

高精度數值地形應用於 整合型崩塌發生與流出數值模擬 技術開發之研究

計畫主持人

蔡元融博士 組長/國立成功大學防災研究中心

研究人員

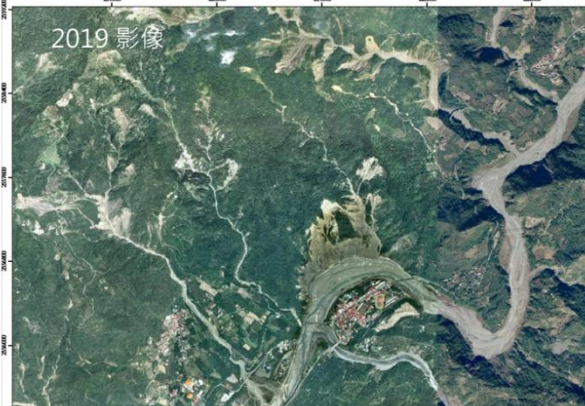
李威霖博士 博士後助理研究員

簡報綱要

計畫簡介

成果說明

結論建議

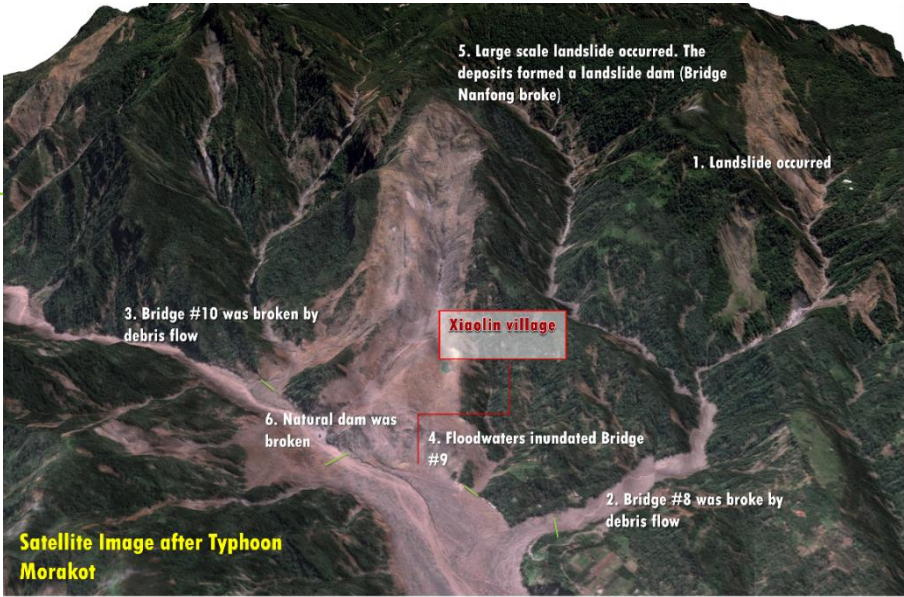


1.1. 研究背景

98年颱風莫拉克帶來超過3000 mm的累積雨量而造成小林村大規模崩塌災害。

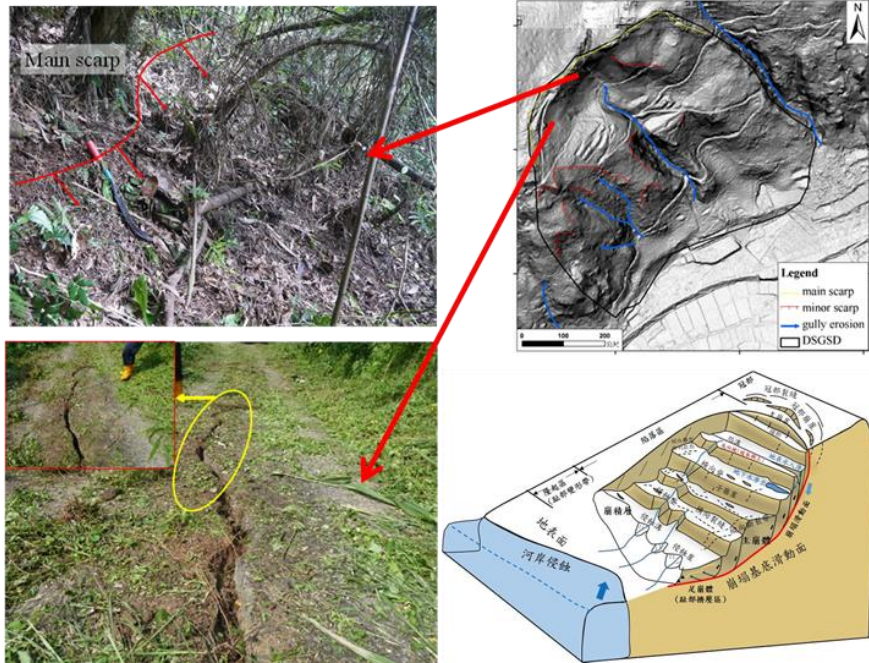
水土保持局於106年度開始推動「氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫」。

從2010年到2015年，水土保持局轄區內共計判釋出 236 處大規模崩塌潛勢區。



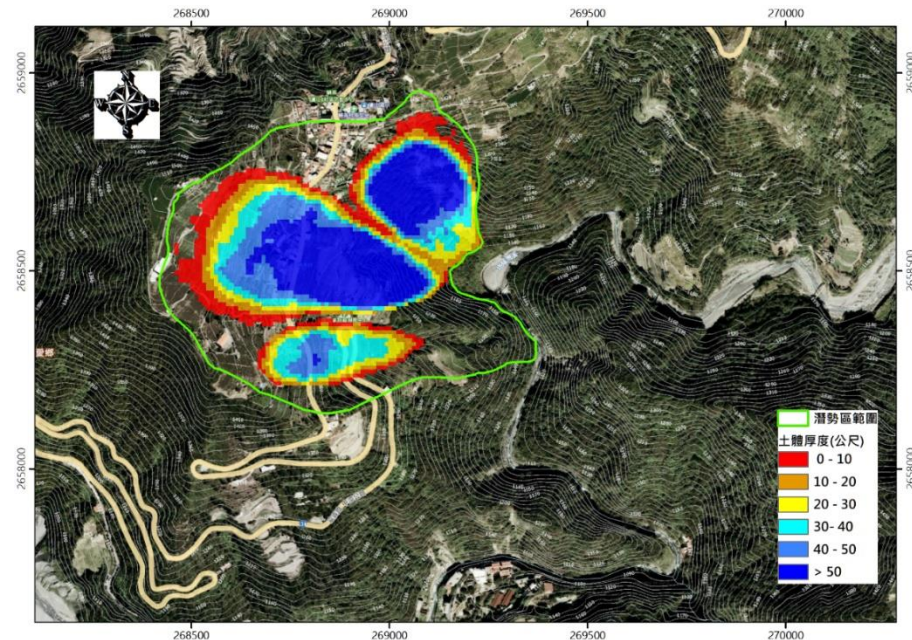
大規模崩塌潛勢區域	中央地質調查所	林務局	水土保持局	小計
調查面積 (km ²)	4,277	15,392	862	20,174
潛勢區面積(km ²)	463	2,256	85	2,705
潛勢區數量	1,691	7,722	236	9,230

1.2. 計畫課題 (1)- 潛勢區規模難以掌握



- 目前潛勢區之劃設，係利用高精度光達地形資料，找出地表微地形特徵，再搭配現場確認後進行潛勢區之圈繪。

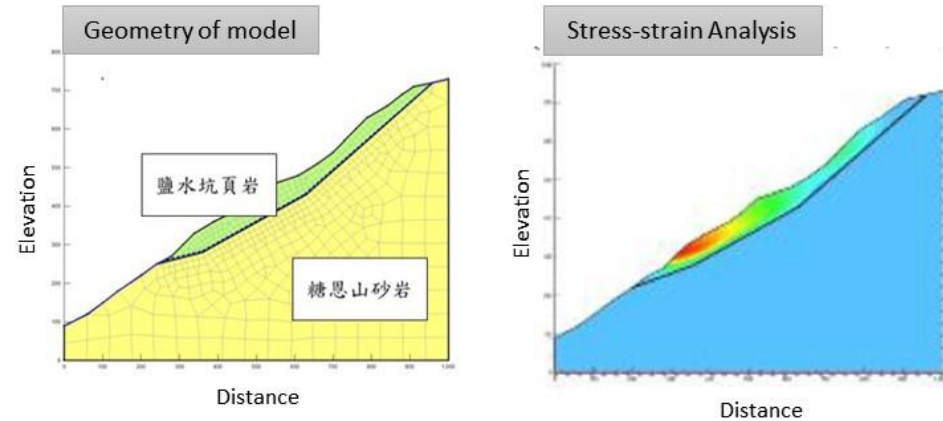
- 再搭配各類現地調查與監測設備，方可得到潛勢區內分層分區分塊之分布情形。但此工作需要大量資源與時間之投入，並非所有潛勢區均有詳細之調查成果。



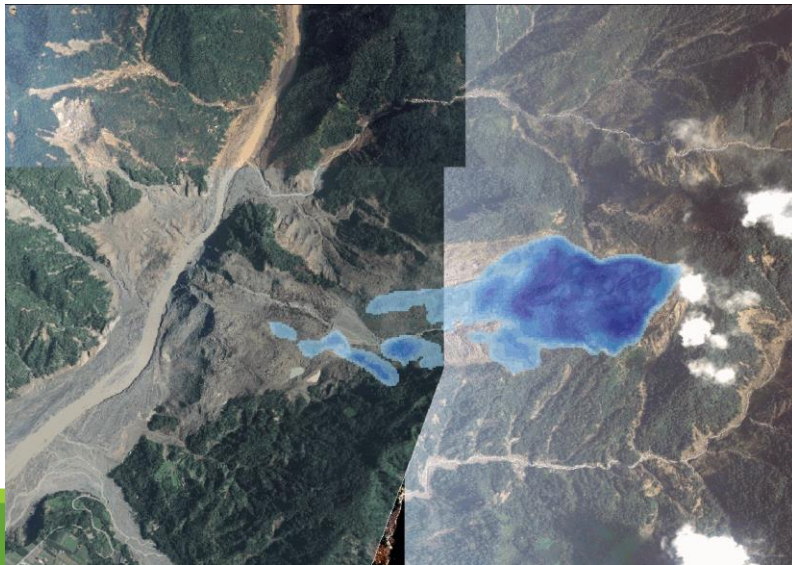
1.2. 計畫課題(2) - 災害機制難以評估



發生端之模擬



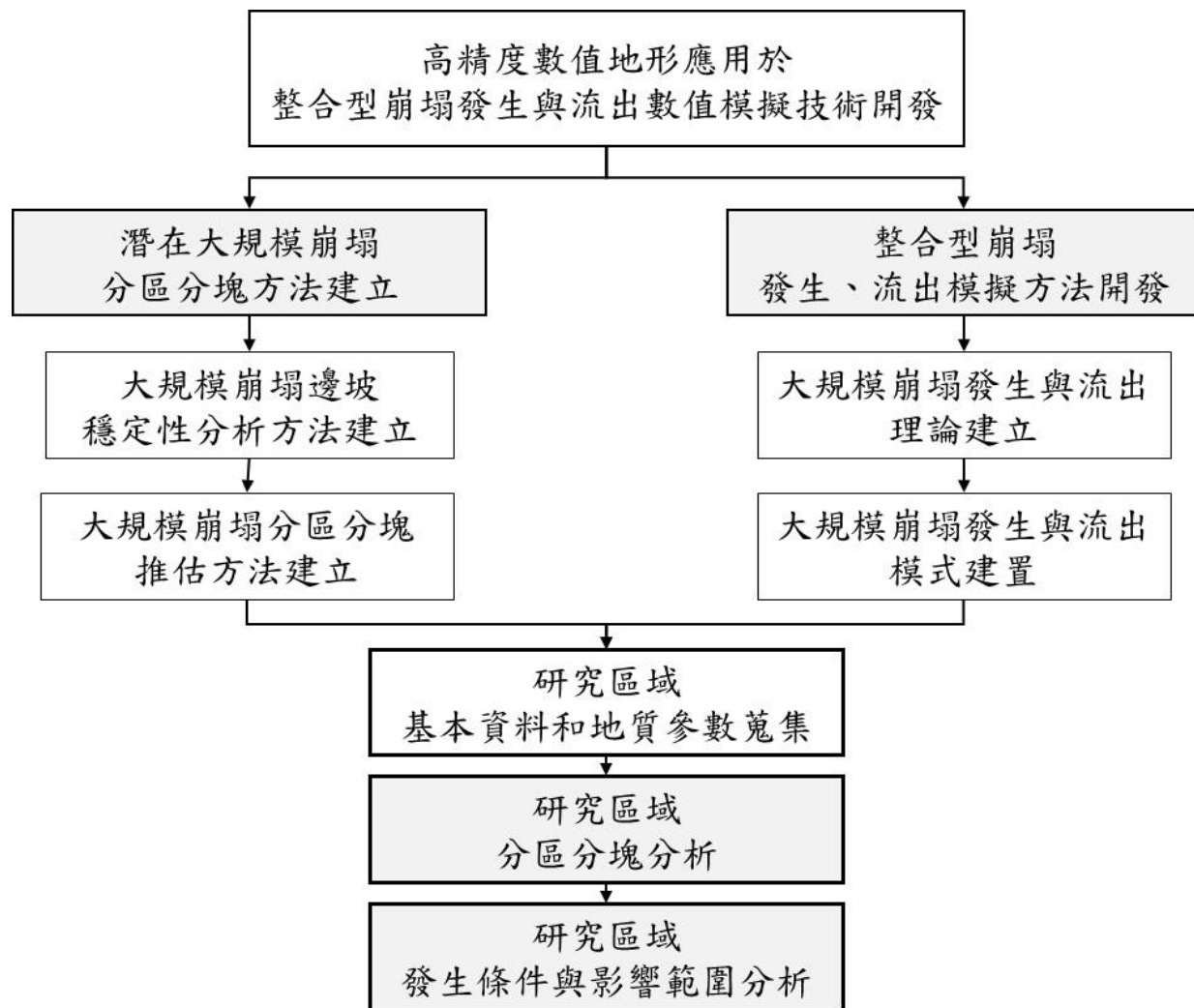
流出端之模擬



- 應用物理模型來排除地表下的不確定因素
- 即使有了分區分塊之地質模型，在模擬時也常因數值模式之特性，將評估過程分為發生端與流出端，使用了不同理論與數值方法，使得參數、情境上出現落差。

1.3. 研究架構

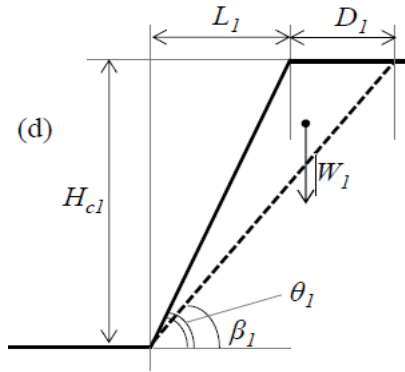
- 針對課題一，建立潛在大規模崩塌分區分塊的快速評估方法，做為細部調查工作執行前的初步評估資料。
- 針對課題二，發展整合型崩塌發生與流出模式，精進大規模崩塌機制的相關研究。





二、成果説明

2.1. 潛在大規模崩塌分區分塊方法建立

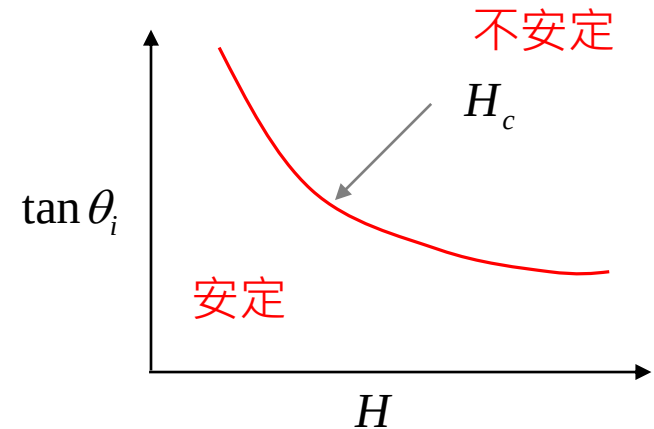


利用極限平衡法，帶入現地地形與岩層參數，建立邊坡塊體穩定性之評估公式，用以區分潛勢區分區分塊情形 (Yoshino, Uchida, 2019)

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
凝聚力 c
材料比重 γ
材料摩擦角 φ

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

Culmann, 1875



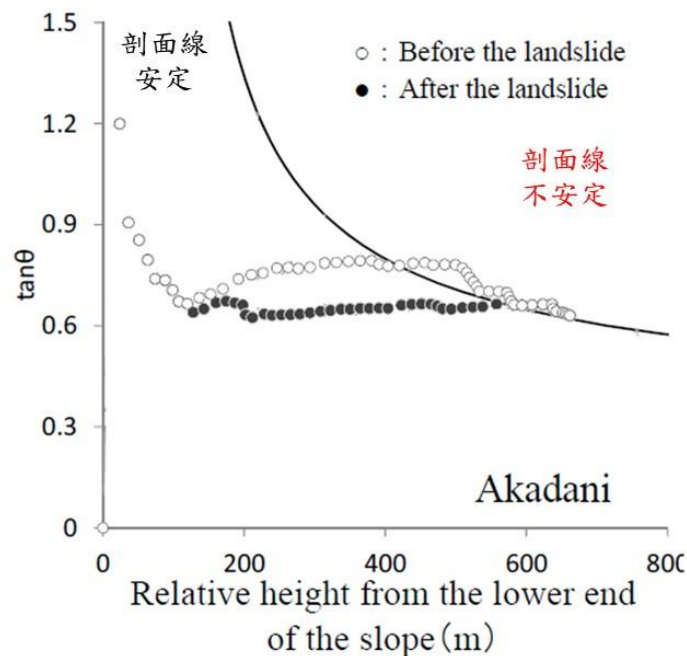
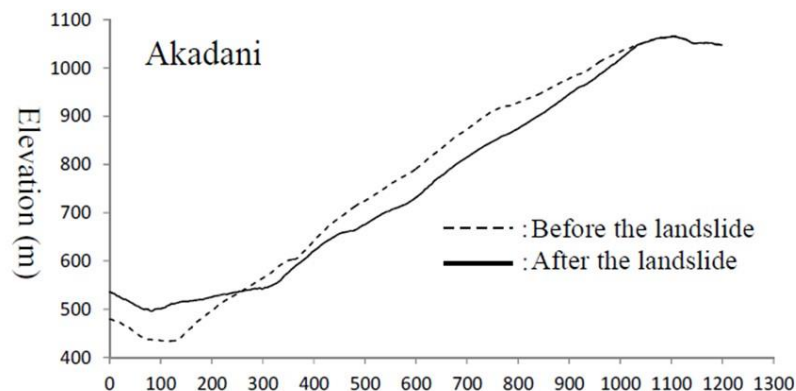
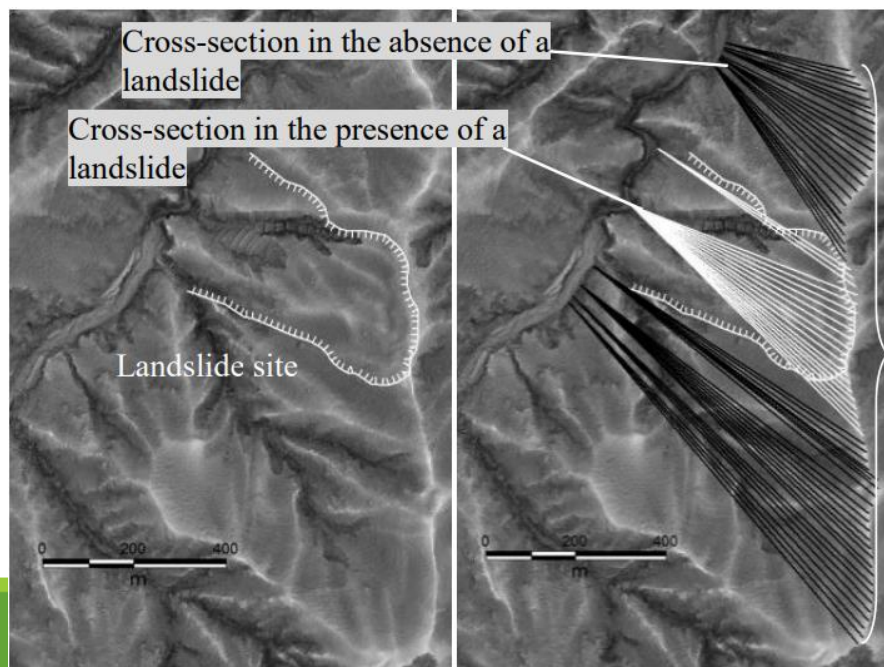
依據臨界坡高方程式可知，任意坡面坡度 θ_i 條件下，坡面穩定的臨界坡高為 H_c 。意即，當實際坡高 H 超過 H_c 時，即可判定此坡面處於不穩定的狀態。

2.1. 潛在大規模崩塌分區分塊方法建立

依據數值高程地形來選取剖面，透過取得之剖面 and 帶入岩層參數，即可透過臨界高程公式來判斷坡面的穩定條件，透過大量剖面的選取和計算，將可用來進行潛勢區分區分塊分析

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

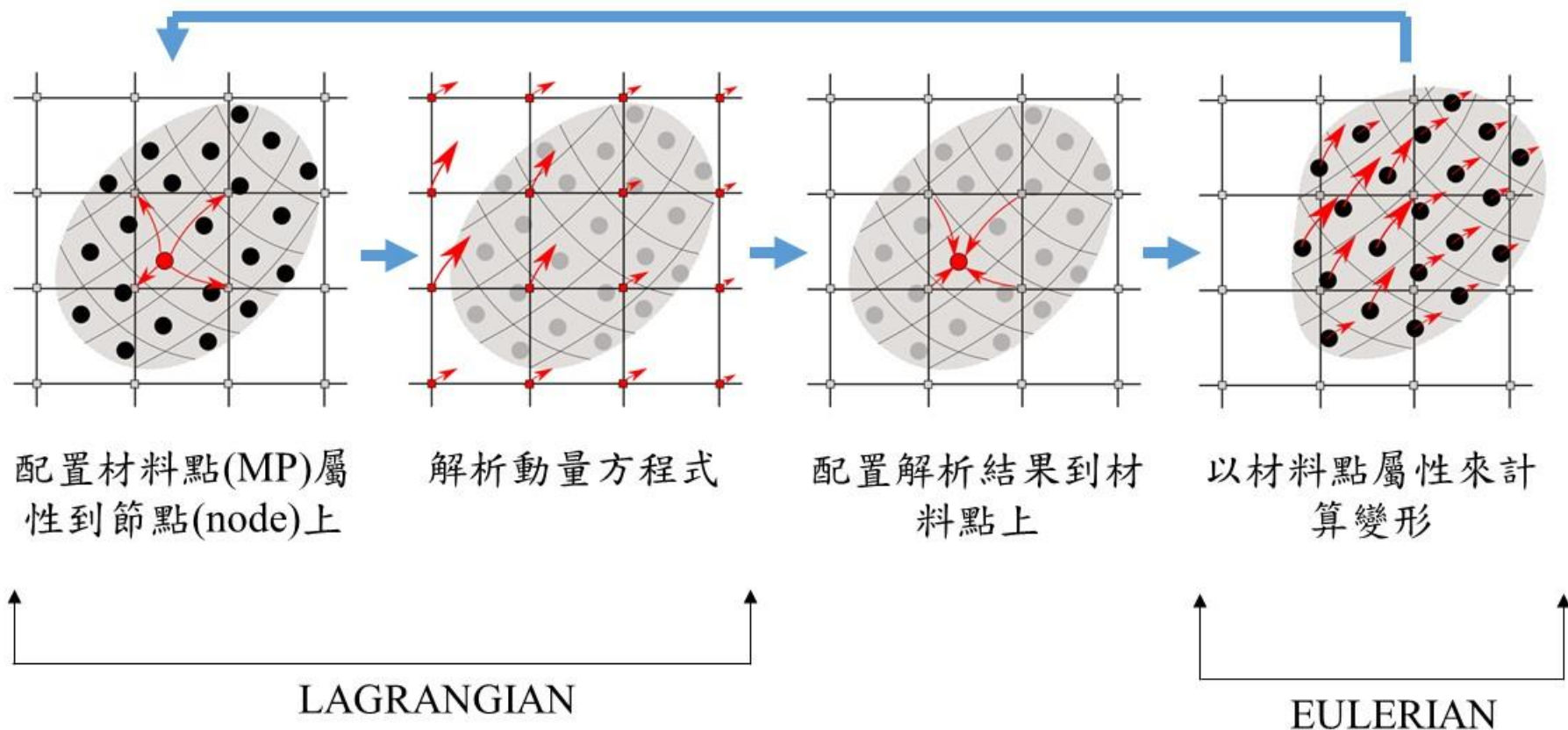
(Yoshino, Uchida, 2019)



2.2. 崩塌發生與流出整合型模式

台灣成功大學防災研究中心與荷蘭三角洲研究機構合作

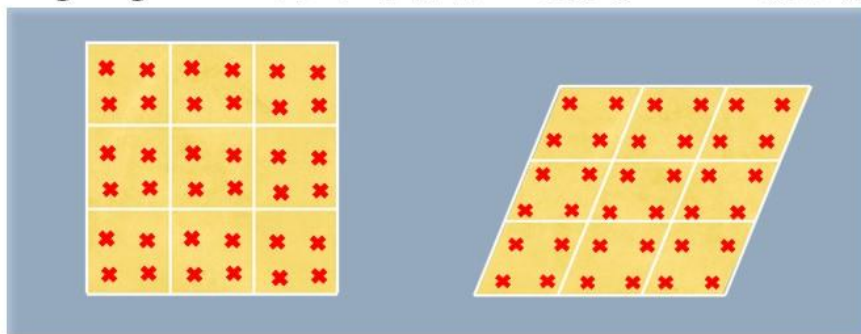
材料質點法(MPM)
數值解析概念



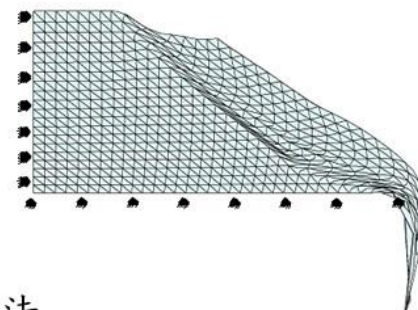
2.2. 崩塌發生與流出整合型模式

台灣成功大學防災研究中心與荷蘭三角洲研究機構合作

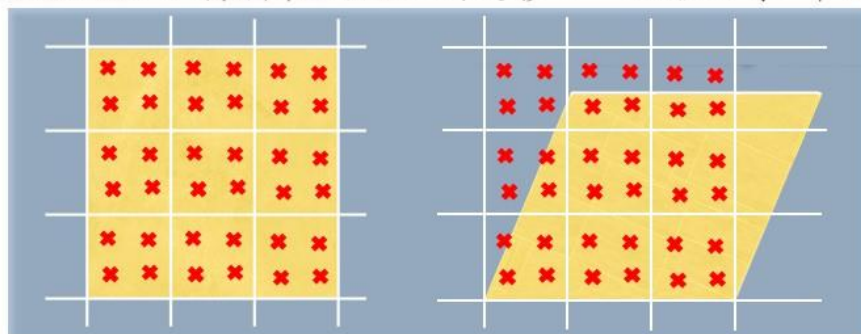
Lagrangian：網格跟著材料一起變形→“土壤力學”常用方法



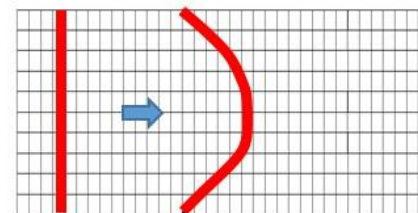
- 缺點：網格過度變形



Eulerian：材料在網格之間運移→“流體力學”常用方法



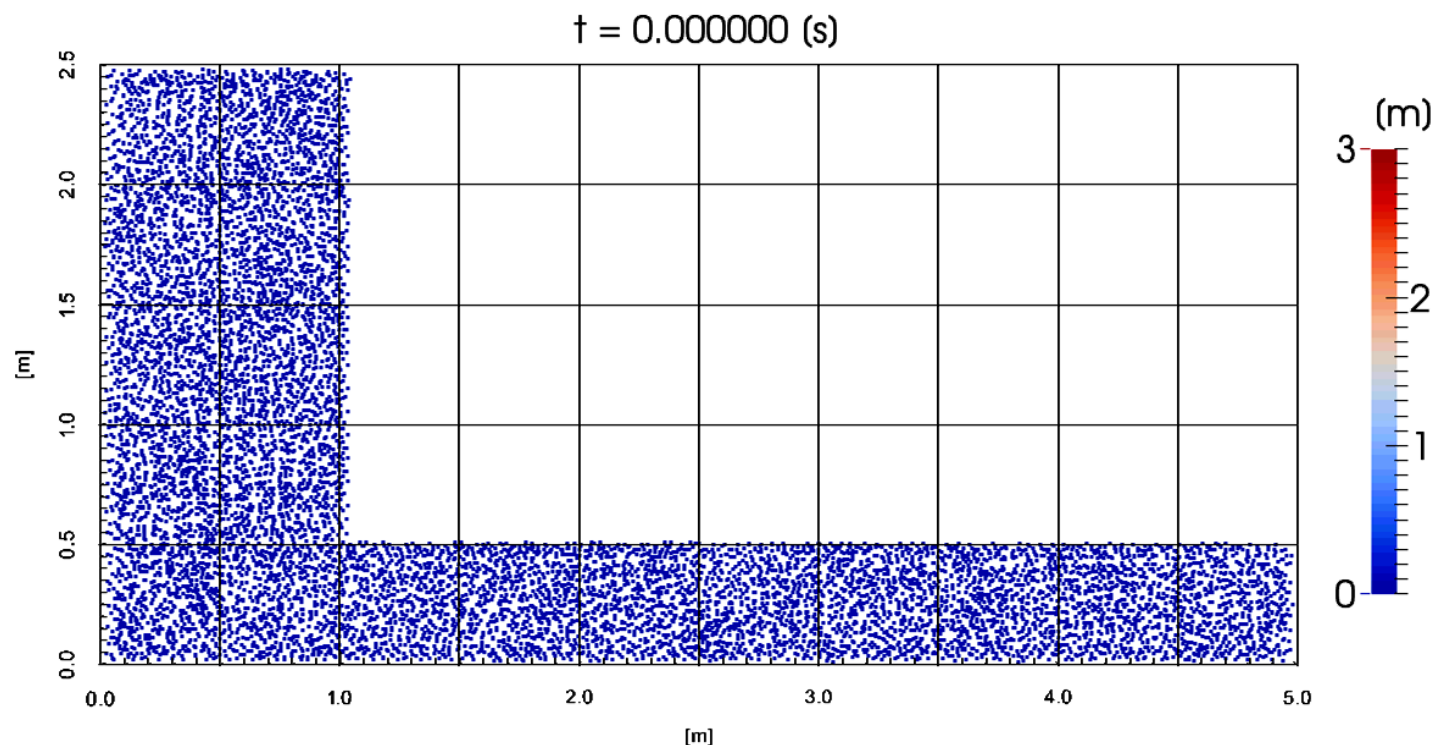
- 缺點：無法知道變形過程資訊



2.2. 崩塌發生與流出整合型模式

台灣成功大學防災研究中心與荷蘭三角洲研究機構合作

- Anura3D為一套適用於模擬材料大變形行為之大地工程軟體



2.2. 崩塌發生與流出整合型模式

台灣成功大學防災研究中心與荷蘭三角洲研究機構合作

- Anura3D為開放式軟體，提供所有參與模式發展的團隊使用

9 University + 2 research centers

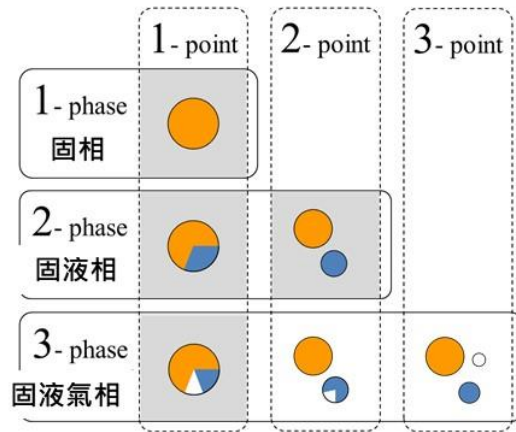
- website: www.Anura3D.eu



2.2. 崩塌發生與流出整合型模式

台灣成功大學防災研究中心與荷蘭三角洲研究機構合作

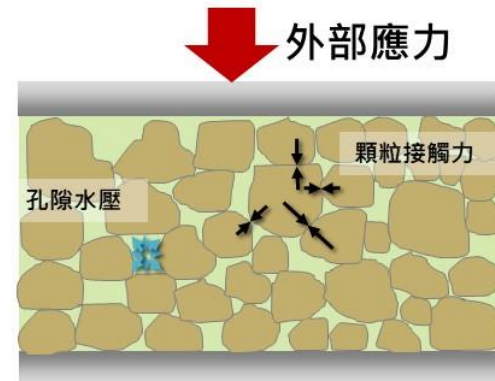
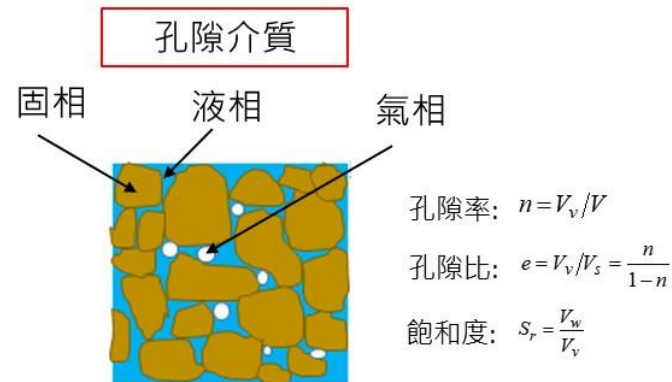
- Anura3D為模式基礎，發展適用於降雨促崩之整合型模式
- 成大團隊發展未飽和入滲模組和降雨入滲邊界條件處理方法



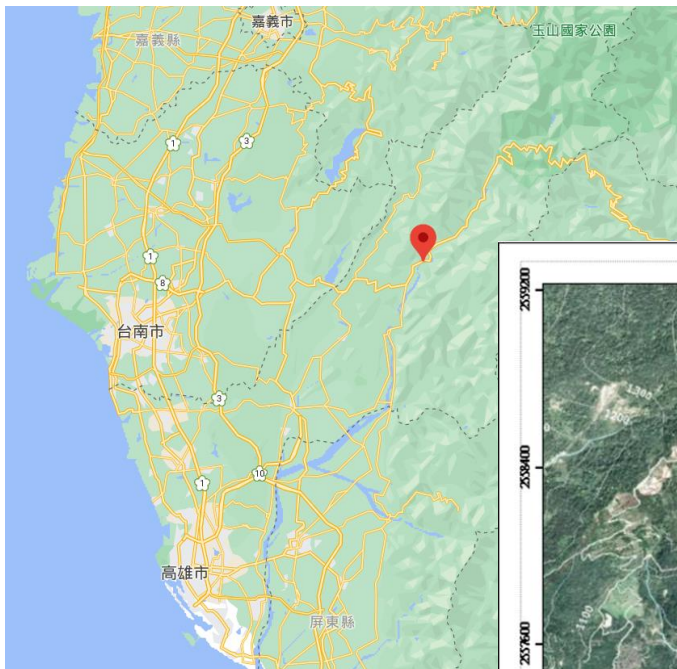
根據Terzaghi's有效應力理論解析
孔隙介質中總應力、有效應力和孔
隙壓力的變化

$$\sigma = \sigma' + p$$

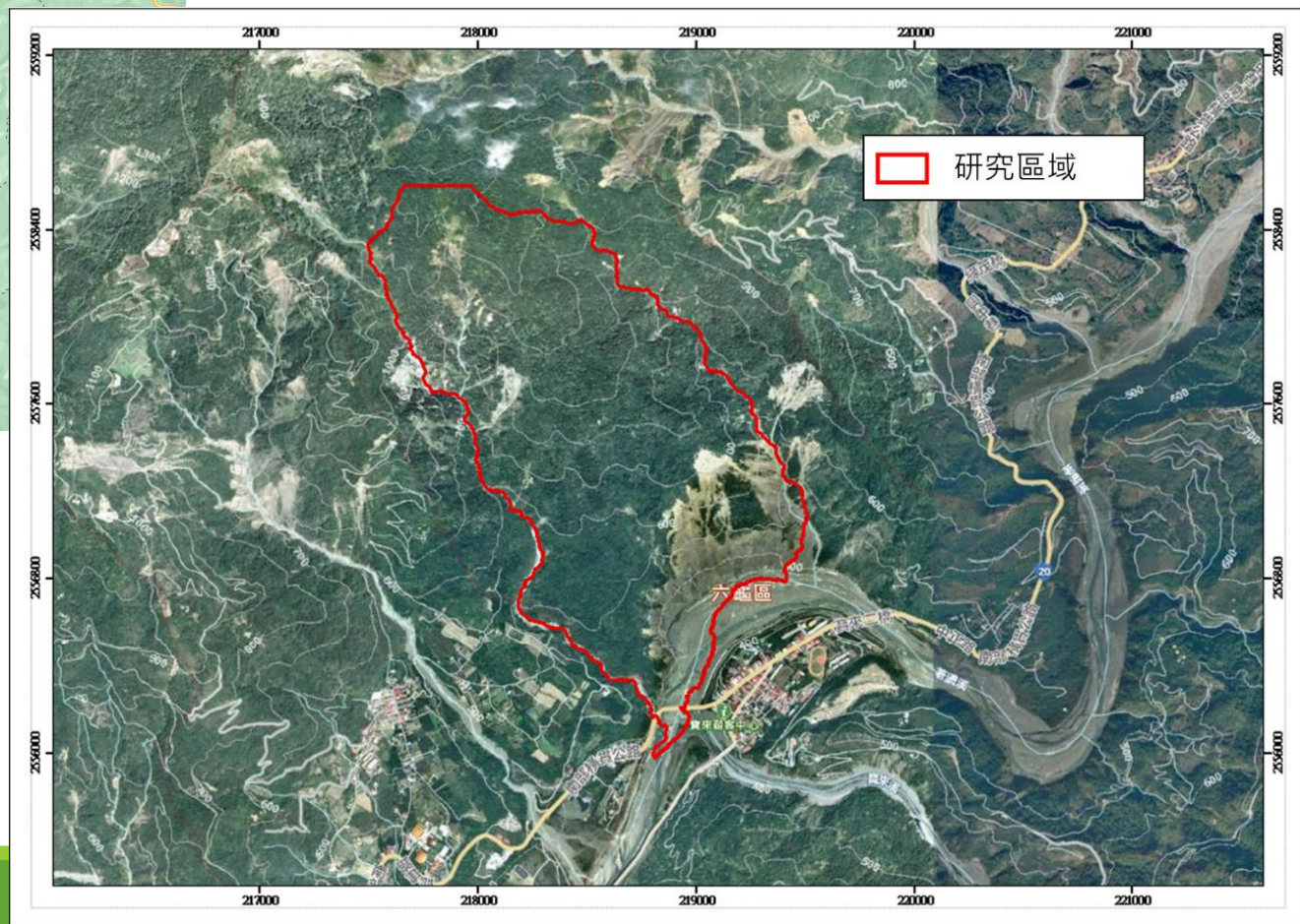
總應力 有效應力 孔隙壓力



2.3. 研究區域資料蒐集



高雄市桃源區寶來里荖濃溪右岸



2.3.研究區域資料蒐集_地質資料



本區之地質分區，以長枝坑層為主，因屬砂頁岩互層為主。

- 比重約2.60~2.61
- 凝聚力0.15-0.45kgf/cm²
- 靜摩擦角27.5度至32.5度
- 透水係數 1.12×10^{-6} 到 5.0×10^{-6} m/sec

2.3.研究區域資料蒐集_航遙測資料蒐集

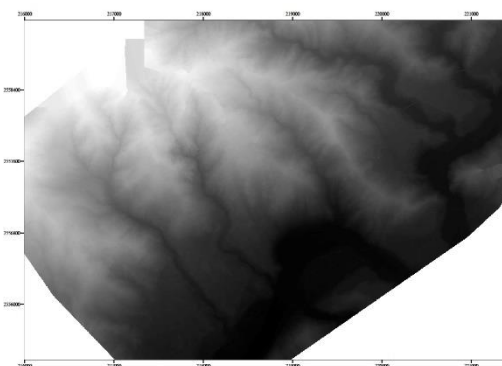
衛星影像資料，從2004、2005、2006、2007、2008、2009、2017等共計七期。

數值地形資料，40m解析度(1989)、5m解析度(2005)、1m解析度(2009莫拉克颱風後)、UAV產製(總計畫提供)等共計13期。

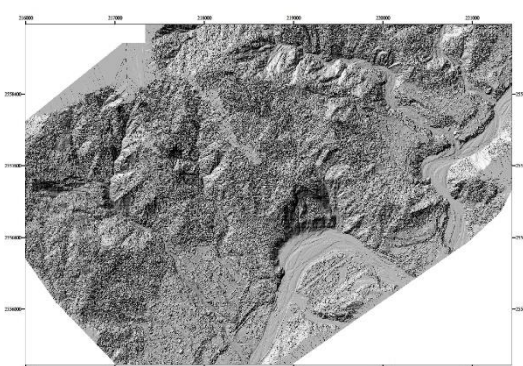
編號	產製時間	編號	產製時間
1	2008/8/18	6	2017/7/8
2	2015/2/1	7	2017/9/24
3	2015/11/9	8	2017/11/15
4	2016/6/6	9	2018/12/22
5	2016/11/18	10	2020/3/8



2008



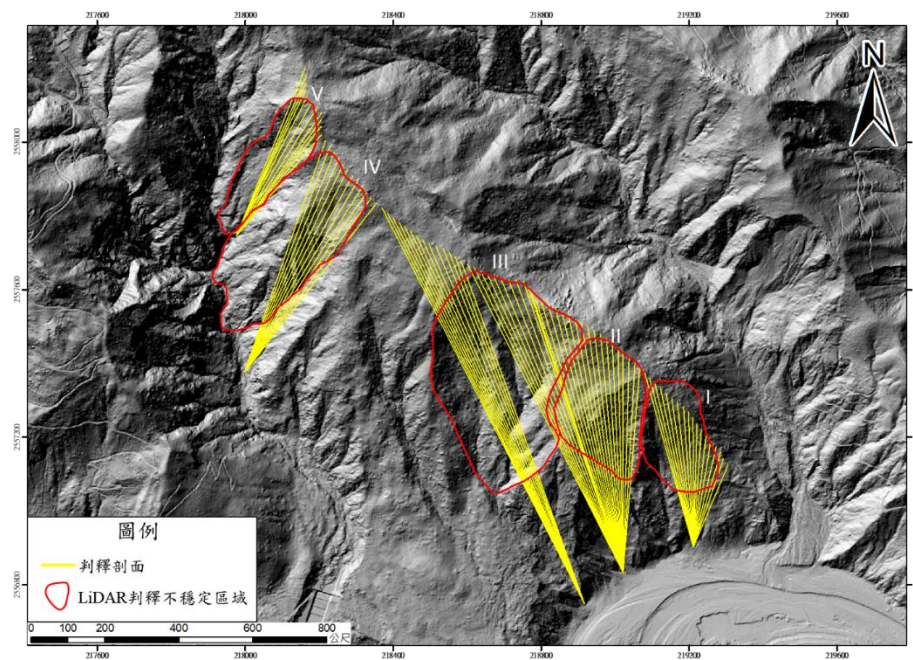
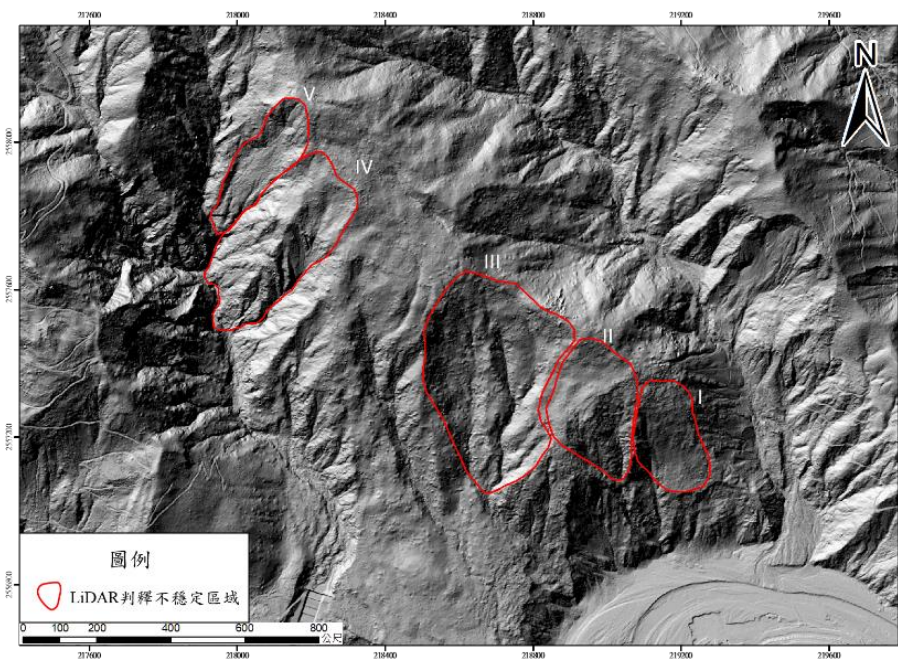
20080818



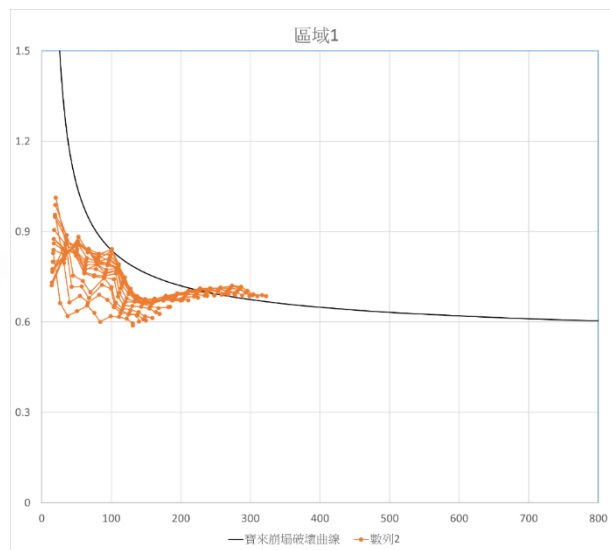
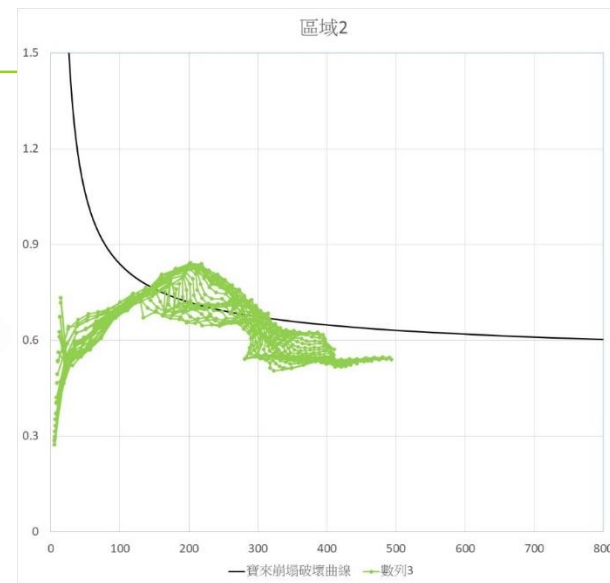
20080818

2.4. 研究區域-分區分塊分析

研究區域測試

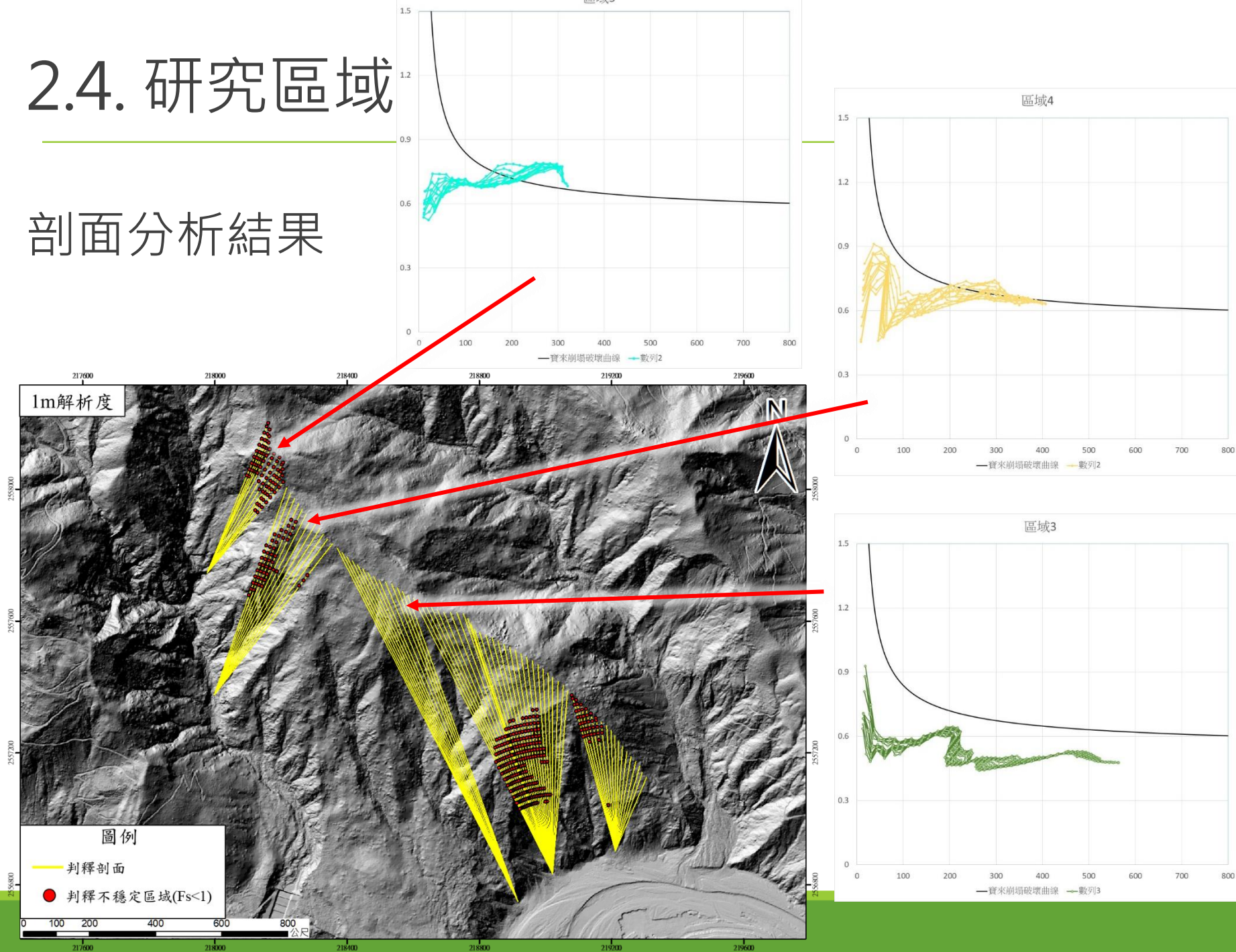


剖面分析結果



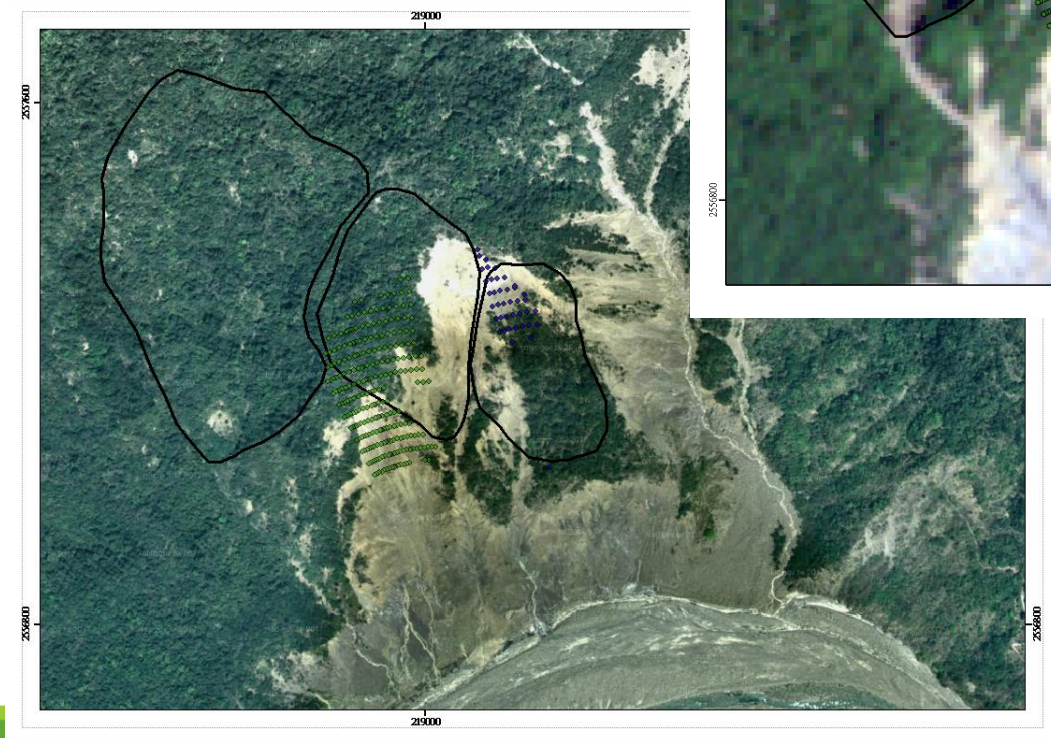
2.4. 研究區域

剖面分析結果

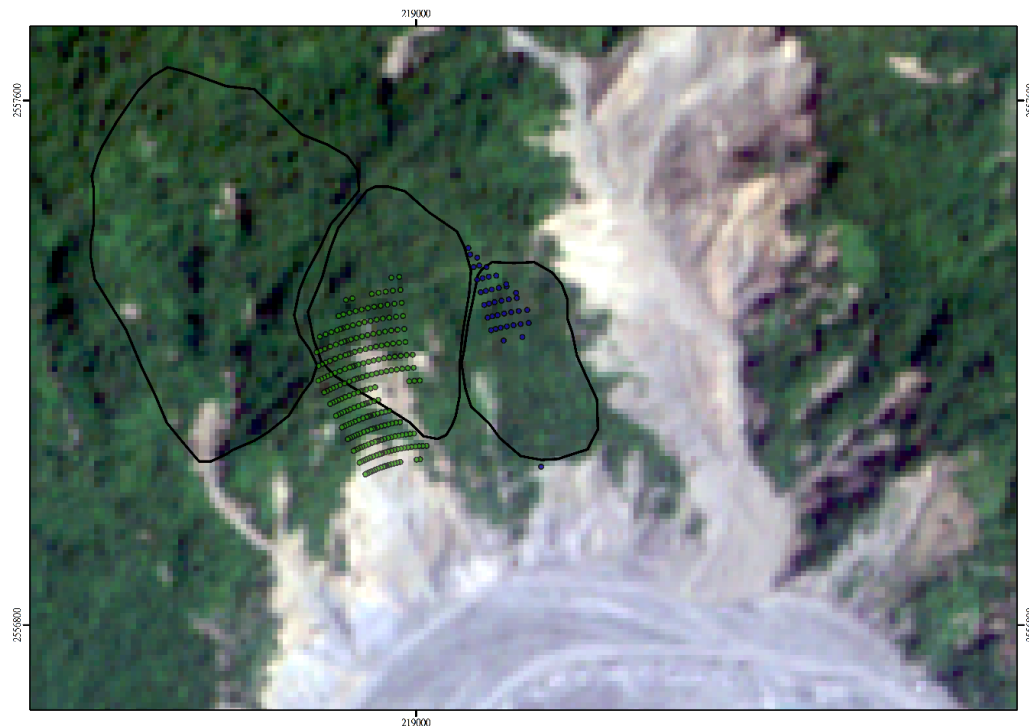


2.4. 研究區域-分區分塊分析

將區域I和II中分析結果為不穩定之位置和2017年影像比對可以發現，崩塌之實際發生位置和本研究推估之位置有趨勢上的一致。



底圖2017年影像



底圖2011年影像

經查區域I和II的不穩定位置後，本研究進一步探討2011年後此區域之地形變動。

2.5. 研究區域-不安定區域之地形變動分析

誘發事件分析

參考站 高中(2)雨量站

(編號1730P146，距離研究區域3 km)

2015年，最大一日降雨值

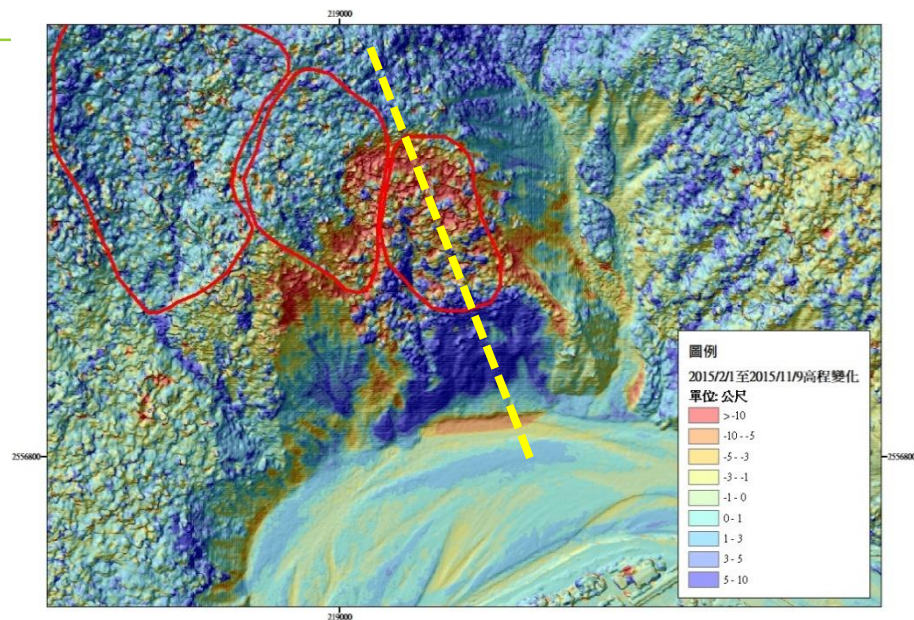
538 mm/day (8月8日)，發生崩塌

2016年，最大一日降雨值

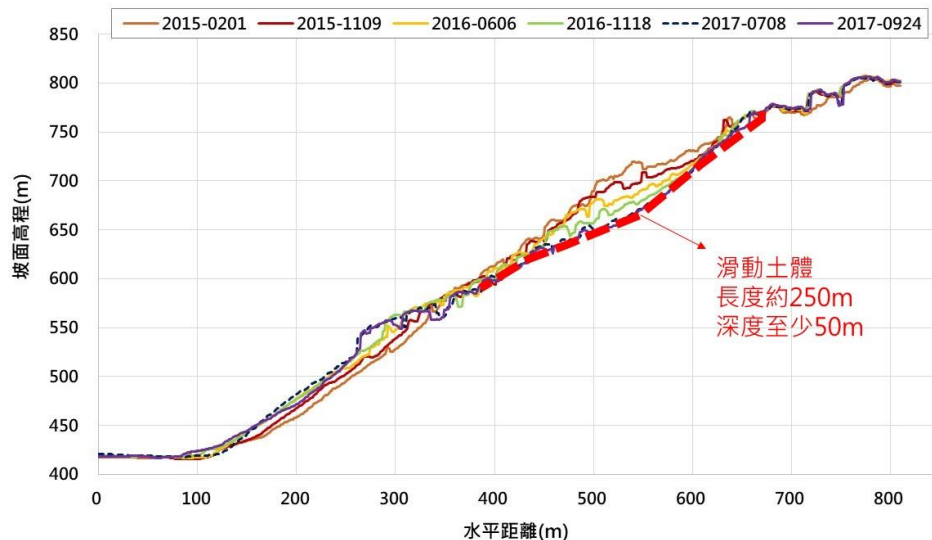
414 mm/day (9月27日)，崩塌擴大

2017年，最大一日降雨值

325 mm/day (7月31日)，不影響坡面

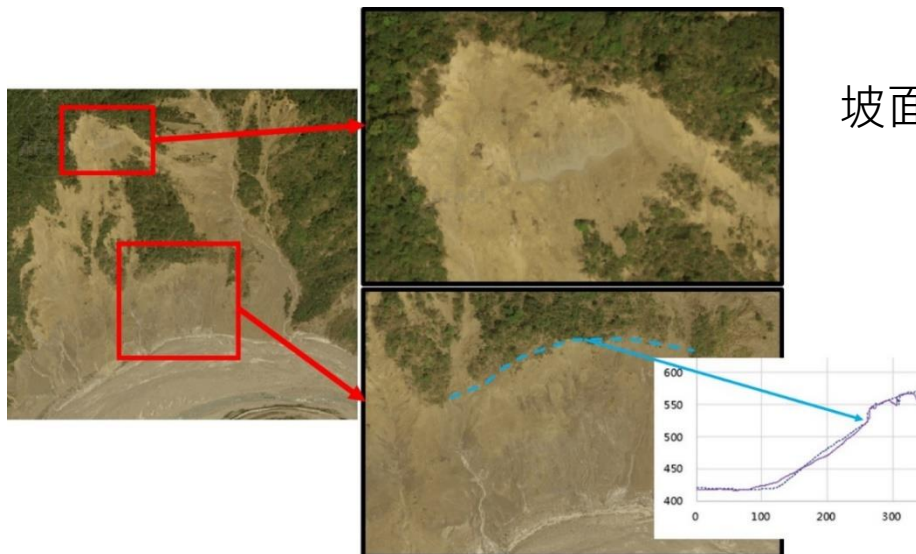


多期地形剖面變化圖



2.5. 研究區域-不安定區域之地形變動分析

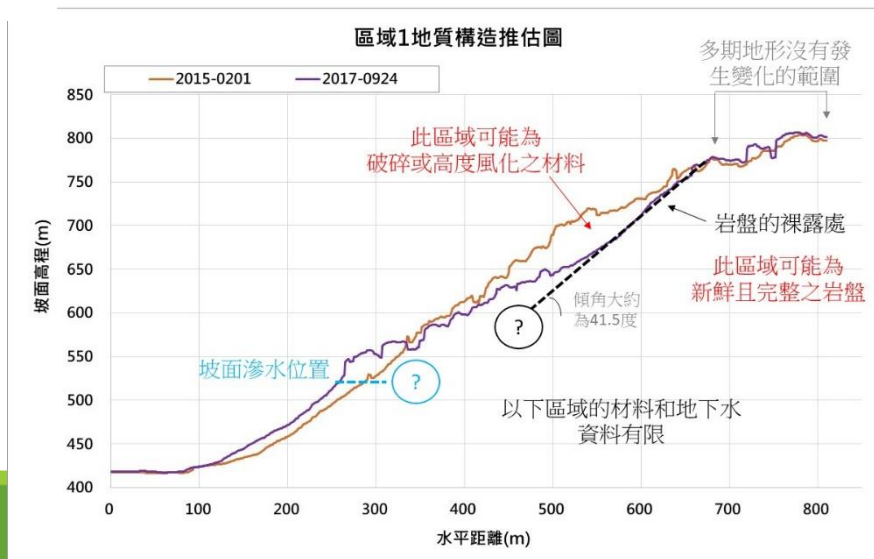
農林航測所(AFASI圖台)顯示區域1最新之航空照片圖



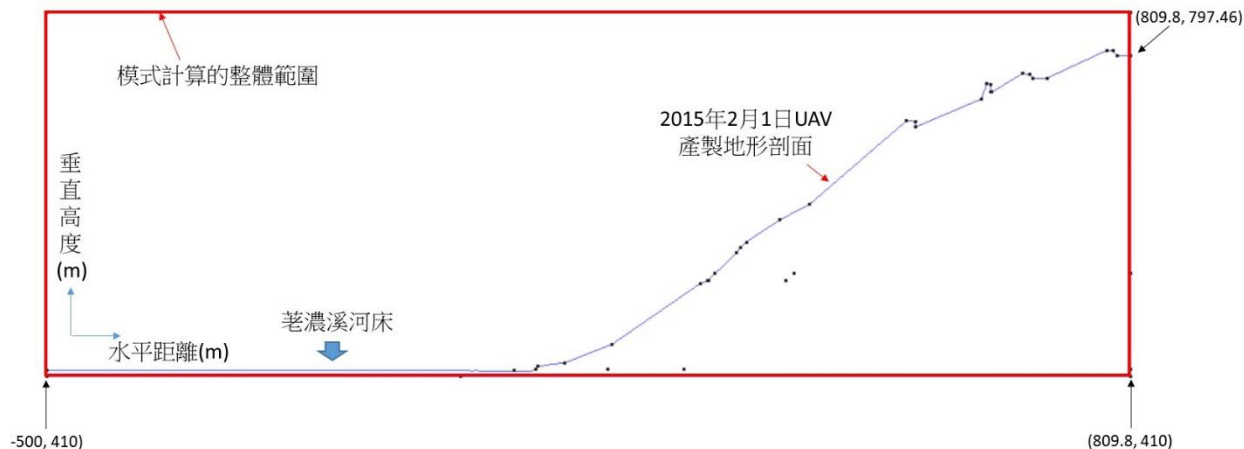
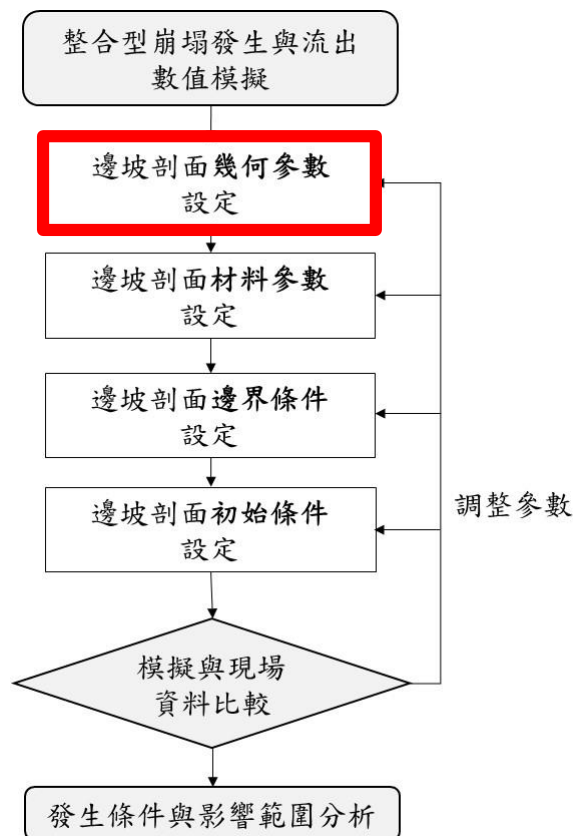
坡面於崩塌發生後疑似裸露出岩盤

坡趾於崩塌發生後仍有明顯的水流滲出

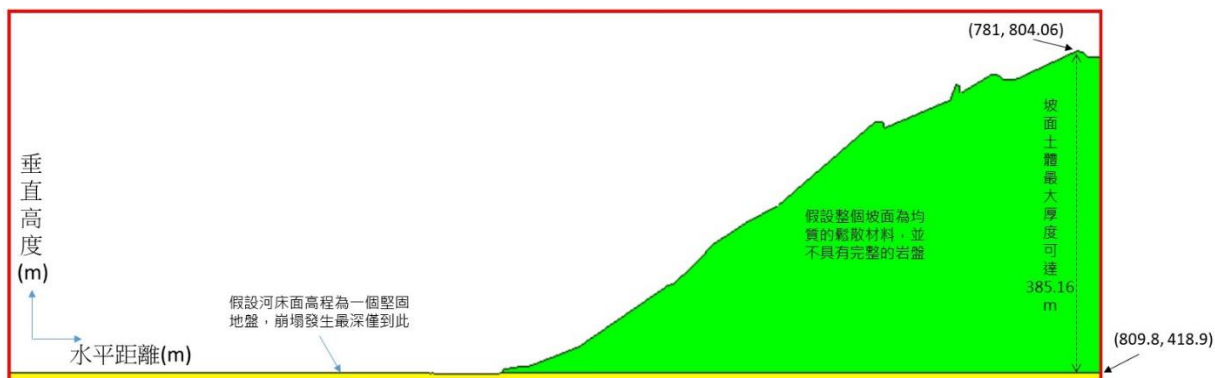
此區域並無鑽探資料佐證地質構造，僅能透過多期地形變化、航遙測圖資和裸露地資料等來研判可能之地質構造



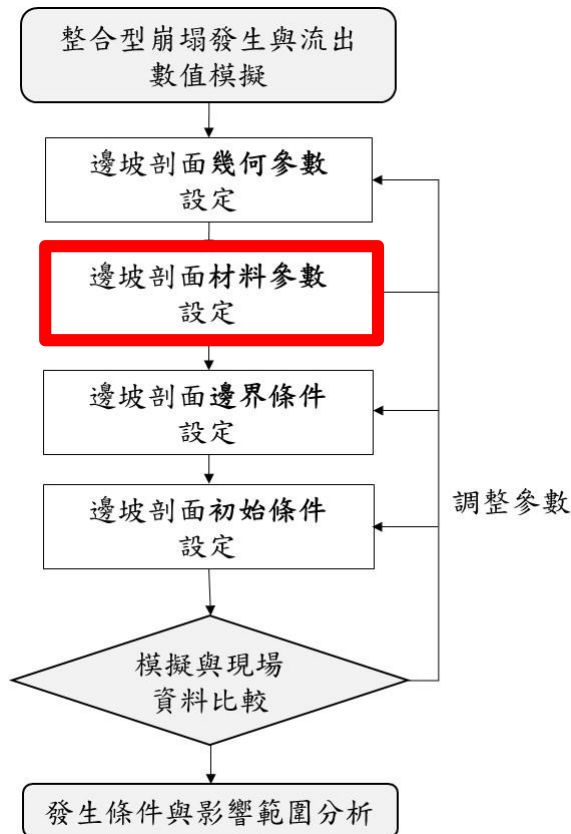
2.6.研究區域-整合型崩塌發生與流出模式



先假設假設剖面整體為均勻之鬆散材料來進行模擬。



2.6.研究區域-整合型崩塌發生與流出模式

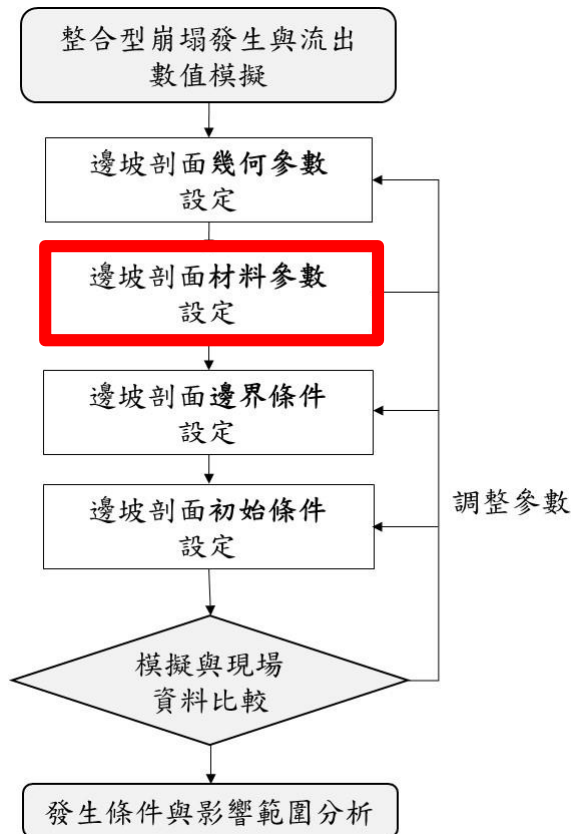


模式的參數資料，主要來自研究區域基本資料的蒐集。以本研究為例，當研究區域的地質分區知道之後，若有細部調查和現場資料等報告，則以上述報告為參數選擇之標準。若無上述相關報告，則尋找國內相同地質分區的研究、論文、計畫和報告等資料，並參考上述資料來進行報告參數選擇之標準。上述等資料皆無時，則依照地質的材料組成，尋找國外近似材料的研究、論文、計畫和報告等資料。

本研究已於附錄提供國外常見土壤材料的建議值，包括有

- 彈性模數(Young's modulus) 和 柏松比(Poisson's ratio) (Subramanian, N. 2008)
- 摩擦角(Angle of Repose) (Al-Hashemi and Al-Amoudi 2018)
- 土壤保水曲線參數和水力傳導係數 (Carsel and Parrish 1988)

2.6.研究區域-整合型崩塌發生與流出模式



長枝坑層為主，因屬砂頁岩互層為主

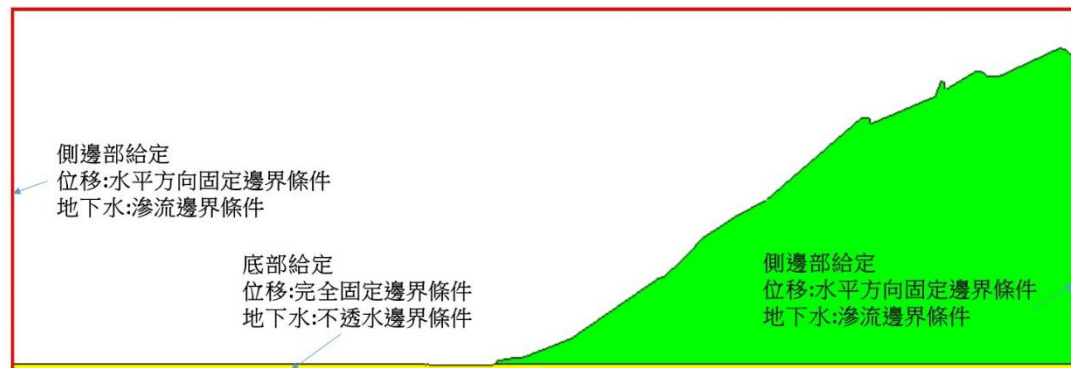
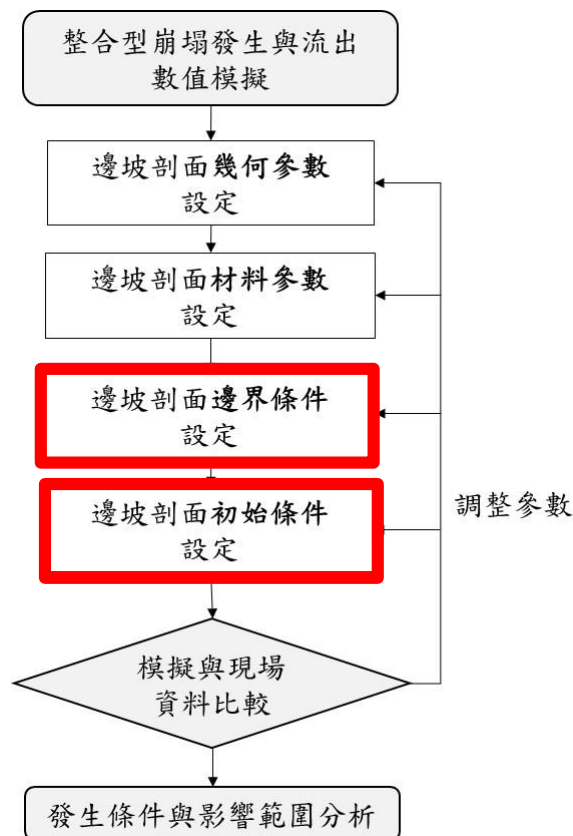
- 比重約2.60~2.61
- 凝聚力0.15-0.45kgf/cm²
- 靜摩擦角27.5度至32.5度
- 透水係數 1.12×10^{-6} 到 5.0×10^{-6} m/sec

表 6-1 各種材料的土壤保水曲線參數和水力傳導係數

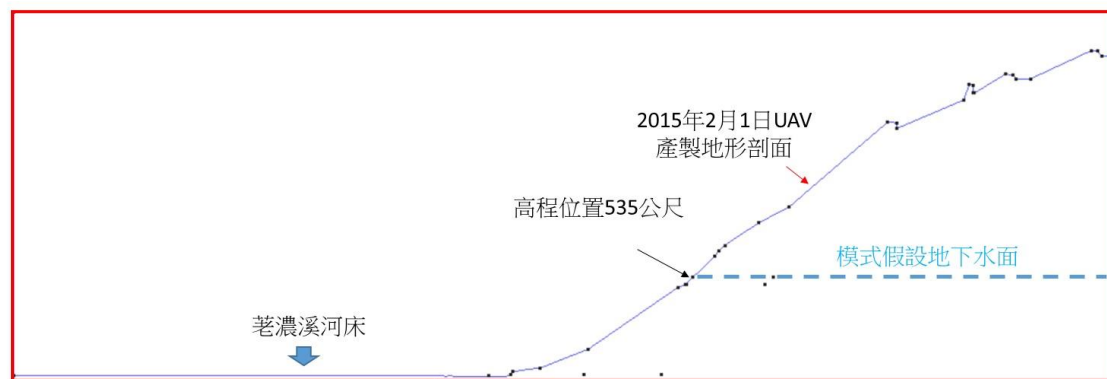
material	S_{min}	S_{max}	λ	P_0 (kPa)
sand	0.105	1	0.627	0.677
loam	0.181	1	0.359	2.725
silt	0.074	1	0.27	6.131
clay	0.179	1	0.083	12.263

Carsel和Parrish等人(1998)

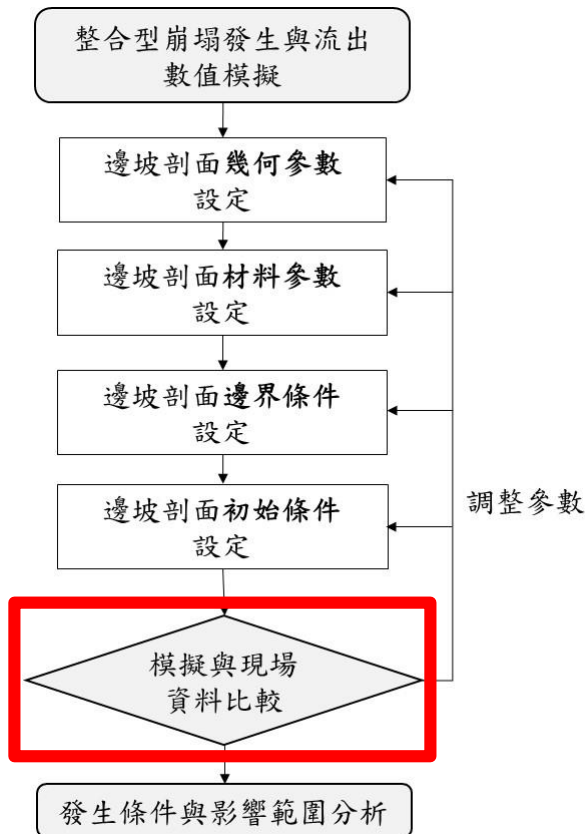
2.6.研究區域-整合型崩塌發生與流出模式



邊坡初始孔隙水壓分布給定時，給定靜水壓分布，由於自然邊坡土體之吸力存在著上限值，因此當模式推估吸力值時，設定不超過 100 kPa。

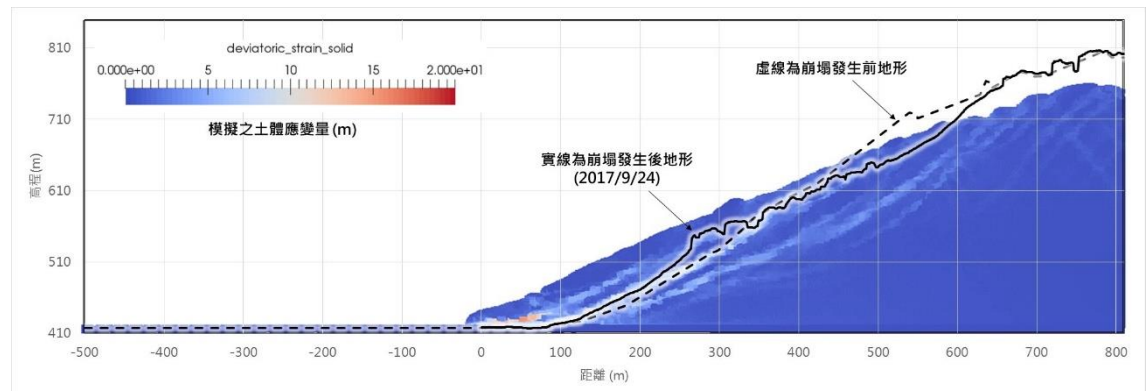


2.6.研究區域-整合型崩塌發生與流出模式

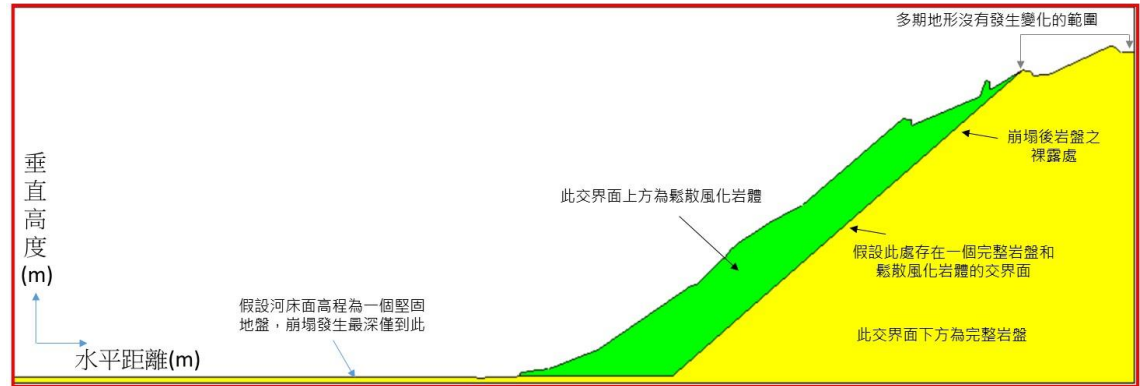
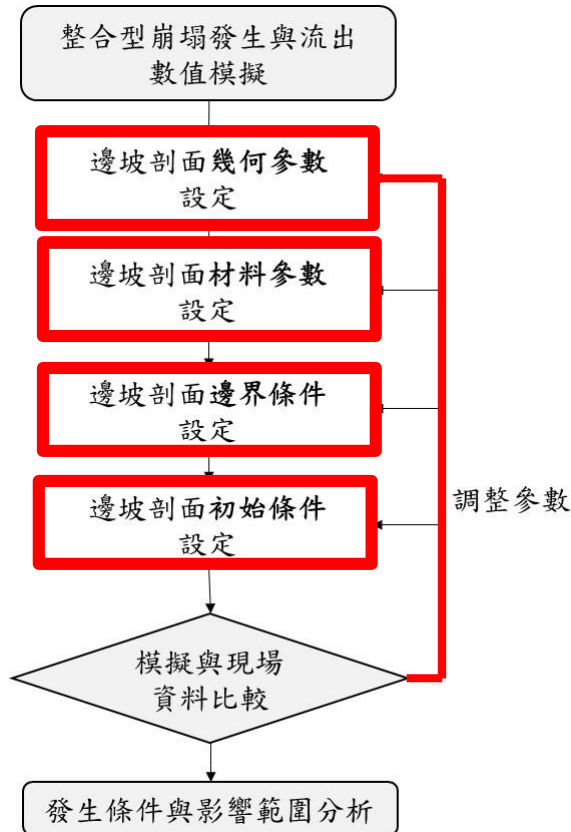


模擬崩塌發生後之土體應變量分布圖，並將其和崩塌發生前後地形剖面進行比對。

寶來里荖濃溪右岸坡面之地質構造不符合均勻土體之假設條件。因為崩塌發生於此條件時，坡址處(高程約410公尺)的坡面土體經擠壓後往荖濃溪河床處推擠，同時，坡面頂部(高程約760公尺)的坡面土體開始下沉，將此模擬結果與實際崩塌發生後地形比對並不相符。



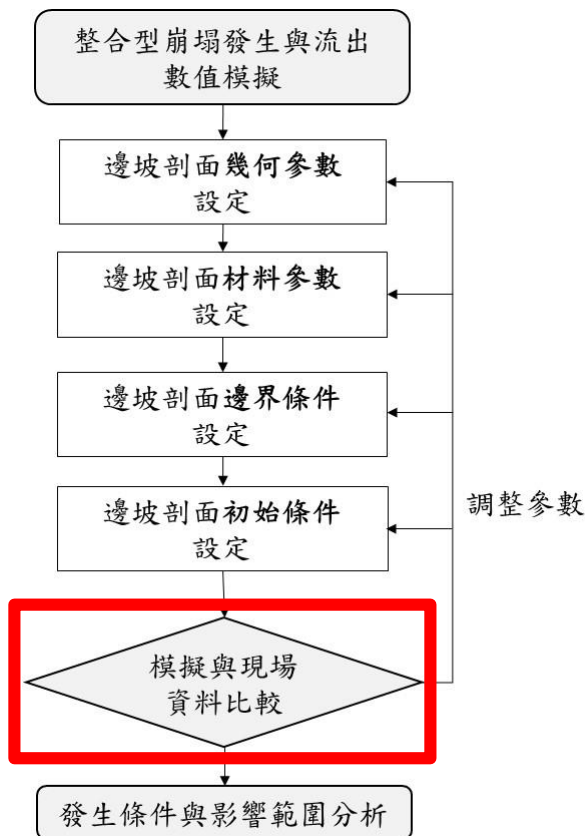
2.6.研究區域-整合型崩塌發生與流出模式



依據多期地形沒有發生變化的範圍，以及航空照片拍到岩盤裸露之位置，**假設坡面內存在一個完整的岩盤**，以及岩盤上方座落著鬆散風化之岩體。

材料參數、邊界條件、初始條件等設定保持不變。

2.6.研究區域-整合型崩塌發生與流出模式

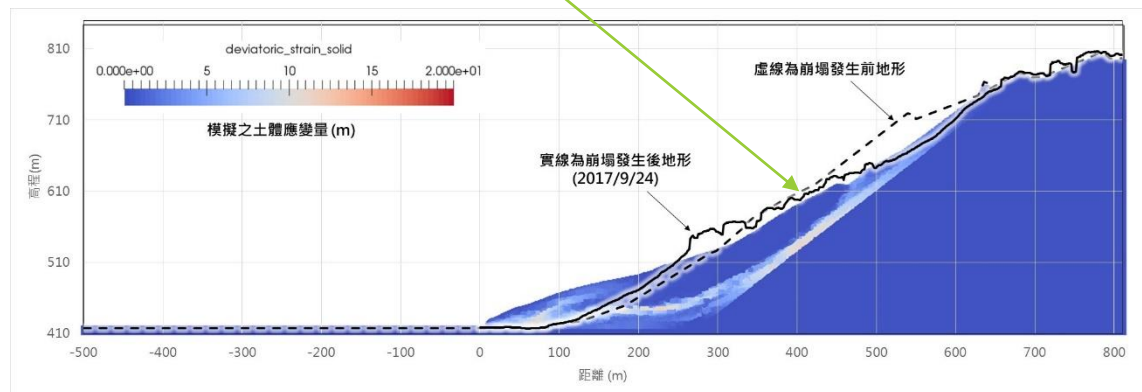


模擬崩塌發生後之土體應變量分布圖，並將其和崩塌發生前後地形剖面進行比對。

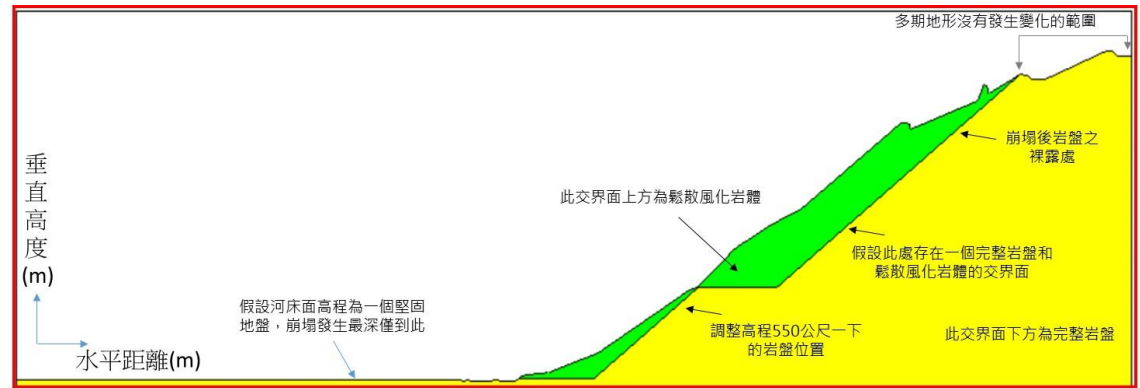
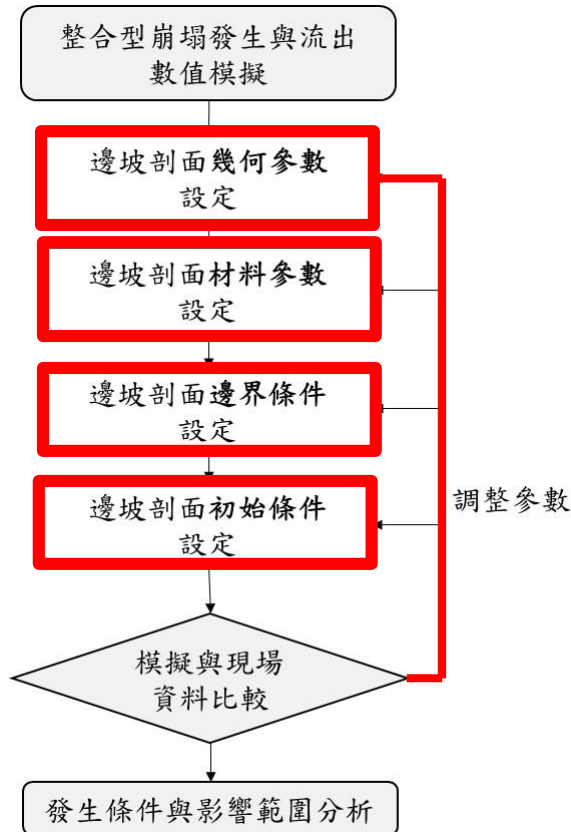
於此條件下，於高程**610公尺**以上之坡面處，可得到實際崩塌後地形近似之結果。在坡面高程**610到760公尺**之間，此處地形出現大幅度的下降，實際崩塌後地形相當近似。

崩塌實際發生時，高程**410公尺**到**510公尺**處之坡面仍保持穩定，此處坡面下可能存在穩定坡面之地質構造。

高程610公尺處



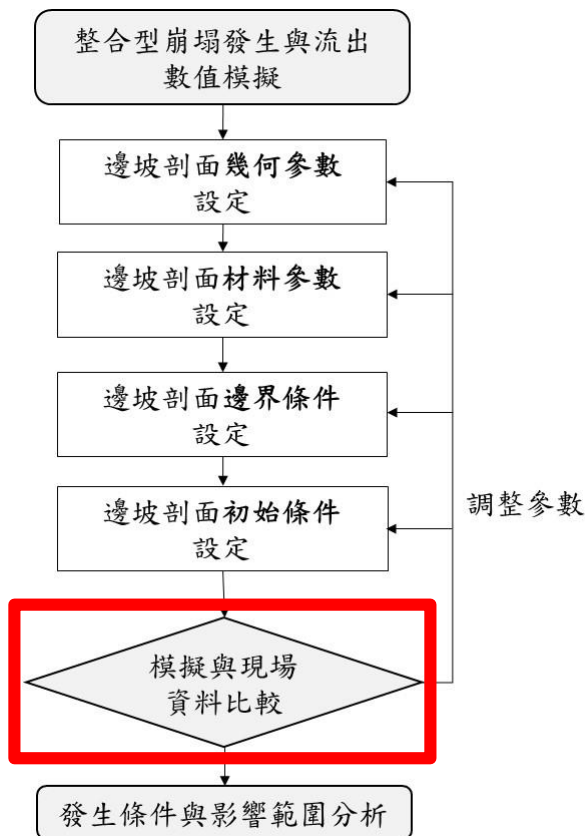
2.6.研究區域-整合型崩塌發生與流出模式



本研究提出第三種地質構造情境，**假設岩盤於高程於550公尺以下之深度較淺**，調整時，假設高程550公尺以下岩盤之傾角與高程550公尺以上岩盤之傾角一致，僅有所在位置深度之差異。

材料參數、邊界條件、初始條件等設定保持不變。

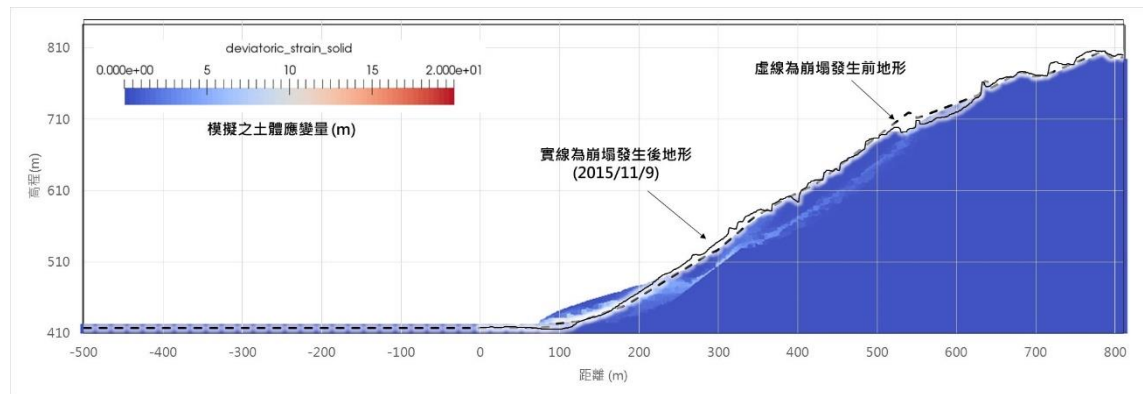
2.6.研究區域-整合型崩塌發生與流出模式



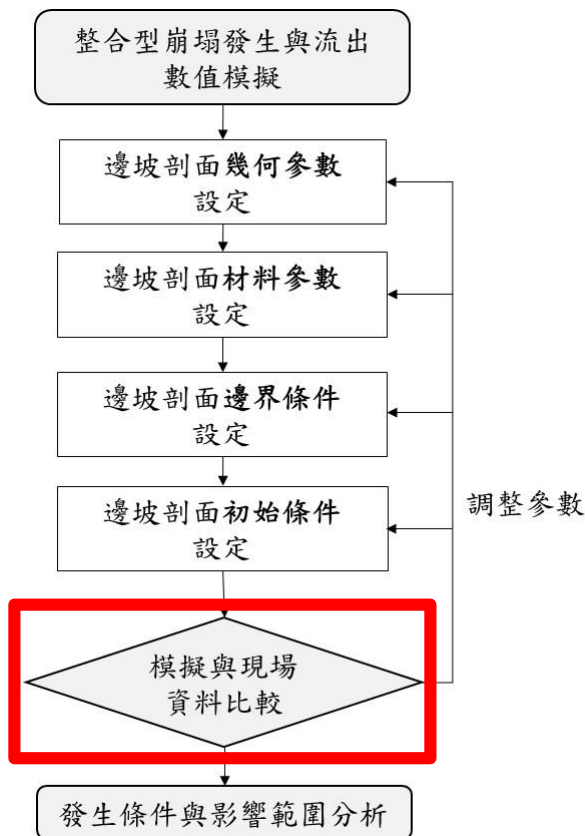
模擬崩塌發生後之土體應變量分布圖，並將其和崩塌發生前後地形剖面進行比對。

此條件下，可得到實際崩塌後地形(2015年11月9日)近似之結果，模擬結果顯示高程**610公尺**到**710公尺**出現一個近似平行破壞的滑動面，將整個狀似長條狀的土體從原本高程**710公尺**處往下滑落至大約高程**700公尺**。

其高程**510公尺**到**610公尺**的模擬結果，也因個地質構造的修正，而得到與實際較為近似之結果。



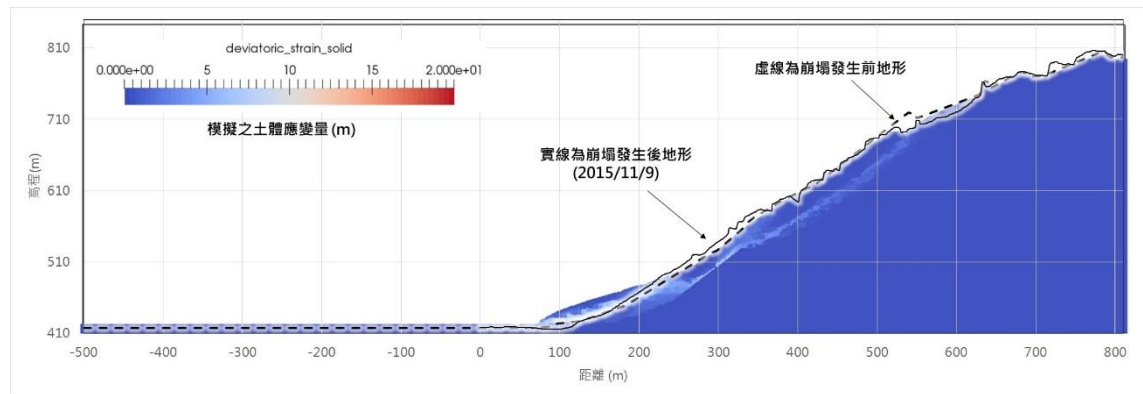
2.6.研究區域-整合型崩塌發生與流出模式



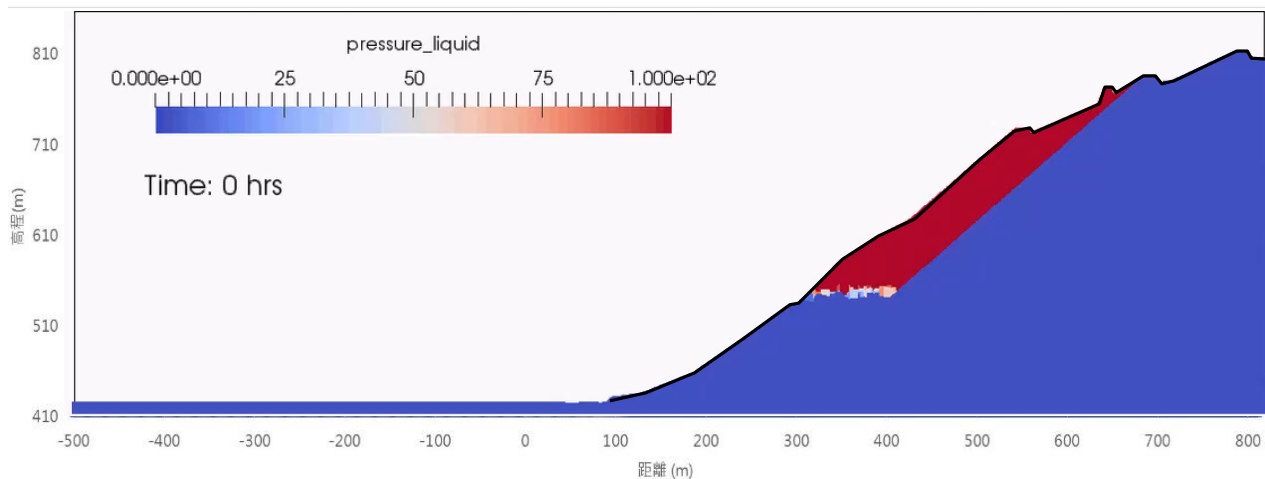
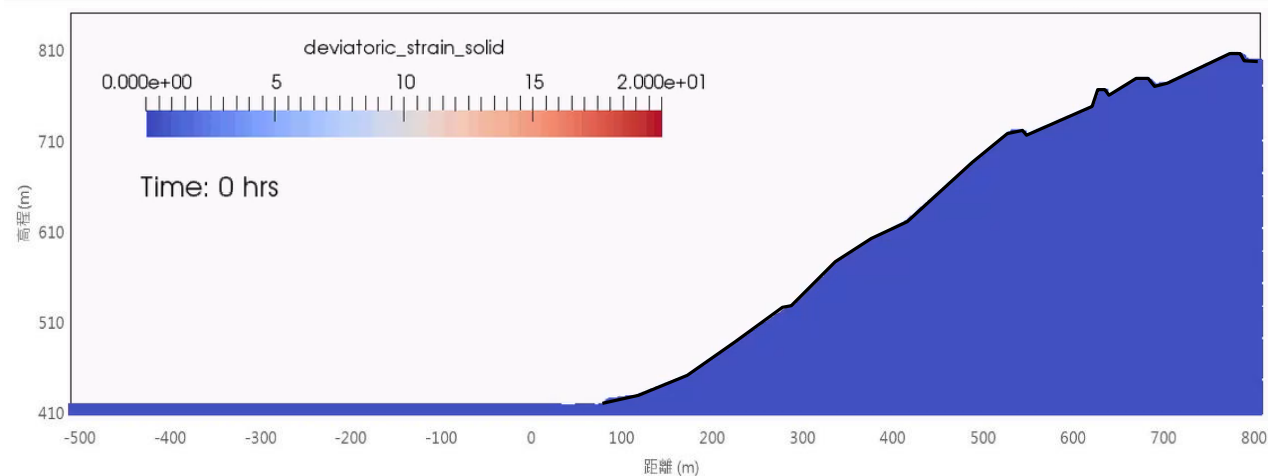
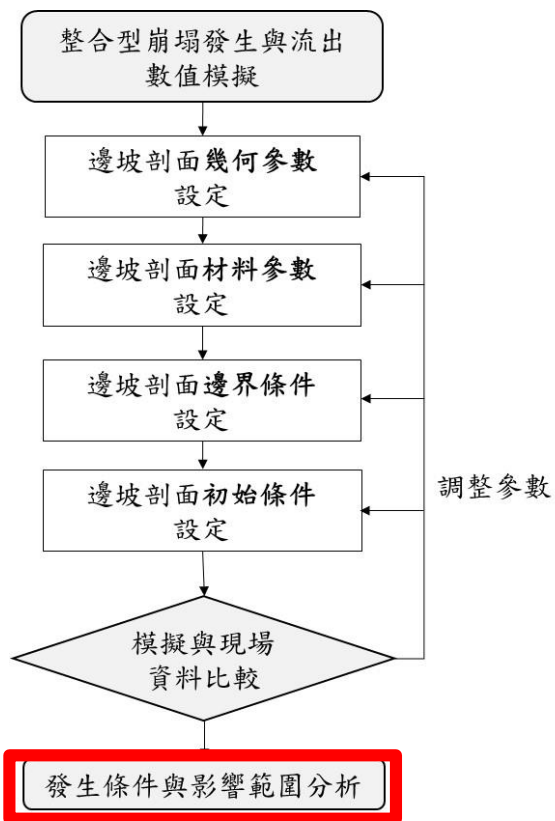
模擬崩塌發生後之土體應變量分布圖，並將其和崩塌發生前後地形剖面進行比對。

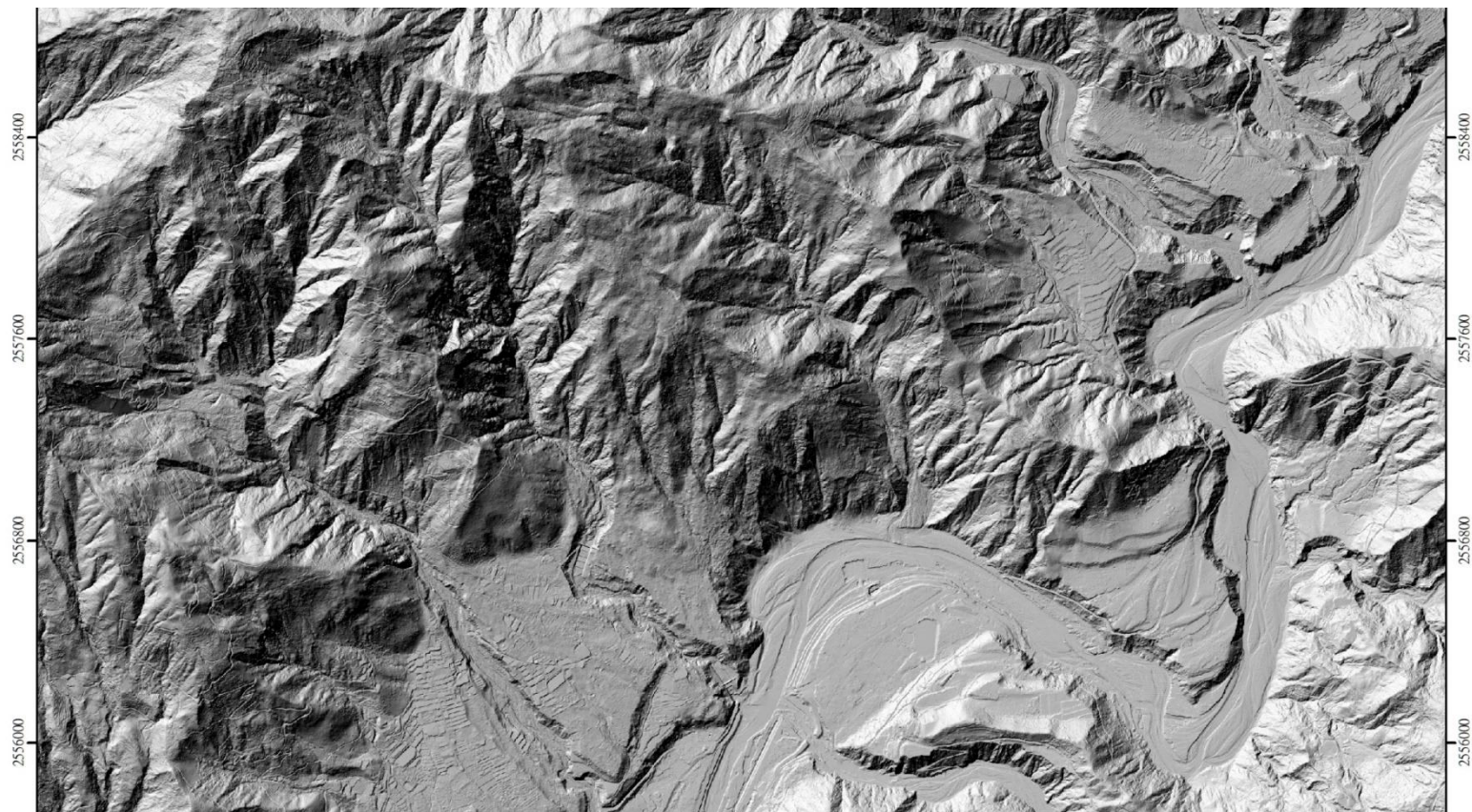
此條件下，可得到實際崩塌後地形(2015年11月9日)近似之結果，模擬結果顯示高程**610公尺**到**710公尺**出現一個近似平行破壞的滑動面，將整個狀似長條狀的土體從原本高程**710公尺**處往下滑落至大約高程**700公尺**。

其高程**510公尺**到**610公尺**的模擬結果，也因個地質構造的修正，而得到與實際較為近似之結果。



2.6.研究區域-整合型崩塌發生與流出模式





三、結論與建議

結論

- 建立分區分塊快速評估方法(Yoshino 和 Uchida 2019)，此方法對大規模崩塌潛勢區內任意邊坡剖面的穩定性分析方法，並能搜尋出潛勢區域內不穩定的邊坡位置，其所得到的分析結果將做為整合型崩塌發生與流出數值模式的建模依據。
- 選定的研究區域為荖濃溪寶來段右岸邊坡，並針對研究區域內地形、地質資料進行相關調查成果之蒐集，共計蒐集有7期衛星影像和13期數值地形。
- 以2011年數值地形做為分區分塊分析的資料，分析後與2017年衛星影像判釋之崩塌擴大結果進行比較，其判釋所得之擴大區域和分析結果有一致性，說明本研究所提之分區分塊分析方法的可行性。
- 當不穩定剖面位置掌握後，再針對此位置進行細部調查或地形變化分析，將能有效提高潛勢區域調查的效率。

結論

- 計畫已與荷蘭三角洲研究機構以材料質點法來發展整合型崩塌發生與流出數值模式(Anura)，擇定一個鄰近荖濃溪主流右岸之坡面作為研究區域。
- 整合型崩塌發生和流出模式可做為細部調查前，例如鑽探、地物探測、監測設置等工作的初步評估工作，透過模式來掌握或反推地表下可能之地質構造、材料參數等等資訊，將有助於降低調查過程中可能面臨的不確定因素，例如鑽井孔位之選取、地電布設等位置等等。



報告結束、敬請指教