

## 貳、工作計畫與方法

### 2-1 工作架構與流程

鑑於堰塞湖可能在颱風豪雨期間發生沖刷潰壞並可能造成二次災害，故相關緊急處置對策必須於短時間內提出，本計畫參考相關單位過去處理堰塞湖災害之實際經驗，提出系統化之處置流程（詳圖 2-1.1），分為緊急處理階段與中長期處理階段，說明如下：

#### 一、緊急處理階段：

事件發生後首先必須進行現場緊急調查，藉由基本地形圖資、遙測影像判釋分析與現地初步勘查作業之進行，快速分析並獲取堰塞湖與堆積壩體之重要基本資料，其後依據天然壩體安定性及對下游社區之影響程度進行堰塞湖危險程度之初步評定，若評估結果顯示堰塞湖可能對於下游社區之安全造成影響，則須立即進行緊急評估。包括社區安全性評估、防災預警與通報、以及緊急工程措施等項目，同時考量防災應變之需求，必要時於現地設置即時監測系統(影像、雨量、水位、地聲等)，以提供防災應變所需之重要現地資訊。

#### 二、中長期處理階段：

若堰塞湖在經歷颱風豪雨事件後仍未發生明顯破壞，或經評估顯示堰塞湖將不致於短時間內潰決破壞，存在時間可能較長，此類案例則需規劃中長期處理方案，包括實施細部調查、鑽探與長期監測評估，除持續進行現地資料細部調查與監測外，並針對堰塞湖長期演變趨勢進行評估，據以提出中長期處置對策。

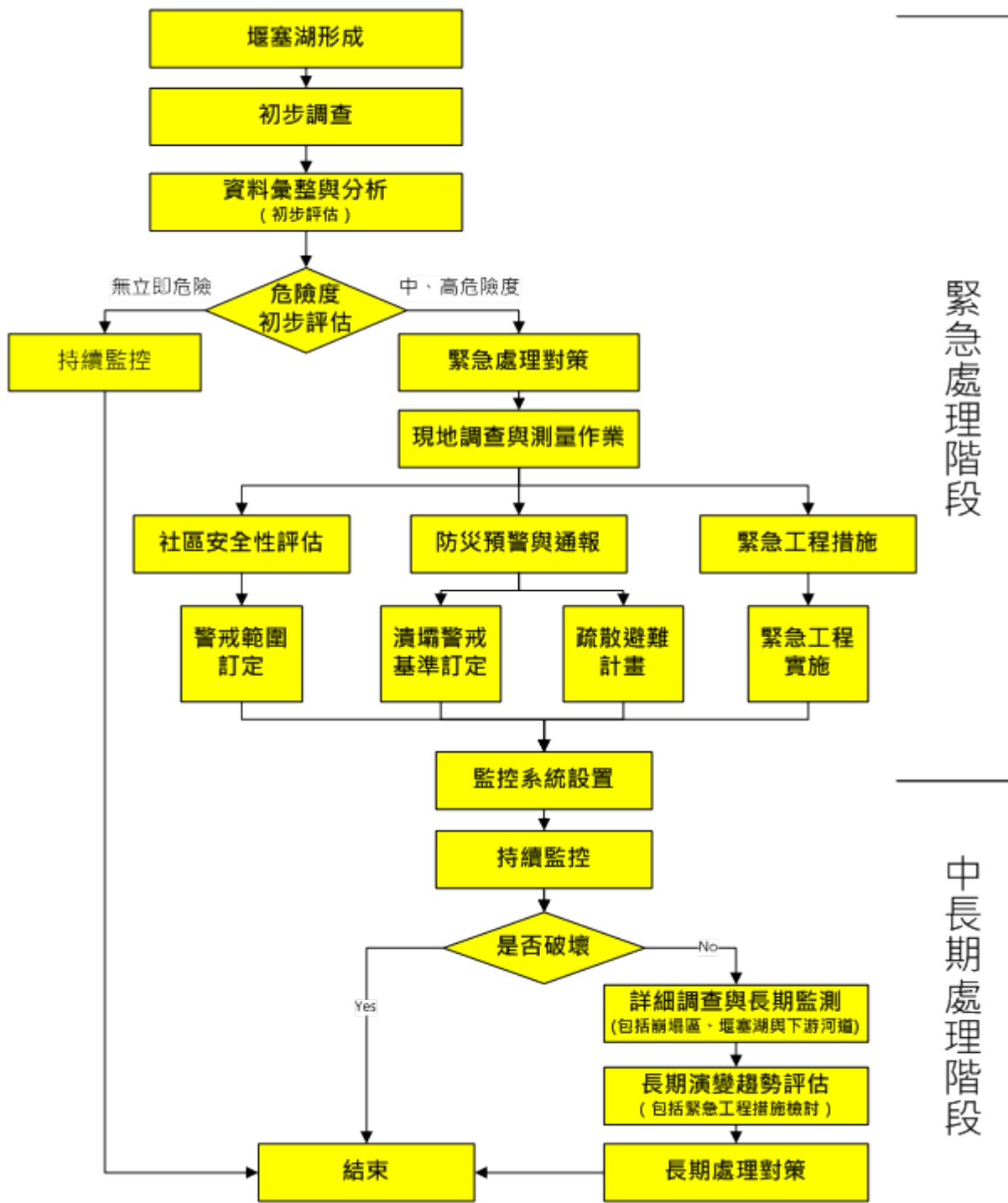


圖2-1.1 堰塞湖處理流程

## 2-2 堰塞湖及崩塌區影像、圖資收集處理

針對包盛社堰塞湖緊急評估及對策建議，首要之工作在於基本資料與圖資之蒐集，了解太麻里溪與上游包盛社區域（堰塞湖區）之基本資料與土砂之變遷情形；特別在於莫拉克颱風前後，流域環境與堰塞湖區之河道變遷。本計畫透過太麻里河流域基本資料、地形圖資，及衛星影像、航空照片等相關圖資之蒐集，了解本計畫工作範圍之現況，大範圍說明流域之情形。主要之基本圖資，包括了地形圖、地質地域分區圖、數值高程模型等集水區基本相關圖層，提供後續分析所需之相關資料。說明如下：

### 2-2.1 衛星影像收集處理

衛星影像由於具有高再訪率與大範圍連續監測之特性，為連續監測集水區變化與土砂災害分析之有效工具，因此，本計畫藉由不同時期衛星影像資料判釋分析，掌握太麻里溪上游堰塞湖及崩塌區之變異情形。

有關影像來源之選擇應考量衛星拍攝頻率（衛星再訪率）、取得時程、解析度等問題，考量上述選定原則，擬選擇由我國發射之福爾摩沙衛星二號所拍攝之衛星影像，福爾摩沙衛星二號是由國家太空中心主導，結合國內外衛星技術領先機構專長所獲得的產品，為我國第一個自主性遙測與科學衛星，福衛二號衛星酬載規格如表 2-2.1 所示。福衛二號衛星就運作目的而言是一枚兼具地表遙測實用任務及高空大氣閃電觀測科學用途之衛星；與其他商業遙測衛星相比，福爾摩沙衛星二號所具備的每日再訪率與高空間解析度等獨特設計，是比較佔優勢的特點，除符合上述選定原則外，本工作團隊（國立成功大學防災研究中心）為福衛二號衛星影像之南部影像分送中心，在重大降雨事件發生後可迅速完成災後影像的處理，並具備專業處理流程，在山區之影像正射、定位、影像品質控制，以及後續判釋工作上，都有豐富的防災應用經驗。

表2-2.1 福爾摩沙衛星二號之科學酬載規格

軌道資訊	高度 (Altitude)	891 公里	
	傾角 (Inclination)	98.99°	
	對地速度	6.49 km/sec	
	週期 (Orbit Time)	102.86 分鐘	
	通過時間	白日約為台北時間九時二十分至十時。 夜間約為台北時間廿一時二十分至廿二時。	
感測器資訊	光譜範圍	全色態	0.45~0.90 $\mu$ m
		多頻譜	Band1 : 0.45~0.52 $\mu$ m(藍) Band2 : 0.52~0.60 $\mu$ m(綠) Band3 : 0.63~0.69 $\mu$ m(紅) Band4 : 0.76~0.90 $\mu$ m(近紅外線)
	像素大小	全色態：垂直地表拍攝時 2 公尺 多頻譜：垂直地表拍攝時 8 公尺	
	刈幅寬 (Swath)	垂直地表拍攝時為 24 公里寬	
	每條掃瞄線之像素數目	全色態 12000、多頻譜 3000	
	成像機制	推掃式 (push-broom scanning)	
其他資訊	拍攝視角 (View angle)	滾轉角 (roll) $\pm 45^\circ$ 俯仰角 (pitch) $\pm 45^\circ$	
	任務壽命	5 年	
	發射日期	2004 年 5 月 21 日(台北時間)	

福爾摩沙衛星二號影像產品的作業程序如圖 2-2.1 所示，太空中心控制衛星進行取像，原始數據經過品管作業後遞送給推廣中心進行後續的加值處理；推廣中心在取得原始數據後，利用影像處理系統產出基本產品 (Level 1、Level 2 產品)，然後再視客戶需要產製加值產品 (Level 3、Level 4 與融合產品)，表 2-2.2 為各級產品定義。

上述產品各有不同的處理程序也各有不同的適用狀況，例如：Level 4 多頻譜產品保留完整的光譜資訊，而且修正了投影與地形的影響，就適合進行大範圍的判釋需並且要利用近紅外波段計算各類指標者；但是他的空間特徵相較 Level 4 全色態產品與 Level 4 融合產品就略顯不足，對於重視細部特徵的規畫工作可能較不適用；反之 Level 4 融合產品空間特徵雖

然可以提供規畫工作所需的空間特徵資訊，但是因為處理過程需引入色彩模型轉換及能量平衡處理，所以在光譜資訊上多少受到擾動，相較之下反而不如 Level 4 多頻譜產品適合有需要光譜資訊進行各種指標計算的工作；圖 2-2.2 至 圖 2-2.4 為全色態產品、多頻譜產品與融合產品。

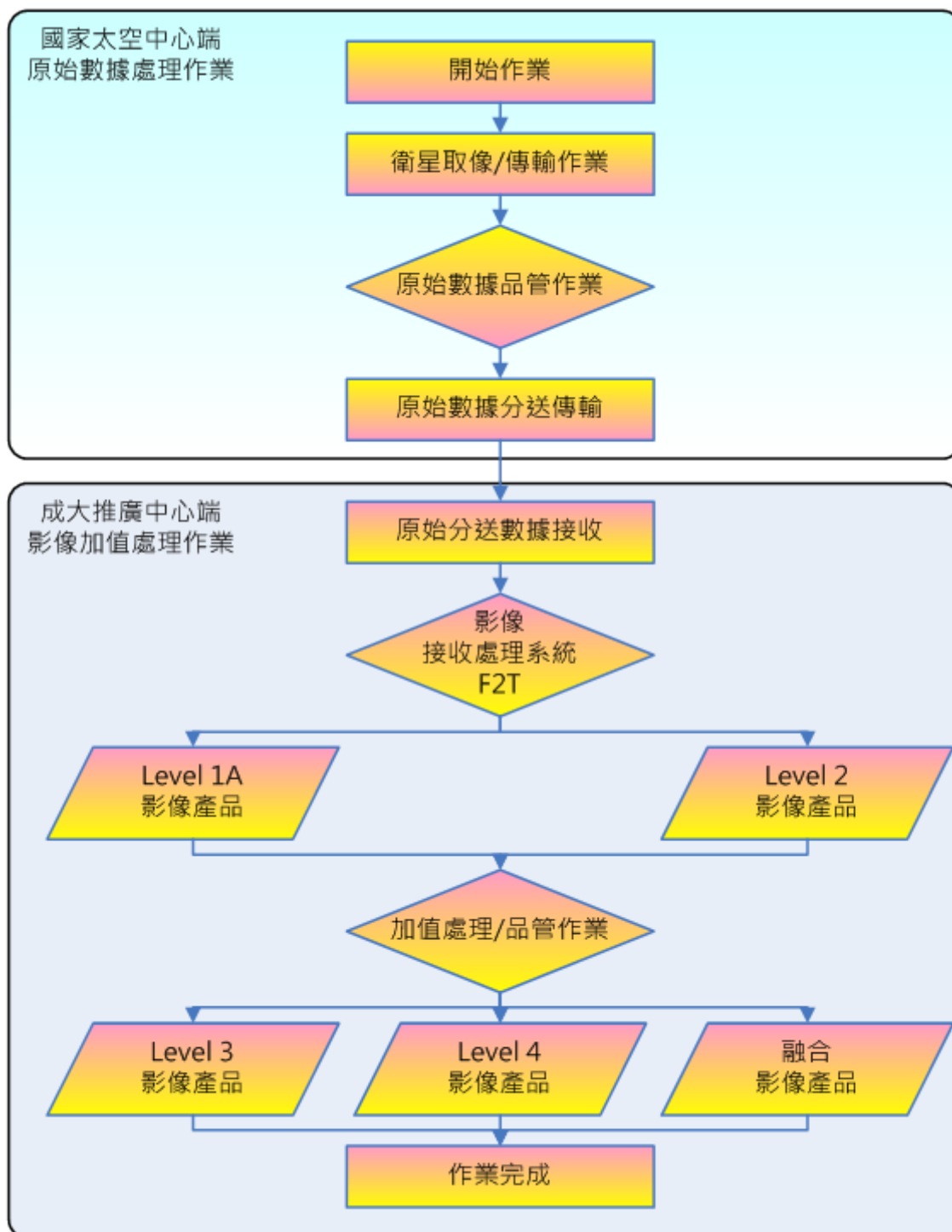


圖2-2.1 福衛二號影像產品的作業程序

表2-2.2 福爾摩沙衛星影像產品定義表

等級		簡述	主要處理過程
Level 1	A	影像經輻射校正後之產品。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 修補遺失資料</li> <li>• 感測器偏移 (offset) 的修正</li> <li>• 感測器均化 (equalization) 處理</li> <li>• 異常輻射值移除</li> </ul>
	C		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 經過等級 1A 的處理過程</li> <li>• 修正影像抖動現象</li> <li>• 加強不同波段間對位 (MS)</li> </ul>
Level 2		始影像經輻射校正，並利用飛行軌道參數計算，投影到指定之地理座標上，並將產品旋轉為正北。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 經過等級 1C 的處理過程幾何變形的修正 (包括：高程與高程變量、透視效果、地球曲率、地球自轉)</li> <li>• 投影於地圖系統上</li> </ul>
Level 3		影像經輻射校正後加入地面控制點 (GCP) 作幾何校正，投影到指定之地理座標上，並將產品旋轉為正北。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 經過等級 1C 的處理過程</li> <li>• 使用修正的軌道與姿態資料投影於地圖系統上</li> </ul>
Level 4		影像經輻射校正後加入地面控制點 (GCP) 及數值地形模型 (DTM) 資料，修正影像幾何變形，投影到指定之地理座標上，並旋轉產品為正北。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 經過等級 1C 的處理過程</li> <li>• 使用修正的軌道與姿態資料投影於地圖系統上</li> <li>• 移除由地形起伏所造成的視差</li> </ul>
融合產品		融合多頻譜影像與全色態影像資料，所製作的彩色影像產品。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 經過以上各類產品基礎處理</li> <li>• 黑白及彩色影像精準對位</li> <li>• 色彩模型轉換及能量平衡處理</li> </ul>

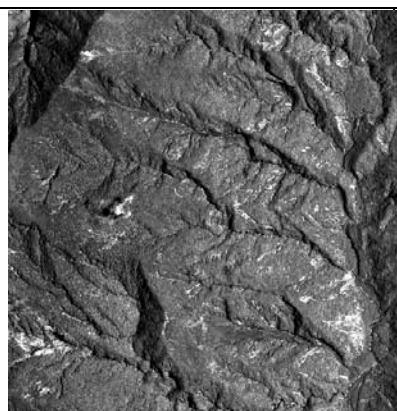


圖2-2.2 全色態產品

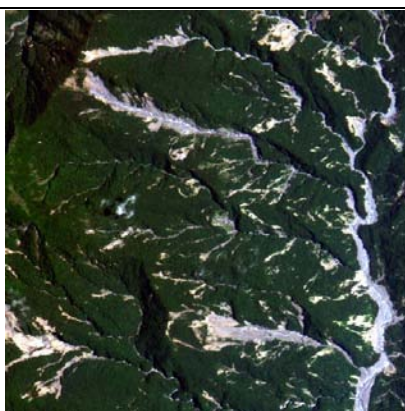


圖2-2.3 多頻譜產品



圖2-2.4 融合產品

## 2-2.2 無人載具空拍作業

現地影像紀錄受限於拍攝角度、高度與地形上之限制，所拍攝之影像在空間範圍上顯得較為侷限，往往無法提供全視野之現地照片，針對大範圍災害點，現地影像紀錄往往無法透過攝影器材來完整表達現況，航空照片因涵蓋範圍較寬廣，可提供較大區域之影像資料，但由於拍攝高度較高，相對其解析度較差，而拍攝成本過高、機動力較差亦為其缺點，為了解決上述問題，在有限之經費與時間下，為了能夠即時且有效的掌握災害發生現況、發生原因及區域全貌，空中無人載具的應用便成為一種強而有力之工具，以無人載具攜帶影像擷取設備所取得之中低空高解析度影像，除了具備高機動力外，可克服傳統現地調查之地形視野障壁，針對地形死角進行補充調查，取得較佳之全視野影像，如配合其他圖資相互搭配使用時，亦可增加對現況之瞭解程度。

### 1. 無人載具空拍設備簡介

#### (1) 無人飛行載具：

採用之無人飛行載具為無人遙控旋翼機，無人遙控旋翼機主要包含機體部分及空中攝影載台部分。在機體部分其機身長 137.5 公分，寬度 24.5 公分，高度 80 公分，總重 6.9 公斤，翼展 158 公分，最大載重 6 公斤，排氣量 12.9 CC，油箱容量 540 CC，飛行半徑與工作高度約介於 500~1,000 公尺，滯空時間 15 分鐘。空中攝影載台部分由鋁合金材料所構成，可同時將彩色 CCD 數位攝影機、單眼相機、微波影像傳輸器及伺服器固定於載台上。詳細規格如表 2-2.3 所示，無人遙控旋翼機如圖 2-2.5。

## (2) 無線微波影像傳送設備：

無線微波影像傳送設備主要用途為將無人飛行載具上之靜態影像擷取設備所拍攝之即時畫面傳輸至地面監看螢幕，以提供拍攝人員擷取畫面之選擇。微波影像傳送設備主體為 2.4Ghz 無線影像傳送器，功率 1 瓦特，有效傳送距離 1,000 公尺。

表2-2.3 無人飛行載具詳細規格

數量	長度 (cm)	寬度 (cm)	高度 (cm)	翼展(cm)	重量 (kg)	輸出功率	頻率
3	137.5	24.5	80	158	6.9	100mW	2.4GHz
酬重 (kg)	排氣量 (C.C.)	油箱容 量 (C.C.)	飛行半徑 (m)	工作高度 (m)	滯空時 間 (min)	尺寸 (mm×mm×mm)	耗電
6	12.9	540	500~1,000	500~1000	15	29×43×7	140mA,5V



圖2-2.5 無人載具外觀及其空拍操控情形



## 2. 無人載具空拍作業執行

進行空拍作業前，除了進行調整無人載具機體結構以及相關儀控設備進行例行保養與基本檢修外，並針對所掛載之影像擷取設備、遠端無線控制單元及影像傳輸設備進行各項飛行前測試工作，相關飛行前檢校作業完成後，於實際飛行空拍作業前，需再針對欲拍攝之現場進行現場勘查工作，藉以選定合適之無人載具起降場所並觀察現地合適拍攝之時間(風向、光源等環境條件)，期望以充足之光線與穩定之氣象狀況捕捉理想之影像。其拍攝之作業流程圖如 圖 2-2.6 所示。

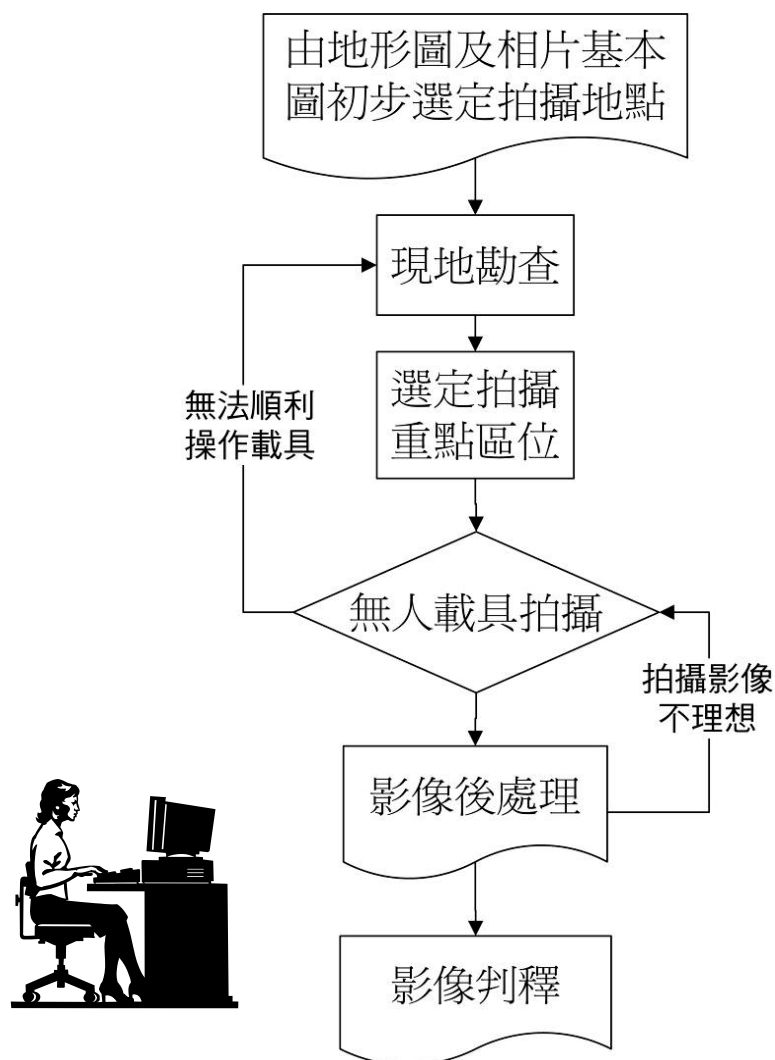


圖2-2.6 空拍作業流程圖

### 3. 空拍影像判釋及後處理作業

應用無人載具於堰塞湖天然壩體、蓄水區、崩塌區與下游河道內所完成之空拍影像需再經由影像後處理作業與影像判釋作業，影像後處理作業之主要目的為將所拍攝之空拍靜態影像，經與現地地形地物比對程序後確認拍攝影像所對應之涵蓋範圍與相對方位，並進行色彩、光度等影像校調工作。而影像判釋作業乃針對堰塞湖區空拍區域內崩塌區變化狀況、堰塞湖蓄水範圍、天然壩體與下游河道地形變動情形等進行判釋及分析，以利相關範圍調查評估作業時，對堰塞湖區整體現況有更詳細之瞭解與掌握。

#### 2-2.3 災後地形收集

太麻里流域在莫拉克颱風後，因河床地形劇烈變動，過去之河道斷面或航測地形等資料已無法反映現況，若需針對堰塞湖及其下游之河道進行土砂運動分析，則需獲得莫拉克颱風後之地形資料，使相關分析工作得以持續進行。

經濟部水利署河川勘測隊於莫拉克災後已辦理太麻里溪下游河道地形測量工作，測量範圍自原嘉蘭橋處開始，至太麻里溪出口，日前已完成測量作業。本計畫應用其測量成果，做為下游災後地形之參考，另外已透過台東林區管理處協助取得前後期測量成果，並與前期數值地形分析比對以掌握災後河道地形之變化。

除下游河道地形外，莫拉克災後太麻里溪中上游河道與坡面處之地形變動分析，則採用農林航測所之航測地形資料，目前已透過台東林區管理處協助取得堰塞湖、崩塌區域，及其下游河道與集水區之災前、後航測地形，透過中上游航測地形資料與下游河道地形測量之蒐集，可得知太麻里溪河道地形之變化，並應用其成果進行後續之地形變動分析與土砂運移分析等工作。

## 2-3 堰塞湖及崩塌區現地調查

為能追蹤天然土石堆積壩體、崩塌區與下游河道於颱風豪雨事件後所發生之變化，在計畫執行之初始階段必需於短時間內（汛期前）完成先期調查作業，在颱風豪雨事件後，亦需於有限的期程內（下一次颱風來臨前）完成相關調查工作，本計畫相關工作項目之作業方法分節說明如下

### 2-3.1 崩塌區調查

包盛社堰塞湖之主要成因在於大規模崩塌急速發生，大量土石阻塞太麻里溪河道，故崩塌區的調查重點範圍在於形成堰塞湖之大崩塌地，以及天然壩下游處河岸之崩塌地。大崩塌地之調查重點，在於目前之土砂殘存量，崖錐堆積情形，未來可能之沖蝕溝位置、崩塌擴大範圍等；而天然壩下游處河岸崩塌地之調查重點，在於崩塌是否會持續擴大，是否影響未來可能之工程位置等。故現場調查之成果，在於提供未來堰塞湖緊急處置之現地判釋與記錄資料，也可加強衛星影像與空拍影像之大規模崩塌地影像分析成果。

於計畫執行期間，本計畫應用相關地形蒐集之成果，進行前後期之崩塌地比對，推算莫拉克颱風期間，坡面崩塌地可能之土方生產量，作為堰塞湖土砂堆積量之推斷依據。綜合現場調查之定性分析，以及比對之定量分析，了解太麻里包盛社土砂生產來源區之崩塌地現況，針對其崩塌原因、機制與崩塌量以訂定有效之處理策略。

### 2-3.2 堰塞湖土砂流出量推估

完成土砂生產來源區（崩塌區）的調查後，其次為堰塞湖土砂流出量與堆積情形之調查，土砂之流出量調查，主要調查項目包括，堆積範圍、堆積厚度、堆積粒徑組成、河道堆積或侵蝕量、災前災後河寬變化等。

河道土砂流出量調查需配合衛星影像分析與地形變動分析之成果，針對堰塞湖上游區域內崩塌狀況及分佈進行分析，並對河道土砂流出量與阻塞狀況進行定性與定量分析，以了解太麻里包盛社地區河道土砂堆積與輸送現況，針對其運動特性、機制與堆積量，訂定相關應變處理策略。

### 2-3.3 河道阻塞狀況調查

河道阻塞狀況調查包含以下二項工作：(1) 阻塞土體表面地形變化調查；(2) 阻塞土體地形變動測量。其中之調查重點在於崩塌土砂之堆積情形、其阻塞河道狀況以及河道坡度或寬度變化位置，藉以分析在潰壩後可能之河道變遷情形，尤其在溢洪口河道段之變化，包括溢洪深度與寬度，更為本區段之調查重點，因其河道之變化情形，可能直接影響堰塞湖之安定情形與溢流後之土砂流出量，故為河道土砂現場調查之重點區域。

透過現地調查及不同時期之地形測量，追蹤堆積土體之變遷情形。本計畫針對堰塞湖天然壩體，以斷面測量方式，測量壩體高程變化。有關壩體土砂變化情形，必須先量化河道斷面面積，以橫斷面測量成果計算斷面面積，面積計算方式如 [圖 2-3.1](#) 所示。

將斷面總面積視為許多個別梯型面積的集合，相鄰斷面轉折點高程至海平面距離分別視為梯型之上底與下底，相鄰間距則為梯型之高，運用梯型面積公式即可求得單一梯型面積。

$$A_1 = \frac{1}{2}(Z_2 + Z_1) \times \Delta X, \quad \Delta X = X_2 - X_1$$



其中， $A_1$  為下圖中第一個梯型面積， $Z_1$  及  $Z_2$  為斷面兩端高程， $\Delta X$  為斷面累距差。最後將所有梯型面積相加之總和，即為此一斷面之面積  $\Sigma A$ 。

$$\Sigma A = \sum_{k=2}^n \left[ \frac{1}{2} (Z_k + Z_{k-1}) \times \Delta X \right], \quad \Delta X = X_k - X_{k-1}$$

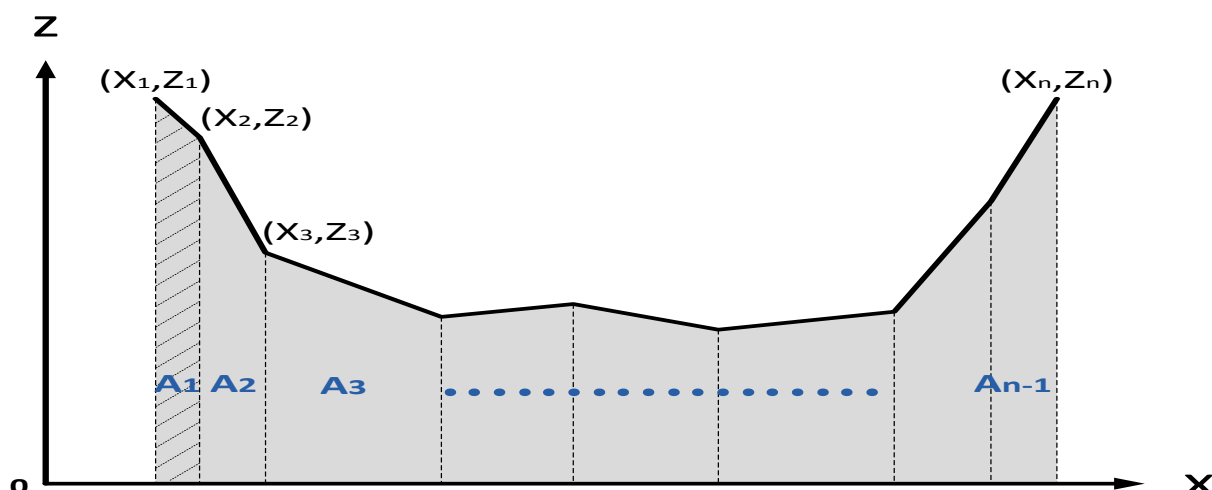


圖2-3.1 斷面面積計算示意圖

以前述方法，運用前後期斷面資料分別求得前後期斷面面積，為能延續執行前期計畫河道測量成果之完整性與一致性，斷面測量必須依循前期計畫所選定之斷面位置，相同斷面之前後期面積差異值即表示該斷面前後期土砂之沖淤量，前後期斷面面積差異計算示意圖如 圖 2-3.2 所示。

$$\Delta A = A_{\text{after}} - A_{\text{before}}$$

其中， $A_{\text{after}}$  為後期橫斷面面積， $A_{\text{before}}$  為前期橫斷面面積， $\Delta A$  為前後期斷面之面積差。 $\Delta A$  為正值表示該斷面為淤積，負值則表示該斷面為沖刷。以  $\Delta A$  值之正負即可清楚表示該斷面之沖淤變化情形。

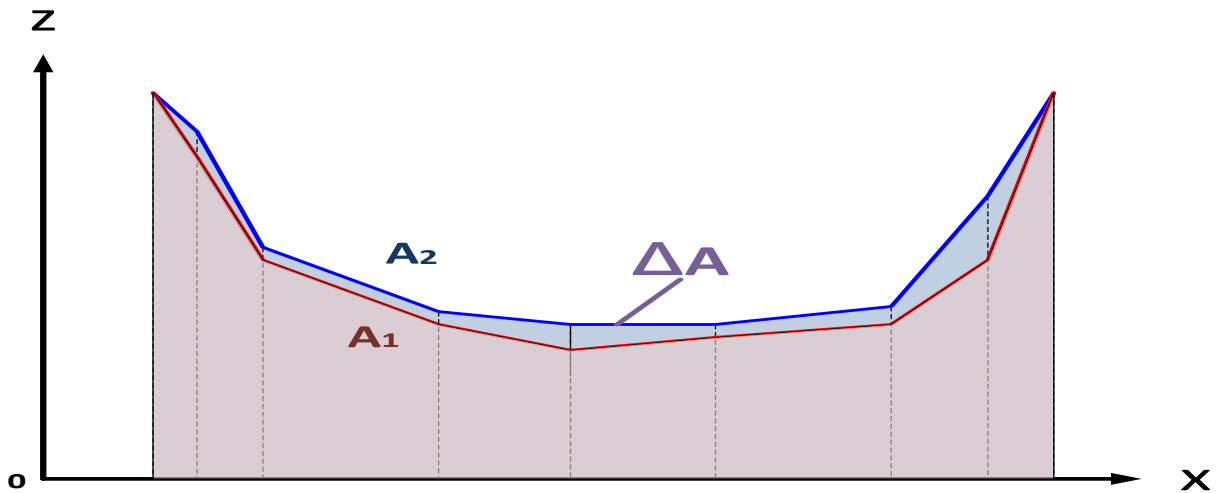


圖2-3.2 前後期斷面面積差異計算示意圖

求得斷面前後期面積差距後，可再進一步估算出壩體土砂變化量。將壩體土砂變化量視為一立方體，採用相鄰斷面前後期面積差異值分別作為立方體上底及下底，相鄰斷面間距作為立方體高，使用立方體體積計算方式可計算出相鄰斷面間壩體土砂變化量  $V$ ，壩體土砂變化量體積計算示意圖如圖 2-3.3 所示。

$$V = \frac{1}{2}(\Delta A_1 + \Delta A_2) \times \Delta L$$

其中， $V$  為相鄰斷面間壩體土砂變化量， $\Delta A_1$  與  $\Delta A_2$  分別為相鄰兩斷面之斷面面積變化量， $\Delta L$  為相鄰斷面間距。分別求出各斷面壩體土砂沖淤量即可得知堰塞湖壩體土砂變化情形。

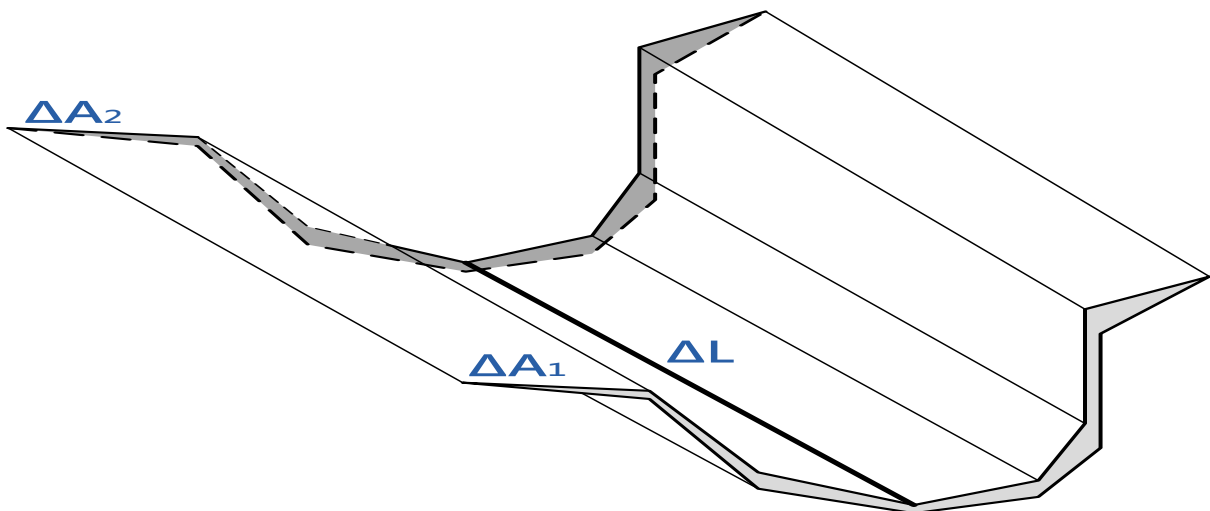


圖2-3.3 河道土砂變化量體積計算示意圖

### 2-3.4 河道斷面測量

地形測量工作包括天然壩體地形變動測量與堰塞湖下游河道地形測量，實施地形測量作業之目的為比對颱風豪雨事件前後之地表地形測量成果，以計算事件前後之地形變動量，提供相關分析使用，其工作流程與工作方法分述如下：

#### 1. 施作流程

測量作業實施流程如圖 2-3.4 所示，主要步驟包含圖資收集、現地會勘、測量方法選定、控制點選定與測量樁埋設、控制點檢測與引測、地形特徵點量測、測量點展繪、精度檢核等工作項目，說明如下：

- (1) **圖資蒐集**：收集測區內之已知三角點（內政部公佈之三角點）及測區附近相關單位所測設之導線及水準成果，以便作為地形測量工作推展之參考基準。
- (2) **現地會勘**：現地會勘之目的為確定已知控制點分佈與評估現地地形條件，藉以決定採用之測量方法與工具。
- (3) **測量方法選定**：測量方法選定時所考量之因子包括：(1) 測量人員可及性與否（人員可否到達測量目標區）；(2) 測量距離（觀測點與測量目標之距離）；(3) 工作效率（測量所需花費之時間）；(4) 測量精度。整體考量上述因子與同時兼顧人員作業安全、工作精度與效率之前提下，決定所採用之測量方法與工具。
- (4) **控制點選定與測量樁埋設**：將圖資收集階段所得已知控制點展繪至地形圖上，配合已知點之樁位示意圖及相關可利用資料，進行現場清樁作業。並依清樁後之已知點分佈狀況，決定是否需要佈設之控制點位置與數量。
- (5) **控制點檢測與引測**：採用全球衛星定位測量方法 (G.P.S.) 進行已知控制點座標檢測，並利用完成檢核之控制點為基地站，進行新設控制點之座標引測。

- (6) **地形特徵點量測**：測量作業實施之目的為掌握堰塞湖天然壩體與下游河道地形變化。其中，天然壩體與下游河道地形之測量重點為規劃斷面沿線中地形有明顯變化處。
- (7) **測量點展繪**：完成測量時，於現地將測量資料下載，展繪至地形圖或是正射影像，以確認測量點之分佈密度符合測量精度要求。
- (8) **現場檢核**：針對地形特徵進行比對，以確認測量成果之正確性。

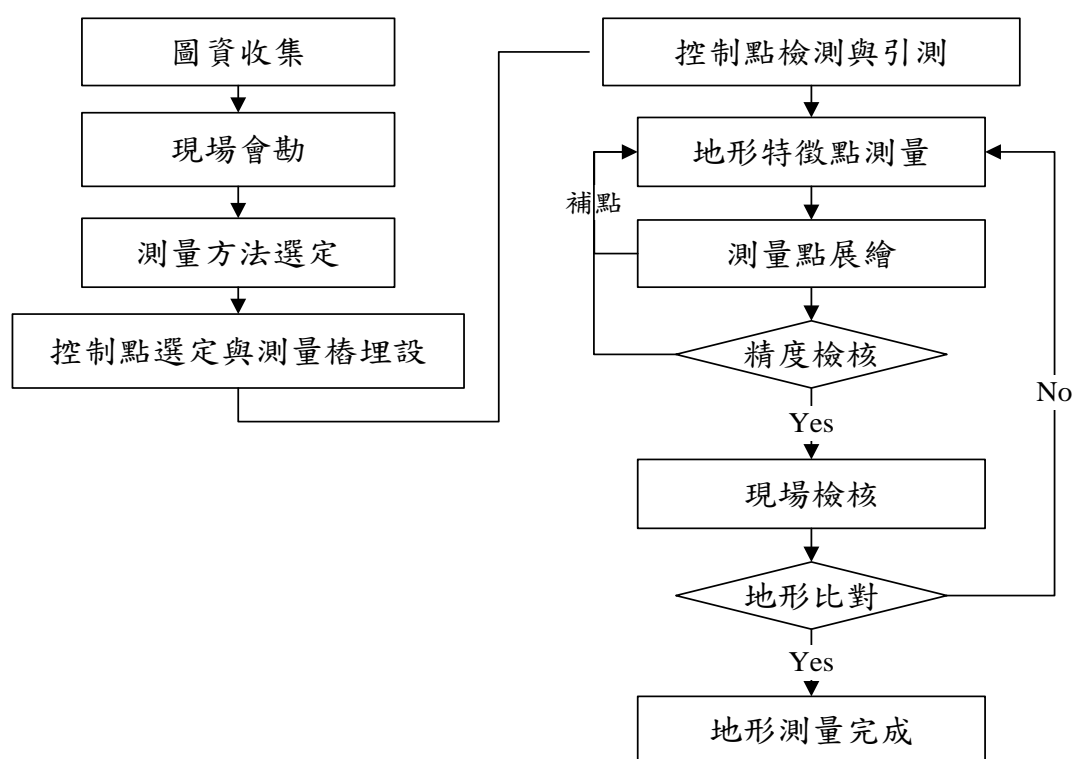


圖2-3.4 測量作業實施流程圖



## 2. 測量方法選定

參考控制點之建立，除採用傳統測量工具進行控制點座標引測，為能節省人力並提高工作效率，本計畫參考控制點之引測作業採用最新網路RTK 作業方法 (VRS)，可以增加控制點做為多餘觀測量，於座標轉換時進行檢核驗證，供為全區平面、TWD97 控制之依據。

衛星定位接收儀 (GPS) 為 Topcon 公司所製造，型號 HiPer Pro-GPS，兼具靜態定位 (Static) 與即時動態定位模式 (Real-Time Kinematic)，在控制點不易取得或引測距離過長且地形複雜之地點，可以選用全球衛星定位技術 (GPS) 之靜態定位測量方法進行控制點座標量測，在短時間內獲得測量控制點之絕對座標，作為地形測量工作推展之參考基準，解決因參考控制點引測作業費時而致使工作進度不易推展之問題。圖 2-3.5 為本計畫所採用衛星定位接收儀與測量示意圖。



圖2-3.5 衛星定位接收儀及測量情形

在斷面測量方法上，本測量作業採用雷射測距全站儀 (Total station, 稜鏡模式與免稜鏡模式) 施測，模式之選用則視施測區之人員可及性與工作安全性，若測量人員不易直接抵達或有安全之虞之點位，則選擇免稜鏡測量模式；反之，若人員可抵達並無危險之虞時，則選用稜鏡測量模式，由測量人員手持規標直接施測。

本計畫採用之雷射測距全站儀 (Total station) 為美國 Topcon 公司所製造，型號 GPT-3005LN，可利用反射稜鏡測量模式 (Prism mode) 與免稜鏡測量模式 (Non-Prism mode) 進行地形測量，反射稜鏡模式最大測量距離可達 3,000 公尺，免稜鏡模式之最大測量距離為 1,200 公尺，依據測量目標區之可及性與否，來決定採用反射稜鏡模式或免稜鏡模式進行量測，[圖 2-3.6](#) 為本計畫所採用之雷射測距全站儀與測量示意圖。



### 2-3.5 堰塞湖水下地形測量

本計畫實施堰塞湖水下地形作業所採行之施測方法為利用動力船筏掛載單音束測深儀量測水下深度，水下地形測量作業實施流程如圖 2-3.7 所示，各階段之工作方法說明如後：

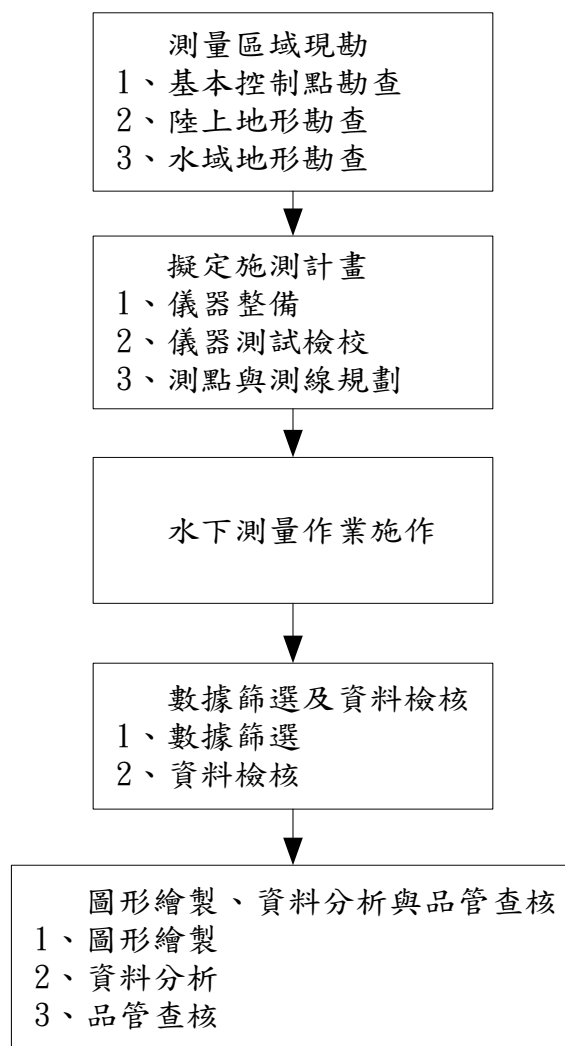


圖2-3.7 水下測量作業流程圖

- 1. 測量區域現勘：**為有效率進行測量作業，水下測量作業利用內政部公布之中華民國台灣地區三角點成果表、中華民國台灣地區一等水準點檢測成果表與內政部地政司衛星量測中心網站，查詢測區附近之基本控制點，透過陸上及水域地形勘查，確認現地控制點位置、勘查可設置控制點（水平及高程控制點）之位置、標示水面上明顯障礙物位置並初步規劃水下測量作業計畫。

## 2. 擬定施測計畫：水下測量作業主要採用的儀器如下：

(1) **衛星定位系統**：(G.P.S)：本計畫之水下測量作業，以衛星定位 (GPS) 為主要之定位系統 (含 RTK GPS 直接定位及 VRS 定位)，視準定位 (Total station) 為輔。

(2) **測深系統**：本計畫水下測量作業之測深系統在淺水區 (水深 2m 以內) 採用人工測深系統 (測竿)，在水深較深處則採用單音束精密測深儀 (圖 2-3.8，ODOM Hydrotrac 測深儀)，頻率 200KHZ，解析度 0.01 公尺，精確度 0.01 公尺 +/- 0.1% depth。具有兩組 16 bits 處理器配合內部時鐘來執行數化、列印、界面資料傳遞之功能。

(3) **輔助器材**：電腦設備、測量船、測繩、三稜鏡及稜鏡架、救生衣。

3. **儀器測試檢校**：各項測量儀器於正式進場施測前,先行送至儀器檢驗單位做全面校驗；須備六個月內校驗記錄。測量外業工作須於儀器校驗合格後始可進行測量工作。

4. **測線與測點規劃**：水下地形測量之前先將測區按計劃測量測線，測線上點與點間距離不得大於 30 公尺，測點定位精度需小於 1 公尺，測深儀測量精度需小於等於 10 公分。考量作業區域地形變化問題 (近壩體處地形變化較大)，故進行航線因依現地實際地形變動進行航線規劃。

## 5. 水下測量作業施作

(1) 水深測量前於穩定之水域檢驗測深儀與測板之誤差，並調整測深儀吃水深度。

(2) 水深測量作業，採用 RTK 水深測量方式進行，因此水上作業進行同時，利用陸上已知控制點作為 GPS 主站，同步接收即時定位資訊，水深測量作業詳 圖 2-3.9。

- (3) 實際於水面上施測時，作業船隻為確保依規劃航線之路線前進，以及確保於施測過程中資料是否確實記錄，此時以 HYDROpro 導航軟體做為輔助，此軟體主要之功能為可直接結合並儲存 GPS 定位資料與測深資料，並於電腦螢幕上顯示多項資訊供規劃航線修正與接收資料之分析。
- (4) 測深作業時即按規劃測線逐一施測，將聲納式測深儀架設於船舷並利用衛星定位儀，配合規劃測線同步將測深資料傳送到電腦以完成水深測量，水深與水下地形測量作業情形詳 圖 2-3.9。



(a) 單音束測深儀(美製 ODOM Hydrotrac)

(b) 水下地形測量情形示意圖

圖2-3.8 單音束測深儀及測量情形

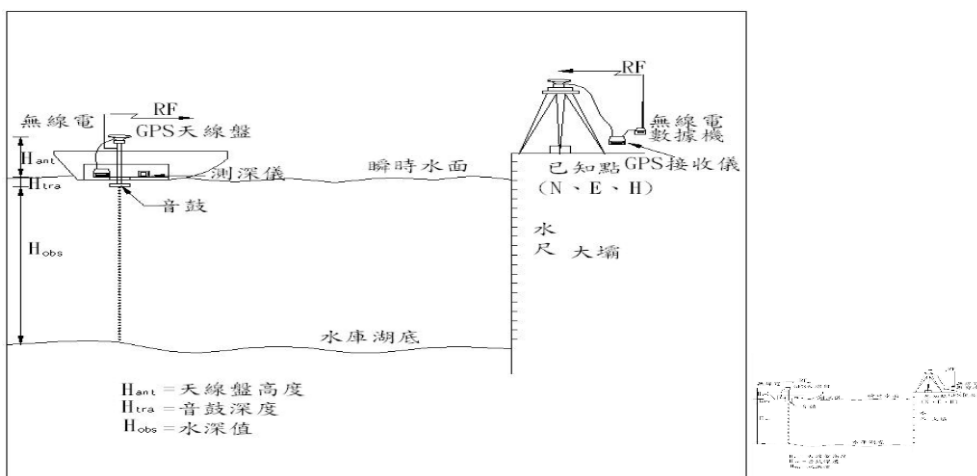


圖2-3.9 實際水深測量作業圖 (載具為橡皮艇)

### 2-3.6 堰塞湖下游河道及保全對象調查

堰塞湖下游至太麻里出海口，為天然壩下游之主要河道段，為未來堰塞湖溢流後之土砂輸送與堆積區域。莫拉克颱風後，因太麻里主河道發生劇烈土砂運動，河床高程與寬度與風災前相比皆有明顯的增加，故需配合現場調查工作，調查堰塞湖下游河道之地形變化、河道寬度變化以及河床抬升厚度，並根據可能之坡度或是寬度轉折點位，評估可能之淤積區域，做為未來下游河道變遷之重要參考。

在保全對象調查方面，主要針對堰塞湖下游之主要聚落，如嘉蘭村、太麻里橋兩岸居民，調查現有居民與河岸之高差，以及與河岸之距離等，配合地形或斷面之蒐集成果，評估在洪水來臨或是溢流情形下，可能之洪水或是土砂運動之影響範圍，做為提供太麻里溪堰塞湖下游安全性評估時之重要參考。

## 2-4 堰塞湖及崩塌區圖資分析

### 2-4.1 堰塞湖及崩塌區基本資料分析

堰塞湖區基本資料調查作業實施時，調查區域多受限於調查人員之可及性與時程之急迫性，無法實施全區地形與河道測量與詳細調查，為能快速獲取堰塞湖危險度評估與後續社區安全性評估所需各項基本資料，可以利用圖資判釋分析方式取得現地重要資訊，包括地形圖、遙測影像與無人載具空拍影像等圖資。

利用正射後之衛星影像分別針對崩塌區範圍、堰塞湖天然壩體外緣範圍以及堰塞湖迴水淹沒區範圍進行判釋分析，並配合相片基本圖之等高線地形資料進行相關基本資料估算，圖 2-4.1 為結合福衛二號影像、現地調查與無人載具空拍影像之成果所判釋之崩塌地範圍，與堰塞湖之迴水區淹沒範圍，本計畫工作團隊已多次成功應用該判釋技術，於崩塌地及其堰塞湖之判釋工作，如 921 大地震後草嶺潭崩塌與堰塞湖範圍之判釋、龍泉堰塞湖之崩塌範圍與湖面線變化、四川汶川大地震後唐家山堰塞湖之逐日變遷，皆為應用此一技術之實績。

結合資料蒐集、現場調查成果，可以進行堰塞湖與崩塌區之基本資料分析，分析內容由影像範圍的判釋、現場堆積厚度與堆積趨勢的判斷、前後期地形之比對、堰塞湖水面線位置、上游迴水終點的調查等等，取得各項所需之基本資料，如崩塌地尺寸、崩塌地堆積土方量、堰塞湖面積、堰塞湖水體體積等。

表 2-4.1 為估算堰塞湖天然壩體之參數表，首先利用無人載具與衛星影像進行天然壩體外緣範圍判釋，並與相片基本圖原河道地形相套疊後，進行天然壩體平行流向剖面與垂流向剖面圖製作，取得各項所需參數。



台東龍泉堰塞湖

現地調查照片



台東龍泉堰塞湖

無人載具空拍影像(堰塞湖)



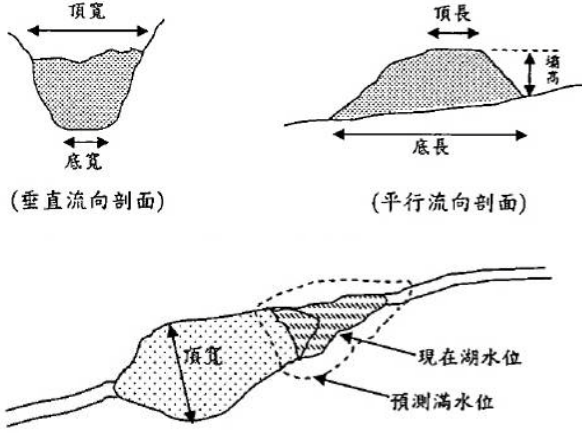
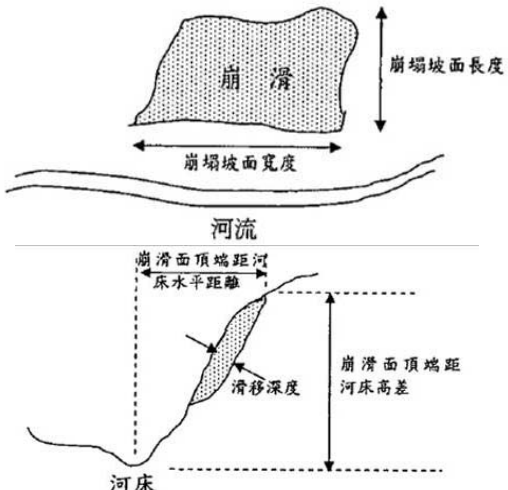
台東龍泉堰塞湖

無人載具空拍影像判釋圖 (全景)

圖2-4.1 無人載具空拍判釋圖



表2-4.1 堰塞湖基本參數取得說明

欄位名稱	說明
壩高	堰塞湖天然壩壩高，由河床底面起算，至壩頂之高度
壩頂寬度	堰塞湖天然壩壩頂寬概估值，採垂直河流主軸方向量測
壩底寬度	堰塞湖天然壩壩底寬概估值，採垂直河流主軸方向量測
壩頂長度	堰塞湖天然壩壩頂長概估值，採平行河流主軸方向量測
壩底長度	堰塞湖天然壩壩底長概估值，採平行河流主軸方向量測
壩體體積	堰塞湖天然壩壩體體積之估算方式如下： $\text{壩體體積} = [(\text{壩頂長} * \text{壩頂寬}) + (\text{壩底長} * \text{壩底寬})] * \text{壩高} / 2$
堰塞湖形狀示意圖	 <p>頂寬、底寬、頂長、底長、壩高</p> <p>(垂直接向剖面) (平行流向剖面)</p> <p>頂寬、現在湖水位、預測滿水位</p>
崩塌坡面長度	崩塌區域中高程最高點與最低點之斜坡長
崩塌坡面寬度	崩塌區域左右側寬度
崩塌面積	崩塌區域面積
崩塌深度	崩塌滑移地層之深度或厚度
崩滑體積	崩滑體積估算方式如下： $\text{崩滑體積} = \text{崩滑面積} * \text{崩滑深度}$
崩塌區形狀示意圖	 <p>崩滑、崩塌坡面長度、崩塌坡面寬度、河流、河床</p> <p>崩滑面頂端距河床水平距離、崩滑面頂端距河床高差、崩滑深度</p>

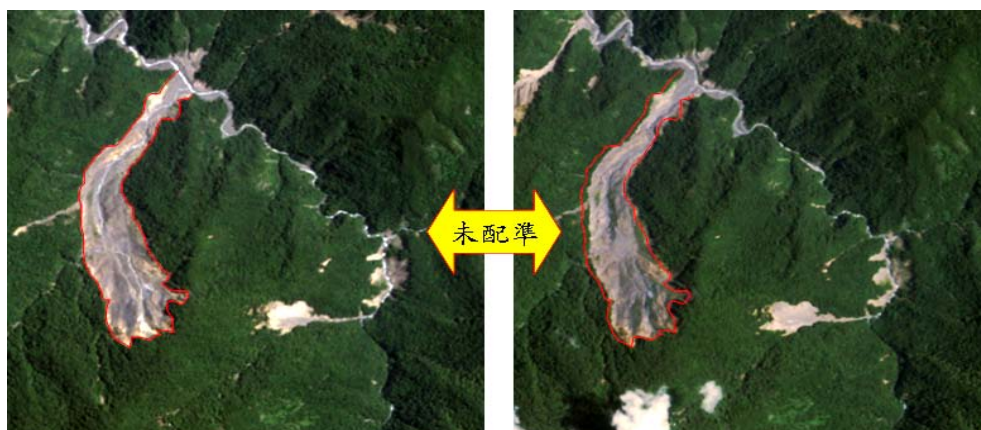
註：摘錄自堰塞湖引致災害防治對策之研究 (經濟部水利署水利規劃試驗所 2004)

## 2-4.2 堰塞湖崩塌區及蓄水面積影像變化監測分析

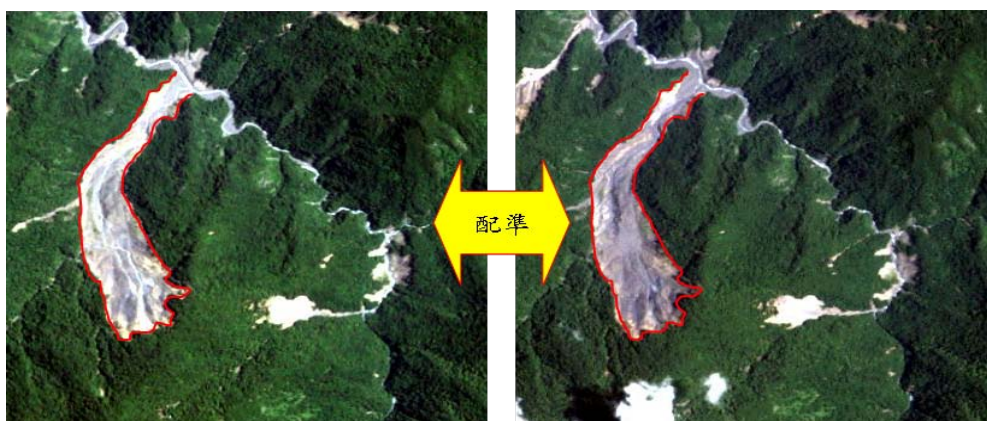
由前一節之說明可知，應用衛星影像於崩塌地與堰塞湖之判釋工作，是全面性大範圍快速監測之最佳方法，故本計畫利用連續衛星影像判釋，以每月一幅影像為原則，另於重大事件前後，緊急規劃福衛二號拍攝排程取得事件後之影像，配合無人載具空拍作業，針對崩塌區及堰塞湖區進行變化監測分析，計畫期間共產製 22 期之監測分析成果。

針對堰塞湖上游全流域範圍進行崩塌地判釋與崩塌地變異分析，以獲得流域內崩塌地之分佈（數量與面積），並瞭解重大颱風豪雨事件後新生崩塌地分佈與舊有崩塌地擴大之情形。在工作初始首先需完成前期衛星影像（事件前）之判釋工作，做為後續崩塌地變異分析之基準，於事件後需選定雲覆率較低之後期影像進行崩塌地判釋，並針對各期影像間的崩塌地變異進行計算與分析，透過事件前後的崩塌地分布圖層之套疊相減，獲得事件造成之新生、舊有擴大及新增總量等崩塌變異之量化特性。

若欲進行衛星影像的判釋與前後期崩塌地或溪床變化的比對工作，影像間的校準為應用上最重要的工作，本計畫除完成影像的正射定位外，更進一步以橡皮伸張法 (Rubber sheet stretching)，利用地面控制點 (Ground Control Point, GCP) 模擬地面特徵點與影像對位點之幾何關係來糾正各時期影像，糾正平面方向的錯位，讓崩塌地的變遷判釋成果更加準確 (圖 2-4.2)。



(a) 未配準之不同期影像



(b) 配準之不同期影像

圖2-4.2 衛星影像配置圖

衛星影像經校正後，除可大範圍監測集水區之現況外，更可應用影像光學特性，進行崩塌裸露地之判釋工作，其流程如圖 2-4.3 所示，除前述之影像選擇、正射校正、雲層與陰影區域的濾除，進一步應用正規化植生指標 (NDVI) 進行裸露地的初步判釋，由植生分布指數畫定裸露區域，並以光譜強度分布資料去除明顯雲霧及陰影屏蔽區域，得到初步裸地分類結果，NDVI 正規化植生指標植定義如下：

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

其中，NIR 為近紅外線波段，R 為紅色光波段。NDVI 指數介於 -1 到 1 之間，其值越大表示地表覆蓋程度越好，越低表示覆蓋程度越低，故，可由 NDVI 指數判釋非植生裸露地。但在初步裸露地中，如圖 2-4.4 所

示，針對初步裸地分類判釋中屬於低坡度結坡度範圍之河道、人工建物與墾地等誤判區域需予以濾除，以提升崩塌分類之準確度，並透過形狀係數的計算，必須先將原本格網形式的分類成果資料向量化。利用區塊劃分後的分類單元進行型態判斷，估算其分布外形之長寬比例，剔除細長型態之誤判結果，有效濾除次要河道、道路堤防等細長特性之地物，而透過現場調查與既有 GIS 空間資料，可將建物、道路與耕地等非崩塌地區予以濾除，獲得正確之崩塌地判釋成果。最後，透過各期崩塌地判釋成果之比較，則可獲得事件前後崩塌地變遷之行為，獲得定量之崩塌地擴大面積，如圖 2-4.5 所示。

崩塌土砂生產量，可由前述獲得之崩塌地擴大面積，乘上崩塌地之平均深度，以及坡面堆積土砂之孔隙率獲得，如下式所示：

$$V_{\text{landslide}} = C_a \times h_{\text{mean}} \times S_a$$

其中， $V_{\text{landslide}}$  為崩塌新增土砂生產量（立方公尺）； $C_a$  為新增崩塌地面積（平方公尺）； $h_{\text{mean}}$  為子集水區之崩塌平均深度（公尺），可由現場調查或崩塌特性統計關係中獲得； $S_a$  為坡面堆積土砂之孔隙率。由上述之關係式，可以得知崩塌之新增土砂生產量，在土砂管理模式中，可將衛星影像之判釋新增崩塌地擴大面積（ $C_a$ ）作為輸入條件，由而模式計算崩塌發生後，土砂由坡面運移至河道、直至集水區下游之過程。

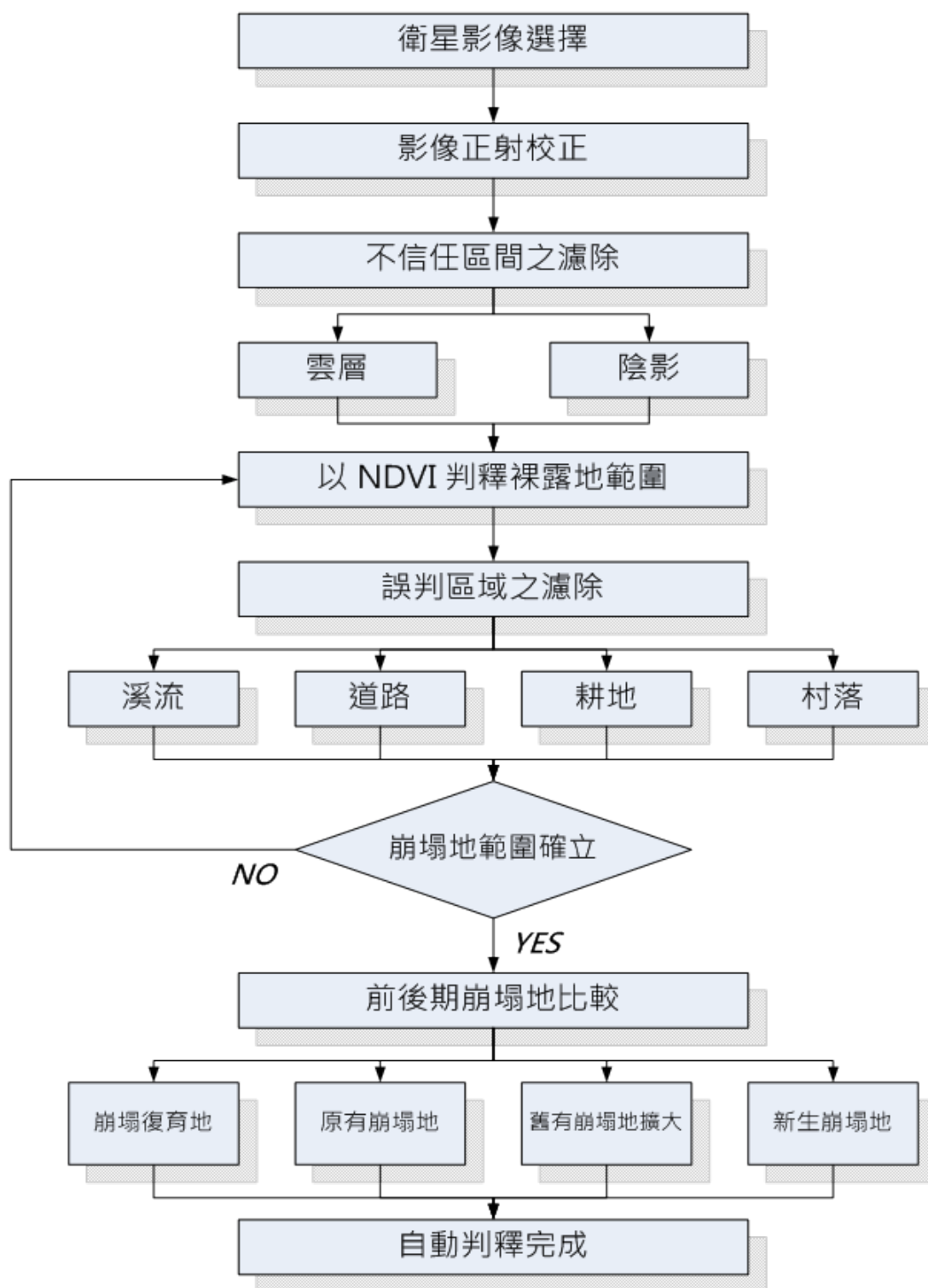


圖2-4.3 衛星影像崩塌地自動判釋流程

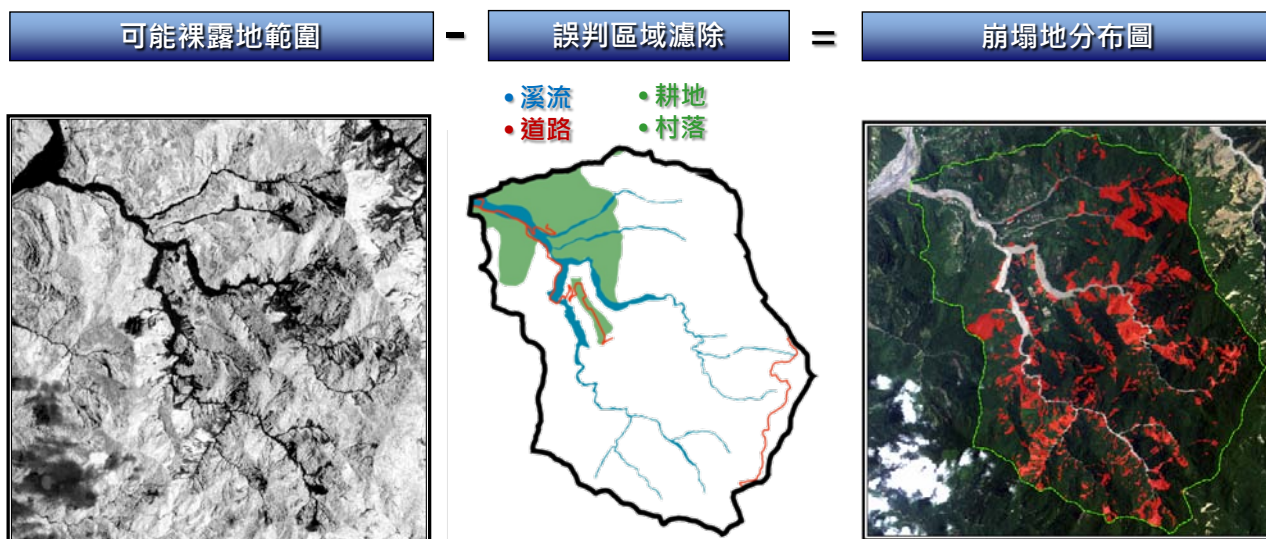


圖2-4.4 裸露地誤判區域濾除過程示意圖

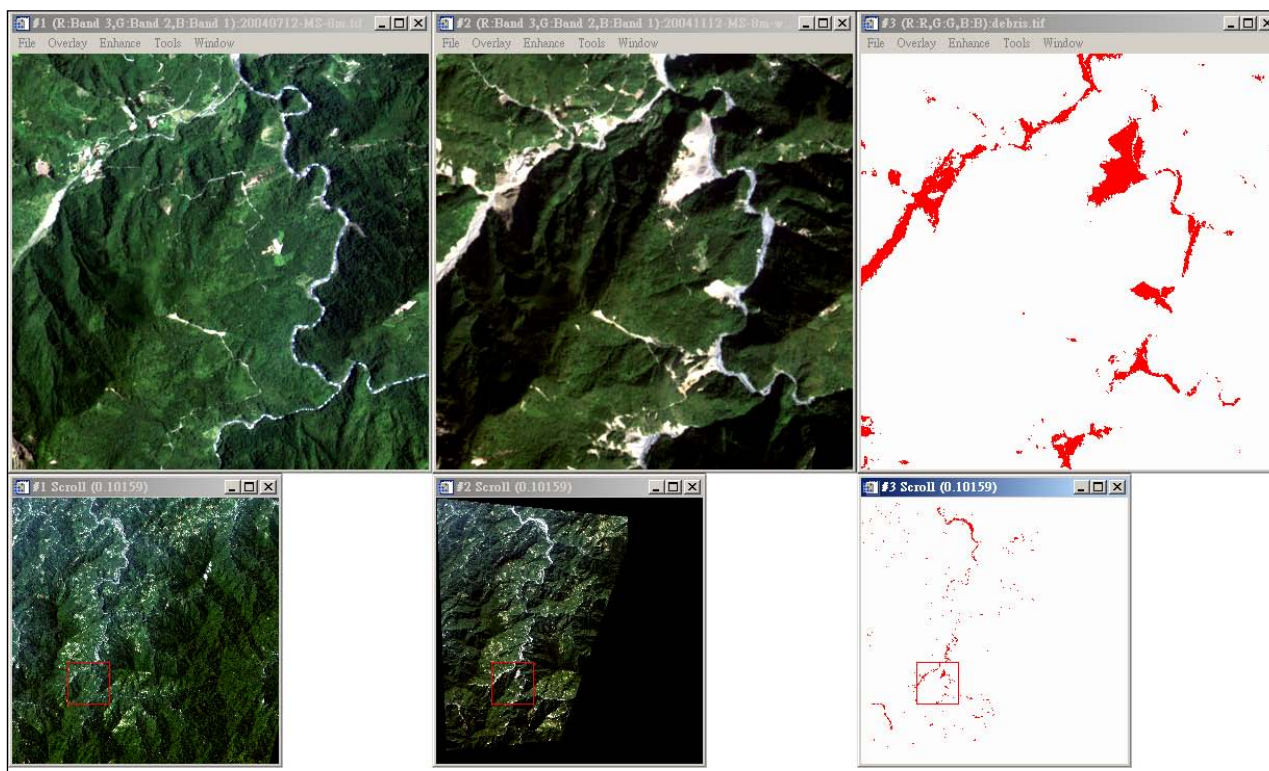


圖2-4.5 新增裸露區與前後期影像比較圖

圖 2-4.6 為應用福衛二號衛星影像於四川唐家山堰塞湖之湖面變遷判釋成果，可看出衛星影像有效指出範圍與迴水點前後時間的變遷情形。

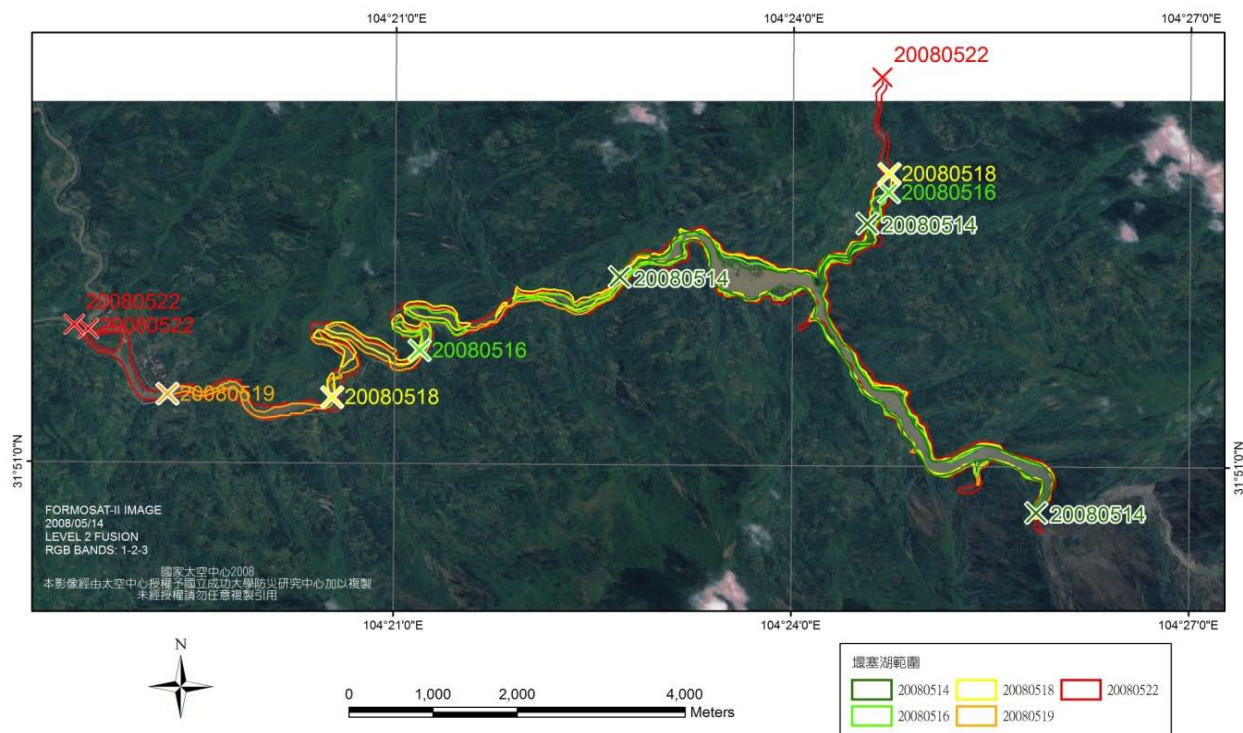


圖2-4.6 唐家山堰塞湖影像變化監測分析成果

## 2-5 潰壩潛勢評估

堰塞湖形成後除會引起上游迴水淹沒外，亦可能因壩體蓄水潰決時造成下游地區發生嚴重之災害。因此堰塞湖形成後，若干重要問題必須於短時間內完成評估，作為本計畫緊急評估與減災對策實施之依據，包括：

### 1. 壩體安定性問題:

壩體安定性問題包括探討壩體可能存留時間(短期內潰決或長期存在)與評估內外條件改變(如水位上升、開始滲流或溢流、降雨、地震)與人為擾動(如開挖溢洪道)等，對於壩體安定條件可能造成之影響。

### 2. 壩體破壞機制問題

依據壩體地形與地文條件，評估壩體可能之破壞形式為驟然潰決破壞或逐漸沖刷破壞(滑動、管湧破壞、溢流或混和型破壞)，並依據壩體破壞機制分析後結果訂定潰壩警戒基準。

### 3. 潰壩災害影響範圍：

包括水位上升時間與淹沒範圍之預測與不同潰壩形式之洪水在害氾濫範圍之評估。

本節即針對上述重要議題提出具體之工作方法及步驟，說明如下

### 2-5.1 壩體安定性初步判定

Ermini & Casagli (2003) 以義大利、日本、美加等國家之 84 個堰塞湖案例資料，利用統計方法歸納出堰塞湖天然壩體穩定性研判指標，稱為無因次阻塞指標(Dimensionless Blockage Index, DBI)，緊急處理階段進行壩體安定性初步評估時，可利用此方法快速判定，本計畫執行團隊曾對台灣、日本與中國大陸近年所形成之堰塞湖，依此方法進行各堰塞湖後續發展情形之比較，結果十分吻合(詳圖 2-5.1)，因此本計畫採用此方法應用於壩體初步安定性評估應有相當程度之參考價值。DBI 其定義如下：



(1) 無因次阻塞指標(DBI)

$$DBI = \log\left(\frac{A_b \times H_d}{V_d}\right)$$

式中， $A_b$ ：堰塞湖集水面積 ( $m^2$ )

$H_d$ ：天然壩壩高 (m)

$V_d$ ：天然壩壩體積 ( $m^3$ )

(2) 研判基準

DBI < 2.75，壩穩定；DBI > 3.08，壩不穩定；2.75 < DBI < 3.08，為過渡區，介於穩定與不穩定之間。

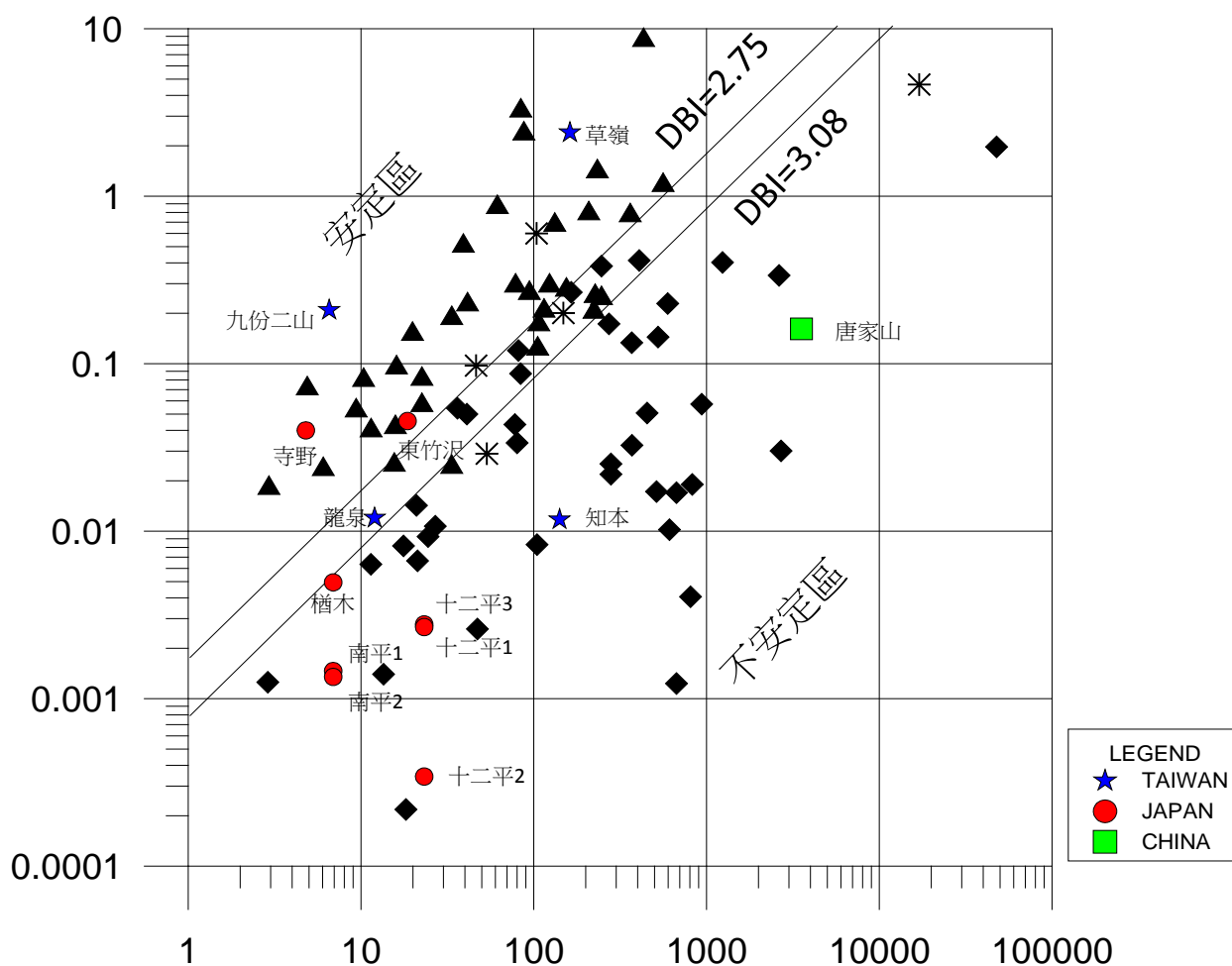


圖2-5.1 無因次阻塞指標(DBI)定義圖(Erimini & Casagli, 2003)

## 2-5.2 壩體破壞機制評估

依前人研究之結果，堰塞湖天然壩體破壞方式計有溢流沖刷、驟然崩潰與漸進式破壞等三種方式（圖 2-5.2）。

圖 2-5.2 (a) 為壩頂溢流沖刷破壞 (Erosion due to overtopping)：此類型多發生於強度較大之壩體，當壩體入流量大於滲流量時，湖水水位將持續升高，由於壩體強度較大，因此不易發生壩體驟然崩潰破壞，水位超過壩頂後開始溢流，溢流之洪水將不斷沖刷壩頂與壩體下游邊坡，使得壩體不斷變薄、變低，最後導致壩體潰決；圖 2-5.2 (b) 為驟然崩潰破壞 (Instantaneous failure)：此類型多發生於滲透性較高，組成強度低之壩體，當壩體後方水位逐漸升高達臨界水位時，壩體突然崩潰而滑動；圖 2-5.2 (c) 為溯源沖刷破壞 (Progressive failure)：此類型多發生於滲透性極高之壩體，壩趾因管湧現象產生淘刷，破壞面由坡腳處沿著坡面往壩頂方向發展而潰決。

依 Schuster(1995)之研究，在 202 各天然壩破壞案例中，有 197 個因溢流、4 個因管湧、1 個因下游面沖刷而造成破壞，壩頂溢流破壞約佔破壞總數之 97%，故壩頂溢流破壞是堰塞湖天然壩破壞之最主要因素。

考量堰塞湖天然壩體潰壩時機一般有下列三種形式：(1)滿水位時：水壓大於摩擦力而整體潰壩。(2)滲流後：壩體因管湧現象產生淘空而潰決(下游面邊坡破壞)。(3)達滿水位且開始滲流而未潰決之壩體：以壩頂溢流破壞居多。

本計畫執行參考上述潰壞機制之分類，依據現地實際調查結果，提出壩體可能潰壞機制之研判，供後續短中長處置對策研擬時參考。

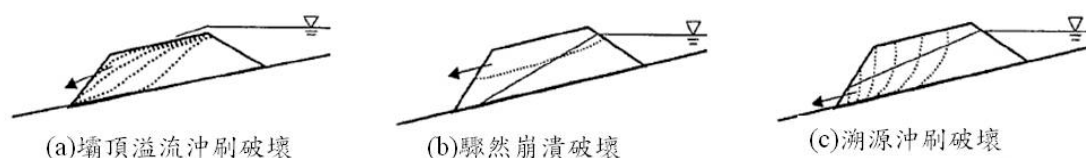


圖2-5.2 堰塞湖天然壩體破壞形式示意圖(高橋保、匡尚富,1988)

## 2-5.3 潰壩水理演算

### 一、潰壩演算模式簡介

堰塞湖為邊坡土體崩落阻塞河道形成，而此類土體多為鬆散堆積土體，易受水流沖蝕或雨季洪水影響導致土體破壞，使得蓄積之水體形成洪水波往下游傳遞而造成下游之災害。因此需利用模式進行潰壩水理演算，針對堰塞湖發生潰壩之狀況，評估潰壩後洪水波於下游可能影響之範圍。

HEC-RAS 模式是國內水利工程廣受肯定且最常採用一維水理模式，目前仍持續發展各項實務功能。此模式於 2001 年加入變量流模式及潰壩模擬功能，且能與 GIS 系統整合，於資料建置與成果展示更具時效性與使用彈性。因此在本計畫擬採用 HEC-RAS 變量流模式（一維定床水理演算模式）作為潰壩模擬的評估模式。

考量莫拉克颱風後，太麻里河流域坡面崩塌情形極為嚴重，河道地形變動極大，若以災前地形進行潰壩模擬，其模擬結果將與實際情形差異極大，無法提供後續潰壩影響範圍評估及下游社區安全性評估使用，考量經費及計畫時程，本計畫選定堰塞湖下游部份重要位置進行河道斷面測量，並利用內政部提供之 5m 數值地型模型資料（災前 5 m × 5 m DEM），完成模式計算所需之河道與兩岸之地形資料，配合堰塞湖的現地條件模擬堰塞湖潰決後所形成洪水湧波於河道中傳遞之情形，以進行堰塞湖潰決引致災害之危險程度分析，以供相關單位研擬中長期對策之參考。

### 二、預計模擬範圍

潰壩水理演算採用 HEC-RAS 變量流模式進行計算，水理演算之邊界以南太麻里溪橋下游側約 1000 公尺為下游端邊界，上游端為涵蓋堰塞湖湖區，特延伸至崩塌處上游處，模擬之河道總長度約 26 公里，如 [圖 2-5.3](#) 所示。



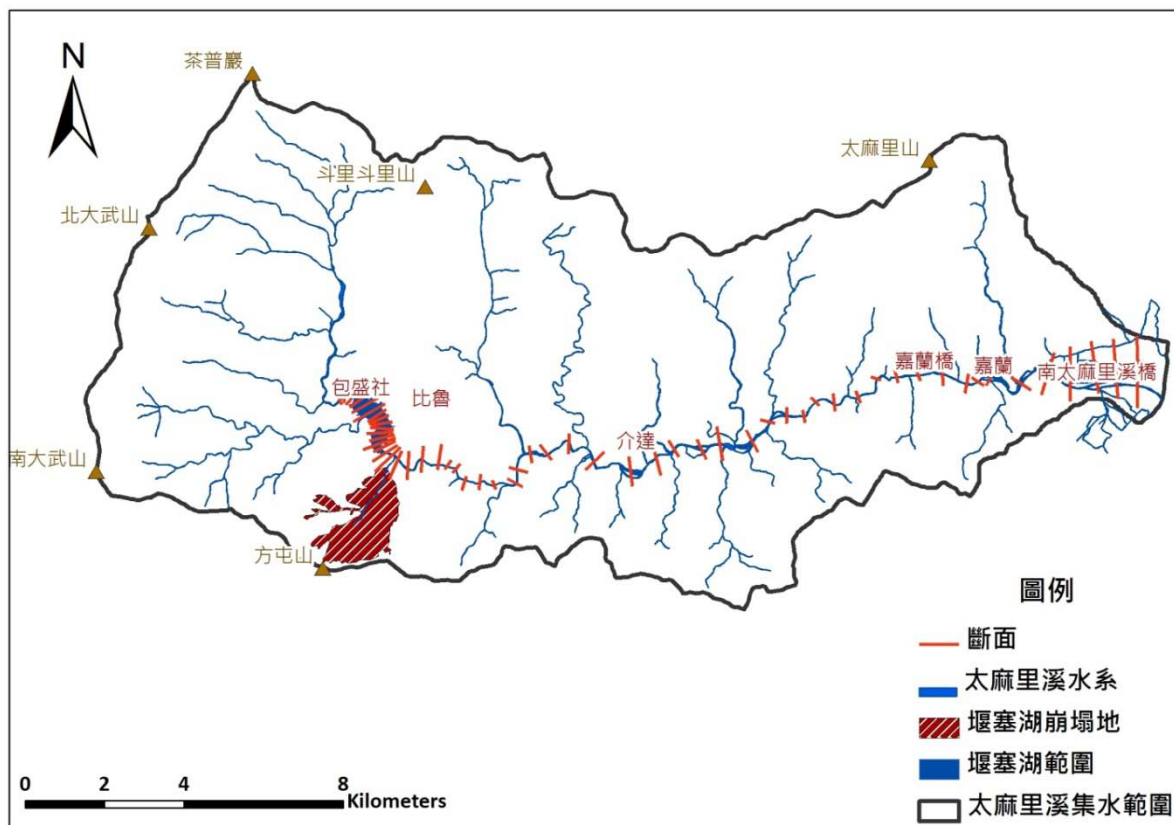


圖2-5.3 潰壩模擬範圍及斷面配置圖

## 2-5.4 潰壩影響範圍評估

堰塞湖之天然壩體易受水流沖蝕或雨季洪水影響導致土體破壞，使得蓄積之水體形成洪水波往下游傳遞而造成下游之災害。有關潰壩對於下游社區安全性之影響評估與警戒範圍之劃定工作，本計畫利用 HEC-RAS 變量流模式之潰壩洪水波進行河道模擬，針對各種可能潰壩條件進行境況模擬（不同潰壩延時、不同潰壞條件與壩高條件等），針對堰塞湖天然壩體潰決後洪水波朝下游傳遞時可能造成溢堤之問題以及下游土砂沖淤問題進行分析，完成社區安全性評估與警戒範圍劃定，提供防災應變期間之疏散避難規劃與減災工作處理對策實施時參考。

## 2-5.5 下游社區安全性評估

2-5.2 節 中所述之壩體各種破壞機制，皆有可能造成下游流量與輸砂量的突然增加，危及下游兩岸居民活動之地區，故需應用現有之分析方法，評估下游社區之安全性。

由災害河道測量斷面，透過 2-5.2 節 分析計算之各種破壞機制下之流量歷線，取得通過下游社區居民處之最大洪峰流量；而由通洪斷面的計算，評估下游社區是否可以容許洪水通過，若可通過，表示該處社區安全無虞，只需配合軟性工法，如警戒、避難等手段做為治理對策；當下游社區無法容許洪水通過時，則需評估洪水淹沒之範圍與深度，訂定所需之工程或撤離方案。

除洪水災害之檢驗外，土砂材料的移動，同樣會造成下游社區之安全性問題，一旦發生較大規模之土砂運動時，土砂材料伴隨洪水輸送之下游，將造成洪水流量的增加。土砂材料之堆積，河床高度逐漸抬升，有效通洪斷面也會逐漸減少，同時也減少了居民處與河道的高差，使得社區之安全性逐漸降低，造成社區之主要災害。故在評估社區安全性時，除清水流之洪峰流量斷面檢討外，也需加上土石流之洪峰流量斷面檢討，更需由現場調查之成果，評估可能之河床抬升高度，分析在河床變遷情形下，居民聚落之安全與否。



## 2-6 太麻里河流域二次災害趨勢推估

除本次莫拉克颱風之災情外，太麻里流域因受創嚴重，集水區中上游坡面新增多處之崩塌裸露地，河床高度也迅速抬升，集水區內之土砂條件與過去相比，有很大的不同。當再次遭逢豪大雨時，可能導致更加嚴重之二次災害。且因上游已有堰塞湖之故，一旦堰塞湖湖水高漲產生潰決或是溢堤時，都有可能對下游形成再一次的土砂災害，因此需要評估未來太麻里河流域之二次土砂災害趨勢。本節分為三個小節，說明流域內土砂生產及二次災害之分析項目與分析方法以及下游社區安全性評估，說明如下：

### 2-6.1 流域潛在土砂流出量推估

集水區內的土砂運動，為一連續且守恆之過程，由土砂的生產開始，經暴雨逕流的搬運，逐漸往下游輸送。河道因上游來砂量與下游輸出量的差距，而衍生河道上的堆積與侵蝕現象，此觀念為土砂量守恆之分析，同時也說明了集水區內土砂量的變動情形，故定名為集水區土砂收支分析。

本計畫採用集水區土砂管理模式，結合國內外之研究成果，將集水區內之土砂運動定量模式化，模式分為數個重要的模組，包括了：1. 子集水區匯流系統模組；2. 降雨逕流模組；3. 土砂生產模組；4. 土砂輸送模組；5. 土砂收支（堆積或侵蝕）模組，各模組根據國內外之研究成果，發展物理式或統計式模型，將不同的物理運動機制，在同一集水區系統內進行演算。此模式歷經多年的應用與修正，已成功應用在台灣의濁水溪、大安溪、大漢溪、曾文溪與高屏溪等主要流域，在工程規劃治理中也多次應用於山區集水區內，如龍泉溪、壽豐溪、烏石坑溪等，為一有效的土砂運動評估工具，各模組在多年的應用成果中，也進行多次的率定與驗證，並補強模組之計算功能，並發表於國際期刊論文中，為土砂分析實務應用上之重要工具，各機制所採用理論，簡列如 [表 2-6.1](#)。

## 1. 子集水區匯流系統模組

土砂管理模式計算之概念是以空間分散、參數集塊 (Spatially Varied, Lumped Parameter) 的觀念，將一集水區根據水系匯流關係，細分成許多具地文水文均一性的子集水區 (圖 2-6.1)，各個子集水區內因具有相同的特性，故可給定其地文及水文參數，模擬各個子集水區內降雨逕流、土砂生產、土砂輸送，以及土砂收支 (堆積或侵蝕) 的過程，最終，各個子集水區根據其匯流系統，計算整體集水區內，土砂的運動過程，串聯成一整體土砂運動成果。

表2-6.1 土砂管理模式採用理論

模擬現象	模擬項目	理論方法
降雨逕流	有效降雨量	SCS 理論
	坡面漫地流	運動波理論
	河道水流	運動波理論
土砂生產	地表沖蝕	MUSLE
	崩塌	打荻式或影像判釋
土砂輸送	河道輸砂	輸砂公式
	土石流	平衡濃度公式

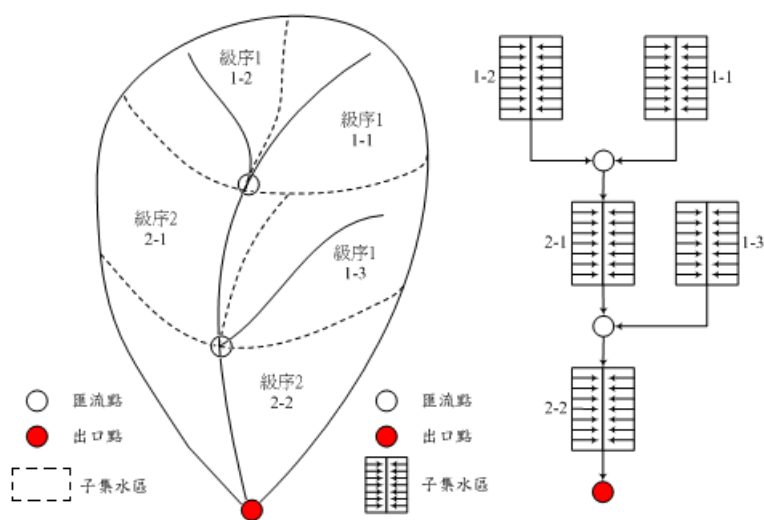


圖2-6.1 子集水區及河系串接示意圖

在土砂管理模式中，單一子集水區是計算的基本單元，其主要輸入為降雨以及來自上游的水砂，如圖 2-6.2 所示，將原有子集水區複雜之地形，簡化為兩平面斜坡及中央河道之組合，降雨落於坡面後部分雨水滲入地表下，超滲降雨則轉化為地表逕流並引起表土沖蝕向河道匯集，若降雨持續使得累積降雨量大於崩塌發生之臨界雨量，則坡面發生崩塌地破壞，此土方量亦落入河道形成土砂來源，所有坡面之逕流與土砂材料匯集於河道後，連同來自上游子集水區的逕流與土砂往下游輸送至子集水區出口處，這些程序構成子集水區土砂運動之機制。綜合前述，一個子集水區的泥砂產出量可由降雨逕流演算（降雨逕流模組）、土砂生產量演算（土砂生產模組）、輸砂演算（土砂輸送模組），以及河道沖淤演算（土砂收支模組）四種機制共同完成，將其以概念圖表示如圖 2-6.3 所示。各項模組之詳細分析方法，說明如下：

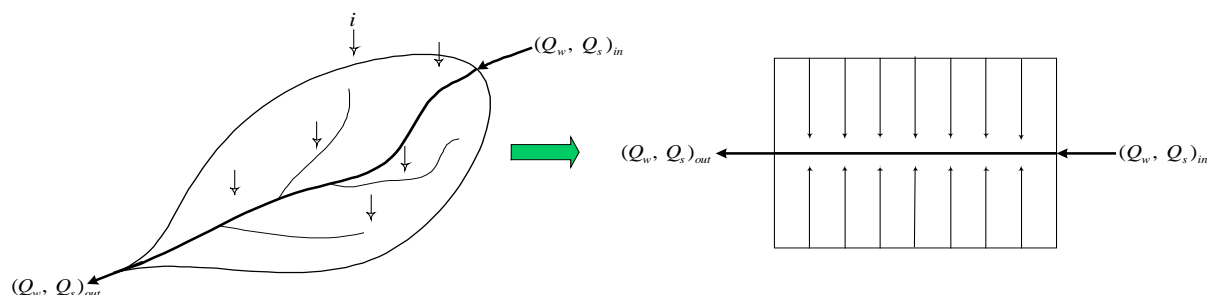


圖2-6.2 單一子集水區概念化示意圖

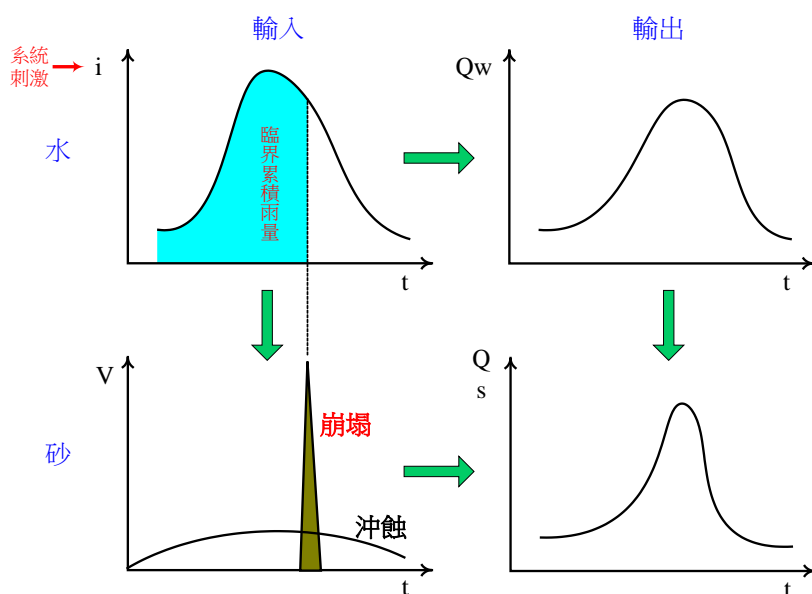


圖2-6.3 集水區產砂概念圖



## 2. 降雨逕流模組

### ■ 有效降雨量

由於 SCS 曲線值模式適合結合衛星影像資料，以及地理資訊系統方法，來求取模式中所需之集水區地文參數，故 SCS 模式在國際上都被廣泛接受為有效降雨量的推估方法，在國內也有不錯的應用成果，因此，本模式以 SCS 曲線值法推求有效降雨量。SCS 曲線值模式係美國水土保持署所創 (Soil Conservation Service Curve Number model，一般簡稱為 SCS Model)，模式之使用只需要決定曲線值 (Curve Number，簡稱 CN) 一個參數即可，CN 值隨土壤種類、土地利用及臨前土壤水分條件而改變，其計算式如下：

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}, \quad P > 0.2S$$

其中， $P_e$  為累積超滲降雨； $P$  為累積總雨量； $S$  為最大滯留量潛勢，其與集水區特性間之關係是透過 CN 值決定，可以表示如下式：

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

故由上述計算式，可透過 CN 值的決定，計算出有效的累積超滲降雨量，進而計算有效之降雨逕流歷線。

### ■ 坡面與河道逕流歷線

超滲降雨如何轉換成谷口輸出之直接逕流歷線，一般採用下列兩種方法，一為經驗模式，如單位歷線模式 (unit hydrograph model)；另一為概念水力模式，如運動波模式 (kinematic-wave model)。單位歷線模式之應用，需要大量的實測資料做參數檢定、驗證，由於山區各子集水區少有實測資料可供使用，因此並不適合採用單位歷線模式作為逕流歷線的推估方法。因此，本計畫採用運動波模式為直接逕流歷線之推估方法，其計算方

式具有物理模型為基礎，其所需的參數，可藉由地理資訊系統加以估算，同時推估坡面上的漫地流以及集水區河道逕流。

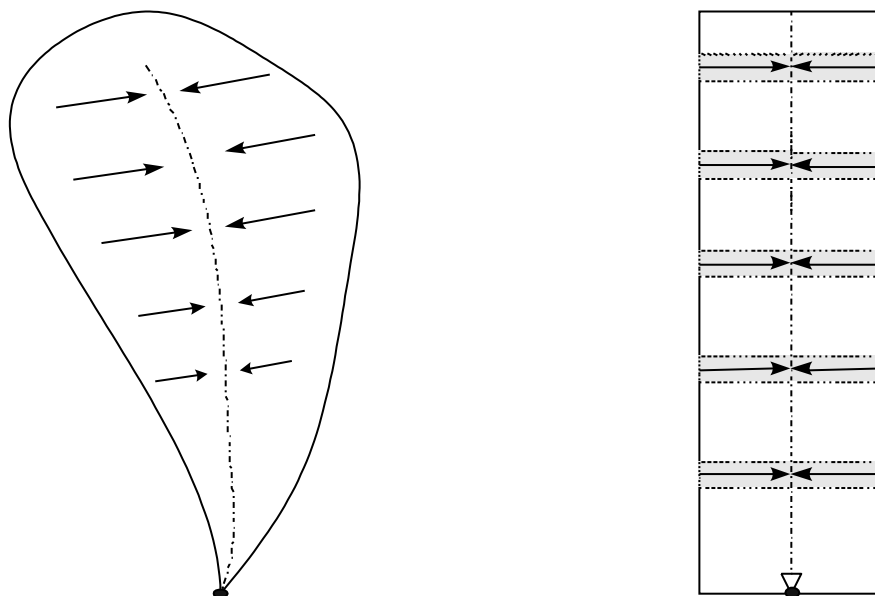


圖2-6.4 運動波模式之集水區概念化示意圖

如圖 2-6.4 所示，運動波模式假設集水區為一非常寬廣之渠道，其側入流量等於超滲降雨量，由於漫地流水深較淺，坡面之底床坡度  $S_0$  與能量坡度  $S_f$  相近，其能量坡度可由底床坡度近似，則漫地流流量可以表示如下：

$$Q = \frac{1}{N} AR^{2/3} S_f^{1/2} \approx \frac{1}{N} AR^{2/3} S_0^{1/2} = \alpha A^m$$

其中， $Q$  為流量； $R$  為水力半徑； $A$  為斷面積； $N$  為漫地流阻力因子，根據地表覆蓋情形所決定； $\alpha$  與  $m$  為與地文因子相關之參數，由於集水區視為寬廣渠道，因此， $\alpha$  與  $m$  可以表示如下：

$$\alpha = S^{1/2} / N, m = 5/3$$

根據明渠水流控制方程式，水流之連續方程式可以表示如下：

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

其中， $q$  為側入流量，在此為超滲降雨量。將前述曼寧公式求得之流量與連續方程式結合，則可以得到下述控制方程式，即為漫地流之運動坡方程式：

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \alpha \cdot m \cdot A^{m-1} \frac{\partial A}{\partial x} = q$$

由於上游集水區內之河道坡度陡、水效應小、道窄深、岸儲蓄效應亦小，運動波模式可滿足要求，因此本模式同樣以運動波模式進行河道水理計算，其適用範圍約為河道坡度大於 0.002 (即 0.36°)。上述坡面漫地流之運動波方程式，同樣可做為集水區河道水流控制方程式，惟其中  $q$  在河道演算中，為河岸兩側坡面漫地流側入流量， $N$  為曼寧公式糙度係數。

### 3. 土砂生產模組

在土砂生產模組方面，本模式採用坡面上的崩塌與沖蝕兩種主要的土砂生產機制，作為土砂生產的來源，在崩塌土砂生產量的估算上，本模式提供兩種不同的計算方式，第一種為應用衛星影像自動判釋分析成果，獲得暴雨事件之新增崩塌地面積，進而推估崩塌土砂生產量，而第二種則應用打荻式公式，獲得降雨量與新增崩塌地面積之間的關係，同樣進而推估崩塌土砂生產量；而在沖蝕土砂生產量的估算上，則採用 MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) 公式，應用前述逕流歷線之計算成果，計算暴雨時期之坡面土砂沖蝕量，其方法詳述如下：

## ■ 崩塌土砂生產模組

應用衛星影像自動判釋崩塌地為近年來常用之集水區監控技術，因衛星影像具有高再臨率，大範圍連續監測之特性，加上近年來衛星影像之定位以及空間精度不斷精進，其成果足以提供集水區監測之用。福爾摩沙二號衛星影像（以下簡稱福衛二號，Formosat-II）近年來提供各項防災、規劃治理、空間資訊系統開發等應用，並可利用自動崩塌地判釋系統，由衛星影像自動取得崩塌地面積。

若欲應用衛星影像之崩塌地自動判釋成果於土砂收支模式中，各幅影像間的校準為應用上最重要的工作，除完成影像的正射定位外，需更進一步以 2-4.2 節 所述方式，由前後期衛星影像變化判釋方式求得崩塌地變化情形。

應用衛星影像之成果除獲得崩塌地擴大面積（ $C_a$ ）之外，土砂管理模式另提供打荻式模組，作為缺少衛星影像時，崩塌地擴大面積之評估計算方法。打荻於 1971 年，應用現地調查與室內分析結果，統計日本四條河川崩塌地新增面積以及累積降雨量之間的關係，得到如下的關係式（圖 2-6.5）：

$$Y = \frac{\sum C_a}{A} = a \times (R - R_0)^n$$

其中， $Y$  為新增崩塌率； $C_a$  為新增崩塌面積（平方公尺，如 圖 2-6.6）； $A$  為集水區面積（平方公尺）； $a$  為崩塌特徵係數， $n$  為降雨特徵係數， $R$  為累積雨量（公厘）； $R_0$  為發生崩塌之臨界累積降雨量（公厘）。故由該統計式，同樣可獲得單場暴雨下新增崩塌地面積（ $C_a$ ），故可由上述崩塌土砂生產量之計算方法，由單一子集水區之崩塌平均深度，以及坡面堆積土砂孔隙率，三者之乘積獲得崩塌土砂生產量。

在打荻式中， $a$ 、 $n$  與  $R_0$  為與現地地文條件相關之待定值，可透過研究區歷年來多場暴雨前後之現地調查、航照或衛星影像崩塌地面積比對，獲得多筆降雨量與新增崩塌率數據，再藉由回歸分析加以估算，根據打荻式於日本數個流域的調查分析結果（圖 2-6.5）， $n$  值建議為 2， $a$  值的

範圍約在 0.5 至 4.5 之間， $R_0$  值的範圍約在 250 至 450 之間，可做為統計打荻關係式時之參考依據。

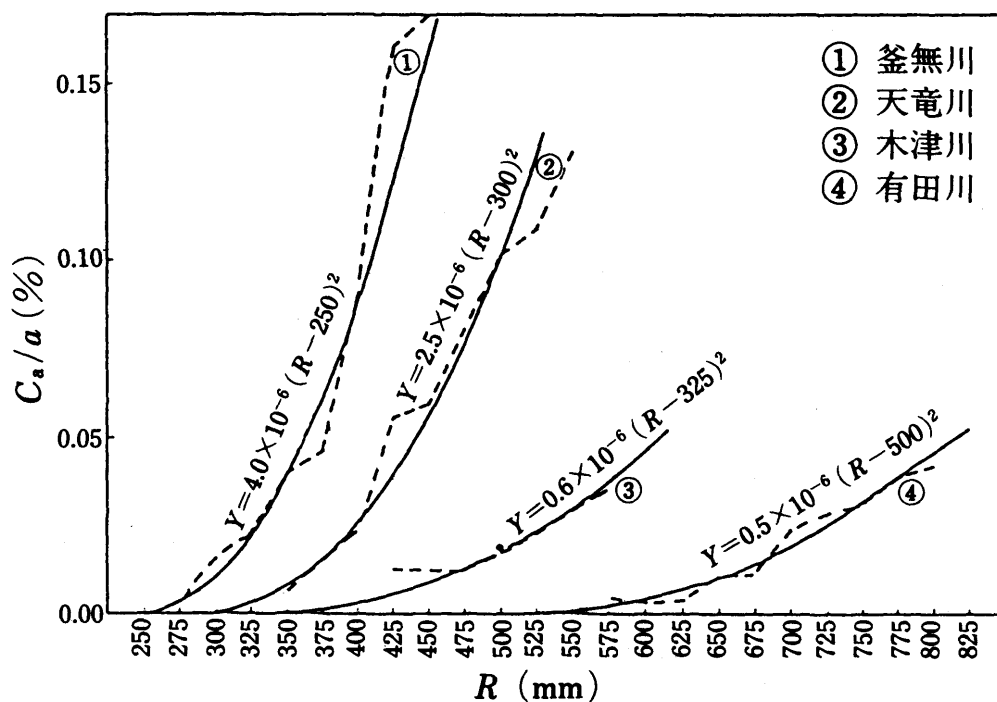


圖2-6.5 累積降雨量與新增崩塌率之經驗公式 (打荻, 1971)

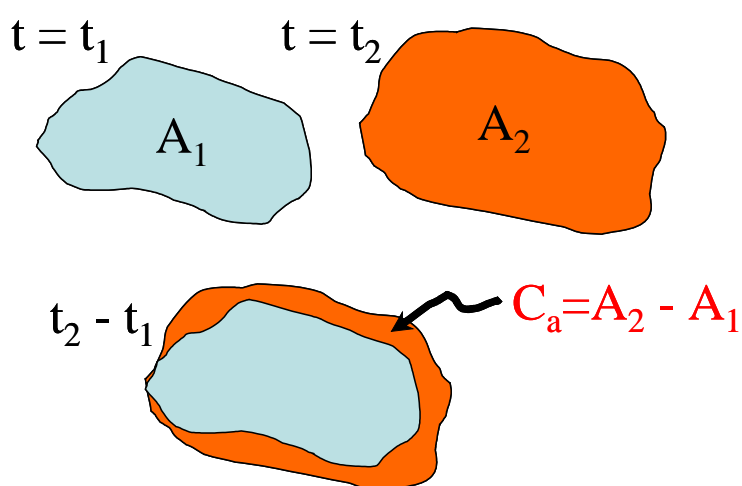


圖2-6.6 暴雨後的新增崩塌面積之示意圖

## ■ 沖蝕土砂生產模組

對於山坡地土壤沖蝕量之估算，國內目前較為常用者為通用土壤流失公式(Universal Soil Loss Equation, USLE)，然其計算時間尺度為年沖蝕土砂生產總量(公噸)，與土砂收支模式以暴雨時雨量之時間尺度有所不符，因此採用修正版通用土壤流失公式(MUSLE)，估算單場暴雨內之坡面沖蝕土砂生產量，改善USLE時間尺度過大公式之缺點。採用MUSLE的主要優點有二：1. 配合降雨逕流模式，則不需要再另外估算泥砂遞移因子(Soil Delivery Ratio, SDR)，2. 可用於估算單場暴雨事件的泥砂產量，茲將MUSLE公式簡述及參數推估如下：

$$V_s = 11.8 \times (V_{\text{eff}} \times Q_p)^{0.56} \times K_m \times L \times S \times C \times P$$

其中， $V_s$  為一場暴雨所造成的土壤流失量(公噸)，考慮到堆積孔隙率及土壤密度，本模式以每立方公尺1.4公噸之單位轉換土壤流失量為立方公尺； $V_{\text{eff}}$  為有效降雨量(Effective Rainfall，單位為立方公尺)； $Q_p$  為集水區尖峰逕流量(Peak Flow Discharge，單位為每秒立方公尺)； $K_m$  為土壤沖蝕指數(公噸·公頃·年/公頃·百萬焦耳·公釐)。L為坡長因子。S為坡度因子。C為覆蓋與管理因子。P為水土保持處理因子。各因子之推求方法如下

### (1) 土壤沖蝕指數 $K_m$ 值：

萬鑫森及黃俊義(1989)依據Wischmeier and Smith的列線圖，推算出台灣280處土壤沖蝕指數，為目前國內計算土壤沖蝕之依據，並表列於水土保持技術規範內。倘若估算地點的 $K_m$ 值不在此280處中，或估算地點因施工或地文特性變遷之故，需進行表土夯實而影響表土的滲透性時，得根據土壤調查與分析結果，分別求出下列a, b, c, d, & e等五個參數，並根據下列公式，推求估算地點之 $K_m$ 值：

$$K_m = 0.1317 \{ 2.1[d(d + e)]1.14 \times 10^{-6} (12 - a) + 3.25 (b - 2) + 2.5 (c - 3) \} / 100$$



上式中， $a$  為有機質含量百分比 (%)； $b$  為土壤結構參數； $c$  為土壤透過性參數之判別； $d$  為土壤粉粒與極細砂 (粒徑介於 0.002 至 0.1 公厘之間) 含量之百分比 (%)； $e$  為土壤粗砂 (粒徑介於 0.1 至 2.0 公厘之間) 含量之百分比 (%)。故經過土壤調查以及分析，求得上述  $a, b, c, d, \& e$  五個參數，即可獲得估算地點之  $K_m$  值。

### (2) 坡長因子 $L$ 值：

$L$  值之計算方法，為先行測出坡面之代表坡長 (Representative slope Length) 之水平距離，通常可以現場調查，或以室內遙測影像、地形圖分析等方法求得，再以下列公式求之：

$$L = \left( \frac{l}{22.13} \right)^m$$

$$m = \frac{\beta}{1 + \beta}, \quad \beta = \frac{1}{0.0896} \cdot \frac{\sin \theta}{3 \cdot (\sin \theta)^{0.8} + 0.56}$$

上式中， $l$  為坡面之水平投影長度 (公尺)，根據 USLE 與 Revised USLE 參考手冊之建議，當此水平投影長度大於 100 公尺時，最大以 100 公尺為限；而  $\theta$  為坡面之坡度 (度)。

### (3) 坡度因子 $S$ 值：

坡度因子代表沖蝕坡面之坡度，推求方法可由現場調查、測量，或室內應用地形圖求出沖蝕坡面之平均坡度。根據 USLE 與 Revised USLE 參考手冊之內容，當沖蝕有效坡長大於 4.57 公尺 (15 英尺) 時，坡度因子  $S$  可以計算如下：

$$S = 10.8 \times \sin \theta + 0.03 \quad (\text{當坡度} < 9\%)$$

$$S = 16.8 \times \sin \theta - 0.50 \quad (\text{當坡度} \geq 9\%)$$

但，當沖蝕有效坡長小於 4.57 公尺 (15 英尺) 時，坡度因子  $S$  則可計算如下式：

$$S = 3.0 \times (\sin \theta)^{0.8} + 0.56$$

(4) 覆蓋與管理因子  $C$  值：

覆蓋管理因子之給定，代表坡面上不同表層覆蓋對於土壤沖蝕之影響，此參數將會依據現地上不同種類之植生、生育狀況、季節、覆蓋及數蓋程度而定，由表 2-6.2 可以得知不同覆蓋條件下，覆蓋管理因子的不同。

表2-6.2 各種不同植被所代表之覆蓋與管理因子表

地表植被狀況	C值	地表植被狀況	C值
白喜草	0.01	裸露地	1
水稻	0.1	水泥地	0
雜作	0.25	瀝青地	0
果樹	0.2	雜石地	0.01
香蕉	0.14	水體	0
鳳梨	0.2	建屋用地	0
林地(針、闊葉、竹類)	0.01	牧草地	0.15
蔬菜類	0.9	高爾夫球場值草地	0.01
茶	0.15	雜草地	0.05
特用作物	0.2	墓地	0.01
檳榔	0.1		

故在土砂管理模式中，單一子集水區之覆蓋管理因子之給定，係根據地表土地利用圖層，或是現場調查成果，得知各種不同土地利用面積之權重值，並根據其權重值計算子集水區之覆蓋管理因子。

(5) 水土保持處理因子  $P$  值：

水土保持處理因子，表示坡面上因工程效益所帶來的沖蝕量變化，根據水土保持技術規範之規定，在沒有任何水土保持處理、棄土場、陸砂及農地砂石開採處，因無工程抑止坡面之土砂沖蝕生產量，故  $P$  值設定為 1.0，但有其他坡面工程措施時，依據其工程效益，訂定水土保持處理因子於 0 至 1 之間之參數。

**4. 土砂輸送模組**

土砂的輸送量評估，為土砂管理模式計算中最為重要之模擬項目，但因台灣特殊之地形環境，自山區集水區至河道中，溪床坡度變化劇烈，因而影響不同坡度下之輸砂現象。在上游山區小集水區內，溪床坡度大多大



於 3 至 5 度，屬於土石流之輸砂現象，其輸砂濃度與輸砂粒徑與一般河道之底床載或是懸浮載輸砂公式有所不同；當土砂運移至主河道後，此時河道坡度減緩至 3 至 5 度以下，河道輸砂現象為一般之河道輸砂，但因山區土砂顆粒粒徑分布較大，其輸砂公式的選擇仍受到粒徑分布之影響。

有鑑於此，土砂管理模式在土砂輸送量的評估上，根據不同的輸砂特性，採用多種輸砂公式供使用者選擇，以因應不同的土砂輸送現象，考量太麻里溪流與於本次莫拉克風災期間之土砂輸送情形十分劇烈，故輸砂公式採用平衡濃度公式評估其最大輸砂能力，說明如下：

### ■ 平衡濃度公式

平衡濃度公式由 Takahashi 於 1981 年所提出，應用土砂起動條件推估土石流之平衡輸送濃度，其公式代表河道在不同坡度下，各種輸砂機制所應達到之平衡濃度，若流動濃度大於平衡濃度，土砂將堆積在河道上，若流動濃度小於輸砂濃度，底床土砂材料將被侵蝕，逐漸達到平衡濃度，故依此觀念，平衡濃度為一合理之評估方法，分析河道在特定坡度下所應達到之輸砂濃度，且其成果適用於各種不同之輸砂機制。

謝正倫、蔡元芳 (1998) 根據 Takahashi 之實驗數據，配合日本多年之觀測成果，以及室內實驗所獲得之土砂輸送濃度，修正 Takahashi 提出之平衡輸砂濃度公式，提出各種坡度下之土砂輸送濃度，並迴歸如下式 (圖 2-6.7) 所示，此迴歸曲線與實驗點之相關係數高達 97%，適合應用於山區上游集水區內之土砂輸送量估算，其公式如下：

$$C_{d\infty} = \exp(1.73 \ln\theta - 5.83)$$

式中， $C_{d\infty}$  為土砂運動之體積濃度， $\theta$  為河道縱向坡度 (度)，此公式可求得不同河床坡度之輸砂平衡濃度，再配合流量計算輸砂量，故輸砂量可由流量乘上此體積濃度而獲得。此平衡濃度公式，解決山區野溪中，土砂輸送量評估不易之問題，為土砂管理模式中評估山區土砂輸送量之主要公式。但於一般河道之土砂輸送量估算，則略有高估土砂輸送量之可能，可選擇其他輸砂公式進行演算。

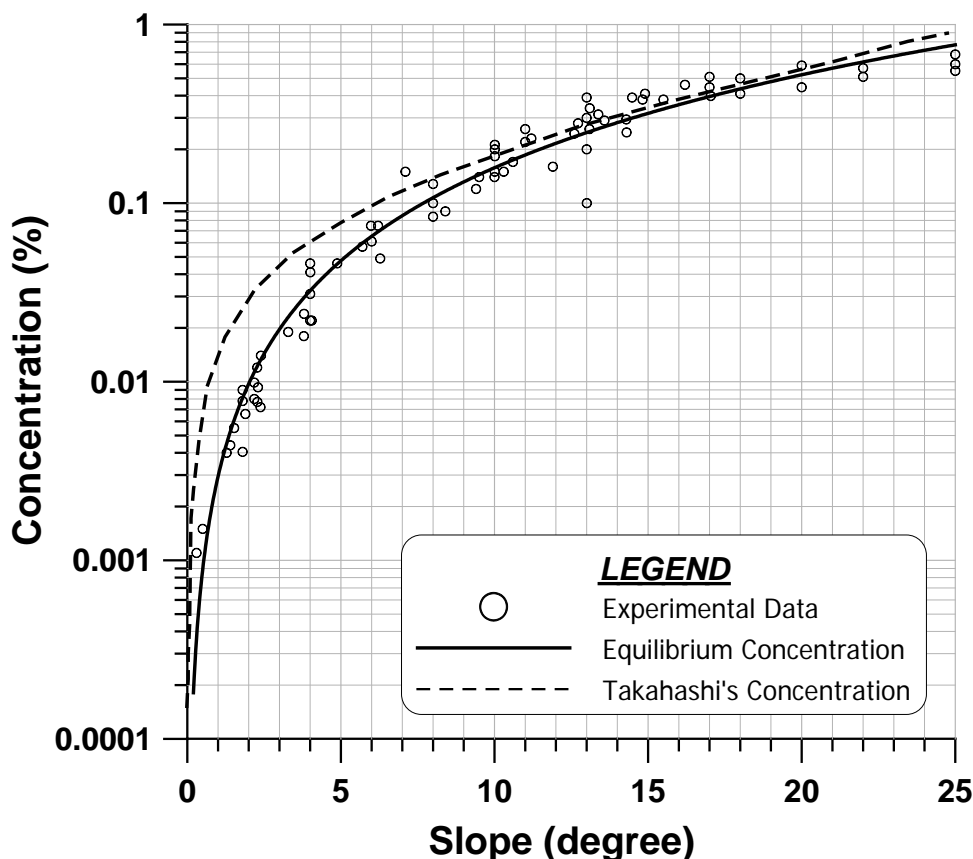


圖2-6.7 平衡濃度公式迴歸成果

### 5. 土砂收支（侵蝕或堆積）模組

綜合上述土砂生產模組以及土砂輸送模組之計算成果，可以求得在暴雨下各個子集水區於計算時距內之土砂生產量以及土砂輸送量，土砂收支模組即應用土砂量守恆之觀念，計算各個子集水區土砂生產量以及土砂輸送量之差額，即土砂變遷量可以由下式表示：

$$\text{土砂變遷量} = \text{上游土砂來量} + \text{土砂生產量} - \text{土砂輸送量}$$

此一計算由最上游之子集水區單元開始，透過 子集水區匯流系統模組 之匯流關係，由上游子集水區單元逐漸往下游演算，直至整體集水區出口為止，故各個子集水區在計算時距內的土砂變遷量即可獲得，當土砂變遷量為正時，表示該子集水區河道為淤積之情形，反之，若當土砂變遷量為負時，表示該子集水區河道為侵蝕之情形。透過土砂收支模組的分成果，可以得知全集水區河道段的土砂變動量，配合河道寬度以及河道長度的計算，即可演算該變遷量對應的平均河床高程變動量（抬升或下降）。

## 2-6.2 二次災害可能發生之類型評估

一般來說，堰塞湖天然壩之破壞行為，可以分為下列三種主要的機制，分別為 1. 潰壩（突然潰決）；2. 溢流（由壩頂溢流侵蝕壩體表面）；3. 坡腳侵蝕（天然壩最下游處因地下水滲流造成之坡腳侵蝕），其中，坡腳的侵蝕會造成壩體安定性的逐漸降低，進而發生可能之潰壩行為，而溢流則因表面逕流之作用，侵蝕表層土砂材料往下游移動，形成高濃度含砂水流，對下游造成影響，最為嚴重之破壞行為則為潰壩，因天然壩體的突然潰決，形成高濃度之洪峰流量，造成下游河道兩岸之重大傷亡。

本計畫參考國內外之相關文獻，評估現況下不同破壞機制發生之可能性，及其對應之流量與輸砂量。利用前述各項資料，綜合評估可能之二次災害，及其可能發生之條件，設定各種條件下之發生類型與影響，作為 2-6.3 節 安全性評估之參考。

## 2-6.3 下游社區安全性評估

2-6.2 節 中所述之各種破壞，皆有可能造成下游流量與輸砂量的突然增加，造成下游兩岸居民處之可能危險，故需應用現有之分析方法，評估下游社區之安全性。

利用災後河道斷面測量成果，由 2-6.2 節 分析計算之各種破壞機制下之流量歷線，得知通過下游社區居民處之最大洪峰流量。並由相關水理模擬的成果，評估下游社區是否可以容許洪水通過，若可通過，表示該處社區安全無虞，只需配合軟性工法，如警戒、避難等手段做為治理對策；若下游社區無法容許洪水通過時，則需評估洪水淹沒之範圍與深度，訂定所需之工程或撤離方案。

除洪水之檢驗外，土砂材料的移動，同樣會造成下游社區之安全性問題，一旦發生較大規模之土砂運動時，土砂材料伴隨洪水輸送之下游，將造成洪水流量的增加，且因土砂材料之堆積，河床高度逐漸抬升，有效通洪斷面也會逐漸減少，同時也減少了居民處與河道的高差，使得社區之安全性逐漸降低，造成社區之主要災害。故在社區安全性評估時，除清水流之洪峰流量斷面檢討外，亦需加上土石流之洪峰流量斷面檢討，更需由現場調查之成果，評估可能之河床抬升高度，分析在河床變遷情形下，居民聚落之安全與否。

## 2-7 緊急處理及短中長期對策建議

### 2-7.1 緊急處理對策建議

由於災後後續的水砂災害演變情勢複雜，各類土砂現象相互關連，亟待進一步定量掌握與釐清。鑑於堰塞湖可能在豪雨颱風期間因沖刷破壞並造成災害，相關緊急處理對策必須儘速擬訂，有關緊急處理對策建議工作項目之執行，本計畫參考過去處理堰塞湖災害之實際經驗，於汛期前緊急處理階段可採用之對策，說明如下：

- (1) 截水：在河川溪水流入堰塞湖前將溪水排除，將水導入上游水庫或灌溉系統。
- (2) 抽水：利用抽水機、虹吸 (siphon) 原理排除湖水，較適用於小於抽水站或虹吸工容量之情況，或作為臨時措施。
- (3) 排水：開挖溢洪道 (鋪設保護工) 或施設排水路，為最簡單與最常用之方法，但須嚴防出口流速過高導致大量沖刷，造成壩體破壞。
- (4) 降低壩體高度：降低壩體高度可減輕堰塞湖潰決之可能性。
- (5) 基腳保護：壩體下游面堆石保護基腳，防止坡面侵蝕。
- (6) 滯洪、排洪：下游若有蓄水池 (壩)，儘量保持空庫；亦可視需要疏浚河床。

## 2-7.2 太麻里河流域短中長期治理對策建議

有關提出太麻里溪全流域短中長期治理對策建議工作項目之執行，應用土砂調查及分析成果，掌握集水區內土砂生產量之空間分布。而在河道的土砂運移量分析上，則透過平衡濃度輸砂公式以及河床質輸砂公式之計算，得知各個河道段之輸砂能力，進而由生產量與輸送量之間的差值，得知河床的變化。

土砂策略的擬定，即為訂定合理土砂運移量，由分析成果可評估集水區內土砂生產量之空間分布；同樣的，也可分析各個河道段之土砂沖淤趨勢圖，當河床沖淤達到平衡狀態時，為最理想之狀態，故可由其成果，分析土砂問題（包括侵蝕與堆積）嚴重之河道段，檢驗其土砂來源與上游土砂來量，其示意圖如圖 2-7.1 所示。

圖中，S1 至 S3 表示不同河道段之土砂侵蝕或是堆積量，當達到平衡土砂條件時， $S_i = 0$ ，表示各河道段之土砂皆可通過各河道段，為最理想之土砂運動狀態。但當土砂沖淤未達平衡時，可能會出現某河道段沖淤量過大之情形，此時則須檢驗該河道段之土砂來源，分析該河道段沖淤量過大之原因，進而訂定合理之出口輸砂量。以圖 2-7.1 為例，當 S1 與 S2 產生大量堆積時，表示目前土砂運動未達平衡狀態，因該河段之土砂來源共有  $Q_{s1}$ 、 $Q_{s2}$  與  $Q_{s3}$  三條支流，故需檢驗這三條支流之出口輸砂量，若輸砂量過大導致河道段大量堆積，則需訂定支流內合理之排砂量，及相對應之土砂治理量。

故前述之土砂生產量、輸送量與河道變遷量之分析成果，可以評估現有河道之合理土砂運移量，以及各個支流或是重要節點之土砂輸出量，配合現有各個規劃單位之治理界點，如主集水區、次集水區與子集水區之空間界點套疊，即可得知各區域之合理土砂治理量，暨而根據其成果，擬定各規劃治理單位之水土保持治理策略。

藉由前述工作方法，本計畫透過水與土砂平衡之方向探討集水區治理課題（如圖 2-7.2），針對全流域未來短、中、長期治理對策提出建議，以

達到集水區土砂平衡、河床安定並減低下游災害發生為目標，其主要工作內容為：

- (1) 設計洪水量之檢討與分析
- (2) 集水區土砂生產量推估(包含河道不穩定土石量)
- (3) 現有住戶安全性檢討

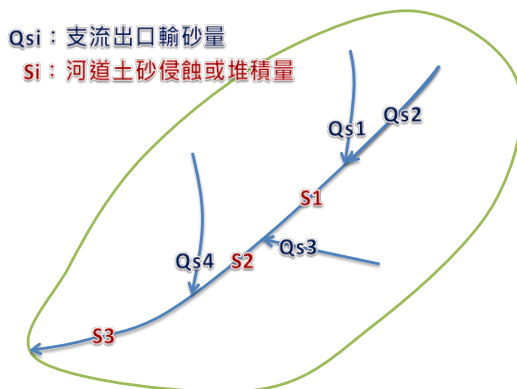


圖2-7.1 合理土砂量運移量分析示意圖

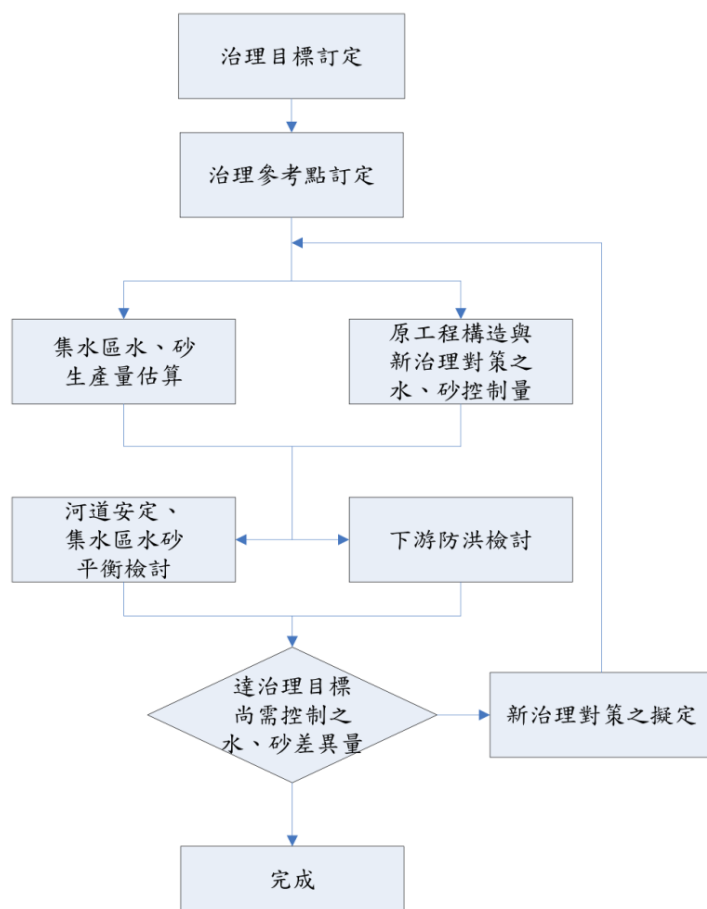


圖2-7.2 集水區整體防洪治理對策檢討流程圖

### 2-7.3 防砂工程設計

「太麻里溪包盛社防砂工程委託規劃設計」；內容包括(1)工程規劃設計、(2)製作施工發包相關文件、(3)協辦招標及決標及(4)工程發包施作期間辦理變更設計測量並編製變更設計預算書 或追加減設計時辦理追加減預算。

在工作執行上，透過治理點位基本資料的蒐整與調查分析，配合集水區的現地條件，以整體性、循序性，並顧及效率和經濟的方式，來完成治理點位防砂工程設計規劃工作，配合「公共工程經費電腦估價系統」(「PCCES」)製作工程設計書及工程預算書，並提供電子標單檔，協助辦理工程招標及決標事項，承蒙委託單位委託執行計畫，由專案小組及專業諮詢顧問進行相關資料彙整，與委託單位溝通，整合分析後，研提實際可行之防砂工程治理對策。

為縮短期程並讓工程設計案件能達到整治效益，符合地方需求，本計畫進行工程設計時皆經內部統整、確認設計步驟，並與承辦人員充份討論後方進行設計，並依照相關作業規定辦理，以確保工程細部設計品質及效率。其設計流程圖如 圖 2-7.3。

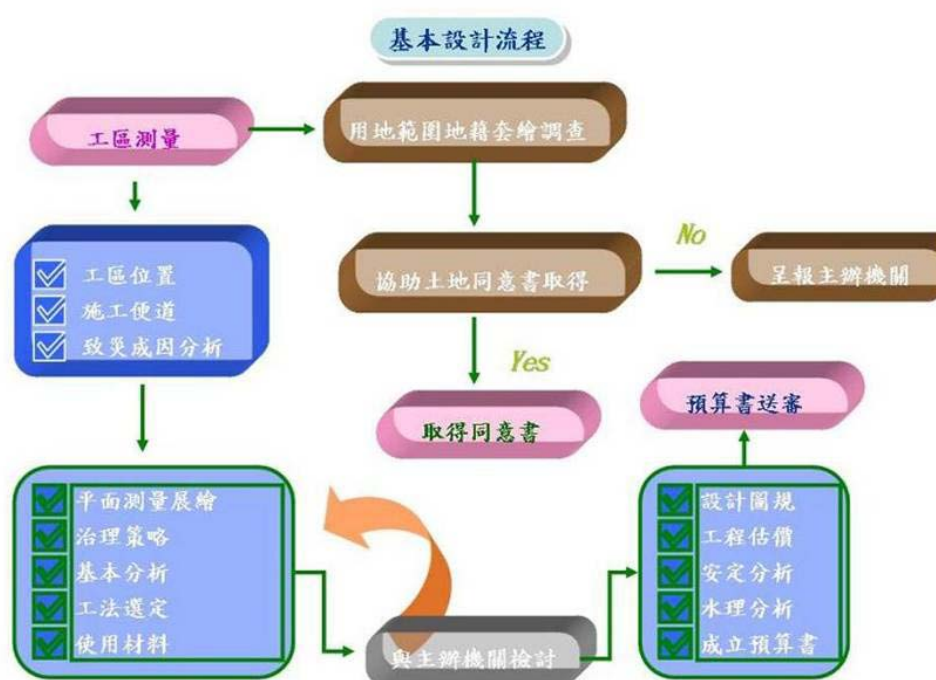


圖2-7.3 基本設計流程圖



有關設計步驟、流程及方法，分別說明如下：

### (一) 重點治理測量

經初步勘查並與貴處討論確立整治地點後，立即進行整治區域之平面、水準控制測量及地形測量，以確實滿足本計畫工作之需求，並作為各項工程平面佈置、分析之依據。測量作業執行如下：

#### 1. 地形及河道測量

- (1) 各河段地形測量，其範圍應涵蓋洪水(土砂)災害影響區域，與水道及兩岸外水平距離 20 公尺，及其起訖點 50 公尺內為原則。
- (2) 等高線間距為一公尺，每五公尺一條計曲線，細部之標高點應均勻分佈，並須能確實表示地貌，如獨立山頭、凹地、懸崖、突壁、坑溝或崩坍面等處，農用地區之等高線沿田埂進行測繪，並為連續性曲線不得中斷。
- (3) 導線點以木樁或鋼樁釘牢，側面或週遭明顯處書寫編號，或以混凝土樁埋設穩固，加註編號、豎立布條等明顯標示物，以利尋覓。

#### 2. 溪流中心線測量

- (1) 沿河床中心線測量縱向高程，測點間距為二十公尺(整樁)，另於彎曲河段 BC、MC、EC 處及地形變化處，應增加測點。
- (2) 中心線各 IP 點間應以木樁釘牢，或以鋼釘釘於岩盤或大石等穩固處，並以路線漆加註點號，附近應豎立布條等明顯標示物，俾利尋覓，並引測副樁於兩岸固定處，以利施工時使用。

#### 3. 橫斷面測量

- (1) 橫斷面測量間距同縱向高程測點，但遇有地形變化陡急之處，應增加斷面。
- (2) 施測橫斷面時，以中心樁為起點，針對左右側河床變化點進行施測，其施測範圍應涵蓋洪水(土砂)災害影響區域，及水道及兩岸外水平距離 20 公尺。

## （二）水文分析

蒐集計畫範圍附近雨量站之長期雨量資料，並作為相關水文演算的依據。而後根據水土保持技術規範之無因次降雨強度公式分別計算 5、10、25、50 年重現期距之降雨強度。並參照水土保持技術規範，推求洪峰流量。

## （三）水理分析

### 1. 整流工程之計畫洪水量

根據水文分析求得之計畫流量及流速等資料，採用曼寧公式進行水理演算，依水土保持技術規範第六十五條規定，野溪治理之洪水量估算，採五十年一次頻率降雨強度計算，並酌予考量水流含砂情況以推算計畫洪水量。

### 2. 斷面分析

依上述方法計算規劃集水區內之主流及支流之洪峰流量，本計畫將參照計畫範圍內河道現況調查之現場量測值，選擇重要斷面進行清水流及土石流的水理演算，進而對現有之斷面進行檢視，評估其是否合理，以維持河道之安定及集水區下游地區之安全。排洪斷面除出水高外，應考量洪水所挾帶泥砂、漂流木而加大其斷面 10~50%。

## （四）地質調查

地質調查部分，於工程地質調查實施前蒐集基地附近之地質資料，描述基地附近之地層與地質構造、特殊地質現象、崩塌、地滑、土石流及其他地質作用災害區域等分布狀況，並配合現場勘查露頭判斷整治區域所屬之地質結構，初步分析其對基地預定進行工程之影響。

## （五）結構分析

結構物之安全、穩定乃工程之基本亦為工程成敗之要素，對於施工地區保護對象之影響甚鉅。結構分析部分在考量各種情況下應包含傾倒、滑動與垂直應力檢算，對於設計之結構物，其安定檢算皆須符合水土保持技術規範之規定。

## （六）細部設計及預算編製

於確認上述基本資料後，依據林務局工程預算書編制及自主檢查作業



方式，送交初步設計預算初稿。經承辦單位初審意見後進行內部討論修正後，再將細部設計預算書依規定份數於合約或公函要求期限前送交。

預算書編製完成後，於內部先行進行自主檢查，檢查之項目及其內容詳表 2-7.1 工程預算書自主檢查表所示，檢查無誤後，檢送工程預算書行文至主辦機關進行正式審查，依其審查意見進行修改。

表2-7.1 工程預算書自主檢查表

工程預算書圖廠商自主檢查表				
工程名稱：		中華民國 年 月 日		
預算金額：				
附 件：		工程預算書		
工程預算書檢核內容				
項 目	項 次	檢核內容	自主檢查結果 (符合○ 不符×)	備 註
書 件 檢 核	1	預算書按封面、技師簽證報告、工程位置圖、計畫說明書總表、明細表、基本單價分析、單價分析表、數量計算表、安定分析與水理分析設計圖說依序裝訂。		
	2	承辦技師於預算書中應核章處應逐頁核章。		
	3	應含位置圖、平面配置圖、縱橫斷面圖、構造物詳圖、剖面圖、交通控制設施佈設及詳圖及其他必要圖說。		
內 容 檢 核	4	勞安、品管、保險、利潤、稅金、空污、工程管理費之比率應符合規定並將各項比率標明。		
	5	工程項目除以某比率計算以一式編列或僅含單純工項或料項得不作單價分析外，其餘均有作單價分析。		
	6	編列之單價應合理。		
	7	無國家標準之建材而以廠牌列出者應加註“或同等品”。		
	8	正字標記其後應加註“或同等品”。		
	9	無國家標準之建材而以其他團體標準訂定規範者其後應加註“或其他同等標準”。		
	10	規格訂定應依據政府採購法第 26 條辦理。		
圖 說 檢 核	11	工程設計圖說應清楚標示構造物規格尺寸。		
	12	工程設計圖說應清楚標示工區位置(GPS 點位)及施工基準點。		
	13	工程設計圖說應檢附施工說明規範。		
	14	土方工程應加註“現地回填不得運出工程區間”。		
	15	工程設計圖說應清楚標示建材規格標準。		
設計廠商核章：				

## 2-8 協助辦理堰塞湖下游社區疏散避難演練

### 2-8.1 修正各保全社區疏散避難計畫

本工作項目執行之主要目的在於提升社區自我防救災的能力，主要針對各保全社區疏散避難計畫進行檢討，針對聚落現有規劃疏散路線及避難點位置之合宜性進行評估建議，修正各保全社區疏散避難計畫，提升社區災害應變能力。

本計畫檢討已擬定之土石流潛勢溪流疏散避難計畫，避免因現地之人、時、地、物有所更動而導致疏散避難計畫不符實際需求。以太麻里溪流流域範圍內 4 條潛勢溪流之疏散避難計畫為基礎進行檢討，相關土石流潛勢溪流基本資料如表 2-8.1 所示，而圖 2-8.1 為太麻里溪集水區內土石流潛勢溪流位置圖，本工作項目執行之方法如後說明。

表2-8.1 太麻里河流域內土石流潛勢溪流基本資料

鄉鎮	村里	潛勢溪流編號	溪流長度 (m)	集水面積 (公頃)	土石流潛勢等級	土石流型態	參考雨量站 1	參考雨量站 2	警戒值 (mm/24hr)
太麻里	大王	東縣 DF112	1,442	105	持續觀察	溪流型	太麻里	大溪山	400
金峰	嘉蘭	東縣 DF078	1,348	66	中	溪流型	金峰	太麻里	400
金峰	嘉蘭	東縣 DF079	3,205	380	高	溪流型	金峰	太麻里	400
太麻里	正興	東縣 DF082	3,379	268	中	溪流型	金峰	太麻里	400

資料來源：農委會水土保持局提供。

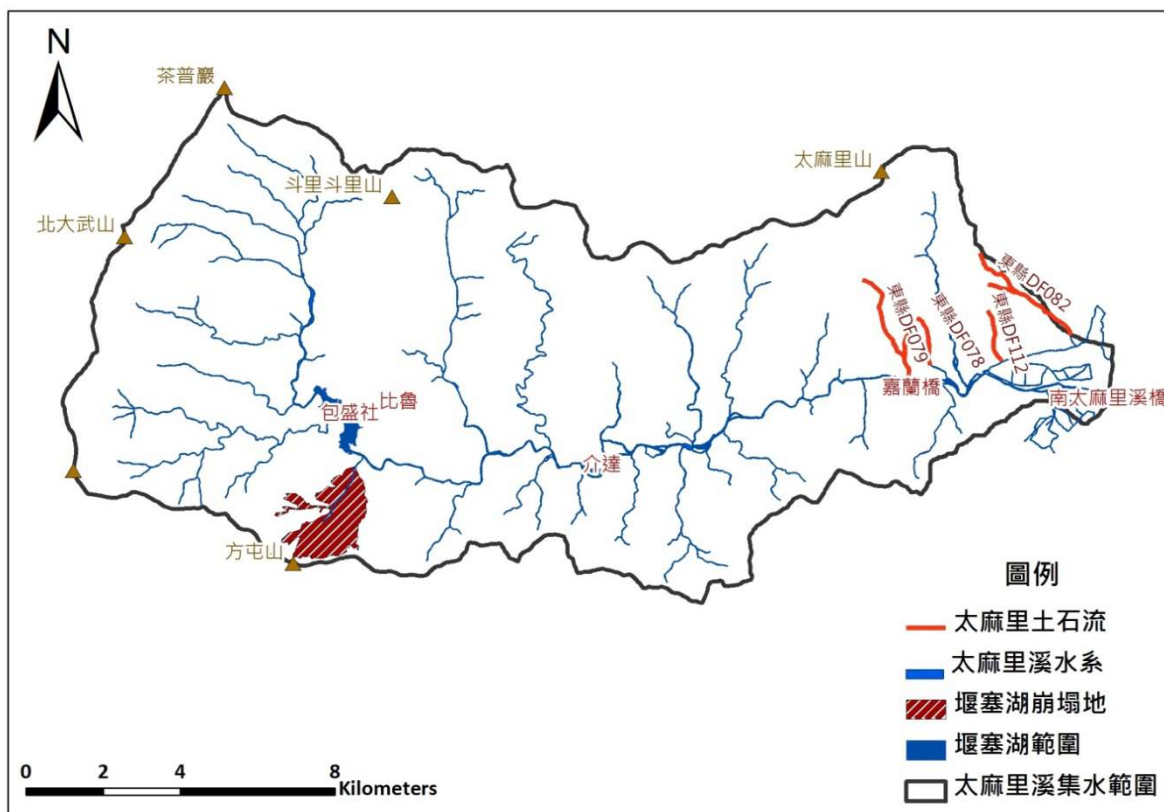


圖2-8.1 太麻里河流域內土石流潛勢溪流分佈圖

現行之土石流疏散避難規劃主要以村（里）之危險潛勢部落為單元，本計畫參考土石流潛勢溪流可能之災害影響範圍與其中之保全對象、避難地點與避難路線進行檢討，主要工作項目包括環境資料收集、圖面判釋、現地勘查與訪談、影響範圍檢討、保全對象檢核、避難處所檢核、疏散路線檢核及避難時機檢討，最後製作成果圖說。其工作流程圖如 圖 2-8.2 所示。另外針對各檢核之考量原則說明如下：

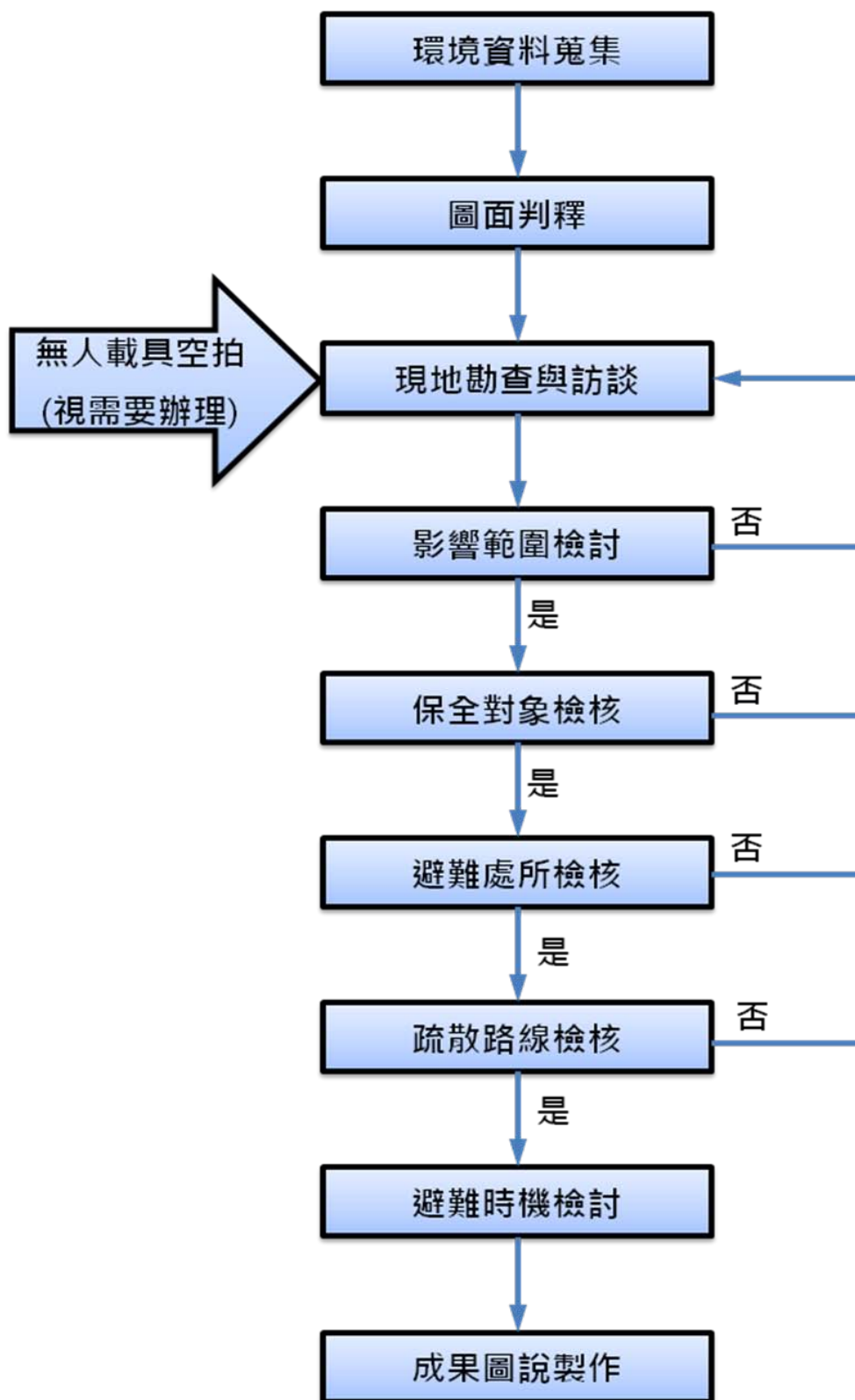


圖2-8.2 計畫工作流程

### （一）保全對象之檢討與查核

由於原規劃距今已有一段時間，人事時地物有可能因此改變，所以將針對既有計畫之保全對象、位置與清冊進行重新檢核，以確定影響範圍之內是否仍有需增列之保全對象。

### （二）避難點檢核原則

#### a.安全原則：

避難點設置地點應避開高災害潛勢區域，以避免二次遷移或二次災害發生。

#### b.就近原則：

避難點的指定應選定距離災害發生地較近且安全之學校、廟宇、區里民活動中心等公共建物為主。

#### c.效益原則：

避難點須備有相當完善的避難設備、設施，足夠活動空間，並位於水源易取得之場所，並備有充足的避難物資，可滿足災民生活需求，提供良好的安置環境。

#### d.整備原則：

考量人口分布、地形狀況，事先指定適當地點作為災民避難場所，其避難場所應為災民熟悉之地點，並備妥相當數量的救濟物資，以確保災民生活安全及環境品質。

### （三）避難路線檢核原則

根據國內外近年來災後檢討，將評估避難點路線選定原則如下：

#### a.安全原則：

避難路線應要避開危險區域（如土石流流動區，崩塌地等地方），避免災民再疏散時受到二次傷害。

#### b.習慣原則：

由於災害時能見度不佳，因此對於疏散路線應為災民熟悉之路線，避免災害來臨時，因能見度不佳而使災民未能及時到達避難點。

#### c.就近原則：





應能盡快將災民送至安全避難場所，以確保災民之生命安全。

#### (四) 避難時機擬定

關於避難時機之訂定，將依災害類型而有不同之考量，本計畫係針對堰塞湖及土石流災害為主，因此建議以累積雨量與水位做為參考基準之作業模式。由於計畫範圍內社區之基本建設較為脆弱，極易在災害期間毀壞，而失去其功能，且許多災害往往在夜間人們熟睡時發生，因此本計畫考量將避難時機分為兩大類：A. 交通易受阻斷區域及 B. 一般易受災區等兩大類。其中前者建議在災害未到達前即應先行疏散至避難處所安置，後者則依即時資訊由應變中心指示進行疏散。

各類型條件之疏散時機說明如下：

**豪大雨**：各鄰之疏散時機配合中央或地方之防災中心進行疏散。

**颱風**：台東縣發佈陸上颱風警報時，村民應備妥防災用品至安全避難處所避難；氣象局預測颱風路徑之暴風半徑通過台東縣時，部分應提前疏散至避難處所，以避免因道路中斷無法疏散，部分依應變中心指示疏散。基本上颱風期間之避難時機仍以防災業務主管機關（農委會水保局、縣市防災中心）之指揮為主。

**其他災害**：村長接獲睦鄰隊或村民通報時視災情決定疏散時機。

## 2-8.2 下游社區避難疏散演練

為瞭解如何應對可能發生之災害，除進行相關調查研究擬定緊急疏散避難計畫外，藉由模擬災害發生前後各種狀況以加強各機關與民眾之應變反應演練，實為防災作業中相當重要的一環。

疏散避難模擬演練重點為參照應變作業程序，自災害警報之發布、預防措施整備、防災避難宣導、成立社區巡守編組、指揮中心、居民避難疏散路線巡察，及災害發生後開設前進指揮所、交通維安管制、居民強制疏散、生命搜索與搜救、災民收容安置、醫療救護、治安維護、道路搶修、維生管線維修、防疫消毒及災民救濟等各種狀況，進行模擬操作演練，並配合警察單位、消防單位、電力公司、自來水公司以及空中警察等參與模擬作業，使模擬狀況盡可能真實，可提高參加演練之民眾防範災害之憂患意識。倘災害有發生之虞時，能迅速確實地循演練規劃之路線及場地進行妥適的疏散及避難動作，將可使災害損失降至最低。

由於整體疏散避難演練勞師動眾，牽涉人員、單位眾多，場地與時程上或許不易配合。基於過去實際協助辦理避難疏散演練之經驗，建議以如下所列方式擇一進行：

一、演習方式：依據參與演習之人員規模，可有如下選擇：

1. 僅以人員疏散撤離演練為主，分為：

(1) 全數疏散(災害潛勢區)

(2) 部分疏散(示範區)

2. 人員疏散撤離(部分或全數) + 狀況兵棋推演

3. 人員疏散撤離(部分或全數) + 狀況實兵演練

二、演習作業預定時程

由於疏散撤離作業由上至下，需參與之人員層面深遠，然並無整體同時進行演練之必要，故建議可以階段性分批進行方式進行防災模擬演練：

1. 疏散撤離作業協調會：

主要針對行政及管理階層為對象，瞭解所轄區內災害潛勢之規模、需



疏散避難之區域、人數與其避難動線，並確認緊急指揮與聯絡之管道以及各單位間相關協調事宜。

#### 2.車輛動線預演：

考量災害發生時可能動員之機械、車輛，以及避難疏散人員數量與動線，針對避難規劃路線進行視察與檢討。

#### 3.分階段預演及檢討會議：

各單位分別針對所擔任之防救災工作進行模擬演練與檢討。應以建立防災應變標準作業流程為目的進行檢討並將檢討成果彙整，以利其他相關單位參考修正其防災應變標準作業程序。

#### 4.一般民眾避難疏散演練：

對一般民眾宣導緊急避難撤離之相關訊息，如災害潛勢區域、避難點，避難路線、緊急求援方式以及自身安全注意事項等，並以模擬演練加強民眾之憂患意識以及對災害之應變能力。

如此由上至下分階段逐步進行演練與檢討工作，即可以事半功倍之效達成實際防災演練之目的，將災害損失降至最低。

## 2-9 辦理太麻里河流域二次災害發生趨勢推估之研討會

### 2-9.1 國內相關權責單位工作說明會議

太麻里溪屬台東縣縣管河川，集水區治理機關包括台東縣政府，水土保持局，林務局等單位，由於太麻里河流域未來可能發生之災害類型應多為複合型災害，其包括坡面沖蝕及崩塌，土石流，河床淤積，河岸沖砂，堰塞湖潰壩等，多種不同形成機制與影響程度之災害同時出現。目前集水區內崩塌情形嚴重，河道並有大量土砂淤積，為避免下游社區及設施(鐵、公路、跨河構造物及河防設施等)於未來豪雨及颱風期間受二次災害影響，故有必要邀集各權責單位針對流域未來可能發生之二次災害類型及規模進行討論，共同研商整體治理計畫之分工事宜。初步招開之工作說明會主要有下列2項重點：

1. 列舉並說明緊急避難疏散作業各單位權責分工及工作重點。
2. 說明太麻里河流域未來可能發生之二次災害問題，並研商相關防災分工事宜。

工作說明會議將於相關防災應變檢討工作完成後，向林管處提出會議通知，之後由林管處排定時間與地點，並邀集相關權責單位參與會議。

## 2-9.2 國際合作交流研討會

由於太麻里河流域未來可能發生之災害類型應屬複合型災害，包括坡面沖蝕及崩塌、土石流、河床淤積、河岸沖砂與堰塞湖潰壩等，對於堰塞湖可能引致土砂災害的觀測、堰塞湖之演變、防災治理與管理對策等作為，在台灣與世界上的相關研究中都屬於特殊且受到相當關注的領域，其中包含了許多未開發或待開發的工作技術，為使相關考量更臻完善，本計畫邀請國內外學者共同探討太麻里河流域各類潛在災害並進行相關防災減災技術交流，研討會首先針對太麻里溪環境條件進行充分說明與介紹，並配合進行現地參訪，讓與會人員充分了解太麻里河流域之環境特性。而後進行專題發表與討論，匯集各界學者與民眾意見，另一方面亦藉由此研討會議進行相關防災資訊之交流。