

第二章 潛在大規模崩塌分區分塊方法建立

為評估邊坡穩定與否，近代大地工程常用邊坡穩定分析來探討崩塌發生機制之方法，其概念係透過作用於邊坡上的剪應力(Shear stress or driving force, τ_D) 是否超過邊坡的抗剪強度 (Shear strength or resistance force, τ_R) 來做為判斷基準，其指標常以安全係數 (Safety of Factor, $SF = \tau_R / \tau_D$) 來做為量化的判斷基準，當安全係數超過 1 即代表邊坡進入到不穩定的狀態，也就是說針對每一個邊坡塊體進行穩定性分析，從理論上可以透過安全係數之比較來找出較不穩定之塊體。針對這樣的分析，Yoshino 和 Uchida (2019) 提出利用單期數值地形(DEM)來評估潛在大規模崩塌區內分區分塊的方法，該方法以極限平衡法分析邊坡穩定性，發現可以透過坡面高度(H)和坡面坡度(θ)來判斷任意特定剖面是否處於安定狀態，本計畫延續此方法，並納入多期數值地形進行分析，嘗試追蹤邊坡不穩定區域之時間變遷情形。

第一節 坡面穩定曲線建立

Yoshino 和 Uchida (2019)透過坡面幾何和材料參數等數據，以極限平衡法來判斷潛勢區域內不安定的剖面。圖 2-1 為邊坡塊體之示意圖，圖中之邊坡高程差為 H_i ，不穩定塊體底寬為 D_i ，坡面投影長度為 L_i ，原坡面角度為 θ_i ，滑動面角度為 β_i 。透過邊坡高程差、不穩定塊體底寬和坡面投影長度等幾何條件，得以推估滑動面角度為

$$\beta_i = \tan^{-1} \left[H_i / (L_i + D_i) \right]. \quad (2-1)$$

圖中之塊體受力包含重力 W_i 、驅動力和摩擦力，其重力可以表示為 $W_i = H_i D_i \gamma / 2$ ， γ 為單位材料重。其驅動力為重力沿著滑動面上的分力，因此可以表示為 $W_i \sin \beta_i$ 。其摩擦力則為重力垂直滑動面上的分力，和扣掉孔隙水壓作用造成的浮力，及其與材料凝聚力的合力，所以摩擦力可以表示為 $C_i + (W_i \cos \beta_i - U_i) \tan \varphi$ ，其中 φ 為摩擦角， C_i 為破壞面上凝聚力總和， U_i 為塊體受孔隙水壓總和。 C_i 和 U_i 分別可透過下列兩式來推估，式中 c 和

u 分別為凝聚力和孔隙水壓，

$$C_i = c \left[(L_i + D_i)^2 + H_i^2 \right]^{1/2}, \quad (2-2)$$

$$U_i = u \left[(L_i + D_i)^2 + H_i^2 \right]^{1/2}. \quad (2-3)$$

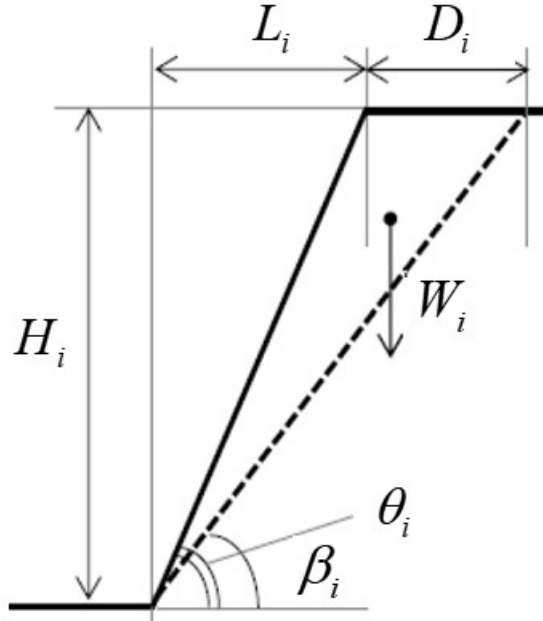


圖 2-1 邊坡穩定分析示意圖 (modified from Yoshino and Uchida 2019)

塊體之穩定與否可透過安全係數進行評估，公式如下

$$SF = \frac{C_i + (W_i \cos \beta_i - U_i) \tan \varphi}{W_i \sin \beta_i}, \quad (2-4)$$

當塊體達臨界條件時，即 $SF=1$ ，此時將各受力帶入安全係數公式後，整理可得

$$H_c = \frac{4c}{\gamma} \frac{\sin \theta_i \cos \varphi}{[1 - \cos(\theta_i - \varphi)]}, \quad (2-5)$$

即坡面之破壞高度 H_c 可由凝聚力 c 、材料比重 γ 、邊坡坡度 θ 及材料摩擦角 φ 之推得。這個公式因考慮了凝聚力、材料比重及材料摩擦角，因此在不同地區會有不同分析成果，使用上可依照各地區之岩層參數進行設定。

第二節 穩定性公式驗證

一、不穩定區域之尋找

得到地區的穩定關係式後，即可將地形資料帶入公式來評估坡面之穩定性，圖 2-2 即為 Yoshino 針對日本長殿地區的大規模崩塌案例分析成果，圖中左側為真實崩塌之發生位置，右側則為現場地形取得之剖面位置，其中崩塌區域(白線)取崩塌高度為 H_i ，未崩塌區(黑線)則取現場坡面之最大高差為 H_i ，將各坡面之計算成果(發生前地形)點繪於關係式上，得到圖 2-3。

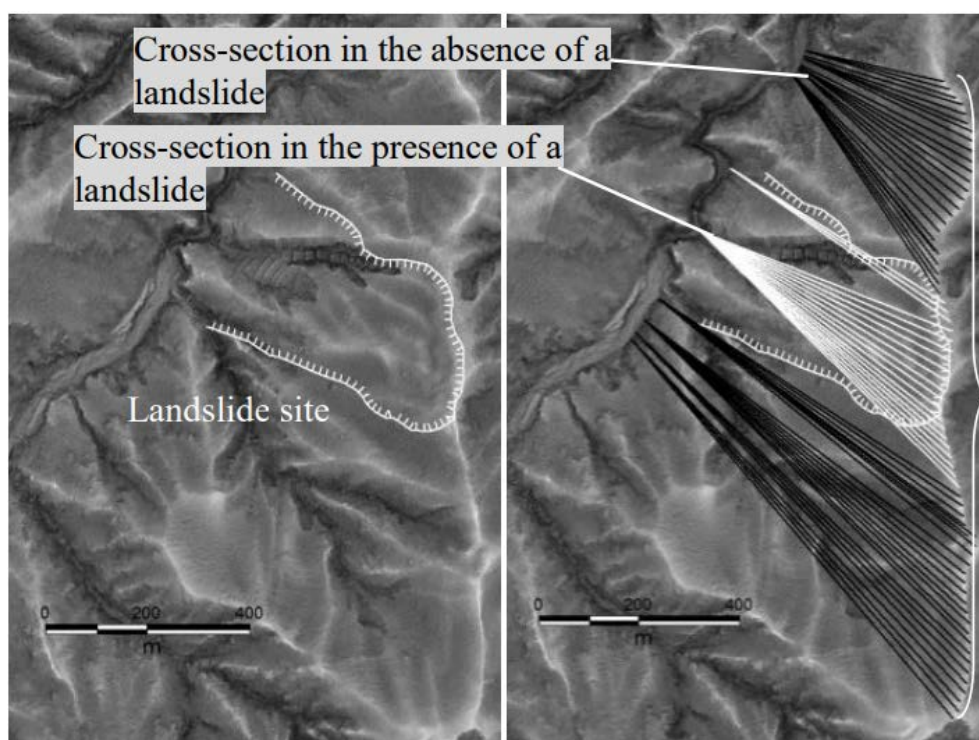


圖 2-2 長殿地區穩定性分析使用剖面空間分布 (Yoshino and Uchida 2019)

在圖 2-3 中，白點為前述崩塌區剖面之資料，黑色十字則為未崩塌區之剖面資料，可以看到白點多未於臨界線上，則黑點則多遠於臨界線，也就是說當取得剖面資料後，即可知道取得之剖面位置繪落於關係式上方或是下方，以長殿地區來看，位於關係式上方者屬於崩塌區域，而位於關係式下方者屬於未崩塌區。

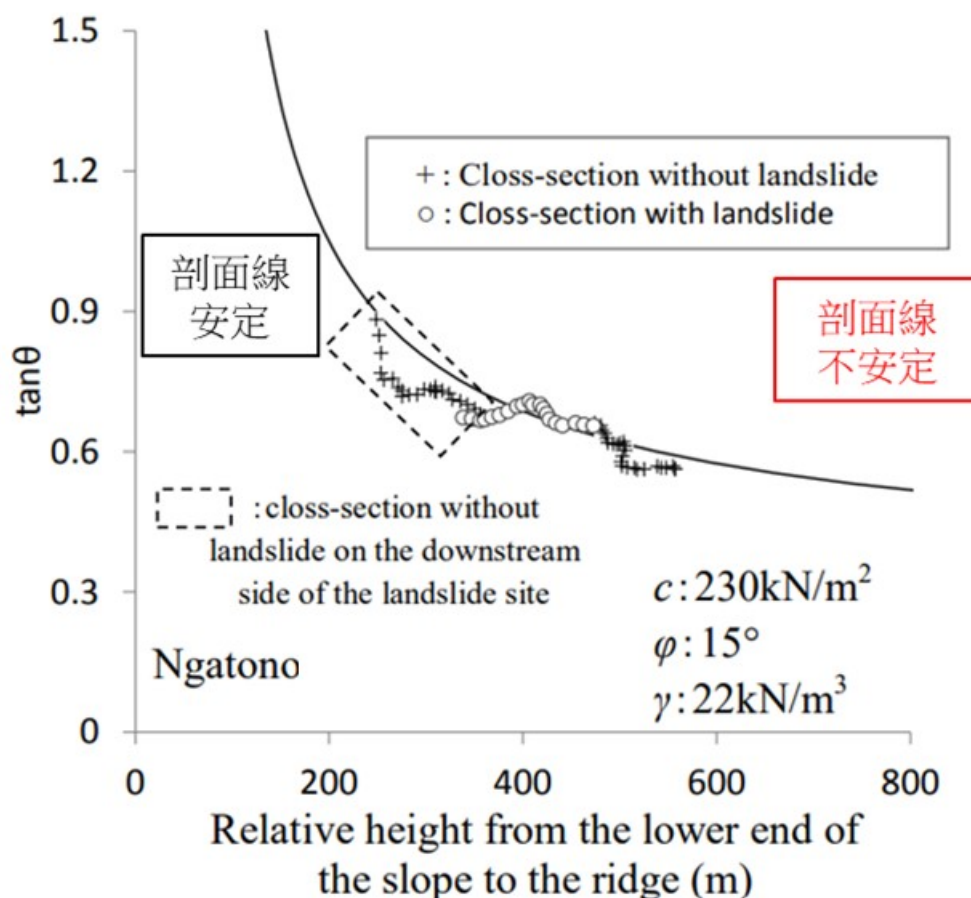


圖 2-3 長殿地區穩定性分析成果(Yoshino and Uchida 2019)

二、不穩定塊體之尋找

除了不安定塊體區域之尋找外，若利用不同時期之地形，亦可利用穩定關係來找出不穩定塊體之所在位置，舉例來說圖 2-4 為赤谷地區的崩塌區前後地形，其中細虛線為崩塌前地形，粗虛線為崩塌後地形，此時改將地形剖面上的點帶入公式，即可得到圖 2-5，崩塌前地形資料以白點表示，崩塌後地形以黑點表示，可以看到在崩塌前之地形，在坡高較小時，點位均位於關係式下方，即屬於穩定區域，一直到高程差超過 400 公尺後資料點開始出現在關係式上方，即不穩定之區域，這樣的成果可以對應到真實的崩塌前後地形比對，即邊坡在地表高程約 800 公尺處開始為主要崩塌區，本計畫後續將以台灣案例進行分析，評估本方法之可行性。

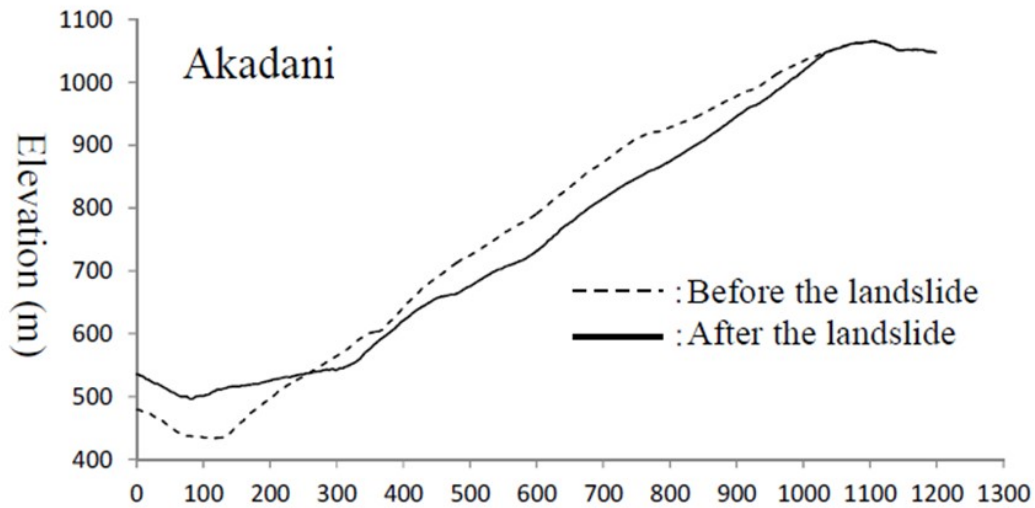


圖 2-4 赤谷地區崩塌地形比對 (Yoshino and Uchida 2019)

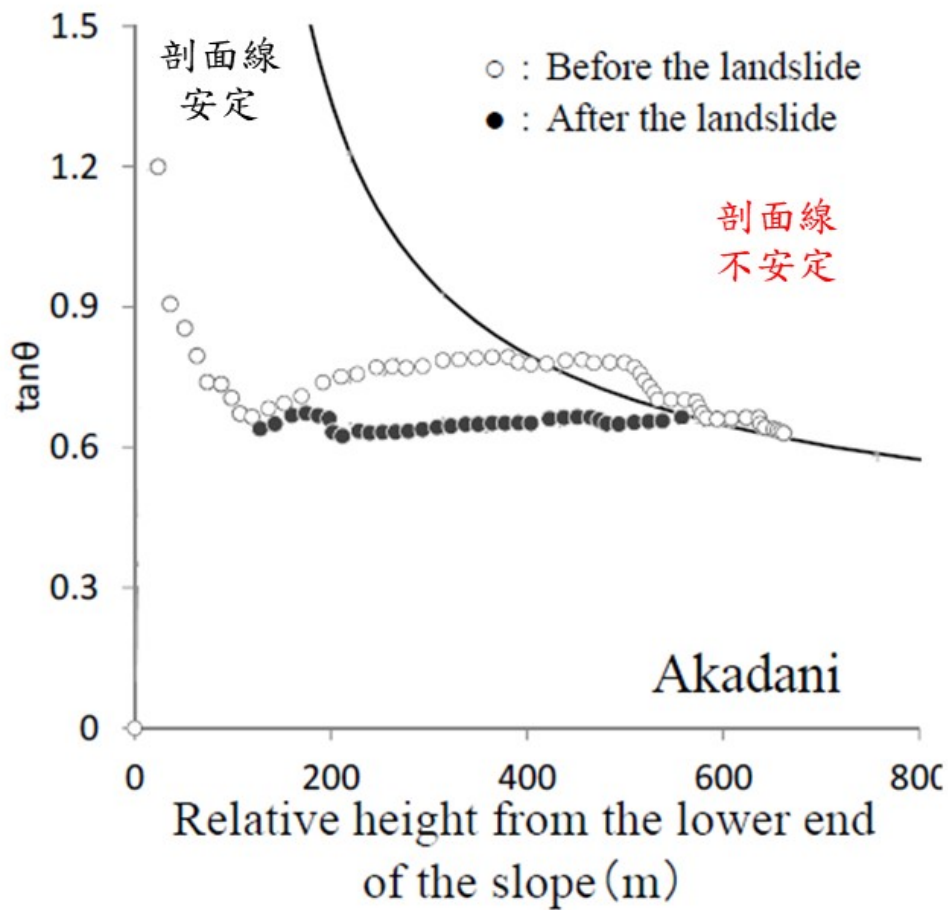


圖 2-5 赤谷地區崩塌穩定性分析成果 (Yoshino and Uchida 2019)