

中華水土保持學報, 41(4): 333-342 (2010)

*Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 41 (4):333-342 (2010)

## 莫拉克颱風引致吉露部落崩塌之案例研究

鍾明劍<sup>[1]\*</sup> 譚志豪<sup>[1]</sup> 王金山<sup>[1]</sup> 冀樹勇<sup>[1]</sup> 蘇泰維<sup>[2]</sup>

**摘要** 莫拉克颱風不僅在台灣南部地區造成嚴重水患，連日豪大雨更誘發許多大型山崩與土石流災害，造成重大傷亡及經濟損失，其中位於隘寮北溪中游河床傾斜台地的吉露部落，因下邊坡區域產生嚴重崩塌災害，災後即被評定為不安全部落而全體遷村。本研究利用莫拉克颱風期間之降雨量、地下水位等資料，結合降雨入滲-地下水滲流-穩定性-變形性之串聯式分析模式，模擬吉露部落受豪雨引致下邊坡崩塌的機制。研究成果顯示莫拉克颱風前吉露部落下邊坡區域的安全係數為 1.57，然於莫拉克颱風期間降低至 0.97 達到破壞條件。透過現地監測數據及現勘成果比對，可證實本研究提分析模式具有良好的模擬能力與正確性，研究成果可供往後崩塌地在預測雨量下穩定性評估之參考。

**關鍵詞：**崩塌、莫拉克颱風、吉露部落。

## Case Study of Ji-Lou Landslide Triggered by Typhoon Morakot

Ming-Chien Chung<sup>[1]\*</sup> Chih-Hao Tan<sup>[1]</sup> Gin-Shan Wang<sup>[1]</sup> Shu-Yeong Chi<sup>[1]</sup> Tai-Wei Su<sup>[2]</sup>

**ABSTRACT** Typhoon Morakot brought tremendous rainfall to southern Taiwan. It caused many villages and towns to be flooded in low-lying areas as well as numerous landslides and debris flows in mountainous areas. Therefore, the disaster resulted in severe casualties and property damage. This paper presents a case study of Ji-Lou landslide triggered by Typhoon Morakot. A series of hydrogeological investigations, in-site tests, and laboratory experiments were carried out to establish the hydrogeological conceptual model of Ji-Lou. Coupled analysis of rainfall, infiltration, seepage, slope stability, and slope deformation was used to estimate the slope stability of Ji-Lou tribe during Typhoon Morakot. For the active landslide analysis, a two-dimensional numerical program, GeoStudio, was employed to perform the modeling practice. The results show the F.S. of Ji-Lou tribe reduced from 1.57 to 0.97 during Typhoon Morakot. In addition, the results of coupled analysis demonstrated good agreement between the predicted results and the data from field monitoring of the typhoon event. Further, it is expected the landslide initiation, enlargement, and reactivation can be more confidently predicted through using the aforementioned physics-based models.

**Key Words:** landslide, Typhoon Morakot, Ji-Lou tribe.

[1] 財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心

Geotechnical Engineering Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc., Taipei 110, Taiwan, R.O.C

[2] 經濟部中央地質調查所環境與工程地質組

Environmental and Engineering Geology Division, Central Geological Survey, MOEA, Taipei 235, Taiwan, R.O.C

\*Corresponding Author. E-mail address: mcchung@sinotech.org.tw

## 一、前言

近年來由於全球氣候異常，頻繁的颱風豪雨使得台灣山區受損範圍與程度均遠較過去為烈，以致山崩及土石流等自然災害頻傳。特別是 921 集集地震後，每當重大颱風襲台，山區即常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外，集水區下游易淹水地區亦產生水患問題，嚴重地危害到民眾生命與財產的安全。以 2004 年為例，全年颱風侵襲次數高達 9 次，僅 72 水災事件淹水面積即達 659 平方公里；而 2005 年的 612 豪雨事件亦造成南部地區多處淹水，淹水面積超過 500 平方公里。2009 年 8 月的莫拉克颱風不僅在南台灣造成嚴重水患，連日豪雨更誘發 2 萬餘個大小不等的新增山崩與土石流災害，造成重大傷亡及經濟損失。因此，如何有效地評估具保全對象聚落的降雨誘發崩塌潛勢，以提供相關單位防災、減災措施之參考，實為一項重要的課題。有鑑於此，本研究以吉露部落所進行研究為例，先對研究區域的背景、地形、地質及水文條件進行概述，再說明所執行一系列的水文地質特性調查與監測成果，進而探討降雨入滲引致地下水位變動進而導致邊坡失穩之行為，期能以本研究所建立結合降雨入滲-地下水滲流-穩定性-變形性之串聯式分析模式，於災前能對具保全對象聚落的坡地進行降雨誘發崩塌潛勢評估，作為後續防災、減災措施及保全策略擬訂之參考。

## 二、研究區域概述

### 1. 背景概述

吉露部落位於隘寮北溪中游河床傾斜台地上，可經由省道台 24 線前往，約於 46 公里處左轉往下即可到達。根據歷史災害記錄研判颱風豪雨為近期引致台 24 線與吉露聯外道路沿線柔腸寸斷之首因，如民國 95 年之 612 水災、民國 96 年 9 月下旬連日豪雨及民國 97 年 9 月中、下旬之卡玫基與鳳凰颱風等均造成聯外道路多處中斷、居民斷水斷糧等情事。綜合研判其降雨誘發崩塌潛勢甚高，故本研究團隊於民國 98 年執行「易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置」之「集水區水文地質對坡地穩定性影響之調查評估」計畫時，即劃定涵蓋吉露部落於內的吉露調查範圍進行研究。圖 1(a)為吉露調查範圍全景，調查範圍長約 250 公尺，寬約 210 公尺，面積約達 4.8 公頃。莫拉克颱風後因下邊坡區域產生嚴重崩塌災害，災後即被評定

為不安全部落而全體遷村，災後照片如圖 1(b)所示。



(a) 吉露調查範圍全景



(b) 災後下邊坡區域崩塌影像

圖 1 吉露調查範圍全景及莫拉克颱風災後影像

Fig.1 Panorama view of Ji-Lou study area and landslide photo triggered by Typhoon Morakot

### 2. 地形、地質及水文概述

吉露調查範圍主要地勢西高東低，坡面朝東，坡度約 25°，位於隘寮北溪流域，海拔約 900~1,100 公尺。調查範圍坡頂有一東北-西南向稜線通過，坡趾則有板岩碎屑崩滑，依此作為調查範圍之參考邊界，另外在調查範圍北側，為隘寮北溪支流切過，坡度亦約為 25°，對吉露調查範圍亦有相當影響。此調查範圍並無 1/50,000 地質圖幅可參考，因此根據高屏溪流域地質圖（圖 2，中興工程顧問公司，2009），調查範圍內所屬地層為潮州層。潮州層地質時代上可對比脊樑山脈帶的廬山層或西部麓山帶的打鹿頁岩，岩性以硬頁岩或板岩為主，間夾透鏡狀變質砂岩體，雖岩性主要為板岩，但各溪流域內變質砂岩多寡有所變

化,厚度可達數十公尺或上百公尺,且大都為透鏡狀體,空間的延伸不遠。在吉露調查範圍四周有霧台背斜及兩未命名之褶皺構造,皆為東北-西南走向,但並未通過本調查範圍。

吉露調查範圍所處霧台鄉之年平均氣溫約為17~18°C,全年以7月之溫度最高,1月溫度最低;濕度方面和降雨量時節對等,一般而言,8月濕度最高,12月最低。因地處台灣西南部,春季盛行西北風,夏季多吹西南風。根據中央氣象局所設之阿禮雨量站自1992~2008之統計結果,其年雨量約2,894公釐,雨量主要集中於5~9月間,合佔年降雨量的86.6%;10月至隔年4月為乾季,降雨量僅佔13.4%。當地雨季之降雨主要集中在颱風帶來之豪雨佔多數,此種短期集中降雨型態最易產生坡地災害。

### 三、水文地質特性調查及監測成果

#### 1. 水文地質特性調查成果

本研究區域所執行的水文地質特性調查包含有：

(1)鑽孔調查;(2)地表地質調查;(3)雙環入滲試驗;(4)

地表地球物理調查;(5)岩體裂隙位態調查;(6)裂隙岩體水力試驗;(7)電井測調查;(8)地下水流速調查;(9)未飽和層土壤含水特性試驗;(10)土壤與岩石力學試驗等,各項調查工作之目的與用途如表1所示(鍾明劍等人,2008)。調查成果可參考「集水區水文地質對坡地穩定性影響之調查評估」成果報告(財團法人中興工程顧問社,2009),調查成果除可掌握各地層水文地質參數、架構水文地質概念模型(如圖3所示)外,亦可協助釐清可能之潛在滑動面範圍及提供監測儀器布置規劃之參考。

莫拉克颱風過後,調查範圍西側及南側皆有大型的岩屑崩滑,使得對外道路(台24線)完全中斷,吉露村形同孤島。在吉露調查範圍內,由上邊坡至下邊坡皆有張力裂縫產生,上邊坡產生之張力裂縫,裂縫落差1公尺,下邊坡則因溪溝坡趾侵蝕,直接崩滑(見圖1(b))。整體來說,吉露調查範圍內滑動即可分為此三階,目前下邊坡已崩滑,而未崩滑之邊坡亦相當不穩定,應予以注意。

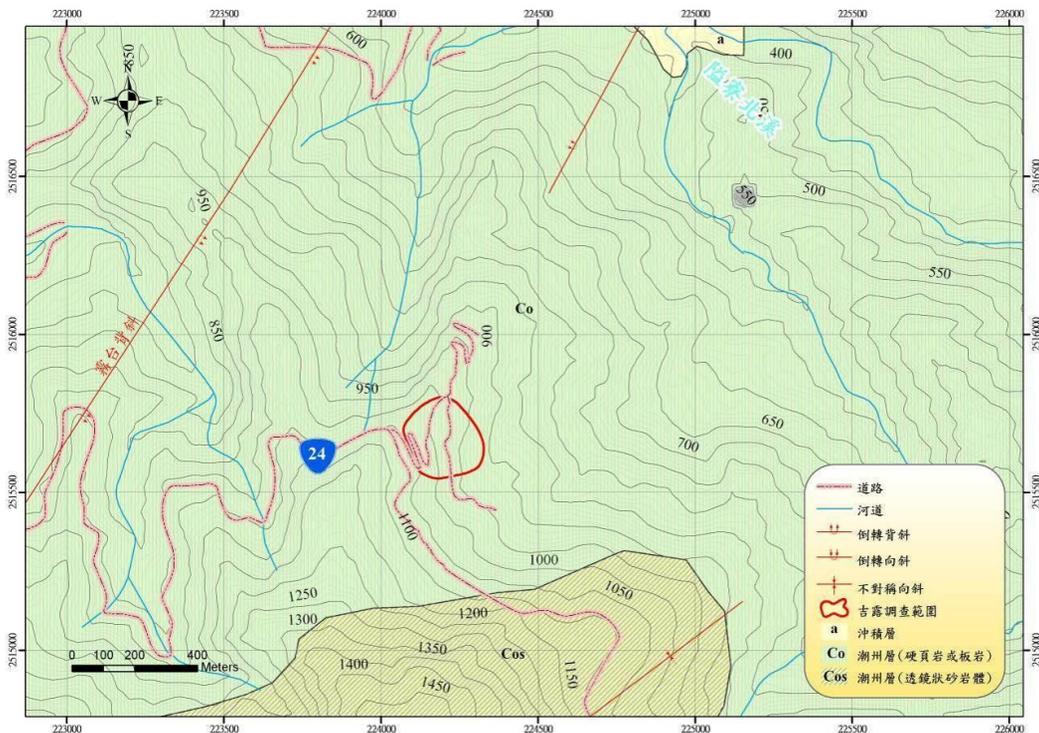


圖2 吉露調查範圍區域地質圖

Fig.2 Regional geological map of Ji-Lou area

表 1 崩塌地水文地質調查工作之目的與用途說明

Table 1 The purpose and applications of hydrogeologic investigation

調查項目	目的	用途
鑽探調查	調查崩塌地內地層與地質構造之空間分布及其力學特性。	1.提供崩塌地水文地質及穩定分析所需之基本參數； 2.瞭解崩塌地地層之破碎程度； 3.提供崩塌地可能滑動面深度及可能滑動位置。
地表地質調查	調查崩塌地範圍內之地形表徵與地質露頭。	1.調查崩塌地地形表徵，掌握坡面變動狀況； 2.掌握崩塌地露頭分佈及位態，推估崩塌地內之地質構造。
雙環入滲試驗	調查崩塌地表層土壤之入滲率。	1.提供崩塌地水文地質及穩定分析所需之入滲參數。
地表地球物理調查	調查崩塌地內之地層構造特性與地下水水位面訊息。	1.調查崩塌地內潛在滑動面位置與滑動區塊； 2.調查崩塌地內岩盤分布及深度； 3.調查阻水層位置、含水層深度與厚度。
岩體裂隙位態調查	調查岩層破碎程度、主要含水層可能之位置。	1.評估裂隙岩體水力試驗之深度位置； 2.掌握鑽孔岩心之精確位置，檢核鑽探品質； 3.釐清可能潛在滑動面之範圍。
裂隙岩體水力試驗	調查鑽孔內地層之裂隙岩體透水係數。	1.評估崩塌地水文地質特性； 2.評估崩塌地內含水層位置與型態； 3.提供崩塌地水文地質及穩定分析所需之透水係數。
電井測調查	調查地層孔隙及其強度、界定地層岩性及裂縫位置。	1.評估崩塌地地層細部構造； 2.提供建置崩塌地水文地質概念模型之參考。
地下水流速調查	調查鑽孔內地層之滲透或含水層位置。	1.評估崩塌地內含水層位置； 2.提供建置崩塌地水文地質概念模型之參考。
未飽和層土壤含水特性試驗	利用壓力鍋與現地張力設備調查未飽和層土壤含水特性。	1.評估不飽和土壤滲透特性，求取體積含水量隨基質吸力之變化； 2.提供崩塌地水文地質及未飽和層穩定分析所需之基本參數。
土壤與岩石力學試驗	利用鑽探與調查取得的岩心或土壤試樣進行各項室內試驗。	1.提供崩塌地水文地質及穩定分析所需之基本參數。

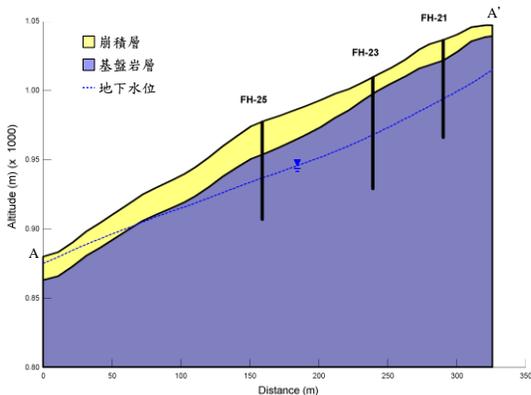


圖 3 吉露調查範圍水文地質概念模型

Fig.3 Hydrogeologic conceptual model of Ji-Lou study area

## 2. 監測系統建置與成果

吉露調查範圍內設置 1 組雨量站 (FR-02)、1 組地表伸縮計 (FE-02)、2 口全孔水位觀測井 (FH-21、FH-25)、2 口分層水位觀測井 (FH-27、FH-29)、15 處地表固定規標點 (TFA-01~TFA-15)

及 3 口傾斜觀測管 (FH-21、FH-23 及 FH-25)。綜上所述，本研究於吉露調查範圍內同步進行降雨量、地下水位、地中變形及地表變形等監測工作，表 2 彙整各監測項目、監測設備、數量、記讀方式及監測頻率等資訊，圖 4 則為現地儀器配置圖。惟莫拉克颱風後因下邊坡區域產生嚴重崩塌災害 (見圖 1(b)所示)，導致該區域 FR-02 雨量站、FH-23 及 FH-25 水位觀測井、3 口傾斜觀測管、及數處地表固定規標 (TFA-01、TFA-03、TFA-04、TFA-05) 等監測設備損毀或喪失功能。所幸 FH-21 水位觀測井有記錄到莫拉克颱風期間完整的水位變動資料，本研究再輔以阿禮雨量站資料進行降雨誘發崩塌潛勢評估工作，相關監測成果併於分析成果中呈現。

## 四、降雨誘發崩塌潛勢評估及驗證

圖 5 為本研究進行降雨誘發崩塌潛勢評估之流程圖，旨在呈現前述各項水文地質特性調查、試驗、監測與分析程序間的整合應用關係。其中降雨誘發崩塌潛勢評估係採 GeoStudio 程式 (GEO-SLOPE International Ltd., 2007) 內 SEEP/W、SLOPE/W

及 SIGMA/W 等模組進行耦合分析 (coupled analysis)。本研究採圖 4 中 AA' 線作為分析時所選用之剖面線, 此分析剖面始自頂部稜線經 FH-21、FH-23、FH-25 等鑽孔至底部溪溝為止, 所建置之水文地質概念模型如圖 3 所示。圖 6 為水文地質概念模型的水力及位移邊界條件, 降雨入滲及滲流分析時, 將左側邊界 (AS) 設定為定水頭邊界, 其值等於坡趾處溪溝的水位高程; 右側邊界 (RB) 設定為定水頭邊

界, 其值參考 FH-21 觀測井水位紀錄; 模型底部 (AB) 設定為無流量邊界; 坡面 (RS) 則設定為降雨入滲邊界。穩態滲流分析時係參考年平均雨量作設定, 暫態滲流分析時則設定為監測所得之降雨量。變形性分析時, 左、右兩側 (AS、RB) 水平方向設為零位移邊界, 模型底部 (AB) 之水平及垂直方向均設為零位移邊界。

表 2 吉露調查範圍監測項目

Table 2 Monitoring items of Ji-Lou study area

監測項目	監測設備	數量	記讀方式	監測頻率	備註
降雨量	雨量站	1 處	自記式	1 筆/小時	FR-02
地下水位 (全孔水位觀測)	水壓計	2 孔	自記式	1 筆/小時	FH-21 及 FH-25
地下水位 (分層水位觀測)	水壓計	2 孔	自記式	1 筆/小時	FH-27 及 FH-29
地表變形	全測站	1 處	人工式	3 次	地表固定規標 (TFA-01~TFA-15)
	地表伸縮計	1 處	自動式	1 筆/小時	FE-02
地中變形	傾斜觀測管	3 孔	人工式	1 次/月	FH-21、FH-23 及 FH-25

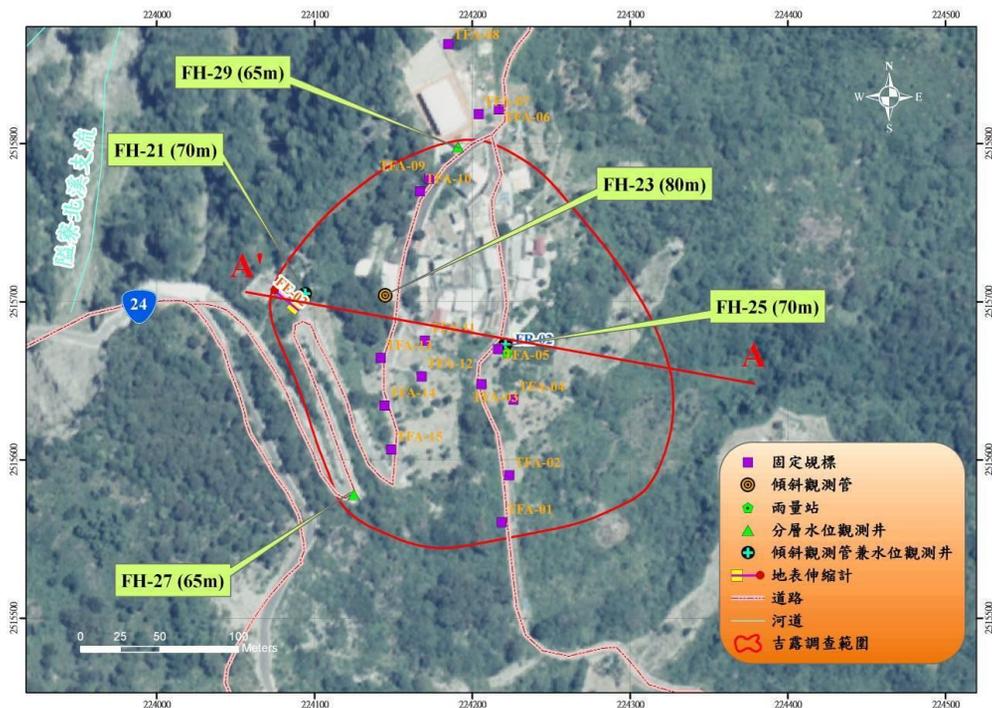


圖 4 吉露調查範圍監測儀器布置圖 (影像年份: 2005 年)

Fig.4 Layout of monitoring system at Ji-Lou study area

本研究藉由 2009/7/16 至 2009/8/24 間之現地水文監測資料進行模式率定與驗證工作，而各水文地質單元水力參數之參考值係透過現地雙環入滲試驗、封塞水力試驗、地下水流速調查及室內透水試驗等求得。本研究先以非降雨期間之常時水位資料進行穩態滲流分析，以率定各項水力參數；再以莫拉克颱風事件之變動水位進行暫態滲流分析，以驗證各項水力參數之適用性。透過上述程序可掌握此場址各水文地質單元之水力參數及地下水位變動特性，並提供後續穩定性及變形性分析使用，茲分述各項分析成果及莫拉克颱風事件驗證成果如后。

風事件之變動水位進行暫態滲流分析，以驗證各項水力參數之適用性。透過上述程序可掌握此場址各水文地質單元之水力參數及地下水位變動特性，並提供後續穩定性及變形性分析使用，茲分述各項分析成果及莫拉克颱風事件驗證成果如后。

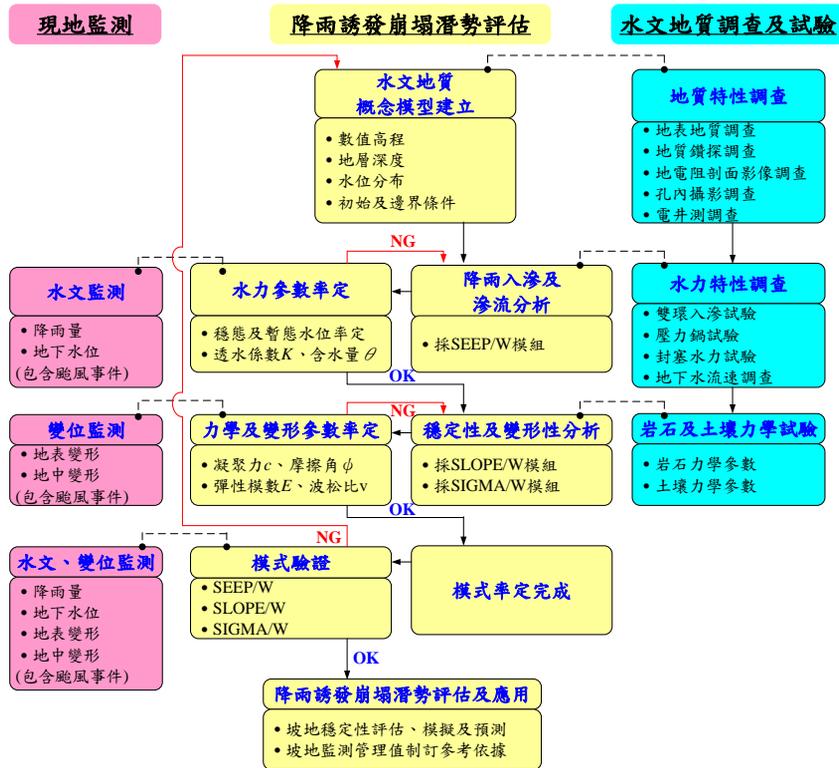


圖 5 降雨誘發崩塌潛勢評估流程圖

Fig.5 Flow chart of rainfall-induced landslides hazard assessment

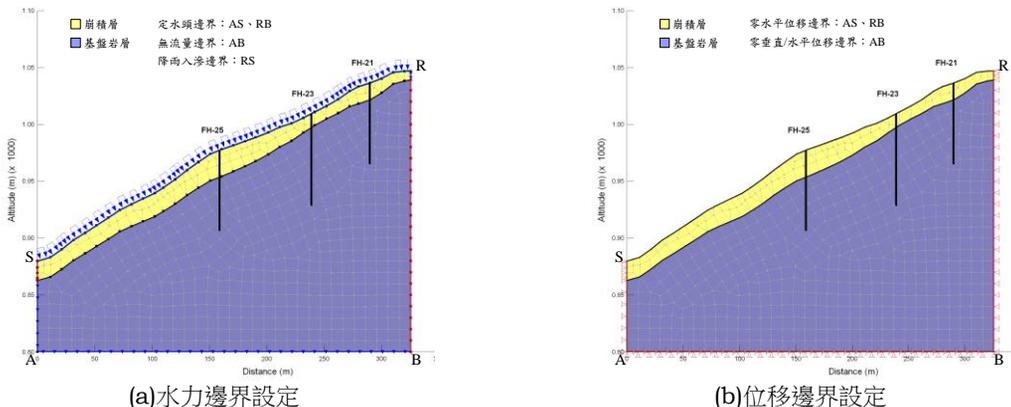


圖 6 吉露調查範圍水文地質概念模型與邊界條件

Fig.6 Hydrogeologic conceptual model and boundary conditions of Ji-Lou study area

## 1. 降雨入滲及滲流分析成果

穩態滲流分析旨在擬合 AA' 分析剖面上 FH-21 及 FH-25 水位觀測井之常時水位，由圖 7 之監測資料可知，莫拉克颱風前 FH-21 與 FH-25 常時水位分別約於地表下 41~45 公尺及 34~36 公尺間。暫態滲流分析係以前述穩態滲流邊界及常時地下水位作為初始條件，並設定坡面為降雨入滲邊界，以模擬降雨條件下垂直入滲及地下水滲流引致水位變化之情形。降雨入滲邊界採 2009/7/16 至 2009/8/24 之降雨量，期間歷經莫拉克颱風事件，如圖 7(a) 所示。由圖可知莫拉克颱風期間於吉露調查範圍的累積雨量約 1,167 公釐，最大日雨量發生於 2009/8/8，所量得之日雨量達 580 公釐，屬於中央氣象局定義之超大豪雨事件。

圖 7(b) 為 FH-21 觀測井水位紀錄，監測資料顯示莫拉克颱風前之地下水位約於地表下 41~45 公尺（設定為常時水位），颱風期間水位變化幅度可抬升至地表下 18.8 公尺，抬升約 22 公尺。分析成果顯示此模擬分析結果與監測資料相當一致，驗證本模式可大致掌握莫拉克颱風期間水位抬升及消散行為。圖 7(c) 為 FH-25 觀測井水位紀錄，7/16~7/23 之地下水位約於地表下 34~36 公尺，7/24 後之監測資料受莫拉克颱風影響而有漏失，此模擬結果僅提供莫拉克颱風期間 FH-25 觀測井水位抬升及消散行為之研判參考，模擬結果顯示颱風期間水位變化幅度可抬升至地表下 1.6 公尺，約抬升 34 公尺。由 FH-21 觀測井水位分析成果可知，本研究所建置之分析模型已可初步擬合颱風前之常時水位並掌握颱風期間水位之抬升及消散行為，另可提供模擬莫拉克颱風期間 FH-25 觀測井水位之變動行為。

## 2. 穩定性分析成果

吉露調查範圍於颱風前常時安全係數評估成果顯示最小安全係數之滑動塊體位於下邊坡處且滑動弧約切過崩積層與基盤岩層交界面，其安全係數為 1.57，研判吉露調查範圍常時處於穩定狀態。莫拉克颱風期間，吉露調查範圍之安全係數變化可見圖 7(d)。結果顯示在莫拉克颱風期間，吉露調查範圍安全係數於 2009/8/7 自 1.57 開始降低，2009/8/9 之安全係數降至 0.97 時達到破壞條件。圖 8 為莫拉克颱風期間穩定性分析成果，分析所得滑動塊體介於坡中至坡趾處（涵蓋 FH-25 孔位），滑動深度最深可達崩積層與基盤岩層交界面，此結果與莫拉克颱風後現勘成果相

符，顯示此模型具有良好的模擬能力與正確性。

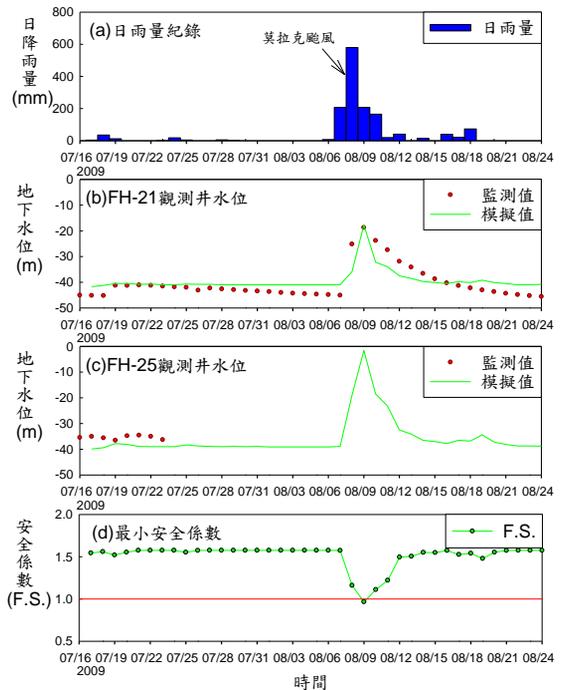


圖 7 吉露調查範圍降雨誘發崩塌潛勢評估分析成果  
Fig.7 Analysis results of rainfall-induced Ji-Lou landslide hazard assessment

## 3. 變形性分析成果

各水文地質單元材料參數之參考值係透過室內相關力學試驗求得，力學與材料參數輸入後將 SEEP/W 分析之水位代入進行耦合分析，可計算出崩場地之位移分布，並可採網格變形方式顯示，以利判斷崩場地最具變形性或滑動潛勢位置。圖 9 為吉露調查範圍於莫拉克颱風期間之變形性評估成果，成果顯示最具滑動潛勢位置為介於坡中至坡趾間之崩積層（涵蓋 FH-25 孔位），其範圍與穩定性分析定義之滑動塊體（見圖 8）具一致性。有鑑於莫拉克颱風不僅造成 FH-25 監測點隨下邊坡崩滑而毀損，FH-21 與 FH-23 傾斜觀測管亦受損無法量測颱風後之變形量，故本研究透過變形性分析以模擬評估各傾斜觀測管之變形行為，如圖 10 所示。變形性評估成果顯示 FH-21、FH-23 與 FH-25 等傾斜觀測管於崩滑時之孔口累積位移量已分別達 1.23、6.51 及 32.6 公分，由圖 10(c) 研判 FH-25 鄰近之崩滑深度可達 15~20 公尺厚。

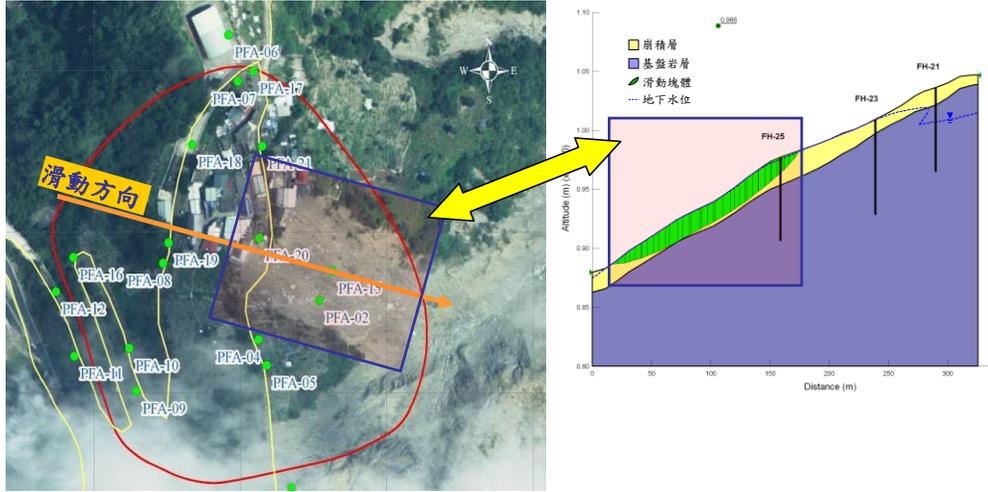
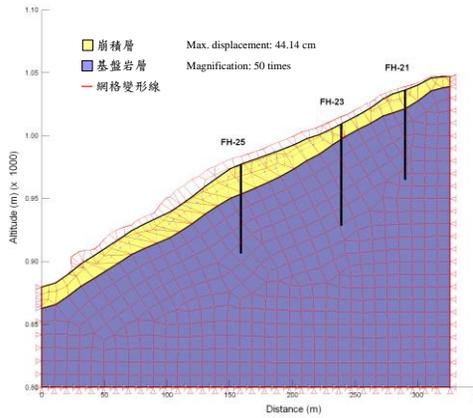
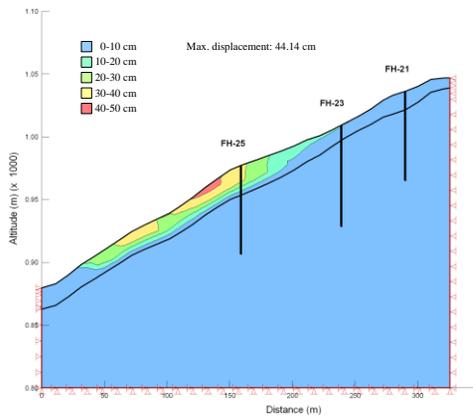


圖 8 吉露調查範圍莫拉克颱風期間穩定性評估及驗證

Fig.8 Slope stability analysis of Ji-Lou study area during Typhoon Morakot

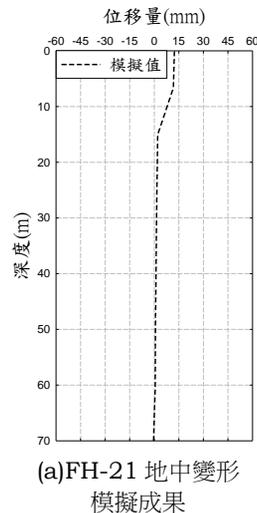


(a)網格變形示意圖

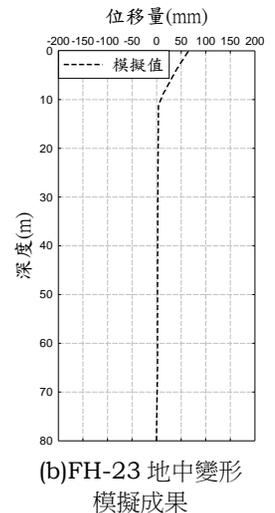


(b)位移量分布圖

本研究根據 2009/7/16 至 2009/8/24 間之現地監測資料，已完成各水文地質單元參數率定工作，參數率定成果如表 3 所列。整體而言，雖遭逢莫拉克颱風致使 FH-25 監測點毀損，但驗證成果顯示模式分析已可擬合 FH-21 觀測井於颱風前後之常時水位，且可初步掌握莫拉克颱風期間水位抬升及消散行為，而穩定性評估成果亦與現勘成果相符，惟災後全數傾斜觀測管均喪失功能，故無災後傾斜觀測管的資料可供比對，僅提供災後各傾斜觀測管之模擬變形量以茲參考(圖 10)。



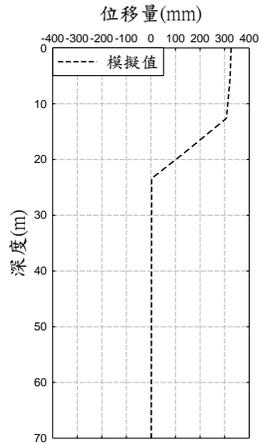
(a)FH-21 地中變形模擬成果



(b)FH-23 地中變形模擬成果

圖 9 莫拉克颱風期間吉露調查範圍變形性評估

Fig.9 Slope deformation analysis of Ji-Lou study area during Typhoon Morakot



(c)FH-25 地中變形模擬成果

圖 10 莫拉克颱風期間吉露調查範圍傾斜觀測管變形性評估

Fig.10 Slope deformation analysis of Ji-Lou study area during Typhoon Morakot

表 3 吉露調查範圍各水文地質單元參數率定成果

Table 3 Hydrogeological parameters of Ji-Lou study area

	崩積層	基盤岩層
飽和透水係數 $K_s$ (m/sec)	$1.39 \times 10^{-4}$	$1.00 \times 10^{-6}$
飽和體積含水量 $\omega$ (%)	0.39	0.09
單位重 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	18.0	25.9
摩擦角 $\phi$ (deg)	36	37
凝聚力 $c$ (kPa)	42	300
彈性模數 $E$ (kPa)	$6.0 \times 10^4$	$2.5 \times 10^6$
柏松比 $\nu$	0.24	0.14

## 五、結論與建議

綜合本研所得之各項研究結果，茲摘要提出下列幾點結論與建議，以供各界參考運用。

1. 本研究透過詳實的現地鑽探、調查與試驗果建置水文地質概念模型，再以 GeoStudio 程式進行降雨入滲-地下水滲流-穩定性-變形性之串聯式模擬分析。成果顯示此模式已可擬合颱風前之常時水位且掌握莫拉克颱風期間水位變化型態，進而評估其穩定性及變形性。整體而言，本研究建議的降雨誘發崩塌潛勢評估程序可提供已知危險聚落後續防災、減災措施及保全策略擬訂之參考。

2. 綜合監測及災後現勘成果可知，吉露調查範圍內滑動可分為上邊坡張裂、坡面塌陷、下邊坡崩滑等三階，就現場破壞表徵顯示未崩滑之上邊坡亦相當不穩定，具有漸進式破壞之跡象。
3. 穩定性分析成果指出颱風前常時安全係數為 1.57，顯示吉露調查範圍常時處於穩定狀態。然於莫拉克颱風期間，其安全係數於 2009/8/9 之安全係數降至 0.97 達到破壞條件，研判滑動塊體介於坡中至坡趾處（涵蓋 FH-25 孔位），滑動深度最深可達崩積層與基盤岩層交界面，此結果與莫拉克颱風後現勘成果相符，顯示此模型具有良好的模擬能力與正確性。
4. 本研究所採用之 GeoStudio 程式為連體分析程式，僅適用於模擬破壞時間與可能滑動範圍，惟災後之幾何及水文地質條件均已改變，對於滑動塊體分離行為或後續引發次生崩塌之模擬則須採分離元素分析程式進行。

## 誌謝

感謝經濟部中央地質調查所提供計畫經費及協助得使本研究順利完成，特此誌謝。

## 參考文獻

- 中興工程顧問公司 (2009)，「易淹水地區上游集水區地質調查與資料庫建置 (第 2 期 98 年度) - 集水區地質調查及山崩土石流調查與發生潛勢評估 (2/3)」，經濟部中央地質調查所，成果報告，台北。
- 財團法人中興工程顧問社 (2009)，「易淹水地區上游集水區地質調查與資料庫建置 (第 2 期 98 年度) - 集水區水文地質對坡地穩定性影響之調查評估計畫 (2/3)」，經濟部中央地質調查所，成果報告，台北。
- 鍾明劍、譚志豪、許世孟、顧承宇、冀樹勇、蘇泰維、李錦發、費立沅 (2008)，「結合孔內探測與自動化監測技術之坡地監測系統研擬」，2008 流域地質與坡地災害研討會，台灣，台北。
- GEO-SLOPE International Ltd. (2007), *Seepage Modeling with SEEP/W 2007: An Engineering Methodology*, User's Guide.
- GEO-SLOPE International Ltd. (2007), *Stability Modeling with SLOPE/W 2007: An Engineering Methodology*, User's Guide.

GEO-SLOPE International Ltd. (2007), *Stress-Deformation Modeling with SIGMA/W 2007: An Engineering Methodology, User's Guide*.

---

2010 年 11 月 30 日 收稿

2010 年 12 月 9 日 修正

2010 年 12 月 15 日 接受

(本文開放討論至 2011 年 9 月 30 日)