

行政院國家科學委員會
八十八年度石油暨石化產業科技學術合作研究計畫

油氣儲存風險管理整合計畫—子計畫一：
儲槽及管線區域地層變位監測及評估

中華民國八十八年十月

油氣儲存風險管理整合計畫—子計畫一：
儲槽及管線區域地層變位監測及評估

期末報告

委託單位：中國石油股份有限公司

計畫類別：

計畫編號： 88-CPC-E-009-005

執行期間： 87年8月1日至88年9月31日

計畫主持人：廖志中教授

共同主持人：潘以文教授

執行單位： 交通大學土木工程學系

目錄

摘要.....	4
一、前言.....	5
1-1計畫緣起.....	5
1-2計畫目標.....	6
二、計畫研究方法與步驟.....	7
三、研究區之地質調查.....	9
3-1 湖口台地之地形與區域地質概述.....	11
3-2地質鑽探及土壤與岩石之參數.....	13
3-3 地球物理震波探測.....	23
四、現場監測儀器之設置.....	28
4-1自記式雨量計.....	28
4-2地下水位監測井.....	28
4-3 孔內測傾管.....	28
4-4應變量測計.....	28
4-5傾斜計.....	33
五、試驗結果與分析.....	35
5-1降雨量記錄.....	35
5-2地下水位觀測.....	35
5-3 孔內測傾管之觀測與分析.....	35
5-4應變量測計及傾斜計之資料分析.....	49
5-5地層變位對地下管線之影響性討論.....	55
六、結論與建議.....	60
七、參考文獻.....	61
附錄一、地球物理震波探測工作報告.....	63

圖目錄

圖 3-1	湖口台地試驗區現場監測試驗地點位置圖.....	10
圖 3-2	湖口台地試驗區現場地質鑽探位置圖.....	14
圖 3-3	湖口台地試驗區BH-1號鑽孔地層柱狀圖(1).....	15
圖 3-4	湖口台地試驗區BH-1號鑽孔地層柱狀圖(2).....	15
圖 3-5	湖口台地試驗區BH-2號鑽孔地層柱狀圖(1).....	16
圖 3-6	湖口台地試驗區BH-2號鑽孔地層柱狀圖(2).....	17
圖 3-7	湖口台地試驗區BH-3號鑽孔地層柱狀圖(1).....	18
圖 3-8	湖口台地試驗區BH-3號鑽孔地層柱狀圖(2).....	19
圖 3-9	試驗區地層剖面圖.....	22
圖 3-10	湖口台地試驗區現場地物震測實施剖面(A-A')位置圖.....	25
圖 3-11	現場折射震測結果速度層剖面圖(A-A').....	26
圖 3-12	現場反射震測結果震波重合剖面圖(A-A').....	27
圖 4-1	試驗區現場監測儀器配置示意圖.....	29
圖 4-2	自記式雨量計配置示意圖.....	30
圖 4-3	地下水位監測井安裝示意圖.....	31
圖 4-4	孔內測傾管安裝與量測分析示意圖.....	32
圖 4-5	測試用PVC管埋設及傾斜計、應變計示意圖.....	34
圖 5-1	試驗區民國88年5月~9月日降雨量分布圖.....	36
圖 5-2	試驗區地下水位變化圖.....	37
圖 5-3	試驗區測傾管配置與地質剖面圖.....	38
圖 5-4	BH-1測傾管之X軸方向相對井底累積變形圖.....	40
圖 5-5	BH-1測傾管之X軸方向個別地層變形圖(間隔0.5公尺)..	41
圖 5-6	BH-1測傾管之Y軸方向相對井底累積變形圖.....	42
圖 5-7	BH-1測傾管之Y軸方向個別地層變形圖(間隔0.5公尺)..	43
圖 5-8	BH-3測傾管之X軸方向相對井底累積變形圖.....	45
圖 5-9	BH-3測傾管之X軸方向個別地層變形圖(間隔0.5公尺)..	46
圖 5-10	BH-3測傾管之Y軸方向相對井底累積變形圖.....	47
圖 5-11	BH-3測傾管之Y軸方向個別地層變形圖(間隔0.5公尺)..	48
圖 5-12	測試用PVC管上傾斜計與應變計配置圖.....	50
圖 5-13	測試用PVC管上傾斜計之記錄資料變化圖.....	51
圖 5-14	測試用PVC管上應變計1~4之記錄資料變化圖.....	52
圖 5-15	測試用PVC管上應變計5~8之記錄資料變化圖.....	53
圖 5-16	測試用PVC管上應變計9~12之記錄資料變化圖.....	54
圖 5-17	土體破壞機制(a:中等深度 b:較大深度).....	57
圖 5-18	pvc測試管中間斷面應變計量測資料變化比較圖.....	58

表目錄

表 3-1	湖口台地歷年崩塌時間與可能原因	9
表 3-2	新竹雨量站記錄歷年來月降雨量超過之月份統計表	11
表 3-3	湖口台地區域地質特性說明表	12
表 3-4	楊梅層之照鏡段、照門段特性說明表	13
表 3-5	地質鑽探規畫表	21
表 3-6	測線震波速度統計表	24
表 5-1	地表傾斜變動判釋準則	39

摘要

本研究計畫針對地滑地區之地層變位對儲槽或管線之影響性進行探討，本年度之工作主要在湖口台地邊緣地層滑動潛能高之地區，進行基本地質資料調查及地層變位監測儀器之設置與測試，監測儀器包括地下水位監測井、孔內測傾管、傾斜計及應變量測計等；監測結果發現試驗區屬於地層確定變動區，而所埋設之PVC測試管線雖尚未有明顯移動，但由應變計偵測出管線為持續受壓狀態（不考慮地震之影響），初步歸納地層變位對地下管線之影響模式，涵蓋之影響因子，應包括變位觀測點與管線間之距離、地層組成材料性質、地層位態、及地層反力係數(K_v 、 K_h)等。

一、前言

1-1 計畫緣起

台灣地區由於地狹人稠，維生管線遍佈於各個角落。早期不只材料無法與近來發展之管線材料相比擬，更由於施工之不確實致使現存之管線存在不穩定狀況，例如近年來，偶可見自來水管大量漏水，油管之滲漏造成污染，及油管、氣管斷裂造成公安問題。因此對於現存管線之安全監測及評估實有必要加以研究。而管線及儲槽為中國石油公司儲存及輸送油、氣之主要途徑，為避免儲槽及管線造成傾斜，滲漏或斷裂以致引起公安問題，因此對現存儲槽及管線利用儀器加以監測並評估其安全性，實為重要之課題。儲槽及管線之傾斜、滲漏或斷裂，除管線材料破壞（如腐蝕*）引起外，地層變位為另一主要原因。由於地層變位產生地層與管線或儲槽間之相對運動，致使多餘之外力（側向或重力）加於儲槽或管線上，進一步造成其形成張力、壓力、剪力或彎曲等破壞〔Trautmann and O'rourke, 1985, Trautmann et al., 1985〕。一般之地層變位原因可歸納為（1）地層滑動（2）地層下陷（3）振動（4）地震引起之山崩、滑移、液化等。此類變位對於管線之影響，傳統上採用重向及側向地盤反力係數， k_h 及 k_r 〔Audibert and Nyman, 1977〕，並利用經驗法或數值分析法加以分析，以決定管線承受之力及變形，再評定其安全性。

在國外維生管線亦會通過所謂之地質不穩定區之情形，如美國西雅圖自來水公司曾經有管線經過Snoqualmie Valley之邊坡地滑區，其是以微隧道(microtunnling)埋設工法加以克服(Roger Beiler et al., 1995)，另外科羅拉多州之Douglas pass區亦為邊坡滑動潛能高的地區，而其為了維護經過該區之瓦斯管線之安全，瓦斯公司在地滑區域設置監測系統，以掌握地層滑動之動態，

及瓦斯管線之受影響程度，以便採取適當的因應對策，降低災害發生之機率(Michal Bukovansky et ., 1985)，而這樣的監測概念，事實上是由意大利的Venzi, S., Mallardi, P.於1982年首先提出，而後便在各地廣為應用。

本計畫的研究重點在於探討邊坡滑動造成之地層變位對管線之影響性，透過在潛在地滑地區所進行的實際地層變位監測，歸納該區地層的變位特性，做為後續深入探討之基礎。

1-2 計畫目標

1. 試驗區地層及其力學特性探討

由地質調查（含鑽探及監測）及實驗室試驗結果，藉以判斷試驗區之地層種類分佈，及其相對之力學性質，如 C 、 ϕ 等參數，以供滑動模式建立及安全評估參考。

2. 試驗區初步觀測結果

整理由地表、地下及水文監測之成果，提出試驗區地層變位監測之初步成果，以供後續監測、分析及安全評估參考。

3. 試驗區地層變位初步模式建立及安全評估

由前二項結果，並利用大地力學、工程地質理論，初步提出試驗區可能地層變化模式，利用觀測結果及地層變位模式提出儲槽及管線若位於此試驗區之安全評估方法及可能結果，供未來儲槽及管線受地層變位安全評估之參考。

二、計畫研究方法與步驟

本計畫為了研究地層的變位行為，首先找尋具有高的地層滑動潛能的地區，做為監測儀器安裝地點，本研究選擇新竹縣新埔鎮湖口台地邊緣地區為地層滑動變位現場試驗區，因為從歷史資料來看，該區已發生至少六次以上的大規模地層滑動，因此是屬於典型之地質不穩定區域。本年度研究為計畫執行第一年，主要重點在研究區之基本特性探討，以及監測儀器之設置和資料觀測，以下為本年度計畫之研究步驟：

1. 資料收集及整理

針對相關之國內外研究文獻加以收集整理，文獻包括：管線及儲槽毀損之原因，調查方法、變位模式等。

2. 試驗區之選擇及調查

為了研究地層之變位行為，本計畫選擇新竹湖口台地南緣鳳山溪北岸之地滑地區作為試驗地點，並進行相關之調查包括：

- (1) 地質調查：包括地表地質調查、地球物理震波探測、地質鑽探，這些調查之目的主要在確認試驗點附近之地層分佈及個範圍。
- (2) 試驗區土壤及岩石力學試驗：包括物理性質試驗、單壓試驗、三軸試驗等，主要用於評估試驗區之地質材料特性及參數。
- (3) 試驗區監測儀器之設置：為了瞭解試驗區之地層變位行為，及可能造成地層變位之外在因素(如降雨量及地下水位)，配合研究之進行，於試驗區設置自記雨量計、地下水位監測

井、地表傾斜計、孔內傾斜管及應變量測計等監測儀器，藉以探討地層滑動區之地層變位模式。

3. 地層變位對儲槽管線影響模式初步評估

利用大地力學、工程地質理論，初步提出試驗區可能地層變化模式，並利用試驗區現場觀測結果配合初步地層變位模式提出儲槽及管線若位於此試驗區之安全評估方法及可能結果，供未來儲槽及管線受地層變位安全評估之參考。

三、研究區之地質調查

本計畫選擇新竹縣新埔鎮湖口台地南緣地區作為現場地層變位量測之試驗區(參考圖3-1)，其主要乃因湖口台地南緣之鳳山溪北岸地區一向屬於容易發生崩塌的地帶，表3-1為中央地調所整理之湖口台地歷年發生崩塌之時間與可能原因統計表，該區之崩塌可溯至1935年，而最近一次發生塌的時間約在1993年6月，因此該區是地層發生崩塌潛能頗高的地帶，且根據記錄知造成崩塌的原因包括地震、施工、河岸侵蝕及集中降雨(豪雨)等因素，其中以集中降雨是最主要的造成崩塌的外在因素；以民國79年所發生的大規模地層滑動災害而言，其原因即是連續的降雨所造成；因此降雨量的多寡對湖口台地而言，是影響地層是否發生滑動的關鍵因素。

表3-1湖口台地歷年崩塌時間與可能原因(中央地調所, 1994)

發生時間	資料來源	可能外因
1935.04	口述、台灣大年表記載	地震、豪雨
1937	台灣大年表記載	豪雨
1953(或1954).05	口述	集中雨量
1976.05	忻賢中(1979)報告	豪雨、施工
1978~1982之間	航照判釋結果	不明
1990.04.23.凌晨	實地調查	河岸侵蝕、豪雨
1992.02.14.	實地調查	集中雨量、荷重增加
1992.06.17.	實地調查	集中雨量、荷重增加
1993.06.09.	實地調查	集中雨量、荷重增加

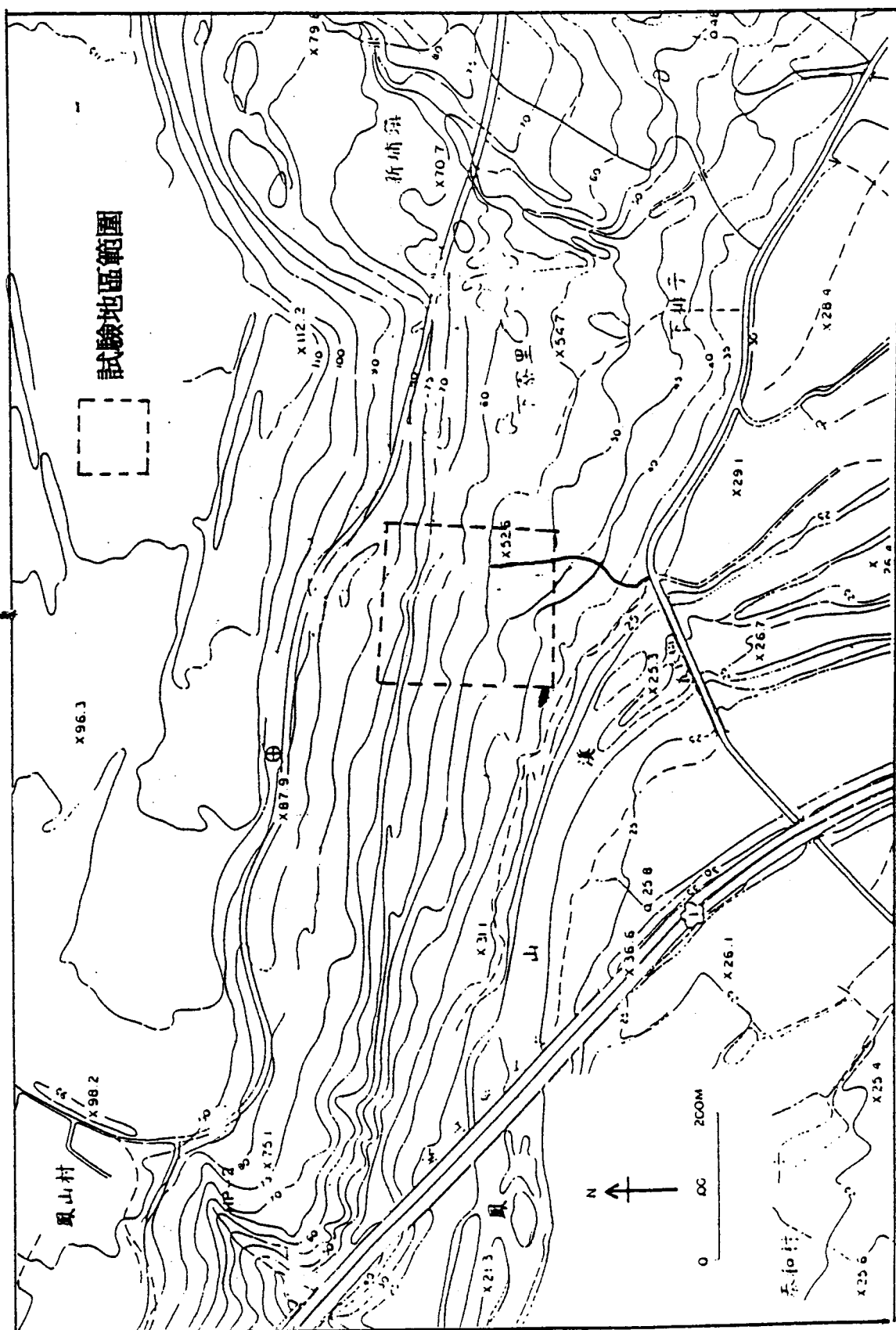


圖 3-1 湖口台地試驗區現場監測試驗地點位置圖

表3-2是新竹雨量站所記錄歷年來月降雨量超過之月份；可知降雨最大的月份，大部分集中在每年之4-8月份，因此這幾個月是研究湖口台地地發生滑動行為的較佳時期。

表3-2新竹雨量站記錄歷年來月降雨量超過之月份統計表

>500mm				>400mm	
27年8月	42年5月	66年6月	74年2月	28年6月	58年6月
28年7月	49年8月	68年6月	75年5月	29年6月	58年8月
30年6月	52年9月	70年5月	79年4月	33年5月	59年8月
33年6月	55年6月	70年7月	79年8月	36年4月	72年2月
34年5月	60年9月	71年6月		37年6月	73年4月
36年6月	61年8月	72年3月		57年5月	73年5月
38年6月	63年6月	72年5月		57年6月	

3-1 湖口台地之地形與區域地質概述

湖口台地整體大致呈東高西低的形貌，三百公尺等高線以上部分均位在台地東側。台地南邊之鳳山溪在義民橋附近向西北轉折，造成南岸的沈積河岸及北岸的侵蝕岸。

試驗區位在義民橋近的鳳山溪北岸至台地之間。台地面平均高度約一百公尺，向南緩降至鳳山床的二十公尺，高差八十公尺。區內多崩坍地形的特徵。

根據該區之區域地質調查資料，其出露的地層有更新世楊梅層、店子湖層，全新世階地堆積層、沖積層等(表3-3)，前兩種地層特性說明如下：

楊梅層為構成湖口台地之基盤岩層，其與上覆之店子湖層呈不整合接觸，多出露於台地邊緣之崩崖或侵蝕谷。楊梅層據岩性差

異，可以劃分為下段的照鏡段及上段的照門段(塗與陳，1990)岩性均以砂岩及泥岩為主，但是在上段含有礫石夾層及貝殼碎片等，崩塌區多為照門段岩層，僅少部份為照鏡段岩層，兩段岩層在調查區中可以細分為兩小段及七小段(表3-4)。

店子湖層為湖口台地附近分布最廣的岩層，主要岩性為礫石層與表層之紅土組成，在紅土與礫石層之間常呈不規則的凸鏡體交錯疊置狀，此層的傾角相當平緩，但是在台地的邊緣有隨地形變化之情形，店子湖層的厚度各處不同，依據鑽井資料，最厚可達17.5公尺。

湖口台地主要的地質構造有湖口背斜、湖口斷層(古兆禎，1963；湯振輝，1963；柏尼刺，1977)與不整合面。不整合面的證據極為清楚，但是湖口背斜與湖口斷層，在地表均未見到露頭證，因此其位置、形態、存在性或斷層的活動性，均僅能以間接證據推斷。

表3-3 湖口台地區域地質特性說明表

地 層		時 代	特 性
沖積層 階地堆積層		全新世	由未膠結的礫石、砂石泥等堆積成，沖積層布於何谷，階地堆積層於燒碳窩溪。
店子湖層		更新世晚期	分為上部紅土層與下部礫石層，有時間雜互成凸鏡體。紅土厚1-2公尺，礫石以石英岩、矽質砂岩、砂岩等為主，直徑約10-30公分。
楊 梅 層	照門段	更新世中—晚期	礫石層、厚層細至粗粒砂岩、泥岩三者互層。偶含漂木或貝殼化石碎片。

	照鏡段	更新世中—晚期	極細至粗粒厚層砂岩與泥岩組成，下部砂岩較發達，向上漸變為砂岩與泥岩互層。含氧化鐵層，未發現化石。
--	-----	---------	--

表3-4 楊梅層之照鏡段、照門段特性說明表

地層		岩段	岩段特性
楊梅層	照門段	Ymg	厚層黃棕色風化砂岩夾泥岩、礫石層
		Ymf	灰色砂質泥岩夾砂岩
		Yme	厚層黃棕色風化砂岩
		Ymd	厚層灰色泥岩
		Ymc	厚層黃棕色風化砂岩
		Ymb	厚層灰色泥岩
		Yma	厚層黃棕色風化砂岩夾泥岩
		照鏡段	Ycb
Yca	厚層砂岩與厚層頁岩互層		

3-2地質鑽探及土壤與岩石之參數

為了地層界面判釋之需要，及求取分析所需之地層參數，選擇於合適地點進行三孔地質鑽探，各鑽孔位置請參見圖3-2，其深度規劃如表3-5，其目的在於取樣供地層判斷及室內土壤及岩石力學試驗，並進行土層之SPT(標準貫入試驗)，以瞭解地層之緊密程度。表3-7則為預計實施之土壤及岩石試驗規畫表。

根據地質鑽探的岩心取樣進行判釋，圖3-3~3-8為各鑽孔之土層柱狀圖，可之試驗區之地層分佈為地表至深度5~15

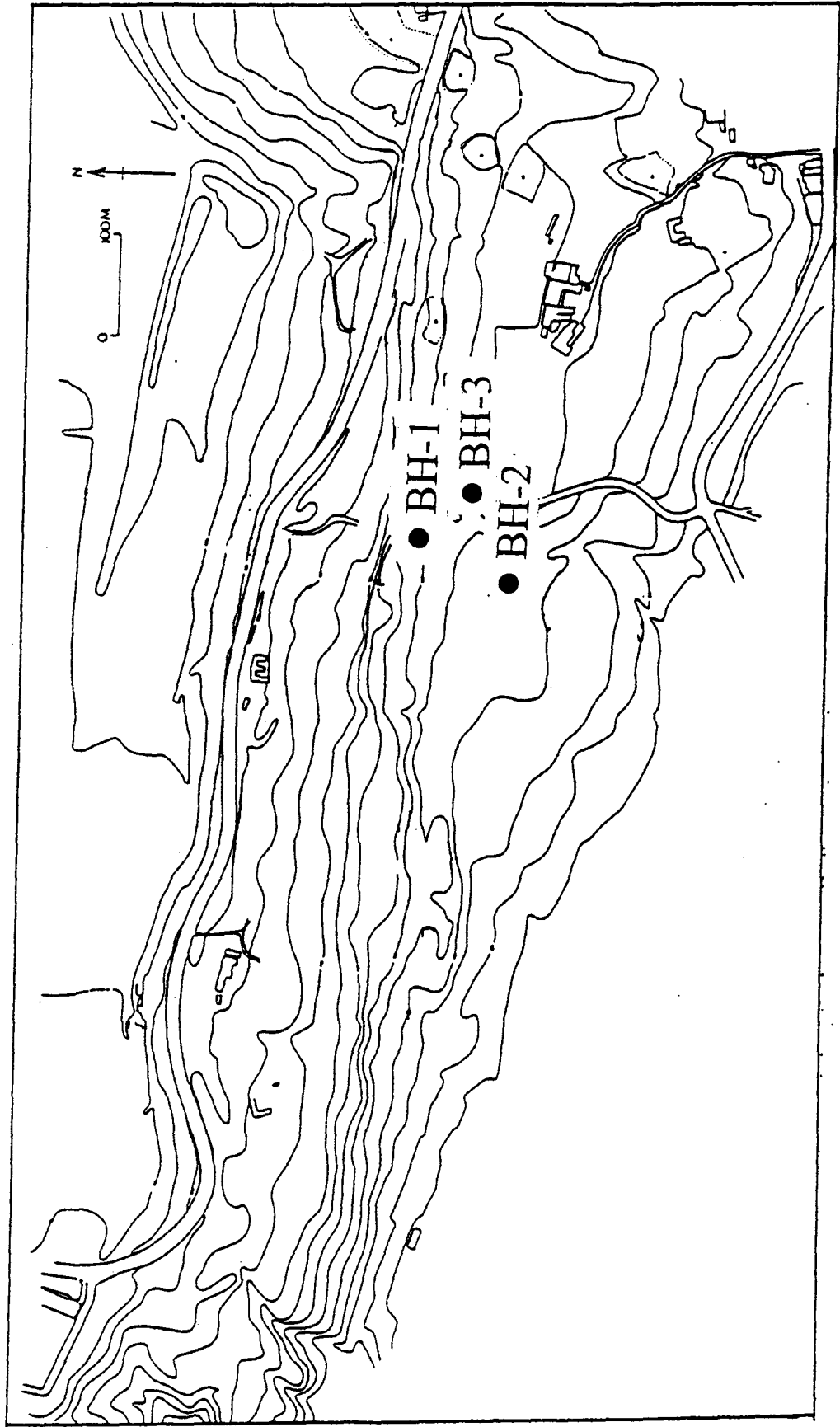


圖 3-2 湖口台地試驗區現場地質鑽探位置圖

土壤鑽孔柱狀剖面圖

計劃：_____ 工程項目：_____ 工程地點：新竹 新埔
 鑽孔號碼：B-2 孔位：N: 2781863.752 鑽孔標高：_____ 傾角：90°
 E: 324694.5168
 鑽探日期：自6月01日至6月03日 天氣：陰 斜孔方位：_____
 鑽孔深度：30.00m 地下水位：12小時後2.5M 孔徑：3 $\frac{3}{4}$ " ϕ

裝設儀器	套管	標高 (m)	深度 (m)	層厚 (m)	土質說明				標準貫入試驗									
					柱狀圖	劈管編號	薄樣管編土樣	分色類澤	地質情形	N 值	N/15cm			N 值圖				
											0	15	30					
								15	30	45	10	20	30	40				
水位觀測井		5.10	5		S-1			黃棕色	EL- 0m-5.10m	50/10cm								
					S-2				卵礫石夾黃棕色砂土	50/6cm								
					S-3					50/12cm								
					S-4			灰色	EL- 5.10m-8.20m	6	2	3	3					
		8.20			S-5				灰色粉土質粘土	7	3	3	4					
					S-6				EL- 8.20m-14.40m	4	2	2	2					
				10	S-7			黃棕色	黃棕色粉土質細砂	6	2	3	3					
					S-8					7	2	3	4					
					S-9					7	3	3	4					
		14.40		15	S-10				EL- 8.20m-14.40m	50/10cm								
							黃棕色	棕黃色極風化砂岩										

圖 3-5 湖口台地試驗區BH-2號鑽孔地層柱狀圖(1)

土壤鑽孔柱狀剖面圖

計劃：_____ 工程項目：_____ 工程地點：新竹 新埔
 鑽孔號碼：B-3 孔位：N: 2781863.752 鑽孔標高：_____ 傾角：90°
 E: 324694.5168
 鑽探日期：自6月04日至6月08日 天氣：陰 斜孔方位：_____
 鑽孔深度：40.00m 地下水位：12小時後3.2M 孔徑：3 $\frac{3}{4}$ " ϕ

裝 設 儀 器	套 管	標 高 (m)	深 度 (m)	層 厚 (m)	土 質 說 明				標 準 貫 入 試 驗										
					柱 狀 圖	旁 管 編 號	薄 樣 管 編 號	分 色 類 澤	地 質 情 形	N 值	N/15cm			N 值 圖					
											0	15	30	10	20	30	40		
土壤內傾斜管									EL- 0m-3.80m										
						S-1			黃棕色	50/5cm									
		3.80				S-2			卵礫石夾黃棕色砂土	50/12cm									
		5.30	5			S-3			黃棕色 黃棕色粉土質細砂	7	3	3	4	●					
		7.20				S-4			黃棕色 黃棕色極風化砂岩	52	19	23	29						
			10						灰色 灰色極風化砂岩										
			15																
			17.00						黃棕色 黃棕色極風化砂岩										
			20																

圖 3-7 湖口台地試驗區BH-3號鑽孔地層柱狀圖(1)

公尺間數於表土層或崩積土層，其下則為棕黃色軟砂岩與灰色泥質砂岩互層分佈，圖3-9為根據地質鑽探資料及參考以往文獻之調查資料所繪製之試驗區地層剖面圖。

表3-5 地質鑽探規畫表

孔 號	鑽孔角度	預定深度	目 的
BH-1	垂 直	40m	瞭解地下地層及取樣供室內試驗，設置孔內測傾管，以供觀測地下地層變位。
BH-2	垂 直	30m	瞭解地下地層及取樣供室內試驗，設置孔內測傾管，以供觀測地下地層變位。
BH-3	垂 直	35m	瞭解地下地層及取樣供室內試驗，設置水壓計，以供觀測地下水位變化。

根據本計畫之地質鑽探採樣及配合中央地質調查所之調查資料，該區域之土壤及岩石性質參數大致概述如下：

(1)土壤部份：

湖口台地淺層N層平均為27，但在崩塌地區N值為10，N值明顯較低；較深地層之N值50~80間。土壤組成以粉土(ML)、粉質砂土(SM)為主；含水量多在20%；濕密度 $1.65\sim 2.00\text{kg}/\text{cm}^3$ 間；顆粒比重 $2.65\sim 2.72$ 。

根據土壤直剪試驗，SM之凝聚力在 $0\sim 0.05\text{ kg}/\text{cm}^2$ 間，摩擦角 $27^\circ\sim 34^\circ$ ；ML分別為 $0.1\sim 0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 及 $22^\circ\sim 31^\circ$ 。而三軸試驗之結果，SM之有效凝聚力約 $0\sim 0.5\text{ kg}/\text{cm}^2$ ，摩擦角 $24^\circ\sim 40^\circ$ ，ML為 $0.30\sim 1.1\text{ kg}/\text{cm}^2$ 及 $12^\circ\sim 42^\circ$ 。

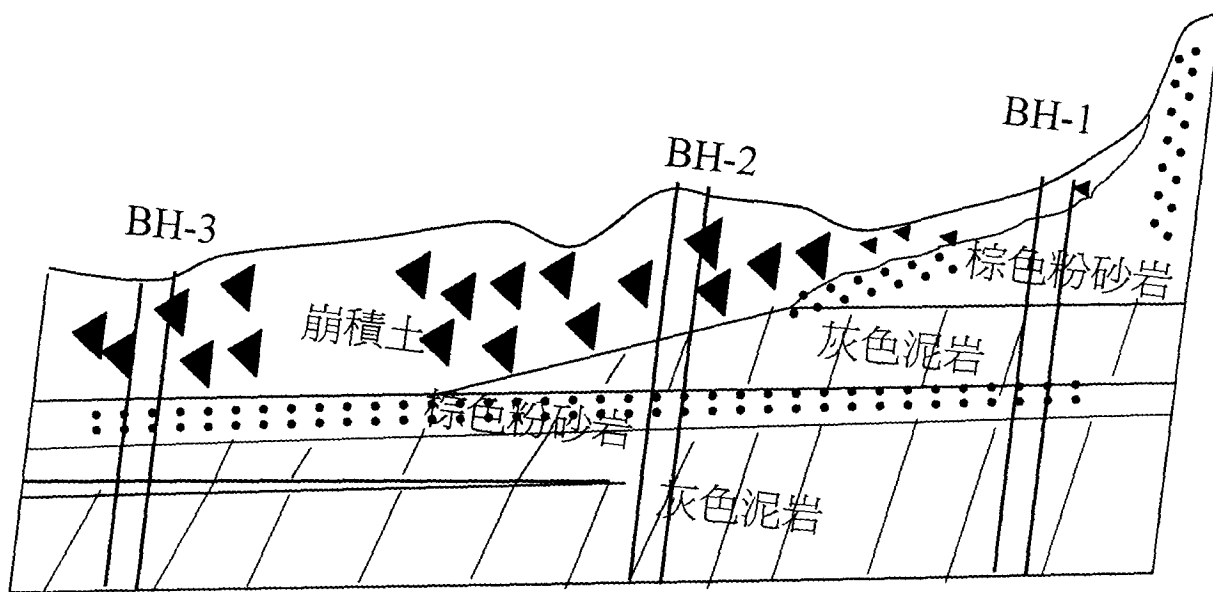


圖 3-9 測試區地質剖面圖

(2) 岩石部份

在岩心方面，砂岩密度 $1.54\sim 1.78\text{ g/cm}^3$ ，泥岩密度在 $1.57\sim 1.76\text{ g/cm}^3$ ，含水比 $21\sim 26\%$ 。三軸抗壓試驗：砂岩凝聚力 $0.11\sim 3.37\text{ kg/cm}^2$ ，摩擦角約 $22^\circ\sim 29.3^\circ$ ；泥岩則為 $1.00\sim 3.37\text{ kg/cm}^2$ 及 $0^\circ\sim 7.2^\circ$ 。單軸壓縮試驗：泥岩強度 $2.19\sim 7.66\text{ kg/cm}^2$ ；砂岩 $0.31\sim 11.35\text{ kg/cm}^2$ 。直接剪力試驗：細粒——中粒砂岩尖峰凝聚力 0.1 kg/cm^2 左右，摩擦角 34.7° 至 39.4° ，殘餘凝聚力 0.1 kg/cm^2 左右，摩擦角 32.8° 至 38.3° ；灰色粉砂岩夾薄層砂岩尖峰凝聚力 0.3 至 1.4 kg/cm^2 ，摩擦角 24.2° 至 28.6° ，殘餘凝聚力 0.2 至 0.4 kg/cm^2 ，摩擦角 22.9° 至 28.1° ；黏土質粉砂岩尖峰凝聚力 0.5 至 0.7 kg/cm^2 ，摩擦角 15.3° 至 19.1° ，殘餘凝聚力 0.4 至 0.7 kg/cm^2 ，摩擦角 15.0° 至 19.4° 。

3-3 地球物理震波探測

地球物理探測指利用地物原理探查地下地層種類、厚度、分佈及地質構造等各種方法，其包含震測法、重力法、電探法、磁力法、井測法等，其中震測法常用於探查地下地層之分佈，震測法又分為折射法與淺層反射法，其中淺層反射法之特點為探測深度較大、解析度高、易於判定地下之斷層、岩脈等構造，因此適用於探測地滑地區之地層。

淺層反射震測係利用人為之高頻率震波傳入地下，由佈置在地表一系列的震波接收器，感應從地下地層界面傳回之反射訊號，由一快速的震測訊號收集系統記錄，經過一連串複雜的資料處理過程，最後可獲得連續的地層影像，是一種解析度相當高的地物方法。(原理部份參考附錄一)

本計畫在試驗地點擇一測線(A-A')進行折射震測與淺層反射震測以探測試驗點地下地層之分佈概況(圖3-10)。

(1) 折射震測

試驗區之測線總長150公尺，受波器測點間距5公尺，以鎚擊方式產生震源，每條測線各設置數個鎚擊點，其目的希望能夠詳細準確測出淺層地質構造，將每一測線測得之震波記錄，繪成時距曲線，經延遲時間法處理計算，求出此測線之速度時距曲線，由速度時距曲線可研判出各不同速度層之界線及低速度帶之界線位置，同時計算出各速度層之厚度及速度，並推估出各速度層可能對應之岩性。以下為分析之結果(如表3-6及圖3-11)

表3-6測線震波速度層統計表

速度層次	推測地層	震波速度 (km/sec)	地層厚度(m)
第一層	疏松崩積層	0.37~0.42	2.5~6
第二層	崩積層	0.61~0.88	1~10
第三層	泥岩	1.58~1.88	

(2) 淺層反射震測

測線總長150公尺，測點間距2公尺，圖3-12為震坡重合剖面圖，可大致得知深度20公尺處附近有一不連續面存在，大致成凹弧狀，此界面以上震波信號模糊不規則，應是以崩積層為主之地層，其下地層震波信號清晰，應是以砂泥岩為主之地層構造。

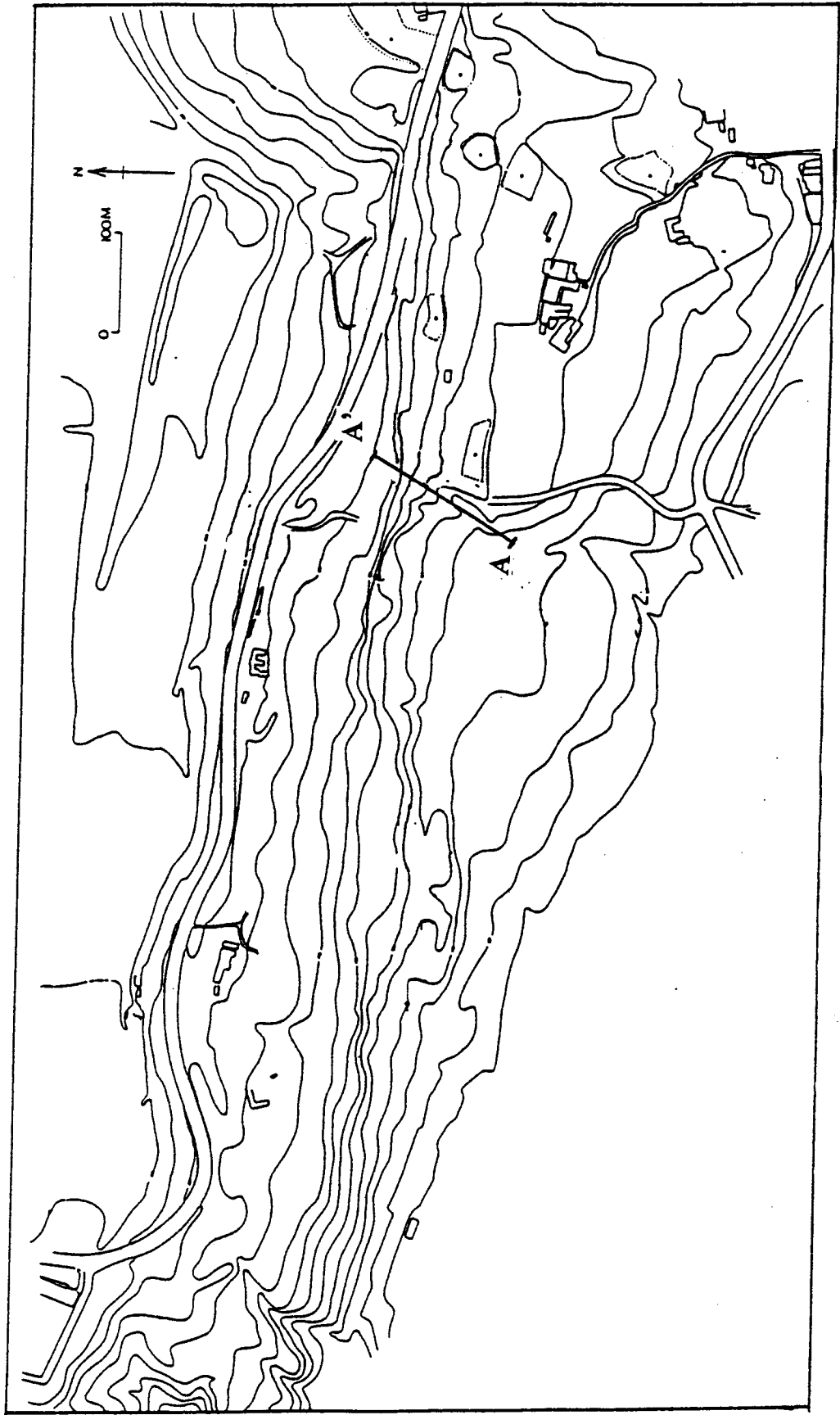


圖 3-10 湖口台地試驗區現場地物震測實施剖面(A-A')位置圖

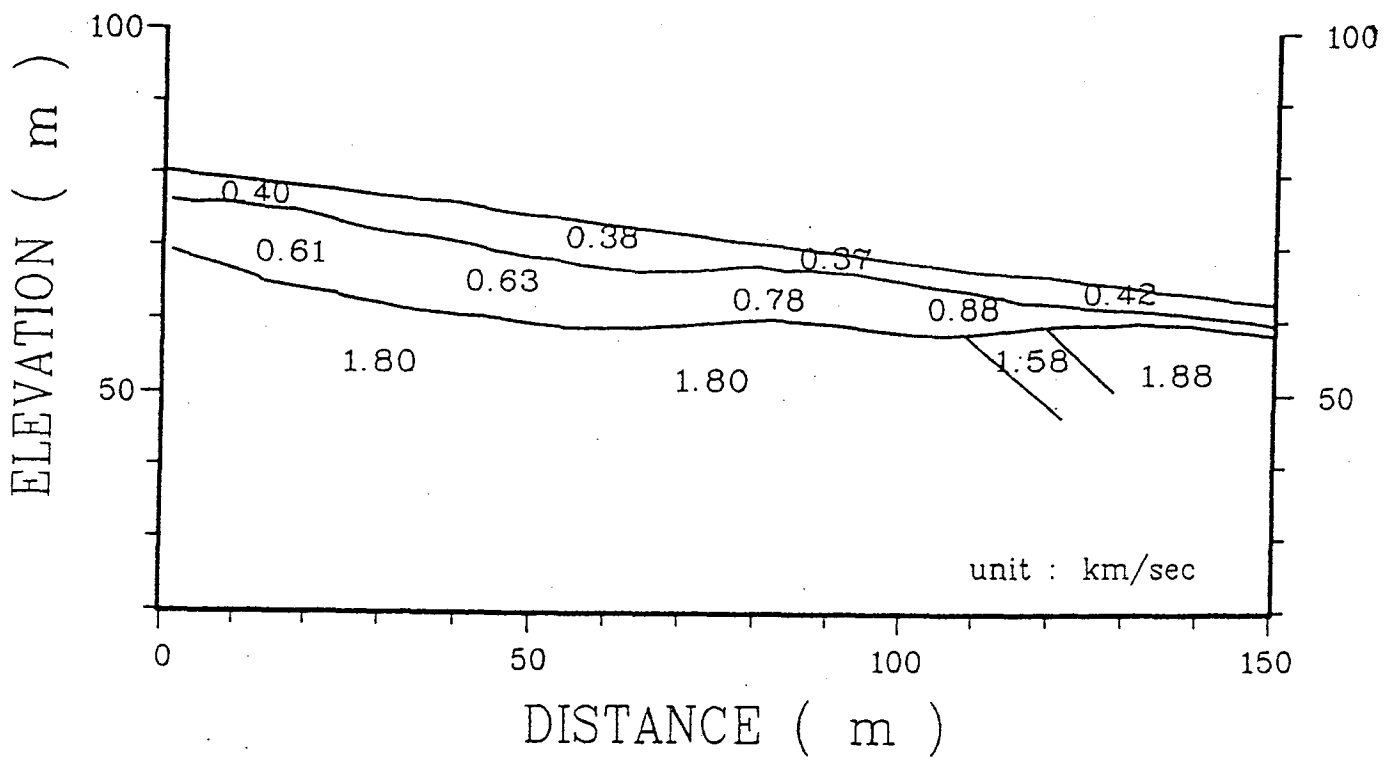


圖 3-11 現場折射震測結果速度層剖面圖(A-A')

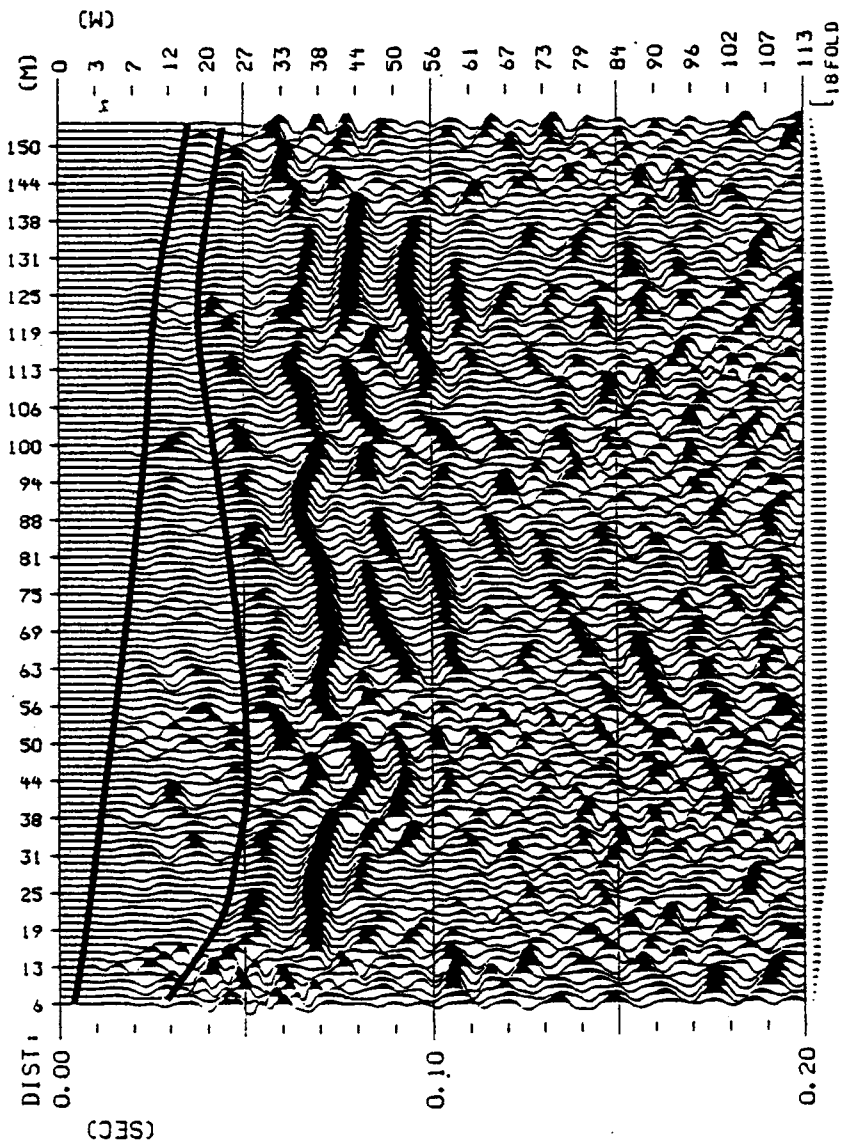


圖 3-12 現場反射震測結果震波重剖面圖(A-A')

四、現場監測儀器之設置

試驗地點設置之監測儀器包括自記式雨量計、水壓計、地表傾斜計、孔內傾斜計、應變量測計等監測儀器，其設置位置如圖4-1。說明如下：

(1) 自記式雨量計

降雨量的多寡是影響地層發生滑動的主要因素，因此為了瞭解試驗地點之降雨行為，於地層變動監測儀器附近設置一處自記式雨量計，以記錄雨量資料供比對分析，圖4-2為雨量計設置示意圖。

(2) 地下水位監測井

為了觀測試驗地點之地下水位，將使用開口式水壓計於附近設置一處地下水位觀測井(如圖4-3)。

(3) 孔內測傾管(Inclinometer)

孔內傾斜計(Inclinometer)是非常精密的地層變位置量測儀器，很適合用於早期微小變位之量測，其原理為利用地質鑽探之裸孔於鑽孔中埋設具有溝槽之ABS傾斜管，然後定期利用傾斜儀順著溝槽放入孔內以測定不同深度之x, y軸相對於鉛直軸之傾斜角度，再比較觀測期間的傾斜角度變化情形來推測滑動面之位置、滑動方向和滑動量(如圖4-4)，本研究於試驗地區共設置二處孔內測傾管，將據以分析地層之變位及變化。

(4) 應變量測計

前面所提到的孔內測傾儀，主要用於量測地層的變化，但是地層變位與管線間之互制行為需透過很複雜應力轉換計算，而透過設於管線上的應變量測計之量測，則可直接瞭解

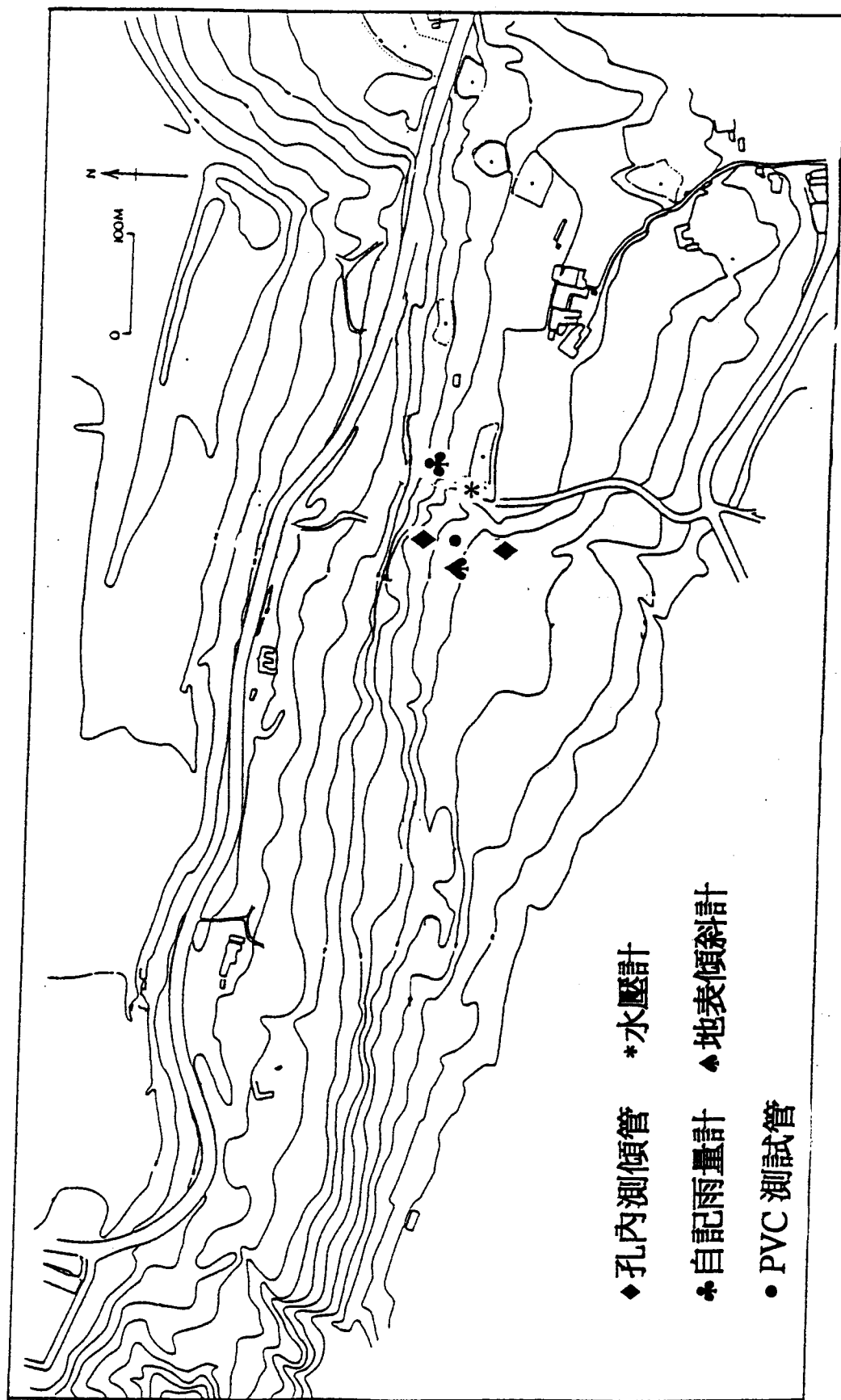


圖 4-1 試驗區現場監測儀器配置示意圖

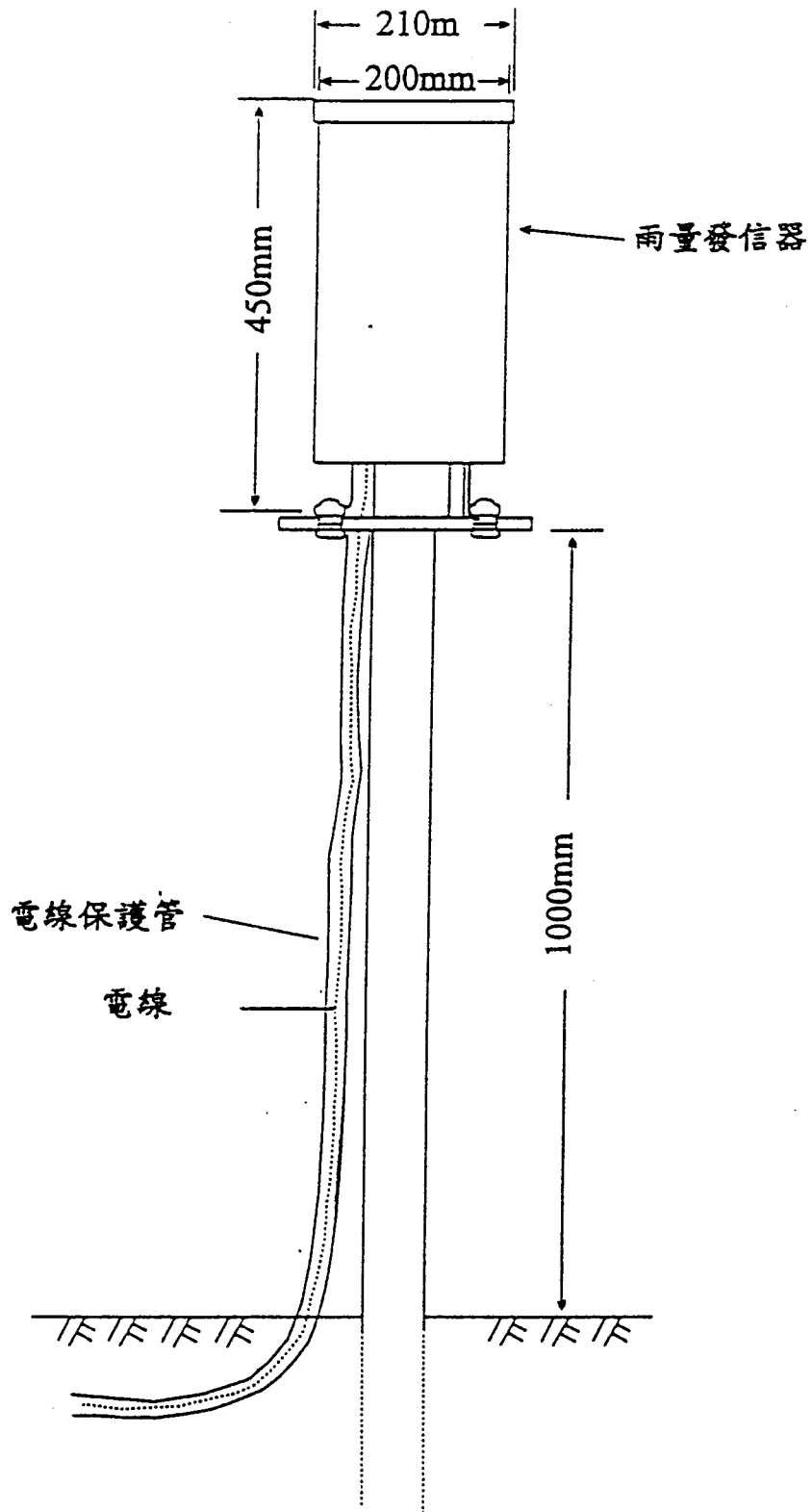


圖 4-2 自記式雨量計配置示意圖

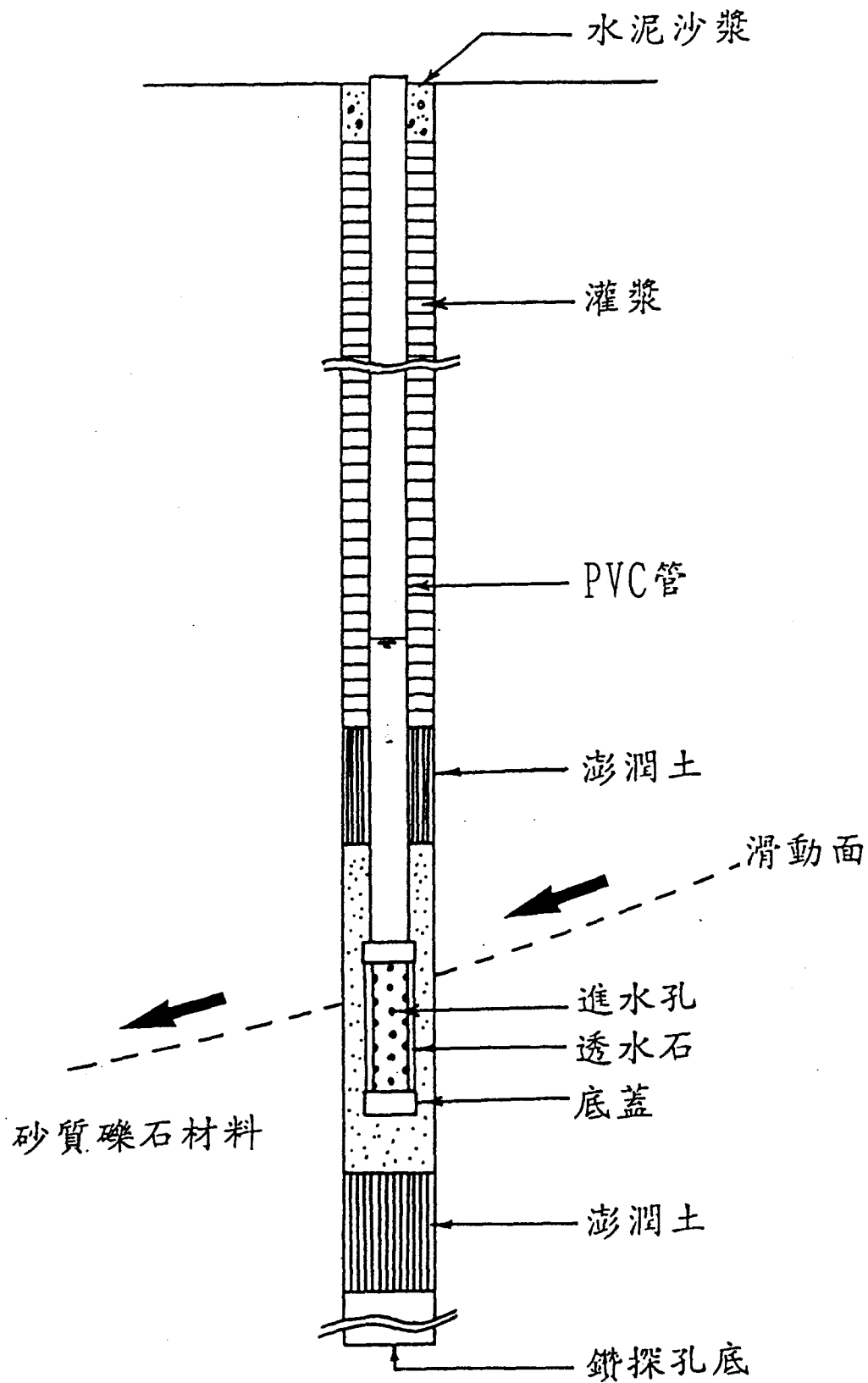


圖 4-3 地下水位監測井安裝示意圖

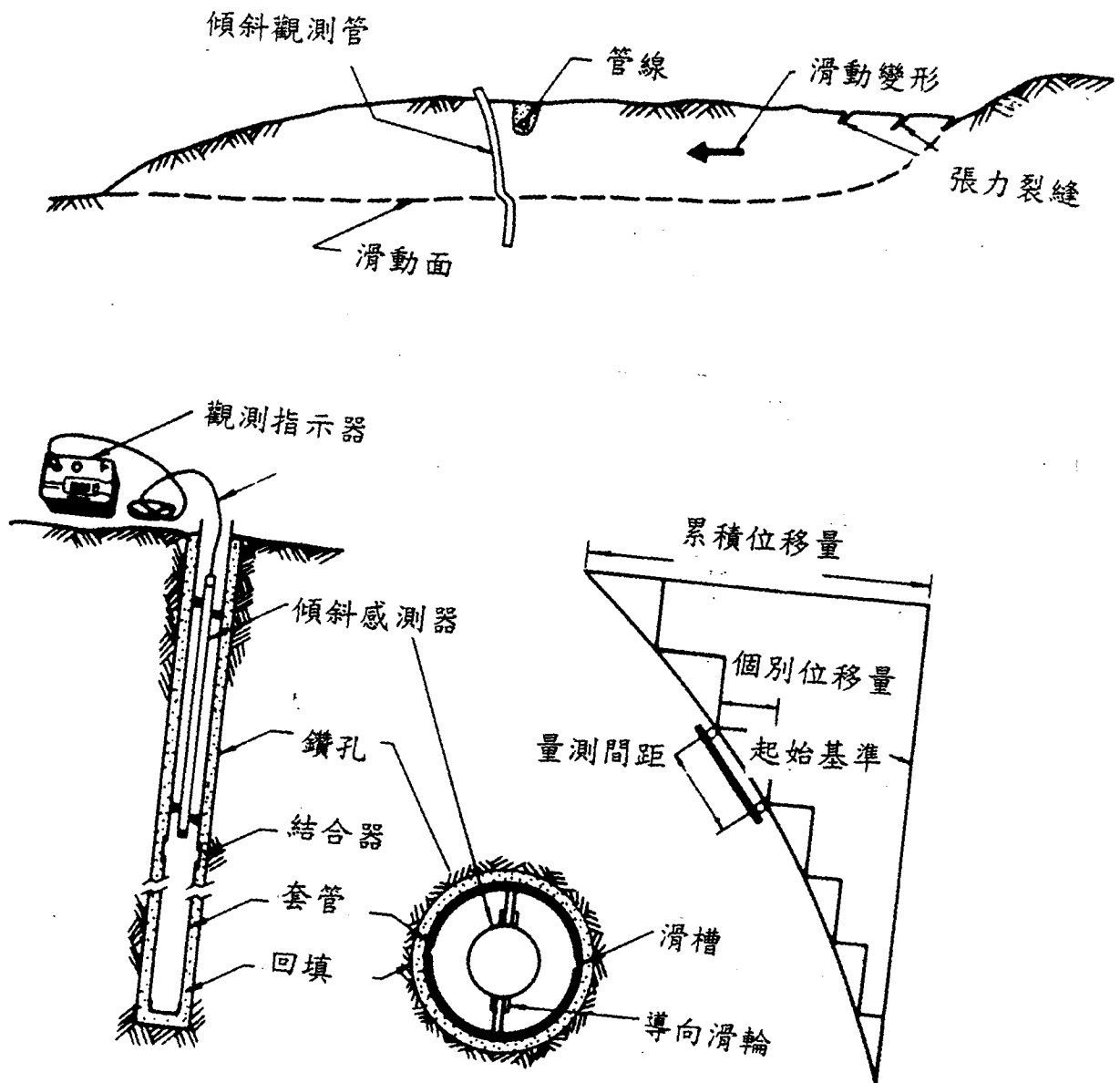


圖 4-4 孔內測傾管安裝與量測分析示意圖

管線上所受之應力變化，因此本研究亦在試驗區，將應變計黏貼在長度6公尺，直徑17英寸，管壁厚度1.5公分之中空PVC管上，並埋在測傾觀測管的附近，以觀測PVC管線受地層變位所引起之應變。(圖4-5)

(5) 傾斜計(Tilter)

傾斜計主要觀測前述PVC管的傾斜變動情形，如圖4-5將傾斜計裝設在PVC管兩端上方，於裝設時其X軸大致沿滑動方向裝設，而觀測記錄中之正負符號及數值代表其變動方向與大小，藉由此觀測量來觀察PVC管的傾斜變動情形。

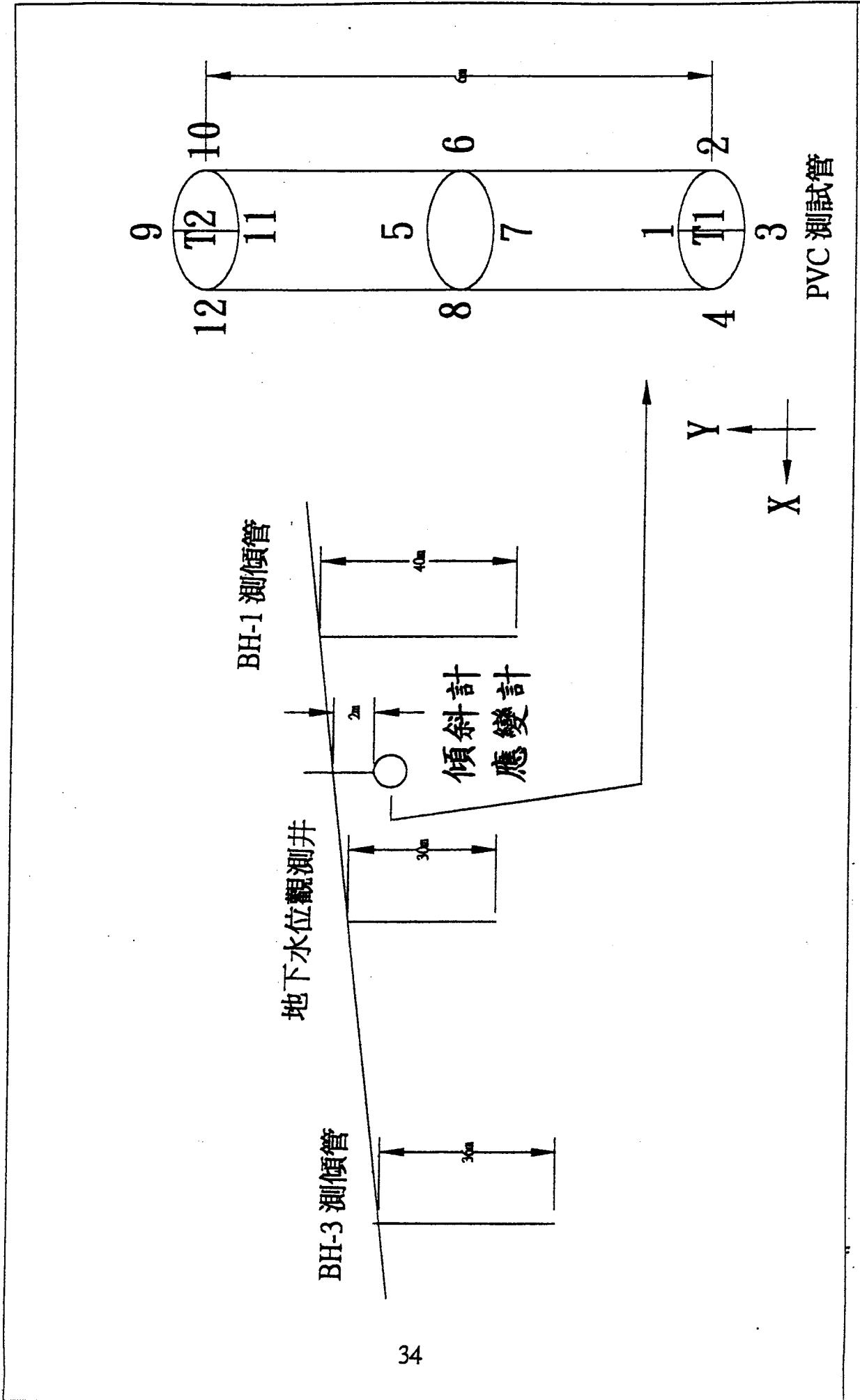


圖 4-5 測試用PVC管埋設及傾斜計、應變計示意圖

五、試驗結果及分析

5-1 降雨量記錄

圖5-1為試驗區民國88年5月至9月之日降雨量分佈圖，可知在這段時間之降雨情形，以五月較集中，最高日降雨量約140mm，另在七月底、八月初亦有稍大的降雨量，而九月的降雨情形則較為緩合。

5-2 地下水位觀測

根據設於試驗區之地下水位監測井之觀測資料，該區之地下水位很低，一直維持在地表下26.5~27.0公尺間(如圖5-2)，因此推測該區之地下水並不豐富。

5-3 孔內測傾管之觀測與分析

本研究於試驗區設置二處孔內測傾管，其在地層剖面上的配置如圖5-3，觀測之起始比對資料以88.7.8之觀測值為基準，其後每一至二周觀測一次，本年度最後一次觀測為集集大地震之後一周，即88.9.27，觀測資料經過轉換運算並繪製成地層變位比較分析圖，以下為各觀測資料之分析與判釋，地層變動判釋則參考表5-1之地表傾斜之判釋準則表(藤原明敏，1976)，可瞭解地層變位之活動狀況。

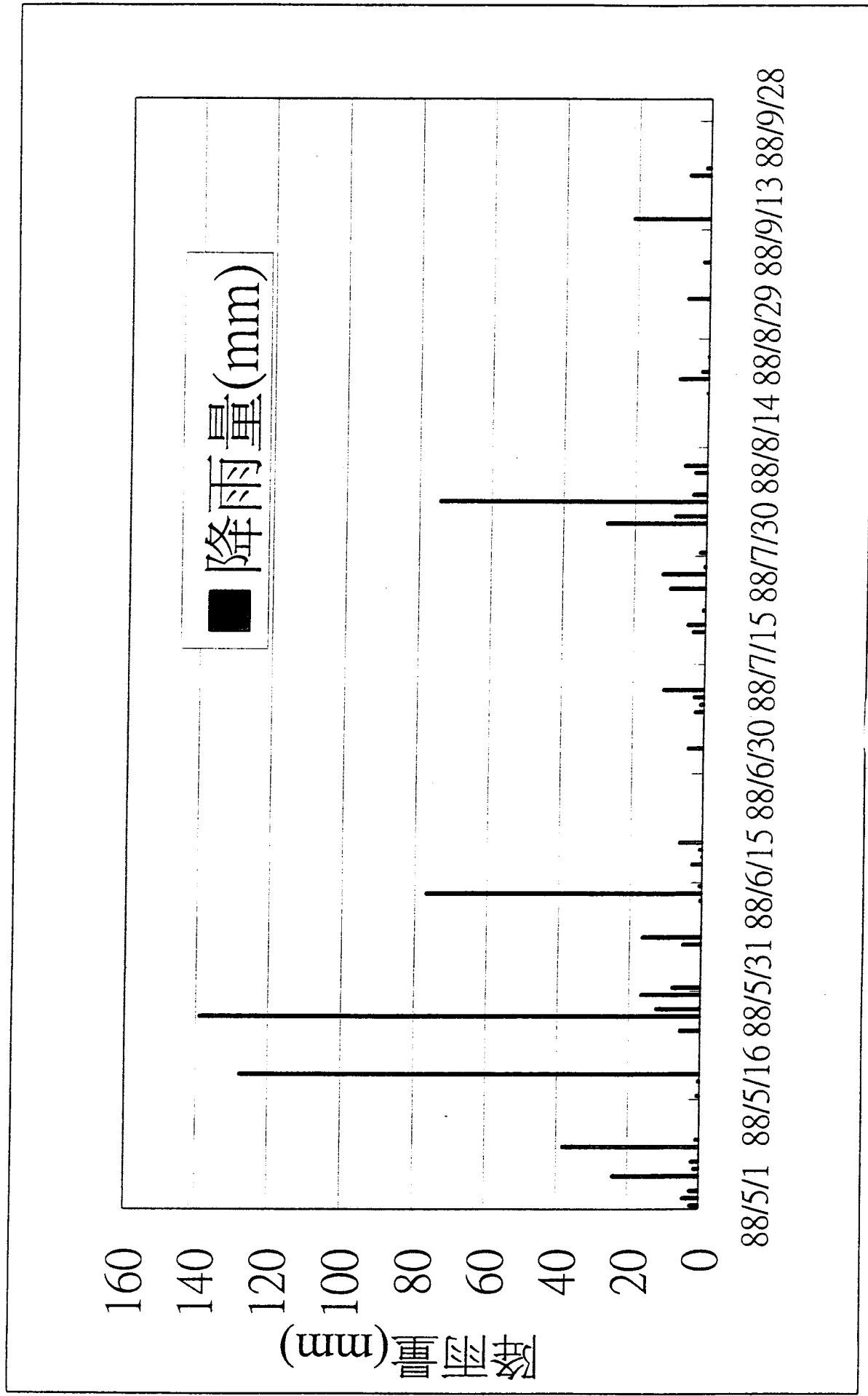


圖 5-1 試驗區民國88年5月~9月日降雨量分布圖

地下水位監測井

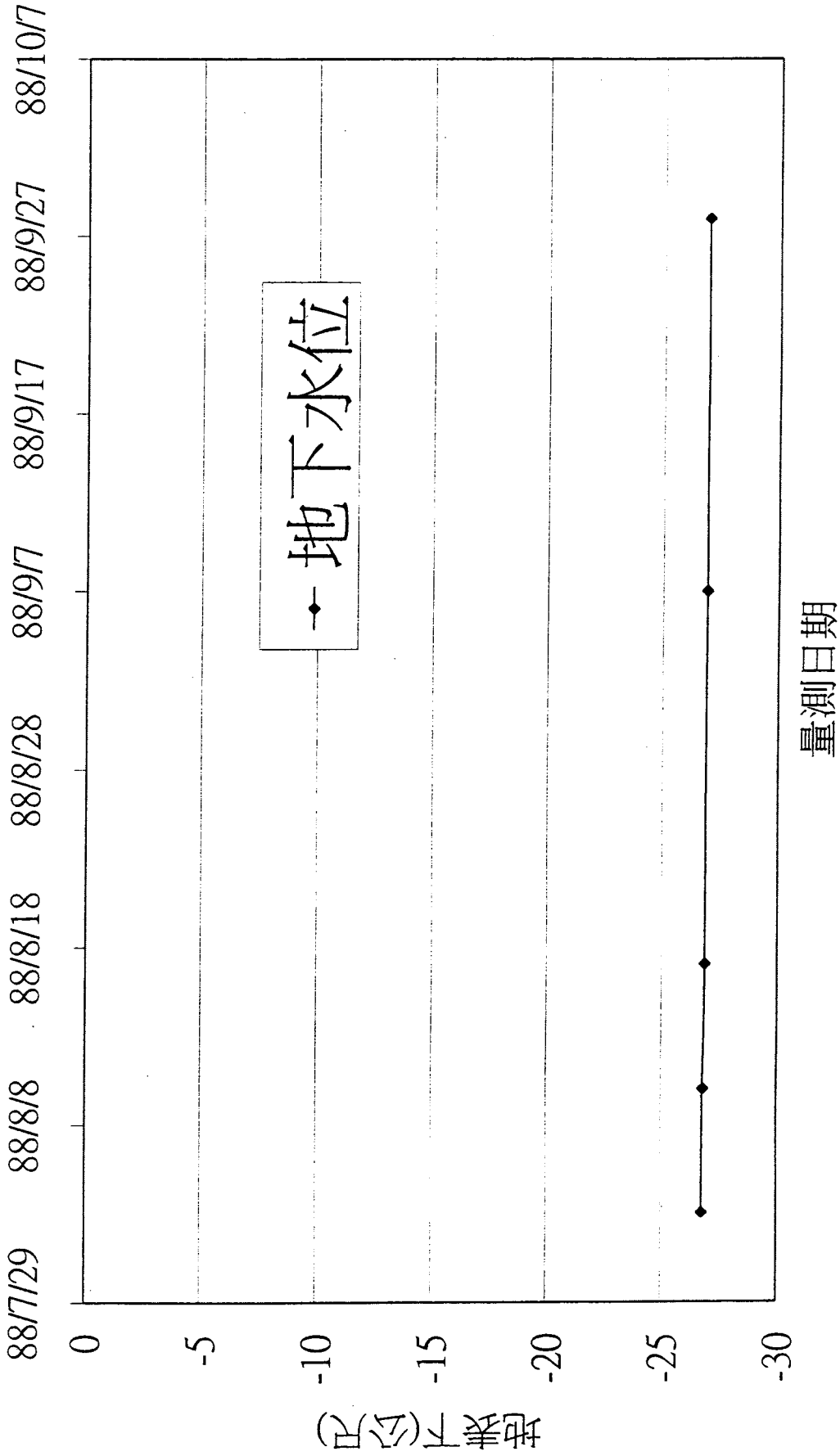


圖 5-2 試驗區地下水位變化圖

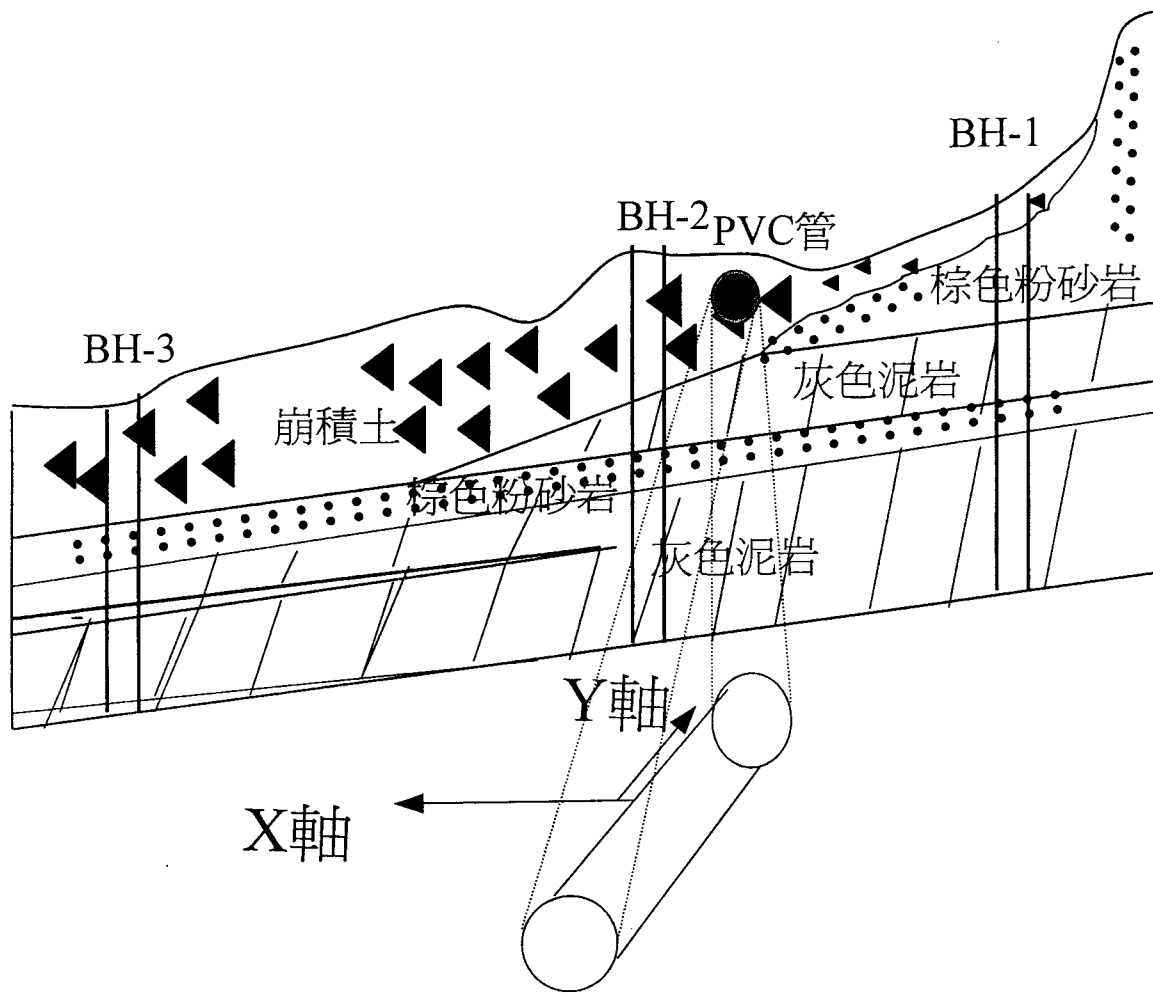


圖 5-3 測傾管及PVC管與地質剖面圖

表5-1地表傾斜變動判釋準則

變動類別	日平均變動量(秒)	累積變動量(秒/月)	傾斜量之累積傾向	傾斜運動方向與地形之相關性	綜合判釋	
					變動判定	活動性
變動A	5以上	100以上	顯著	有	確定	快速運動中
變動B	1~5	20~100	稍顯著	有	準確定	緩慢運動中
變動C	1以下	30以上	略有	有	潛在	有必要繼續觀測
變動D	3以上	無	略有	無	異常	局部地盤變動或其它

(1)BH-1測傾管

BH-1測傾管位於試驗區內靠近上方之崩崖處，其地表下約5公尺深度內為較疏鬆之崩積土層，其下則為砂泥岩互層，圖5-4~5-7為X及Y軸方向之地層變位分析圖(X及Y軸方向定義如圖5-3，其中X軸取與可能之滑動方向平行，Y軸則垂直X軸)，包括地表下每隔0.5公尺地層之變位變動圖與相對於井底之地層累積變動圖，根據這些分析圖判釋，BH-1號孔附近地層在88.7.8以後有二處呈現較明顯的變動，一個在

BH-1 X-方向

累積變形量(mm)

-10 0 10 20 30 40

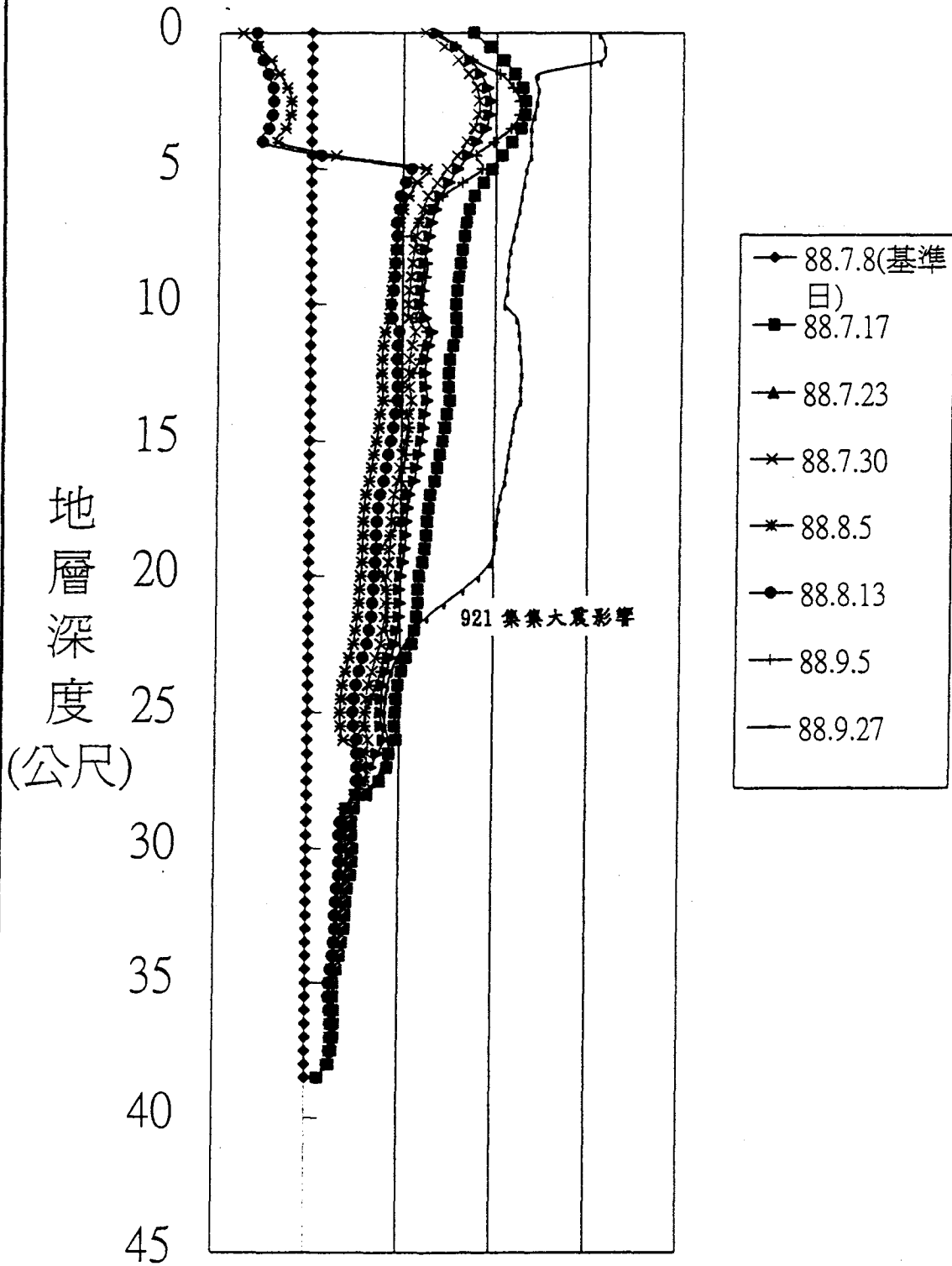


圖 5-4 BH-1測傾管之X軸方向相對井底累積變形圖

BH-1 X-方向

變形量(mm)

-15 -10 -5 0 5 10

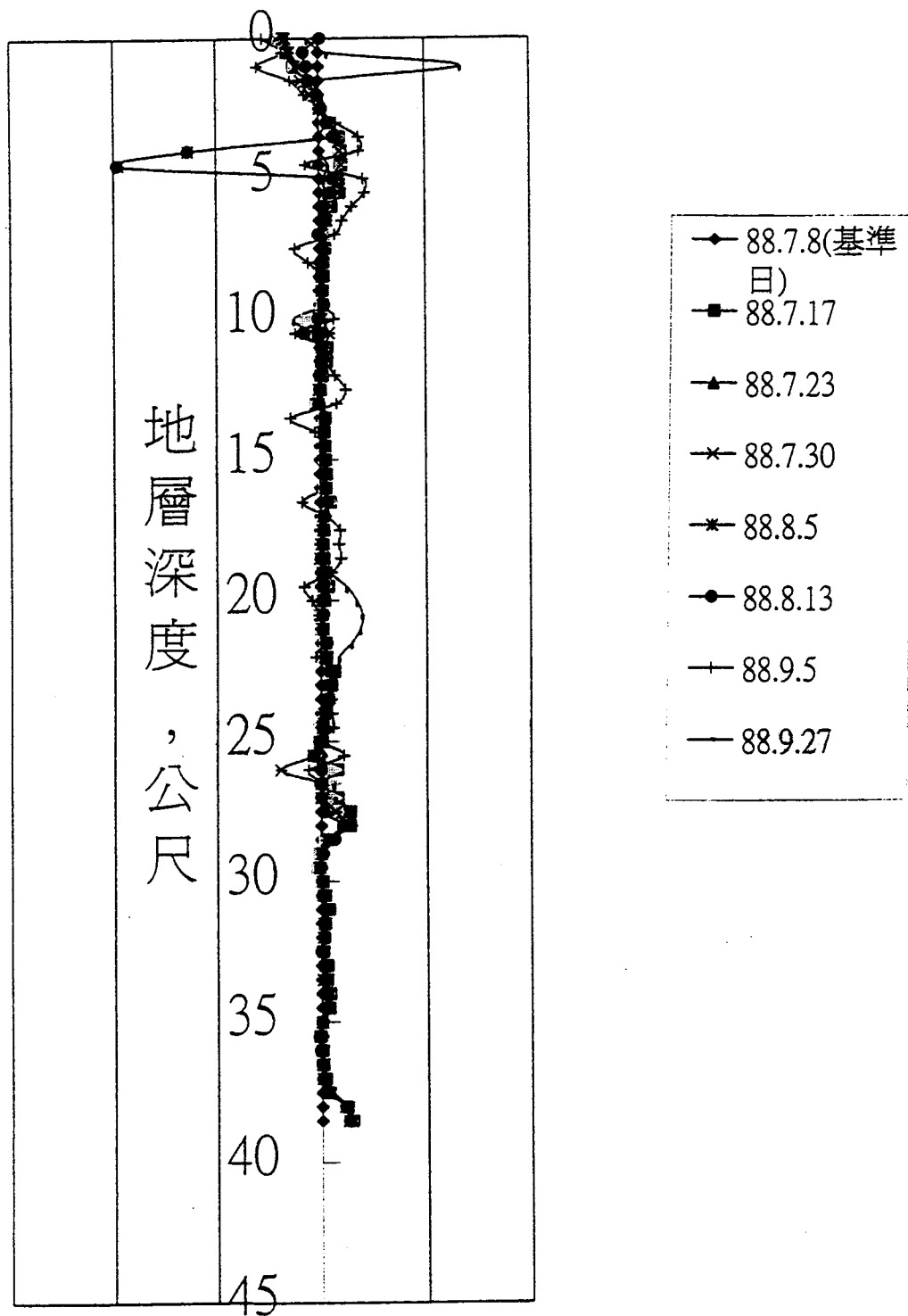


圖 5-5 BH-1測傾管之X軸方向個別地層變形圖(間隔0.5公尺)

BH-1 Y-方向

累積變形量(mm)

-15 -10 -5 0 5

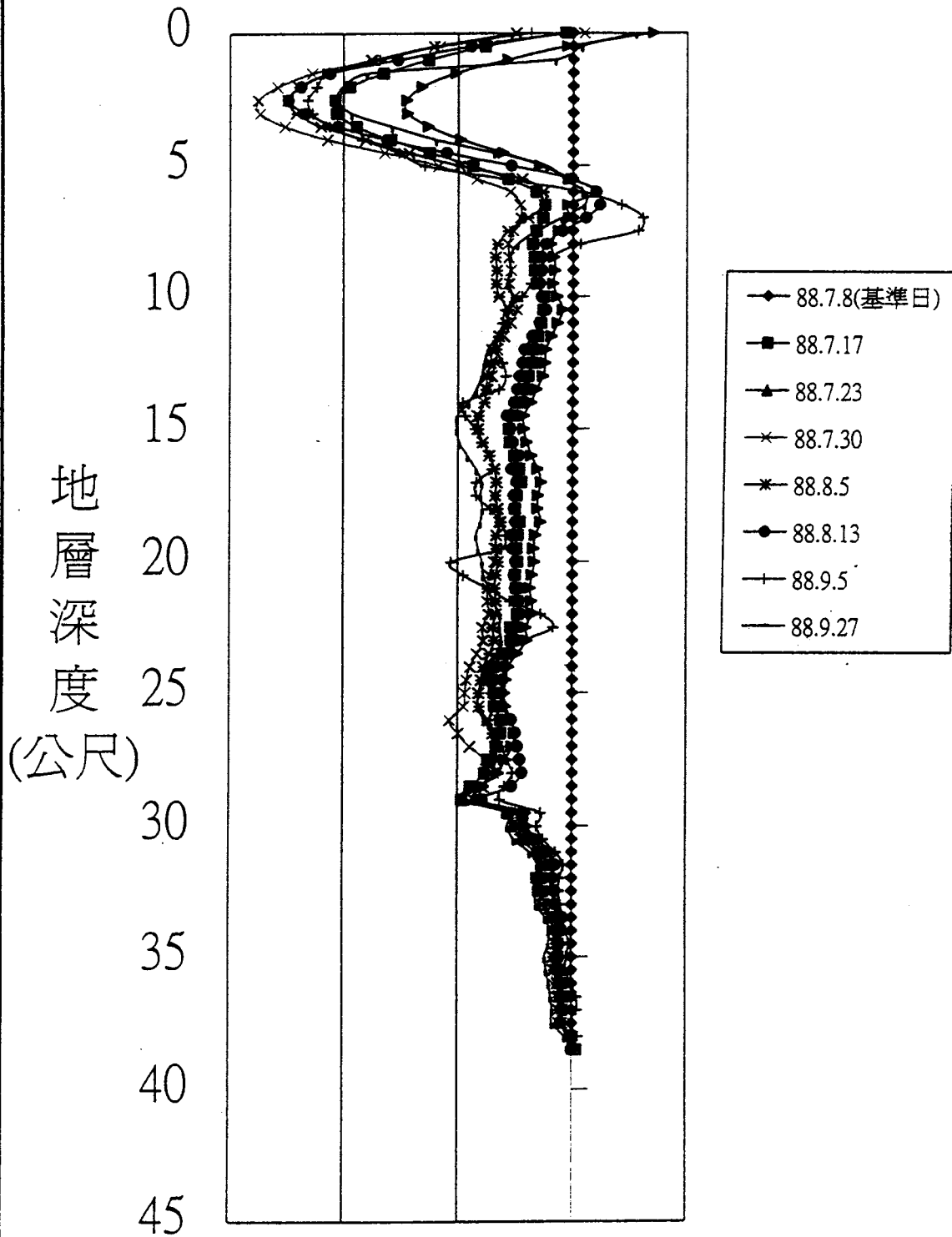


圖 5-6 BH-1測傾管之Y軸方向相對井底累積變形圖

BH-1 Y-方向

變形量(mm)

-5 0 5 10

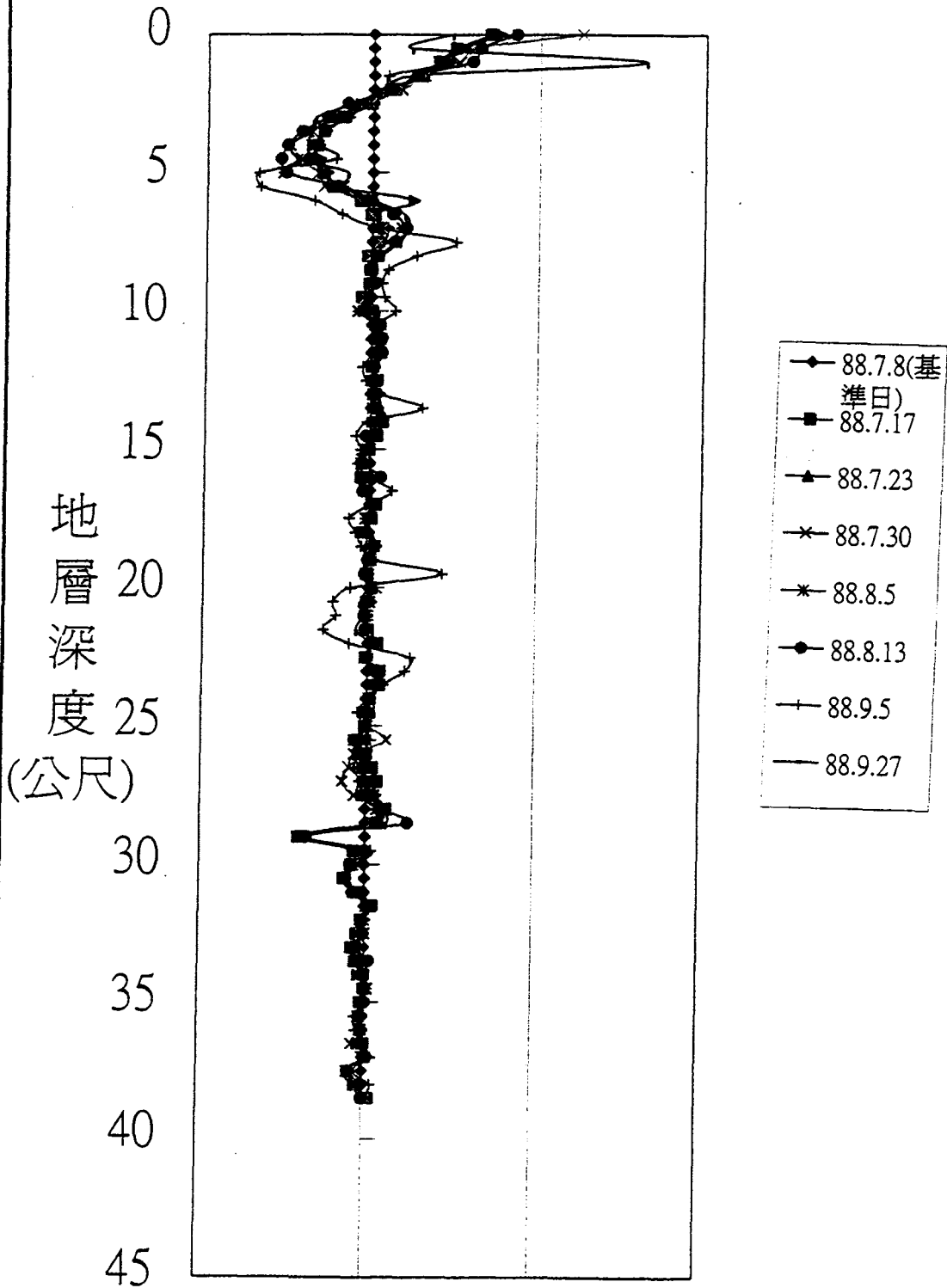


圖 5-7 BH-1測傾管之Y軸方向個別地層變形圖(間隔0.5公尺)

地表下5公尺以內，即在疏鬆崩積層與軟砂岩之交界面附近，推測是淺層之疏鬆崩積土因地形坡度或地表活動而產生向下移動的現象，其最大變形量在地震前約22mm，滑動方向朝下(西南方向)，X軸方向的位移量比Y軸大，即向下的位移量比側向位移量大，這樣的滑動行為與現場的地形相當一致；另一個變動較顯著的地層，在深度25~30公尺間，滑動的方向與上一個顯著滑動層相同，但其位移變化量呈穩定增加趨勢，不像上一個變化地層(變化較亂)，最大累積位移量在X軸為10mm，在Y軸方向約5mm，推測這個深度應該是湖口台地邊緣地區潛在的砂泥岩界面滑動面之一；以目前之變化量而言，根據表5-1之判釋準則，屬於確定變動，表示該區之地層目前仍可能在活動。另一個特殊的現象是，在民國88.9.21集集大地震發生後之量測資料有很明顯的變動，其變動的深度約在22~23公尺間，位移量約10mm向西，顯示地震力方向來自東邊，與此次集集大震的發生原因相符。

(2) BH-3測傾管

BH-3測傾管位於試驗區內接近台地邊緣處，其地表下約5公尺深度內為較疏鬆之崩積土層，其下則約有10公尺的沖積砂土層，再往下才是屬於砂泥岩互層，圖5-8~5-11為X及Y軸方向之地層變位分析圖(X及Y軸方向定義如圖5-3，其中X軸取與可能之滑動方向平行，Y軸則垂直X軸)，包括地表下每隔0.5公尺地層之變位變動圖與相對於井底之地層累積變動圖，根據這些分析圖判釋，BH-3號孔在88.7.8以後有整管向上方邊坡傾斜的現象，可能在管底附近有不穩定因素存在，例如該孔緊鄰台地邊緣，可能會因邊坡下方無土體支撐，而有地層不穩定之現象，但仍待進一步查證；就地層位

BH-3 X-方向

累積變形量(mm)

-15 -10 -5 0 5

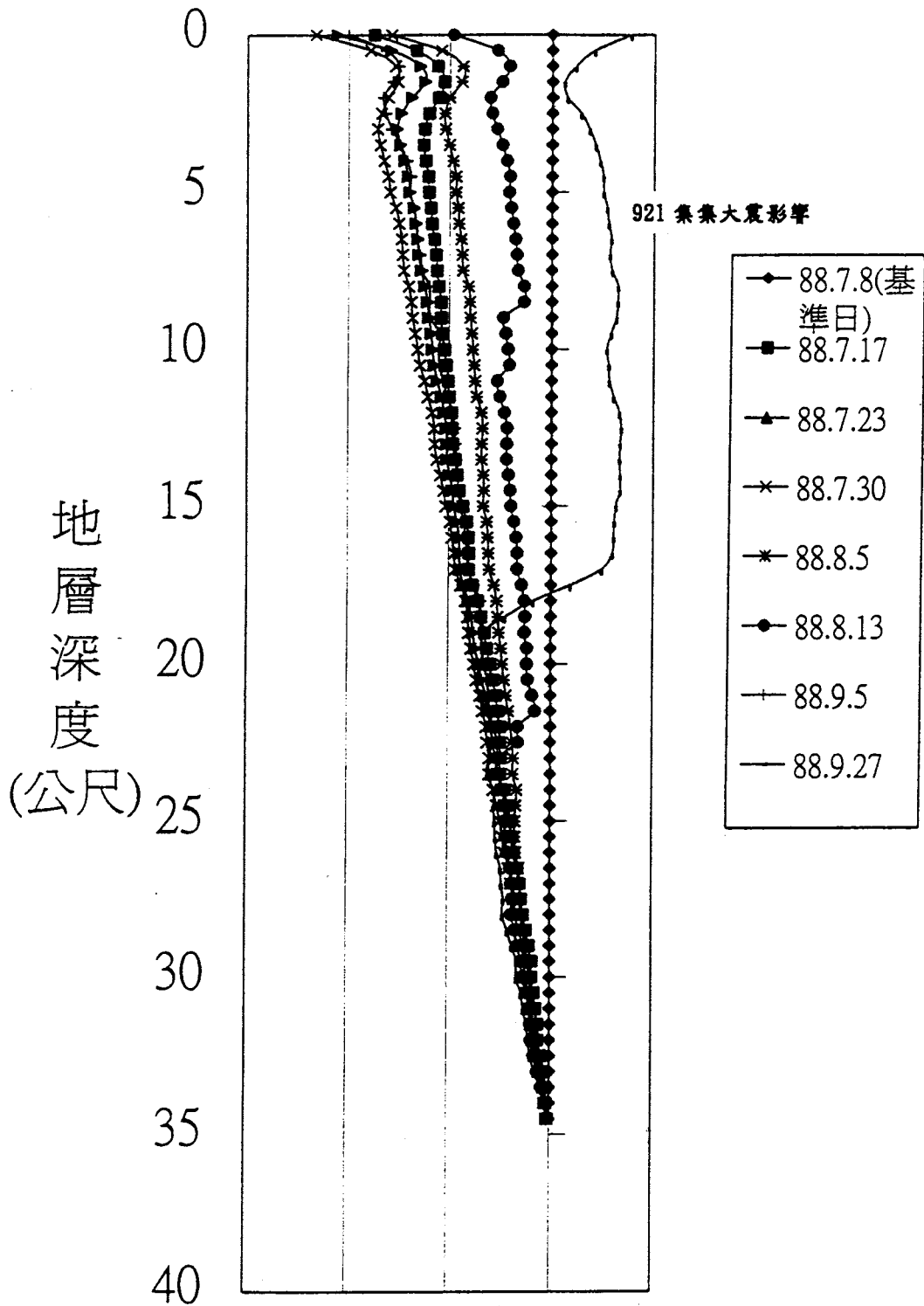


圖 5-8 BH-3測傾管之X軸方向相對井底累積變形圖

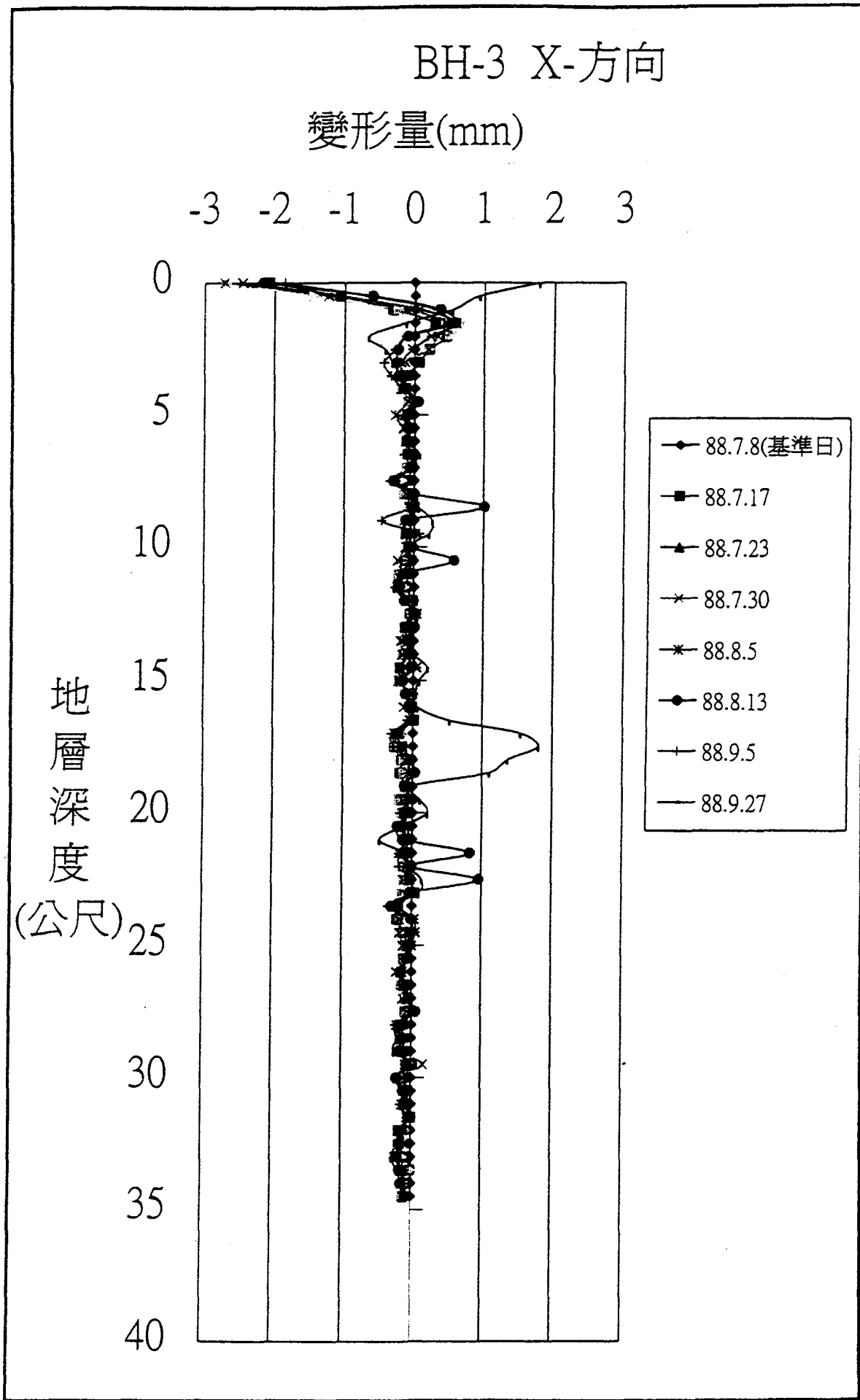


圖 5-9 BH-3測傾管之X軸方向個別地層變形圖(間隔0.5公尺)

BH-3 Y-方向

累積變形量(mm)

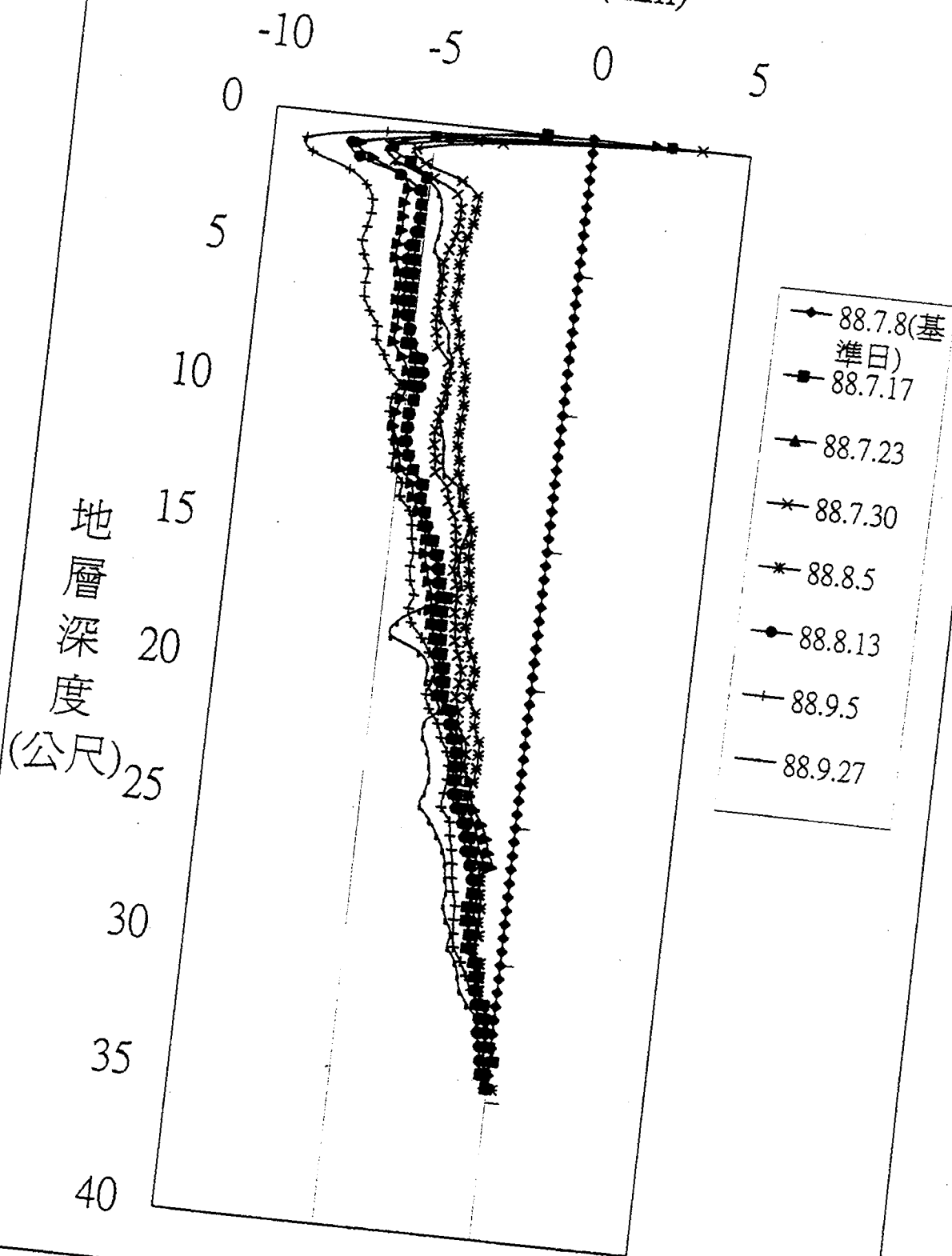


圖 5-10 BH-3測傾管之Y軸方向相對井底累積變形圖

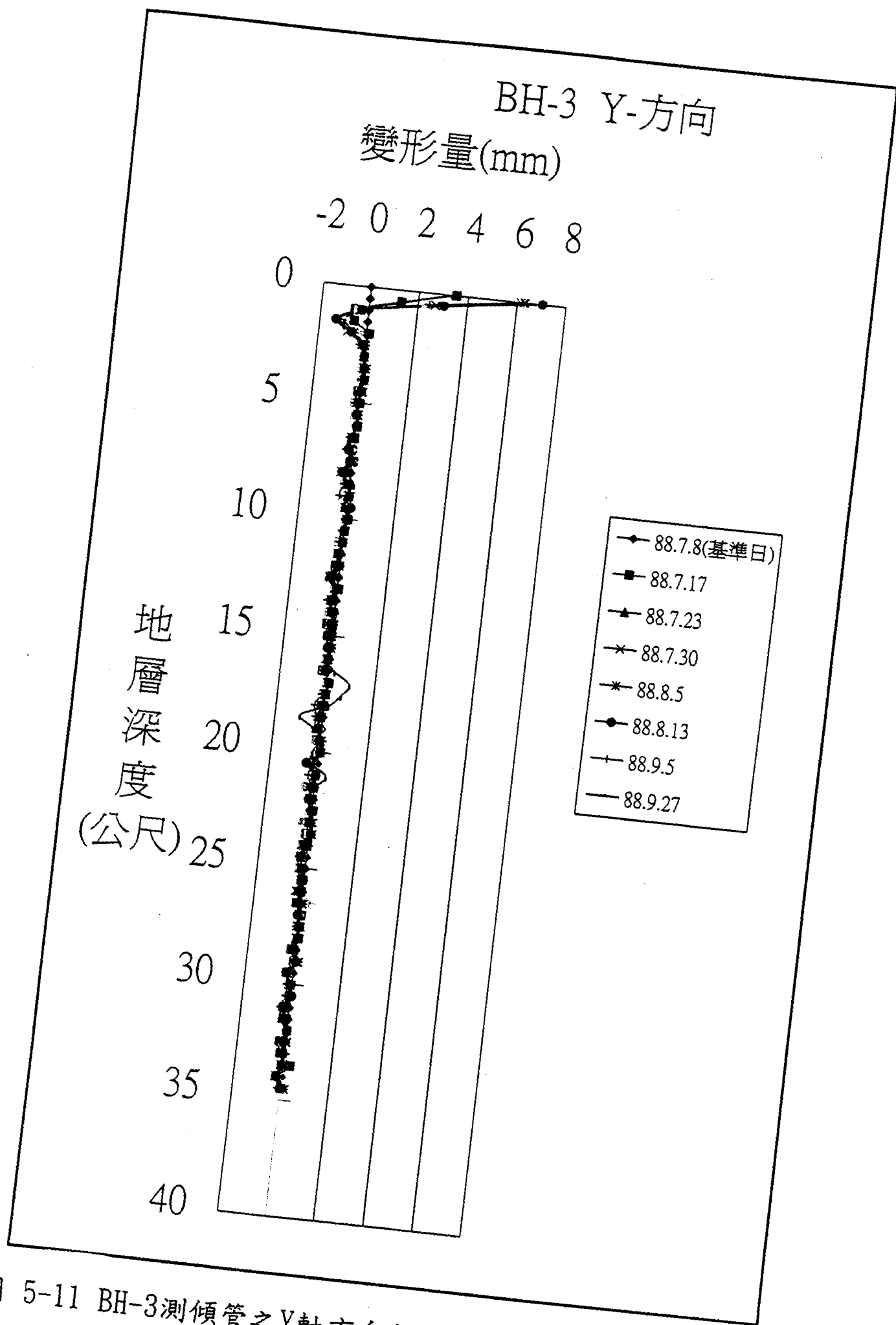


圖 5-11 BH-3測傾管之Y軸方向個別地層變形圖(間隔0.5公尺)

移量而言，在地表下5~10公尺以內之地層變化較顯著，即在疏鬆崩積層與軟砂岩之交界面附近，其最大變形量約5~10mm，滑動方向朝上(東北方向)，X軸方向的位移量與Y軸相差不大；另外就現階段這種變化量而言，根據表5-1之判釋準則，此孔亦屬於均屬於確定變動，而民國88.9.21集集大地震對此孔亦有很明顯的變動，其變動的深度約在18~20公尺間(根據地層剖面受地震影響之地層與BH-1孔接近)，位移量約8mm向西而，顯示地震力方向亦來自東邊，與此次集集大震的發生原因相符。

5-4應變量測計及傾斜計之資料分析

此兩種儀器被安裝在同一PVC管上，而埋設於試驗地區之測試PVC管為長6公尺，直徑17英寸，管壁厚度1.5公分之PVC管，埋在距BH-1號測傾管下方約5~10公尺處，埋置深度2公尺，外管壁上共黏貼12組可測二方向，環向(X)與軸向(Y)方向之應變計及兩組傾斜計(參考圖5-12)，圖5-13為兩組傾斜計之觀測量變化圖，其資料顯示在觀測期間內，PVC之傾斜量相當小，僅有2分35秒，因此推測在這段時間PVC並無滑移現象；另外圖5-14~5-16為各應變計在88.8.10至88.9.27間X與Y方向之應變量變化圖，從數值上來看，在埋設完成之後，環向應變量大部份為壓縮，921地震前其累積數值約為-150~-250 $\mu\epsilon$ (壓縮狀態)，軸向應變量亦大部份為壓縮，累積數值在921地震前約為-100~-200 $\mu\epsilon$ 。

以上述這二種觀測量聯合判斷，推測PVC管在921地震前雖然受地層持續變位影響，但這樣的地層變位並未推動

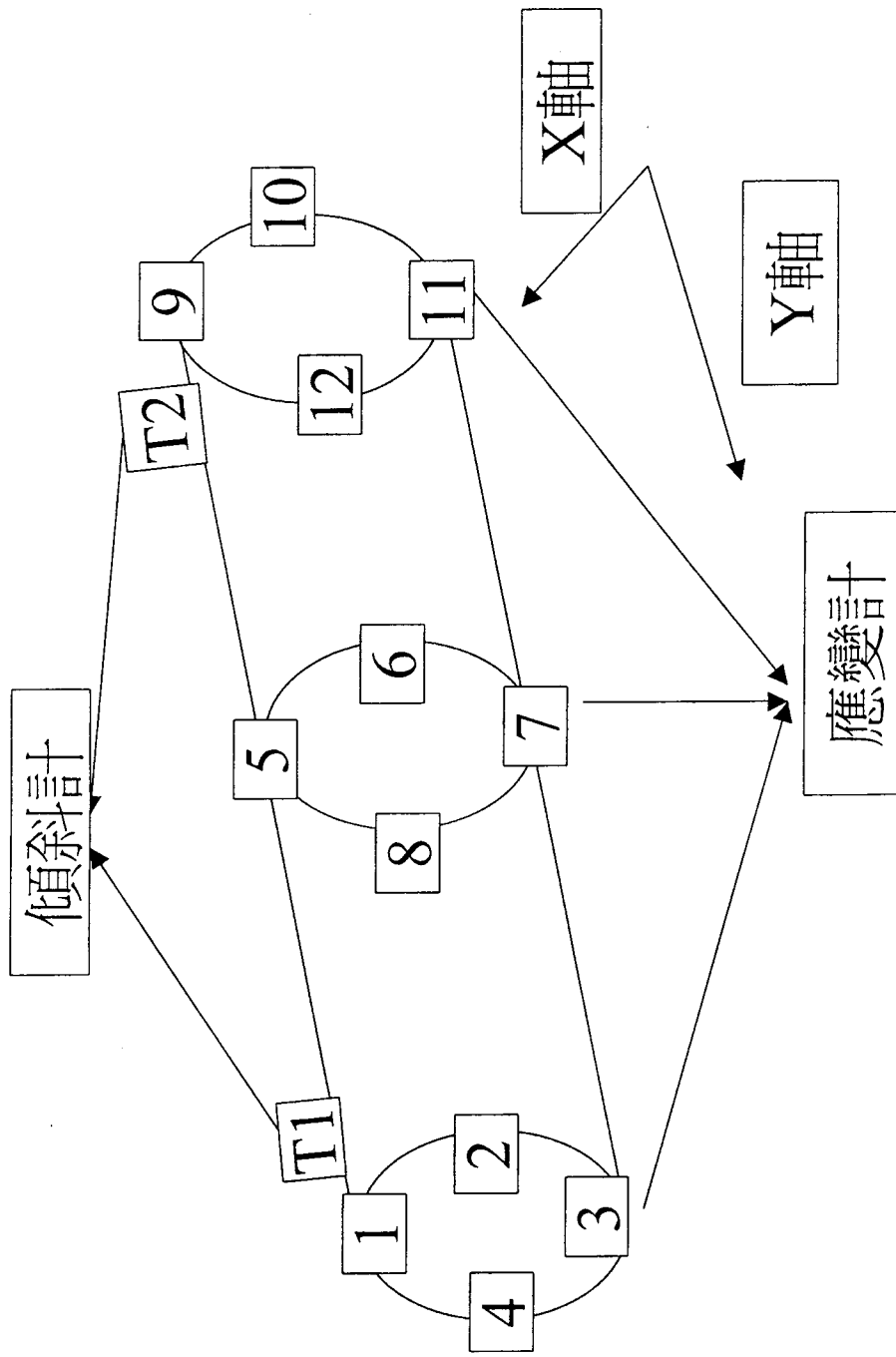


圖 5-12 測試用PVC管上傾斜計及應變計配置圖

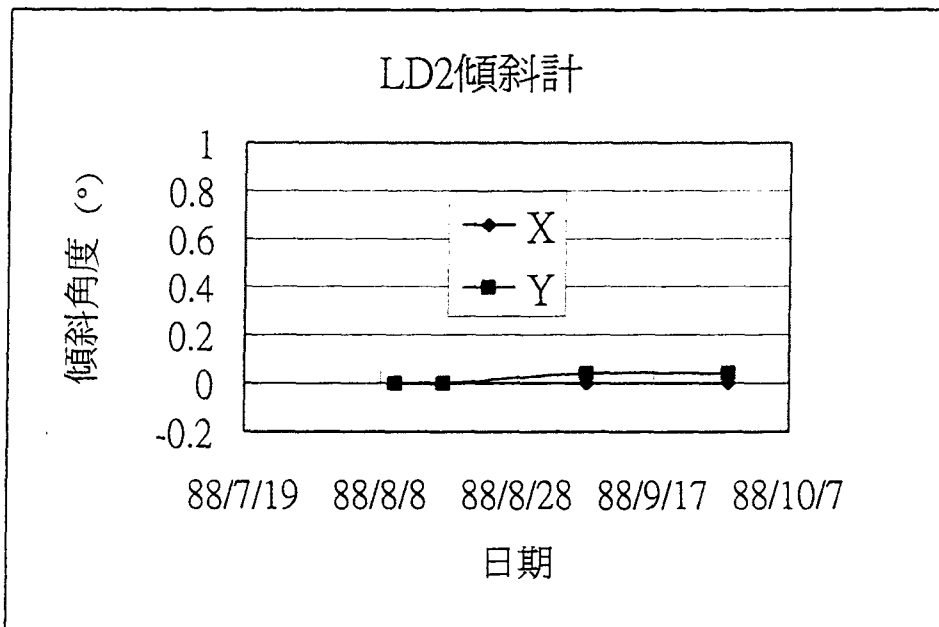
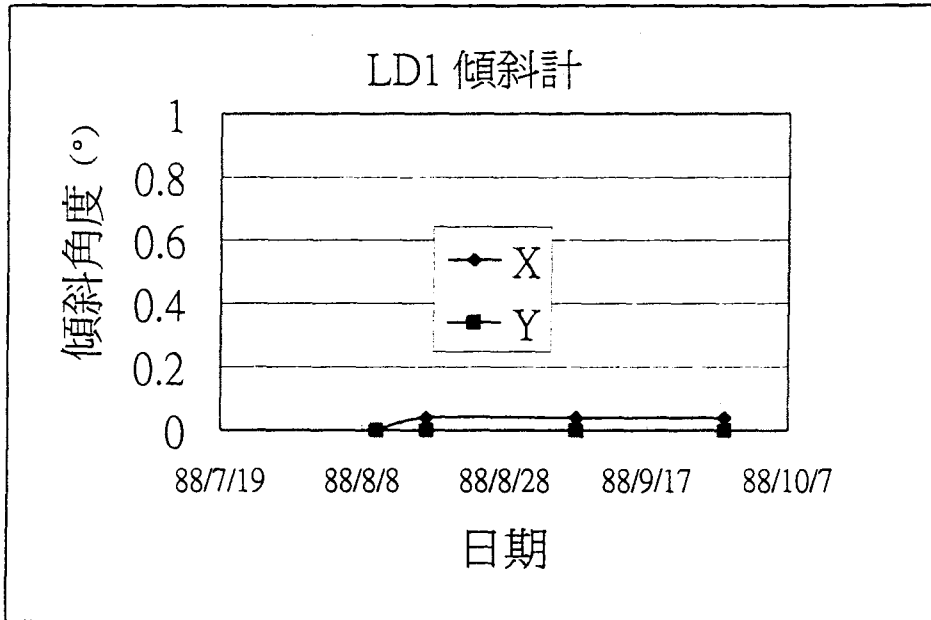


圖 5-13 測試用PVC管上傾斜計之記錄資料變化圖

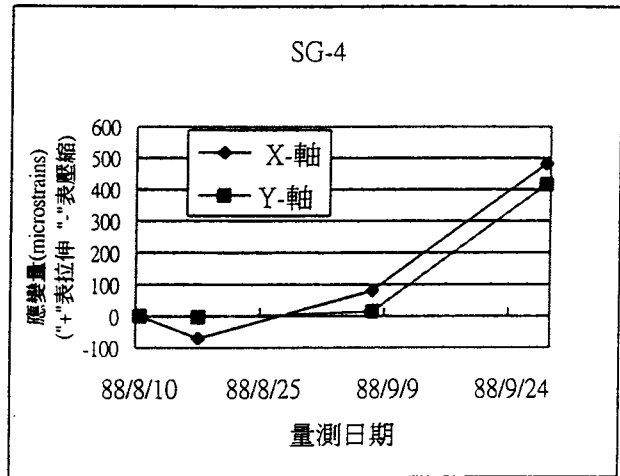
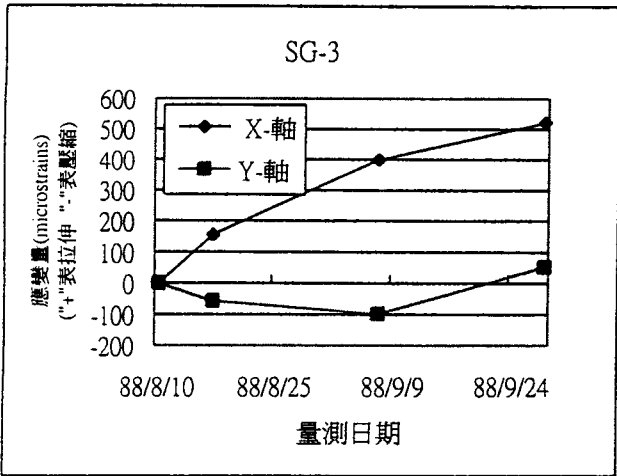
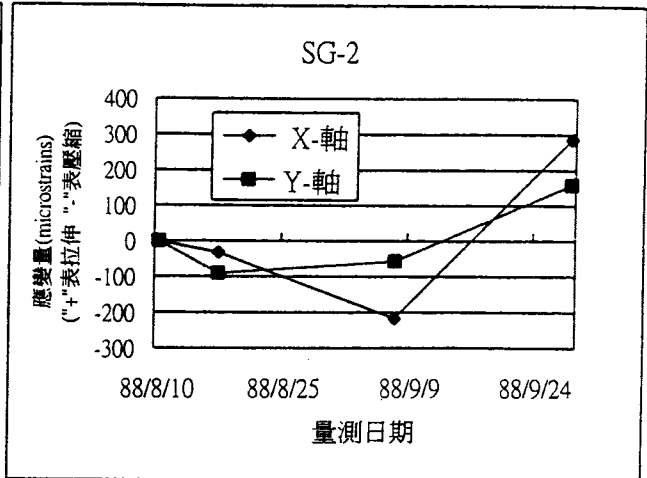
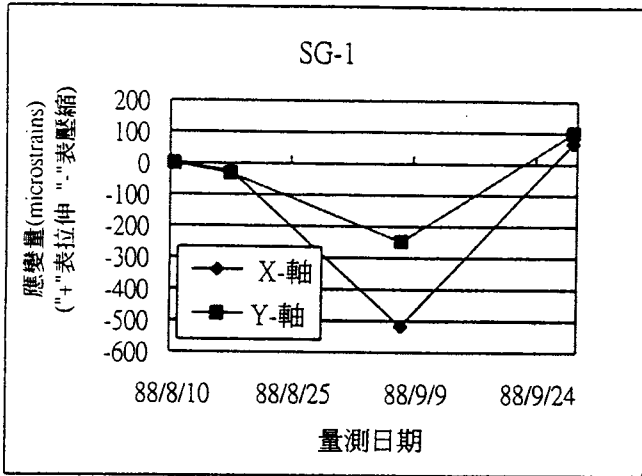


圖 5-14 測試用PVC管上應變計1~4之記錄資料變化圖

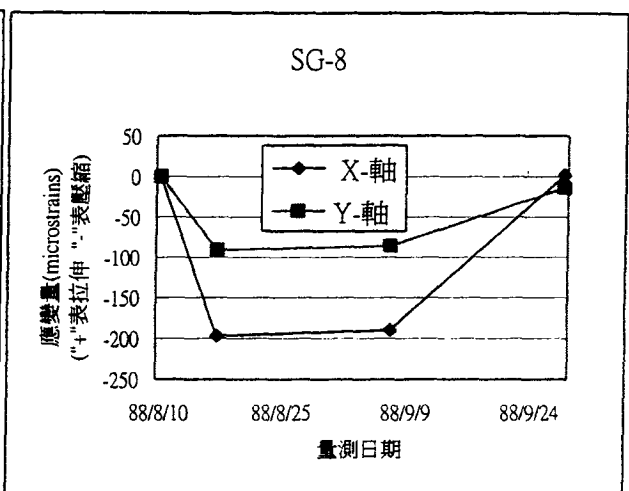
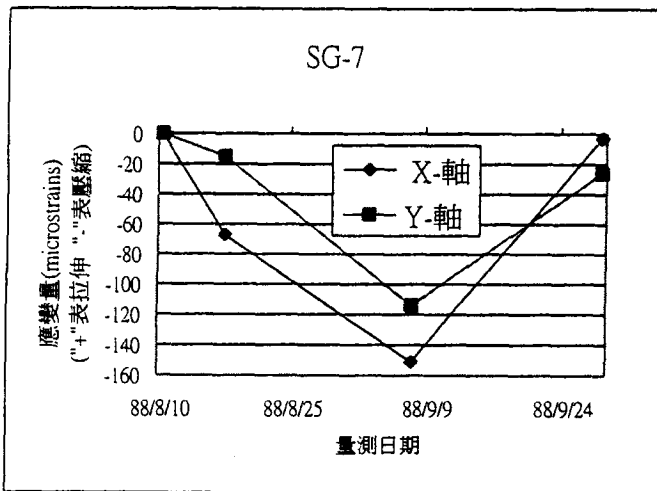
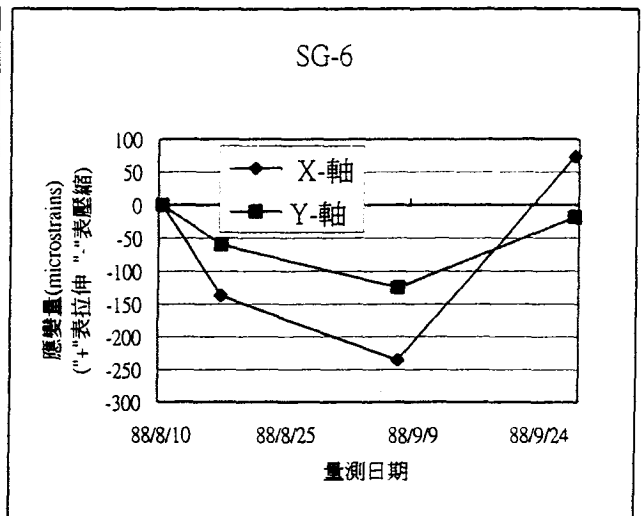
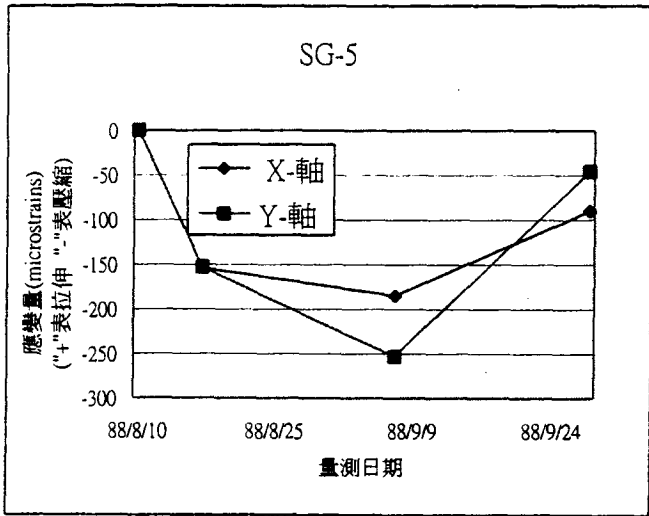


圖 5-15 測試用PVC管上應變計5~8之記錄資料變化圖

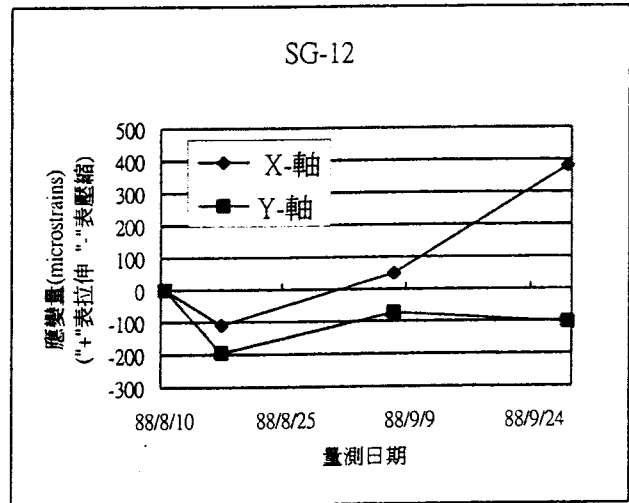
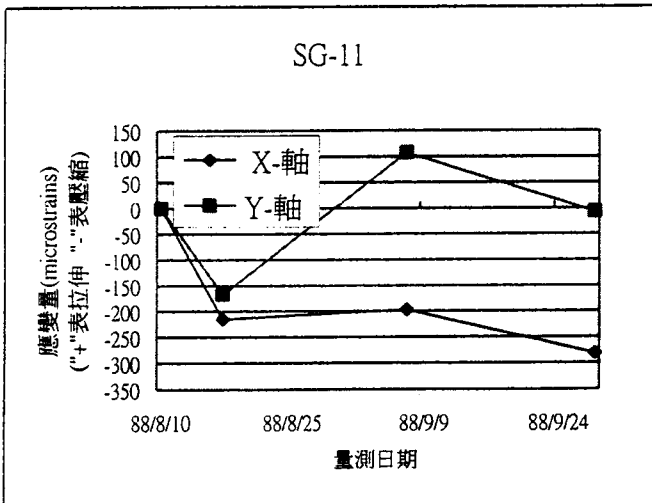
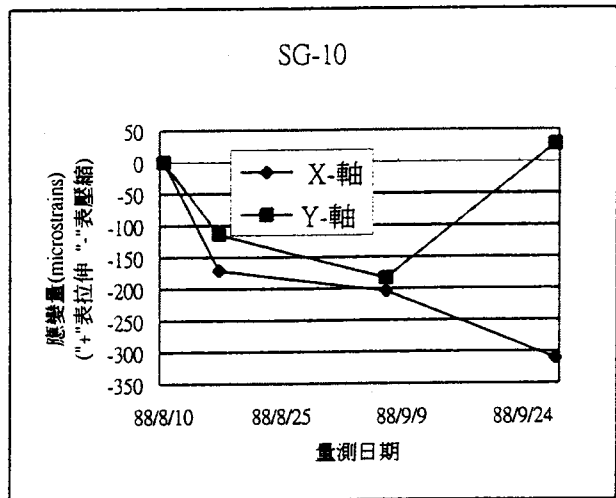
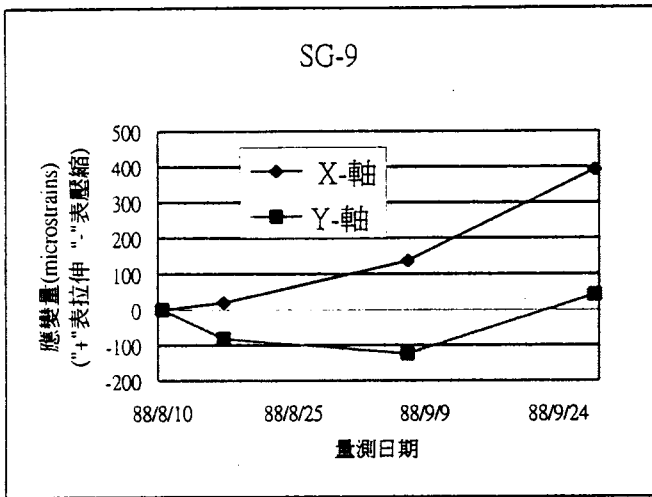


圖 5-16 測試用PVC管上應變計9~12之記錄資料變化圖

PVC管，其作用只是增加管壁上的圍壓，所以產生PVC整體受壓縮的現象，而未出現明顯之撓曲（因為若撓曲量大，部份應變計會有伸張量出現）。

再者，值得注意的是，大部份的應變計在921地震後其應變量均變成伸張狀態，顯示經過地震力的作用，圍在PVC管壁之土壓力有被解除的現象，可能在地震後有土層有鬆動的情形發生。

5-5地層變位對地下管線之影響性討論

地層變位對地下管線之影響，一般可分為外在與內在之影響，外在影響指的是因為地層變位過大使土體產生崩壞，而失去對管線的支撐或保護作用；而內在影響指的是在土體未崩壞前，管線本身受地層變位引起土壓力作用之影響，評估重點在管線本身是否可承受因地層變位所引起的土壓力變化。

(1)外在影響之討論

地滑區最常見的是地層破壞是邊坡崩壞，而在邊坡崩壞發生時，地下管線自然亦會遭受破壞，所以最好是在邊坡崩壞前就可預知崩壞發生的時機，以便提早因應，降低災害的程度；而預測邊坡破壞時間之方法，李德河(1984)整理國外學者的預測模式(Singh 及Mitchell, 1969; Vyalov, Maslov及Karaulova, 1977; Saito, M., 1979)，認為以邊坡土體之時間相依(Time-dependent)潛變行為來預測邊坡破壞時間，在日本地區驗證已得到相當不錯的結果，但是須準確量測邊坡之應變量及評估土體之各項參數因此精密的

監測及實驗，是邊坡破壞預測的基礎。

除了邊坡破壞之外，埋設管線之土體亦有一定得支撐強度，尤其是管線本身之水平位移推擠對周圍土體之影響，當其應力超過土體本身之降符強度時，埋於其中之管線可能會發生位移，導致管線受損。Jean M. Audibert and Kenneth J. Nyman(1977)研究中空管線受到水平推擠時之土壤阻抗行為，發現土壤的破壞機制如圖5-17，而且根據其在試驗室及現場試驗，在砂土層中土壤之極限水平位移是埋置深度的1.5~6.0%，其中土層越緊密、管徑越大，極限水平位移量就越小。上述的研究僅針對砂土層而言，若是其他地層則會因材料的不同而有所變化，所以管線埋設地區若有水平位移之情形時，應該就要針對不同地質材料進行土壤之水平阻抗力研究。

(2) 內在影響之討論

地下管線有許多不同的材質，每一種材料均有其強度或變形上的極限，當超過此極限時管線本身就會受到損壞。以外管徑23cm，管壁厚度1.278cm之PVC管而言，其在溫度20c時之彈性模數 E_p 為2150Mpa，柏松比0.45，熱膨脹係數 $79 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，張力強度50Mpa，張力破壞應變 $18,250\mu\epsilon$ ，壓碎破壞應變 $2,600\mu\epsilon$ (Balvant Rajani, 1995)。這些材料性質評估地層變位是否對地下管線有影響之重要參數。

一般上對於管線上之應力狀態，以在管線上設置應變計或應力計直接量測最為準確，如圖5-18為本計畫試驗地點所埋設PVC管線中間位置應變計之量測資料，可以看出在921大地震前，環向應變量增加到 $-150\sim-200\mu\epsilon$ ，呈受壓狀態；軸向應變在921大地震前，則增加到 $-100\sim-150\mu\epsilon$ ，亦呈受壓

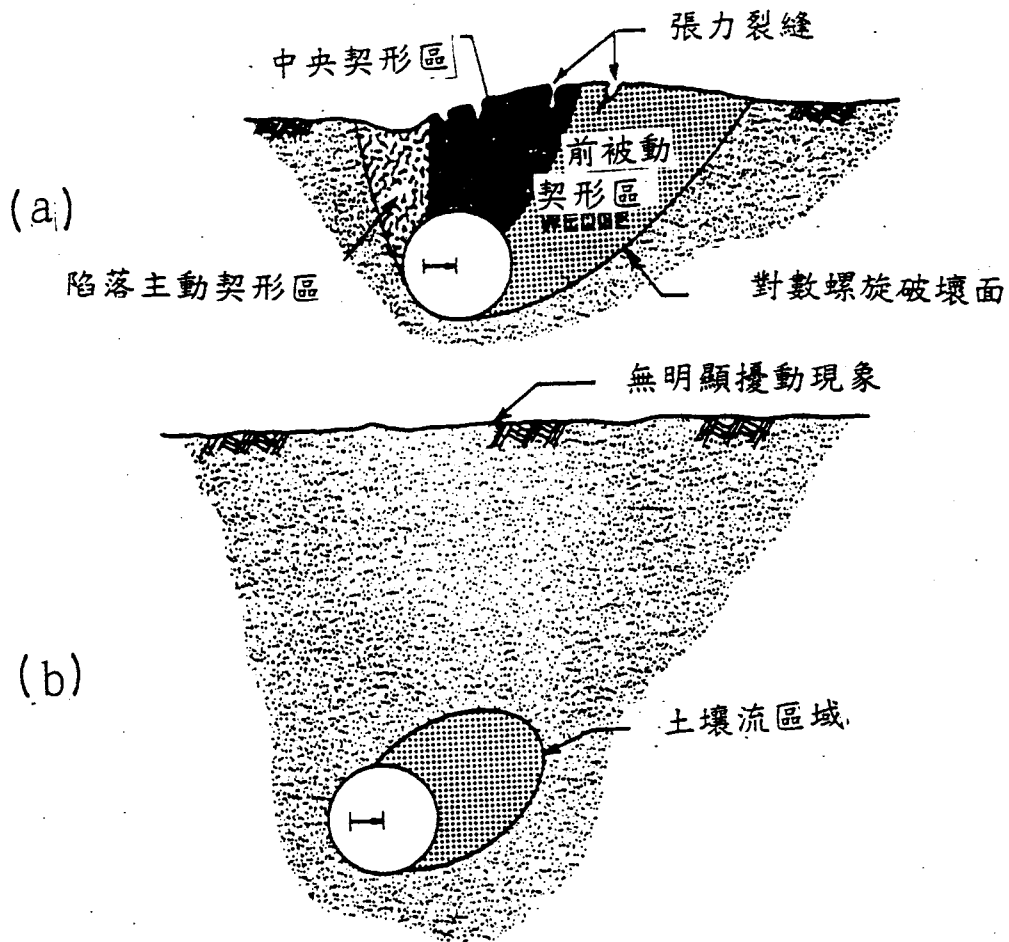
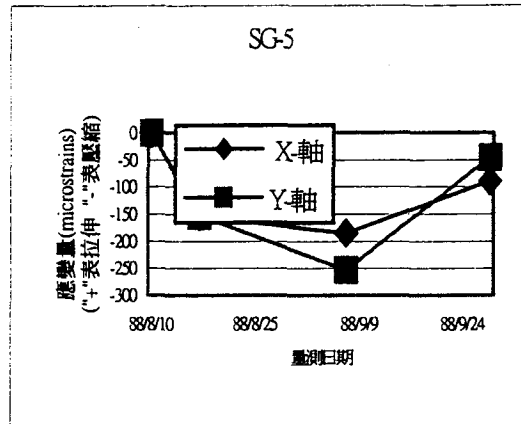
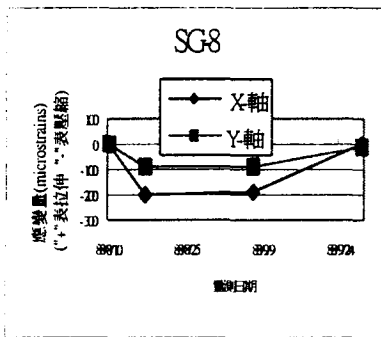


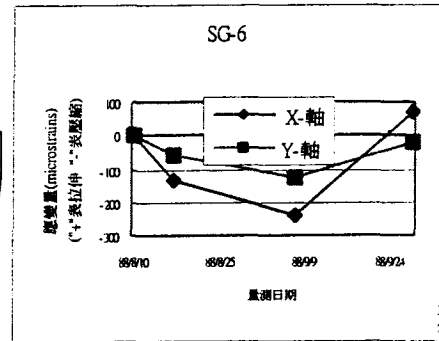
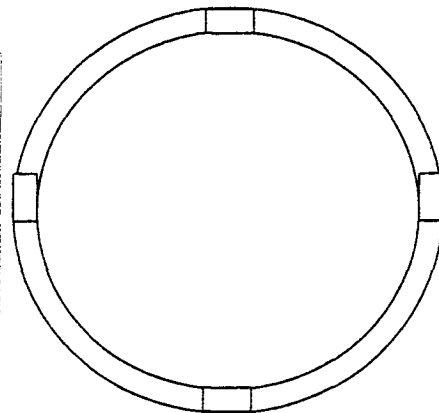
圖 5-17 土體破壞機制(a:中等深度, :b:較大深度)(修改自 Jean M. E. Audibert and Kenneth J.Nyman, 1977)



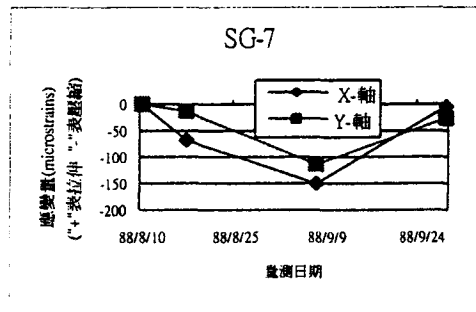
StrainGauge 5



StrainGauge 8



StrainGauge 6



StrainGauge 7

圖 5-18 PVC 測試管中間斷面應變計量測資料變化圖

狀態；管壁周圍的應力分佈應該是不平均的，這是合理的現象，因為土壤本身是屬於應力異向性之材料；但總之透過這些量得之應變，便可直接進一步分析評估管線材料的安全性。

但是並非每一處之管線均有應變或應力量測裝置，尤其是早期就已埋設完成之管線；所以評估的方式就要從管線與土壤之互制行為著手，就是先設法量到管線周邊土壤的變形，再進一步透過轉換模式計算管線的軸向、環向或撓曲變形量，即可據以評估管線之功能。以湖口台地試驗區而言，根據921地震前測傾管所量測之位移量，在PVC管埋設深度附近，順著邊坡滑動方向，最大之水平位移估計約有22mm，而以這樣之位移量推擠約在5公尺外之PVC管時，PVC管所產生之應變量如前所述，這說明兩者之間必存在有轉換關係，但是這轉換關係與兩者間之距離、地層組成材料性質、地層位態、及地層反力係數(K_v 、 K_h)有關，而這一部份正是需進一步加強分析研究之處。

六、結論與建議

6-1 結論

- (1) 湖口台地邊緣之鳳山溪北岸地區，以往因經常發生地層崩塌或滑動的現象，所以頗受重視，以往就已進行完整之區域調查，亦有不少之基本調查資料值的參考，是本計畫合適之試驗地點。
- (2) 根據現場孔內測傾管之量測分析資料，試驗區之地層目前為確定變動狀態，其近地表之崩積層滑動量進三個約累積量約10~20mm，深度25~30公尺處之累積量約0~5mm。
- (3) 埋設於試驗區之測試PVC管，量測資料顯示觀測期間(88.7~9)並未有明顯的移動或撓曲；但是其材料本身則受地層變形所產生之不平均壓應力作用，而有本身材料受壓縮的現象。
- (4) 地層變位對地下管線之影響模式，應該涵蓋以下之影響因子，分別為變位觀測點與管線間之距離、地層組成材料性質、地層位態、及地層反力係數(K_v 、 K_h)等。
- (5) 從分析資料顯示，地震對各種觀測量均有顯著之影響，但是這種外力無法預知，很難事先防範，但應從管線之設計與施工上事先加以考量。

6-2 建議

- (1) 本計畫設於湖口台地試驗區之各項監測儀器，均已發揮正常之量測功能，應考慮持續進行觀測的可行性。
- (2) 邊坡破壞時間之預測對經過地滑區之油氣管線，可發揮很大的事前預警功效，亦應加強這方面的研究。

七、參考文獻

- 古兆禎(1963):臺灣西北部臺地之空照地質學的研究，中國地質學會會刊第6號，第51~60頁
- 李德河(1984):邊坡破壞時間之預測，土工技術雜誌第7期，pp. 7~12。
- 柏尼刺(1977):臺灣的第四紀斷層活動與地盤升降，中國地質學會專刊第二號，第43-56頁。
- 湯振輝(1963):湖口背斜石油地質，臺灣石油地質第二號，241-252頁。
- 塗明寬、陳文政(1990):五萬分之一臺灣地質圖說明書，圖幅第七號—中壢，中央地質調查所，第23-37頁。
- 經濟部中央地調所(1994):新竹縣新埔鎮湖口台地南緣崩塌調查與整治方案規劃計畫，第24~27頁。
- 藤原明敏(1979):地滑之解析與防止對策，理工圖書株式會社
- Audibert and Nyman(1977):Soil Restraint Against Horizontal Motion of Pipes, Journal of The Geotechnical Engineering Division, pp. 1119~1142
- Balvant Rajani(1995):Field Performance of PVC Water Mains Buried in Different Backfills ; Advances in Underground Pipeline Engineering, Second International Conference ; pp. 138~149.
- Michal Bukovansky et al.(1985):Maintaining a Natural Gas Pipeline in Active Landslides ; Advances in Underground Pipeline Engineering:Proceeding of International Conference ; pp. 438~448.

- Roger Beielor et al.(1995):Landslides , Liquefaction , and Artesians –Pipeline Crossing of The Snoqualmie Valley ; Advances in Underground Pipeline Engineering , Second Inetrnational Conference ; pp.183~193
- Singh and Mitchell(1969):Creep Potential and Creep Rupture of soils , Proc. 7th Int. Conf. On Soil Mech. And Found.Eng'g, Mexico City , Vol. 1, pp. 379-384.
- Saito, M. (1979):Forcasting Time of Slope Failure by Tertiary Creep, Proc. 7th Int. Conf. On Soil Mech. And Found.Eng'g, Mexico City , Vol. 1, pp. 677-683.
- Venzi , S. , Mallardi , P.(1985):Control of Pipelines Subjected to Landslides. 15th World GasConference, June 14-18, 1982, Lausanne , Switzerland.
- Vyalov , Maslov and Karaulova(1977):Laws of Soil Creep and Long-term Strength, roc. 9th Int. Conf. On Soil Mech. And Found. Eng'g, Tokyo , Vol. 1, pp. 337-340.

附錄一、地球物理震波探測工作報告

第一節 前言

為了解湖口台地地層變動監測研究區之地下地層剖面，選擇以地球物理之折射震測及反射震測方法進行調查，調查工作期間為民國 88.5.27~88.6.2，以下為探測之成果報告。

第二章 折射震測

2.1 折射震測原理

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

茲以基本模型來探討由時距曲線計算地層構造之原理，如圖 2.1 所示，設 A、B 為炸點，R 為受波點， θ 為臨界角，而於 A、B、R 各點距 V_2 層之垂距為 Z_A 、 Z_B 、 Z_R ，利用延遲時間法 (Delay time method) 可求出地層的速度、深度及地層變化的形狀。假設由 A 點產生震波至 R 點接收之走時為 T_{AR} ，由 B 點產生震波至 R 點之走時為 T_{BR} ，而由 A 點產生震波至 B 點接收之，走時為 T_{AB} ；此三值可以下式表示之：

$$T_{AR} = \frac{Z_A \cos \theta}{V_1} + \frac{Z_R \cos \theta}{V_1} + \frac{1}{V_2} \int_A^R \frac{dx}{\cos \alpha}$$

$$T_{BR} = \frac{Z_B \cos \theta}{V_1} + \frac{Z_R \cos \theta}{V_1} + \frac{1}{V_2} \int_B^R \frac{dx}{\cos \alpha}$$

$$T_{AB} = \frac{Z_A \cos \theta}{V_1} + \frac{Z_B \cos \theta}{V_1} + \frac{1}{V_2} \int_A^B \frac{dx}{\cos \alpha}$$

其中 α 為地層變化之傾角

假設： $Y = T_{AR} + T_{BR} - T_{AB}$ ，則 $Y = 2 \frac{Z_R \cos \theta}{V_1}$

$$Z_R = \frac{V_1 Y}{2 \cos \theta}$$

又假設： $T_{AR'} = T_{AR} - \frac{Y}{2}$ ， $T_{BR'} = T_{BR} - \frac{Y}{2}$

$$\text{則 } T_{AR'} = \frac{Z_A \cos \theta}{V_1} + \frac{1}{V_2} \int_A^R \frac{dx}{\cos \alpha}$$

$$\text{則 } T_{BR'} = \frac{Z_B \cos \theta}{V_1} + \frac{1}{V_2} \int_B^R \frac{dx}{\cos \alpha}$$

除地層變化非常劇烈外，通常 $\cos \alpha \approx 1$ ，則上式為：

$$T_{AR'} = \frac{Z_A \cos \theta}{V_1} + \frac{X}{V_2}$$

$$T_{BR'} = \frac{Z_B \cos \theta}{V_1} + \frac{AB - X}{V_2}$$

其中 X 為 A 點至 R 點的水平距離， AB 為 A 點至 B 點之水平距離

由上式可知 $T_{AR'}$ 與 $T_{BR'}$ 之斜率為 $\frac{1}{V_2}$ ，因此由速度走時曲線上可求出

V_2 值，而每一測點 R 之第二層深度為 $Z_R = \frac{V_1(T_{AR} - T_{AR'})}{\cos \theta}$ ，由此可

求出第二層層面連續的剖面。

折射震測法之應用於破碎帶及斷層之探測為工程地質調查中最有效的方法。

2.2 震測儀簡介

本工程地球物理震波探測使用之震測儀為日本 OYO 公司最新發展之 McSeis170f 系統之 24 頻道折射震測儀；此系統包括放大器、震

波疊加記憶器、震波顯示器、受波器等部份。茲簡述於下：

(1) McSeis170f 震測儀

為 24 波道放大器，每放大單元之最大放大倍率為 90dB，頻率響應在 5HZ 至 200HZ 間，同時含有低通濾波器，濾掉 70HZ 以上之高頻波，及鎖定濾波器以濾掉 60HZ 之干擾信號。能處理 24 波道之震波信號，每波道之記憶容量為 1024 字元，疊加器內含有之微電腦能處理震波取樣速度及激發，延遲時間及震波時間刻度放大，震波走時等特殊處理，震波取樣速率可由 $25 \mu \text{ sec/sample}$ 至 $5000 \mu \text{ sec/sample}$ 間數段選擇，延遲時間可由 0 至 990msec 間任意選擇。

5.5 英吋之螢光幕能隨時顯示震波疊加記憶器內各波道所記憶之波形，另外有波形印表機，能印出震波疊加記憶器所記憶之各波道之波形，記錄紙為熱感式。其內之磁碟機能以 3.5 英吋之磁片儲存震波資料，以為震波資料處理用，而其內之微電腦則專司震波資料之處理儲存，另外有界面電路以與外界電腦連接，以便使外界電腦能直接取用磁片內震波資料而加以處理。

(2) 受波器

為日本 OYO 公司於美國製造之 McSeis-111 型自然震動頻率為 28 HZ 之速度受波器，其靈敏度為 0.285 Volts/kine，若受波器安置垂直偏斜 15 度時，其頻率偏差亦不大於 0.5HZ，因此野外安置方便且可對較低頻之 折射波產生較高之反應。

2.3 測線佈置

此次竹北義民廟崩塌地震波探測工作共設置一條測線，L- 1 (110m)受波器測點間距為 5 公尺，測線總長度為 150 公尺，震波探測

時係以鎚擊方式產生震源，每條測線各設置數個鎚擊點，於測線設置數個鎚擊點之目地是希望能夠詳細準確的測出淺層地層構造，免得深層構造的解釋因淺層局部構造複雜的影響而產生誤差，又可由不同距離的鎚擊點震波資料相互驗證而求出正確地層構造。

2.4 震測結果解釋

將每一震測測線測得之震波記錄，研讀在不同鎚擊點之情下各測點之初達波走時，繪製成時距曲線，經延遲時間法處理計算，求出此測線之速度時距曲線，由速度時距曲線可研判出各不同速度層之界線及低速度帶之界線位置，同時計算出各速度層之厚度及速度，並推估出各速度層可能對應之岩性。茲將此測線之速度層剖面結果敘述如下：

(一) L-1 測線速度層剖面如圖 2.2 所示，統計表如表 2.1 所示，可分為三速度層

第一層為疏鬆崩積層：厚度介於 2.5 ~ 6 公尺間，震波速度在 0.37 ~ 0.42km/sec 間。

第二層為崩積層：厚度介於 1 ~ 10 公尺間，震波速度在 0.61 ~ 0.88km/sec 間。

第三層為泥岩或礫岩層：震波速度在 1.58 ~ 1.88km/sec 間。

第三章 反射震測

3.1 反射震測原理

反射震測之原理是在地表以一人工震源產生震波信號，進入地下後，在聲波阻抗(Acoustic Impedance)不連續面（通常為地層界面）產生反射，將信號「彈」回地表，經地表預先設置之受波器收錄。主要反射震測配置原理如圖3.1 所示。設震源發震時間（trigger time）為零，則震波由地下來回之歷時即可記錄下來，這些記錄經電腦分析後，可用來描繪地下地層構造。

一般工程用的反射震測法施測時，震源可為錘擊式（如鐵鎚、自由落體、振盪器等）或炸藥，受波器則有24個，也就是一次引炸，收錄24條描線，當畫在一起即為一炸點剖面。這24個受波器展列在一直線上（即測線上），施測前，可沿測線上以等間距安排測點並給予編號。震源與第一個受波器之距離（即近支距, near offset）可為10公尺至40公尺不等。一般典型炸點剖面上可看出記錄中含有數種雜波，一為空氣波，即震波沿空氣直接傳過來的波動，速度在350 公尺/秒左右；另一為地面波，又叫做地滾(ground roll)，這是震波陷在近地表地層（如沖積層）內，經多次反射形成共振而造成。另一為背景雜波。

3.2 CDP 重合原理

為了加強反射信號，除了同一炸點引炸多次以加強炸點剖面之能量外，也採取了沿著測線連續炸的方式，來收集大量的資料，如圖3.2 所示，當炸點位置在LOC#101時，受波器佈在LOC#121 到144之間，而下一次引炸時，炸點往前移到LOC#102之位置，受波器也移到位

置LOC#122到145之間，如此逐次前進，可得到一連串之炸點剖面。若有一反射點在測點編號LOC#117位置之下（如圖3.3），於炸測記錄中會有12條記錄（如炸點在 LOC#103，受波器在 LOC#131，……）都反映出LOC#117之下反射點的資料，此反射點即為共同深度點(common depth point, CDP)，而這12條記錄即屬於此CDP 點之記錄，收在一起即成一CDP 聚排(gather)。其中反射信號於CDP 聚排成雙曲線分佈型態。CDP是近代反射震測法最主要的觀念，如上例即為12重合，另外CDP 可以不同的角度，看同一反射點，因此可以把反射層看得更清楚，更能分別信號與雜波，而提高剖面的可信度。這種多重資料（即多重重合，multiple coverage）是反射震測成功的基本。

屬於同一CDP 的描線，其震波雖然在垂直方向上走時相同（同一深度點），但在側向上，因炸點與受波器支距(offset)不同，故走時也有差異，但也因為在一CDP 聚排內之信號經過之側向距離不同，走時亦不同，也因此提供震波在地層內傳波速度之資料，如利用此速度即可將側向走時修正掉（垂直隔距時差修正，NMO）；CDP 聚排中之條描線全都代表垂直走時，將其疊加起來，於反射信號部份因此被放大加強。至於雜波部分則因不同相位相加而減弱，這種疊加（重合，stack）的處理，是CDP 法的原理。

CDP 重合後之描線代表震波垂直地層來回之信號，將連續的CDP 點描線劃出來，即構成一張震測剖面，此剖面代表地下地層之構造情形，當配合其他資料（如鑽井及地質資料），即可對地下構造做完整的解釋。

3.3 震測儀簡介

本工程地球物理震波探測使用之震測儀為日本OYO 公司最新發展之McSeis 170f 系統之24頻道折射震測儀；此系統包括放大器、震波疊加記憶器、震波顯示器、受波器、發爆器等部份。茲簡述於下：
McSeis 170f 震測儀

為24波道放大器，每放大單元之最大放大倍率為90dB，頻率響應在5HZ至200HZ間，同時含有低通濾波器，濾掉70HZ以上之高頻波，及鎖定濾波器以濾掉60HZ之干擾信號。

能處理24波道之震波信號，每波道之記憶容量為2048字元，疊加器內含有之微電腦能處理震波取樣速度及激發，延遲時間及震波時間刻度放大，震波走時等特殊處理，震波取樣速率可由 $25 \mu \text{sec}/\text{sample}$ 至 $5000 \mu \text{sec}/\text{sample}$ 間數段選擇，延遲時間可由0至990msec間任意選擇。

5.5 吋之螢光幕能隨時顯示震波疊加記憶器內各波道所記憶之波形。另外有波形印表機，能印出震波疊加記憶器所記憶之各波道之波形，記錄紙為熱感式。

其內之磁碟機能以3.5 吋之磁片儲存震波資料，以為震波資料處理用，而其內之微電腦則專司震波資料之處理儲存。另外有界面電路以與外界電腦連接，以便使外界電腦能直接取用磁片內震波資料而加以處理。

受波器

為日本OYO 公司於美國製造之McSeis-111型自然震動頻率為28HZ及100 HZ之速度受波器，其靈敏度為0.285 Volts/kine。若受波器安置垂直偏斜15度時，其頻率偏差亦不大於0.5HZ，因此野外安置方便且可對較低頻之折射及反射波產生較高之反應。

3.4 測線佈置

本竹北義民廟崩塌地共佈置一條反射震測測線即R-1測線長150公尺，測點間距2公尺，CDP 間距1公尺，測線總長150公尺。

3.5 反射震測結果解釋

R-1測線：震波重合剖面圖如圖3.4 所示，橫座標為水平距離，左側縱座標為震波雙程走時，右側縱座標為參考深度。由震波重合剖面圖知大致於測樁20公尺處附近有一地層不連續界面存在，大致成凹弧狀，此界面以上震波信號模糊不規則，應為以崩積層為主之地層，而其下地層震波信號清晰，應為以未受擾動之砂泥岩或礫岩為主之地層構造。

表2.1 L-1測線震測結果震波速度層統計表

速度層次	推測地層	震波速度 (km/sec)	地層厚度 (m)	備註
第一層	疏鬆崩積層	0.37 ~ 0.42	2.5 ~ 6	
第二層	崩積層	0.61 ~ 0.88	1 ~ 10	
第三層	泥岩或礫岩	1.58 ~ 1.88		

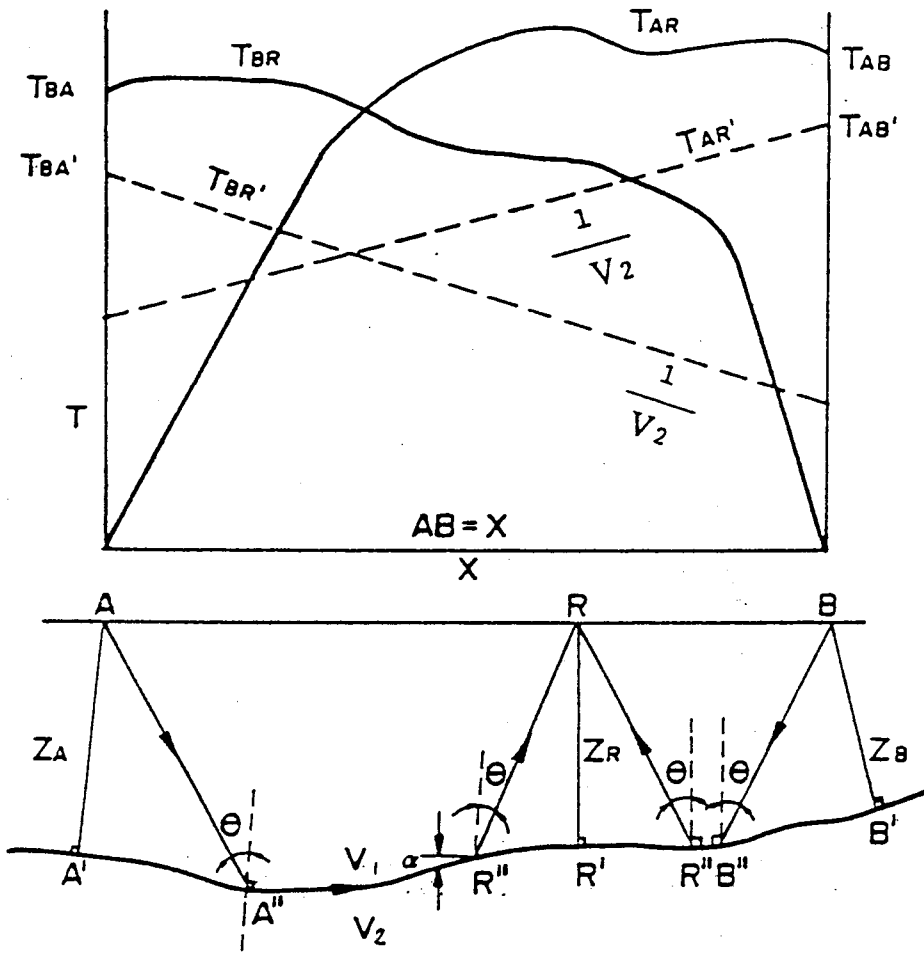


圖 2.1 折射震測原理圖

L-1

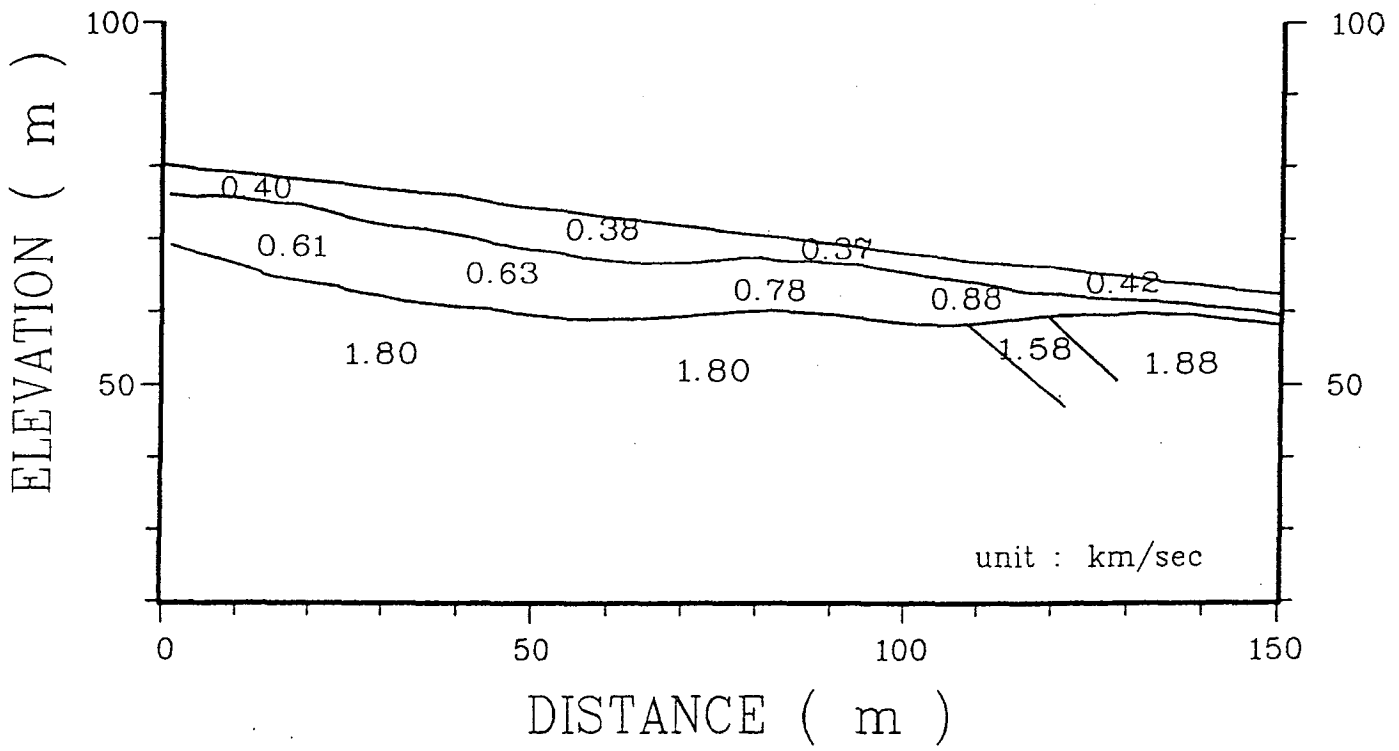


圖 2.3 L-1 測線震測結果速度層剖面圖

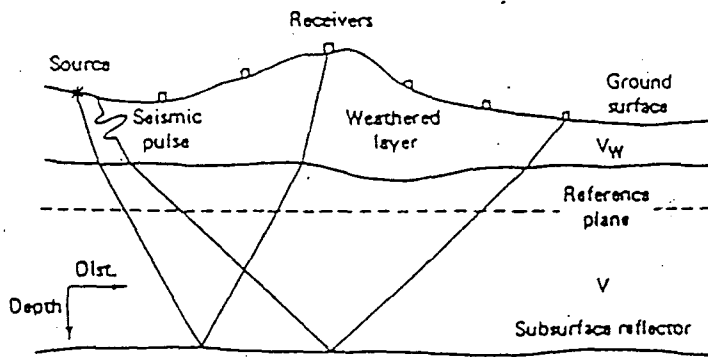
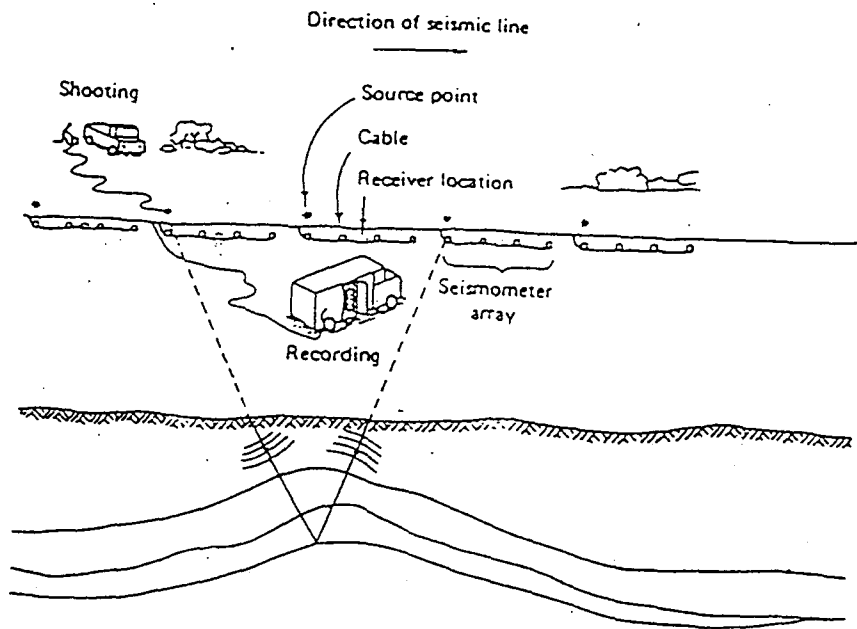


圖 3.1 反射震測配置原理圖

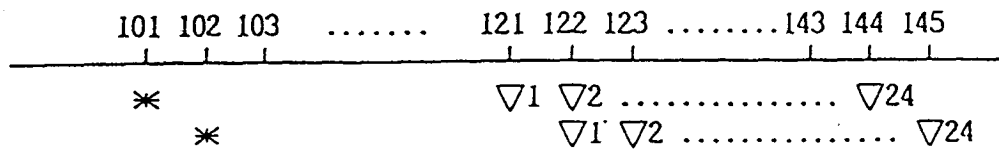


圖 3.2 CDP 炸測法之施測方式

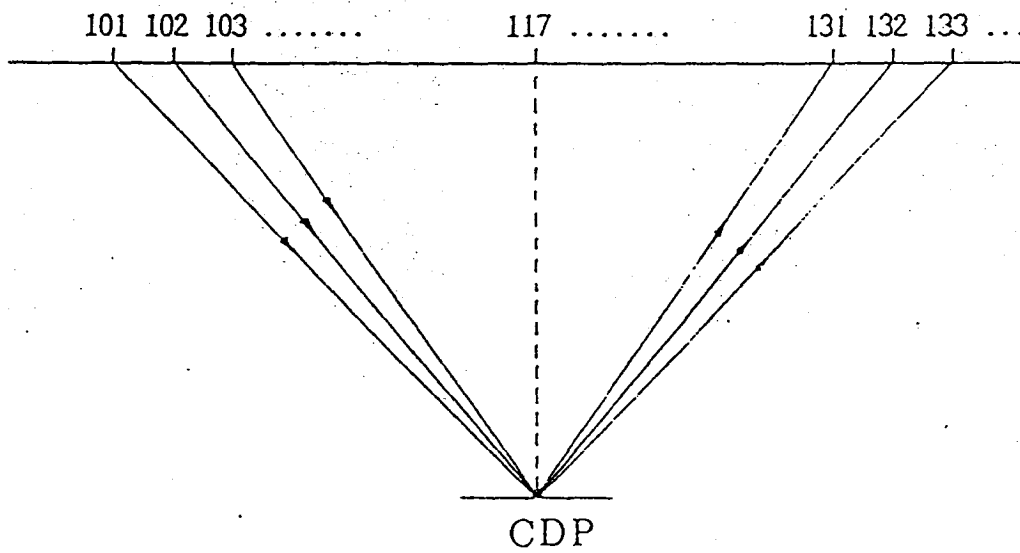


圖 3.3 CDP 點之觀念

R1

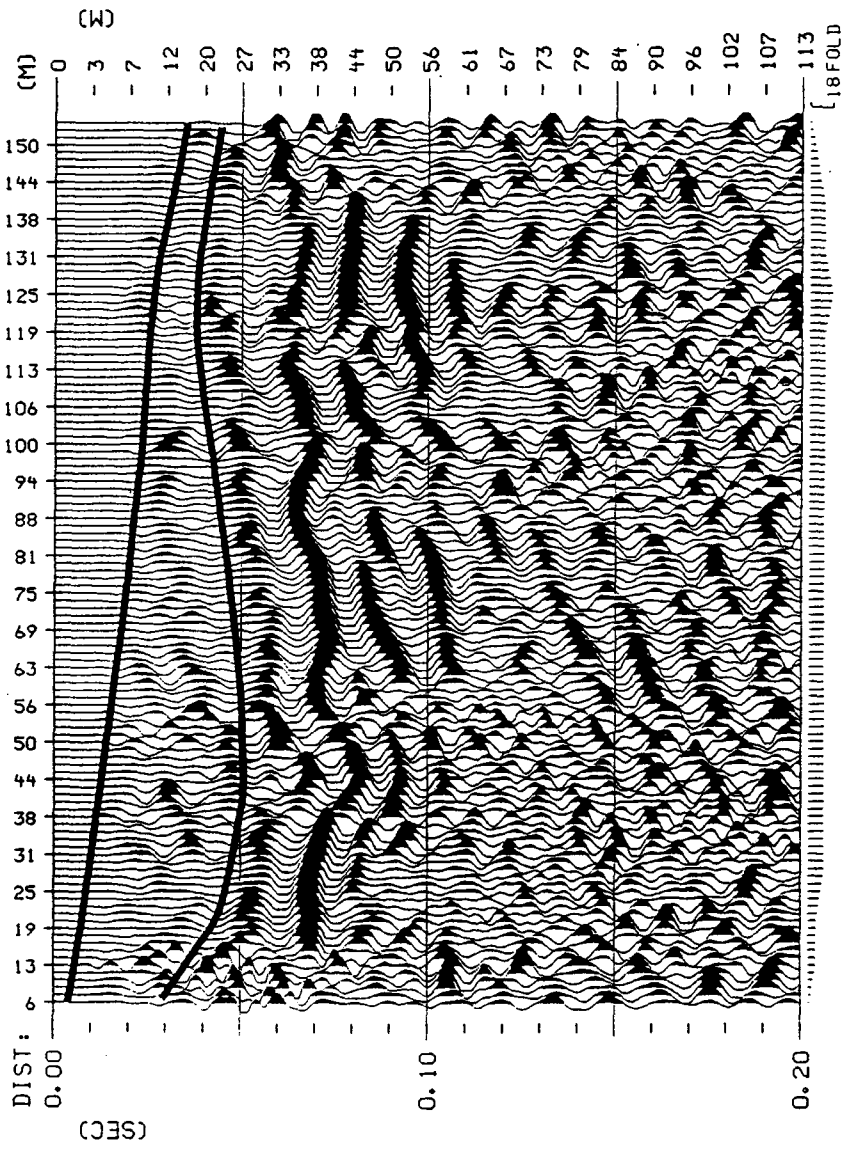


圖 3.4 R-1 測線反射震測震波重合剖面圖