

疏伐木擋土構造物穩定性分析評估

林德貴⁽¹⁾ 鍾鳴峰⁽²⁾ 徐森彥⁽³⁾ 陳威翔^{(4)*}

摘 要

大雪山林道 47K+100 木構造擋土牆為國內第一座以疏伐材及現地土石料共構之大型木構造擋土牆，該路段為大雪山林道通往小雪山莊及大雪山神木主要通道並兼負聯外交通重任。林道管理維護採傳統工法施作有其優劣，本研究探討傳統工法與生態工法在林道改善優劣處。現存林道及其附屬設施如擋土工、排水工等多為傳統工法所構築，在維護管理時，常因地處偏遠營建物資不易運達，造成施工品質不良，因傳統工法無法與周邊森林環境自然融入等問題。疏伐木為常運用於生態工法之木質材料，但疏伐木有材料強度較弱及易腐蝕劣化等不利因素，將使以疏伐木構築之構造物長期耐久性及穩定性逐漸下降而至破壞。本研究將針對疏伐木擋土構造物工程實例，藉由現地監測及數值分析方式進行木構造擋土牆穩定性評估，建立對木構造擋土牆長期穩定性評估方式及後續管理維護之參考。

(**關鍵詞**：疏伐木、穩定性、木構造)

Analysis and Assessment of Wooden Retaining Structure Durability and Stability

Der-Guey Lin⁽¹⁾ Ming-Feng Chung⁽²⁾ Sen-Yen Hsu⁽³⁾ Wei-Hsiang Chen^{(4)}*

Professor⁽¹⁾, Graduate Student⁽²⁾, Doctoral student⁽⁴⁾ Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan

Assistant Professor⁽³⁾ Department of Civil and Disaster Prevention Engineering, National United University, Miaoli, Taiwan

Abstract

The wooden retaining structure situates at 47K+100 downslope of Da-syue-shan Forest Road is Taiwan's first large-scale retaining wall which constructed by thinned wood and field material such as soil and rock. The road section was the main access and passage bound for Siao-syue-shan Visitor Center and Da-syue-shan sacred tree. This study evaluates the efficiency of wooden retaining structure and investigates the merit and demerit of conventional and ecological engineering methods

(1)國立中興大學水土保持學系教授

(2)國立中興大學水土保持學系碩士生

(3)國立聯合大學土木與防災工程學系兼任助理教授

(4)*國立中興大學水土保持學系博士生(通訊作者 e-mail：cws271641@yahoo.com.tw)

in remediation of forest road. For the existing forest road, most of the auxiliary facilities such as retaining wall and drainage system were constructed by conventional engineering method management and maintenance. It is difficult to deliver construction material due to long distance in mountainous area. Eventually, caused bad quality. The wooden structures used by conventional engineering method reveals combined difficulties with natural forest environment. Thinned wood was commonly used as a construction material in ecological engineering method. However, due to the low strength and liable to deterioration, the long term durability and stability of wooden material tend to descend with elapsed time and eventually to failure. In Taiwan, it is very rare in research on the durability and stability of wooden structures. This study evaluates the durability and stability of wooden structure in field site using deterioration detection techniques, in-situ monitoring and numerical analyses. Finally, an evaluation method and sequential maintenance, management method were raised for practical usage in long term stability of wooden retaining structures.

(**Keywords:** forest thinning, stability, wooden framing)

壹、前言

大雪山林道 47K+100 路段因受 93 年敏督利及艾莉颱風影響造成路基流失，林務局東勢林管處搶修本路段時，以疏伐木及現地土石料共構之大型木構造擋土牆(含路基)且為生態工法材料運用之案例(行政院農業委員會林務局，2005)。構築堆疊式多階木格框擋土牆(長度 $L=49\text{m}$ 、高度 $H=15\text{m}$)。此木構造擋土牆於 94 年完竣啟用迄今，期間經歷多次重大風災，雖無明顯損壞，但依過去之研究(王松永等，2005)疏伐材因具材料之強度較弱、材質易腐蝕劣化及受現地土石填料逐漸壓密所引致之沉陷變形等不利因素，將使木構造擋土牆之穩定性逐年下降。本研究以現地監測及數值分析，對此木構造擋土牆進行穩定性評估。數值分析則以有限元素數值程式 PLAXIS 針對完工後之木構造擋土牆進行木構件之應力檢算及整體邊坡穩定性分析(林德貴等，2008)，最後依據數值分析之結果提出木構造擋土牆後續補強之建議。木構造及疏伐木之特性分述如下：

(一) 木構造擋土牆無論於功能性、生態棲地性、經濟性、材料再生特性等評估上，均優於其他建材及傳統鋼筋混凝土擋土牆，且木材可自行腐朽分解，在生態上更符合現代社會的需求。

(二) 疏伐木作業之目的在於調整林木疏密，促進森林生長機能，維持與增進地力，若能將疏伐木有效利用於邊坡穩定、林道修建、開發疏伐木實木製品，如集成材等等，更可達到生態之永續經營，另外，以疏伐材做為生態工法材料或運用於林道、治山防災構造物之外，將可使疏伐材運用朝多元方向發展。

(三) 木構造須注意木材使用年限較短且均質性不一，其穩定度須依不同種類木材之物理特性及加工處理過程進行探討，故採用木構造作為生態工法或林道、治山防災構造物，需輔以適當之安全管理與維護措施。

貳、文獻回顧

一、結構用木材物理特性

木材為天然材質非均質且變異性大，其性質與構造相關，針葉樹與闊葉樹的構造即不完全相同，故其性質有許多差異，其不同部位與生長條件會有不同特性發生，木材在抵抗最弱處破壞，其破壞理論異於其他材料在最大應力時破壞(賴昆芳，2003)。

二、疏伐木

林木的生長受到很多因素的影響與限制，如木材先天遺傳因子、生育環境的狀況、生長期間的氣候條件、育林技術等，同品種樹木生長在相同氣候條件與環境之下，木材的內部性質及外部表徵也無法完全相同。所以在林業經營在品質管理與經營成本等因素的考量下，為求木材資源的有效生長與利用，以疏伐來調整林木疏密，並將疏伐木有效運用在維修林業道路、木製梳子壩等等生態工法上，以疏伐木做為個別元件材料，木構造為工法組合要件，做成框式構架之建築物，在有效利用之下，將有助於提高國內木材自給率(行政院公共工程委員會，2005)。

疏伐是對發育不良或是處於弱勢之林木所施作之採伐，其目的在於改善留存林分及立木空間調整，可以有效促進森林林木生長完整、適度調整森林之密度、留取適當之間隔以利留存樹木自行生長，可提高留存木及森林整體木材材質，而疏伐木多屬中小徑木，材質較差，採伐標準以直徑區分(行政院公共工程委員會，2005)。

參、研究標的概述

一、地理位置與交通

本研究區域位於大雪山林道 47K+100 處，計畫路段即位於船型山與鞍馬山支稜下方邊坡，鄰近小雪山莊。大雪山林道昔日為配合林業工作所開闢，目前已轉型為生態旅遊用途，為著名之大雪山森林遊樂區唯一聯外通路，本林道始於台中縣東勢鎮，沿台 8 線往谷關方向並於出雲山附近銜接台中縣和平鄉鄉境，經東坑村後蜿蜒進入大雪山山區。本研究路段即位於和平鄉境內博愛村，於大雪山林道過鞍馬山莊約 4 公里處，地理位置與交通詳如圖 1 所示。

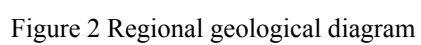
二、地形與地質概況

(一)地形

木構造擋土牆位於稍來山-馬鞍山支稜南側，屬雪山山脈西南稜線尾稜為大安溪與大甲溪之分水嶺，於稍來山北側為大安溪流域，南側即為大甲溪流域。大雪山林道自東勢鎮沿石角溪進入大雪山山區，經東坑村後即蜿蜒向上爬升，沿途途經大甲溪各支流流域，一路由鳶嘴-稍來山支稜南側東進為鞍馬山支稜南側，木構造擋土牆約在海拔 2550 公尺左右，屬於高海拔山區。

(二)地質

本區域位於大甲溪中游之北側支流東卯溪流域，在地質分區上屬於雪山山脈地質區，由古第三紀始新世以後之變質岩層所構成如圖 2 所示。



三、現況調查

在此以國內第一座因地制宜之疏伐材及結合現地土石料共構之大型木構擋土牆(含路基)，為研究分析之對象，此木構擋土牆於 94 年完竣啟用迄今，並經歷多次重大風災，雖無明顯損壞，但因疏伐材據有材料強度較弱、材料較易腐蝕劣化、與現地土石料共構逐漸密實所致之形變或因落石崩落砸毀部分木構件等局部構造物破壞之情形，將使得整體木構造穩定性降低，彙整標的木造擋土牆現況照片如圖 3。



(a)木駁坎現況(三階段)

(a)The wooden retaining wall(3 stages)



(b)牆身劣化現況

(b)In-situ of the wood-built retaining wall

圖 3 木構造擋土牆現況照片

Figure 3 The wooden retaining wall

肆、研究方法

木構造擋土牆依堆疊之木格框階數共可分成三型標準斷面，分別為三階、兩階及單階層木格框擋土牆，經整理此三型不同階數木格框擋土牆之變位監測其結果如表 1，其中最大總位移量為各斷面測點於歷次監測中測得之最大 ΔT 、 ΔL 、 ΔZ 合位移量(相對於 7/23 之初始點位)，並以三階層木格框擋土牆所產生之最大總位移量均大於兩階及單階層木格框擋土牆。另由該表顯示各斷面之最大位移量主要發生在第一階(最上階)；最大位移速率則以三階層木格框擋土牆為最大。

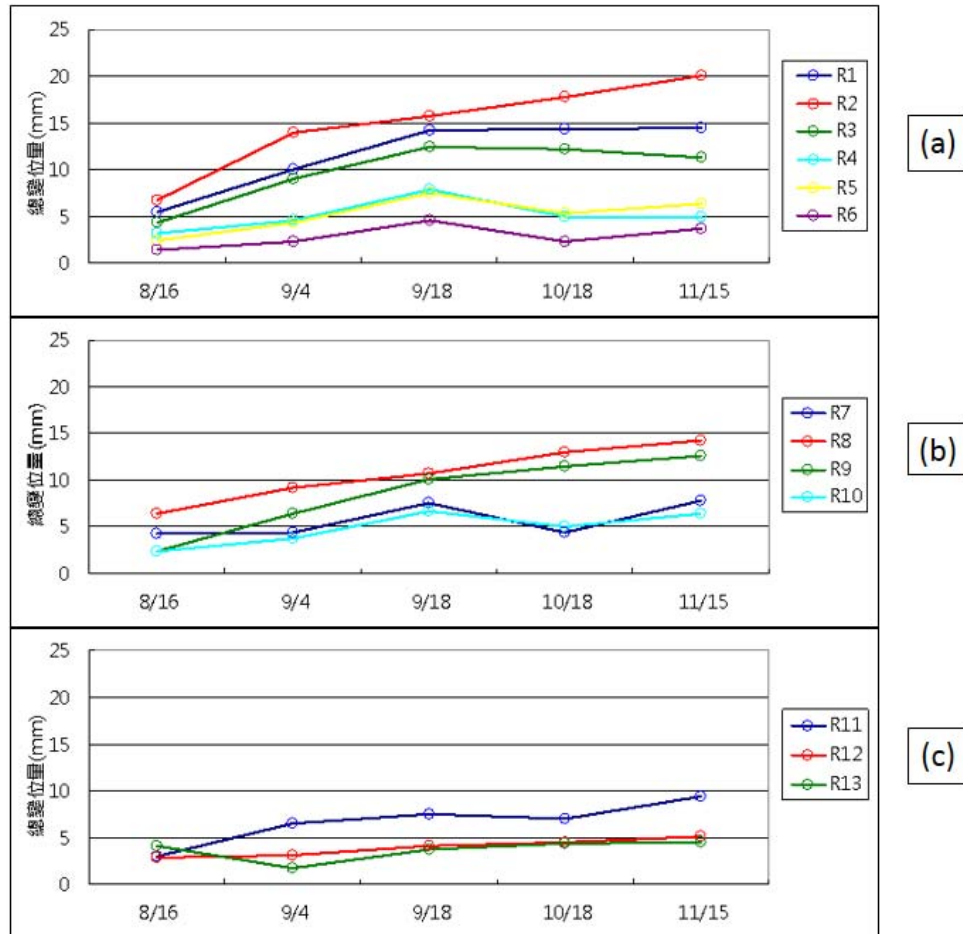


圖 4 木構造擋土牆監測總變位歷時成果圖(a)最上階(b)第二階(c)最下階

Figure 4 Wooden retaining wall construction monitoring total displacement (a) highest stage (b) second stage (c) lowest stage

二、木構造擋土牆穩定分析

(一)、數值分析方法與流程

本研究之數值分析係針對木構造擋土牆組成構件之應力及其完工後木構造擋土牆之整體穩定性進行數值分析。木構造擋土牆組成

構件採用有限元素法進行各施工階段及木構件腐朽劣化使得材料弱化時應力及變形檢算；另木構造擋土牆與邊坡之整體性穩定分析則採用 $c-\psi$ 強度折減法進行安全係數計算，整體木構造擋土牆數值穩定分析流程圖如圖 5 所示。

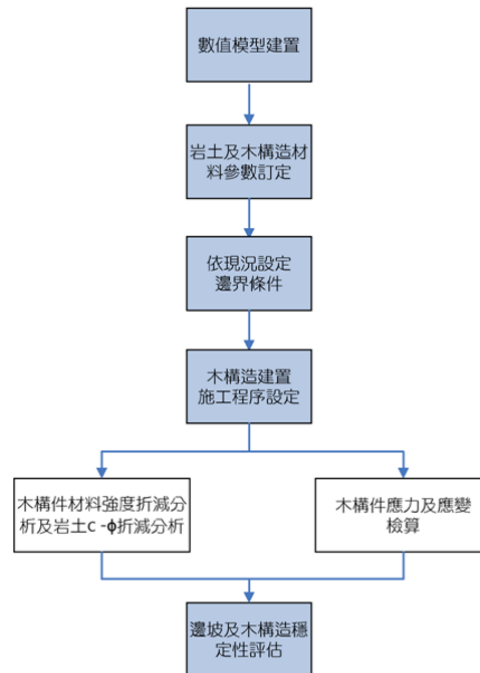


圖 5 木構造擋土牆數值穩定分析流程

Figure 5 The flow chart of the wooden retaining walls numerical stability analysis

表 1 木構造擋土牆各剖面測線之變位監測結果

Table 1 The displacement result of each wooden retaining wall sectional line

註：4k+124 處木構造之第一階(R3)的最大總位移量為 12.4mm

Note: at 4k +124 of the wooden structure first stage (R3) maximum displacement is 12.4mm

形式	三階擋土牆			二階擋土牆	一階擋土牆	
剖面里程	4k+107	4k+115	4k+124	4k+135	4k+145	4k+156
變位觀測點	R1,R7,R11	R2,R8,R12	R3,R8,R13	R4,R9	R5	R6
最大總位移量(mm)	14.5	20.0	12.6	7.9	7.5	4.6
最大位移量發生位置	第一階(R1)	第一階(R2)	第二階(R8)	第一階(R4)	-	-
最大期間位移速率(mm/天)	0.39	0.38	0.39	0.32	0.25	0.19
最大位移速率發生之期間	9/5~9/18 (第一階)	8/17~9/3 (第一階)	9/5~9/18 (第一階)	9/5~9/18 (第一階)	9/5~9/18	9/5~9/18
平均月位移速率(mm/月)	3.92	5.41	3.41	2.14	2.03	1.24

(二)、數值模型建立

本研究採用 2D 有限元素程式 PLAXIS 進行數值分析，在進行木構造擋土牆與岩土材料之互制行為分析時，模擬木構造擋土牆在特定載重或材料劣化狀況下，木構造擋土牆與整體邊坡之沉陷及變形行為，進而分析木構造擋土牆及邊坡整體之安全性。

1. 邊界條件

邊界條件設定乃以木構造擋土牆及地形地物剖面(如 47K+115 之邊坡，其路面寬為 9m，木構造擋土牆平均高度為 5.2m，共施作三座。三階層之石籠擋土設施一座，各籠間距為 1m，高度為 1m)建立數值模型，本研究共取 47k+115、47k+135 及 47k+145 三個剖面，另為分析木構造擋土牆在斷面變化處之力學行為，增建多個代表性剖面模型，各模型邊界束制條件採用底邊界為 X-Z 雙向鉸支承束制，側邊界為 Z 單向滾支承束制，依實測地形剖面所建立之數值模型如圖 6 所示。

2. 初始條件

木構造擋土牆數值分析模擬須依各施工步驟分階段建立模型，主要可分(1)整地(2)構築木格框及(3)回填土石料，並重覆步驟 2、3 直至設計高程，詳如圖 7 所示。各階段構築完成均進行應力分析，以作為下一階段分析之初始應力。另由於木構造擋土牆以回填塊石料為主，透水性良好，且牆身均無滲水現象；上邊坡設有截水溝、過路涵管等，研判木構造擋土牆內應無地下水存在，故本研究分析時並未考慮地下水之影響。

此外，為模擬外載重對木構造擋土牆力學及變形行為之影響，本研究依公路設計規範施加車行載重(HS20-44，標準貨車荷重 18ton，假設最大可能荷重為雙向來車時 36ton)，且為避免集中力對於岩土層造成局部破壞情形影響數值求解之正確性，故將車輪集中載重轉換為等值均佈載重(此模式輸入之均佈荷重為 38kN/m²)以反應外載重對木構造擋土牆穩定性變化情形。

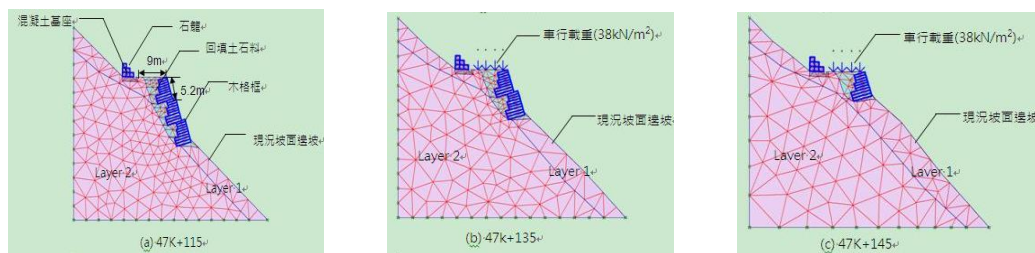


圖 6 (a)47k+115 剖面 (b)47k+135 剖面 (c)47k+145 剖面數值分析模型

Figure 6 The numerical models of (a)47k+115 (b)47k+135(c)47k+145 sections

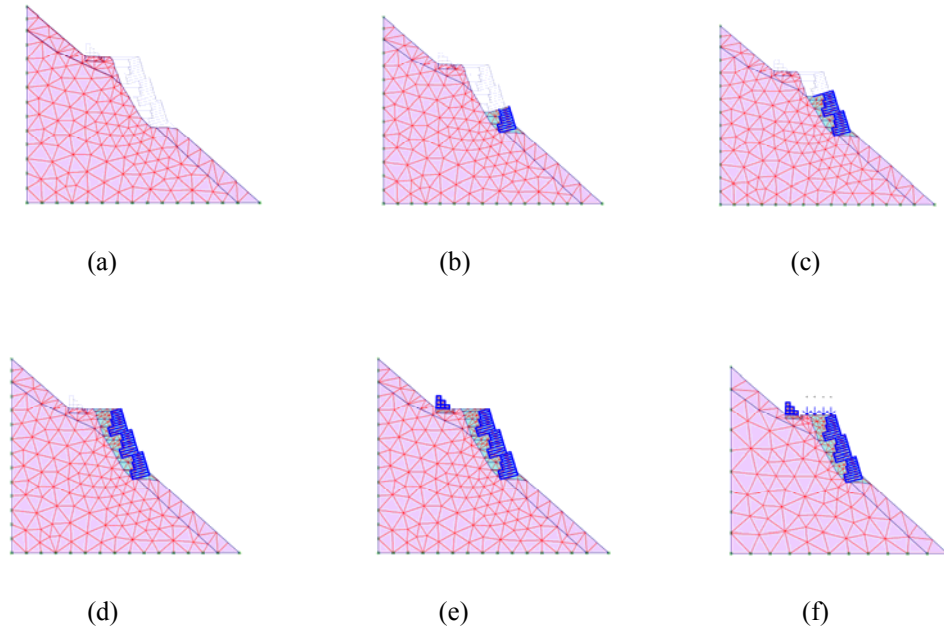


圖 7 各施工階段模擬(a)整地完成(b)構築第三階木格框及回填土石(c)構築第二階木格框、回填土石(d)構築第一階木格框及回填土石(e)構築上邊坡石籠擋土工(f)施加車行載重

Figure 7 Each construction stage simulation (a) soil preparation completed(b) built the 3rd wood lattice frame and backfilled (c) built the 2nd stage wood lattice frame and backfilled (d) built the 1st wood lattice frame and backfilled (e) built the up retaining geotextile retaining works(f) applied car load

(三)、木構造及岩土材料參數輸入

本研究數值分析所需之材料參數主要為木構件、回填土石料、邊坡地層及石籠構材等，其中木構造擋土牆之材料參數採用版元素 (Plate element) 及彈性模式模擬，並輸入木構件軸向勁度 EA 及彎曲勁度 EI 即可計算木構件承受外力作用時剪力及彎矩分佈。

另數值模擬輸入之參數，分別採用大雪山林道里程 29K+700 之地質鑽探資料(黃文

騰等，2008)及木構造擋土牆牆身取樣進行室內木材力學試驗之結果，做為木構造擋土牆與岩土材料輸入之參數。另為模擬木構件劣化後殘餘力學強度對整體邊坡穩定性之影響，本研究依據木構件抗彎強度損失率(相對於健全材衰減 15%、35%、65%、85%等)予於折減。相關輸入參數如表 2、表 3 所示。

表 2 岩土材料參數表

Table 2 Tab of geotechnical material parameters

材料模式參數	未飽和單位重 γ_{un} (kN/m ³)	飽和單位重 γ_{sat} (kN/m ³)	柏松比 ν	彈性模數 E (kN/m ²)	凝聚力 c (kN/m ²)	摩擦角 ϕ (°)	排水性	N 值
現地回填層 (崩積土石)	18.0	20.0	0.35	1.5×10^4	10.0	36	排 水	24~32
原坡面岩層 (Layer 1)	18.0	22.0	0.30	6.16×10^4	100.0*	43	排 水	>100
原坡面岩層 (Layer 2)	26.0	30.0	0.25	1.0×10^6	1000.0*	49	排 水	>100
混凝土	24.0	24.0	0.15	2.13×10^7	-	-	不排水	
塊石	22.0	22.0	0.28	1.5×10^4	1.0*	38	排 水	
說明： 現地回填層(崩積土石並經壓實)之凝聚力 c 採用 $0.1 \text{ kg/cm}^2 \approx 10 \text{ kN/m}^2$ 。 現地回填層(崩積土石並經壓實)之 N 值為 24~32(採用中間值 28)， ϕ 經推算並折減後採用 36° $(\phi = \sqrt{12N} + 25)$ 。 *為保守推估值。								

表 3 木構件材料參數表

Table 3 Table of wood material parameters

材料參數	飽和單位 重(kN/m ³)	軸向勁度 EA (kN/m)	撓曲勁度 EI (kNm ² /m)	柏松比 ν	彎矩容量 kN-m/m	剪力容量 kN/m
木構件 (健全材)	4.6	122,003.97	476.58	0.34	76.29	621.20
木構件 (15%腐朽劣化)	4.6	103,703.37	405.09	0.34	64.85	528.02
木構件 (35%腐朽劣化)	4.6	79,302.58	309.78	0.34	49.59	403.77
木構件 (65%腐朽劣化)	4.6	42,701.39	166.80	0.34	26.70	217.42
木構件 (85%腐朽劣化)	4.6	18,300.60	71.49	0.34	11.44	93.18
石籠	25.0	1,960	1.0	0.25	-	-
說明： 1.木構件直徑=0.25 m、拉桿間距=2m 2.抗彎彈性係數=50,671.65 kg/cm ² =497,088.89kN/m ² 。 3.A%腐朽=木構件材料參數 $\times(1-A\%)$ 。 4.木構件及石籠材料模式均採彈性模式。 5.彎矩容量 $M=f_b S$ ；其中 f_b 為木構件抗彎強度， S 為斷面模數(假設幾何特性不變)。 6.剪力容量 $Q=f_v A$ ；其中 f_v 為木構件抗剪強度， A 為斷面積(假設幾何特性不變)。						

(四)、木構造擋土牆數值分析結果

爰前，本研究進行之木構造擋土牆數值分析，依其分析結果顯示，其結果可反應木

構造擋土牆構築、回填及承受外加載重等力學及變形行為，亦可分析岩土邊坡與木構造擋土牆之互制行為，惟尚無法模擬結點(長釘、兩爪釘等)對木構件及整體穩定性影響，

如圖 8 為三階層木構造擋土牆初始完工之水平及垂直位移分佈圖，圖 9 為上邊坡石籠工加載後邊坡垂直位移分佈圖；圖 10 為三階層木構造擋土牆及邊坡在車行載重下之破壞型式。

另整理各剖面在不同劣化程度下受車行載重(最大可能荷重)所對應之最大水平、垂直向位移及木構件最大彎矩、剪力與發生位置等數值分析結果，如表 4~6 及圖 11~13 所示。

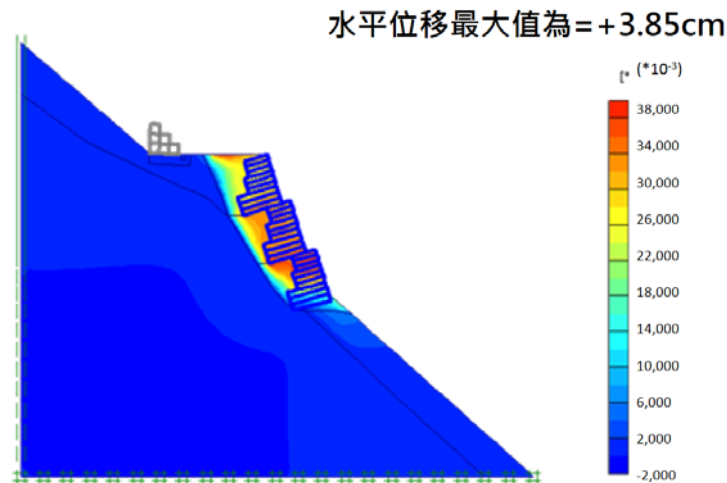


圖 8 47k+115 初始完工之位移分佈圖

Figure 8 47k+115 Initial completion displacement distribution diagram

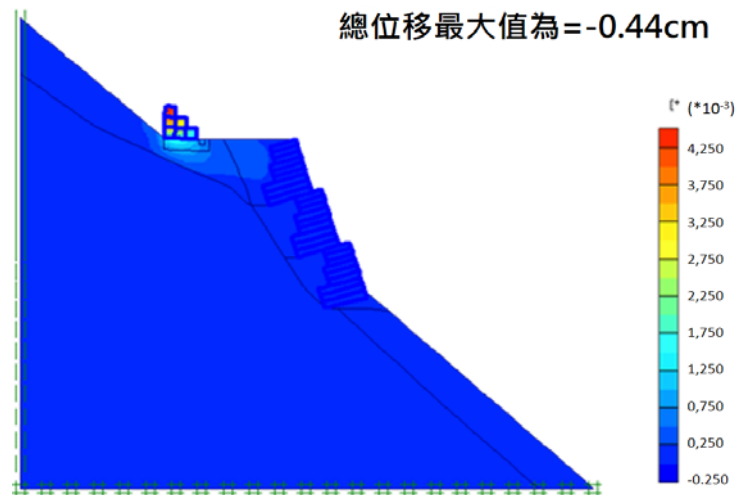


圖 9 上邊坡石籠加載後邊坡垂直位移分佈圖

Figure 9. Vertical displacement diagram of loading on the up slope retaining geotextile retaining works

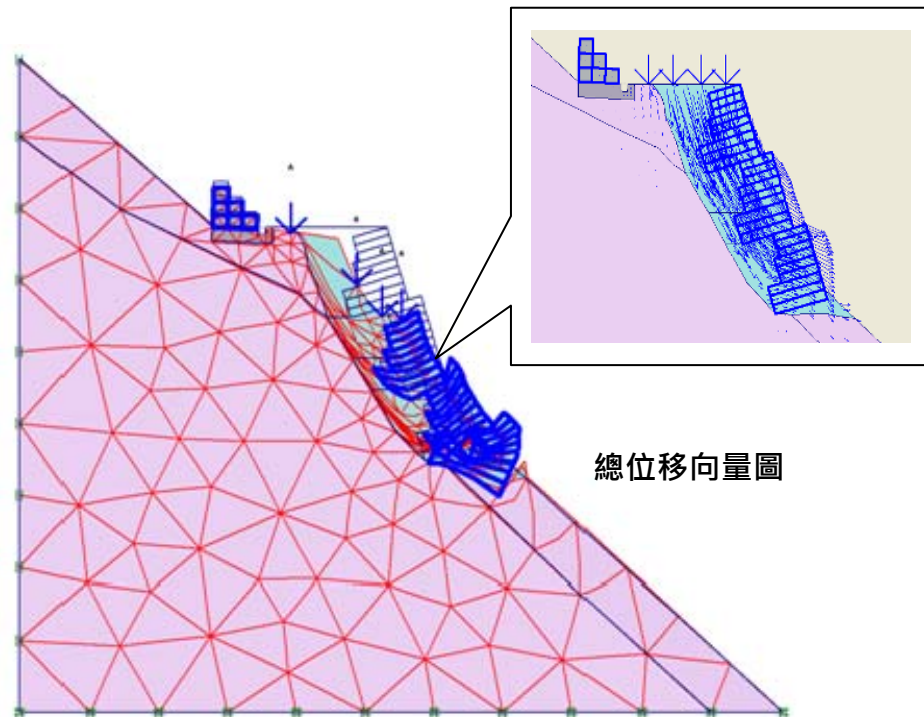


圖 10 木構造擋土牆及邊坡在車行載重下之破壞型式

Figure 10. The destruction type of wooden retaining walls slopes

表 4 47K+115 場址在不同劣化程度下受車行載重(最大荷重)數值分析結果

Table 4 47K+115 the numerical analysis result of different deterioration under car loading(maximum)

材料 (劣化程度)	V_{max} (mm)	H_{max} (mm)	發生位置	M_{max} (kN-m/m)	Q_{max} (kN/m)	發生位置
木構件 (健全材)	-21.27	+9.06	V_{max} ：第一階木格框頂部 H_{max} ：第三階木格框頂部	-42.86	-158.01	第三階木格 框第四拉桿
木構件 (15%腐朽劣化)	-21.59	+9.13	V_{max} ：第一階木格框頂部 H_{max} ：第三階木格框頂部	-42.08	-155.54	第三階木格 框第四拉桿
木構件 (35%腐朽劣化)	-22.25	+9.04	V_{max} ：第一階木格框頂部 H_{max} ：第三階木格框頂部	「-41.01」	-152.09	第三階木格 框第四拉桿
木構件 (65%腐朽劣化)	-23.60	+9.89	V_{max} ：第一階木格框頂部 H_{max} ：第三階木格框頂部	(-39.19)	「145.98」	第三階木格 框第四拉桿
木構件 (85%腐朽劣化)	-25.84	+10.61	V_{max} ：第一階木格框頂部 H_{max} ：第三階木格框頂部	(-37.95)	「-141.60」	第三階木格 框第四拉桿
說明： 1.最大垂直位移= V_{max} ，-號表示向下滑移；最大水平位移= H_{max} ，+號表示向右位移。 2.最大彎矩= M_{max} ，+號表示向下凹；最大剪力= Q_{max} ，-號表示逆時向。 3.如不同劣化程度之木構件最大彎矩或最大剪力大於其彎矩容量或剪力容量時(詳表 3)，則判定該木構件發生破壞，並以 () 表示；另「」表示安全係數低於 1.5。						

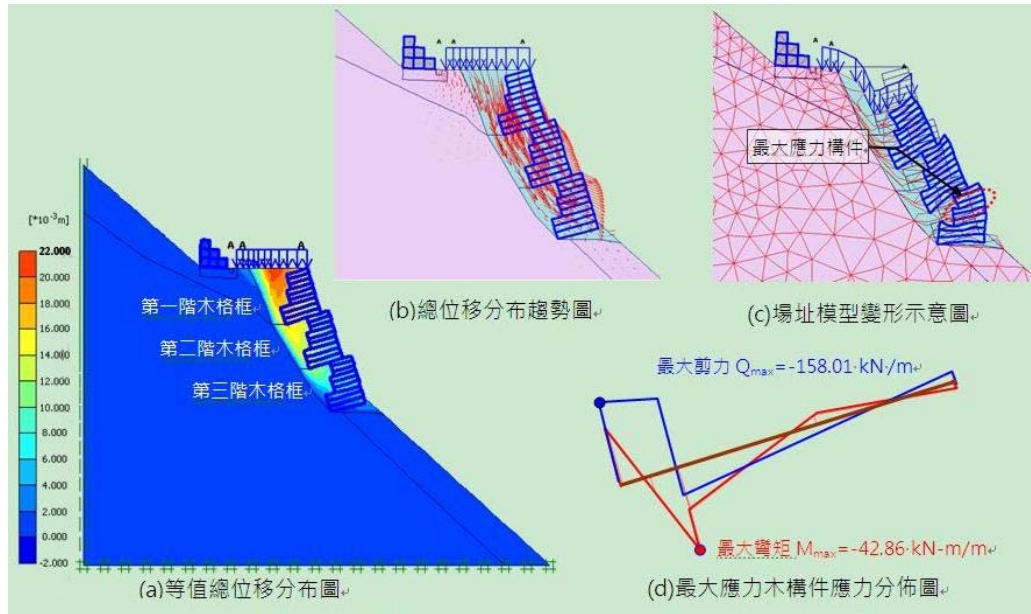


圖 11 47K+115 木構造擋土牆(健全材)於最大載重下數值分析結果

Figure 11 The result of the numerical analysis in 47K+115 wooden retaining walls (sound material) at the maximum load

表 5 47K+135 場址在不同劣化程度下受車行載重(最大荷重)數值分析結果

Table 5 47K+135 the result of different site deterioration under car loading (maximum) numerical analysis

材料 (劣化程度)	V_{max} (mm)	H_{max} (mm)	發生位置	M_{max} (kN-m/m)	Q_{max} (kN/m)	發生位置
木構件 (健全材)	-15.96	+6.09	V_{max} : 第一階木格框頂部 H_{max} : 第二階木格框頂部	-32.69	74.46	第二階木格框第七拉桿
木構件 (15%腐朽劣化)	-16.16	+6.15	V_{max} : 第一階木格框頂部 H_{max} : 第二階木格框頂部	-32.02	73.08	第二階木格框第七拉桿
木構件 (35%腐朽劣化)	-16.42	+6.26	V_{max} : 第一階木格框頂部 H_{max} : 第二階木格框頂部	-31.06	70.86	第二階木格框第七拉桿
木構件 (65%腐朽劣化)	-17.32	+6.64	V_{max} : 第一階木格框頂部 H_{max} : 第二階木格框頂部	「-29.58」	66.76	第二階木格框第七拉桿
木構件 (85%腐朽劣化)	-18.50	+7.39	V_{max} : 第一階木格框頂部 H_{max} : 第二階木格框頂部	(-28.53)	「-62.94」 -	第二階木格框第七拉桿
說明： 1.最大垂直位移= V_{max} ，-號表示向下位移；最大水平位移= H_{max} ，+號表示向右位移。 2.最大彎矩= M_{max} ，+號表示向下凹；最大剪力= Q_{max} ，-號表示逆時向。 3.如不同劣化程度之木構件最大彎矩或最大剪力大於其彎矩容量或剪力容量時(詳表 3)，則判定該木構件發生破壞，並以 () 表示；另「」表示安全係數低於 1.5。						

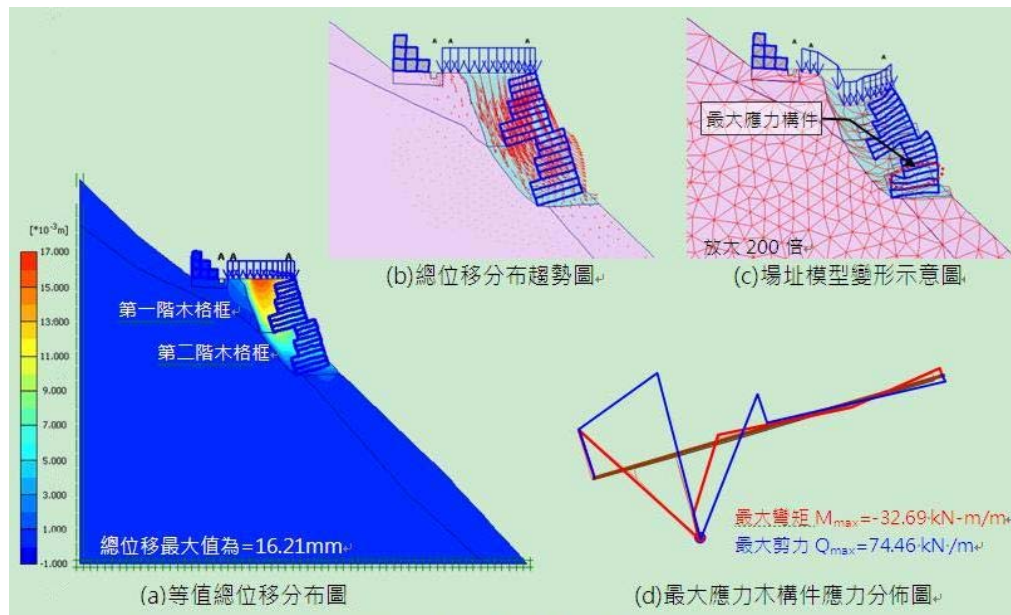


圖 12 47K+135 場址木構造(健全材)擋土牆於最大載重下數值分析成果

Figure 12. The numerical analysis result of 47K+135 Site wooden construction (sound material) retaining wall

表 6 47K+145 場址在不同劣化程度下受車行載重(最大荷重)數值分析結果

Table 6 47K+145 the result of different site deterioration numerical analysis under car loading (maximum)

材料 (劣化程度)	V_{max} (mm)	H_{max} (mm)	發生位置	M_{max} (kN-m/m)	Q_{max} (kN/m)	發生位置
木構件 (健全材)	-9.52	+3.82	V_{max} : 第一階木格框頂部 H_{max} : 第一階木格框頂部	-13.98	23.26	第一階木格 框第七拉桿
木構件 (15%腐朽劣化)	-9.58	+3.80	V_{max} : 第一階木格框頂部 H_{max} : 第一階木格框頂部	-13.37	22.15	第一階木格 框第七拉桿
木構件 (35%腐朽劣化)	-9.67	+3.84	V_{max} : 第一階木格框頂部 H_{max} : 第一階木格框頂部	-12.53	20.48	第一階木格 框第七拉桿
木構件 (65%腐朽劣化)	-10.00	+3.91	V_{max} : 第一階木格框頂部 H_{max} : 第一階木格框頂部	-11.19	-17.87	第一階木格 框第七拉桿
木構件 (85%腐朽劣化)	-10.48	+4.49	V_{max} : 第一階木格框頂部 H_{max} : 第一階木格框頂部	(-10.28)	-16.11	第一階木格 框第七拉桿
說明： 1.最大垂直位移= V_{max} ，-號表示向下位移；最大水平位移= H_{max} ，+號表示向右位移。 2.最大彎矩= M_{max} ，+號表示向下凹；最大剪力= Q_{max} ，-號表示逆時向。 3.如不同劣化程度之木構件最大彎矩或最大剪力大於其彎矩容量或剪力容量時(詳表 3)，則判定該木構件發生破壞，並以() 表示。						

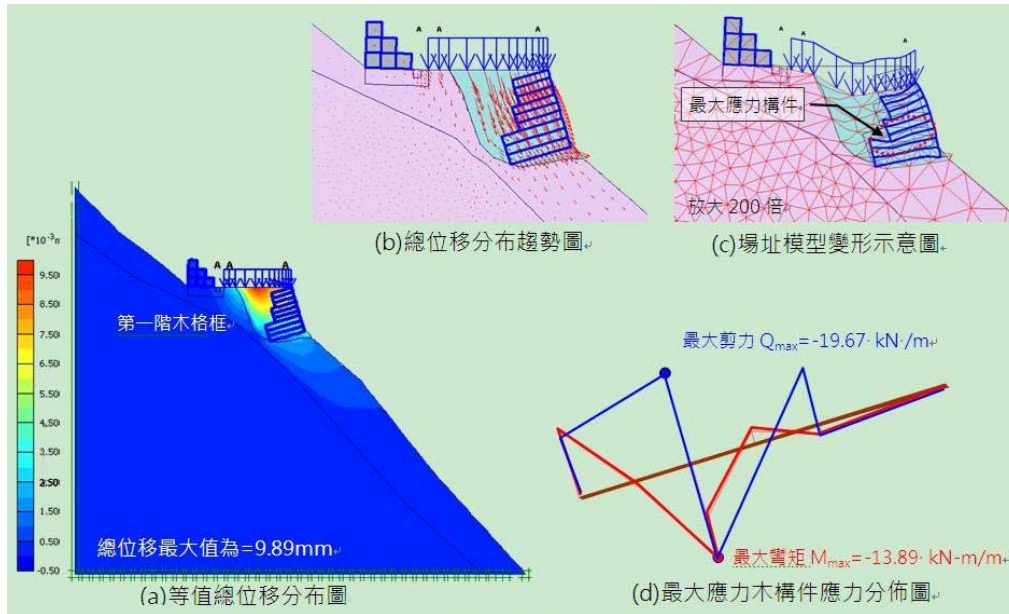


圖 13 47K+145 場址木構造(健全材)擋土牆於最大載重下數值分析結果

Figure 13 47K+145 the numerical analysis result of site wooden construction (sound material) retaining wall under maximum load

(五)、邊坡整體穩定分析

邊坡整體穩定分析採用「岩土強度參數 c - ψ 折減穩定分析法」進行，此法乃將邊坡地層材料之剪力強度(τ_{max} 或其中之 c 值與 ψ 角)依固定百分比(例如 10%)逐漸折減，使邊坡處於臨界穩定狀態並求得維持此狀態所需之最小剪力強度(τ_{min} 或其中之 cn 值與 ψ_n 角)後，即可定義邊坡之整體穩定安全係數 (FS)_{os}。再者，在每一階段之折減穩定分析，程式可同步計算邊坡之相對變形量及潛在滑動破壞模式，說明如下：

$$(FS)_{os} = \frac{\tau_{max}}{\tau_{min}} = \frac{C + \sigma_n \tan \phi}{C_r + \sigma_n \tan \phi_r}$$

$$C_r = C \left(1 - \sum_{i=1}^m M_i^{FS} \right), \quad \tan \phi_r = \tan \phi \left(1 - \sum_{i=1}^m M_i^{FS} \right)$$

其中， σ_n 為潛在滑動破壞面之正向應力， M_i^{FS} 為第 i 次 c - ϕ 之折減百分比，而 C_r 及 ϕ_r 分別為凝聚力及摩擦角之折減殘餘值。依上述分析方法其結果如表8所示為各場址受車行載重下邊坡整體穩定性分析結果，另圖14和圖15為47K+115場址初始完工及受車行載重下邊坡整體穩定性分析之結果。

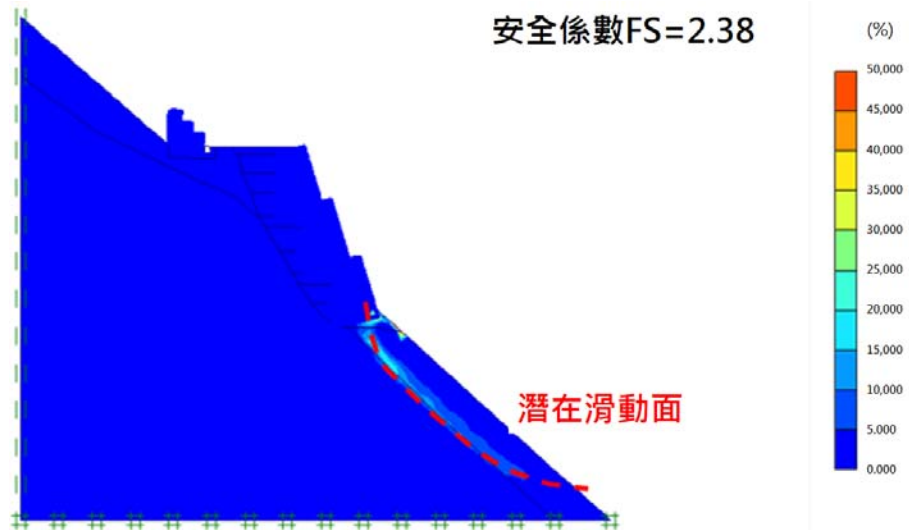


圖 14 $c-\phi$ 折減法分析初始完工邊坡整體穩定性示意圖
Figure 14 Diagram of $c-\phi$ reduction analysis of the initial completed slope

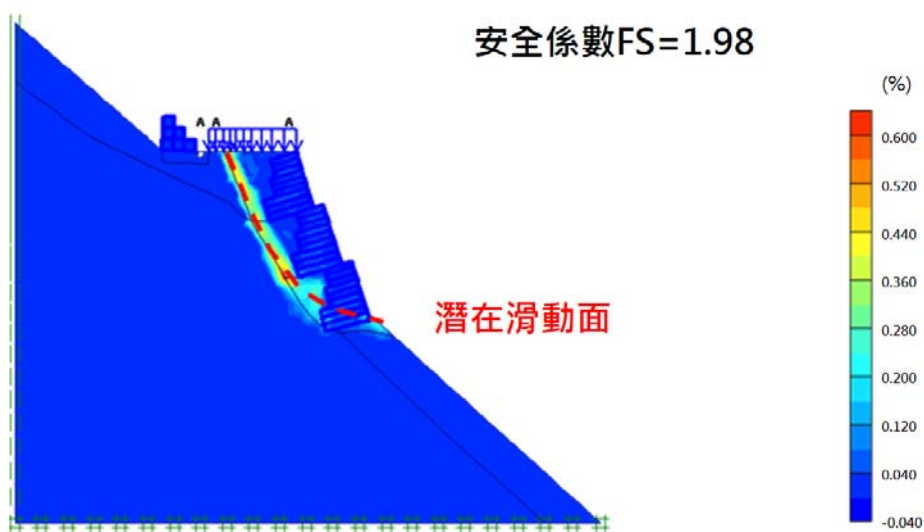


圖 15 $c-\phi$ 折減法分析車行載重下邊坡整體穩定性示意圖
Figure 15 Diagram of $c-\phi$ reduction analysis of slope stabilities under car loading

表 8 不同劣化程度下受車行載重(最大荷重)邊坡整體穩定安全係數

Table 8 Different deterioration under the car load (maximum load) slope stability safety factor

模擬情境 \ 位置	47K+115 場址	47K+135 場址	47K+145 場址
邊坡整體穩定(無車行載重)安全係數	2.38	3.27	2.62
邊坡受車行載重下整體穩定安全係數	1.98	2.91	2.48
木構件15%腐朽時邊坡受車行載重下整體穩定安全係數	1.91	2.82	2.47
木構件35%腐朽時邊坡受車行載重下整體穩定安全係數	1.89	2.76	2.46
木構件65%腐朽時邊坡受車行載重下整體穩定安全係數	1.80	2.72	2.42
木構件85%腐朽時邊坡受車行載重下整體穩定安全係數	1.73	2.53	2.38

伍、結果與討論

一、木結構擋土牆變位監測結果

依木結構擋土牆變位監測結果顯示，所有變位觀測點(R1~R13)均呈現沿邊坡方向(T方向)變動之趨勢，另各點車行方向之變位(ΔL)在監測期間(7/23~11/15)內之最大總位移量多為 1~2mm，最大僅 4mm，故相對於邊坡方向則較無明顯之變動，此亦與邊坡滑動之趨勢相符。

另三階層之木構造擋土牆之監測剖面相對於兩階及單階擋土牆有較大之最大總位移量(詳表 1)，研判為三階層木構造擋土牆位處於較深厚之回填區所致。另三階層之木構造擋土牆中，又以最上階之變位量最大，此為第二及最下階變位傳播所致，惟最上階各點位之平均月位移速率均未大於 6.0mm/月，且位移速率更有減緩的趨勢，因此木構造擋土牆尚屬趨於穩定的緩慢變動。

路面沉陷觀測點(D1~D6)之沉陷監測量於 7/23~9/4 期間有較大的沉陷速率發生，惟

整體之月沉陷變化量均未大於 5mm/月，且變動量於 9/18 後更降至 0.5~2.5mm/月，已接近儀器之誤差內。

綜合木構造擋土牆變位監測點及路面沉陷點觀測結果研判，木構造擋土牆之變位甚少，應仍處於穩定狀態。

二、木構造擋土牆穩定性評估

本研究針對木構造擋土牆進行數值分析，參考現地監測值，並考量最大可能外載重作用下整體應力應變情形及個別木構件抗彎、抗剪能力。由不同場址斷面數值分析結果顯示，木構造擋土牆堆疊階數越高，整體安全性將趨下降，變形趨勢較顯著，此現象亦與現地變位監測之結果吻合，且以最上階木格框總位移量最大，最下階木格框受力最大(詳表 4~6)。

綜合前述，依木構造擋土牆數值分析結果，木構造擋土牆之穩定性尚佳，若無重大環境變異，短期應無安全性不足之虞。

陸、結論與建議

一、結論

大雪山木構造擋土牆經本研究之調查分析後研判雖屬穩定，但考量木構造擋土牆之劣化特性將使其強度日漸下降，且大雪山林道仍持續使用中，因此本研究針對木構造擋土牆提出維護管理及補強之建議。

(一) 定期進行木構件劣化調查

對於戶外使用的木構件材料，若未經適當的防腐處理，非常容易受到微生物的影響而產生軟腐的現象，此類木材雖外觀看似正常，事實上其強度已降低許多，若稍施加外力，即可能發生斷裂。一般經防腐處理後之木構件其戶外使用年限約 7~8 年，而本案例之木構造擋土牆完工至今已邁入第六年，且未經防腐處理，其腐朽劣化應列入加強觀察，故建議木構造擋土牆每年應定期進行檢查。

依劣化調查結果，本研究亦提出建議之行動值與警戒值供使用管理參考之用，如表 9 所示。

(二) 訂定安全管理標準值並定期進行結

構變位監測

本研究參考日本地滑對策技術協會(1978)提出之不穩定邊坡之活動性分級建議表，如表 10 所示，以表中「確定變動」之標準來作為警戒值之依據，並由監測結果顯示，當結構變位觀測點發生最大月變位量時($R_2=5.4\text{mm}$)，鄰近路面沉陷觀測點沉陷量甚小($D_2<6\text{mm}$)，故研判木構造擋土牆仍處於相當穩定狀態。

二、建議

依前述木構造擋土牆之力學分析結果，研判其破壞機制為第一及第二階木格框沿滑動面向下滑動變形，第三階木格框則向外推擠之模式，另在考量木構造擋土牆受車行載重下(最大荷重)第三階格框所受彎矩最大值 $M_{\text{mas}}=42.86\text{kN}\cdot\text{m/m}$ 及剪力最大值 $Q_{\text{mas}}=158.01\text{kN/m}$ ，且三階木構造擋土牆之安全係數最小($FS=1.98$)，故建議可於第三階木格框以土釘及縱橫貫材來進行補強，如圖 16，另考量整體外觀與景觀協調性，可選用木構件作為縱橫貫材進行補強。

表 9 不同劣化程度下受車行載重(最大荷重)邊坡整體穩定安全係數

Table 9 Different deterioration slope safety factor of the dealers load (maximum load)

監測項目 管理標準	變位觀測點			路面沉陷點	木材劣化調查
	日變位量	月變位量	總變位量	沉陷變位	超音波值
行動值	2mm 以上	15mm 以上	60mm	25mm	2,195m/s
警戒值	1mm 以上	10mm 以上	48mm	20mm	2,560m/s
觀測頻率	常時每季一次，遇豪大雨或地震過後再加測。				每年一次

表 10 不穩定邊坡之活動性分級表(日本地滑對策技術協會,1978)

Table 10 Classifications of unstable slope activities(Japan Technical Association of slippery countermeasures,1978)

變動種別	日變位置(mm)	月變位置(mm)	活動性判斷
緊急變動	20 以上	500 以上	急速崩壞
確定變動	1 以上	10 以上	活潑運動中
準確定變動	0.1 以上	2.0 以上	緩慢運動中
潛在變動	0.02 以上	0.5 以上	有待繼續觀測

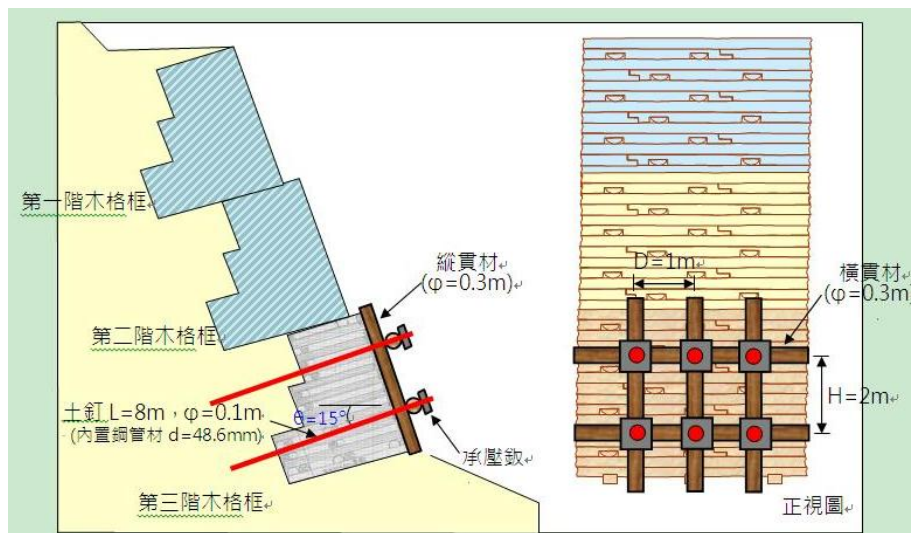


圖 16 補強建議方案示意圖

Figure 16 The schematic diagram of reinforcing proposal

參考文獻

1. 行政院農業委員會林務局(2005),「木材在生態工法應用時之設計與維護」委辦計畫成果報告,行政院農業委員會林務局。
2. 王松永、洪崇仁(2005),「疏伐木材在生態工法擋土牆之建造」,台灣林業期刊, 31(4):15-28。
3. 林振榮、蔡明哲、王松永(2005),「建築物木質構件保存的非破壞性評估法」,林業研究專訊 12(5):5-7。
4. 劉錦坤(2005),「超音波檢測技術應用於木構件劣化之評估」,國立屏東科技大學碩士論文。
5. 林德貴、康惠翔、劉文宗(2008),「木製擋土構造力學及穩定問題分析」,高苑綠環境技術學術研討會論文集,

- 2008:399-415。
6. 賴坤芳(2003)，木材的結構特性，
<http://www.laikf.idv.tw/treeroot/woodphis.htm>
 7. 賴坤芳(2003)，木材性質學，
<http://www.laikf.idv.tw/WDT.htm>
 8. 行政院公共工程委員會(2005)，「生態工
法材料使用調查、評估及替代材料開發
之研究」，(第二期)。
 9. 黃文騰、鄭筱秦、詹振明(2008)，「崩塌
地整治--以大雪山林道 29k+700 附近改
善工程為例」，臺灣水土保持，
66:27-34。
 10. 日本地滑對策技術協會(1978)，「地滑對
策技術設計實施要領」，一卷，第二期。

102 年 07 月 01 日收稿

102 年 07 月 29 日修改

102 年 11 月 08 日接受