

建立邊坡監測系統預警值之研究

黃秀雅¹ 林商裕² 蔡佩勳³ 趙世傑¹

1.朝陽科技大學營建工程系碩士班研究生

2.朝陽科技大學營建工程系副教授

3.朝陽科技大學營建工程系助理教授

摘 要

本研究的目的主要是以有限差分軟體 FLAC 結合強度折減分析法，對九份地區的坡地社區與水里鄉金龍社區進行靜態、滲流、與動態之穩定分析，以建立坡地社區在暴雨與地震時監測儀器的注意值、警戒值與行動值。

本研究之執行主要是以 FLAC 分析九份地區的坡地社區與水里鄉金龍社區在豪雨後地下水位上升時，所產生之有效應力分佈及邊坡位移量，在分析結果與監測資料進行比對後，本研究發現所採用的數值分析模式與材料參數之選擇上有其合理性。邊坡在暴雨時地下水位上升或承受地震力時邊坡可能失去穩定，所以將已建立的分析模式對前述兩個坡地社區模擬在暴雨時之不同地下水位深度與地震時不同地震力下，配合強度折減法將材料參數予以折減，以求其折減值(安全係數)及對應的邊坡變形與應力分佈預測值，並建立安全係數與反應預測值之關係圖表，再依此決定監測儀器量測結果之注意值、警戒值與行動值。

邊坡社區在暴雨時傾斜管之監測系統管理值，本研究將選擇以地下水位深度與安全係數之關係圖表來決定，其中金龍社區與九份坡地社區傾斜管的注意值分別為水平位移量 0.06cm、0.08cm；警戒值分別為水平位移量 7.16 cm、0.88cm；行動值分別為水平位移量 38.11cm、12.63cm。地震時之監測系統行動值之訂定本研究將分別以速度計及傾斜管為對象來擬定，其中金龍社區與九份坡地社區的行動值在地表速度方面分別為 8.17cm/sec、3.62 cm/sec；而傾斜管傾斜角方面分別為 0 度 16 分 42.4 秒、0 度 2 分 50.2 秒。

關鍵詞：坡地社區、邊坡穩定、預警值、監測系統

THE STUDY OF EARLY WARNING VALUE OF SLOPE MONITORING SYSTEM ABSTRACT

The research object is to use FLAC with strength reduction technique to analyze the stability of slope in the Jiu-Fen area the Shui-Li area. In order to establish the early warning values of monitoring system in storm or earthquake, the study will analyze the response of slope in static state, steady seepage state and dynamic state, too.

The seepage responses analysis including slope displacement, pore water pressure and effective stress distribution will be performed by assuming the rising water table in a storm. The results of numerical analysis of slope in hillside communities and monitored data will be compared in order to determine their rationality. Slope instability can usually take place in a storm or an earthquake. In order to establish the early warning values of monitoring system, and series numerical analysis by assuming variant water table depth or seismic acceleration will be carried out. The shear strength parameters of soil were reduced by a factor and slope response also calculated. And then the relationship between factor-of-safety and the response of slope in hillside communities will be founded, and the figures will be expressed from the numerical results. Finally, the early warning values of monitoring system will be recommended in the study.

Key Words: hillside community, slope stability, early warning values, monitoring system.

一、前言

台灣地處太平洋地震帶，經常會發生強烈地震，尤其是 921 集集大地震帶來重大的死傷，使位在鬆軟地層山坡地社區之安全性開始被大家重視，亦為學術界的研究目標。對於山坡地社區安全監測工作，政府持續有在進行，然而監測的結果如何評估社區的安全性，如何建立其注意值、警戒值與行動值，適時地對社區居民提供坡地安全的資訊，以減少民眾生命財產之威脅，是坡地社區安全評估的重要課題之一，所以本研究將針對此議題進行研究。

台北縣瑞芳鎮九份地區因山勢陡峻，溪水湍急，部分邊坡極不穩定，加上本地區早期為採礦區域，許多邊坡為礦渣堆積而成，加上過度開發，增加邊坡之地表荷重，每遇颱風、豪雨季節來臨，易造成邊坡坍塌。因此在象神颱風來襲時九份昇平戲院區域即發生邊坡坍塌的事件。基隆河整治之員山子分洪隧道經過九份地區下方坡趾處，為避免九份地區邊坡坍塌危及分洪隧道，保護日後分洪隧道等結構物安全，以確保員山子分洪計畫發揮分洪減災功效，在民國九十四年威信不動產工程顧問股份有限公司受瑞芳鎮公所委託辦理「基隆河員山子分洪計畫區周圍地盤穩定委外調查監測及工程規劃設計」計畫，目前已順利完成。在此計畫中，新增 24 處鑽孔，鑽孔總深度達 840 公尺，新設傾斜管、傾度盤、地下水位計、地表伸縮計、雨量計等監測系統，並建立自動化監測系統，期望藉由監測來達預警之效果。

水里鄉新城村金龍社區因位處西部麓山帶，地層承受較大推擠力量，形成附近的集集大山向斜與水里坑斷層等地質構造。此社區於地質不穩定的地盤上，在社區內部分位置有地層滑動的現象，九二一地震時也發生邊坡滑動的情形，為避免邊坡坍塌危及金龍社區，水里鄉公所希望能深入瞭解地盤穩定情形，作為日後金龍社區在減災與整治之參考，委託朝陽科技大學營建工程系專業服務中心執行「水里鄉新城村金龍社區山坡地滑動監測計畫工程」計畫，對該區域進行調查與監測。朝陽科技大學在金龍社區的 3 處位置進行鑽探，其中 1 孔鑽探深度較深達 50 公尺，其餘 2

孔平均鑽探深度為 20 公尺，共計 90 公尺。該社區的監測系統包括有傾斜管、傾度盤、地滑計、裂縫計、沉陷釘等，並利用傾斜管定期量測地下水位。

這兩個坡地社區已建立完整的監測系統，也曾定期執行監測工作，有完整的監測資料與監測系統，因此本研究擬選定此兩坡地社區作為研究對象，建立此兩個社區監測系統之管理值。監測系統之管理值通常又分為注意值、警戒值與行動值，當監測值超過注意值時，表示觀測值有所變異需加以注意，並提高監測頻率。當監測值超過警戒值時，表示可能有異於常態之現象，但尚未達立即危險狀態，需提高警覺注意其後續發展。當監測值超過行動值時，表示已處於緊急之狀態，須立即採取各項緊急應變措施。國內工程界之監測管理實務，常參考日本地滑對策技術協會之建議，採用位移速率來判斷邊坡是否穩定，該判斷法係由測得之地層位移量除以觀測時間求得位移速率，再以位移速率之大小及位移傾向是否顯著做為判斷之依據，其建議如表 1 所示。但經驗值有其侷限性，對不同區域地層之適用性是有疑慮的，而且社區邊坡的安全性牽涉到民眾的生命財產安全，也需以更精確的分析方法來進行評估，因此有必要採合理的數值分析方法，並加入合適的土壤組成模式，來模擬並預測其滑動的機制。

Goodman 與 Brown[1]在(1963)年以理論方法配合彈性理論計算半無限平面之構築(build-up)邊坡內部應力狀態，進而推求邊坡滑動面，他們認為只要邊坡之應力場可知悉，則滑動面即可求出，進而計算出安全係數。

日本地滑對策技術協會[2]在(1978)，建議採用位移速率對於不穩定邊坡之活動性加以分級。

陳信雄[3](1978)於龍潭地滑地使用應變計黏貼於 PVC 塑膠管上，推定地滑地之滑動量及滑動面，認為應變測定管對於潛移型地滑調查更能充分發揮其效用。

Huang 與 Yamasaki[4]在(1993)年有限元素法配合局部最小安全係數定出邊坡內部滑動潛能的觀念。

廖洪鈞與廖瑞堂[5]在(2000)年提供安全監測系

統之規畫、儀器及裝設、觀測及判讀，及管理維護相關資訊。

陳志昌[6]在(2001)年利用剪力強度折減的觀念使用 FLAC 進行土壤邊坡穩定分析，並利用時階與控制點之位移關係圖判斷其安全係數數值。

郭力行[7]在(2002)年以地表位移之應變速率來分析梨山山地滑地之情況，對梨山管理準則進行位移應變速率的訂定。

曾國維[8]在(2003)年藉由不同安全係數下的權重組合其總權數代表梨山全區之狀況，利用不同狀況下的總權數，定出全區之危險等級，將四種等級：安全、注意、警戒、疏散制定出來。

葉致翔[9]在(2003)年運用時域反射法(TDR, Time Domain Reflectometry)邊坡資訊自動化監測系統，結合成一套完全自動化的系統。

李昊哲[10]在(2005)年針對個別坡地社區、學校之特點，設計適合的坡地安全管理系統，並搭配傳統監測儀器進行安全觀測，並提供監測數據管理及查詢之功能最終設計一套自主型坡地安全管理系統。

表 1 位移速率與邊坡穩定性判斷建議(日本地滑對策技術協會，1978)

變動種類	日變位量 (mm)	月變位量 (mm)	一定方向的累積傾向	活動性判斷	摘要
緊急變動	20 以上	500 以上	非常顯著	急速崩壞	崩壞型、泥流型
確定變動	1 以上	10 以上	顯著	活潑運動中	崩積土滑動、深層滑動
準確變動	0.1 以上	2.0 以上	略顯著	緩慢運動中	黏土滑動、回填土滑動
潛在變動	0.02 以上	0.5 以上	稍稍有	有待繼續觀察	黏土滑動、崖錐滑動

二、分析方法

本研究首先蒐集並整理與邊坡穩定相關之資料，建立坡地社區案例之分析元素網格，以有限差分 FLAC 程式來進行一系列的反應分析，包括坡地在豪雨後水位上升階段之應力計算與邊坡變形量。分析結果再與監測資料進行比較，以驗證材料參數與數值模擬之合理性。對坡地社區分析案例施以不同自然條件(包括地下水位深度、地震加速度)，分析其安全係數與對應的邊坡位移反應及速度反應。將所得結果繪製成圖表，藉以擬定監測系統之注意值、警戒值與行動值。本研究計畫之流程圖如圖 1 所示。

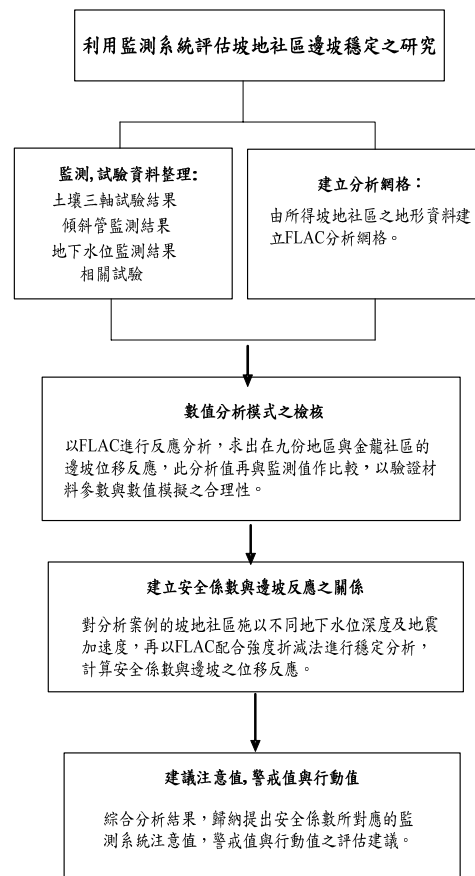


圖 1 分析流程圖

2.1 FLAC 理論架構

FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua) 是一套應用於大地工程的數值分析程式，其程式係利用外顯差分法 (explicit finite difference method) 來求解基本運動方程式。對每個節點而言，由節點作用力或應力經由平衡方程式產生的不平衡力 (out-of-balance

forces)決定節點的速度分量，並經由對速度積分來決定節點位移；另一方面，對每個區間而言，由節點的速度分量可決定應變率 (strain rate)，再利用應力-應變組合律決定新的應力增量，藉此應力增量又可更新節點的不平衡力，如此程式將反覆執行此運算步驟，直到節點最大的不平衡力達到一可接受的合理範圍為止。此外，在FLAC程式中，對於正向應力係以壓應力為負，而以張應力為正。

2.2 強度折減法

強度折減法所決定的安全係數為土壤之實際剪力強度參數與折減至破壞發生時之剪力強度參數兩者之比值，此方法最早使用在Zienkiewicz(1975)，而Matsui and San (1988) 提出完整的說明。本計畫也將以FISH語言撰寫強度折減程序之副程式，以求取邊坡滑動所對應之安全係數及邊坡變形量與應力分佈情形。

邊坡穩定之數值模擬是以強度折減法剪力強度參數 c 、 ϕ 值折減，直至邊坡破壞發生為止。所謂邊坡破壞可定義成破壞時之剪應變由坡趾處延伸至坡頂之行為過程 (完全剪力破壞)，但在數值模擬分析中，無法由應力-應變破壞準則得到邊坡破壞滑動面位置，而很多的室內實驗所得結果證明，破壞時的剪應變等值區和邊坡破裂區相符合 (Roscoe,1970)，因此，可以假定邊坡破壞機制和剪應變在強度折減技術中的發展過程有直接關連。同樣地，可以假定剪力強度是依靠應變量而存在，所以邊坡穩定性可以表示為材料之剪力強度與邊坡破壞區之破壞時的剪應力值呈函數關係，如以下公式：

$$c_r = \frac{c}{FS} \quad (1)$$

$$\phi_r = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi}{FS} \right) \quad (2)$$

式中 c_r 、 ϕ_r ：折減後之剪力強度參數

c 、 ϕ ：實際之剪力強度參數

FS：安全係數

三、數值分析模式之檢核

為驗證材料參數與數值模擬之合理性，本研究以FLAC 進行模擬分析，求出九份地區與水里鄉金龍社區邊坡的位移反應，分析值再與監測值做比較。

本研究在金龍社區進行的邊坡數值模擬是包含SI3-01、SI2-05 二孔的剖面，可用此二孔的監測成果來比較數值模擬之合理性。傾斜管 SI3-01 由圖 2 傾斜管監測變化曲線圖[11]B 方向變化曲線圖來看，約在地表下 9~12 m 處有傾斜管錯動情形。由圖 3 SI2-05 傾斜管變化圖的 B 方向變化曲線圖得知，約在地表下 19m 處可能是滑動面的位置。比較監測與分析的結果，金龍社區邊坡以 FLAC 分析之結果顯示，滑動規模大涵蓋整個社區，其滑動面位置如圖 4 所示，滑動面位置約在破碎的頁岩夾粉砂岩層，且離地表 10~20m。而傾斜管監測結果也顯示傾斜管 SI3-01、SI2-05 分別在地表下 9~12m、19m 處有傾斜管錯動情形，所以似乎此兩者所得滑動面位置有相似之處，故本研究所採用的分析模式以及假設之參數皆屬合理。

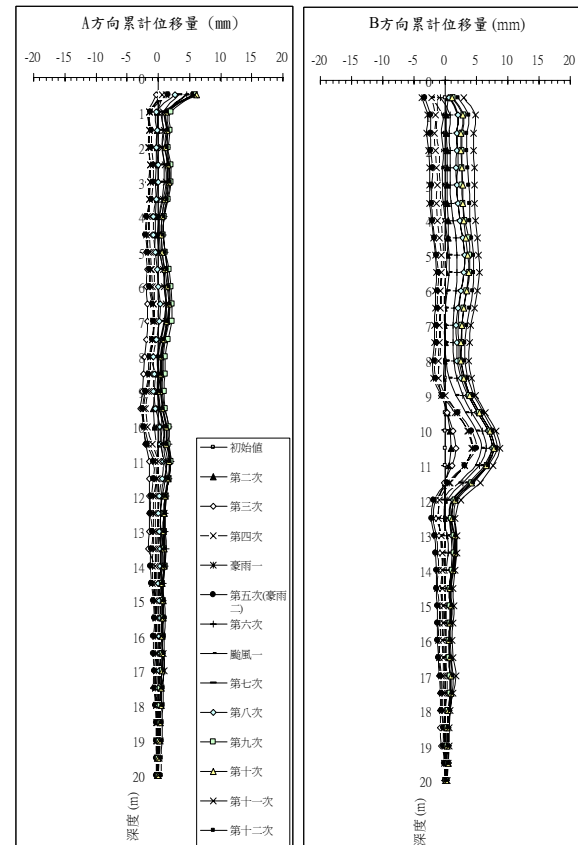


圖 2 SI3-01 傾斜管監測變化曲線圖

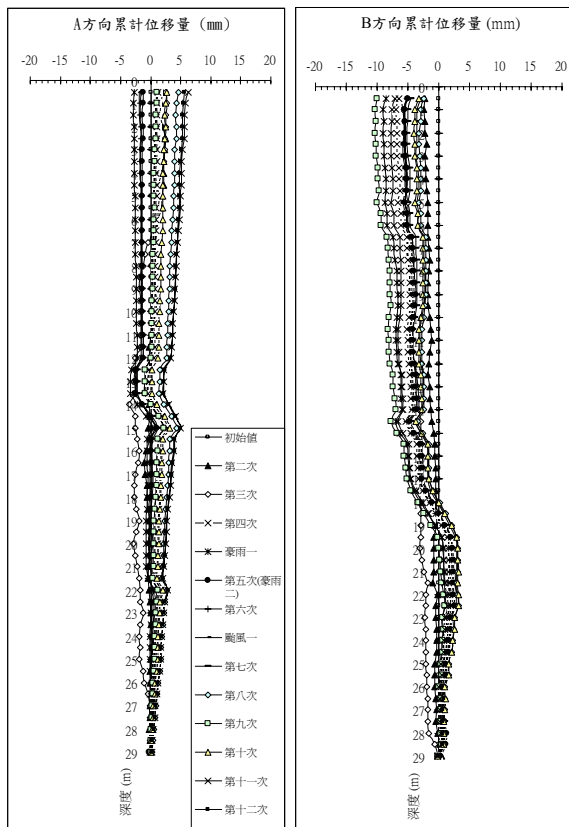


圖 3 SI2-05 傾斜管監測變化曲線圖

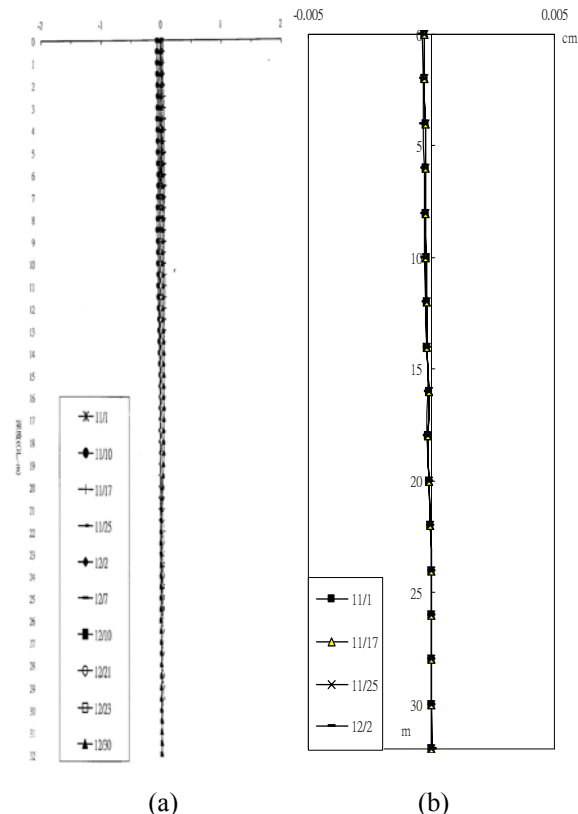


圖 5 九份地區傾斜管變化與模擬曲線圖

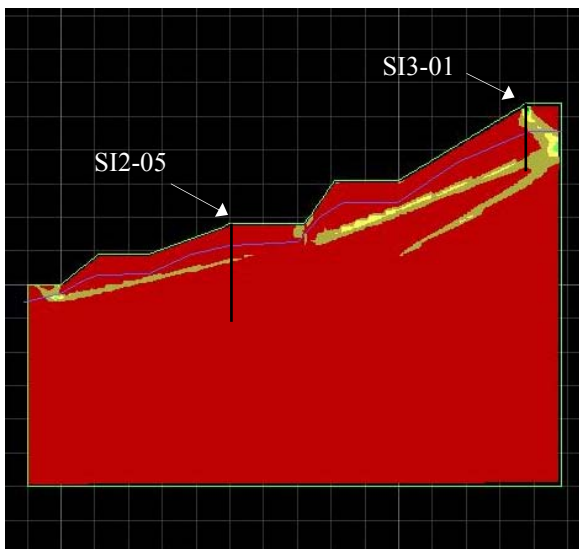


圖 4 金龍社區經 FLAC 穩定分析所得之滑動面

在九份地區，本研究也將選擇一個邊坡剖面來進行研究，監測與分析的結果之比較，可由圖 5(a)傾斜管監測變化曲線圖與圖 5(b)每月地下水位之傾斜管變位模擬曲線圖看出，此兩種曲線的趨勢相似，故本研究採用的分析模式以及假設之參數亦屬合理。

四、分析結果與討論

本研究將已建立的分析模式對前述兩個坡地社區模擬暴雨時地下水位上升或地震時不同地震加速度下，配合強度折減法將材料參數予以折減，求邊坡產生滑動的折減值(即安全係數)及對應的邊坡位移與速度反應預測值，建立安全係數與反應預測值之關係圖表，並擬定坡地社區在暴雨與地震時監測系統的注意值、警戒值與行動值。

4.1 水里鄉金龍社區在暴雨狀態下監測系統管理值之建立

因為地下水位之變動將引起邊坡之移動，甚至發生邊坡不穩定或大規模滑移。為模擬暴雨狀態下邊坡之穩定性與邊坡位移情形，本研究擬將金龍社區的地下水逐次上升其水位，以FLAC數值分析程式，計算其在不同地下水位深度時之安全係數與傾斜管頂端之水平位移量。

本研究所建立的金龍社區FLAC分析網格如圖6所示。元素網格中土層分成三層，每層的深度或厚度係以鑽探結果來建立，各層的材料參數係由力學試驗求

出，列於表2[12]所示。同時在建築物的位置處，將施加建築物的地表載重。

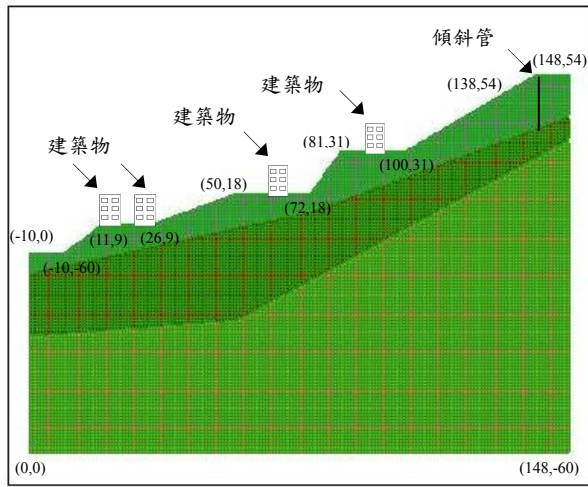


圖6 金龍社區邊坡FLAC分析網格及座標圖

表2 金龍社區土層材料參數表

土層	單位重 (γ)kg/m ³	凝聚力 (c)Pa	摩擦角 (ϕ)	體積模數 (B)Pa	剪力模數 (G)Pa
崩積層	1900	49200	34.4	2.59E7	1.56E7
破碎頁岩層	2950	9300	26.1	5.21E8	3.12E8
岩盤	2970	340000	22	5.21E8	3.12E8

此社區位於集集線鐵路北方，陳有蘭溪與濁水溪會流口北側山坡，社區於民國72年開發建築完成，基地面積約8.4公頃，社區內四排連棟式建築物，樓層大多為三層樓，座東朝西，呈階梯狀平行排列，住戶約87戶，地表坡度平均約在20~30%之間，住宅緊鄰邊坡建築，擋土牆與住宅之距離有的僅1m之間距，地層層次主要如下：

1. 崩積土層：本層為黃棕色崩積土夾岩塊，分佈在地表至地表下3~15m的區域。
2. 破碎頁岩夾粉砂岩：本層分佈在崩積土層下方，厚度介於2m~18m，主要由破碎頁岩組成，其間夾有粉砂岩或其頁岩節理面有淺灰色粉砂成分。
3. 破碎頁岩：本層為深灰色頁岩，節理發達節理面光滑，RQD介於0~84。

編號SI3-01的傾斜管設於座標(138,54)處，其深度為20m，因為傾斜管可得各點之水平位移量，

故本研究將以FLAC分析傾斜管各點(每隔1m取一點)的水平位移量。

金龍社區邊坡FLAC的分析結果，如表3所示；圖7為金龍社區的地下水位深度與安全係數關係圖。金龍社區邊坡管理值之訂定方法分述如下：

注意值：由圖7可看出地下水位在地表下9m上升到地表下6m之間的安全係數都維持在1.24，安全係數在地下水位深度小於6m時便開始隨深度而下降，所以本研究建議將注意值取安全係數等於1.24，地下水位在地表下6m處，傾斜管水平位移量0.06cm。

警戒值：由圖7可看出當地下水位在地表下5.5m時之安全係數在小於1.23後，其關係曲線的斜率也變得較為陡峭，即地下水位的變化量不大但安全係數卻降低很多，因此可以預估地下水位在地表下5.5m安全係數為1.23時，土體已開始產生降伏情況，建議此時應進行密集之監測，所以本研究建議在金龍社區邊坡穩定的安全係數達1.23時，地下水位在地表下5.5m處，傾斜管水平變位7.16 cm定為警戒值。

行動值：根據建築技術規則建築構造基礎構造設計規範在邊坡滑動的規定，暴雨狀態下安全係數須大於1.1，因此建議將行動值訂定在安全係數FS=1.1時所對應之傾斜管水平位移量38.11cm。

表3 安全係數-地下水位深度-最大水平位移量關係表
(金龍社區)

安全係數 FS	地下水位深度 (cm)	傾斜管之最大水 平位移量 (cm)
1	130	119.20
1.01	140	79.54
1.04	200	57.54
1.07	250	46.35
1.1	300	38.11
1.11	350	30.01
1.14	400	24.05
1.15	450	16.83
1.2	500	10.77
1.23	550	7.16
1.24	600	0.06
1.24	900	-

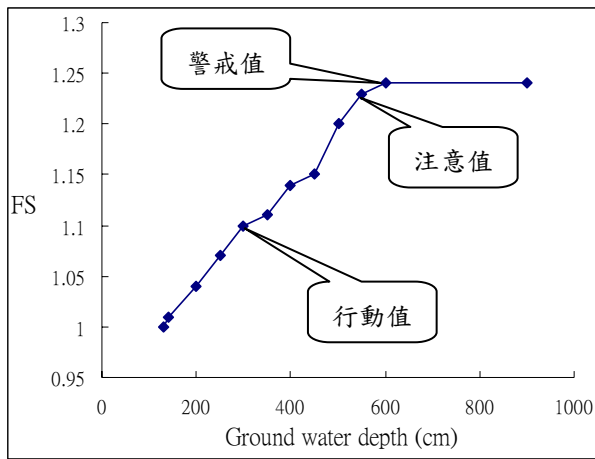


圖7 金龍社區地下水位深度與安全係數關係圖

4.2 九份邊坡社區在暴雨狀態下監測系統管理值之建立

本研究所建立的九份邊坡FLAC分析網格如圖8所示。元素網格中土層分成三層，每層的深度或厚度係以鑽探結果來建立，各層的材料參數也由力學試驗求出，列於表4[13]所示。同時在建築物的位置處，將施加建物的地表載重。

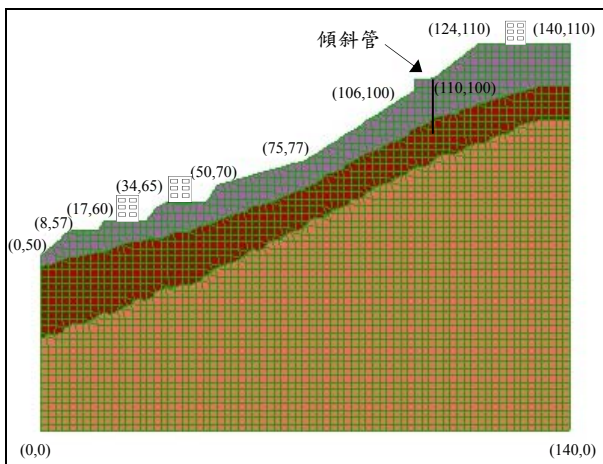


圖8 九份社區邊坡網格及座標圖

表4 九份社區土層材料參數表

土層	單位重 (γ)kg/m ³	凝聚力 (c)Pa	摩擦角 (ϕ)	體積模數 (B)Pa	剪力模數 (G)Pa
崩積層	2050	20000	32.6	1.25×10^7	5.8×10^6
砂岩 夾薄頁岩	2180	32000	44	1.69×10^9	1.27×10^9
岩盤	2700	2.72×10^7	27.8	2.68×10^{10}	6.99×10^9

此邊坡位於台北縣瑞芳鎮九份國小東北方，附近建築物最高為四層樓，地層層次主要如下：

1. 崩積土層：本層為黃棕色粉土質粉砂夾崩積岩塊，分佈在地表至地表下3.32~11.2m的區域。
2. 灰色砂岩夾薄層頁岩：本層分佈在崩積土層下方，主要由灰色砂岩所組成，厚度介於10.89m~20.88m，其間夾有棕黃色砂岩塊或棕黃色粉土砂。
3. 灰色細粒砂頁岩互層：本層為灰色細粒砂頁岩互層，節理發達，節理面光滑，此岩層之RQD介於0~97。

傾斜管設於座標(110,100)處，其深度為32m，因為傾斜管可得各點之水平位移量，故本研究將以FLAC分析傾斜管各點（每隔2m取一點）的水平位移量。

九份邊坡分析之結果如表5所示；圖9為九份邊坡之地下水位與水平位移量關係圖。九份社區邊坡管理值之訂定方法如下說明：

注意值：根據圖9九份邊坡之地下水位與水平位移量關係圖中看出，地下水位於地表下23m上升到地表下10m間的安全係數都維持在1.53，安全係數在地下水位深度小於10m時便開始隨深度而下降，所以本研究建議將注意值取安全係數FS=1.53，地下水位深度在地下10m處，傾斜管水平位移量0.08cm。

警戒值：由圖9可看出安全係數小於1.49後，其關係曲線的斜率變得較為陡峭，即地下水位的變化量不大但安全係數卻降低很多，因此可以預估地下水位在地表下8m安全係數為1.49時，土體已開始產生降伏情況，建議此時應進行密集監測，所以本研究建議在金龍社區邊坡穩定的安全係數為1.49時，傾斜管位移量0.88cm定為警戒值。

行動值：根據建築技術規則建築構造基礎構造設計規範在邊坡滑動規定，暴雨狀態下安全係數不得小於1.1，因此建議將行動值定訂在安全係數FS=1.16時所對應之傾斜管位移量12.63cm。

表5 安全係數-地下水位深度-最大水平位移量關係表
(九份地區)

FS 安全係數	地下水位深度 (cm)	傾斜管之最大水 平位移量 (cm)
0.99	150	1353
1.06	200	29.92
1.16	300	12.63
1.25	400	7.21
1.33	500	4.47
1.39	600	2.75
1.44	700	1.62
1.49	800	0.88
1.51	900	0.44
1.53	1000	0.08
1.53	2300 (鑽探時水位)	0.03

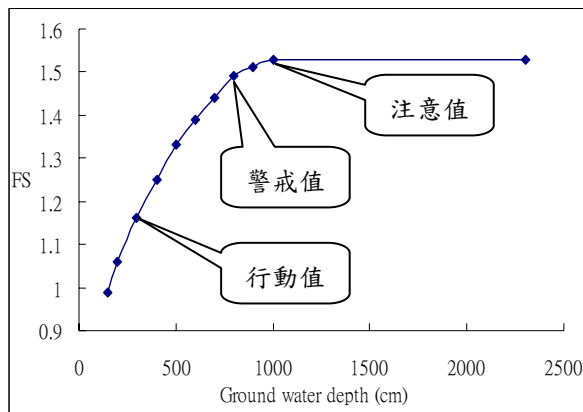


圖9九份邊坡安全係數與地下水位關係圖

4.3 水里鄉金龍社區在地震狀態下監測系統管理值之建立

FLAC可模擬邊坡承受地震力之動態行為，本研究在分析中將加入最低雷利阻尼 $\xi_{min} = 0.05$ ，與基本自然頻率 $f_{min} = 2.0$ Hz，然後將0.03g、0.08g、0.13g、0.18g、0.23g、0.28g、0.33g的地震加速度加在底部岩層以進行動態分析。由強度折減法參考其塑性剪應變率分佈情形來判斷此邊坡是否失穩，決定其地震狀態下的安全係數。金龍社區邊坡地震分析結果如表6所示，在FLAC分析中將得到不同時間下SI3-01坡頂的水平位移量，再依此決定其水平速度值，找出其中最大的速度作為地震狀態下的管理值。本研究除了以地表速度來作為監測系統在地震狀態之管理值外，也將以傾斜管在地震狀態下最大的傾斜角來作為另一管理指

標。分析時將針對傾斜管不同位置計算其水平位移量，再計算其相對位移與傾斜角，由其中尋找出最大的傾斜角，作為地震狀態的管理值。

表6 金龍社區邊坡地震分析結果

FS	地震加 速度	最大位 移量 (cm)	最大傾斜角 (度)			深度 (m)	地表水 平速度 (cm/sec)
			度	分	秒		
1.23	0.03g	0.98	0	2	2.3	1	1.29
1.22	0.08g	2.73	0	5	57.3	1	3.53
1.3	0.13g	4.48	0	10	55.9	1	5.82
1.2	0.18g	6.23	0	16	42.4	1	8.17
1.1	0.23g	7.99	0	23	53.5	1	10.61
1	0.28g	9.74	0	32	56	1	13.08
0.9	0.33g	11.38	0	43	18.8	1	15.40

由於地震發生都是一瞬間，所以無法訂定注意值與警戒值。根據建築技術規則建築構造基礎構造設計規範在邊坡滑動之規定，地震狀態下的安全係數不得小於1.2，故在此分析中將行動值定為安全係數1.2時，對應之最大速度為8.17cm/sec，傾斜管的傾斜角度為0度16分42.4秒。圖10為金龍社區地震位移變化曲線圖，由圖中可看出最大傾斜角均發生在地表下1m處，建議在現地地面上裝設速度計及在地表下1m處裝設傾斜儀以達警示效果。

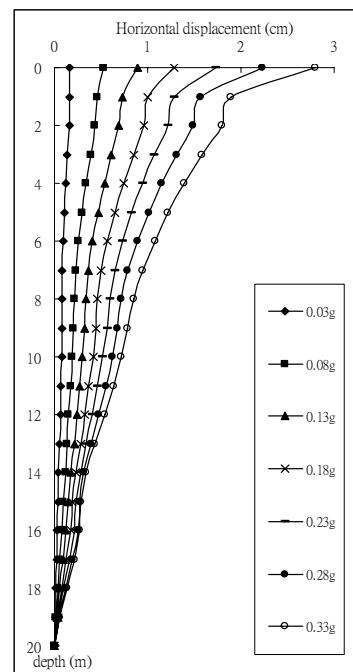


圖10 金龍社區地震位移變化曲線圖

4.4 九份地區邊坡在地震狀態下監測系統管理值之建立

九份地區邊坡地震分析結果如表7所示，根據基礎構造設計規範在邊坡滑動規定，地震狀態下安全係數在1.2以上，故將行動值定為安全係數1.2時，對應之最大速度為3.27cm/sec，傾斜管的傾斜角度為0度2分50.2秒。圖11為九份邊坡地震位變變化曲線圖，由圖中可看出最大傾斜角位置發生在地表下12m處。

表7 九份地區邊坡地震分析結果

FS	水平加速度	最大位移量 (cm)	最大傾斜角 (度)			深度 (m)	地表水平速度 (cm/sec)
			度	分	秒		
1.4	0.03g	0.2	0	0	31.8	12	0.61
1.35	0.08g	0.53	0	1	16.6	12	1.52
1.3	0.13g	0.86	0	2	2.9	12	2.41
1.2	0.18g	1.19	0	2	50.2	12	3.27
1.1	0.23g	1.52	0	3	39.6	12	4.1
1	0.28g	1.85	0	4	28.1	12	4.89
0.9	0.33g	2.18	0	5	17.6	12	5.66

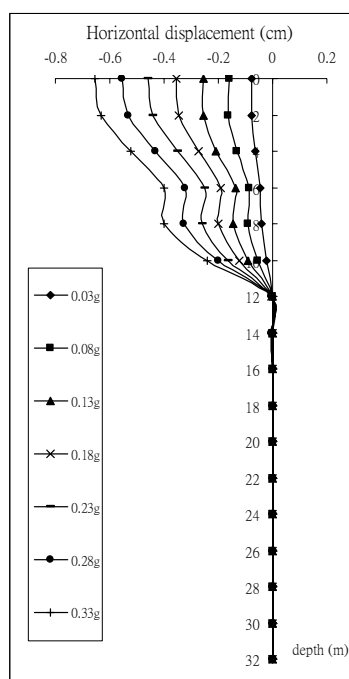


圖 11 九份地區地震位變變化曲線圖

五、結論

對於水里鄉金龍社區與瑞芳鎮九份邊坡社區之暴雨與地震模擬分析，結果大致可歸納以下幾點結論：

- (1) 金龍社區邊坡在平時狀態下以 FLAC 分析之結果顯示，滑動規模大涵蓋整個社區，滑動面位置約在破碎的頁岩夾粉砂岩層，且離地表 10~20m。而傾斜管監測結果也顯示傾斜管 SI3-01、SI2-05 分別在地表下 9~12m、19m 處有傾斜管錯動情形，此兩者所得滑動面位置有相似之處，故本研究所採用的分析模式及假設之參數皆屬合理。
- (2) 九份地區監測與分析的結果之比較，由傾斜管監測變化曲線圖與每月地下水位之傾斜管變位模擬曲線圖，此兩種曲線的趨勢相似，故本研究所採用的分析模式以及假設之參數皆屬合理。
- (3) 水里鄉金龍社區的注意值為安全係數為 1.24，傾斜管水平位移量 0.06cm。警戒值為安全係數 1.23 時，傾斜管水平變位 7.16 cm。行動值定訂在安全係數 FS=1.1 時所對應之傾斜管水平位移量 38.11cm。
- (4) 九份邊坡的注意值為安全係數FS=1.53，傾斜管水平位移量0.08cm。警戒值為安全係數為1.49時，傾斜管位移量0.88cm。行動值為安全係數FS=1.16時所對應之傾斜管位移量12.63cm。
- (5) 金龍社區地震分析將行動值定為安全係數 1.2 時，其對應之最大速度為 8.17cm/sec，傾斜管的傾斜角度為 0 度 16 分 42.4 秒，最大傾斜角位置均發生在地表處。
- (6) 九份邊坡社區地震分析將行動值定為安全係數1.2 時，其對應之最大速度為3.62 cm/sec，傾斜管的傾斜角度為0度2分50.2秒，最大傾斜角位置均發生在地表下12m處。

誌謝

本文為國科會NSC 95-2622-E-324-005-CC3研究成果之一部份，在此向國科會致上最大謝意，因有其鼎力補助研究經費，方使本研究得以順利完成。

參考文獻

- [1] Goodman, L. E. and Brown, C. B., "Dead load stresses and the instability of slopes," Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, ASCE, Vol. 89, No. 3, pp.103-134, (1963)

- [2] 日本地滑對策技術協會，地滑對策技術設計實施要領，一卷，第二期，(1978)
- [3] 陳信雄，「管狀應變計應用於龍潭地層滑動量推定之研究」，台灣大學合作報告，No.22，(1978)
- [4] Huang, S. L., and Yamasaki, K., "Slope Failure Analysis Using Local Minimum Factor-of-Safety Approach," Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 119, No. 12, pp.1974-1987, (1993)
- [5] 廖洪鈞、廖瑞堂，「坡地社區開發安全監測手冊」，內政部營建署 (2000)
- [6] 陳志昌，「FLAC 程式應用於土壤邊坡穩定分析」，國立中央大學應用地質研究所，碩士論文，桃園，(2001)
- [7] 郭力行，「邊坡破壞發生之預測方法研究-以梨山地滑地為例」，碩士論文，國立中興大學土木工程研究所，台中 (2002)
- [8] 曾國維，「梨山地滑地管理基準值的綜合評定」，國立中興大學土木工程研究所，碩士論文，台中 (2003)
- [9] 葉致翔，「TDR 邊坡資訊自動化監測系統」，國立交通大學土木工程研究所，碩士論文，桃園 (2003)
- [10] 李昊哲，「簡易坡地自主安全管理系統建立之研究」，中原大學土木工程研究所，碩士論文，桃園，(2005)
- [11] 朝陽科技大學營建工程系附屬專業服務中心，「水里鄉新城村金龍社區山坡地滑動監測計畫工程－監測成果報告書」(2007)
- [12] 朝陽科技大學營建工程系附屬專業服務中心，「水里鄉新城村金龍社區山坡地滑動監測計畫工程-期中報告書」(2006)
- [13] 造冠企業股份有限公司，「基隆河員子山分洪計劃區周圍地盤穩定委外調查監測及工程規劃設計-鑽探及土壤試驗工程報告書」(2005)