濁水溪上游集水區邊坡潛變特徵與虛擬實境感測之研究

魏倫瑋[1] 鄭添耀[1] 黃春銘[1] 羅佳明[1] 鄭錦桐[2] 冀樹勇[3] 紀宗吉[4] 林錫宏[5]

[1]中興工程顧問社大地工程研究中心研究員
[2]中興工程顧問社大地工程研究中心防災科技組組長
[3]中興工程顧問社大地工程研究中心經理
[4]經濟部中央地質調查所環境與工程地質組科長
[5]經濟部中央地質調查所環境與工程地質組技士

摘　要

本文係針對濁水溪上游集水區(霧社至武嶺段)進行現地調查與歸納分析，主要工作項目包含研究區山崩特性歸納、弱面位態分析、邊坡潛變區劃設等工作。另外，由於大規模崩塌區（深層崩塌、岩體滑動或地滑）無論採用傳統儀器(如測傾管、伸張計、裂縫計等)或動態影像等監測，皆有儀器或影像監視系統架設位置恰當與否之問題，為解決因儀器或監視系統架設位置不佳而導致其無法發揮應有效用之問題，本研究嘗試將崩塌虛擬實境結合影像感測技術，以提供潛變型邊坡後續監測方法與儀器布設範圍之建議。

由現地調查可知，濁水溪上游集水區有邊坡潛變之地形反凸特徵，並可於現地發現板岩邊坡出現折彎、甚至破裂等潛變與應力集中之現象，除可據此劃設潛變區位範圍外，本研究將崩塌虛擬實境結合影像感測技術，即可根據現地調查與室內模擬監視效果來確立儀器與監視系統架設之最佳位置，以提高設備發揮之效率。

關鍵詞：大規模崩塌、山崩特性、虛擬實境、影像感測。

The characters of slope creep and the apply of virtual reality in upper Jhuoshuei River catchments

Lun-Wei Wei[1] Tien-Yao Cheng[1] Chuen-Ming Huang[1] Chia-Ming Lo[1]
Chin-Tung Cheng[1] Shu-Yeong Chi[1] Chung-Chi Chi[2] Shi-hong Lin[2]

[1]*Geotechnical Engineering Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.*

[2]*Central Geological Survey, MOEA*

ABSTRACT

This study try to combine field investigation, landslide virtual reality and image sensing to pick out the set-up site of video cameras. The characteristics of the creeping slate slopes in upper Jhuoshuei River catchments can be concluded after field investigation, and with these data, the creeping zones can be determined approximately. In order to decide where are the best monitoring video cameras set-up sites, landslide virtual reality and image sensing technology were applied to simulate the monitoring results of each site, and these results can provide an useful information for monitoring sites choosing.

Key Words: deep-seated landslide, landslide characters, virtual reality, image sensing

一、前 言

濁水溪上游集水區霧社至武嶺段，因地質構造不良，常受颱風、豪雨及地震等自然因子影響，造成道路坍方、邊坡滑動、路基下陷等天然災害，且因其為板岩邊坡，隨著板岩潛移作用之影響，易生成大規模之邊坡滑動，由於大規模崩塌區（深層崩塌、岩體滑動或地滑）無論採用傳統儀器(如測傾管、伸張計、裂縫計等)或動態影像等監測，皆有儀器或影像監視系統架設位置恰當與否之問題，為解決因儀器或監視系統架設位置不佳而導致其無法發揮應有效用之問題，本研究嘗試將崩塌虛擬實境結合影像感測技術，以提供潛變型邊坡後續監測方法與儀器布設範圍之建議。

二、潛變型邊坡地貌特徵

本文研究區域地質圖如圖 1 所示，圖中可見濁水溪上游集水區之岩性以廬山層、大禹嶺層與黑岩山層等輕度變質之板岩為主要岩層，而日本千木良教授(Chigira)於莫拉克颱風後曾提及，臺灣近中央山脈之板岩區邊坡常有大規模潛移(Creep)之特徵，造成深層滑動面之形成，當極端豪雨事件發生時，水易滲入岩坡弱面內，導致深層滑動之發生。Zischinsky 曾於 1966 年觀察奧地利阿爾卑斯山之邊坡變形特性，發現大規模岩體於不連續之剪切面上緩慢移動，且邊坡上之葉理位態亦發生傾向相反之變化，因此推測此為邊坡潛移 (Creep) 作用所造成之現象(Zischinsky, 1966)。Radbruch-Hall 於 1978 年認為潛移為山崩類型之一，於鄰近邊坡之地質材料以非常緩慢之方式往下或往外移動，岩層沒有連續之破裂面，於變質岩地區邊坡岩層易受到重力之作用而產生向下傾倒之潛移現象(Radbruch-Hall, 1978)。Chigira 於 1992 與 1994 年提出岩體受重力變形的潛移作用之類型(圖 2)，其潛移作用之類型簡述如下：

(1)順向坡之拱彎褶皺型(Buckling folds formed in consequent slopes)：葉理位態較緩，且葉理位態與坡向為順向時，葉理會在層間產生拱彎型之潛移作用，並在邊坡外側造成凸起變形(圖 2 之第 I 類)。

(2)逆向坡之拖曳褶皺型(Drag folds formed in obsequent slopes)：葉理位態呈現高角度或與坡向呈逆向時，其邊坡外側葉理產生似拖曳褶皺狀之特徵(圖 2 之第 II 類)。

(3)葉理高傾角之折彎褶皺型(Bending folds formed in slopes with steeply dipping foliation)：其葉理位態呈高角度，邊坡外側之葉理向下或向外產生折彎之潛移現象，由剖面來看其葉理常呈現「く」字形之特徵(圖 2 之第 III 類)。

(4)順向坡之斷層型(Faults formed in consequent slopes)：葉理位態較為平緩且與坡向平行，於邊坡外側產生似斷層之潛移面(圖 2 之第 IV 類)。

(5)逆向坡之斷層與拖曳褶皺型：於接近水平之葉理位態條件下，於邊坡頂端常因節理或張裂縫發展，導致高角度斷裂面產生，並貫穿至葉理後，其邊坡底部葉理亦可能產生似拖曳褶皺之特徵(圖 2 之第 II+IV 類)。

圖1 濁水溪上游集水區(霧社至武嶺段)鄰近範圍地質圖(經濟部中央地質調查所，2007)

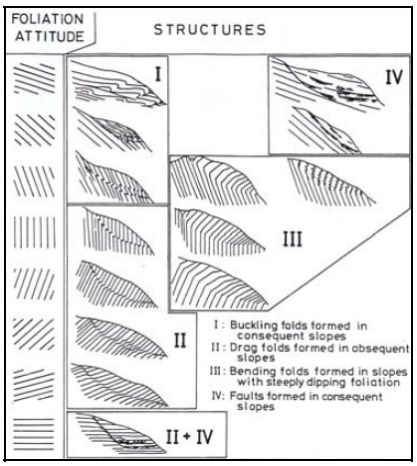

圖2 葉理位態與岩坡潛移類型(Chigira, 1992)

三、濁水溪上游集水區(霧社至武嶺段)邊坡滑動特性歸納及滑動區位劃設

由現地調查可知，濁水溪上游集水區有邊坡潛變之地形反凸特徵，並可於現地發現板岩邊坡出現折彎、甚至破裂等潛變與應力集中之現象(圖 3)，研究區範圍內之弱面位態受重力引致潛移變形作用，傾角由坡頂至坡趾處有小幅遞增的趨勢(圖 4)。整體而言，濁水溪上游弱面位態傾向分布約介於 N13°E 至 N56°之間，傾角分布約介於 28°E 至 N58°E 之間，潛變型邊坡類型主要為順向坡之拱彎褶皺型(圖 5)及順向坡之斷層型(圖 6)。

現地調查成果發現，板岩地層常受到重力影響而潛移變形，並常於變形與未變形之交界面或板劈理面位置發生滑動。以運動類型區分，當板岩沿劈理面向下運動時，即歸納為平面型滑動(圖 7)；而潛變型邊坡由於滑動面受潛變影響，往往形成弧形或不規則形狀之滑動面(圖 6)。由板岩潛變之地形特徵及劈理弱面折彎等現象，可據以劃設潛變型邊坡滑動範圍(圖 8)，而濁水溪上游集水區(霧社至武嶺段)潛變型邊坡劃設成果詳如圖 9。

圖 3 濁水溪上游(武嶺)邊坡潛變之地形特徵
(2011 年拍攝)

圖 4 潛變型邊坡弱面位態受重力影響之變化
(2011 年拍攝)

圖 5 濁水溪上游(武嶺)順向坡之拱彎褶皺型潛移案例(2011 年拍攝)

圖 6 濁水溪上游(鳶峰)順向坡之斷層型潛移案例
(弧型邊坡深層滑動)(2011 年拍攝)

圖 7 濁水溪上游(昆陽)平面型邊坡深層滑動案例
(2011 年拍攝)

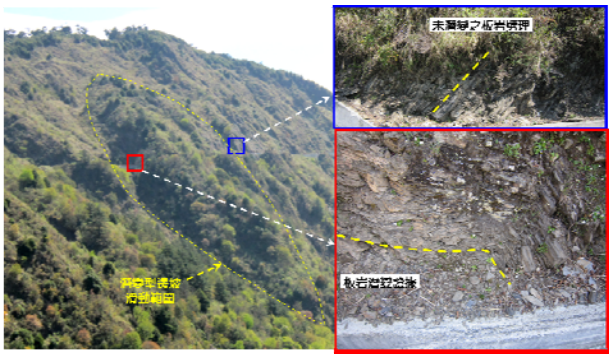

圖 8 潛變型邊坡滑動範圍圈繪說明(2011 年拍攝)

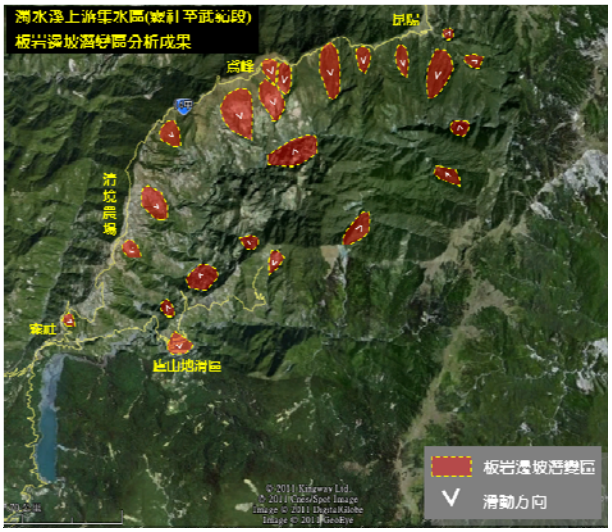

圖 9 濁水溪上游集水區(霧社至武嶺段)
潛變區位劃設分析成果

四、崩塌虛擬實境結合影像感測技術之應用

由上述調查及分析可知，濁水溪上游霧社至武嶺段有數十處板岩邊坡潛變區，過去針對此類潛變型邊坡，多以測傾管、伸張計、裂縫計等接觸式之儀器進行監測，然而傳統大規模地滑區均由局部區域布設監測儀器，往往無法快速掌握整體地滑區之位移情形，此時，可藉由攝影監測儀器之設置，提供該資訊。

然而，儀器設置位置之良瓢將直接影響監測成果，若能利用潛變型邊坡崩塌之虛擬實境(圖 10)，結合影像感測技術，則可將其結果應用於儀器設置位置參考與其監測成果之評估，藉由比對不同攝影角度於山崩發生時之監測成效，即可事先選擇最佳之攝影監測儀器布設位置，大幅降低監測儀器設置之成本。

由於霧社至武嶺段屬於較開闊之通視良好的高山區域，若將虛擬實境模擬成果與感測技術結合，以動態影像感測技術監測地滑區，可於一定精度條件下，由地滑區對岸監測整體影像變動情形，並藉由遠端傳輸方式迅速研判整體地滑區地表位移情形，即時評估地滑潛勢。

以潛變區邊坡崩塌虛擬實境追蹤分析為例，可先於 Matlab-Simulink (The MathWorks, Inc., 2010)中設定欲追蹤物件之顏色以進行動態影像之物件追蹤，再以自動化攝影監測與色態追蹤方法，模擬範圍內大規模崩塌時，攝影監測儀器布設於不同視角時之監測成果。

當攝影監測儀器放在第一視角時(接近崩塌體正面方向，如圖 11a，右圖為虛擬實境模擬，左圖為追蹤物件判釋視窗，白色部分為崩塌土砂)，可於崩塌開始發生時追蹤到崖頂崩塌面開始產生裂隙並裸露，坡趾已開始遭土砂覆蓋(圖 11b)。隨著崩塌範圍擴大，被監測到之區域亦增加，由圖 11c 中可知儀器追蹤到右邊界崩塌面裸露與河道遭土砂覆蓋，且邊坡材料開始堆積。崩塌發生後，由圖 11d 中看見儀器追蹤到源頭區大面積之崩塌面裸露與河道遭土砂覆蓋並形成形成天然壩之情形。

而當監測攝影機放在第二視角時(崩塌體左側方向，如圖 11e，右圖為虛擬實境模擬，左圖為追蹤物件判釋視窗，白色部分為崩塌土砂)，可於崩塌開始發生時追蹤到崖頂崩塌面裸露與坡趾遭土砂覆蓋(圖 11f)，隨後於圖 11g 中右圖邊坡崩塌開始擴大，左圖追蹤到崖頂崩塌面裸露與坡趾遭土砂覆蓋。崩塌發生後由圖 11h 中可見儀器追蹤到源頭區崩塌面裸露與河道遭土砂覆蓋之情形。

由此兩種不同攝影監測視角對同一崩塌發生之監測模擬成果可知，於崩塌開始發生時，第一視角可監測到三處明顯裸露面，而第二視角相較於第一視角可監測到較多崩塌裸露面積(圖 11b、圖 11f)，亦即當崩塌開始發生時，兩者可相互交叉確認崩塌之發生。而當崩塌持續發生時(圖 11c、圖 11g)，第一視角可明顯監測到右邊坡之裸露與數處坡趾遭土砂覆蓋，而第二視角可監測到崩塌之雙溝同源特徵以及大量土砂堆積。最後，在崩塌發生之中後段時(圖 11d、圖 11h)，第一視角與第二視角皆可有效追蹤到源頭區與崩塌面上之裸露，並可追蹤到河道遭土砂覆蓋區域擴大之現象。爰此可知，當攝影監測儀器設置在不同位置時各有其優勢，在進行實體攝影監測儀器設置時，須考量監測目標與需求來選定設置位置。

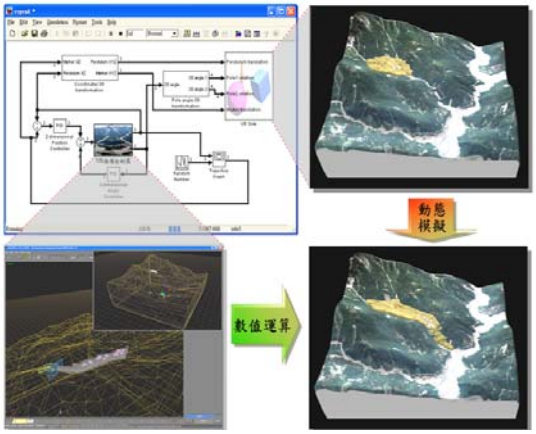

圖10 動態虛擬實境模擬成果(結合Realflow3模擬)

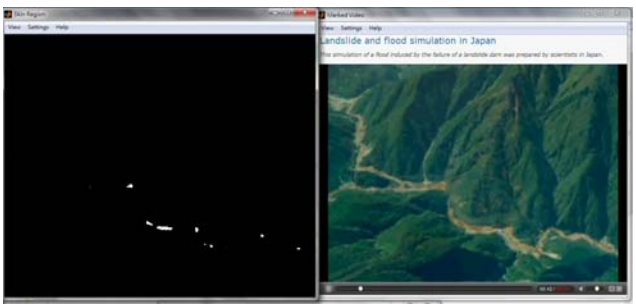

圖11a 第一視角虛擬實境模擬(右圖) ，左圖為追蹤物件判釋視窗(白色部分為崩塌土砂)

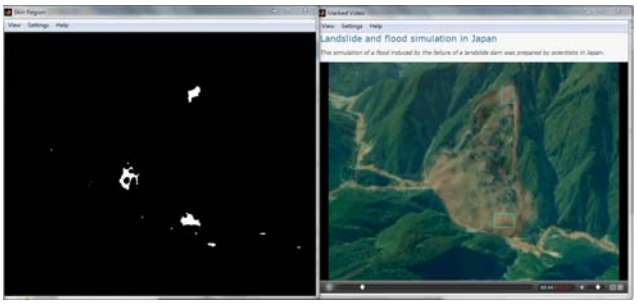

圖11b 右圖邊坡開始發生崩塌，左圖追蹤到崖頂裸露與坡趾遭土砂覆蓋(第一視角)

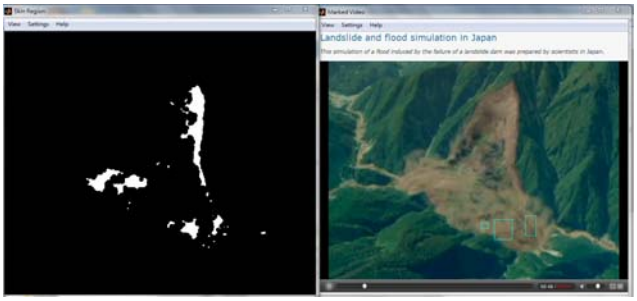

圖11c 右圖邊坡開始堆積，左圖追蹤到右邊界崩塌面裸露與河道遭土砂覆蓋(第一視角)

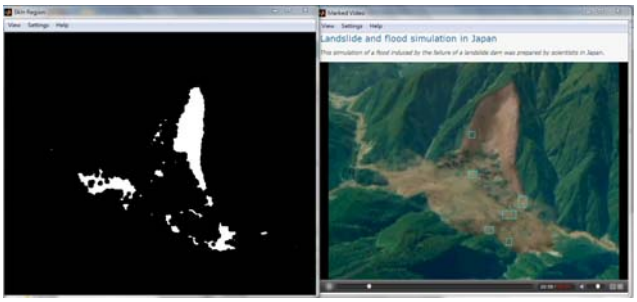

圖11d 右圖崩塌材料堆積形成天然壩，左圖追蹤到源頭區崩塌面裸露與河道遭土砂覆蓋(第一視角)

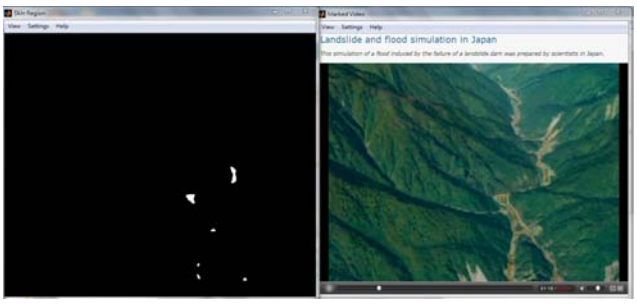

圖11e 第二視角虛擬實境模擬(右圖)，左圖為追蹤物件判釋視窗(白色部分為崩塌土砂)

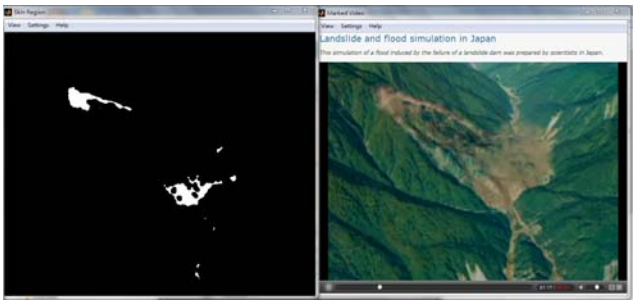

圖11f 右圖邊坡開始發生崩塌，左圖追蹤到崖頂崩塌面裸露與坡趾遭土砂覆蓋(第二視角)

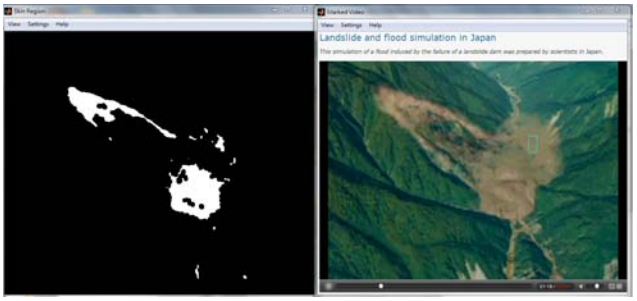

圖11g 右圖邊坡開始堆積，左圖追蹤到右邊界崩塌面裸露與河道遭土砂覆蓋(第二視角)

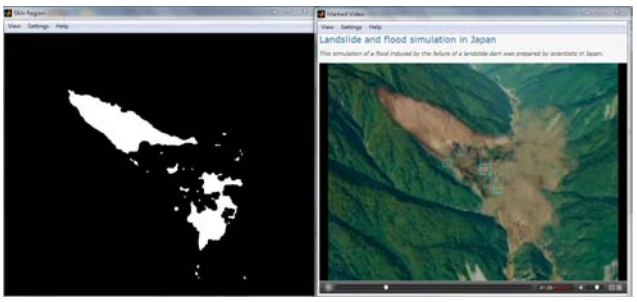

圖11h 右圖崩塌材料堆積形成天然壩，左圖追蹤到源頭區崩塌面裸露與河道遭土砂覆蓋(第二視角)

五、結論

本研究在對濁水溪上游集水區(霧社至武嶺段)進行現地調查後，歸納分析出該區域之板岩潛變特性以順向坡之拱彎褶皺型及順向坡之斷層型兩類為主，並根據其潛變特徵進行潛變型邊坡滑動範圍之初步劃設。在得知潛變型邊坡滑動範圍後，即可利用崩塌虛擬實境結合影像感測技術，進行攝影監測儀器布設位置之參考與其監測成果之評估，以減少因儀器設置位置不當所造成之成本。研究顯示攝影監測儀器在不同角度監測時各有其優劣利弊，在未來規劃實體儀器設置時，可參考此模擬結果，綜合考量監測目標與需求後選定儀器設置處所。

參考文獻

[1] Zischinsky, U., *On the deformation of high slopes*, Proc.1st Congr, Int. Soc. Rock Mechanics, Lisbon, 2, 179-185 (1966).

[2] Radbruch-Hall, D. *Gravitational creep of rock masses on slopes.* In: *Rockslides and Avalanches* / ed. by. B. Voight (Editor). Amsterdam. Natural Phenomena, Elsevier , 607-657 (1978).

[3] Chigira, M., "Long-term Gravitational deformation of rocks by mass rock creep", *Engineering Geology*, Vol. 32, pp.157-184 (1992).

[4] Chigira, M. and Kiho, K., "Deep-seated rockslide-avalanches preceded by massrock creep of sedimentary rocks in the Akaishi Mountains, central Japan", *Engineering Geology*, Vol. 38, pp.221-230 (1994).

[5] 經濟部中央地質調查所，「集水區地質調查及山崩土石流調查與發生潛勢評估計畫」，台北，台灣 (2007)。

[6] The MathWorks, Inc., Video and Image Processing Blockset (2010).