



行政院農委會水土保持局

# 智慧式合理估算坡面崩塌量體及其運 移行為之精進研究

An algorithm for plausibly estimating the amount  
of landslide mass and its traveling path

---

108年水土保持局創新研究成果 專題討論分享

2021/01/05

戴義欽 教授

財團法人成大研究發展基金會

國立成功大學 水利與海洋工程學系

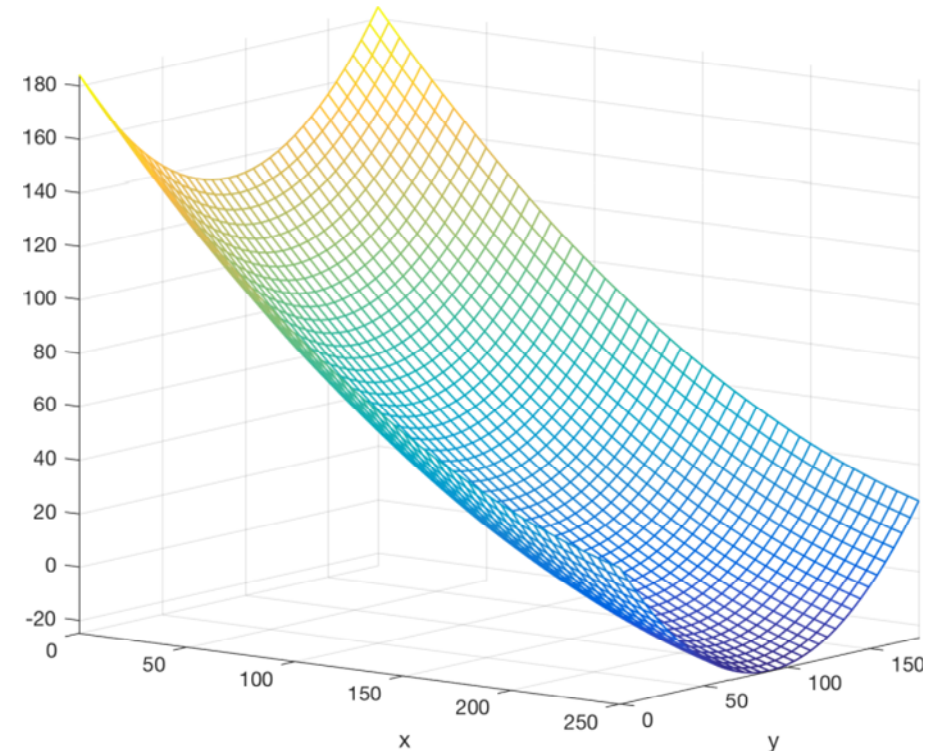
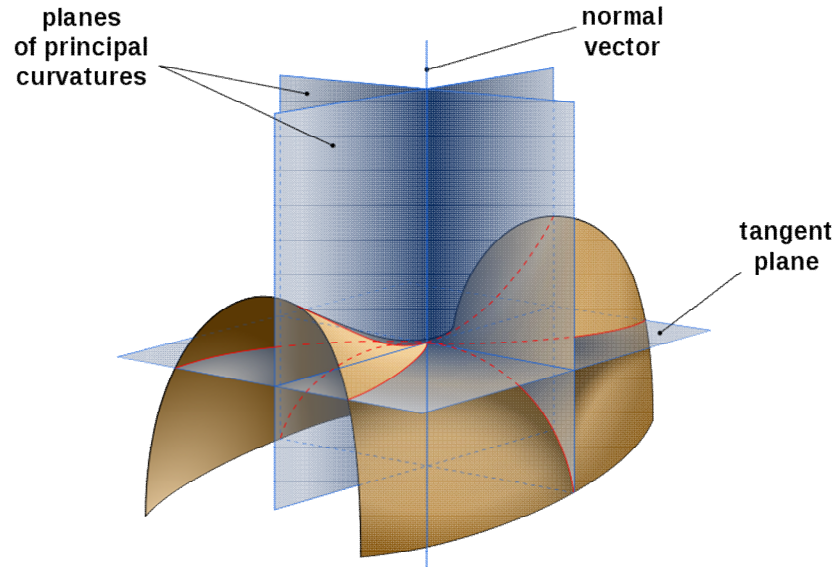


國立成功大學  
National Cheng Kung University

# 動機想法

## ➤ 擬解決問題

- 以**有限**的資訊快速評估坡面崩塌**破壞曲面**，解決崩塌潛勢區域現地資料對於**崩塌量體**及後續**土砂運移行為**不易即時估算之侷限
- 三維曲面上主軸及側向軸方向上之曲率為定值



# 內容項目

智慧式合理  
估算坡面崩  
塌量體及其  
運移行為之  
精進研究

## 一 精進快速初步評估崩塌破壞曲面之技術

1. 幾何特性分析
2. 崩塌量體與崩塌面積對應的回歸經驗公式

## 二 理想崩塌破壞曲面幾何特性之精進探討

1. 擴大探討坡面崩塌破壞曲面案例之數量，提升並確保其與崩塌破壞曲面技術所需參數間之合理性與可靠度
2. 探討誤差大的案例分析歸納可能成因，並提出解決方案

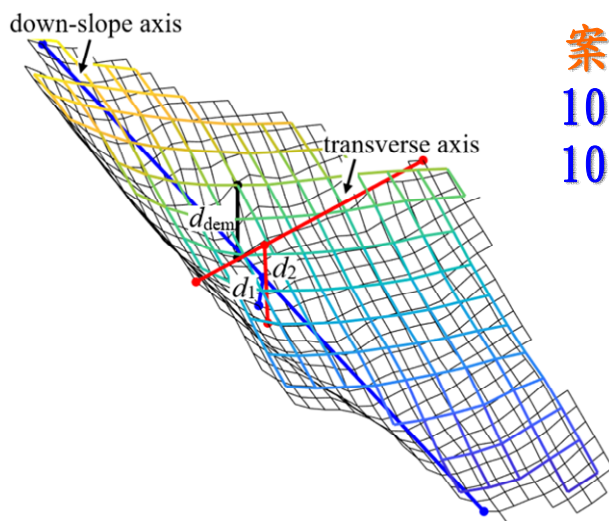
## 三 三維可視化圖形多視角立體呈現成果

1. 網頁模式在網頁瀏覽器(如Chrome)上以三維立體多視角的方式呈現成果
2. 電腦數值模擬模式運算成果之整合



# 幾何特性

## ➤ 坡面崩塌破壞曲面幾何特性探討



### 案例探討

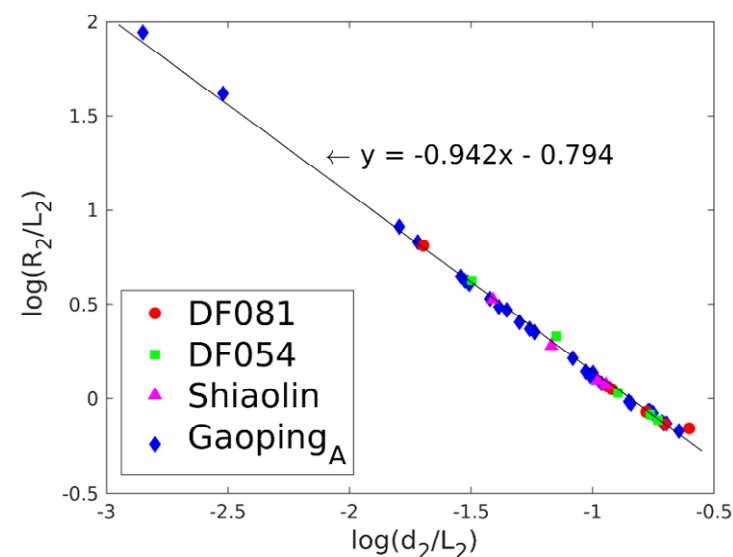
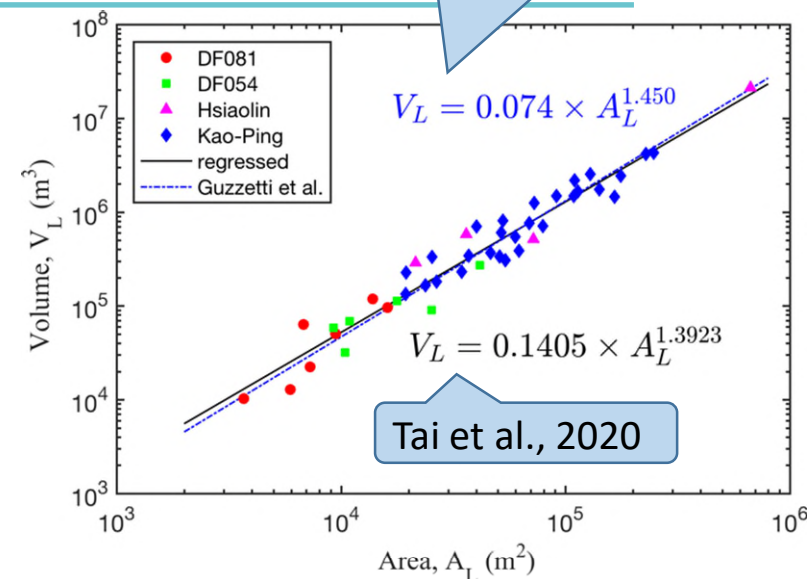
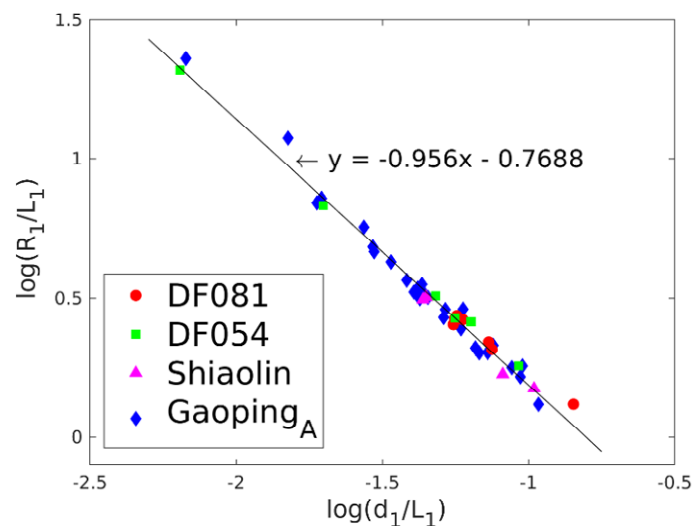
107年：16處 崩塌案例

108年：17處 + 高屏溪流域28處 崩塌案例

(破壞深度 > 0.5 m 之範圍)

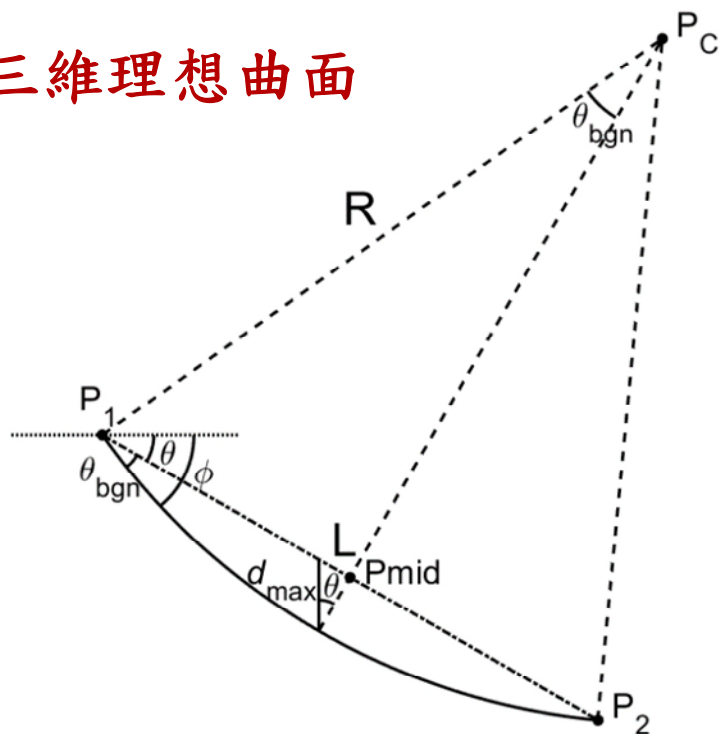
### 幾何特性：

- 軸向曲率、長度
- 側向曲率、寬度
- 崩塌面積、體積



# 執行與成果

## ➤ 三維理想曲面



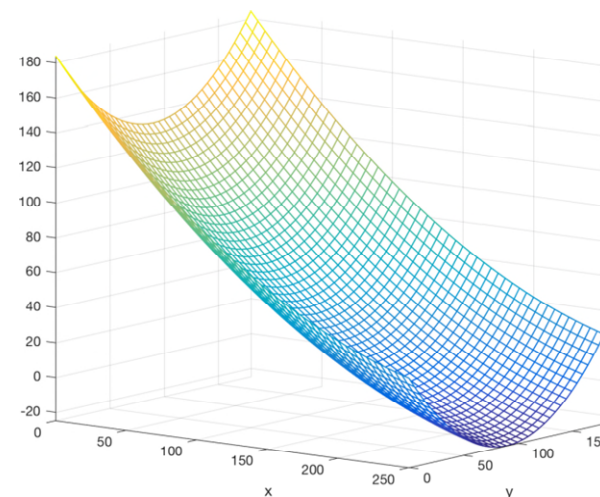
$$\frac{1}{R_1} = K_{xz} = \left( \frac{\partial z}{\partial x} \right)^3 \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}, \quad \frac{1}{R_2} = K_{yz} = \left( \frac{\partial z}{\partial y} \right)^3 \frac{\partial^2 z}{\partial y^2}$$

$$L = 2R \sin q_{bgn}$$

$$R - d_{max} \cos q = R \cos q_{bgn}$$

$(L, R, q, d_{max})$  已知

有唯一解



Identify the potential area  $(L_1, L_2, A_L)$

Plausible volume  $V_L$

Guess the failure depth  $d \Rightarrow d_{1c}, d_{2c}$

Ideal surface  $R_{1c}, R_{2c} \Rightarrow V_{LC}$

$V_{LC} = V_L$

OK

$V_{LC} \neq V_L$

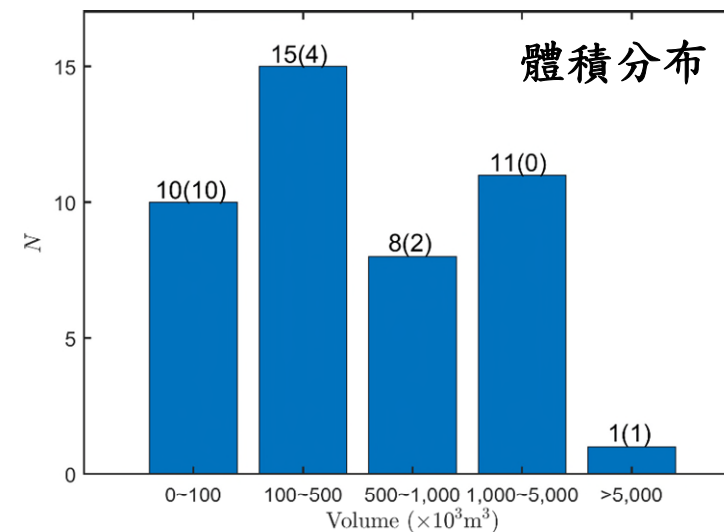
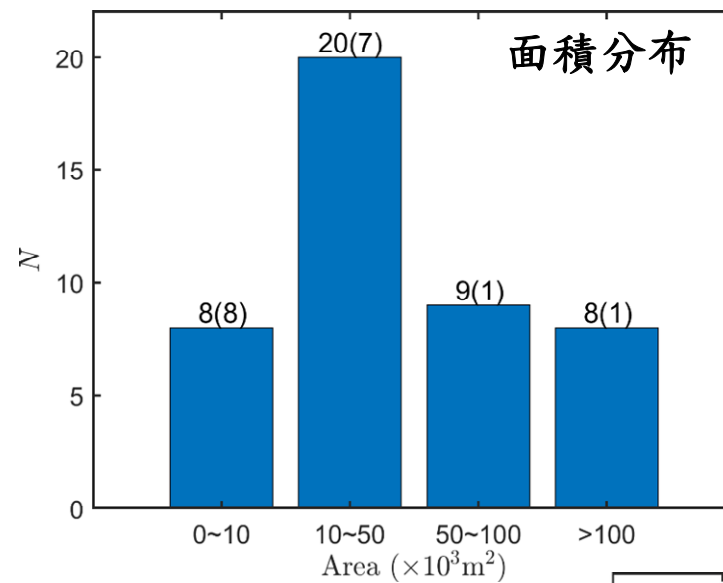
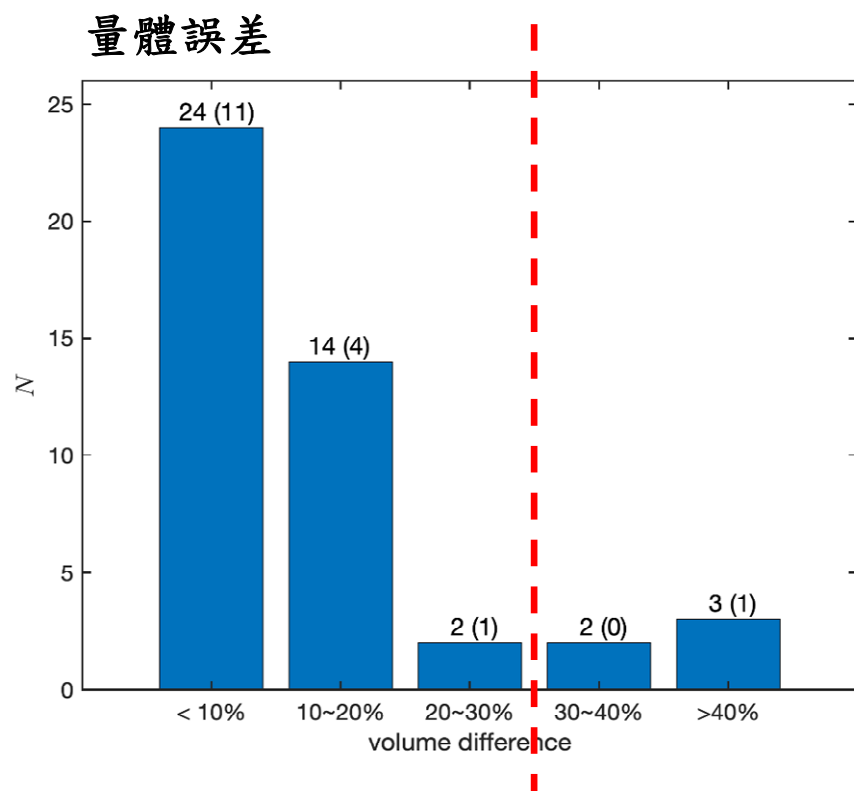
幾何特性

Guzzetti et al. (2009)  
Tai et al. (2020)



# 執行與成果

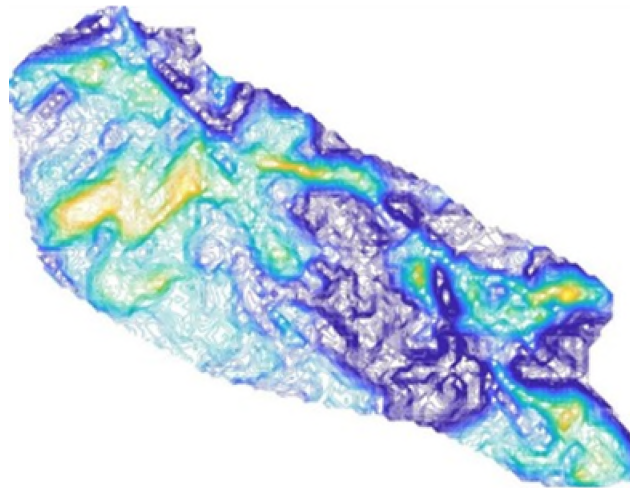
## ➤ 誤差探討 (45案例)



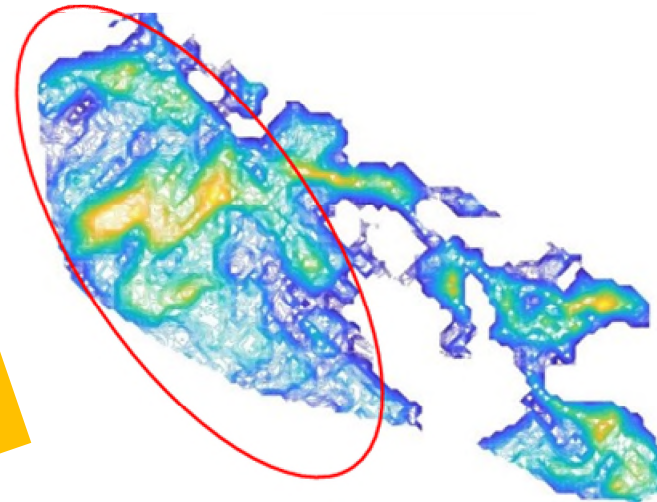
# 執行與成果

## ➤ 量體誤差主要來源：

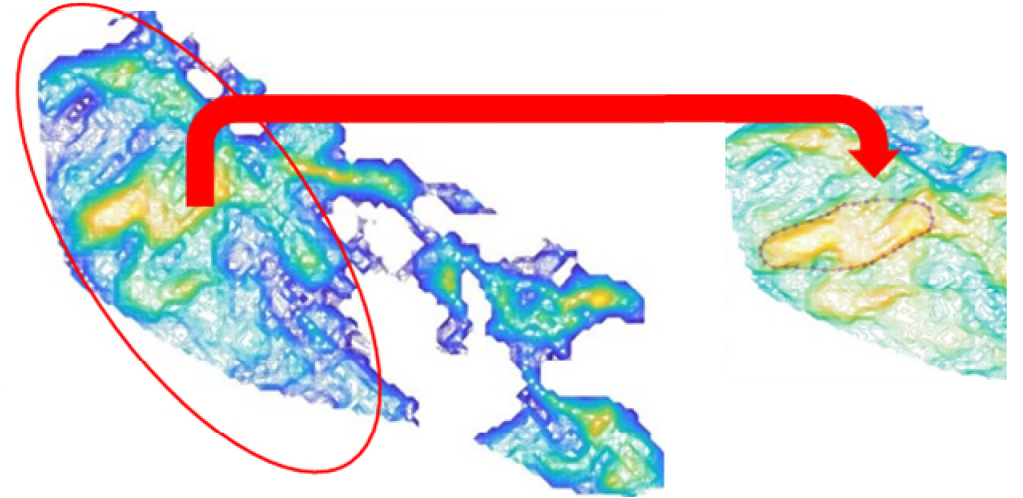
### ➤ 高雄市-那瑪夏區-A022為例



崩塌深度大於 0 m → 90.25%

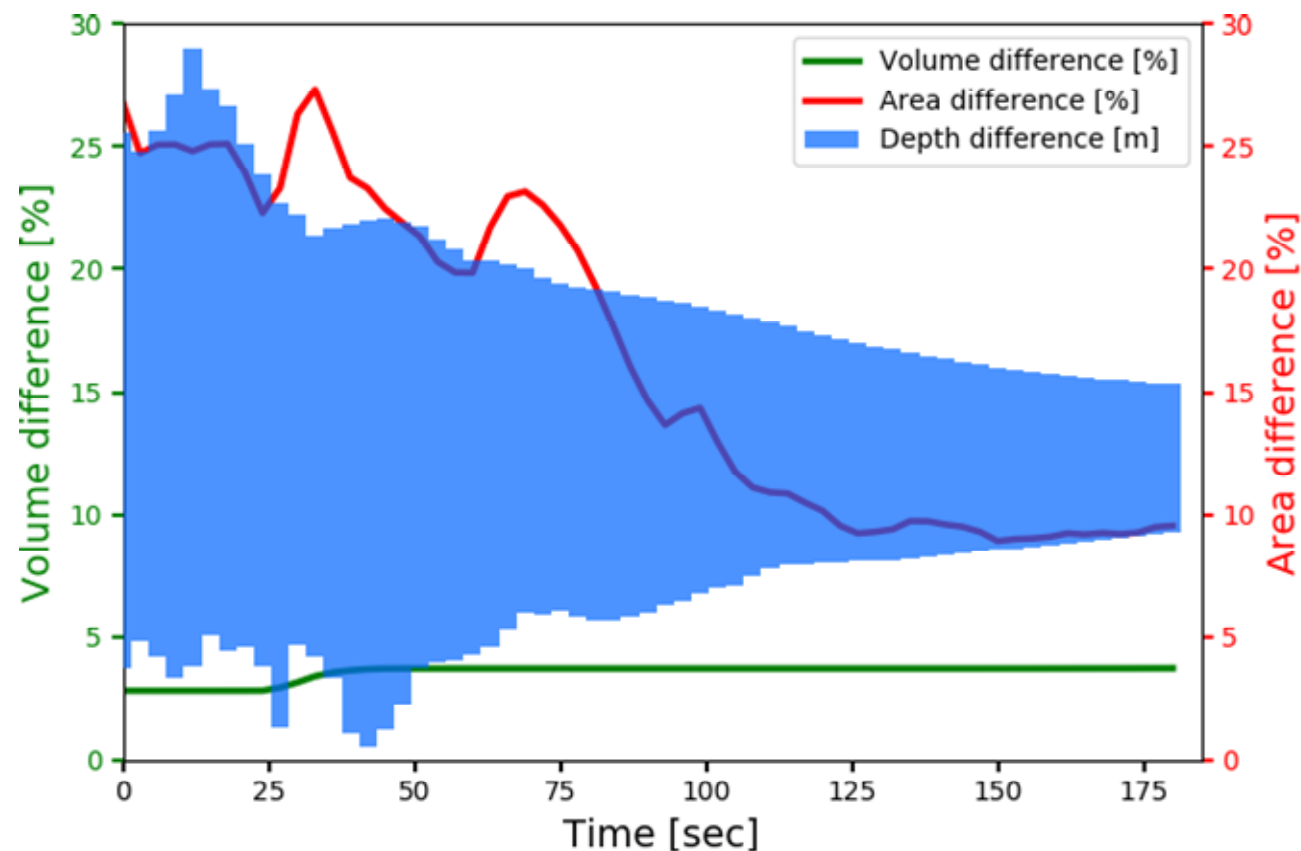


崩塌深度大於 0.5 m → 15.41%

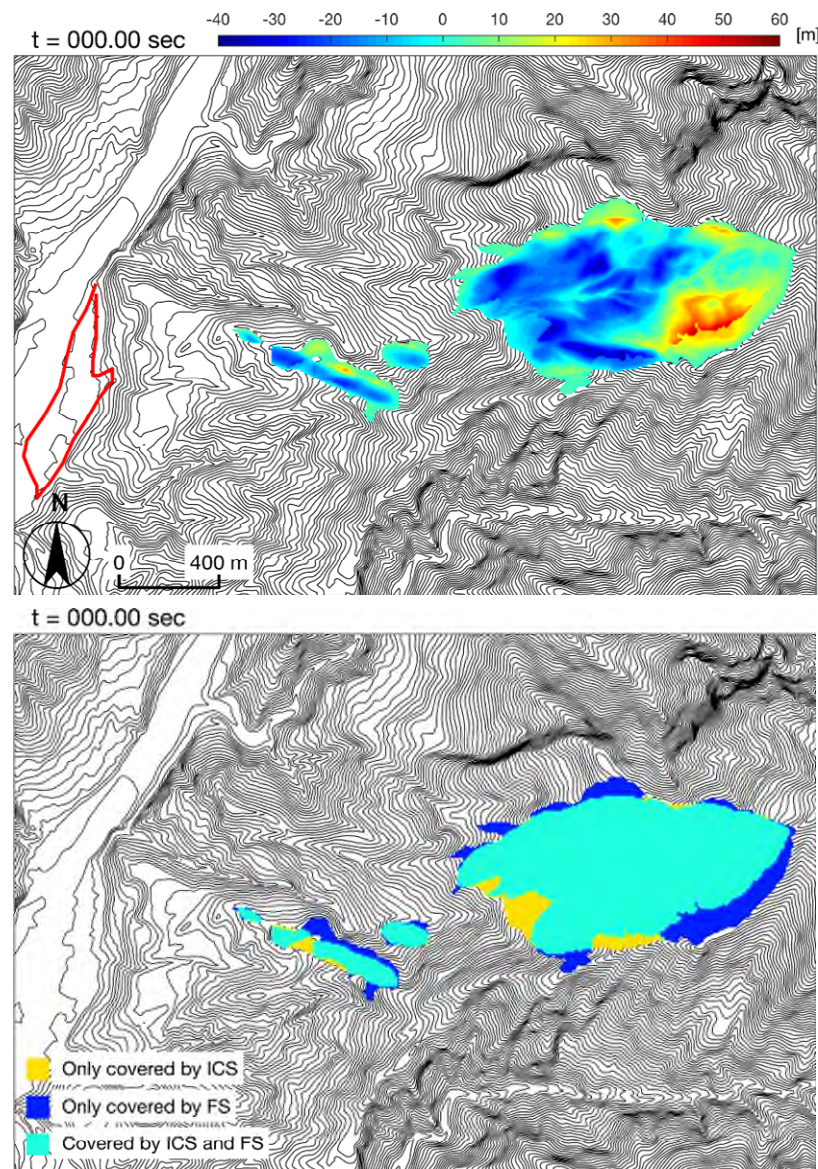


崩塌深度大於 10 m → 0.1%

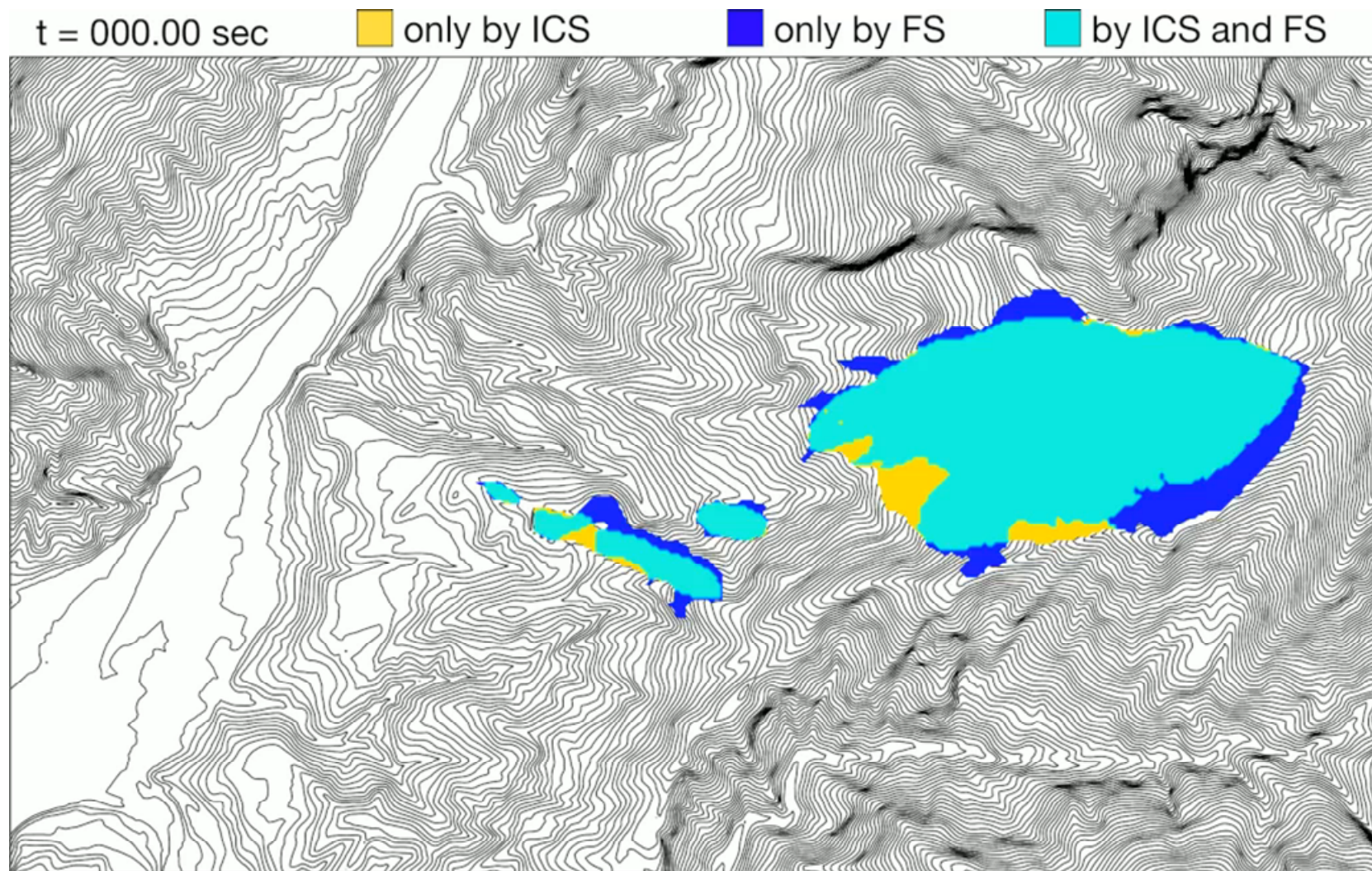
# 研究成果與討論 (小林村崩塌案例應用)



Depth difference [m]



# 研究成果與討論 (小林村崩塌案例應用)



Tai et al. (2020) Frontiers in Earth Science

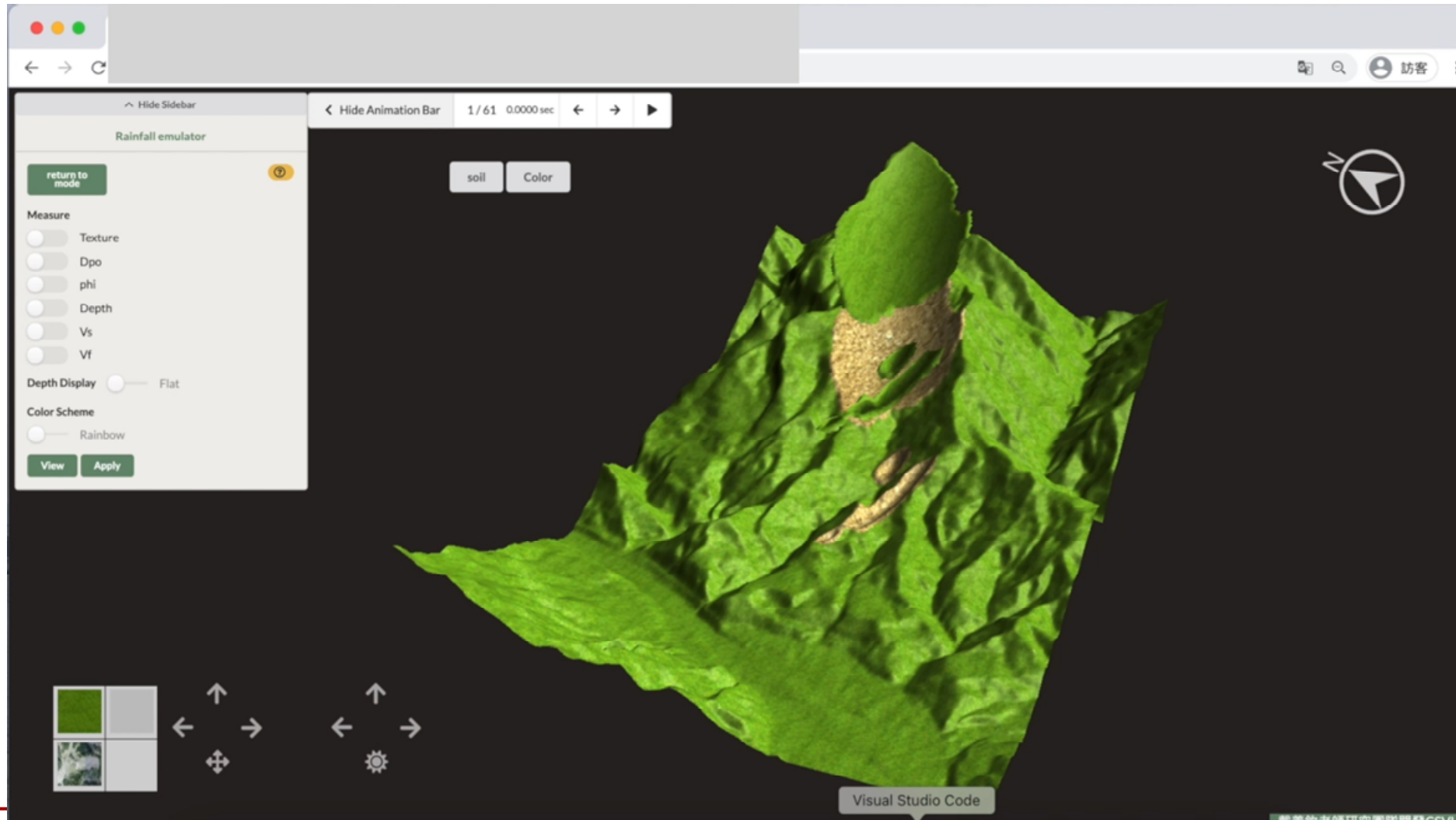


t = 0.0 sec to 181.83 sec



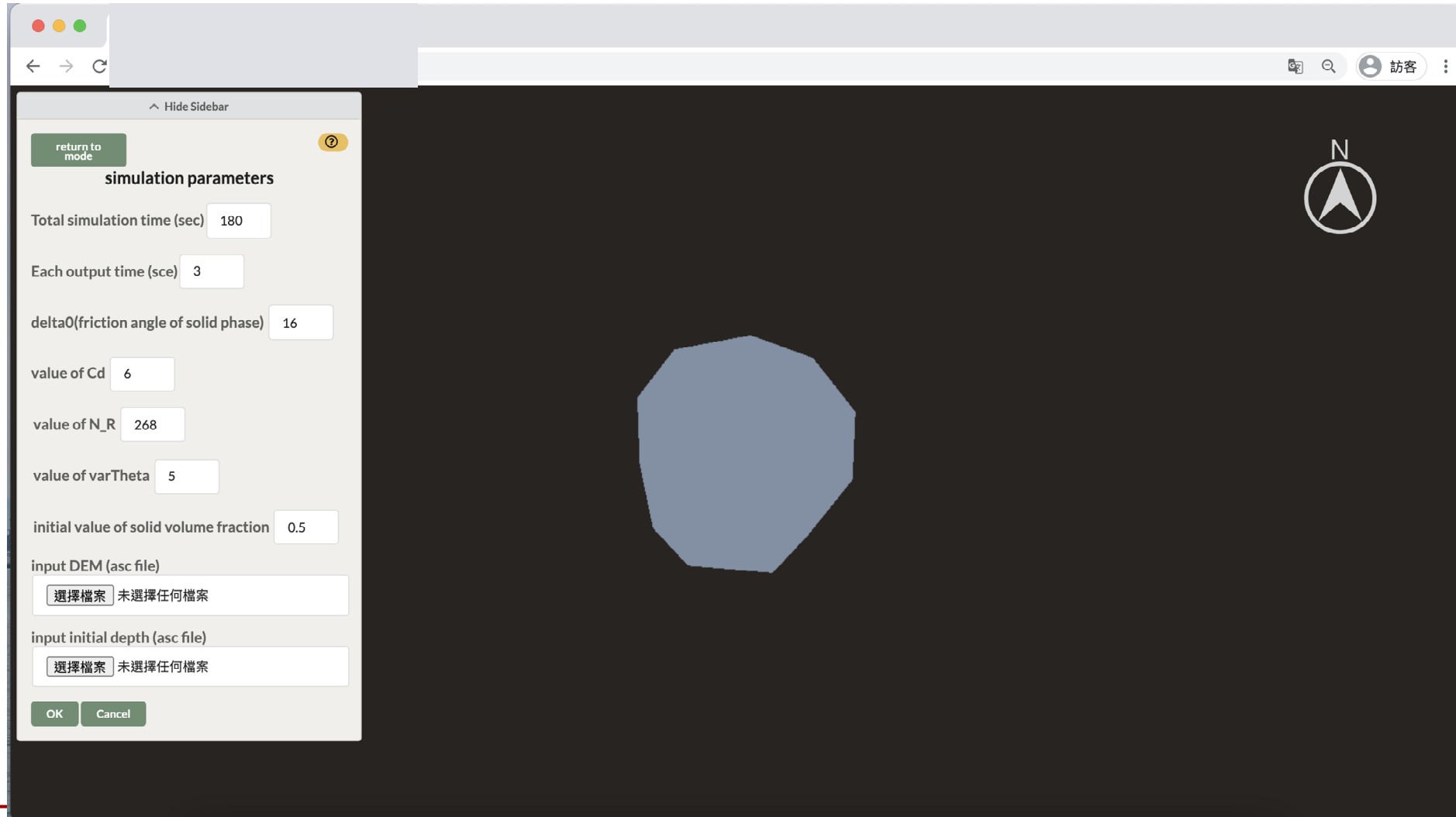
# 研究成果與討論

## ➤ 數值實境擬真平台 (ANSI Platform)

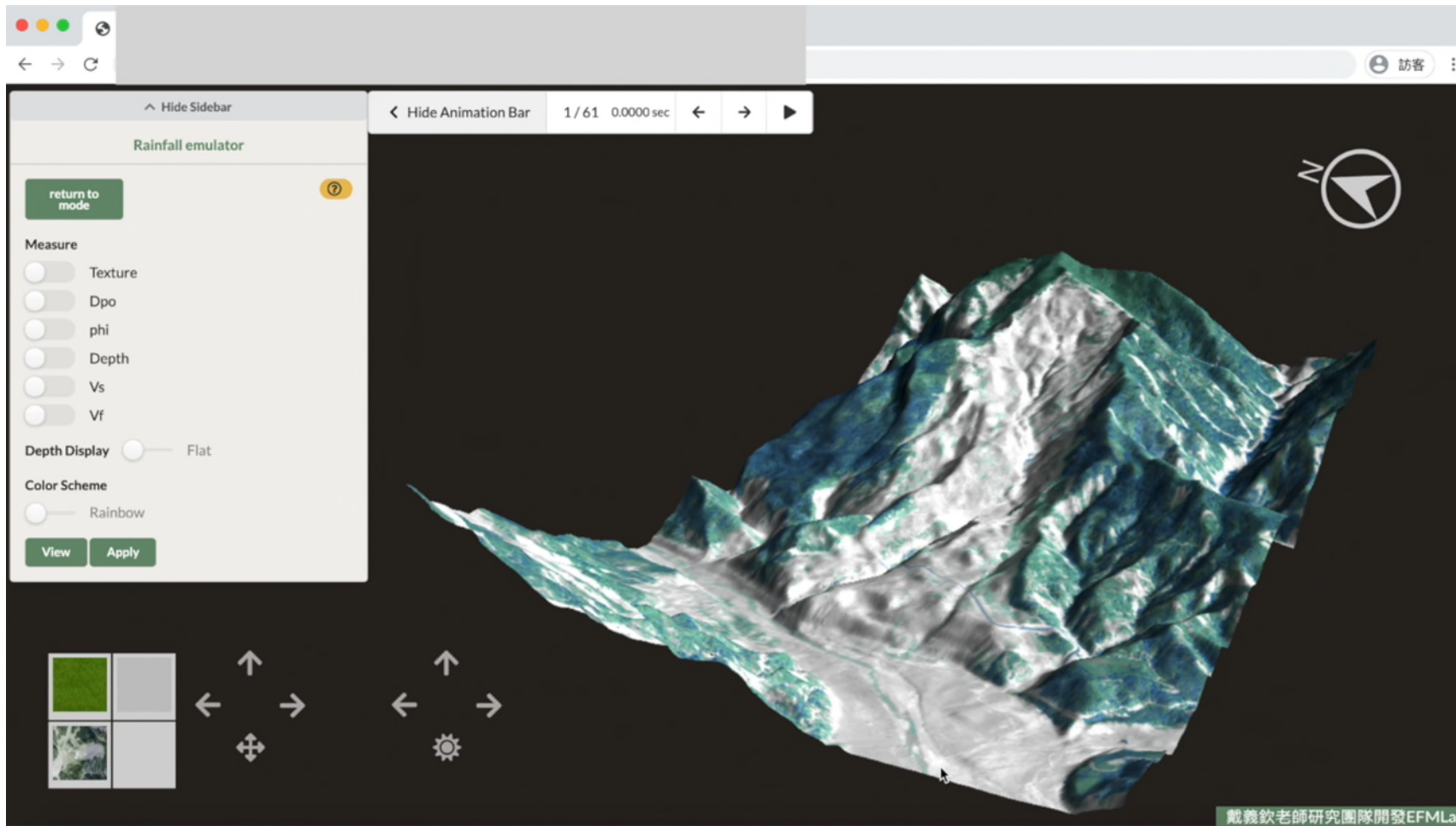


# 研究成果與討論

## ➤ 數值實境擬真平台 (ANSI Platform)



# Numerical Example (Two-Phase Model, Tai et al, 2019, JGR)



(Tai et al., 2020, Frontiers in Earth Science)



t = 0.0 sec to 181.83 sec

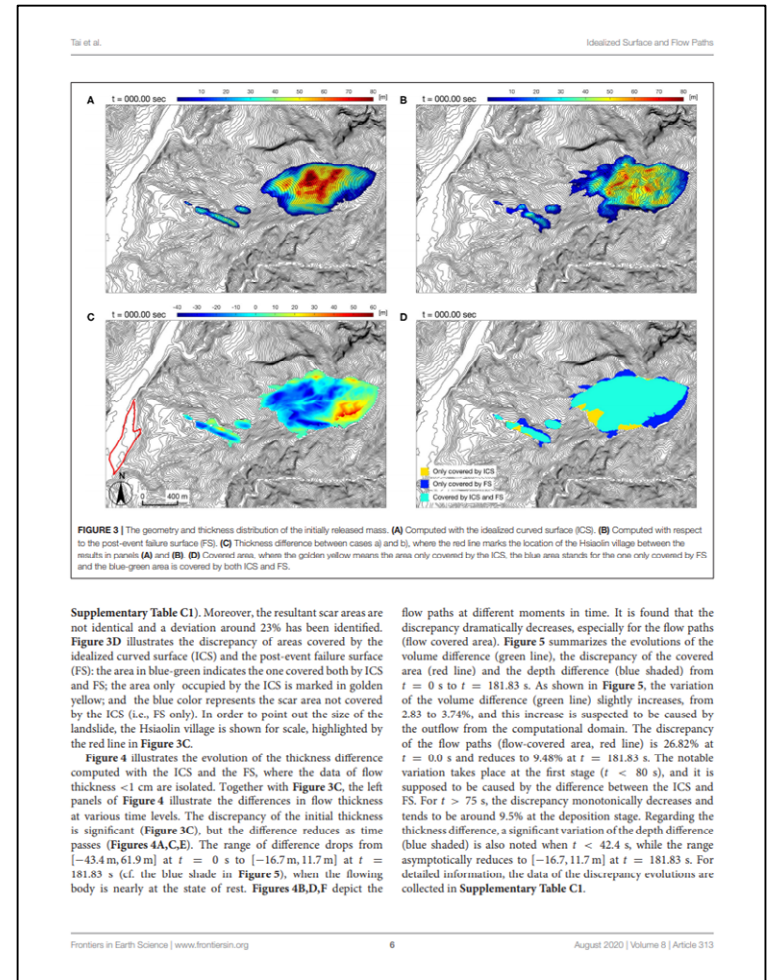
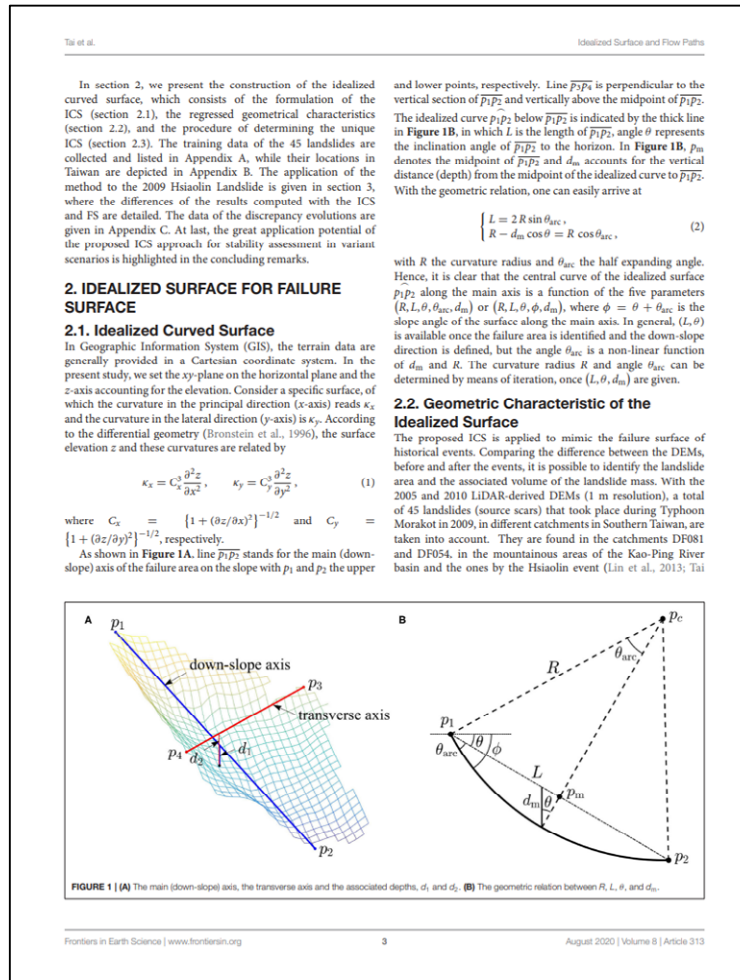
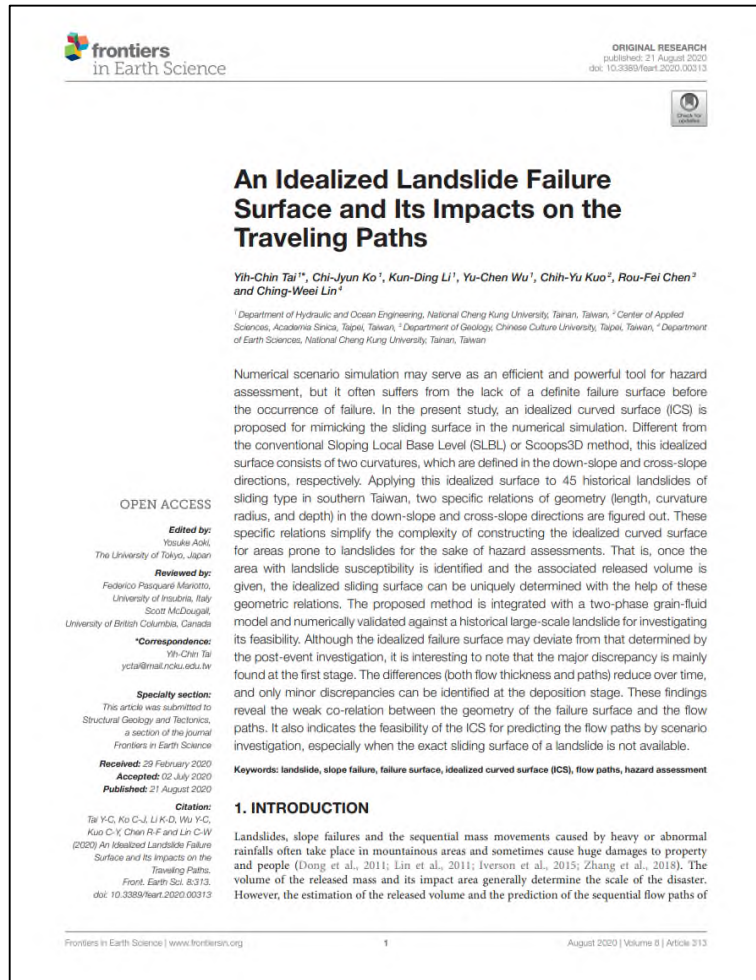


最小深度(>0.1公尺)



# 研究成果與討論

## ► SCI期刊



# 研究成果與討論

## ➤ 國際研討會

### ➤ European Geosciences Union, 2019 Apr 7-15, Vienna, Austria

- How well can we approximate the failure surface and estimate the amount of landslide mass? — *An idealized failure surface for predicting its traveling path*

Yih-Chin Tai<sup>1\*</sup>, Kun-Ding Li<sup>1</sup>, Yu-Chen Wu<sup>1</sup>, Chih-Yu Kuo<sup>2</sup>, Rou-Fei Chen<sup>3</sup> & Ching-Weei Lin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dept. Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University, 701 Tainan, Taiwan

<sup>2</sup> Research Center for Applied Science, Academia Sinica, 105 Taipei, Taiwan    <sup>3</sup> Department of Geology, Chinese Culture University, 111 Taipei, Taiwan

<sup>4</sup> Department of Earth Sciences, National Cheng Kung University, 701 Tainan, Taiwan



Vienna, Austria, 7-15 April, 2019

NH3.16/ GM7.7/ HS11.42

EGU2019-7364 X3.139

### ➤ The 9th International Workshop on Multimodal Sediment Disaster, 2019 Oct 17-19, Japan Mie University

- An Idealized Curved Surface for Landslide Failure and its Impacts on the Flow Paths

Chi-Jyun KO, Kun-Ding LI, Yu-Chen WU and Yih-Chin TAI\*

Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University, Taiwan

E-mail: yctai@mail.ncku.edu.tw

### ● A Web-based Hazard-mapping Demonstrating System

Yih-Chin TAI<sup>\*1</sup>, Chi-Ting NI<sup>2</sup>, Sia-Haut TAN<sup>2</sup> and Darby Tien-Hao CHANG<sup>3</sup>

<sup>\*1</sup> Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University, Taiwan

E-mail: yctai@mail.ncku.edu.tw

<sup>2</sup> Department of Computer Science and Information Engineering, National Cheng Kung University, Taiwan

<sup>3</sup> Department of Electrical Engineering, National Cheng Kung University, Taiwan

### ➤ 10th International Workshop on Multimodal Sediment Disasters (MSD) 預計於110年1月舉辦

- GPU-integrated shallow flow simulation tool with Web-based 3D visualization
- GIS-integrated rainfall-runoff model as alternative for debris flow run-out properties



# 研究成果與討論

## ➤ 國內研討會

### ➤ 第43屆全國力學會議，逢甲大學，2019/11/29-11/30

#### 中華民國力學學會年會暨第43屆全國力學會議

2019年11月29-30日 逢甲大學



#### 理想崩塌破壞曲面可行性之探討

李坤銳<sup>1</sup>，戴義欽<sup>1</sup>，柯奇均<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 國立成功大學水利及海洋工程學系

水保局創新研究計畫編號：108保發-10.1-保-01-06-001(41)

論文編號：09382



#### 中華民國力學學會年會暨第43屆全國力學會議

2019年11月29-30日 逢甲大學



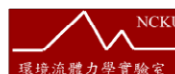
#### 地形座標系統於極崎嶇地形之應用

吳昱辰<sup>1</sup>，戴義欽<sup>1</sup>，柯奇均<sup>1</sup>，王福杰<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 國立成功大學水利及海洋工程學系

水保局創新研究計畫編號：108保發-10.1-保-01-06-001(41)

論文編號：09388



### ➤ 第44屆全國力學會議，宜蘭大學，2020/11/26-11/27



降雨逕流模式與地理資訊系統之介面化計算架構

柯奇均<sup>1</sup>、王福杰<sup>1</sup>、陳柏志<sup>2</sup>、戴義欽<sup>1</sup>

<sup>1</sup>國立成功大學 水利及海洋工程學系  
<sup>2</sup>國立成功大學 資訊工程學系

2020/11/27

水保局創新計畫：109保發-11.1-保-01-06-001(42)  
Dept. Hydraulic and Ocean Engineering, NCKU, TAIWAN



與地理資訊系統整合之  
數值模式與網頁呈現模組

GIS INTEGRATED WEB-BASED SYSTEM FOR SCENARIO  
INVESTIGATION ON NUMERICAL SIMULATION MODULES

王福杰\*、柯奇均、戴義欽  
國立成功大學水利與海洋工程學系

水保局創新計畫：109保發-11.1-保-01-06-001(42)



# 結論與建議

---

## ➤ 理想化曲面與崩塌破壞範圍與破壞深度之整合

- 在無法明確預測破壞面以及崩塌量體的前提下，此法可為災害評估時的取代(權宜)方案。
- 透過切片法穩定性分析尋找最小安全係數所在的深度來建構理想崩塌曲面，看似合理，但是在與實際案例的應用探討時發現會有超過1倍的誤差量；主要原因是尚未考慮水文地質條件，也可能為非一次性的破壞( ➔ 階段序列式的破壞，有待後續更進一步的探討)。
- 因此本案主要以Guzzetti et al. (2009)的面積體積經驗公式來估算理想化曲面的破壞深度。

## ➤ 理想崩塌破壞曲面幾何特性之精進探討

- 總共探討高屏溪流域24處(共28個資料)案例進行理想崩塌曲面幾何特性的分析。
- 對於體積誤差大於30%的區域，其破壞面的幾何形狀均極為崎嶇破碎，甚至有多個深度局部峰值的情形，極有可能為數個小規模的破壞所組成。
- 經過切割成數個局部小規模區域，體積誤差則顯著縮小。
- 本案亦從探討的45個區塊案例歸納出面積體積經驗公式(Tai et al., 2020)，與Guzzetti et al. (2009)的經驗公式相仿。

# 結論與建議

---

## ➤ 小林村崩塌案例應用

- 理想破壞曲面為平滑曲面 ➔ 與實際崩塌破壞曲面有所差異
- 透過數值模擬，土砂運移路徑、以及最終土體堆積深度、分布範圍的差異不大，也與衛星影像呈現的範圍相當。
- 採用理想破壞曲面，對於崩塌潛勢區的風險評估以及後續土沙運移行為具備一定的參考價值。

## ➤ 三維可視化圖形多視角立體呈現成果

- 已整合土石流土體動態模擬數值模式(DFMfGT)與理想破壞曲面，可針對大規模崩塌潛勢區域進行情境模擬。
- 可透過網頁輸入數值模式(DFMfGT)所需的相關參數、以及選取地形資料檔案。
- 可透過所建構的網頁瀏覽理想化破壞曲面，並進行後續情境模擬。
- 可跨平台瀏覽(PC windows、Linux、MacOS、平板、智慧手機 均可使用)。
- 三維立體地形均可任意放大、縮小、旋轉，前後左右平移以及調控光線投射的角度。
- 整合將航空或是衛星影像(正攝影像)，透過三維立體地形來擬真這些數位影像。

# 敬請指教

---

成功大學

(水利及海洋工程學系)

