

捌、堰塞湖避難防災警戒值及警戒範圍訂定

凡那比颱風過後，原包盛社堰塞湖水體皆已流失，是以就現況來說下游部落區域已無受堰塞湖潰壩致災之可能性，然而根據前述分析，由於崩塌區內仍有大量不穩定崩落土石待流出，雖然該蓄水區域已受週邊支流土砂壓縮，若再次蓄水應不若莫拉克後初形成之堰塞湖規模，但仍然是具有再次阻塞河道蓄積成湖之可能性。而該區位處流域深處，交通可及性差，若再次阻塞成湖，在進一步取得現地測量與調查成果前，可先行參考本計畫針對莫拉克颱風後形成之堰塞湖所提出之堰塞湖避難防災警戒機制，待取得實際資料後再行修正，現將相關堰塞湖避難防災警戒規劃說明如下：

8-1 太麻里溪堰塞湖避難防災警戒施行問題分析

有關堰塞湖防災警戒值之訂定，依據民國 99 年 5 月 5 日林務局召開國有林地堰塞湖處理專案小組第一次會議結論，考量災後集水區土砂運移變化十分劇烈，災害規模難以預估，且二次災害發生之可能性極高，建議維持民國 98 年災後經學者專家開會研商所訂定之堰塞湖防災警戒值，以鄰近太麻里溪堰塞湖之雨量站實際測得 24 小時累積雨量達 200 毫米時，發佈強制撤離通知。

另考量防災應變期間，現有防災警戒值於執行面或決策面可能遭遇執行不易之問題，本計畫亦依據相關評估結果，考量防災應變期間實際操作時可能遭遇之問題，提出相關成果供參，說明如下：

一、利用即時雨量資料作為警戒基準值之評估

若能取得集水區即時降雨資料，可利用雨量估算河川流量(逕流量)，依據河川流量之變化，作為防災預警之判定基準。由於集水區內實際降雨型態在空間及時間上之分佈差異性可能甚大，實際操作時須考量監測區域內雨量站分布之密度與代表性，倘若堰塞湖參考雨量站所提供之降雨資料與



集水區內實際降雨分佈差異甚大時，將對於防災應變期間發佈疏散避難之決策下達時機造成重大影響。

除了參考雨量站之代表性問題外，降雨逕流分析成果之正確性亦須與河川實際流量進行比對，若監測區域無實測水位或流量資料可供率定，亦無法驗證流量估算成果之正確性。

二、利用河川水位作為警戒基準值之評估

水利署現行河川洪水預警之方法，乃利用河川水位站所回傳之即時資料，根據水位上漲速率與河川特性進行研判，預測河川未來 2 至 5 小時之水位，作為預警發佈時機之水位(警戒水位)，有關堰塞湖之防災預警亦可參考此方法，但因既設河川水位站之數量有限，若堰塞湖並無既設水位站可提供即時水位觀測資料，則無法參照此方式進行防災預警作業。

然而太麻里河流域內現無即時水位站，因此目前無即時水位資料可利用作為防災預警使用。

8-2 原太麻里堰塞湖避難防災警戒雨量基準

8-2.1 下游部落警戒水位分析

太麻里溪堰塞湖溢流水道緊急挖降工程已於 98 年 12 月施做完成，後續進行溢流道之擴挖及強化加固作業，雖然當時之堰塞湖水深僅約近 6 公尺，而且經相關評估結果顯示，本堰塞湖發生全面性潰決之機率極低，意即堰塞湖堆積土體於短時間內發生大規模破壞之風險極小，下游聚落因堰塞湖潰壞導致災害之風險亦相對較低。然而因災後河道土石不穩定堆積量體極大，倘若颱風期間洪水伴隨土砂劇烈運移作用下，可能加劇災害規模，故有關下游聚落防災警戒值之訂定，應以洪水或土石流災害來考量較為適當，即透過河川警戒水位之訂定，作為防災預警之基準。

由於現地並無設置相關之水位監測設備，為能簡化防災預警作業之操作並提供下游部落警戒避難之作業方法，本節利用前面章節所述之降雨逕流模式(運動波模式)，根據水文、水理及地形資料進行分析，提供訂定相關警戒值之建議。

本計畫利用 HecRAS 定量流模式針對下游部落斷面地形進行不同設計流量之水理檢核，相關檢核成果如表 8-2.1 所示，表 8-2.1 中列出各部落在不同流量條件下之河川水位及平均流速，防災應變操作時，可依據表中所列河川水位及流速研判堤防出水高是否接近警戒水位，或是河川流速是否可能造成堤防或河岸發生沖刷破壞。

表8-2.1 部落安全斷面檢核表

河段	設計流量 部落高程	1000 cms		2000 cms		3000 cms		4000 cms		5000 cms	
		水位	流速	水位	流速	水位	流速	水位	流速	水位	流速
	(m)	(m)	(m/s)	(m)	(m/s)	(m)	(m/s)	(m)	(m/s)	(m)	(m/s)
布查其蘭	83.4	79.0	3.7	79.9	4.9	80.5	5.9	81.5	6.7	81.5	7.5
嘉蘭	76.7	71.6	4.1	72.7	5.1	73.4	5.9	74	6.7	74.5	7.3
溪頭	52.3	48.2	4.1	49.1	5.0	49.8	5.7	50.3	6.4	51.0	6.9
香蘭	24.7	17.8	4.2	18.7	5.7	19.4	6.7	20.1	7.4	21.3	8.1
德其里	11.9	8.9	4.0	8.9	5.1	9.0	5.9	9.2	6.6	9.4	6.9

接著假設降雨分佈為均勻降雨，利用數個固定強度之設計降雨推算下游部落所在河段之流量歷線變化，由於流量歷線估算時採清水流流況，故將其流量值乘上 1.3 之潰壩流量影響係數後再乘上 1.3 之土石流係數，得到一極端之流量範圍，並將其繪製成一簡易之降雨-流量率定圖，如圖 8-2.1 所示。

藉由前述部落斷面檢討所得之警戒流量，配合此降雨-流量率定圖進行比對，即可得到不同降雨強度下所造成之流量到達警戒值之時間，如表 8-2.2 所列。由其可知，在 40 mm/hr 之降雨強度下，需連續下 6 小時皆超過此強度之降雨才會到達警戒值；倘若是 100 mm/hr 之極端降雨亦至少需下超過 2 個小時，即超過 24 小時累積雨量 200 mm 之狀況才會到達警戒值。是即藉由此方式可讓防災應變操作單位儘速藉由雨量之變化瞭解現地流量可能的變化，亦可提早進行相關作業之準備。

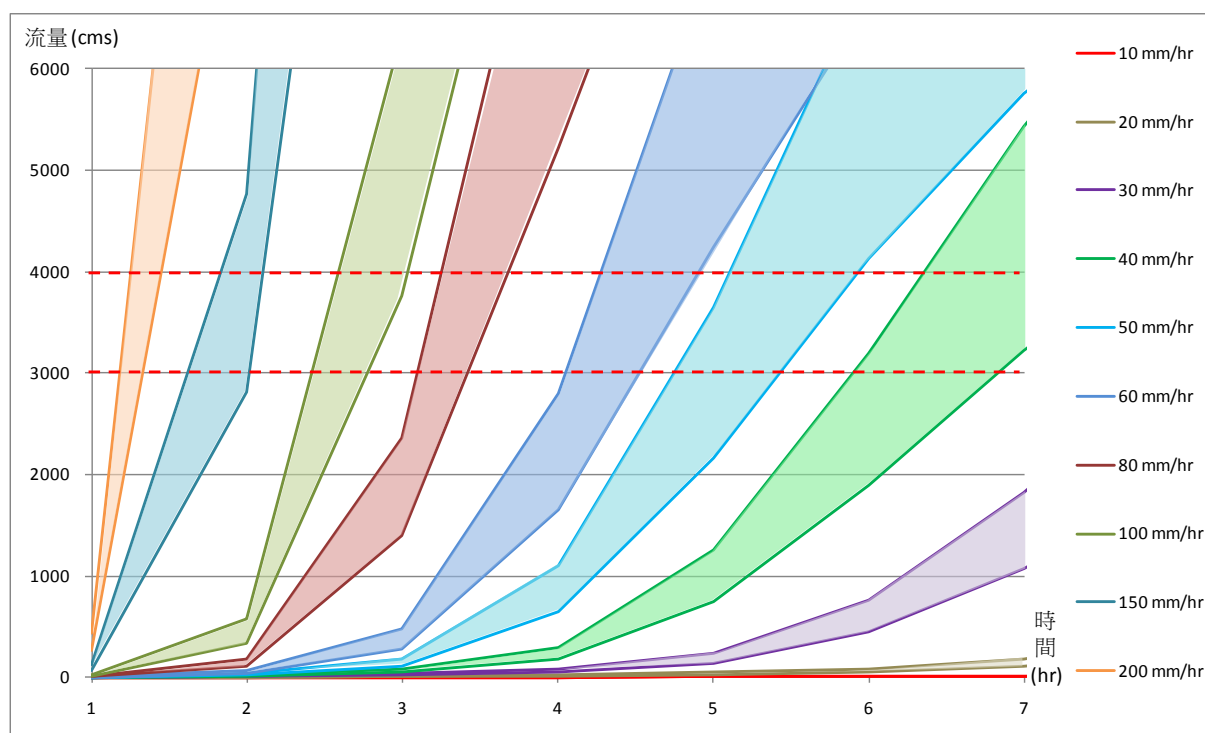


圖8-2.1 太麻里溪下游降雨-流量率定圖

表8-2.2 不同連續降雨強度到達警戒流量之時間表

	1000 cms		2000 cms		3000 cms		4000 cms	
20 mm/hr	9hr	11 mins	10hr	46 mins	12hr	30 mins	14hr	55 mins
	10hr	17 mins	13hr	18 mins	19hr	9 mins	24hr	以上
30 mm/hr	6hr	14 mins	7hr	8 mins	7hr	52 mins	8hr	39 mins
	6hr	53 mins	8hr	10 mins	9hr	37 mins	11hr	45 mins
40 mm/hr	4hr	44 mins	5hr	23 mins	5hr	54 mins	6hr	22 mins
	5hr	14 mins	6hr	5 mins	6hr	50 mins	7hr	42 mins
50 mm/hr	3hr	54 mins	4hr	21 mins	4hr	45 mins	5hr	6 mins
	4hr	14 mins	4hr	54 mins	5hr	26 mins	5hr	56 mins
60 mm/hr	3hr	14 mins	3hr	39 mins	4hr	3 mins	4hr	17 mins
	3hr	31 mins	4hr	8 mins	4hr	31 mins	4hr	54 mins
80 mm/hr	2hr	23 mins	2hr	50 mins	3hr	6 mins	3hr	15 mins
	2hr	42 mins	3hr	9 mins	3hr	25 mins	3hr	41 mins
100 mm/hr	2hr	4 mins	2hr	15 mins	2hr	25 mins	2hr	36 mins
	2hr	12 mins	2hr	29 mins	2hr	47 mins	3hr	2 mins
150 mm/hr	1hr	11 mins	1hr	24 mins	1hr	37 mins	1hr	50 mins
	1hr	20 mins	1hr	42 mins	2hr	1 mins	2hr	6 mins
200 mm/hr	1hr	2 mins	1hr	7 mins	1hr	11 mins	1hr	15 mins
	1hr	5 mins	1hr	13 mins	1hr	20 mins	1hr	27 mins

8-2.2 太麻里堰塞湖警戒雨量之訂定

另外，根據圖 3-3.1 與圖 3-3.2 太麻里堰塞湖集水區鄰近雨量測站之分布圖，由圖顯示，太麻里溪堰塞湖集水區範圍內僅下游出海口處存有中央氣象局雨量站(金峰站及太麻里站)，上游處鄰近雨量站均位於集水區範圍外。亦即鄰近之雨量測站資料與包盛社集水區內之雨量情勢必有相當出入，故若採用鄰近雨量站資料做為雨量資料來源，恐有代表性不足之處。圖 8-2.2 即太麻里包盛社堰塞湖集水區以及鄰近氣象局雨量站位置點繪圖，可以得知包盛社鄰近有 5 個較為接近的雨量站，分別為太麻里雨量站、阿禮雨量站、瑪家雨量站、赤山雨量站以及來義雨量站，各個雨量站因所在位置與集水區各有不同，故將與特性有其差異，圖 8-2.3 為這些雨量站在

莫拉克颱風時期之雨量組體圖與累積雨量圖，可以看出在颱風來時各個雨量站之雨量差異性。

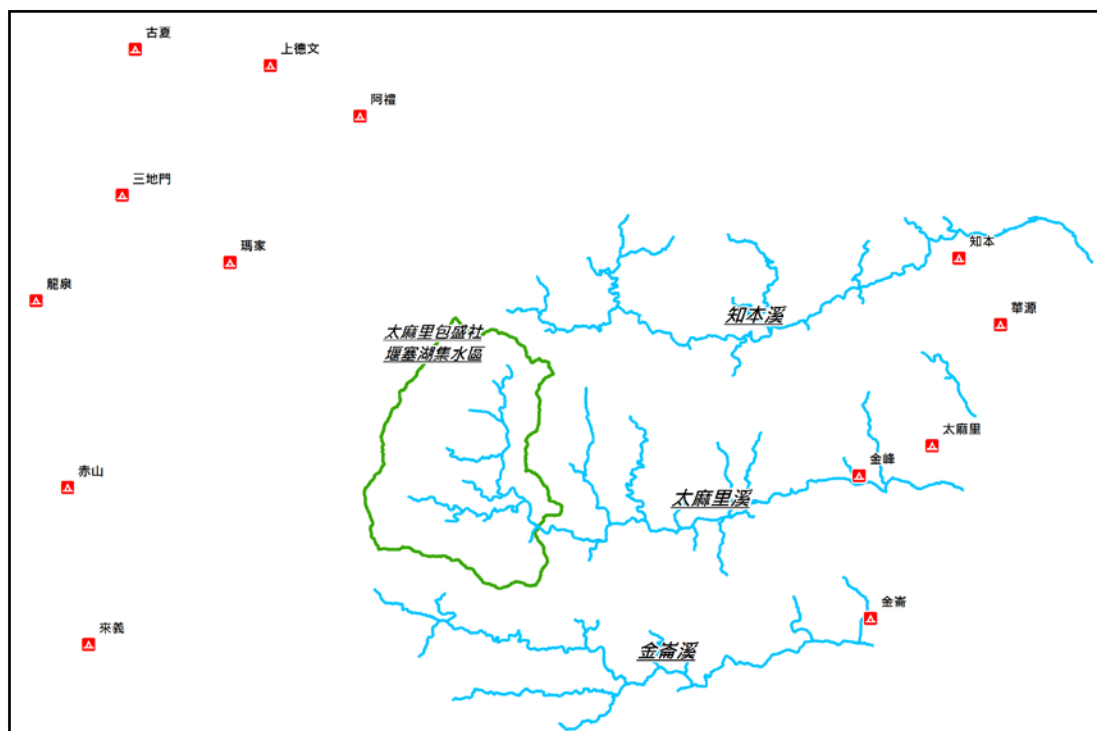


圖8-2.2 太麻里包盛社集水區鄰近氣象局雨量站分布圖

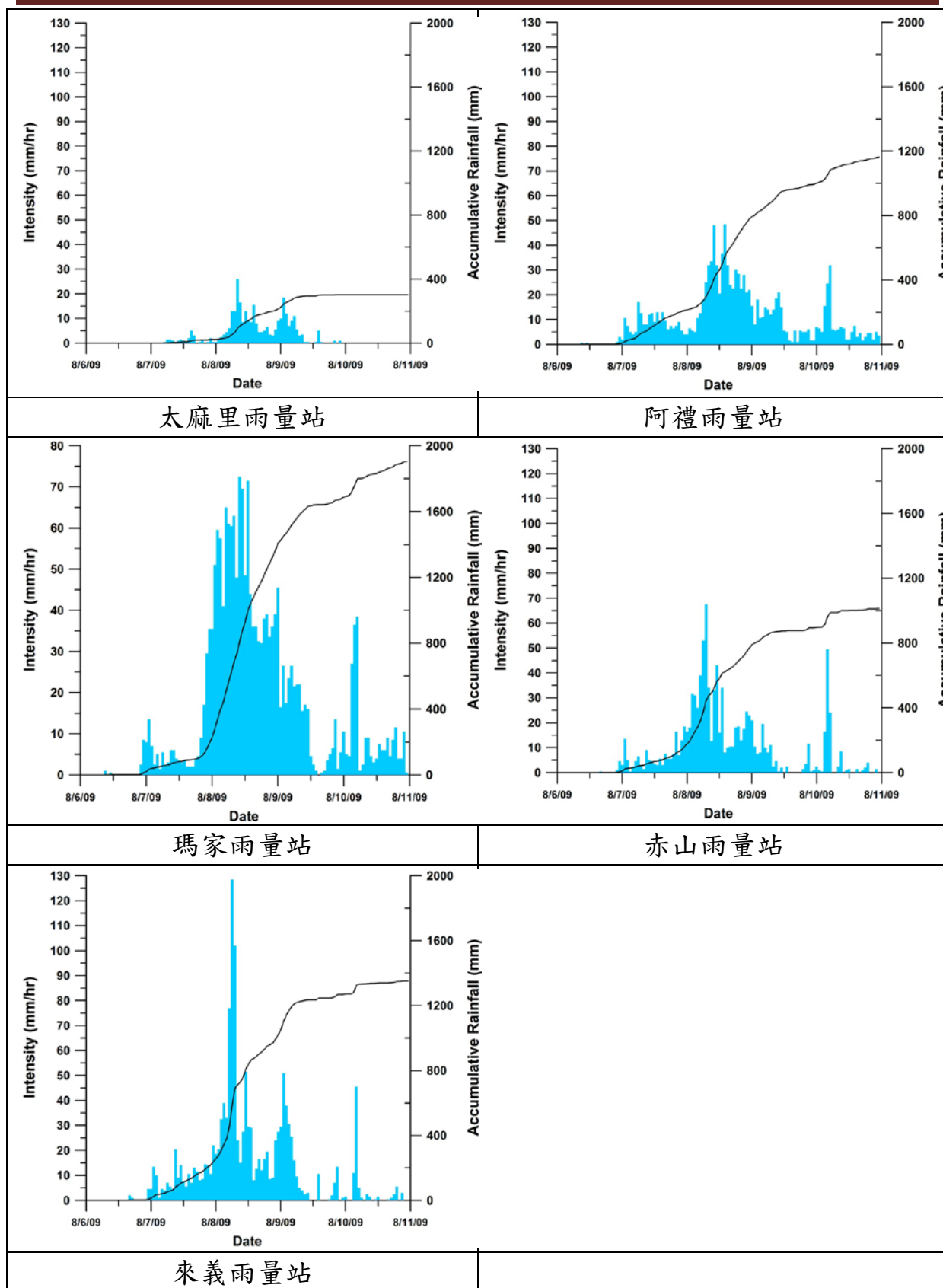


圖8-2.3 莫拉克颱風雨量組體圖

由於太麻里包盛社堰塞湖集水區內並無雨量站，故建議以鄰近之 5 個雨量站來推估包盛社堰塞湖集水區內之平均雨量，本計畫採用距離反比權重法推估包盛社堰塞湖集水區內雨量，該計算公式表示如下：

$$R_{mean} = \sum \left[\frac{1/S_i}{1/(S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n)} \right] \cdot R_i$$

其中， S_i 表示第*i*個雨量站與子集水區形心的距離， R_i 表示第*i*個雨量站之降雨量， R_{mean} 則為平均雨量，即太麻里包盛社堰塞湖集水區之降雨量。而各個雨量站的位置，以及太麻里包盛社集水區之形心位置，列如表 8-2.3 所示。

表8-2.3 太麻里包盛社堰塞湖集水區與鄰近雨量站位置坐標表

地點	坐標		權重	備註
	X	Y		
包盛社堰塞湖集水區	X	Y		集水區形心坐標
	228413	2500260		
太麻里	X	Y	0.17	
	249369	2500940		
阿禮	X	Y	0.21	
	223674	2515810		
瑪家	X	Y	0.25	
	217836	2509210		
赤山	X	Y	0.19	
	210555	2499050		
來義	X	Y	0.18	
	211483	2491970		

由表 8-2.3 之成果，可以推得太麻里包盛社堰塞湖之平均雨量計算方式為：

$$R(\text{堰塞湖}) = 0.17 \times R(\text{太麻里}) + 0.21 \times R(\text{阿禮}) + 0.25 \times R(\text{瑪家}) \\ + 0.19 \times R(\text{赤山}) + 0.18 \times R(\text{來義})$$

藉由上式之計算，即可由鄰近雨量資料，推估太麻里包盛社堰塞湖之平均雨量。

上述相關警戒值以及率定關係皆是藉由現有之通水斷面及集水區相關參數設定而得，由於目前太麻里溪上游有大量土石，未來將隨歷次洪水逐漸運移而下，下游部落處河道必然會受到土砂淤積之影響，為確保此一對應關係之正確性，應針對下游河道進行定期清疏與斷面測量工作，以瞭解河道之變化，並適時修正相關率定參數。

8-3 原太麻里堰塞湖避難防災警戒雨量修訂

前述堰塞湖防災預警之操作方式，歷經民國 99 年度 5~7 月豪雨期間之實際應變操作後發現，原訂之堰塞湖警戒基準值偏低，且由於堰塞湖上游集水區內並無雨量站可提供實際之即時降雨資訊，而且因堰塞湖集水區位處深山，造成權重法所參考之雨量站多數為於西側集水區外。民國 99 年度 5~7 月之豪雨，降水多分佈於大武山西側，然而西側雨量站測得大量降水，同樣造成太麻里堰塞湖警戒值到達警戒狀態，然而實際上並無大量降水落於堰塞湖集水區，太麻里溪下游並未出現大量洪水。

另外，圖 8-3.1 ~ 圖 8-3.2 為歷史重大災害之水文分析資料比對圖，因太麻里集水區範圍僅下游分佈有中央氣象局雨量站，上游區域可提供即時雨量資訊之雨量站均位於集水區外，故有關集水區降雨量分析採用鄰近 5 處雨量站(阿禮、瑪家、赤山、來義、金峰)，求得集水區平均雨量，逕流量則採用運動波模式進行分析。

太麻里溪歷年重大災害事件分別為 2005 年海棠颱風與 2009 年莫拉克颱風，其中海棠颱風災害發生最早之時間為 7 月 18 日下午 18 時，若依據降雨逕流分析結果顯示(圖 8-3.1)，災害發生時之 24 小時累積雨量約為 212mm；莫拉克颱風災害發生最早之時間為 8 月 8 日上午 6 時，若依據降雨逕流分析結果顯示(圖 8-3.2)，災害發生時之 24 小時累積雨量約為 263mm，由前述歷史資料比對結果顯示，現行警戒雨量基準值(以鄰近堰塞湖雨量站實際測得 24 小時累積雨量達 200 毫米時，發佈強制撤離通知)與歷史洪水災害發生之雨量值十分接近，若參考歷史災害事件之降雨紀錄，考量防災應變期間之撤離須保留預警時間，原訂警戒值卻應再調降，才符合防災預警之原則。

此問題主因太麻里溪集水區內僅下游段設有即時雨量站，考量雨量站分佈密度，故前述分析成果之降雨資料將上游集水區外之雨量站列入計算，由歷史災害事件比對結果顯示，太麻里溪集水區因上游缺少雨量站分

布，雨量分析成果之代表性可能不足，在集水區內尚未增設雨量站前，建議太麻里溪堰塞湖之防災預警勿單純採用雨量作為警戒基準。

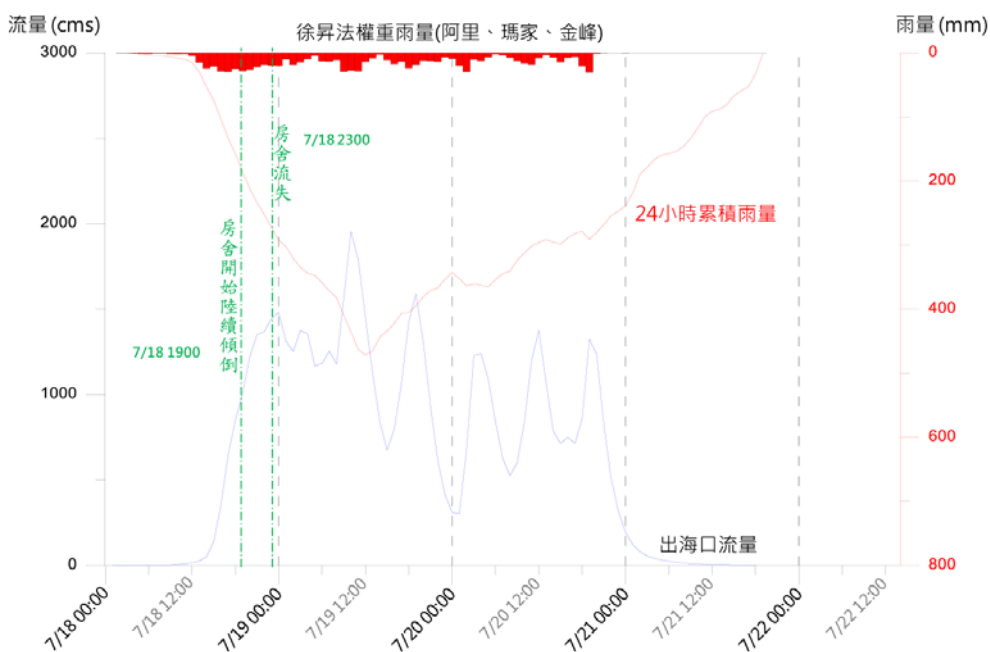


圖8-3.1 海棠颱風水文分析資料比對圖

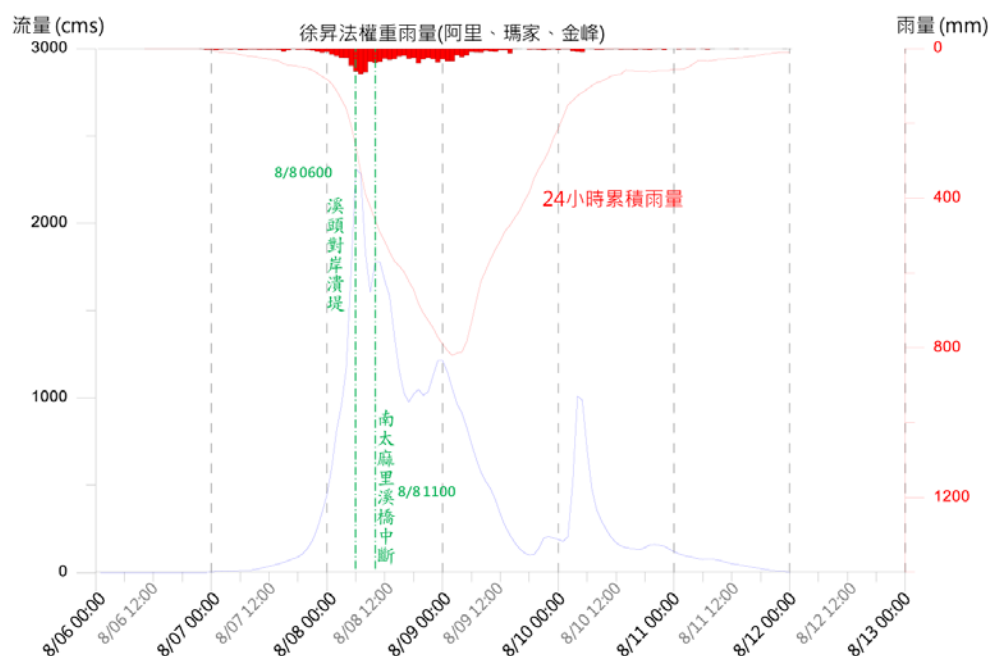


圖8-3.2 莫拉克颱風水文分析資料比對圖

8-4 原太麻里堰塞湖避難疏散警戒水位操作說明

依據前述分析成果顯示，太麻里溪集水區若以鄰近雨量站提供之即時降雨資料作為防災預警之參考，因雨量分析成果與現地實際降雨分佈差異可能極大，將對於防災應變期間發佈疏散避難之決策下達時機造成重大影響，故建議本區之防災預警方法改以河川水位作為警戒基準值。

但由於本區並未設置即時水位站，無法依據即時水位資料估算河川水位上漲速率並訂定預警發佈時機之水位(警戒水位)，故建議可於現地選定適當地點，在安全之前提下以人工方式監測河川水位之變化，若在執行機關經費許可下，建議可以 CCD 影像監測搭配夜間補光之方式，使人員能在安全地點藉觀測影像得知颱風期間水位的變化，避免造成人員安全之虞。

依據現地調查，現地適合觀測水位之地點共有二處(詳圖 8-4.1 與圖 8-4.2)，因本區並無歷史河川災害水位紀錄可供參考，有關警戒水位值之操作與訂定，建議可採下列二種方式：

- (1)以人工方式定時監控觀測點水尺之水位變化，依據河川水位上漲速率，訂定撤離發佈之警戒水位值(保留適當之預警時間)。
- (2)依據設計事件之潰壩水理演算成果，參考模擬結果之各斷面河川水位上升速率，訂定撤離發佈之警戒水位值(保留適當之預警時間)。



圖8-4.1 嘉蘭村對岸山壁人工監測水尺示意圖



圖8-4.2 舊嘉蘭橋台人工監測水尺示意圖

8-5 原太麻里堰塞湖避難防災建議方案

由於本區並未設置即時水位站，無法依據即時水位資料估算河川水位上漲速率並訂定預警發佈時機之水位(警戒水位)，而根據現地狀況，以人工目測方式判斷水位上漲速率來進行撤離發佈實機則較不可行。因此建議應以潰壩水理演算成果，參考其河川水位上升速率，來訂定撤離發佈之警戒水位值(保留適當之預警時間)。

Takahashi (1991) 曾分析由地表逕流流經依推積土層所引發之土石流，此推積土層厚度為 D 、推積土層含沙濃度為 C_* 、含水飽和為 S_b ，推積土層上游之水流速度為 U_0 、水流深度為 h_0 、水流流量為 $q_0 (=U_0h_0)$ ，水流流經堆積土層後沖蝕堆積土層，並於堆積土層上形成土石流，沖蝕速度為 U' 、土石流深度為 h 、流速為 U 、流量為 $q_t (=Uh)$ ，則土石流在達平衡濃度時，其泥沙與水之質量守恆關係式分別為

$$(U - U')hC_\infty = U'DC_*$$

$$(U - U')h(1 - C_\infty) + U'h_0 = U_0h_0 + U'D(1 - C_*)S_b$$

由前兩式消去 U' 可得土石流流量與水流流量之關係為

$$\frac{q_t}{q_0} = \frac{C_*}{C_* - [S_b + (1 - S_b)C_*]C_\infty + C_\infty(h_0/D)(U - U')/U}$$

假定 $h_0 \ll D$ 或 $U \approx U'$ ，則單位寬度土石流流量與水流流量之關係可簡化為

$$\frac{q_t}{q_0} = \frac{C_*}{C_* - [S_b + (1 - S_b)C_*]C_\infty}$$

對飽和堆積土體而言($S_b = 1.0$)， $q_t = (1 - C_\infty/C_*)^{-1}q_0$ ，一般而言土石流平衡濃度 C_∞ 與推積土體濃度 C_* 間的關係為 $C_\infty \approx 0.6 \sim 0.8C_*$ ，因此土石流流量大約是水流流量的2到5倍，即 $q_r \approx 2 \sim 5q_0$ 。

假設極端狀況於上游堰塞湖區域形成土石流，造成原設計之2~5倍流量往下游流動，於嘉蘭村之水位變化歷線即如圖8-5.1所示，下游保全對象(嘉蘭)所在河道斷面若預留3小時之預警時間之警戒水位為EL 71.57，若預留2小時之預警時間之警戒水位為EL 72.77。未來太麻里溪之防災預警即

可依據人工方式監測觀測點 B 所設水尺之水位變化，當河川水位到達 EL72.77，作為撤離發佈之時間。

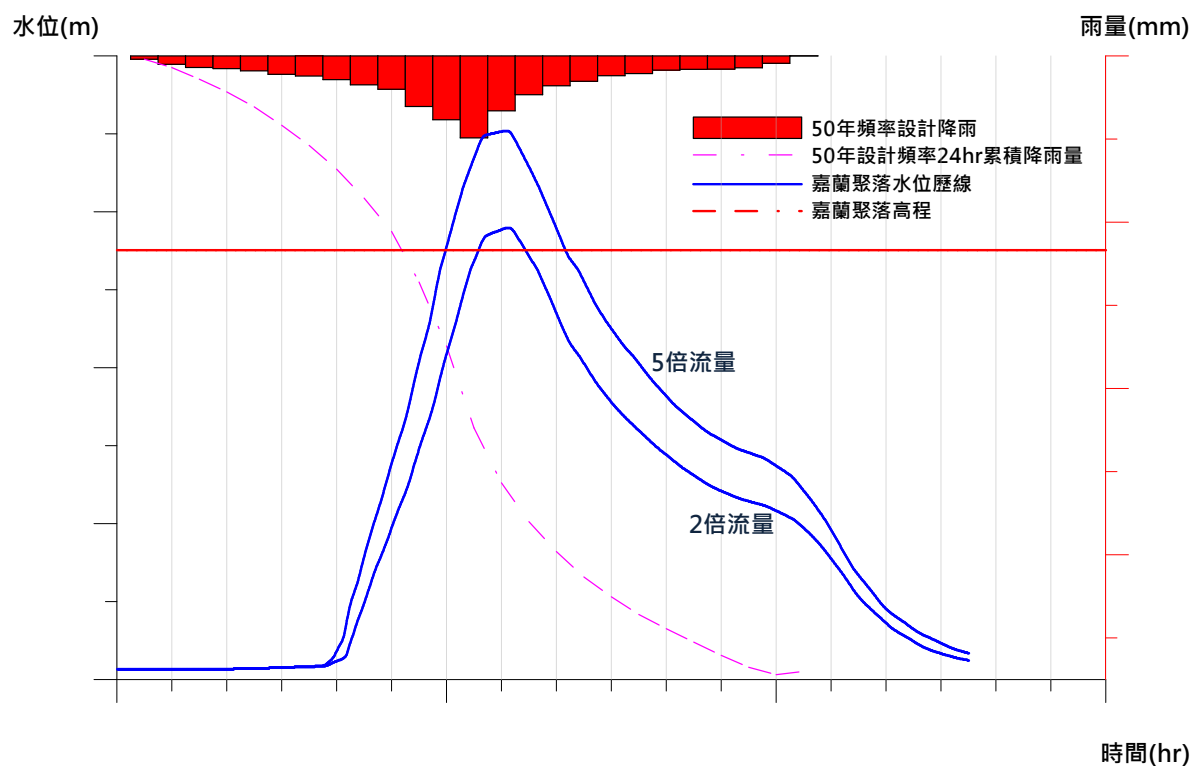


圖8-5.1 設計事件潰壩水理演算之水位歷線圖(50年重現期)

8-6 災害潛勢區域

本節針對太麻里溪下游部落較具有災害潛勢之區域進行分析與劃定建議，並可提供防洪避難操作之參考。經過相關水理檢討及現地調查，初步區分之災害潛勢區域如圖 8-6.1 至圖 8-6.5 所示，主要可區分為 4 個區塊：

- (I) 布查其蘭：本區非受災潛勢區域，然由於出入交通均需依靠嘉蘭橋，目前僅以便道通行，洪災來時會形成孤島。
- (II) 嘉蘭：由於居民與河爭地束縮河道，鄰近之農田房舍緊鄰河道，具有相當災害潛勢。
- (III) 溪頭：此處為一河道轉彎段束縮隘口出口，若主流河道大量淤積將造成兩側岸侵蝕災害。
- (IV) 德其里：大量農田爭用河川行水區，僅靠堤防進行保護，其靠近溪頭處之上游段，堤防受到彎道水流正沖，若潰堤將造成後方農地大量損失，是以具有高災害潛勢。

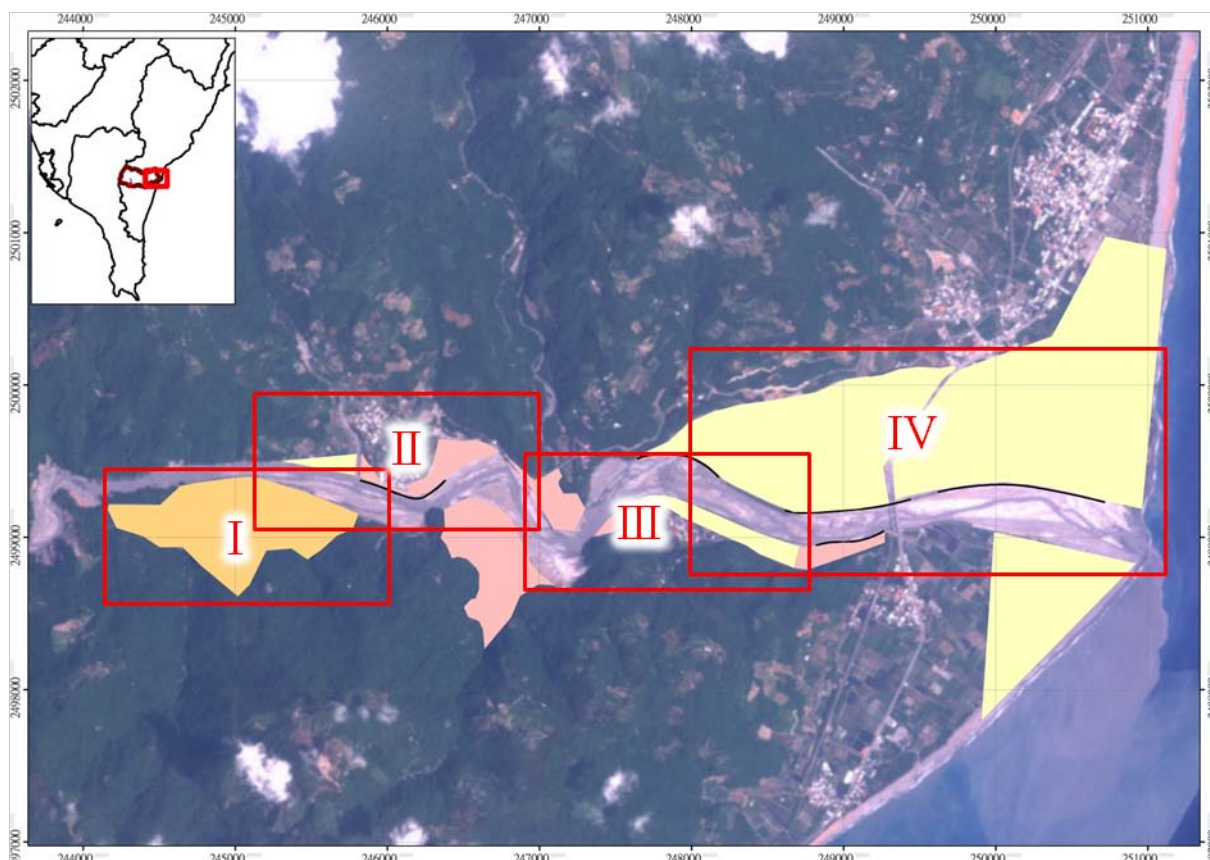


圖8-6.1 下游部落災害潛勢區域

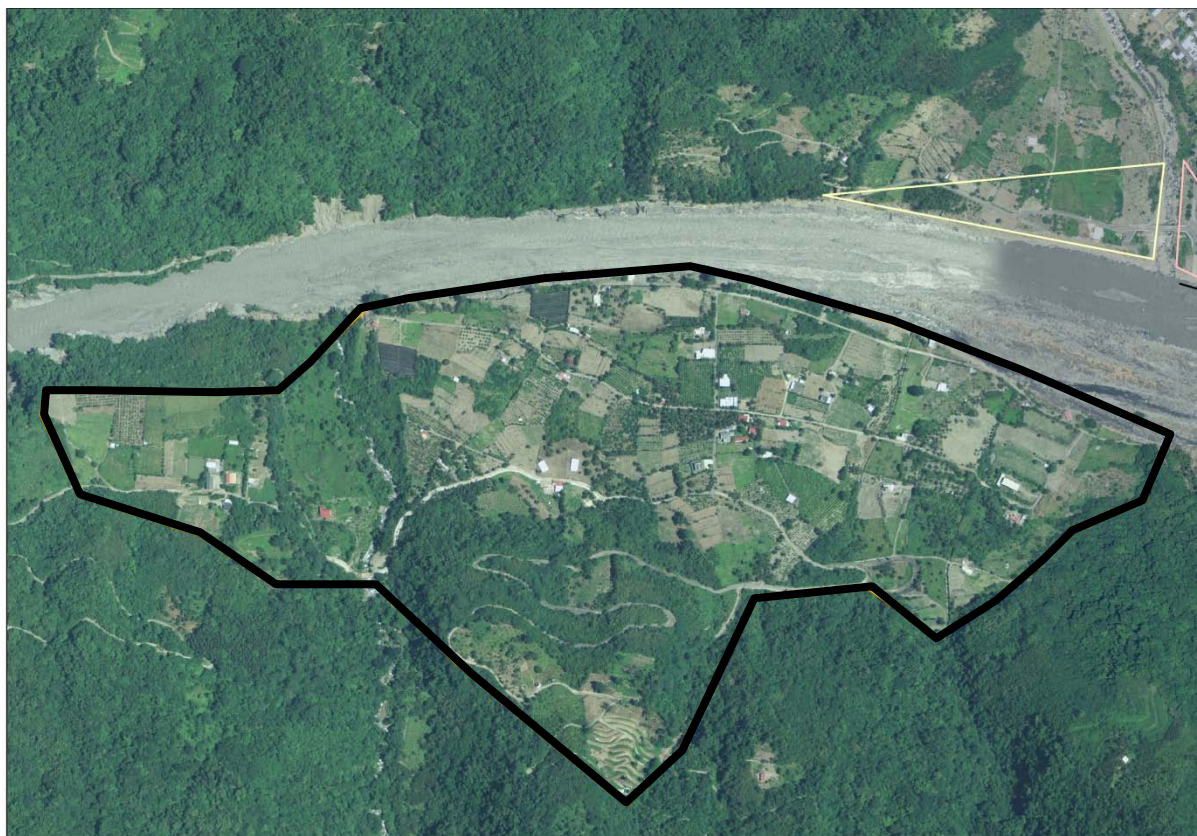


圖8-6.2 布查其蘭附近災害潛勢區域

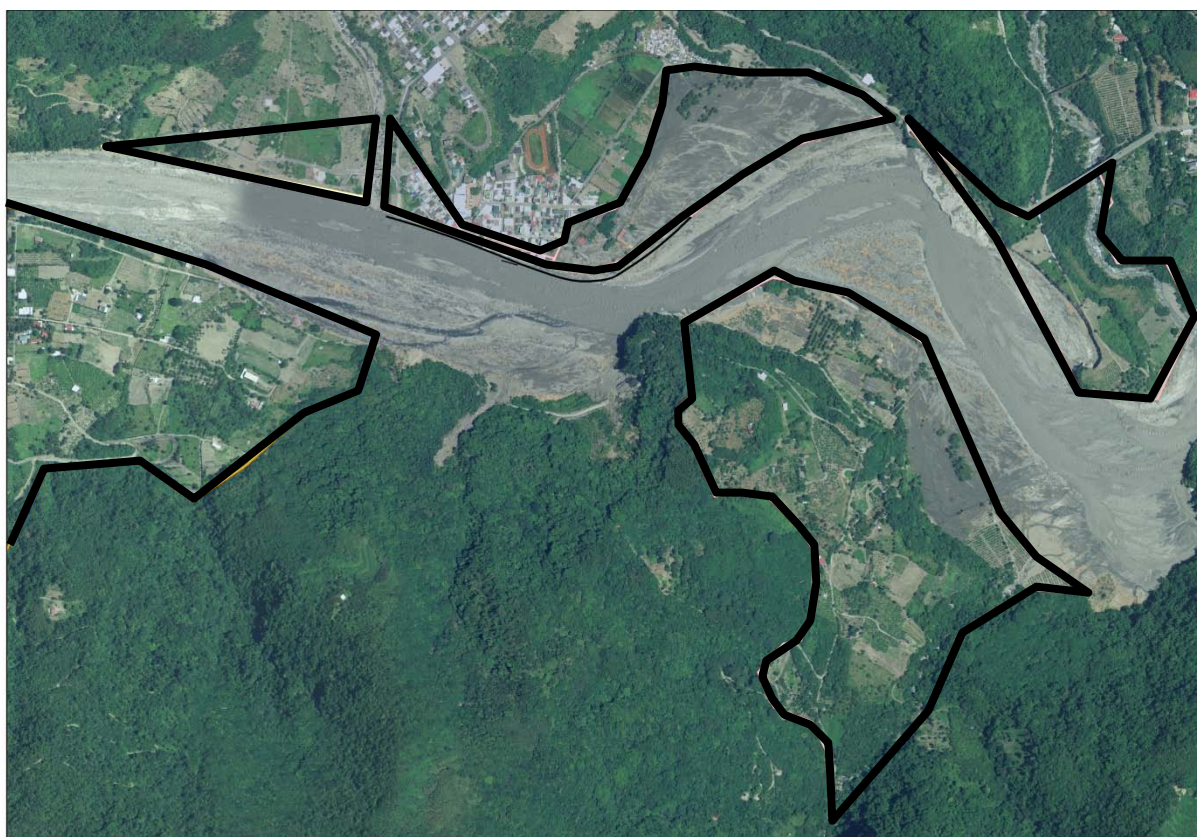


圖8-6.3 嘉蘭附近災害潛勢區域



圖8-6.4 溪頭附近災害潛勢區域



圖8-6.5 香蘭、德其里附近災害潛勢區域