

山坡地社區開發監測之探討

廖瑞堂、張志彰

青山工程顧問有限公司

壹、前言

所謂的監測系統係指「採用精密的科學儀器對於無法掌握或可能變化較大的現象或行為加以觀測，並將觀測結果研判分析，如有異常徵兆則提出警告，以防患災害於未然」，此系統即稱為「監測系統」。

監測系統的種類及相關運用甚多，包括地震及颱風之氣象監測、住宅防火防盜之保全監測、空氣及水質之環境監測等均是監測系統之運用。

然而在不同運用領域的監測，其採用的監測儀器種類即不相同，不同領域的儀器製造商根據其監測標的物特性的不同，發展出各種不同的監測儀器或感應器(Sensor)，例如建築物防火的監測系統，就有不同型式的感應器，有的利用溫度變化，有的利用濃煙的濃度變化加以感應，再發佈火災警報訊息。

相同的道理，地下工程由於存在諸多的不確定因素，如平地之深開挖、都市軟弱土層潛盾隧道之開挖、山岳隧道之開挖及崩塌地整治，已有甚多利用大地工程監測系統成功運用案例，但對於山坡地社區之運用則較不普遍，自從民國八十六年八月汐止林肯大郡社區發生嚴重的災變後，山坡地社區設置大地工程監測系統的呼籲始受到各方的重視，且朝著正面發展的方向前進，但由於處於起步階段，目前仍有甚多問題有待討論解決。本文編撰的主要架構係參考內政部營建署編撰之「山坡地社區開發安全監測手冊」[1]，並就其中較具爭議且關鍵問題提出個人之看法，希望拋磚引玉，引起各界的迴響，盼台灣諸多的山坡地社區之安全，因監測計畫之落實及實施，能獲得更大的保障。

貳、坡地社區災害類型及原因探討

山坡地社區開發常見的災害大致可分為以下五大類[2]：

一、邊坡塌滑災害

社區所在之地層，如有不穩定現象，不論建築物採用何種型式之基礎，均無法確保其安全，邊坡產生塌滑的原因甚多，可分為自然條件及人為因素兩項分別說明：

(一)自然條件部份

1. 岩層位態或岩性處於不利的狀況，而產生各種可能破壞模式，包括平面破壞、楔型破壞、圓弧型破壞、翻倒破壞或潛變破壞等破壞模式(詳照片-1~照片-3)。
2. 地下水豐富，造成地層強度降低及下滑力增加(詳照片-4)。

(二)人為因素部份

1. 擋土護坡設計不當產生的擋土護坡破壞：包括鋼筋量不足、斷面太小、抗滑力不足等因素均屬之(詳照片-5)。
2. 滑動規模判斷不當，將深層滑動視為淺層滑動。
3. 施工不良：包括材料品質之瑕疵、地錨抗拉力不足等。
4. 不當的管理及使用：邊坡附近違規使用，造成額外下滑推力或阻礙原有排水系統。

二、土石流災害：部份社區在土石流發生區域之下游，則有土石流災害之危險(詳照片-6)。

三、地層下陷或淘空：地層下陷或淘空的原因包括：高填土之自然沉陷、地表下方有礦坑或孔洞之塌陷或地表下方排水涵管滲漏，引發之淘空沉陷(詳照片-7)。

四、缺乏完整的地表及地下排水措施，或排水斷面不足造成地表逕流四處漫流，引發邊坡之不穩定。

五、建築物兼做擋土設施：建築物原則上不宜做為擋土設施之用，山坡地住宅當有地形高差時，應另構築擋土牆承受側向之土壓力及水壓力，使建築物之結構行為單純化，但台灣坡地社區部份建築物基於經濟性及用地考量，常利用建築物兼做擋土設施，使建築物在地震時或豪雨時承受之風險增加，另外根據建築技術規則第十三章(山坡地建築專章)之規定，建築物與後方擋土牆間需保留



照片-3(a) 社區整體地層潛變破壞，電線桿呈傾斜現象



照片-3(b) 因潛變破壞建築物室內呈嚴重龜裂



照片-1 邊坡順向坡平面破壞



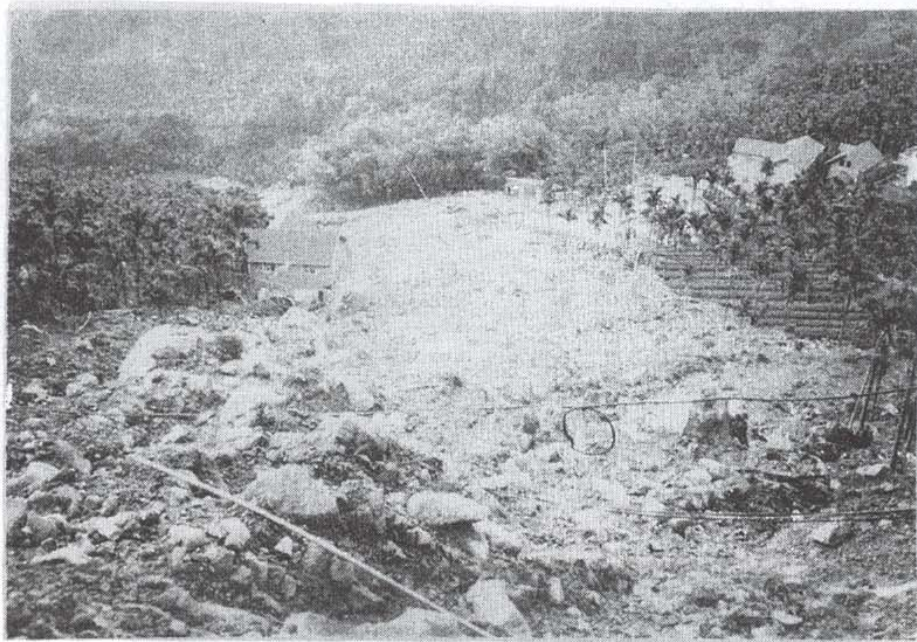
照片-2 邊坡楔型破壞



照片-4 邊坡地水豐富造成邊坡下滑



片-5 波高甚高採重力式擋土牆斷面明顯不足



照片-6 民國 85 年賀伯颱風產生之土石流



照片-7 地下排水涵管滲漏，引發地盤坍塌

退縮距離，當採用建築兼做擋土牆時，則可同時解決退縮距離的問題，在此條文之規定下，勢必會增加採用建築物兼做擋土牆之誘因，值得特別注意檢討，照片-8 係建築物兼做擋土牆在豪雨時及地震時破壞之情況。

參、坡地社區監測目的及監測項目

一、監測目的

監測標的物就如上述所提，係針對一無法掌握或可能變化較大的現象或行為，對於坡地社區而言，由於開發時常有大規模之整地作業(包括挖方及填方工作)，故原有地質條件及地下水條件均受大幅度之改變，破壞了自然原有的平衡條件，故在適當地點設置若干擋土護坡加以擋土，但由於地質條件及地下水狀況有時會隨時間而變化，常存在許多未確定因素，故需藉助監測系統來瞭解其地層穩定性及地下水變化。

一般大地監測的目的包括：

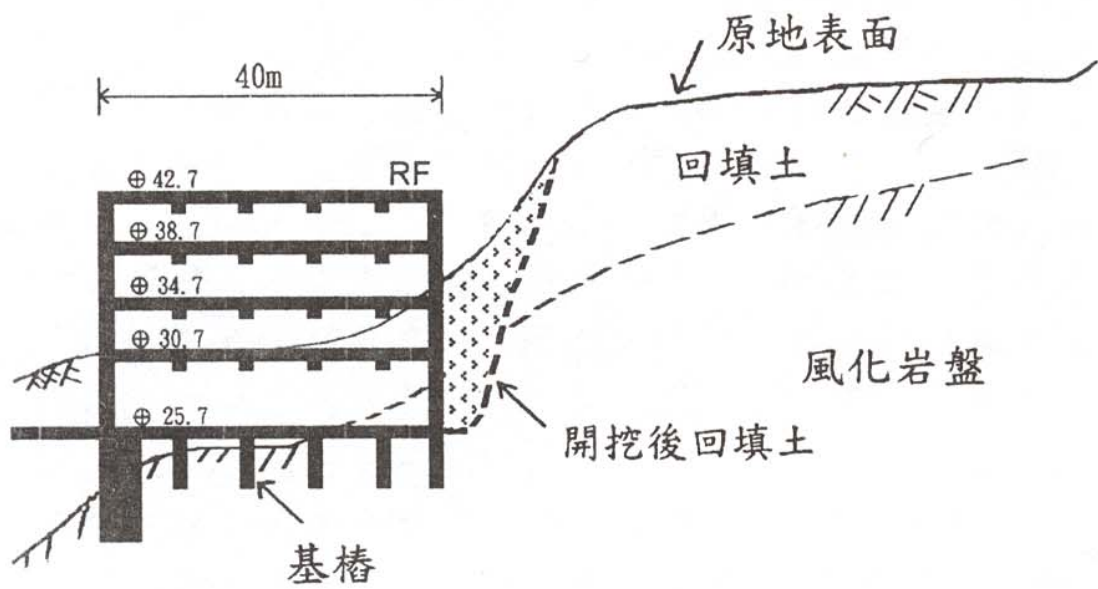
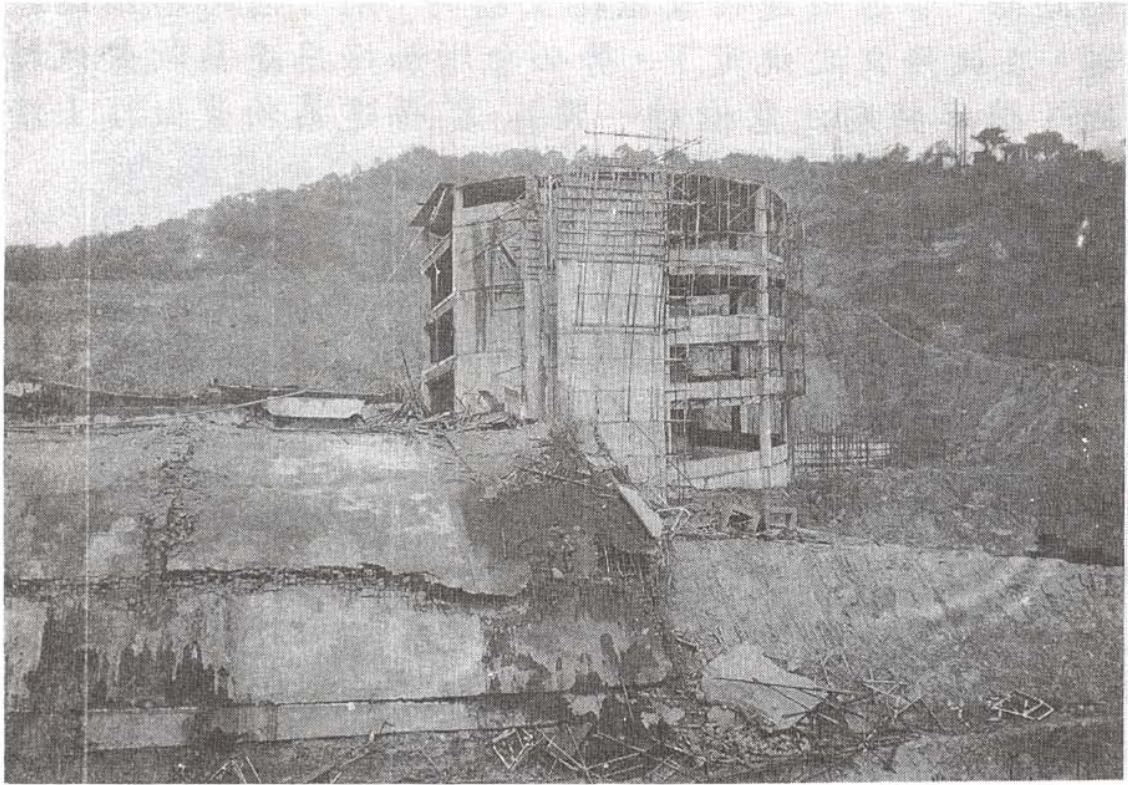
1. 施工前的監測—取得設計所需參數或條件(包括地下水分佈、滑動潛能之調查)。
2. 施工中的監測—確保施工中的安全。
3. 完工後的監測—長期穩定性的確認。
4. 災害發生後的監測—提供緊急搶救行動之參考或責任歸屬之研判。

就坡地社區開發而言，監測的主要目的乃著重於施工中安全之掌握及長期管理維護階段安全之確認；由於坡地各種可能破壞發生前，常有若干的徵兆[3]，但該徵兆由目視往往不易發現，其微量的變化若經由儀器的觀測，可預先獲知，並根據觀測結果進行必要之補強或提出必要之預警。

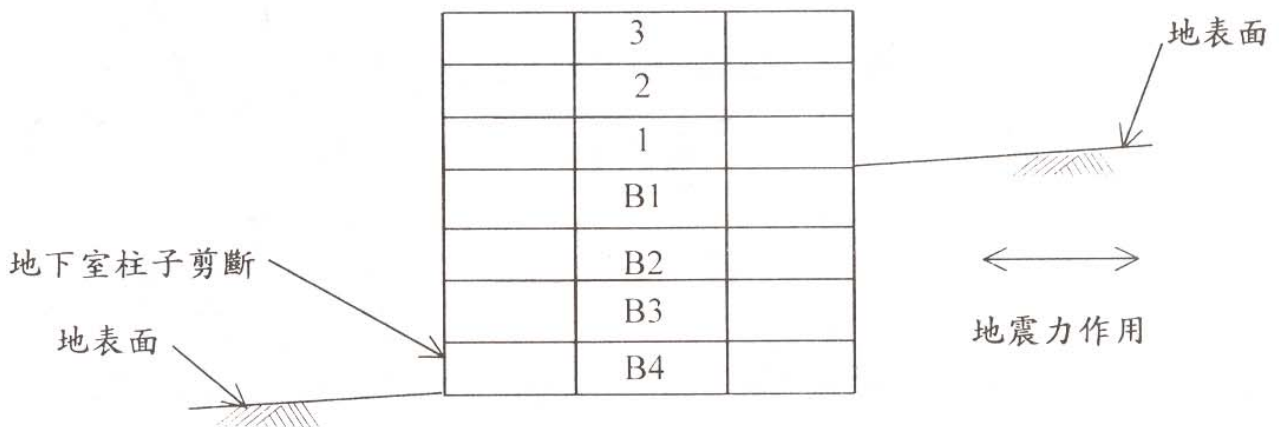
二、監測項目

為充份掌握山坡地社區之安全性常在坡地社區設置許多監測儀器，詳見圖-1 所示，其監測項可分為三大類：

1. 地層穩定性的監測：包括傾斜觀測管、地滑計等。
2. 水的監測：水壓計、流量計、雨量計、水位觀測井等。
3. 擋土構造物的監測：鋼筋計、土壓計、地錨荷重計、結構物傾度盤等。



照片-8(a) 以建築物當作擋土牆之破壞情形(豪雨時)



照片-8(b) 以建築物當作擋土牆之破壞情形(地震時)

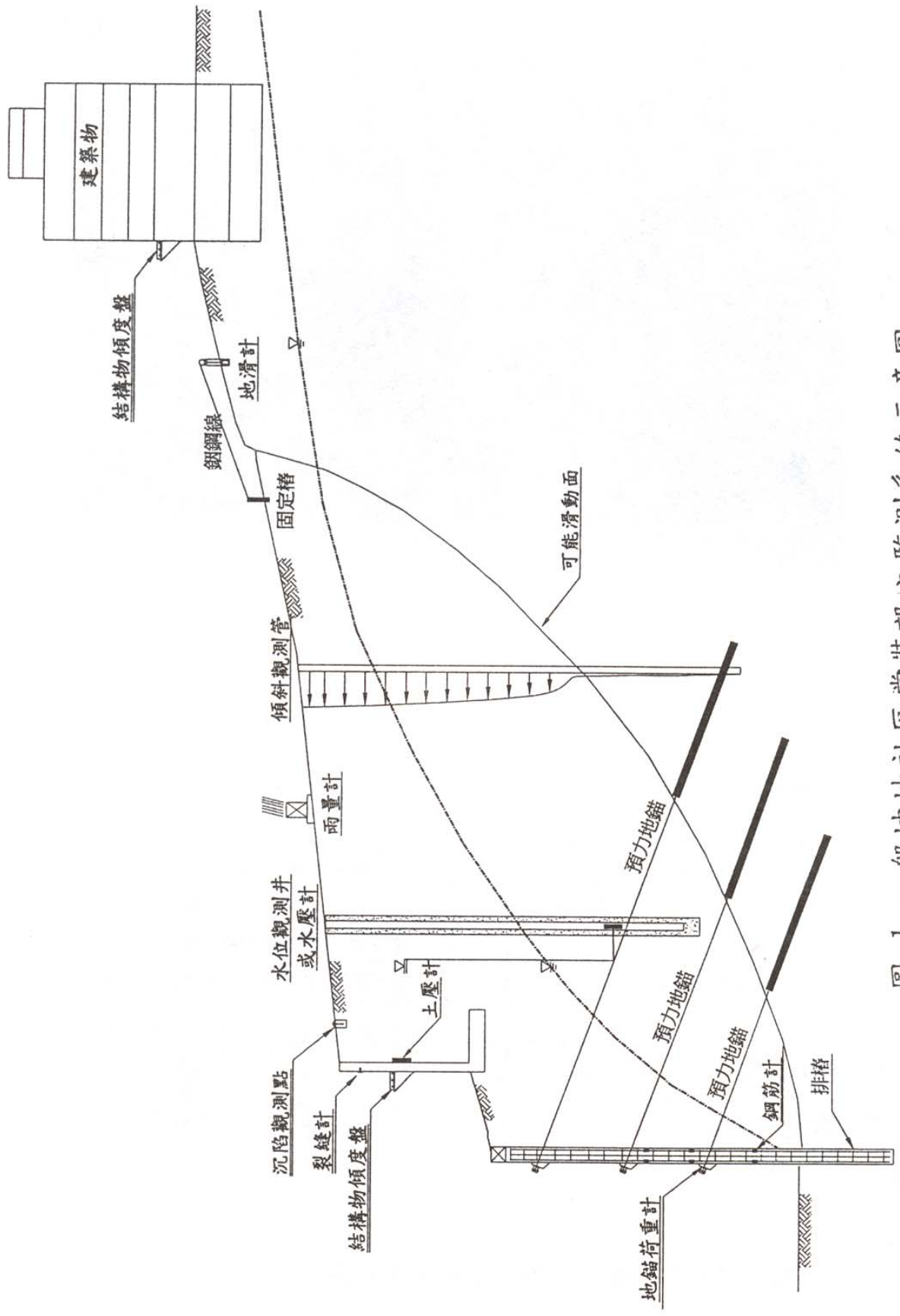


圖-1 一般坡地社區常裝設之監測系統示意圖

肆、監測計畫之執行步驟

完整的坡地監測計畫包括三階段，第一階段為計畫擬定階段，第二階段為實施及判讀階段，第三階段為預警防災階段。詳見表-1 所示。

表-1 坡地社區大地監測系統執行步驟

工作階段	計畫項目	考量要點
計畫 擬 定	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">監測目的</div>	<ul style="list-style-type: none"> ● 施工中安全性確保 ● 社區長期穩定性之確認
	↓	
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">監測項目</div>	<ul style="list-style-type: none"> ● 地層穩定之監測 ● 水之監測 ● 擋土構造物之監測
	↓	
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">預測基地之行為及風險性</div>	選擇最危險之斷面或位置
實施及 判讀	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">選擇適當監測儀器及設備</div>	儀器種類、規格要求、自動化程度
	↓	
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">監測系統配置圖</div>	儀器位置、數量及安裝方法
	↓	
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">儀器安裝及觀測</div>	觀測時機及頻率
預警防災	↓	
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">監測結果分析判讀</div>	資料之正確性及代表性
	↓	
預警防災	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">管理維護及預警系統建立</div>	<ul style="list-style-type: none"> ● 警戒值及行動值之擬定 ● 預警聯絡系統之建立 ● 異常確認及引導避難
	↓	

伍、大地監測計畫技術面考量要點

一、自動化量測或手動量測之取捨

一般山坡地社區開發之大地工程監測系統大都以手動監測為主，較少採用自動化監測系統，其主要原因乃是手動化監測之成本較自動監測為低且雜訊較少，故在一般社區大都採手動監測為主，但就安全要求標準較高之水壩工程，無論是土石壩或混凝土壩均設有自動化監測系統二十四小時監測整體壩體行為，故是否採用自動化或手動量測其主要之考慮因素包括：(1)風險程度 (2)安全要求標準 (3)成本效益等三項因素加以考量。

對於風險程度較高或安全要求標準較高之山坡地社區，一般會考慮採用自動化監測系統，其優點包括：(1)能有效掌握整體之變化趨勢，能提供快速有效之預警 (2)能提供二十四小時即時之監測 (3)有效消除人為誤差或溫度誤差，減少誤判之可能；但對於風險性較低之工程，如坡度較平且無任何目視不良徵兆之坡地社區，可考慮裝設手動監測系統即可。

二、觀測結果之判讀

觀測結果之判讀乃是整體監測計畫實施中最為重要也較具爭議的問題，其原因如下：

1. 各種觀測儀器之誤差不同，在判讀之前應先將儀器誤差之影響除去，而影響儀器的誤差因素甚多，包括儀器本身的精度、人為量測誤差、溫度誤差等因素[4]。
2. 地層及工程之特性不同，很難以單一標準做為管理之依據，例如在較堅硬之地層，導致破壞所需之應變較鬆軟之地層為小，故在不同地層條件狀況下，以簡單的單一標準，做為行動管理之依據，難免有顧此失彼之可能。
3. 施工單位或管理單位希望能有一明確標準來做為管理及防災預警系統之發佈的依據，故如何利用觀測結果，訂定管理標準值，乃是監測計畫中執行的重要課題，表-2 係參考日本地滑對策技術協會[5]、日本高速道路調查會[6]及台灣地區相關研究[2]彙整之建議表，並經若干案例之印證，大致合理，僅提供參考。至於各個坡地社區由於地質條件不同，管理值之訂定宜由設計單位訂定較為合理。

表-2 山坡地社區監測階管理值參考表 (修正自山坡地社區開發監測手冊, 1999)

觀測項目	需考量之因素	預警值	警戒值	行動值
地層移動	1. 位移量	2.0mm/月	2.0~10.0mm/月	>10.0mm/月
	2. 位移速率	(有一定位移傾向)	(有一定位移傾向)	(有一定位移傾向)
擋土牆傾斜量	容許傾斜量	30秒/月	30~60秒/月	>60秒/月
	設計地下水水位及水壓	設計水壓	—	—
地錨荷重	1. 設計拉力	設計拉力	設計拉力的1.2倍	鋼腱容許拉力
	2. 鋼鍵容許拉力	—	—	—
擋土牆鋼筋應力	1. 鋼筋降服應力	設計應力	容許應力	降伏應力
	2. 鋼筋容許應力	—	—	—
裂縫增量	容許裂縫寬度	1mm	—	—
地面沉陷	容許沉陷量	沉陷量不影響結構之使用性	—	—
	1. 容許沉陷及差異沉陷	不影響使用性	—	—
建物(鄰房)沉陷	2. 容許傾斜量	1/500	1/360	1/250

註：1. 不同之坡地依其特性訂定管理值，本表僅供參考。

2. 各觀測值必需已排除誤差及干擾因素後再用作判讀。

三、預警防災體系之建立

如發現部份儀器之觀測結果有異常情形時，應再綜合其他相關儀器進一步確認，是否有其他外力影響，還是確有異常行為，如經確認該異常數據已超出警戒值或行動值，則應採取必要之處置措施；一般而言，監測結果如已達到警戒值時(可視為黃燈)，則應採取必要之補強措施，並加強監測頻率，如果監測結果已達到行動值時(可視為紅燈)，則社區住戶應疏散避難。圖-2(a)及圖-2(b)分別為已完工及施工中之社區之預警防災系統建議示意圖。圖中說明各項監測結果應經由專業防災中心判讀後，再由政府單位發佈停工或疏散避難之警報，一方面可避免誤判，一方面經由政府防災單位方能強制居民做必要之避難。為達到「即時預警」防災之目的，監測系統必需選擇與安全有直接關係的若干監測項目加以自動化，並配合警報系統提出警訊，就坡地社區而言，可直接反應地盤或擋土設施穩定性的較佳儀器包括結構物傾斜儀(Tiltmeter)或地滑計(Surface Extensometer)等，至於水壓計、雨量計等觀測結果與安全性係為間接關係，大都做為整體穩定性研判之參考，若單純以雨量計或水壓計做為警報發佈之依據，則誤判之可能甚大。

陸、監測案例介紹

本文以民國 86 年 8 月 18 日曾發生重大坡地災害之汐止林肯大郡社區為例，說明監測系統在社區開發時之扮演角色及功能。

一、災變前狀況

該社區在災變前並未裝設任何監測系統，該邊坡從完工至破壞發生約 1 年半的時間，其實有充份的時間可以補強應變，其間更發生錨頭多處掉落之情形，錨頭掉落是目視的異常徵兆，由於該順向坡並未裝設任何監測系統，而忽略此一徵兆之嚴重性，如果該邊坡設置了傾斜觀測管或地錨裝設了地錨荷重計，相信一定可以清楚的反應邊坡之穩定情況，不致因誤判而導致此一重大傷亡事件。

二、災變後狀況

災變後台北縣政府為瞭解本社區是否仍有其他潛在問題，委託相關技師公會進行第二階段之評估鑑定工作，並由台北市大地工程技師公會負責地質調查及監測計畫之執行，以觀測地層之穩定性及地下水

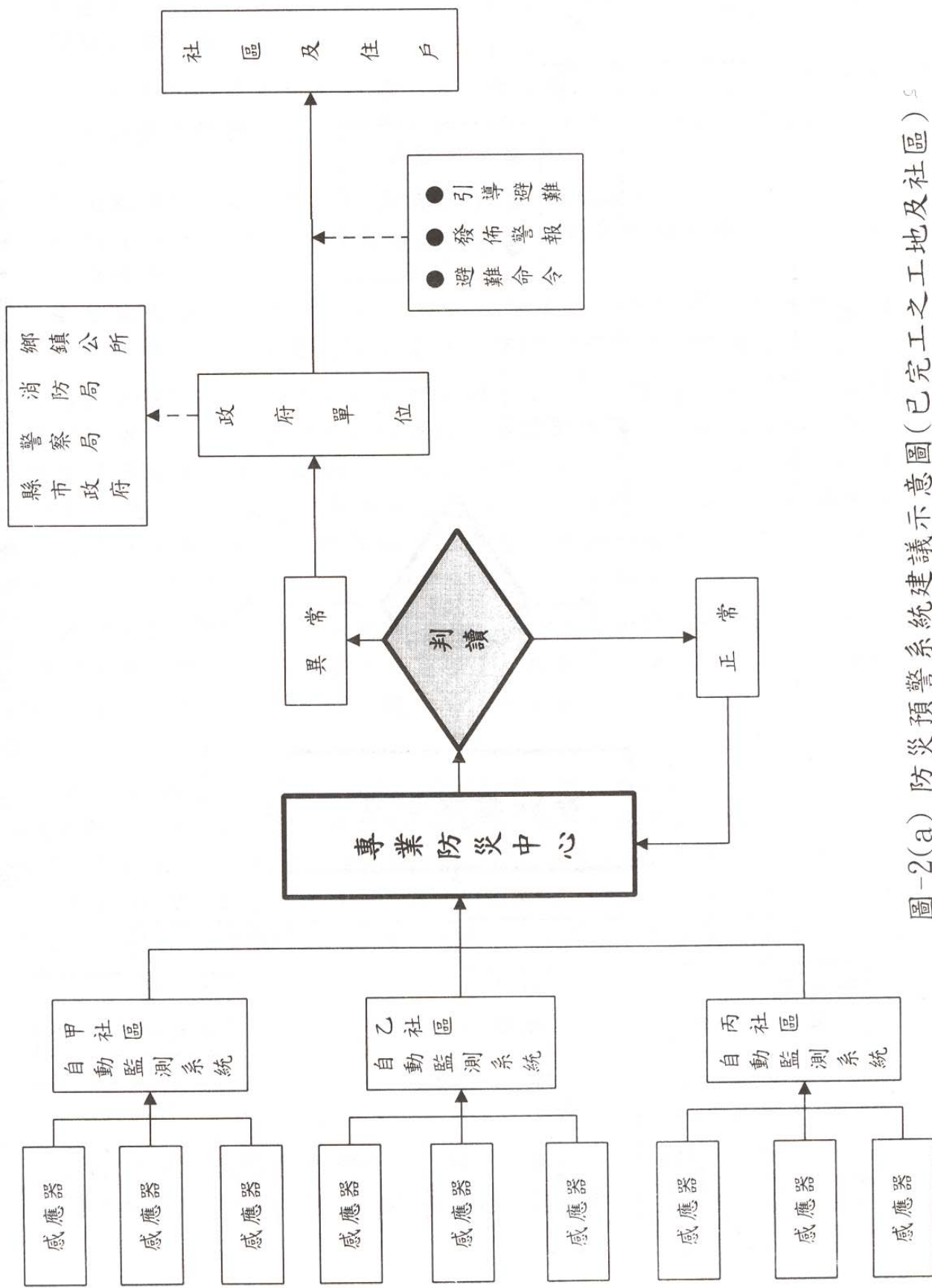


圖-2(a) 防災預警系統建議示意圖(已完工之工地及社區)

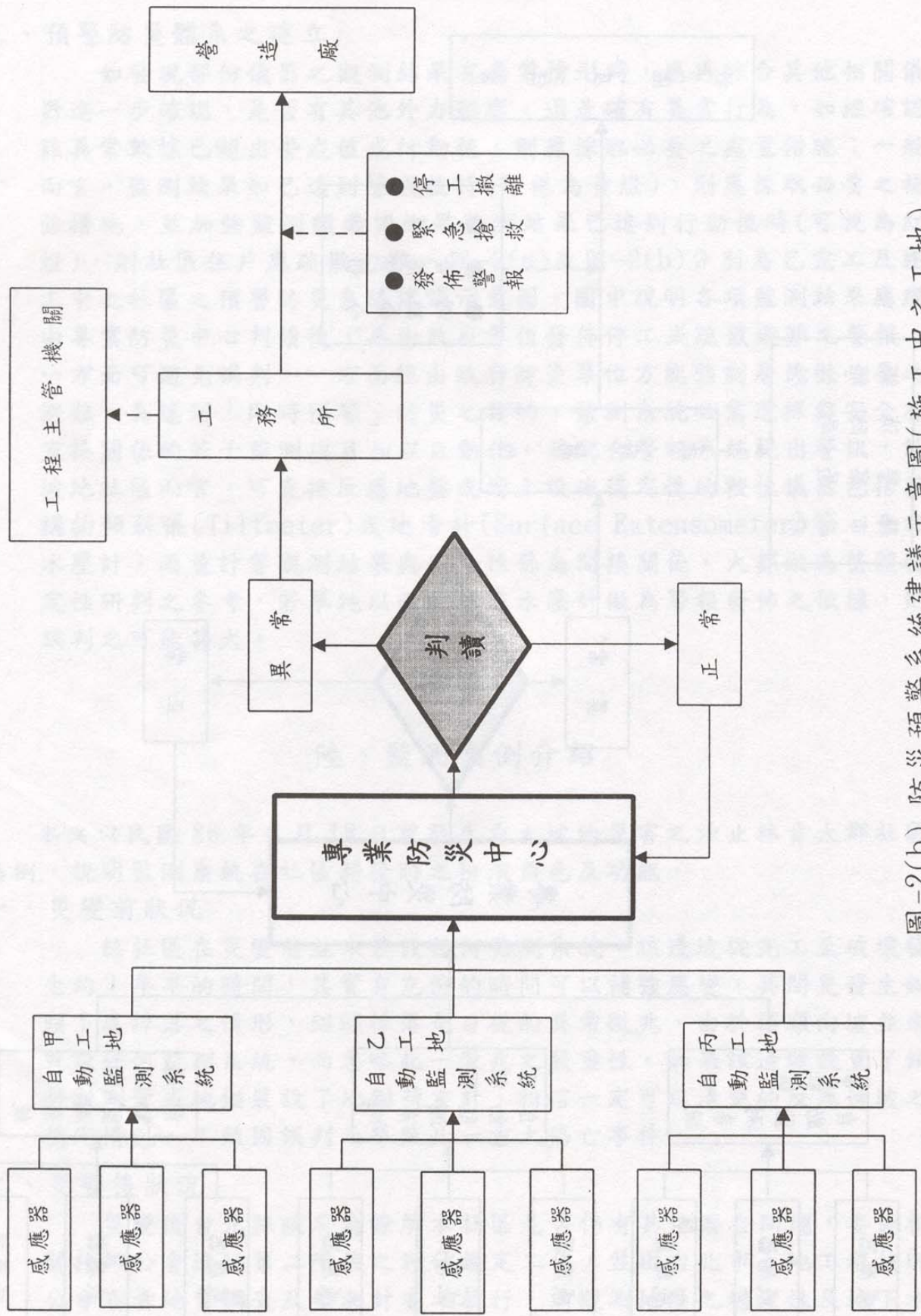


圖-2(b) 防災預警系統建議示意圖(施工中之工地)

位狀況，期盼社區之安全性能藉由監測系統有效的掌握，避免在整治補強前發生其他重大災害。

針對該社區之地層狀況，擋土牆之穩定現況，社區內佈設了甚多監測儀器，監測儀器佈設平面圖如圖-3 及圖-4 所示，其監測項目包括：

1. 地盤穩定性之監測—利用傾斜觀測管加以量測。
2. 擋土構造物穩定性之監測—利用結構物傾度盤及電子式傾斜儀加以量測。
3. 水的監測—利用開口式水壓計及電子式水壓計量測地下水位之變化，並於適當位置裝設雨量計，以瞭解地下水及雨量的關係。

自民國 86 年底至 88 年 6 月之觀測期間，以手動量測為主，監測頻率以每個月量測一次為原則，如遇豪雨或地震則視情況再增加觀測次數，由於監測儀器數量甚多，觀測一次現場約需 2~3 天，加上資料整理判讀時間約需 2 天，故完成一次監測即需要 4~5 天之時間，其所需時間太長，萬一有特殊之異常狀況，亦無法立即知悉，造成觀測若干盲點及安全性上漏洞。

圖-5~圖-7 係各種手動儀器之監測結果，由該觀測結果之趨勢可做為地盤穩定性之依據，但為強化預警防災之功能，於 88 年 6 月起該社區正朝建構完整自動化監測系統方向努力，希望能達到「即時」之預警防災功能。

圖-8 係為全自動化監測系統之監測結果，圖中可知雨量計測得之雨量與電子式水壓計測得之水位具有相當密切的關係，但並非絕對單純的正比的關係。圖-9 係以自動化電子式傾斜儀量測擋土牆傾斜之結果，921 集集大地震時該傾斜儀測得擋土牆瞬間傾斜變化之情況，其變化範圍約 90 秒(即 1 分 30 秒)，但地震後該擋土牆又回復至原來狀況，故藉由該傾斜儀之變化可充份掌握該擋土牆之穩定狀況。

柒、結論及建議

- 一、監測系統乃是確保坡地安全的重要一環，也是最後的一道保險，但周詳且完整的調查、設計及嚴謹的施工，每個環節均不可輕忽。

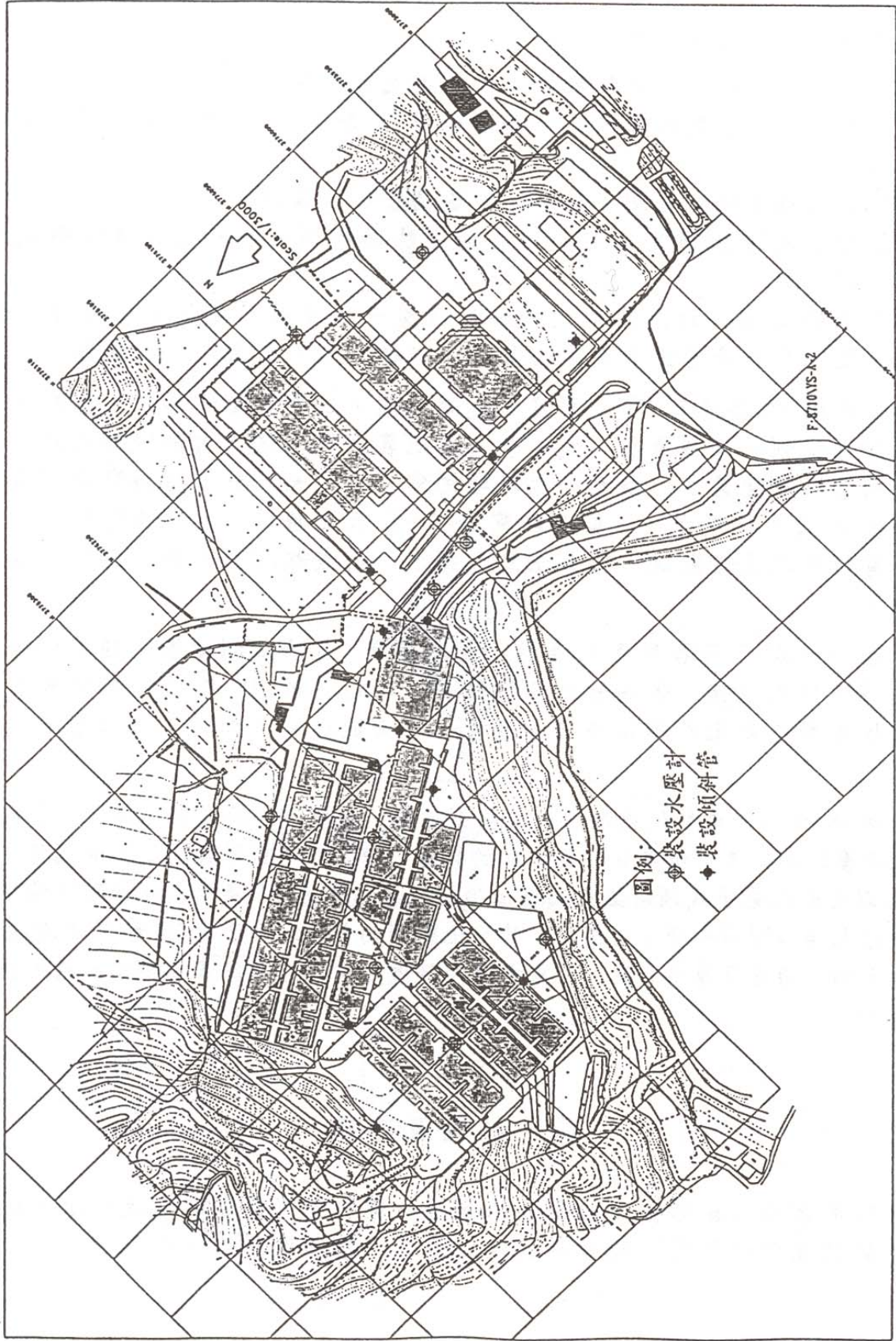


圖-3 林肯大郡傾斜管及水壓計平面配置圖

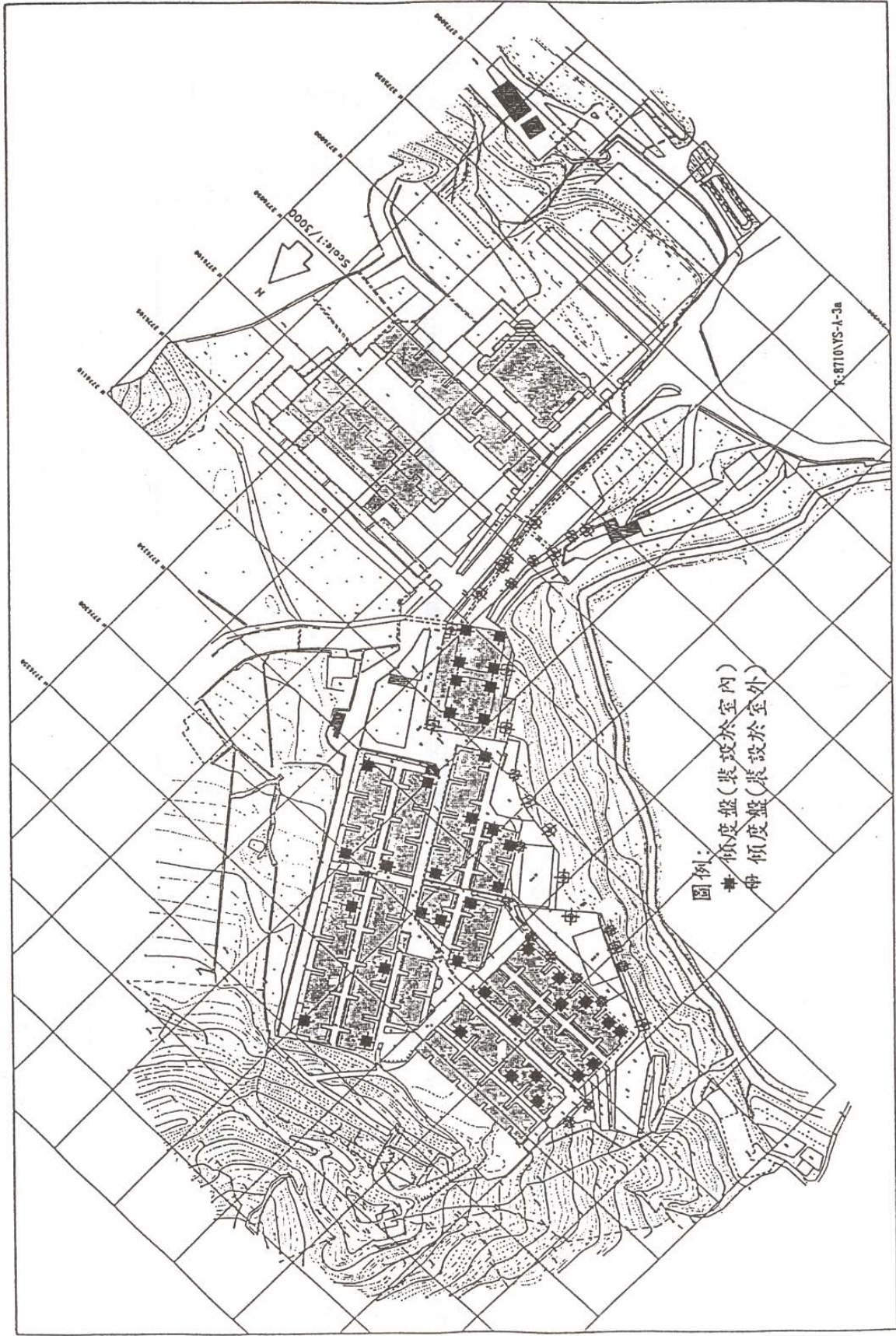


圖-4 林肯大郡傾度盤平面配置圖

B-1(A)

DISPLACEMENT(cm)

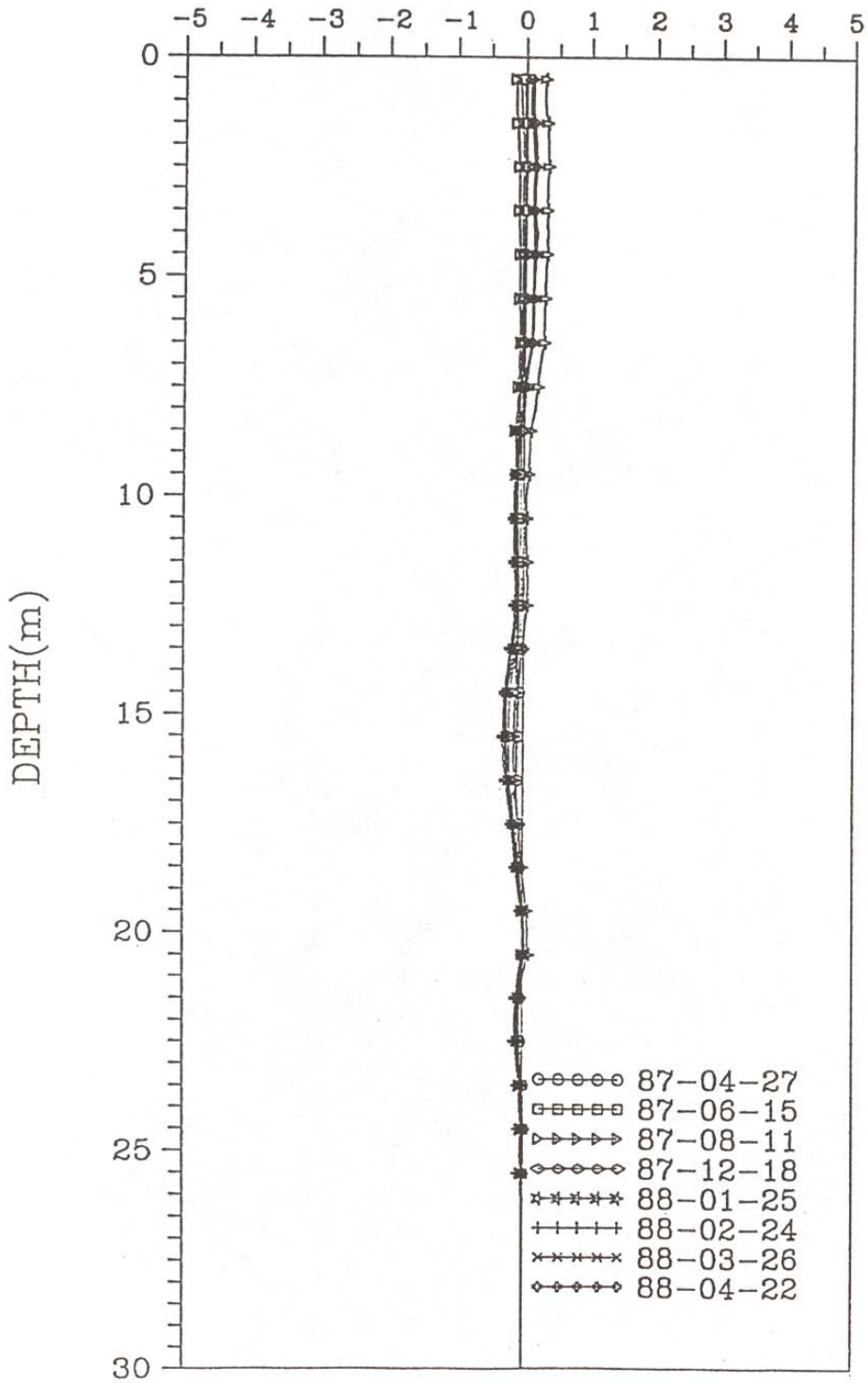
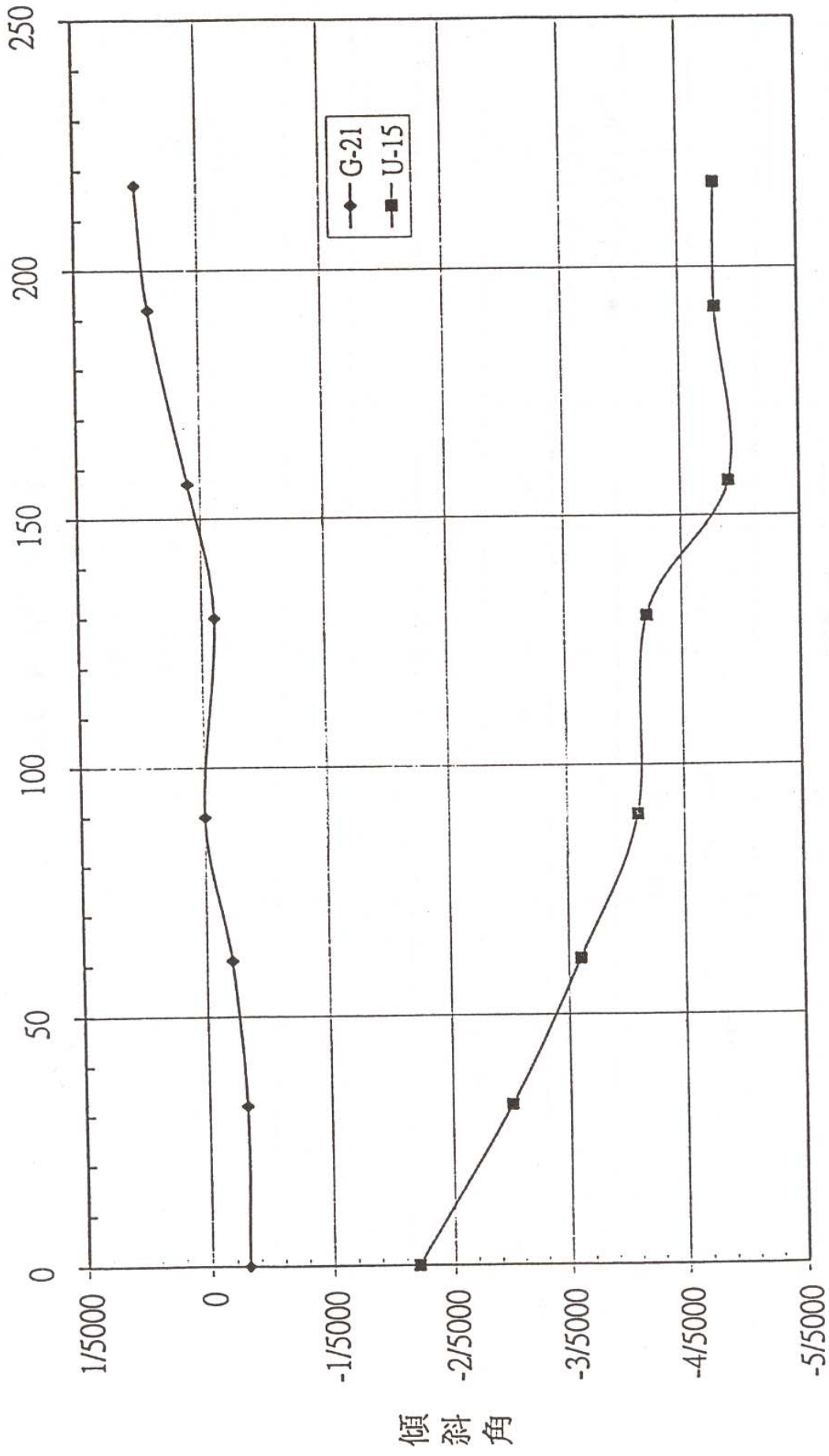


圖-5 傾斜管觀測結果(A向)



時間(日)

圖-6 結構物傾度盤觀測結果示意圖

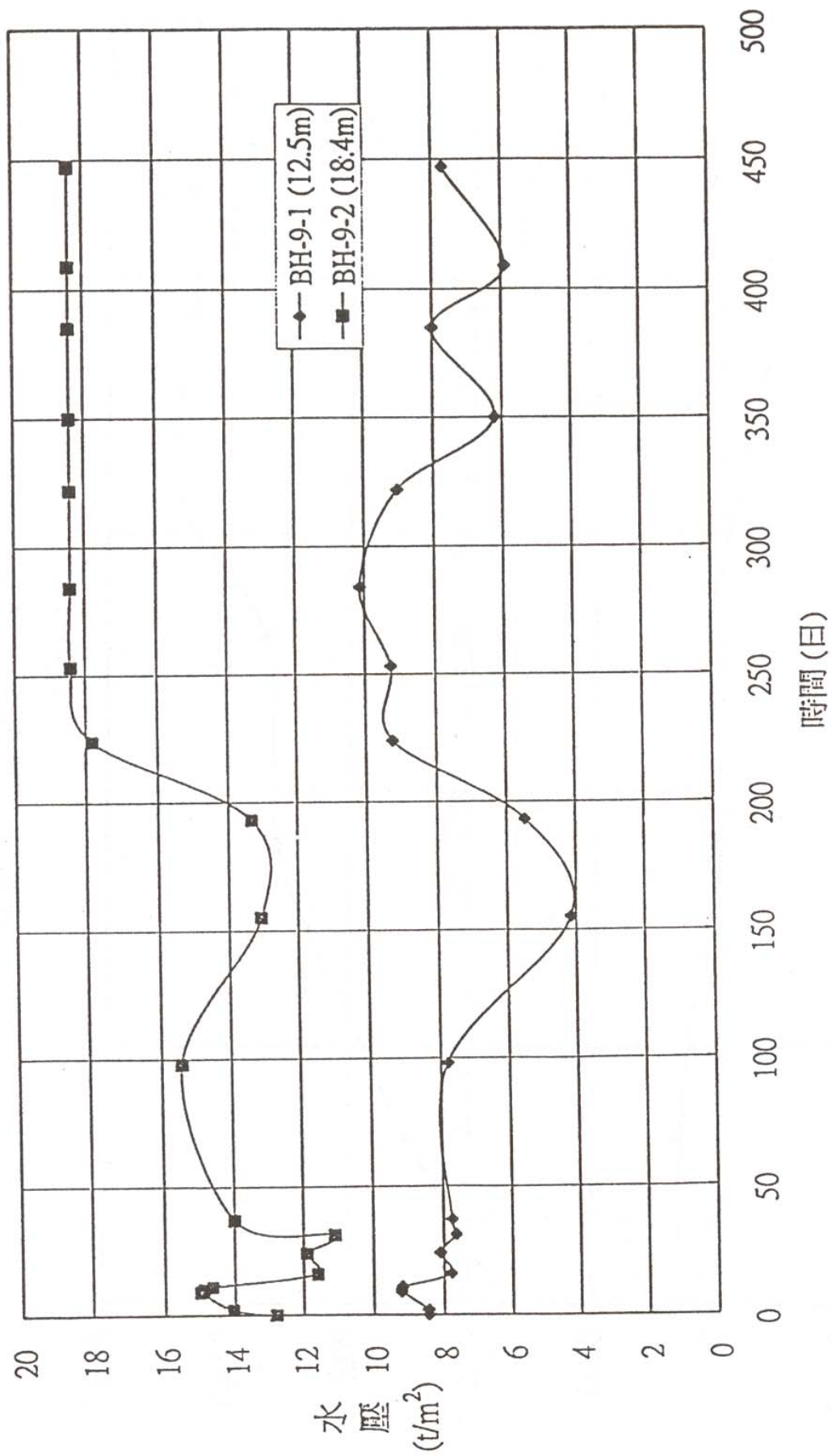


圖-7 水壓計量測結果示意圖

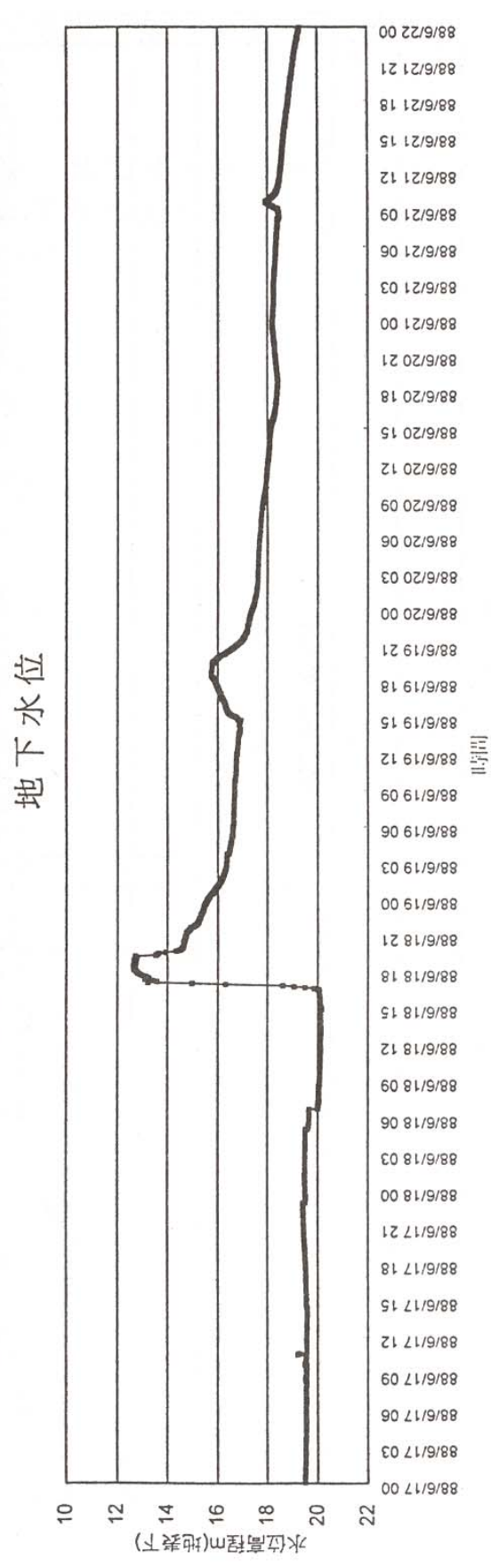
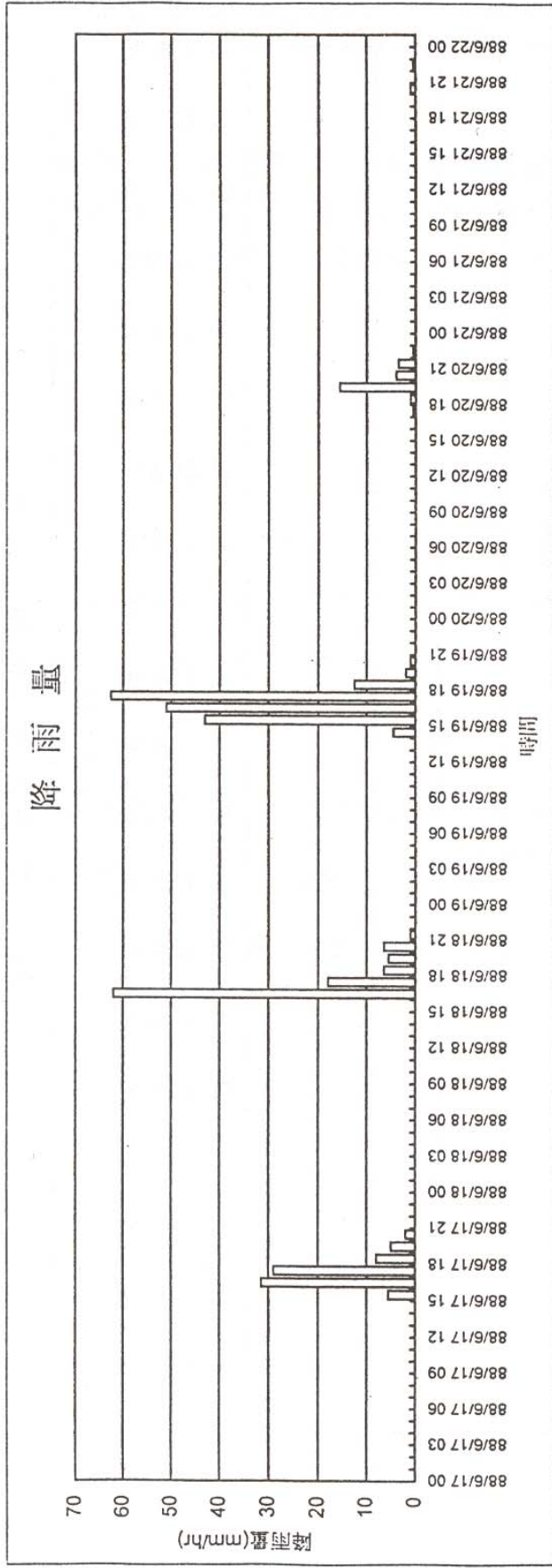


圖-8 自動化監測系統降雨量與地下水水位關係圖

傾斜儀(自動量測)

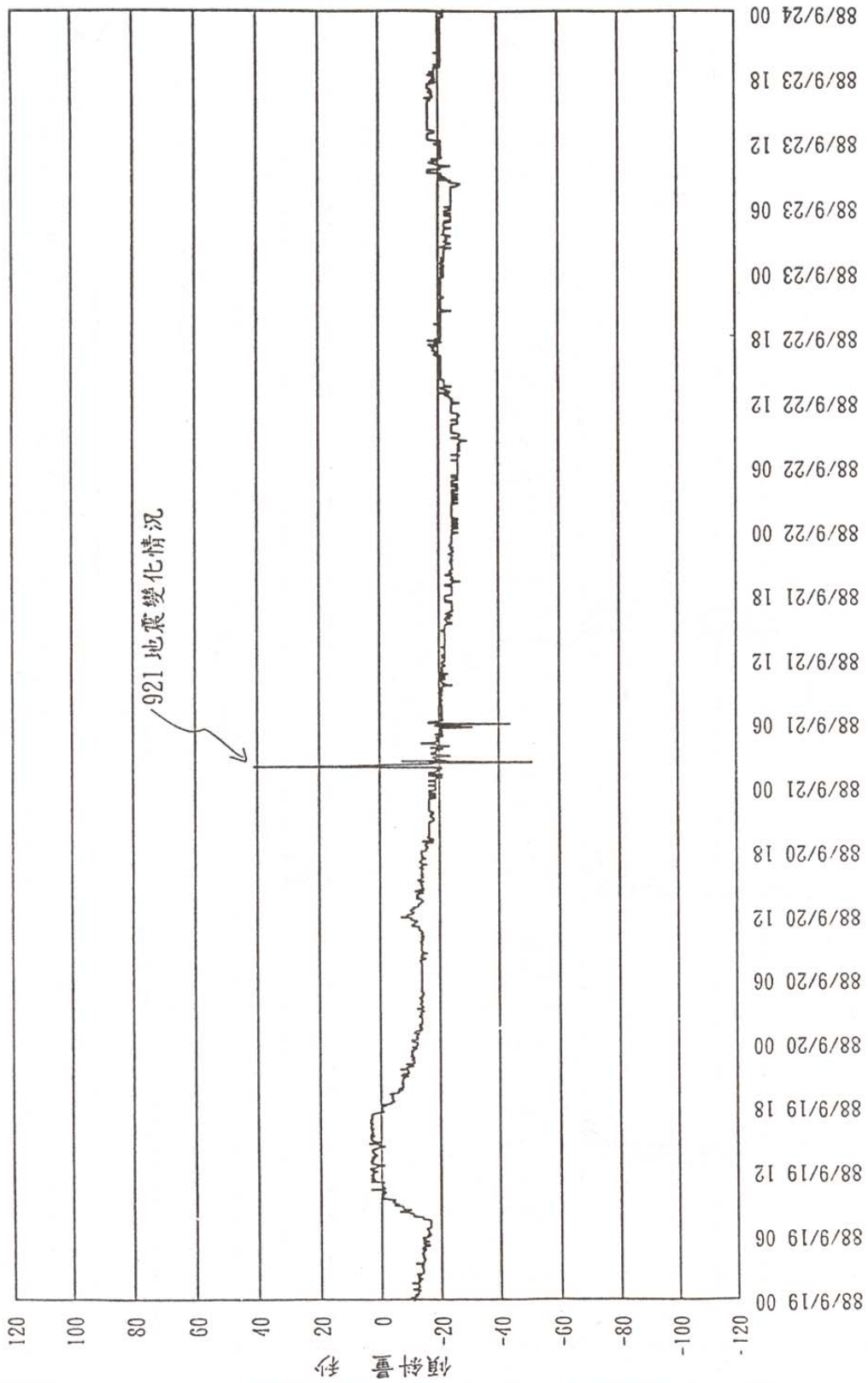


圖-9 電子式傾斜儀觀測結果

二、自動化監測系統可提供即時之預警防災功能，應是未來必然的發展趨勢。

三、將大地工程監測系統納入山坡地開發及後續管理維護制度內，乃是確保坡地安全的重要工作，建議有關單位推動其法制化，並明確的規範各項施行細則，使坡地社區的安全都在有效的掌控下。

參考文獻

1. 台灣科技大學及台北市大地技師公會(內政部營建署委託)，“山坡地社區開發安全監測手冊”(1999)。
2. 廖瑞堂，“山坡地護坡工程設計”，台灣省土木技師公會(1998)。
3. 內政部營建署，“坡地社區安全居住手冊”(1998)。
4. 地盤工學會，“切土法面の調査設計から施工まで”(1998)。
5. 地すべり対策技術協會，“地すべり対策技術設計實施要領”，Vol.2(1978)。
6. 高速道路調査會(日本道路公團委託)，“地すべり危険地における動態觀測施工に関する研究”(1989)。