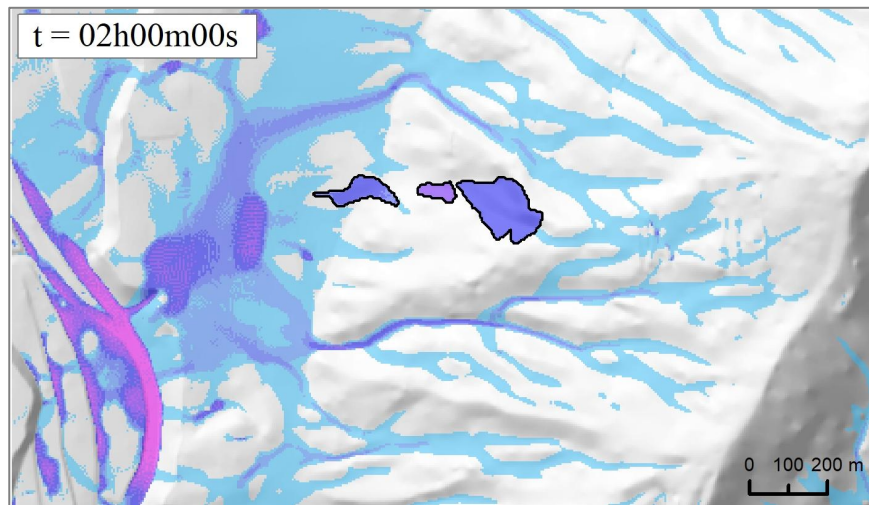
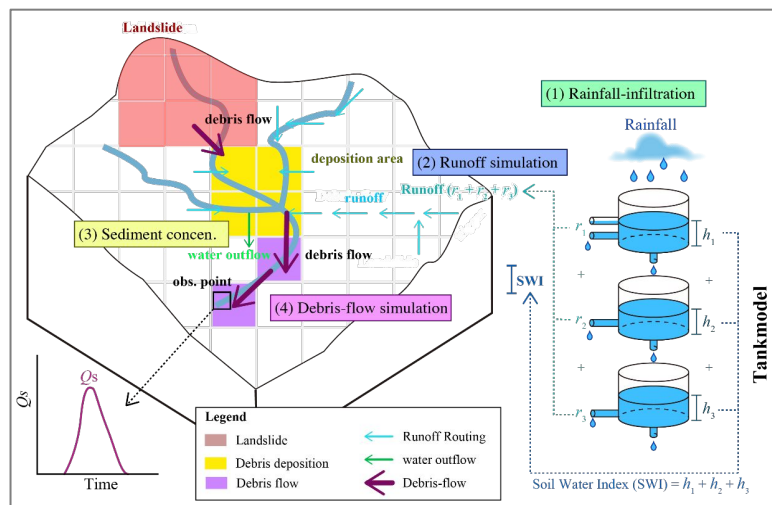




簡易土石流模式之精進與圖形化介面開發



國立彰化師範大學 地理學系

陳毅青 副教授

113 年 11 月 19 日

土石流 (debris flow)

緣起目標

執行步驟

工作進度

1. 介面開發

2. 改善模擬

3. 模式驗證

結論建議

土石流係指泥、砂、礫及巨石等物質與水之 **混合物**，受**重力**作用所產生之流動體，沿坡面或溝渠由高處往低處流動之自然現象。



土石流產生條件：

豐富堆積物：足夠的鬆散土砂提供土石流中所需的固態物質。

充份水分：充分之水分能降低土石流中土砂之間的摩擦力，是很好的潤滑劑，能夠幫助固態物質流動。

足夠坡度：足夠大的斜面坡度讓土石流有流動的動力，使土石流能克服土石間的摩擦力後繼續向低處流動。



土石流模式

土石流模式類型

緣起目標

執行步驟

工作進度

1. 介面開發

2. 改善模擬

3. 模式驗證

結論建議

• 非牛頓流體模式：

- 應力和應變關係非線性，物理機制較為複雜
- 假設土石流是水與固態物質間因充分混合之結果
- 軟體：Flo-2D、Debris-2D、RAMMS

• 牛頓流體模式：

- 簡化其物理機制和控制方程式
- 假設土石流是水與固態物質間因充分混合之結果。
- 模式：Hunt's model

• 顆粒流模式：



簡易土石流模式 (SDFmodel)

緣起目標

執行步驟

工作進度

1. 介面開發

2. 改善模擬

3. 模式驗證

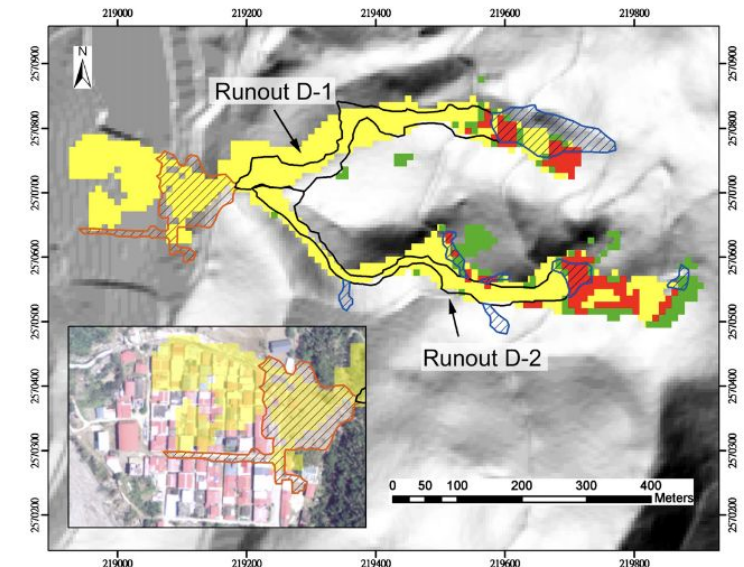
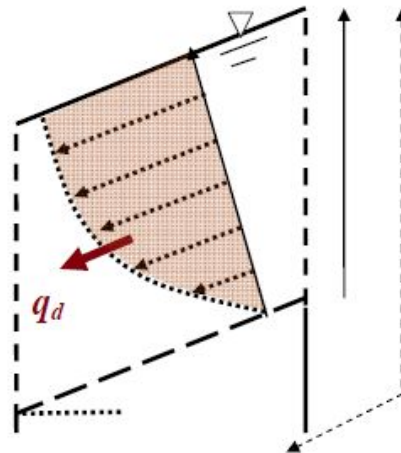
結論建議

- 姜壽浩 (2012) 基於 Hunt's 模式, 發展 **多重災害評估模式 ISOLAD** (Integrated SOil moisture-LAndslide- Debris flow model)
- Hunt's (1994) 根據 Navier-Stokes 方程式, 將土石流流體簡化為穩定流態

$$q_d = \int_0^{h_d} u_d dz = \frac{gh_d^3}{3\nu} \sin \theta$$

重力 土石流流深

運動黏滯係數 坡度

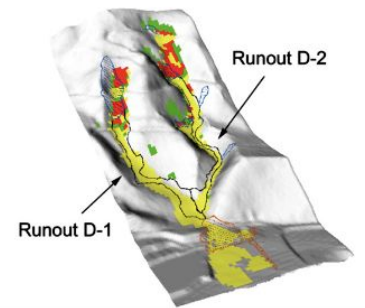


Aerial photo interpretation

- Deposition
- Landslide
- Runout

Model simulation

- Predicted initiation cell
- Predicted unstable cell
- Predicted runout



Chiang (2012) Simulation of event-based landslides and debris flows at watershed level



緣起目標

緣起目標

執行步驟

工作進度

1. 介面開發

2. 改善模擬

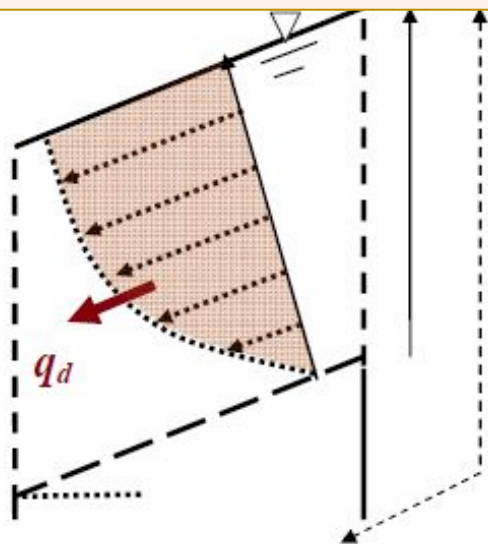
3. 模式驗證

結論建議

- 簡易土石流模式 (Simplified Debris-Flow model, SDF-model), 假設條件簡易, 簡化土石流的運動機制, 快速模擬土石流動態運移和影響範圍, 可在 BigGIS 線上執行。
- 假設土石流黏滯和體積濃度為定值, 忽略坡面 水文和土砂 混合的參數變化。

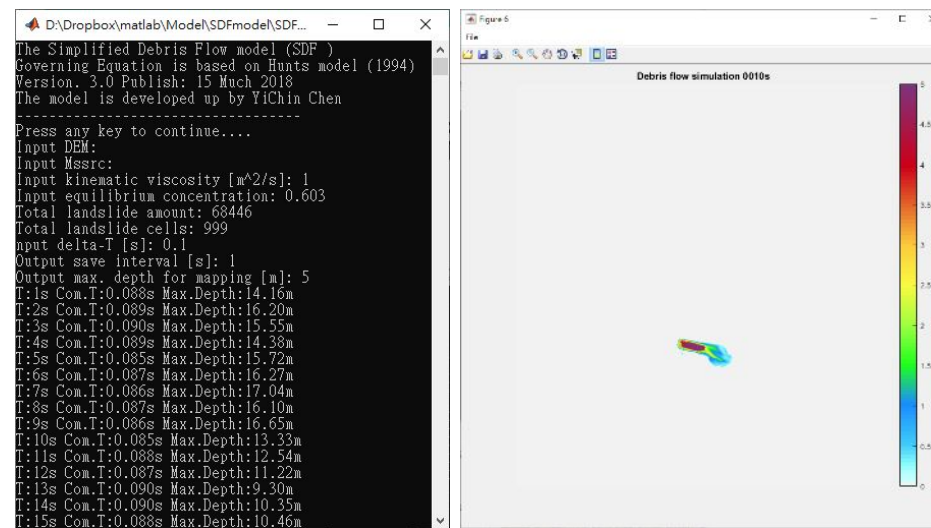
目前SDF-model缺乏單機GUI介面

Hunts model土石流的流速剖面

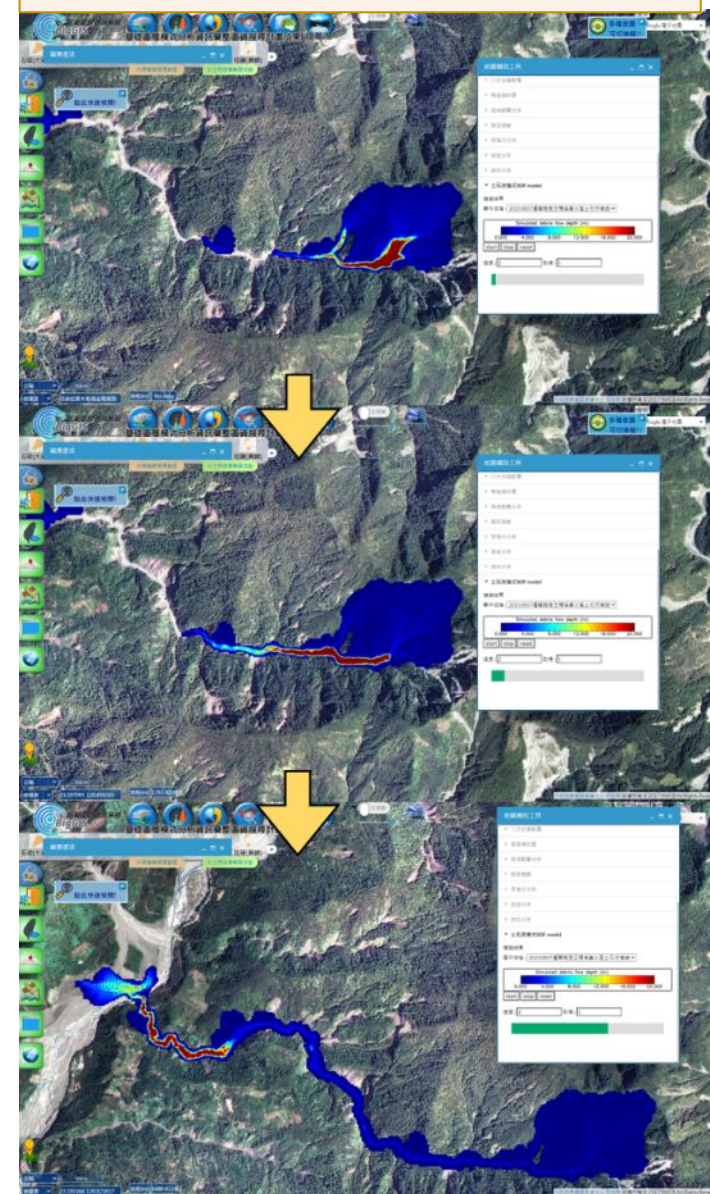


圖片來源: Hunt (1994); 姜壽浩 (2010)

SDFmodel 的操作介面



在BigGIS上運行SDFmodel



簡易土石流模式 (SDFmodel)

緣起目標

執行步驟

工作進度

1. 介面開發
 2. 改善模擬
 3. 模式驗證
- ### 結論建議

- **陳毅青 (2015) 參考ISOLAD, 發展簡易土石流模式 (Simplified Debris-flow Model, SDFmodel), 讓學生學習土石流分析。**

4. 模擬有水坑土石流與學校場址

- 1999年集集地震後，南投內湖國小因校舍重建問題，引發教育部和台大校方論戰，請分析有水坑地區的土石流災害的可能性，以及哪些地區較適合作為校址。
- 方法和資料：
 - 簡易土石流模式
 - 數值高程模型
 - 崩塌圖層



2001年桃芝颱風後土石流



8

5. 模擬台東大鳥村土石流災害與防治對策

- 2009年莫拉克颱風，造成大鳥部落嚴重的土石流災害。
- 請模擬重現這一次土石流災害，並分析現行整治工程是否能抵擋該土石流，與規劃警戒範圍。
- 方法和資料：
 - 簡易土石流模式
 - 數值高程模型
 - 崩塌圖層



圖片來源: <https://d32015.swcb.gov.tw/commonD3/topicMorakot5>

9

執行步驟

緣起目標

執行步驟

工作進度

1. 介面開發

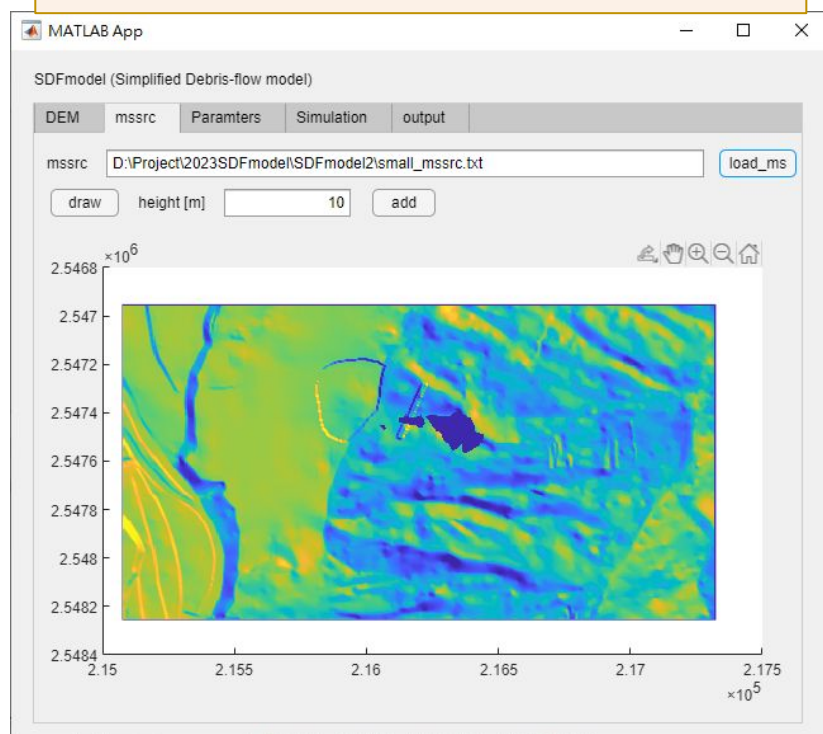
2. 改善模擬

3. 模式驗證

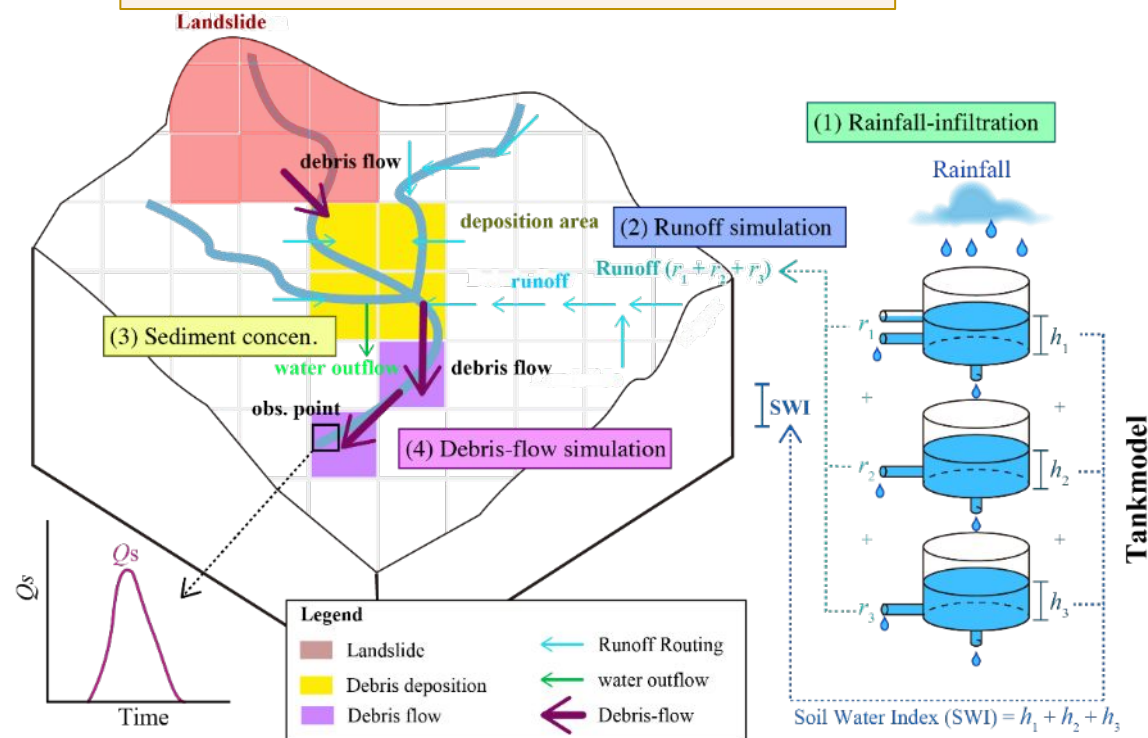
結論建議

1. 開發SDF-model單機版圖形化介面。
2. 結合水文入滲模式改進 SDF-model的土砂動態模擬的過程。
3. 蒐集三處土石流事件資料，並以 SDF-model模擬分析與驗證。

SDF-model單機版圖形化介面



SDF-model與水文模式結合之示意圖





SDFmodel模擬平台

緣起目標

執行步驟

工作進度

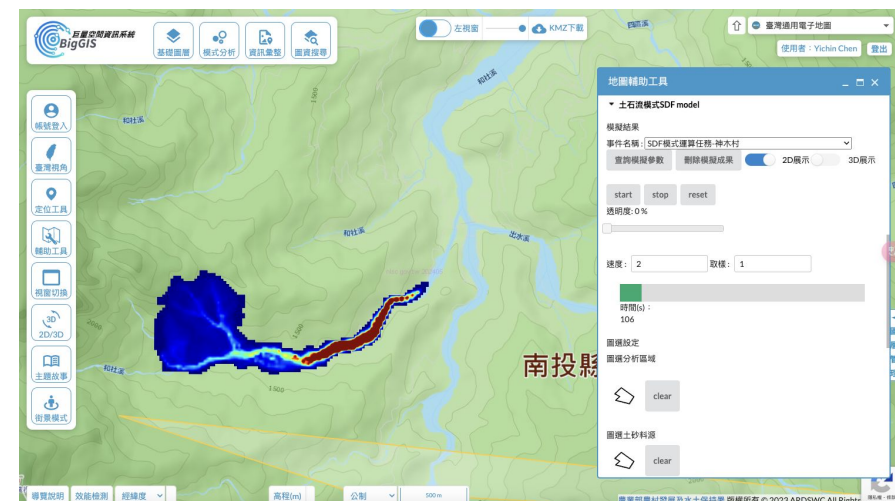
1. 介面開發
 2. 改善模擬
 3. 模式驗證
- 結論建議

BigGIS巨量空間資訊系統

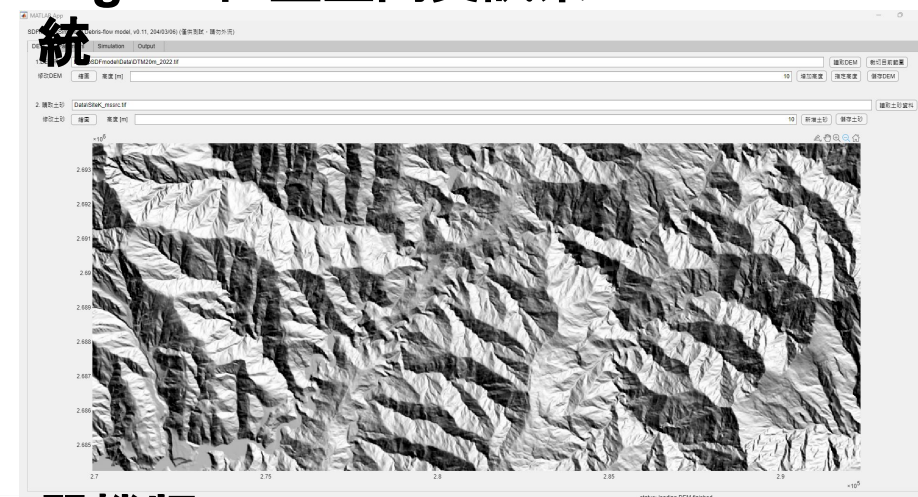
- 不需額外安裝軟體
- 線上展示模擬動畫
- 無法修改DEM與匯入土砂量資料

單機版 SDFmodel

- SDF-o (original)和SDF-w (water)
- 能修改DEM與匯入土砂量資料
- 匯出kml至其他平台



BigGIS巨量空間資訊系統



單機版 SDFmodel



BigGIS執行SDFmodel

登入帳號 ①

輔助工具 ③

The screenshot displays the BigGIS web application interface. At the top, there are navigation tabs: 基礎圖層 (Basic Layer), 模式分析 (Model Analysis), 資訊彙整 (Information Integration), and 圖資搜尋 (Map Data Search). The main map area shows a topographic map of Taiwan. On the left side, there is a vertical toolbar with icons for 帳號登入 (Account Login), 臺灣視角 (Taiwan View), 定位工具 (Location Tool), 輔助工具 (Auxiliary Tools), 視窗切換 (Window Switch), 2D/3D, 主題故事 (Theme Story), and 街景模式 (Street View Mode). On the right side, there is a panel titled 地圖輔助工具 (Map Auxiliary Tools) which contains the 土石流模式SDF model (Landslide Mode SDF Model) interface. This interface includes a 模擬結果 (Simulation Result) section with a dropdown for 事件名稱 (Event Name) set to 土石流模擬 (Landslide Simulation), buttons for 查詢模擬參數 (Query Simulation Parameters), 刪除模擬成果 (Delete Simulation Results), and a toggle for 2D/3D display. Below this are buttons for start, stop, and reset, a transparency slider, and input fields for 速度 (Speed) and 取樣 (Sampling). There is also a 時間(s) (Time in seconds) field and a 圖選設定 (Map Selection Setting) section with a 圖選分析區域 (Map Selection Analysis Area) and a 圖選土砂料源 (Map Selection Sediment Source) button. The bottom of the interface has a status bar with 導覽說明 (Navigation Guide), 效能檢測 (Performance Check), 經緯度 (Coordinates), 高程(m) (Elevation in meters), 公制 (Metric), and a scale bar.

④ 地圖輔助工具

⑤ 土石流模式

② 確認是否登入帳號



BigGIS執行SDFmodel

瀏覽模擬結果

圖輔

土石流模擬

20220803日本新潟縣村上市下岩內區豪雨土石流模擬

20210807盧碧颱風玉穗溪集水區土石流模擬

20210807盧碧颱風高市DF072土石流模擬

20210807盧碧颱風高市DF106土石流模擬

SDF模式運算任務

SDF模式運算任務

事件名稱

✓ SDF模式運算任務-神木村

查詢模擬參數

刪除模擬成果

2D展示

3D展示

start

stop

reset

展示模擬結果

透明度: 0 %

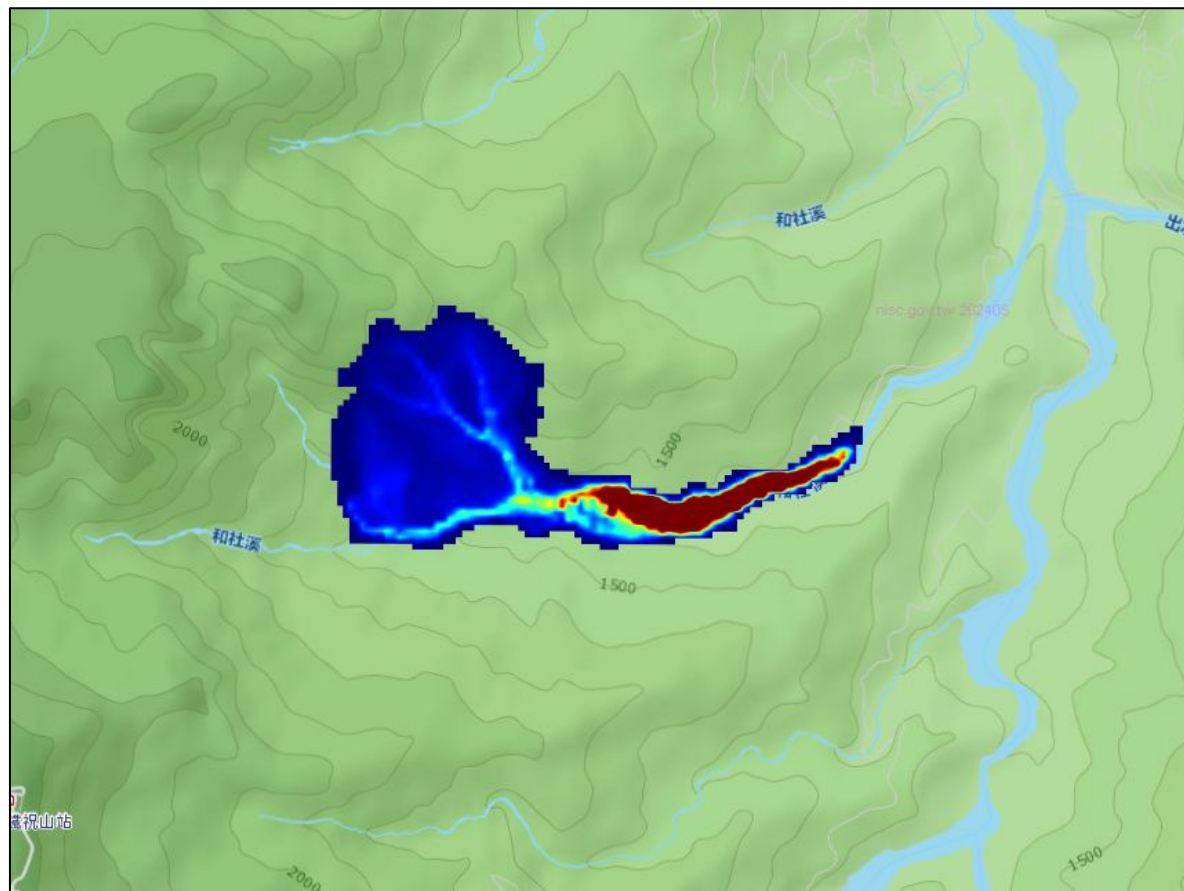
速度: 2

取樣: 1

時間(s): 1

1

瀏覽過去模擬成果





單機版 SDFmodel 圖形化介面

緣起目標

執行步驟

工作進度

1. 介面開發

2. 改善模擬

3. 模式驗證

結論建議

DEM

讀取與編修數值地形模型，
如於DEM增加防治工程等

mssrc

讀取與編修崩塌土砂量

Parameters

用於設定模式參數

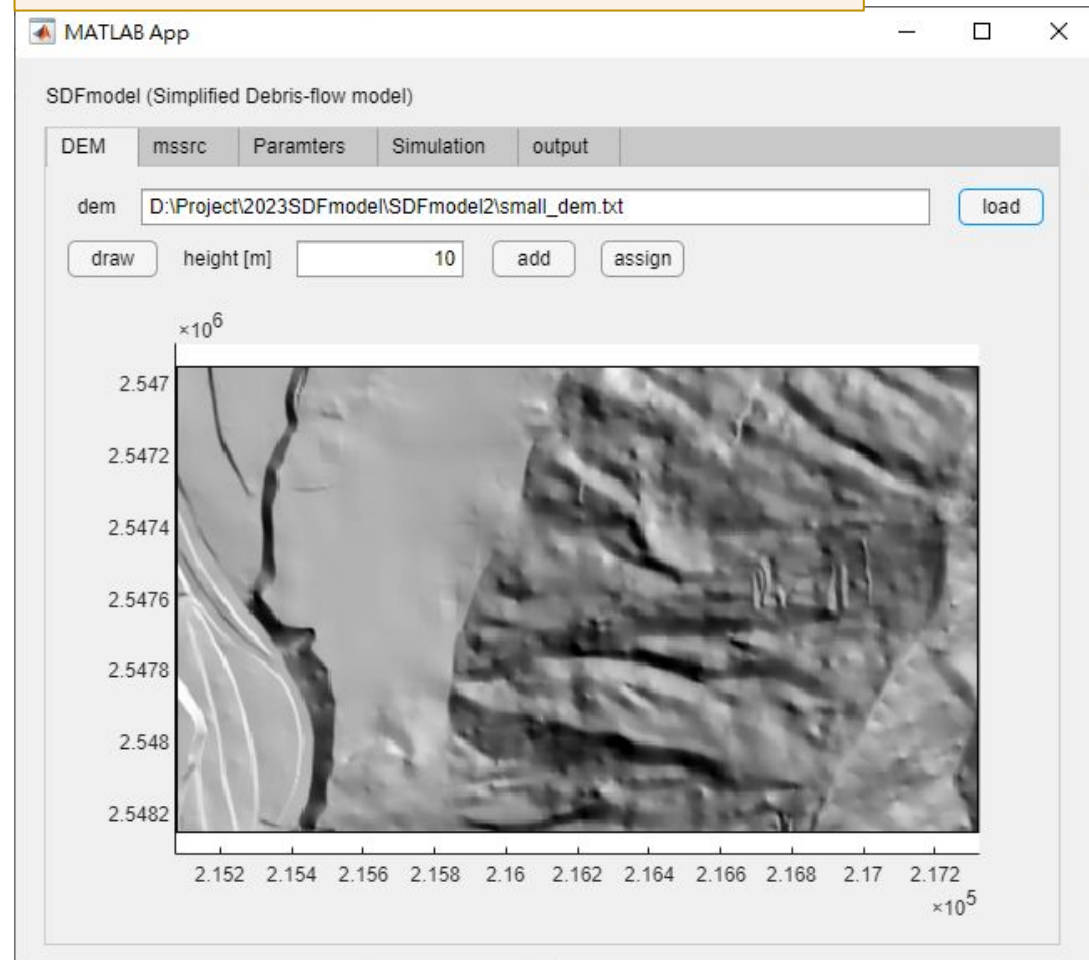
Simulation

展示模擬動態變化過程

output

輸出GIS或Google Earth
kml格式

單機版 SDFmodel 圖形化介面





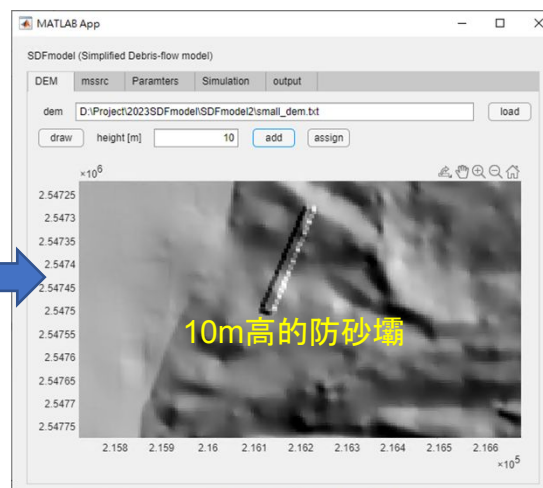
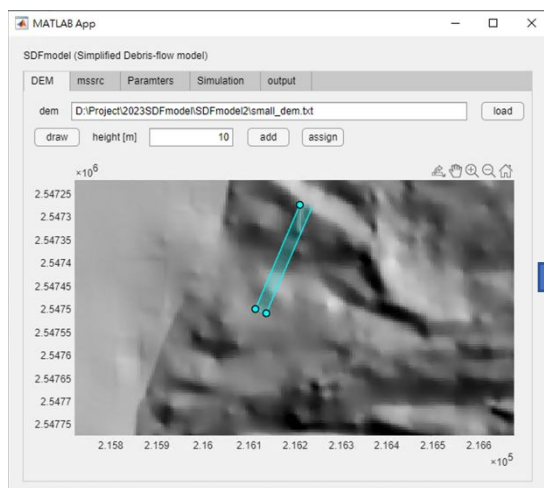
單機版 SDFmodel 圖形化介面

緣起目標
執行步驟
工作進度

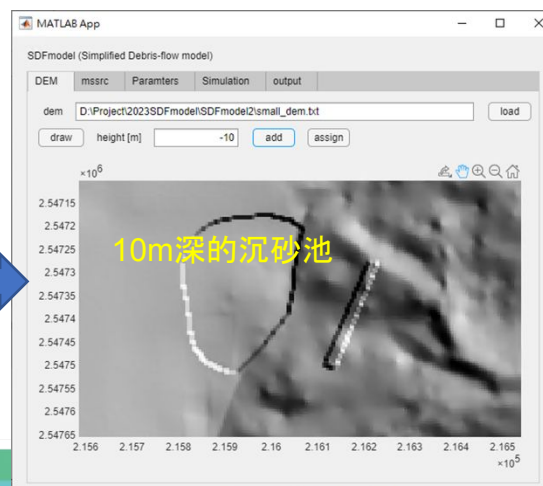
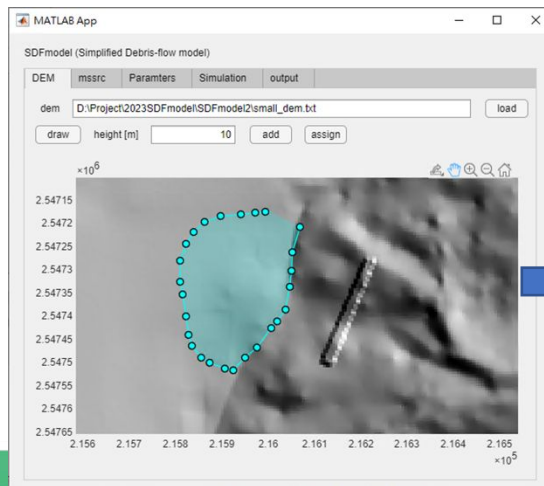
1. 介面開發
 2. 改善模擬
 3. 模式驗證
- 結論建議

1) 邊修DEM增加水土保持工程

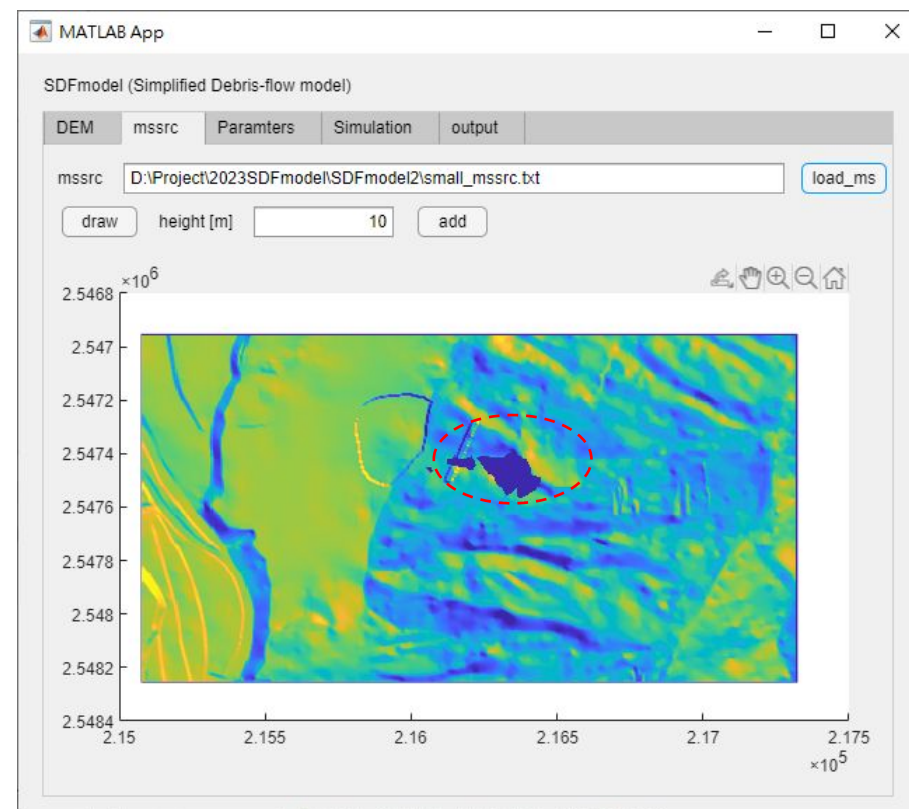
野溪中增加防砂壩



下游增加沉砂池



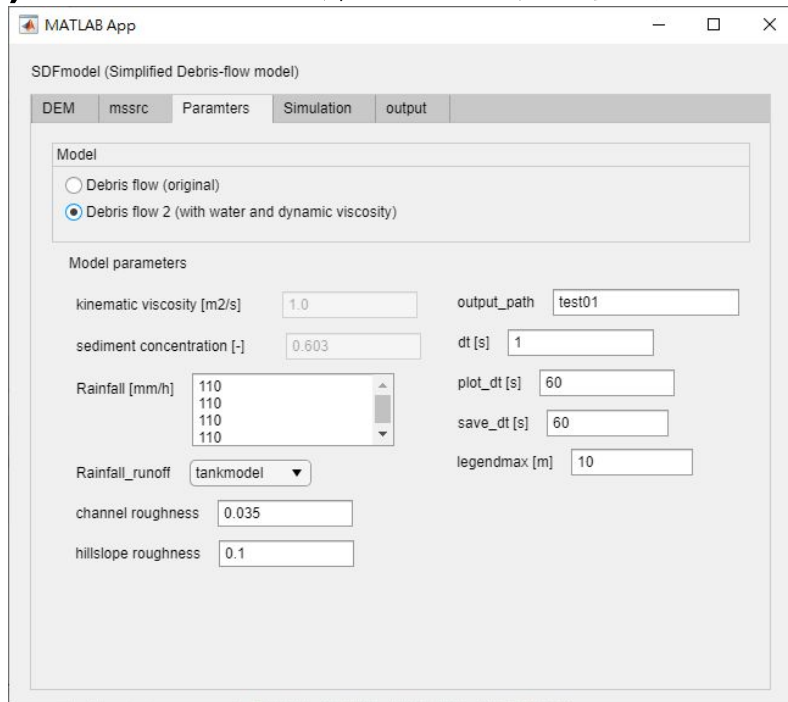
2) 讀取崩塌土砂介面邊修 DEM



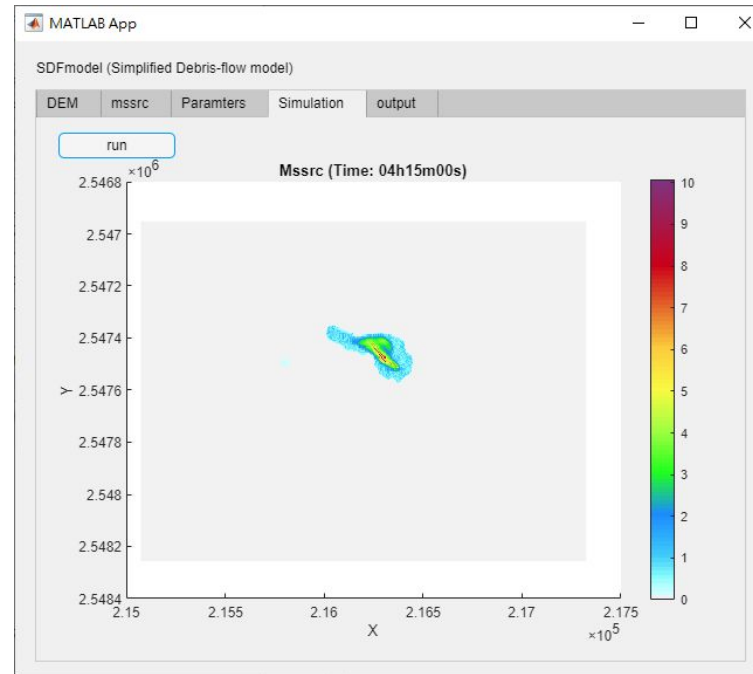


單機版 SDFmodel 圖形化介面

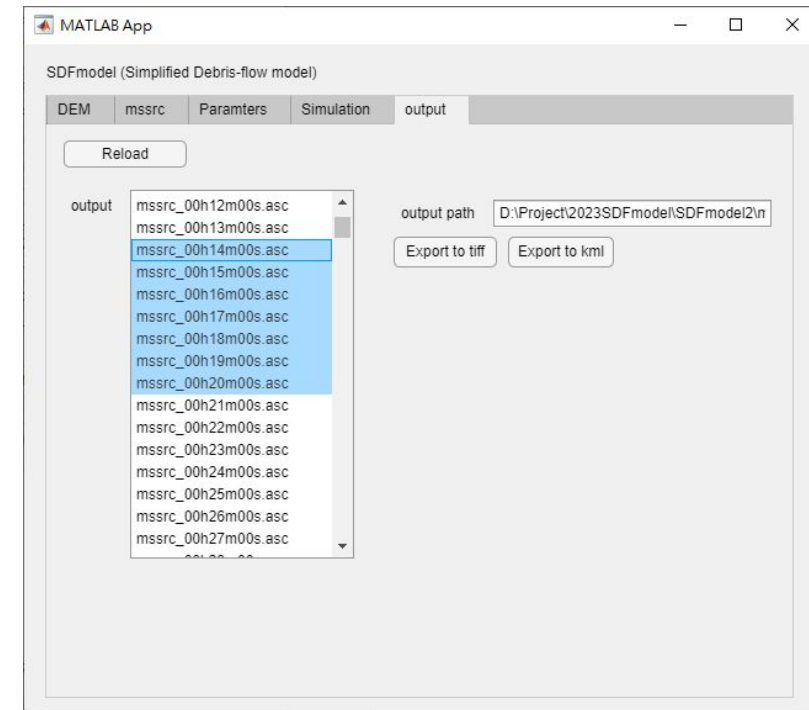
3) 設置模擬方式與參數



4) 模擬展示介面



5) 模擬結果輸出介面



SDFmodel輸入參數

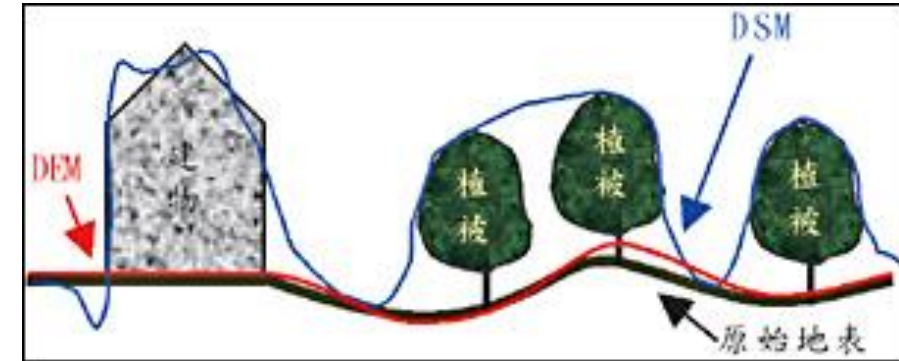
緣起目標
執行步驟
工作進度

1. 介面開發
2. 改善模擬
3. 模式驗證
結論建議

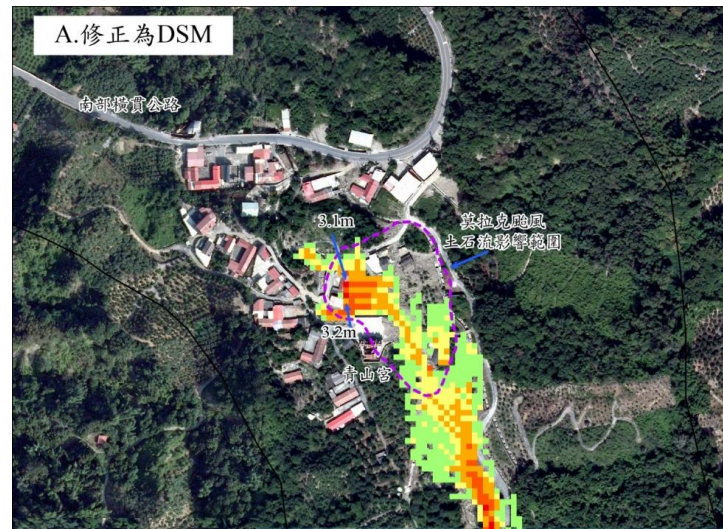
1. 地形

提供地形起伏和坡度資訊

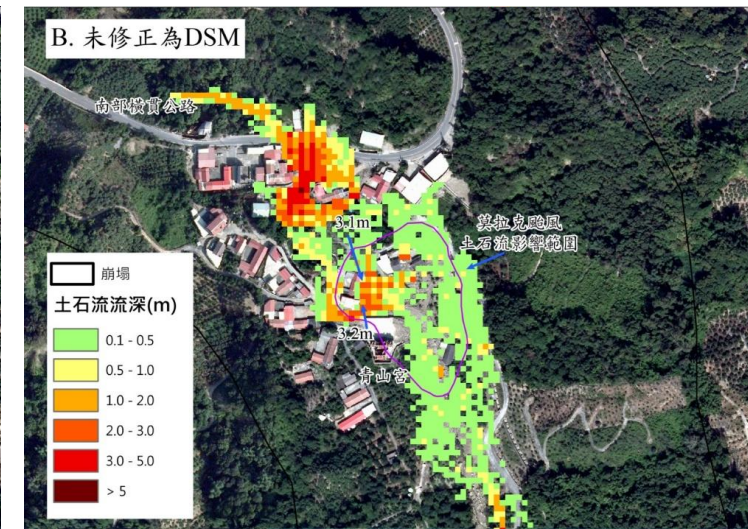
- 用 DEM還是DSM?
 - DEM: 鐵皮、磚造
 - DSM: 鋼筋混凝土
- 解析度多少?
 - 工程尺度 $\leq 2\text{ m}$
 - 集水區尺度 $\leq 20\text{ m}$
- Tiff或GeoTiff格式



DSM和DEM差異



採用DSM模擬結果



採用DEM模擬結果

SDFmodel輸入參數

緣起目標
執行步驟
工作進度

1. 介面開發
2. 改善模擬
3. 模式驗證
結論建議

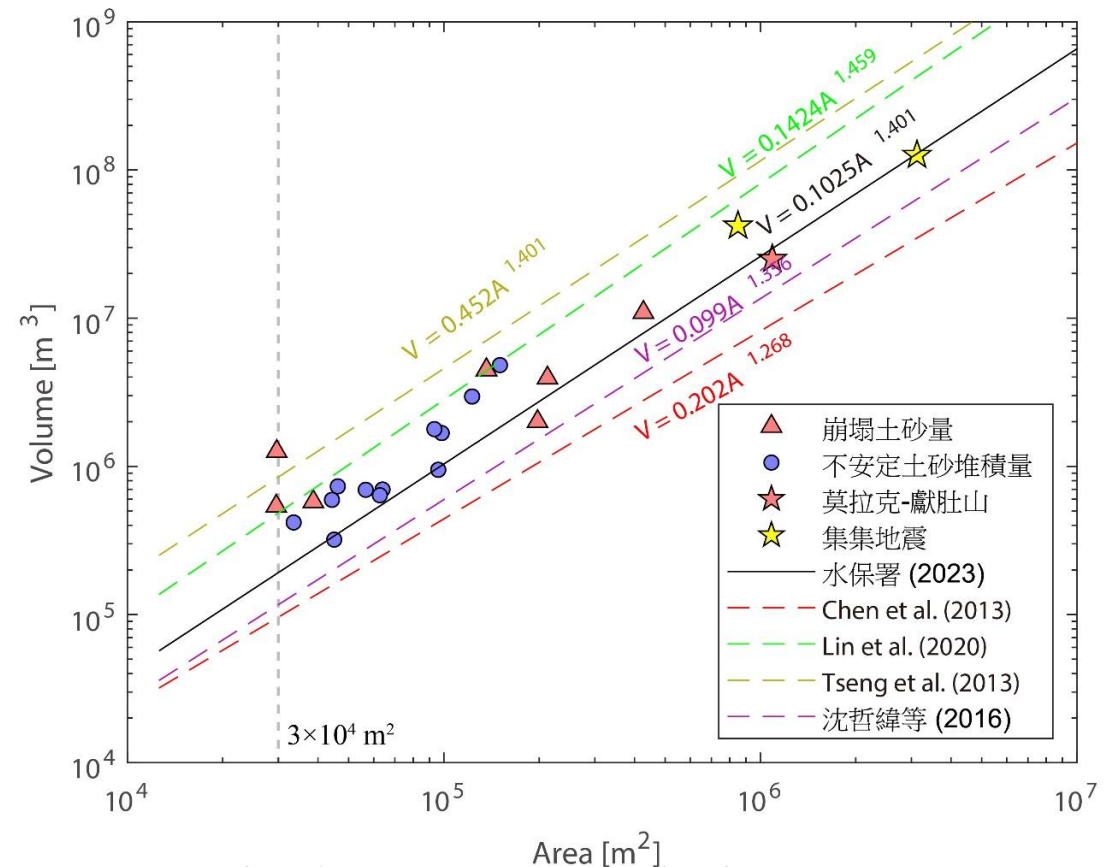
2. 土砂料

• 崩塌面積體積公式

- 農村水保署(2023)「大規模崩塌潛勢區影響範圍劃設作業流程與方法」所建議的崩塌體積-面積關係式，與觀測較為吻合。

$$V_L = 0.1025A_L^{1.401}$$

V_L : 崩塌體積 [m^3]; A_L : 崩塌面積 [m^2]



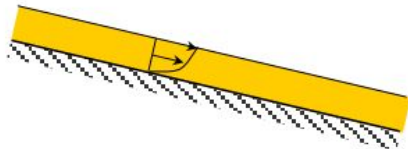
備註: 紅色三角形和藍色圓圈為112年度之寶來溪一號橋上游集水區大規模不安定土砂之崩塌土砂量和堆積量; 紅色星號為98年莫拉克颱風之獻肚山崩塌 (Tsou et al., 2012); 黃色星號為88年集集地震之草嶺和九份二山之崩塌; 黑色實線的崩塌面積-體積關係式為農村水保署(2023)「大規模崩塌潛勢區影響範圍劃設作業流程與方法」; 紅色、綠色、黃色、和紫色虛線分別為各研究所發展之崩塌面積-體積關係式。

SDFmodel輸入參數

3. 運動黏滯係數 (kinematic viscosity)

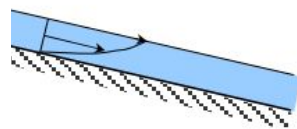
- 流體受剪應力的流動難易度。
- 土石流的動力黏滯係數建議 值
: **0.23 to 5.35 m² s⁻¹**
- 與料源型態、含水量有關

高黏滯性 不易流動



蜂蜜

低黏滯性, 容易流動



水

SDFmodel建議的運動黏滯係數表

現地料源型態	運動黏滯係數 (m ² s ⁻¹)
礫石型態料源	2.0~5.35
砂質壤土含礫石料源	1.0~2.0
砂質壤土含泥質型態料源	0.5~1.0
泥質型態料源	0.23~0.5

緣起目標
執行步驟
工作進度

1. 介面開發
2. 改善模擬
3. 模式驗證
結論建議

SDFmodel輸入參數

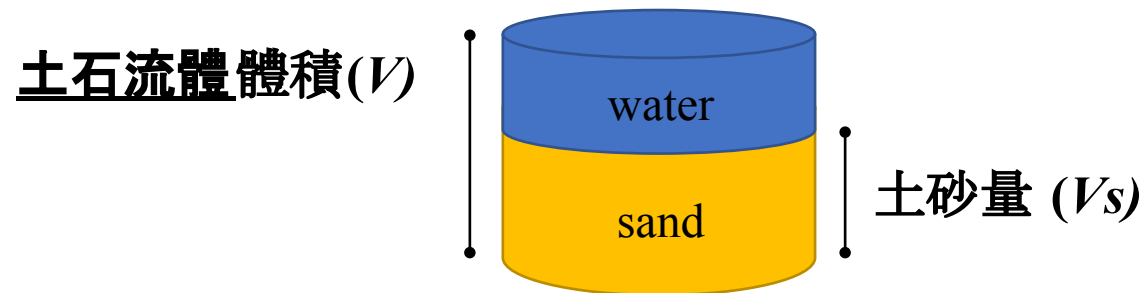
緣起目標
執行步驟
工作進度

1. 介面開發
2. 改善模擬
3. 模式驗證
結論建議

4. 土石流體積濃度 (equilibrium concentration, C_d)

- 先前土砂量未考慮「水」，實際土石流體積 (水+土)：
- 土砂在土石流體中所佔據的體積比例稱為「體積濃度 C_d 」：

$$C_d = \frac{V_s}{V}$$



水土充分混和後的土石流 (source: <http://www.irpi.cnr.it>)

SDFmodel輸入參數

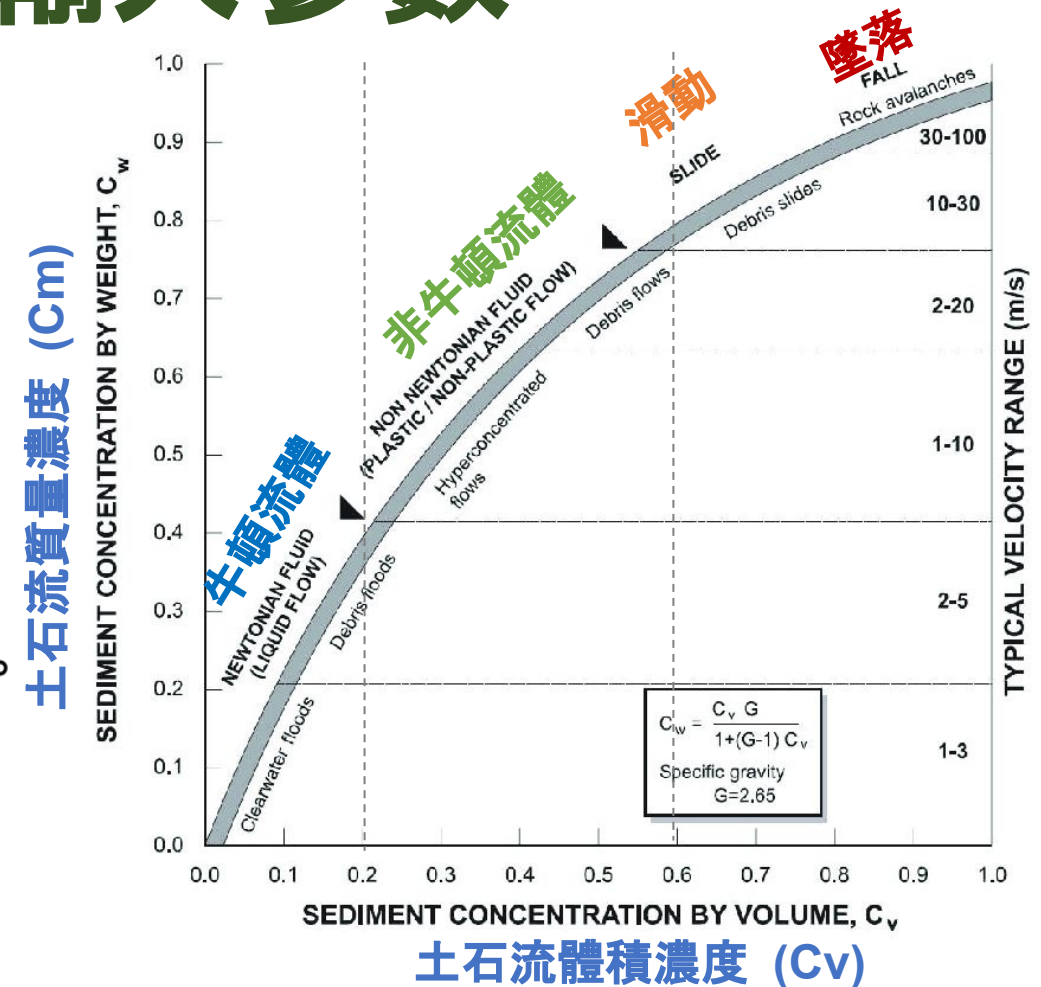
緣起目標
執行步驟
工作進度

1. 介面開發
2. 改善模擬
3. 模式驗證
結論建議

4. 土石流體積濃度

土石流濃度影響運動型態 (墜落、滑動、土石流、高含砂水)

- Takahashi實驗結果，當坡度 $\geq 17.6^\circ$ 的河谷，理論體積濃度最大值為 **0.603**。
- 土石流體積濃度建議值 **0.2~0.603**。

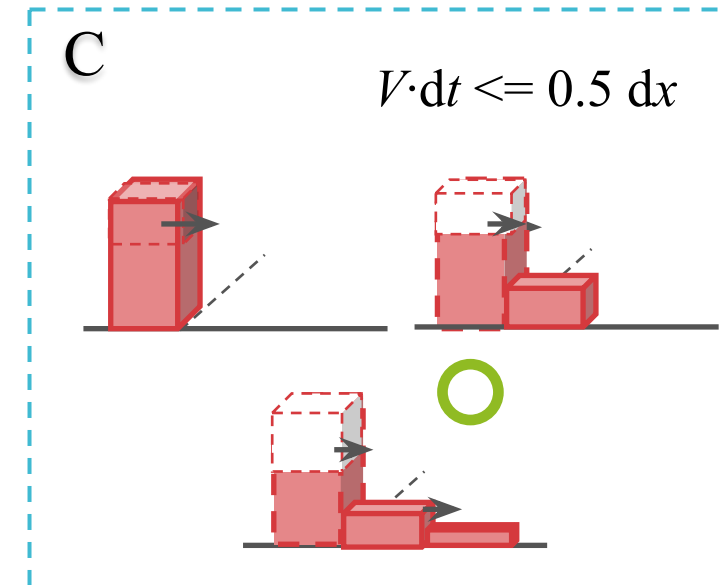
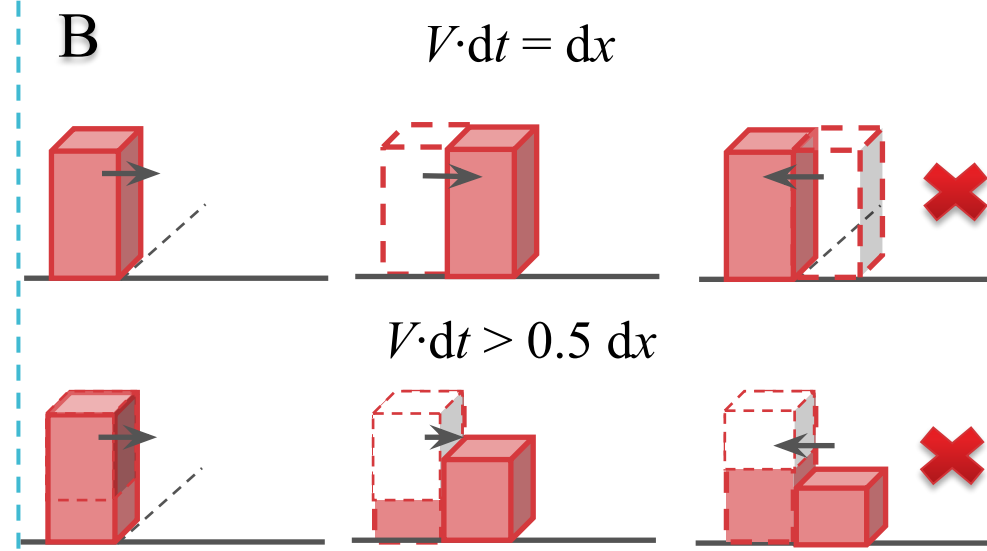
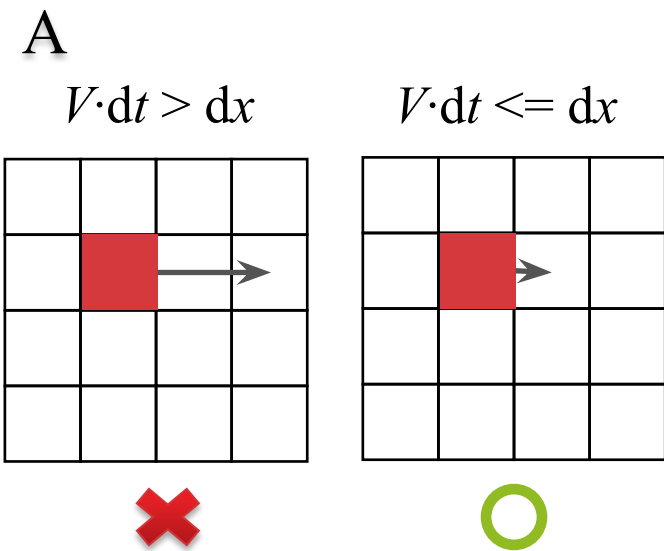


原圖修改自 Jakob and Jordan (2001), Hungr (2000) and Pierson and Costa (1987); 圖取自於 Theule J. (2012)

SDFmodel輸入參數

5. 演算時距 ($\Delta T, dt$)

- 定義：多少模擬時間進行一次向量運算。
- 在每個演算時距，移動距離 ($V \cdot dt$) 小於網格大小 (dx) 的一半
- 可類比於 Courant–Friedrichs–Lewy (CFL) 的穩定條件





SDFmodel與水文模式整合

緣起目標

執行步驟

工作進度

1. 介面開發

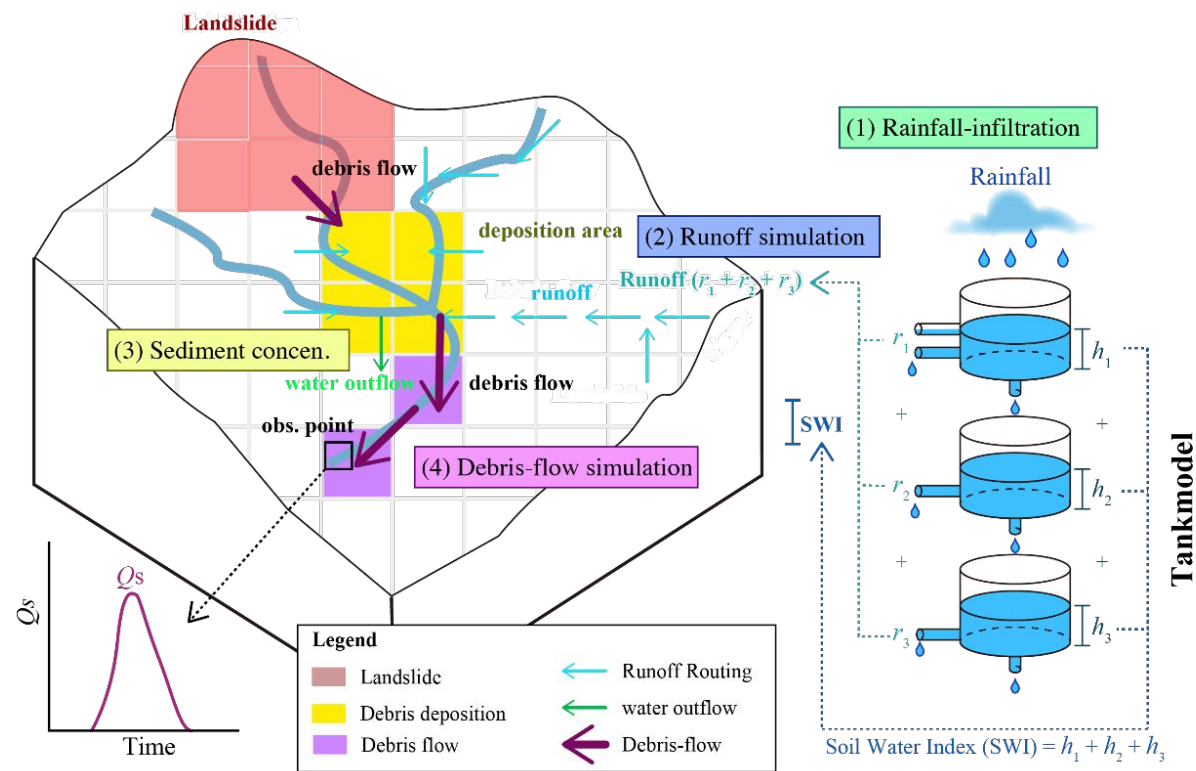
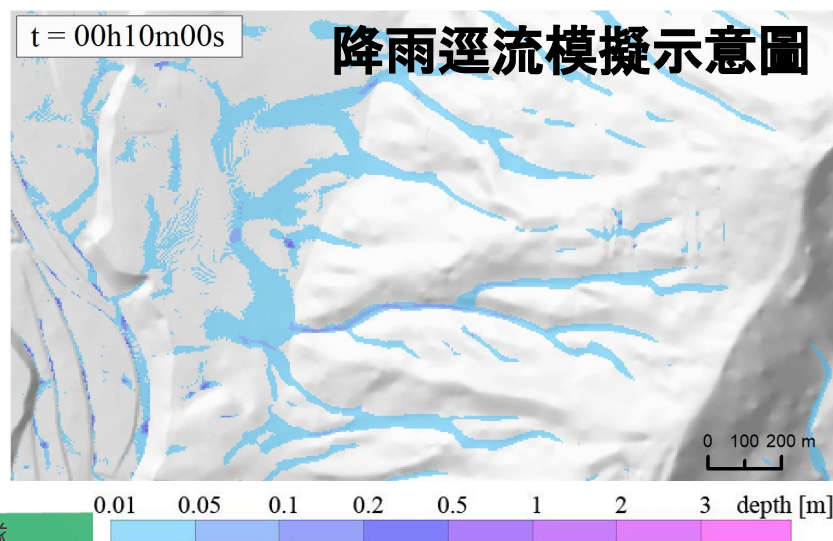
2. 改善模擬

3. 模式驗證

結論建議

- 結合水文入滲模式，改進 SDF-model 的土砂動態模擬的過程。

1. 降雨-入滲模式 (Rainfall-infiltration): 筒狀模式 (Tank model)、逕流曲線值 (Curve Number)、與混合模式。
2. 逕流模擬 (Runoff simulation)





SDFmodel與水文模式整合

緣起目標

執行步驟

工作進度

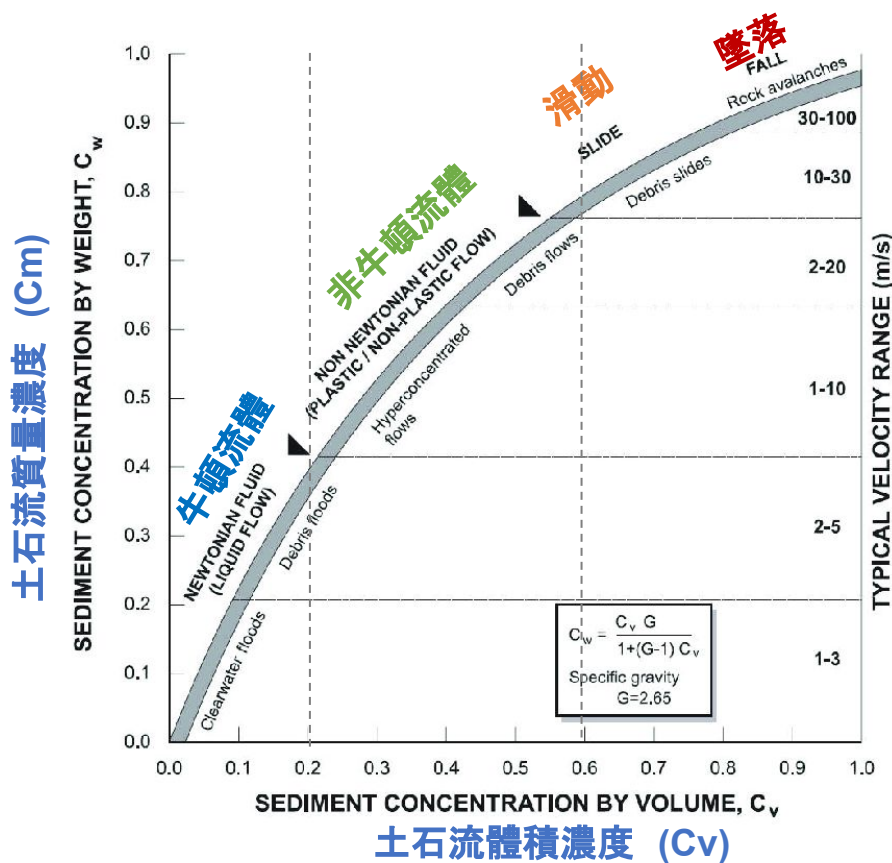
1. 介面開發

2. 改善模擬

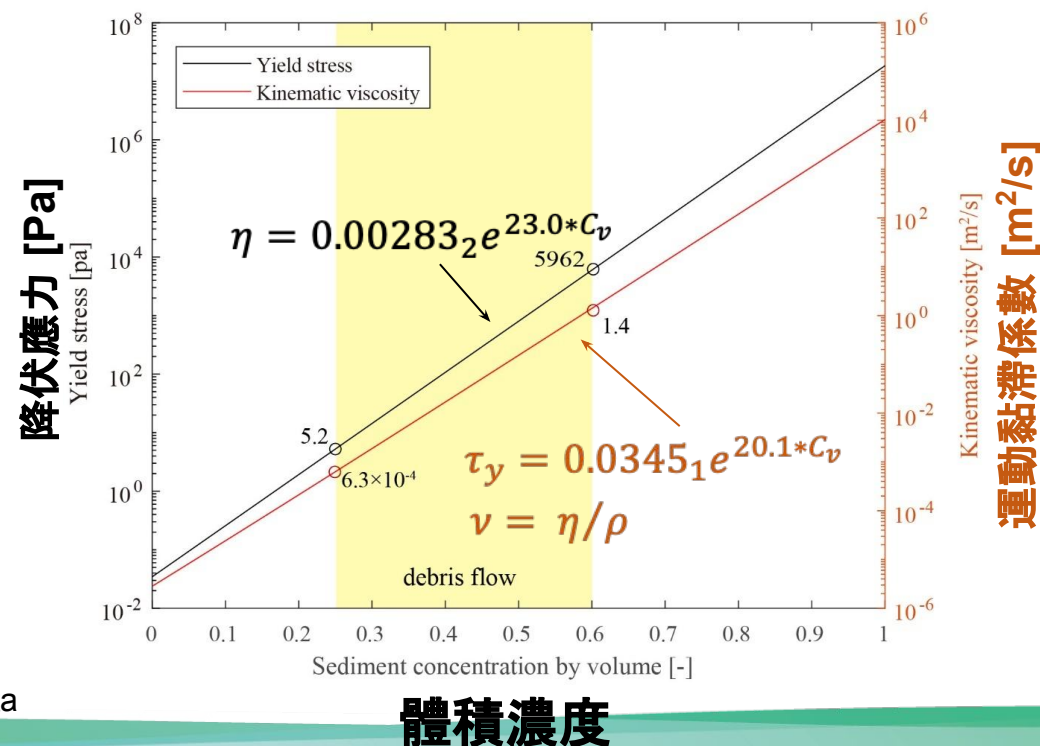
3. 模式驗證

結論建議

土石流「體積濃度」影響「運動型態」與「力學參數」。



- 體積濃度作為控制因素，模擬土石流降伏應力 (yield stress)與黏滯係數 (viscosity)變化。
- 流動條件：剪應力 > 降伏應力



原圖修改自Jakob and Jordan (2001), Hungr (2000) and Pierson and Costa

(1987);圖取自於Theule J. (2012)

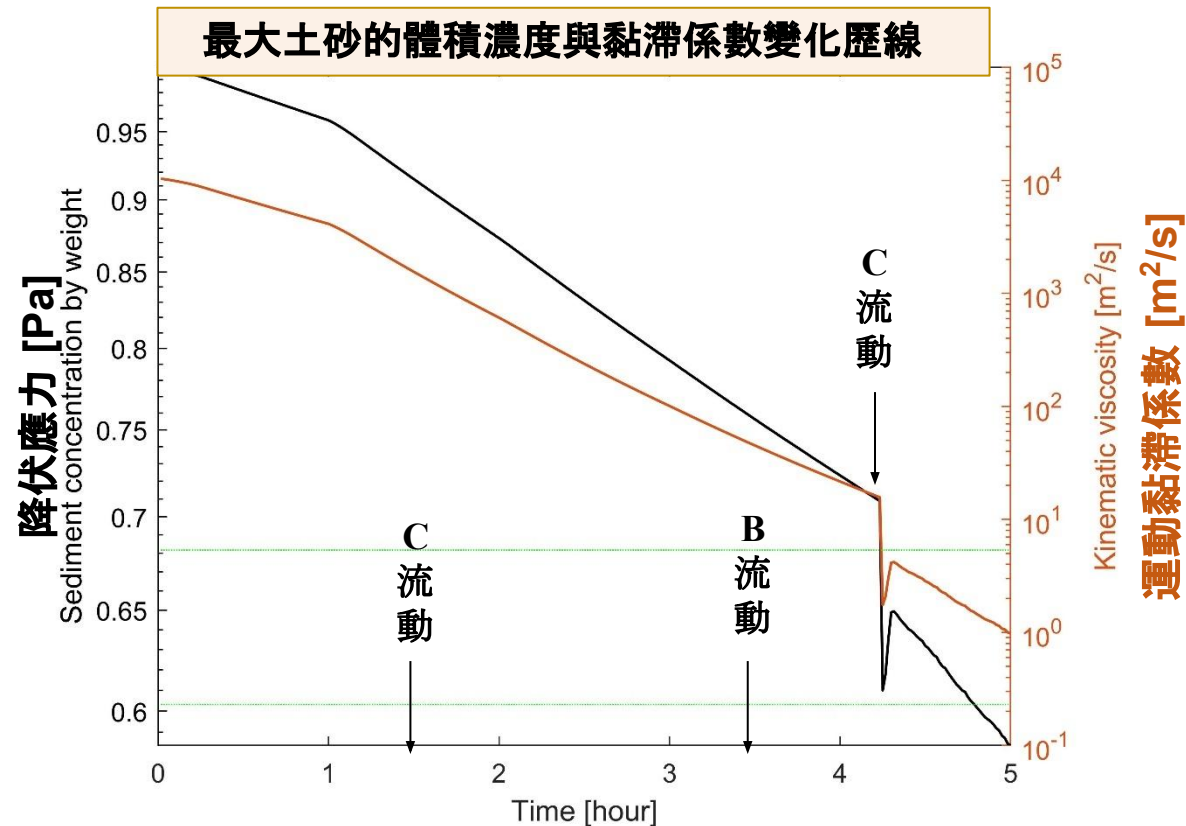
體積濃度

SDFmodel與水文模式整合

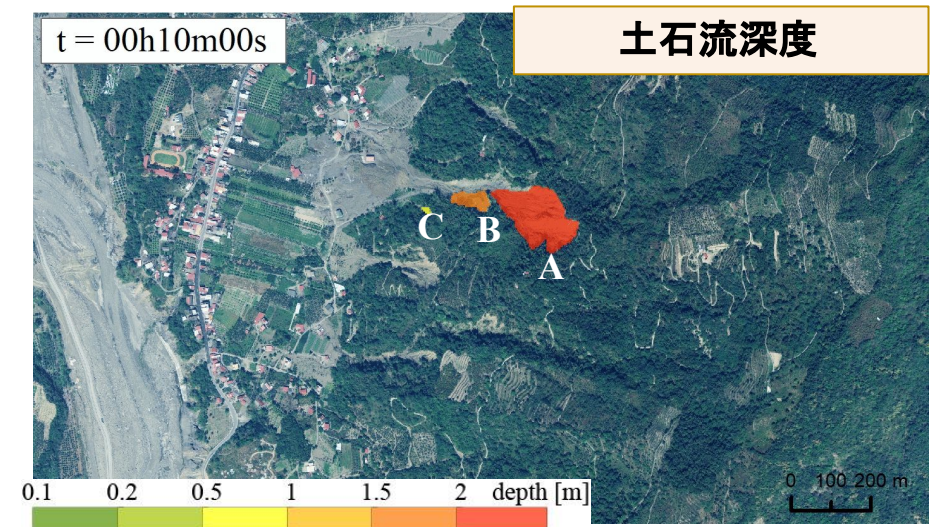
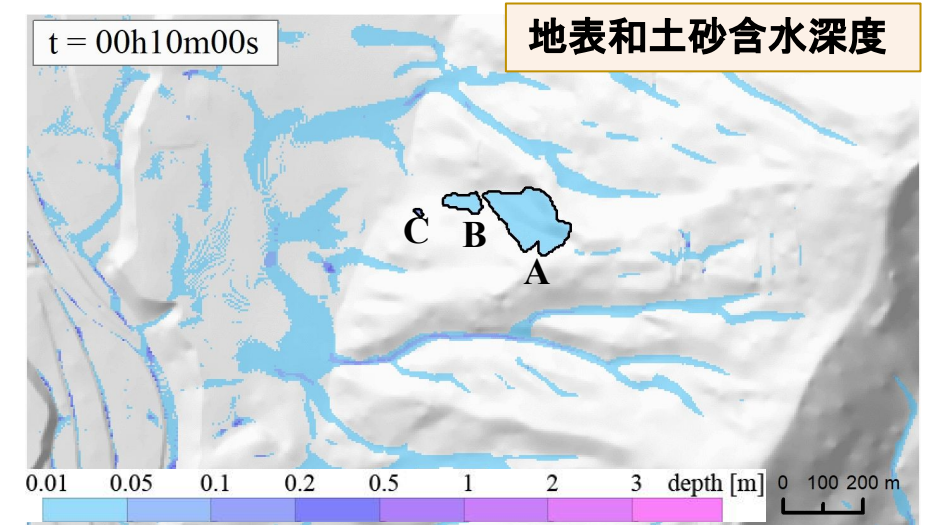
4) 試驗研究區的模擬測試

- 小崩塌土砂 → 含水量上升快 → 先啟動
- 大崩塌土砂 → 含水量上升慢 → 後啟動

緣起目標
執行步驟
工作進度
1. 介面開發
2. 改善模擬
3. 模式驗證
結論建議



電腦模擬花費時間: 約15分鐘 (電腦配備的中心處理器AMD R9 5950x, 演算時距: 1秒)

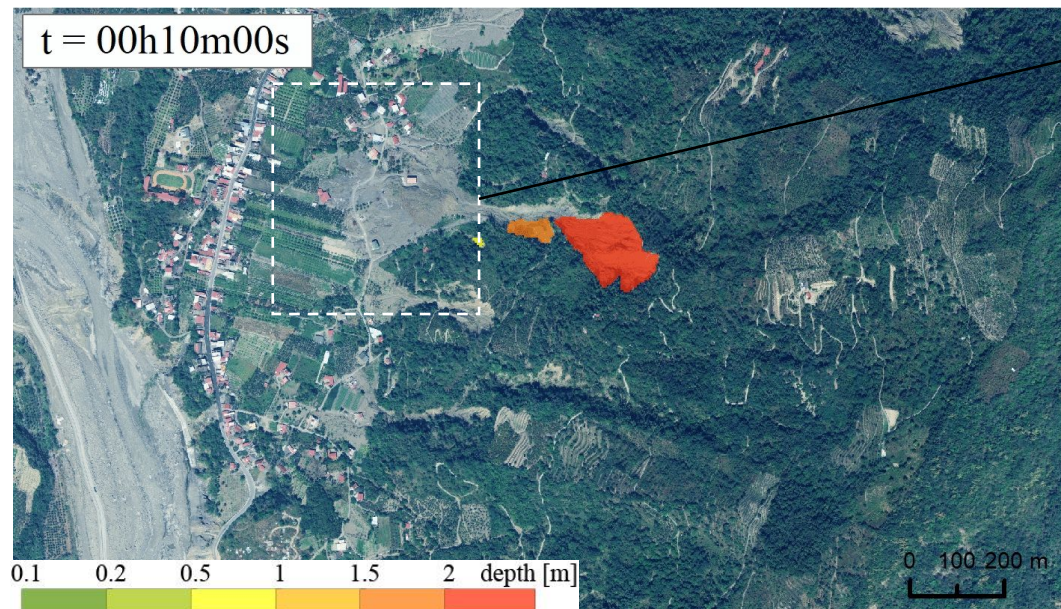


SDFmodel與水文模式整合

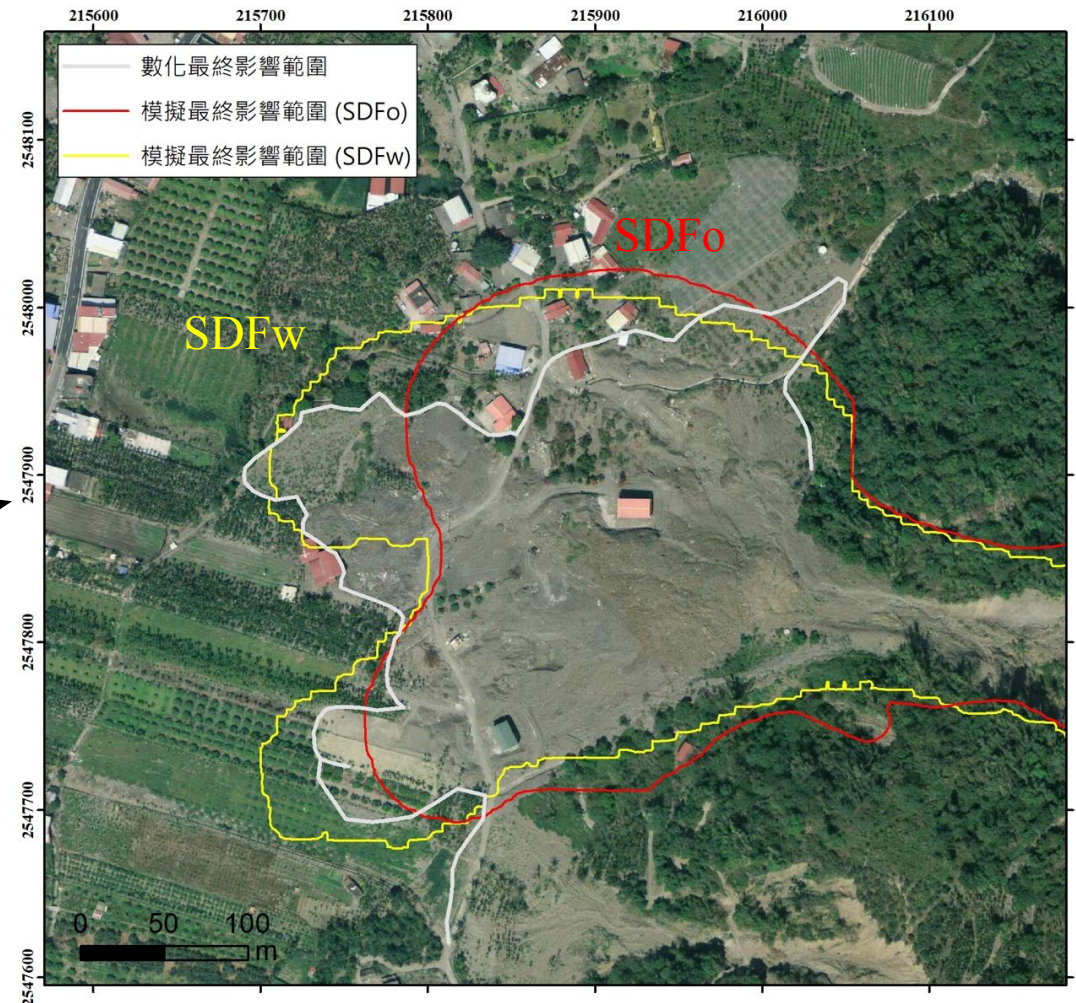
1) 98年莫拉克颱風於高雄新發里的土石流

- 崩塌體積: $Volume = 0.202 \times Area^{1.268}$ (Chen et al., 2013)
- 原始SDFmodel (SDFo): 運動黏滯係數 = $0.5 \text{ m}^2/\text{s}$; 體積濃度 = 0.603
- 動態參數SDFmodel (SDFw): 以水文模擬動態調整參數。
- 動態參數SDF結果較原始SDF佳。

緣起目標
執行步驟
工作進度
1. 介面開發
2. 改善模擬
3. 模式驗證
結論建議



高雄新發里土石流災害驗證結果



備註: 影像中土石流模擬(紅色為原始SDFo, 黃色線段為動態參數SDFw)和觀測(白色線段)的影響範圍。

SDFmodel與水文模式整合

緣起目標
執行步驟
工作進度
1. 介面開發
2. 改善模擬
3. 模式驗證
結論建議

2) 110年盧碧颱風於玉穗溪土石流

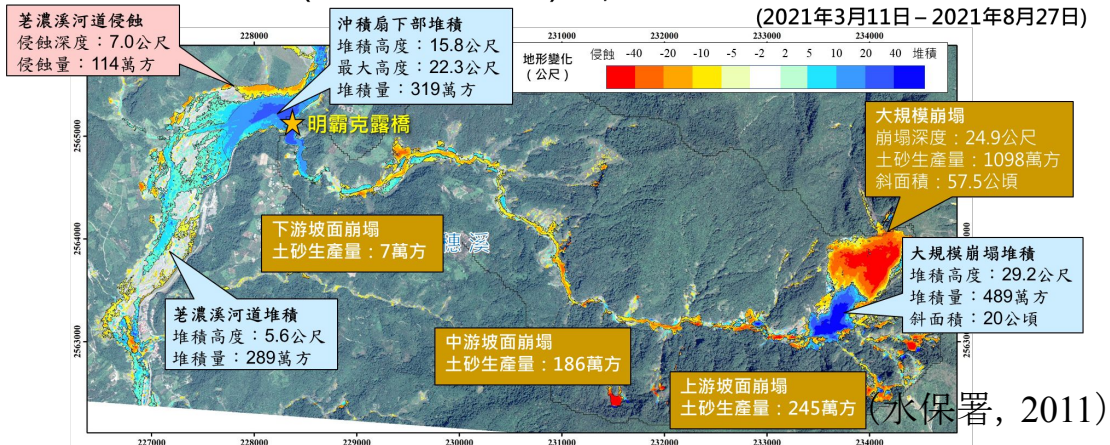
- 根據前後期DSM計算的土砂量。
- 原始SDF: 第1200秒左右, 上游大規模崩塌的土砂抵達集水區出口。
- 動態參數SDF:
 - 0h30~1h00m, 小崩塌啟動, 未在集水區出口堆積成沖積扇。
 - 2h40m~4h00, 大規模崩塌啟動, 流動到集水區出口堆積形成沖積扇。

前後期DSM計算玉穗溪土砂量

集水區土砂生產量(坡面崩塌+河道侵蝕): 1,791萬方

不安定土砂量: 739萬方

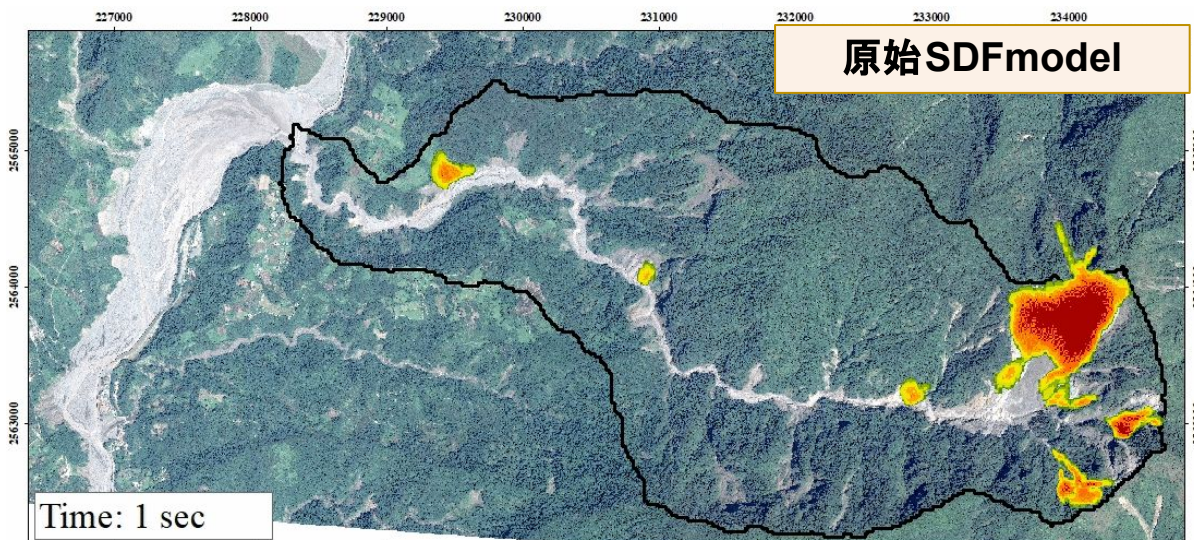
(2021年3月11日 - 2021年8月27日)



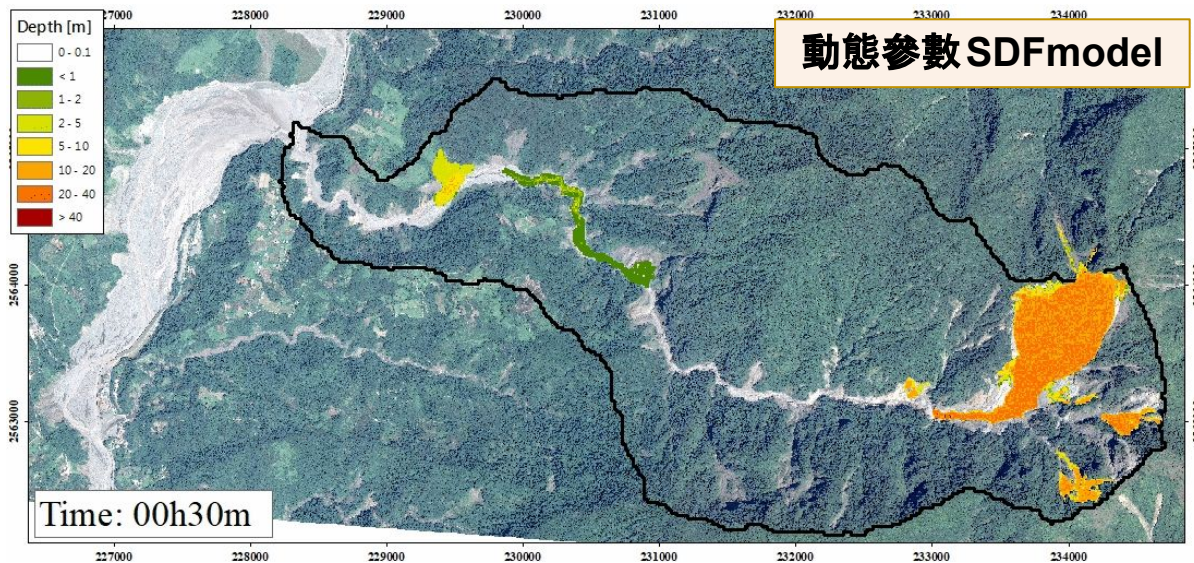
電腦模擬花費時間: 約50分鐘(電腦配備的中心處理器

AMD R9 5950x, 演算時距: 1秒)

原始SDFmodel



動態參數SDFmodel



SDFmodel與水文模式整合

2) 110年盧碧颱風於玉穗溪土石流

緣起目標

執行步驟

工作進度

1. 介面開發

2. 改善模擬

3. 模式驗證

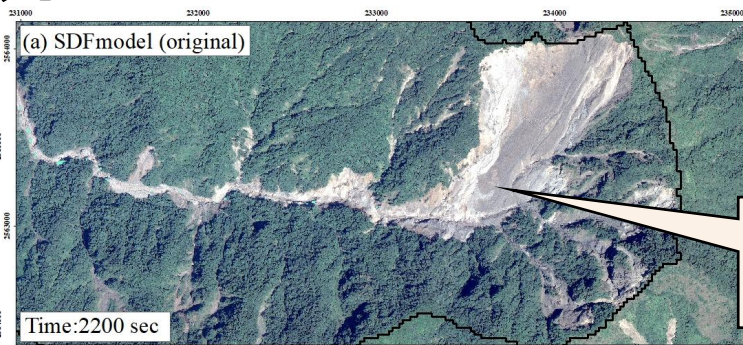
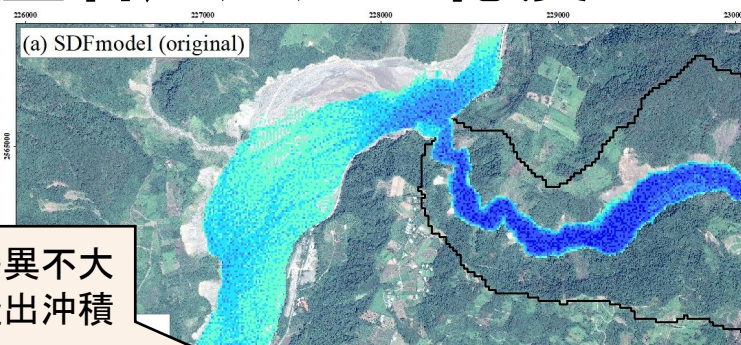
結論建議

原始SDF

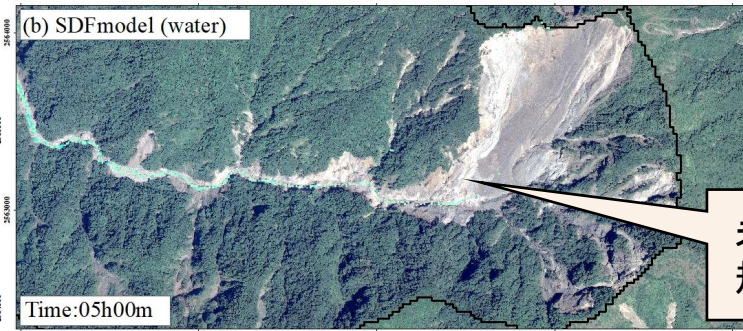
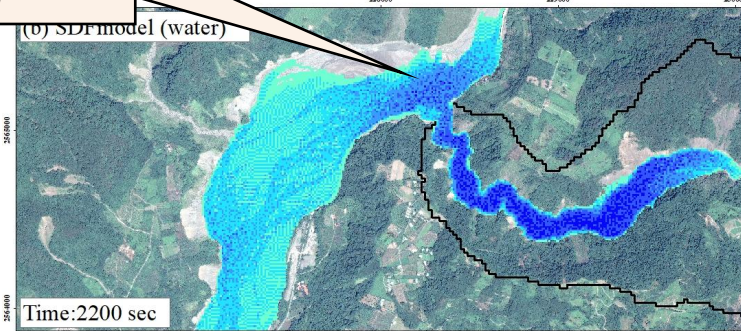
- 沖積扇堆積差異不大
- 兩者都能模擬出沖積扇範圍與深度

動態參數
SDF

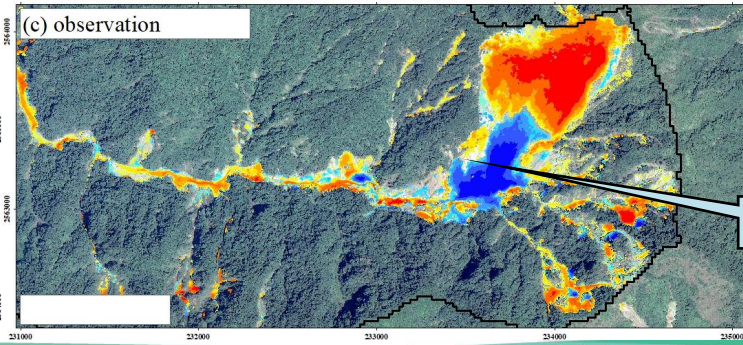
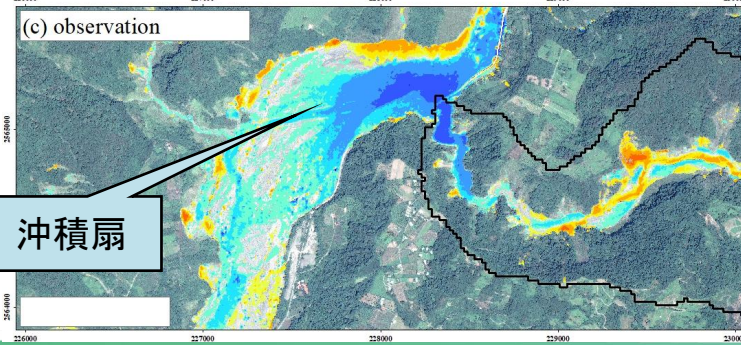
觀測結果



未能模擬出大規模土砂堆積



未能模擬出大規模土砂堆積



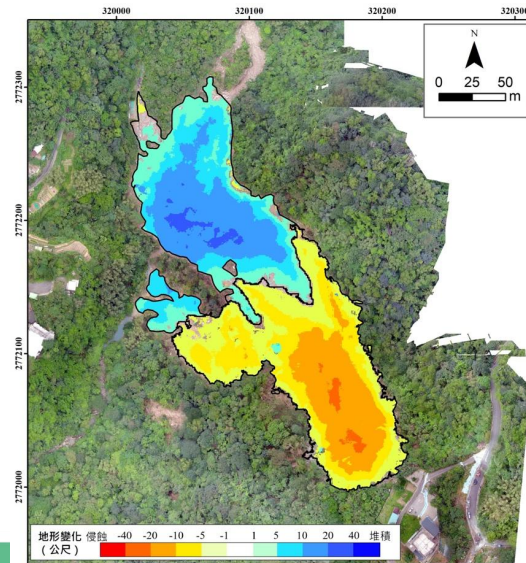
SDFmodel與水文模式整合

緣起目標
執行步驟
工作進度
1. 介面開發
2. 改善模擬
3. 模式驗證
結論建議

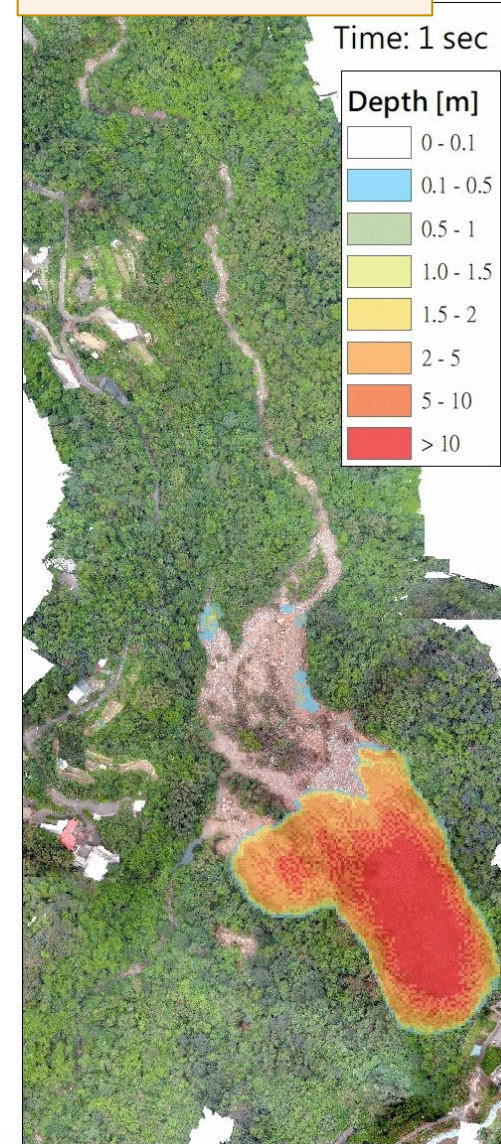
3) 111年尼莎颱風汐止鵠鵠崙土石流

- 根據前後期DSM計算的土砂量。
- **原始SDF**: 第50秒左右, 崩塌土砂已經移動到下游坡腳處堆積, 但土砂仍會持續緩慢往下移動, 至第200秒左右。
- **動態參數SDF**: 1h30m ~ 1h36m: 土石流被啟動, 持續往下游河道移動。

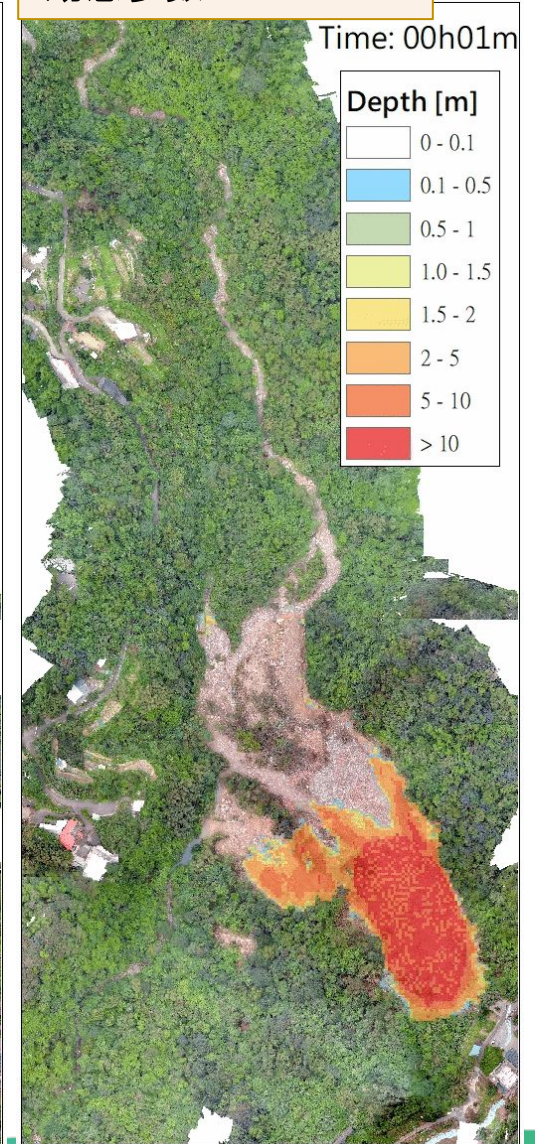
前後期DSM計算汐止
鵠鵠崙土石流土砂量



原始SDFmodel



動態參數SDFmodel



1. 開發SDF-model單機版圖形化介面。
2. 結合水文入滲模式改進 SDF-model的土砂動態模擬的過程。

- 緣起目標
- 執行步驟
- 工作進度
- 1.改善模擬
- 2.模式驗證
- 3.介面開發
- 結論建議

MATLAB App

SDFmodel (Simplified Debris-flow model)

DEM mssrc Paramters Simulation output

mssrc D:\Project\2023SDFmodel\SDFmodel2\small_mssrc.txt load_ms

draw height [m] 10 add

2.5468 $\times 10^6$

2.547

2.5472

2.5474

2.5476

2.5478

2.548

2.5482

2.5484

2.15 2.155 2.16 2.165 2.17 2.175 $\times 10^5$

[illegible]

報告完畢 敬請指教



農業部農村發展及水土保持署
與您一起打拼

113 年 5 月 31 日