

明霸克露橋災害頻傳原因探究- 以土石流、水理、輸砂數值模擬觀點切入



演講者：蔡宗賢 博士

日期：2022/09/27



簡報大綱

壹

明霸克露橋簡介-災害事件及現況

貳

數值模型建置構想

參

數值模擬-模式建置前處理

肆

數值模擬-情境模擬與成果展示

伍

結果與討論



壹、明霸克露橋簡介-災害事件及現況



橋是洪水沖壞的嗎？這是甚麼種類的流體？清水流？賓漢流體？泥流？土石流？

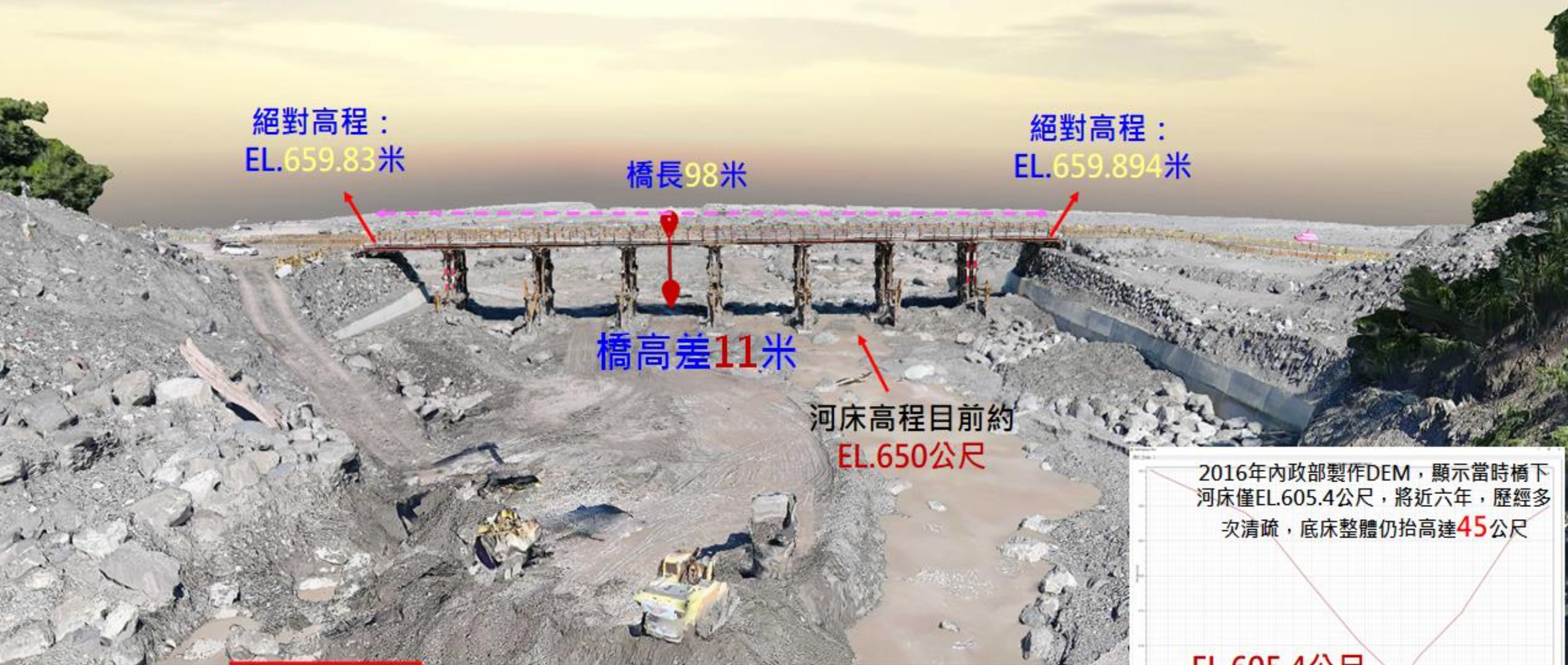
2021/08/07





新橋安全否？

明霸克露橋3D建模-水土保持局技術研究發展小組 林育伯 製作-
2022/09/15



2016年內政部製作DEM，顯示當時橋下河床僅EL.605.4公尺，將近六年，歷經多次清疏，底床整體仍抬高達45公尺

EL.605.4公尺



貳、數值模型建置構想



目的：評估洪水、土石流、堰塞湖對明霸克露橋的影響程度

水文分析

(Hec HMS、Hec Ras 2D)

- 集水區劃設
- 主河道生成
- 設計一日暴雨雨型(採 Horner公式)
- 採用Hec Ras集水區均勻降雨模擬，估算逕流量

水理分析

(Hec Ras 2D)

- 模擬情境設計
- 模擬區網格建置
- 上游邊界劃設與給定逕流歷線
- 下游邊界出口給定正常水深

土石流模擬

(Hec Ras 2D)

- 清水流
- 賓漢流體
- 歐布萊恩方程式(本次考量)
- 碎屑礫石流
- 一般型赫歇爾布克利

堰塞湖潰決模擬

(Hec Ras 2D)

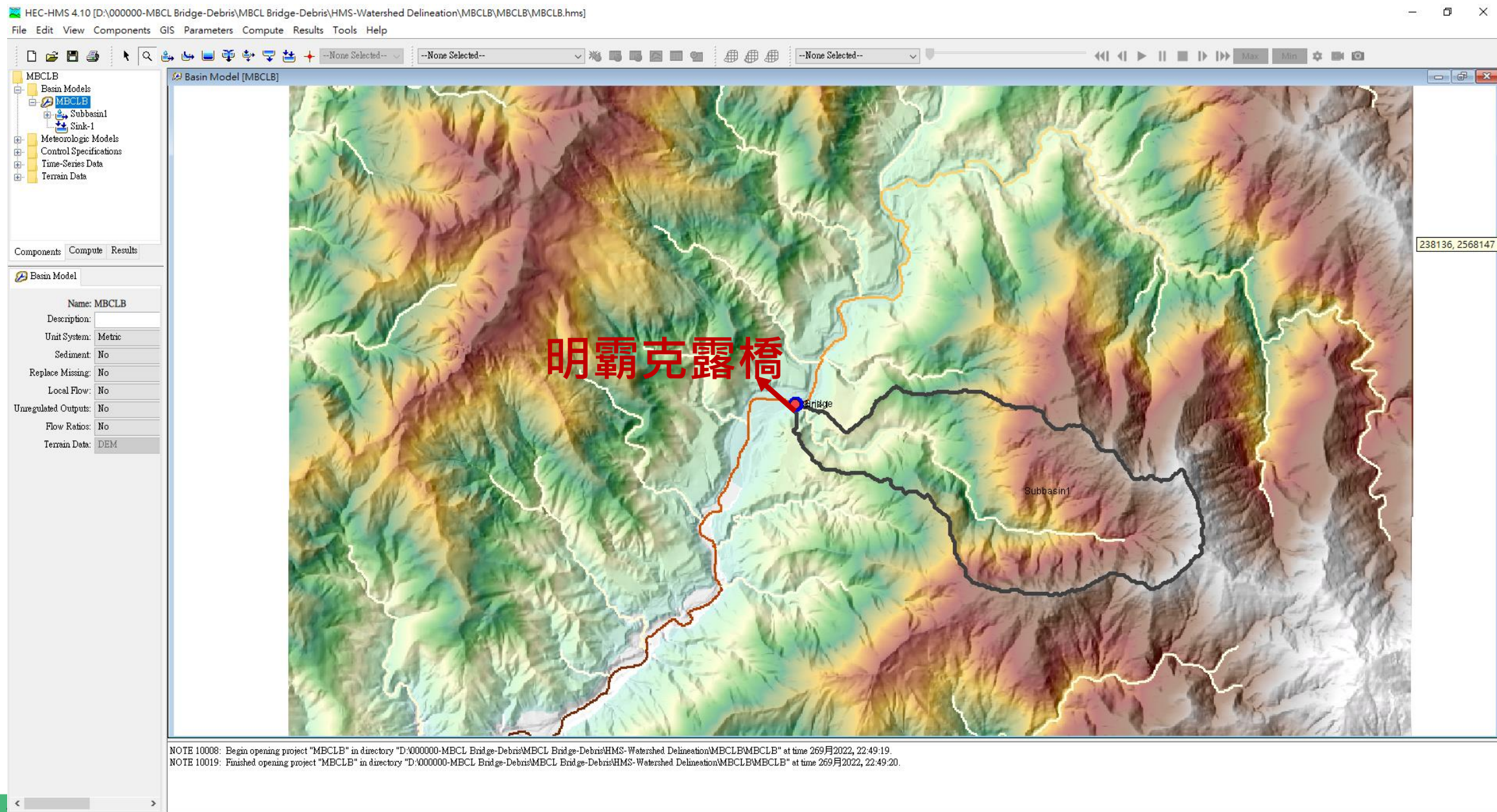
- 找出堰塞湖位置
- 評估堰塞湖量體
- 降雨誘發致堰塞湖潰決
- 堰塞湖潰決後對下游出口橋的影響



參、數值模擬-模式建置前處理



20米DEM->集水區劃設、河川主流生成



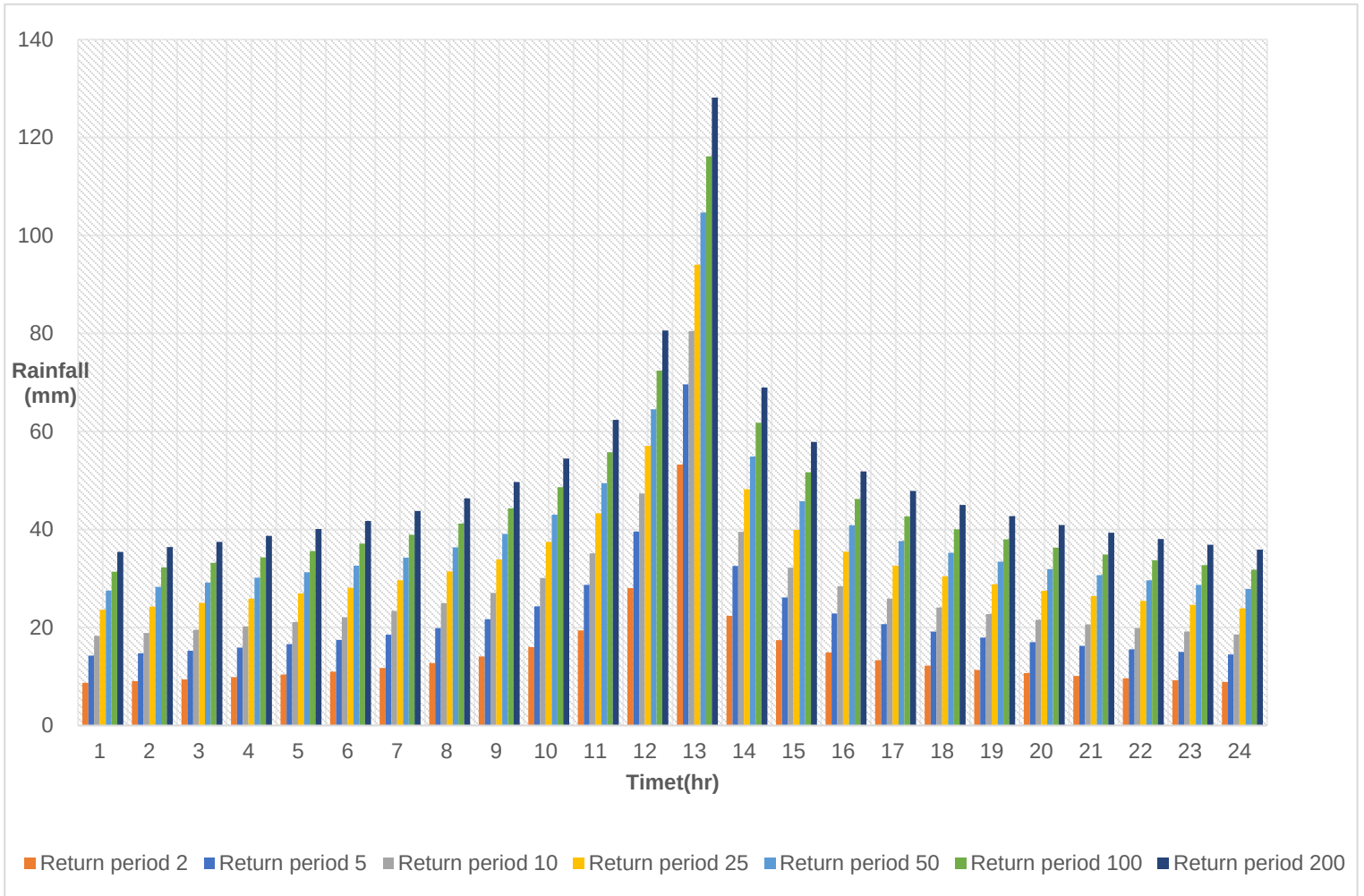


基礎資料

- 台20線南橫公路94公里處的明霸克陸橋
- 集水面積**12**km²
- 主流玉穗溪**7.8**公里
- 內無雨量站，鄰近為梅山(2)測站
- 玉穗溪為主流荖濃溪之支流



水文分析-採用Horner公式設計各重現期一日暴雨雨型



台灣地區雨量測站 Horner 公式

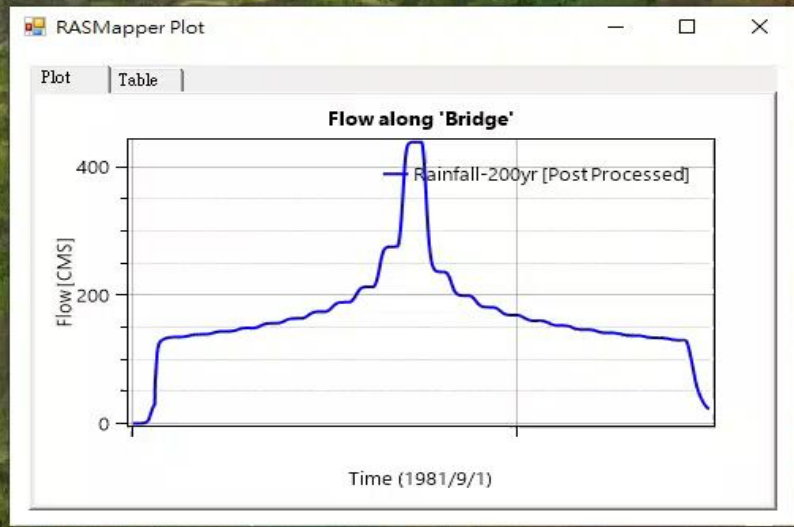
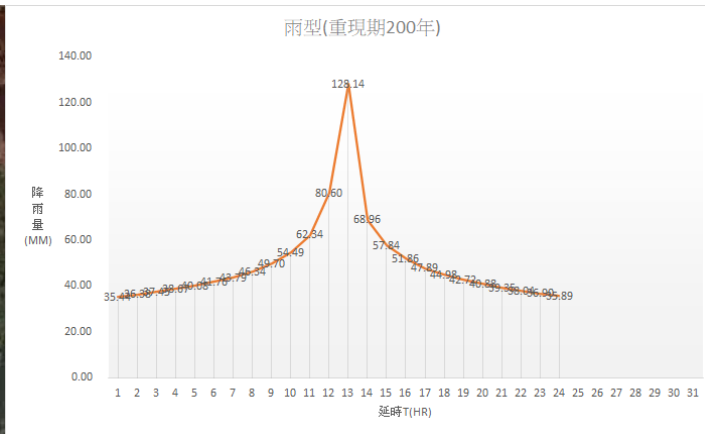
流域：	高屏溪	流域編號：	1730	
測站：	梅山(2)	測站編號：	01V060	
重現期 (年)	理論分布	參數值		
		a	b	c
2	對數皮爾遜三型	301.985	5.445	0.415
	皮爾遜三型	315.798	6.215	0.425
	三參數對數常態	304.530	5.373	0.416
	二參數對數常態	310.717	5.126	0.420
	極端值一型	288.776	4.308	0.405
5	對數皮爾遜三型	316.623	3.502	0.365
	皮爾遜三型	324.216	3.844	0.370
	三參數對數常態	320.305	3.572	0.368
	二參數對數常態	318.037	3.216	0.366
	極端值一型	304.475	2.507	0.358
10	對數皮爾遜三型	329.067	2.158	0.341
	皮爾遜三型	329.870	2.192	0.342
	三參數對數常態	330.643	2.309	0.344
	二參數對數常態	322.195	2.143	0.337
	極端值一型	323.376	1.834	0.339
25	對數皮爾遜三型	346.842	0.582	0.318
	皮爾遜三型	341.260	0.599	0.315
	三參數對數常態	344.838	0.904	0.319
	二參數對數常態	326.248	0.892	0.307
	極端值一型	350.999	1.239	0.322
50	對數皮爾遜三型	367.853	0.000	0.307
	皮爾遜三型	355.848	0.000	0.301
	三參數對數常態	356.416	0.035	0.303
	二參數對數常態	328.999	0.064	0.288
	極端值一型	372.972	0.909	0.313
100	對數皮爾遜三型	398.257	0.000	0.301
	皮爾遜三型	378.033	0.000	0.293
	三參數對數常態	378.829	0.000	0.294
	二參數對數常態	339.872	0.000	0.274
	極端值一型	395.584	0.645	0.306
200	對數皮爾遜三型	430.544	0.000	0.296
	皮爾遜三型	400.127	0.000	0.286
	三參數對數常態	401.996	0.000	0.286
	二參數對數常態	350.879	0.000	0.262
	極端值一型	418.834	0.440	0.300

註：I= a / (t+b)^c，I(mm/hr)：降雨強度，t(min)：降雨延時；
「-」表延時頻率分析不合理或選用延時過少；

以200年重現期暴雨為例(Why?)，由降雨推估逕流量(Hec Ras 2D模式)

橋位置

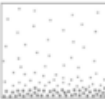
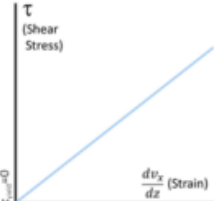
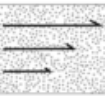
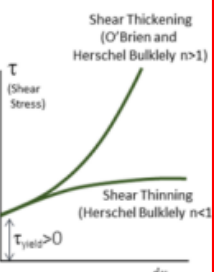
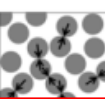
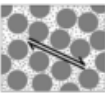
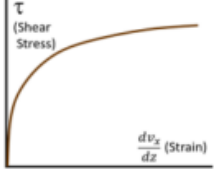
Selected: 'Depth'



大規模崩塌造成之土石流以短延時強降雨最為嚴重

土石流怎麼模擬？現場土石流是哪一種流況？ 賓漢流體不納入考量，以Debris flow為主

geotechnical approaches to account for those processes.

Flow Classification	Process	Threshold	O'Brien et al. (1993) Shear Component	Herschel Bulkley Shear Component	Rheological/ Geotechnical Model
Sediment Transport	Bedload and Suspended Load 	$C_v < 5\%$	None	None	
Hyper-concentrated Flow	Yield Stress & Viscous Losses 	$C_v > 5\%$	Bingham $\tau_y + \mu(\dot{\gamma})$	Linear $\tau_y + K(\dot{\gamma})^{n=1}$	
Mudflow	Inter-Particle Turbulence 		$\rho_m l_m^2 (\dot{\gamma})^2$	$K(\dot{\gamma})^{n \neq 1}$	
Debris Flow	Grain Collision 	Bagnold # $N_{BAG} > 40$	$\frac{0.01 \rho_p d_p^2 (\dot{\gamma})^2}{\left(\left(\frac{0.615}{C_v}\right)^{1/2} - 1\right)^2}$		
Clastic Flow	Matrix Strength 	Friction # $N_{fri} > 100^*$	Replaces the yield stress (τ_y) in either model with a Coulomb (geotechnical) model: $\tau_y = \tau_c + \sigma \tan \phi$		

Finer Sediment

Lower Concentration

Higher Concentration

Coarser Sediment



玉穗溪上游大規模崩塌造成的土石流對下游的影響

選定體積濃度CV=60%

代表粒徑=60公分

剪應力 τ $\tau_y = ae^{bC_v}$

Yield stress parameters for the O'Brian equation from Julian (1995)

Material	a (Pa)	b
"Typical soil" 典型土壤	0.005	7.5
Kaolinite 高嶺土	0.05	9
Sensitive Clays 敏感性土壤	0.03	10
Bentonite 膨潤土	0.002	100

Non-Newtonian Methods and Parameters

Non-Newtonian Method O'Brien Equation (Quadratic)

Concentration and Bulking

Volumetric Concentration (Cv) (%) Convert Conc

Select Bulking Method: Do Not Bulk

Shear Components

Yield Strength: Exponential a b

Mixture Dynamic Viscosity: Exponential B

Representative Grain Size - ds (mm): Max Cv (%) (Opt):

Generalized Herschel-Bulkley Parameters: K n

Clastic Methods: Coulomb ϕ

OK Cancel

玉穗溪上游大規模崩塌造成的土石流對下游的影響

選定體積濃度CV=60%

代表粒徑=60公分

動黏滯係數 μ $\mu_r = e^{BC_v}$

Coefficients for the viscosity exponential multiplier for different soil types from Julian (1995).

Material		B
"Typical soil"	典型土壤	8
Kaolinite	高嶺土	8
Sensitive Clays	敏感性土壤	5
Bentonite	膨潤土	100

Non-Newtonian Methods and Parameters

Non-Newtonian Method O'Brien Equation (Quadratic)

Concentration and Bulking

Volumetric Concentration (Cv) (%) 60. Convert Conc

Select Bulking Method: Do Not Bulk

Shear Components

Yield Strength: Exponential a 0.005 b 7.5

Mixture Dynamic Viscosity: Exponential B 8.

Representative Grain Size - ds (mm): 600. Max Cv (%) (Opt): 61.5

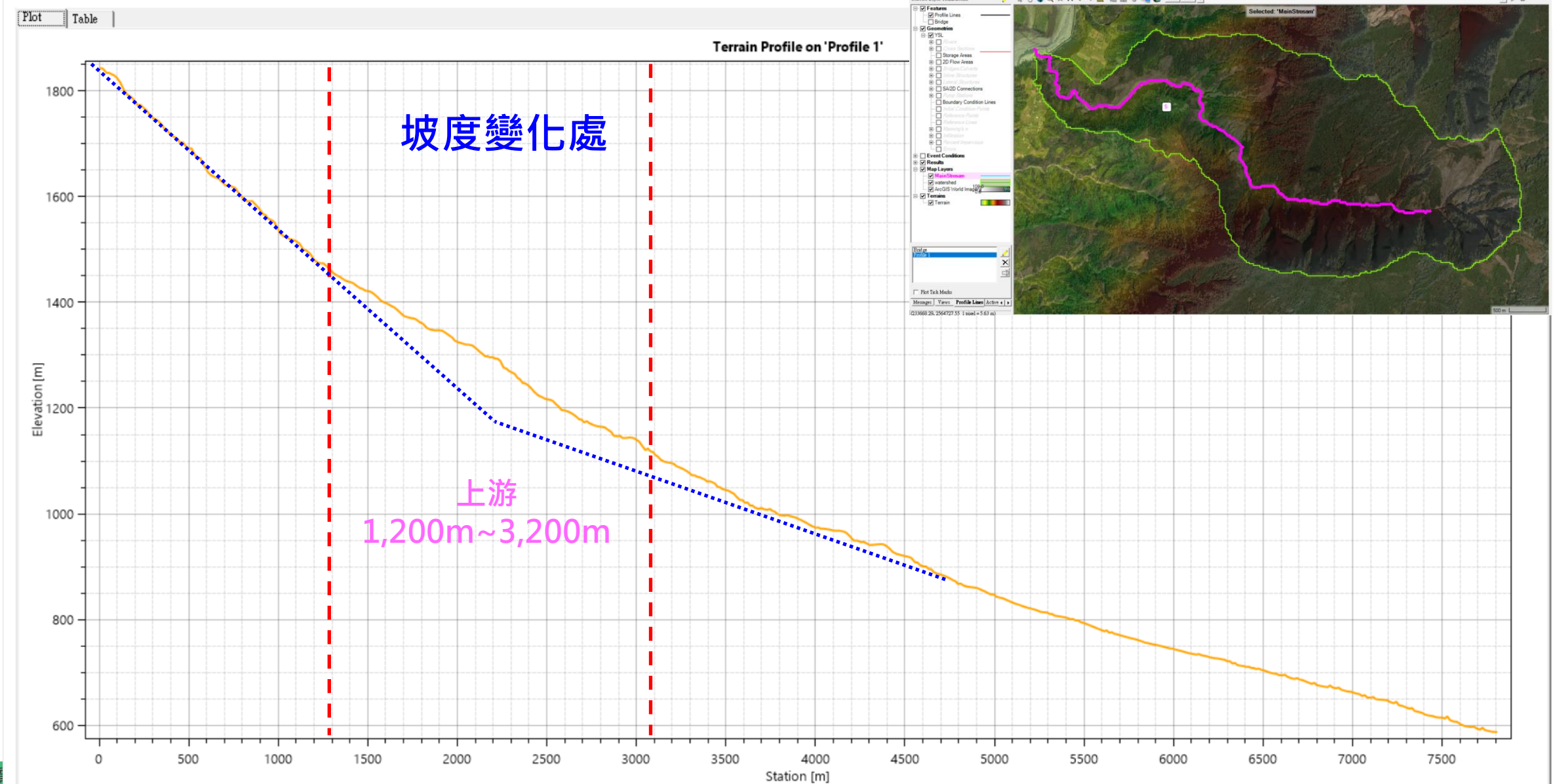
Generalized Herschel-Bulkley Parameters: K 0 n 0

Clastic Methods: Coulomb ϕ 0

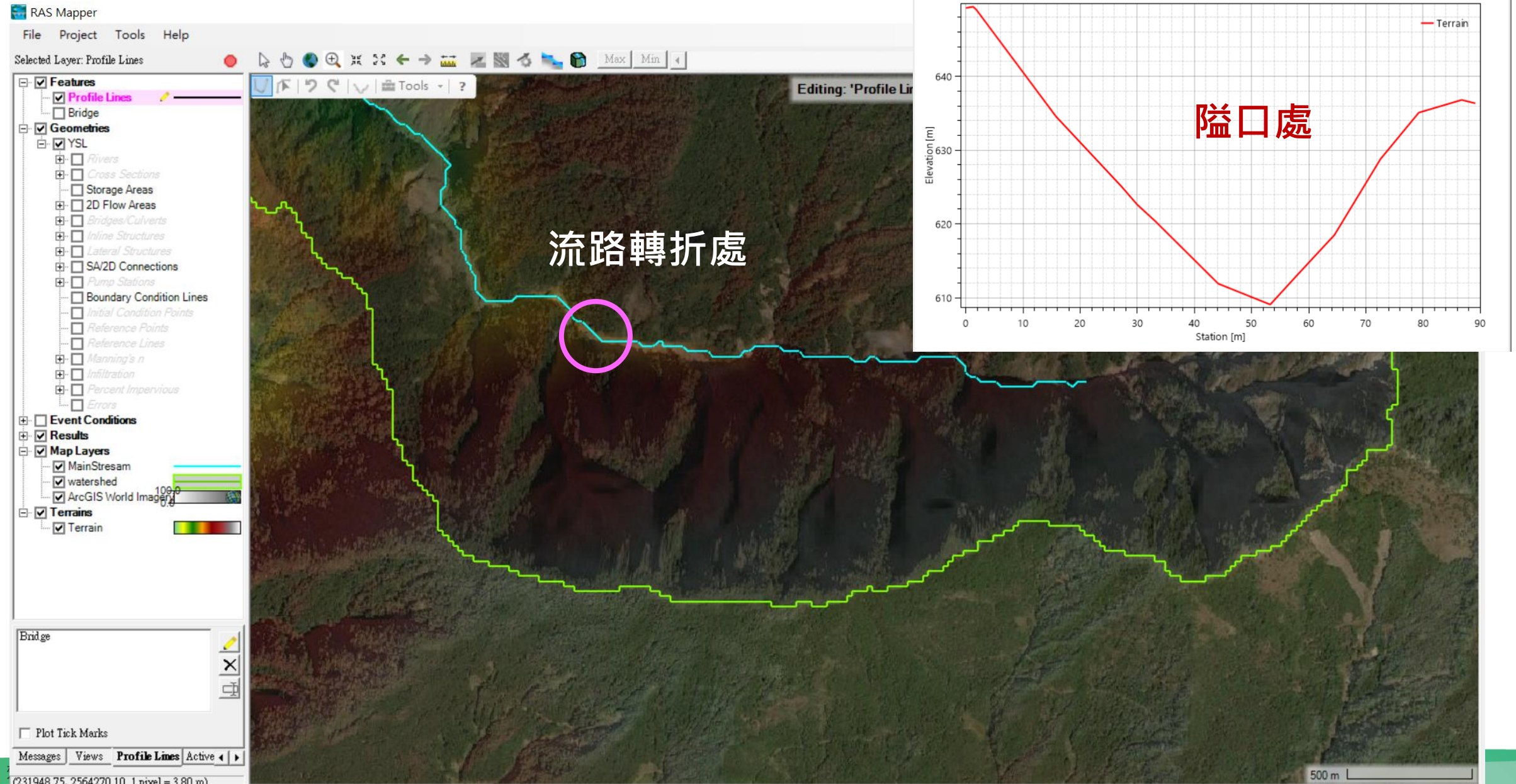
OK Cancel

玉穗溪上游堰塞湖可能發生在哪裡？水量多大？

RAS Mapper Plot



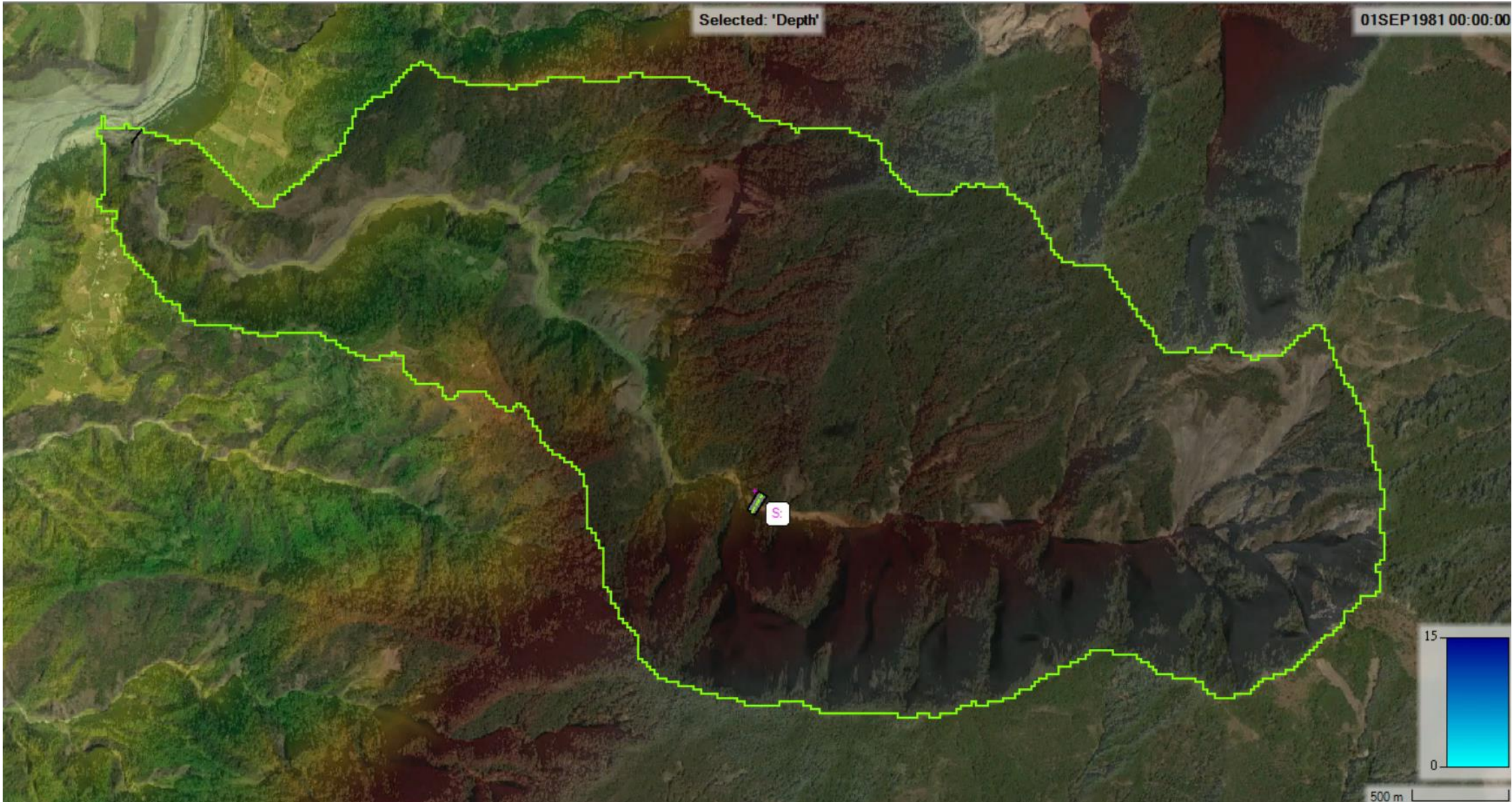
玉穗溪上游堰塞湖可能發生在哪裡？水量多大



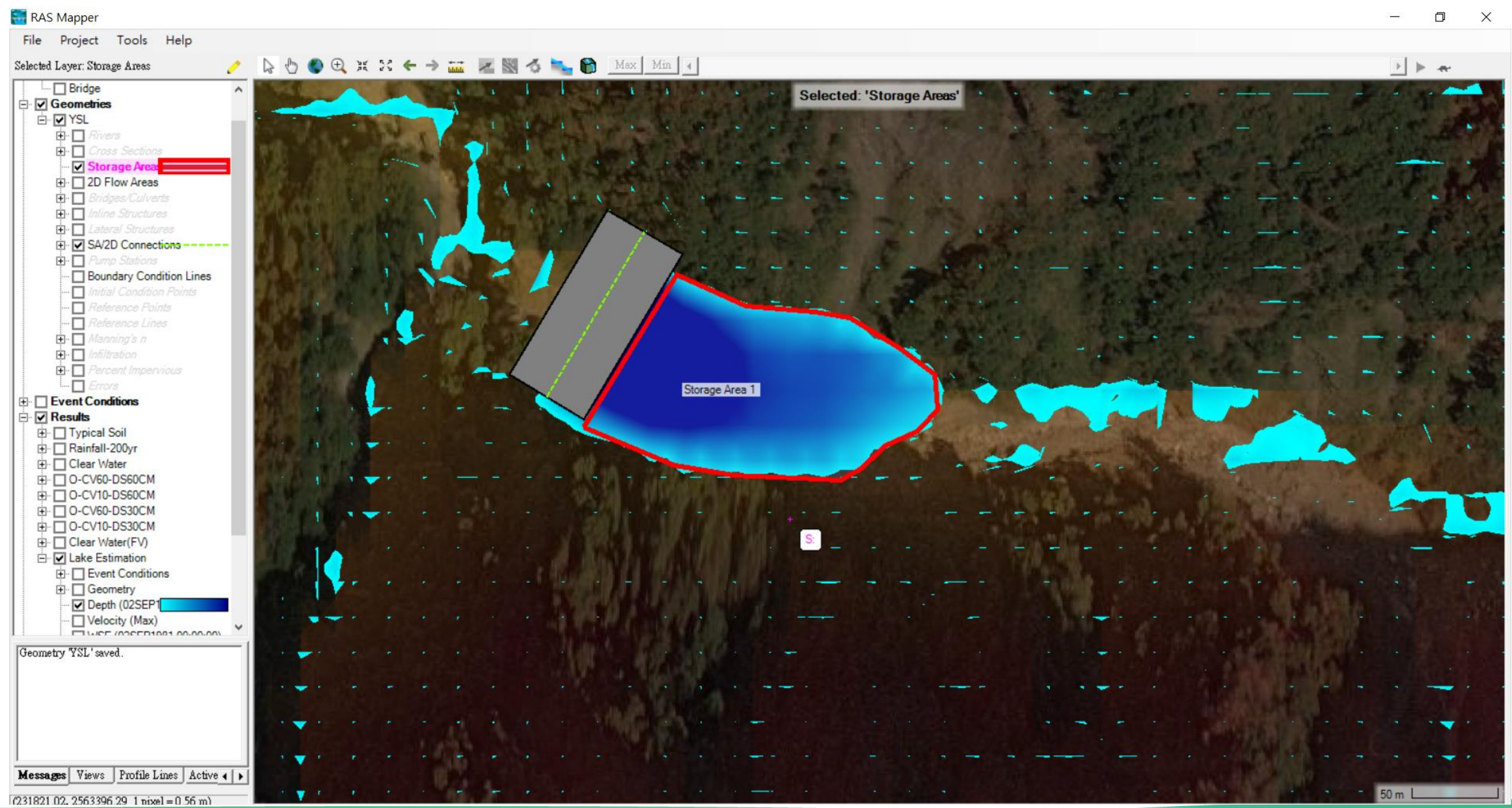




玉穗溪上游堰塞湖可能發生在哪裡？水量多大？

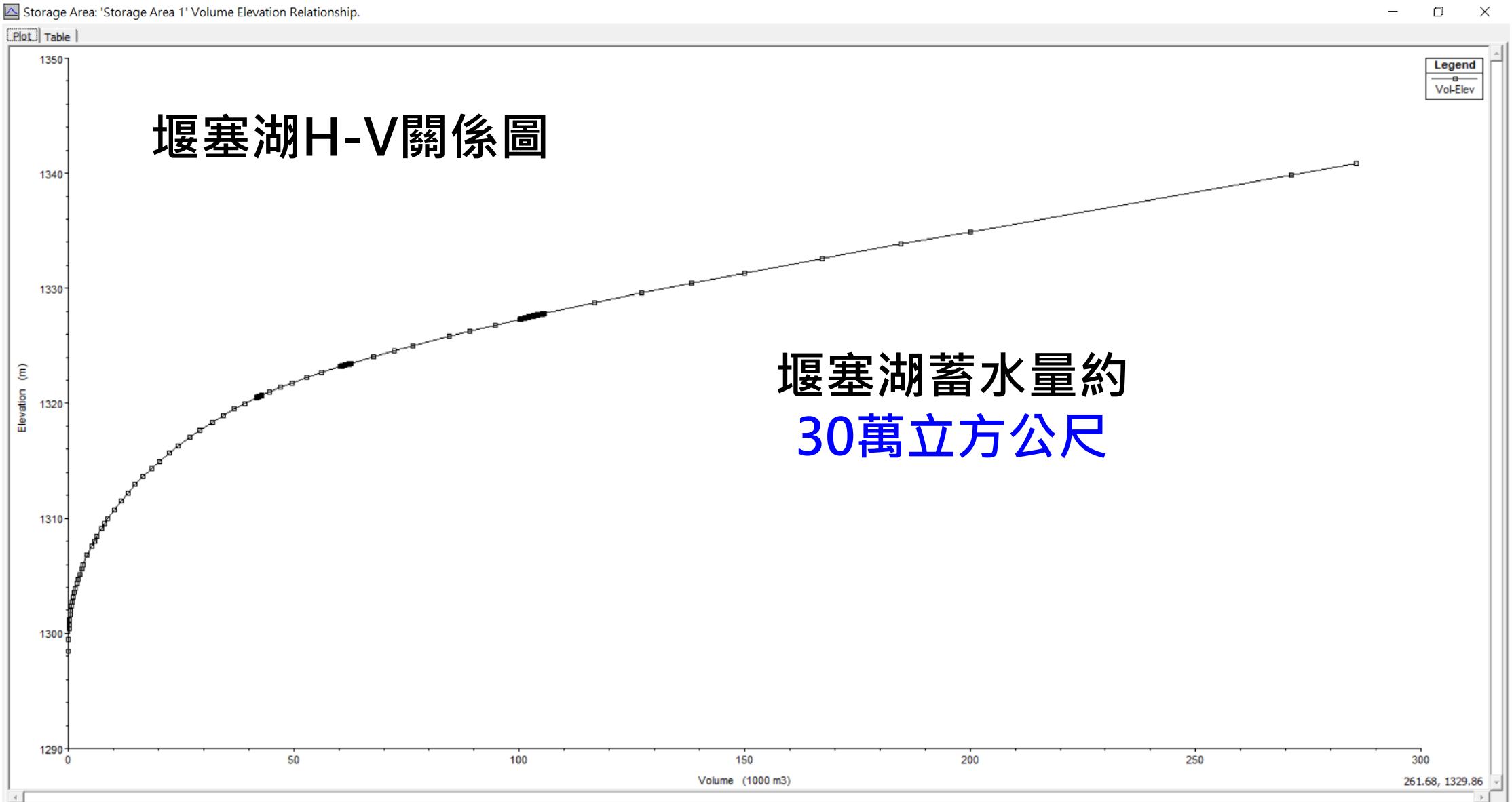


玉穗溪上游堰塞湖可能發生在哪裡？水量多大？





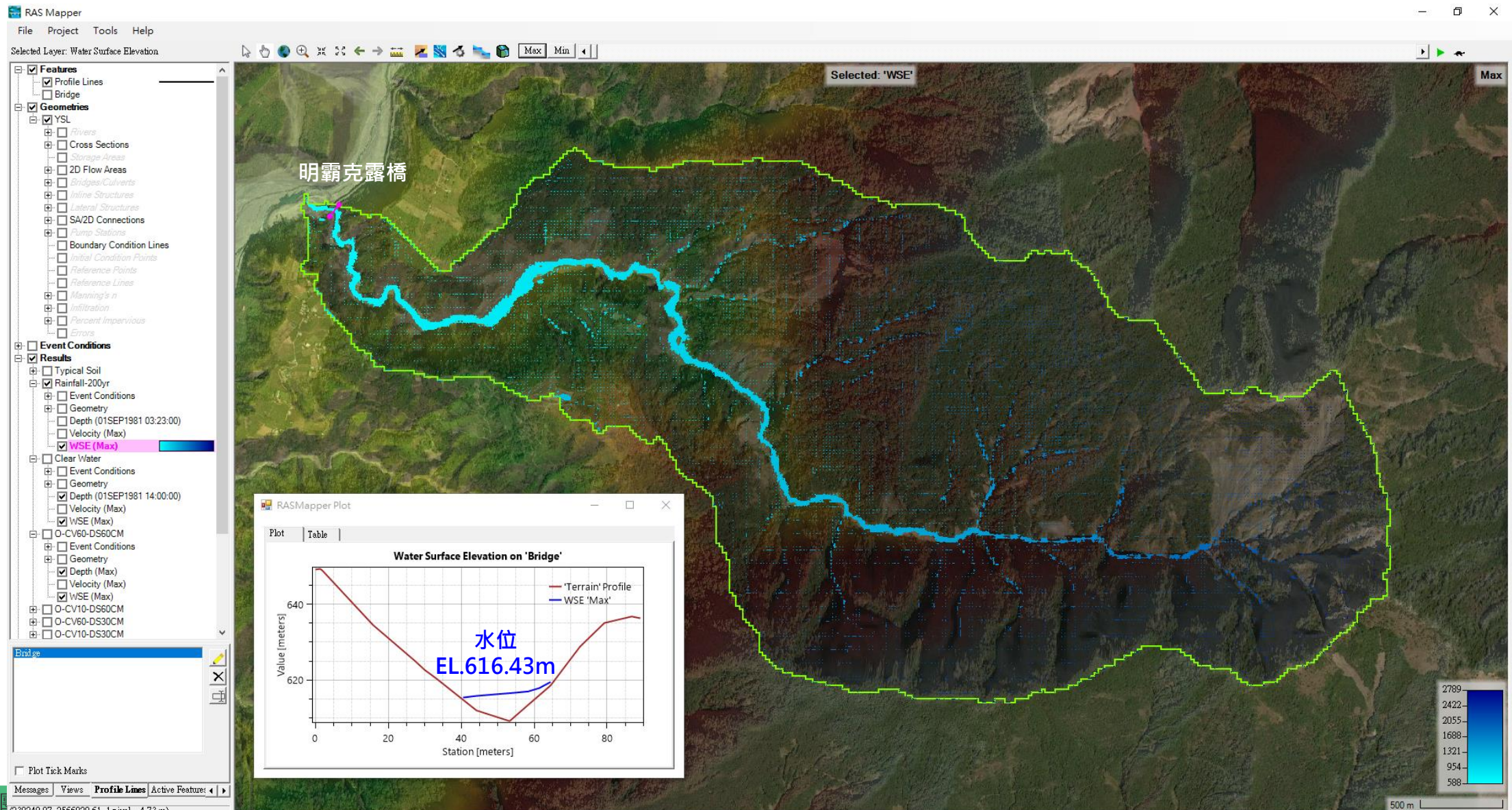
玉穗溪上游堰塞湖可能發生在哪裡？水量多大？



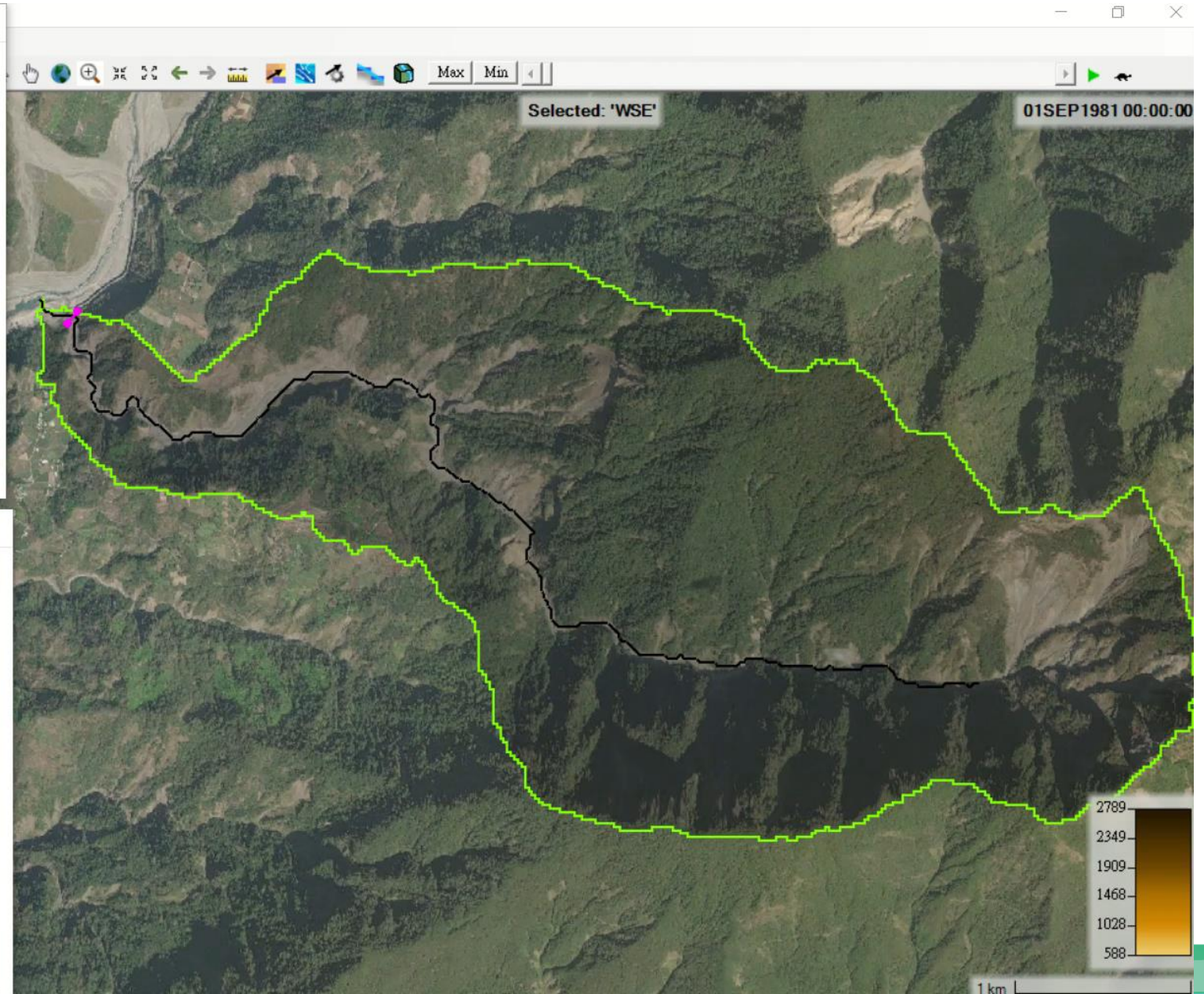
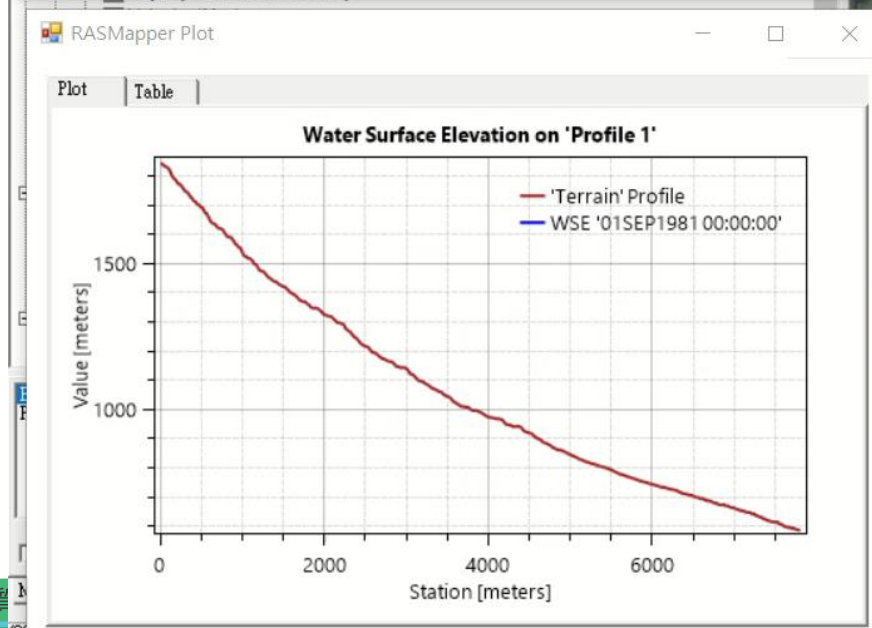
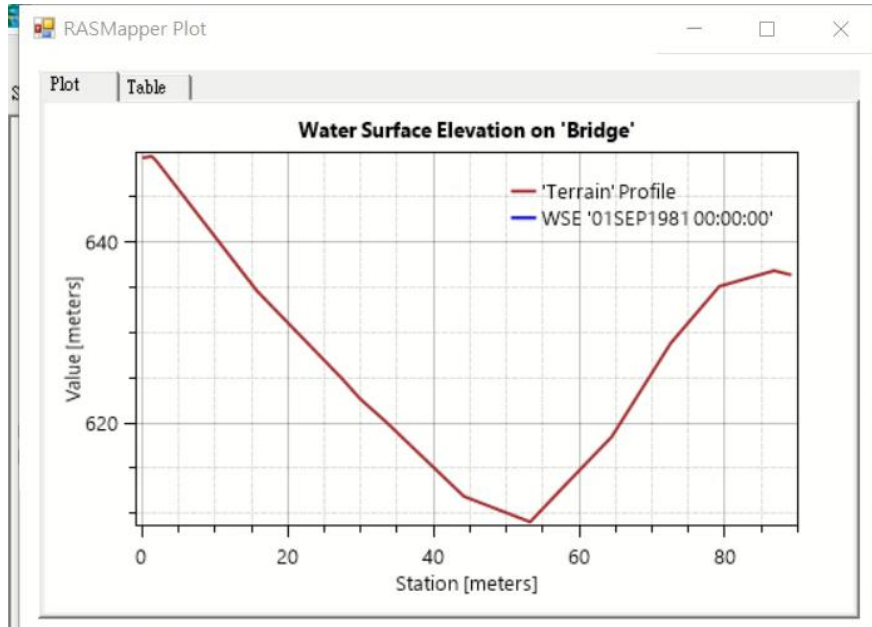


肆、數值模擬-情境事件模擬及展示

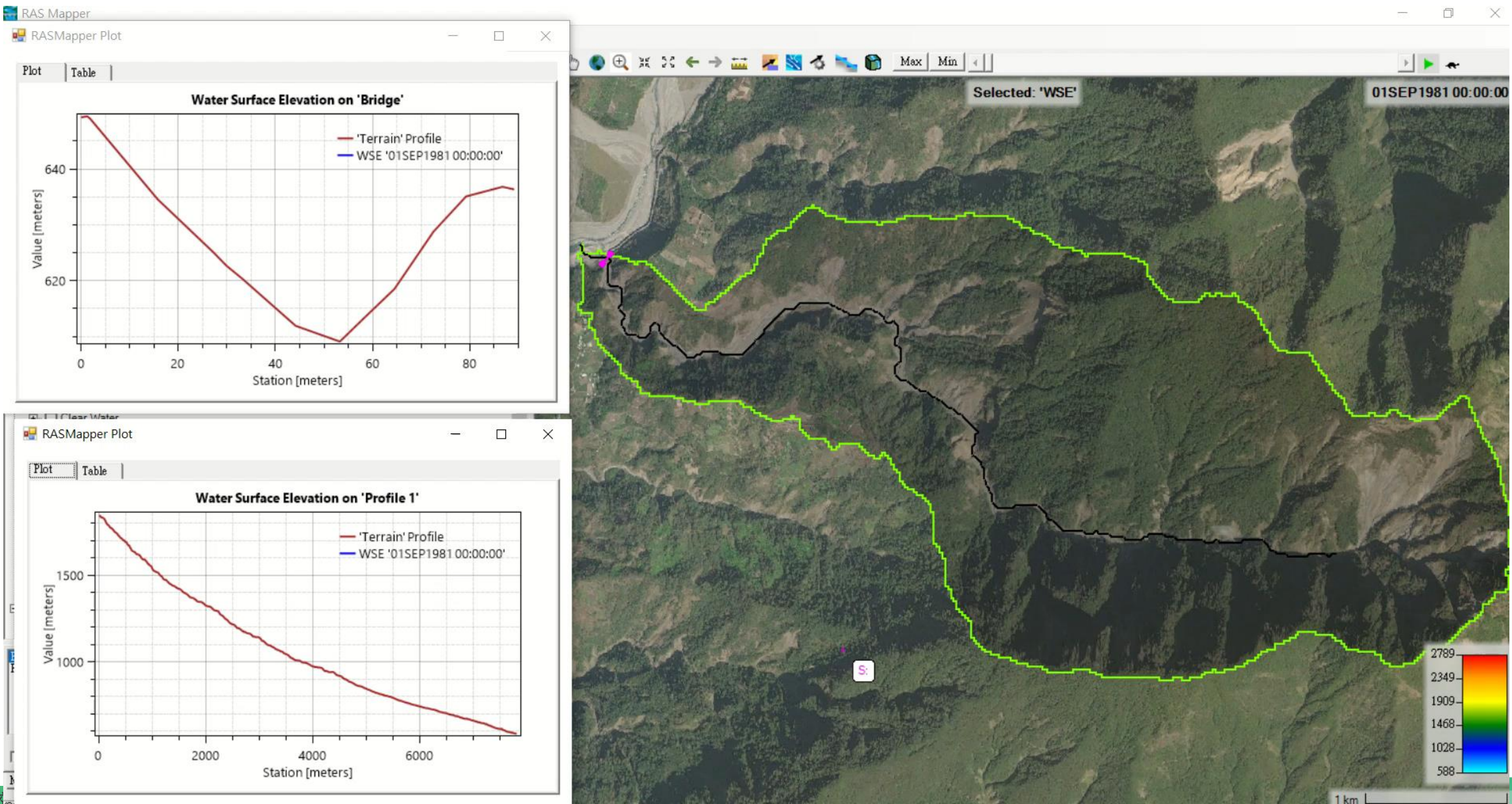
清水流模擬-200年重現期暴雨下，橋的水位變化



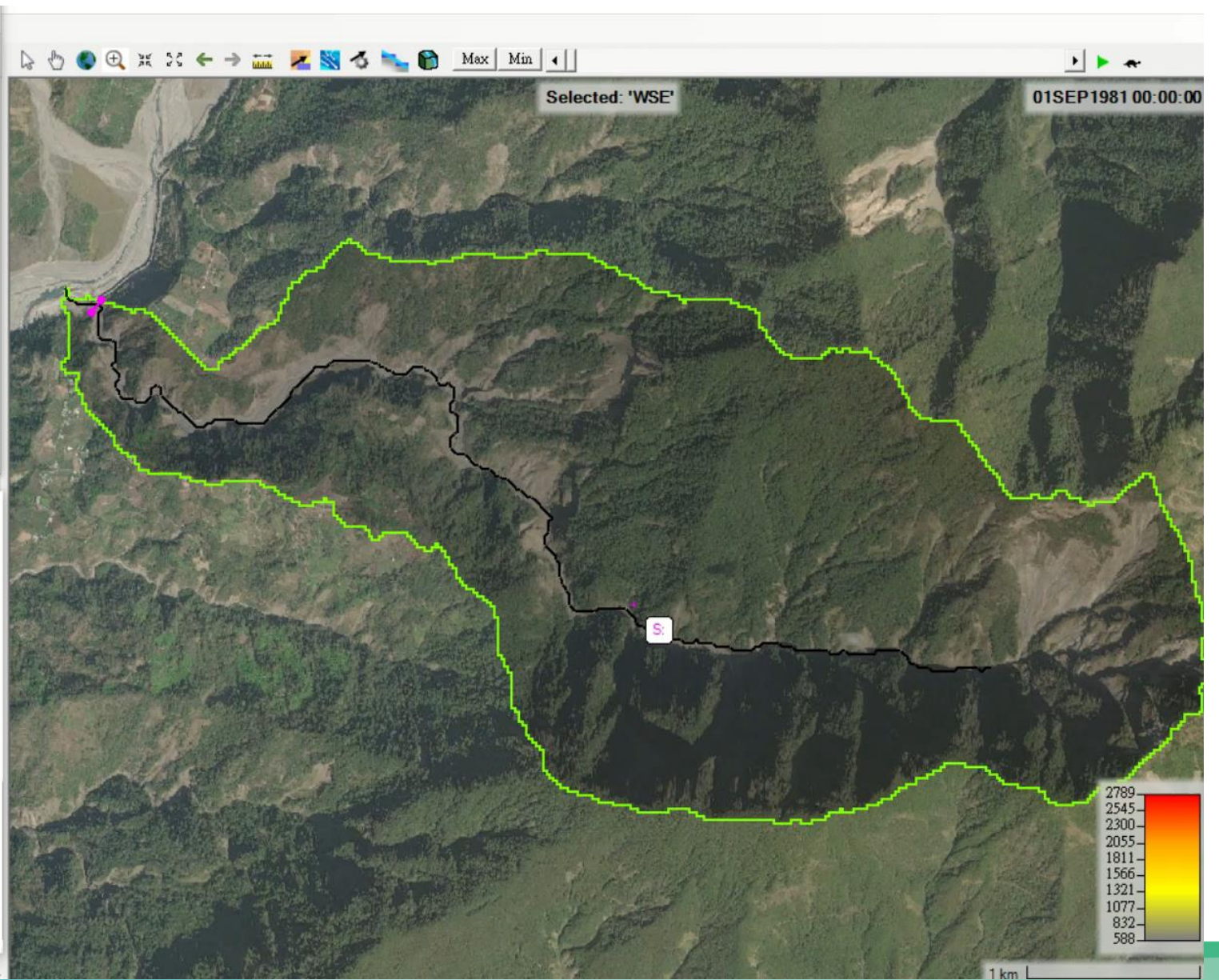
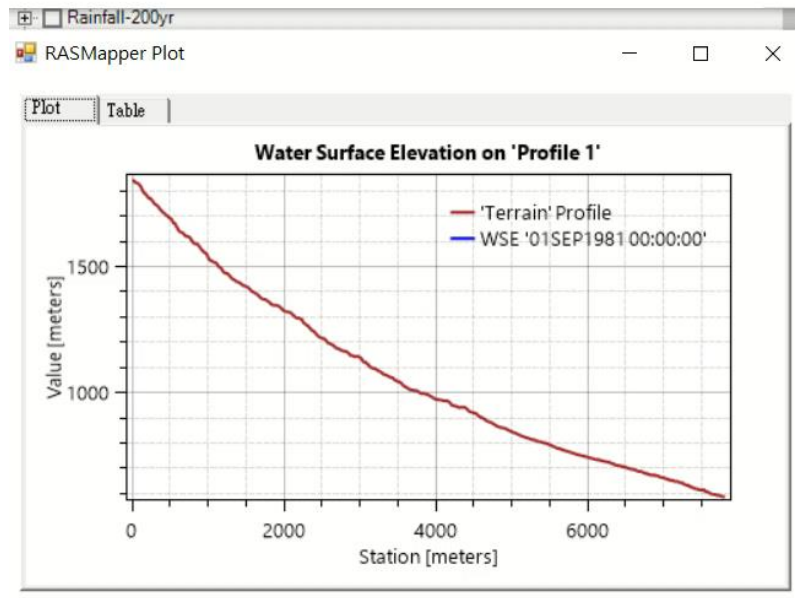
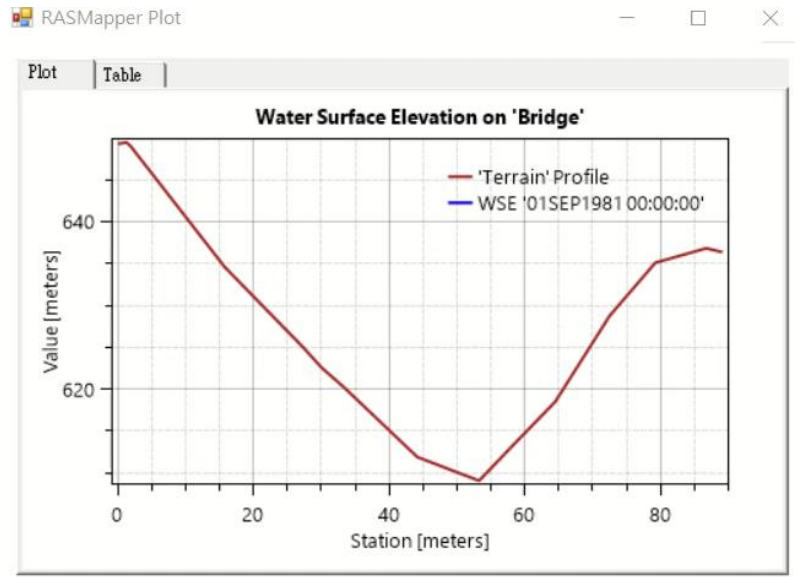
玉穗溪上游大規模崩塌土石流模擬-體積濃度 $CV=60\%$ ，代表粒徑 $d_s=60\text{cm}$



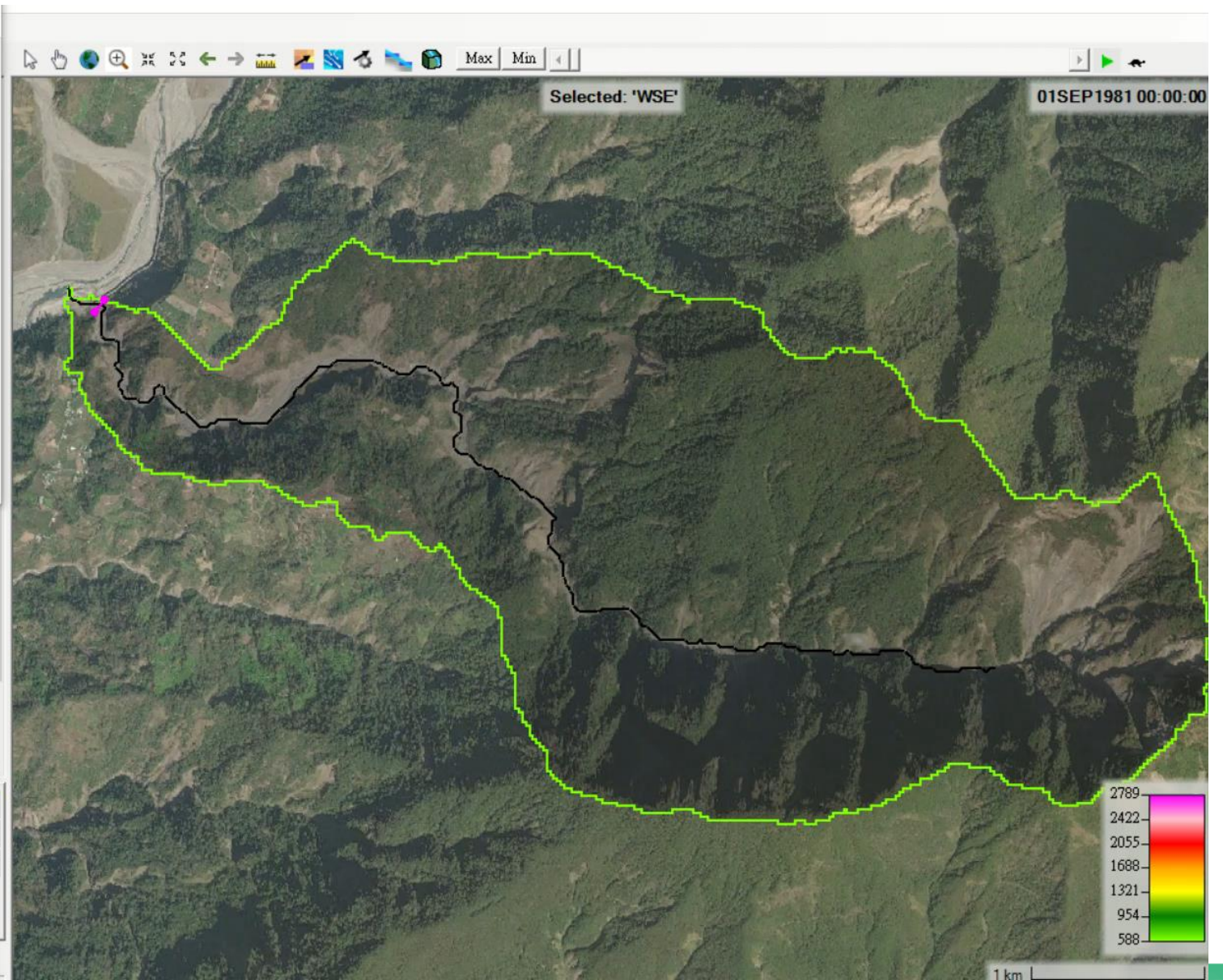
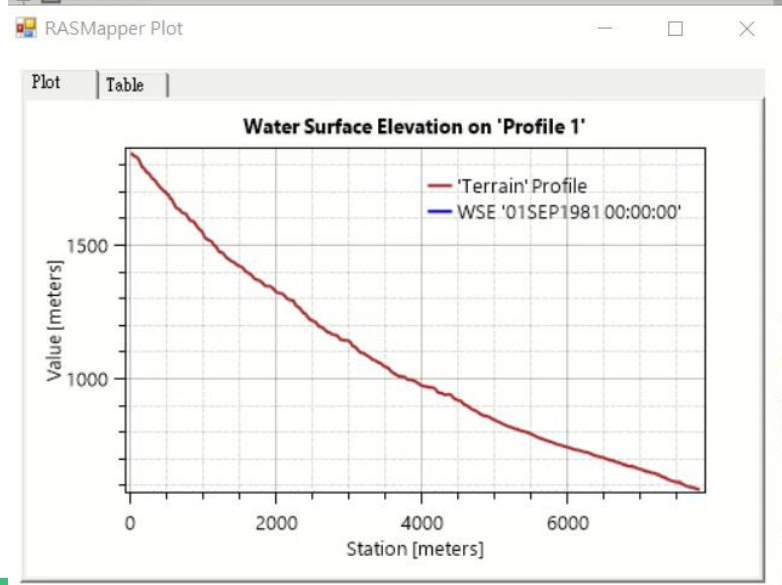
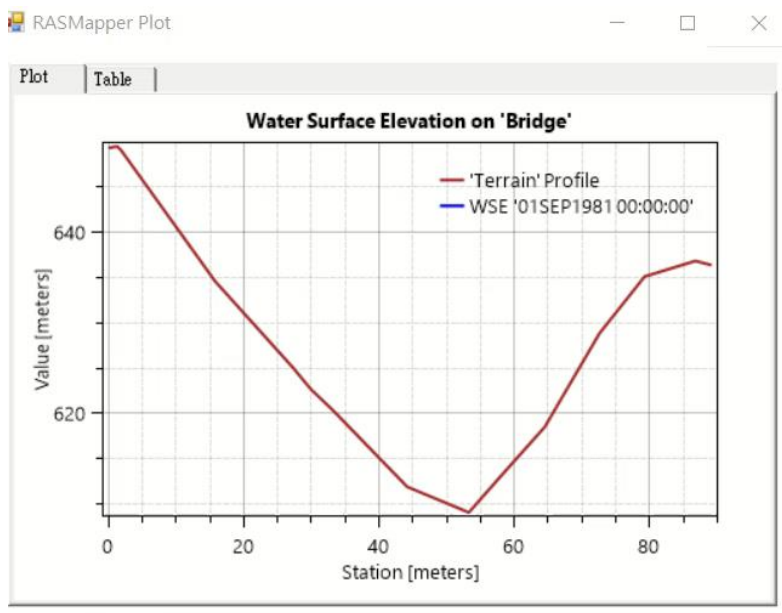
玉穗溪上游大規模崩塌土石流模擬-體積濃度 $CV=10\%$ ，代表粒徑 $d_s=60\text{cm}$



玉穗溪上游大規模崩塌土石流模擬-體積濃度 $CV=60\%$ ，代表粒徑 $d_s=30\text{cm}$

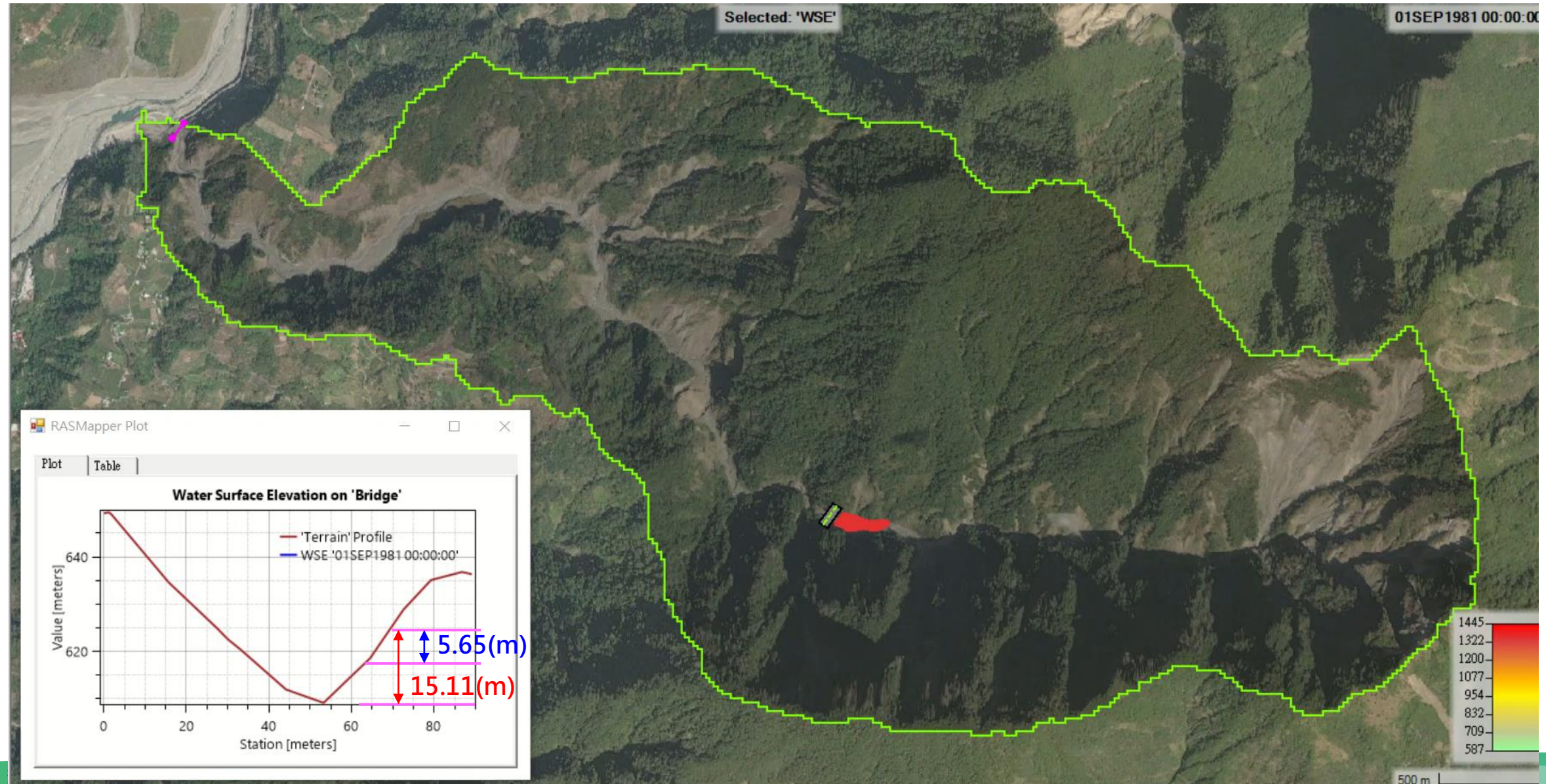


玉穗溪上游大規模崩塌土石流模擬-體積濃度 $CV=10\%$ ，代表粒徑 $d_s=30\text{cm}$





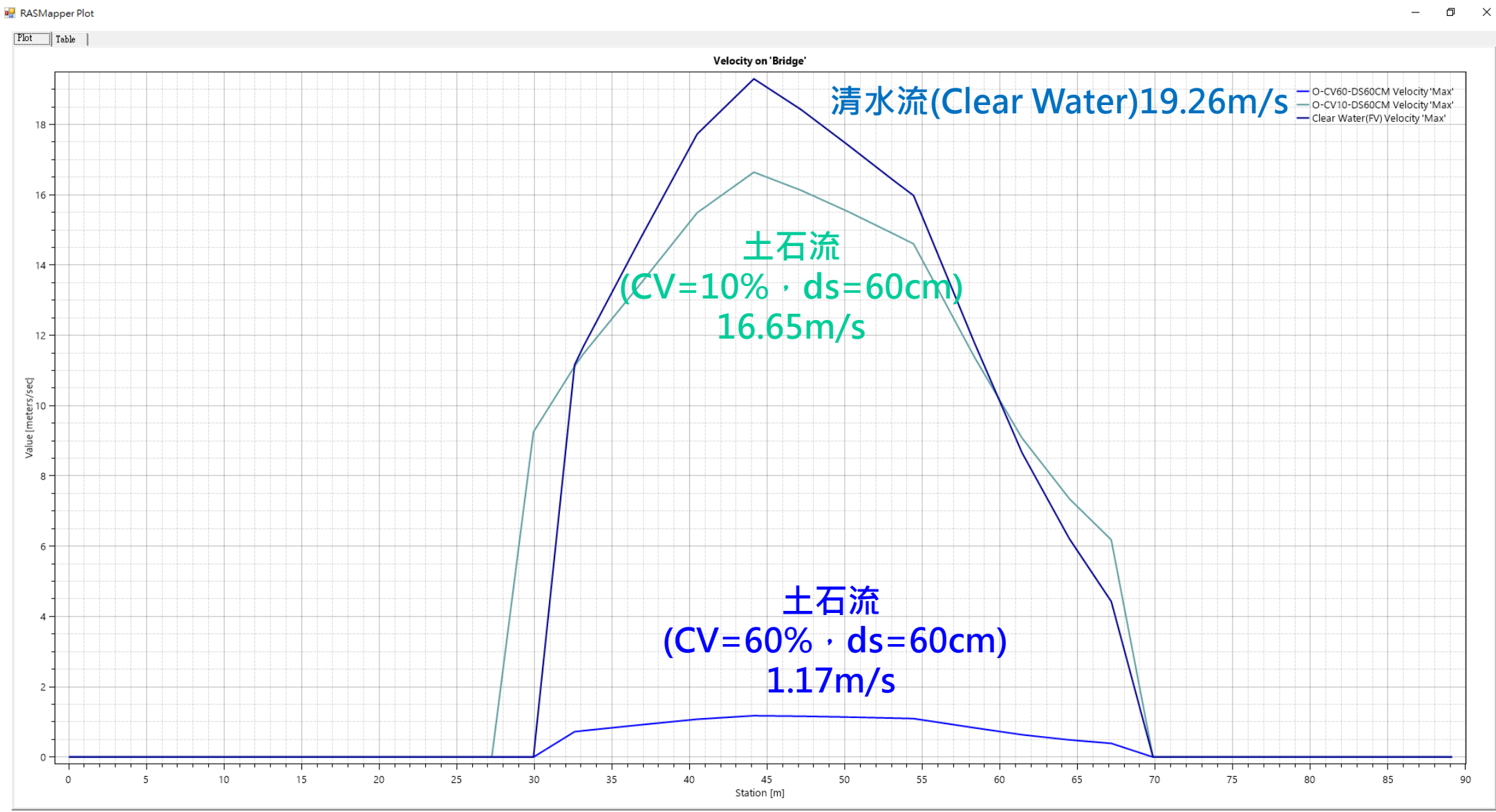
玉穗溪上游堰塞湖因一日暴雨引致潰壩模擬





伍、結果與討論

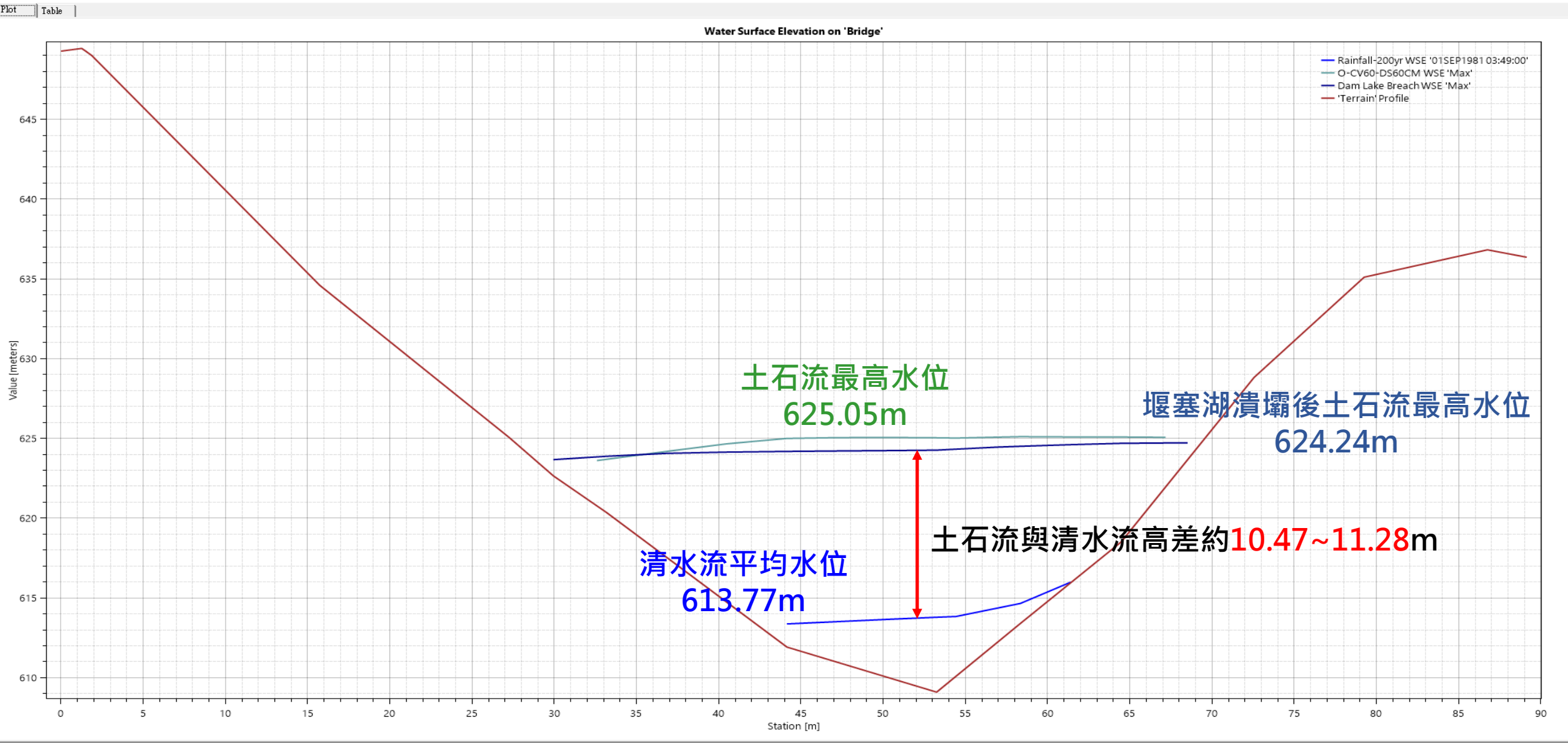
土石流跟清水流流速比較





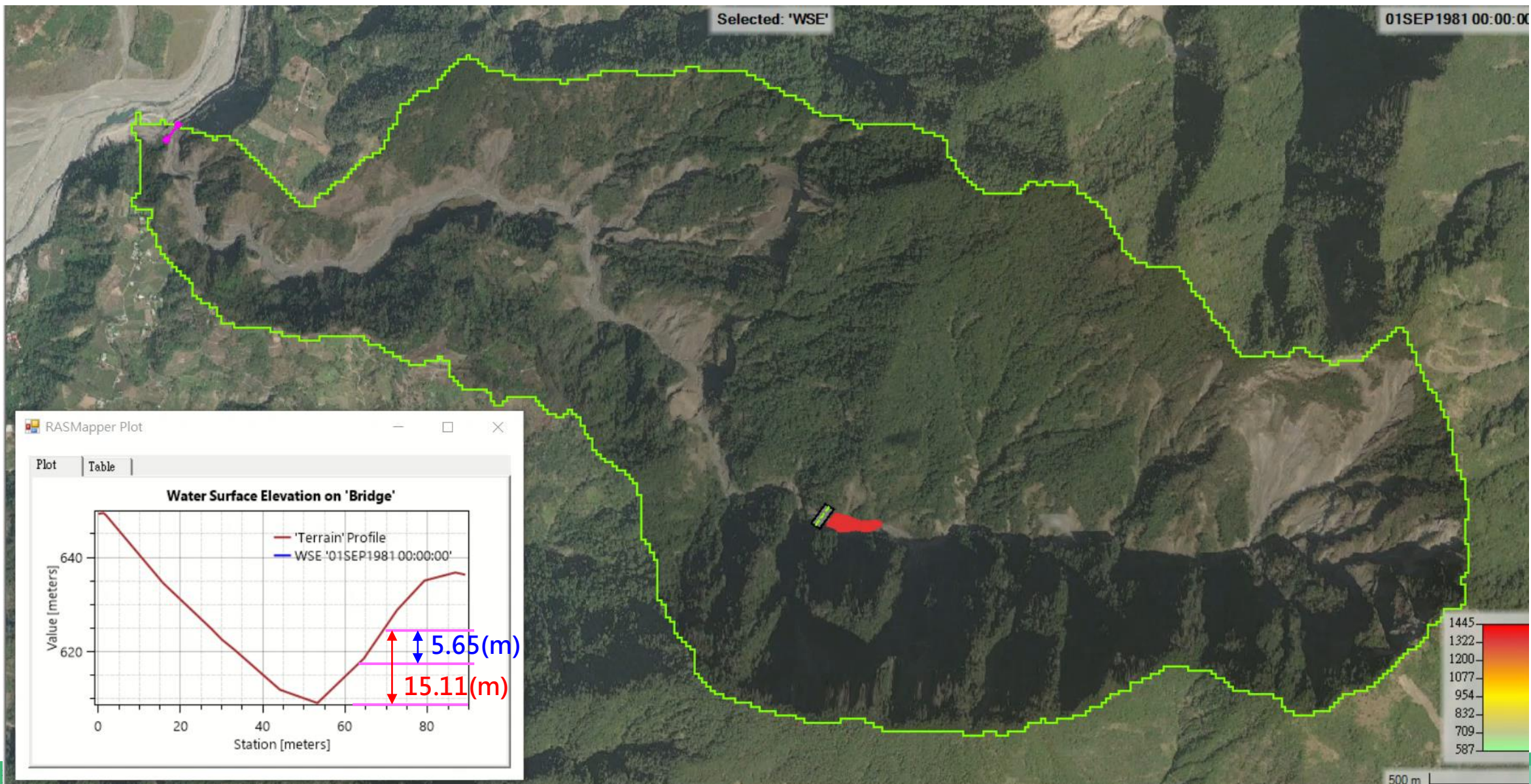
土石流跟清水流對明霸克露橋之影響

RASMapper Plot





堰塞湖潰壩後土石流對明霸克露橋之影響



初步結論：

1. CV60%，代表粒徑60cm的土石流到達明霸克露橋的流速約為1.17m/s；CV10%，代表粒徑60cm的土石流則到達時流速約為16.65m/s。而清水流模擬則可達19.26m/s，兩者相差1~16倍之多。
2. 高濃度CV60%，代表粒徑60cm的土石流到達明霸克露橋的最高水位為625.05m，而清水流模擬則為613.77m，高差達11.28m，對底床(EL.609.17m)抬升達15.88m，顯示本區土石流對明霸克露橋下方底床抬升具有明顯之影響，特別注意的是如果上游有堰塞湖產生，並且隨著一場暴雨而潰決，則可造成明霸克露橋底床抬升達15.07m，初步推測，如果玉穗溪中游仍存在大量崩塌土砂量體，未來暴雨後流動將仍以土石流為主，且其對明霸克露橋的影響非常明顯，依目前橋梁高度約10m，估計仍有不足之疑慮，建議針對上游土砂應有其他排除策略，或是持續對橋面下底床清淤，避免之後土砂危害橋梁。
3. 堰塞湖潰壩往往是由於一場暴雨溢頂(Overtopping)而潰決，初步模擬結果顯示，堰塞湖壩高54m，壩後水量蓄積達30萬立方公尺，約93個游泳池，以土石流流動態狀模擬，潰壩後將增加明霸克露橋底床抬升約5.65m，後續將持續注意本區是否有堰塞湖形成，並提前判釋/模擬可能之蓄水量，提早評估潰決後對橋梁之影響。

初步結論：

3. 堰塞湖潰壩往往是由於一場暴雨溢頂(Overtopping)而潰決，初步模擬結果顯示，堰塞湖壩高54m，壩後水量蓄積達30萬立方公尺，約93個游泳池，以土石流流動態狀模擬，潰壩後將增加明霸克露橋底床抬升約5.65m，後續將持續注意本區是否有堰塞湖形成，並提前判釋/模擬可能之蓄水量，提早評估潰決後對橋梁之影響。
4. 本次模擬明霸克露橋水位，都是指通過時的水位/土砂高程，意即尚未考慮玉穗溪出口主流荖濃溪河床阻礙或室外水阻擋等問題，建議除了玉穗溪上游土砂所引致的土石流外，應特別注意玉穗溪下游出口荖濃溪的清除問題，以避免土砂排放時，受荖濃溪土砂淤積問題而加劇明霸克露橋底床淤積情形。
5. 未來本區大規模崩塌土砂仍會持續影響玉穗溪流動情況，一場暴雨後，可能仍以土石流流動為主，相對河道輸砂問題，暫時不是重點。
6. 建議本區域持續拍攝高精度數值高程地形，以利後續土石流數值模擬的準確度。