

91-11-710

MOTC-IOT-IHMT-GA9015

利用荷蘭錐調查台灣港區土壤工程 性質之研究



交通部運輸研究所

中華民國九十一年二月

91-11-710

MOTC-IOT-IHMT-GA9015

利用荷蘭錐調查台灣港區土壤工程 性質之研究

著者：陳圭璋

交通部運輸研究所

中華民國九十一年二月

利用荷蘭錐調查台灣港區土壤工程性質之研究

著 者：陳圭璋

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：台北市敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國九十一年二月

印 刷 者：良機事務機器有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 110 冊

工 本 費：300

展 售 處：

交通部運輸研究所港灣技術研究中心 電話：(04)26564216

三民書局：台北市重慶南路一段 61 號 2 樓 電話：(02)23617511

五南文化廣場：台中市中山路 2 號地下 1F 電話：(04)22260330

新進圖書廣場：彰化市光復路 177 號 電話：(04)7252792

青年書局：高雄市青年一路 141 號 電話：(07)3324910

GPN：1009100416

交通部運輸研究所出版品摘要表

出版品名稱：利用荷蘭錐調查台灣港區土壤工程性質之研究			
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號 1009100416	運輸研究所出版品編號 91-11-710	
主辦單位： 港灣技術研究中心 主管： 邱永芳 計畫主持人： 陳圭璋 參與研究人員： 蘇吉立 陳志芳 聯絡電話： 04-26564216 轉 407 傳真號碼： 04-26571329			研究期間 自 90 年 1 月 至 90 年 12 月
關鍵詞： 電阻錐，土壤視構造因子			
摘要： 電阻錐頭為於水壓錐頭後段增加量測電阻係數之裝備，該錐頭除具備水壓錐之功能外尚能決定土壤之電阻係數，本研究於台中、布袋、安平等港區進行現地電阻錐貫入試驗，並以 BAT 採取水樣設備採取地下水送至試驗室量測孔隙水之電阻係數，欲決定港區地下土層是否遭受海水或其它污染源污染，電阻錐貫入試驗被認為是一種經濟有效之方法，但它不適合用以決定港區海水入侵之範圍與深度，土壤視構造因子與錐頭阻力、SPT-N 值及孔隙率間具有良好相關性於本文被建立。			
出版日期	頁數	工本費	本出版品取得方式
91 年 2 月	158	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按工本費價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 限閱 <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密【限】條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註： 本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS

INSTITUTE OF TRANSPORTATION

MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Soil Engineering Properties with Resistivity Cone in Taiwan Harbor Areas			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009100416	IOT SERIAL NUMBER 91-11-710	
DIVISION : Center of Harbor & Marine Technology DIVISION CHIEF: YUNG-FENG CHIU PRINCIPAL INVESTIGATOR: KUEI-CHANG CHEN PROJECT STAFF: CHI-LI SU , JYH-FANG CHEN PHONE:04-26564216 ext.407 FAX: 04-26571329		PROJECT PERIOD FROM 01/ 2001 TO 12/ 2001	
KEY WORDS: resistivity cone , soil formation factor			
ABSTRACT: The resistivity cone is a piezocone that a resistivity measuring module is added behind it. The resistivity cone can be used to measure as many engineering properties as piezocone. It also can be used to measure the resistivity of soils. In this study the resistivity cone penetration tests have been done at harbor areas of Taichung, Pu-Dai and An-Ping. The BAT device was adopted to take pore water from underground soil and resistivity of pore water was measured in lab. The resistivity cone penetration test was thought as an effective and cheap method that to detect the underground soil contaminated by sea water or other contained materials. But the scope and depth of sea water intrusion can not be detected by resistivity cone. In this paper some good relationships are established between the soil formation factor and the soil engineering properties of cone resistance SPT-N value and porosity.			
DATE OF PUBLICATION Feb. 2002	NUMBER OF PAGES 158	PRICE 300	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

利用荷蘭錐調查台灣港區土壤工程性質之研究

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
圖目錄	V
表目錄	VII
第一章 前 言	1
第二章 研究方法	3
2.1 於港區進行現地電阻錐試驗	3
2.2 建立土壤構造因子與 CPT 阻力參數之相關性	3
2.3 建立土壤構造因子與孔隙率之相關性	3
第三章 電阻錐試驗之原理與儀器構造	5
3.1 土壤之統體電阻係數(Bulk Resistivity)	5
3.2 土壤及其內含孔隙流體兩者電阻係數之關係	5
3.3 電阻錐之構造	7
3.4 電阻錐之校核(calibration)	8
3.5 測試過程	8
第四章 電阻錐試驗結果之詮釋	9
4.1 土層剖面分層之研判	9
4.2 孔隙流體電阻係數之決定	9
4.3 內外側電阻量測單元其量測結果之比較	10
4.4 水壓錐量測之工程參數與電阻係數之關係	10

第五章 現地土壤電阻特性試驗	13
5.1 台中港區電阻錐試驗	13
5.2 布袋港區電阻錐試驗	14
5.3 安平港區電阻錐試驗	14
5.4 地電阻二維影像剖面量測	15
5.5 土壤孔隙水電阻係數之量測	17
第六章 現地試驗結果與討論	19
6.1 海水與淡水之交界面	19
6.2 現地電阻錐試驗結果	19
6.3 地電阻二維影像剖面量測結果	23
6.4 土壤構造因子與工程特性之相關性分析	24
第七章 結論與建議	31
7.1 結論	31
7.2 建議	31
附錄 現地電阻錐試驗結果	75
附錄一 摘要內容	附 1-1
附錄二 簡報資料	附 2-1
附錄三 審查意見	附 3-1

圖 目 錄

圖 3.3.1 電阻錐結構示意圖	32
圖 4.1.1 McDONALD 地區電阻錐試驗結果	33
圖 4.1.2 ALDERGROVE 地區電阻錐試驗結果	31
圖 4.1.3 COLEBROOK 地區電阻錐試驗結果	35
圖 4.3.1 內外側電極鉅測試結果之比較	36
圖 4.4.1 摩擦比 R_F 與電阻係數之比較圖	37
圖 5.1.1 台中港西碼頭區位置示意圖	38
圖 5.1.2 西碼頭區試孔位置詳圖	39
圖 5.1.3 台中港加工出口區試孔位置圖	40
圖 5.2.1 布袋港碼頭區試孔位置圖	41
圖 5.2.2 布袋鎮市街試驗位置圖	42
圖 5.3.1 安平港區試驗位置圖	43
圖 5.4.1.1 四極排列示意圖	44
圖 5.4.2.1 電極展開示意圖	45
圖 5.5.1.1 BAT 濾水錐頭構造圖	46
圖 5.5.1.2 BAT 取水系統示意圖	47
圖 5.5.1.3 BAT 取水系統之升降設備示意圖	48
圖 5.5.1.4 BAT 取水系統之貫入設備示意圖	49
圖 6.1.1 海岸地區海水淡水界面示意圖	50
圖 6.2.1.1 台中港西碼頭區電阻錐試驗結果(1)	51
圖 6.2.1.2 台中港西碼頭區電阻錐試驗結果(2)	52
圖 6.2.1.3 台中港加工出口區電阻錐試驗結果(1)	53
圖 6.2.1.4 台中港加工出口區電阻錐試驗結果(2)	54
圖 6.2.1.5 西濱公路關交流道阻錐試驗結果	55
圖 6.2.2.1 布袋港區電阻錐試驗結果(1)	56
圖 6.2.2.2 布袋港區電阻錐試驗結果(2)	57

圖 6.2.3.1 安平港區電阻錐試驗結果(1)	58
圖 6.2.3.2 布袋港區電阻錐試驗結果(2)	59
圖 6.3.1.1 台中港 RIP-1 試驗結果圖	60
圖 6.3.1.2 台中港 RIP-2 試驗結果圖	61
圖 6.3.2.1 布袋港 RIP-3 試驗結果圖	62
圖 6.3.2.2 布袋港 RIP-4 試驗結果圖	63
圖 6.3.3.1 安平港 RIP-5 試驗結果圖	64
圖 6.3.3.2 安平港 RIP-6 試驗結果圖	65
圖 6.4.1 台中港區錐頭阻力 Q_C 與 F 之相關性	66
圖 6.4.2 布袋港區錐頭阻力 Q_C 與 F 之相關性	67
圖 6.4.3 安平港區錐頭阻力 Q_C 與 F 之相關性	68
圖 6.4.4 台中港區孔隙率 n 與 F 之相關性	69
圖 6.4.5 布袋港區孔隙率 n 與 F 之相關性	70
圖 6.4.6 安平港區孔隙率 n 與 F 之相關性	71
圖 6.4.7 台中港區 SPT-N 與 F 之相關性	72
圖 6.4.8 布袋港區 SPT-N 與 F 之相關性	73
圖 6.4.9 安平港區 SPT-N 與 F 之相關性	74

表目錄

表 5.1 現地電阻錐試驗孔數明細表	13
表 6.4.1 台中港區電阻錐試驗結果(一).....	26
表 6.4.2 台中港區電阻錐試驗結果(二).....	27
表 6.4.3 布袋港區電阻錐試驗結果	28
表 6.4.4 安平港區電阻錐試驗結果	29

第一章 前言

荷蘭錐貫入試驗經過去數十年之研究發展與改進，目前常用之水壓錐已成為探測土壤工程性質之極佳工具，其所能量測之錐頭阻力、摩擦阻力、動態孔隙水壓、動態波速等工程性質能據以研判土壤種類、土層分佈、液化潛能分析，並應用於各種大地工程之設計分析。於過去之十多年間，許多學者專家為增加貫入試驗之測試功能，於水壓錐頭後段增加量測土壤電阻係數之設備，該種量測錐頭我們稱之為電阻錐，該錐頭除可量測前述各種工程性質外，亦可藉由所量測之土壤電阻係數研判土壤之組構特性及土壤孔隙水是否遭受外來之污染。

隨著工商業之進步與提高生活品質之要求，世界各國均面臨嚴重之環保問題，於水污染方面，由於家庭污水與工業廢水之大量產生，若未將其作適當處理再放流，於放流過程若與地下水接觸，將使地下水品質受到嚴重之威脅。國內沿海地區之養殖魚塭因大量抽取地下水導至海水侵入地下水層，亦為地下水污染之另一重要課題。欲了解地下水是否受到污染，最佳方法是開挖鑽孔利用適宜之水樣採取設備採取水樣至試驗室進行水質之試驗分析，該種方法雖可靠且具代表性，惟水樣採取過程繁複，耗時甚久，且常因試驗費用受限無法進行大面積測試，因之對評估地下水受污染區域及其嚴重程度將無法獲致正確之結果，本研究將以電阻錐進行較大面積試驗，其快速所獲致土層電阻係數之變化能用以研判該土層或地下水是否受到污染，並瞭解污染之區域及嚴重程度。

一般砂土顆粒本身並無法導電，但充滿於其中之孔隙水，則因含有游離之陰陽離子，使土壤內產生電傳導。影響土壤電阻係數之因素有土壤顆粒之種類，排列情況及其內含之孔隙流體等。土壤電阻係數與土壤孔隙水電阻係數之比我們稱之為構造因子，過去經多位學者研究顯示構造因子受砂土顆粒形狀，顆粒長軸方位，接觸點法向量之方位，孔隙比、膠結及飽和度之影響。

先前本中心曾於室內以不同方法製作之土壤試體量測土壤之電阻係數並探討土壤構造因子與孔隙率及相對密度之關係，於本研究則於台灣港區多種不同地層結構下，以電阻錐進行現地試驗來探討電阻錐於工程上之應用，尤其針對試驗分析結果之土壤構造因子，建立與錐頭阻力，SPT-N 值及孔隙率等之關係式，俾提供工程上由電阻錐試驗結果快速研判試驗土層之各種工程特性。

第二章 研究方法

2.1 於港區進行現地電阻錐試驗

本研究計畫於台中港、布袋港及安平港等地區進行現地電阻錐試驗，根據其所獲致地下土層土壤導電係數之數值，可用以初步研判土層是否遭到外來污染源之污染。為確認污染源之種類及污染之程度，須再以採取地下水樣品之 BAT 取樣設備採取試樣送至試驗室進行土壤孔隙水導電係數之量測分析。

2.2 建立土壤構造因子與 CPT 阻力參數之相關性

過去國內探討土壤構造因子與組構特性之關係，多僅於室內以不同製作方法之試體及以室內量取土壤電阻係數之設備為之。現地採取代表性之土樣是一種困難且費錢之工作，因此以電阻錐現地量取土壤之電阻係數將可解決前述之問題。本研究除以電阻錐進行現地試驗，並以 BAT 之水樣採取設備採取土壤孔隙水，採取之水樣於室內進行電阻量測分析。根據試驗分析之構造因子再與現地試驗結果之錐頭阻力建立關係式。

2.3 建立土壤構造因子與孔隙率之相關性

於電阻錐試驗地點附近進行標準貫入試驗，以現地試驗之 N 值及室內試驗分析之孔隙率建立與土壤構造因子之相關性。

第三章 電阻錐試驗之原理與儀器構造

3.1 土壤之統體電阻係數(Bulk Resistivity)

欲量測土壤之電阻係數(resistivity)，應先決定土壤之電阻(resistance)，該土壤電阻是對置於其內之一對電極板(electrode)，通以一電流 I 後，量測兩電極板間之電壓 V (voltage)，再根據 $R=V/I$ 之關係式，求取土壤之電阻 R 。前述求取之土壤電阻並非是一種具唯一性(unique)之參數，而是隨所量度物質斷面積及長度之不同而改變，土壤之電阻係數 ρ 應依下式求取之。

$$\rho = (A/L) \cdot R = (K)^{-1}$$

式中

ρ : 電阻係數，ohm-m

A : 斷面積， m^2

L : 長度，m

R : 電阻，ohm

K : 導電係數，mS/m

前述土壤電阻係數與電阻間之關係式通常以 $\rho = W \cdot R$ 取代之，式中常數 W 與電極板之幾何形狀(geometry)有關。

3.2 土壤及其內含孔隙流體兩者電阻係數之關係

土壤之電阻係數隨土壤顆粒種類、排列情況及其內含孔隙流體之不同而改變。土壤內產生電傳導(electrode conduction)之主要機制(mechanism)為水溶液內因電解傳導(electrolytic conduction)引致之電荷傳送，該種情形亦即在電場(electric field)作用下所產生之離子(ion)移動現象。一般言之，水溶液內若存有較多之離子，則該水溶液之電阻係數將愈小而導電係數(conductivity)愈大。另一影響導電係數之因素為主

率水溶液黏滯性(viscosity)之溫度，溫度愈高導電係數愈大。受到污染之壤為一多相系統(multiphase system)，其內含有土壤顆粒，水溶性流體(aqueous phase liquid, APL)，非水溶性流體(non aqueous phase liquid, NAPL)及氣體等四種成份組成，土壤之電阻係數便是在前述四種成份相互作用下所得之總電阻係數。欲了解一土壤其電阻係數之改變到底是因何種成份改變所造成，並非是易事。為簡化問題之分析及研究方便，通常以混合律(mixing laws)來說明傳導介質(medium)之電阻係數。此處我們以混合律中最簡單之 Archie's 公式(formula)來說明，該公式假設土壤之統體電阻係數為孔隙流體電阻係數與土壤孔隙幾何形狀之函數，土壤電阻係數與孔隙流體電阻係數之關係式可以下式表之

$$F = \rho_b / \rho_f = a \cdot n^{-m}$$

式中

F:構造因子(formation factor)

ρ_b :土壤之統體電阻係數，ohm-m

ρ_f :孔隙流體之電阻係數，ohm-m

a,m:常數(因土壤種類而異)

n:土壤之孔隙率(Porosity)

對非固結性土壤(unconsolidated soil)，常數 $a=1$ ，而常數 m 則依土壤種類而異，砂土其 m 值約為 1.5，黏土之 m 值則介於 1.8 與 3.0 之間，常數 m 通常可用以研判土壤孔隙之彎曲度(tortuosity)。雖然 Archies 公式將土壤電阻係數與孔隙流體電阻係數之關係過度簡化而影響其準確性，但當孔隙流體之電阻係數不大且土壤內僅含有少量黏土礦物成份時，Archies 公式仍具有相當高之準確度。前述之構造因子由於並未將土壤所含黏土礦物成份之影響加以考慮，通常將該種構造因子稱之為視構造因子(apparent formation factor)，欲正確估測孔隙流體之電阻係數，構造因子之準確性是非常重要的。

3.3 電阻錐之構造

UBC(University British Columbia) Campanella 教授所研製之電阻錐(resistivity cone)為將探測一般工程性質之水壓錐(piezoeone)後面加上電阻量測單元(resistivity module)所組成，如圖 3.3.1 所示。電阻錐之量測過程有兩種電的傳導模式(conduction mode)產生，其一是流經孔隙流體之電解傳導(electrolytic conduction)，另一是流經兩金屬電極鈹之歐姆傳導(ohmic conduction)，這種電傳導之發生均係由於氧化還原反應(oxidation-reduction reaction)之故。因此我們知道由兩電極鈹所量取之電阻將是孔隙流體內離子流動(flows of ions)及將電荷由電解液移至電極鈹之阻抗(impedance)兩者之函數，根據前述理論我們可知欲設計一良好之電阻量度單元應考慮(1)電極鈹之個數與磁化頻率(excitation frequency)及(2)電極鈹之幾何構造等兩個因素。

於一具有二電極鈹之量度單元通一直接電流後，由於氧化還原反應並未產生逆向反應，因之電極鈹處將產生電化學反應(electrochemical change)，以致於電極鈹處將有離子生成(build up)，此種離子持續生成之現象被稱為極化現象(polarization)，此種極化現象將使量測之電阻發生改變，此種極化現象之影響於直流電且低磁化頻率時非常重要。

具有四個電極鈹組成之電極鈹陣列(array)，若僅利用內側之電極鈹來量測電阻係數，將可減少極化現象之影響，該現象是由於流經四電極鈹之電流很小，因之沒有離子於電極鈹處生成，通常具四電極鈹之電阻量度單元就是在極低磁化頻率下操作亦不致造成極化現象。UBC 電阻錐具有四個電極鈹，其內側及外側兩組電極鈹可同時用來量度土壤之電阻係數，但為避免外側電極鈹極化現象之產生，控制其磁化頻率維持 1000HZ。較短之電極鈹間距可偵測出較薄之土層，但於均勻土層若能使用較大間距之電極鈹，將可因電場貫入較深之不擾動土層，而使所量得電阻係數之準確性提高。UBC 電阻錐之電極鈹是由銅製成，並以塑膠絕緣體被覆之，電極鈹為 5mm 寬，中心至中心之間距為 25mm，距離水壓錐頭最遠之電極鈹為電流源(current source)，操作電流是由地面控制，其尖峰電流通常不大，一般約為 $150\mu A$ ，因此所量得之電壓須放大以便供資料收集系統處理。

3.4 電阻錐之校核(calibration)

電阻錐所量度者為土壤之電阻並非土壤之電阻係數，為將電阻轉為電阻係數，內外側兩對電極鉈均應在室內進行校核試驗，為減少邊端影響(edge effect)，將電阻錐置於一圓柱形開口水槽內，槽內加滿水，再依電解液濃度之大小加入不同劑量之氯化鉀(KCl)，由電阻計所量得該溶液之電阻係數與由電阻錐之量測結果加以比較，便能求取校核常數 W ，UBC 電阻錐其外側電極鉈之 W 值為 0.0994m，而內側電極鉈之 W 值為 0.838m。

3.5 測試過程

電阻錐之測試過程大致與水壓錐相同，均須將錐頭以靜壓力將之連續貫入土壤內以量取土壤之電阻係數，不同點為電阻錐試驗須依所測試土層電阻係數之高低來調整操作電流，高電阻係數土壤，應使用較低之電流，但所有試驗其磁化頻率均應維持在 1000 HZ。

第四章 電阻錐試驗結果之詮釋

4.1 土層剖面分層之研判

影響土壤電阻係數之因素有多種，但最重要因素是孔隙流體之電阻係數，於低電阻係數流體時，表面傳導(surface conduction)與流體內之電解傳導比較顯得不重要，如圖 4.1.1 於 11.8 米處之黏土其電阻係數與相鄰土層比較，並未有明顯改變，此是因為該地區土層受含鹽水之入侵，使土壤內孔隙流體之電阻係數很低約為 4 ohm-m，以致黏土表面傳導之特性未顯現出來。當孔隙流體電阻係數較高時，則表面傳導變得較明顯，於圖 4.1.2 及圖 4.1.3 顯示黏土之電阻係數分別為 35 及 25 ohm-m 而砂土層之電阻係數分別為 110 及 70 ohm-m，兩者間有明顯之差異。黏土礦物(clay minerals)之高表面傳導受其含高量陽離子交換能力(cation exchange, CEC)之影響遠較孔隙率為大，而其高 CEC 之土壤為黏土及有機土壤，活性黏土(Active clay)尤其含有高量 CEC。

4.2 孔隙流體電阻係數之決定

電阻錐現地量測結果為土壤之電阻係數，而欲決定孔隙流體之電阻係數須先決定土壤之構造因子(formation factor)，構造因子之決定可根據(1)各地區電阻錐試驗結果與該地區實際採取土壤孔隙流體所量測電阻係數兩者比較推估而得。(2)Archie's 公式，(假如土壤常數 a, m 為已知且土壤孔隙率能精確估求)。由於受所含黏土礦物表面傳導之影響，欲正確估量黏土內之孔隙流體電阻係數較為困難，通常黏土之構造因子是與黏土之孔隙流體電阻係數，黏土礦物含量及其種類有關。Colebrook 地區其構造因子於深度 0.6 米處之黏土層為 1.43，該值明顯與 McDonald 農場砂土層之 3.0~4.0 不同且較低，該農場黏土質沈泥其構造因子為 4.0~5.0 與由 Archie's 公式所求取者 4.0 是大致一樣的，於 Colebrook 地區 ($n=0.6, m=2$) 根據 Archie's 公式計算之構造因子為 2.8 與測試結果算出之 1.43 不同，其原因可能由於黏土礦物之表面傳導促成。

4.3 內外側電阻量測單元其量測結果之比較

電阻係數量測單元之測試結果將依土壤之狀態及因電阻錐頭貫入土壤後產生之改變而定，若電極鉸未能完全位於某土層內，則將無法完全反應該土層之電阻係數，欲正確量測土層電阻係數，其土層最小厚度須較兩電極鉸間之距離為大。於圖 4.3.1 顯示，McDonald 農場於緊密砂土層其外側電極鉸之量測結果較內側為高，但於沈泥質砂土層其內外側電極鉸量測結果差異不大，於深度 15 公尺以下之黏土質沈泥或其它高塑性及高靈敏度沈泥質黏土則其內外側電極鉸將測得幾乎相同之結果。對緊密土壤當電阻錐頭貫入土層後，於錐頭表面附近將有一薄層土壤受擾動以致有膨脹或較疏鬆之現象產生；疏鬆土壤則相反，將因錐頭之貫入而使土壤有壓縮或緊密之作用。若砂土層受到壓縮作用則內側電極鉸將量得較大之數值，McDonald 農場緊密砂土層其內側電極鉸量得較小之數值，便是因錐頭貫入後土層產生膨脹現象之故。

上述內外側電極鉸未能獲得相同結果，主要是外側電極鉸之間距較大，因此電之輻射影響(radial effect)寬度較大，使其量測之電阻係數較準確；而間距甚小之內側電極鉸將去除因土壤孔隙率改變對電阻係數之影響，因此就如同對固定體積或臨界狀態之砂來量測電阻係數一般。

4.4 水壓錐量測之工程參數與電阻係數之關係

Robertson(1988)認為錐頭阻力與水平有效應力、土壤壓縮性及相對密度有關，因為相對密度及錐頭阻力間有良好相關性，而視構造因子為孔隙率之函數，因此視構造因子與錐頭阻力間將有良好相關性。於低電阻係數之土壤該相關性非常正確，亦即錐頭阻力之增加(相對密度增加或孔隙率減少)將使視構造因子增加。土壤之摩擦比 R_f 將隨靜止土壓係數 K_0 及細料率之增加而增加，於砂性土壤其 K_0 為常數，故 R_f 可用來研判土壤之細料率。砂性土壤含細料因下列二種原因而影響其電

阻係數(1)增加細料率將減少孔隙率，因該等細料將佔據顆粒間之孔隙，故減少孔隙率將增加電阻係數，(2)細料若為傳導性黏土礦物將使電阻係數減少。圖 4.4.1 為 McDonald 農場摩擦比 R_f 與電阻係數之比較圖，圖中顯示 R_f 之波峰處剛好與電阻係數之波谷處相對應，可知該土壤所含之細料應為黏土礦物成份。

第五章 現地土壤電阻特性試驗

本研究針對台中港、布袋港及安平港等地區進行現地電阻錐試驗，此等電阻錐試驗除能量測土壤電阻特性外，同時亦能獲得錐頭貫入阻力等特性。現地電阻錐試驗因受儀器貫入能量與鑽桿強度限制，一般試驗深度通常小於 50 公尺。為對港區海水入侵之情形有較充分之瞭解，本研究於三個港區分別進行兩條測線之地電阻二維影像剖面量測；另外為量測土壤孔隙水之電阻係數，於台中港、布袋港及安平港等地區，以 BAT 之孔隙水採取設備分別進行 6 個、3 個與 2 個試孔之孔隙水取樣。本研究為分析土壤構造因子與土壤孔隙率及 SPT-N 值之相關性於三個港區亦分別進行 SPT-N 值之試驗。各種現地試驗之試驗孔數明細如表 5.1。

表 5.1 現地電阻錐試驗孔數明細表

試驗 地區	台中港區			布袋港區	安平港區
	西碼頭區	加工出口區	污水處理場		
電阻錐 試驗孔數	9	7	2	9	8
孔隙水 採取孔數	6	—	—	3	2
SPT-N 試驗孔數	8	—	—	3	2

5.1 台中港區電阻錐試驗

因台中港區遼闊且限於時間與經費，僅選擇西碼頭、加工出口區與關聯工業區污水處理場等三個地區進行試驗。西碼頭區之試驗位置如圖 5.1.1 及圖 5.1.2 所示，試孔 WH01~WH07 連成之測線為南北走向

大致與位在東面之碼頭邊線平行，而測線與碼頭邊線之距離大約為 100 公尺，WH01 距南邊之碼頭邊線約 15 公尺，各孔之間距約 100~120 公尺，另外 WH08~WH09 兩個試孔之連線為垂直於海岸。加工出口區之試孔位置如圖 5.1.3 所示，試孔 SH01~SH05 之連線是垂直於西海岸，各孔之間距約 100 公尺，並依序逐漸向海岸靠近，試孔 SH06 與 SH03 兩者距中二路之距離相差不多，但 SH06 位在一廢棄之垃圾掩埋場旁，試孔 SH07 之位置不在圖面上，而是在臨海路東邊約 1.5 公里，位在西濱公路關聯交流道上。關聯工業區污水處理場則是位在台中港區之最南端大肚溪口北岸邊，試孔 WTP1 與 WTP2 之連線為南北向兩者相距約 40 公尺。

5.2 布袋港區電阻錐試驗

布袋港區電阻錐試驗計進行 9 個試孔，其試孔位置如圖 5.2.1 及圖 5.2.2 所示，其中 PD01~PD05 及 PD09 位在商港碼頭區附近，各試孔距海堤均不遠。PD06 位在商港區北邊之住宅區內，四周距海較遠，商港區與緊臨之住宅區均為將海填築形成之海埔新生地，另外 PD07 及 PD08 兩個試孔則位在布袋鎮之市街上，該區本來就是陸地，但布袋地區地勢低窪，常有海水倒灌之現象，附近設立有很多養殖魚塭，並有超抽地下水之情形。

5.3 安平港區電阻錐試驗

安平港區電阻錐試驗計進行 8 個試孔，其試孔位置如圖 5.3.1 所示，其中 AP01~AP05 位在漁光里碼頭區，除 AP01 位於航道入口附近而距碼頭線較遠約為 120 公尺外，其它各試孔距碼頭線均不遠約為 60 公尺，試孔 AP02~AP05 沿著新闢之環港路由南而北佈設，環港路大致上是與碼頭線平行，各試孔之間距約為 80 公尺，試孔 AP06~AP08 則位於安平新漁港碼頭北測之填土開發區，該區目前並未有建築物。

5.4 地電阻二維影像剖面量測

5.4.1 探測原理

地層的電阻係數與地層水的含量、鹽度及分佈狀態有關，也與組成地層的固體顆粒的導電性有關。一般的地層，其固體顆粒為普通造岩礦物的組合體，導電性很低，可視為絕緣體，所以一般地層的電阻係數主要決定於地層中水的含量、鹽度及分佈狀態。一般而言，水的含量鹽度愈高及連通性愈佳，其地層電阻係數愈低。地層的粒度愈細，其可換離子(exchangeable ions)愈多，電阻係數愈低。因此可以由地層的電阻係數來研判地層的海水入侵程度。在電阻影像剖面探測中，常使用雙極排列法(pole-pole array)，其電阻探測原理仍類似四極配置(如圖 5.4.1.1)，祇不過其中一電流極 C2 及另端的一電位極 P2 放置於無窮遠處。鄰近電流極 C1 與電位極 P1 之間的距離決定這兩電極間中心點下的測量點深度。由輸入的電流及量得的電壓可計算出地下某一測點的視電阻值。再經電腦處理則可以影像剖面的形式展示。在工地裏，為了操作方便設立許多等間距的電極棒，然後，由工作點上的分電控制盤可以完成許多不同位置不同測探的測量。由於地電阻影像剖面法，為沿一個既定的測線配置電極，因此每次量測可獲得一個剖面的地下電性資料，除能達到如垂直測深法(VES)的“測深”目的外，由於沿線方向的測點較密，因此容易反應出地層側向的變化情形。電阻影像剖面法是高密度的電阻探測成果，在測線下的地層電阻分布可以二維空間(測線方向、深度)表示。這對地層構造(斷層、空洞、凸鏡狀砂岩等)、地下水位置和地層污染(海水入侵、金屬污染等)的調查非常有效。

5.4.2 探測步驟及測線位置

地電阻二維影像剖面法的探測步驟如下：

1.展距之決定

依據欲探測最深目標層之深度，取其十五分之一為電極棒展距。若要增加其深度的解析度則須依工作要求增加電極棒的數量及縮小電極間距。若電極棒間距為 5 公尺，其探測深度為 75 公尺。

2. 電極延展之方向

依據地表地形及地下地層之傾斜走向、起伏狀況，決定電極延展方向，儘可能使電極佈置符合於理論理想狀況。

3. 電極展開

將近電極排列成一直線(一般設置 32 根)，一遠電流極及另一遠電位極置於相反方向至少大於 10 倍近電極間距的範圍(一般置於半公里)以外，以便減少電場的影響。首先，以起點電極為電流極(C1)。最接近 C1 的另一電極棒為第一次量測的電位極 P1。通電後，測量當時的電流、電壓來計算間距下的電阻係數。然後依次移動電壓極至 P2, P3 漸展開近電極的間距以測定不同深度的電阻係數(如圖 5.4.2.1)。依單極至單極的電極排列，所測地層的深度約等於間距的大小。由 C1 為基準的電探過程達到預定深度後，則移動電流極至第二個位置 C2，然後由電位極 P2 開始重新做另一系列的電阻率測量。重複這測量過程，直至整條測線完成。

本研究之地電阻二維影像剖面量測於台中港西碼頭區佈置兩條測線(如圖 5.1.2 所示)，RIP-1 為平行岸邊成南北向，由南向北施測，RIP-2 為垂直岸邊成東西向，由東向西施測。布袋港區於新填土區及舊填土區各施測一條測線(如圖 5.2.1 所示)，RIP-3 位於新填土區為東西向，由東向西施測，RIP-4 位於舊填土區為東西向，由東向西施測。於安平港區亦施測二條測線(如圖 5.3.1 所示)，RIP-5 測線沿環港路佈線，由東南向西北施測，RIP-6 則位於漁港邊之新開發區上，測線是垂直四平路而向河道反方向施測。

5.5 土壤孔隙水電阻係數之量測

為分析土壤構造因子與土壤工程特性之相關性，除前述利用電阻錐現地量測土壤之統體電阻係數外，尚需量測土壤孔隙水之電阻係數。土壤孔隙水電阻係數之量測最重要者是如何採取具代表性之孔隙水，採樣過程是相當重要的一環，但也是最容易產生誤差及最容易遭到忽略的一環。傳統的地下水取樣步驟包括監測井之埋設、洗井、採樣、運送等步驟，看似簡單但實際上卻包含了非常多的變數，使所取得的水樣並不一定具代表性，諸如監測井內之地下水係各不同深度滲出地下水之混合物，監測井內有不知名之生物生長附於管壁內，洗井時抽取大量廢水污染地面及人員，採樣設備受到污染等等問題，本研究是採用瑞典所研製之 BAT 採水設備，該設備是一種新型的地下水取樣技術，具有可取地下某一指定深度之水或氣樣，不需要洗井並可取得揮發性或受壓力水層之樣品，密封之孔隙水樣可直接由地底取出送至試驗室內量測土壤孔隙水之電阻係數。

5.5.1 BAT 取水設備

BAT 取水系統包括：1. 錐頭 2. 取樣器 3. 升降設備 4. 貫入設備，茲簡單介紹如下：

1. 濾水錐頭 (如圖 5.5.1.1 所示)：其構造與一般之水壓計(Piezometer)完全相同，濾材之上下端均有迫緊環 (packing)使地下水僅能由濾材內滲入集水孔內。最重要的設計在集水孔之頂端有一橡膠圓塞，使得地下水無法一直上升至地下水位面，亦即濾水錐頭內之水壓係與錐頭所在處之水壓相同，錐頭內之水樣可真正代表該深度之水樣。
2. 取樣器(如圖 5.5.1.2 所示)包括一端開口之玻璃試管，開口處有一橡膠圓塞及塑膠蓋，蓋緊後可以針頭刺穿橡膠圓塞進入玻璃試管內抽取真空，將此一真空之玻璃試管藉由一特殊設計之雙針頭，先刺入錐頭之橡膠圓塞，再刺入玻璃試管之橡膠圓塞內，利用試管

內真空的力量將錐頭內之水樣或氣樣抽入試管內，雙針頭退出時先離開試管，再離開錐頭，如此即完成取樣之動作。

3. 升降設備(如圖 5.5.1.3 所示)包括鋼索，鐵塊配重，保護玻璃試管之金屬圓管及安裝雙針頭之套管。
4. 貫入設備(如圖 5.5.1.4 所示)利用電子錐貫入儀 20 噸重卡車為反力，及車內之油壓千斤頂將特製之中空鑽桿 (外徑 4.5 公分，內徑 2.5 公分)連結濾水錐頭，每支長 1 公尺，一支接一支的貫入土中，將洗淨之濾水錐頭與中空之鑽桿相連接，利用上述之電子錐貫入儀設備將錐頭貫入土中。亦可配合傳統之水洗鑽探機器將錐頭放入至沖洗過之鑽孔內，再壓入一段深度到達欲取樣之深度。將清洗過已抽真空之玻璃試管(取樣器)放入升降設備內以鋼索緩緩下放至錐頭頂端後，放置一段時間，使真空試管抽取水樣或氣樣，此一放置時間視錐頭附近土層之透水性係數及水壓大小而定，如在 $K=10^{-7}$ m/s 之砂土內，水壓為 0 公尺之情形下，可能需要 3 分鐘，在 $K=10^{-9}$ m/s 之黏土內，水壓為 0 公尺之情形下，可能需 300 分鐘，將取樣器提出地面解開即可得見一充滿孔隙水樣之密封玻璃試管，貼上標籤後即可放入防震之樣品箱內，送回試驗室內以針頭抽出樣品量測土壤孔隙水之電阻係數。

第六章 現地試驗結果與討論

6.1 海水與淡水之交界面

依據 Ghyben-Herzberg 之原理，在靜態平衡下，海水和淡水交界面(interface)是從地下水零水位線附近向陸側深處鏗入豐水層之中，圖 6.1.1 為理論上海岸地區海水和淡水交界面之示意圖，因此沿海豐水層地下水之超抽使地下水位降至海平面以下，常有海水入侵(seawater intrusion)之虞。然而海水是否入侵，還必須考量豐水層之結構才能確認。豐水層於海底若為開放而與海水相通，可能發生海水入侵，反之若屬封閉的，則無入侵之途徑。從沈積機制和水文地質分層結構，學者推斷各豐水層尖滅並封閉於阻水層之中，唯一可能造成阻水層缺口之海底山谷亦即俗稱之黑水溝則遠在台灣西海岸線以西數十公里以外。除了最上層之豐水層因接近地表，或有可能局部封閉不佳以外，豐水層二、三均應屬封閉狀態，海水入侵不易。

從長期存在之洩降錐推論，應有海水入侵，然而歷年水化學分析結果均顯示無海水入侵，封閉性豐水層是一合理的推論；另一種解釋是豐水層在海底之缺口離陸地極遠，沿岸超抽造成之洩降，尚不足以使海水侵入至陸地。從豐水層及阻水層系統沈積之機制判斷，應以豐水層封閉於阻水層中為無海水入侵之主要因素。

豐水層封閉在阻水層之中，並非表示永無海水入侵之可能，因為阻水層之透水係數並不等於零。就長期之地下水經營管理而言，不可對此緩慢之海水入侵掉以輕心。

6.2 現地電阻錐試驗結果

6.2.1 台中港區試驗結果

6.2.1.1 西碼頭區

台中港西碼頭區過去位於海中，是以水力回填而成之海埔新生

地，目前四周仍是海，本區電阻錐試驗結果如圖 6.2.1.1 及圖 6.2.1.2，顯示試孔 WH01~WH05 中除 WH01 因靠海較近於深度 6-12 公尺處，土壤導電係數 K 值高達 1000ms/m 外，其餘各試孔其上面土層雖然是由海砂回填而成，但經多年雨水之沖洗，其所含鹽分被洗淨而導電係數均甚低。另一現象是說明海水淡水交界面之影響，於距海較遠之試孔其導電係數變大之土層深度亦較深，各試孔一般在 9 公尺以下之土層其導電係數便逐漸增大，而在 16-24 公尺間導電係數達最高值，試孔 WH01~WH07 均顯示約在 26 公尺以下之土層其導電係數均甚小，亦即該土層如同表面之土層不再受海水之影響而含有鹽分。

試孔 WH08 之試驗結果較怪異，上面有一層約 21 公尺厚導電係數很小之土層，接著導電係數才增大，但於深度 30 公尺試驗停止前導電係數並未如同其它試孔降至未含鹽分之情況，該反常現象由後來進行之地電阻 RIP 試驗知道是因海水入侵路徑彎曲且分佈不均所致。

6.2.1.2 台中港加工出口區

本試驗區計有 7 個試孔，除 SH07 位於西濱公路關聯交流道外，其它均位於加工出口區內，試驗結果如圖 6.2.1.3~圖 6.2.1.5，現就各試孔之結果說明如下。

試孔 SH01 位於臨海路西邊 5 公尺，距西海岸甚遠，地層因不受海水之影響，故除表面數公尺受附近水力回填流入之海水影響，而具有較高之導電係數外，整個土層斷面之導電係數均甚低。

試孔 SH02 位於中二路西邊約 5 公尺，基本上與 SH01 具有相同情況，因其位在 SH01 西邊 120 公尺，受西向水力回填水流之影響較多，上面導電係數高之土層較 SH01 為厚，但土層在 15 公尺以下其導電係數均甚小，顯示土壤未含有鹽分。

試孔 SH03 位於中二路西邊 30 公尺，試驗結果較怪異，在深度

15 公尺以下之土層與其它各試孔一樣導電係數變為很小，但到深度 20 公尺時導電係數又增為 500ms/m，直到 26 公尺深時才再降低，此種怪現象由後來進行之地電阻 RIP 試驗知道是因海水入侵路徑彎曲且分佈不均所致。

SH04 及 SH05 依序逐漸靠近海岸，因受海水交界面之影響，具有鹽分土層之深度逐漸變深，導電係數也增大超過 1000ms/m。

SH06 位於廢棄之垃圾掩埋場邊，其試驗結果顯示上層 3 公尺土層導電係數較 SH03 為高，此係受下雨時垃圾場流出之污水影響，在深度 20 公尺處有一 2 公尺厚之土層，其導電係數高達 500ms/m，此等怪現象與試孔 SH03 之情況相似。

試孔 SH07 位在西濱公路交流道上，距海岸甚遠完全不受海水影響，試驗結果顯示除面層數公尺厚之土層受附近住宅區排放之污水影響，使導電係數較高為 60-70ms/m 外，其餘土層之導電係數大致為 20ms/m 以下。

6.2.1.3 關聯工業區污水場

本試驗區位於大肚溪口，距海堤僅數十公尺，兩個試孔相距約 40 公尺，該區並非由水力回填而成之海埔新生地，試驗結果顯示該區受高潮海水倒灌之影響，在深度 22-24 公尺以下之土層含鹽分很小，其導電係數降至 30-40ms/m 以下。

6.2.2 布袋港區試驗結果

整個布袋商港區完全是由海灘填築而成之海埔新生地，本區計進行 9 個試孔，其試驗結果如圖 6.2.2.1 及圖 6.2.2.2，位於商港碼頭區附近之試孔 PD01~PD05，因距海均甚近故除上面 2~4 公尺之土層其導電係數很小外，試驗深度內之土層均受海水侵入之影響，而有較高之導電係數。布袋港區與台中港之西碼頭區雖同屬海埔新生地，但土層斷面之導電係數與台中港區完全不同。於台中港區深度 26 公尺以下之土

層，其導電係數均降至 20ms/m 左右，土層不再含有鹽分，但布袋港區土層深度就算高達 40 公尺，其導電係數仍維持 200~500ms/m 以上，中間深度土層之導電係數其值高達 1500~2000ms/m 以上，亦較台中港區為高，此等現象主要是超抽地下水引起海水入侵所致。試孔 PD06 因位於整個海埔新生地之中間四周距海較遠，土層在深度 30 公尺時導電係數降至 100ms/m 以下，土層僅含少量鹽分。試孔 PD07 與 PD08 位於布袋鎮之市街上，其試驗結果剖面圖並未顯示如商港碼頭區試孔之情況在上面有數公尺厚之土層其導電係數很小，此市街地區表層土壤之導電係數便高達 250~500ms/m，主要原因為該等區域地勢低排水不良且偶遭海水倒灌，深度 30 公尺之土層其導電係數並未下降仍高達 1000~1500ms/m，可知該等地區海水入侵情況嚴重。

6.2.3 安平港區電阻錐試驗結果

安平港區在開發之前附近設有許多漁塭，因超抽地下水有海水入侵之現象，開發過程是利用水力回填之方式築成海埔新生地，本區計進行 8 個試孔，其試驗結果如圖 6.2.3.1 及圖 6.2.3.2。試孔 AP01~AP05(如圖 5.3.1)位在安平港漁光里之碼頭預定地上，該區之地形類似一突堤，東邊為港內之水域，西邊則緊鄰台灣海峽，電阻錐之試驗結果顯示位於航道入口附近之試孔 AP01，除表面 1.5 公尺之土層因位在地下水位以上電阻錐無法量測外，深度 1.5 公尺以下之土層均有甚大之導電度，其導電度 K 值之分佈大致從深度 1.5 公尺處之 500ms/m 逐漸加至試驗停止深度 30 公尺之 1750ms/m。AP02~AP05 等試孔是位在與碼頭線平行之環港路邊，其試驗結果與試孔 AP01 之結果很類似，1.5 公尺至 3.0 公尺之 K 值約為 250ms/m，然後其 K 值隨深度逐漸增加至 1800ms/m，但試孔 AP03 及 AP04 於深度 3~6 公尺間導電度很小可能是該土層未位在海水入侵之通路上。試孔 AP06 及 AP07 位在漁港邊之水力回填區上，其上面土層之 K 值很小此與台中港區之情形類似，然後其 K 值隨深度逐漸增加至約 1800ms/m，但試孔 AP08 之結果卻與漁光里之試孔相近。

6.3 地電阻二維影像剖面量測結果

1994 年成功大學台南水工試驗所研究彰濱地區以電阻係數 10 歐姆米(ohm-m)以下為海水入侵範圍，1964 年 GUYOD 研究地下水鹹度及土壤孔隙率對地電阻的影響認為 4 歐姆米(ohm-m)以下為海水入侵。一般而言，認為地層電阻係數值在 5 ohm-m 以下，受到海水入侵影響，電阻係數值愈低其受海水入侵之狀況愈嚴重。因此可從地電阻影像剖面圖中電阻係數小於 5 ohm-m 以下之分佈，研判出各測線下之地下地層受到海水入侵的範圍。

6.3.1 台中港地電阻二維影像剖面探測結果

RIP-1 測線(試驗結果如圖 6.3.1.1) 海水入侵範圍約在測線距離 0 公尺~40 公尺處深度 60 公尺以下，及測線 90 公尺~180 公尺，深度 15 公尺以下。尤其以測線 130 公尺處及 170 公尺處，其電阻率較低，約在 3 ohm-m 以下，研判海水主要自 130 公尺處及 170 公尺處侵入並向周圍擴散。

RIP-2 測線(試驗結果如圖 6.3.1.2)海水入侵主要來自測線起點處起向測線末端逐漸擴散，測線距離 0 公尺~10 公尺，深度 8 公尺以下皆受到海水入侵；測線距離 10 公尺~160 公尺，海水入侵範圍約在地下深度 8 公尺~25 公尺之間，深部未受到海水污染；測線距離 160 公尺~235 公尺，海水入侵範圍逐漸向深層擴散到約 60 公尺深；測線最末端 20 公尺以上(約 235m 以後)地層未受到海水入侵。

6.3.2 布袋港地電阻二維影像剖面探測結果

RIP-3 測線(試驗結果如圖 6.3.2.1)整條測線以深度 4 公尺為分界，深度 4 公尺以上電阻率大於 5 ohm-m，深度 4 公尺以下電阻率小於 5 ohm-m，顯示幾乎皆受到海水入侵，尤以深度 4~15 公尺小於 1 ohm-m 最為嚴重。

RIP-4 測線(試驗結果如圖 6.3.2.2)整條測線於深度 5 公尺以下，除

了於測線距離 30~70 公尺間，深度 20~40 公尺以及測線距離 110~160 公尺處，深度 15 公尺以下等處之外，其它地區皆受到海水入侵，尤以深度在 5~20 公尺間小於 0.5 ohm-m 最為嚴重。

6.3.3 安平港地電阻二維影像剖面探測結果

RIP-5 測線(試驗結果如圖 6.3.3.1)整條測線自深度 10 公尺以下皆受到海水入侵影響，地層電阻率值在 5 ohm-m 以下，尤其於測線中段距離 70~110 公尺呈三角形之間深部地層之電阻率值最低，其電阻率約在 0.5 ohm-m 以下，研判此區域(約在 85 公尺~100 公尺處)為主要海水侵入地點，並逐漸向測線兩端擴散。

RIP-6 測線(試驗結果如圖 6.3.3.2)受海水入侵主要來自測線起點處起向測線末端逐漸擴散，測線距離 0~100 公尺，深度 8 公尺以下皆受到海水入侵，測線距離 120~200 公尺海水入侵範圍於 120 公尺處約在深度 10~50 公尺，隨測線展開方向距離的增加，海水入侵範圍逐漸縮小，於 150~200 公尺處約在深度 8~15 公尺間，測線距離 220 公尺以後深度 8 公尺以下皆受到海水入侵。

6.4 土壤構造因子與工程特性之相關性分析

土壤構造因子 F 根據前述之定義是土壤孔隙水之導電度 K_f 與土壤之統體導電度 K_s 之比，因之欲決定土壤構造因子，除利用電阻錐量測土壤之統體導電度外，本研究土壤孔隙水之導電度 K_f 值之量測是利用 BAT 水樣採取器所取得之孔隙水，並配合手提導電度計加以量取。荷蘭錐貫入試驗所量取之工程參數錐頭貫入阻力 Q_c ，經學者過去多年之研究分析後認為與土壤之壓縮性、相對密度及剪力強度等有相關性存在。本中心過去於試驗室曾以不同方法製作土壤試體，曾獲致土壤視構造因子與土壤孔隙率及相對密度存有良好之相關性，因此本研究對由現地試驗求得之錐頭阻力 Q_c 、孔隙率 n 、SPT-N 值及土壤構造因子 F 等各種工程參數進行相關性分析。表 6.4.1~表 6.4.4 為現地試驗之各

種結果，圖 6.4.1~圖 6.4.9 為三個港區工程參數之相關性圖形。分析結果顯示錐頭貫入阻力 Q_c 及 SPT-N 值兩者與土壤構造因子 F 間存有正比線性關係，亦即土壤電性參數之構造因子 F 可當作土壤另一種之強度參數。而土壤孔隙率 n 與土壤構造因子 F 間成反比曲線關係，土壤構造因子 F 愈大，則代表土壤愈緊密而孔隙較小，因此其壓縮性也較小。故以電阻錐試驗所決定之土壤電性參數構造因子 F 來研判試驗土層之工程特性為另一種可行之方法。

1.錐頭阻力 Q_c 與土壤構造因子 F 之相關性

$$\text{台中港西碼頭區} \quad Q_c = 85.73 F - 215.1 \quad ; \quad R^2 = 0.9199$$

$$\text{布袋港區} \quad Q_c = 119.1 F - 325.7 \quad ; \quad R^2 = 0.939$$

$$\text{安平港區} \quad Q_c = 116.9 F - 328.5 \quad ; \quad R^2 = 0.902$$

2.孔隙率 n 與土壤構造因子 F 之相關性

$$\text{台中港西碼頭區} \quad F = 1.085 n^{-1.418} \quad ; \quad R^2 = 0.9185$$

$$\text{布袋港區} \quad F = 1.379 n^{-1.087} \quad ; \quad R^2 = 0.9292$$

$$\text{安平港區} \quad F = 1.573 n^{-0.936} \quad ; \quad R^2 = 0.936$$

3.SPT-N 值與土壤構造因子 F 之相關性

$$\text{台中港西碼頭區} \quad N = 20.09 F - 52.19 \quad ; \quad R^2 = 0.9369$$

$$\text{布袋港區} \quad N = 26.69 F - 73.19 \quad ; \quad R^2 = 0.9026$$

$$\text{安平港區} \quad N = 29.89 F - 85.61 \quad ; \quad R^2 = 0.9097$$

表 6.4.1 台中港區電阻錐試驗結果(一)

台中港區電阻錐貫入試驗結果(一)									
孔 號	深度(M)	錐頭阻力 Q_c (kg/cm ²)	摩擦阻力 f_s (kg/cm ²)	N 值	孔隙比 e	孔隙率 n	土壤電導度 K_s (ms/m)	孔隙水電導度 K_f (ms/m)	土壤構造因子 F
WH01	4.5	81.6	0.54	11	0.86	0.462	19.8	65.0	3.283
WH01	9	41.8	0.22	10	0.88	0.468	1052.9	3326.1	3.159
WH01	15	127.3	0.35	21	0.65	0.394	218.4	903.7	4.138
WH01	18	41.1	0.61	12	0.85	0.459	655.2	2098.0	3.202
WH01	21	67.5	0.19	19	0.79	0.441	674.6	2335.5	3.462
WH01	24	160.1	0.47	28	0.64	0.390	293.3	1230.7	4.196
WH02	4.5	23.1	0.14	6	0.95	0.487	25.2	72.0	2.856
WH02	9	57.6	0.31	8	0.79	0.441	30.1	100.4	3.334
WH02	12	81.9	0.51	20	0.78	0.438	209.3	724.8	3.463
WH02	15	128.9	0.66	23	0.66	0.398	124.5	489.0	3.928
WH02	18	41.1	0.42	13	0.83	0.454	553.1	1782.6	3.223
WH02	24	125.1	0.46	39	0.64	0.390	561.9	2318.4	4.126
WH02	27	107.5	0.48	36	0.71	0.415	25.8	102.1	3.957
WH03	4.5	117.4	1.01	15	0.7	0.412	26.5	98.9	3.732
WH03	12	114.6	0.85	24	0.7	0.412	405.4	1588.0	3.917
WH03	15	155.4	0.95	18	0.65	0.394	144.9	599.3	4.136
WH03	18	67.3	0.66	16	0.79	0.441	722.6	2531.3	3.503
WH03	21	104.8	1.28	22	0.76	0.432	528.9	1917.3	3.625
WH03	24	124.5	0.61	25	0.68	0.405	348.7	1351.2	3.875
WH03	27	152.2	0.87	42	0.64	0.390	22.1	94.7	4.283

表 6.4.2 台中港區電阻錐試驗結果(二)

台中港區電阻錐貫入試驗結果(二)									
孔 號	深度(M)	錐頭阻力 Q_c (kg/cm ²)	摩擦阻力 f_s (kg/cm ²)	N 值	孔隙比 e	孔隙率 n	土壤電導度 K_s (ms/m)	孔隙水電導度 K_f (ms/m)	土壤構造係數 f F
WH04	6	68.9	0.17	13	0.62	0.383	13.2	44.7	3.385
WH04	9	55.6	0.26	14	0.75	0.429	27.9	92.7	3.321
WH04	12	64.5	0.44	15	0.77	0.435	51.2	167.3	3.267
WH04	15	70.5	0.59	14	0.91	0.476	172.2	556.9	3.234
WH04	18	61.2	0.39	10	1.02	0.505	417.4	1269.7	3.042
WH04	21	97.5	0.54	19	0.87	0.465	728.9	2570.1	3.526
WH04	24	87.5	0.48	21	0.78	0.438	818.9	2854.7	3.486
WH04	27	93.8	0.58	23	0.82	0.451	120.5	430.7	3.574
WH07	4.5	78.6	0.31	17	0.67	0.401	30.2	105.8	3.502
WH07	6	71.4	0.35	9	0.83	0.454	245.7	788.0	3.207
WH07	10	52.3	0.64	11	0.87	0.465	538.1	1714.9	3.187
WH07	15	57.6	0.41	11	0.98	0.495	692.7	2093.3	3.022
WH07	18	67.8	0.82	14	0.86	0.462	707.4	2318.1	3.277
WH07	21	47.5	0.68	9	1.06	0.515	1025.6	3040.9	2.965
WH07	25	55.8	0.95	11	0.97	0.492	494.9	1497.1	3.025
WH07	27	147.8	0.78	31	0.68	0.405	62.8	259.1	4.125
WH08	6	51.8	0.09	12	0.72	0.419	11.9	37.0	3.113
WH08	10	56.6	0.2	11	0.91	0.476	20.8	67.8	3.258
WH08	15	92.4	0.24	20	0.79	0.441	30.5	112.2	3.678
WH08	20	51.2	0.35	12	0.88	0.468	43.3	139.8	3.229
WH08	24	105.6	1.02	18	0.81	0.448	512.8	1827.6	3.564
WH08	27	98.2	0.35	26	0.85	0.459	561.7	2124.3	3.782

表 6.4.3 布袋港區電阻錐試驗結果

布袋港區電阻錐貫入試驗結果									
孔 號	深度(M)	錐頭阻力 Q_c (kg/cm ²)	摩擦阻力 f_s (kg/cm ²)	SPT-N 值	孔隙比 e	孔隙率 n	土壤電導度 K_s (ms/m)	孔隙水電導度 K_f (ms/m)	土壤構造因子 F
PPD01	6	69	0.24	17	0.78	0.438	1302.3	4186.9	3.215
PPD01	9	36.7	0.34	7	0.88	0.468	1248.7	3781.1	3.028
PPD01	12	15.6	0.18	3	0.99	0.497	1535	4486.8	2.923
PPD01	15	10.4	0.12	4	1.07	0.517	909.1	2577.3	2.835
PPD01	21	68.5	0.48	18	0.79	0.441	281.9	948.3	3.364
PPD01	24	69.7	0.61	14	0.85	0.459	265.4	871.8	3.285
PPD01	27	60.5	0.82	13	0.81	0.448	323.5	1036.5	3.204
PD05	4.5	18.6	0.11	4	0.96	0.490	1069.6	3158.5	2.953
PD05	9	32.1	0.19	3	0.99	0.497	912.9	2658.4	2.912
PD05	15	13.6	0.28	4	1.03	0.507	620.2	1834.6	2.958
PD05	21	98.5	0.96	21	0.71	0.415	375.1	1360.5	3.627
PD05	24	26.3	0.66	8	0.92	0.479	374.6	1132.4	3.023
PD05	27	94.5	0.34	17	0.78	0.438	385.5	1343.9	3.486
PD06	4.5	14.6	0.27	3	0.98	0.495	773.4	2283.1	2.952
PD06	9	13.6	0.11	3	1.08	0.519	1119.9	3177.2	2.837
PD06	15	101.5	0.43	21	0.73	0.422	877.1	3133.9	3.573
PD06	18	61.7	0.32	9	0.87	0.465	1056.9	3338.7	3.159
PD06	21	65.5	0.47	18	0.83	0.454	894.7	2974.0	3.324
PD06	24	93.5	0.39	25	0.75	0.429	348.2	1226.4	3.522
PD06	27	24.3	0.6	6	1.1	0.524	279.7	791.8	2.831

表 6.4.4 安平港區電阻錐試驗結果

安平港區電阻錐貫入試驗結果									
孔 號	深度(M)	錐頭阻力 Q_c (kg/cm ²)	摩擦阻力 f_s (kg/cm ²)	N 值	孔隙比 e	孔隙率 n	土壤電導度 K_s (ms/m)	孔隙水電導度 K_f (ms/m)	土壤構造因子 F
AP01	4.5	74.5	0.21	16	0.72	0.419	617.9	2188.6	3.542
AP01	9	46.5	0.56	8	0.98	0.495	737.9	2241.7	3.038
AP01	12	81.3	0.24	17	0.83	0.454	766.6	2630.2	3.431
AP01	15	87.5	0.31	19	0.64	0.390	918.4	3329.2	3.625
AP01	18	135.5	0.71	31	0.63	0.387	1152.7	4409.1	3.825
AP01	21	108.5	0.49	24	0.65	0.394	1402.3	5253.0	3.746
AP01	24	110.5	0.44	28	0.66	0.398	1551.9	5847.6	3.768
AP01	27	93.2	0.45	27	0.67	0.401	1849.4	6889.0	3.725
AP08	4.5	15	0.21	5	1.01	0.502	401.4	1198.2	2.985
AP08	6	23.5	0.28	7	0.87	0.465	189.7	595.1	3.137
AP08	9	68.8	0.11	17	0.84	0.457	261.6	868.0	3.318
AP08	12	74.6	0.25	17	0.72	0.419	1236.5	4286.9	3.467
AP08	15	103.1	0.35	22	0.69	0.408	1020.8	3748.4	3.672
AP08	18	98.9	0.33	28	0.66	0.398	1265.8	4702.4	3.715
AP08	21	129.5	0.96	26	0.67	0.401	1386.2	5217.7	3.764
AP08	24	67.5	0.71	14	0.74	0.425	1271.2	4388.2	3.452
AP08	27	131.5	0.61	37	0.63	0.387	1409.1	5571.6	3.954

第七章 結論與建議

7.1 結論

1. 根據現地電阻錐試驗及 BAT 所採水試驗結果可研判土層是否受海水或其污染源之污染，可提供有關單位採取防制及改善之措施。
2. 電阻錐貫入試驗對決定地下土層是否受污染是一種經濟有效之方法，但電阻錐貫入試驗深度受試驗車貫入能量限制通常為 50 公尺以下，故該試驗對決定港區海水入侵之範圍及深度並不適合。
3. 傳統的地下水取樣步驟包括監測井之埋設、洗井、採樣、運送等步驟，看似簡單但實際上卻包含了非常多的變數，使所取得的水樣並不一定具代表性。BAT 水樣採取系統能採取具代表性之土壤孔隙水，其唯一之缺點是於細顆粒土壤時取樣時間要較長。
4. 由各港區地電阻二維影像剖面試驗結果顯示，各港區海水入侵深度大致上均超過 100 公尺，且因海水入侵路徑彎曲多變故港區地下土層電阻係數之變化亦很大。
5. 現地電阻錐試驗所求得之土壤構造因子與荷蘭錐錐頭阻力 Q_c 、SPT-N 值及孔隙率 n 之間有良好之相關性，故由現地電阻錐試驗所求得之土壤構造因子來研判試驗土層之工程特性為另一種可行之方法。

7.2 建議

本研究因限於經費未能採取足量之孔隙水樣供水質化學成分分析，希望爾後從事相關研究時能增加該項目。另外液化潛能評估是大地工程重要研究課題，建議能繼續進行電阻錐在液化潛能評估方面之應用研究。

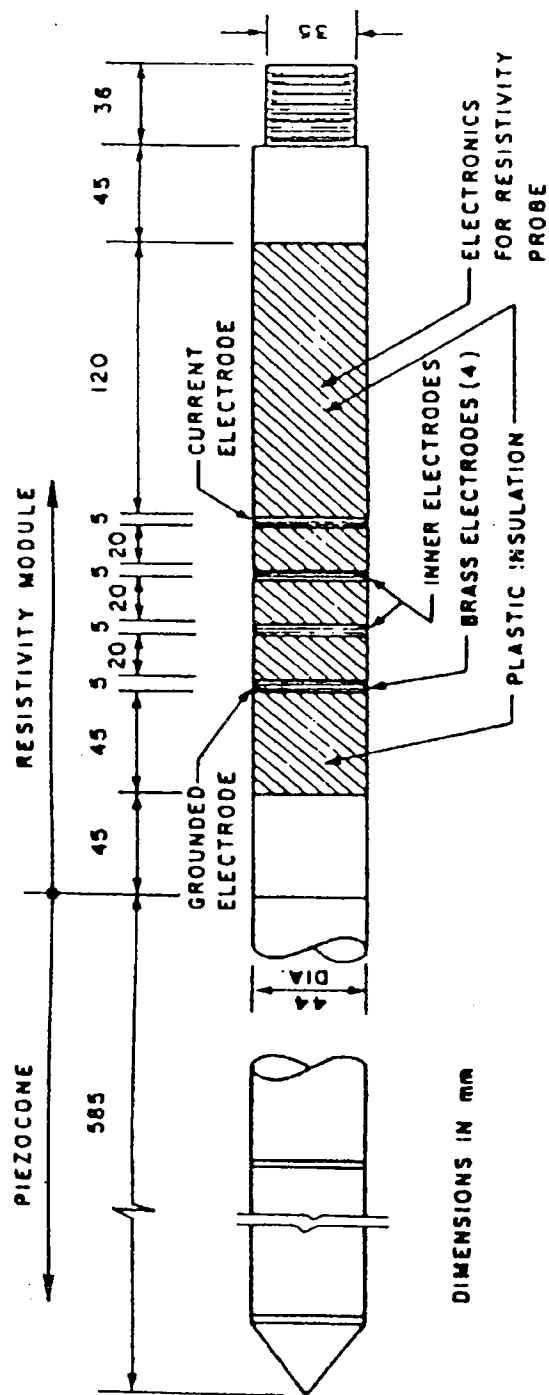


圖 3.3.1 電阻錐結構示意圖

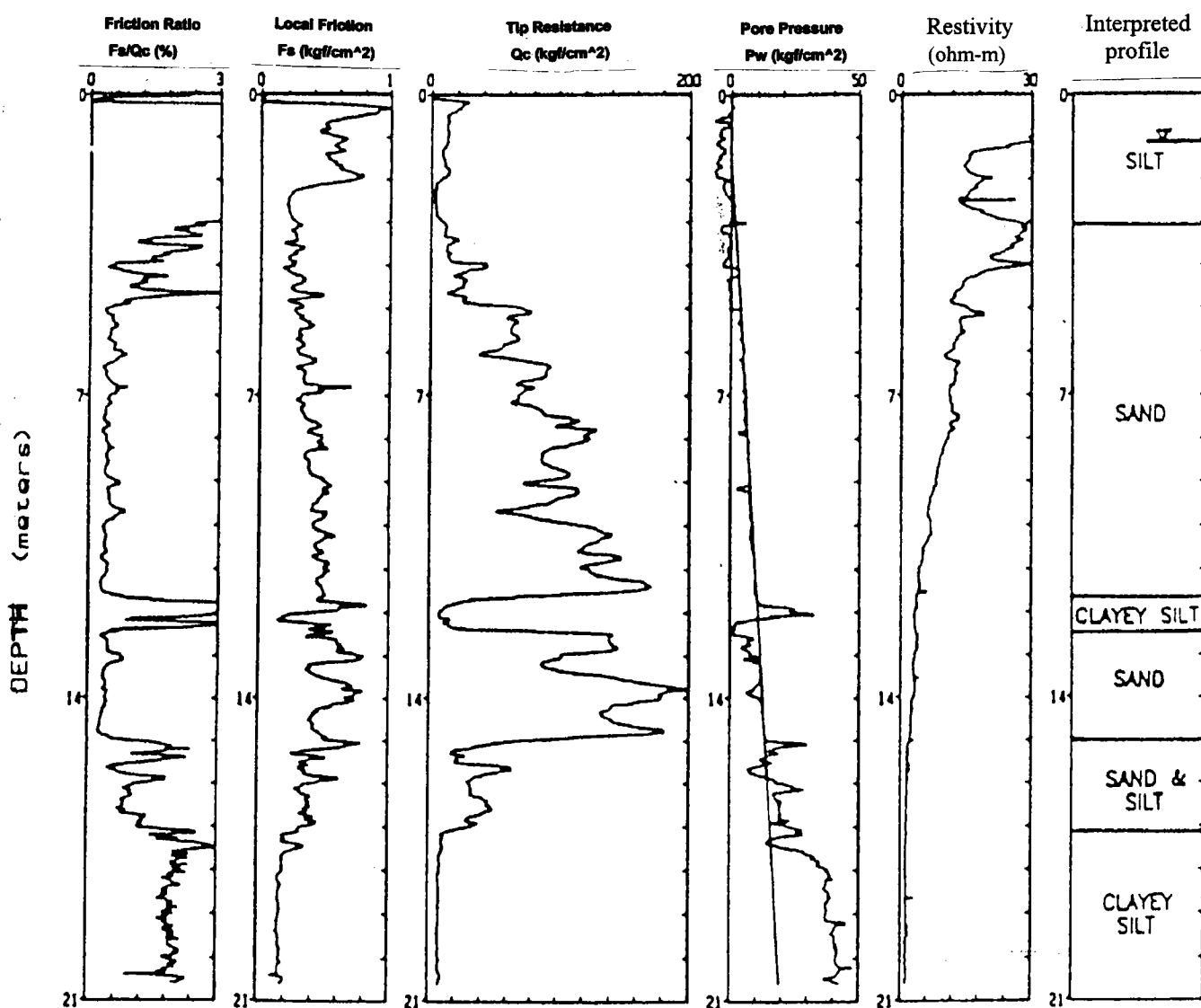


圖 4.1.1 McDONALD 地區電阻錐試驗結果

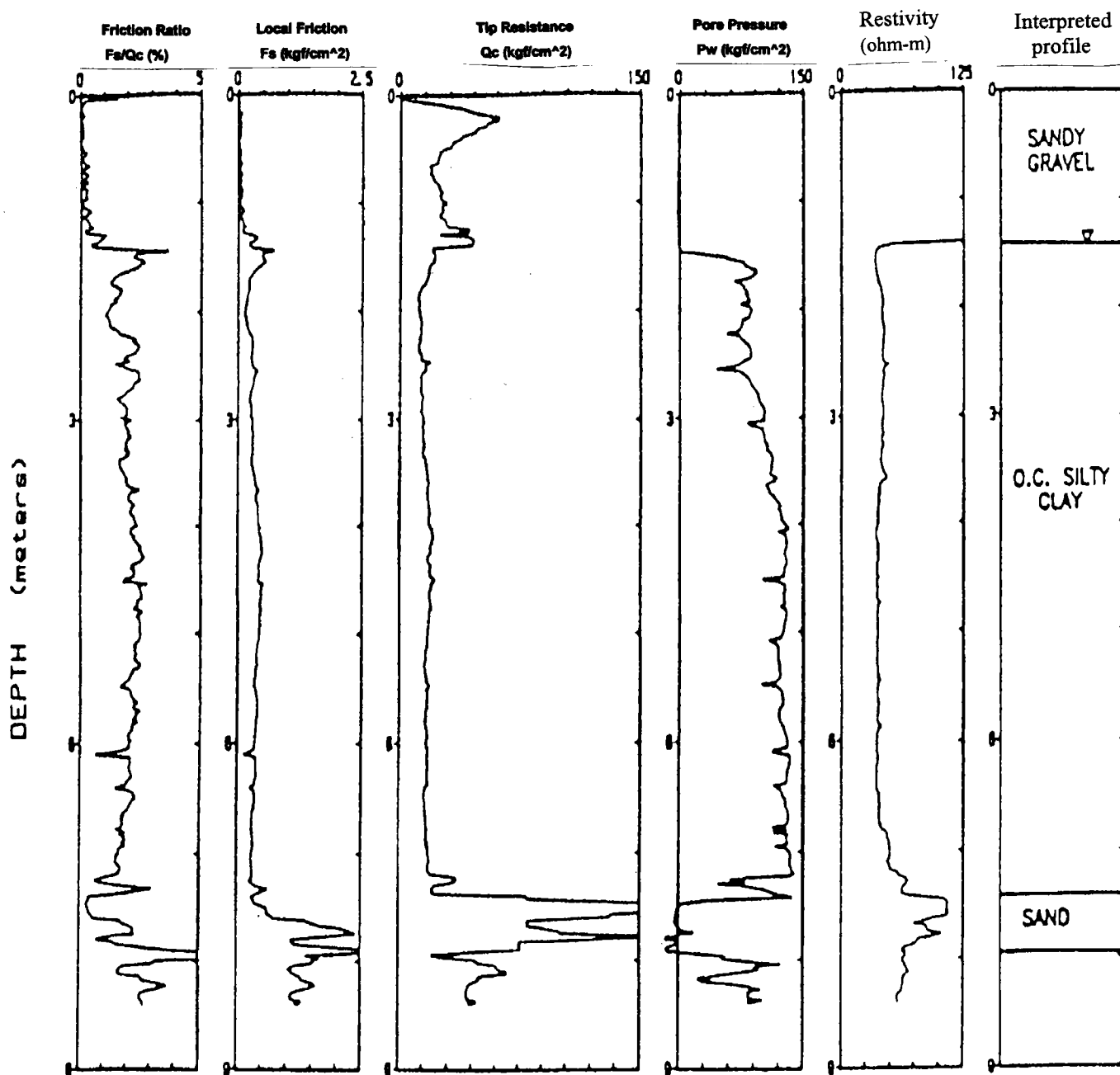


圖 4.1.2 ALDERGROVE 地區電阻錐試驗結果

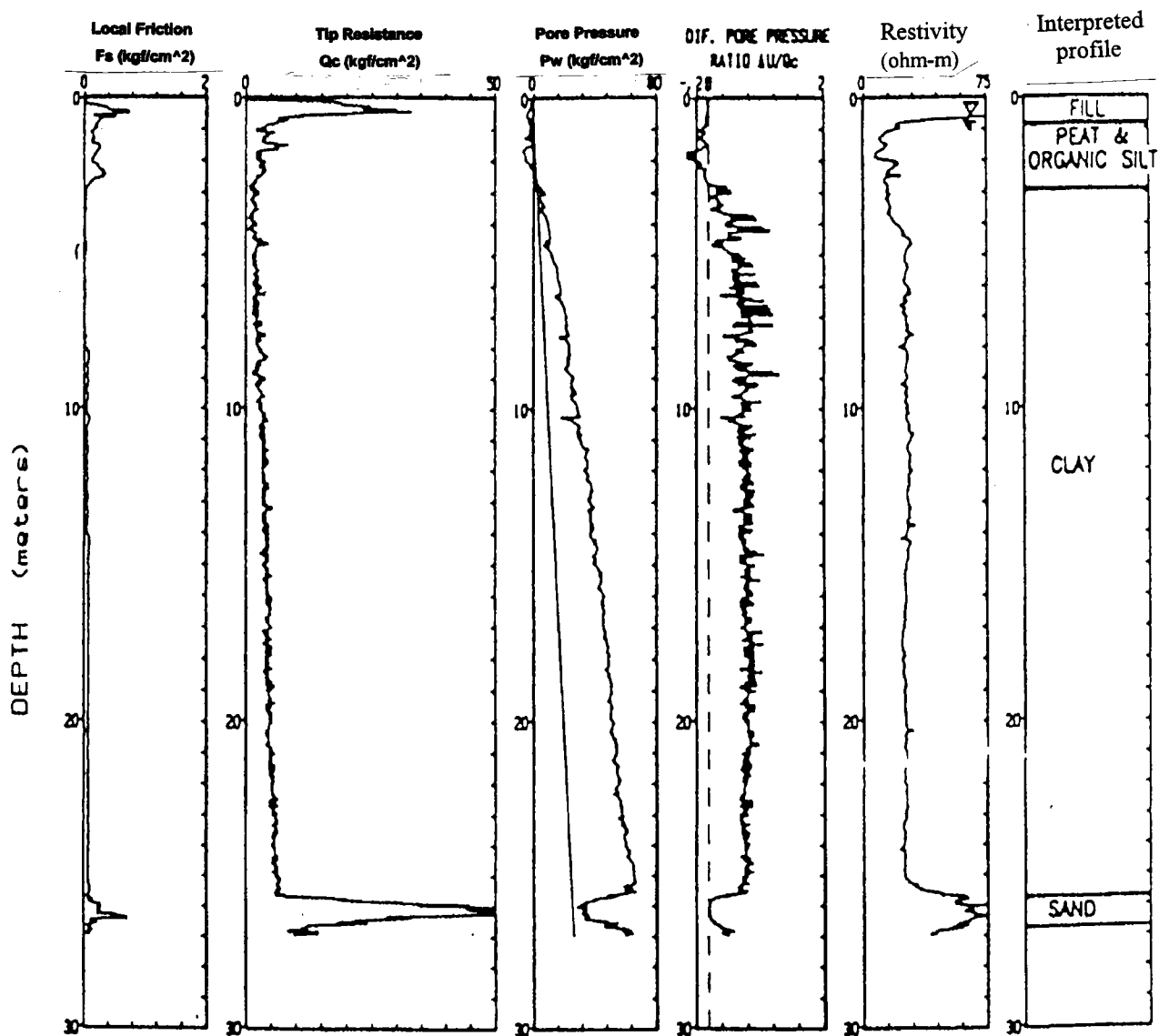


圖 4.1.3 COLEBROOK 地區電阻錐試驗結果

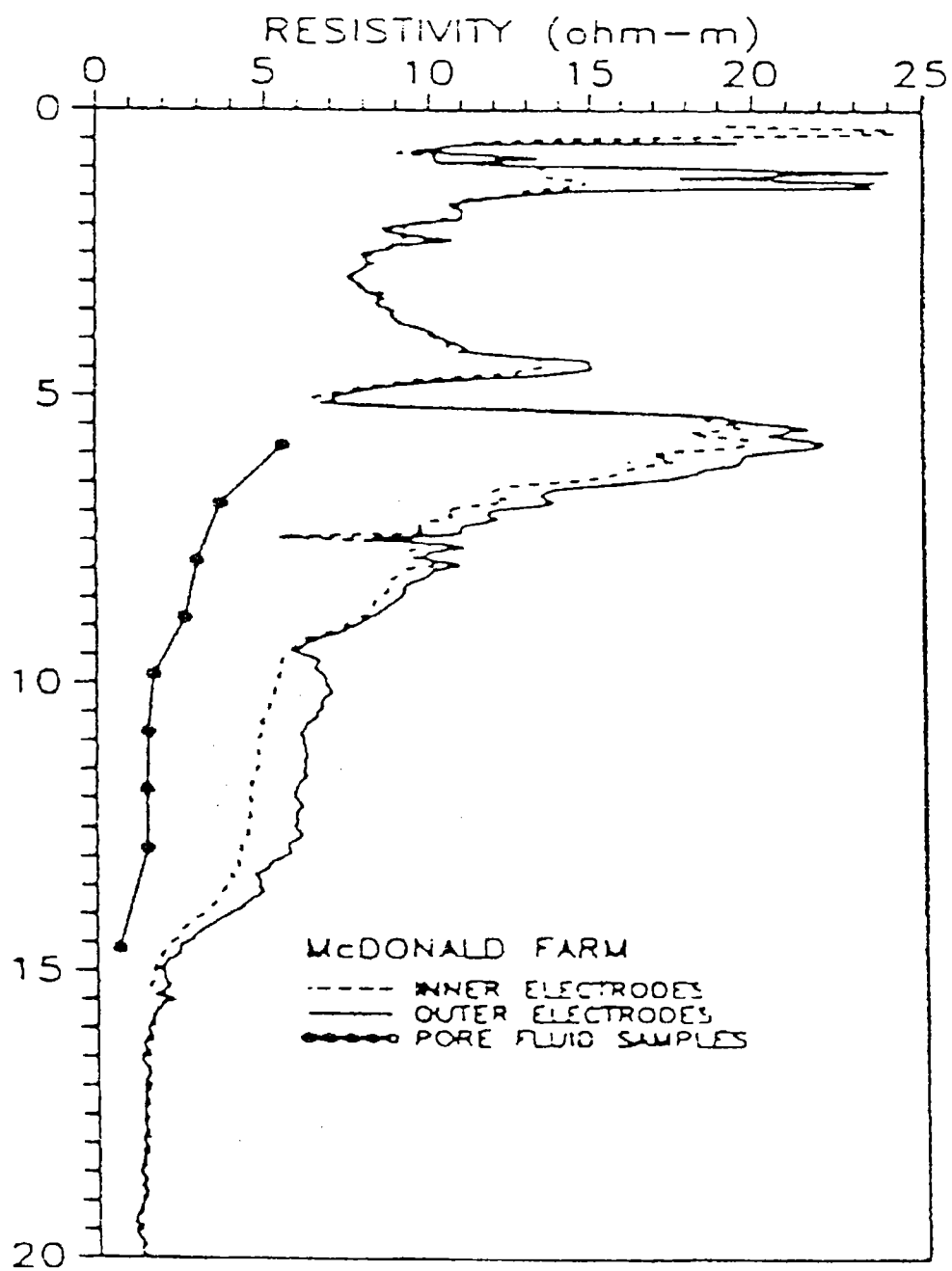


圖 4.3.1 內外側電極鉅測試結果之比較

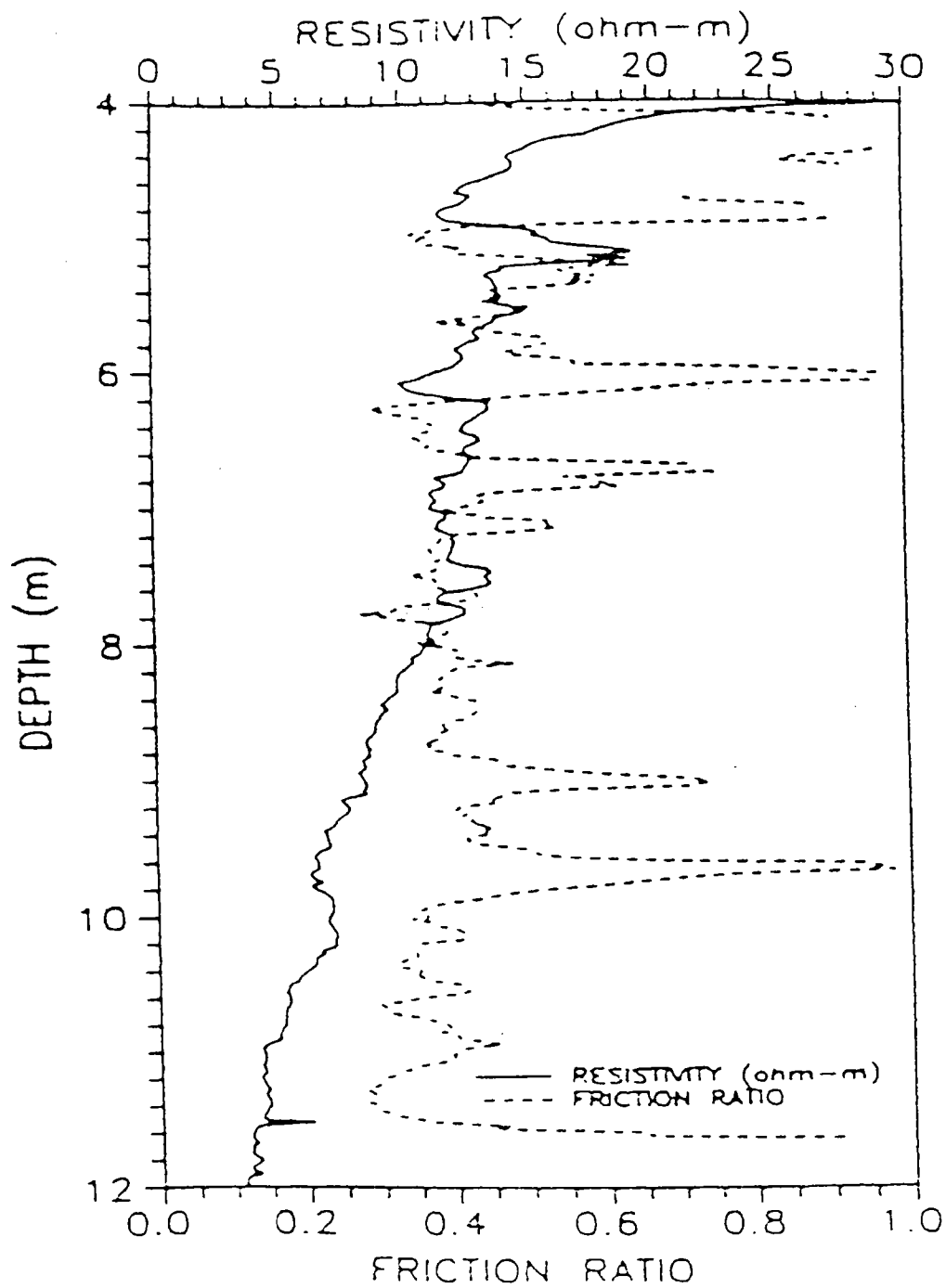


圖 4.4.1 摩擦比 R_f 與電阻係數之比較圖

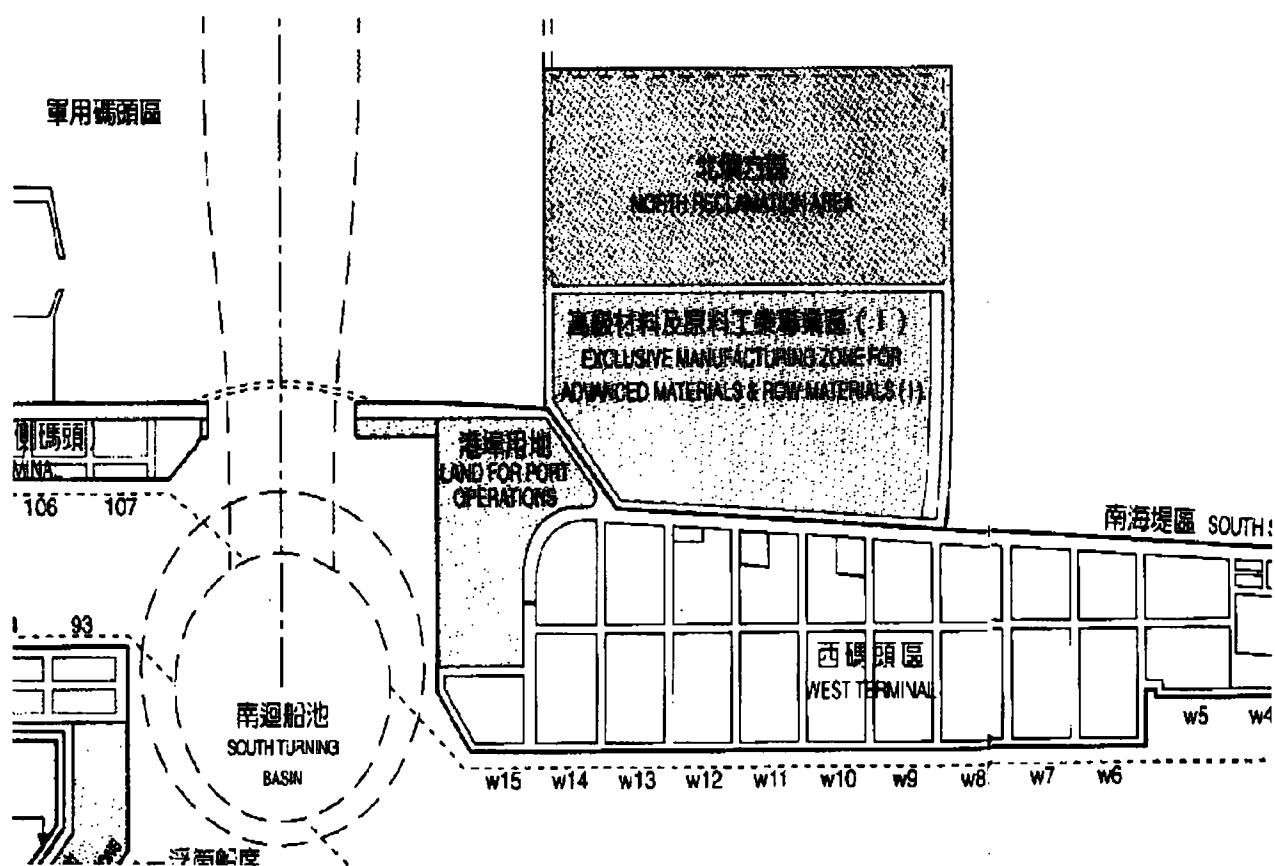


圖 5.1.1 台中港西碼頭區位置示意圖

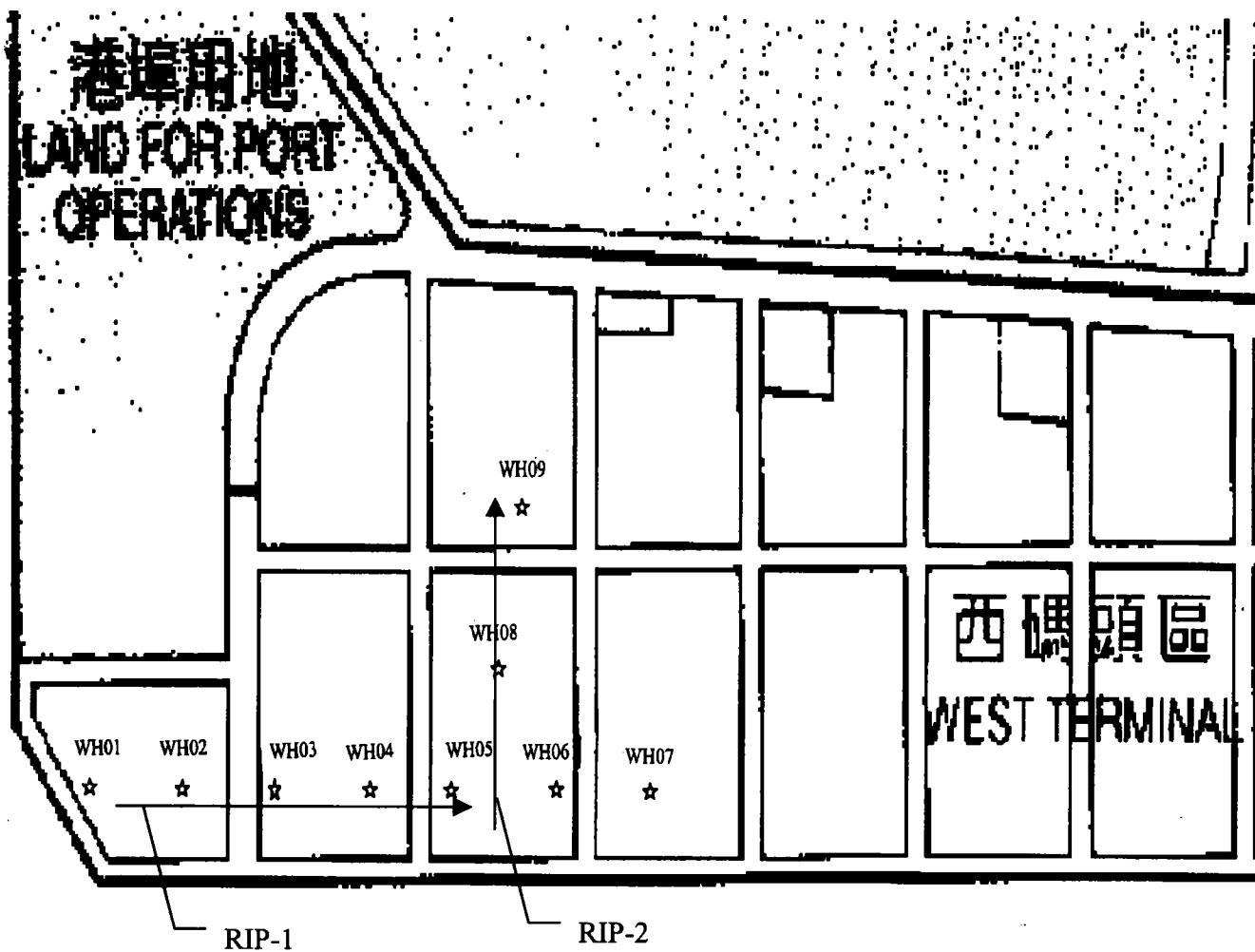


圖 5.1.2 西碼頭區試孔位置詳圖

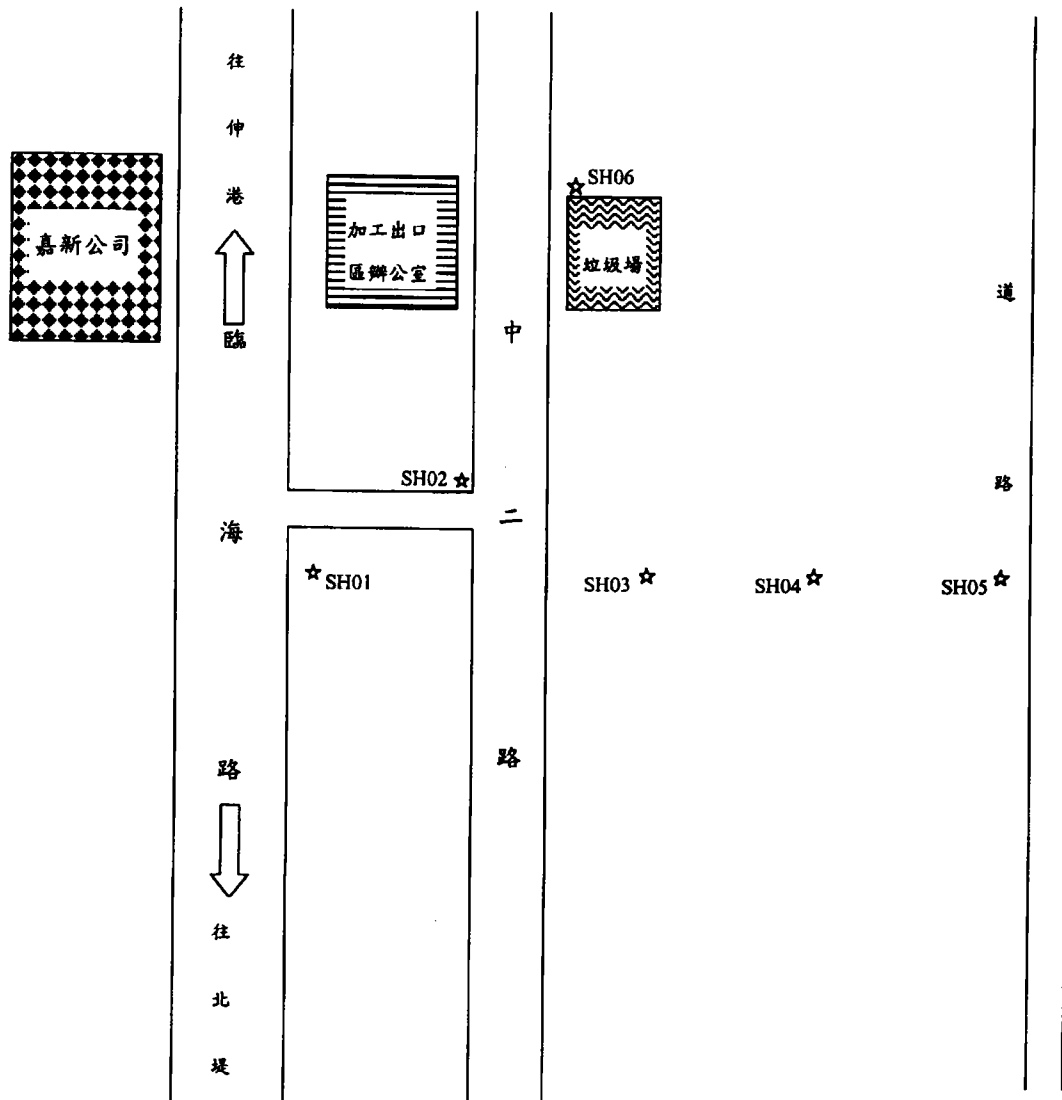


圖 5.1.3 台中港加工出口區試孔位置圖

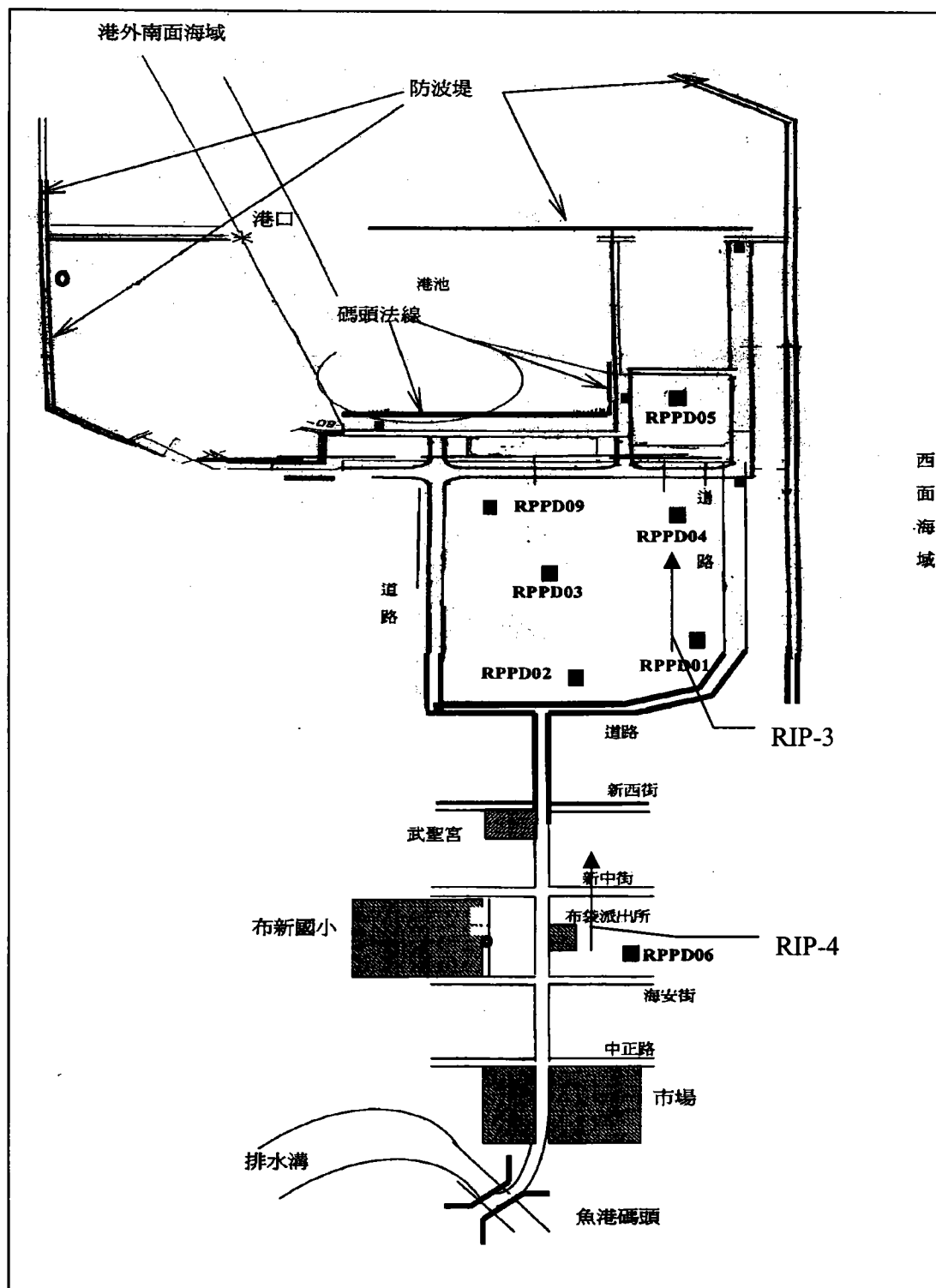


圖 5.2.1 布袋港碼頭區試孔位置圖

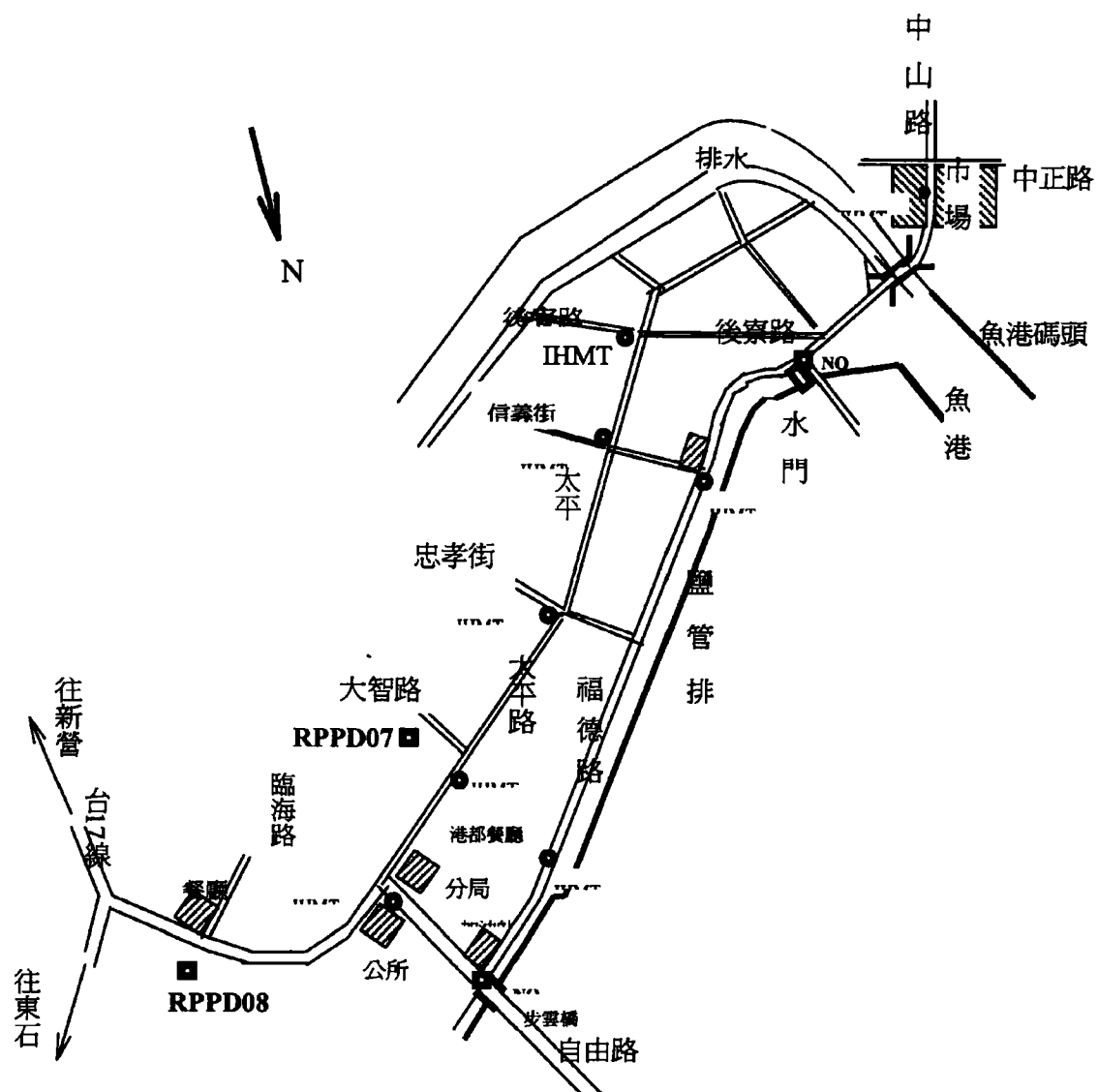


圖 5.2.2 布袋鎮市街試驗位置圖

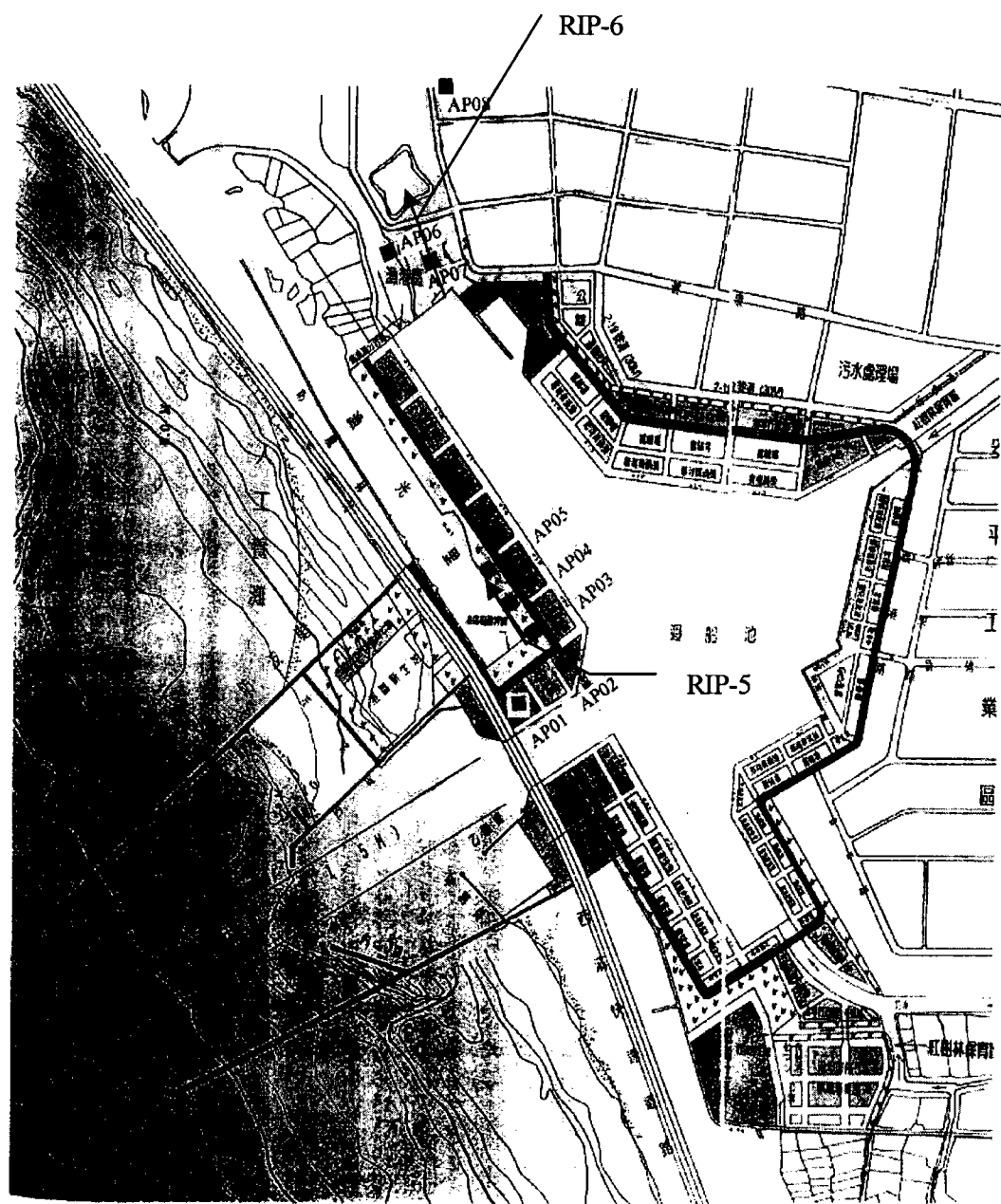
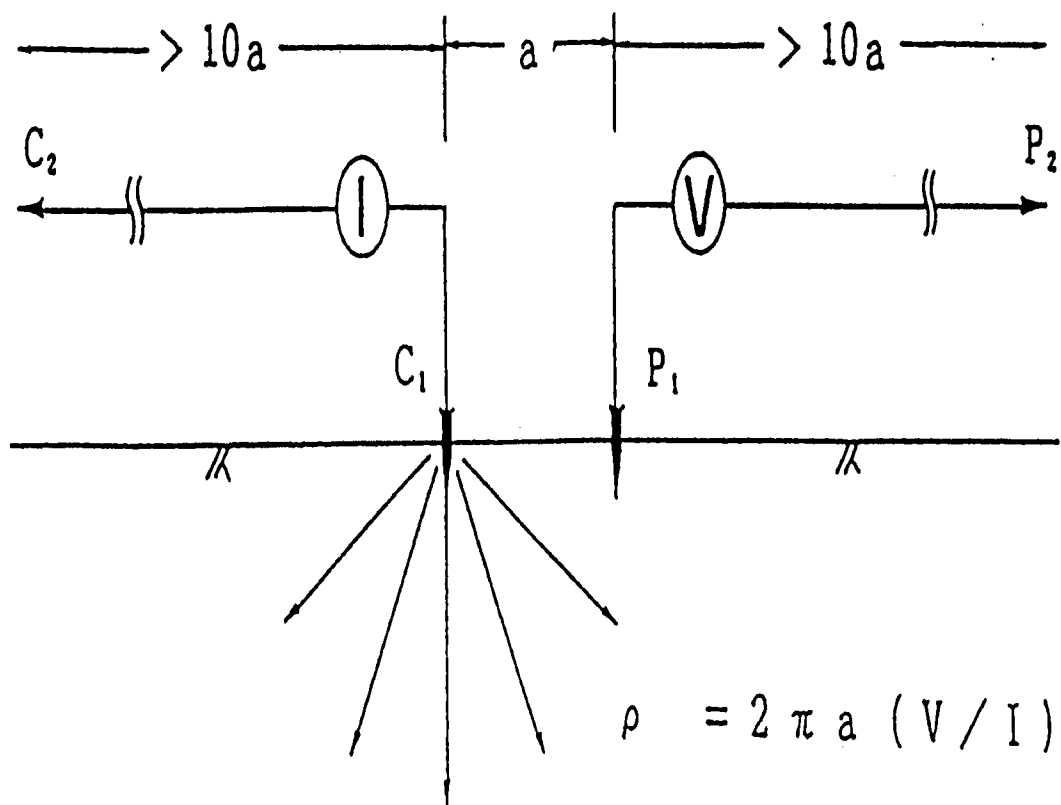


圖 5.3.1 安平港區試驗位置圖



C_1 : Current Electrode (moving)

C_2 : Current Electrode (remote)

P_1 : Potential Electrode (moving)

P_2 : Potential Electrode (remote)

圖 5.4.1.1 四極排列示意圖

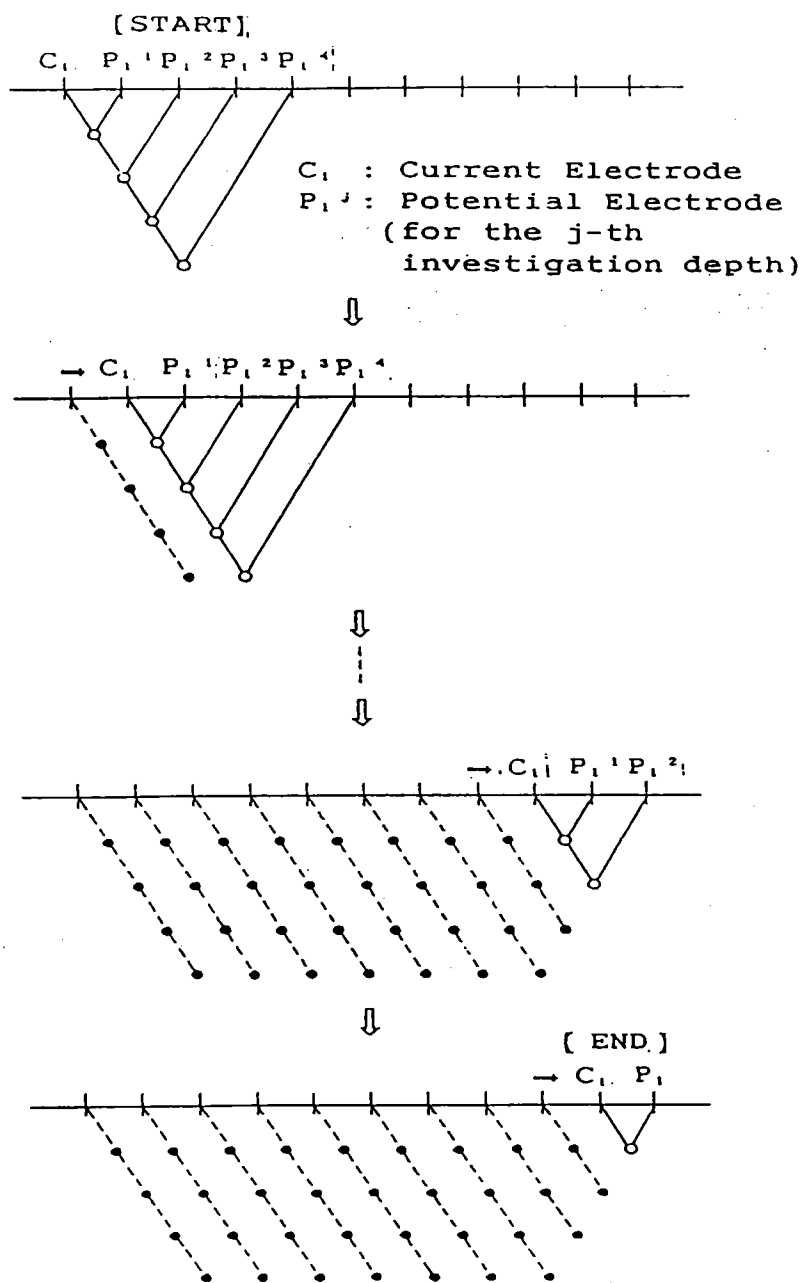


圖 5.4.2.1 電極展開示意圖

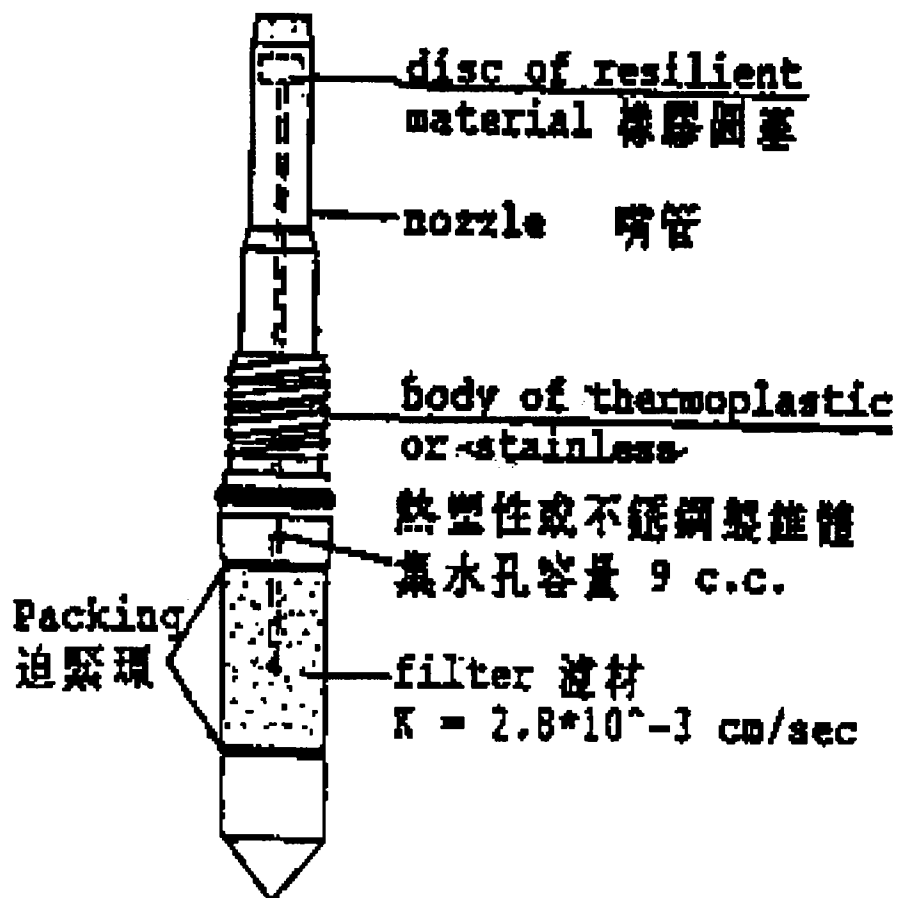


圖 5.5.1.1 BAT 濾水錐頭構造圖

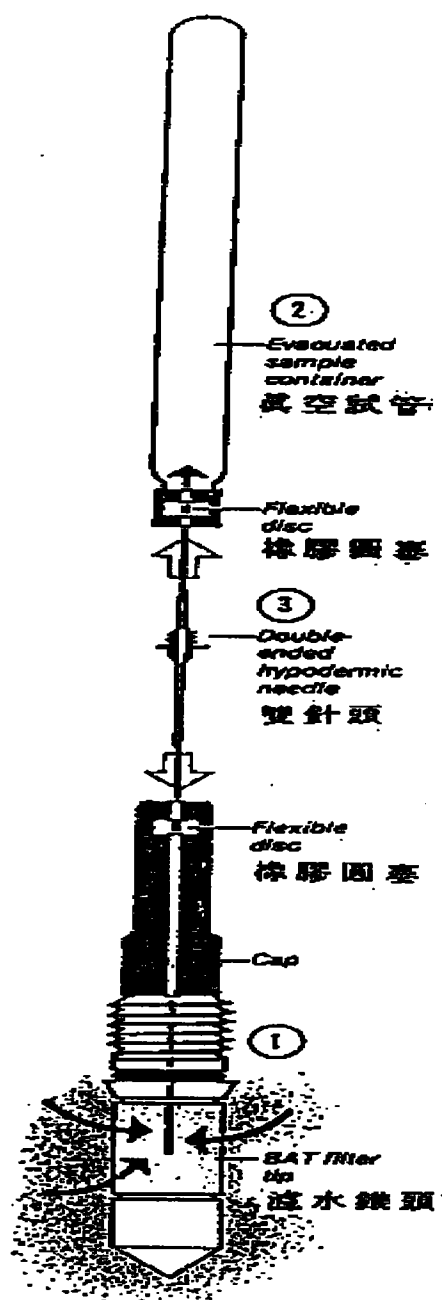


圖 5.5.1.2 BAT 取水系統示意圖

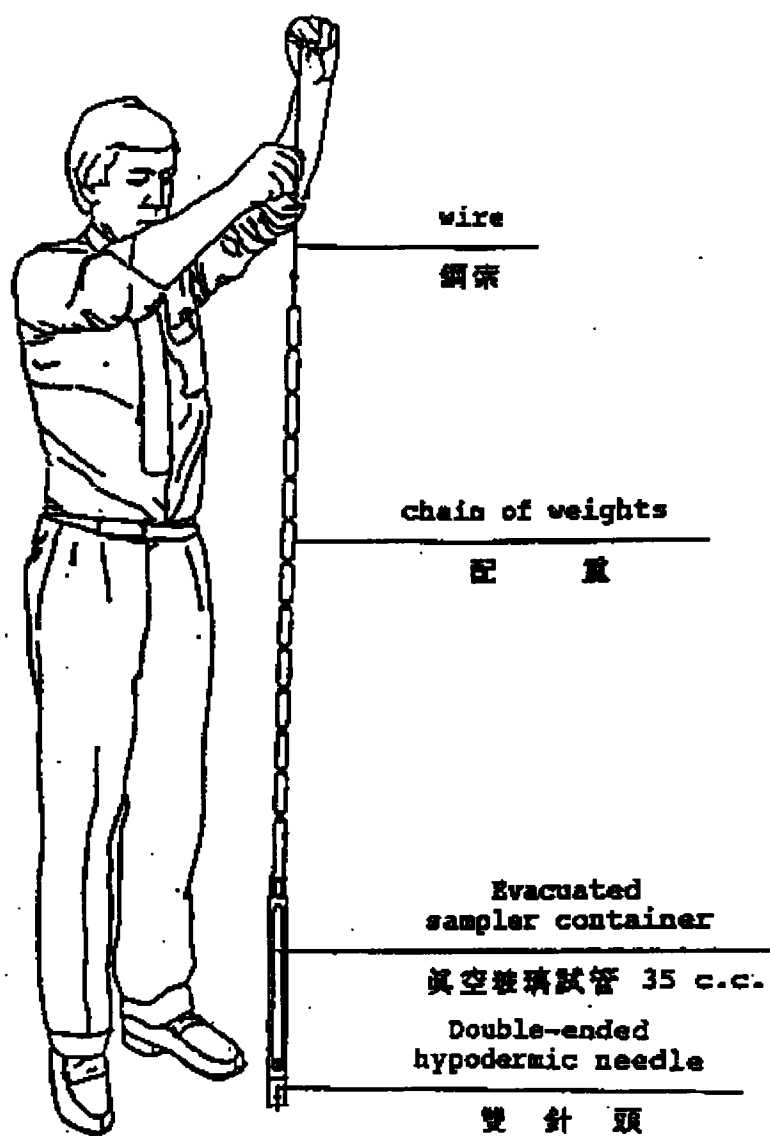


圖 5.5.1.3 BAT 取水系統之升降設備示意圖

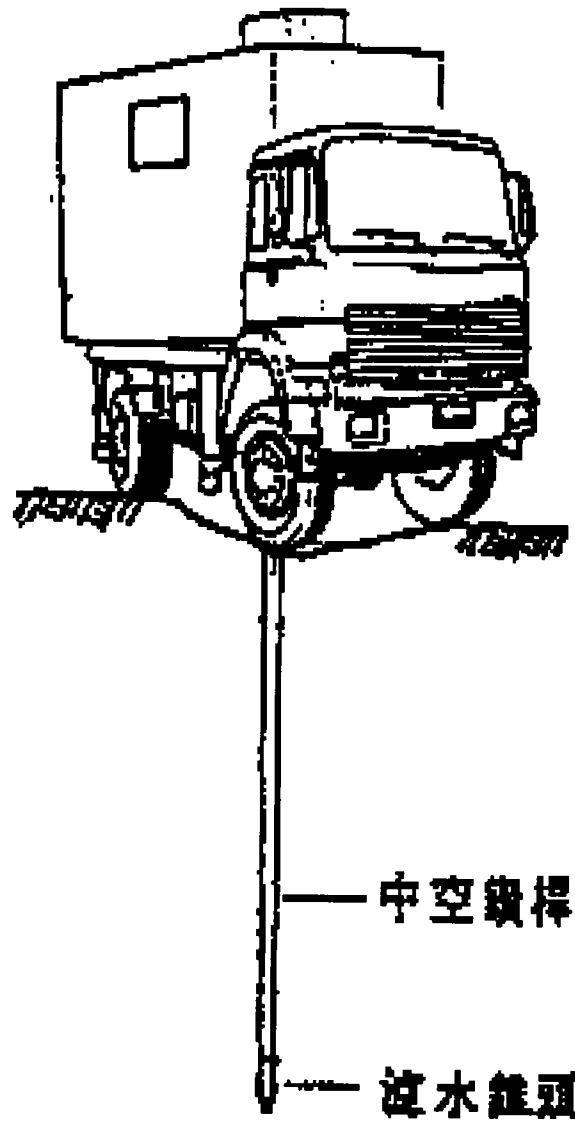


圖 5.5.1.4 BAT 取水系統之貫入設備示意圖

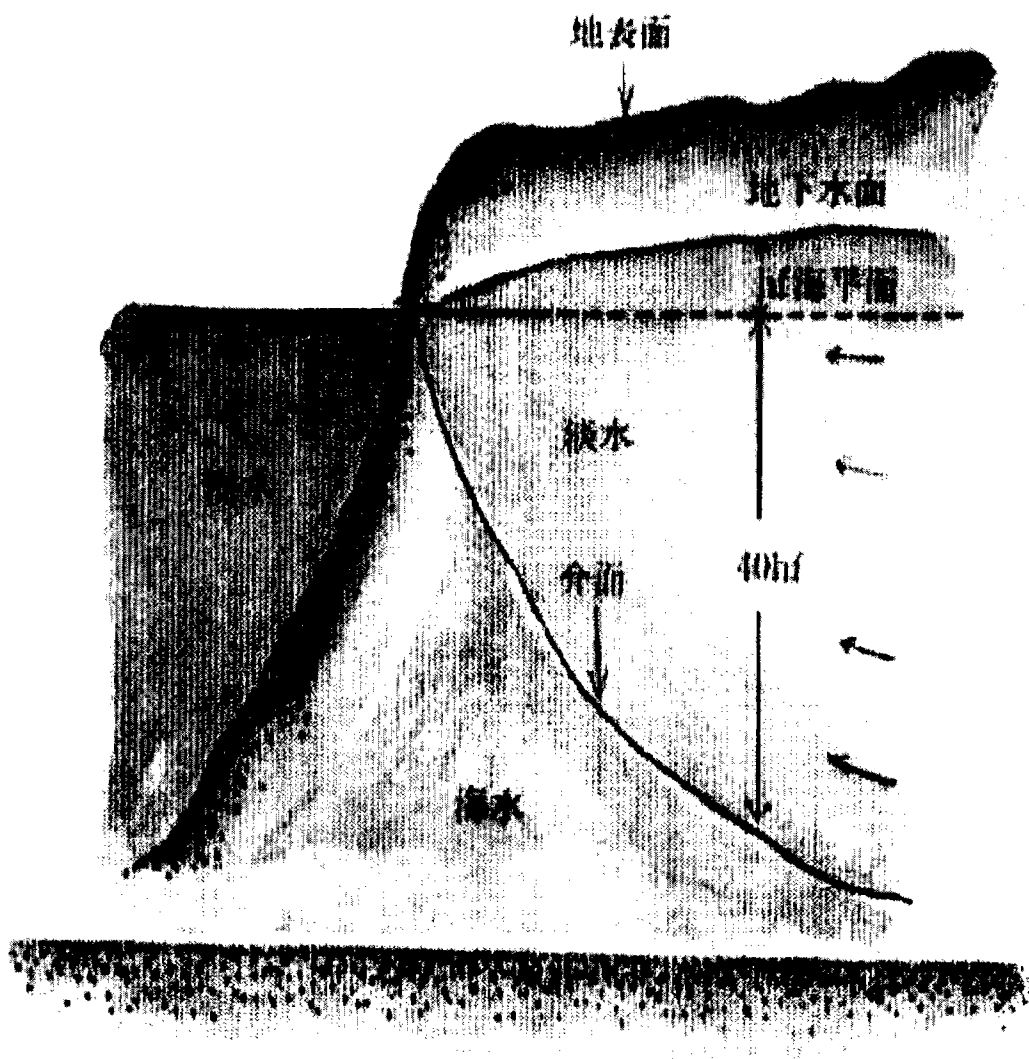


圖 6.1.1 海岸地區海水淡水界面示意圖

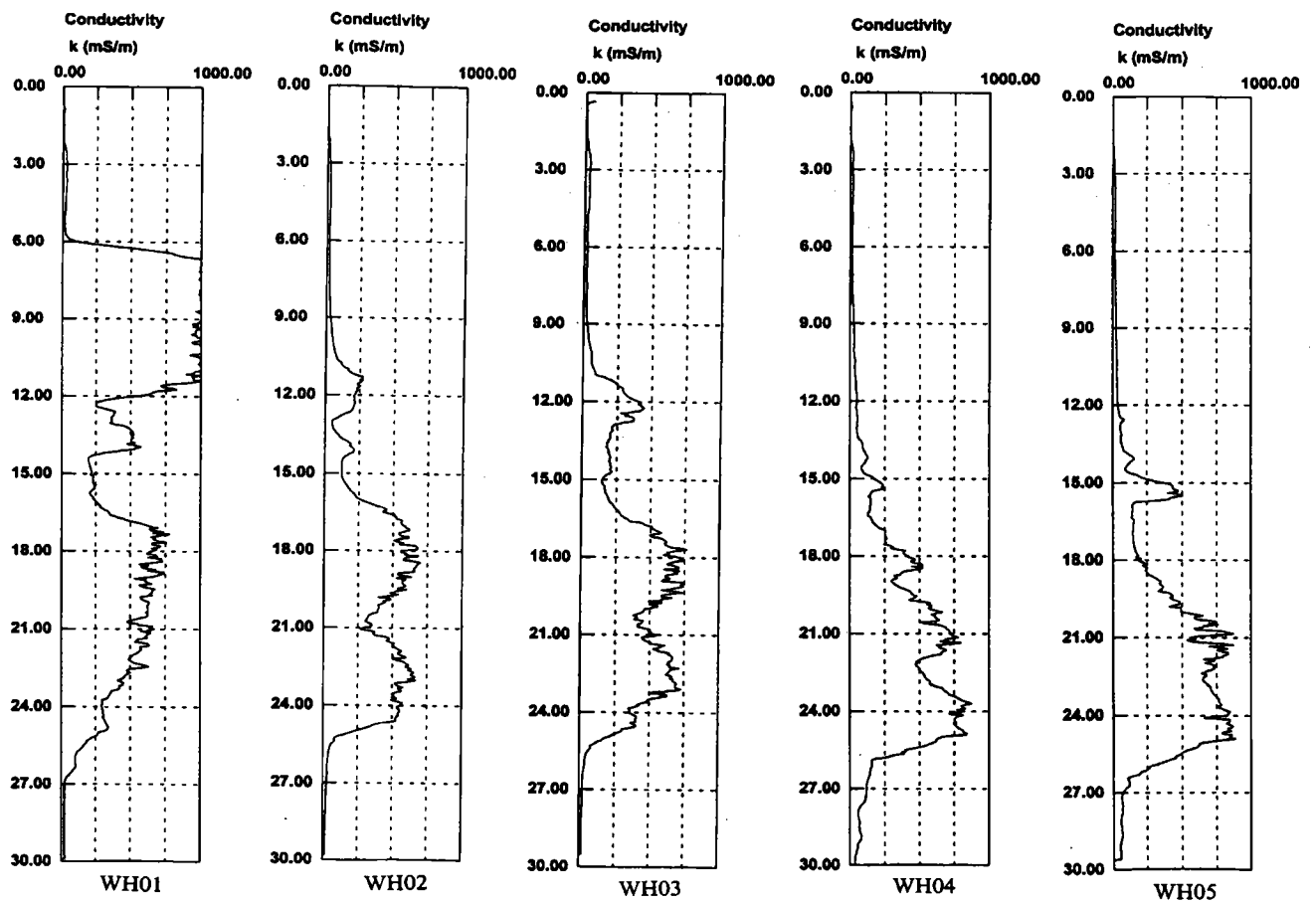


圖 6.2.1.1 台中港西碼頭區電阻錐試驗結果(1)

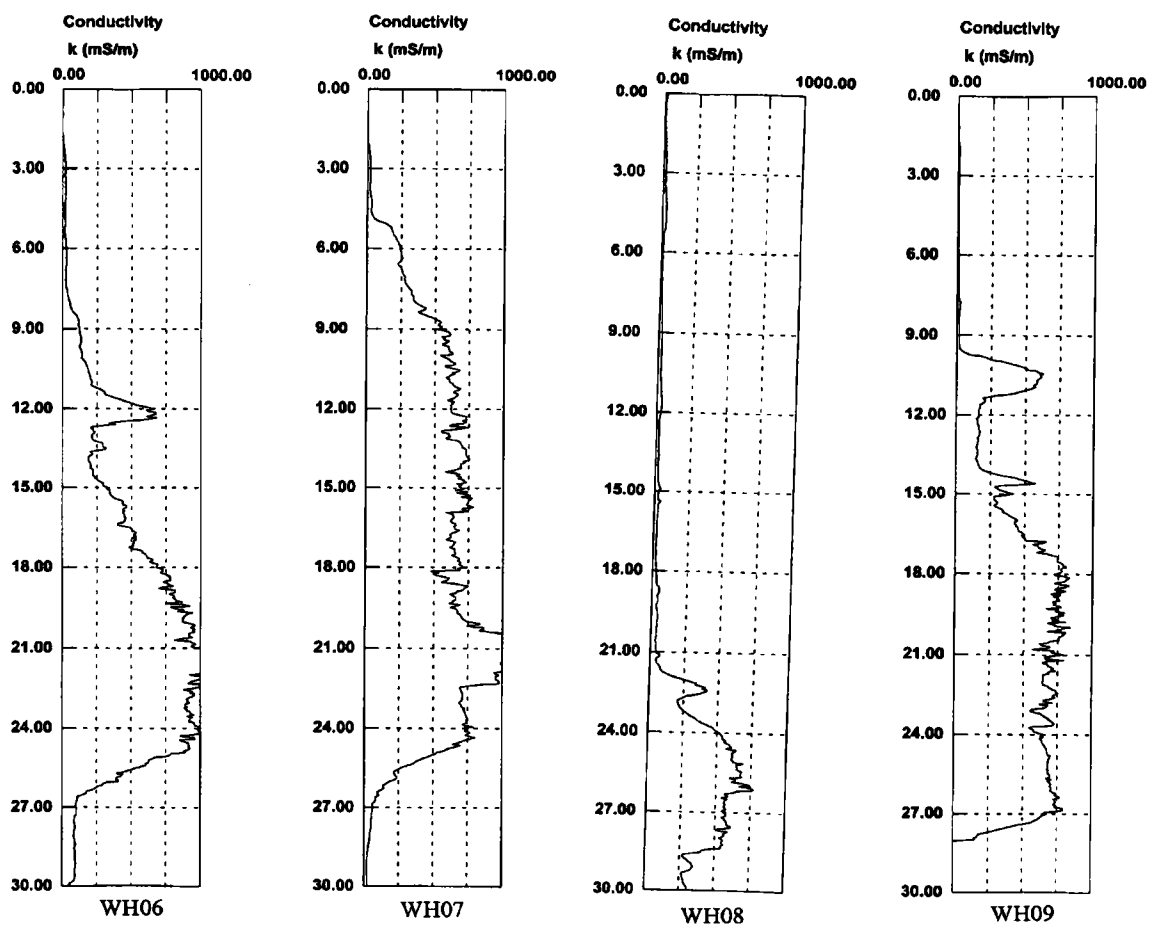


圖 6.2.1.2 台中港西碼頭區電阻錐試驗結果(2)

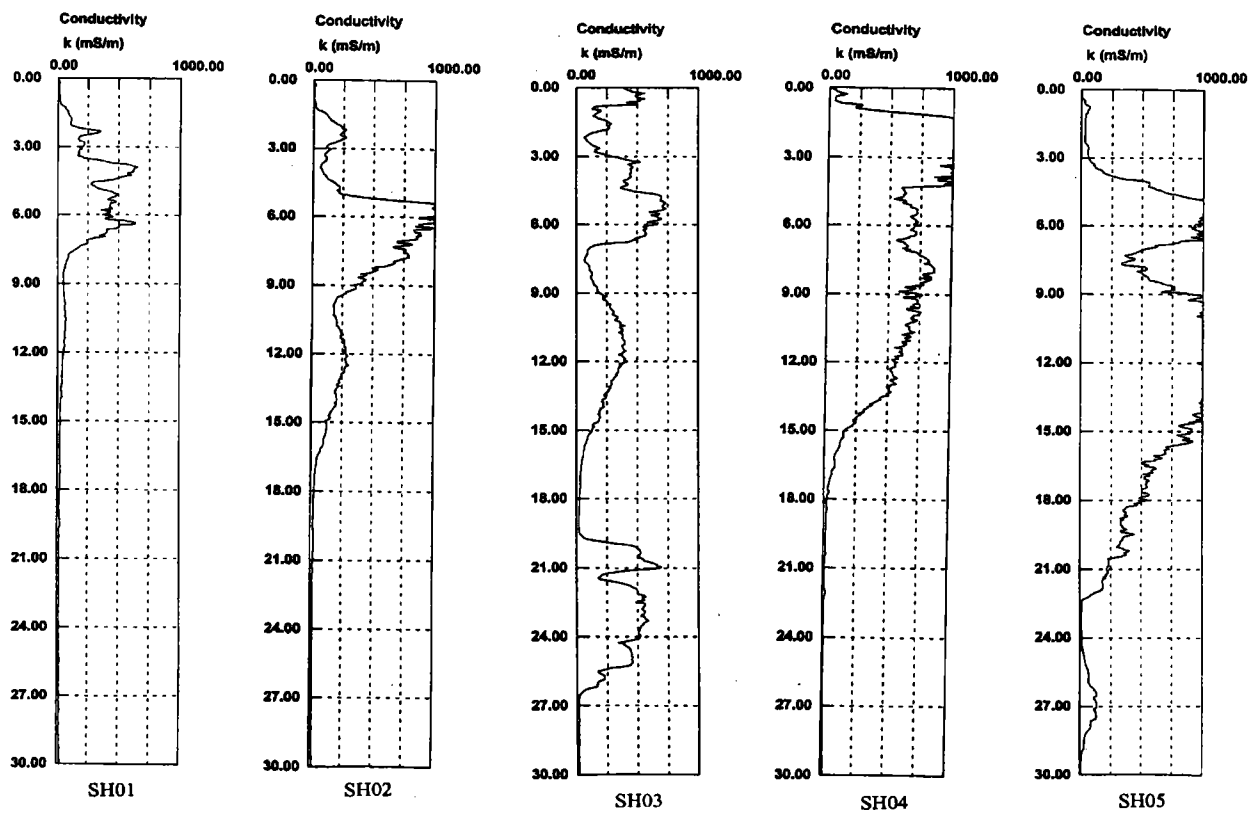


圖 6.2.1.3 台中港加工出口區電阻錐試驗結果(1)

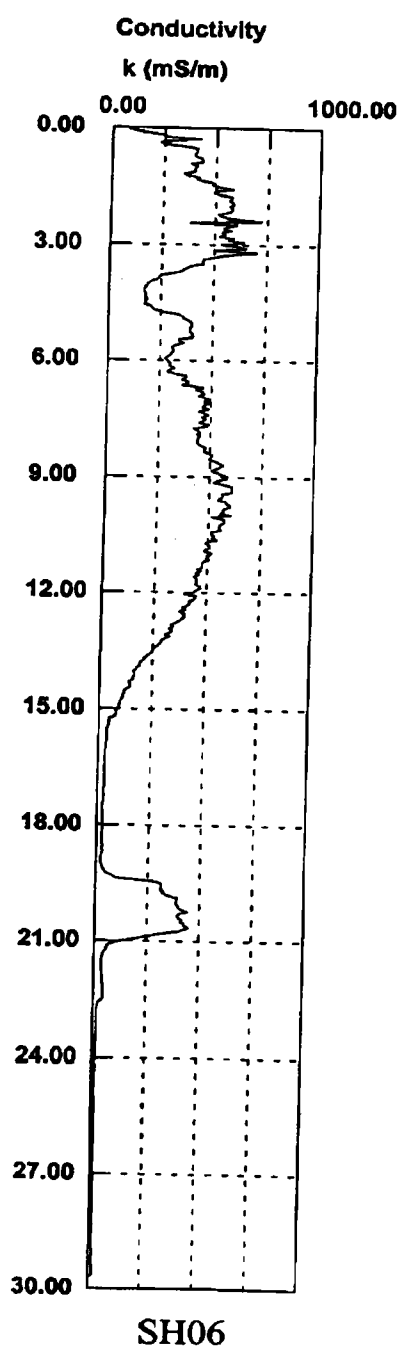
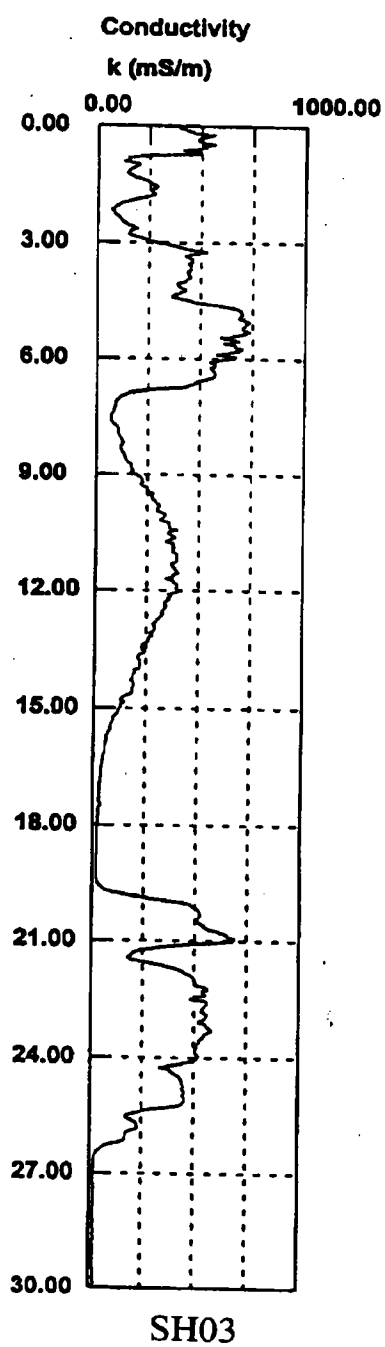


圖 6.2.1.4 台中港加工出口區電阻錐試驗結果(2)

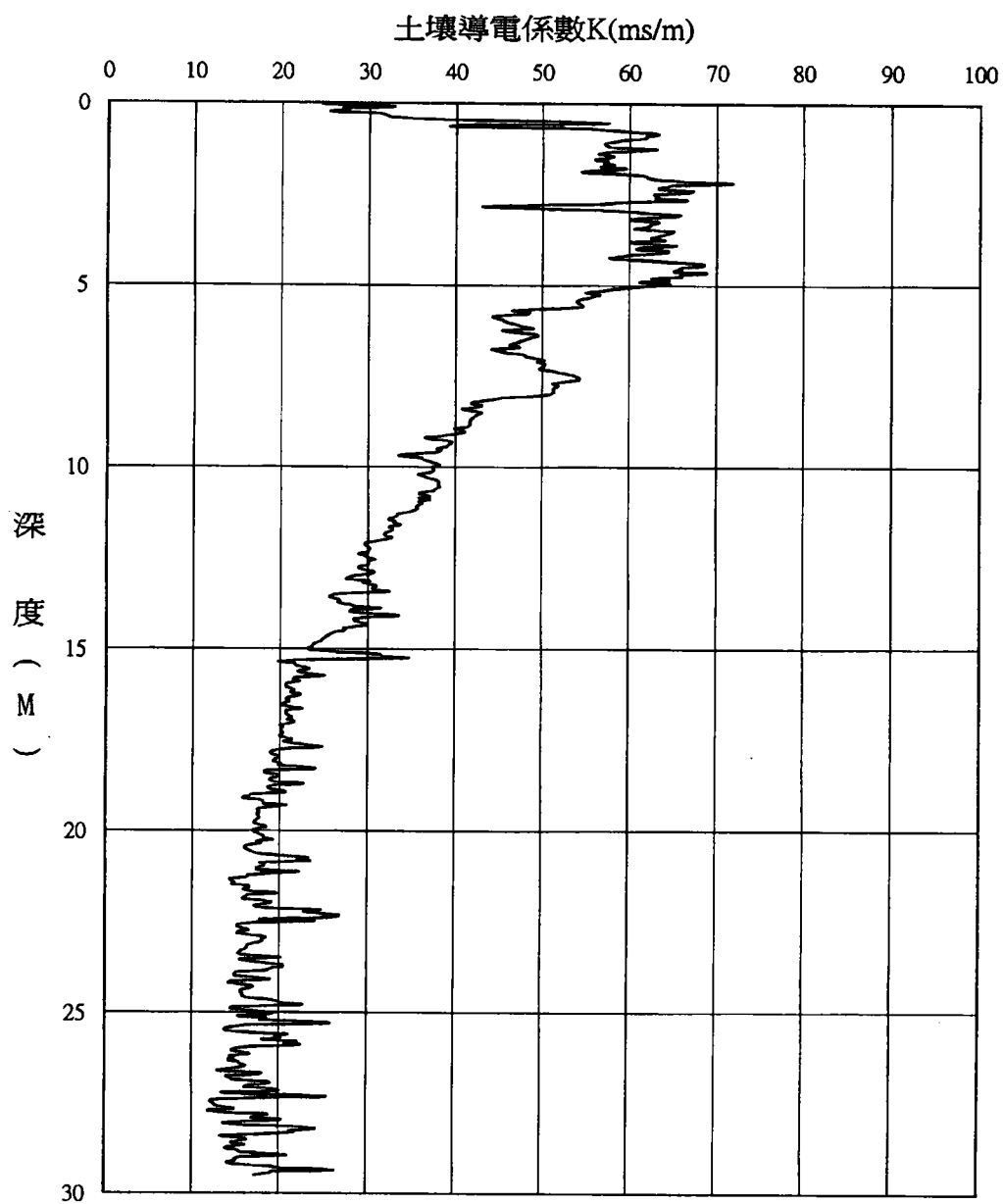


圖 6.2.1.5 西濱公路關聯交流道電阻錐試驗結果

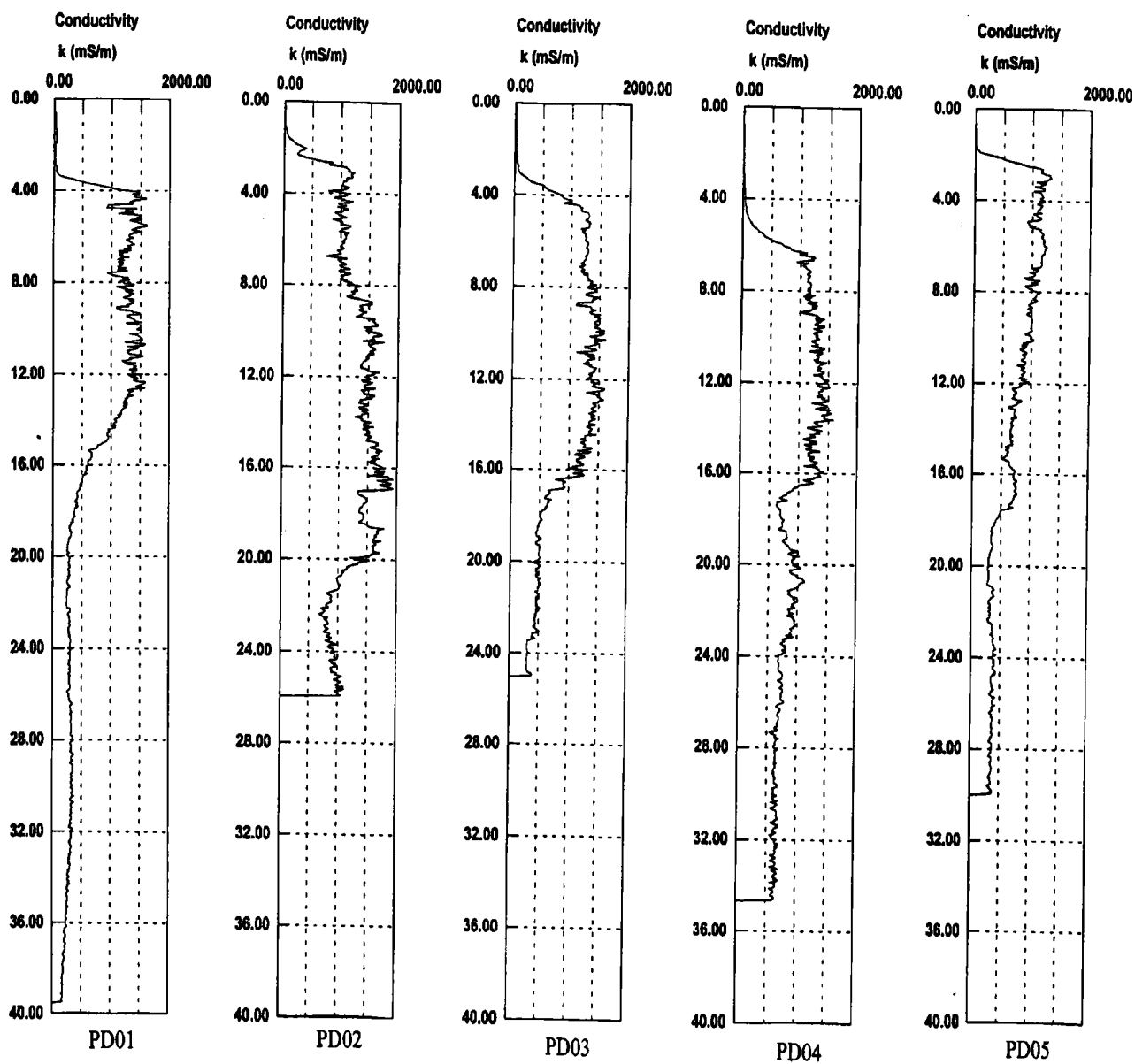


圖 6.2.2.1 布袋港區電阻錐試驗結果(1)

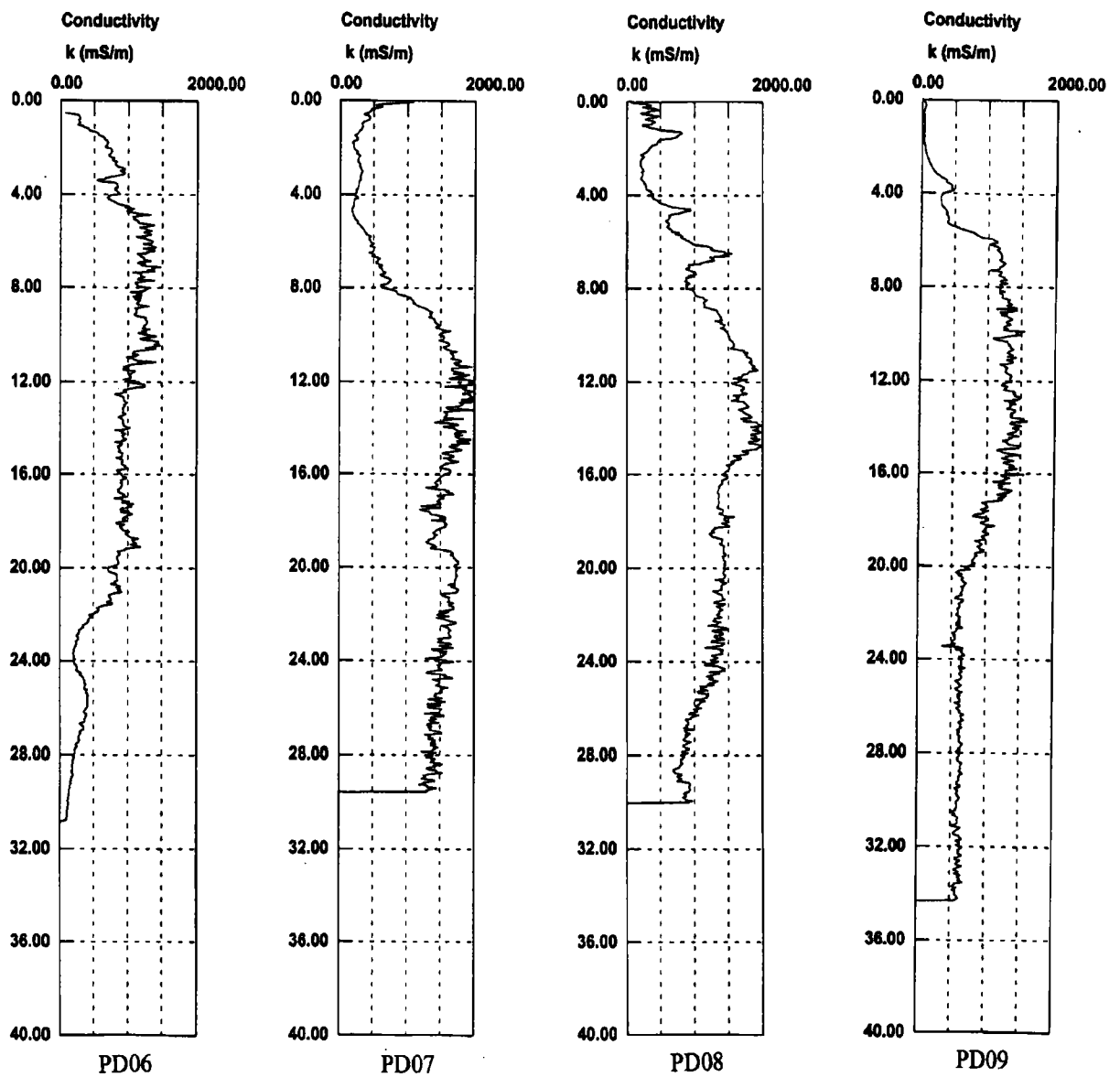


圖 6.2.2.2 布袋港區電阻錐試驗結果(2)

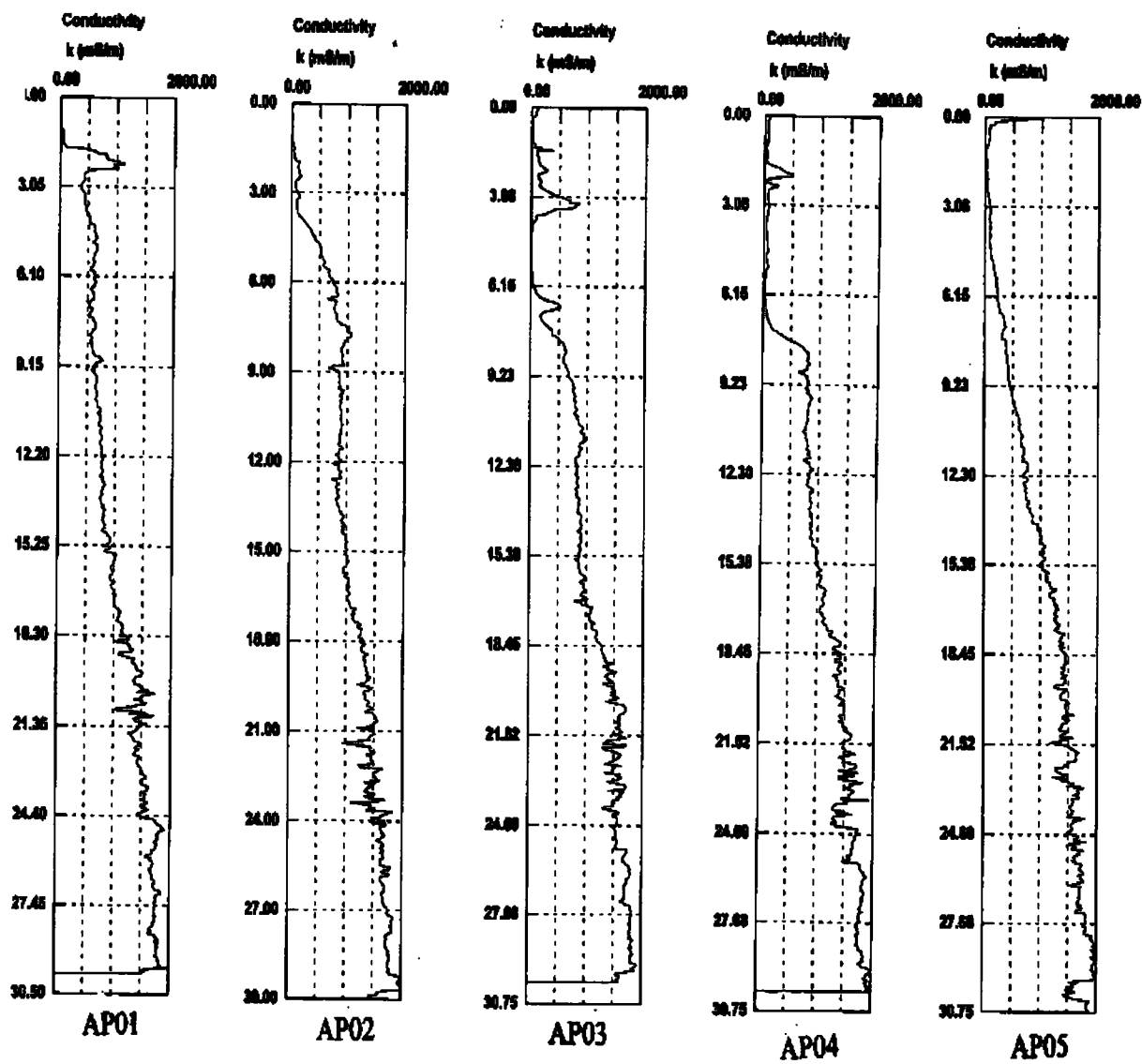


圖 6.2.3.1 安平港區電阻錐試驗結果(1)

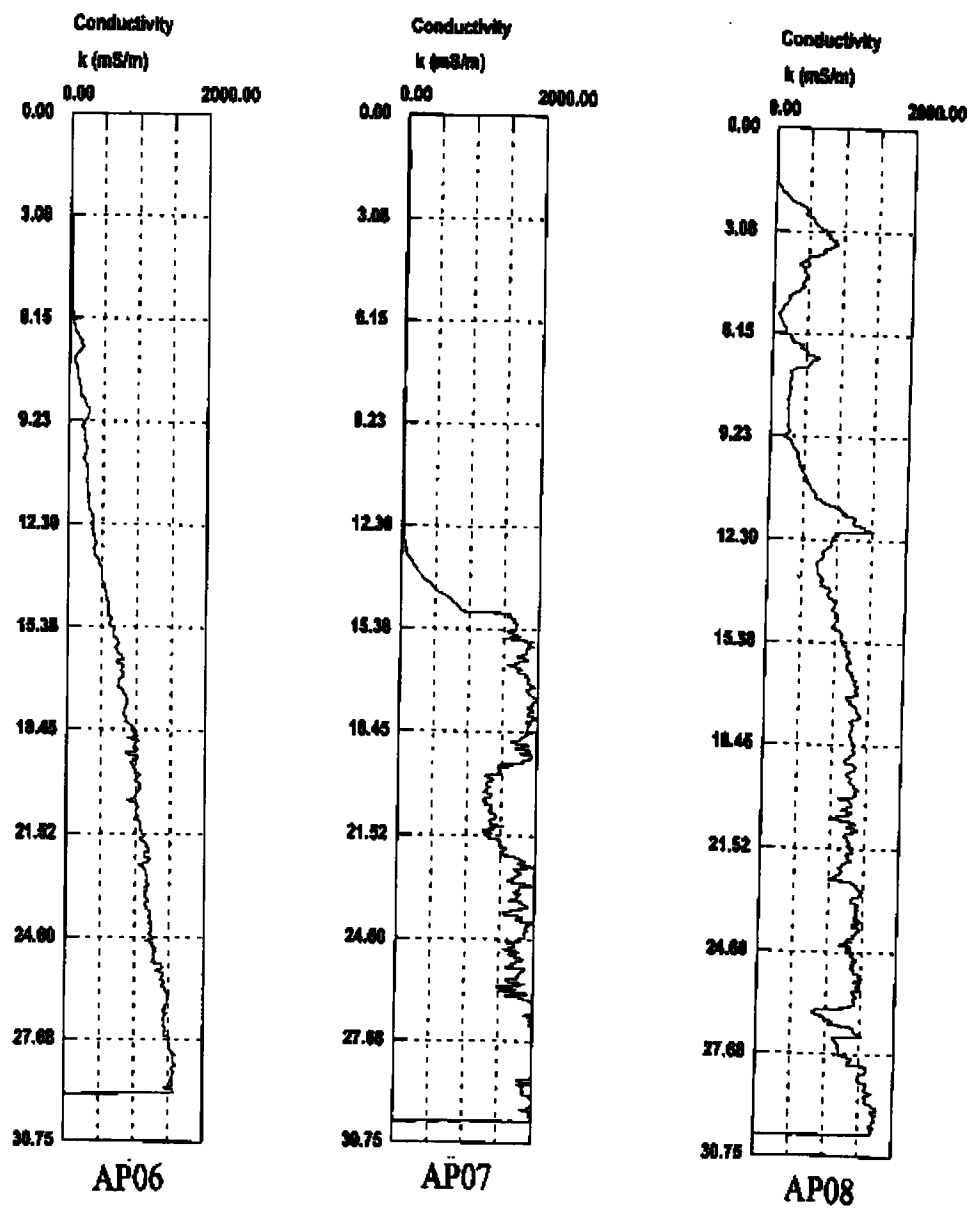


圖 6.2.3.2 安平港區電阻錐試驗結果(2)

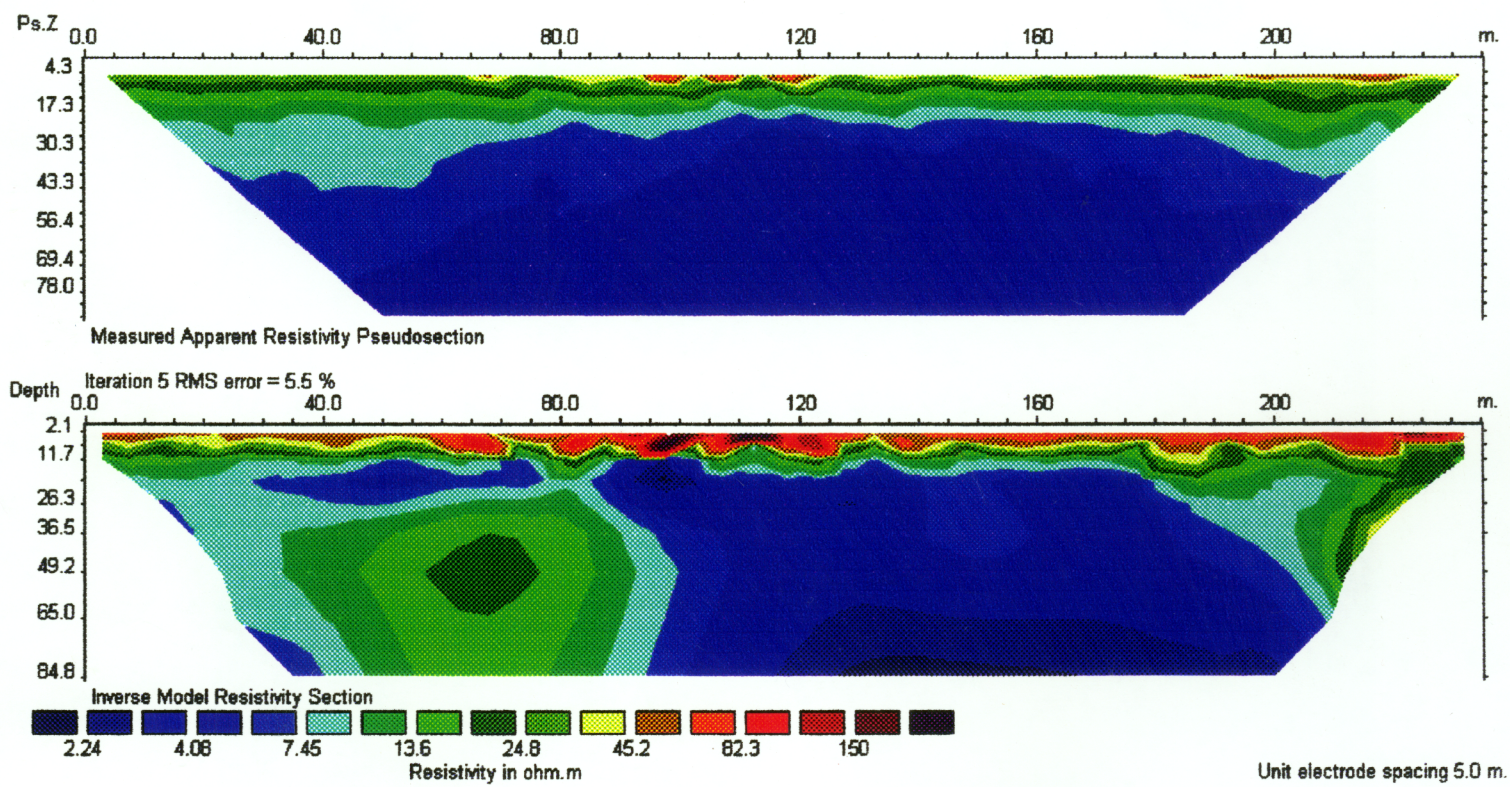


圖 6.3.1.1 台中港 RIP-1 試驗結果圖

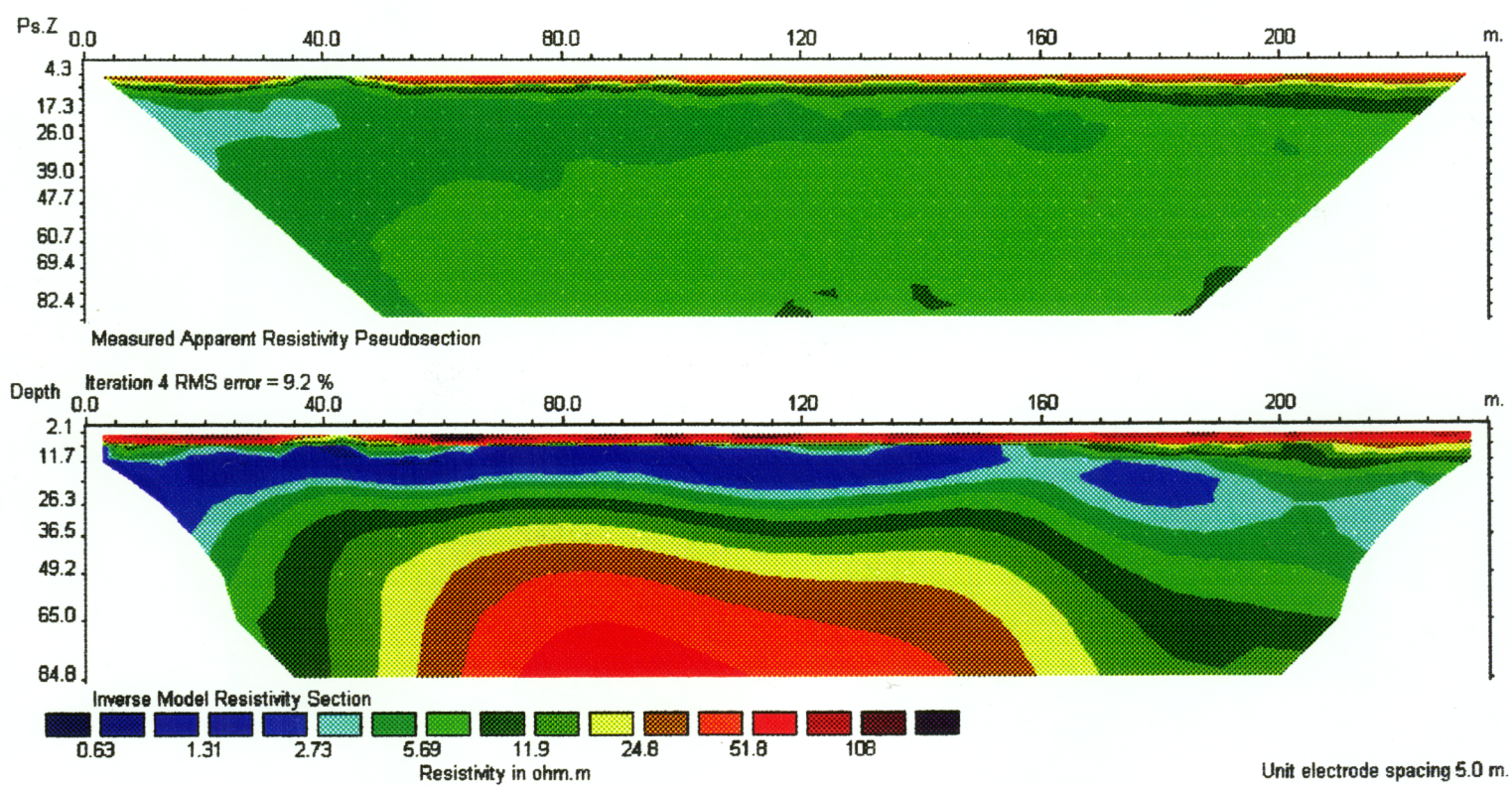


圖 6.3.1.2 台中港 RIP-2 試驗結果圖

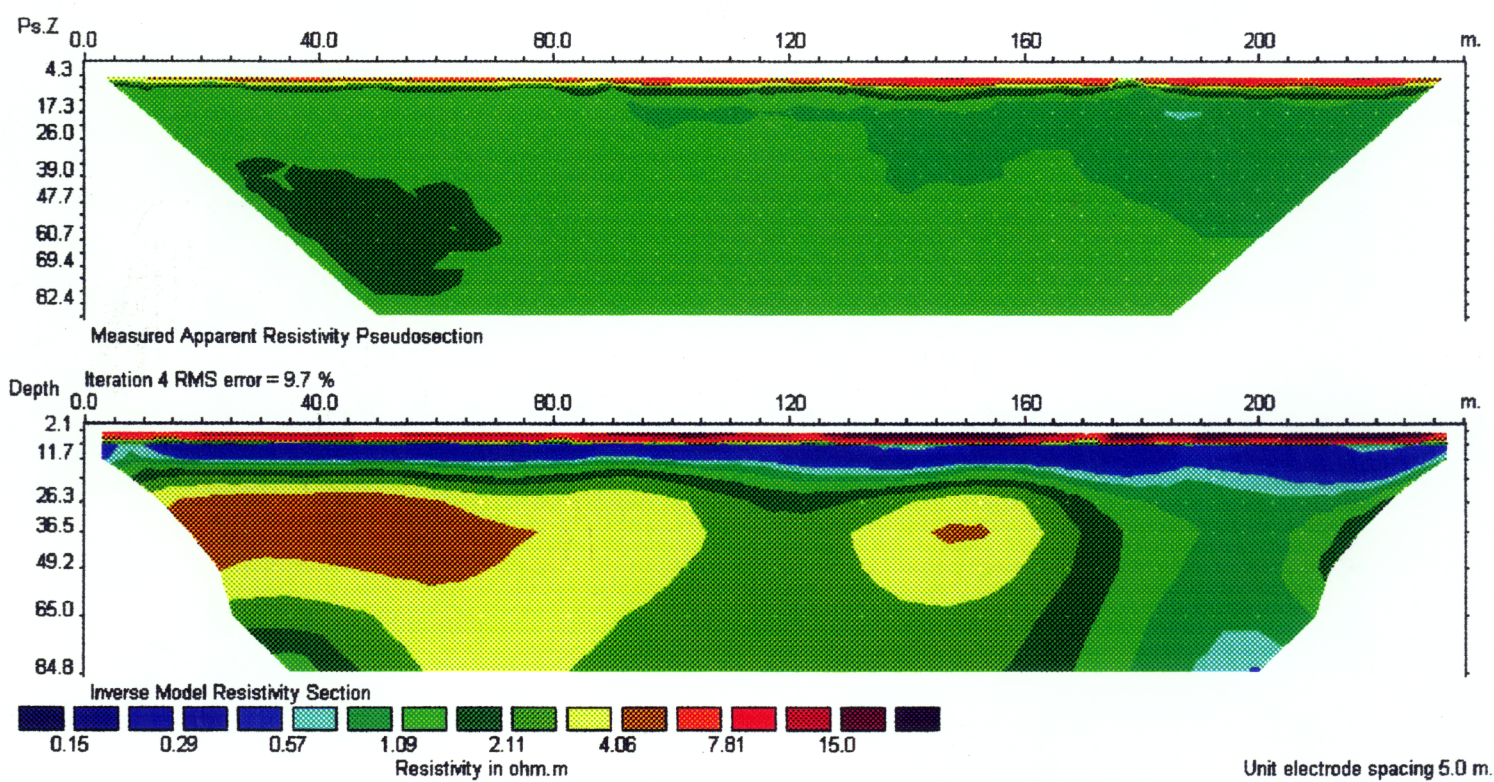


圖 6.3.2.1 布袋港 RIP-3 試驗結果圖

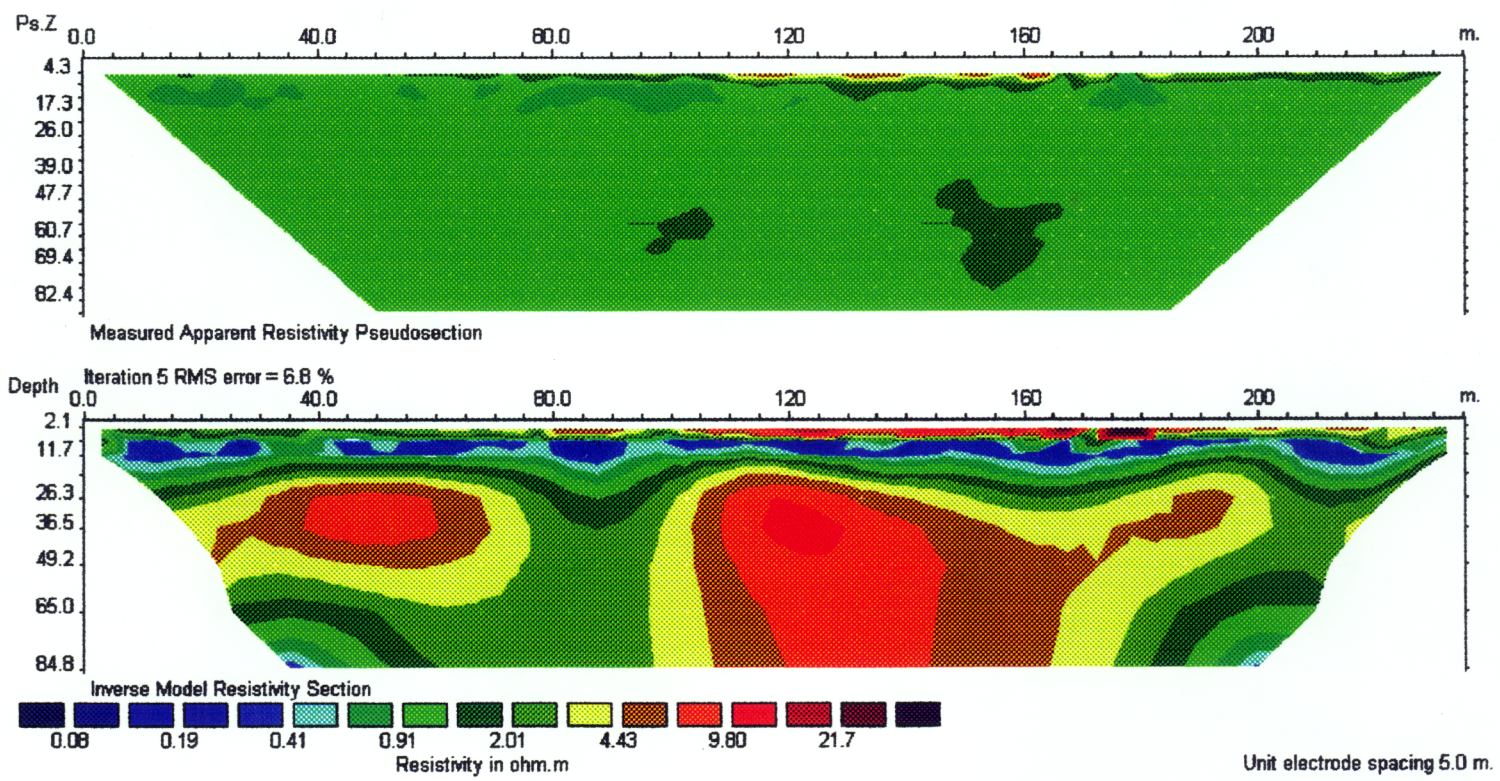


圖 6.3.2.2 布袋港 RIP-4 試驗結果圖

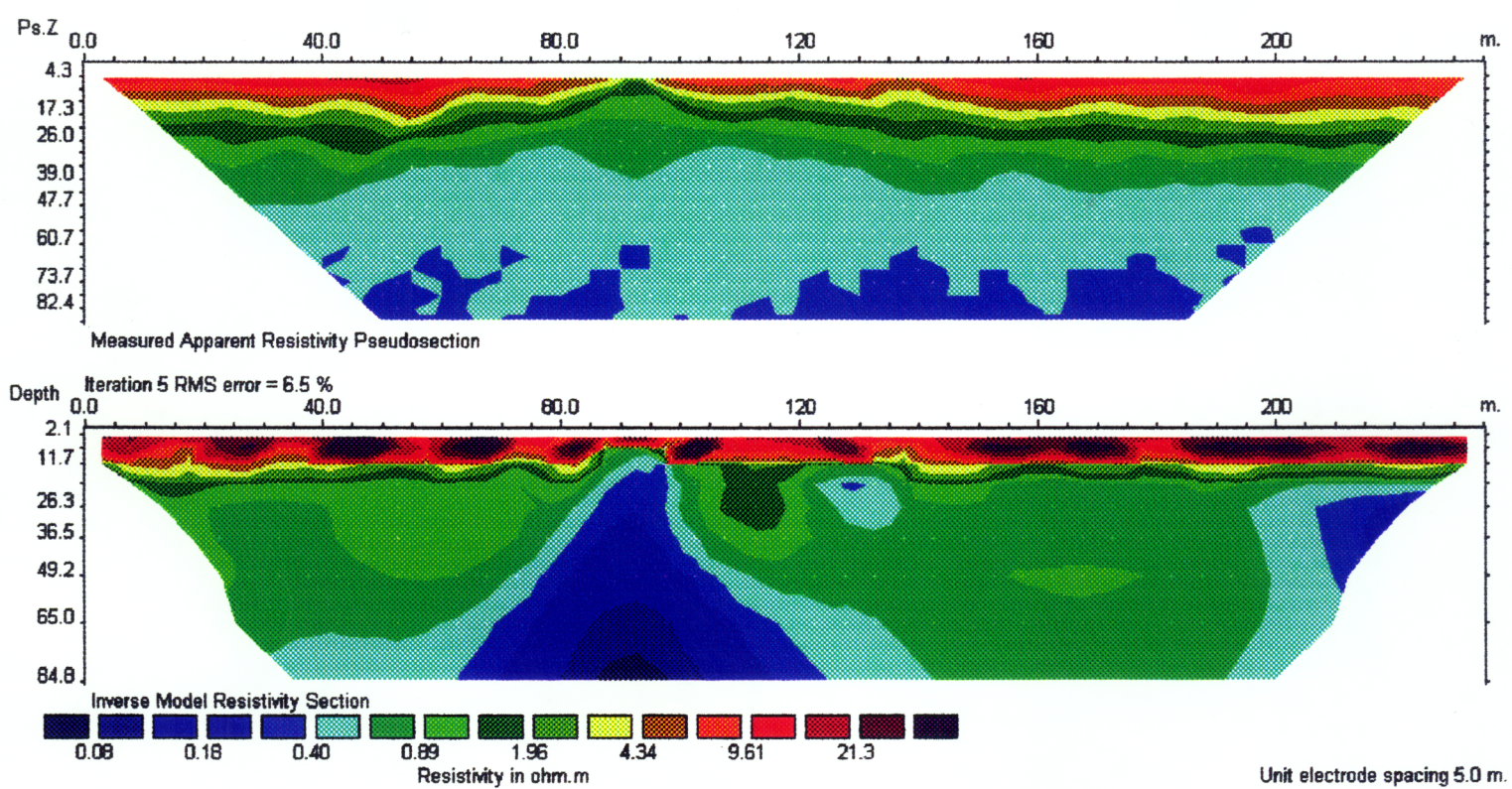


圖 6.3.3.1 安平港 RIP-5 試驗結果圖

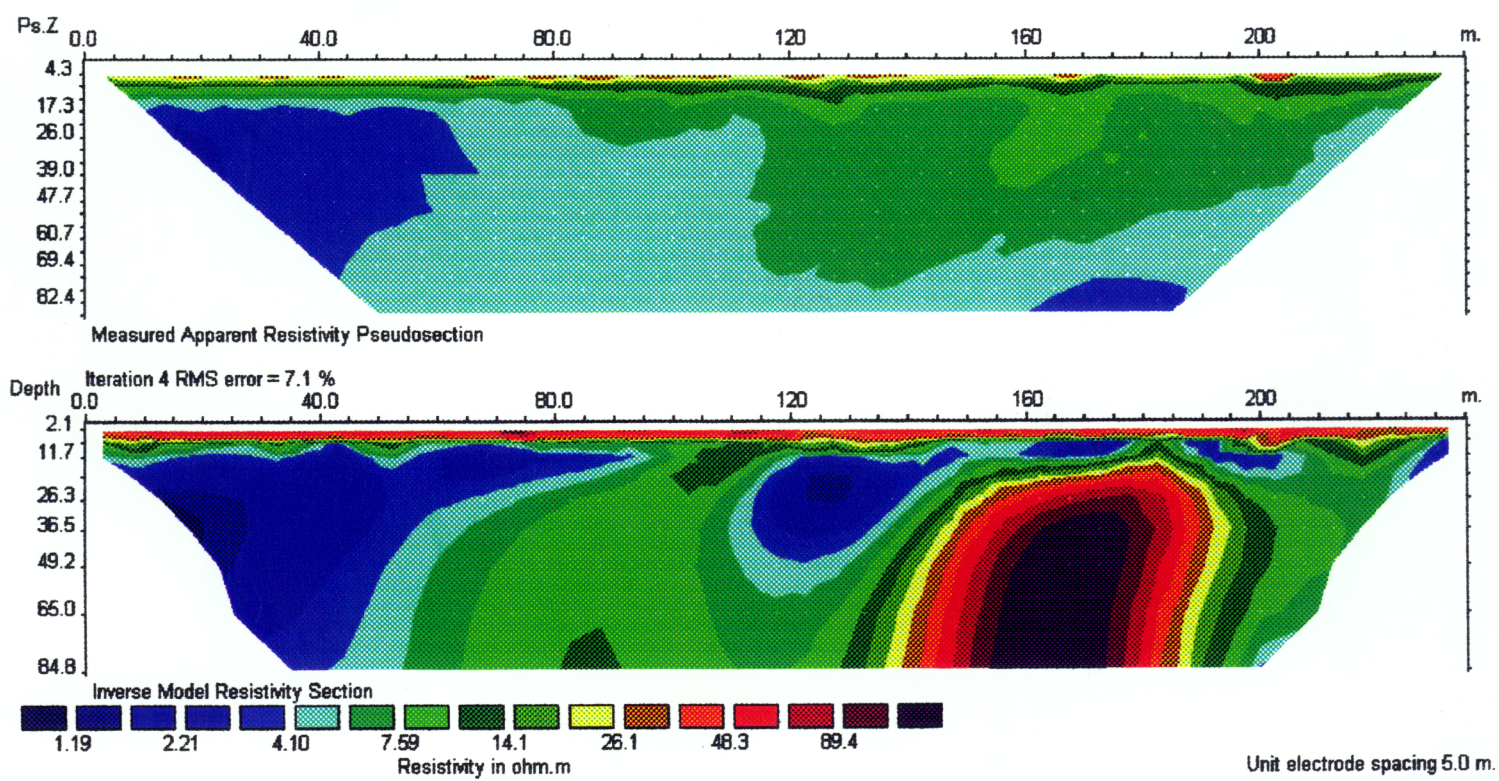


圖 6.3.3.2 安平港 RIP-6 試驗結果圖

台中港區土壤構造因子與錐頭阻力 Q_c 之相關性

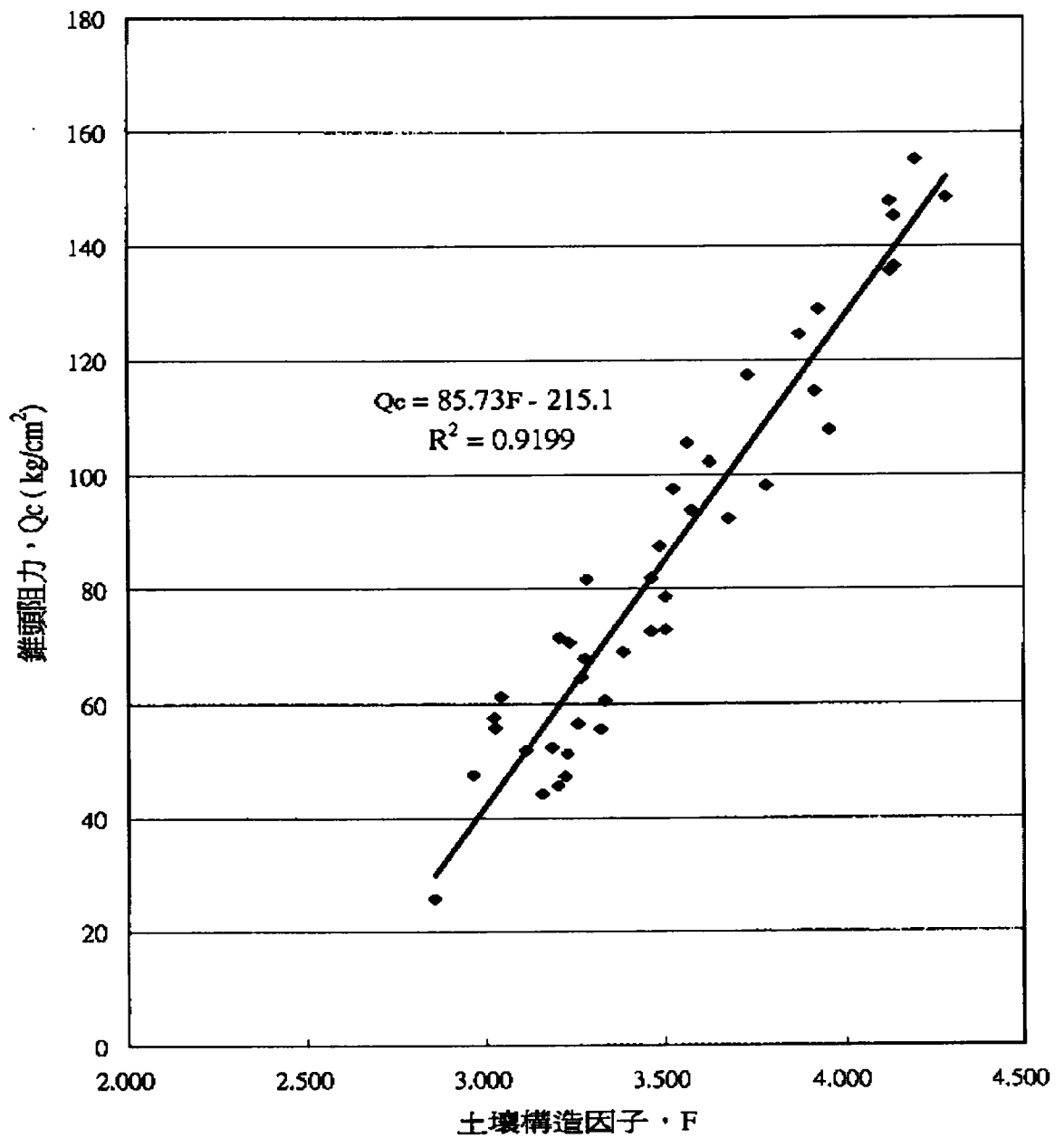


圖 6.4.1 台中港區錐頭阻力 Q_c 與 F 之相關性

布袋港區土壤構造因子與錐頭阻力 Q_c 之相關性

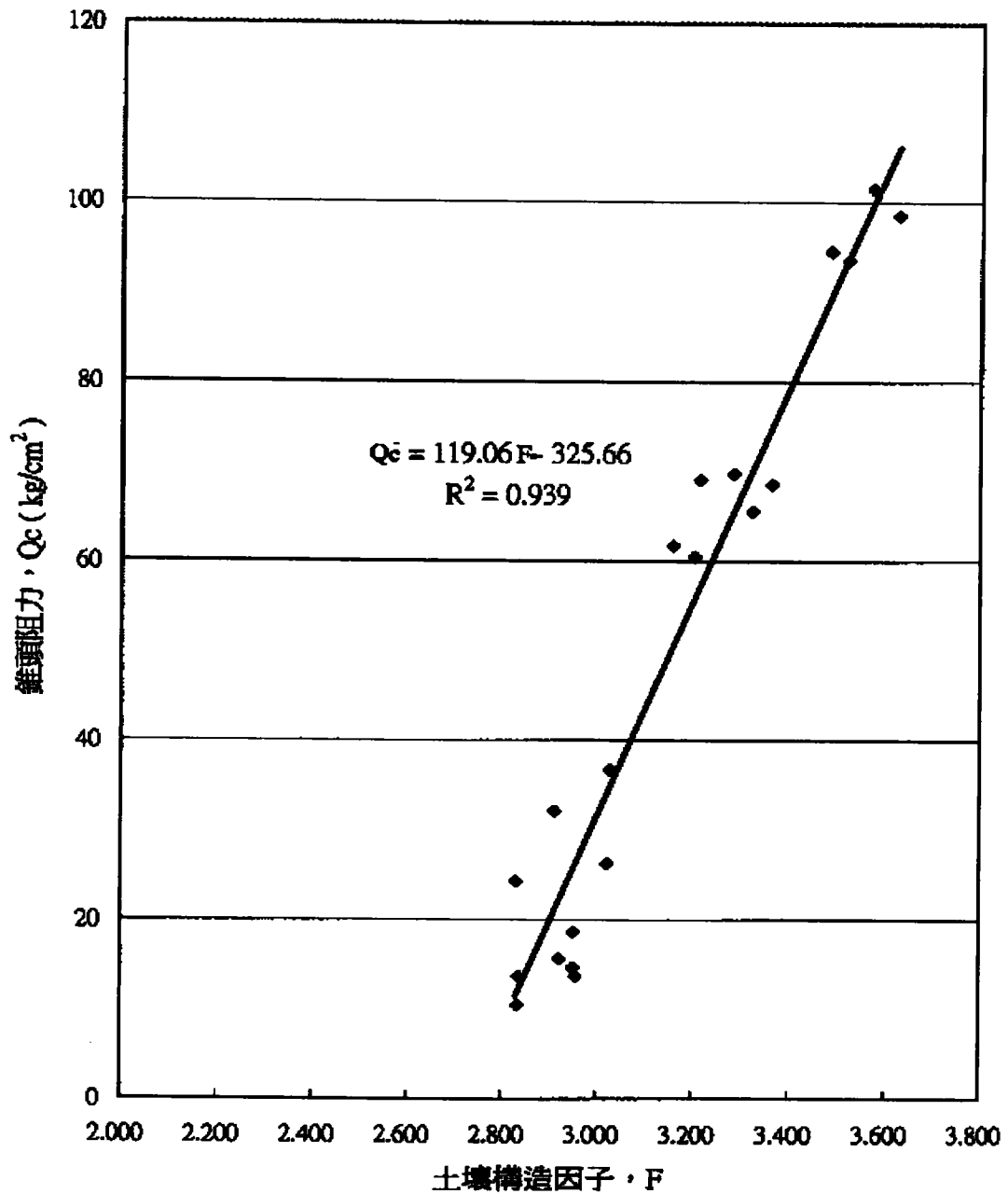


圖 6.4.2 布袋港區錐頭阻力 Q_c 與 F 之相關性

安平港區土壤構造因子與錐頭阻力 Q_c 之相關性

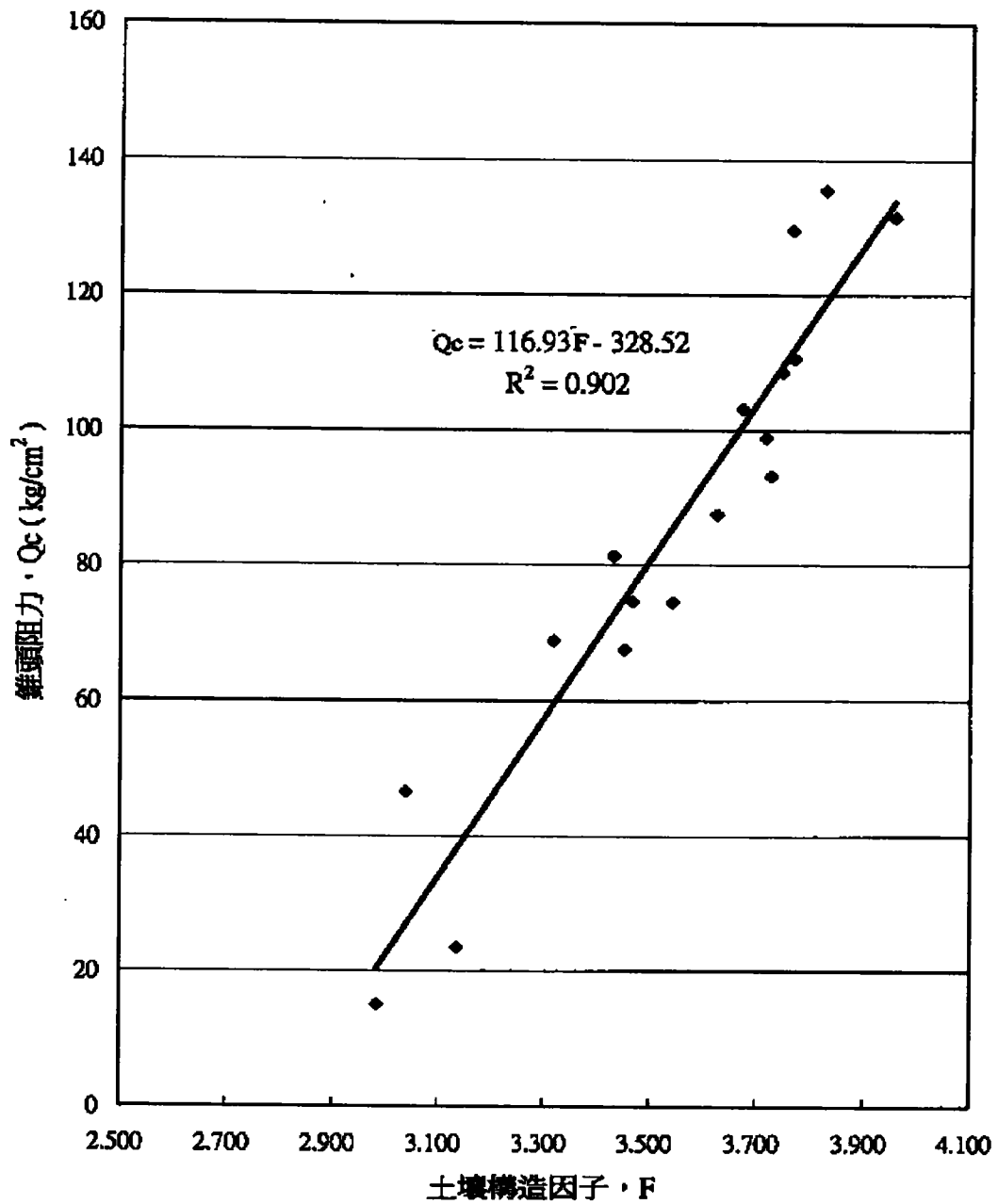


圖 6.4.3 安平港區錐頭阻力 Q_c 與 F 之相關性

台中港區土壤構造因子與孔隙率 n 之相關性

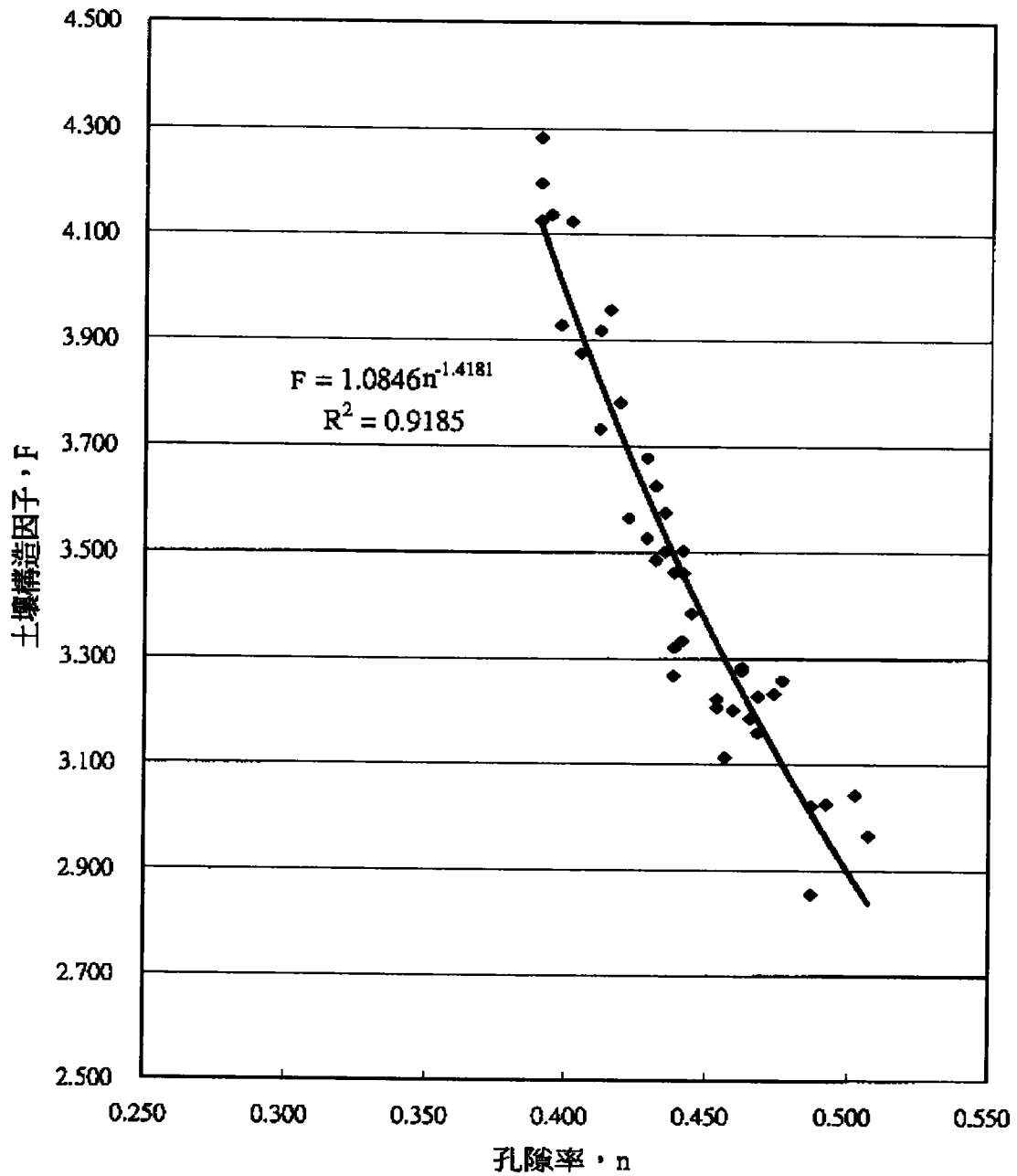


圖 6.4.4 台中港區孔隙率 n 與 F 之相關性

布袋港區土壤構造因子與孔隙率 n 之相關性

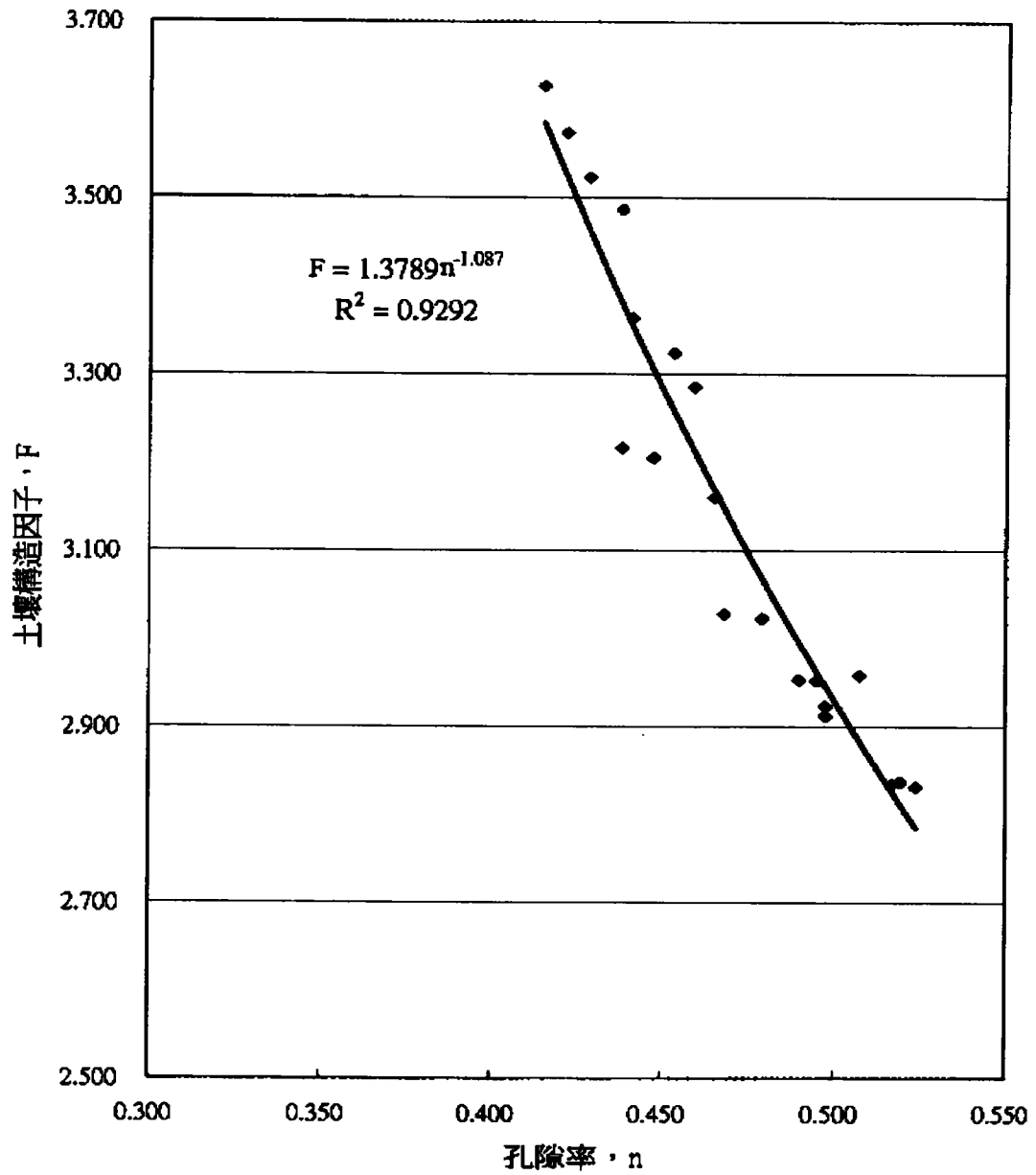


圖 6.4.5 布袋港區孔隙率 n 與 F 之相關性

安平港區土壤構造因子與孔隙率 n 之相關性

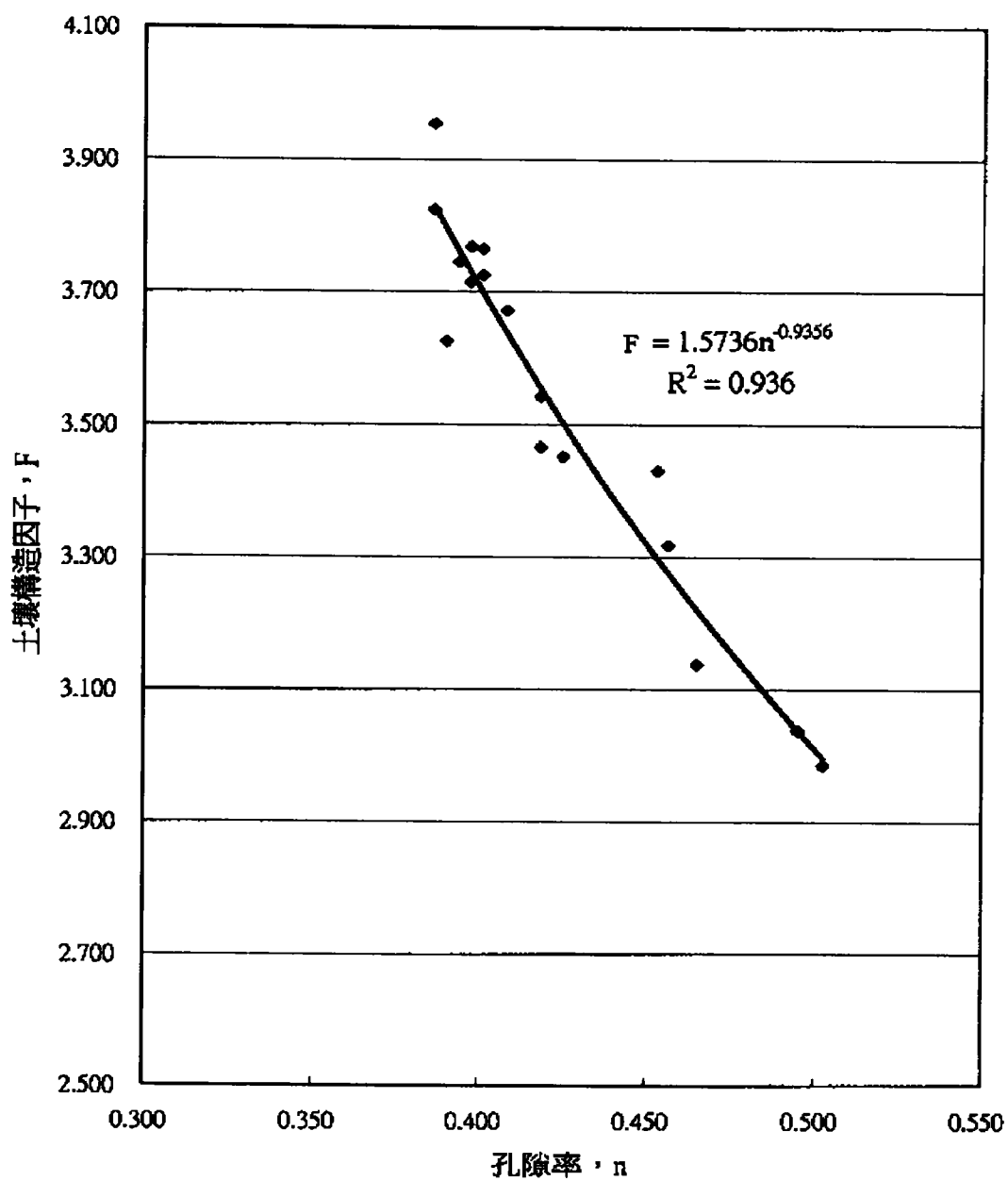


圖 6.4.6 安平港區孔隙率 n 與 F 之相關性

台中港區土壤構造因子與SPT-N之相關性

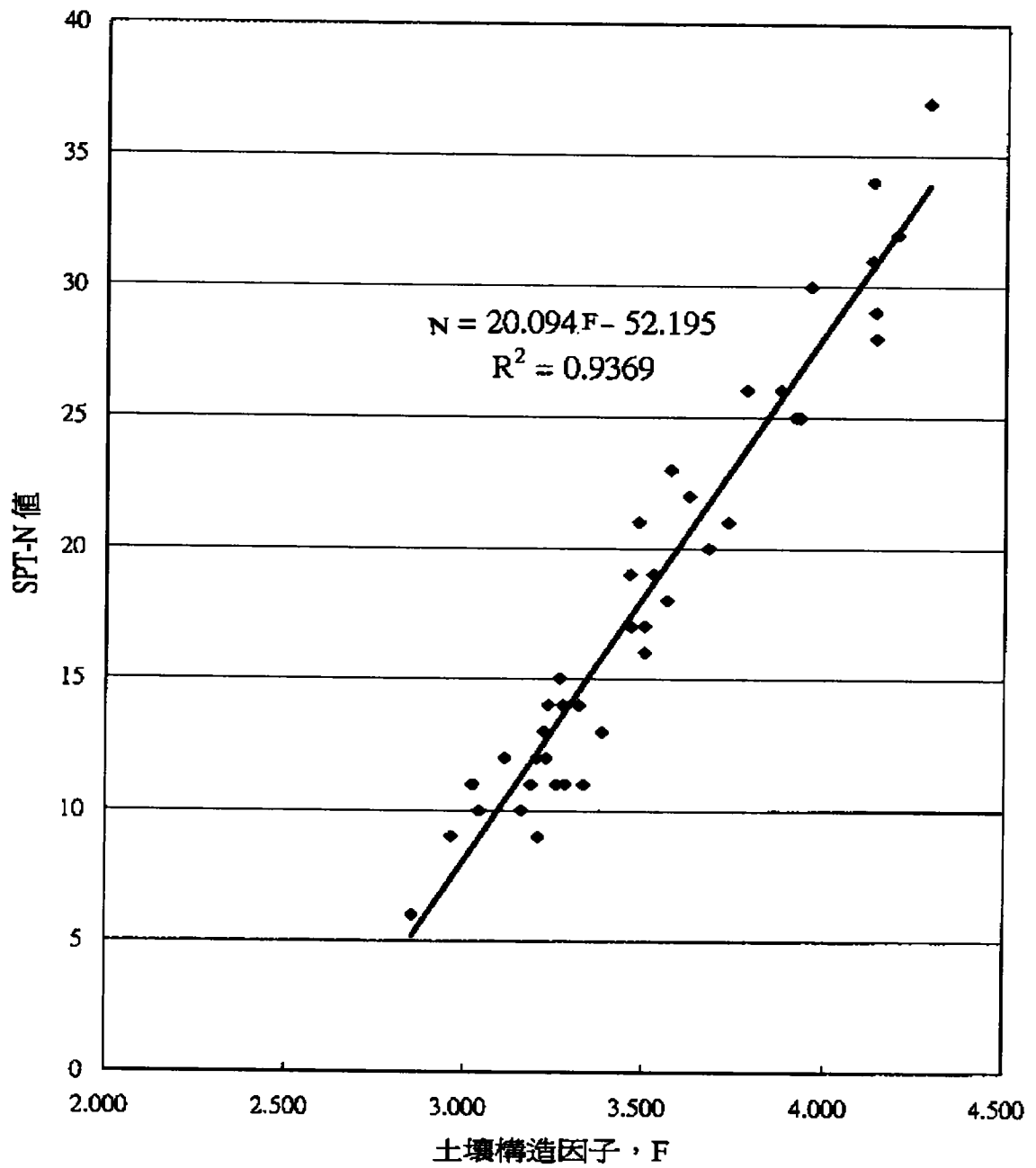


圖 6.4.7 台中港區 SPT-N 與 F 之相關性

布袋港區土壤構造因子與SPT-N之相關性

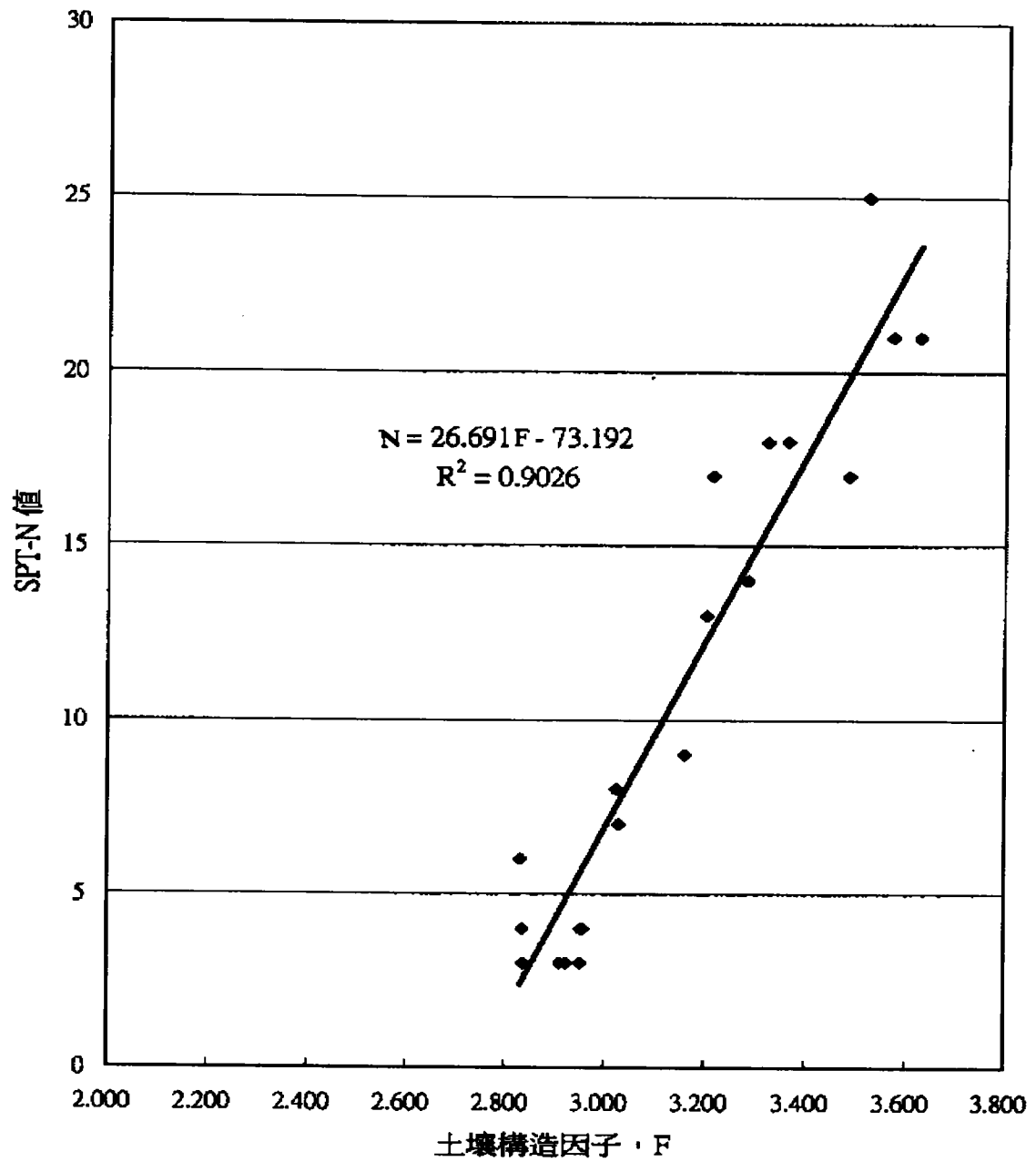


圖 6.4.8 布袋港區 SPT-N 與 F 之相關性

安平港區土壤構造因子與SPT-N值之相關性

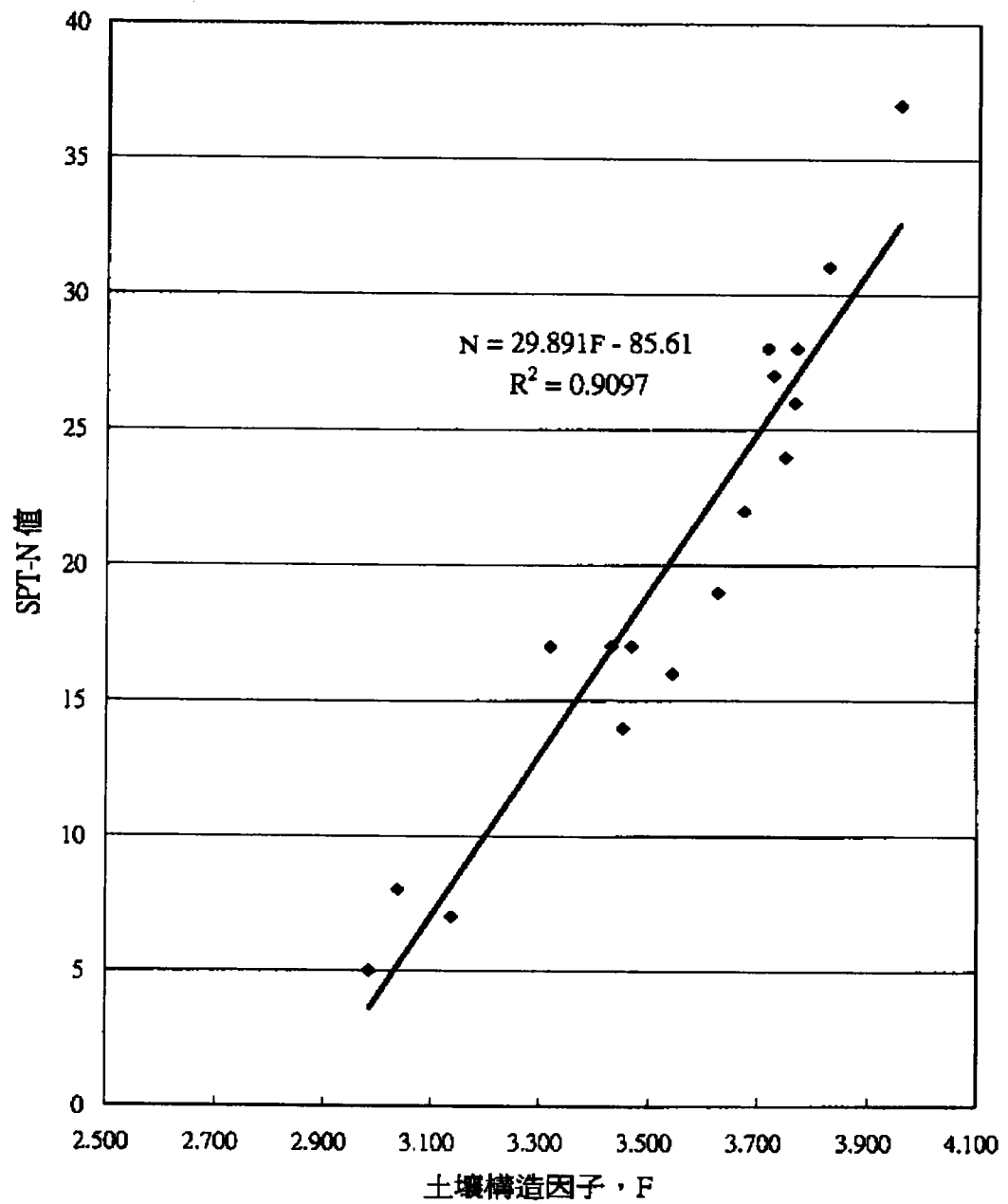


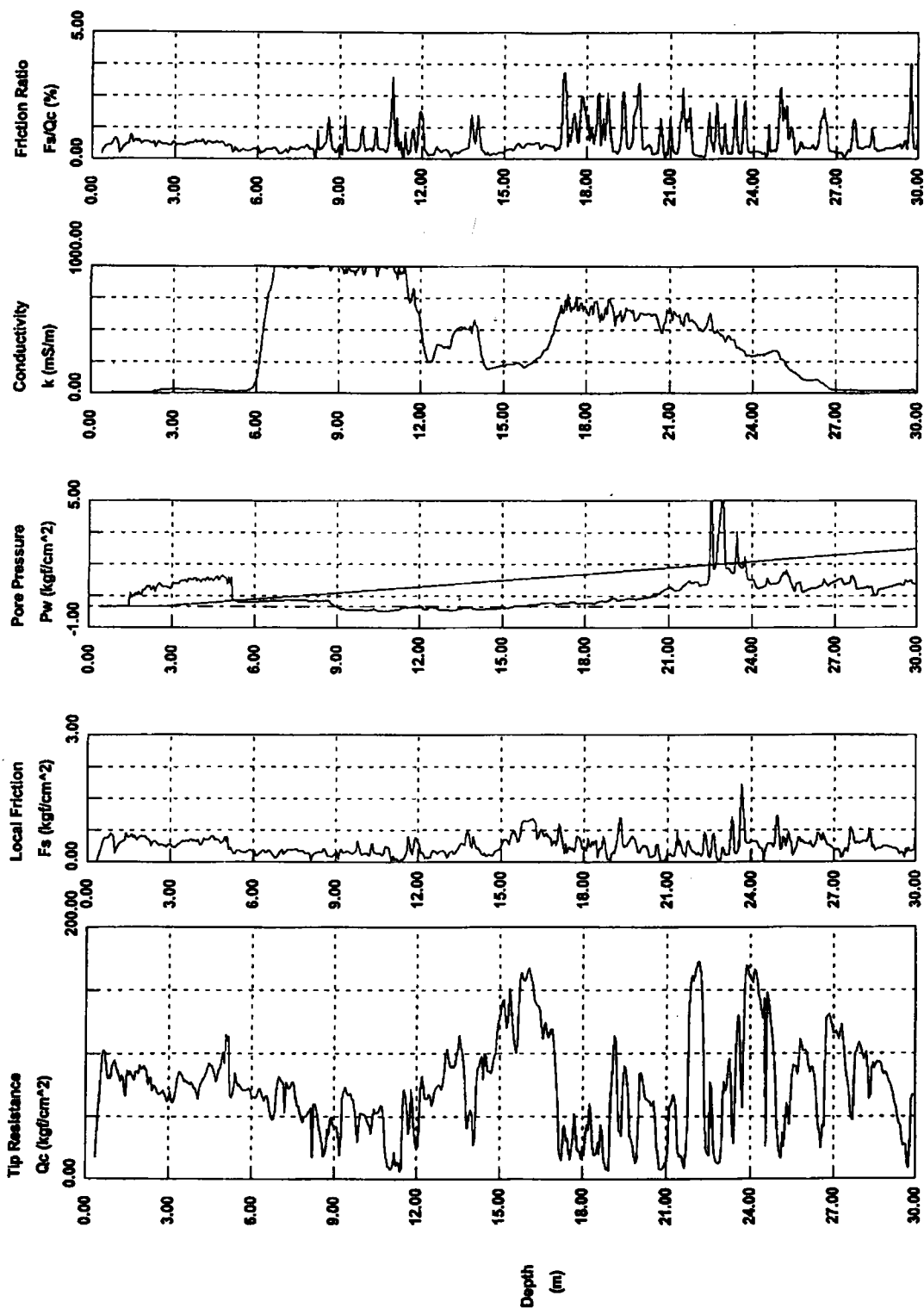
圖 6.4.9 安平港區 SPT-N 與 F 之相關性

附 錄

現地電阻錐試驗結果

CPT Date : 11-17-00 11:04
 Location : W.WHARF
 Job No. : RPWH01

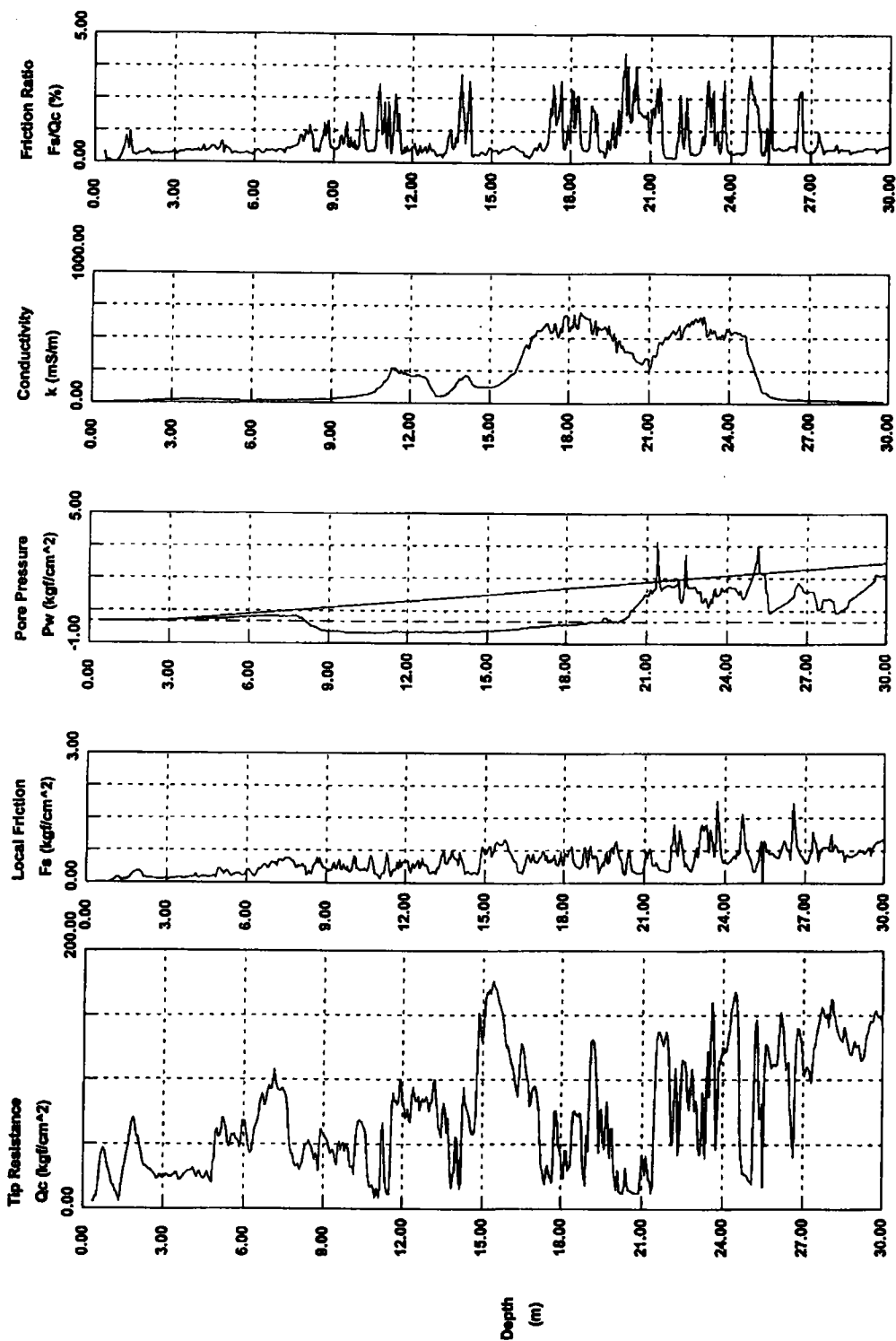
Operator: K.C.CHEN
 Sounding: RPWH01
 Cone Used: 591TC



台中港西碼頭區試孔 WH01 試驗結果圖

Operator: K.C. CHEN
 Sounding: RPWH02
 Cone Used: S917C

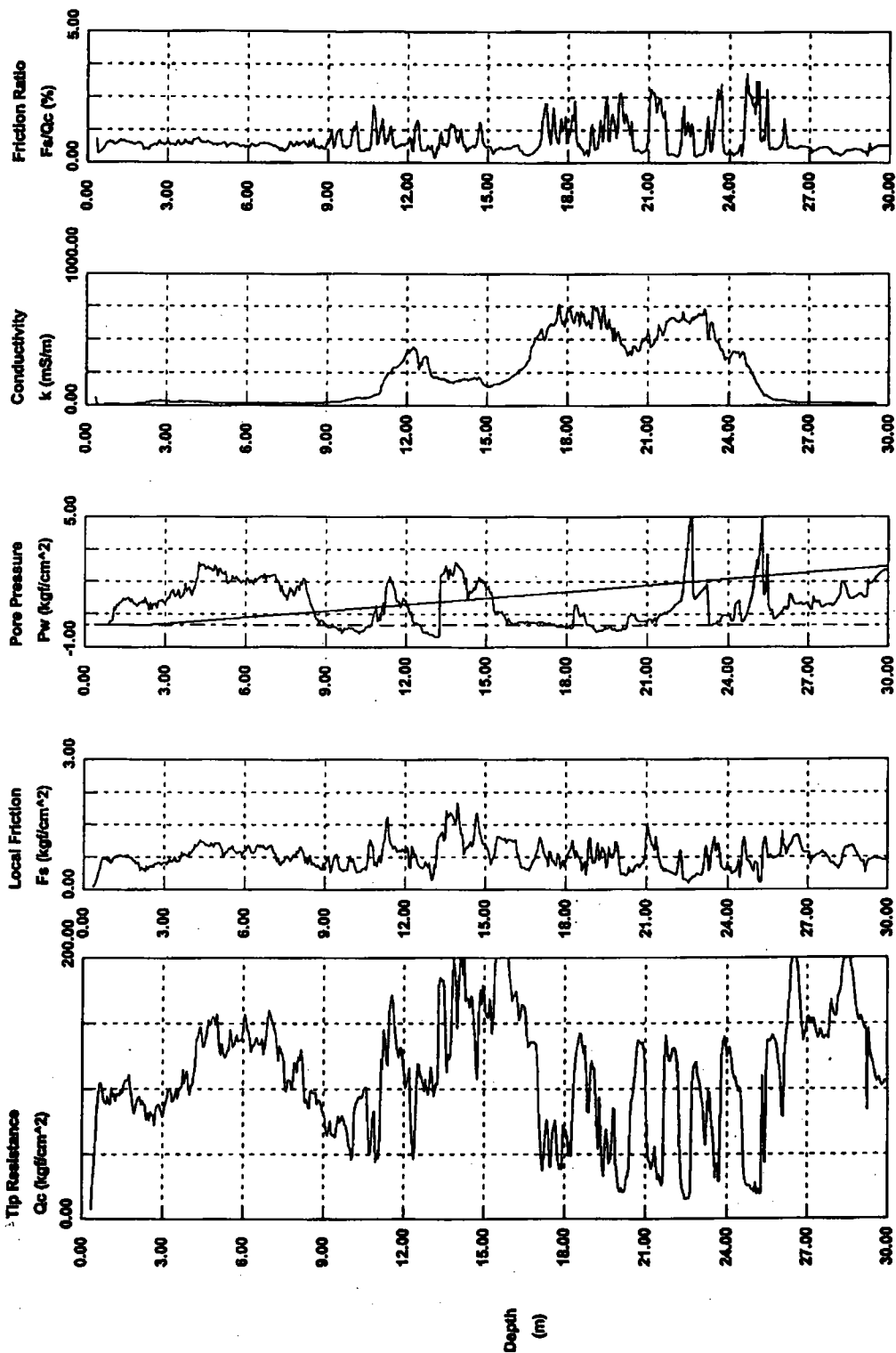
CPT Date : 11-17-00 13:19
 Location : W.WHARF
 Job No. : RPWH02



台中港西碼頭區試孔 WH02 試驗結果圖

CPT Date : 11-14-00 10:03
 Location : W.WHARF
 Job No. : RPWH03

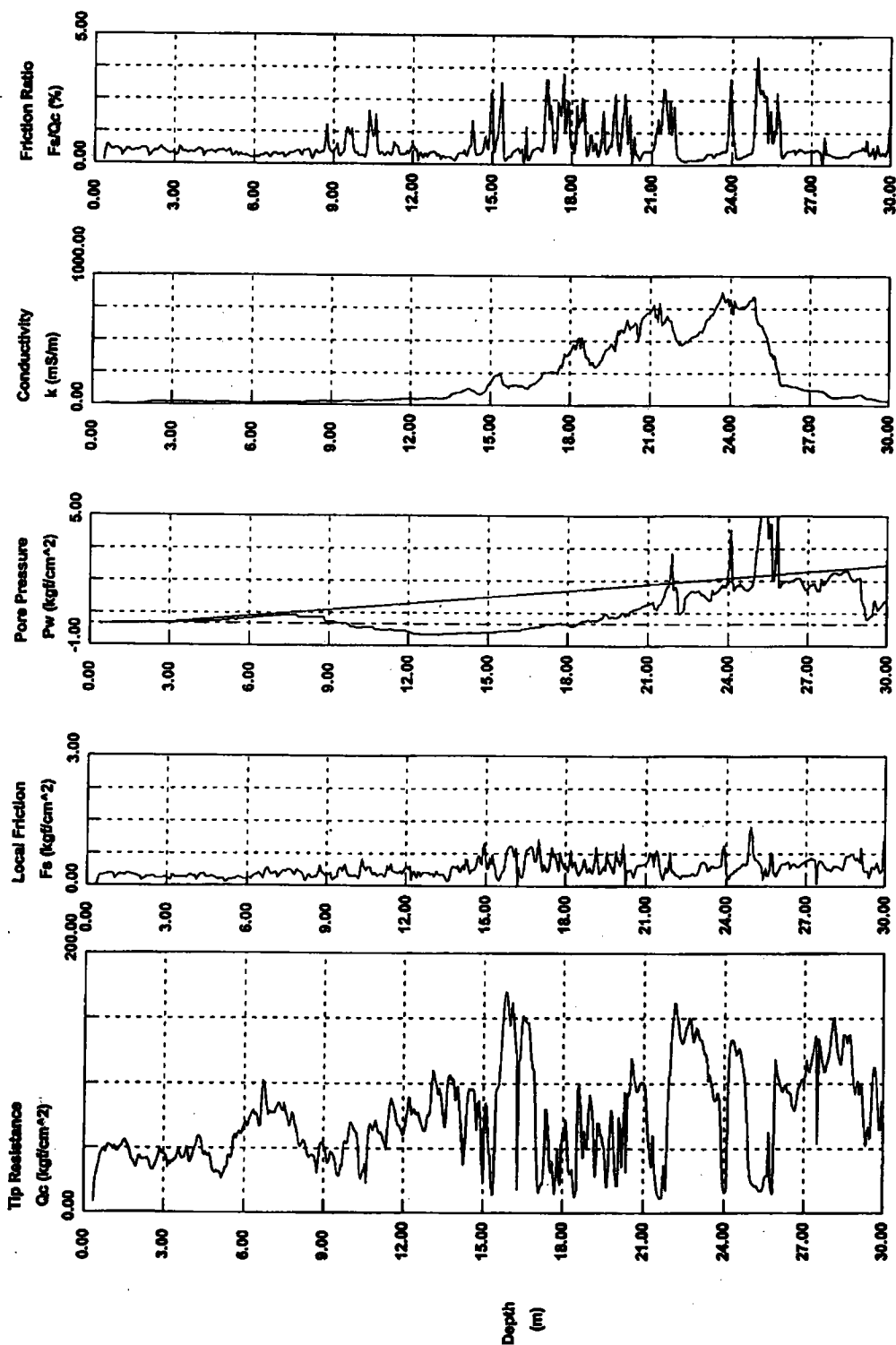
Operator: K.C.CHEN
 Sounding: RPWH03
 Cone Used: 591TC



台中港西碼頭區試孔 WH03 試驗結果圖

CPT Date : 11-14-00 11:06
 Location : W.WHARF
 Job No. : RPWH04

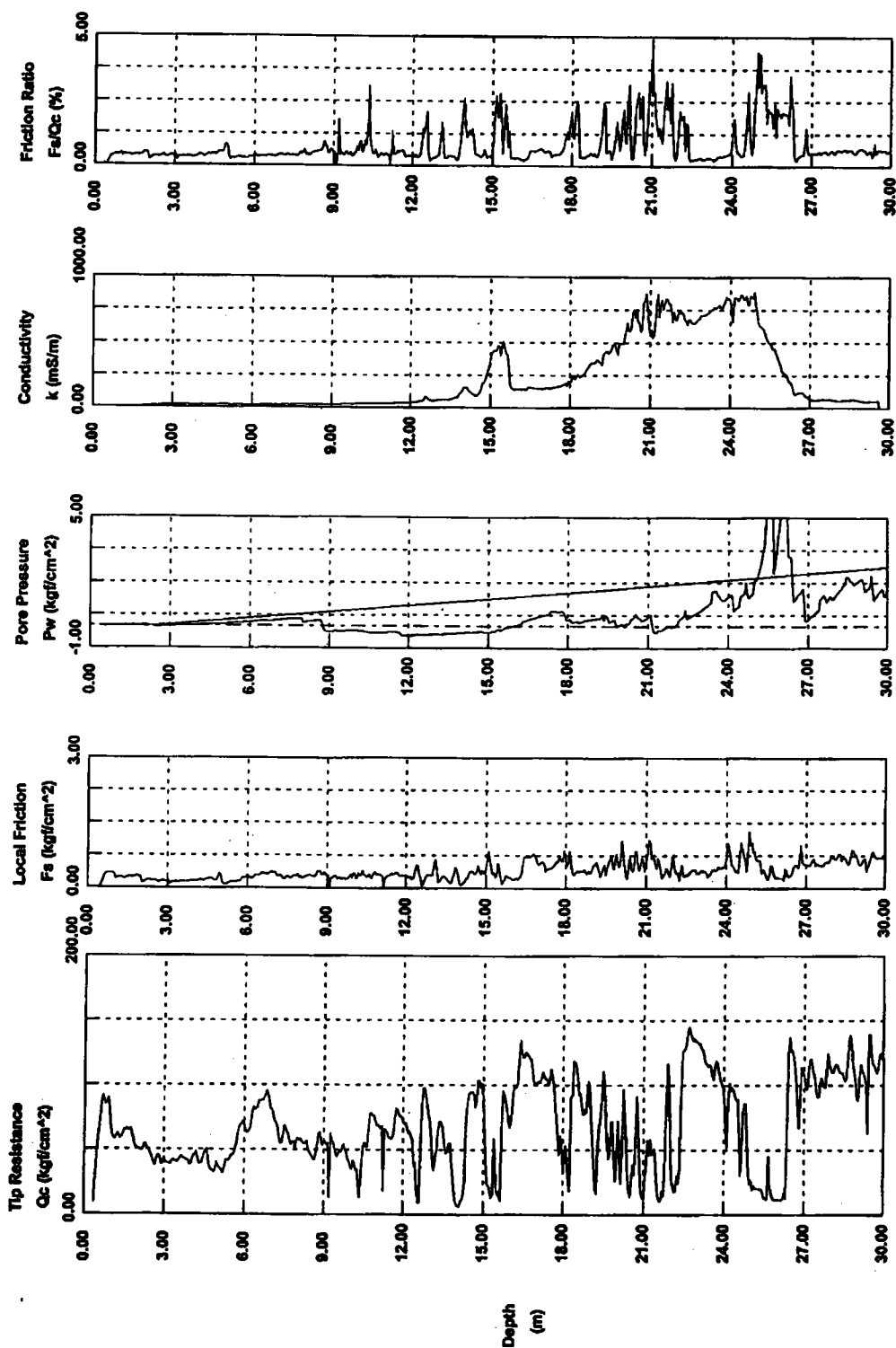
Operator: K C CHEN
 Sounding: RPWH04
 Cone Used: 591TC



台中港西碼頭區試孔 WH04 試驗結果圖

Operator: K C CHEN
Sounding: RPWH05
Cone Used: 591TC

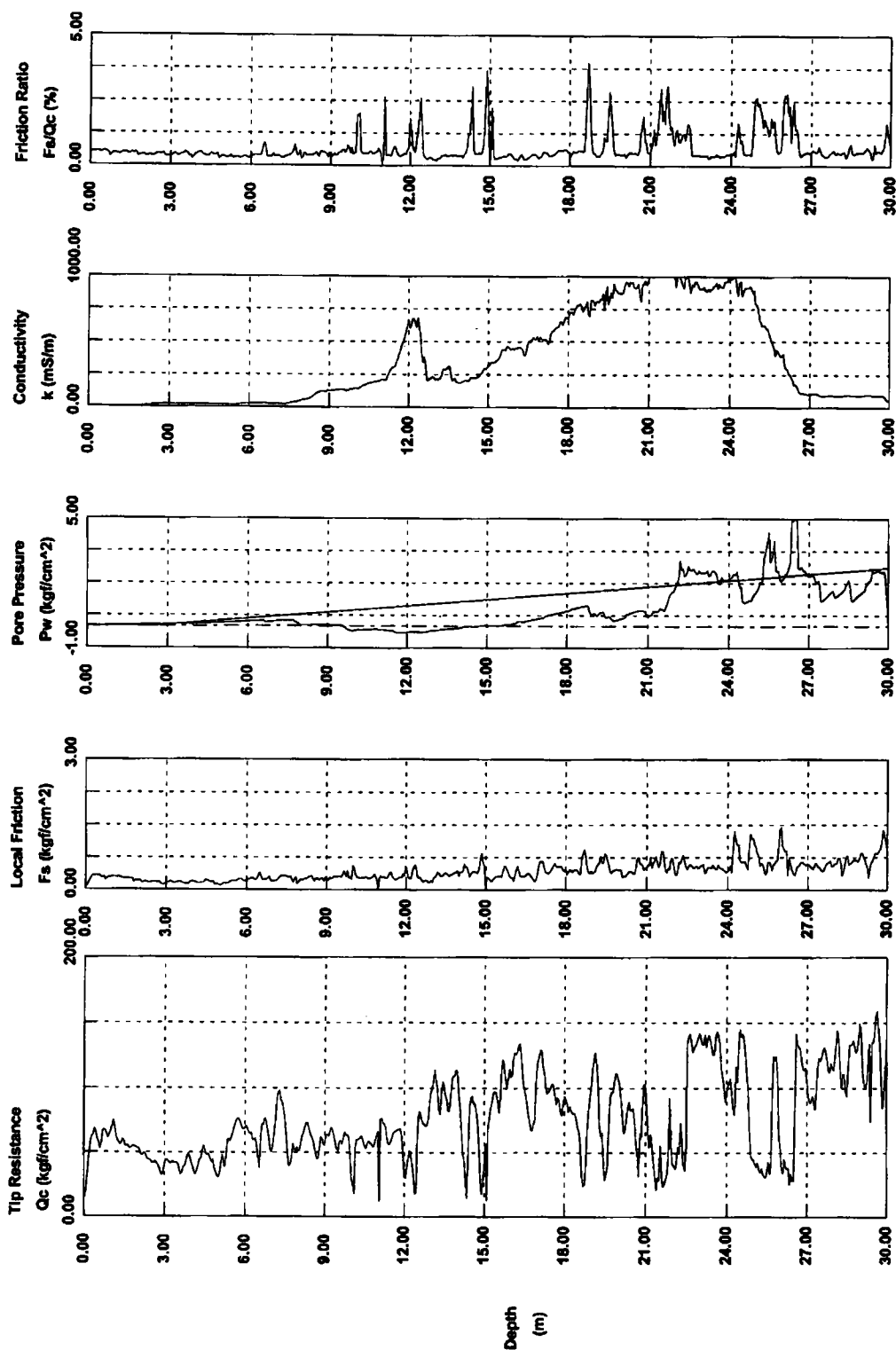
CPT Date : 11-14-00 13:28
Location : W.WHARF
Job No. : RPWH05



台中港西碼頭區試孔 WH05 試驗結果圖

Operator: K C CHEN
Sounding: RPWH06
Cone Used: 591TC

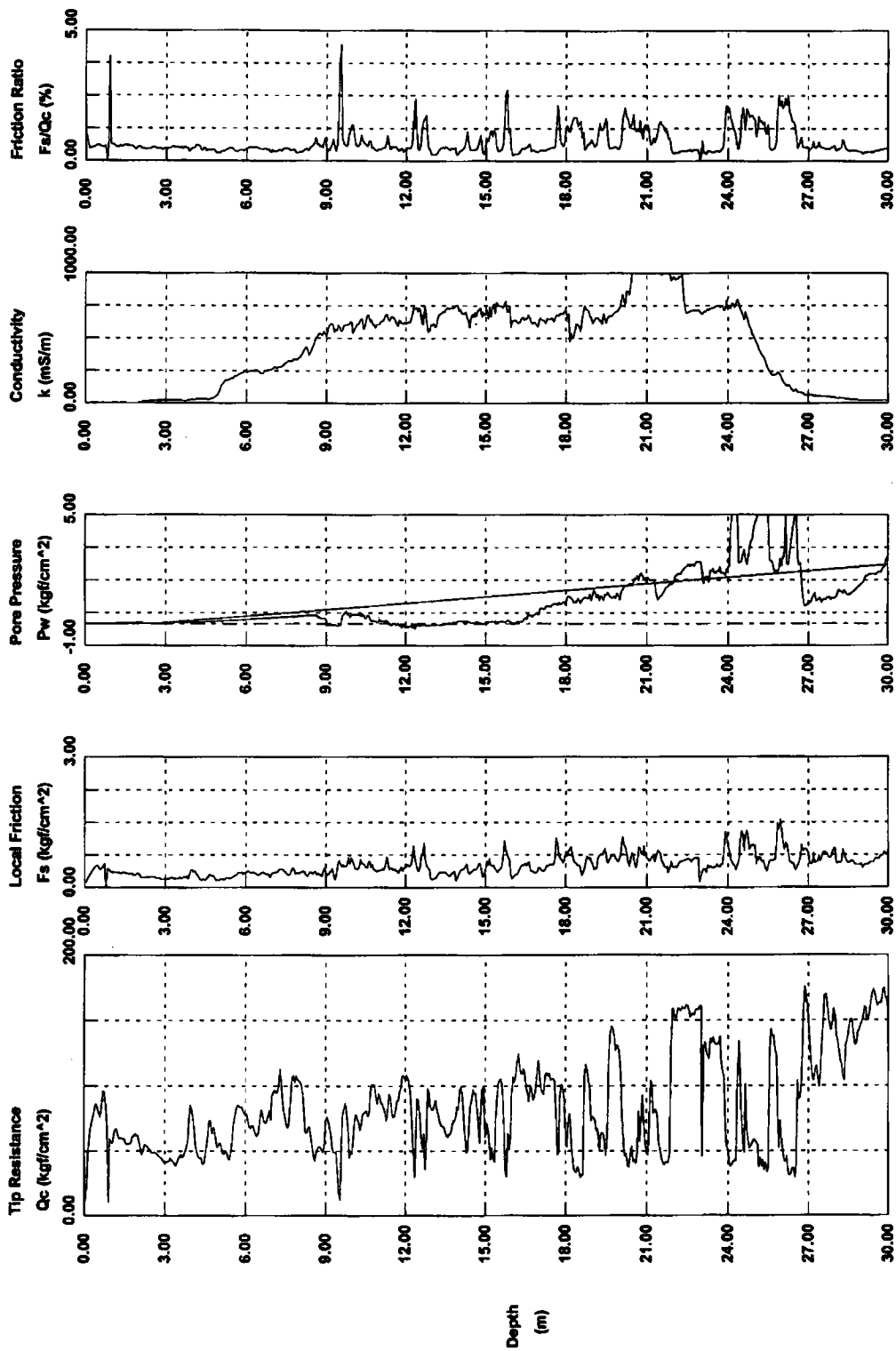
CPT Date : 11-03-00 10:42
Location : W.WHARF
Job No. : RPWH06



台中港西碼頭區試孔 WH06 試驗結果圖

Operator: K C CHEN
Sounding: RPWH07
Cone Used: 591TC

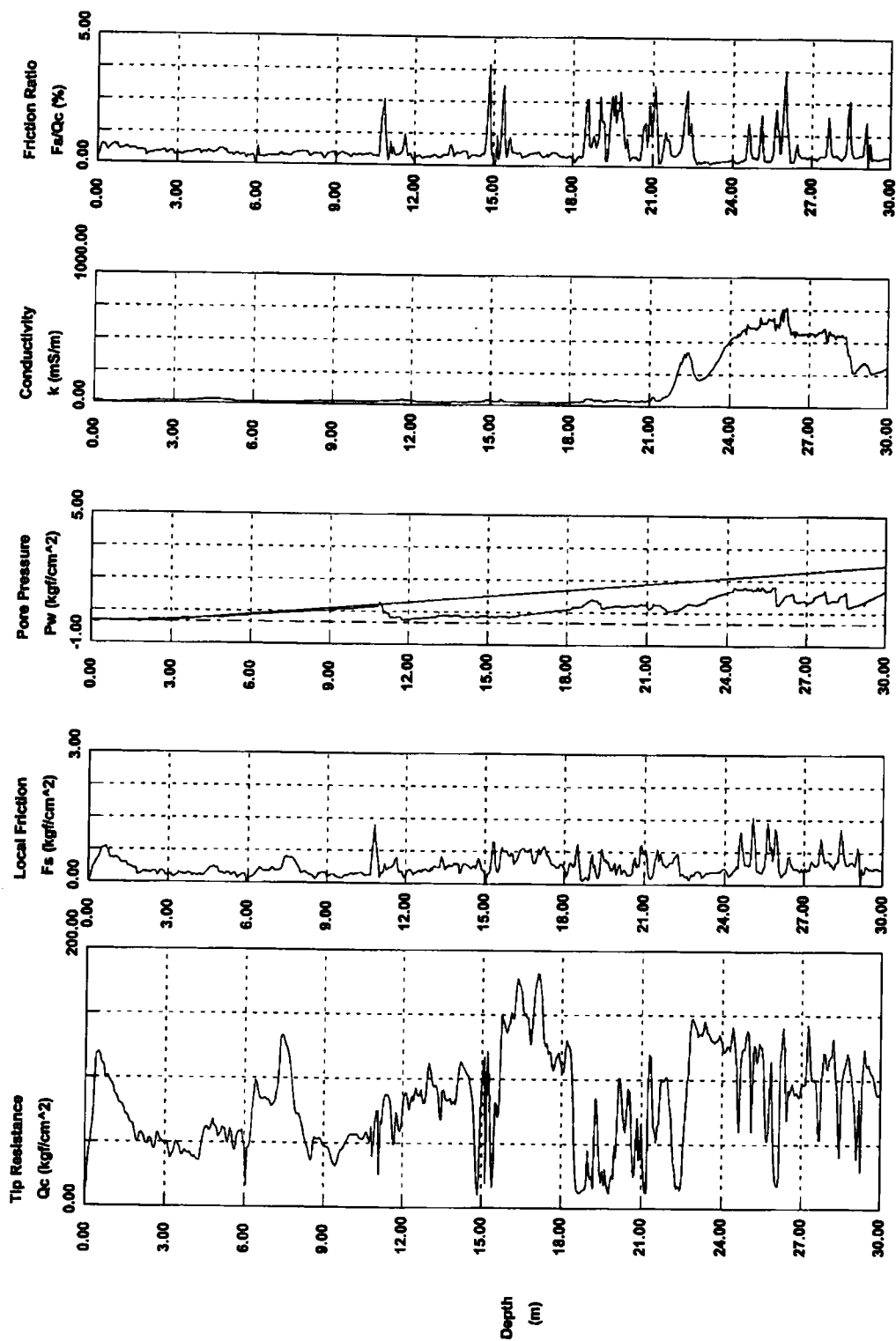
CPT Date : 11-03-00 13:10
Location : W.WHARF
Job No. : RPWH07



台中港西碼頭區試孔 WH07 試驗結果圖

Operator: K C CHEN
Sounding: RPWH14
Cone Used: 591TC

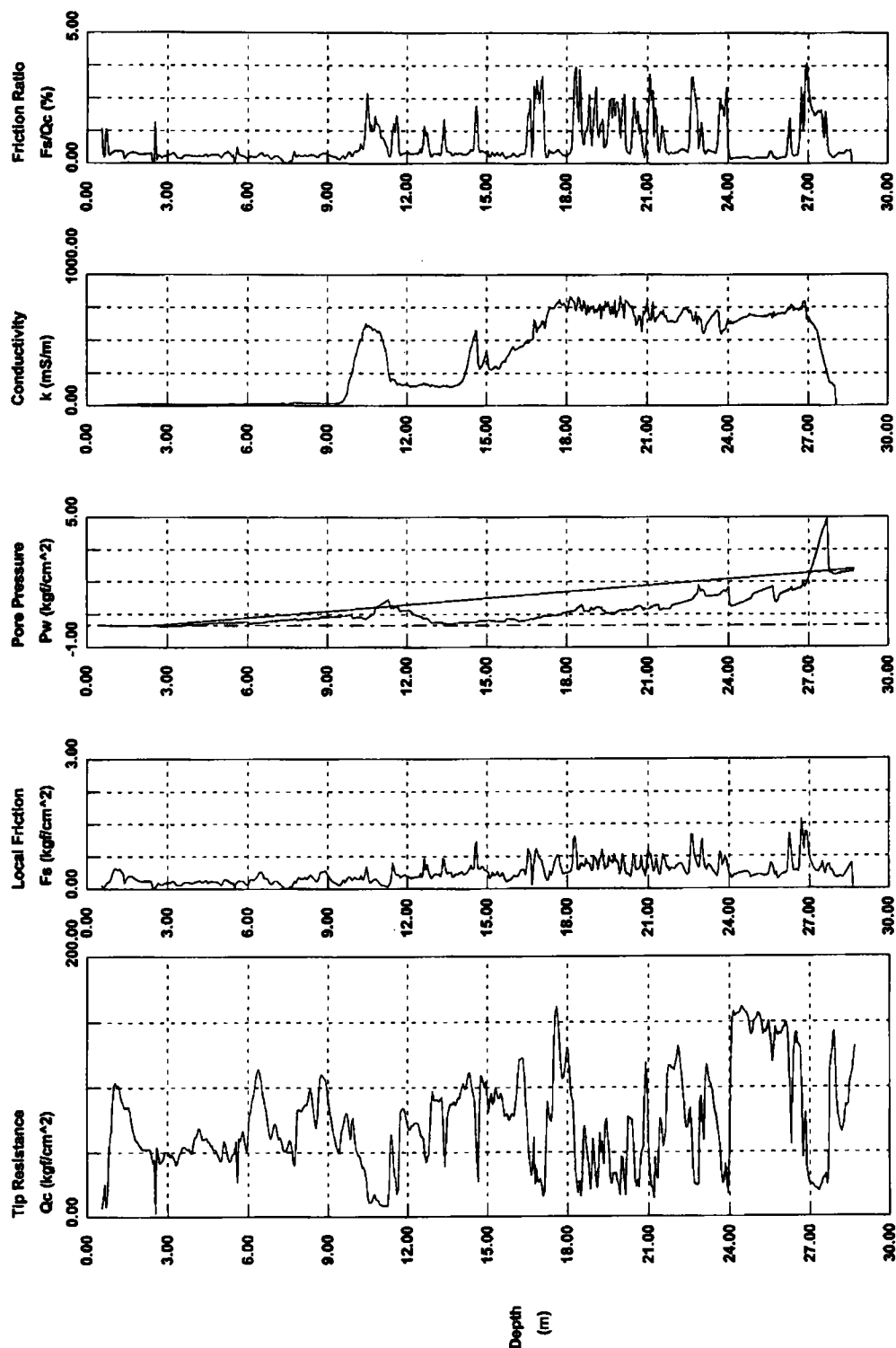
CPT Date : 11-03-00 09:36
Location : W.WHARF
Job No. : RPWH14



台中港西碼頭區試孔 WH08 試驗結果圖

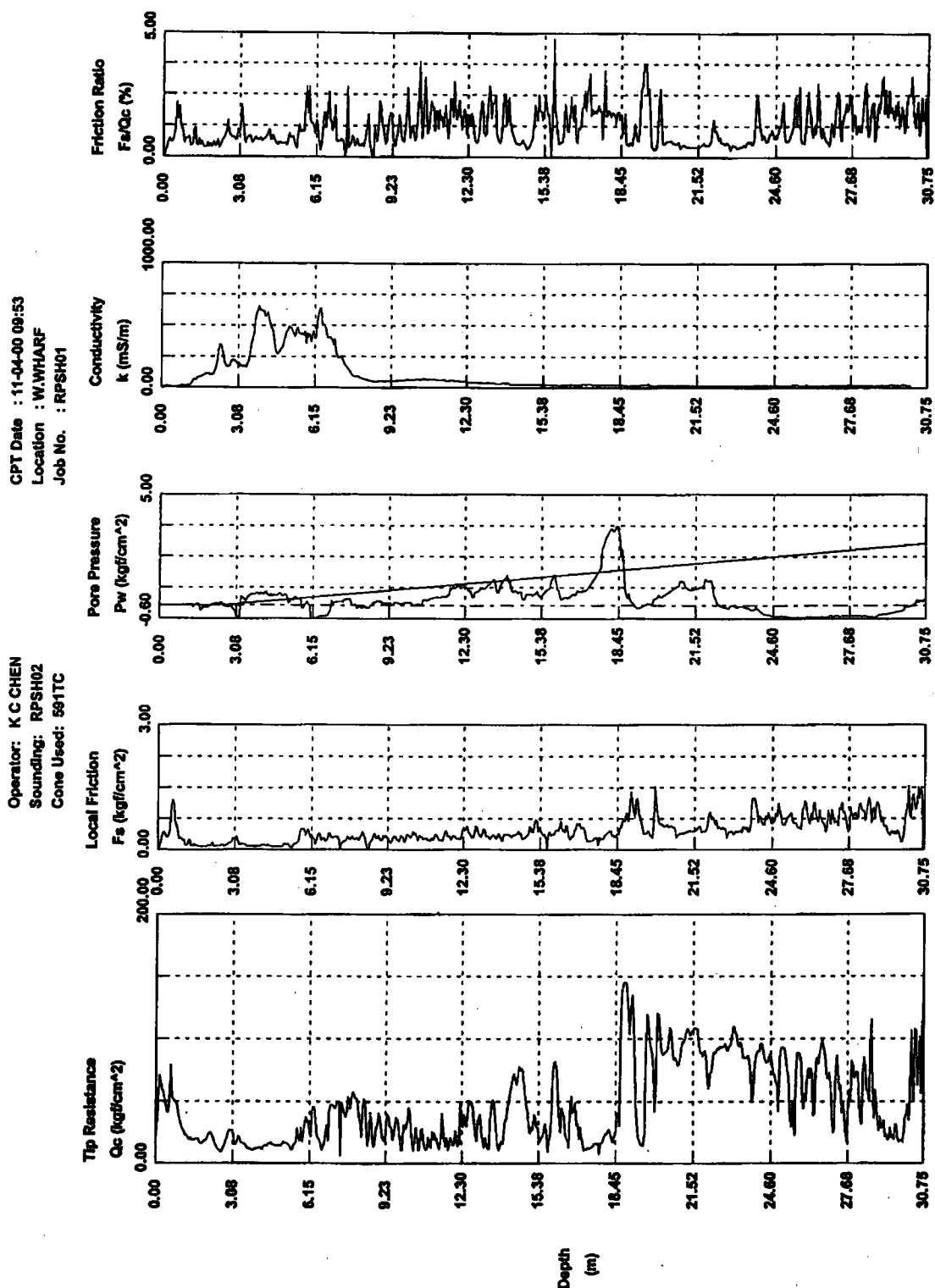
CPT Date : 11-02-00 09:44
 Location : W.WHARF
 Job No. : RPWH15

Operator: K.C. CHEN
 Sounding: RPWH15
 Cone Used: 591TC



台中港西碼頭區試孔 WH09 試驗結果圖

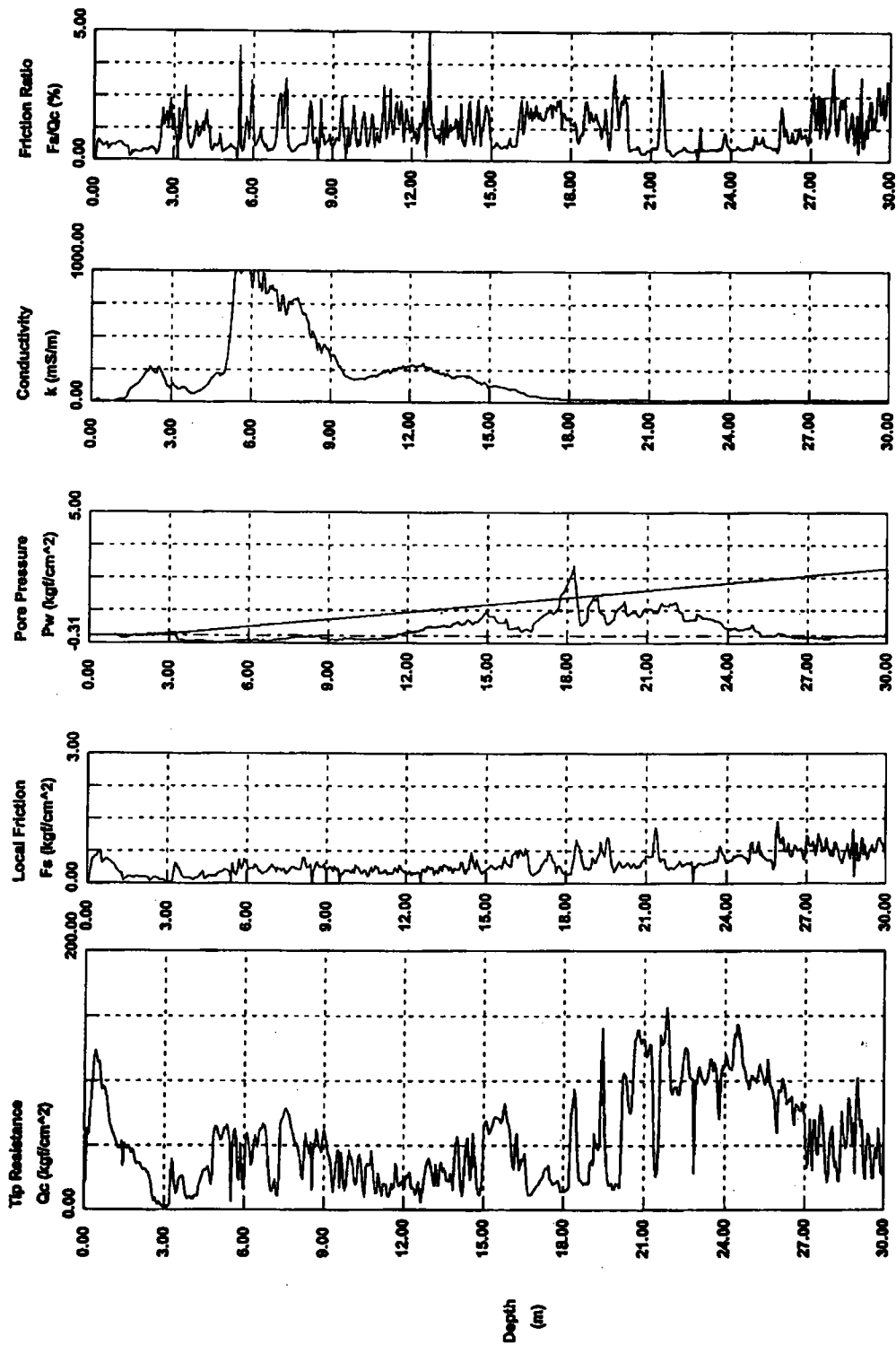
Operator: K C CHEN
 Sounding: RPSH02
 Cone Used: 591TC



台中港加工出口區試孔 SH01 試驗結果圖

Operator: K C CHEN
Sounding: RPSH04
Cone Used: 591TC

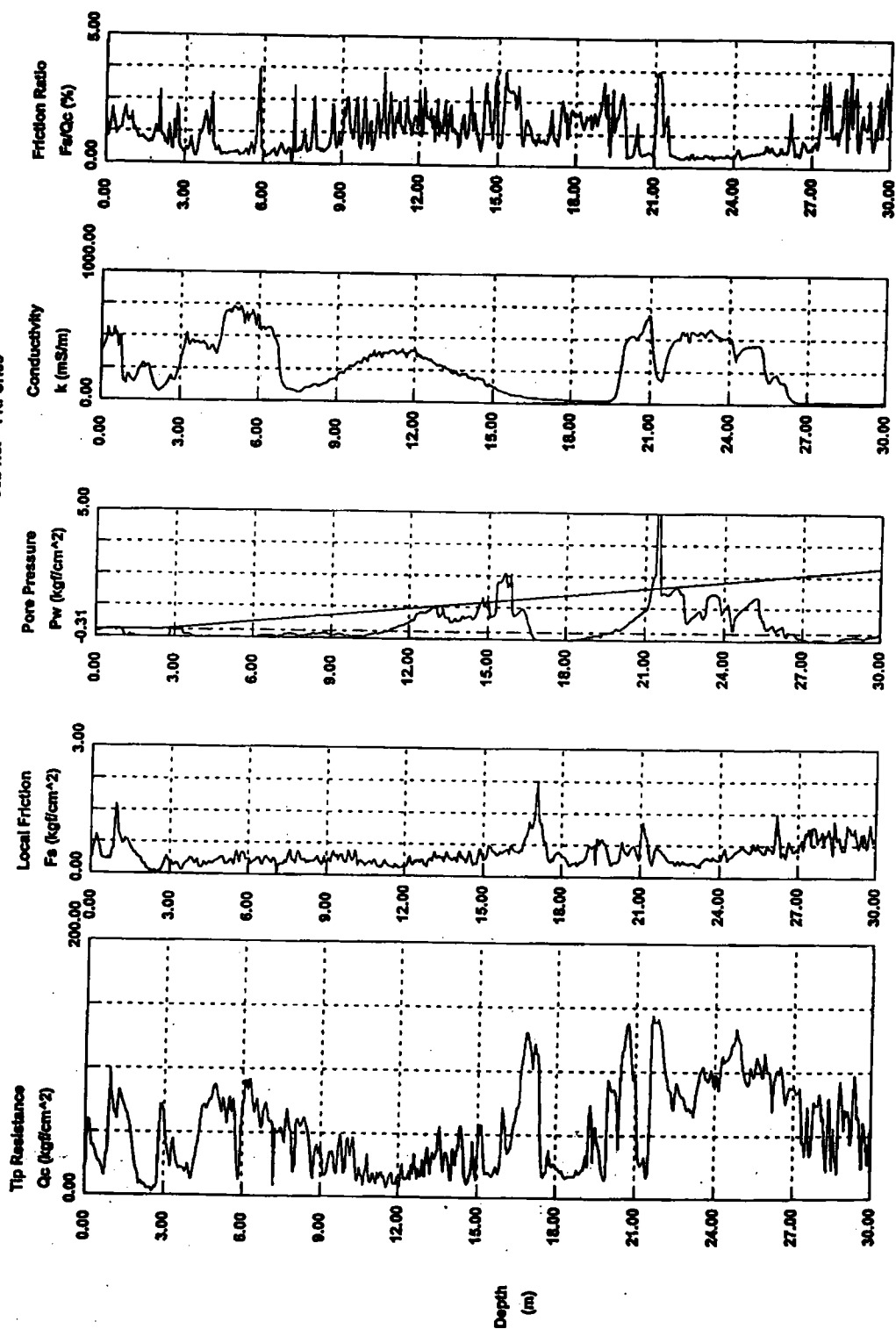
CPT Date : 11-06-00 09:37
Location : E.A.S.R.
Job No. : RPSH02



台中港加工出口區試孔 SH02 試驗結果圖

Operator: K C CHEN
 Sounding: RPSH05
 Cone Used: 581TC

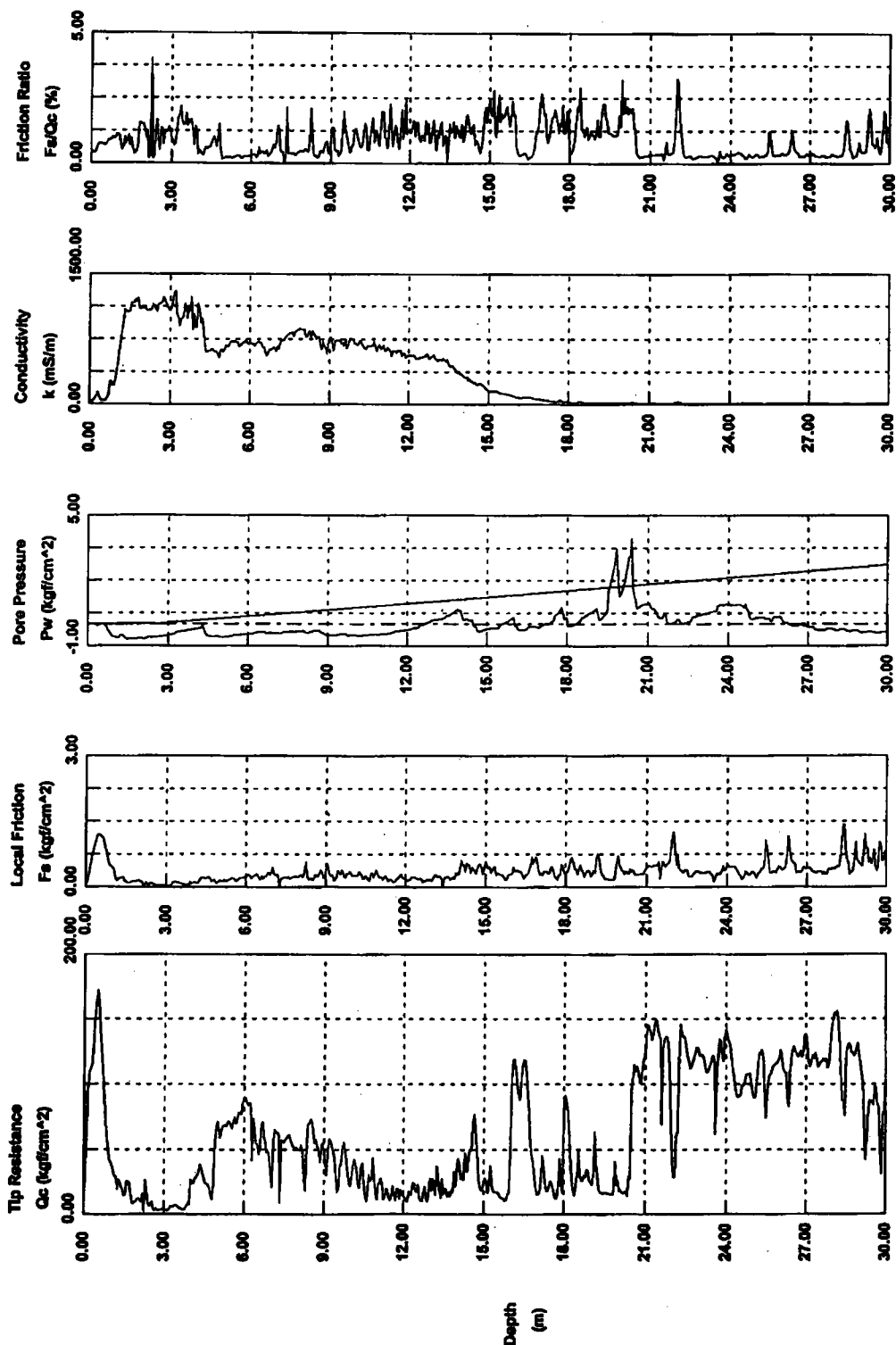
CPT Data : 11-08-00 10:45
 Location : E.A.S.R
 Job No. : RPSH03



台中港加工出口區試孔 SH03 試驗結果圖

CPT Date : 11-13-00 09:20
 Location : E.A.S.R
 Job No. : RPSH04

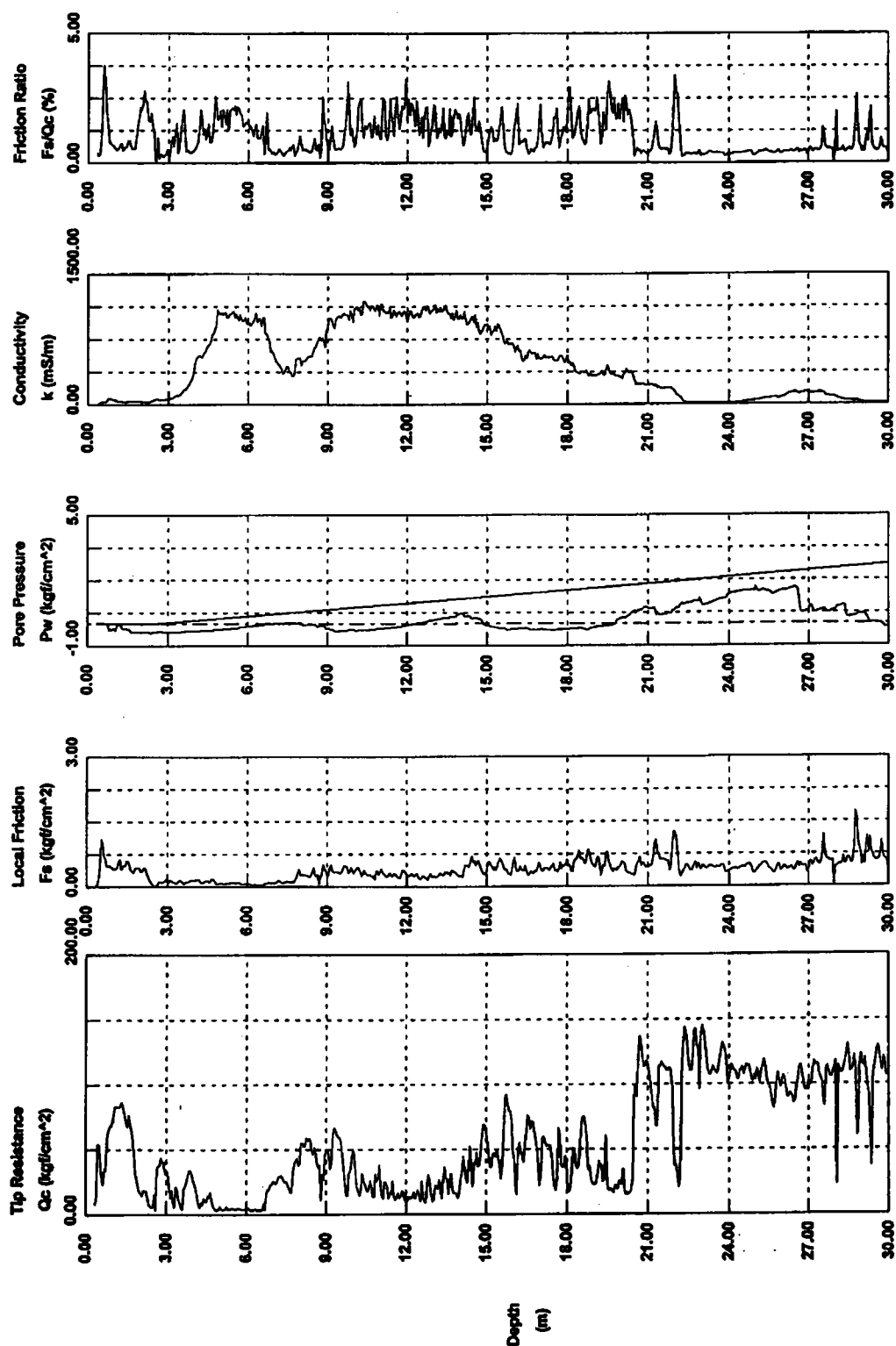
Operator: K.C. CHEN
 Sounding: RPSH06
 Cone Used: 591TC



台中港加工出口區試孔 SH04 試驗結果圖

CPT Date : 11-13-00 11:19
 Location : E.A.S.R
 Job No. : RPSH05

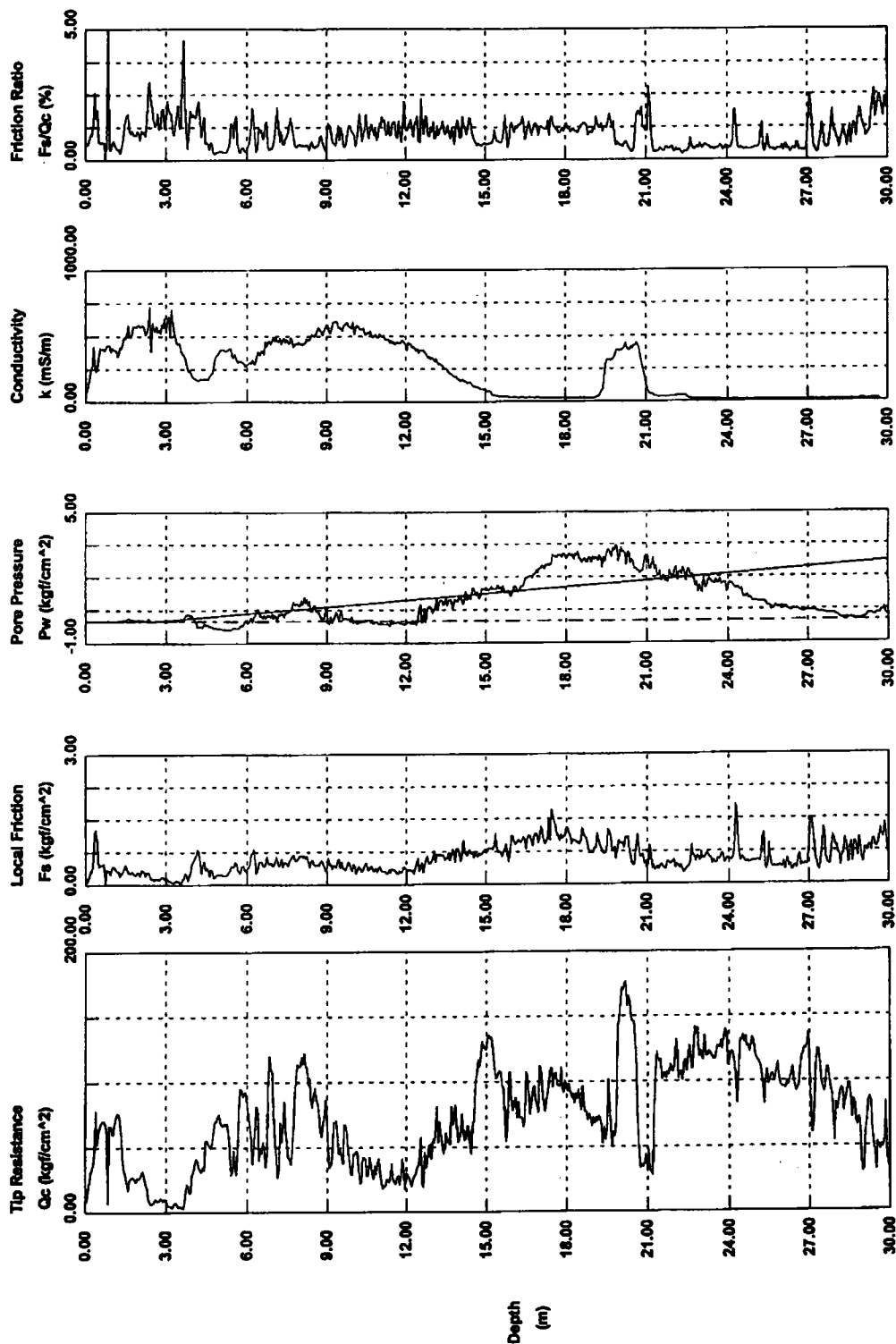
Operator: K C CHEN
 Sounding: RPSH07
 Cone Used: 591TC



台中港加工出口區試孔 SH05 試驗結果圖

CPT Date : 11-15-00 10:00
 Location : E.A.S.R
 Job No. : RPSH06

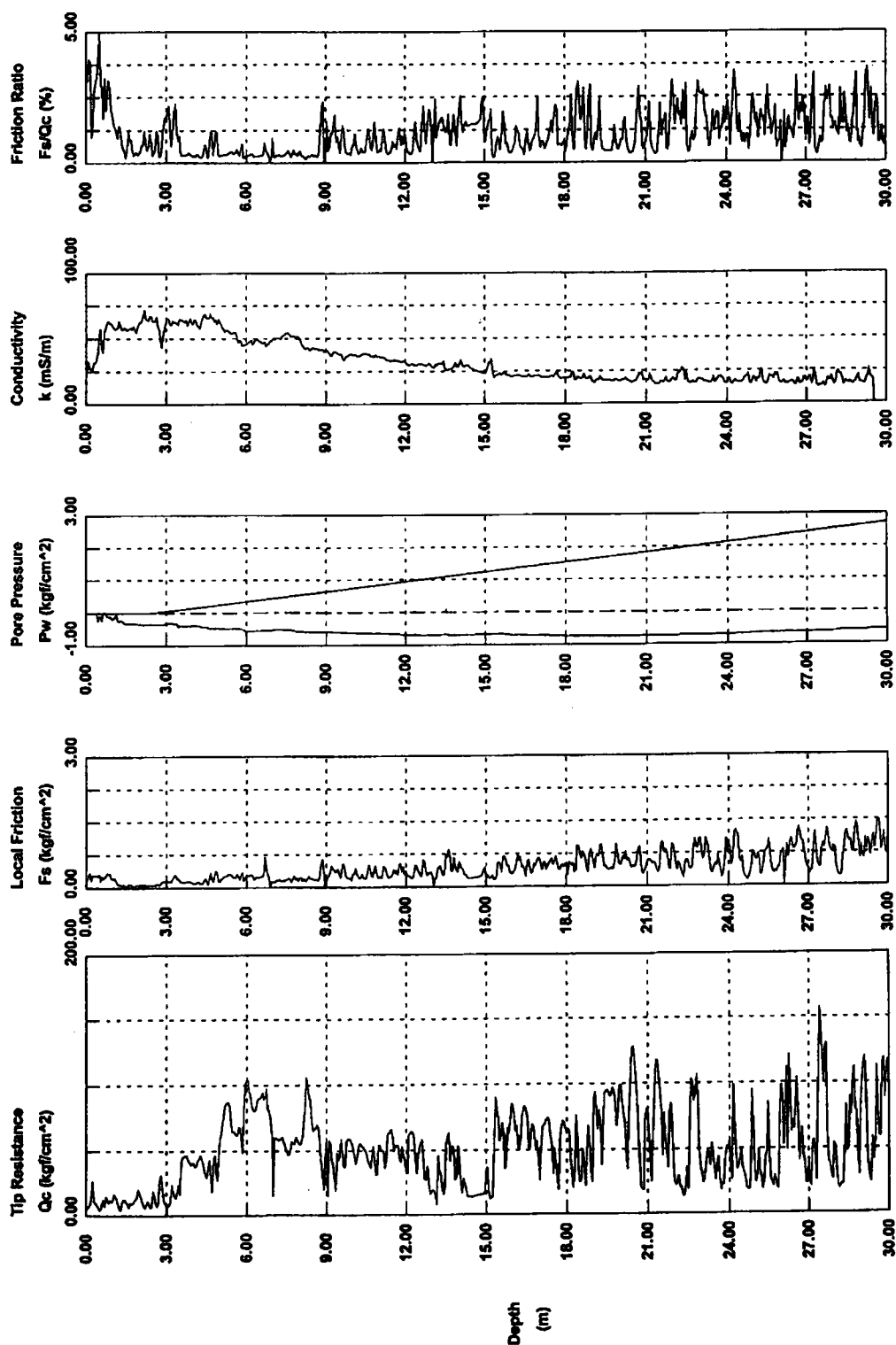
Operator: K.C. CHEN
 Sounding: RPSH06
 Cone Used: 561TC



台中港加工出口區試孔 SH06 試驗結果圖

CPT Date : 11-15-00 12:11
 Location : E.A.S.R
 Job No. : RPSH07

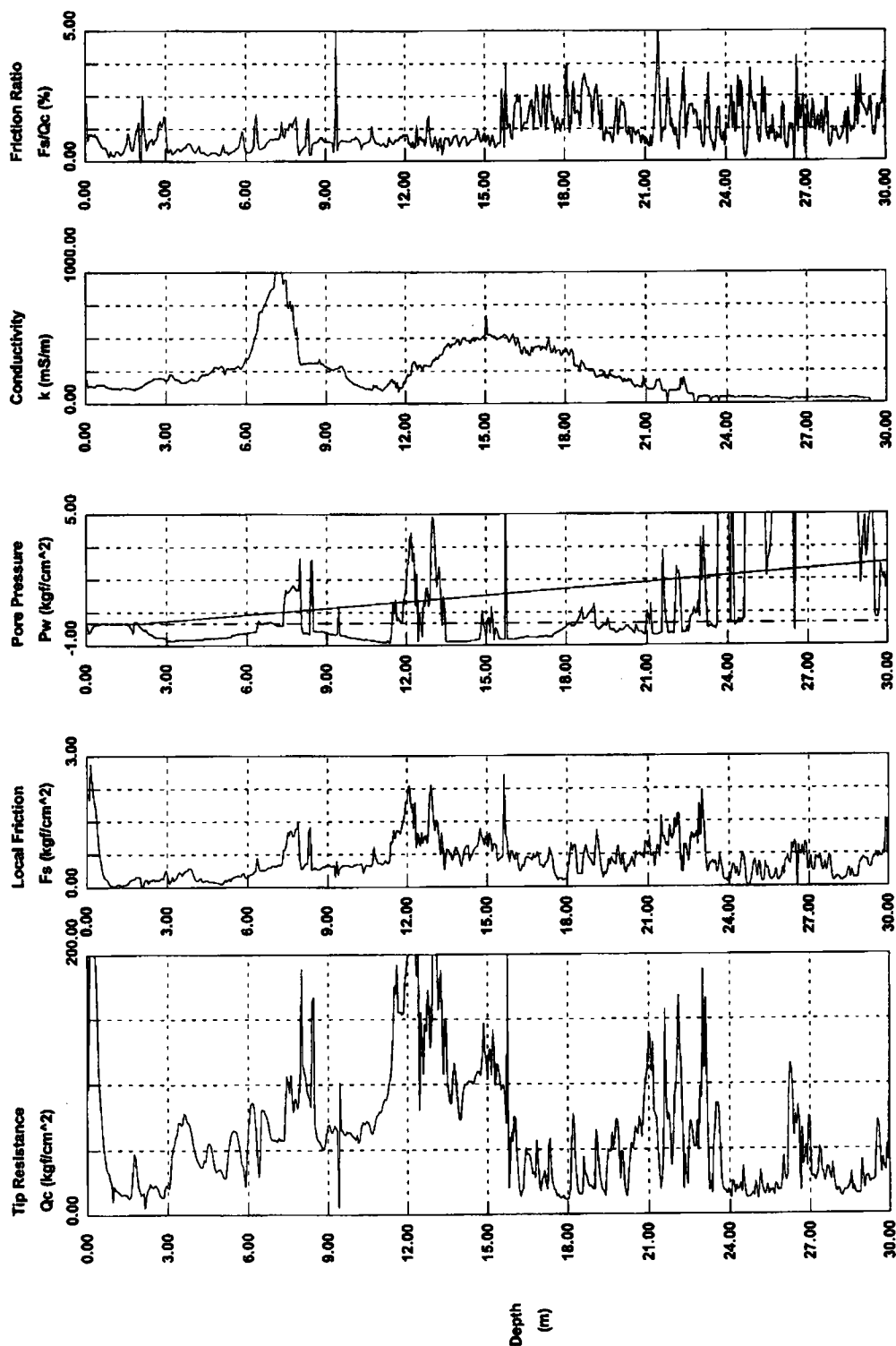
Operator: K.C.CHEN
 Sounding: RPSH09
 Cone Used: 591TC



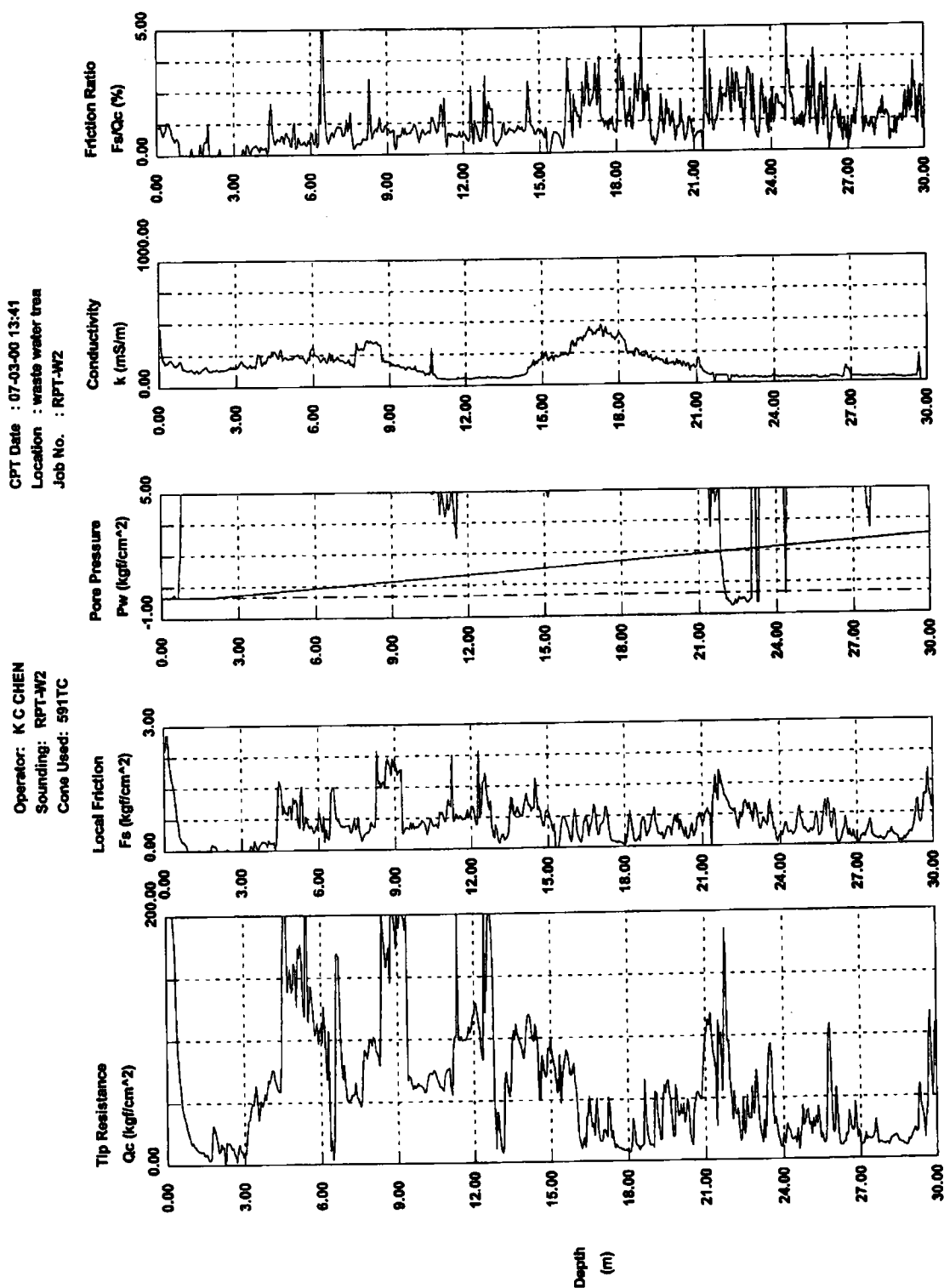
台中港加工出口區試孔 SH07 試驗結果圖

Operator: K C CHEN
 Sounding: RPT-W1
 Cone Used: 591TC

CPT Date : 07-03-00 10:37
 Location : waste water trea
 Job No. : RPT-W1



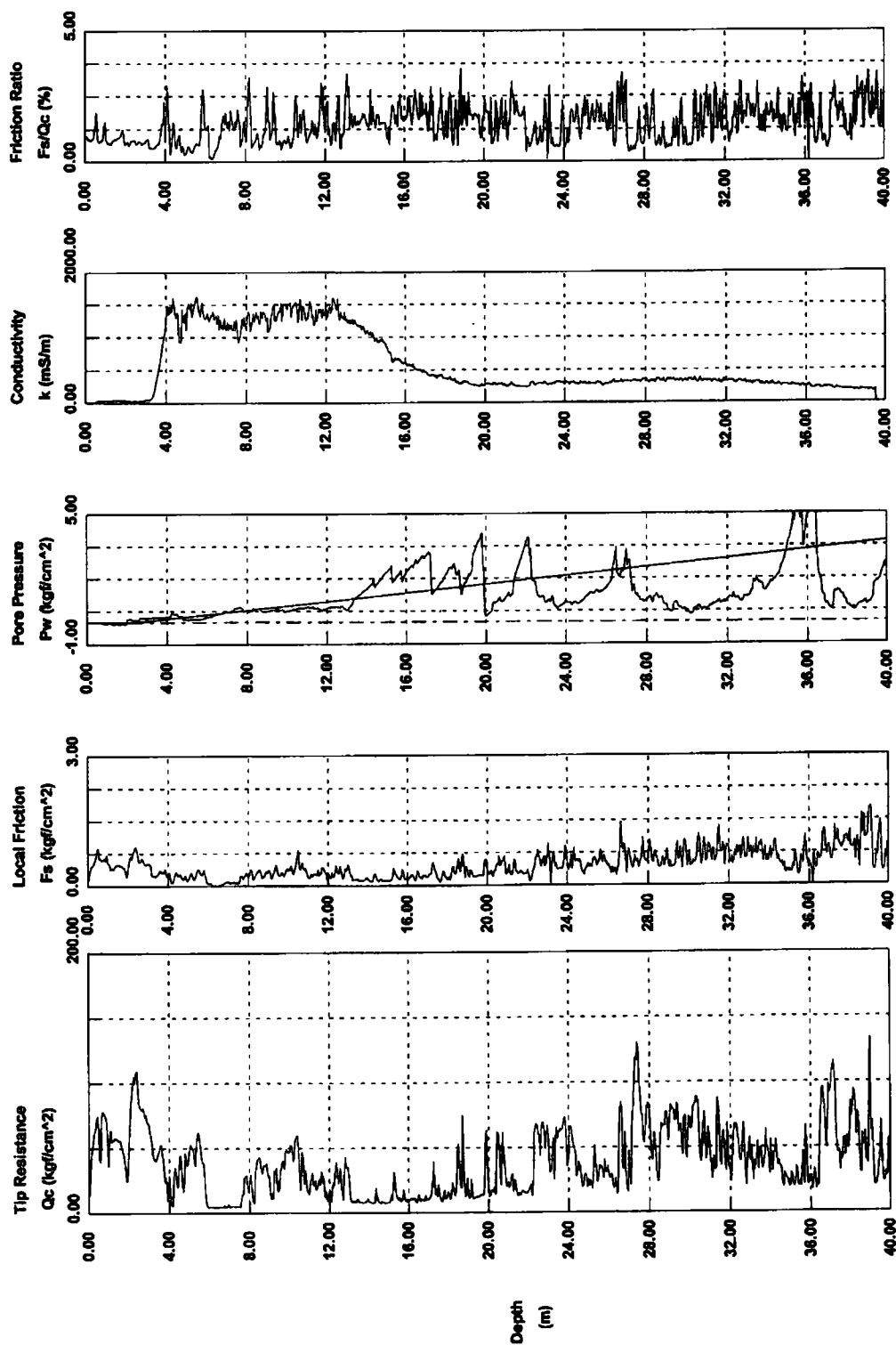
台中港關聯工業區試孔 W1 試驗結果圖



台中港關聯工業區試孔 W2 試驗結果圖

CPT Date : 11-07-00 12:50
 Location : PUDAJ
 Job No. : RPPD01

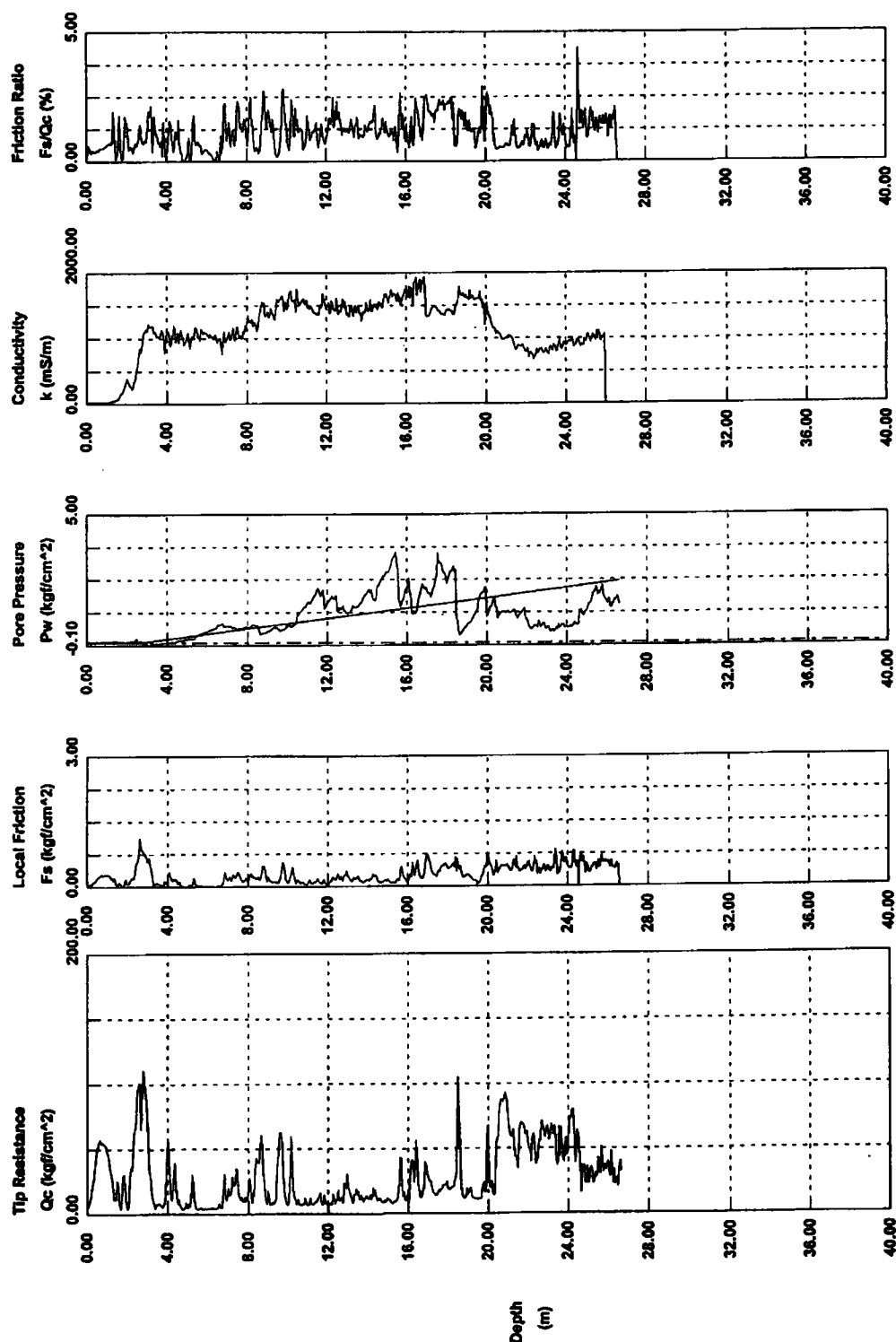
Operator: K C CHEN
 Sounding: RPPD01
 Cone Used: 591TC



布袋港區試孔 PD01 試驗結果圖

CPT Date : 11-07-00 14:28
 Location : PIUAI
 Job No. : RPPD02

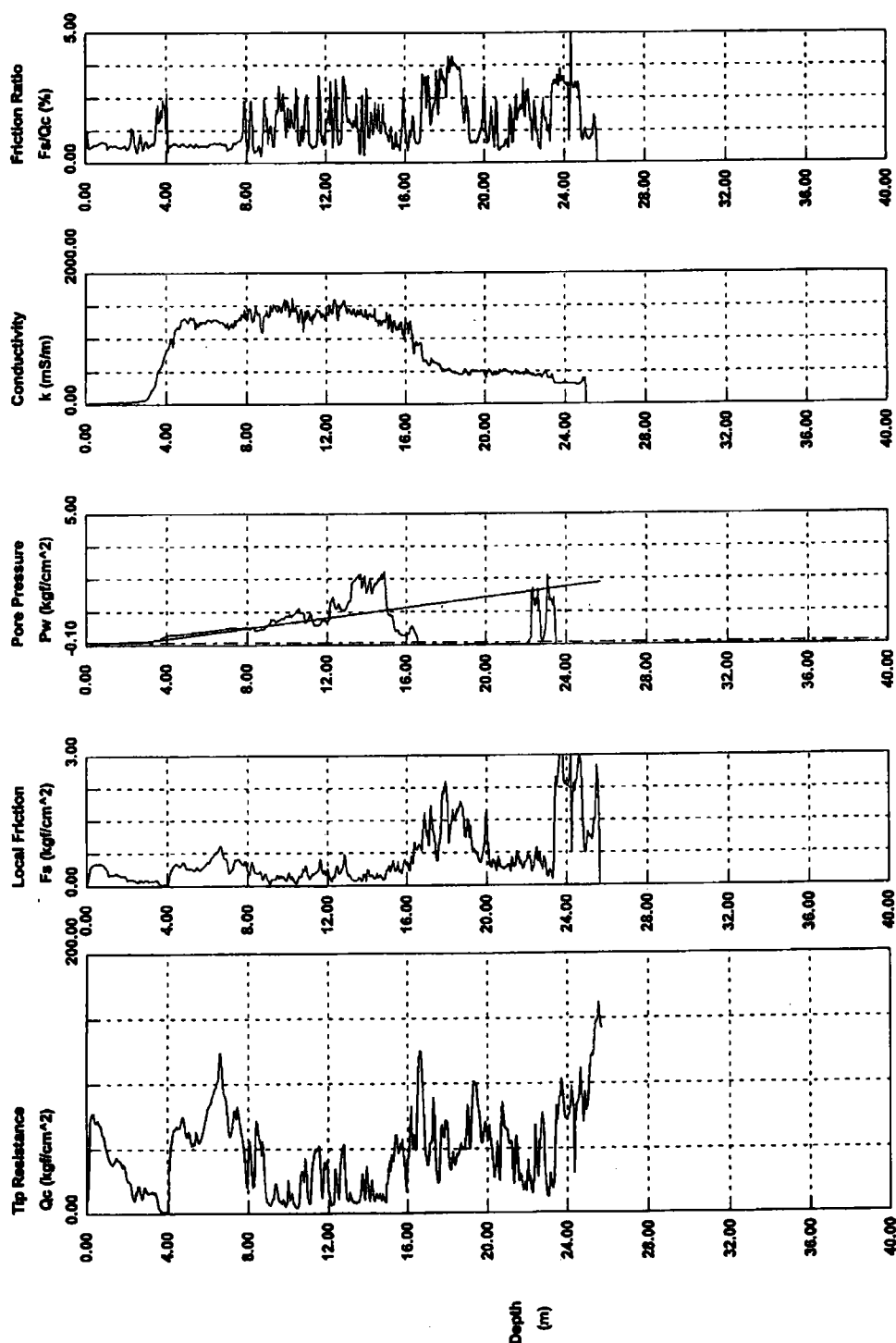
Operator: K C CHEN
 Sounding: RPPD02
 Cone Used: 591TC



布袋港區試孔 PD02 試驗結果圖

CPT Date : 11-07-00 16:33
 Location : PUJDAI
 Job No. : RPPD03

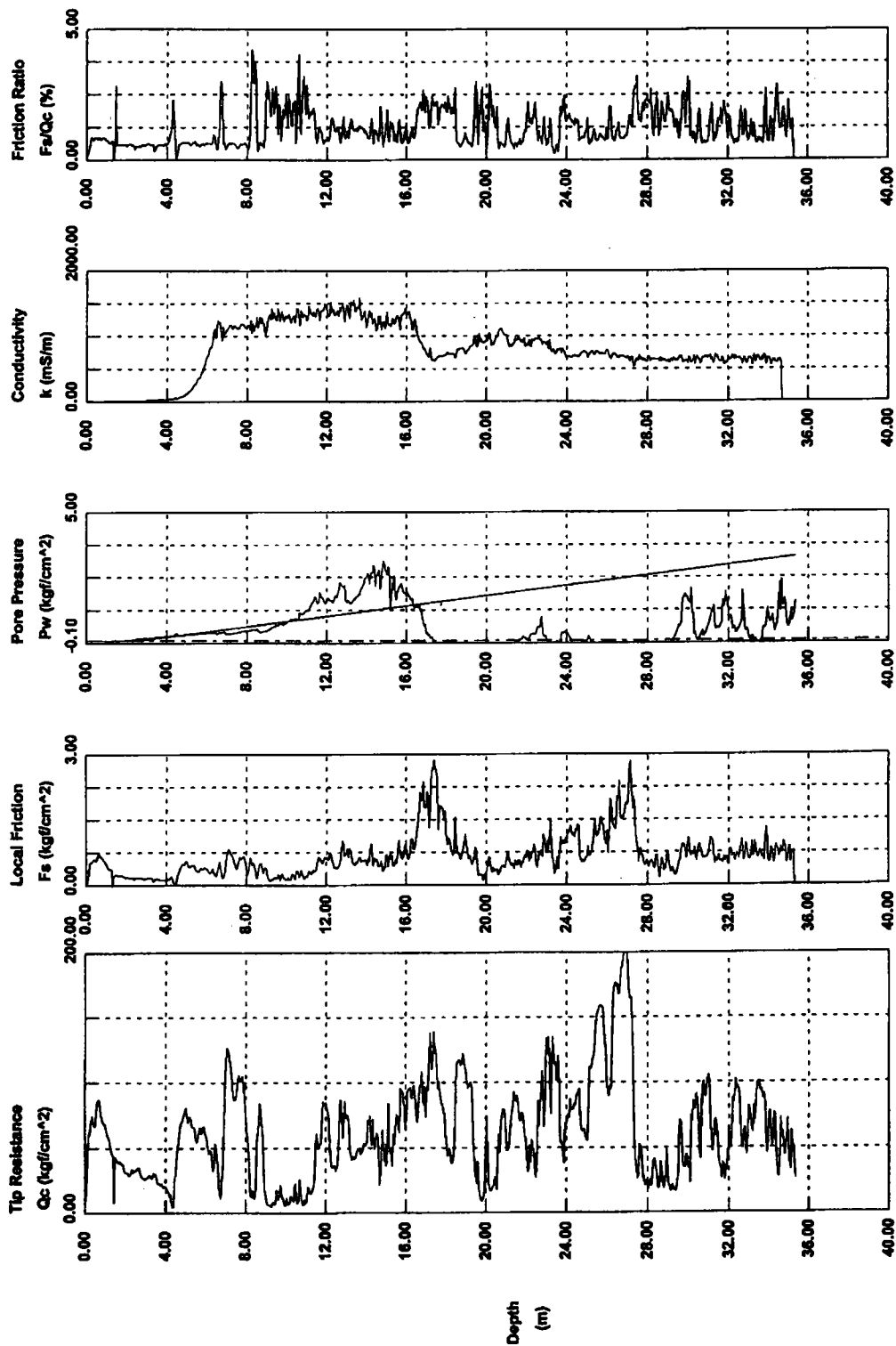
Operator: K C CHEN
 Sounding: RPPD03
 Cone Used: 591TC



布袋港區試孔 PD03 試驗結果圖

Operator: K C CHEN
Sounding: RPPD04
Cone Used: 591TC

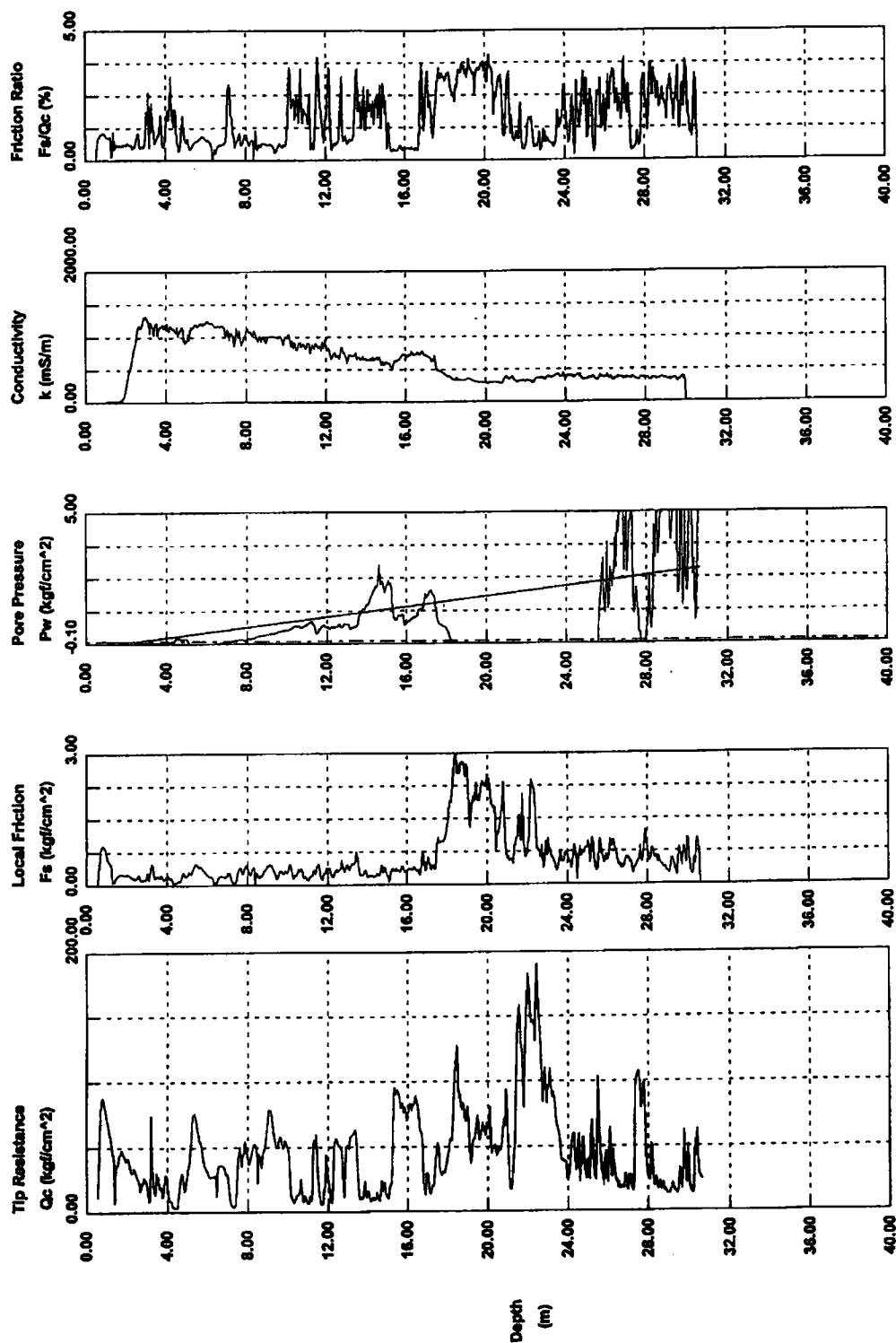
CPT Date : 11-09-00 07:20
Location : PUDAI
Job No. : RPPD04



布袋港區試孔 PD04 試驗結果圖

CPT Date : 11-09-00 08:36
 Location : PUDAI
 Job No. : RPPD05

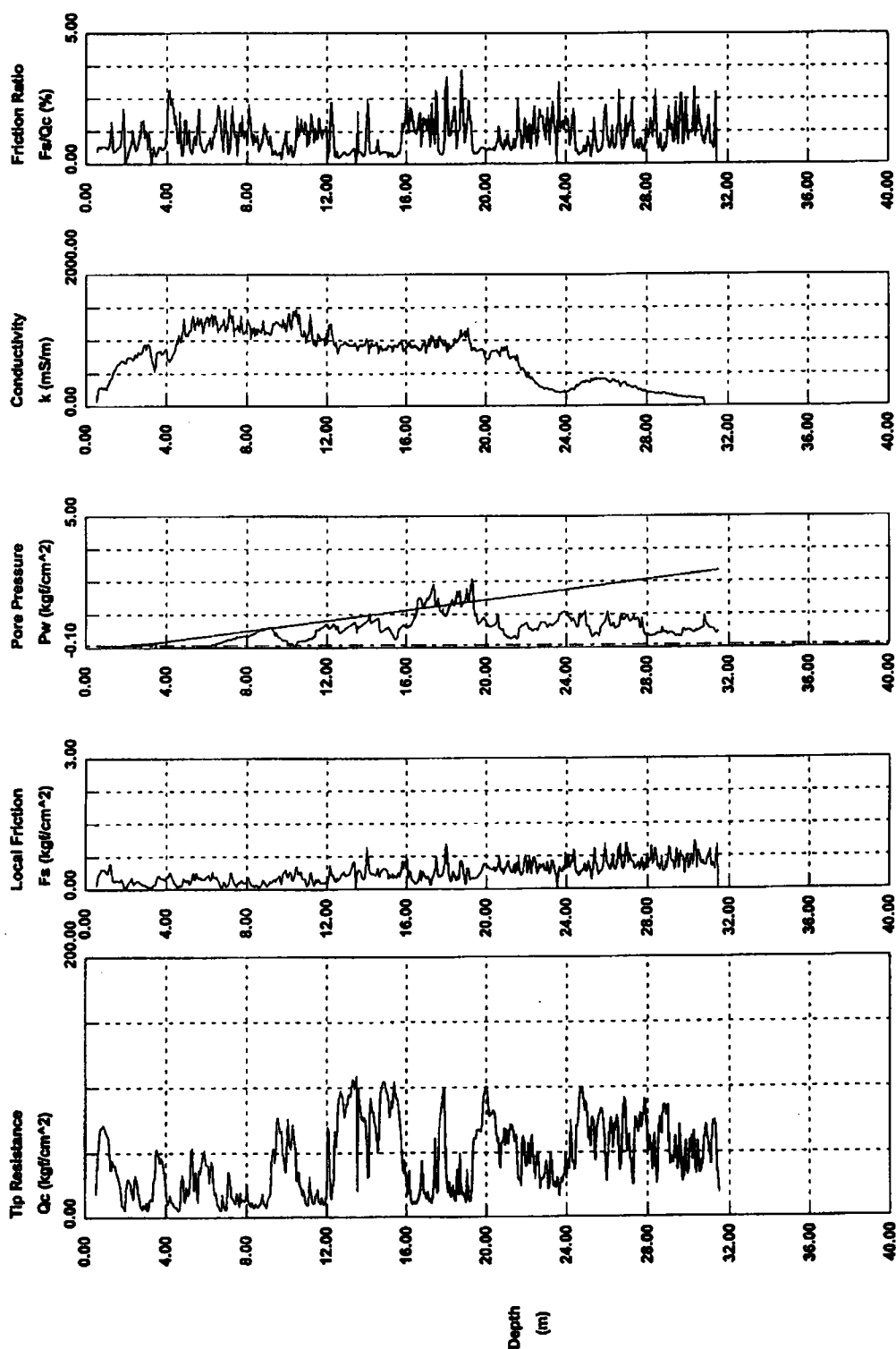
Operator: K C CHEN
 Sounding: RPPD05
 Cone Used: 591TC



布袋港區試孔 PD05 試驗結果圖

CPT Date : 11-08-00 10:00
 Location : PUDAI
 Job No. : RPPD06

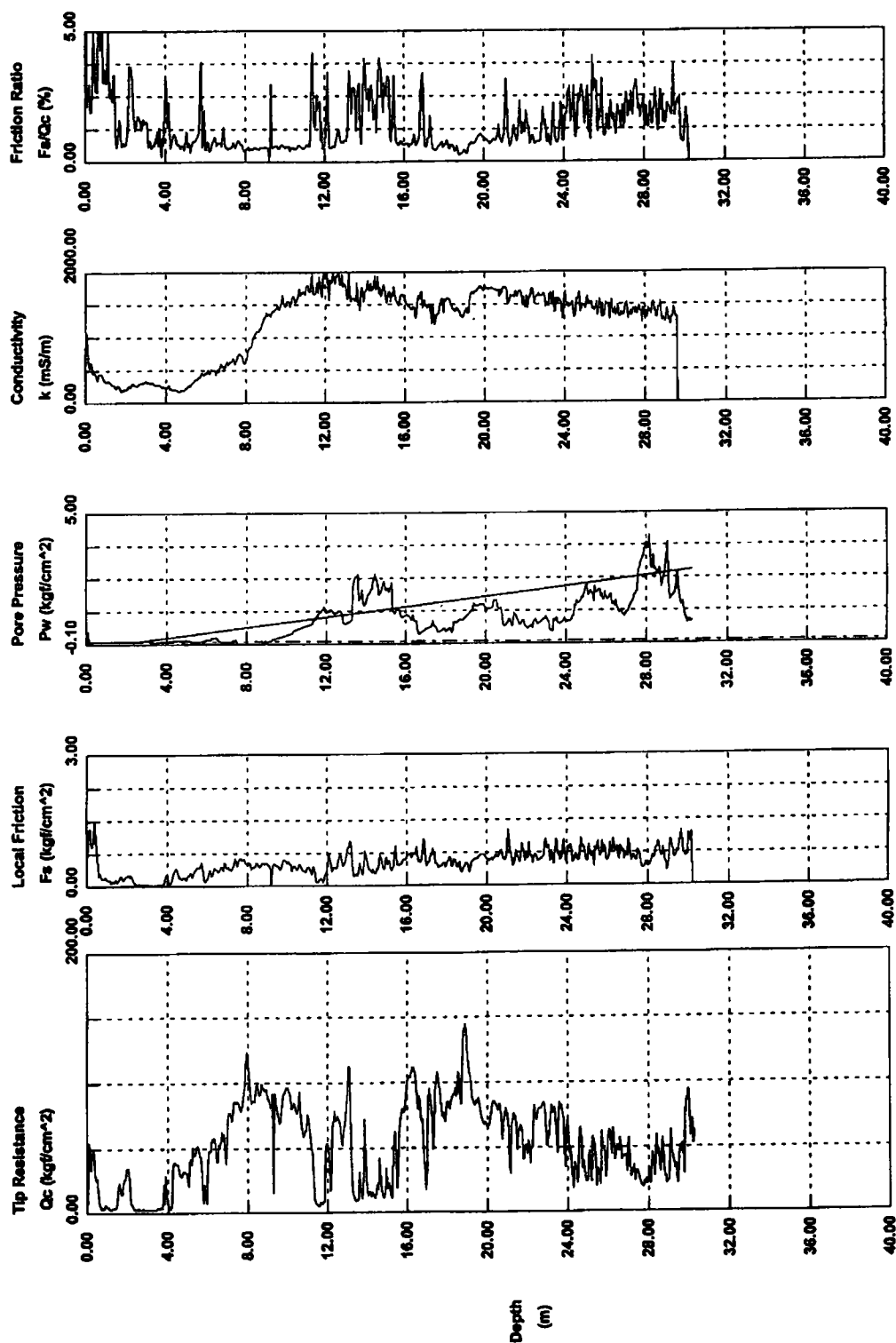
Operator: K C CHEN
 Sounding: RPPD06
 Cone Used: 591TC



布袋港區試孔PD06 試驗結果圖

CPT Date : 11-05-00 12:56
 Location : PUDAI
 Job No. : RPPD07

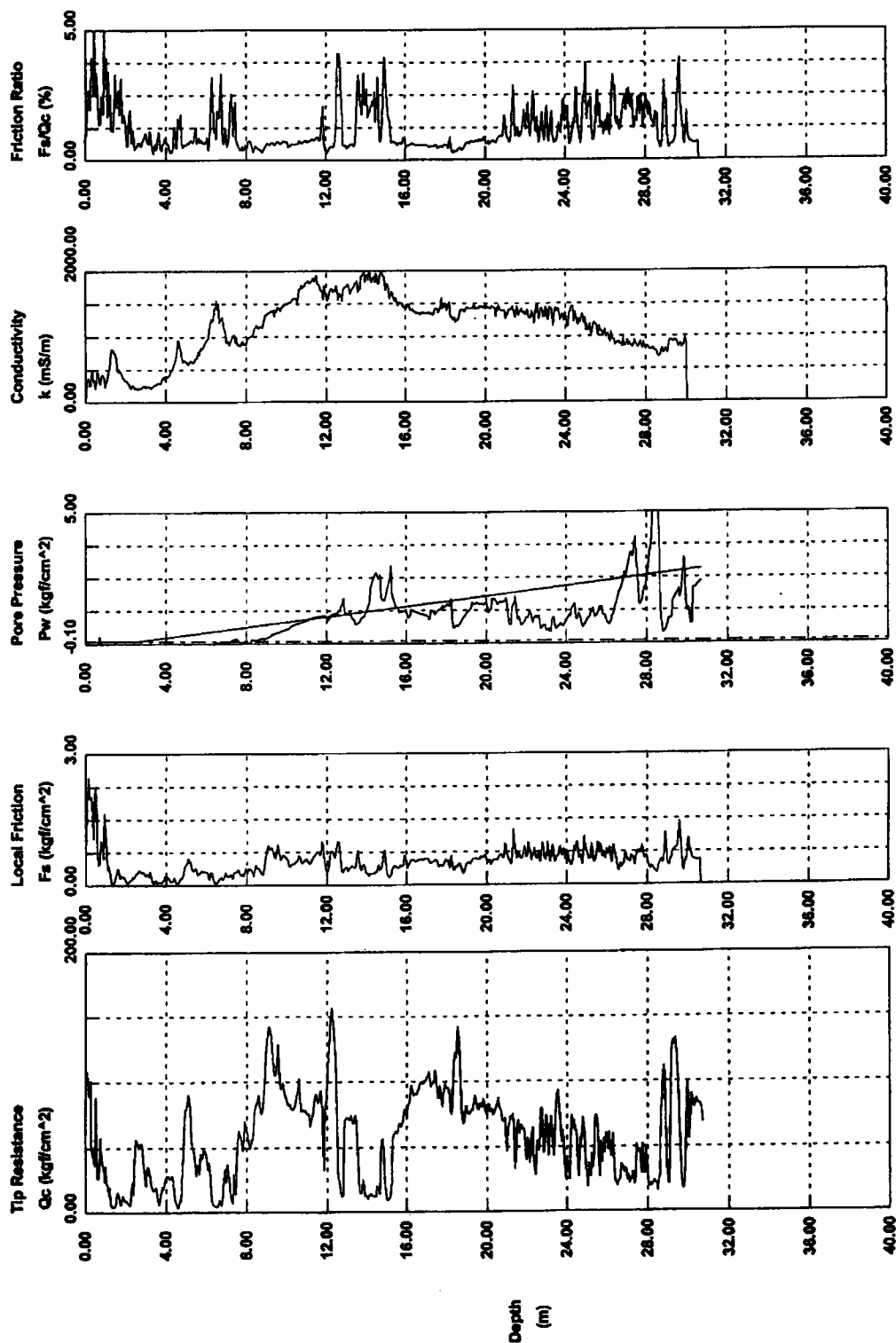
Operator: K C CHEN
 Sounding: RPPD08
 Cone Used: 591TC



布袋港區試孔 PD07 試驗結果圖

CPT Date : 11-08-00 14:09
 Location : PUDAI
 Job No. : RPPD08

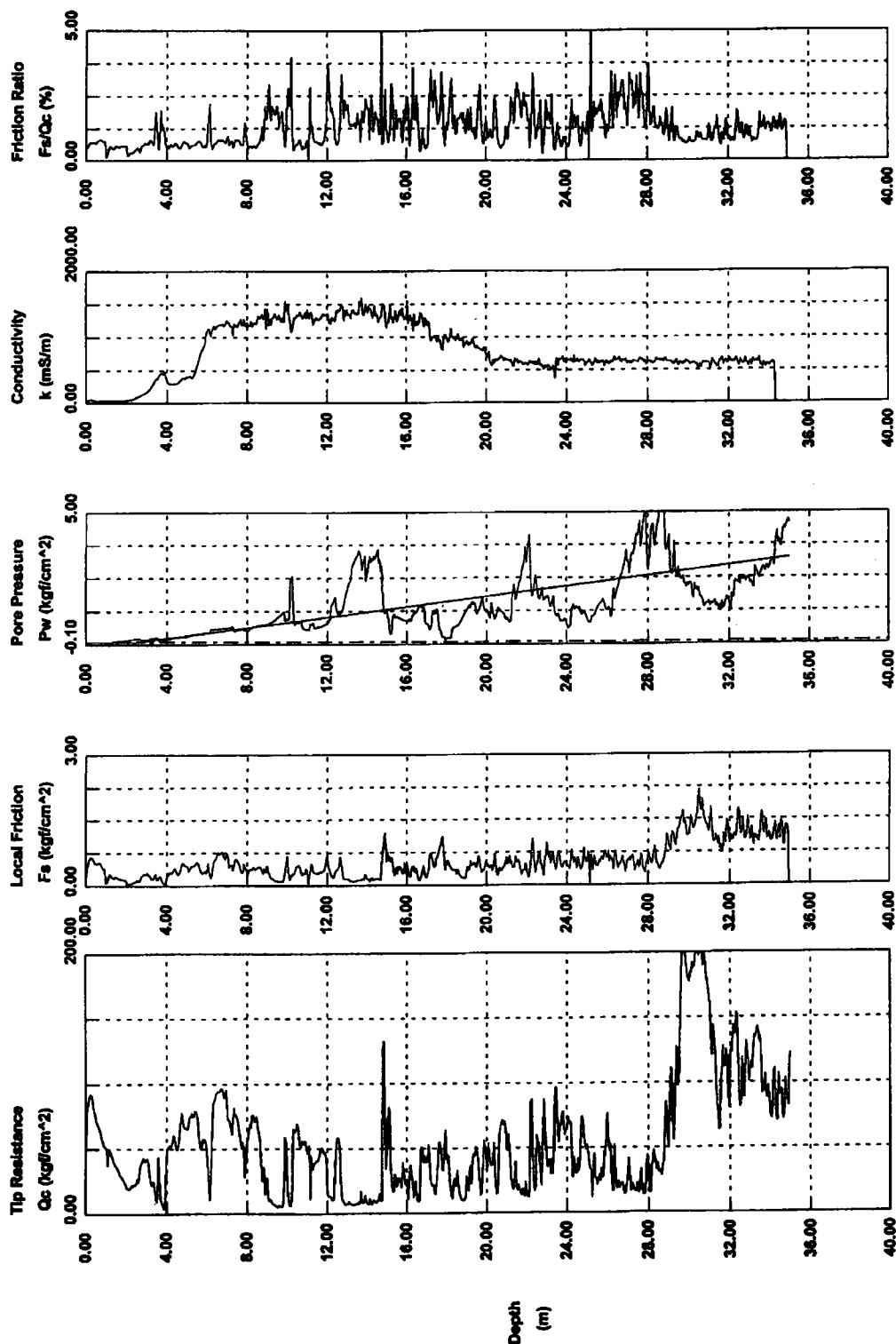
Operator: K C CHEN
 Sounding: RPPD08
 Cone Used: 591TC



布袋港區試孔 PD08 試驗結果圖

CPT Date : 11-09-00 10:19
 Location : PUDAI
 Job No. : RPPD09

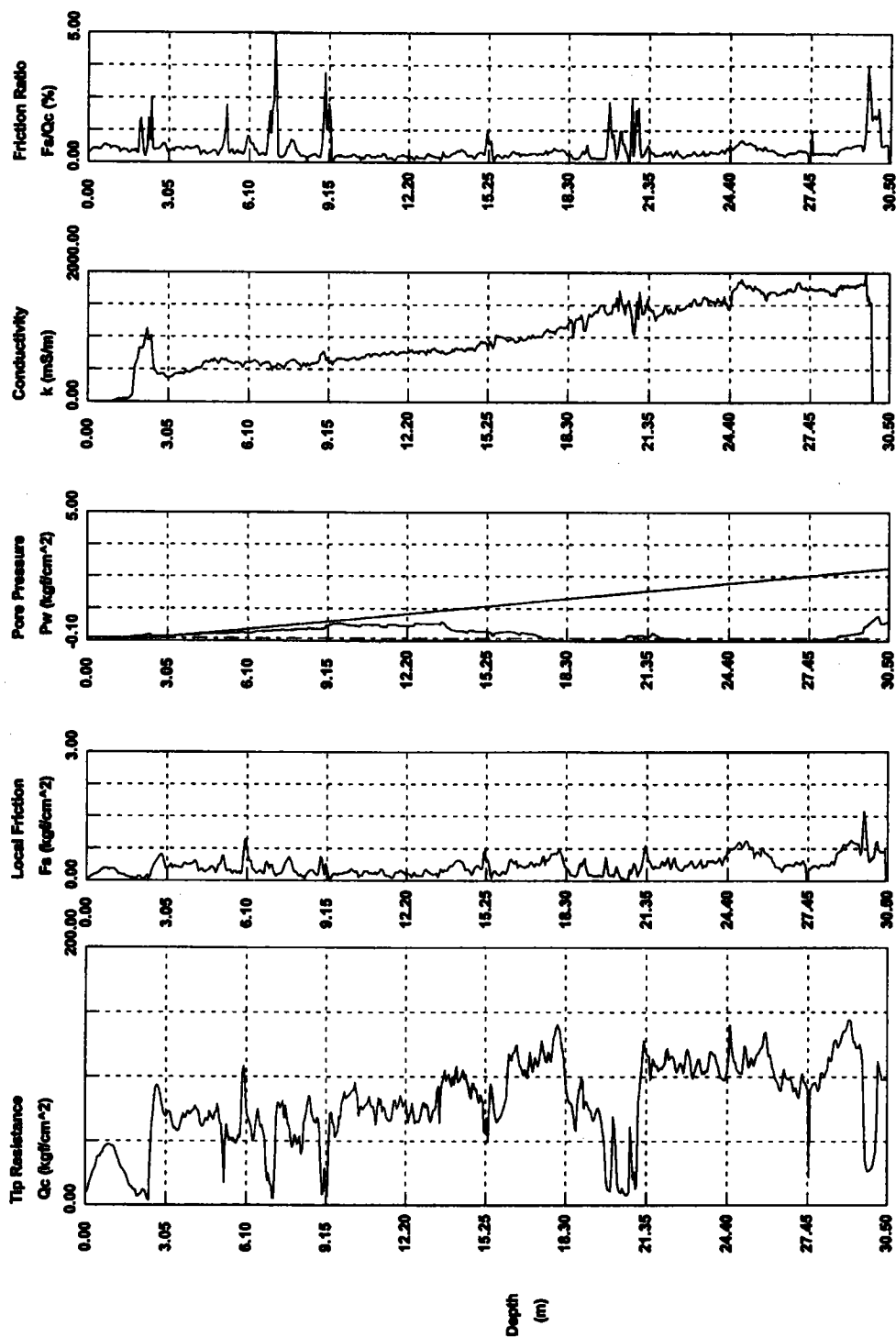
Operator: K C CHEN
 Sounding: RPPD10
 Cone Used: 591TC



布袋港區試孔 PD09 試驗結果圖

Operator: K C CHEN
 Sounding: RPAP01
 Cone Used: 591TC

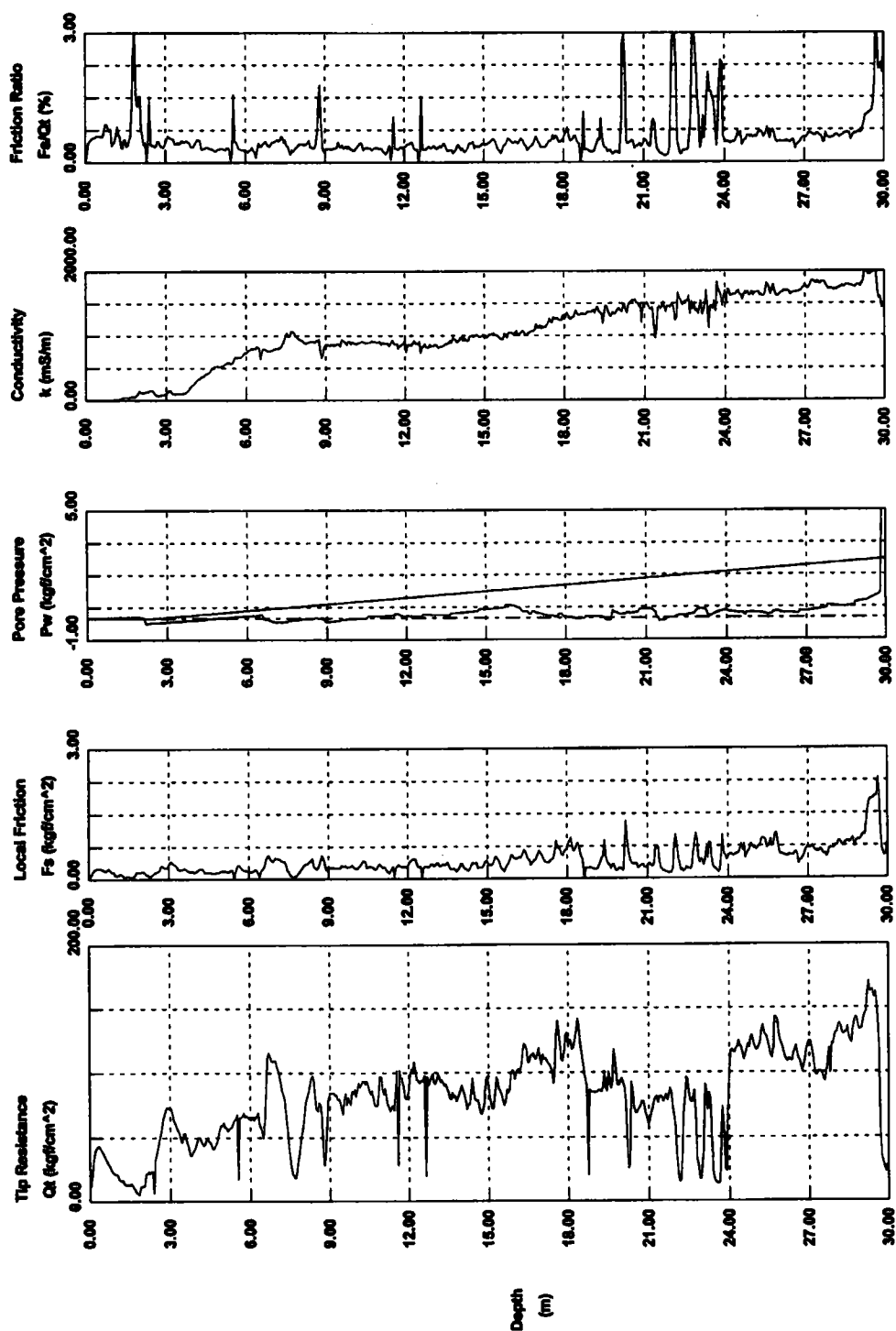
CPT Date : 12-19-00 06:09
 Location : A.P. HARBOR
 Job No. : RPAP01



安平港區試孔 AP01 試驗結果圖

CPT Date : 12-19-00 09:37
 Location : A.P. HARBOR
 Job No. : RPAP02

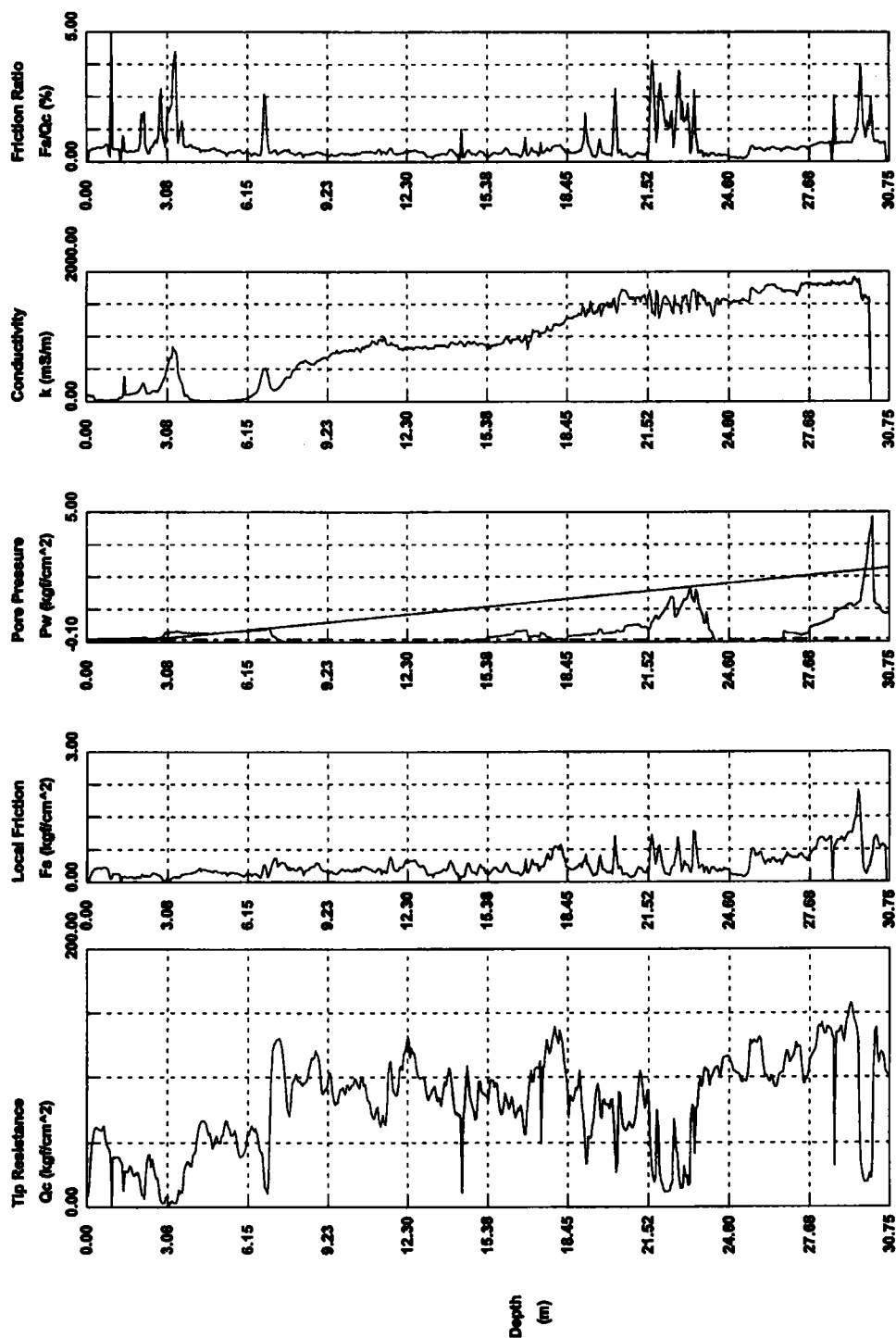
Operator: K C CHEN
 Sounding: RPAP02
 Cone Used: 991TC



安平港區試孔 AP02 試驗結果圖

CPT Date : 12-19-00 10:48
 Location : AP HARBOR
 Job No. : RPAP03

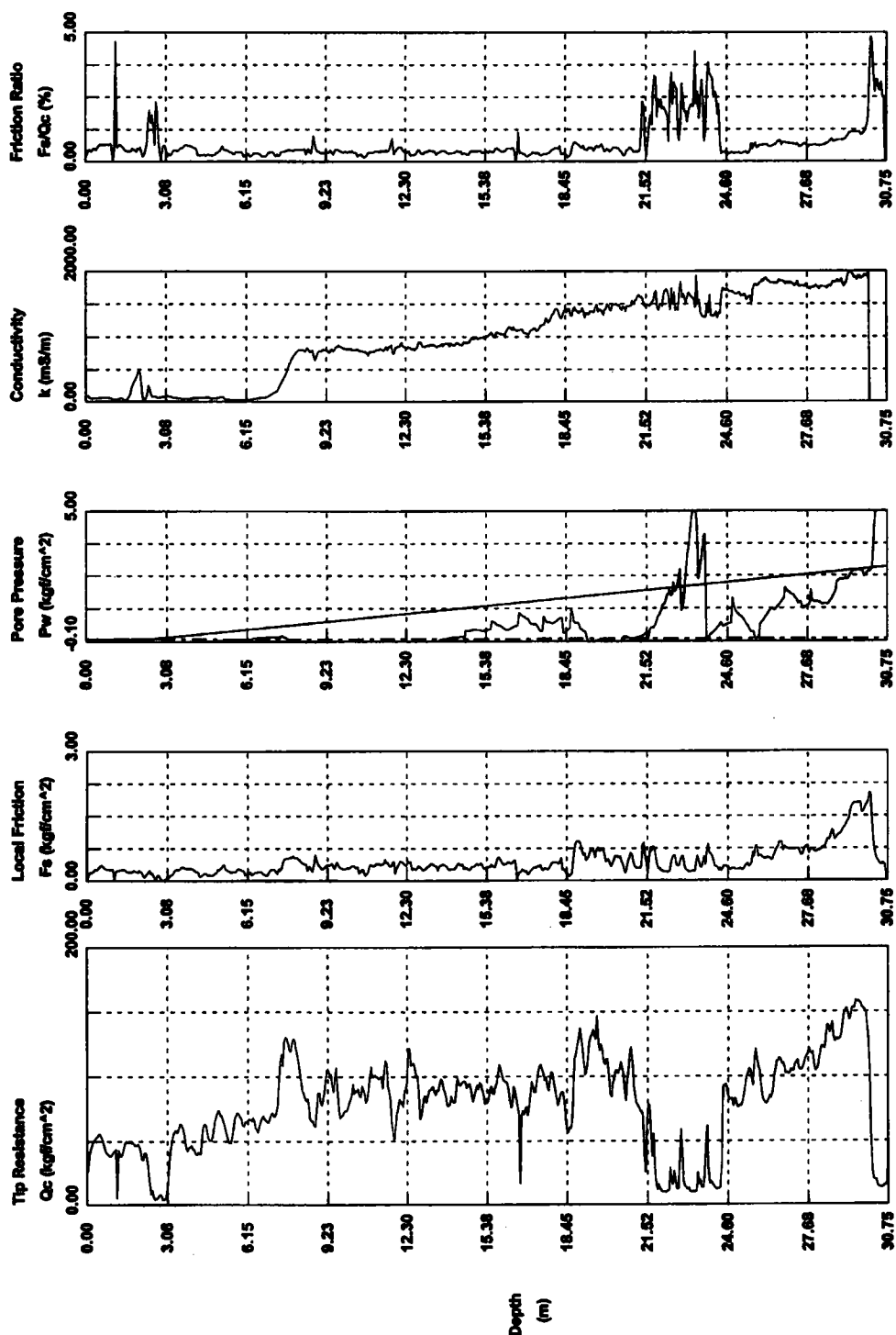
Operator: K C CHEN
 Sounding: RPAP03
 Cone Used: 581TC



安平港區試孔 AP03 試驗結果圖

CPT Date : 12-19-00 12:16
 Location : A.P.HARBOR
 Job No. : RPAP04

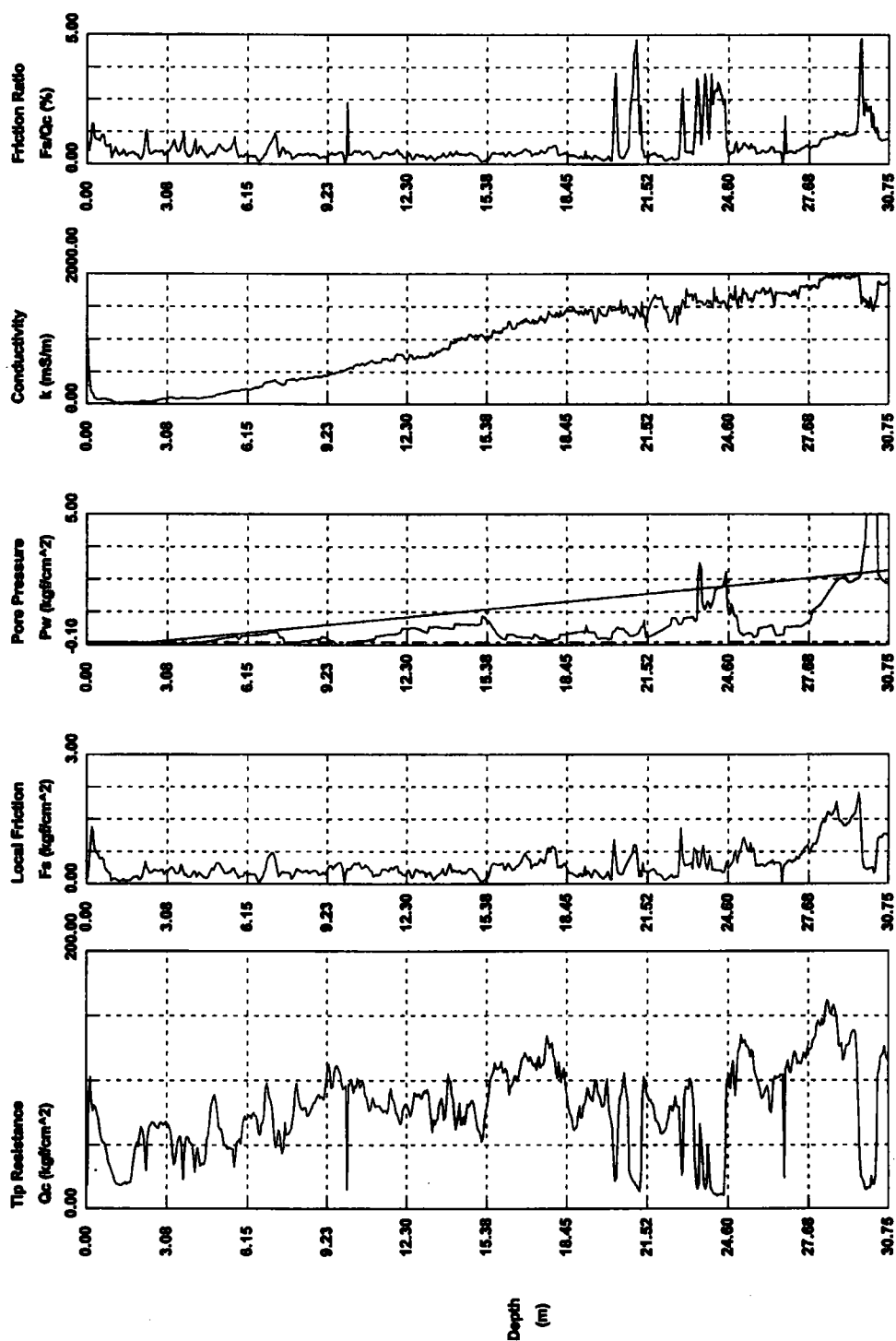
Operator: K.C.CHEN
 Sounding: RPAP04
 Cone Used: 891TC



安平港區試孔 AP04 試驗結果圖

CPT Date : 12-19-00 13:31
 Location : A.P.HARBOR
 Job No. : RP/AP05

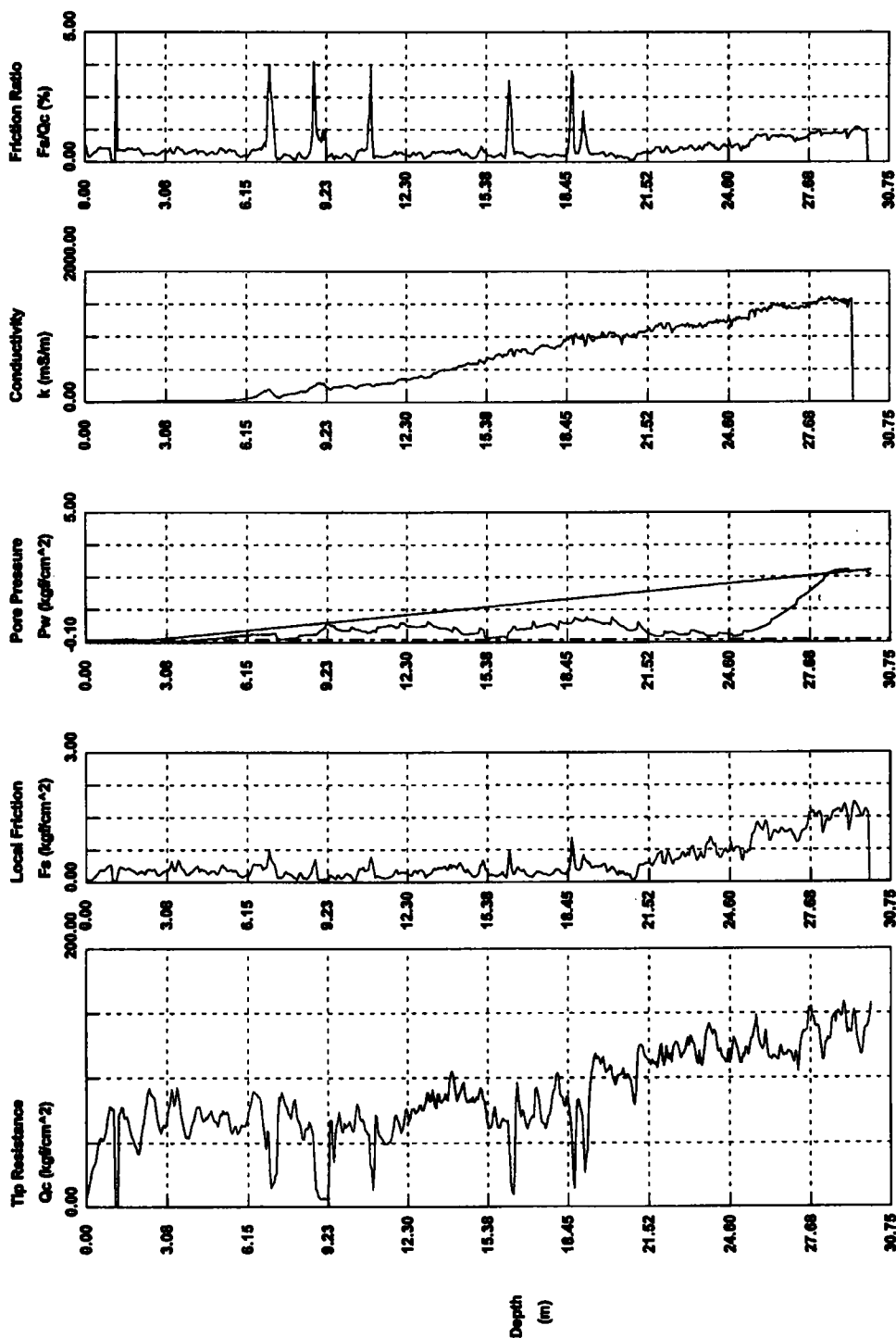
Operator: K.C.CHEN
 Sounding: RPAP05
 Cone Used: 591TC



安平港區試孔 AP05 試驗結果圖

CPT Date : 12-18-00 15:17
 Location : A.P.HARBOR
 Job No. : RPAP06

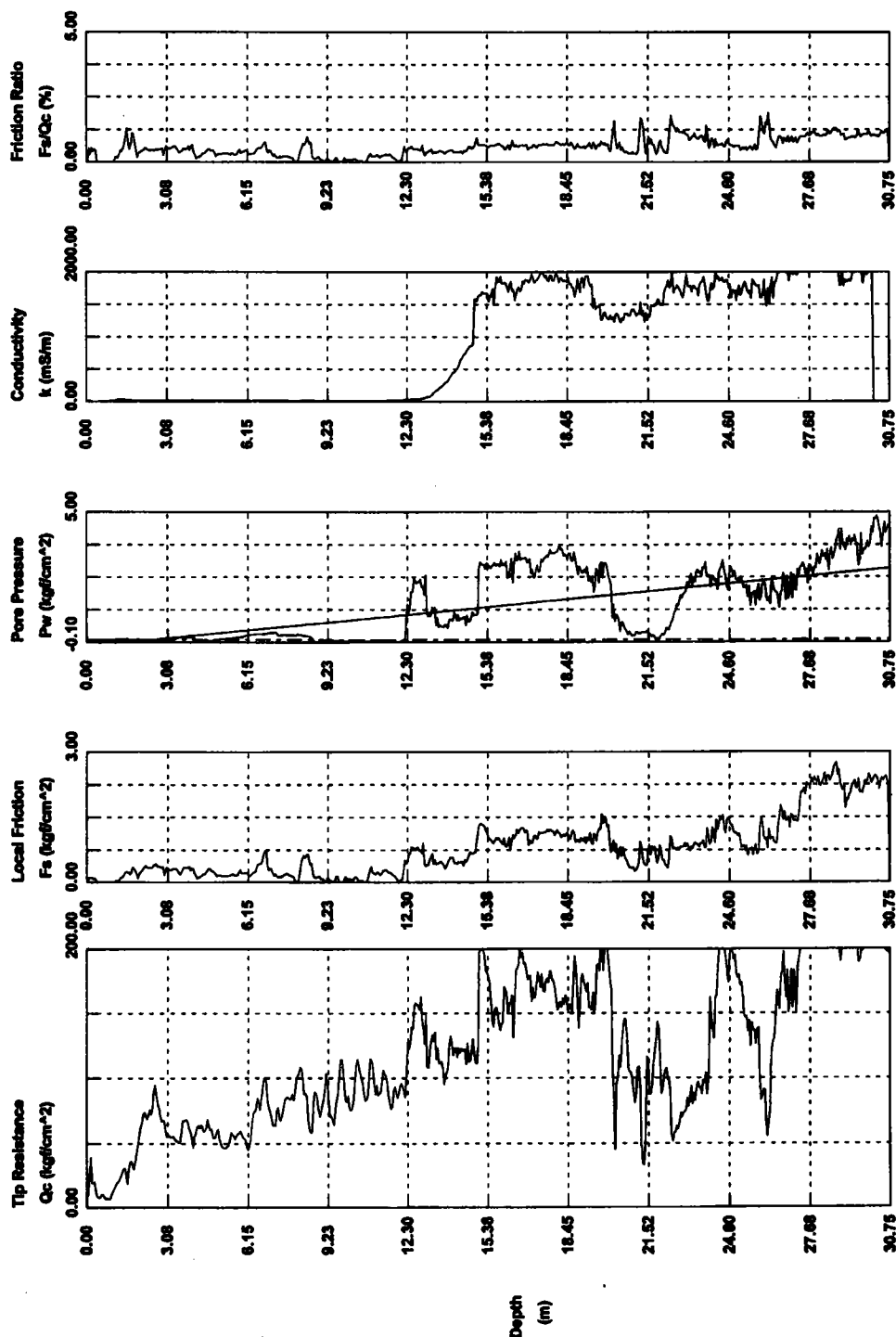
Operator: K C CHEN
 Sounding: RPAP06
 Cone Used: 891TC



安平港區試孔 AP06 試驗結果圖

CPT Date : 12-30-00 09:01
 Location : A.P.HARBOR
 Job No. : RPAP07

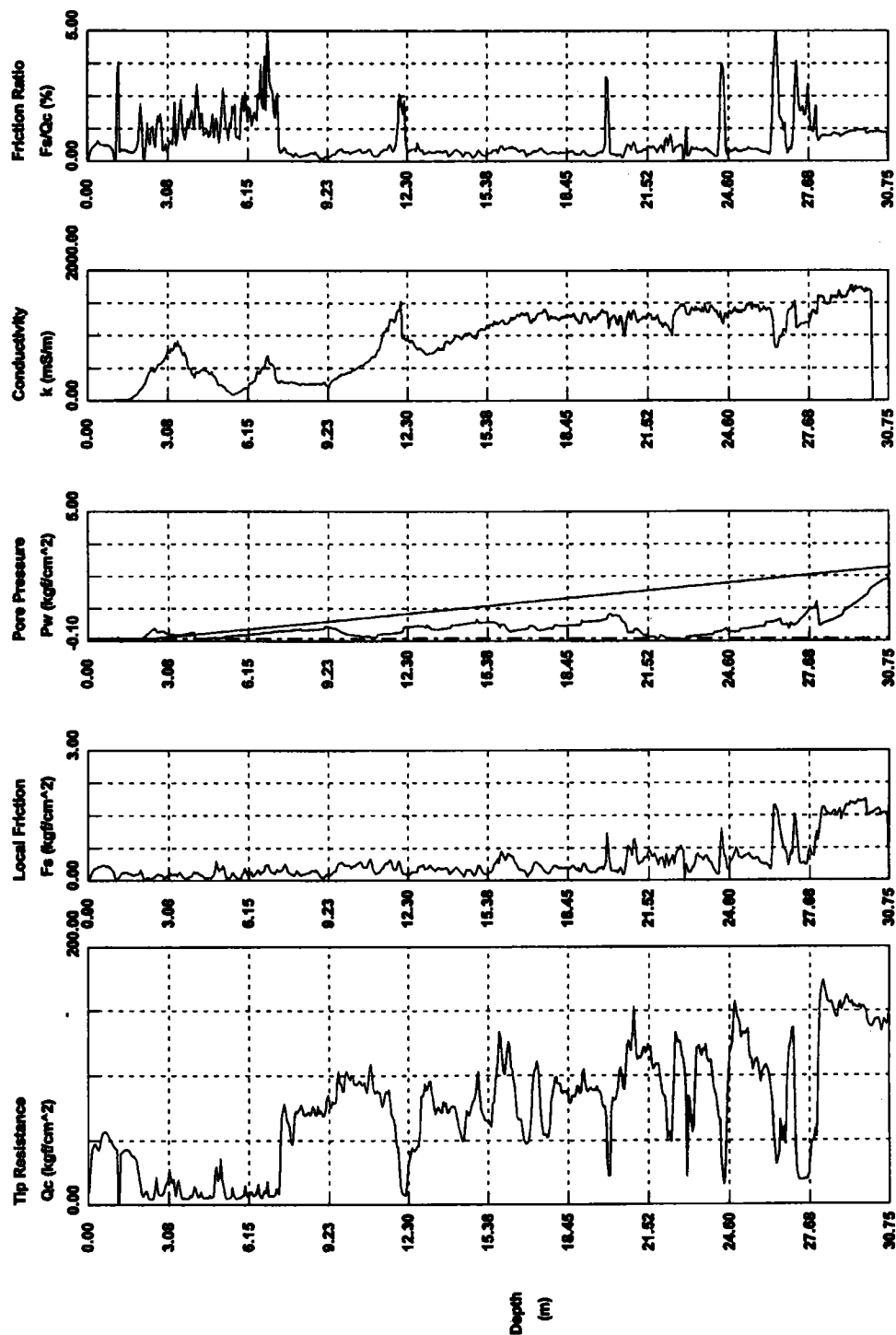
Operator: K C CHEN
 Sounding: RPAP07
 Cone Used: S91TC



安平港區試孔 AP07 試驗結果圖

CPT Date : 12-29-00 10:21
 Location : ALP HARBOR
 Job No. : RPAP08

Operator: K.C. CHEN
 Sounding: RPAP08
 Cone Used: 591TC



安平港區試孔 AP08 試驗結果圖

附錄一摘要報告

利用荷蘭錐調查台灣港區土壤工程性質之研究

摘要報告

一、前言

荷蘭錐貫入試驗目前為探測土壤工程性質之極佳工具，其所能量測之錐頭阻力、摩擦阻力、動態孔隙水壓、動態波速等工程性質能據以研判土壤種類、土層分佈、液化潛能分析等。於荷蘭錐頭後段增加量測土壤電阻係數之設備，該種量測錐頭我們稱為電阻錐，該錐頭除可量測前述各種工程性質外，亦可藉由所量測之土壤電阻係數研判土壤之結構特性及土壤孔隙水是否遭受外來之污染。

本研究於台灣台中港、布袋港及安平港等港區不同地層結構下，以電阻錐試驗來探討土壤孔隙水是否受外來之污染及工程上之應用，並針對試驗分析結果之土壤構造因子，建立與錐頭阻力，SPT-N 值及孔隙率等之關係式，俾提供工程上由電阻錐試驗結果快速研判試驗土層之各種工程特性。

二、現地土壤電阻錐特性試驗

台中港西碼頭區是水力回填而成之海埔新生地，本區電阻錐試驗結果顯示上面土層雖然是由海砂回填而成，但經多年雨水之沖洗，其所含鹽分被洗淨而導電係數 K 均甚低。於距海較遠之試孔其 K 值變大之土層深度亦較深，各試孔一般在 9 米以下之土層其 K 值便逐漸增大，而在 16-24 米間 K 值達最高值，在 26 米以下之土層其 K 值均甚小，亦即該土層如同表面之土層不再受海水之影響而含有鹽分。台中港加工出口區之試孔，除一孔位於西濱公路關聯交流道外，其它均位於加工出口區內，試驗場地剛完成水力回填，試孔之佈線大致垂直於海岸線，試驗結果顯示東邊之試孔距西海岸甚遠，地層不受海水之影響，除表面數米受水力回填流入之海水影響，而具有較高之 K 值外，整個土層

斷面之 K 值均甚低。表面受水力回填影響之土層厚度，隨著試孔愈靠近海岸而愈厚，位於廢棄垃圾掩埋場邊之試孔，其試驗結果顯示上層 3 米土層 K 值較為高，此係受下雨時垃圾場流出之污水影響，西濱公路關聯交流道之試孔距海岸甚遠完全不受海水影響，結果顯示除面層數米厚之土層受附近住宅區排放之污水影響，使 K 值較高為 60-70ms/m 外，其餘土層之 K 值大致為 20ms/m 以下。

整個布袋商港區完全是由海填築而成之海埔新生地，位於商港碼頭區附近之試孔，因距海均甚近故除上面 2~4 米之土層其 K 值很小外，試驗深度內之土層均受海水侵入之影響，而有較高之 K 值。布袋港區土層斷面之 K 值與台中港區完全不同，於台中港區深度 26 米以下之土層，其 K 值均降至 20ms/m 左右，但布袋港區土層深度就算高達 40 米，其 K 值仍維持 200~500ms/m 以上，中間深度土層之 K 值其值高達 1500~2000ms/m 以上，亦較台中港區為高，此等現象主要是超抽地下水引起海水入侵所致。位於布袋鎮市街上之試孔，其表層土壤之 K 值便高達 250~500ms/m，主要因為該等區域地勢低排水不良且偶遭海水倒灌，深度 30 米之土層其 K 值並未下降仍高達 1000~1500ms/m，可知該等地區海水入侵情況嚴重。

安平港區在開發之前附近有許多漁塭，因超抽地下水有海水入侵之現象，試驗結果顯示位在漁光里碼頭預定地上之試孔，除表面 1.5 米之土層因位在地水位以上無法量測外，深度 1.5 米以下之土層均有較大之 K 值，其 K 值之分佈大致從深度 1.5 處之 500ms/m 逐漸加至試驗停止深度 30 米之 1750ms/m。位在漁港邊水力回填區上之試孔，其上面土層之 K 值很小，然後其 K 值隨深度逐漸增加至約 1800ms/m。

三、地電阻二維影像剖面量測

現地電阻錐試驗因受儀器貫入能量與鑽桿強度限制，一般試驗深度通常小於 50 公尺，為對港區海水入侵之情形有較充分之瞭解，本研究於三個港區分別進行兩個測線之地電阻二維影像剖面量測。

台中港 RIP-1 測線為平行岸邊成南北向，由南向北施測，RIP-2 為垂直岸邊成東西向，由東向西施測，RIP-1 結果顯示海水入侵範圍約在測線距離 0 m~40 m 處深度 60m 以下，及測線 90 m~180 m，深度 15 m 以下。RIP-2 結果顯示測線距離 0 m~10 m，深度 8m 以下皆受到海水入侵；測線距離 10 m~160 m，海水入侵範圍約在地下深度 8m~25 m 之間，深部未受到海水污染。

布袋港 RIP-3 及 RIP-4 測線分別位於新舊填土區而均為東西向，由東向西施測，RIP-3 測線以深度 4m 為分界，深度 4m 以上電阻率大於 5 ohm-m，深度 4m 以下電阻率小於 5 ohm-m，顯示幾乎皆受到海水入侵。RIP-4 測線於深度 5m 以下，大部分土層皆受到海水入侵。

於安平港區亦施測二條測線，RIP-5 測線沿環港路布線，由東南向西北施測，RIP-6 則位於漁港邊之新開發區上，測線是垂直碼頭線而向河道反方向施測。RIP-5 整條測線自深度 10m 以下皆受到海水入侵影響，地層電阻係數值在 5 ohm-m 以下。RIP-6 測線在距離 0 m~100 m，深度 8m 以下皆受到海水入侵。

四、土壤孔隙水電阻係數之量測

為分析土壤構造因子與土壤工程特性之相關性，除利用電阻錐試驗量測土壤之電阻係數外，尚需量測土壤孔隙水之電阻係數，土壤孔隙水之量測最重要者是如何採取具代表性之孔隙水，採樣過程是相當重要的一環，傳統的地下水取樣步驟包括監測井之埋設、洗井、採樣及運送等步驟均包涵了非常多的變數，使所取得的水樣並不一定具代表性，本研究採用瑞典所研製之 BAT 採水設備該設備是一種新型的地下水取樣技術，可採取地下某一指定深度之孔隙水，不需要洗井並可取得受壓力水層之樣品，密封之水可直接由地底取出送至試驗室內量測土壤孔隙水之電阻係數。

五、土壤視構造因子與工程特性之相關性分析

土壤視構造因子 F 是土壤孔隙水之導電度與土壤之統體導電度之比值。荷蘭錐貫入試驗所量取之錐頭貫入阻力 Q_c ，經學者過去多年之研究分析後認為與土壤之壓縮性相對密度及剪力強度等有相關性存在。本研究對由現地試驗求得之錐頭阻力 Q_c 、孔隙率 n 、SPT-N 值及土壤視構造因子 F 等各種工程參數分析獲得良好相關性。

台中港西碼頭區各種工程參數間之相關性為 $Q_c = 85.73 F - 215.1$ ， $F = 1.085 n^{-1.481}$ ， $N = 20.09 F - 52.19$ ，布袋港區之相關性為 $Q_c = 119.1 F - 325.7$ ， $F = 1.379 n^{-1.087}$ ， $N = 26.69 F - 73.19$ ，安平港區之相關性為 $Q_c = 116.9 F - 328.5$ ， $F = 1.573 n^{-0.936}$ ， $N = 29.89 F - 85.61$ 。

六、結論

- 1 根據電阻錐試驗及 BAT 所採水試驗結果可研判土層是否受海水或其它之污染，可供有關單位採取防制及改善措施。由各港區地電阻二維影像剖面結果顯示，各港區海水入侵深度大致上均超過 100 米，且因海水入侵路徑彎曲多變故港區地下土層電阻係數之變化亦很大。
2. 電阻錐試驗對研判地下土層是否受污染是一種經濟有效之方法，但試驗深度受試驗車貫入能量限制通長 50 米以下，故該試驗對決定港區海水入侵之範圍及深度並不適合。BAT 水樣採取系統能採取具代表性之土壤孔隙水，其缺點是於細顆粒土壤時取樣時間要較長。
3. 電阻錐試驗所決定之土壤視構造因子與錐頭阻力 Q_c 、SPT-N 值及孔隙率 n 之間有良好之相關性，故以電阻錐試驗所決定之土壤視構造因子來研判試驗土層之工程特性為另一種可行之方法。

附錄二 簡報資料

利用荷蘭錐調查台灣港區土壤 工程性質之研究

報告人

陳圭璋

臺灣技術研究中心

九十年十二月二十五日



報告內容大綱

- 研究目的
- 研究方法
- 工作內容
- 現地電阻錐試驗
- 現地BAT孔隙水取樣與分析
- 地電阻二維影像剖面量測
- 土壤視構造因子與工程特性之相關性分析
- 結論

研究目的

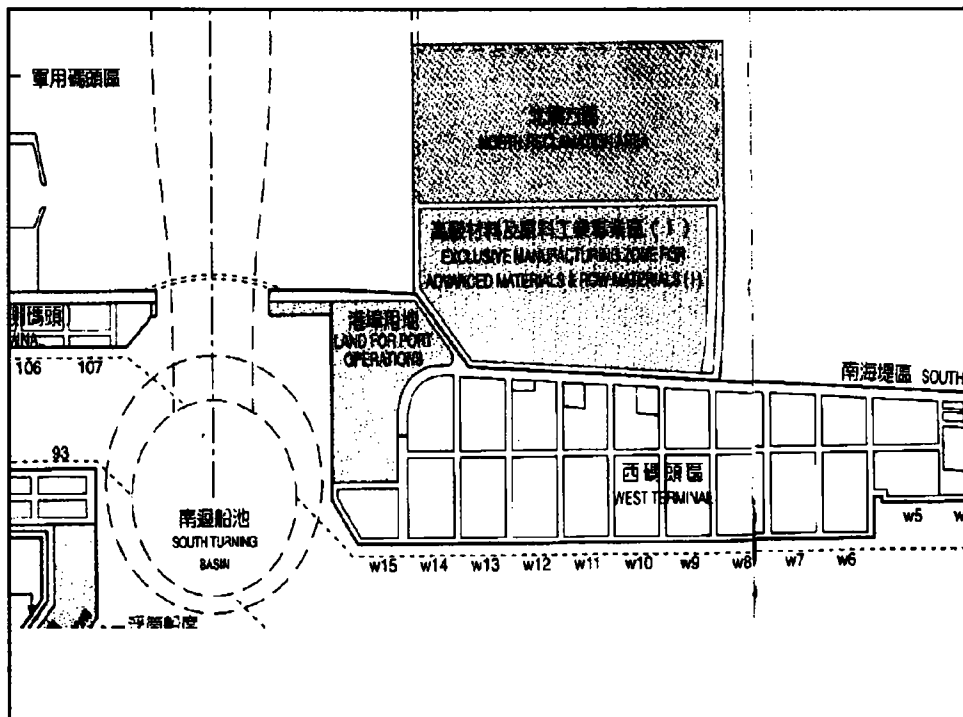
- 以電阻錐調查海水入侵與地下水污染之可行性
- 探討土壤構造因子與土壤工程特性之相關性

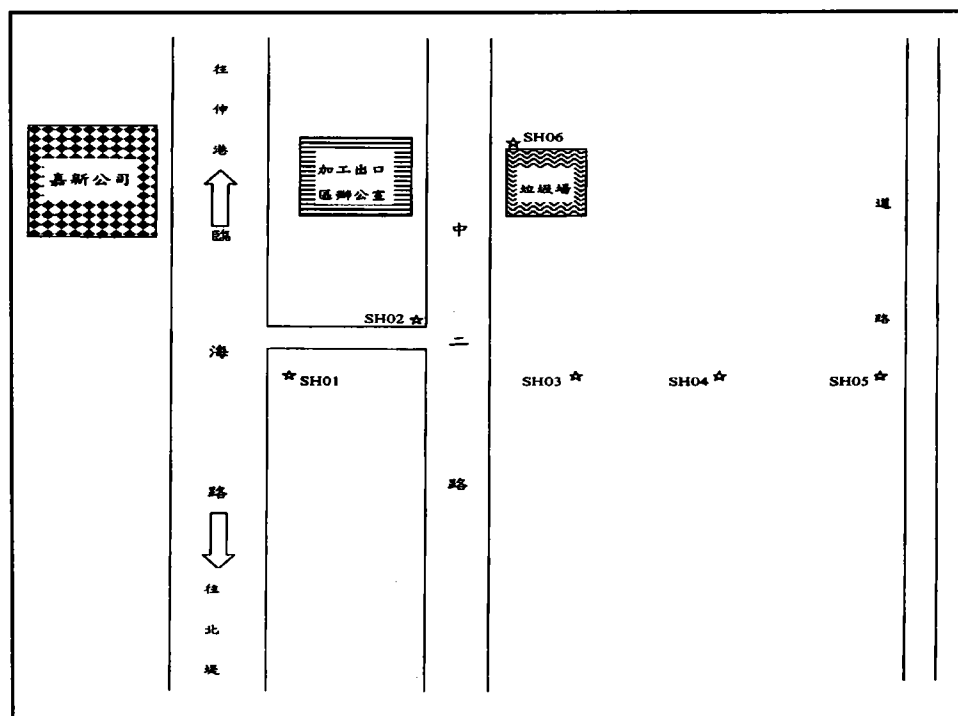
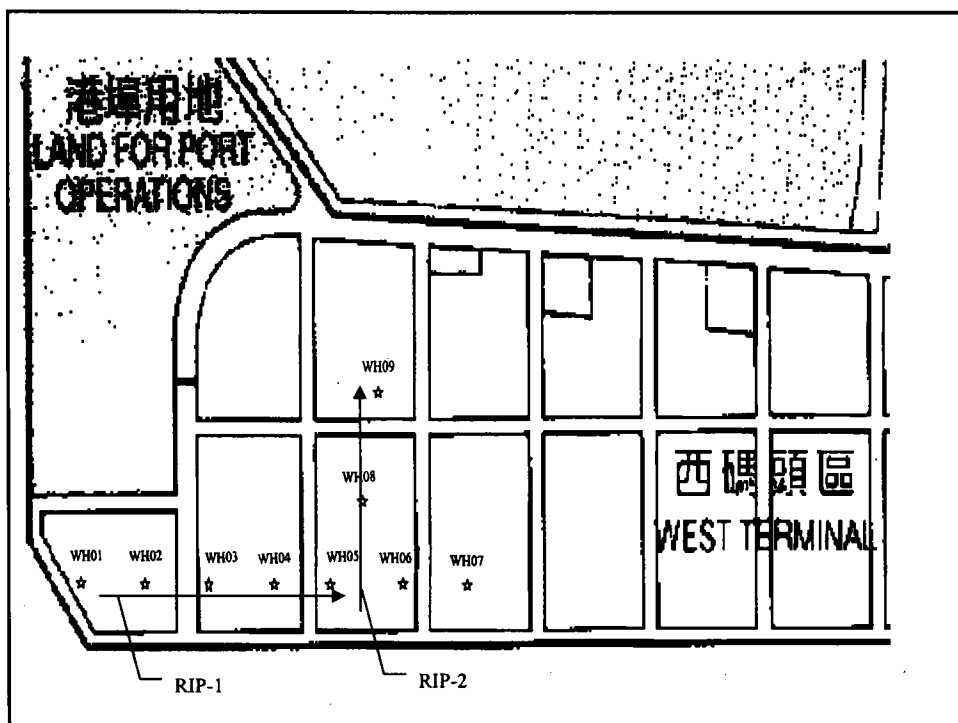
研究方法

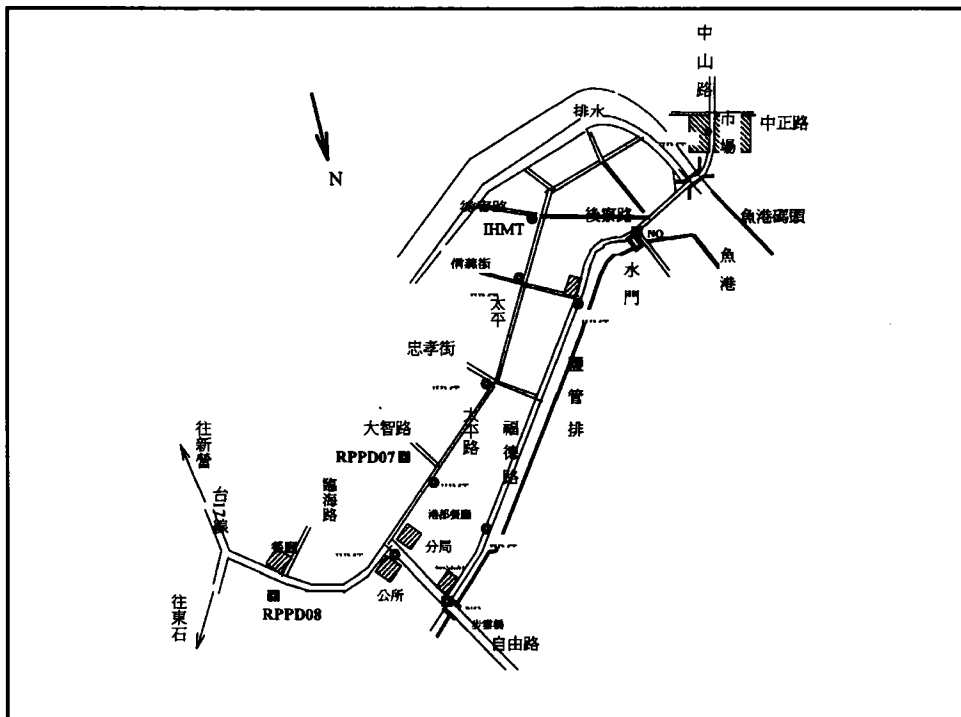
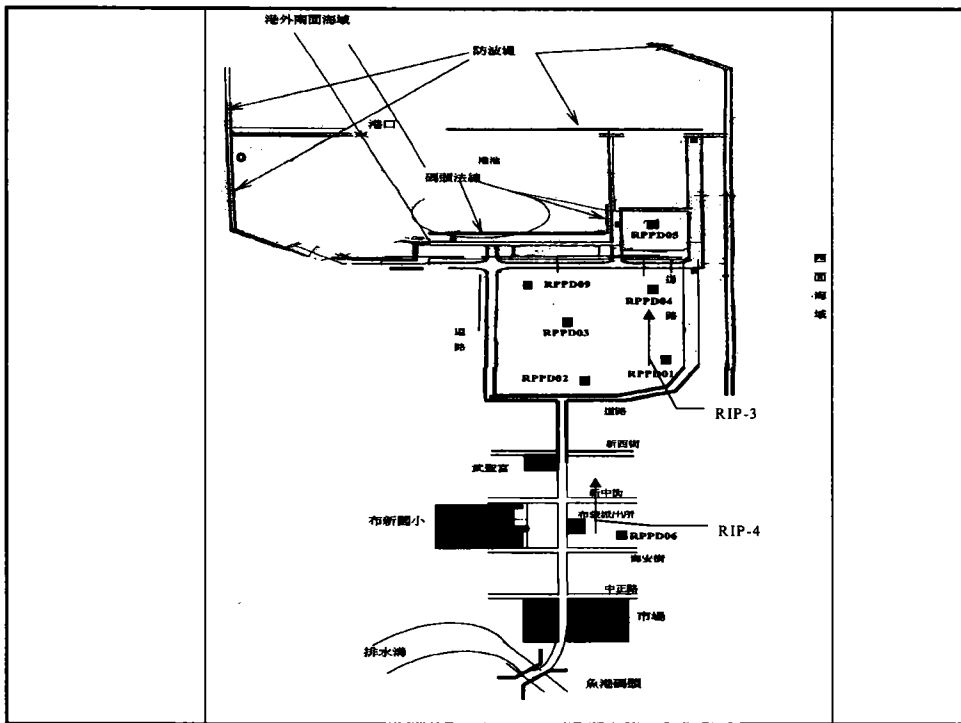
- 於港區進行現地電阻錐試驗
- 建立土壤構造因子與CPT阻力參數之相關性
- 建立土壤構造因子與孔隙率之相關性

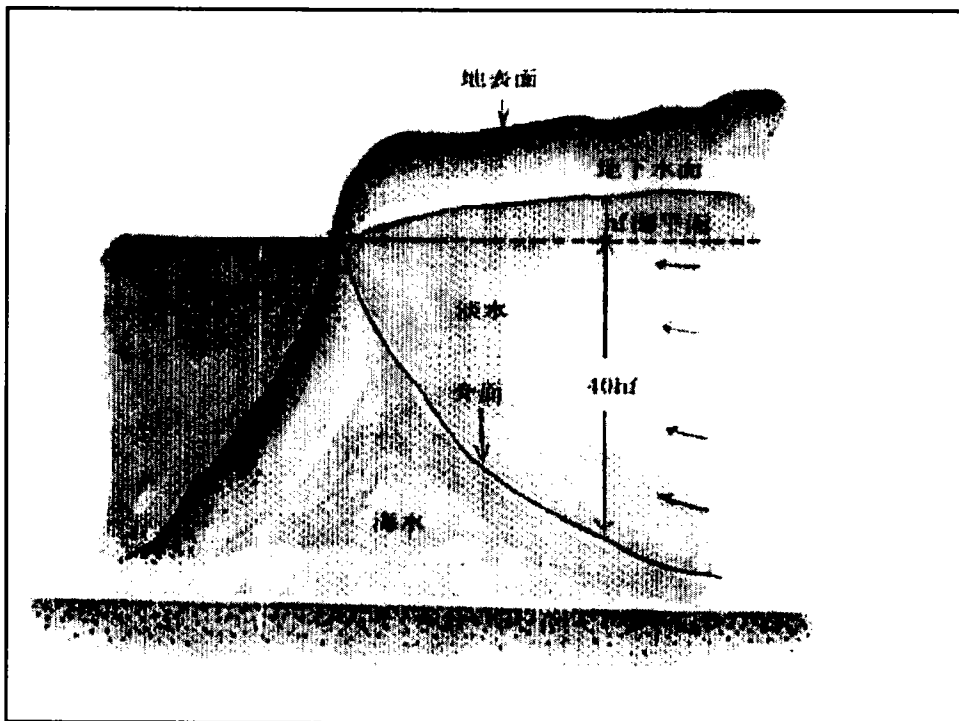
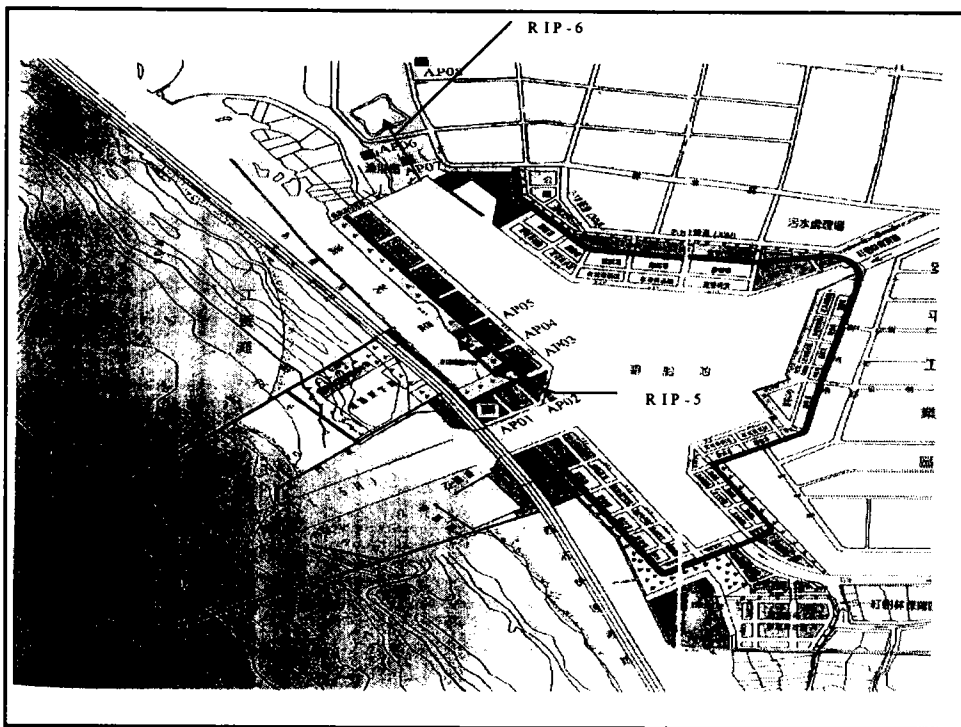
計畫工作內容

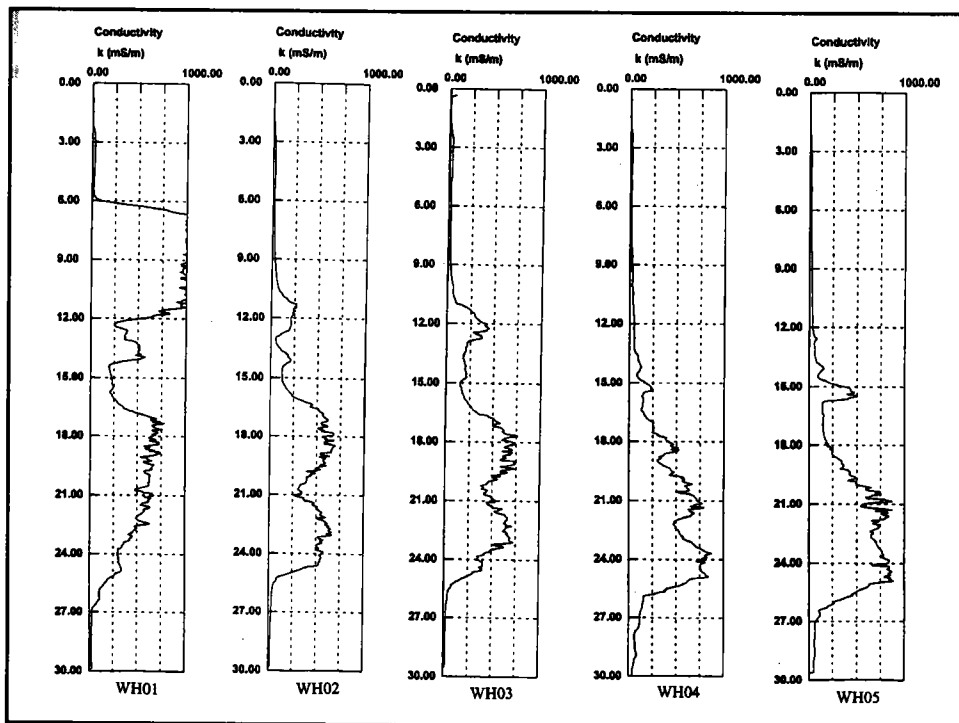
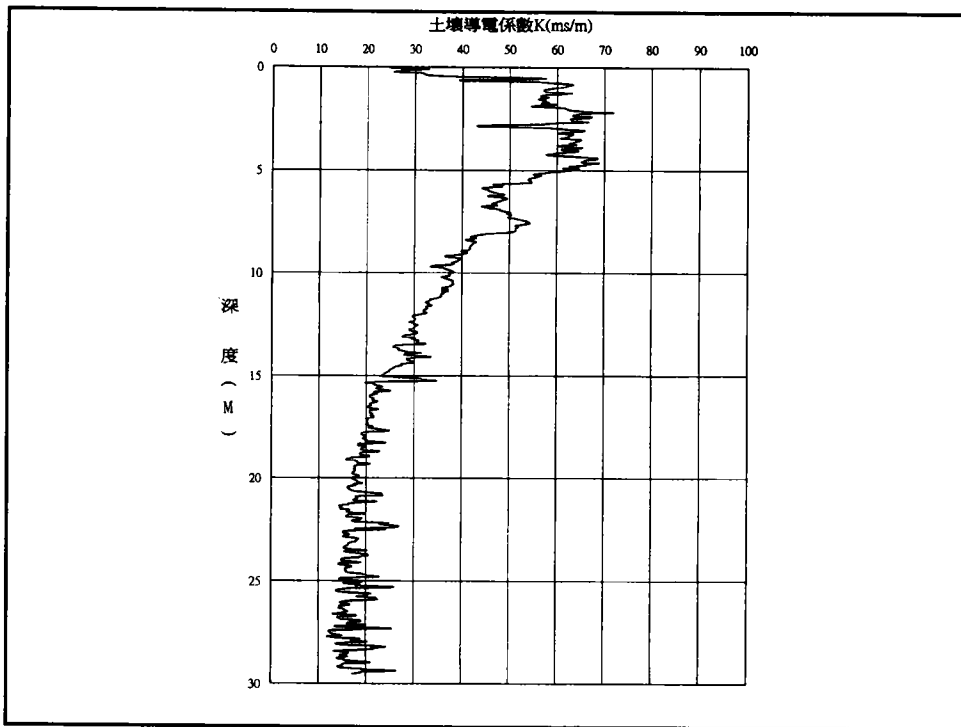
- 於台中、布袋、安平等港區進行
 - 現地電阻錐貫入試驗
 - 土壤孔隙水取樣與分析
 - 現地土壤標準貫入試驗
 - 地電阻二維影像剖面量測
 - 土壤構造因子與土壤工程特性之相關性分析

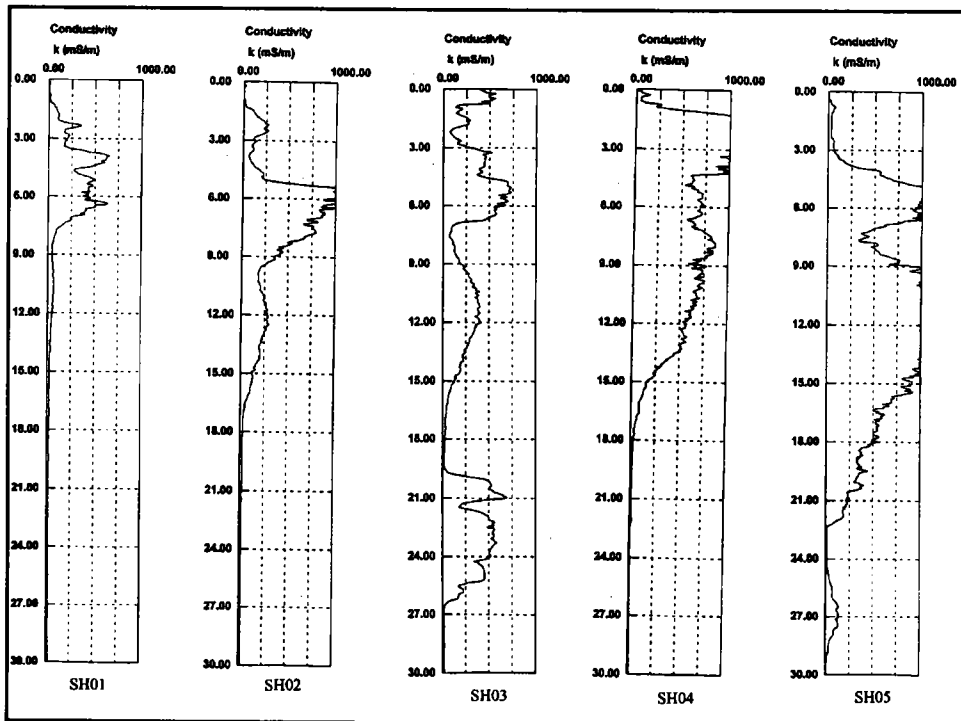
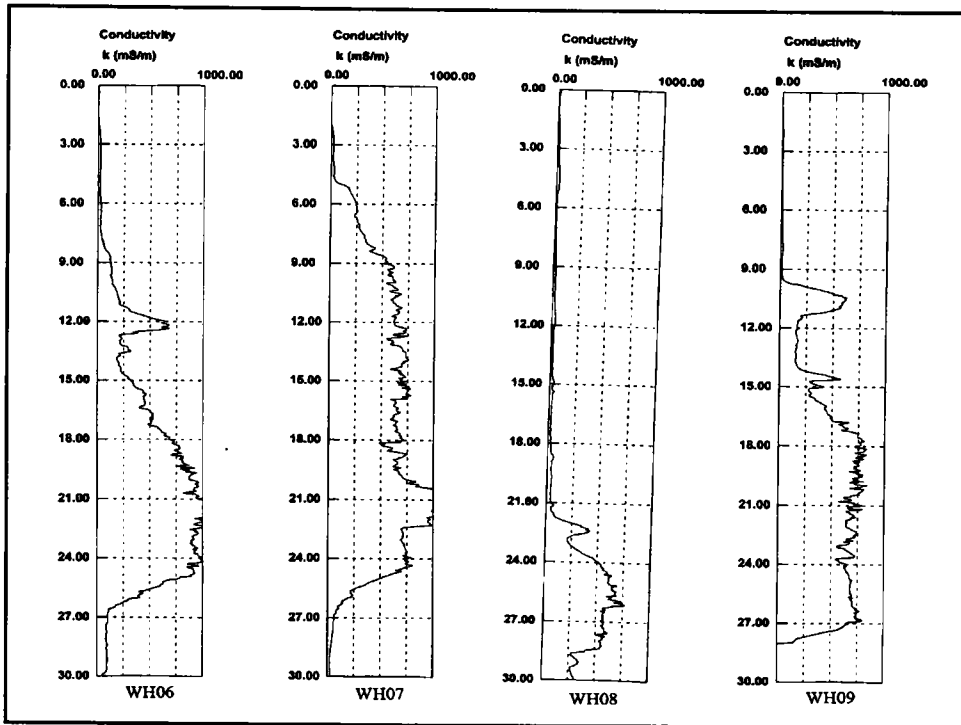


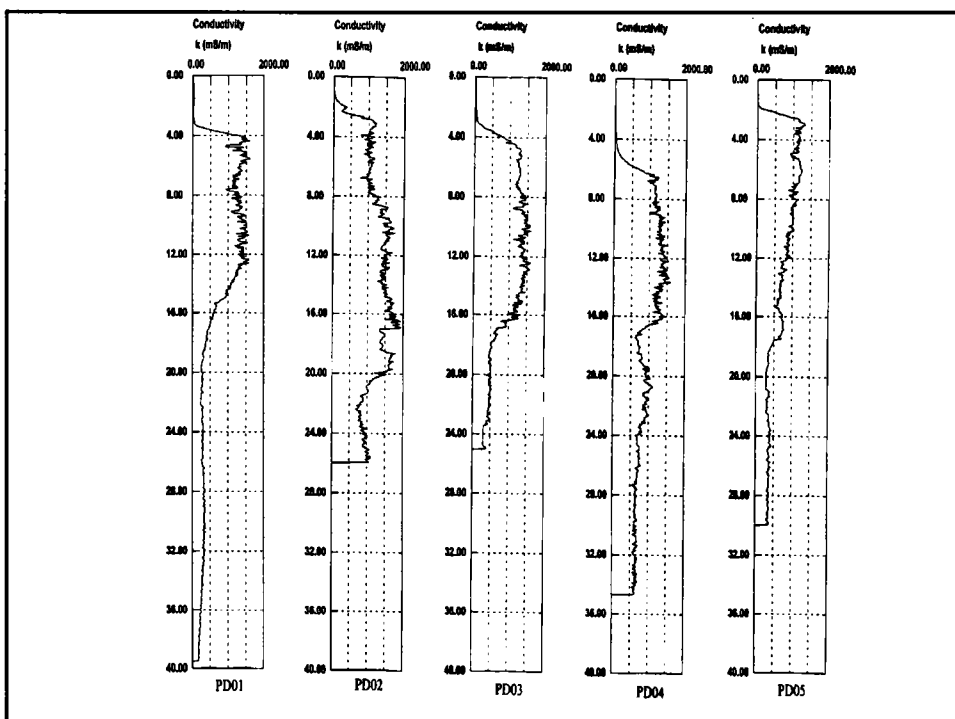
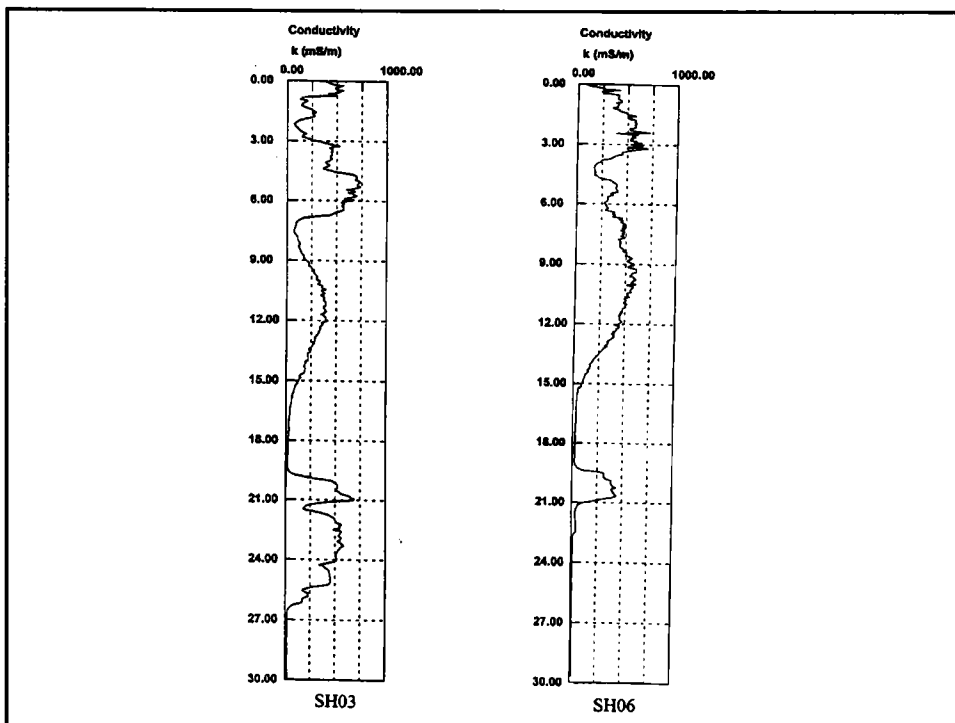


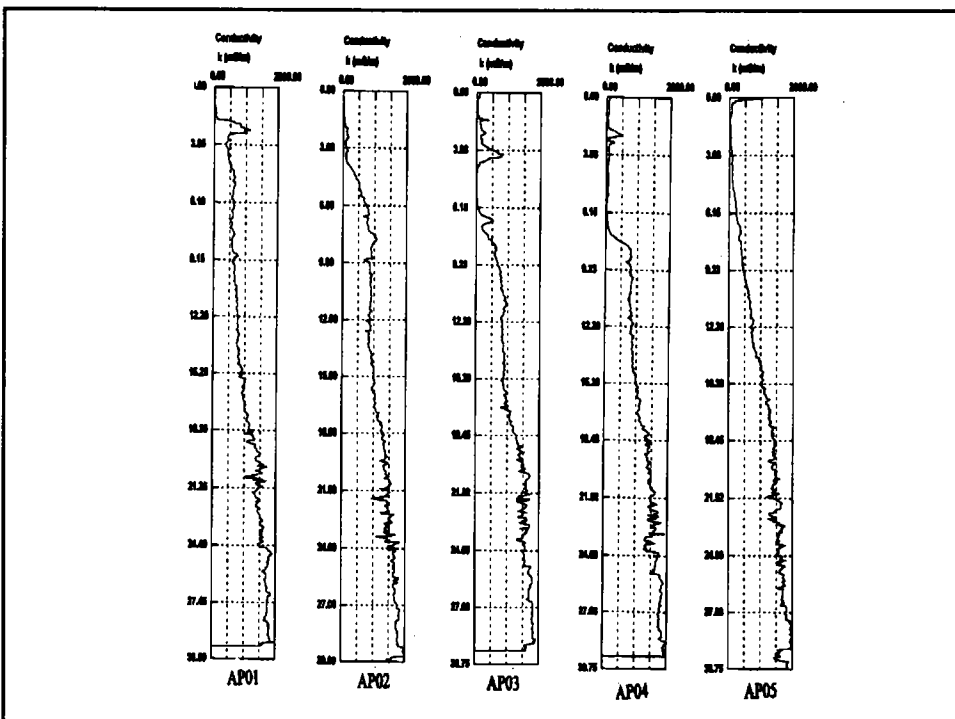
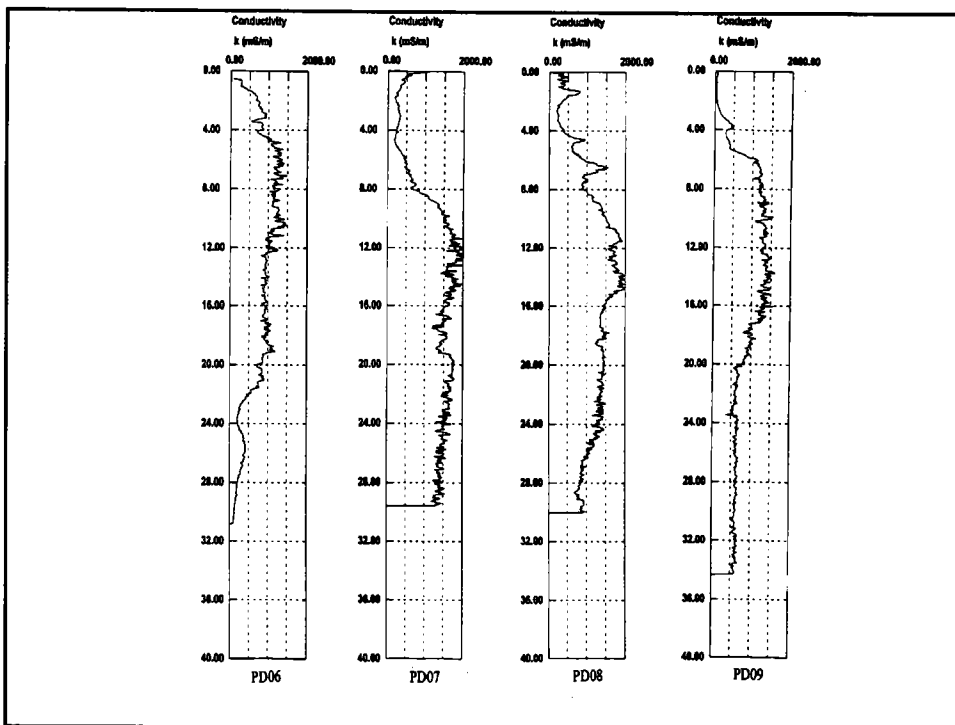


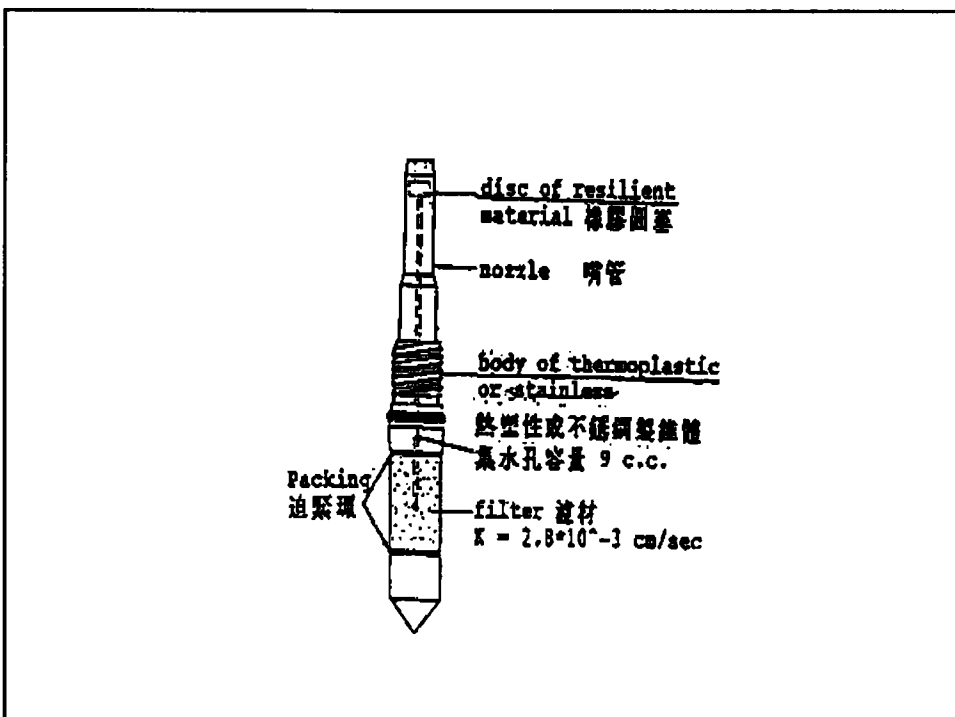
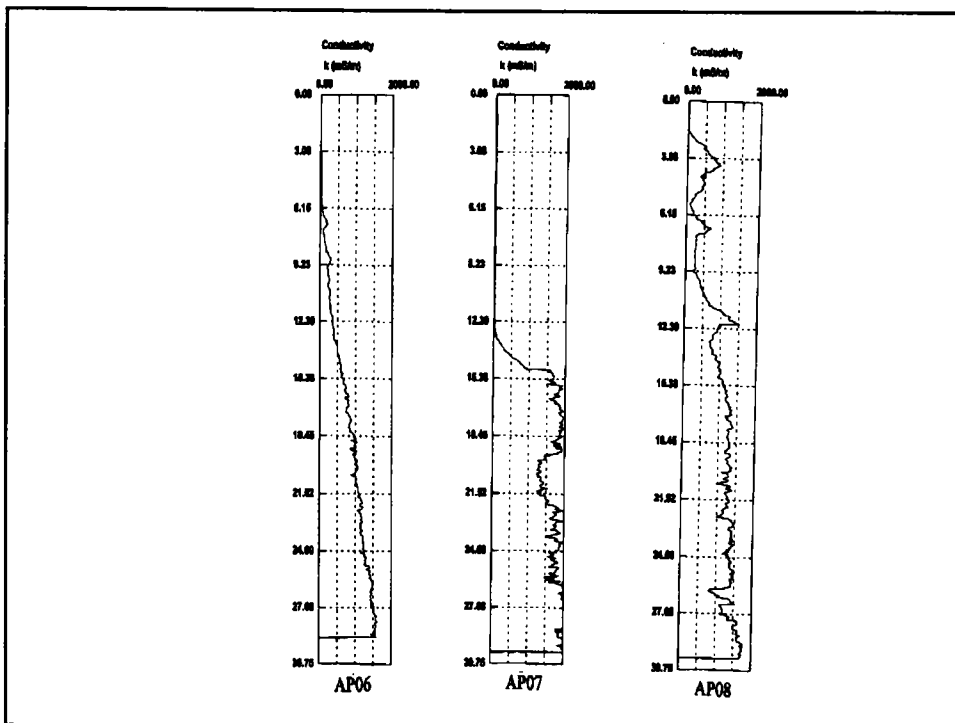


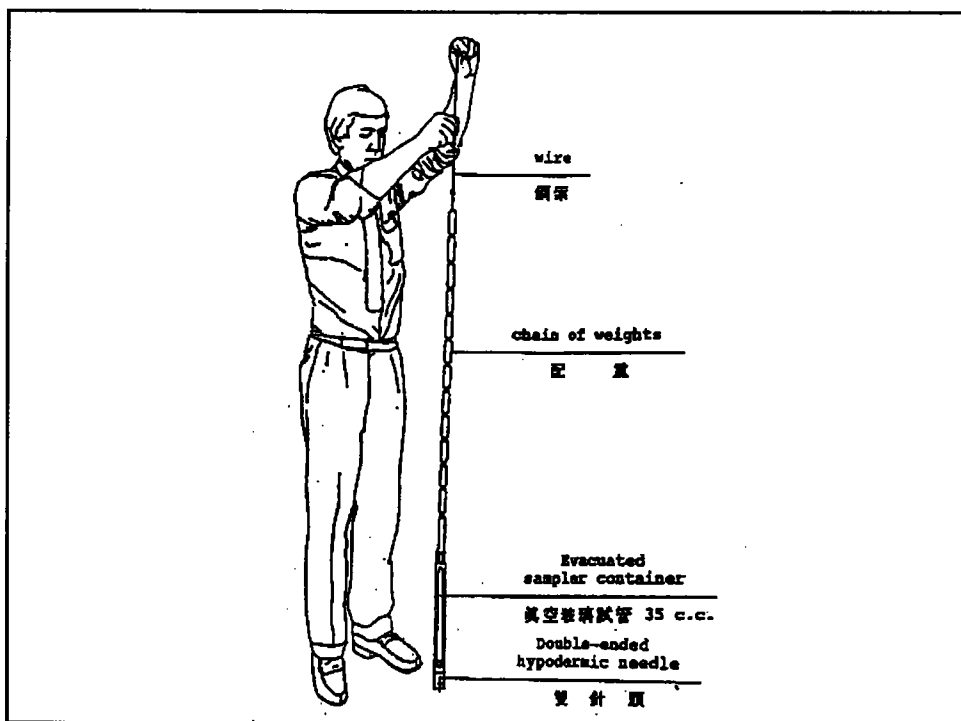
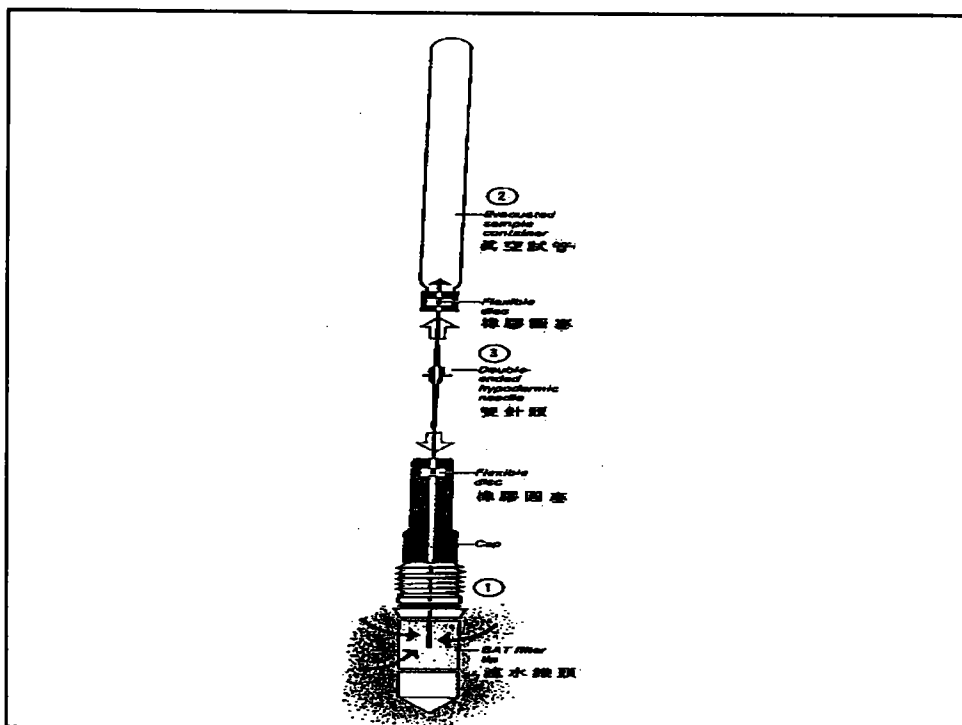


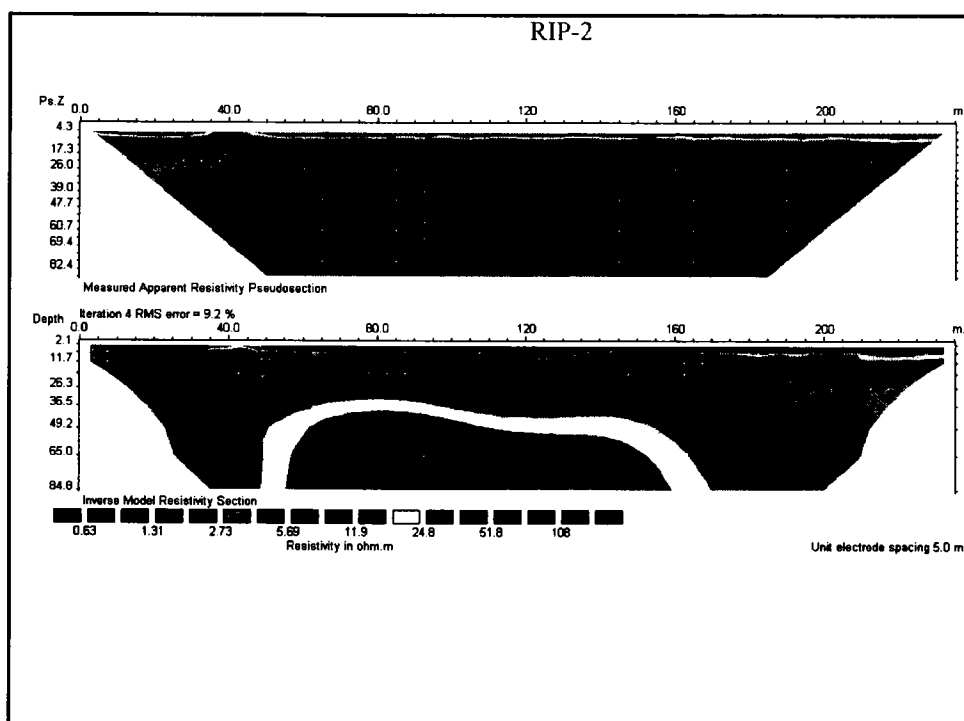
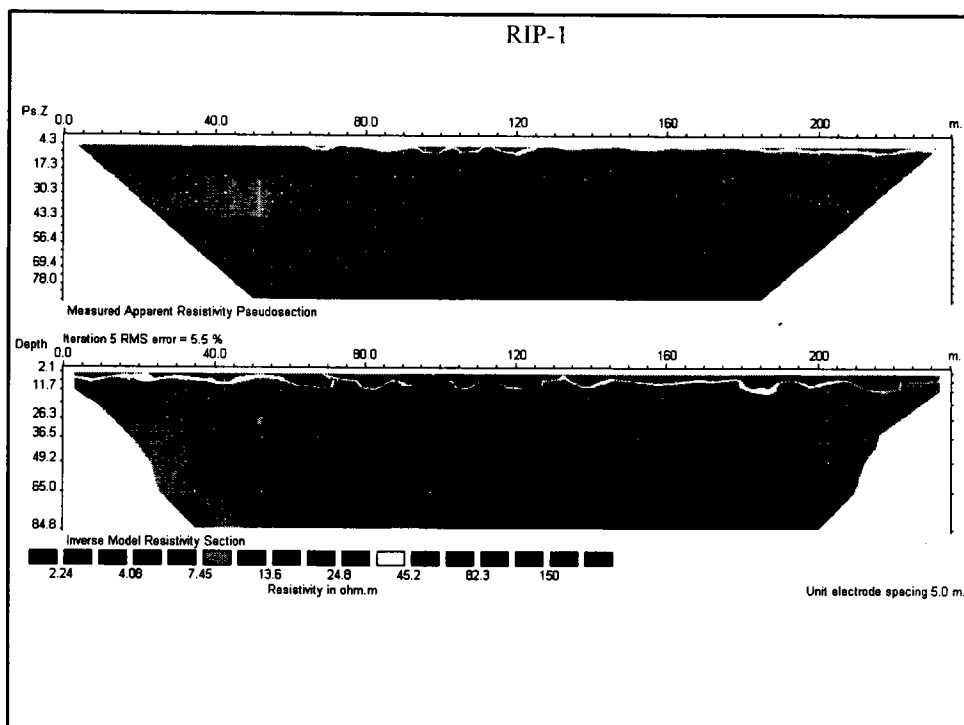


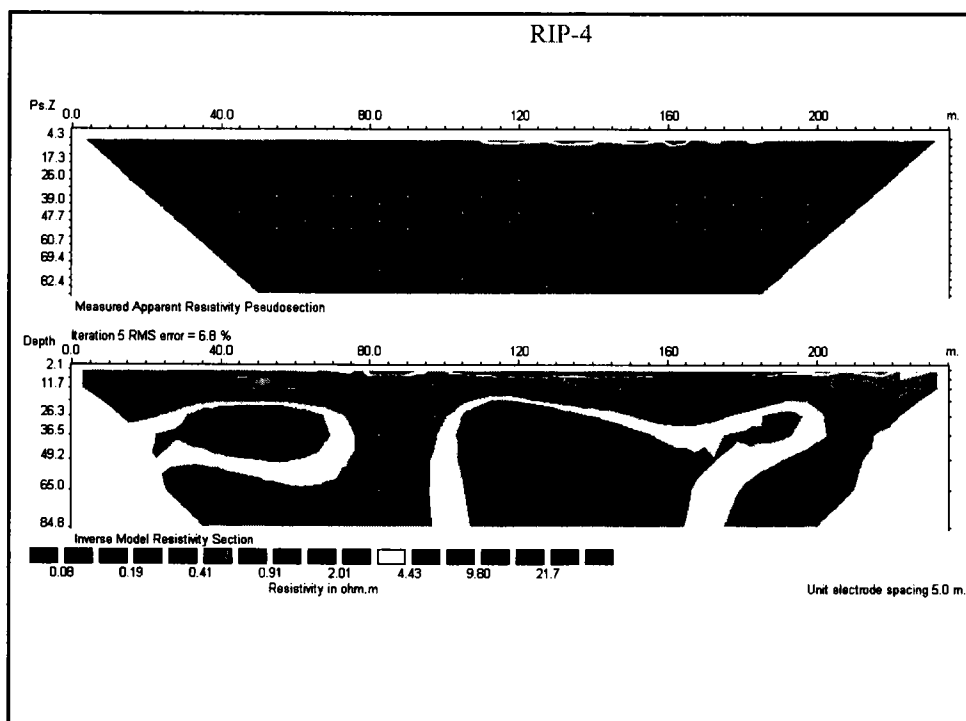
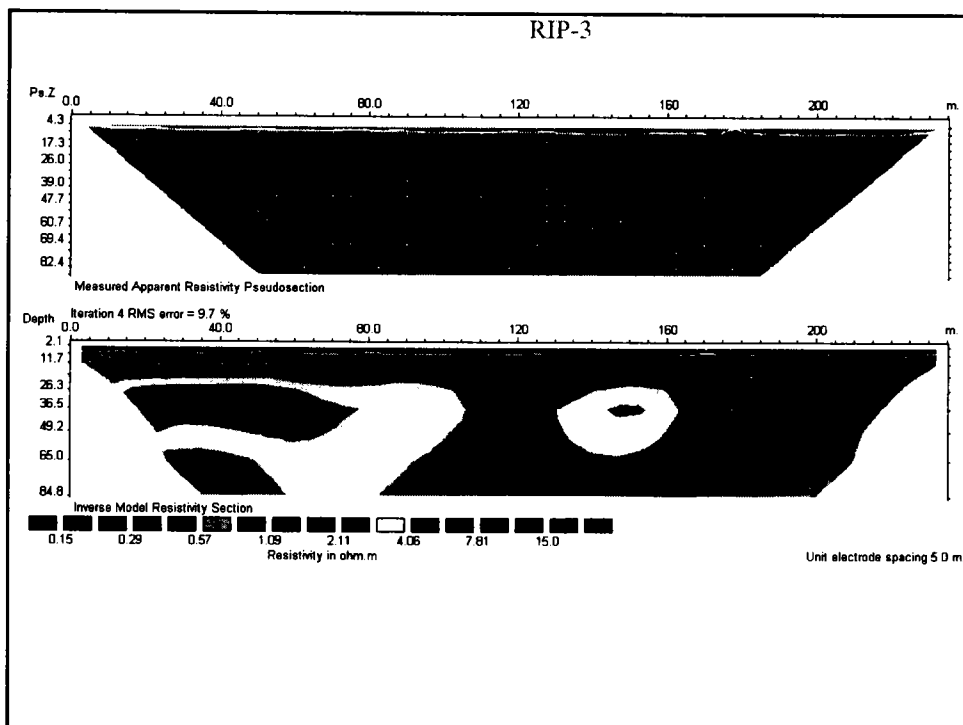


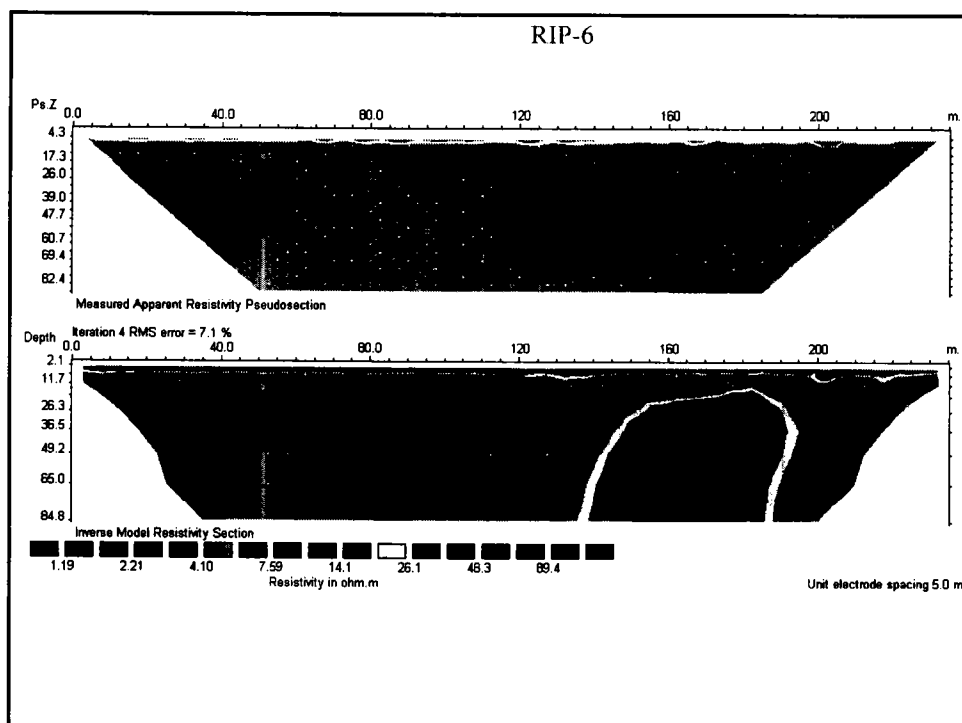
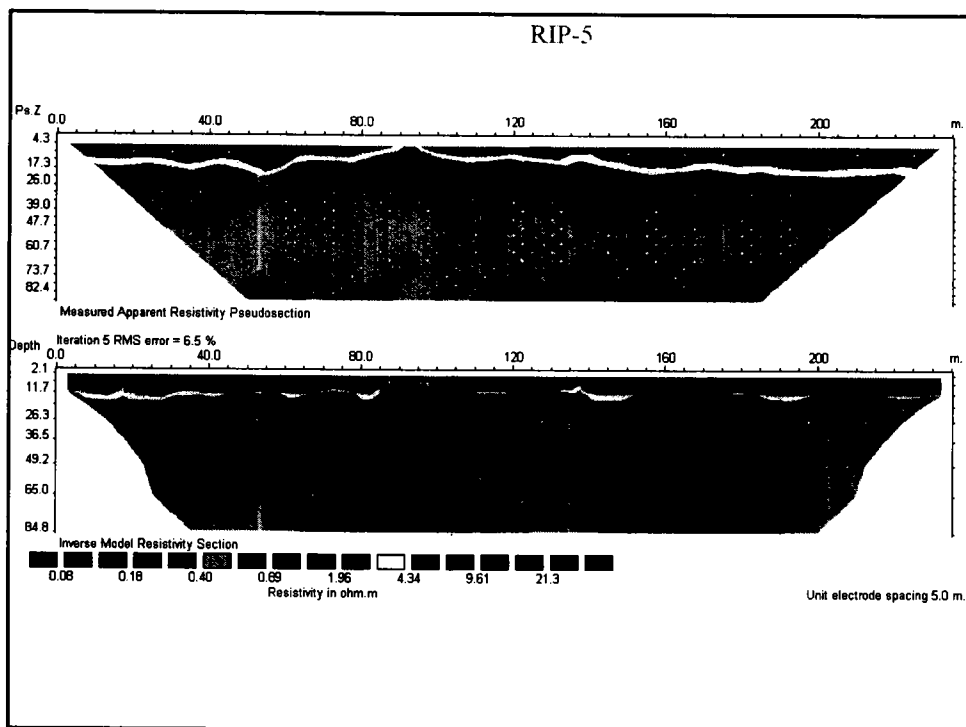


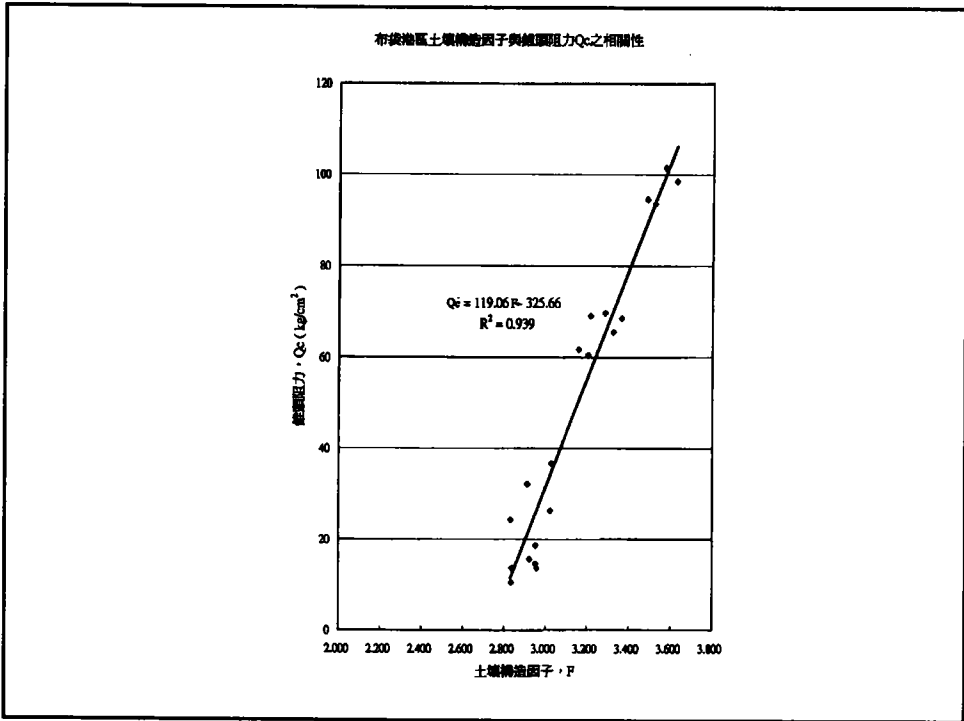
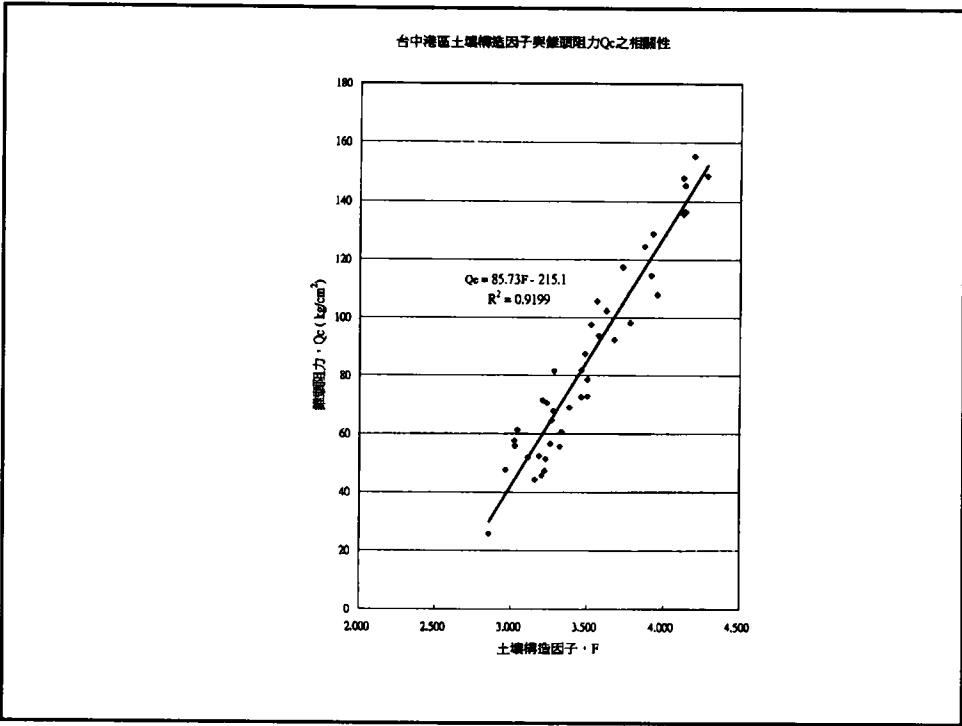


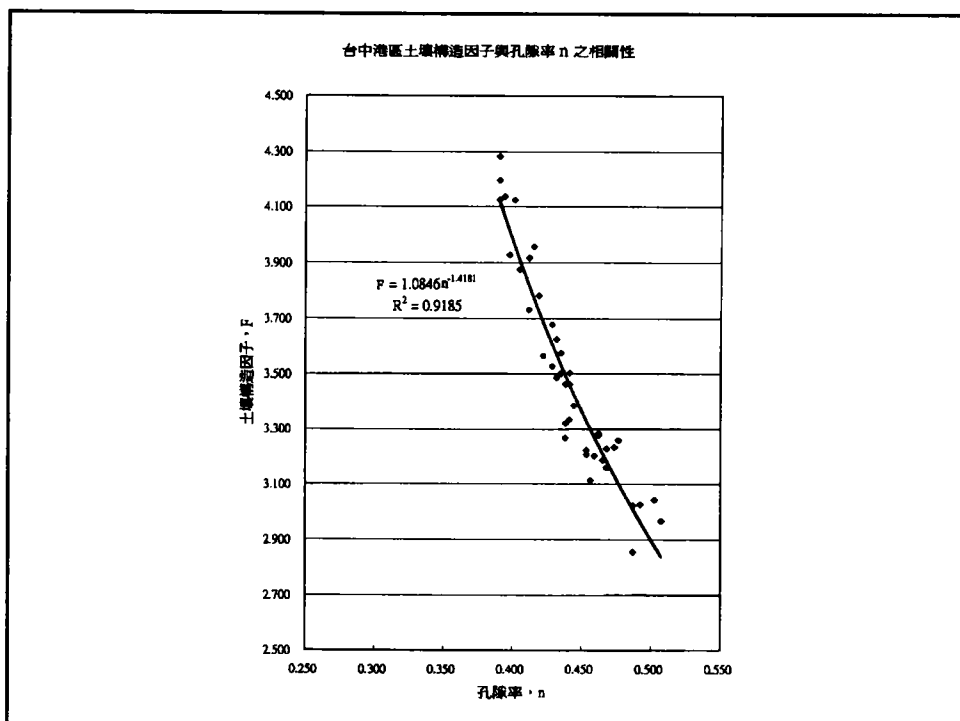
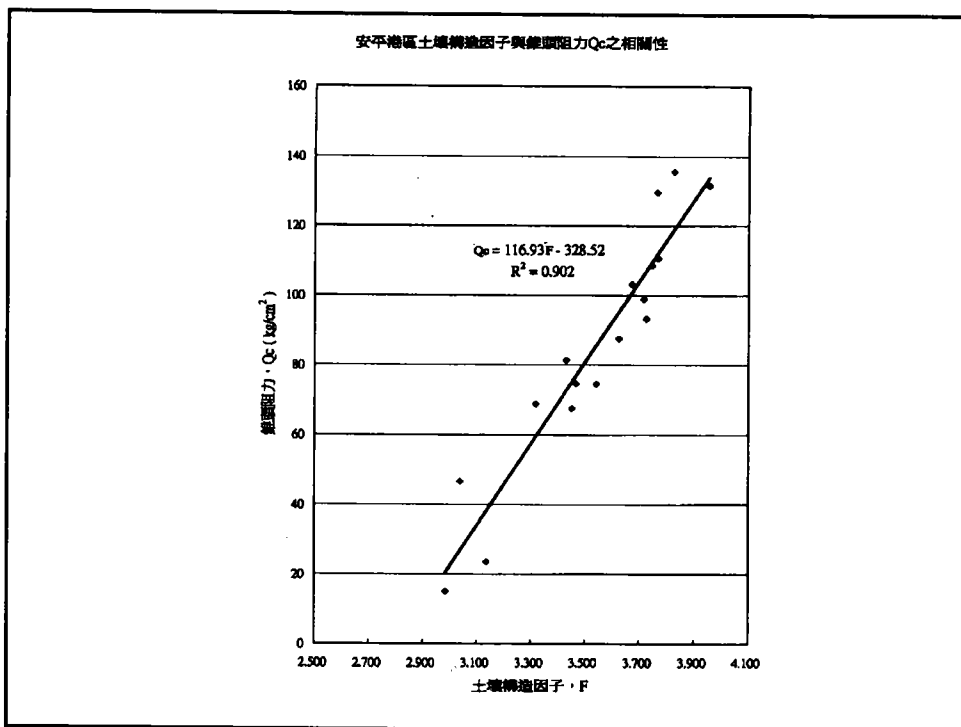


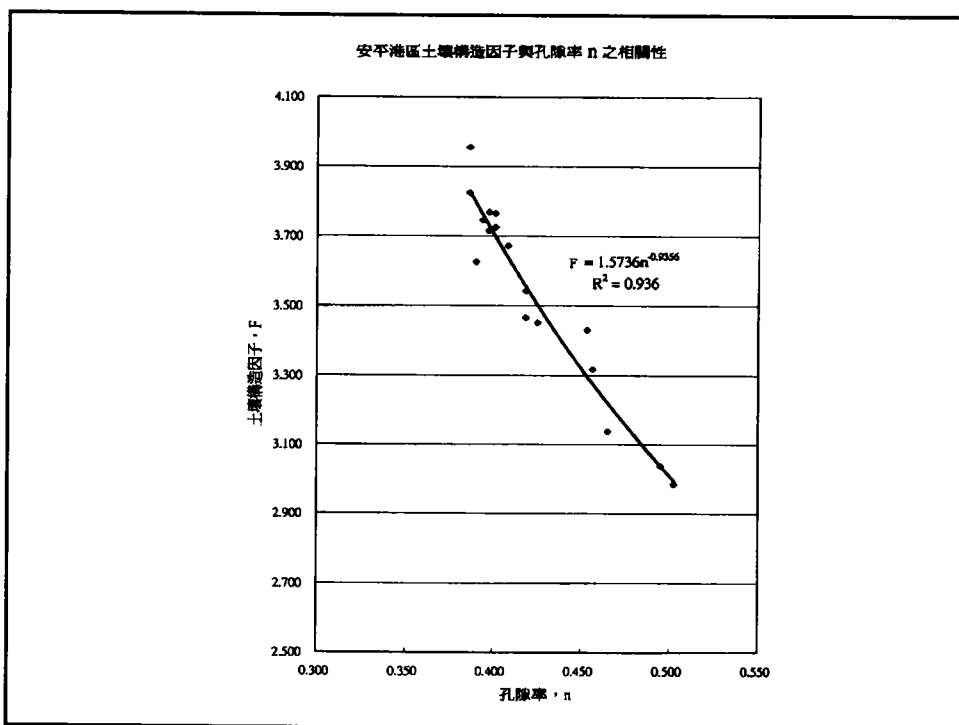
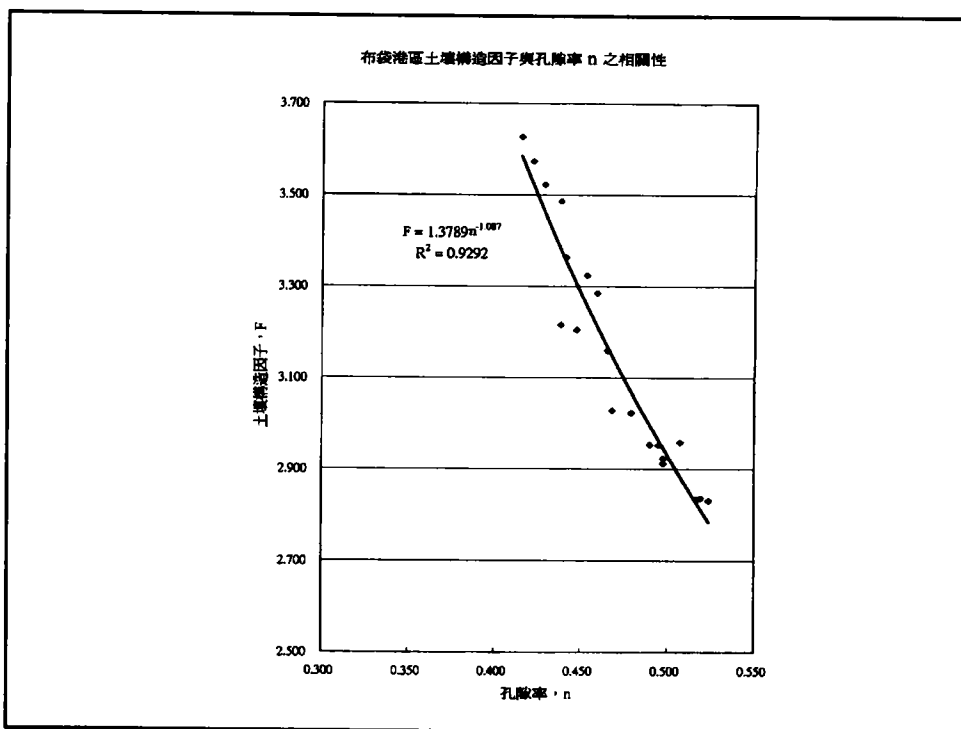


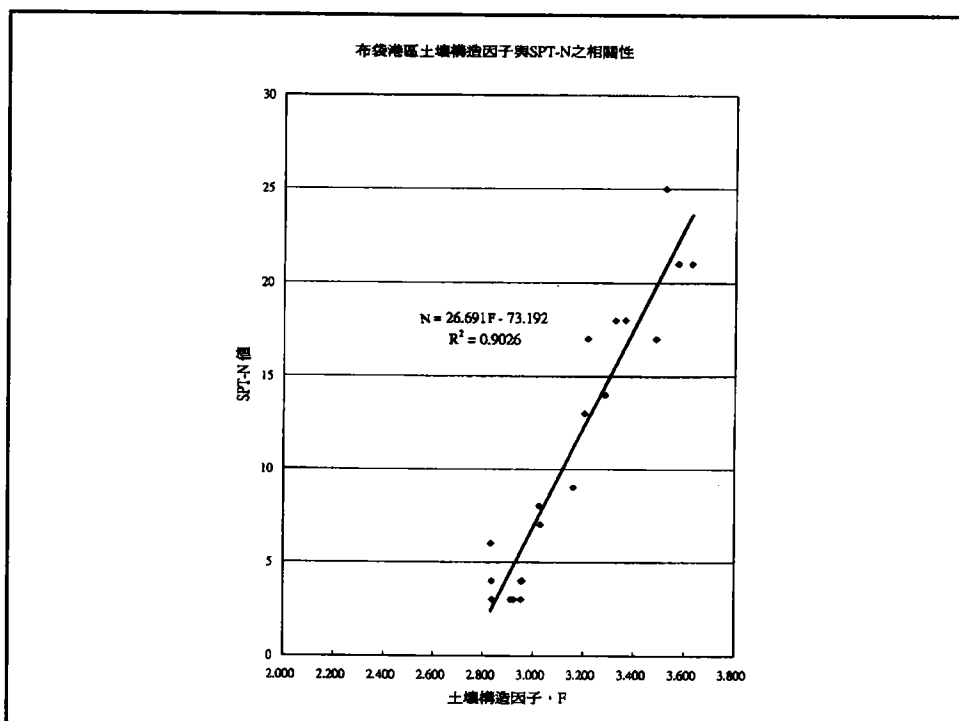
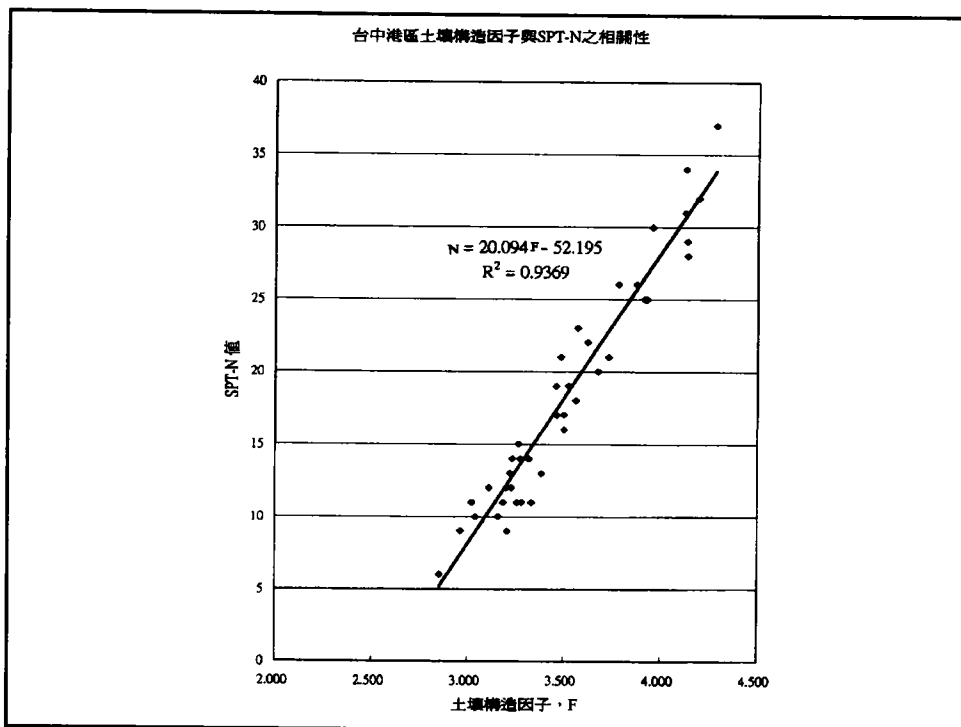


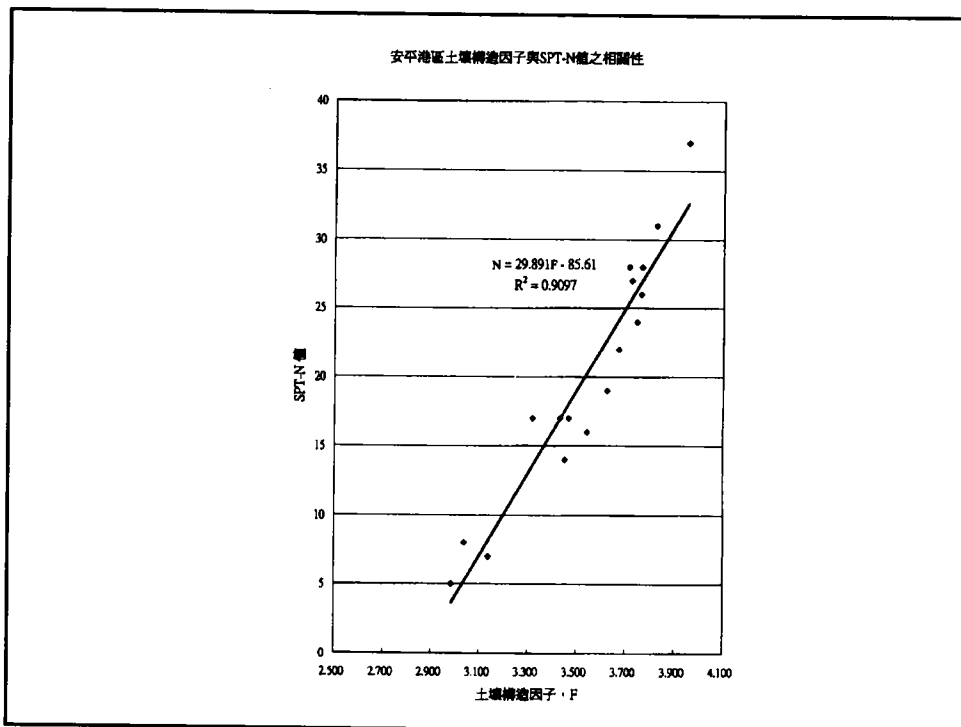












結 論

電阻錐試驗配合BAT取水樣可研判地下土層是否受污染

電阻錐試驗不適合決定港區地下土層海水入侵之範圍

BAT能採取具代表性之孔隙水樣

- 港區海水入侵之路徑彎曲多變，故地下土層之電阻係數分佈多變
- 視構造因子與錐頭阻力、SPT-N值及孔隙率有良好之相關性

附錄三 審查意見

交通部運輸研究所九十年度 土木領域自辦研究計畫期末審查會紀錄

一、時間：九十年十二月廿五日(星期二)上午九時卅分

二、地點：港灣技術研究中心一樓會議室

三、主席：黃副主任清和

紀錄：陳毓清

四、審查委員：(如附件)

五、列席者：(如附件)

六、審查內容及答詢：(如附件)

七、主席裁示：

參照委員之意見修正。

交通部運輸研究所臺灣技術研究中心九十年度自辦研究計畫期末審查會

時間：中華民國九十年十二月廿五日上午九時卅分(星期二)

地點：港研中心一樓會議室

主持人：黃副主任清和

機關單位名稱	姓 名	簽 名
國立成功大學	呂錦山教授	呂錦山
國立成功大學	許泰文教授	許泰文
逢甲大學	林朝福教授	林朝福
交通部科技顧問室	許書王技正	許書王
國立中山大學	李賢華教授	李賢華
國立海洋大學	張建智教授	張建智
臺灣技術研究中心	朱金元科長	朱金元
臺灣技術研究中心	王慶福研究員	王慶福
臺灣技術研究中心	李豐博研究員	李豐博
臺灣技術研究中心	賴瑞琪	
臺灣技術研究中心	曾文輝	
臺灣技術研究中心	謝少屏	
臺灣技術研究中心	陳松青	
臺灣技術研究中心	張金元	
臺灣技術研究中心	賴建智	
	張建智	

交通部運輸研究所港灣技術研究中心辦理九十年度自辦研究計畫期末審查分配表

會議日期：12月25日(星期二)

場次	時間	編號	研究計劃名稱	會議主持人	計畫主持人	審查委員	備考
第一場次 簡報室 U	09:30-10:15	CA9004	台灣地區國際港附近海域海氣象現場調查分析研究(1/4)	邱主任永芳	曾相茂	外聘委員 輔英技術學院 莊教授甲子 中興大學 蔡教授清標 成功大學 李教授兆芳	
	10:15-11:00	CA9005	台灣港灣及海岸數位圖像資料庫建立之研究		邱永芳	內聘委員 何科長良勝、張研究員金機	
	11:15-12:00	CA9008	台北港海域波浪標準頻譜之研究		洪憲忠		
	13:15-14:00	CA9007	花蓮港共震強度估算模式研究		徐進華	外聘委員 台灣大學 林教授銘崇	
	14:00-14:45	HA9009	波浪調變現象研究		李勇榮	交通大學 張教授憲國	
	15:00-15:45	NA9017	台灣四周海域海流數值模擬研究 2/5		莊文傑	海洋大學 蕭教授松山	
	15:45-16:30	NA9018	波群特性及其在瘋狗浪之應用研究		陳冠宇	內聘委員 簡科長仲環、張研究員金機	
第二場次 一樓會議室 U	09:30-10:15	DA9002	碼頭結構物耐震設計之研究	黃副主任清和	賴瑞應	外聘委員 成功大學 呂教授錦山 成功大學 許教授泰文 逢甲大學 林教授朝福	
	10:15-11:00	DA9003	碼頭出租專用制度對航商選擇海運轉運中心之影響研究		謝幼屏	內聘委員 朱科長金元、王研究員慶福	
	11:15-12:00	HA9010	港口突堤效應保護對策之研究(1)		黃清和		
	13:15-14:00	MA9011	碼頭鋼板樁現況調查與腐蝕防治研究		饒正	外聘委員 交通部技研所 許技正書王	
	14:00-14:45	GA9013	港灣地區地震監測與土壤液化潛能評估之研究		賴聖耀	中山大學 李教授賢華 海洋大學 張教授建智	
	15:00-15:45	GA9014	五大港區三維查詢系統建置研究		謝明志	內聘委員 朱科長金元、李研究員豐博	
	15:45-16:30	GA9015	利用荷式錐調查台灣港區土壤工程性質之研究 2/2		陳圭璋		

**交通部運輸研究所港灣技術研究中心九十一年度
土木領域科技計畫學者專家審查意見回覆表**

審查委員及審查意見	意見回覆
<p>92-1503-06</p> <p>利用荷蘭錐調查台灣港區土壤工程性質之研究</p> <p>科技顧問室許書王：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. P11 第一行提到預定於三個港進行試驗，如果都已經做了，研究報告中建議將預定改為針對或更合適之文字。 2. 結論二提到電子貫入深度受試驗車貫入能量限制無法太深，建議多深是否可以量化，使之更有參考性。 3. 荷蘭錐的穩定度應確立。 <p>中山大學李賢華教授：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 就本計畫而言，可併入其他相關計畫的子計畫中，因就電阻係數(判定地下土壤之污染或海水入侵)測定與工程之應用關係並不明確而以環工之應用較大。 2. 工程特性之相關性分析中所得數據較少(與電阻係數比較)，對於工程應用之幫助似乎不大。 3. BAT 可得未受擾動之水樣，但本報告中雖有敘述海水入侵或地表水污染之可能性但未見水質分析結果，若能補充水質分析結果則更佳。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. P. 11 已將”預定”一詞改為”針對”。 2. P.28 結論 2 改為試驗車試驗深度通常為 50 公尺以下。 3. 本所荷蘭錐均定期進行校核，以維持試驗結果之精確度。 <ol style="list-style-type: none"> 1. 參考辦理。 2. 報告中建立土壤構造因子與錐頭阻力、SPT-N 值及孔隙率之相關性，因此可利用土壤電阻特性直接研判土壤之工程特性。 3. 因現地由 BAT 取樣系統取得之水樣體積僅約 25ml，其量不足以進行水質之化學分析。

審查委員及審查意見	意見回覆
<p>海洋大學張建智教授：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究僅針對台中、布袋及安平等港區利用荷蘭錐進行各項試驗，是否將來其他港口亦同樣要進行研究，否則題目應定位為台灣中南部港區土壤工程性質之研究。 2. 請補充說明“電阻錐”與“四極式電阻”在結果詮釋上有何不同。 3. 當化學物侵入土壤時，由於土壤中離子濃度的增加，導致電阻係數有極大的變化，利用電阻錐可明顯觀察到此一現象，或許可提供研究者加入報告內。 4. 本研究內容充實 <p>港研中心朱金元科長：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 是否可能利用連續位置之鑽孔，繪出海水入侵之高程。 2. 能否配合港工材料腐蝕調查，作同一地區之現場調查。 3. 能否增加研究範圍及限制，研究流程。 4. 結果之討論似嫌薄弱。 <p>港研中心李豐博研究員：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 土壤具有異向性，因此土壤構造因子之量測與應用宜考慮異向性之影響。 2. 土壤構造因子與 CPT-qc 值及 SPT-N 值均顯示良好線性關係，而 qc 及 N 值均為評估土壤液化重要參數，因此建議對土壤構造因子與液化特性之關係應持續進行研究。 	<p>意見回覆</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 參考辦理。 2. 電阻錐試驗能獲致較詳細精確結果，但四極式電阻則適用大面積粗略探勘用。 3. 參考辦理。 4. 感謝對本研究之肯定。 <ol style="list-style-type: none"> 1. 參考辦理。 2. 參考辦理。 3. 參考辦理。 4. P.22 增加土壤構造因子與 Q_c 及 SPT-N 值相關性之討論。 <ol style="list-style-type: none"> 1. 參考辦理。 2. 參考辦理。