

以有限元素法分析板岩邊坡潛移行為

潘安士⁽¹⁾ 張光宗⁽²⁾ 林錫宏⁽³⁾ 錢滄海⁽⁴⁾

摘 要

板岩受重力和風化的長時間影響，會使材料逐漸弱化，以致於發生邊坡潛移滑動或岩層褶曲，前人研究透過現地調查等證據可得知岩層長期潛移後的一些構造現象，至今尚無利用力學概念來說明板岩潛移行為過程後所造成的現象。本研究根據前人調查結果，以廬山地區的板岩邊坡為例，運用有限元素 Plaxis 數值分析軟體，模擬板岩長時間受到弱化因子作用產生的潛移行為。用有限元素軟體中不同材料模型，以 Hoek-Brown 破壞準則與文獻校正推估板岩強度和潛移參數，並加上不同弱化因子所模擬出的板岩可能的潛移狀況，再與前人發現之現象作比較。分析結果顯示，用力學觀念模擬出的板岩潛移情形，與台灣可能之板岩潛移的地質構造現象相符。

(關鍵字：板岩、潛移、有限元素法)

Application of Finite Element Methods on Creep Behavior of Slate Slopes

An-Shih Pan⁽¹⁾ Kuang-Tsung Chang⁽²⁾ His-hung Lin⁽³⁾ Chang-Hai Chien⁽⁴⁾

Graduate Student, Associate Professor, Department of Soil and Water conservation, National Chung Hsing University, Taiwan

Associate Technical Specialist, Environmental & Engineering Geology Division, Central Geological Survey, MOEA.

ABSTRACT

When the slate is influenced by weathering and gravitation for a long time, it become weak and it may cause the sliding slope creep and folding rock. In the past, people had demonstrated the structure phenomenon of creeping rock through field investigation; however, nowadays no one can demonstrate this phenomenon through the mechanics. According to the result of previous study, by

(1)國立中興大學水土保持學系研究生

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

(3)經濟部中央地質調查所環境與工程地質組技士

(4)國立中興大學水土保持學系助理教授

taking the slate slope of Lushan for example, We used the numerical software of finite element “Plaxis” to simulate the creep behavior for the long-time effect of weakening factors. According to the failure criterion by Hoek-Brown and literatures, We used different material models to estimate the parameter of slate strength and creep, and then we added different weakening factors to simulate possibly situation of slate creep, comparing with the previous study. The result of this research showed that the simulation of slate creep through the mechanics is comparable with the phenomenon of slate creep in Taiwan.

(**Keywords** : slate, creep, finite element method)

前言

潛移是土、風化岩層及岩石等在重力作用下極緩慢的移動，它是最不容易引人注意的塊體移動，滑動面常不明顯。潛移速度很慢，每年可能只有數公厘至數公分，我們常觀察到樹木、籬笆、豎立的桿子等向下坡移動，此種緩慢的位移即是潛移的結果。它長期持續不斷的作用且普遍的存在斜坡上，淺者只有表土部份發生滑動，深者會導致岩層彎曲。潛移速度加快可能表示深部破壞面的發育，也是山崩的前兆。

板岩在台灣當中有極廣泛的地區皆可看見，主要是分布在中央山脈與雪山山脈地區，板岩有良好細密的葉理狀岩理，葉理都非常薄，礦物顆粒很細，平常肉眼很難分辨，大部分是由泥頁岩或凝灰岩等細顆粒岩石經高溫高壓的變質作用所形成。板岩極容易順其葉理方向裂開，變成很多的細碎薄片狀的面狀構造，稱為板劈理，而板劈理構造發達是板岩層的最大特色。

在板岩層當中，很多不同型態的邊坡潛移崩塌破壞，時常與其劈理面特性與位態有極大關連性。當板岩劈理受到邊坡長時間重力以及風化作用的影響後，而材料慢慢弱

化，最後才有潛移行為產生，因為普通岩石邊坡強度都很大，因此必須經歷長時間才有可能逐漸弱化而造成潛移行為。

Goodman(1989)指出潛移為材料處在一定的外在環境下，受一固定應力作用時的依時變形行為，而材料的潛應變在應力解除之後多半不會完全恢復。典型的岩石潛移曲線，依潛移速率不同可分為三個階段：一開始潛移速率隨時間遞減，稱為最初潛移；之後潛移速率維持定值，是為二次潛移；最後潛變速率急遽增加直至試體破壞，稱為三次潛移，如圖 1 所示。

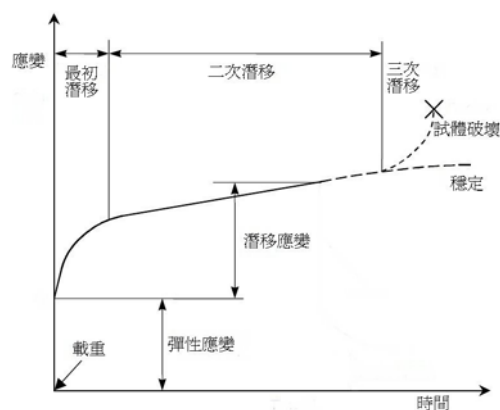


圖 1 潛移行為示意圖

Figure 1. picture of creep behavior

Chigira(1992)根據葉理位態的特點，對於

長時期受重力影響的岩體潛變之變形作討論，總結出岩體受重力變形的潛移作用大致上分爲四大類型，如圖 2 所示。

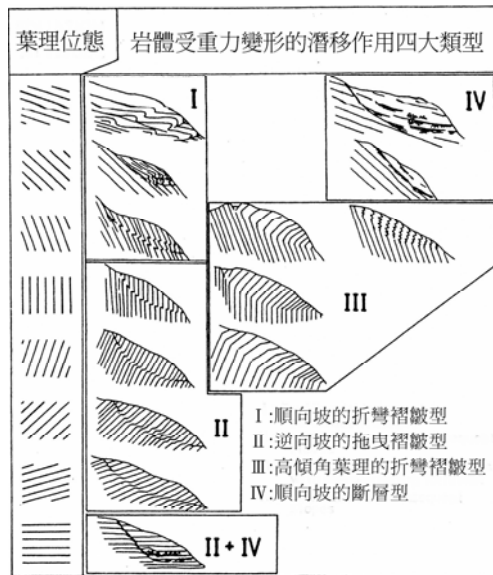


圖 2 葉理位態與岩坡潛移類型(Chigira, 1992)

Figure 2. Foliation attitude and type of rock slope creep

1. 順向坡的折彎褶皺型：發生在坡度比葉理傾角平緩且爲順向坡時，岩層受到底層基岩的束限無法活動，順葉理下滑時下邊坡將使坡趾處產生折彎褶皺的潛移現象。
2. 逆向坡的拖曳褶皺型：發生在坡向爲逆向坡時，葉理位態呈現高角度，岩層中葉理產生上下層如同被拖曳但尚未切斷「S」型褶皺的潛移現象。
3. 高傾角葉理的折彎褶皺型：發生在葉理位態爲高角度時，邊坡上層隨重力長期作用下，葉理當中有一折點，折點上葉

理平行向下或向外產生折彎，剖面的葉理型態呈現「<」型褶皺的潛移現象。

4. 順向坡的斷層型：發生在順向坡且坡向比葉理位態還陡，岩層中大部分的斷層面與葉理平行，在邊坡上產生類似與斷層面平行的潛移現象。

邱坤豪(2000) 調查中橫公路德基至梨山一帶的板岩層劈理位態，發現主要有三群劈理位態，其中兩種位態推論爲高山地區大規模的邊坡潛移作用所造成，綜合野外觀察及對照國外前人之研究成果，歸納出台灣地區板岩邊坡的潛移作用主要的類型與現象。類型分爲二種：一種是山坡上陡傾角的葉理所產生的折彎褶皺型潛移，同於 Chigira(1992) 將岩體受重力變形的潛移作用分類的第三類型，另一種則是在順向坡所產生的拱彎褶皺型潛移，同於 Chigira(1992) 將岩體受重力變形的潛移作用分類的第一類型。

Nemcok et al.(1972)在地滑與塊體滑動

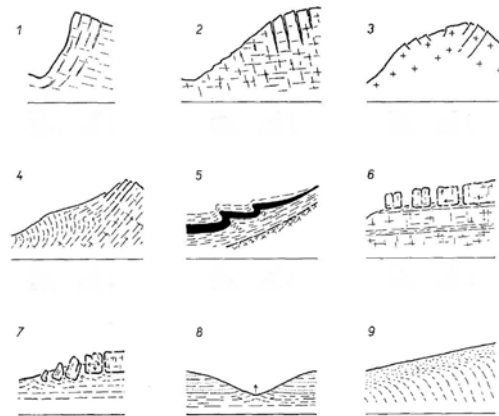


圖 3 不同潛移行爲類型(Nemcok et al., 1972)

Figure 3. Difference type of creep behavior

當中，潛移大致區分為 9 種不同的類型，編號 1-8 為屬於深層的潛移運動，編號 9 則為淺層的潛移行爲，如圖 3 所示。

Samyr El Bedoui et al.(2009)運用 ^{10}Be 宇宙同位素射線定年，可得知岩石邊坡上，從 10,000 年前至今日的岩石的緩慢潛移行爲的滑動位移量與時間關係，進而得知岩石的潛移速率為 $0.11 \times 10^{-4} \text{m/day} \sim 0.82 \times 10^{-4} \text{m/day}$ 。

含有板岩的岩石地層之中，廬山層為其代表之一，標準的出露地點是在南投縣仁愛鄉廬山溫泉附近，廬山溫泉旁北側的邊坡在近幾十年來，每有颱風豪雨邊坡就會有滑動情形產生，透過水保局(2008)、地調所(2006)調查與監測一段時間後，發現岩體滑動已歷經相當長的時間，歷年累積的位移量亦達數公尺，因此推斷為大規模岩體滑動所造成之地質災害。張光宗等(2009)經由對於廬山邊坡地質調查和數值分析結果，探討地質構造和風化作用對此滑動體的影響。本研究以廬山溫泉板岩邊坡為例，使用有限元素法 Plaxis 內的材料潛移及異向性模型來模擬分析板岩邊坡在長時間下緩慢潛移後的情形，透過力學觀念去解釋野外所觀察到的地質構造現象。

研究方法

本研究以有限元素分析軟體 Plaxis 二維數值模式來模擬板岩邊坡地滑行為與變形機制。先藉由蒐集相關的文獻資料，來建立地滑模型，並運用軟體內部中不同材料參數來模擬，以期獲得板岩邊坡在長時間重力狀態下所產生的變形狀態。

1.研究區域概述

研究區域位在台灣中部南投縣仁愛鄉廬山溫泉、塔羅灣溪北側邊坡，如圖 4 所示。地滑區頭部靠近邊坡上方的母安山三角點海拔 1499 公尺，地滑區趾部在河谷附近，上下高程差約 400 公尺，滑動體長約為 820 公尺、寬約為 480 公尺，滑動面積約 30 公頃，如圖 4 所示。本地區屬於脊梁山脈帶的變質岩區，岩體因變質作用之影響，劈理面相當發達，出露在研究區域附近的廬山層，岩性則主要為暗灰色板岩，偶夾薄層之細粒變質砂岩或粉砂岩，全部約有數千公尺上下的厚度。



圖 4 研究區域地形圖(張光宗，2009)

Figure 4. The topographical map of study area

2.Plaxis材料模型

Plaxis 中的材料模型包括多種，各種模型都有其適用性所在，而本研究是採取 soft soil creep 與 anisotropy 材料模型，透過這兩種模型來模擬板岩邊坡的潛移行爲。

Soft soil creep 模型可用於模擬軟弱土壤隨著時間變化之行爲。本研究用此模型來模擬板岩區常見到的邊坡潛移現象。此模型的重要參數包括： c ：凝聚力； ϕ ：摩擦角； ψ ：膨脹角； κ^* ：修正的膨脹指數； λ^* ：修正的壓縮指數； μ^* ：修正的潛移指數。其中 λ^*

和 κ^* 可由土壤的體積應變和平均有效應力的對數關係得到，而 μ^* 反應出土壤和時間有關的行爲，應該由潛移試驗得到。由於本研究模擬爲板岩材料，與上述模型參數爲軟弱土壤壓密所得參數不相符，因此透過材料模型手冊中提供的相關公式與參考文獻中已知之岩石潛移速率來校正上述材料參數，再透過此校正後參數模擬潛移現象後的地質構造現象。

本研究用 soft soil creep 模型來模擬外，也用 anisotropy 模型模擬板岩區常見到的邊坡潛移現象。Anisotropy 模型是一個理想彈塑性模型，適合模擬岩石有節理的行爲，此模型是假設完整岩石具有一個主要節理方向，由五個參數與一個方向來量化。在主要節理方向上，根據庫倫準則，假設有限的剪應力下，當此方向超過最大剪應力之後，塑性滑動就會產生。本研究中定義一個滑動方向平面，並假設與彈性異向性方向重合。

Anisotropy 模型的基本參數包括：完整岩石的異向性彈性行爲參數，如圖 5 所示： E_1 ：應力施加方向與劈理面平行時的楊式模數； E_2 ：應力施加方向與劈理面垂直時的楊式模數； ν_1 ：應力施加方向與劈理面平行時的柏松比； ν_2 ：應力施加方向與劈理面垂直時的柏松比； G_2 ：應力施加方向與劈理面垂直時的剪力模數。根據庫倫準則方向上的剪切破壞與傾斜角度參數： c_i ：凝聚力； ψ_i ：摩擦角； ψ ：膨脹角； α_1 ：劈理面傾角。將相關參數透過水保局(2006)成果報告書中調查試驗結果取得並依序輸入來模擬。

在假設長時間重力狀態下的潛移模擬，可以使用只有凝聚力折減的方法來反應邊坡

逐漸弱化的影響，利用張光宗等(2009)風化作用對滑動體的影響所採用的凝聚力折減方法，即增加岩體重力的方式來分析，隨著時間慢慢增加，邊坡的重力也隨著增加，可反應邊坡因爲風化的影響，造成的潛移破壞。

另一方面，模擬時也可透過 Plaxis 有限元素程式提供分析邊坡安全係數的功能，簡稱爲 ϕ - c 折減法，來模擬模擬邊坡逐漸弱化發生潛移現象後的地質構造現象。 ϕ - c 折減法在計算中，是將土壤的強度參數 c 值和 ϕ 值逐步減小，直到結構破壞爲止。

此外，透過 Plaxis 有限元素程式提供弱面界面設定功能，在模型中將需要弱化的部分加以標示，再設定弱面強度折減因子 (Rinter) 達到所需弱化折減的程度。本研究的模型當中，上兩層風化板岩層中，將其設有與滑動方向相同的弱面界面，藉此模擬板岩層中劈理弱面因錯動而滑動的情形，透過給弱面界面選取適合的弱面強度折減因子 (Rinter) 的值來模擬。

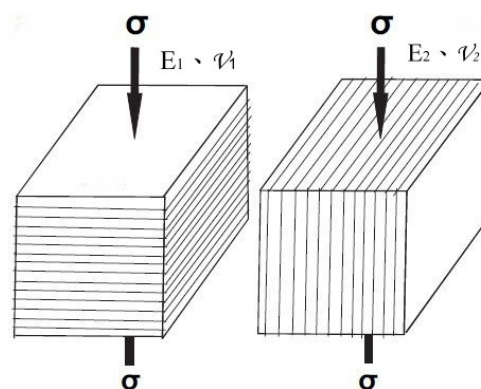


圖 5 岩石的異向性結構

Figure 5. Anisotropy structure of rock

3. 模型建立與材料參數的訂定

本研究是根據水保局(2006)報告書以及中央地質調查所(2006)報告書中的調查結果，來決定岩土參數範圍、幾何模型、邊界條件等，以利進行數值分析模擬前之作業。

本研究設計廬山地區的板岩邊坡之寬約1000m、高度約500m，根據水保局(2006)報告書廬山剖面震測測線資料，地層簡化為三種岩層，邊坡表面向下兩層為強度不同之風

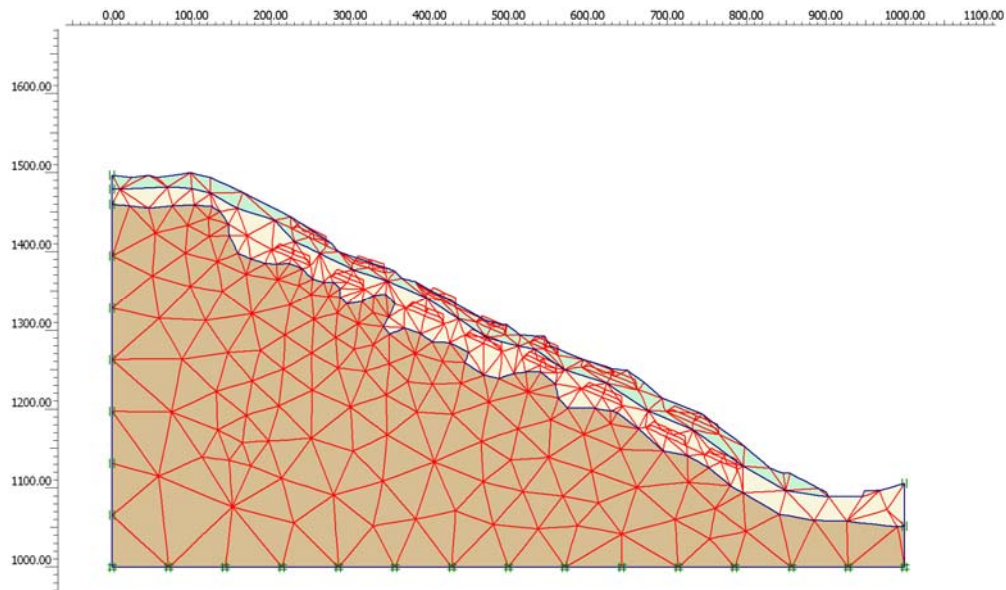


圖 6 地質模型

Figure 6. The geological model

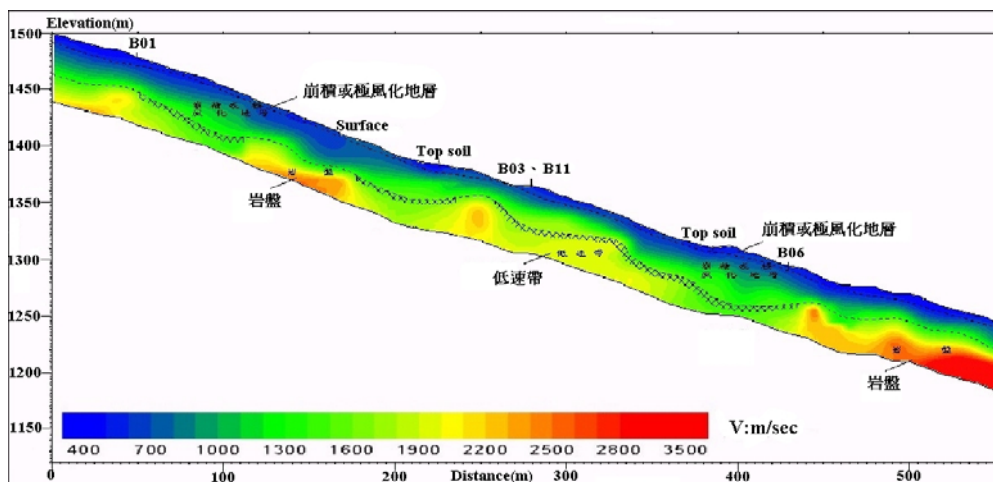


圖 7 廬山震測影像剖面(水土保持局，2006)

Figure 7. Seismic image profile of Lushan

化板岩層，最上層強度風化板岩層，中度風化板岩層次之，其下爲堅硬未風化板岩層，模型如圖 6、7 所示。

廬山剖面邊界條件如同水保局(2006)報告書所繪，而底部邊界的節點爲固定不動，兩側邊界的節點允許垂直移動但不允許水平移動。此外，再針對報告書中，岩層所進行之力學實驗及鑽孔取樣，可獲得不同層之力學參數及岩層資訊，以Hoek-Brown破壞準則推估岩層的強度參數。Soft soil creep模型參數相關修正指數 κ^* 、 λ^* 、 μ^* 說明如下：當應力和應變是在單向度壓密試驗條件下時，透過Plaxis手冊中得知模型隱含的關係是 $E_{oed} = E_{oed}^{ref} (\sigma / p^{ref})^m$ 。在軟土材料的特殊情況下，可假設 $m = 1$ ，而軟土模型中所用修正壓縮指數 λ^* 和單向度壓密載重模數之間存在如下的關係： $E_{oed} = \sigma / \lambda^*$ ，其中 $\lambda^* = p^{ref} / E_{oed}^{ref}$ ， E_{oed}^{ref} 是由主壓縮所引起的塑性應變楊氏模數， p^{ref} = 參考壓力， m = 勁度

根據幕次法則的應力相關性。

根據報告書中針對板岩所進行之力學實驗及鑽孔取樣，可獲得不同板岩層之相關參數，且可藉由 Hoek-Brown 破壞準則推估給予最適當的楊氏模數 E 、凝聚力 C 及摩擦角

ϕ ，另外透過 $\lambda^* = \frac{\sigma}{E_{oed}}$ ， $\sigma = \gamma h$ 等公式可

約略估計不同風化層 λ^* 值。 κ^* 與彈性加卸載後的楊氏模數 E_{ur} 的關係是

$$\kappa^* = \frac{p'[-3(1-2\nu_{ur})]}{E_{ur}}, \quad E_{ur} = 3E_{50},$$

$\nu_{ur} = 0.15$ ， p' = 平均應力， E_{ur} = 彈性加卸載後的楊氏模數， ν_{ur} = 彈性加卸載後的柏松比， E_{50} = 主軸差載重所引起的塑性應變楊氏模數。由上述公式可約略估計不同風化層 κ^* 值。 μ^* 則透過 Samyr El Bedoui et al.(2009)文獻中提及的已知岩石潛移速率來校正此材料參數，使之與岩石材料參數相符，推估參數如表 1、表 2

表 1 潛移模型參數

Table 1. parameter for creep model

	強度風化板岩層	中度風化板岩層	未風化板岩層
濕單位重 γ_{unsat} (kN/m ³)	26.7	26.7	26.7
飽和單位重 γ_{sat} (kN/m ³)	27	27	27
修正的壓縮指數 λ^*	3.70E-04	2.10E-04	9.00E-05
修正的膨脹指數 κ^*	2.50E-04	1.50E-04	6.80E-05
修正的潛移指數 μ^*	10.00E-05	7.00E-05	0.30E-05
凝聚力 C (kPa)	118	178	1328
摩擦角 ϕ (°)	45.14	48.37	48.79
膨脹角 ψ (°)	0	0	0
弱面界面折減因子 R_{inter}	0.48	0.6	1

表 2 異向性模型參數
Table 2. parameter for anisotropy model

	強度風化板岩層	中度風化板岩層	未風化板岩層
濕單位重 γ_{unsat} (kN/m ³)	26.7	26.7	26.7
飽和單位重 γ_{sat} (kN/m ³)	27	27	27
岩石的楊氏模數 E_1	1.017E+06	1.985E+06	1.763E+07
岩石柏松比 ν_1	0.3	0.3	0.3
沿劈理面方向的楊氏模數 E_2	1.017E+06	1.985E+06	1.763E+07
沿劈理面方向的劈理面柏松比 ν_2	0.3	0.3	0.3
沿劈理面方向的劈理面剪力模數 G_2	3.913E+5	7.633E+05	6.782E+06
凝聚力 C (kPa)	118	178	1328
摩擦角 ϕ (°)	45.14	48.37	48.79
膨脹角 ψ (°)	0	0	0
劈理面傾角 α (°)	57	57	57
弱面界面折減因子 R_{inter}	0.48	0.6	1

數值模擬分析結果

本研究在模擬廬山地區的板岩邊坡潛移行爲時，假設 Plaxis 中兩種模型可能使邊坡產生潛移的現象，分別爲 soft soil creep 模型與 anisotropy 模型來進行模擬。對於板岩邊坡潛移模擬之結果著重於發生長時間潛移之後，板岩最後呈現的地質構造現象，從現地觀察到的地質構造現象(圖 8、9)相互比對，證實可透過力學觀念來解釋觀察到的地質構造現象。

1. Soft soil creep 模型材料參數校正模擬

在 Hoek-Brown 破壞準則推估以及重複

測試不同材料參數校正後，其後將材料參數代入，進行 1000 天模擬板岩邊坡潛移後的狀況，潛移速率爲 0.24×10^{-4} m/day~ 0.77×10^{-4}



圖 8 廬山地區的板岩折彎褶皺情形

Figure 8. Bending folds formed of Lushan

slate m/day，符合參考文獻中的岩石潛移速率，如圖 10 所示，此後 soft soil creep 模型就以此組校正材料參數作其他情況之模擬。



圖 9 廬山地區的板岩地表潛移現象
Figure 9. Surface creep phenomena of Lushan slate

運用參數校正後的參數做不同的狀態下的板岩邊坡模擬，分別爲圖 11~13 所示。圖

11 是透過重力增加至 2 倍相當於凝聚力減半與時間慢慢增加 1000 天同步，模擬反應邊坡因爲風化的影響而造成情形。圖 12 是透過在上層風化板岩層加入二排與坡面約略平行的弱面界面，時間慢慢增加 1000 天，模擬板岩邊坡在弱面界面條件下，潛移後的狀況，來模擬板岩層中劈理弱面因錯動而潛移滑動的情形。圖 13 是將重力增加至 2 倍並在上層風化板岩層加入二排與坡面約略平行的弱面界面，在和時間慢慢增加 1000 天同步模擬。從各種不同方式模擬後的圖中可得知，無論在經過長時間潛移，或者同時增加重力、弱面界面或前兩者合併使用的條件下，上中下邊坡剖面中的位移方向大致有一交界處，交接處不動，而交接處以上的邊坡，滑動位移有逐漸變大的趨勢，剖面就有如 Chigira(1992)所提出岩體受重力變形的潛移作用之四大類型分類的第三類型-高傾角葉理的折彎褶皺

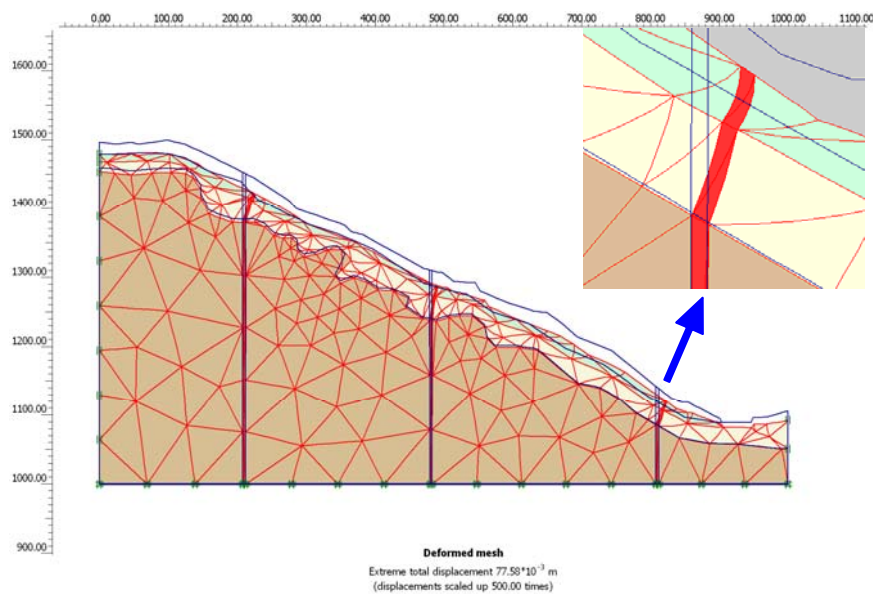


圖 10 校正 soft soil creep 模型材料參數所造成的位移
Figure 10. Displacement of material parameters of calibration soft soil creep model

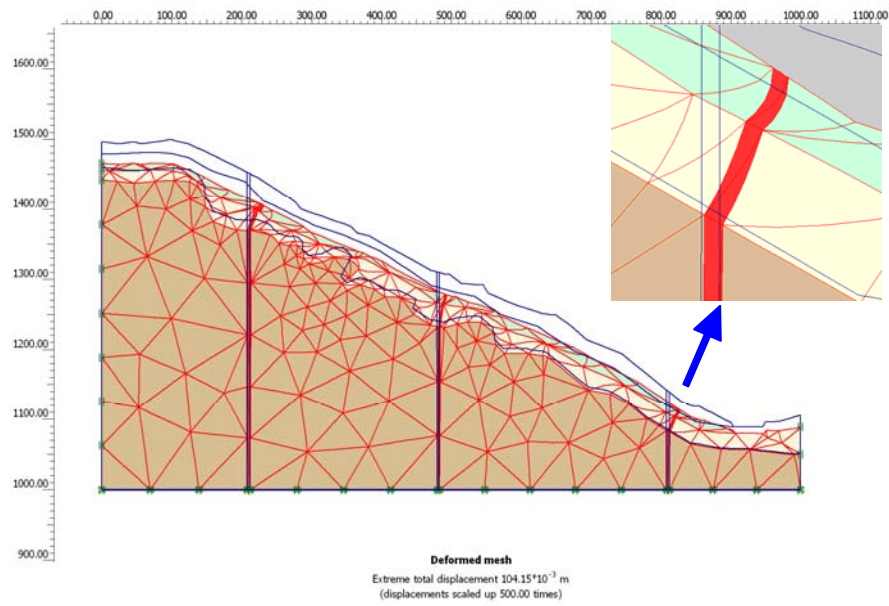


圖 11 重力增加模擬風化位移

Figure 11. Displacement of gravity increase to simulate weathering

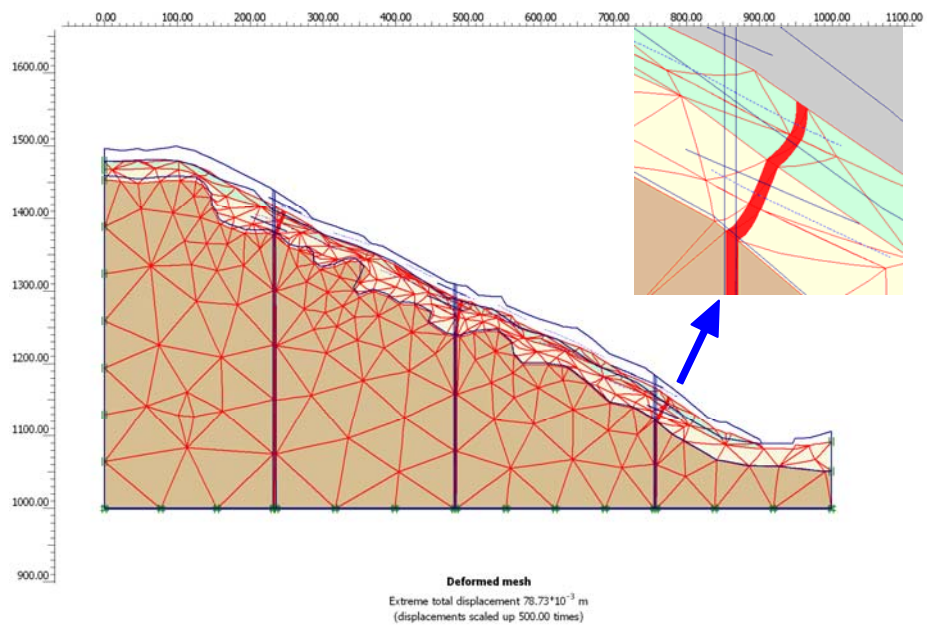


圖 12 弱面界面使邊坡弱化位移

Figure 12. Displacement of slope weakened for interface

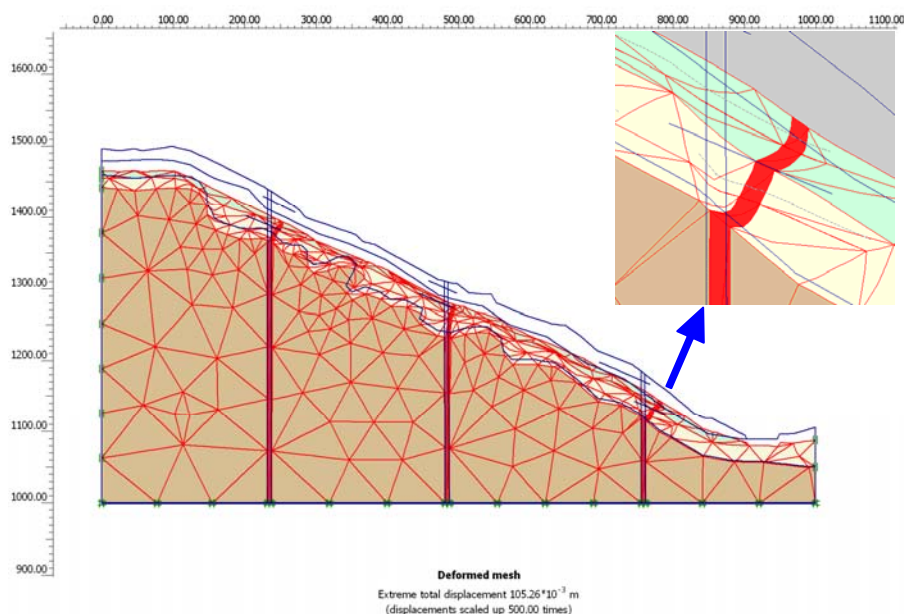


圖 13 同時使用重力增加與弱面界面使邊坡弱化位移

Figure 13. Displacement of both used gravity increase and interface to slope weaken

型。有設定弱面界面的模型中會有產生稍微錯動的情形，重力與弱面界面同時使用使得剖面中位移量有增加的趨勢。

2. Anisotropy模型模擬

從水保局(2006)報告書調查結果再使用 Hoek-Brown 破壞準則推估的參數代入模型後，用 Anisotropy 模型來模擬板岩邊坡潛移後的狀況，分別為圖 14~15 所示。圖 14 模擬板岩邊坡在異向性條件下，透過 ϕ -c 折減法，讓邊坡逐漸弱化來模擬。圖 15 是在模型中的風化板岩層中設定二排與坡面約略平行的弱面界面，模擬板岩邊坡在異向性條件下，潛移後的狀況，另外再加入 ϕ -c 折減法，讓邊坡逐漸弱化。從邊坡剖面圖中，可發現圖 14 中剖面呈現之褶皺，有如 Chigira(1992)所提出岩體受重力變形的潛移

作用之四大類型分類的第一類型-順向坡的折彎褶皺型。另外透過廬山地區的鑽孔調查得知岩體受重力變形的潛移作用後產生折彎褶皺，在弱面界面的地方發生有如剪裂帶一樣的錯動和折彎情形，如圖 15、16 所示。

結論

板岩邊坡岩體滑動區的地質演化模式，一開始整個邊坡可能原本為具有一致性劈理位態的板岩邊坡，而岩體在長時間受重力(可能包括地震力)影響產生下坡運動，在滑動體產生劈理急折現象並導致連續的岩體變形，而造成一些潛移褶曲的構造現象。而本研究透過有限元素分析軟體 Plaxis 中的不同材料模型，來解釋板岩邊坡潛移後可觀察到的地質構造現象。Soft soil creep 材料模型當

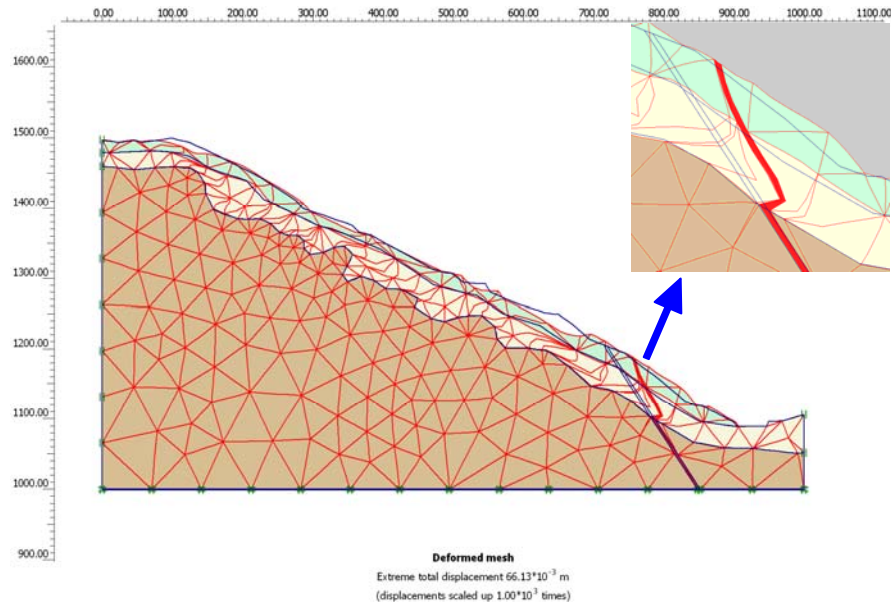


圖 14 ϕ -c 折減法使邊坡弱化位移

Figure 14. Displacement of ϕ -c reduction to slope weaken

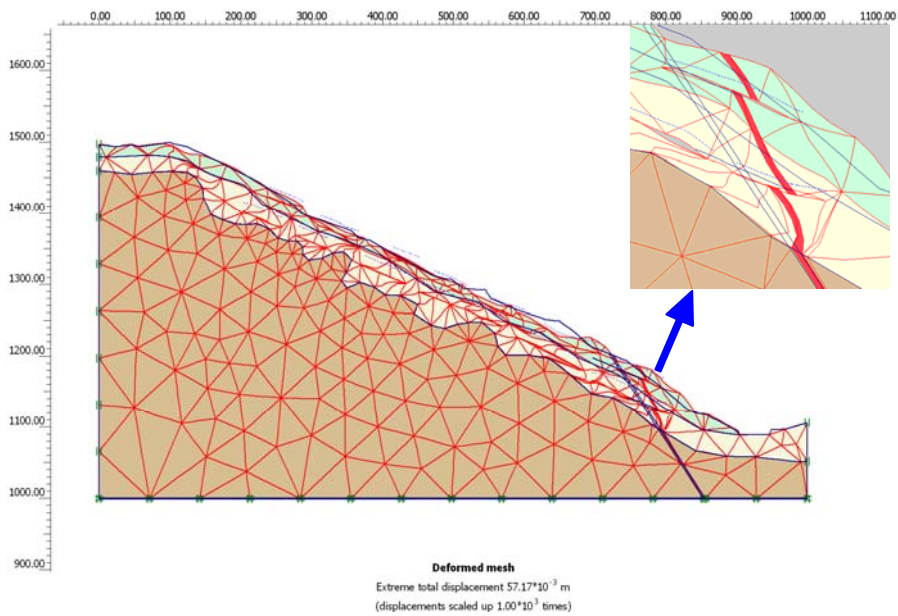


圖 15 ϕ -c 折減法與弱面界面使邊坡弱化位移

Figure 15. Displacement of both used ϕ -c reduction and interface to slope weaken

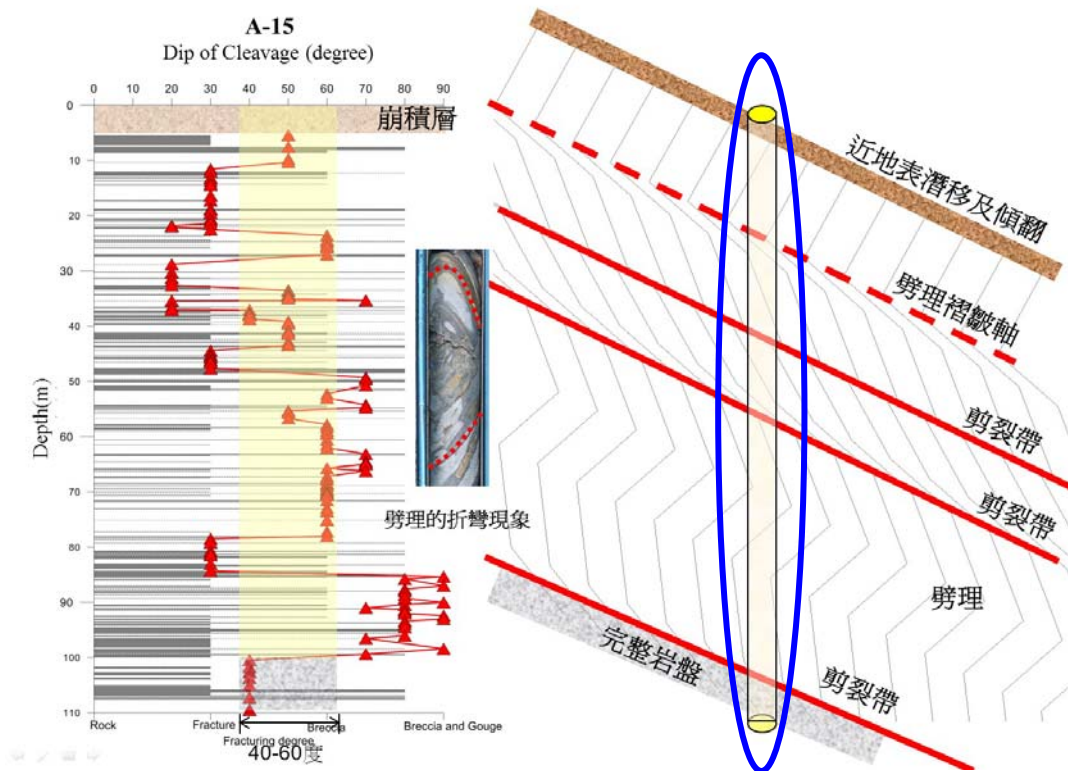


圖 16 廬山邊坡鑽孔調查示意圖

Figure 16. Drilling investigation of Lushan slope

中，嘗試透過在長時間潛移的同時，加入改變重力相當於凝聚力的折減、設定弱面界面弱化，透過不同方式單獨或合併使用，使板岩材料如同風化作用一般，模擬出岩石潛移的緩慢速率潛移後產生的地質構造現象。

另一方面，在 Anisotropy 材料模型當中，也是藉由運用設定弱面界面弱化，以及運用 ϕ - c 折減法模擬，或以兩種方式結合模擬，讓最後模擬成果也都可產生板岩邊坡潛移後的不同地質構造現象，而在本研究中使用有限元素數值模擬都能呈現邱坤豪(2000)歸納的台灣兩種潛移型態。藉由有限元素

Plaxis 中的 soft soil creep 與 anisotropy 這二種不同材料模型方法當中，皆可達到以力學觀點去解釋野外所觀察到的地質構造現象的目的。

參考文獻

1. 水土保持局第三工程所(2006)，「台14線88K至91K地滑地治理調查規劃工程」成果報告書。
2. 水土保持局第三工程所(2008)，「廬山地滑監測及後續治理規劃」成果報告書。

3. 張光宗、黃祥慶、林銘郎、張益通 (2009), 「板岩地滑區的地質調查與分析—以廬山溫泉滑動邊坡為例」, 中華水土保持學報, 40(4): 393-407。
4. 邱坤豪(2000), 「台灣中部德基至梨山地區岩石劈理位態分布特性之研究」, 碩士論文, 國立中央大學應用地質研究所。
5. 經濟部中央地質調查所(2006), 「地質敏感區災害潛勢評估與監測-重大山崩災害潛勢地區災害模擬與監測」成果報告書。
6. Chigira, M. (1992), “Long-term Gravitational deformation of rocks by mass rock creep” , *Engineering Geology*, 32, 157-184.
7. Goodman. R.E. (1989), “Introduction to Rock Mechanics”, 2nd ed., John Wiley&Sons.
8. Nemcok, A., Pasek, J., and Rybar, J.(1972), “Classification of landslide and other mass movements” , *Rock Mechanics* 4, 71–78.
9. S. El Bedoui, Y. Guglielmi, T. Lebourg, J.L. Pérez (2009), “Deep-seated failure propagation in a fractured rock slope over 10,000 years: The La Clapière slope, the south-eastern French Alps” , *Geomorphology*, Volume 105, Issues 3-4, 15 April 2009, 232-238.

100 年 03 月 08 日收稿

100 年 03 月 14 日修改

100 年 03 月 20 日接受