(a) CDP 炸測法之施測方式

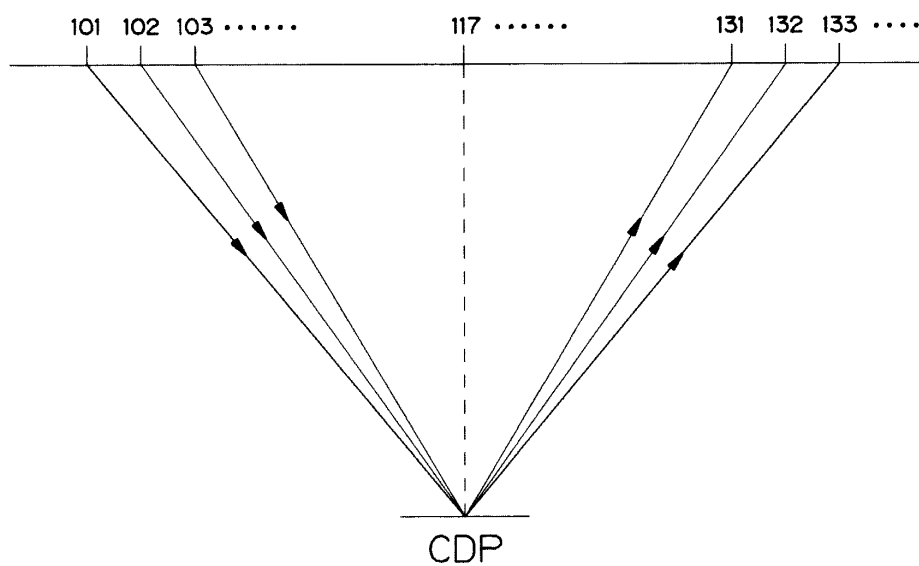


圖 12-6(b) CDP 點之觀念

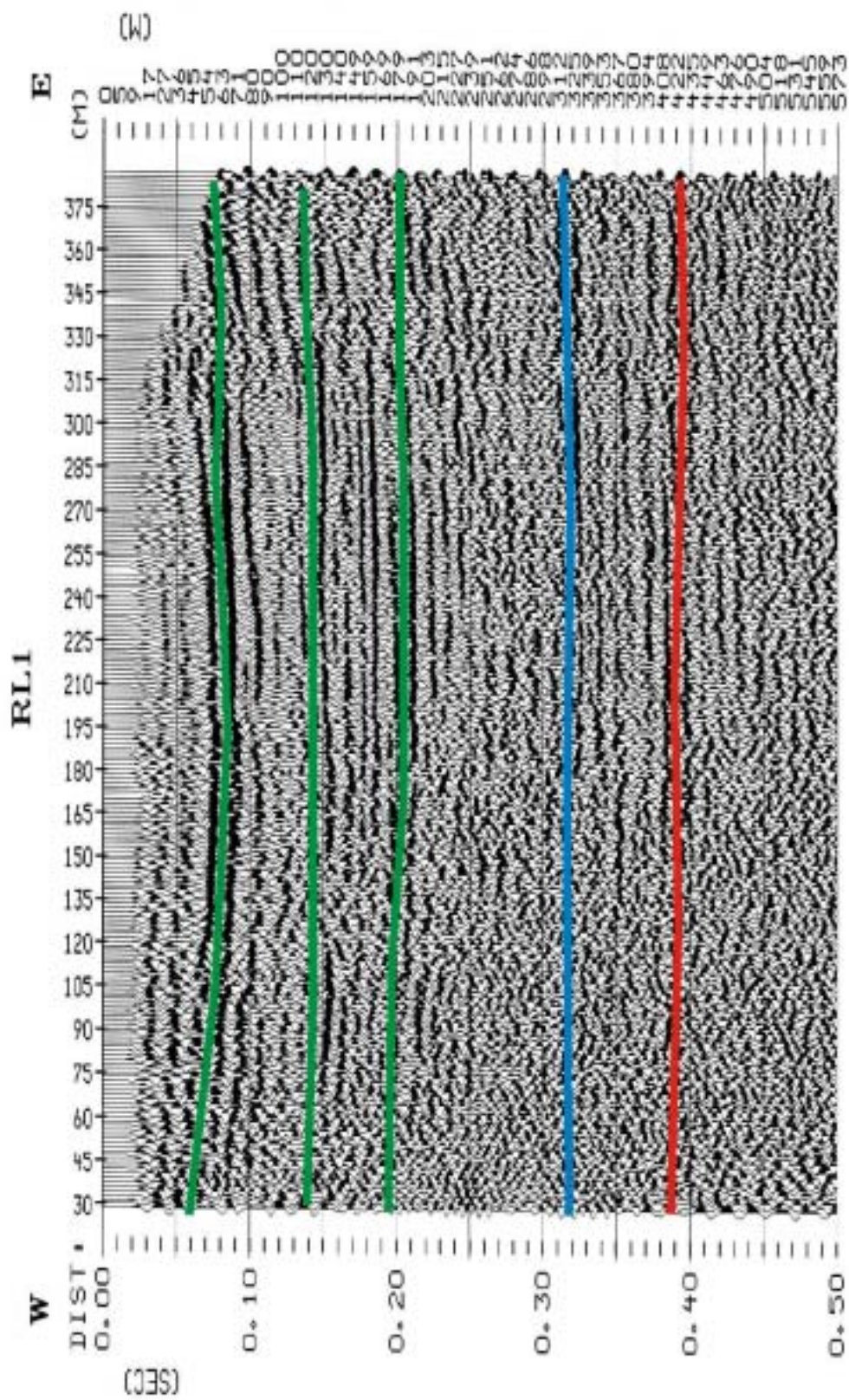


圖 12-7(a) 反射震測 RL1 地層構造解釋剖面圖

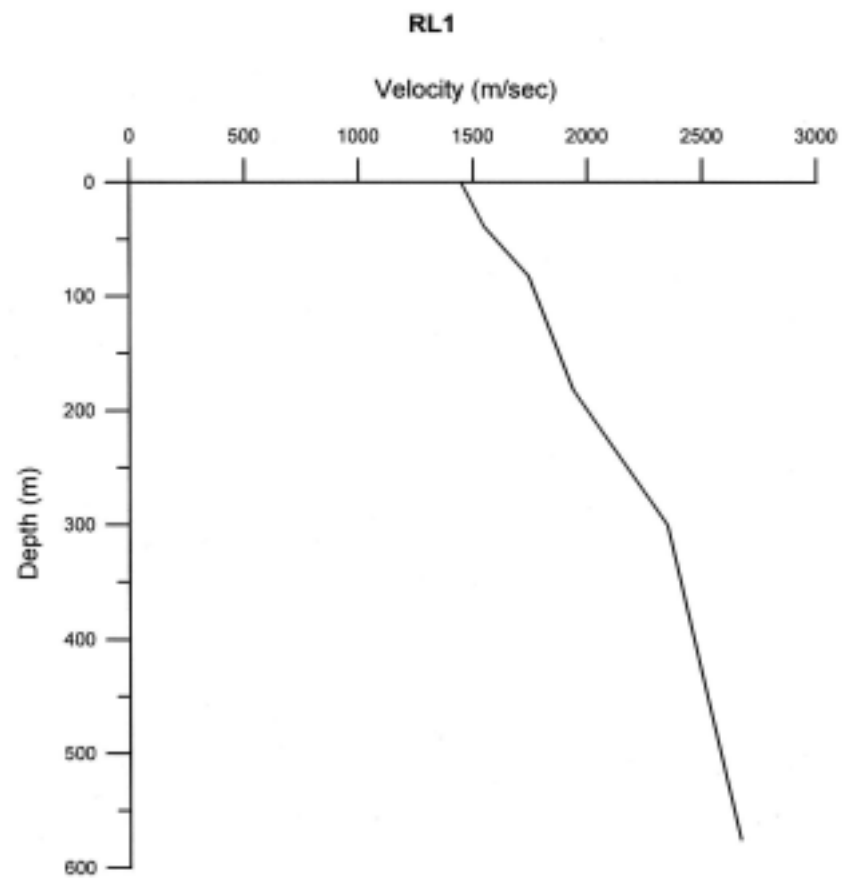


圖 12-7(b) 反射震測 RL1 P 波速度分佈圖

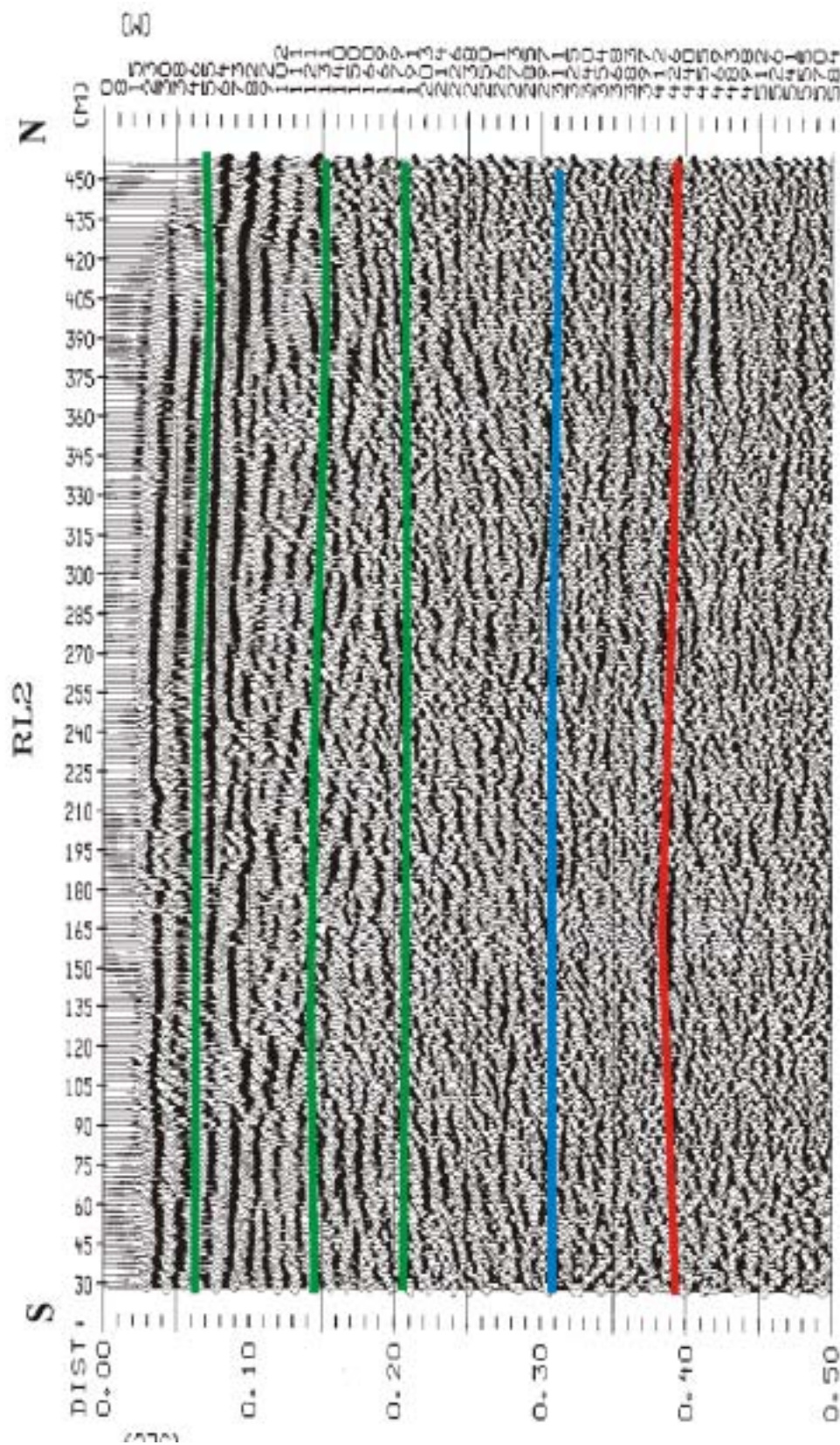


圖 12-8(a) 反射震測 RL2 地層構造解釋剖面圖

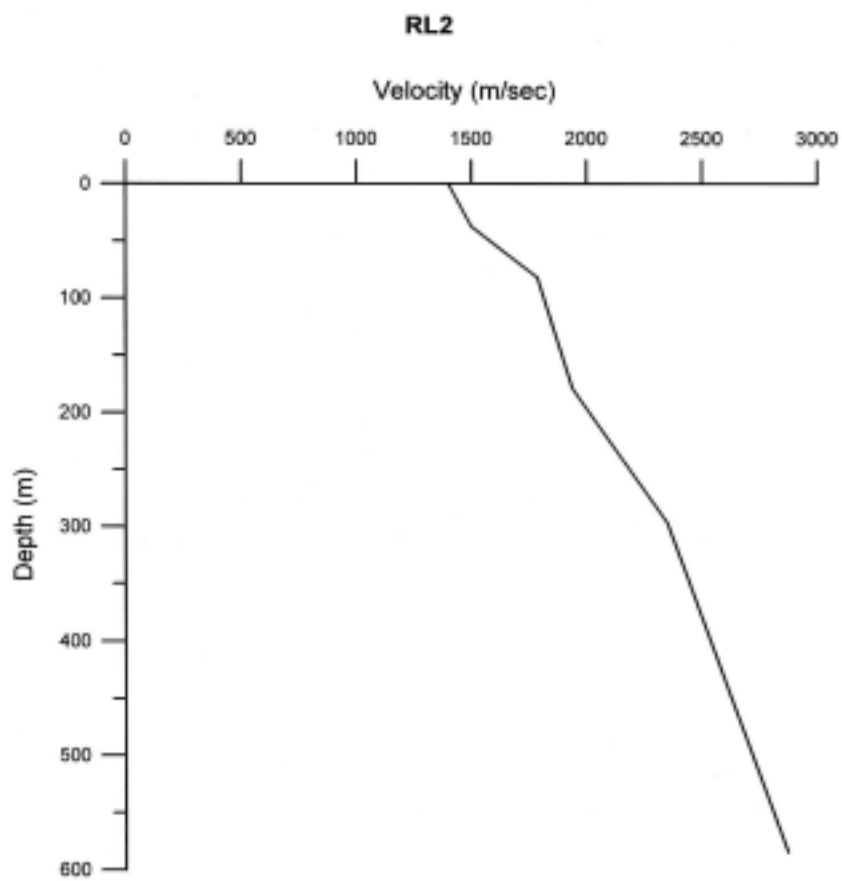


圖 12-8(b) 反射震測 RL2 P 波速度分佈圖

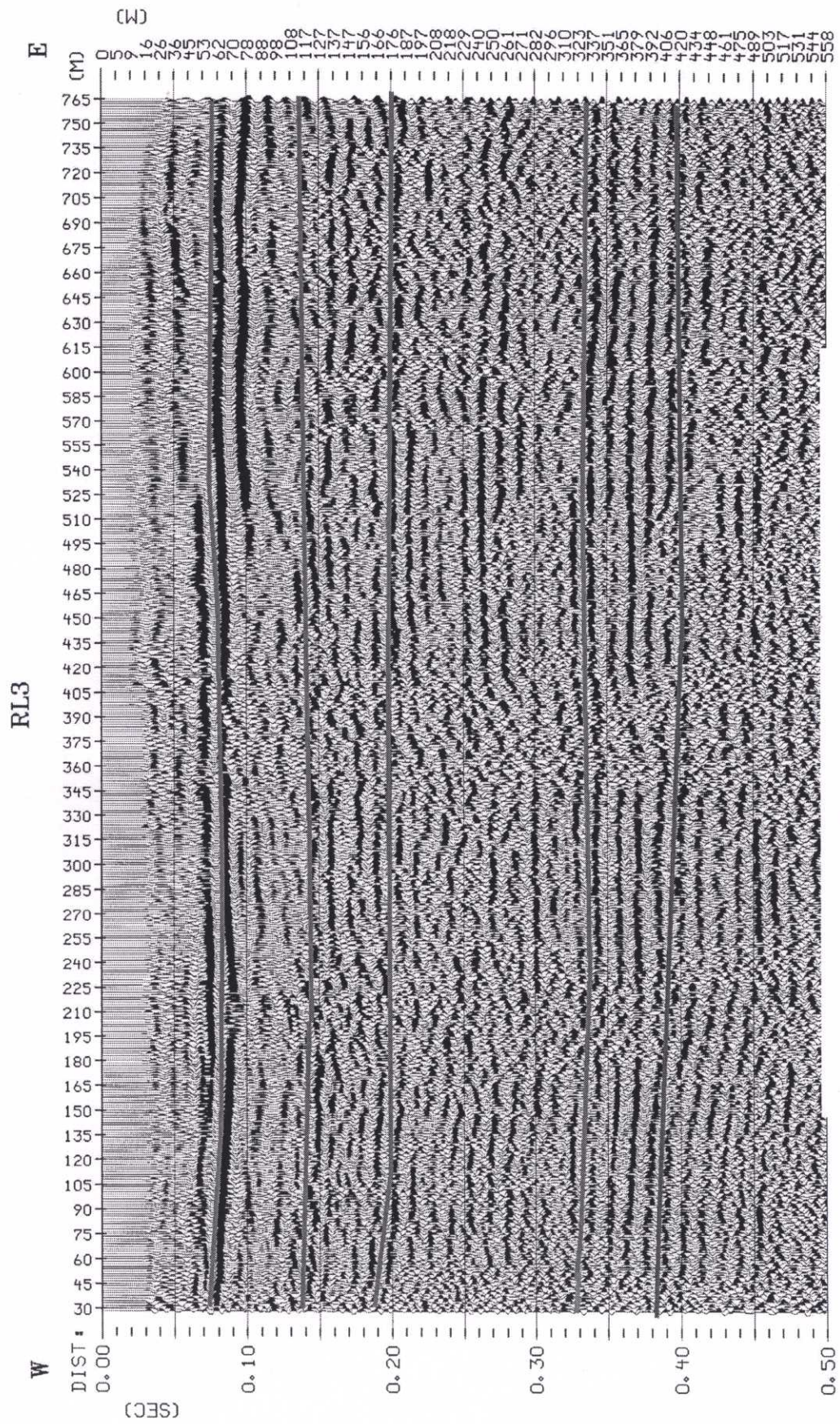


圖 12-9(a) 反射震測 RL3 地層構造解釋剖面圖

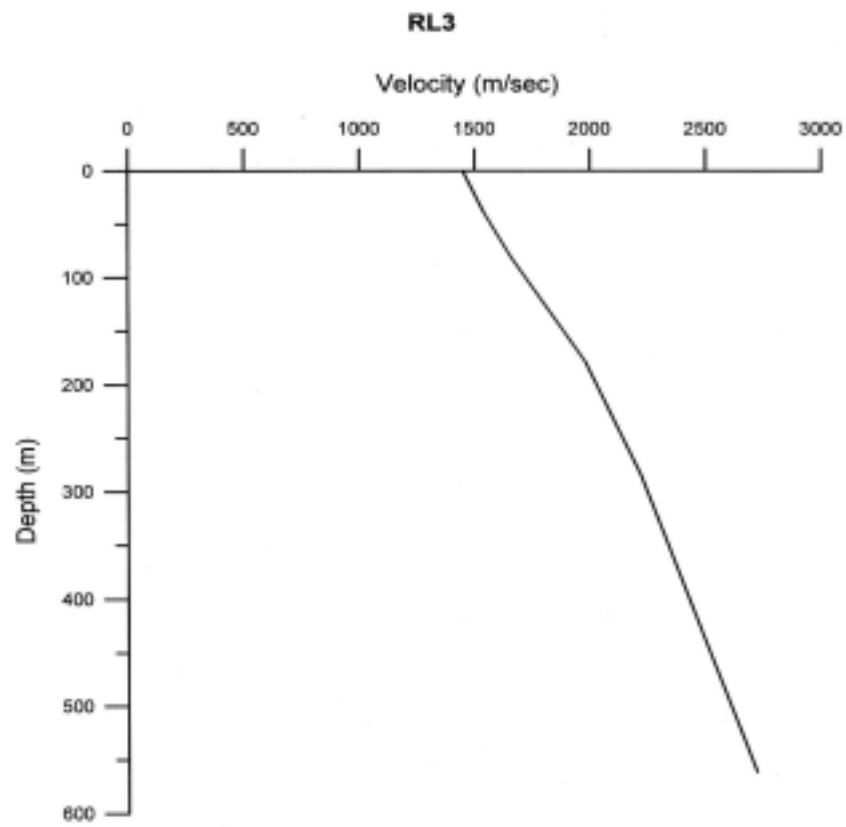


圖 12-9(b) 反射震測 RL3 P 波速度分佈圖

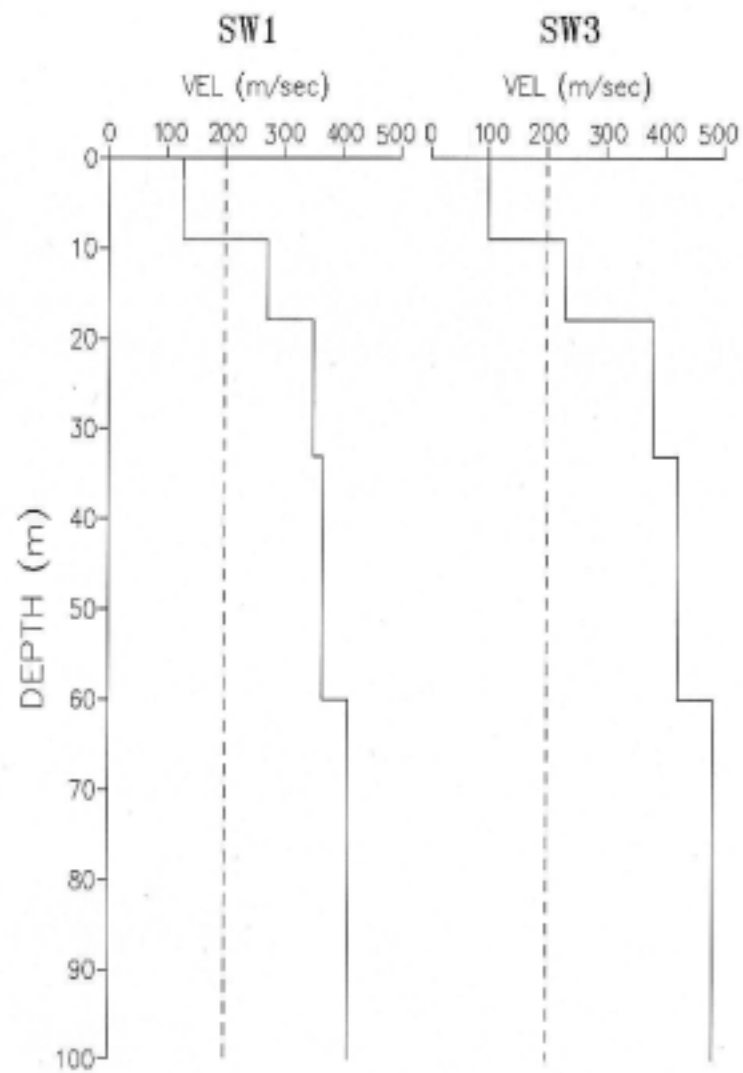


圖 12-10 表面波譜法(SASW)SW1 及 SW3 S 波速度分佈圖

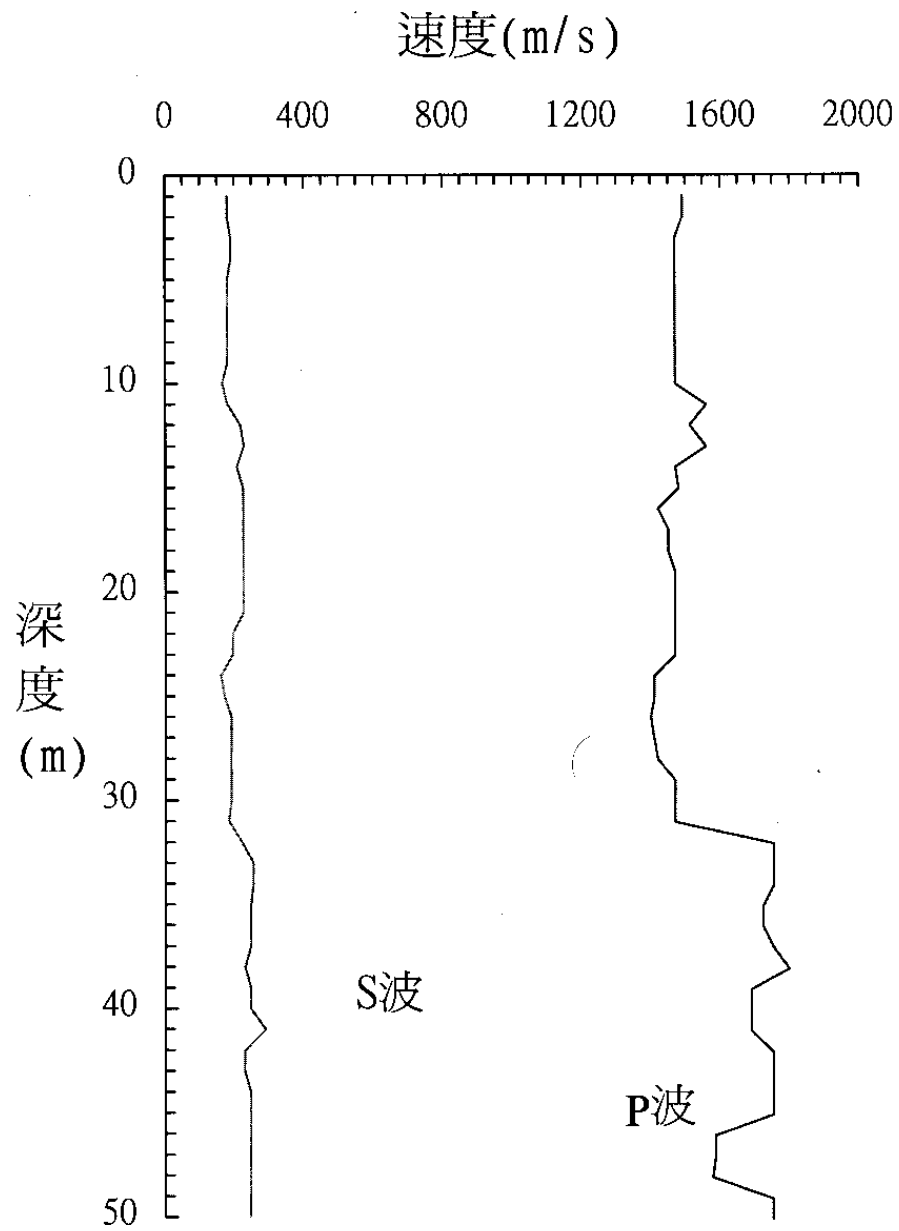


圖 12-11(a) 懸浮式速度井測(P-S Logging)探測結果圖(0~50m)

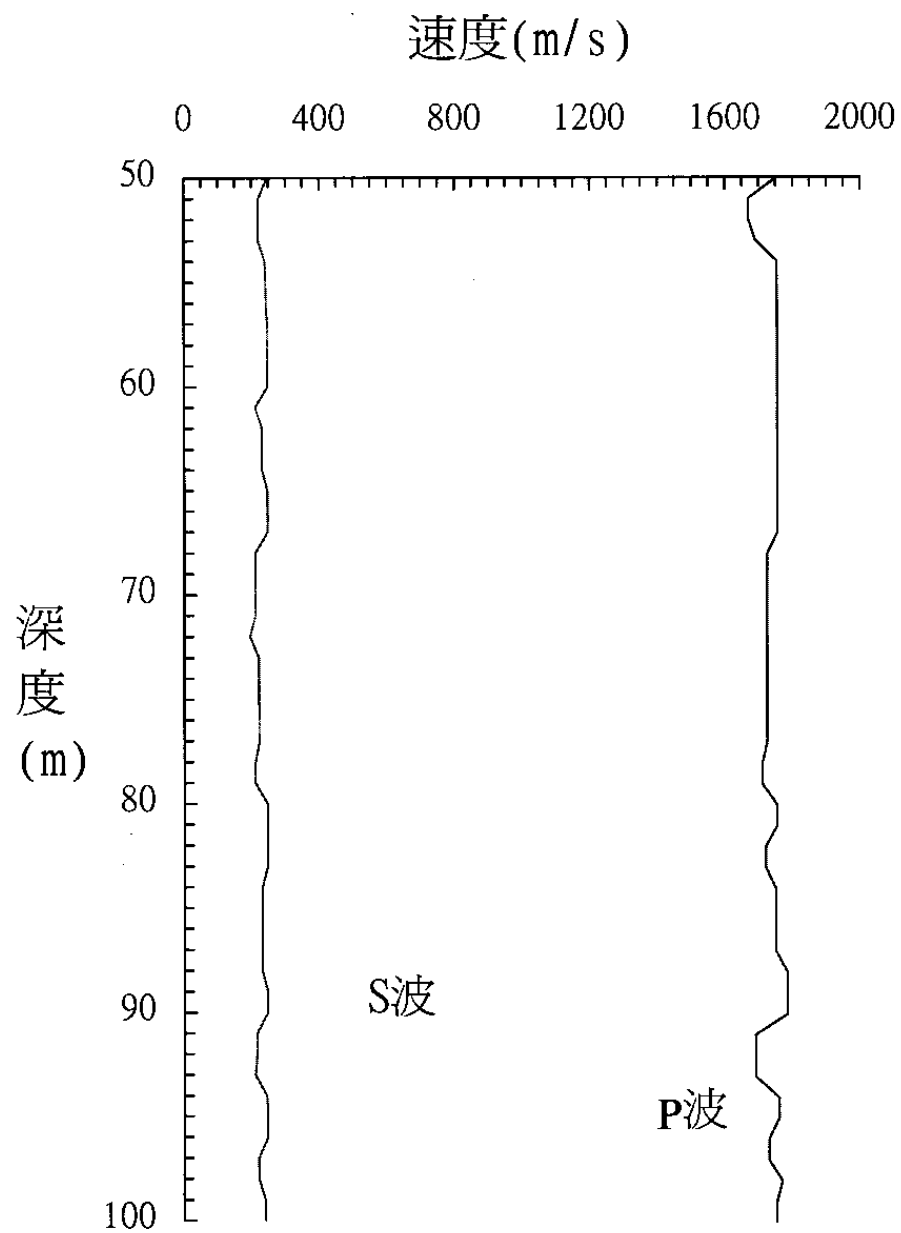


圖 12-11(b) 懸浮式速度井測(P-S Logging)探測結果圖(50~100m)

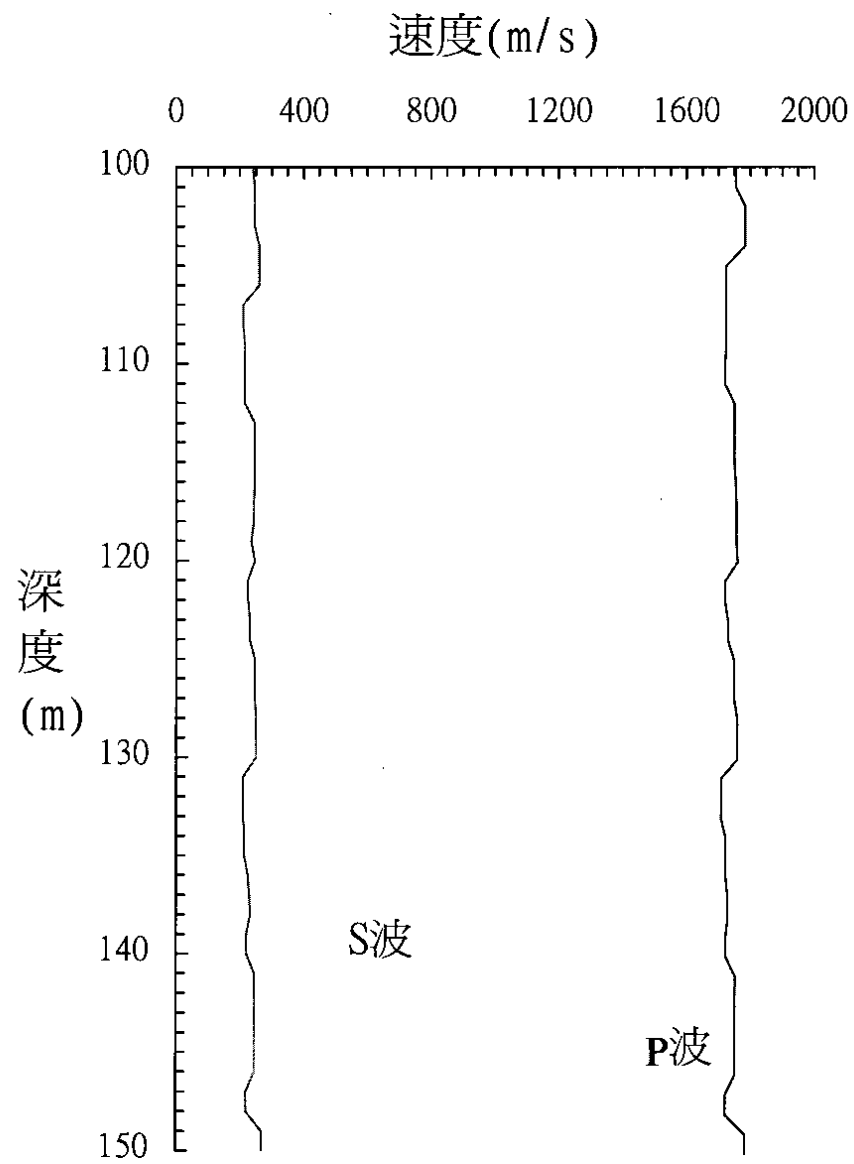


圖 12-11(c) 懸浮式速度井測(P-S Logging)探測結果圖(100~150m)

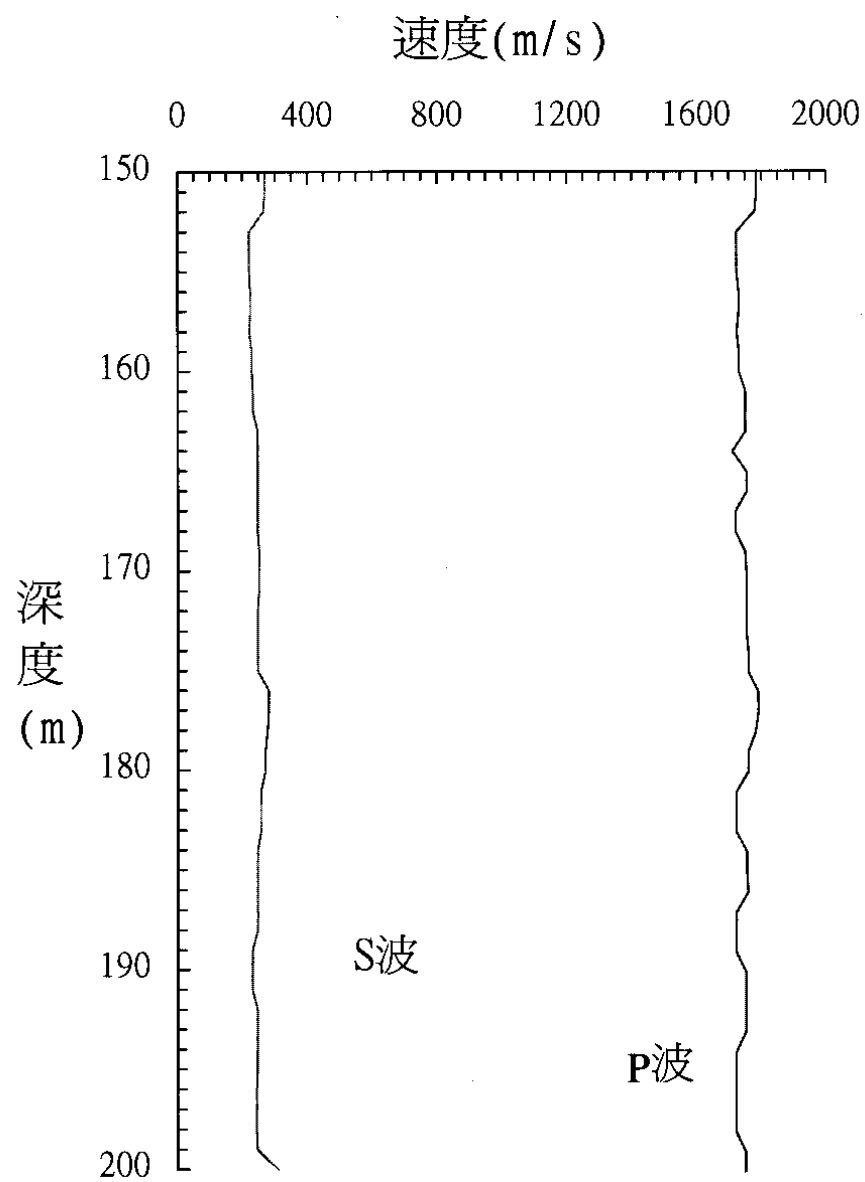


圖 12-11(d) 懸浮式速度井測(P-S Logging)探測結果圖(150~200m)

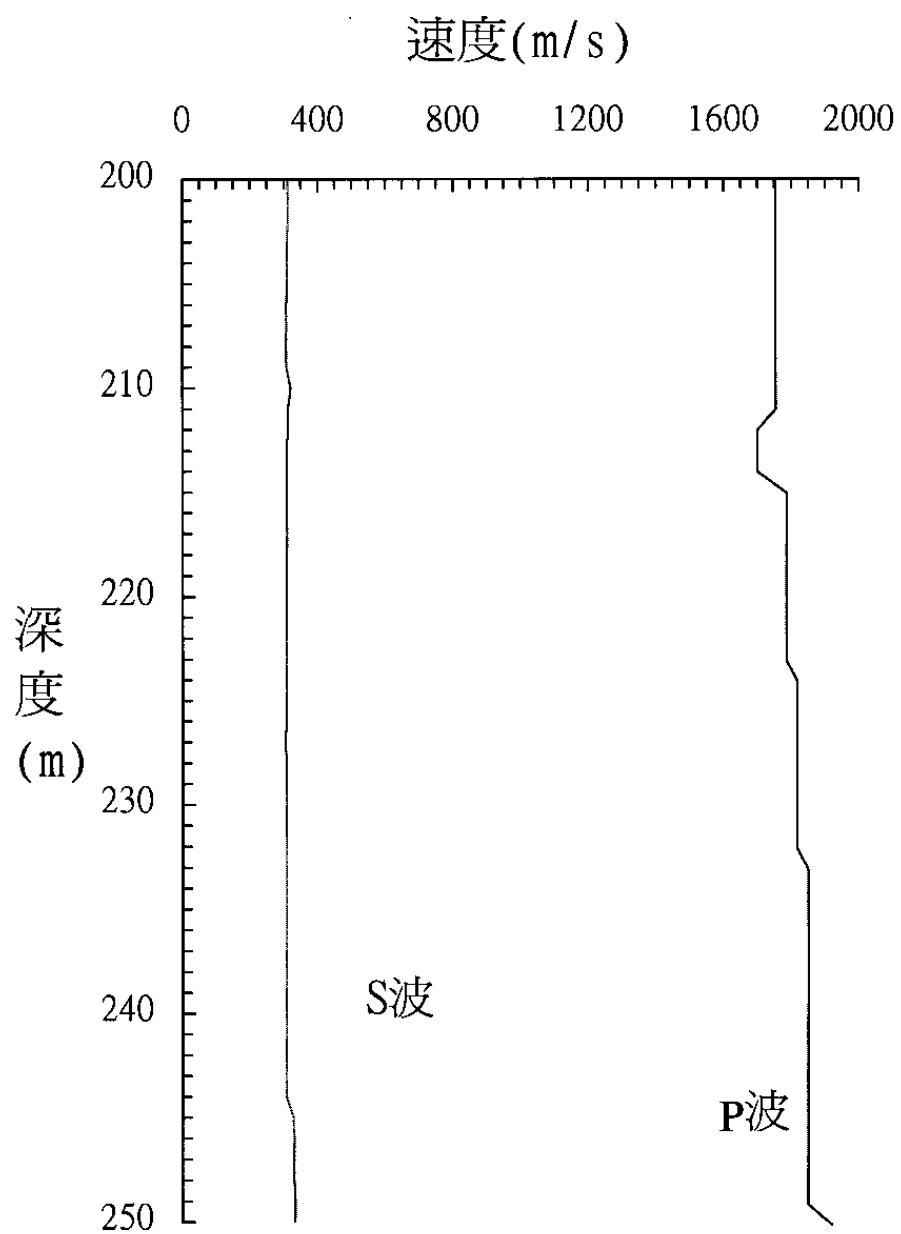


圖 12-11(e) 懸浮式速度井測(P-S Logging)探測結果圖(200~250m)

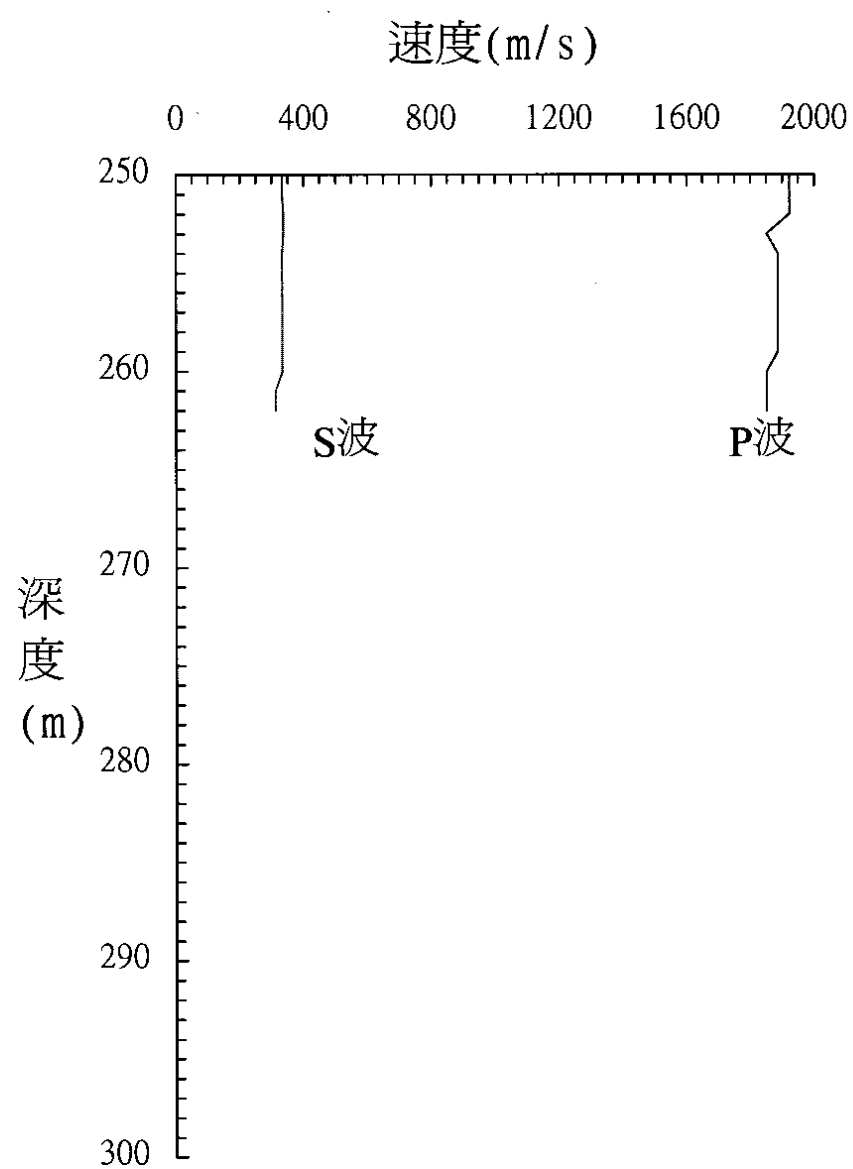


圖 12-11(f) 懸浮式速度井測(P-S Logging)探測結果圖(250~300m)

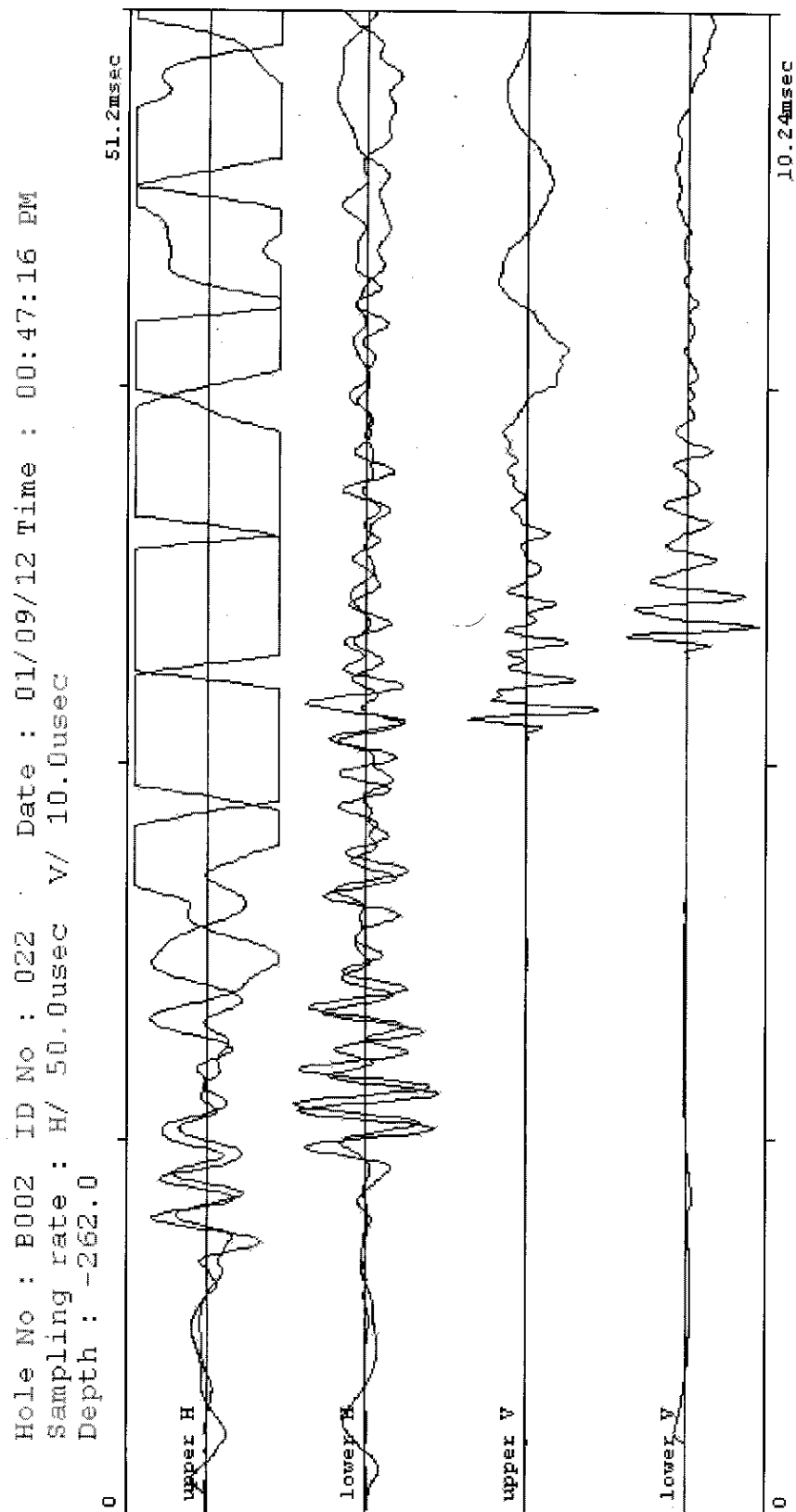


圖 12-12 懸浮式速度井測(P-S Logging)波形範例圖

12.4 微震動量測與場址效應分析

12.4.1 微震動量測

1. 量測方式：

為了能獲得整個布袋港區之場址效應，本計畫於港區內各處均加以施測，總計量測了 40 個測點，量測諸元如下：

- (1)儀器:採用美國 Kinimetrics 公司生產之 K2 地震儀加以量測,並配合記錄啟動器啟動地震儀,所量測之記錄則儲存於地震儀中之抽取式 PCMCIA 記憶卡中。
- (2)量測地點:於港區中儘可能以平均的方式選擇測點,各測點間距離 100~200 公尺,量測同時以手提式 GPS 定位系統加以定位,以獲得資料所在地之確切位置。
- (3)資料擷取:量測採樣率設定為每秒 200 點,以獲得高頻之訊號,並同時紀錄垂直、東西與南北三向量之微地動,量測時間長度為 180 秒。為了得到品質良好之資料,量測前地震儀之方位必須準確且調校水平。量測前已經確認地震儀電量充足,但仍準備了必要時所需輔助電力。量測過程中注意週遭環境變化,紀錄所有可能干擾資料之人為震動源。

2. 資料處理與分析方式

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

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

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

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

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

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

為了除去來自震源之效應, 將上式修正為

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

亦即

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

最後若假設 B_H/B_V 之比值為 1, 則場址效應可近似為

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

此即為單站頻譜比, 利用此式只需單站之紀錄即可求出場址效應。

3. 量測結果

經過將每個測點所有制窗之頻譜做單站頻譜比, 並將每個測點所有制窗之頻譜比加以平均以獲得平均值及標準偏差, 以及將 2 個水平

分量之頻譜比做均方根（Root Mean Square）等步驟之後，獲得港區各地支場址效應，各頻譜比結果見附錄 B。由每個測點之單站頻譜比分析場址效應發現，主要放大的頻段均在 1Hz 以上，尤其是 5Hz 附近以及 7-9Hz 兩處有明顯的放大，放大倍率最高可達 4 倍以上。但此結果為初步結果，將在場址效應分析章節中由理論計算加以驗證。

12.4.2 場址效應分析

1. 理論場址效應分析

綜合之前地球物理方法所得到之港區地層速度構造，並以入懸浮式井測所得到之細部速度構造為主，建立工址所在之地層速度剖面。運用數值模擬方式 Haskell Method 進行理論場址效應計算，所用之模型為上述所獲得之地層速度剖面。模擬項目為不同深度地層與地表間之震波轉換函數，由此轉換函數（Transfer Function）推估地震來襲時地表不同頻率之放大倍率與共震主頻。所採用之模型如下：

表 12-6 數值模擬所採用之地層速度

深度 (M)	P 波速度 (M/sec)	S 波速度 (M/sec)	密度 (g/cm ³)
0-3	600	110	1.6
3-11	1470	180	1.75
11-21	1470	224	1.95
21-31	1470	190	2.0
31-199	1754	246	2.05
199-223	1754	307	2.05
223-244	1851	307	2.07
244-300	1851	333	2.07
300 以下	2700	375	2.26

先前在做微地動量測時，測點 BD008 及位於懸浮示井測之測井旁邊，於是將理論模擬之結果與 BD008 所得到之頻譜比加以比對，結果如圖 12-13 所示：

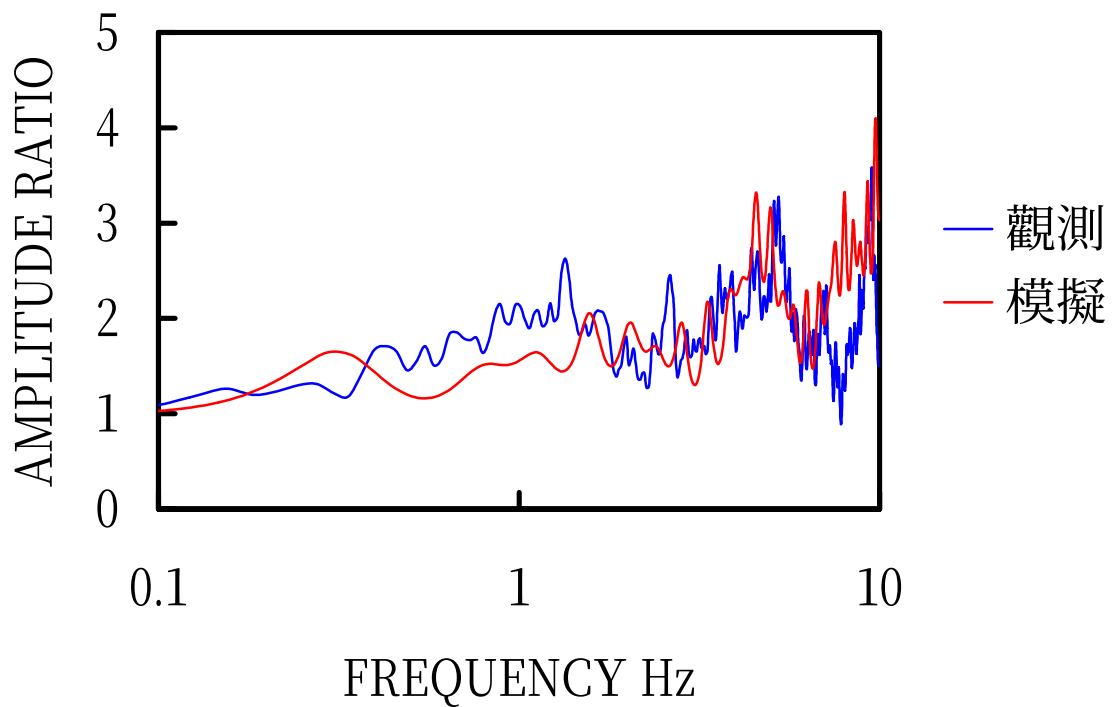


圖 12-13 數值模擬與 BD008 觀測所得之頻譜比比對

由圖 12-12 可發現，在 7Hz 以下二者之結果十分類似，均是在 4.5~5Hz 之間有一明顯放大，放大倍率都是 3 左右，但在更高頻處二者有些許差異，由於高頻反應出的部分為細部之構造，因此判斷此差異乃是所用之模型之層次較實際地層粗略所致。但如此細微之變化就應用上而言並無需要，且有差異之頻段對結構物之影響極小，故本計畫所得之結果仍可採信，並將其應用於結構物設計之參考。

2. 整體場址效應

由於頻譜比所顯示的為各測站場址不同頻率之震波放大效應，為比較布袋港內不同區域場址效應之變化，在此選定幾個特定頻率，將不同測點同一頻率之振幅比值挑出，並作成等值圖，藉以得知布袋港在特定頻率下震波放大之趨勢。基於一般鋼筋混凝土建築物每加一層其共振週期約增加 0.1 秒，例如十層樓之鋼筋混凝土建築物之共振週期為 0.1 秒乘以 10，即為 1 秒。所以此處所選擇之週期為針對高矮不同

之鋼筋混凝土建築物，分別為 4 秒、3 秒、2 秒、1.5 秒、1 秒、0.5 秒、0.3 秒及 0.2 秒等 8 個週期加以分析。各頻率之振幅比等值圖(詳圖 12-14 到圖 12-21)，在等值圖製作過程中，由於經理論與模擬比對結果二者十分接近，故並未對觀測資料加以修正。

由等值圖可發現，隨著頻率之增加，放大倍率亦有增加之趨勢。特性週期 4~1 秒時，港區內各測點之放大倍率大部分在 2 以下，但在高頻時，測區內有些區域放大倍率超過 2，在特性週期為 0.2 秒時，放大倍率更可能達到 3。此結果顯示，布袋港內之地層特性就震波放大而言，較不利於共振週期較小之低矮建築。此外本計畫就微地動量測之結果擷取各測點之主要放大頻率做主頻分佈圖，結果見圖 12-22，由主頻分布圖可發現港區主要放大頻率介於 1~4.5Hz 之間，且越靠近港灣頻率越低，此結果推測為越靠近港灣回填層越厚之緣故。另一值得注意的是，港區範圍並不太大，但是測區內之放大倍率仍有所變化，日後港區在開發時，建物設計及位置有參考本計畫成果之需要。

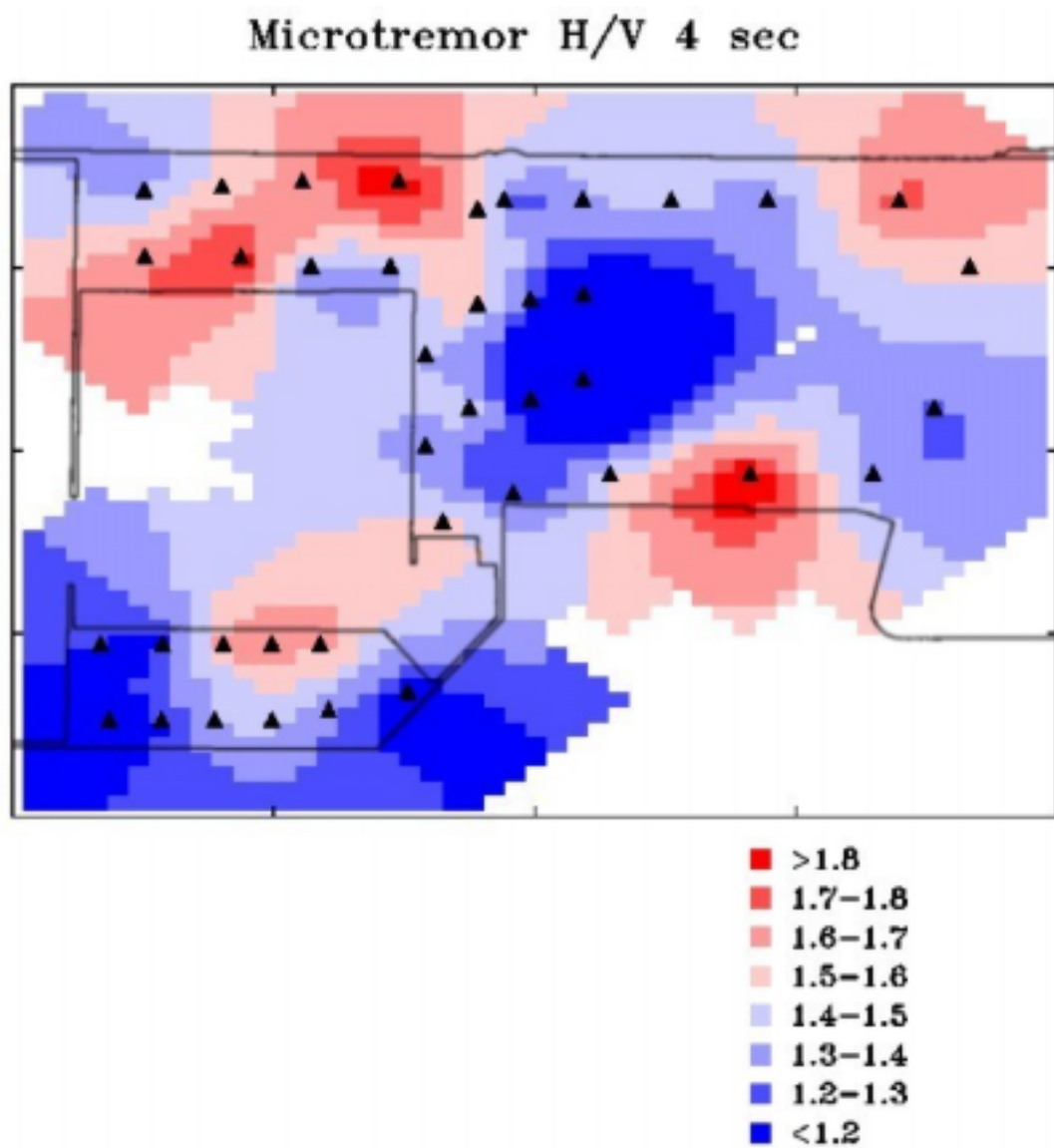


圖 12-14 微地動單站週期 4 秒振幅比等值圖

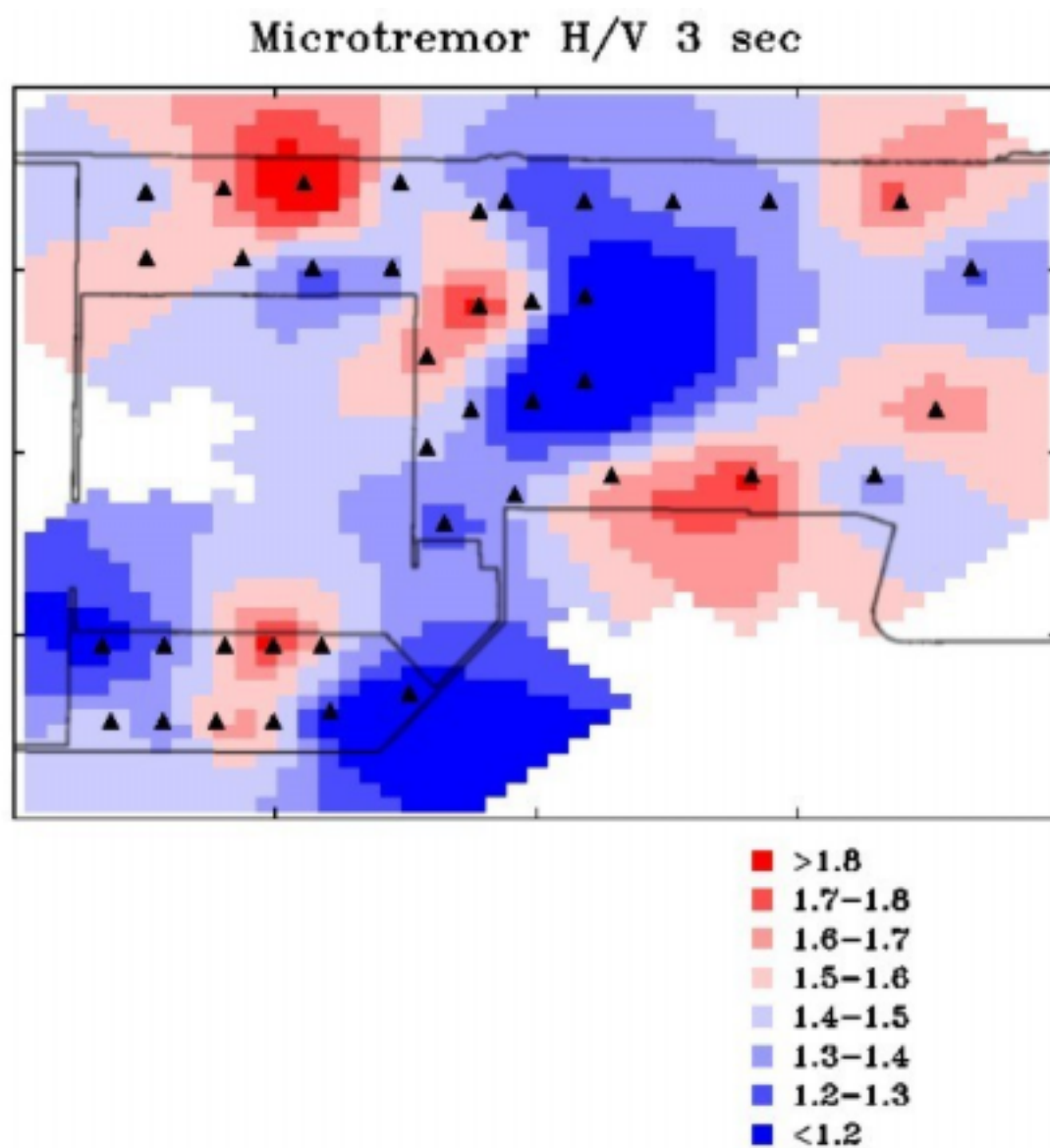


圖 12-15 微地動單站週期 3 秒振幅比等值圖

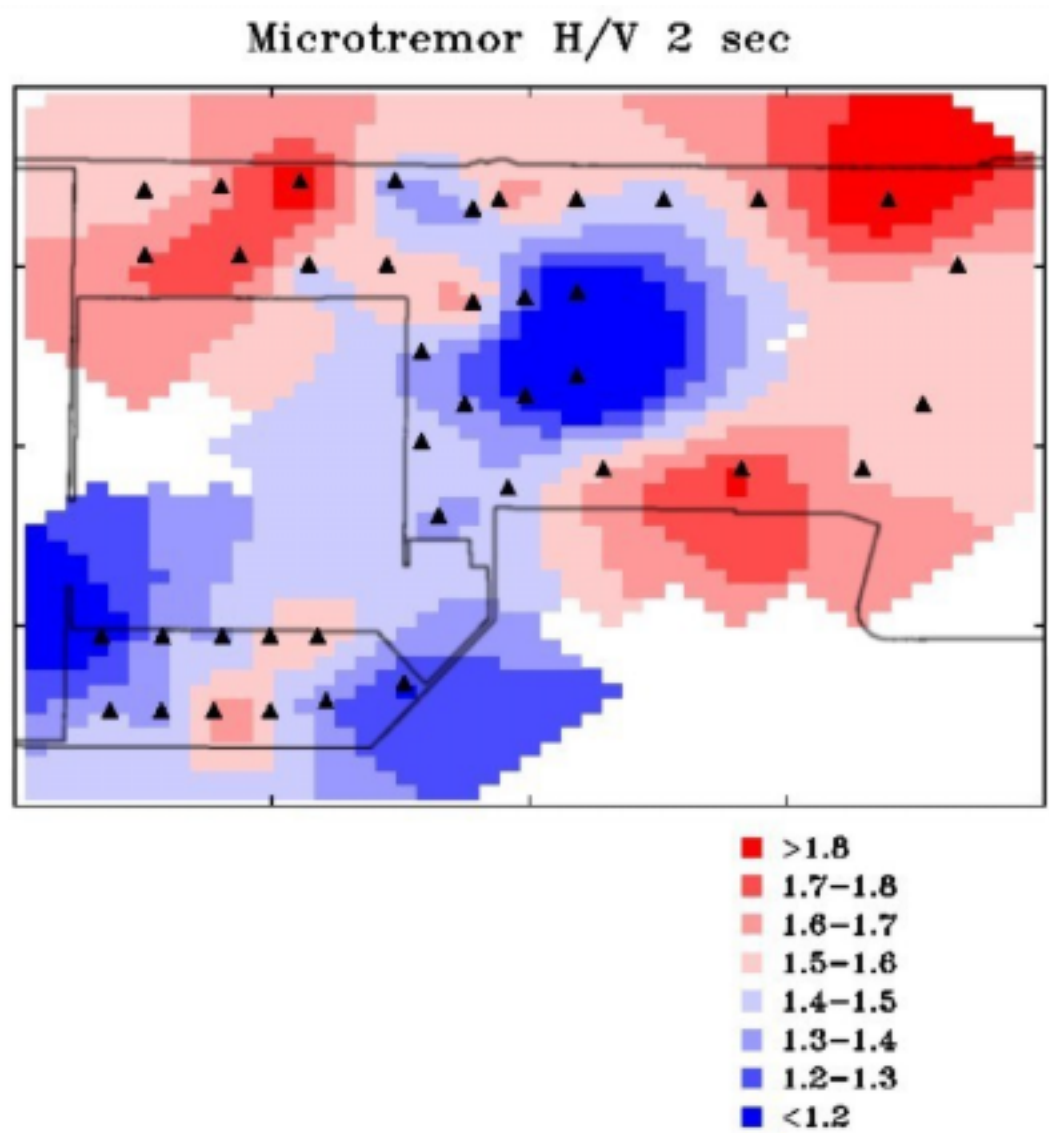


圖 12-16 微地動單站週期 2 秒振幅比等值圖

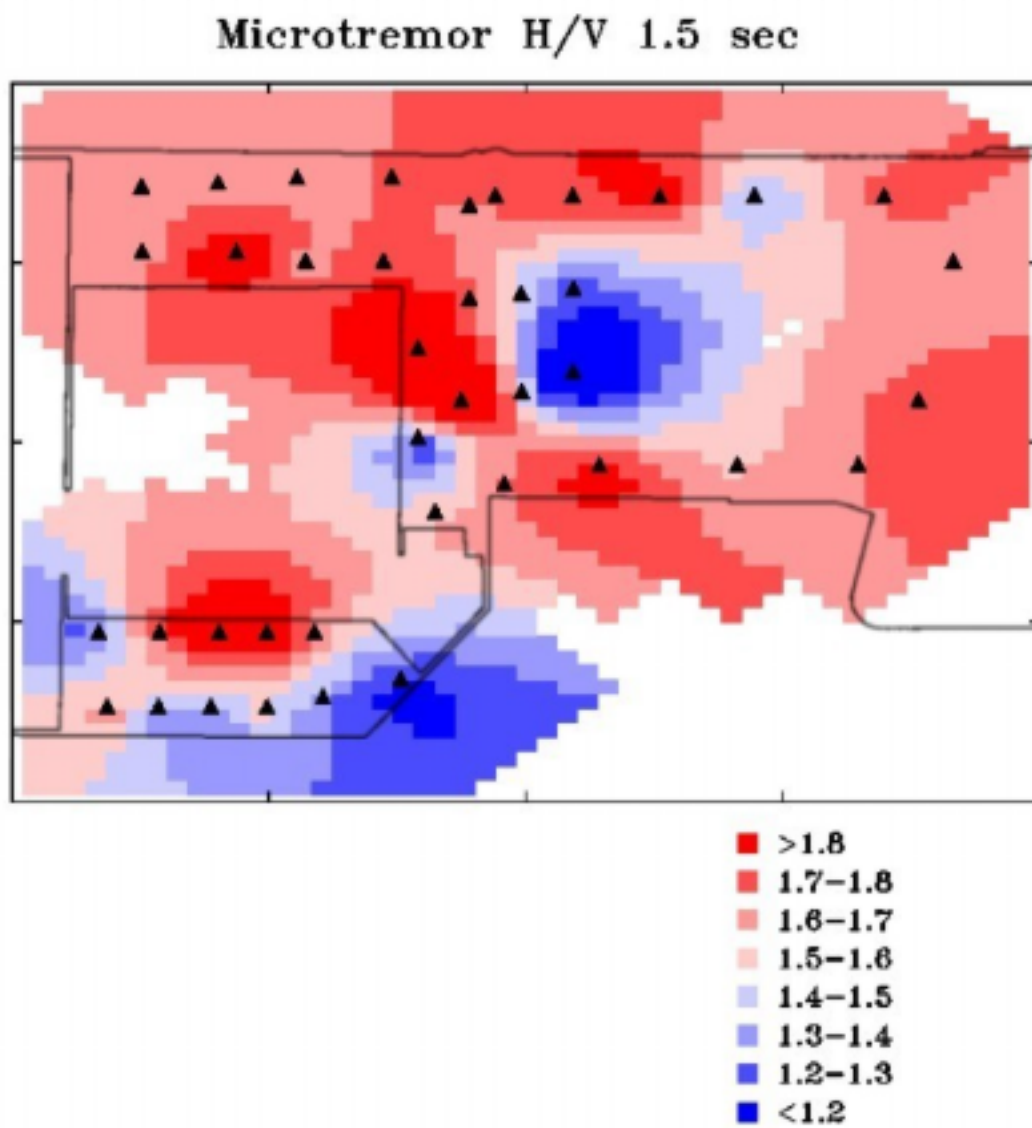


圖 12-17 微地動單站週期 1.5 秒振幅比等值圖

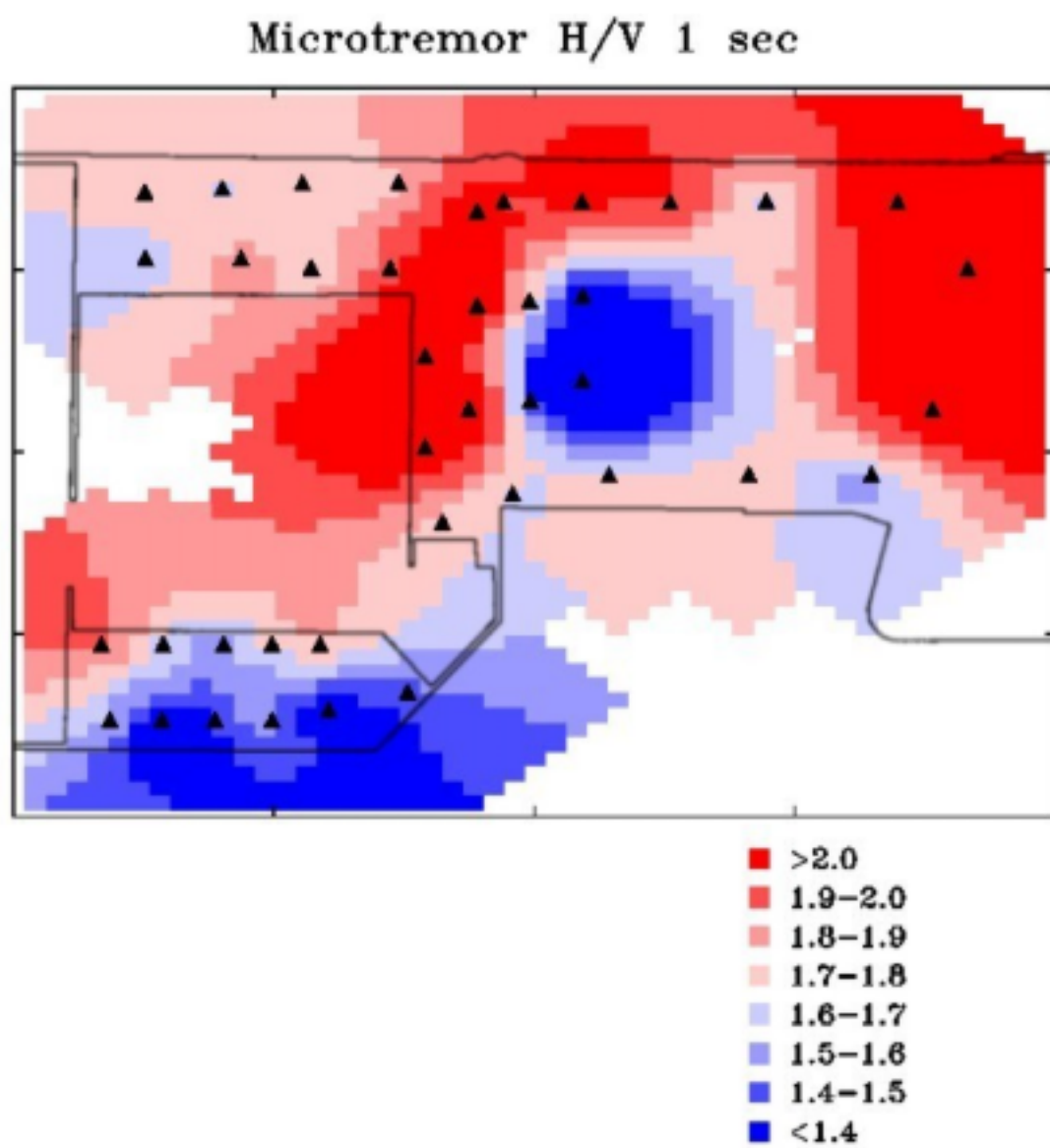


圖 12-18 微地動單站週期 1 秒振幅比等值圖

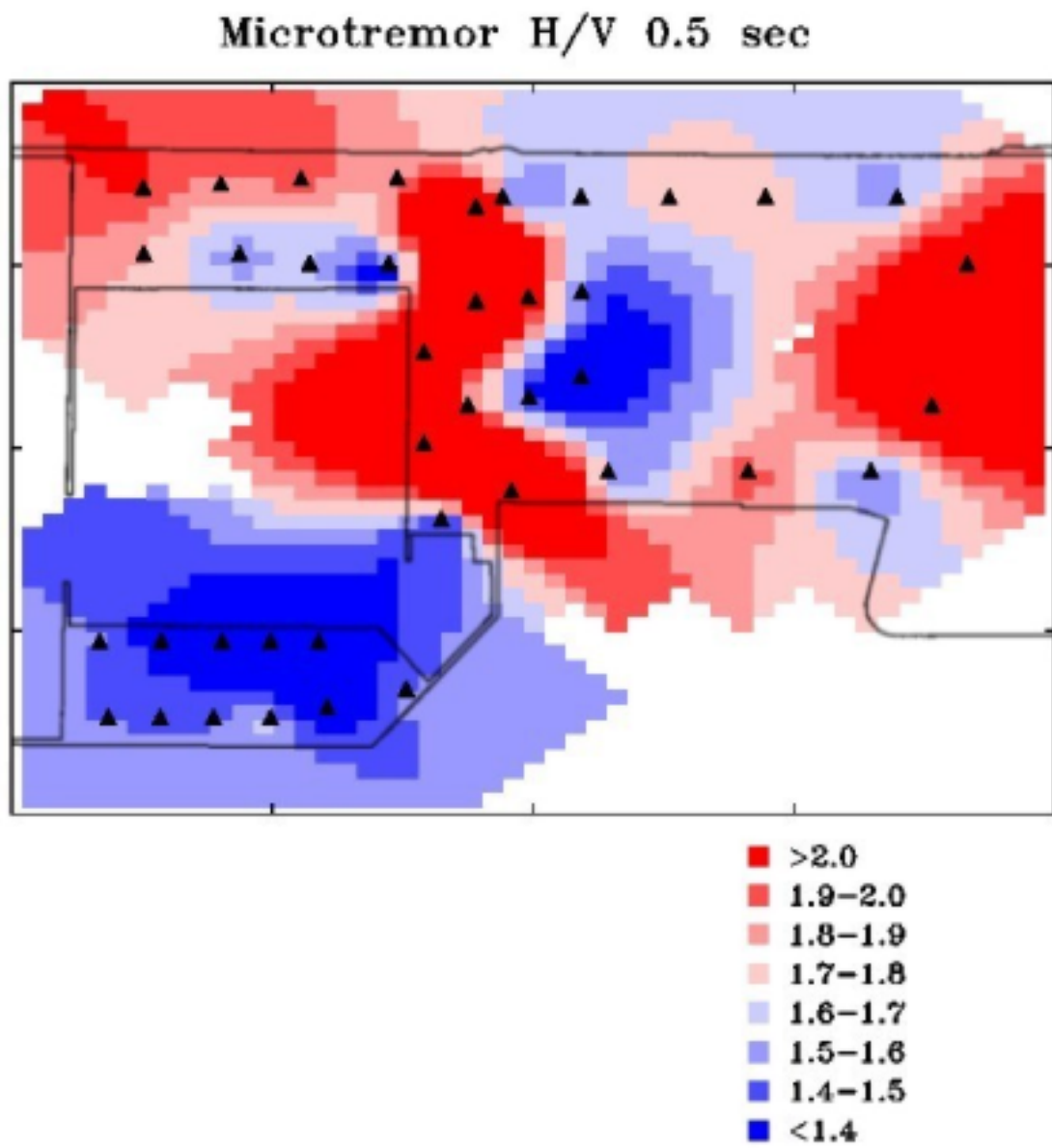


圖 12-19 微地動單站週期 0.5 秒振幅比等值圖

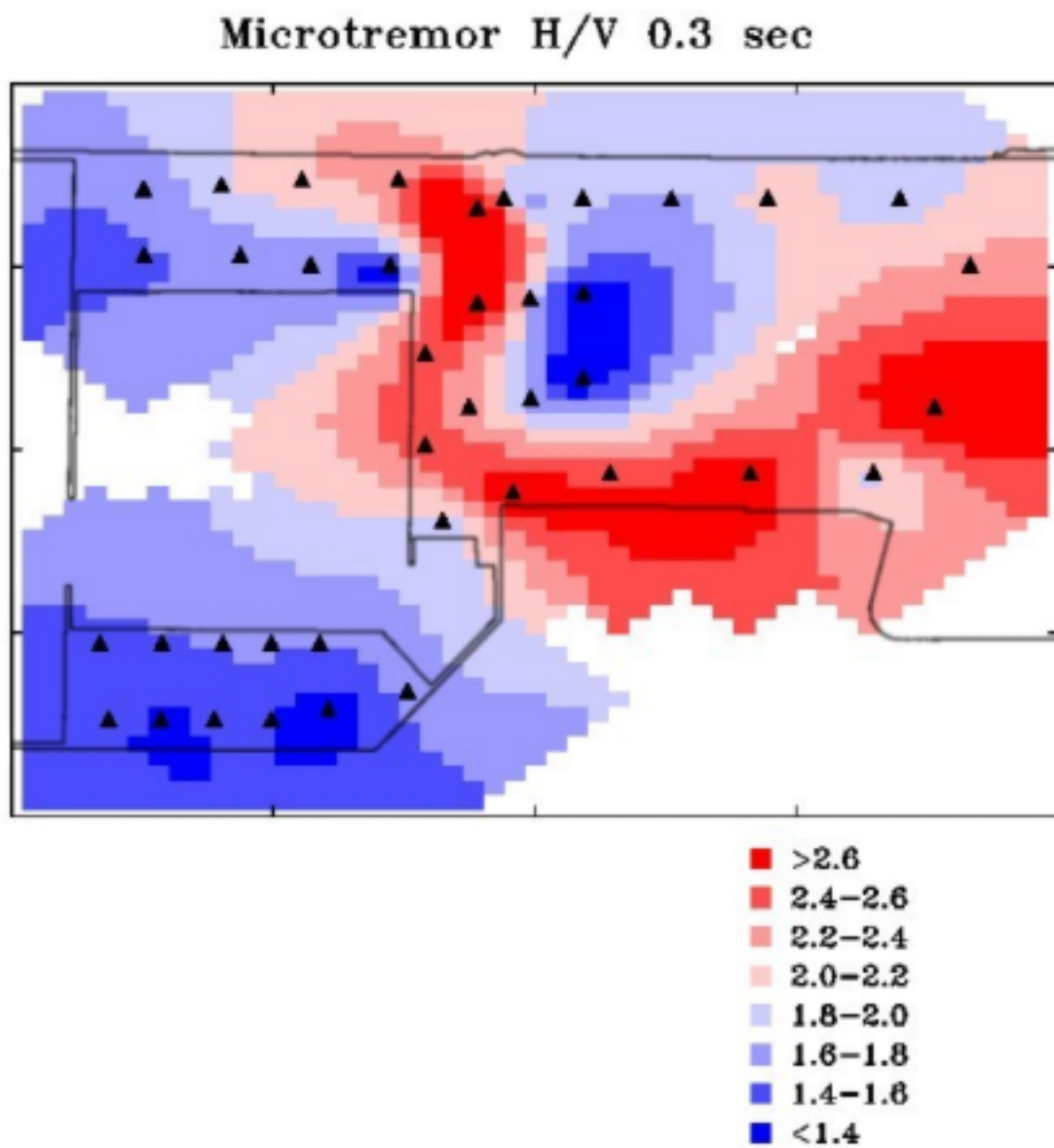


圖 12-20 微地動單站週期 0.3 秒振幅比等值圖

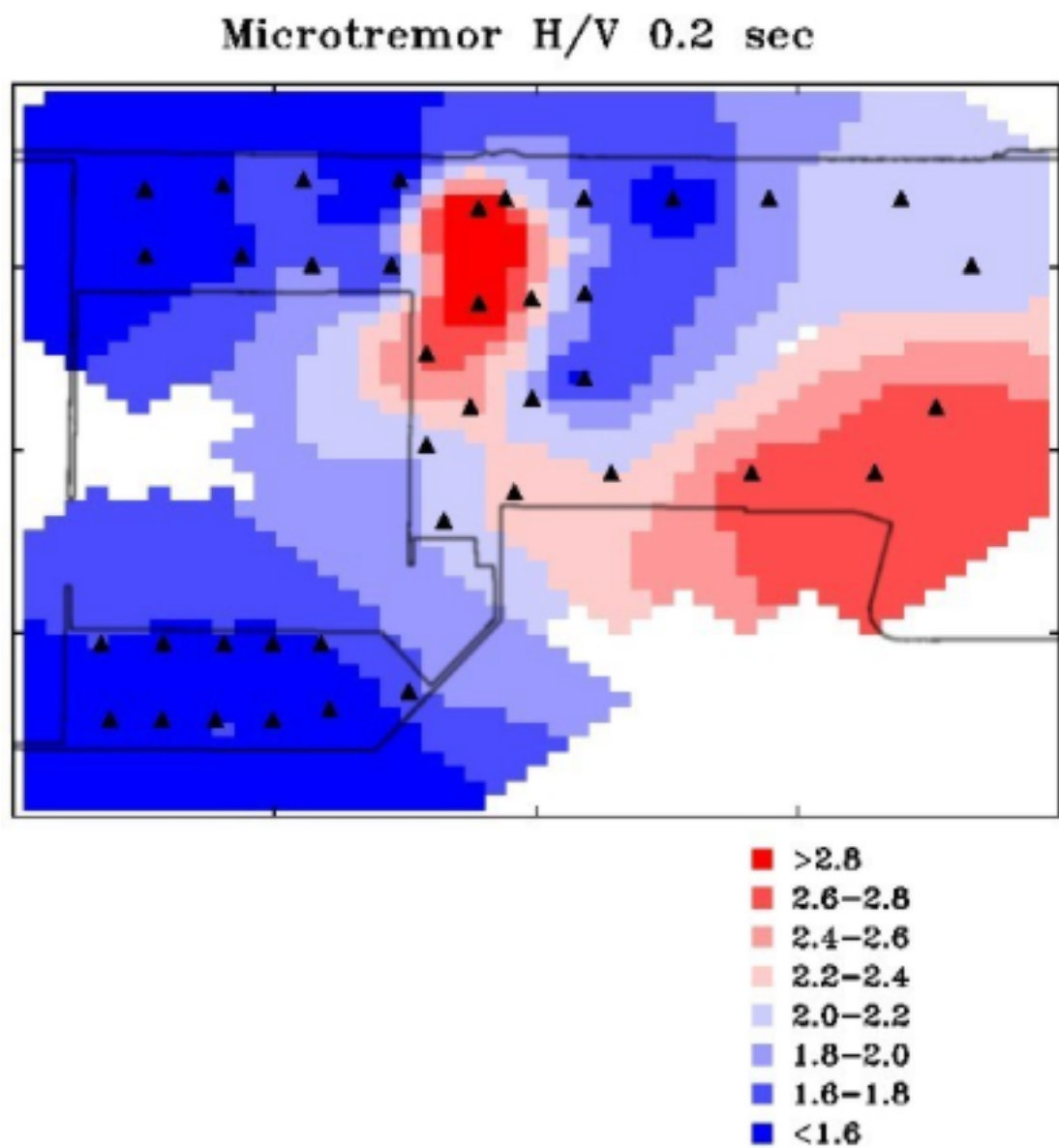


圖 12-21 微地動單站週期 0.2 秒振幅比等值圖

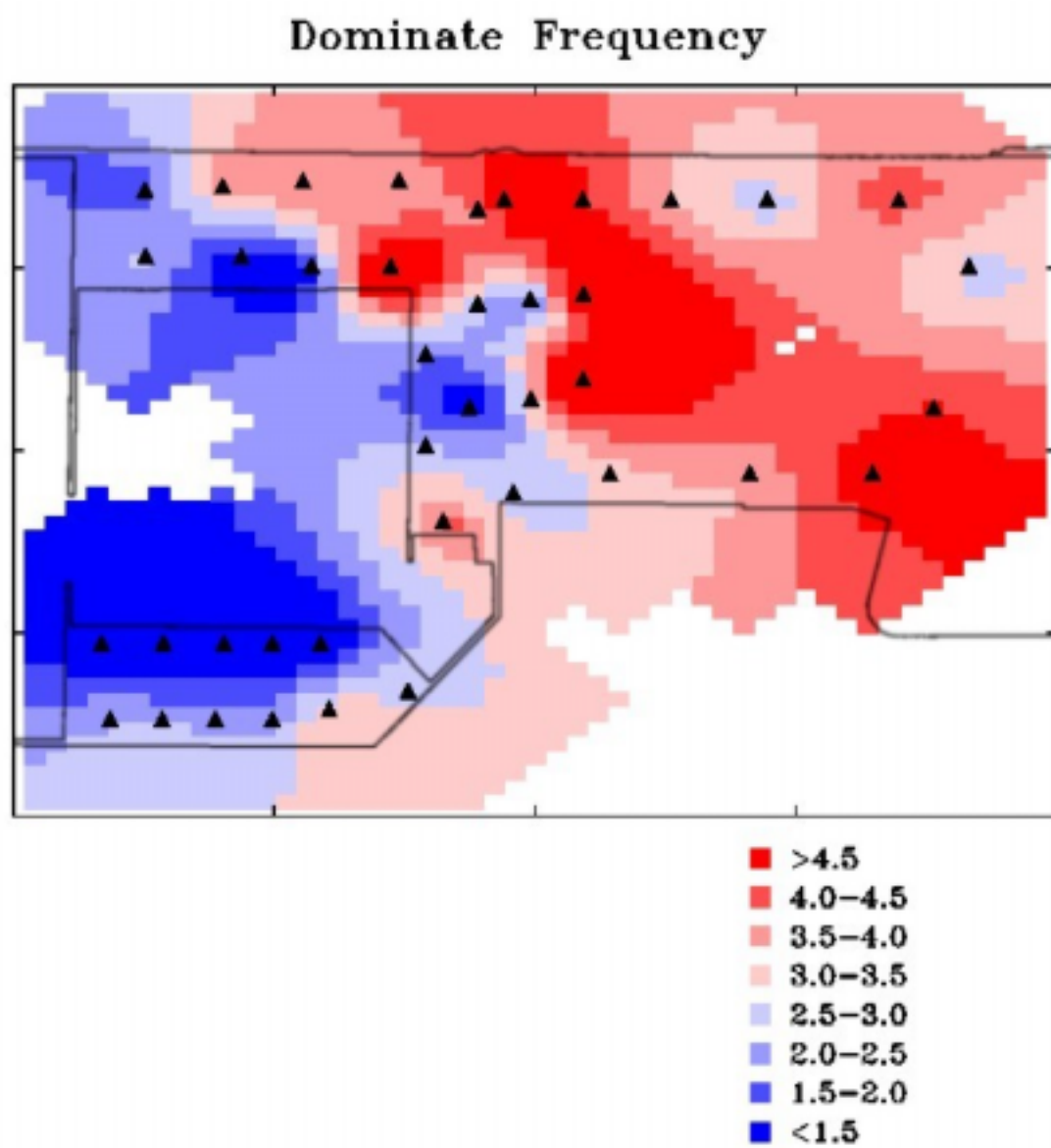


圖 12-22 微地動測點單站頻譜比主要放大頻率等值圖（單位 Hz）

12.5 小結

本計畫之主要工作，乃是藉由地球物理方法，找出布袋港之地下速度構造，並利用得到之速度構造與微地動量測，分析布袋港之場址效應，以利布袋港後續開發時建築物耐震設計之參考。本計畫所採用之地球物理方法包括反射震波探測、折射震波探測、表面波頻譜分析以及懸浮式速度井測等，所得到之速度構造達 500 公尺，並利用此速度構造模擬理論之場址效應。經由理論模擬之場址效應與觀測資料之比對，發現二者十分接近，顯示本速度構造相當精確，同時也顯示微地動量測可反應場址效應。本計畫同時利用微地動量測結果，分析港區所在地不同頻段之震波放大倍率均佈圖，由均佈圖可知放大倍率在港區變化之情形，以及隨頻率增加造成大倍率變化之趨勢。

目前之結果僅應用地層速度構造與微地動量測來分析場址效應，建議未來在井下地震儀陣列安裝完成並記錄到實際地震後，應利用實際地震資料做進一步分析，以得到更精確之場址效應。在地球物理量測方面，目前布袋港仍處於開發階段，地層沈積並未達穩地狀態，建議未來仍應再一次做地球物理探測，探討地層經過一段時間沈積後是否有所變化，並比較前後次調查結果之異同，可作為港區後續開發時規劃之參考。同時若港區有所擴建，也須再一次調查，以建立完整之地層速度構造以及場址效應之完整資料庫。

本計畫成功的利用地球物理方法找出地下速度構造，並配合微地動量測得到布袋港之場址效應。在 921 集集大地震發生時，遠離震央之台中港遭受巨大的破壞，可見港灣的區域場址效應十分明顯，偵測地下速度構造並分析場址效應為必要之基礎調查工作。基於本計畫之成果，以及集集大地震所得到之經驗，未來有必要在全台港埠做同樣之調查，並提供建物耐震設計之參考，以達地震來襲時抗震減災之用。

第十三章 資料建檔及查詢展示系統之開發

13.1 資料建檔之重要性

大凡建築工程之規劃設計，皆以搜集土層工程特性為第一要務；而大型的港灣工程，其橫跨之區域動輒數公里以上，大地工程地質資料之獲得亦為重要之規劃依據。若有完整的港區地工資料庫，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。依據國內外近幾年之地震災害報告，嚴重災區多發生在軟弱地層上，震後常見大面積的土壤液化及下陷，可見震災之分佈與地質條件有絕對密切之關係。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。另由於台灣沿海地區，近20年來地層下陷問題嚴重，每遇颱風或強盛之西南氣流時常發生暴潮，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。對布袋港區而言，建立完整的下陷及地質資料庫，除了規劃預算階段可獲得省時、省力、省錢等效益外，亦可作為作為規劃設計及災害防治上的基本資料，提供開發規劃之決策支援及其它工程應用。

13.2 資料建檔目的

由於地層下陷及地質分佈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。港區的地層下陷及土層分佈資料建檔完成後可達到下列目的：

- (1)工程依據：提供爾後港灣規劃、設計及工程研判上的需求。
- (2)學術資料：可供各學術單位從事研究、分析所需的基本資料。

13.3 系統開發工具

依據資料建檔工作所需具備之軟體基本功能，本研究採用美國 MapInfo公司所發展的地理資訊系統(Geographic Information System, 簡稱GIS)應用軟體，該軟體即命名為MapInfo，版本為6.0版，本研究以此來作為資料處理之主要軟體，MapInfo在硬體匹配上分工作站版，PC個人電腦版及麥金塔版，為顧及須提供資料予各港埠單位使用，本研究選用個人電腦版，該系統為視窗操作軟體，採用下拉式功能表模式，操作程序層次分明且極具效率，可提供使用者快速搜尋而取得所需要的功能。本研究另外採用MapInfo公司所提供的使用者發展語言環境—MapBasic 6.0版，來開發港區土層分佈資料查詢展示系統。

MapInfo為一圖檔處理極有效率的軟體工具，但在資料庫操作及對週邊設備之溝通上功能稍嫌不足。故本研究採用其它軟體來彌補MapInfo的這些缺憾：

- (1)在數據資料庫之建立上，我們採用 MS Foxpro 及 MS Access 來建立基本表格檔。
- (2)在影像檔案之輸入及編輯上，我們採用 IrfanView 軟體及 HP 掃描儀加以輔佐。
- (3)在向量檔案之建置及編輯上，主要利用 AutoCAD 軟體編輯製作，再轉 MapInfo 內使用。
- (4)外建資料的傳送，係透過網路系統，將各資料送回 MapInfo 工作主機上，再將 Foxpro 及 IrfanView 所建立的檔案，轉成 MapInfo 的內部檔案，在 MapInfo 系統內加以聯結使用。

13.4 資料庫基本表單

13.4.1 水準點檢測資料表單

本研究將嘉義沿海地區歷年下陷調查資料建置成一資料庫表格檔，該檔案命名為pd_stl.dbf，收錄存放了民國75年至93年之嘉義布袋地區水準點檢測相關資料。資料共計127筆，23個欄位，內容包含樁號、地點、座標及調查年份等欄位。調查年份欄位資料錄內登錄當時之測樁高程值，單位為公尺。各年份測樁高程值之資料型態設定為字串，因此該資料錄若遇有資料遺失或為新增測站(即早期尚未在該站實施量測調查)則保留為空白欄，以和高程零值有所區別。

該檔案除了供作存放調查資料外，也可利用SQL選取方式，從其中選出X座標，Y座標兩欄位，利用Map Info系統內的建置點位(Create point)功能，製作出觀測站分佈地圖檔。

13.4.2 地質資料表單

本研究建置了兩類資料庫表格檔存放標準貫入試驗相關資料，將各鑽孔之座標、高程、試驗公司等抬頭資料存放於Welldata.dbf資料庫表格檔內。資料共計34筆，28個欄位，包括索引標籤、鑽孔座標、鑽孔高程、試驗公司等資料。該表格檔除了存放這些基本資料外，還可利用SQL選取方式，選擇索引欄位、鑽孔座標等欄位之資料，建置出一新的檔案，再由此新檔案製作出鑽孔位置分佈地圖檔。

另外，以Welldata.dbf的索引標籤(Tag-Key)欄位資料，做為該鑽孔之試驗資料檔案名稱，所建置的資料庫表格檔共具有18個欄位，包括鑽探深度、土壤類別、標準貫入試驗錘擊強度值(SPT-N值)等項目。依鑽孔之深度每個檔案各有不同的資料筆數。為了資料庫編輯的作業方便，這兩類資料庫都先用Foxpro或Access建檔，再轉入MapInfo內使用。

13.5 查詢系統規劃及選單設計

本研究利用MapBasic使用者發展語言環境來設計土層下陷資料

查詢展示軟體，為求資料查詢的簡易親和，本研究將查詢界面設計成選單選項方式，主選單計有七大項，分別為 (1)水準點檢測資料,(2)累積下陷量資料,(3)鑽探資料,(4)分層觀測資料,(5)查詢統計,(6)出圖視窗,(7)圖層及視窗控制。查詢系統起始畫面如圖13-1所示。

其中前四項為下陷及地質條件等資料之查詢選項，後三項為資料統計及視窗控制等功能選項，各主選單可利用滑鼠下拉出次選單。次選單之選項設計，可分為可選用(Enable)及暫停使用(Disable)兩種功能選項，此種設計乃為防止不當之選取操作。可選用之選項其字體顏色為深色清晰，以滑鼠點選即可進行該項查詢作業，暫停使用之選項其字體顏色為灰白模糊，以滑鼠點選無法啟動其功能，需待查詢程序進入其啟動條件時，該項目字體顏色隨即變換成深色清晰，此時該選項才能被點選使用。在選單設計上妥善利用此兩種相對功能，可避免不當操作所帶來的錯誤。

由於次選單項目名稱都儘可能簡潔，為讓使用者能明白各選項之功能，乃設計選項說明輔助功能，當使者將滑鼠移至次選項欄位內時，相關該選項之說明即會以文字顯示在視窗左下角之輔助說明欄內，如此可讓使用者更容易明白該選項之功能，提升查詢作業之正確性。

本查詢程式命名為Budai_93.mbx，程式分成六十八個模組，各模組包含不同的副程式及函式，所有模組分別編譯(Compile)後，再利用MapInfo的專案檔案(Project file)方式，將這些模組聯結(Link)成一個執行檔，即可提供系統作為執行查詢使用。

13.6 系統成果展示

13.6.1 水準點檢測資料查詢

查詢系統第一主選單項目名稱為「水準點檢測資料」，可查詢下陷災害紀錄及下陷圖文資料，此選單計有十個選項，其重要內容及查詢方法如下：

- (1)下拉此選單之後，第一選項為「顯示水準點位置圖」，點選此選項則螢幕會展繪出嘉義沿海地區歷年水準點檢測樁之位置，其屬性資料為港灣研究中心及前省府水利局歷年地表高程檢測結果，水準點檢測樁之位置如圖 13-2 所示。
- (2) 若欲查詢某一水準點之歷年下陷變化檢測數據，可先由水準點測樁位置圖上點取該測樁，再點選第三選項「水準點數據資料表」，則系統會自動開啟一屬性視窗，展示該水準點之歷年下陷變化檢測數據。使用者可點選其它水準檢測點，繼續查詢不同水準點的歷年下陷變化檢測數據。
- (3)若欲繪製某一水準點之歷年下陷變化數據狀況，可先由水準點測樁位置圖上點取該測樁，再點選第四選項「展繪單一水準點歷年沉陷資料」，則系統會自動開啟一繪圖視窗，繪製該測點之歷年下陷變化圖，如圖 13-3 所示。使用者可點選其它檢測點，繼續查詢不同檢測點的下陷變化情形。
- (4)若欲查詢某一水準點之介紹資料，可先由水準點測樁位置圖上點取該測樁，再點選第五選項「展示水準點點位說明資料」，系統會以 Microsoft Word 文件方式展示該點之說明文件。
- (5)若欲結束水準點檢測資料查詢作業，可點選第二選項「關閉水準點位置圖」，則系統隨即結束該項查詢而跳回布袋港區地圖主畫面。
- (6)此選單之第六選項為「查詢災害照片」，用滑鼠點選此選項，螢幕左下角會出現一紀錄照片選取視窗，視窗抬頭欄內會有文字提示：請點選下陷災害照片，可用滑鼠在此視窗內連續點選不同編碼之照片選項，相關編碼之記錄照片會依點選順序在螢幕左上、右上、左下方依序顯示出來。若欲結束此項查詢作業，可點選第七選項「結束查詢災害照片」，則系統隨即結束該項查詢。
- (7)若欲結束此查詢系統，可點選第八選項「離開系統」，則系統隨即結束系統作業而跳回 MapInfo 主畫面。

13.6.2 累積下陷量資料查詢

查詢系統第二主選單項目名稱為「累積下陷量資料」，可查詢民國 89-93 年布袋港地區及嘉義沿海地區累積下陷量分析圖資料，此選單計有二十個選項，其重要內容及查詢方法如下：

- (1) 下拉此選單之後，第一選項為「展繪布袋港地區 89-90 下陷量圖」，點選此選項，則螢幕會展繪出布袋港地區民國 89 年至 90 年累積下陷量分析圖，如圖 13-4 所示。第二選項為「關閉布袋港地區 89-90 下陷量圖」，點選此選項，則系統會關掉該累積下陷量分析圖，螢幕隨即切換回布袋港區地圖主畫面。
- (2) 此選單所下拉之二十個選項以上述(1)項之方式分為兩個一組，頭一個為展繪累積下陷量分析圖，第二個為關閉累積下陷量分析圖。第一至第四組為查詢 89-93 年布袋港地區分年累積下陷量分析圖資料，第五組為查詢 89-93 年布袋港地區總下陷量分析圖資料。第六至第九組為查詢 89-93 年嘉義沿海地區分年累積下陷量分析圖資料，第十組為查詢 89-93 年嘉義沿海地區總下陷量分析圖資料。

13.6.3 地質鑽探資料查詢及液化分析展繪

13.6.3.1 地質鑽探資料查詢展繪

查詢系統的第三主選單項目名稱為「鑽探資料」，可查詢布袋港區的鑽孔地質資料及進行強震下之土壤液化分析，此選單之下計有十個選項，其重要內容及查詢方式如下：

- (1) 此選單之第一選項為「顯示鑽孔位置圖」，點選後螢幕主畫面港區地圖上隨即出現各個鑽孔位置之標示符號，該符號為藍色實心圓點，圖 13-5 所示為布袋港區鑽孔位置分佈圖查詢結果。使用者可用滑鼠點選所欲查詢的鑽孔，來查看該鑽孔的報表資料及展繪該鑽孔的柱狀圖。
- (2) 每一鑽孔之鑽探資料，可用文字或圖形方式來展示。文字資料之資料之展示，係設計成一般鑽探資料之報表格式，使用者在鑽孔位置

分佈圖上，先利用滑鼠選取所欲查詢的鑽孔，再下拉「鑽探資料」選單，點選第三選項「鑽孔資料」，系統會從資料庫內抓取該鑽孔資料，依循鑽探報表格式在一新開視窗上填註各項資料，使用者可由此查獲該鑽孔之各項試驗數據。

- (3)鑽探結果之圖形展示，係循鑽探深度將各土層按其類別用不同顏色及圖樣繪製成柱狀圖形式，並標示各深度之錘擊強度值(即 SPT-N 值)。查詢方式仍須先用滑鼠在鑽孔位置分佈圖上選取所欲查詢的鑽孔，可選單孔作單孔柱狀圖的展繪，也可一次選取多孔作多孔柱狀圖展繪，(使用者只需在選取第一孔後，按住鍵盤<shift>鍵，則可繼續選取其它鑽孔來作多孔展繪)。鑽孔選取完畢，下拉「鑽探資料」選單，點選第四選項「柱狀圖」，可再下拉出「單孔或多孔非排序展示」、「多孔展示__由西向東排序」、「多孔展示__由北向南排序」等三個次選單。此時點選任一柱狀圖展繪排序方式，系統會從資料庫內抓取各鑽孔資料來繪圖，圖 13-6 所示為四個鑽孔由西向東排序之柱狀圖繪製結果。

13.6.3.2 液化及震陷分析展繪

- (1)柱狀圖繪製完畢後，所選取之鑽孔，可接續來作液化分析，以了解在不同強度之地震侵襲下，各個土層發生液化的機率大小。使用者可在「鑽探資料」選單下，點選第五選項「Liao_液化機率分析」，可再下拉出「單孔或多孔非排序展示」、「多孔展示__由西向東排序」、「多孔展示__由北向南排序」、「Lai 全區液化危險性指數分佈分析」等四個次選單。此時點選任一展繪排序方式，螢幕隨即出現地震強度輸入對話框，內含不同地震規模及最大加速度之選鈕，如圖 13-7 所示。在對話框內選取某一地震強度，按確定鈕之後，系統即開啟一新視窗，並在此視窗內繪製所選鑽孔在該地震強度下之液化機率分析圖，如圖 13-8 所示。該分析法係採用 Liao et al.(1988)之邏輯迴歸分析模式，而分析成果圖上採用不同顏色來代表不同分析之結果，藍色代表未做液化分析之土層（如黏土或礫石層部會液化故不予分析），而白色到正紅色之顏色漸層變化代表液化機率由

0 到 1 之漸增變化程度，顏色愈紅代表機率值愈高，該土層愈容易發生液化。

- (2)除了每個鑽孔的液化分析外，本研究也對整個港區作全面性的液化危險度分析，使用者可由選單：「鑽探資料」\「Liao_液化機率分析」\「Lai 全區液化危險性指數分佈分析」，點選後螢幕隨即出現地震強度輸入對話框，如圖 13-7 所示。在對話框內選取某一地震強度，按確定鈕之後，程式會呼叫機率危害度分析模組，將全港區所有鑽孔之液化危險度求算出來，再呼叫 Surfer 軟體，依據賴聖耀的危險度分類等級，繪製港區液化危險度分佈圖。其中液化危險度大於 0.4 者（表液化程度高），以紅色展繪；界於 0.2 到 0.4 者（表液化程度中），以黃色展繪；而小於 0.2 者（表液化程度低），以綠色展繪。使用者可清楚分辨出液化程度高中低等區域分佈情況。圖 13-9 即為規模 7.0、加速度 0.13g 之烈震條件下，以「Liao_液化機率分析」配合「賴聖耀_全區液化危險性指數分佈分析」所求得之布袋港區土層液化危險度等值分佈情況。
- (3)「鑽探資料」選單下除了「Liao_液化機率分析」選項外，依序尚有：「Lai_賴聖耀_本土化液化機率分析」、「Seed_液化分析」、「NJRA_日本道路協會_液化分析」、「Lai_賴聖耀_本土化液化分析」等共計五種國內外液化分析方法可供選用。每一分析選項之下拉內容及使用方式都與上述(1)、(2)項所述之方式相同。而這五種分析方法中，前兩種為液化機率分析法，後三種為液化安全係數分析法。液化機率分析成果柱狀圖之顏色表示如(1)項所述，而液化安全係數分析成果柱狀圖之顏色，採用下述顏色來代表不同分析之結果：藍色代表未做液化分析之土層（如黏土或礫石層部會液化故不予分析），而不會發生液化之土層以綠色表示，會發生液化之土層以紅色表示。
- (4)另外，以液化機率分析法所推求之全港區液化危險性指數分佈，其成果圖之顏色表示，係依據賴聖耀的危險度分類等級，繪製分析成果，如(2)項所述。而以液化安全係數分析法所推求之全港區液化危

險性指數分佈，其成果圖之顏色表示，係依據 Iwasaki 的危險度分類等級，繪製分析成果。其中液化潛能指數大於 15 者，以紅色展繪；界於 5 到 15 者，以黃色展繪；而小於 5 者，以綠色展繪。使用者可清楚分辨出液化程度高中低等區域分佈情況。

- (5)「鑽探資料」選單之第十選項為「Ishihara 地震下陷分析」，。點選後螢幕隨即出現地震強度輸入對話框，如圖 13-7 所示。在對話框內選取某一地震強度，按確定鈕之後，系統即開啟一 Surfer 視窗，並在此視窗內繪製該地震強度下之港區地震下陷分析圖，如圖 13-10 所示。
- (6)若要結束鑽探資料之查詢及液化分析，可選第二選項「關閉鑽孔位置圖」來退出此項查詢作業。

13.6.4 分層觀測資料查詢

本研究在布袋港區架設了一口深度200m及另一口深度300m的分層觀測井，在井內各個深度裝置沉陷觀測環，並在井旁埋設不同深度的水壓量測計，工作人員定期前往該處量測下陷環之位移變化並收錄水壓資料，相關資料之查詢方式如下：

- (1)本系統第四主選單「分層觀測資料」內，設計了六個選項，第一選項為「觀測井位置顯示」，點選此選項，觀測井之環型標誌隨即顯示在地圖上，如圖 13-11 所示。由該圖得知，本港區 200m 觀測井位置座落在第二回填區北岸，300m 觀測井位置座落在南回填區。
- (2)分層觀測資料主要包含水壓資料及沉陷資料，可分別由此主選單之第三及第五選項選取查得。在觀測井位置圖上利用滑鼠點選任一觀測井之後，第三及第五選項選隨即轉變為可選用狀態，選用第三選項選，螢幕則展示出所點選觀測井之分層觀測沉陷資料圖視窗，如圖 13-12 所示。選用第五選項選，螢幕則展示出所點選觀測井之分層觀測水壓資料圖視窗，如圖 13-13 所示。
- (3)此時選用第四選項選，可關閉分層觀測沉陷資料圖視窗。選用第六選項選，可關閉分層觀測水壓資料圖視窗，螢幕則會跳回原先之觀

測井位置圖畫面。

- (4)若要結束分層觀測資料之查詢，可點取此主選單之第二選項「關閉觀測井位置圖」，螢幕則回覆為純布袋港區地圖圖層視窗。

13.6.5 結束查詢

若欲結束該項查詢作業，可下拉第一主選單「水準點檢測資料」，點選其最後一個選項「離開系統」，則可結束此查詢系統之執行而跳回MapInfo之原始選單架構中。

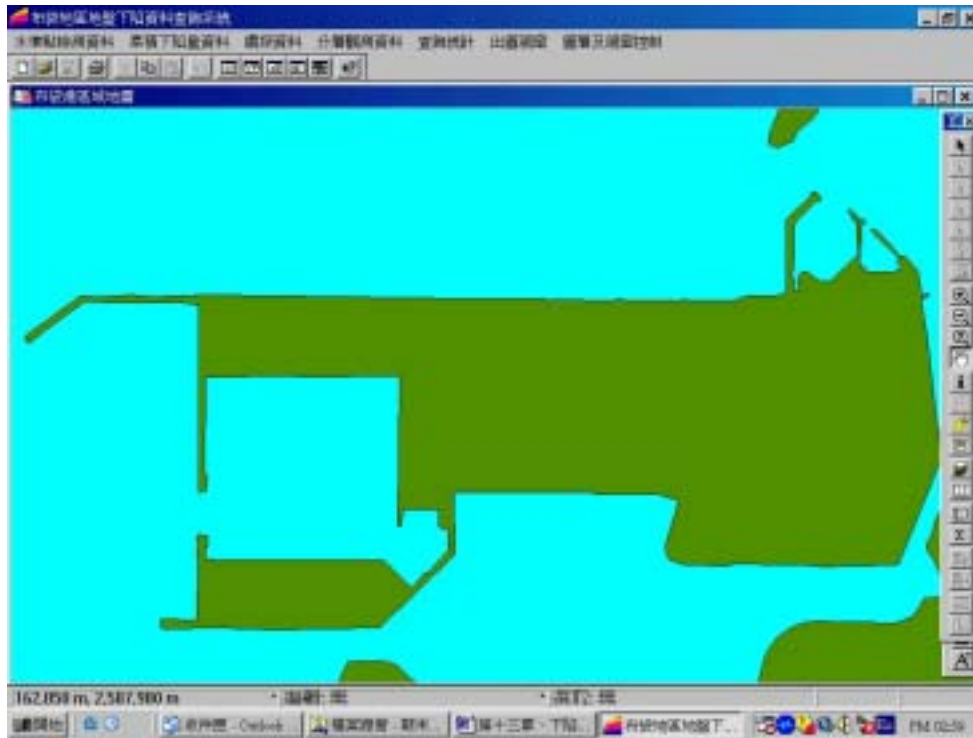


圖 13-1 查詢系統起始畫面

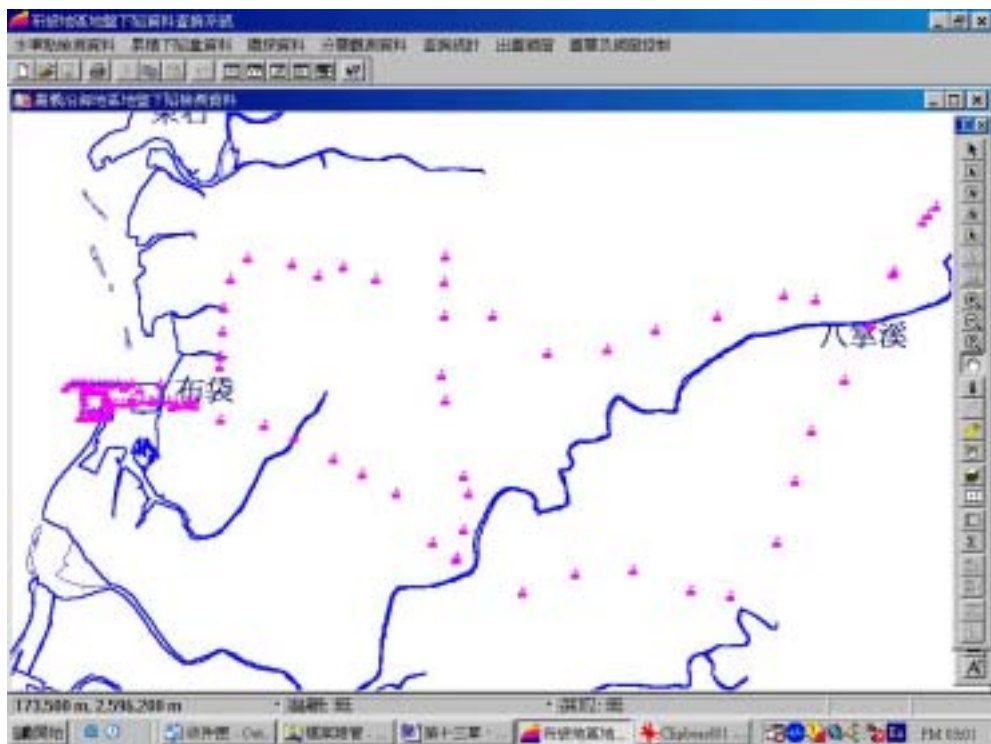


圖 13-2 水準點檢測樁之位置

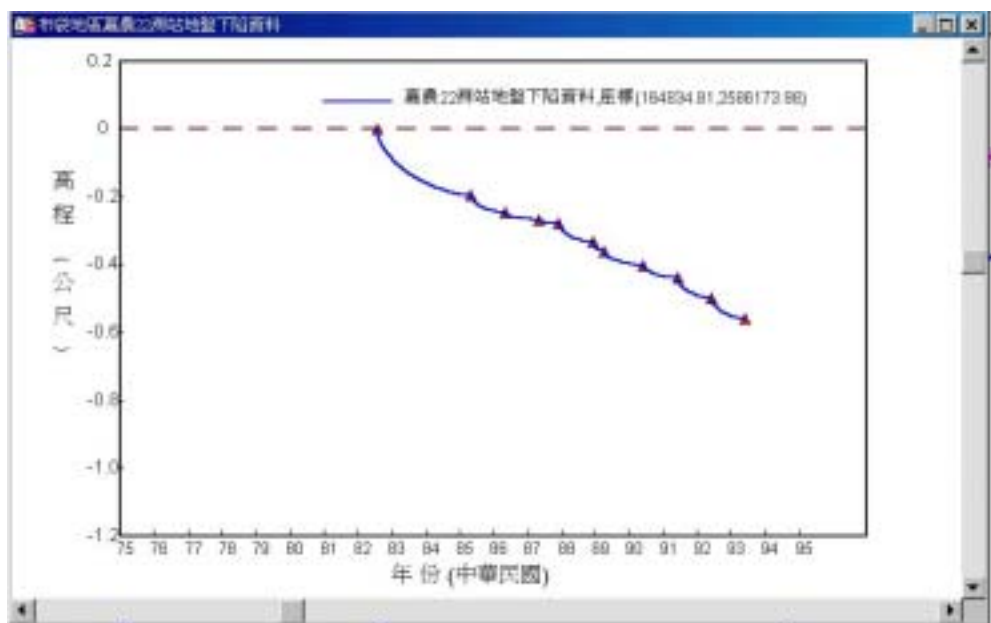


圖 13-3 所選測點之歷年下陷變化圖

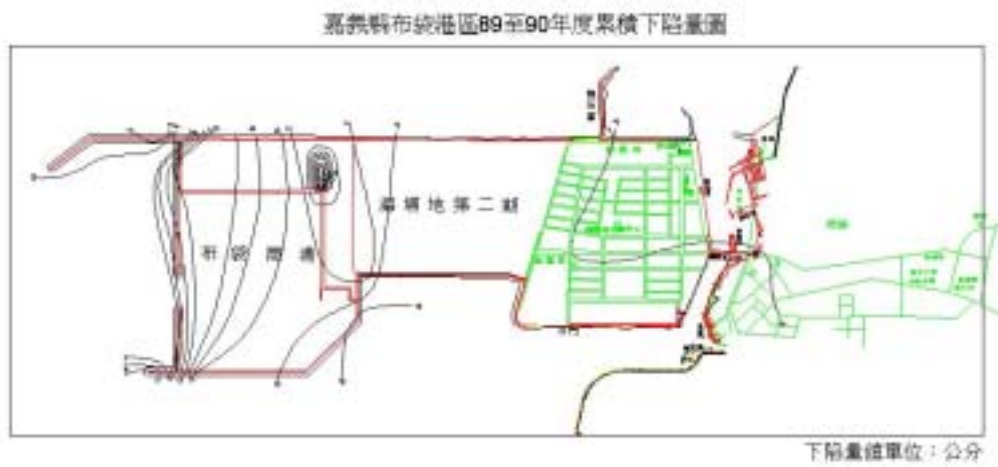


圖 13-4 布袋港地區民國 89 年至 90 年累積下陷量分析圖



圖 13-5 布袋港區鑽孔位置分佈圖

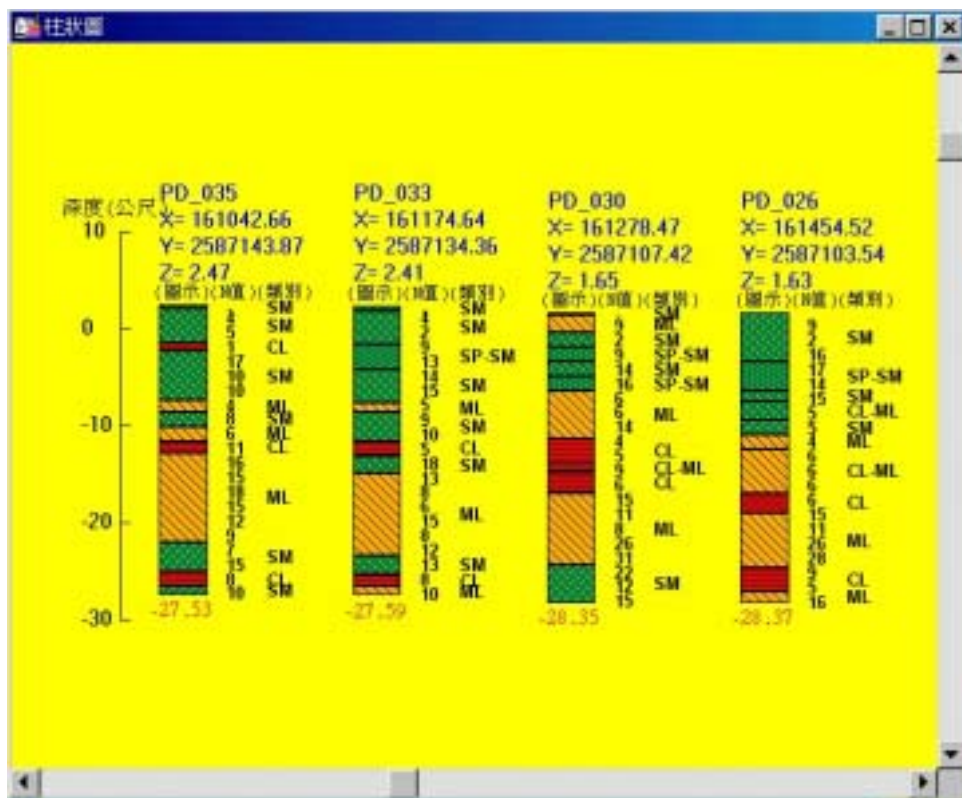


圖 13-6 鑽孔柱狀圖

Figure 13-7 is a dialog box titled "地震強度輸入" (Earthquake Intensity Input). It contains a list of options for earthquake magnitude (M) and maximum acceleration (g). The options are:

- 地震規模M 最大加速度g
- ☐ 5.0 0.03
- ☐ 5.5 0.05
- ☐ 6.0 0.075
- ☐ 6.5 0.10
- ☐ 7.0 0.15
- ☐ 7.5 0.25
- ☐ 1935年新竹台中烈震台中港區:7.1M,0.15g
- ☒ 1999年集集烈震台中港區:7.3M,0.163g
- ☐ 1995年阪神烈震神戶港區:7.2M,0.55g
- ☐ 台灣地震甲區:7.5M,0.33g
- ☐ 台灣地震乙區:7.5M,0.23g

At the bottom, there are input fields for "地震規模M=" and "最大加速度g=", followed by "確定" (OK) and "取消" (Cancel) buttons.

圖 13-7 地震強度輸入對話框

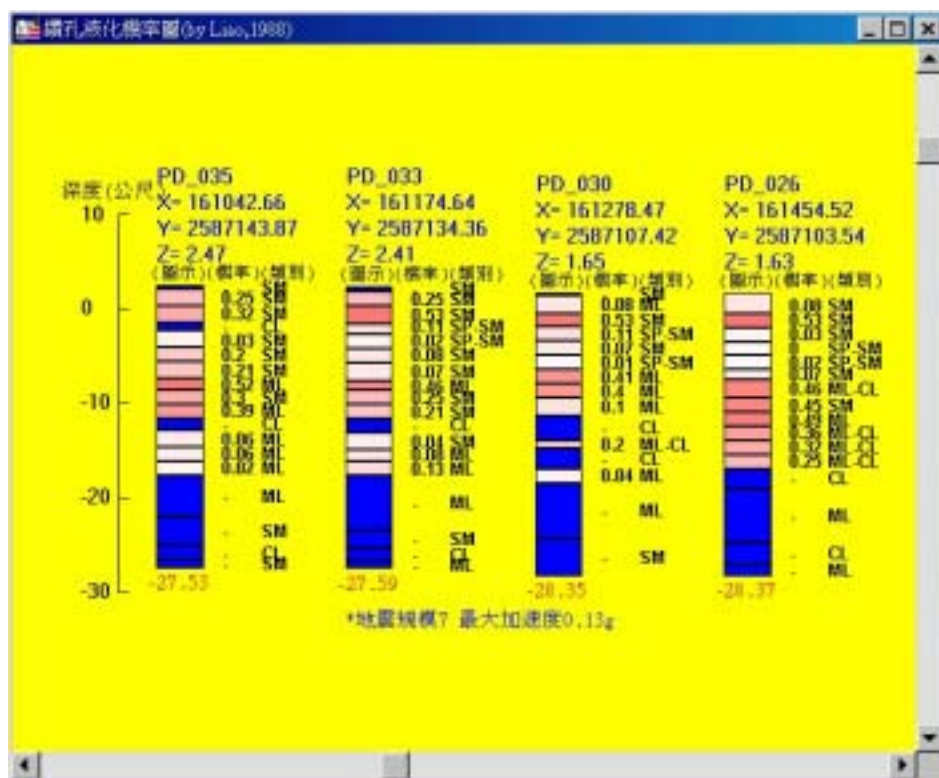


圖 13-8 鑽孔液化機率分析柱狀圖

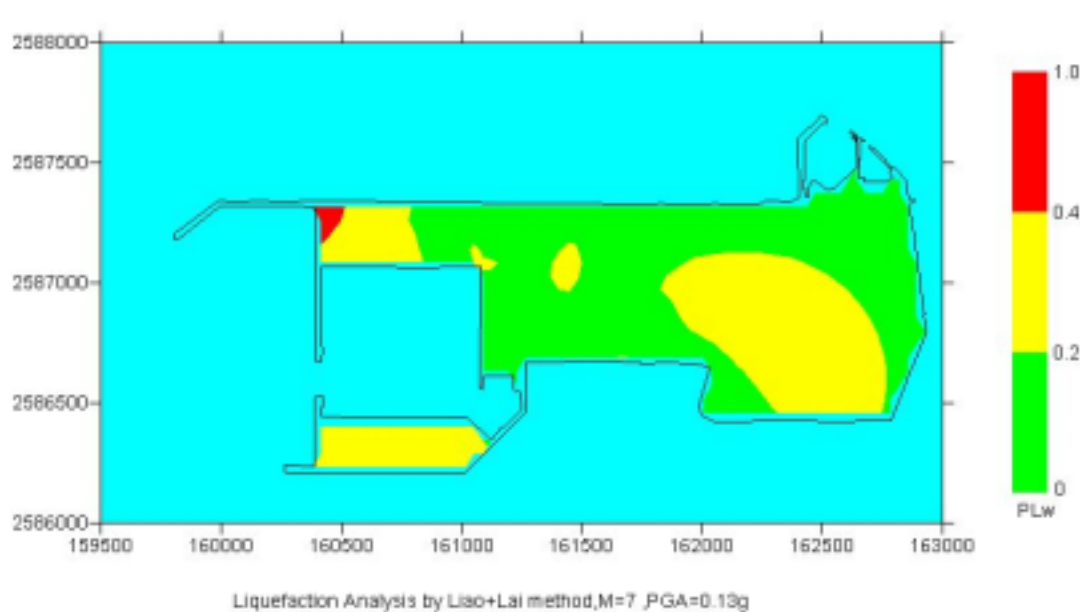


圖 13-9 港區土層液化危險度等值分佈圖之一

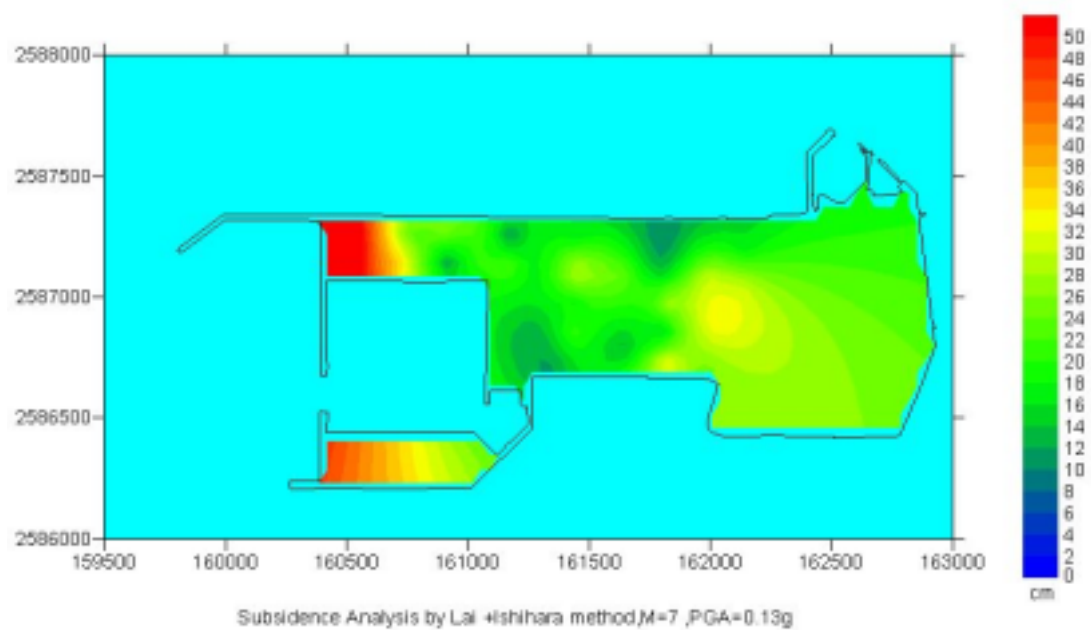


圖 13-10 港區地震下陷分析圖之一

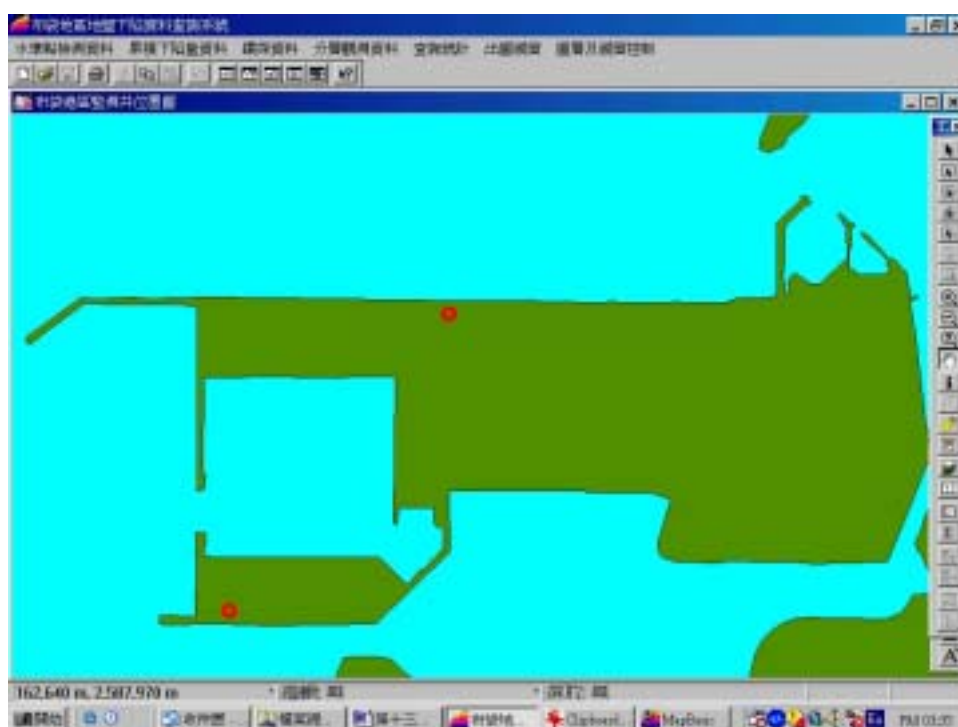


圖 13-11 觀測井位置圖視窗

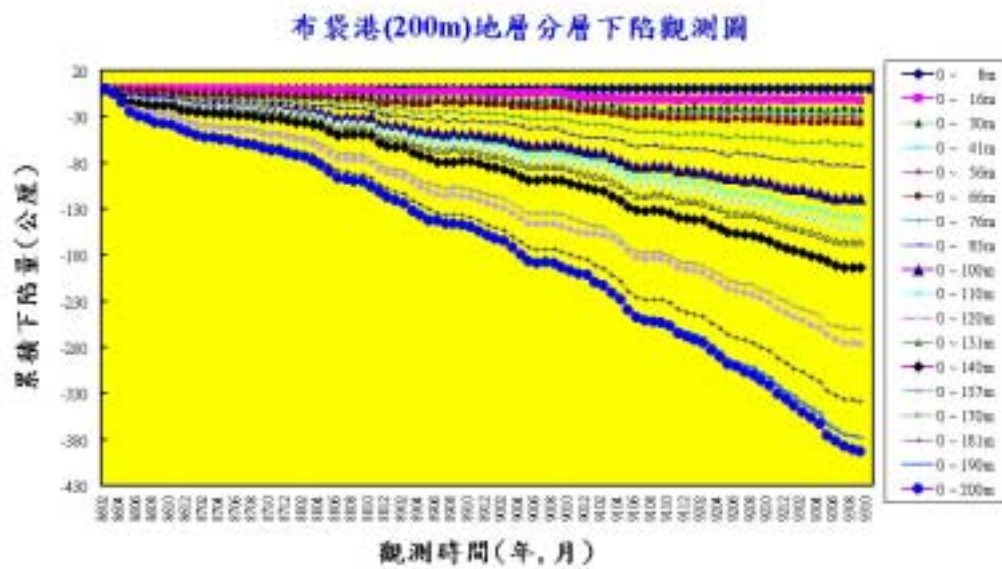


圖 13-12 分層觀測沉陷資料圖視窗

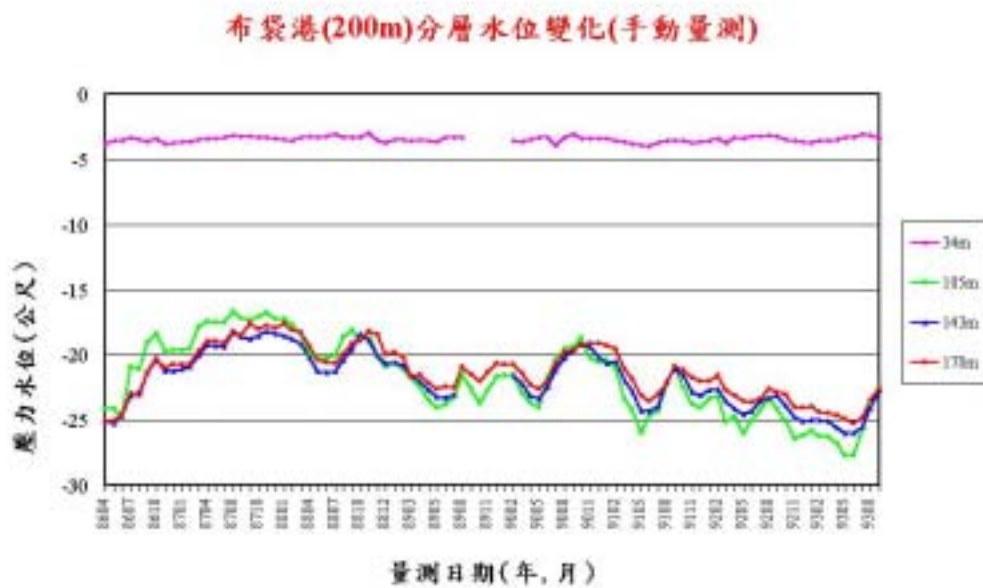


圖 13-13 分層觀測水壓資料圖視窗

13.7 查詢系統建置結論

1. 下陷及港區地質水文等相關資料之獲取，常需耗費大量的人力經費及時間，取得極為不易，這些珍貴的資料，值得有系統的加以收集整理，一來避免資料散失，二來可作港區規畫及工程維護之參考依據。
2. 資料除了作有系統的收集整理及建檔貯存之外，更需善加利用暨有資料，如加增分析功能以及提供主事者方便調閱查詢，以達決策支援之功效，故本研究利用 MapInfo 地理資訊系統及 MapBasic 程式語言撰寫查詢分析系統，以提升資料的使用價值。
3. 港區資料包函廣泛，目前本計畫僅建置下陷、地質以及概述性的海氣象資料，更細部的風潮波流等特性分析資料，或土地利用、人文景觀、社經條件資料之建置分析，尚待後續計畫之繼續努力。

第十四章 結論與建議

- 1.由布袋鎮、布袋港舊填土區、布袋港新填土區近五年沉陷水準測量結果與港區地層下陷監測井之綜合分析顯示：
 - (1)布袋鎮下陷量較小，每年以 5 至 6 公分之速率沉陷中，主要為養殖業大量開發超抽地下水所造成。
 - (2)布袋港舊填土區(第二期海埔地)下陷量次之，每年以 6 至 7 公分之速率沉陷中，主要為深層下陷，是港區附近地區超抽地下水所造成。由於填土已有 10 年，填土荷重造成之下陷已趨緩和，每年影響之沉陷約僅有 0.5-1 公分。
 - (3)布袋港新填土區(商港區)下陷量最大，每年以 9 至 10 公分之速率沉陷中，淺層至深層均有沉陷，主要是新填土荷重及港區附近地區超抽地下水兩種因素所造成。
- 2.由布袋港布袋港第二期海埔地約60公頃之抽砂填土區可能引致區域性之差異沉陷進行分析，由分析結果顯示：抽砂填土3.666m高可能引致之最大沉陷量約為70.41公分。填土區之中點沉陷量最大，然後沉陷量漸遞減至填土邊緣。由沉陷歷時曲線顯示：於填土完成後之初期，其沉陷速率較大，然後漸緩，海埔地填土至今約有9年，沉陷量為59公分，約為總沉陷之84%，目前其沉陷速率約為每年0.7公分。
- 3.由布袋港舊填土區之200m地層下陷監測井監測結果顯示：自86年2月 93年10月止，近7.5年之沉陷總量約39.1公分，分別為86年沉陷量約5公分、87年聖嬰年沉陷量約3公分、88年沉陷量約4公分、89年沉陷量約5公分，90年沉陷量約5公分，91年沉陷量約5.5公分，92年沉陷量約6.5公分，93年沉陷量約6.9公分。
- 4.布袋港新填土區，約於87年填土4-5m，92年再填土約2m，其300m地層下陷監測井監測結果顯示：自89年10月 93年10月止，4年之沉陷總量約39.8公分，分別為90年沉陷量約7.40公分、91年沉陷量約7.07公分、92年沉陷量約11.55公分、93年沉陷量約13.68公分，監測期間

90年8月時該區進行鑿井，導致90年較91年沉陷大，92年2月時該區再進行新填土約2m，導致92年及93年沉陷增大許多。

5. 由海埔地填土沉陷量與地層下陷觀測井之記錄，及水準測量近三年下陷量之比較分析顯示：(1)200m沉陷井：水準測量為21.33 cm、觀測井之記錄為19.33 cm、填土沉陷分析為1 cm。(2)300m沉陷井：水準測量為36.90cm、觀測井之記錄為31.29 cm、填土沉陷分析為9 cm。由此可見布袋港之沉陷，大部份為附近地區之超抽地下水所造成之沉陷，而且水準測量之沉陷皆較與觀測井之記錄為大。
6. 由布袋港區40多組地震觀測資料迴歸分析結果顯示：地表最大加速度約為井下300m最大加速度之4倍；其中自300m至20m，其厚度達280m之地層，震波放大約2倍；但自20m至地表，其厚度僅20m之地層，震波放大亦達2倍；由此可知地震震波放大，主要來自淺層地層，但深層地層之震波放大效應仍不能忽略。與Seed & Idriss (1971)研究比較，布袋港淺層地層之震波放大稍大於Seed & Idriss (1971)之平均值。
7. 布袋港區各種地震引致之液化危害度及平均沉陷量之分析結果如下表所示：

表14-1 布袋港區各種地震引致之液化危害度及平均沉陷量

地震條件	地震規模(M_w)	地表最大加速度, A_{max} (g)	液化危害度 IL	液化機率危害度 P_{LW}	平均沉陷(cm)	危害度等級
布袋港區液化之臨界震度	6.5	0.10	2.30	0.13	12.53	輕度
1906年梅山地震之港區震度	7.0	0.15	9.67	0.35	31.20	中度
新訂耐震設計規範乙區	7.5	0.23	25.14	0.64	53.17	嚴重
新訂耐震設計規範甲區	7.5	0.33	41.35	0.81	64.19	極嚴重

8. 由布袋港液化機率危害度及地震引致沉陷之綜合分析，布袋港區有三處土質較為鬆軟，極易因地震而造成較嚴重之液化及沉陷災害，其分別位於(1)第二期海埔地之東北角隅，(2)第二期海埔地之東南角隅，(3)

商港區之西北角隅。

9. 由布袋港頻譜比分析及場址效應分析可發現，隨著頻率之增加，放大倍率亦有增加之趨勢。主要放大的頻段均在1Hz以上，尤其是5Hz附近以及7-9Hz兩處有明顯的放大，放大倍率最高可達4倍以上。特性週期4~1秒時，港區內各測點之放大倍率大部分在2以下，但在高頻時(低週期)，測區內有些區域放大倍率超過2，在特性週期為0.2秒時，放大倍率更可能達到3。此結果顯示，布袋港內之震波放大特性，較不利於共振週期較小之低矮建築。
10. 布袋港區內填土造成之下陷，會因長時間(約15年)而緩和；但附近地區超抽地下水造成之下陷，則須視超抽程度而定；地震造成之下陷，可以地盤改良因應。其中以港區附近地區超抽地下水造成之深層下陷最為嚴重，而且影響深遠長久，因此有關港區相關工程或建築物之設計高程，須考慮工程使用年限及沉陷速率，預先提高工程之高程。
11. 防治地震造成之液化及下陷之地質改良方法有夯實法、排水法、固化法及置換法等四類，夯實法是應用最廣泛之有效方法，其中之壓實砂樁法適合於碼頭區域之地質改良，動力夯實法適合大區域之地質改良，是國內在海岸地區新生地之地質改良主要採用之方法。唯各種地質改良方法分別具有不同特性、限制與優劣條件，其優劣之評估與選擇需綜合考量改良區域之環境與土質狀況、改良條件與效果、工期配合與經費等許多因素，以較低之經費，在合理之工期內達到較佳之改良效果。

參 考 文 獻

1. 水利局(1996)「嘉義沿海地區地盤下陷檢測報告」。
2. 亞新工程顧問公司(2000)「評估土壤液化評估與處理對策研擬第一期計畫(彰化縣員林鎮大村鄉與社頭鄉)總報告」行政院國家科學委員會。
3. 成功大學(1999)「彰濱工業區新生地動態地層下陷研究」期末報告。
4. 嘉義縣政府(1995)「布袋海埔新生地第二期地質鑽探工程」。
5. 嘉義縣政府(1993)「嘉義縣布袋港擴建客貨碼頭整體規劃報告」。
6. 歐陽正宅、侯和雄(1982)「台灣地區環島航運系統發展計畫(二)港址的調查與設計」，港灣技術研究所。
7. 彭瀚毅(1998)"台北盆地場址效應之研究"，中央大學博士論文。
8. 港灣技術研究所，(1984)「荷式錐貫入試驗於基礎工程之應用研究」73-研(六)。
9. 港灣研究中心(1999)「港灣地區地層下陷監測研究(II)-- 安平港」，交通部科技顧問室委託研究。
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. 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. 賴聖耀 (2002)「以 921 地震液化案例之 SPT-N 值建立土壤液化潛能判別模式」，液化潛能評估方法及潛能圖之製作研討會。
13. 賴聖耀、謝明志(2002)，「以邏輯迴歸法建立 CPT 試驗評估液化機率之本土化模式」，24 屆海洋工程研討會，PP.653-657。

- 14.賴聖耀、陳圭璋 (2002),「布袋港地層速度構造與場址效應之初步研究」, 24 屆海洋工程研討會, PP.658-663。
- 15.賴聖耀、陳圭璋、陳志芳、李豐博、謝明志、賴瑞應(2004)「港灣地區震波放大效應及液化潛能評估之研究」92 年度防救災專案計畫成果研討會
- 16.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。
- 17.賴聖耀、謝明志 (1996) , 「台中港區土壤液化危險度分析與應用」八十五年度港灣大地工程研討會 PP.7-1 7-18。
- 18.賴聖耀、李豐博、謝明志, (1993)「地下水位歷時性變化與地層歷時性下陷之關係研究」, 第十七屆全國力學會議。
- 19.賴聖耀、李豐博、蘇吉立、陳志芳 (1995)「以 Rowe cell 壓密試驗探討海岸土層之沉陷特性」第六屆大地工程學術研究討論會。
- 20.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。
- 21.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。
- 22.鄭世楠和葉永田, (2002)「1848 年彰化地震與彰化斷層關係的初步研究」港灣報導季刊, 61 期。
- 23.Boulanger, R.W., Mejia,L.H., Idriss,I.M. (1997) "Liquefaction at Moss Landing during Loma Prieta earthquake " J. Geotech. Engrg. Div., ASCE, Vol.123, No.5, pp.453-467.
- 24.Biot, M.A. (1941), "General theory of three-dimensional consolidation ",J.of applied physics 12(2).
- 25.Christian, 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.

26. Chu, B. L., Hsu, S. C., Lai, S. Y., and Chang, Y. M. (2000) ,“Failures associated with liquefaction at Wufeng during Chi-Chi earthquake. ” Proceedings of International Workshop on Annual Commemoration of Chi-Chi Earthquake September 18-20, Taipei. Vol.III,46-57.
27. Cox, D. R. (1970), The analysis of binary data . Methuen and Co. Ltd., London, U.K. (Reprinted by Chapman and Hall, London, U.K., 1983).
28. Haskell, N. A.(1953) “The Dispersion of Surface Wave on Multilayered Media,” *Bull. Seism. Soc. Am.* 43, 17-34.
29. Haskell, N. A.(1960) “Crustal reflection of plane SH waves,” *J. Geophys. Res.*, 65, 4147-4150.
30. 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.
31. Horowitz, J.L. (1982), “Evaluation of usefulness of two standard goodness-of-fit indicators for comparing non-nested random utility model . ” *Advances in Trip Generation*, Transportation Research Record 874, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 19-25.
32. Hwang, J.H., Yang, C.W. (2001), "Verification of critical cyclic strength curve by Taiwan Chi-Chi earthquake data " *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol.21, pp.237-257.
33. Idriss, I. M. (1999), “An update of the Seed-Idress simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential . ”*Proceedings, TRB Workshop on New Approaches to Liquefaction Analysis*, FHWA-RD-99-165. Washington, DC:Federal Highway Administration.
34. Iwasaki, T., Arakawa, T. and Tokida, K. (1982) , “Simplified Procedures for Assessing Soil Liquefaction During Earthquakes”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering Conference Southampton*, pp.925-939.

35. Ishihara, K., Yasuda, S., and Nagase, H., (1996), "Soil characteristics and ground damage", Special Issue of Soils and Foundations, pp.109-118.
36. Juang, C. H., Rosowsky, D.V., and Tang, W.H. (1999), "A reliability-based method for assessing liquefaction potential of sandy soils." *Journal Geotech. and Geoenviron. Engineering*, ASCE, 125(8), 684~689.
37. Lai, S. Y. and Hsieh, M. J. (1995) "The step-loading model of subsidence induced by groundwater level changes with time." *Proceedings of the Fifth International Symposium on Land Subsidence The Hague*.
38. Lai, S. Y., Hsu, S. C., and Hsieh, M. J. (2004). "Discriminant model for evaluating soil liquefaction potential using CPT data." *J. Geotech. and Geoenviron. Eng.*, ASCE, 130(12), 1271-1282.
39. Lai, S. Y., Lin, P. S., Hsieh, M. J., and Jim, H. F. (2004), "Regression Model for Evaluating Liquefaction Potential by Discriminant Analysis on SPT-N value." *Canadian Geotechnical Journal*. (accepted)
40. Lermal, J. and F. J. Chavea-Garcia (1993) "Site effect evaluation using spectral ratio with only one station," *Bull. Seism. Soc. Am.*, 83, 1574-1594.
41. Lin, P. S., Lai, S. Y., Lin, S. Y., and Hsieh, C. C. (2000) , "Liquefaction potential assessment on Chi-Chi earthquake in Nantou, Taiwan. " *Proceedings of International Workshop on Annual Commemoration of Chi-Chi Earthquake September 18-20, Taipei*. Vol. III, 83-94.
42. Liao, S. S., and Whitman, R.V. (1986), "Overburden correction factors for SPT in sand." *J. Geotech. Eng.*, ASCE, 112(3), 373-377.
43. Liao, S.S.C., Veneziano, D., and Whitman, R.V. (1988), "Regression Models for Evaluating Liquefaction Probability." *J. Geotech. Eng.*, ASCE, 114(4), 389~411.
44. Nakamura, Y. (1989) "A method for dynamic characteristics estimation

of subsurface using microtremor on the ground surface,” *QR of RTR1* 30, 1, February.

- 45.Olsen, R. S. (1997), “Cyclic Liquefaction Based on the Cone Penetrometer test.” Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soil. Edited by T.L. Youd and I.M. Idriss. NCEER-97-0022.
- 46.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.
- 47.Robertson, P. K. and Wride C.E. (1997), “Cyclic Liquefaction and its Evaluation Based on SPT and CPT”, Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soil, Edited by T. L. Youd and I. M. Idriss. NCEER-97-0022.
- 48.Robertson, P. K. and Wride C.E. (1998), “Evaluating Cyclic Liquefaction Potential Using the Cone Penetration Test,” *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 35, pp.442-459.
- 49.Seed,H.B., Idriss, I. M., and Arango, I. (1983), “ Evaluation of liquefaction potential using field performance data.” *J. Geotech. Eng.*, ASCE, 109(3), 458-482.
- 50.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.
- 51.Seed, H.B., and De Alba, P.M. (1986), “Use of SPT and CPT tests for evaluating the liquefaction resistance of sands.”*Proc. of In-Situ Test*, ASCE, 281-302.
- 52.Shibata, T. and Teparaksa, W. (1988), “Evaluation of liquefaction Potentials of Soil Using Cone Penetration Tests.” *Soils and found.*, Tokyo, Japan, 28(2), 49-60.
- 53.Stark,T.D. and Olson,S.M. (1995), “Liquefaction Resistance using CPT and Field Case Histories.” *J. Geotech. Eng.*, ASCE, 121(12), 856~869.

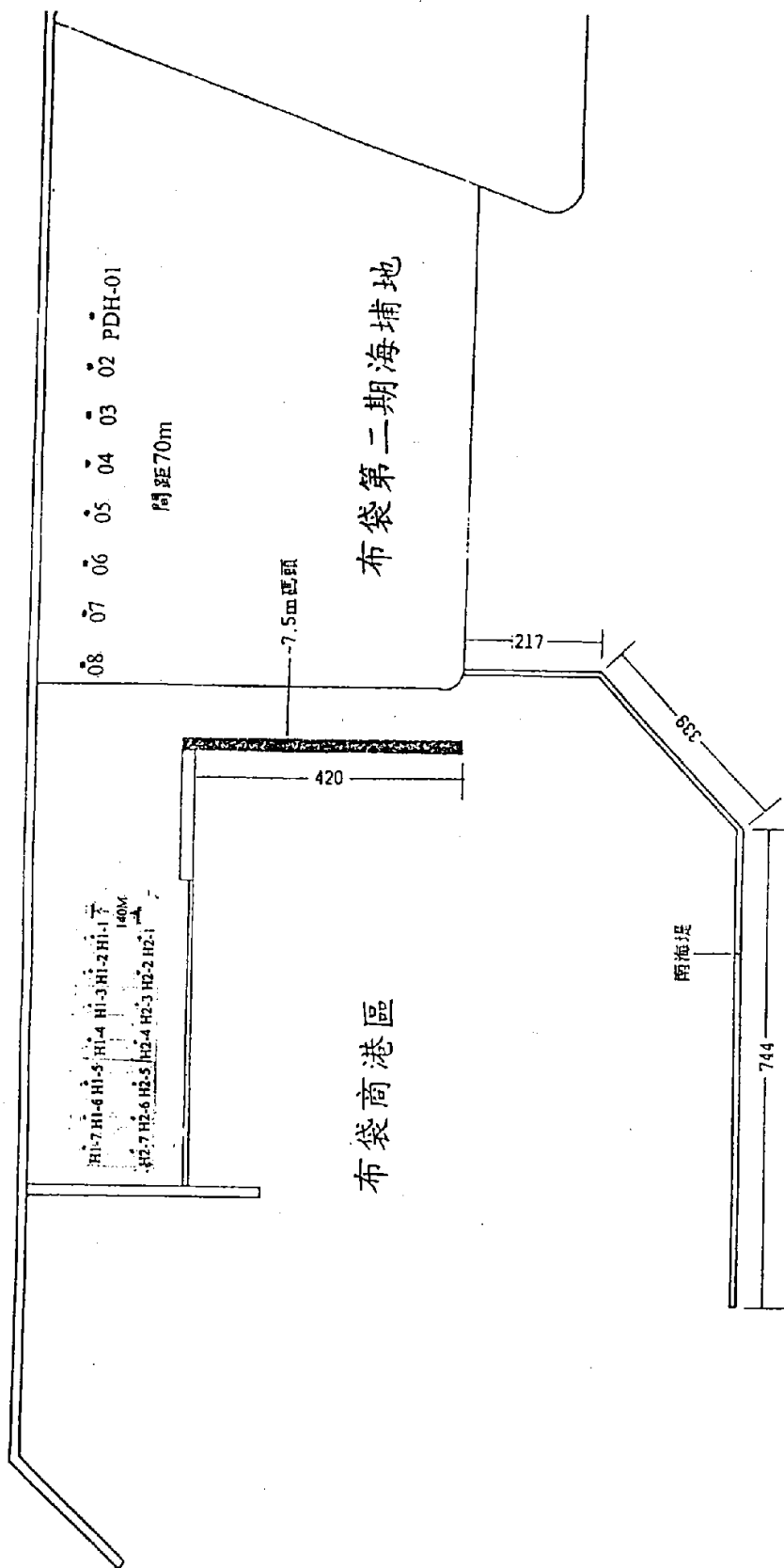
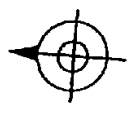
- 54.Seed,H.B., K.Yokimatsu, L.F.Harder ,and R.M. Chung (1985) "Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluation", *J._of Geot. Engr., ASCE*, Vol.111, No.12, pp. 1425~1445.
- 55.Shibata, T. and Teparaksa, W., (1988), "Evaluation of liquefaction Potentials of Soil Using Cone Penetration Tests", *Soils and foundations*, Vol.28, No.2, pp.49-60.
- 56.Terzaghi,K.(1943),*Theoretical soil mechanics*,John Wiley & Sons,New York.
- 57.Wang, C. Y., W. C. Hsiao and C. T. Sun (1994) "Reflection Seismic Stratigraphy in Taipei Basin (I)-Northwestern Taipei Basin," *J. Geol. Soc. China*, 37, 69-95.
- 58.Youd, T. L. and Idriss, I. M. (1997), "Proceeding of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils." State University of New York at Buffalo.

附錄 A

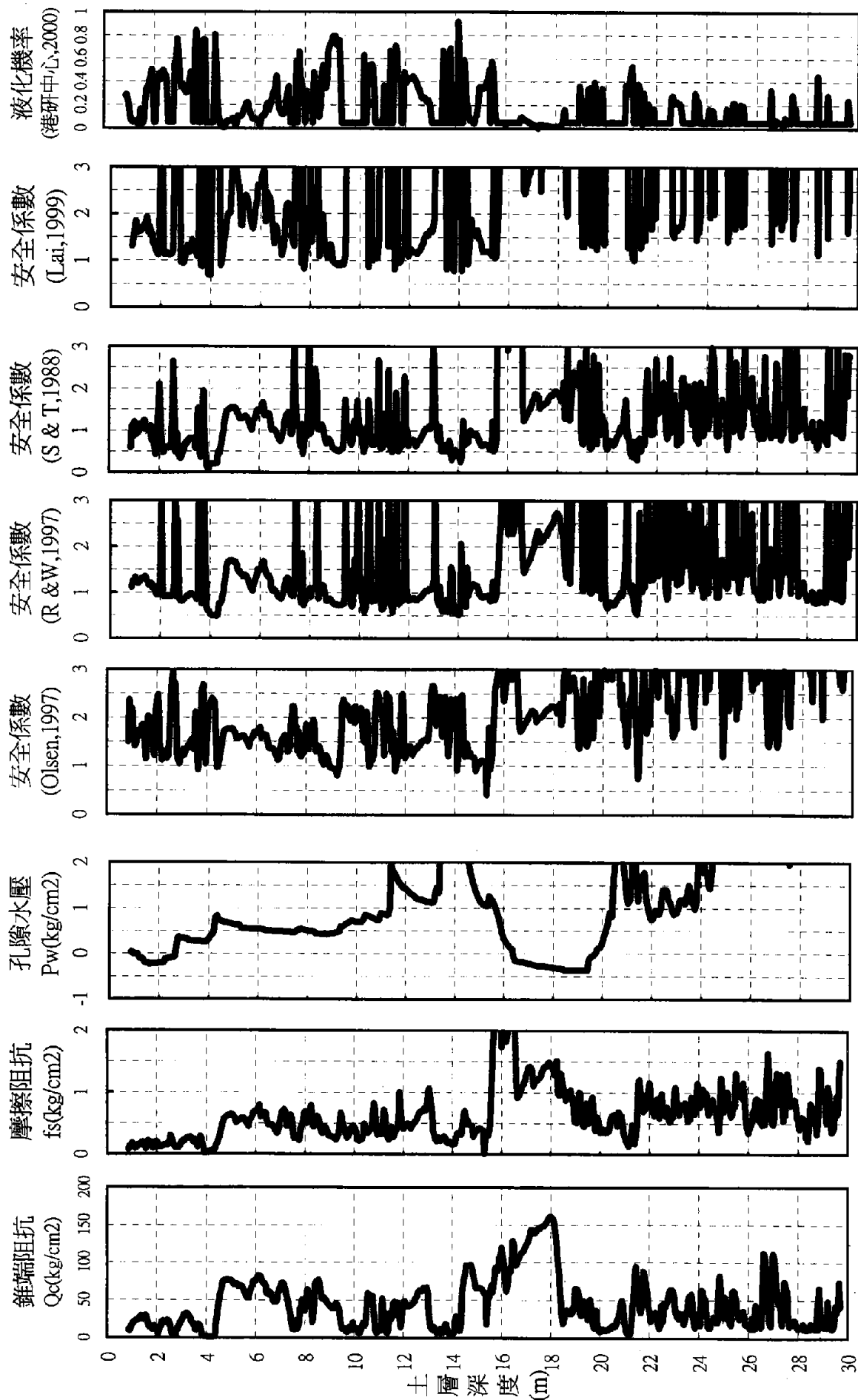
布袋商港區 CPT 試驗

及

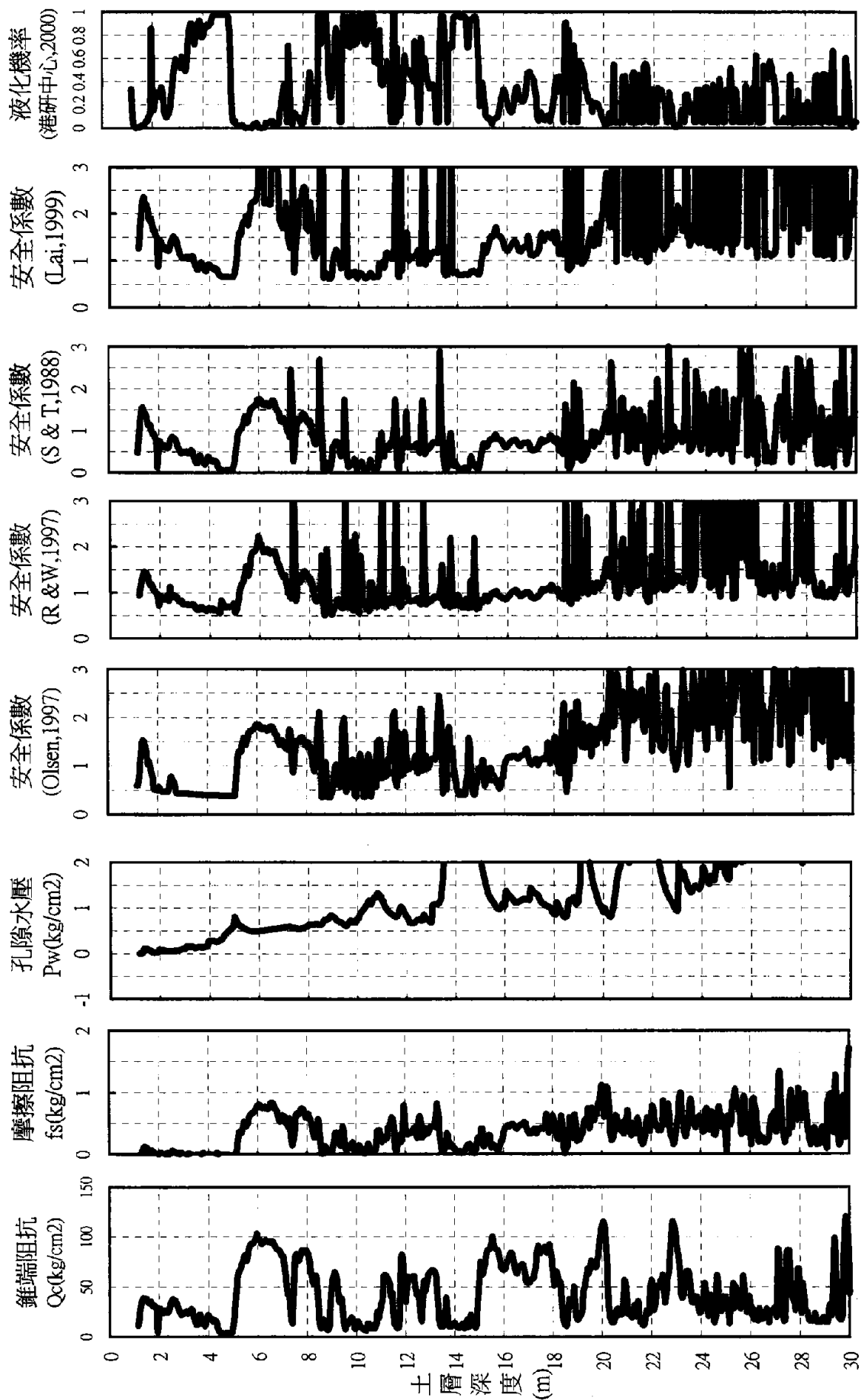
液化潛能評估結果



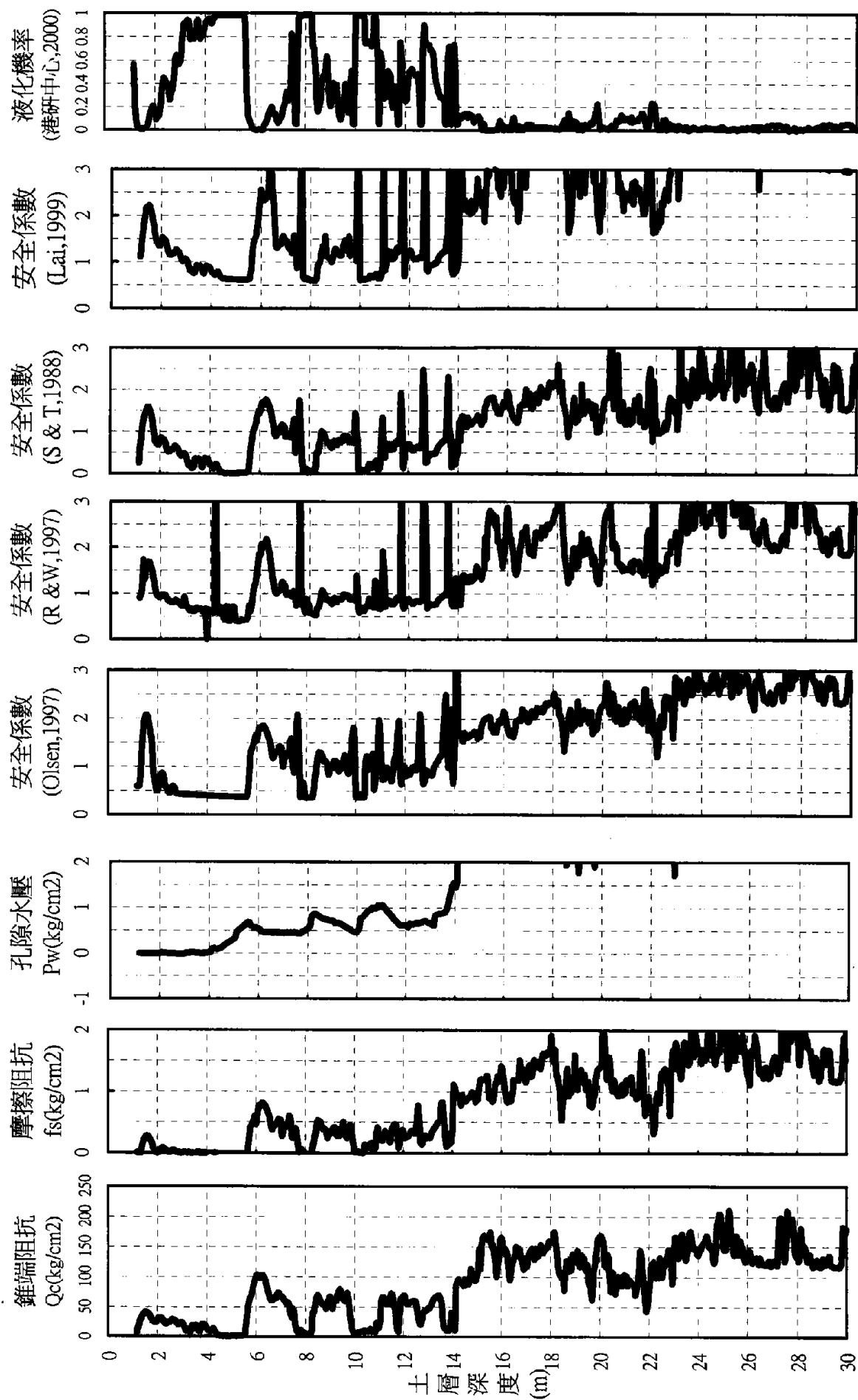
附圖 I 布袋港區 CPT 平面圖



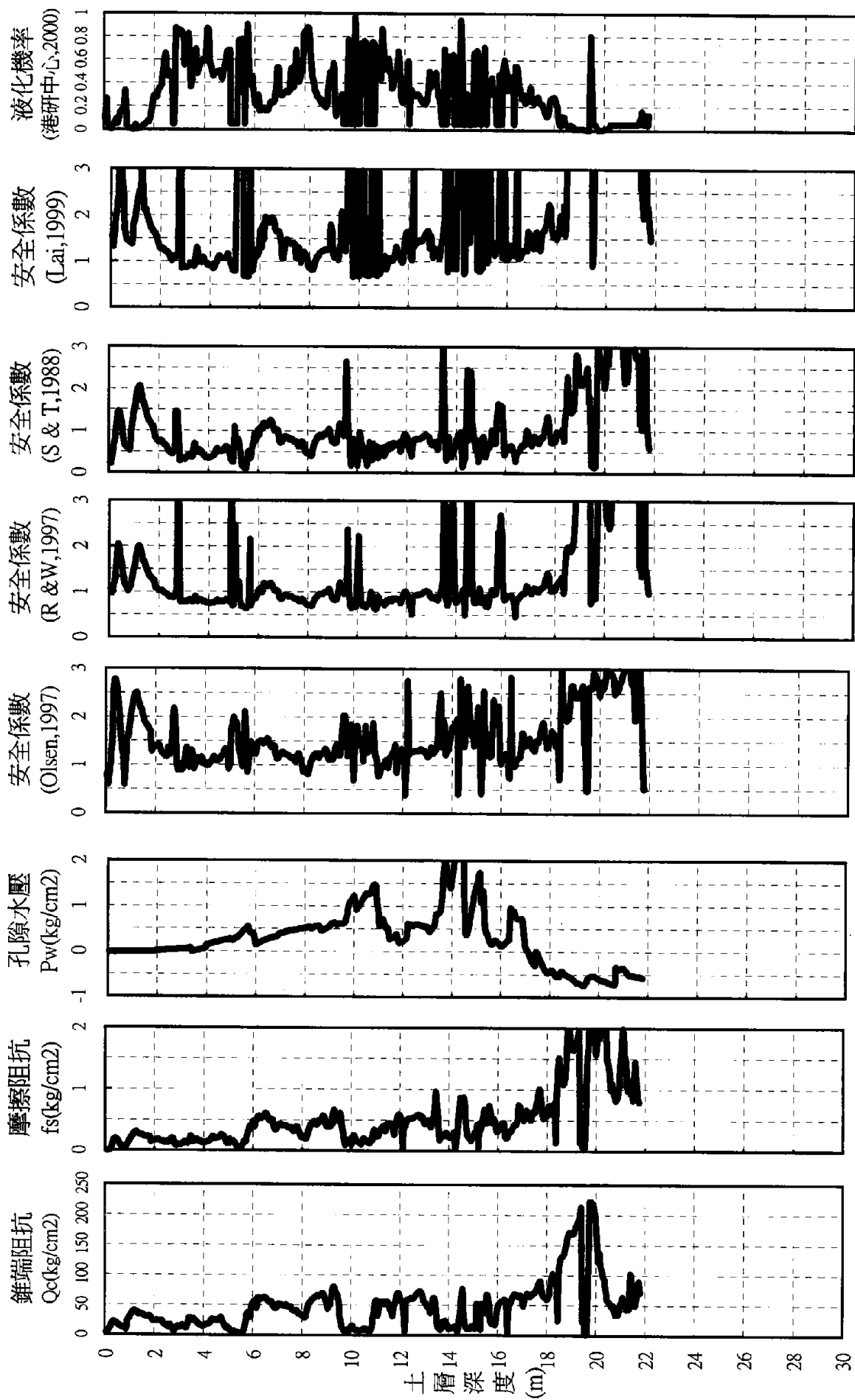
附圖2 布袋港CPT-H1-2孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)



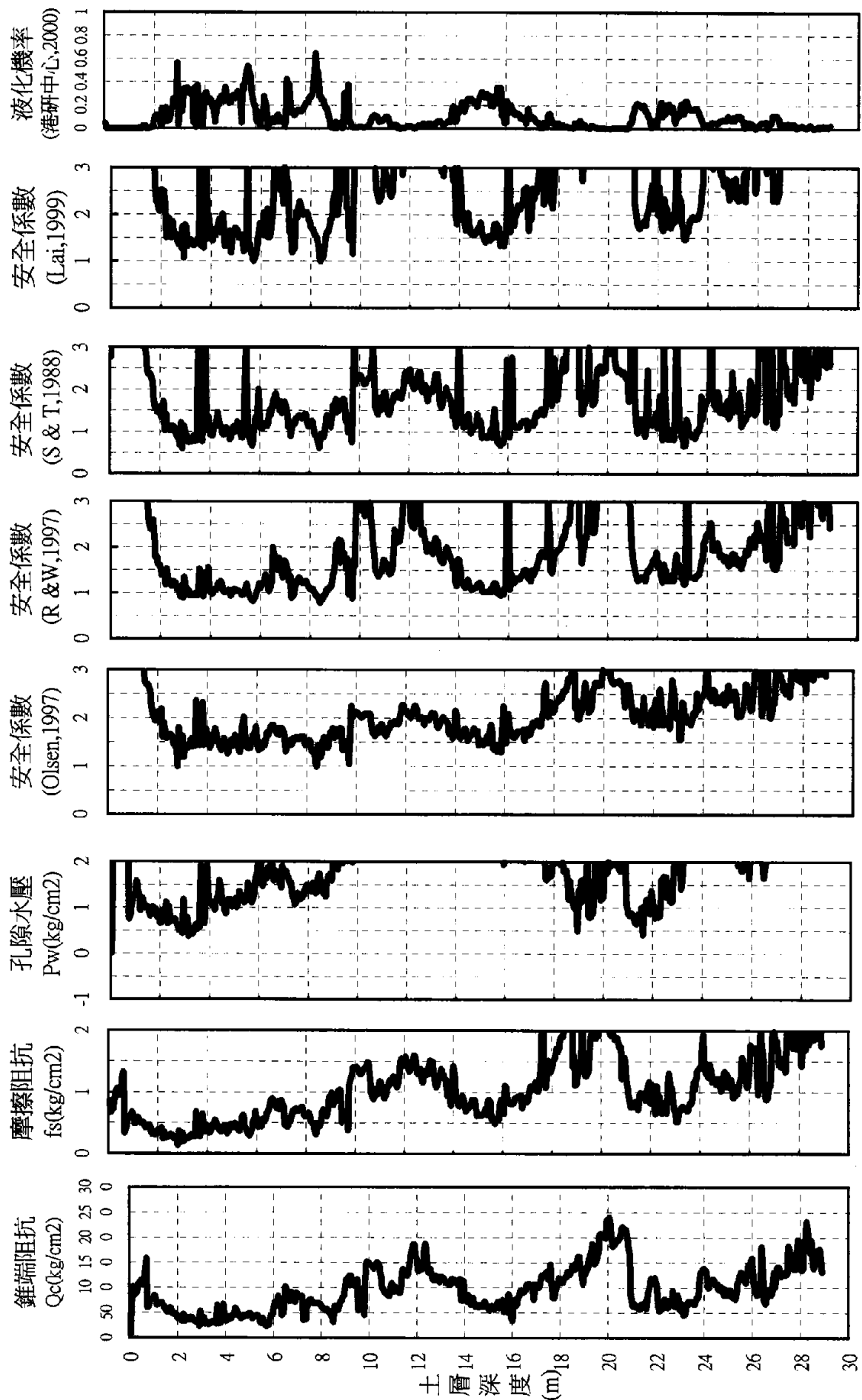
附圖3 布袋港CPT-HI-3孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.15g)



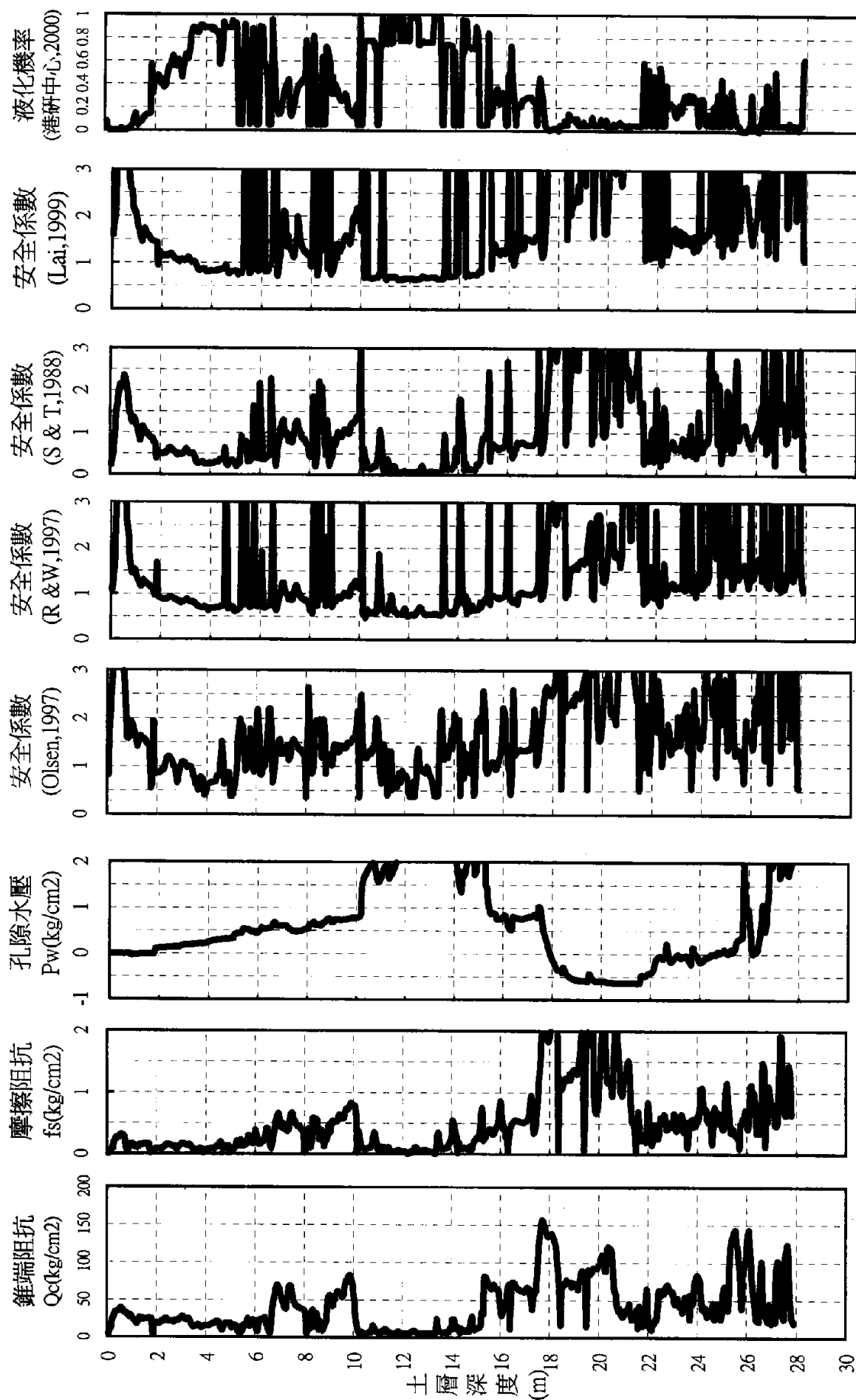
附圖4 布袋港CPT-HI-4孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.15g)



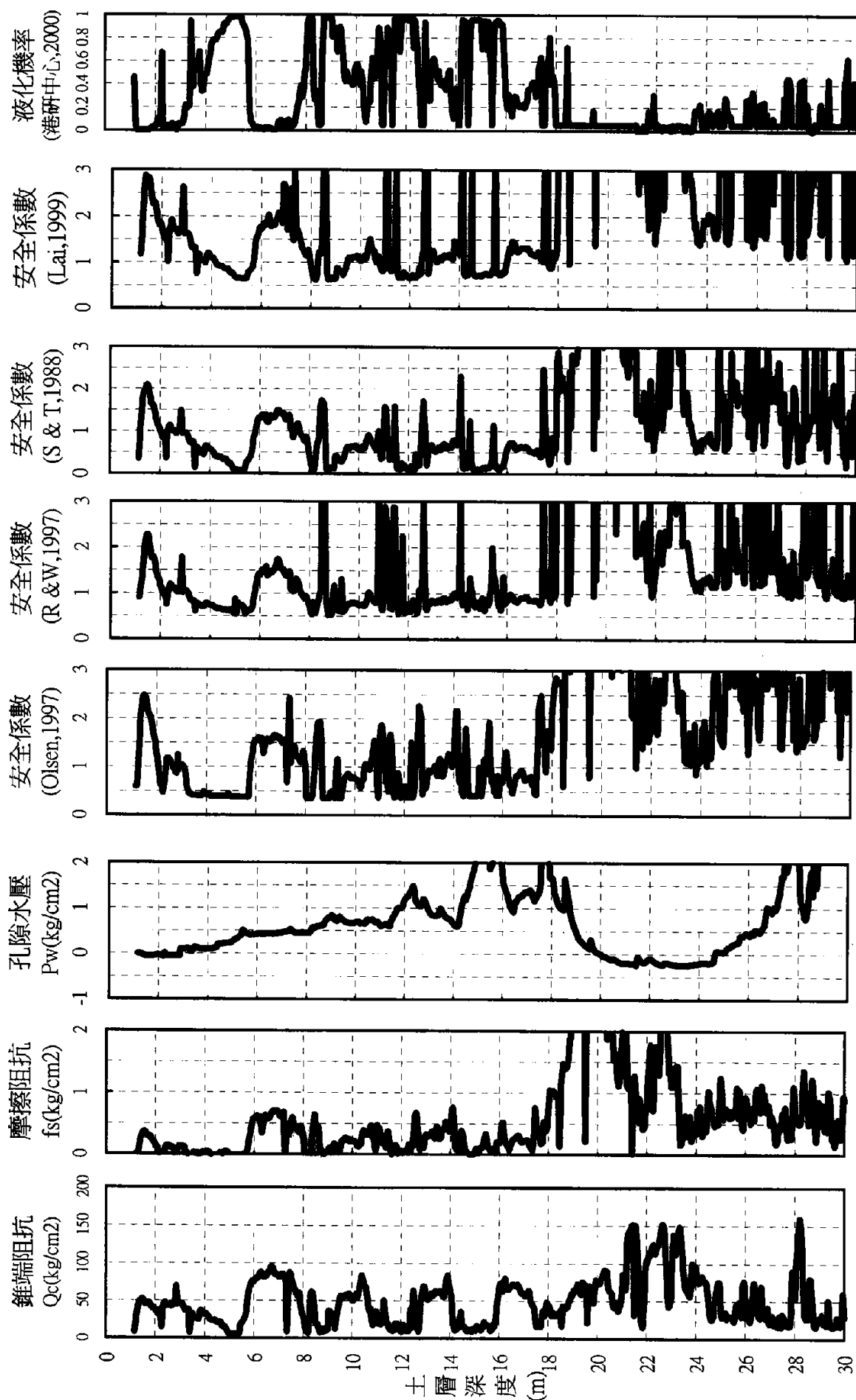
附圖5 布袋港CPT-H1-5孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)



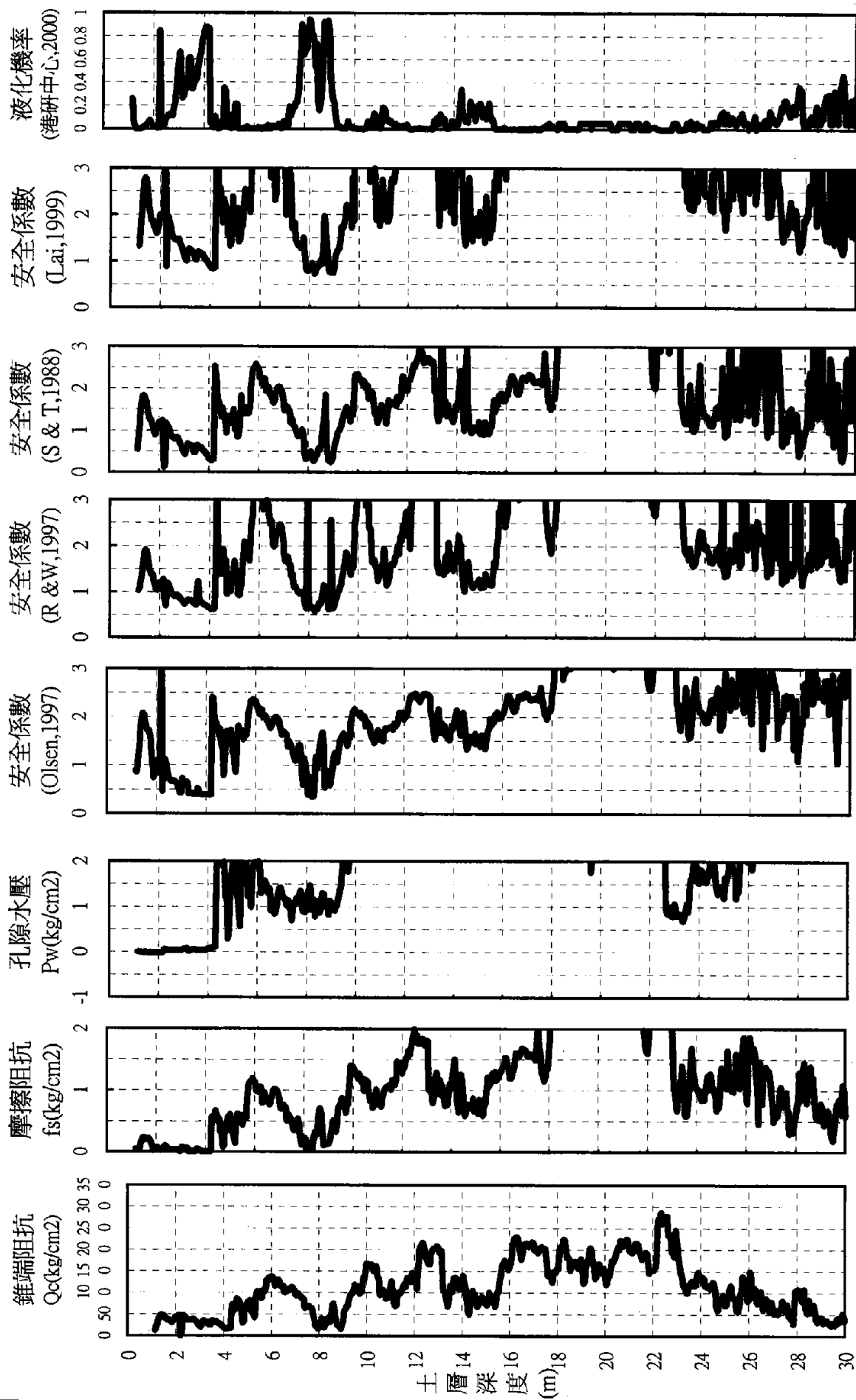
附圖6 布袋港CPT-H1-6孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.15g)



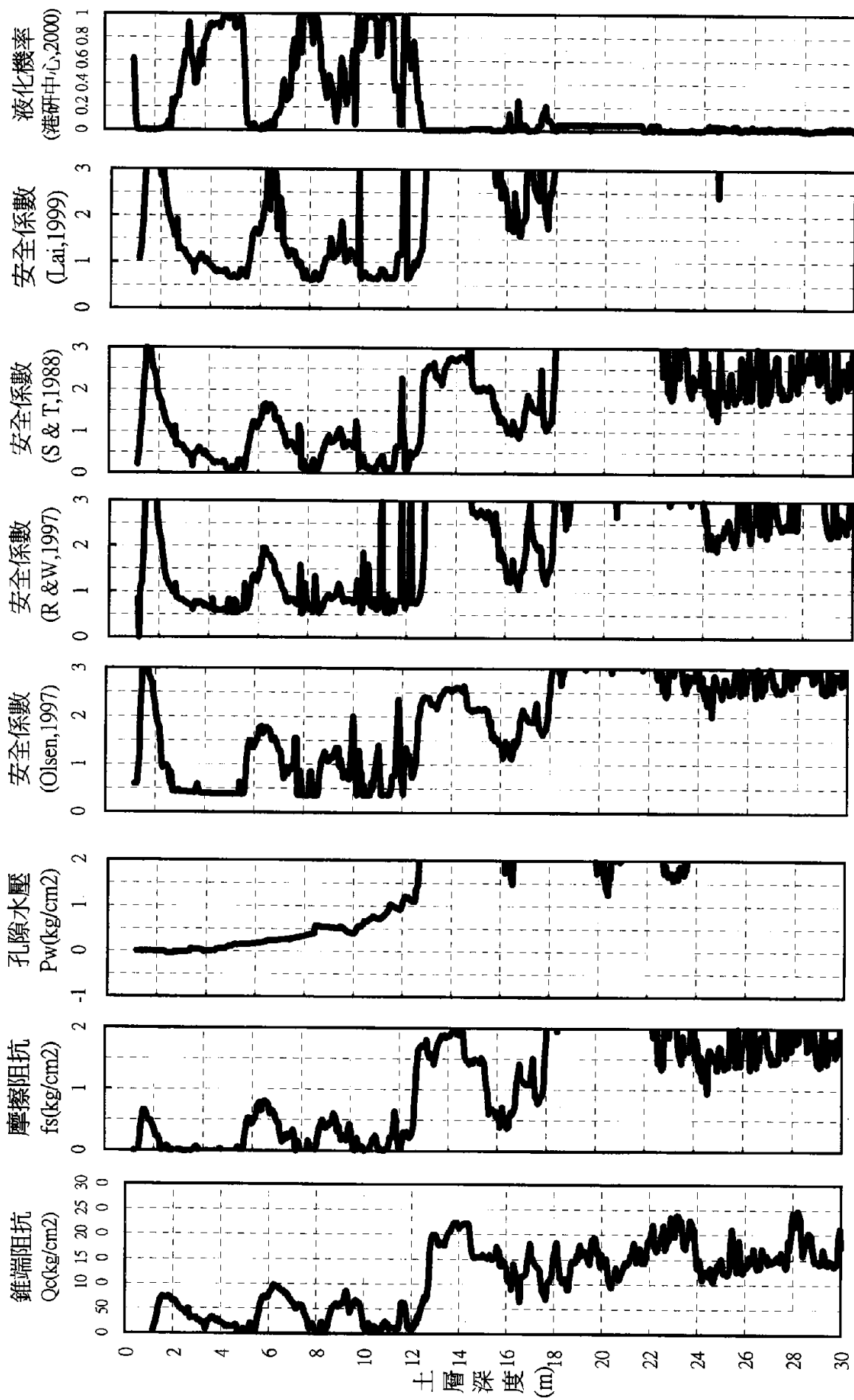
附圖7 布袋港CPT-H1-7孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.15g)



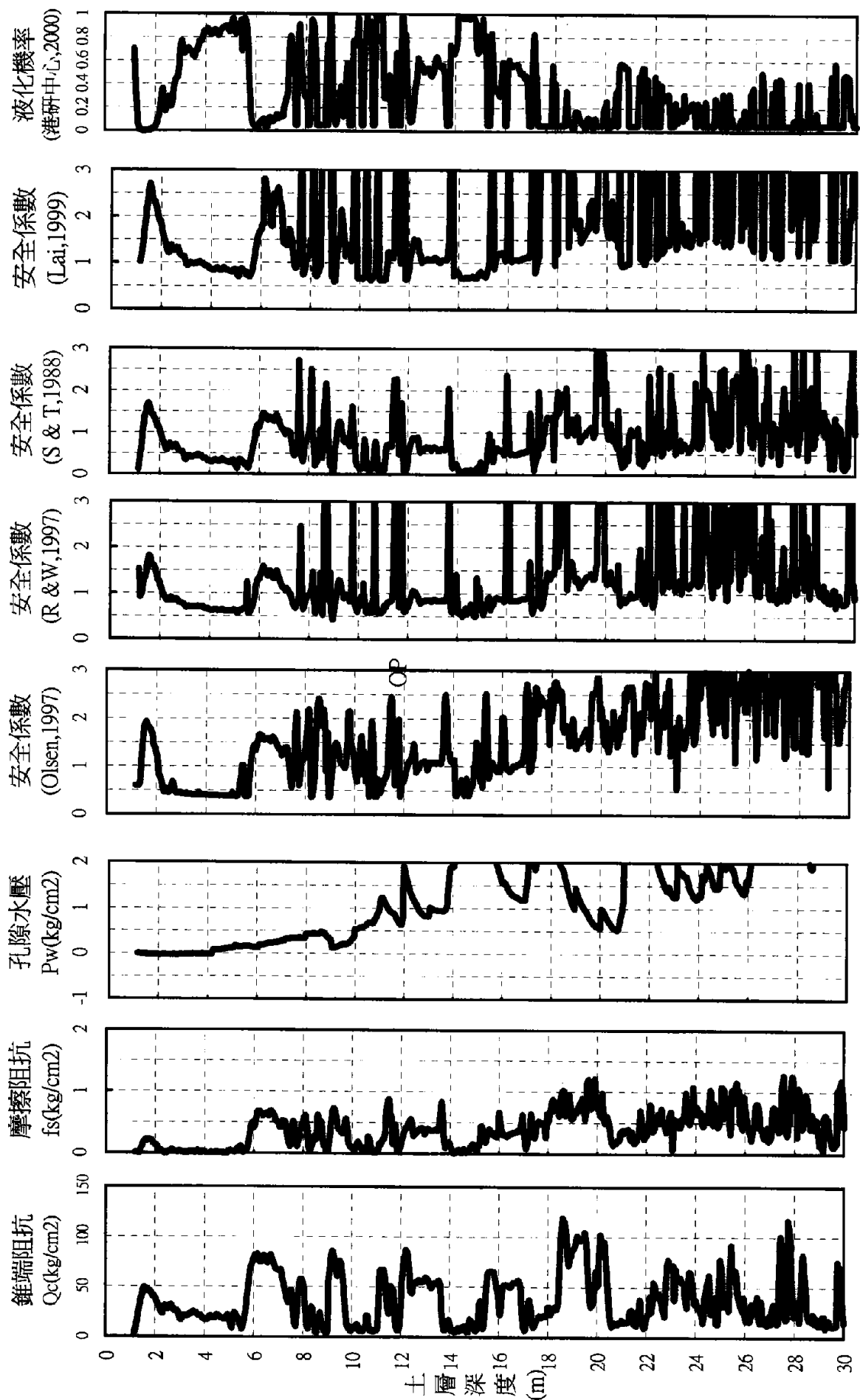
附圖8 布袋港CPT-H2-1孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.15g)



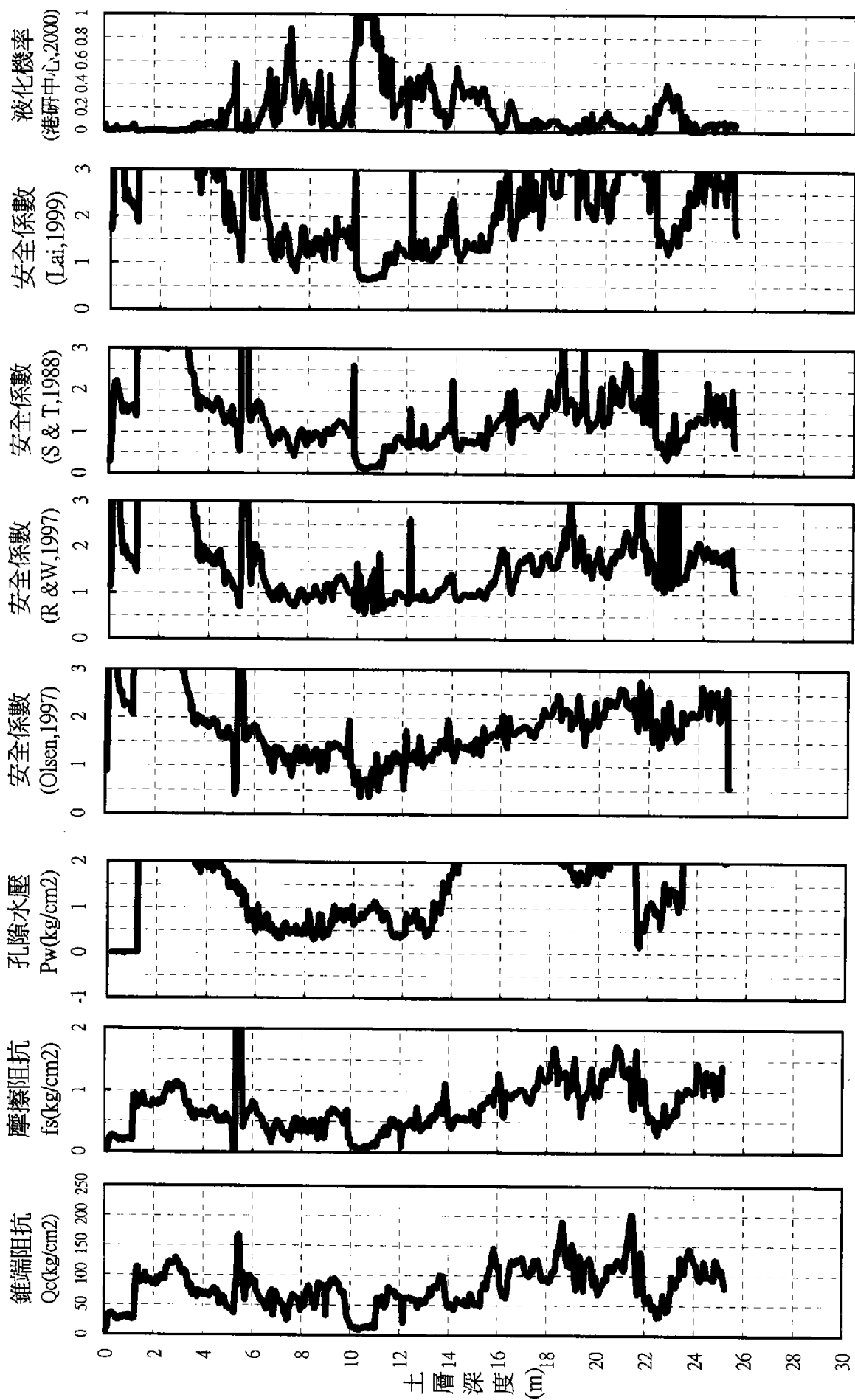
附圖9 布袋港CPT-H2-2孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)



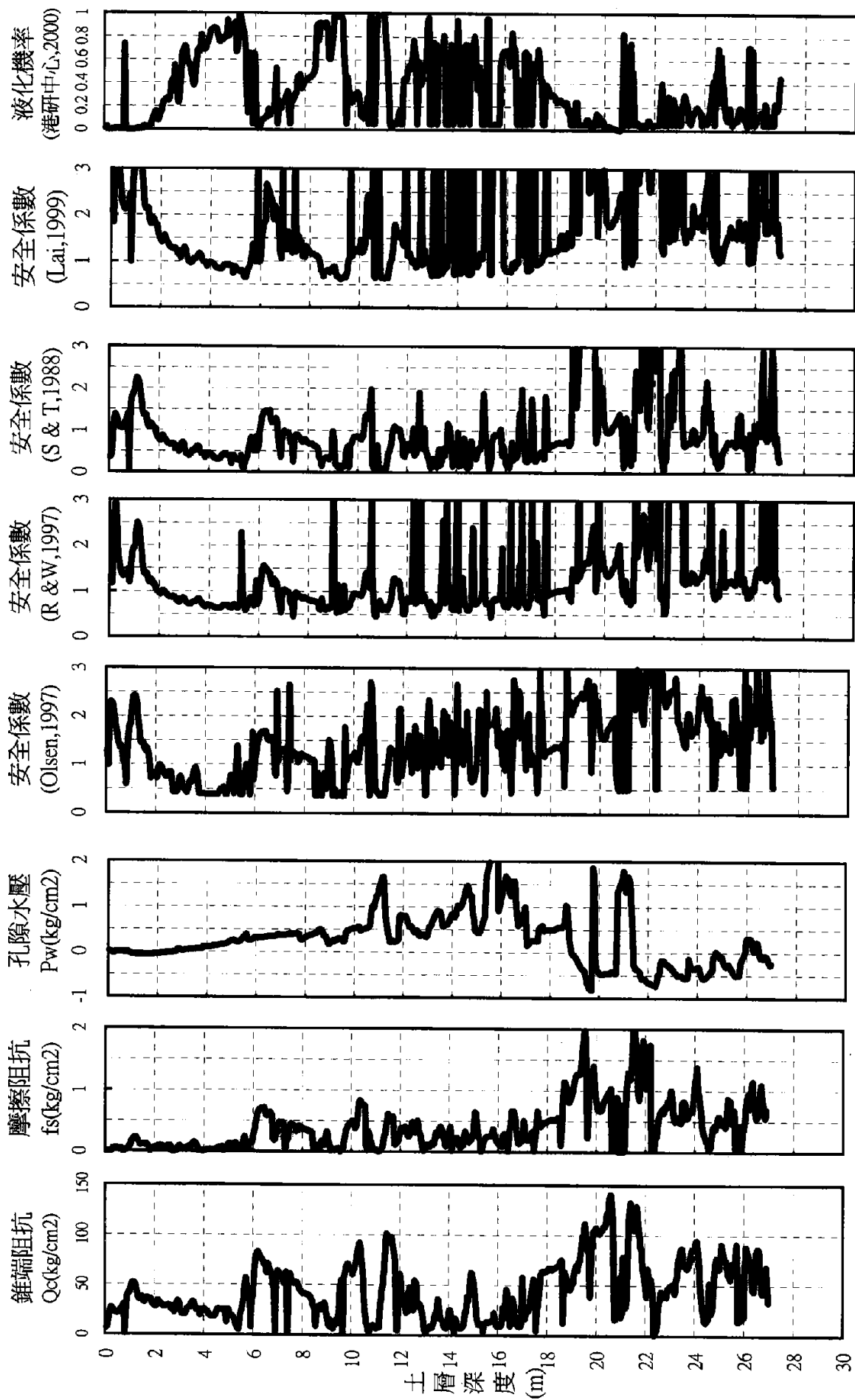
附圖10 布袋港CPT-H2-3孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.15g)



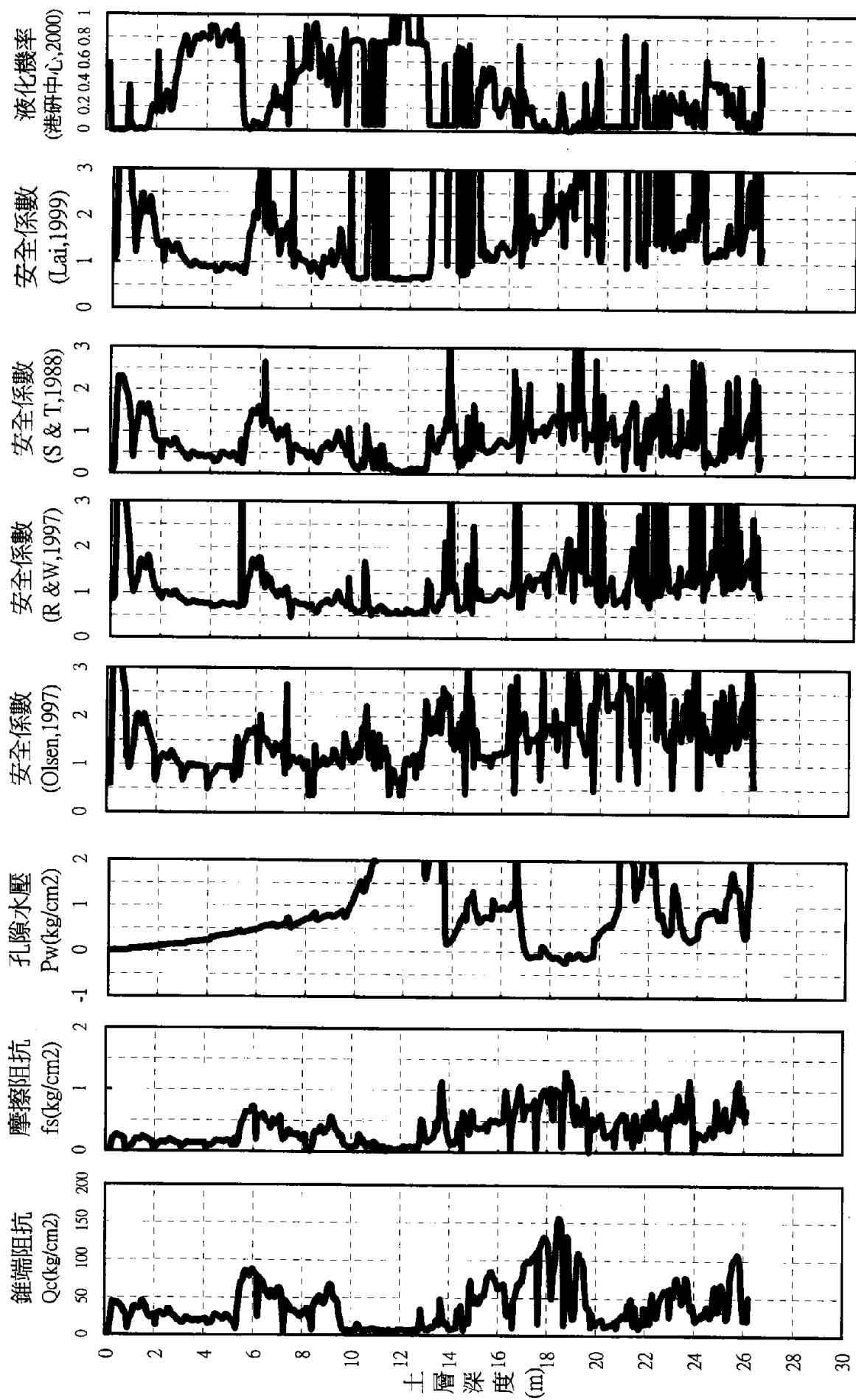
附圖11 布袋港CPT-H2-4孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.15g)



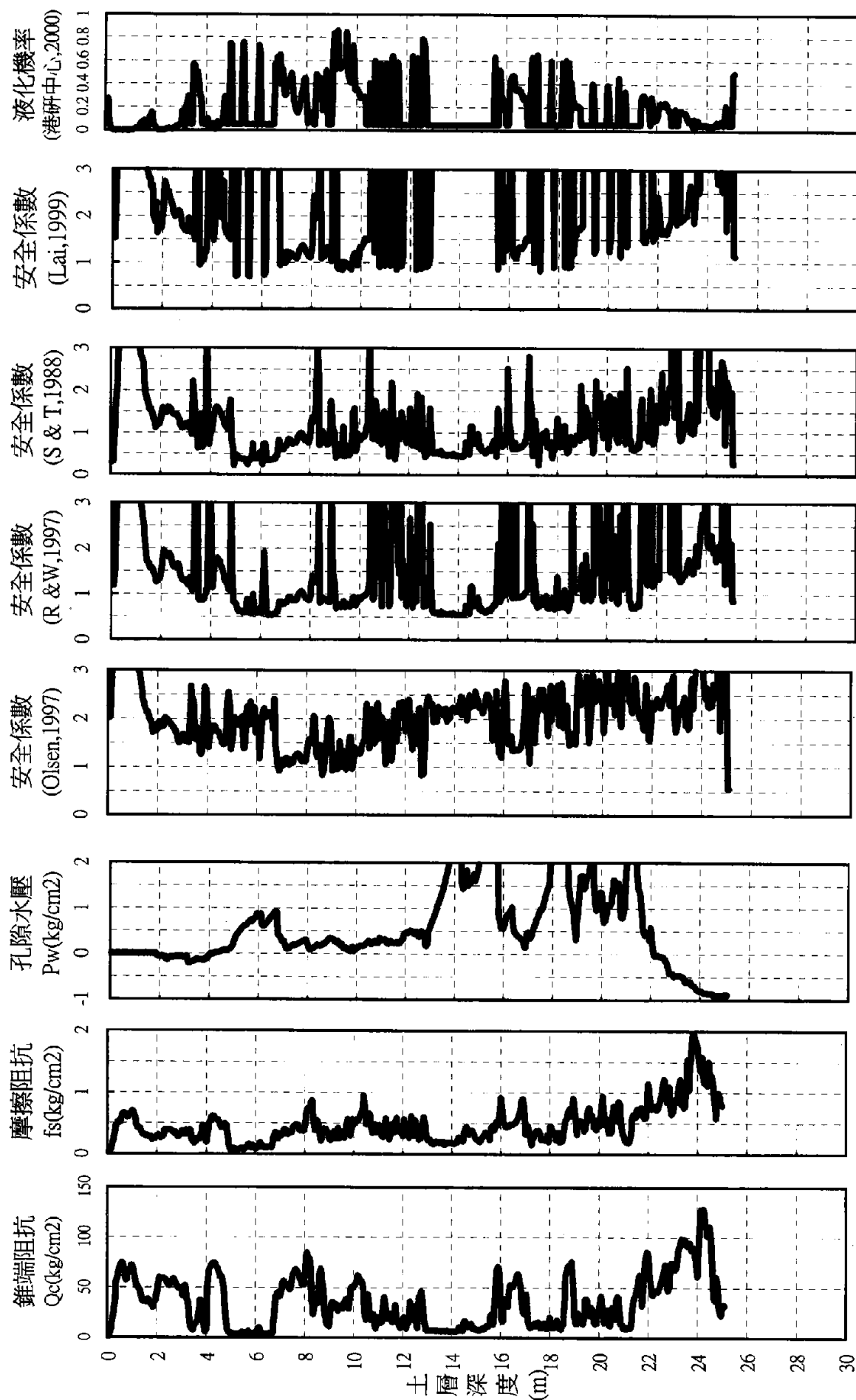
附圖12 布袋港CPT-H2-5孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)



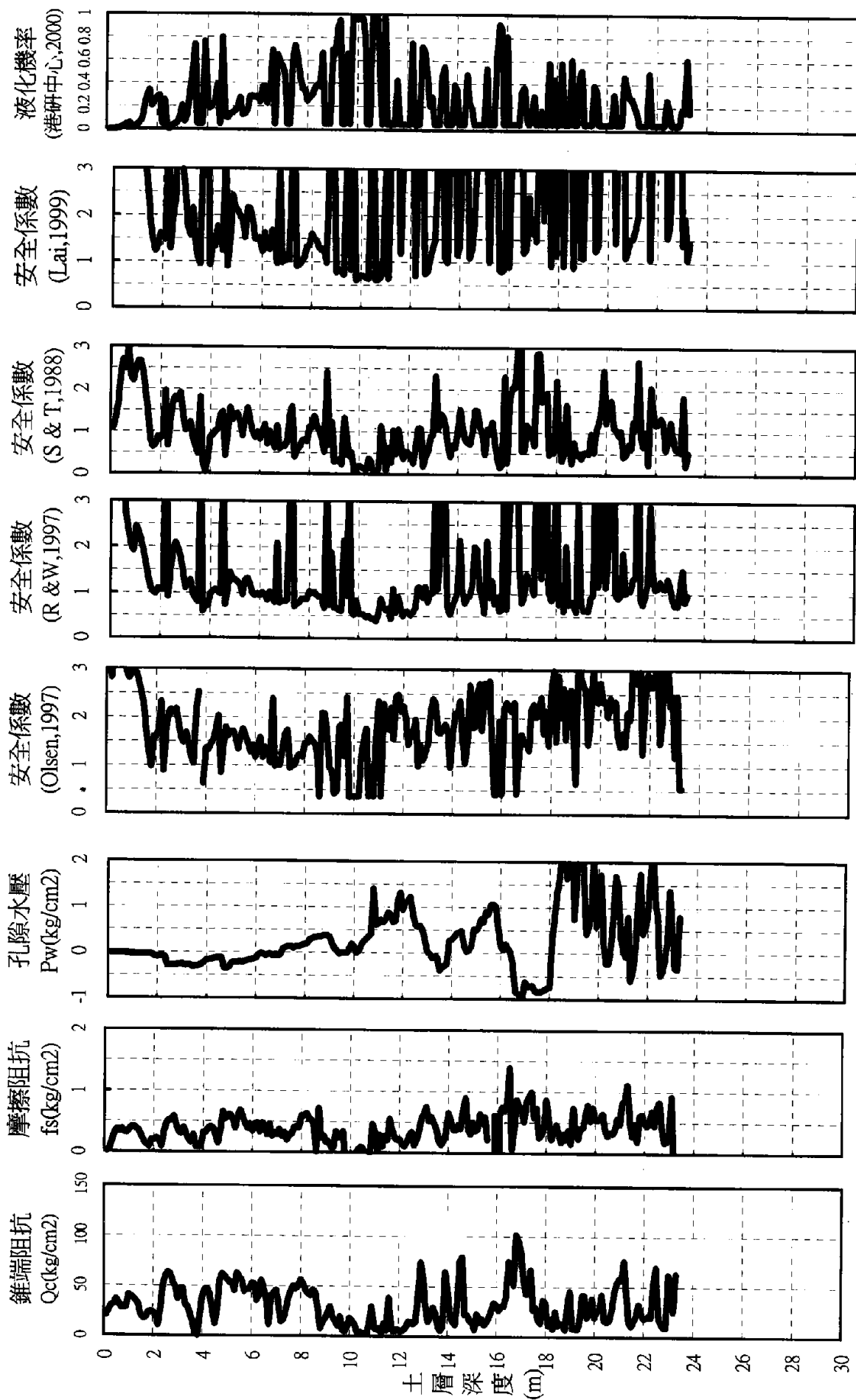
附圖 13 布袋港CPT-H2-6孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)



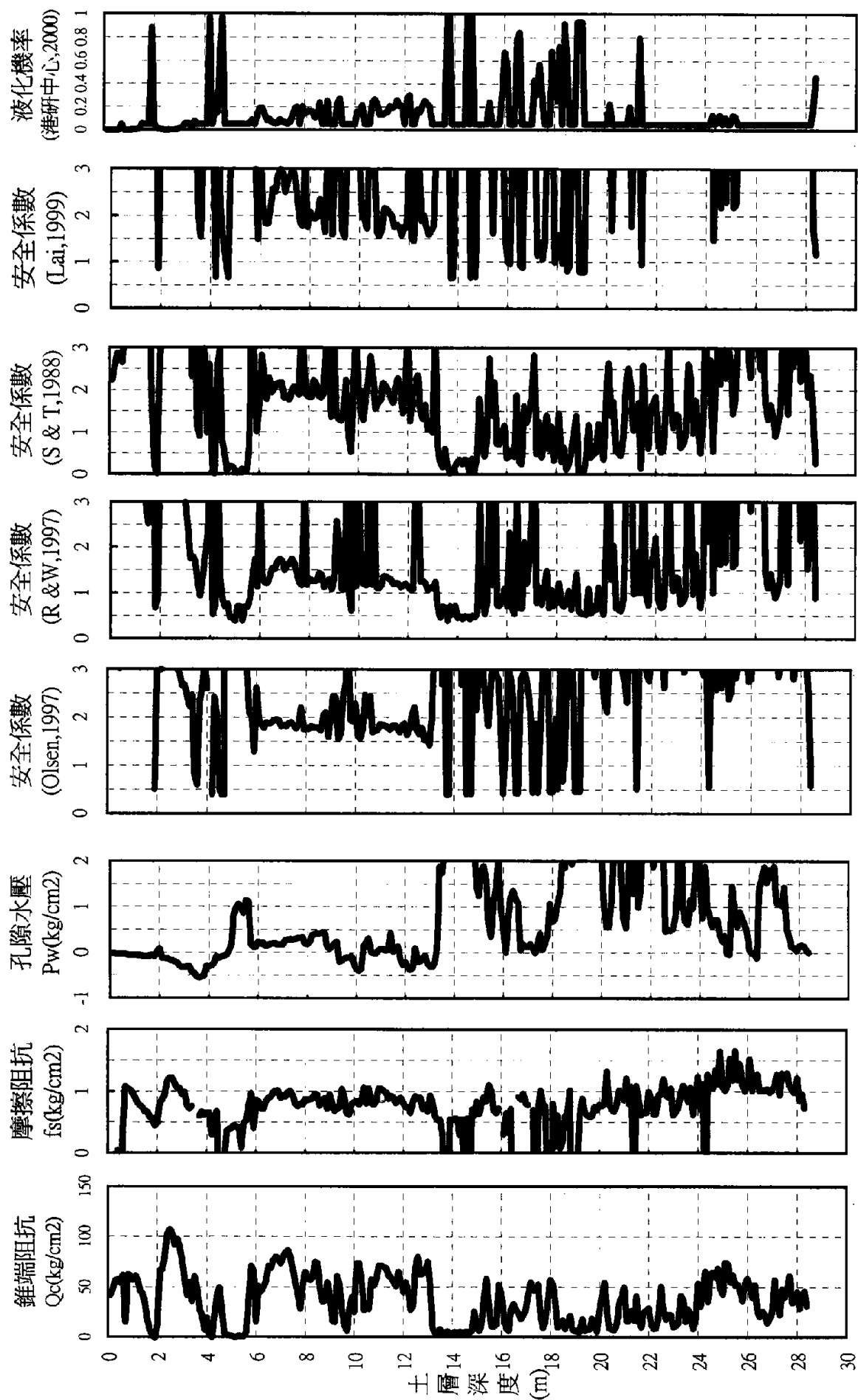
附圖14 布袋港CPT-H2-7孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)



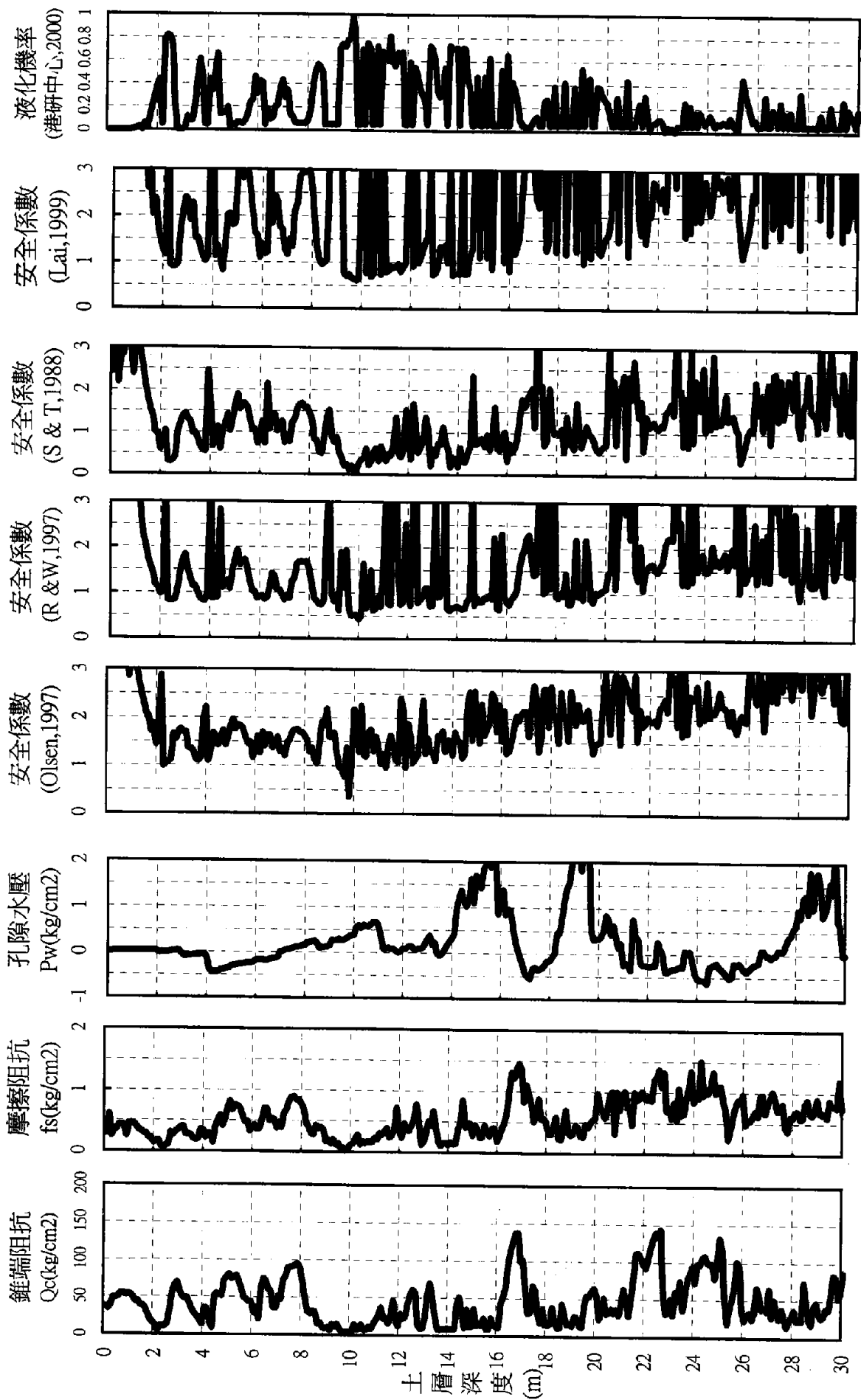
附圖15 布袋港CPT-PDH-01孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.15g)



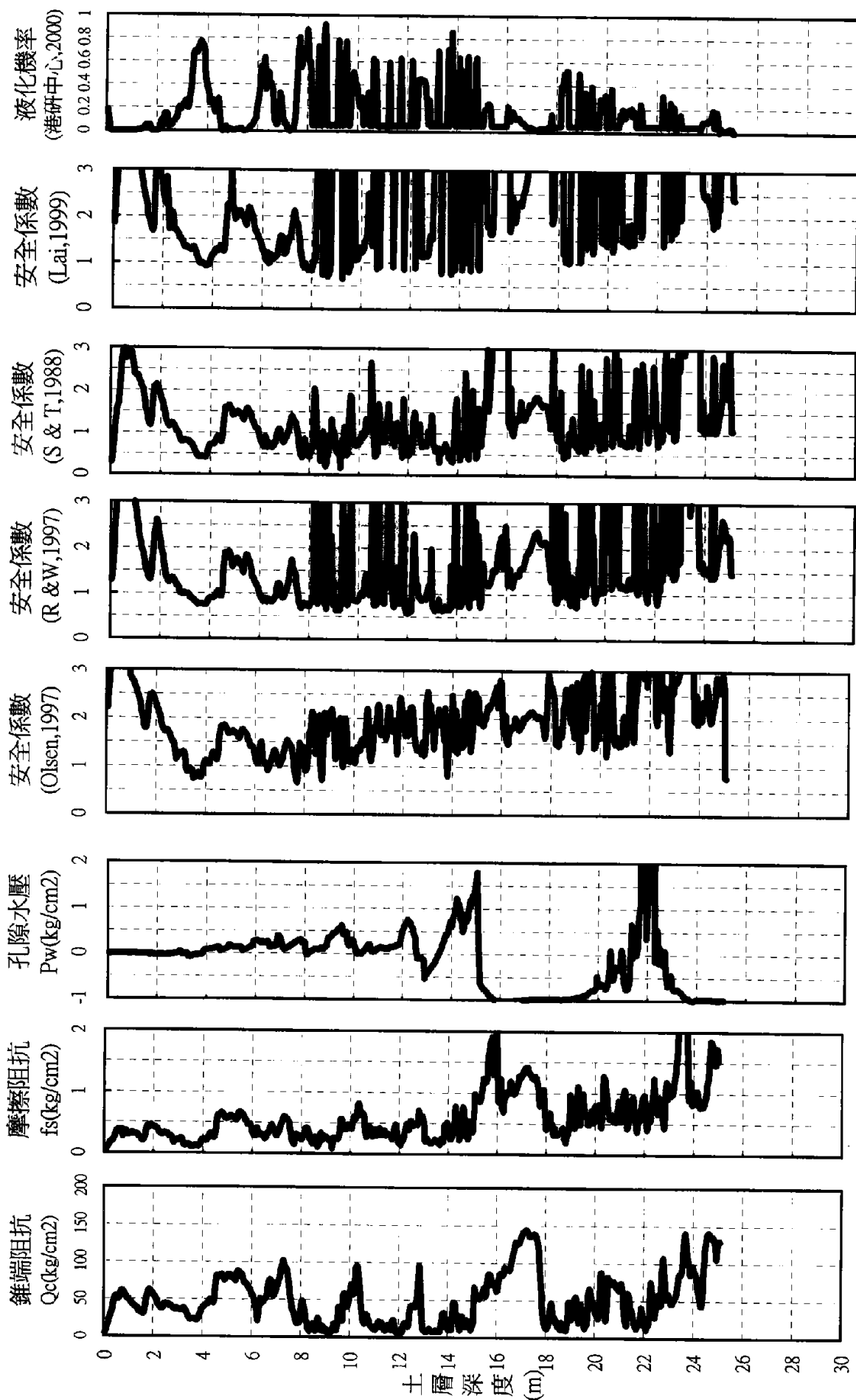
附圖16 布袋港CPT-PDH-02孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.15g)



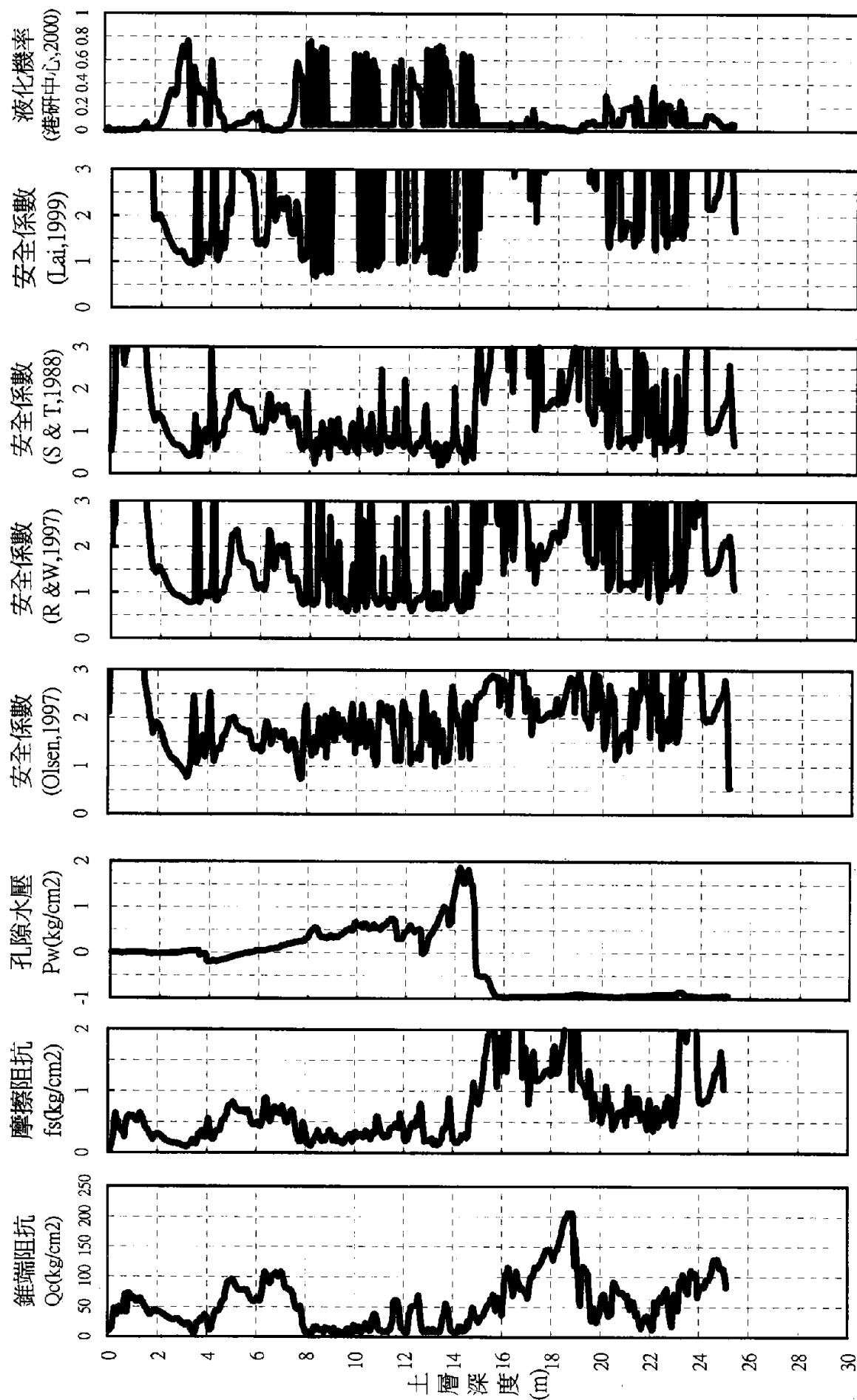
附圖17 布袋港CPT-PDH-03孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.15g)



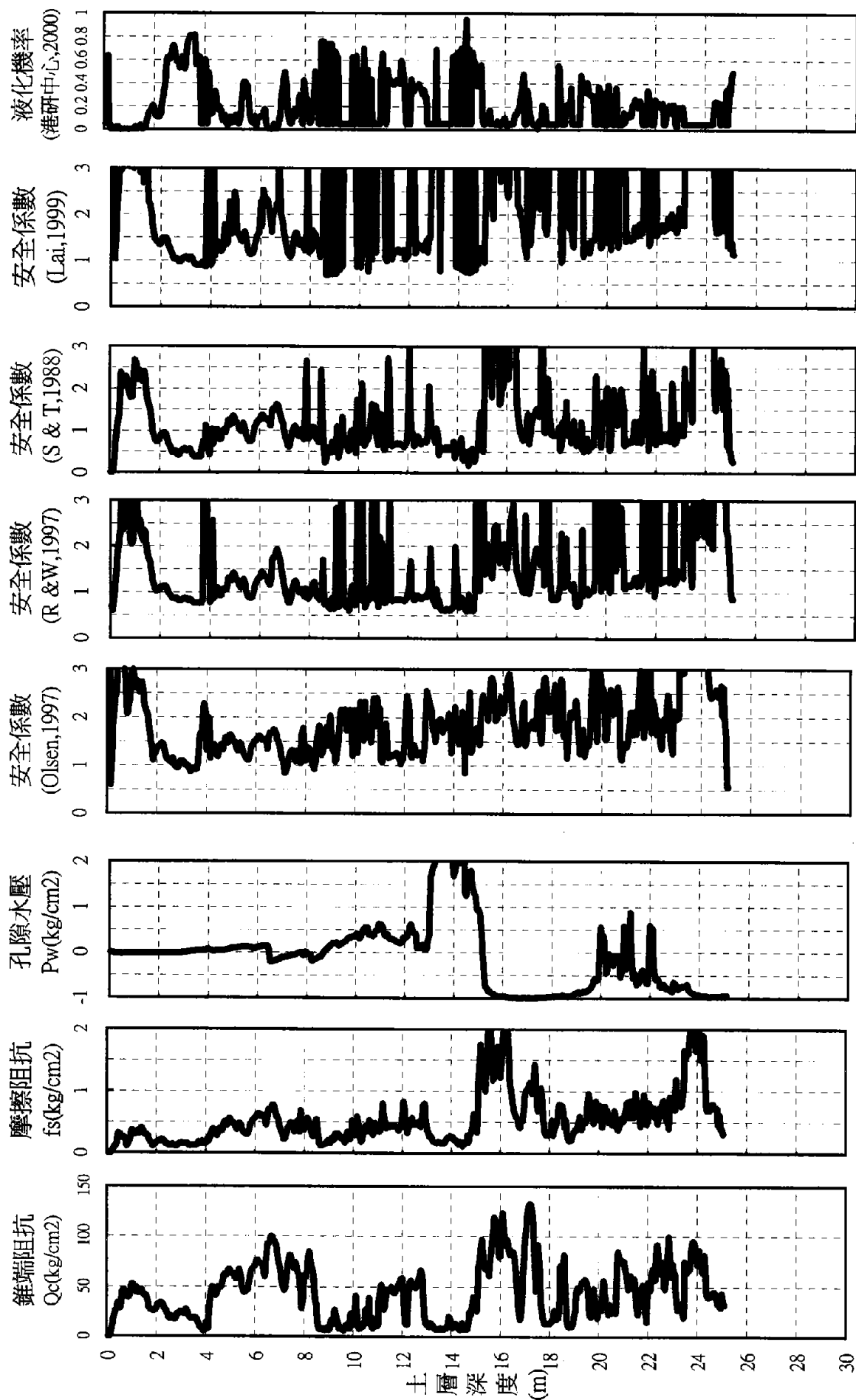
附圖18 布袋港CPT-PDH-04孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)



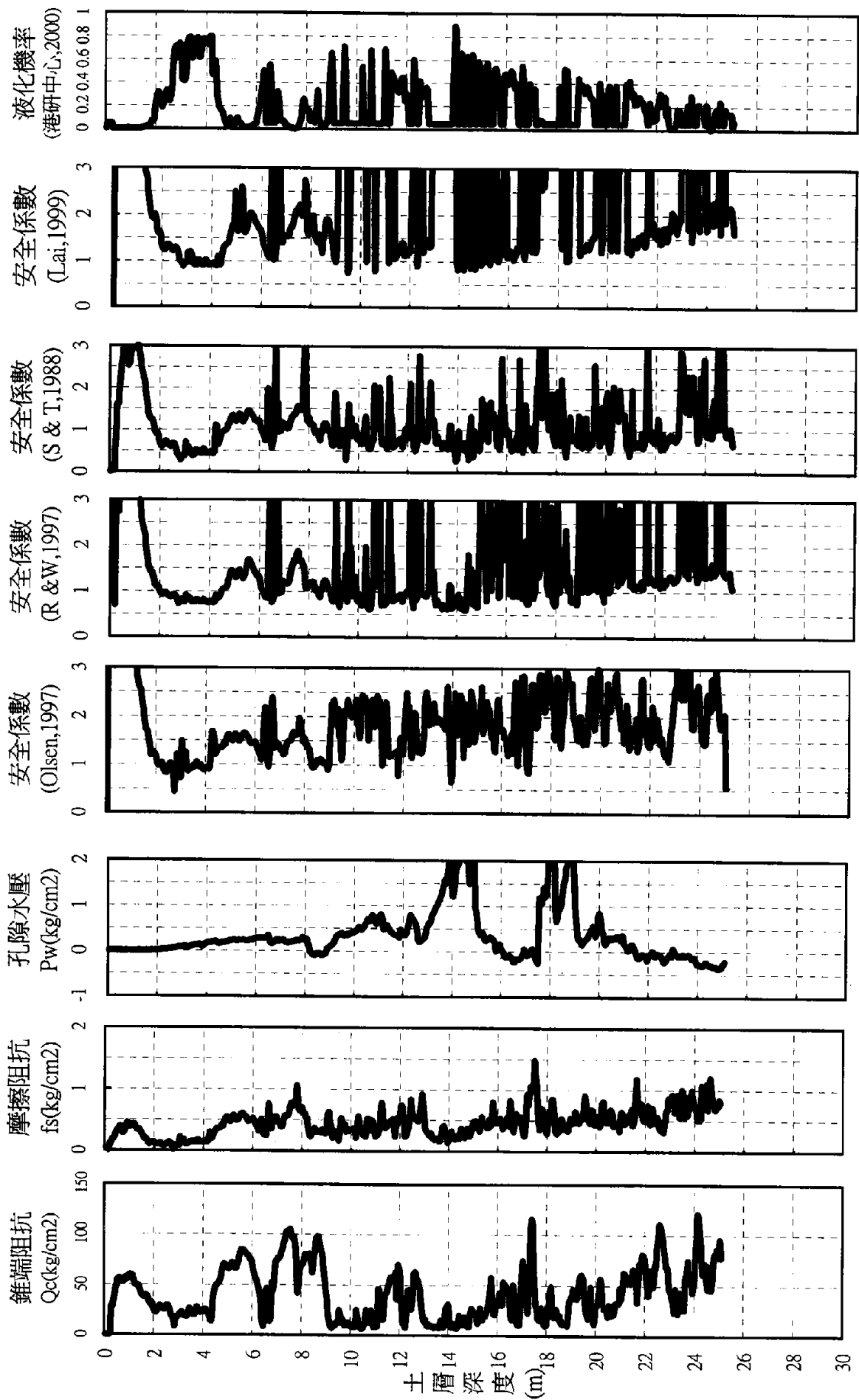
附圖 19 布袋港 CPT-PDH-05 孔液化潛能評估結果 ($M=7.1$, $A_{\max}=0.15g$)



附圖20 布袋港CPT-PDH-06孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.15g)



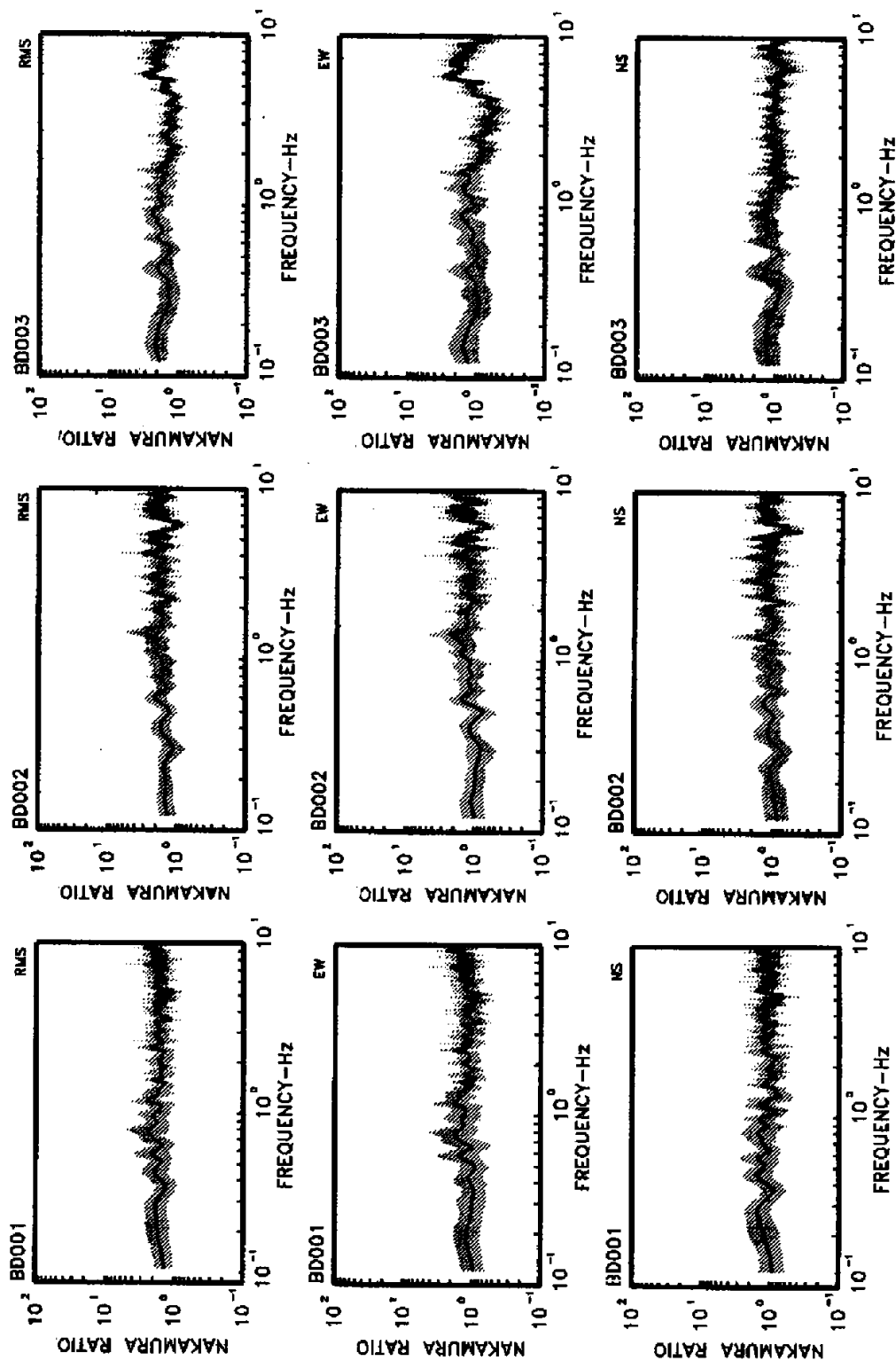
附圖21 布袋港CPT-PDH-07孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.15g)

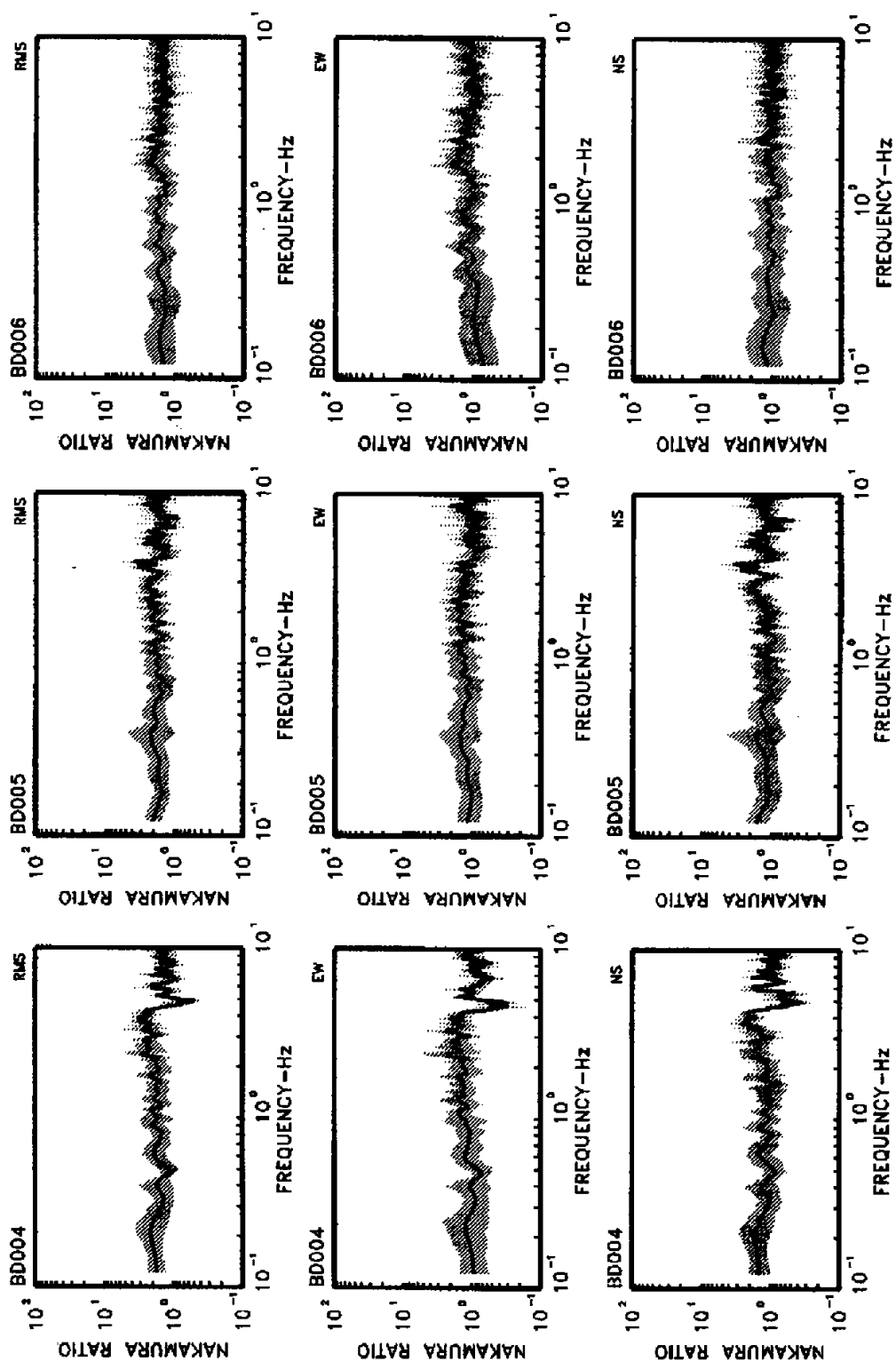


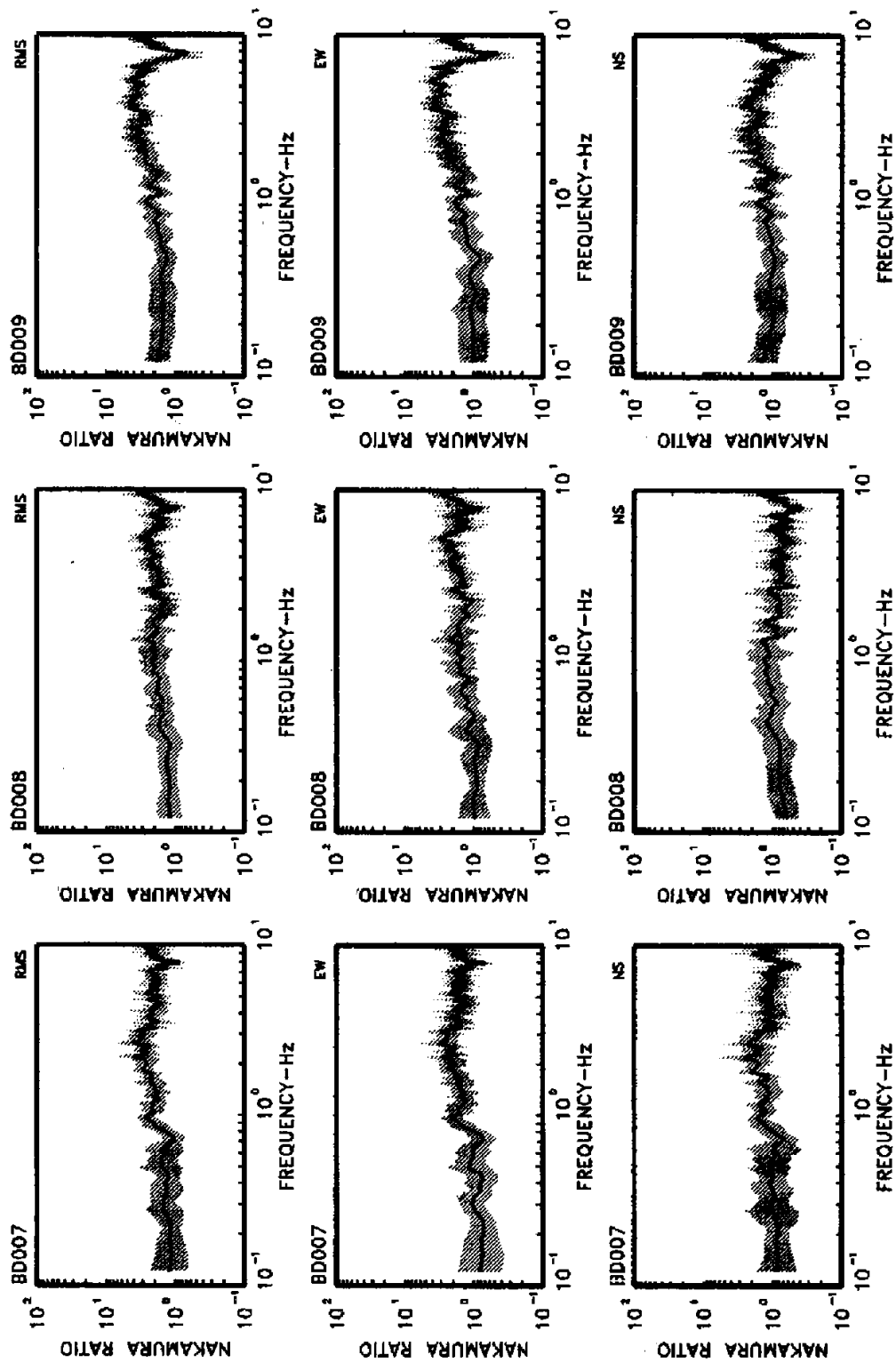
附圖22 布袋港CPT-PDH-08孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)

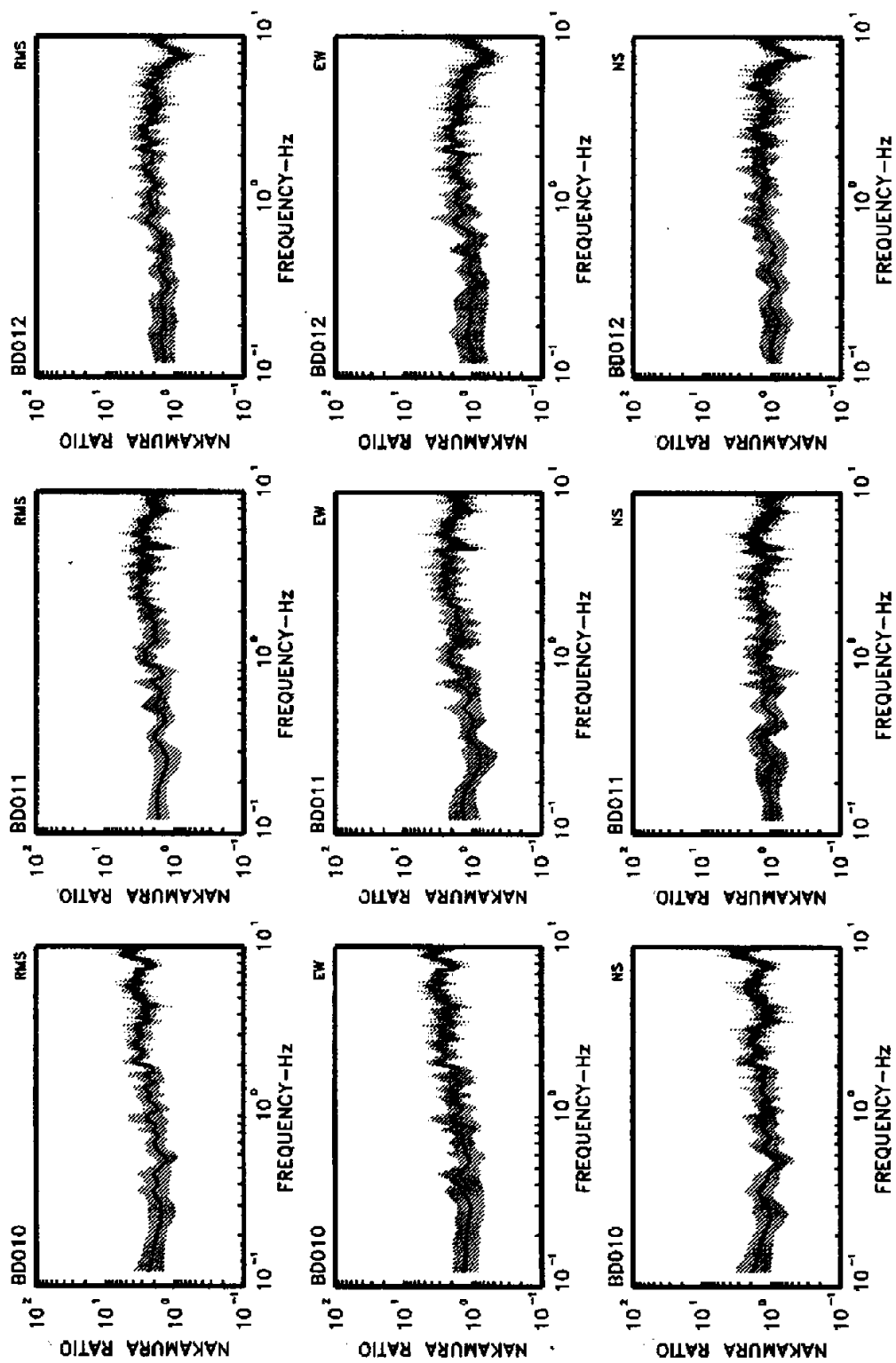
附錄 B

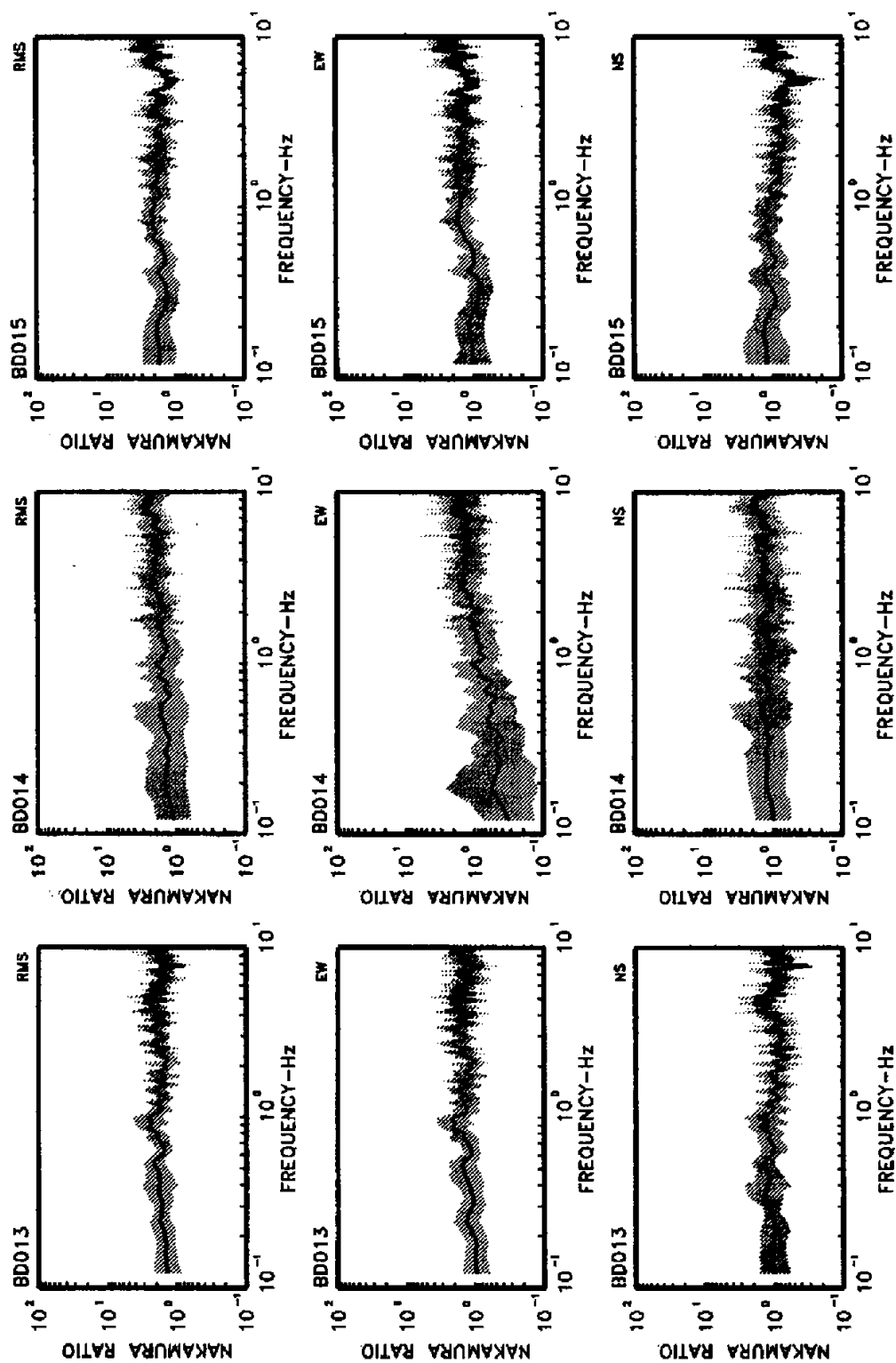
布袋港區微震動量測結果

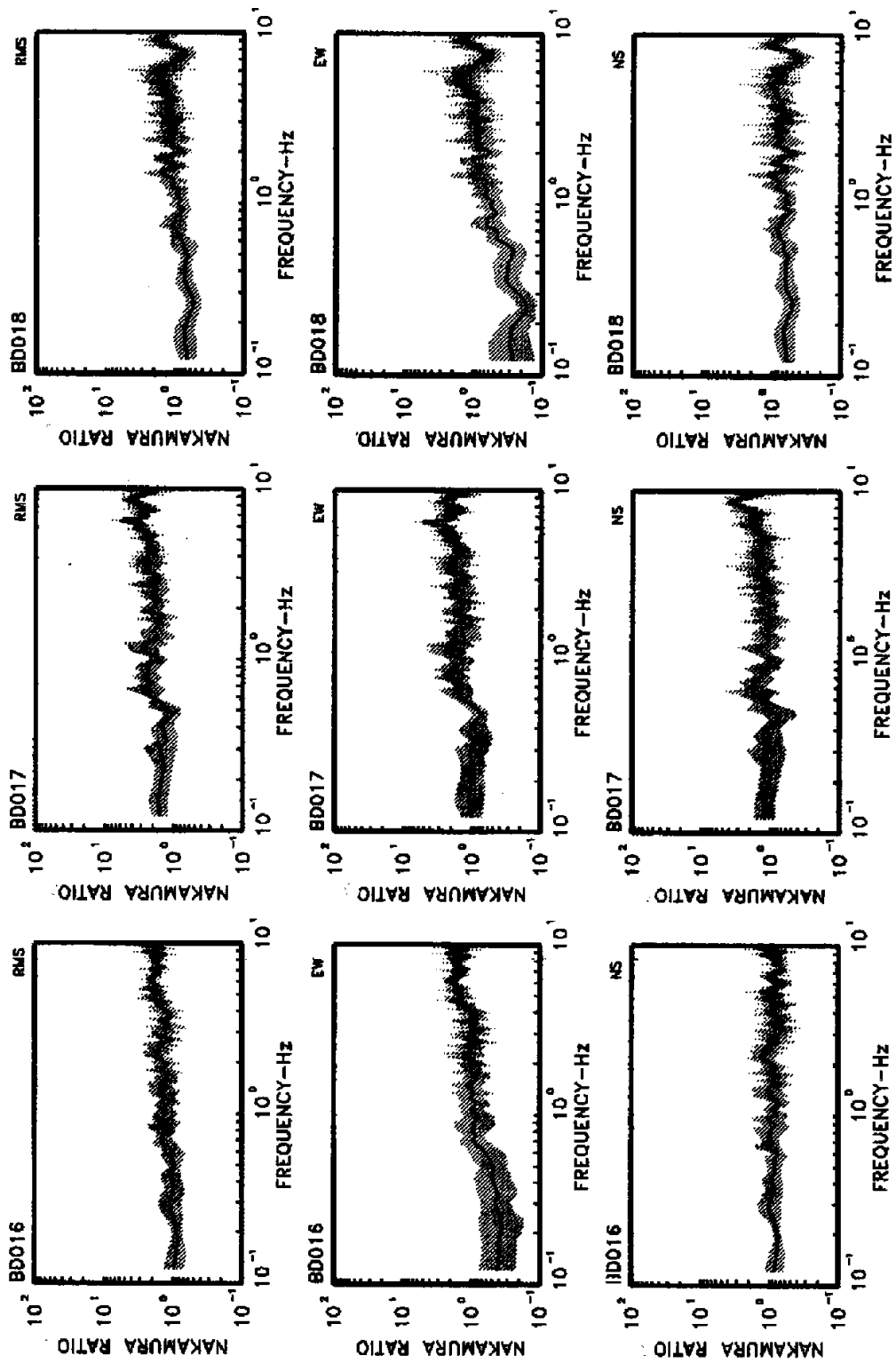


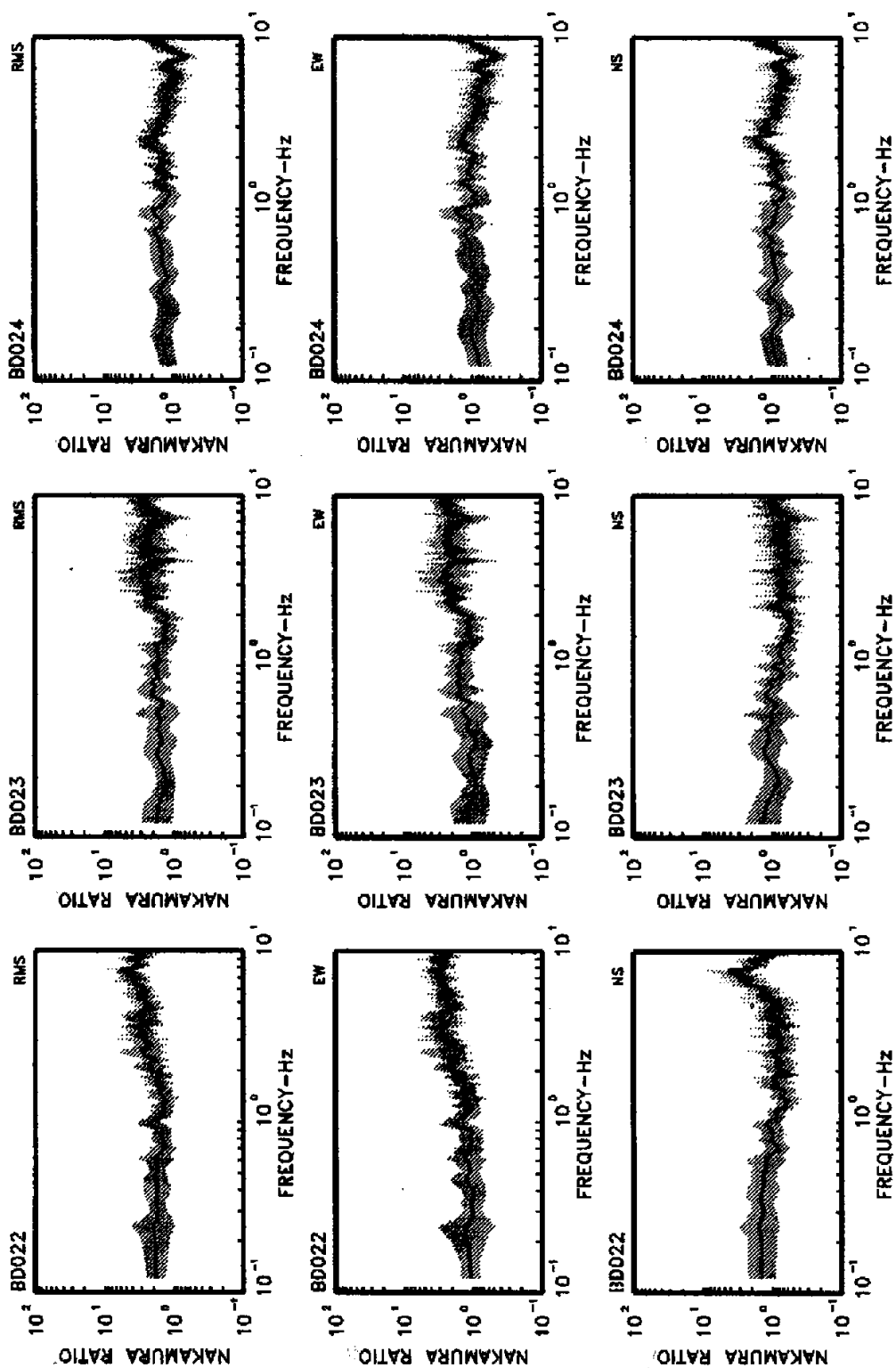


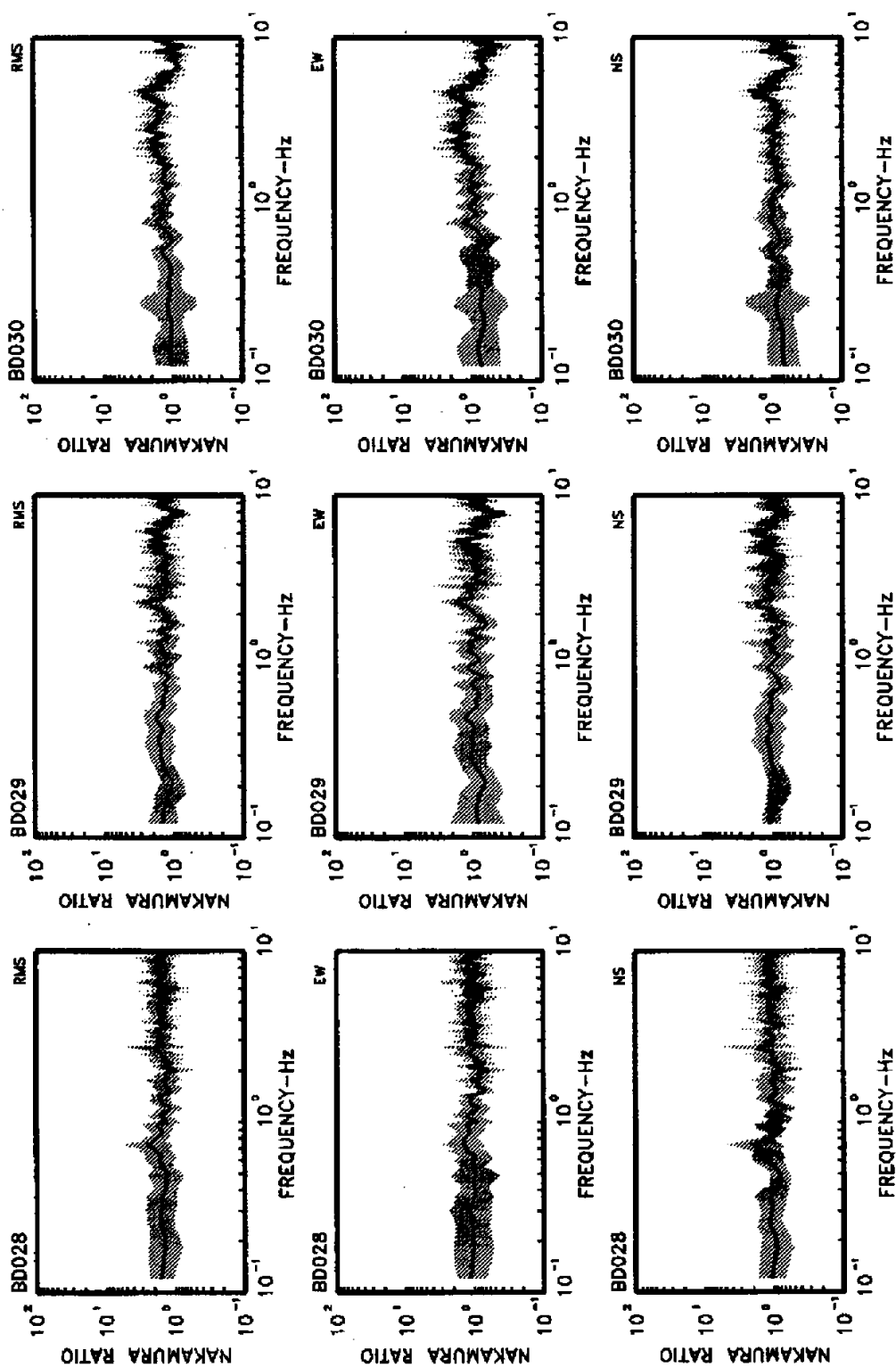


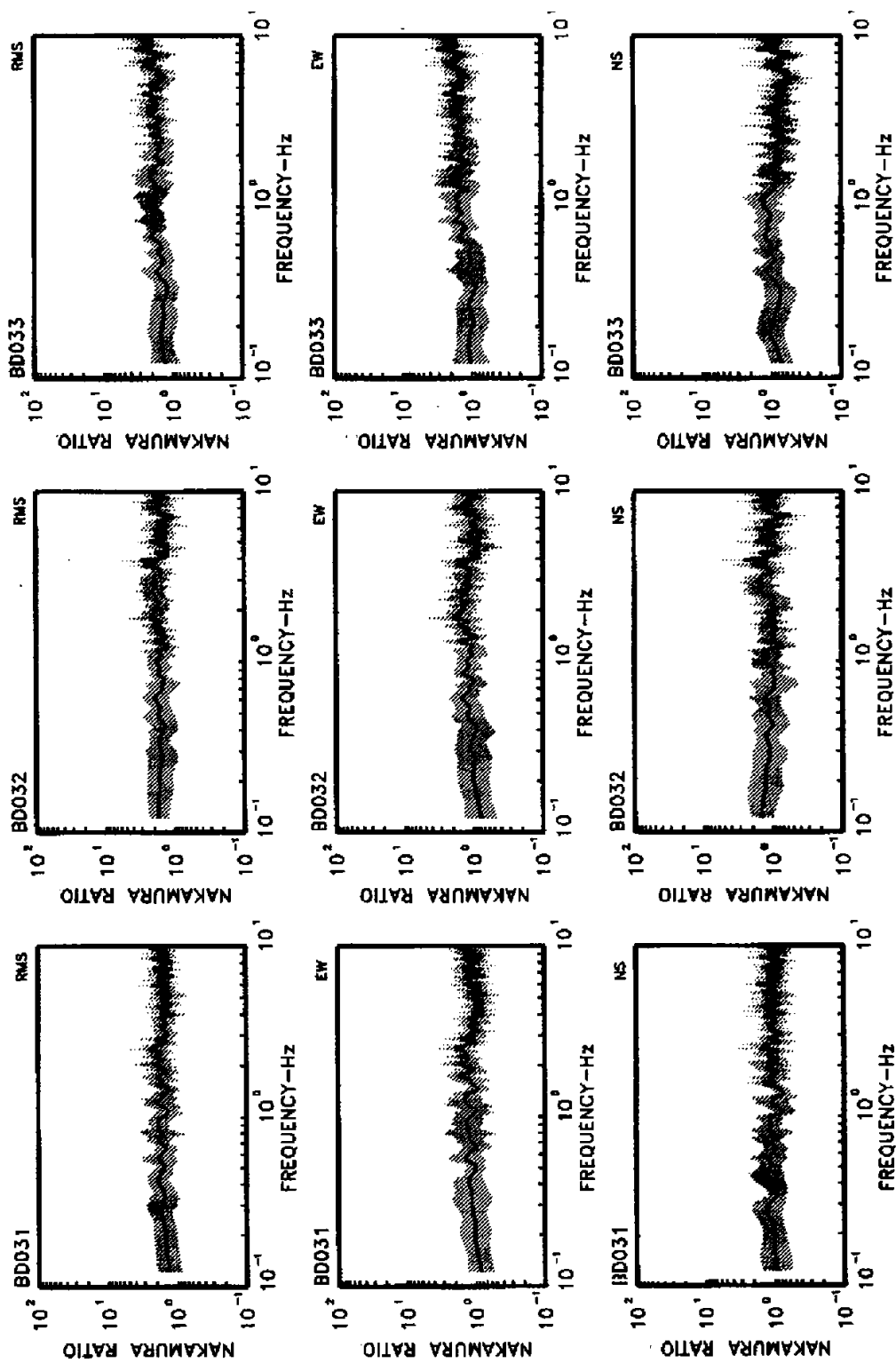


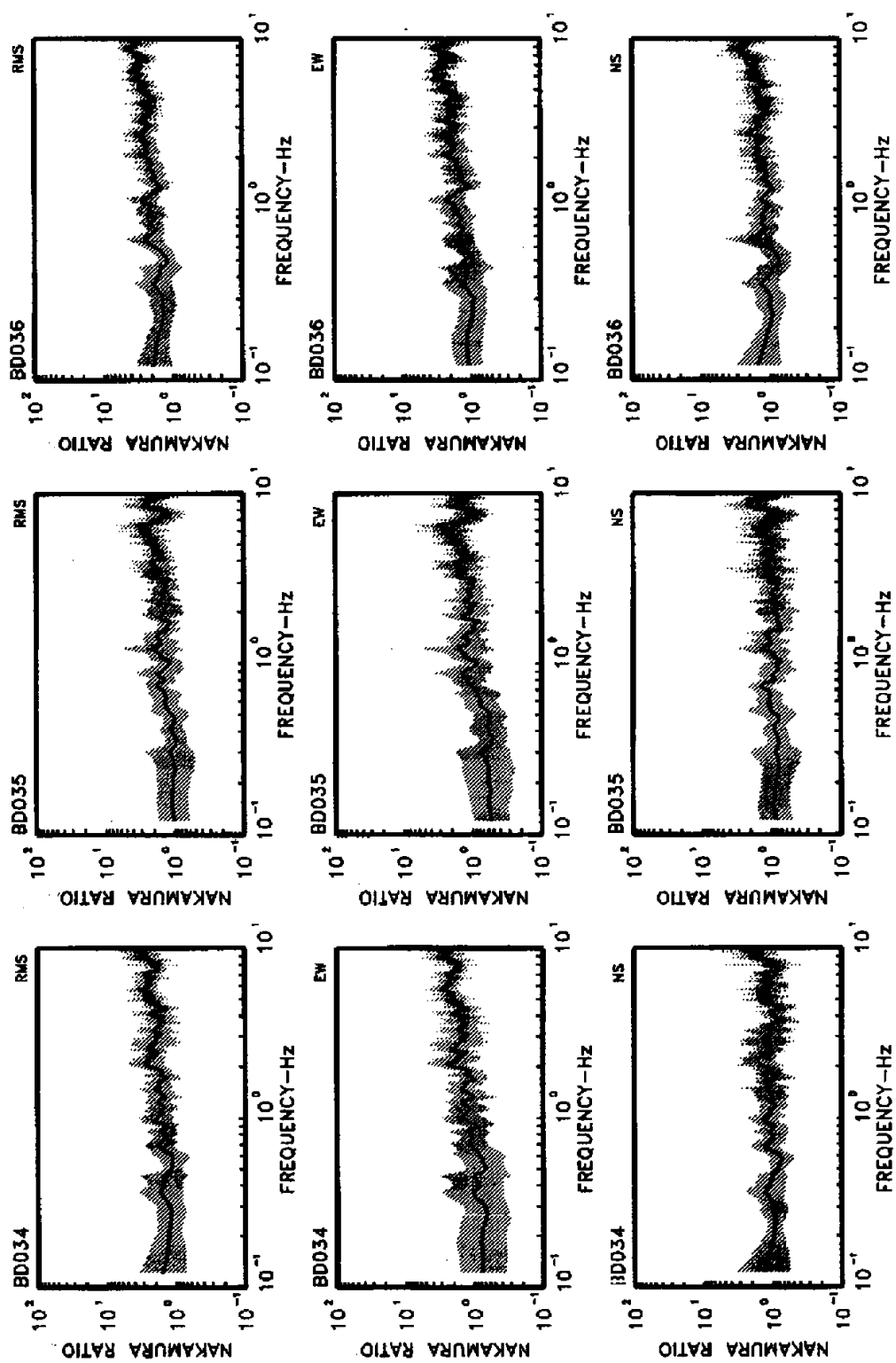


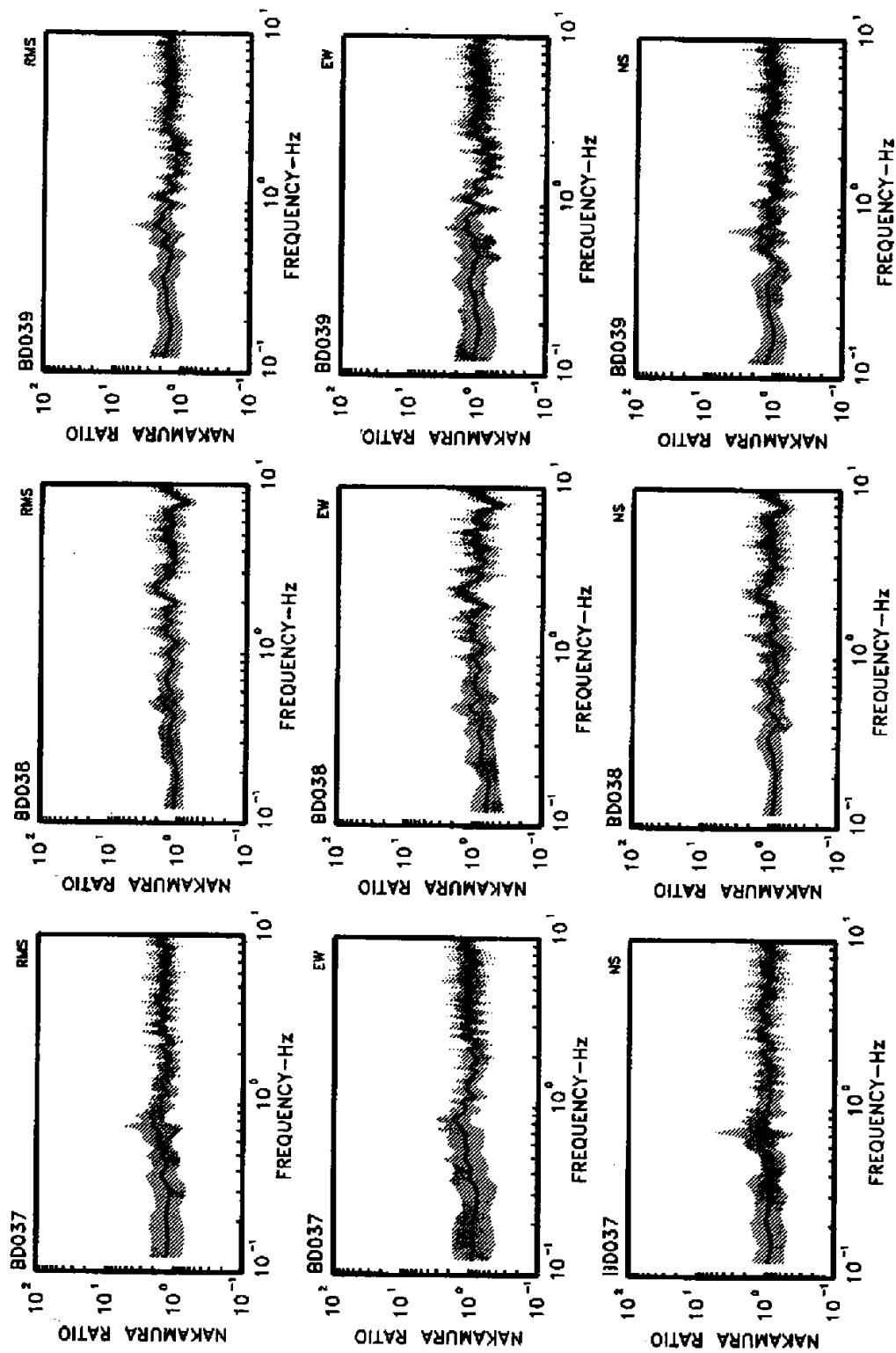


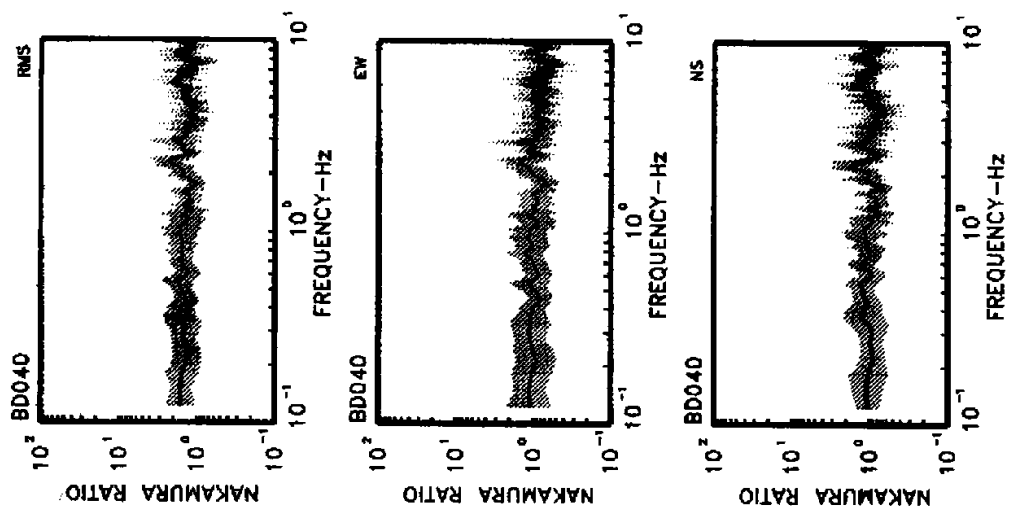












附錄 C

布袋港及附近地區水準檢測成果表

嘉義縣布袋港地層下陷平面水準測量水準點檢測成果表

俗名	點名	概座標		檢測時間及高程 (m)												高程變化量 (cm)												備 註						
		(N)	(E)	75年	76年12月	77年5月	77年10月	78年5月	80年8月	81年8月	82年8月	85年5月	86年5月	87年5月	87年12月	88年12月	89年4月	90年6月	91年6月	92年6月	93年6月	75 ~ 76.12	76.12 ~ 77.05	77.05 ~ 78.05	78.05 ~ 80.08	80.08 ~ 81.08	81.08 ~ 88.12		88.12 ~ 89.04	89.04 ~ 90.06	90.06 ~ 91.06	91.06 ~ 92.06	92.06 ~ 93.07	
HMT14-1	碼頭岸上	2587070.000	160995.000														2.89330	2.81210	2.74754	2.65515	2.57287									-8.12	-6.46	-9.24	-8.23	取代HMT14
HMT15	碼頭岸上	2587073.210	161080.746																2.78907	2.74363	2.67576										-4.54	-6.79		90年點位遺失，重設點位。 93年點位遺失，重設點位 HMT16-1。
HMT16	碼頭岸上	2586883.201	161080.174																															取代HMT16
HMT16-1	碼頭岸上	2586874.000	161077.000																															90年點位遺失，重設點位。
HMT17	碼頭岸上	2586637.268	161079.531																															
HMT18	防坡堤路邊	2586691.427	161267.470																															
HMT19	防坡堤路	2586610.251	161260.288																															
HMT20	防坡堤路	2586464.655	161262.813																															
HMT21	防坡堤路	2586330.449	161128.100																															
HMT22	防坡堤路	2586216.553	161013.586																															
HMT23	防坡堤路	2586217.466	160733.650																															
HMT24	防坡堤路	2586218.231	160401.239																															
HMT25	防坡堤堤路	2586476.553	160402.216																															
HMT26	高防坡堤堤	2586218.583	160269.067																															
HMT27	防坡堤路	2586217.988	160506.587																															
HMT28	防坡堤路	2586687.471	161435.513																															
HMT29	防坡堤	2587327.460	161501.618																															
HMT30	防坡堤路	2586689.928	161859.437																															
HMT31	防坡堤	2587326.222	161963.889																															
HMT32	武聖廟	2586786.630	162296.778																															
HMT33	布袋派出所	2586802.500	162542.617																															
HMT34	魚市場	2586803.432	162839.573																															
HMT34-1	魚市場	2586802.000	162901.000																															
HMT35	上海路	2586713.750	163382.576																															
HMT36	上海路	2586770.555	163761.671																															
HMT37	德泰南路	2586566.866	163253.560																															
HMT38	太平路	2586594.098	163391.798																															
HMT39	太平路	2586629.130	163584.192																															
HMT40	太平路	2586621.756	163833.257																															
HMT41	布袋鎮公所	2586610.007	163989.318																															
HMT42	港區新生地	2586420.571	160665.973																															
HMT42-1	港區新生地	2586420.571	160665.973																															
HMT43	港區新生地	2586426.194	160876.288																															
HMT43-1	港區新生地	2586426.194	160876.288																															
HMT44	義竹厚生橋	2581591.994	172504.848																															
HMT45	鹿耳後寮村	2590220.000	183155.000																															
HMT46	港區新生地	2586842.500	161957.400																															
HMT47	港區新生地	2586883.100	161127.200																															
NO. 19	布袋圍結橋	2589782.200	164938.921																															
NO. 21	布袋新厝里	2588243.317	164800.673																															
NO.21-1	布袋新厝里	2588243.000	164800.000																															
NO. 29	光榮國小	2586782.117	172147.501																															
NO. 42	鹿耳後港村	2589525.000	180995.000																															
SS021	鹿耳後寮村	2590220.000	183155.000																									</						

嘉義縣布袋港地層下陷平面水準測量水準點檢測成果表

[illegible]

附錄 D

期末報告審查意見及處理情形

期末報告審查意見及處理情形

審查單位	審查意見	處理情形
中興大學土木所 林炳森教授	1. P.14-3 Dynamic Compaction 應採用「動力夯實」，壓實砂樁建議採用 Stone Column 石柱法或礫石樁法。 2. P.5-19 圖 5-10 至 P.5-22 圖 5-13 應說明為何有些資料中斷。 3. P.7-21 表 7-1~P.7-33 表 7-21 應說明震央位置。 4. P.12-26 圖 12-12 P 波、S 波 應標示清楚。 5. P.13-16 圖 13-13 資料中斷，應說明。 6. 附錄 PA-2 中 CPT 缺 H1-1 CPT 資料。 7. 地盤下陷應加入東石鄉附近抽水下陷之現象。	動力壓密已經改正為動力夯實。由於礫石樁法震動較大，且施工費較高，因此港灣碼頭區較多採用壓實砂樁法。 中斷現象為儀器故障。 已經於文中改正。 已經於文中改正。 儀器故障 H1-1 CPT 試驗中儀器故障 本文僅探討地下水位變化對地盤下陷之影響，因此未加入東石鄉附近抽水下陷之現象。
中山大學海洋科學院 陳陽益院長	1. 本研究報告呈現實況的自然現象很平實。 2. 地層下陷(尤其近岸近港區之超抽地下水較嚴重)加劇港內之淤積。	謝謝肯定。

成功大學土木工程系 陳景文 教授	1.地層下陷現場觀測分年計畫之各類測站設置，查詢系統之開發、規畫合理、完整、值得肯定。 2.如何証明 400m 深之水準點為永久水準點。 3.港區之地盤改良如何進行？請說明。 4.本區依耐震規範乃列為甲區，為何區內之設施仍將依梅山地震之規模及震度進行規畫及設計。 5.資料查詢系統未來將作如何程度之開放？請說明，未來如有更新，由何單位為負責。	謝謝肯定。 由近五年港區 300m 之分層地層下陷監測資料顯示大部份之沉陷都發生於深度 66m-190m，240m 以下之深度已無沉陷現象，因此 400m 深之水準點為永久水準點。 港區之地盤改良於第十四章結論與建議中有簡要說明。另於港研中心之港區液化防治計畫中有更詳細之探討。 本區為耐震規範甲區，即 0.33g，是以 475 年迴歸期統計而得，若迴歸期為 75 年，其震度約為 0.15g。依功能性設計觀念，港區耐震強化碼頭應以 475 年迴歸期設計，港區一般設施宜參考日本規範以 75 年迴歸期為分析依據。 資料查詢系統將移交高雄港務局使用，監測資料將由港研中心繼續調查，因此資料查詢系統亦將由港研中心分年更新。
-----------------------------	--	--

雲林科技大學營建工程系葛德治教授	1.此五年期計畫包括二個子計畫(地層下陷及漂砂)港研中心已盡力完成原研究目標所規劃之主要工作項目，成果豐碩且完整，值得鼓勵。 2.子計畫一本年期工作：下陷資料建檔及查詢系統之開發已建置完成，共分成四類選單(水準點檢測、下陷量、地質資料、分層觀測資料)，每個可分別拉出次選單從事相關資料之查詢及展示，其中地質資料可輸入地震規模 M 及地表最大加速度 A_{max}，計算該處抗液化安全係數、液化機率及震陷量等非常方便使用。 3.本計畫建置之觀測站及 GIS 查詢系統，建議後續管理維護及資料更新的方法。 4. 400m 永久水準點之通用性宜再檢核，或提供相關佐證。 5.建議之震陷量推估方式，宜使用近四年地震引致之港區水準點所量測者進行比對，以確證其合宜性。 6.地層下陷提出最大之原因為附近地下水之超抽，宜再量化說明之。	謝謝肯定。 謝謝肯定。 資料查詢系統將移交高雄港務局使用，監測資料將由港研中心繼續調查，資料查詢系統亦將由港研中心分年更新。 後續計畫中會繼續檢核。 近五年中布袋港最大之地震為 921 地震，當時布袋港之地表最大加速度僅有 $0.069g$，未達本文分析之液化臨界加速度 $0.1g$，因此未有液化及下陷。因此無法與陷量推估方式比對，以確證其合宜性。 由於地下水之超抽量不易量化，因此本文以港區地下水壓表示其超抽之嚴重性，並於 p3-9 至 p3-11 發展一地下水壓變化預測地層下陷之模擬分析模式。亦於 p5-32 之列出附近水井數量及水井深度供參考。
-------------------------	--	---

中山大學海洋工程系 李賢華教授	1.請修正計畫摘要之計畫名稱(兩個計畫名稱不一致表示,其中如圖目錄內容格式亦均不一致)。 2.舊港區沉陷在近年有增加趨勢,是否為他區(布袋鎮)超抽地下水之影響範圍如何,請補充說明。 3.沉陷情形在地震前後之差異為何?可補充說明。 4.資料系統中,沉陷累積應有時間之一致性。	已經修正計畫摘要之計畫名稱。 由於地下水之超抽量不易量化,其影響範圍亦不易分析,因此本文以港區地下水壓表示其超抽之嚴重性,並於 p3-9 至 p3-11 發展一地下水壓變化預測地層下陷之模擬分析模式。亦於 p5-32 之列出附近水井數量及水井深度供參考。 監測期間並無夠大之地震可以比較地震前後沉陷情形之差異。 單一檢測點以有登錄之數據依年份展繪,而大面積之下陷展繪,則採一致性之年份展繪。
高雄港務局 工務組楊組長	本「布袋港漂沙與地層下陷觀測研究計畫」係本局委由港研中心代為執行之 5 年計畫,並於今(93)年全部結束,執行期間所設置之監測站,建請移交港研中心繼續監測與維護,並逐年更新監測資料以提供相關單位參考。	遵照辦理。
高雄港務局 工處游副處長	研究報告中P.11-9表 11-1 之地表最大加速度(Amax)請加上單位。	已依建議改進。
高雄港務局 工務組張科長	可否煩請港研中心印製布袋港研究計畫五年來之成果摘要本,以供本局參考。	遵照辦理。
高雄港務局 郭總工程司石盾	1.本次期末報告內容充實,值得肯定,因此原則上通過。 2.與會專家學者之審查意見及本局同仁之建議,請運輸研究所港研中心於完稿報告書內補充修訂。 3.同意將布袋港設置之監測站移交給港研中心繼續監測與維護,並逐年更新資料供相關單位參考。 4.港研中心同意印製五年之總成果摘要本供本局參考。	謝謝肯定。 遵照辦理。 遵照辦理。 遵照辦理。

第二子計畫

布袋港漂沙現場監測研究

全 程 計 畫：自 88 年 9 月至 93 年 12 月

本年度計畫：自 93 年 1 月至 93 年 12 月

計畫主持人：張 富 東 副研究員

共同主持人：邱 永 芳 主 任

摘要

藉由本研究有計畫之長期監測，布袋港港口附近海域之底質沉積物，其粒徑分佈與礫岩組成，隨季節變動情況，可以因之獲得彰顯；另配合沿岸流之平面流況調查與海岸地形之測量，當可整體性的探討沿岸漂砂的來源、漂砂運動之動力機制、漂砂優勢方向及漂砂量等問題；本研究計畫於民國八十九年起至民國九十三年止共執行五年，其中因民國九十一年度受限預算未編列因素，平面流況調查及底床粒徑採樣分析等兩項調查暫停實施一年。

平面流況調查經過五年共八次的現場漂浮球軌跡追蹤，其整個布袋港港口附近海域於夏季季節風時期以西南風為主要優勢方向；其平面流況於退潮時應為沿著海岸地形等深線，隨著潮水離岸由東北(NE)向西南(SW)方向或往西(W)退去，平均流速在 0.05m/s 至 0.90m/s 之間；而漲潮時段整個平面流之流向，應是隨著潮水向岸，並依地形由西南(SW)往東北(NE)方向流向外傘頂洲南側及港池附近，平均流速在 0.09m/s 至 0.90m/s 之間；而冬季季節風時期，於退潮時之平面流向，應為沿海岸地形等深線，隨著潮水向南(S)或西南(SW)方向流去，平均流速在 0.05m/s 至 1.56m/s 之間；而漲潮時因東北季風強勁，潮流與強風互逆影響，所以流向較無規律性，平均流速在 0.05m/s 至 1.87m/s 之間；整體而言其季節風時期之平面流況為隨著潮水退潮往西南(SW)之優勢方向離岸而去的趨勢。

港口附近水深測量，歷經五年夏、冬兩種不同季節風時期共十次調查；其結果顯示布袋港港口附近區域(計算面積為 2694750 平方公尺，水深基面-15 公尺)之土方量分析結果，可得到由 89 年 1 月之土方量 228268226 立方公尺至 93 年 9 月的土方量 215956438 立方公尺，五年期間其監測區域內之土方量共計沖蝕有 12311788 立方公尺，平均高差沖蝕了 0.46 公尺之多；究其原因主要是本區海域受冬、夏季節性變化不同與長期潮流沿著海岸漲退影響，底泥隨潮水沿著海岸線向、離岸往復作用，而漂沙則隨退潮時往西南的優勢方向潮水，沿著海岸線離岸而去所致；近年布袋港南面岸線興建好美里海堤及離岸堤產生養灘作用減緩漂沙變化，90 年 11 月以後布袋港南側岸線興建好美里海堤及離岸堤產生養灘作用雖已減緩沖蝕現象，但尚未恢復 89 年時之土方量水準；值得注意的是布袋商港港口與外航道附近水深正值颱風波浪之碎波水深處，每當遇到颱風波浪侵襲時，將引起該區域急劇的漂沙活動，使得底床沙粒達到全面啟動狀態，並急遽的往港

池、內航道與碼頭等區域聚集，致使布袋商港港區內因此常淤積大量淤沙，嚴重影響航船安全。

底床粒徑採樣調查五年共八次分析結果，依 ASTM 分類標準定義，其粒徑分類皆介於細沙至淤泥之間，但因區域不同粒徑特性稍有所差異。由各次採樣調查底床平均粒徑(d_m)與均勻係數(cu)平面分佈特性指標窺知，粗粒徑沉積物皆分佈於海岸之灘線與防波堤附近，而愈往外灘延伸或航道水深較深處則粒徑愈細；究其原因應為波浪之篩分 (sorting) 作用所致，而越往外灘延伸至水深-10 公尺處其平均粒徑(d_m)、均勻係數(cu)皆較小，蓋因為外灘海域水深較深，沙粒起動條件不足，有足夠時間形成較為安定的粒徑分佈；而由平均粒徑(d_m)平面分佈可知，粒徑分佈大致與海域地形等深線是一致的。

另為了瞭解漂沙的來源及走向，觀察以上游外傘頂洲南岸(樣本 36)與下游八掌溪河口處(樣本 37)兩處採樣取得之礦岩重量百分比分佈值，發現兩處樣本與布袋港港口附近取得之 35 組樣本礦岩組成成份差異性不大，所以判定其漂沙移動方向應屬隨季節性變遷之南、北向波流交替作用，而平行海岸線移動之沿岸漂沙(littoral sand drift)。而礦物調查共八次分析結果，採樣取得之石英及板岩兩大具代表性之礦物重量百分比平面分佈顯示，其石英含量介於 23.80%和 83.79%之間，板岩含量介於 10.10%和 68.80%之間，兩者合計約佔全部底質沉積物 97.02%以上；其他礦物(如長石、方解石、燧石、砂岩、貝類等)均屬微量(平均小於 3%)；由此可知，布袋港港口附近海域因受冬、夏季季節性長期之南、北優勢方向的流況作用，且經漲、退潮時之潮流南、北交替變化影響，其附近海底底床礦物成份已混合成為均勻比例之分佈情況。而其平面分佈呈現互有消長情況，其原因則為石英與同一時段之粗粒徑平面分佈等值線相似；而板岩則與細粒徑平面分佈等值線較為相近；研判原因可能是受波浪篩分(sorting)作用，使得比重較輕之石英(比重 2.65)易被沖往灘線附近滯留，而板岩等礦物(比重大於 2.80)則因比重稍重於石英，較易沉澱於水深較深及波浪作用不到之處；且觀其底床礦物分佈之等值線與地形等深線的走向趨勢相近似，皆為東北往西南方向漸變，故其底床礦物分布應與水深變化有關。而其他礦岩成分則因含量比例皆較為稀少，無法依其重量百分比來判定與漂沙來源間的關係。

綜觀本研究五年調查所得的結果可獲得以下之心得：整個布袋港附近海域受外傘頂洲繫陸沙洲變遷效應影響，每遇颱風侵襲時，滯留於外傘頂洲南端之漂沙將隨著颱風流場大量湧入布袋港區，造成港口、航道及西北碼頭附近皆有大量漂沙淤積現象，因此建議港區防波

堤擴建工程能夠及早延伸至碎波水深之外，藉以維護航船安全。

另於東北季風時期，該區海域除受優勢向南的波流作用外，外傘頂洲陸域之風沙亦受風吹入海域，為該區漂沙的主要來源之一，因此建議貴局應儘速進行外傘頂洲的陸域風沙調查，藉以瞭解風沙南移數量，以及其對布袋港整體漂沙之影響情況；並且於布袋港海域設置長期性之固定風、浪、流觀測站，藉以即時觀察與長期蒐集整個海域的海象變化，以補季節性調查上常發生的資料不足現象。

目錄

第一章	前言.....	1-1
第二章	自然條件資料.....	2-1
	2.1 地理環境及現況.....	2-1
	2.2 風速風向.....	2-2
	2.2.1 冬春季季節風.....	2-2
	2.2.2 夏季季節風.....	2-2
	2.3 颱風.....	2-2
	2.4 波浪.....	2-3
	2.4.1 季風波浪.....	2-3
	2.4.2 颱風波浪.....	2-3
	2.5 海流.....	2-4
	2.6 潮汐.....	2-4
	2.7 海底底質.....	2-4
	2.8 河川輸砂.....	2-5
	2.9 海岸變遷.....	2-5
第三章	平面流況調查.....	3-1
	3.1 調查範圍.....	3-1
	3.2 調查系統架構及方法.....	3-3
	3.2.1 調查系統架構.....	3-3
	3.2.2 調查方法.....	3-5
	3.3 調查結果與分析.....	3-7
	3.3.1 夏季季節風之平面流況.....	3-7
	3.3.1.1 夏季季節風之退潮平面流況..	3-7
	3.3.1.2 夏季季節風之漲潮平面流況..	3-11
	3.3.2 冬季季節風之平面流況.....	3-15
	3.3.2.1 冬季季節風之退潮平面流況..	3-15
	3.3.2.2 冬季季節風之漲潮平面流況..	3-19
第四章	港口附近水深測量.....	4-1
	4.1 調查範圍.....	4-1
	4.2 調查儀器與方法.....	4-2
	4.2.1 使用儀器.....	4-2
	4.2.2 調查方法.....	4-3
	4.3 調查結果與分析.....	4-7
	4.3.1 水深測量之結果.....	4-8
	4.3.2 分析與比較.....	4-15
第五章	底床粒徑採樣分析.....	5-1

5.1 調查範圍.....	5-1
5.2 調查步驟與方法.....	5-1
5.2.1 主要儀器設備.....	5-3
5.2.2 作業流程及分析方法.....	5-4
5.3 樣本分析與結果.....	5-8
5.3.1 粒徑分析.....	5-8
5.3.2 礦岩分析.....	5-28
第六章 結論與討論.....	6-1
參考文獻.....	7-1

第一章 前言

布袋港港址位於台灣西南海岸之嘉義縣境內，西臨臺灣海峽，北及西北有統汕洲、箔子寮與外傘頂洲等沙洲形成天然屏障；其地理位置圖如圖 1-1 所示。近年布袋港受外傘頂等沙洲逐漸消失以及鄰近濱海工業區之急速開發影響，其鄰近海域之漂砂活動變化趨於劇烈，而此現象的發生可能使得布袋港之碼頭及航道等區域產生漂沙的淤塞或侵蝕情況，進而影響航船及港埠作業之效率與安全。有鑑於此，為了能進一步瞭解布袋港港區附近之漂砂活動情況及其對布袋港未來之開發與擴建可能造成的影響程度，本計畫乃於布袋港港口附近海域進行長期的漂砂監測，希望藉由長期漂砂監測的實施，取得漂砂活動的基本數據，如此將可藉由此實測數據資料來分析與研判該區海域之地形變化與漂砂特性；而本漂砂監測計畫所得出之結果，將可適時與正確的提供港務局於規劃設計上有力的參考數據。

基於上述，交通部高雄港務局(以下簡稱貴局)遂委託交通部運輸研究所(以下簡稱本所)對布袋港港口附近海域以半年為一期，分年來辦理必要的漂砂活動基本資料調查，本研究預計實施五年，而其主要工作內容共分三個主要項目(一)平面流況調查(二)港口附近水深測量(三)底床粒徑採樣分析。

而本文為本研究計劃執行第五年之成果報告，除了本章對整體研究之緣起與目的作一簡單的闡述外，文中第二章則對布袋港附近海域的現狀與自然條件作一基本的蒐集與描述；而第三章、第四章與第五章則分別依據本研究之主要工作內容及項目就其調查範圍、使用儀器、執行步驟與分析所得之結果等逐項敘述之；第六章則對於五年來本研究所獲得之調查成果，作一綜合性的論述與探討。

最後，吾人期望在整個布袋港的開發進程中，能藉由本研究之長期調查成果能進一步描繪出布袋港港口附近海域之漂砂活動情況，以作為下一階段港口擴建與規劃設計時之有力依據，更希望這些資料可以作為日後布袋港附近海域從事相關性調查研究時的最佳參考數據。



圖 1-1 布袋港地理位置圖

第二章 自然條件資料

布袋港鄰近地區之自然條件資料蒐集與分析可摘要如下：

2.1 地理環境及現況

本地區海岸線向陸地凹入形成灣澳灘地，其外灘淺水區多被用於牡蠣養殖，近年由於養殖技術增進，養殖範圍迅速向深水區擴展，已成為當地居民重要收入之一。本地區內灘地中央部份的較高灘地已開發完成第一期 66 公頃及第二期 60 公頃之海埔新生地，海埔地與市區間保留 100 公尺寬水道，而以過水橋橋寬 15 公尺四線道聯繫兩地交通，港區內則於東堤北側闢有深水碼頭 250 公尺，供與澎湖鎖港通航之定期航線使用。而現有航道水深濶深-6~-9 公尺之間，而接續海埔地北堤亦已延建北防波堤 2253 公尺，以作為港區屏障；其港址現況如圖 2-1 所示。



圖 2-1 布袋港港址現況

2.2 風速風向

本區海岸同於臺灣西海岸一般地區，具多風之氣象特性，冬春兩季季風期強風歷時甚久，夏秋季風期則僅於颱風或熱帶性氣壓形成時發生強風，平時風力較弱。

2.2.1 冬春季季節風

每年 10 月至翌年 3 月為冬季季節風，其風向以 NNE 及 NE 為主，瞬間風速可達 29m/sec，普通風速多介於 11.0~17.5m/sec 之間，以吹風延時而言，五級強風(8.0/sec)以上強風，歷時年平均 486 小時。

2.2.2 夏季季節風

夏季季節風以 NNE 或 SSW 風向為主，期間為每年 4 月至 9 月，其風速在 5.0~10.0m/sec 佔多數，吹風延時平均約 20 小時。

2.3 颱風

根據自 1897~1997 年侵台颱風路徑統計如圖 2-2 所示，對於本區較具威脅之颱風路徑計有第二、第三、第五類等，以通過台灣南部及沿台灣海峽北上者為最。由於本區位中央山脈以西，故多數第二類、第三類颱風到達該區海岸時，風速已較發生時減弱，資料顯示，該三種路徑 100 年統計發生 176 次之多，年平均發生 1.76 次，佔侵台颱風次數之 50.3%。

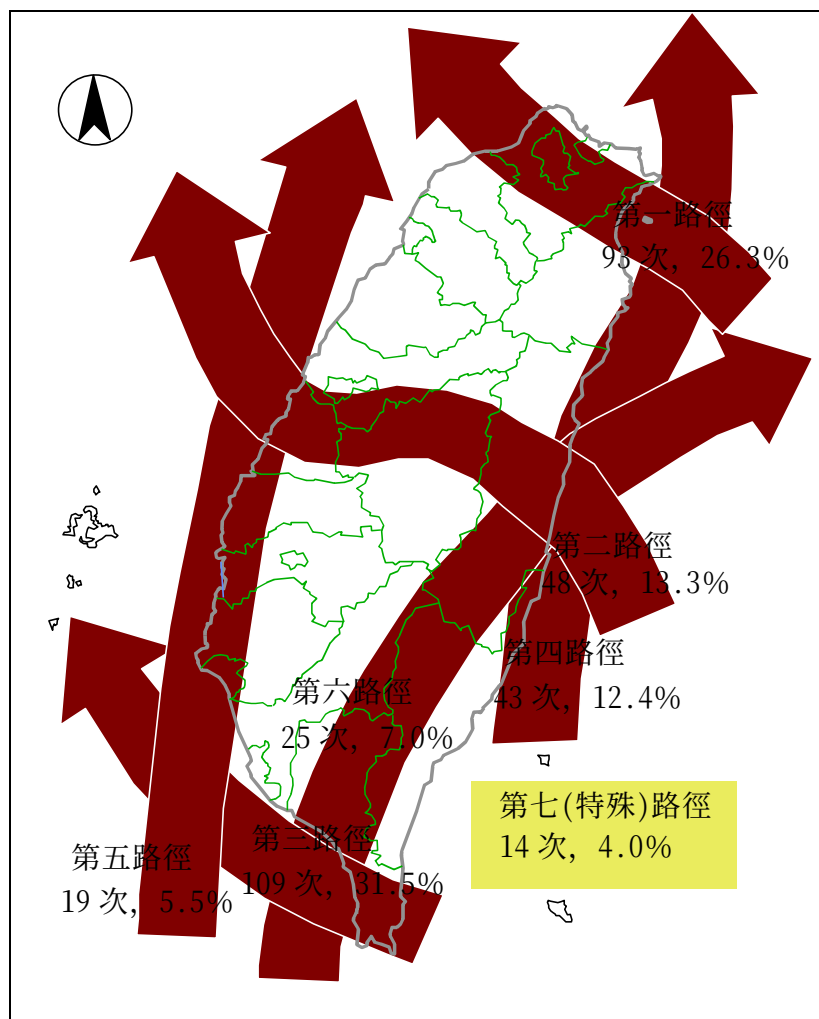


圖 2-2 1897~1997 年侵台颱風路徑統計

2.4 波浪

2.4.1 季風波浪

本區域因受外傘頂洲之遮蔽作用，冬季時波高集中分佈於 0.5 公尺至 1.5 公尺間約佔 74.6%，週期集中佈於 4 秒至 7 秒間佔 88.5%。夏季波高偏小，0.5 公尺以下佔 70.2%，1 公尺以下概率高達 94.7%，週期則分散於 3 秒至 7 秒間，佔 76.5%。

2.4.2 颱風波浪

選定 63 個(1940~1990)對本區影響較大之颱風進行颱風波浪推算。因受澎湖群島及外傘頂洲遮蔽效果，布袋港以西至南向間深海波浪較具威脅，設計 50 年颱風波浪如附表 2-1 所示：

表 2-1 布袋港設計 50 年颱風波浪統計表

波向	$H_{1/3}$ (M)	$T_{1/3}$ (SEC)
W	4.0	8.6
WSW	4.9	9.1
SW	5.4	9.4
SSW	6.1	10.5
S	6.2	12.7

(資料來源：嘉義縣政府)

2.5 海流

交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究報告：

1. 「台灣四周海象、氣象調查研究(四)」，民國 78 年
 - (1)由海流實測資料顯示，冬春季風下，當風速小時，海流主要由長週期海流及潮流組合而成。
 - (2)潮流以下日週期為主，振幅約 40 公分/秒。
 - (3)長週期海流主要流向為北北西，流速約 7.31 公分/秒。
2. 「台灣西部海岸沖淤調查研究」，民國 80 年
 - (1)本海域底部流向，夏季漲潮為 N-NE 向，退潮時為 S-SW 向。冬季漲潮為 NNE-NE 向，退潮時為 WSW-SW 向。
 - (2)水下 2 公尺浮標追蹤調查顯示，夏季時大潮及小潮之最大流速分別為 126.88cm/sec 及 104.75cm/sec，方向大致為 NNE 方向，冬季時發生最大流速之流向均在 NNE-NE 之間，最大流速值約 102.8cm/sec。

2.6 潮汐

本地區海岸潮汐為正規日雙潮，平均週期 12.4 小時，最高潮位發生於春季朔望日左右，潮位為+2.00 公尺；而平均高潮位為+1.07 公尺，最低潮位發生於夏季朔望日，潮位為-1.136 公尺，平均低潮位約-0.42 公尺，最大潮差 2.42 公尺，暴潮位定為+2.9 公尺。

2.7 海底底質

交通部運輸研究所之「台灣海峽外傘頂洲灣內波能量分析與漂砂量之研究」計畫中為了解外傘洲附近漂砂及海床底質特性，曾於外傘頂洲砂嘴及布袋港海域採取砂樣做分析，其中布袋海域之取水樣水深

介於-2.3m~-5.2m 之間，分析結果顯示布袋海域之平均中值粒徑為0.12mm。

2.8 河川輸砂

本區主要的河川為北港溪、朴子溪及八掌溪，各河川之年輸砂量如附表 2-2 所示；其中以八掌溪的年輸砂量最大，其值約為 316 萬噸/年，其次為北港溪的 235 萬噸/年，年輸砂量最小的為朴子溪之 83 萬噸/年。

表 2-2 布袋商港附近各河川年輸砂量統計表

流域名稱	年逕流量 (百萬立方公尺)	年總輸砂量 (百萬公噸)	單位面積輸砂量 (公噸/平方公里)
北港溪	1023.70	2.35	3642
朴子溪	551.49	0.83	1946
八掌溪	744.73	3.16	6656

(資料來源:台灣水文年報(85)，經濟部水資源統一規劃委員會，(87/2))

2.9 海岸變遷

雲嘉地區海域岸線於 1900 年原存在一向西延伸 3~5 公里之海豐島。往南至三條崙，外傘頂洲於此向南南西方向延伸出海，沙洲末端則位於今鰲鼓西方約 9 公里處。1900 至 1947 年間，海豐沙洲北側灘線侵蝕約 1 公里，沙洲末端則向西南延伸約 5 公里，與陸側之間則形成一內海潟湖。1912 年實施濁水溪整治計畫後，於 1947 至 1962 年間，海豐島及外傘頂洲均出現劇烈變化。濁水溪以南至新虎尾溪間海豐島之北側灘線向外淤積約 1~1.5 公里，新虎尾溪至台西間灘線侵蝕約 1~1.2 公里，海豐島末端則向南延伸 5 公里。外傘頂洲則南移至箔子寮附近，南移距離達 5 公里，延伸方向已由南南西轉為西南方向出海。1947 至 1962 年間，外傘頂洲外側 (西北側) 灘線則向陸側 (東南向) 侵蝕 2.5~3 公里，平均每年後退約 180 公尺，海岸線已由外突圓弧狀變為內凹彎曲狀；外傘頂洲末端則向西延伸 2.5 公里，其雲嘉地區海岸變遷如圖 2-3 所示。，而於 1962 至 1980 年間，濁水溪口至新虎尾溪間海岸變化不大，海豐島則整體往南移動約 5 公里，逐漸萎縮貼近三條崙海岸。外傘頂洲外側 (西北側) 灘線則持續向陸側 (東南向) 侵蝕 0.8~1.2 公里，平均每年後退約 58 公尺。根據水利署 (1990) 之分析顯示，1920 至 1979 年間外傘頂洲灘地面積減少 6300 公頃，每年平均約 100 萬立方公尺的土方流失。1973 年以後雲林海埔地陸續開

發，如離島工業區台西區 (1973~1975)、新興區 (1984~1987) 及麥寮區 (1991~1997) 等，亦阻擋濁水溪南向之輸沙，助長外傘頂洲往陸側侵蝕萎縮。

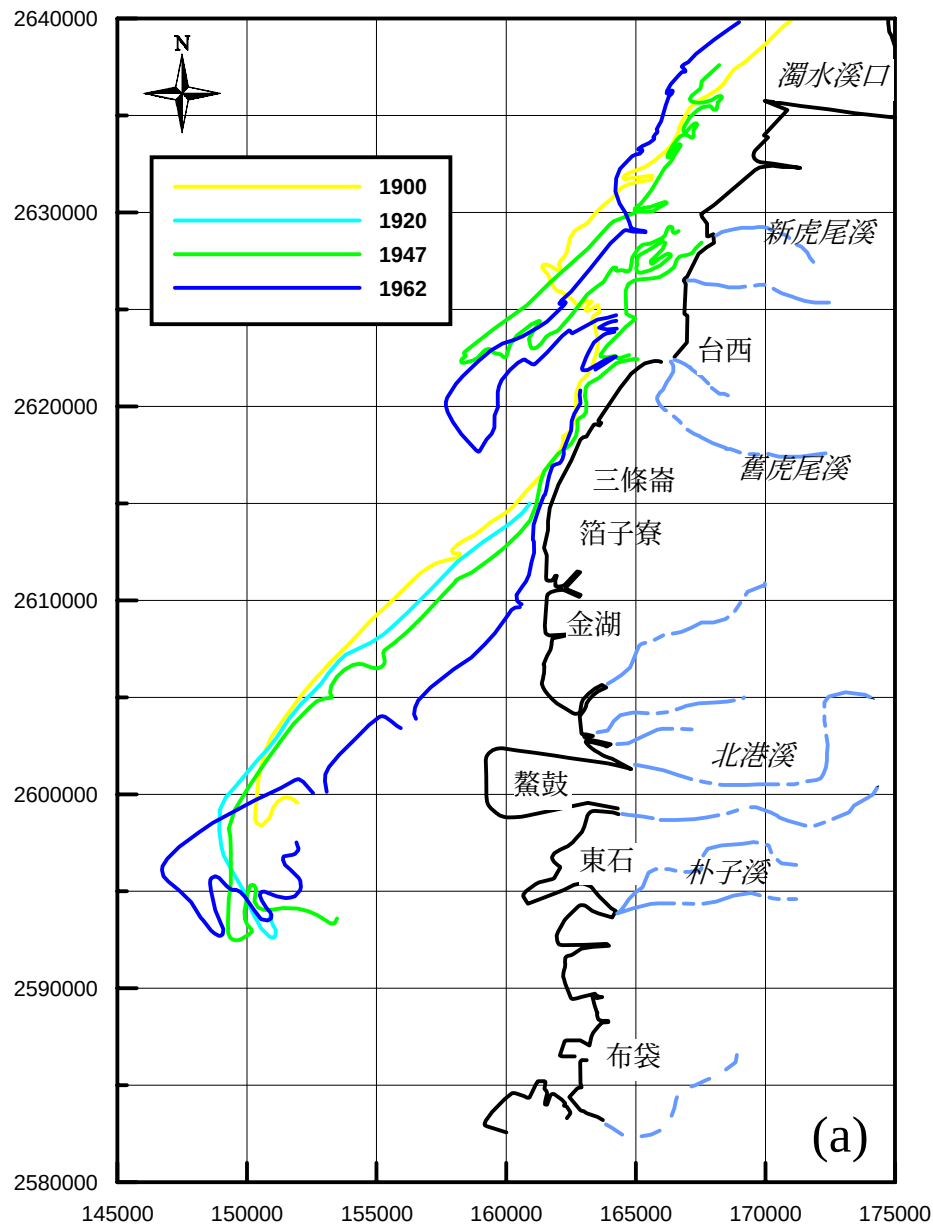


圖 2-3 雲嘉地區海岸變遷

第三章 平面流況調查

平面流況為漂砂移動的動力影響因素之一，因此由平面流況調查可以用來初步判別特定海域之漂砂走向及其來源，本章即為本計畫對於布袋港港口附近及其鄰近海域所作之平面流況所作的調查研究；以下各節則分別針對本調查之調查範圍、調查系統架構及方法、調查結果與分析等項作一簡介與描述。

3.1 調查範圍

本計畫之平面流況調查主要選擇冬、夏兩季各量測一次，希望藉由本調查觀察出布袋港港口附近海域受季節性變化影響時，其於漲、退潮期間之平面流況變化，進而推估漂沙受季節變化影響可能產生之走向；本計畫平面流況調查五年以來除九十一年度因預算未編列以外共實施八次調查，合計獲得冬季季節風四次，夏季季節風四次的量測數據資料；八十九年度第一次調查於 89 年 1 月 1 日至 1 月 2 日之間實施，第二次調查工作則於 89 年 6 月 23 日至 6 月 24 日之間施測完成；而九十年度第一次平面流況調查於 90 年 6 月 18 日至 6 月 19 日之間實施，第二次平面流況調查工作則於 90 年 10 月 25 日至 10 月 26 日之間施測完成；而九十二年度第一次平面流況調查於 92 年 6 月 5 日至 6 月 6 日實施，另於 92 年 6 月 25 日補測一次完成，第二次則於 92 年 11 月 19 日至 11 月 20 日實施；而本年度第一次平面流況調查於 93 年 4 月 5 日至 4 月 7 日實施，第二次調查則於 93 年 09 月 15 日至 09 月 17 日實施。而其調查範圍皆以布袋港港口南、北方距離三公里處之海域及布袋港口與港內水域為主要施測區域，其平面流況調查施測範圍如圖 3-1 所示。

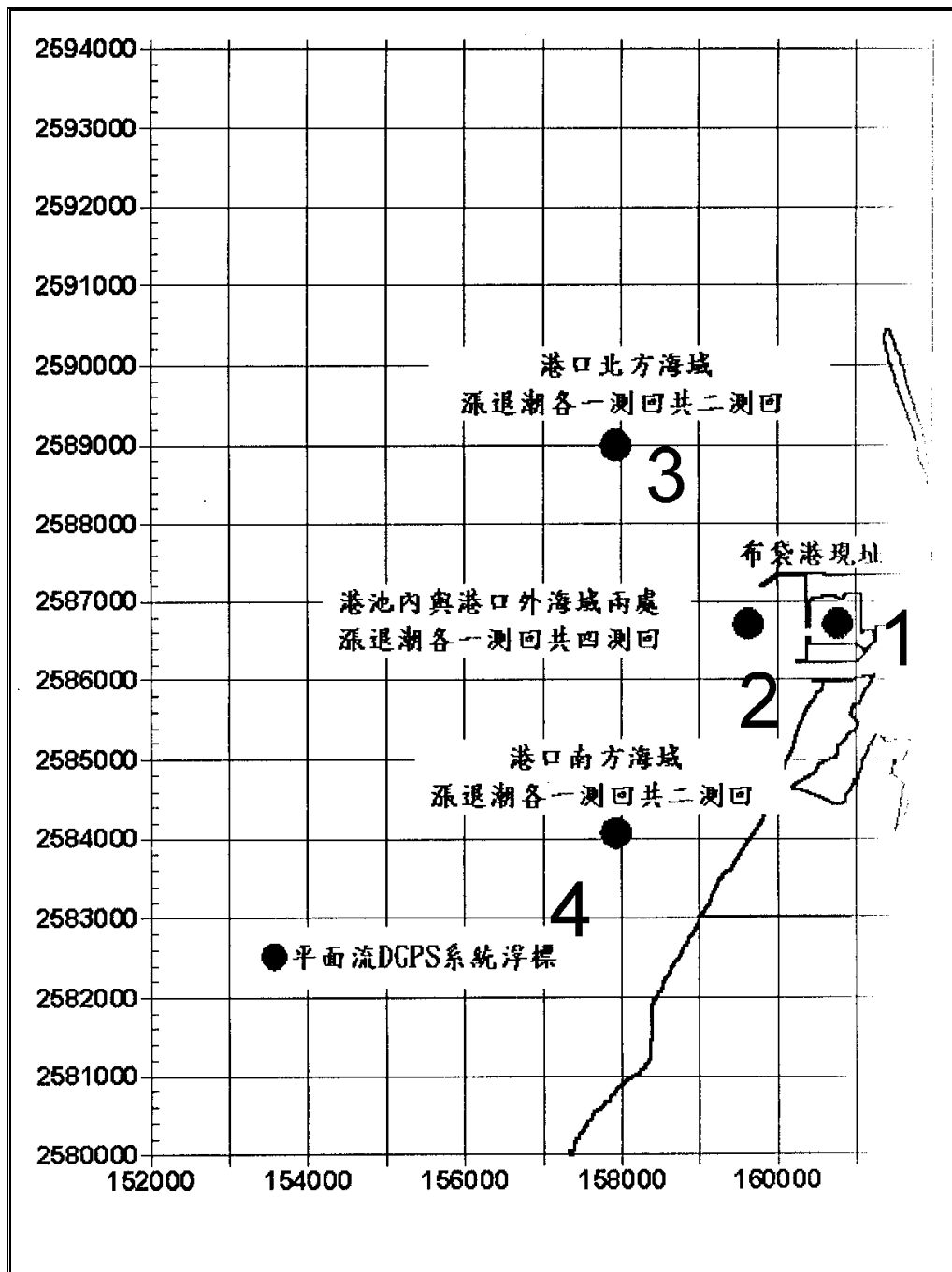


圖 3-1 平面流況調查施測範圍

3.2 調查系統架構及方法

本調查方式係採用漂流物量測法，追蹤整個平面流速及流向，利用球形浮標放流於海域中，浮標內裝置 GPS 定位儀，另配合無線電發射器，每一時間間隔時量測接收其座標位置，再利用 GIS 地理繪圖系統處理，分析出整個流況變化，依此可判定布袋港海域其可能的漂沙走向。

3.2.1 調查系統架構

本調查所使用之平面流況量測 GPS 系統架構如圖 3-2 所示，共可分為兩大部分：

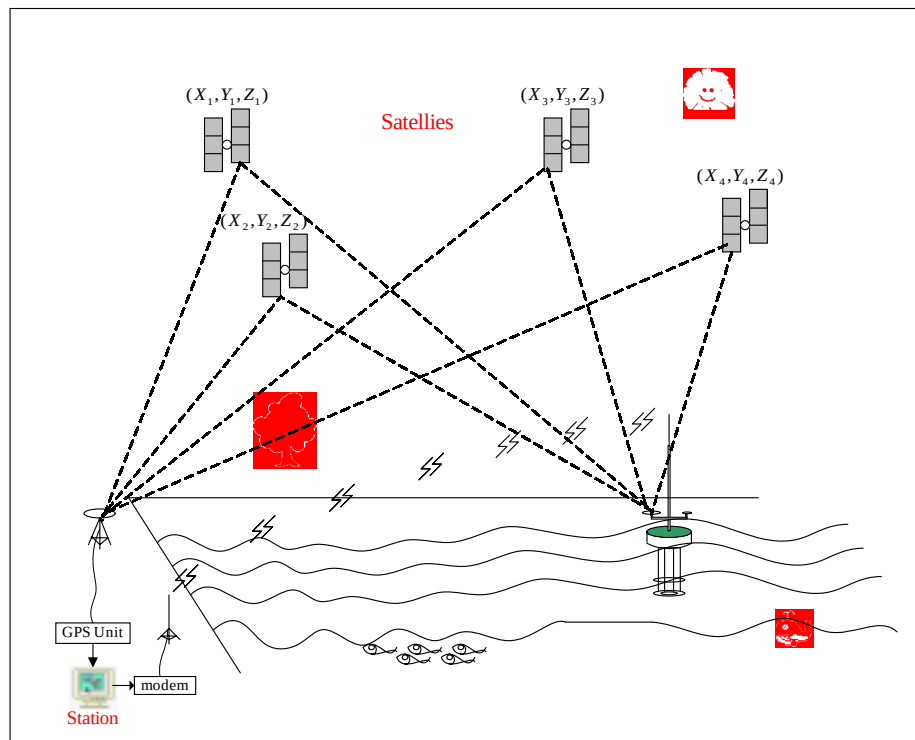


圖 3-2 平面流況量測 GPS 系統架構

1. 基地站：

設置於觀測海域附近之岸邊；主要由 GPS 接收機、無線電傳輸設備、數據機、個人電腦以及直流電源供應器所組成，其基地站實景如照片 3-1 所示。其主要功能為：將定位指令以無線電傳輸，呼叫移動站回報其位置，並即時經由基

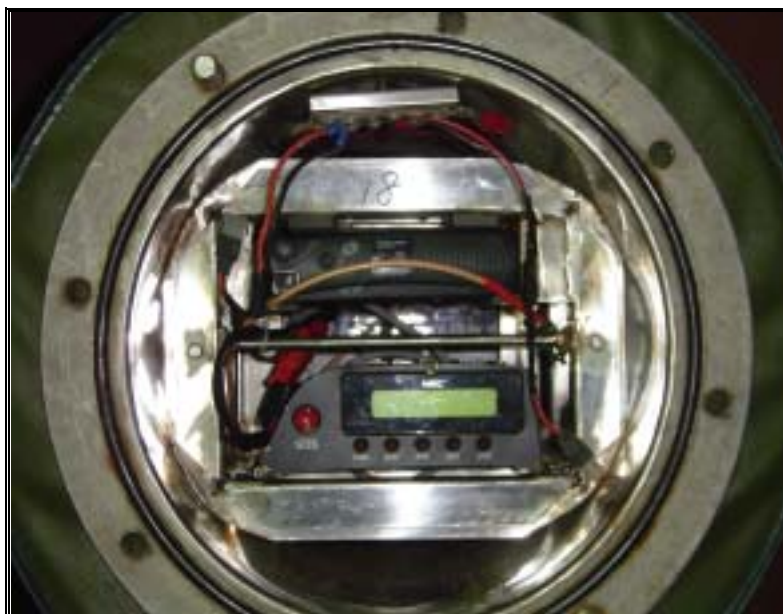
地站差分計算座標修正量，改正移動站位置並同時顯示於電腦螢幕上，且將時間、座標等資料記錄於硬碟中，可提供後期處理及檢核使用。



照片 3-1 基地站實景

2. 移動站：

設置於漂浮球上，主要由 GPS 接收機、無線電傳輸設備及電池組成，其移動站內部實景如照片 3-2 所示，其功能為 GPS 座標接收，並回應基地站之呼叫，將座標資料傳送回基地站。



照片 3-2 移動站內部實景

整個 GPS 系統架構儀器包括：

1. GPS 天線：接收衛星訊號，GPS 天線所在位置即為 GPS 所定位位置。
2. GPS 接收機：NEC 公司之 NGPS-M05-01 型接收機，接收 L1 (1575.42MHz) 載波上之 C/A code，可接收的 Channel 數為 6 Channel，接收機亦含 RS232 端為 Data 輸出與輸入端，基地站傳輸速率為 4800(baud rate)，移動站傳輸速率為 1200(baud rate)，輸出資料符合海事無線電委員會 (Radio Technical Commission for Maritime Services, RTCM) 之特別 104 號會議 (Special Committee No.104, SC-104)，簡稱 RTCM-104 之要求，其輸出資料有格林威治時間，經度，緯度，高度，船速(節)，航向，衛星幾何模式。
3. 數據機：TNC-22M Radio Modem，傳輸資料型態 轉換：類比-數位，傳輸速率：300 ~19200 bps。
4. 無線電傳輸機：Motorola 之 GM-300 型，波段範圍：146~174 MHz，輸出功率 10~25W，將修正資料以無線電波發送或接收，產生即時修正的效果。其頻道共有 CH1~CH4 四種頻率，分別如下：151.2625MHz, 151.400MHz, 151.800MHz, 152.100MHz。
5. 電源：基地站為一台 D.C. Power Supply，型號為 DPS-115GI，輸入交流電壓 110V~130V，輸出直流電，電壓 0 ~16V 電流 0~20A，移動站為 SMF700R-9 型可回充式鹽鉛酸電池 (Rechargeable Sealed Lead-Acid Battery)，輸出直流電 12V、50AH。
6. 個人手提電腦：CPU586，24MB 記憶體(RAM)，二個通訊連接埠(COM)，作為資料擷取、儲存、顯示與結果處理。
7. 漂浮球：以不鏽鋼材質製作的漂浮球，浮球本體放置 GPS 接收儀，無線電收發機與電池，上置鋼套管放置 GPS 與無線電天線和警示燈，浮球下焊接阻流板，以產生推力。

3.2.2 調查方法

平面流況量測工作係於前述之量測範圍海域配合潮汐變化時間拋放漂浮球，利用岸邊基地站之 DGPS 定位系統追蹤記錄漂浮球之位置，最後描繪漂浮球之漂移軌跡以研判各海域之流況分佈概況，其平面流況量測實景如照片 3-3 所示。



照片 3-3 平面流況量測實景

量測時首先於岸上架設基地站，基地站設置於控制點 T26，控制點之座標如表 3-1 所示。基地站架設完成後啟動漂浮球追蹤系統，每隔約 2 分鐘呼叫漂浮球回報其位置之衛星座標資料，即時經由基地站差分計算座標修正量，改正漂浮球位置並同時顯示漂浮球位置於手提電腦螢幕上，以確認漂浮球於規劃測區內漂移，且將時間、座標等資料記錄於硬碟中，以為後期處理使用。後期處理工作係將 WGS84 衛星座標轉換 GRS67 座標基準參數如表 3-2 所示，轉換成臺灣地區之大地座標系統。再將漂浮球定位座標套繪於岸線圖中，以繪製漂浮球漂移軌跡圖，提供流況分佈分析。

表 3-1 T26 基地站控制點之座標

控 制 點	WGS84 座標	
	N	E
T26	23° 22.4647 '	120° 07.8334 '

附表 3-2 WGS84 衛星座標轉換 GRS67 座標基準參數

DX 平移參數	764.558 M
DY 平移參數	361.229 M
DZ 平移參數	178.374 M
RX 旋轉參數	0.24 SEC
RY 旋轉參數	-0.38 SEC
RZ 旋轉參數	-0.20 SEC
SF 尺度參數	-23.29 PPM

3.3 調查結果與分析

利用前節調查方法，本計畫分別依夏、冬各兩季不同季節實施漂浮球軌跡追蹤調查；經由施測所得資料分析後之結果，可以得出夏季(六月~七月)、冬季(十月~一月)兩種不同季節風時期，布袋港港口附近海域之平面流況變化情況，以下則分別依據此兩種不同季節風作用下，其於漲、退潮時段之流況分別描述之：

3.3.1 夏季季節風之平面流況

3.3.1.1 夏季季節風之退潮平面流況

1. 八十九年度夏季季節風之退潮平面流況

八十九年度夏季現場調查於 89 年 6 月 23 日與 89 年 6 月 24 日之間，時值夏季季節風時期以西南風為主要優勢方向；布袋港港口附近海域之平面流況，於夏季季節風退潮時漂浮球之漂移軌跡如圖 3-3 所示；布袋商港港池內之流向為由西南(WS)向東北(NE)流(如圖 3-3 之 0624-17t1 與 0624-17t3 與 0624-18t2 與 0624-18t2)，於港池內形成環流狀，其平均流速為 0.15m/s。另於商港港口外堤之流向為東(E)向西(W)流(如圖 3-3 之 0624-18t1)，其平均流速為 0.17m/s。而於港外約 1500~2000 公尺北測之流向為由北(N)向南(S)流(如圖 3-3 之 0623-18t1)，其平均流速為 0.13m/s。至於港外約 1500~2000 公尺南測之流向亦為由北(N)向南(S)流(如圖 3-3 之 0623-17t1)，其平均流速為 0.13m/s。0623-18t1 與 0623-17t1 兩條測線之流向趨勢相同，皆為由北(N)往南(S)流向；因此，研判布袋港港口附近夏季季節風時期，於退潮時平面流況，應為沿著海岸地形等深線，隨著潮水離岸向南(S)方向或西南(WS)方向退去。

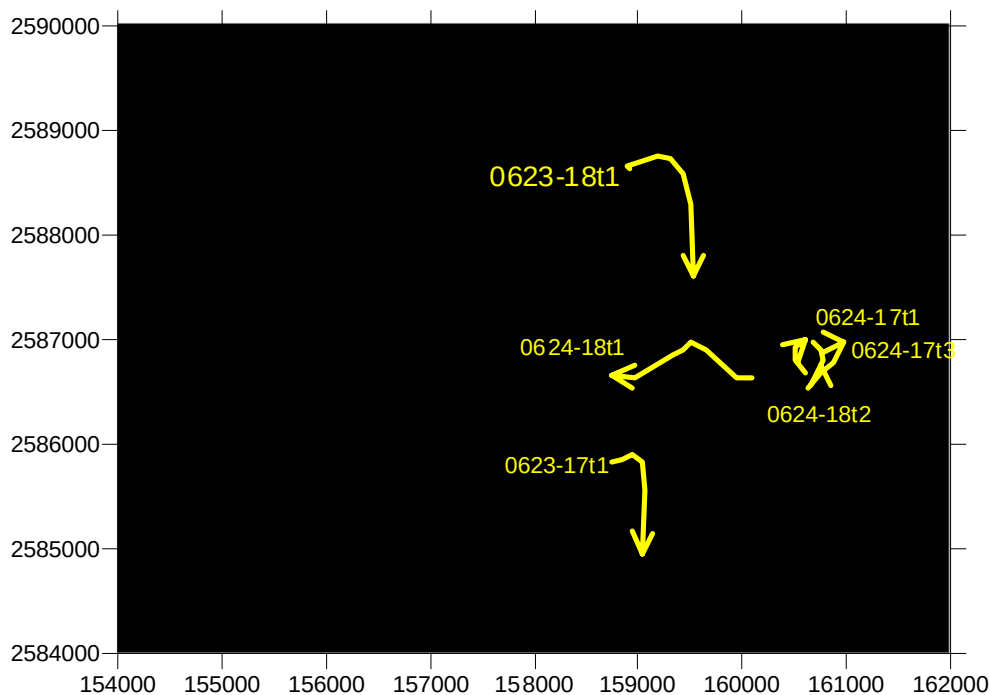


圖 3-3 八十九年度夏季季節風(89/6)退潮時漂浮球之漂移軌跡

2. 九十年度夏季季節風之退潮平面流況

九十年度夏季現場調查於 90 年 6 月 18 日與 90 年 6 月 19 日之間，如第一章自然條件調查夏季季節風向以西南風為主要優勢方向；布袋港港口附近海域之平面流況，於夏季季節風退潮時漂浮球之漂移軌跡如圖 3-4 所示；布袋商港港池內之流向為由西南(Ws)向東北(NE)流(如圖 3-4 之 0919-18t1 與 0919-18t2)，於港池內形成環流狀，其平均流速為 0.06m/s 與 0.08m/s。另於商港港口外堤之流向為東北(NE)向西南(SW)流(如圖 3-4 之 0618-17t)，其平均流速為 0.38m/s。而於港外約 2300 公尺北測之流向為由北(N)向南(S)流(如圖 3-4 之 0618-18t)，其平均流速為 0.28m/s。至於港外約 3500 公尺南測之流向亦為由東北(NE)向西南(SW)流(如圖 3-4 之 0619-17t)，其平均流速為 0.20m/s。0618-18t 與 0619-17t 兩條測線之流向趨勢相同，皆為由東北(NE)往西南(SW)流向；由上述可知，布袋港港口附近之夏季季節風時期退潮時之平面流況，應如八十九年度一樣情況，為沿著海岸地形等深線，隨著潮水離岸向南(S)或西南(SW)方向退去。

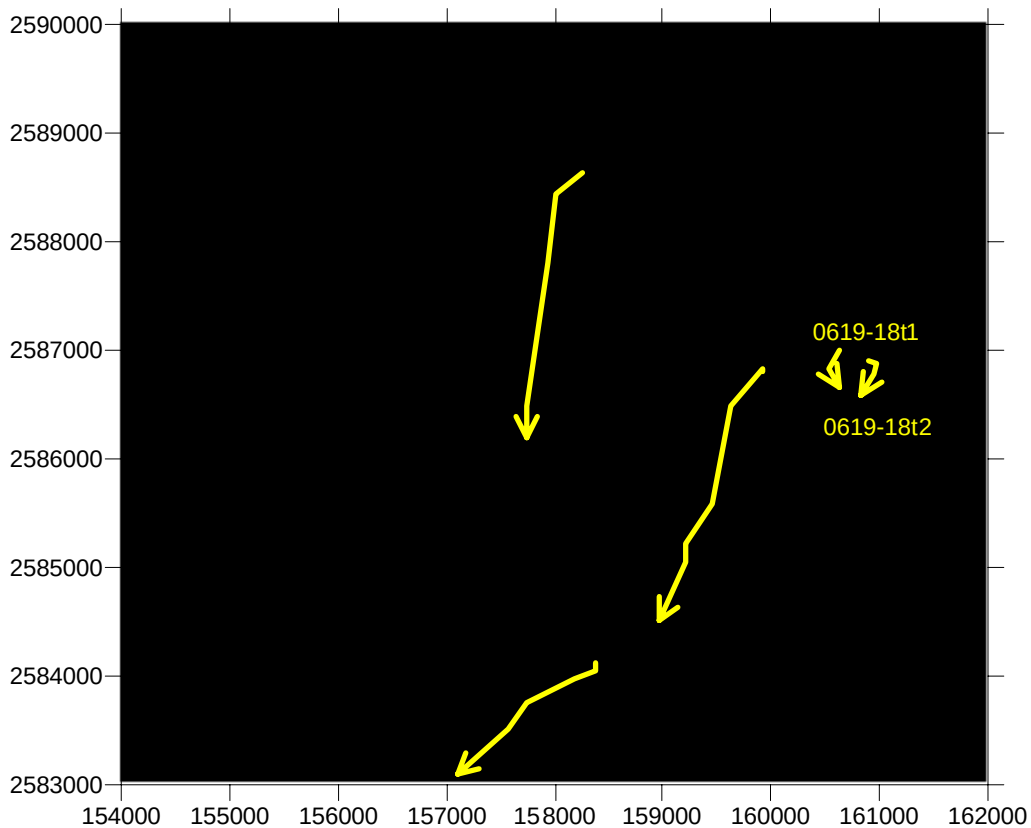


圖 3-4 九十年代夏季季節風(90/06)退潮時漂浮球之漂移軌跡

3. 九十二年度夏季季節風之退潮平面流況

九十二年度夏季現場調查於 92 年 6 月 5 日與 92 年 6 月 6 日之間，另於 92 年 6 月 25 補測一次；布袋港港口附近海域之平面流況，於夏季季節風退潮時漂浮球之漂移軌跡如圖 3-5 所示；布袋商港港池內之流向為由西南 (WS) 向東北 (NE) 流 (如圖 3-5 之 0606-18t1 與 00606-18t2)，於港池內形成環流狀，其平均流速為 0.05m/s 與 0.06m/s。另於商港港口外堤之流向為東北 (NE) 向西南 (SW) 流 (如圖 3-5 之 0605-18t)，其平均流速為 0.22m/s。而於港外約 2600 公尺北測之流向為由北 (N) 向南 (S) 流 (如圖 3-5 之 0625-17t)，其平均流速為 0.10m/s。至於港外約 3500 公尺南測之流向亦為由東北 (NE) 向西南 (SW) 流 (如圖 3-5 之 0606-17t)，其平均流速為 0.18m/s。0605-18t 與 0606-17t 兩條測線之流向趨勢相同，皆為由東北 (NE) 往西南 (SW) 流向；由上述可知，九十二年度夏季季節風時期布袋港港口附近之退潮平面流況，應如前兩年度一樣，為沿著海岸地形等深線，隨著潮水離岸向南 (S) 或西南 (SW) 方向退去。

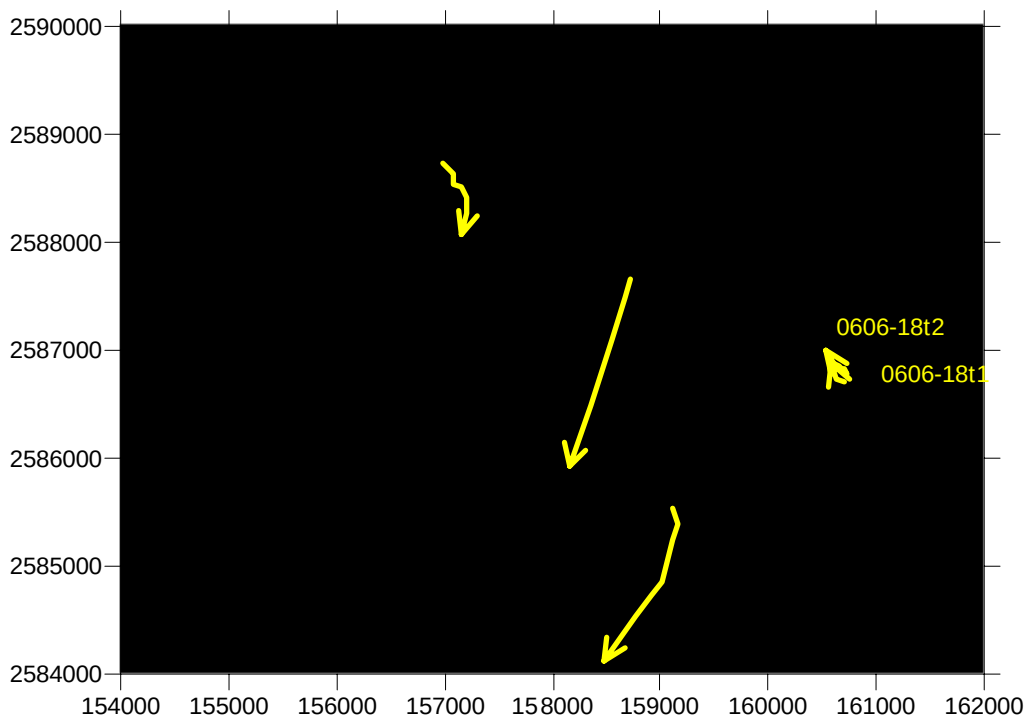


圖 3-5 九十二年度夏季季節風(92/06)退潮時漂浮球之漂移軌跡

4. 九十三年度夏季季節風之退潮平面流況

九十三年度夏季現場調查於 93 年 4 月 6 日與 93 年 4 月 7 日之間；布袋港港口附近海域之平面流況，於夏季季節風退潮時漂浮球之漂移軌跡如圖 3-6 所示；布袋商港港池內之流向為由西北(NW)向東南(SE)流於港池內形成環流(如圖 3-6 之#1)，其最大流速為 0.21m/s，平均流速為 0.09m/s。另於商港港口外堤之流向為東北(NE)向西南(SW)流(如圖 3-6 之#2)，其最大流速為 0.49m/s，平均流速為 0.15m/s。而於港外約 2600 公尺北測之流向為由東北(NE)向西南(SW)流(如圖 3-6 之#3)，其最大流速為 0.48m/s，平均流速為 0.30m/s。至於港外約 3500 公尺南測之流向亦為由東北(NE)向西南(SW)流(如圖 3-6 之#4)，其最大流速為 0.90m/s，平均流速為 0.51m/s。由#3 與#4 兩條測線之流向趨勢相同，皆為由東北(NE)往西南(SW)流向可知，九十三年度夏季季節風時期布袋港港口附近之退潮平面流況，亦如往年一樣，為沿著海岸地形等深線，隨著潮水離岸向南(S)或西南(SW)方向退去。

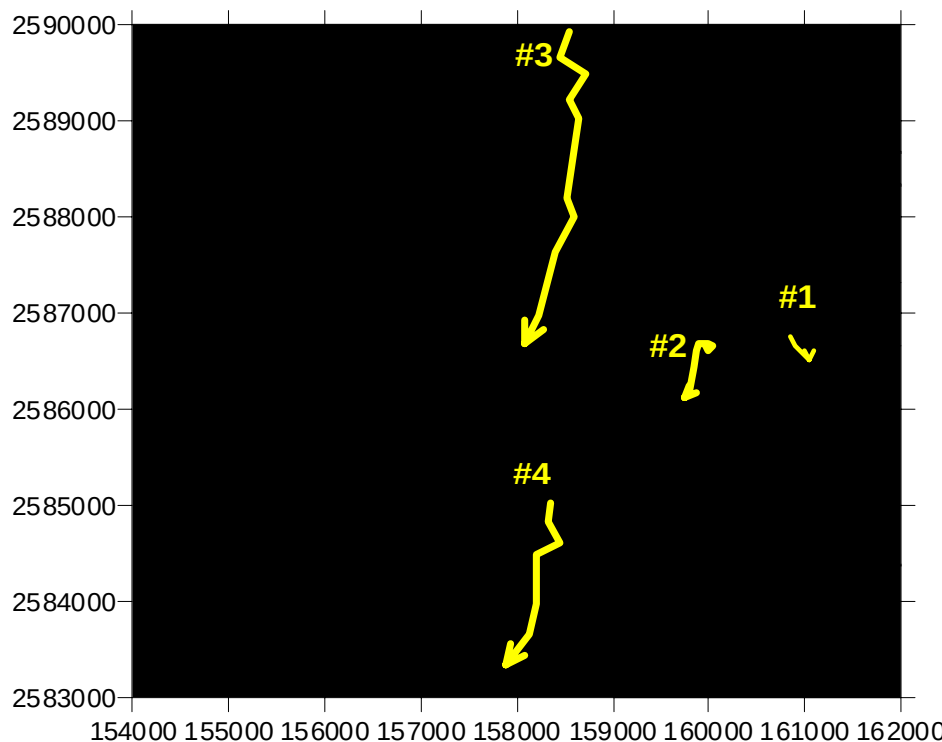


圖 3-6 九十三年度夏季季節風(93/04)退潮時漂浮球之漂移軌跡

3.3.1.2 夏季季節風之漲潮平面流況

1. 八十九年度夏季季節風之漲潮平面流況

布袋港港口附近於夏季季節風漲潮時漂浮球之漂移軌跡如圖 3-7 所示；布袋商港港池內之流向為由西南(WS)向東北(NE)流(如圖 3-7 之 0624-17f1 與 0624-17f2)，其平均流速為 0.13m/s 與 0.11m/s。另於商港港口外堤處之流向為南(S)向北(N)流(如圖 3-7 之 0624-18f1)，其平均流速為 0.28m/s。而於北防波堤堤頭處之流向亦為由西南(WS)向東北(NE)流(如圖 3-7 之 0623-18f2)，其平均流速為 0.28m/s。港外約 1500~2000 公尺北測之流向亦為由西南(WS)向東北(NE)流(如圖 3-7 之 0623-18f1 與 0623-18f2)，其平均流速為 0.28m/s。至於港口外約 1500~2000 公尺南測之流向亦如北側一樣由西南(WS)向東北(NE)流(如圖 3-7 之 0623-17f1)，其平均流速為 0.30m/s。究其布袋港口附近夏季季節風時期，於漲潮時段整個平面流之流向，應是隨著潮水向岸，並依地形往東北(NE)方向流向外傘頂洲南側。

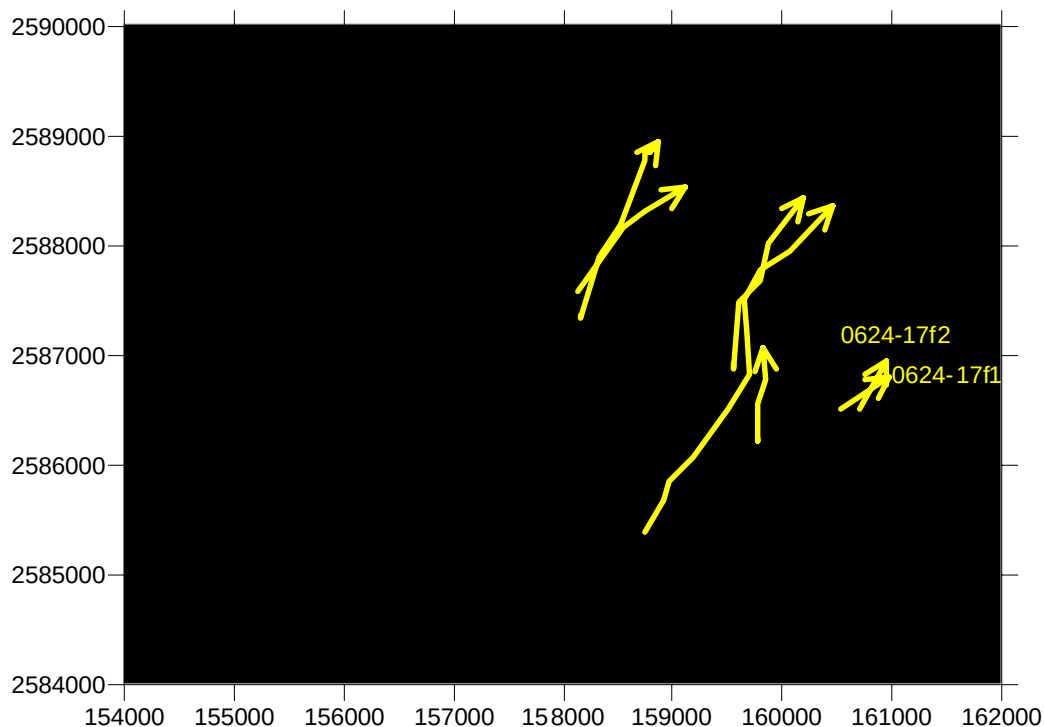


圖 3-7 八十九年度夏季季節風(89/7)漲潮時漂浮球之漂移軌跡

2. 九十年夏季季節風之漲潮平面流況

布袋港港口附近於夏季季節風漲潮時漂浮球之漂移軌跡如圖 3-8 所示；布袋商港港池內之流向為由西南(WS)向東北(NE)流(如圖 3-8 之 0619-18f1 與 0619-18f2)，其平均流速為 0.13m/s 與 0.11m/s。另於商港港口外堤處之流向為西南(WS)向東北(NE)流(如圖 3-8 之 0618-18f)，其平均流速為 0.14m/s。港外約 2300 公尺北測之流向亦為由西南(WS)向東北(NE)流(如圖 3-8 之 0618-17f)，其平均流速為 0.14m/s。至於港口外約 3500 公尺南測之流向亦如北側一樣由西南(WS)向東北(NE)流(如圖 3-8 之 0619-17f)，其平均流速為 0.28m/s。究其布袋港口附近夏季季節風時期，於漲潮時段整個平面流之流向，應是隨著潮水向岸，並依地形往東北(NE)方向流向外傘頂洲南側。

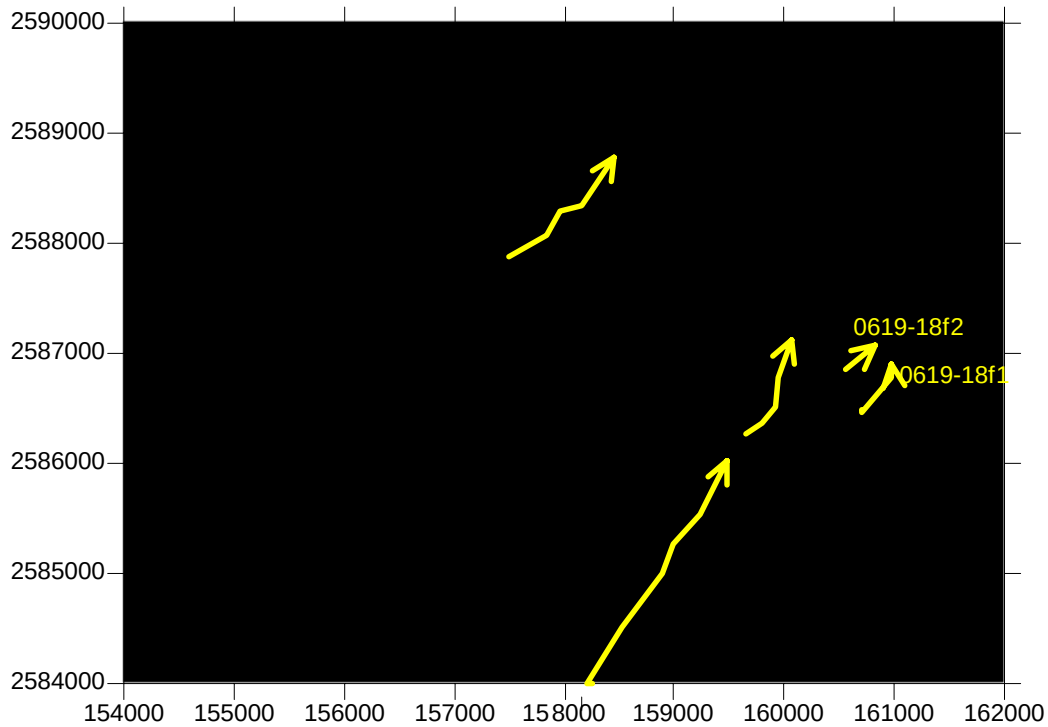
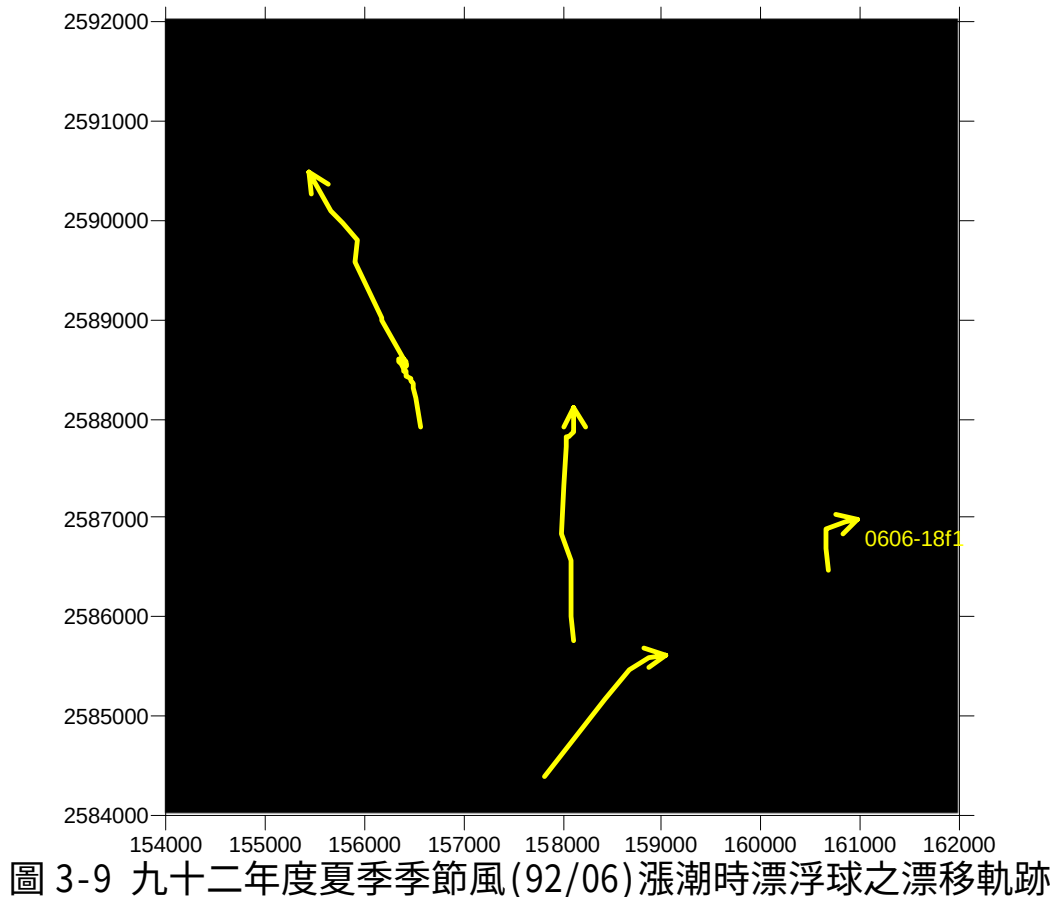


圖 3-8 九十年代夏季季節風(90/06)漲潮時漂浮球之漂移軌跡

3. 九十二年度夏季季節風之漲潮平面流況

布袋港港口附近於夏季季節風漲潮時漂浮球之漂移軌跡如圖 3-9 所示；布袋商港港池內之流向為由西南(WS)向東北(NE)流(如圖 3-9 之 0606-18f)，其平均流速為 0.09m/s。另於商港港口外堤處之流向為西南(WS)向東北(NE)流(如圖 3-9 之 0606-18f)，其平均流速為 0.24m/s。港外約 3000 公尺北測之流向亦為由東南(SE)向西北(NW)流(如圖 3-9 之 0625-17f)，其平均流速為 0.45m/s。至於港口外約 3500 公尺南測之流向亦如北側一樣由西南(WS)向東北(NE)流(如圖 3-9 之 0606-17f)，其平均流速為 0.24m/s。究其布袋港口附近夏季季節風時期，於漲潮時段整個平面流之流向，應是隨著潮水向岸，並依地形往東北(NE)方向流向外傘頂洲南側。



4. 九十三年度夏季季節風之漲潮平面流況

布袋港港口附近於夏季季節風漲潮時漂浮球之漂移軌跡如圖 3-10 所示；布袋商港港池內之流向為由西南(WS)向東北(NE)流(如圖 3-10 之#1)，其最大流速約為 0.15m/s，平均流速為 0.038m/s。另於商港港口外堤處之流向為西南(WS)向東北(NE)流，但因受北外堤阻擋，則繞過堤頭後往漁港方向流去(如圖 3-10 之#2)，其最大流速為 0.41m/s，平均流速為 0.16m/s。港外約 3000 公尺北測之流向亦為由南南西(SSW)向東北(NE)流，觀測所得最大流速為 0.54m/s，平均流速約為 0.29m/s (如圖 3-10 之#3)，至於港口外約 3500 公尺南測之流向亦如北側一樣由南南西(SSW)向東北(NE)流(如圖 3-10 之#4)，其最大流速為 0.90m/s，平均流速約為 0.22m/s。究其布袋港口附近夏季季節風時期，於漲潮時段整個平面流之流向，應是隨著西南(WS)潮水向岸，並依地形往東北(NE)方向流向外傘頂洲南側。

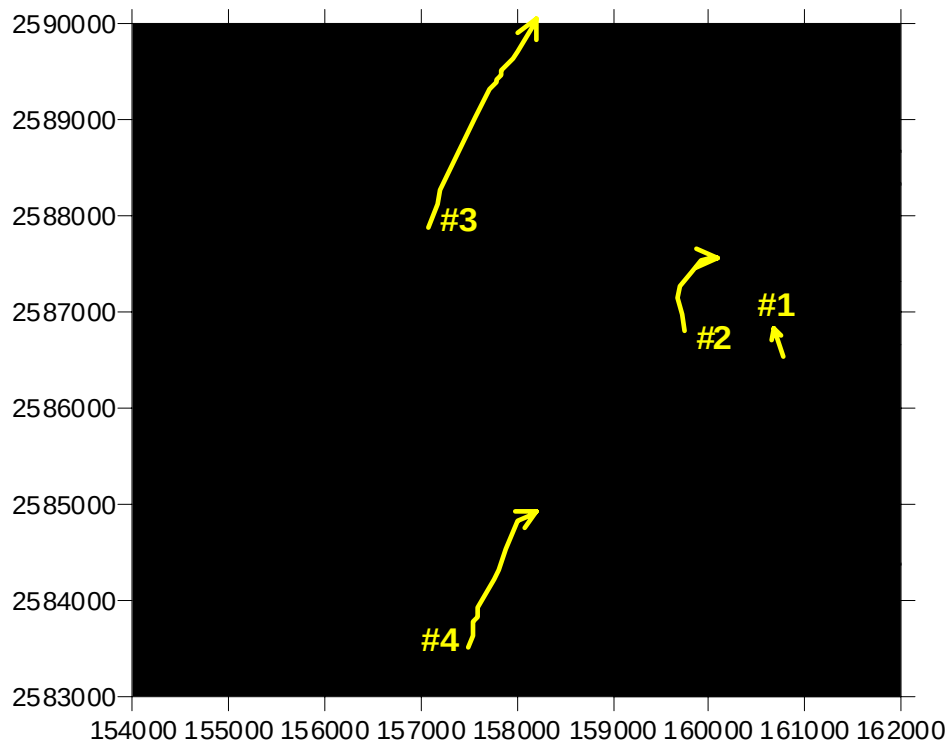


圖 3-10 九十三年度夏季季節風(93/04)漲潮時漂浮球之漂移軌跡

3.3.2 冬季季節風之平面流況

3.3.2.1 冬季季節風之退潮平面流況

1. 八十九年度冬季季節風之退潮平面流況

八十九年冬季現場調查於 89 年 1 月 1 日與 89 年 1 月 2 日間實施，時值冬季季節風時期，因此東北季風強徑，其為主要的優勢風向；布袋港港口附近之平面流況，於冬季季節風退潮時漂浮球之漂移軌跡如圖 3-9 所示。布袋商港港池內之流向為由北(N)向南(S)流(如圖 3-11 之 0102-17t1 與 0102-17t2)，其平均流速為 0.07m/s。港口外側北堤堤頭處之流向為由北(N)向南(S)流(如圖 3-11 之 0102-18t2)，平均流速為 0.17m/s。港口外側離岸 1000 公尺至 3000 公尺之海域，其流向皆為由北(N)斜向南南西(SSW)流(如圖 3-11 之 0102-18t1 等)，其平均流速為 0.31m/s。研判整個布袋港港口附近海域冬季季節風時期，於退潮時之平面流向，應為沿海岸地形等深線，隨著潮水離岸向南(S)或西南(SW)方向流去。

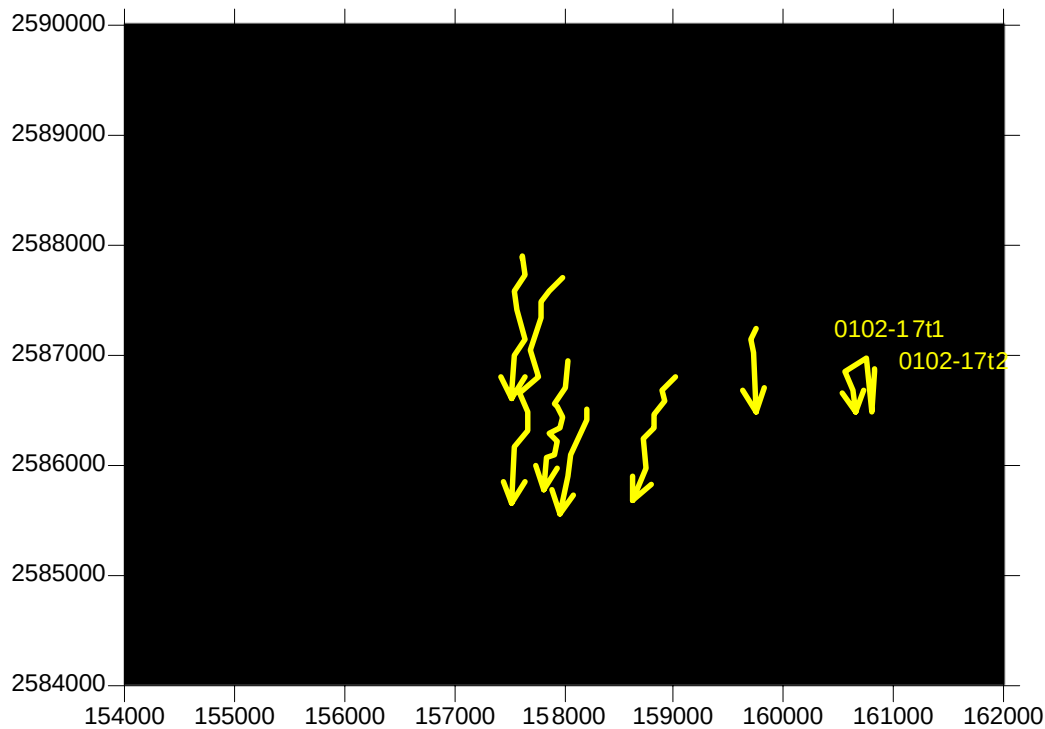


圖 3-11 八十九年度冬季季節風(89/01)退潮時漂浮球之漂移軌跡

2. 九十年度冬季季節風之退潮平面流況

九十年冬季現場調查時間為 90 年 10 月 25 日與 90 年 10 月 26 日期間，正值冬季季節風時期，東北季風強徑，為其主要的優勢風向；布袋港港口附近之平面流況，於冬季季節風退潮時漂浮球之漂移軌跡如圖 3-12 所示。布袋商港港池內之流向為由東北(NE)向西南(SW)流(如圖 3-12 之 1026-18t)，其平均流速為 0.05m/s。港口外側北堤堤頭處之流向則於外堤附近作逆時鐘之環狀旋轉(如圖 3-12 之 1026-17t)，平均流速為 0.06m/s。港口北側離岸 3200 公尺之海域，其流向皆為由東北(NE)斜向西南(SW)流(如圖 3-12 之 1025-18t)，其平均流速為 0.32m/s。港口南側約 2900 公尺處之海域，其流向皆為由東北(NE)斜向西南(SW)流(如圖 3-12 之 1025-18t)，其平均流速為 0.32m/s。研判整個布袋港港口附近海域冬季季節風時期，於退潮時之平面流向，應為沿海岸地形等深線，隨著潮水離岸向西南(SW)方向流去。

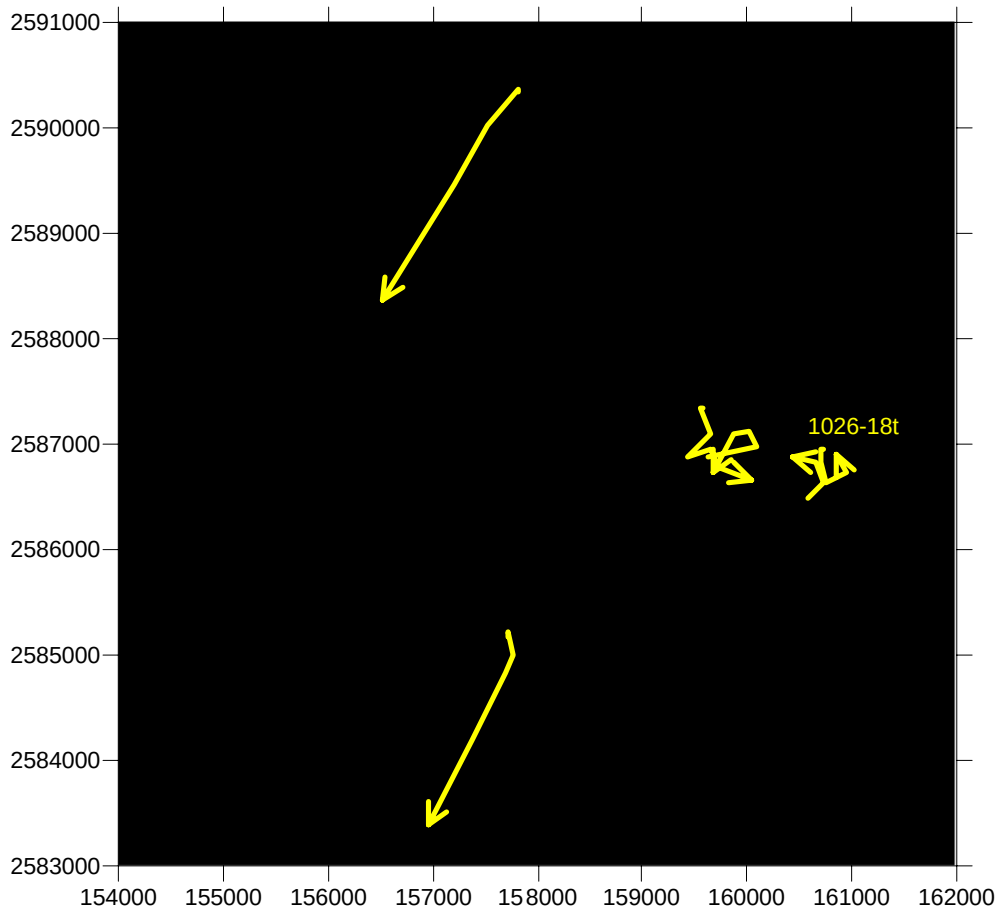


圖 3-12 九十年代冬季季節風(90/10)退潮時漂浮球之漂移軌跡

3. 九十二年度冬季季節風之退潮平面流況

九十二年冬季現場調查時間為 92 年 11 月 19 日與 92 年 11 月 20 日期間，此期間布袋港港口附近之平面流況，於冬季季節風退潮時漂浮球之漂移軌跡如圖 3-13 所示。布袋商港港池內之流向為東北(NE)向西南(SW)流(如圖 3-13 之#1)，由於港池遮蔽效應流速非常緩慢，平均流速約為 0.06m/s。港口外側北堤堤頭處與港口之流向亦為東北(NE)向西南(SW)方向流(如圖 3-13 之#2-1、#2-2、#2-3)，平均流速各為 0.36m/s、0.40m/s、0.33m/s。港口北側離港口約 3000 公尺之海域，其流向則為北(N)往南(S)流(如圖 3-13 之#3)，其平均流速為 0.22m/s。港口南側約 2000 公尺處之海域，其流向則皆為由東北(NE)往西南(SW)斜向流出外海(如圖 3-13 之#4-1、#4-2)，其平均流速為 0.46m/s、0.36m/s。研判整個布袋港港口附近海域冬季季節風時期，於退潮時之平面流向，應為沿海岸地形等深線，隨著潮水離岸向西南(SW)方向流去。

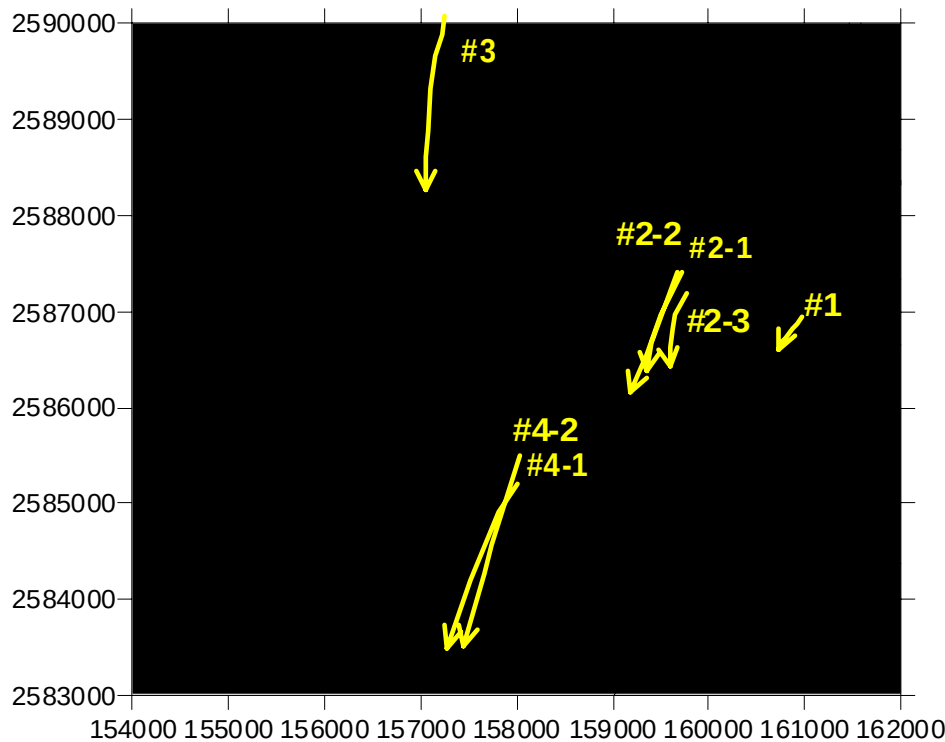


圖 3-13 九十二年度冬季季節風(92/11)退潮時漂浮球之漂移軌跡

4. 九十三年度冬季季節風之退潮平面流況

九十三年冬季現場調查時間為 93 年 9 月 15 日與 93 年 9 月 17 日期間，正值冬季季節風時期，其東北風為主要的優勢風向；布袋港港口附近之平面流況，於冬季季節風退潮時漂浮球之漂移軌跡如圖 3-14 所示。布袋商港港池內之流向為由東南(NE)向西北(SW)流(如圖 3-14 之#1-1 及#1-2)，其平均流速各為 0.37 及 0.45m/s，其主要原因是港池內形成一順時鐘之環流，使得漂浮球流向北碼頭區，無法藉由退潮流出港外所致。港口外側及北堤堤頭處之流向則皆為由北(N)往南(S)趨勢(如圖 3-14 之#2)，平均流速約為 0.93m/s。港口北側離岸 3200 公尺之海域，其流向皆為由東北(NE)斜向西南(SW)流(如圖 3-14 之#3)，其平均流速為 0.57m/s。港口南側約 2000 公尺處之海域，其流向皆為由東北(NE)斜向西南(SW)流(如圖 3-14 之#4)，其平均流速為 1.56m/s。研判整個布袋港港口附近海域冬季季節風時期，於退潮時之平面流向，應為沿海岸地形等深線，隨著潮水離岸向西南(SW)方向流去。

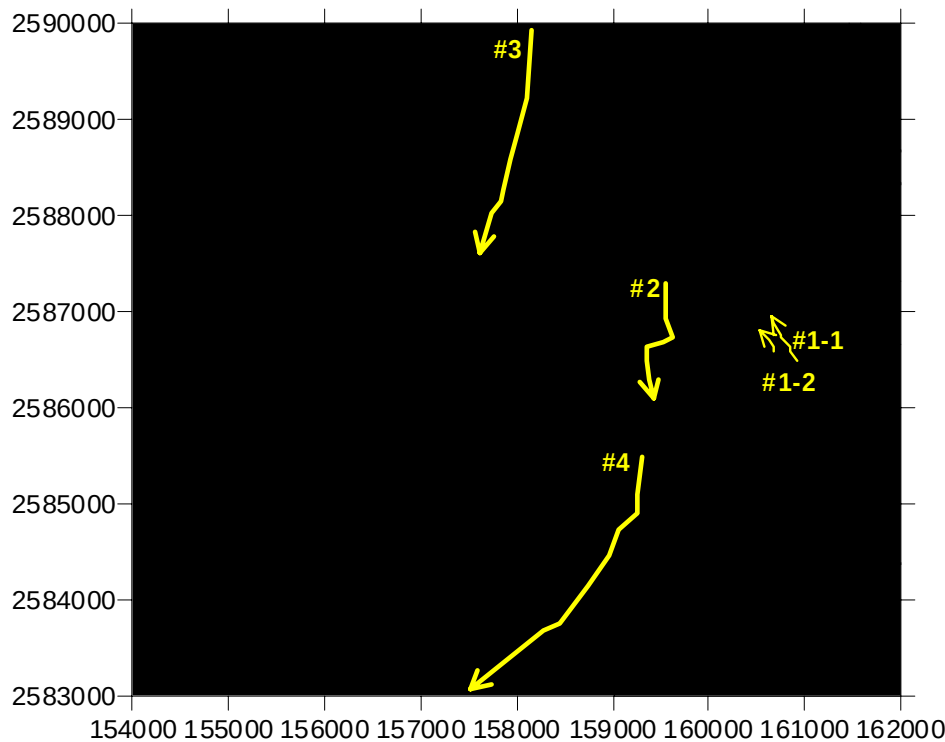


圖 3-14 九十三年度冬季季節風(93/09)退潮時漂浮球之漂移軌跡

3.3.2.2 冬季季節風之漲潮平面流況

1. 八十九年度冬季季節風之漲潮平面流況

八十九年現場調查於冬季季節風漲潮時漂浮球之漂移軌跡如圖 3-11 所示。布袋商港港池內之流向與退潮時相同，為由北(N)向南(S)流(如圖 3-15 之 0102-17f1 與 0102-17f2)，其平均流速為 0.08m/s。港外堤頭處於 01/02 日 14:05~14:55 時施測，其漂浮球軌跡呈現停滯狀態(如圖 3-15 之 0102-18f2)。港口外側 1000~1500 公尺處海域為由北(N)斜向南南西(SSW)流(如圖 3-15 之 0102-18f1)，其平均流速為 0.27 m/s。商港北堤堤頭以西 1200~1700 公尺處海域，其平均流向為由西(W)向東(E)略微偏北(ENE)(如圖 3-15 之 0101-17f1)，其平均流速為 0.11m/s。商港南堤堤頭以西 2300~2600 公尺處海域，其流向為由北(N)斜向南南東(SSE)流(如圖 3-15 之 0101-18f1)，其平均流速為 0.14 m/s。此次量測結果漲潮時之流況較無規律性且流速偏小，可能與施測期間東北風強勁，漲潮向岸流場受逆向強風吹襲有關。

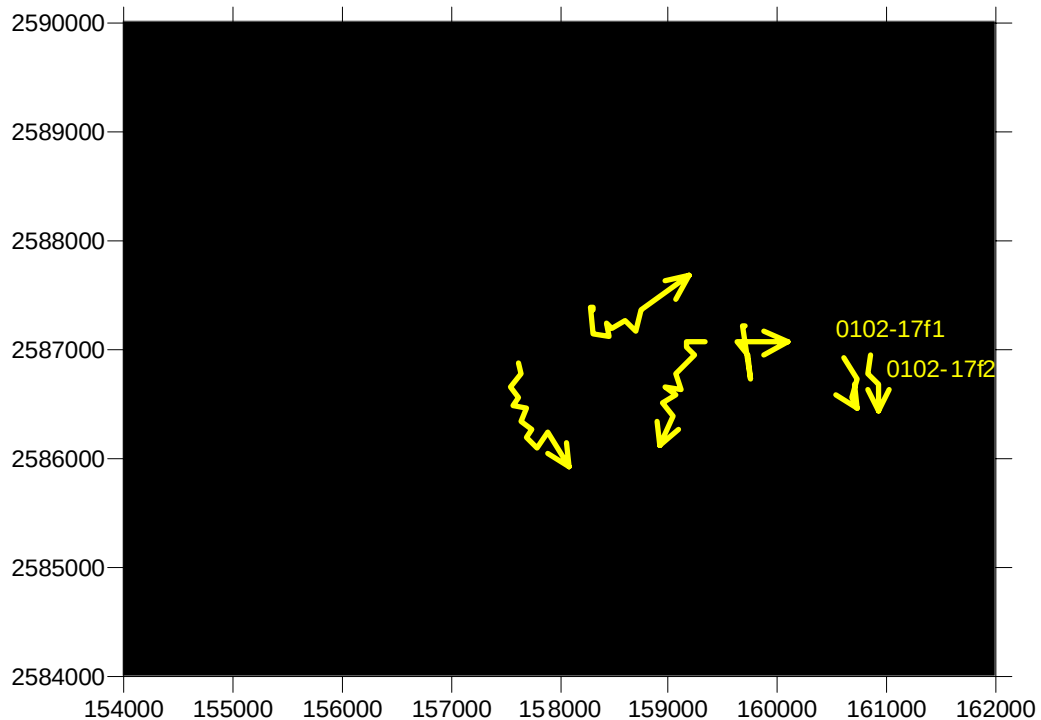


圖 3-15 八十九年度冬季季節風(89/1)漲潮時漂浮球之漂移軌跡

2. 九十年度冬季季節風之漲潮平面流況

九十年度冬季季節風漲潮時漂浮球之漂移軌跡如圖 3-16 所示。布袋商港港池內之流向為由西南(SW)向東北(NE)流(如圖 3-16 之 1025-18f1)，其平均流速為 0.08m/s。港外堤頭處施測時應受東北季風影響，其漂浮球軌由西北(NW)往東南(SN)方向流往南堤堤頭(如圖 3-16 之 1025-17f2)。港口外側西北方約 2300 尺處海域受東北季節風強勁影響，由西北(NW)斜轉向東南(SE)方流又受潮流帶動轉向東北(NE)方向流去，形成類似迴流現象(如圖 3-16 之 1025-17f)，其平均流速為 0.06 m/s。商港南堤西南方 3700 公尺處海域，其流向為先由西南(SW)向東北(NE)再略偏東(E)(如圖 3-16 之 1025-18f)，其平均流速為 0.15m/s。此次量測結果漲潮時之流況較無規律性且流速偏小，可能與施測期間東北風強勁，漲潮向岸流場受逆向強風吹襲有關。

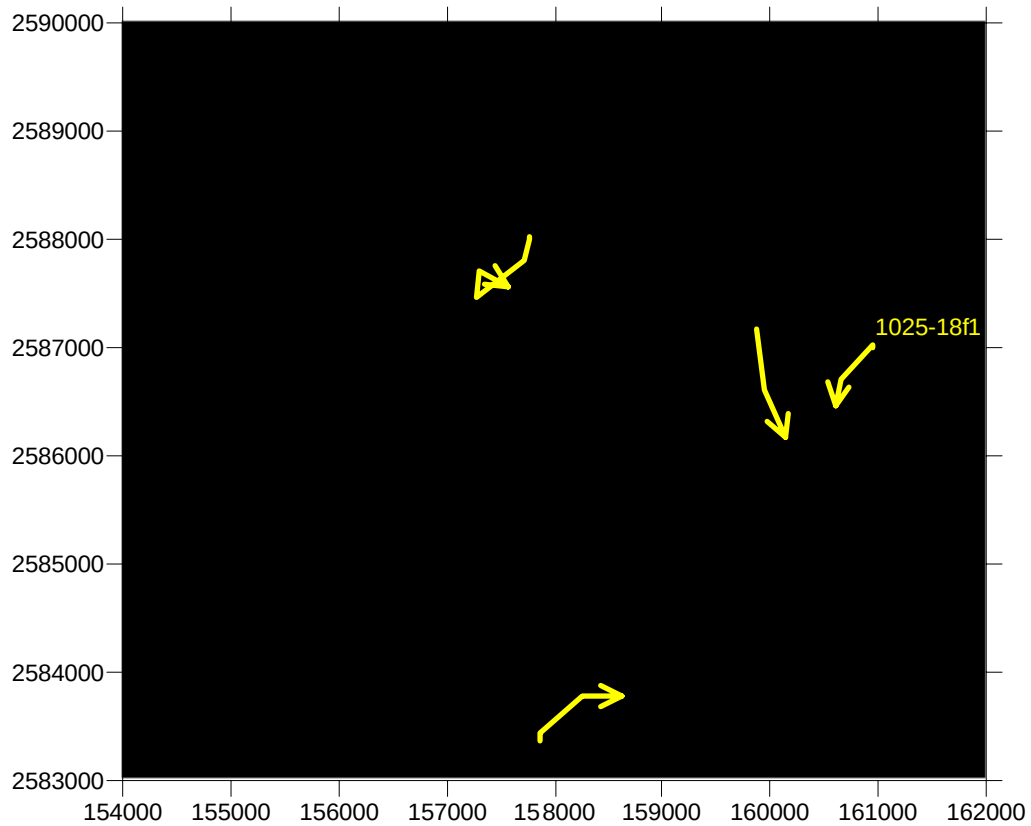


圖 3-16 九十年代冬季季節風(90/10)漲潮時漂浮球之漂移軌跡

3. 九十二年度冬季季節風之漲潮平面流況

九十二年度冬季季節風漲潮時漂浮球之漂移軌跡如圖 3-17 所示。布袋商港港池內之流向因受東北季風強勁影響皆以東北(NE)向西南(SW)流(如圖 3-17 之#1-1 及#1-2)，其平均流速各為 0.04m/s 及 0.05m/s。港外堤頭處施測時亦因東北季風影響，其漂浮球軌跡則往南堤堤頭方向流或由西北(NW)往東南(SN)方向流向堤頭(如圖 3-17 之#2-1 及#2-2)，其平均流速為 0.09 m/s 及 0.07m/s。港口外側西北方約 2000 尺處海域則受潮流影響，由西南(SW)斜向東北(NE)方向流去(如圖 3-17 之#3)，其平均流速為 0.12 m/s。商港南堤西南方 4700 公尺處海域，其流向為先由西南(SW)向東北(NE)再略偏東(E)(如圖 3-17 之#4)，其平均流速為 0.28m/s。本次量測之結果雖受東北季風強勁影響甚劇，但仍然可以窺出其流況皆有隨漲潮時之潮流往東北方向流向岸邊之趨勢。

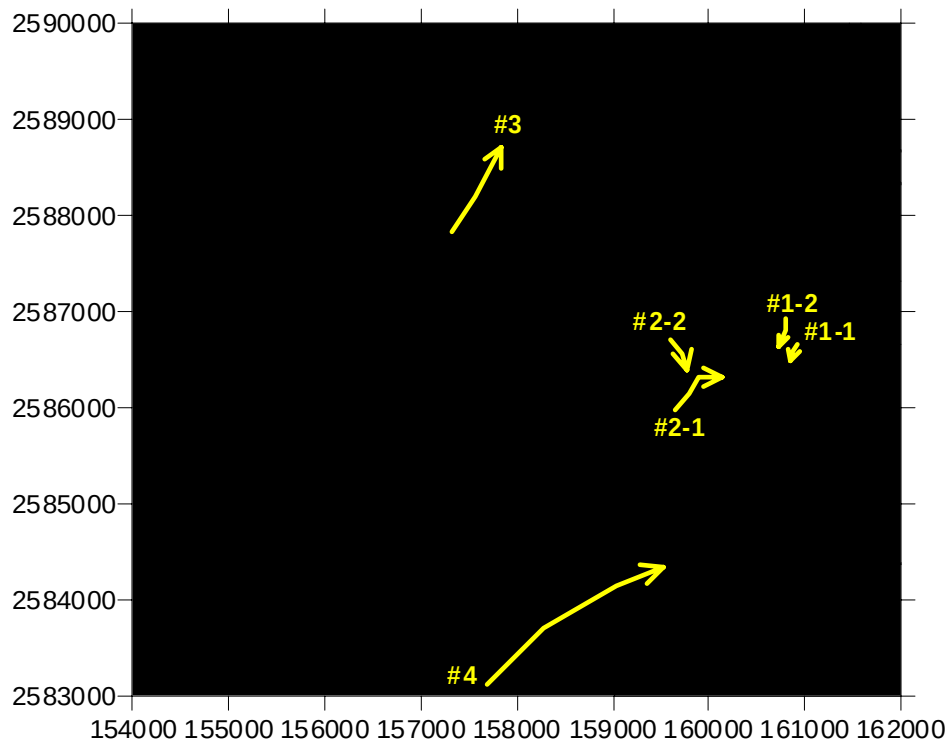


圖 3-17 九十二年度冬季季節風(92/11)漲潮時漂浮球之漂移軌跡

4. 九十三年度冬季季節風之漲潮平面流況

九十三年度冬季季節風漲潮時漂浮球之漂移軌跡如圖 3-18 所示。布袋商港港池內之流向因受東北季風強勁影響皆以東北(NE)向西南(SW)流(如圖 3-18 之#1-1 及#1-2)，其平均流速各為 0.32m/s 及 0.37m/s。港外堤頭處其漂浮球軌跡則由南堤附近繞過北堤堤頭往北方向流去，其趨勢為由南(S)向北(N)流(如圖 3-18 之#2)，其平均流速約為 1.87 m/s。港口外側西北方約 2700 尺處海域則受潮流影響，由西南(SW)斜向東北(NE)方向流去(如圖 3-18 之#3)，其平均流速為 0.48 m/s。商港南堤西南方 4500 公尺處海域，其流向為先由西南(SW)向東北(NE)再略偏北(N) (如圖 3-18 之#4)，其平均流速為 0.41m/s。本年度冬季季節風平面流況於漲潮時期量測之結果，仍以受東北季節風之影響為主，其流況皆為隨著潮水東北方向流向外傘頂洲南岸之趨勢。

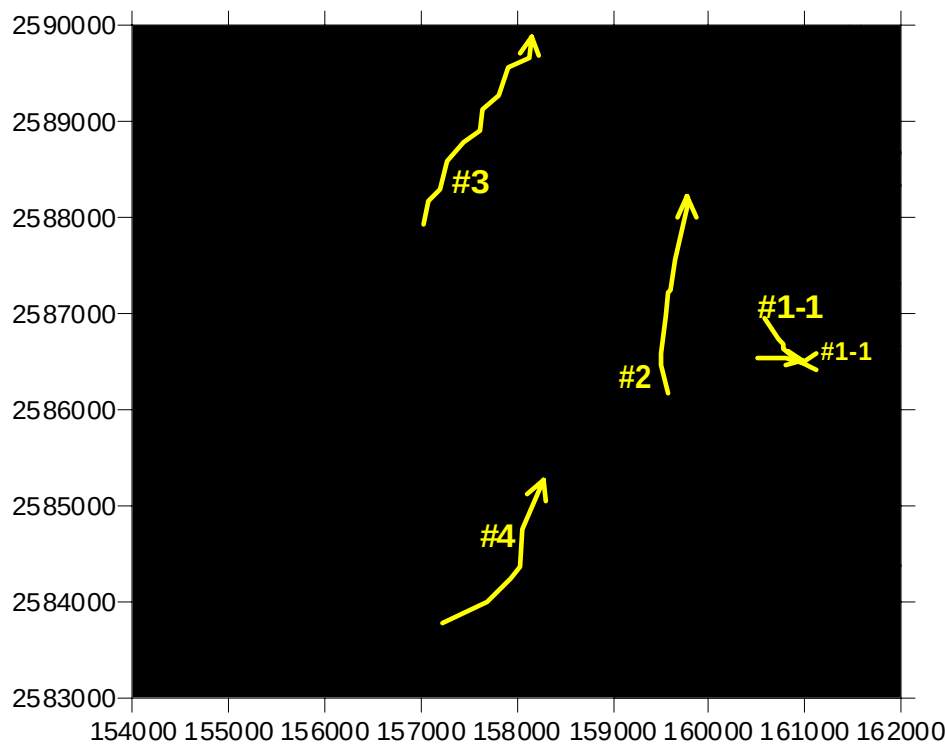


圖 3-18 九十三年度冬季季節風(93/09)漲潮時漂浮球之漂移軌跡

第四章 港口附近水深測量

水深測量為漂沙調查的主要追蹤方式之一，藉由水深地形的變化可以以量化數據了解調查海域漂沙的沖淤量，而港口附近水深測量方法是於布袋港港口附近採用 DGPS 自動定位儀配合數位測深儀放置於作業船上，同時擷取座標位置及水深資料，再利用電腦繪圖分析軟體，繪製等深地形變化圖，以分析布袋港海域及港口沖淤變化情況，藉此可研判漂沙活動對港池、航道的影響程度。

4.1 調查範圍

本水深測量調查以布袋港港口海域為中心，每年冬、夏季各施測一次，調查範圍為南北直線距離各施測 6 公里，岸線直線距離長約 12 公里，寬約 10 公里，測線總長約 480 公里（另因八十九年度預算編列因素，調查範圍南北直線距離僅各施測 3.5 公里，岸線岸線直線距離長約 7 公里，寬約 10 公里，測線總長約 300 公里），其整體港口附近水深測量規劃之測量範圍如圖 4-1 所示；量測範圍分為重點施測區域（測線間距 50 公尺）、主要施測區域（測線間距 200 公尺）、次要施測區域（測線間距 500 公尺）與延伸測線（檢核至 -10 公尺水深）等五種不同測線間距區域，其實際作業項目統計如表 4-1 所示。

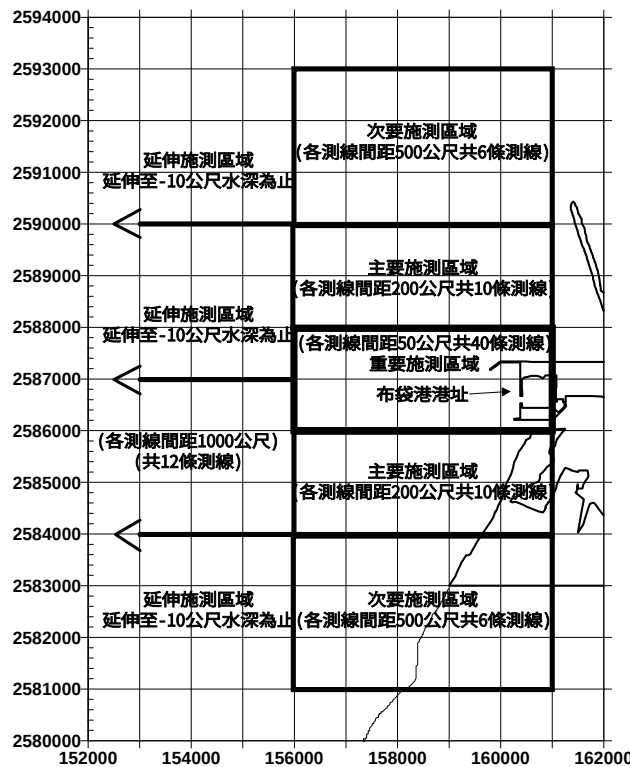


圖 4-1 港口附近水深測量規劃之測量範圍

表 4-1 港口附近水深測量實際作業項目統計表

工 作 項 目	單位	實做數量
三角點檢測	點	3
水準點檢測	點	2
主水準測量	公里	3.939
導線點埋設及測量	點	26
岸線地形測量	公里	20
水深測量	公里	480
成果報告及水深圖繪製(測算簿)	式	1

4.2 調查儀器與方法

4.2.1 使用儀器

1. 角度及距離測量

用 LEICA TC1610 全測站電子經緯儀測角精度 0.5”，測距精度 2 mm+2ppm。

2. 水準測量

使用 LEICA NA2002 全自動電子水準儀及條碼尺，直讀至 0.1 mm。

3. 控制測量（衛星定位）

使用 LEICA SYS 3000 及 SR9500 Sersor 衛星定位儀，儀器精度 5 mm+1ppm。

4. 陸上 DGPS 接收站

使用 SERCEL NDS100 定位精度小於 1 公尺。

5. 海上 DGPS 接收站

使用 SERCEL NR109 定位精度小於 1 公尺。

6. 水深測量

使用 ATLAS DESO 14 高精度數值測深機，音鼓頻率 210KHZ，

儀器精度 1 cm。

7. 運動姿態收集儀

使用 DMS2 Dynamic Motion Sensor 儀器精度 5 公分或 5%（取大者）。

8. 水中聲速

使用 ODOM 聲速儀，讀取至公尺/秒精度小於 1%。

4.2.2 調查方法

1. 控制系統：

- (1). 平面控制測量：採用台灣二度分帶(2°TM)座標系統。
- (2). 高程控制測量：以內政部頒定之台灣省一等水準系統。
- (3). 潮差控制測量：採用布袋水域驗潮站控制。

2. 平面控制測量：

三角點檢測使用 GPS 衛星定位測量，衛星定位各測站須對空通視良好，同時段在仰角 15 度以上天空至少有四顆以上分佈良好之衛星，衛星訊號接收時間至少半小時以上。觀測量之處理皆經過週波脫落偵測與改正；並且點位座標平差計算後轉換至台灣 TM 二度分帶。三角點檢測，各次測量以「前東港」、「Q171」、「Q218」等三點作為平面控制之依據。導線點共計測設 48 點(BT01 至 BT48)作為各次岸線測量控制之依據。

3. 高程控制測量：

- (1). 採直接水準往返觀測。
- (2). 主水準檢測：共檢測布新國小(BM22)、新塭路(嘉農 22)等二點，二點距離長約為 3.9 公里，因布袋地區地層下陷情況嚴重，本調查就主水準測量之主控制點布新國小(BM22)、新塭路(嘉農 22)等二點做必要之檢測，發現本計畫子計畫(一)地層下陷觀測研究所調查的結果，於 89 年 4 月之水準高程布新國小(BM22)為 +1.427 公尺，新塭路(嘉農 22)點為 +1.477；90 年 5

月施測所得之布新國小(BM22)水準高程為+1.373 公尺與新塭路(嘉農 22)點為+1.426 公尺，兩主要控制點高程差各為布新國小(BM22)差-0.054 公尺與新塭路(嘉農 22)差-0.051，經檢核區域地層沉陷量，本調查的參考高程乃依歷次調查所得之布新國小(BM22)控制點相對水準高程為基準。

- (3).再由布新國小(BM22)引測至布袋港內驗潮站，得其驗潮站高程。

4.岸線地形測量：

- (1).以電子光波測距儀，於導線點 BT01 BT57 上直接架設儀器以三次元數值方式測繪。
- (2).依據地形地物及特徵點(如道路、橋樑、河流、堤防等主幹地物)，依序繪製地形圖(初稿)，經初步編修後再由外業調繪人員進行現地調繪，針對漏畫、不清楚部份進行補測並註記，由內業人員編修並繪出成稿圖。

5.水域測量：

- (1).定位測量：
 - a. 使用海測專用 Sercel NDS100 及 NDS109 定位儀，以 DGPS(電碼差分定位)方式進行海上定位，配合 ATLAS DES014 數化測深儀作水深測量，輔以湧浪補償器修正浪高，並以自行開發之導航軟體引導船隻於規劃之測線方向行進，其水深測量實測測線軌跡則如圖 4-2 所示；由測線軌跡圖可以看出調查區域內之測點與測點間的距離疏密情況，如此可以用來檢核整體量測過程與先期所訂定測線的一致性；綜觀圖 4-2 所得之各測點分佈距離，應可達到本調查所需之解析要求。

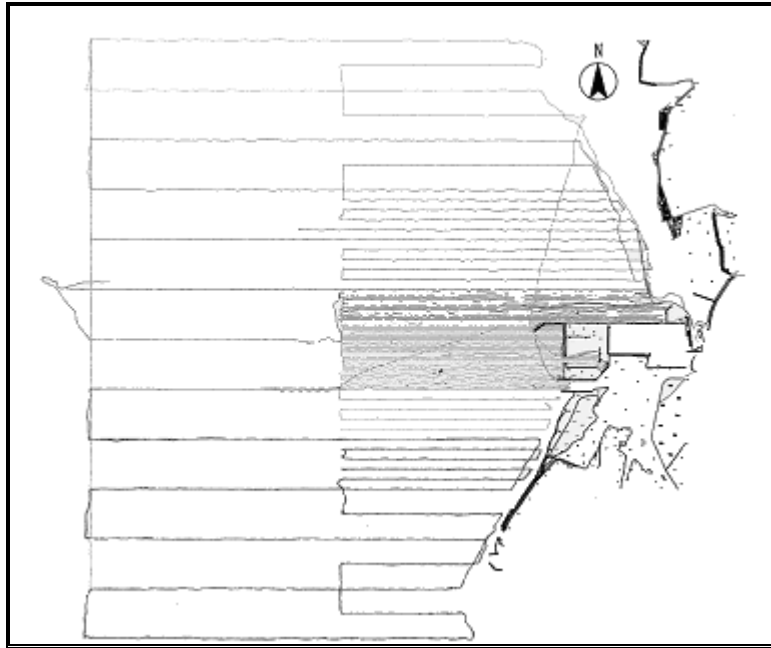


圖 4-2 水深測量實測測線軌跡

- b. 將 DGPS 觀測所得的 WGS84 座標，即時轉換為 TM 二度座標並同步修正測深及湧浪補償器資料，成為一含 X、Y、Z 的資料檔，其座標定位精度可達 ± 1 公尺以內。

2. 水深測量：

- a. 水深斷面測量依據合約，重點施測區寬度 2 公里，測線間距 50 公尺計 40 條；主要施測區寬度 4 公里，測線間距 200 公尺計 20 條；次要施測區寬度 6 公里，測線間距 500 公尺計 12 條；延伸施測區測線間距 1000 公尺計 12 條合計約 480 公里，測深使用測深儀、湧浪補償器，配合 DGPS 定位，同步自動記錄座標與高程，並即時修正浪高，其工作船實景如照片 4-1。
- b. 所有測深資料必須將潮位資料修正後，換算為正確的水深值。水中聲速以聲速儀於測區外緣量測，藉以修正水深儀之量測精度。

- c. 為避免 DGPS 之座標與音鼓有偏移量產生，故將 DGPS 接收儀之天線與音鼓桿固定在一起以避免偏移。
- d. 所有測點經內插成方格點 (DTM) 後，分別繪製 1/5000 及 1/10000 之水深圖。
- e. 驗潮站設置於布袋商港碼頭邊，其驗潮站設置實景如照片 4-2 所示。



照片 4-1 工作船實景



照片 4-2 驗潮站設置實景

4.3 調查結果與分析

利用前節之儀器與方法，對布袋港港口附近之岸線及水深進行測量後，可以得出該區域之水深資料；而藉由水深資料之處理與分析，吾人可瞭解布袋港鄰近海域及港口地形的變化情況；過去本計畫執行的四年中水深測量調查的時程分別如下：

八十九年度冬季水深測量工作於 88 年 12 月 21 日至 89 年 1 月 15 日完成(實際海域測量作業於 12 月 30 日至 1 月 5 日間共七天)，夏季水深測量工作則於 89 年 7 月 1 日至 89 年 7 月 31 日完成(實際海域測量於 7 月 21 日至 7 月 25 日間共五天)；此期間台灣受瑪姬(6/6)颱風過境直接影響布袋港附近海域。

九十年夏季水深測量工作於 90 年 5 月 21 日至 90 年 7 月 1 日間完成(海域測量作業於 6 月 21 日至 6 月 28 日間共八天)，冬季水深測量工作則於 90 年 10 月 23 日至 90 年 11 月 31 日完成(海域測量於 11 月 17 日至 11 月 29 日間共十三天)；而此期間則經歷了桃芝(7/28)、納利(9/6)、利其馬(9/23)等颱風過境影響到布袋港附近海域之水深。

九十一年度夏季水深測量工作則於 91 年 4 月 10 日至 91 年 5 月 16 日間完成(海域測量作業於 4 月 15 日至 4 月 24 日間共九天)，冬季水深測量工作則於 91 年 9 月 1 日至 91 年 10 月 15 日完成(海域測量於 9 月 16 日至 9 月 20 日間共五天)；而此期間則經歷了雷瑪遜(6/6)、納克莉(7/8)、象神(7/28)等颱風過境直接影響到布袋港附近海域之水深。

九十二年度夏季水深測量工作則於 92 年 5 月 19 日至 92 年 7 月 2 日間完成(海域測量作業於 5 月 30 日至 6 月 9 日間共七天)，冬季水深測量工作則於 92 年 10 月 15 日至 92 年 11 月 28 日完成(海域測量於 10 月 25 日至 10 月 30 日間共五天)；而此期間則經歷了尹布都(7/22)、莫拉克(8/3)、梵高(8/20)、杜鵑(9/1)等颱風過境影響到布袋港附近海域之水深。

本年度夏季水深測量工作則於 93 年 3 月 25 日至 93 年 5 月 08 日間完成(海域測量作業於 3 月 30 日至 4 月 7 日間共八天)，冬季水深測量工作則於 93 年 8 月 23 日至 93 年 10 月 06 日完成(海域測量於 9 月 8 日至 9 月 12 日間共五天)；而此期間則經歷了康森(6/7)、敏督利(6/28)、康柏斯(7/14)、蘭寧(8/10)、艾利(8/23)等颱風過境影響到布袋港附近海域之水深。本計畫執行的五年中各時段之水深測量調查結果，經過分析及繪圖後所得出的成果則分別描述於以下各節：

4.3.1 水深測量之結果

1.八十九年冬季水深測量

八十九年度冬季(89/01)調查結果經由水深測量資料檢核後，再將三維的各測點水深資料經由電腦繪圖作業，繪製成為八十九年度冬季(89/01)布袋港岸線水深測量結果如圖 4-3 所示；而其八十九年度冬季(89/01)布袋港港口水深測量結果如圖 4-4 所示。

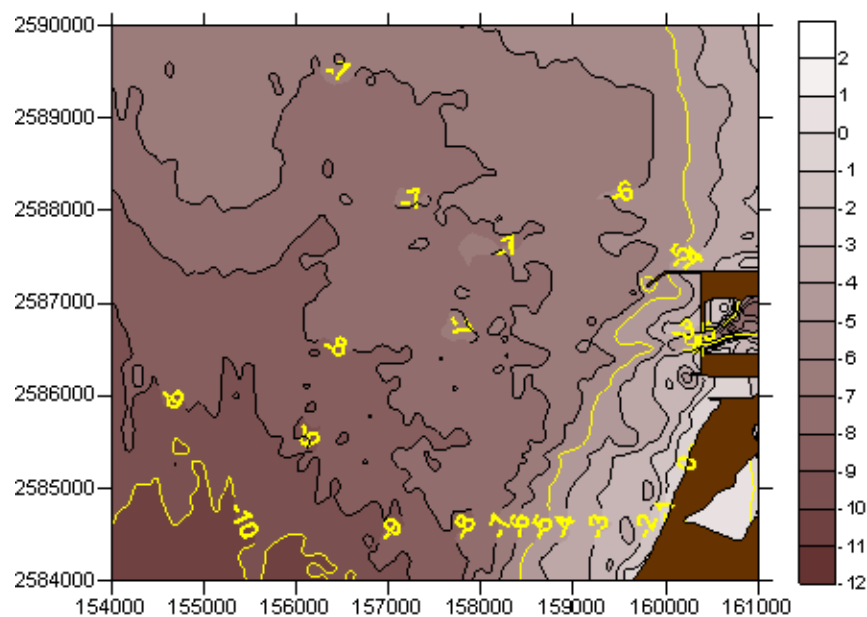


圖 4-3 八十九年度冬季(89/01)布袋港岸線水深測量結果

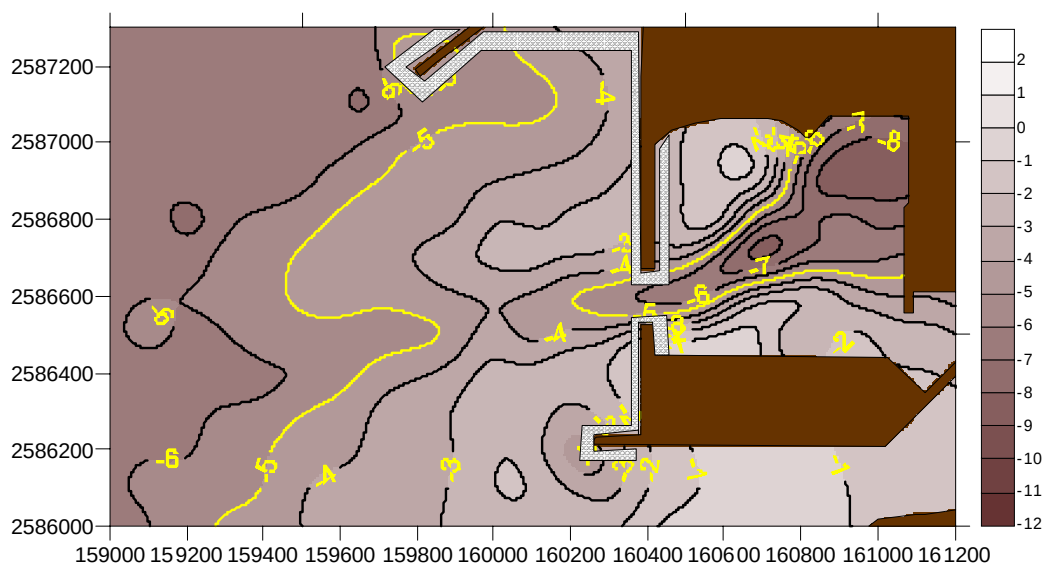


圖 4-4 八十九年度冬季(89/01)布袋港港口水深測量結果

2. 八十九年度夏季水深測量

而八十九年度夏季(89/07)布袋港岸線水深測量結果如圖 4-5 所示；其八十九年度夏季(89/07)布袋港港口水深測量結果如圖 4-6 所示。

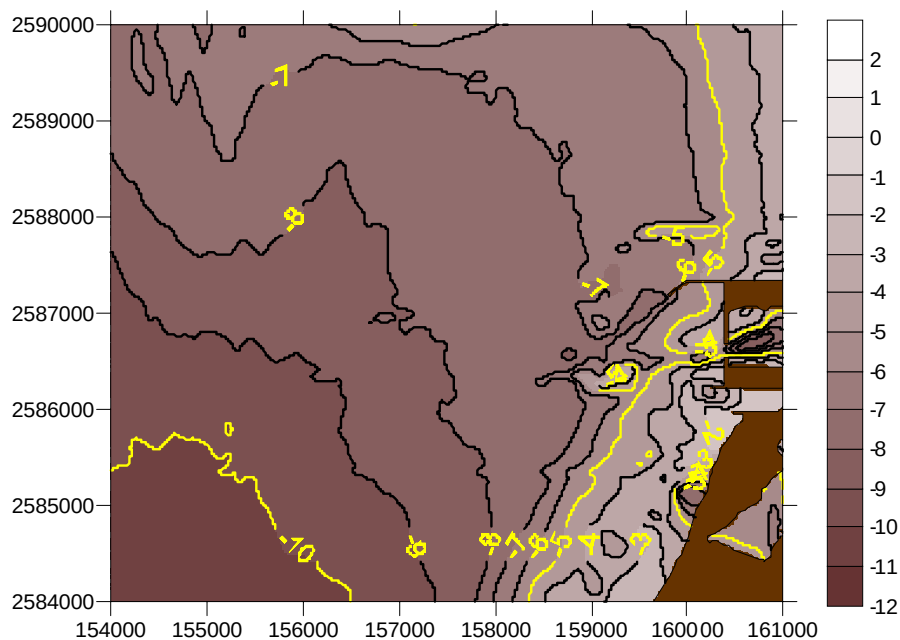


圖 4-5 八十九年度夏季(89/07)布袋港岸線水深測量結果

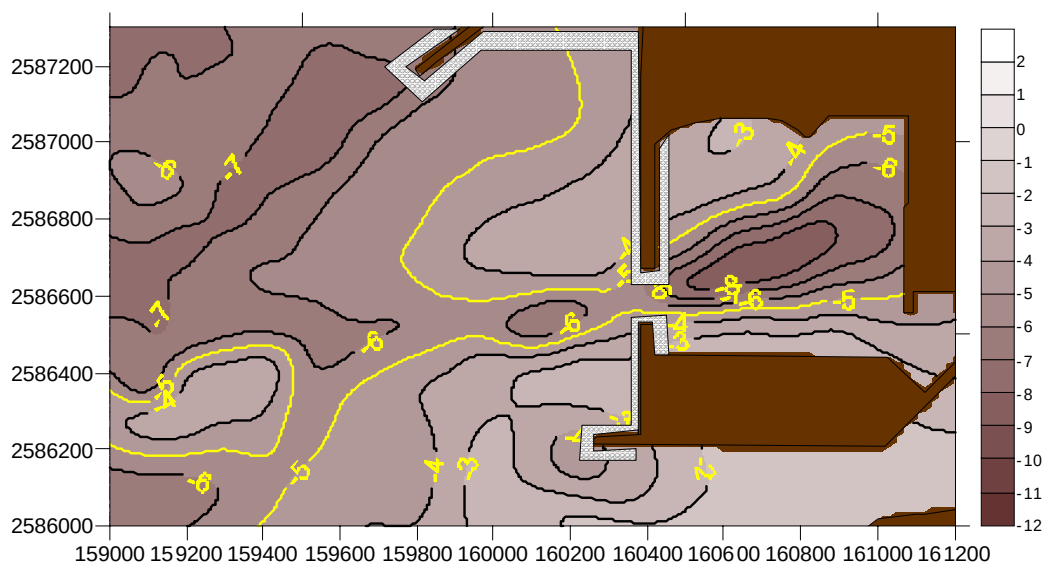


圖 4-6 八十九年度夏季(89/07)布袋港港口水深測量結果

3.九十年夏季水深測量

而九十年度夏季(90/06)布袋港岸線水深測量結果如圖 4-7 所示；
其九十年度夏季(90/06)布袋港港口水深測量結果如圖 4-8 所示。

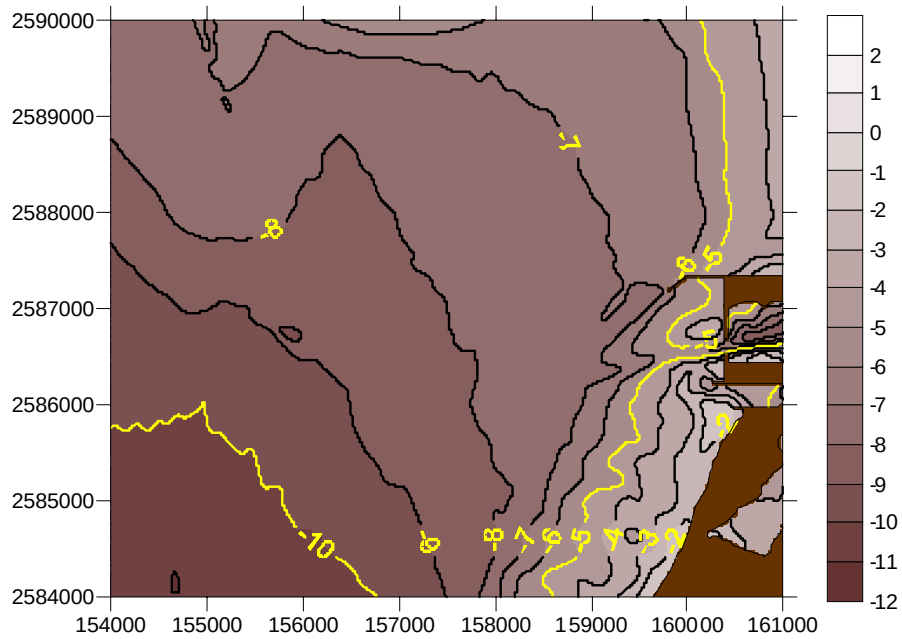


圖 4-7 九十年度夏季(90/06)布袋港岸線水深測量結果

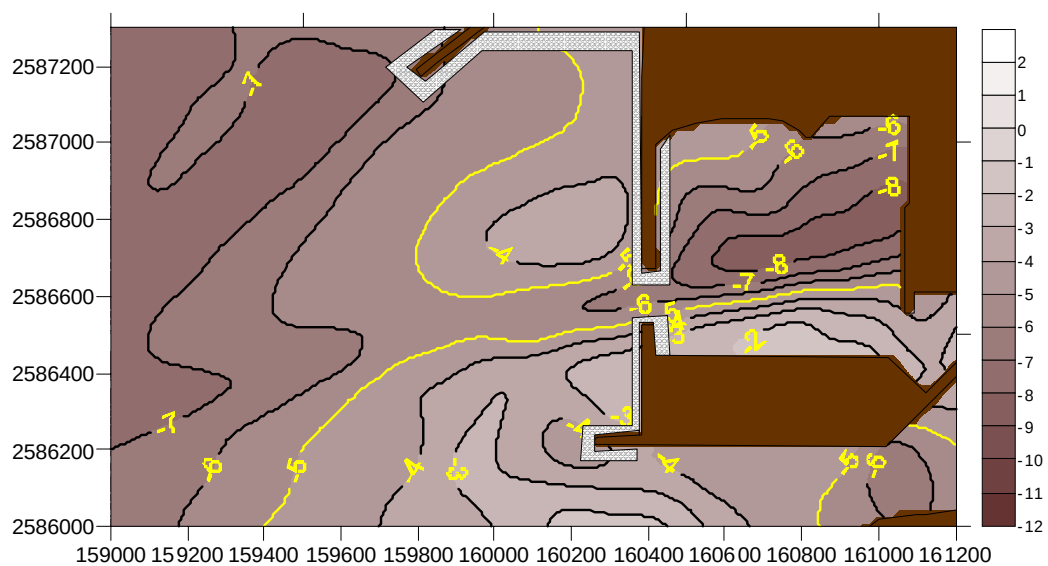


圖 4-8 九十年度夏季(90/06)布袋港港口水深測量結果

4.九十年冬季水深測量

而九十年度冬季(90/11)布袋港岸線水深測量結果如圖 4-9 所示；其九十年度冬季(90/11)布袋港港口水深測量結果如圖 4-10 所示。

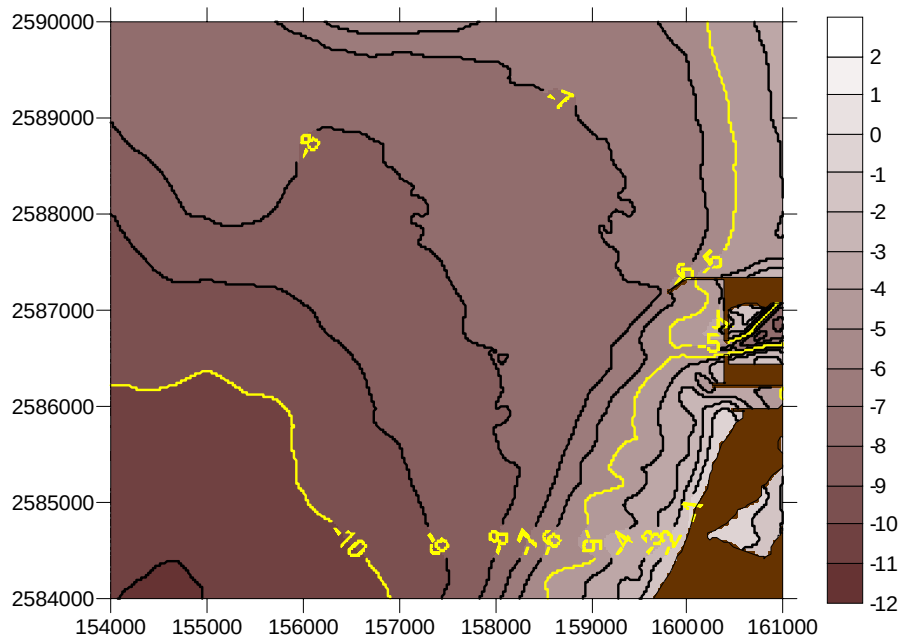


圖 4-9 九十年度冬季(90/11)布袋港岸線水深測量結果

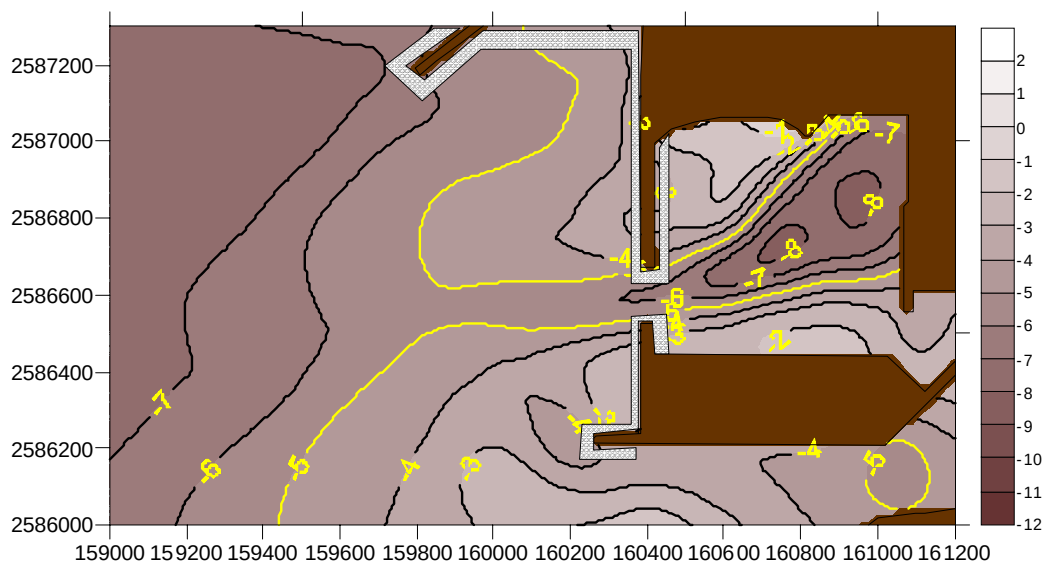


圖 4-10 九十年度冬季(90/11)布袋港港口水深測量結果

5.九十一年夏季水深測量

而九十一年度夏季(91/04)布袋港岸線水深測量結果如圖 4-11 所示；其九十一年度夏季(91/04)布袋港港口水深測量結果如圖 4-12 所示。

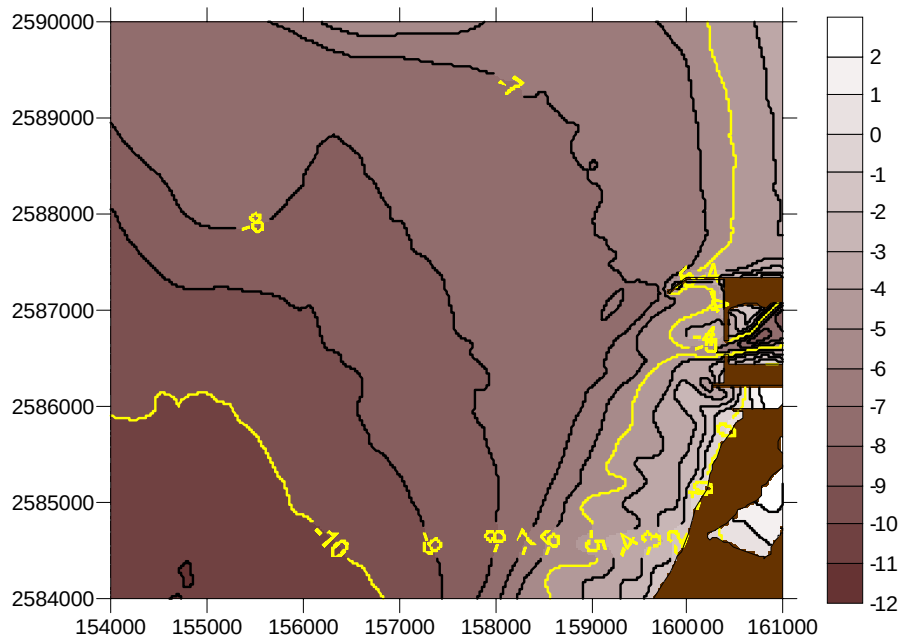


圖 4-11 九十一年度夏季(91/04)布袋港岸線水深測量結果

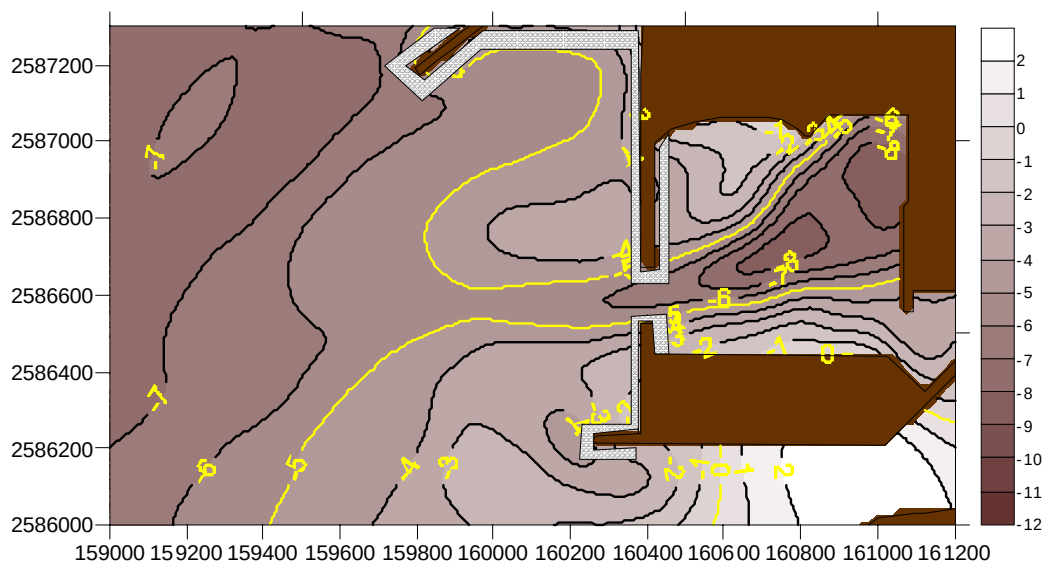


圖 4-12 九十一年度夏季(91/04)布袋港港口水深測量結果

6.九十一年冬季水深測量

而九十一年度冬季(91/09)布袋港岸線水深測量結果如圖 4-13 所示；其九十一年度冬季(91/09)布袋港港口水深測量結果如圖 4-14 所示。

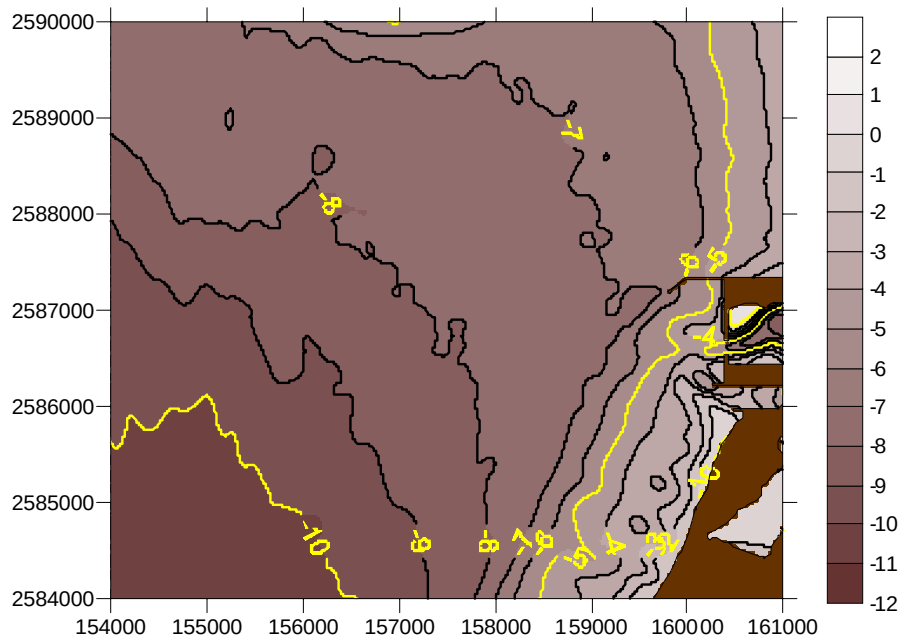


圖 4-13 九十一年度冬季(91/09)布袋港岸線水深測量結果

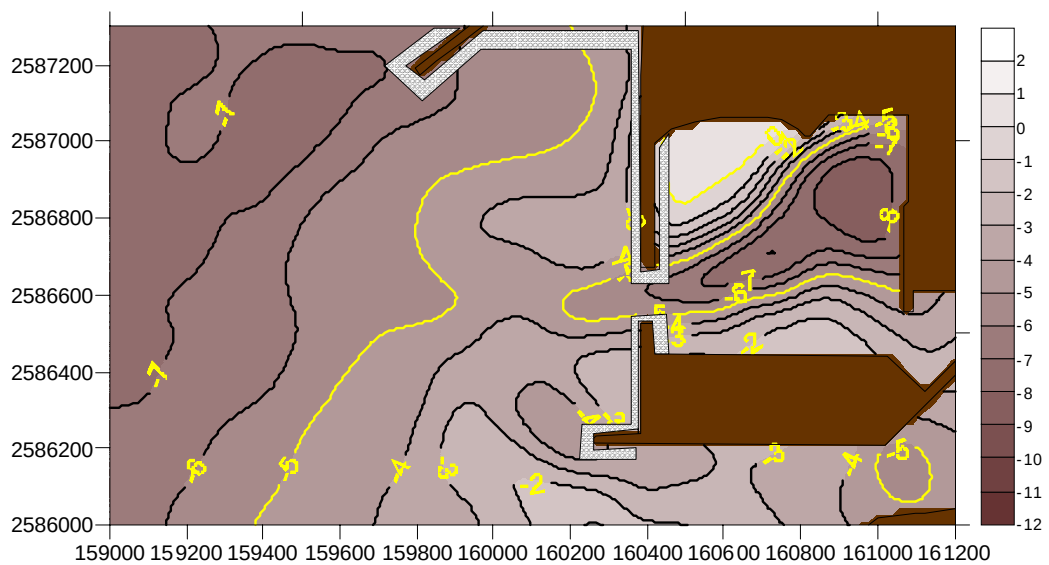


圖 4-14 九十一年度冬季(91/09)布袋港港口水深測量結果

7. 九十二年夏季水深測量

而九十二年度夏季(92/06)布袋港岸線水深測量結果如圖 4-15 所示；其九十二年度夏季(92/06)布袋港港口水深測量結果如圖 4-16 所示。

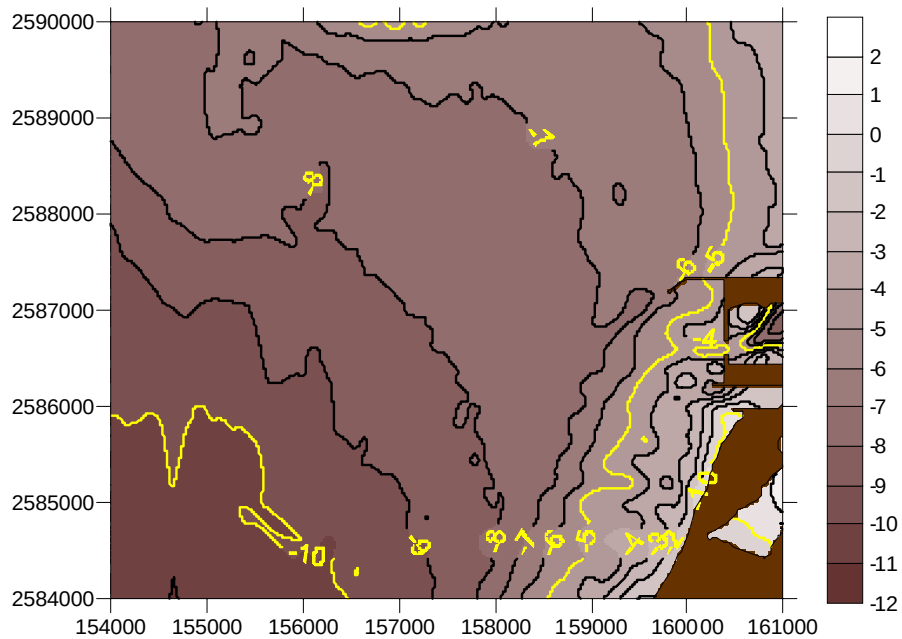


圖 4-15 九十二年度夏季(92/06)布袋港岸線水深測量結果

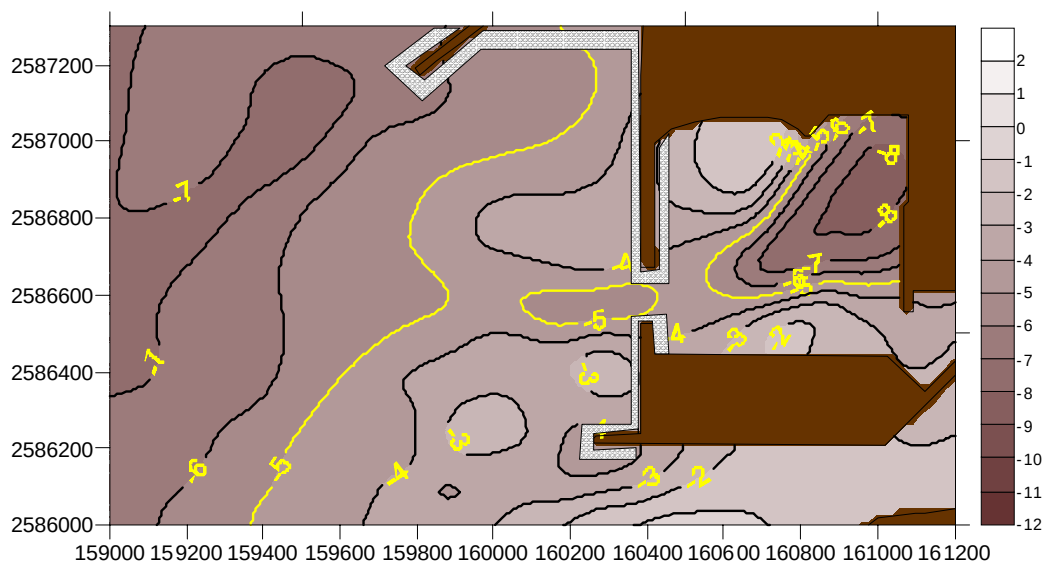


圖 4-16 九十二年度夏季(92/06)布袋港港口水深測量結果

8. 九十二年冬季水深測量

而九十二年度冬季(92/10)布袋港岸線水深測量結果如圖 4-17 所示；其九十二年度冬季(92/10)布袋港港口水深測量結果如圖 4-18 所示。

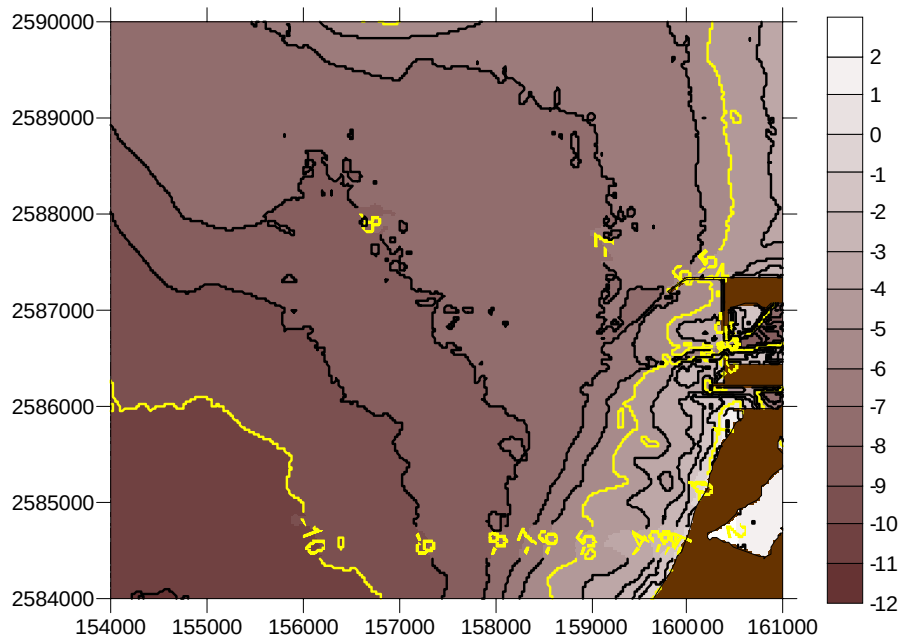


圖 4-17 九十二年度冬季(92/10)布袋港岸線水深測量結果

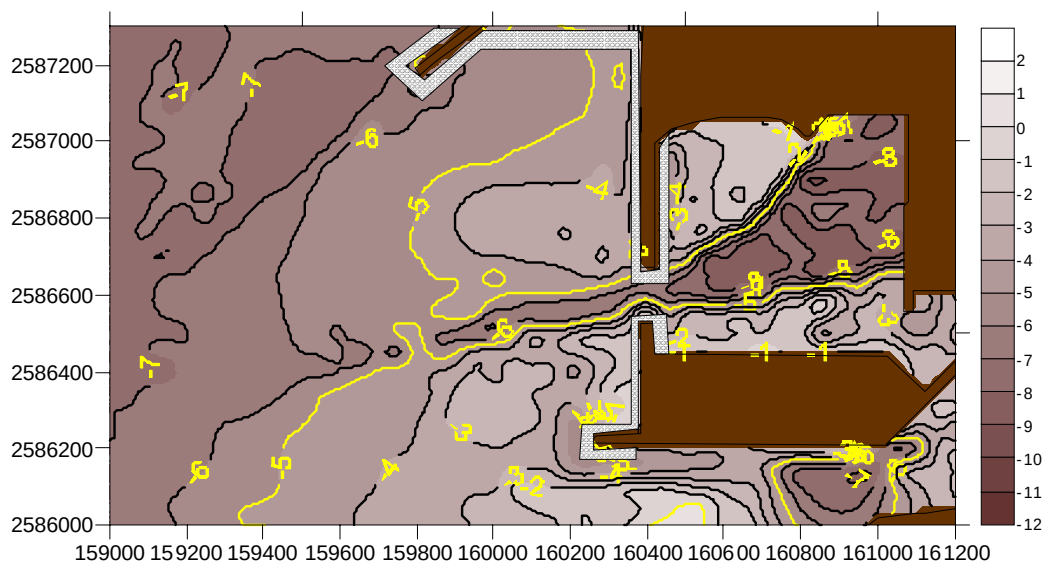


圖 4-18 九十二年度冬季(92/10)布袋港港口水深測量結果

9. 九十三年夏季水深測量

而九十三年度夏季(93/04)布袋港岸線水深測量結果如圖 4-19 所示；其九十三年度夏季(93/04)布袋港港口水深測量結果如圖 4-20 所示。

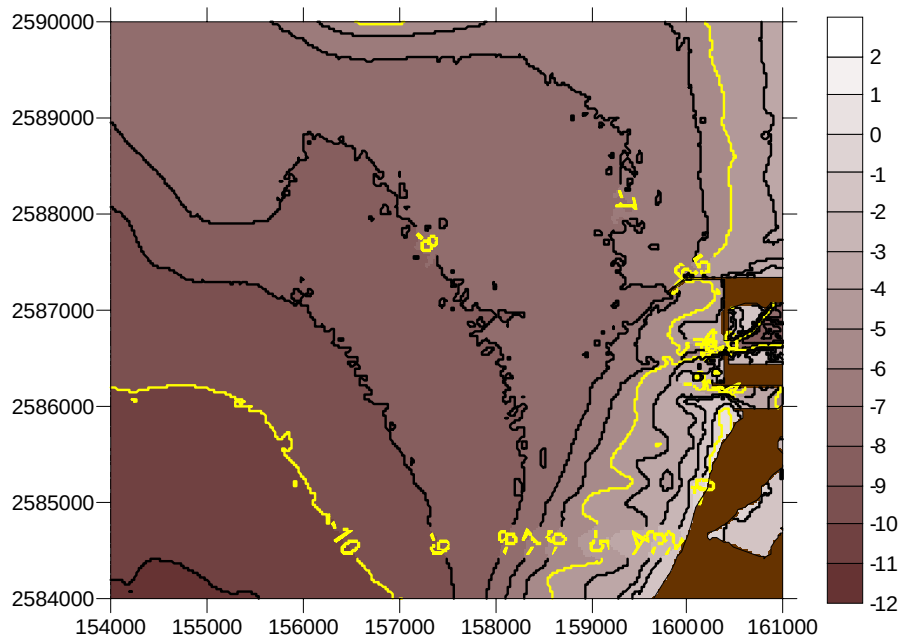


圖 4-19 九十三年度夏季(93/04)布袋港岸線水深測量結果

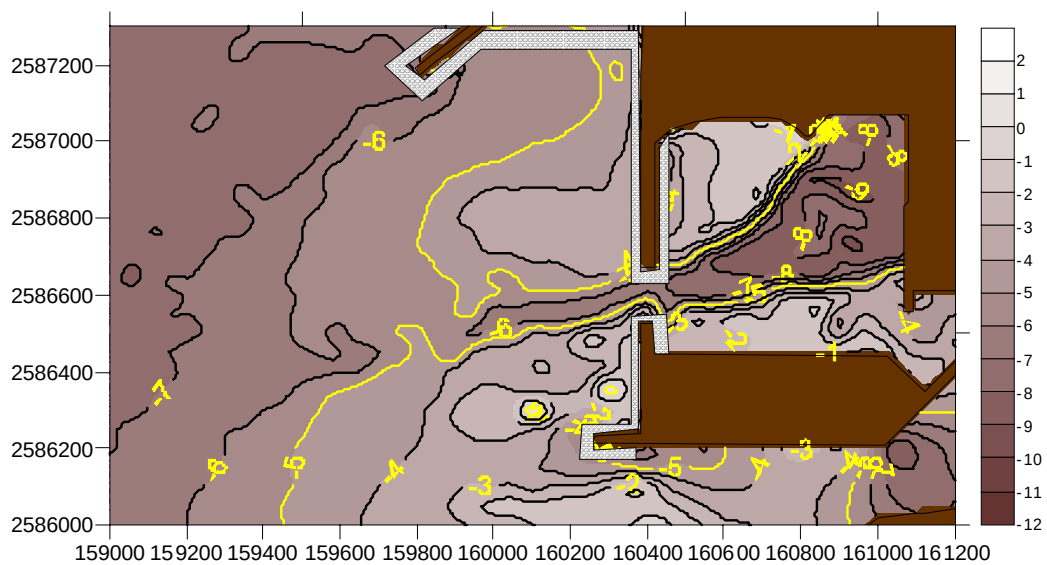


圖 4-20 九十三年度夏季(93/04)布袋港港口水深測量結果

10. 九十三年冬季水深測量

而九十三年度冬季(93/09)布袋港岸線水深測量結果如圖 4-21 所示；其九十三年度冬季(93/09)布袋港港口水深測量結果如圖 4-22 所示。

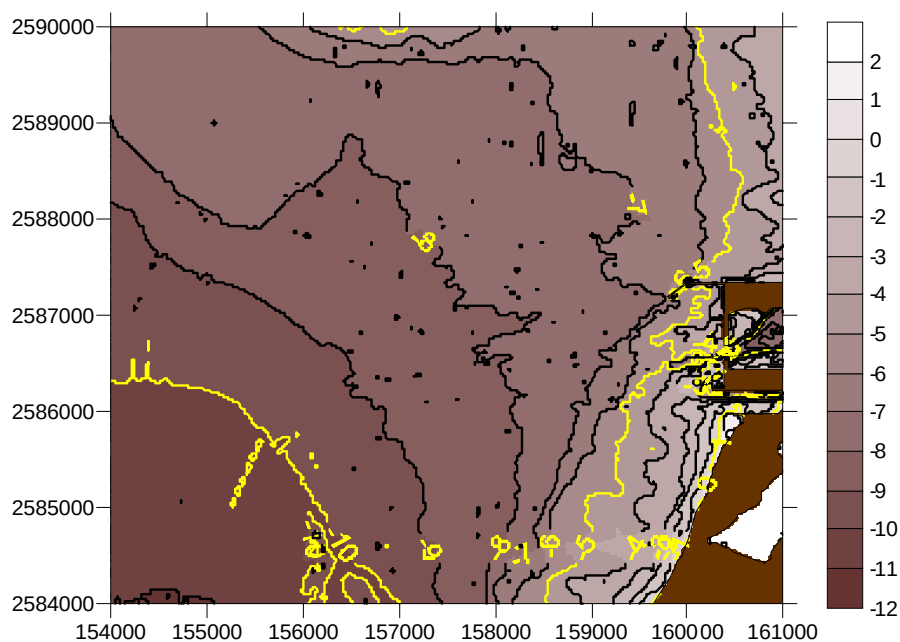


圖 4-21 九十三年度冬季(93/09)布袋港岸線水深測量結果

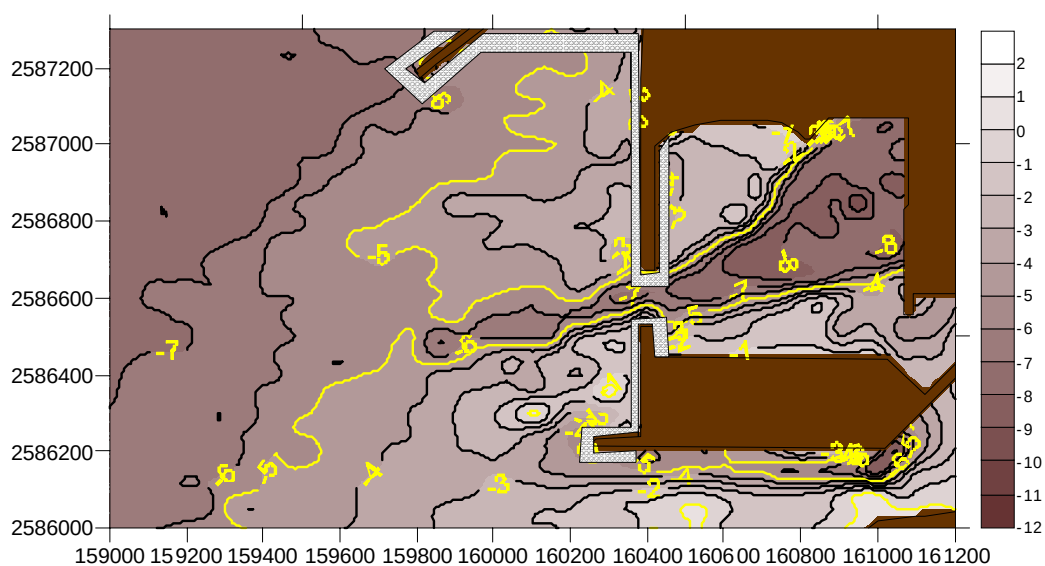


圖 4-22 九十三年度冬季(93/09)布袋港港口水深測量結果

4.3.2 分析與比較

為了便於分析水深變化情況，由前節各次布袋港岸線水深測量之結果，本研究繪製三維水深變化圖來描繪說明之；八十九年度第一次(89/01)布袋港岸線三維水深變化如圖 4-23 所示；八十九年度第二次(89/07)布袋港岸線三維水深變化如圖 4-24 所示；九十年第一次(90/07)布袋港岸線三維水深變化如圖 4-25 所示；九十年第二次(90/11)布袋港岸線三維水深變化如圖 4-26 所示；九十一年第一次(91/04)布袋港岸線三維水深變化如圖 4-27 所示；九十一年第二次(91/09)布袋港岸線三維水深變化如圖 4-28 所示；九十二年第一次(92/06)布袋港岸線三維水深變化如圖 4-29 所示；九十二年第二次(92/10)布袋港岸線三維水深變化如圖 4-30 所示；九十三年第一次(93/04)布袋港岸線三維水深變化如圖 4-31 所示；九十三年第二次(93/09)布袋港岸線三維水深變化如圖 4-32 所示。

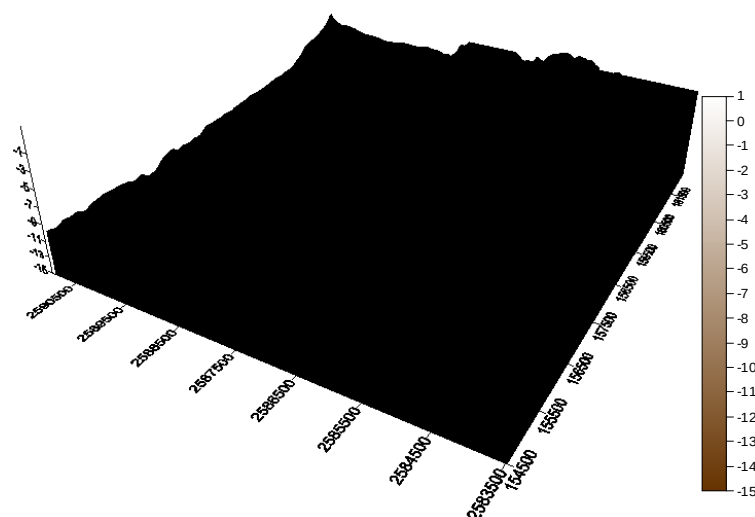


圖 4-23 八十九年度第一次(89/01)布袋港岸線三維水深變化

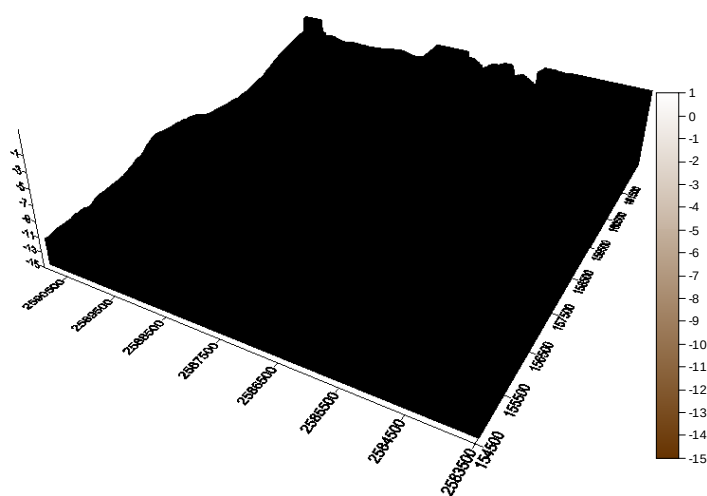


圖 4-24 八十九年度第二次(89/07)布袋港岸線三維水深變化

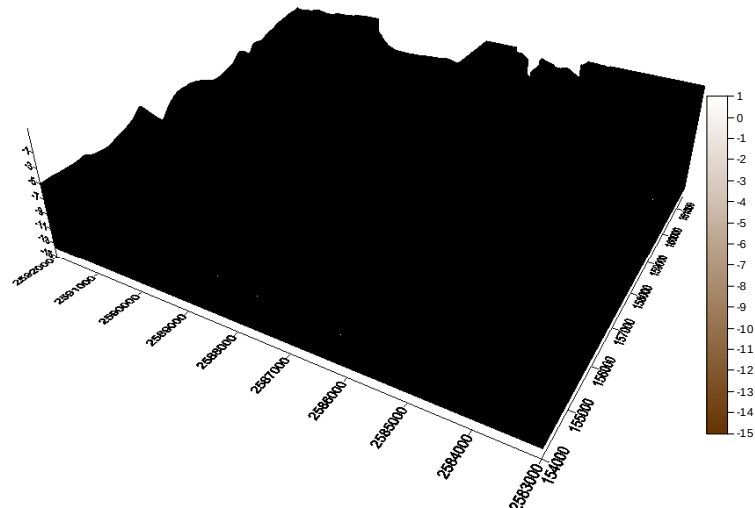


圖 4-25 九十年第一次(90/07)布袋港岸線三維水深變化

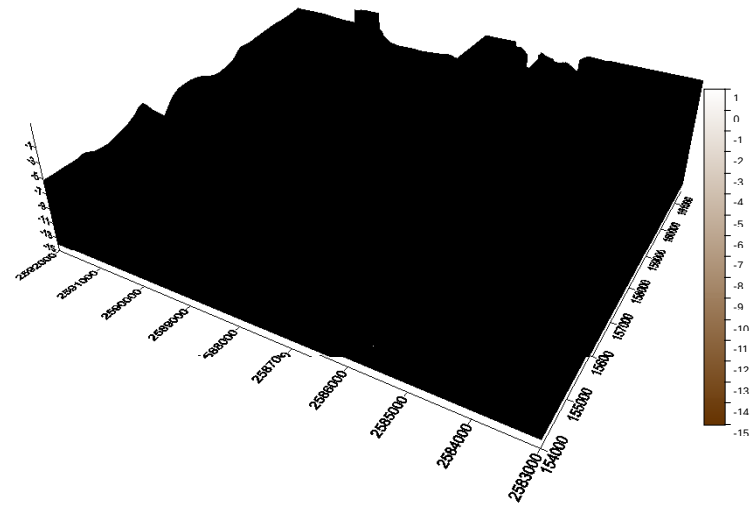


圖 4-26 九十年第二次(90/11)布袋港岸線三維水深變化

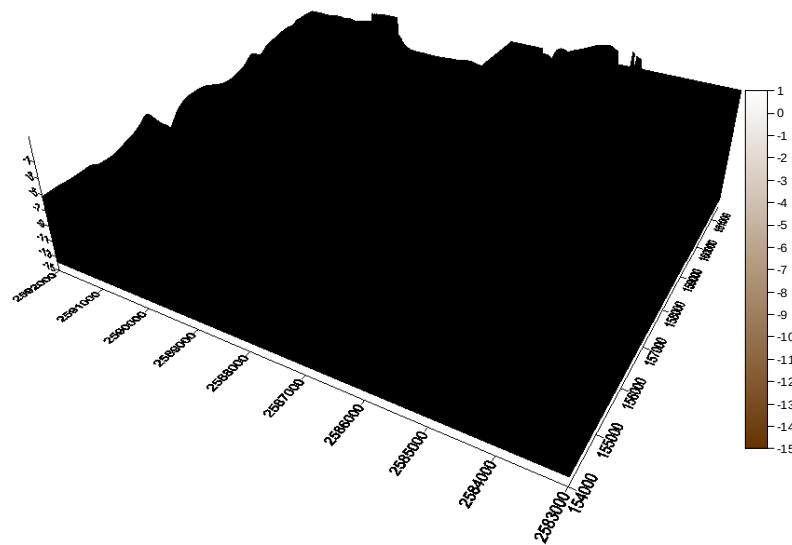


圖 4-27 九十一年第一次(91/04)布袋港岸線三維水深變化

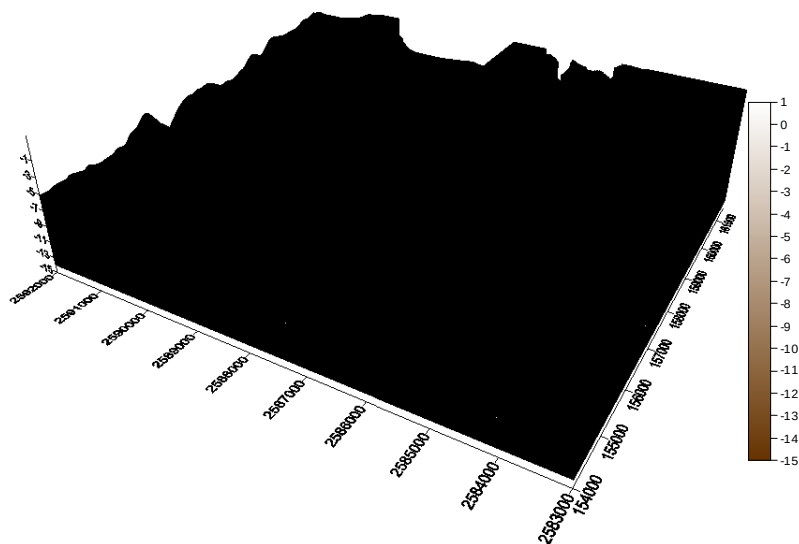


圖 4-28 九十一年度第二次(91/09)布袋港岸線三維水深變化

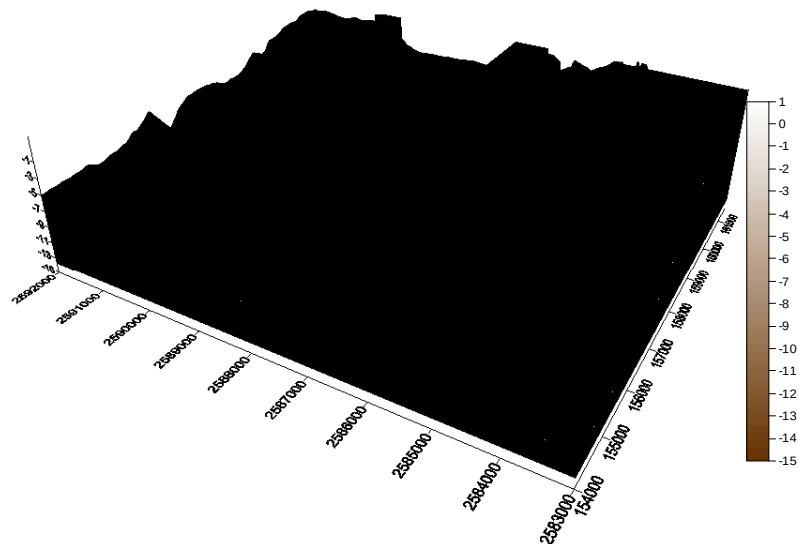


圖 4-29 九十二年度第一次(92/06)布袋港岸線三維水深變化

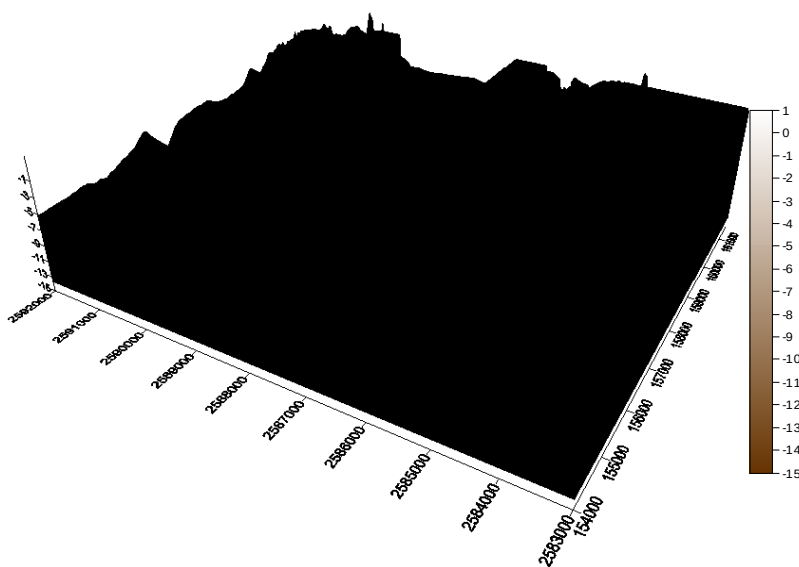


圖 4-30 九十二年度第二次(92/10)布袋港岸線三維水深變化

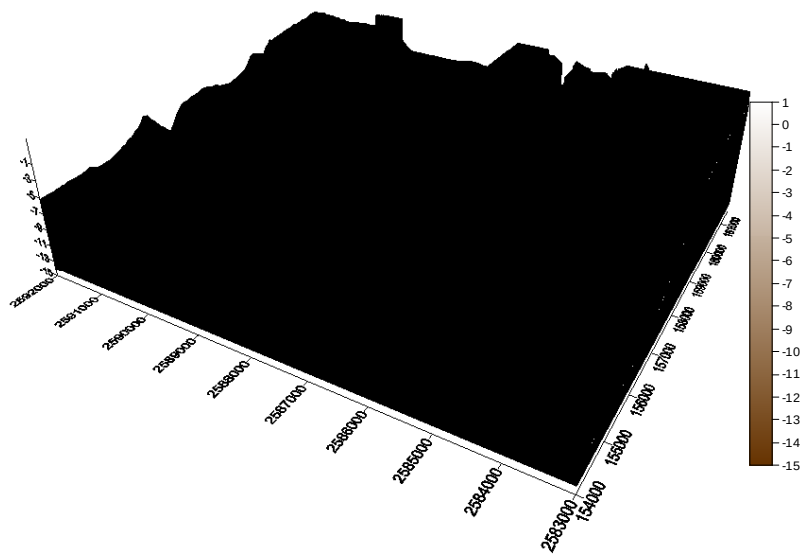


圖 4-31 九十三年第一次(93/04)布袋港岸線三維水深變化

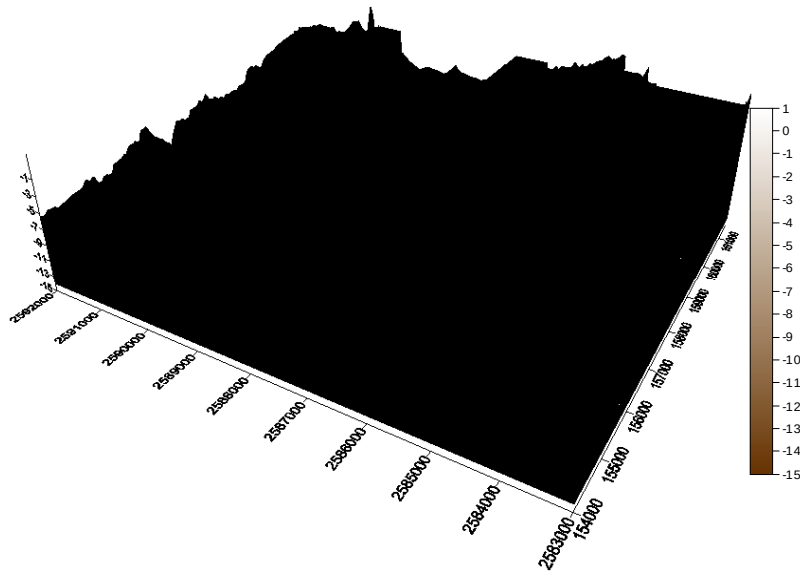


圖 4-32 九十三年第二次(93/09)布袋港岸線三維水深變化

由上述之布袋港附近海域各時段岸線三維水深變化圖可以得知，布袋港附近海岸線的水深變化走向以北北東(NNE)較淺愈往南南西(SSW)漸深走向，為了便於敘述乃分為四個區域來分別討論：

1. 港池與碼頭區：布袋港港池內與碼頭區水深介於-9~-3 公尺之間，港池西北角與東南角每於夏季颱風期過後皆有淤積現象發生；而港口航道原有水深介於-9~-6 公尺之間，且港務局每年進行航道浚深工程，但每遇颱風過境後皆產生大量淤積現象；甚至港口航道水深僅達-3 公尺左右。
2. 北防波堤以北區：北防波堤以北因有外傘頂洲與壽島等沙洲地

形，等深線走向呈弧形內灣變化，由北北西(NNW)較淺往南南東(SSE)方向則漸深；離岸線距離約 2000 公尺，其水深處約在 -5 公尺左右，坡降約為 1/400。

3. 北防波堤與南堤以西：港口以西附近等深線則以由北北東(NNE)方向較淺逐漸往南南西(SSW)方向漸深；離岸線距離約 1000 公尺其水深約在 -5 公尺，坡降約為 1/200 左右，而水深 -9 至 -5 公尺之間為漸變段緩坡，延伸至離岸距離約 6000 公尺處，坡降小於 1/1000，。
4. 南堤以南：港口以南其等深線呈現與海岸線平行走勢，以北北東(NNE)方向較淺逐漸往南南西(SSW)方向漸深；離岸線距離約 950 公尺水深約 -5 公尺，坡降為 1/150 至 1/300 之間，而水深 -9.5 至 -5 公尺之間，亦為漸變段緩坡，延伸至離岸距離約 6000 公尺處，坡降約為 1/1000 左右。

而為了更瞭解布袋港附近海域水深變化情況，特別以本調查研究五年間之歷次岸線水深測量結果(圖 4-3、圖 4-5、圖 4-7、圖 4-9、圖 4-11、圖 4-13、圖 4-15、圖 4-17、圖 4-19、圖 4-21)等資料來作一分析比對；經由比對可以得出布袋港附近海域岸線之各時段水深比對如圖 4-33 所示，由圖 4-33 觀察可以發現布袋港港外海域及岸線整體地形於八十九年一月與九十年十一月之間(約二年)為緩慢的侵蝕現象，而九十年十一月至九十二年六月之間(約一年半)整個海域地形則呈現淤積現象，由九十二年六月至九十三年四月之間(約一年)則呈現侵蝕現象，九十二年四月至九十三年九月之間(約半年)調查的結果又恢復淤積現象；而此種週而復始的侵淤現象，究其原因可能係因每年冬季東北季風為主要優勢方向的潮流，能夠將潟湖內之漂沙緩慢的往外海帶出本區海域，因此造成侵蝕現象；而於夏季西南風時節雖無法啟動底泥，但因常受颱風波浪作用影響，使得外傘頂沙洲南岸之漂沙進入潟湖水域，因此形成淤積現象；而且九十年度岸線南面之好美里海堤及離岸堤興建完竣後，因為好美里離岸堤及海堤產生之養灘作用，使得外傘頂洲南移之漂沙滯留於本區海域因而減緩岸線侵蝕現象。

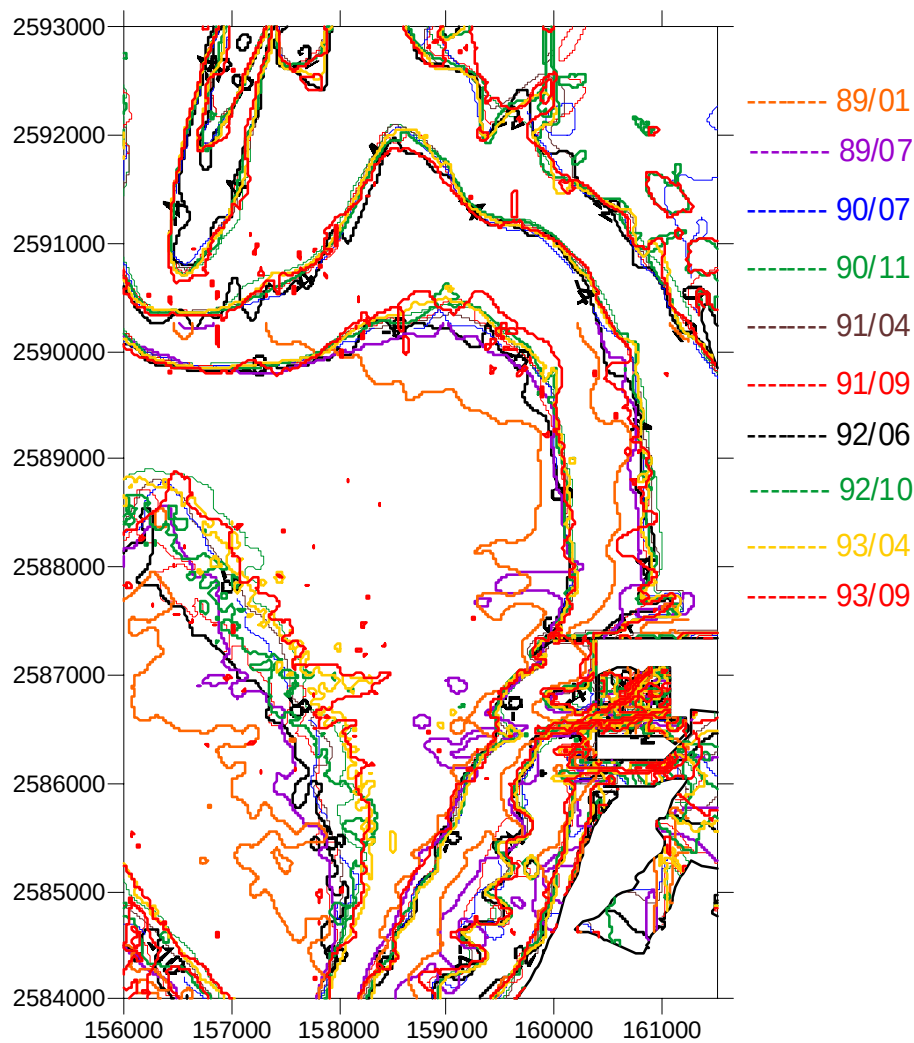


圖 4-33 布袋港附近海域岸線之各時段水深比對

而為了更深入局部觀察布袋港港池及碼頭附近之水深變化情況，則以歷次港口水深測量之結果(圖 4-4、圖 4-6、圖 4-8、圖 4-10、圖 4-12、圖 4-14、圖 4-16、圖 4-18、圖 4-20、圖 4-22)等資料比對，經由比對可以得出布袋港港池及碼頭之各時段之水深比對如圖 4-34 所示；由圖 4-34 顯示布袋港港池及碼頭區的水深變化呈現十分紊亂的現象，其原因主要是因受港務局逐年皆有浚深工程進行，使得港內淤積情形無法由每次的水深調查中了解其漂沙侵淤程度，但可以確定的是港池及碼頭受季節性影響甚大，每遇颱風時節其港池與航道間皆有大量之淤積現象，而於冬季節風時節卻無法將颱風所帶入之淤沙隨潮流帶出港外，因此漂沙長期滯留於布袋港港池的西北角與東南碼頭附近，此現象是頗值得探討的。

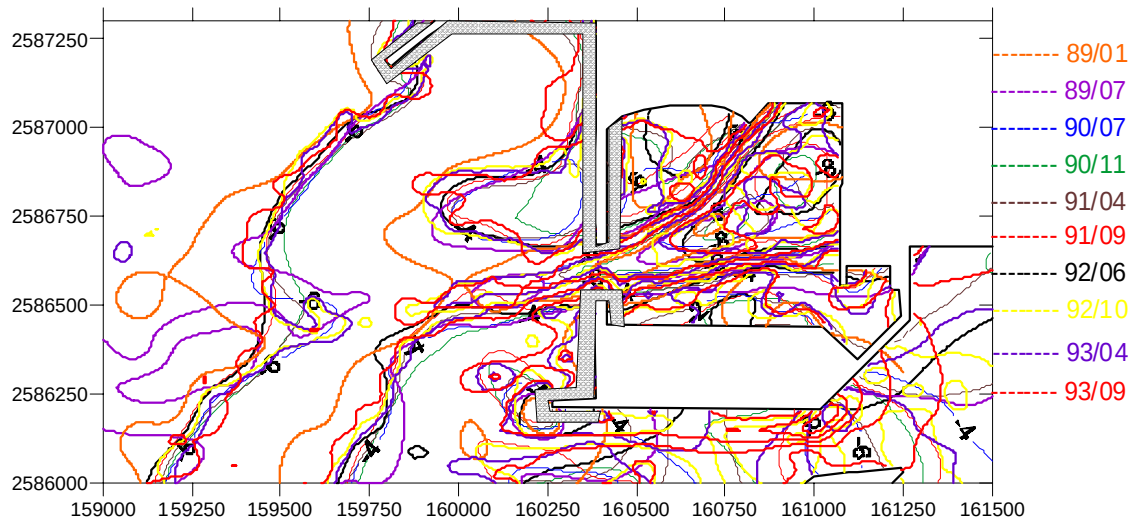


圖4-34 布袋港港池及碼頭之各時段之水深比對

基於上述，為了瞭解布袋港附近海域水深與季節變化之關係，本調查更以歷次岸線水深測量結果(圖 4-3、圖 4-5、圖 4-7、圖 4-9、圖 4-11、圖 4-13、圖 4-15、圖 4-17、圖 4-19、圖 4-21)等資料以季節變化之關聯性來逐一分析比對；經由逐年的季節特性比對，可以得出布袋港附近海域岸線之冬季(89/01)至夏季 (89/07)水深比對如圖 4-35 所示；布袋港附近海域岸線之夏季(89/07)至夏季 (90/06)水深比對如圖 4-36 所示；布袋港附近海域岸線之夏季(90/06)至冬季 (90/11)水深比對如圖 4-37 所示；而布袋港附近海域岸線之冬季 (90/11)至夏季 (91/04)水深比對如圖 4-38 所示；布袋港附近海域岸線之夏季(91/04)至冬季 (91/09)水深比對如圖 4-39 所示；布袋港附近海域岸線之冬季(91/09)至夏季 (92/06)水深比對如圖 4-40 所示；布袋港附近海域岸線之夏季(92/06)至冬季(92/10)水深比對如圖 4-41 所示；布袋港附近海域岸線之冬季(92/10)至夏季 (93/04)水深比對如圖 4-42 所示；布袋港附近海域岸線之夏季 (93/04)至冬季 (93/09)水深比對如圖 4-43 所示。

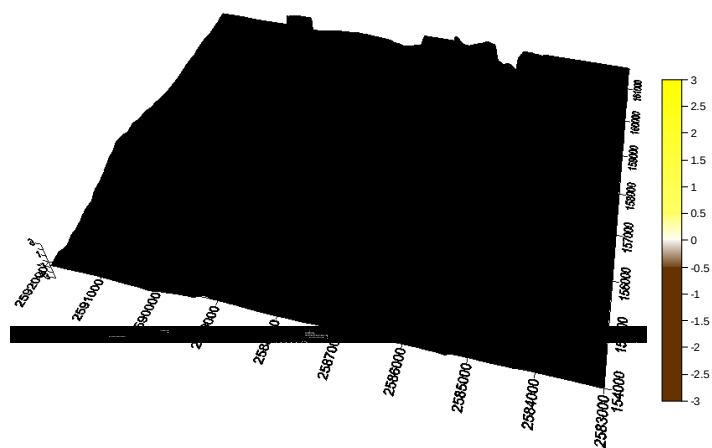


圖4-35 布袋港附近海域岸線之冬季(89/01)至夏季 (89/07)水深比對

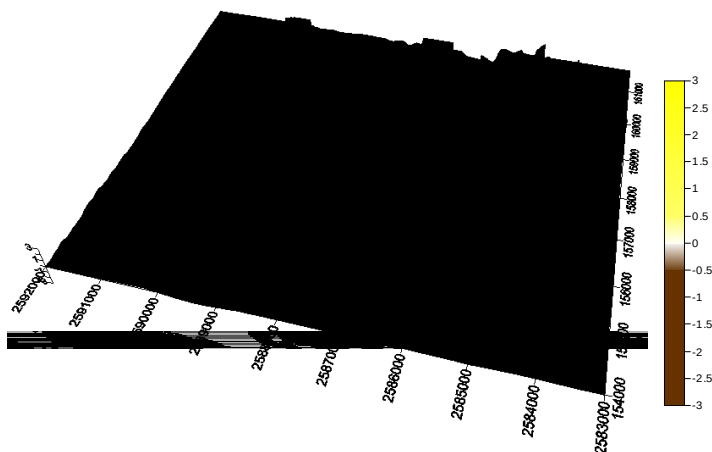


圖4-36 布袋港附近海域岸線之夏季(89/07)至夏季 (90/06)水深比對

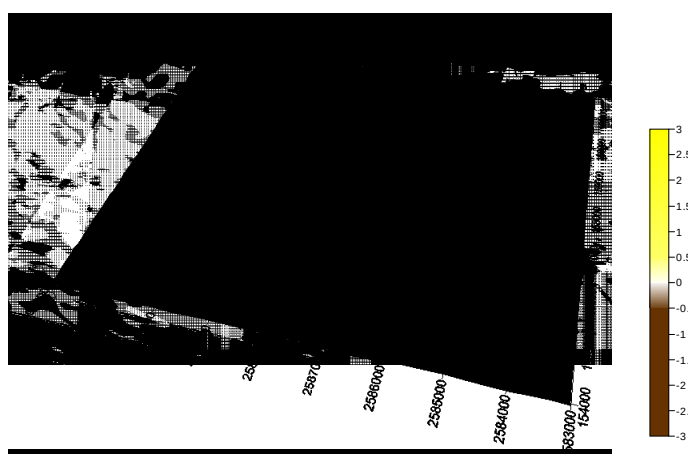


圖4-37 布袋港附近海域岸線之夏季(90/06)至冬季 (90/11)水深比對

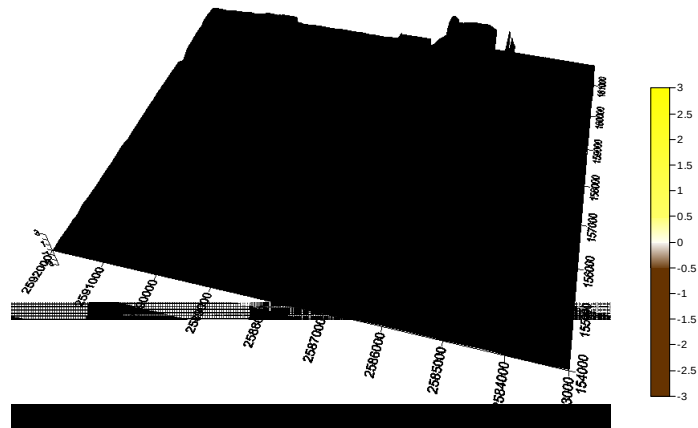


圖4-38 布袋港附近海域岸線之冬季(90/11)至夏季(91/04)水深比對

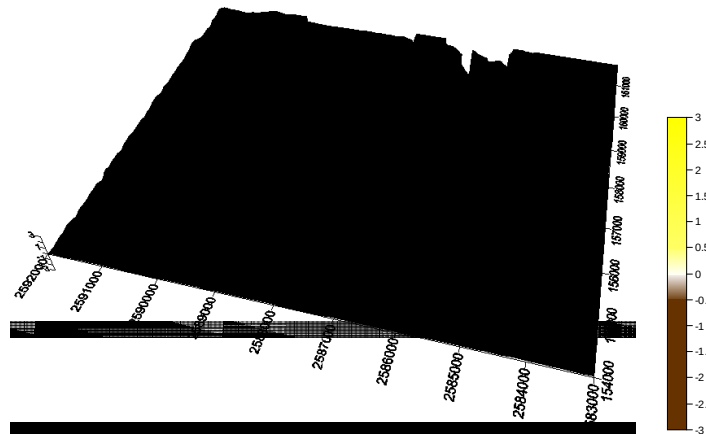


圖4-39 布袋港附近海域岸線之夏季(91/04)至冬季 (91/09)水深比對

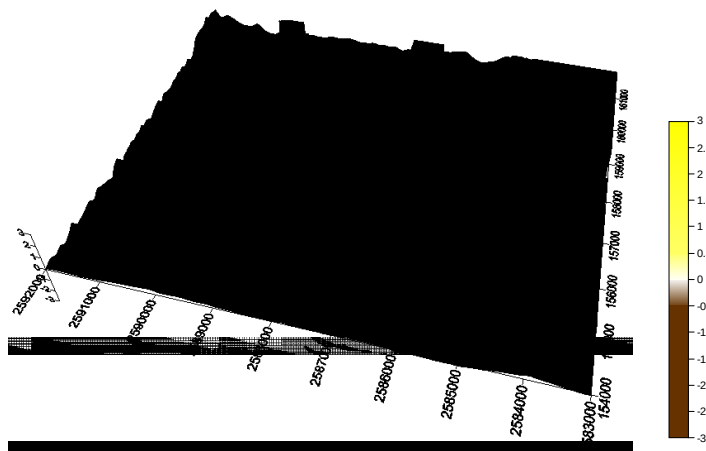


圖4-40 布袋港附近海域岸線之冬季(91/09)至夏季 (92/06)水深比對

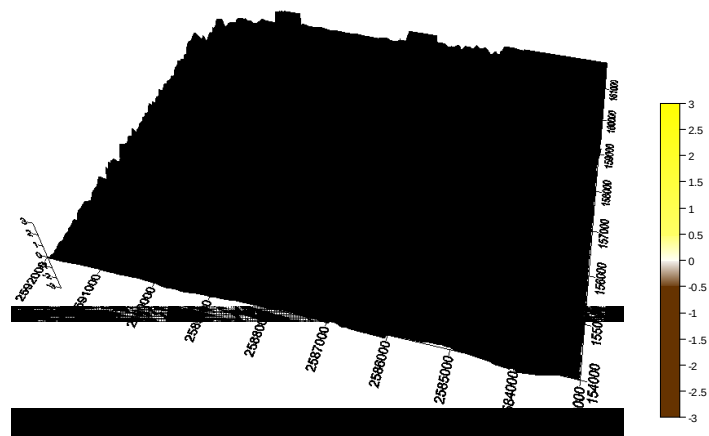


圖4-41 布袋港附近海域岸線之夏季(92/06)至冬季(92/10)水深比對

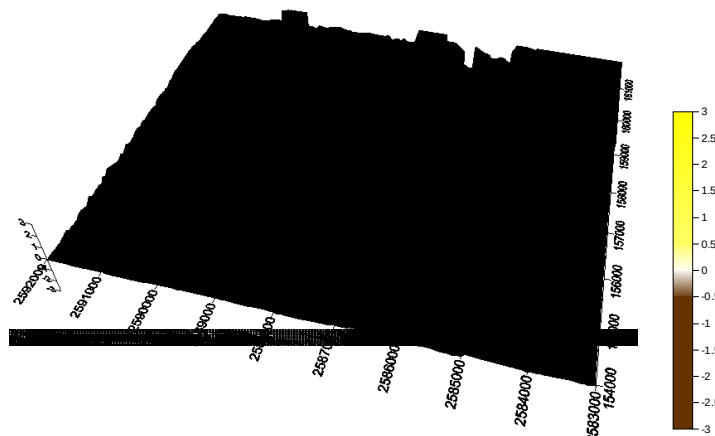


圖4-42 布袋港附近海域岸線之冬季(92/10)至夏季(93/04)水深比對

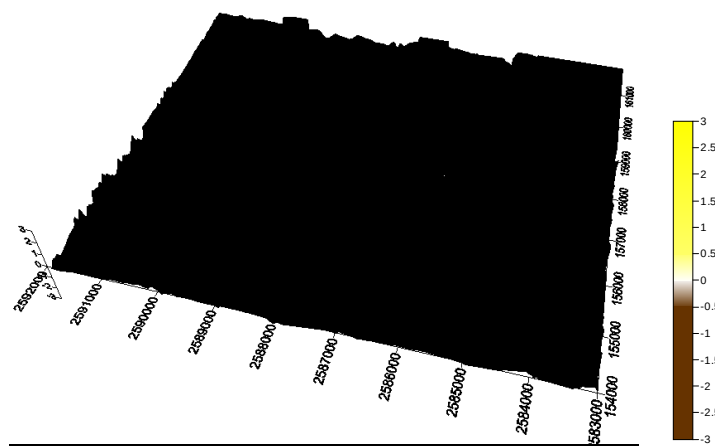


圖4-43 布袋港附近海域岸線之夏季(93/04)至冬季(93/09)水深比對

由圖 4-35 至圖 4-43 觀察，可以發現布袋港港外海域及岸線地形，其水深變化是以八十九年一月與九十年十一月之間(約二年)為緩慢的侵蝕現象，而由九十年十一月至九十二年六月之間(約一年半)整個海域地形則呈現淤積現象，九十二年六月至九十三年四月之間(約一年)則呈現侵蝕現象，九十三年四月至九十三年九月之間調查的結果又恢復淤積現象(約半年)；其主要原因已於前節探討不再贅述，值得注意的是布袋港口及航道正值岸線-3 至-5 公尺水深附近，每遇颱風波浪作用其外海之底泥受到波浪啟動後，隨著波流漂向布袋港口及航道附近，因此常造成嚴重淤積現象；雖然冬季季風時節其滯留於岸線附近之淤沙，會隨著東北季風的潮水漲退緩慢的離岸退去，但卻因波浪尖銳度較小，不足以啟動港口及航道內之淤沙；因此布袋港海域岸線雖屬於隨季節性變動之動態平衡岸線，但依據現階段布袋港港口及航道的佈置情況，每遇颱風直襲時，仍將無可避免的會有大量淤沙滯留在港口及航道附近。

另布袋港港池及碼頭區其水深與季節變化間之關係，因港內水深常受港務局持續辦理浚深工程之影響，無法依本研究之各次調查結果來進行分析與比對，以免因此誤導對於港內漂沙量之判讀；但是由布袋港港池及碼頭之各時段之水深比對(圖 4-34)顯示，各水深測量時段時差約半年(除八十九年度冬季因預算延誤未施測以外)，於各年夏季轉冬季時節時，布袋海域常會受到颱風過境影響，而其港外漂沙隨颱風波浪湧入港池內，港池內西北角及東南碼頭區與港口突堤內皆呈現漂沙嚴重淤積現象，部份水域淤沙甚至可增達 2 公尺以上之高程；而港外外航道部份與港口以西延伸約 1000 公尺處，也常受颱風波浪影響，從水深-7 公尺淤積為-5 公尺左右，而此現象將嚴重影響布袋商港航船安全，九十二年度港務局雖於港口附近航道兩側堆置拋石潛堤企圖改善航道淤積現象，然因外航道正值颱風波浪之碎波水深處(-3 公尺至-5 公尺)，每遇颱風季節波浪繞射進入航道，將使波浪碎波後所起動之底泥堆聚於航道內，造成航道淤積現象仍舊無法獲得改善。

另外為了瞭解布袋港港口附近漂沙量的減增情況，本研究將本計畫執行五年共十個時段之水深測量之結果，依其量測範圍分為港池碼頭區、港口航道區、港外西側區、港口北側區與港口南側區等五個區域以設計高度以下深度-15 水深為基準，來計算出十個時段之分區土方量，其土方量計算分區示意如圖 4-44 所示。

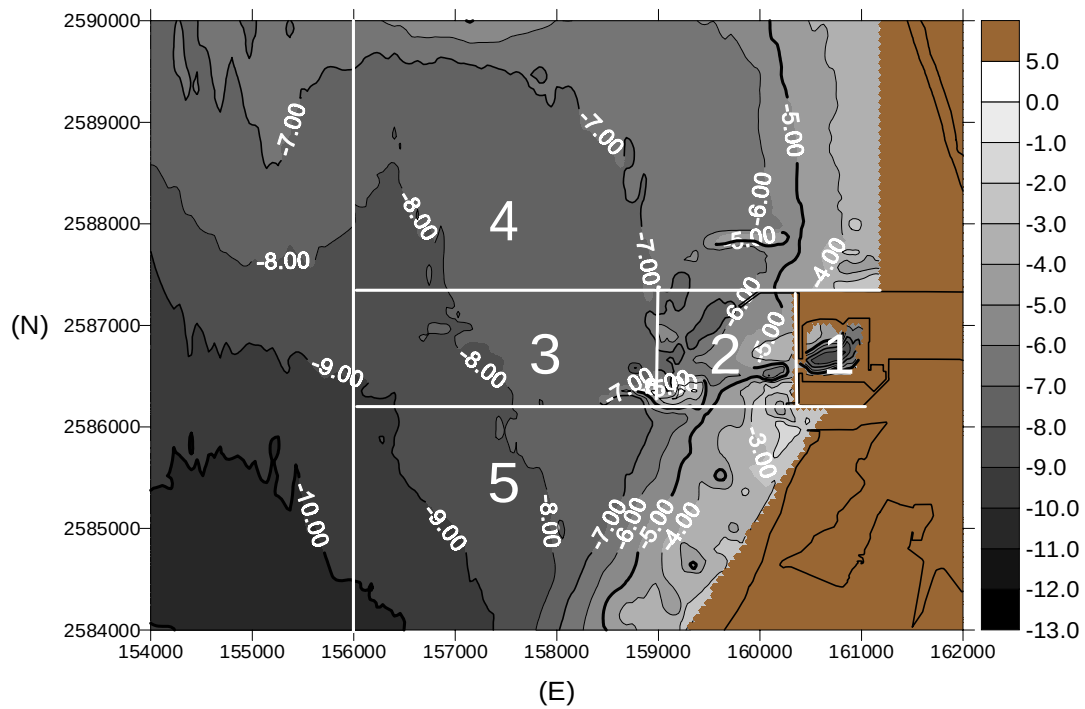


圖 4-44 布袋港港口附近土方量計算分區示意

經由十個時段分區土方量計算後，可以得出布袋港港口附近十個時段之分區土方量統計如附表 4-2 所示。而將其繪製成布袋港港口附近十個時段之分區土方量統計圖，可如附圖 4-45 所示。

表 4-2 布袋港港口附近七時段之分區土方量統計

區域	港池碼頭 (m ³)	港口航道 (m ³)	港外西側 (m ³)	港口北側 (m ³)	港口南側 (m ³)	合計 (m ³)
計算面積(m ²)	146250	1341250	3450000	13780000	8230000	26947500
(1)89年1月(冬季)	1412895	13134012	26117376	120548160	67055783	228268226
(2)89年7月(夏季)	1193170	12637760	24497309	115784233	64141965	218254437
(3)90年6月(夏季)	1231028	12191295	23752729	114018760	62715508	213909320
(4)90年11月(冬季)	1306521	12087656	23254199	114300392	61727514	212676282
(5)91年4月(夏季)	1276517	12162344	23506231	115362900	62388081	214696073
(6)91年9月(冬季)	1336511	12318140	24039833	116793042	63631745	218119271
(7)92年6月(夏季)	1369594	12510194	24398536	117718896	63531407	219528627
(8)92年10月(冬季)	1300296	12349872	23917542	116317047	61978786	215863543
(9)93年04月(夏季)	1313973	12228670	23288574	114670068	61238249	212739534
(10)93年09月(冬季)	1321404	12444961	23552771	115791538	62845764	215956438
沖淤量(2-1) +為淤積-為沖蝕	-219725	-496252	-1620067	-4763927	-2913818	-10013789
平均高差(m)	-1.50	-0.37	-0.47	-0.35	-0.35	-0.38
沖淤量(3-2) +為淤積-為沖蝕	37858	-446465	-744580	-1765473	-1426457	-4345117
平均高差(m)	0.26	-0.33	-0.22	-0.13	-0.17	-0.16
沖淤量(4-3) +為淤積-為沖蝕	75493	-103639	-498530	281632	-987994	-1233038
平均高差(m)	0.52	-0.08	-0.14	0.02	-0.12	-0.05
沖淤量(5-4) +為淤積-為沖蝕	-30004	74688	252032	1062508	660567	2019791
平均高差(m)	-0.21	0.06	0.07	0.08	0.08	0.07
沖淤量(6-5) +為淤積-為沖蝕	59994	155796	533602	1430142	1243664	3423198
平均高差(m)	0.41	0.12	0.15	0.10	0.15	0.13
沖淤量(7-6) +為淤積-為沖蝕	33083	192054	358703	925854	-100338	1409356
平均高差(m)	0.23	0.14	0.10	0.07	-0.01	0.05
沖淤量(8-7) +為淤積-為沖蝕	-69298	-160322	-480994	-1401849	-1552621	-3665084
平均高差(m)	-0.47	-0.12	-0.14	-0.10	-0.19	-0.14
沖淤量(9-8) +為淤積-為沖蝕	13677	-121202	-628968	-1646979	-740537	-3124009
平均高差(m)	0.09	-0.09	-0.18	-0.12	-0.09	-0.12
沖淤量(10-9) +為淤積-為沖蝕	7431	216291	264197	1121470	1607515	3216904
平均高差(m)	0.05	0.16	0.08	0.08	0.20	0.12

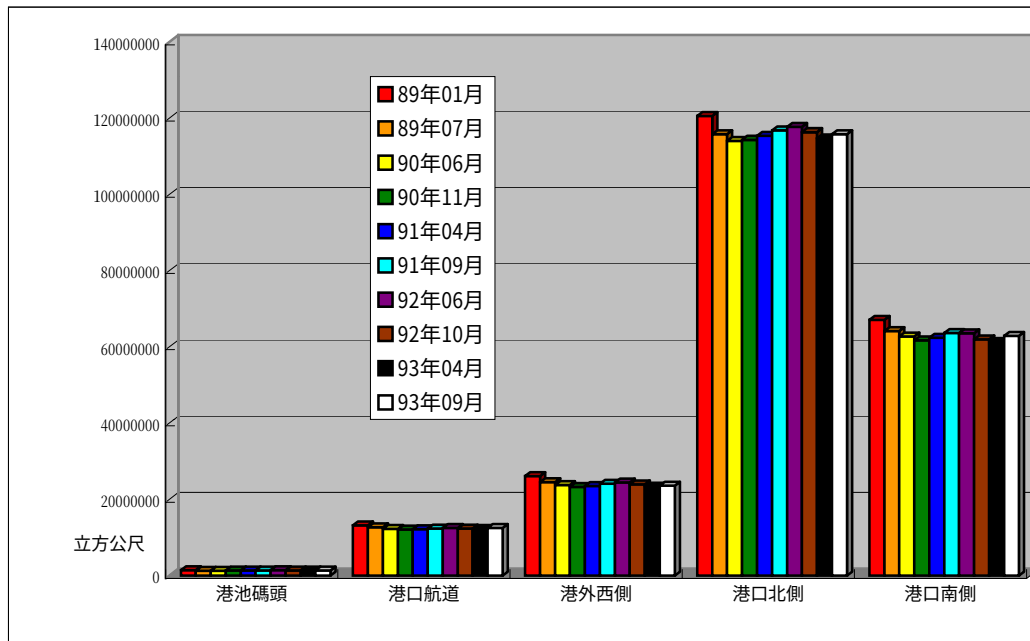


圖 4-45 布袋港港口附近十個時段之分區土方量統計圖

由附表 4-2 與圖 4-45 可知，從 89 年 1 月起至 89 年 7 月間，布袋港港池碼頭區其土方量由 1412895 立方公尺減少為 1193170 立方公尺，沖蝕 219725 立方公尺，平均高差沖蝕 1.50 公尺，究其原因應為港務局浚深及冬季東北季節風，港池碼頭區內之底泥隨潮流退去逐漸流出港外之故，而 89 年 7 月至 90 年 6 月之間，則由 1193170 立方公尺增加為 1231028 立方公尺，回淤 37858 立方公尺，平均高差淤積達 0.26 公尺；再因 90 年 6 月至 90 年 11 月期間受桃芝、納利、利其馬等颱風侵襲，使得土方量由 123108 立方公尺增加為 1306521 立方公尺，淤積了 75493 立方公尺，平均高差淤積達 0.52 公尺；90 年 11 月至 91 年 4 月之間則土方量由 1306521 立方公尺減少為 1276517 立方公尺，沖蝕了 30004 立方公尺，平均高差沖蝕 0.21 公尺；而 91 年 4 月至 91 年 9 月期間受雷瑪遜、娜克利等颱風侵襲，使得土方量由 1276517 立方公尺增加為 1336511 立方公尺，淤積了 59994 立方公尺，平均高差淤積達 0.41 公尺；91 年 9 月至 92 年 06 月之間則土方量由 1336511 立方公尺增加為 1369594 立方公尺，淤積了 33083 立方公尺，平均高差淤積 0.23 公尺；而 92 年 06 月至 92 年 10 月期間受尹布都、莫拉克、梵高、杜鵑等颱風侵襲，使得土方量由 1369594 立方公尺減少為 1300296 立方公尺，沖蝕了 69298 立方公尺，平均高差沖蝕達 0.47 公尺；92 年 10 月至 93 年 04 月之間則土方量由 1300296 立方公尺增加為 1313973 立方公尺，淤積了 13677 立方公尺，平均高差淤積 0.09 公尺；而 93 年 04 月至 93 年 9 月期間受康森、敏督利、康柏斯、蘭

寧 艾利等颱風侵襲，使得土方量由 1313973 立方公尺增加為 1321404 立方公尺，淤積了 7431 立方公尺，平均高差淤積 0.05 公尺；港池碼頭區雖每年因港務局浚深工程持續影響土方變化，但可以概略研判其由夏季轉冬季之調查時段皆呈現淤積現象，究其原因可能是颱風時節受颱風波浪向岸連續作用影響，使得底床沙粒達到起動條件，其漂沙急遽往港池與碼頭區淤積，而於冬季季風時節淤沙卻無法隨著潮水流出現港池所致。

而港口外航道區於 89 年 1 月起至 89 年 7 月間，該區域土方量由 13134012 立方公尺減少為 12637760 立方公尺，沖蝕 496252 立方公尺，平均高差沖蝕 0.37 公尺；89 年 7 月至 90 年 6 月之間，則由 12637760 立方公尺再遞減為 12191295 立方公尺，沖蝕 446465 立方公尺，平均高差沖蝕達 0.33 公尺；而 90 年 6 月至 90 年 11 月之間，則由 12191295 立方公尺再遞減為 12088656 立方公尺，沖蝕 103639 立方公尺，平均高差沖蝕 0.08 公尺；而 90 年 11 月至 91 年 4 月之間，則由 12088656 立方公尺增加為 12162344 立方公尺，回淤 74688 立方公尺，平均高差淤積達 0.06 公尺；91 年 4 月至 91 年 9 月之間，則由 12162344 立方公尺增加為 12318140 立方公尺，回淤 155796 立方公尺，平均高差淤積達 0.12 公尺；91 年 9 月至 92 年 6 月之間，則由 12318140 立方公尺增加為 12510194 立方公尺，回淤 192054 立方公尺，平均高差淤積達 0.14 公尺；而 92 年 6 月至 92 年 10 月之間，則由 12510194 立方公尺減少為 12349872 立方公尺，沖蝕 160322 立方公尺，平均高差沖蝕 0.12 公尺；而 92 年 10 月至 93 年 4 月之間，則由 12349872 立方公尺再遞減為 12228670 立方公尺，沖蝕 121202 立方公尺，平均高差沖蝕 0.00 公尺；93 年 4 月至 93 年 10 月之間，則由 12228670 立方公尺增加為 12444961 立方公尺，回淤 216291 立方公尺，平均高差淤積達 0.16 公尺；本區於 90 年 11 月前皆為沖蝕海岸，90 年 11 月之後調查轉為淤積，究其原因可能受南面好美里岸線興建海堤及離岸堤造成養灘作用，減少漂沙流失有關。

港外西側區則於 89 年 1 月至 89 年 7 月之間，由 26117376 立方公尺減少為 24497309 立方公尺，沖蝕 1620067 立方公尺，平均高差達沖蝕 0.47 公尺；而 89 年 7 月至 90 年 6 月之間，則由 24497309 立方公尺遞減為 23752729 立方公尺，沖蝕 744580 立方公尺，平均高差沖蝕 0.22 公尺；而 90 年 6 月至 90 年 11 月之間，則由 23752729 立方公尺再遞減為 23254199 立方公尺，沖蝕 498530 立方公尺，平均高差沖蝕 0.14 公尺；而 90 年 11 月至 91 年 4 月之間，則由 23254199 立方公尺增加為 23506231 立方公尺，回淤 252032 立方公尺，平均高

差淤積達 0.07 公尺；91 年 4 月至 91 年 9 月之間，則由 23506231 立方公尺增加為 24039833 立方公尺，回淤 533602 立方公尺，平均高差淤積 0.15 公尺；而 91 年 9 月至 92 年 6 月之間，則由 24039833 立方公尺增加為 24398536 立方公尺，回淤 358703 立方公尺，平均高差淤積達 0.10 公尺；而 92 年 6 月至 92 年 10 月之間，則由 24398536 立方公尺減少為 23917542 立方公尺，沖蝕 480994 立方公尺，平均高差沖蝕 0.14 公尺；92 年 10 月至 93 年 4 月之間，則由 23917542 立方公尺再遞減為 23288574 立方公尺，沖蝕 628968 立方公尺，平均高差沖蝕 0.18 公尺；而 93 年 4 月至 93 年 9 月之間，則由 23288574 立方公尺增加為 23552771 立方公尺，回淤 264197 立方公尺，平均高差淤積 0.08 公尺；本區土方量僅少許變化，可能為水深較深，底泥啟動條件不足，漂沙相較岸線附近安定許多。

而港口北側與南側則分別由 89 年 1 月至 89 年 7 月間的 120548160 立方公尺與 67055783 立方公尺減少為 115784233 立方公尺與 64141965 立方公尺，沖蝕各有 4763927 立方公尺及 2913818 立方公尺，平均高差沖蝕皆達 0.35 公尺；而 89 年 7 月至 90 年 6 月間則由 115784233 立方公尺與 64141965 立方公尺分別減少為 114018760 立方公尺與 62715508 立方公尺，沖蝕各有 1765473 立方公尺及 1426457 立方公尺，平均高差達沖蝕 0.13 及 0.17 公尺；而 90 年 6 月至 90 年 11 月之間港外南側則由 62715508 立方公尺沖蝕為 61727514 立方公尺，平均高差沖蝕 0.12 公尺；而港外北側則土方量由 114018760 立方公尺增加為 114300392 立方公尺，淤積了 281632 立方公尺，平均高差淤積 0.02 公尺；而 90 年 11 月至 91 年 4 月間港外北側則由 114300392 立方公尺增加為 115362900 立方公尺，淤積了 1062508 立方公尺，平均高差淤積 0.08 公尺；港外南側則由 61727514 立方公尺增加為 62388081 立方公尺，淤積了 660567 立方公尺，平均高差淤積 0.08 公尺；而 91 年 4 月至 91 年 9 月間港外北側則由 115362900 立方公尺增加為 116793042 立方公尺，淤積了 1430142 立方公尺，平均高差淤積 0.10 公尺；港外南側則由 62388081 立方公尺增加為 63631745 立方公尺，淤積了 1243664 立方公尺，平均高差淤積 0.15 公尺；而 91 年 9 月至 92 年 6 月間港外北側則由 116793042 立方公尺增加為 117718896 立方公尺，淤積了 925884 立方公尺，平均高差淤積 0.07 公尺；港外南側則由 63631745 立方公尺減少為 63531407 立方公尺，沖蝕了 100338 立方公尺，平均高差沖蝕 0.01 公尺；92 年 6 月至 92 年 10 月間港外北側則由 117718896 立方公尺增加為 116317047 立方公尺，淤積了 1401849 立方公尺，平均高差淤積 0.10 公尺；港外南側則由 63531407 立方公尺減少為 61978786 立方公尺，沖蝕了 1552621 立方公尺，平均高差沖蝕 0.19 公尺；92 年 10 月至 93 年 4 月間港外

北側則由 116317047 立方公尺減少為 114670068 立方公尺，沖蝕了 1646979 立方公尺，平均高差沖蝕 0.12 公尺；港外南側則由 61978786 立方公尺減少為 61238249 立方公尺，沖蝕了 740537 立方公尺，平均高差沖蝕 0.09 公尺；93 年 4 月至 93 年 9 月間港外北側則由 114670068 立方公尺增加為 115791538 立方公尺，淤積了 1121470 立方公尺，平均高差淤積 0.08 公尺；港外南側則由 61238249 立方公尺增加為 62845764 立方公尺，淤積了 1607515 立方公尺，平均高差淤積 0.20 公尺。

就本計畫執行十次水深測量之結果，整體布袋港港口附近區域(計算面積為 26947500 平方公尺，水深基面-15 公尺)之土方量分析結果，可得到由 89 年 1 月之土方量 228268226 立方公尺至 93 年 9 月的土方量 215956438 立方公尺，五年期間其監測區域內之土方量共計沖蝕有 12311788 立方公尺，平均高差沖蝕了 0.46 公尺之多，究其原因主要是布袋港地處外傘頂洲內灣之淺海潟湖岸線上，平常受冬、夏季節潮流漲退影響，漂沙隨退潮時往西南優勢方向的潮水，沿著海岸線離岸而去所致；90 年 11 月以後布袋港南側岸線興建好美里海堤及離岸堤產生養灘作用雖已減緩沖蝕現象，但尚未恢復 89 年時之土方量水準；值得注意的是布袋商港港口與外航道附近水深正值颱風波浪之碎波水深處，每當遇到颱風波浪侵襲時，將引起該區域急劇的漂沙活動，使得底床沙粒達到全面啟動狀態，並急遽的往港池、內航道與碼頭等區域聚集，致使布袋商港港區內因此常淤積大量淤沙。

第五章 底床粒徑採樣分析

底床粒徑採樣分析常是用來判別漂沙來源的重要指標，藉由底床土壤粒徑之特性分析，可比對臨近海域各漂沙來源間的差異性，藉由此線索可判別布袋港漂沙的主要來源，進一步找出適切的漂沙防治計畫。

5.1 調查範圍

本調查之底床粒徑採樣分析係配合平面流況調查每年夏、冬兩季各實施一次。而本調查於五年間共施測八次(九十一年度未編列調查)；而八十九年度第一次採樣工作於 89 年 1 月 4 日至 89 年 1 月 5 日作業完成，八十九年度第二次採樣工作則於 89 年 7 月 21 日至 89 年 7 月 24 日作業完成；而九十年年度第一次採樣工作於 90 年 6 月 21 日至 90 年 6 月 23 日作業完成，九十年年度第二次採樣工作於 90 年 10 月 24 日至 90 年 10 月 25 日作業完成，九十二年度第一次採樣工作於 92 年 06 月 04 日至 90 年 06 月 05 日作業完成，九十二年度第二次採樣工作於 92 年 11 月 19 日至 92 年 11 月 20 日作業完成，九十三年度第一次採樣工作於 93 年 04 月 05 日至 93 年 04 月 07 日作業完成，九十三年度第二次採樣工作於 93 年 09 月 15 日至 93 年 09 月 17 日作業完成。其調查範圍則以布袋港港口南、北方各距離 3.5 公里處之整個海域及布袋港口與港內水域為主要採樣區域，整個底床粒徑採樣分析調查範圍與採樣位置如圖 5-1 所示，採樣樣本合計 37 處。

5.2 調查步驟與方法

本研究之調查步驟係由潛水人員於布袋港海域就前節圖 5-1 所選定之採樣點位置以 500cc 容器逐一蒐集底床沉積物，其採樣作業實景如照片 5-1，並包封標示取樣天候、水深與採樣點位置座標等；再於試驗室中利用篩分析儀及光學顯微鏡儀等儀器設備，分析其粒徑與礦岩成份及特性。

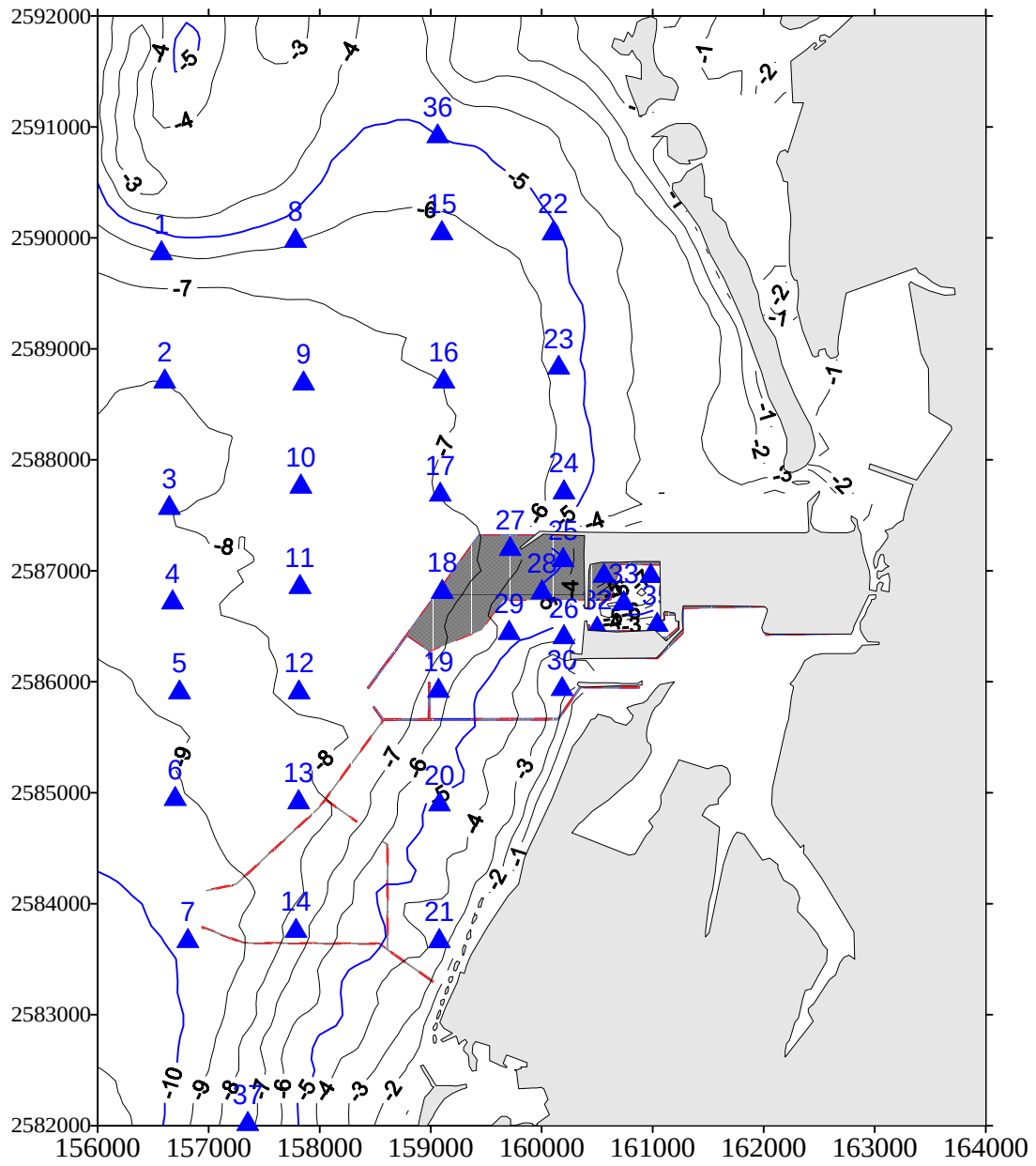


圖 5-1 底床粒徑採樣分析調查範圍與採樣位置



照片 5-1 採樣作業實景

5.2.1 主要儀器設備

本研究使用的主要儀器設備如表 5-1 所示，粒徑分析標準係採用美國土壤局 ASTM 篩號分類標準，其美國土壤局 ASTM 篩號與粒徑之關係如表 5-2 所示，而礦岩分析則以公制重量百分比法分類。

表 5-1 底床粒徑採樣分析主要儀器設備

分析類別	儀器設備
粒徑分析	振動機篩網一套 比重計 量筒
金屬礦物分析	篩網(10,20,40,60,100,200mesh) 偏光顯微鏡

表 5-2 美國土壤局 ASTM 篩號與粒徑之關係

分類	篩號(ASTM)	粒徑 d(mm)	ϕ 值
中礫石	4	8.00	-3.00
	5	4.00	-2.00
	6	3.36	-1.75
	7	2.83	-1.50
	8	2.38	-1.25
細礫石	10	2.00	-1.00
	12	1.68	-0.75
	14	1.41	-0.50
	16	1.19	-0.20
粗沙	18	1.00	0.00
	20	0.84	0.25
	25	0.71	0.50
	30	0.59	1.75
中沙	35	0.50	1.00
	40	0.42	1.25
	45	0.35	1.50
	50	0.299	1.75
細沙	60	0.250	2.00
	70	0.210	2.25
	80	0.177	2.50
	100	0.149	2.75
極細沙	120	0.125	3.00
	140	0.105	3.25
	170	0.088	3.50
	200	0.074	3.75
淤泥	230	0.0625	4.00
	270	0.0530	4.25
	325	0.0440	4.50

5.2.2 作業流程及分析方法

本研究底床粒徑採樣分析流程主要可分為兩大項：

1. 粒徑與比重分析：可以分為篩分析及比重計分析兩部份，其分

析分法是用濕篩將樣本以 ASTM#200 標準篩(篩目 0.074mm)，把樣本分出砂樣和泥樣砂樣，經乾燥後使用一組標準篩其篩號分別為#10、#20、#40、#60、#100、#200 等進行篩分析；泥樣部份則靜置三天後，去掉上層水倒入一公升量筒，並加入水和 20 毫升 1N 的 $(\text{NaPO}_3)_6$ 為分散劑，使其達到一公升後，進行比重計分析，其粒徑與比重分析流程如圖 5-2 所示。

而藉由篩分析流程得出之結果，可以描繪出各個樣本之粒徑分佈曲線如圖 5-3 所示，再利用內差法求得各樣本之中值粒徑 d_{50} (median diameter)、有效粒徑 d_{10} (effective size) 以及 d_{25} 、 d_{60} 、 d_{75} 等粒徑，而平均粒徑 d_m (mean diameter) 則取幾何平均值計算如下：

$$d_m = \sum_{p=0}^{100} d_i \cdot p_i / \sum_{p=0}^{100} p_i$$

其中 d_i 為兩相鄰篩號之幾何平均值， p_i 為所對應留篩部份全部比重的百分比，所以求得之 d_{25} 、 d_{75} 等各為累計百分率 25% 與 75% 之粒徑；一般以漂沙分析皆以平均粒徑 d_m 或中值粒徑 d_{50} 來代表底泥樣本整體性質。

另外可藉由均勻係數的求得，來觀察出採樣所得之樣本其粒徑組成特性：

均勻係數 (coefficient of uniform) 為判定樣本之粒徑大小分佈是否均勻，其值越接近 1 表示粒徑越均勻，其式為

$$c_u = d_{60} / d_{10}$$

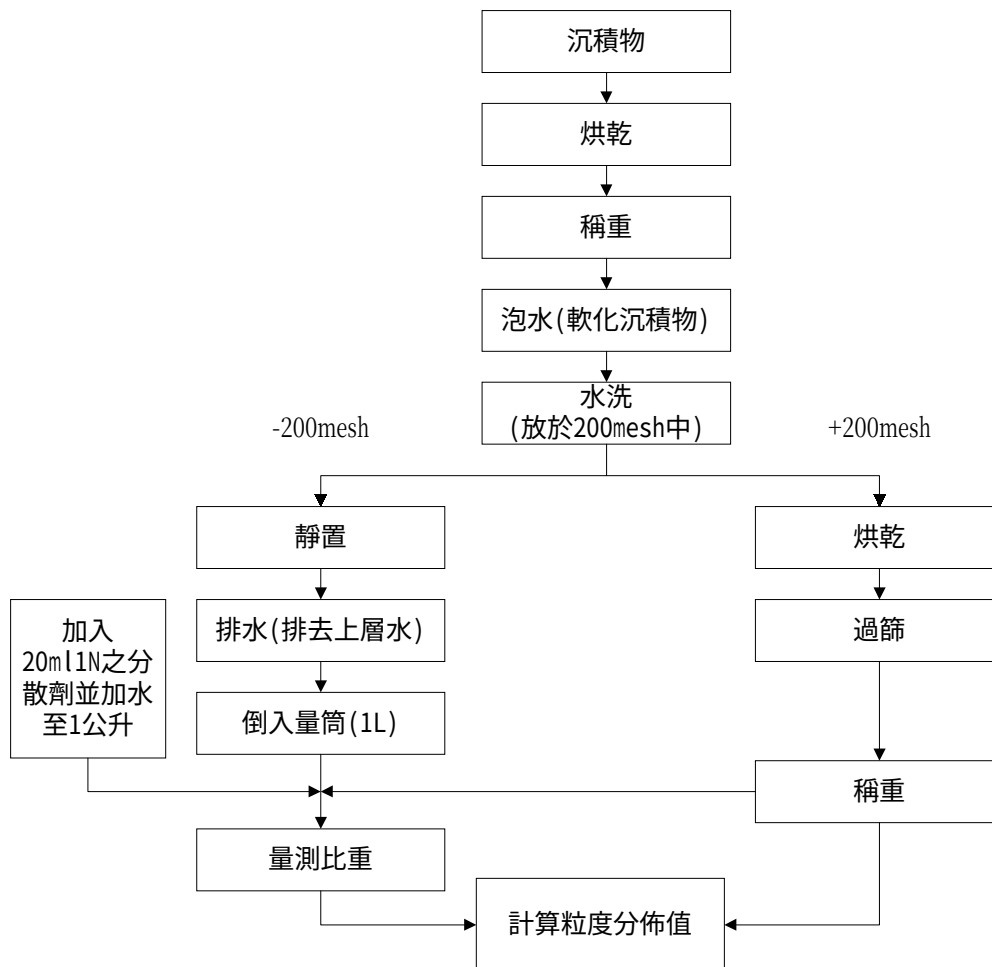


圖 5-2 粒徑與比重分析流程

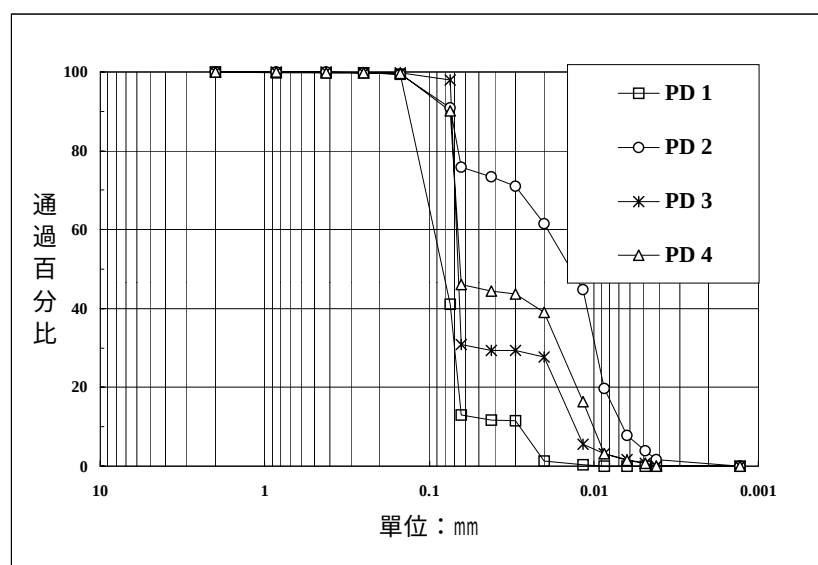


圖 5-3 樣本之粒徑分佈曲線

2. 礦岩分析：沉積物之礦岩分析主要是將樣本做成薄片，再利用光學顯微鏡(OM)來鑑定礦物組成，並分析其個別含量，其礦岩分析流程圖如圖 5-4 所示。

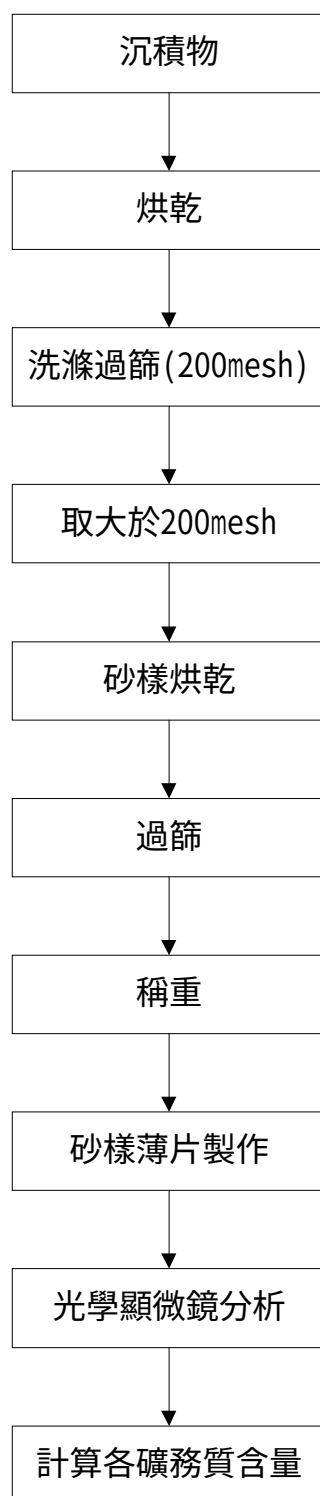


圖 5-4 礦岩分析流程圖

5.3 樣本分析與結果

由現場調查取得之底床沉積物樣本，其同時用 DGPS 定位儀所測得之粒徑分析採樣點位置二度分帶座標與水深如表 5-3 所示；而為了擴大瞭解布袋南北海域之底床粒徑，故除了八十九年度第一次採樣調查之 35 組樣本以外，於八十九年第二次採樣調查開始，於北至外傘頂洲南面與八掌溪河口處各加取一組樣本，合計 37 組；而經由土壤實驗室分析得出之結果，則可分以下兩項來討論：

5.3.1 粒徑分析

各樣本經實驗室篩分析與比重分析後，得出各樣本之粒徑分佈曲線圖，則可經由前節公式計算出八十九年度第一次採樣調查(89/01)底床粒徑分佈統計如表 5-4 所示；八十九年度第二次採樣調查(89/07)底床粒徑分佈統計表如附表 5-5 所示；而九十年第一次採樣調查(90/06)底床粒徑分佈統計如表 5-6 所示；九十年第二次採樣調查(90/10)底床粒徑分佈統計如表 5-7 所示；九十二年第一次採樣調查(92/06)底床粒徑分佈統計如表 5-8 所示；九十二年第二次採樣調查(92/11)底床粒徑分佈統計如表 5-9 所示；九十三年第一次採樣調查(93/04)底床粒徑分佈統計如表 5-10 所示；九十三年第二次採樣調查(93/09)底床粒徑分佈統計如表 5-11 所示。

表 5-3 底床粒徑分析採樣點位置二度分帶座標與水深

樣本	橫座標E	縱座標N	水深(m)
1	2589926.557	156591.738	5.8
2	2588725.828	156591.727	8.0
3	2587727.819	156591.966	8.2
4	2586827.779	156590.214	8.5
5	2585926.880	156590.258	8.9
6	2584926.183	156591.628	9.2
7	2583727.717	156591.256	9.2
8	2589928.088	157842.107	6.2
9	2588725.703	157840.742	7.2
10	2587725.948	157842.492	7.4
11	2586827.266	157842.027	7.5
12	2585924.727	157840.286	7.8
13	2584927.064	157840.889	8.2
14	2583728.408	157839.913	7.4
15	2589928.278	159091.092	6.0
16	2588724.560	159089.144	6.8
17	2587724.708	159092.023	6.9
18	2586824.735	159089.187	6.9
19	2585924.750	159089.756	6.2
20	2584927.981	159089.057	4.4
21	2583726.160	159089.297	3.8
22	2589926.525	160217.090	4.9
23	2588726.325	160215.653	5.2
24	2587727.715	160215.236	5.4
25	2587126.005	160214.537	5.0
26	2586427.057	160216.494	2.9
27	2587227.601	159713.730	6.8
28	2586825.021	159966.439	4.3
29	2586426.915	159714.995	5.2
30	2585925.631	160215.366	0.8
31	2586982.720	160537.786	2.1
32	2586544.674	160529.241	1.8
33	2586758.825	160765.653	7.2
34	2586990.459	161001.716	8.6
35	2586545.426	161001.062	3.4
36	2590848.212	159146.720	6.1
37	2582022.408	157377.466	7.1

表 5-4 八十九年度第一次採樣調查(89/01)底床粒徑分佈統計表

樣本編號	有效粒徑 D10(mm)	D25(mm)	中值粒徑 D50(mm)	D65(mm)	D75(mm)	平均粒徑 D _m (mm)	均勻係數 Cu
1	0.0037	0.0202	0.0741	0.0861	0.1105	0.0548	5.470
2	0.0055	0.0246	0.0670	0.0759	0.1078	0.0562	4.382
3	0.0045	0.0192	0.0653	0.0741	0.0975	0.0496	5.078
4	0.0052	0.0246	0.0577	0.0704	0.0882	0.0500	3.585
5	0.0020	0.0095	0.0316	0.0427	0.0670	0.0272	7.053
6	0.0032	0.0128	0.0416	0.0577	0.0704	0.0335	5.500
7	0.0022	0.0095	0.0358	0.0562	0.0759	0.0296	7.989
8	0.0033	0.0157	0.0670	0.0798	0.1078	0.0484	6.866
9	0.0041	0.0138	0.0509	0.0704	0.0928	0.0403	6.725
10	0.0041	0.0178	0.0496	0.0670	0.0839	0.0420	4.713
11	0.0012	0.0067	0.0212	0.0279	0.0496	0.0192	7.403
12	0.0010	0.0035	0.0095	0.0135	0.0223	0.0090	6.371
13	0.0067	0.0272	0.0606	0.0670	0.0741	0.0496	2.724
14	0.0090	0.0460	0.0905	0.1051	0.1253	0.0805	2.724
15	0.0025	0.0125	0.0449	0.0653	0.0839	0.0361	6.712
16	0.0086	0.0316	0.0704	0.0722	0.0951	0.0596	3.009
17	0.0223	0.0606	0.0905	0.1000	0.1162	0.0861	1.917
18	0.0135	0.0591	0.0905	0.1000	0.1191	0.0861	2.015
19	0.0386	0.0759	0.0951	0.1105	0.1222	0.0959	1.610
20	0.0839	0.1105	0.1609	0.1778	0.2015	0.1530	1.824
21	0.0759	0.0905	0.1105	0.1222	0.1420	0.1124	1.569
22	0.0350	0.0779	0.0951	0.1051	0.1222	0.0967	1.569
23	0.0449	0.0779	0.0975	0.1078	0.1222	0.0975	1.569
24	0.0061	0.0386	0.0798	0.0905	0.1105	0.0699	2.863
25	0.0637	0.0905	0.1350	0.1530	0.2119	0.1373	2.341
26	0.0012	0.0050	0.0246	0.0427	0.0670	0.0202	13.400
27	0.0009	0.0043	0.0149	0.0234	0.0484	0.0146	11.256
28	0.1051	0.1569	0.1823	0.1870	0.2119	0.1823	1.351
29	0.0082	0.0427	0.0779	0.0861	0.1105	0.0716	2.588
30	0.0905	0.1420	0.1823	0.1917	0.2228	0.1793	1.569
31	0.0011	0.0065	0.0246	0.0406	0.0704	0.0225	10.831
32	0.0009	0.0062	0.0548	0.0704	0.1051	0.0330	16.952
33	0.0006	0.0017	0.0070	0.0108	0.0246	0.0067	14.471
34	0.0014	0.0076	0.0839	0.1051	0.1492	0.0456	19.632
35	0.0017	0.0105	0.0350	0.0472	0.0704	0.0296	6.705

表 5-5 八十九年度第二次採樣調查(89/07)底床粒徑分佈統計表

樣本編號	有效粒徑 D10(mm)	D25(mm)	中值粒徑 D50(mm)	D65(mm)	D75(mm)	平均粒徑 D _m (mm)	均勻係數 Cu
1	0.0494	0.0795	0.0986	0.1074	0.1222	0.0986	1.5373
2	0.0194	0.0498	0.0806	0.0926	0.1142	0.0771	2.2934
3	0.0071	0.0230	0.0481	0.0637	0.0729	0.0432	3.1742
4	0.0073	0.0261	0.0587	0.0701	0.0922	0.0521	3.5314
5	0.0011	0.0067	0.0212	0.0283	0.0465	0.0187	6.9895
6	0.0022	0.0114	0.0358	0.0485	0.0667	0.0301	5.8631
7	0.0007	0.0038	0.0140	0.0205	0.0356	0.0124	9.3468
8	0.0187	0.0661	0.0908	0.1005	0.1171	0.0889	1.7713
9	0.0051	0.0191	0.0387	0.0600	0.0785	0.0387	4.1181
10	0.0013	0.0103	0.0360	0.0517	0.0742	0.0302	7.2368
11	0.0024	0.0137	0.0477	0.0648	0.0766	0.0369	5.5927
12	0.0014	0.0088	0.0220	0.0348	0.0612	0.0228	6.9278
13	0.0122	0.0411	0.0682	0.0743	0.0963	0.0646	2.3436
14	0.0166	0.0677	0.0935	0.1042	0.1226	0.0919	1.8096
15	0.0039	0.0215	0.0653	0.0727	0.0948	0.0511	4.3996
16	0.0112	0.0459	0.0768	0.0879	0.1075	0.0724	2.3454
17	0.0162	0.0559	0.0844	0.0947	0.1127	0.0810	2.0146
18	0.0491	0.0783	0.0973	0.1062	0.1210	0.0973	1.5454
19	0.0584	0.0816	0.1000	0.1085	0.1226	0.1000	1.5019
20	0.0845	0.1079	0.1574	0.1740	0.2023	0.1509	1.8744
21	0.0813	0.0972	0.1310	0.1474	0.1803	0.1319	1.8551
22	0.0359	0.0677	0.0925	0.1022	0.1187	0.0906	1.7543
23	0.0076	0.0495	0.0849	0.0955	0.1137	0.0782	2.2959
24	0.0548	0.0798	0.0991	0.1080	0.1231	0.0991	1.5430
25	0.0407	0.0787	0.0996	0.1094	0.1261	0.0996	1.6025
26	0.0812	0.0999	0.1411	0.1601	0.1906	0.1390	1.9076
27	0.0414	0.0783	0.0980	0.1072	0.1227	0.0980	1.5671
28	0.0007	0.0028	0.0100	0.0167	0.0506	0.0112	18.1782
29	0.0757	0.0859	0.1061	0.1155	0.1310	0.1061	1.5251
30	0.0802	0.0944	0.1239	0.1330	0.1689	0.1255	1.7890
31	0.0051	0.0445	0.0916	0.1029	0.1225	0.0793	2.7546
32	0.0021	0.0115	0.0287	0.0412	0.0626	0.0274	5.4490
33	0.0020	0.0354	0.1020	0.1172	0.1445	0.0805	4.0861
34	0.0093	0.0754	0.1079	0.1246	0.1571	0.1085	2.0852
35	0.0010	0.0021	0.0077	0.0106	0.0211	0.0070	9.8635
36	0.0019	0.0131	0.0578	0.0690	0.0886	0.0406	6.7626
37	0.0792	0.1017	0.1532	0.1734	0.2087	0.1482	2.0525

表 5-6 九十年第一次採樣調查(90/06)底床粒徑分佈統計表

樣本編號	有效粒徑 D10(mm)	D25(mm)	中值粒徑 D50(mm)	D65(mm)	D75(mm)	平均粒徑 Dm(mm)	均勻係數 Cu
1	0.0283	0.0683	0.0834	0.0939	0.1122	0.0862	3.3183
2	0.0066	0.0092	0.0137	0.0190	0.0549	0.0191	2.8682
3	0.0129	0.0187	0.0667	0.0684	0.0709	0.0446	5.2951
4	0.0101	0.0142	0.0646	0.0671	0.0709	0.0403	6.6720
5	0.0098	0.0127	0.0171	0.0192	0.0270	0.0180	1.9580
6	0.0100	0.0133	0.0188	0.0239	0.0509	0.0234	2.3892
7	0.0184	0.0282	0.0668	0.0687	0.0724	0.0515	3.7392
8	0.0088	0.0102	0.0155	0.0201	0.0685	0.0221	2.2824
9	0.0179	0.0651	0.0696	0.0714	0.0743	0.0696	3.9992
10	0.0088	0.0104	0.0155	0.0187	0.0645	0.0218	2.1204
11	0.0126	0.0154	0.0224	0.0272	0.0540	0.0265	2.1642
12	0.0111	0.0154	0.0653	0.0675	0.0709	0.0415	6.0577
13	0.0143	0.0260	0.0731	0.0836	0.1043	0.0583	5.8478
14	0.0287	0.0747	0.0969	0.1076	0.1257	0.0969	3.7485
15	0.0094	0.0112	0.0162	0.0188	0.0648	0.0227	2.0092
16	0.0156	0.0646	0.0702	0.0725	0.0845	0.0726	4.6365
17	0.0091	0.0112	0.0226	0.0503	0.0655	0.0255	5.5325
18	0.0107	0.0288	0.0878	0.0979	0.1152	0.0663	9.1369
19	0.0159	0.0665	0.0859	0.0962	0.1139	0.0867	6.0305
20	0.0780	0.0877	0.1066	0.1152	0.1295	0.1066	1.4769
21	0.0759	0.0890	0.1161	0.1292	0.1530	0.1165	1.7029
22	0.0086	0.0166	0.0711	0.0762	0.0984	0.0488	8.8885
23	0.0176	0.0675	0.0882	0.0983	0.1156	0.0883	5.5730
24	0.0066	0.0102	0.0670	0.0707	0.0824	0.0383	10.7170
25	0.0129	0.0494	0.0721	0.0778	0.0999	0.0709	6.0235
26	0.0739	0.0883	0.1173	0.1315	0.1598	0.1183	1.7792
27	0.0156	0.0671	0.0893	0.0996	0.1175	0.0890	6.4007
28	0.0652	0.0730	0.0929	0.1026	0.1191	0.0931	1.5740
29	0.0123	0.0168	0.0667	0.0725	0.0938	0.0472	5.9067
30	0.0648	0.0795	0.0994	0.1087	0.1242	0.0994	1.6756
31	0.0071	0.0102	0.0675	0.0698	0.0733	0.0370	9.8518
32	0.0116	0.0201	0.0710	0.0740	0.0992	0.0521	6.3690
33	0.0065	0.0079	0.0110	0.0150	0.0296	0.0137	2.2938
34	0.0093	0.0118	0.0698	0.0744	0.0995	0.0435	7.9771
35	0.0093	0.0107	0.0323	0.0674	0.0738	0.0295	7.2873
36	0.0091	0.0114	0.0180	0.0260	0.0690	0.0242	2.8481
37	0.0694	0.0883	0.1221	0.1390	0.1745	0.1234	2.0038

表 5-7 九十年度第二次採樣調查(90/10)底床粒徑分佈統計表

樣本編號	有效粒徑 D10(mm)	D25(mm)	中值粒徑 D50(mm)	D65(mm)	D75(mm)	平均粒徑 Dm(mm)	均勻係數 Cu
1	0.0090	0.0110	0.0460	0.0710	0.0970	0.0570	7.7430
2	0.0070	0.0080	0.0100	0.0100	0.0110	0.0130	1.5780
3	0.0060	0.0070	0.0080	0.0090	0.0100	0.0120	1.3590
4	0.0090	0.0110	0.0190	0.0270	0.0420	0.0310	2.9310
5	0.0070	0.0080	0.0110	0.0160	0.0280	0.0290	2.3610
6	0.0090	0.0100	0.0130	0.0160	0.0200	0.0180	1.7500
7	0.0090	0.0110	0.0180	0.0220	0.0320	0.0280	2.3550
8	0.0110	0.0170	0.0440	0.0610	0.0860	0.0560	5.6310
9	0.0070	0.0080	0.0110	0.0110	0.0160	0.0140	1.7550
10	0.0060	0.0080	0.0100	0.0100	0.0110	0.0120	1.5860
11	0.0070	0.0100	0.0160	0.0210	0.0300	0.0230	2.8120
12	0.0090	0.0100	0.0160	0.0200	0.0290	0.0230	2.2180
13	0.0100	0.0120	0.0230	0.0300	0.0470	0.0330	3.1120
14	0.0100	0.0130	0.0220	0.0260	0.0410	0.0300	2.6610
15	0.0060	0.0080	0.0110	0.0110	0.0210	0.0490	1.7590
16	0.0060	0.0070	0.0090	0.0100	0.0110	0.0120	1.5530
17	0.0120	0.0160	0.0370	0.0520	0.0800	0.0510	4.2590
18	0.0200	0.0440	0.0830	0.0980	0.1210	0.0970	4.9740
19	0.0090	0.0110	0.0180	0.0220	0.0290	0.0250	2.4050
20	0.0640	0.0840	0.1070	0.1160	0.1300	0.1070	1.8060
21	0.0770	0.0940	0.1220	0.1340	0.1530	0.1320	1.7440
22	0.0090	0.0110	0.0460	0.0600	0.0750	0.0510	6.6130
23	0.0090	0.0100	0.0180	0.0350	0.0700	0.0500	3.8980
24	0.0090	0.0110	0.0190	0.0440	0.0800	0.0470	4.8420
25	0.0090	0.0110	0.0170	0.0200	0.0290	0.0280	2.0580
26	0.0800	0.1000	0.1340	0.1470	0.1850	0.1440	1.8360
27	0.0090	0.0110	0.0240	0.0440	0.0890	0.0500	5.0580
28	0.0700	0.0910	0.1190	0.1300	0.1470	0.1250	1.8680
29	0.0090	0.0110	0.0520	0.0780	0.1060	0.0650	8.4520
30	0.0960	0.1350	0.1790	0.1940	0.2160	0.1770	2.0070
31	0.0100	0.0180	0.0780	0.0930	0.1170	0.0760	9.3620
32	0.0110	0.0640	0.0680	0.0700	0.0730	0.0650	6.1110
33	0.0040	0.0050	0.0070	0.0080	0.0100	0.0110	1.8220
34	0.0020	0.0040	0.0070	0.0080	0.0110	0.0100	3.5090
35	0.0700	0.0900	0.1210	0.1330	0.1580	0.1410	1.8940
36	0.0080	0.0100	0.0190	0.0400	0.0670	0.0460	5.1740
37	0.0790	0.1070	0.1540	0.1750	0.2080	0.1630	2.2200

表 5-8 九十二年度第一次採樣調查(92/06)底床粒徑分佈統計表

樣本編號	有效粒徑 D10(mm)	D25(mm)	中值粒徑 D50(mm)	D65(mm)	D75(mm)	平均粒徑 Dm(mm)	均勻係數 Cu
1	0.0136	0.0302	0.0732	0.0842	0.0970	0.0757	6.1912
2	0.0089	0.0132	0.0179	0.0258	0.0311	0.0173	2.8989
3	0.0079	0.0107	0.0189	0.0245	0.0300	0.0182	3.1013
4	0.0080	0.0105	0.0059	0.0208	0.0420	0.0053	2.6000
5	0.0089	0.0118	0.0310	0.0411	0.0528	0.0329	4.6180
6	0.0087	0.0103	0.0205	0.0271	0.0320	0.0218	3.1149
7	0.0103	0.0180	0.0402	0.0638	0.0832	0.0428	6.1942
8	0.0394	0.0760	0.0984	0.1088	0.1186	0.0956	2.7614
9	0.0068	0.0082	0.0109	0.0171	0.0216	0.0104	2.5147
10	0.0015	0.0080	0.0157	0.0224	0.0311	0.0152	14.933
11	0.0085	0.0100	0.0179	0.0248	0.0308	0.0172	2.9176
12	0.0112	0.0100	0.0486	0.0657	0.0829	0.0530	5.8618
13	0.0099	0.0232	0.0504	0.0638	0.0747	0.0530	6.4444
14	0.0142	0.0413	0.0969	0.1095	0.1410	0.1030	7.7113
15	0.0086	0.0108	0.0258	0.0468	0.0821	0.0249	5.4419
16	0.0067	0.0075	0.0088	0.0163	0.0311	0.0089	2.4344
17	0.0167	0.0425	0.0787	0.0931	0.1080	0.0751	5.5749
18	0.0165	0.0350	0.0679	0.0763	0.0812	0.0697	4.6242
19	0.0094	0.0410	0.0775	0.0921	0.1290	0.0772	9.7979
20	0.0775	0.0840	0.1234	0.1211	0.1300	0.1207	1.5626
21	0.0750	0.0554	0.1137	0.1234	0.1353	0.1132	1.6453
22	0.0495	0.0710	0.0928	0.1043	0.1750	0.0975	2.1071
23	0.0132	0.0310	0.0685	0.0798	0.0970	0.0685	6.0455
24	0.0102	0.0141	0.0436	0.0646	0.0800	0.0437	6.3333
25	0.0108	0.0183	0.0398	0.0567	0.0729	0.0380	5.2500
26	0.0797	0.0883	0.1183	0.1279	0.1450	0.1144	1.6048
27	0.0140	0.0350	0.0904	0.1032	0.1089	0.0950	7.3714
28	0.0745	0.0839	0.1098	0.1186	0.1370	0.1050	1.5919
29	0.0088	0.0131	0.0408	0.0571	0.0760	0.0465	6.4886
30	0.0752	0.0885	0.1089	0.1173	0.1216	0.1077	1.5598
31	0.0094	0.0168	0.0422	0.0749	0.0917	0.0476	7.9681
32	0.0091	0.0164	0.0363	0.0616	0.0730	0.0365	6.7692
33	0.0079	0.0092	0.0121	0.0140	0.0100	0.0123	1.7722
34	0.0088	0.0124	0.0316	0.0428	0.0110	0.0315	4.8636
35	0.0014	0.0069	0.0093	0.0100	0.1580	0.0095	7.1429
36	0.0087	0.0122	0.0211	0.0303	0.0670	0.0246	3.4828
37	0.0649	0.0671	0.0740	0.0843	0.2080	0.0730	1.2989

表 5-9 九十二年度第二次採樣調查(92/11)底床粒徑分佈統計表

樣本編號	有效粒徑 D10(mm)	D25(mm)	中值粒徑 D50(mm)	D65(mm)	D75(mm)	平均粒徑 Dm(mm)	均勻係數 Cu
1	0.0206	0.0319	0.0691	0.0740	0.0953	0.0595	3.5945
2	0.0098	0.0120	0.0193	0.0264	0.0661	0.0248	2.6873
3	0.0098	0.0121	0.0217	0.0316	0.0664	0.0259	3.2220
4	0.0093	0.0106	0.0205	0.0272	0.0661	0.0243	2.9080
5	0.0127	0.0162	0.0291	0.0444	0.0667	0.0316	3.4846
6	0.0201	0.0251	0.0421	0.0625	0.0692	0.0418	3.1030
7	0.0166	0.0254	0.0523	0.0654	0.0732	0.0460	3.9342
8	0.0253	0.0644	0.0815	0.0922	0.1109	0.0835	3.6438
9	0.0154	0.0244	0.0538	0.0649	0.0695	0.0450	4.2130
10	0.0125	0.0157	0.0268	0.0426	0.0674	0.0304	3.4012
11	0.0139	0.0182	0.0472	0.0651	0.0702	0.0392	4.6903
12	0.0163	0.0252	0.0556	0.0656	0.0706	0.0463	4.0168
13	0.0162	0.0289	0.0659	0.0708	0.0871	0.0549	4.3652
14	0.0170	0.0445	0.0771	0.0885	0.1090	0.0721	5.2220
15	0.0168	0.0319	0.0698	0.0757	0.0981	0.0602	4.5192
16	0.0112	0.0175	0.0578	0.0663	0.0720	0.0418	5.9046
17	0.0105	0.0168	0.0663	0.0710	0.0873	0.0460	6.7555
18	0.0467	0.0684	0.0850	0.0954	0.1135	0.0870	2.0441
19	0.0367	0.0688	0.0893	0.0991	0.1160	0.0893	2.7010
20	0.0758	0.0854	0.1044	0.1131	0.1275	0.1044	1.4928
21	0.0662	0.0782	0.1085	0.1237	0.1509	0.1086	1.8682
22	0.0658	0.0707	0.0864	0.0966	0.1144	0.0887	1.4687
23	0.0305	0.0683	0.0879	0.0979	0.1152	0.0884	3.2143
24	0.0174	0.0445	0.0718	0.0786	0.1004	0.0684	4.5138
25	0.0194	0.0590	0.0802	0.0910	0.1102	0.0805	4.6896
26	0.0769	0.0974	0.1444	0.1635	0.1938	0.1397	2.1275
27	0.0164	0.0289	0.0691	0.0736	0.0957	0.0576	4.4953
28	0.0758	0.0855	0.1045	0.1133	0.1278	0.1045	1.4936
29	0.0133	0.0171	0.0640	0.0699	0.0882	0.0459	5.2483
30	0.0804	0.0945	0.1236	0.1376	0.1686	0.1253	1.7103
31	0.0811	0.1064	0.1589	0.1748	0.2017	0.1505	2.1563
32	0.0140	0.0195	0.0642	0.0697	0.0866	0.0477	4.9931
33	0.0106	0.0135	0.0193	0.0252	0.0665	0.0258	2.3775
34	0.0138	0.0191	0.0801	0.0986	0.1346	0.0590	7.1205
35	0.0080	0.0099	0.0171	0.0258	0.0707	0.0229	3.2330
36	0.0160	0.0412	0.0702	0.0748	0.0971	0.0655	4.6846
37	0.0106	0.0202	0.0719	0.0823	0.1046	0.0534	7.7610

表 5-10 九十三年第一次採樣調查(93/04)底床粒徑分佈統計表

樣本編號	有效粒徑 D10(mm)	D25(mm)	中值粒徑 D50(mm)	D65(mm)	D75(mm)	平均粒徑 Dm(mm)	均勻係數 Cu
1	0.0241	0.0661	0.0867	0.0969	0.1146	0.0869	4.0287
2	0.0087	0.0107	0.0177	0.0247	0.0483	0.0209	2.8477
3	0.0088	0.0097	0.0114	0.0139	0.0200	0.0130	1.5691
4	0.0110	0.0181	0.0407	0.0605	0.0853	0.0397	5.4898
5	0.0108	0.0147	0.0267	0.0523	0.0677	0.0299	4.8554
6	0.0105	0.0152	0.0465	0.0653	0.0698	0.0366	6.2311
7	0.0161	0.0311	0.0665	0.0699	0.0773	0.0542	4.3331
8	0.0124	0.0165	0.0619	0.0660	0.0698	0.0415	5.3261
9	0.0117	0.0158	0.0376	0.0645	0.0690	0.0345	5.5219
10	0.0128	0.0158	0.0288	0.0450	0.0680	0.0314	3.5273
11	0.0103	0.0142	0.0331	0.0602	0.0695	0.0320	5.8748
12	0.0125	0.0170	0.0569	0.0660	0.0708	0.0409	5.2913
13	0.0090	0.0194	0.0569	0.0266	0.0421	0.0360	2.9536
14	0.0677	0.0800	0.1029	0.1139	0.1325	0.1029	1.6806
15	0.0246	0.0671	0.0821	0.0927	0.1112	0.0849	3.7743
16	0.0122	0.0153	0.0257	0.0523	0.0686	0.0300	4.2817
17	0.0201	0.0674	0.0875	0.0976	0.1150	0.0879	4.8653
18	0.0122	0.0161	0.0322	0.0603	0.0698	0.0331	4.9479
19	0.0273	0.0682	0.0870	0.0971	0.1145	0.0879	3.5559
20	0.0763	0.0859	0.1046	0.1132	0.1275	0.1046	1.4851
21	0.0771	0.0888	0.1124	0.1235	0.1422	0.1124	1.6020
22	0.0246	0.0653	0.0735	0.0819	0.1031	0.0791	3.3349
23	0.0414	0.0682	0.0875	0.0975	0.1149	0.0882	2.3562
24	0.0268	0.0460	0.0727	0.0814	0.1027	0.0700	3.0318
25	0.0171	0.0456	0.0747	0.0858	0.1062	0.0713	5.0065
26	0.0729	0.0863	0.1124	0.1249	0.1464	0.1124	1.7139
27	0.0139	0.0216	0.0693	0.0745	0.1006	0.0532	5.3804
28	0.0762	0.0863	0.1064	0.1156	0.1311	0.1064	1.5183
29	0.0121	0.0143	0.0191	0.0256	0.0653	0.0261	2.1177
30	0.0800	0.0912	0.1132	0.1235	0.1406	0.1132	1.5428
31	0.0136	0.0177	0.0659	0.0723	0.0947	0.0480	5.3123
32	0.0108	0.0160	0.0405	0.0641	0.0721	0.0360	5.9539
33	0.0109	0.0131	0.0169	0.0187	0.0282	0.0184	1.7178
34	0.0097	0.0142	0.0722	0.0860	0.1155	0.0491	8.8432
35	0.0090	0.0107	0.0158	0.0187	0.0555	0.0211	2.0810
36	0.0105	0.0135	0.0193	0.0325	0.0556	0.0244	3.1029
37	0.0839	0.1064	0.1552	0.1716	0.1996	0.1488	2.0458

表 5-11 九十三年度第二次採樣調查(93/09)底床粒徑分佈統計表

樣本編號	有效粒徑 D10(mm)	D25(mm)	中值粒徑 D50(mm)	D65(mm)	D75(mm)	平均粒徑 Dm(mm)	均勻係數 Cu
1	0.0267	0.0647	0.0872	0.0973	0.1145	0.085	3.6473
2	0.0146	0.0291	0.0655	0.0743	0.0968	0.066	5.0815
3	0.0108	0.0164	0.0451	0.0622	0.0709	0.050	5.7468
4	0.0147	0.0244	0.0538	0.0659	0.0746	0.057	4.4789
5	0.0142	0.0285	0.0495	0.0626	0.0716	0.054	4.3995
6	0.0146	0.0270	0.0595	0.0692	0.0890	0.067	4.7319
7	0.0111	0.0248	0.0617	0.0768	0.0989	0.064	6.9152
8	0.0703	0.0813	0.0999	0.1084	0.1227	0.100	1.5423
9	0.0081	0.0108	0.0276	0.0375	0.0721	0.046	4.6604
10	0.0233	0.0311	0.0661	0.0785	0.1005	0.070	3.3706
11	0.0098	0.0128	0.0197	0.0266	0.0475	0.035	2.7181
12	0.0168	0.0332	0.0561	0.0672	0.0864	0.062	3.9958
13	0.0109	0.0150	0.0270	0.0350	0.0690	0.044	3.2197
14	0.0714	0.0843	0.1043	0.1136	0.1292	0.107	1.5904
15	0.0169	0.0544	0.0782	0.0892	0.1086	0.078	5.2874
16	0.0137	0.0314	0.0652	0.0724	0.0936	0.065	5.3014
17	0.0408	0.0687	0.0896	0.0994	0.1161	0.089	2.4369
18	0.0140	0.0276	0.0641	0.0723	0.1001	0.088	5.1610
19	0.0132	0.0229	0.0607	0.0793	0.1008	0.064	6.0136
20	0.0557	0.0802	0.0999	0.1091	0.1244	0.101	1.9596
21	0.0390	0.0730	0.0960	0.1065	0.1247	0.098	2.7326
22	0.0525	0.0762	0.0958	0.1050	0.1204	0.096	2.0008
23	0.0137	0.0314	0.0889	0.0990	0.1163	0.081	7.2303
24	0.0408	0.0703	0.0916	0.1013	0.1177	0.090	2.4834
25	0.0520	0.0874	0.1384	0.1608	0.1936	0.143	3.0943
26	0.0788	0.0893	0.1101	0.1196	0.1356	0.117	1.5175
27	0.0130	0.0293	0.0716	0.0835	0.1045	0.071	6.4298
28	0.0778	0.0875	0.1064	0.1150	0.1294	0.111	1.4787
29	0.0615	0.0795	0.0989	0.1079	0.1230	0.099	1.7536
30	0.0751	0.0844	0.1025	0.1108	0.1245	0.103	1.4752
31	0.0105	0.0219	0.0736	0.0859	0.1088	0.074	8.2006
32	0.0093	0.0130	0.0273	0.0389	0.0804	0.055	4.1875
33	0.0068	0.0076	0.0096	0.0107	0.0152	0.016	1.5902
34	0.0115	0.0142	0.0206	0.0330	0.0676	0.052	2.8741
35	0.0099	0.0194	0.0839	0.1009	0.1330	0.095	10.1577
36	0.0077	0.0096	0.0171	0.0269	0.0541	0.038	3.5096
37	0.0829	0.1034	0.1493	0.1665	0.1956	0.153	2.0084

底床採樣調查之結果經由公式計算出之八十九年度第一次採樣調查(89/01)底床粒徑分佈統計(表 5-4)顯示,布袋港港口附近海域的底床粒徑分佈概況,其有效粒徑(d_{10})介於 0.0006mm~0.1051mm 之間,中值粒徑(d_{50})則介於 0.007mm~0.1823mm 之間,平均粒徑(d_m)則介於 0.0067mm~0.1823mm 之間;而均勻係數(cu)為 1.569~19.632 之間;而於八十九年度第二次採樣調查(89/07)底床粒徑分佈統計(表 5-5)顯示,其有效粒徑(d_{10})介於 0.0007mm~0.0845 mm 之間,中值粒徑(d_{50})則介於 0.0077mm~0.1574mm 之間,平均粒徑(d_m)則介於 0.007mm~0.1509mm 之間,而均勻係數(cu)為 1.5019~18.1782 之間;九十年度第一次採樣調查(90/06)底床粒徑分佈統計(表 5-6)顯示,布袋港港口附近海域的底床粒徑分佈概況,其有效粒徑(d_{10})介於 0.0065mm~0.0780mm 之間,中值粒徑(d_{50})則介於 0.0110mm~0.1173mm 之間,平均粒徑(d_m)則介於 0.0137mm~0.1183mm 之間;而均勻係數(cu)為 1.4769~10.717 之間;而九十年度第二次採樣調查(90/10)底床粒徑分佈統計(表 5-7)顯示,其有效粒徑(d_{10})介於 0.0020 mm~0.0110 mm 之間,中值粒徑(d_{50})則介於 0.0070mm~0.1340mm 之間,平均粒徑(d_m)則介於 0.0120mm~0.1509mm 之間,而均勻係數(cu)為 1.3590~9.3620 之間;而九十二年度第一次採樣調查(92/06)底床粒徑分佈統計(表 5-8)顯示,其有效粒徑(d_{10})介於 0.0015 mm~0.0797 mm 之間,中值粒徑(d_{50})則介於 0.0059mm~0.1234mm 之間,平均粒徑(d_m)則介於 0.0053mm~0.1127mm 之間,而均勻係數(cu)為 1.2989~9.7979 之間;而九十二年度第二次採樣調查(92/11)底床粒徑分佈統計(表 5-9)顯示,其有效粒徑(d_{10})介於 0.0080 mm~0.0811 mm 之間,中值粒徑(d_{50})則介於 0.0088mm~0.1589mm 之間,平均粒徑(d_m)則介於 0.0243mm~0.1505mm 之間,而均勻係數(cu)為 1.4687~7.7610 之間;九十三年度第一次採樣調查(93/04)底床粒徑分佈統計(表 5-10)顯示,其有效粒徑(d_{10})介於 0.0087 mm~0.0839 mm 之間,中值粒徑(d_{50})則介於 0.0114mm~0.1552mm 之間,平均粒徑(d_m)則介於 0.0130mm~0.1488mm 之間,而均勻係數(cu)為 1.4851~8.8432 之間;而九十三年度第二次採樣調查(93/09)底床粒徑分佈統計(表 5-11)顯示,其有效粒徑(d_{10})介於 0.0077 mm~0.0829 mm 之間,中值粒徑(d_{50})則介於 0.0096mm~0.1493mm 之間,平均粒徑(d_m)則介於 0.0160mm~0.1530mm 之間,而均勻係數(cu)為 1.4752~10.1577 之間;依 ASTM 分類標準定義,八次採樣調查粒徑分類結果,布袋港港口附近海域皆介於細沙至淤泥之間。

為了探討底床粒徑分佈與布袋港港口附近海域之地形兩者之關聯性；本研究依一般漂沙調查統計方法，以求解出之各平均粒徑 (d_m)、均勻係數 (cu) 等粒徑特性，配合二度分帶座標值繪製成各底床粒徑特性平面分佈圖，藉以探討水深變化與粒徑大小之間相互的關係。

其中八十九年度第一次採樣調查(89/01)平均粒徑(d_m)分佈如圖 5-5-1 所示，而八十九年度第二次採樣調查(89/07)平均粒徑(d_m)分佈如圖 5-5-2 所示，九十年第一次採樣調查(90/06)平均粒徑(d_m)分佈如圖 5-5-3 所示，而九十年第二次採樣調查(90/10)平均粒徑(d_m)分佈如圖 5-5-4 所示；又可得出八十九年度第一次採樣調查(89/01)均勻係數(cu)分佈如圖 5-6-1 所示，而八十九年度第二次採樣調查(89/07)均勻係數(cu)分佈如圖 5-6-2 所示，九十年第一次採樣調查(90/06)均勻係數(cu)分佈如圖 5-6-3 所示，而九十年第二次採樣調查(90/10)均勻係數(cu)分佈如圖 5-6-4 所示，九十二年度第一次採樣調查(92/06)均勻係數(cu)分佈如圖 5-6-5 所示，而九十二年度第二次採樣調查(92/11)均勻係數(cu)分佈如圖 5-6-6 所示，九十三年度第一次採樣調查(93/04)均勻係數(cu)分佈如圖 5-6-7 所示，而九十三年度第二次採樣調查(93/09)均勻係數(cu)分佈如圖 5-6-8 所示。

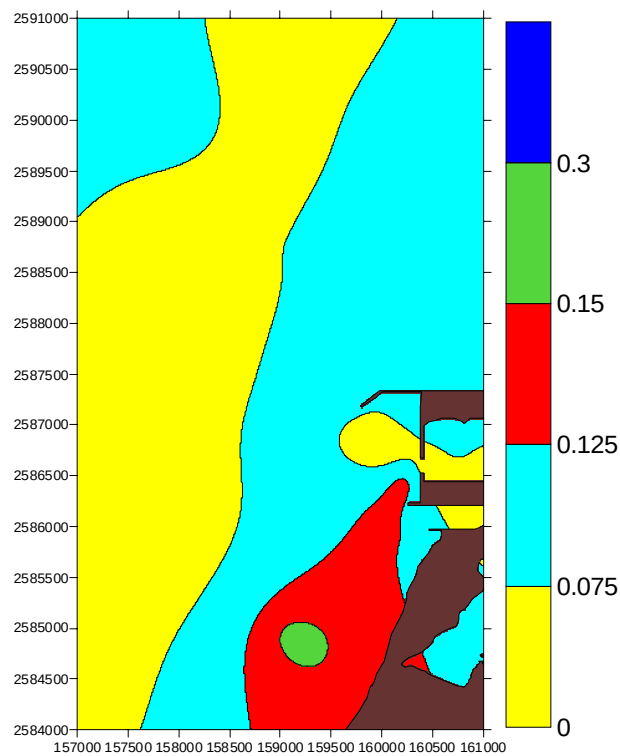


圖 5-5-1 八十九年度第一次採樣調查(89/01)平均粒徑(d_m)分佈

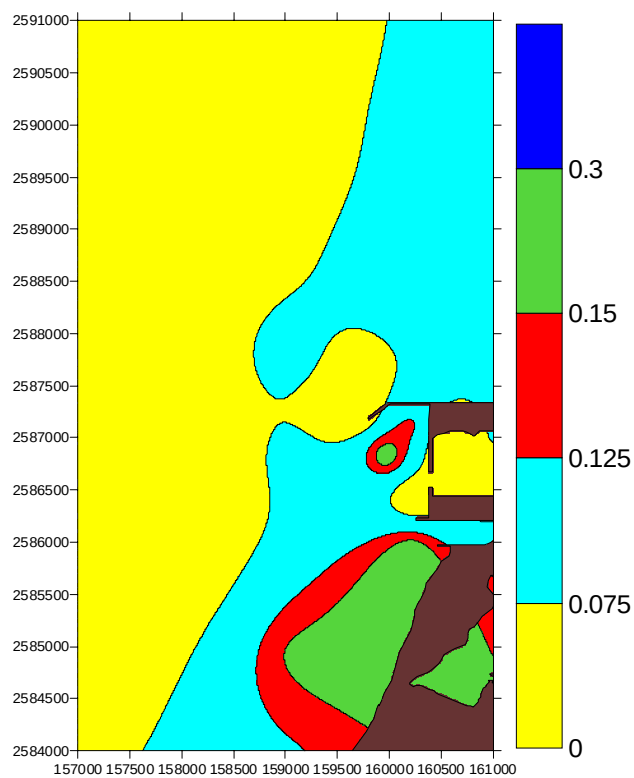


圖 5-5-2 八十九年度第二次採樣調查(89/07)平均粒徑(d_m)分佈

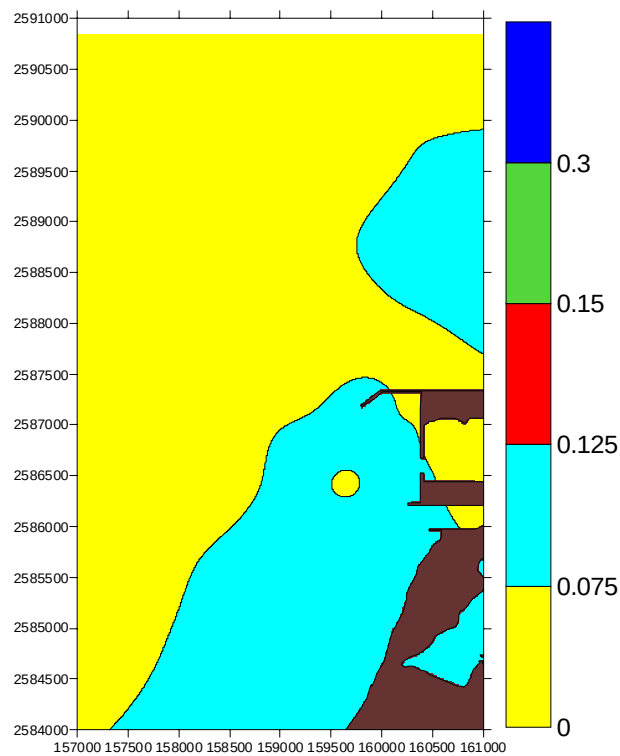


圖 5-5-3 九十年第一次採樣調查(90/06) 平均粒徑 (d_m) 分佈

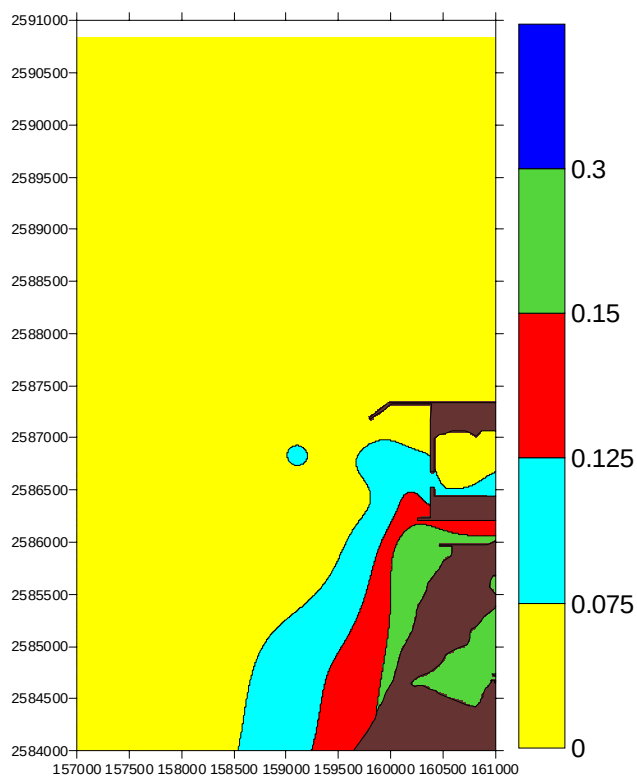


圖 5-5-4 九十年第二次採樣調查(90/10) 平均粒徑 (d_m) 分佈

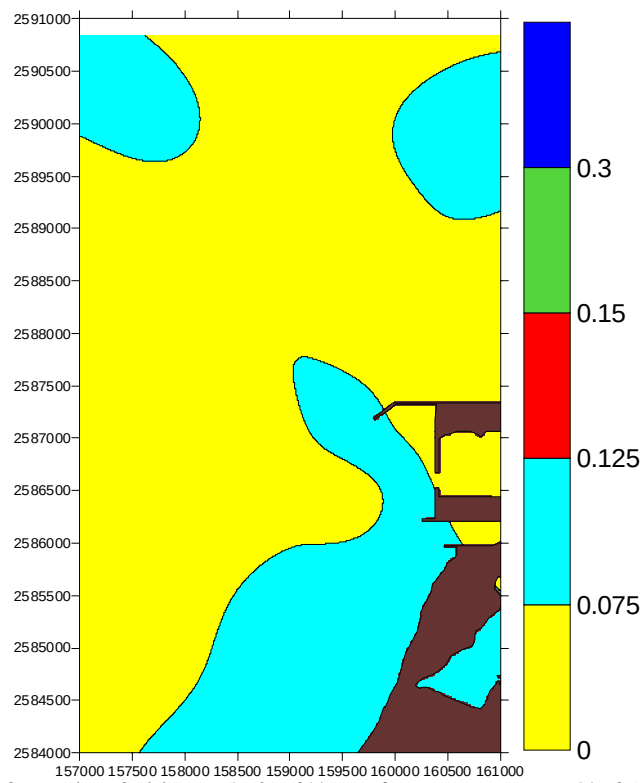


圖 5-5-5 九十二年度第一次採樣調查(92/06) 平均粒徑(d_m) 分佈

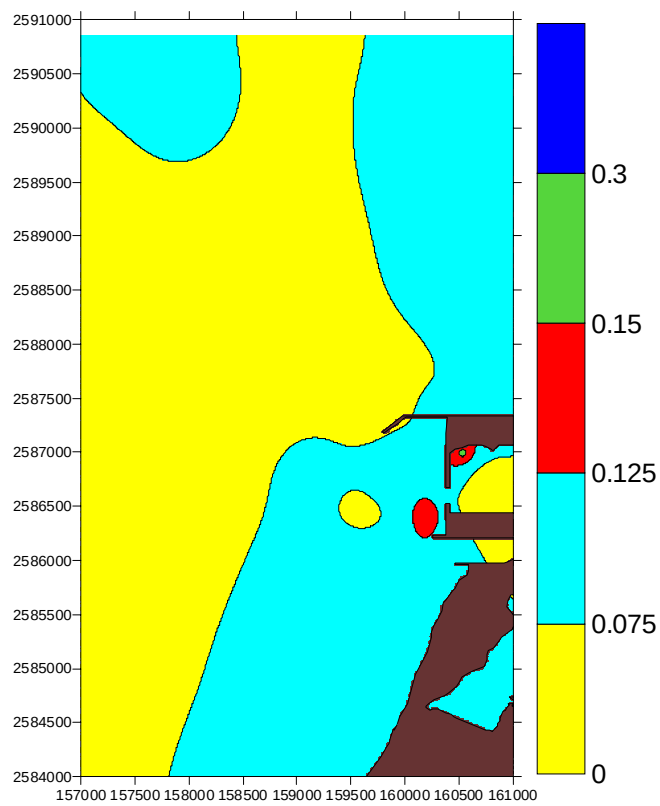


圖 5-5-6 九十二年度第二次採樣調查(92/11) 平均粒徑(d_m) 分佈

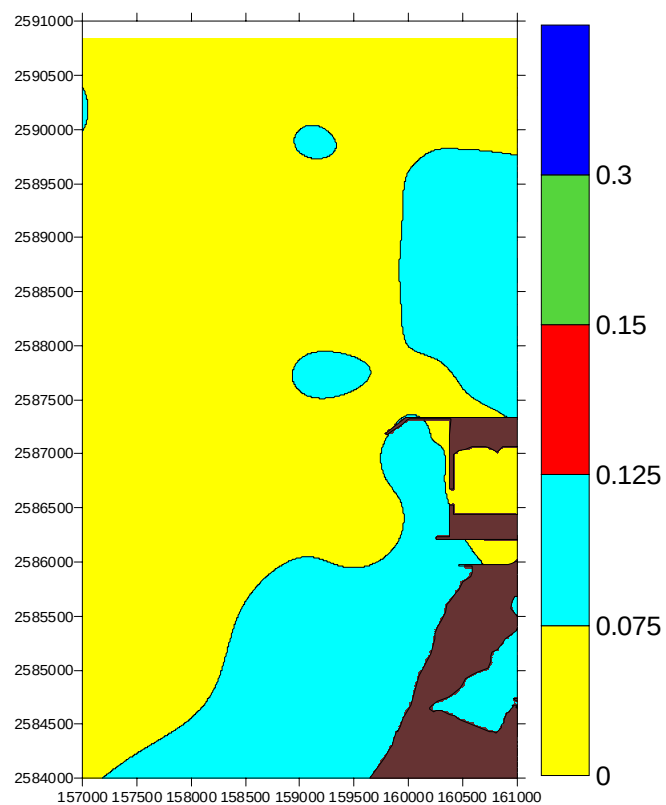


圖 5-5-7 九十三年第一次採樣調查(93/04) 平均粒徑(d_m)分佈

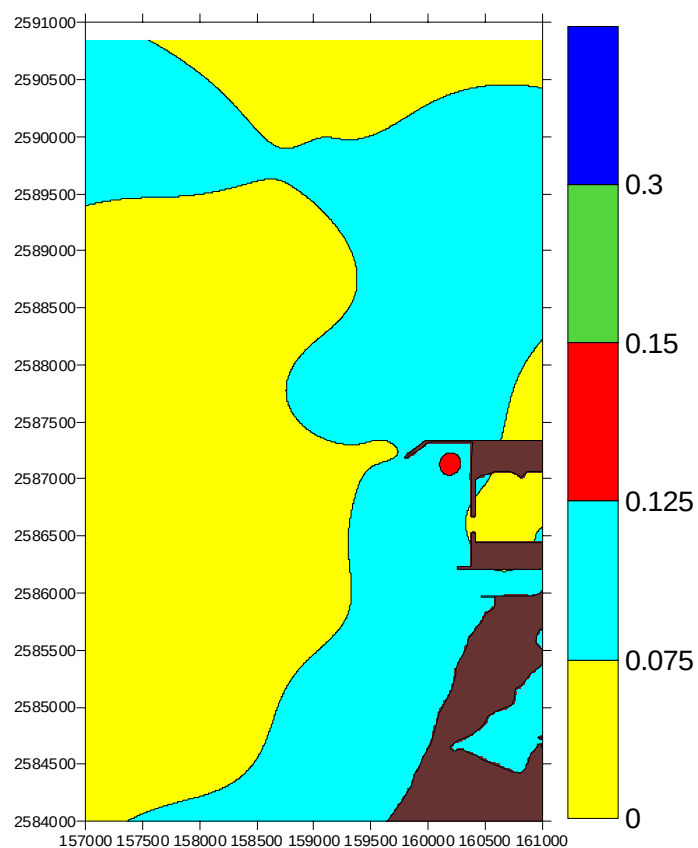


圖 5-5-8 九十三年第二次採樣調查(93/09) 平均粒徑(d_m)分佈

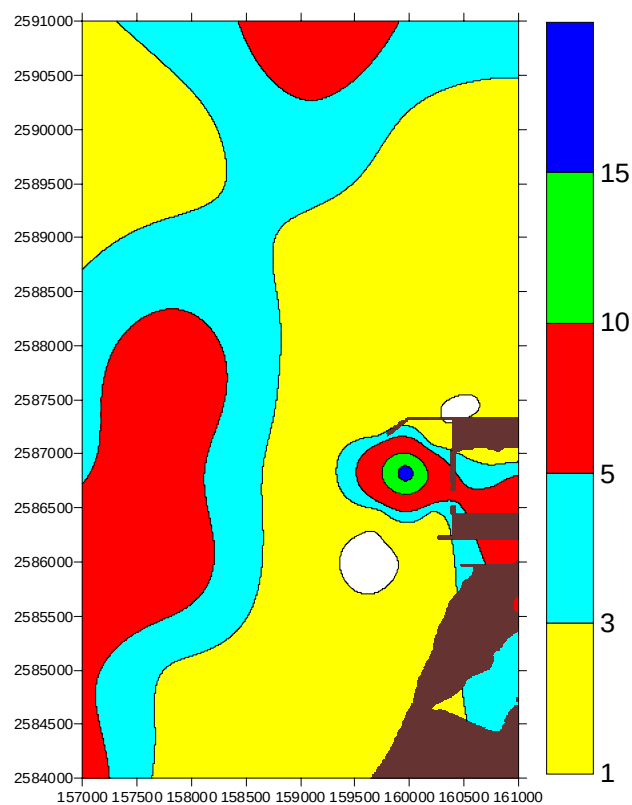


圖 5-6-1 八十九年度第一次採樣調查(89/01)均勻係數(c_u)分佈

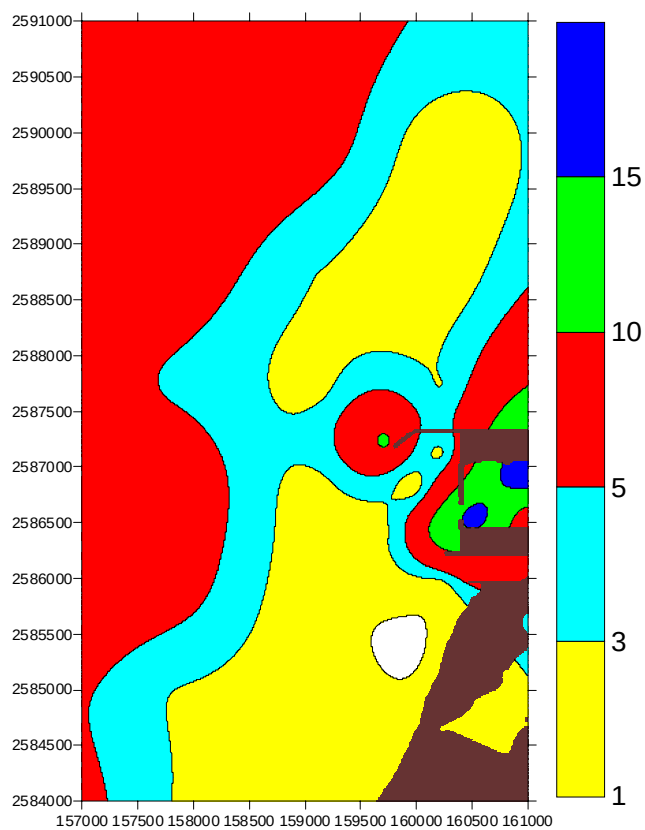


圖 5-6-2 八十九年度第二次採樣調查(89/07)均勻係數(c_u)分佈

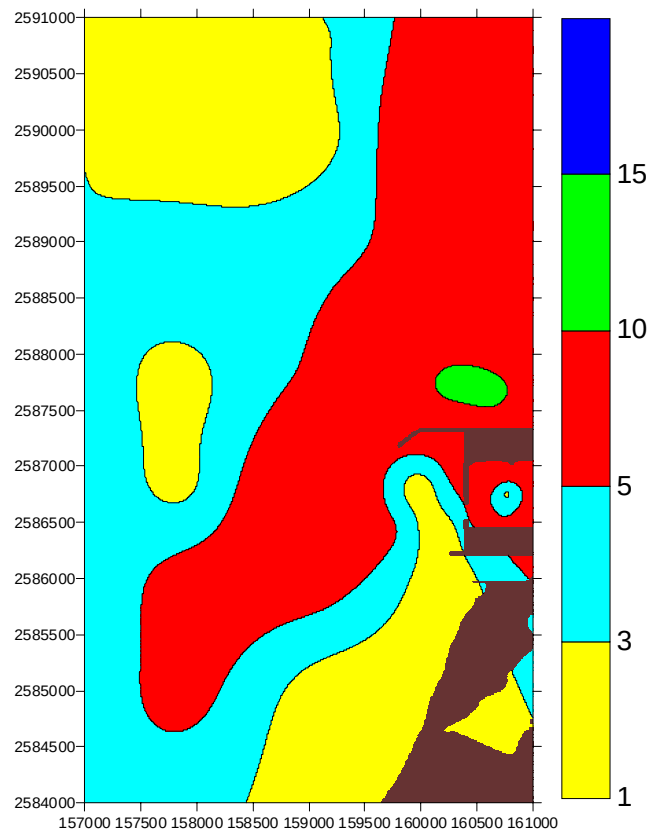


圖 5-6-3 九十年第一次採樣調查(90/06)均勻係數(cu)分佈

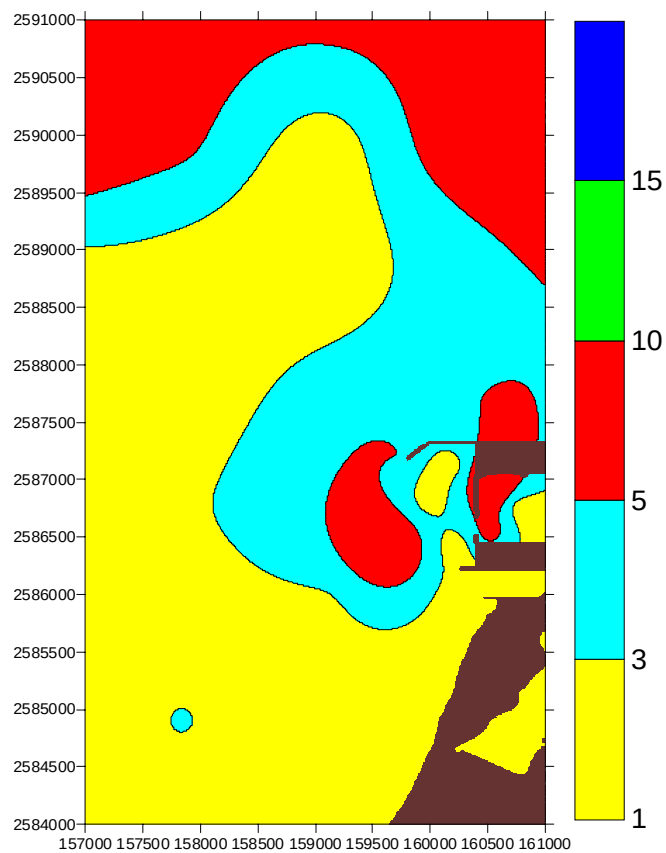


圖 5-6-4 九十年第二次採樣調查(90/10)均勻係數(cu)分佈

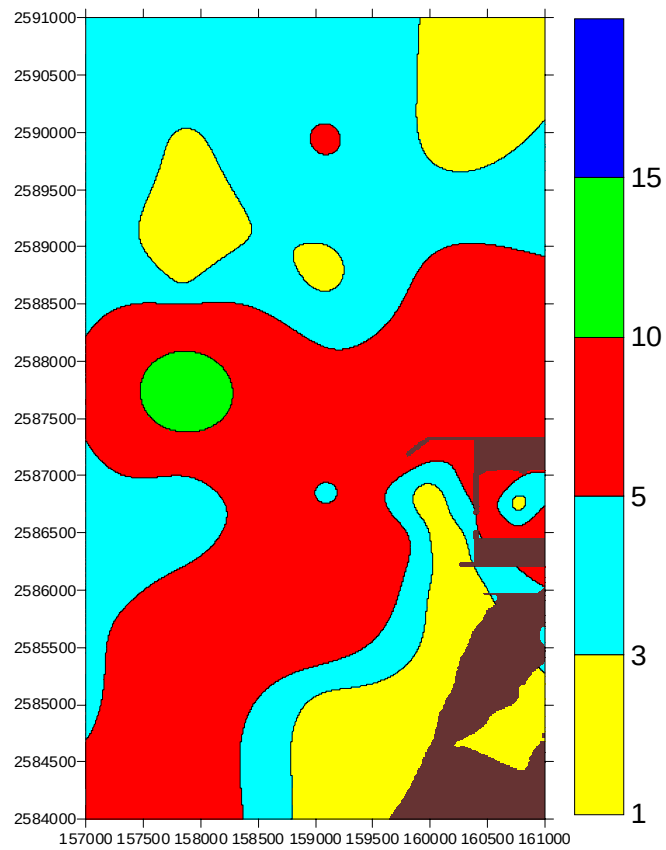


圖 5-6-5 九十二年度第一次採樣調查(92/06)均勻係數(cu)分佈

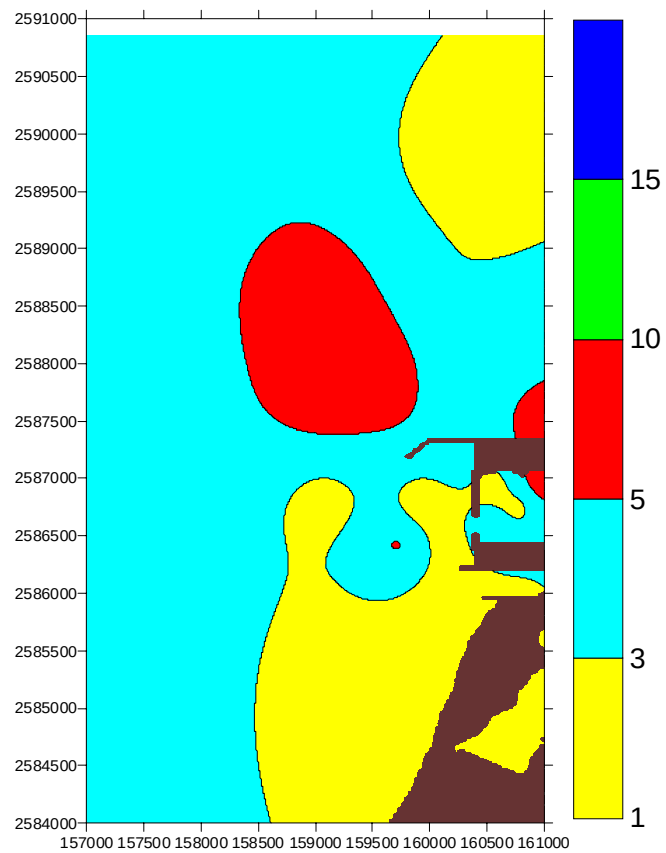


圖 5-6-6 九十二年度第二次採樣調查(92/11)均勻係數(cu)分佈

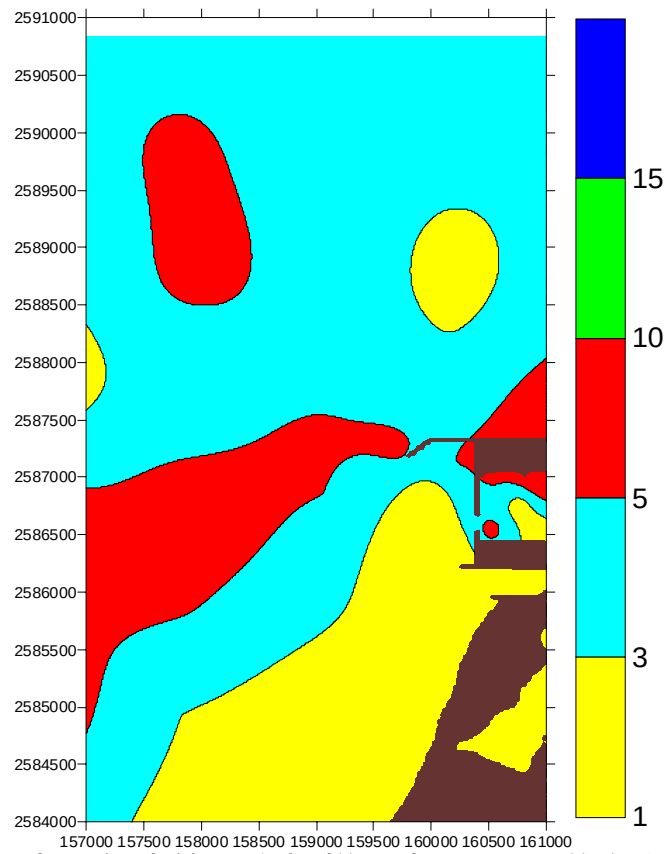


圖 5-6-7 九十三年度第一次採樣調查(93/04)均勻係數(cu)分佈

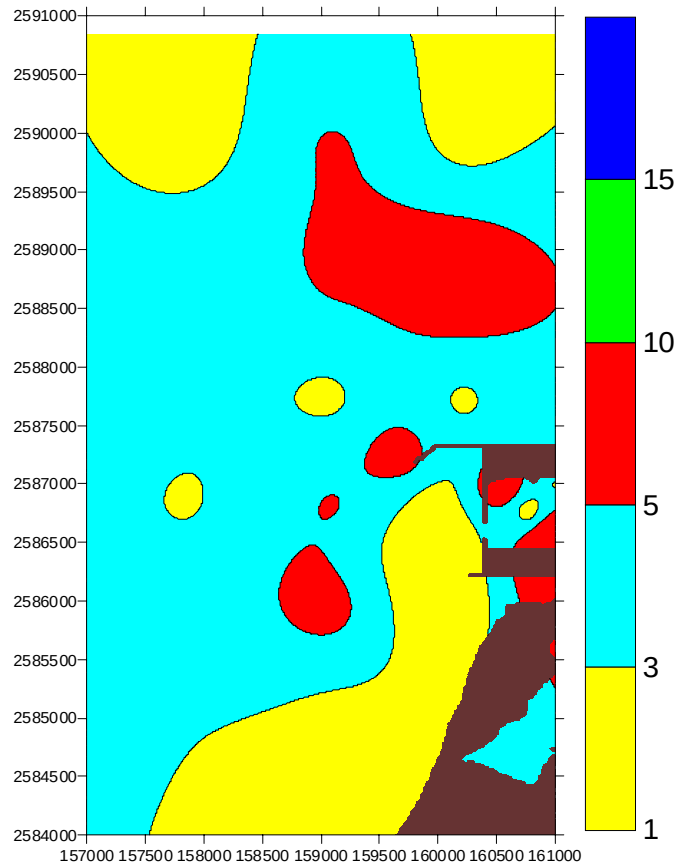


圖 5-6-8 九十三年度第二次採樣調查(93/09)均勻係數(cu)分佈

由本調查歷時五年共八次採樣調查之平均粒徑(d_m)分佈(圖 5-5-1 與圖 5-5-8)粒徑分析特性指標可知,粗粒徑沉積物皆分佈於海岸之灘線與防波堤附近,而愈往外灘延伸或港內航道水深較深處則粒徑愈細;究其原因應為波浪之篩分(sorting)作用所致,因碎波線外之沙粒往碎波點附近移動,故碎波點附近常產生篩分不良而粒徑較粗,故其平均粒徑(d_m)皆較大。而越往外灘延伸至水深-10 公尺處其平均粒徑(d_m)皆較小,蓋因為外灘海域水深較深,沙粒起動條件不足,有足夠時間形成較為安定的粒徑分佈;且由其各次採樣調查的平均粒徑(d_m)分佈圖可知,粒徑分佈情況大致與地形等深線的走向平行,故其粒徑大小應與地形有重大關聯。

而由均勻係數(cu)分佈(圖 5-6-1 與圖 5-6-8)可知,在灘線附近波浪溯升沖上灘面,海水一部份自沙層中成為滲透水流下,因此回流流速減小,大顆粒徑沉積物仍停留於灘面上,僅小粒料隨波流回流至較深海域,所以其平均粒徑(d_m)較大而均勻係數(cu)一般皆較小,而於深水處則因底床受波流作用較不明顯,因此容易形成較小又均勻的沙粒滯留底床,所以其平均粒徑(d_m)較小而均勻係數(cu)則較小;另外受工程浚深或航船擾動的影響區域,底床粒徑較不均勻一般皆有均勻係數(cu)偏大的現象。

5.3.2 礫岩分析

利用前節所述之礫岩分析方法,可以取得各測點礫岩含量之重量百分比值;而藉由礫岩重量百分比值的計算與分析,本研究可分類統計出選定之 37 組(八十九年第一次採樣調查 35 組)樣本,在五年八次的調查中各項礫岩的重量百分比變化情況;其中八十九年度第一次採樣調查(89/01)之礫岩重量百分比分析統計如表 5-12 所示,八十九年度第二次採樣調查(89/07)之礫岩重量百分比分析統計表如附表 5-13 所示;而九十年第一次採樣調查(90/06)之礫岩重量百分比分析統計如表 5-14 所示,九十年第二次採樣調查(90/10)之礫岩重量百分比分析統計如表 5-15 所示,而九十二年度第一次採樣調查(92/06)之礫岩重量百分比分析統計如表 5-16 所示,九十二年度第二次採樣調查(92/11)之礫岩重量百分比分析統計如表 5-17 所示,而本年度第一次採樣調查(93/04)之礫岩重量百分比分析統計如表 5-18 所示,本年度第二次採樣調查(93/09)之礫岩重量百分比分析統計如表 5-19 所示。

表 5-12 八十九年度第一次採樣調查(89/01)之礦岩重量百分比統計表

樣本	石英	板岩	長石	方解石	燧石	砂岩	多晶石 英	綠泥石	貝殼	不透光 礦物	其他
1	59.43	37.87	0.00	0.66	0.66	0.33	0.00	0.33	0.33	0.33	0.00
2	64.88	33.11	0.00	0.33	1.00	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	77.37	20.49	0.61	0.31	0.61	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31
4	73.75	24.69	0.00	1.25	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	59.09	38.79	0.30	0.30	0.30	0.30	0.00	0.30	0.00	0.00	0.61
6	57.48	41.16	0.00	0.68	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	0.34
7	53.14	45.28	0.00	0.63	0.00	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31
8	64.65	33.67	0.00	0.34	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	1.01
9	68.84	30.86	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32
10	69.16	28.57	0.00	0.97	0.32	0.00	0.32	0.00	0.00	0.32	0.32
11	73.00	25.90	0.00	0.55	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28
12	42.65	55.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	0.37	0.74	0.74
13	63.09	34.90	0.34	0.67	0.67	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00
14	76.11	18.77	0.00	1.37	1.02	2.05	0.00	0.00	0.00	0.68	0.00
15	55.25	41.67	0.93	0.31	0.00	1.23	0.31	0.00	0.31	0.00	0.00
16	63.99	32.80	1.29	0.96	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64
17	70.10	26.46	1.37	0.69	0.34	0.00	0.34	0.34	0.00	0.34	0.00
18	70.85	20.60	2.51	1.01	0.50	4.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	72.20	23.41	0.98	0.49	0.49	0.49	0.49	0.98	0.00	0.49	0.00
20	71.09	24.17	0.47	0.47	1.42	1.90	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00
21	77.46	16.90	0.94	1.41	0.94	1.41	0.00	0.47	0.00	0.00	0.47
22	82.76	14.66	0.00	1.29	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	79.65	17.26	0.00	0.88	0.44	0.00	0.00	0.44	0.00	1.33	0.00
24	75.68	23.42	0.00	0.45	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	72.60	22.12	0.48	2.88	1.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	50.72	46.38	0.48	0.48	0.00	0.48	0.48	0.97	0.00	0.00	0.00
27	74.26	23.27	0.99	0.00	0.00	0.99	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00
28	76.00	20.00	0.00	0.50	0.50	2.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
29	75.56	22.67	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	0.44	0.00	0.00
30	65.31	31.84	0.00	1.22	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00	1.22	0.00
31	76.92	18.75	0.96	1.44	0.00	0.48	0.48	0.00	0.48	0.48	0.00
32	68.33	23.98	1.36	3.17	0.00	0.90	0.00	0.45	0.00	1.81	0.00
33	55.80	37.50	0.45	2.23	0.45	3.13	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00
34	79.62	12.32	2.84	1.42	0.00	2.84	0.00	0.00	0.00	0.47	0.47
35	71.96	19.16	2.34	0.93	0.00	4.21	0.47	0.00	0.00	0.93	0.00

表 5-13 八十九年度第二次採樣調查(89/07)之礦岩重量百分比統計表

樣本	石英	板岩	長石	方解石	燧石	砂岩	多晶石 英	綠泥石	貝殼	不透光 礦物	其它
1	64.46	29.52	0.60	3.01	0.00	0.60	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00
2	64.10	34.19	0.00	0.85	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	76.76	19.72	0.70	1.41	0.00	0.00	0.70	0.70	0.00	0.00	0.00
4	69.64	23.21	0.89	3.57	0.00	2.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	44.78	51.49	0.00	1.49	0.00	0.75	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00
6	39.83	58.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	0.85	0.00	0.00	0.00
7	60.50	36.13	0.00	0.00	0.00	2.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	56.25	38.39	0.00	0.89	0.00	0.89	0.89	0.89	0.00	0.00	0.00
9	52.17	43.48	0.87	3.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	66.36	24.55	0.91	1.82	0.00	2.73	1.82	0.00	0.00	0.00	0.00
11	64.60	26.55	0.88	4.42	0.00	0.00	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00
12	42.16	51.96	0.00	1.96	0.00	0.98	2.94	0.00	0.00	0.00	0.00
13	59.13	36.52	0.87	0.00	0.00	0.00	1.74	0.00	0.00	0.00	0.00
14	68.87	26.42	0.00	0.00	0.00	0.94	0.94	0.94	0.00	0.00	0.00
15	43.81	49.52	0.00	0.00	0.00	0.00	1.90	0.00	0.00	0.00	0.00
16	52.76	40.94	3.15	0.79	0.79	0.79	0.79	0.00	0.00	0.00	0.00
17	69.13	24.68	1.27	0.40	0.00	0.87	1.98	0.40	0.00	0.48	0.00
18	76.19	10.48	2.86	1.90	0.00	0.00	5.71	0.00	0.00	1.90	0.00
19	73.83	19.63	1.87	0.00	0.00	1.87	2.80	0.00	0.00	0.00	0.00
20	54.78	26.96	2.61	1.74	2.61	0.87	7.83	0.00	0.00	0.00	0.00
21	74.53	20.75	0.00	0.94	0.00	0.94	0.94	0.00	0.00	0.00	0.94
22	73.21	23.21	0.00	1.79	0.00	0.00	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00
23	66.02	29.13	0.97	0.97	0.00	0.00	1.94	0.00	0.00	0.00	0.00
24	69.81	21.70	1.89	2.83	0.00	0.94	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00
25	62.84	30.73	0.00	0.92	0.00	2.75	0.92	0.92	0.00	0.00	0.00
26	68.93	19.42	2.91	0.97	1.94	2.91	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00
27	66.99	30.10	0.97	0.97	0.00	0.00	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00
28	59.46	34.23	0.00	2.70	0.00	1.80	0.90	0.00	0.90	0.00	0.00
29	67.96	22.33	4.85	0.00	0.00	1.94	1.94	0.97	0.00	0.00	0.00
30	65.42	26.17	0.00	0.93	0.00	5.61	1.87	0.00	0.00	0.00	0.00
31	65.14	27.52	0.92	0.00	0.00	1.83	2.75	0.00	0.00	0.00	0.00
32	46.90	52.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00
33	70.69	21.55	0.86	0.86	0.00	2.59	2.59	0.00	0.00	0.00	0.00
34	71.32	24.26	1.47	0.74	0.74	1.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	50.86	44.83	0.86	1.72	0.00	0.86	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00
36	66.98	30.19	0.00	1.89	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	71.19	25.42	0.85	0.00	0.00	0.85	1.69	0.00	0.00	0.00	0.00

表 5-14 九十年度第一次採樣調查(90/06)之礦岩重量百分比分析統計表

樣本	石英	多晶石英	長石	方解石	燧石	砂岩	片岩	板岩	綠泥石	貝殼	不透光礦物	其它
1	55.73	0.32	0.00	0.32	0.00	0.96	0.00	41.40	0.64	0.00	0.64	0.00
2	46.19	1.02	0.00	1.02	0.00	0.00	0.00	51.78	0.00	0.00	0.00	0.00
3	67.49	0.00	0.49	0.99	0.00	0.00	0.00	31.03	0.00	0.00	0.00	0.00
4	66.51	0.00	0.96	2.17	0.00	0.00	0.00	26.99	0.48	0.00	1.45	1.45
5	46.73	0.50	1.51	1.51	0.00	0.00	0.00	46.73	1.01	0.50	0.00	1.51
6	53.52	0.00	1.41	0.94	0.47	0.00	0.00	41.31	0.94	0.47	0.00	0.94
7	56.74	0.00	0.47	0.71	0.47	0.47	0.95	40.19	0.00	0.00	0.00	0.00
8	51.72	0.00	0.99	0.49	0.00	0.49	0.99	44.33	0.49	0.49	0.00	0.00
9	51.98	0.00	0.99	0.99	0.00	0.00	0.50	44.55	0.50	0.50	0.00	0.00
10	65.31	0.51	1.02	2.04	0.00	0.00	0.00	29.59	0.51	1.02	0.00	0.00
11	50.62	0.00	2.48	1.24	0.00	0.50	0.00	42.18	1.49	0.50	0.50	0.50
12	58.54	0.63	1.27	2.22	0.63	0.00	0.00	33.54	1.27	0.00	0.63	1.27
13	67.46	0.00	1.18	2.96	0.00	0.59	0.00	26.04	1.18	0.59	0.00	0.00
14	73.60	1.24	0.62	1.55	0.62	0.00	0.00	19.25	1.24	0.62	0.62	0.62
15	61.25	0.63	1.88	1.25	0.00	0.00	0.00	31.25	1.88	0.00	1.25	0.63
16	63.37	1.32	1.98	2.97	0.00	0.00	1.32	24.42	2.64	0.00	0.66	1.32
17	57.62	0.66	0.00	1.99	1.99	0.00	0.66	33.77	1.32	0.66	1.32	0.00
18	59.01	0.00	2.51	1.44	0.00	3.77	0.63	30.76	1.26	0.00	0.63	0.00
19	67.11	1.32	1.32	1.32	0.00	1.97	0.66	24.34	1.32	0.00	0.00	0.66
20	66.08	1.35	0.00	1.21	0.67	2.02	1.35	25.96	0.00	0.00	0.00	1.35
21	72.45	1.96	1.96	0.13	0.00	1.31	0.00	21.54	0.00	0.00	0.00	0.65
22	73.75	0.00	0.00	1.25	0.00	0.63	0.63	22.50	0.00	0.63	0.63	0.00
23	63.76	0.00	1.34	1.34	0.00	0.00	0.00	32.89	0.00	0.00	0.67	0.00
24	69.33	1.33	2.67	2.67	0.00	0.00	0.67	22.67	0.67	0.00	0.00	0.00
25	71.61	0.00	1.29	0.97	0.00	0.00	0.00	26.13	0.00	0.00	0.00	0.00
26	66.00	4.00	1.33	0.67	0.67	0.00	0.67	24.67	0.67	0.00	1.33	0.00
27	61.92	1.24	3.10	0.31	0.62	1.24	1.24	27.24	0.62	0.00	1.24	1.24
28	71.61	0.00	2.58	0.65	0.00	0.00	1.94	22.58	0.65	0.00	0.00	0.00
29	57.79	1.26	1.88	0.75	0.00	0.00	0.00	37.69	0.63	0.00	0.00	0.00
30	73.57	0.64	2.55	0.64	0.00	0.64	0.64	20.70	0.64	0.00	0.00	0.00
31	56.36	0.00	0.00	3.74	0.63	1.27	3.17	32.93	0.63	0.63	0.63	0.00
32	67.63	1.31	0.00	0.20	0.66	0.66	0.66	26.92	0.00	0.66	1.31	0.00
33	49.12	0.65	0.00	1.11	0.00	0.65	0.65	46.50	0.00	0.65	0.00	0.65
34	56.83	1.35	1.35	1.22	0.00	2.71	0.68	34.51	1.35	0.00	0.00	0.00
35	61.99	2.70	0.00	0.27	0.00	4.72	0.00	29.65	0.00	0.67	0.00	0.00
36	54.60	0.63	0.63	0.32	0.00	1.27	1.90	39.37	0.00	1.27	0.00	0.00
37	71.24	1.31	3.27	1.31	0.65	0.65	1.31	20.26	0.00	0.00	0.00	0.00

表 5-15 九十年度第二次採樣調查(90/10)之礦岩重量百分比分析統計表

樣本	石英	多晶石 英	長石	方解石	燧石	砂岩	片岩	板岩	綠泥石	貝殼	不透光 礦物	其它
1	43.53	0.64	1.28	2.69	0.00	12.80	0.00	37.77	0.00	0.64	0.64	0.00
2	29.46	0.00	0.57	1.42	0.00	5.67	0.00	61.76	0.00	0.00	0.57	0.57
3	25.70	0.00	0.58	0.12	0.00	5.26	0.00	68.34	0.00	0.00	0.00	0.00
4	49.06	0.00	0.00	1.26	0.63	7.55	0.00	37.11	0.63	1.26	1.89	0.63
5	54.06	0.00	0.00	1.52	0.00	5.84	0.00	36.82	1.17	0.00	0.00	0.58
6	63.96	0.00	0.67	0.07	1.33	6.00	0.00	27.98	0.00	0.00	0.00	0.00
7	70.30	0.00	2.63	0.13	0.00	6.57	0.00	19.05	1.31	0.00	0.00	0.00
8	57.92	0.00	1.29	2.19	0.00	6.44	0.00	32.18	0.00	0.00	0.00	0.00
9	24.62	0.63	0.00	2.15	0.00	1.26	0.00	68.81	0.63	0.00	0.63	1.26
10	30.51	0.00	0.00	0.19	0.00	8.90	0.00	60.39	0.00	0.00	0.00	0.00
11	52.53	0.00	0.00	1.27	0.00	6.96	0.00	38.61	0.63	0.00	0.00	0.00
12	64.72	0.00	0.65	2.27	0.00	7.77	0.65	20.06	1.94	0.00	1.29	0.00
13	62.75	1.31	0.00	1.96	0.00	8.50	0.00	20.92	1.96	0.00	0.65	1.96
14	58.33	0.00	1.53	1.00	0.00	6.14	0.00	32.23	0.77	0.00	0.00	0.00
15	70.34	0.00	0.69	1.38	0.00	1.38	0.00	23.45	1.38	0.00	0.69	0.69
16	23.87	0.61	0.00	0.24	0.00	7.34	0.00	67.93	0.00	0.00	0.00	0.00
17	77.22	0.00	0.00	1.90	0.00	7.59	0.00	12.66	0.00	0.00	0.63	0.00
18	70.47	0.00	0.00	1.34	0.67	8.05	0.67	18.12	0.00	0.00	0.00	0.00
19	68.59	0.00	0.61	0.18	0.00	8.57	0.00	22.05	0.00	0.00	0.00	0.00
20	76.49	0.00	0.00	2.02	0.63	10.11	0.00	10.11	0.00	0.00	0.63	0.00
21	81.76	0.00	0.00	0.68	0.00	6.76	0.00	10.81	0.00	0.00	0.00	0.00
22	66.06	1.22	0.00	0.92	0.61	8.56	0.00	21.41	0.61	0.00	0.61	0.00
23	72.73	0.00	0.65	0.00	0.00	9.09	0.00	16.23	0.00	0.65	0.65	0.00
24	73.17	0.00	0.00	2.44	0.00	9.15	0.61	13.41	0.00	0.00	0.00	0.61
25	70.30	0.00	0.00	0.13	0.00	7.88	0.66	18.39	1.31	0.00	0.66	0.00
26	72.34	0.00	2.01	2.88	0.00	12.06	0.00	10.05	0.67	0.00	0.00	0.00
27	67.19	0.00	2.08	1.04	0.00	11.46	0.00	17.19	0.52	0.52	0.00	0.00
28	71.15	0.00	0.00	0.64	0.00	12.82	0.00	14.74	0.64	0.00	0.00	0.00
29	72.12	0.00	1.69	1.02	0.34	6.13	0.34	16.99	0.68	0.00	0.34	0.00
30	71.67	0.00	1.37	1.02	0.00	7.51	0.00	17.75	0.00	0.68	0.00	0.00
31	63.06	0.00	2.55	1.27	1.27	7.01	0.00	24.84	0.00	0.00	0.00	0.00
32	70.63	0.00	2.64	0.33	0.00	7.26	0.00	17.82	0.00	0.00	1.32	0.00
33	56.40	0.00	0.00	0.46	0.00	2.65	0.00	40.48	0.00	0.00	0.00	0.00
34	56.21	0.00	0.00	0.00	0.00	4.58	0.00	38.56	0.00	0.00	0.65	0.00
35	62.73	0.00	0.62	0.62	0.00	3.11	0.62	31.06	0.00	0.00	0.62	0.00
36	61.04	0.00	1.95	0.65	0.00	7.79	0.00	28.57	0.00	0.00	0.00	0.00
37	66.01	0.00	0.99	1.93	0.00	10.35	0.00	20.71	0.00	0.00	0.00	0.00

表 5-16 九十二年度第一次採樣調查(92/06)之礦岩重量百分比分析統計表

樣本	石英	多晶石 英	長石	方解石	燧石	砂岩	片岩	板岩	綠泥石	貝殼	不透光 礦物	其它
1	50.00	1.28	1.28	1.28	0.00	0.64	0.00	45.51	0.00	0.00	0.00	0.00
2	42.81	0.00	1.34	2.34	0.67	1.34	0.00	50.84	0.00	0.00	0.67	0.00
3	46.67	2.50	1.67	2.50	0.00	0.00	0.00	45.00	0.00	0.00	0.00	1.67
4	44.90	0.68	2.04	2.72	0.00	0.00	0.00	46.94	0.00	2.04	0.68	0.00
5	58.57	0.00	0.00	1.56	0.00	0.00	0.00	37.38	0.62	0.62	1.25	0.00
6	39.62	0.64	0.64	0.32	0.00	0.00	0.00	57.51	0.00	0.00	1.28	0.00
7	58.54	0.69	0.00	3.58	0.00	1.38	0.00	35.12	0.69	0.00	0.00	0.00
8	58.39	2.01	0.67	1.34	0.00	0.00	0.00	37.58	0.00	0.00	0.00	0.00
9	49.85	0.59	0.59	0.89	0.00	0.59	0.00	45.10	1.78	0.00	0.59	0.00
10	54.97	0.66	0.00	0.66	0.00	0.66	0.00	41.72	0.66	0.00	0.00	0.66
11	58.62	2.07	0.00	3.45	0.00	0.00	0.00	31.72	0.00	0.69	2.07	1.38
12	70.00	0.59	0.59	0.59	0.00	0.00	0.65	27.06	0.59	0.59	0.00	0.00
13	71.47	2.51	0.63	0.94	0.00	5.02	0.00	18.81	0.00	0.00	0.63	0.00
14	76.82	0.69	0.69	1.04	0.69	1.38	0.00	18.69	0.00	0.00	0.00	0.00
15	51.97	0.66	1.32	0.00	0.00	0.66	0.00	44.74	0.00	0.00	0.66	0.00
16	66.67	0.67	0.00	1.68	0.00	6.06	0.00	24.24	0.00	0.67	0.00	0.00
17	73.72	0.64	0.64	0.64	0.00	3.21	0.00	19.23	0.64	0.00	1.28	0.00
18	63.05	2.71	0.00	0.34	0.00	8.81	0.67	24.41	0.00	0.00	0.68	0.00
19	57.53	3.34	0.00	2.34	0.00	2.68	0.00	31.44	0.00	2.68	0.00	0.00
20	76.33	2.12	1.41	0.35	0.71	4.95	0.00	14.13	0.00	0.00	0.00	0.00
21	75.45	0.66	1.32	0.73	0.00	9.27	0.00	12.57	0.00	0.00	0.00	0.00
22	66.00	1.33	0.67	0.67	0.00	0.67	0.00	29.33	0.67	0.00	0.67	0.00
23	64.67	0.00	2.00	0.67	0.67	1.33	0.00	30.67	0.00	0.00	0.00	0.00
24	70.81	0.00	1.24	0.00	1.24	1.24	0.61	25.47	0.00	0.00	0.00	0.00
25	68.63	0.00	0.65	0.65	0.00	0.65	0.66	28.10	1.31	0.00	0.00	0.00
26	66.25	0.00	1.25	0.63	2.50	3.13	0.00	25.63	0.63	0.00	0.00	0.00
27	62.00	0.67	0.67	0.67	0.00	1.33	0.00	34.00	0.67	0.00	0.00	0.00
28	73.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	0.00	26.25	0.00	0.00	0.00	0.00
29	67.68	0.00	0.61	0.61	1.22	0.00	0.34	28.66	0.61	0.00	0.00	0.61
30	70.03	0.00	2.02	0.34	1.35	1.35	0.00	24.92	0.00	0.00	0.00	0.00
31	56.52	0.00	1.24	0.62	0.62	0.62	0.00	38.51	0.00	0.62	1.24	0.00
32	69.54	0.00	0.62	0.62	0.00	1.85	0.00	26.46	0.92	0.00	0.00	0.00
33	64.86	0.68	0.00	1.35	0.68	1.35	0.00	31.08	0.00	0.00	0.00	0.00
34	46.92	0.00	0.00	0.29	0.00	1.17	0.00	50.44	0.00	0.00	0.59	0.59
35	68.26	0.00	1.20	0.00	1.20	1.20	0.62	27.54	0.00	0.00	0.60	0.00
36	54.61	0.66	0.66	0.00	0.66	0.00	0.00	43.42	0.00	0.00	0.00	0.00
37	67.96	0.65	0.00	1.62	0.65	1.94	0.00	25.24	1.29	0.00	0.65	0.00

表 5-17 九十二年度第二次採樣調查(92/11)之礦岩重量百分比分析統計表

樣本	石英	多晶石 英	長石	方解石	燧石	砂岩	片岩	板岩	綠泥石	貝殼	不透光 礦物	其它
1	60.25	0.62	0.00	1.24	0.00	0.62	00.00	34.78	1.86	0.62	0.00	0.00
2	42.11	0.00	0.00	0.66	0.66	0.66	00.00	51.32	1.32	0.66	1.97	0.64
3	52.69	0.00	2.40	0.00	0.60	0.00	00.00	40.72	1.20	0.60	1.80	0.00
4	72.04	0.61	0.61	1.10	0.61	2.44	00.00	20.76	1.83	0.00	0.00	0.00
5	48.77	0.00	1.23	1.85	0.00	0.62	00.00	43.21	1.85	2.47	0.00	0.00
6	63.03	0.00	0.00	2.42	0.61	0.61	00.00	30.91	0.00	1.82	0.61	0.00
7	54.49	0.60	0.00	1.80	0.60	0.00	00.00	41.32	0.00	0.60	0.60	0.00
8	55.56	0.00	0.56	1.11	0.56	2.22	00.00	39.44	0.00	0.00	0.56	0.00
9	51.56	0.00	0.00	0.85	0.00	1.13	00.00	44.76	0.00	1.70	0.00	0.00
10	65.18	0.00	0.00	0.32	0.00	0.64	00.00	29.39	0.64	3.19	0.64	0.00
11	59.55	1.12	0.56	1.12	0.00	0.56	00.00	35.96	1.12	0.00	0.00	0.00
12	54.71	0.00	0.00	0.59	1.18	1.18	00.00	41.18	0.00	1.18	0.00	0.00
13	62.20	0.61	0.00	1.22	0.61	1.22	00.00	32.32	0.00	0.61	1.22	0.00
14	72.08	0.00	1.30	0.65	0.00	2.60	00.00	23.38	0.00	0.00	0.00	0.00
15	55.36	0.00	0.60	0.60	0.00	1.19	00.00	41.67	0.00	0.00	0.60	0.00
16	69.52	0.53	0.00	1.60	0.00	0.00	00.00	27.27	0.00	0.53	0.53	0.00
17	77.06	0.00	1.22	0.92	0.61	1.22	00.00	18.96	0.00	0.00	0.00	0.00
18	73.23	0.00	0.00	1.52	0.51	1.52	00.00	23.23	0.00	0.00	0.00	0.00
19	75.74	0.00	0.00	0.00	1.18	1.18	00.00	20.12	1.18	0.00	0.59	0.00
20	77.34	0.61	0.61	0.73	0.00	0.00	00.00	18.88	0.61	0.00	1.22	0.00
21	76.58	0.63	1.27	0.63	0.00	0.63	00.00	18.35	0.00	0.00	1.90	0.00
22	72.22	0.00	0.62	1.23	0.00	0.62	00.00	23.46	0.00	0.62	1.23	0.00
23	81.41	0.00	0.64	2.56	0.00	0.64	00.00	14.74	0.00	0.00	0.00	0.00
24	74.71	0.00	1.18	4.12	0.00	0.00	00.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	69.59	1.25	0.63	2.19	0.00	0.63	00.00	25.08	0.00	0.00	0.63	0.00
26	80.86	0.00	1.23	0.00	0.00	0.62	00.00	16.67	0.00	0.00	0.62	0.00
27	64.15	0.00	0.63	0.00	0.00	0.63	00.00	33.96	0.00	0.63	0.00	0.00
28	79.87	0.00	0.00	1.95	0.65	1.30	00.00	16.23	0.00	0.00	0.00	0.00
29	67.07	0.60	1.20	1.20	1.20	0.00	00.00	28.14	0.00	0.60	0.00	0.00
30	76.83	0.00	0.63	0.50	0.00	2.52	00.00	18.89	0.63	0.00	0.00	0.00
31	65.58	0.00	0.65	0.00	0.65	7.79	00.00	24.03	0.00	1.30	0.00	0.00
32	66.67	0.67	0.00	2.67	0.67	0.67	00.00	27.33	1.33	0.00	0.00	0.00
33	51.72	0.57	0.00	0.57	0.00	0.57	00.00	46.55	0.00	0.00	0.00	0.00
34	59.51	1.84	1.23	1.84	0.61	1.84	00.00	32.52	0.00	0.00	0.61	0.00
35	67.46	0.59	0.00	0.00	0.00	1.18	00.00	30.18	0.00	0.59	0.00	0.00
36	57.93	0.61	0.00	1.22	0.00	0.00	00.00	39.02	1.22	0.00	0.00	0.00
37	61.80	0.00	0.56	0.56	0.00	0.56	00.00	35.96	0.56	0.00	0.00	0.00

表 5-18 九十三年度第一次採樣調查(93/04)之礦岩重量百分比分析統計表

樣本	石英	多晶石 英	長石	方解石	燧石	砂岩	片岩	板岩	綠泥石	貝殼	不透光 礦物	其它
1	50.44	0.00	0.59	0.88	0.00	1.76	0.00	44.57	0.59	0.00	1.17	0.00
2	40.45	0.00	1.82	0.00	0.00	0.91	0.00	56.36	0.00	0.45	0.00	0.00
3	43.73	0.00	0.49	1.23	0.00	1.97	0.00	51.60	0.00	0.49	0.49	0.00
4	58.16	0.00	0.51	1.02	0.00	0.00	0.00	40.31	0.00	0.00	0.00	0.00
5	56.52	0.00	0.62	0.62	0.00	0.00	0.00	40.37	1.24	0.62	0.00	0.00
6	62.81	0.00	0.49	2.08	0.00	0.00	0.00	32.64	1.98	0.00	0.00	0.00
7	54.13	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	45.58	0.00	0.00	0.00	0.00
8	50.32	0.00	0.00	3.23	0.00	0.00	0.00	46.45	0.00	0.00	0.00	0.00
9	59.20	0.00	0.00	1.15	0.00	0.00	0.00	38.51	0.57	0.00	0.57	0.00
10	71.98	0.00	0.00	0.55	0.00	0.00	0.00	27.47	0.00	0.00	0.00	0.00
11	62.70	0.00	0.00	2.16	0.00	0.00	0.00	34.05	0.54	0.54	0.00	0.00
12	63.95	0.00	0.58	0.58	0.00	0.58	0.00	33.72	0.00	0.00	0.00	0.58
13	60.07	0.66	0.00	1.65	0.00	0.66	0.00	36.96	0.00	0.00	0.00	0.00
14	73.74	0.00	0.56	0.56	0.56	0.00	0.00	24.02	0.00	0.56	0.00	0.00
15	61.83	0.63	1.26	0.32	0.00	2.52	0.00	33.44	0.00	0.00	0.00	0.00
16	53.91	0.00	1.16	0.00	0.00	0.58	0.00	39.42	1.74	2.61	0.58	0.00
17	70.39	1.97	0.66	1.97	1.97	2.63	0.00	19.74	0.00	0.66	0.00	0.00
18	63.13	0.00	0.63	1.25	0.00	1.25	0.00	31.25	1.25	0.63	0.63	0.00
19	67.08	0.00	1.88	3.45	0.63	0.63	0.00	25.08	1.25	0.00	0.00	0.00
20	71.84	0.00	0.00	3.56	0.00	1.94	0.00	20.71	0.65	0.65	0.65	0.00
21	72.05	0.62	1.24	1.24	0.00	0.62	0.00	22.98	0.62	0.00	0.00	0.62
22	66.46	0.00	0.00	1.86	0.00	0.00	0.00	30.43	0.62	0.00	0.62	0.00
23	70.19	0.00	1.24	1.24	0.00	1.86	0.00	24.84	0.62	0.00	0.00	0.00
24	68.42	0.66	0.00	1.97	0.66	0.66	0.00	27.63	0.00	0.00	0.00	0.00
25	69.33	0.61	0.61	4.29	0.00	0.00	0.00	23.31	1.84	0.00	0.00	0.00
26	83.79	1.21	0.61	1.03	0.00	0.61	0.00	12.14	0.61	0.00	0.00	0.00
27	69.66	0.00	0.56	0.56	0.00	1.12	0.00	26.97	0.56	0.00	0.56	0.00
28	76.60	0.00	0.61	0.91	0.00	1.22	0.00	20.67	0.00	0.00	0.00	0.00
29	68.72	0.41	0.41	1.23	0.00	0.41	0.00	28.81	0.00	0.00	0.00	0.00
30	75.16	1.27	1.27	1.27	0.00	0.64	0.00	20.38	0.00	0.00	0.00	0.00
31	60.00	0.00	0.00	0.63	0.00	0.00	0.00	38.13	0.63	0.00	0.00	0.63
32	57.69	0.43	0.00	0.85	0.00	0.85	0.00	39.74	0.00	0.43	0.00	0.00
33	56.34	0.00	0.00	1.41	0.00	0.56	0.00	41.69	0.00	0.00	0.00	0.00
34	41.89	1.77	0.00	0.29	0.00	1.18	0.00	53.69	1.18	0.00	0.00	0.00
35	56.34	0.00	0.61	0.80	0.00	1.84	0.00	38.58	0.61	1.22	0.00	0.00
36	59.62	0.00	0.64	0.64	0.00	0.00	0.00	37.82	1.28	0.00	0.00	0.00
37	56.21	0.00	0.00	0.00	1.31	5.88	0.00	36.60	0.00	0.00	0.00	0.00

表 5-19 九十三年度第二次採樣調查(93/09)之礦岩重量百分比分析統計表

樣本	石英	多晶石 英	長石	方解石	燧石	砂岩	片岩	板岩	綠泥石	貝殼	不透光 礦物	其它
1	66.23	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00	26.62	0.65	0.65	0.65	0.00
2	73.14	0.65	1.29	0.97	0.00	0.00	0.00	22.01	0.00	0.00	0.65	0.00
3	62.50	0.00	3.13	4.38	0.00	0.00	0.00	26.88	0.00	0.00	0.00	0.00
4	56.86	1.31	0.65	3.27	0.00	0.00	0.00	33.33	0.00	1.31	1.31	0.00
5	68.97	0.69	0.69	2.07	0.00	0.00	0.00	26.90	0.69	0.00	0.00	0.00
6	61.78	0.00	0.00	0.64	0.00	0.00	0.00	36.31	0.00	0.64	0.64	0.00
7	60.93	0.66	0.66	1.99	0.00	0.00	0.00	33.77	0.00	1.32	0.00	0.00
8	64.74	0.00	1.92	1.92	0.00	0.00	0.00	25.00	0.00	1.28	0.64	0.00
9	68.03	0.00	1.24	1.67	0.00	0.00	0.00	27.21	0.62	0.00	0.62	0.00
10	71.92	0.00	1.37	0.68	0.00	0.00	0.00	23.97	0.68	0.00	0.68	0.00
11	70.25	0.63	1.27	1.90	0.63	0.00	0.00	22.78	0.00	0.63	0.63	0.00
12	68.24	0.00	0.68	2.03	0.00	0.00	0.00	25.00	0.00	0.00	0.68	0.00
13	71.24	1.08	1.08	1.24	0.00	0.00	0.00	24.28	0.00	0.54	0.54	0.00
14	69.62	0.00	0.63	0.63	0.63	0.00	0.00	21.52	0.63	0.00	0.63	0.00
15	53.69	0.00	0.00	2.01	0.00	0.00	0.00	41.61	0.00	0.00	0.00	0.00
16	71.79	0.64	1.92	1.28	0.00	0.00	0.00	23.08	0.64	0.00	0.64	0.00
17	67.57	1.35	1.35	2.70	0.00	0.00	0.00	20.95	0.00	0.00	0.00	0.00
18	59.86	0.00	2.04	0.68	0.68	0.00	0.00	30.61	0.00	0.00	2.04	0.00
19	71.06	0.65	2.58	1.16	0.00	0.00	0.00	23.26	0.00	0.00	0.00	0.00
20	72.96	0.00	1.26	1.26	0.00	0.00	0.00	24.53	0.00	0.00	0.00	0.00
21	75.23	0.00	0.00	2.08	0.00	0.00	0.00	20.75	0.00	0.00	0.00	0.00
22	69.68	0.00	4.52	1.94	0.00	0.00	0.00	22.58	0.00	0.00	0.00	0.00
23	72.37	0.00	0.66	1.32	0.00	0.00	0.00	22.37	0.00	0.00	1.32	0.00
24	73.03	0.00	1.32	0.66	0.00	0.00	0.00	22.37	0.00	0.00	1.32	0.00
25	70.08	0.00	0.67	0.85	0.32	1.06	0.00	24.33	0.67	0.00	0.00	0.35
26	68.94	0.00	1.86	1.86	0.00	0.00	0.00	22.36	0.00	0.00	0.00	0.00
27	69.18	0.00	1.26	3.14	0.00	0.00	0.00	20.13	0.00	0.00	1.26	0.00
28	64.95	0.00	1.29	1.61	1.29	0.64	0.00	27.65	0.00	0.64	0.00	0.00
29	76.10	0.00	0.63	0.63	0.63	0.00	0.00	22.01	0.00	0.00	0.00	0.00
30	74.03	0.00	0.65	0.65	0.00	0.65	0.00	18.83	0.00	0.65	1.95	0.00
31	64.10	0.00	1.28	1.28	0.00	0.00	0.00	30.13	0.64	0.00	1.92	0.00
32	64.03	0.00	0.66	0.99	0.00	0.66	0.00	31.02	0.66	0.00	0.66	0.00
33	13.45	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00	85.65	0.00	0.45	0.00	0.00
34	58.79	0.00	0.61	1.21	0.00	0.00	0.00	36.97	0.00	0.61	0.00	0.00
35	69.71	1.30	1.30	0.98	0.00	0.00	0.00	20.85	0.00	0.00	0.65	0.00
36	66.45	1.94	0.00	1.29	0.00	0.00	0.00	28.39	0.00	0.00	1.29	0.00
37	67.63	0.29	1.44	1.27	0.29	0.00	0.00	24.80	0.00	0.00	0.00	0.00

由八十九年度第一次採樣調查(89/01)之礦岩重量百分比分析統計表(表 5-12)顯示，其石英含量介於 42.65%和 82.76%之間(平均 68.25%)，板岩含量介於 14.66%和 55.15%之間(平均 30.87%)，兩者合計約佔全部底質沉積物 99.1%以上；而八十九年度第二次採樣調查(89/07)之礦岩重量百分比分析統計表(表 5-13)其石英含量介於 39.83%和 82.76%之間(平均 62.66%)，板岩含量介於 12.32%和 58.47%之間(平均 31.26%)，兩者合計約佔全部底質沉積物 93.92%以上；其他礦物(如長石、方解石、燧石、砂岩、貝類等)均屬微量(總和小於 7%)。

而九十年度第一次採樣調查(90/06)之礦岩重量百分比分析統計表(表 5-14)，布袋港港口附近海域的礦物組成仍以石英與板岩為主；其石英含量介於 25.70%和 81.70%之間(平均 53.70%)，板岩含量介於 10.10%和 68.80%之間(平均 39.45%)，兩者合計約佔全部底質沉積物 93.15%以上；另由九十年度第二次採樣調查(90/10)之礦岩重量百分比分析統計表(表 5-15)，知其石英含量介於 23.80%和 81.70%之間(平均 52.75%)，板岩含量介於 10.10%和 68.80%之間(平均 39.45%)，兩者合計約佔全部底質沉積物 92.20%以上；其他礦物(如長石、方解石、燧石、砂岩、貝類等)均屬微量(總和小於 8%)。

而九十二年度第一次採樣調查(92/06)之礦岩重量百分比分析統計表(表 5-16)，布袋港港口附近海域的礦物組成仍以石英與板岩為主；其石英含量介於 39.62%和 76.33%之間(平均 57.98%)，板岩含量介於 12.57%和 57.51%之間(平均 35.04%)，兩者合計約佔全部底質沉積物 93.02%以上；其他礦物(如長石、方解石、燧石、砂岩、貝類等)均屬微量(總和小於 7%)；而由九十二年度第二次採樣調查(92/11)之礦岩重量百分比分析統計表(表 5-17)，知其石英含量介於 42.11%和 81.41%之間(平均 61.76%)，板岩含量介於 14.74%和 51.32%之間(平均 33.03%)，兩者合計約佔全部底質沉積物 94.79%以上；其他礦物(如長石、方解石、燧石、砂岩、貝類等)均屬微量(總和小於 6%)。

而本年度第一次採樣調查(93/04)之礦岩重量百分比分析統計表(表 5-18)，布袋港港口附近海域的礦物組成仍以石英與板岩為主；其石英含量介於 40.45%和 83.79%之間(平均 62.12%)，板岩含量介於 12.14%和 56.36%之間(平均 34.25%)，兩者合計約佔全部底質沉積物 96.37%以上；其他礦物(如長石、方解石、燧石、砂岩、貝類等)均屬微量(總和小於 5%)；九十三年度第二次採樣調查(93/09)之礦岩重量百分比分析統計表(表 5-19)，知其

石英含量介於 13.45%和 76.10%之間(平均 44.78%)，板岩含量介於 18.83%和 85.65%之間(平均 52.24%)，兩者合計約佔全部底質沉積物 97.02%以上；其他礦物(如長石、方解石、燧石、砂岩、貝類等)均屬微量(總和小於 3%)。

為了便於描繪八次採樣調查之礦岩重量百分比情況，再利用八次採樣調查之礦岩重量百分比統計表(表 5-12 至表 5-19)繪出八次採樣調查之礦岩重量百分比統計圖；八十九年度第一次採樣調查(89/01)之礦岩重量百分比分析統計如圖 5-7-1 所示，八十九年度第二次採樣調查(89/07)之礦岩重量百分比分析統計如圖 5-7-2 所示；九十年度第一次採樣調查(90/06)之礦岩重量百分比分析統計如圖 5-7-3 所示；九十年度第二次採樣調查(90/10)之礦岩重量百分比分析統計如圖 5-7-4 所示；九十二年度第一次採樣調查(92/06)之礦岩重量百分比分析統計如圖 5-7-5 所示；九十二年度第二次採樣調查(92/11)之礦岩重量百分比分析統計如圖 5-7-6 所示；而九十三年度第一次採樣調查(93/04)之礦岩重量百分比分析統計如圖 5-7-7 所示；九十三年度第二次採樣調查(93/09)之礦岩重量百分比分析統計如圖 5-7-8 所示。

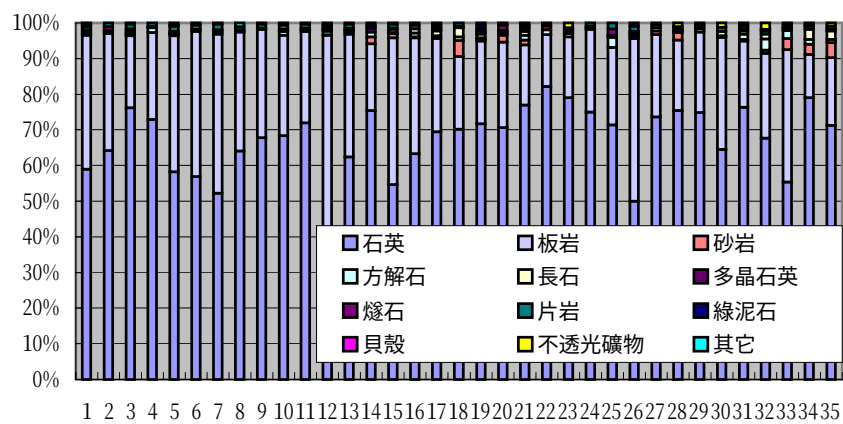


圖 5-7-1 八十九年度第一次採樣調查(89/01) 之礦岩重量百分比分析統計

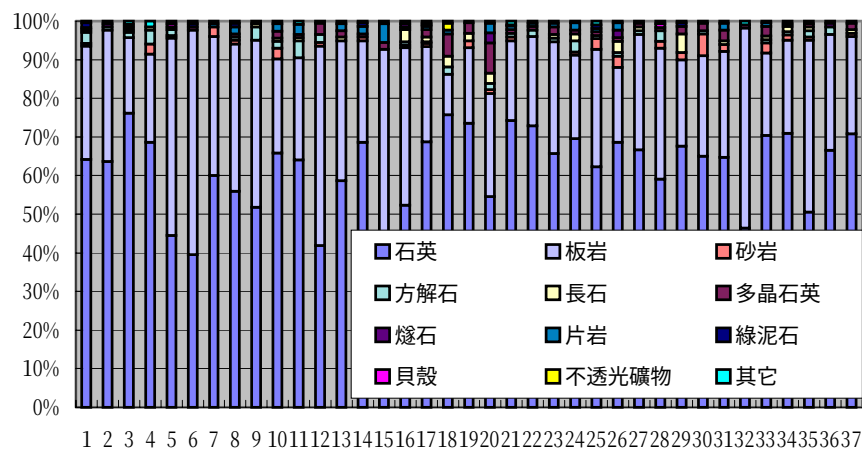


圖 5-7-2 八十九年度第二次採樣調查(89/07) 之礦岩重量百分比分析統計

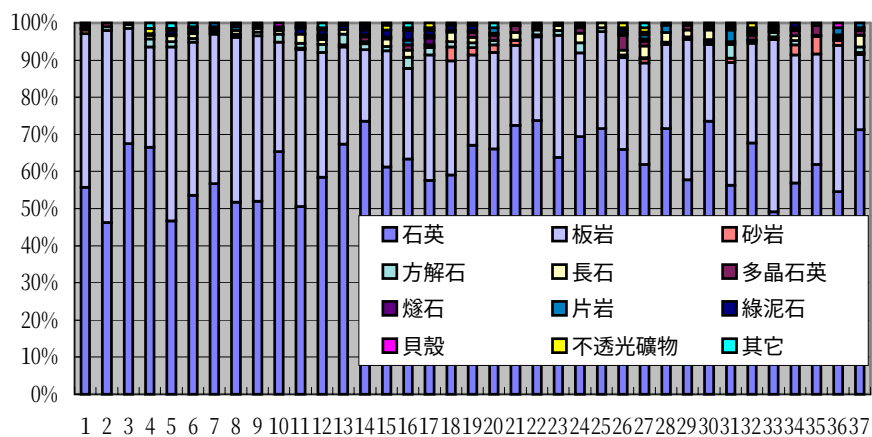


圖 5-7-3 九十年年度第一次採樣調查(90/06) 之礦岩重量百分比分析統計

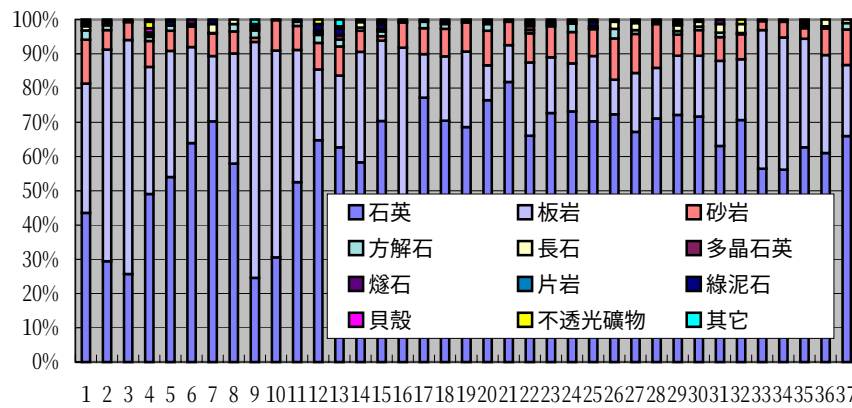


圖 5-7-4 九十年度第二次採樣調查(90/10) 之礦岩重量百分比分析統計

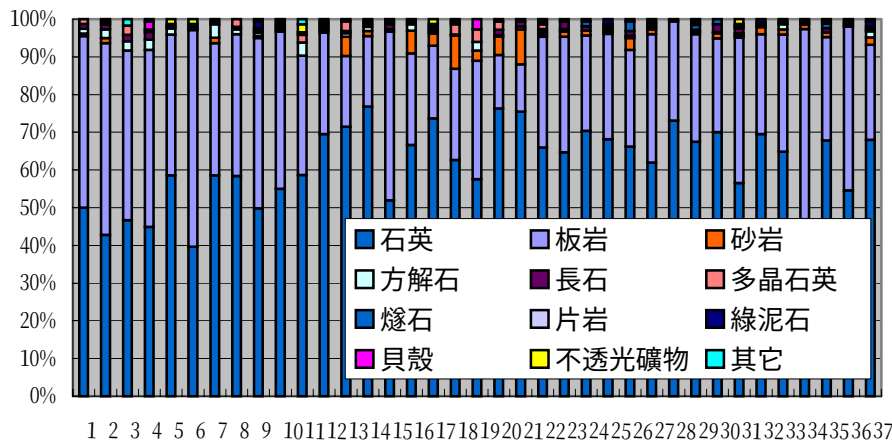


圖 5-7-5 九十二年度第一次採樣調查(92/06) 之礦岩重量百分比分析統計

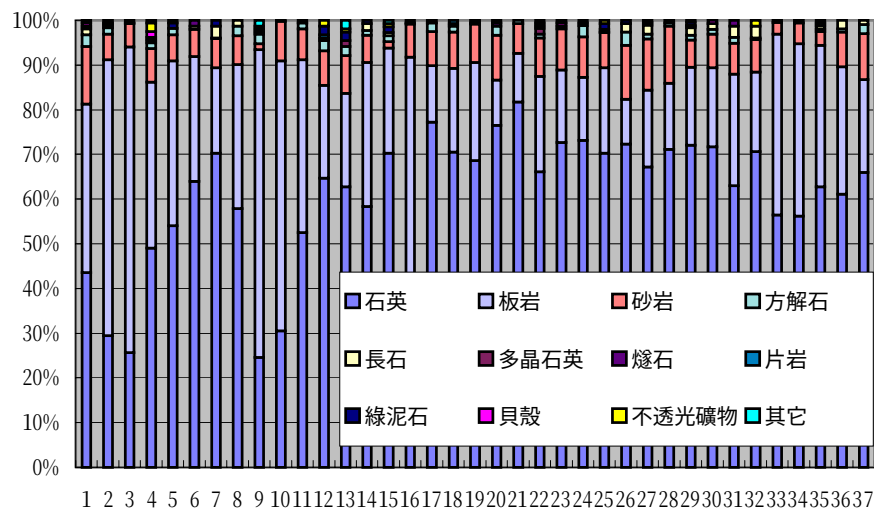


圖 5-7-6 九十二年度第二次採樣調查(92/11) 之礦岩重量百分比分析統計

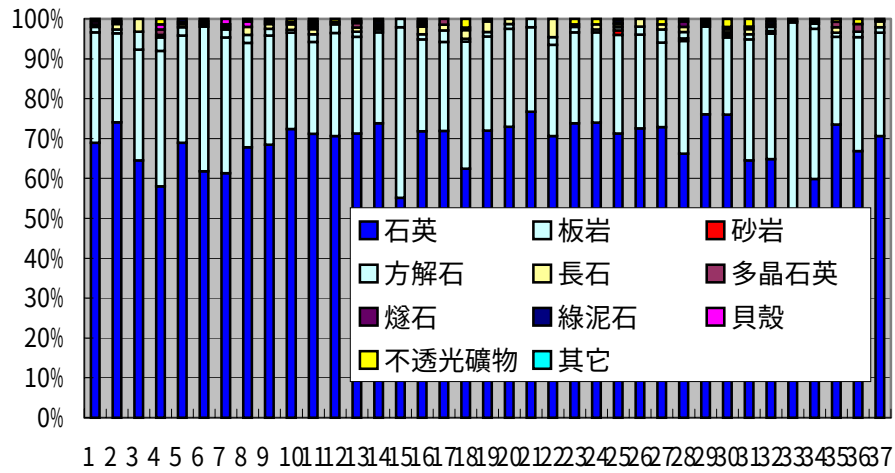


圖 5-7-7 九十三年度第一次採樣調查(93/04) 之礦岩重量百分比分析統計

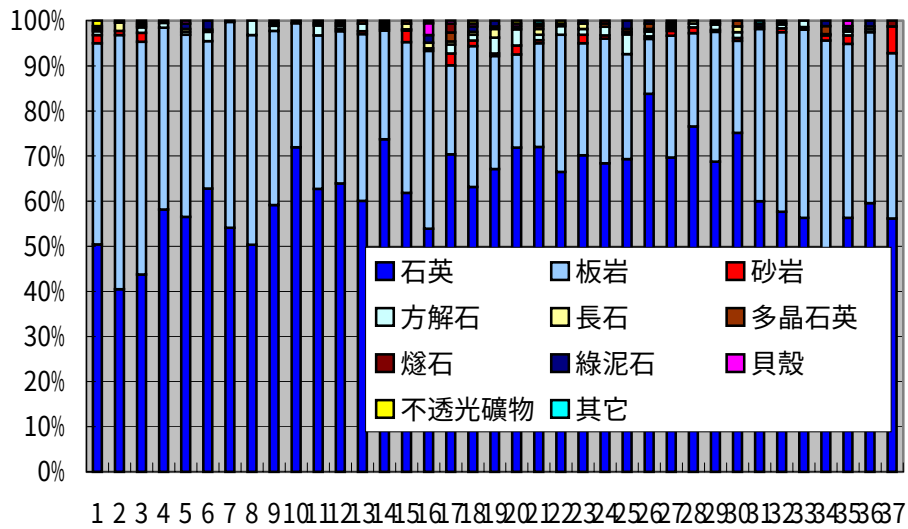


圖 5-7-8 九十三年度第二次採樣調查(93/09) 之礦岩重量百分比分析統計

經由八次採樣調查之礦物重量百分比統計圖(圖 5-7-1 至圖 5-7-8)觀知，布袋港港口附近海域因受冬、夏季季節性常年之南、北優勢方向的漲、退潮交替變化影響，其底床礦物成份已混合成為以石英與板岩為主要成分的均勻分佈。

另為了瞭解漂沙的來源及走向，觀察以上游外傘頂洲南岸(樣本 36)與下游八掌溪河口處(樣本 37)兩處採樣取得之礦岩重量百分比分佈值，發現兩處樣本與布袋港港口附近取得之 35 組樣本礦岩組成成份差異性不大，所以判定其漂沙移動方向應屬隨季節性變遷之南、北向波流交替作用，而平行海岸線移動之沿岸漂沙(littoral sand drift)。

為了瞭解布袋港港口附近海域的礦物組成平面分佈情況，本研究將八次採樣調查所得結果中的主要礦物石英與板岩兩種成份，配合二度分帶座標值與等深線值，繪製成為石英重量百分比平面分佈(如圖 5-8-1 至圖 5-8-8)，板岩重量百分比平面分佈(如圖 5-9-1 與圖 5-9-8)，藉由主要的礦物平面分佈情況，我們可以探討水深變化與主要礦物分佈間之相互關係。

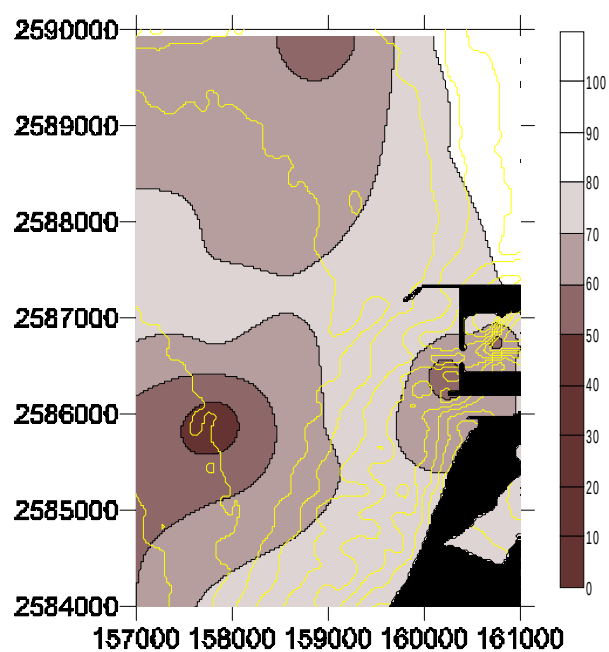


圖 5-8-1 八十九年度第一次採樣調查(89/01)石英重量百分比平面分佈

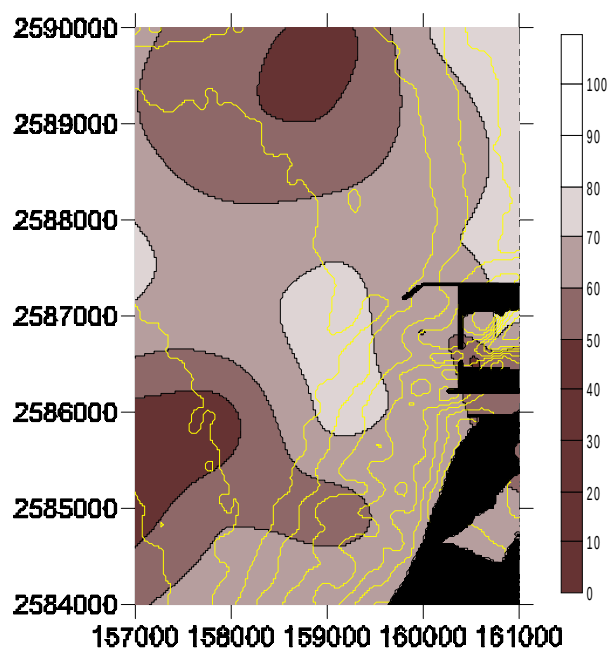


圖 5-8-2 八十九年度第二次採樣調查(89/07)石英重量百分比平面分佈

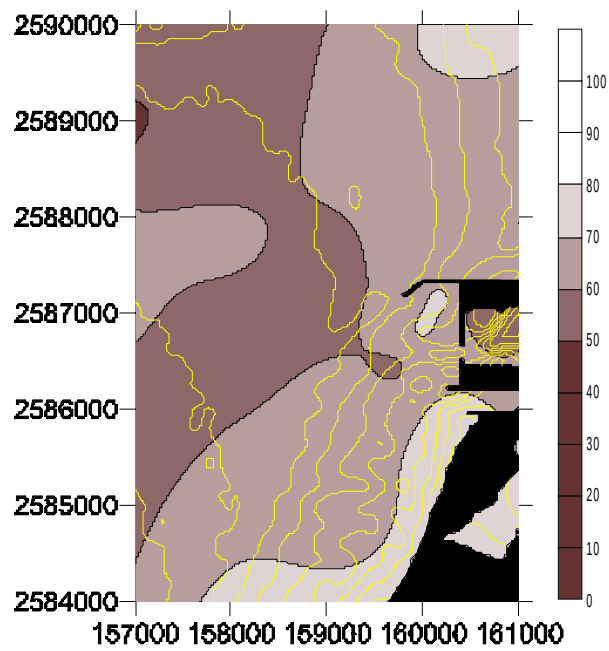


圖 5-8-3 九十年度第一次採樣調查(90/06)石英重量百分比平面分佈

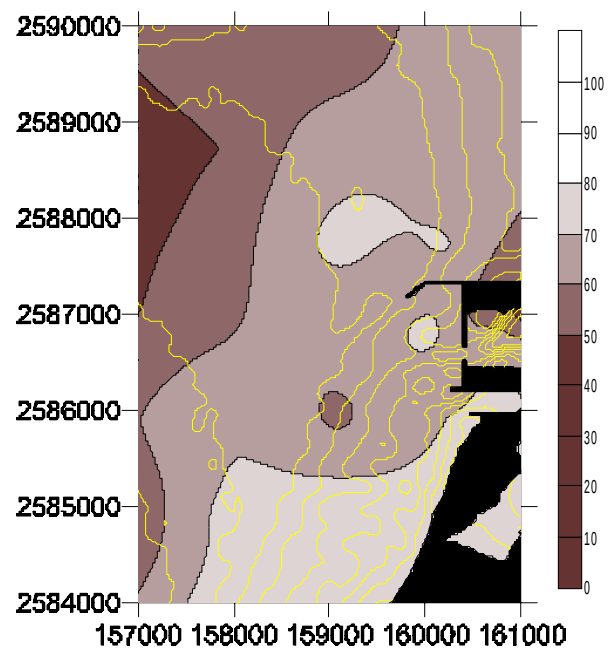


圖 5-8-4 九十年度第二次採樣調查(90/10)石英重量百分比平面分佈

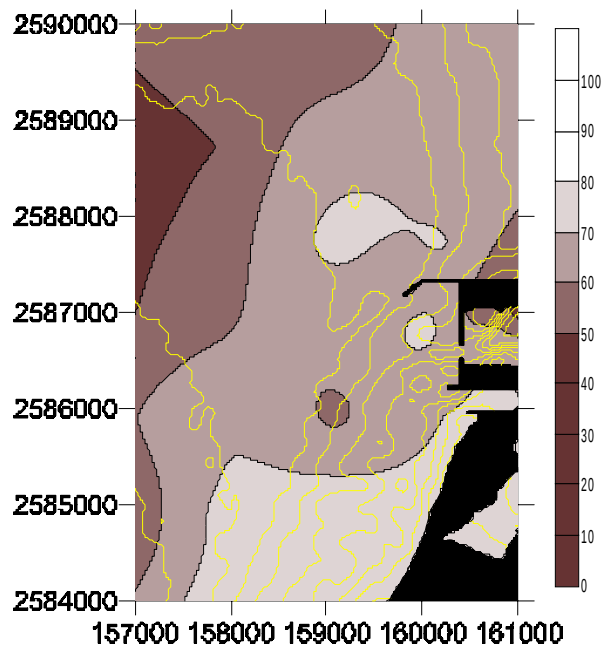


圖 5-8-5 九十二年度第一次採樣調查(92/06)石英重量百分比平面分佈

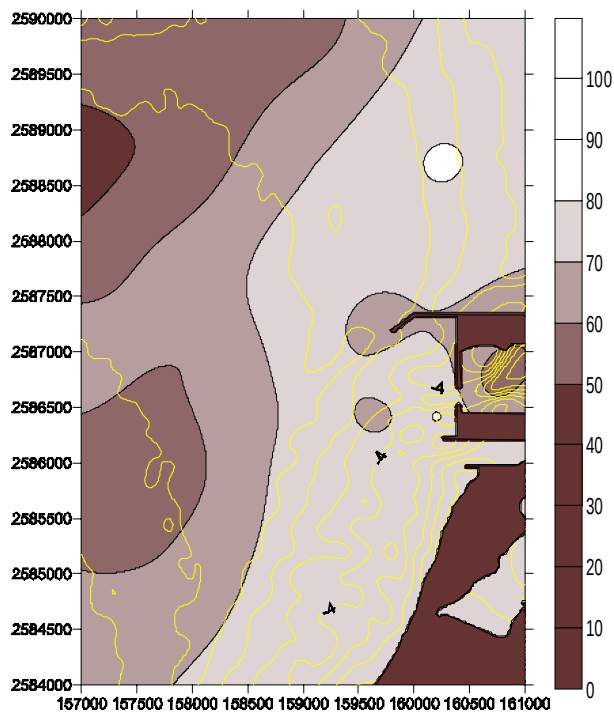


圖 5-8-6 九十二年度第二次採樣調查(92/11)石英重量百分比平面分佈

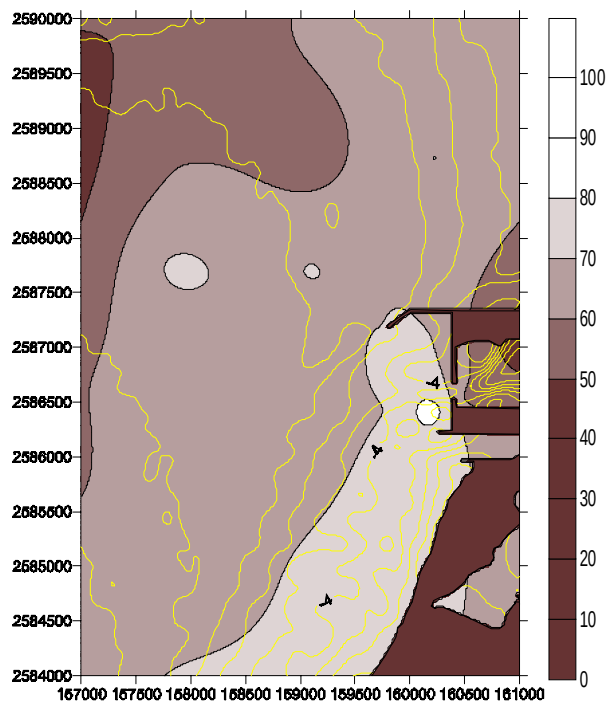


圖 5-8-7 九十三年第一次採樣調查(93/04)石英重量百分比平面分佈

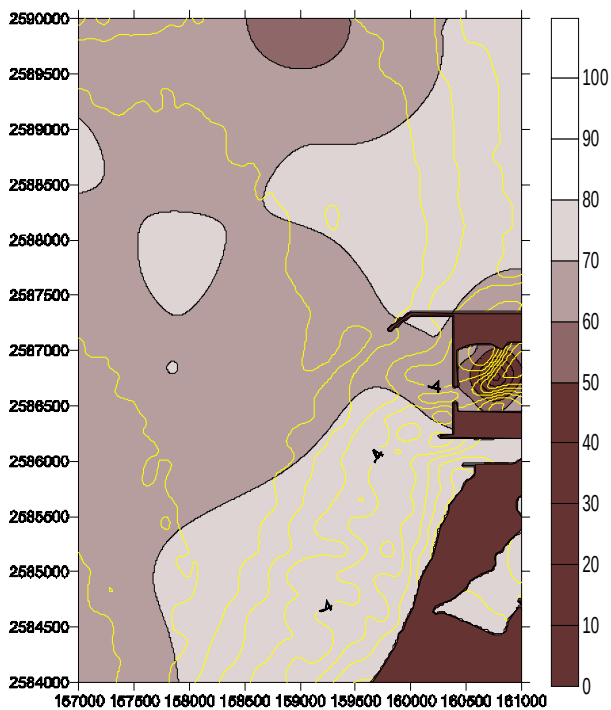


圖 5-8-8 九十三年第二次採樣調查(93/09)石英重量百分比平面分佈

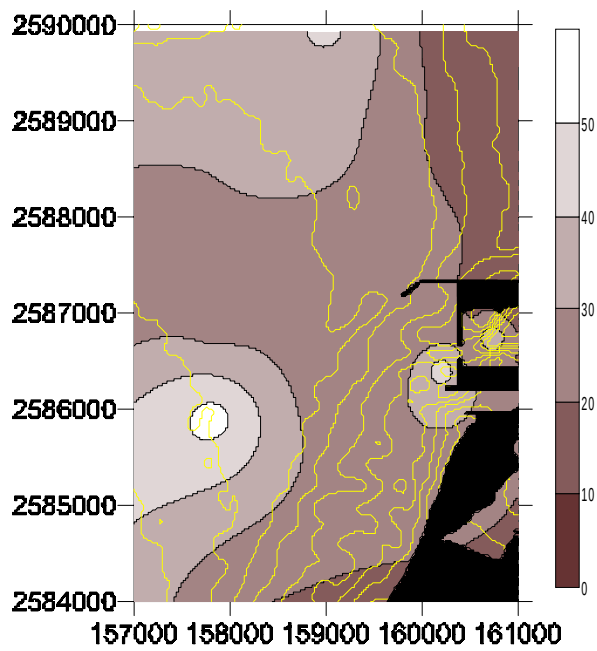


圖 5-9-1 八十九年度第一次採樣調查(89/01) 板岩重量百分比平面分佈

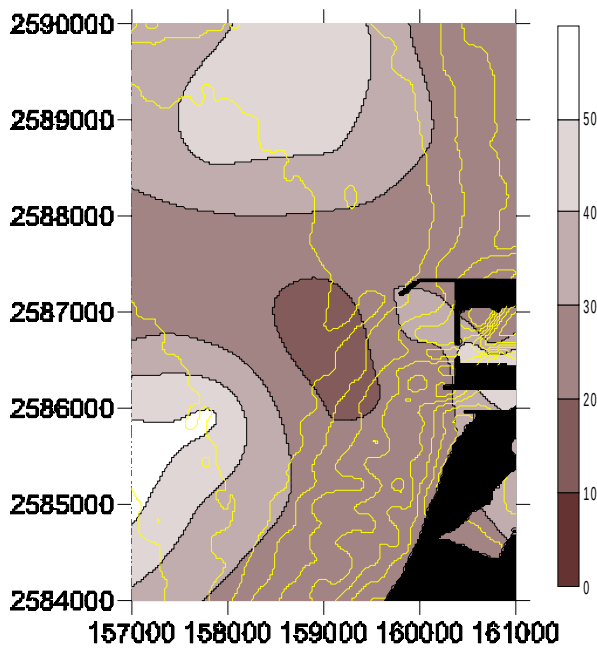


圖 5-9-2 八十九年度第二次採樣調查(89/07) 板岩重量百分比平面分佈

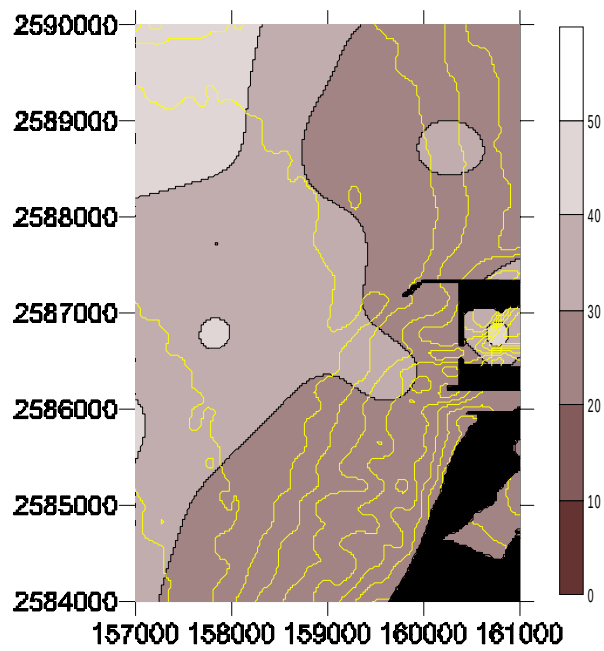


圖 5-9-3 九十年度第一次採樣調查(90/06) 板岩重量百分比平面分佈

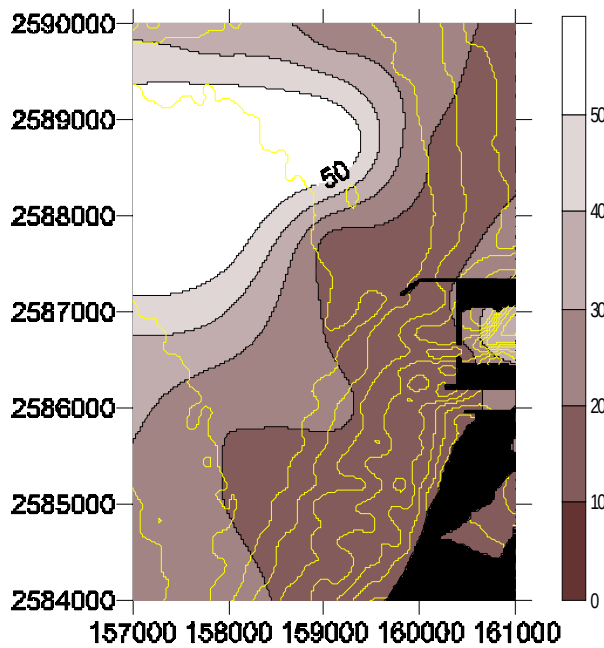


圖 5-9-4 九十年度第二次採樣調查(90/10) 板岩重量百分比平面分佈

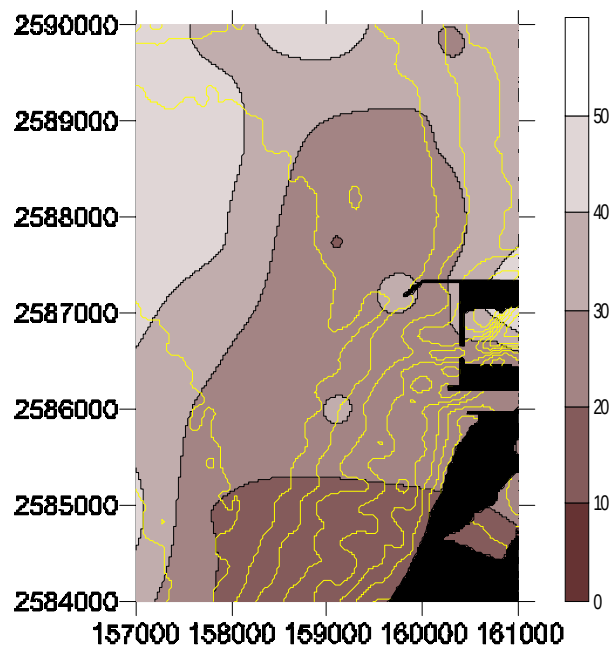


圖 5-9-5 九十二年度第一次採樣調查(92/06) 板岩重量百分比平面分佈

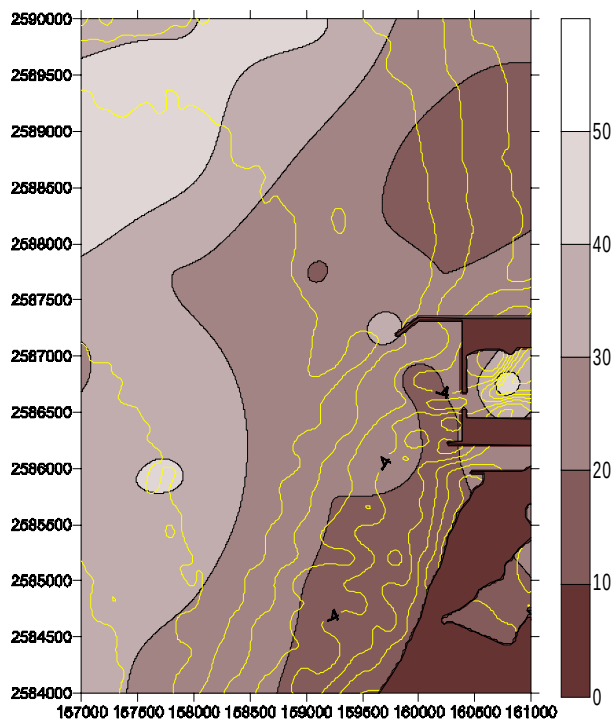


圖 5-9-6 九十二年度第二次採樣調查(92/11) 板岩重量百分比平面分佈

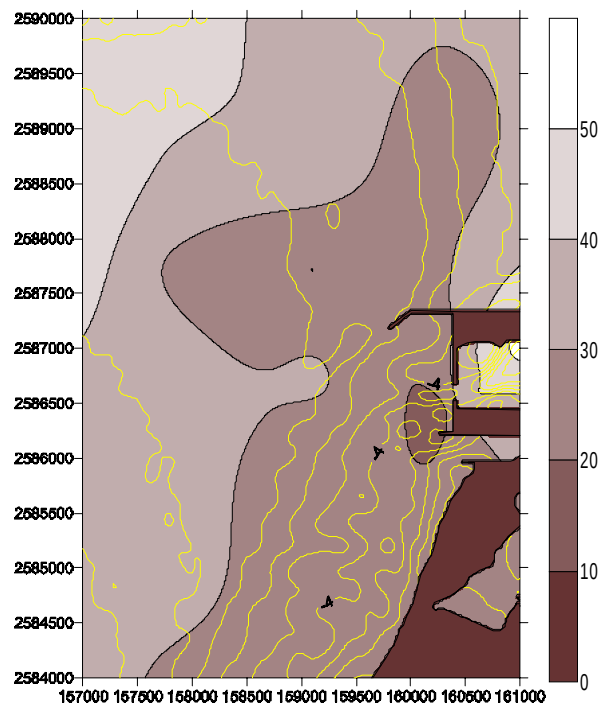


圖 5-9-7 九十三年第一次採樣調查(93/04) 板岩重量百分比平面分佈

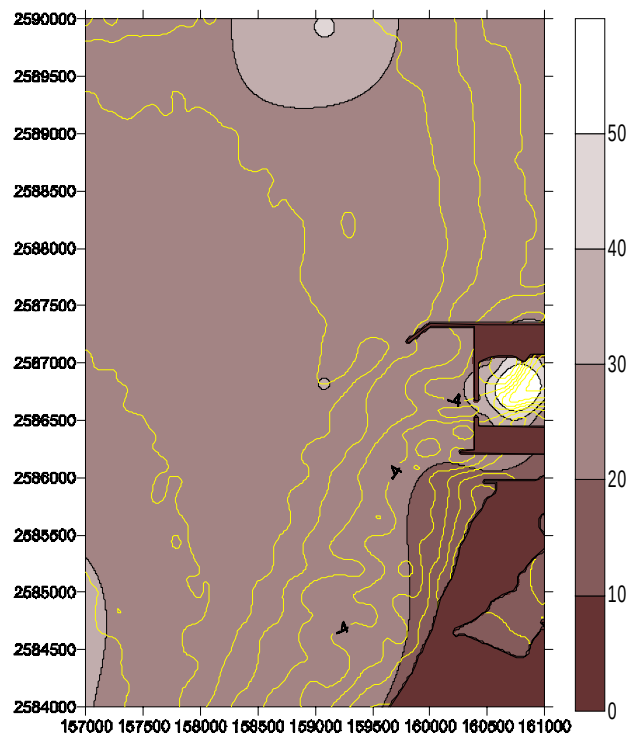


圖 5-9-8 九十三年第二次採樣調查(93/09) 板岩重量百分比平面分佈

由本調查五年度共八次採樣取得之石英及板岩兩大具代表性之礦物重量百分比平面分佈(圖 5-8-1 至圖 5-8-8 與圖 5-9-1 至圖 5-9-8)顯示, 其平面分佈情況為兩者互有消長; 其中石英重量百分比平面分佈(圖 5-8-1 至圖 5-8-8), 與同一時段調查得到的底床平均粒徑(d_m)平面分佈 (圖 5-5-1 至圖 5-5-8) 之粗粒徑平面分佈等值線相似; 而板岩重量百分比平面分佈(圖 5-9-1 至圖 5-9-8), 則與底床平均粒徑(d_m)平面分佈 (圖 5-5-1 至圖 5-5-8)之細粒徑平面分佈等值線較為相近; 研判原因可能是受波浪篩分(sorting)作用, 使得比重較輕之石英(比重 2.65)易被沖往灘線附近滯留, 而板岩等礦物(比重大於 2.80)則因比重稍重於石英, 較易沉澱於水深較深及波浪作用不到之處; 且觀其礦物重量百分比平面分佈之等值線與地形等深線值(圖 4-3 至圖 4-22)的走向趨勢相近似, 皆為東北往西南方向漸變, 故其礦物重量百分比之平面分佈情況應與水深變化有關。而其他礦岩成分則因含量比例皆較為稀少, 無法依其重量百分比來判定與漂沙來源間的關係。

第六章 結論與討論

本研究計畫全程五年，本年度為觀測之第五年，其目的主要在透過長期的調查方式，來瞭解布袋商港港口附近海域之底質及沉積物的礦物組成與粒徑分佈，再配合平面流況的追蹤與海岸地形的調查等項目，來深入探討布袋海域沿岸漂砂的來源、漂砂運動之動力機制、漂砂優勢方向及漂砂量等問題；藉由有計劃的長期觀測所得出之漂砂活動基本資料，吾人可以掌握布袋海域地形變遷之特性與預測未來可能產生的變化。而未來希望貴局能夠依據本計畫所得出之成果來持續調查，期使布袋港港區現階段的航道維護工作與海岸保育上之課題，能獲得更進一步的解決；甚至在將來的港口擴建規劃上本研究計畫所得出之數據資料能提供貴局作為重要的參考依據。

經過五年之觀測結果，本研究計畫可以獲得以下之結論：

1. 平面流況調查整個布袋港港口附近海域於夏季季節風時期以西南風為主要優勢方向；其平面流況於退潮時為沿著海岸地形等深線，隨著潮流離岸由東北(NE)向西南(SW)方向或往西(W)退去，平均流速在 0.05m/s 至 0.90m/s 之間；而漲潮時段整個平面流之流向，是隨著潮流向岸，並依地形由西南(SW)往東北(NE)方向流向外傘頂洲西南側之潟湖內，平均流速在 0.09m/s 至 0.90m/s 之間；而冬季季節風時期，東北季風為主要優勢方向，退潮時之平面流向為沿海岸地形等深線，隨著潮流向南(S)或西南(SW)方向流去，平均流速在 0.05m/s 至 1.56m/s 之間；而漲潮時因東北季風強勁，潮流與強風互逆影響，所以流向較無規律性，平均流速在 0.05m/s 至 1.87m/s 之間。
2. 港口附近水深測量結果顯示，布袋港港口附近水深變化走向為北北東(NNE)較淺愈往南南西(SSW)則漸深。就整體布袋港港口附近(計算面積為 2694750 平方公尺，水深基面-15 公尺)之土方量計算結果，可得到由 89 年 1 月之土方量 228268226 立方公尺至 93 年 9 月的土方量 215956438 立方公尺，五年期間土方量共計沖蝕了有 12311788 立方公尺，平均高差沖蝕了 0.46 公尺之多，究其原因主要是布袋港海域之漂沙隨退潮時往西南的優勢方向，沿著海岸線流出潟湖往澎湖水道而去所致；近年布袋港南面岸線興建好美里海堤及離岸堤產生養灘作用有減緩沖蝕的現象；值得注意的是東北季風與西南季風帶來之漂沙皆受到北防堤突出海岸線的阻擋，

將會聚集在布袋港口及外航道處，每當颱風波浪直襲本區時，港口及外航道之漂沙受環流影響將會流入港池及碼頭內，致使港內常於颱風過後造成大量淤沙現象。

- 3.底床粒徑採樣分析之結果，依 ASTM 分類標準定義，其平均粒徑(d_m)分類皆介於細沙至淤泥之間，但因區域不同粒徑特性卻有所差異。由不同特性指標值顯示，粗粒徑沉積物皆分佈於海岸之灘線與防波堤附近，而愈往外灘延伸或航道水深較深處則粒徑愈細；究其原因應為波浪之篩分 (sorting) 作用所致，其粒徑分佈大致與地形等深線是一致的。而布袋港港口附近海域的礦物組成仍以石英與板岩為主；石英含量介於 23.80%和 83.79%之間，板岩含量介於 10.10%和 68.80%之間，兩者合計約佔全部底質沉積物 97.02%以上；其他礦物(如長石、方解石、燧石、砂岩、貝類等)均屬微量(平均小於 3%)；另觀察外傘頂洲南岸與八掌溪河口兩處樣本與布袋港港口附近取得之 35 組樣本其成份差異性不大，因次可以判定其漂沙因受季節影響交替作用，已混合相同成分分佈。

而經本研究執行五年後探討布袋港其漂沙的主要來源如下：

依據吳 (1999) 套疊比較 1992、1996、1997 以及 1999 年外傘頂洲衛星影像中之潮位線，結果顯示外傘頂洲南段西側從 1992~1999 年間向東南方向移動 530 公尺，而東側亦往東南前進 530 公尺，平均每年 70 公尺。而其南端則往南延伸了 510 公尺，年平均亦約 70 公尺，如圖 6-1 所示。



圖 6-1 外傘頂洲之潮位線變化圖 (吳，1999)

而此岸線南移的主要原因係因波浪傳遞至沙洲末端之沙嘴處，發生折射及繞射。風吹及波浪所引發之近岸流沿著沙洲而下，在末端沙嘴處產生擴散現象，此時沿岸傳輸能力降低，導致沿岸漂沙在此沈積。加上波浪繞射作用，沙洲往下游延伸時將產生內側彎曲。若上游輸沙減少時，則沙洲將逐漸侵蝕變窄，其繫陸沙洲在波流作用下變遷示意圖如圖 6-2 所示。

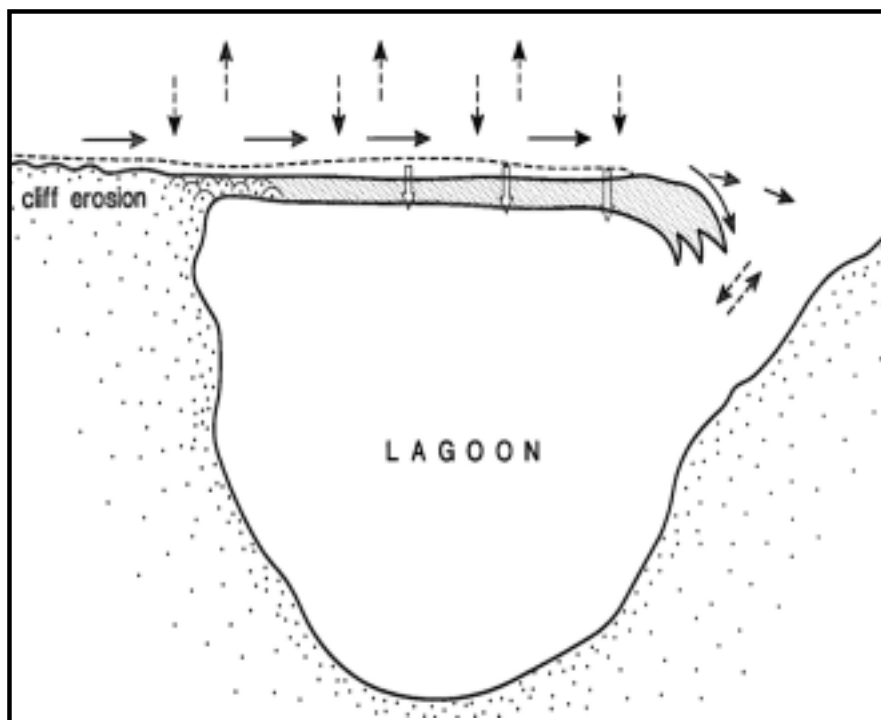


圖 6-2 繫陸沙洲在波流作用下變遷示意圖

依據繫陸沙洲在波流作用下之變遷機制，對照成大水工所(2000)水深測量實測之結果，其外傘頂洲南側地形如圖 6-3 所示；可以觀察出沿岸漂沙到達外傘頂洲末端時，因其緊鄰澎湖水道，部分漂沙將直接輸入澎湖水道中，其餘則繞過末端在波浪繞射作用下往東側潟湖運移，或持續往東南側移動。

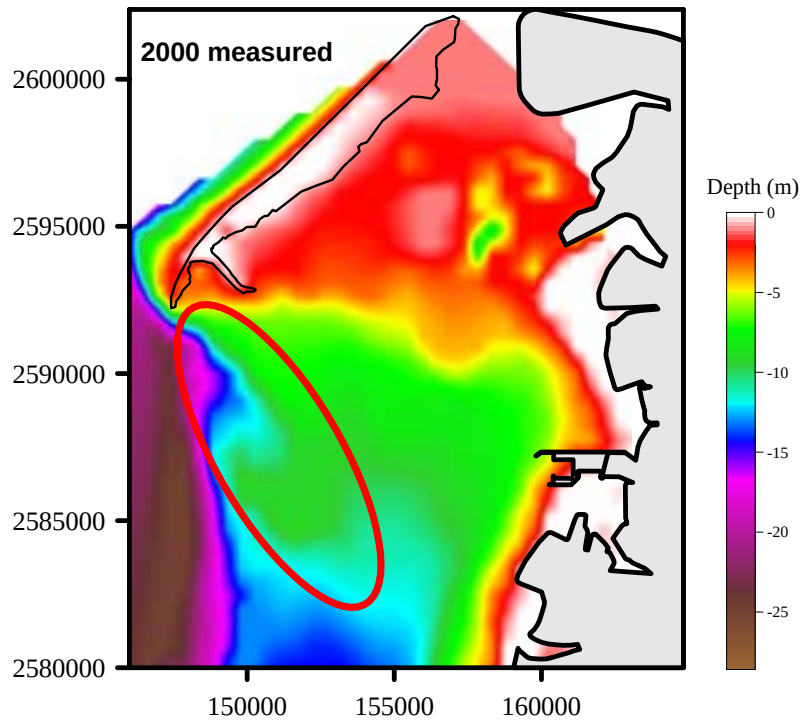


圖 6-3 外傘頂洲南側地形(成大水工所，2000)

由圖 6-3 可知，布袋港正位處於外傘頂洲之末端岸線附近，因此可以研判其主要輸沙來源應與外傘頂洲有關，且由第二章海岸變遷及圖 6-1 得知有日漸影響布袋港之趨勢。另依本研究五年來的平面流況調查得知，其季節風時期平面流況係隨著潮水漲、退變化，沿岸流沿著海岸地形等深線將漂沙離岸帶出本區海域，因此造成緩慢的侵蝕現象；但依據許等(2003)分析指出，若考慮對外傘頂洲地形影響較大之颱風波浪時，其波浪入射常以 WSW 方向入侵，其颱風流場分佈如圖 6-4 所示。

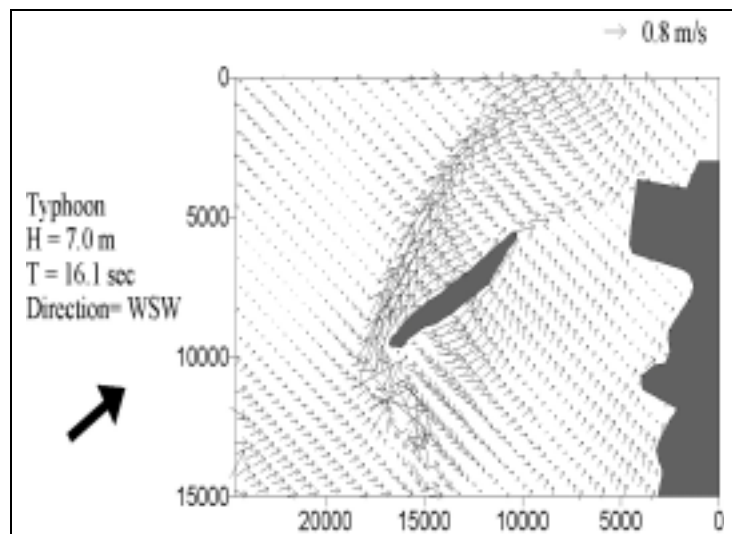


圖 6-4 颱風流場分佈 (許等人，2003)

依據颱風流場分佈得知，本區海域每遇颱風侵襲，受颱風流場影響常使得滯留於外傘頂洲南端之漂沙隨颱風流場大量湧入布袋港區，造成港口及航道甚至西北碼頭區與港口突堤附近皆有大量漂沙淤積現象，舉民國九十一年為例，納克莉（NAKRI）颱風於 91 年 7 月直襲台灣西南部，其颱風路徑如圖 6-5 所示；而依據本研究於 91 年 9 月水深測量所得出之納克莉（NAKRI）颱風過後布袋港淤積現象如圖 6-6 所示。由圖 6-6 可以顯示布袋港航道及港口附近形成嚴重淤積現象，部分航道水深甚至由 -8 公尺淤淺至 -4 公尺左右，港內北碼頭區及南防波堤附近亦有大量漂沙滯留現象；基於以上之論述可知，布袋港之淤塞問題係受外傘頂洲漂沙受季節性變化南移後再受颱風波浪作用往港池內堆積所導致。

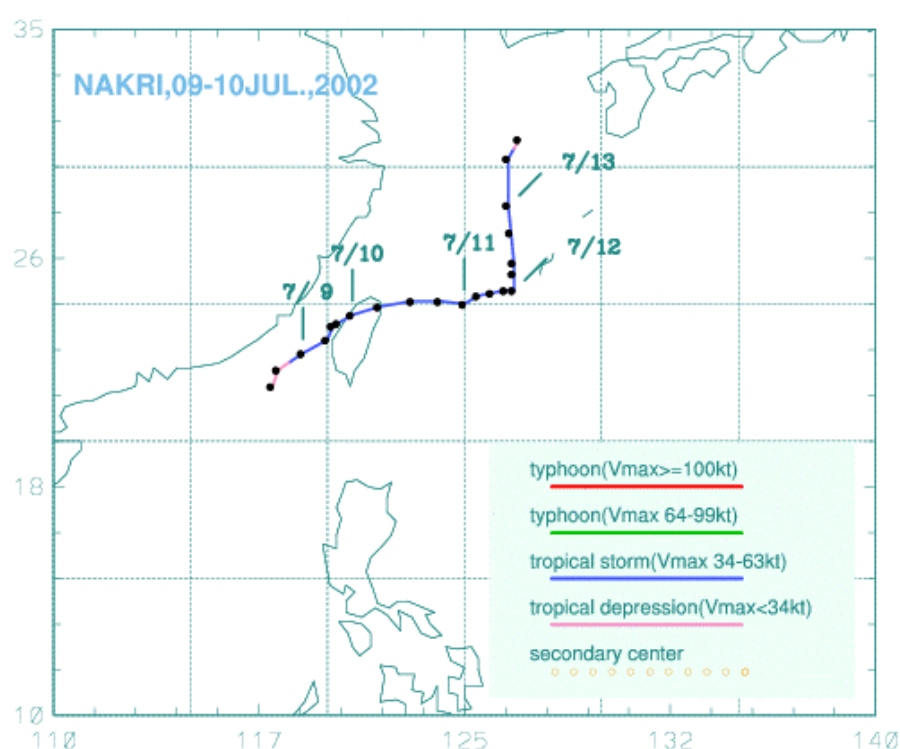


圖 6-5 納克莉 (NAKRI) 颱風路徑 (91/7/09 至 91/7/12)

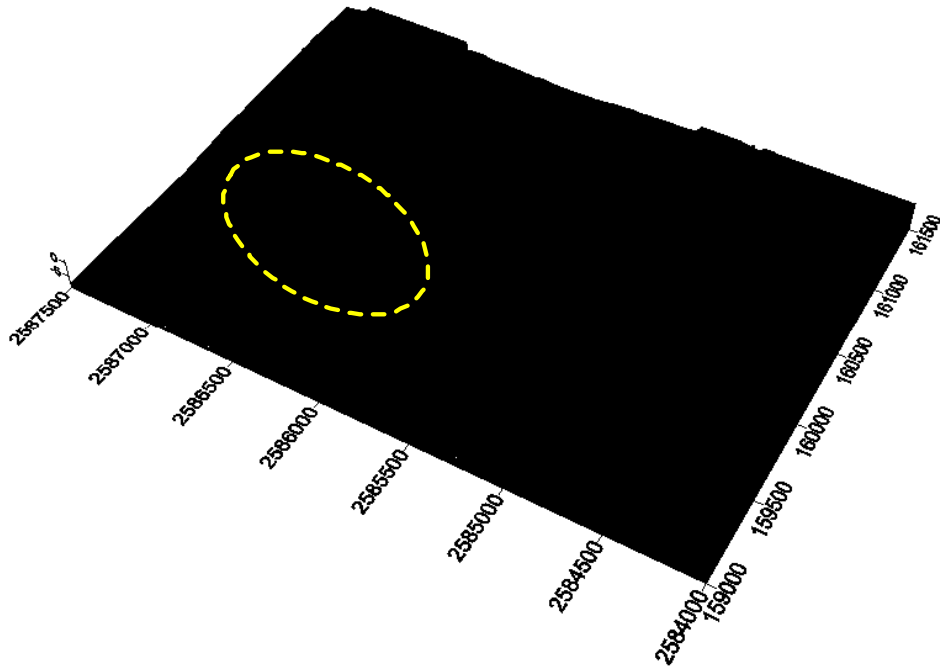


圖 6-6 納克莉(NAKRI)颱風過後布袋港淤積現象(91/09)

最後本研究基於五年現場調查期間的所見所得經驗，給予貴局以下的建議：

1. 布袋港位居外傘頂洲南側，東北季風時期該區除優勢向南的波流作用外，外傘頂洲之風沙亦受風吹入海域，為該區海域漂沙的主要沙源之一，因此建議應儘速進行外傘頂洲陸域岸線風沙調查，藉以瞭解風沙南移現象及其土方量流失情形，其對研判布袋港整體漂沙機制應該是極有幫助的。
2. 由平面流況調查之結果，我們雖可以知道布袋港海域於季節風時期之平面流況分布情況，但是對於颱風作用時之瞬時或最大流速及流向變化尚無法真確的掌握，建議貴局應於該區海域設置長期性之固定風、浪、流觀測站，藉以即時觀察與蒐集布袋港海域於颱風作用時節的海象變化；如此更可以正確與即時的來判讀該區海域的漂沙活動變化情況，藉以提供港務單位於規劃設計及航船安全維護時的重要參考依據。
3. 由港口附近水深測量結果，其港口淤積現象嚴重影響目前布袋港航船安全，且證明於現階段布袋港的港口佈置規模情況下，無法完全阻隔颱風波浪入直襲港區時所造成的劇烈漂沙活動；因此建議防波堤擴建工程能及早延伸至-8 公尺水深之外，讓港口處有足夠水深可防止因颱風波浪所引起的底床漂砂啟動，改善港口淤塞現象，而受防波堤延伸後之南北海岸線變化，則可以建議以動床水工模型試驗結果修正之。

參考文獻

1. 湯麟武(1981),”港灣及海域工程”,中華土木水利工程學會專書.
2. 侯和雄(1983),”海岸、港灣規劃與設計”,臺灣省政府交通處港灣技術研究所專刊第九號.
3. 林銘崇(1985),”外傘頂洲地形變化之研究”,土木水利季刊第十二卷第三期.
4. 侯和雄(1985),”布袋港波浪分析與漂沙量研究”,嘉義縣政府.
5. 黃清和 林柏青(1991),”台灣西海岸沖淤調查研究(一)”,臺灣省政府交通處港灣技術研究所基本研究報告(研五).
6. 黃清和 林柏青(1992),”台灣西海岸沖淤調查研究(二)”,臺灣省政府交通處港灣技術研究所基本研究報告(研五).
7. Chien-Kee Chang, Fu-Tung Chang (1994), "Investigation of current and particle velocity near the surf zone", INTERNATIONAL CONFERENCE ON HYDRO-TECHNICAL ENGINEERING FOR PORT AND HARBOR.
8. 張金機,張富東,曾相茂(1994), "碎波帶附近流況調查研究",第十六屆海洋工程研討會.
9. 張富東、廖慶堂(1995),”布袋港客貨碼頭擴建水工模型試驗研究”,嘉義縣政府.
10. 吳啟南(1999),”由遙測影像看外傘頂洲五十年來的變化”
11. 賴聖耀,張富東(2000),”布袋港漂沙及地層下陷觀測研究 I”,高雄港務局.
12. 賴聖耀,張富東(2001),”布袋港漂沙及地層下陷觀測研究 II”,高雄港務局.
13. 國立成功大學水工試驗所(2001),”雲林縣離島式基礎工業區整體開發

規劃調查分析”

14. 賴聖耀,張富東(2002),”布袋港漂沙及地層下陷觀測研究III”,高雄港務局.
15. 賴聖耀,張富東(2003),”布袋港漂沙及地層下陷觀測研究IV”,高雄港務局.
16. 林宏仁,許泰文,曾以帆(2004),”外傘頂洲海岸變遷機制之研究”,第二十五屆海洋工程研討會.

附錄 A

漂沙現場觀測計畫

期末報告審查意見及處理情形

漂沙現場觀測計畫

期末報告審查意見及處理情形

審查單位	審查意見	處理情形
中山大學海洋科學院 陳陽益院長	1.東北季風之風浪帶走外傘頂洲(由外傘頂洲變小及向南移得知)之海面砂向西南(隨退潮)漂去。而西南季風之風浪(雖較少)會把八掌溪流出之沙向東北帶(隨漲潮)。 2.由第一點得知東北季風與西南季風帶來之砂都會聚集在布袋港口外海處(約 5~8 米水深處),當颱風(沿地形由西南向東北)大風浪大海潮來時,又因布袋港北堤較突出外海而阻檔漂沙向東北漂去。因而被阻在港口外之砂受潮流之環流影響再流入港口淤塞。	見解精闢與本研究計畫之流況調查結果不謀而合。 此論述為布袋港港池與航道淤積之主要原因,建議港務局港口擴建至-8 水深處,港口有足夠水深可防止因颱風波浪所引起的底床漂砂啟動,改善港口淤塞現象。
中山大學海洋工程系李賢華教授	漂砂子計畫結論可更明確並條列之建議參照,分析相關在本區域之研究,以加強本研究之可信度及說服力。	已於正式報告書遵照辦理。
中興大學土木工程研究所 林炳森教授	1.觀測結果應依本計畫條件、地點,說明海域地形變遷之特性,以供港口擴建規劃之參考。 2. P.2-6 圖 2-3 缺 1900 年海岸變遷線。 3.P4-8~P4-29(圖 4-3~圖 4-32)橫座標未標示單位。	已於正式報告書補述說明。 1900 年海岸變遷線為淡黃色,正式報告書以彩色印刷可以改善。 水深測量成果圖,通用座標皆以二度分帶座標表示,為使圖說放大不再予以標示較佳。

	4.P4-23 圖 4-33 與 P4-24 圖 4-34 不同時段標示不清楚。 5.P5-14 中粒徑分佈統計表，缺 91 年資料。 6.P5-32 礫岩重量百分比表，缺 91 年資料。	正式報告書以彩色印刷可以改善。 因預算未編列，91 年未辦理觀測。 因預算未編列，91 年未辦理觀測。。
中山大學海洋物理研究所 陳冠宇教授	(因事缺席)	
雲林科技大學營建工程系 葛德治教授	(無建議事項)	
成功大學土木工程系陳景文教授	921 地震堰塞湖導致河川沖入海域之砂源短少，造成外傘頂洲海岸之侵蝕，而海岸侵蝕之砂量是否造成布袋海域由北而南之漂砂，應予考量。	外傘頂洲海岸侵蝕由 1900 持續至今(見第二章 2.9 節海岸變遷)，應與 921 地震堰塞湖導致河川沖入海域之砂源短少近因較無直接關係。
高港局工務組楊組長	本「布袋港漂沙與地層下陷觀測研究計畫」係本局委由港研中心代為執行之 5 年計畫，並於今(93)年全部結束，執行期間所設置之監測站，建請移交港研中心繼續監測與維護，並逐年更新監測資料以提供相關單位參考。	建請本所港研中心編列預算繼續辦理。
布袋港游副處長	布袋港是否完成建設南北防波堤即可防止港內及航道淤積，請港研中心能提出更明確之補充建議，以供解決目前亞泥營運及未來建港問題。	已於正式報告結論中提出建議。
高港局勞安環保組蔡淑慧小姐	請港研中心提供相關研究資料佐證，以釐清外傘頂洲之消失及好美寮保護區並非布袋港之開發所影響，以利布袋港 94 年度之二階環評。	已於正式報告結論中提出說明。
高港局工務組張科長	可否煩請港研中心印製布袋港研究計畫五年來之成果摘要本，以供本局參考。	遵照辦理。