

雲林縣林內鄉坪頂台地邊坡連續破壞之數值模擬

朱昱翰⁽¹⁾ 馮正一⁽²⁾ 張育瑄⁽¹⁾

摘 要

本研究以 Phase² 二維有限元素軟體模擬台地邊坡地層材料及工程構造物，計算應力變化情形及破壞區域分佈，並探究其連續崩塌之破壞原因。本研究匯集坪頂社區旁林北坑崩場地 1999 年至 2009 年邊坡變化及崩塌情形以及工程資料，建立邊坡二維有限元素模型，並加入材料弱化區域(浸潤帶)，分析邊坡穩定性。林北坑邊坡連續崩塌主因應為地層材料風化與泥岩層遇水軟化引發崩塌。本研究分析林北坑邊坡歷史災害之位移量、安全性等，有助於災因探討、變形量推估與整治工程效果之評估。

(關鍵字：台地、風化、崩塌、Phase²)

Numerical Simulation of the Successive Landslides of the Tableland of Ping-Ding, Lin-nei County, Yunlin

Yu-han Ju⁽¹⁾ and Zheng-yi Feng⁽²⁾ and Yu-hsan Chang⁽¹⁾

Graduate student⁽¹⁾ and Associate Professor⁽²⁾, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

This study applied the Phase² two-dimensional finite element code to simulate the geological materials and the mitigation structures of the tableland slope for understanding the failure mechanism as well as the distribution of stresses and the failed zones. This study acquired the data of geomorphological changes and mitigations performed during 1999 to 2009 for the landslides in Lin-bei-keng Creek near the Ping-Ding Village. The data were used to set up the two-dimensional numerical models for the successively sliding tableland slope. A weak zone was assumed in the slope stability analysis. The weathered weak mudstone and weathering are the major factors that induced the reduction in slope stability and the consecutive failures of the landslides in Lin-bei-keng Creek.

(1)中興大學水土保持學系研究生

(2)中興大學水土保持學系副教授(通訊作者 e-mail：tonyfeng@nchu.edu.tw)

This study also analyzed the displacement, stability to help interpretation of the failures, deformation and the effectiveness of the mitigation works.

(**Keywords** : tableland, weathering, landslide, Phase²)

一、前言

台灣西部麓山帶自北到南有一系列於更新世時期形成之台地，相對於平地及山區而言，台地乃一特殊之生活區域。台地頂部平坦的地形容易有居民遷入，使其擁有比山區更為理想之早期發展條件，故在清朝時期台灣的台地即有聚落形成。另一方面，台地之地形同樣限制其發展規模，而台地邊緣受野溪河川持續侵蝕更導致台地面積有縮小之可能，對原本台地居民生命財產安全構成威脅。

本研究以雲林縣林內鄉坪頂村台地聚落為例，該台地邊坡在 1999 年至 2005 年間連續發生崩塌，對坪頂村及主要道路造成威脅，雖已進行整治，但仍有潛在災害風險。

「林口台地及其鄰接海岸地形變遷與地貌復原可行性探討」(行政院公共工程委員會，1998)研究報告中，數化了民國 67 年以及民國 83 年兩期林口台地等高線，以分析源頭發展趨勢並探討其成因，以等高線變化證明林口台地偏北側的河流明顯有向源侵蝕之情形。除向源侵蝕外，該計畫也指出部分蝕溝有填平之跡象，推測應為擴大開發而以回填方式擴大台地範圍。

蒐集林北坑之相關整治、規劃及研究資料可得林北坑歷次崩塌皆有整治行為，但卻屢次失敗。水土保持局第三工程所(2005)之報告論及此區因泥岩層透水性不佳，降雨時

所產生之入滲，經過紅土層及礫石層後，在泥岩層透水速度降低甚至無法下滲，造成泥岩層與礫石層交界處產生棲止地下水層。因泥岩下滲速度較慢，而在交界處發生地下水側流現象，側流現象造成邊坡穩定下降導致崩塌。

陳靜嫻(2007)認為林北坑屢次崩塌之原因除自然因素之外，尚有人為因素加速其崩塌作用之發生。崩塌邊坡坡頂為茶園，茶園灌溉造成下滲量增加，提高崩塌風險。

林義欽(2008)提出林北坑連續崩塌不只外在因素影響，歷次工程處理不當也是造成林北坑擴大的重要原因，崩塌處理工程失敗原因有以下三個原因：1. 工址著重在邊坡上方，未考慮坡趾不穩定狀態。2. 工法不當增加邊坡承载力，導致不穩定性提升。3. 無整體治理概念，治理速度不及地形演變速度，致再度發生崩塌時，既有設施併同損毀。

坪頂台地四周向源侵蝕過程雖然緩慢，每次破壞造成之災損規模亦有限，但其持續不斷的特性使其對台地聚落的威脅性不因時間而降低，以地質、地形及邊坡發展趨勢評估台地地形之潛在威脅，期研究內容能成為訂定因應措施之參考，避免生命財產損失。

針對坪頂的地質材料特性，本研究以二維有限元素分析軟體模擬台地邊坡地層材料及工程構造物，計算應力變化情形及破壞區域分佈，並探究其破壞原因，了解歷次工

程、地質及地下水等因素交互作用下對邊坡穩定性之影響。

二、 研究材料與方法

2.1 研究區位介紹

本研究區位為雲林縣林內鄉斗六丘陵上之坪頂台地，台地北邊為濁水溪，東為清水溪(圖 1)。構成斗六丘陵之主要地層屬頭料山層火炎山相，頭料山層係更新世時期由中央山脈之沉積物於近岸海床上沉積而成，當時西部海岸皆屬於頭料山層分佈區，亦即今日西部平原與山地交界之丘陵帶(參考工研院能資所坪頂環境地質圖，2002)。

頭料山層火炎山相在此地區又稱湖本層，湖本層礫石緊密堆疊，其中夾雜部分泥岩層，雖無膠結現象及層理，但結構十分穩固，易形成懸崖峭壁。湖本層上為八卦山層，八卦山層乃更新世中期古河道之沖積扇及河階地堆積形成之紅土層，厚約 10 至 20 公尺。八卦山層因丘陵四週河川向源侵蝕旺盛，至今大部分已遭沖蝕，僅存斗六丘陵中央尚有八卦山層，即坪頂台地位置(參考自潘國樑，2007；陳培源，2008；劉桓吉、李錦發，1998)。

參考行政院農委會水土保持局第三工程所(2005)報告、永勝工程顧問有限公司(2004)之鑽探及地質調查結果推估此邊坡之地層剖面如圖 2 所示，相關之地質分類及特性描述如表 1 所述。

2.2 崩塌災害歷史

坪頂台地四周因河川向源侵蝕作用有零星崩塌事件，其中規模較大且對坪頂社區

影響程度較高的區域為林北坑崩塌地，林北坑位於坪頂社區西北側，相關位置見圖 1。林北坑於 1999~2006 年數度發生崩塌，其災害歷史整理如表 2。

2.3 數值模型

本研究匯集地質資料、災害歷史以及相片基本圖等資料，利用二維有限元素分析軟體 Phase2 (Rocscience, Inc, 2008)模擬台地邊坡地層材料及工程構造物，計算應力變化情形及破壞區域分佈，並探究其破壞原因。

Phase2 為一二維有限元素分析軟體，可模擬邊坡應力分佈情形、地下水流況以及穩定性分析，發展至今可計算多種地質環境並依需求調整分析方式以及邊坡環境參數。程式可分為三模組，「模式設定 Model」、「計算 Compute」及「結果展示 Interpret」，「Model」與「Interpret」兩者可互相切換，「Compute」則為一計算模組，只需在「Model」下執行運算命令即可。設定模式為有限元素法之前處理(pre-processing)步驟，設定材料參數(包含建立幾何模型、定義元素種類及數量)、邊界條件、初始應力以及計算方式。

本研究以 1999 年相片基本圖及 2005 年測繪之高程資料為基礎，對照歷年航照、現場照片及鑽探資料，建立林北坑歷年邊坡變動之二維有限元素數值模型。以下為本研究歷次崩塌災害之邊坡數值模型探討之時間點：

1. 地震前邊坡模型 - 1998 年
2. 地震邊坡模型 - 1999 年
3. 箱籠擋土牆邊坡模型 - 2000 年

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 4. 箱籠擋土牆邊坡模型(高強度降雨後) | 6. 加勁擋土牆邊坡模型(高強度降雨後) |
| - 2001 年 | - 2004 年 |
| 5. 加勁擋土牆邊坡模型 - 2003 年 | 7. 複合工程邊坡模型 - 2009 年 |

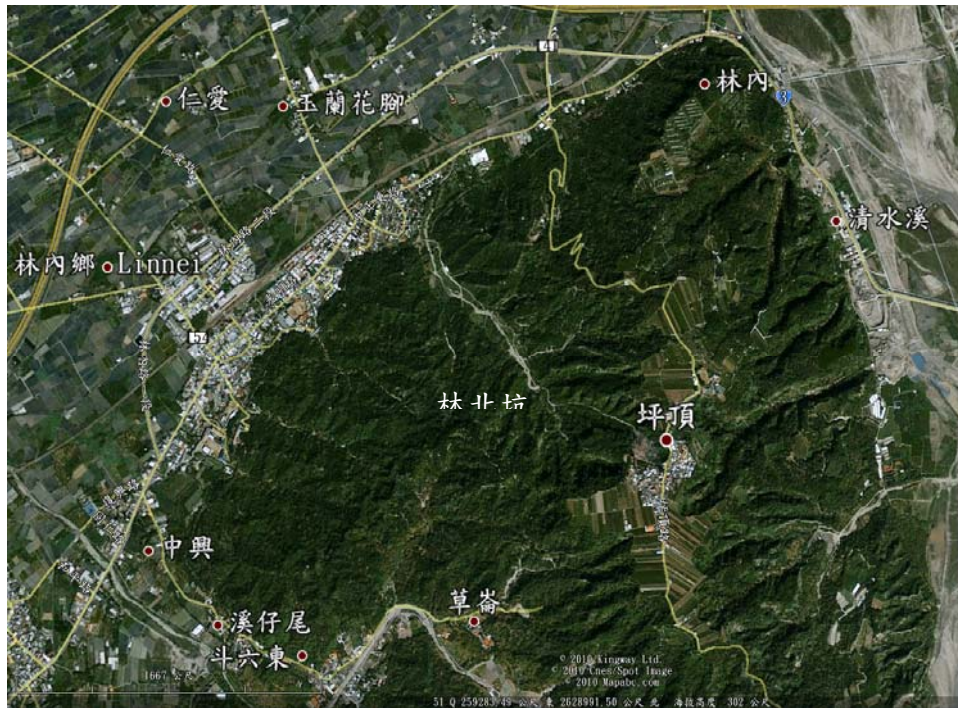


圖 1 坪頂台地研究區位(紅點處；影像擷取自 Google Earth, 2010)

Figure 1. The study area (shown as the red dot) in the Ping-ding tableland

歷次崩塌災害之邊坡數值模型經 Phase² 計算分析所得之強度折減因子皆不同。本研究藉此建立邊坡強度折減因子歷年變化情形，討論歷次強度折減因子變化之原因。

本研究並未模擬降雨當時之雨水入滲過程，因為 Phase2 程式目前並無地下水之暫態反應分析功能，僅為穩態分析(steady state)。

另因考慮到該邊坡地質特性，為更符合真實邊坡變動情形，以設定「浸潤帶」代

表高強度降雨後影響該地地層材料性質之方式，假設「浸潤帶」係因高強度降雨之後造成泥岩層含水量提高軟化而產生。並於數值模型中加入「浸潤帶」，以考量高強度降雨後泥岩層積水後軟化之情形。因該「浸潤帶」位於泥岩層地層中，不易掌握其弱化範圍，故本研究浸潤帶範圍係觀察現地地層坡面，推測而得。本研究對於整治工法，在箱籠擋土牆、加勁擋土牆以及複合工程邊坡分析中，亦考量了浸潤帶。以下以加勁擋土牆邊坡為例，展示 Phase² 之數值模型，如圖 3

所示。

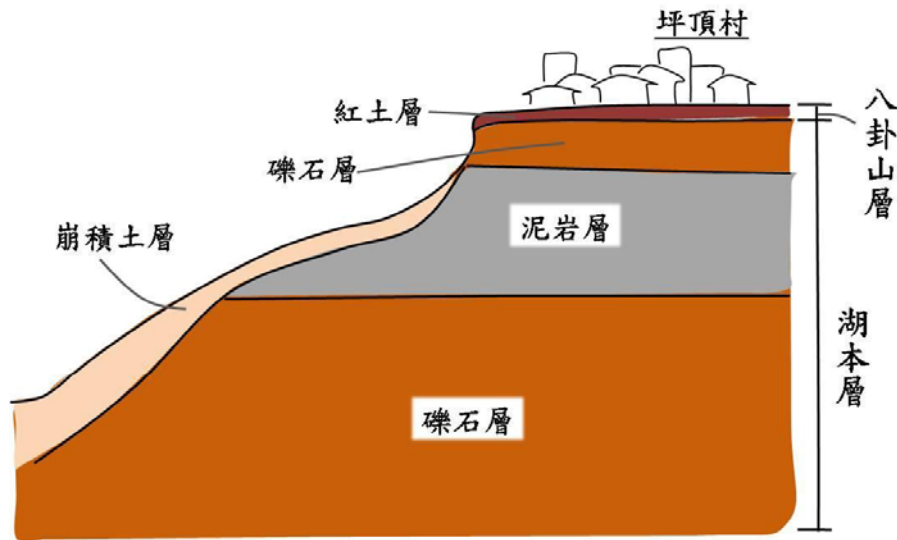


圖 2 坪頂台地地層剖面示意

Figure 2. Schematic strata profile of the Ping-ding tableland

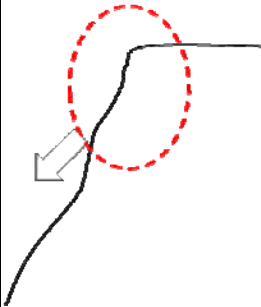
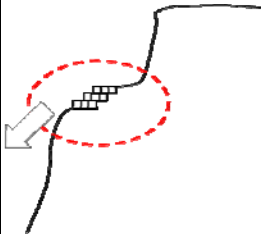
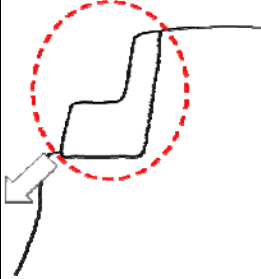
表 1 地層分佈及特性(整理自行政院農委會水土保持局第三工程所，2005)

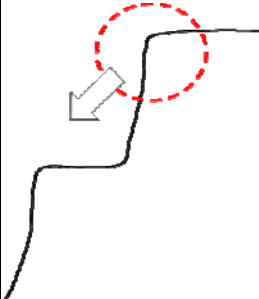
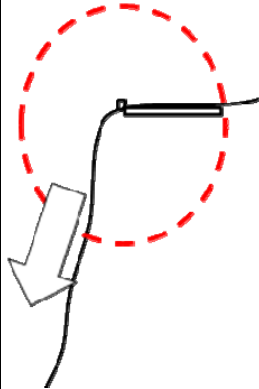
Table 1. Distribution and characteristics of the strata

地層分類	地質材料	特性描述
崩積層	夾棕黃色沙質粉土之崩積土層	崩積土層為紅土層、礫石層及泥岩層崩落堆疊而成，結構鬆散，大量堆積於崩崖旁以及谷底。
八卦山層	棕紅色粉質黏土、紅土層	紅土層分佈於坪頂台地表層，厚度約 2 公尺，滲透速度較慢。居民居住耕種等主要活動皆於該土層上進行。
湖本層	夾棕黃色粉土之軟頭嵙山層 火炎山相礫石層	該層乃大量礫石夾雜粉土堆積而成，現勘時發現坪頂台地礫石層垂直聳立構成大量懸崖峭壁，由此可觀察出礫石層強度較一般土層強，另外礫石層孔隙較多，滲透速度快。
	黃灰色砂質泥岩層	該層屬固結地層，孔隙較小使得透水性較其餘地層差，但其孔隙容易吸附水，乾燥時十分堅硬，吸水則軟化致使強度快速下降。

表 2 坪頂台地林北坑災害歷史

Table 2. Failure history of Lin-bei-keng Creek of Ping-ding

時間	概述	崩塌示意圖	照片
1999/9	林北坑南側邊坡因地震引發崩塌，圓圈即為崩塌處。		 (林義欽，2007)
2001/6	林北坑南側邊坡發生崩塌，為穩固坡腳施作之箱籠擋土牆隨邊坡下滑。		 (來源：鋒環公司 拍攝時間：2001)
2004/9	林北坑南側邊坡崩塌，本次規模超越前兩次。崩崖寬度達 150 公尺，先前施作加勁擋土牆完全損壞。		

			(來源：鋒璟公司 拍攝時間：2004)
2005/1	前次崩塌地在尚未處理的情況下再次發生崩塌事件。		 (來源：鋒璟公司 拍攝時間：2005)
2006/9	林北坑北側，雲61線道路下邊坡崩塌，一靠林北坑之鐵皮房屋傾斜變形。		 (來源：鋒璟公司 拍攝時間：2006)

材料參數分為地質材料及工程結構材料兩種，地質材料主要參考「坪頂村坪頂崩塌地調查規劃工程」期末報告(水土保持局第三工程所，2005)針對坪頂台地提出之地質報告。另參考 Das (2006)與 Kulhawy and Mayne (1990)兩書中建議之參數值。輸入之數值包括單位重、凝聚力、磨擦角、柏松比及楊氏模數。採用材料參數如表 3。

2.4 數值模擬結果與強度折減因子

邊坡模型、材料參數及邊界條件設定完

成後，以 Phase2 計算模組進行計算，該模組以高斯消去法計算邊坡應力變化及位移量，由應力分佈圖評估邊坡破壞區域並與現有資料對照驗證。Phase2 分析結果可得強度折減因子(Strength Reduction Factor, SRF)，類似於極限平衡法所求得之安全係數。強度折減概念即為對有限元素法程式內對現有強度參數進行折減，直到模擬之邊坡產生變形破壞，產生破壞時之 SRF 即稱為臨界強度折減因子(Critical SRF)。公式如下：

$$c'_f = \frac{c'}{SRF} \dots\dots\dots(1)$$

c' : 輸入之凝聚力 ϕ' : 輸入之內磨擦角

$$\phi'_f = \tan^{-1}\left(\frac{\tan \phi'}{SRF}\right) \dots\dots\dots(2)$$

c'_f : 強度折減後之凝聚力

ϕ'_f : 強度折減後之內磨擦角



圖 3(a) 加勁擋土牆施工完成照片(來源：鋒環公司，拍攝時間：2003)

Figure 3 (a) . The reinforced retaining wall after construction



圖 3(b) 加勁擋土牆破壞照片(來源：鋒環公司，拍攝時間：2004)

Figure 3(b). Failure of the retaining wall

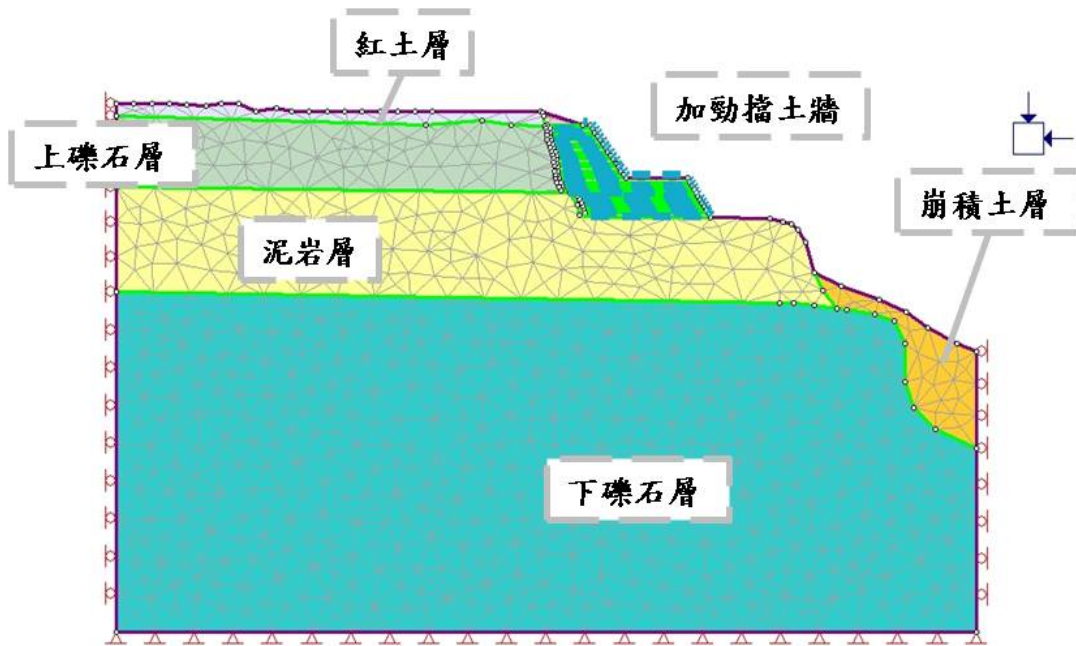


圖 3(c) 模擬 2003 年加勁擋土牆施工完成邊坡之 Phase2 數值模型

Figure 3(c). The Phase2 numerical model for the reinforced retaining wall after construction

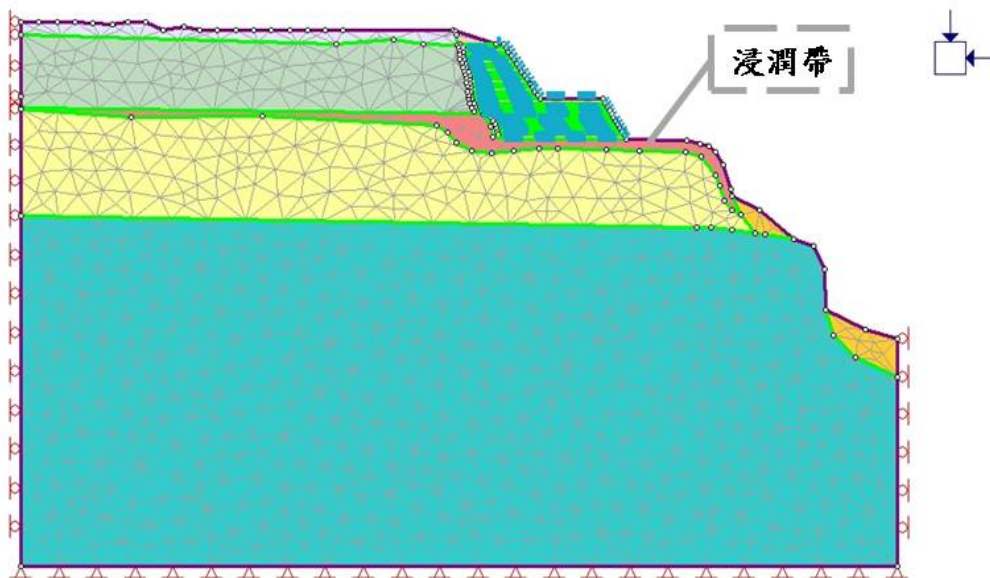


圖 3(d) 模擬 2004 年高強度降雨後加勁擋土牆破壞邊坡之 Phase² 數值模型

Figure 3(d). The Phase2 numerical model for the reinforced retaining wall for failure simulation

表 3 材料參數表(水土保持局，2005)
Table 3. Material parameters for numerical simulation

材料類型	單位重 (kN/m ³)	凝聚力 (kPa)	摩擦角(°)	柏松比	楊氏模數 (kN/m ²)
紅土	19.11	0	31	0.45	8615.6
崩積土	18.8	3	30	0.25	15000
礫石	22.54	20	40	0.25	40923.9
泥岩	22.3	24	7.31	0.15	750000
軟弱泥岩 (浸潤帶)*	22.3	2	5	0.45	105000
箱籠	22	45	20	0.3	20000
回填土	18	0	32	0.25	15000
混凝土	24	500	0	0.15	21500000

*本研究推估之參數

三、 分析結果與討論

3.1 加勁擋土牆邊坡(2001~2004)

加勁擋土牆邊坡計算結果 SRF 值為 1.64，剪應變圖(圖 4)顯示有兩處形成剪力弱帶，分別位於紅土層與加勁擋土牆交界處以及泥岩層、下礫石層以及崩積土層交界處。位移量分佈如圖 5 所示，滑動帶涵蓋紅土層、上礫石層以及泥岩層三層，位移量最大之區域位於加勁擋土牆，放大圖如圖 6 所示。

材料弱化後計算結果顯示 SRF 值下降為 0.82，由圖 7 可看出，剪力弱帶形成於浸潤帶與崩積土層，導致邊坡滑動，由位移量分佈圖(圖 8)可知主要滑動面位於加勁擋土牆後方崩崖以及下方泥岩層。

根據分析結果與 2004 年加勁擋土牆毀損狀況(圖 3b)，本研究推論崩塌範圍包括加勁擋土牆後方崩崖及下方泥岩層，與分析結果相符。而下方崩崖表面潮濕，顯示土層含水量仍然相當高，可判斷為其崩塌原因和箱籠擋土牆之崩塌相似，高強度降雨後導致泥

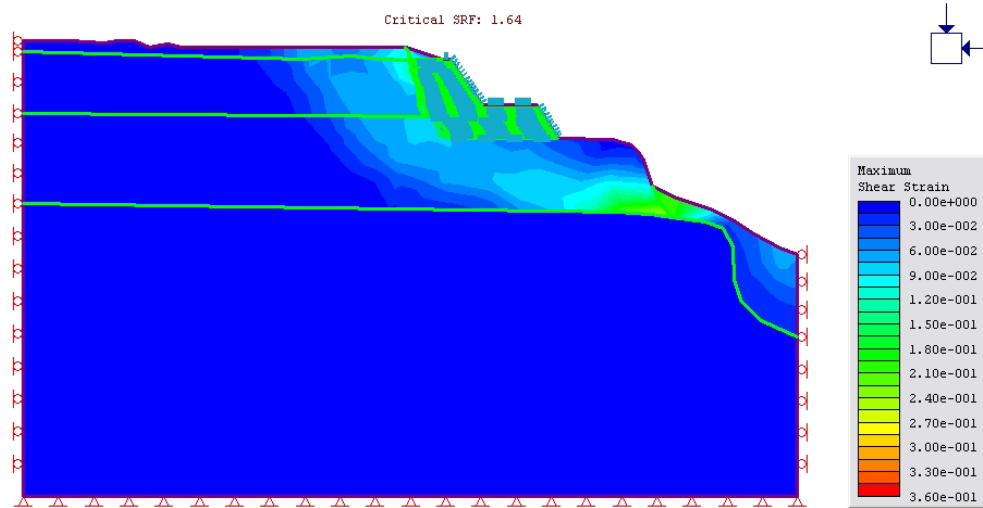


圖 4 加勁擋土牆邊坡模型剪應變圖
Figure 4. Shear strain of the reinforced retaining wall

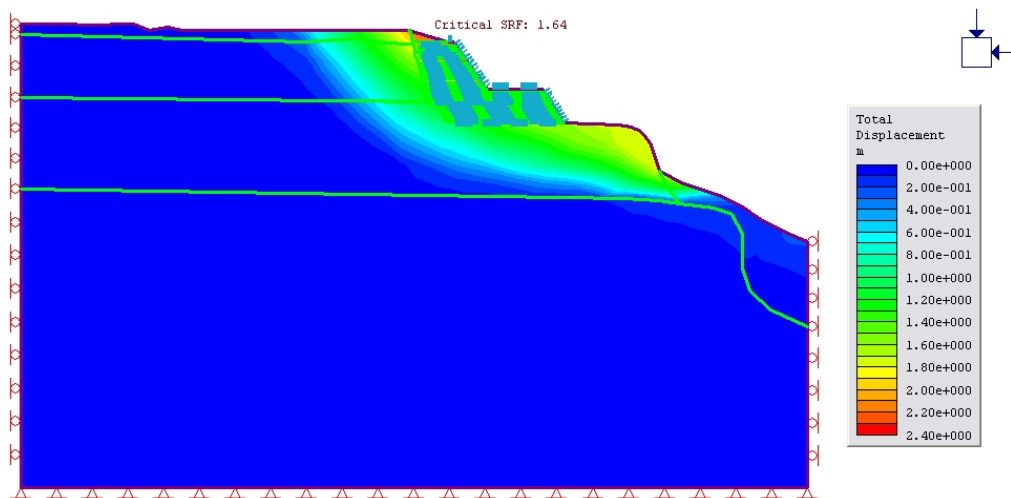


圖 5 加勁擋土牆邊坡模型位移量分佈圖
Figure 5. Displacements of the reinforced retaining wall

岩層材料弱化進而削弱邊坡穩定性導致崩塌。

3.2 複合型工程(2005~)

複合型工程係參行政院農委會水土保持局第三工程所(2005)報告與比對現地照片為依據建立數值分析模型。2004 年林北坑加

勁擋土牆崩塌後，其整治工程為歷年經費最高、規模最大。工程項目包括：邊坡填土工

程、懸臂式擋土牆、箱籠擋土牆、排水工程、箱籠防砂壩。

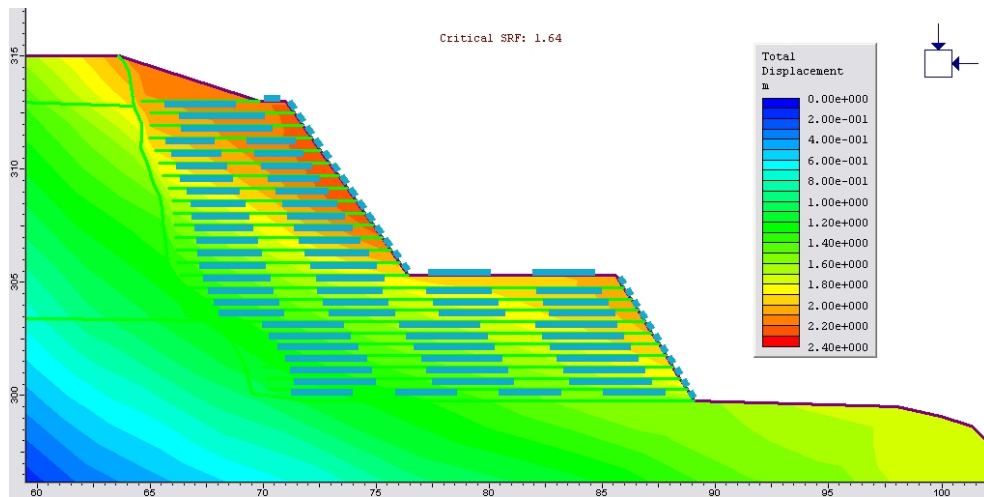


圖 6 加勁擋土牆邊坡模型位移量分佈圖(局部放大)

Figure 6. Displacements of the reinforced retaining wall – locally enlarged

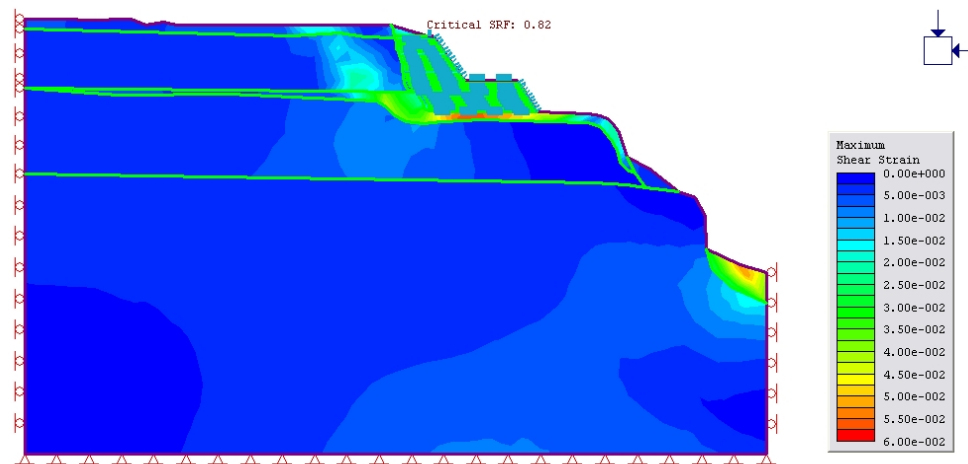


圖 7 加勁擋土牆邊坡模型剪應變圖(高強度降雨後)

Figure 7. Shear strain of the reinforced retaining wall – simulation for high intensity rainfall

本研究分析之南側邊坡則結合填土、箱籠、排水工程以及擋土牆四種工法以鞏固邊坡，工程照片見圖 9，這些工項本研究稱「複

合型工程」。此複合型工程之回填土形成坡度較緩之邊坡，下方以箱籠擋土牆及懸臂式擋土牆鞏固坡腳，坡面上下則設計排水溝並

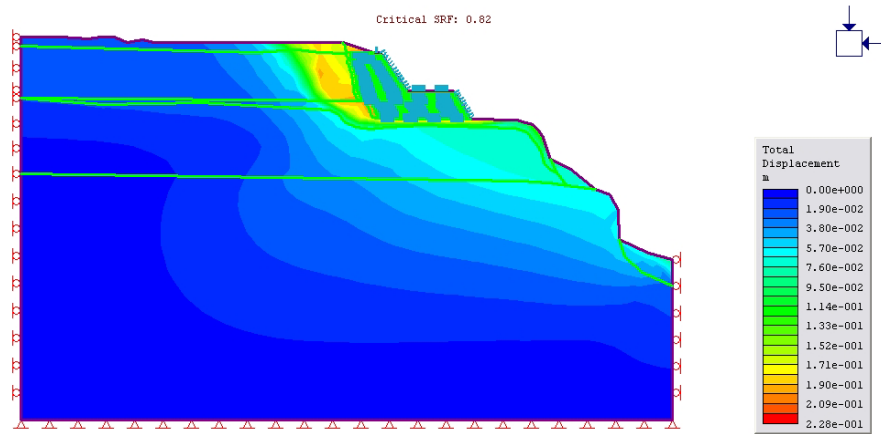


圖 8 加勁擋土牆邊坡模型位移量分佈圖(高強度降雨後)

Figure 8. Displacement of the reinforced retaining wall – simulation for high intensity rainfall



圖 9 林北坑邊坡複合型工程(來源：鋒璟公司，拍攝時間：2007)

Figure 9. Complex mitigation work for Lin-Bai-keng Creek



圖 10 林北坑源頭邊坡下方之箱籠防砂壩 (來源：現地勘查，時間：2007)

Figure 10 Gabion sabo dam at the toe of the head-water slope

埋設排水管於地層內以減少入滲。下方溪谷則以箱籠防砂壩(圖 10)及混凝土防砂壩攔阻崩積土以減緩坡度穩定基腳。

複合型工程邊坡數值模型如圖 11，填土涵蓋泥岩層及上礫石層，形成一坡度較緩之邊坡，坡腳以懸臂式擋土牆及箱籠支撐，下方坑底崩積土層因防砂壩阻攔，結構十分穩固，可發揮鞏固崩崖之效果。除原本邊坡模

型外，另以目前複合工程模擬高強度降雨後弱化泥岩層產生後邊坡穩定情形以及地震發生時邊坡穩定情形，地震模擬採用台灣地震甲區加速度係數(水平加速度 $0.33g$ ，垂直加速度 $0.1g$)。

圖 12 為剪應變圖，SRF 為 1.74，剪應變較大之區域位於坡頂紅土層及填土層交界與加勁擋土牆下方泥岩層。圖 13 為位移

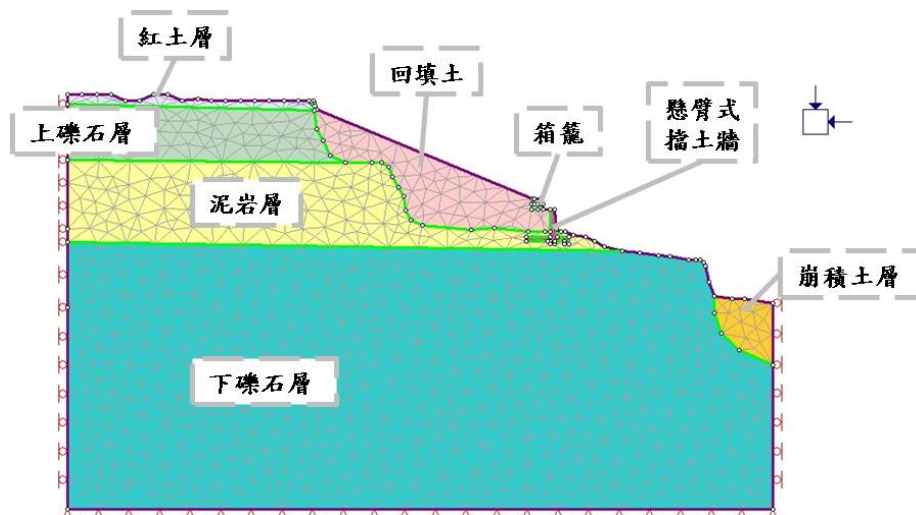


圖 11 複合工程邊坡數值模型

Figure 11. Numerical model for the complex mitigation work

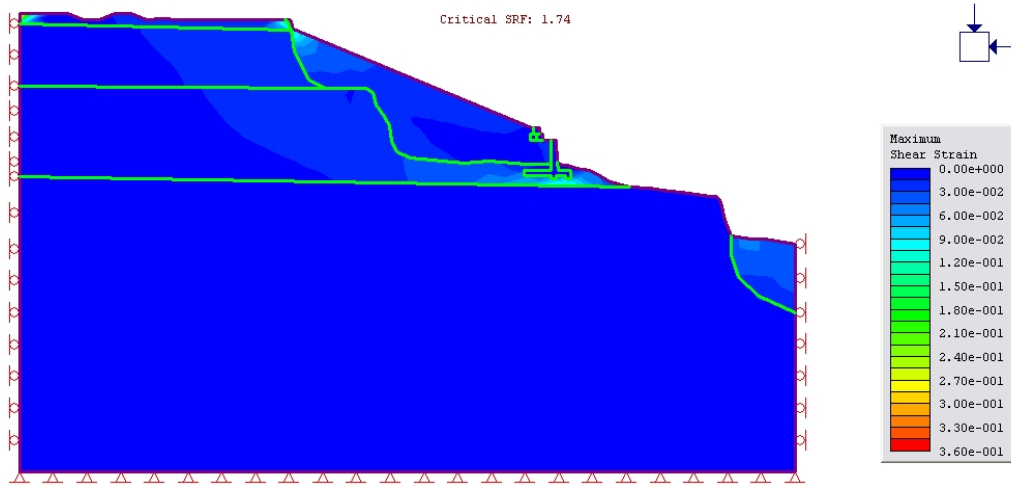


圖 12 複合型工程邊坡模型剪應變圖

Figure 12. Shear strain of the complex mitigation work

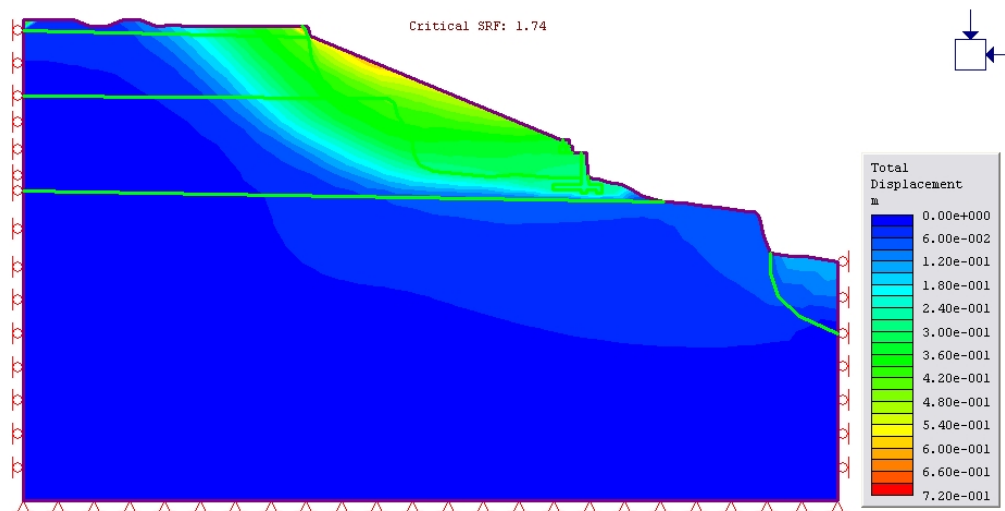


圖 13 複合型工程邊坡模型位移量分佈圖

Figure 13. Displacement of the complex mitigation work

量分佈圖，滑動範圍包含紅土層、礫石層、泥岩層以及整個結構物。

降雨弱化後模型剪應變圖如圖 14，剪應

變較大之區域位於回填土與上礫石層及弱化泥岩層，SRF 值 1.08。位移量分佈圖見圖 15，位移較大之區域為回填土區。

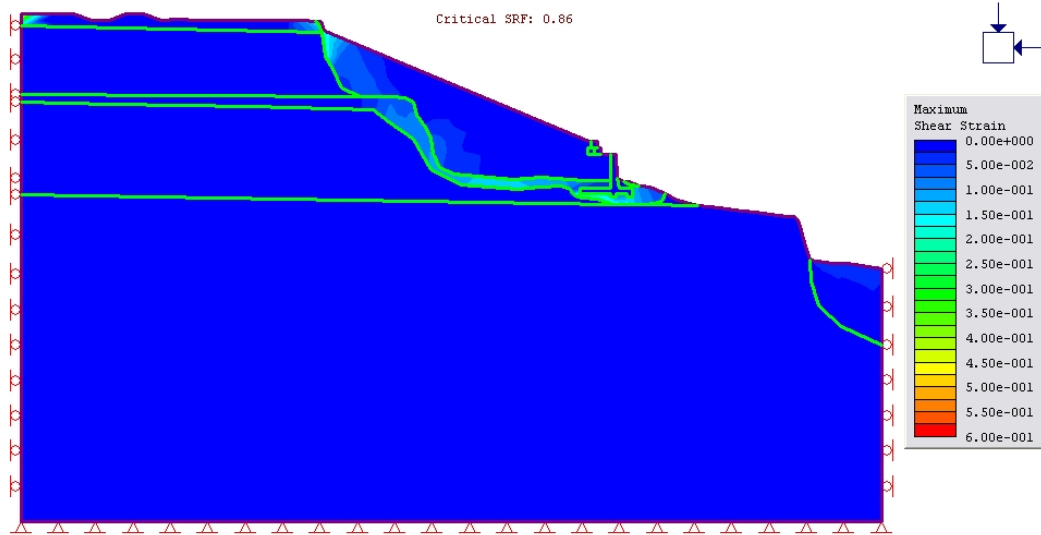


圖 14 複合型工程邊坡模型剪應變圖(高強度降雨後)

Figure 14. Shear strain of the complex mitigation work – simulation for high intensity rainfall.

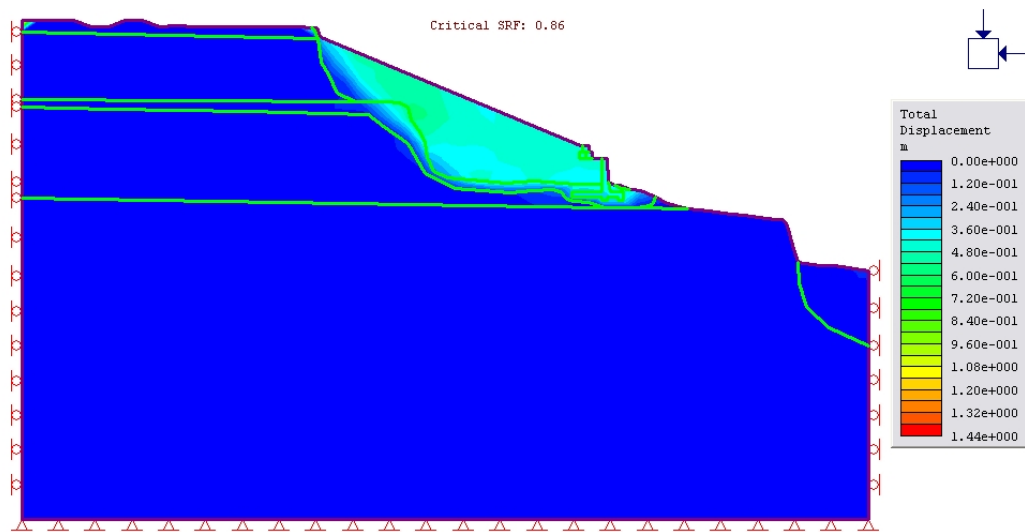


圖 15 複合型工程邊坡模型位移量分佈圖(高強度降雨後)

Figure 15. Displacement of the complex mitigation work – simulation for high intensity rainfall.

弱化後邊坡有崩塌之風險，但該邊坡於坡頂及坡底均設計排水設施，另有埋設排水

管於地層中以疏導地下水，在降雨雨水較易被排出的情況下，弱化泥岩層較難達到足以

影響邊坡穩定之規模。

地震後邊坡剪應變圖如圖 16，邊坡剪應變較大之區域分別位於懸臂式擋土牆底部泥岩層、回填土與紅土層交界處及泥岩層與紅土層左側邊界處，SRF 值 0.82。位移分佈

圖如圖 17，位移區域達模型邊界，上方三層皆在滑動範圍內。

複合型工程自 2005 年完工至今(2010 年)，邊坡狀況穩定，而排水工程也確實減少降雨入滲量，林北坑南側邊坡短期內應無崩

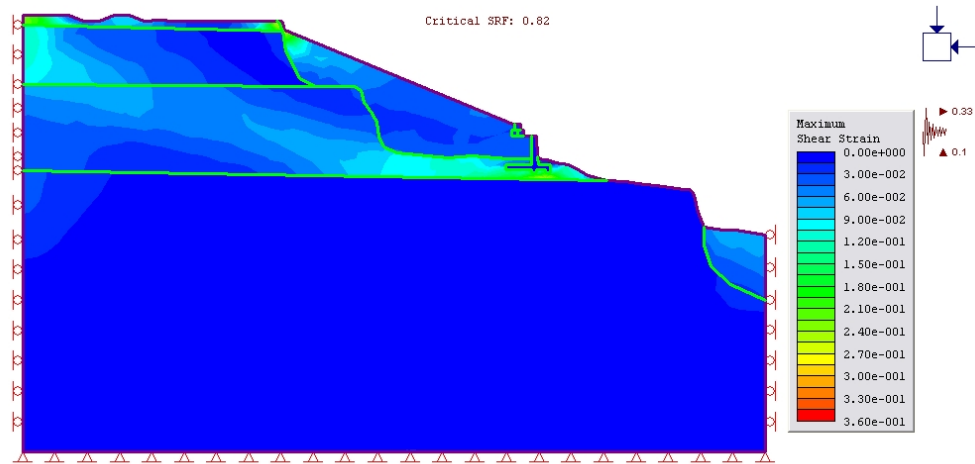


圖 16 複合型工程邊坡模型剪應變圖(地震條件)

Figure 16. Shear strain of the complex mitigation work - simulation for earthquake condition

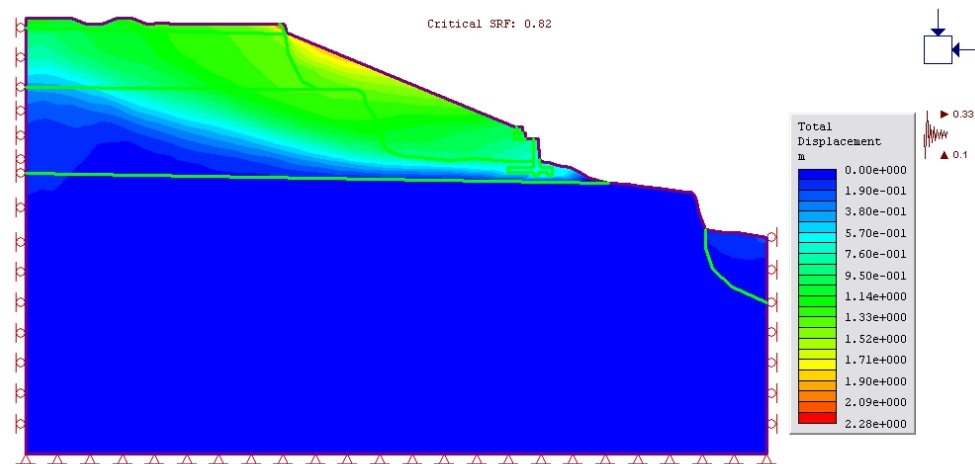


圖 17 複合型工程邊坡位移量分佈圖(地震條件)

Figure 17. Displacement of the complex mitigation work - simulation for earthquake condition

塌之風險。然而由於其擋土牆基礎建立於泥岩層之上，若有大量降雨導致泥岩層有浸潤現象發生，有引發邊坡崩塌之可能性。另外，若遭遇強烈地震，則邊坡也有崩塌之可能性。

3.3 強度折減因子變化趨勢

本研究分析歷年林北坑邊坡歷年邊坡模型分析結果，得到 SRF 值變化趨勢(圖 18)。1998 年時林北坑邊坡 SRF 值達 1.24，無崩塌之虞，在 1999 年集集地震作用下邊

坡弱化，SRF 值降至 0.76，發生崩塌。2000 年修築箱籠擋土牆，完工後邊坡 SRF 值達 1.36，邊坡情況穩定，在 2001 年 5、6 月因大量降雨使泥岩層出現弱化現象，致使邊坡 SRF 值下降至 1.04，邊坡崩塌，2001 年底施作加勁擋土牆，SRF 值提高至 1.64，有兩年半左右邊坡情況相當穩定，2004 年 8 月高降雨量使浸潤帶範圍擴大，致使泥岩弱化帶擴大，造成邊坡不穩定，SRF 值下降至 0.82，造成崩塌。複合型工程在 2005 年完工至今(2010 年)邊坡相當穩定，模型 SRF 值達 1.74。

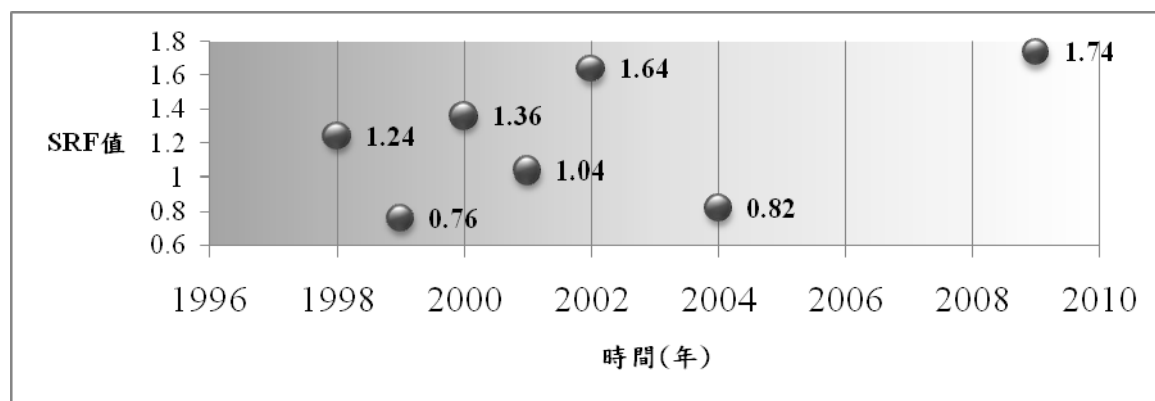


圖 18 強度折減因子變化趨勢

Figure 18. Changing trend of the strength reduction factors

由強度折減因子變化趨勢可看出，自集集地震以後歷次施作之工法強度折減因子皆比前次高，顯示工程於無降雨事件發生時確實發揮提昇邊坡穩定性之功效，然而在高強度降雨事件發生時，地層含水量變高產生浸潤帶，致使材料強度弱化。當降雨量較少時，浸潤之規模將不足以影響整個邊坡結構穩定性。箱籠擋土牆及加勁擋土牆工程主要功能均為鞏固邊坡，但並無抑制浸潤帶發展之因應措施，因此在高強度降雨事件發生

時，浸潤帶規模不斷擴大，直到對邊坡穩定性產生影響，發生崩塌。複合型工程除穩定邊坡外，同時也規劃排水工程以降低邊坡入滲量及地層含水量，抑制浸潤帶發展之規模，有效阻止材料弱化。因此自 2005 年施工完成至今(2010 年)林北坑邊坡均呈穩定狀態，短期內應無崩塌之疑慮。但此邊坡的長期穩定性則將依該區地層之風化與侵蝕的速度有直接關係，建議未來能進行傾度管監測與地層材料變化之追蹤調查。

四、 結論

1. 本研究以二維有限元素 Phase² 程式模擬坪頂台地林北坑邊坡變化情形，其分析結果與現地邊坡破壞情形相符。
2. 綜合本研究之分析與文獻(行政院農委會水土保持局第三工程所，2005；陳靜嫻，2007；林義欽，2008)，輔證區域性材料弱化(風化)與侵蝕應為坪頂台地邊坡連續崩塌破壞之主因。
3. 本研究以加入浸潤帶(較低強度帶)之方式考量泥岩層軟化，對邊坡進行有限元素法分析，其破壞方式與現地崩塌情況較符合。因此，若以數值方式分析多種地質材料組成之邊坡時，可先行考量各種材料特性(如弱化、強度降低)再進行分析，較能符合現場情況。至於強度應降低多少，則最好有持續多年的試驗資料推估方較佳。
4. 坪頂台地林北坑邊坡變化因缺乏無傾度管監測資料我們無從瞭解地層之變形，但以本研究以Phase²分析歷史災害之位移量、安全性等，有助於災因探討、變形量推估與整治工程效果之評估。

參考文獻

1. 行政院公共工程委員會(1998)，「林口台地及其鄰接海岸地形變遷與地貌復原可行性探討」，行政院公共工程委員會專案研究計畫。
2. 行政院農委會水土保持局第三工程所(2005)，「坪頂村坪頂崩場地調查規劃工程」期末報告。
3. 林義欽(2008)，「台地向源崩場地整治之研究-以雲林縣林內鄉林北坑崩場地為例」，國立中興大學碩士論文。
4. 陳靜嫻(2007)，「崩塌災區防災推動之探討-以雲林縣林內鄉坪頂村為例」，國立中興大學碩士論文。
5. 陳培源(2008)，「台灣地質」，科技圖書出版社。
6. 劉桓吉、李錦發(1998)，「台灣地質圖說明書」，經濟部中央地質調查所出版，第47頁，第38號，雲林圖幅。
7. 潘國樑(2007)，「工程地質通論」，五南出版社。
8. 工業技術研究院能源與資源研究所(2002)，「坪頂環境地質圖」(圖號9520-IV-096)。
9. Braja M. Das (2006), Principles of Geotechnical Engineering, 6th Edition, BROOKS/COLE, Inc.
10. Kulhawy, F. H. and Mayne, P. W. (1990), "Manual on estimating soil properties for foundation design", Cornell University Geotechnical Engineering Group, pp 4-15-4-22, 5-17.
11. Rocscience Inc. (2008), Phase2 Version 7.0 - Finite Element Analysis for Excavations and Slopes. www.rocscience.com, Toronto, Ontario, Canada.

水土保持學報 43(1) : 1 – 20 (2011)
Journal of Soil and Water Conservation , 43 (1) : 1 - 20 (2011)

99 年 12 月 22 日收稿
100 年 01 月 03 日修改
100 年 01 月 25 日接受