

MOTC-IOT-IHMT-GE8902

布袋港漂沙及地層下陷觀測研究計畫

著者：賴聖耀、張富東、邱永芳、謝明志、李延恭、陳圭璋、
蘇吉立、陳志芳

交通部高雄港務局委託

交通部
運輸研究所 臺灣技術研究中心 辦理

中華民國八十九年九月

交通部運輸研究所港灣技術研究中心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			
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號 009254890132	港灣技術研究中心出版品編號 MOTC-IOT-IHMT-GE8902	
委託研究單位：高雄港務局 主管：楊義忠 主辦人員：張國明、潘仁鴻、 王昱權 聯絡電話：07-5622480 傳真號碼：07-5322182	本中心主辦單位：大地、海岸工程組 計畫主持人：賴聖耀、張富東 研究人員：邱永芳、謝明志、李延恭、 陳圭璋、蘇吉立、陳志芳 聯絡電話：04-6564216 轉 420	研究期間 自 88 年 9 月 至 89 年 9 月	
關鍵詞：地層下陷、地下水壓、漂沙			
摘要： 布袋港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，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，故進行本計畫，以提供港區工程及港航安全之參考。本計畫分為兩個子計畫，第一子計畫為地層下陷現場觀測計畫，第二子計畫為漂沙現場監測計畫。			
出版日期	頁數	工本費	本 出 版 品 取 得 方 式
89 年 9 月	308	500	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本中心免費贈閱；私人及私營機關團體可按工本費價購。
機密等級： ☐限閱 ☐密 ☐機密 ☐極機密 ☐絕對機密 （解密【限】條件：☐ 年 月 日解密，☐公布後解密，☐附件抽存後解密， ☐工作完成或會議終了時解密，☐另行檢討後辦理解密） ☐普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部運輸研究所之意見。			

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

TITLE: The Investigation of Ground Subsidence and Sediment Transport at the Pudai Harbor Area			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 009254890132	IHMT SERIAL NUMBER MOTC-IOT-IHMT-GE8902	
DIVISION: Kaohsiung Harbor Bureau DIVISION CHIEF: Y.C.Young ADMINISTRATION STAFF: K.M.Chang, Z.H.Peng, L.C.Wang PHONE: 07-5622480 FAX: 07-5322182		PROJECT PERIOD FROM: Sep.1999 TO: Sep.2000	
RESEARCH AGENCY: Geotechnical Engineering Division & Coastal Engineering Division PRINCIPAL INVESTIGATOR: S.Y.Lai, F.T.Chang PROJECT STAFF: U.F.Chiu, M.J.Hsieh, Y.K.Lee, K.C.Chen, G.L.Su, J.F.Chen ADDRESS: No.2, Chung-Heng 10 th Rd., Wuchi, Taichung 435, Taiwan PHONE: 04-6564216			
KEY WORDS: ground subsidence, ground water pressure, littoral drift.			
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 Sep.2000	NUMBER OF PAGES 308	PRICE 500	CLASSIFICATION ☐ SECRET ☐ CONFIDENTIAL ☐ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Institute of Transportation.			

布袋港漂沙及地層下陷觀測研究計畫

全程計畫:自 88 年 9 月至 93 年 12 月

本年度計畫:自 88 年 9 月至 89 年 9 月

第一子計畫:地層下陷現場觀測計畫

計畫主持人:賴 聖 耀 副研究員兼組長

共同主持人:謝 明 志 副研究員

協同主持人:李 延 恭 研 究 員

研 究 人 員:陳圭璋、蘇吉立、陳志芳

交通部高雄港務局委託

交 通 部
運輸研究所 港灣技術研究中心 辦理

中華民國八十九年九月



壹、布袋港地層下陷現場觀測研究

目 錄

摘要	I
第一章 前言	1
第二章 布袋港地質概況及相關資料分析	3
第三章 港灣地區地層下陷行為與分析方法	11
第四章 地質調查與液化潛能分析	23
第五章 監測系統安裝與量測結果分析	73
第六章 布袋港區地表沉陷水準測量	101
第七章 結論與建議	117
參考文獻	119
附錄 A：布袋商港區 CPT 試驗	A-1
附錄 B：期中報告審查意見及處理情形	B-1
附錄 C：期末報告審查意見及處理情形	C-1

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)，擬於布袋商港區內，設立 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，並以電子錐貫入試驗 (CPT) 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地層下陷潛能，並繪製區域性地層下陷潛能分佈圖。

對於地質調查之 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，本計畫亦將果金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。

第一年度(89 年度)擬先於布袋商港區設置 1 孔約 300m 分層沉陷監測井，並於港區適當位置設置 10 個水準基點，以為檢較全區域性地層下陷情形之依據。為確保高程檢測之準確性，並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，然後進行港區地表之水準測量，以瞭解港區之沉陷變化。

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。

本研究中心曾於布袋海埔地設立一孔 200m 之沉陷監測井，由監測結果顯示，布袋港一年之沉陷量約為 4-5 公分，其中百分之五十之沉陷在 140~200m 處發生；由於布袋港區之沉陷較大且較深，為維護港區工程及各樣設施之安

全，有必要設立更多孔且更深之沉陷監測井以茲比較，並以地層下陷水準測量，每年定期施測港區之水準，以瞭解港區之沉陷變化，以對布袋港之地層下陷更深入瞭解。因此本計劃針對布袋港，進行港灣地質調查及下陷行為探討分析，並進行長期監測及定期施測水準測量，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. 商港區地質調查

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。

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：

- (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) 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。
- (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。



圖 2-1 布袋港地理位置

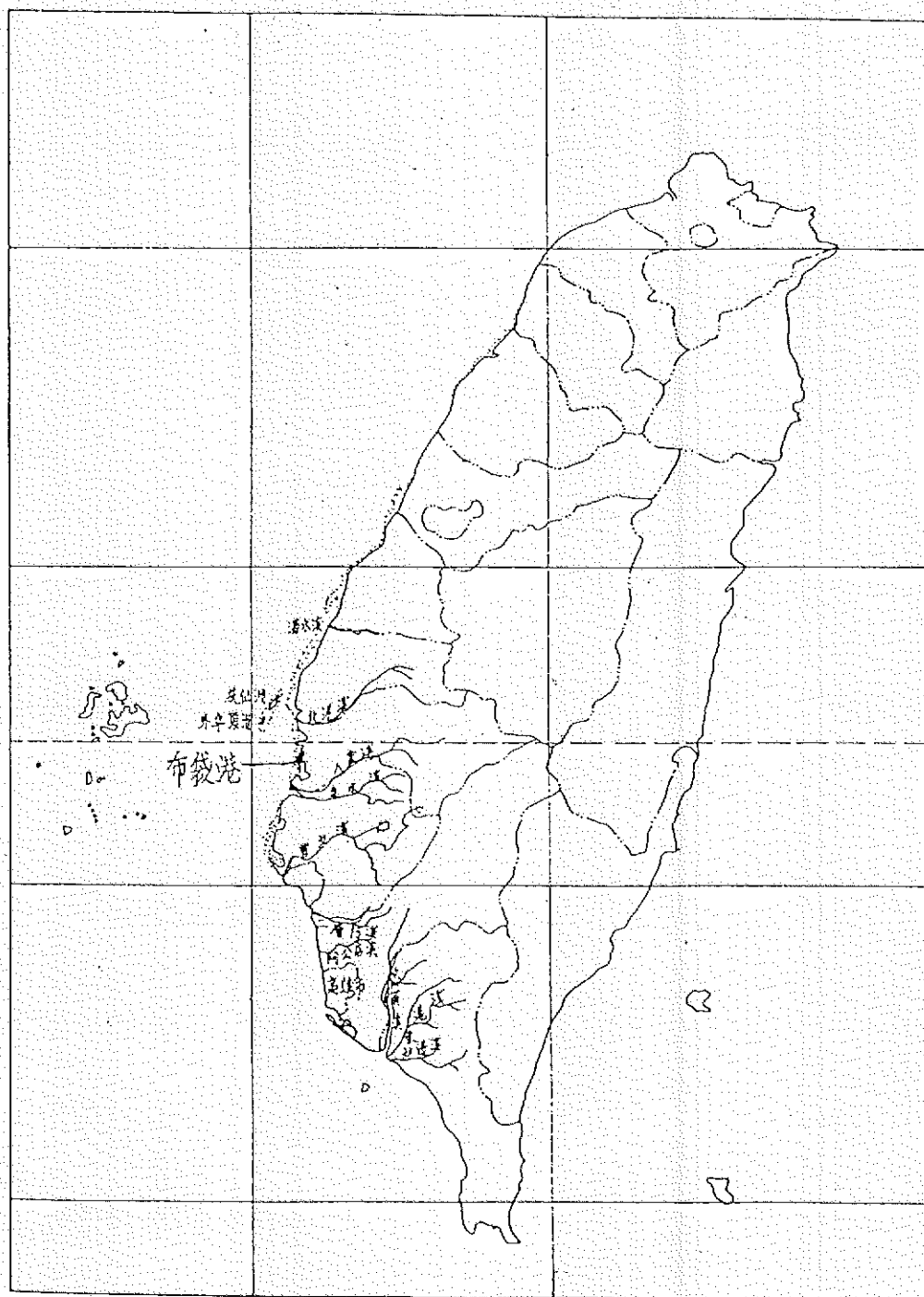


圖 2-2 台灣西海岸地形圖

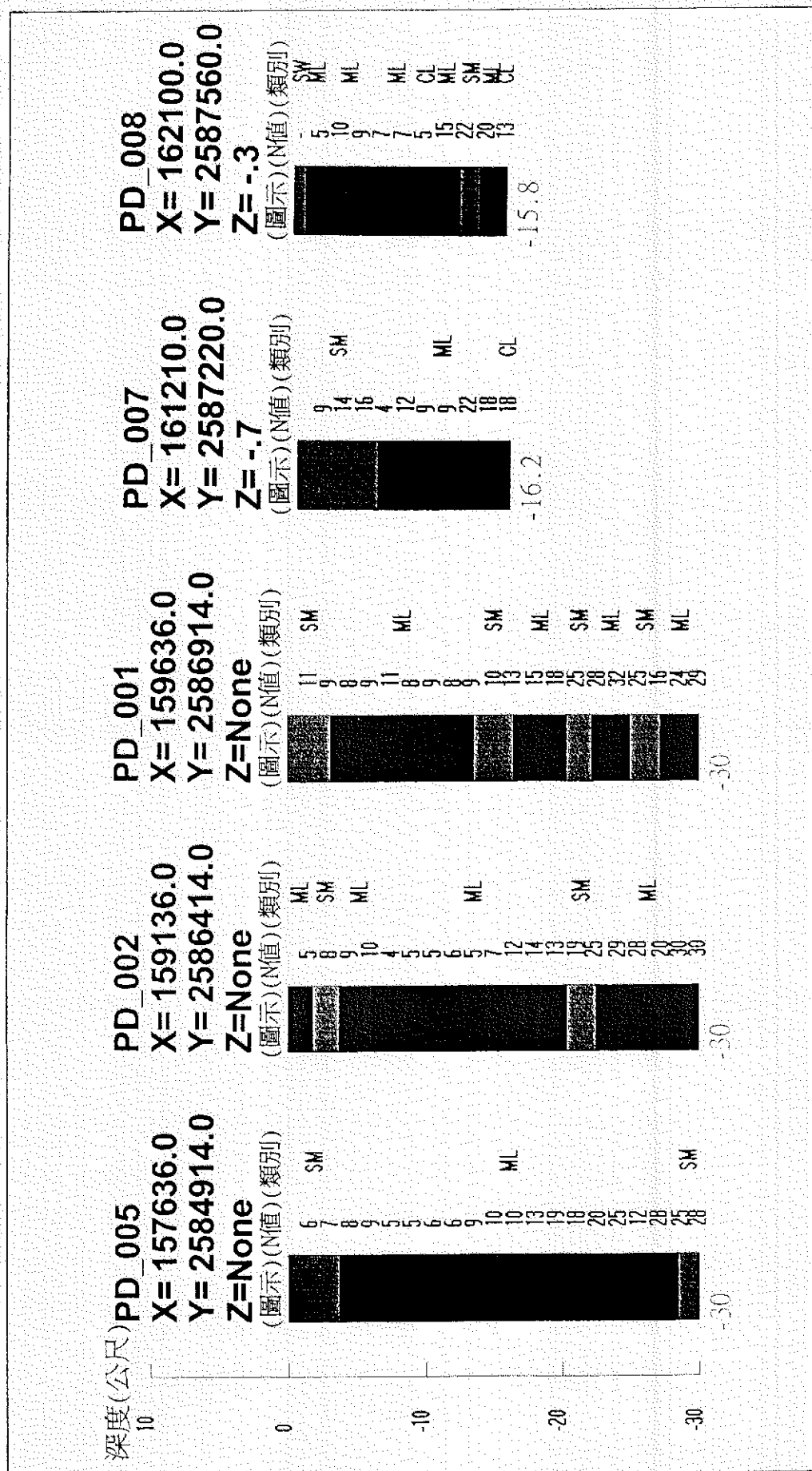


圖 2-3 布袋港區地層柱狀圖 (一)

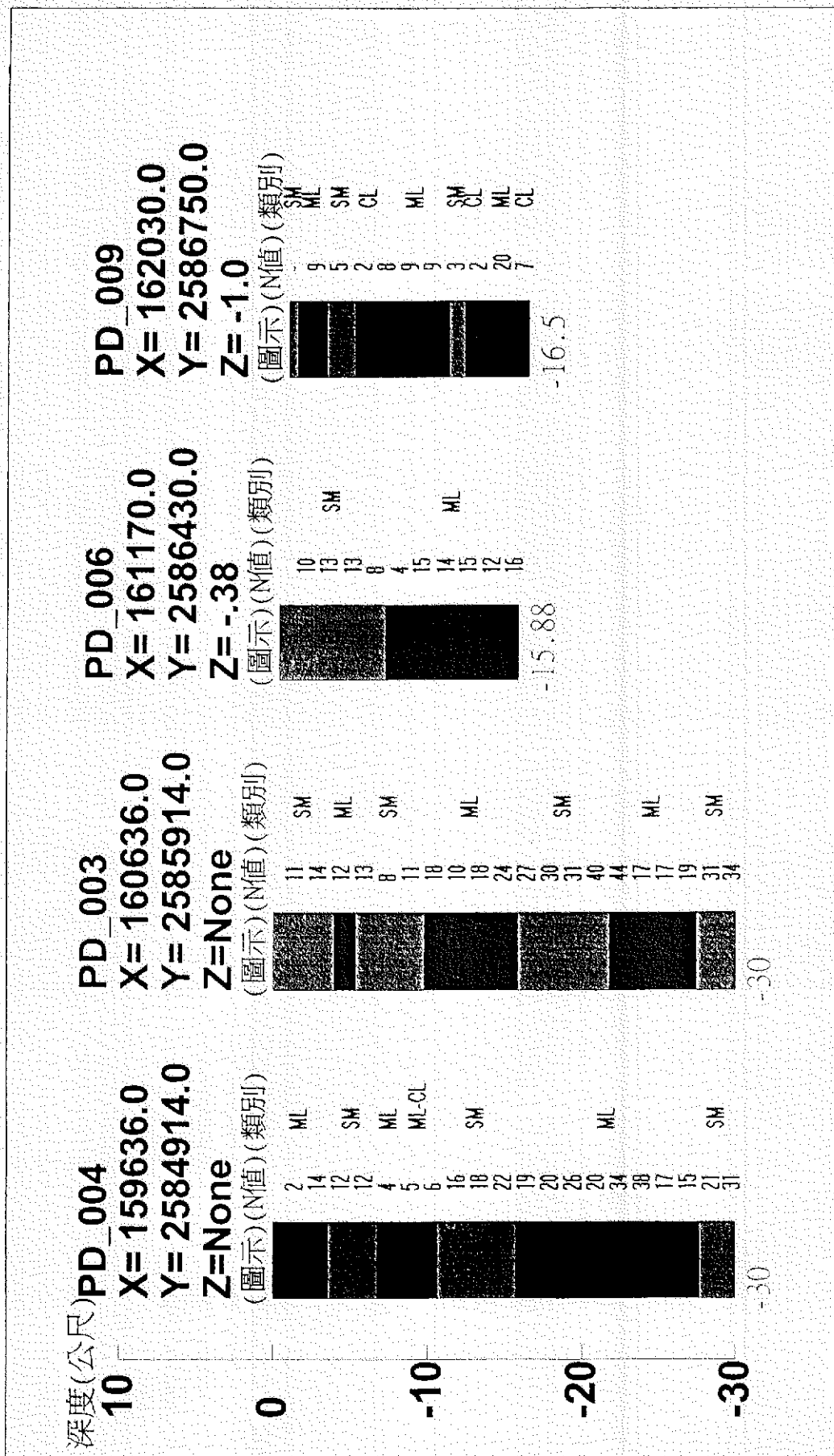


圖 2-4 布袋港區地層柱狀圖(二)

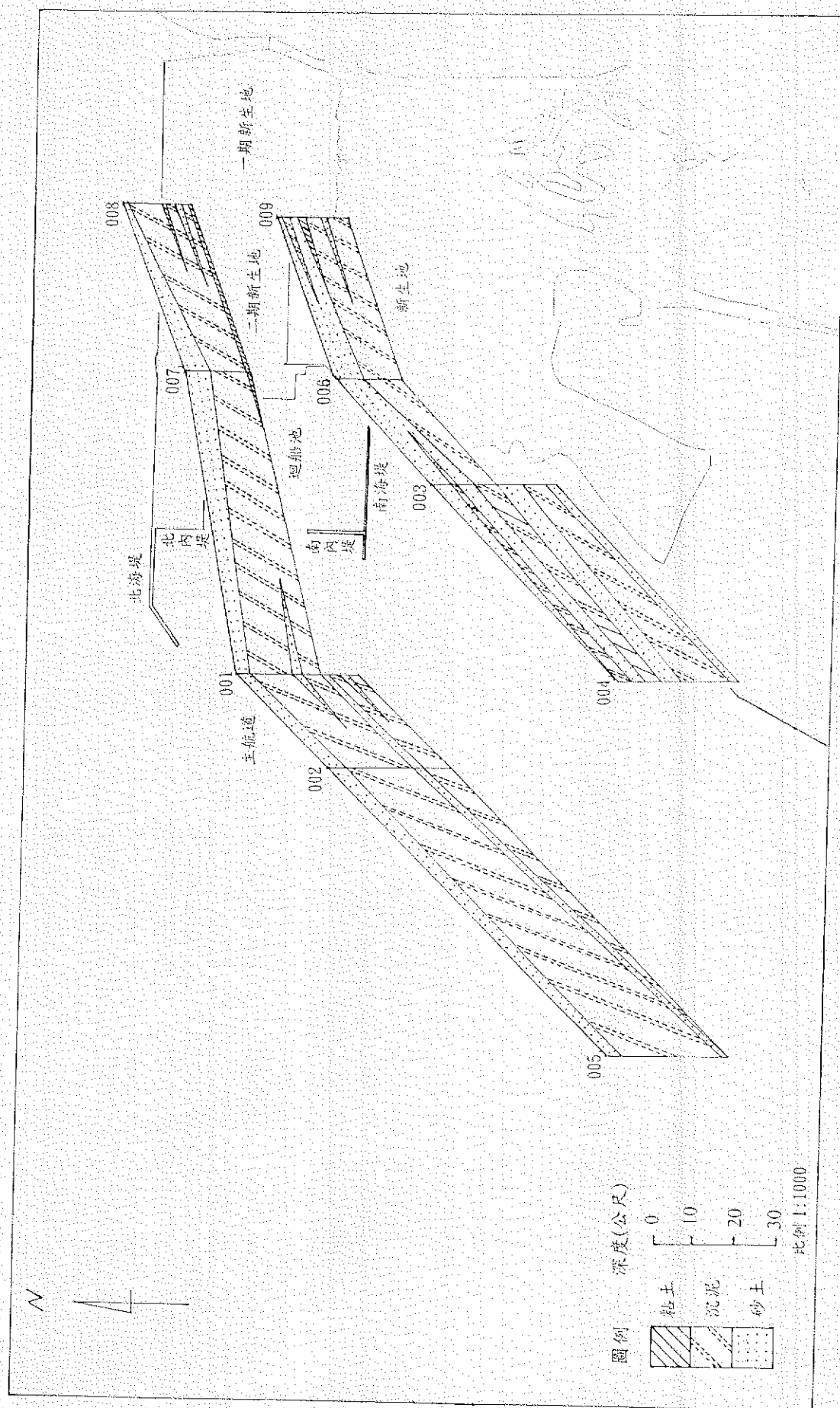


圖 2-5 布袋港區地層柵狀圖

2.3 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，而最近三年 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。

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

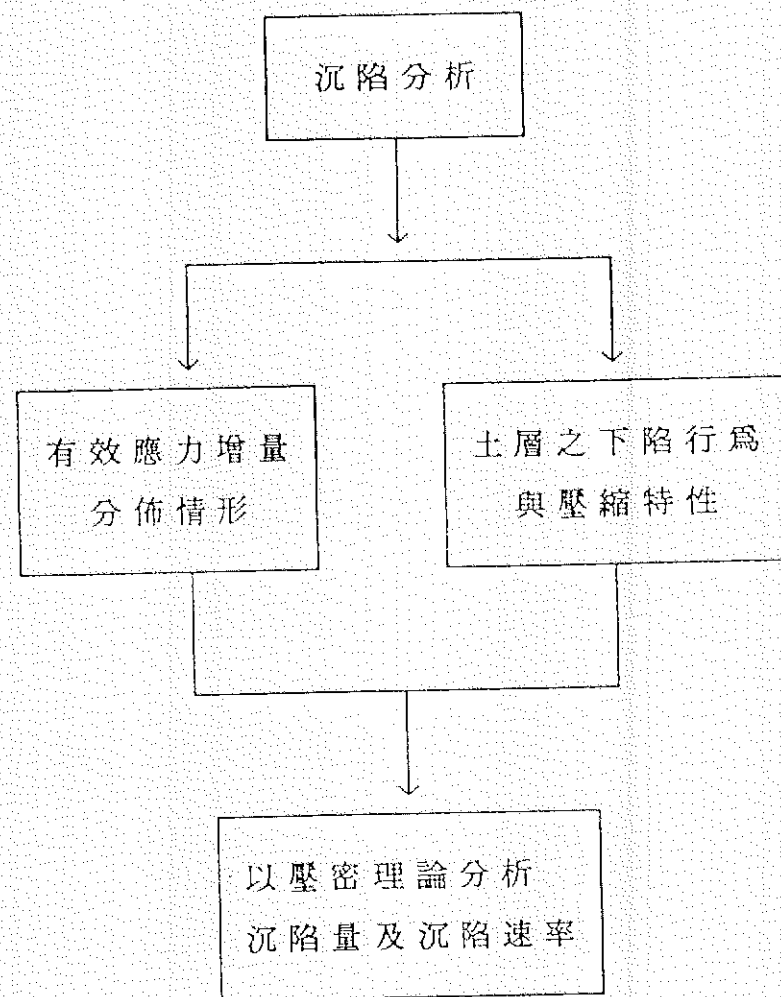


圖 3-1 沉陷分析之流程圖

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。

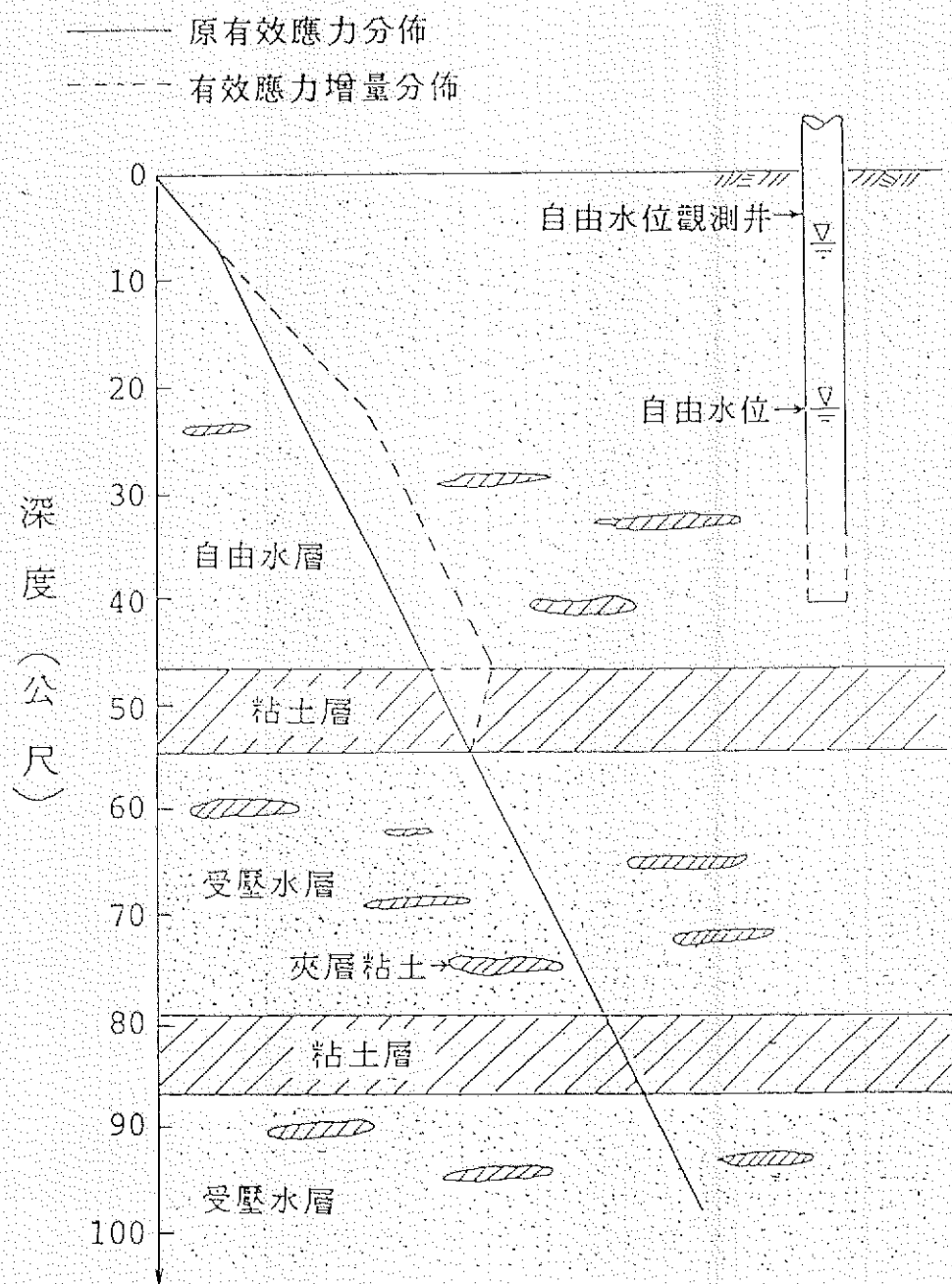


圖 3-2 自由水位下降引致之有效應力增量分佈

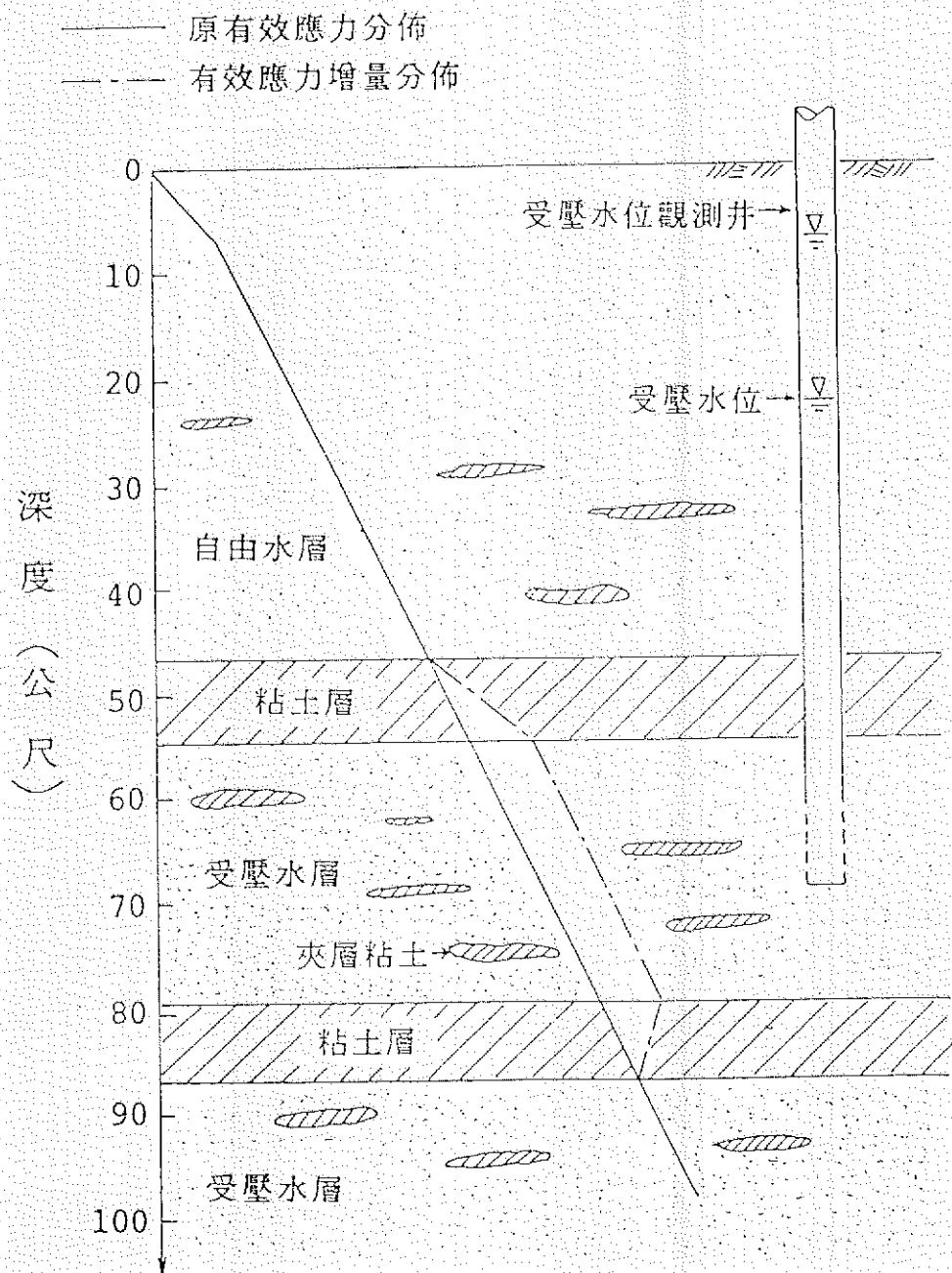


圖 3-3 受壓水位下降引致之有效應力增量分佈

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。

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

地層下陷分析方法，一般可分為二種，即：(1)理論分析法(2)統計經驗法，茲分述如下：

3.3.1 理論分析法

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 Fourler 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

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

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:

$$\begin{aligned} 2\eta G \frac{\partial^2 S_z}{\partial z^2} - \frac{\partial p}{\partial z} &= 0, \\ -k \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 S_z}{\partial z \partial t} + n\beta \frac{\partial p}{\partial t} &= 0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(3-8)$$

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:

$$S_z = \frac{4P_0H}{\pi^2 \eta G} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \times \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{(2n+1)\pi}{2H_d} \right)^2 C_v t \right] \right\} \quad \dots\dots\dots(3-9)$$

式中, 壓密係數 $C_v = \frac{k}{\left(n\beta + \frac{1}{2\eta G} \right)}$, H_d 為排水路徑長, 若為單向排水 $H_d = H$, 若為雙向排水 $H_d = H/2$

3.3.2 統計經驗法

本文之統計經驗法, 主要是針對超抽地下水所引致地層下陷之分析方法, 茲分五種方法說明如下:

1. 下陷與時間之關係

此法假設下陷量為一時間函數, 而不考慮下陷原因, 乃根據原始資料所形成之自然曲線加以判斷; 常用之函數有一次函數、二次函數、對數函數及指數

函數等，假設 S 為下陷量， X 為時間， a, b, c ，為常數：

$$(1) \text{一次函數 } S=aX+b \dots\dots\dots(3-10)$$

$$(2) \text{二次函數 } S=aX^2+bX+c \dots\dots\dots(3-11)$$

$$(3) \text{對數函數 } \log S=\log a+ b \log X \dots\dots\dots(3-12)$$

$$(4) \text{指數函數 } S=aX^b \dots\dots\dots(3-13)$$

此法最為簡單，但因未考慮土壤壓縮特性，最不準確。

2. 下陷與地下水位之關係

此法係假設下陷速率與地下水位變化成正比，Wadachi(1940)提出其關係式如下所示：

$$\frac{ds}{dt} = K(P_o - P) \dots\dots\dots(3-14)$$

式中， $\frac{ds}{dt}$ 為下陷速率， P_o 為參考水位， P 為地下水位， K 為常數。之後 Yamoguchi(1969)根據上式理論，修改為下式：

$$\frac{ds}{dt} = KS \left\{ (P_o - P)t - \frac{dp}{dt} \right\} \exp \left\{ -K(P_o - P)t \right\} \dots\dots\dots(3-15)$$

式中， $\frac{ds}{dt}$ 為下陷速率， S 為最後下陷量， P_o 則為起始水位， P 仍為地下水位， t 為時間， K 為常數。

3. 下陷與抽水量之關係

Yamamoto(1984)由 Niigata 天然氣之抽取中觀察指出，地層下陷與流體抽取量有相當之關係，其關係式如下：

$$S=aQ+b \dots\dots\dots(3-16)$$

或

$$S=a\sqrt{Q} +b \dots\dots\dots(3-17)$$

式中， Q 為流體抽出量， a 、 b 為常數。

4. 下陷與含水層厚度之關係

此法是假設下陷量除以水頭降($S/\Delta P$)與有效應力變化量除以受壓含水層厚度($\Delta\sigma'_{vo}/H_p$)成正比關係。

5. 下陷與粘土含量之關係

Gabrysch(1969)提出下陷量與水頭降之比值($S/\Delta P$)與受壓含水層粘土含量百分比成正比關係。

第四章 地質調查與液化潛能分析

4.1 布袋商港區地質調查

為了解布袋港區內地質分佈情形及建立該港完整地質資料，本中心遂針對該港之內港區進行荷氏錐貫入試驗（CPT）地質調查工作，並研判該區土層特性進而分析液化潛能。

4.1.1 調查位置與深度

本次調查位置為布袋港區，沿著北堤防方向分別設置兩線鑽孔區，兩線間距為 140m，每線均佈 4 個試驗孔，孔距為 60m，共計 8 孔（其中編號 H1-1 孔數值不正確，未予分析，如圖 4-1 所示）。各孔試驗深度均為 30m，其中表層回填砂石級配約 0.6m~1m 不等深度。

4.1.2 土層之研判

根據 CPT 所獲的資料,如附錄 A 所示,可以研判土層之層次變化及各層次之工程性能，除了錐端阻抗 q_c 值在 $0\sim0.5\text{kg/cm}^2$ 可確定為軟弱粘土外，一般均同時考慮錐端阻抗 q_c 值、摩擦阻抗 f_s 值及孔隙水壓 P_w 值，並以 R_f 摩擦比（ $R_f = \frac{f_s}{q_c} \times 100\%$ ）及孔隙水壓 P_w 值來配合研判土層分類及特性（如圖 4-2），以下就各試驗斷面土層分佈情形分述如次：

- (1) A—A 斷面：距北堤岸約 50 公尺，表層回填砂石級配約 0.8 公尺~1 公尺，地表下-1m~-6m， q_c 值介於 $20\sim80\text{kg/cm}^2$ 之間，屬疏鬆至中等緊密度夾雜鬆軟之中細砂層，-6m~-18m， q_c 值於 $40\sim100\text{kg/cm}^2$ 左右，為中等緊密不均勻之粉土質細砂夾薄層粘土，-18m~-30m 處， q_c 值在 $10\sim60\text{kg/cm}^2$ 之間，為鬆軟粉土層，（如圖 4-3、4-4）。
- (2) B—B 斷面：距北堤岸約 190 公尺，表層回填砂石級配約 0.6 公尺~1 公尺，地表下-1m~-5m， q_c 值於 $30\sim90\text{kg/cm}^2$ ，屬疏鬆至中等緊密度夾雜鬆軟之中細砂層，-5m~-17m， q_c 值 $100\sim230\text{kg/cm}^2$ 為中等緊密至緊密之粉土質細砂，-17m~-22m 為緊密粉土層夾薄層粘土，-22m~-30m， q_c 值 $30\sim100\text{kg/cm}^2$ 左右，為中等緊密度粉土質細砂夾粉土層，（如圖 4-5、4-6）。

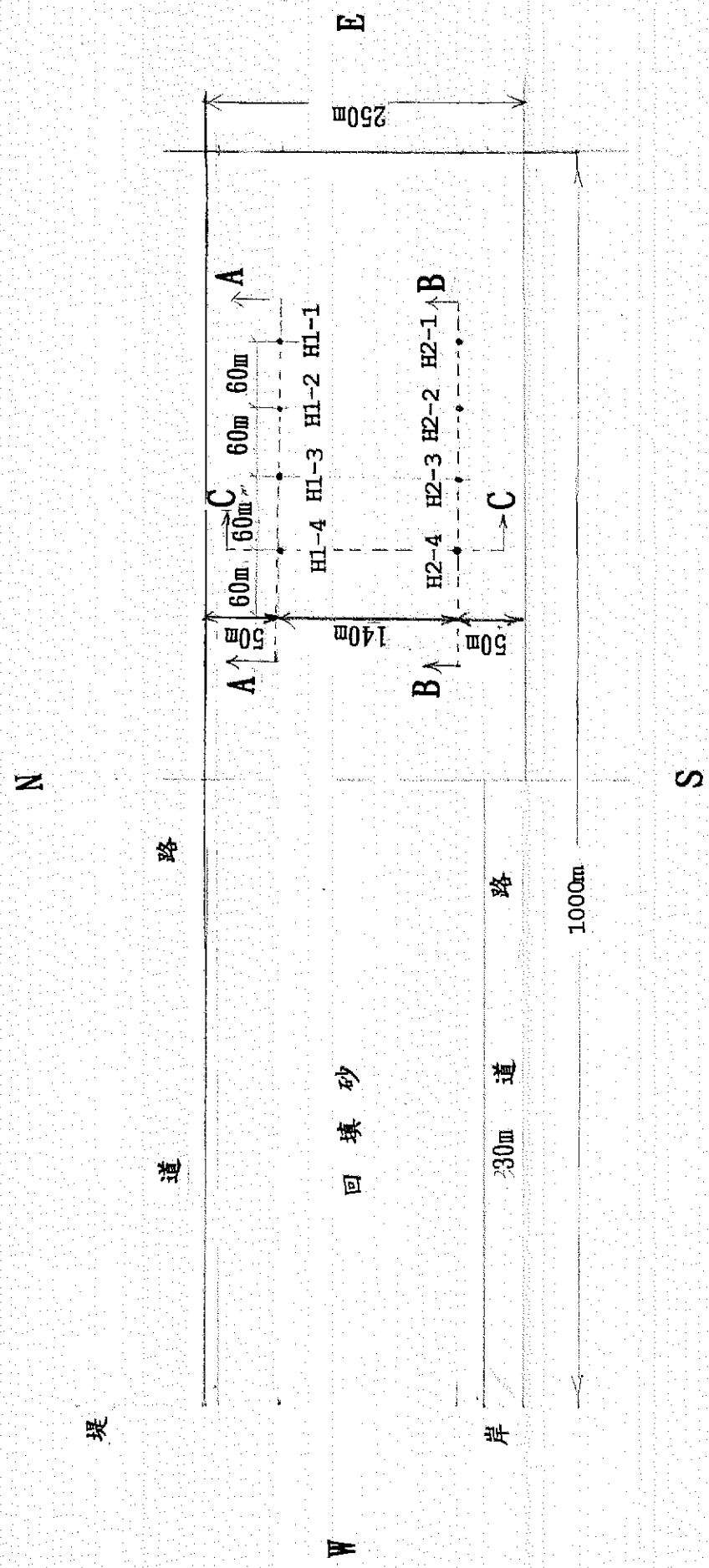


圖 4-1 布袋港區 CPT 平面圖

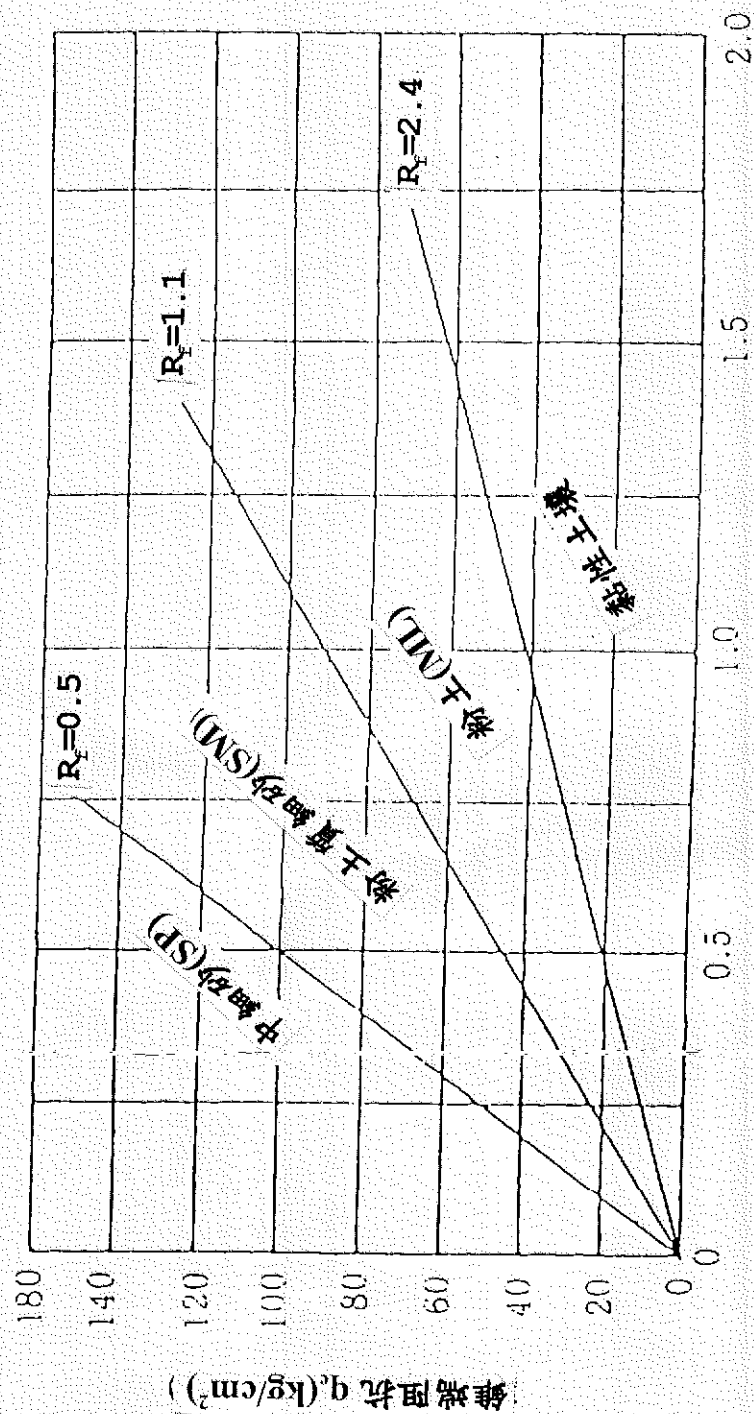


圖 4-2 以電子錐建立之台灣西部土層之土壤分類圖
(取自港研所 1984)

H1-4 H1-3 H1-2 H1-1

回填砂石級配

EL(M)

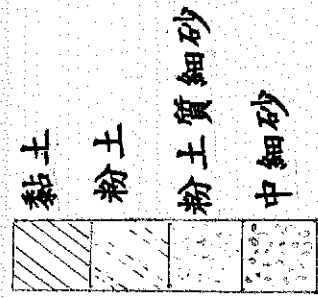
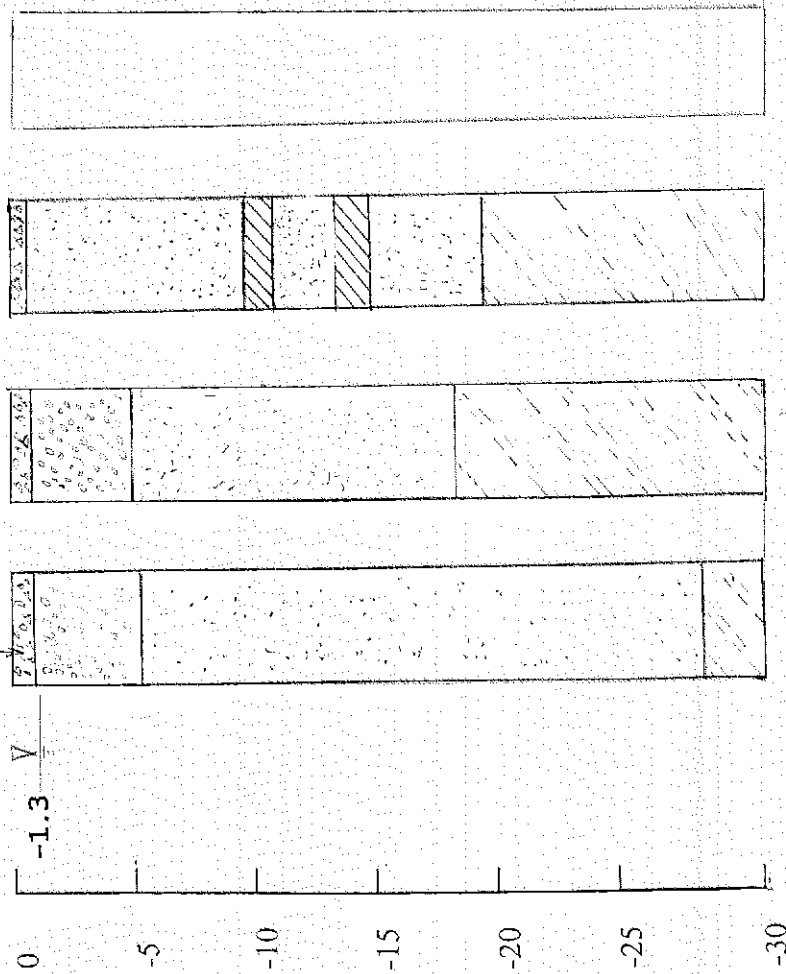


圖 4-3A-A 斷面地質柱狀圖

H1-1

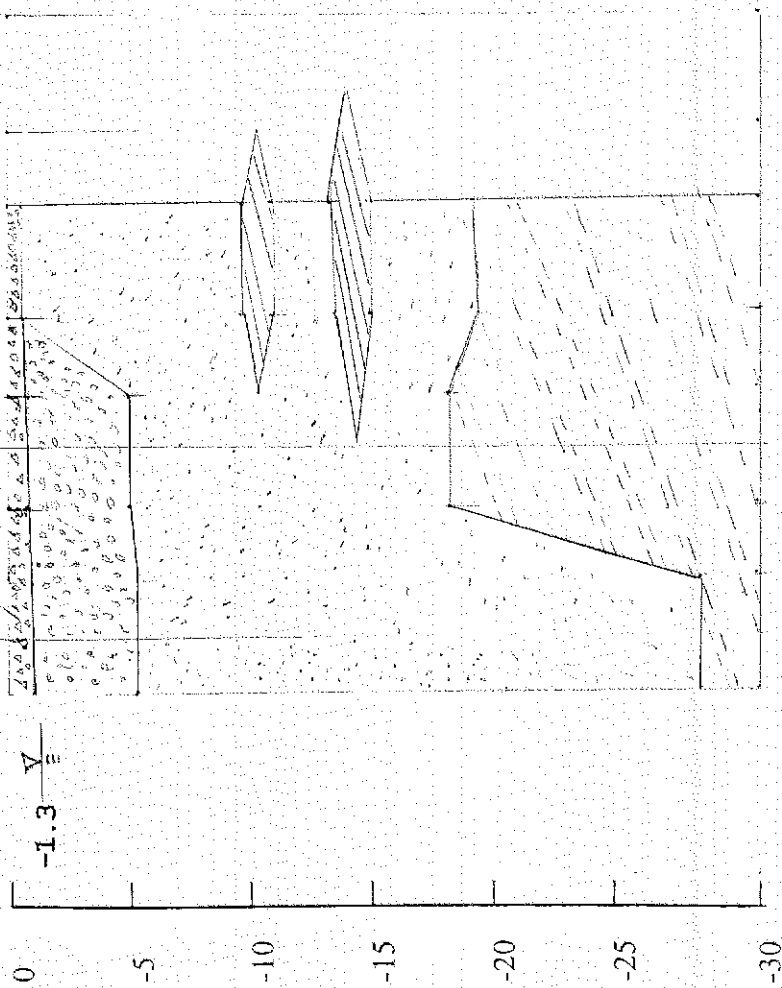
H1-2

H1-3

H1-4

回填砂石級配

EL(M)



黏土

粉土

粉土質細砂

中細砂

圖 4-4 A-A 斷面地質剖面圖

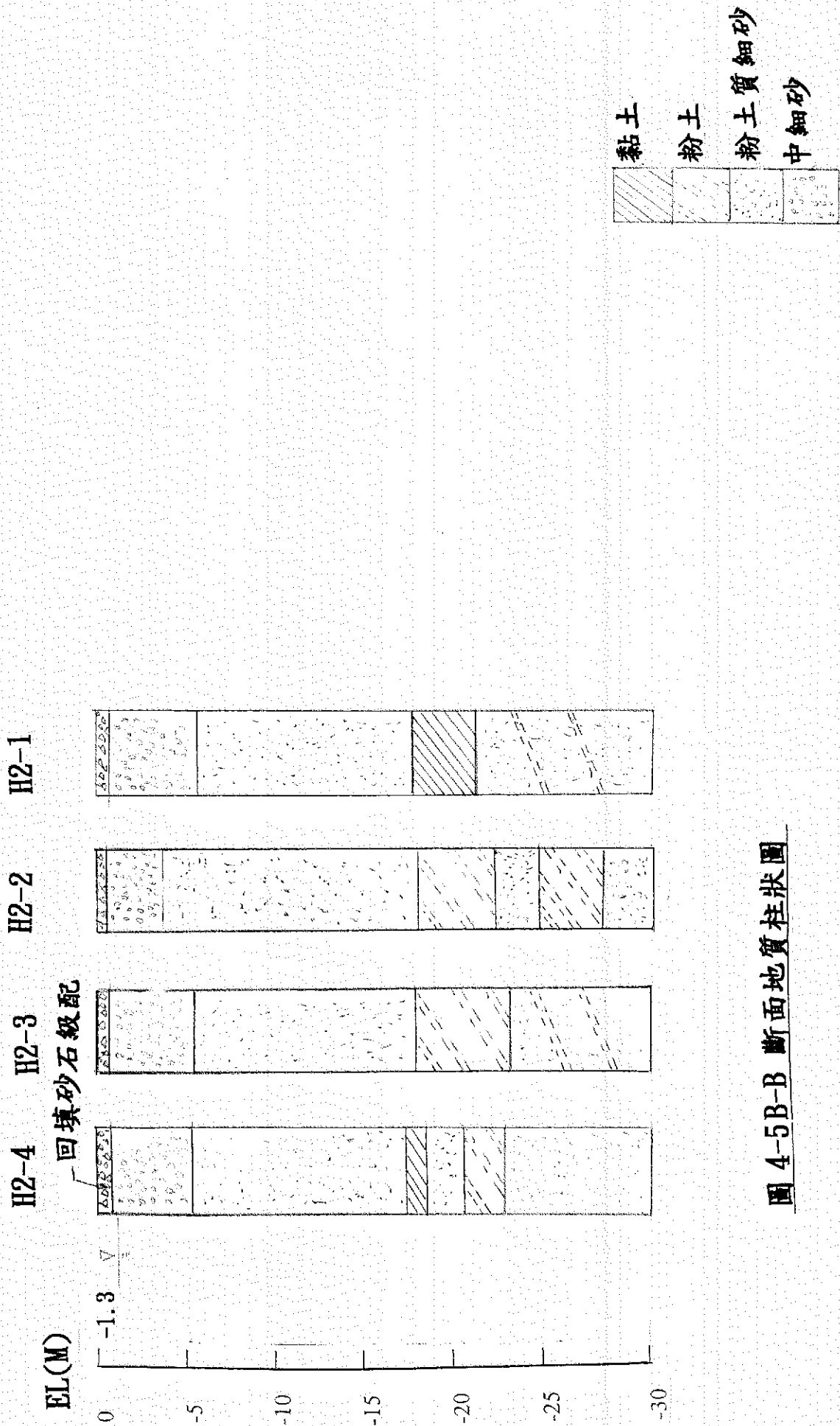


圖 4-5B-B 斷面地質柱狀圖

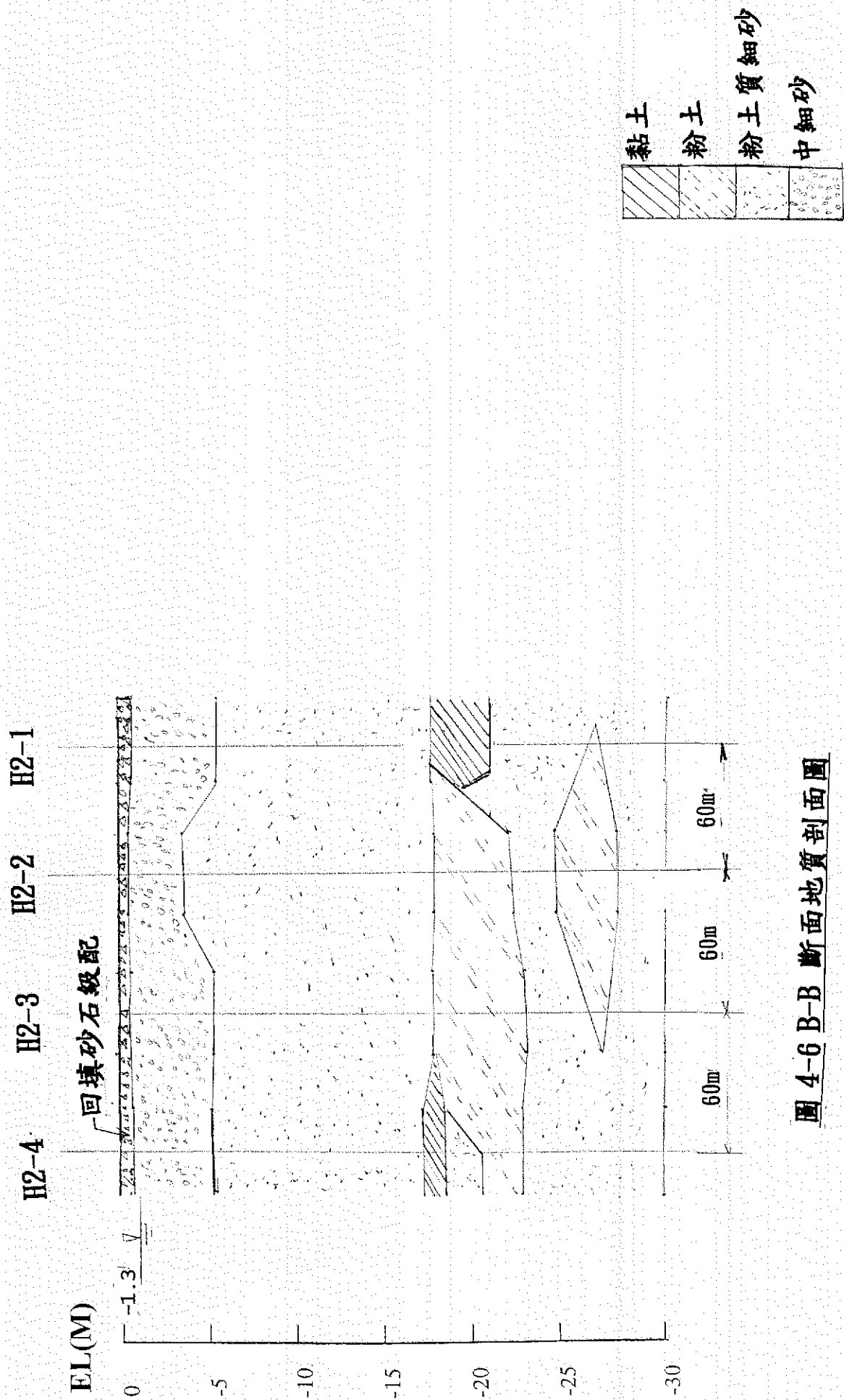


圖 4-6 B-B 斷面地質剖面圖

(3)C-C 斷面：為編號 H1-4 及 H2-4 孔之縱斷面土層，兩孔距 140m，表層回填砂石級配分別為 1 公尺及 0.8 公尺厚，地表下-1m~-5m 左右， q_c 值介於 20~40kg/cm² 之間，為鬆軟中細砂層，-5m~-30m， q_c 值大部分屬於 20~40kg/cm² 之間，為鬆軟粉土質細砂夾薄層粉土及粘土，(如圖 4-7、4-8)。

4.2 液化潛能之評估方法

目前現有之液化潛能分析評估方法眾多，惟大致可分為數值分析方法，以及採用經驗或半經驗公式之簡易分析法兩種。

由於液化潛能評估之理論或數值分析方法，通常須採用電腦程式進行複雜的運算過程，因此目前於工程界較少使用。

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及室內試驗研究成果，並針對工程實務應用發展而成。基本上，這些方法，都不需要煩雜之理論計算，經由簡單公式，即可獲得符合工程需要之評估結果，因此，廣為工程界普遍應用，稱之為簡易法(simplified method)。

一般簡易法之計算工作可分為兩大部份，第一部份是利用地震時地表最大加速度 PGA (peak ground acceleration)，以半經驗之簡易公式計算地震時土層所受之反覆剪應力比 (cyclic stress ratio)，第二部份則是估計土層之抗液化強度 (以反覆剪應力比表示)，此部份之抗液化強度可取現地不擾動土樣於室內進行動態強度試驗求得，稱之為室內試驗法；或採用現地試驗參數，如 SPT-N 或 CPT- q_c ，震測剪力波 V_s 等，利用地震液化案例反求之經驗曲線求得，稱之為現地經驗法。

以下將目前應用最廣的兩種現地試驗之簡易分析法作一概略說明，而分析結果於下一節分析探討。

4.2.1 SPT-N 法

此法為目前工程界評估液化潛能最常用的方法，這是因為一般地層液化案例之鑽探調查資料中大多有標準貫入試驗及劈管取樣成果，除可獲知 N 值之外，藉由劈管取樣所取得之銅圈土樣進行一般物理性質試驗，可獲得準確之土壤分類與指數性質及粒徑分佈資料。故一般認為 SPT-N 作為評估參數較為方便，因此目前各國設計規範均以 SPT-N 法為基本方法，並成為工程界之主流，廣為各界所採用。

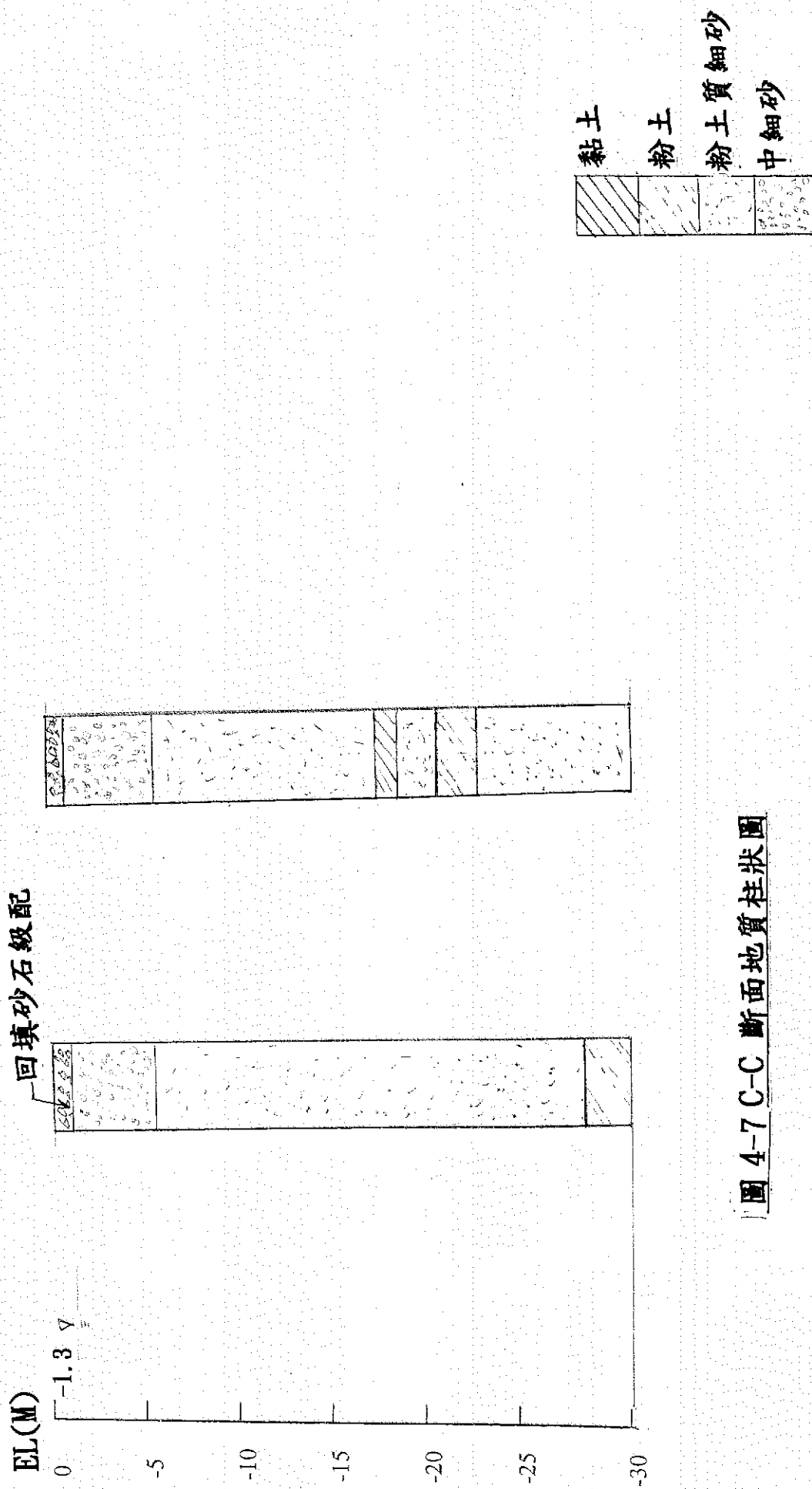


圖 4-7 C-C 斷面地質柱狀圖

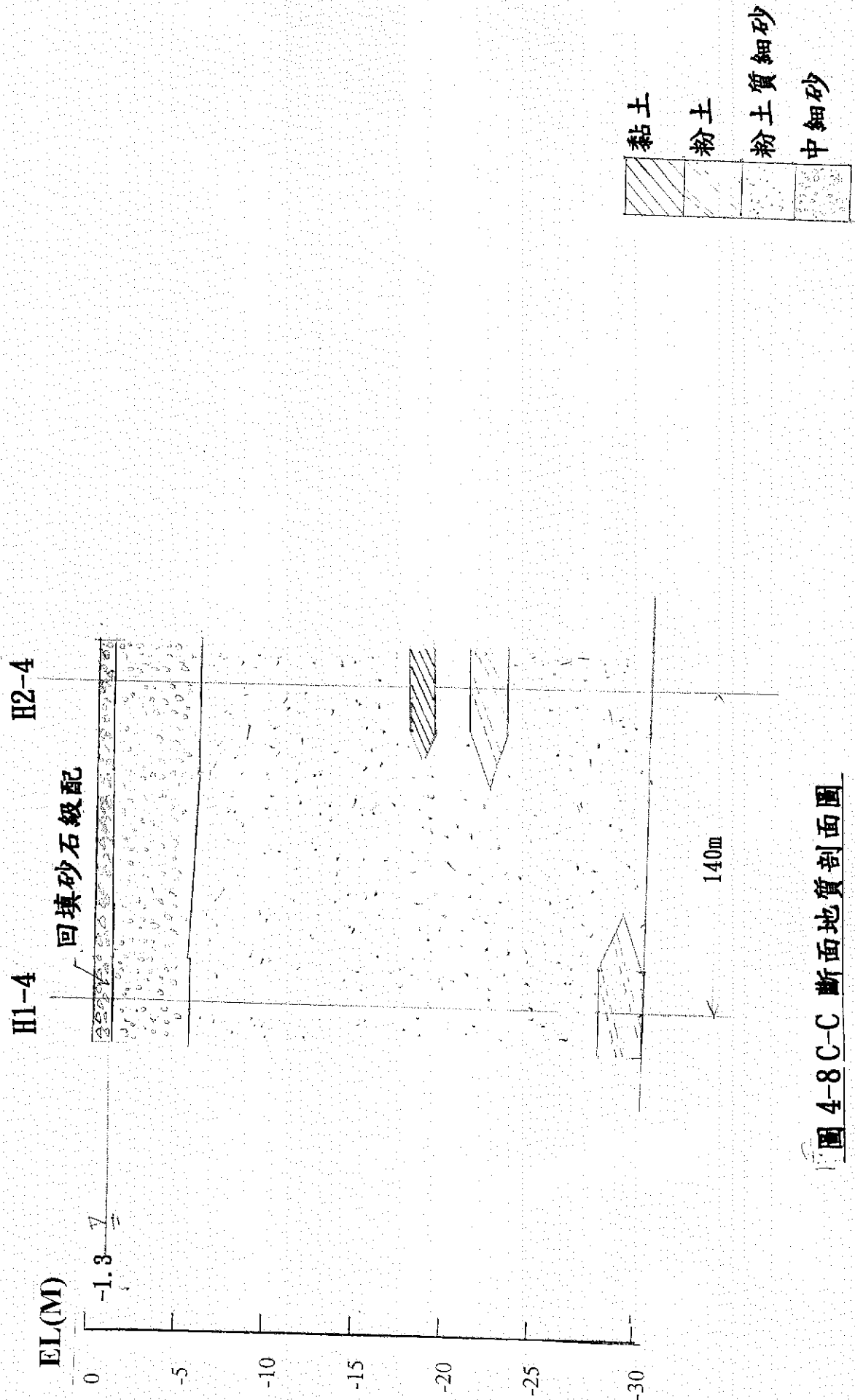


圖 4-8 C-C 斷面地質剖面圖

惟影響 SPT-N 值之因素甚多，導致所得之結果變化極大，尤其國內目前所用的所謂標準貫入試驗受人為操縱的影響很大，若監督工程師本身了解不夠或監督不周，常使所得結果毫無代表性。因此，由標準貫入試驗 N 值所評估之土壤抗液化潛能常變化極大，僅可作為設計者參考之用。

4.2.2 CPT-q_c 法

荷式圓錐貫入試驗約於 1930 年代在荷蘭發展出，該試驗係以靜壓力將圓錐貫入儀（cone penetrometer）貫入土層，由錐頭貫入阻力紀錄可以研判土層各層次之變化。1965 年圓錐貫入儀增加摩擦力之量測，以及其後電子式圓錐貫入儀之發展，增加孔隙水壓、電阻、震測等之量測，更增加該試驗對土層工程性能研判之功能與可靠性。與標準貫入試驗比較，荷式圓錐貫入試驗有下列主要優點：(1)操作容易，迅速而經濟，且試驗及設備標準化，人為誤差小。(2)提供土層之連續變化紀錄，所得資料較標準貫入試驗更有理論依據，易作理論解析，對土層研判及基礎工程設計分析較有幫助。(3)特別適用於不擾動土樣採取困難之砂質土層之調查。

因此，荷式圓錐貫入試驗目前已逐漸受到美國及世界其他地區之重視與採用，目前以 CPT-q_c 值評估液化潛能亦很普遍，在國內亦有很多液化潛能分析案例，如 921 地震員林液化潛能評估、921 地震彰濱工業區、台塑麥寮工業區等液化潛能評估，唯 CPT 試驗遇有礫石或岩石層時，電子錐頭即會受損，致其適用地區較受限制。但海岸與港灣地區之沖積土層與海埔新生地，以 CPT-q_c 值評估液化潛能極為可靠有效。

以 CPT-q_c 值評估液化潛能其中抗液化安全係數之方法有很多，但大致可分為三大類，第一類為經驗判斷之液化臨界下限曲線，如 Shibata & Teparaksa (1988)⁽²⁵⁾、Robertson & Campanella(1985)⁽²¹⁾ 評估法，這類分析方法所推求而得之抗液化安全係數最保守，第二類為經驗判斷之液化潛能曲線，如 Olsen(1997)⁽²⁰⁾、Robertson & Wride (1997)^(22,23) 評估法，這類分析方法所推求而得之抗液化安全係數較適中，另一類分析方法為統計分析之液化潛能判別式，如[賴聖耀 1990,1999]^(6,7)、Liao(1988)⁽¹⁹⁾、Christian(1975)⁽¹⁴⁾] 評估法，此類分析方法所推求而得之抗液化安全係數較合理。本文分別以 Shibata & Teparaksa (1988)所建立之液化臨界下限及 Olsen(1997)、Robertson & Wride (1997) 所建立之液化潛能曲線及賴聖耀(1999)所建立之液化潛能判別模式，作為 CPT 評估液化潛能之依據，其分析步驟分別說明如下：

1. Olsen (1998) 評估法

本法係根據 Olsen (1998), 第一部份先算出由地震力作用所引發之地盤反覆應力比 CSR (Cyclic Stress Ratio), 其關係式如下所示:

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_v} = 0.65 \left(\frac{A_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) \gamma_d \dots\dots\dots(4-1)$$

其中

τ_{av} : 平均反覆剪應力

A_{max} : 地表最大水平加速度

g : 重力加速度 9.81 m/s^2

σ_v : 總垂直覆土應力

σ'_v : 有效垂直覆土應力

r_d : 應力折減係數, ($r_d=1-0.00765z$, for $z \leq 9.15\text{m}$; $r_d=1.174-0.0267z$, for $9.15 \leq z \leq 23\text{m}$; $r_d=0.744-0.008z$, for $23 \leq z \leq 30\text{m}$; $r_d=0.5$, for $z > 30\text{m}$)

第二部分計算地盤本身所能抵抗的反覆剪應力強度 CRR (Cyclic Resistance Ratio), 即抗液化強度。

$$CSR = \left(0.00128 \frac{q_c}{(\sigma'_v)^c} \right) - 0.025 + 0.17R_f - 0.028R_f^2 + 0.0016R_f^3 \dots\dots\dots(4-2)$$

其中

c : 為土壤應力指數 (Stress exponent based on soil type)

q_c : 貫入錐之錐尖抵抗

R_f : 摩擦比

σ'_v : 有效垂直覆土應力

抗液化之安全係數與式為：

$$F_L = \frac{CRR}{CSR} MSF \dots\dots\dots (4-3)$$

其中 MSF (Magnitude Scaling Factor) 為地震規模係數

Olsen (1998) 之簡易經驗法之分析步驟可參照流程圖 4-9。

2. Robertson and Wride (1998) 評估法

根據 Robertson and Wride (1998) 進行分析。

第一部份先算出由地震力作用所引發之地盤反覆應力比 CSR (Cyclic Stress Ratio) 其關係式與式 (4-1) 相同，如下所示：

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_v} = 0.65 \left(\frac{A_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) \gamma_d$$

第二部分計算 CRR：

先求取土壤分類指數 I_c (Soil Behavior Type Index)，接著利用求得顆粒特性修正參數 K_C ，再計算正規化 CPT 貫入阻抗值 $(q_{c1N})_{cs}$ (Clean Sand Normalized CPT Penetration Resistance)：

$$(q_{c1N})_{cs} = K_C \times q_{c1N} \dots\dots\dots (4-4)$$

最後利用 $(q_{c1N})_{cs}$ 計算地震規模為 7.5 時之反覆阻抗比 $CRR_{7.5}$ 。

抗液化之安全係數與式 (4-3) 相同為：

$$F_L = \frac{CRR}{CSR} MSF$$

關於 Robertson and Wride 評估法 (1998) 之詳細分析步驟與計算公式和參數請參照流程圖 4-10。

3. Shibata & Teparaksa(1988) 評估法

(1) 計算地震引致之反復應力比

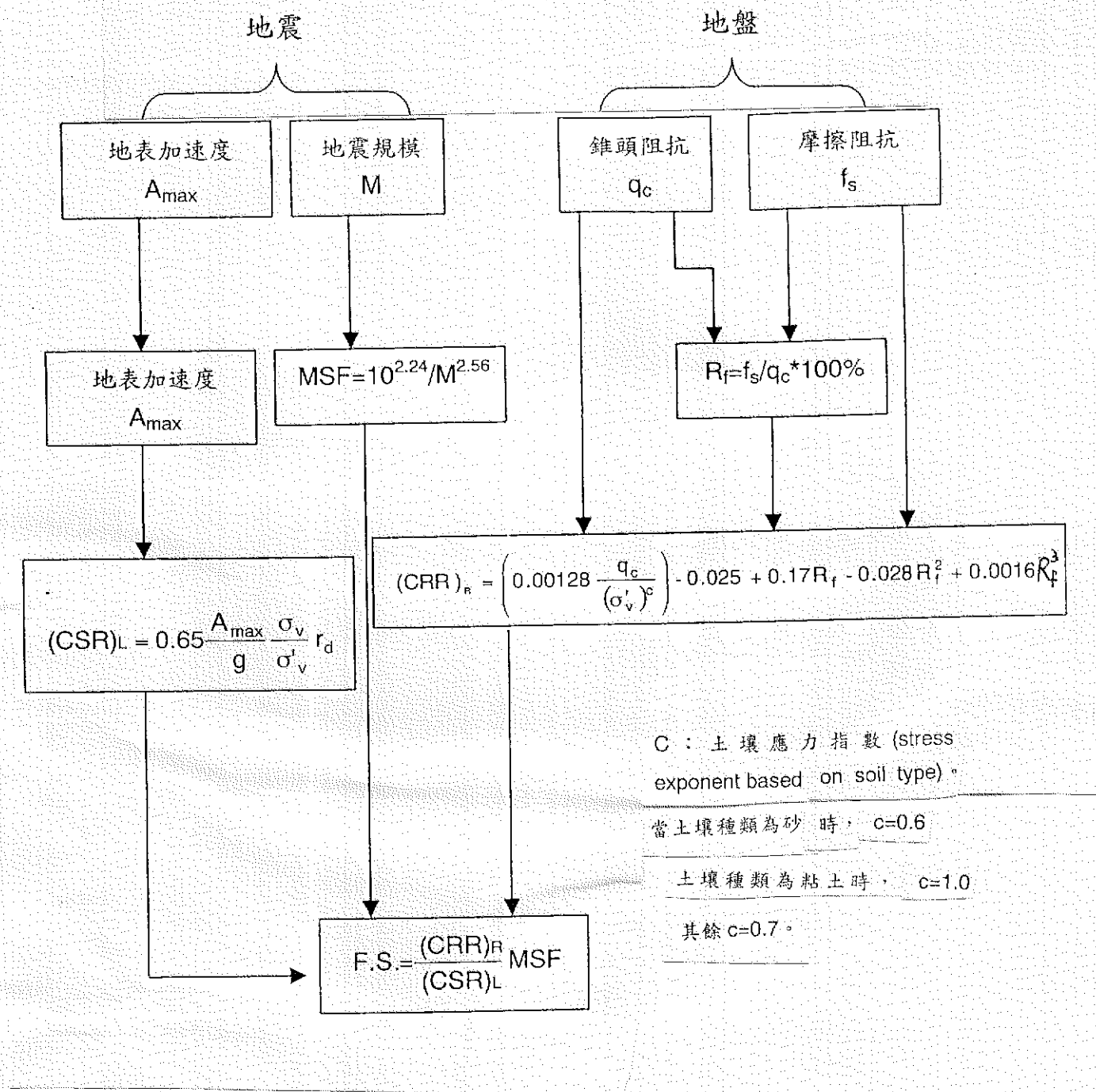


圖 4-9 Olsen (1998) 液化分析流程圖

首先計算出由地震力作用所引發之地盤反覆應力比 CSR (Cyclic Stress Ratio) 其關係式,地震引致現地土層之反復應力比 CSR 計算乃根據 Tokimatsu & Yoshimi(1983)所推導之公式：

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_v} = 0.1(M-1) \frac{a_{max}}{g} \bullet \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} (1-0.015Z) \dots\dots\dots (4-5)$$

其中， τ_{av} ：地震引致土層之相當剪應力， kg/cm^2

σ'_v ：最初有效覆土壓力， kg/cm^2

σ_v ：最初垂直覆土壓力， kg/cm^2

M：芮氏地震規模

g：重力加速度， m/sec^2

a_{max} ：地表最大水平加速度，g

Z：土層深度，m

(2)計算經有效覆土壓力與平均粒徑修正之正規化錐端阻抗

荷式錐貫入試驗(CPT)之錐端阻抗 q_c 值，因受有效覆土壓力之影響，以 Baldi et al.(1982)⁽¹⁶⁾方法修正，以式(4-6a)表示：

$$q_{c1} = C_1 \bullet q_c = \frac{1.7 \bullet q_c}{(\sigma'_v + 0.7)} \dots\dots\dots (4-6a)$$

其中， C_1 ：有效覆土壓力之修正係數

q_{c1} ：修正至有效覆土壓力為 1kg/cm^2 之正規化錐端阻抗， kg/cm^2

q_c ：錐端阻抗， kg/cm^2

由於土壤平均粒徑 D_{50} 之大小亦影響其抗液化強度，續再以 Shibata & Teparaksa(1988)方法將 q_{c1} 加以修正為式(4-6b)：

$$q_{c2} = C_2 \bullet q_{c1} \dots\dots\dots (4-6b)$$

當 $D_{50} < 0.25\text{mm}$ 時 $C_2 = 0.25/D_{50}$

當 $D_{50} \geq 0.25\text{mm}$ 時 $C_2=1.0$

其中， q_{c2} ：經有效覆土壓力與平均粒徑修正之正規化錐端阻抗， kg/cm^2

C_2 ：平均粒徑之修正係數

D_{50} ：平均粒徑， mm

但因 CPT 試驗無法直接取得土壤平均粒徑 D_{50} 資料，本文乃建立 CPT 之摩擦比 R_f 與平均粒徑 D_{50} 之關係式，根據港研所(1984)⁽⁶⁾之研究，純淨中細砂之摩擦 $R_f \leq 0.5$ ，粉土質砂之 R_f 為 $0.5 < R_f < 1.1$ ，粉土之 R_f 為 $1.1 < R_f \leq 2.4$ ，而根據 Seed、Idriss & Arango,(1983)^(9,30)液化評估之土壤分類， $D_{50} \geq 0.25$ 為純淨砂， $0.15\text{mm} \leq D_{50} < 0.25\text{mm}$ 為粉土質砂，因此 R_f 與 D_{50} 之相關式如下式所示：

$$D_{50} = \frac{1}{3} - \frac{R_f}{6} \dots\dots\dots (4-7)$$

(3)計算液化臨界之錐端阻抗值

Shibata and Teparaksa(1988)收集了日本新潟(1964)，Nihonkkai(1983)，唐山(1976)，Vrancea(1977)與 Imperial Valley(1979)等五個地震區的 109 組 CPT 資料，研究整理後得到臨界錐尖阻抗與反覆應力比的關係來界定液化區和非液化區。其關係式如下：

$$(q_{c2})_{cr} = C_2(q_{c1})_{cr} = 50 + 200 \left[\frac{\left(\frac{\tau}{\sigma'_{vo}} - 0.1\right)}{\left(\frac{\tau}{\sigma'_{vo}} + 0.1\right)} \right] (\text{kg/cm}^2) \dots\dots\dots (4-8)$$

(4)計算土層抗液化之安全係數 FL

$$F_L = q_{c2}/(q_{c2})_{cr} = q_{c1}/(q_{c1})_{cr} \dots\dots\dots (4-9)$$

Shibata & Teparaksa(1988) 之簡易經驗法之分析步驟可參照流程圖 4-11。

4. 賴聖耀(1999)評估法之分析步驟

(1)計算地震引致之反覆應力比 CSR

以式(4-1)計算地震引致之反覆應力比 CSR

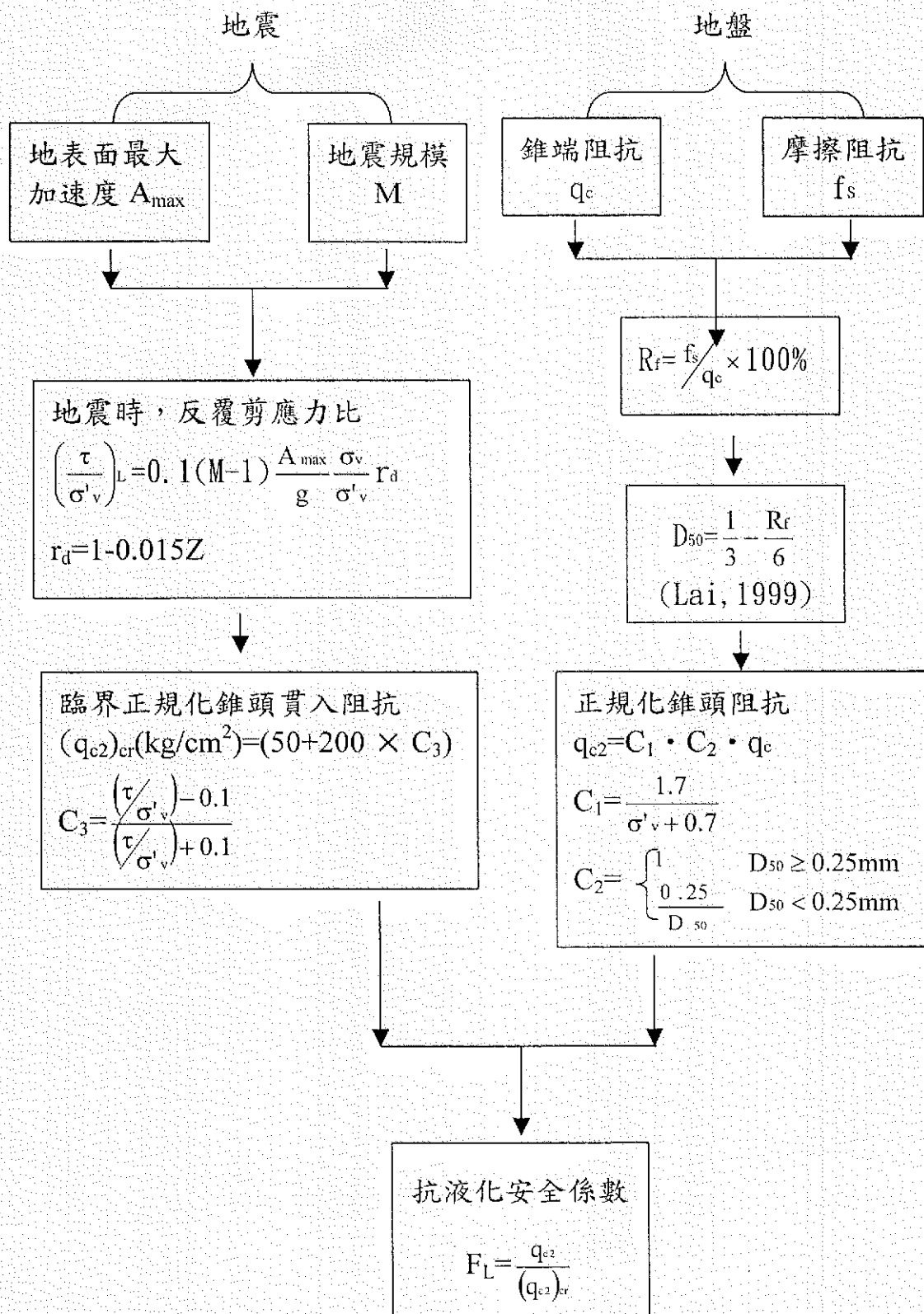


圖 4-11 經 Lai(1999)修正之 Shibata & Teparaksa(1988)液化分析流程圖

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_v} = 0.65 \left(\frac{A_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) \gamma_d$$

(2) 計算土壤抗液化強度 CRR

賴聖耀(1990)以判別分析之統計分類法統計世界上震災地區 278 筆液化與非液化之 SPT-N 值資料，再依據本中心多年來針對台灣各港區之研究 CPT- q_c 值與 SPT-N 值之關係，求得土壤抗液化之反復應力比 CRR 與 q_{cl} 之關係式如下：

$$q_{cl} = q_c / \sigma'_v{}^{0.5} \dots\dots\dots(4-10)$$

淨砂模式($R_f \leq 0.5$)

$$CRR = 0.0784 \times \text{Exp}(q_{cl} / (2.49 \times (\ln(0.3333 - 0.1666R_f))^2 + 27.28 \times (\ln(0.3333 - 0.1666R_f)) + 111.06)) \dots\dots\dots(4-11a)$$

粉土質砂模式($0.5 \leq R_f \leq 1.8$)

$$CRR = 0.0894 \times \text{Exp}(q_{cl} / (2.26 \times (\ln(0.3333 - 0.1666R_f))^2 + 24.79 \times (\ln(0.3333 - 0.1666R_f)) + 100.91)) \dots\dots\dots(4-11b)$$

(3) 計算土層抗液化之安全係數 FL：

抗液化之安全係數與式 (4-3) 相同為：

$$F_L = \frac{CRR}{CSR} MSF$$

關於賴聖耀 (1999) 評估法之詳細分析步驟與計算公式和參數請參照流程圖 4-12。

4.3 液化危害度分析方法

當某一深度土層之 F_L 小於 1.0 時，則視為液化。依上述各種液化評估法分析，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，則採用 Iwasaki 之深度加權法加以評估。Iwasaki 等人(1978；1982；1986)考慮深度的影響，提

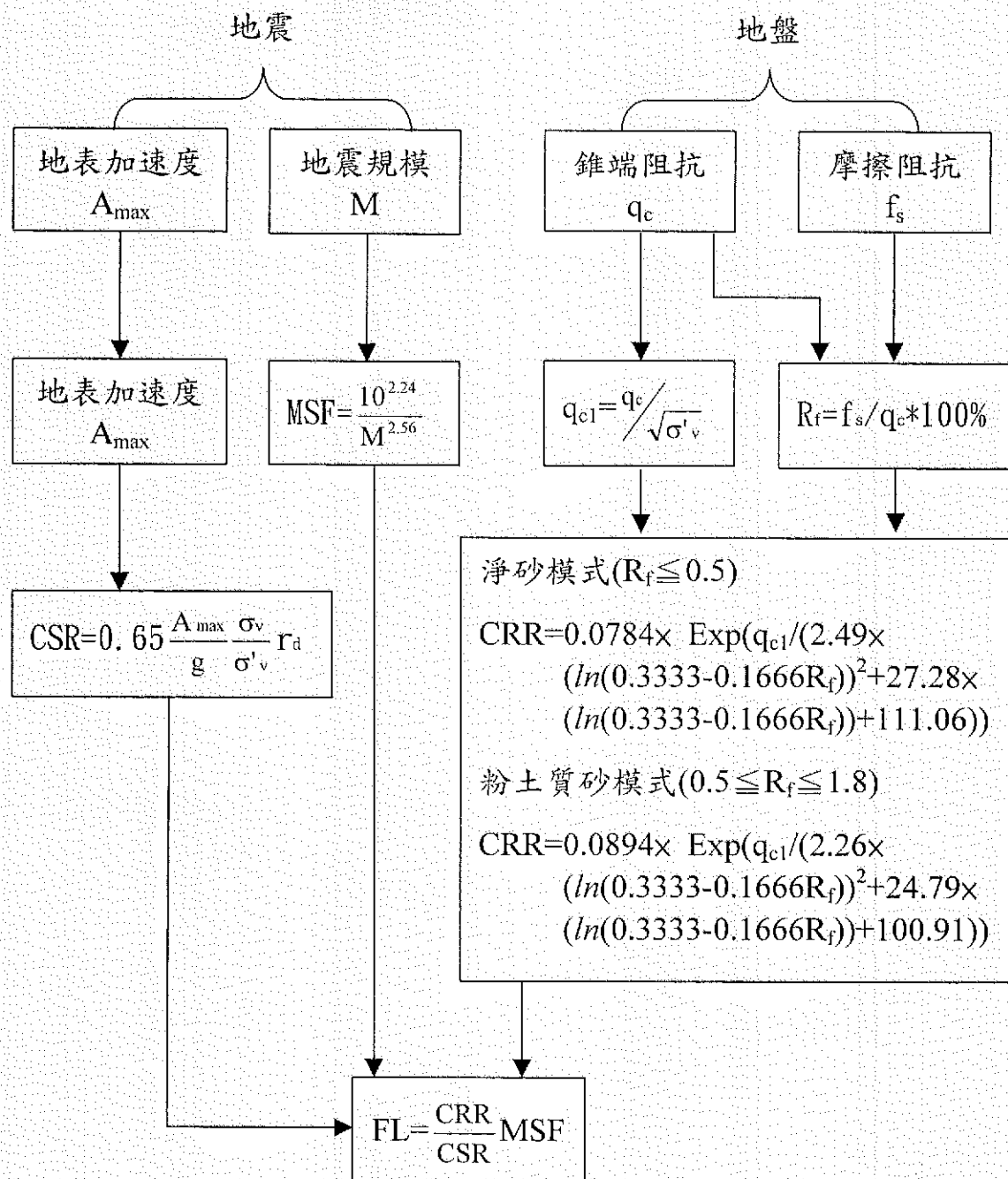


圖 4-12 Lai(1999)液化分析流程圖

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。

$$IL = \int_0^H F(Z) \cdot W(Z) dZ \dots\dots\dots (4-12)$$

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；1986)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=0 為液化危害度極低者
- (2) 0<IL<5 為液化危害度輕微者
- (3) 5<IL<15 為液化危害度中度者
- (4) 15<IL 為液化危害度嚴重者

表 4-1a 液化程度（Tokimatsu & Yoshimi,1983）

液化程度	現地觀察準則
嚴重液化	噴砂，地表沉陷大於 2%，或結構物沉陷大於 20cm
中度液化	噴砂，地表沉陷小於 2%，或結構物沉陷小於 20cm
液化邊界	液化區和非液化區的分界（位置）
無液化	沒有噴砂或沉陷

4.4 CPT-qc 法進行之液化潛能評估結果

有關本商港之液化潛能評估，係利用荷氏錐貫入試驗法（CPT- q_c ）進行之潛能評估，茲將各分析之結果分述如次：

根據交通部中央氣象局提供 921 地震之布袋港附近地震測站布袋國小最大地表加速度值 67.82gal，據此得知 921 地震當時地表之 PGA 為 0.069g，唯根據鄭世楠等人(1999) 所著台灣十大災害地震中有三次發生在嘉義地區，而且皆有液化噴砂等災害現象，分別為 1906、1941、1964 年之嘉義烈震其地震規模 7.1，而且皆有液化噴砂等災害現象，因此為瞭解嘉義地區地震發生時各加速度地震造成布袋港區液化危害之影響程度，本研究擬採 0.15g、0.2g 及 0.33g 等三種加速度進行液化潛能評估分析，其中 0.33g 係依建築技術規則之規定，地震一甲區所可能產生之地表 PGA 值。根據不同之地表加速度及各種液化潛能分析評估方法所得之分析結果詳下說明，其中分析結果顯示，以 S & T(1988) 液化臨界下限分析法評估本區之液化潛能最高。

(1) 0.15g

在 PGA=0.15g 時，僅有 S & T 分析法評估液化潛能最高，其中以 H1-3 及 H2-4 兩孔均屬嚴重液化程度，液化分佈高程為 0~30m。

各種液化潛能分析評估方法所得結果，如圖 4-13~4-19，液化位置分佈高程詳見表 4-1。

(2) 0.2g

在實際作用於本區之地表最大加速度 PGA 值為 0.2g 分析的情況下，其結果雖均具有液化潛能，惟亦以 S & T 及 OLSEN 分析法得較高之液化潛能值，其中以 H1-4、H2-4 兩孔最高。

各種液化潛能分析評估方法所得結果如圖 4-20~4-26 所示，液化位置分佈高程詳見表 4-2。

(3) 0.33g

在承受地表最大加速度 PGA 值為 0.33g 時，經上述四種分析方法評估結果，均是有極高之液化潛能值，其中仍以 S & T 及 OLSEN 分析法獲得較高液化潛能指數，顯現在此種最大加速作用下，以使本區產生嚴重液化潛能，其液化分佈高程大部分於深達-30m 處。

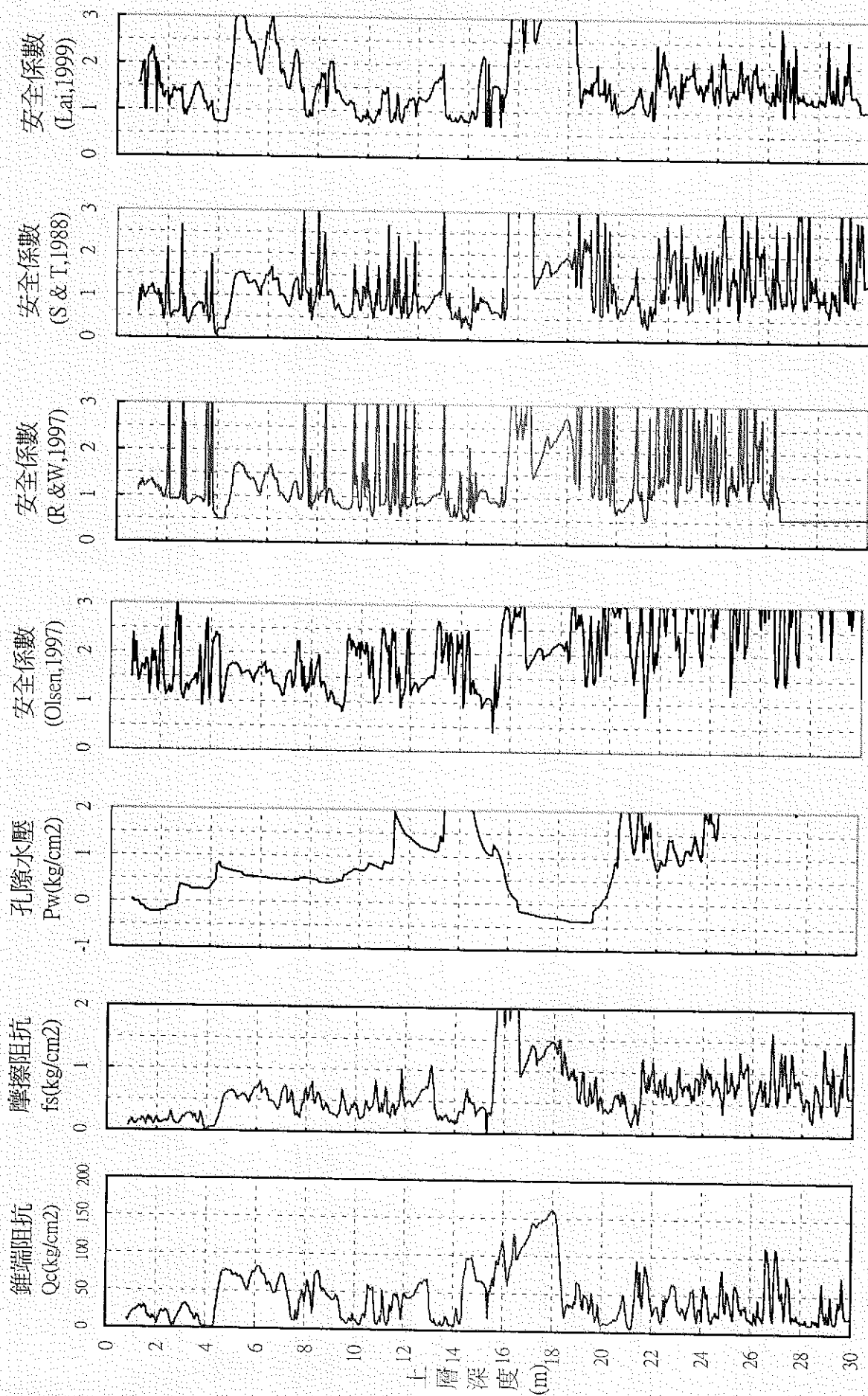


圖4-13 布袋港CPT-H1-2孔液化潛能評估結果(M=7.1, $A_{max}=0.15g$)

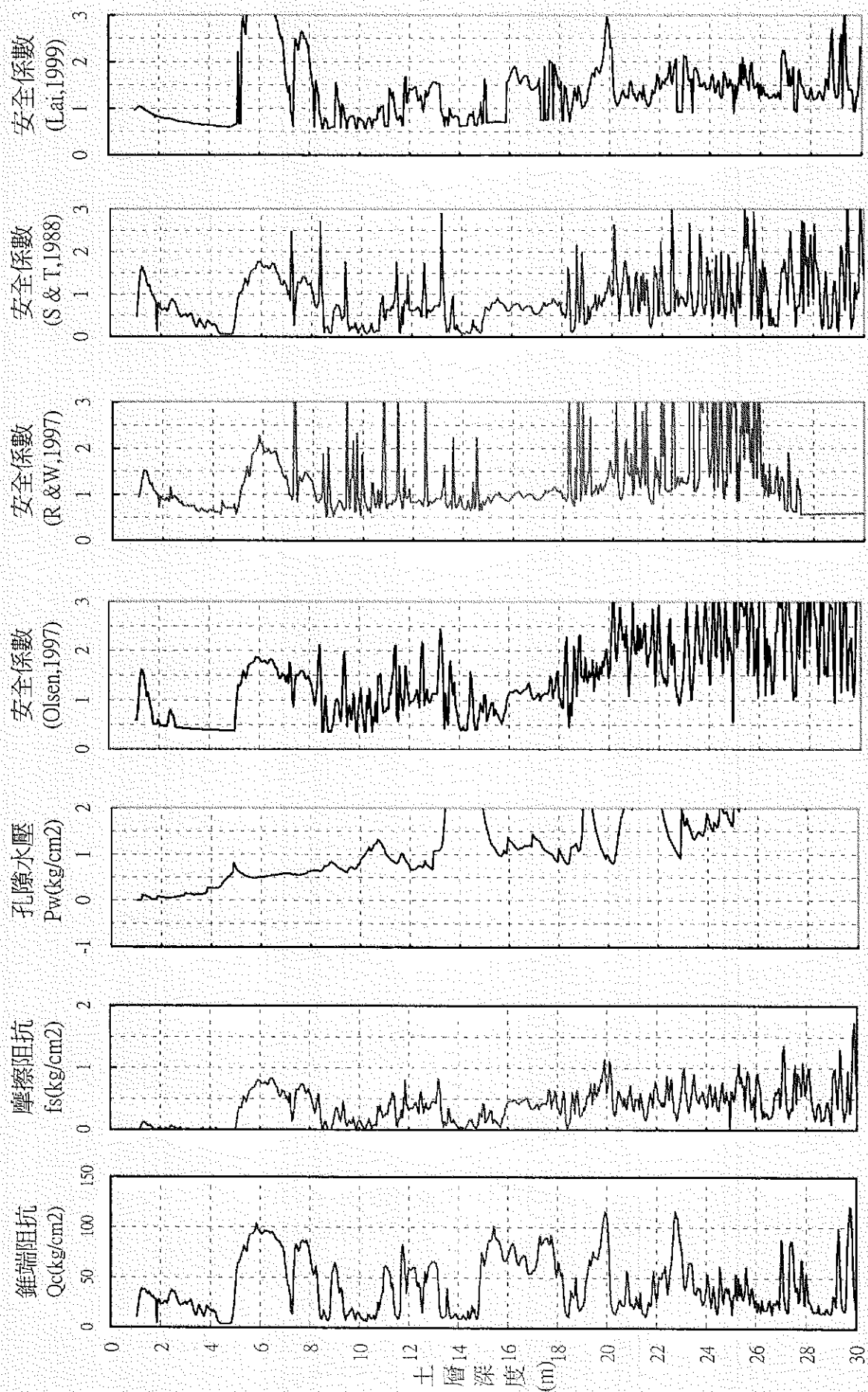


圖4-14 布袋港CPT-HI-3孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)

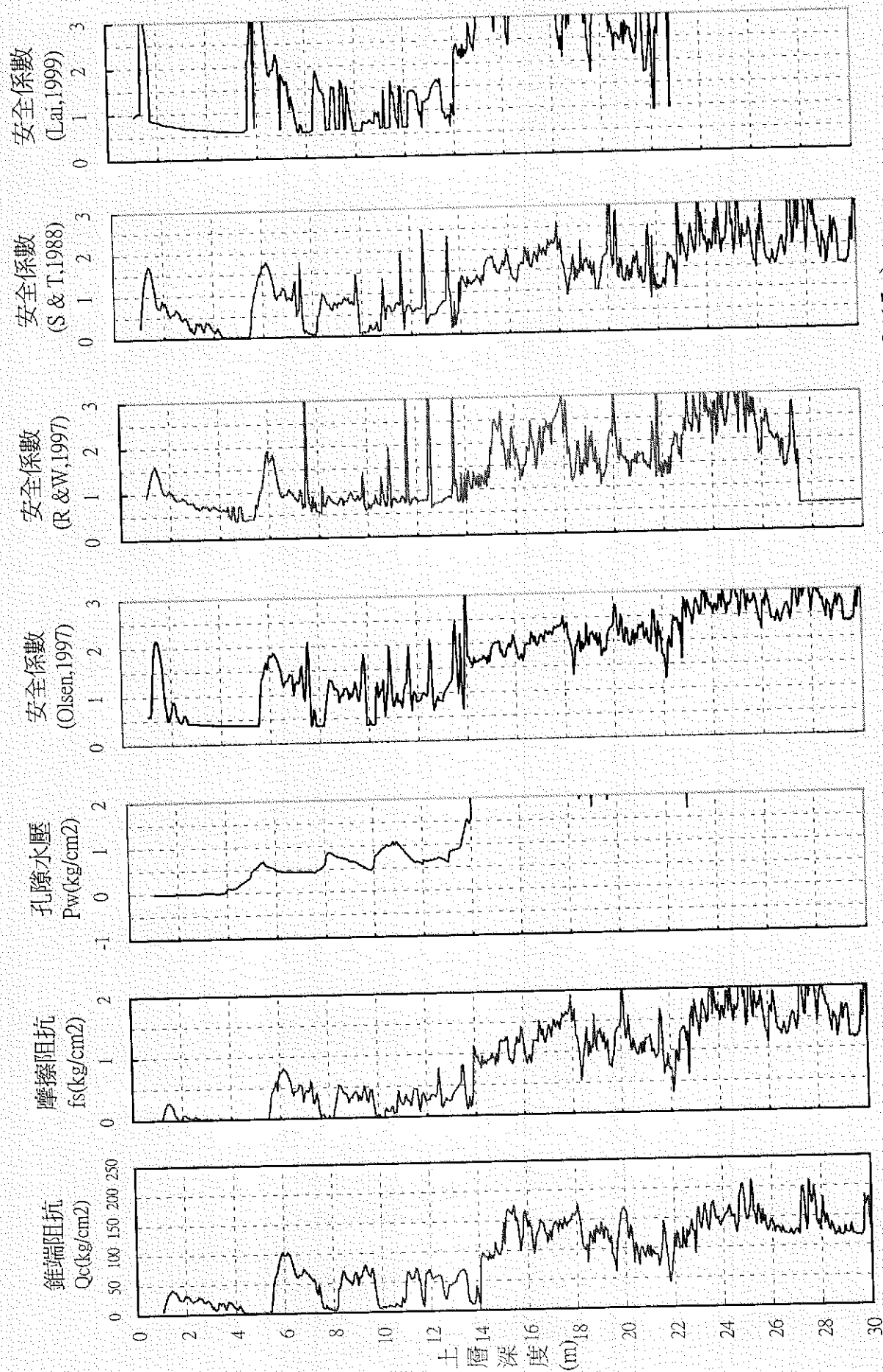


圖4-15 布袋港CPT-H1-4孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)

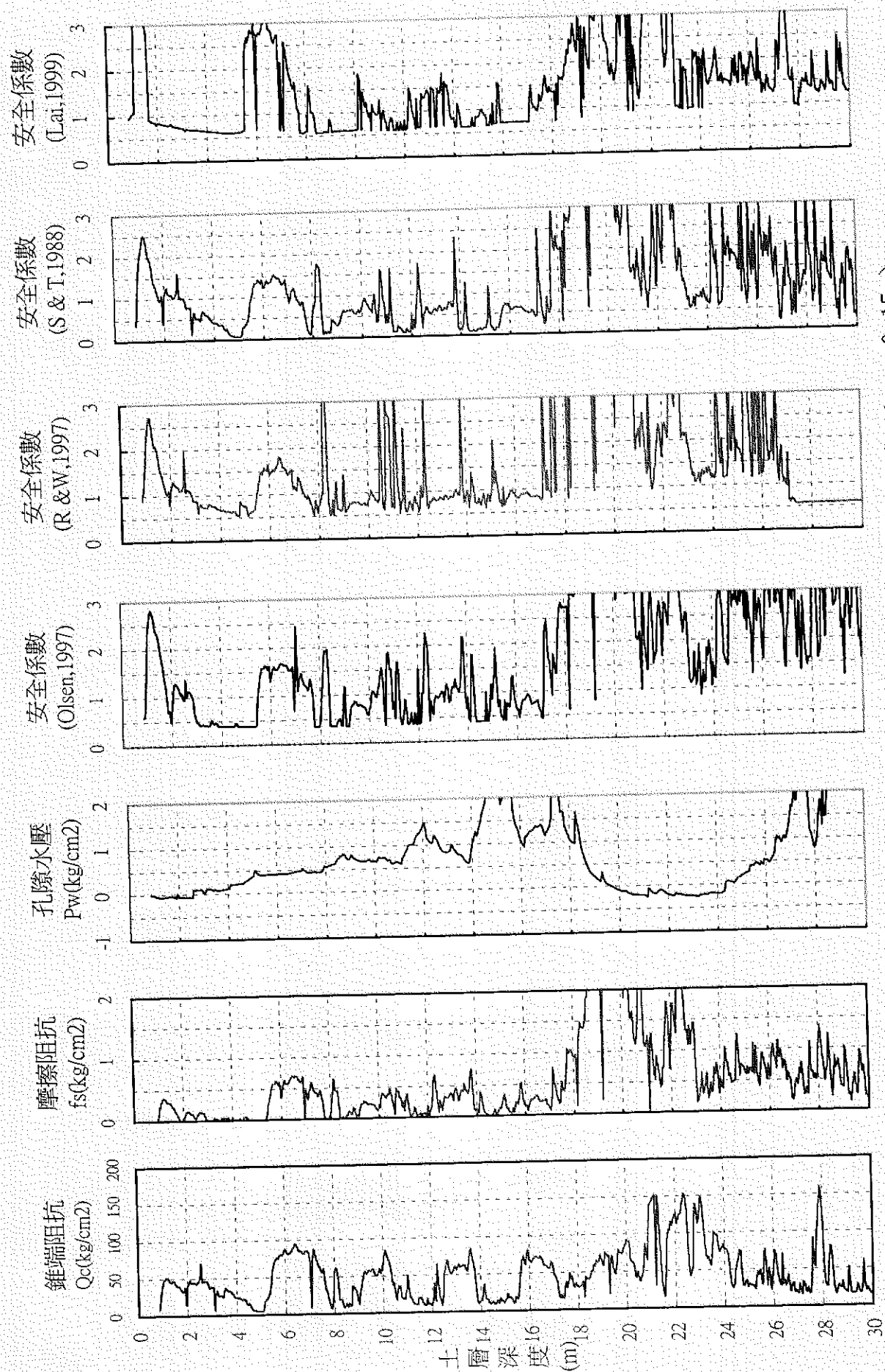


圖4-16 布袋港CPT-H2-1孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.15g)

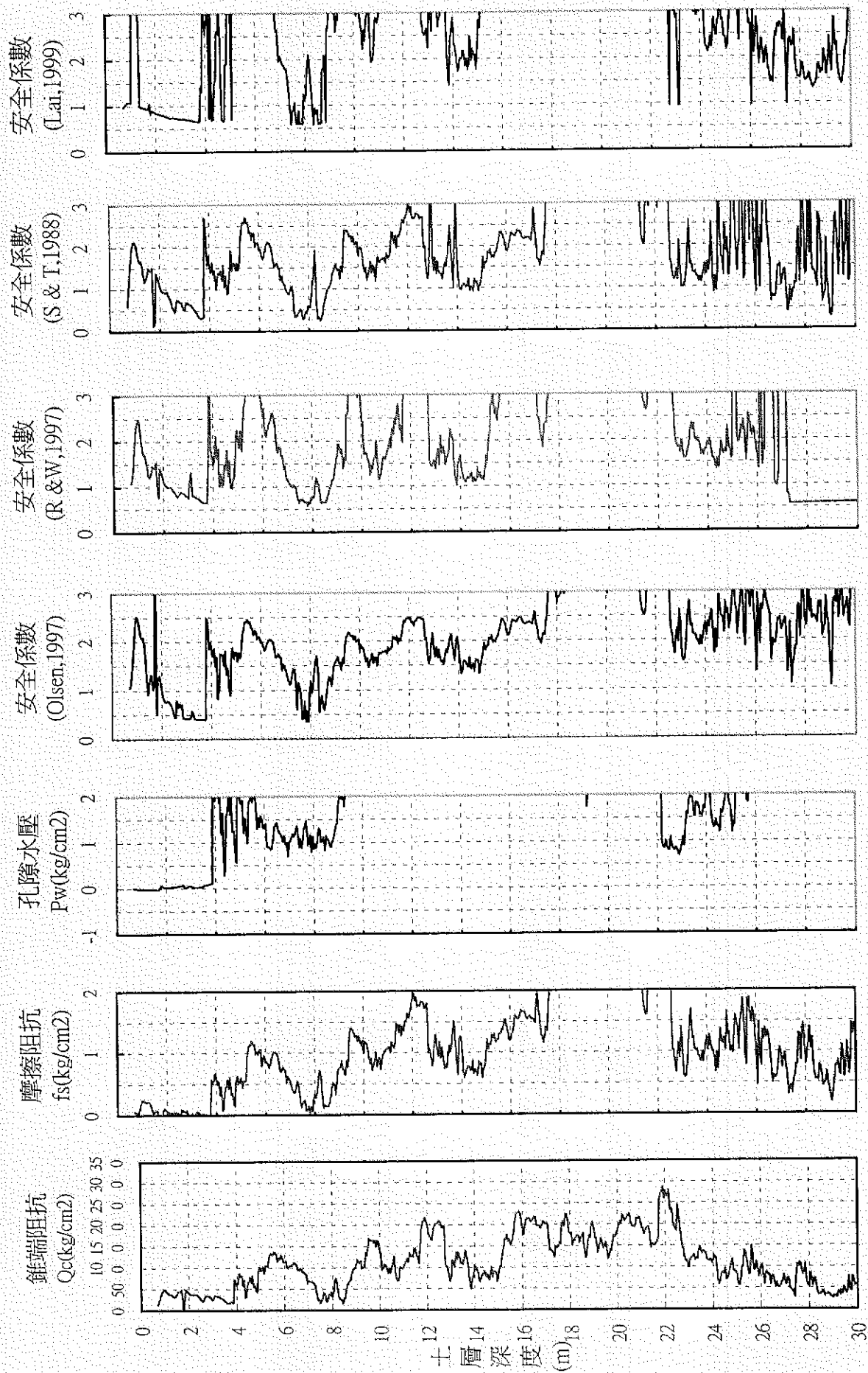


圖4-17 布袋港CPT-H2-2孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)

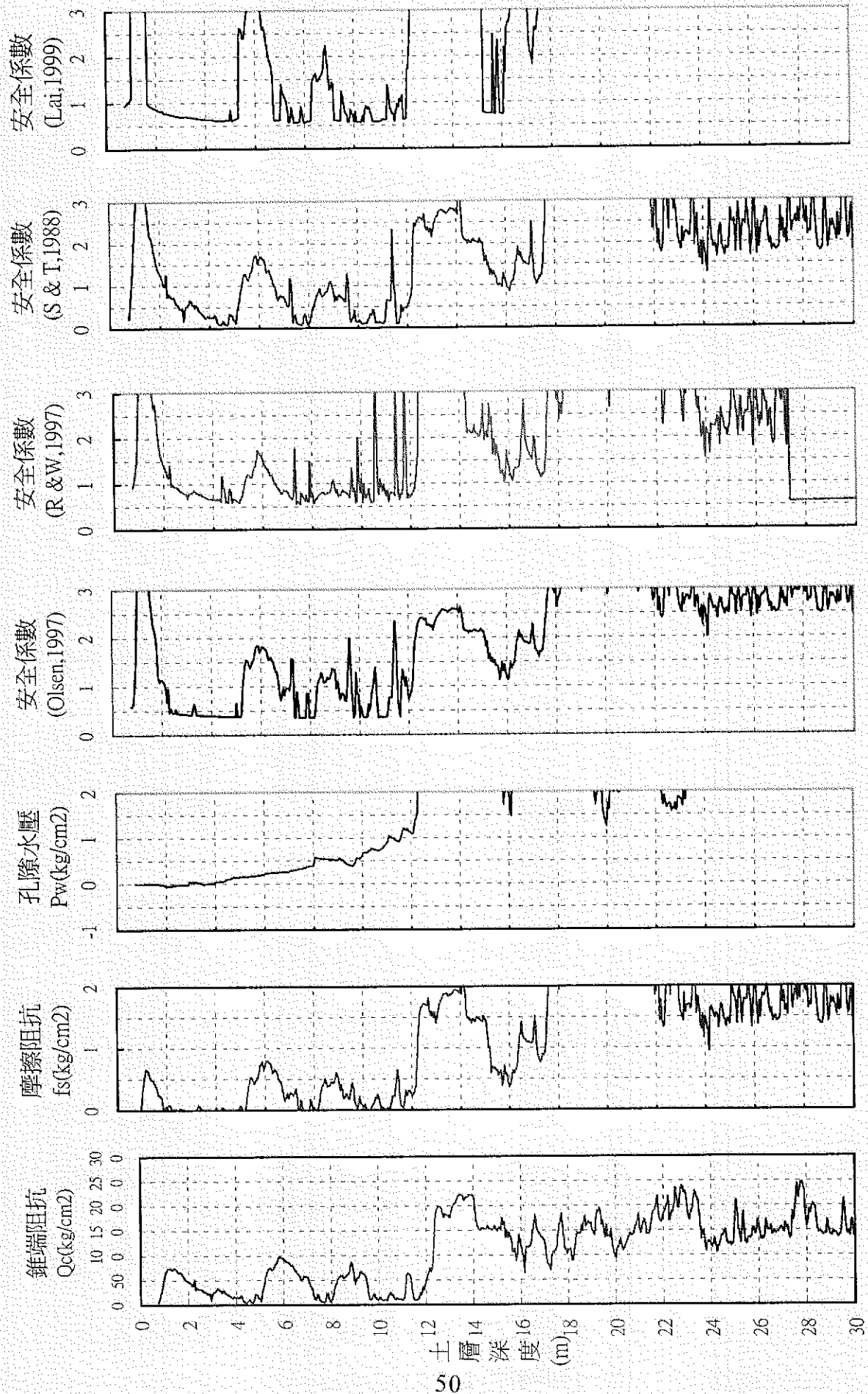


圖4-18 布袋港CPT-H2-3孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.15g)

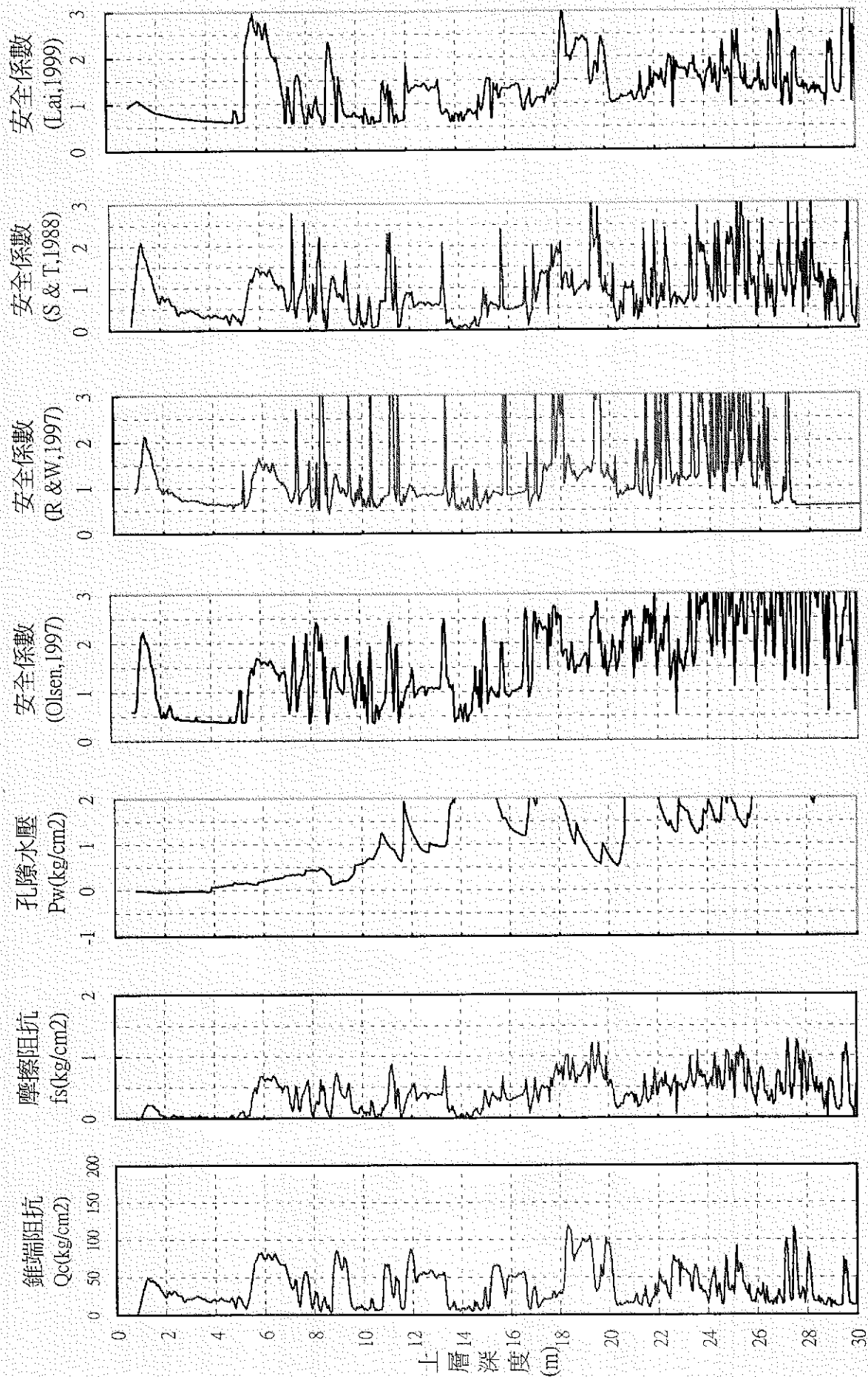


圖4-19 布袋港CPT-H2-4孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.15g)

表 4-1 液化分布高程(PGA=0.15g)

孔號	液化深度分布(EL.m)				液化危害指數(IL)				
	O L S E N R 1997	& W 1997	S & T 1988	L A I 1999	O L S E N R 1997	& W 1997	S & T 1988	L A I 1999	
H 1 - 2		-2~-15.8 -19~-21.2	0~-15.8 -18.8~-30	-7.8~-13.7	0.35	7.68	17.32	3.38	
H 1 - 3	0~-15.9	0~-18.5 -26~-30	0~-30	0~-18.3	21.68	11.99	33.54	14.95	
H 1 - 4	-2~-14	-2~-14	0~-14	-2~-14	22.43	16.32	36.12	16.26	
H 2 - 1	0~-18	-2~-17.8 -27~-30	0~-19.8 -21.2~-30	0~-17.1	22.69	13.05	31.66	18.28	
H 2 - 2	-1.8~-3.9 -7.5~-8.7	-1.8~-3.9 -7.5~-8.7	0~-8.5 -7.1~-8.7	-1~-5 -7.2~-8.7	8.66	4.68	10.33	6.84	
H 2 - 3	-2.1~-5.2 -6.8~-12	-2.1~-12.3	-2.1~-12.3	-2.1~-12	21.90	12.03	30.12	15.89	
H 2 - 4	-2~-17.2	-2~-17.2 -20.3~-21.8	0~-30	0~-17.8	21.29	15.67	35.09	15.72	

註: IL>15 嚴重液化; 5<IL<15 中度液化; IL<5 輕微液化

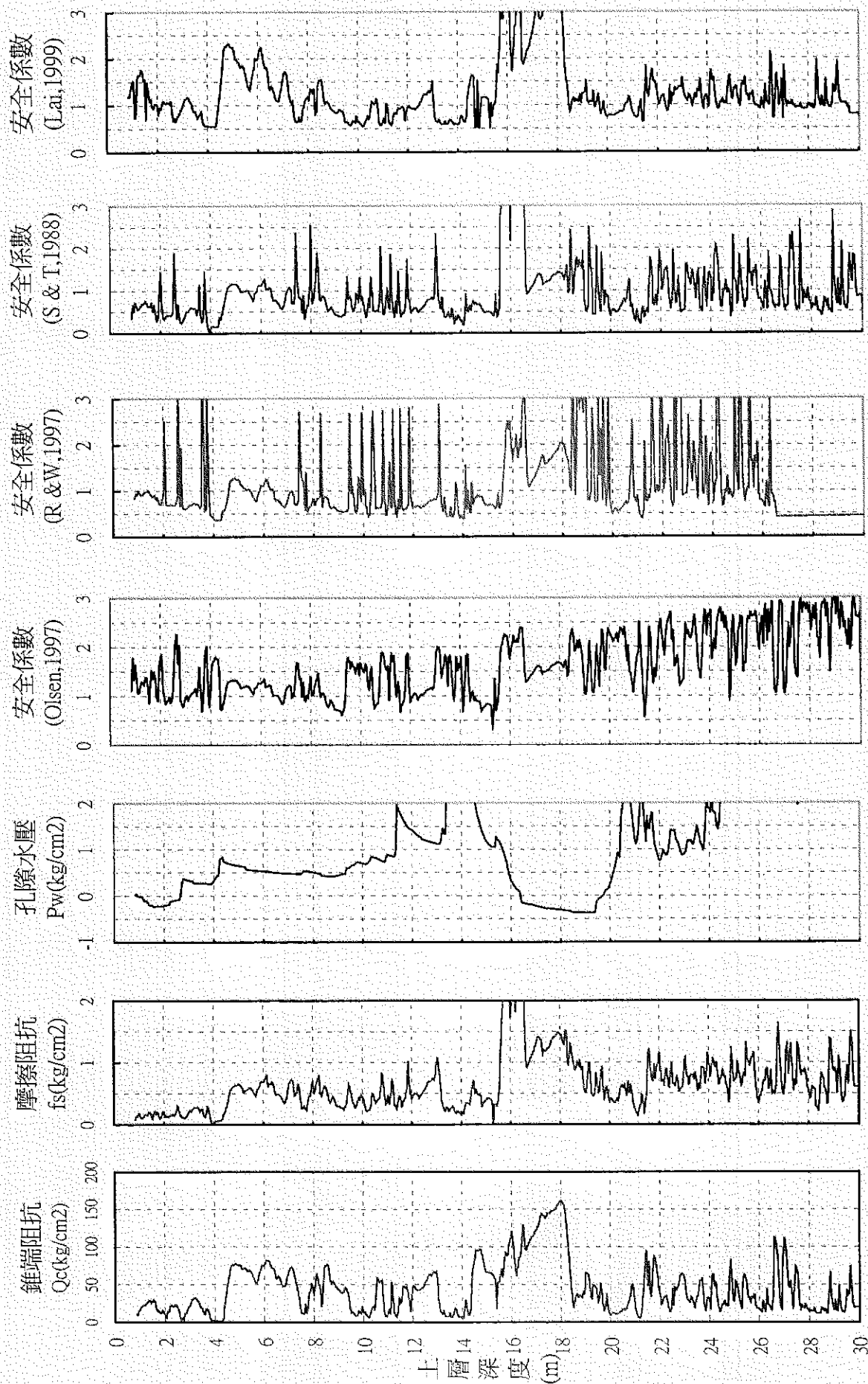


圖4-20 布袋港CPT-H1-2孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.2g$)

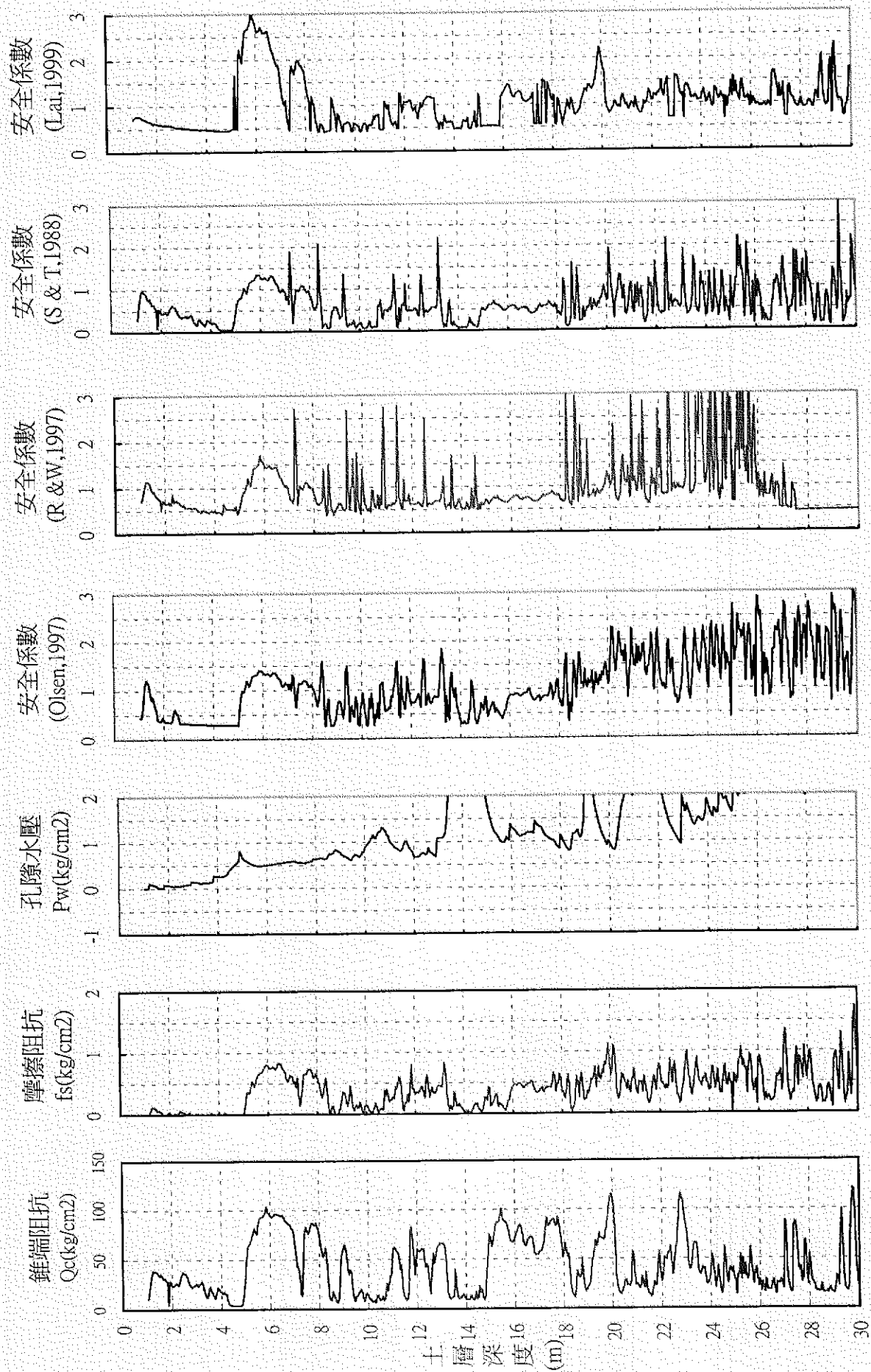


圖4-21 布袋港CPT-HI-3孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.2g)

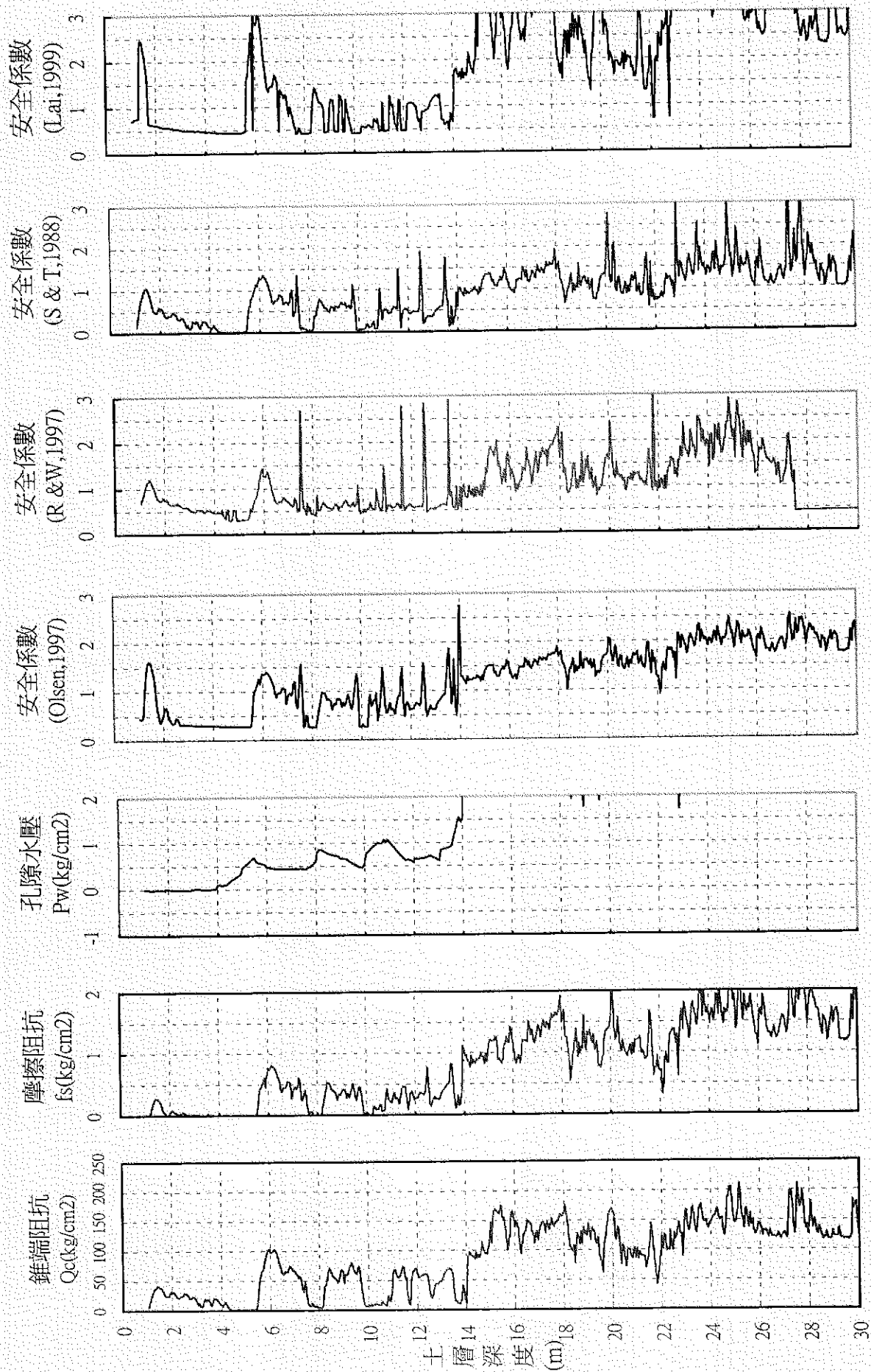


圖4-22 布袋港CPT-HI-4孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.2g$)

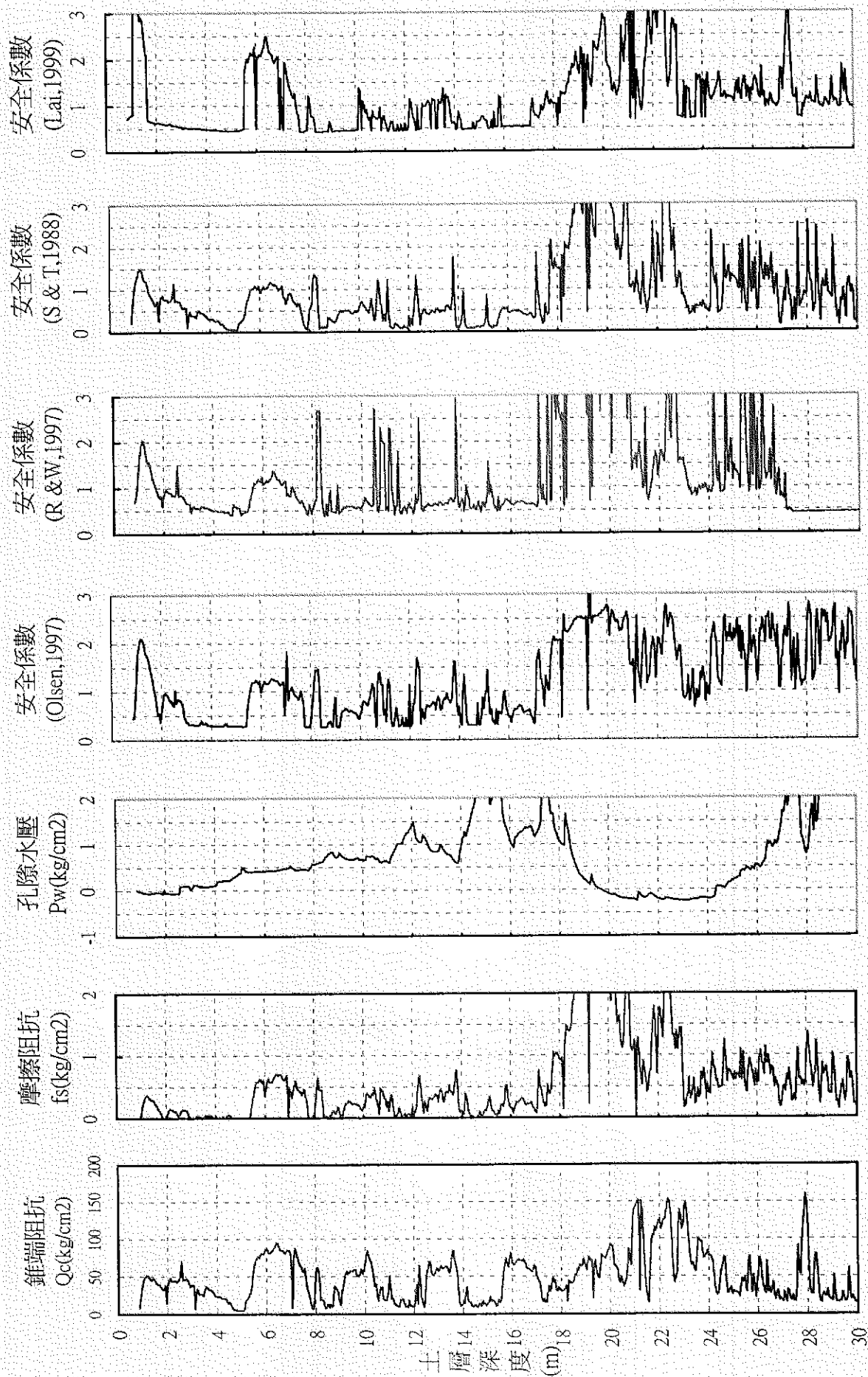


圖4-23 布袋港CPT-H2-1孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.2g)

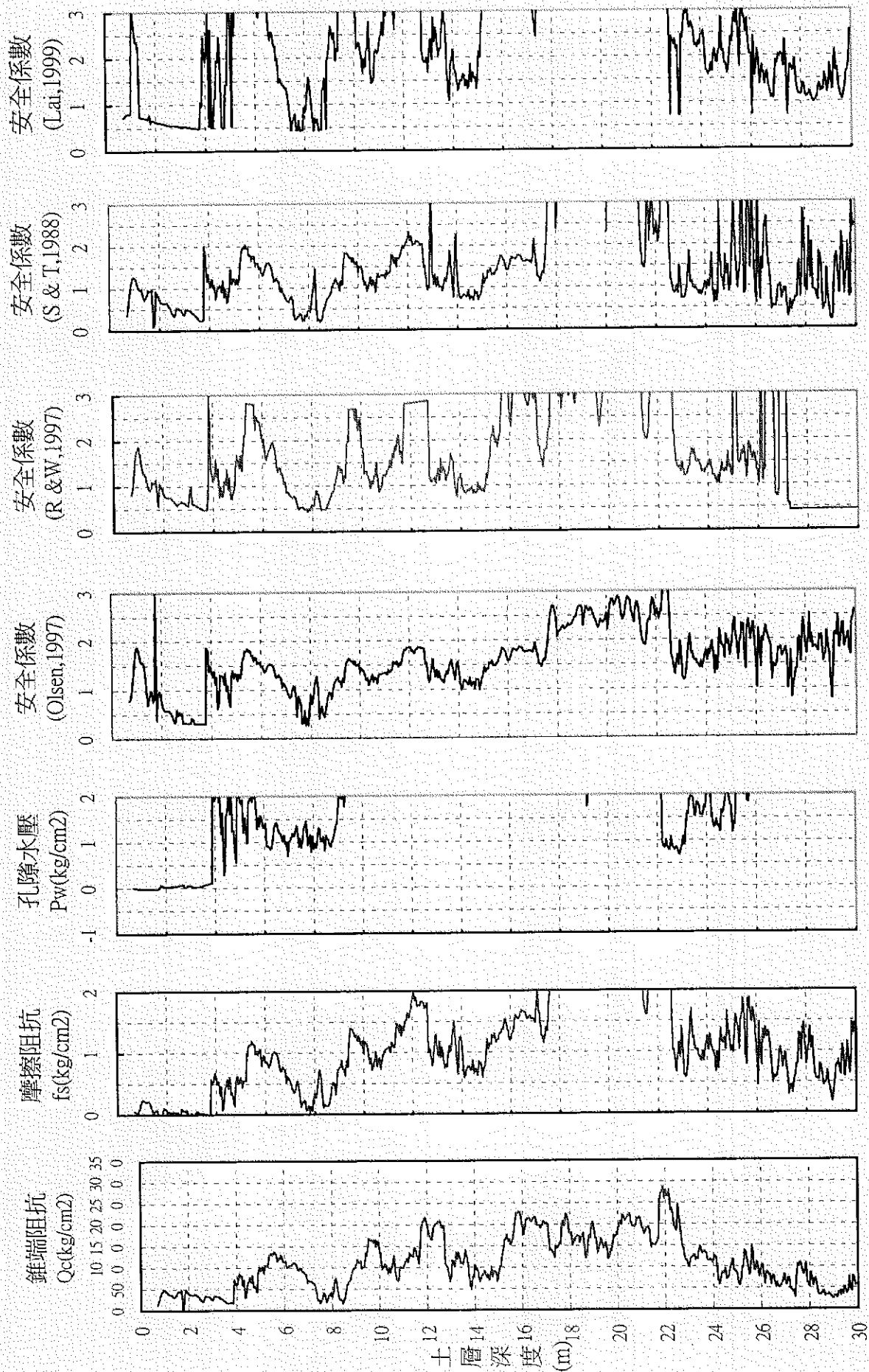


圖4-24 布袋港CPT-H2-2孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.2g)

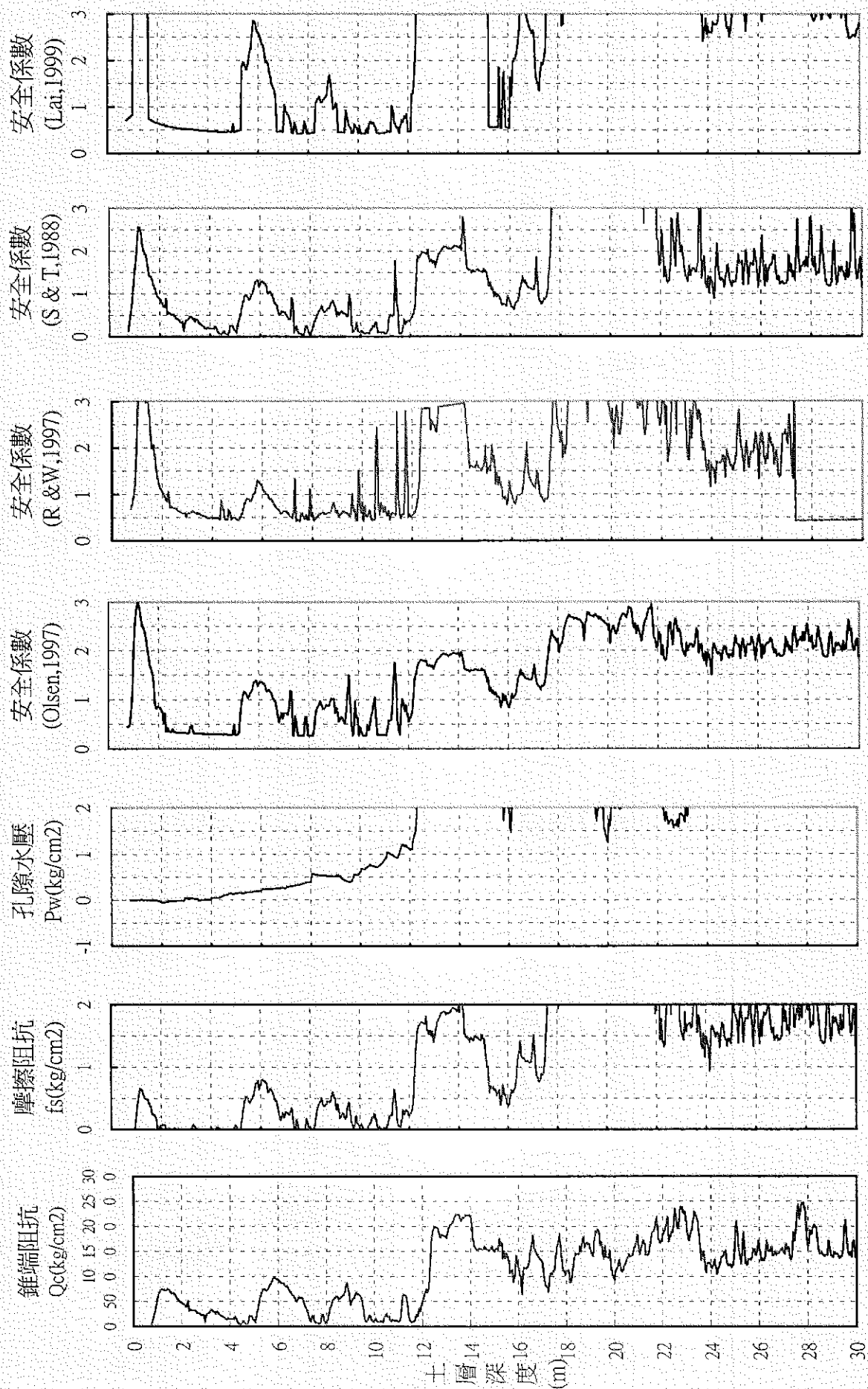


圖4-25 布袋港CPT-H2-3孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.2g)

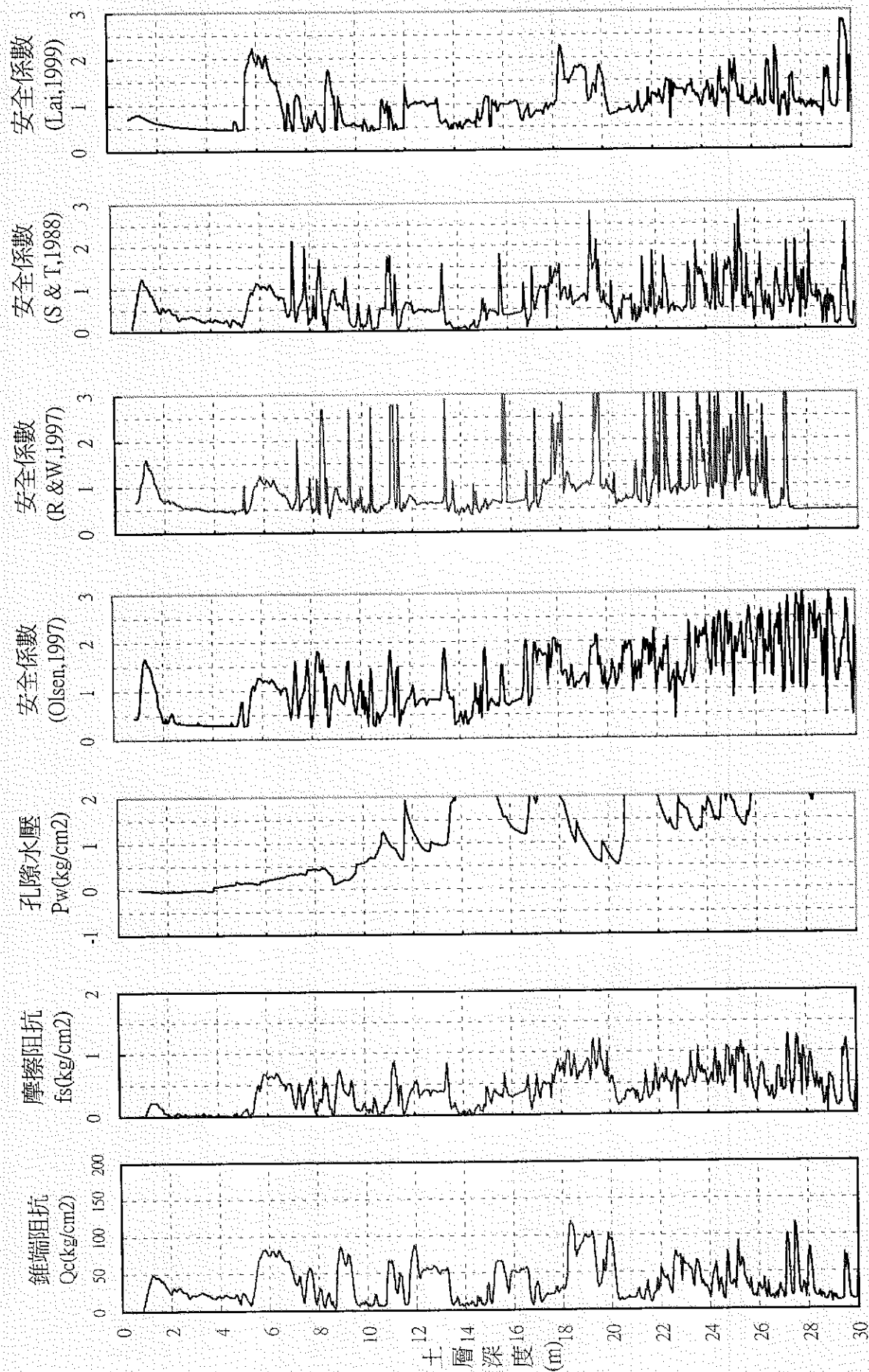


圖 4-26 布袋港 CPT-H2-4 孔液化潛能評估結果 ($M=7.1$, $A_{max}=0.2g$)

表 4-2 液化分布高程(PGA=0.2g)

孔號	液化深度分布(EL.m)				液化危害指數(IL)			
	O L S E N 1997	R & W 1997	S & T 1988	L A I 1999	O L S E N 1997	R & W 1997	S & T 1988	L A I 1999
H 1 - 2	-1.5~-15.5	0~-15.6 -19.2~-30	0~-15.8 -19.2~-30	-1.3~-15.3 -18.5~-30	3.53	19.31	29.83	10.12
H 1 - 3	0~-18.7 -22.3~-30	0~-5.5 -7~-30	0~-30	0~-30	30.56	24.62	43.21	26.28
H 1 - 4	-2~-14	-2~-14	0~-15 -18.3~-22.8	-1.8~-14	31.27	29.71	45.16	26.15
H 2 - 1	0~-18	-2~-17.8 -23~-30	0~-18.1 -21.2~-30	0~-18 -23~-30	31.76	25.35	41.59	30.17
H 2 - 2	-1.8~-4.5 -7.5~-8.7	-1.8~-5 -6.9~-9	0~-14.7 -22.5~-30	-1~-5 -7.2~-8.7	13.32	11.31	16.95	13.46
H 2 - 3	-2.1~-5.2 -6.8~-12	-2.1~-12.3	-2.1~-12.3	-2.1~-12	29.59	23.11	37.86	26.07
H 2 - 4	-2~-17.2	-2~-30	0~-30	0~-18 -20~-30	30	28.92	45.06	28.01

註: IL>15 嚴重液化; 5<IL<15 中度液化; IL<5 輕微液化

各種液化潛能分析評估方法所得結果如圖 4-27~4-33，液化位置分佈高程詳見表 4-3 所示。

4.5 液化危害指數 (IL) 分析結果

依前節分析方法，並根據各孔以各種 CPT 液化分析方法求得安全係數，計算得出各孔之液化危害指數 (IL) 如表 4-1、4-2、4-3。

依據地盤液化之損害程度可分三級， $IL > 15$ 為嚴重液化； $5 < IL < 15$ 為中度液化； $IL < 5$ 為輕微液化，在不同地震震度作用下之液化危害性指數 (IL) 分析結果分述如下：

(1) 0.15g

在 0.15g 地震力作用下，R & W 法和 Lai 法分析結果大部份有輕至中度液化及少數嚴重液化現象，其他方法則均屬嚴重液化居多，其中以 H1-2、H2-2 兩孔液化之損害程度較輕微。

(2) 0.2g

在 0.2g 地震力作用下，四種方法分析結果除 H2-2 孔有輕至中度液化外，其餘均屬嚴重液化情形，尤其在 S & T 法分析下，其液化危害指數值高達 45 左右，居各種分析方法之首。

(3) 0.33g

在 0.33g 地震力作用下，經四種方法分析評估結果，各孔均屬於嚴重液化程度，且液化分佈高程亦達全程深度 (0~30m)，顯現在該地震力作用下，該區土壤已無法承受任何荷重，似值正視。

4.6 液化之側壓力分析

液化時之側壓力分析，依據日本沿岸開發技術研究 (1997) 及日本土質工學會 (1993) 之建議，如圖 4-34 所示，可分為二部分，一為液化時增加之超額孔隙水壓力 (或液化砂土層之靜流體壓力減原來之靜水壓力)，另一為液化砂土層流體之動流體壓力，本文分別以液化之定義及 Westergaard 動水壓力公式解釋如下：

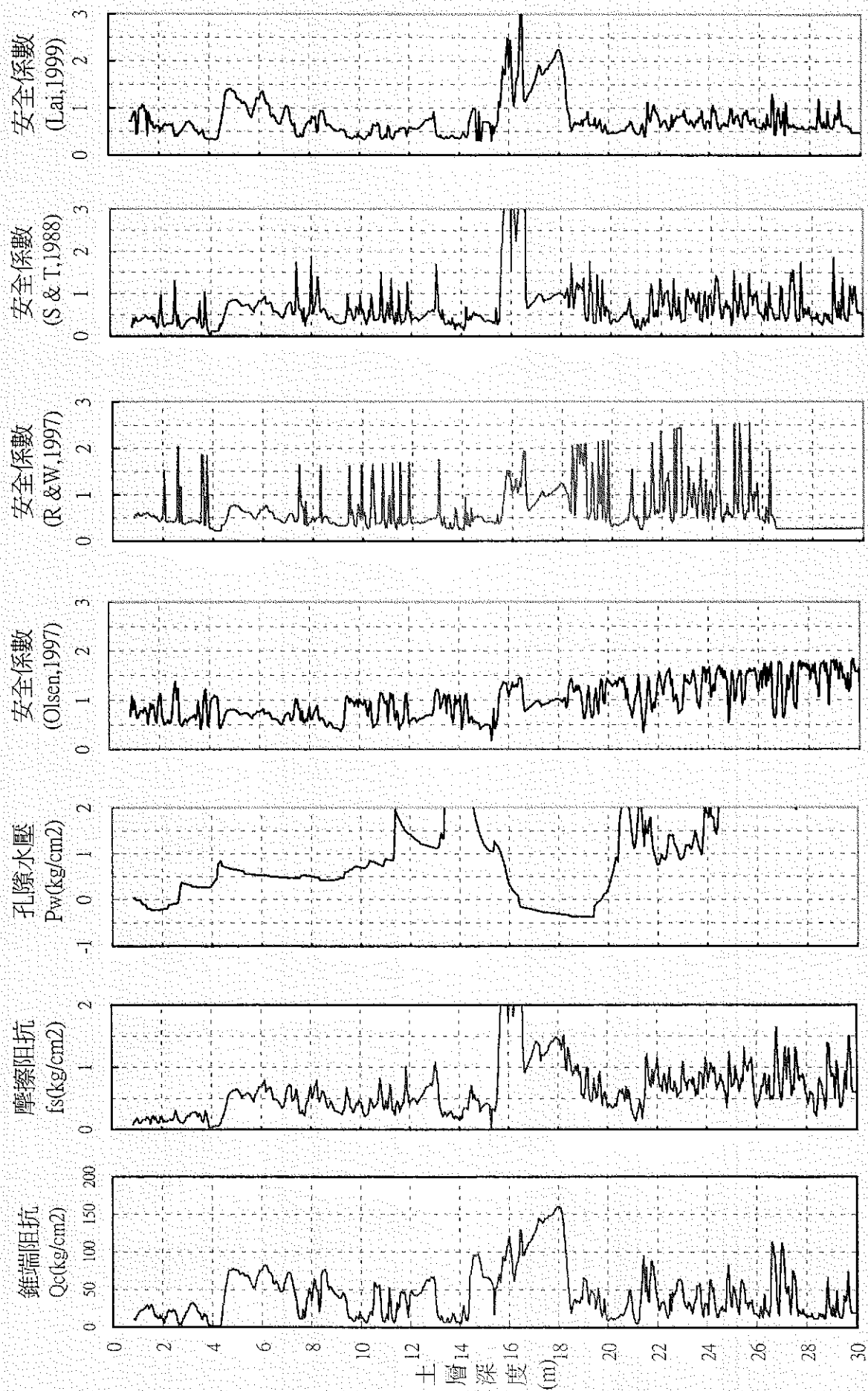


圖4-27 布袋港CPT-HI-2孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.33g)

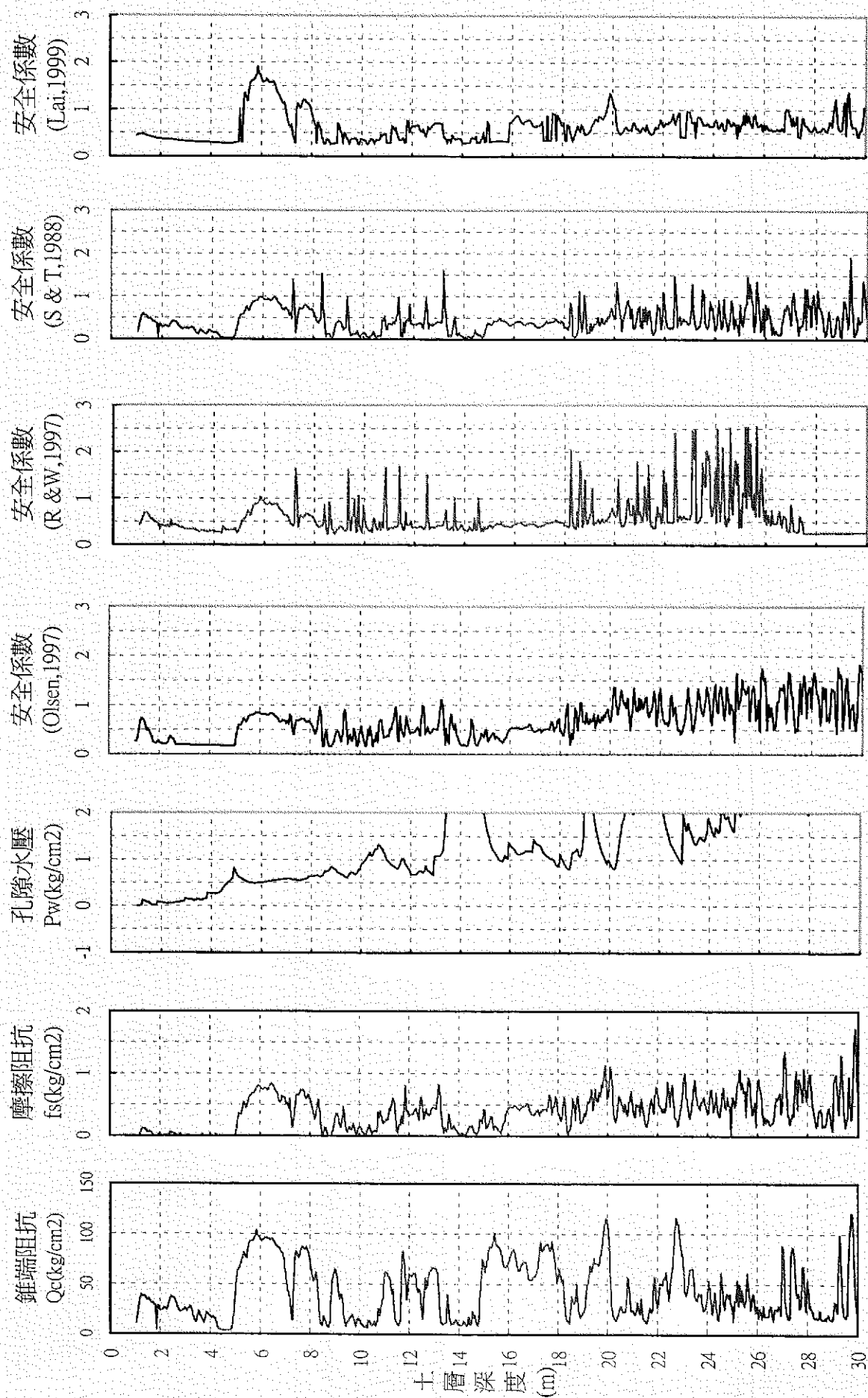


圖4-28 布袋港CPT-HI-3孔液化潛能評估結果(M=7.1, $A_{max}=0.33g$)

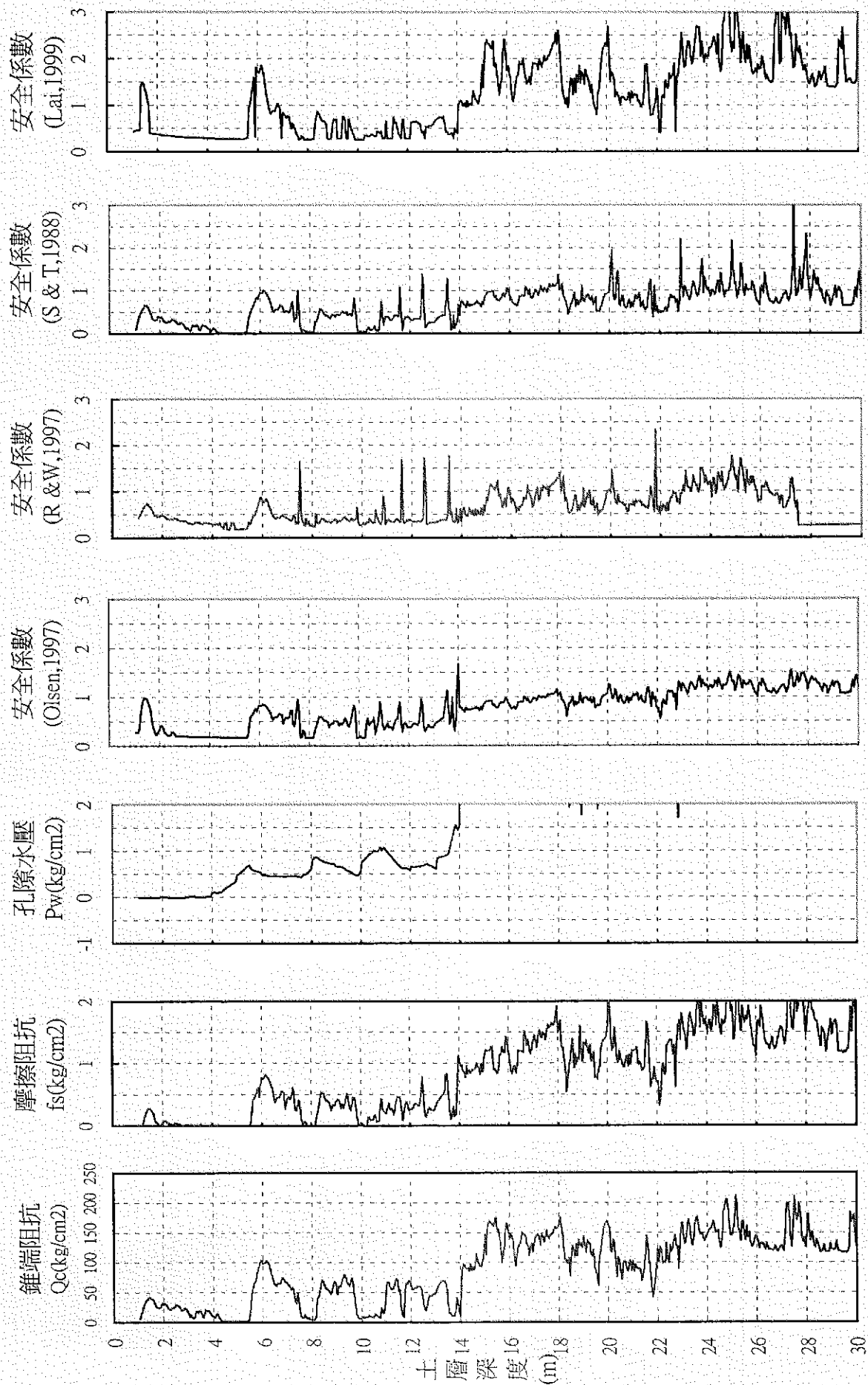


圖4-29 布袋港CPT-HI-4孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.33g)

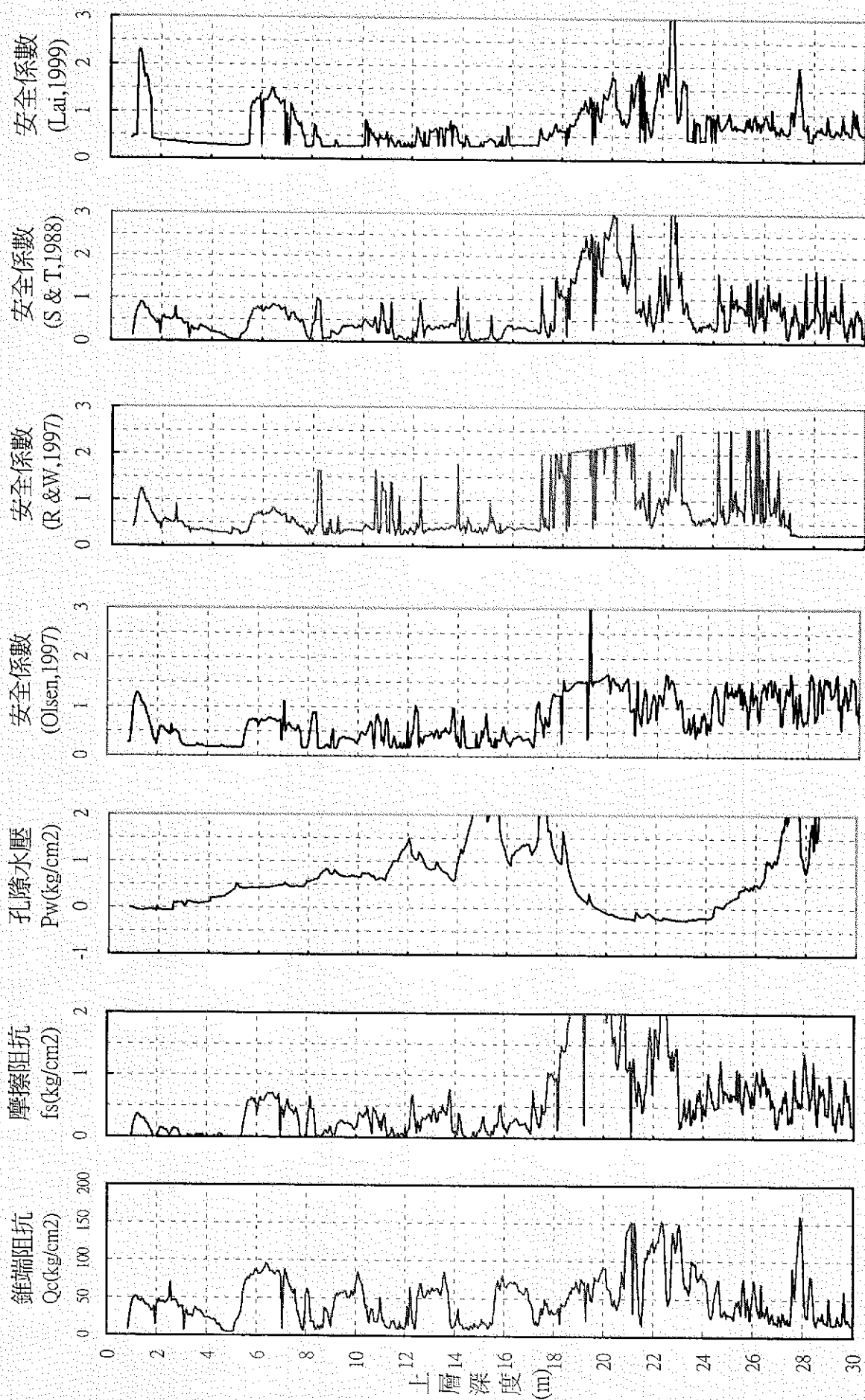


圖4-30 布袋港CPT-H2-1孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.33g)

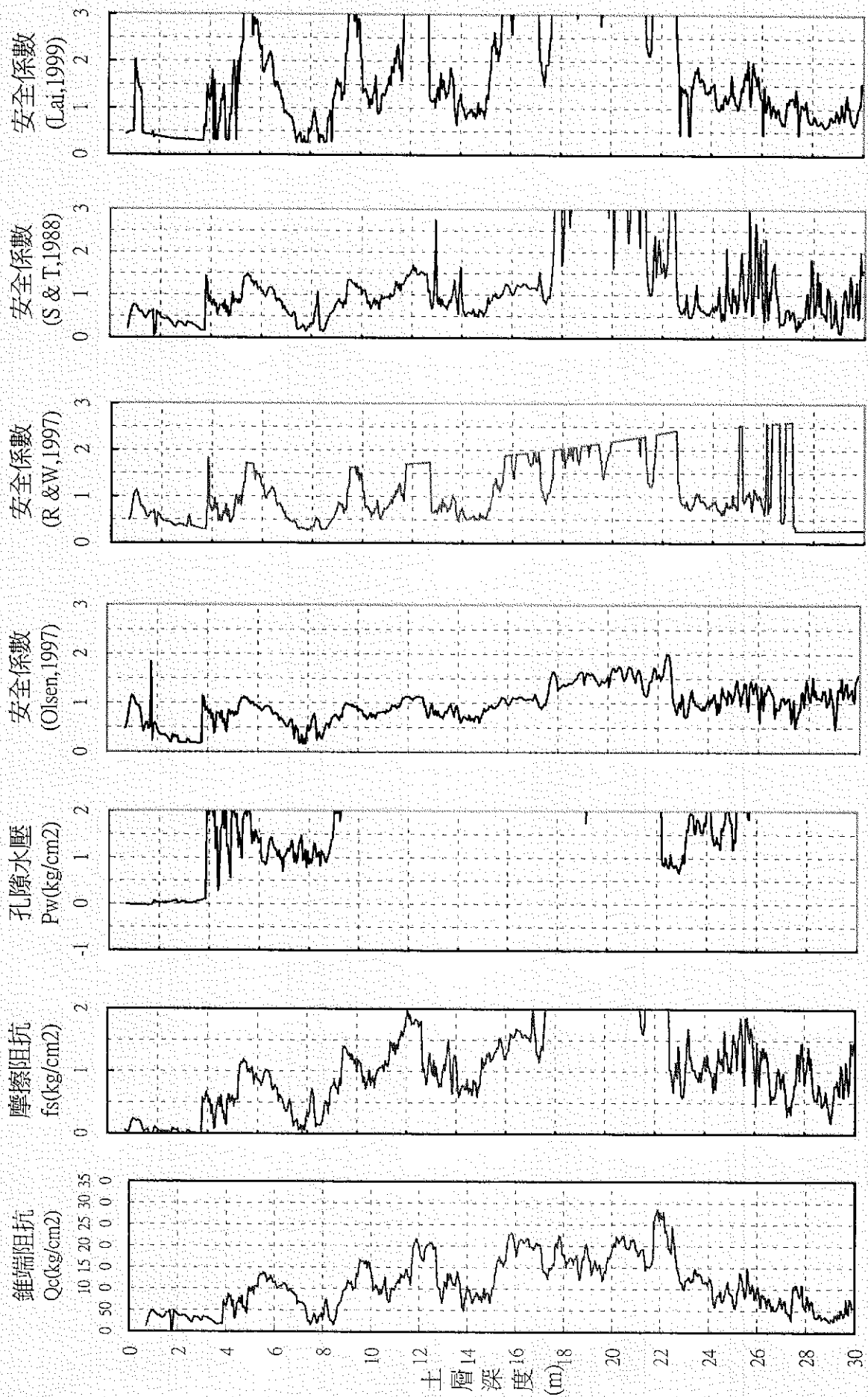


圖4-31 布袋港CPT-H2-2孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.33g)

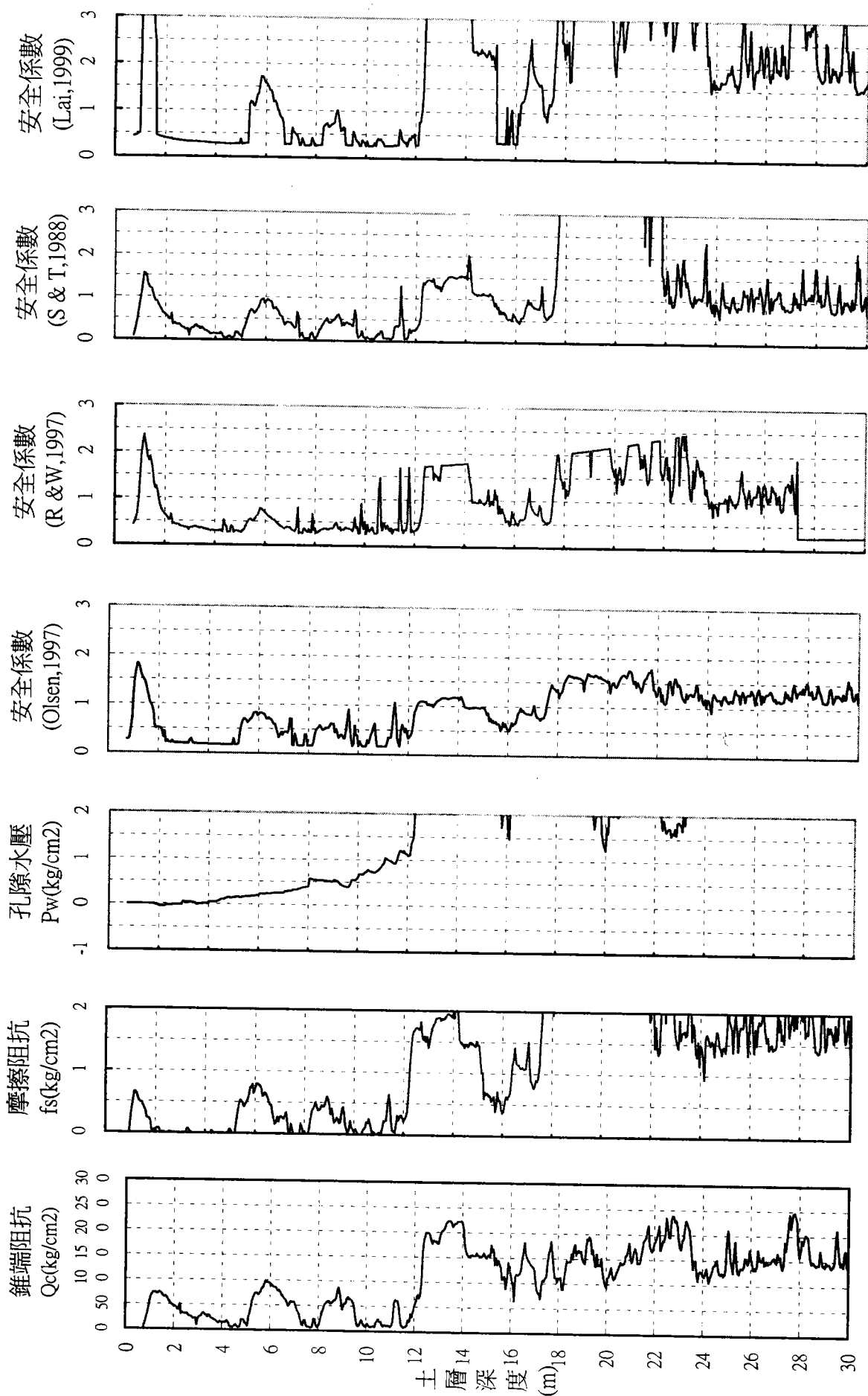


圖4-32 布袋港CPT-H2-3孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.33g)

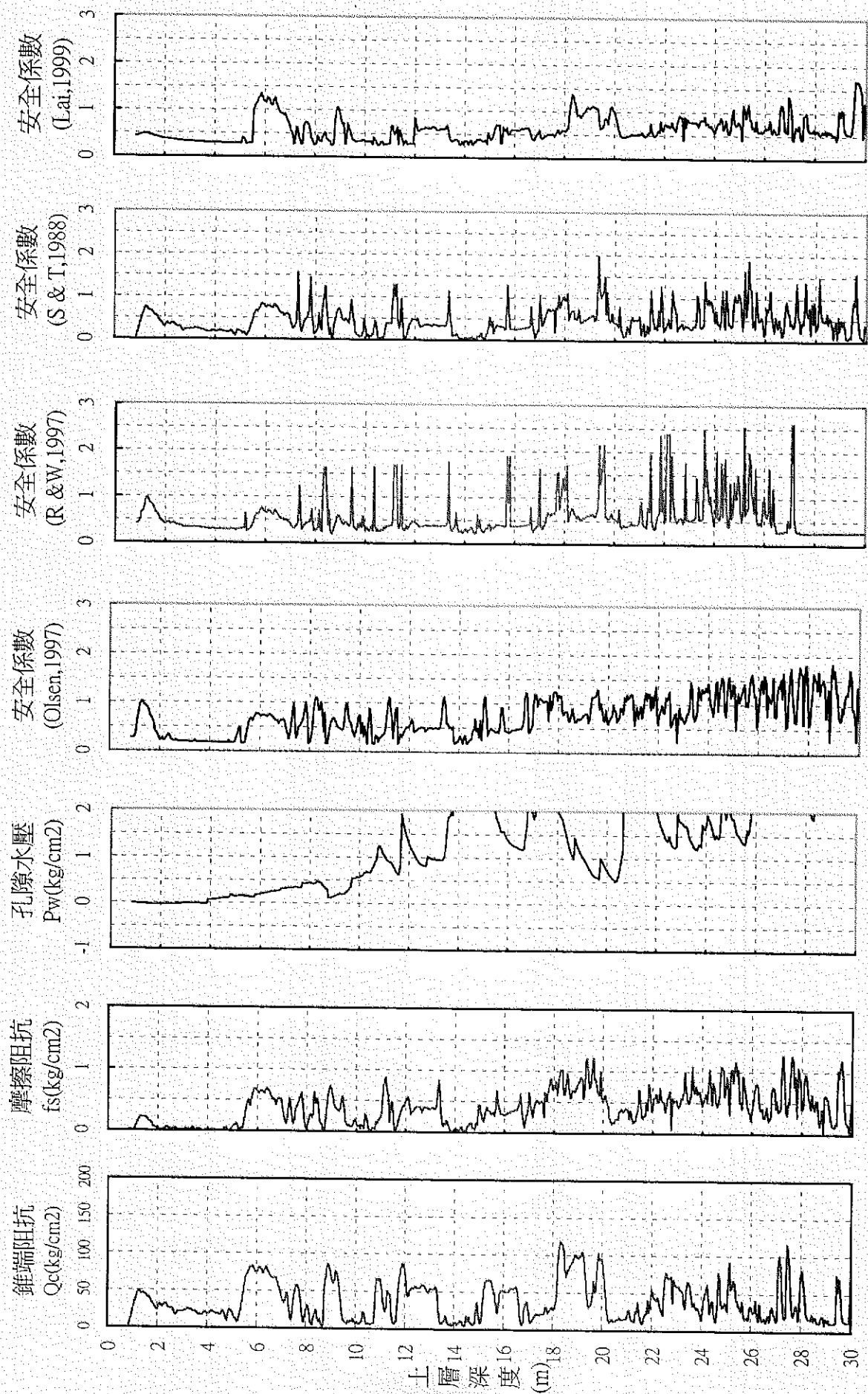


圖4-33 布袋港CPT-H2-4孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.33g)

表 4-3 液化分布高程(PGA=0.33g)

孔號	液化深度分布(EL.m)				液化危害指數(IL)			
	O L S E N R 1997	W 1997	S & T 1988	L A I 1999	O L S E N R 1997	W 1997	S & T 1988	L A I 1999
H 1 - 2	0~-27.5	0~-30	0~-30	0~-15.4 -18.2~-30	24.17	42.78	44.33	30.31
H 1 - 3	0~-30	0~-30	0~-30	0~-30	50.20	46.37	54.64	43.90
H 1 - 4	0~-22.8	0~-22.8 -26.3~-30	0~-30	-1.8~-14	49.20	50.50	56	42.36
H 2 - 1	0~-18 -21~-30	2~-17.8 -21~-30	0~-18.1 -21.2~-30	0~-30	50.44	46.71	54.34	47.32
H 2 - 2	0~-17.5 -22.8~-30	0~-15.2 -22.8~-30	0~-17.2 -22.6~-30	-1~-5 -7~-8.9 -26~-30	29.61	28.57	29.04	23.57
H 2 - 3	0~-17.5 -6.8~-12	-2~-12.3 -15.2~-17.5 -27.4~-30	-2~-12.3 -15~-17.5 -22~-30	-1.8~-12 -15.2~-16.2	45.24	41.68	47.59	40.57
H 2 - 4	0~-30	0~-30	0~-30	0~-30	48.83	50.52	57.38	48.53

註: IL>15 嚴重液化; 5<IL<15 中度液化; IL<5 輕微液化

1. 液化時增加之超額孔隙水壓力

所謂液化是指土壤中之超額孔隙水壓上升至與原來土壤之有效應力相等時，因此液化時增加之超額孔隙水壓力即為原來土壤之有效應力，如圖 4-34 所示。其合力及作用點位置如下式：

$$P_{LW1} = \frac{1}{2} \times \gamma' \times h \times h \dots\dots\dots(4-13a)$$

$$h_{LW1} = \frac{2}{3} \times h \dots\dots\dots(4-13b)$$

式中 γ' ：液化砂土層在水中單位體積重量 (t/m^3)

h ：液化砂土層厚度

h_{LW1} ：液化時增加之靜水壓力合力作用點與水面距離

2. 液化動流體壓力

液化動流體壓力，由下式及圖 4-34 所示，以 Westergaard 之動水壓力公式計算之。

液化砂土層動流體壓力之合力及其作用點位置如下式：

$$P_{LW2} = \frac{7}{12} \times a_{\max}/g \times \gamma_{\text{sat}} \times h^{1/2} \times y^{3/2} \dots\dots\dots(4-14a)$$

$$h_{LW2} = \frac{3}{5} \times h \dots\dots\dots(4-14b)$$

式中 $a_{\max}$ ：地表最大加速度(g)

γ_{sat} ：液化砂土層之飽和單位體積重量 (t/m^3)

y ：殘留水位與動流體壓力作用深度

h_{LW2} ：液化砂土層動流體壓力合力作用點與水面距離

4.7 液化防治之地盤改良範圍

液化防治之地盤改良範圍，依據日本沿岸開發技術研究(1997)及日本土質工學會(1993)之建議，如圖 4-35 所示，其地盤改良範圍如下式：

$$L = H \times \tan(45^\circ - 1/2 \times \phi) + H \times \tan(30^\circ) \dots\dots\dots(4-15)$$

式中 L ：地盤改良範圍(m), 即圖 4-35 之 ED

H ：港灣構造物之深度(m), 即圖 4-35 之 EF

ϕ ：土層之抗剪摩擦角

假設 $\phi=30^\circ$, 則 $L=1.155H$

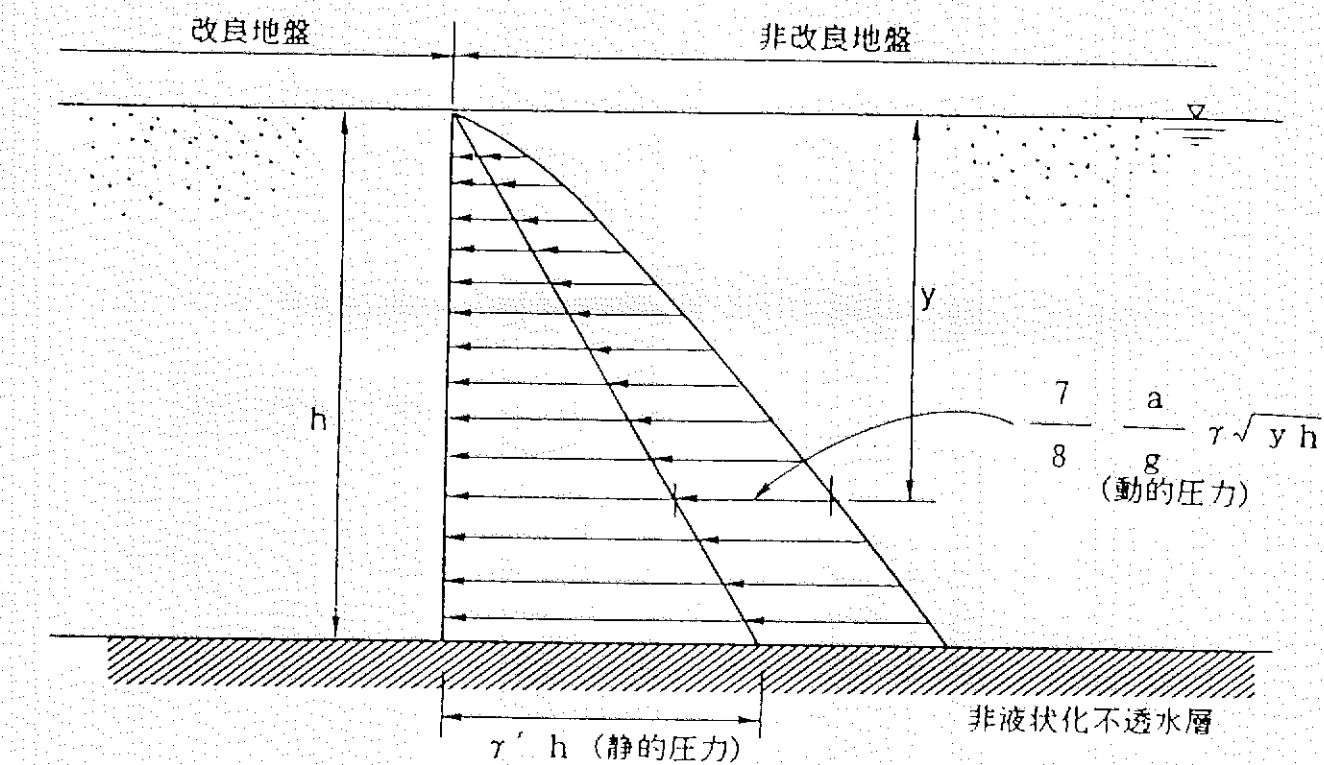


圖 4-34 液化砂土層之側壓力

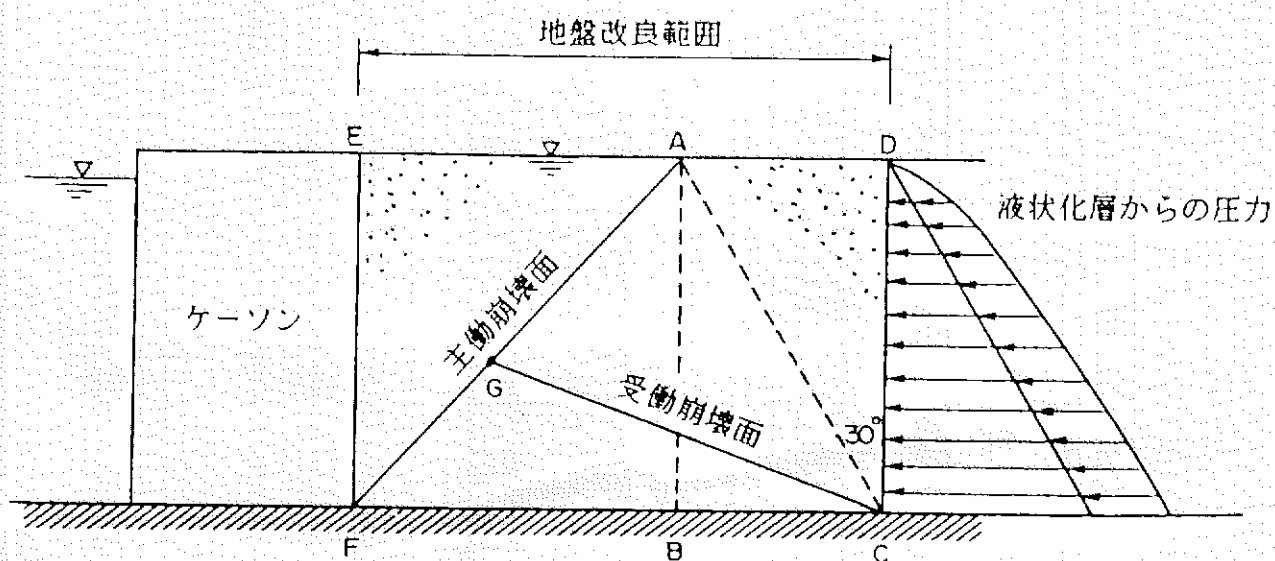


圖 4-35 港灣構造物後側砂土層液化防治之地盤改良範圍

第五章 監測系統安裝與量測結果分析

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，設置一組 300M 之下陷監測井，其位置如圖 5-1 所示，由於 300M 之監測井，於 89 年 5 月安裝完成後才開始量測，所得資料有限，因此本章之地層下陷與水壓監測系統安裝與量測分析，皆以 200M 之監測井為依據。

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，其位置亦如圖 5-1 所示，監測井之座標如表 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，現就其內容概述如下：

- (1) 電磁場式分層沉陷觀測井 1 孔，其深度為 200M，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，沉陷計感應環安裝深度如表 5-2 所示。

- (2) 電子式水壓計觀測井 2 孔

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、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。

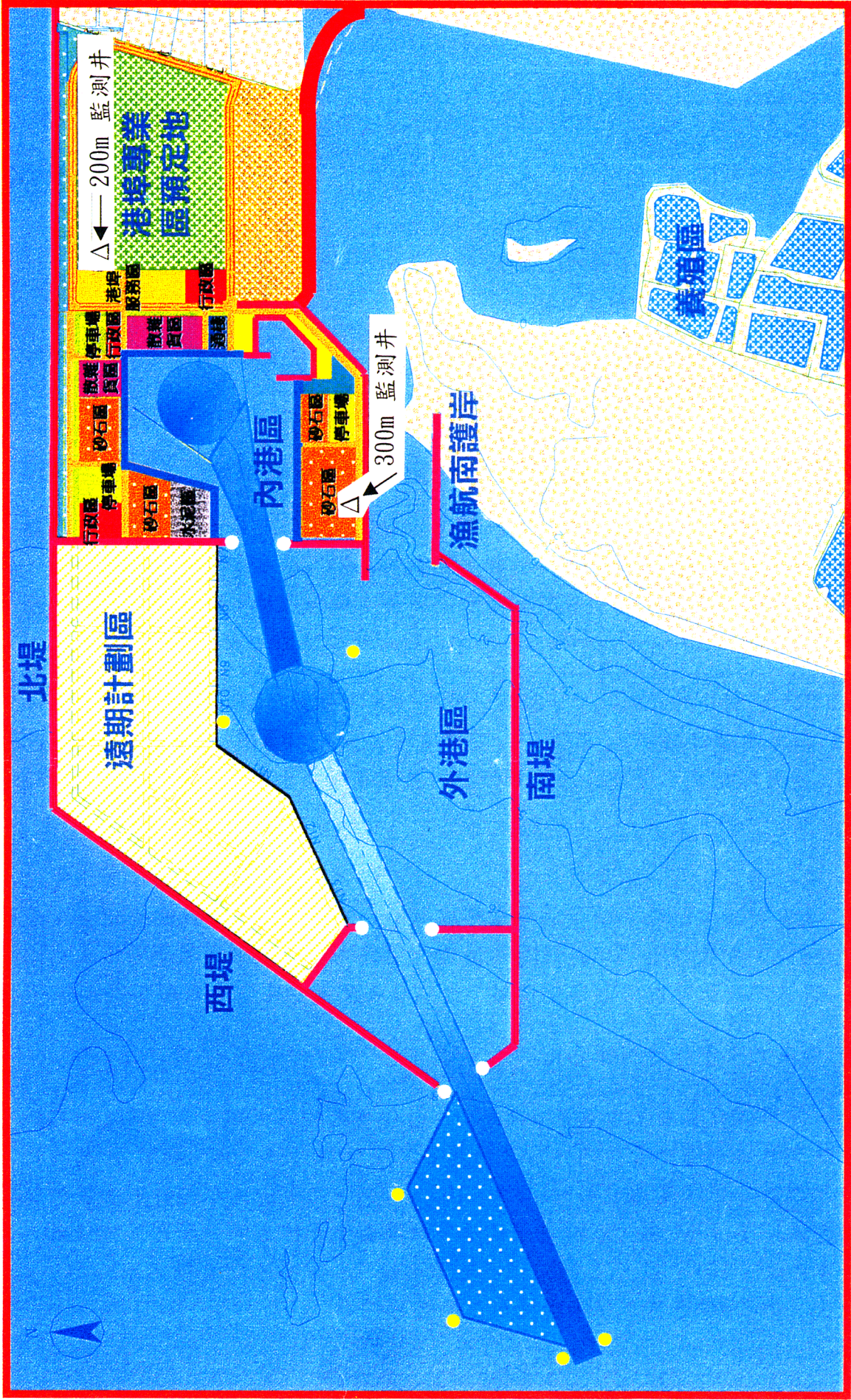


圖 5-1 布袋港地層下陷監測井位置圖

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

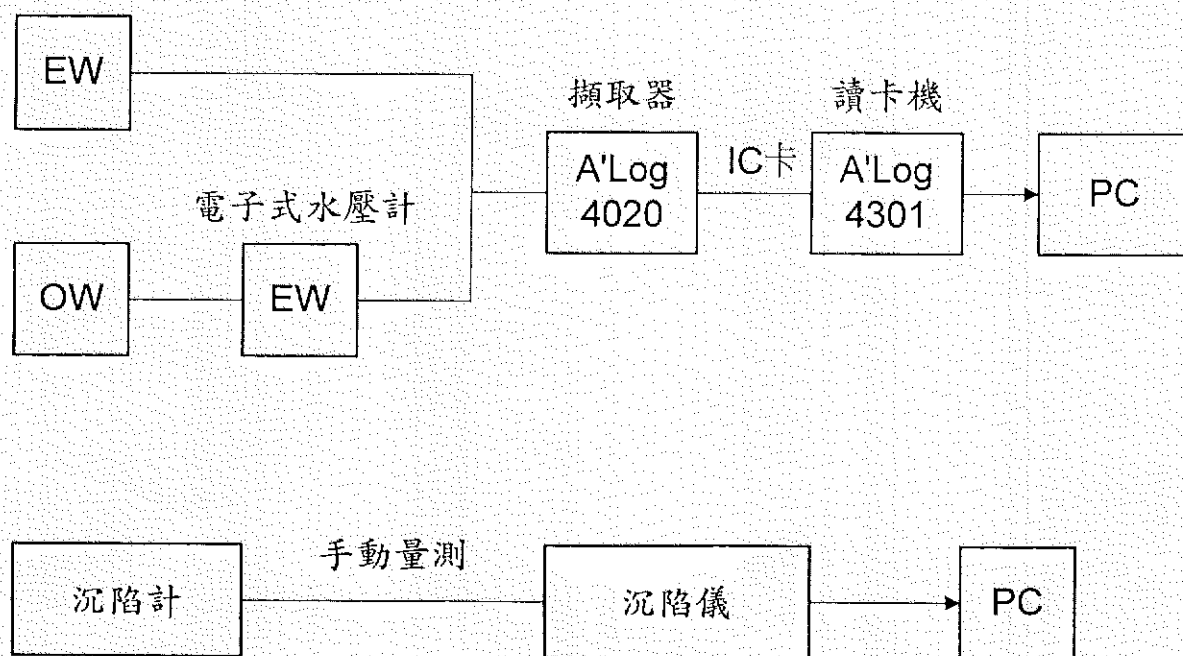


圖 5-2 系統儀器架構流程圖

表 5-2 沉陷計感應環安裝深度一覽表

序 號	埋設深度(m)
S1	8.262
S2	15.7775
S3	29.633
S4	40.5855
S5	55.548
S6	65.563
S7	75.514
S8	85.469
S9	100.4705
S10	110.4515
S11	120.4515
S12	130.7385
S13	140.441
S14	157.4565
S15	170.4380
S16	180.6975
S17	190.4455
S18	200.4735

水壓計安裝深度如表 5-3 所示。

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 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 及 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 耐水壓型水壓計

表 5-3 地下水壓觀測站水壓計埋設資料表							
儀器編號	原廠編號	埋設深度	記錄器編號	初值(飽和)	校正係數	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
		143M				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

- (1) 因本地區位於海濱附近及鑽孔深度為 200M，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 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。
- (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。

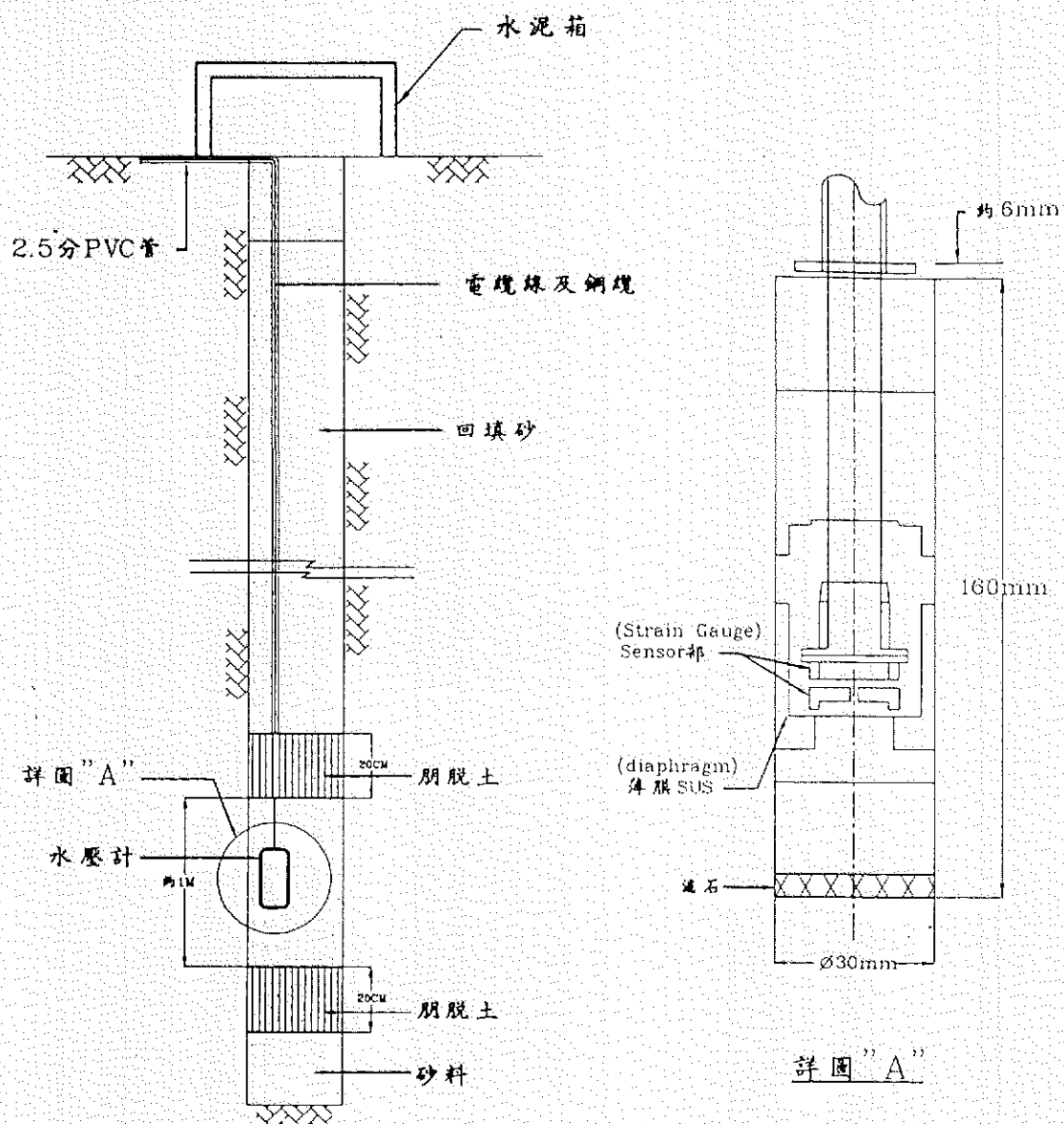


圖 5-3 電子式地下水壓計安裝示意圖

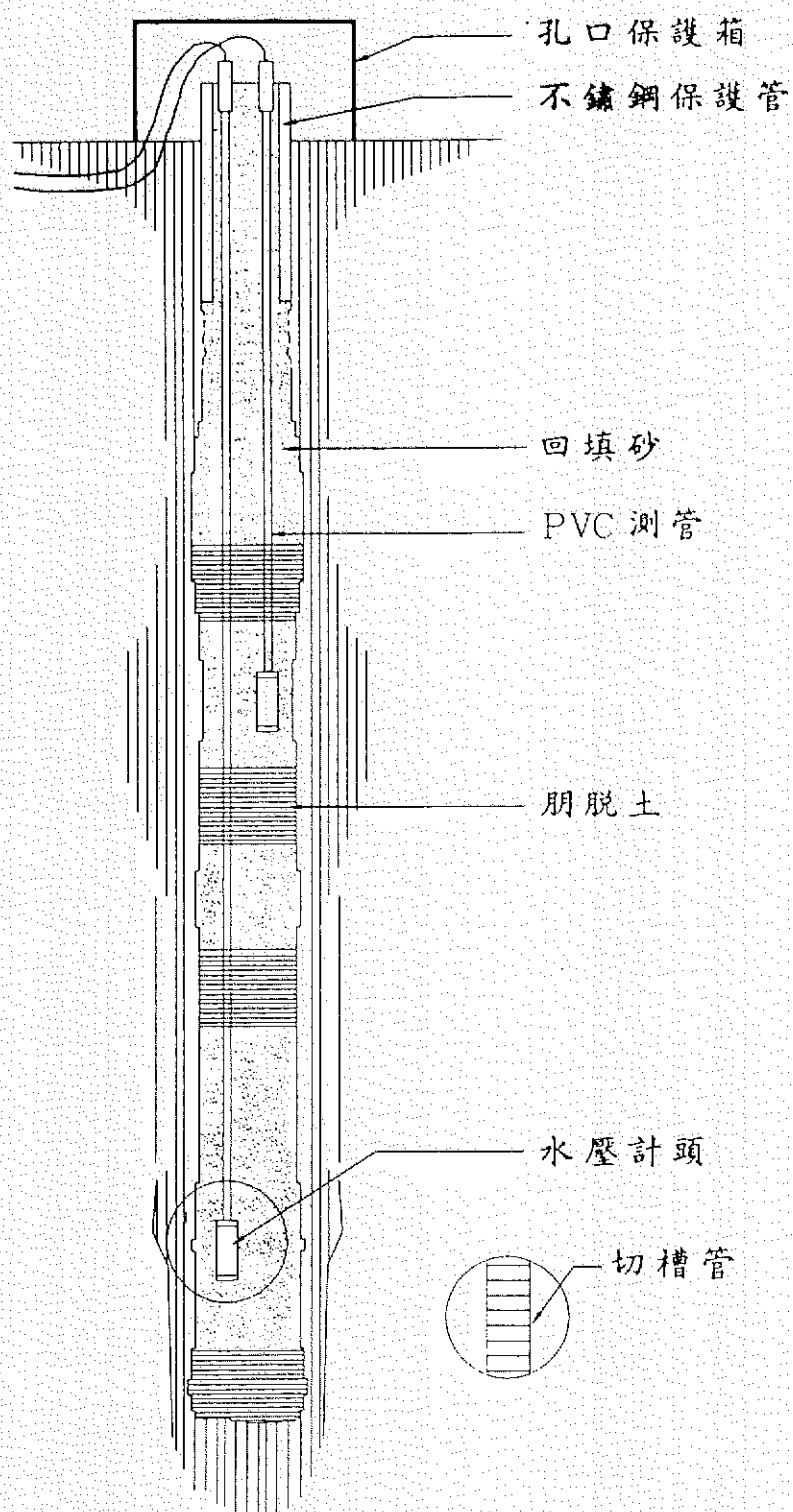


圖 5-4 開口式水壓計安裝示意圖

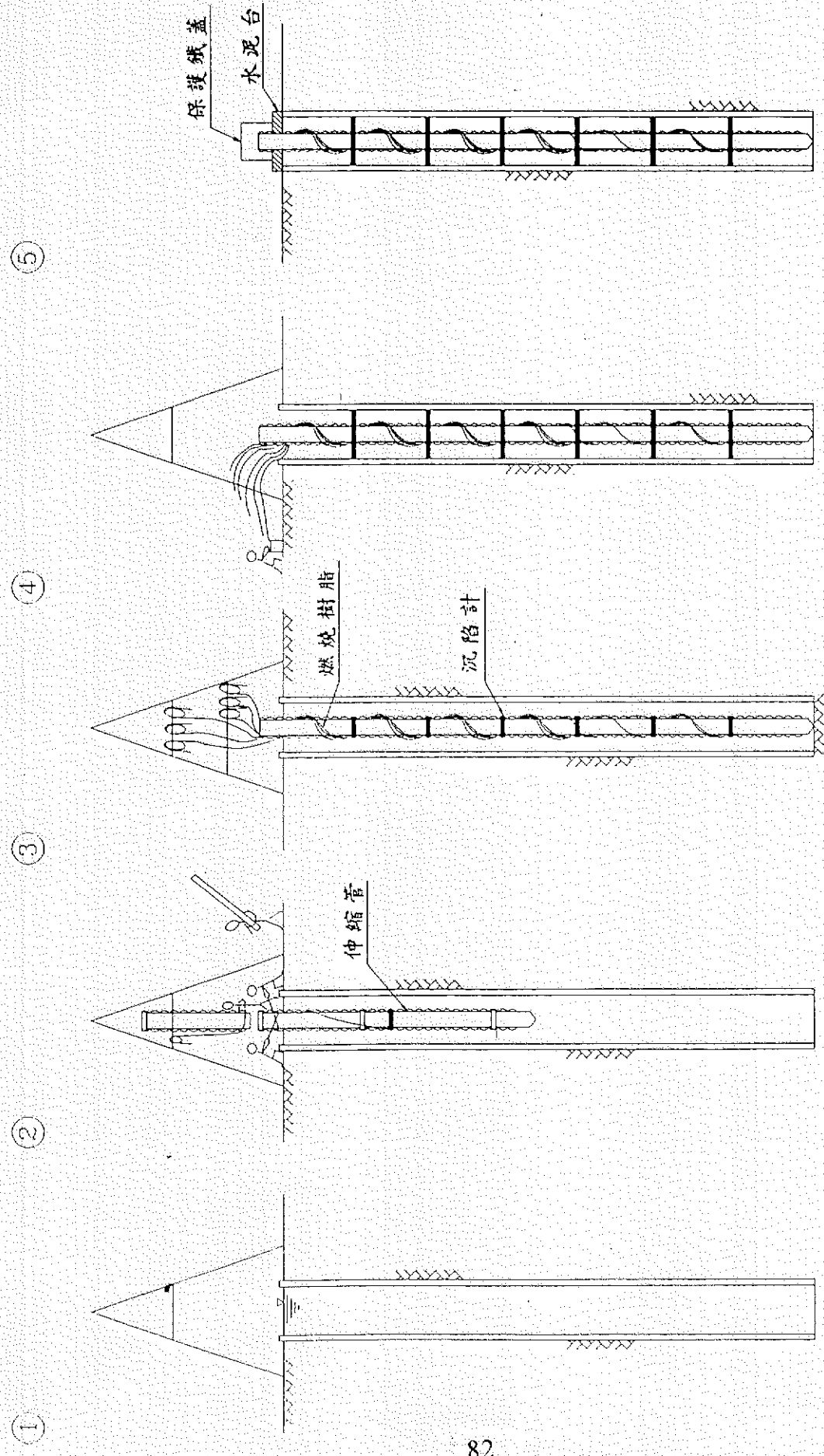
- (4) 待量測井依秩序完成後，再利用燃燒樹脂機打開磁環，使安卡可順利固定於土壤上，便可進行回填工作，回填原料以河砂，慢慢回填以防崩孔造成量測管損害，所有作業完成後便可進行孔口保護台及洗孔作業，並待測孔穩定後可做初值設定。
- (5) 安裝示意圖如圖 5-5、5-6 所示。

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。
- (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) 灰色沉泥質細砂(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。



鑿井完成圖 沉陷計下管圖 沉陷計下管完成圖 沉陷計安卡打開圖 儀器安裝完成圖

圖 5-5 沉陷計安裝示意圖

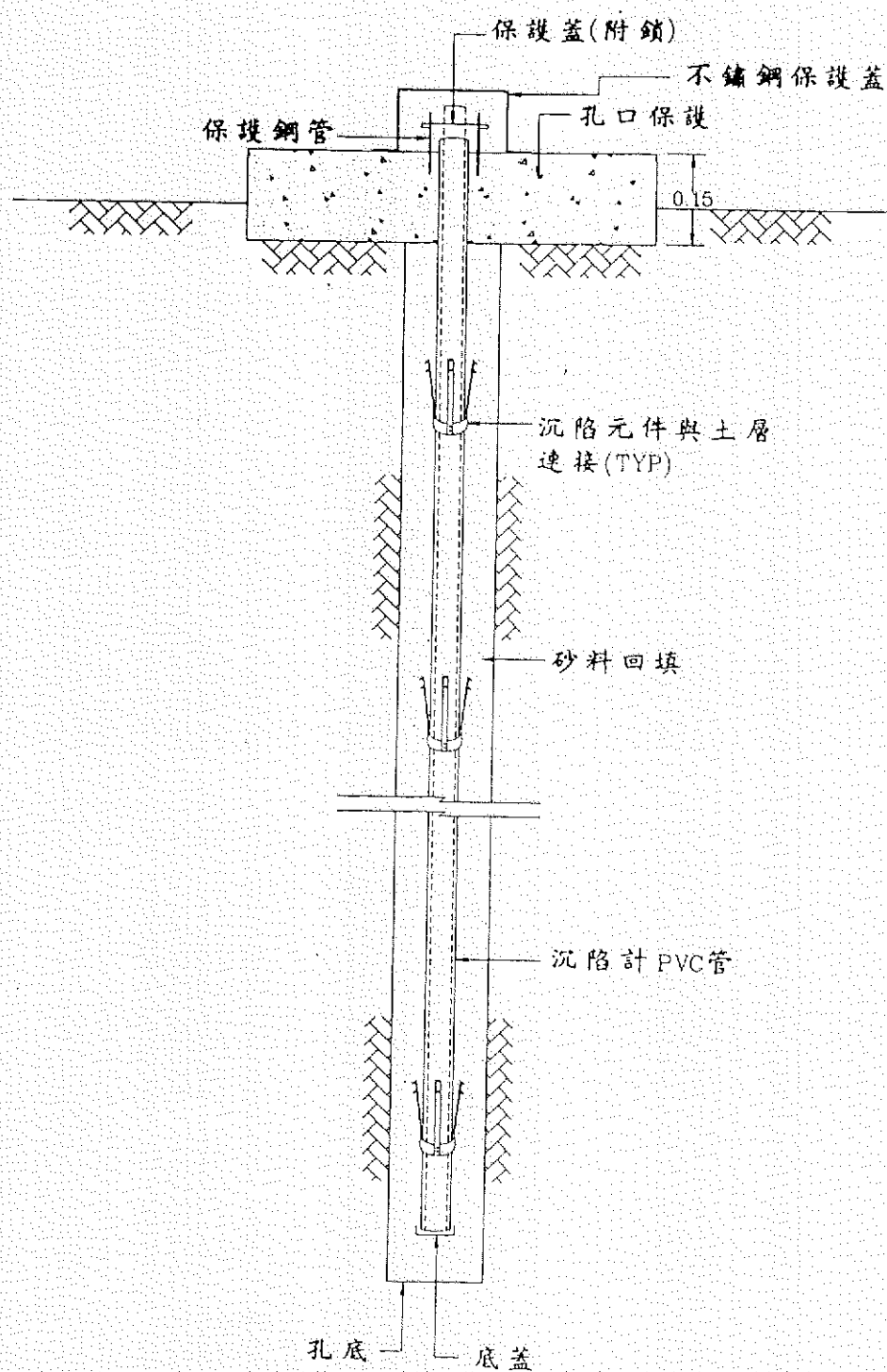


圖 5-6 磁感式層別沉陷計安裝示意圖

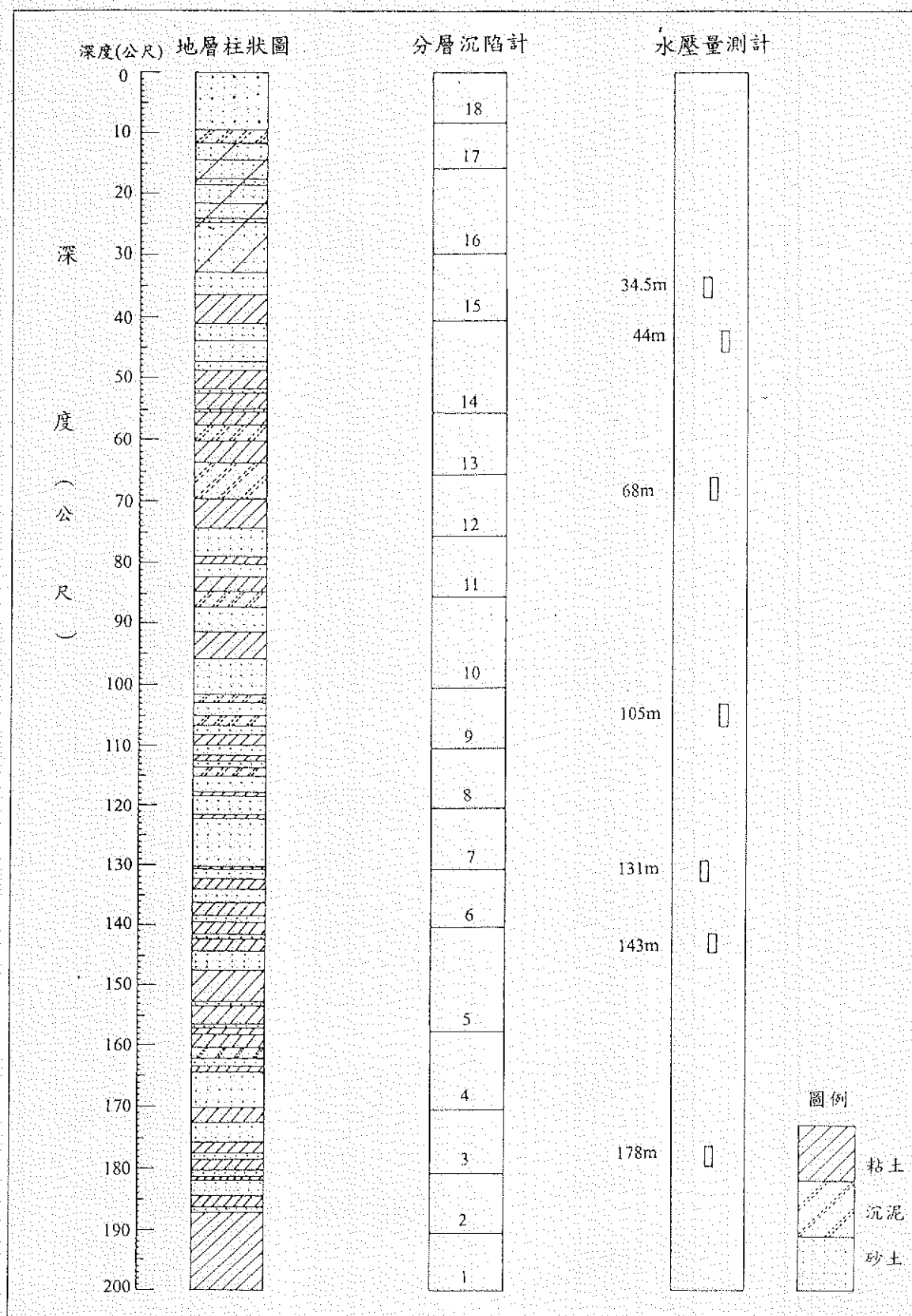


圖 5-7 布袋港分層沉陷及水壓量測觀測站地層柱狀圖

- (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)灰色砂質沉泥(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沉泥(CL~ML)：約分佈於地表下深度 33.0~81.2m。

(5)色細砂(SM)：分佈於地表下 81.2~92.0m。

(6)青灰色粘土至砂質沉泥層(CL~ML)：分佈於地表下 92.0~101.0m。

(7)青灰色沉泥質細砂(SM)：分佈於地表下 101.0~107.0m。

(8)灰色泥質粘土至砂質沉泥(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沉泥(CL~ML)：分佈於地表下 133.0~141.6m。

(11)灰色沉泥質細砂(SM)：分佈於地表下 141.6~162.0m。

(12)灰色沉泥質粘土至砂質沉泥(CL~ML)：分佈於地表下 162.0~176.5m。

(13)灰色沉泥質細砂(SM)：分佈於地表下 176.5m~189.0m。

(14)灰色沉泥質粘土至砂質沉泥(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。

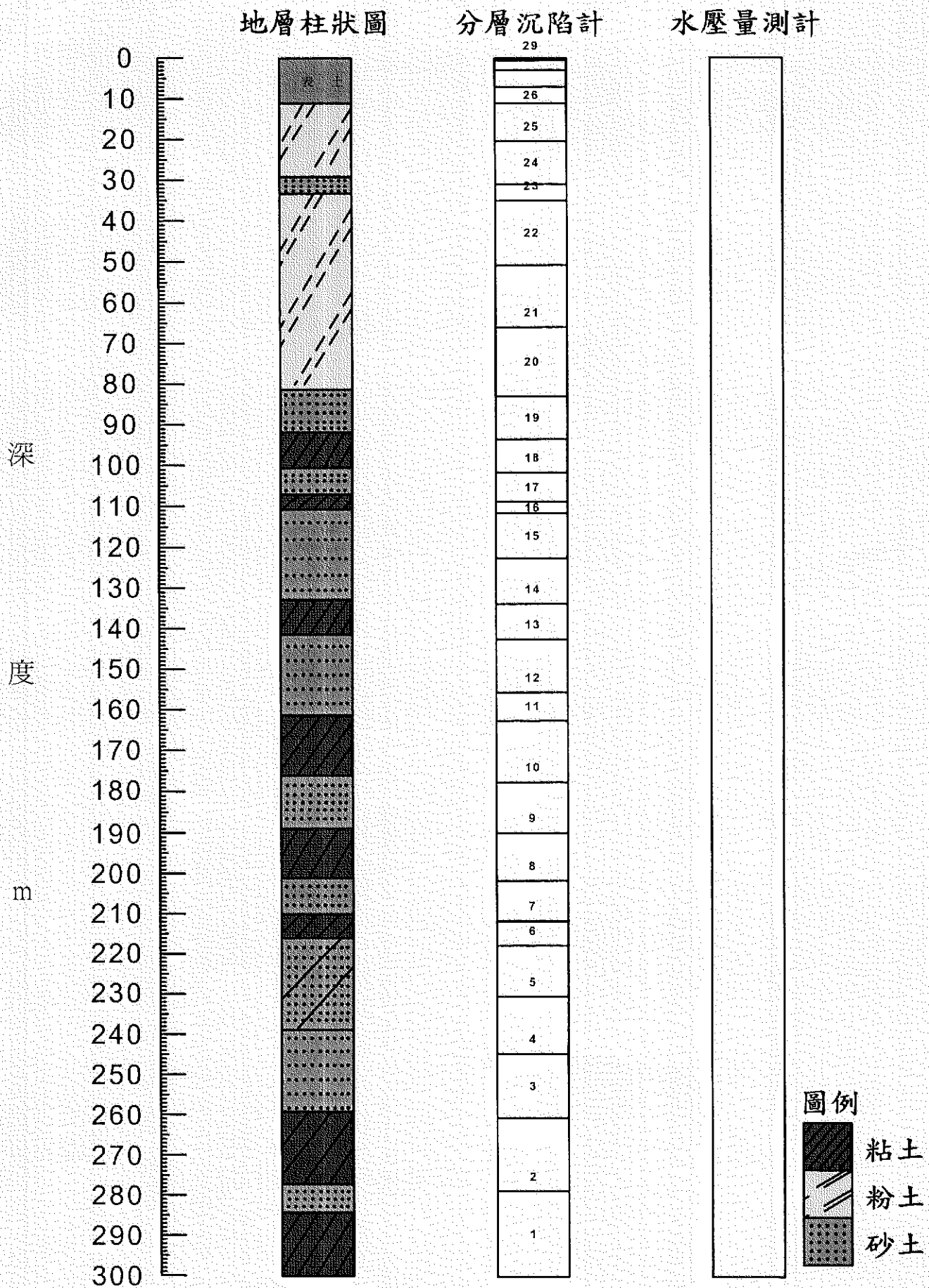


圖 5-8 布袋港鑿井沉陷井觀測站地層柱狀圖(300 公尺)

(17)灰色泥質細砂夾粘土(SM+CL)：分佈於地表下 216.0~239.0m。

(18)灰色沉泥質細砂(SM)：分佈於地表下 239.0~259.0m。

(19)灰色粘土至砂質沉泥(CL~ML)：分佈於地表下 259.0~277.0m。

(20)灰色沉泥質細砂(SM)：分佈於地表下 277.0~284.4m。

(21)灰色粘土至砂質沉泥(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 15 日、87 年 6 月 15 日至 8 月 15 日、87 年 12 月 25 日至 88 年 1 月 20 日，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 5-12 顯示：34m 處之水位變化介於 -3~-3.7m 之間反復性之震盪，並無多大變化；44m 處之水位，除了 86 年 7 月至 87 年 3 月時，水位較低為 -6.5~-7.4m 外，其餘時期水位僅在 -5.5~-6.5m 之間反復震盪；

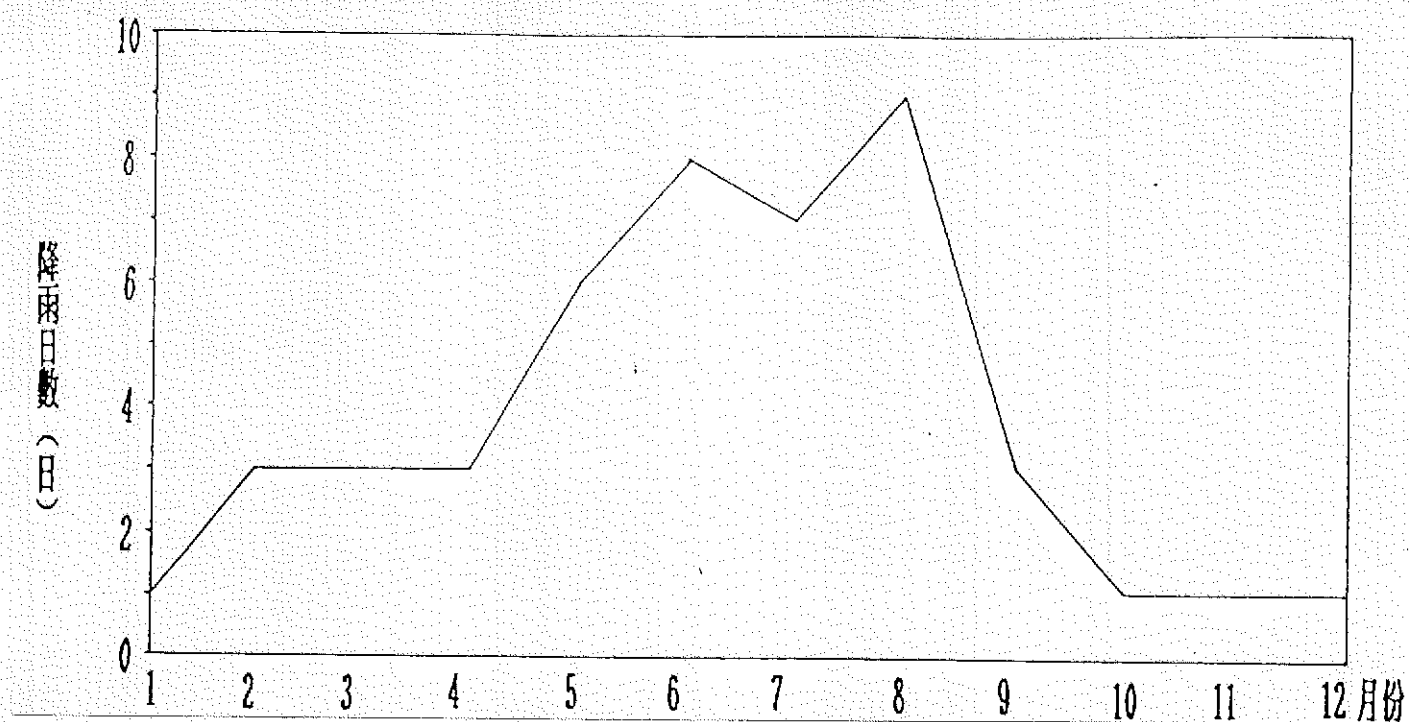
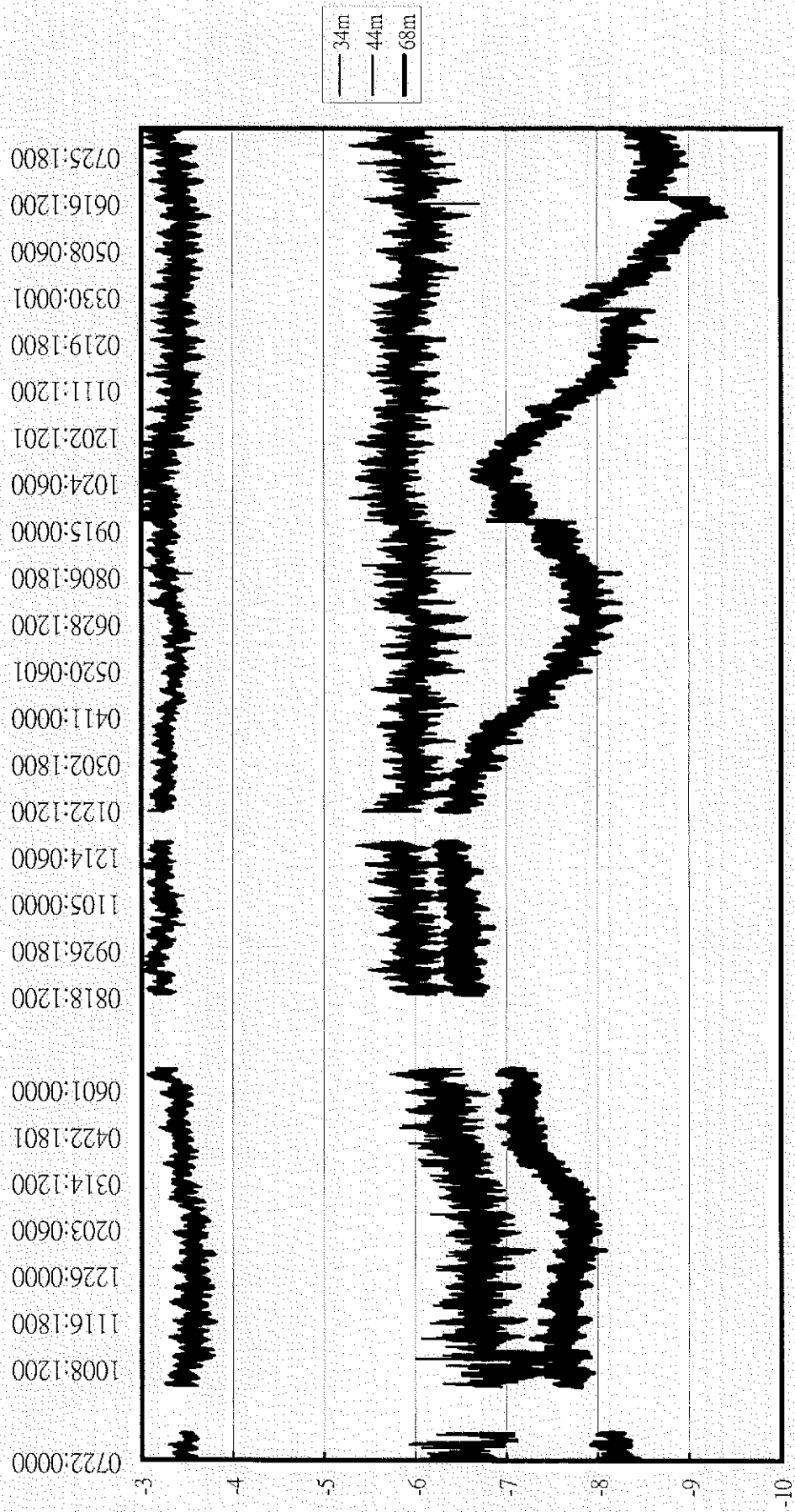


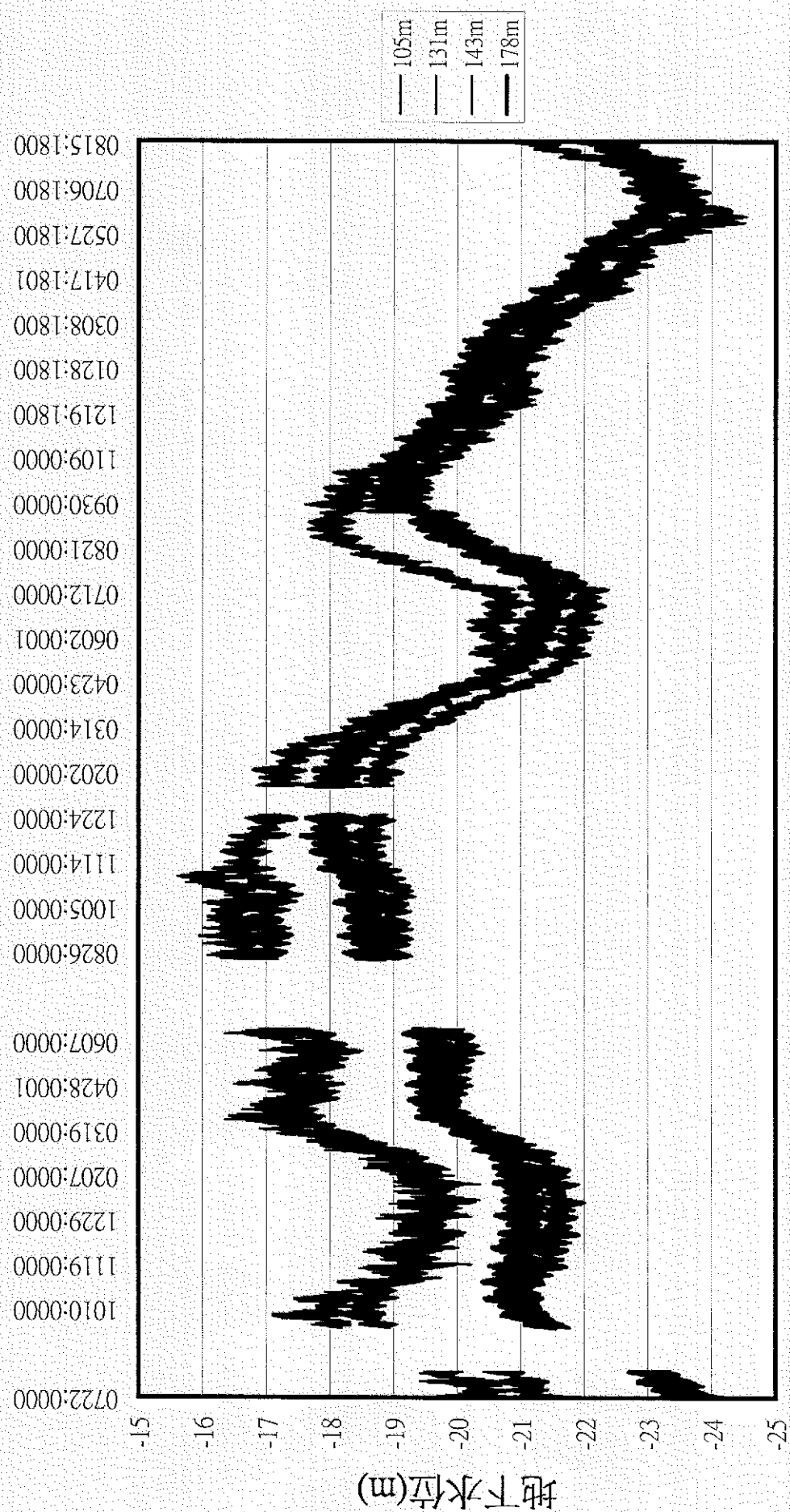
圖 5-9 布袋地區月平均降雨日數($\geq 10\text{MM}/\text{日}$ 1976~1985 年)

地下水位(m)



日期(86/7/22--89/8/16)

圖5-10 布袋港淺層水位變化(自記式)



日期(86/7/22--89/8/16)

圖5-11 布袋港深層水位變化(自記式)

布袋港分層水位變化(手動量測)

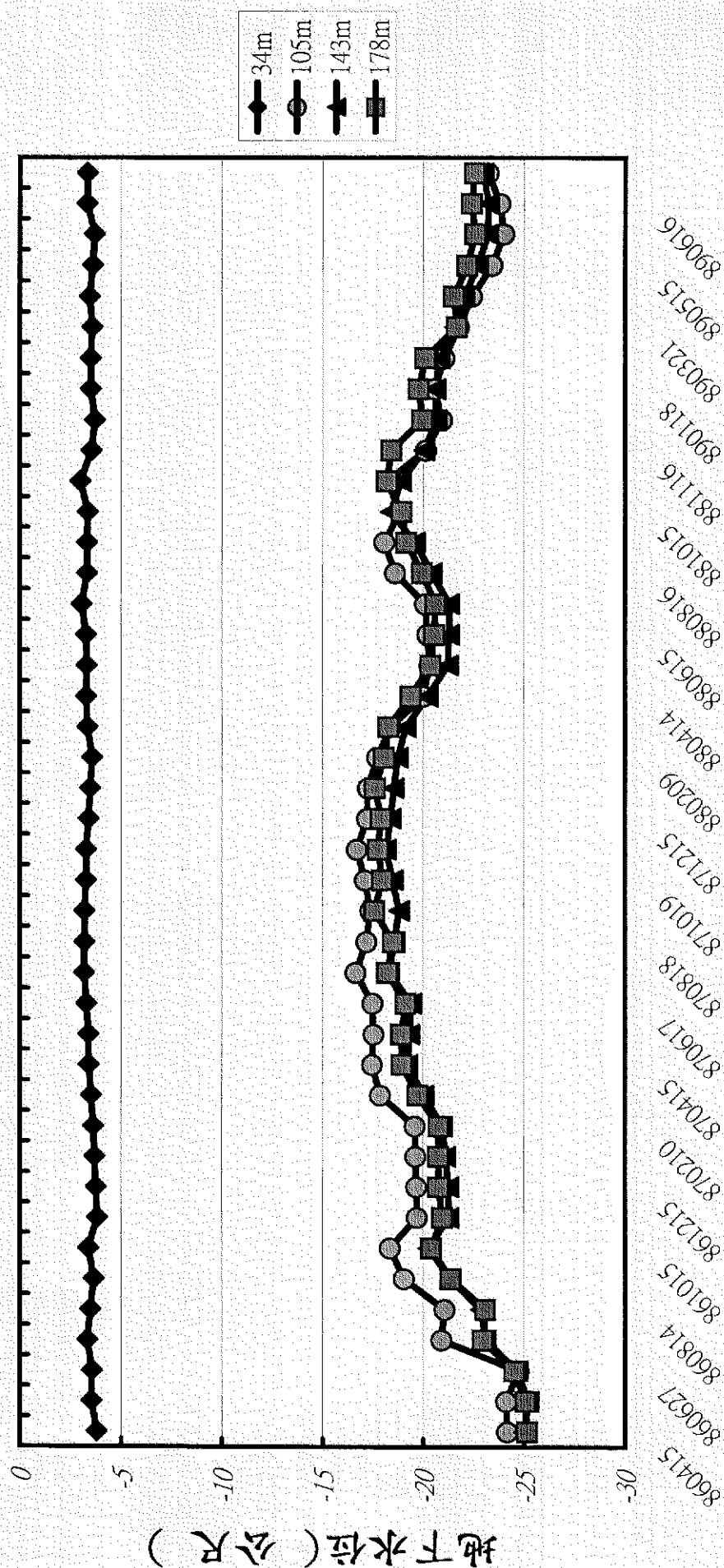


圖5-12 布袋港分層水位變化(手動量測)

68m 之水位介於-6.5~-9.0m 之間，其中 87 年聖嬰年雨量較豐，全年水位較高，88 年 3~6 月及 88 年 10 月~89 年 5 月雨量較少時，水位漸漸降低，88 年 7~9 月及 89 年 6~8 月雨量較豐時，水位又漸漸上升。

由圖 5-11 及圖 5-12 顯示：105m 處之水位變化極大，最高水位-16.2m，最低水位-24.5m，在 87 年聖嬰年雨量較豐時，水位較高，88 年 3~6 月及 88 年 10 月~89 年 5 月雨量較少時，水位漸漸降低，88 年 7~9 月及 89 年 6~8 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-16m，最低水位可能為-24m，其水位大小及變化與 105m 處水位相當，可見 105m 及 131m 水位是屬於同一含水層。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-17.6m，最低水位為-25m，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 月及 88 年 10 月~89 年 5 月雨量較少時，水位漸漸降低，表示旱季時，超抽地下水較為嚴重。

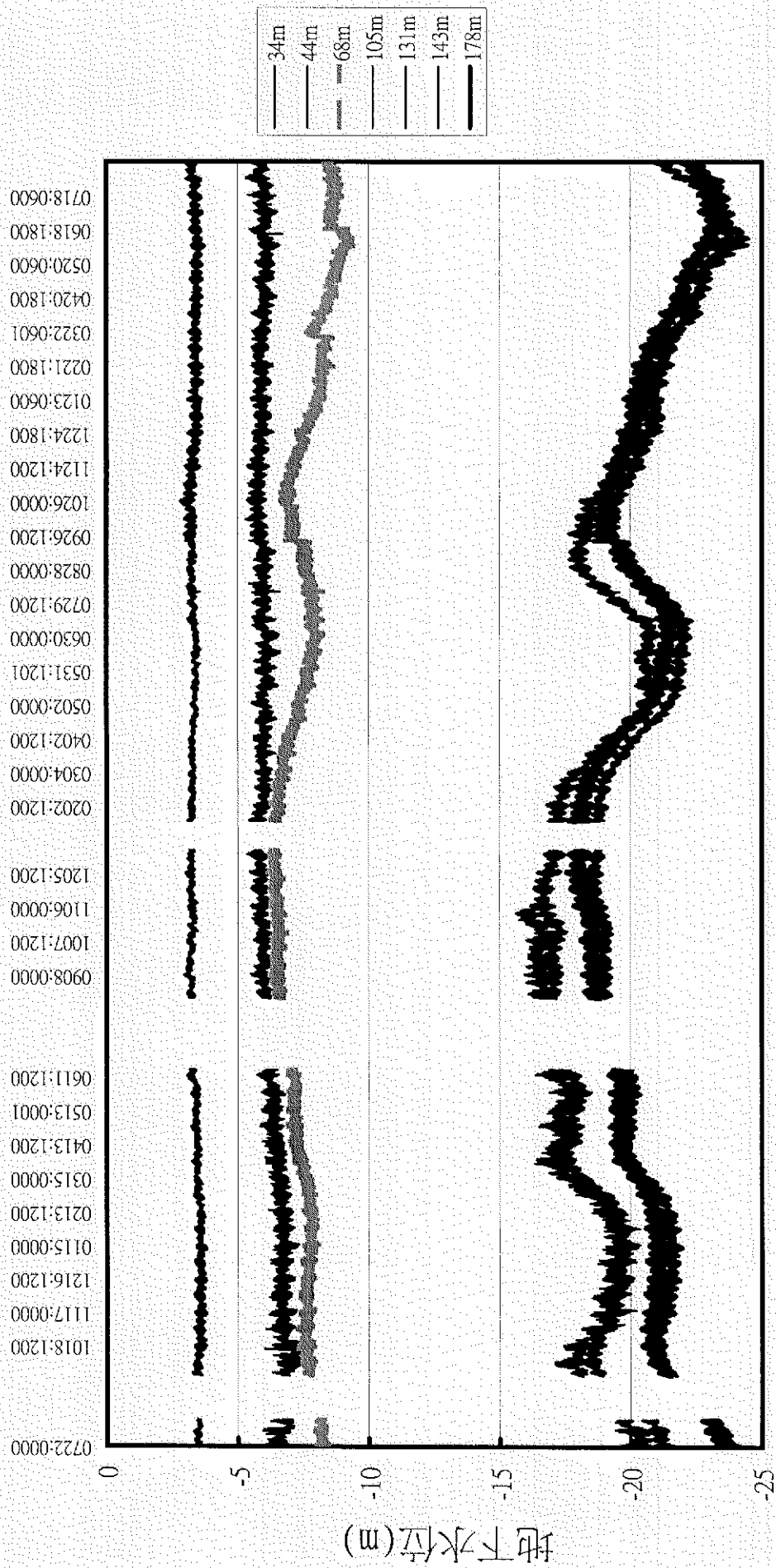
(2) 300m

預計於明(90)年度選擇位於沉陷監測井旁之適當位置安裝數支水壓計，並進行定期量測。

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。



日期(86/7/22--89/8/16)

圖5-13 布袋港分層水位變化(自記式)

圖 5-14 為至民國 89 年 8 月 16 日止，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 5-14 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 170~180m 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 5-15 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 5-15 顯示，從 86 年 2 月至 89 年 7 月之 3 年半期間，布袋港地表至 200 公尺間之沉陷總量為 146 公厘，而其中 140~200m 之沉陷量 67mm，約佔總沉陷量之 50%，由此資料顯示，布袋港之沉陷屬於深層沉陷，且較 200m 更深之處仍可能有沉陷發生，因此布袋港之總沉陷量應比監測所量測之壓縮總量還大。

(2) 300m

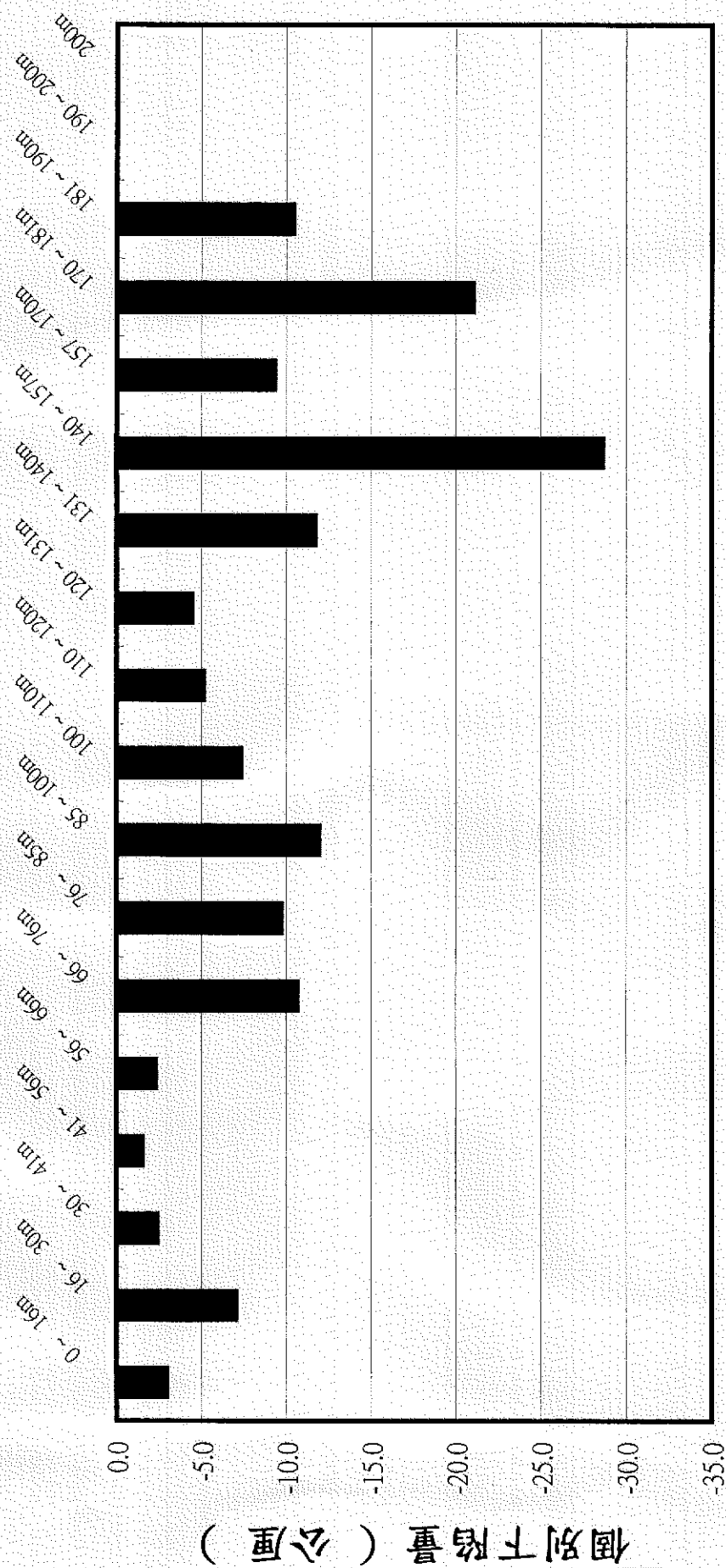
另於商港近南堤之砂石碼頭區，亦完成設置 300 公尺深之地層下陷監測井，分別於深度 0、3、7、11、21、31、35、51、66、83、94、102、109、112、123、134、143、156、163、178、190、202、212、218、231、245、261、279、286m 之位置各安裝一個沉陷磁環，共計 29 個(如圖 5-8)，自 89 年 5 月起每個月之中旬以無線電波監測儀量測各磁環之相對移動量，如圖 5-16、5-17 所示，由圖 5-16 分層觀測圖顯示，89 年 5 月~8 月止，地層沉陷總量約 17.5 公厘，其中以 66~109m 深度之沉陷量 11.5mm 所佔比例最大，如圖 5-17 所示。

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 5-14 及圖 5-15，8m~16m 之

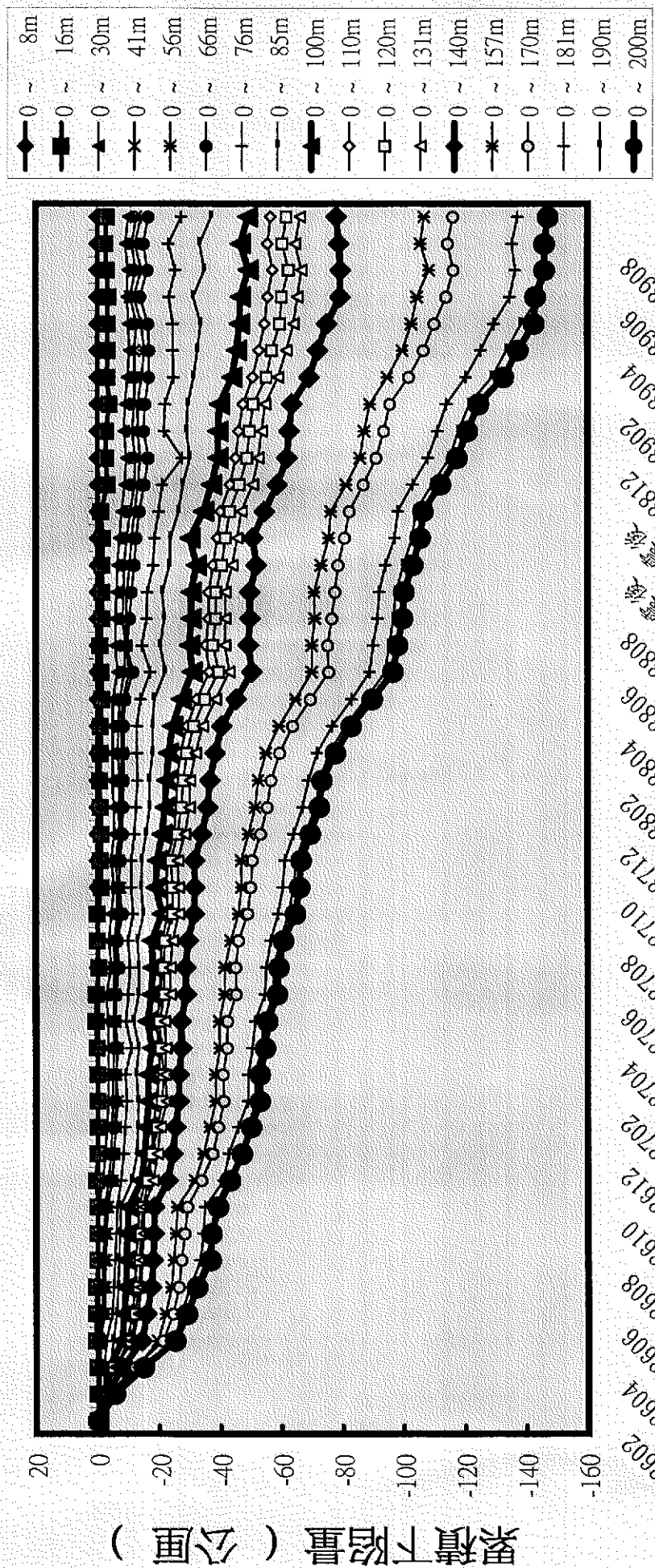
布袋港(200m)分層個別下陷量圖



沉陷磁環深度 (公尺)

圖5-14 布袋港(200m)分層個別下陷量圖

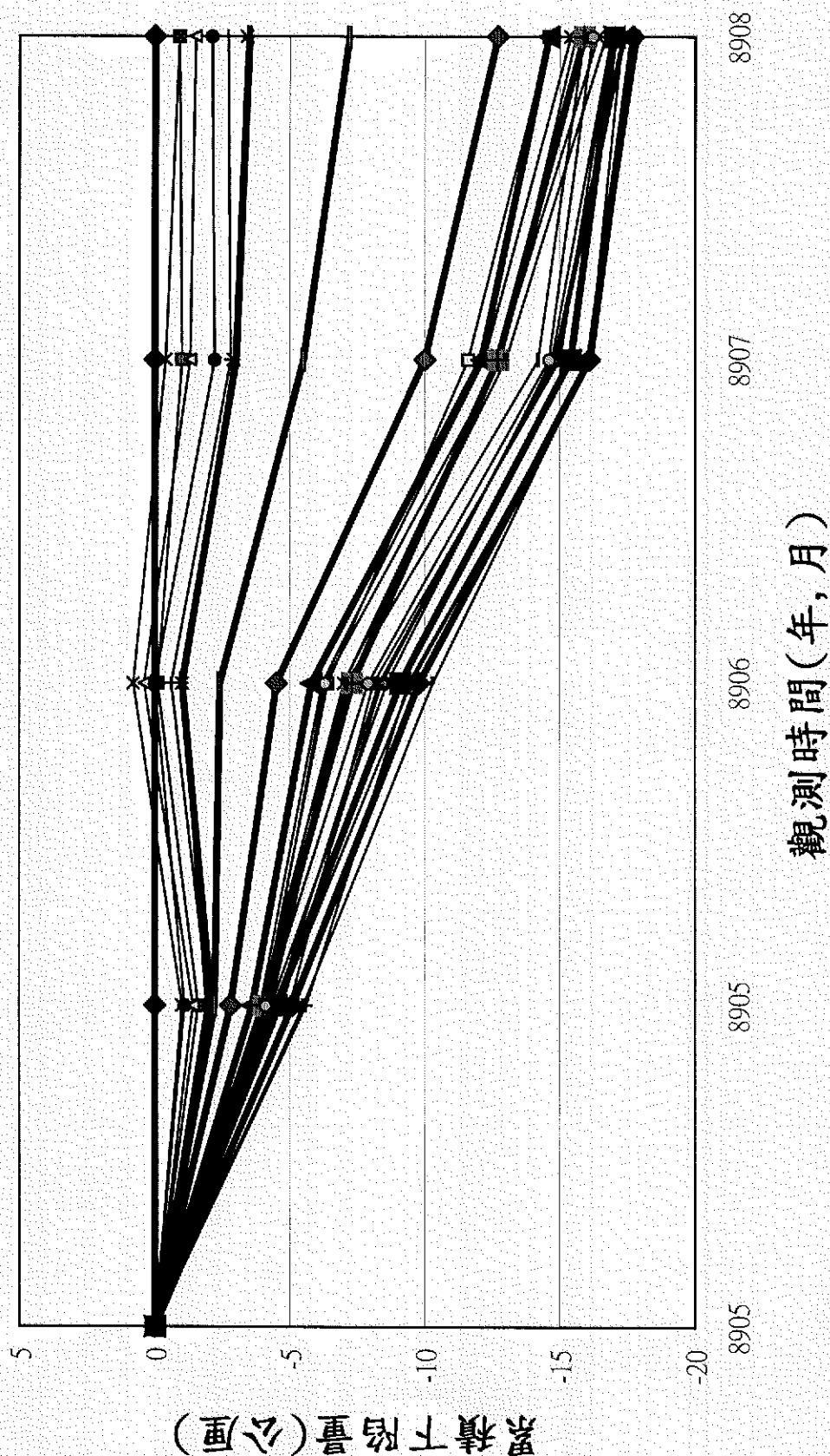
布袋港(200m)地層分層下陷觀測圖



觀測時間 (年,月)

圖5-15 布袋港(200m)分層累積下陷量圖

布袋港(300m)地層分層下陷觀測圖



觀測時間(年, 月)

圖5-16 布袋港(300m)分層累積下陷量圖

布袋港(300m)分層個別下陷量圖

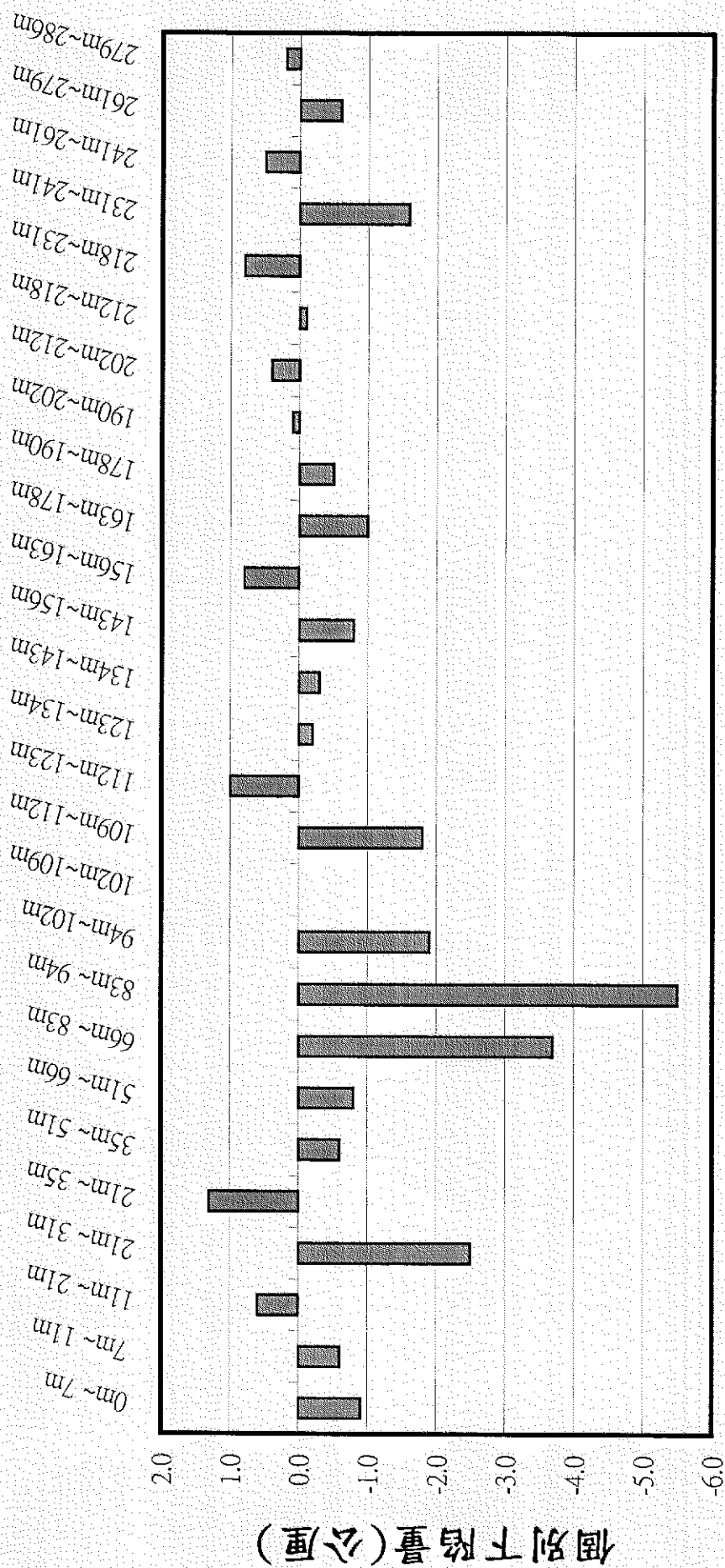


圖5-17 布袋港(300m)分層個別下陷量圖

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 5-15 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 5-15 顯示，140~200m 之沉陷量佔總沉陷量 50% 以上。

(2) 300m

由於 300m 監測井之相關性資料太少，本節則以 200m 深度之分析為主。

表 5-4 嘉義縣布袋等十鄉鎮市各井深水井數量(民國 84 年)

單位：口

井 深 (m) 鄉 鎮 市 別	10 以下	30 10	50 30	80 50	100 80	150 100	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

第六章 布袋港區地表沉陷水準測量

6.1 前言

台灣西部海岸為砂岸，沿海為廣大之沉積性平原。其沿岸港口、海埔新生地、離岸開發區等，幾乎全賴水力回填砂填高造地。而砂岸、沉積性平原與水力回填地之地質特性多為疏鬆軟弱、高壓縮性與不穩定性。

近年沿海地區於經濟發展與民意追逐下，正不斷快速而廣泛開發中。其間衍生之常見問題如下：

- (1) 建物沉陷—指建物相對於基地表之沉陷。多為局部區域之淺層沉陷。係淺層地質軟弱所致。
- (2) 區域沉陷—指區域整體基地表相對於平均海平面之沉陷。
- (3) 區域積水—為區域沉陷、區域排水不良或平均海平面升高所致。
- (4) 海水倒灌—為區域沉陷或平均海平面升高所致。
- (5) 地下水鹽化—為區域地下水位或水壓低於海平面或海水壓，導致海水逆流內陸所致。

其中以 2 至 5 項之問題最為棘手，影響國民生計最大，已為政府與地方積極正視，待以解決之共同問題。本章則以第 2 項為探討主題。

欲瞭解並解決區域沉陷之問題，對水之自然循環移動模式，亦應有一概略之通盤瞭解。故於此特提初簡要之觀念介紹。

有關水之自然循環移動模式，可由圖 6-1 簡要說明之：

6.2 沉陷之一般定義與成因探討

一般探討沉陷之定義，可分建物之沉陷與地表沉陷。建物沉陷係指建物相對於基地表之落差。地表沉陷則為地表相對於平均海平面之落差。

建物之沉陷係因承載建物之地質無法安全承載建物所致，此問題較為單純，可透過適當之結構與土工技術即可解決。地表沉陷之問題則較複雜而棘手，

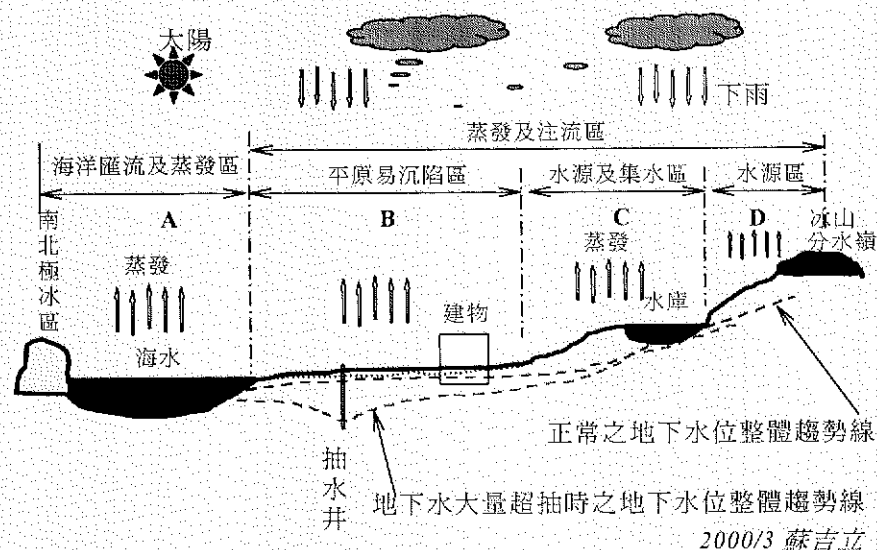


圖 6-1 水之自然循環模式示意圖

特別是廣範之區域沉陷。地層變動為造成區域沉陷之因素，而平均海平面升高，致使海水倒灌及區域排水困難，則為區域沉陷之假象，非真實之地表沉陷，應為不同之探討方向。

本文主要探討為地層變動造成之區域沉陷。地層變動引致沉陷之原因可分自然與人為：

1. 自然因素：

- (1) 地層之正常壓密：可預估及防患，通常為一定時間之行為。
- (2) 地殼變動：如火山爆發、造山運動、板塊運動等。無法預期與控制。
- (3) 地層之溶蝕：如石灰岩地質因地下水流動而溶解。
- (4) 地震。

2. 人為因素：

- (1) 石油、天然氣與礦產之開發使地層應力變化。
- (2) 地下水與砂之抽取，增加原有之壓密效應與速率。
- (3) 地表載重增加。
- (4) 地表過份開發，地下水正常之注流失調。

6.3 布袋港區地表沉陷現地調查分析

6.3.1 區域相關環境

布袋港區域沉陷探討之範圍將含蓋；北至東石南至八掌溪東至台 1 線道西至海岸。然本研究計劃主要調查目地則為布袋港區。

布袋港區域離岸北面有外傘頂洲，北與東石港同處朴子溪口南面，而南臨八掌溪口，目前沿岸海平面及兩溪下游河川之水位多高於陸表，故沿溪兩岸均築有堤防，區內主要排水溝則以水門及抽水設施輔助區內排水及預防海水倒灌，新開發地及建物設施則以提高基地盤高程因應之。

區內及相鄰四週台 19 線道以西之土地利用，幾乎為鹽田及養殖魚池所包圍。布袋港屬砂岸，為人造港。全區位處沉積性平原，整體地層構造為砂、沉泥質砂與粘土等互層，深度達 300m 以上。

6.3.2 區域歷史沉陷狀況

綜合歷年(81-86 年)相關單位之調查文獻顯示，布袋港區鄰近四週之沉陷狀況；以北面之東石港沉陷最為嚴重，敖鼓及港區至新塭一帶次之，若以敖鼓→東石→布袋→新塭為中心帶，則有越往海域及內陸沉陷越少之趨勢，尤其台 19 線道以東之沉陷則明顯趨微。詳圖 6-2A。

6.3.3 現地沉陷調查方法

一般現地區域沉陷之主要調查方法有：

- (1) 現地勘查—可勘查現地建物地坪與道路或基地盤或河川海水高程之歷史變化軌跡(本案現地勘查例如照片 6-1 至 6-6)。訪查當地之歷年淹水狀況，包括原因及淹水高度。主要在對當地之歷史沉陷狀況，預作做概略研判。
- (2) 現地監測—常用現地地表水準監測及現地地層變動監測。可直接準確測得現地於給定時間之沉陷量及沉陷軌跡。

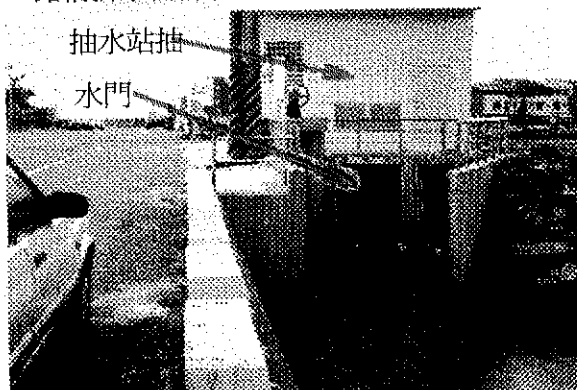
6.3.4 區域地表水準監測

區域地表水準監測主要工作與內容如下：

路溝排水需仰賴抽水站抽至河道排往外海

抽水站抽

水門

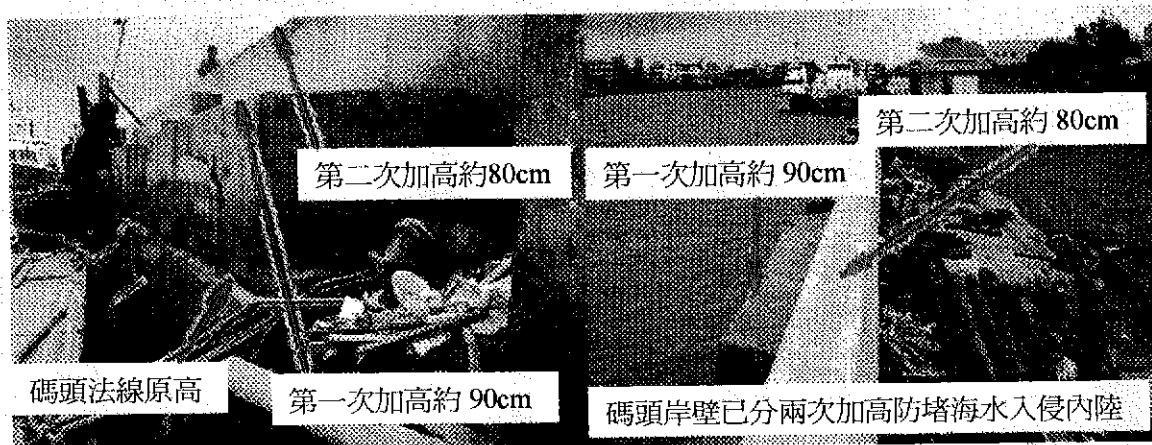


照片 6-1

路溝排水需仰賴抽水站抽至河道排往外海
河道水位高於內陸水位



照片 6-2



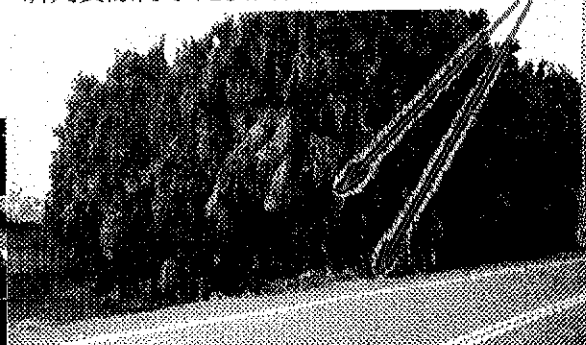
照片 6-3

照片 6-4



照片 6-5

植物變黃之高度表示曾遭海水入侵之高度
研判實際海水淹沒高約為植物變質高度1/2



照片 6-6

照片 6-1 至 6-6 現地沉陷勘查照片例

- (1) 水準基點之引用—勘查布袋港區鄰近四週沉陷狀況與比較歷史文獻之記錄，本調查水準基點之引用，選定省道台 1 線之 ABC 段為水準引用基線，並以沿線現有嘉 47、陸檢 8213、BM 9803、內部 075、內部 076、內部 077 至內部 078 等已知一等水準點為引用之水準點，並經彼此檢核比較彼此高差結果，亦印證其水準點引用基線相當合理(詳圖 6-2A)。唯 921 地震後對基線整體水準之影響，則有待日後之校核。
- (2) 水準點之引設—考慮水準點引設之精確性，除以台 1 線之 ABC 段為水準基線外，並經由縣道 172 線之 CDE 段至省道台 17 線之 EF 段至縣道 170 接 163 線之 FGB 段為水準點之整體引測閉合迴路，全程 BCDEFGB 自成一閉合網，並以省道台 1 線之 DG 段為輔助閉合校核線，藉以平差取得各水準高程之近似真確值。引設所得水準點 IHMT41:EL+0.3459 m 於鎮公所門前及港研中心 No01:EL+1.7586m 於步雲橋邊。(詳圖 6-2A 及 6-2B)
- (3) 水準監測網點之佈設—港區水準監測網點之佈設共設 51 點。包括觀音石設置之水準點 10 點(港研中心 No:01 至港研中心 No:10)，鋼釘設置之水準點 41 點(IHMT 01 至 IHMT 41)。各水準監測點分佈位置以防波堤、主要道路、橋樑等為佈設位置，平均分佈於港區及鎮上。(詳圖 6-3A、6-3B 及 6-4)
- (4) 現地水準監測結果整理—本案所規劃現地水準監測調查目的，除為瞭解布袋地之沉陷狀況外，亦期日後能與鄰近地區之沉陷差異性做一比較。故水準引用係依該區歷年之沉陷特性，引用省道台 1 線後壁以北之現有一等水準點，並以其為水準基線。亦即意謂本案日後所得所有沉陷記錄係相對於該基線之沉陷(詳圖 6-2A 及 6-5)。其全港區各監測點佈設之相關位置，分別標示於 SLA 至 SLG 等 7 條主要線段(詳圖 6-9 至 6-10)，各監測點間相關水準高程之量測結果如表 6-1。港區與水準基線間之高程與沉陷變化，亦詳示於引測路線之各線段(詳圖 6-5 至 6-9)，其 CDE→鎮區(BM22)→港區(沉陷井)與 EFGB 線段即為爾後布袋與內陸間東西向差異沉陷之主要比較線段。

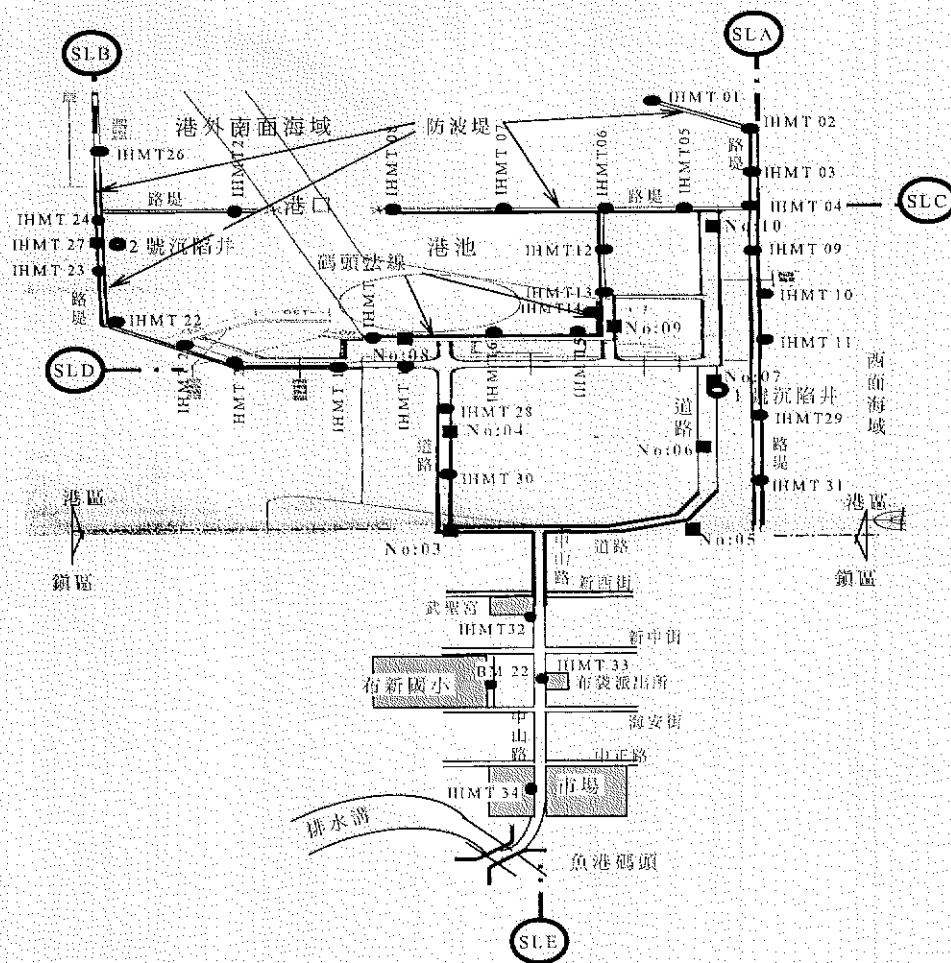


圖 6-3A 港區水準監測點分佈示意圖

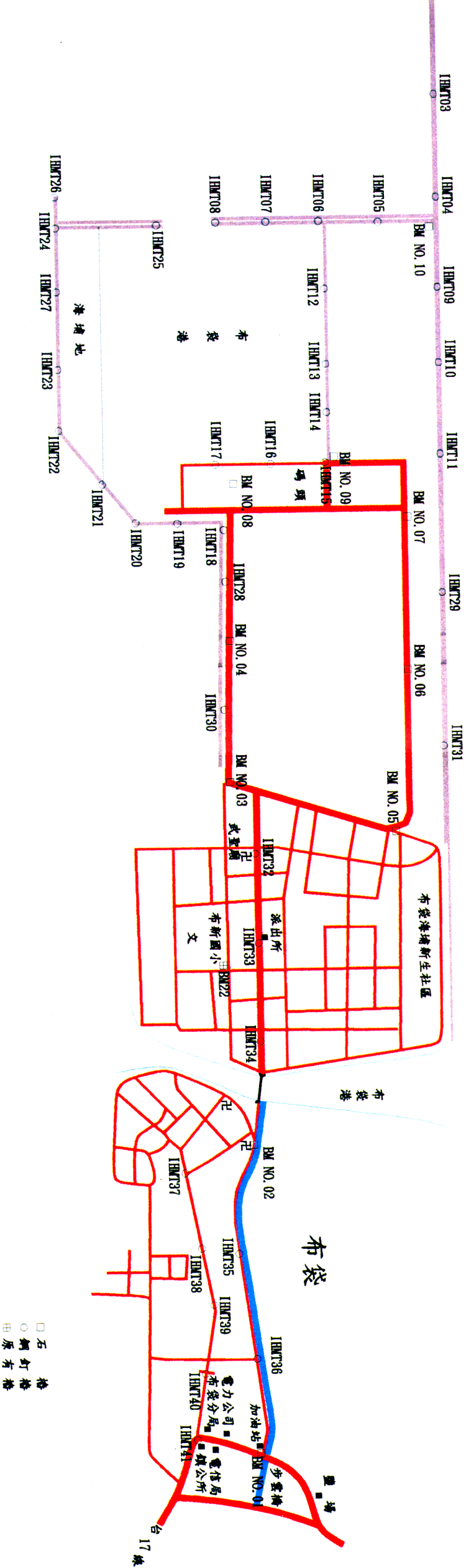


圖 6-3B 布袋鎮及港區水準監測點分佈示意圖

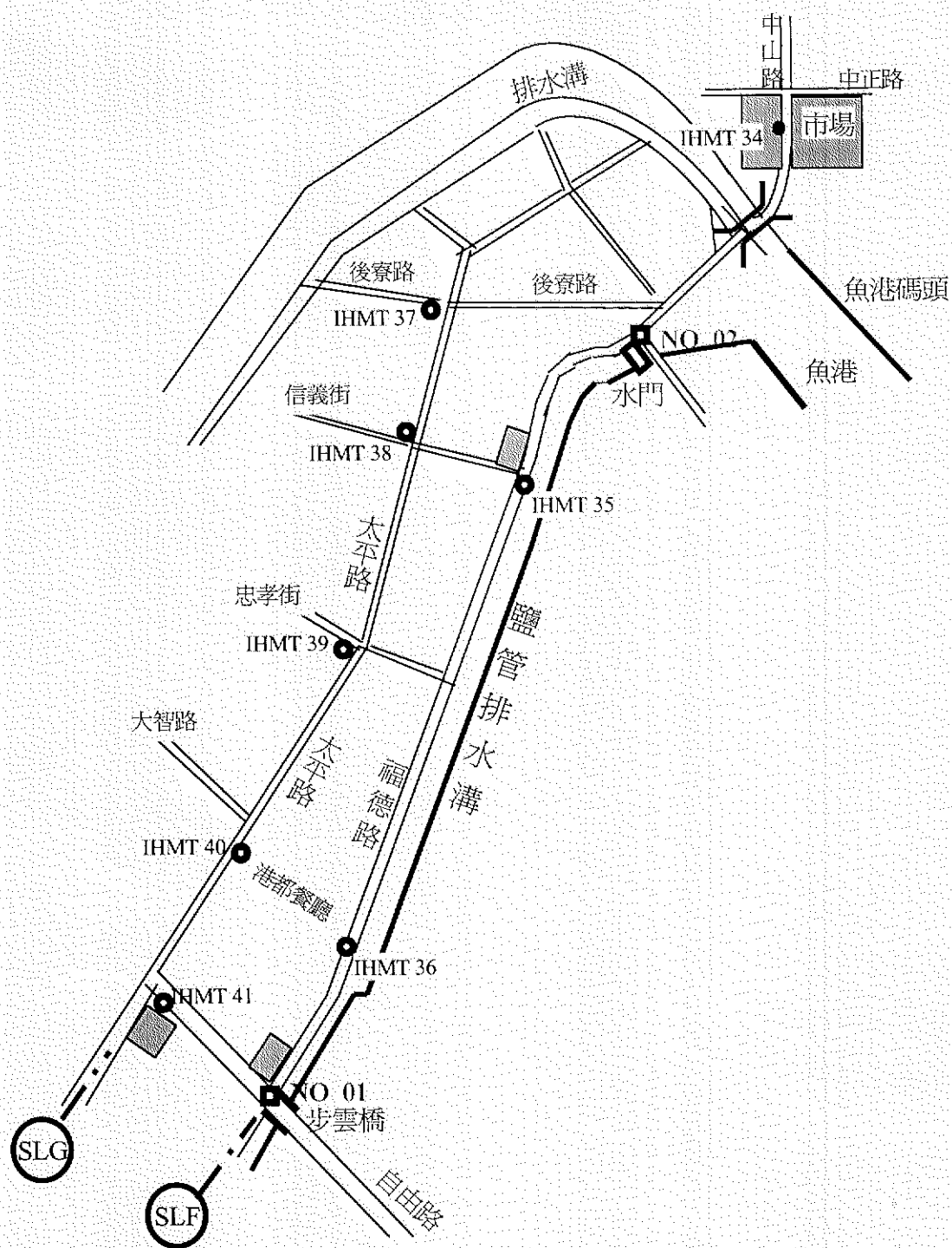


圖 6-4 布袋鎮口水準監測點分佈示意圖

表 6-1 布袋鎮口至港區各區段水準監測點高程表

區段及測期		水準點及基樁高程 EL+ m							
SLA 段	監測點	IHMT01	IHMT02	IHMT03	IHMT04	NO10	IHMT9	IHMT10	IHMT11
西防波堤	參考距	0	227.1	391.5	538.5	667.3	886.3	1097.3	1339.3
測期：89年4月	水準高程	3.887	3.865	3.8045	3.8433	2.645	3.8239	3.7916	3.9013
	續IHMT11	NO07(1號井)	IHMT29	NO06	IHMT31	NO05	BM22(國小)		
	參考距	1532.9	1825.9	2099.9	2332.9	2663.9	2950		
	水準高程	2.7963	3.9016	2.9852	3.888	1.5471	1.427		
SLB 段	監測點	IHMT26	IHMT24	IHMT27	2號井	IHMT23	IHMT22	BM22(國小)	
東防波堤	參考距	0	133.9	239.4	240.4	468.4	749.8	868.3	
測期：89年4月	水準高程	3.1461	3.0581	3.0161	3.0241	3.0379	3.0119	1.427	
SLC 段	監測點	IHMT24	IHMT25	IHMT08	IHMT07	IHMT06	IHMT05	NO10	IHMT04
南防波堤	參考距	0	260	440	628.1	821	967.4	1007.4	1037.4
測期：89年4月	水準高程	3.0581	3.0901	3.6526	3.1841	3.3281	3.228	2.645	3.8433
SLD 段	監測點	IHMT22	IHMT21	IHMT20	IHMT19	IHMT17	NO08	IHMT18	IHMT16
IHMT22至11	參考距	0	163.8	352.9	498.9	568.9	628.2	629.2	819.2
測期：89年4月	水準高程	3.0119	3.0086	3.1109	3.0991	2.6681	3.1679	2.3229	2.6828
	續IHMT16	IHMT15	NO09	NO07	IHMT11				
	參考距	966	1007.2	1607.2	1800.8				
	水準高程	2.8933	2.9678	2.7963	3.9013				
SLE 段	監測點	IHMT34	IHMT33	BM22(國小)	IHMT32	NO 03	IHMT30	NO 04	IHMT28
中山路至IHMT06	參考距	0	308.5	427	547.4	667.8	875.1	1093.7	1315.7
測期：89年4月	水準高程	1.5791	1.0911	1.427	1.1192	2.2607	2.2562	2.6716	2.27
	續IHMT28	NO 09	IHMT14	IHMT13	IHMT12	IHMT06			
	參考距	1555.7	1721.9	1858.6	2109.6	2357			
	水準高程	2.9678	2.8813	2.742	2.7174	3.3281			
SLE 段	監測點	NO 01	IHMT36	IHMT35	NO 02	IHMT34	BM22(國小)	NO07(1號井)	2號井
福德路	參考距	0	301.7	698	980.2	1313.2	1740.2	2840	3640
測期：89年4月	水準高程	1.7586	1.4831	1.0902	1.386	1.5791	1.427	2.7963	3.0241
SLG 段	監測點	IHMT41	IHMT40	IHMT39	IHMT38	IHMT37	BM22(國小)	NO07(1號井)	2號井
太平路	參考距	0	166.7	383.9	583.2	728.6	1603.8	2703	3503
測期：89年4月	水準高程	0.3459	0.3779	0.5253	0.4022	0.4577	1.427	2.7963	3.0241

布袋港區沉陷測量水準引用基線ABC段（省道台1線—嘉47→內部78）

測期	校核引用之水準基點及高程(EL+m)									
	內部78	內部77	TPB6	內部76	內部75	陸檢8213	B96	BM9803	陸檢8212	嘉47
70年2月	16.4949									
75年		17.6345			23.1028			24.2088		
76年		17.5960		21.2710	23.0950			24.2060		
77年5月	16.4000	17.5960		21.2710	23.0960			24.2030		
81年8月									27.6138	27.8447
82年	16.4000							24.2030	27.6093	27.8493
85年5月									27.5888	27.8199
86年5月	16.3225	17.5108		21.2589	23.0821			24.2030	27.5888	27.8190
87年5月	16.3223	17.5104		21.2581					27.5888	27.8190
89年3月	16.3084	17.4884	19.6642	21.2562	23.0827	21.8617	22.1692	24.2030	27.5865	27.8175

布袋港區89年沉陷測量引用水準基線(ABC段—台1線)之各水準點高程圖

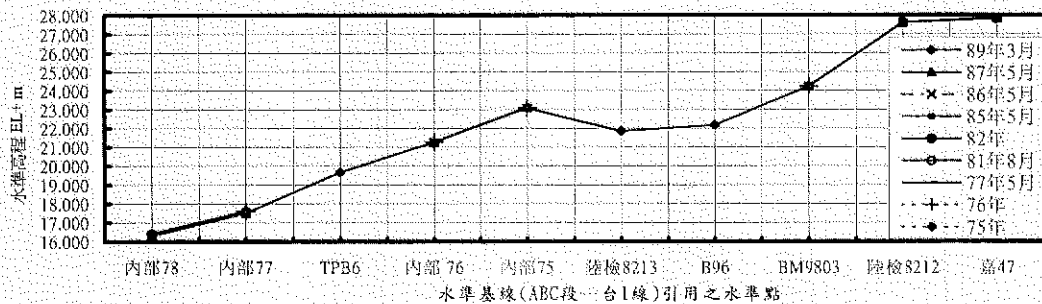


圖 6-5 引用水準基線 ABC 段高程及相對沉陷示意圖

備註	布新國小	嘉農22	BM11	NO.25	嘉農05	第六號橋	義竹工作站		新營農會	土庫
水準點	BM22	嘉農22	BM11	NO.25	嘉農05	NO.33	嘉23	R29	嘉33	內部078
參考點	21000	19990	18518	17430	13658	12297	11419	10251	1276	0
86年05月水準高程	1.5673	1.5823	1.5033	2.9082	5.2806	5.7809	6.5367	11.8134	14.3025	16.3225
87年05月水準高程	1.5362	1.5609	1.4938	2.9061	5.2706	5.7678	6.5204	11.7895	14.3017	16.3223
89年3月水準高程	1.4270	1.4766	1.4076	2.8156	5.2216	5.7236	6.4726	11.7046	14.2866	16.3084
81至89年沉陷統計值	-0.35	-0.31	-0.24	-0.24	-0.145	-0.14	-0.14	-0.14	-0.085	-0.06
86-87年05月沉陷值	-0.0311	-0.0214	-0.0075	-0.0021	-0.01	-0.0131	-0.0163	-0.0239	-0.0008	-0.0002
86-89年3月沉陷值	-0.1403	-0.1057	-0.0957	-0.0926	-0.059	-0.0573	-0.0641	-0.1088	-0.0159	-0.0141

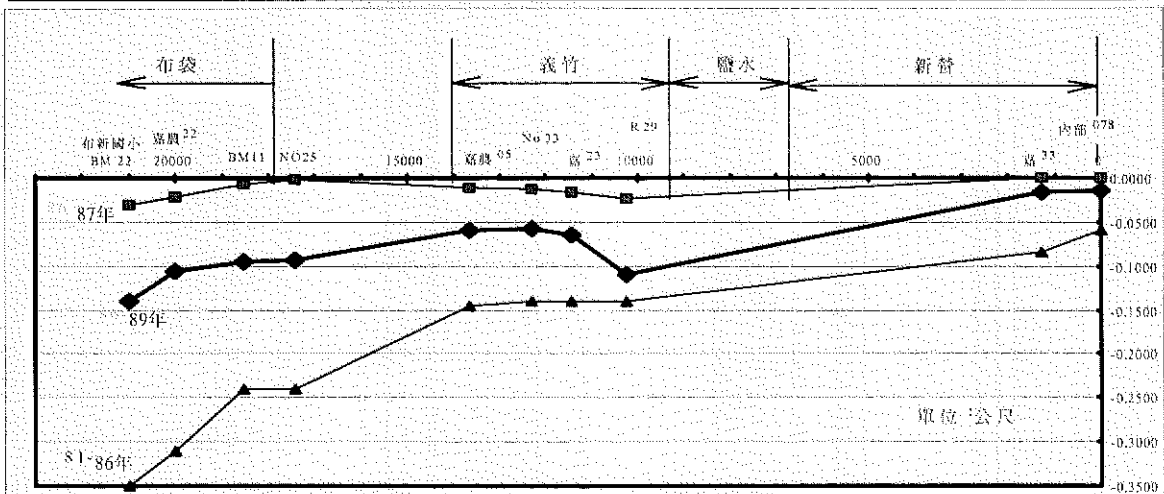


圖 6-6 水準引測線 CDE 段高程及相對沉陷示意圖

81年至89年4月縣道172&163線(過溝→台19線→鹿草→台1線)FCB段之水準及沉陷圖表

備註	團結橋		三角村		
水準點	No. 19	BM 05	No. 42	SS 21	BM 9803
參考距	25075	19057	6504	3382	0
86年05月水準高程	1.9150	4.3864	16.4980	26.2816	24.2030
87年05月水準高程	1.9009	4.3838	16.4979	26.2738	24.2030
89年4月水準高程	1.8128	4.3189	16.4873	26.2503	24.2030
81至86年沉陷統計值	-0.4500	-0.4000	-0.0300	-0.013	0.0000
86-87年05月沉陷值	-0.0141	-0.0026	-0.0001	-0.0078	0.0000
86-89年4月沉陷值	-0.1022	-0.0675	-0.0107	-0.0313	0.0000

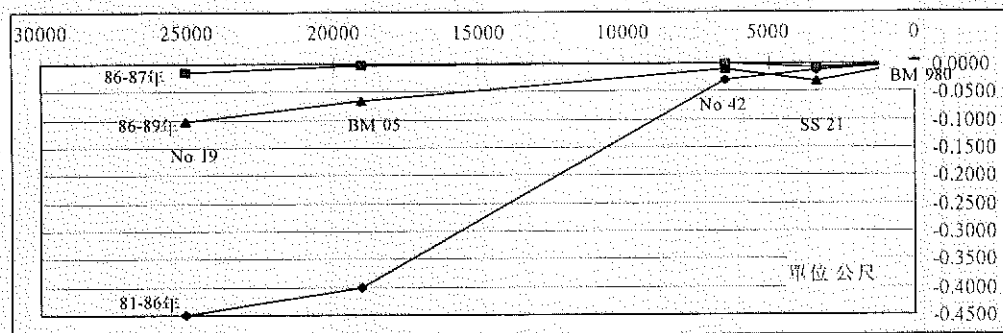


圖 6-7 水準引測線 FCB 段高程及相對沉陷示意圖

備註						南竹社區
水準點	R 29	BM 13	BM 21	NO 29	BM 14	嘉義 03
參考距	9892	8590	6661	4044	3155	0
86年05月水準高程	11.8134	8.2088	7.8383	7.2408	7.1277	6.9195
87年05月水準高程	11.7895	8.1997	7.8318	7.2273	7.1146	6.9185
89年4月水準高程	11.7046	8.1346	7.7869	7.1765	7.0726	6.8635
81至86年沉陷統計值	-0.133	-0.127	-0.125	-0.127	-0.150	-0.270
86-87年05月沉陷值	-0.0239	-0.0091	-0.0065	-0.0135	-0.0131	-0.0010
86-89年4月沉陷值	-0.1088	-0.0742	-0.0514	-0.0643	-0.0551	-0.0560

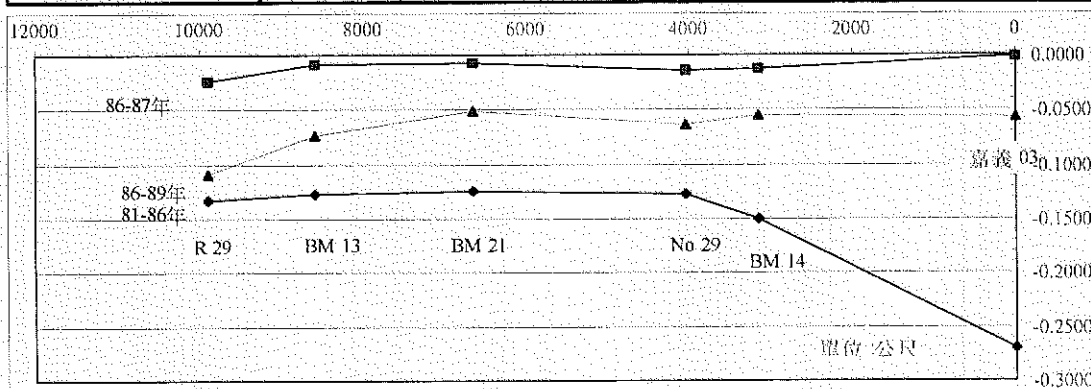


圖 6-8 水準引測校核線 DG 段高程及相對沉陷示意圖

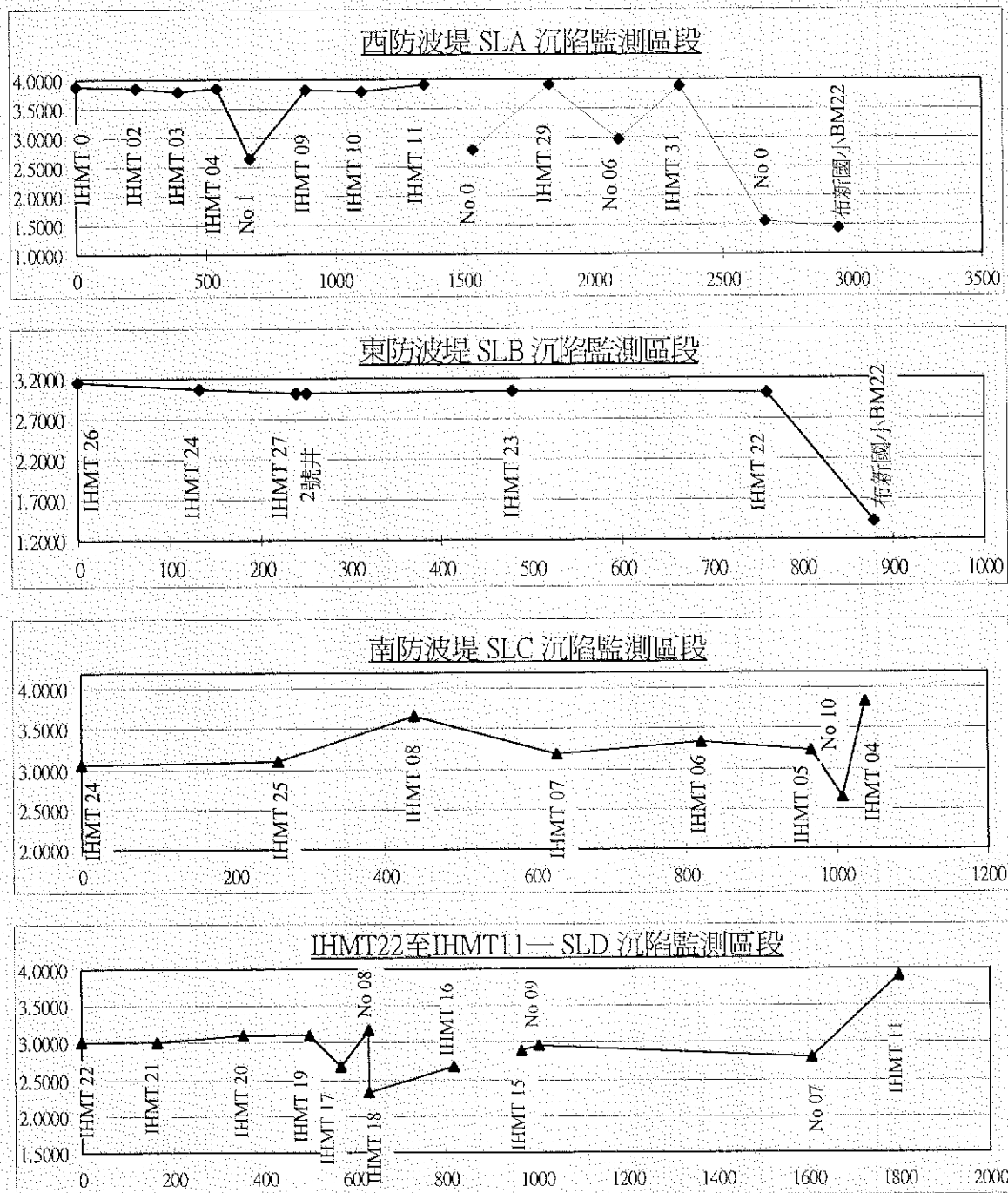


圖 6-9 港區水準監測網 SLA 至 SLD 段高程示意圖

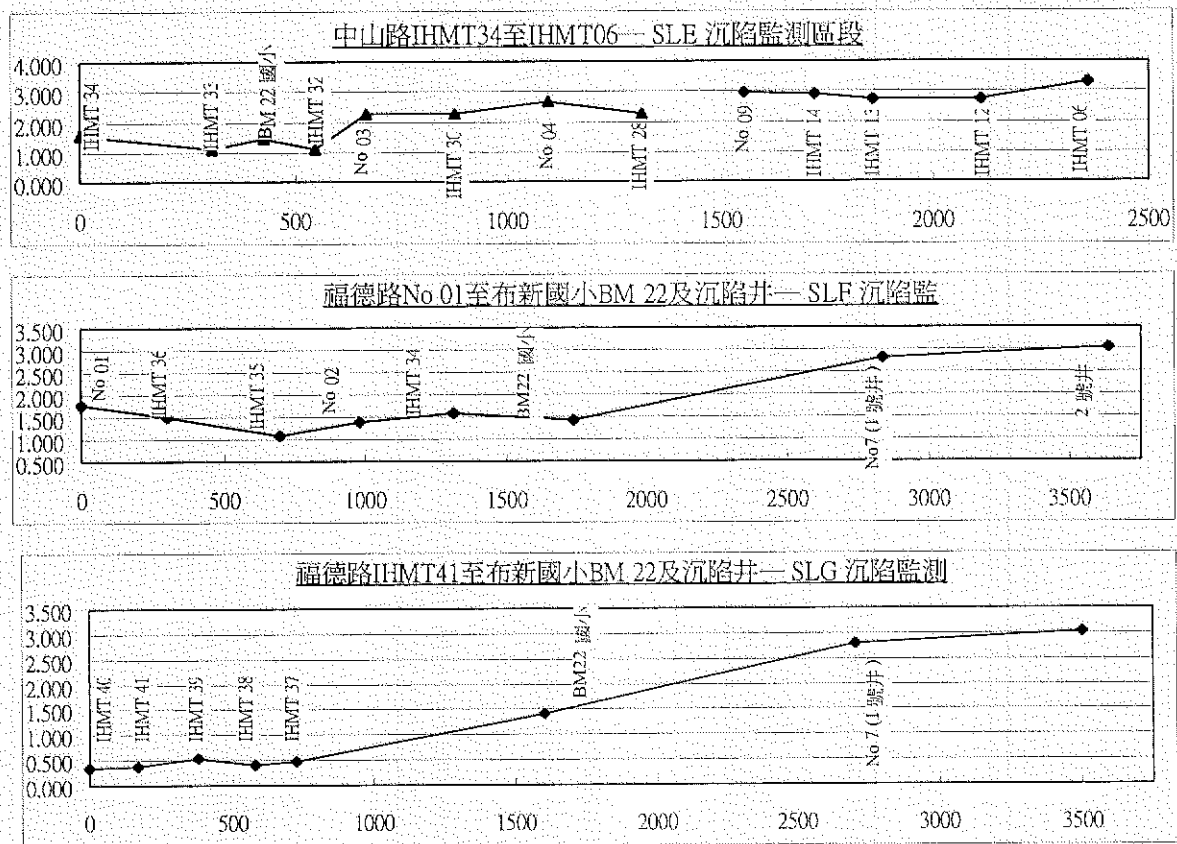


圖 6-10 港區水準監測網 SLE 至 SLG 段高程示意圖

6.4 綜合結論與建議

- (1) 由圖 6-2A 及 6-5；本研究引用之水準基線，比對其嘉義至新營間，於 70 至 89 年間之水準高程變化，累計 19 年之總沉陷量，除新營附近約有 14~19 公分外，其餘均小於 3 公分。若以最近 3 年新營附近約有 1.14~2.24 公分，其餘並無明顯之沉陷，可見其地層較趨穩定，引為水準基線亦屬合理。
- (2) 由圖 6-2A、6-6、6-7、6-8 及表 6-1；比對其於 81 至 89 年間現有之水準點高程變化，其累計 8 年之階段總沉陷，以布袋與過溝間之團結橋附近之總沉陷最嚴重，總沉陷量達 55.22 公分(參考監測點如圖 6-7：No：19)。其次為布袋之布新國小附近，總沉陷量達 49.03 公分(參考監測點如圖 6-6：BM 22)。再其次為台 19 線義竹與褒忠間之南竹社區附近，總沉陷量達 32.6 公分(參考監測點如圖 6-8：嘉義 03)。
- (3) 由圖 6-2A、6-6、6-7、6-8 及表 6-1；若以最近 3 年(86-89 年)之階段總沉陷比較，則以布袋之布新國小附近 14.03 公分居冠(參考監測點如圖 6-6：BM 22)，義竹 10.88 公分(參考監測點如圖 6-8：R 29)及布袋至過溝間之團結橋 10.22 公分次之(參考監測點如圖 6-7：No：19)。義竹與褒忠間之南竹社區附近最近 3 年階段沉陷則有趨緩之勢，僅 5.6 公分(參考監測點如圖 6-8：嘉義 03)。
- (4) 若比較全區整體歷史沉陷，近 3 年(86-89)沉陷速率明顯趨緩者有；布袋過溝間與義竹褒忠間之南竹社區。近 3 年(86-89)沉陷速率明顯上升者有；義竹與鹽水間。布袋區約以每年 4 至 7 公分之速率沉陷中(7cm/Year/81 年-86 年，4.7cm/Year/86 年-89 年)。
- (5) 建議本研究調查應就既有之成果與資源，作一持續性研究調查，方符合經濟效益，且研究調查結果更有意義。

第七章 結論與建議

- (1) 本次布袋商港區之 CPT 地質調查顯示，表層回填砂石級配約 0.8 公尺~1 公尺，地表下-1m~-6m 為抽砂回填， q_c 值介於 $20\sim 80\text{kg/cm}^2$ 之間，屬疏鬆至中等緊密度之中細砂層(SP)，-6m~-18m， q_c 值於 $40\sim 100\text{kg/cm}^2$ 左右，為中等緊密不均勻之粉土質細砂夾薄層粘土(SM)，-18m~-30m 處， q_c 值在 $10\sim 60\text{kg/cm}^2$ 之間，為鬆軟粉土層(ML)。
- (2) 本研究採 0.15g、0.2g 及 0.33g 等三種加速度進行液化潛能評估分析，根據不同之地表加速度及各種液化潛能分析評估方法所得之分析結果顯示，以 S & T(1988) 液化臨界下限分析法評估本區之液化潛能最高。在 0.15g 地震力作用下，R & W 法和 Lai 法分析結果大部份有輕至中度液化及少數嚴重液化現象，其他方法則均屬嚴重液化居多，在 0.2g 及 0.33g 地震力作用下，各種方法分析結果則均屬嚴重液化。由此可知本區在 0.15g 以上地震力之液化潛能極高。
- (3) 由布袋港之地下水位監測結果顯示：淺層地下水位變化不大，淺一層(34m)約在-3.3m~-3.7m 間反復振盪，淺二層(68m)約在-6m~-8m 間振盪而深層之 105m、131m 及 143m、178m 處之地下水位已分別降至-24.7m 及-25m，由此可知，布袋港區內並無超抽地下水之現象，而布袋港附近地區有超抽深層之地下水，致使港區之深層水位受影響而下降。
- (4) 由布袋港之 200m 地層下陷監測井監測結果顯示：布袋港近三年半之沉陷量約為 15 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 2-8 月之半年沉陷量約 3 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。
- (5) 由布袋港之 300m 地層下陷監測井監測結果顯示：89 年 5-8 月之 3 個月沉陷量約 1.75 公分，其中百分之六十五之沉陷在深度 66~110 公尺處發生，百分之一十五之沉陷在深度 110~286 公尺處發生，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，因此需要進行較長期之監測，再進一步探討原因。

- (6) 由布袋港區地表沉陷水準測量結果顯示：布袋之布新國小附近 81 至 89 年累計 8 年之總沉陷量達 49.03 公分,即布袋區約以每年 4 至 7 公分之速率沉陷中(7cm/Year/81 年-86 年, 4.7cm/Year/86 年-89 年)。與 200m 監測井近三年監測結果比較,水準測量之每年沉陷量較大約 0.5-1 公分,有必要進一步監測比較。

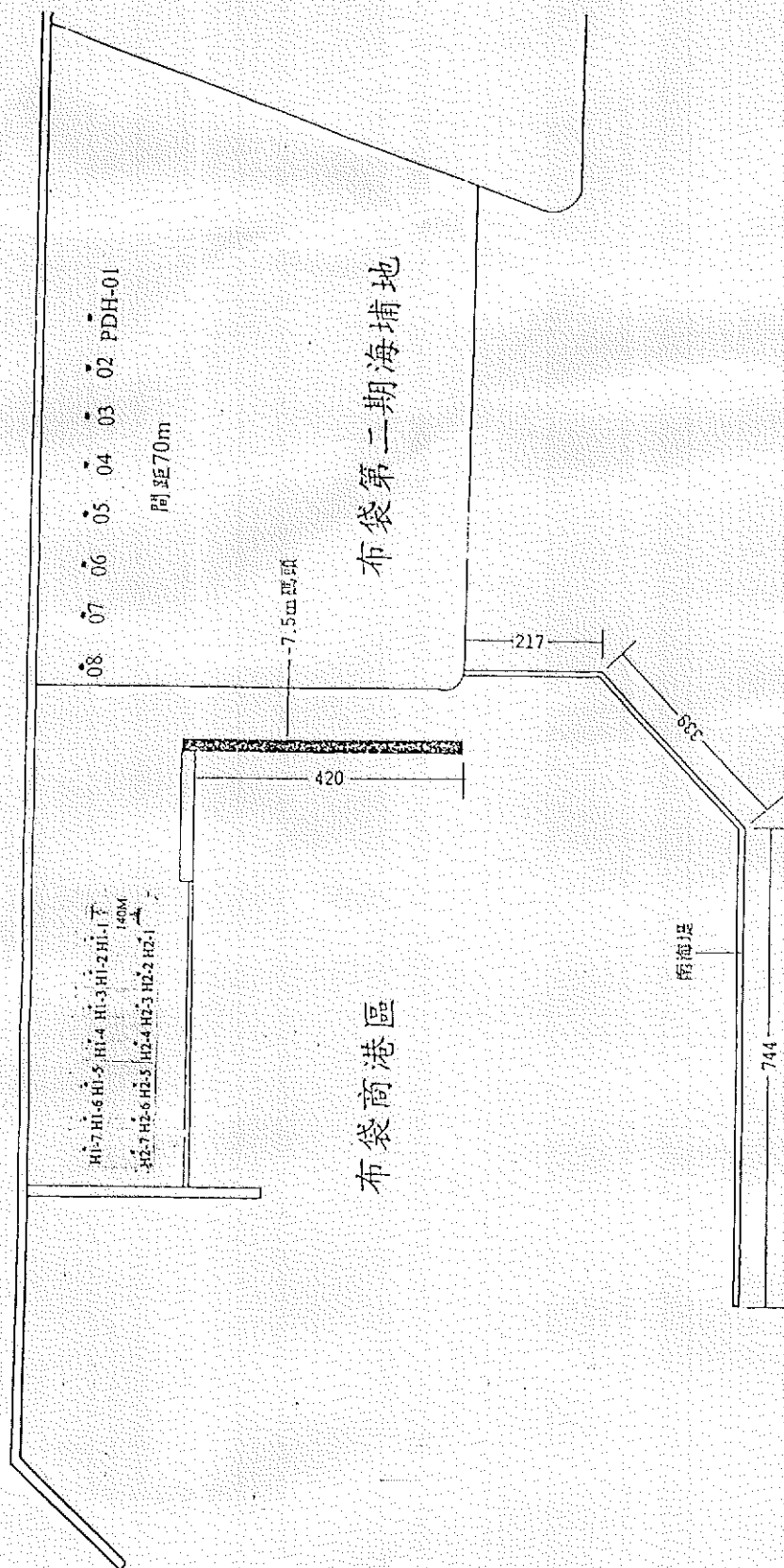
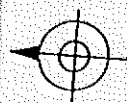
參考文獻

- [1] 水利局(1996)「嘉義沿海地區地盤下陷檢測報告」。
- [2] 嘉義縣政府(1995)「布袋海埔新生地第二期地質鑽探工程」。
- [3] 嘉義縣政府(1993)「嘉義縣布袋港擴建客貨碼頭整體規劃報告」。
- [4] 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。
- [5] 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。
- [6] 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。
- [7] 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。
- [8] 賴聖耀，謝明志，李豐博，陳志芳 (1998)「布袋港地層下陷監測研究」第二十屆海洋工程研討會
- [9] 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。
- [10] 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。
- [11] 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。
- [12] Baldi, G., Bellotti, R., Chionna, V., Jamiolkowski, M., and Pasqualini, E.(1982), "Design Parameters for sands from CPT." *Proceeding of the second European Symposium on Penetration Testing, ESOPT II, Vol. 2 Amsterdam, The Netherlands*, pp. 425-438.
- [13] Biot, M.A. (1941), "General theory of three-dimensional consolidation", *J. of applied physics* 12(2).

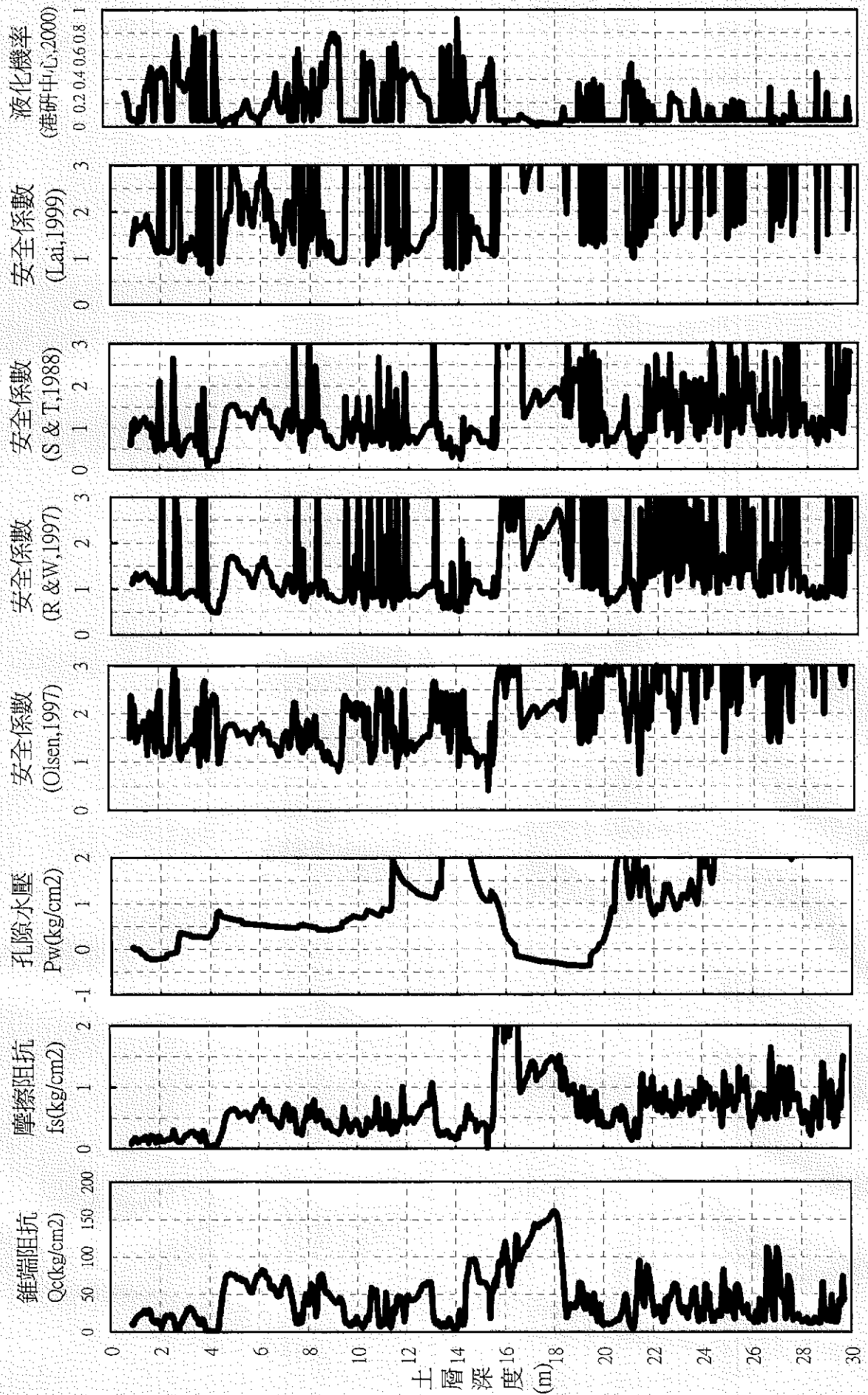
- [14]Christian, J. T., and Swiger, W. F. (1975), "Statistics of Liquefaction and SPT Results," *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 101, No. GT11*, pp. 1135-1150.
- [15]Helm, D.C. (1975), "One-Dimensional Simulation of Aquifer -System Compaction Near Pixley, California, 1, Constant Parameters", *Water Resources Research, Vol. 11, No. 3*, PP. 465*478.
- [16]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.
- [17]Ishihara, K., Yasuda, S., and Nagase, H., (1996), "**Soil characteristics and ground damage**", Special Issue of Soils and Foundations, pp.109-118
- [18]Lay, S.Y. & Hsieh, M.J. (1995) "**The step-loading model of subsidence induced by groundwater level changes with time.**" Proceedings of the Fifth International Symposium on Land Subsidence The Hague.
- [19]Liao, S.S.C., D. Veneziano, and R.V. Whitman (1988) "Regression Models for Evaluating Liquefaction Probability", *J. of Geot. Engr., ASCE, Vol. 114, No. 4*, pp. 389*411.
- [20]Olsen, R. S. (1998) , "Cyclic Liquefaction Based on the Cone Penetrometer test," *In Proceedings of the 1996 NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soil. Edited by T.L. Youd and I.M. Idriss. NCEER-97-0022.*
- [21]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.
- [22]Robertson, P. K. and Wride C.E. (1998), "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.*
- [23]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.

- [24]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.
- [25]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.
- [26]Terzaghi,K.(1943),**Theoretical soil mechanics**,John Wiley & Sons,New York.
- [27]日本(財)沿岸開発技術研究センター(1997),「埋立地の液状化対策ハントフシク」。
- [28]日本土質工學會(1993),「液状化対策の調査、設計から施工まで」。

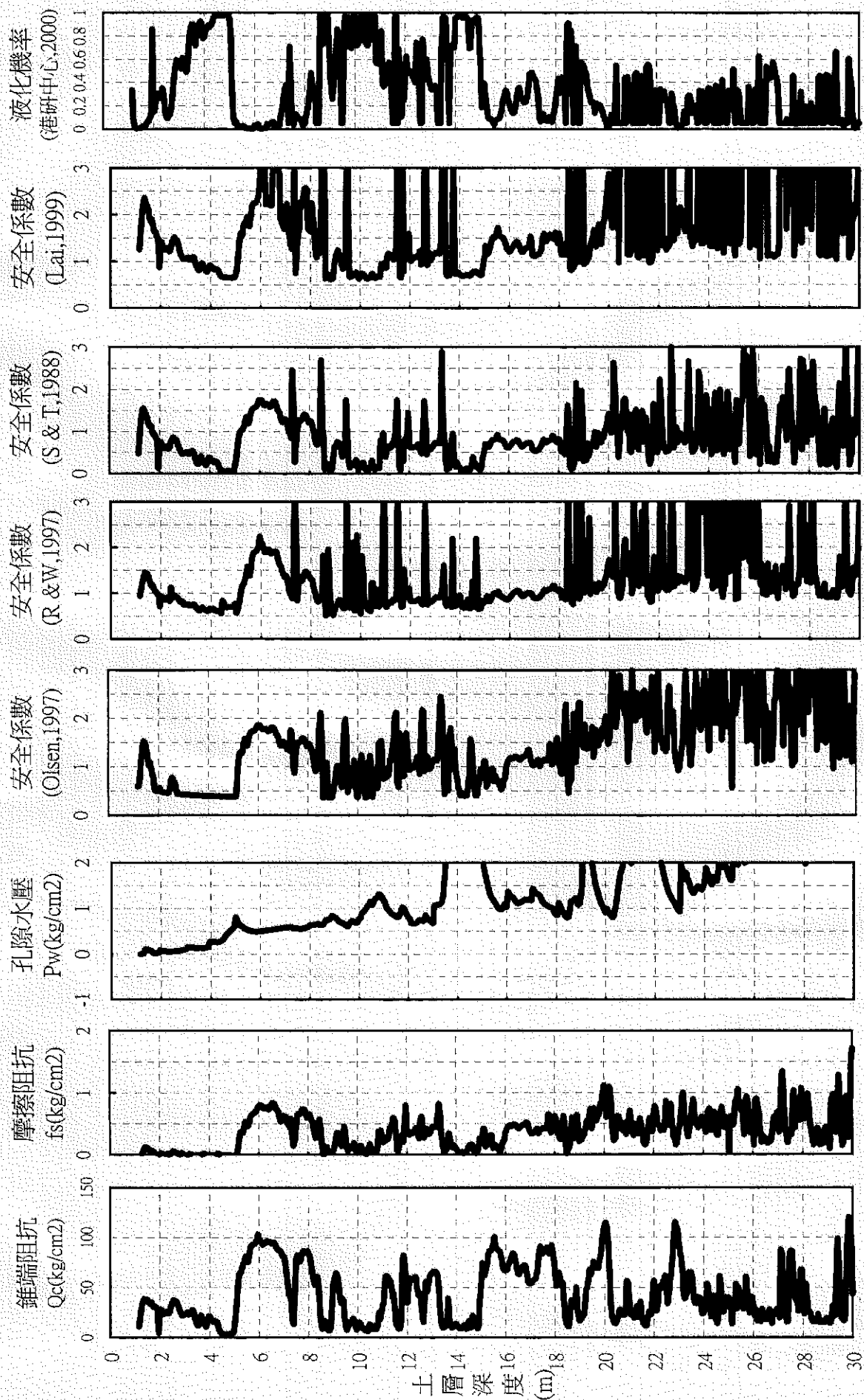
附錄 A：布袋商港區 CPT 試驗 及液化潛能評估結果



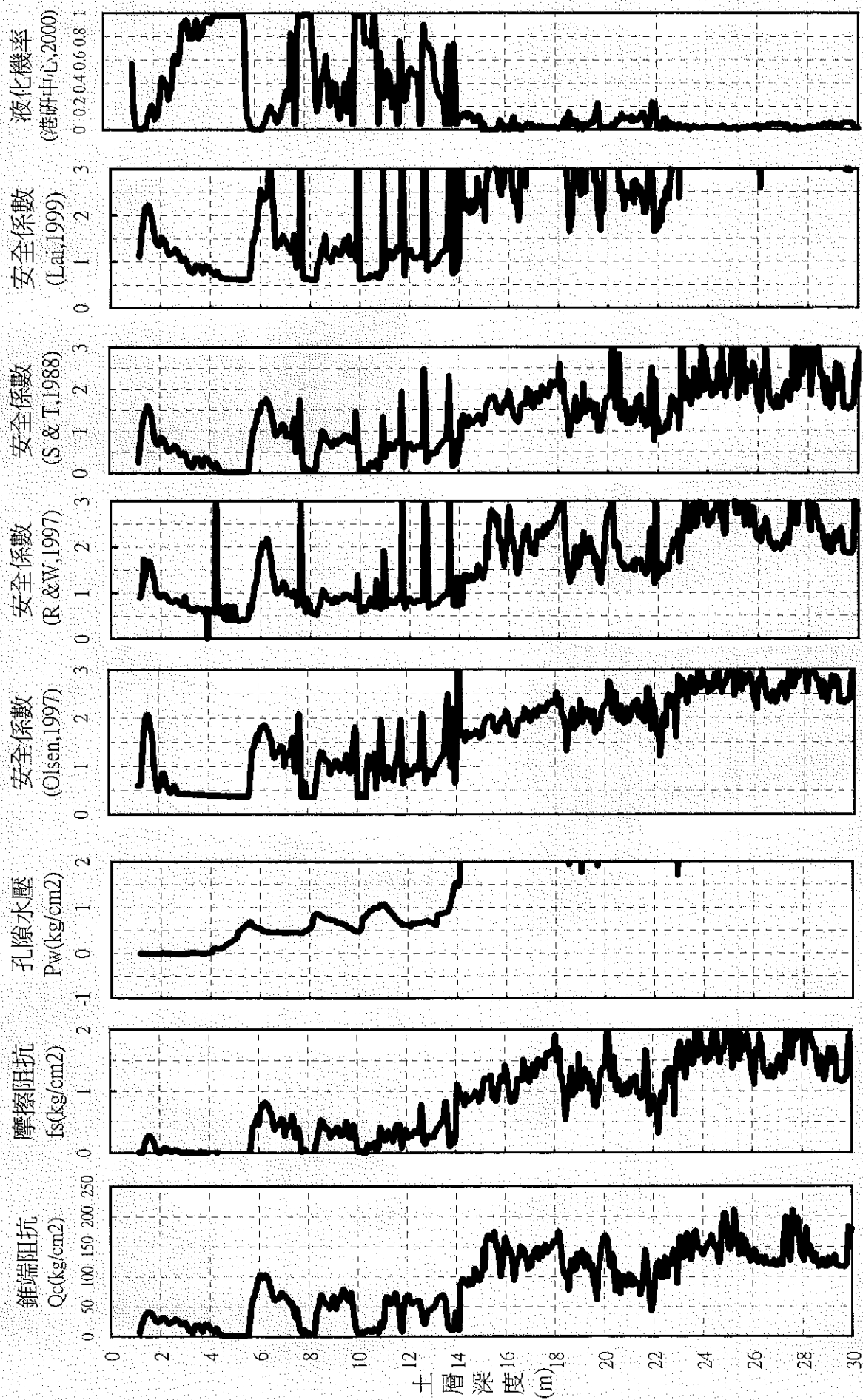
附圖 I 布袋港區CPT平面圖



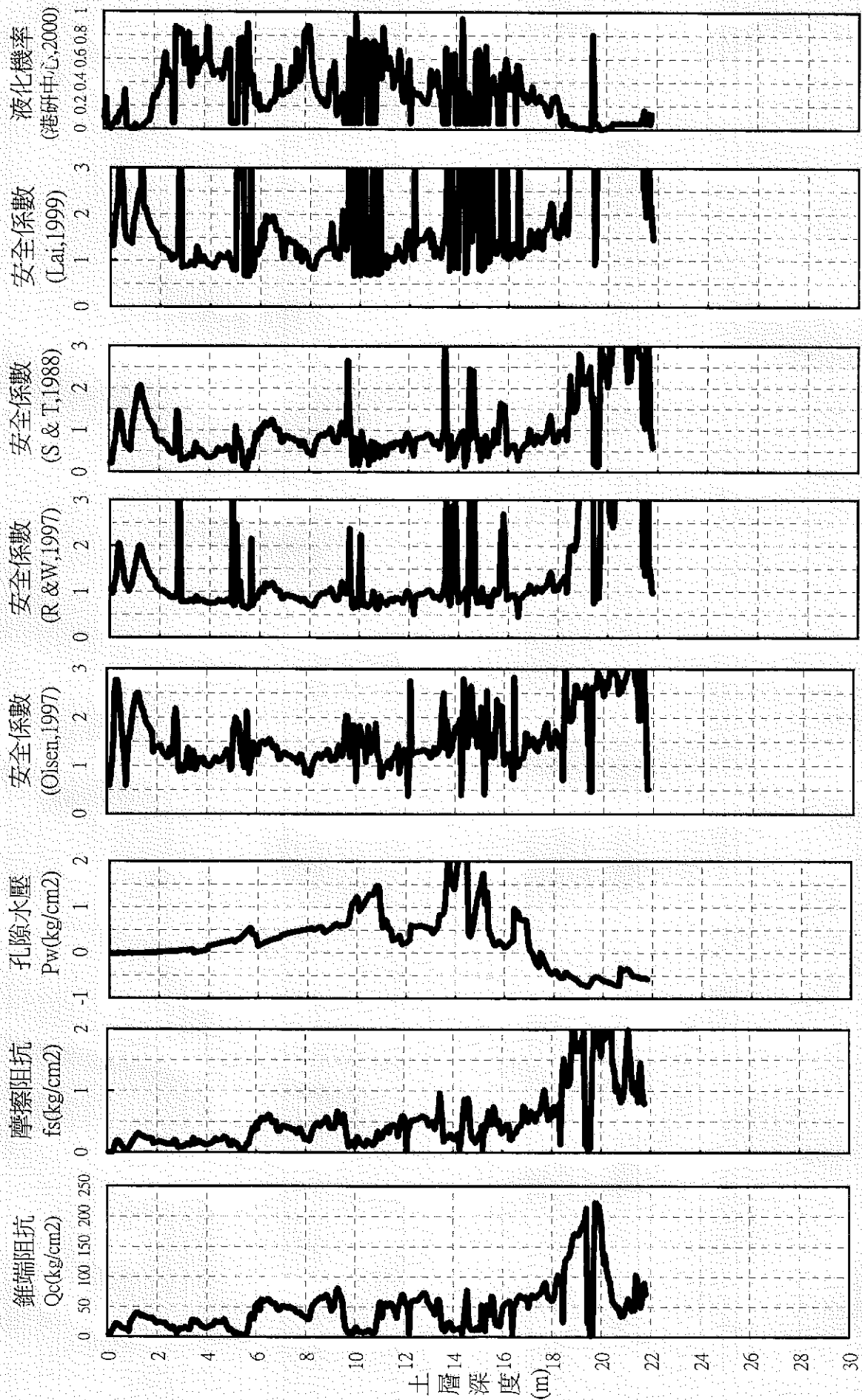
附圖2 布袋港CPT-H1-2孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)



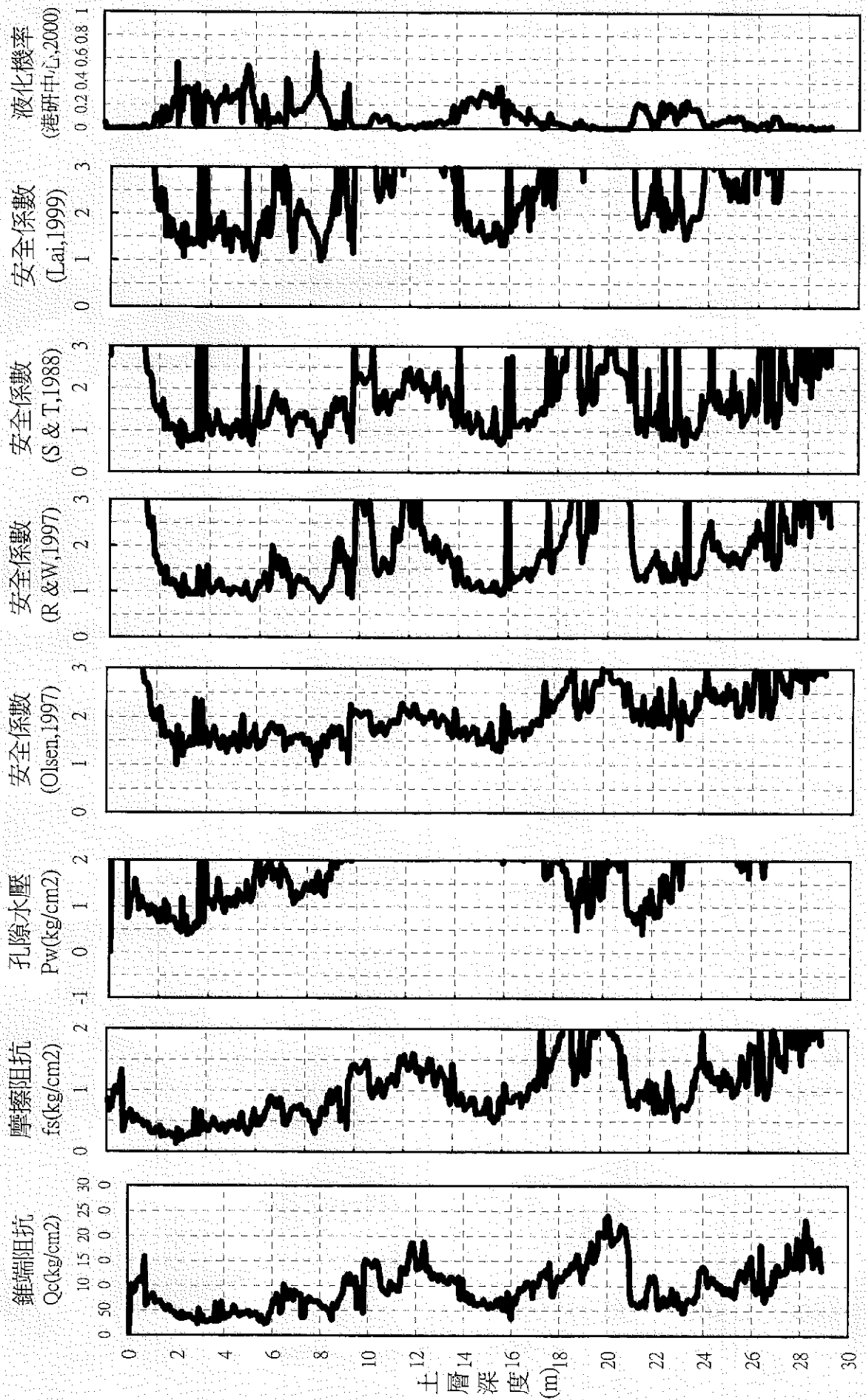
附圖3 布袋港CPT-H1-3孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)



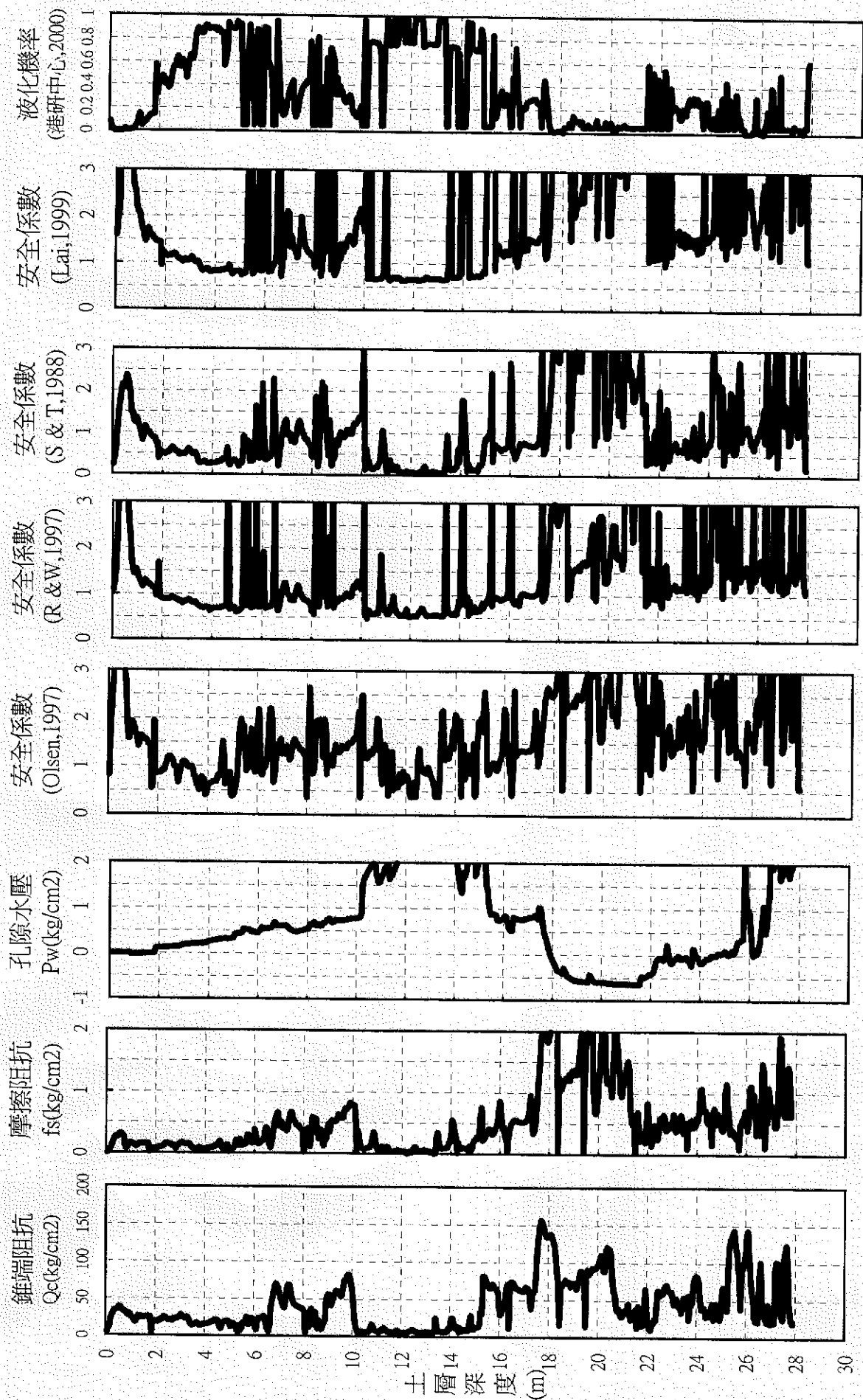
附圖4 布袋港CPT-H1-4孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)



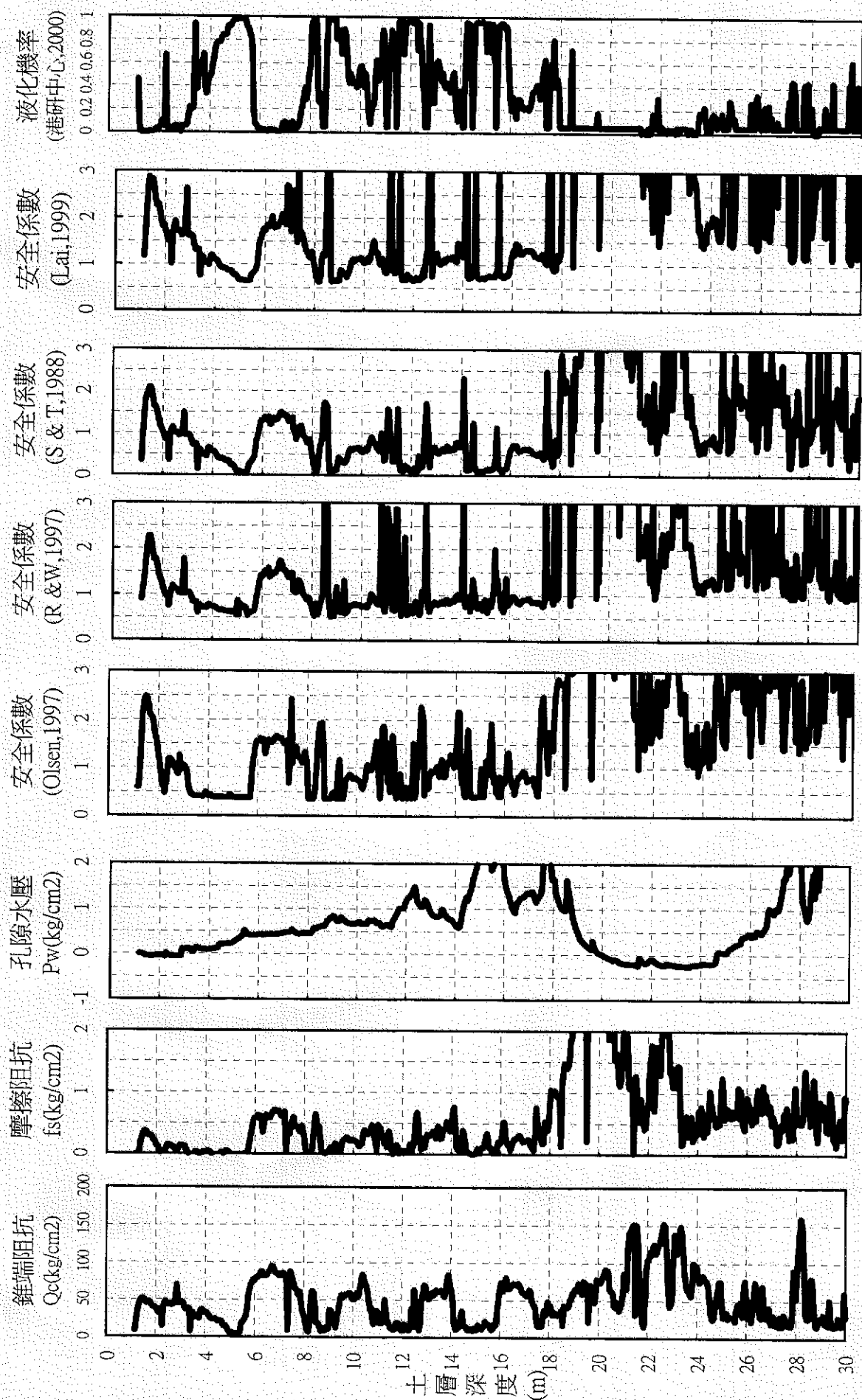
附圖5 布袋港CPT-H1-5孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)



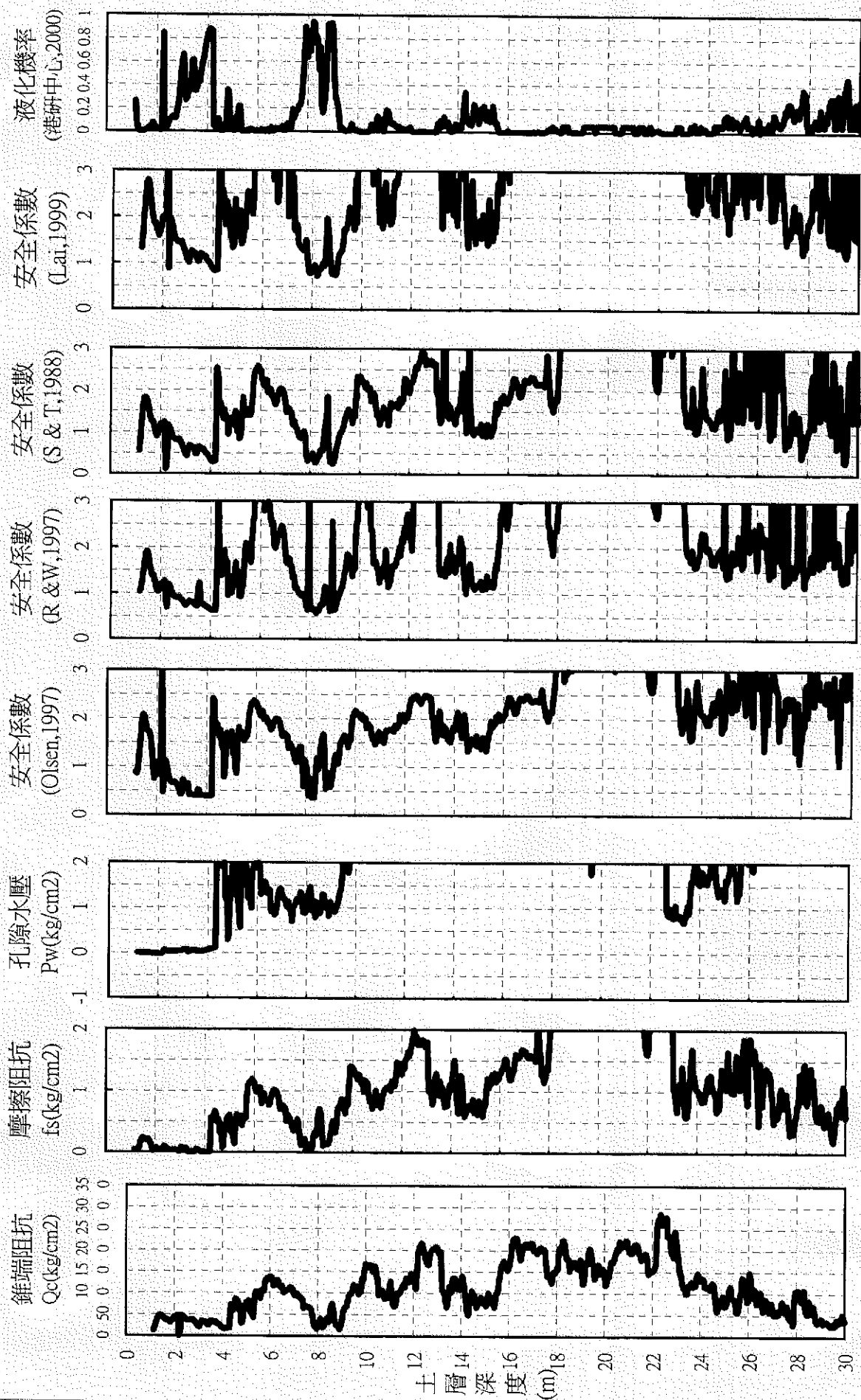
附圖6 布袋港CPT-H1-6孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.15g)



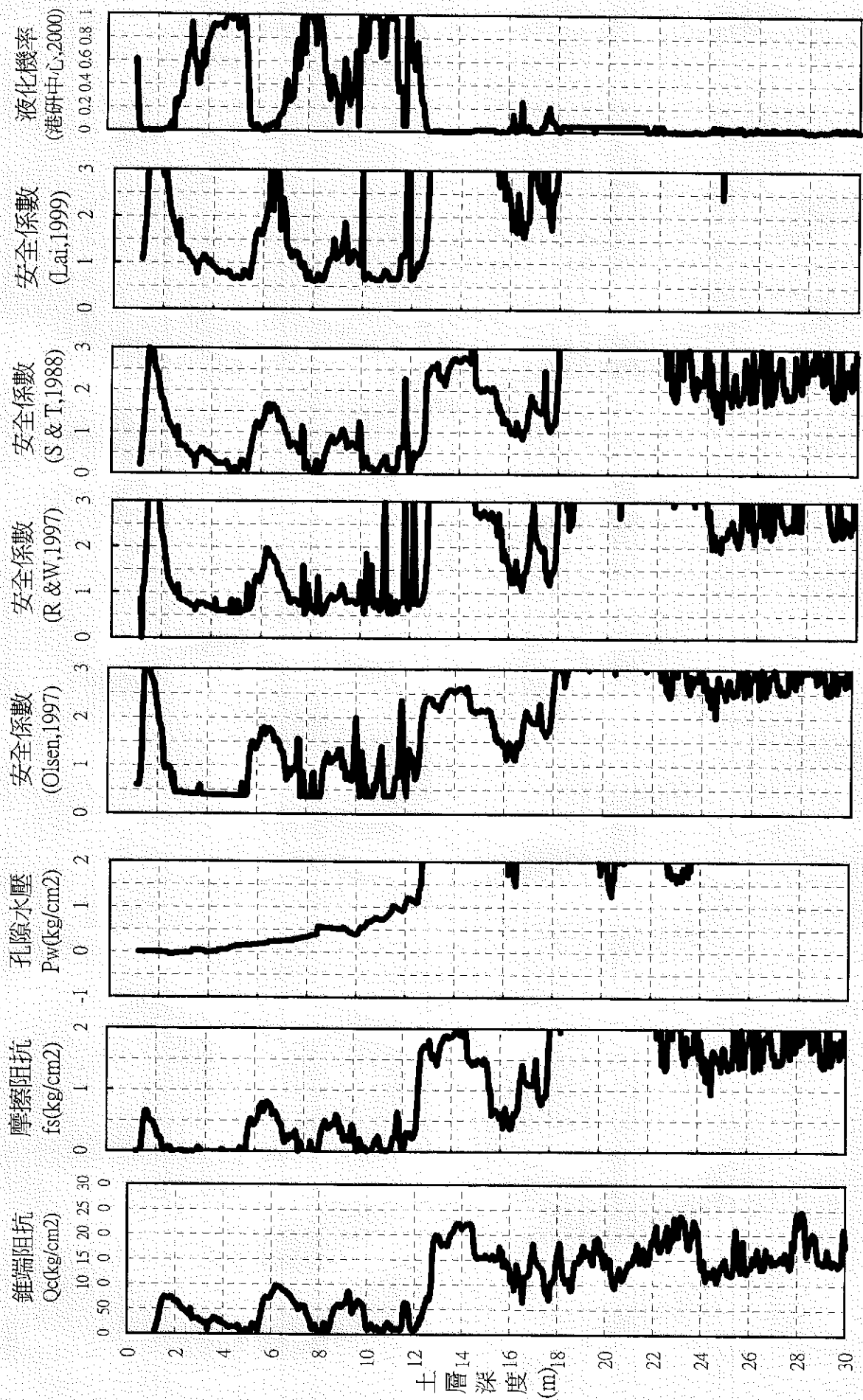
附圖7 布袋港CPT-H1-7孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.15g)



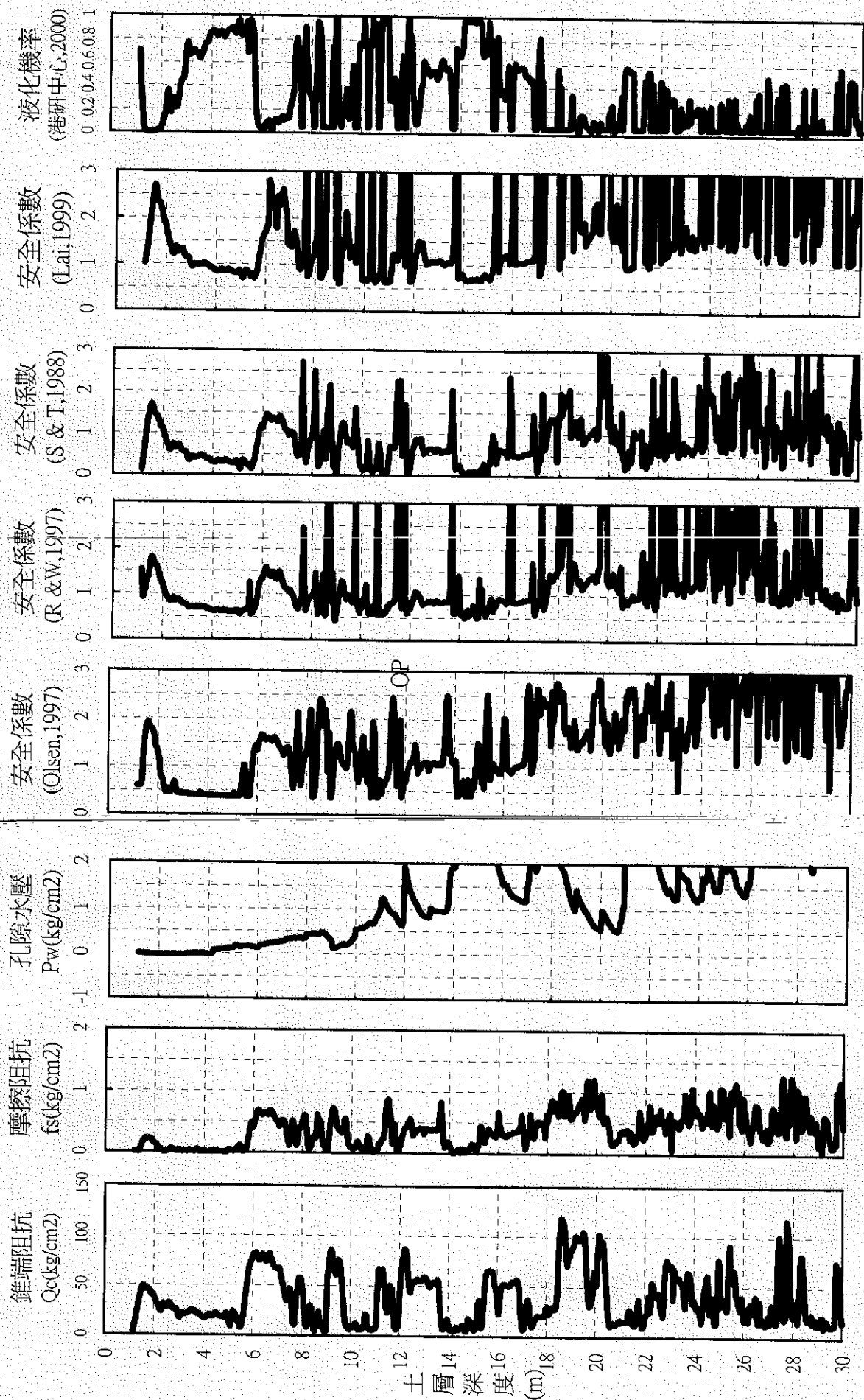
附圖8 布袋港CPT-H2-1孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)



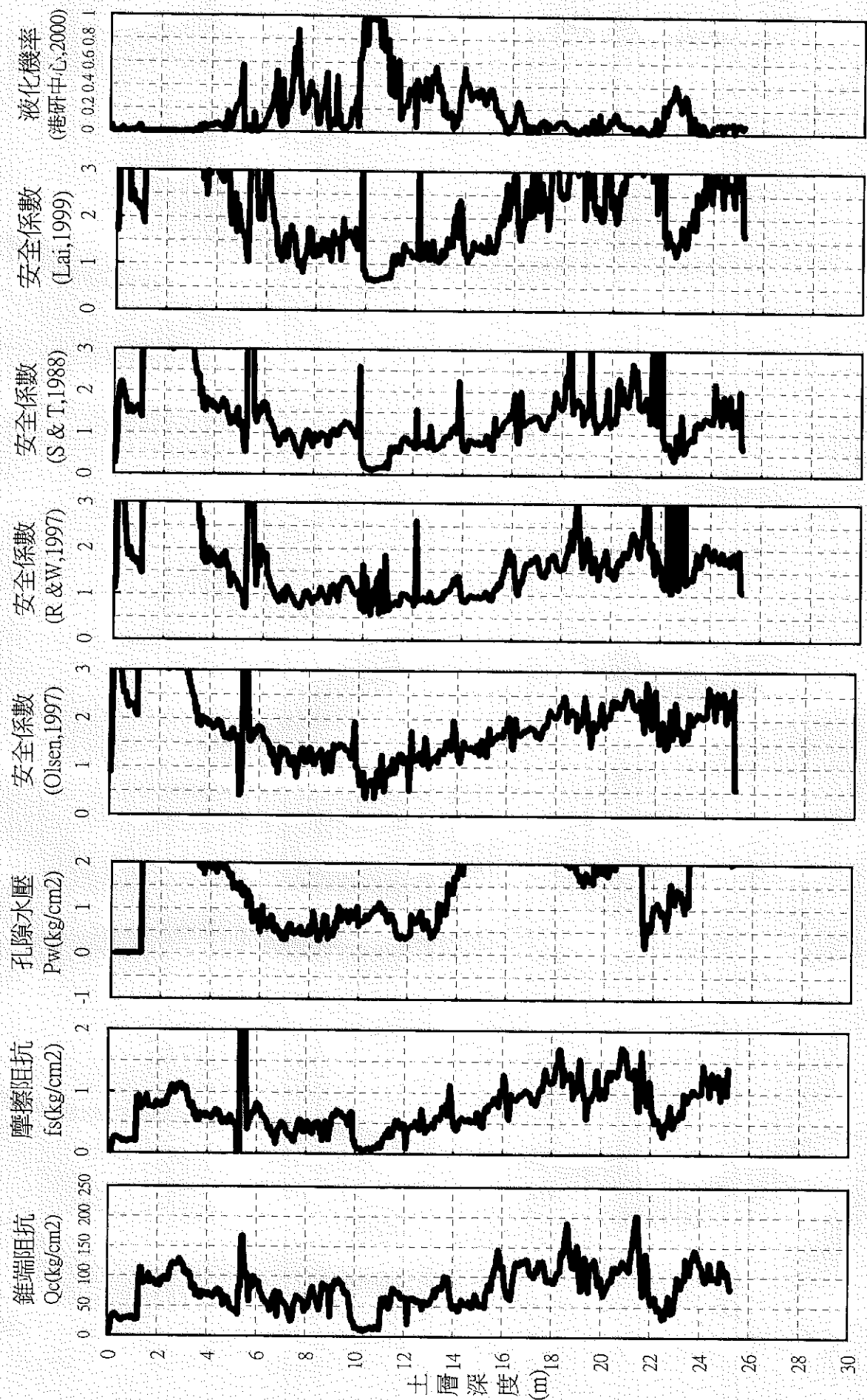
附圖9 布袋港CPT-H2-2孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)



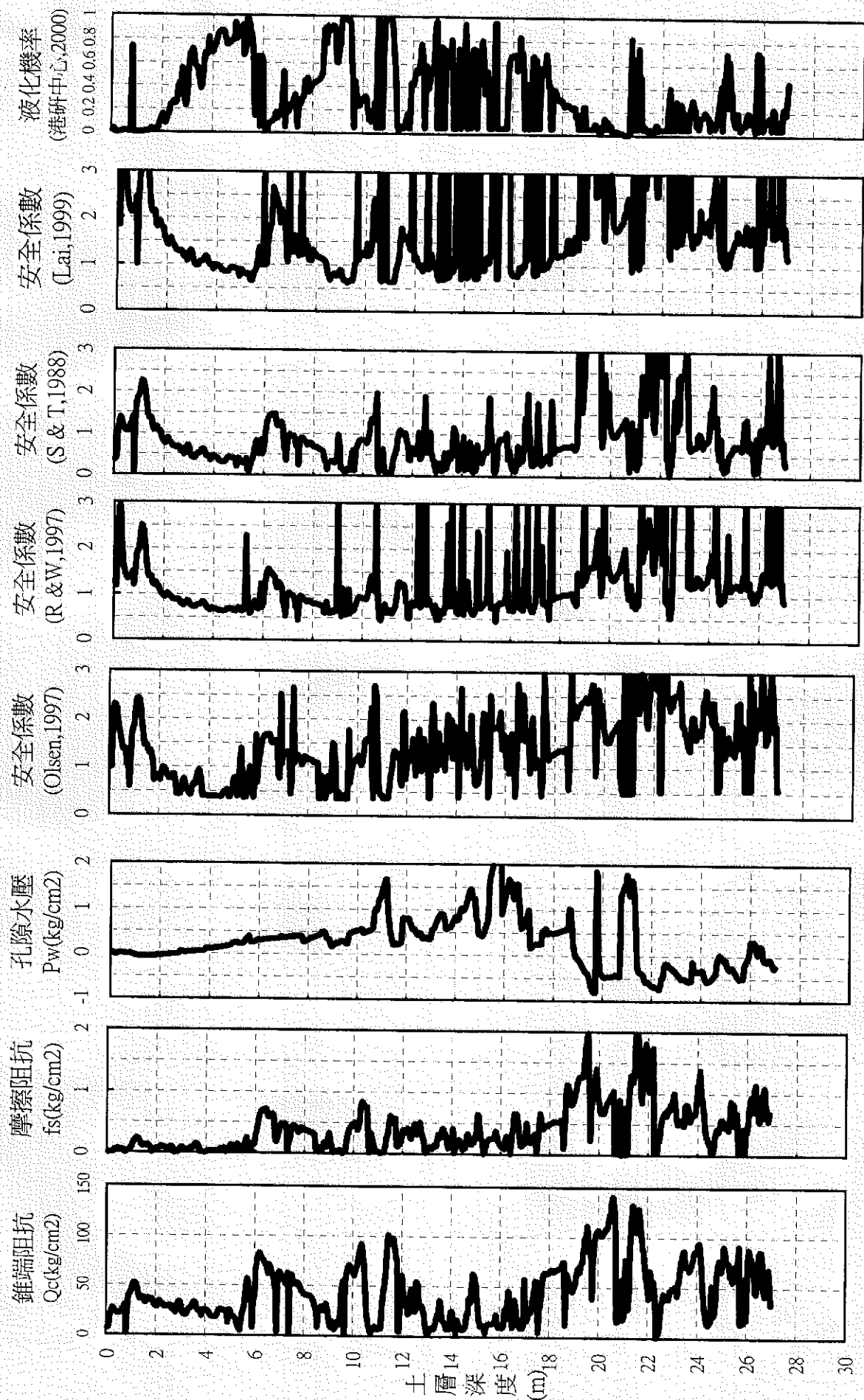
附圖10 布袋港CPT-H2-3孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)



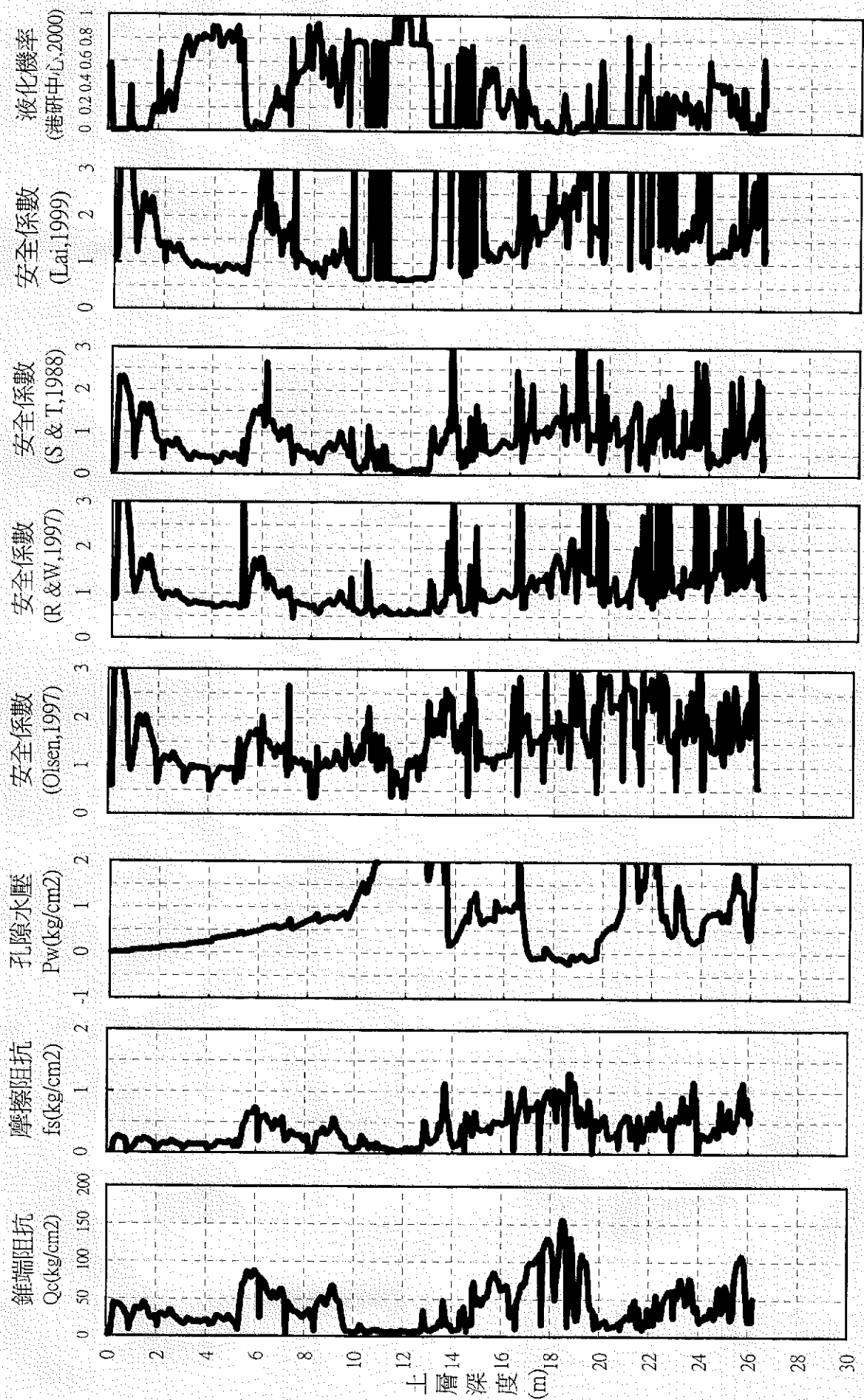
附圖11 布袋港CPT-H2-4 孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.15g)



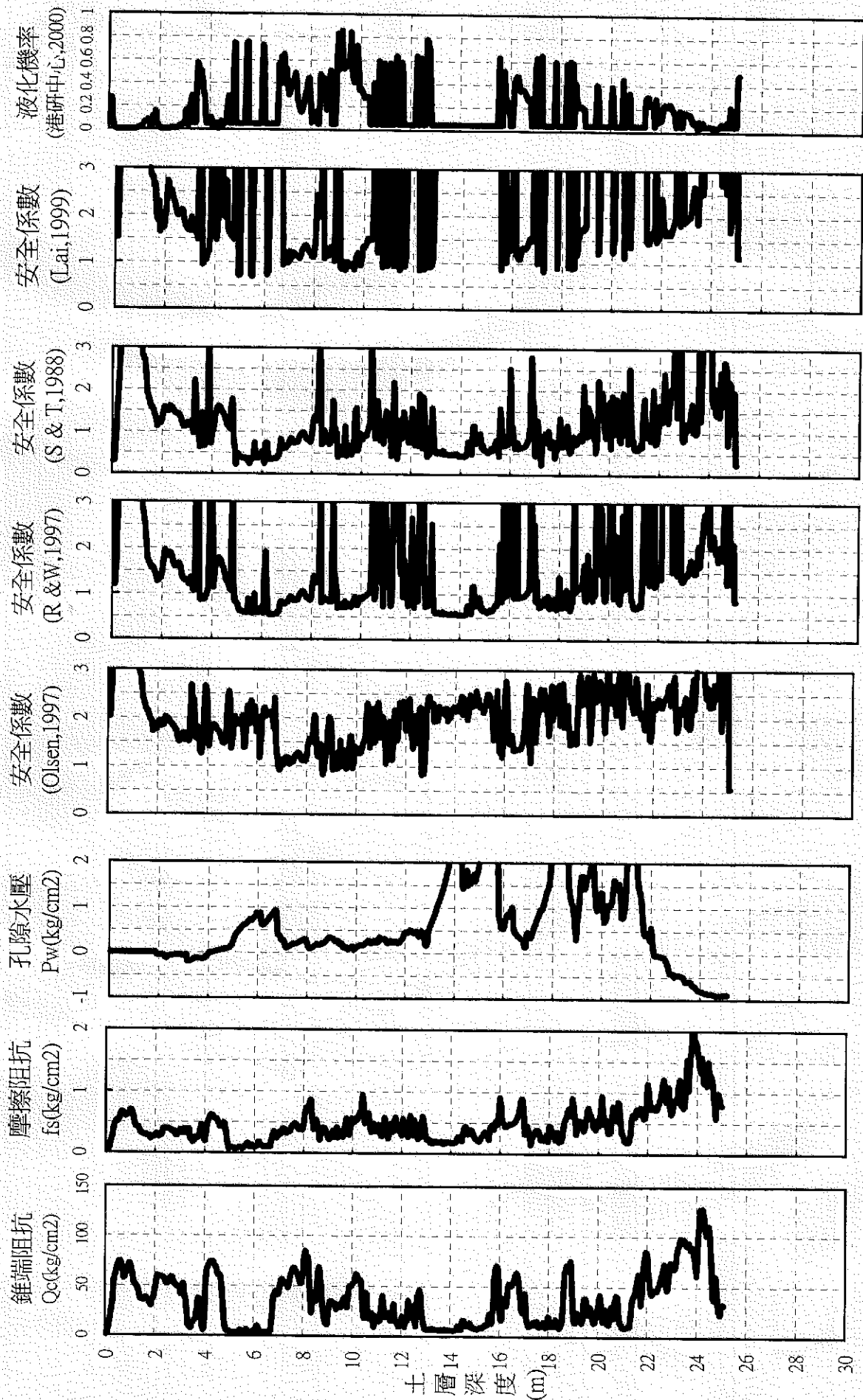
附圖12 布袋港CPT-H2-5孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)



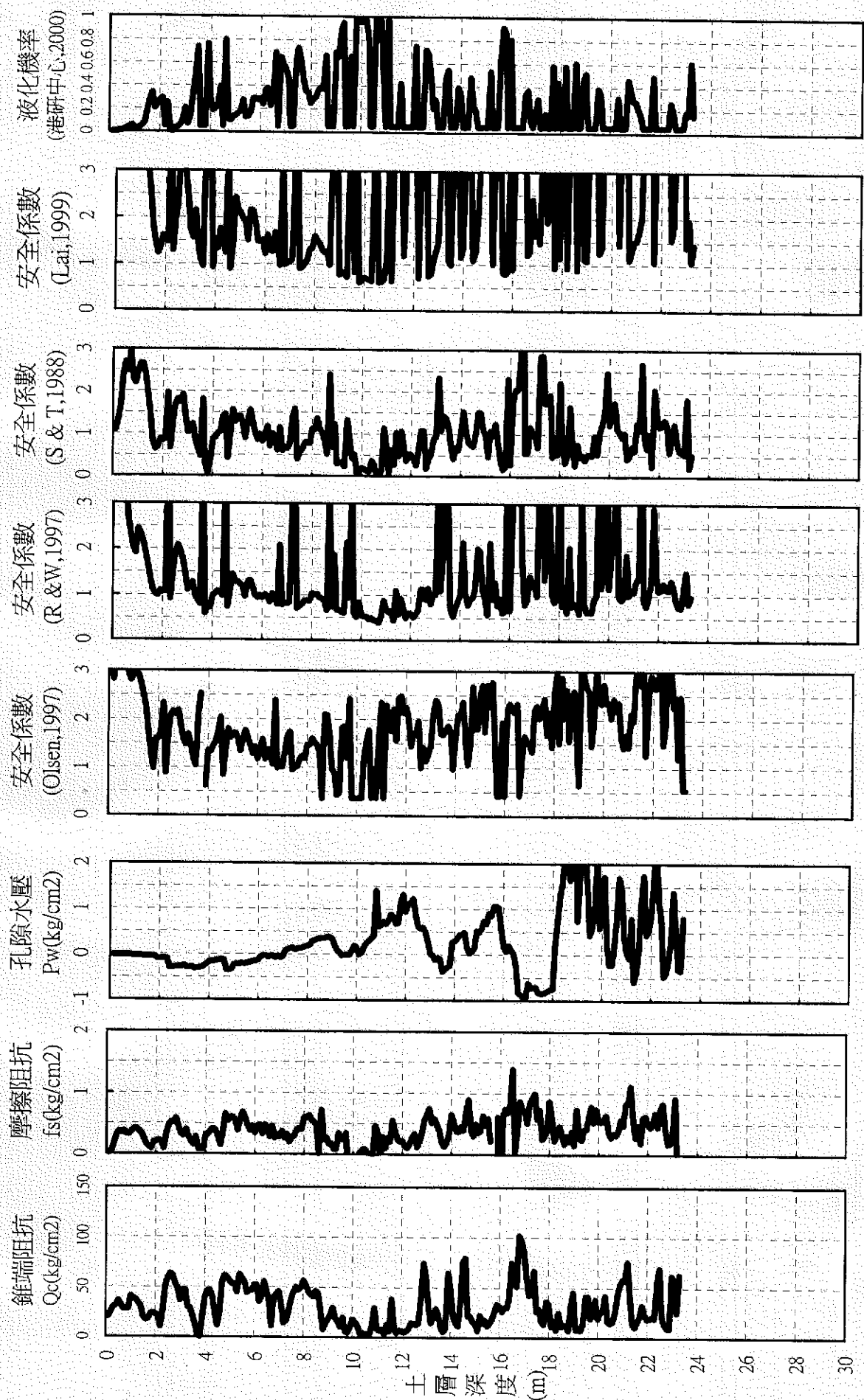
附圖 13 布袋港 CPT-H2-6 孔液化潛能評估結果 ($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)



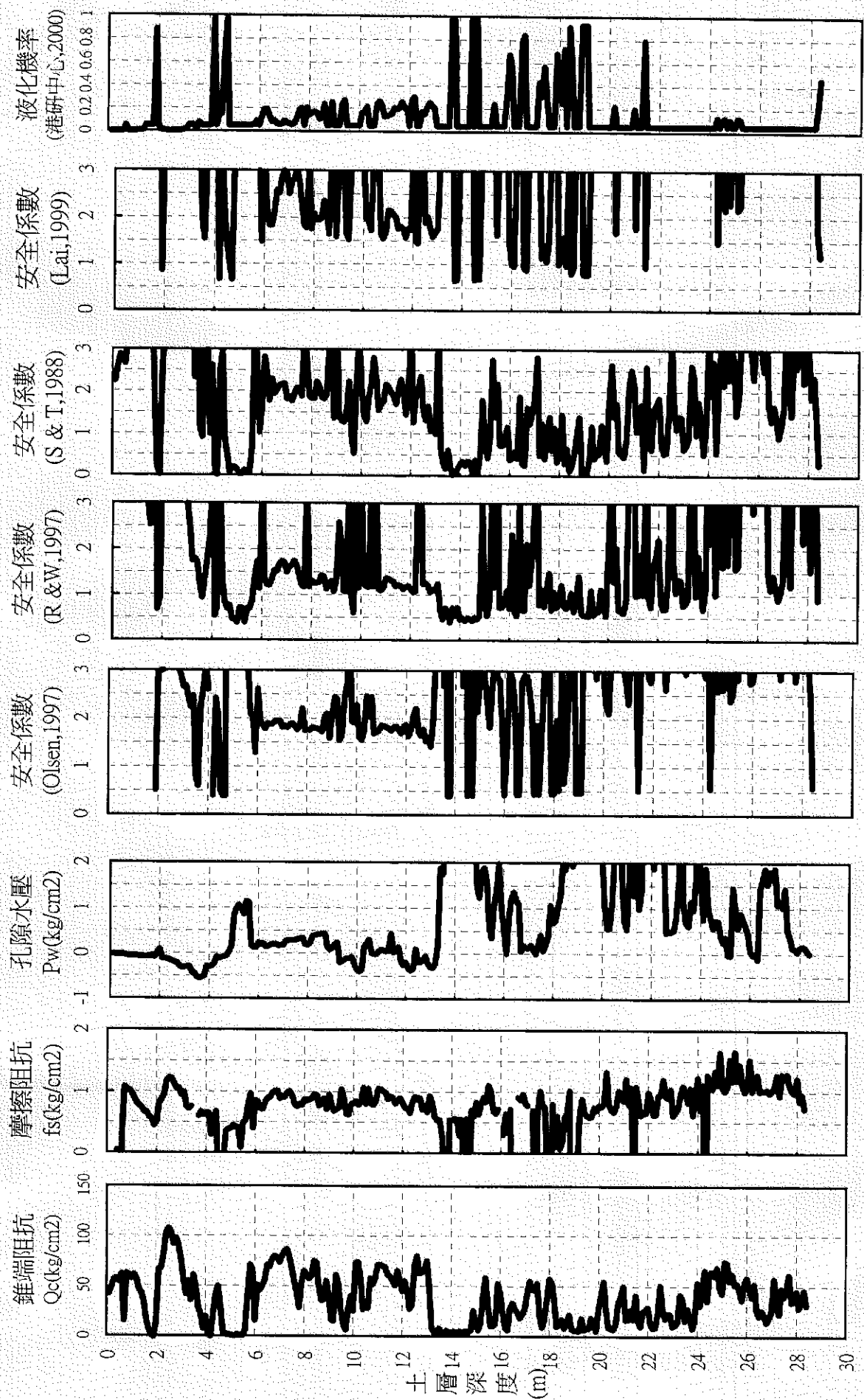
附圖14 布袋港CPT-H2-7孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)



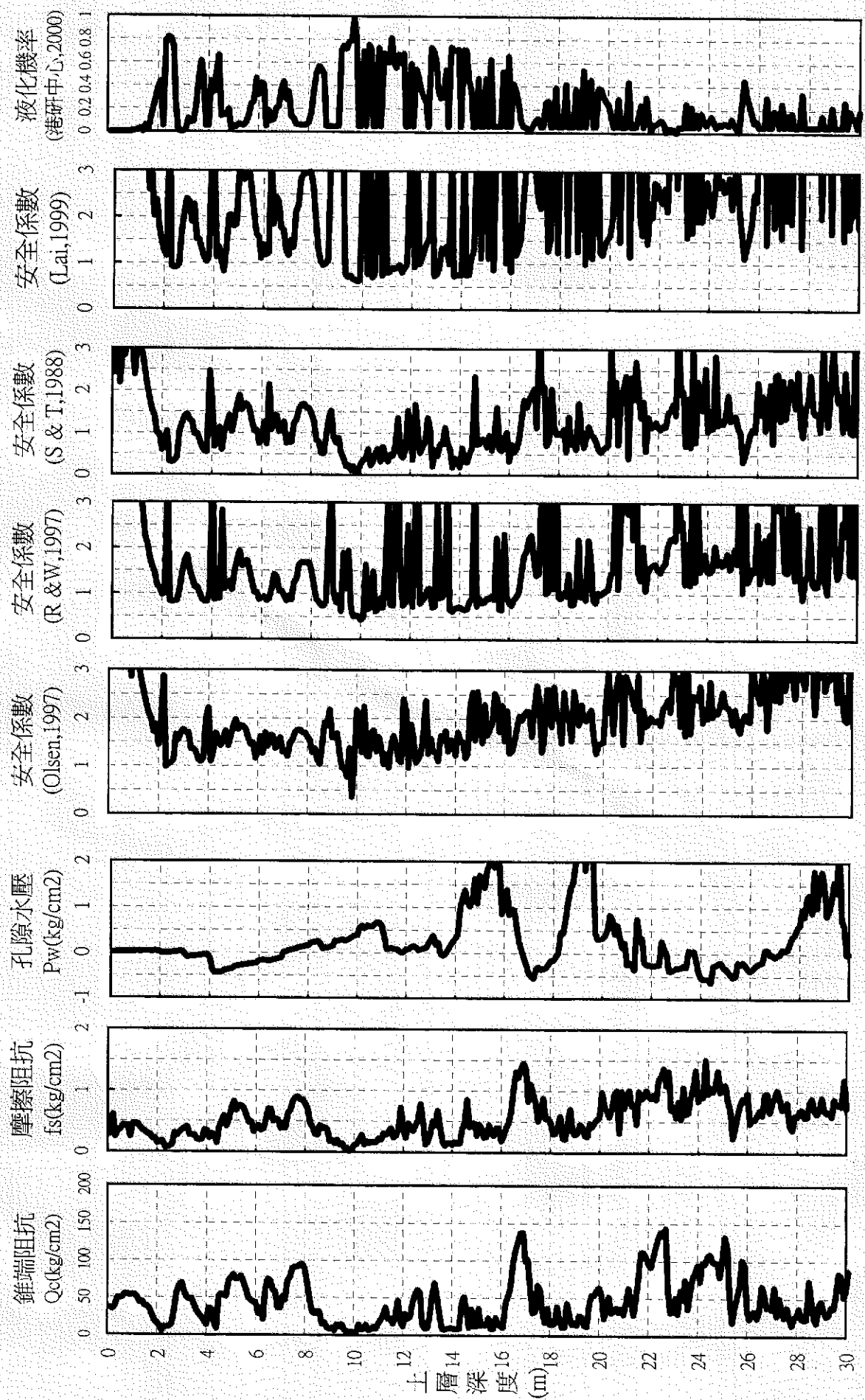
附圖15 布袋港CPT-PDH-01孔液化潛能評估結果($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)



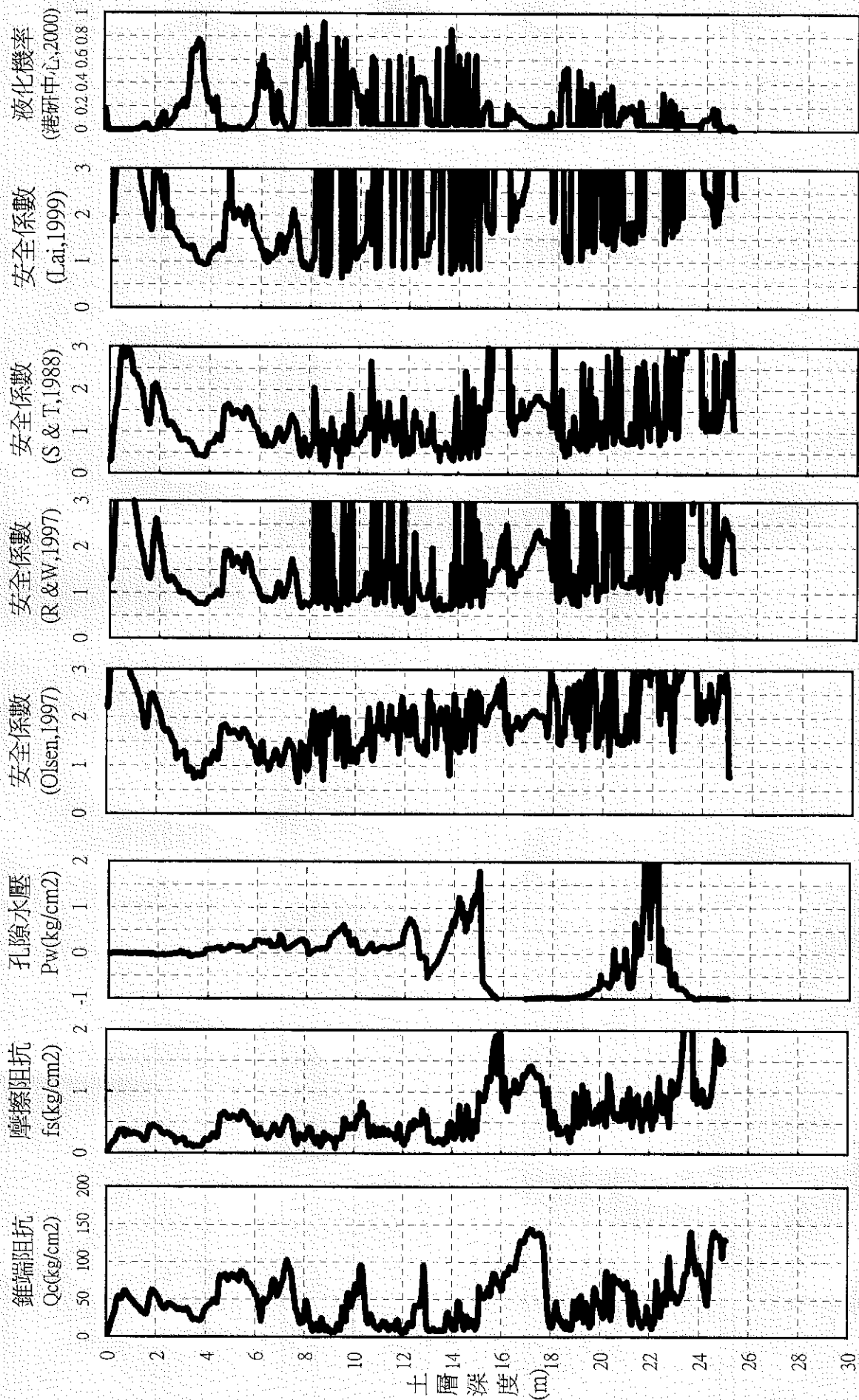
附圖 16 布袋港 CPT-PDH-02 孔液化潛能評估結果 ($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)



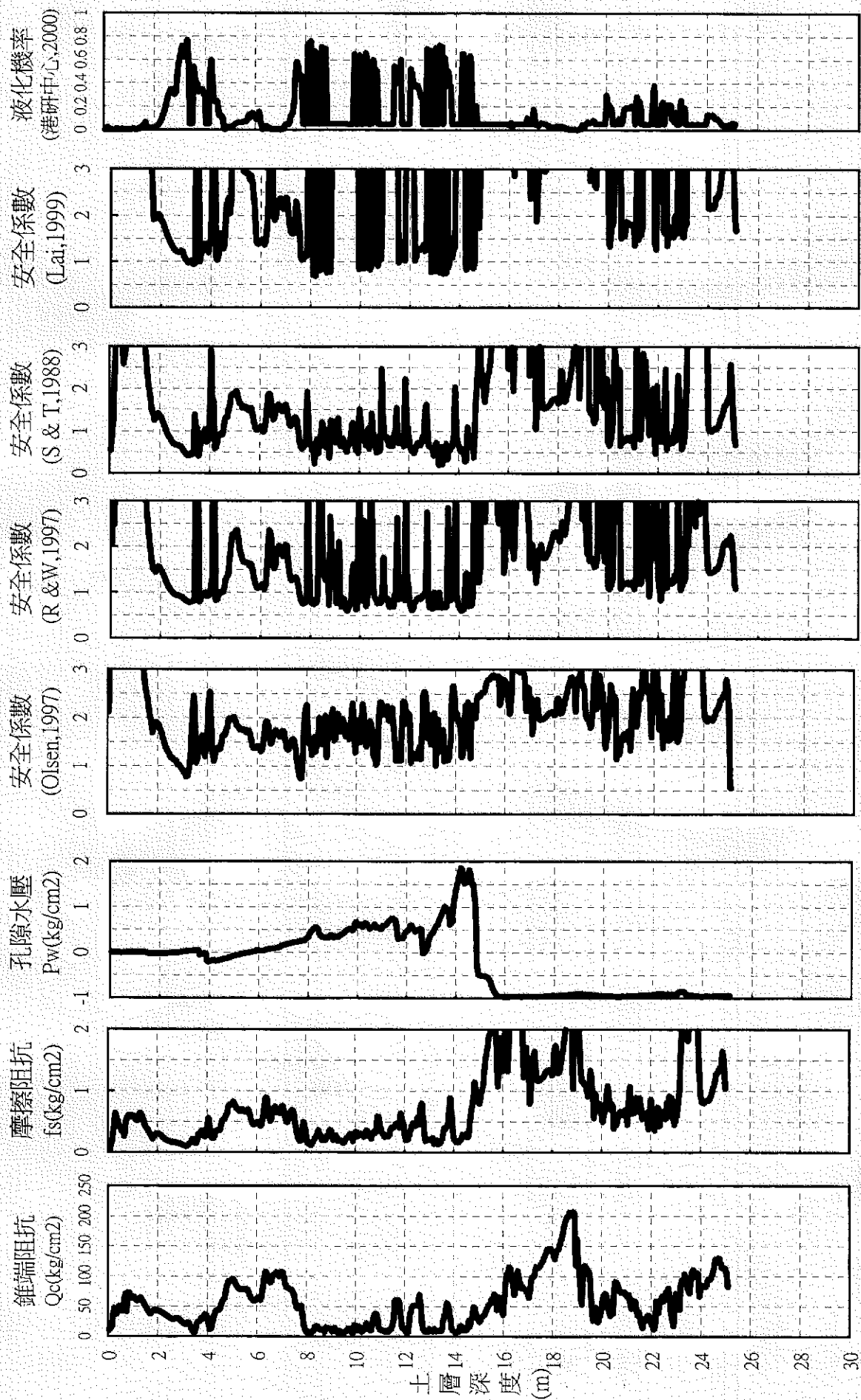
附圖17 布袋港CPT-PDH-03孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.15g)



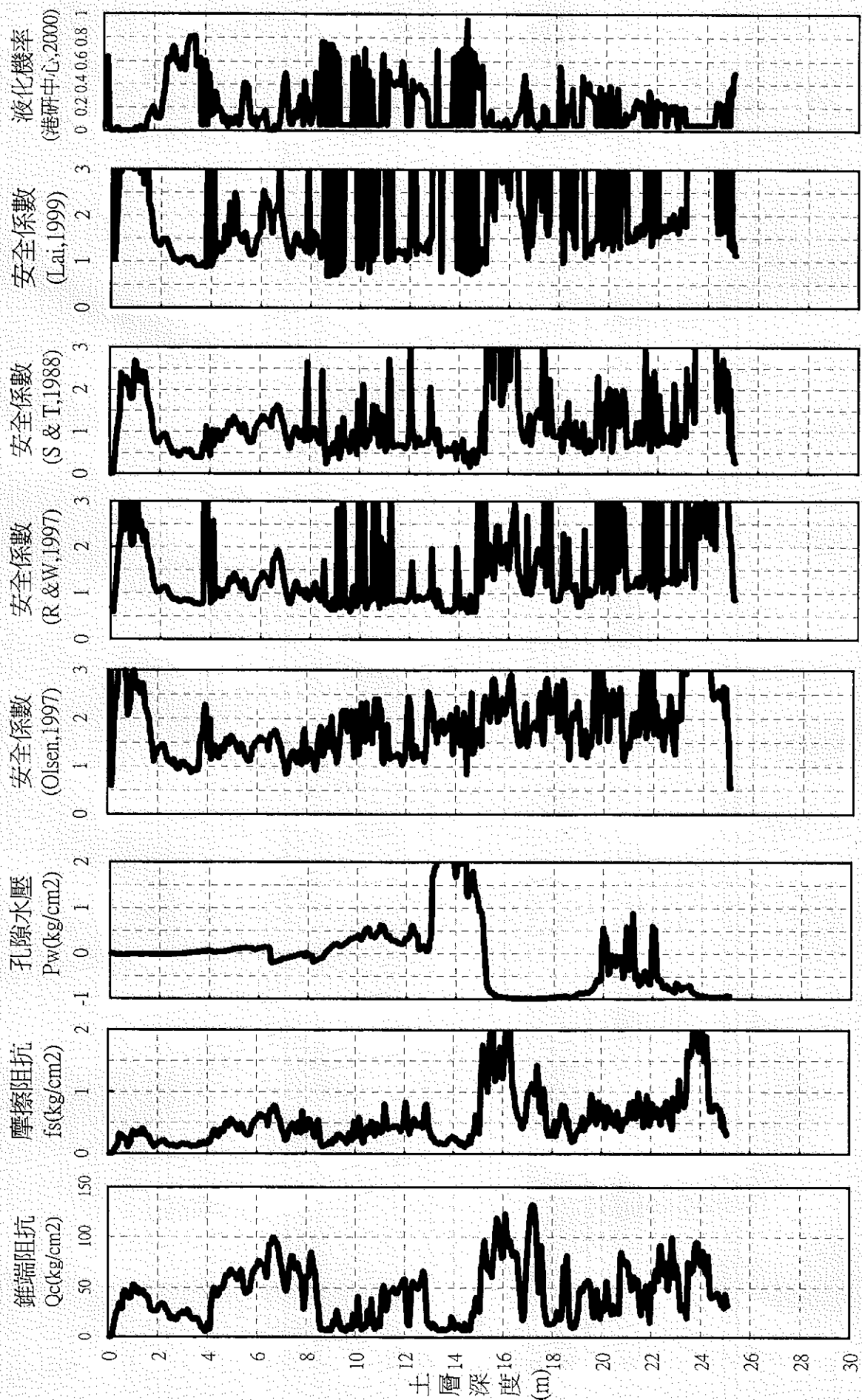
附圖 18 布袋港 CPT-PDH-04 孔液化潛能評估結果 ($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)



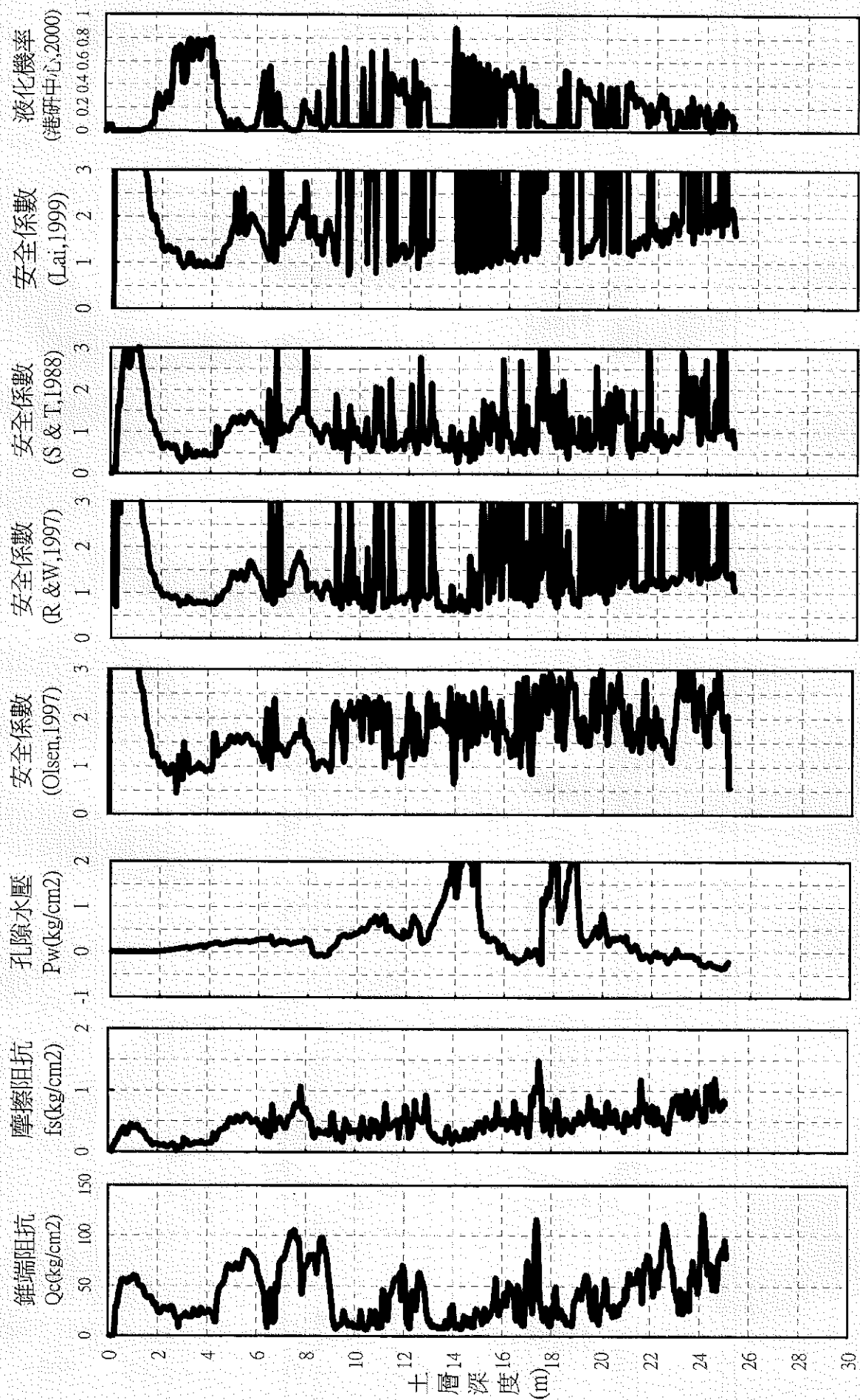
附圖19 布袋港CPT-PDH-05孔液化潛能評估結果(M=7.1, Amax=0.15g)



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($M=7.1$, $A_{max}=0.15g$)



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

附錄 B

期中報告審查意見及處理情形

期中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.25. 4.1.第 6 行，其中 H1-1 孔數值不正確？原因為何應說明。 2.p.55. 表 4-1，液化分析結果：各種分析方法之結果不同，應建議那一種較適合於布袋港。 3.是否有強震儀記錄？ 4.不同液化評估方法中之深度折減係數 γ_d 應說明。 5.鑽孔 300 公尺深，是否已達岩盤應說明？又地層下陷之分析是否分別考慮砂土與粘土之沉陷量？ 6.文字錯誤修正，p.1.倒 10 行，活耀 → 躍	H1-1 孔試驗時，電子錐碰到級配礫石損壞，以致試驗數值不正確。 依 921 台中港液化之回饋分析結果，以 OLSEN 及 LAI 法較接近現場災害。 布袋港區附近之布袋國小，有強震儀記錄。 依建議改進。 鑽孔 300 公尺深仍未達岩盤，惟已達超抽地下水深度。而地層下陷監測及分析皆分別考慮砂土與粘土之沉陷量。 依建議改進。
中山大學海洋工程系 陳陽益教授	1.嘉義地區的地震衝擊到地層下陷的土壤液化程度？評估情形？ 2.超抽地下水對港區的地層下陷，迄今影響程度？如何補救！	在 0.15g 地震力作用下，布袋港區易發生輕至中度液化，在 0.2g 地震力作用下，則發生嚴重液化。 嘉義沿海地區超抽地下水，造成布袋港每年之沉陷量約為 4-5 公分。因此港區之構造物須適當之加高因應。

	3.所用的分析方法中關連到的係數，其檢測的精確度多少？ 4.建議將所有實測資料彙整統合，儘早提出符合此區的預測模式。	地層下陷監測精度為0.5mm, 而以 CPT 法分析液化亦較 SPT 法精確很多,唯須更多液化災害之回饋分析, 以使分析模式更精確。 正朝此方向努力。
中山大學海洋工程系 薛憲文教授	1.將來應說明直接水準測量所得之沉陷量與觀測井所測得之下陷量所表達之意義。 2.應說明如何界定非地層沉陷區，建議可利用GPS 來協助界定。	直接水準測量所得之沉陷量為地表絕對沉陷量, 惟因須至遠距離引測, 易產生測量之累積誤差; 觀測井所測得之下陷量雖為地表至觀測井深度之相對沉陷量, 但觀測井深度若能達沉陷影響之深度, 其觀測值可能比水準測量更接近實際值。 非地層沉陷區之界定, 是以勘查布袋港區鄰近四週沉陷狀況與比較歷史文獻之記錄, 並經彼此檢核比較彼此高差結果, 於 6.3.4 節有說明水準引用基線。
成功大學土木所 倪勝火教授	1.請說明決定監測深度200m 或 300m 之原則。 2.圖 4.35 請配合文章說明，標示變數符號名稱。 3.部份英文標示如 p22 第二行，請按文意清楚標明。	鑽孔 300 公尺深仍未達岩盤, 惟已達超抽地下水深度。86 年因經費關係, 鑽孔僅 200 公尺深。 依建議改進。 依建議改進。

	4.是否可以台中港分析或本次地震造成液化沉陷之經驗，估測布袋港可能因液化造成之沉陷量。 5.期末報告可否增加對可能液化區之地盤改良法。 6.水準測量或層別沉陷量測大概多久一次？ 7.是否有必要在未來進行土壤側變位之量測？ 8.潮位落差造成動態載重是否會影響地盤沉陷量？ 可否說明使用儀器之精度。	本中心已完成 921 地震台中港液化及震陷分析，並與現場災害比較。而布袋港可能因液化造成之沉陷量，擬做為下年度之研究方向。 擬做為後續研究方向。 水準測量每年量測一次，而層別沉陷量測每月量測一次。 有必要進行土壤側變位之量測，以瞭解地震之側向擴展，擬做為後續研究之方向。 目前未進行此項探討。 地層下陷監測精度為 0.5mm
成功大學土木所 陳建旭教授	1.研究內容充實完整，具有實用價值。 2.儀器量測沉陷方法之精確度，請再以說明。 3.長期觀測之沉陷深度，請加以觀測並配合以往資料，建立適當預測模式。	依建議改進。 遵照辦理。
高雄技術學院土木系 沈茂松教授	1.200m(3 孔)、300m(1 孔)之沉陷監測井設深入到岩盤，因為量測各土層之沉陷為相對沉，故必須由至少兩個三角點做沉陷監測井與地表沉陷點之座標與高程量測，才能得到真正的沉陷量與傾斜方向。	岩盤於一千多公尺深以上，非本監測技術所及，鑽孔 300 公尺深雖未達岩盤，惟已達超抽地下水深度。

	2.水壓計有電子式開口直管式，因電子式水壓計有可能會因打電產生感應電阻而燒掉，而開口直管式必須管徑大於$\frac{1}{2}$cm 以上才不會受毛細水位而影響。 3.各分層水壓井，其設置時之初始水壓必須先測定，而每日及每月朔望之潮汐變化，必須量測其對水壓之影響。 4.200m 與 300m 沉陷井內各土層之初始孔隙比(由 SPT 取樣求出)初始有效應力(因抽砂回填)初始水壓→若無法或很難求出，則以反推法推求之。 5.若某些地區有養殖業超抽地下水，則依其不同季節不同抽水程度做評估。	本水位監測系統以 2 吋開口直管式設置，再於開口直管內放置電子式水壓計進行自動監測。 本分層水壓井每六小時自動監測一次，因此潮汐變化對水壓之影響亦能監測到。 遵照辦理。 本文不以抽水量分析地層下陷，是以分層水壓之變化做為將來分析地層下陷之主要依據。
--	--	--

	6.由各土層之沉陷與水壓觀測配合不同時間 t 之觀測，可以建立壓密作用百分比 $\bar{u}(\%) = \frac{\Delta H_t}{\Delta H_p} \cdot \frac{G_t}{H^2}$ 反算各土層之壓密係數 C_v，並可推算不同土層之沉陷速率。而且可以其參數之建立，代入各種不同壓密理論，或水壓與沉陷量理論。可建立區域性沉陷模式。(不同時段之壓密係數 C_v 之追量測，可預測下一時間段之沉陷速率，或反推上一階段之沉陷速率)。	遵照辦理。
高雄港務局楊組長義忠	1.港區附近沉陷歷史資料之搜集，不要離現在太久，宜補充較新之資料。 2.超抽地下水，非在布袋港區內，請在報告書中說明	依建議改進。於第六章已詳細說明。 已於第一章說明。
高雄港務局俞處長希豪	1.地層下陷影響港區建物施工之數值為何？ 2.漂沙調查結果，可提供布袋港疏濬參考。	靜態沉陷僅對港區建物之設計高程較有影響。其影響數值為每年 4-5 公分。液化之沉陷則對港區建物之基礎設計較有影響。須進行地盤改良或以深基礎、筏式基礎為之。
高雄港務局 尤總工程司福興	1.水準測量由約 40km 外之台一線引點，該處是否有下陷，請說明。	於第六章已詳細說明。

	2.輕度、中度、嚴重等液化程度，有否定義，請描述。 3.觀測井之沉陷監測，是否為相對沉陷量？請說明。 4.土壤液化時水平側壓力增加多少，請說明。 5.本期中報告原則審查通過。請執行單位參考與會專家學者及港務局同仁之意見並繕打整理後連同辦理情形列於期末報告附錄中。	於表 4-1a 已詳細說明。 觀測井所測得之下陷量雖為地表至觀測井深度之相對沉陷量，但觀測井深度若能達沉陷影響之深度，其觀測值接近實際沉陷值。 分三部分說明:(1)液化時構造物之慣性力與未液化時之慣性力一樣;(2)液化時之超額孔隙水壓力約為未液化時主動土壓力之 1.5-2 倍;(3)液化時動流體壓力約為未液化時動水壓力之 2 倍。
--	---	---

附錄 C

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（地層下陷部份）

審查單位	審查意見	處理情形
中山大學海洋工程系 陳陽益教授	1. 地層下陷主要原因是超抽地下水所造成，如何有效防治？意見如何？ 2. 89 與 90 頁的圖 5-10 與圖 5-11 中，地下水位(m)的縱座標是否有誤，請查一下。 3. 地盤改良其方式如何進行與其預計成效？ 4. 地層下陷對布袋港區及鄰近地區之整體影響程度如何？可否預估。 5. 地層下陷與土壤液化因素是否會引發地震？	超抽地下水最有效之防治是以相關法令禁止超抽，唯此非港灣相關機關權責範圍。 P. 89, 90，地下水位座標(一)表地表下。 對液化之防治可進行地盤改良，本中心有相關之研究報告。 目前布袋港區每年下陷量約 4 公分，因此高程設計時，須預先提高。 地震是因，地層下陷與土壤液化是果，因此不會倒果為因。
中山大學海洋工程系 李賢華教授	1. 請述明土壤深層下陷的原因及其與地下水超抽之關係。 2. 在 921 集集大地震前後地層及地下水是否有異常現象。 3. 請述明深層下陷對工程應用之影響及其可能之補救方式。 4. 請述明液化潛能評估方式之適應性及評估結果之合理性。	深層下陷主因為深層超抽地下水其相關性於 5.3.4 節敘明，而相關性分析模式可參文獻筆者拙著。 921 大地震後台中港地下水壓有上升現象，但布袋港並沒有上升。 深層下陷屬於均勻沉陷，對工程影響最大者為高程設計。 評估方式經 921 地震驗證以 Lai 及 Olsen 模式較合適，唯須更多案例。
成功大學土木所 陳建旭教授	1. 內容詳實，資料可貴，符合規定事項要求。	

	2. 參考文獻之格式及書寫方式請加以修改，以符合讀者尋找相關文獻之需要。 3. 請說明 921 地震對沉陷之影響。 4. 建議下次期中或期末報告至布袋港現場，以瞭解操作狀況。	加以改進。 921 地震布袋地區 PGA 僅有 0.069g，對布袋港區沉陷仍無影響。 遵照辦理。
中興大學土木所 林炳森教授	1. Ch. 4. 不同液化評估方法中，應說明何種方法較適用於布袋港？若依 921 台中港液化分析結果，以 Olsen 與 Lai 較合適，但應比較布袋港與台中港之地質條件。 2. p. 33，是否說明 Olsen 之 r_d 修正公式與 p. 39Lai 所提者之差異性。 3. 300m 地層下陷觀測井，施工時，於磁環彈開後，其灌漿後是否確實與地層密合。 4. 水準點應考慮地震之影響。 5. 在報告中應提出液化防治與抽水下陷之防治方法。	作為後續研究方向。 後續報告中再予說明。 本施工方式於磁環彈開時，不可施予灌漿，須讓它隨地層滑動。 會加以注意。 於後續研究中考慮之。
高雄港務局工務組	1. p23, CPT 平面圖相關位置不清楚，請修訂	於附錄中補充報告。

	2. p22，土層判斷計分 A-A, B-B 及 C-C 三個斷面，為何 p117 結論(1)，僅將 A-A 斷面判斷結果列為 p117 之結論(1)。 3. 為便於閱讀及對照，類似 p60，分析結果文字敘述，建議邊排於觀測資料之前或之後，不要穿插其間，報告書內其他類似情狀亦請一併修正。 4. p76，表 5-3 水壓計資料表和報告書 p72 敘述不同。 5. p80-p87，之觀測井鑽探資料之結果(例如 N 值)，建議併於 p83 及 p86 之圖 5-7 及圖 5-8 內，以圖示表達。 6. p86 之圖 5-8，分層沈陷計應是 27 台，而非 29 台。 7. p89，p90，p93 之時間座標，建議標示年份。 8. p95，p96 之圖 5-14 及 5-15 之標題，請標明為 200m 觀測井。 9. p117 之結論(3)，建議參酌 p92 之文字修訂。另淺二層之 6.8m 應為 68m，一併修訂。	與 2.2 節地質比較筆者初步判斷 A-A 斷面之 q_c 值較接近港區大區域之地質，因此初步結論，以 A-A 斷面代表，將來有更多 CPT 調查資料時，再予修正。 90 年度報告中，將一併修正，並將較基本之分析資料放於附錄中。 由於有部分開放式水壓計及部分電子式水壓計，故敘述上較複雜。 若加入 N 值可能會增加圖之複雜性。 參 5.3.3 節說明。 由於資料檔非常大，欲標示年有些困難，故於橫軸下方表示起迄年月。 依建議改進。 依建議改進。
--	---	---

	10. p94 依 p95 結果，判斷布袋港屬於深層沈陷，且較 200m 更深處仍有沈陷，但和 p98 之 300m 觀測井之觀測結果似有落差，請再補充說明。 11. p117 結論(5)，建議進一步監測探討之原意如何，請補充說明。 12. p104，引用水準點分佈置不清楚，請修訂。 13. p105 各沈陷勘查之照片，建議分別以補充說明或標示方式，說明沈陷的狀況。 14. 港區水準點位置建議以二度分帶座標表示。	已補鑽一孔 300m 觀測井，並進行監測比較。 即須進行較長時間監測，再探討原因，已於結論中補述。 可參圖 6-2B 較清楚。 依建議改進。 由於未進行座標測量因此僅以水準點號為說明，俟座標測量後再補正。
高雄港務局 尤總工程司福興	1. 本地區預估每年沉陷量為 3~4 公分，則十年後累積至少已達 30~40 公分，對於防波堤、碼頭之沉陷可採加高方式因應，惟後線之建築物及場地如何因應請研議並提供建議。 2. 深層地下水層若屬壓力水層，其所量測者應為水頭，報告中所述水位是否換算過，請補述之。 3. 報告第 36 頁流程圖右側之 $q_{cin}=Q$ 邏輯上是否宜書寫為 $Q=q_{cin}$。	依拙見，建築物高程須預先予以提高，至於其他場地俟沉陷量已影響作業時再加高。 報告中之壓力水頭皆換算為水位高程以利比較。 此為 R&W 原著，唯經筆者思考後，應仍為 $q_{cin}=Q$，較宜。

	4. 地表最大加速度之大、小寫應統一。 5. 經九二一大地震後，水準點絕對高程本身有無變動請再研討。 6. 教授及本局與會單位之審查意見請港研中心於報告書內補充修訂，並列表說明以利對照。 7. 合約規定應完成之事項均已辦理，期末報告資料原則上同意通過，請依合約規定繼續辦理後續應辦工作。	依建議改進。 遵照辦理。 遵照辦理。
--	---	---

布袋港漂沙及地層下陷觀測研究計畫

全程計畫:自 88 年 9 月至 93 年 12 月

本年度計畫:自 88 年 9 月至 89 年 9 月

第二子計畫:漂沙現場監測計畫

計畫主持人:張 富 東 助理研究員

共同主持人:邱 永 芳 研究員兼組長

研究人員:江金德、廖慶堂、林受勳、徐如娟

交通部高雄港務局委託

交通部
運輸研究所 港灣技術研究中心 辦理

中華民國八十九年九月

目錄

第一章	前言.....	01
第二章	自然條件資料.....	03
	2.1 地理環境及現況.....	03
	2.2 風速風向.....	03
	2.2.1 冬春季季節風.....	04
	2.2.2 夏季季節風.....	04
	2.3 颱風.....	04
	2.4 波浪.....	05
	2.4.1 季風波浪.....	05
	2.4.2 颱風波浪.....	05
	2.5 海流.....	05
	2.6 潮汐.....	06
	2.7 海底底質.....	06
第三章	平面流況調查.....	07
	3.1 調查範圍.....	07
	3.2 調查系統架構及方法.....	07
	3.2.1 調查系統架構.....	08
	3.2.2 調查方法.....	10
	3.3 調查結果與分析.....	15
	3.3.1 冬季季節風之平面流況.....	25
	3.3.2 夏季季節風之平面流況.....	26
第四章	港口附近水深測量.....	29
	4.1 調查範圍.....	29
	4.2 調查儀器與方法.....	30
	4.2.1 使用儀器.....	30
	4.2.2 調查方法.....	31
	4.3 調查結果與分析.....	33
第五章	底床粒徑採樣分析.....	45
	5.1 調查範圍.....	45
	5.2 調查步驟與方法.....	46
	5.2.1 主要儀器設備.....	46
	5.2.2 作業流程及分析方法.....	47
	5.3 樣本分析與結果.....	51
第六章	結論與討論.....	127
參考文獻		131

摘要

藉由本研究有計畫的長期監測，布袋港港口附近海域之底質沉積物，其粒徑分佈與礦岩組成，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，當可整體的來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。

本次監測為五年計畫之第一年，其上半年度平面流況調查，因冬季東北季風強徑，測得之平面流不論漲、退潮，皆為由北(N)向南(S)或南南西(SSW)流為其主要的優勢方向，其平均流速介於 0.07m/s 至 0.31m/s 之間；而下半年度觀測結果，其漲潮時期受西南夏季季節風影響，則以西南(WS)向東北(NE)或北(N)流為其主要的優勢方向，其平均流速介於 0.13m/s 至 0.30m/s 之間。

而布袋港港口附近水深測量的結果，其上、下半年地形等深線皆為由北北東(NNE)方向較淺，逐漸往南南西(SSW)方向漸深之趨勢；而上半年度港內航道原濬深-9 公尺，受港池內其他未濬深區域土方自然重力回淤，航道淤淺為水深-6 公尺左右；港外航道(距離港口以西約 400 公尺處)，受漂砂影響，也由原水深-6 公尺淤淺為水深-3 公尺；下半年則因受瑪姬(MAGGIE)颱風過徑影響，漂沙由西南外海往東北方向帶至港口、航道、防波堤與海岸灘線附近。本研究範圍之布袋港港口附近水深測量，兩次時間(89/01 與 89/07)相隔半年，總共淤積量為 5404635.54 立方公尺，平均淤積高差在 0.31 公尺至 1.53 公尺之間。

底床採樣調查方面，上半年度布袋港港口附近海域的底床粒徑分佈概況，其有平均粒徑(d_m)則介於 0.0067mm~ 0.1823mm 之間；篩分係數(S_0)介於 1.569~19.632 之間，歪度(S_k)則介於 0.217~1.052 之間；而於下半年度採樣調查顯示，其平均粒徑(d_m)則介於 0.007mm~0.1509mm 之間，而篩分係數(S_0)則介於 1.5019~18.1782 之間，歪度(S_k)則介於 0.348~1.4071 之間；依 ASTM 分類標準定義，兩次採樣調查粒徑分類皆介於細沙至淤泥之間；而粗粒徑沉積物皆分佈於海岸之灘線與防波堤附近，愈往外灘延伸或航道水深較深處則粒徑愈細，原因應為波浪之篩分(sorting)作用所致。

礦岩組成則以石英與板岩為主；上半年度採樣分析結果，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%以上；而其下半年度採樣分析，則石英含量介於 39.83%和 76.76%之

間(平均 62.66%)，板岩含量介於 10.48%和 58.47%之間(平均 31.26%)，兩者合計約佔全部底質沉積物 93%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 1%)。

本年度調查因有瑪姬颱風過徑，港外漂沙隨颱風波浪湧入港池內，港池內南北碼頭區與港口突堤附近皆有漂沙嚴重淤積現象；而此一現象恰可證明在布袋港港口附近之底床粒徑與水深條件下，只要波浪尖銳度稍大，就足以使得底泥達到全面起動臨界值，將漂沙帶入港口與航道區，嚴重影響布袋港航船安全。

第一章前言

布袋港港址位於本省西南嘉義縣境內，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。然因近年來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轉劇，而此現象則對布袋港之航道及港埠設施，恐將產生淤積阻塞之虞。有鑑於此，為了進一步瞭解布袋港港口附近之漂砂活動及其對布袋港可能造成的影響程度；本研究之目的乃在於布袋港港口附近海域進行長期之漂砂現場監測，藉由取得漂砂活動的基本資料，來分析及研究該海岸地域之地形變化與漂砂特性，以期能及早且適時的提出對策，防患傷害於未然，維護港航運作安全。

基於上述，高雄港務局(以下簡稱貴局)遂委託港灣技術研究中心(以下簡稱本中心)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。

而本文係本研究執行第一年的成果報告，文中第二章對布袋港附近海域的自然條件與現狀作一必要之蒐集與敘述；而第三章、第四章與第五章則分別對本研究之主要工作項目，就其調查範圍、使用儀器、執行步驟與分析結果等逐一描述之；第六章則對於本次研究所獲得之調查成果作概要性的總結與討論。

最後，期望本研究之調查結果可以進一步描繪出布袋港港口附近海域之漂砂活動特性，以憑為下一階段港口擴建與規劃設計之有力參考，亦可作為後續調查研究時之基礎與依據。

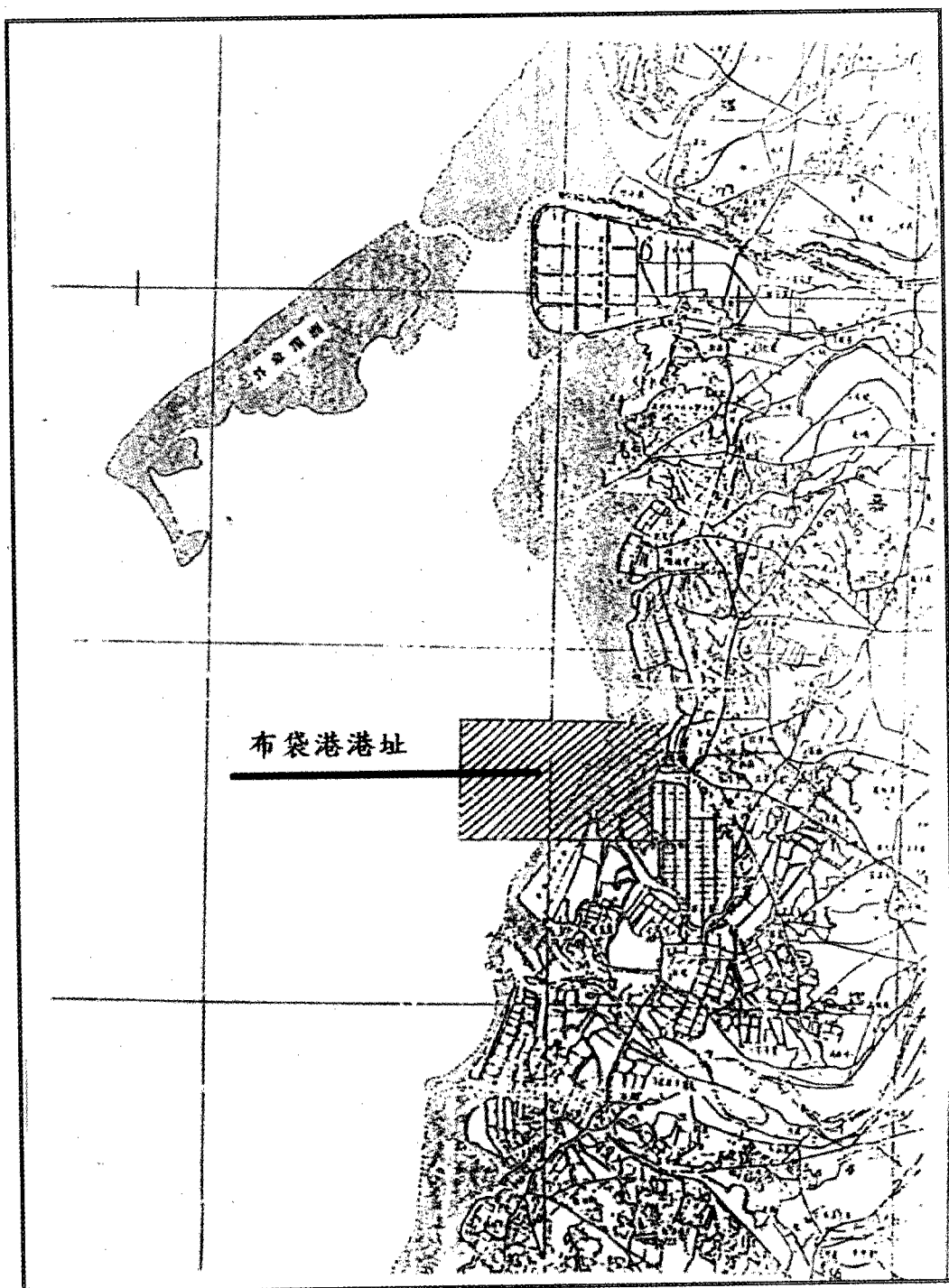


圖 1-1 布袋港地理位置圖

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。

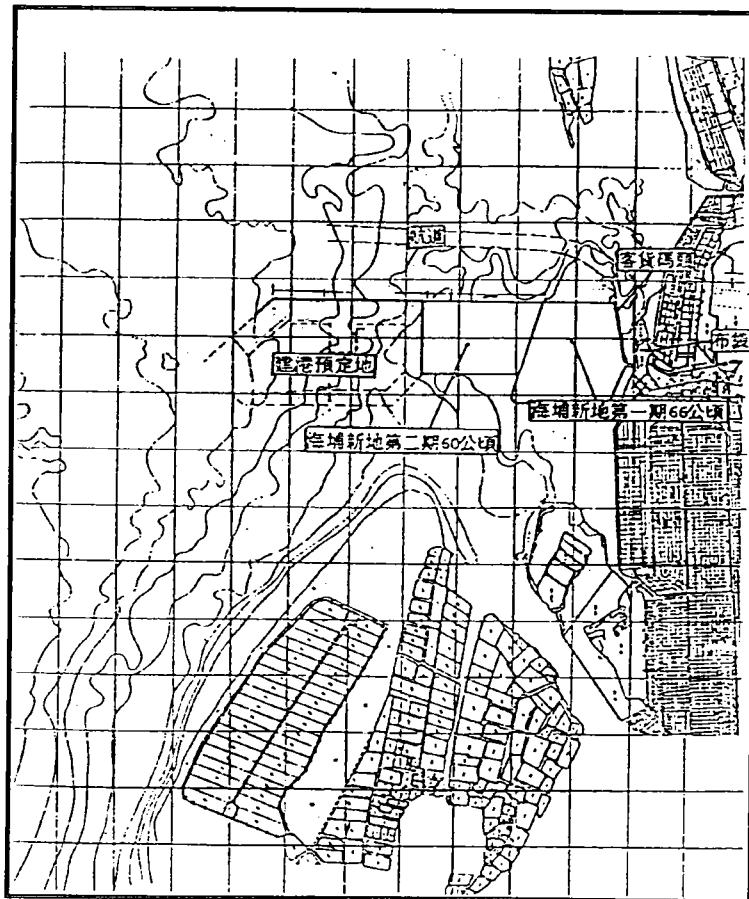


圖 2-1 布袋港港址現況

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%。

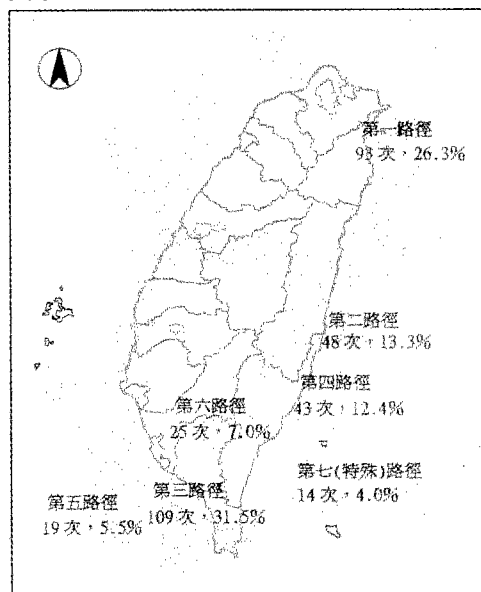


圖 2-2 1897~1997 年侵台颱風路徑統計

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 年颱風波浪如下：

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

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。

第三章平面流況調查

近岸流為漂砂移動的主要動力，因此由平面流況調查即可初步判定漂砂走向及其來源，利用此調查可作為布袋海域及港口附近沖淤研究的基本依據。

3.1 調查範圍

本計畫平面流況調查主要選擇冬、夏兩季各量測一次；本年度第一次調查於89年1月1日至1月2日之間實施，而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。而其調查範圍則以布袋港港口南、北方距離二公里處之鄰近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。

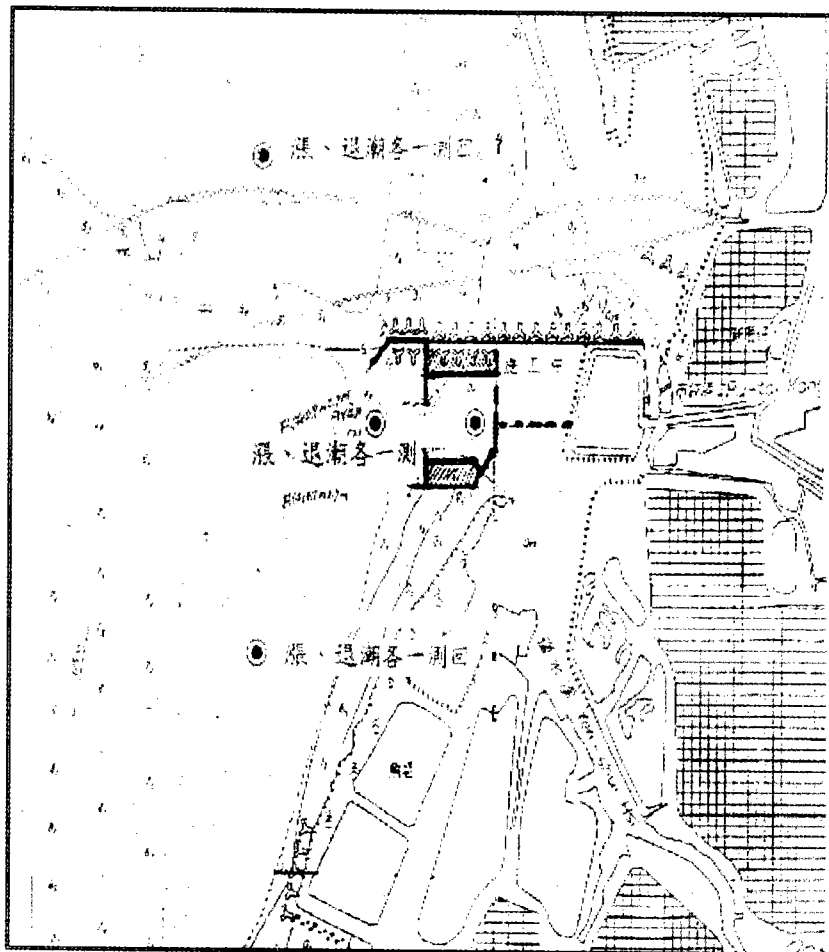


圖 3-1 平面流況調查施測範圍

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系統架構如圖 3-2 所示，共可分為兩大部分：

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。
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。

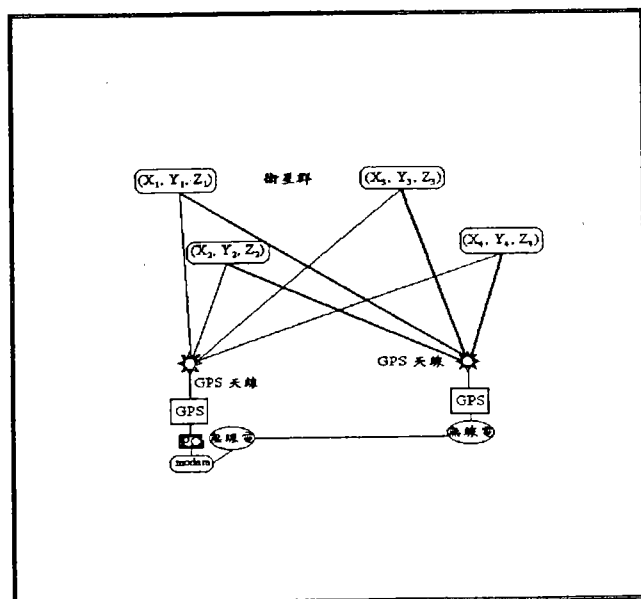
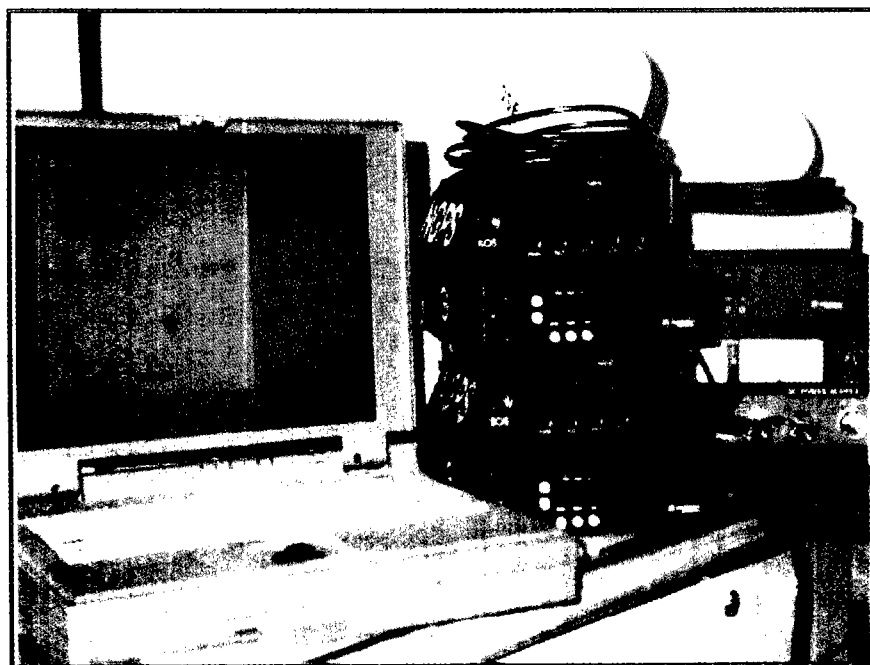
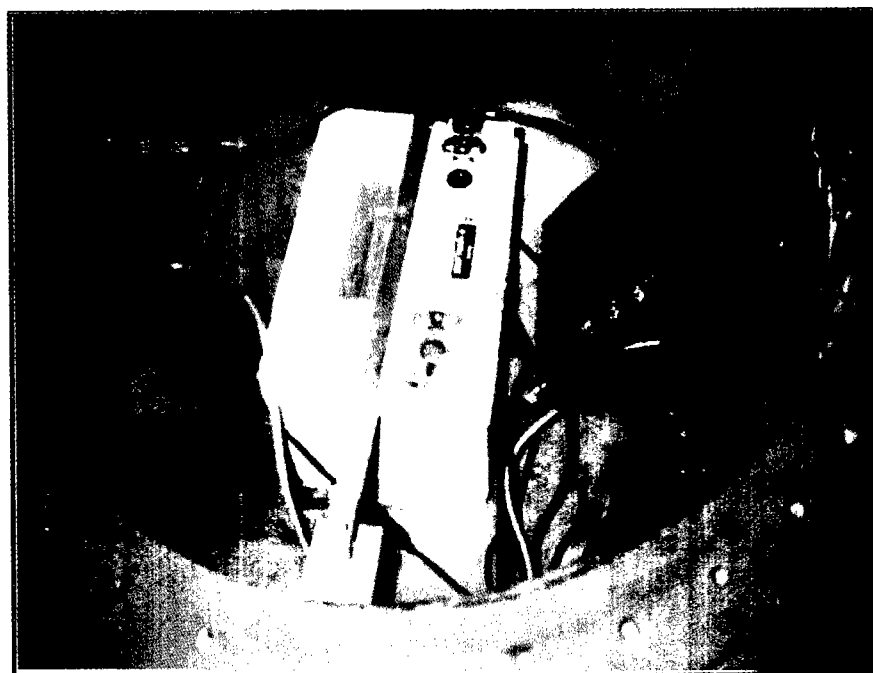


圖 3-2 平面流況量測系統架構



照片 3-1 基地站實景



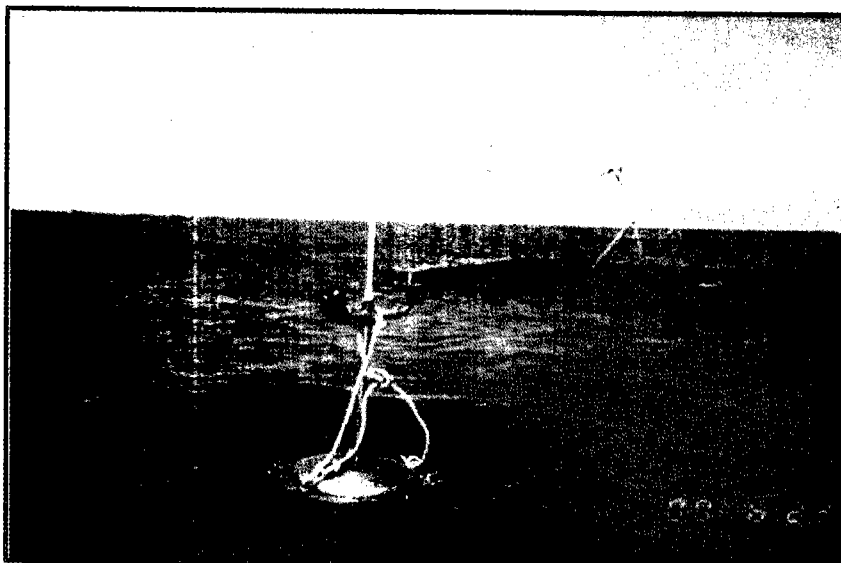
照片 3-2 移動站內部實景

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

關於各測區漂浮球之拋放時間係依據布袋港之驗潮站來規劃，潮位量測之原始資料如附表 3-1 所示，因原始資料數據量多，本文僅簡列 89 年 1 月 1 日 8 時至 18 時的潮位說明之。第一次調查漂浮球拋放時間與潮位之關係如圖 3-3 及圖 3-4 所示，而第二次調查漂浮球拋放時間與潮位之關係則如圖 3-5 及圖 3-6 所示；各次工作分別於漲、退潮時各施測一次。

時間	水位 cm	時間	水位 cm	時間	水位 cm
2000/1/1 08:02	331	2000/1/1 11:37	291	2000/1/1 15:12	295
2000/1/1 08:07	330	2000/1/1 11:42	291	2000/1/1 15:17	295
2000/1/1 08:12	329	2000/1/1 11:47	291	2000/1/1 15:22	297
2000/1/1 08:17	328	2000/1/1 11:52	291	2000/1/1 15:27	297
2000/1/1 08:22	326	2000/1/1 11:57	286	2000/1/1 15:32	298
2000/1/1 08:27	326	2000/1/1 12:02	285	2000/1/1 15:37	299
2000/1/1 08:32	326	2000/1/1 12:07	284	2000/1/1 15:42	299
2000/1/1 08:37	326	2000/1/1 12:12	285	2000/1/1 15:47	299
2000/1/1 08:42	326	2000/1/1 12:17	285	2000/1/1 15:52	301
2000/1/1 08:47	326	2000/1/1 12:22	284	2000/1/1 15:57	303
2000/1/1 08:52	326	2000/1/1 12:27	285	2000/1/1 16:02	303
2000/1/1 08:57	326	2000/1/1 12:32	285	2000/1/1 16:07	303
2000/1/1 09:02	325	2000/1/1 12:37	285	2000/1/1 16:12	310
2000/1/1 09:07	325	2000/1/1 12:42	286	2000/1/1 16:17	313
2000/1/1 09:12	325	2000/1/1 12:47	287	2000/1/1 16:22	314

2000/1/1 09:17	324	2000/1/1 12:52	287	2000/1/1 16:27	315
2000/1/1 09:22	323	2000/1/1 12:57	288	2000/1/1 16:32	318
2000/1/1 09:27	323	2000/1/1 13:02	289	2000/1/1 16:37	327
2000/1/1 09:32	323	2000/1/1 13:07	290	2000/1/1 16:42	328
2000/1/1 09:37	322	2000/1/1 13:12	287	2000/1/1 16:47	329
2000/1/1 09:42	322	2000/1/1 13:17	288	2000/1/1 16:52	331
2000/1/1 09:47	322	2000/1/1 13:22	288	2000/1/1 16:57	332
2000/1/1 09:52	321	2000/1/1 13:27	289	2000/1/1 17:02	334
2000/1/1 09:57	322	2000/1/1 13:32	290	2000/1/1 17:07	337
2000/1/1 10:02	321	2000/1/1 13:37	290	2000/1/1 17:12	338
2000/1/1 10:07	320	2000/1/1 13:42	290	2000/1/1 17:17	339
2000/1/1 10:12	320	2000/1/1 13:47	290	2000/1/1 17:22	342
2000/1/1 10:17	319	2000/1/1 13:52	290	2000/1/1 17:27	342
2000/1/1 10:22	319	2000/1/1 13:57	291	2000/1/1 17:32	344
2000/1/1 10:27	316	2000/1/1 14:02	291	2000/1/1 17:37	347
2000/1/1 10:32	316	2000/1/1 14:07	291	2000/1/1 17:42	349
2000/1/1 10:37	315	2000/1/1 14:12	292	2000/1/1 17:47	350
2000/1/1 10:42	315	2000/1/1 14:17	291	2000/1/1 17:52	352
2000/1/1 10:47	315	2000/1/1 14:22	292	2000/1/1 17:57	353

附表 3-1 布袋港驗潮站潮位資料

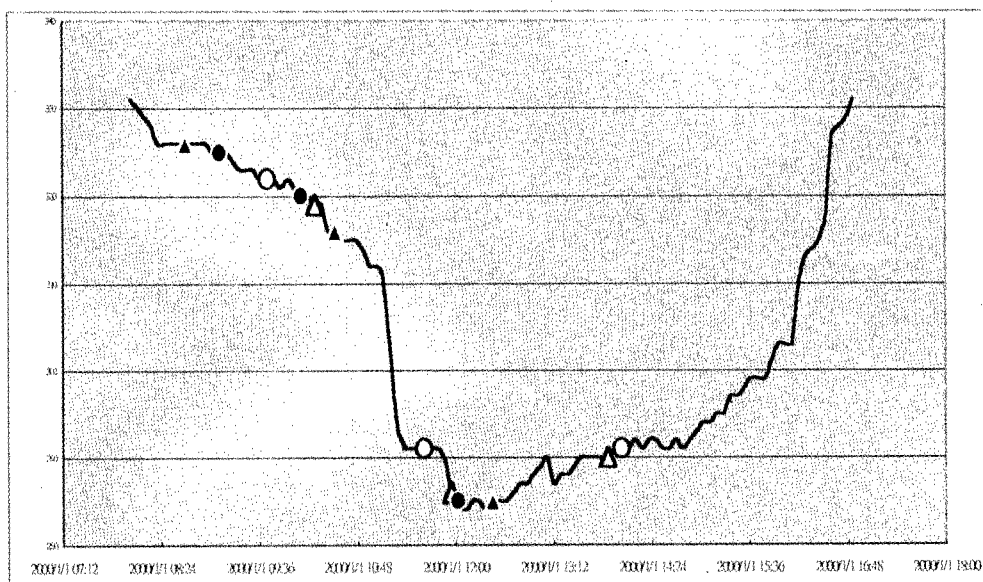


圖 3-3 第一次調查漂浮球拋放時間與潮位之關係
(DATE:01/01/2000)

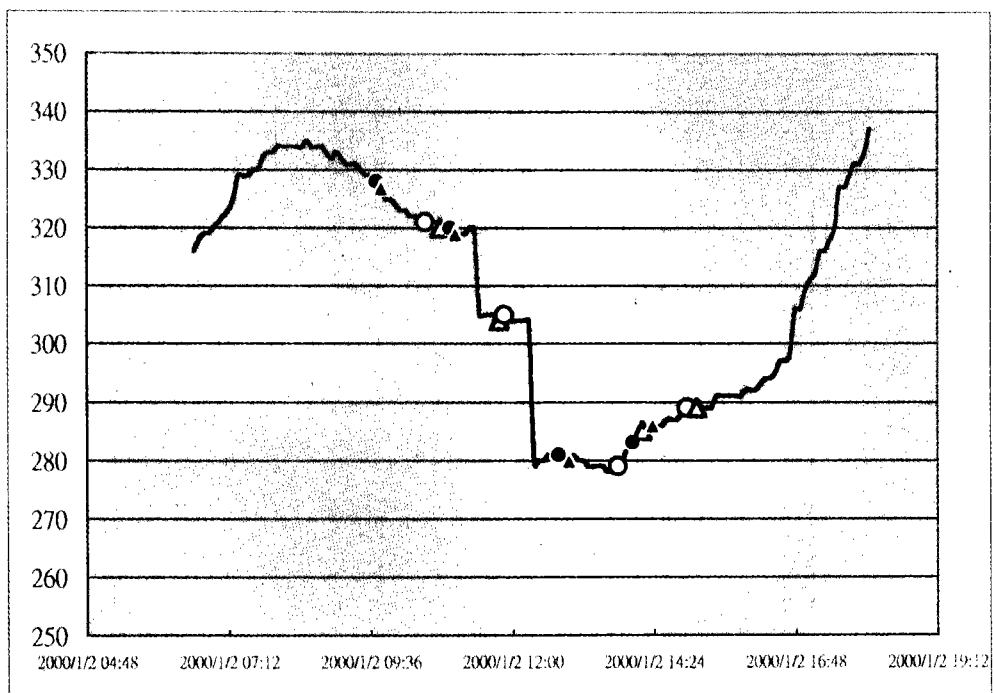


圖 3-4 第一次調查漂浮球拋放時間與潮位之關係
(DATE:01/02/2000)

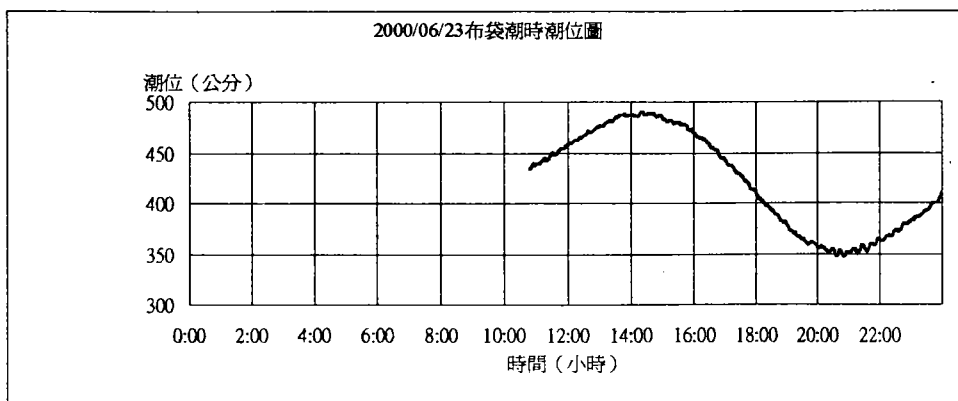
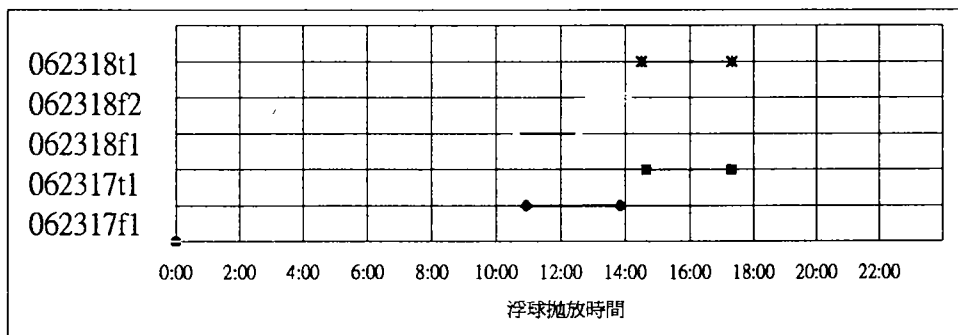


圖 3-5 第二次調查漂浮球拋放時間與潮位之關係
(DATE:06/23/2000)

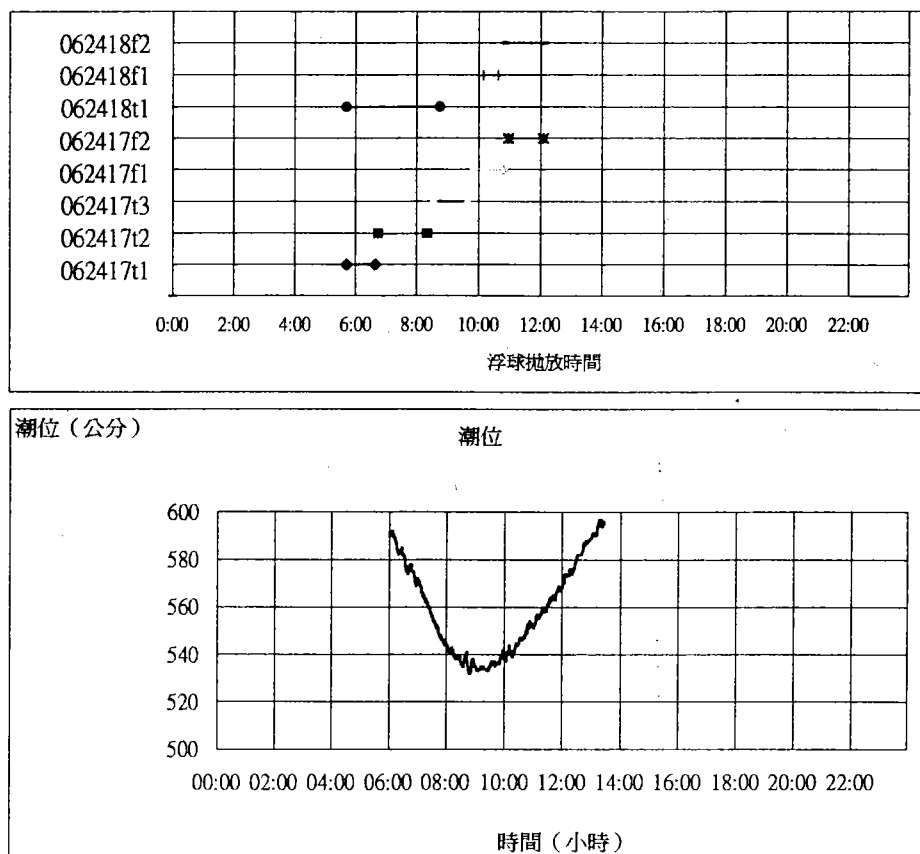


圖 3-6 第二次調查漂浮球拋放時間與潮位之關係
(DATE:06/24/2000)

量測時首先於岸上架設基地站，基地站設置於控制點 T26，控制點之座標如附表 3-2 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 座標基準參數如附表 3-3 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。

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

附表 3-2 T26 基地站控制點之座標

DX 平移參數	752.756	M
DY 平移參數	354.361	M
DZ 平移參數	177.475	M
RX 旋轉參數	-25.97216	SEC
RY 旋轉參數	63.766777	SEC
RZ 旋轉參數	-0.703379	SEC
SF 尺度參數	-689.1534	PPM

附表 3-3 WGS84 衛星座標轉換 GRS67 座標基準參數

3.3 調查結果與分析

利用前述量測方法對量測海域進行浮標追蹤，量測漂浮球軌跡所得出的漂浮球軌跡座標如附表 3-4 所示；因限於篇幅，僅列舉 89 年 1 月 1 日 8 時至 10 時(退潮時段)的十七號浮標球軌跡座標描述之。

由得出漂浮球位置軌跡，即可計算每一單位時間之流速值，本計畫以約 10 分鐘為一單位時間，計算其平面座標位置之平均流速如附表 3-5-1 至附表 3-5-8 所示；因浮標球追蹤過程，皆含漲、退潮各測迴，所以資料數量頗多，僅能摘要列舉說明之。

17 號漂浮球	日期	01/01/2000
天氣/晴	風力/5--8 級	風向/東北
時間	E	N
01/01-17 退 1		
08:42:41	157982.476	2587592.079
08:43:01	157945.164	2587619.998
08:45:04	157868.368	2587600.169
08:47:13	157861.245	2587550.374
08:49:08	157864.447	2587517.129
08:51:02	157862.503	2587478.378
08:53:06	157855.425	2587435.966
08:54:30	157848.519	2587421.242
08:59:09	157817.256	2587325.451
09:02:42	157816.902	2587268.231
09:04:33	157825.226	2587236.799
09:06:02	157814.798	2587203.638
09:08:24	157812.922	2587175.962
09:10:02	157807.365	2587104.007
09:12:38	157776.548	2587080.202
09:14:32	157774.638	2587046.988
09:18:35	157768.863	2586939.963
09:20:01	157784.072	2586919.565
09:22:45	157742.837	2586864.444
09:25:05	157763.054	2586827.401
09:27:24	157759.315	2586773.894
09:29:44	157724.860	2586713.194
09:31:03	157712.750	2586683.735
09:37:01	157696.934	2586606.307
09:40:02	157706.552	2586508.416
09:42:09	157701.291	2586484.453
09:44:49	157656.349	2586381.362
09:48:01	157696.922	2586329.427
09:51:47	157660.728	2586263.200
09:55:02	157613.943	2586137.971
09:59:03	157623.641	2586053.001
10:04:12	157594.124	2585964.582
10:06:07	157590.132	2585870.468

附表 3-4 漂浮球軌跡座標

17 號 漂浮球						01/01/2000
起始時間	E	N	結束時間	E	N	平均流速
01/01-17 退 1						m/s
08:4241	157982.476	2587592.079	08:51:02	157862.503	2587478.378	0.33
08:5102	157862.503	2587478.378	09:02:42	157816.902	2587268.231	0.31
09:0242	157816.902	2587268.231	09:12:38	157776.548	2587080.202	0.32
09:1238	157776.548	2587080.202	09:22:45	157742.837	2586864.444	0.36
09:2245	157742.837	2586864.444	09:31:03	157712.750	2586683.735	0.37
09:3103	157712.750	2586683.735	09:42:09	157701.291	2586484.453	0.30
09:4209	157701.291	2586484.453	09:51:47	157660.728	2586263.200	0.40
09:5147	157660.728	2586263.200	09:59:03	157623.641	2586053.001	0.50
09:5903	157623.641	2586053.001	10:09:00	157579.908	2585870.531	0.31
10:0900	157579.908	2585870.531	10:17:26	157532.342	2585619.788	0.50
0101-17 退 2						m/s
10:31:11	158045.441	2586751.820	10:40:55	158020.834	2586630.145	0.21
10:40:55	158020.834	2586630.145	10:50:10	157997.281	2586403.249	0.41
10:50:10	157997.281	2586403.249	11:00:31	157987.975	2586275.942	0.21
11:00:31	157987.975	2586275.942	11:08:58	158004.113	2586130.018	0.29
11:08:58	158004.113	2586130.018	11:18:44	157907.973	2586014.323	0.26
11:18:44	157907.973	2586014.323	11:27:46	157923.918	2585837.021	0.33
11:27:46	157923.918	2585837.021	11:36:50	157875.236	2585680.424	0.30
11:36:50	157875.236	2585680.424	11:45:02	157898.008	2585504.925	0.36
11:45:02	157898.008	2585504.925	11:57:02	157798.844	2585452.009	0.16
0101-17 漲 1						m/s
12:28:01	158220.661	2587258.353	12:38:15	158211.493	2587153.195	0.17
12:38:15	158211.493	2587153.195	12:45:48	158320.618	2587165.444	0.24
12:45:48	158320.618	2587165.444	12:56:09	158268.083	2587211.914	0.11
12:56:09	158268.083	2587211.914	13:07:36	158310.724	2587219.035	0.06
13:07:36	158310.724	2587219.035	13:16:56	158338.020	2587224.404	0.05
13:16:56	158338.02	2587224.404	13:27:49	158358.477	2587226.124	0.03
13:27:49	158358.477	2587226.124	13:37:03	158456.014	2587293.821	0.21
13:37:03	158456.014	2587293.821	13:46:10	158466.305	2587304.833	0.03
13:46:10	158466.305	2587304.833	13:53:52	158498.791	2587323.092	0.08

附表 3-5-1 平面座標處之平均流速 (DATE:01/01/2000)

18 號漂浮 球						01/01/2000
起始時間	E	N	結束時間	E	N	平均流速
0101-18 退 1						m/s
09:09:22	158166.387	2586193.622	09:19:35	158124.297	2586000.066	0.32
09:19:35	158124.297	2586000.066	09:28:16	158107.971	2585839.577	0.31
09:28:16	158107.971	2585839.577	09:38:08	158023.051	2585609.367	0.41
0101-18 退 2						m/s
10:10:49	157708.434	2588186.301	10:20:01	157676.198	2587933.616	0.46
10:20:01	157676.198	2587933.616	10:30:00	157679.388	2587898.525	0.06
10:30:00	157679.388	2587898.525	10:41:05	157659.204	2587666.070	0.35
10:41:05	157659.204	2587666.070	10:51:16	157613.887	2587502.069	0.28
10:51:16	157613.887	2587502.069	11:04:08	157647.869	2587212.056	0.38
11:04:08	157647.869	2587212.056	11:13:01	157670.887	2587077.165	0.26
11:13:01	157670.887	2587077.165	11:23:01	157597.06	2586987.175	0.19
11:23:01	157597.060	2586987.175	11:32:01	157614.199	2586728.647	0.48
11:32:01	157614.199	2586728.647	11:38:01	157624.446	2586732.275	0.03
0101-18 漲 1						m/s
11:58:00	157659.791	2586386.879	12:08:00	157631.830	2586274.454	0.19
12:08:00	157631.830	2586274.454	12:18:00	157629.130	2586113.880	0.27
12:18:00	157629.130	2586113.880	12:28:00	157659.366	2586043.550	0.13
12:28:00	157659.366	2586043.550	12:39:00	157689.466	2585951.070	0.15
12:39:00	157689.466	2585951.070	12:48:00	157675.285	2585862.556	0.17
12:48:00	157675.285	2585862.556	13:00:00	157743.181	2585819.681	0.11
13:00:00	157743.181	2585819.681	13:09:00	157724.083	2585762.577	0.11
13:09:00	157724.083	2585762.577	13:18:00	157741.363	2585801.233	0.08
13:18:00	157741.363	2585801.233	13:27:00	157832.910	2585724.986	0.22
13:27:00	157832.910	2585724.986	13:36:00	157822.698	2585726.895	0.02
13:36:00	157822.698	2585726.895	13:45:00	157891.017	2585752.315	0.14
13:45:00	157891.017	2585752.315	13:54:00	157930.437	2585788.988	0.10

附表 3-5-2 平面座標處之平均流速 (DATE: 01/01/2000)

17 號漂浮 球						01/02/2000
起始時間	E	N	結束時間	E	N	平均流速
0102-17 退 1						m/s
09:48:14	160852.524	2586869.502	09:57:38	160862.394	2586810.376	0.11
09:57:38	160862.394	2586810.376	10:06:07	160867.207	2586760.509	0.10
10:06:07	160867.207	2586760.509	10:15:16	160843.033	2586707.124	0.11
10:15:16	160843.033	2586707.124	10:24:06	160846.032	2586638.809	0.13
10:24:06	160846.032	2586638.809	10:34:16	160823.583	2586589.105	0.09
10:34:16	160823.583	2586589.105	10:44:26	160785.810	2586541.339	0.09
0102-17 退 2						m/s
10:58:00	160566.100	2586841.685	11:08:01	160559.850	2586799.185	0.07
11:08:01	160559.850	2586799.185	11:18:06	160553.600	2586757.285	0.07
11:18:06	160553.600	2586757.285	11:28:50	160556.830	2586717.185	0.06
11:28:50	160556.830	2586717.185	11:37:50	160563.532	2586697.724	0.04
11:37:50	160563.532	2586697.724	11:44:30	160587.009	2586634.824	0.17
0102-17 漲 1						m/s
12:57:03	160938.412	2586985.277	13:07:16	160928.013	2586955.806	0.05
13:07:16	160928.013	2586955.806	13:17:04	160941.467	2586926.191	0.06
13:17:04	160941.467	2586926.191	13:27:18	160956.702	2586909.488	0.04
13:27:18	160956.702	2586909.488	13:37:57	160969.925	2586841.112	0.11
13:37:57	160969.925	2586841.112	13:47:19	160964.372	2586767.311	0.13
13:47:19	160964.372	2586767.311	13:57:32	160960.721	2586726.724	0.07
13:57:32	160960.721	2586726.724	14:06:04	160946.715	2586664.049	0.13
0102-17 漲 2						m/s
14:20:58	160773.517	2586764.761	14:29:55	160797.261	2586746.161	0.06
14:29:55	160797.261	2586746.161	14:39:07	160800.381	2586698.150	0.09
14:39:07	160800.381	2586698.150	14:48:01	160788.222	2586659.460	0.08
14:48:01	160788.222	2586659.460	14:59:36	160821.813	2586578.041	0.13

附表 3-5-3 平面座標處之平均流速 (DATE: 01/02/2000)

18 號漂浮球						01/02/2000
起始時間	E	N	結束時間	E	N	平均流速
0102-18 退 1						m/s
09:48:24	159008.401	2586790.207	09:58:08	158943.947	2586559.868	0.41
09:58:08	158943.947	2586559.868	10:08:14	158833.395	2586315.044	0.44
10:08:14	158833.395	2586315.044	10:18:04	158746.820	2586090.379	0.41
10:18:04	158746.820	2586090.379	10:29:16	158716.190	2585819.225	0.41
0102-18 退 2						m/s
10:55:22	159731.408	2587160.517	11:05:12	159698.084	2587003.820	0.27
11:05:12	159698.084	2587003.820	11:15:03	159692.323	2586896.796	0.18
11:15:03	159692.323	2586896.796	11:25:46	159703.702	2586806.279	0.14
11:25:46	159703.702	2586806.279	11:35:21	159697.829	2586680.797	0.22
11:35:21	159697.829	2586680.797	11:45:06	159714.711	2586654.852	0.05
0102-18 漲 1						m/s
12:53:18	159311.572	2587048.624	13:03:06	159187.915	2586888.787	0.34
13:03:06	159187.915	2586888.787	13:13:19	159117.347	2586772.929	0.22
13:13:19	159117.347	2586772.929	13:23:07	159047.783	2586542.620	0.41
13:23:07	159047.783	2586542.621	13:31:13	159023.94	2586544.612	0.05
13:31:13	159023.940	2586544.612	13:43:09	158996.837	2586291.894	0.36
13:43:09	158996.837	2586291.894	13:49:06	158980.248	2586365.830	0.21
0102-18 漲 2						m/s
14:05:01	159732.843	2587116.207	14:15:01	159673.198	2587114.723	0.10
14:15:01	159673.198	2587114.723	14:25:01	159658.054	2587146.195	0.06
14:25:01	159658.054	2587146.195	14:35:01	159659.242	2587061.278	0.14
14:35:01	159659.242	2587061.278	14:45:01	159652.483	2587070.548	0.02
14:45:01	159652.483	2587070.548	14:55:00	159685.091	2587109.113	0.08

附表 3-5-4 平面座標處之平均流速 (DATE:01/02/2000)

17號浮標 球						06/23/2000
起始 時間	N	E	結束 時間	N	E	平均流速
0623-17 漲1						m/s
10:55:12	2585499.15	158836.92	10:57:20	2585550.64	158869.62	0.48
10:57:20	2585550.64	158869.62	10:59:26	2585596.6	158898.87	0.43
10:59:26	2585596.6	158898.87	11:01:30	2585642.6	158923	0.42
11:01:30	2585642.6	158923	11:03:59	2585679.57	158914.71	0.25
11:03:59	2585679.57	158914.71	11:05:49	2585708.98	158935.34	0.33
11:05:49	2585708.98	158935.34	11:07:42	2585742.11	158950.88	0.32
11:07:42	2585742.11	158950.88	11:09:39	2585780.72	158974.97	0.39
11:09:39	2585780.72	158974.97	11:11:47	2585821.18	159000.78	0.37
11:11:47	2585821.18	159000.78	11:13:54	2585861.6	159031.7	0.40
11:13:54	2585861.6	159031.7	11:15:59	2585902.03	159060.91	0.40
11:15:59	2585902.03	159060.91	11:18:03	2585938.8	159084.99	0.35
11:18:03	2585938.8	159084.99	11:20:07	2585975.55	159112.48	0.37
11:20:07	2585975.55	159112.48	11:21:59	2586008.62	159138.24	0.37
11:21:59	2586008.62	159138.24	11:27:56	2586129.86	159234.41	0.46
11:27:56	2586129.86	159234.41	11:30:05	2586166.54	159272.12	0.41
11:30:05	2586166.54	159272.12	11:32:01	2586203.27	159303.02	0.41
11:32:01	2586203.27	159303.02	11:34:05	2586240	159333.91	0.39
11:34:05	2586240	159333.91	11:36:07	2586282.29	159361.43	0.41
11:36:07	2586282.29	159361.43	11:38:10	2586322.72	159390.65	0.41
11:38:10	2586322.72	159390.65	11:40:12	2586363.14	159421.56	0.42
11:40:12	2586363.14	159421.56	11:42:03	2586396.21	159447.32	0.38
11:42:03	2586396.21	159447.32	11:44:06	2586431.12	159473.1	0.35
11:44:06	2586431.12	159473.1	11:46:10	2586471.57	159500.61	0.39
11:46:10	2586471.57	159500.61	11:48:13	2586512.01	159528.11	0.40
11:48:13	2586512.01	159528.11	11:50:18	2586554.32	159552.23	0.39
11:50:18	2586554.32	159552.23	11:52:22	2586598.45	159579.76	0.42
11:52:22	2586598.45	159579.76	11:54:26	2586638.92	159602.15	0.37
11:54:26	2586638.92	159602.15	11:56:32	2586679.39	159626.26	0.37
11:56:32	2586679.39	159626.26	11:58:34	2586718.04	159643.53	0.35
11:58:34	2586718.04	159643.53	12:00:37	2586747.46	159662.45	0.28

附表 3-5-5 平面座標處之平均流速 (DATE:06/23/2000)

17號浮標 球						06/23/2000
起始 時間	N	E	結束 時間	N	E	平均流速
0623-17 退1						m/s
14:51:34	2585391.73	158895.91	14:53:38	2585397.21	158906.17	0.09
14:53:38	2585397.21	158906.17	14:55:28	2585402.71	158911.31	0.07
14:55:28	2585402.71	158911.31	14:57:36	2585404.53	158916.44	0.04
14:57:36	2585404.53	158916.44	14:59:45	2585408.16	158926.68	0.08
14:59:45	2585408.16	158926.68	15:01:50	2585404.42	158933.48	0.06
15:01:50	2585404.42	158933.48	15:03:53	2585398.86	158936.85	0.05
15:03:53	2585398.86	158936.85	15:05:44	2585395.14	158941.94	0.06
15:05:44	2585395.14	158941.94	15:07:52	2585387.72	158948.71	0.08
15:07:52	2585387.72	158948.71	15:10:01	2585380.27	158958.89	0.10
15:10:01	2585380.27	158958.89	15:12:01	2585365.47	158963.91	0.13
15:12:01	2585365.47	158963.91	15:13:52	2585354.37	158968.96	0.11
15:13:52	2585354.37	158968.96	15:15:42	2585341.41	158975.69	0.13
15:15:42	2585341.41	158975.69	15:18:09	2585326.58	158985.83	0.12
15:18:09	2585326.58	158985.83	15:20:43	2585315.48	158989.17	0.08
15:20:43	2585315.48	158989.17	15:22:51	2585304.35	158997.62	0.11
15:22:51	2585304.35	158997.62	15:24:56	2585298.8	159001	0.05
15:24:56	2585298.8	159001	15:26:59	2585295.07	159006.09	0.05
15:26:59	2585295.07	159006.09	15:28:51	2585285.82	159009.44	0.09
15:28:51	2585285.82	159009.44	15:30:59	2585276.57	159012.79	0.08
15:30:59	2585276.57	159012.79	15:33:08	2585271.01	159017.87	0.06
15:33:08	2585271.01	159017.87	15:35:12	2585259.9	159022.91	0.10
15:35:12	2585259.9	159022.91	15:37:16	2585250.65	159026.26	0.08
15:37:16	2585250.65	159026.26	15:39:07	2585235.86	159029.58	0.14
15:39:07	2585235.86	159029.58	15:41:16	2585226.62	159031.23	0.07
15:41:16	2585226.62	159031.23	15:43:24	2585217.37	159034.58	0.08
15:43:24	2585217.37	159034.58	15:45:29	2585206.29	159036.22	0.09
15:45:29	2585206.29	159036.22	15:47:32	2585195.2	159037.85	0.09
15:47:32	2585195.2	159037.85	15:49:24	2585180.43	159039.47	0.13
15:49:24	2585180.43	159039.47	15:51:32	2585169.32	159044.51	0.10
15:51:32	2585169.32	159044.51	15:53:41	2585154.54	159046.13	0.12
15:53:41	2585154.54	159046.13	15:55:46	2585143.46	159047.76	0.09
15:55:46	2585143.46	159047.76	16:01:48	2585095.47	159047.47	0.10

附表 3-5-6 平面座標處之平均流速(06/23/2000)

18號浮標 球						06/23/2000
起始 時間	N	E	結束 時間	N	E	平均流速
0623-18 漲1						m/s
10:54:05	2588670.52	158808.63	10:56:11	2588698.12	158822.43	0.24
10:56:11	2588698.12	158822.43	10:58:15	2588725.74	158834.53	0.24
10:58:15	2588725.74	158834.53	11:00:19	2588758.95	158836.43	0.27
11:00:19	2588758.95	158836.43	11:02:23	2588784.74	158845.11	0.22
11:02:23	2588784.74	158845.11	11:04:27	2588806.83	158855.47	0.20
11:04:27	2588806.83	158855.47	11:06:32	2588830.74	158869.24	0.22
11:06:32	2588830.74	158869.24	11:08:35	2588858.32	158886.45	0.26
11:08:35	2588858.32	158886.45	11:10:40	2588889.6	158903.68	0.29
11:10:40	2588889.6	158903.68	11:12:44	2588924.57	158919.22	0.31
11:12:44	2588924.57	158919.22	11:14:48	2588965.09	158934.81	0.35
11:14:48	2588965.09	158934.81	11:16:51	2589001.92	158948.66	0.32
11:16:51	2589001.92	158948.66	11:18:56	2589036.9	158964.21	0.31
11:18:56	2589036.9	158964.21	11:21:00	2589070.04	158978.04	0.29
11:21:00	2589070.04	158978.04	11:23:04	2589103.18	158991.87	0.29
11:23:04	2589103.18	158991.87	11:29:17	2589200.7	159041.87	0.29
11:29:17	2589200.7	159041.87	11:32:35	2589252.22	159069.45	0.30
11:32:35	2589252.22	159069.45	11:34:39	2589281.67	159083.26	0.26
11:34:39	2589281.67	159083.26	11:36:43	2589314.8	159098.79	0.30
11:36:43	2589314.8	159098.79	11:39:12	2589355.29	159117.78	0.30
11:39:12	2589355.29	159117.78	11:41:40	2589393.94	159136.76	0.29
11:41:40	2589393.94	159136.76	11:43:45	2589430.76	159152.31	0.32
11:43:45	2589430.76	159152.31	11:45:54	2589465.75	159166.16	0.29
11:45:54	2589465.75	159166.16	11:47:52	2589506.24	159185.14	0.38
11:47:52	2589506.24	159185.14	11:49:57	2589544.91	159200.71	0.33
11:49:57	2589544.91	159200.71	11:52:00	2589578.05	159214.54	0.29
11:52:00	2589578.05	159214.54	11:54:30	2589602.03	159218.1	0.16
11:54:30	2589602.03	159218.1	11:56:33	2589625.9	159238.69	0.26
11:56:33	2589625.9	159238.69	11:58:37	2589655.31	159257.6	0.28
11:58:37	2589655.31	159257.6	12:00:41	2589684.75	159273.12	0.27
12:00:41	2589684.75	159273.12	12:03:15	2589721.53	159295.49	0.28

附表 3-5-7 平面座標處之平均流速 (DATE: 06/23/2000)

18號浮標 球						06/23/2000
起始 時間	N	E	結束 時間	N	E	平均流速
0623-18 退1						m/s
14:51:40	2588739.89	158935.13	14:53:43	2588741.64	158950.48	0.13
14:53:43	2588741.64	158950.48	14:55:46	2588747.06	158969.25	0.16
14:55:46	2588747.06	158969.25	14:57:49	2588759.94	158976.14	0.12
14:57:49	2588759.94	158976.14	14:59:52	2588761.69	158991.49	0.13
14:59:52	2588761.69	158991.49	15:02:26	2588763.4	159013.65	0.14
15:02:26	2588763.4	159013.65	15:04:29	2588759.62	159028.96	0.13
15:04:29	2588759.62	159028.96	15:06:32	2588763.23	159042.61	0.11
15:06:32	2588763.23	159042.61	15:08:35	2588766.81	159059.67	0.14
15:08:35	2588766.81	159059.67	15:10:39	2588770.41	159075.02	0.13
15:10:39	2588770.41	159075.02	15:12:42	2588772.15	159092.07	0.14
15:12:42	2588772.15	159092.07	15:14:46	2588773.91	159107.41	0.12
15:14:46	2588773.91	159107.41	15:16:49	2588764.56	159126.1	0.17
15:16:49	2588764.56	159126.1	15:18:51	2588770.01	159141.46	0.13
15:18:51	2588770.01	159141.46	15:20:55	2588766.22	159156.77	0.13
15:20:55	2588766.22	159156.77	15:22:58	2588766.14	159170.4	0.11
15:22:58	2588766.14	159170.4	15:25:01	2588751.32	159178.83	0.14
15:25:01	2588751.32	159178.83	15:27:05	2588747.52	159195.85	0.14
15:27:05	2588747.52	159195.85	15:29:08	2588754.86	159204.41	0.09
15:29:08	2588754.86	159204.41	15:31:11	2588747.41	159214.59	0.10
15:31:11	2588747.41	159214.59	15:33:14	2588739.94	159228.17	0.13
15:33:14	2588739.94	159228.17	15:35:18	2588732.49	159240.05	0.11
15:35:18	2588732.49	159240.05	15:37:21	2588723.18	159253.62	0.13
15:37:21	2588723.18	159253.62	15:39:24	2588717.57	159265.51	0.11
15:39:24	2588717.57	159265.51	15:41:28	2588711.96	159277.41	0.11
15:41:28	2588711.96	159277.41	15:43:31	2588706.35	159289.3	0.11
15:43:31	2588706.35	159289.3	15:49:40	2588685.87	159318.14	0.08
15:49:40	2588685.87	159318.14	15:51:43	2588685.82	159324.95	0.06
15:51:43	2588685.82	159324.95	15:53:47	2588654.57	159304.32	0.30
15:53:47	2588654.57	159304.32	15:55:50	2588645.28	159314.48	0.11
15:55:50	2588645.28	159314.48	15:57:54	2588641.55	159321.27	0.06
15:57:54	2588641.55	159321.27	15:59:57	2588634.11	159329.75	0.09

附表 3-5-8 平面座標處之平均流速 (DATE:06/23/2000)

依前述調查方法與步驟，經過上、下半年分二次現場漂浮球軌跡追蹤得出之資料分析結果，可以得出冬（一月）、夏（六月）不同季節風時期，布袋港港口附近海域之平面流況變化，以下則依兩種不同季節風作用下，其在漲、退潮時段之流況分別描述之：

3.3.1 冬季季節風之平面流況

1. 退潮流況

第一次現場調查於 89 年 1 月 1 日與 89 年 1 月 2 日間，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 3-5 所示。布袋商港港池內之流向為由北(N)向南(S)流(如圖 3-5 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 3-5 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 3-5 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。

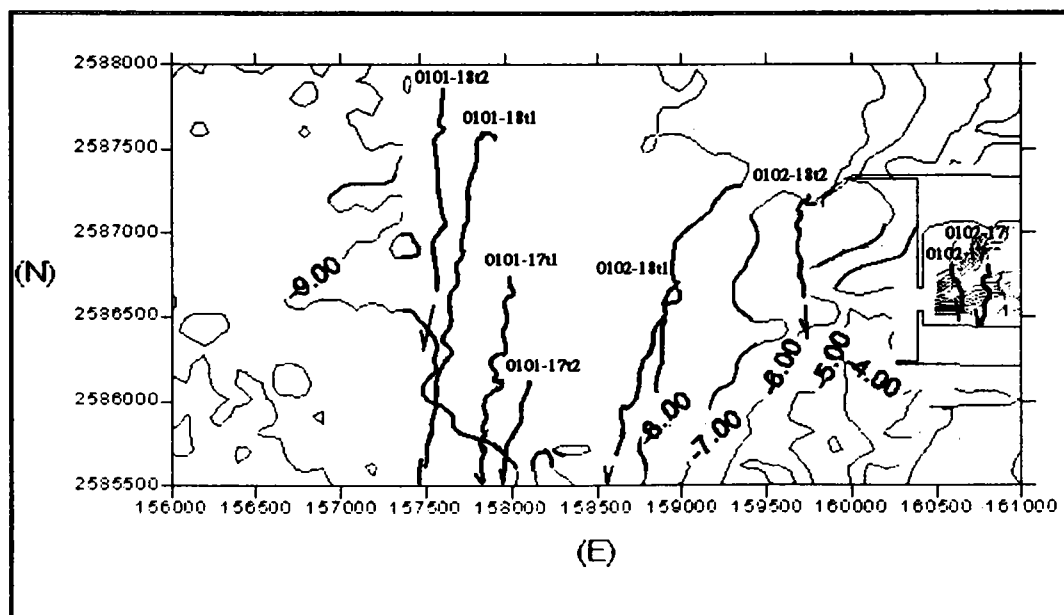


圖 3-5 冬季季節風退潮時漂浮球之漂移軌跡

2. 漲潮流況

於冬季季節風漲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與退潮時相同，為由北(N)向南(S)流(如圖 3-6 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 3-6 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 3-6 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 3-6 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 3-6 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。

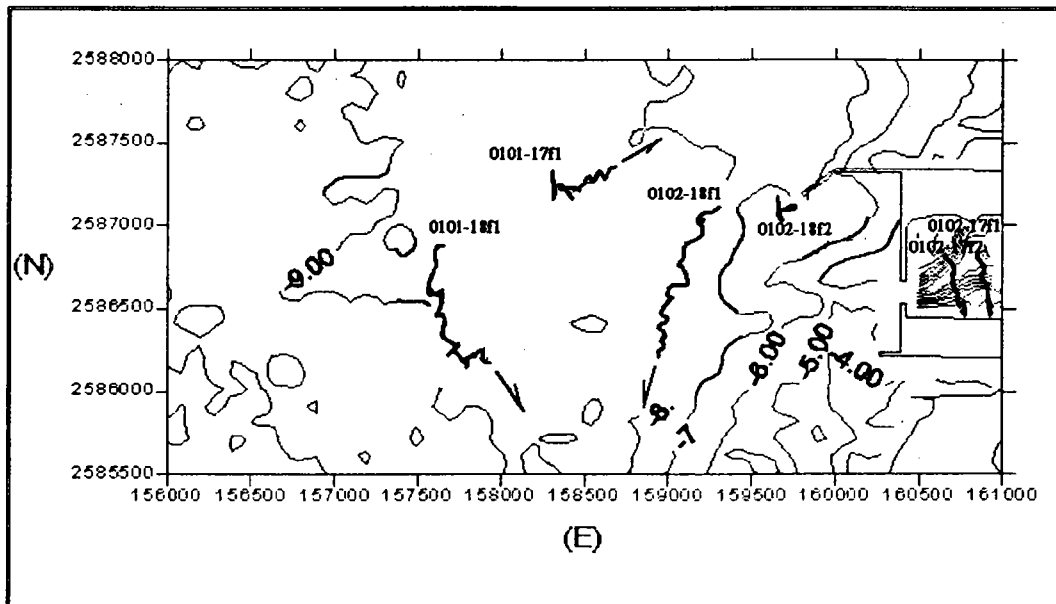


圖 3-6 冬季季節風漲潮時漂浮球之漂移軌跡

3.3.2 夏季季節風之平面流況

1. 退潮流況

第二次現場調查於 89 年 6 月 23 日與 89 年 6 月 24 日之間，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 3-7 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 0624-17t1 與 0624-17t2 與 0624-17t3)，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 3-7 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 3-7 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 3-7 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)方向退去。

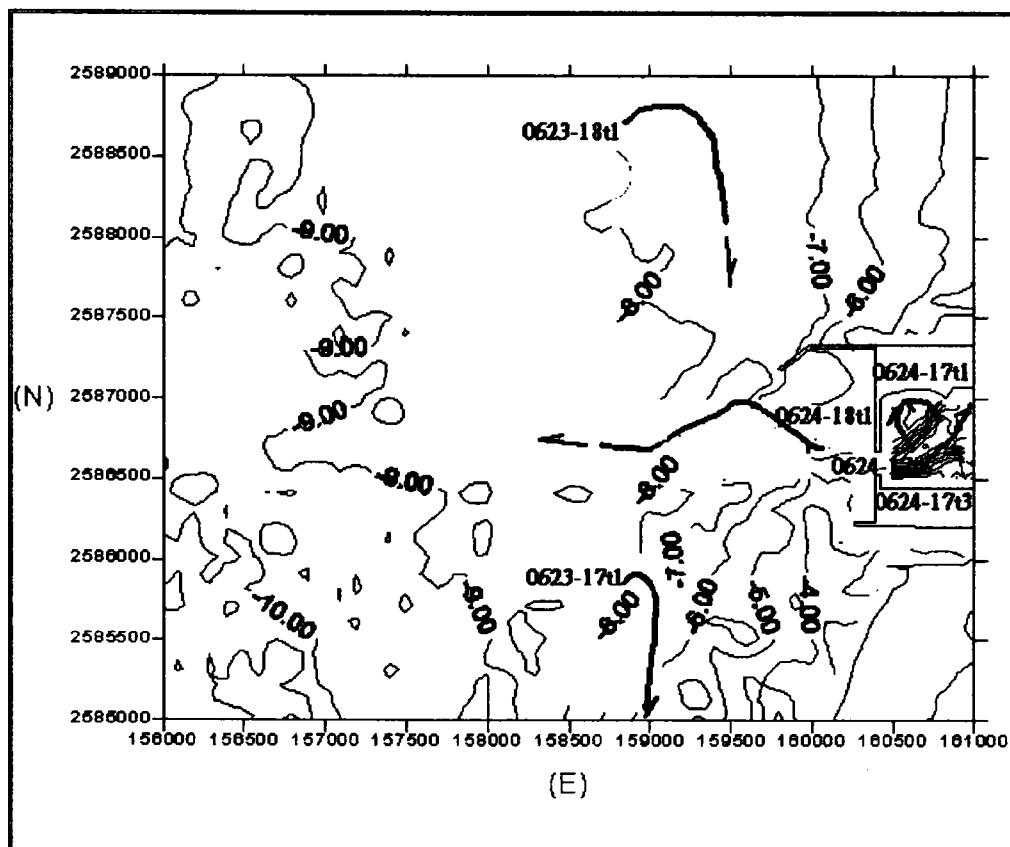


圖 3-7 夏季季節風退潮時漂浮球之漂移軌跡

2. 漲潮流況

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 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 3-8 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 3-8 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 3-8 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 3-8 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。

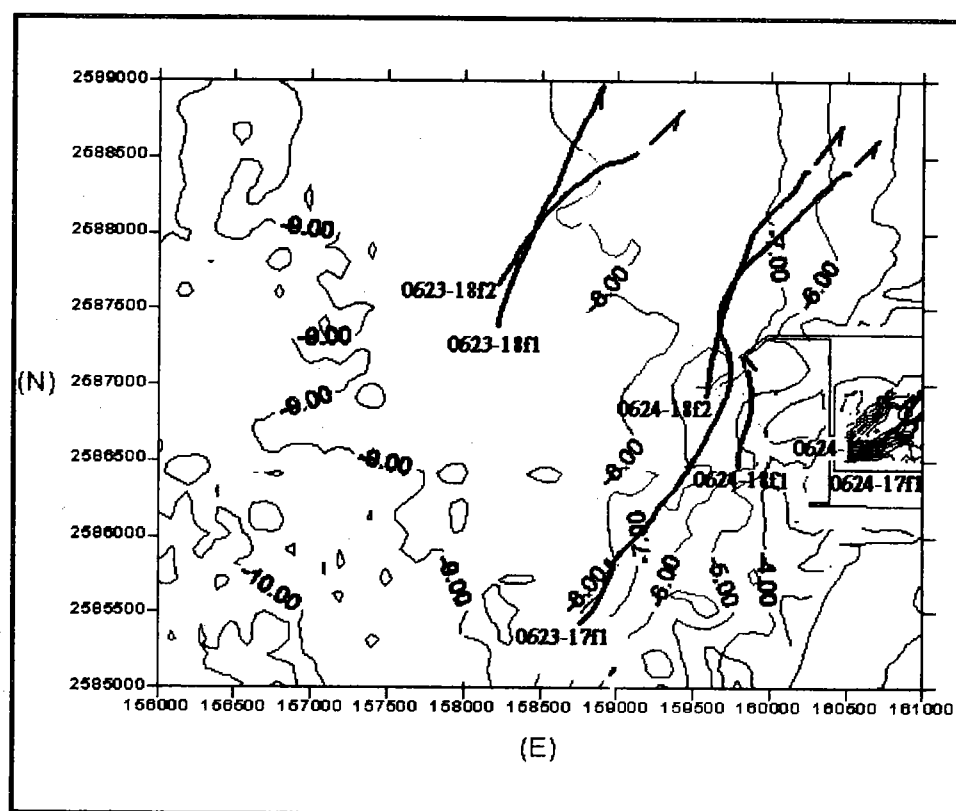


圖 3-8 夏季季節風漲潮時漂浮球之漂移軌跡

第四章 港口附近水深測量

布袋港港口附近水深測量主要採用 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 GIS 地理資訊系統處理，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

本研究選擇布袋港港口附近海域，於每年颱風期後、冬季季節風各施測一次。水深調查範圍以布袋港港址為中心，南北各施測 3500 公尺，岸線南北長約 7 公里，整個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 400 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，合計水深測線總長約 300 公里，其實際作業項目統計表如附表 4-1 所示。而第一次測量工作已於 88 年 12 月 21 日至 89 年 1 月 15 日完成，水域測量作業則分別於 12 月 30 日至 1 月 5 日間共七天完成；而第二次測量工作已於 89 年 7 月 1 日至 89 年 7 月 31 日完成，水域測量則分別於 7 月 21 日至 7 月 25 日間共五天完成。

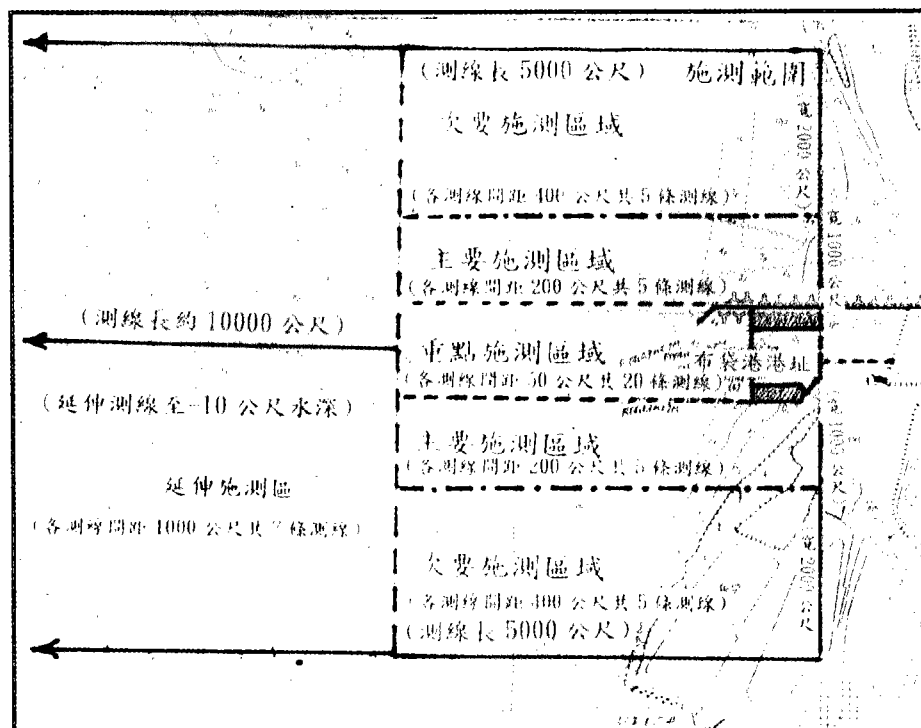


圖 4-1 港口附近水深測量規劃之測量範圍

工 作 項 目	單位	實做數量
三角點檢測	點	5
水準點檢測	點	2
主水準測量	公里	3.064
導線點埋設及測量	點	48
岸線地形測量	公里	20
水深測量	公里	300
成果報告及水深圖繪製(測算簿)	式	1

附表 4-1 港口附近水深測量實際作業項目統計表

4.2 調查儀器與方法

4.2.1 使用儀器

1.控制點 GPS 衛星定位測量：採用之 GPS 接收儀，均為雙頻載波相位之大地測量用接收儀，其精度優於 $10\text{mm} \pm 2\text{ppm}$ 。

- (1). Leica system 200 衛星定位儀四套。
- (2). Ashtech Z-12 衛星定位儀二套。
- (3). Ashtech Z-12 海、陸衛星定位儀(DGPS)二套。
- (4). NovAtel DL-RT2 衛星定位儀(DGPS)二套。

2.水深測量：使用精密數化測深機，測深精度皆優於 $\pm 0.25\%$ ，且與電腦連線自動記錄深度。

- (1).定位測量：使用 Ashtech Z-12 及 NovAtel DL-RT2 雙頻 GPS 定位接收儀，以 DGPS 方式即時解算座標。
- (2).水深測量：使用 ODOM Hydrotrac 及 NAVISOUND 100D 型精密數化測深機。
- (3).波浪修正：使用 TSS HS-50 Series Heave Sensor 湧浪補償儀精度 5cm 或 $\pm 5\%$ 。

3.地形測量：使用 Topcon GTS-6 全站式經緯儀。

4.水準測量：使用 WILD NA2002 自動記錄水準儀。

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，本次以「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)以作為本次岸線測量控制之依據，調查成果詳成果報告書。

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 公里，檢測其閉合精度為 $1.714(\text{mm})\sqrt{k}$ (K 以整數公里數計)，故以布新國小(BM22)作為本次高程控制之基準點。
- (3). 由布新國小(BM22)引測至布袋港內驗潮站，得其驗潮站高程為 2.739 公尺。

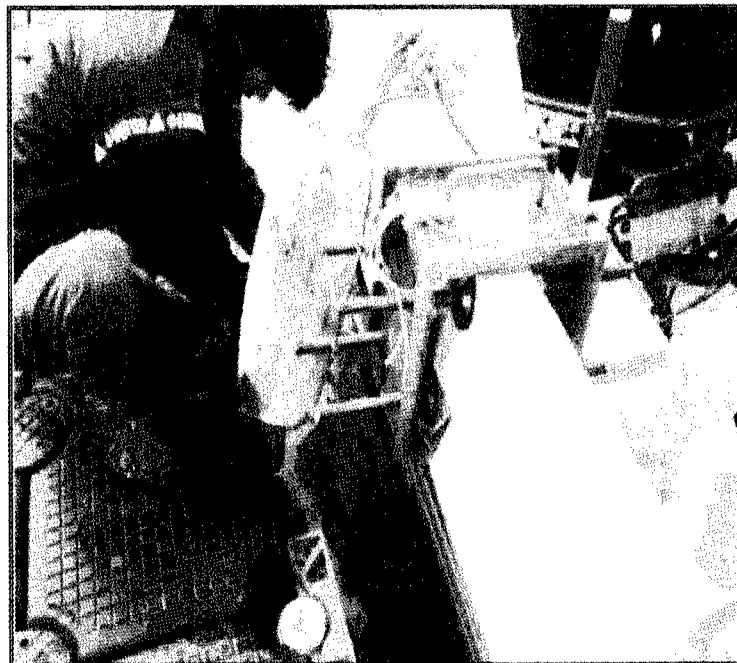
4. 岸線地形測量：

- (1). 導線點(BT01~BT48)以 GPS 定位方式施測，由檢測可用三角點作為轉換基準點，將 WGS84 座標轉換為 TM 二度座標，作為岸線測量控制之依據。
- (2). 以電子光波測距儀(Topcon STS-6)，於導線點上直接架設儀器以三次元方式測量。

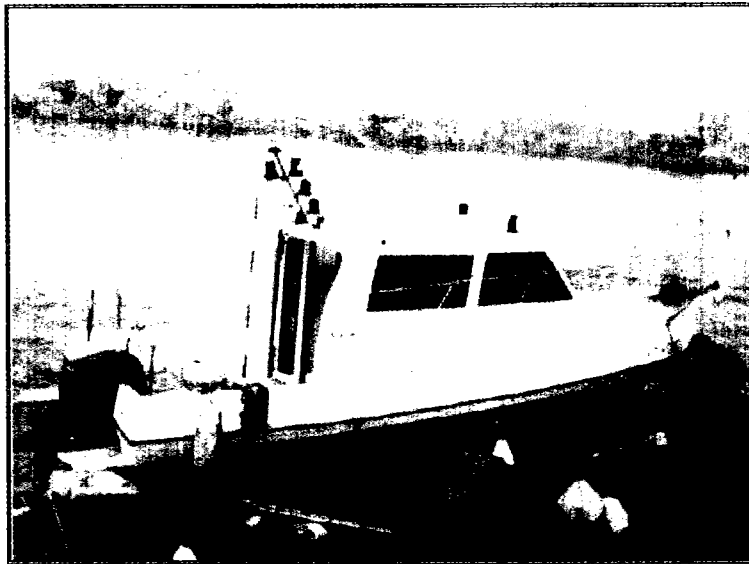
- (3). 依據地形地物及特徵點(如道路、橋樑、河流、堤防等主幹地物)，依序繪製地形圖(初稿)，經初步編修後再由外業調繪人員進行現地調繪，針對漏畫、疑議部份進行補測並註記，由內業人員編修並繪出完稿圖，細詳成果報告書。

5. 水域測量：

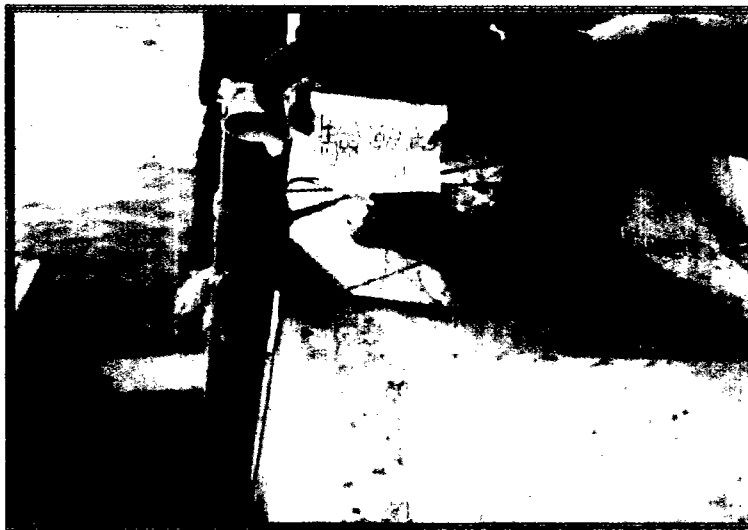
- (1). 使用 Ashtech Z-12 及 NovAtel DL-RT2 雙頻 GPS 接收儀，以 DGPS(電碼差分定位)方式進行海上定位，配合 ODOM Hydrotrac 及 NAVISOUND 100D 數化測深儀量測水深，輔以 TSS HS-50 Series Heave Sensor 湧浪補償器修正浪高，並以自行開發之導航軟體引導船隻沿測線方向行進，其湧浪補償器與工作船實景如照片 4-1 和照片 4-2，並以現場波高超過 70cm 以上不作業來減低波動對於量測精度之影響。再將 DGPS 觀測所得的 WGS84 座標，即時轉換為 TM 二度坐標並同步記錄測深及湧浪補償器資料，成為一 3D 的資料檔，其座標定位精度可達 ± 1 公尺以內。所有測深資料必須將潮位資料改正後，化算為正確的水深值。
- (2). 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。可詳成果報告書。
- (3). 於布袋漁港內設置驗潮站，其驗潮站設置實景如照片 4-3 所示。



照片 4-1 湧浪補償器實景



照片 4-2 工作船實景



照片 4-3 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，另因布袋地區地層下陷情況嚴重，本研究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+1.4766，而本研究求得之布新國小(BM22)水準高程為+1.507 公尺與新塭路(嘉農 22)點為+1.549 公尺，兩主要控制點高程差各為布新國小(BM22)差+0.08 公尺與新塭路(嘉農 22)差+0.073，經檢核區域地層沉陷量，本研究高程採用與地層下陷觀測研究之布新國小(BM22)+1.427 公尺為基準。

4.3.1 第一次水深測量

由 DGPS 定位導航得出之第一次水深測量實測測線軌跡如圖 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，並可判斷量測過程與先期測線規劃是否一致；檢核圖 4-2 所得之結果顯示各測點分佈距離，應可達到本研究所需之解析要求。

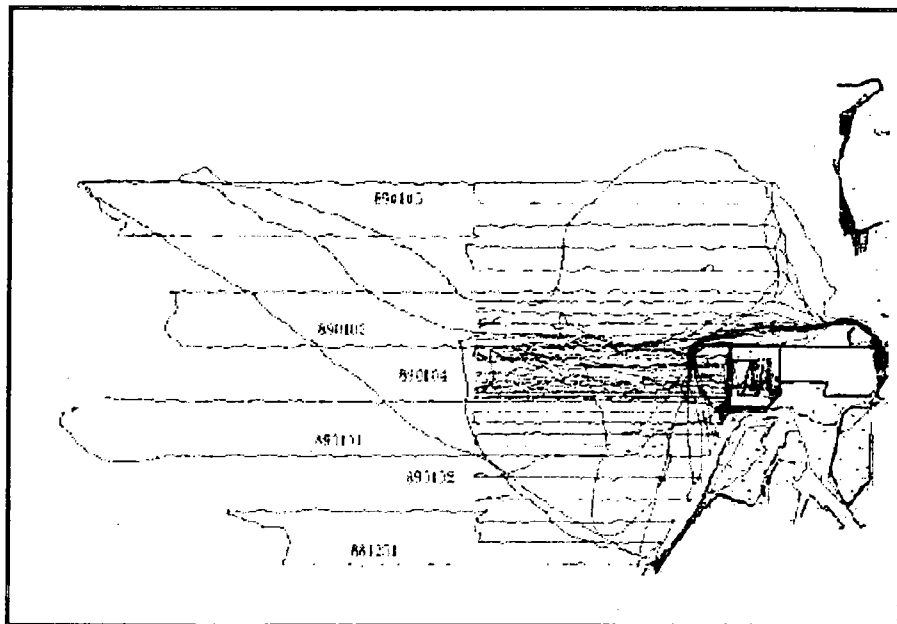


圖 4-2 布袋港港口附近第一次水深測量實測測線軌跡

水深測量資料完成檢核後，再將三維的各測點水深資料經由電腦繪圖作業，繪製成為布袋港港口附近第一次水深測量結果如圖 4-3 所示。

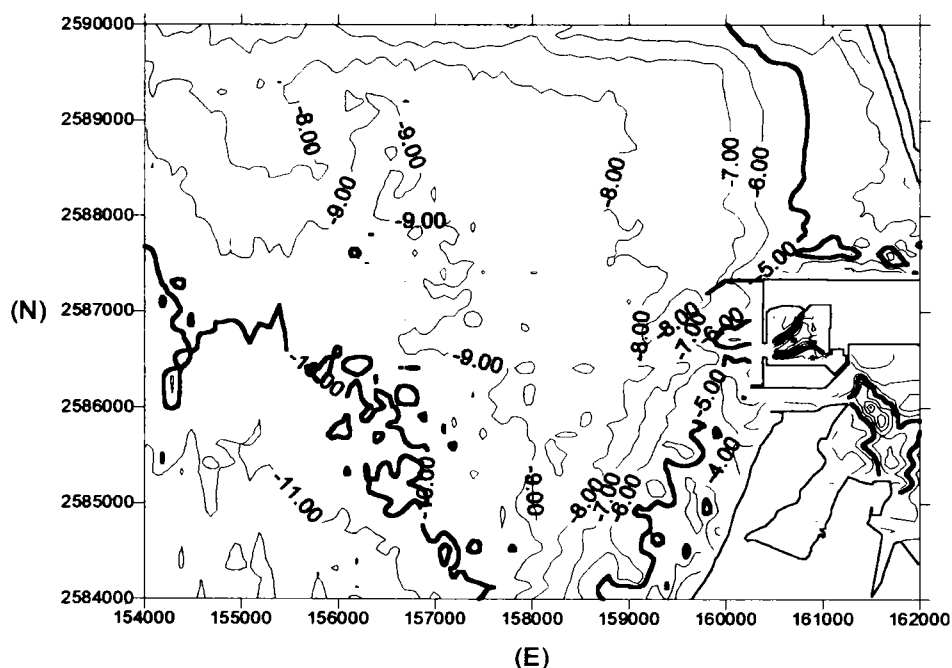


圖 4-3 布袋港港口附近第一次水深測量結果

綜觀圖 4-3 布袋港港口附近第一次水深測量結果可以得知，布袋港港口附近水深變化走向為由北北東(NNE)較淺愈往南南西(SSW)則漸深，而可以概分為以下四個區域來討論：

1. 港池與航道區：布袋港因其港池內碼頭附近與航道曾經濬深，所以港池內水深差異較大，介於-9~-3 公尺之間。
2. 北防波堤以北：北防波堤以北因則受外傘頂洲與壽島地形影響，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；水深-5 公尺離岸線距離約 2000 公尺，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；水深-5 公尺離岸線距離約 1000 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：港口以南等深線則與海岸線平行，以北北東(NNE)方向較淺逐漸往南南西(SSW)方向漸深；水深-5 公尺離岸線距離約 950 公尺，坡降約為 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。

4.3.2 第二次水深測量

由 DGPS 定位導航得出之第二次水深測量實測測線軌跡如圖 4-4 所示。由測線軌跡分佈距離，應可達到解析之要求。

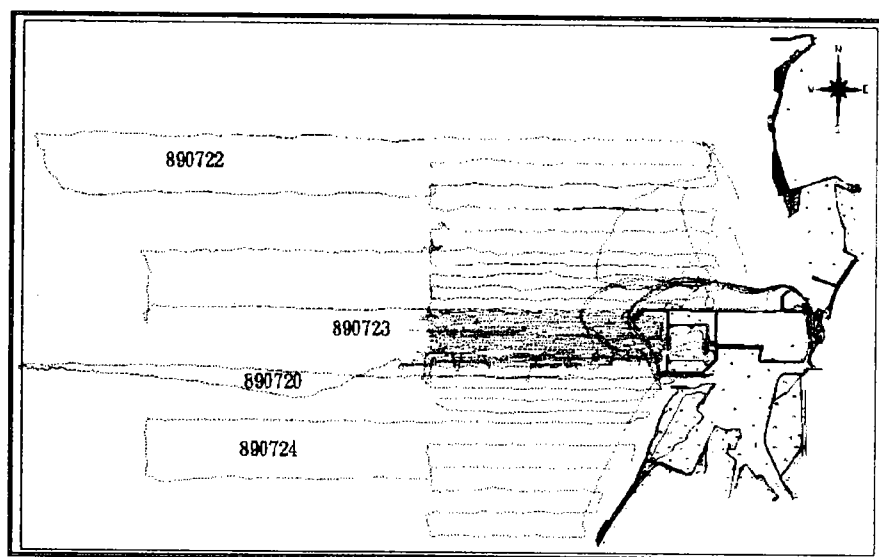


圖 4-4 布袋港港口附近第二次水深測量實測測線軌跡

水深測量資料完成檢核後，再將三維的各測點水深資料經由電腦繪圖作業，繪製成為布袋港港口附近第二次水深測量結果如圖 4-5 所示。

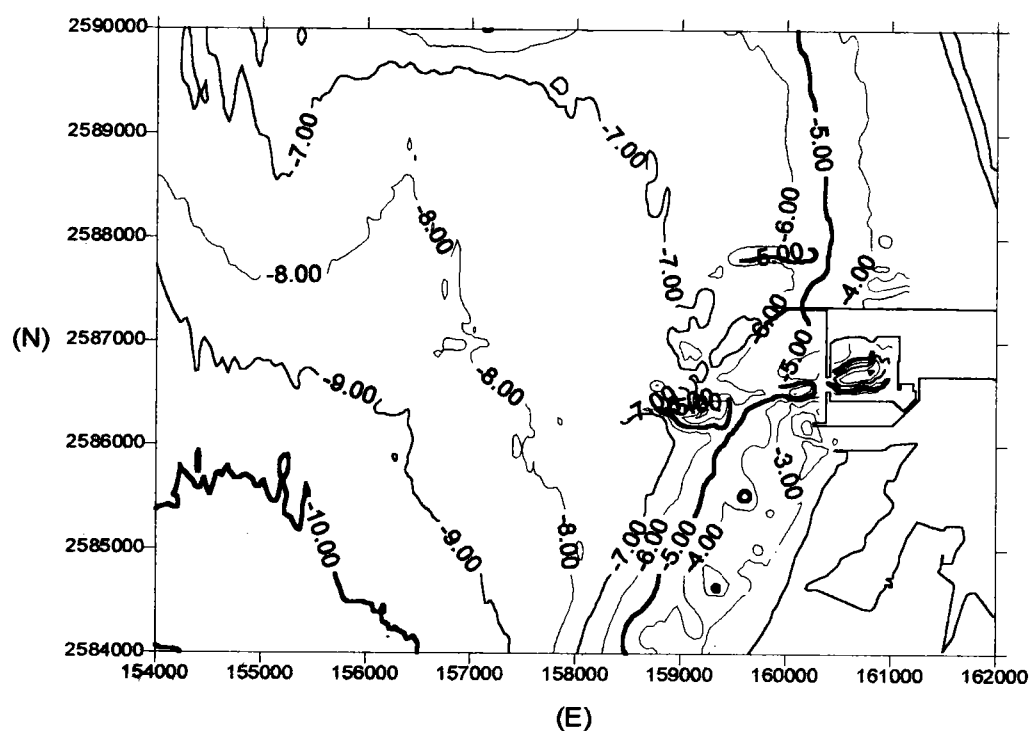


圖 4-5 布袋港港口附近第二次水深測量結果

由圖 4-5 布袋港港口附近第二次水深測量結果觀知，本次水深測量結果，布袋港港口附近水深走向雖仍為由北北東(NNE)往南南西(SSW)漸深；但可以明顯看出，相較於第一次水深測量之結果，其整體水深明顯變淺；究其原因，可能為第二次測量工作實施前，於 89 年 6 月 6 日臺灣全島受瑪姬(MAGGIE)颱風來襲，海岸地形受颱風波浪作用影響，使得沿岸漂沙活動激劇且向岸堆積所導致；由圖 4-5 所得之測量結果，可以概分為以下四個區域來討論：

1. 港池與航道區：港池與內航道因本年度布袋港濬深工程持續進行，所以港池內水深仍介於-9~-3 公尺之間，然而港口處航道原-7 公尺水深已淤塞至-4 公尺水深左右。
2. 北防波堤以北：北防波堤以北因受瑪姬颱風波浪作用影響，漂沙明顯向岸堆積，使得外傘頂洲南端與壽島附近，其地形等深線相較 89 年 1 月有離岸外移趨勢；水深-5 公尺之等深線約於離岸線 1000 公尺處，但水深-8 公尺之等深線其離岸線距離已達 4000 公尺，坡降約為 1/700。
3. 北防波堤與南堤以西：港口以西附近等深線則以由東(E)方向較淺逐漸往西(W)方向漸深；水深-5 公尺離岸線距離約 1000 公尺，坡降約為 1/200 左右，而水深-8 至-5 公尺之間為漸變段緩坡，已相較第一次調查時平緩，延伸至離岸距離約 3000 公尺處，坡降小於 1/1000。
4. 南堤以南：港口以南等深線則與海岸線平行，以東(E)方向較淺逐漸往西(W)方向漸深；水深-5 公尺離岸線距離約 1000 公尺，坡降約為 1/150 至 1/300 之間，而水深-10 至-5 公尺之間，亦為漸變段緩坡，延伸至離岸距離約 4000 公尺處，坡降約為 1/800 左右。

4.3.2 分析與比較

本研究水深測量工作為執行的第一年，為瞭解往昔水深與現今的變化情形，故取高雄港務局提供測繪時間為民國 89 年 6 月之布袋港港口處之水深測量成果如圖 4-6 所示，與本計畫所測得之相同區域 89 年 1 月與 89 年 7 月兩時段之水深測量成果如圖 4-7 與圖 4-8 所示來進行比對，經由比對可比較出布袋港港口處兩時段之水深變化差如圖 4-9 與圖 4-10 所示：

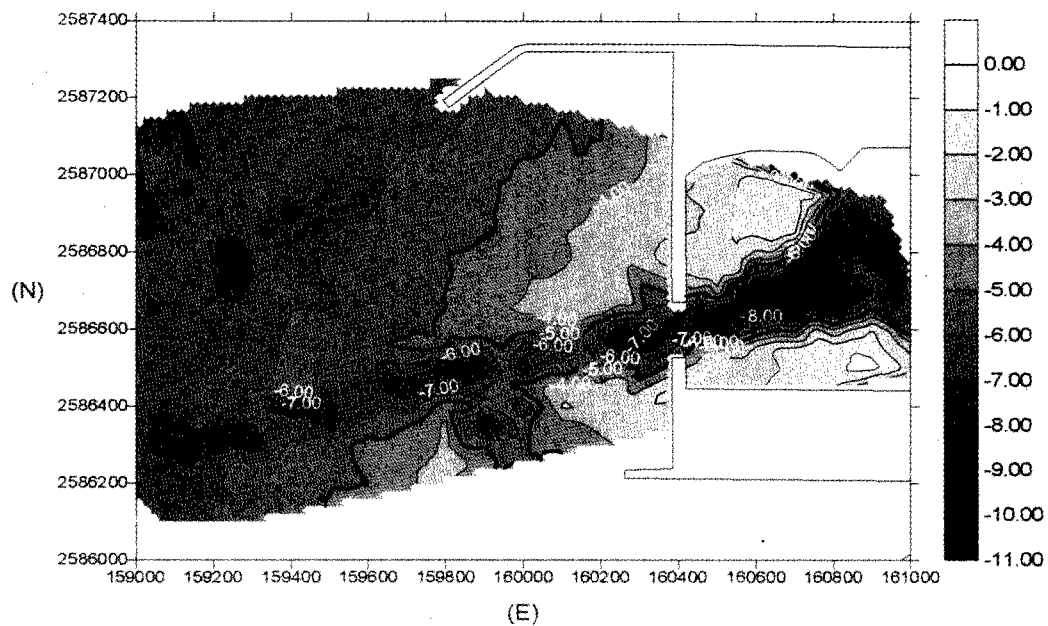


圖4-6 88年6月布袋港港口處之水深測量成果(高港提供)

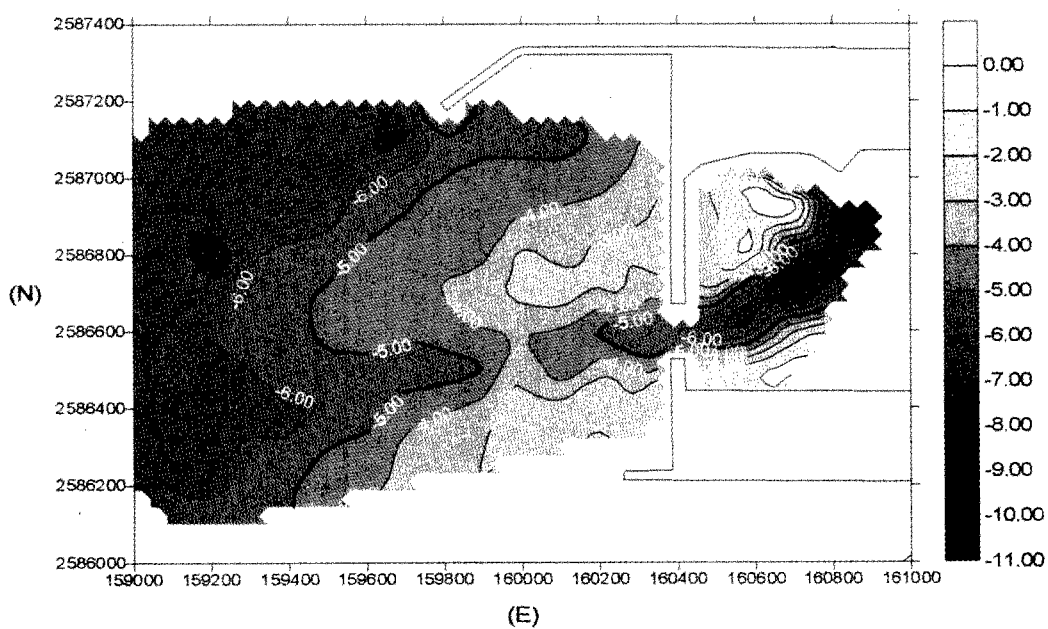


圖4-7 89年1月布袋港港口處之水深測量成果

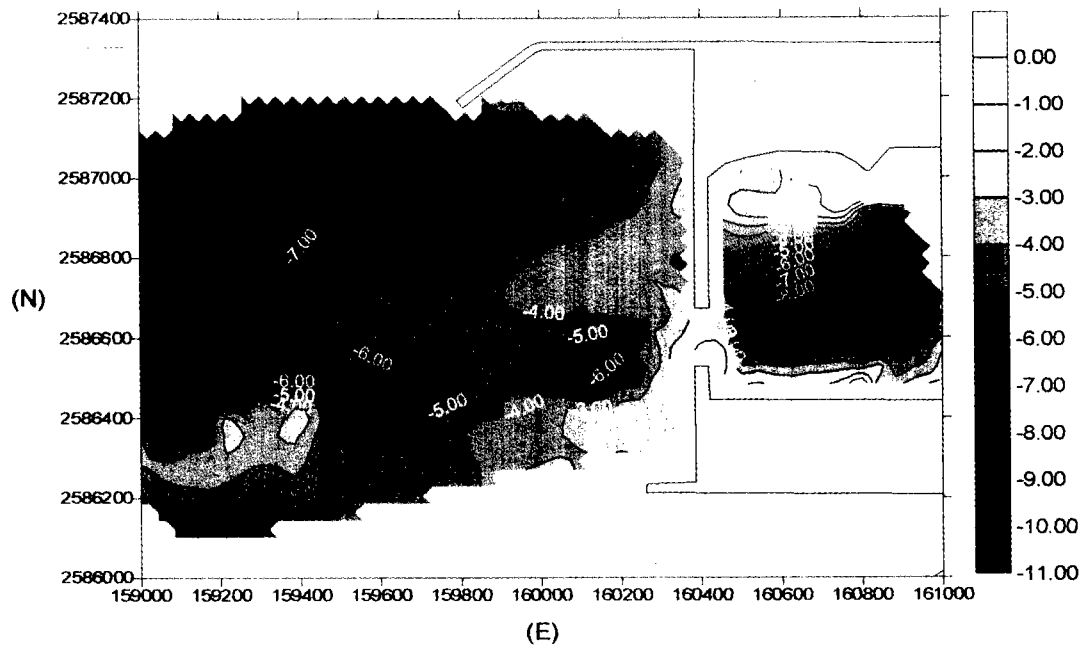


圖4-8 89年7月布袋港港口處之水深測量成果

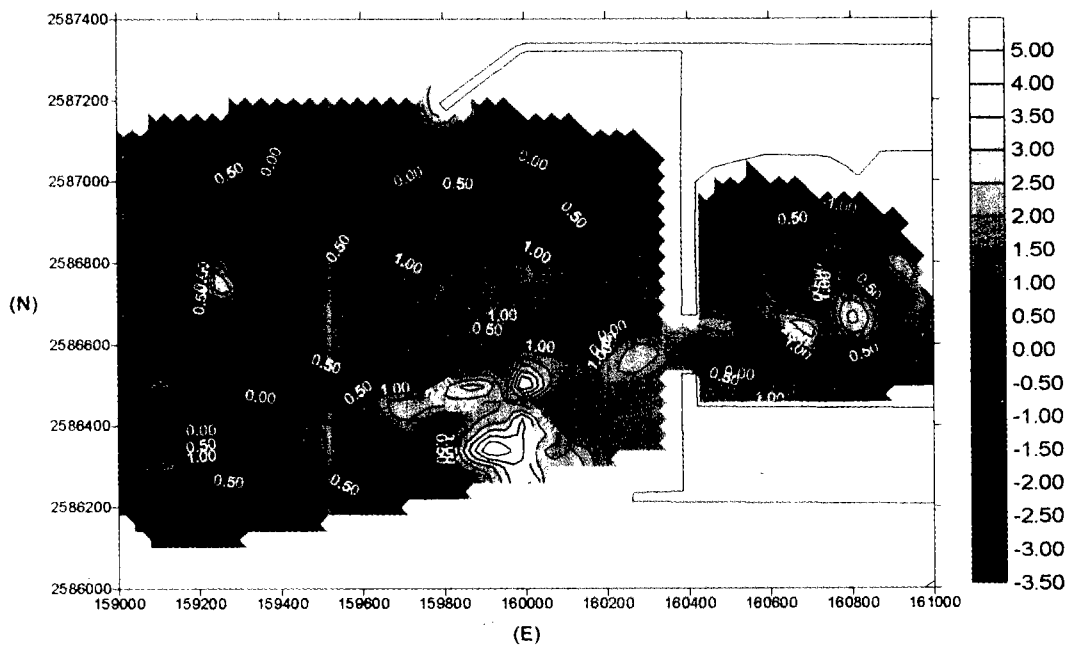


圖 4-9 布袋港港口處之兩時段(88/06 與 89/01)水深變化差

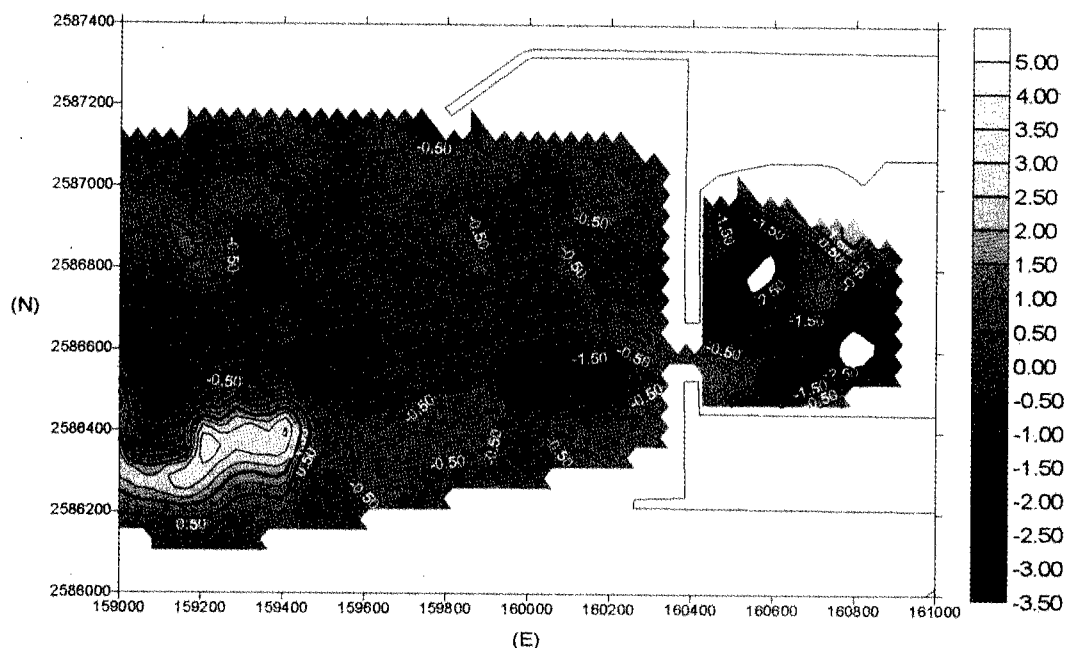


圖 4-10 布袋港港口處之兩時段(89/01 與 89/07)水深變化差

由圖 4-6、圖 4-7 與圖 4-9 可知，第一次測量與高雄港務局提供之水深測量成果，其時差約半年之久，港內航道原濬深水深-9 公尺左右，可能受港池內其他未濬深區域(水深約-4 至-1 公尺)之土方自然重力回淤所致，部份航道(約港池中心處)淤淺成為水深-6 公尺左右；而港外航道亦受漂砂活動影響部份航道(距離港口以西約 400 公尺處)，也由水深-6 公尺淤淺為水深-3 公尺左右；究其原因，可能為該處水深恰位於碎波線附近，漂砂活動較劇，而第一次測量時段為冬季季節風時期，受由北(N)向南(S)優勢方向的沿岸流，由北防波堤方向將漂砂由北往南帶入航道區域內。

另由圖 4-7、圖 4-8 與圖 4-10 可知，第二次測量與第一次測量之水深測量成果，其時差亦約半年；然因受瑪姬颱風過徑影響，港外漂沙隨颱風波浪湧入港池內，港池內南北碼頭區與港口突堤附近皆有漂沙嚴重淤積現象，部份水域水深甚至僅有-2 公尺左右；但因布袋港分局於颱風後，積極辦理港內航道濬深工作，所以實際淤侵土方量已難予估算；而港外外航道部份與港口以西約 1000 公尺處，也因受颱風波浪影響，從水深-6 公尺淤積為-2 公尺左右，將嚴重影響布袋港航船安全。

而就本研究調查範圍所測得之第一次水深測量結果(圖 4-3)與第二次水深測量結果(圖 4-5)兩時段比較，可以得出布袋港港口附

近之兩時段(89/01 與 89/07)水深變化差如圖 4-11 所示：

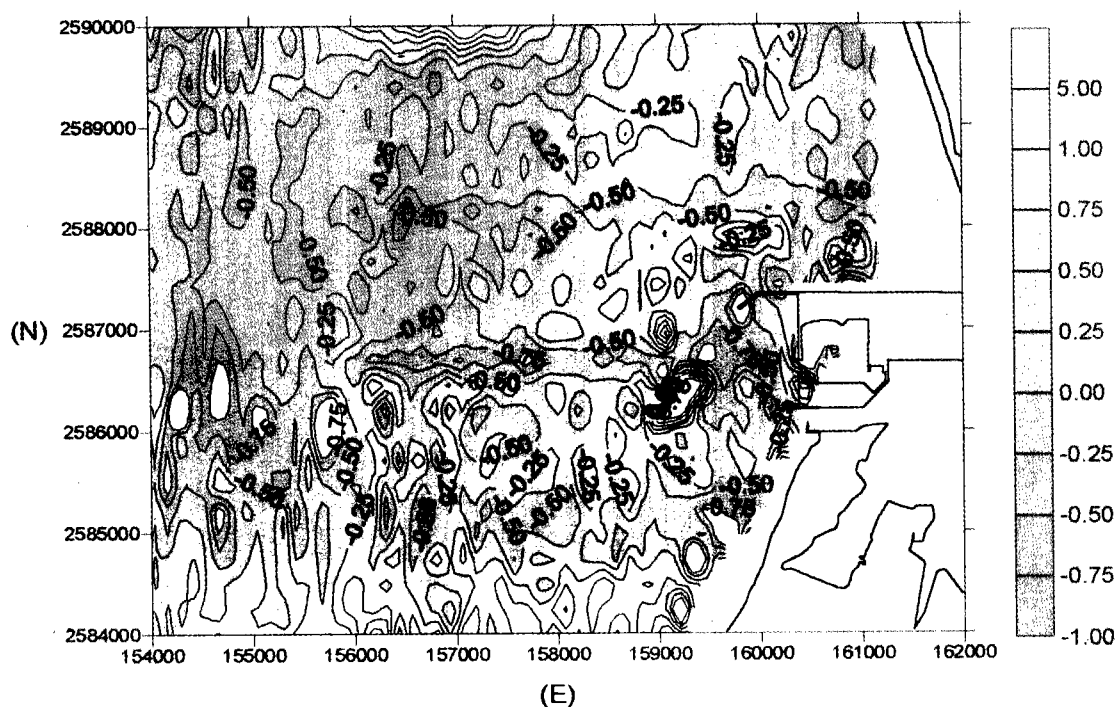


圖 4-11 布袋港港口附近之兩時段(89/01 與 89/07)水深變化差

由圖 4-11 可知，除布袋港港口、港池與航道等處有前節所述之嚴重淤積現象外，於港口以西約 5000 公尺處亦產生大量漂沙淤積情況，該區由原有水深-11 公尺淤積成為-9 公尺左右；另外傘頂洲南端、港口北防波堤頭、漁港航道與港口南側海岸線等處皆有淤積現象；探究其原因應為瑪姬颱風過徑，使得海底底質隨波動移至港口遮蔽區或灘線處所致，此一現象恰可證明在布袋港港口附近之水深條件下，只要波浪尖銳度稍大，就足以使得海底底泥達到全面起動臨界值進而發生港口淤積現象。

另外為了瞭解布袋港港口附近漂沙量的減增情況，本研究將高雄港務局提供之 86 年 6 月之港區水深測量結果(圖 4-6)與本年度兩次之水深測量結果(圖 4-3 及圖 4-5)，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，來計算出三時段之分區土方量，其土方量計算分區示意如圖 4-12 所示。

南往東北方向帶至水深-10 公尺處滯留。

而港口北側與南側則分別由 30364227.64 立方公尺與 25938111.06 立方公尺增加為 32528104.72 立方公尺與 27155581.48 立方公尺，回淤有 2163877.08 立方公尺及 1217470.42 立方公尺，平均淤積高差達 0.31 及 0.42 公尺；其主要受颱風波浪之影響，將漂沙由西南往東北方向帶至灘線附近所致。

就本計畫執行兩次水深測量之結果，整體布袋港港口附近之土方量分析可得出，上半年度為 82543099.86 立方公尺，而下半年度受瑪姬(MAGGIE)颱風作用後，成為 87947735.40 立方公尺，半年間總淤積量為 5404635.54 立方公尺，平均淤積高差在 0.31 公尺至 1.53 公尺之間。

第五章底床粒徑採樣分析

底床粒徑採樣分析常為判斷漂沙來源的主要依據，藉由底床土壤粒徑之特性，可比對與臨近海域各漂沙源間之差異性，藉由此可研判布袋港漂沙主要來源，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。本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；而第二次採樣工作已於 89 年 7 月 21 日至 89 年 7 月 24 日作業完成。其調查範圍則以布袋港港口南、北方距離 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 35 處。

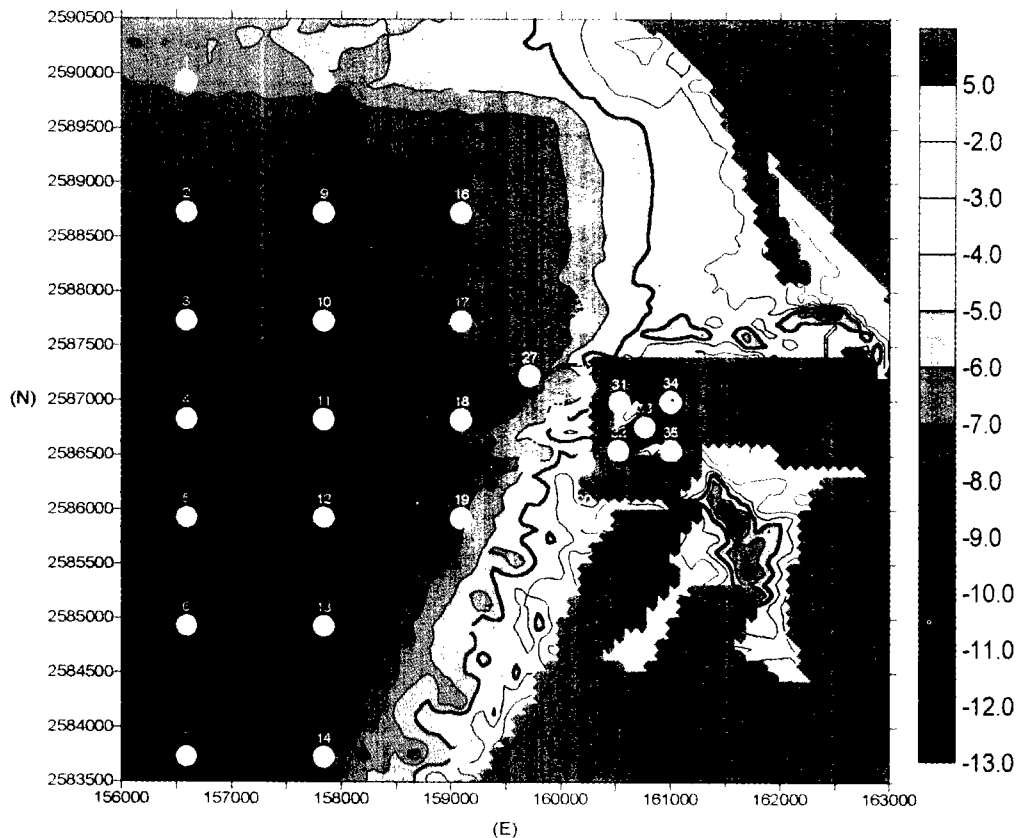


圖 5-1 底床粒徑採樣分析調查範圍與採樣位置

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，並包封標示取樣天候、水深與採樣點位置座標等現況條件；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。

5.2.1 主要儀器設備

本研究使用的主要儀器設備如附表 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附表 5-2 所示，而礦岩分析則以公制重量百分比法分類。

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

附表 5-1 底床粒徑採樣分析主要儀器設備

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

附表 5-2 美國土壤局 ASTM 篩號與粒徑之關係

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。

而對篩分析所得出之結果，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

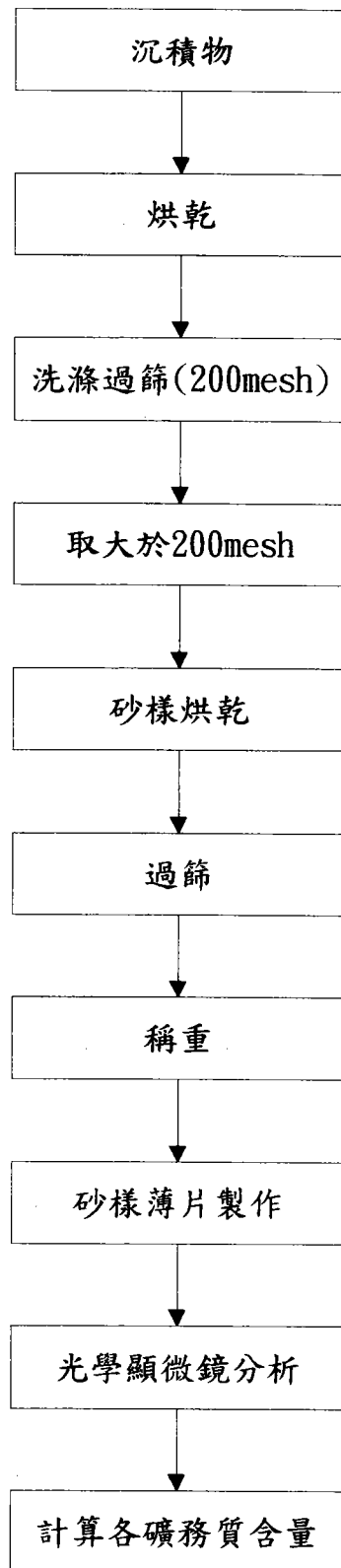


圖 5-3 礦岩分析流程圖

5.3 樣本分析與結果

由現場調查取得之沉積物樣本，經由採樣調查皆同時用 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附表 5-3 所示；而為了擴大瞭解布袋南北海域之底床粒徑，故於第二次採樣調查時，除第一次採樣之 35 組樣本位置不變外，於北至外傘頂洲南至八掌溪河口處各加取二組樣本，合計 37 組：

樣本	橫座標E	縱座標N	水深
1	156590.7	2589926.541	6.32
2	156590.7	2588726.541	7.53
3	156590.7	2587726.541	7.86
4	156590.7	2586826.541	7.68
5	156590.7	2585926.541	8.63
6	156590.7	2584926.541	8.40
7	156590.7	2583726.541	9.50
8	157840.7	2589926.541	6.06
9	157840.7	2588726.541	7.53
10	157840.7	2587726.541	7.86
11	157840.7	2586826.541	7.68
12	157840.7	2585926.541	8.63
13	157840.7	2584926.541	8.40
14	157840.7	2583726.541	9.50
15	159090.7	2589926.541	5.69
16	159090.7	2588725.594	6.45
17	159090.7	2587726.541	6.20
18	159090.7	2586826.541	5.97
19	159090.7	2585926.541	5.93
20	159090.7	2584926.541	3.46
21	159090.7	2583726.541	3.51
22	160215.7	2589926.541	4.53
23	160215.7	2588726.541	6.45
24	160215.7	2587726.541	6.20
25	160215.7	2587126.541	4.86
26	160215.7	2586426.541	2.41
27	159715.7	2587226.541	6.75
28	159965.7	2586826.541	2.73

29	159715.7	2586426.541	4.52
30	160215.7	2585926.541	3.29
31	160536.6	2586983.649	1.66
32	160528.0	2586545.223	1.26
33	160766.0	2586757.986	7.21
34	161001.7	2586991.355	8.63
35	161001.9	2586543.544	3.44
36	159148.1	2590850.197	5.62
37	157378.8	2582021.598	4.75

附表 5-3 底床粒徑分析採樣點位置二度分帶座標與水深

而於實驗室分析得出之結果，則可分以下兩項來討論：

1. 粒徑分析：樣本經實驗室篩分析與比重分析後，第一次採樣調查之 35 組樣本粒徑分佈曲線如圖 5-5-1 至圖 5-5-35 所示；而第二次採樣調查之 37 組樣本粒徑分佈曲線如圖 5-6-1 至圖 5-6-37 所示。經由得出之沉積物粒徑分佈曲線圖，則可經由前節公式計算出第一次採樣調查各個樣本之底床粒徑分佈統計表如附表 5-4 所示；而第二次採樣調查各個樣本之底床粒徑分佈統計表如附表 5-5 所示。

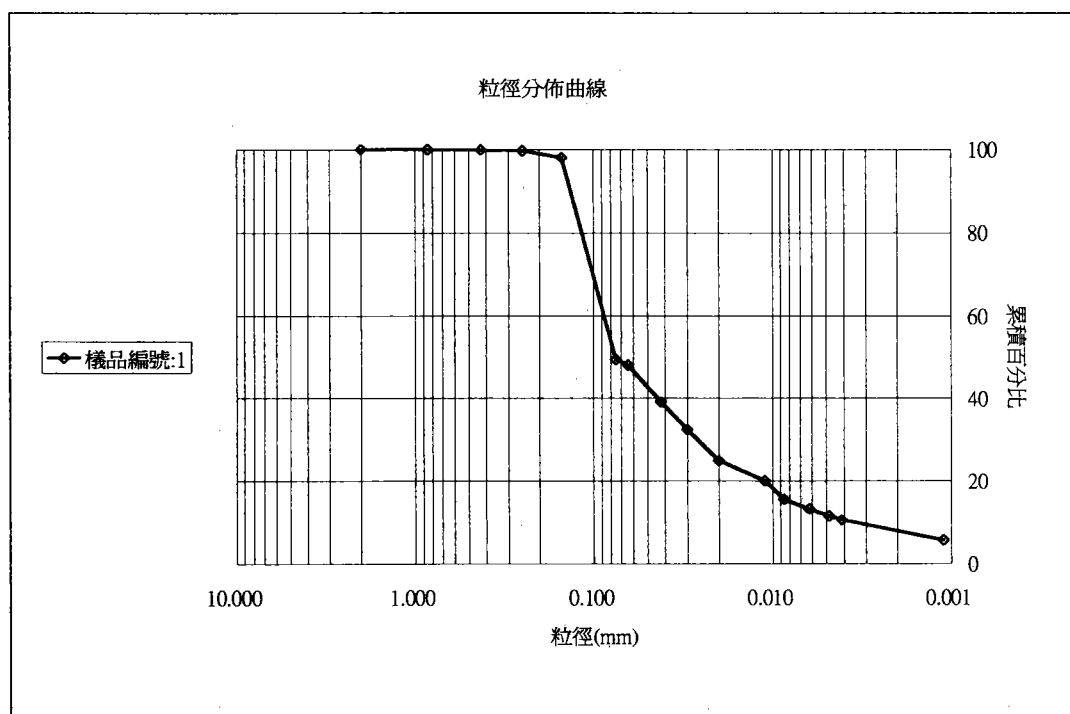


圖 5-5-1 第一次採樣調查樣本(1)粒徑分佈曲線

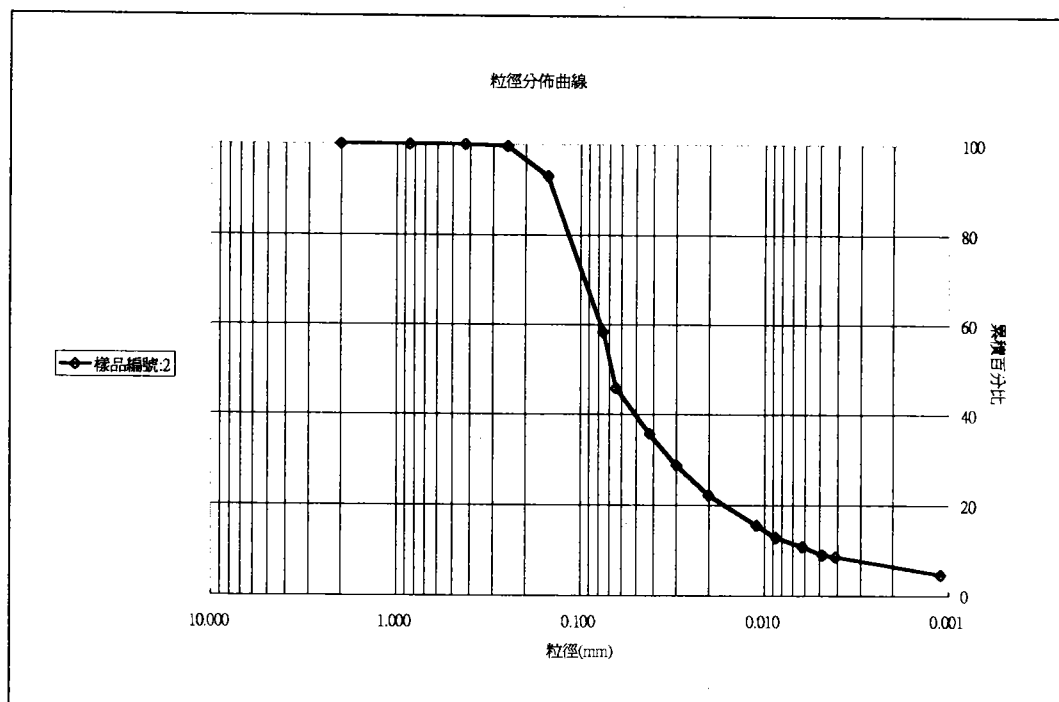


圖 5-5-2 第一次採樣調查樣本(2)粒徑分佈曲線

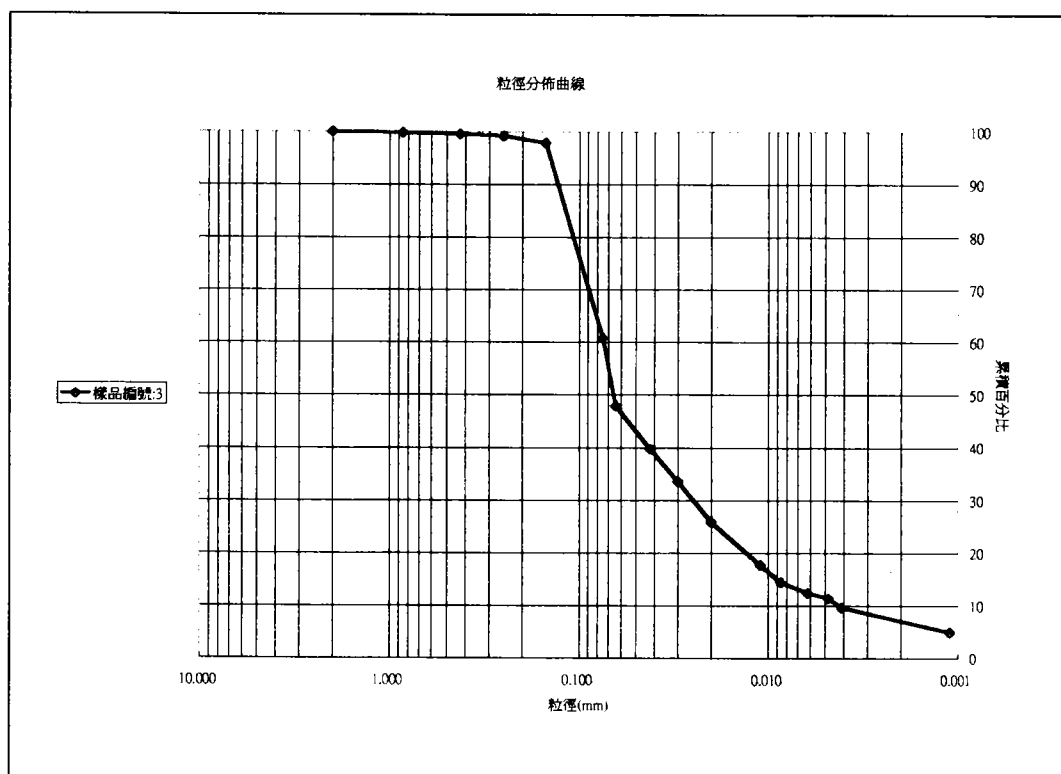


圖 5-5-3 第一次採樣調查樣本(3)粒徑分佈曲線

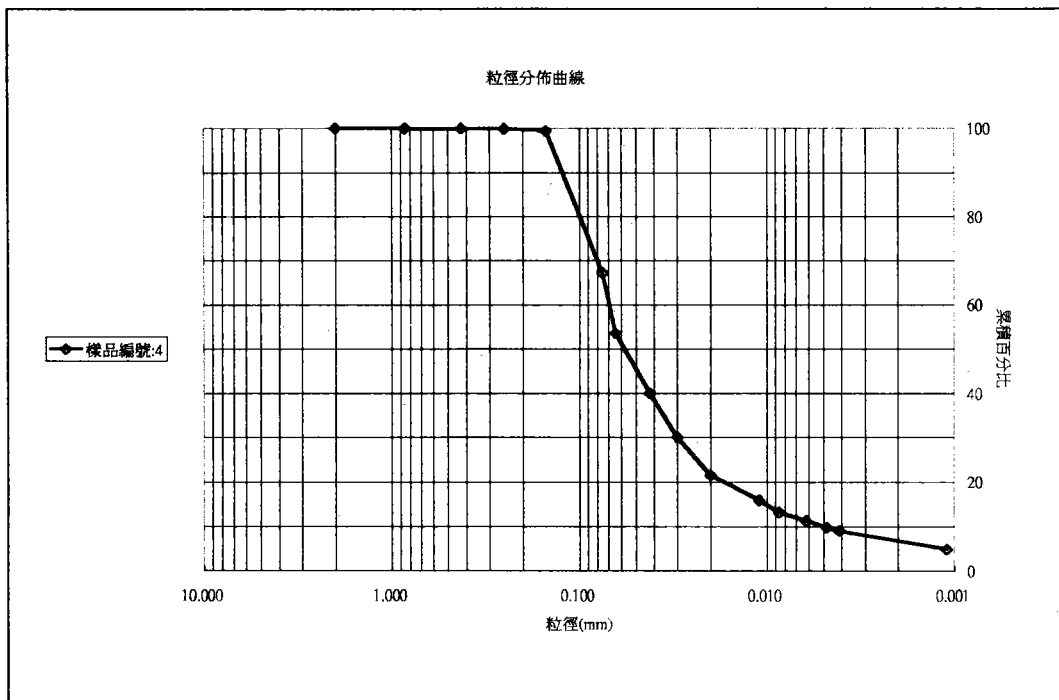


圖 5-5-4 第一次採樣調查樣本(4)粒徑分佈曲線

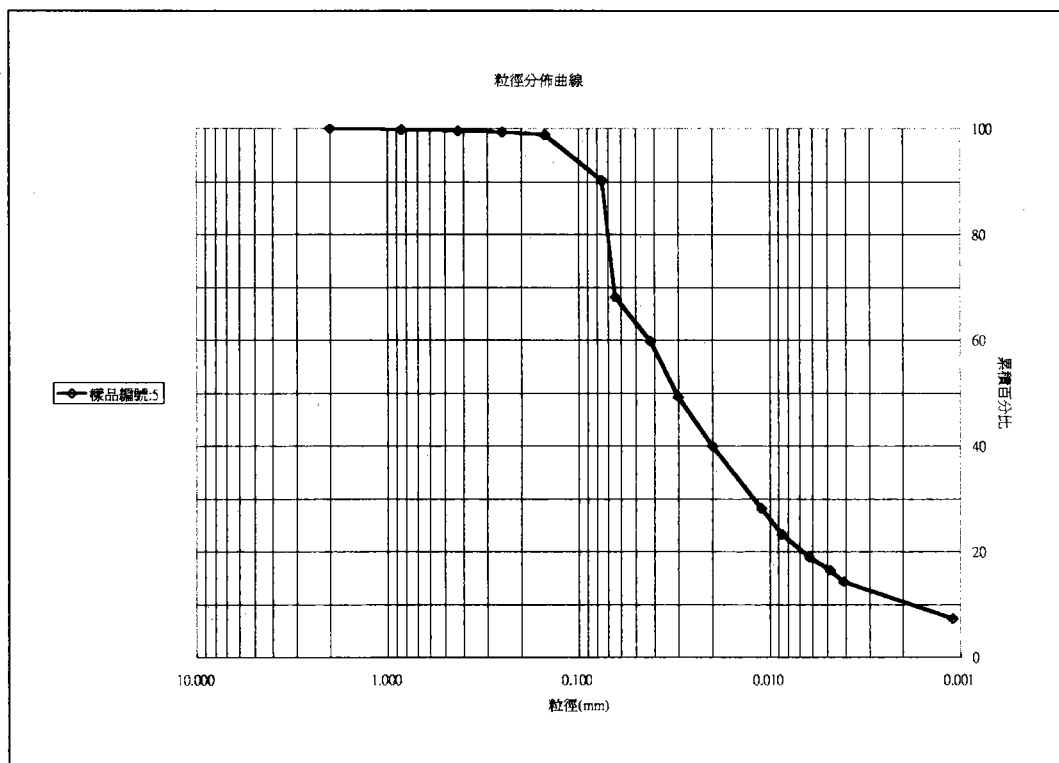


圖 5-5-5 第一次採樣調查樣本(5)粒徑分佈曲線

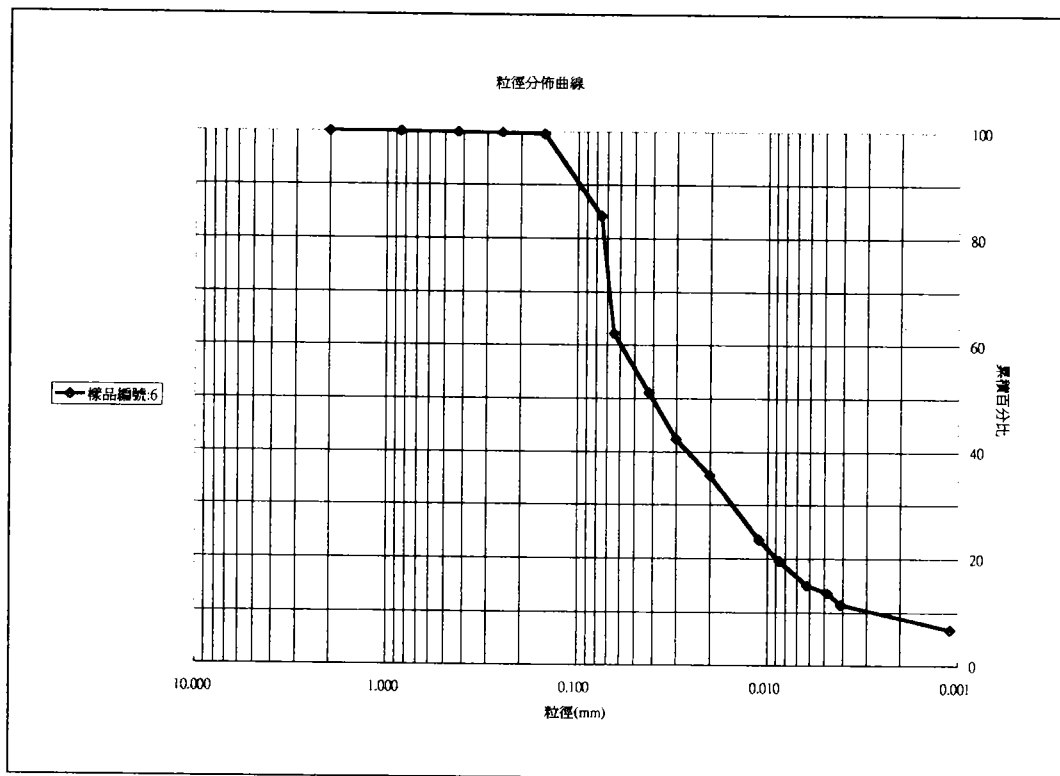


圖 5-5-6 第一次採樣調查樣本(6)粒徑分佈曲線

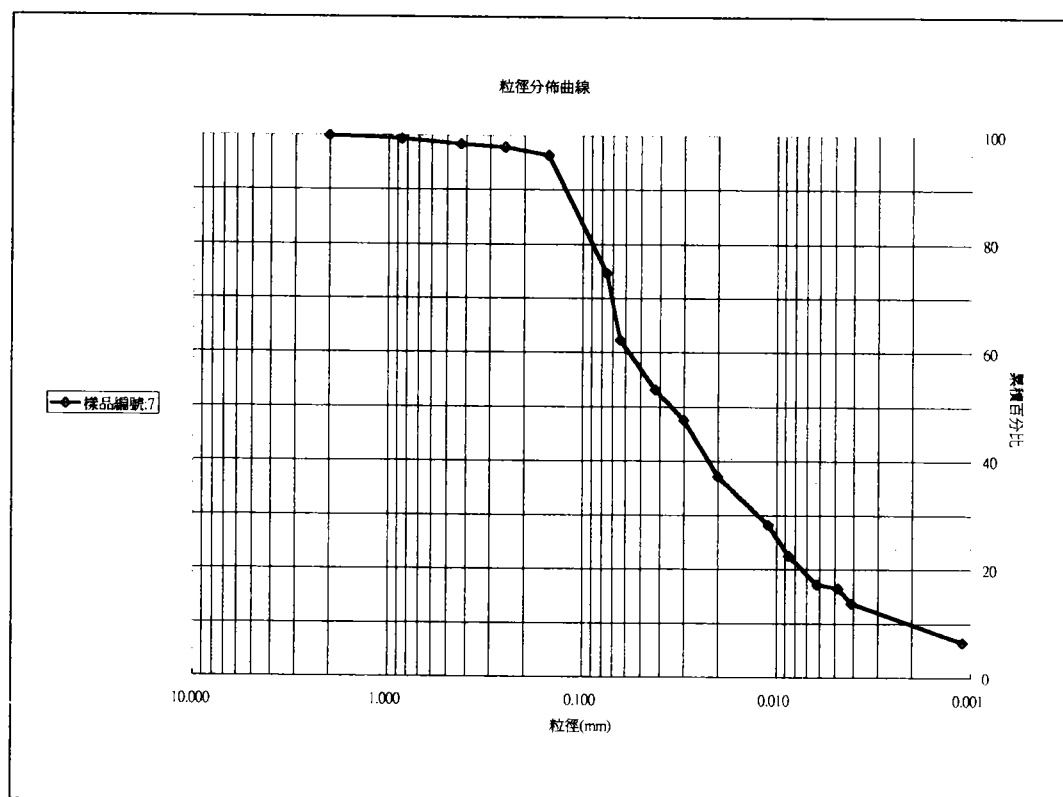


圖 5-5-7 第一次採樣調查樣本(7)粒徑分佈曲線

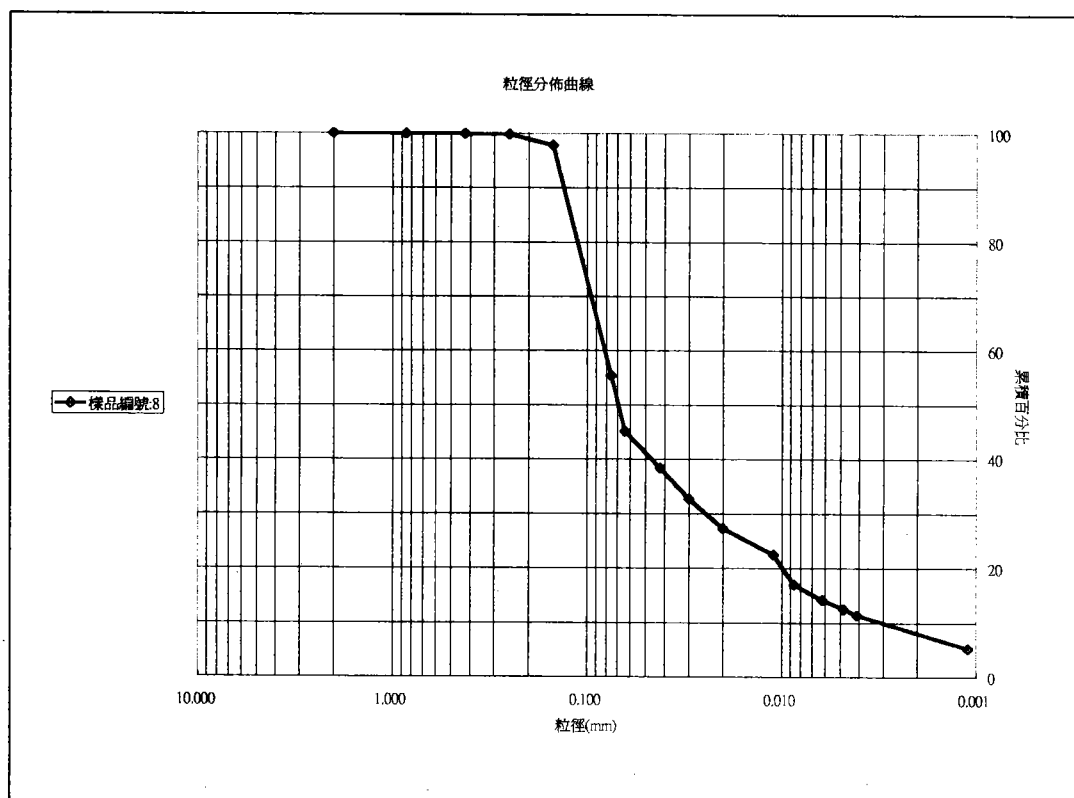


圖 5-5-8 第一次採樣調查樣本(8)粒徑分佈曲線

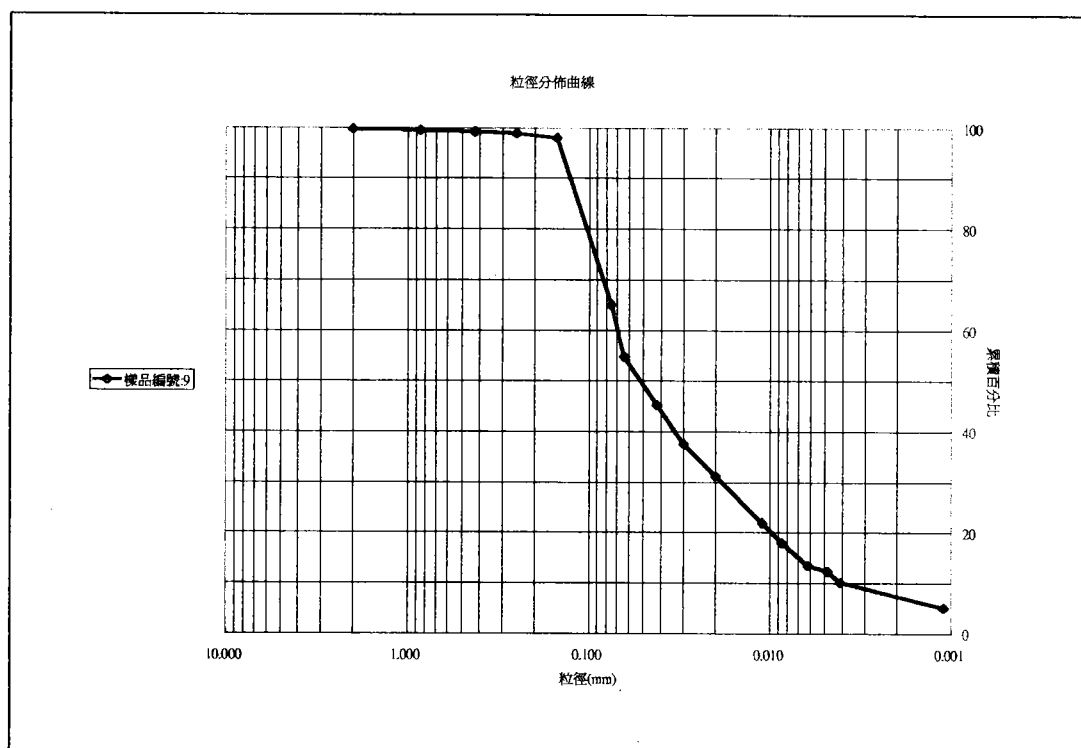


圖 5-5-9 第一次採樣調查樣本(9)粒徑分佈曲線

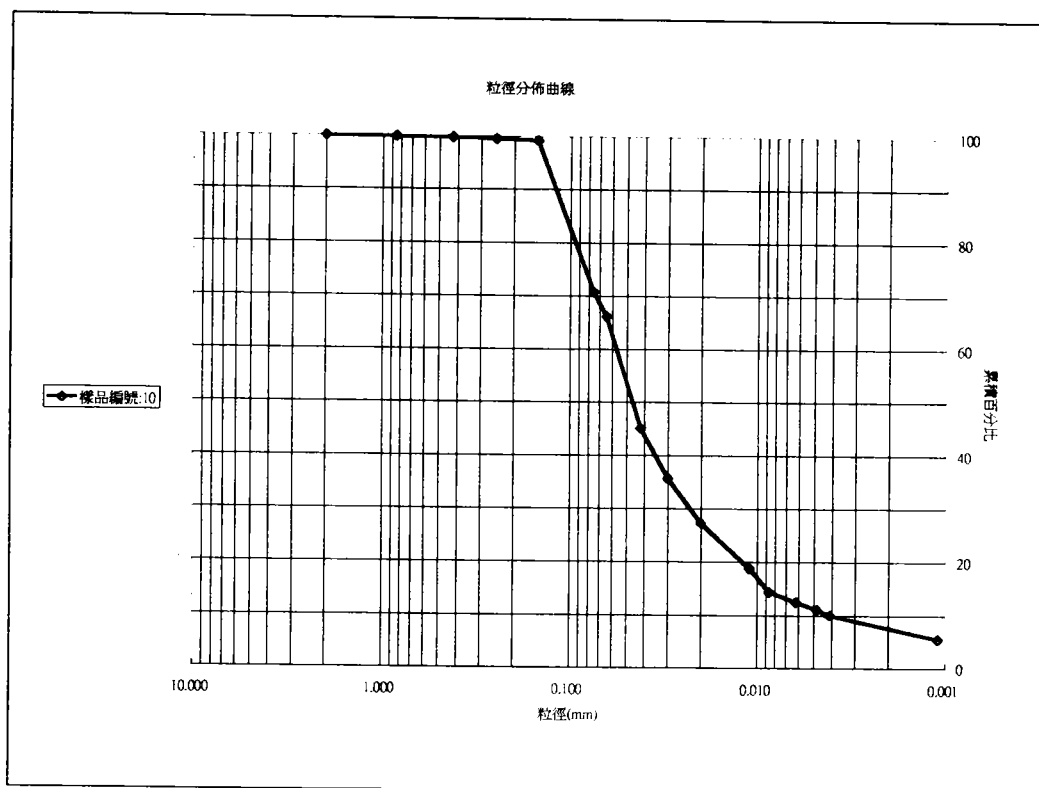


圖 5-5-10 第一次採樣調查樣本(10)粒徑分佈曲線

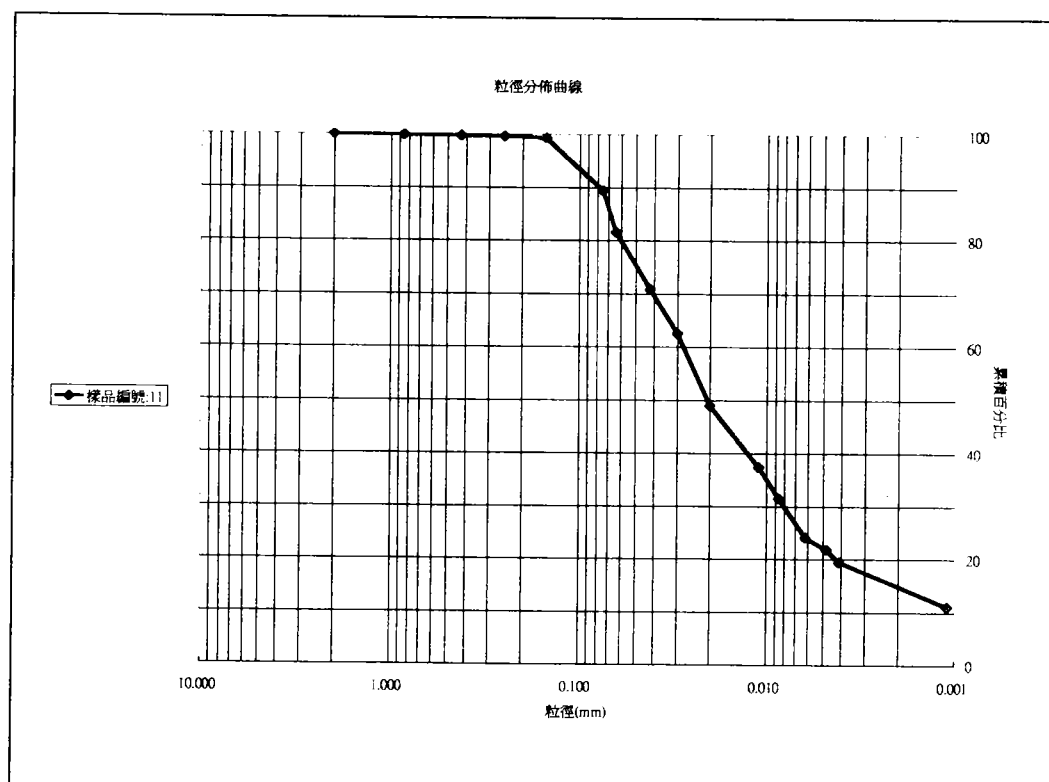


圖 5-5-11 第一次採樣調查樣本(11)粒徑分佈曲線

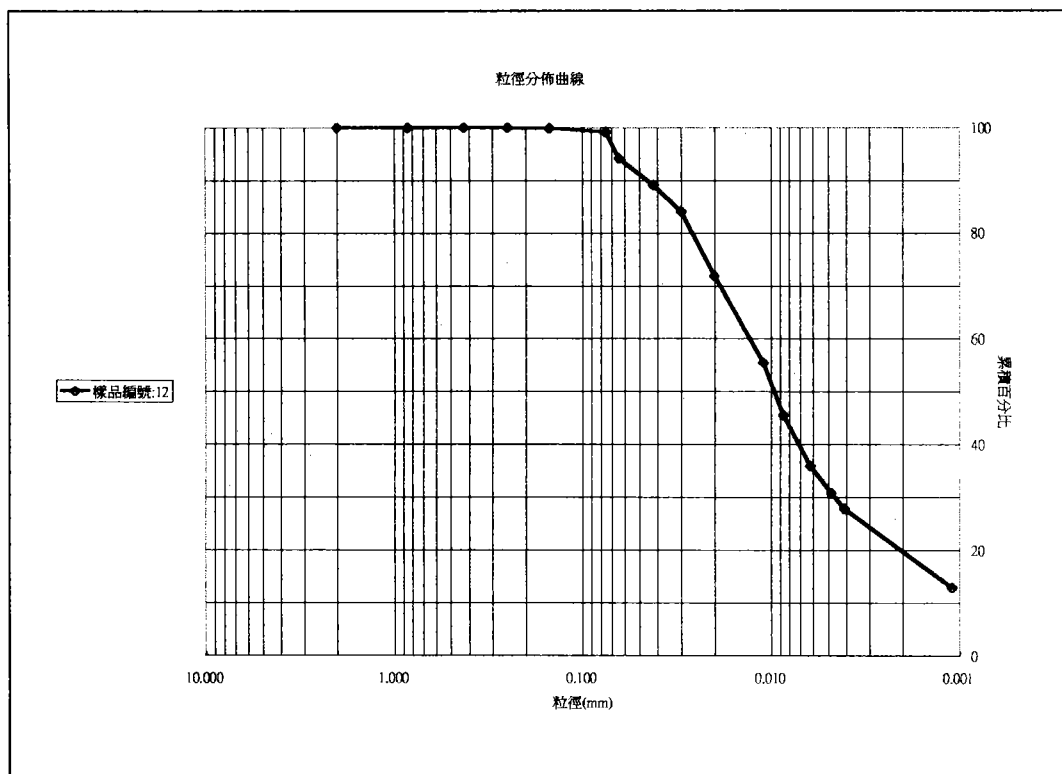


圖 5-5-12 第一次採樣調查樣本(12)粒徑分佈曲線

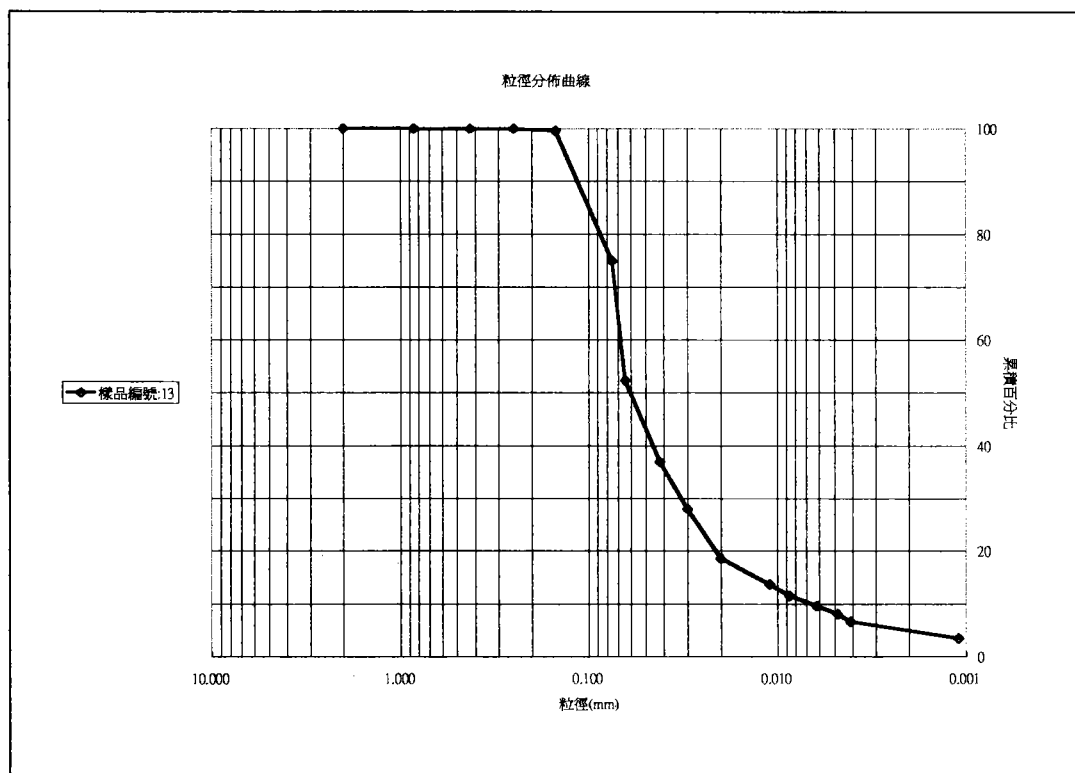


圖 5-5-13 第一次採樣調查樣本(13)粒徑分佈曲線

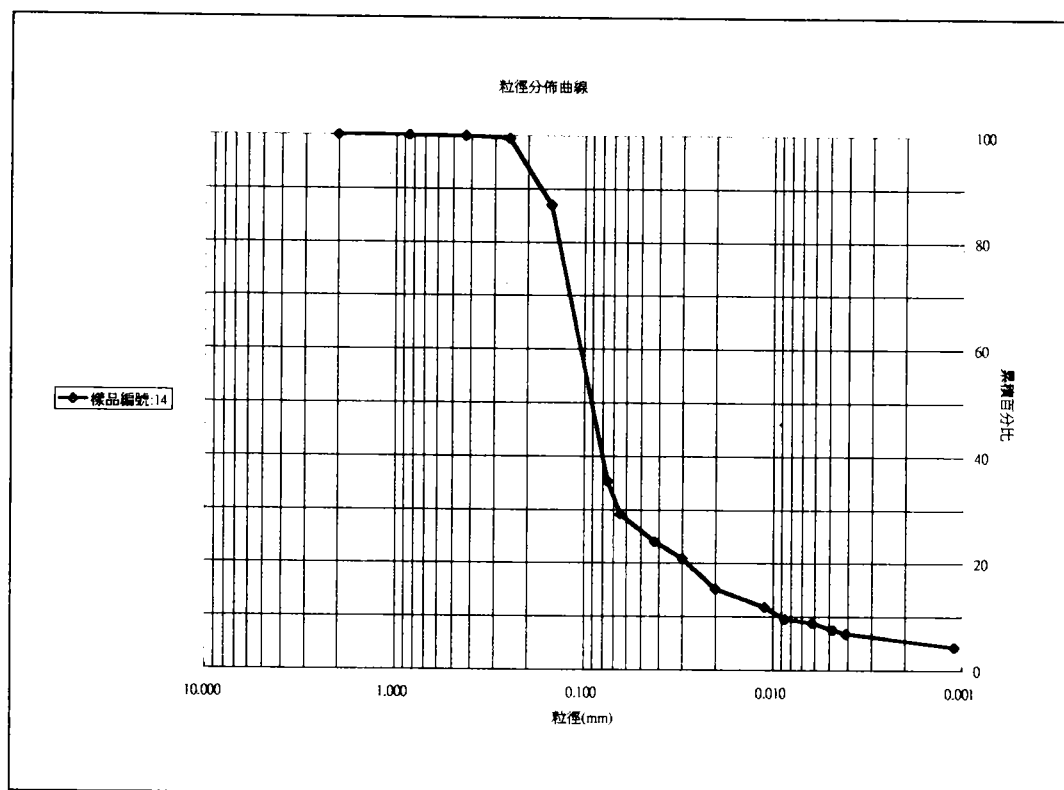


圖 5-5-14 第一次採樣調查樣本(14)粒徑分佈曲線

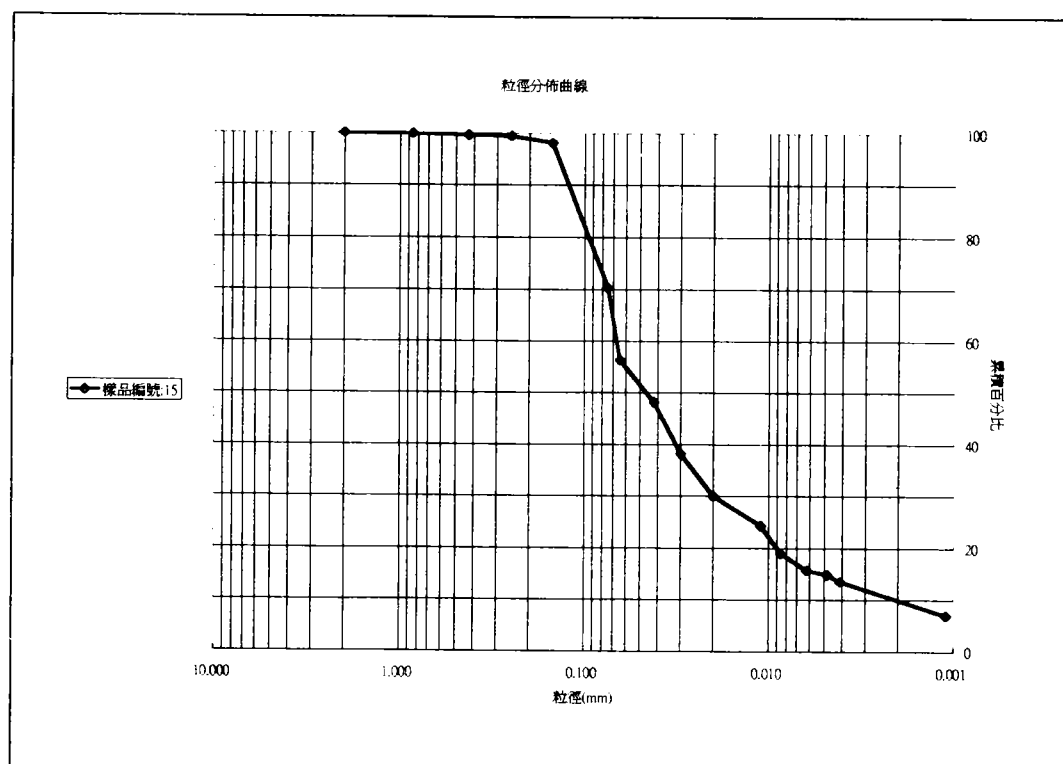


圖 5-5-15 第一次採樣調查樣本(15)粒徑分佈曲線

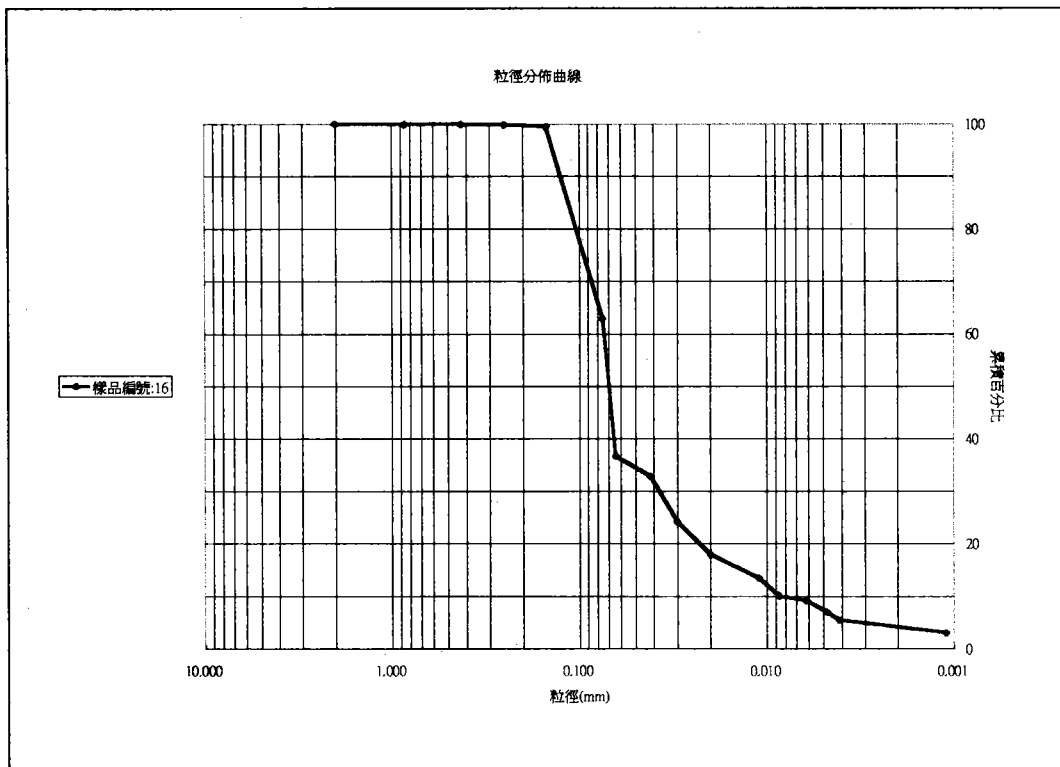


圖 5-5-16 第一次採樣調查樣本(16)粒徑分佈曲線

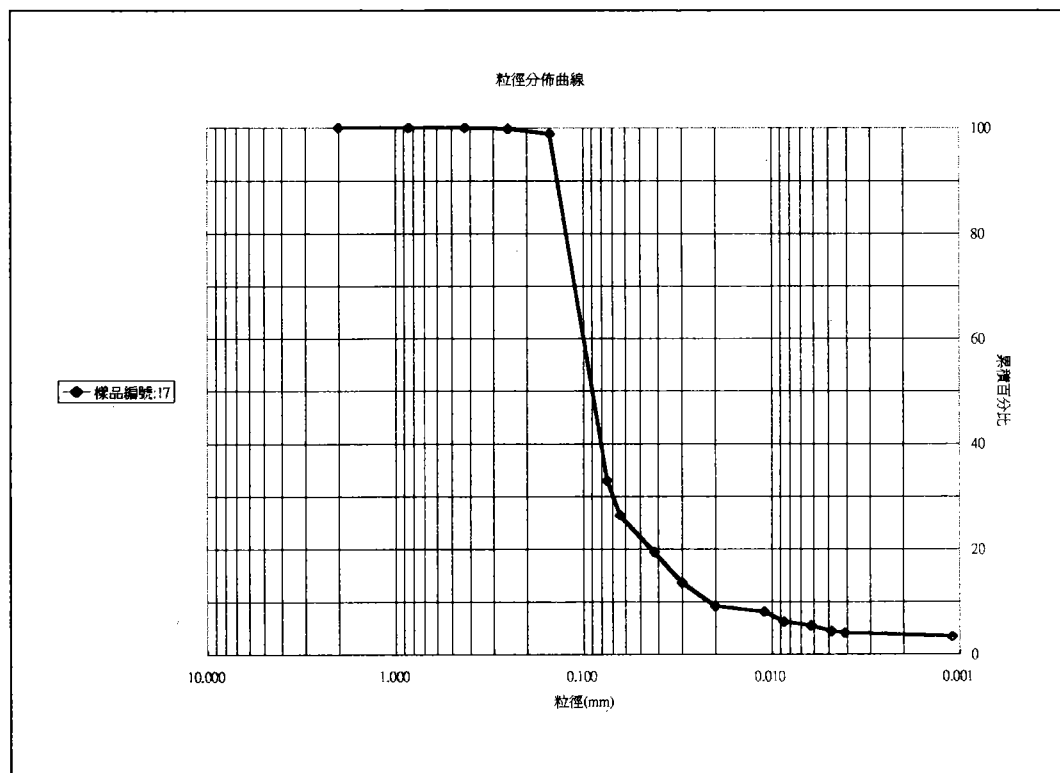


圖 5-5-17 第一次採樣調查樣本(17)粒徑分佈曲線

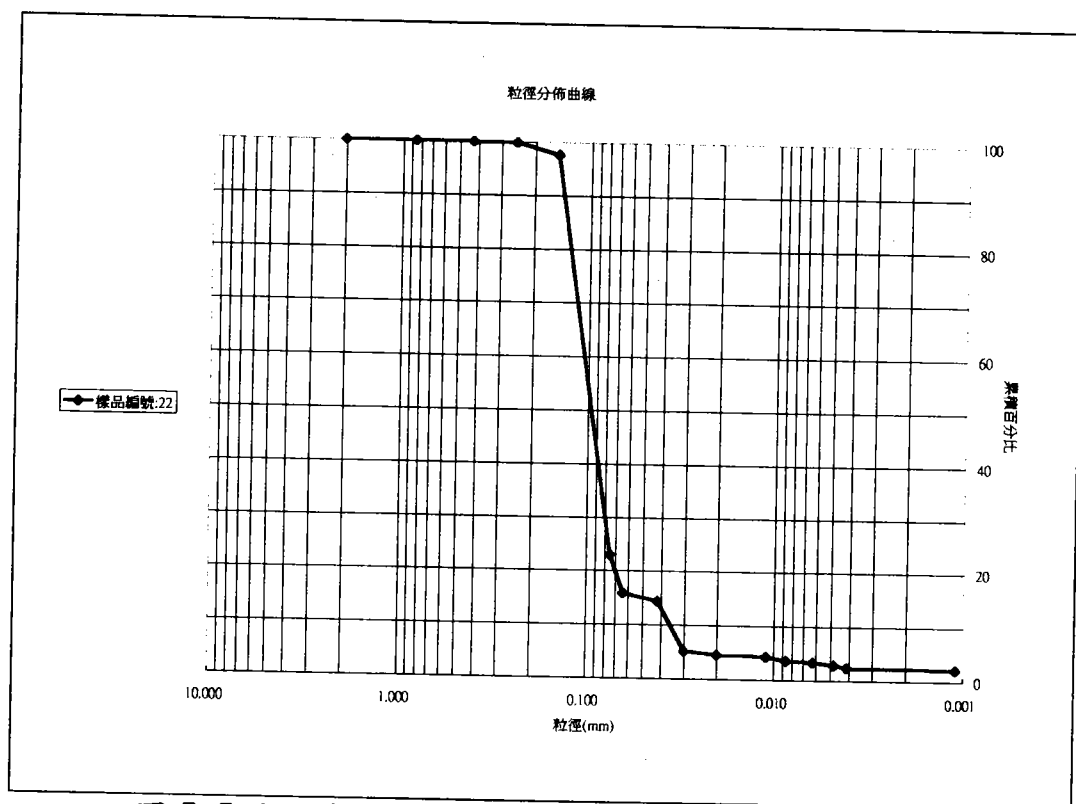


圖 5-5-22 第一次採樣調查樣本(22)粒徑分佈曲線

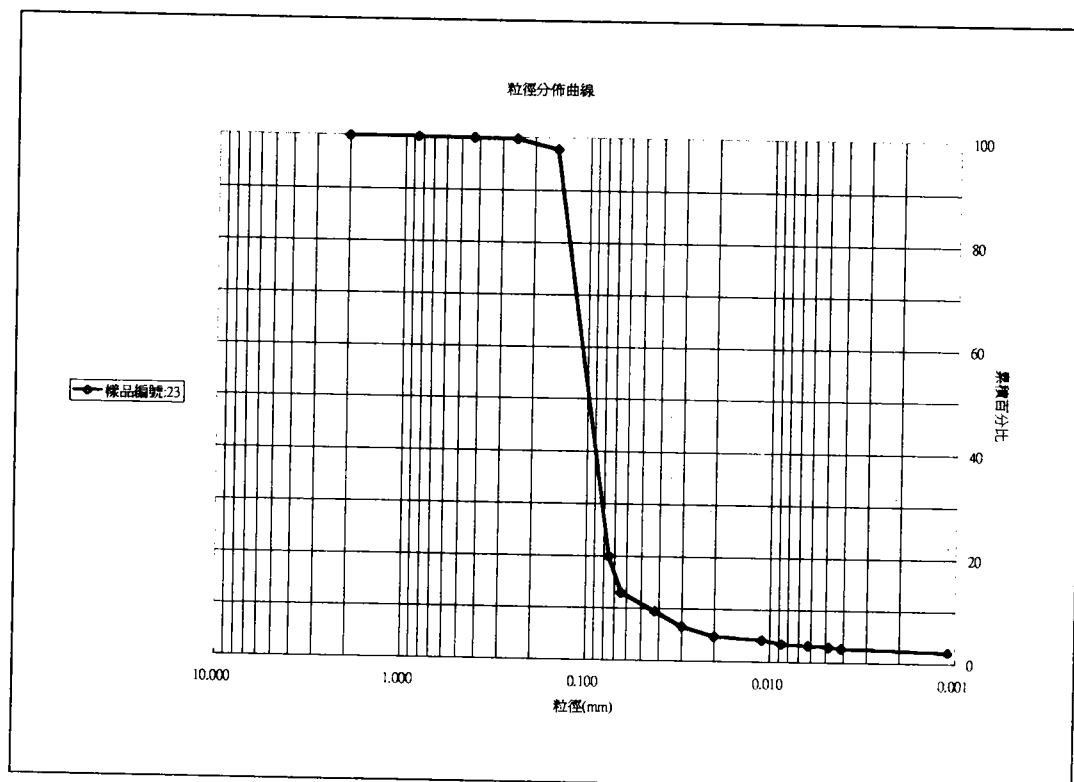


圖 5-5-23 第一次採樣調查樣本(23)粒徑分佈曲線

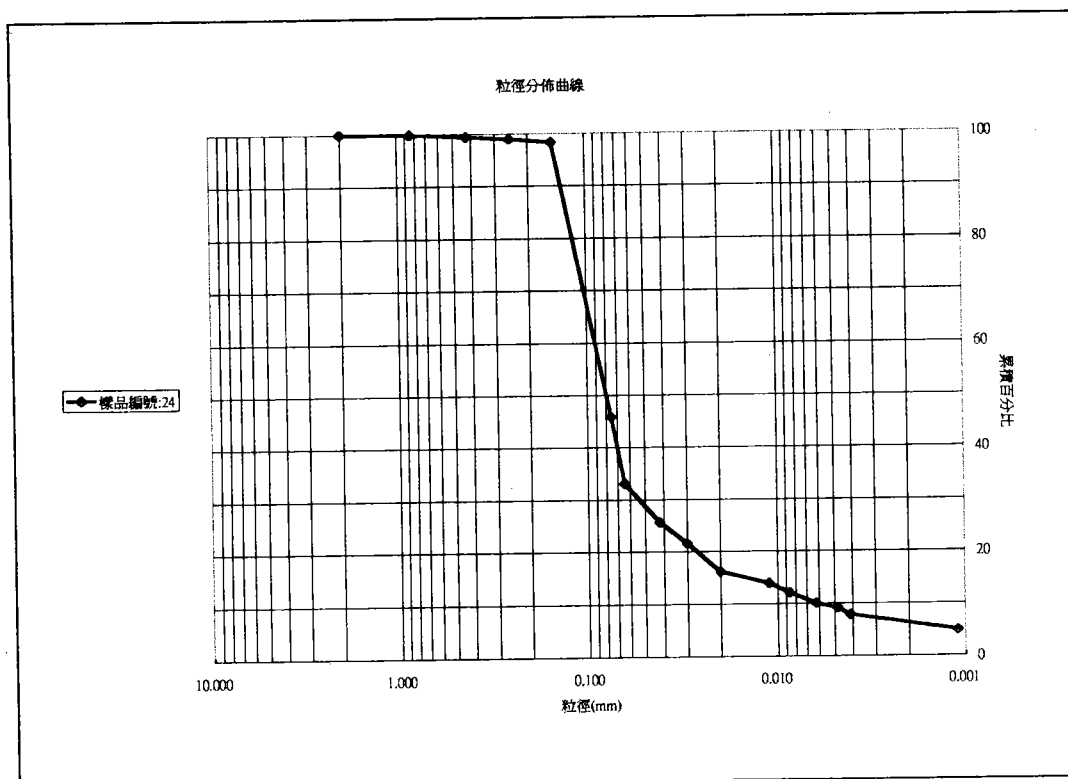


圖 5-5-24 第一次採樣調查樣本(24)粒徑分佈曲線

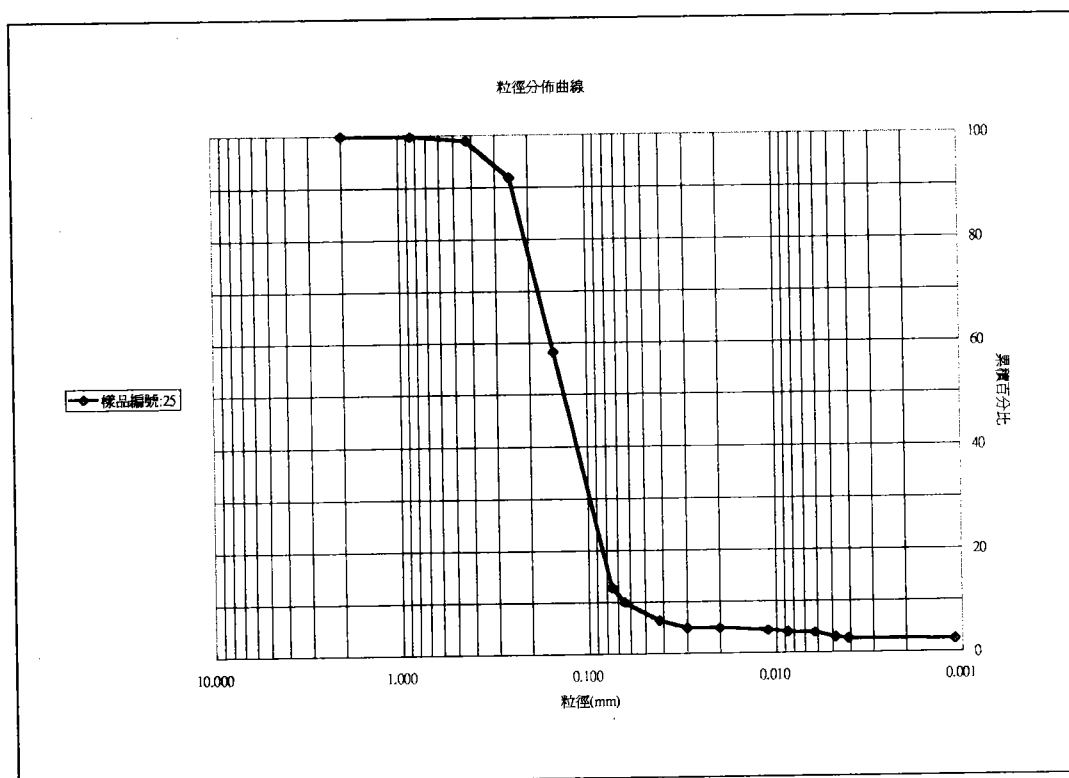


圖 5-5-25 第一次採樣調查樣本(25)粒徑分佈曲線

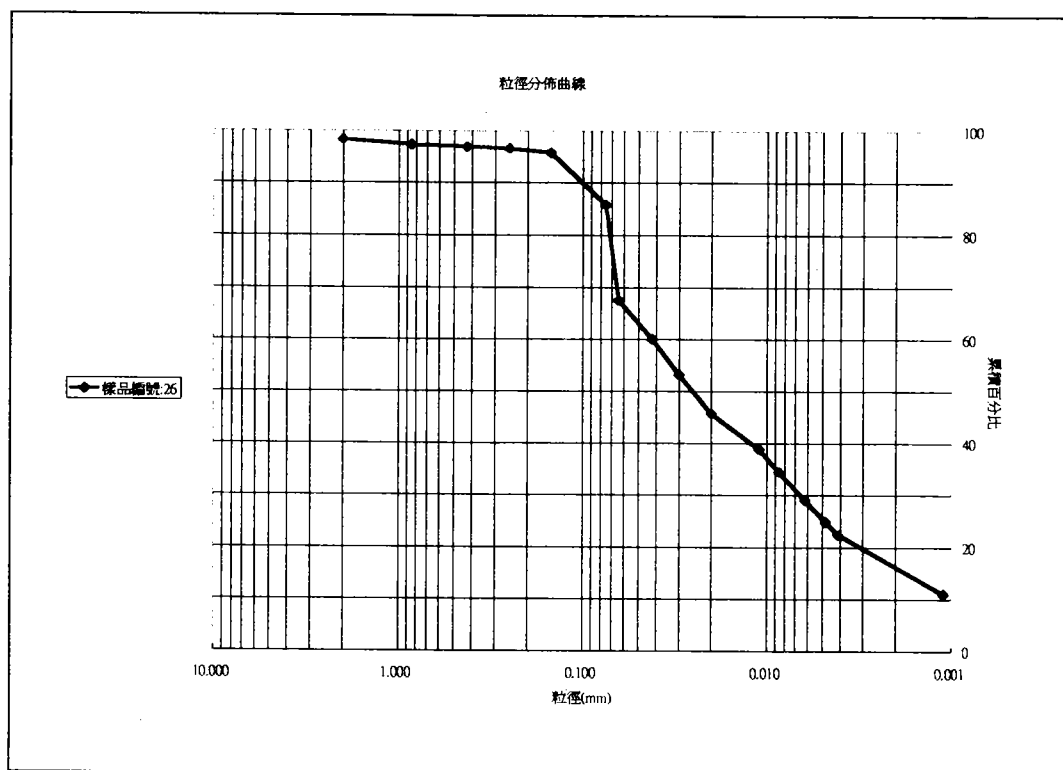


圖 5-5-26 第一次採樣調查樣本(26)粒徑分佈曲線

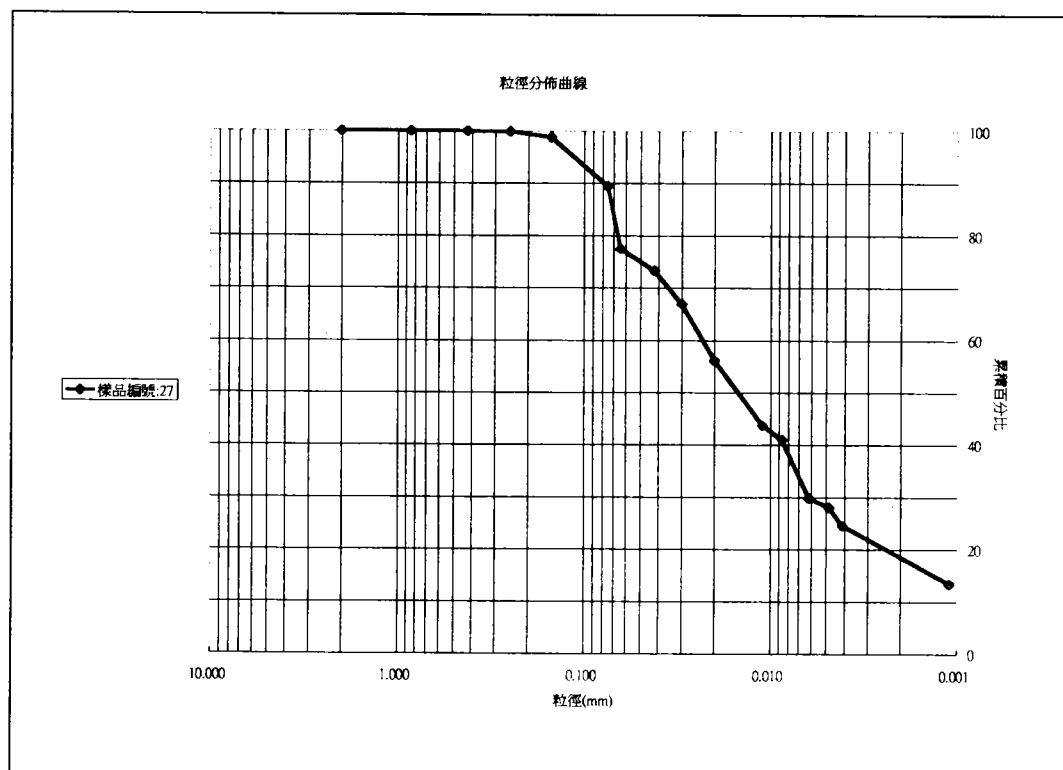


圖 5-5-27 第一次採樣調查樣本(27)粒徑分佈曲線

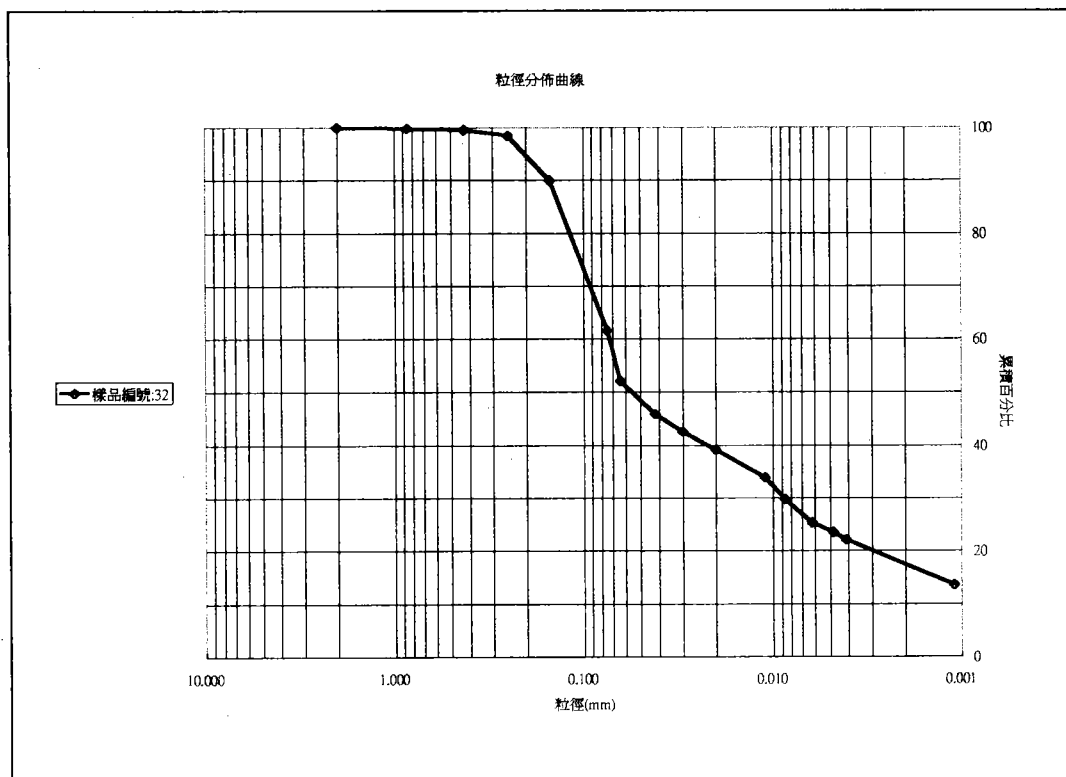


圖 5-5-32 第一次採樣調查樣本(32)粒徑分佈曲線

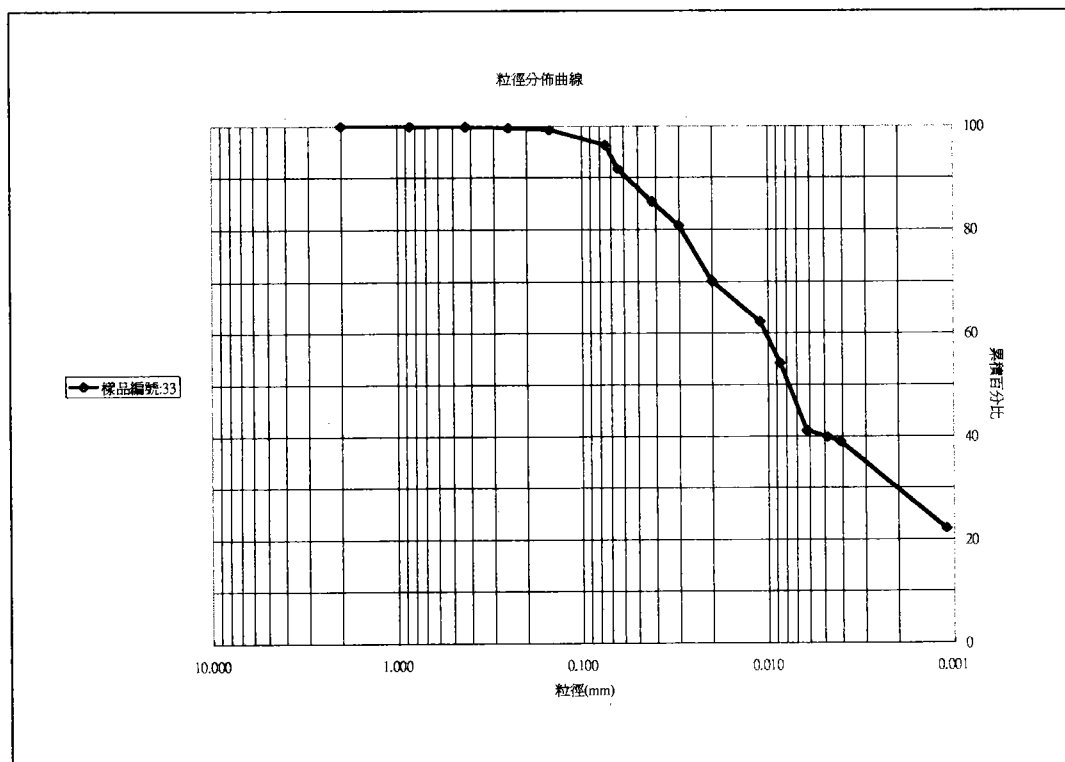


圖 5-5-33 第一次採樣調查樣本(33)粒徑分佈曲線

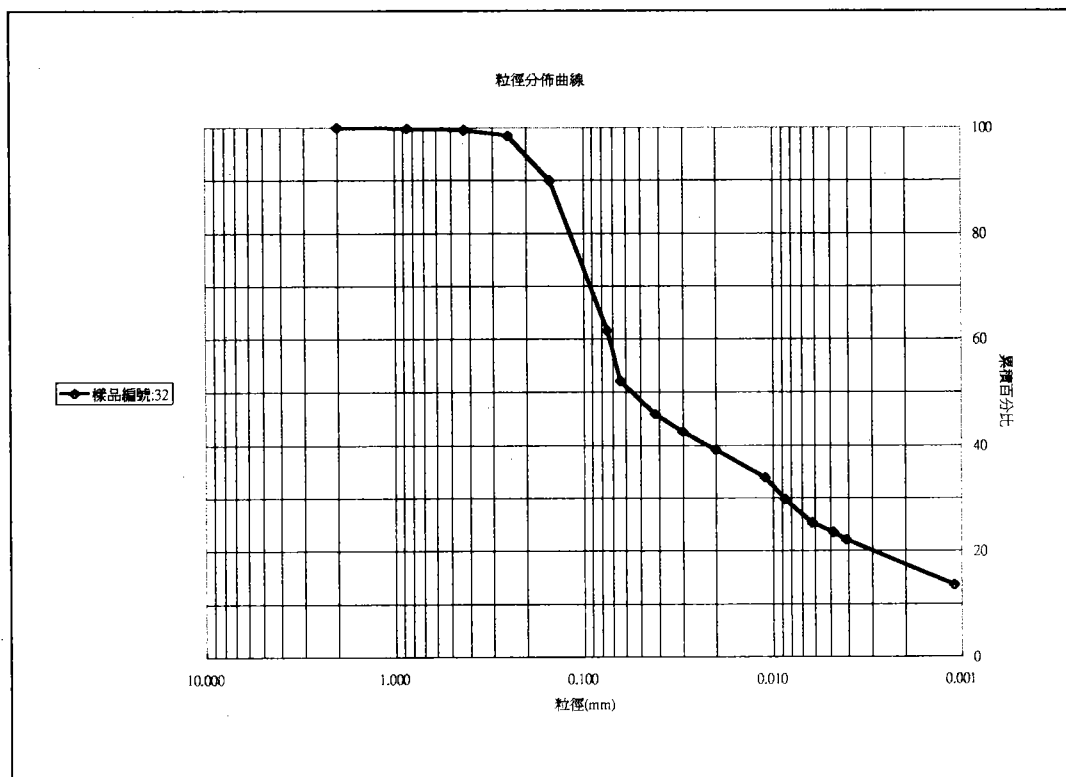


圖 5-5-32 第一次採樣調查樣本(32)粒徑分佈曲線

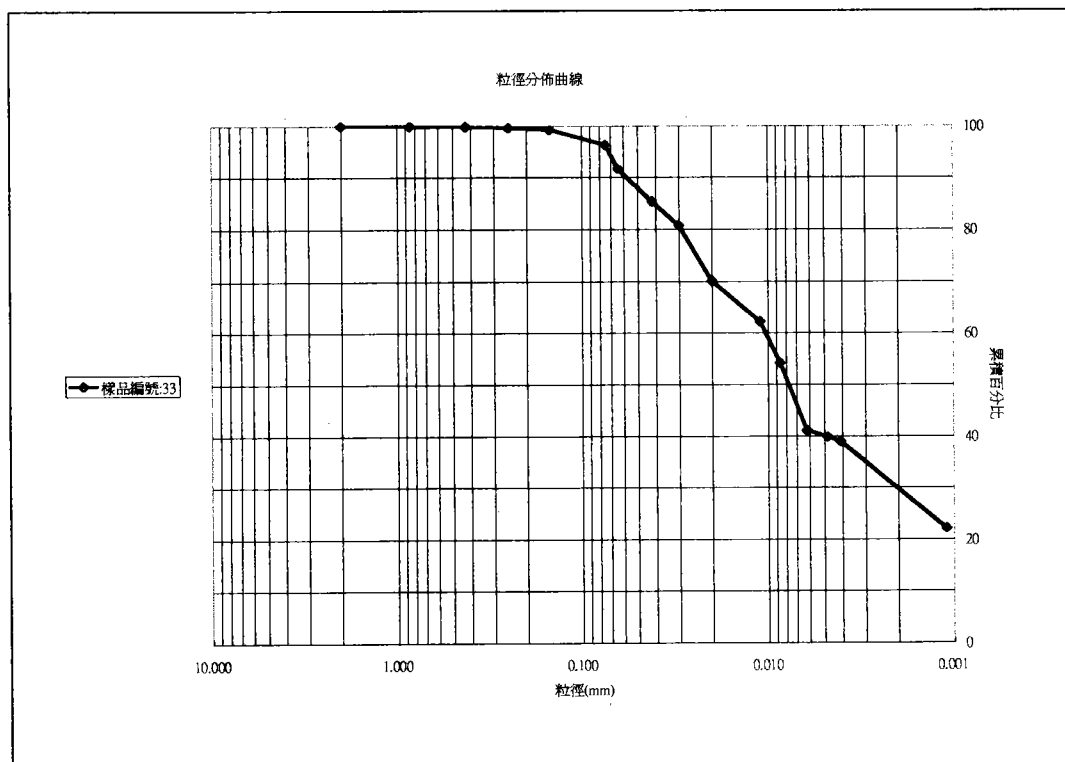


圖 5-5-33 第一次採樣調查樣本(33)粒徑分佈曲線

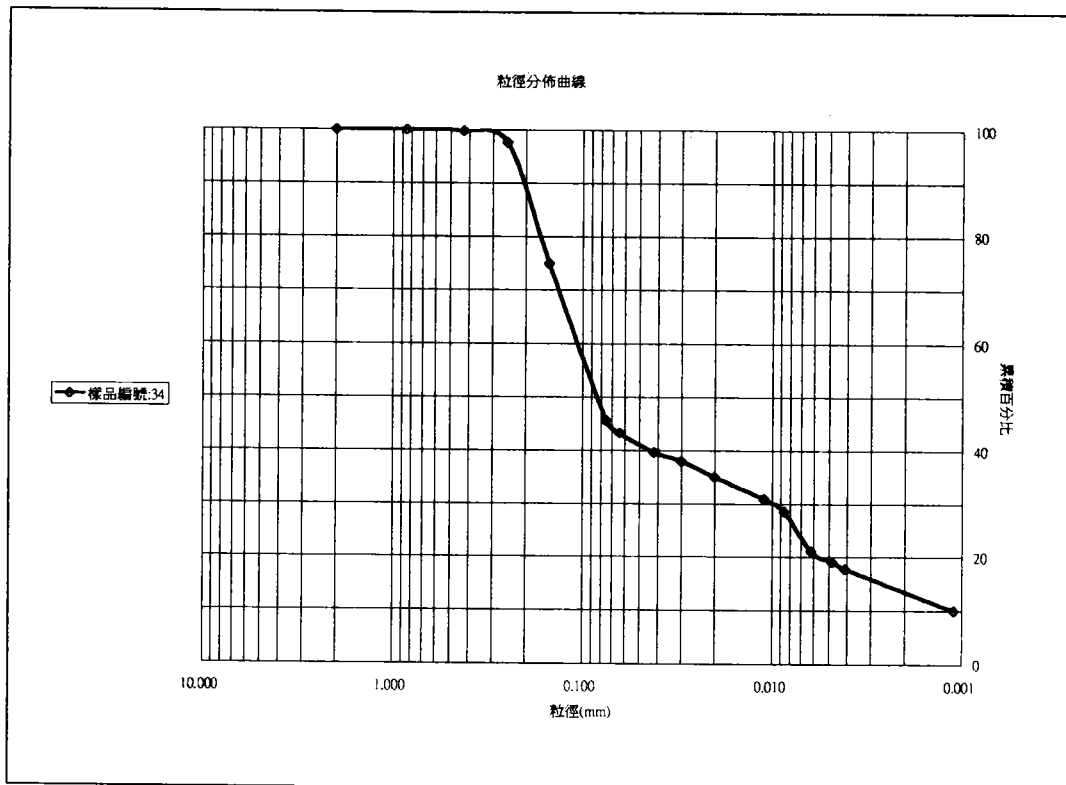


圖 5-5-34 第一次採樣調查樣本(34)粒徑分佈曲線

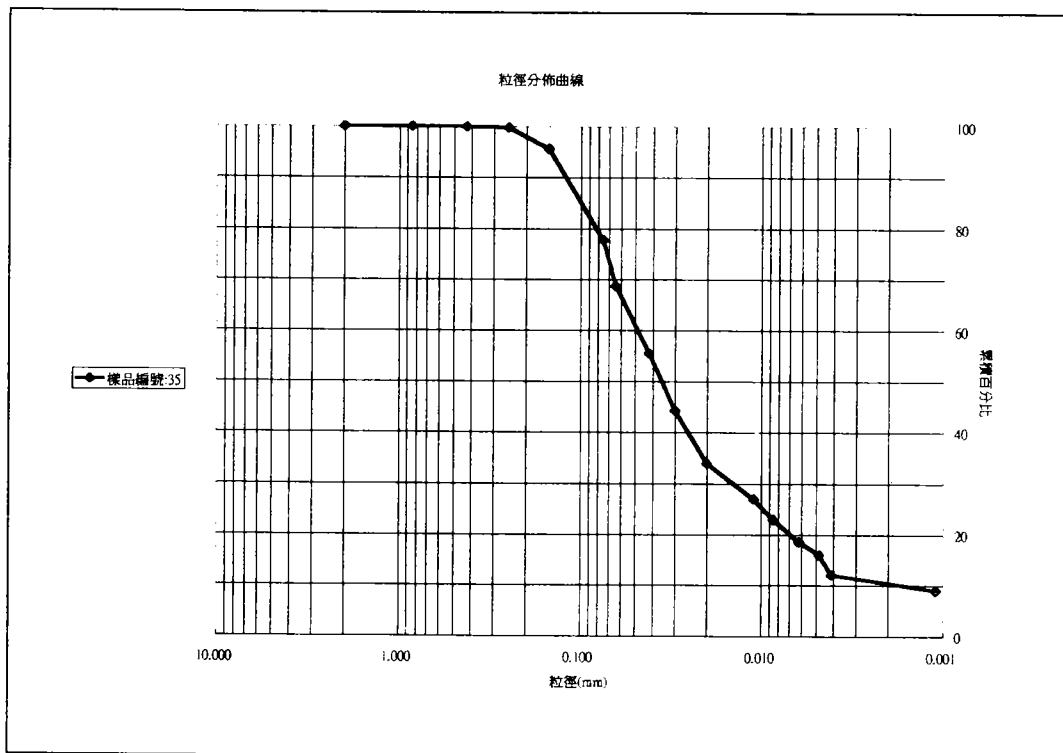


圖 5-5-35 第一次採樣調查樣本(35)粒徑分佈曲線

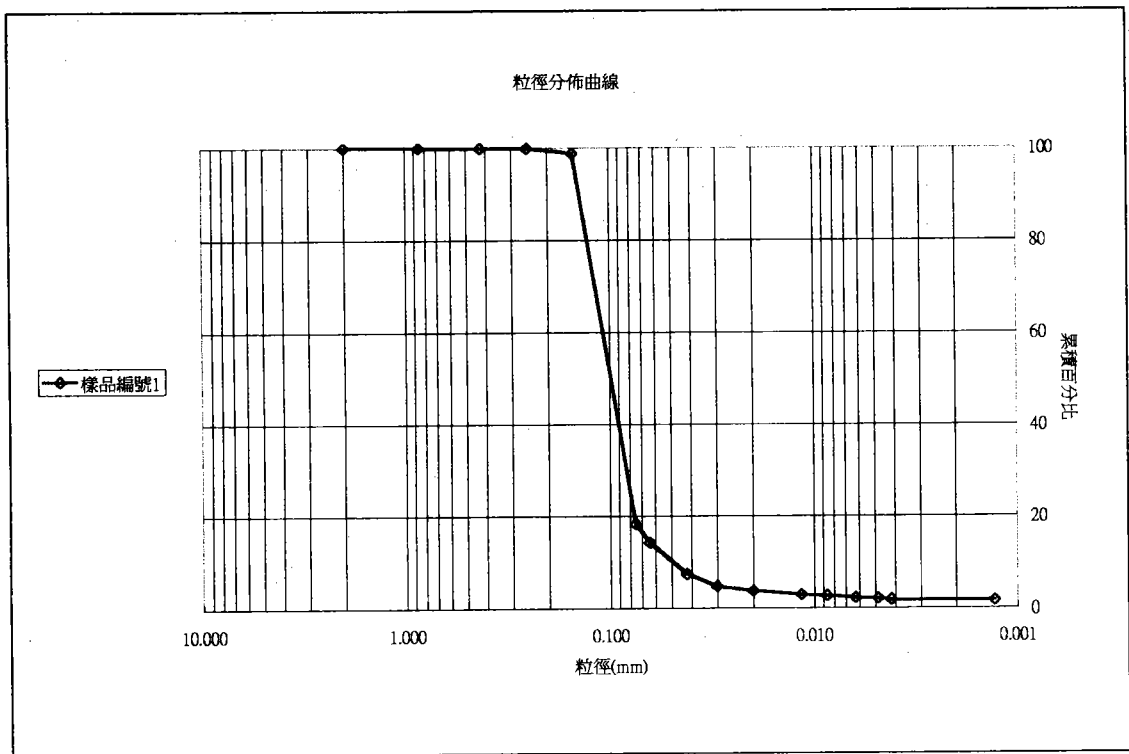


圖 5-6-1 第二次採樣調查樣本(1)粒徑分佈曲線

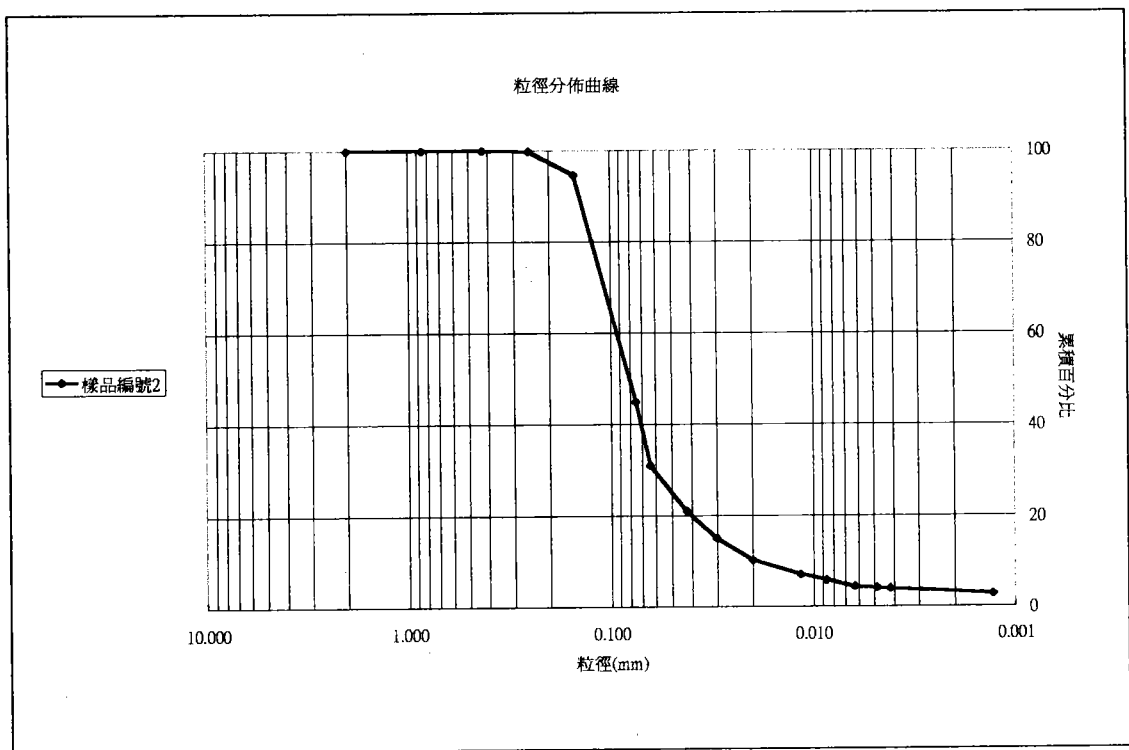


圖 5-6-2 第二次採樣調查樣本(2)粒徑分佈曲線

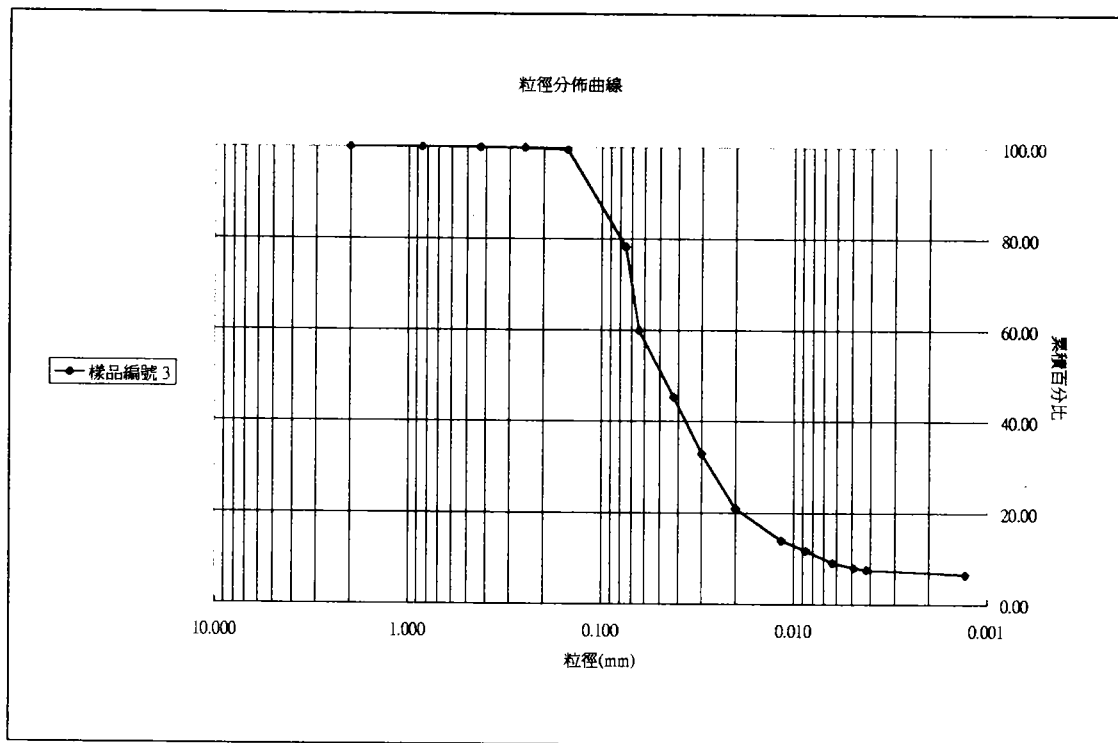


圖 5-6-3 第二次採樣調查樣本(3)粒徑分佈曲線

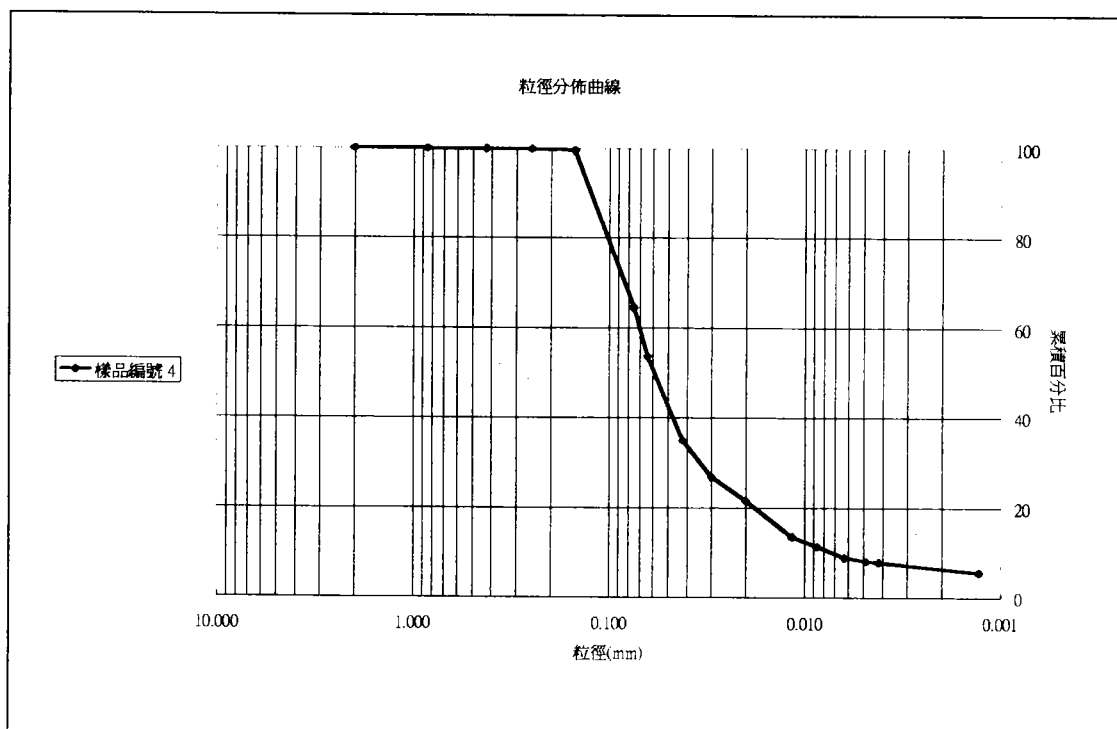


圖 5-6-4 第二次採樣調查樣本(4)粒徑分佈曲線

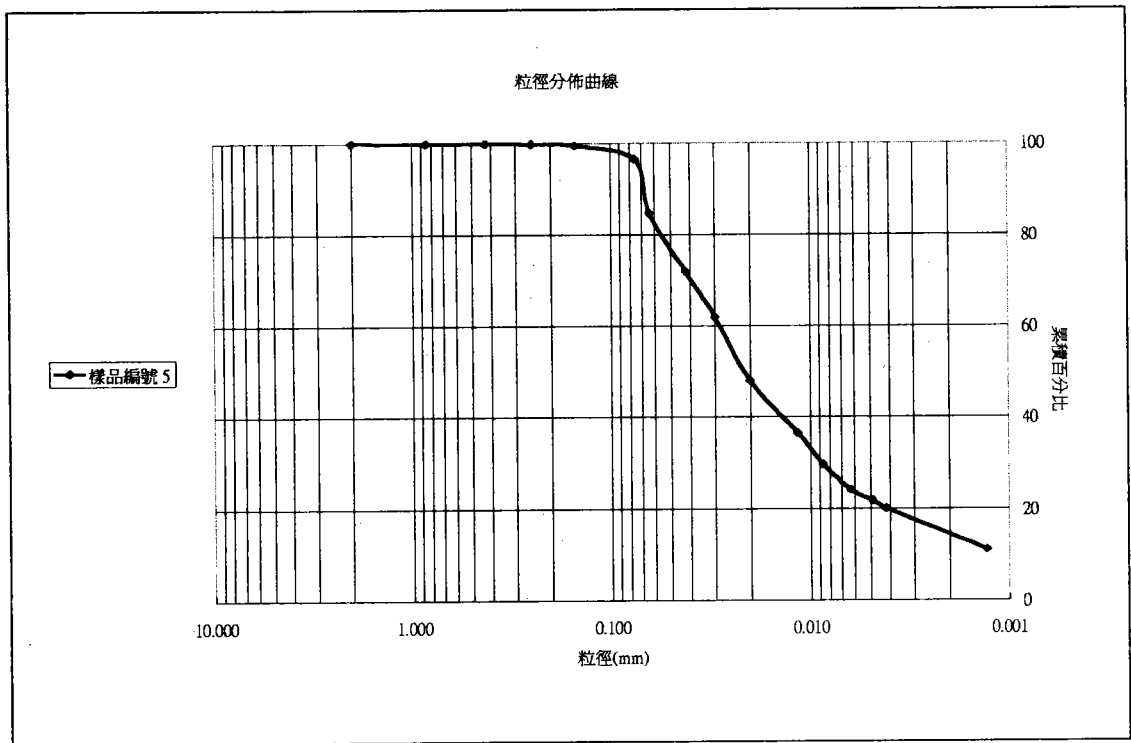


圖 5-6-5 第二次採樣調查樣本(5)粒徑分佈曲線

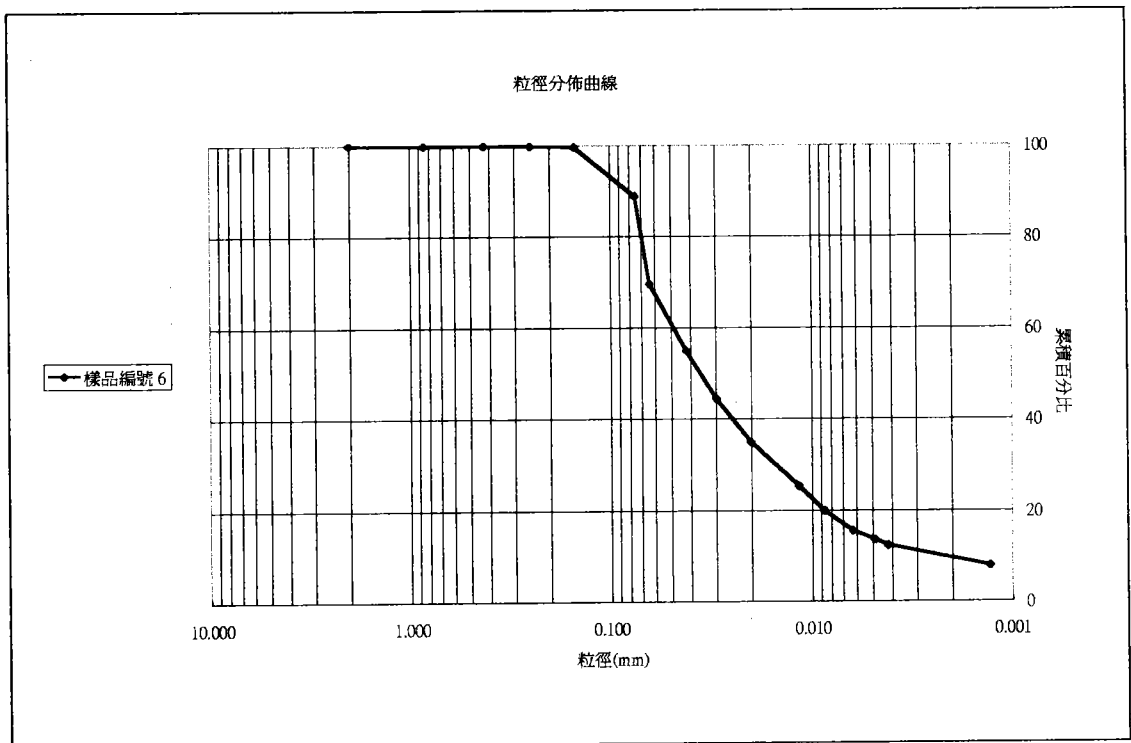


圖 5-6-6 第二次採樣調查樣本(6)粒徑分佈曲線

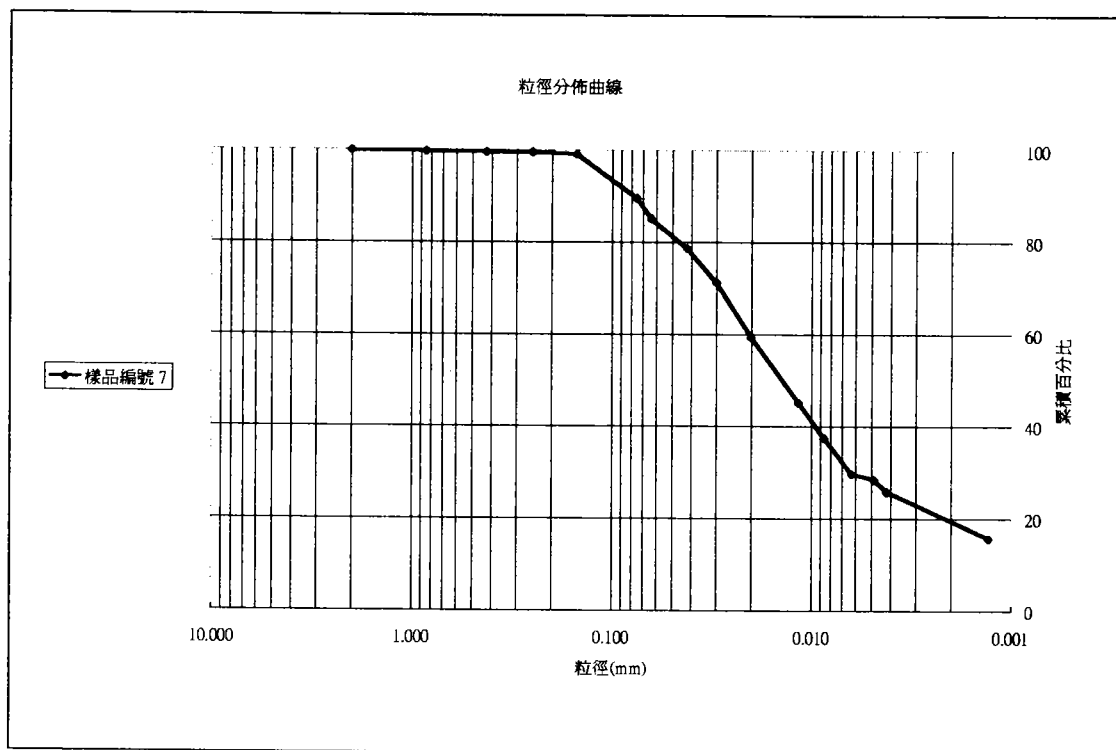


圖 5-6-7 第二次採樣調查樣本(7)粒徑分佈曲線

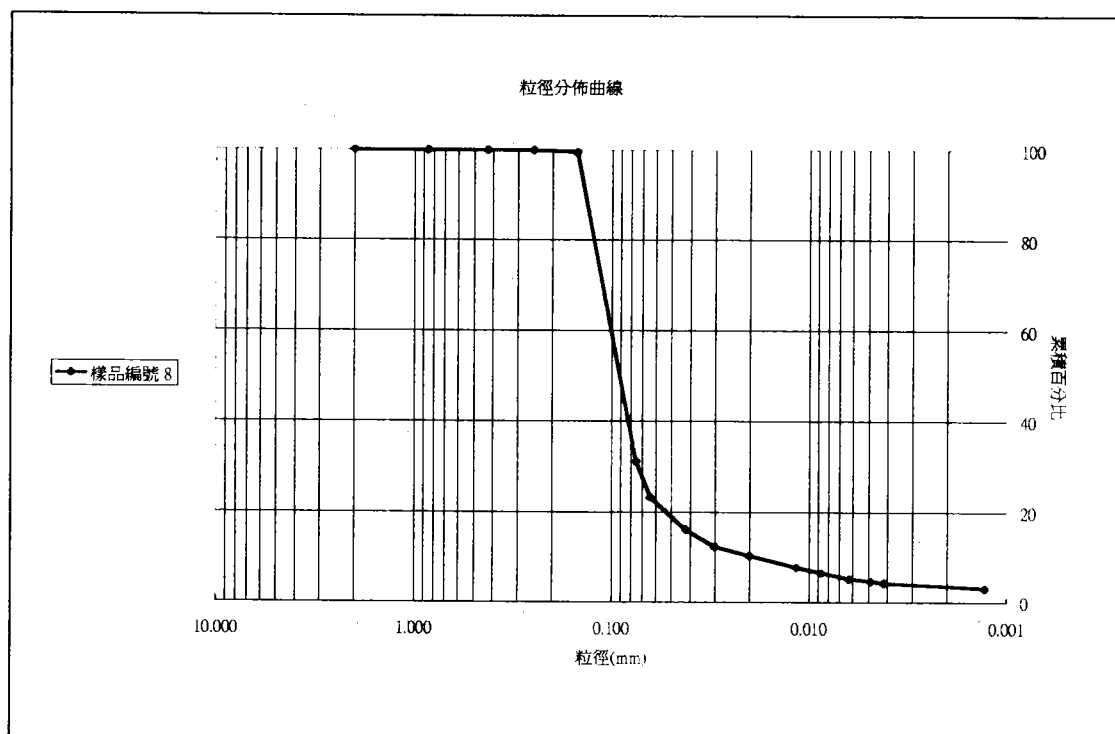


圖 5-6-8 第二次採樣調查樣本(8)粒徑分佈曲線

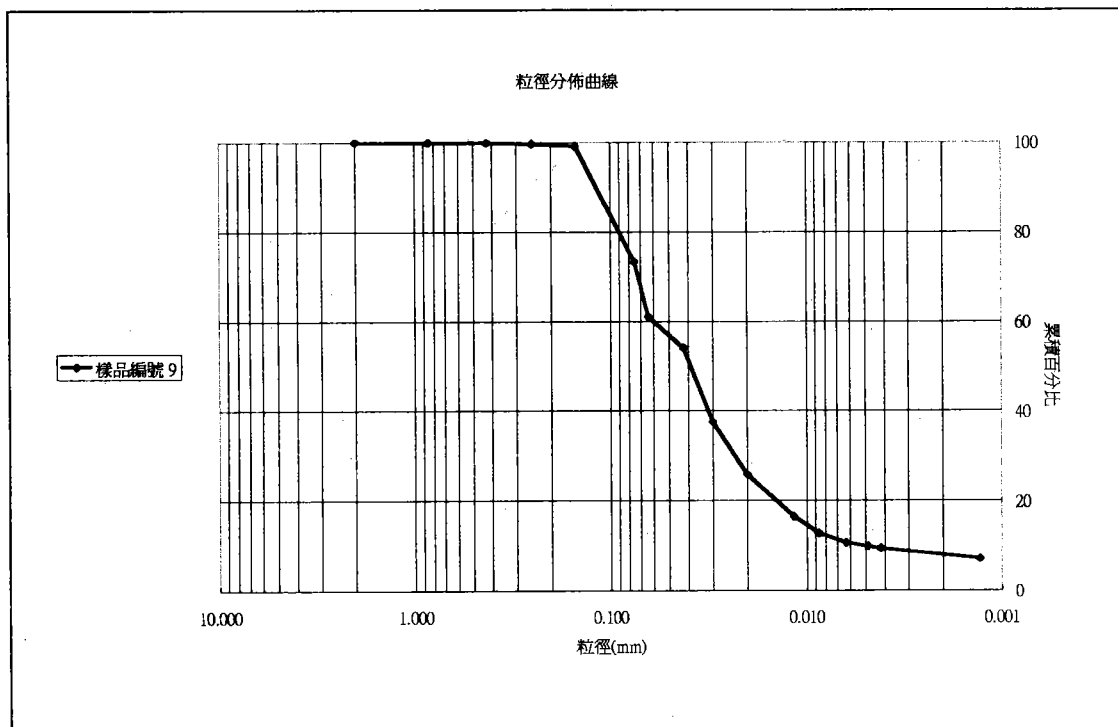


圖 5-6-9 第二次採樣調查樣本(9)粒徑分佈曲線

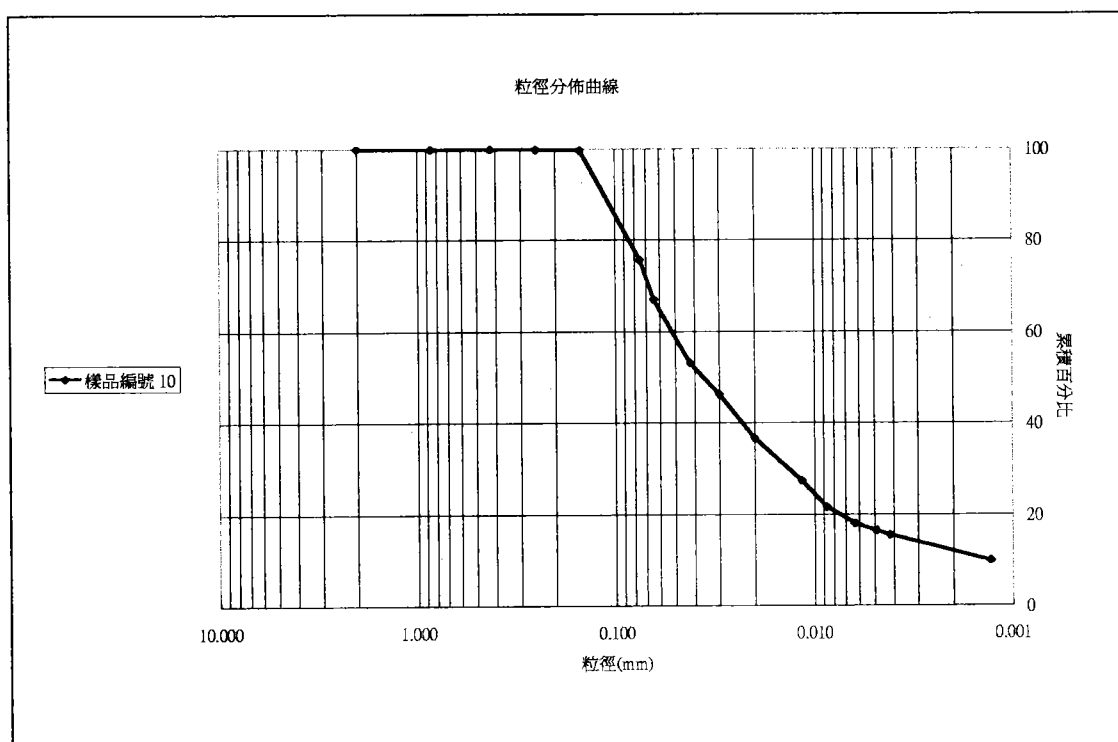


圖 5-6-10 第二次採樣調查樣本(10)粒徑分佈曲線

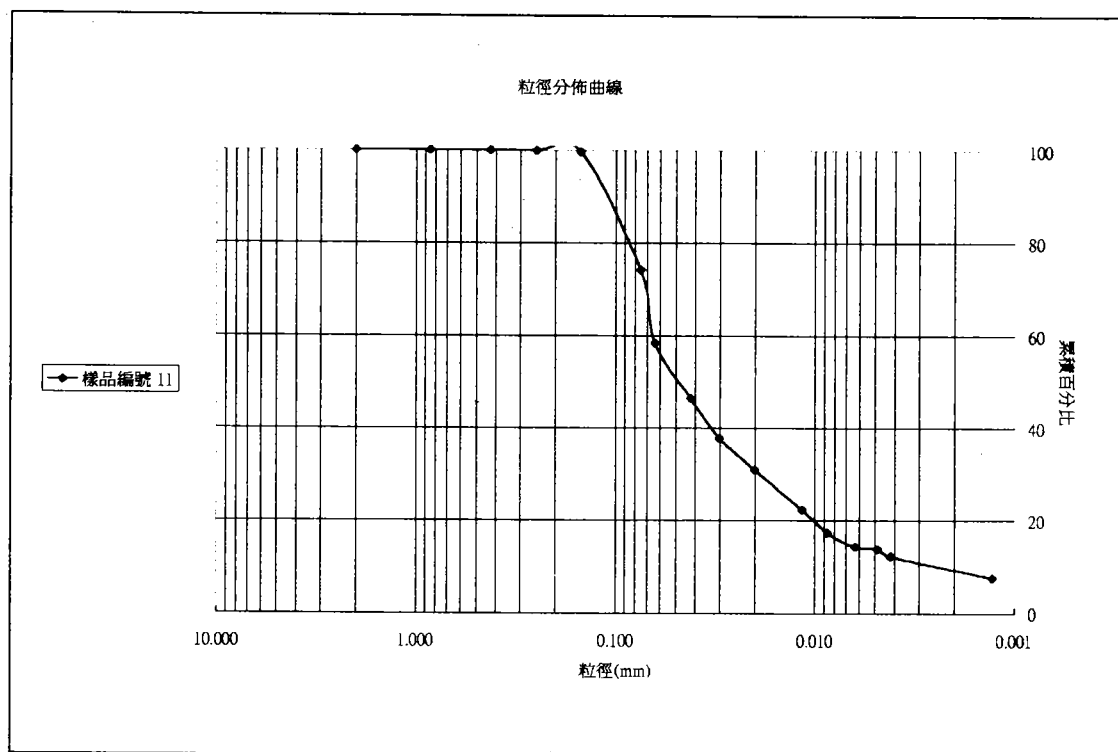


圖 5-6-11 第二次採樣調查樣本(11)粒徑分佈曲線

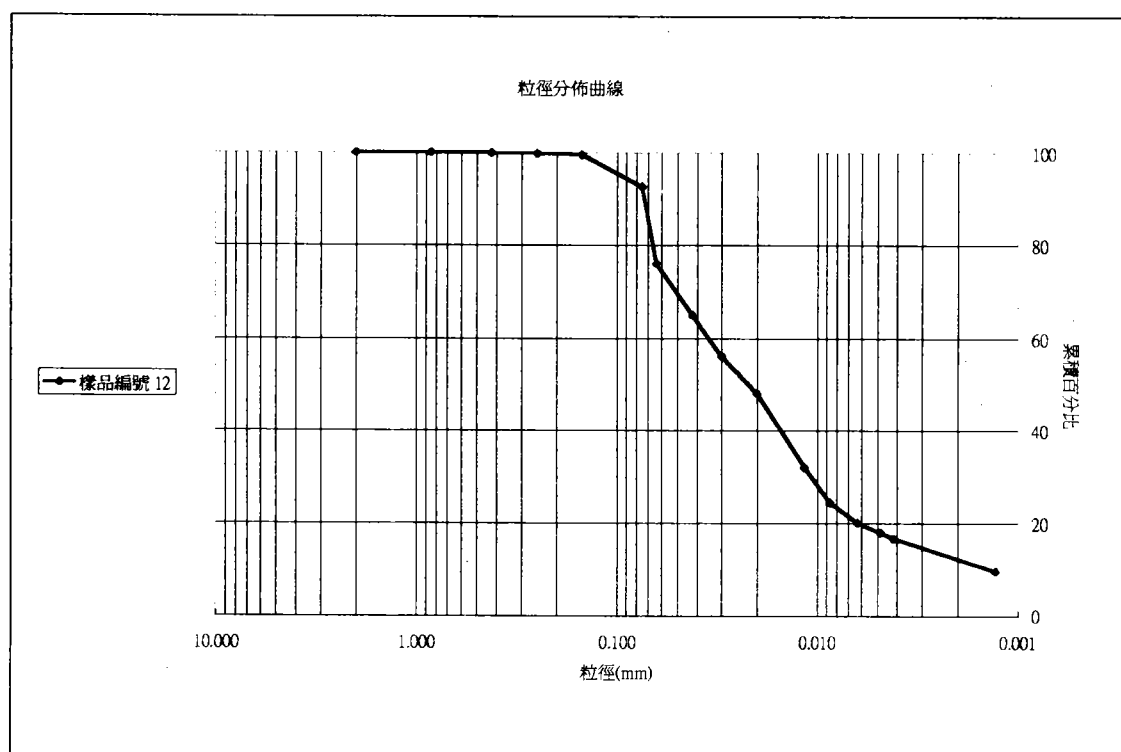


圖 5-6-12 第二次採樣調查樣本(12)粒徑分佈曲線

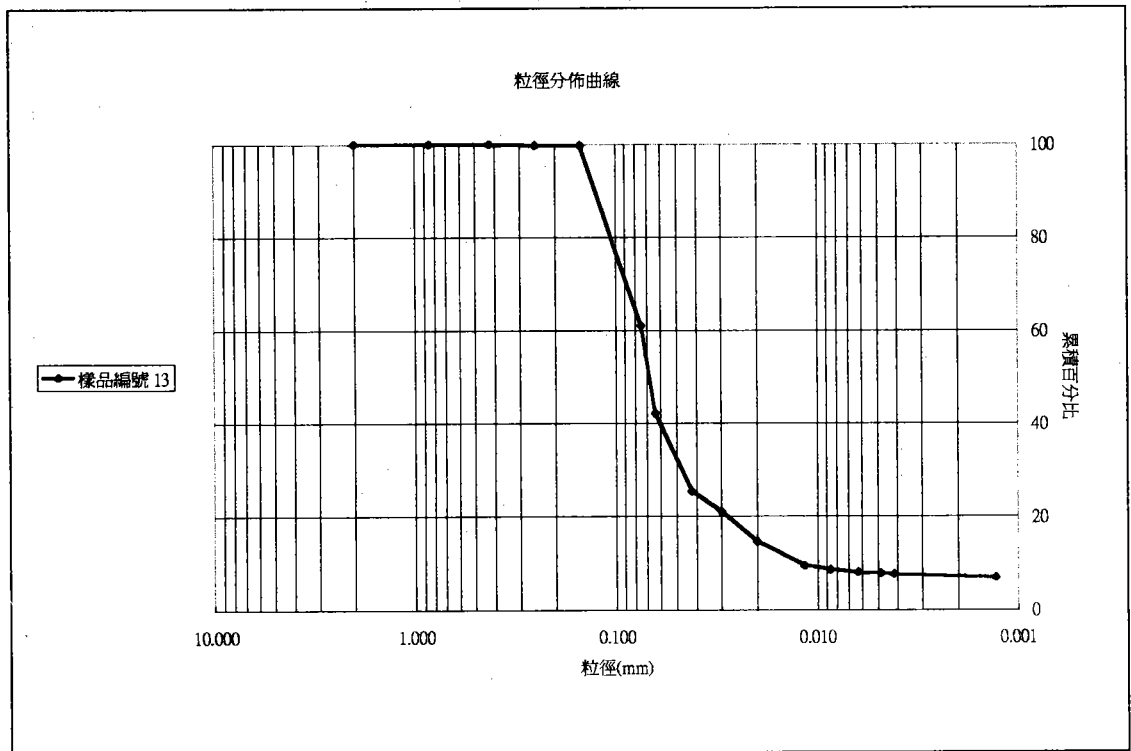


圖 5-6-13 第二次採樣調查樣本(13)粒徑分佈曲線

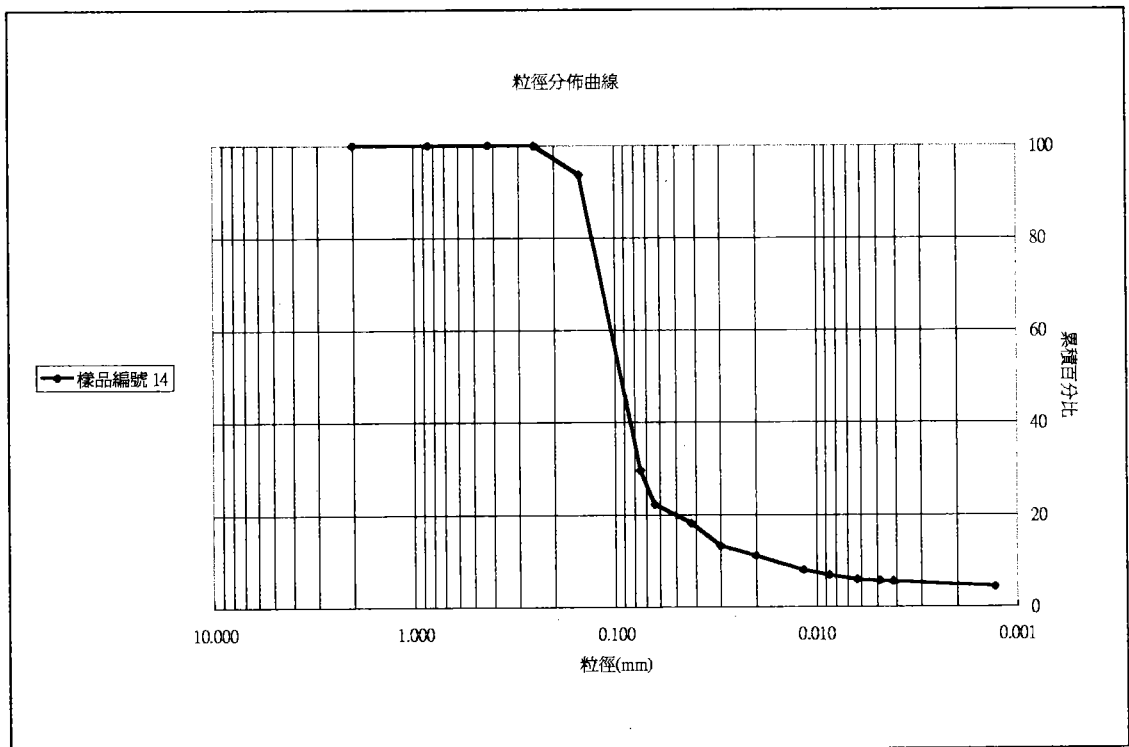


圖 5-6-14 第二次採樣調查樣本(14)粒徑分佈曲線

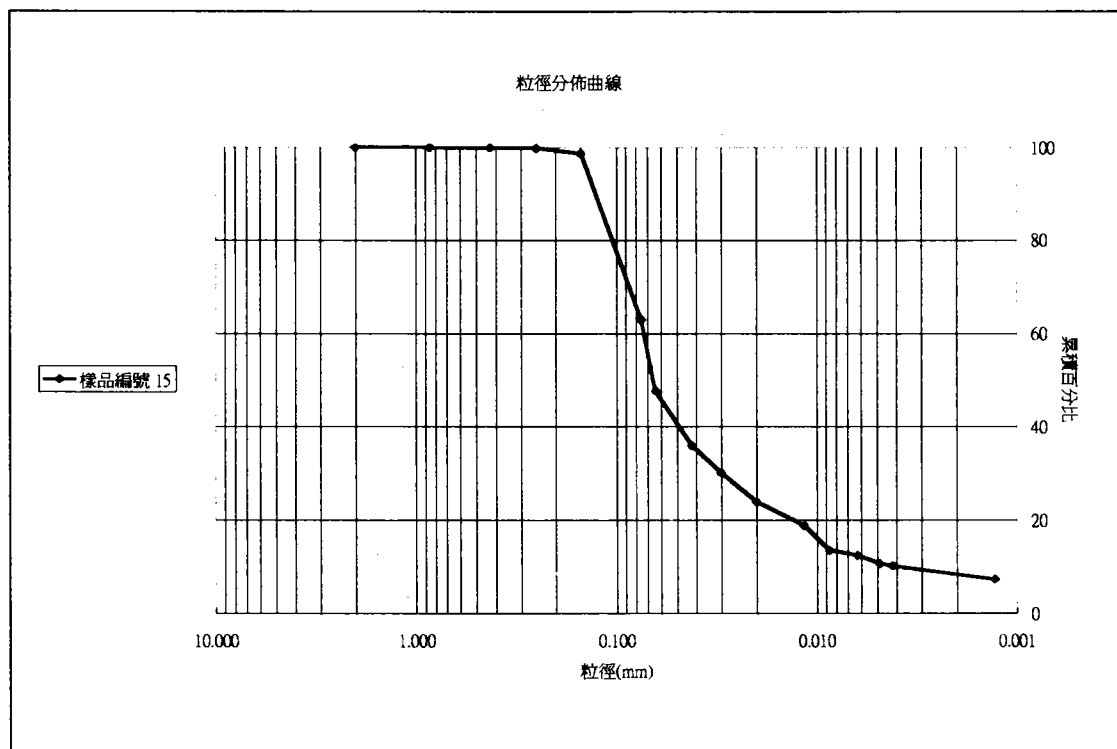


圖 5-6-15 第二次採樣調查樣本(15)粒徑分佈曲線

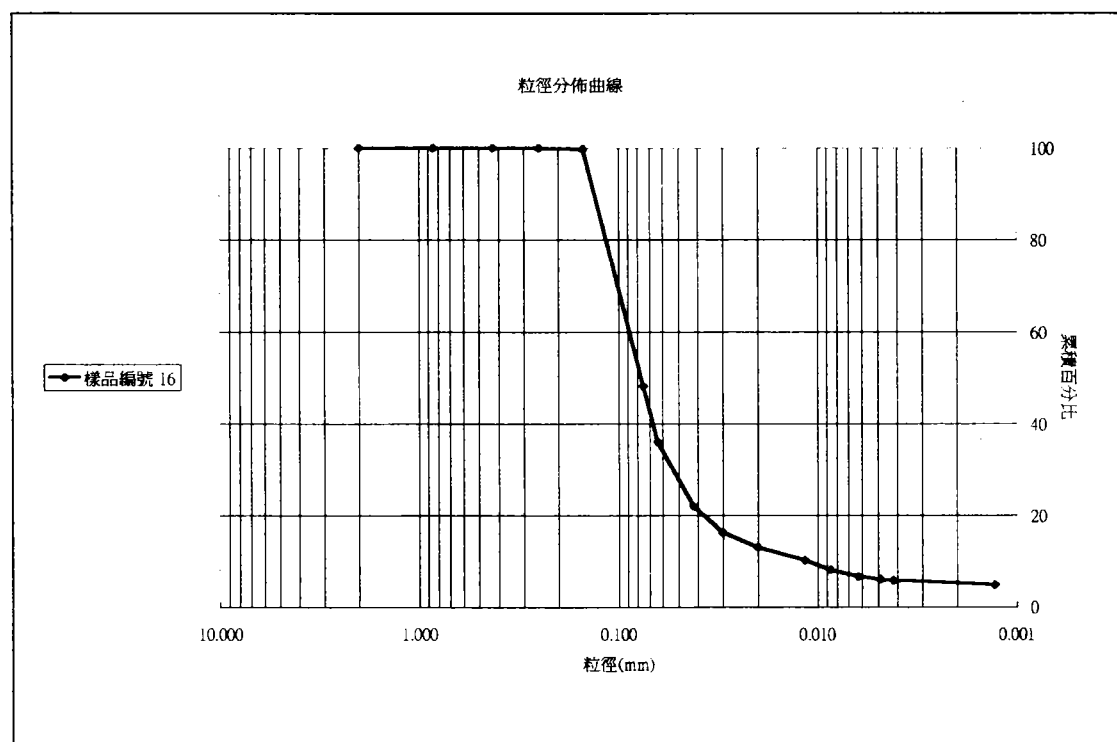


圖 5-6-16 第二次採樣調查樣本(16)粒徑分佈曲線

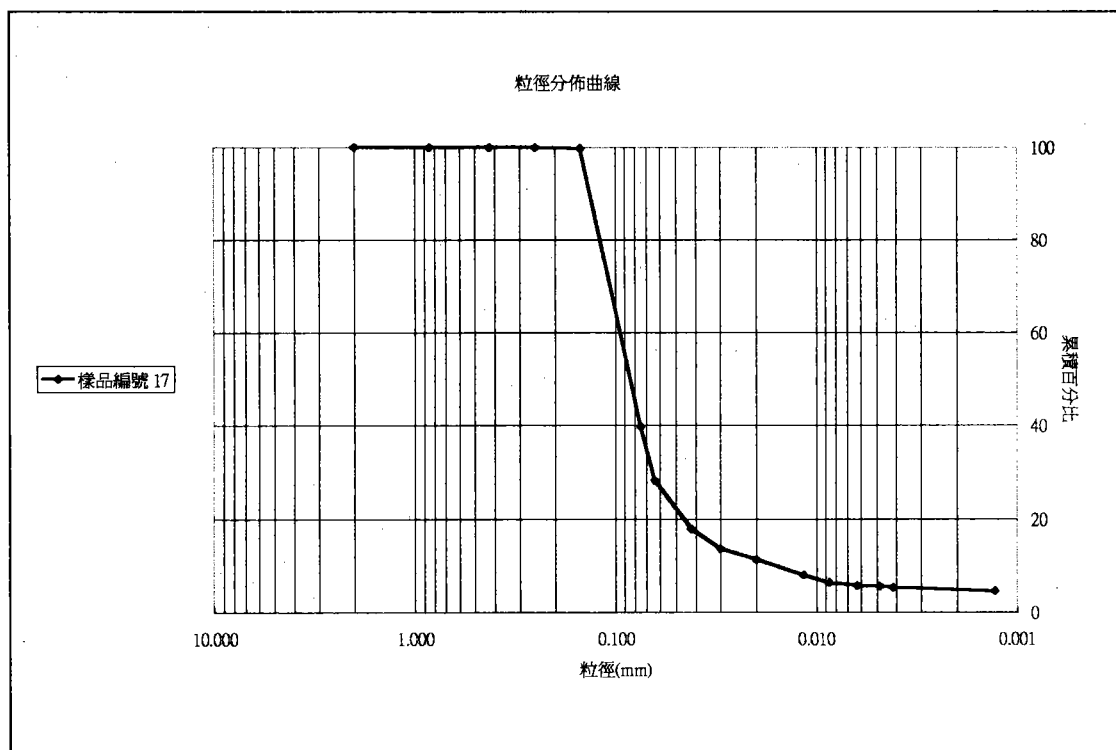


圖 5-6-17 第二次採樣調查樣本(17)粒徑分佈曲線

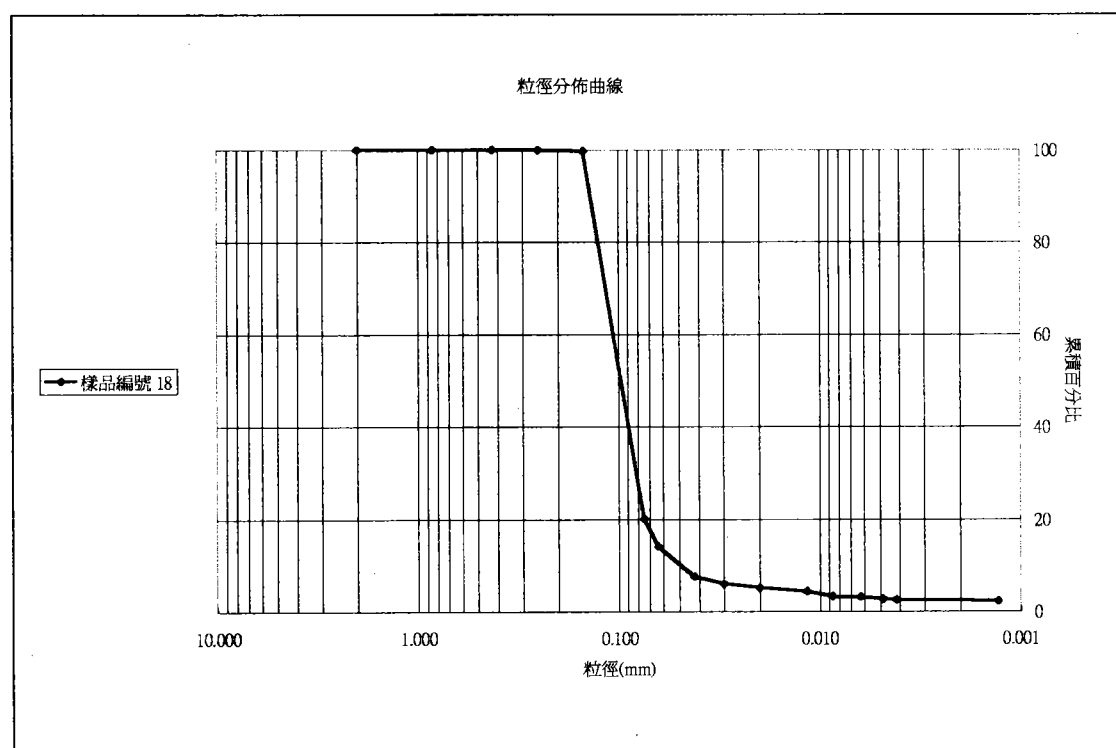


圖 5-6-18 第二次採樣調查樣本(18)粒徑分佈曲線

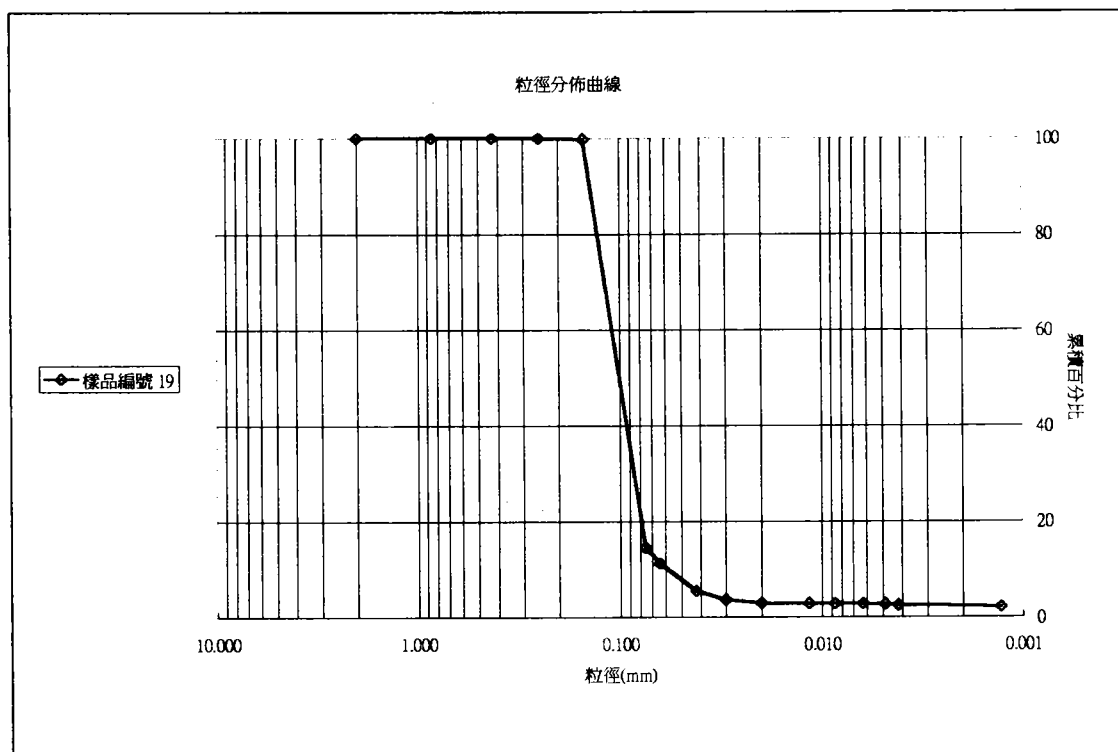


圖 5-6-19 第二次採樣調查樣本(19)粒徑分佈曲線

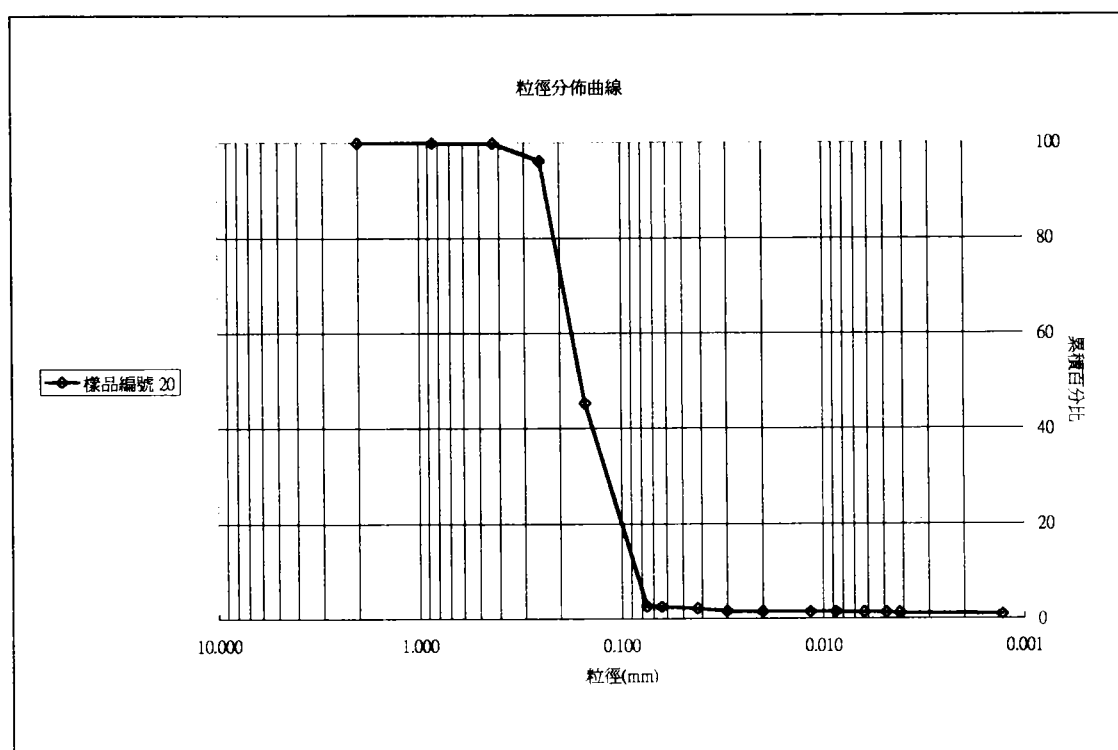


圖 5-6-20 第二次採樣調查樣本(20)粒徑分佈曲線

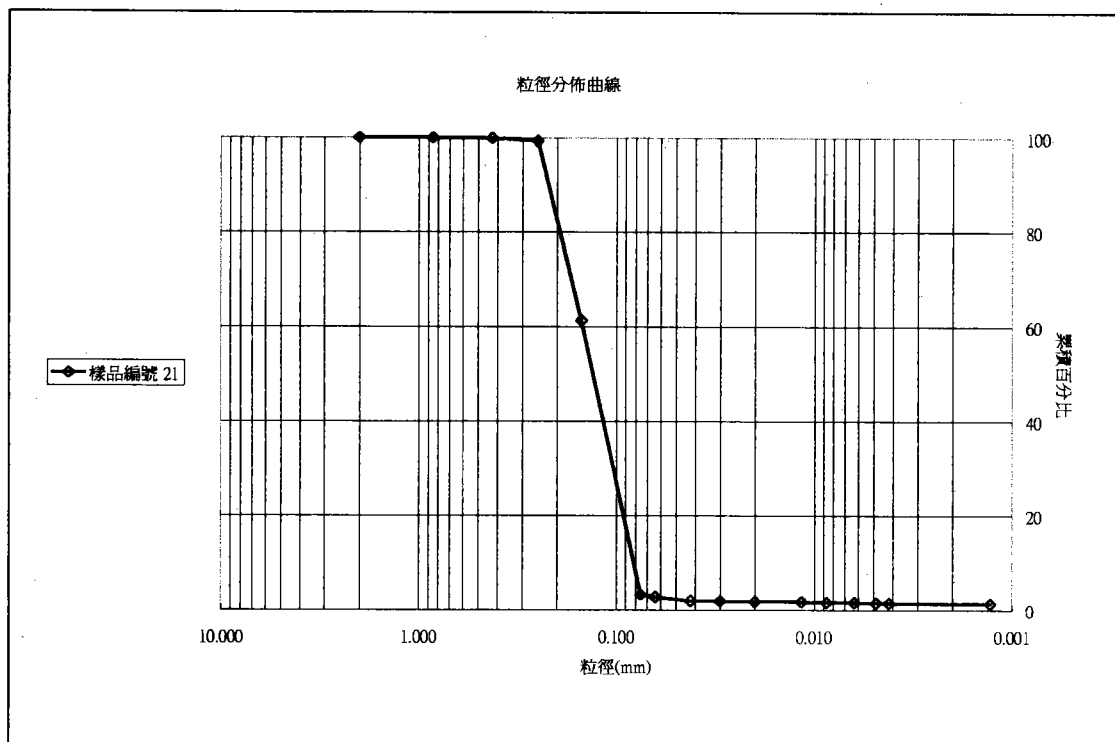


圖 5-6-21 第二次採樣調查樣本(21)粒徑分佈曲線

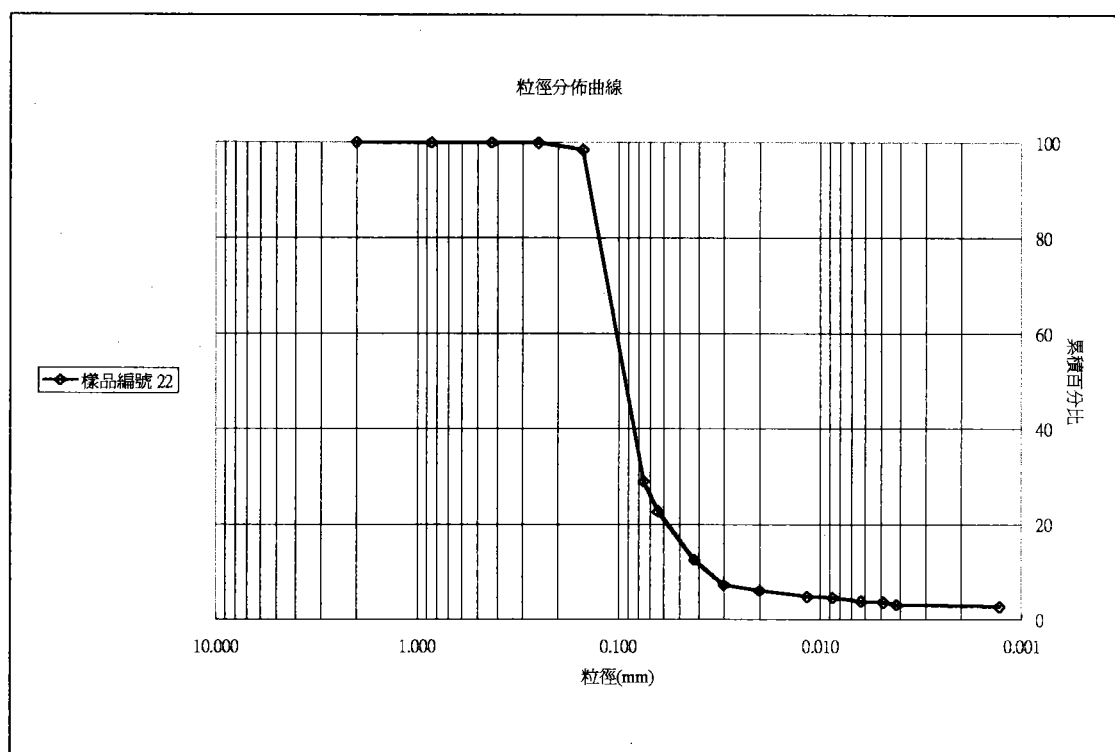


圖 5-6-22 第二次採樣調查樣本(22)粒徑分佈曲線

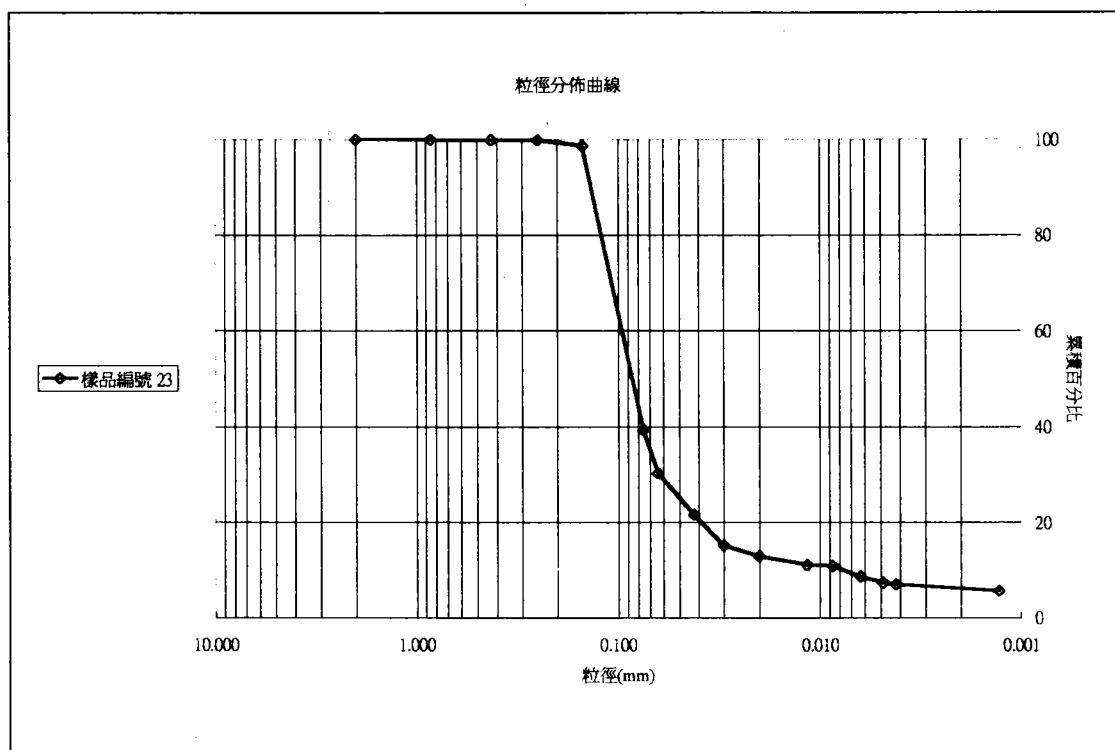


圖 5-6-23 第二次採樣調查樣本(23)粒徑分佈曲線

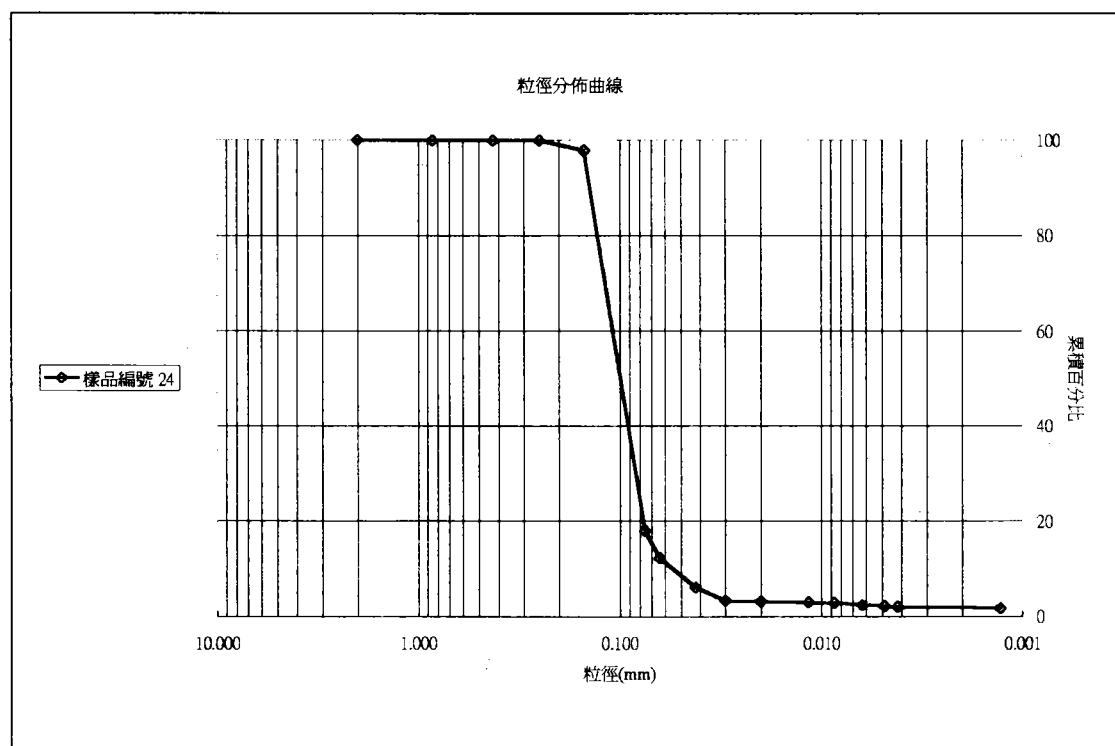


圖 5-6-24 第二次採樣調查樣本(24)粒徑分佈曲線

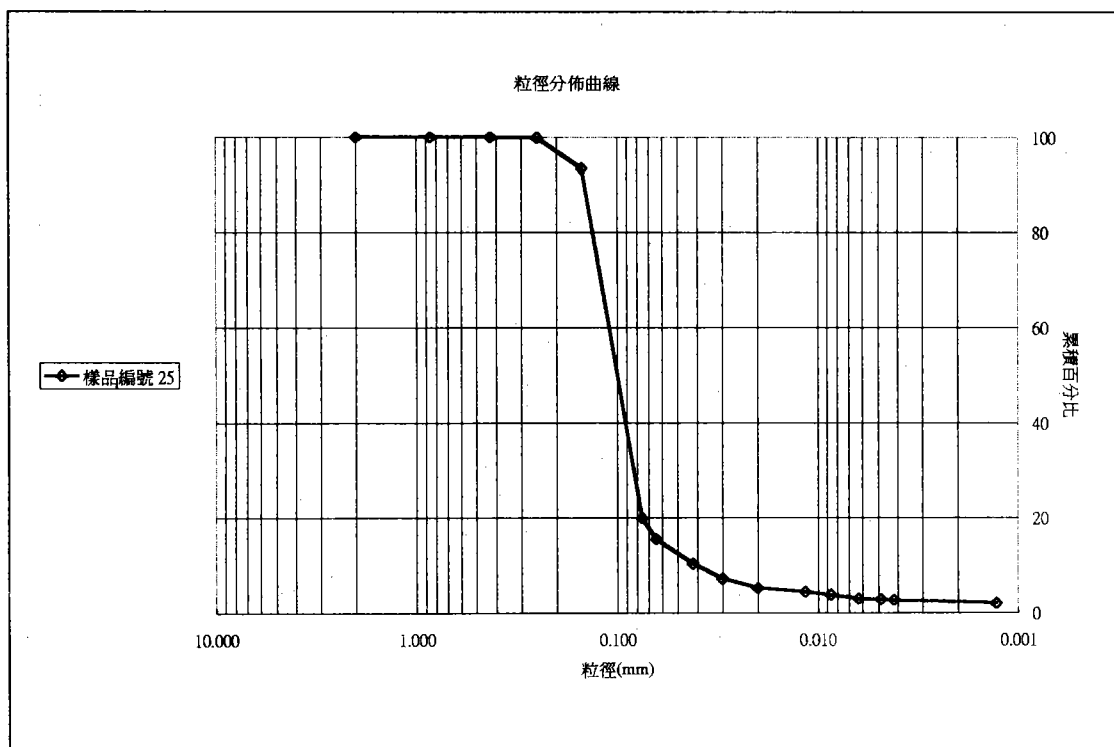


圖 5-6-25 第二次採樣調查樣本(25)粒徑分佈曲線

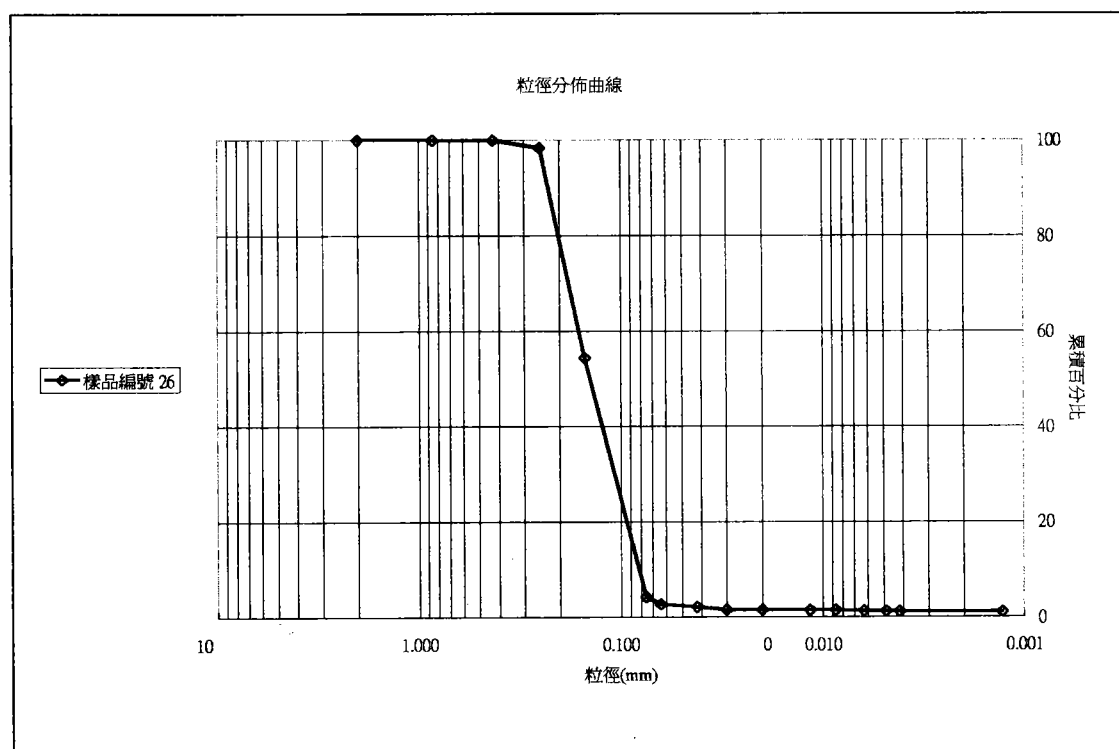


圖 5-6-26 第二次採樣調查樣本(26)粒徑分佈曲線

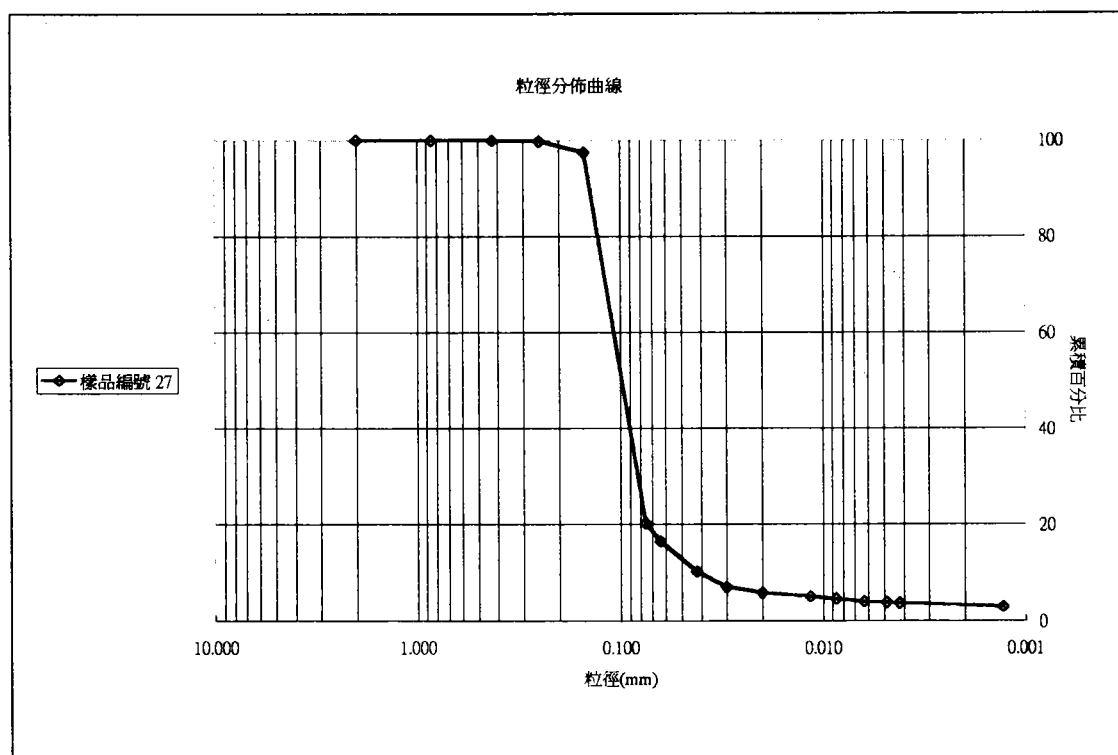


圖 5-6-27 第二次採樣調查樣本(27)粒徑分佈曲線

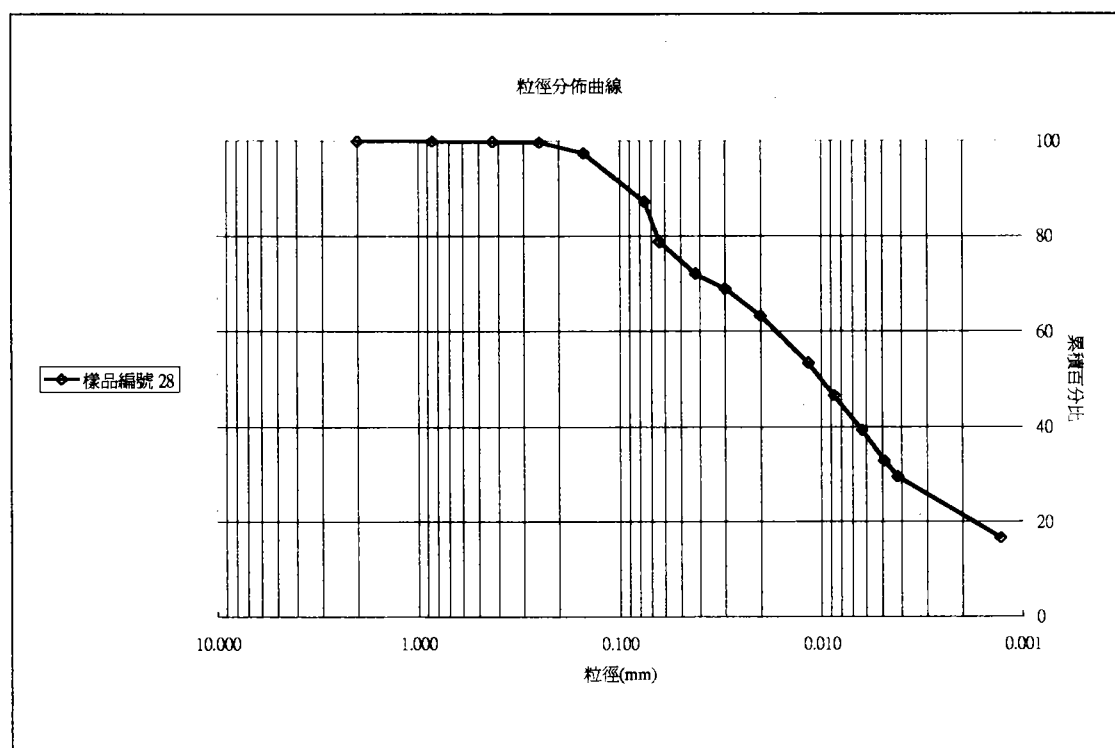


圖 5-6-28 第二次採樣調查樣本(28)粒徑分佈曲線

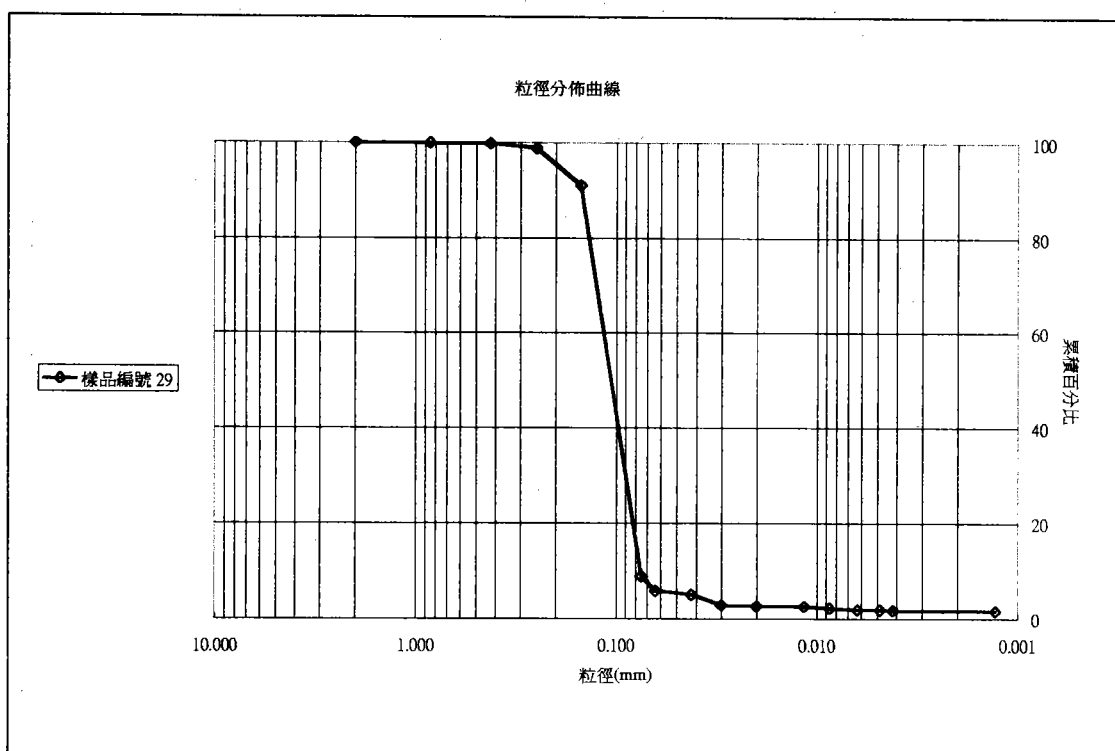


圖 5-6-29 第二次採樣調查樣本(29)粒徑分佈曲線

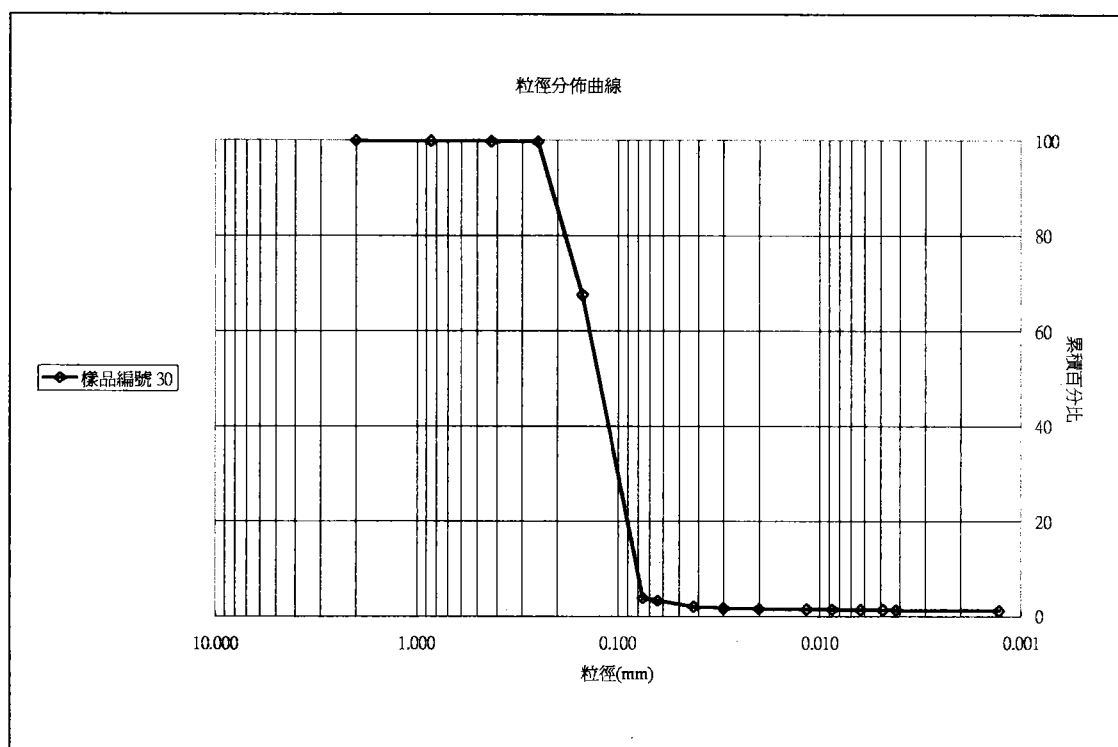


圖 5-6-30 第二次採樣調查樣本(30)粒徑分佈曲線

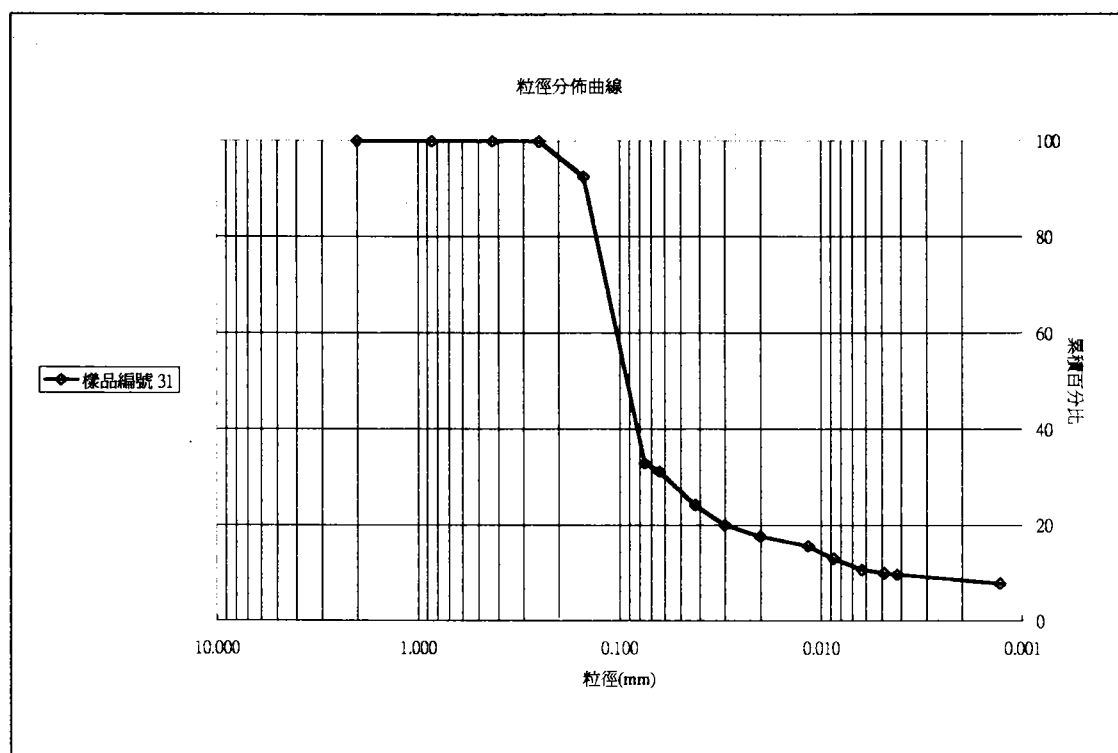


圖 5-6-31 第二次採樣調查樣本(31)粒徑分佈曲線

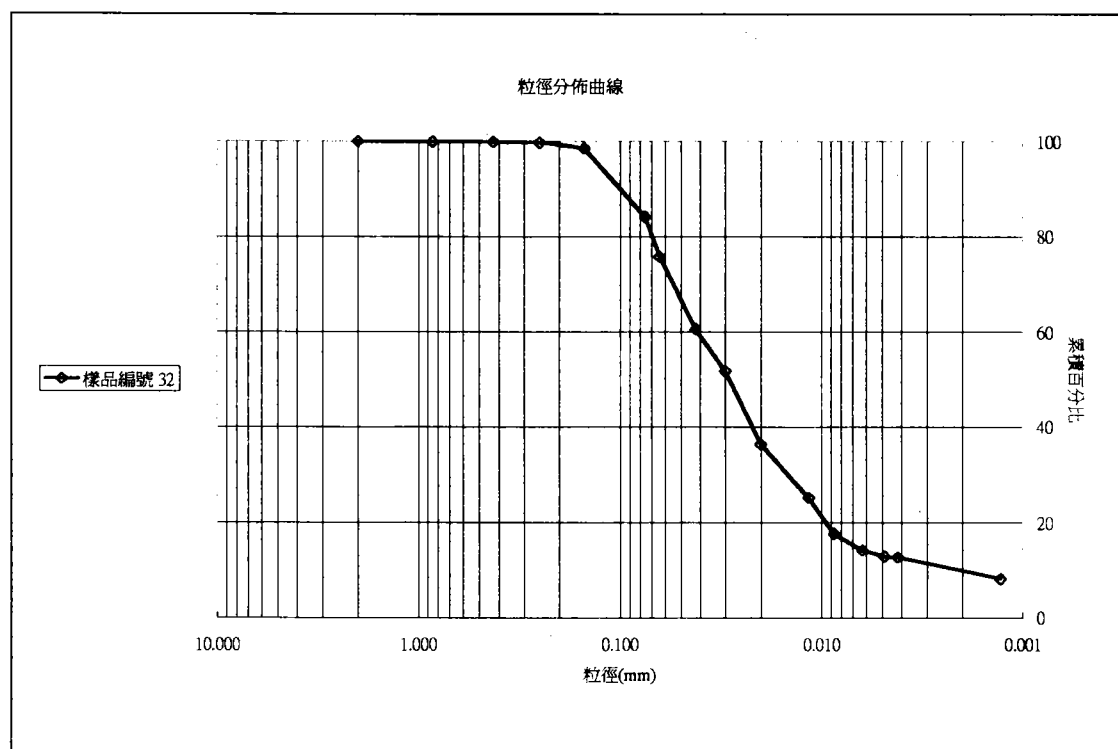


圖 5-6-32 第二次採樣調查樣本(32)粒徑分佈曲線

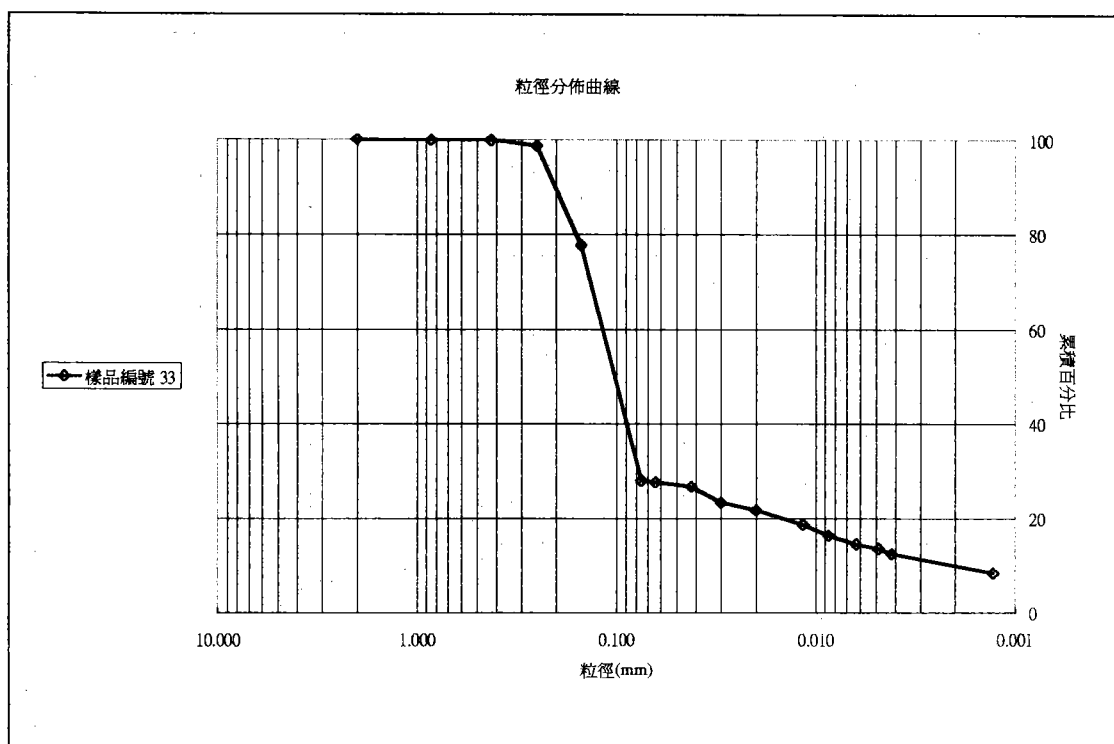


圖 5-6-33 第二次採樣調查樣本(33)粒徑分佈曲線

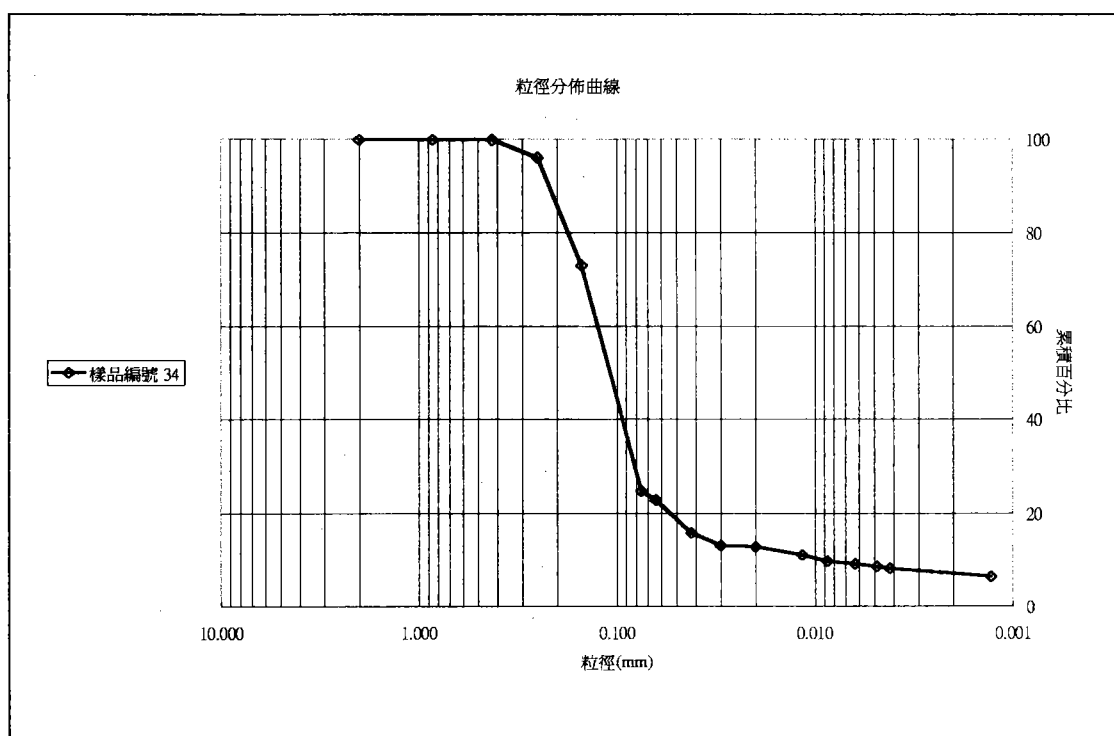


圖 5-6-34 第二次採樣調查樣本(34)粒徑分佈曲線

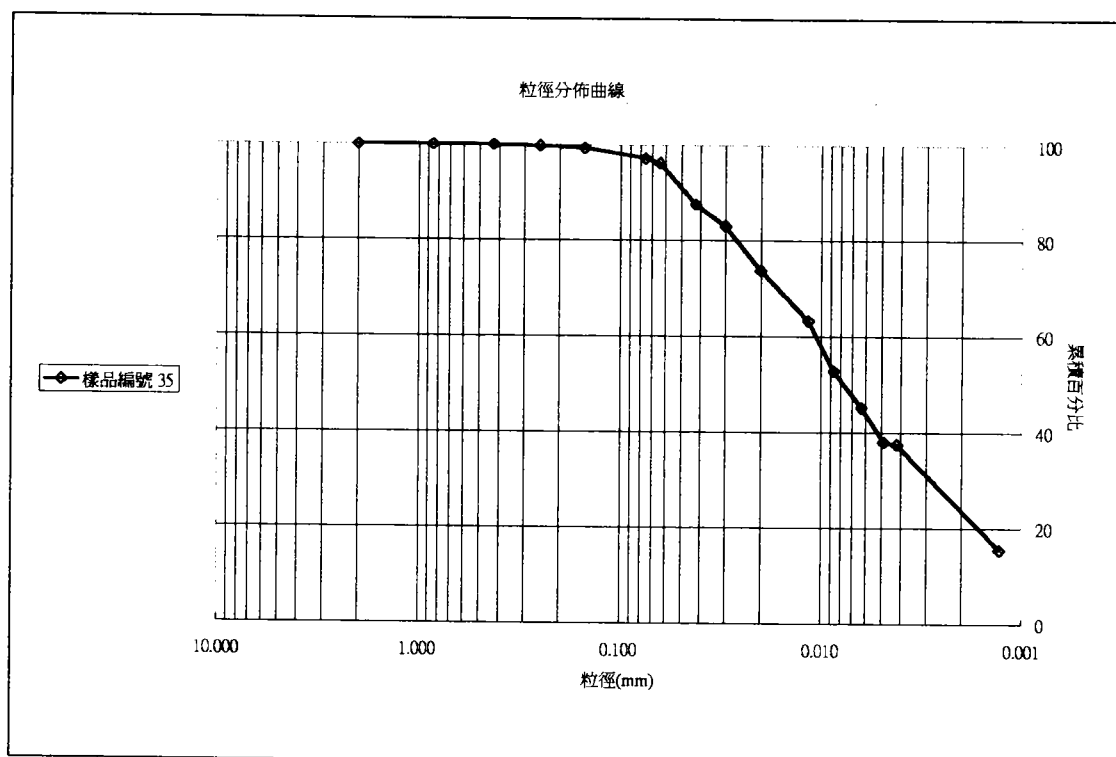


圖 5-6-35 第二次採樣調查樣本(35)粒徑分佈曲線

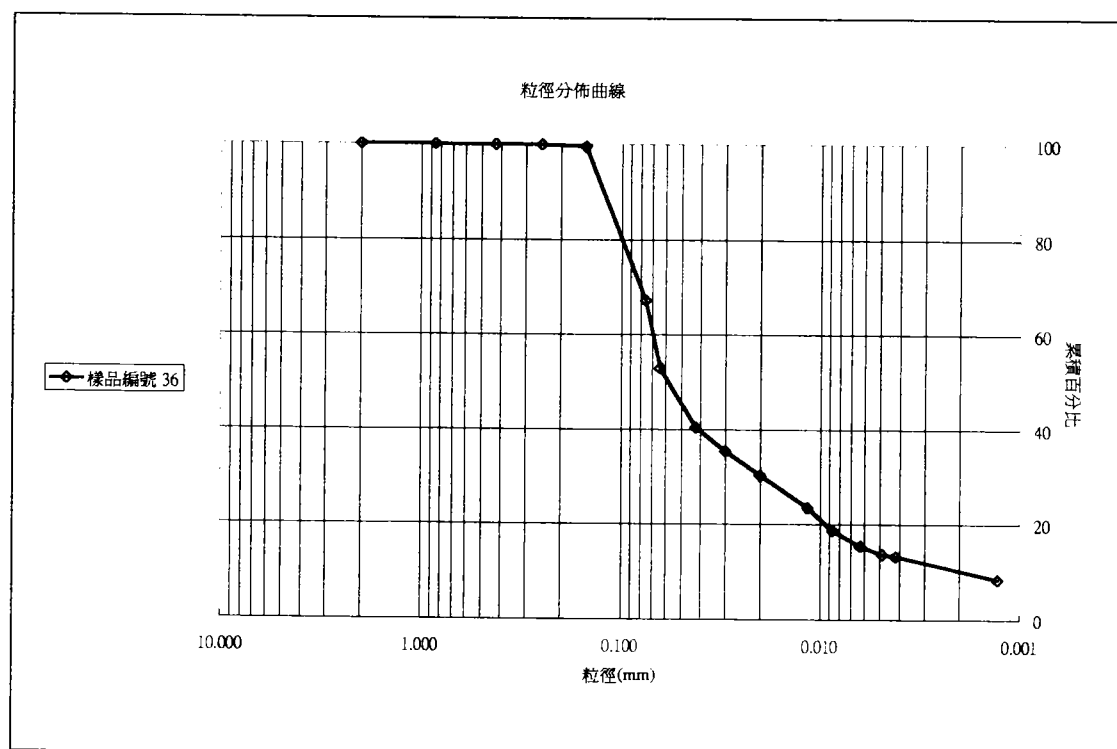


圖 5-6-36 第二次採樣調查樣本(36)粒徑分佈曲線

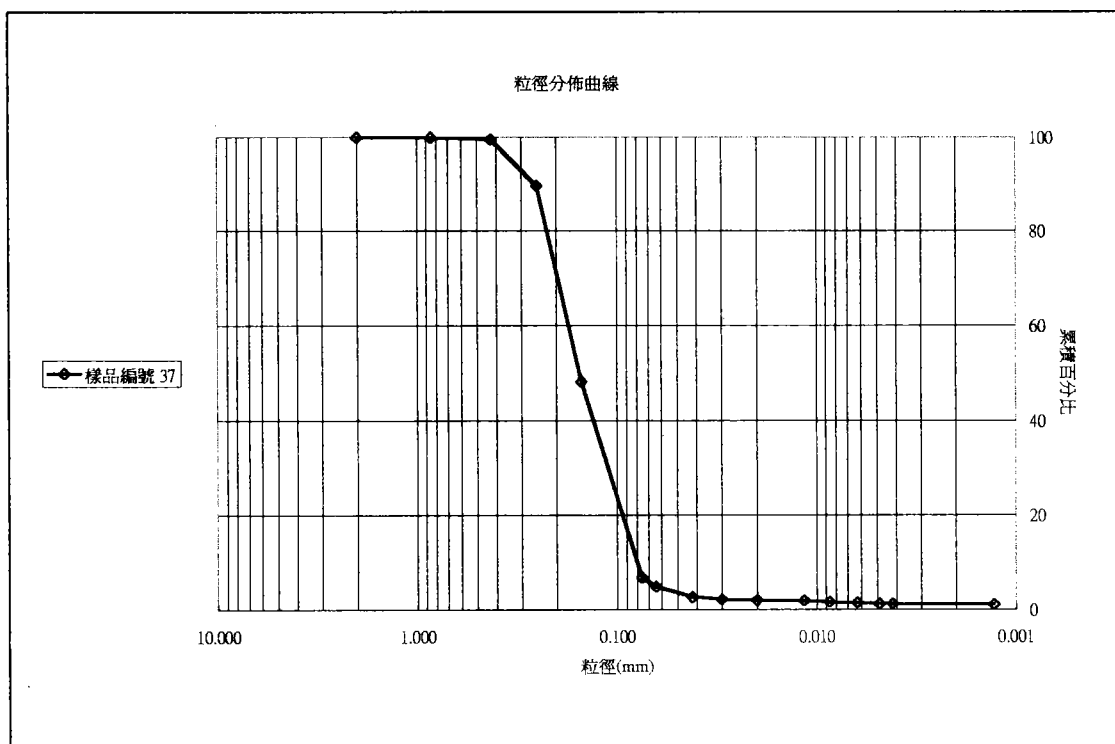


圖 5-6-37 第二次採樣調查樣本(37)粒徑分佈曲線

第一次採樣調查底床粒徑分佈統計表									
點位	有效粒徑		中值粒徑			平均粒徑	均勻係數	篩分係數	歪度
	D10(mm)	D25(mm)	D50(mm)	D60(mm)	D75(mm)	Dm(mm)	C _u	S _o	S _k
1	0.0037	0.0202	0.0741	0.0861	0.1105	0.0548	23.4188	5.470	0.407
2	0.0055	0.0246	0.0670	0.0759	0.1078	0.0562	13.8454	4.382	0.591
3	0.0045	0.0192	0.0653	0.0741	0.0975	0.0496	16.4965	5.078	0.439
4	0.0052	0.0246	0.0577	0.0704	0.0882	0.0500	13.5031	3.585	0.652
5	0.0020	0.0095	0.0316	0.0427	0.0670	0.0272	21.7248	7.053	0.637
6	0.0032	0.0128	0.0416	0.0577	0.0704	0.0335	18.2335	5.500	0.521
7	0.0022	0.0095	0.0358	0.0562	0.0759	0.0296	25.2449	7.989	0.563
8	0.0033	0.0157	0.0670	0.0798	0.1078	0.0484	24.0124	6.866	0.377
9	0.0041	0.0138	0.0509	0.0704	0.0928	0.0403	17.3432	6.725	0.494
10	0.0041	0.0178	0.0496	0.0670	0.0839	0.0420	16.4965	4.713	0.607
11	0.0012	0.0067	0.0212	0.0279	0.0496	0.0192	24.0124	7.403	0.739
12	0.0010	0.0035	0.0095	0.0135	0.0223	0.0090	13.5031	6.371	0.865
13	0.0067	0.0272	0.0606	0.0670	0.0741	0.0496	10.0000	2.724	0.549
14	0.0090	0.0460	0.0905	0.1051	0.1253	0.0805	11.6203	2.724	0.704
15	0.0025	0.0125	0.0449	0.0653	0.0839	0.0361	26.5407	6.712	0.520
16	0.0086	0.0316	0.0704	0.0722	0.0951	0.0596	8.3929	3.009	0.606
17	0.0223	0.0606	0.0905	0.1000	0.1162	0.0861	4.4893	1.917	0.860
18	0.0135	0.0591	0.0905	0.1000	0.1191	0.0861	7.4057	2.015	0.859
19	0.0386	0.0759	0.0951	0.1105	0.1222	0.0959	2.8610	1.610	1.026
20	0.0839	0.1105	0.1609	0.1778	0.2015	0.1530	2.1188	1.824	0.860
21	0.0759	0.0905	0.1105	0.1222	0.1420	0.1124	1.6089	1.569	1.052
22	0.0350	0.0779	0.0951	0.1051	0.1222	0.0967	3.0079	1.569	1.053
23	0.0449	0.0779	0.0975	0.1078	0.1222	0.0975	2.4012	1.569	1.001
24	0.0061	0.0386	0.0798	0.0905	0.1105	0.0699	14.9250	2.863	0.670
25	0.0637	0.0905	0.1350	0.1530	0.2119	0.1373	2.4012	2.341	1.052
26	0.0012	0.0050	0.0246	0.0427	0.0670	0.0202	36.7466	13.400	0.554
27	0.0009	0.0043	0.0149	0.0234	0.0484	0.0146	27.2134	11.256	0.937
28	0.1051	0.1569	0.1823	0.1870	0.2119	0.1823	1.7783	1.351	1.000
29	0.0082	0.0427	0.0779	0.0861	0.1105	0.0716	10.5133	2.588	0.778
30	0.0905	0.1420	0.1823	0.1917	0.2228	0.1793	2.1188	1.569	0.952
31	0.0011	0.0065	0.0246	0.0406	0.0704	0.0225	38.6328	10.831	0.756
32	0.0009	0.0062	0.0548	0.0704	0.1051	0.0330	81.8547	16.952	0.217
33	0.0006	0.0017	0.0070	0.0108	0.0246	0.0067	18.6956	14.471	0.853
34	0.0014	0.0076	0.0839	0.1051	0.1492	0.0456	77.8582	19.632	0.161
35	0.0017	0.0105	0.0350	0.0472	0.0704	0.0296	27.2134	6.705	0.603

附表 5-4 第一次採樣調查底床粒徑分佈統計表

第二次採樣調查底床粒徑分佈統計表									
點位	有效粒徑		中值粒徑			平均粒徑	均勻係數	篩分係數	歪度
	D10(mm)	D25(mm)	D50(mm)	D60(mm)	D75(mm)	Dm(mm)	C _u	S _o	S _k
1	0.0494	0.0795	0.0986	0.1074	0.1222	0.0986	2.1749	1.5373	1.0000
2	0.0194	0.0498	0.0806	0.0926	0.1142	0.0771	4.7760	2.2934	0.8755
3	0.0071	0.0230	0.0481	0.0637	0.0729	0.0432	8.9785	3.1742	0.7234
4	0.0073	0.0261	0.0587	0.0701	0.0922	0.0521	9.6412	3.5314	0.6987
5	0.0011	0.0067	0.0212	0.0283	0.0465	0.0187	24.8754	6.9895	0.6872
6	0.0022	0.0114	0.0358	0.0485	0.0667	0.0301	21.7442	5.8631	0.5910
7	0.0007	0.0038	0.0140	0.0205	0.0356	0.0124	30.8018	9.3468	0.6962
8	0.0187	0.0661	0.0908	0.1005	0.1171	0.0889	5.3777	1.7713	0.9378
9	0.0051	0.0191	0.0387	0.0600	0.0785	0.0387	11.8700	4.1181	0.9966
10	0.0013	0.0103	0.0360	0.0517	0.0742	0.0302	39.7982	7.2368	0.5855
11	0.0024	0.0137	0.0477	0.0648	0.0766	0.0369	27.1208	5.5927	0.4619
12	0.0014	0.0088	0.0220	0.0348	0.0612	0.0228	25.5313	6.9278	1.1161
13	0.0122	0.0411	0.0682	0.0743	0.0963	0.0646	6.0997	2.3436	0.8516
14	0.0166	0.0677	0.0935	0.1042	0.1226	0.0919	6.2938	1.8096	0.9498
15	0.0039	0.0215	0.0653	0.0727	0.0948	0.0511	18.7962	4.3996	0.4788
16	0.0112	0.0459	0.0768	0.0879	0.1075	0.0724	7.8662	2.3454	0.8353
17	0.0162	0.0559	0.0844	0.0947	0.1127	0.0810	5.8315	2.0146	0.8854
18	0.0491	0.0783	0.0973	0.1062	0.1210	0.0973	2.1609	1.5454	1.0000
19	0.0584	0.0816	0.1000	0.1085	0.1226	0.1000	1.8576	1.5019	1.0000
20	0.0845	0.1079	0.1574	0.1740	0.2023	0.1509	2.0588	1.8744	0.8812
21	0.0813	0.0972	0.1310	0.1474	0.1803	0.1319	1.8137	1.8551	1.0208
22	0.0359	0.0677	0.0925	0.1022	0.1187	0.0906	2.8488	1.7543	0.9387
23	0.0076	0.0495	0.0849	0.0955	0.1137	0.0782	12.4928	2.2959	0.7811
24	0.0548	0.0798	0.0991	0.1080	0.1231	0.0991	1.9700	1.5430	1.0000
25	0.0407	0.0787	0.0996	0.1094	0.1261	0.0996	2.6885	1.6025	1.0000
26	0.0812	0.0999	0.1411	0.1601	0.1906	0.1390	1.9713	1.9076	0.9559
27	0.0414	0.0783	0.0980	0.1072	0.1227	0.0980	2.5885	1.5671	1.0000
28	0.0007	0.0028	0.0100	0.0167	0.0506	0.0112	23.4112	18.1782	1.4071
29	0.0757	0.0859	0.1061	0.1155	0.1310	0.1061	1.5251	1.5251	1.0000
30	0.0802	0.0944	0.1239	0.1330	0.1689	0.1255	1.6588	1.7890	1.0383
31	0.0051	0.0445	0.0916	0.1029	0.1225	0.0793	20.2888	2.7546	0.6491
32	0.0021	0.0115	0.0287	0.0412	0.0626	0.0274	19.5260	5.4490	0.8735
33	0.0020	0.0354	0.1020	0.1172	0.1445	0.0805	57.5142	4.0861	0.4914
34	0.0093	0.0754	0.1079	0.1246	0.1571	0.1085	13.4602	2.0852	1.0163
35	0.0010	0.0021	0.0077	0.0106	0.0211	0.0070	10.9647	9.8635	0.7658
36	0.0019	0.0131	0.0578	0.0690	0.0886	0.0406	35.7201	6.7626	0.3480
37	0.0792	0.1017	0.1532	0.1734	0.2087	0.1482	2.1898	2.0525	0.9044

附表 5-5 第二次採樣調查底床粒徑分佈統計表

由公式計算出之第一次採樣調查底床粒徑分佈統計表(附表 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 1.6089~81.8547 之間，篩分係數(S_0)介於 1.569~19.632 之間，歪度(S_k)則介於 0.217~1.052 之間；而於第二次採樣調查底床粒徑分佈統計表(附表 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 1.5251~57.5142 之間，篩分係數(S_0)則介於 1.5019~18.1782 之間，歪度(S_k)則介於 0.348~1.4071 之間；依 ASTM 分類標準定義，兩次採樣調查粒徑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。

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)、篩分係數(S_0)與歪度(S_k)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。

其中第一次採樣調查底床平均粒徑(d_m)平面分佈如圖 5-7-1 所示，而第二次採樣調查底床平均粒徑(d_m)平面分佈如圖 5-7-2 所示；又可得出第一次採樣調查底床篩分係數(S_0)平面分佈如圖 5-8-1 所示，而第二次採樣調查底床篩分係數(S_0)平面分佈如圖 5-8-2 所示；且第一次採樣調查底床歪度(S_k)平面分佈如圖 5-9-1 所示，而第二次採樣調查底床歪度(S_k)平面分佈如圖 5-9-2 所示。

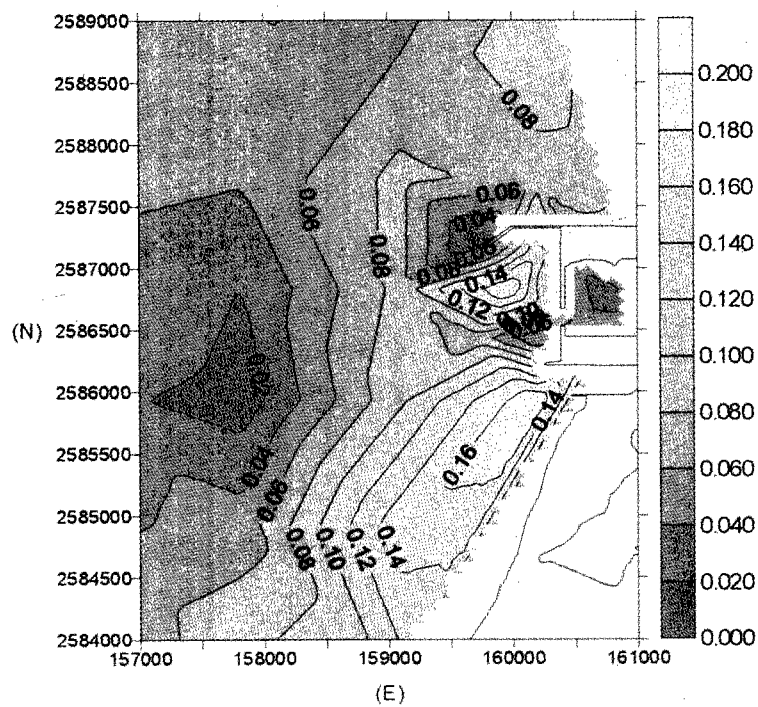


圖 5-7-1 第一次採樣調查底床平均粒徑(d_m)平面分佈

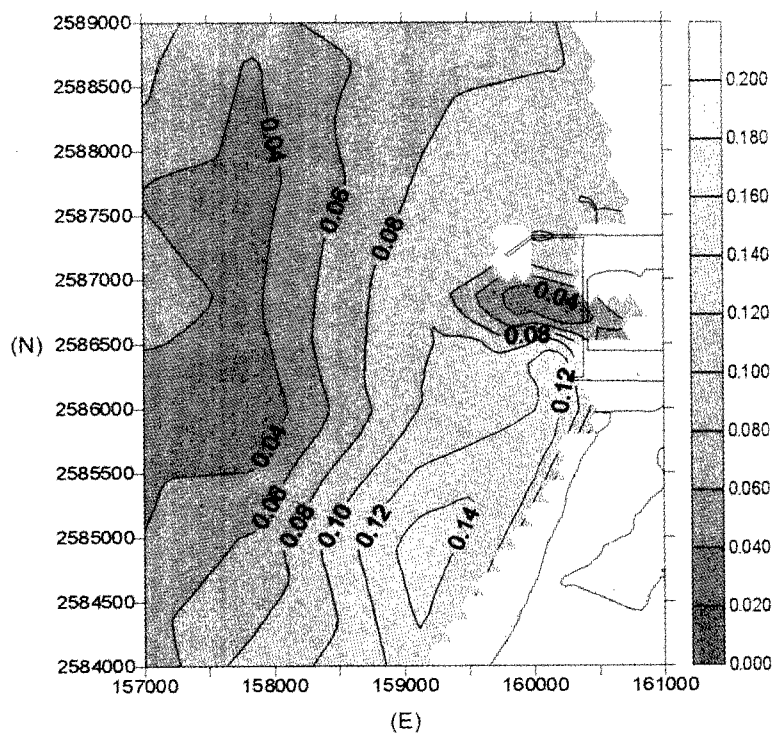


圖 5-7-2 第二次採樣調查底床平均粒徑(d_m)平面分佈

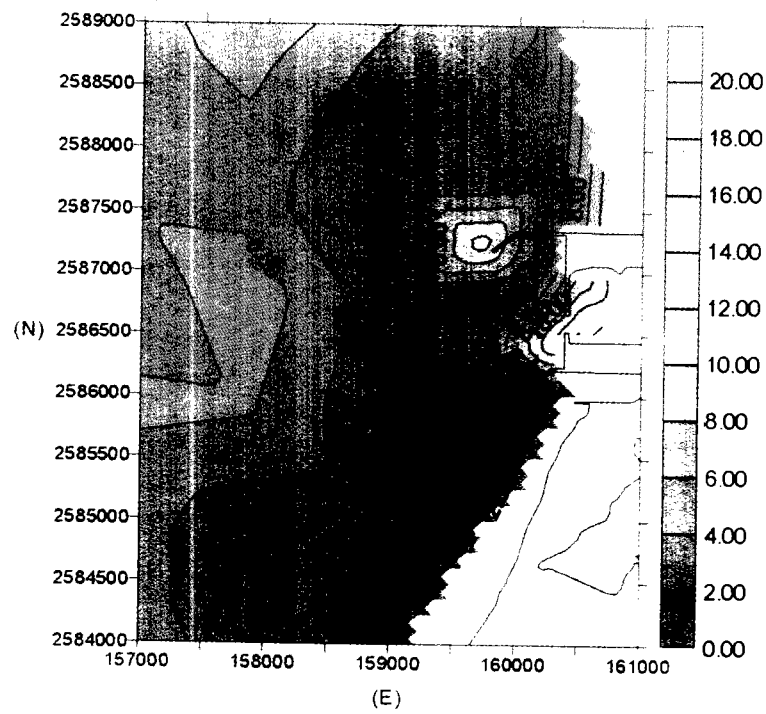


圖 5-8-1 第一次採樣調查底床篩分係數(S_0)平面分佈

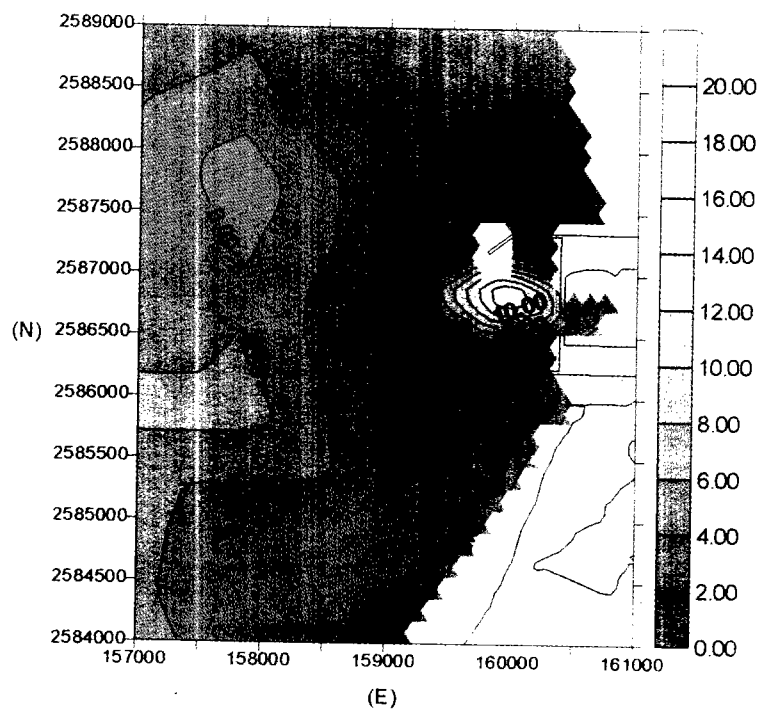


圖 5-8-2 第二次採樣調查底床篩分係數(S_0)平面分佈

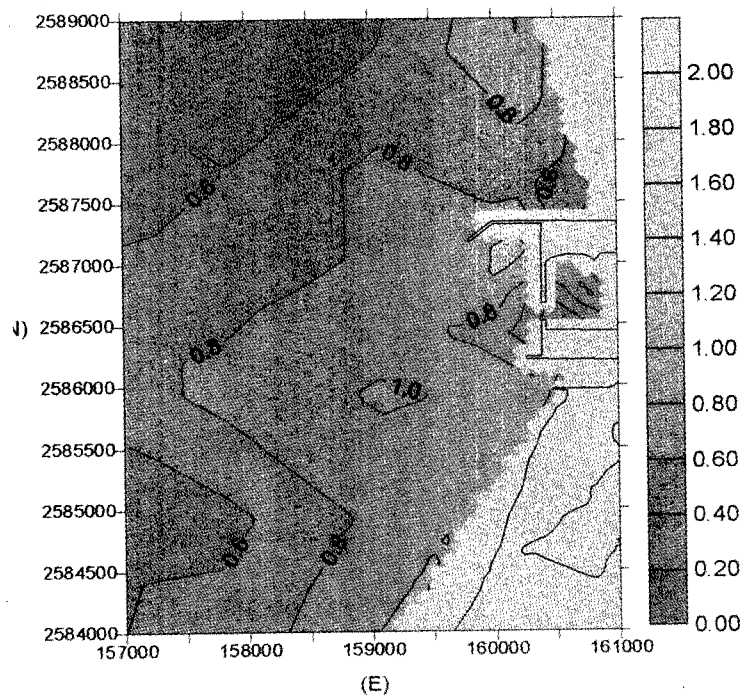


圖 5-9-1 第一次採樣調查底床歪度(S_k)平面分佈

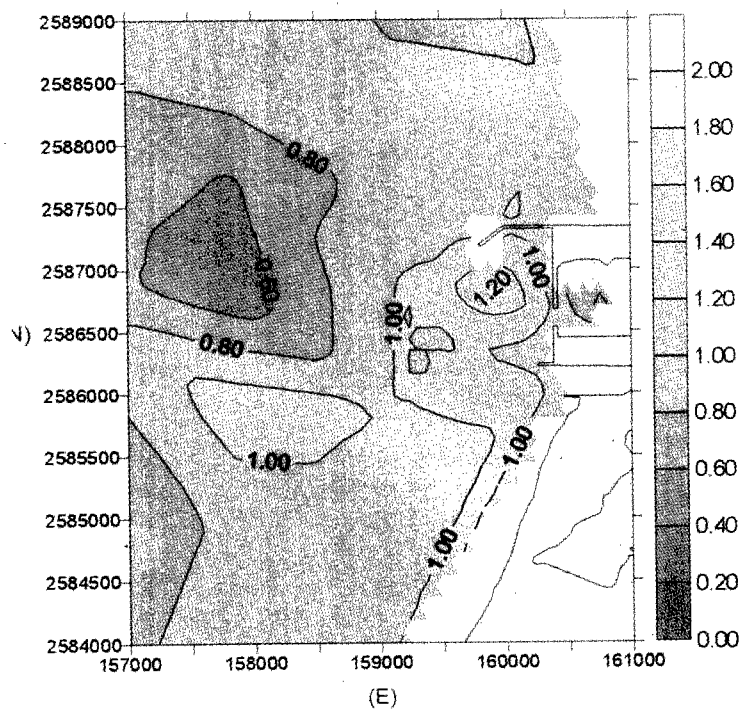


圖 5-9-2 第二次採樣調查底床歪度(S_k)平面分佈

由兩次採樣調查之底床平均粒徑(d_m)平面分佈(圖 5-7-1 與圖 5-7-2)、底床篩分係數(S_0)平面分佈(圖 5-8-1 與圖 5-8-2)與底床歪度(S_k)平面分佈(圖 5-9-1 與圖 5-9-2)等三種不同特性指標可窺知，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，因碎波線外之沙粒向碎波點移動，故碎波點篩分不良而粒徑較粗，故其平均粒徑(d_m)、篩分係數(S_0)、歪度(S_k)皆較大。而越往外灘延伸至水深-10 公尺處其平均粒徑(d_m)、篩分係數(S_0)、歪度(S_k)皆較小，蓋因外灘水深變化小，有足夠時間形成安定之粒徑分佈；且由其平均粒徑(d_m)平面分佈圖可知，粒徑分佈大致與地形等深線是一致的。

而灘線處波浪溯升沖上灘面，海水一部份自沙層中成為滲透水流下，因此回流流速減小，大顆粒徑沉積物乃停留於灘面，僅小粒料隨波流回流至較深海域，故其平均粒徑(d_m)皆較大，而且其波浪作用時間長且穩定，足以形成穩定之粒徑分佈，所以其篩分係數(S_0)、歪度(S_k)皆較小。

2. 礦岩分析：利用前節所述之礦岩分析方法，可以取得各測點礦岩含量之重量百分比值，由此百分比值可繪出各測點樣本之礦岩重量百分比；其第一次採樣調查取得之 35 組樣本之礦岩重量百分比如圖 5-10-1 至圖 5-10-35 所示，而第二次採樣調查取得之 37 組樣本之礦岩重量百分比如圖 5-11-1 至圖 5-10-37 所示；藉由礦岩重量百分比圖，本研究可分類統計出第一次採樣調查取得之 35 組樣本之礦岩重量百分比分析統計表附如表 5-6 所示，而第二次採樣調查取得之 37 組樣本之礦岩重量百分比分析統計表附如表 5-7 所示。

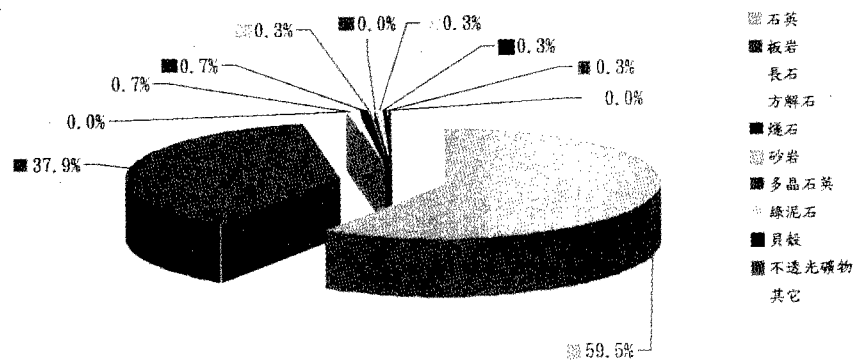


圖 5-10-1 第一次採樣調查樣本(1)礦岩重量百分比

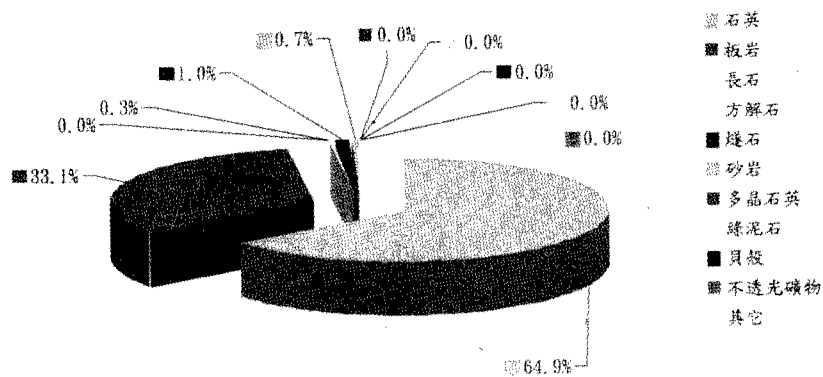


圖 5-10-2 第一次採樣調查樣本(2)礦岩重量百分比

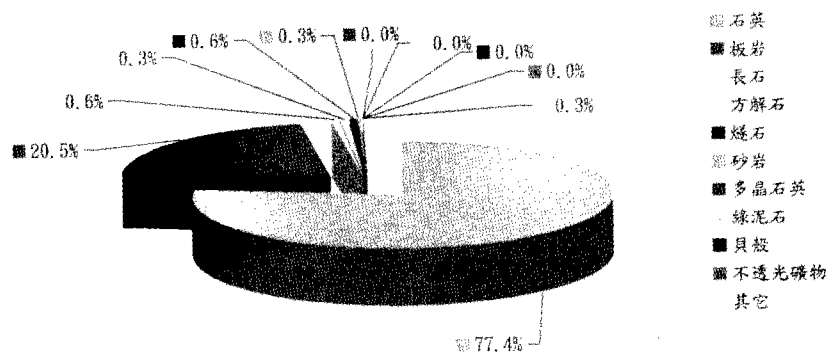


圖 5-10-3 第一次採樣調查樣本(3)礦岩重量百分比

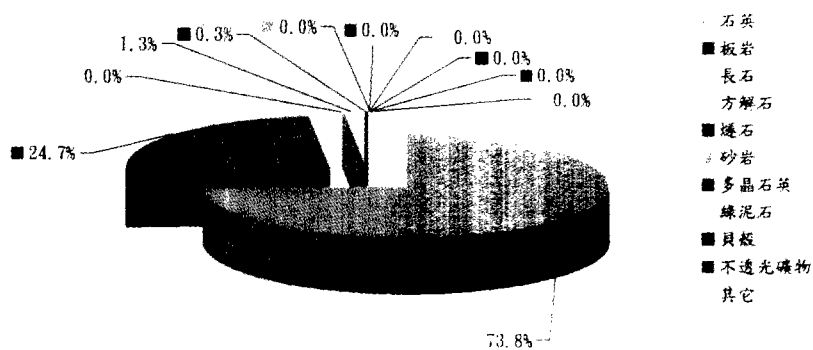


圖 5-10-4 第一次採樣調查樣本(4) 礦岩重量百分比

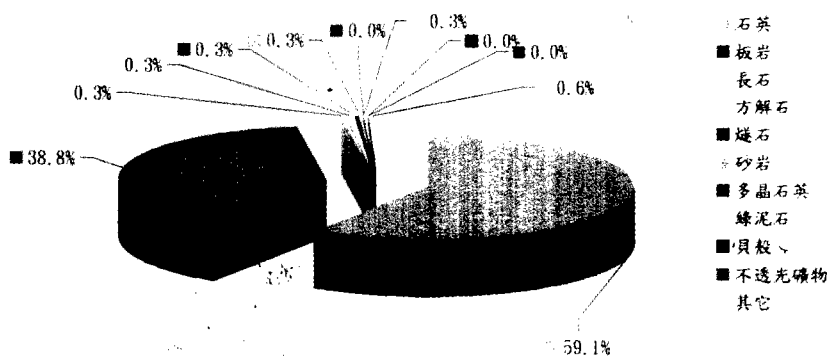


圖 5-10-5 第一次採樣調查樣本(5) 礦岩重量百分比

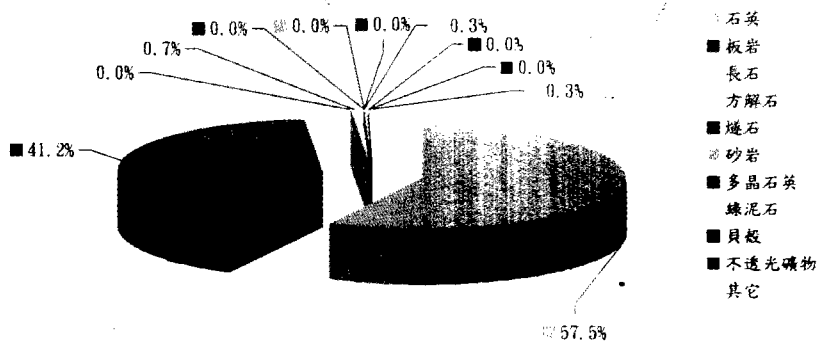


圖 5-10-6 第一次採樣調查樣本(6) 礦岩重量百分比

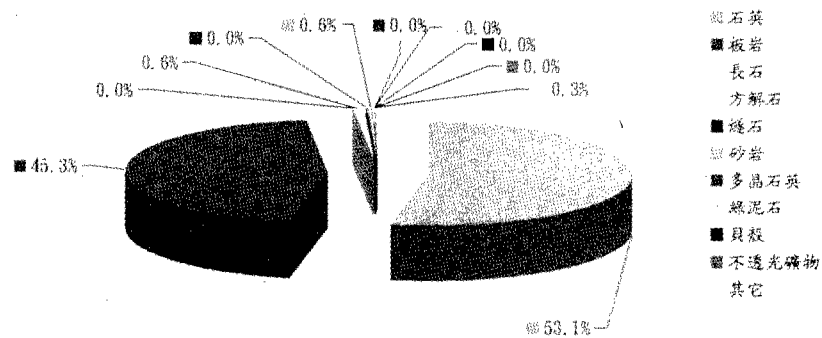


圖 5-10-7 第一次採樣調查樣本(7) 礦岩重量百分比

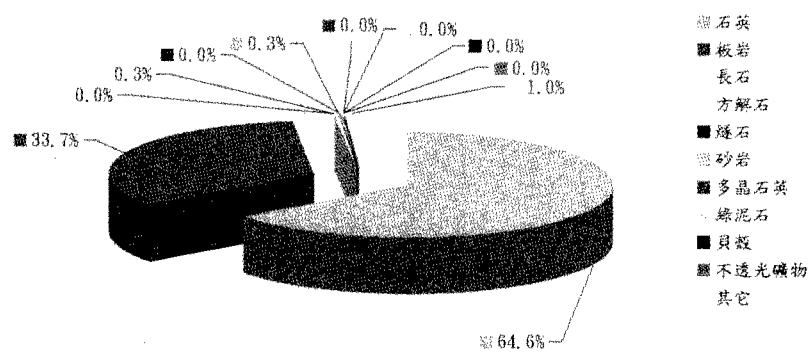


圖 5-10-8 第一次採樣調查樣本(8) 礦岩重量百分比

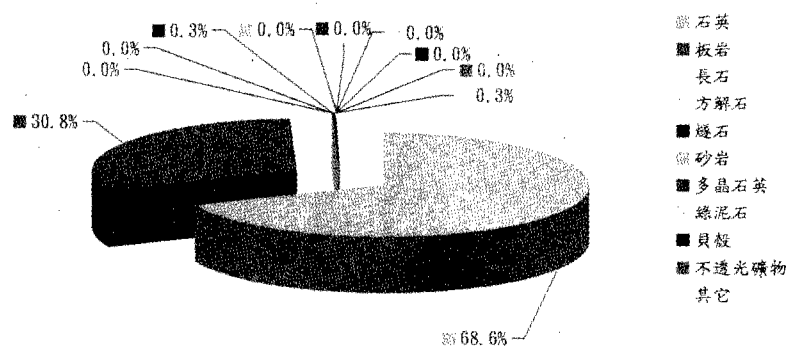


圖 5-10-9 第一次採樣調查樣本(9) 礦岩重量百分比

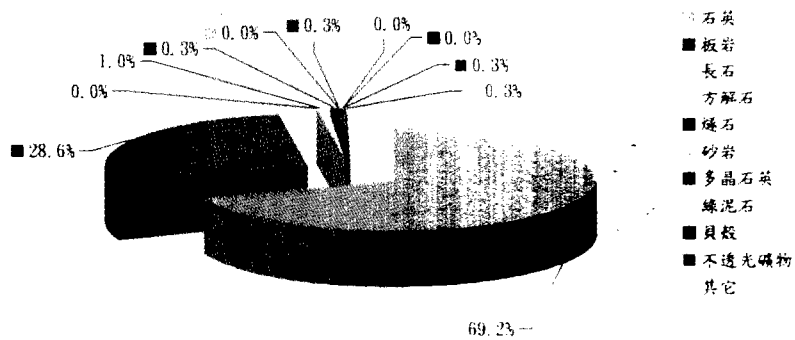


圖 5-10-10 第一次採樣調查樣本(10) 礦岩重量百分比

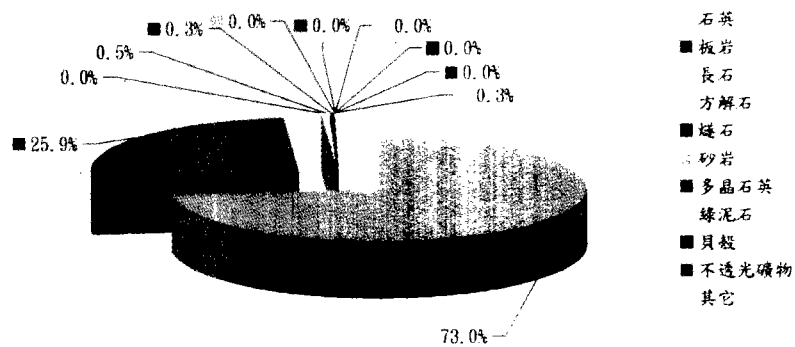


圖 5-10-11 第一次採樣調查樣本(11) 礦岩重量百分比

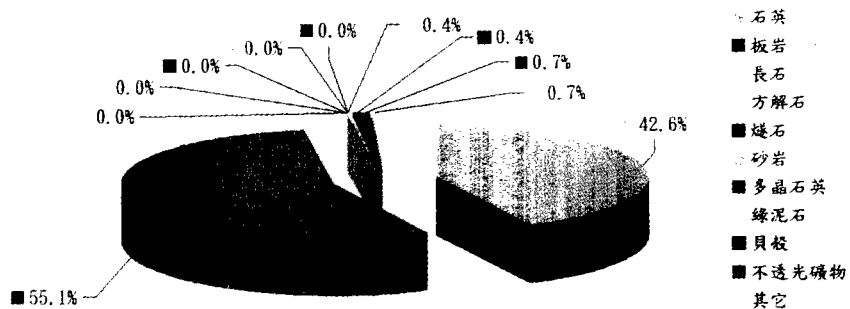


圖 5-10-12 第一次採樣調查樣本(12) 礦岩重量百分比

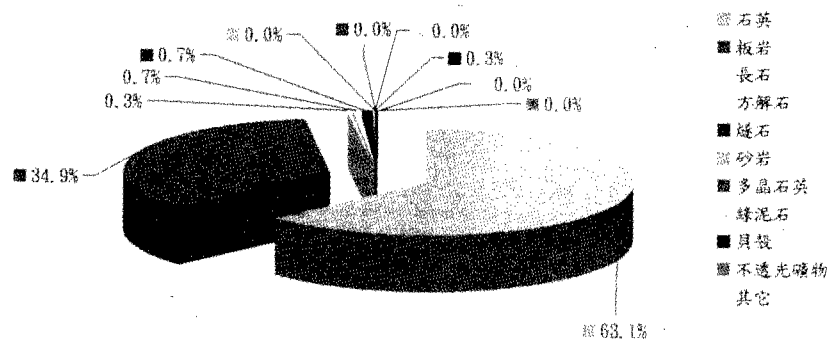


圖 5-10-13 第一次採樣調查樣本(13) 礦岩重量百分比

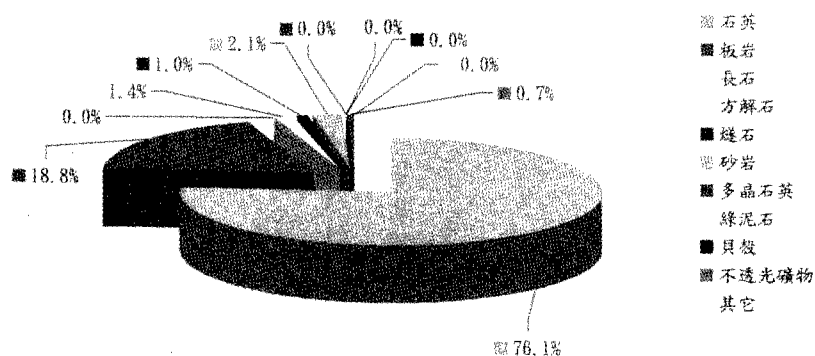


圖 5-10-14 第一次採樣調查樣本(14) 礦岩重量百分比

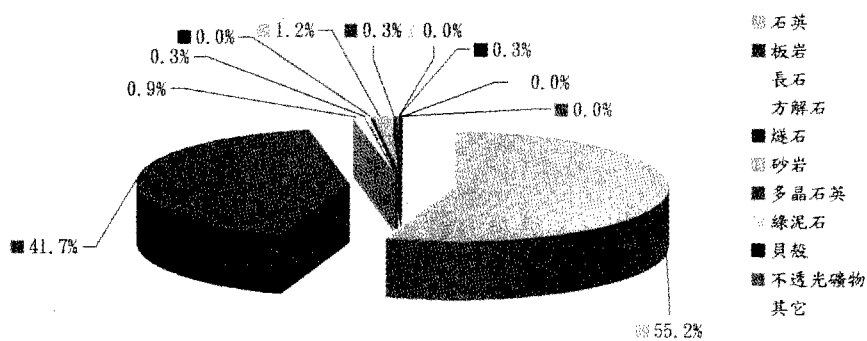


圖 5-10-15 第一次採樣調查樣本(15) 礦岩重量百分比

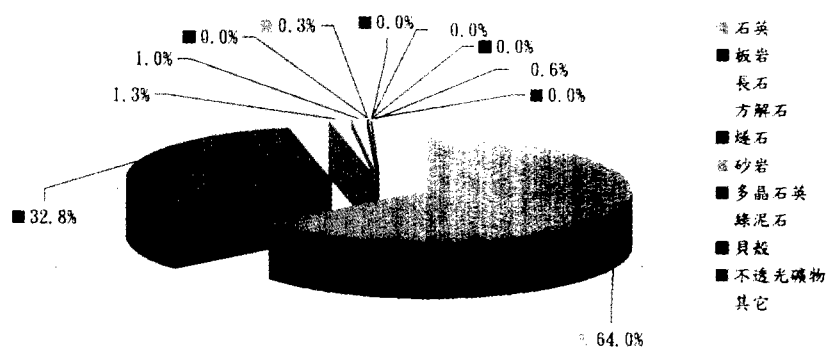


圖 5-10-16 第一次採樣調查樣本(16) 礦岩重量百分比

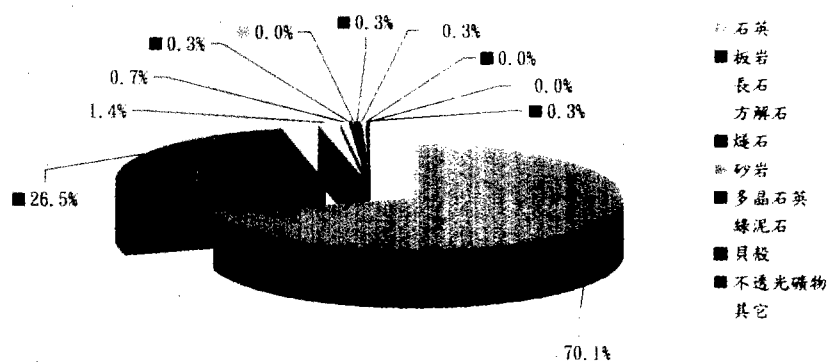


圖 5-10-17 第一次採樣調查樣本(17) 礦岩重量百分比

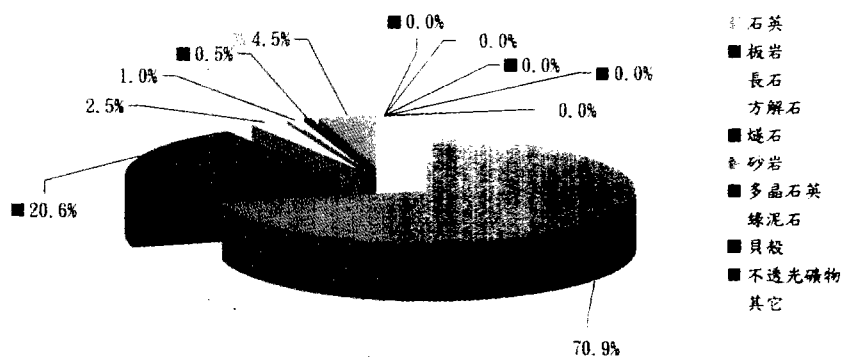


圖 5-10-18 第一次採樣調查樣本(18) 礦岩重量百分比

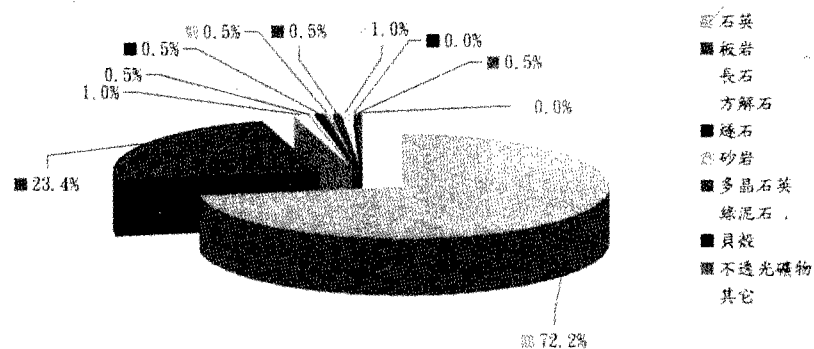


圖 5-10-19 第一次採樣調查樣本(19) 礦岩重量百分比

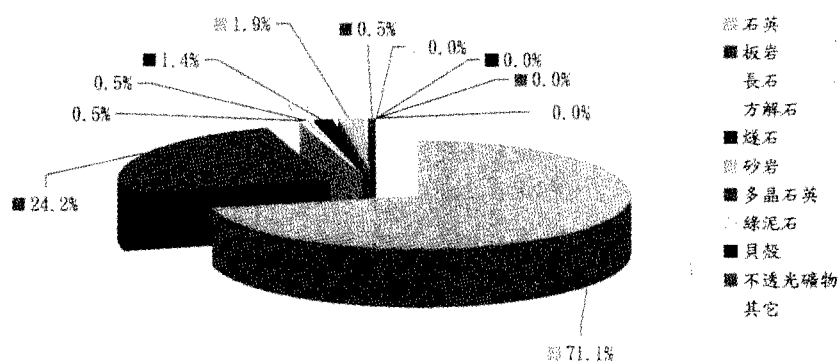


圖 5-10-20 第一次採樣調查樣本(20) 礦岩重量百分比

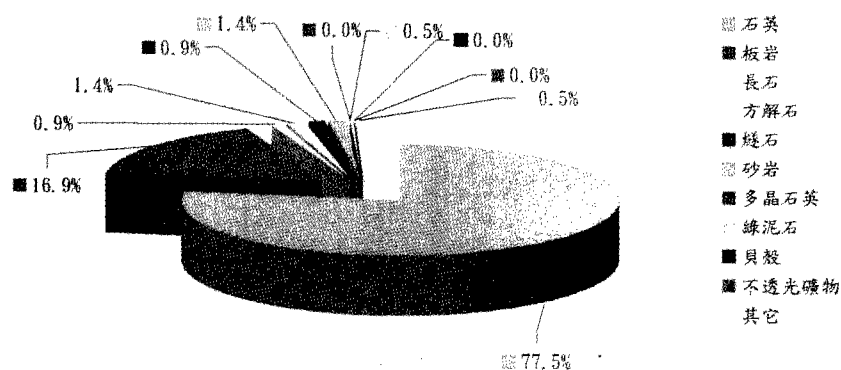


圖 5-10-21 第一次採樣調查樣本(21) 礦岩重量百分比

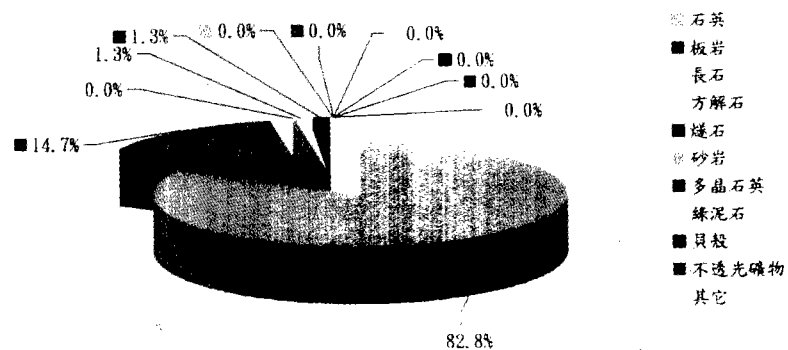


圖 5-10-22 第一次採樣調查樣本(22) 礦岩重量百分比

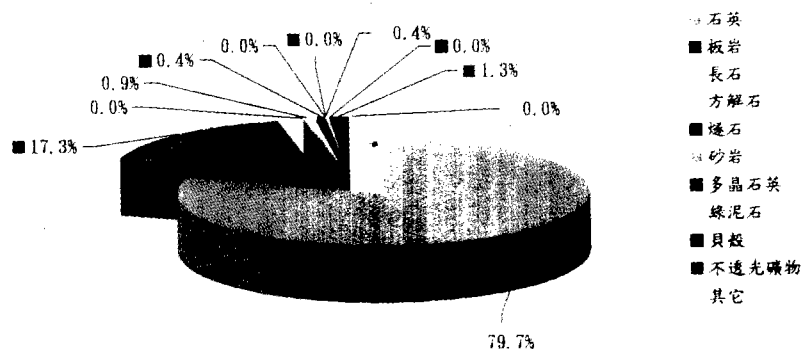


圖 5-10-23 第一次採樣調查樣本(23) 礦岩重量百分比

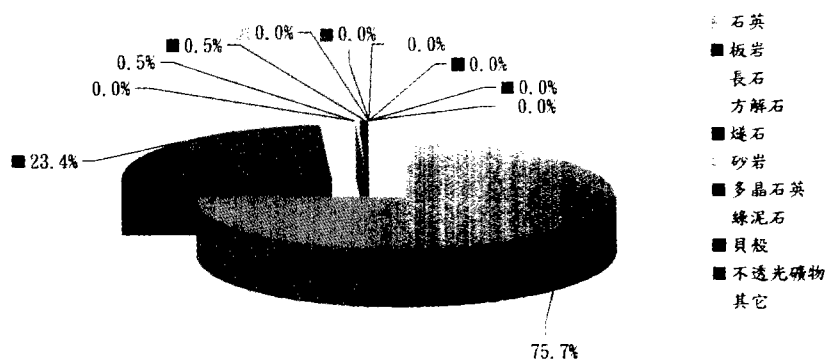


圖 5-10-24 第一次採樣調查樣本(24) 礦岩重量百分比

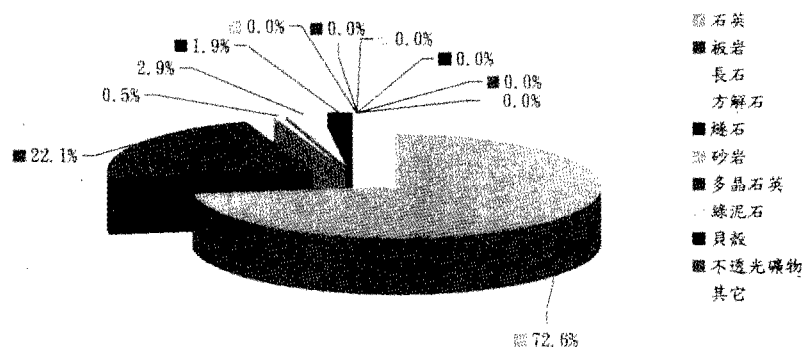


圖 5-10-25 第一次採樣調查樣本(25) 礦岩重量百分比

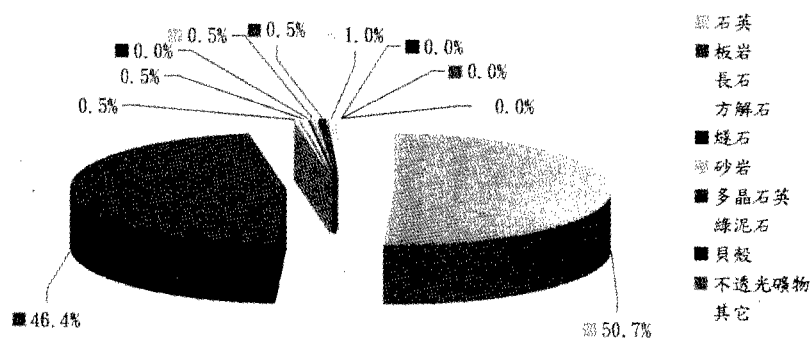


圖 5-10-26 第一次採樣調查樣本(26) 礦岩重量百分比

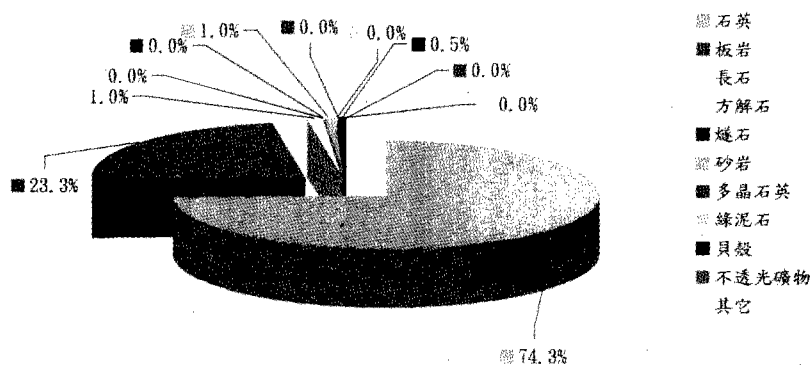


圖 5-10-27 第一次採樣調查樣本(27) 礦岩重量百分比

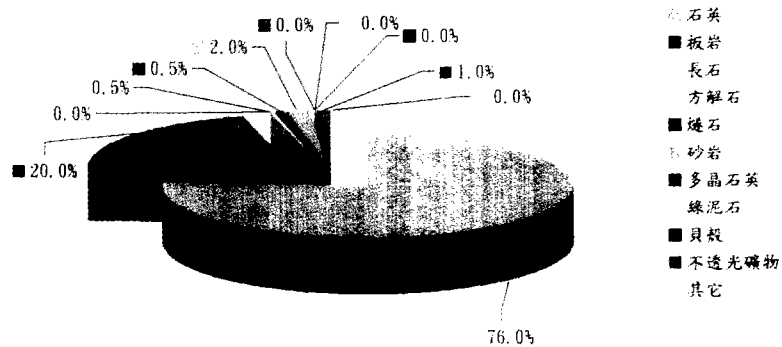


圖 5-10-28 第一次採樣調查樣本(28) 礦岩重量百分比

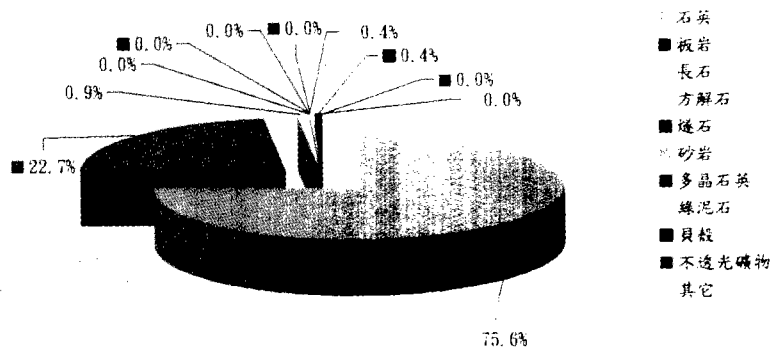


圖 5-10-29 第一次採樣調查樣本(29) 礦岩重量百分比

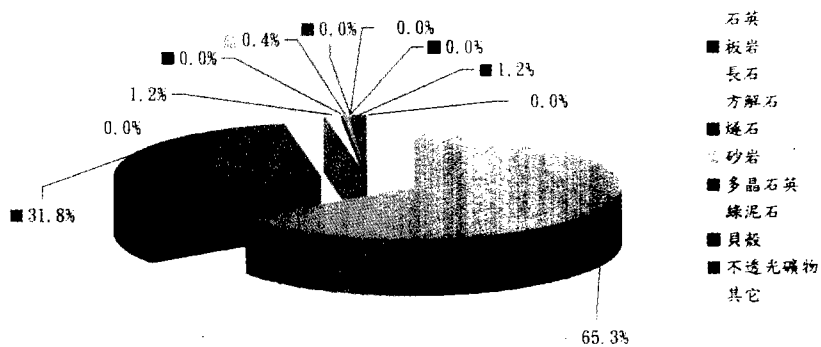


圖 5-10-30 第一次採樣調查樣本(30) 礦岩重量百分比

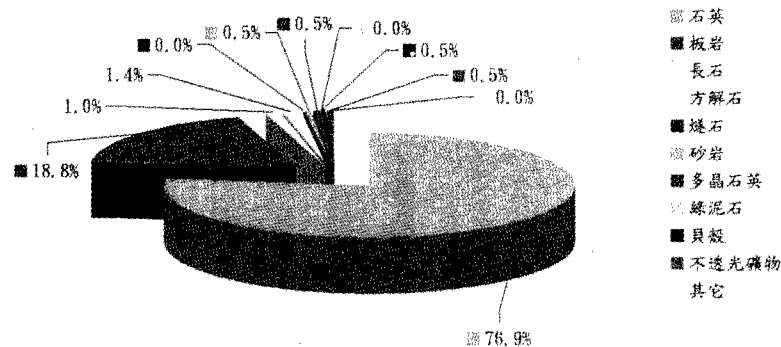


圖 5-10-31 第一次採樣調查樣本(31) 礦岩重量百分比

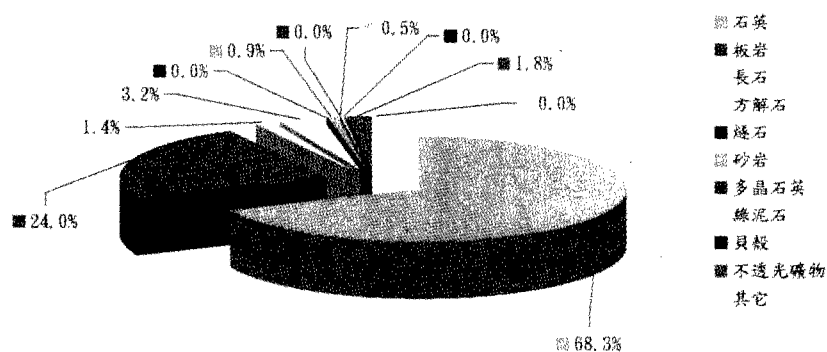


圖 5-10-32 第一次採樣調查樣本(32) 礦岩重量百分比

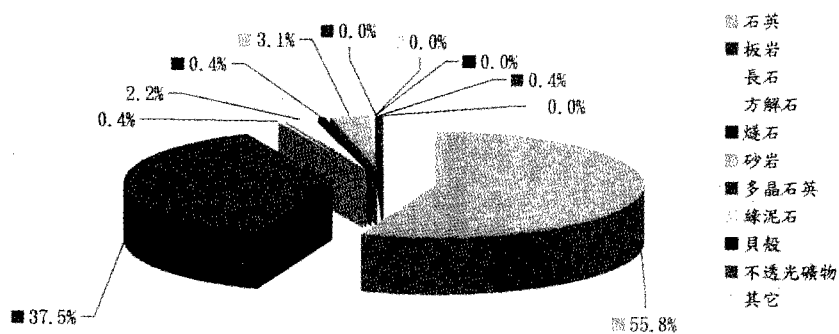


圖 5-10-33 第一次採樣調查樣本(33) 礦岩重量百分比

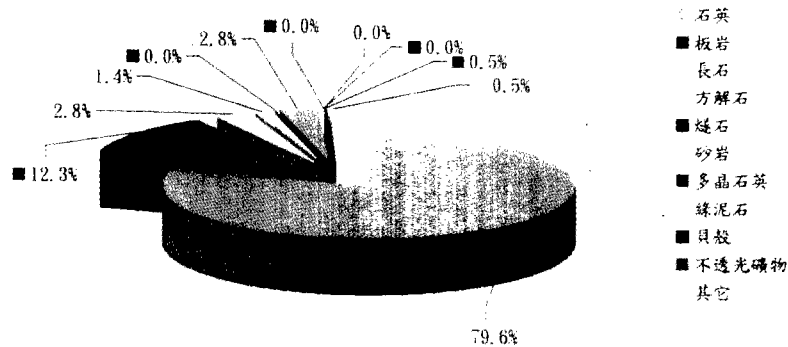


圖 5-10-34 第一次採樣調查樣本(34) 礦岩重量百分比

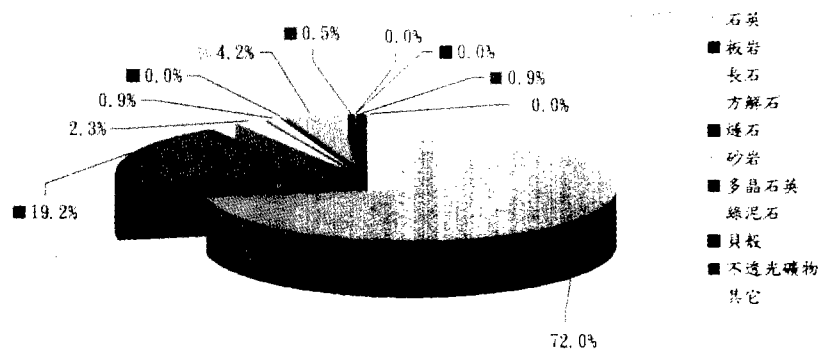


圖 5-10-35 第一次採樣調查樣本(35) 礦岩重量百分比

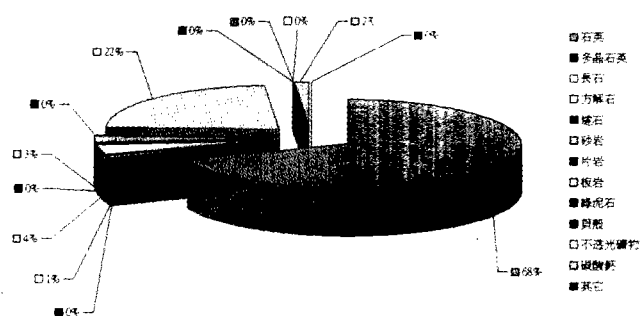


圖 5-11-4 第二次採樣調查樣本(4) 礦岩重量百分比

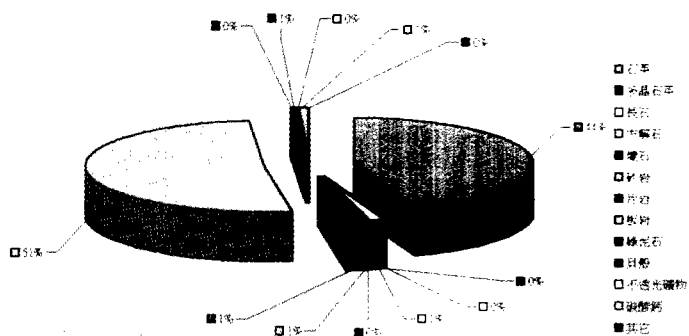


圖 5-11-5 第二次採樣調查樣本(5) 礦岩重量百分比

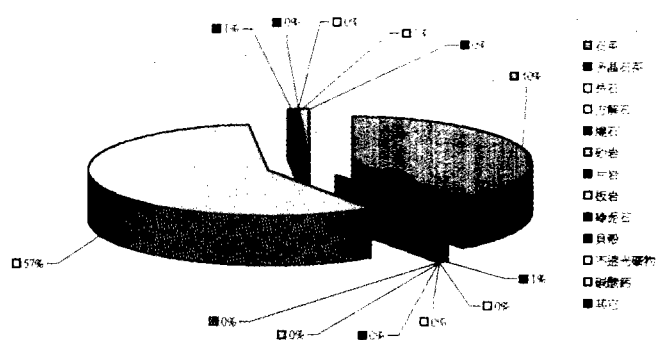


圖 5-11-6 第二次採樣調查樣本(6) 礦岩重量百分比

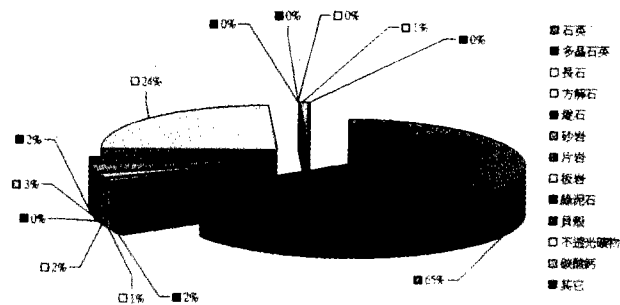


圖 5-11-10 第二次採樣調查樣本(10) 礦岩重量百分比

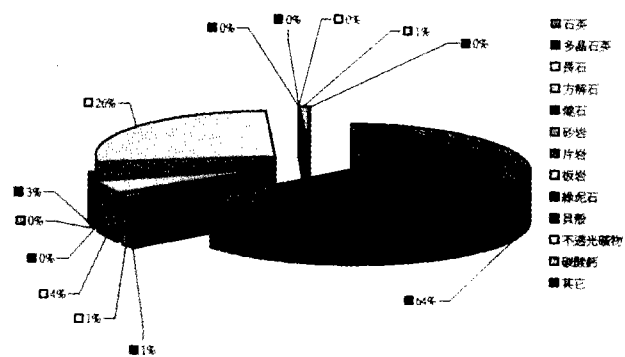


圖 5-11-11 第二次採樣調查樣本(11) 礦岩重量百分比

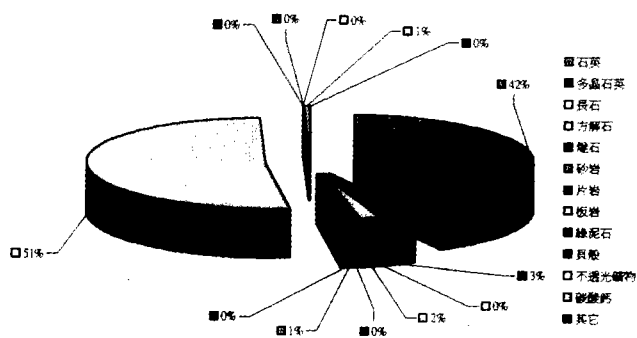
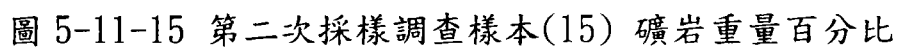
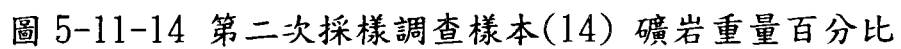
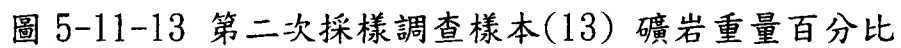
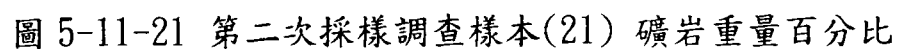
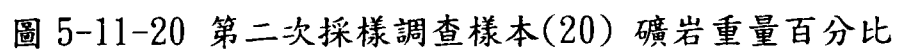
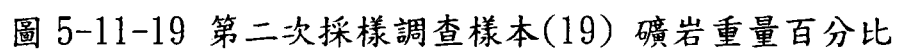


圖 5-11-12 第二次採樣調查樣本(12) 礦岩重量百分比





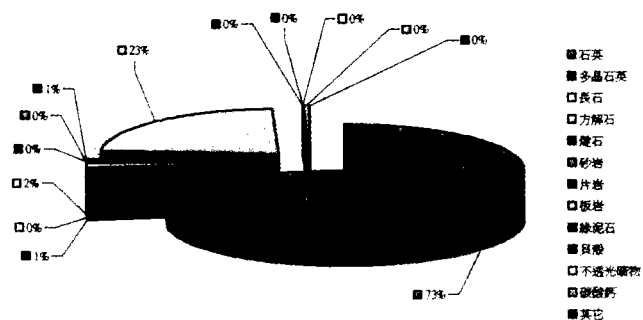


圖 5-11-22 第二次採樣調查樣本(22) 礦岩重量百分比

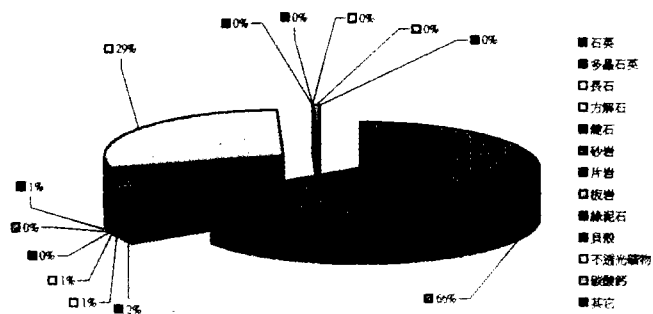


圖 5-11-23 第二次採樣調查樣本(23) 礦岩重量百分比

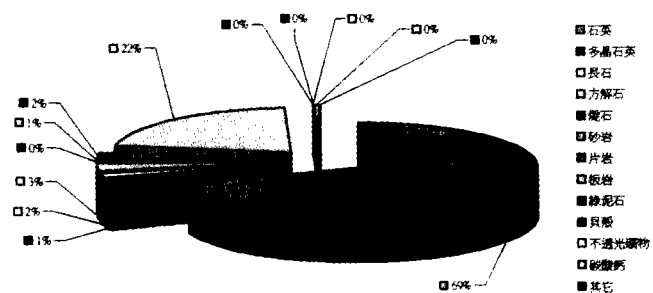


圖 5-11-24 第二次採樣調查樣本(24) 礦岩重量百分比

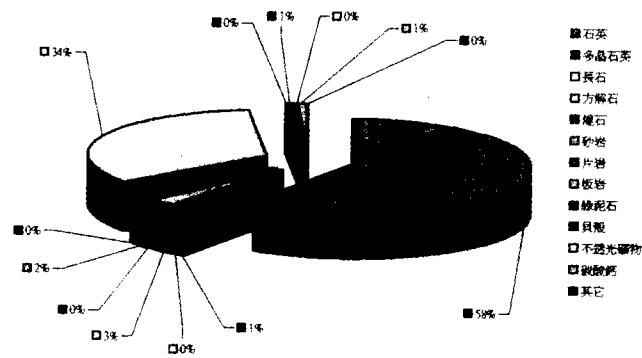


圖 5-11-28 第二次採樣調查樣本(28) 礦岩重量百分比

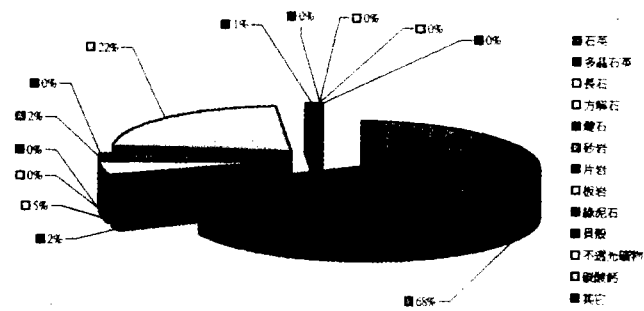


圖 5-11-29 第二次採樣調查樣本(29) 礦岩重量百分比

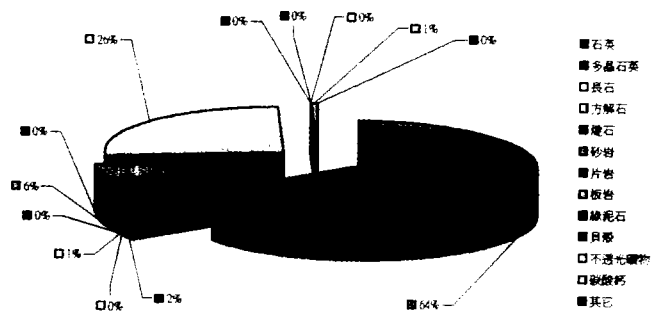


圖 5-11-30 第二次採樣調查樣本(30) 礦岩重量百分比

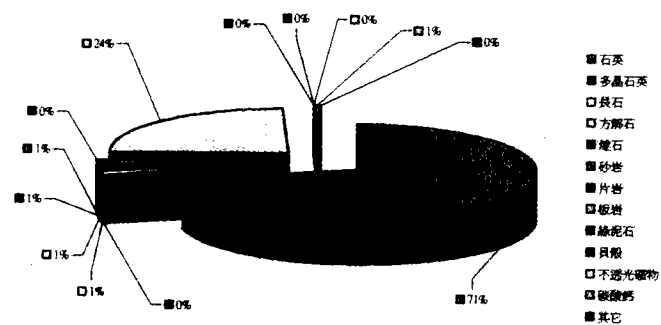


圖 5-11-34 第二次採樣調查樣本(34) 礦岩重量百分比

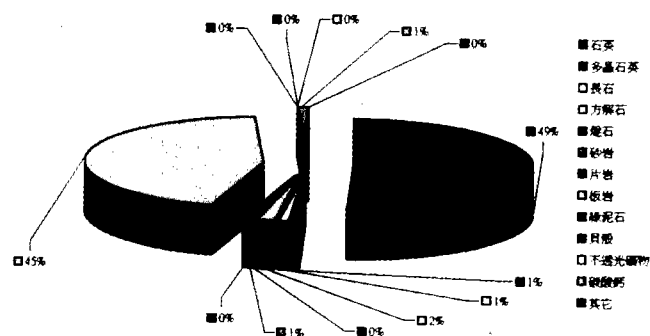


圖 5-11-35 第二次採樣調查樣本(35) 礦岩重量百分比

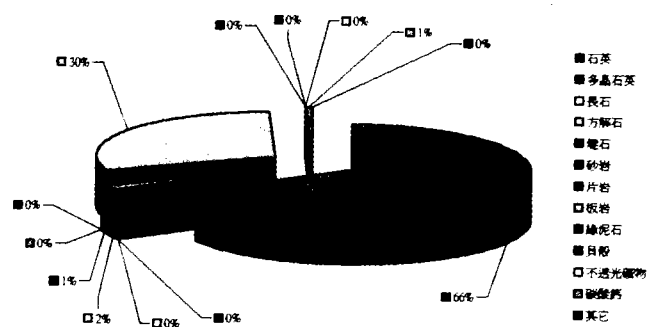


圖 5-11-36 第二次採樣調查樣本(36) 礦岩重量百分比

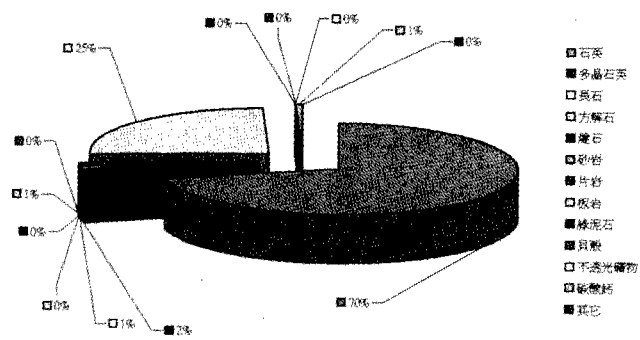


圖 5-11-37 第二次採樣調查樣本(37) 礦岩重量百分比

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

附表 5-6 第一次採樣調查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

附表 5-7 第二次採樣調查礦岩重量百分比統計表

由本研究兩次採樣調查之礦岩重量百分比統計表顯示，布袋港港口附近海域的礦物組成以石英與板岩為主；第一次採樣調查其石英含量介於 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；而第二採樣調查其石英含量介於 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(平均小於 1%)；而由兩次採樣調查之樣本礦岩重量百分比(圖 5-10-1 至圖 5-10-37)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。

另觀察第二次採樣取得之外傘頂洲南岸(樣本 36)與八掌溪河口處(樣本 37)的礦物成份比例，亦與布袋港港口附近取得之樣本其礦物成份比例差異不大，所以判定其漂沙移動形態應屬隨季節變化之南、北向潮流交替作用，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岩組成平面分佈情況，本研究將兩次採樣調查所得之主要礦物石英與板岩兩種成份，配合二度分帶座標值繪製成石英重量百分比平面分佈(如圖 5-12-1 與圖 5-12-2)，板岩重量百分比平面分佈(如圖 5-13-1 與圖 5-13-2)，藉以探討水深變化與主要礦物分佈間之相互關係。

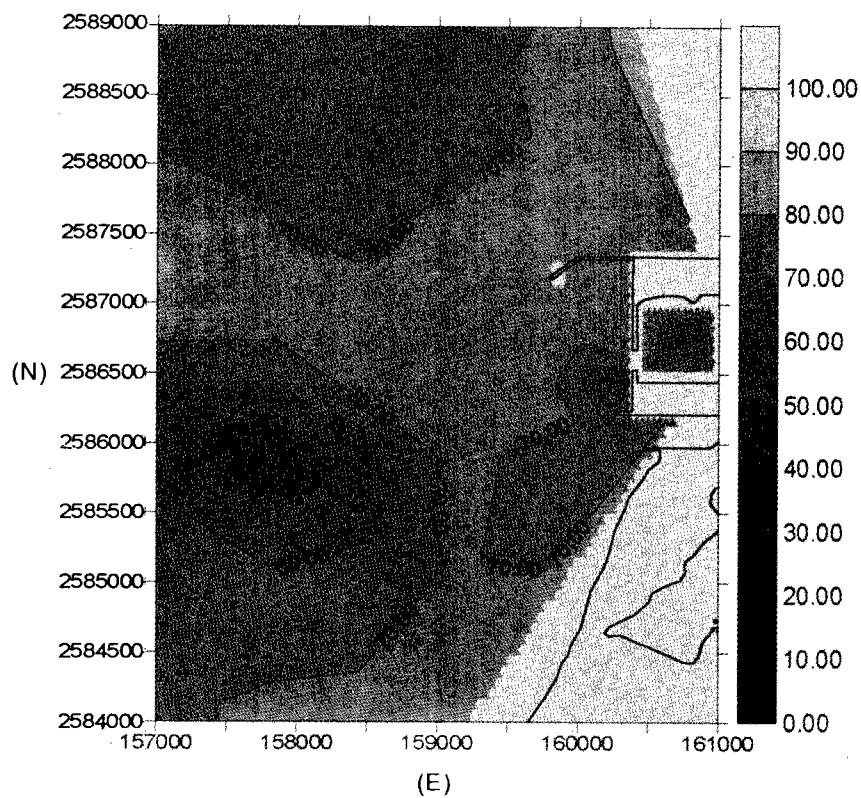


圖 5-12-1 第一次採樣調查石英之重量百分比平面分佈

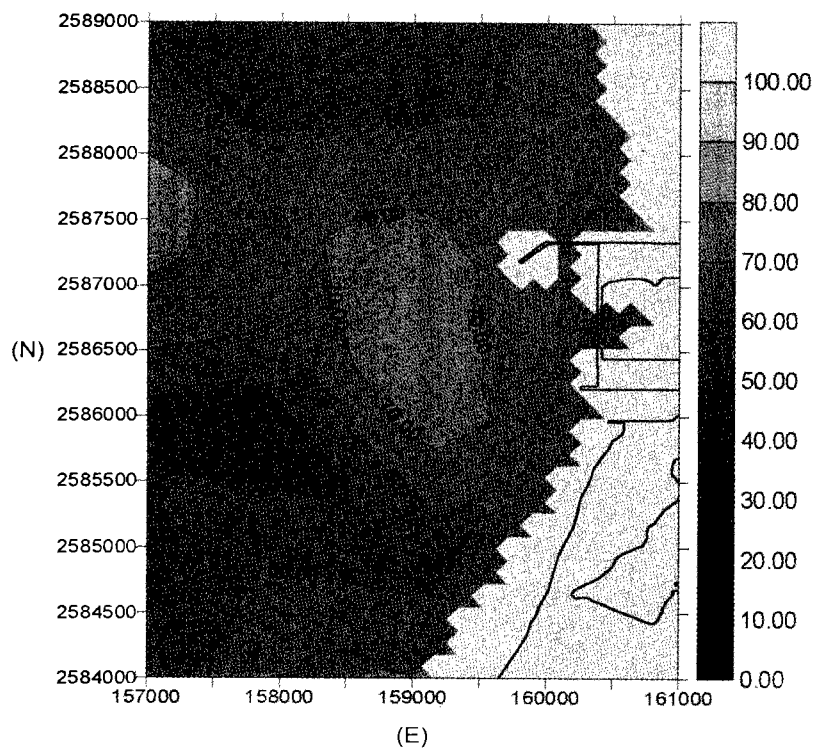


圖 5-12-2 第二次採樣調查石英之重量百分比平面分佈

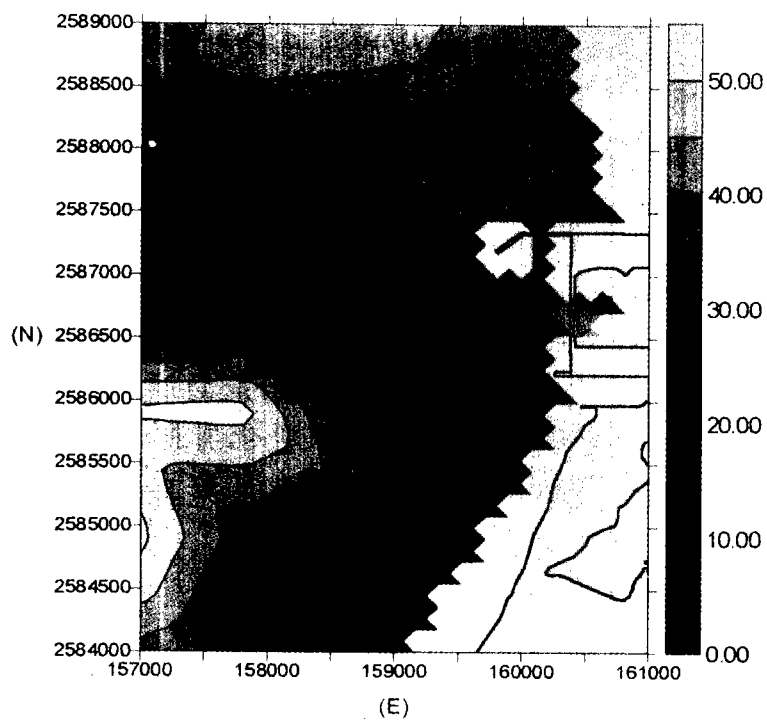


圖 5-13-1 第一次採樣調查板岩之重量百分比平面分佈

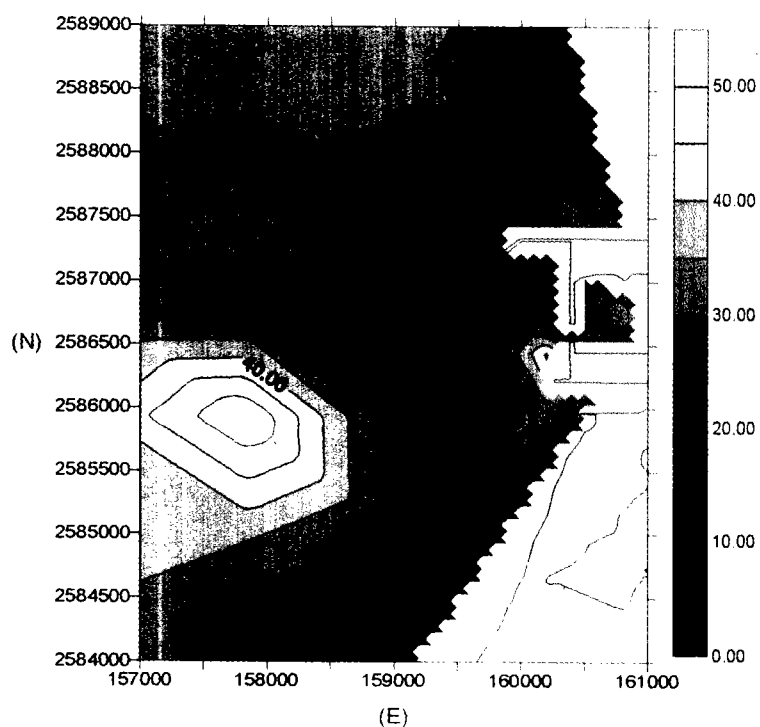


圖 5-13-2 第二次採樣調查板岩之重量百分比平面分佈

由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，其平面分佈情況兩者互為消長；其中冬、夏季兩次採樣調查之石英重量百分比平面分佈(圖 5-12-1 與圖 5-12-2)，其與粒徑分析之兩次採樣調查得到的底床平均粒徑(d_m)平面分佈(圖 5-7-1 與圖 5-7-2)之粗粒徑平面分佈等值線相似；而由兩次採樣調查的板岩重量百分比平面分佈(圖 5-13-1 與圖 5-13-2)，則可以看出其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)易被沖往碎波帶附近，而板岩等礦物(比重大於 2.80)則因比重較重常遺留於水深較深之處；且觀其重量百分比平面分佈等值線與地形等深線值(圖 4-3 與圖 4-5)走向趨勢相近似，故其重量百分比之平面分佈情況應與水深變化有關。而其他礦物則因含量比例稀少，本年度為第一年調查很難真確的判定其特性分佈。

第六章結論與討論

漂砂現場調查之目的主要在瞭解海域底質及沉積物之礦物組成與粒徑分佈，配合沿岸流之平面流況與海岸地形之監測與分析，來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；藉由有計劃的長期觀測所得出的漂砂活動基本資料，吾人可以掌握海岸地形變遷的特性與預測未來可能的變化。而本計劃對於布袋港港區現有的航道維護與海岸保育，甚至將來之港口擴建可能造成對於鄰近海岸地形的影響，都有很大的參考價值。

由第三章平面流況調查，經過上、下半年現場漂浮球軌跡追蹤後，得出冬（一月）、夏（六月）不同季節時期之平面流況變化（如圖 3-5、圖 3-6、圖 3-7、圖 3-8）之結果，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，隨著潮水向南(S)或西南(Ws)方向流去；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且流速有偏小趨勢。

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，隨著潮水離岸向南(S)方向或往西(W)退去；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(Ws)往東北(NE)方向流向外傘頂洲南側及港池。

而第四章港口附近水深測量的結果（圖 4-3 與圖 4-5）顯示，布袋港港口附近水深變化走向為由北北東(NNE)較淺愈往南南西(SSW)則漸深；而由本研究之第一次測量結果(89/01)與高雄港務局提供之水深測量成果(88/06)比較，其時差約半年之久，港內航道部份原濬深水深-9 公尺左右，部份航道（約港池中心處）已淤淺成為水深-6 公尺左右，可能受港池內其他未濬深區域（水深約-4 至-1 公尺）之土方自然重力回淤所致；而港外航道亦受漂砂活動影響部份航道（距離港口以西約 400 公尺處），也由水深-6 公尺淤淺為水深-3 公尺左右；究其原因，可能為該處水深恰位於碎波線附近，漂砂活動較劇，又受由北(N)向南(S)優勢方向的沿岸流，將北防波堤方向漂砂由北往南帶入航道區域內。

而由第一次測量(89/01)成果（圖 4-7）、第二次測量(89/07)成果（圖 4-8）與其兩時段水深變化差（圖 4-10）可知，因受瑪姬(MAGGIE)颱風過徑影響，港外漂沙隨颱風波浪湧入港池內，港池內南北碼頭區與港口突堤附近皆有漂沙嚴重淤積現象，部份水域水深甚至僅有-2 公尺左右；但因布袋港分局於颱風後，積極辦理港內航道濬深工

作，所以實際淤侵土方量已難予估算；而港外外航道部份與港口以西約 1000 公尺處，也因受颱風波浪影響，從水深-6 公尺淤積為-2 公尺左右，此一現象恰可證明在布袋港港口附近之水深條件下，只要波浪尖銳度稍大，就足以使得海底底泥達到全面起動臨界值，進而將漂沙帶入港區，而產生港口與航道淤積現象，此將嚴重影響布袋港的航船安全。

由圖 4-2 與圖 4-13 可知，由 88 年 6 月起至 89 年 1 月間，布袋港港池碼頭區其土方量沖蝕約 106373.75 立方公尺，究其原因應為冬季東北季節風強徑，港池碼頭區內之底泥隨潮流逐漸流出港外，而 89 年 1 月至 89 年 7 月之間，則回淤 222265.83 立方公尺，平均淤積高差達 1.53 公尺；其主要受瑪姬颱風較大之波浪作用，使得漂沙量急遽往港池與碼頭區堆積所致。

而港口航道區於 88 年 6 月起至 89 年 1 月間，該區域土方量則沖蝕 654680.05 立方公尺，其原因應與冬季東北季節風強徑，底泥隨潮流沿著海岸線逐漸往西南流失，而 89 年 1 月至 89 年 7 月之間，則回淤 463883.07 立方公尺，平均淤積高差達 0.46 公尺；其主要仍受瑪姬颱風波浪的影響，使得漂沙由西南往東北方向淤積於外航道與防波堤附近。

港外西側區則於 89 年 1 月至 89 年 7 月之間，則回淤 1337139.14 立方公尺，平均淤積高差達 0.49 公尺；其為颱風作用時漂沙由西南往東北方向進入水深-10 公尺處地區滯留所致；而港口北側與南側則分別淤積有 2163877.08 立方公尺及 1217470.42 立方公尺，平均淤積高差達 0.31 及 0.42 公尺；其主要受瑪姬颱風波浪之影響，將漂沙由西南往東北方向帶至灘線附近所致。

本研究執行兩次水深測量的結果，整體調查範圍之土方量分析可得出，從 89 年 1 月至 89 年 7 月之間，經瑪姬(MAGGIE)颱風作用後，其總淤積土方量為 5404635.54 立方公尺，平均淤積高差在 0.31 公尺至 1.53 公尺之間。

第五章底床粒徑採樣分析之結果，兩次採樣依 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卻有所差異。而其底床平均粒徑(d_m)平面分佈(圖 5-7-1 與圖 5-7-2)、底床篩分係數(S_0)平面分佈(圖 5-8-1 與圖 5-8-2)與底床歪度(S_k)平面分佈(圖 5-9-1 與圖 5-9-2)等三種不同指標值可窺知，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，因碎波線外之沙粒向碎波點移動，故碎波點篩分不良而粒徑較粗，故其平均粒徑(d_m)、篩分係數(S_0)、歪度(S_k)皆較大。而

越往外灘延伸至水深-10 公尺處其平均粒徑(d_m)、篩分係數(S_0)、歪度(S_k)皆較小，蓋因外灘水深變化小，有足夠時間形成安定之粒徑分佈；且由其平均粒徑(d_m)平面分佈圖可知，粒徑分佈大致與地形等深線是一致的。

而灘線處波浪溯升沖上灘面，海水一部份自沙層中成為滲透水流下，因此回流流速減小，大顆粒徑沉積物乃停留於灘面，僅小粒料隨波流回流至較深海域，故其平均粒徑(d_m)皆較大，而且其波浪作用時間長且穩定，足以形成穩定之粒徑分佈，所以其篩分係數(S_0)、歪度(S_k)皆較小。

由本研究兩次採樣調查之礦岩重量百分比統計表(附表 5-6 與附表 5-7)顯示，布袋港港口附近海域的礦物組成以石英與板岩為主，約佔 93%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 1%)。而由兩次採樣調查之樣本礦岩重量百分比(圖 5-10-1 至圖 5-10-37)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；而第二次採樣取得之外傘頂洲南岸(樣本 36)與八掌溪河口處(樣本 37)的礦物成份比例，亦與布袋港港口附近取得之樣本(1)至樣本(35)其礦物成份比例差異不大，所以可以判定其漂沙移動形態應屬隨季節變化之南、北向潮流交替作用，而平行海岸線移動之沿岸漂沙(littoral sand drift)。

另由兩次採樣調查之石英重量百分比平面分佈(圖 5-12-1 與圖 5-12-2)，其與粒徑分析之兩次採樣調查得到的底床平均粒徑(d_m)平面分佈(圖 5-7-1 與圖 5-7-2)之粗粒徑平面分佈等值線相似；而由兩次採樣調查的板岩重量百分比平面分佈(圖 5-13-1 與圖 5-13-2)，則可以看出其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)易被沖往碎波帶附近，而板岩等礦物(比重大於 2.80)則因比重較重常遺留於水深較深之處；且觀其重量百分比平面分佈等值線與地形等深線值(圖 4-3 與圖 4-5)走向趨勢相近似，故其重量百分比之平面分佈情況應與水深有其關聯性。

綜觀本研就所得之調查結果，整個布袋港港口附近海域之平面流況，隨著潮水漲、退變化，沿著海岸地形等深線走勢，退潮時由東北(NE)向南(S)或西南(WS)方向退去，而漲潮時由西南(WS)往東北(NE)方向流入外傘頂洲南側及港池附近；而冬季季節風時期以東北季風強徑為主要優勢方向，夏季季節風時期以西南風為其主要優勢方向。

布袋港港口附近水深變化走向為由北北東(NNE)較淺愈往南南西(SSW)則漸深，本年度調查因有瑪姬颱風過徑，港外漂沙隨颱風波浪湧入港池內，港池內南北碼頭區與港口突堤附近皆有漂沙嚴重淤積現象；而此一現象恰可證明在布袋港港口附近之底床粒徑與水深條件下，只要波浪尖銳度稍大，就足以使得底床沙粒達到全面漂沙起動臨界值，將漂沙帶往港口碼頭區與航道之間，嚴重影響布袋港航船安全。

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. Pp 180-185.
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. Pp d-171-185.
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.

附錄 A

布袋港港口附近漂沙現場監測計畫 期中報告審查意見及處理情形

布袋港港口附近漂沙現場監測計畫

期中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. 部份成果未附，如 p. 13. 倒 1 行，(另詳成果報告書)→未見，如 p. 23. 測量調查成果→未見。 2. p. 26. 圖 4-3，圖例，色彩太接近，不易判斷？應考慮採用較值表示方法。 3. p. 35. 圖 5-5-1 樣本(1)與圖 5-5-2，樣本(2)相同，是否有誤，請檢核。 4. p. 53. 附表 5-3→表 5-3，表中名詞應定義，如歪度，篩分係數．．．等。 5. p. 56. 粒徑分佈情況大致與地形等深度線一致，將圖 5-6~圖 5-9 與 p. 26 圖 4-3 比較時，因座標範圍不同→若欲比較，應另製作同一座標範圍之地形圖。 6. p. 78. 礦岩分析，參考 p. 69 表 5-4. 表 5-4 應有樣品編號，報告中說明石英與板岩成份約佔 90%以上，與所謂石英與板岩平面分佈情況互有	於期末附送成果報告書 已利用等值線法表示 已更正改進 已於文內說明定義 已另繪製改進 已刪除改進

	消張，但其他礦物 1%，故圖 5-11-3 以 後之分佈圖較無意 義。	
中山大學海洋工 程系 陳陽益教授	1. 浮標追蹤之退、漲潮所 的流況受地形影響明 造成的原因要說明 (尤其退潮時)可能受 到底下的十字葉片離 底太近的影響(流速 好像小一點)。 2. 定點式的海流儀實測 希望作以便配合浮標 追蹤者做整體瞭解與 確定。 3. 希望確定每季節期間 該海域的碎波帶，以水 便確定漂沙活動的深 範圍。 4. 漂沙活動的監測點， 應包括朴子溪與八掌 溪兩溪口及外傘頂 洲，以便確定沙源。 5. 在碎波帶內選定適當 的等深線及 8 點所述	已於報告中說明地形影 響的原因；漂浮球十字 葉為 60cm 長，如觸及底 床將發生傾斜現象，觀 測者可以立即改進。 漂浮球追蹤只觀查其平 均流速與趨勢，瞬時流 速變化有賴設置定點流 速儀量測。 設置定點式海流儀有其 必要性且可藉此建立漂 沙模式，希望貴局編列 經費長期觀測之。 各季節性波浪尖銳度與 波向皆有不同，則其碎 波帶亦會有所變動，可 藉由編列經費長期觀察 或空照來確定。 已補充採樣外傘頂洲南 端與八掌溪兩點分析 之。

	的監測點，做沙粒的粒徑分析以便確定漂沙方向。 6. 各季節由 5~9 點的工作結果，定出該季節的沙源與漂沙活動勢方向(即走向：如冬季由北向南)。	碎波帶之等深線隨季節性波浪大小變動，選定監測點將會隨機變動。 已報告中說明。
中山大學海洋工程系 薛憲文教授	1. p.13 附表 3-3 應加入單位，且表之說明應為“WGS84 衛星座標轉換成 GRS67 座標之參數”。 2. p.14 附表 3-4 中時間之單位應說明。 3. p.15 附表 3-5-1 流速之有效位數應調整。 4. p.19 圖 3-5，3-6 應加入等深線。 5. p.22 在 4.2.1 節加入 motion sensor 之資料。	已報告中改進。 已報告中改進 已報告中改進 已報告中改進 已報告中改進
成功大學土木所 倪勝火教授	1. 粒徑分佈分析是否可補充其土壤分類名稱及符號。 2. 是否就量測結果分析粒徑分佈與漂移量之關係或影響。 3. p11 所分析之粒徑尺寸表示之有效位數是否過多？	已報告中改進 已報告中說明 已報告中改進
成功大學土木所 陳建旭教授	1. 漂沙與其他港口比較，請往後再加以補充。 2. 請逐年建立漂沙模式，以利港務局往後實務運用。	漂沙資料取得不易，應可另案辦理研究。 建請港務局逐年編列進行研究

高雄港務局尤總 工程司福興	1. 高雄管理布袋港最大負擔為淤砂疏濬，盼有定量資料，每一季會有多少淤砂，請說明。 2. 港口平均流速 0.31 m/sec，是否太小？	已於報告中說明 說明同陳陽益教授之審查意見 1.
--------------------------	--	--

附錄 B

布袋港港口附近漂沙現場監測計畫 期末報告審查意見及處理情形

布袋港港口附近漂沙現場監測計畫

期末報告審查意見及處理情形

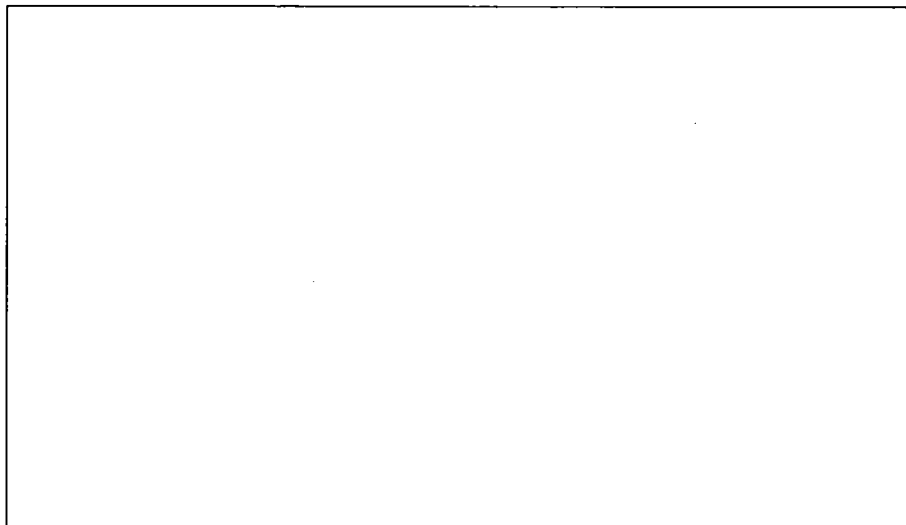
審查單位	審查意見	處理情形
中山大學海洋工程系 陳陽益教授	1. 波浪特性與其季節性，包括碎波帶範圍，與碎波特性如 Spilling 或 Plunging 等請補充。	本計畫不含波浪特性調查，碎波特性屬重要課題，但需配合設置定點長期觀測之；因打設海象觀測樁與長期之觀測儀器維護經費龐大，建請另編預算實施。
	2. 各定點處海流隨時間的流況如何？可否用海流儀來測，尤其近底層處之流速。	各定點流速調查，應以設立長期觀測站來進行長期觀測，才能探究隨不同季節變化下之整體流速特性，本計畫係以由全面性觀點來瞭解流況分布，推估漂沙來源及走向。
	3. 水深量測時受水面波浪起伏搖盪的影響，如何修正及其精度如何？	已於期末報告 4.2 調查儀器與方法一節說明湧浪補償裝置與測深儀之量測精度；同時在現場浪高超過 70cm 以上則不進行量測作業，藉以減低波動對於量測精度之影響。
	4. 淺水-3 米處受潮、浪、流，尤其是碎波的影響甚大，所得量測結果其精度如何？	同上。
	5. 沙源是在何處，其佔的比率多少，如可確定外傘頂洲與八掌溪等？及各佔比率多少。（因淤積達 540 萬方）	本年度施測期間淤沙量受瑪姬颱風侵台影響產生淤積，因本計畫屬第一年調查，尚無同期季節變化資料比對，確切之漂沙來源不宜過早定論。

	6. 各季節之漂沙的優勢方向如何？ 7. 請劃各定點處即時的水位，海潮流，與水深的聯合圖表，以便和該點的波浪記錄值對照，及做為量測資料之精度的基準值。 8. 浮標之平面座標值請加入一般用的經緯度座標。	已於期末報告結論與討論中說明。 本研究未量測波浪記錄，而漂浮球方式無法同時取得對照；應以定點設立觀測站方式實施方能在同一地點取得相關資料進行比對。 布袋港築港圖說皆以台灣區大地座標為主，且為便於 GIS 電腦系統表示，本計畫皆以平面座標為主；且量測資料數據眾多，因研究報告書篇幅有限，兩者皆列入圖表，恐劇增篇幅，欲詳經緯度座標，還請參考原始測量成果報告書。
中山大學海洋工程系 李賢華教授	1. 土方計算方式請敘述清楚如基點深度等。 2. 區域土方量，可否增列單位面積土方量。	本計畫土方計算基準深以-15 公尺為準，已於報告 4.3.2 節補充說明之。 遵照辦理於附表 4-2 說明。
成功大學土木所 陳建旭教授	1. 請依據採樣粒徑，分析漂沙之來源。 2. 請說明漂沙問題之嚴重性，淤積一年有 500 萬方，其他港口情形如何，如有資料，可列表比較。	本年度施測期間，採樣分析各樣本性質相近，因本計畫屬第一年調查，尚無同期季節變化資料比對，確切之漂沙來源不宜過早定論。 臺灣區各港口經常性水深測量調查貧乏，資料取得不易，無法與其他港口相比較。
中興大學土木所 林炳森教授	1. p. 52~p. 88 之粒徑分佈曲線，應用平滑曲線連接。	各樣本之分佈曲線分析所用篩號尚屬密集，故採用平滑曲線或直線連接基本差異不大。

	2. p. 82. 中粒徑分佈曲線有二個樣本(25)，請檢核。 3. 圖 4-7，圖例，色彩太接近，不易區分？應考慮採用不同符號。 4. p. 89. 附表 5-4，D10，D25...等應附單位，均勻係數符號 C_u → 改為 C_u。 5. p. 42，附表 4-2，土方量統計應說明計算方法及以後對港區之影響。	已於正式報告書檢核修正。 已於正式報告書修正。 已於正式報告書修正。 已於報告 4.3.2 節附表 4-2 補充增列說明之。
高雄港務局工務組	1. p45 底床粒徑採樣增加二處，建議於圖 5-1 圖上標示。 2. 底床粒徑之篩分係數 (S_0)，歪度 (S_k) 理論上於碎波線較大，分向灘線及外灘趨小，因此是否可藉由 p93, p94 之圖 5-8-1，圖 5-8-2，圖 5-9-1 及圖 5-9-2 判斷碎波帶位置變化的界線。 3. 同上題，如何藉由 p124 及 p125 之圖示之底床礦物成分比列，判斷漂沙移動的形態。	增加二處採樣點，因離施測範圍距離較遠，標示於圖 5-1 上，恐因圖例比例尺過大，反使主要採樣區標示不清，請參閱附表 5-3 採樣點位置之座標與水深資料。 判斷碎波帶位置需長期之波浪資料來統計其波浪特性，再輔以底床粒徑，進而界定碎波可能發生的區域。 已於正式報告 5.3 節補充描述漂沙形態。

	4. p128 結論得出 89.1-89.7 經瑪姬颱風後，總淤積量約 540 萬 m³，其淤積量中各分區對布袋港建港之影響如何，請補充說明。 5. 碎波帶位置及漂沙活動的水深範圍，為影響漂沙活動最重要的原因，期中報告中山大學陳教授已有提及，可否請港研中心以現有觀測資料作合理之判斷。 6. 本研究案那些部分應於第二年以後繼續或增加觀測之部分，請條列說明。	已於正式報告中補充說明。 碎波帶位置及漂沙活躍的水深範圍，隨季節或颱風等不同的波浪條件有密切關係，建議利用水工模型試驗依不同季節之波浪條件來進行觀測及現場觀測來界定。 一、建議設立定點觀測樁長期監測風、波、流等海象基本資料，以利漂沙量之數值驗證。 二、建議編列水工模型試驗預算，觀察不同波浪條件下之可能漂沙情況和現場調查結果做比對。
高雄港務局 尤總工程司福興	1. 教授及本局與會單位之審查意見請港研中心於報告書內補充修訂，並列表說明以利對照。 2. 合約規定應完成之事項均已辦理，期末報告資料原則上同意通過，請依合約規定繼續辦理後續應辦工作。	已於正式報告書內補充修訂，並列表說明以利對照。 以依合約規定辦理。

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料



布袋港漂沙及地層下陷觀測研究計畫

著 者：賴聖耀、張富東、邱永芳、謝明志

出版機關：交通部運輸研究所臺灣技術研究中心

地 址：台中縣梧棲鎮中橫十路二號

網 址：www.ihmt.gov.tw

電 話：(04)6564216

出版年月：中華民國八十九年九月

印 刷 者：建州企業有限公司

地址：台中縣清水鎮高美路 174~10 號

電話：(04)6270966

版(刷)次冊數：初版一刷 199 冊

工 本 費：500 元

展 售 處：

交通部運輸研究所臺灣技術研究中心 電話：(04)6564216

GPN：009254890132