

山坡地安全調查及監檢測系統的 規劃設計考量

廖瑞堂

青山工程顧問有限公司總經理

壹、前言

隨著社會及經濟的發展，山坡地開發之需求及規模日益增加，因坡地災害而危及生命財產的事件，也就日益嚴重。早期由於坡地利用較少、規模也較小，山區道路或隧道的開闢採用的設計標準較低，儘量順應原地形、地勢，加以整地開發，對於大自然原有平衡條件衝擊較小，故早期山坡地開發導致的災害雖然很多，但規模不致太大。近年來，大都市四周大型山坡地社區開發的案例增多，加以山區道路之設計標準提高，大規模的挖填整地隨之產生，對環境帶來了甚大衝擊。為了確保坡地的安全，滿足更高的安全需求，新技術及新工法也就為工程界陸續引進，其中利用檢測、監測及調查等技術，亦是一重要的技術。本文就如何規劃、目視檢測、監測系統，就重點部份加以探討說明，希望能將相關技術能更有效的結合，發揮更大的預警防災功能。

貳、導致坡地災害的主要原因

坡地災害發生原因大致可分為大自然因素及人為因素兩類，詳表-1及表-2所示。

根據洪如江(1999年)之統計(詳表-3所示)，台灣的坡地災害與颱風帶來的集中暴雨有明顯之關係，當一小時之降雨量超過100公厘以上時，極易導致嚴重的坡地災害，另外筆者統計近五年內台灣發生的嚴重坡地災害，亦有類似的情形發生(詳表-4所示)，但一小時雨量雖未超過100公厘時，即發生嚴重的災害，可見台灣坡地的脆弱，似乎較往昔更甚，但台灣地質的不佳不是今日才造成的，其中與不當的人為因素有相當密切的關係，值得特別注意。

除了暴雨外，地震亦是導致坡地災害另一重要原因，尤其以民國八十八年發生的921集集大地震，使台灣山坡地受到更大的傷害。

地震時產生的斷層錯動或加速度導致的額外外力，使得台灣中部地區之坡地產生嚴重的破壞，受損面積十分廣大，崩落於山谷鬆散的土石，成為日後豪雨時土石流的來源。

另外隨著時間的改變，山坡地的地層強度及地下水狀況，亦可能隨之改變，當山坡地原有的平衡受到破壞時，會朝向另一新的平衡穩定方向變化，若在山坡地趨於穩定的運動過程中，不危及生命財產的安全，即可視為一正常的地質作用；但如已危及生命財產，即可視為一坡地災害。一般而言，以適當的工程方法大都能減緩地質條件的改變速度，並無法完全抑止，故坡地的安全往往與時間有關，此種地質條件的改變乃是坡地災害的另一項重要因素。

就以上三項因素而言，以暴雨因素導致坡地災害所佔比例最高，地震與地質條件改變等二項因素居次。

表-1 大自然因素導致的坡地災害

分類	現象及原因
暴雨	<ul style="list-style-type: none"> ● 河川向源侵蝕 ● 地下水位上升 ● 地層浸水軟化
地震	<ul style="list-style-type: none"> ● 斷層錯動 ● 地震加速度
地質條件改變	<ul style="list-style-type: none"> ● 地層表面風化 ● 表土沖蝕 ● 地下水流向改變

表-2 人為因素導致的坡地災害

分類	現象及原因
調查不當	<ul style="list-style-type: none"> ● 地層研判錯誤 ● 未確實調查 ● 滑動規模判斷不當
設計不當	<ul style="list-style-type: none"> ● 地層強度參數偏大膽 ● 排水設施容量不足 ● 擋土設施斷面不足 ● 建築物兼做擋土設施
施工不當	<ul style="list-style-type: none"> ● 施工程序不當 ● 地錨錨頭功能有瑕疵 ● 材料不符設計需求
管理維護不當	<ul style="list-style-type: none"> ● 擋土或排水設施未適度維護 ● 未設置監測系統加以監測

表-3 幾次重大坡地災害與豪雨的關係(洪如江，1999)

災害代表日 與名稱 比較項目	48.08.07 八卦山水災	71.08.11 五股泰山水災	76.10.25 琳恩颱風水災	79.06.23 花蓮水災	85.07.31~08.01 賀伯颱風水災
崩潰的坡地	八卦山台地西坡	林口台地東北坡	基隆河上游坡地	銅門社區等坡地	陳有蘭溪兩岸坡地
死亡人數*	1,075	17	51	39	73
受傷人數	295	7	8	10	463
災區面積	1,244平方公里	110公頃	約4,000公頃	數十公頃	—
房屋全倒	22,426戶	36戶	199戶	24戶	503戶
房屋半倒	18,002戶	51戶	158戶	11戶	880戶
財產損失**	34億以上	約10億	數十億元	約十億元	數百億元
3日最大雨量	1,164	373	1,833	498	1,994
2日最大雨量	1,034	365	1,341	491	1,987
1日最大雨量	754	298	1,136	370	1,749
2小時最大雨量	—	157	213	210	214
1小時最大雨量	—	120	113	106	113

註：*包括失蹤人數 **當年幣值，新台幣元 雨量單位皆為公厘

表-4 近五年來重大坡地災害與豪雨的關係

災害代表日 與名稱 比較項目	86.8.17~8.18 溫妮颱風	87.10.15~10.16 瑞伯颱風	89.10.31~11.1 象神颱風
崩潰的坡地	汐止林肯大郡坡地	1.五股鄉灰渣掩埋場 2.內湖雞南山坡地	台北縣山坡地
死亡人數*	44	12	89
受傷人數	84	—	48
災區面積	3公頃	3~5公頃	數千公頃
房屋全倒	121戶	3	—
房屋半倒	2戶	4	—
財產損失**	—	數億元	數十億元
3日最大雨量	846	921	—
2日最大雨量	845	914	—
1日最大雨量	663	543	894
2小時最大雨量	—	84	—
1小時最大雨量	—	52	80

註：*包括失蹤人數 **當年幣值，新台幣元 雨量單位皆為公厘

參、確保山坡地安全的三部曲

安全係一種概念，亦是一種現象，對山坡地安全的具體概念係指：邊坡、擋土設施、排水設施，無論在平常、暴雨或地震時均能維持穩定或正常功能，不致發生危害生命財產的情事，此即為安全。

就邊坡工程而言，安全係指其安全係數等於抵抗力除以下滑力，當安全係數大於1.0時，表示邊坡內在抵抗力大於下滑力，邊坡或擋土設施不致產生破壞。就排水設施而言，安全係數等於排水設施之排水容量除以降雨導致之逕流量，當安全係數大於1.0時，表示排水系統之容量大於實際發生之逕流量，故排水設施在豪雨時能維持有效的排洪功能，不致產生漫流，而造成淹水或引致坡地災害。

確保山坡地的安全，可以就其不同工程特性及工程規模採用以下三種方法加以掌握，分別為：

一、目視檢查法

目視檢查係確保坡地安全最基本且最常使用的工法，當邊坡或擋土牆已發生不安全狀況時，常會在地表或擋土設施發現若干徵兆，例如：地面出現連續性之張力裂縫、擋土牆龜裂、地錨錨頭掉落等現象，如能由具經驗之工程師加以檢查，大部份都能提前預知。但仍有部份邊坡，可能位移量較小或行為複雜的擋土構造，藉由目視檢查仍無法發現，由於目視方法甚為簡單易行，故大都將目視檢查列為使用者自助檢查的主要項目，如果經由目視檢查發現異常現象時，為充份瞭解其真正的原因及行為，則有必要進一步調查或監測。

二、調查分析法

由於目視檢查法僅能就其表微觀察判斷，但邊坡潛在的危險因子或區域，常常無法瞭解，故需調查山坡地之地質及地下水狀況，就不同基地之地質情況及地下水條件，繪製地質剖面圖，並參考實驗室試驗求得之地層強度參數 C 、 ϕ 值，進行邊坡穩定分析，以求得安全數係。此方法多用在新設邊坡或山坡地開發設計之用，當安全係數大於1.0時，表示邊坡或擋土設施在安全方面，不致破壞。

就地表排水系統而言，須進行水理分析檢討排水設施之容量，是否足以宣洩暴雨所帶來的逕流量，當排水系統之安全係數大於1時，亦表示地表排水設施係在安全狀況下。

三、儀器監測法

由於目視安全檢查法係僅藉由表面徵兆判斷其安全性，故有其侷限性及不足之處，故在若干坡地已出現危險徵兆或風險性較高之坡地，必須藉由精密的儀器加以監測，對於坡地安全的整體行為會有充份的瞭解。

由於現有的大地監測儀器之正確性及精度已甚高，故可充份監測地層之位移量或地下水之變化，但如何使監測儀器充份發揮其功能，周延的規劃、設計及執行甚為重要。以下章節就確保安全的三種方法、常見的問題及考量要點逐一說明。

由於三種安全檢查法各有其優缺點，詳表-5所示，故為兼顧經濟、安全及時效，三種方法常混合使用或同時使用，以大型山坡地住宅開發為例，為充份掌握其安全性，就風險性程度較高或已有不穩定徵兆發生之坡地，常將三種方法同時使用，但就風險性程度較低之基地，往往僅採用目視檢查法而已，圖-1係已完工坡地社區建議之安全評估及檢測流程，在周延及充份的考量下，坡地安全可獲得相當的保障。

就以山區道路而言，由於涉及的面積及範圍更大，則大都以目視安全檢查為主，然視其問題嚴重性之局部區域，再輔以調查分析或監測等方法。大體而言，此三種方法相輔相成的功能，因針對不同的各案宜考量其問題的嚴重性、特殊性，妥為選擇規劃。

肆、安全評估法之規劃及設計要點

為使三種安全評估法發揮最大效益，其流程如圖-1所示。在三種安全評估法中，以下諸多要點需特別注意。

一、目視檢查法之執行要點

1. 檢查地面有無張力裂縫發生

當邊坡有不穩定現象時，大都會在坡面出現張力裂縫，張力裂縫大都出現在崩坍頂部，且平行等高線方向，當張力裂縫之長度延伸性越長時，則問題的嚴重性就越大。

2. 檢查擋土設施有無異常行為發生

擋土設施之表面有無不良之裂縫發生或擋土設施有無前傾或平移現象，由於擋土設施之種類型式甚多，故可能破壞現象模式及亦不相同，例如錨拉式擋土牆需特別注意檢查錨頭有無銹蝕、鬆動或脫落等現象。

表-5 三種坡地安全評估方法優缺點比較表

方法	目視檢查法	調查分析法	儀器監測法
工作方法	<ul style="list-style-type: none"> ●以目視現場勘查記錄並加以研判。 	<ul style="list-style-type: none"> ●藉由地質調查及基本資料蒐集，決定參數及地層狀況。 ●以水理分析及邊坡穩定分析加以評估分析。 	<ul style="list-style-type: none"> ●採用精密儀器對邊坡穩定直接監測。
適用時機	<ul style="list-style-type: none"> ●基地面積甚廣。 ●初步踏勘檢查。 	<ul style="list-style-type: none"> ●輔助目視檢查法及儀器監測法之不足。 	<ul style="list-style-type: none"> ●設置於危險性或風險性高的邊坡。 ●安全要求標準較高的坡地。
優點	<ul style="list-style-type: none"> ●快速、經濟。 ●可隨時檢視並加以保養維護。 	<ul style="list-style-type: none"> ●可深入瞭解不同個案潛在的危險因子。 ●可充份瞭解邊坡安全性。 ●提供監測儀器佈設之依據。 	<ul style="list-style-type: none"> ●可掌握地層或擋土設施實際之穩定狀況。
缺點	<ul style="list-style-type: none"> ●從坡地外觀無法掌握危險地區之危險因子。 ●無法瞭解其安全性。 	<ul style="list-style-type: none"> ●與時間有關之特性，如地下水流向之改變無法充份掌握。 ●費用較昂貴 	<ul style="list-style-type: none"> ●無法瞭解邊坡之安全性。

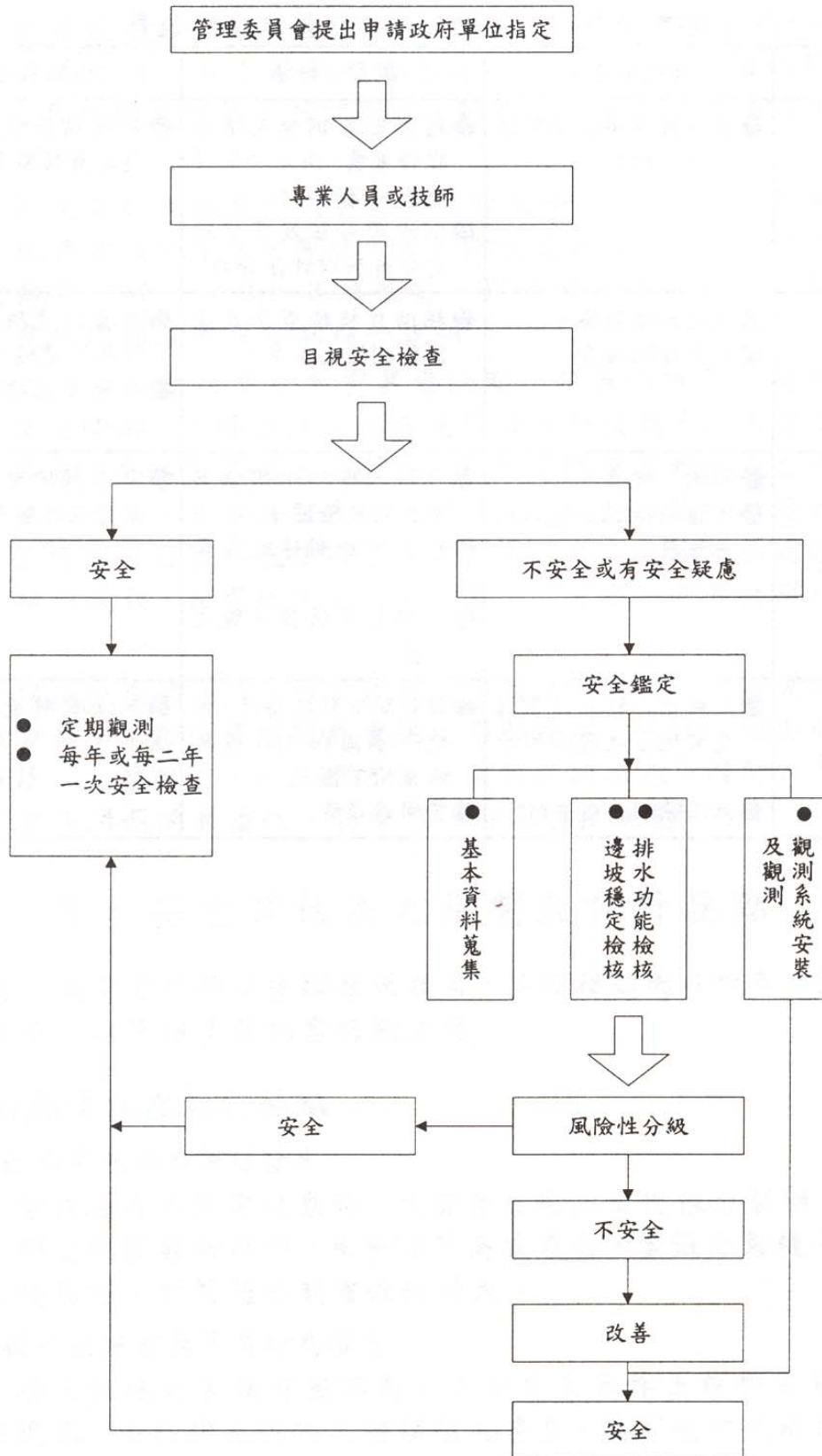


圖-1 已完工之坡地社區建議之安全評估流程

3. 檢查排水設施功能是否正常

排水設施包括地表排水溝或地下排水設施，一般而言，檢查排水溝是否有堵塞或開裂情形，如有堵塞或開裂情形即可能影響排水功能。

二、調查分析法之執行要點

調查分析法在執行時，需先蒐集個案原設計施工等相關基本資料或災變歷史，現場查核其尺寸，調查分析時需進行以下三項主要工作：

1. 基本資料蒐集及正確性的研判—如有不足需進行補充鑽探、測量等工作，加以取得及確認。
2. 邊坡及擋土設施之穩定分析。
3. 排水設施之水理分析。

以上三項工作，最困難之處在於基本資料之取得及確認，尤其對於老舊社區此問題更是嚴重，諸多排水設施之流向及斷面均甚難確認，擋土設施之配筋及斷面亦無法瞭解，諸多原始設計圖與現場狀況均不符合，故調查分析法執行時，需特別注意基本資料之取得、調查及確認。

三、儀器監測法之執行要點

利用精密的大地監測儀器對地層穩定性、擋土設施、地下水加以監測，可充份掌握山坡地地層之穩定狀況，當地層有不穩定現象時，藉由監測儀器均可有效測得，故儀器監測法可提供有效的預警防災功能。

由於山坡地之儀器監測系統，早期亦運用於深開挖安全監測、土石壩之安全監測等大地工程，故又稱為大地監測系統。

大地工程監測系統之執行步驟，可分為(1)計畫擬定 (2)實施及判讀 (3)預警防災等三個階段，詳表-6所示。欲將儀器監測系統充份發揮防災功能，以下四點乃是在規劃設計考量必須特別注意的事項，包括：

- (1) 觀測結果如何判讀？
- (2) 預警防災體系如何有效之建立？
- (3) 自動化程度之取捨？
- (4) 如何將監測工作納入長期管理維護？

表-6 大地監測計畫之執行步驟

工作階段	計畫項目	考量要點
計畫擬定	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">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; text-align: center;">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; text-align: center;">預測基地之行為及風險性</div>	<ul style="list-style-type: none"> ● 選擇最危險之斷面或位置
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">選擇適當監測儀器及設備</div>	<ul style="list-style-type: none"> ● 儀器種類、規格要求、自動化程度
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">監測系統配置圖</div>	<ul style="list-style-type: none"> ● 儀器位置、數量及安裝方法
實施及判讀	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">儀器安裝及觀測</div>	<ul style="list-style-type: none"> ● 觀測時機及頻率
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">監測結果分析判讀</div>	<ul style="list-style-type: none"> ● 資料之正確性及代表性
預警防災	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">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

四、安全評估及檢測之建議時機及頻率

三種安全評估方法之執行頻率及時機建議如表-7所示。

表-7 三種安全評估方法建議之執行頻率及時機

安全評估法	建議執行頻率	執行單位
目視檢查法	●每星期至少一次或遇地震、豪大雨後。	●管理單位或其使用者。 ●每年可由專業人員執行一次，以彌補不足。
調查分析法	●每個基地至少完整的執行一次。	●由專業工程師執行。
儀器監測法	●視各案穩定狀況或風險程度決定監測頻率。	●由管理單位委託之專業公司負責執行。

伍、案例介紹

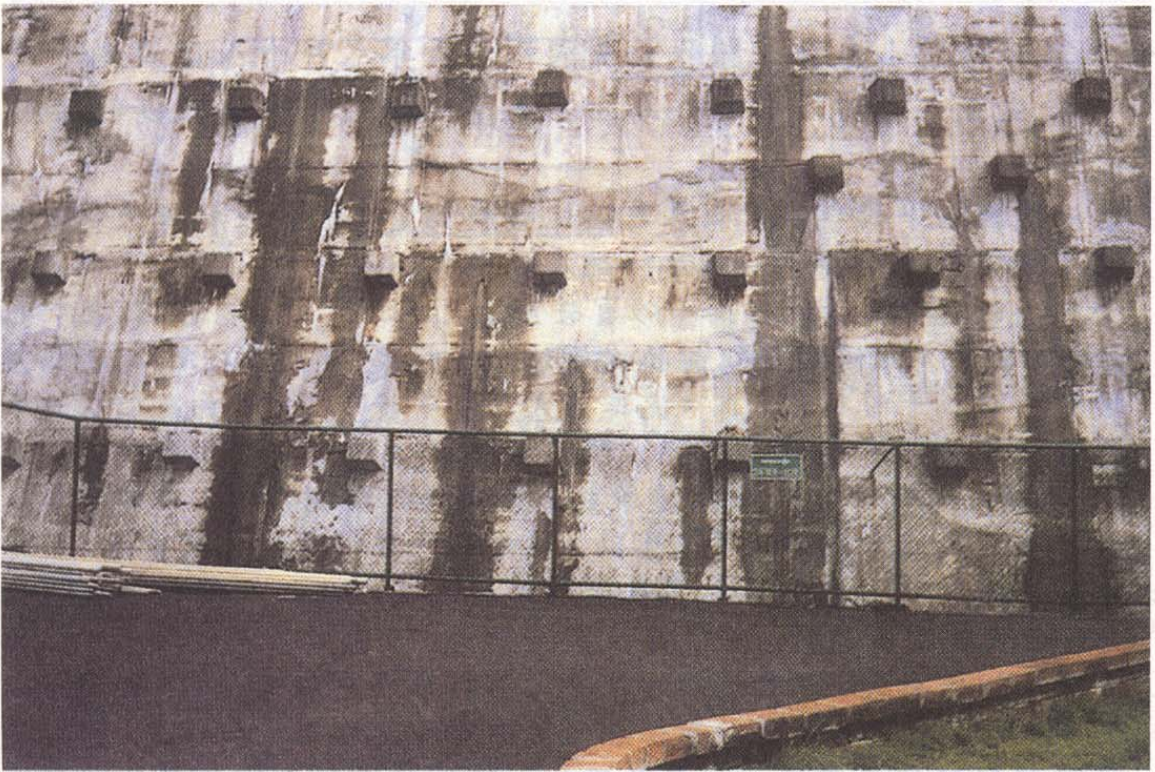
國內近年來曾發生甚多坡地災害，如何預防或避免坡地災害，在許多相關案例均有詳細說明及討論，其中最能凸顯山坡地安全檢測及評估效益的個案，以林肯大郡社區最具代表性。為便於說明將林肯大郡社區發生災變前後之經過及後續處理情形分為三階段加以說明。

一、第一階段：自社區開發至民國八十六年八月十八日溫妮颱風發生重大邊坡坍塌事件為止，此階段社區並未裝設任何監測系統。

民國八十六年八月十八日溫妮颱風來襲造成汐止林肯大郡社區坡地坍塌事件(詳照片-1所示)，該事件中有28人死亡，5樓房子兩大樓全損。該崩塌之邊坡係為一砂頁岩互層之順向坡，且有出露(Day Light)之現象，該邊坡係以錨拉式護坡加以保護(詳照片-2所示)，該邊坡於民國八十四年底完工，完工後大約半年後，住戶已向建設公司反應錨頭掉落之情事(詳照片-3、照片-4所示)，坡面亦有明顯的滲水現象(詳照片-2所示)，然而該邊坡並未裝設任何監測系統，而開發單位由於缺乏大地工程師之專業協助，忽略此一目視徵兆之嚴重性，誤以為係單純之施工小瑕疵，並未針對邊坡穩定狀況做一整體安全性檢討，故於徵兆發現的一年後發生嚴重崩塌；一般而言，錨拉式擋土牆會發生錨頭掉落，初步判斷當時地層整體水平位移至少有5~10cm以上，如能以精密的傾斜觀測管加以觀測地層之水平位移情況，應可充份瞭解問題的嚴重性。如果當時此一邊坡設有傾斜觀測及地錨荷重



照片-1 林肯大郡社區北側邊坡坍塌災變現場



照片-2 錨拉式擋土牆完工後牆面滲水狀況



照片-3 破壞前一年該擋土牆已出現錨頭掉落之情形



照片-4 錨頭掉落之情形(由上往下拍攝)

計，經由專業人員的觀測及判讀，應能提供正確的訊息及研判給開發單位，可惜此一較高危險性出露之順向坡，並未裝設任何監測系統，僅從錨頭掉落現象來研判其安全性，誤判之可能性甚高，加上沒有適當的專業人員參予，故災變前雖有目視徵兆發生，但由於未設置應有的監測系統，故導致一系列的錯誤判斷，過程中雖亦增設若干水平排水管，並補強掉下來之地錨，但實際地層之穩定性及處理效果均無法得知，故一再的延誤，終於導致全面的崩壞。從此案例可以清楚的瞭解，如果當時此邊坡設有監測系統，相信導致此一重大災變及損失應是可以避免的。

二、第二階段：民國八十六年八月十六日至八十七年八月之一年間進行社區整體安全評估，並裝設基本之手動監測儀器，此階段藉由調查分析法進行山坡地安全評估，工作內容包括補充地質調查、邊坡穩定及水理分析，藉由該調查分析法對基地整體之安全性有更充份的瞭解，將若干潛在的問題逐一發掘，同時藉由手動監測儀器的監測，對基地整體穩定性有較充份的掌握。

經由周延的安全評估後，發現主要的地工問題(劉泉枝等人，1998)，尚包括以下三點，需進行整治及改善：

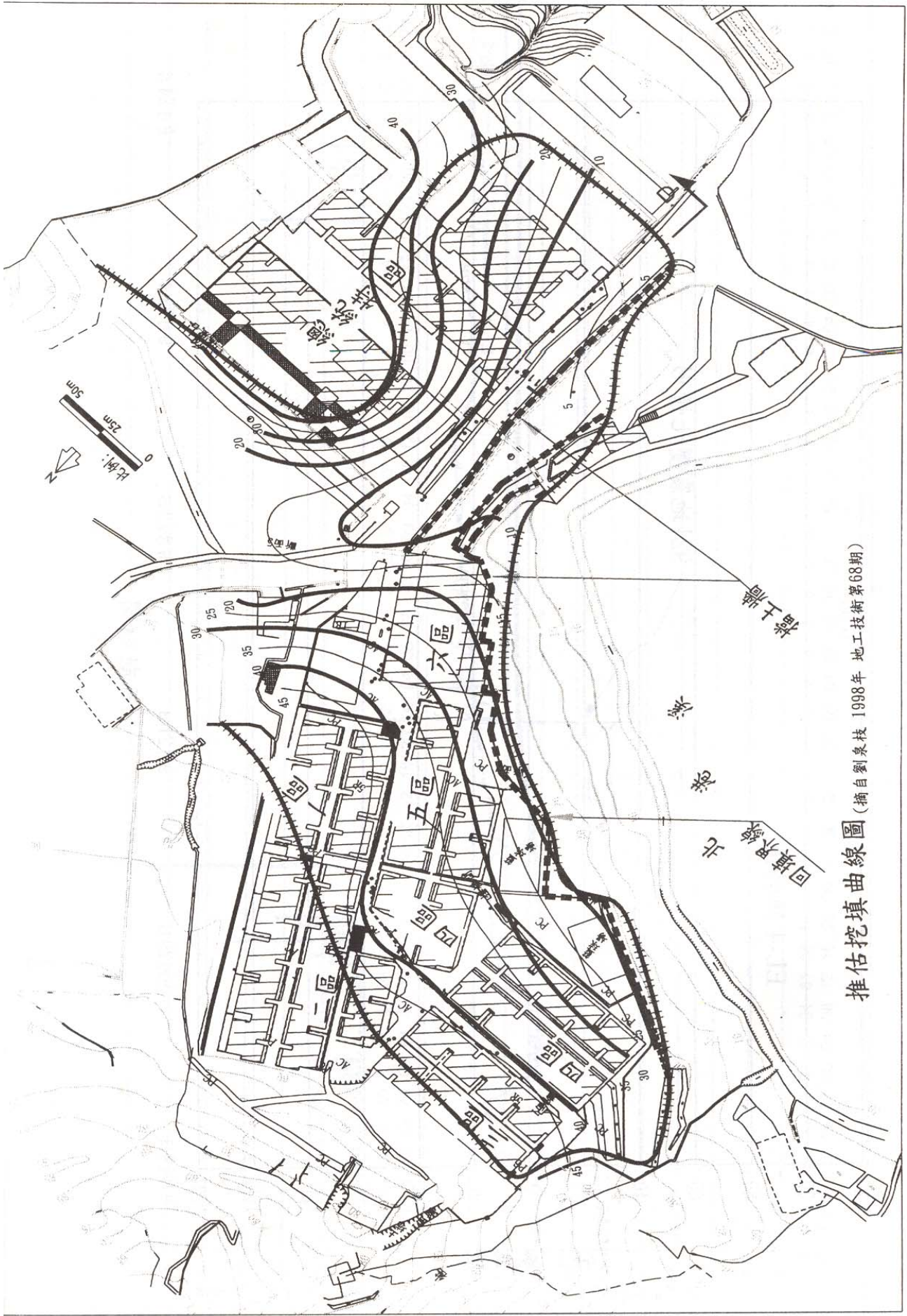
- 1.部份擋土牆之安全性不足。
- 2.建築物承受偏壓問題。
- 3.厚層回填土導致沉陷。

詳見圖-2所示。後續整治工程即針對上述三項主要地工問題加以改善設計。

三、第三階段：民國八十七年八月至八十九年底，在此期間主要進行基地內潛在危險區整治改善之設計及施工工作，同時為確保整治施工期間之安全，逐步在林肯大郡社區設置自動化監測系統，藉由自動化監測系統之即時觀測，大幅提昇了預警防災功能，將該社區二十四小時內隨時變化行為充份掌握，在觀測期間經歷了民國八十八年921集集大地震及民國八十九年十月底之象神颱風，監測系統均充份發揮其功能。

圖-3及圖-4係921集集大地震及象神颱風期間，測得林肯大郡基地擋土設施及地下水之即時監測結果。

由上述說明可知山坡地安全，藉由目視檢查法、調查分析法及儀

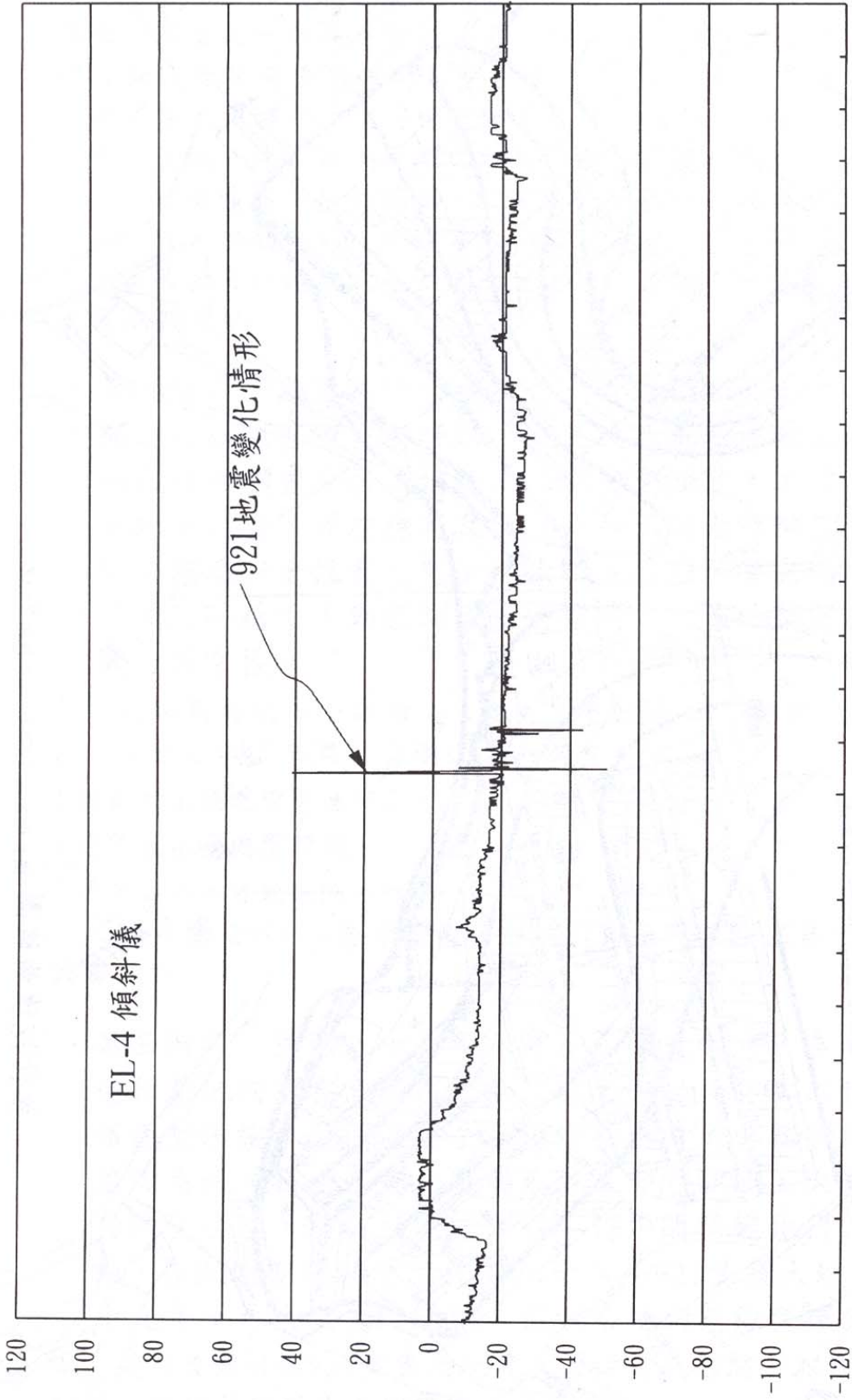


推估挖填曲線圖 (摘自劉景枝 1998年 地工技術第68期)

圖一〇 台北市中正區經福安地質調查後繪製之岩盤深線圖

EL-4 傾斜儀

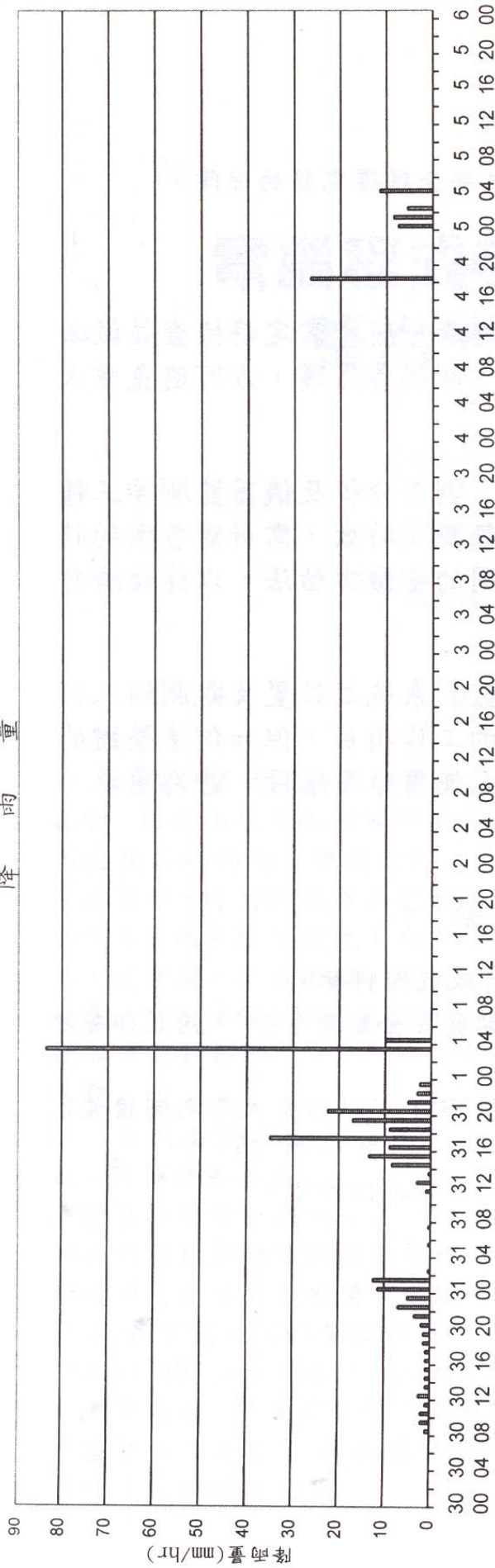
921地震變化情形



9月19日 9月20日 9月21日 9月22日 9月23日 9月24日

日期時間

降雨量



地下水位

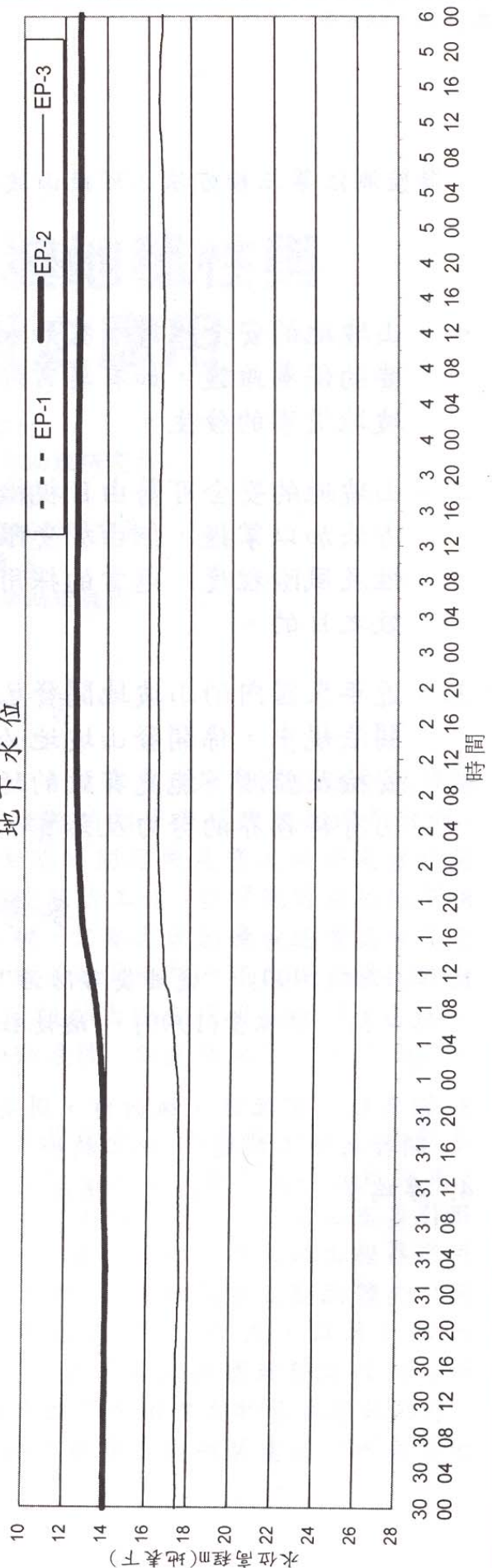


圖-4 象神颱風時測得之地下水位變化情形

器監測法等三種方法，可使山坡地之安全獲得完整的保障。

陸、結語

- 一、山坡地的安全維護，有如人的健康一般，需定時檢查並做必要的保養維護，如有異常即可立即保養修護，方可避免重大坡地災害的發生。
- 二、山坡地的安全可藉由目視檢查、調查分析及儀器監測等三種方法加以掌握，但由於受限於經費及時效，需針對各案的特性及風險程度，適當的採用不同的安檢評估法，以達經濟有效之目的。
- 三、近年來國內的山坡地開發已將監測系統之設置及觀測納入相關法規中，係開發山坡地必備的工作項目，但如何使整體的安檢及監測，能更有效的延伸至使用維護階段，甚為重要，仍有待各界的努力及落實。

參考文獻

1. 洪如江(1999)，"坡地災害防治"，行政院國科會。
2. 廖洪鈞、廖瑞堂(1999)，"坡地社區開發安全監測手冊"，內政部營建署。
3. 劉泉枝、鄭豫謹、林衍竹、周功台(1998)，"以林肯大郡為例讀坡地開發之地工問題"，地工技術，第68期，PP.87~PP.96。
4. 廖瑞堂(2001)，"山坡地護坡工程設計"，科技圖書。