

降雨特性對坡地穩定性影響之關聯 性研究—以義興崩場地為例

羅鴻傑* 許世孟** 顧承宇*** 蘇泰維**** 李錦發*****

摘 要

台灣本島係由歐亞板塊和菲律賓板塊相互擠壓形成，造就出陡峭的地形及脆弱多變的地質環境，山區地層更在歷經集集地震後造成嚴重擾動而非常破碎，在頻繁的颱風豪雨事件下往往發生大規模的山崩與土石流災害，因此探討山區崩場地受降雨入滲而導致邊坡失穩之行為，已成為一重要課題。有鑒於此，本文嘗試以桃園縣復興鄉義興崩場地為例，將一系列現地與室內調查試驗成果整合建立一水文地質概念模式，利用數值模擬來掌握崩場地在降雨入滲條件下之穩定性。模式中所給定之水力參數均透過現地水壓計監測成果反覆校正而率定，並以辛樂克及蕃蜜兩場颱風事件作驗證。待完成校正與驗證後，本研究將不同雨型、降雨強度及累積雨量等降雨條件帶入模式分析，以進而探討降雨特性與坡地穩定性間之關聯性。降雨雨型的模擬結果顯示前峰式雨型對崩場地穩定性影響最小，後峰式雨型則影響較大；降雨強度的模擬結果顯示當降雨強度越過 22.9 mm/hr 的門檻時，崩場地的穩定性開始明顯受到影響，然其影響程度會在強度達到 68.7 mm/hr 時而逐漸趨緩，說明了降雨強度對崩場地的影響存有一上限值。另由累積雨量的模擬結果發現崩場地的穩定性隨累積雨量而呈線性的下降趨勢，惟其趨勢並非顯著，說明了累積雨量變化對崩場地穩定性的影響相對較低。

關鍵字：降雨入滲、水文地質概念模式、義興崩場地、坡地穩定性、重現期距雨量

一、前 言

台灣本島係由歐亞板塊和菲律賓板塊相互擠壓形成，造就出陡峭的地形及脆弱多變的地質環境，山區地層更在歷經集集地震後造成嚴重擾動而使岩體破碎程度增加、強度減弱，近年來在全

球氣候異常變化下，頻繁的颱風豪雨往往使山區發生大規模的山崩與土石流，除造成道路中斷與房舍掩埋等災害之外，亦使集水區下游易淹水地區產生水患問題，嚴重地危害到民眾生命財產安全，而 97 年 9 月蕃蜜颱風所引發之貓纜墩柱坍塌事件又再次突顯了此一問題之嚴重性；因此探

* 中興工程顧問社大地工程研究中心研究員
** 中興工程顧問社大地工程研究中心水文地質調查組組長
*** 海洋大學河海工程系助理教授
**** 經濟部中央地質調查所科員
***** 經濟部中央地質調查所科長

討山區坡地受降雨入滲而導致邊坡失穩之潛勢，提供災害評估及預警之參考，已成為今日防災工作之重要課題。

一般而言，降雨入滲除使坡地飽和層中地下水位抬升外，亦增加了非飽和層土壤單位重量及含水量，造成土壤抗剪強度逐漸降低，進而可能驅使坡體產生滑動；此一現象在 70 至 80 年間已有學者開始進行研究（Sweeney and Robertson, 1979；Chipp et al., 1982；Pitt, 1983；Brand, 1984, 1985；Tan et al., 1987），並提出多數的邊坡災害係因降雨入滲而引致。近年來隨著電腦數據處理能力的提升，諸多學者亦開始透過電腦數值模擬的方式來探討降雨特性與邊坡穩定性之關連性，並針對研究區域提出降雨誘發邊坡滑動之雨量預警基準（Fredlund and Rahardjo, 1994；Alonso et al., 1995；Sugiyama et al., 1995；Gasmo et al., 2000；Rahardjo et al., 2001），如 Gasmo et al.（2000）對其研究區域提出久未降雨的蒸發作用會使其邊坡的安全係數增加 30%，而在降雨強度達 80 mm/day 的情況下安全係數則會產生 25% 的衰減；Rahardjo et al.（2001）亦針對其研究區域指出在 5 日累積 60mm 的臨前降雨（Antecedent Rainfall）條件下將大幅提升邊坡的滑動勢能。此類相關研究均透過數值的計算將促使邊坡滑動的雨量警戒值予以量化，惟其模式中的水文及地質條件卻鮮少經過完整的校正與驗證，導致模擬的結果與真實現況呈現落差，在預警基準的建立與應用上亦存有相當的不確定性。

本研究嘗試以數值模擬方式探討降雨對坡地穩定性之影響，模式的建立係透過一系列現地與室內調查試驗成果整合而成，而為使模擬結果合乎現地情況，模式中的參數均藉由長期水位監測成果進行率定，並以辛樂克及薔蜜兩場颱風事件的監測資料作驗證。此外，本研究分別將不同強度、累積量及雨型等降雨條件代入模式計算坡地不同降雨條件下之水位及安全係數變化，進而

探討降雨特性與整體邊坡穩定性間之關聯性。

二、數值模擬程式介紹

由於傳統邊坡穩定分析程式鮮少考量不飽和土壤的降雨入滲機制，僅能以輸入地下水位的變動作為模擬之水文條件，因此往往造成模擬代表性的不足，有鑒於此，本研究採用可整合降雨入滲-滲流-穩定性（Infiltration-Seepage-Stability）之 GeoStudio 程式來進行模擬。GeoStudio 內含多種不同分析功能的模組，因應研究目的，本研究僅使用其中之 SEEP/W 及 SLOPE/W 模組，茲對此二模組說明如后。

（一）SEEP/W

SEEP/W 模組為一有限元素（Finite Element Method）滲流分析程式，依據達西定律並藉由網格節點的計算，模擬流體通過飽和-非飽和土體中之行為，此模組可輸入暫態雨量資料，適於探討地下水受降雨、蒸發或地面水補注等條件下之滲流行為，其計算滲流之控制方程式如式（1）所示。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (1)$$

式中 H 為總水頭，K_x 及 K_y 分別為 X 向及 Y 向之水力傳導係數，Q 為邊界補注量，θ 為體積含水量，t 則為時間，式（1）表示水流在某空間 X 向及 Y 向流動的變化量加上外在之補注量等於該空間中土體單位時間內體積含水量之變化。而當土壤在不飽和狀態時，體積含水量將隨土壤的基質吸力（孔隙氣壓與孔隙水壓的差值，U_a-U_w）而有所改變；此外，土壤在不飽和層的水力傳導係數並非為一定值，往往隨著土體的飽和度及孔隙水壓的變化而改變，因此在模式分析時須分別建立體積含水量函數（Volumetric Water Content Function）及水力傳導係數函數

(Hydraulic Conductivity Function)，此函數除可透過室內試驗求得外，SEEP/W 更提供了 Fredlund and Xing (1994)、Van Genuchten (1980)、Modified Kovacs (2003) 及 Green and Corey (1971) 等發展之理論公式供使用。

(二) SLOPE/W

SLOPE/W 模組採極限平衡法 (Limit Equilibrium Method) 進行邊坡穩定分析，其方法包含 Morgenstern-Price、Bishop、Janbu、Ordinary、Spencer 及 GLE 等，可對不同土體類型、複雜地層和滑動面形狀邊坡進行分析，主要是將通過土體的滑動面以滿足力平衡或力矩平衡的方式求解安全係數。而因應不飽和土壤之地下水問題，SLOPE/W 提供了與 SEEP/W 的耦合分析功能，可在分析中進而探討邊坡在不飽和條件下或是不同孔隙水壓分布下之穩定性。考量土壤在負孔隙水壓條件下剪力強度變化與正孔隙水壓狀態下有所不同，SLOPE/W 於計算不飽和土壤剪力強度時係利用 Fredlund 等 (1978) 提出之 Mohr-Coulomb 修正式，如式 (2) 所示。

$$\tau = C' + (\sigma_n - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi^b \quad (2)$$

式中 τ 為剪力強度， C' 為有效凝聚力， σ_n 為切片底面之平均正向應力， ϕ' 為有效摩擦角， ϕ^b 則是土壤抵抗力因基質吸力增加而提升之摩擦角，由此修正式可知不飽和層土壤的剪力強度與 C' 、 ϕ' 及 ϕ^b 有著密不可分的關係。

三、研究區域概述與模式分析

本研究調查區域位於桃園縣復興鄉義興電廠上方，距大漢溪中游及榮華壩下游約 5 公里處之崩塌地。雖由前人研究指出此崩塌地屬長期蠕動之變形行為 (陳錦清等，1996)，且近年來持續進行邊坡穩定及排水改善等工程，然根據經濟部

水利署 (2006) 報告指出，義興崩塌地仍有持續坍塌滑之情形；此外，經濟部中央地調所 (2007) 調查報告中亦提出此崩塌地在破碎岩層及完整岩層交界處仍有滑動面存在。由於崩塌地下方即為義興電廠，若此區域產生大規模滑動，勢必將對電廠營運及當地居民安全造成威脅，故有必要探討該區域在不同降雨特性下之滑動潛勢；研究區域位置如圖 1 所示。

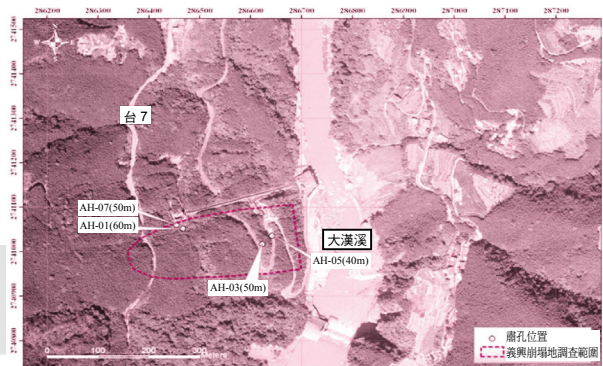


圖 1 義興崩塌地研究區域遙測影像 (經濟部中央地質調查所，2007)

本研究於調查區域佈設 4 孔共 200m 之地質鑽探調查，並施作一系列現地水文地質試驗包括地表地電阻剖面影像調查、雙環入滲試驗、孔內攝影調查及封塞水力試驗，主要係以獲得崩塌地之地層分布、滑動模式及水力參數等資訊來協助水文地質概念模式的建立。崩塌地之基本物理參數及力學參數係透過多項室內試驗的施作來獲得，包括物理性質試驗、壓力鍋試驗、三軸壓縮試驗及直剪試驗等。此外，本研究亦於調查範圍裝設雨量計及水壓計，並以長期監測方式獲取資料來提供模式初始水文條件以及參數校正、驗證之依據。整合上述調查與試驗成果後即可開始進行分析，其流程如圖 2 所示。

模式中崩塌地之剖面高程採三維雷射掃描 LIDAR (Light Detecting and Raging) 數值地形成果，並參照鑽孔岩心資料、孔內攝影圖像及地電阻剖面影像決定地層深度及地下水高程，待剖面

確立後將高程輸入 GeoStudio 中繪製有限元素網格。本研究將崩塌地地層由淺至深分為崩積土層，風化破碎岩層以及新鮮岩盤。在進行穩態分析時，將模式地下水位的左右邊界水頭皆設為定值，下方則設為零流通量 (No Flux)，所建立之初始地下水水位將與剖面鑽孔觀測之地下水水位進行比對，以使模式合於現況；另在進行暫態分析時，本研究將監測所得之雨量給定於崩塌地上方。崩塌地的模式建立及邊界條件給定如圖 3 所示，在進行 SEEP/W 分析不飽和土壤滲流時，須建立體積含水量函數以及水力傳導係數函數，本研究除崩積土體積含水量函數採壓力鍋試驗量測結果外，其餘地層則參照 Cascini et al. (2006)。此外，本研究採用之水力傳導係數均參照現地試驗成果，崩積土引用雙環入滲試驗計算之最小入滲率，風化及新鮮岩層則依雙封塞水力試驗之成果給定，並透過 Fredlund and Xing (1994) 之經驗公式計算水力傳導係數函數；而為確切掌握模擬結果，在進行暫態分析時，本研究採日作為每一時階 (Time Step) 之分析單位。將相關參數代入程式後即可計算崩塌地每一時階之地下水流場變化、壓力水頭分布及含水量分布等，如圖 4 所示。

本研究採崩塌地 AH-03、AH-05 及 AH-07 鑽孔所埋設之水壓計監測資料，並將 96 年 12 月 1 日至 97 年 7 月 29 日之觀測結果回饋於模式中進行水力參數的校正，藉由反覆計算與比對來減少模擬水位與監測水位間之誤差，其最終的校正結果如圖 5 所示，圖中顯示模式計算結果與水位觀測趨勢相當，在 96 年 12 月至 97 年 3 月期間因無明顯降雨，故兩者水位均未產生顯著的變化，而一旦進入 97 年 3 月後降雨趨於頻繁，水位則開始呈現明顯的改變，惟因崩塌地水位多處於地層較破碎且透水係數較高之風化岩層，故整體水位受降雨抬升的幅度不大。此外，圖中亦顯示模擬水位略高於實際觀測結果，說明了數值模

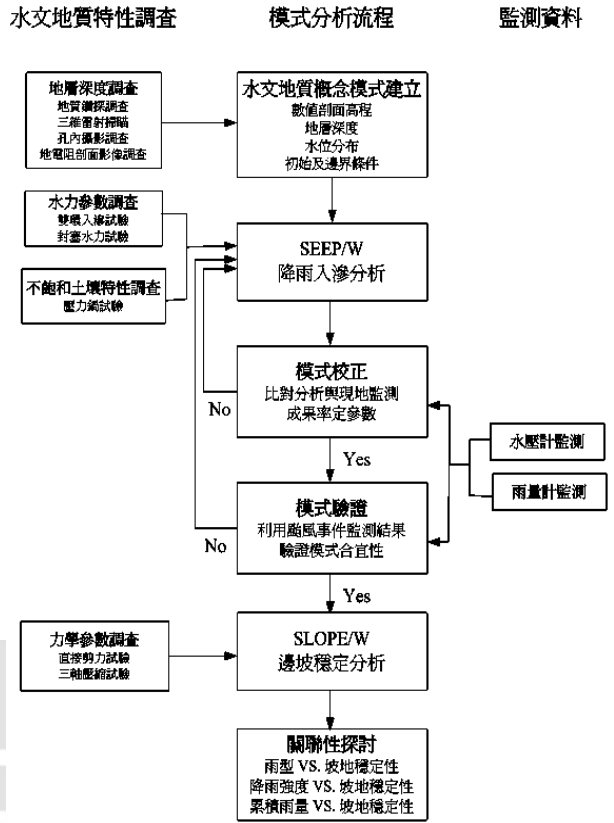


圖 2 模式分析流程

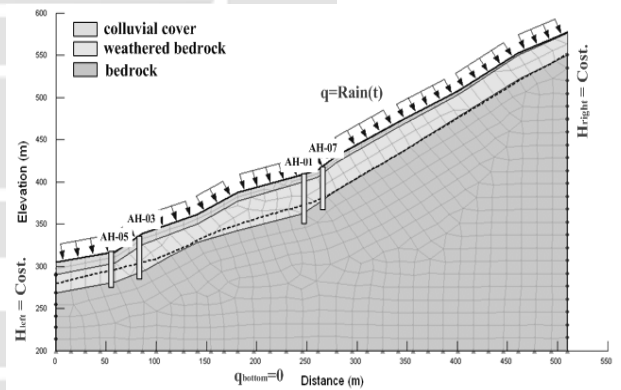


圖 3 崩塌地模式建立及邊界條件指定

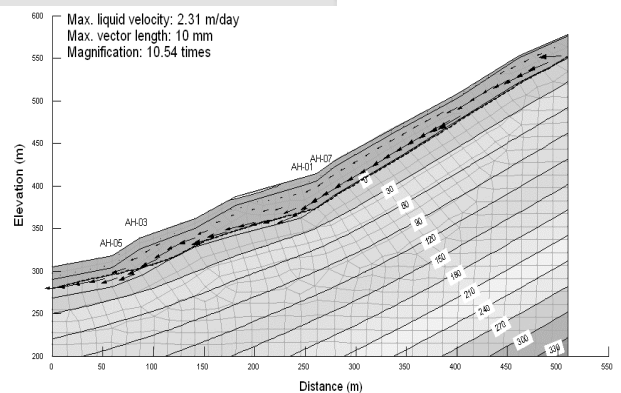


圖 4 SEEP/W 滲流向量及壓力水頭分布計算結果

擬在本研究中仍存有些許差異，同時亦證明了崩塌地水文地質條件的複雜性。表 1 為完成參數校正後模擬水位之誤差計算結果，結果顯示 3 孔水位之平均誤差範圍介於 1.82-2.28%間，已達到低於一般工程實務容許誤差 15%之範圍。模式中水力參數最終校正成果彙整如表 2 所示。

表 1 模式校正後地下水水位誤差值統計結果

鑽孔	AH-03	AH-05	AH-07
最大誤差 (%)	7.40	5.71	3.70
最小誤差 (%)	0.08	0.05	0.01
平均誤差 (%)	2.02	2.28	1.82
標準偏差 (%)	1.61	1.33	1.19

表 2 模式校正後之水力參數與邊坡穩定使用之力學參數

參數	地層	崩積土	破碎岩層	新鮮岩盤
水力傳導係數, K (m/sec)		1.63×10^{-5}	7.94×10^{-5}	7.75×10^{-8}
體積含水量, ω (%)		23	22	20
水力傳導係數異向比 K_r		1	0.5	1
單位重, γ_t (kN/m ³)		16	22	26
凝聚力, C (kPa)		10	80	500
摩擦角, ϕ (deg)		29	32	42

本研究亦將 97 年 9 月 11 日及 9 月 26 日所發生之辛樂克及薔蜜颱風降雨歷程代入模式計算崩塌地在颱風期間的水位變化，並透過水壓計監測結果的比對來驗證模式之代表性，其成果如圖 6 及圖 7 所示。圖中顯示模擬水位受降雨入滲抬升的反應較快，而監測水位卻略有延遲的情況產生；此外，辛樂克颱風事件的模擬水位亦小幅高於監測水位反應，然就整體而言模式計算結果與水位觀測仍呈現相當一致的趨勢，說明模式的模

擬成果具代表性。

為探討崩塌在各種水文條件變化下之穩定性，本研究在模式完成水力參數校正與驗證後進行 SLOPE/W 邊坡穩定分析，分析時係依現勘、鑽探及試驗調查成果確立可能滑動面位置，綜觀調查結果研判滑動面亦較有可能沿破碎岩層及新鮮岩盤的介面產生，故於分析時將此滑動面指定於模式中，如圖 8 所示。由於力學參數的校正需仰賴密集的地表及地中變形監測結果，也需要 1~2 場短期暴雨所造成之較大滑動事件的資料作驗證，受限於本案例監測資料之不足，本研究模式中力學參數是以室內三軸壓縮試驗結果給定之。將參數代入即可利用極限平衡法求取每一時階下的滑動面安全係數，分析結果顯示崩塌地在常態條件下滑動面安全係數為 1.649，高於規範常態安全係數 1.5 之規定，說明了崩塌地處於穩定狀態。

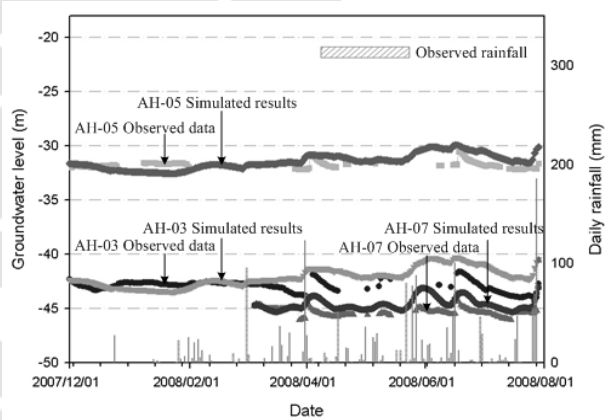


圖 5 模式水位校正成果

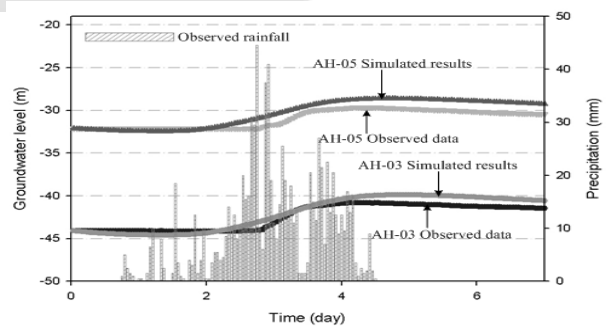


圖 6 辛樂克颱風模式水位驗證成果

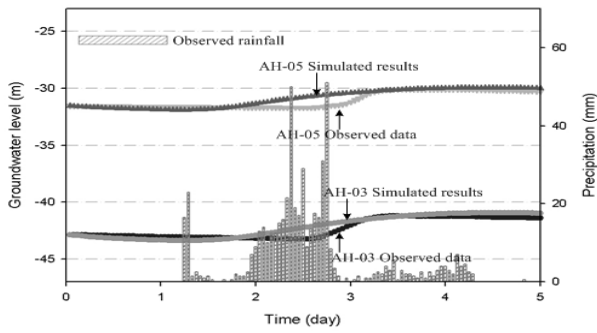


圖 7 薔蜜颱風模式驗證成果

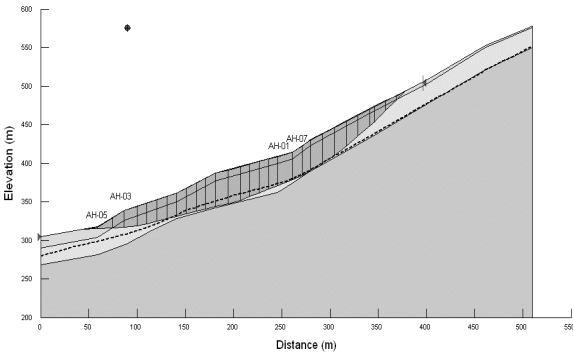


圖 8 SLOPE/W 邊坡穩定分析滑動面指定

四、降雨與坡地穩定關聯性探討

一般而言，探討促使邊坡滑動的降雨特性不外指降雨延時（Duration）、降雨強度（Intensity）、累積降雨量（Amount）及雨型（Pattern）等（Campbell, 1975；Brand et al., 1984；Caine, 1980；謝平城，2004；Tsai, 2008），因此本研究亦將不同雨型、強度及累積量等降雨條件代入模式進行分析，探討崩場地降雨特性與坡地穩定性間之關聯性。

（一）降雨雨型與坡地穩定性

為探討雨型對坡地穩定性之影響，本研究將相同累積量及降雨強度的雨量分別以前峰（Advanced）、後峰（Delayed）、中峰（Central）、雙峰（Doubled）及均勻（Uniform）雨型方式分配至 48 小時的延時中，而其中累積雨量係參考崩場地鄰近之霞雲雨量觀

測站資料，選用頻率分析趨近於 100 年之重現期距雨量結果（經濟部中央地質調查所，2007）；探討之雨型資料如圖 9 所示。

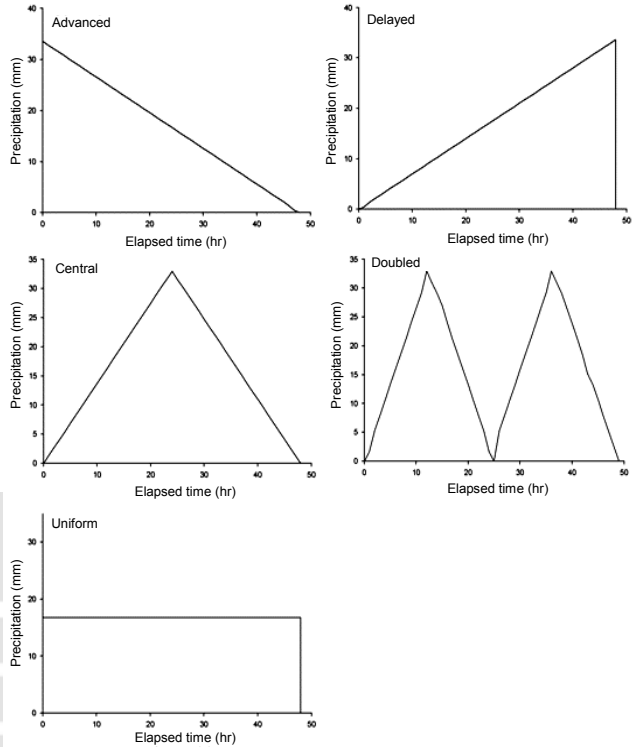


圖 9 欲探討之雨型種類

圖 10 為分析所得在不同雨型下滑動面安全係數隨時間的變化，其中以降雨強度最快達到尖峰的前峰式雨型在初始階段安全係數下降最快，然其最終安全係數下降幅度卻最低，約為 4.1%；中峰式和雙峰式雨型整體的變化趨勢相當，安全係數均隨時間而緩慢下降，且最終安全係數下降幅度亦非顯著，約在 4.5~4.6%間。均勻雨型安全係數在初期的變化與其它雨型差異不大，惟其整體下降趨勢均明顯高於前者，最終的下降規模亦相對較高，約為 7.2%。而降雨強度尖峰值在最後到達之後峰式雨型則呈現最明顯的下降趨勢，其安全係數在初始階段變化雖為眾雨型中之最低，然在約 20 小時後卻開始隨雨量的逐漸增加而陡降，最終下降幅度為 9.9%，為影響坡地穩定性最顯著之雨型。

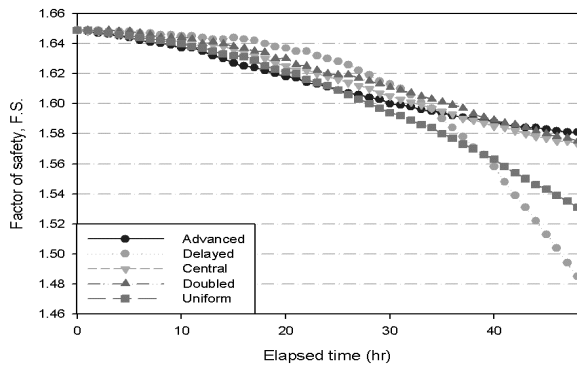


圖 10 安全係數在不同雨型下變化

(二) 降雨強度與坡地穩定性

為探討降雨強度與坡地穩定性之關聯性，本研究將欲探討之降雨條件以均勻的方式分布，並透過頻率分析所得趨近 100 年之重現期距總雨量以不同延時分配至雨型中，以獲得不同降雨強度之雨量，如表 3 所示。

表 3 欲探討不同降雨強度之降雨條件

降雨雨型	降雨強度 (mm/hr)	累積雨量 (mm)	降雨延時 (hr)
均勻	68.7	824	12
均勻	54.9	824	15
均勻	45.8	824	18
均勻	34.3	824	24
均勻	22.9	824	36
均勻	17.2	824	48
均勻	13.7	824	60
均勻	11.4	824	72

圖 11 為分析所得在不同降雨強度下滑動面安全係數隨時間的變化，圖中顯示安全係數均隨降雨歷時而降低，當降雨強度介於 11.4-22.9 mm/hr (延時 72-36 hr) 時，安全係數的下降幅度相當，約在 6.8-7.8%之間，而當降雨強度為 34.3 mm/hr (延時 24 hr) 時，安全係數的下降始趨顯著，幅度提升至 10.5%；另當降雨強度到達 68.7 mm/hr (延時 12 hr) 時，下降規模更大幅降

低至 16.4%。此外，相較於安全係數在降雨後 10 小時的下降率，在 68.7 mm/hr、45.7 mm/hr、22.9 mm/hr 以及 11.4 mm/hr 的降雨強度下分別下降 14%、5.5%、0.9%及 0.2%，說明了在相同降雨時間下，坡地穩定度隨降雨強度增加而減弱之程度。

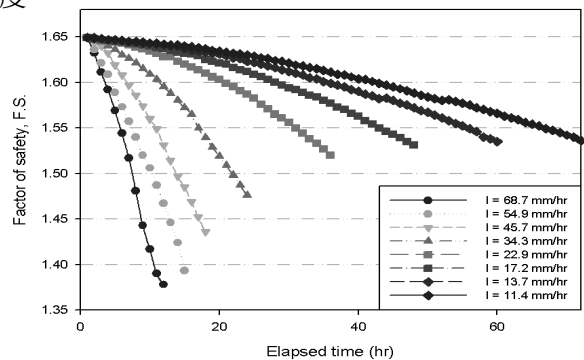


圖 11 安全係數在不同降雨強度下變化

圖 12 為分析所得降雨強度與安全係數間之關係，由圖中可發現一旦降雨強度越過 22.9 mm/hr 的門檻後，安全係數開始陡降，且在 22.9-54.9 mm/hr 降雨強度間呈一線性的下降趨勢，另在降雨強度 68.7 mm/hr 時發現安全係數下降趨於減緩，說明了降雨強度對坡地穩定的影響仍存有一極限值，由於本崩場地崩積土的水力傳導係數為 1.63×10^{-5} m/sec (58.68 mm/hr)，在降雨強度高於水力傳導係數的條件下，部分雨水已無法完全入滲於地層中而形成地表逕流，此將導致水位的抬升規模降低，安全係數的下降幅度亦趨減緩。

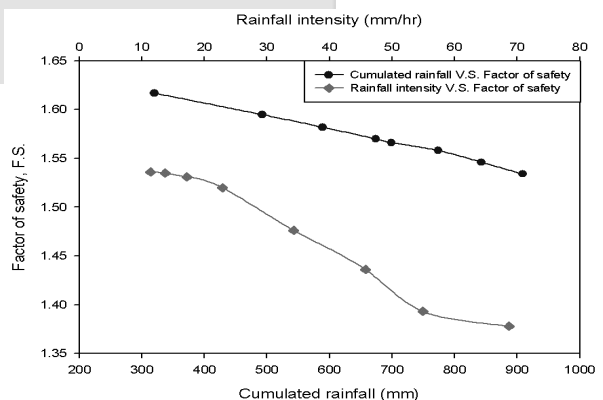


圖 12 降雨強度、累積雨量與安全係數之關聯性

(三) 累積雨量與坡地穩定性

除降雨強度與雨型外，本研究亦將降雨頻率分析之 48 小時重現期距雨量結果代入模式進行分析，以進而探討崩場地在不同累積雨量下的穩定性。頻率分析所得各重現期距雨量資料如表 4 所示，其雨量分布則見圖 13。圖 14 為安全係數在各重現期距累積雨量下隨時間的分析結果，由圖觀之整體滑動面安全係數亦隨降雨歷時而降低，在初始階段由於雨量不大，故安全係數的變化不大，然在約第 13 小時後受降雨量的明顯增加，整體安全係數的下降幅度開始趨於顯著，以 2 年、20 年及 200 年的重現累積雨量為例，其最終安全係數分別下降了 1.3%、4.2%及 6.4%，說明了本崩場地之穩定性隨累積雨量的增長而呈一線性的緩降趨勢，此現象亦可由圖 12 中之關聯性得到驗證，惟由分析結果指出即使在 200 年重現期距的累積雨量下，最終安全係數僅下降約 6.4%，為 1.544，研判係因本崩場地風化岩層破碎，水力傳導係數高，故雨水在入滲後蓄積不易，以致水位抬升規模不大，而在相同條件下，滑動面之安全係數亦不會呈現明顯的下降。

五、結論

本研究以數值分析方法探討崩場地在不同降雨入滲條件下之穩定性。為使模式符合現場情形，模式中所給定之水力參數均經由現地水壓計監測資料的回饋反覆校正而得，並透過辛樂克及蓄蜜兩場颱風事件作驗證；其後將不同雨型、降雨強度及累積雨量等降雨條件代入模式進行分析，以探討降雨特性對坡地穩定性影響之關聯性。由降雨雨型的模擬結果顯示尖峰值最快達到之前峰式雨型對崩場地穩定性影響最小，安全係數在最終降雨歷時減少了 4.4%，而尖峰值最後達到的後峰式雨型則對坡地的影響較大，安全係數減少約 9.9%。在降雨強度分析結果顯示崩場地的

安全係數隨降雨強度的增長而降低，當降雨強度超過 22.9 mm/hr 的門檻時，坡地的穩定性開始明顯受到影響，而一旦降雨強度達到 68.7 mm/hr 時，安全係數的下降規模更大幅減少至 16.4%；另在降雨強度 68.7 mm/hr 時發現到安全係數下降率趨於減緩，說明了降雨強度對本崩場地穩定性的影響仍存有一上限值。最後在累積雨量模式的

表 4 欲探討不同累積雨量之降雨條件
 (經濟部中央地質調查所, 2007)

降雨雨型	重現期距 (year)	累積雨量 (mm)	降雨延時 (hr)
設計雨型成果	2	320	48
設計雨型成果	5	492	48
設計雨型成果	10	589	48
設計雨型成果	20	674	48
設計雨型成果	25	699	48
設計雨型成果	50	774	48
設計雨型成果	100	843	48
設計雨型成果	200	909	48

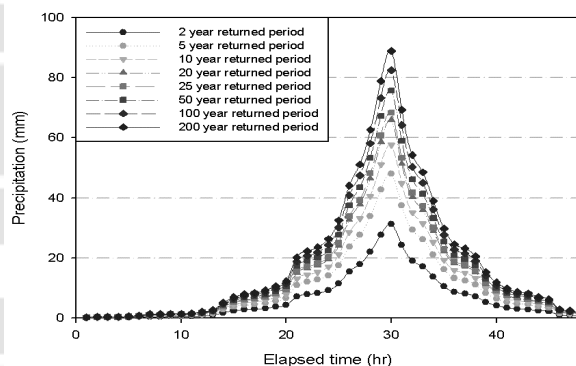


圖 13 欲探討之各重現期距雨量分布

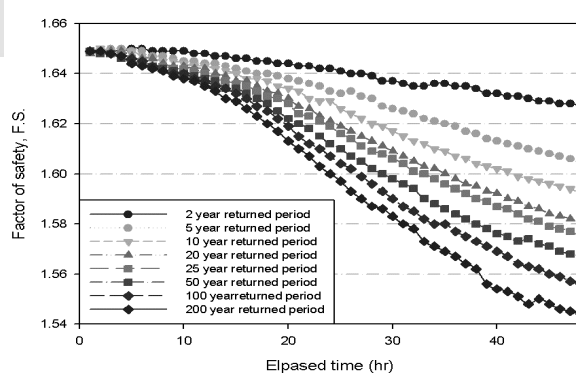


圖 14 安全係數在不同重現期距累積雨量下變化

分析亦顯示崩場地的穩定性隨累積雨量的增長而呈一線性的下降趨勢，惟其趨勢並非顯著，在 48 小時 909 mm 的累積雨量下，崩場地的安全係數僅有 6.4% 的下降率，說明了累積雨量變化對本崩場地穩定性的影響相對較低。

本文結合 GeoStudio 之未飽和滲流理論及極限平衡分析方法，主要係以探討坡地在不同水文條件下之穩定性，及其兩者間之關聯性，雖極限平衡法並非適切於分析所有邊坡的破壞屬性，且無法計算坡體移滑之變形量，然其所得之安全係數變化仍可作為研判邊坡穩定性之參考依據。受限於本案例監測資料之不足，本研究模式中力學參數的給定是以室內試驗為主，其校正與驗證仍待後續工作進行。

六、誌謝

本文部分工作成果承蒙中興工程顧問社地工中心水文地質調查組及水文地質模擬組同仁協助，特此誌謝。

參考文獻

- Campbell, R. H. (1975) Debris Flow Origination from Soil Slip During Rainstorm in Southern California, *Q Eng Geol*, 7, pp.339-349
- Fredlund, D., Morgenstern, N., and Widger, R. (1978) The Shear Strength of Unsaturated Soil, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.15, No.3, pp.313-32
- Sweeney, D. J., Robertson, P. K. (1979) A Fundamental Approach to Slope Stability Problems in Hong Kong, *Hong Kong Engineer*, October, pp. 35-44
- Caine, N. (1980) The Rainfall Intensity Duration Control of Shallow Landslides and Debris Flow, *Geogr Ann*, 62(1), pp. 23-27
- Chipp, P. N., Henkel, D. J., Clare, D. G., Pope, R. G. (1982) Field Measurement of Suction in Colluvium Covered Slope in Hong Kong, *Proceeding of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference*, November 22-26, Hong Kong, pp. 49-62
- Pitt, J. (1983) The Form and Causes of Slope Failures in an Area of West Singapore Island, *Singapore Journal of Tropical Geography*, 4(2), pp.162-168
- Brand, E. W., Premchitt, J., and Phillipson, H. B. (1984) Relationship Between Rainfall and Landslide in Hong Kong, *Proceeding of the 4th International Symposium on Landslides*, Toronto, Canada, Vol. 1, pp.377-384
- Brand, E. W. (1984) Landslide in Southeast Asia: A State-of-the-Art Report, *Proceeding of the 4th International Symposium on Landslides*, Toronto, Canada, Vol. 1, pp. 17-59
- Tan, S. B., Lim, T. L., Tan, S. L., and Yang, K. S. (1987) Landslide Problems and Their Control in Singapore, *9th Southeast Asian Geotechnical Conference*, Bangkok, Thailand, pp.1-25
- Fredlund, D. G. and Rahardjo, H. (1994) Hillside Slope Stability Assessment in Unsaturated Residual Soils, *IKRAM Seminar on the Geotechnical Aspects of Hillside Development*, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 1-41
- Alonso, E., Gen, A., Lloret, A., and Delahaye, C. (1995) Effect of Rain Infiltration on the Stability of Slopes. *Proceedings of the First International Conference on Unsaturated Soils, UNSAT'95*, Paris, France, Vol. 1, pp. 241-249
- Sugiyama, T., Okada, K., and Muraish, H. (1995) Statistical Rainfall Risk Estimating Method for A Deep Collapse of a Cut Slope. *Soil and Foundations*, 35(4), pp.37-48
- 陳錦清、蕭富元、俞旗文 (1997) 長期蠕動邊坡之潛變分析, *中興工程*, 第 257 期, 第 37-50 頁
- Gasmo, J. M., Rahardjo, H., and Leong, E. C. (2000) Infiltration Effects on Stability of a Residual Soil Slope, *Computer and Geotechnics*, 26, pp. 145-165
- Rahardjo, H., Li, X. W., Toll, D. G., and Leong, E. C. (2001) The Effect of Antecedent on Slope Stability, *Geotechnical and Geological Engineering*, 19, pp.371-399
- 謝平城、王瀚衛 (2004) 降雨滲流對邊坡穩定的影響, *水土保持學報*, 36 (2), 第 135-142 頁
- Cascini, L., Gulla, G., and Sorbino, G. (2006) Groundwater Modeling of a Weathered Gneissic Cover, *Can. Geotech J.* 43, pp.1153-1156
- 經濟部水利署北區水資源局 (2006) 榮華大壩 (含義興電廠) 第二次整體安全檢查與評估-監測成果分析總報告
- GEO-SLOPE International Ltd. (2007) Seepage Modeling with SEEP/W, *User's Guide Second Edition*, GEO-SLOPE International Ltd., Calgary, Alta
- GEO-SLOPE International Ltd. (2007) Stability Modeling with SLOPE/W, *User's Guide Second Edition*, GEO-SLOPE International Ltd., Calgary, Alta
- 經濟部中央地調所 (2007) 集水區水文地質對坡地穩定性影響之調查評估計畫 (期末分冊報告)
- Tsai (2008) The Influence of Rainstorm Pattern on Shallow Landslide, *Environ Geol.* 53, pp.1563-1569