



農業部農村發展及水土保持署
Agency of Rural Development and Soil and Water Conservation, MOA

應用HEC-RAS於不安定土 砂災害土體運動型態之模擬

農村發展及水土保持署
減災監測組 林駿恩

113年3月5日



簡報大綱

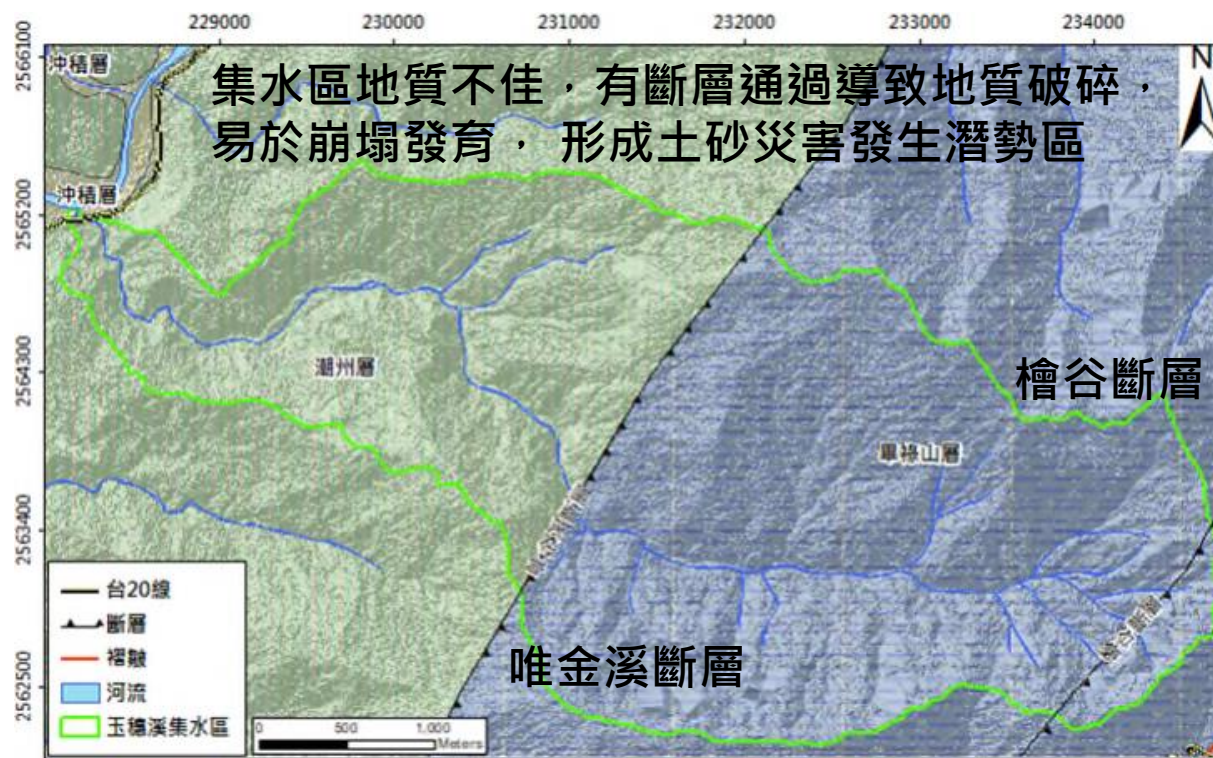
- 一、不安定土砂來源
- 二、盧碧颱風事件雨量重現期分析
- 三、土石流模式模擬結果
- 四、結論與建議



研究區域

集水區地質岩性

上游以畢祿山層為主、下游以潮州層為主，
斷層包含檜谷與唯金溪斷層。



流域險峻值(Melton's ratio)

$$MR = H/\sqrt{A}$$

H:集水區溢流點以上之最大高程差(公里)

A:溢流點以上之集水區面積(平方公里)

L:集水區流域長度(公里)



MR > 0.43 ; L < 7	土石流
0.3 ≤ MR ≤ 0.43 ; L ≤ 14	高含砂水流加土石流
MR ≥ 0.43 ; 7 ≤ L ≤ 14	
MR < 0.3	洪水

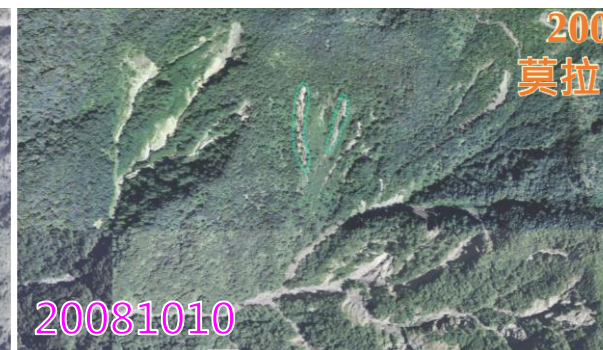




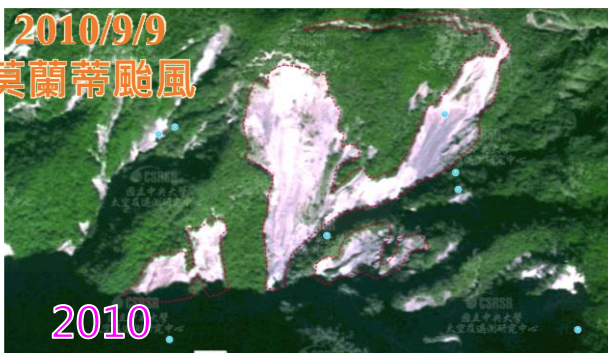
不安定土砂來源



1999/9/21
集集大地震



2009/8/8
莫拉克颱風



2010/9/9
莫蘭蒂颱風



2015/8/8
蘇迪勒颱風



2019/8/9
利奇馬颱風



2021盧碧颱風及0806豪雨



上游大規模崩塌面積約 79 ha(崩塌率約6.5%)

坡面崩塌 變遷過程	2007 0126	2008 1010	2009 1121	2010	2015 0610	2019 0408	2019 0912	2021 0713	2021 0827
崩塌面積 (ha)	3.1	4.9	24.6	27.2	30.7	33.6	44.1	52.4	79.0
崩塌率 (%)	0.26%	0.40%	2.01%	2.22%	2.51%	2.75%	3.60%	4.29%	6.46%

資料來源：農村水保署 BigGIS <https://gis.ardswc.gov.tw/> 3



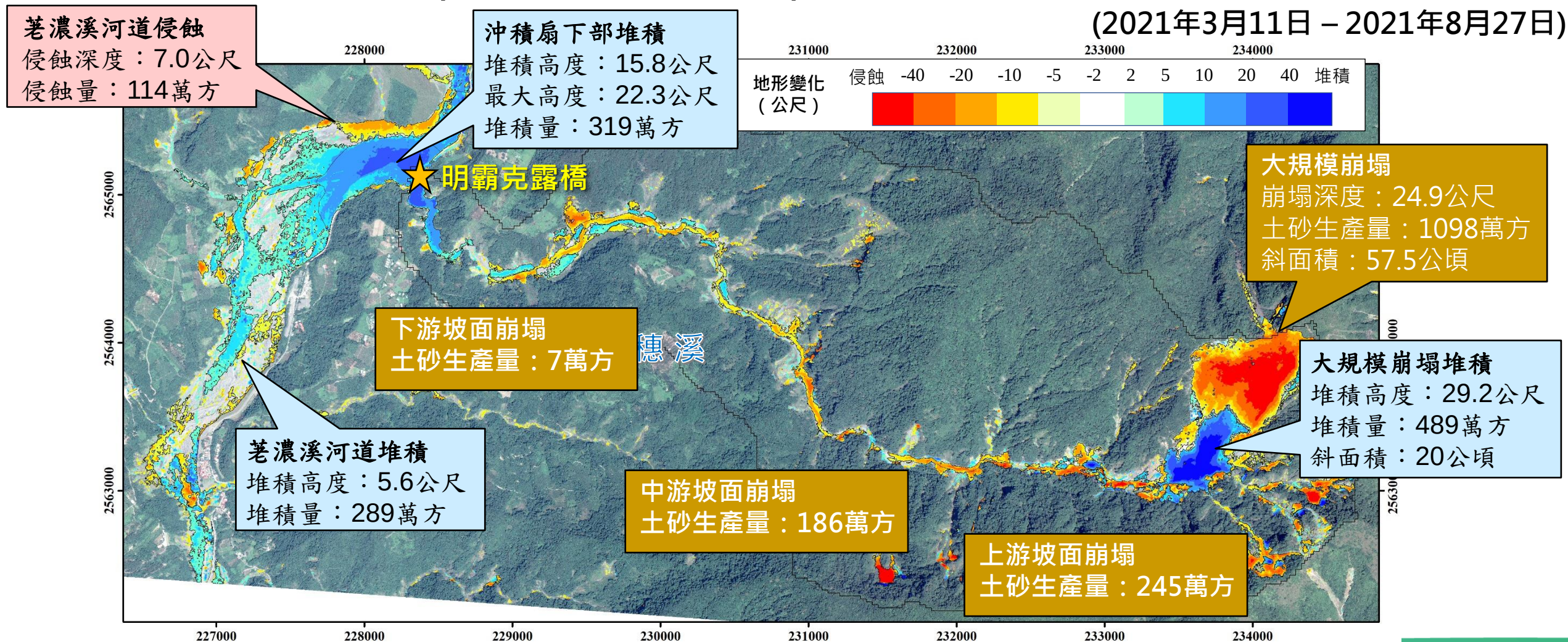
盧碧颱風

玉穗溪集水區泥砂收支 (110年3月 → 110年8月)

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)

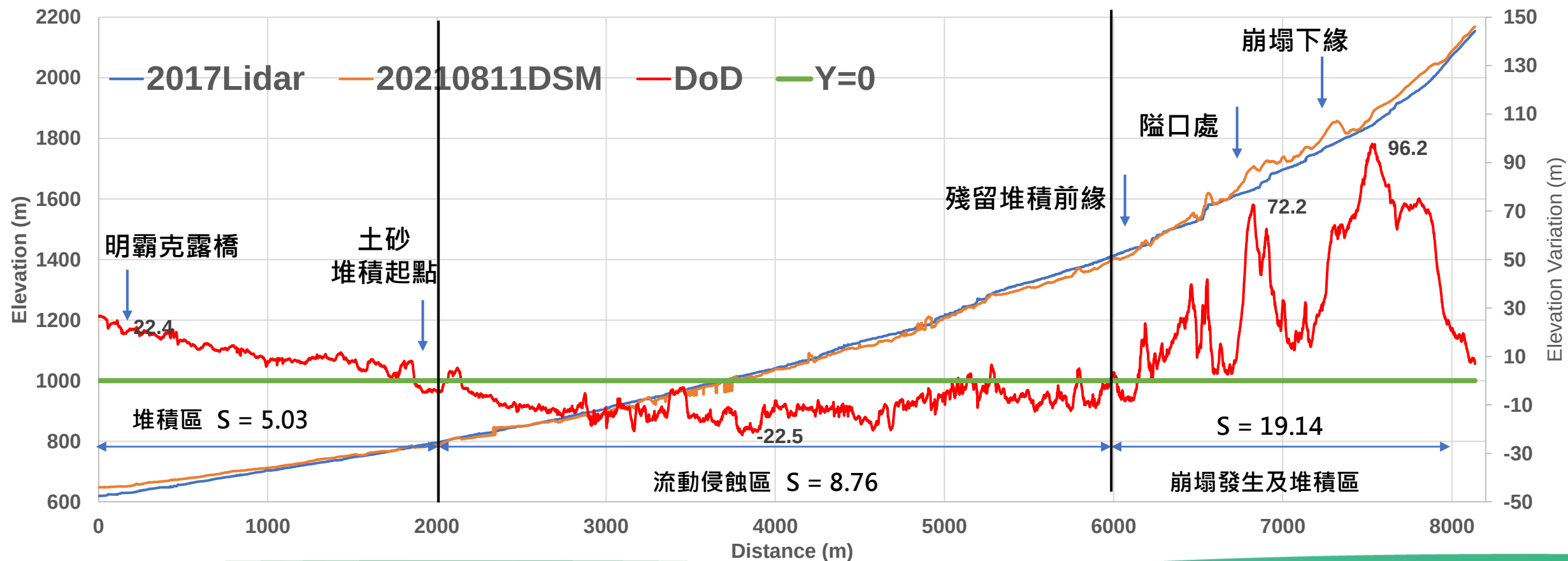




河道地形變動量分析

1. 崩塌事件前2017年Lidar DEM
2. 崩塌事件後20210811 UAV-DSM

上游崩塌處河道最大堆積高度約96公尺
河道地形變動顯示**流動侵蝕區**長度約4公里
土砂堆積區約位對下游河段長度約2公里

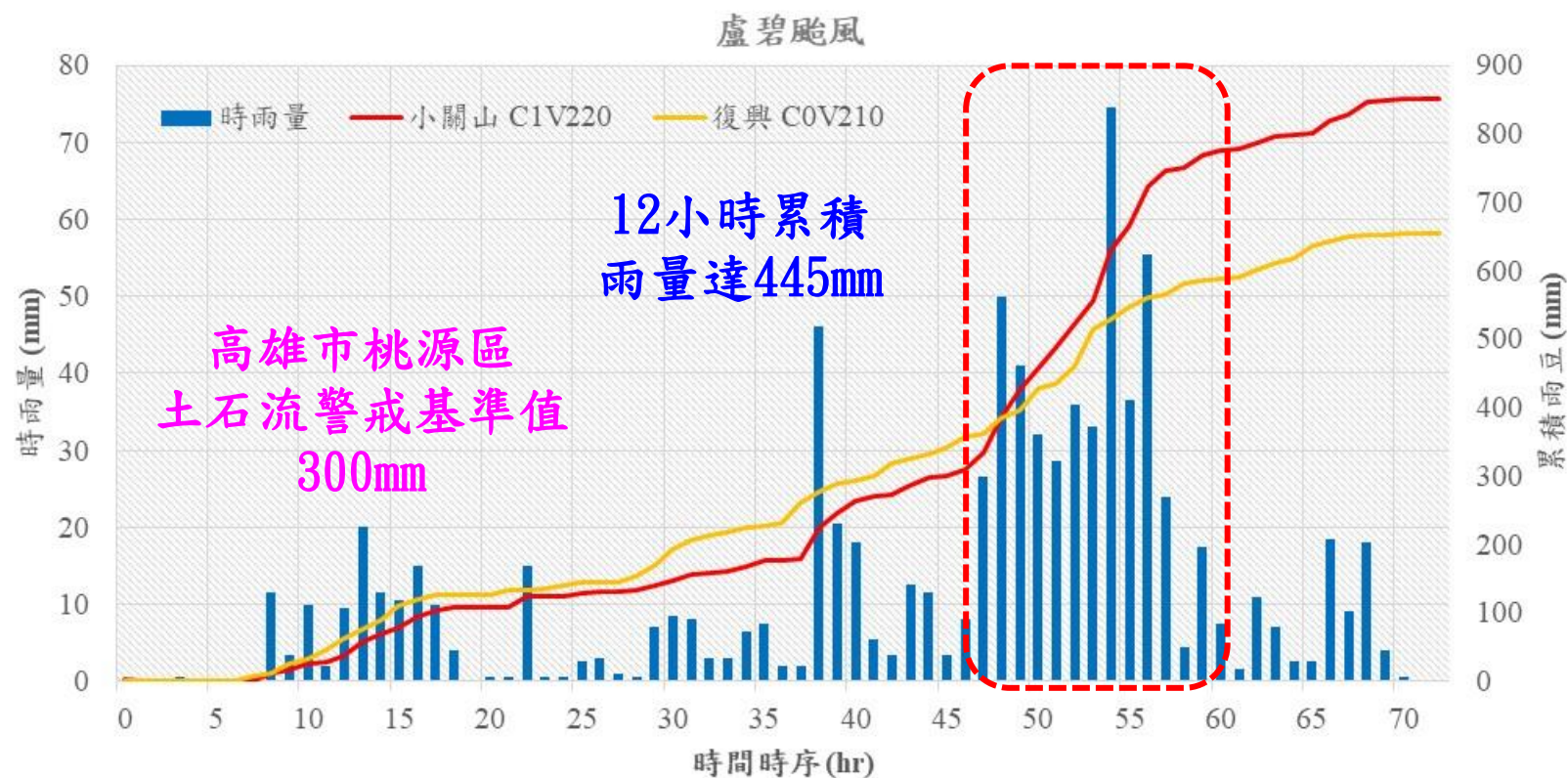




盧碧颱風期間降雨分析

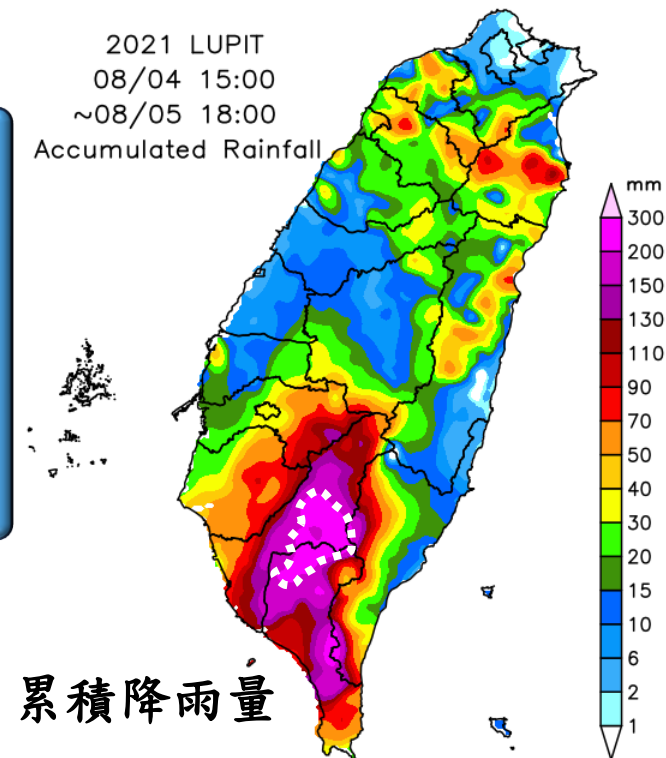
最大時雨量 74.5 mm (超過大雨等級 40mm/hr) ,
3小時延時雨量 166.5 mm (超過豪雨等級 100mm/3hr) ,
24小時延時雨量 598 mm (超過超大豪雨等級 500mm/24hr)。

盧碧颱風雨量歷程



盧碧颱風雨量分布

2021 LUPIT
08/04 15:00
~08/05 18:00
Accumulated Rainfall



累積降雨量

小關山(C1V220)雨量站

延時	降雨量 (mm)	重現期
1小時	74.5	5年
3小時	166.5	10年
6小時	264	5年
12小時	445.5	5年
24小時	598	5年
48小時	740.5	5年

重現期分析



110年08月7日 台20線明霸克露橋-中斷復興、拉芙蘭、梅山對外交通



資料來源：<https://youtu.be/Sj5QKDKTj-4>



明霸克露橋災害過程

明霸克露橋為台20線南橫公路
勤和至復興重要橋梁



Hill K., et al. (2022)



106年4月完工通車



110.08.07上午10時



110.08.07下午1時



110.08.07下午1時17分



110.08.07下午3時30分



土石流數值模式建立

研究區域：高雄市桃源區勤和里

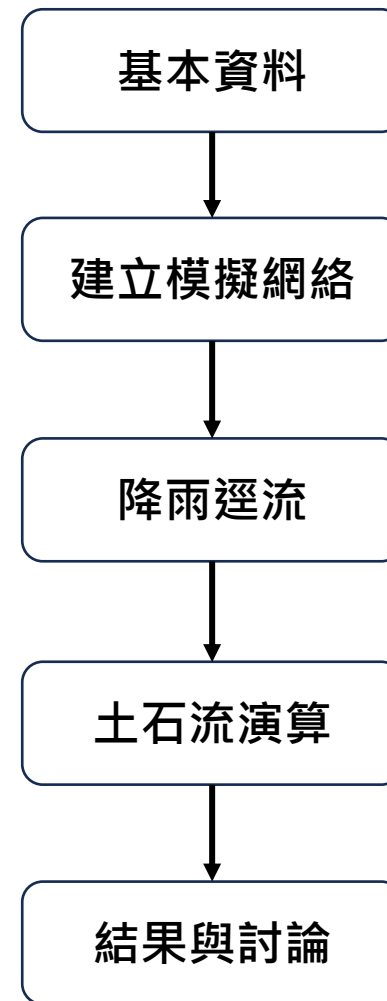
- 在玉穗溪上游發生大規模崩塌，崩塌面積約49公頃，**土砂生產量約851萬立方公尺**；大規模崩塌堆積面積約27.8公頃，堆積量約529萬立方公尺。
- 匯流口沖積扇堆積堆積高度約 11.9 公尺，**最大高度約 22.3 公尺**，堆積量約 202 萬立方公尺。

模擬降雨逕流歷程：小關山雨量站(C1V220)記錄

- 2021年8月6日11:00至2021年8月17日23:00、
- 累積降雨量為674.5 mm、
- 尖峰降雨強度為74.5 mm/hr。

地形資料：崩塌前及崩塌後之地形資料

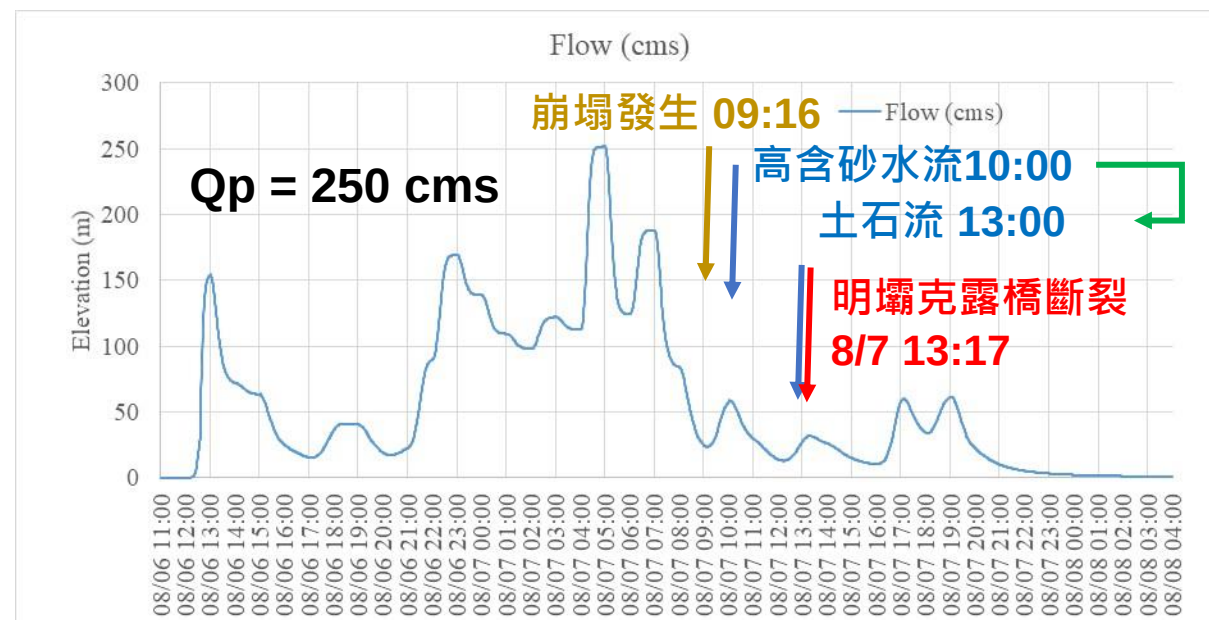
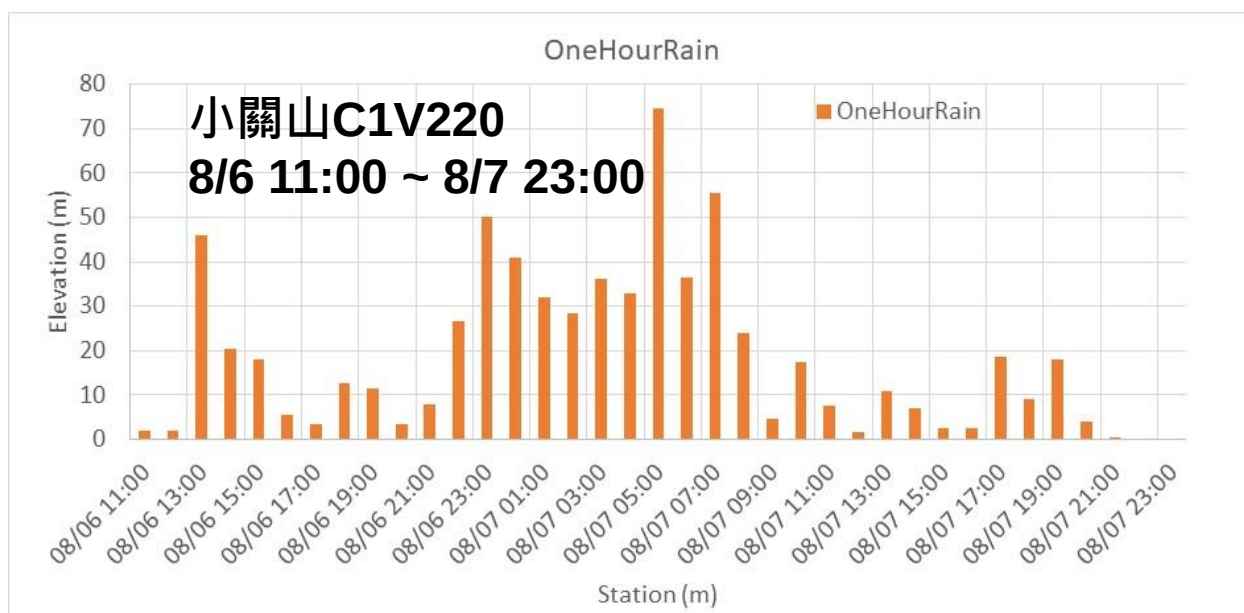
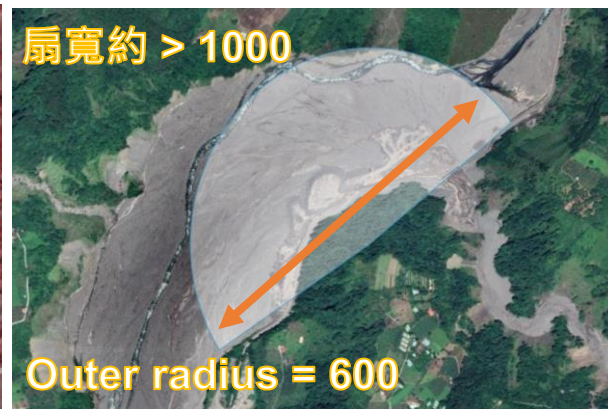
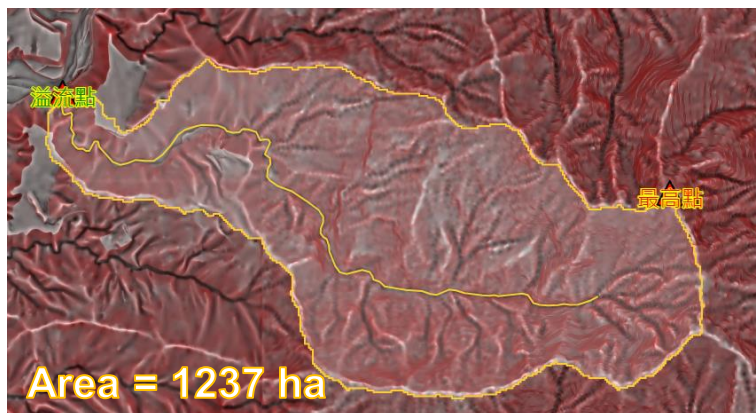
- 崩塌前地形資料：2017 年數值高程模型 (Digital Elevation Model, 1 m*1 m)
- 崩塌後地形資料：UAV產製DSM (Mesh Resolution 0.1 m*0.1 m) 地形資料



- 崩塌前地形資料
- 崩塌後地形資料
- 雨量資料
- 依DEM設定土石流模擬範圍
- 調整網格數值及網格大小
- 降雨逕流演算範圍
- 集水區降雨資料
- 演算時距
- 設定上、下游邊界
- 設定土石流模式參數
- 演算時距



降雨逕流歷程





土石流數值模式相關參數

Classification	Model	Condition
Hyper-concentrated	Bingham	Cv > 30%
Mud and Debris Flow	Turbulent-Quadratic Herschel-Bulkley	Cv > 60%
Snow Avalanche	Voellmy	
Clastic	Mohr-Coulomb	

Shear Thickening

$$\tau = \tau_y + K \left(\frac{dv_x}{dz} \right)^{n>1}$$

Bingham

$$\tau = \tau_y + K \left(\frac{dv_x}{dz} \right)^{n=1}$$

Shear Thinning

$$\tau = \tau_y + K \left(\frac{dv_x}{dz} \right)^{n<1}$$

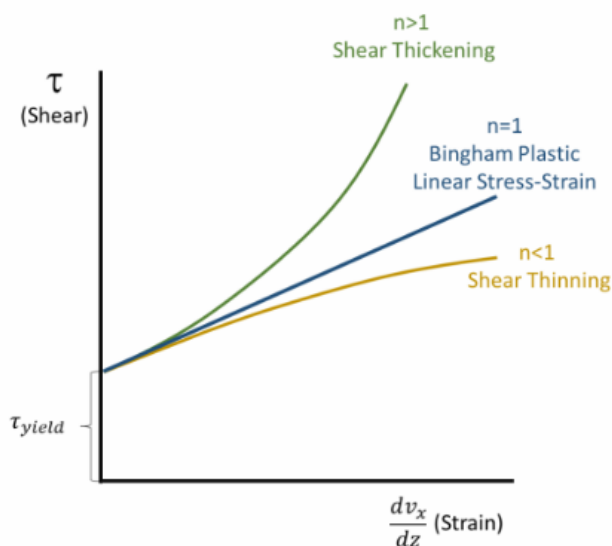


Table 3-2: Yield stress parameters for the O'Brian equation from Julien (1995) (converted to the exponential form used in HEC-RAS)

Type	Liquid Limit Cv	a	b	Range (Pa)
Typical Soil	65-80%	0.005	17.2	375-5,000
Kaolinite	40-50%	0.05	20.7	200-1,600
Sensitive Clays	35-60%	0.3	23.0	950-300k
Bentonite	5-20%	0.002	230.3	200-2E+17

Coefficients for the viscosity exponential multiplier for different soil types from Julien (1995) (converted to the exponential form).

Type	Liquid Limit Cv	B	Range (Pa-s)
Typical Soil	65-80%	18.4	160-2,500
Kaolinite	40-50%	18.4	1.6-10
Sensitive Clays	35-60%	11.5	0.1-1
Bentonite	5-20%	230.3	100-1E+17

資料來源：HEC-RAS Mud and Debris Flow (army.mil)

Bingham土石流模式模擬

假設崩塌發生後，堆積土砂轉變成土石流運動型態。

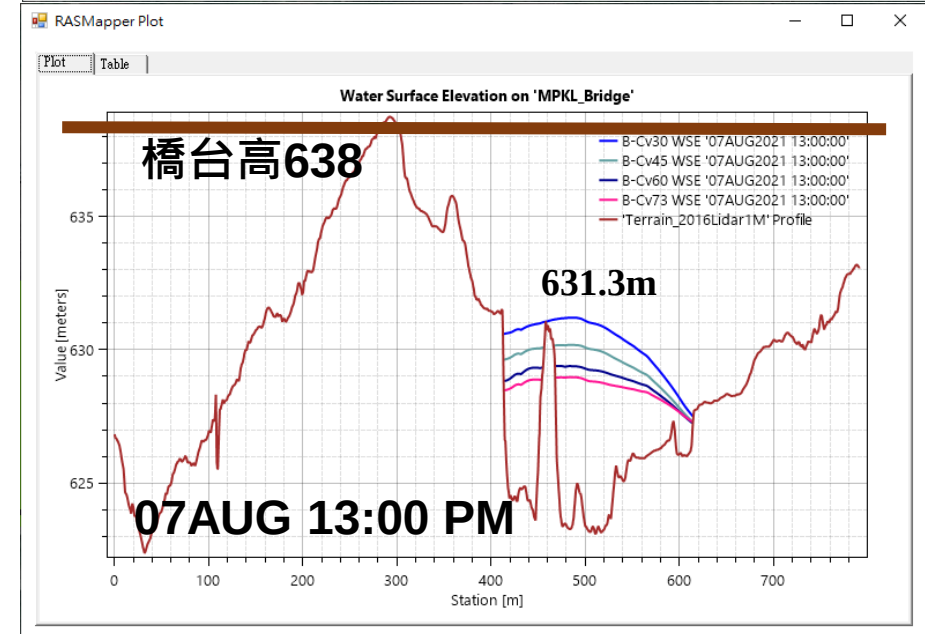
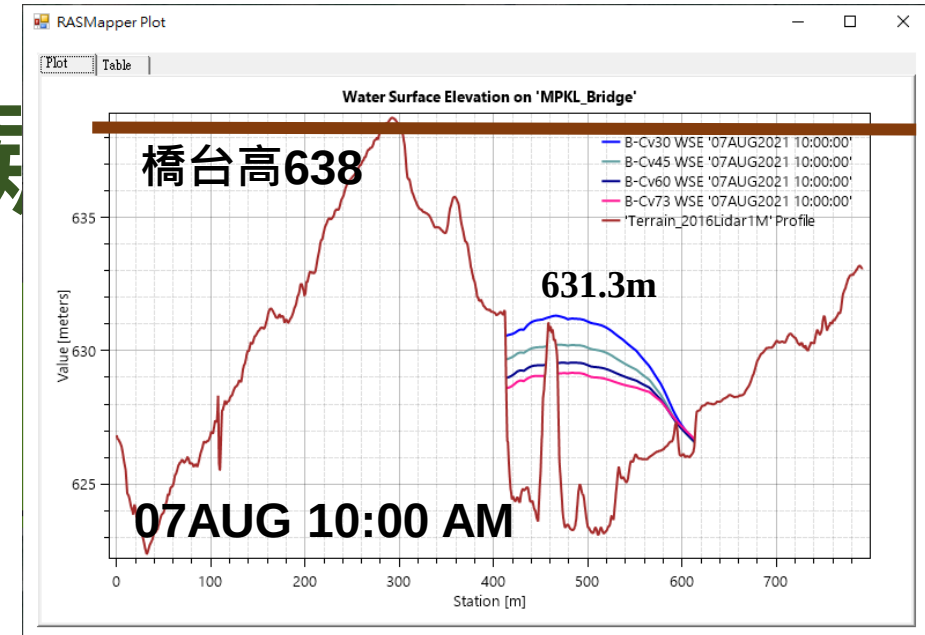
Bingham mode : Yield Stress 2500 (pa), Viscosity 1000 (pa-s) ;

體積濃度 : Cv70、Cv60、Cv45、Cv30

演算時間 : 07AUG2021 06:00 ~ 16:00

各體積濃度成果，於13:00時土砂**未到達**梁底高度。

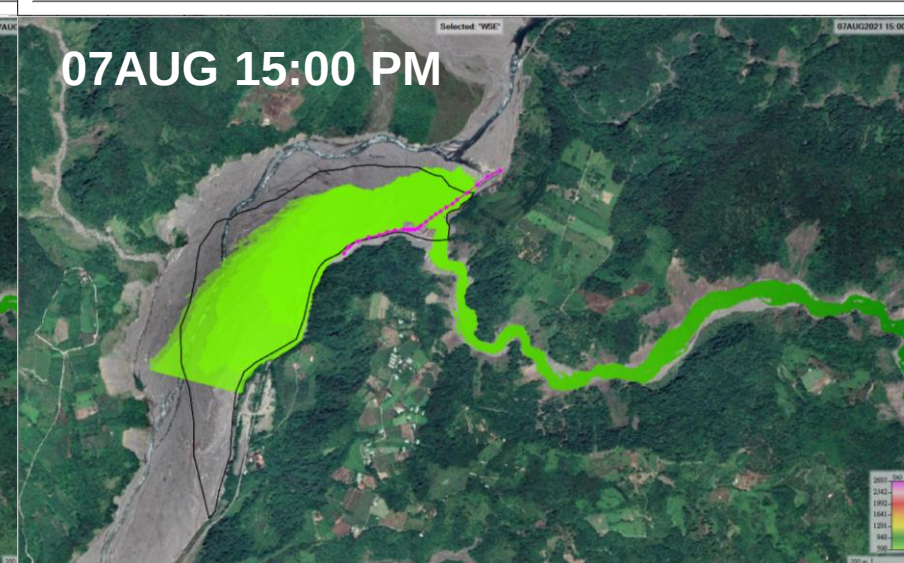
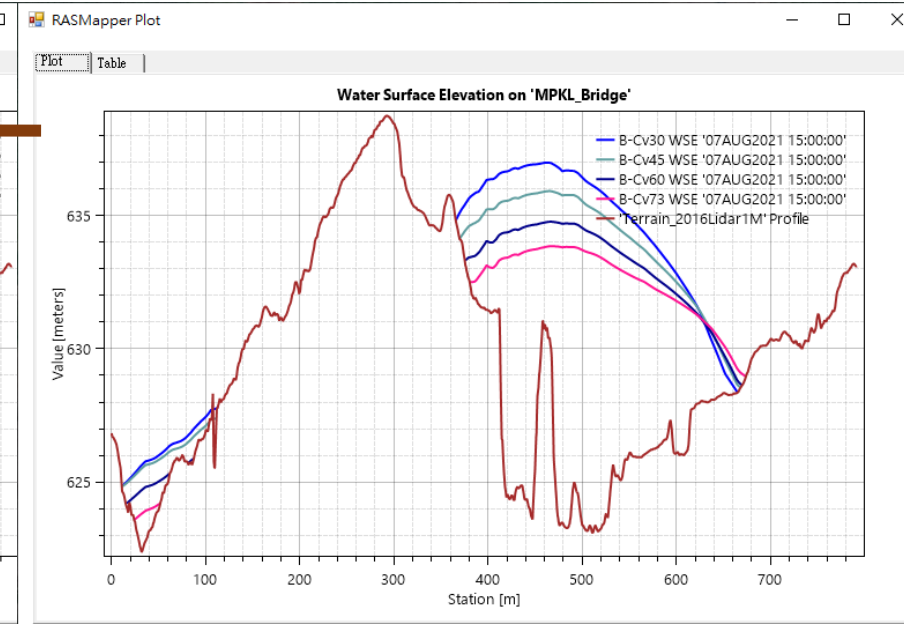
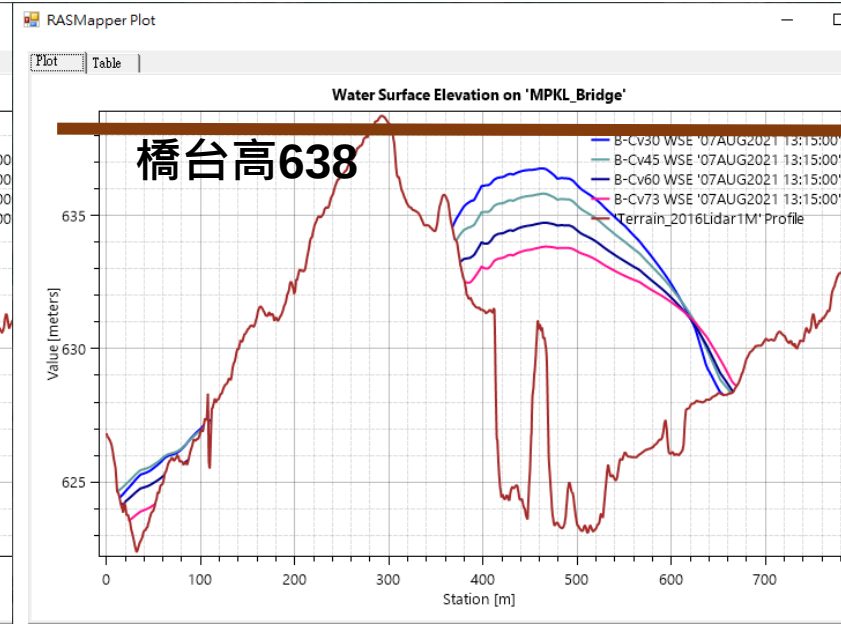
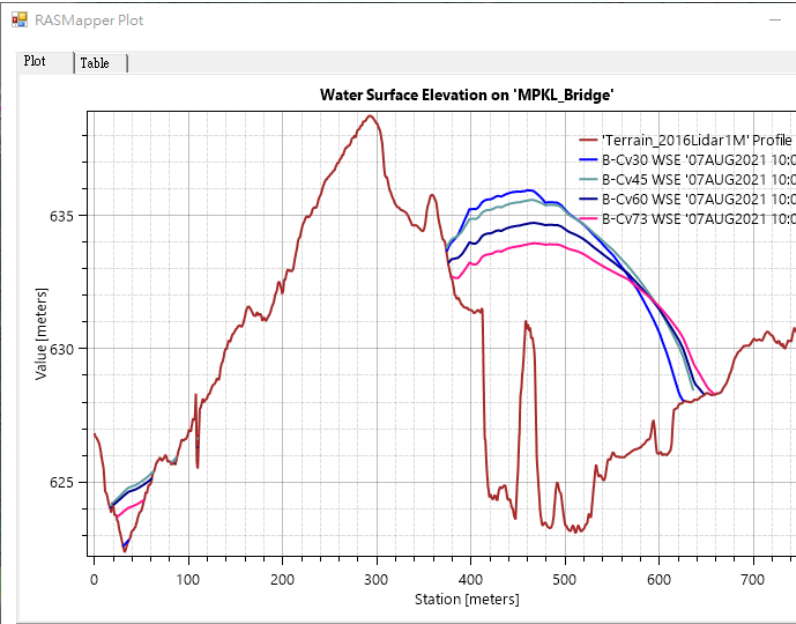
Bingham模式下，土石流堆積扇**寬度符合**災後堆積範圍，**長度不符合**





Bingham 土石流模式模擬

調整Yield Stress = 5000 Pa
調整Viscosity = 1000 Pa-s

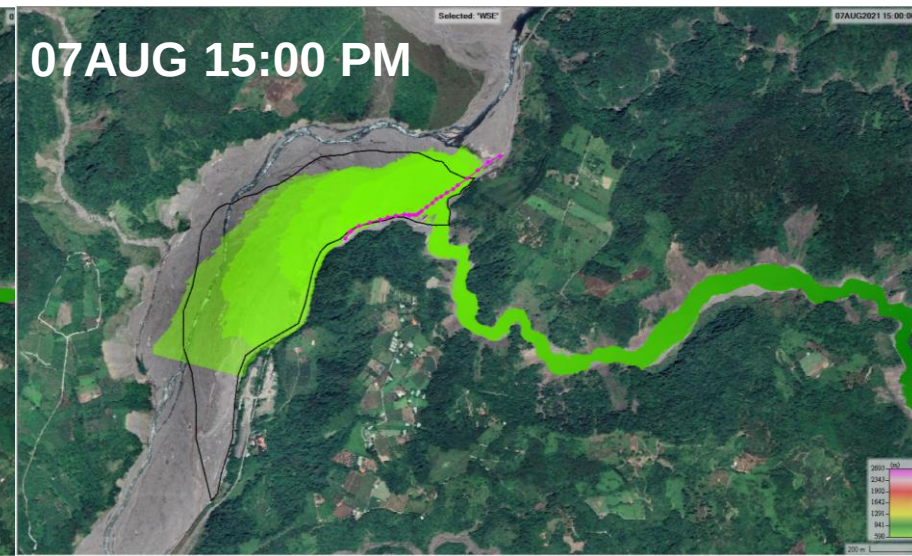
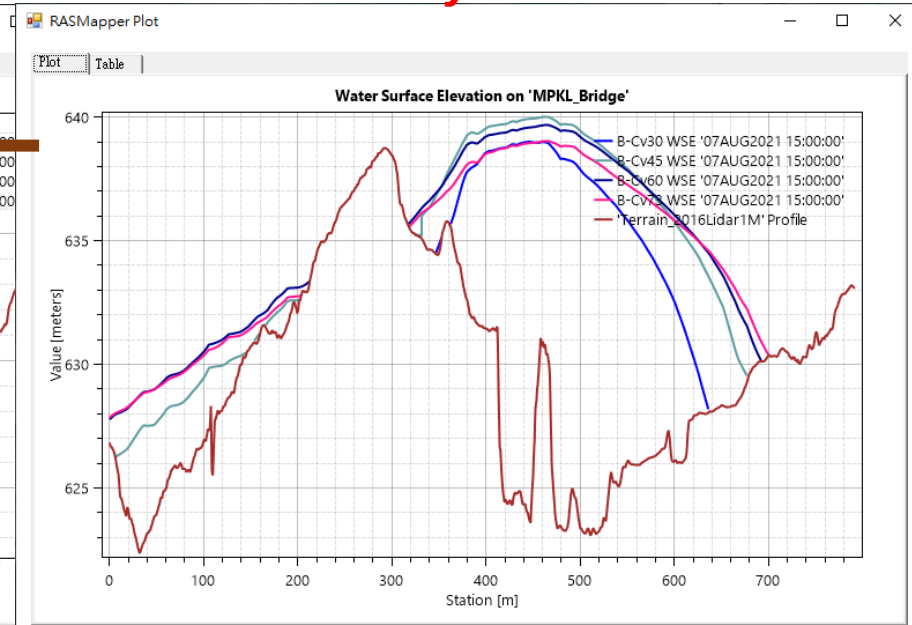
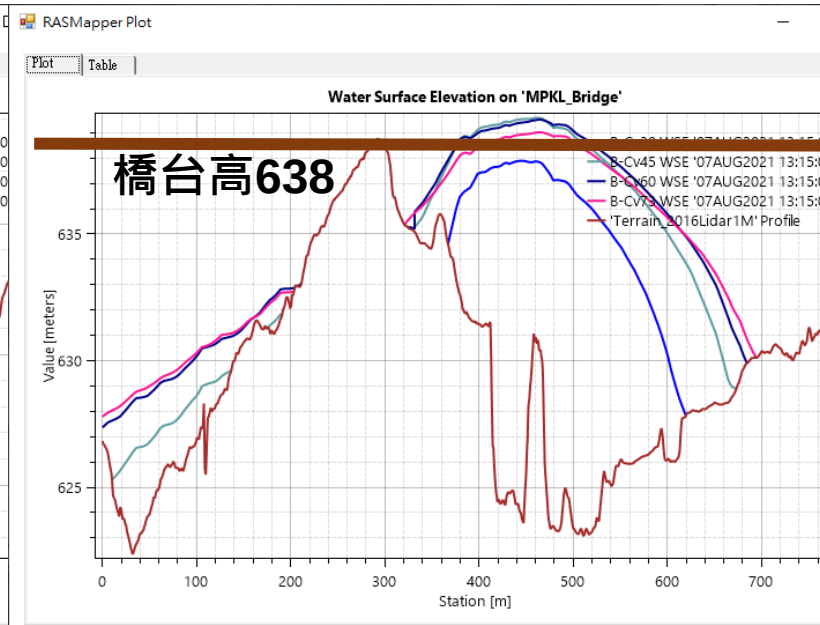
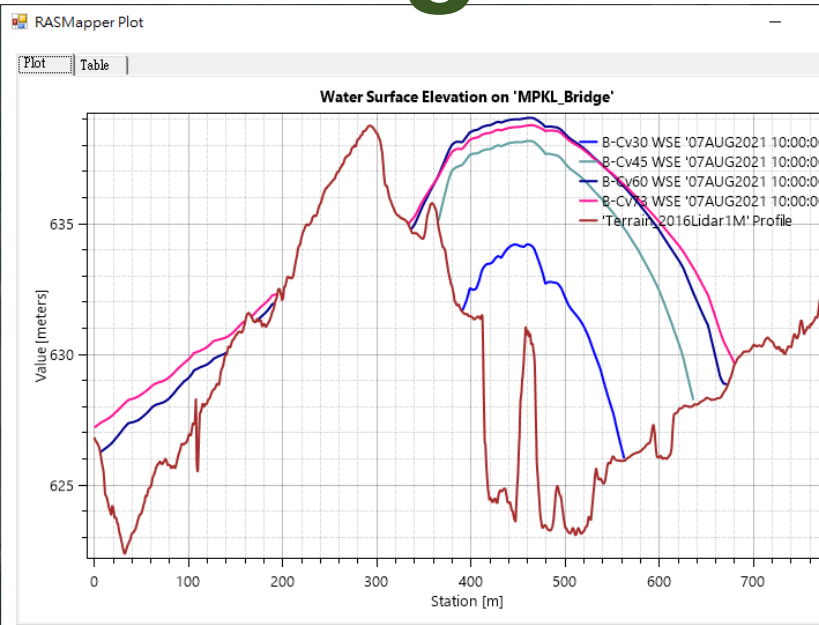


- 1.於早上10點時，因降伏應力增加，出口堆積高度增加
- 2.於下午13點時，出口堆積高度未到達梁底高度



Bingham 土石流模式模擬

調整Yield Stress = 8000 Pa
調整Viscosity = 1000 Pa-s



- 1.於早上10點時，出口堆積高度已到達梁底高度
- 2.於下午13點時，出口堆積高度不變

O'Brien 土石流模式模擬

假設崩塌發生後，堆積土砂轉變成土石流運動型態。

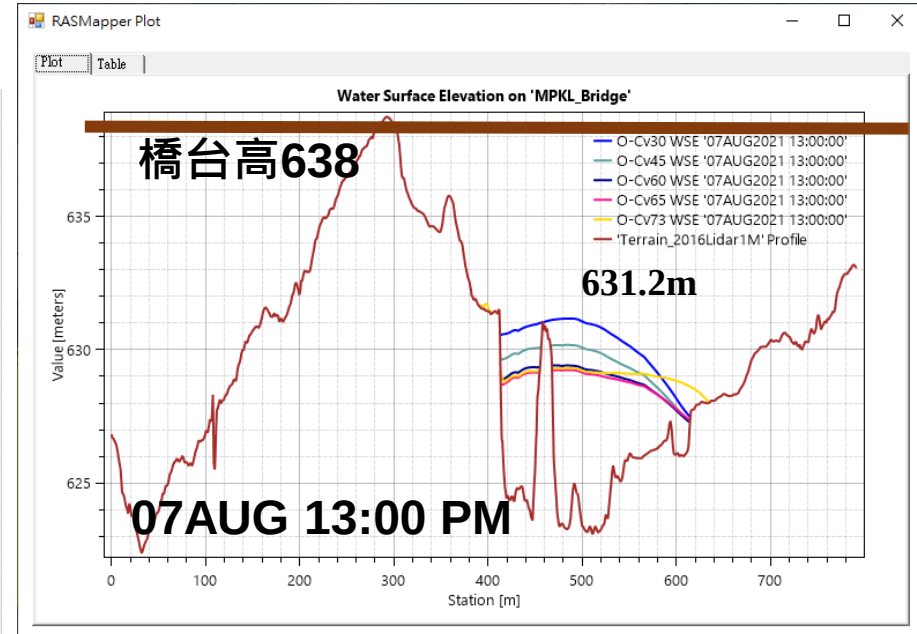
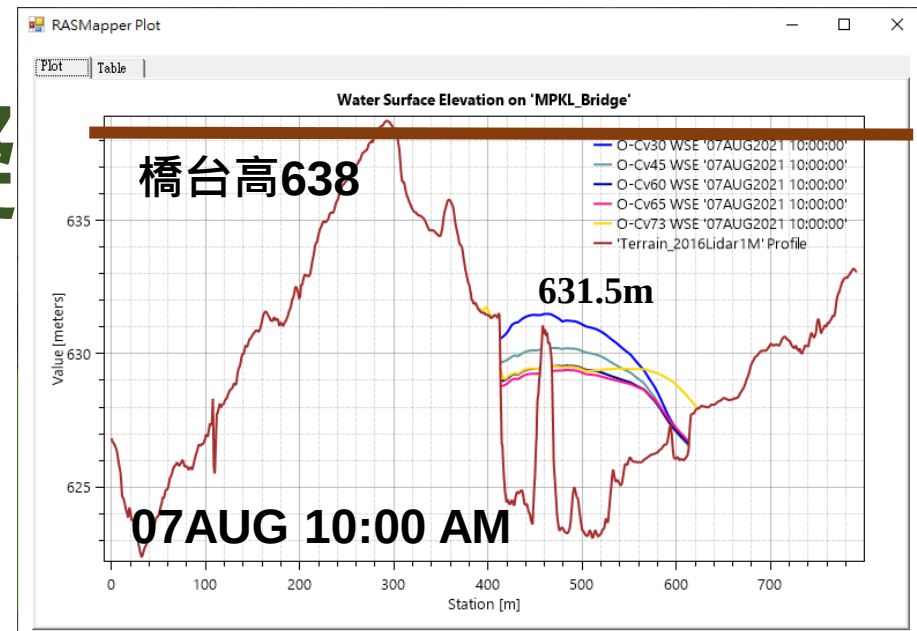
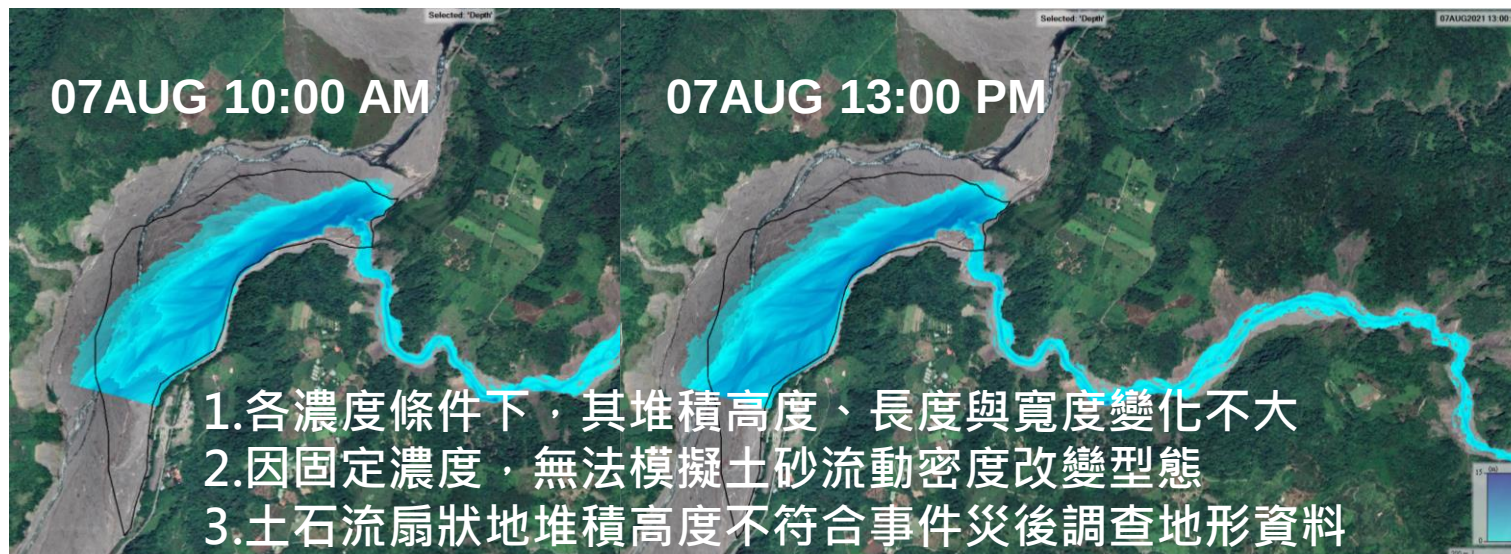
O'Brien mode : Yield Stress 2500 (pa), Viscosity 1000 (pa-s) ;

體積濃度 : Cv70、Cv60、Cv45、Cv30

演算時間 : 07AUG2021 06:00 ~ 16:00

各體積濃度成果，於13:00時土砂**未到達**梁底高度。

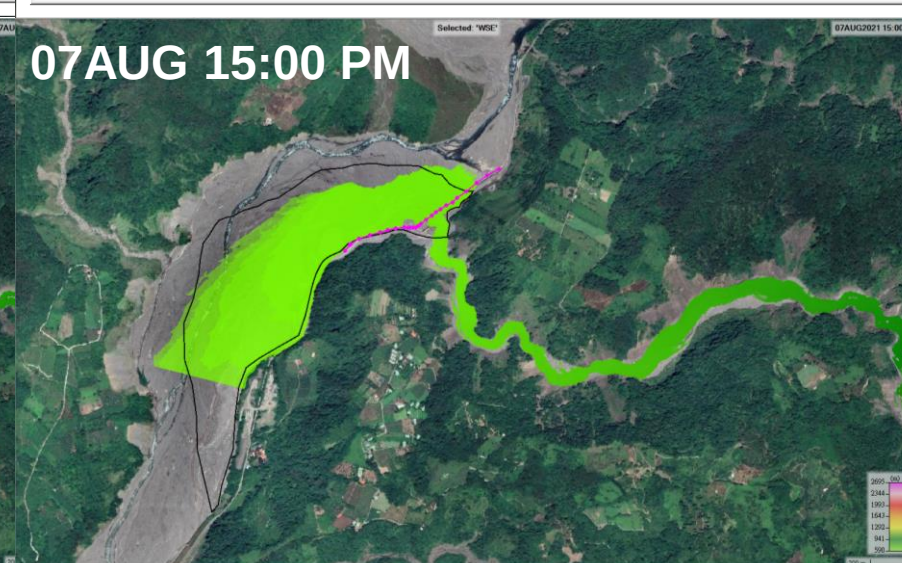
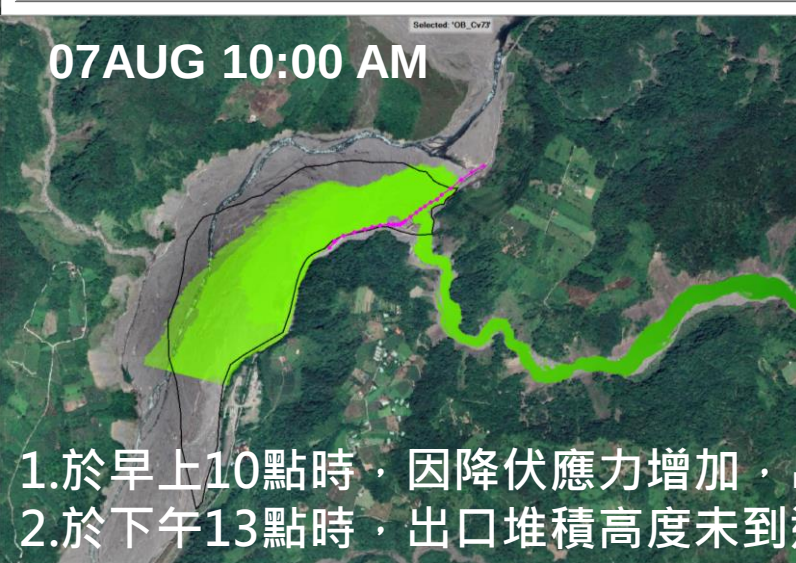
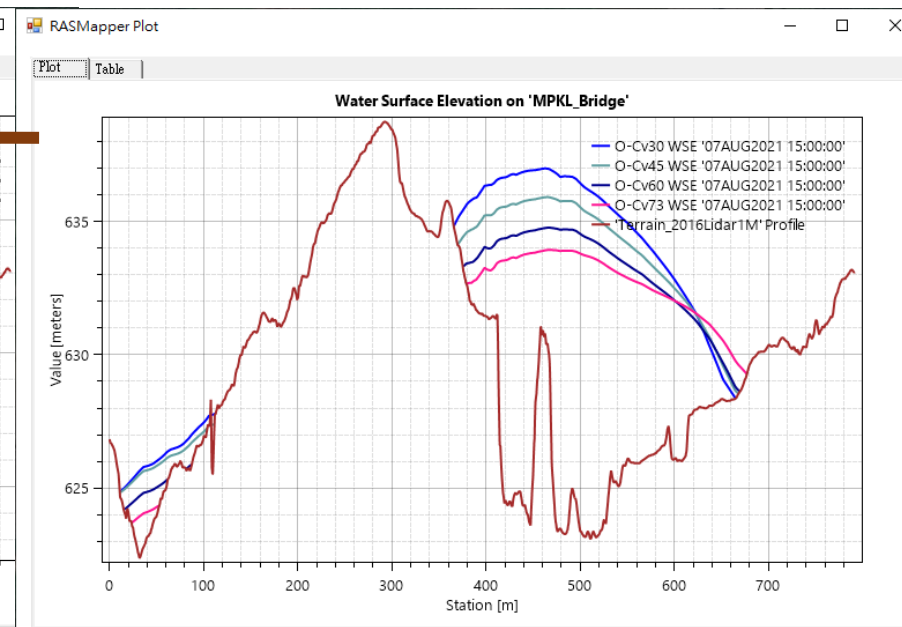
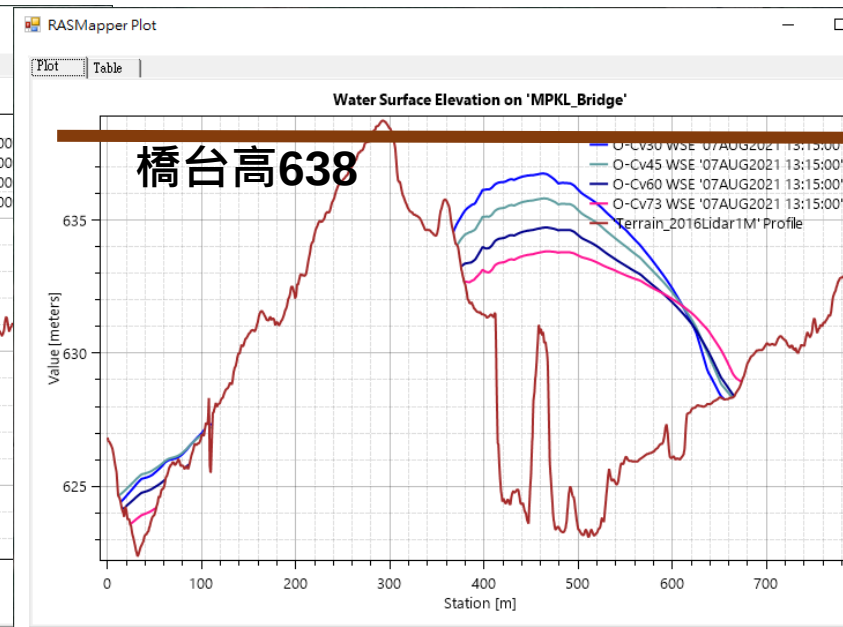
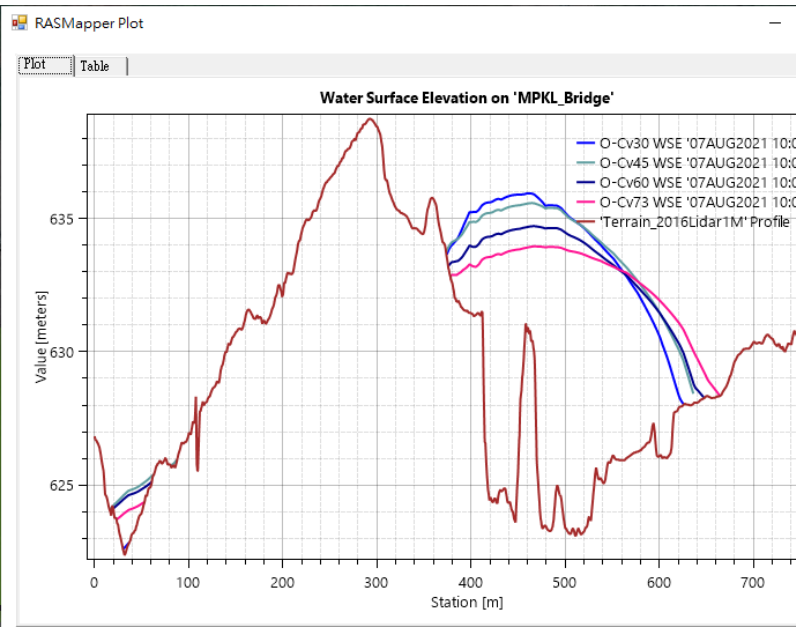
O'Brien模式下，土石流堆積扇**寬度符合**災後堆積範圍，**長度不符合**





O'Brien 土石流模式模擬

調整Yield Stress = 5000 Pa
調整Viscosity = 1000 Pa-s

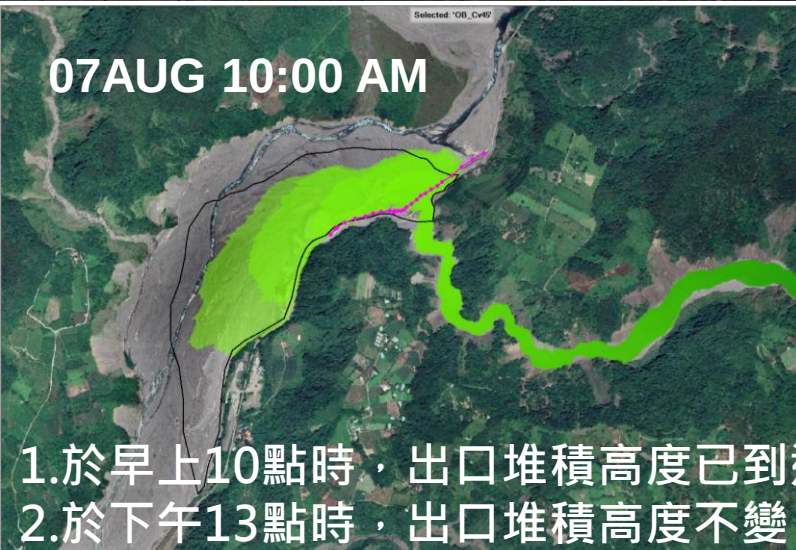
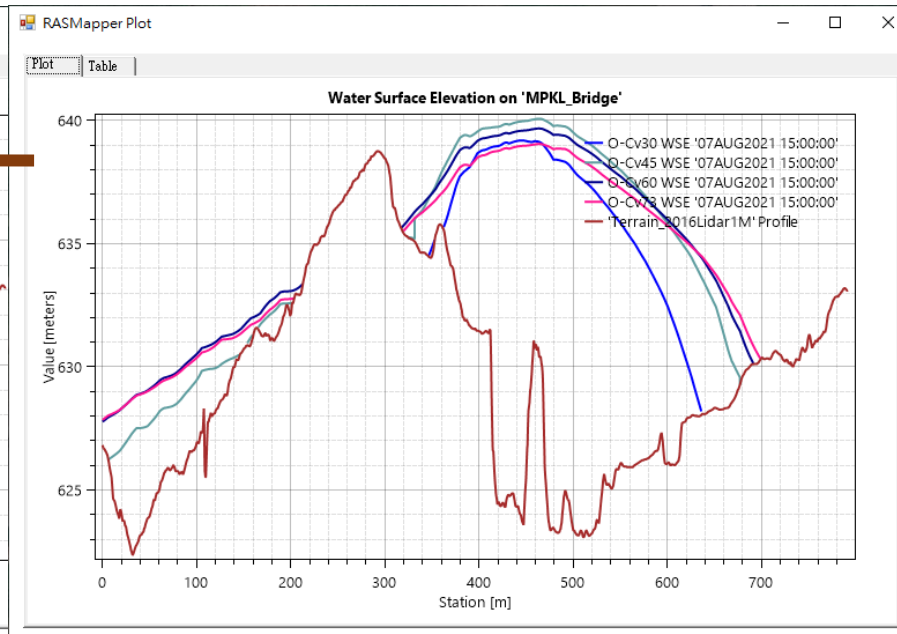
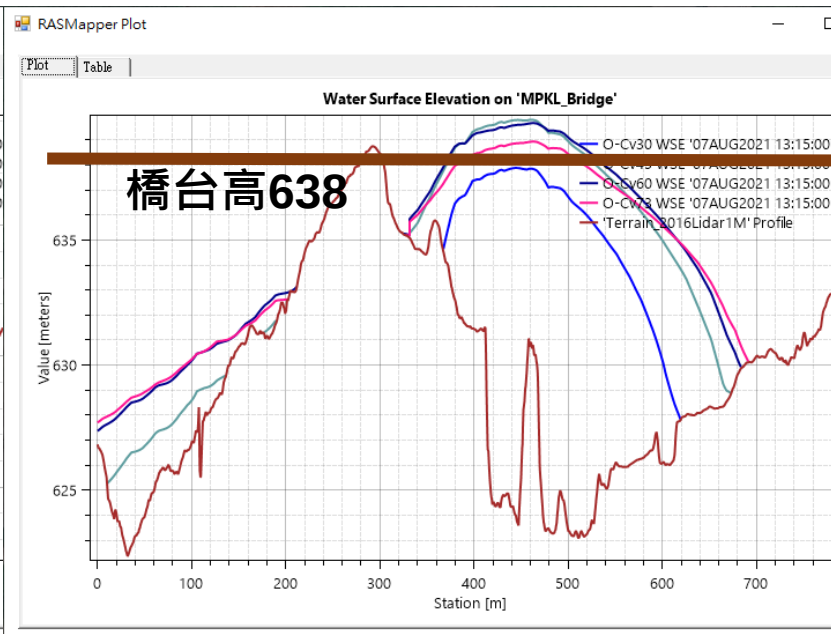
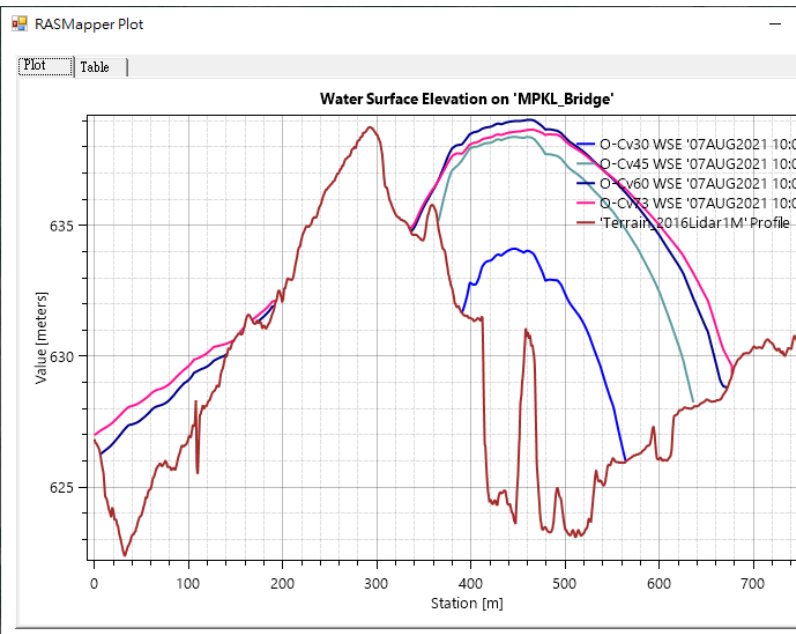


- 1.於早上10點時，因降伏應力增加，出口堆積高度增加
- 2.於下午13點時，出口堆積高度未到達梁底高度



O'Brien 土石流模式模擬

調整Yield Stress = 8000 Pa
調整Viscosity = 1000 Pa-s





Hybrid 土石流模式模

考量崩塌形成堆積及土石流運動型態，採二階段模擬：

1.第一階段採用 CGFmode 模擬崩塌土體堆積

2.第二階段採用 O' Brien mode 模擬土砂流出行為，

體積濃度：Cv70、Cv60、Cv45、Cv30

演算時間：07AUG2021 09:30 ~ 16:00

上游堆積量體分別為

A1=11.6 ha; V1=218.4*10⁴m³

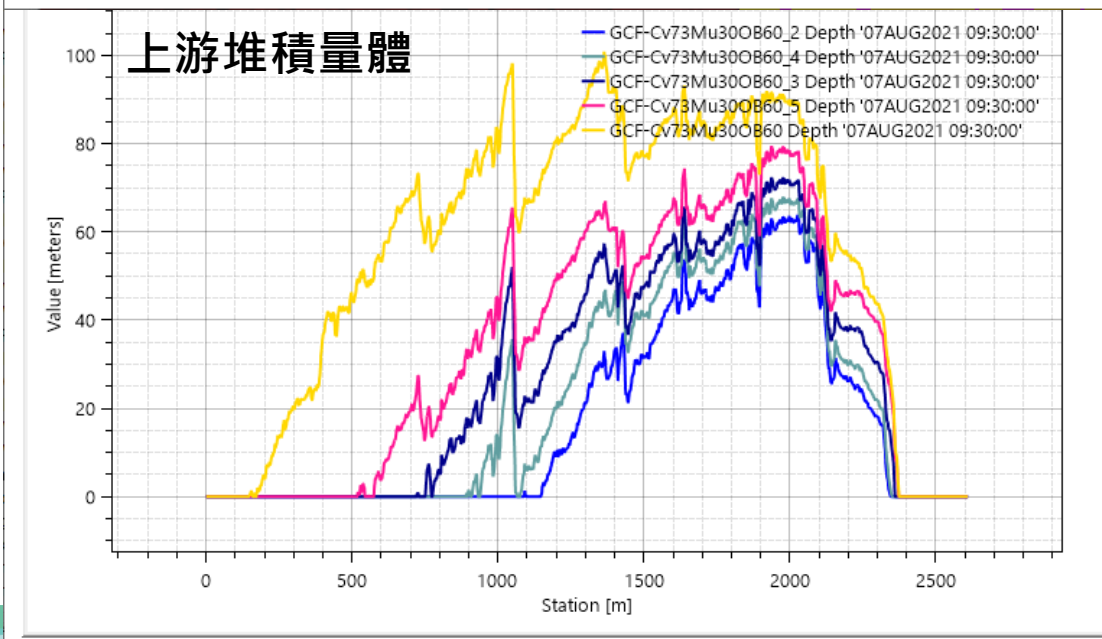
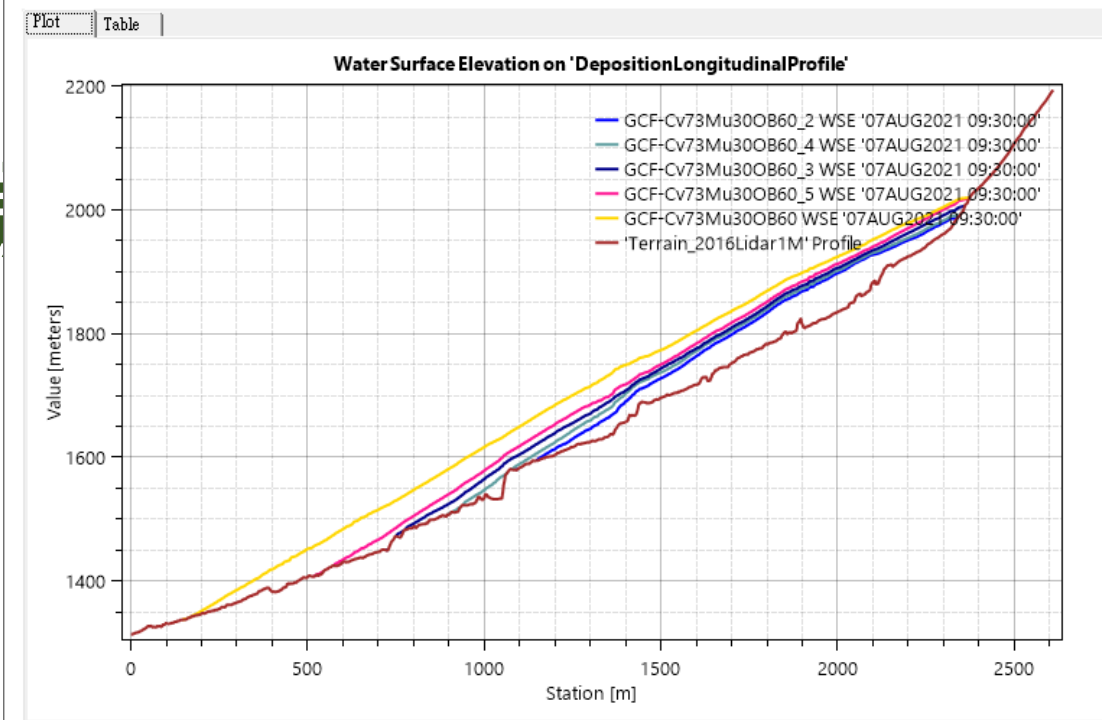
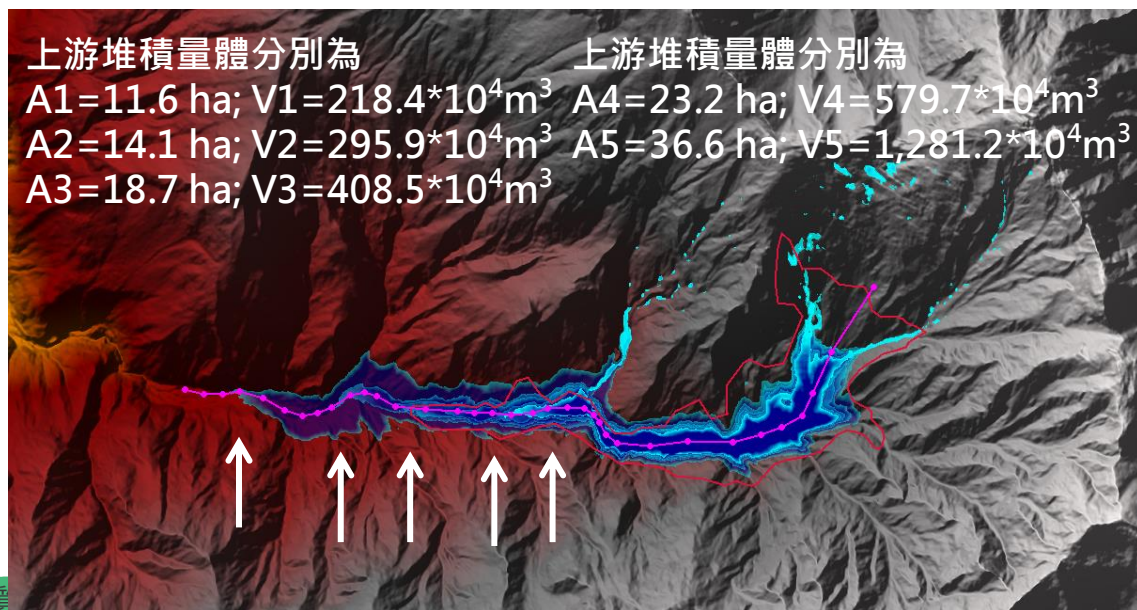
A2=14.1 ha; V2=295.9*10⁴m³

A3=18.7 ha; V3=408.5*10⁴m³

上游堆積量體分別為

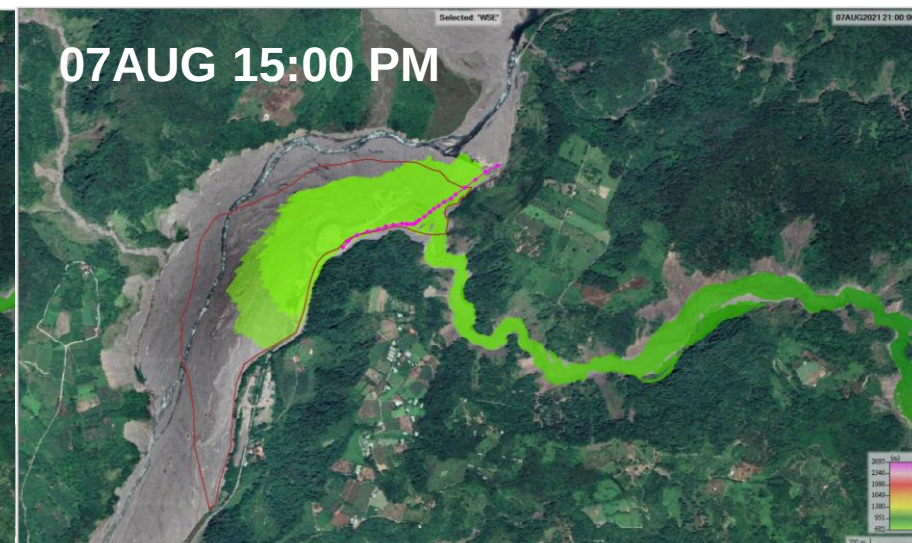
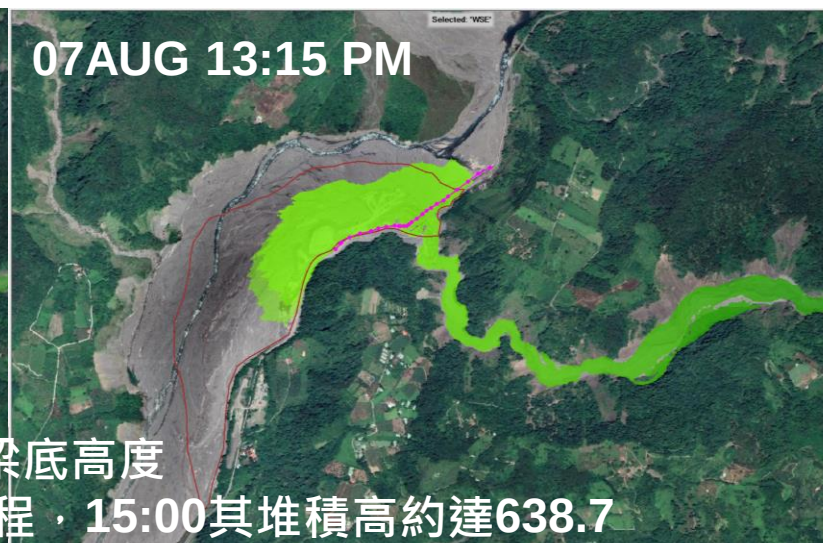
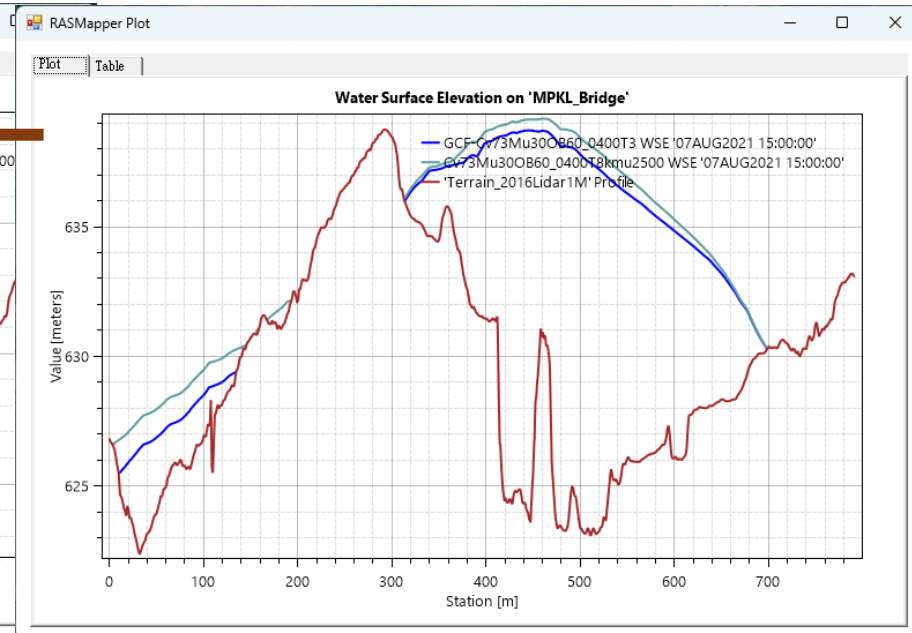
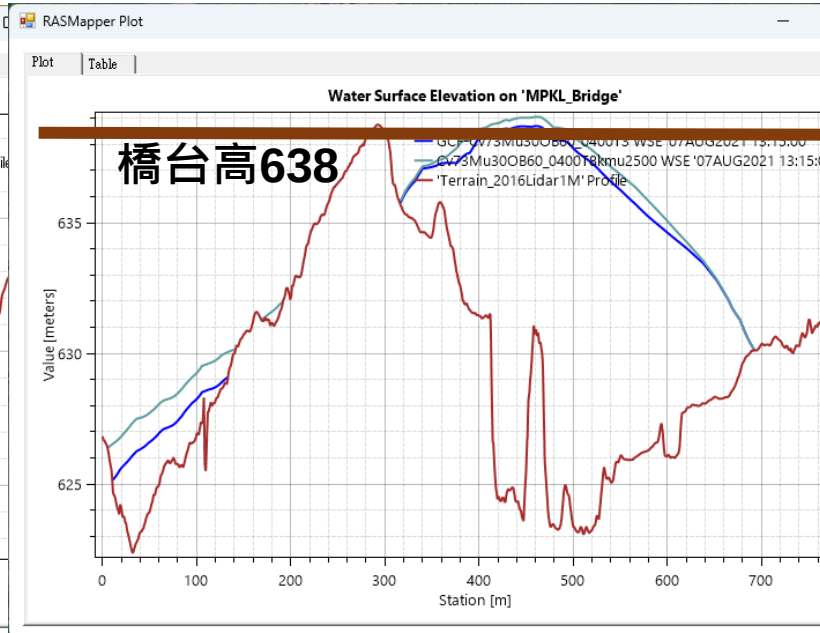
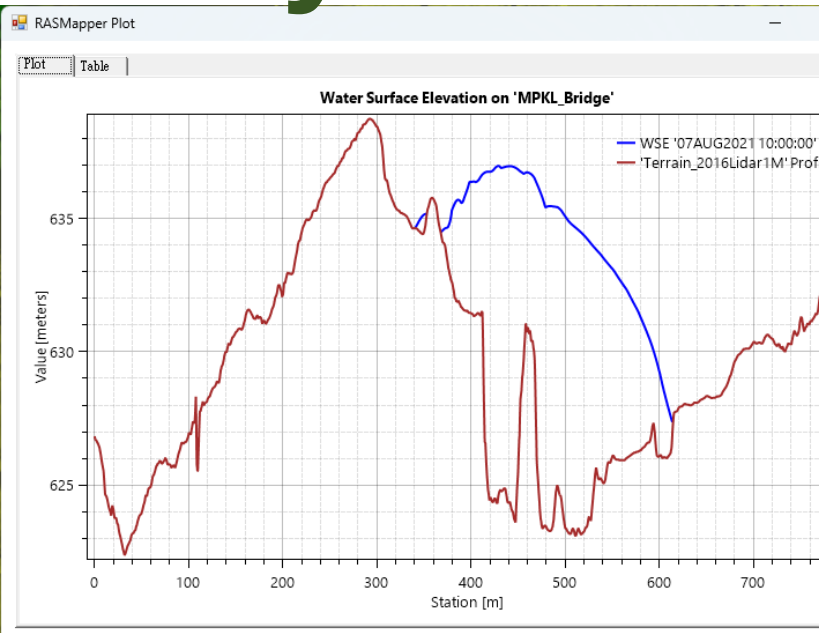
A4=23.2 ha; V4=579.7*10⁴m³

A5=36.6 ha; V5=1,281.2*10⁴m³





Hybrid 土石流模式模擬



考量崩塌堆積轉土石流運動，分成二階段模擬：

1. 第一階段採用 CGFmode 模擬崩塌土體堆積

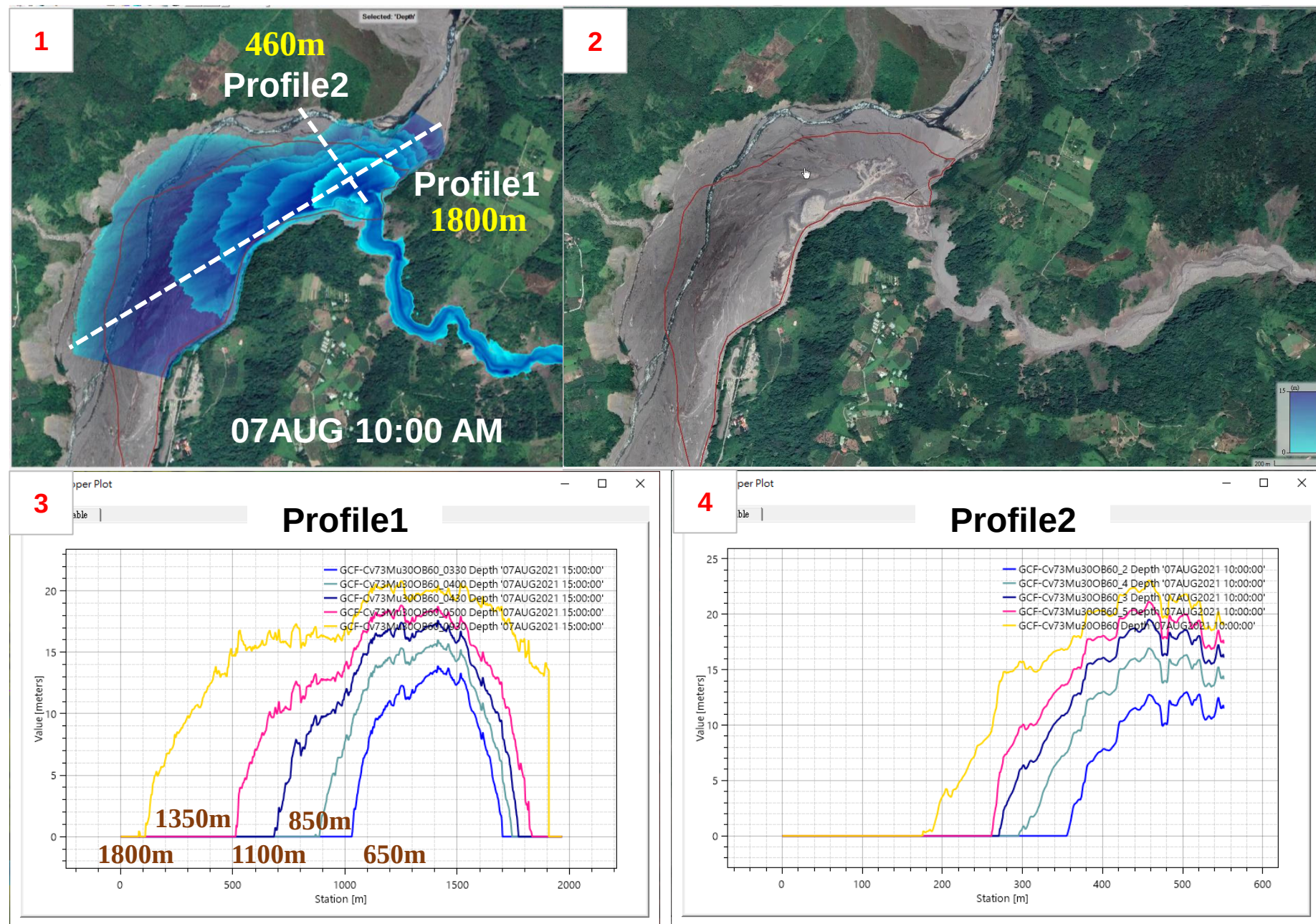
2. 第二階段採用 O' Brien mode 模擬土砂流出行為

圖1表示不同上游土石材料量體，出口之土石流堆積面積

圖2至土石流往下游流動過程

圖3表示不同料源量體條件下，土石流堆積扇最大長度約1800公尺

圖4表示不同料源量體條件下，土石流堆積扇最大高度約23公尺





玉穗溪土石流堆積扇擴大

土石流堆積扇長度約300至400公尺



影像時間20210808



傅志男 (照片授權方式：姓名標示-非商業性-禁止改作)

地球公民基金會 傅志男攝

土石流堆積扇往**上游及下游方向擴大**

影像時間20210825



財團法人中興工程顧問社 (照片授權方式：姓名標示-非商業性-禁止改作)

結論與建議

- 110年盧碧颱風及0806豪雨之降雨事件，形成土石流並沖毀下游台20線明霸克露橋。
- 小關山雨量站所分析降雨量重現期約2~10年，卻引發大規模不安定土砂崩落及其衍生土砂災害。
- 內在地質破碎導致低降雨門檻即誘發土砂災害事件。
- 災後空拍照片顯示出口土石流堆積扇明顯擴大，且集水區仍有大量不安定土砂，其易隨降雨流出影響台20線道路。

結論與建議

- 土體運動受細微土砂影響，將改變水流密度及土砂流動密度，並影響土石流之溢流範圍及堆積深度。
- 受限於數值模式為固定土砂濃度設定，無法有效模擬土砂運動型態轉換。
- 透過不同體積濃度及降伏應力模擬分析，可有效模擬土砂流出影響範圍。

結論與建議

- 受極端水文影響下，因**短延時強降雨**及**長延時降雨**事件，將使**土壤溼潤度**增快並縮短集流時間，集水區不安定土砂事件衝擊逐漸增大。
- 因降雨強度之**高度不確定性**，提高現有設施之工程設計標準並非上策。
- 對於**不安定土砂潛勢集水區**，需研擬訂定**潛勢分區管理值**與相應降雨門檻值作為警戒，並配合**防災分區管理**，期能減低土砂災害衝擊影響。



防災整備應變應用資訊系統



土石流及大規模崩塌防災資訊網

<https://246.ardswc.gov.tw>

使用者：一般民眾。

提供社會大眾土石流及大規模崩塌警戒發布、疏散避難、自主防災社區、重大坡地災害事件等相關知識與防災資訊。

使用者：一般民眾。

BigGIS_巨量空間資訊系統

<https://gis.ardswc.gov.tw>

使用者：一般民眾、公部門。

BigGIS整合開源衛星、商用衛星、航空照片與UAV正射影像，發布本署與各單位核心圖資，輔助水保業務、災害事件、歷史變遷、地貌描述、科學研究、環境評估等應用，藉由API與第三方社群註冊，提供其他單位與民眾線上立即使用，達成政府資源開放共享之目標。



土石流及大規模崩塌防災整備系統

<https://dfdpm.ardswc.gov.tw>

使用者：公部門防災單位。

提供地方政府統一與即時的防災整備資料管理作業環境，建置全國最新的土石流及大規模崩塌疏散避難保全住戶清冊、避難處所位置、人力編組與疏散避難計畫等防災整備資訊。





防災科技技術應用資訊系統



歷史影像平臺

<https://photo.ardswc.gov.tw>



整合地圖、影像等技術，透過政府與民間提供影像記錄這片土地。



技術研究發展平臺

<https://tech.ardswc.gov.tw>



推動產官學研跨域技術整合，增進實務經驗及技術支援能力。

資料管理平臺

<https://data.ardswc.gov.tw>



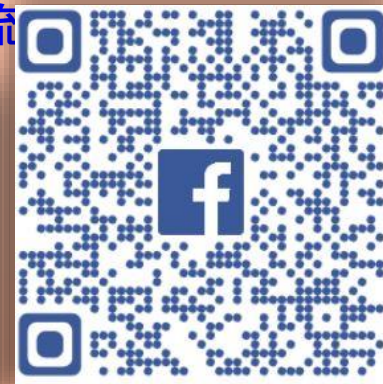
整合本署各項資料對內及對外資料流通供應之單一窗口。



FB社團 - 水土保持與防災資訊交流



分享水土保持、農村發展、土木、大地、地質及防災等資訊。



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