



### 第三章 集水區現況調查與問題分析

計畫區內除部分土地因人為開發利用外，大部分坡地林相保持良好。惟計畫區坡陡流急，支流、坑溝為數眾多、逕流量豐沛，且因河床中大量塊石堆積，於豪大雨期間常造成溪岸侵蝕、崩塌，甚至溢淹兩岸農田、農舍，造成災害。

以下將依據計畫區之溪流、崩塌地、道路水土保持及坡地水土保持等問題，進行計畫區現況調查及問題分析說明，相關調查結果詳如附錄六。

#### 3-1 溪流及蝕溝

##### 一、調查流程

溪流調查之工作依據歷年災害情形、整治工程及河道淤積土砂等情形進行調查，調查流程詳圖3-1-1，調查對象包括眉原溪主流、清流溪(南投A022)、野溪及坑溝等。

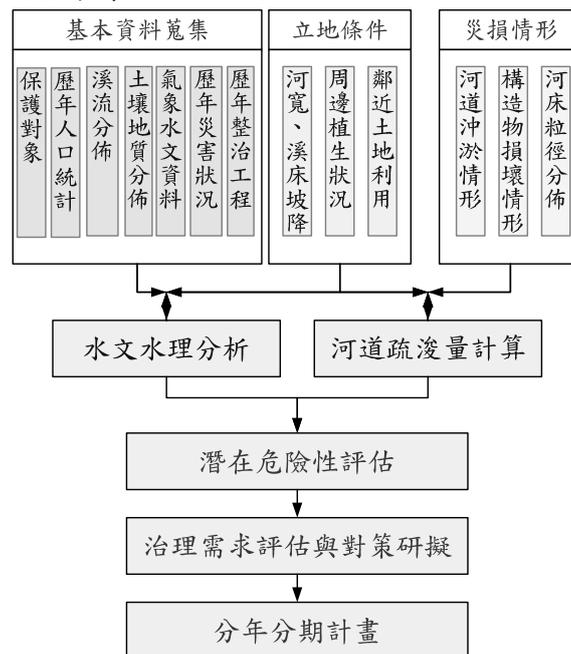


圖 3-1-1 溪流調查流程圖

##### 二、現況調查

本計畫區內溪流有眉原溪、清流溪(南投A022)及野溪坑溝，依水文特性將整個計畫區劃分為4個集水分區(圖3-1-2)，集水區之調查情形及位置詳表3-1-1及圖3-1-3，其中清流溪(南投A022)為土石流潛勢溪流，另於3-5-2節說明。

此外，於計畫執行期間，共經歷卡玫基、鳳凰、辛樂克及薔蜜颱風等4場風災，造成計畫區土砂大量下移，茲由上游至下游分別說明本計畫之各集水分區調查成果(現況調查成果詳附錄四)：

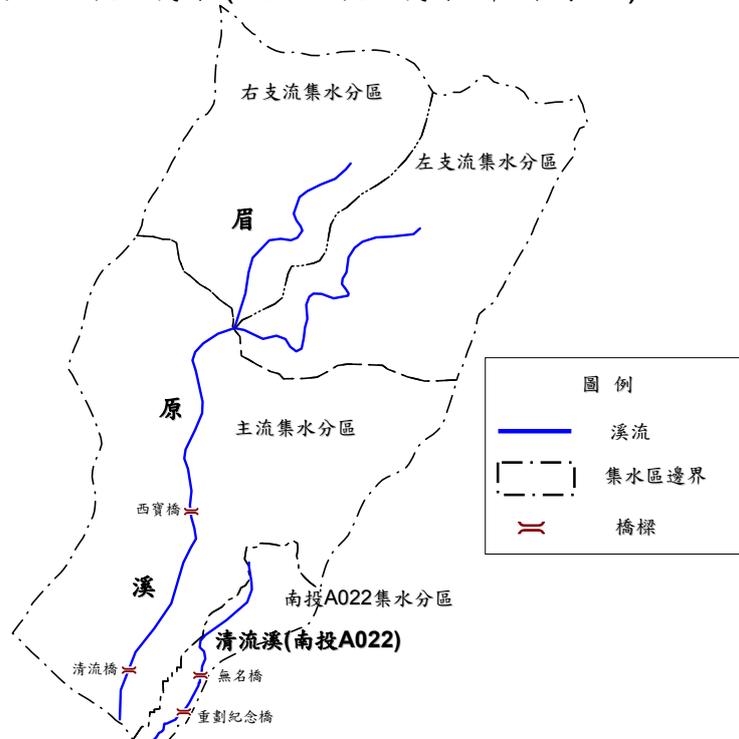


圖 3-1-2 清流溪等集水區集水分區及水系分佈圖

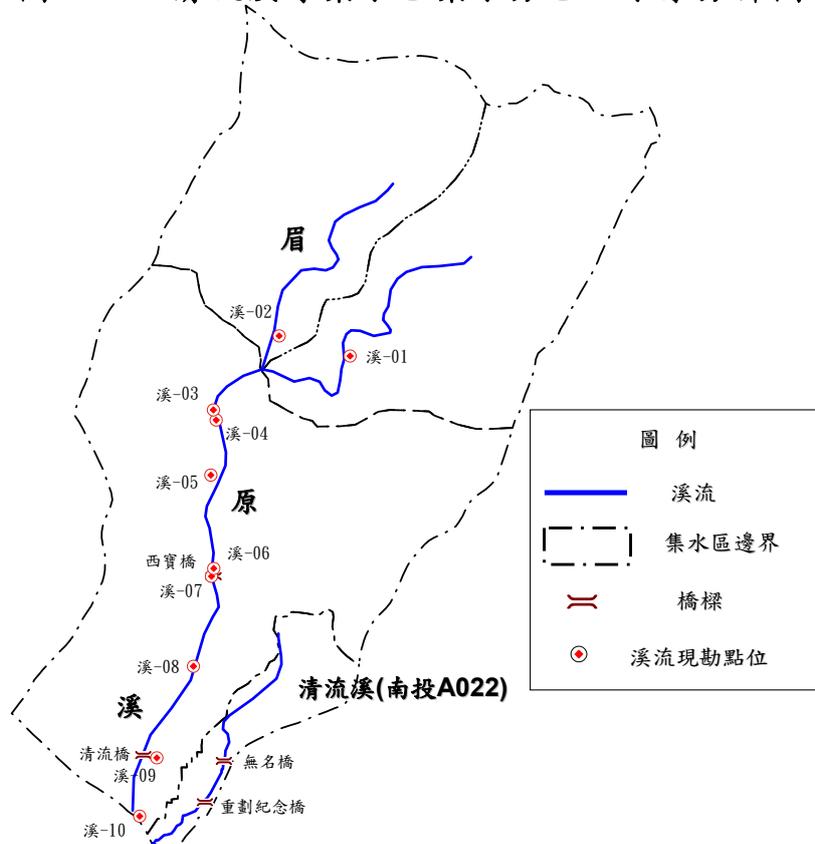


圖 3-1-3 清流溪等集水區集水分區溪流現勘點位圖

## (一)眉原溪主流

### 1.眉原溪主流集水分區

#### (1)左、右野溪匯流口至眉原溪西寶橋

##### A.左、右野溪匯流口下游河段

- a.河寬約30m，河床平均粒徑約60-70cm，平均縱坡約6.25%，既設護岸長約100m，辛樂克颱風後護岸右岸基礎淘空，水流灌入導致背填土流失嚴重。
- b.既設固床工基礎外露，上游土砂大量下移河道淤積嚴重，淤高約2m，既設護岸長度約100m，左岸護岸遭河岸土石淤積淹埋，影響河道通水斷面；右岸既設護岸終點為凹岸，因無構造物保護河岸及道路基礎，水流沖刷造成道路毀損。
- c.河床寬度約為30m，既設護岸終點處河道寬度明顯擴大約為70m，右野溪支流於匯流口處，因既設管涵損壞導致流路不穩定於下游呈扇狀堆積，深度約為1m，保全對象為兩岸農地及左岸住家一戶。



- B.西寶橋上游河段：河寬約50.0m，河床平均粒徑40-50cm，平均坡降約5%，河道土石淤積嚴重，淤積高度約2m，右岸道路基礎淘空流失，左岸河岸岩盤出露，此河段地質屬於白冷層側向解理發達易引發河岸崩塌，右岸既設護岸約100m，基礎有淘空情形，右岸未設護岸處，因颱風豪雨造成水流淘刷路基損壞。



(2)眉原溪西寶橋至下游眉原溪清流橋

A. 西寶橋上下游河道：土石淤積嚴重，淤高約2.0m，平均坡降約5.7%，河道寬度約30m，河床粒徑約40cm~50cm，上游右岸護岸岸高不足洪水漫淹，卡玫基、辛樂克颱風後淤積嚴重，新設護岸基礎遭洪水淘刷裸露；下游右岸新設護岸終點野溪匯流處，堤後野溪淘刷改道，新設護岸下游河段左右兩岸無施設工程構造物，現場河道淤積嚴重，於凹岸處因無施設護岸受衝擊坡淘刷導致農地流失。



B. 西寶橋下游至清流橋上游河段：河道寬度約60.0m，平均坡降約5.5%，淤積嚴重，土石淤積高度約2.0m，河床粒徑約40cm~50cm，河道中設有一取水圳，引水供給下游地區農作、民生用水，為清流部落重要取水來源。然歷經卡玫基等多次風災後，灌溉取水口損壞，影響居民農作生產。由於河道土砂淤積嚴重，民國96年南投縣政府辦理眉原溪清流橋河道疏浚工作，造成此河段流心河道有向下切割刷深情形，風災後河道淤積增高，溪流兩岸均未施設護岸保護農地流失狀況嚴重；先前眉原溪清流橋上游利用現地塊石堆疊保護之邊坡流失，右岸疏浚後堆置土石方流失約1/3，清流橋下河床淤積影響通洪斷面土砂漫淹至清流橋上，於現勘當日正進行緊急搶修工程，建議施設護岸保護同時將河道整理之土砂堆置於堤後腹地。



溪-08 河床淤積嚴重、取水堰左側損壞塌陷



溪-08 取水圳左岸因取水口損壞喪失



溪-08 取水口位於攻擊岸處石籠流失，流路塌陷



溪-09 疏浚後土石方流失1/3、土砂漫淹至清流橋上(薔蜜風災後)

眉原溪清流橋

## (3)眉原溪清流橋至北港溪匯流口

A.清流橋下游河段：河道寬度約60m，原河道淤積嚴重，土石淤積高度約3m，平均坡降約4.2%，河床粒徑約40-50cm，辛樂克風災後左岸因無護岸保護致農地流失，河道側向侵蝕嚴重；右岸既設護岸終點為凹岸處，受水流侵蝕坡面基腳流失造成河岸崩塌，下游100m處既設護岸受水流推移置於河道中，疏浚堆置土石下移至河道；風災後清流橋下游辦理緊急搶修工程經費約88萬；另於民國97年11月21日起由仁愛鄉公所發包標售原堆置清流橋上游之土石方清運約6萬立方公尺。



民國97年9月26日重點治理計畫區現勘審查，將眉原溪清流橋下游列為先期治理區位，本計畫於民國97年10月14日辦理測量作業進行工程細部設計，後續因仁愛鄉公所之河道緊急處理工程於清流橋上下游進行河道清疏作業影響工程規劃設計。

針對此狀況於民國97年12月10日水保局南投分局邀集仁愛鄉公所承辦人員會同現勘討論，並於民國98年1月13日期中會議現場審查，表示現況河道清疏整理無立即致災之急迫性，將其列為後續分年分期治理規劃，建議左岸利用河道堆積土石材料構築堤防保護，長度約600m，保全對象為左側農地。



B. 清流橋至北港溪匯流口處：河道寬度約60m，河床平均粒徑30-40cm，平均坡降約4.5%，北港溪匯流口左岸有一長約80m之既設護岸歷經卡玫基等多次颱風後遭土砂埋沒，匯流口旁農塘因颱風豪雨帶來洪水使土石下移，現遭土砂淤埋，匯流口上方200m疏浚後堆置土石方影響河道通洪斷面，本河段為規劃重點治理區位，並配合水利署北港溪治理計畫線劃分權責範圍作完善之規劃治理。



## 2. 眉原溪左、右支流集水分區

本集水分區多為天然林相，惟眉原溪上游地質屬白冷層，受側向解理及經歷多次風災沖刷後導致崩塌現象嚴重土砂大量下移，河道寬度約50-60m，平均粒徑80-90cm，河道淤高約2.0m，遇豪大雨時坡面土石易受沖蝕進入河道中，且因上游坡度較陡，河道中土石易隨逕流下移，造成中下游河道土砂淤積嚴重。



(二)野溪、坑溝

計畫區內之野溪、坑溝由眉原溪主流沿線下游至上游共分佈有多條野溪及坑溝，茲將現況概述如下：

1.野溪：現勘位置點位分佈如圖3-1-4所示：

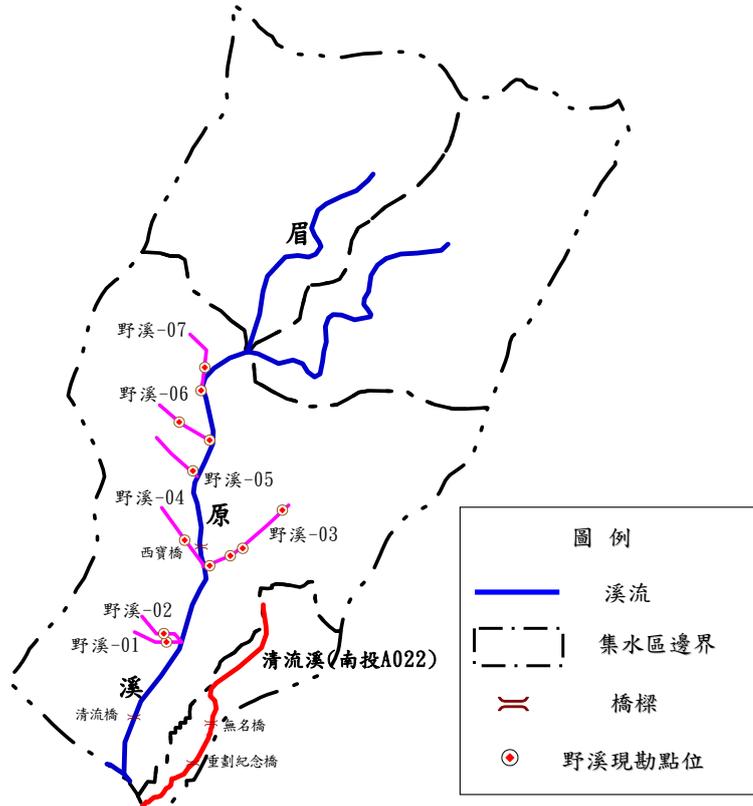


圖 3-1-4 清流溪等集水區集水分區野溪現勘點位圖

(1)野溪01：溪流寬約4m，上游崩塌土砂下移，中游段坡度約40%，河床有下刷情形，下游處坡面漸緩坡度約15%，土砂形成扇狀堆積，影響下游農地耕種。



(2)野溪02：河寬約5m，上游河床為岩盤，坡度約45%，流木堆置於河道中影響通水斷面，河床下刷嚴重，兩岸無施設工程構造物；下

游與野溪01匯流，坡度約15%，河床淤積嚴重，野溪01與野溪02匯流處無明顯流路，導致地表逕流漫流，影響下游農地耕作。



(3)野溪03：溪流寬約3m，溪流長約800m，上中游河床坡度陡峻，坡度約45%，兩岸既設護岸基腳輕微淘刷，既設潛壩下游左右兩岸無施設構造物，坡度約15%，既設潛壩位置為原河道流路，經蕃蜜風災後河道改道土砂於坡面上呈扇狀堆積，原道路側既設集水井銜接90cm管涵因土砂淤積功能喪失，土砂漫淹道路影響居民通行。



- (4)野溪04：河寬4m，上游段坡度約30%，河岸邊坡崩塌、道路路基沖毀及土石下移路面，過水路面處因土砂災害損壞塌陷，過水涵管出露影響道路通行；下游河床漸緩坡度約10%，土石堆積下游，其出流口位於西寶橋下游右岸新設護岸終點處，出流口設計高程無法順利排放逕流，造成野溪04由堤後改道排放至眉原溪。



- (5)野溪05：野溪寬約5m，上游設有系列防砂壩，河道堆積大量土石，坡度約10%，河床粒徑最大粒徑約2.5m，防砂壩業已淤滿，下游河道坡度變陡約30%，河床有下刷情形，出流口以埋設涵管方式通過道路流入眉原溪，下游眉原溪匯流處無施設工程構造物保護兩岸，有河岸崩塌情形。



(6)野溪06：已有護岸保護，河寬約4m，河床坡度約20%，於集水區上游右岸電線桿清流枝75旁，下游段已施做RC護岸，以單孔箱涵方式通過道路，上游以左右支流匯入，有一戶保全對象，右支流上游處既設有防砂壩及護岸構造物，其有沖刷損壞情形；左支流坑溝河岸崩塌嚴重，上游崩塌導致土石下移，流路不穩定土砂漫淹，道路路基受水流沖刷淘空導致路面塌陷，蝕溝未設置工程構造物保護，建議設置潛壩、固床工等工程構造物以控制土砂災害、保護下游住家及農田等。





(7)野溪07：河寬約4m，上游河道坡度陡峻，坡度約40%，其右岸護岸嚴重毀壞，道路基礎遭淘空毀損，毀壞之構造物堆積河道，阻斷水路；上游設有系列跌水構造物，降低河床坡地；下游則無施設構造物保護，造成逕流漫淹、坡面沖蝕及大量土石下移坡面，導致銜接主流眉原溪護岸損壞。



2.坑溝：現勘位置點位分佈如圖3-1-5所示：

(1)坑溝01：寬3m、深1.5m、長約500m，既設管涵(φ 60cm)外露，過水路面埋設(φ 60cm)管涵無常流水，有一沖刷坑(深度約1m)，下邊坡長寬2m，平均坡降20%，粒徑30-40cm，道路因土砂下移及水流沖刷造成邊坡崩塌而損壞。



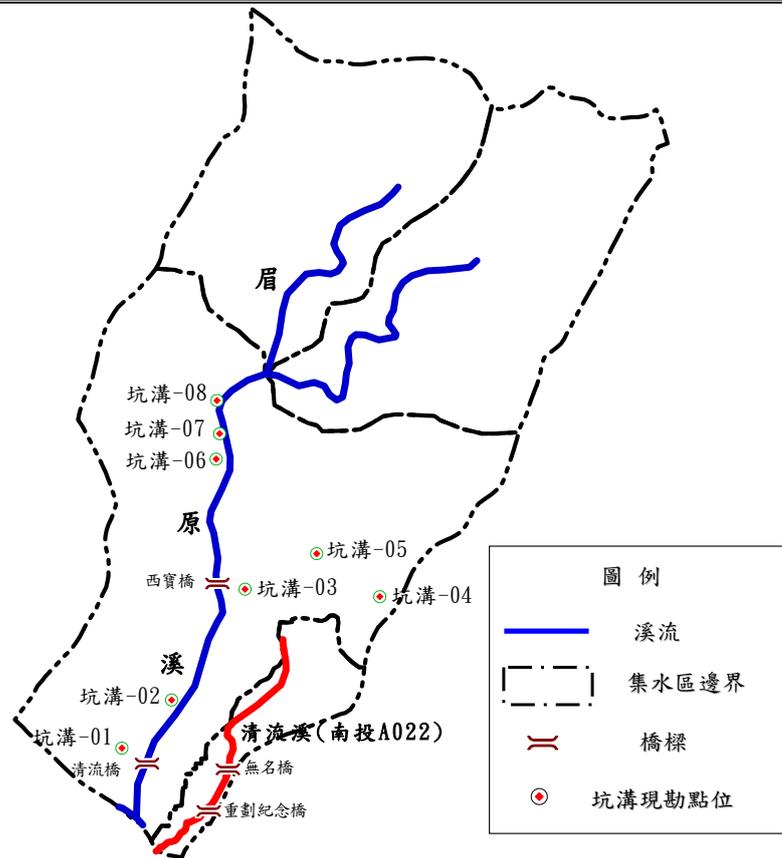


圖 3-1-5 清流溪等集水區集水分區坑溝現勘點位圖

(2)坑溝02：位於眉原溪清流橋上游右岸梅子園旁，溝寬寬度約4m，平均坡度30%，長度約150m，卡玫基風災過後原坑溝流路因土砂下移影響改道，下游坡面呈扇狀堆積，邊坡果園農田流失，為避免沖蝕擴大，規劃為先期計畫重點治理區位，建議施設建議上游段施設噴凝土溝錨定L=65m、下游集水井2座、排水渠道L=65m、H=2m。



(3)坑溝03：位於眉原溪西寶橋左側約250m處，溝寬約1m，深約1m，平均坡度30%，長度約250m，上邊坡植生狀況大致良好，惟逕流集中造成坡面下刷，下邊坡由於無明顯流路導致逕流漫淹農地流失。





(4)坑溝04：上游溝渠底部為天然岩盤，溝寬約2m，深度約1.5m，平均坡度30%，上游土砂下移輕微淤積於道路側，原既設過水涵管( $\phi$  60cm)堵塞，無法順利排放逕流，導致下邊坡沖刷加劇。



(5)坑溝05：坑溝寬度約5m，上下邊坡坡度陡峭約35%，平時無常流水，風災後逕流集中，土砂淤積嚴重，上下邊坡坡面種植檳榔樹，坡地水土保持不良。



(6)坑溝06：現況河寬約3m、深度約1.5m，蝕溝寬原為20-30cm，卡玫基颱風後上游邊坡崩塌大量土砂下移、沖蝕擴大，平均縱坡30%，平均粒徑30-40cm，中游流路不穩定造成道路基礎淘空，土砂下移堆置於路面上，下游銜接野溪處無施設工程構造物，蝕溝長約700m。由於坑溝流路不明且土砂下移狀況嚴重，且下游右岸有一住戶保全對象，規



劃為本計畫先期重點治理區位，建議施設上游施設防砂壩1座 (H=6m、W=2m、L=25m)，下游保全對象護岸(兩岸L=500m、H=2m)、固床工23座。



(7)坑溝07：位於眉原溪左岸，上邊坡坡度大，坑溝寬度約5m，平均坡度35%，上游大量下移，於下邊坡坡度平緩處呈扇狀堆積。

(8)坑溝08：寬3m、深2m、長200m土砂大量下移於下游眉原溪匯流口處，坑溝兩岸植生大致良好，上邊坡坡度約25%，土砂下移後於匯流口附近呈扇狀堆積。



表 3-1-1 清流溪等集水區集水分區溪流、蝕溝現況調查表(1/2)

編號	縣市	鄉鎮	村里	集水區	溪流名稱	參考座標		位置描述	災損類型	現地描述
						X	Y			
溪-01	南投縣	仁愛鄉	互助村	左集水分區	眉原溪	245550	2666180	左支流	河道淤積	河道寬度16m，河道淤積嚴重
溪-02	南投縣	仁愛鄉	互助村	右集水分區	眉原溪	244990	2666340	右支流	河道淤積	河道寬度15m，河道淤積嚴重
溪-03	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244470	2665751	匯流口	兩岸掏刷	匯流口農地流失原有道路損壞20m、原埋設過水路面管涵因路基淘空外露
溪-04	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244492	2665670	眉原溪野溪匯流口處下游80m	兩岸掏刷、河道淤積	河寬40m，河床淤積嚴重3m，平均粒徑70-80cm，新設護岸右岸攻擊坡處基礎懸空，溪水灌入背填土淘空長約30m
溪-05	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244450	2665232	眉原溪西寶橋右岸上游800m	兩岸掏刷	西寶橋上游河道淤積嚴重3m護岸淘空損壞，框型填塊石護岸沖刷崩壞長100m
溪-06	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244473	2664490	眉原溪-西寶橋	兩岸掏刷	西寶橋上游左岸護岸基礎掏空(凹岸處)河床淤積2.5m平均粒徑70-80cm
溪-07	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244455	2664427	眉原溪-西寶橋下游50m	兩岸掏刷、河道淤積	眉原溪西寶橋下游50m處，右岸既設護岸掏空外露，河床淤積嚴重1.5m，平均粒徑70-80cm，既設潛壩右翼破損
溪-08	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244312	2663711	取水圳	兩岸掏刷、河道淤積	河寬50.0m河床淤積嚴重3.0m，左側取水口受塊石撞擊損壞，平均淤高3.0m平均粒徑60-70cm
溪-09	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244023	2662982	眉原溪清流橋	兩岸掏刷、河道淤積	河寬50.0m，土砂淤積嚴重4.0m，清流橋與道路銜接掏空損壞，下游左岸攻擊坡處無護岸保護，風災造成農地流失，原堆砌岸際之塊石流失，下游右岸既設護岸損壞流失置於河床中，上游右岸原疏浚土砂堆置下移1/3，兩岸農地流失嚴重。
溪-10	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	243887	2662518	眉原溪北港溪匯流口	兩岸掏刷、河道淤積	眉原溪北港溪匯流口，河寬50.0m，平均粒徑50-60cm，河床淤積嚴重2.0m，原左岸既設護岸沖毀損壞、農地流失、農塘淤積
野溪-01	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244184	2663659		河道淤積	河寬3.0m，平均坡降25%，河道土砂淤積，原砌石護岸及砌石固床工無嚴重損壞，土砂堆積於下游處淹沒農地
野溪-02	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244162	2663730		河床及兩岸掏刷、河道淤積	河寬6.0m，平均坡降30%河床下刷嚴重、兩岸岩盤出露下刷深度約1.5m，兩岸無工程構造物保護，與眉原溪匯流口往上游100m河寬3.0m河道淤積嚴重2.0m，下游河床堆積嚴重成扇狀堆積
野溪-03	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244541	2664295		河道淤積	河寬6.0m，平均坡降20%，土砂大量下移，既設潛壩損壞土砂於下游呈扇形堆積，既設管涵外露淤滿。
野溪-03	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244711	2664377		河床及兩岸掏刷	河寬4.0m，左岸既設護岸濤刷嚴重河床下刷，平均坡降15%平均粒徑70-80cm，左右岸護岸基礎掏空外露、兩岸岩盤出露
野溪-03	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244814	2664439		河道淤積	河寬3.0m，平均坡降30%，平均粒徑40-50cm土砂下移過水路面埋設2支直徑120cm管涵下游有一沖刷坑河床淤積1.0m
野溪-03	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	245140	2664757		河床沖刷	河寬3.0m，瀑布高差20.0m，岩盤出露

表 3-1-1 清流溪等集水區集水分區溪流、蝕溝現況調查表(2/2)

編號	縣市	鄉鎮	村里	集水區	溪流名稱	參考座標		位置描述	災損類型	現地描述
						X	Y			
野溪-04	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244335	2664507		兩岸掏刷	西寶橋右側野溪河寬4.0m，平均坡降30%，土砂大量下移造成道路路面破損，流路不穩定，既設管涵出露3支直徑120cm平均粒徑50-60cm河岸崩塌嚴重、農地流失整治長度200m
野溪-05	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244402	2665083		河道淤積	河寬5.0m平均坡降20%，土砂淤積嚴重既設管涵導流匯入眉原溪兩岸無施設工程構造物上游壩址(244325、2665099)節制壩3座，河寬8.0m庫容皆淤滿
野溪06	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244290	2665489		兩岸掏刷	清流枝75野溪上游河寬4m、平均坡降30%、平均粒徑60-70cm左岸漿砌石基礎淘空150m，部分護岸背填土流失，左岸道路為碎石路面，上游防砂壩基礎淘空外露，右岸壩翼出露損壞嚴重，右岸有一崩塌地。
野溪-06	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244541	2665338			左岸道路為碎石路面
野溪-07	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244603	2665899		河床及兩岸掏刷	護岸右岸(凹岸處)基礎淘空外露，水流灌入背填土崩塌長50m，既設固床工淘空基礎外露。
野溪07 (匯流口)	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244470	2665751		兩岸掏刷	匯流口農地流失原有道路損壞20m、原理設過水路面管涵因路基淘空外露
坑溝-1	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	243718	2663111	眉原溪清流橋西北側200m	兩岸掏刷	上邊坡寬3m、深1.5m既設管涵出露(φ60cm)長度500m，過水路面埋設(φ60cm)管涵無常流水，有一冲刷坑深1m，下邊坡長寬2m，平均坡降20%，粒徑30-40cm，道路損壞因土砂下移，下游施設排水溝
坑溝-2	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244109	2663492	眉原溪右岸-清流橋上游500m	河道淤積	河寬6.0m平均坡降30%河床淤積嚴重1.0m，上方崩塌地兩處，河道下游成扇狀堆積、農地流失(崩塌地寬4.0m、5.0m)、(崩塌地寬4.0m、3.0m)覆土深1.0m
坑溝-3	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244686	2664369	眉原溪左岸西寶橋左側250m	河床及兩岸掏刷	上:寬度1m、深1m粒徑30-40cm，下:寬2m、深2m、長200m，無常流水擋土牆下邊坡有一冲刷坑
坑溝-4	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	245744	2664309	眉原溪西寶橋東側1300m	河道淤積	寬度2m平均粒徑30-40cm，上游為天然岩盤、土砂下移堆置於過水路面
坑溝-5	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	245248	2664650	眉原溪左岸西寶橋東側800m	河道淤積	寬4m淤積嚴重、上邊坡流路不穩定，植生狀況不良，種植檳榔，下邊坡坡度大，長約400m粒徑80-90cm
坑溝-6	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244458	2665398	清流枝75野溪旁	兩岸掏刷、河道淤積	寬3m、深1.5原為20-30cm寬蝕溝，下游銜接野溪處無施設工程構造物，上游有大量土砂堆積，平均坡降30%，平均粒徑40-50cm，流路不穩定造成道路基礎淘空，土砂下移堆置於路面上，蝕溝長約700m
坑溝-7	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244486	2665599	眉原溪左岸西寶橋上游1200m	河道淤積	寬2m、深1m土砂大量下移，於眉原溪河床呈扇狀堆積
坑溝-8	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪主流	眉原溪	244465	2665861	匯流口上游150m處	河道淤積	寬3m、深2m、長200m土砂大量下移於下游眉原溪匯流口處

資料來源：本計畫整理

### 三、問題分析

依據上述計畫區內溪流分佈並赴現場調查災害，經分析整理集水區各溪流，其問題說明如下：

- (一)眉原溪：眉原溪主流上游左、右支流集水區內崩塌地持續發育；眉原溪主流河岸岩盤出露，地質屬白冷層，白冷層因石英岩堅硬易脆，且受河谷解壓影響大，節理發達，受地震搖動後易引發崩塌，為本計畫區土砂主要來源；河床因土砂大量下移，河道淤積平均約2m深，右岸多未施設構造物保護道路、果園，位於凹岸沖刷處多因洪水沖刷、土石撞擊，造成路基淘刷、道路中斷或農地流失影響居民通行及財產損失；另部分路段因上邊坡土砂下移造成道路掩埋中斷。
- (二)不安定土砂：計畫區集水區屬天然河道居多，兩岸邊坡受雨水不斷沖蝕及溪流淘刷後有多處崩塌發生，土石堆積河道中，因上游河道縱坡陡峭，豪大雨時之逕流與堆積河道之土石結合並下移、淘刷，形成河岸崩塌，因此未來除加強源頭治理：包括防砂控制及護岸施設應加強，藉以控制泥沙下移，避免對中、下游地區造成潛在危害外，應每年於汛期前定期辦理中、下游河道整理工程，以維持足夠之通水斷面。
- (三)排水斷面不足：計畫區眉原溪左右支流匯流口、上游西寶橋、下游清流橋及局部區段有設置護岸者，由於地形河道束縮或橋臺、護岸施設，造成土石阻塞或通洪斷面不足，且局部位於凹岸處護岸高度不足，都造成水路無法負荷排洪量而有溢淹兩岸情形。
- (四)基礎淘刷：計畫區設置防砂設施或護岸工程者，局部河道坡度較陡區段，豪大雨時期流速甚快，因基礎深度不足，既有防砂壩、固床工或護岸基礎遭淘刷而有裸露或懸空情形，未來除既有設施補強外，新建防砂設施及護岸亦應考慮加深基礎，此常見於野溪坡陡及跌水段區段。
- (五)蝕溝、坑溝問題：計畫區內多處蝕溝、坑溝沖蝕嚴重，為坡面上邊坡表土層易風化，於颱風、豪雨期間，大量逕流入滲表層，造成坡面滑動或崩塌，並隨逕流夾帶土石下移，造成下邊坡土砂堆積或遭

水流淘刷損壞、道路中斷，不安定土砂未來恐持續下移，建議未來進行整治，道路設置擋土設施，背牆施作跌水箱涵收集坡面逕流，坡面設置縱、橫向排水、進行植生，道路修復並增設側溝，部分蝕溝、坑溝增設防砂設施保護下方保全對象。

(六)眉原溪西寶橋下游至清流橋上游河段設有一取水堰供清流部落農作用水，歷經卡玫基、辛樂克風災後堰體輕微損壞，左岸取水圳坍塌斷裂，造成水流無法流入溝圳，影響部落取水之用，建議權責單位進行修復，以減少部落居民財產損失。

## 3-2 崩塌地調查與潛勢分析

### 3-2-1 崩塌地調查

#### 一、調查流程

本項工作蒐集水土保持局歷年崩塌地判釋資料(包括九二一地震後、桃芝颱風後及七二水災後)，並購買民國97年11月2日之SPOT5衛星影像，並加以判釋計畫區內現況之崩塌地區位，再赴現場複核並透過GIS建立崩塌地屬性資料與影像(調查流程詳圖3-2-1)。

野外查核之對象除水保局A、B級崩塌地外，並利用SPOT5衛星影像判釋成果展繪至基本圖至現場查核、查核之重點為各崩塌地之滑落崖、裂隙等地形特性及岩性、地層、斷層等地質特性以瞭解崩塌之範圍、滑動形態及滑動方向及推測各崩塌地之破壞機制，進而區分其破壞型態，包括崩落、傾倒、滑動、流動或地滑等，並針對查核之崩塌地拍照建立影像檔案(現況調查成果詳附錄六)。

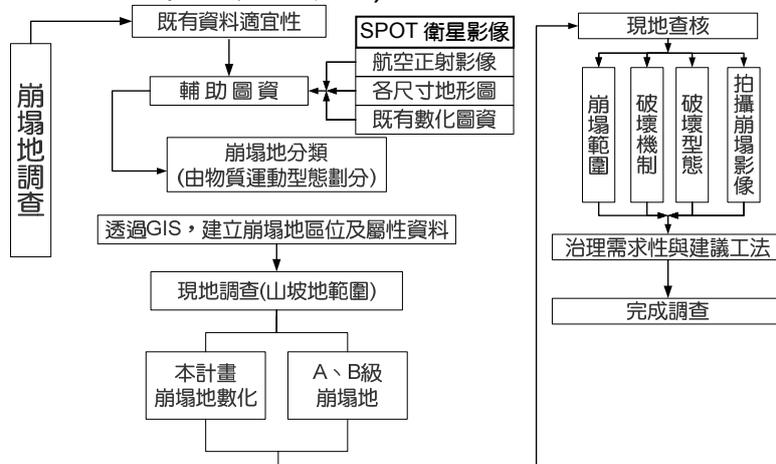


圖 3-2-1 崩塌地調查流程圖

## 二、崩塌地判釋

### (一)以往判釋結果

參考水土保持局「崩塌地調查計畫(中部地區)成果報告」、「921後崩塌地調查成果」、「桃芝風災後崩塌地調查成果」及「七二水災崩塌地判釋與分析」等崩塌地判釋調查成果，計畫區於921地震後經水土保持局判釋共有87處崩塌地，總面積約29.89公頃；92年桃芝颱風後航空正射影像判釋崩塌地共272處崩塌地，總面積86.69公頃，；七二水災後水土保持局判釋崩塌地共47處崩塌地，總面積108.82公頃，依據以往判釋結果，區內崩塌地大部分均為D級，僅主流集水分區內1處為C級，判釋結果詳表3-2-1與圖3-2-2。

計畫區內之地質多為頁岩、板岩互層結構，921地震將結構震鬆，復又發生桃芝風災與七二水災，使坡面大量土砂下移；因板岩結構復育不易，故至今區內崩塌地所佔面積和其他集水區相較仍屬較高，並仍持續發生坡面崩塌土砂下移的狀況。

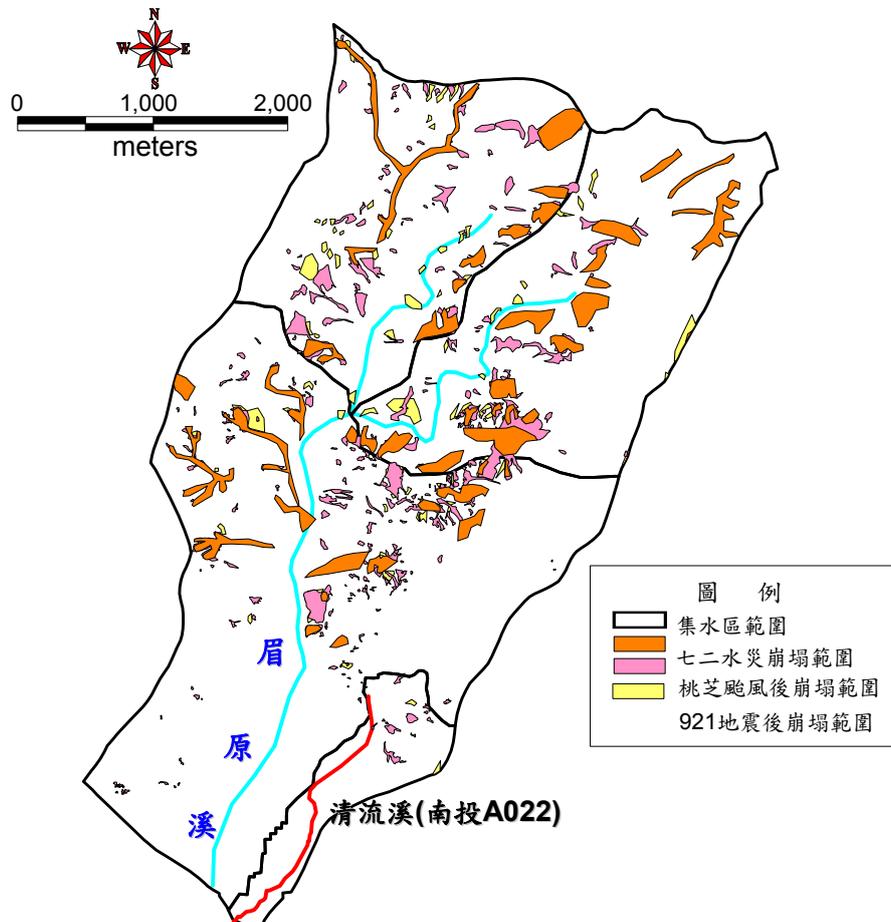


圖 3-2-2 清流溪等集水區以往崩塌地判釋範圍圖

表 3-2-1 各期崩塌地判釋面積表

時期	年度(民國)	崩塌面積(ha)	崩塌個數	備註
921地震後	88	29.89	87	水保局判釋
桃芝颱風後	92	86.69	272	本計畫判釋
七二水災後	93	108.82	47	水保局判釋

資料來源：水土保持局及本計畫整理

(二)次崩塌地判釋成果

本計畫以SPOT-5衛星影像(民國97年11月2日拍攝)配合本計畫進行之航空正射影像(民國97年10月22日拍攝)、無人載具空拍照片(民國97年11月11日拍攝)進行崩塌地判釋及數化，後續至現地進行複核，以了解計畫區內崩塌地分佈情形。判釋之崩塌地共有304筆(詳圖3-2-2)，經現地複核者有35筆(道路可即或目視清楚者，現勘調查成果詳圖3-2-3、表3-2-2)，其它則配合本計畫同時進行之工作項目：航照影像及無人載具空拍照片進行複核，將誤判之崩塌位置刪除共2筆，準確率94%，誤判處為眉原溪河岸邊坡岩盤裸露處故本次判釋崩塌地共有302處，崩塌裸露地共面積47.05公頃。茲將計畫區內影響保全對象較嚴重之崩塌地敘述如下：

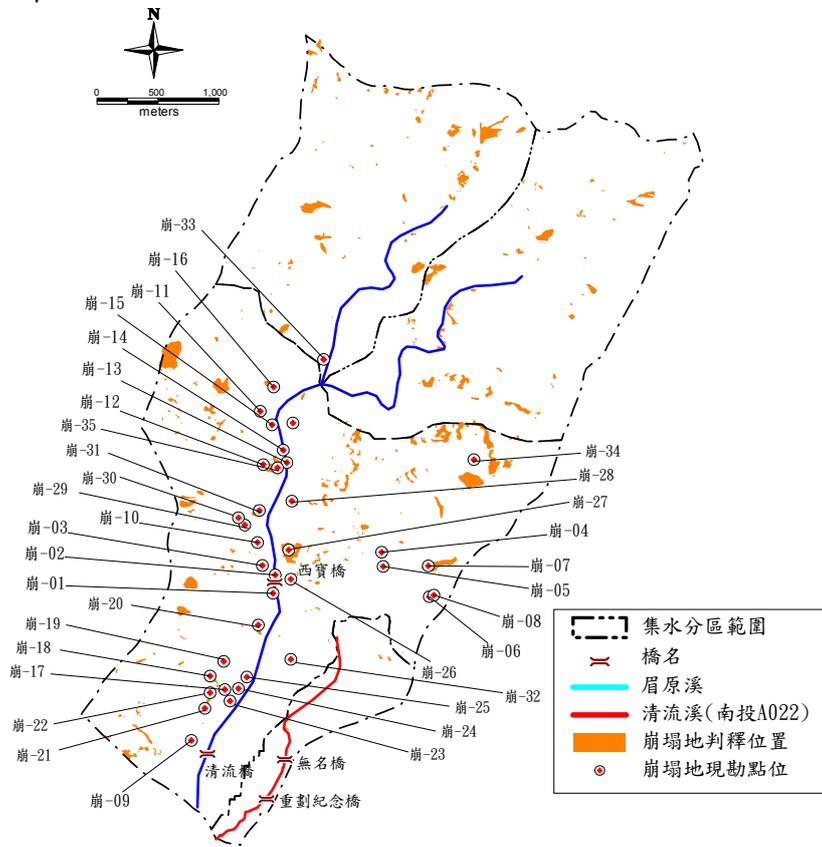


圖 3-2-3 本計畫崩塌地判釋及現勘位置圖

1.崩-01(244455,2664337):位於眉原溪西寶橋下游右岸，崩塌範圍寬20m、高20m，崩塌深度約1.0m，坡度約35%，崩塌量約400m<sup>3</sup>，目前有草本植生輕微入侵約10%，周圍植生為針、闊葉混合林。其崩塌類型為淺層岩盤崩解破壞，崩塌原因主要為表土風化、地質破碎，故每遇豪雨則順著蝕溝及邊坡坡址沖刷，導致土砂下移危急下方道路保全對象。



崩-01 崩塌現況

2.崩-02(244473,2664490):位於眉原溪西寶橋左岸上方，崩塌範圍寬40m、高50m，崩塌深度約2.0m，坡度30%，崩塌量約4,000m<sup>3</sup>，目前有草本植生輕微入侵約10%，周圍植生主要為針闊葉林。崩坍類型為圓弧形滑動破壞，主要分佈階地堆積層、沖積層及高度風化破碎岩盤，受風化作用及雨水沖刷坡面之影響，岩性疏鬆軟弱，於卡玫基、辛樂克颱風期間坡面受雨水沖刷而持續崩塌，其邊坡土石下移至路面影響下方西寶橋通行。



崩-02 崩塌現況

3.崩-04、崩-06、崩-07、崩-08、崩-09:均位於眉原溪主流集水分區左右岸，為道路上邊坡崩塌地，主要為地形陡峭又道路開闢切割邊坡，加上計畫區為易因風化破碎岩盤地質而形成崩塌產生，崩坍類型為淺層岩盤崩解破壞，其崩04、崩06、崩07、崩08、崩09位置處於左支流集水分區唯一道路上，需加以適當處理以減少當地居民財產損失。



崩-04(245352,2664678)



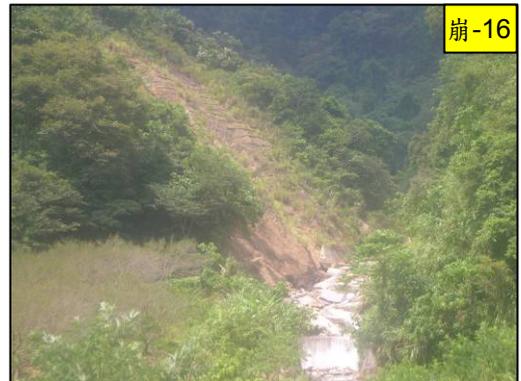
崩-06(245744,2664309)



4. 崩-14(244540,2665526)：位於眉原溪西寶橋上游右岸，崩塌範圍寬100m、高10m，崩塌深度約1.5m，坡度40%，崩塌類型為淺層岩盤崩解破壞，崩塌量約1,500m<sup>3</sup>；其崩塌主因係位處，河道凹岸處未施設護岸保護，故每遇豪雨則順著蝕溝及坡址沖刷，道路下邊坡無施設構造物保護，於卡玫基、辛樂克颱風期間，洪水沖蝕河岸造成道路流失，水流直接沖刷邊坡坡腳造成大面積崩塌，加上坡面岩性疏鬆軟弱，有受雨水沖刷而持續崩塌趨勢。



5. 崩-16(244460,2666050)：眉原溪上游匯流口處野溪07上方崩塌，崩塌範圍寬約30m、高20m，崩塌深度約1.5m，坡度約40%，崩坍類型為圓弧形滑動破壞，崩塌量約900m<sup>3</sup>，此崩塌地已施作打樁編柵處理，有輕微損壞情形，計畫執行期間遭遇颱風豪雨，因邊坡下方排道路水不良，加上下方蝕溝處理不當，造成下邊坡擋土牆損毀，道路毀壞不能通行，影響右支流集水分區農作交通出入。



### 三、問題分析

#### (一)天然誘因

##### 1.降雨因素

本計畫區年平均降雨量豐沛約2,047.45mm，且集中於5~8月份，民國97年又遭逢卡玫基(一日最大暴雨達396.5mm，約25年重現期距降雨)及辛樂克(一日最大暴雨達554.5mm，約100年重現期距降雨)等颱風之肆虐，加上計畫區地質破碎、岩層鬆軟等不良，進而發生多處

崩塌地災害，其多屬溪岸崩塌，主要原因為溪流凹岸沖刷，坡趾裸露，無法負荷上方表土層，加上大雨及蝕溝侵蝕下，造成地質破碎崩塌。

## 2.地質因素

計畫區內多屬白冷層及階地堆積層，其因為岩層易脆阻抗性低，穩定性差，具有高度的災害敏感性，且今年計畫區內經歷連續颱風等災害之刺激誘動，加上地層鬆散及節理發達，岩層未趨於穩定，一旦經豪雨沖刷坡面，便產生多處崩塌。嚴重威脅道路交通與河道兩旁的安全，如崩-01及崩-02等。

## 3.溪流淘刷

計畫區野溪溪谷兩岸坡度陡峭之地形，河道向源侵蝕嚴重，常見溪流源頭有多處崩塌地，其崩積土堆積於河道中，如崩-14及崩-16..等。此外，計畫區河系呈現枝狀或似樹枝狀的谷系型態，其河道流向多迴彎地形，因此呈現凸岸淤積凹岸淘刷之特色，凹岸攻擊坡常受河水淘刷坡腳而產生崩塌，影響河道及河岸上方道路之安全。

### (二)人為開發

計畫區中、上游地區因聯絡道路之開闢，其地形過於陡峭，且地質條件不佳，邊坡被道路開闢切割後再受到豪雨沖刷坡面而導致道路之上、下邊坡產生崩塌現象，影響交通安全，如崩-04~崩-09等。

表 3-2-2 清流溪等集水區崩塌地現況調查表(1/2)

編號	縣市	鄉鎮	村里	集水區	參考座標		位置描述	危險等級	土地類別	現地描述	崩塌面積 (m <sup>2</sup> )	植被復蓋情形
					X	Y						
崩01	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244455	2664337	崩塌地-01西寶橋下游	C	林地	崩塌地寬20.0m、高20.0m覆土1.0m坡度70%。	400	植被稀疏
崩02	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244473	2664490	崩塌地-02西寶橋上游80m	B	林地	崩塌地寬40m、高50m覆土2.0m坡度70%。	2,000	植被稀疏
崩03	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244368	2664568	崩塌地-03西寶橋上游100m	D	林地	崩塌地寬70m、高80m覆土2.0m坡度70%。	5,600	植被中等稀疏
崩04	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	245352	2664678	眉原溪左岸西寶橋東側900m-崩塌地	A	林地	崩塌地約寬3m、高5m、覆土深1m，為道路上方崩塌地，崩落土石堆積於路側。	15	植被稀疏
崩05	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	245364	2664560	眉原溪西寶橋東側900m-崩塌地	D	林地	崩塌地寬3m、高20m、覆土深1m。	60	植被稀疏
崩06	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	245744	2664309	眉原溪西寶橋東側1300m-崩塌地	A	林地	崩塌地寬40m、高8m、覆土深1.5m，崩塌土石堆置於路側。	320	植被稀疏
崩07	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	245736	2664565	別毛山西南側1100m	A	林地	崩塌地寬50m、高5m、覆土深1m。	250	植被稀疏
崩08	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	245782	2664322	西寶橋東側1300m-崩塌地	A	林地	崩塌地寬30m、高4m、覆土深1m。	120	裸岩
崩09	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	243783	2663116	眉原溪清流橋西北側150m-崩塌地	A	林地	崩塌地高10m、寬20m，道路上下邊坡開發造成邊坡裸露，崩塌潛勢高，道路周邊危木多，影響通行。	200	植被稀疏
崩10	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244328	2664759	電線桿清流枝62旁	A	林地	崩塌地寬6m、高5m、覆土深1m。	30	植被稀疏
崩11	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244350	2665848	清流枝75野溪旁蝕溝上游崩塌地	D	林地	崩塌地寬40m、高60m、覆土深1.5m。	2,400	植被稀疏
崩12	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244375	2665405	清流枝75野溪	B	林地	清流枝75野溪旁河岸崩塌寬15m、高15、覆土深1.0m。	225	裸岩
崩13	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244570	2665422	眉原溪右岸西寶橋左岸1000m	C	林地	左岸河岸崩塌地寬2m、高15、覆土1m。	30	植被稀疏
崩14	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244540	2665526	眉原溪右岸西寶橋上游1100m	C	林地	眉原溪右岸河岸崩塌地寬100m、高3m、覆土2m。	300	無植被
崩15	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244448	2665736	匯流口西側-崩塌地	C	林地	崩塌地寬2.5m、高9m、覆土1.5m。	23	無植被
崩16	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244460	2666050	匯流口下游右岸坑溝上游	B	林地	寬20m、高30m、覆土約1.2m	600	植被稀疏
崩17	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	243940	2663490	眉原溪清流橋右岸崩塌	D	林地	崩塌範圍寬30m、高20m，覆土深約1.2m	600	植被稀疏
崩18	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	243937	2663650	眉原溪清流橋上游右岸邊坡崩塌	C	林地	崩塌範圍寬15m、高30m，覆土深約1m	450	無植被

資料來源：本計畫整理

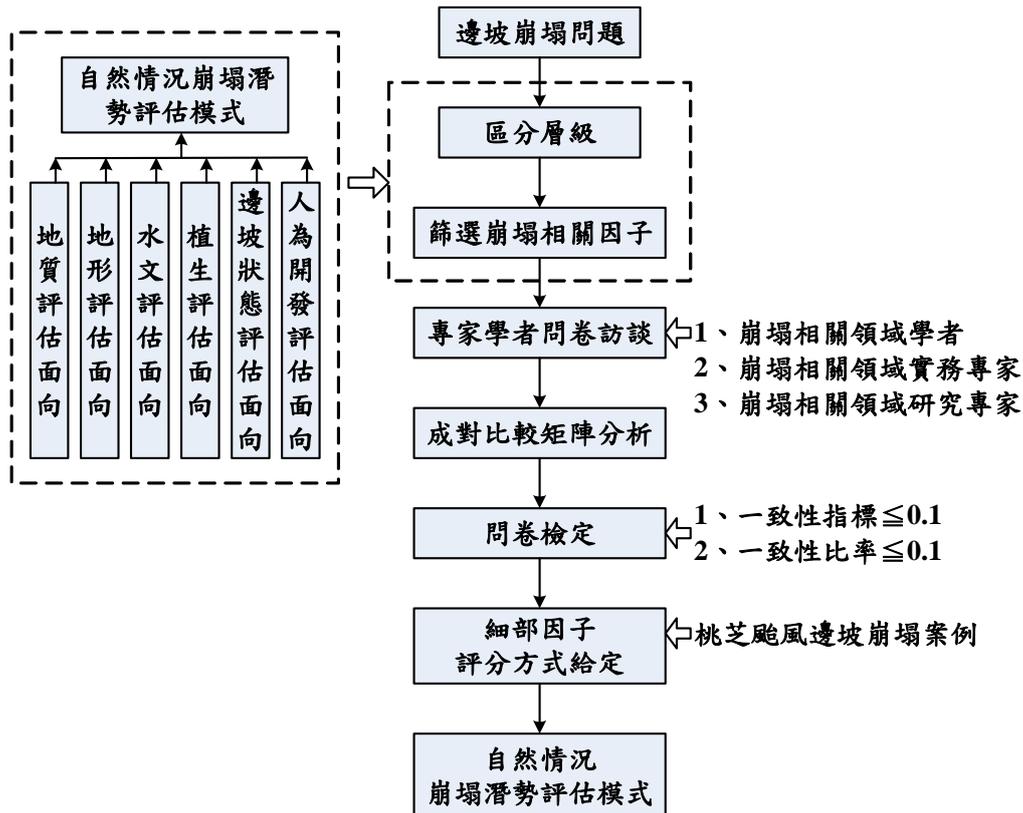
表 3-2-2 清流溪等集水區崩塌地現況調查表(2/2)

編號	縣市	鄉鎮	村里	集水區	參考座標		位置描述	危險等級	土地類別	現地描述	崩塌面積 (m <sup>2</sup> )	植被復蓋情形
					X	Y						
崩19	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244049	2663771	眉原溪清流橋右岸崩塌	D	林地	崩塌範圍寬20m、高20m，覆土深約1.2m	400	植被稀疏
崩20	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244334	2664074	眉原溪清流橋右岸上游1100m處	D	林地	崩塌範圍寬20m、高10m，覆土深約1m	250	植被稀疏
崩21	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	243893	2663382	眉原溪清流橋右岸上游450m處	D	林地	崩塌範圍寬20m、高10m，覆土深約1.2m	200	植被稀疏
崩22	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	243937	2663512	眉原溪清流橋右岸上游500m處	D	林地	崩塌範圍寬40m、高20m，覆土深約1.5m	800	植被中等稀疏
崩23	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244101	2663443	眉原溪清流橋上游600m右岸，邊坡開發下邊坡崩塌	C	林地	崩塌範圍寬50m、高20m，覆土深約1.2m	1,000	無植被
崩24	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244170	2663546	眉原溪清流橋右岸上游550m處	D	林地	崩塌範圍寬20m、高15m，覆土深約1m	300	無植被
崩25	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244239	2663642	眉原溪清流橋右岸上游550m處	C	林地	邊坡開發造成坡面崩塌，崩塌範圍寬50m、高20m，覆土深約1.1m	1,000	植被稀疏
崩26	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244602	2664454	眉原溪西寶橋橋左岸崩塌	C	林地	崩塌範圍寬30m、高30m，覆土深約1.1m	900	植被中等稀疏
崩27	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244585	2664696	眉原溪西寶橋上游左岸250m處	D	林地	崩塌範圍寬80m、高30m，覆土深約1.2m	2,400	植被稀疏
崩28	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244611	2665102	眉原溪西寶橋上游左岸300m處	D	林地	崩塌範圍寬20m、高10m，覆土深約1m	200	植被稀疏
崩29	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244222	2664903	眉原溪西寶橋上游450m處右岸	D	林地	崩塌範圍寬50m、高30m，覆土深約1.2m	1,500	植被中等稀疏
崩30	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	243750	2665086	眉原溪野溪05上游崩塌地	D	林地	崩塌範圍寬100m、高80m，覆土深約1m	8,000	植被稀疏
崩31	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	243868	2665168	眉原溪野溪05左岸崩塌	D	林地	崩塌範圍寬40m、高20m，覆土深約1m	800	植被稀疏
崩32	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244602	2663788	眉原溪西寶橋上游900m左岸崩塌	C	林地	崩塌範圍寬20m、高20m，覆土深約1.2m	400	無植被
崩33	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244567	2666547	眉原溪上游右支流右岸果園邊坡崩塌	D	林地	崩塌範圍寬80m、高60m，覆土深約1m	2,400	植被稀疏
崩34	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	246111	2665446	眉原溪主流集水區右方坡面開發邊坡崩塌崩塌	D	林地	崩塌範圍寬80m、高20m，覆土深約1m	1,600	植被稀疏
崩35	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244445	2665407	眉原溪野溪06住家保全對象下方邊坡崩塌崩塌	B	林地	崩塌範圍寬20m、高5m，覆土深約1.5m	100	無植被
現勘崩塌面積總計											35,873	

資料來源：本計畫整理

### 3-2-2 崩塌潛勢分析

參照經濟部水利署「水庫集水區崩塌地潛勢分析及崩塌土方量估算之研究」(陳樹群, 2006), 針對集水區之地形、地質、水文、植被、邊坡狀態及人為開發等因子, 分析計畫區之自然情況崩塌潛勢, 其建構流程圖如圖3-2-4所示, 再以降雨誘發作用下之崩塌門檻值為降雨因子, 建構崩塌潛勢評估模式。



資料來源：經濟部水利署「水庫集水區崩塌地潛勢分析及崩塌土方量估算之研究」

圖 3-2-4 自然情況之崩塌潛勢模式建構流程圖

#### 一、自然情況崩塌潛勢評估模式

自然情況崩塌潛勢評估模式共分為六個評估項目, 其評估方式如(3.1)式, 各評估項目之評分方式給定如下分述:

$$\text{崩塌潛勢評估模式} = 0.179 SI + 0.250 GI + 0.089 VI + 0.153 HI + 0.144 RDI + 0.186 RI \quad (3.1)$$

一般環境潛在因子對邊坡崩塌之影響評估, 乃彙整過往崩塌案例並統計該環境潛在因子對邊坡崩塌之影響, 如地質評估面地層種類及岩性等因子, 此種細部評分因子之評分標準乃採用崩壞比(landslide ratio)代

表該細部評估因子之特性，其利用於在細部評估因子特性下，發生崩塌面積與該因子分區面積的比例來表示該細部評估因子易引發邊坡崩塌之趨勢，計算式如下所示：

$$S_i = \frac{A_{\text{landslide},i}}{A_{\text{total},i}} \quad (3.2)$$

其中  $S_i$  代表影響因子第  $i$  級崩壞比， $A_{\text{total},i}$  代表第  $i$  級細部評估因子於研究區域中所佔全部面積， $A_{\text{landslide},i}$  代表第  $i$  級細部評估因子於研究區域中所引發之邊坡崩塌面積，由上式求出崩壞比後，再將崩壞比數值以正規化處理方式，將各級崩壞比對應至評分 1 至 10 之間，即可求得各因子分級評分值，因子崩壞比正規化計算方式如 (3.3) 所示，示意圖如圖 3-2-5 所示

$$D_i = \frac{9(S_i - S_{\min})}{(S_{\max} - S_{\min})} + 1 \quad (3.3)$$

其中  $D_i$  代表影響因子各分級評分值， $S_i$  代表影響因子分級崩壞比， $S_{\max}$  代表影響因子分級崩壞比最大值者， $S_{\min}$  代表影響因子分級崩壞比最小值者，經此方式便可將全部評估分數正規化至 1 至 10 分之間。

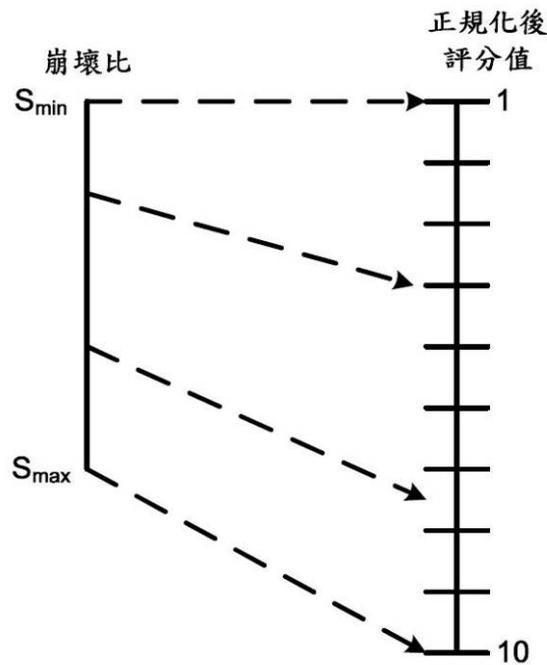


圖 3-2-5 因子崩壞比正規化示意圖

### 1.地形評估面(SI)

就坡度細部評估因子而言，設立邊坡坡度指標(Slope Index，簡寫為SI)代表邊坡坡度因子對邊坡崩塌之影響，評分方式以邊坡角度10度為最低標準，如表3-2-3所示。將坡度指標評分方式套用到清流溪集水區如圖3-2-6所示。

表 3-2-3 邊坡平均坡度之評分表

平均坡度	SI	平均坡度	SI
< 10°	1.0	30°~35°	6.0
10°~15°	2.0	35°~40°	7.0
15°~20°	3.0	40°~45°	8.0
20°~25°	4.0	45°~50°	9.0
25°~30°	5.0	> 50°	10.0

資料來源：經濟部水利署「水庫集水區崩塌地潛勢分析及崩塌土方量估算之研究」

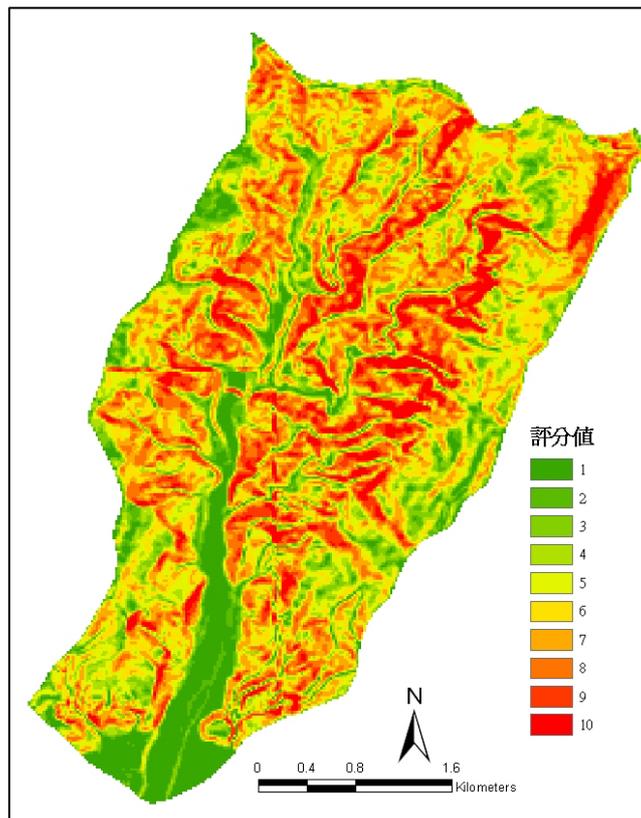


圖 3-2-6 清流溪集水區邊坡坡度指標評分值分佈圖

### 2.地質評估面(GI)

地質評估面上共選取地層種類、岩性種類及斷層分佈等三細部評估因子，評分給定方式如後分述。

#### (1)地層指標(GSI)

地層因子以嚴重致災區域之崩塌案例為依據，彙整各類地層引發崩塌地案例數，並估算該地層引發邊坡崩塌案例之崩壞比，代表該地層強度及引發邊坡崩塌之難易度，地質指標(Geological Stratum Index，簡寫為GSI)代表該地層於降雨事件中引發邊坡崩塌之難易性，其評分方式則以該地層崩壞比進行評分分數正規化，正規化後之評分分數皆為具兩位小數以上之評分分數，以四捨五入方式簡化評分分數，表3-2-4即為本計畫彙整清流溪集水區之921地震後、桃芝颱風後及七二水災後崩塌地地層種類分佈及地質指標進行評分，清流溪集水區地質指標評估因子評分值分佈圖如3-2-7所示。

表 3-2-4 清流溪集水區崩塌地地層種類之地質指標評分表

地層名稱	崩壞比(%)	GSI
白冷層梅子林段	13.49	10.00
階地堆積層	8.35	5.30
沖積層	4.02	1.35
白冷層裡冷段	3.64	1.00

資料來源：本計畫整理分析

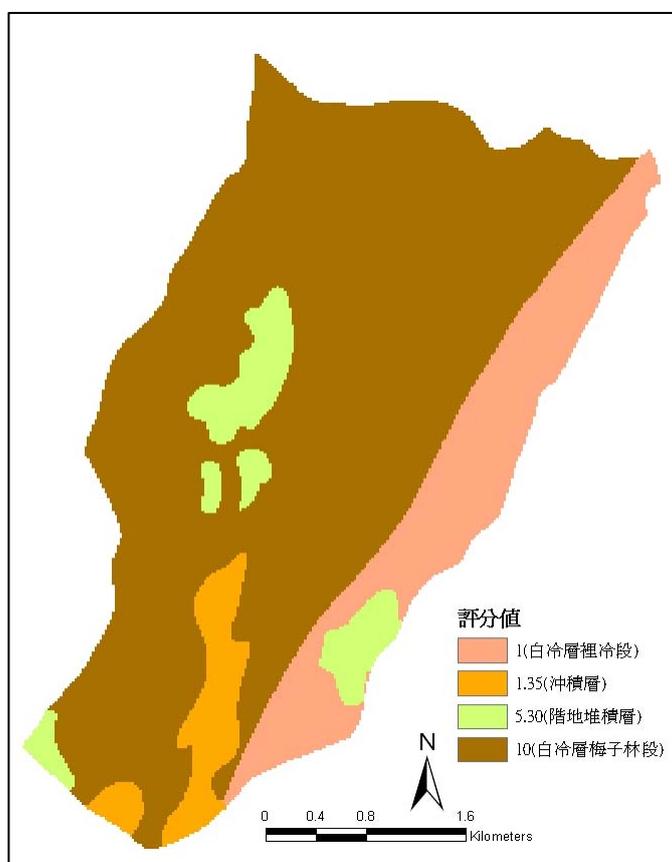


圖 3-2-7 清流溪集水區地層指標評估因子評分值分佈圖

(2)岩性指標(LI)

岩性因子彙整嚴重致災區域各類地層岩性引發崩塌地案例數，估算該岩性引發邊坡崩塌案例崩壞比，代表該岩性強度及引發邊坡崩塌難易度，岩性指標(Lithological Index，簡寫LI)代表該地層於降雨事件中引發邊坡崩塌難易性，其評分方式以該岩性崩壞比進行評分分數正規化，並以四捨五入方式簡化評分分數，表3-2-5即為彙整計畫區內之921地震後、桃芝颱風後及七二水災後崩塌地岩性種類分佈及岩性指標進行評分。清流溪集水區岩性指標評估因子評分值分佈圖如圖3-2-8所示。

表 3-2-5 清流溪集水區崩塌地岩性種類之地質指標評分表

岩性種類	崩壞比(%)	LI
厚層石英砂岩夾硬頁岩	13.49	10.00
礫石，砂及粘土	6.44	3.56
砂岩，板岩互層	3.64	1.00

資料來源：本計畫整理分析

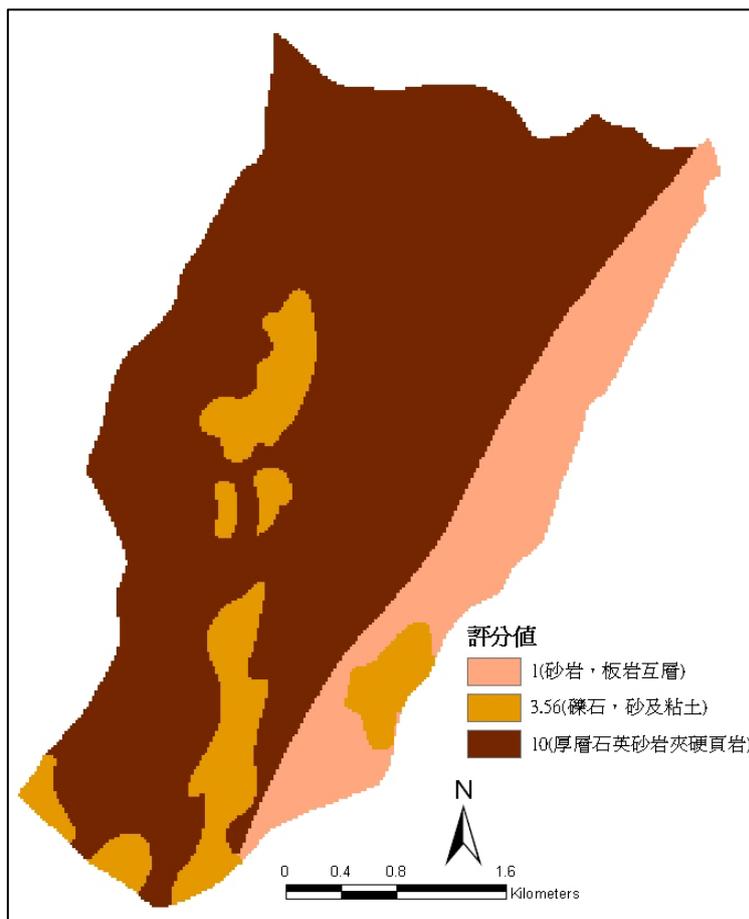


圖 3-2-8 清流溪集水區岩性指標評估因子評分值分佈圖

(3)斷層分佈指標(FDI)

斷層分佈指標(Fault Distribution Index，簡寫為FDI)以邊坡位置距離斷層遠近給予評分，距斷層越近則岩層破碎程度會越嚴重，給定評分越高，反之給定評分越低，評分標準如表3-2-6所示。清流溪集水區斷層分佈評估因子評分值分佈圖如圖3-2-9所示。

表 3-2-6 斷層分佈指標評分表

單位：m

邊坡與斷層之距離	FDI	邊坡與斷層之距離	FDI	邊坡與斷層之距離	FDI
<100	10.0	400~500	6.0	800~900	2.0
100~200	9.0	500~600	5.0	900~1000	1.0
200~300	8.0	600~700	4.0	>1000	0.0
300~400	7.0	700~800	3.0		

資料來源：本計畫整理分析

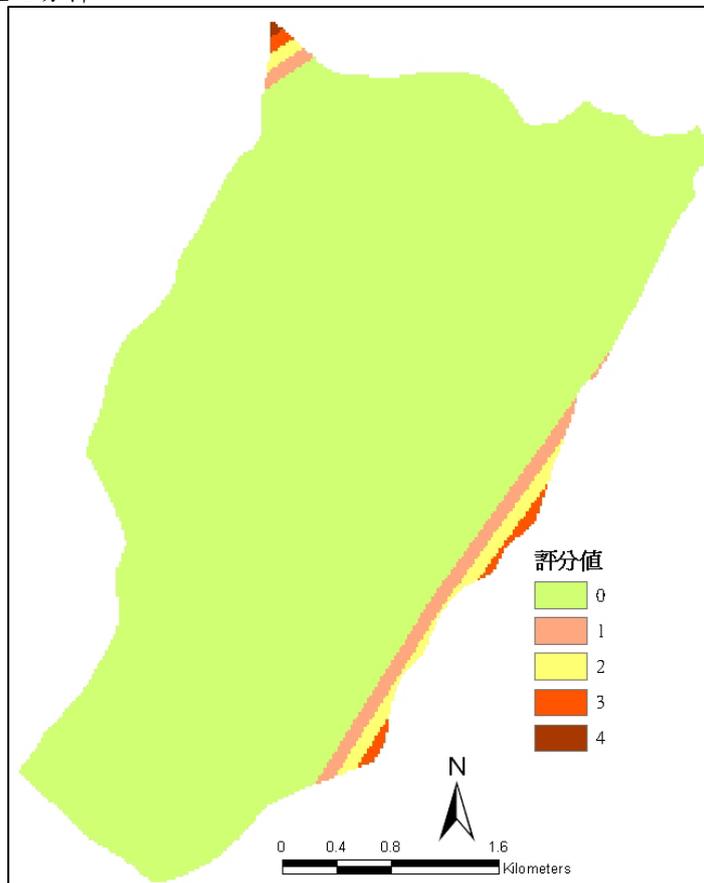


圖 3-2-9 清流溪集水區斷層指標評估因子評分值分佈圖

針對崩塌影響因子地質評估面選定地層種類、岩性及斷層分佈三因子為細部評估因子，上述給定各細部評估因子之評分標準，而地質指標之總評分即為上述三因子評分之平均值。清流溪集水區地質評估面評分值分佈圖如圖3-2-10所示。

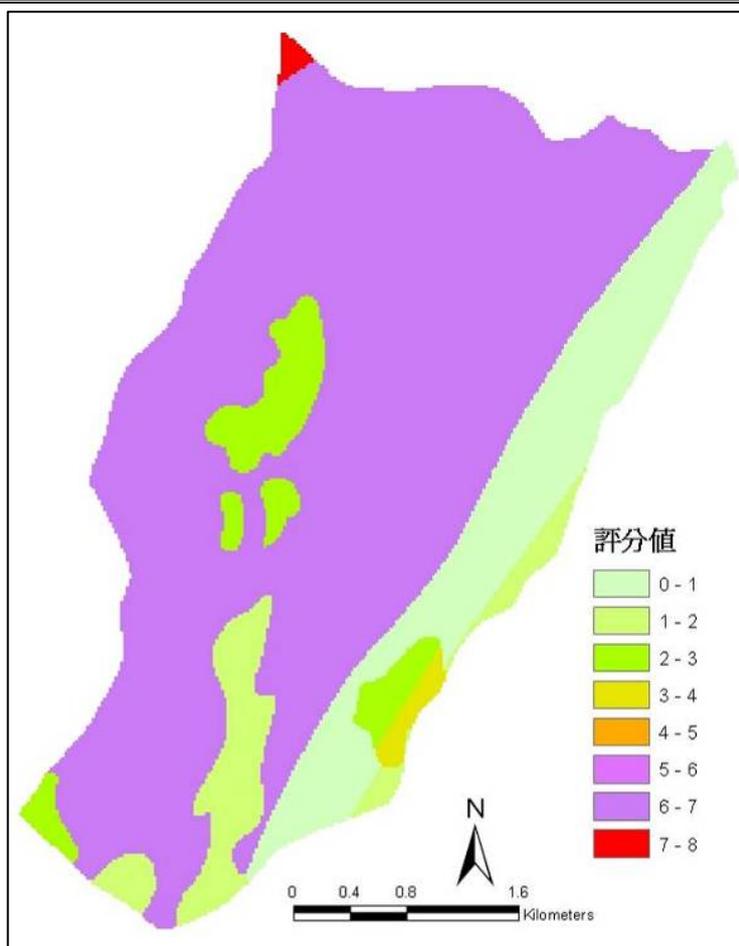


圖 3-2-10 清流溪集水區地質評估面評分值分佈圖

### 3. 水文評估面(HI)

水文評估面所重視的特性乃為邊坡土體水分滲透性對邊坡崩塌之影響，滲透性越慢之土壤，水分易在邊坡形成淤積並易引發淺層崩塌。滲透指標(Hydraulic Index, 簡寫為HI)代表不同種類之土壤滲透係數高低對邊坡崩塌造成之影響程度，評分方式如表3-2-7所示。清流溪集水區水文評估面評分值分佈圖如圖3-2-11所示。

表 3-2-7 不同土壤之滲透指標評分表(1/3)

編號	主要土壤種類	排水性	HCI
1	玄武岩石質土	良好	4.0
2	玄武岩暗色崩積土	良好	4.0
3	玄武岩淡色崩積土	尚可	6.0
4	玄武岩鹼性黃壤	良好	4.0
5	玄武岩酸性黃壤	良好	4.0
6	玄武岩紅壤	良好	4.0

資料來源：「水庫集水區崩塌地潛勢分析及崩塌土方量估算之研究」

表 3-2-7 不同土壤之滲透指標評分表(2/3)

編號	主要土壤種類	排水性	HCI
7	玄武岩黑色土	良好	4.0
8	火成岩石質土	良好	4.0
9	火成岩黑色土	良好	4.0
10	玢岩紅壤	良好	4.0
11	砂頁岩老沖積土	尚可	6.0
12	砂頁岩非石灰性新沖積土	尚可	6.0
13	砂頁岩含石灰結核新沖積土	尚可	6.0
14	砂頁岩石灰性新沖積土	不良	8.0
15	片岩石質土	良好	4.0
16	北部砂頁岩沖積土	不良	8.0
17	砂頁岩幼黃壤	良好	4.0
18	砂頁岩石質土	良好	4.0
19	砂頁岩暗色崩積土	良好	4.0
20	砂頁岩淡色崩積土	良好至尚可	5.0
21	砂頁岩黃壤	良好至尚可	5.0
22	石灰岩黃壤	良好	4.0
23	石灰岩紅壤	良好	4.0
24	泥岩石質土	不良	8.0
25	東北部片岩非石灰性沖積土	不良	8.0
26	東北部片岩石灰性沖積土	不良	8.0
27	片岩老沖積土	不良	8.0
28	片岩非石灰性新沖積土	不良	8.0
29	片岩石灰性新沖積土	尚可	6.0
30	片岩暗色崩積土	良好	4.0
31	片岩淡色崩積土	良好	4.0
32	片岩黃壤	良好	4.0
33	片岩紅壤	良好	4.0
34	東北部粘板岩非石灰性老沖積土	良好至尚可	5.0
35	東北部粘板岩石灰性老沖積土	尚可	6.0
36	東北部粘板岩非石灰性新沖積土	非常不良	10.0
37	東北部粘板岩石灰性新沖積土	不良	8.0
38	板岩石質土	良好	4.0
39	板岩暗色崩積土	良好	4.0
40	板岩淡色崩積土	良好	4.0

資料來源：「水庫集水區崩塌地潛勢分析及崩塌土方量估算之研究」

表 3-2-7 不同土壤之滲透指標評分表(3/3)

編號	主要土壤種類	排水性	HCI
41	板岩黃壤	良好	4.0
42	板岩紅壤	良好	4.0
43	海岸山脈母岩沖積土	尚可	6.0
44	火成岩泥岩混合淡色崩積土	尚可	6.0
45	火成岩泥岩混合黑色土	不良	8.0
46	砂頁岩泥岩混合石質土	良好	4.0
47	砂頁岩泥岩混合暗色崩積土	良好	4.0
48	砂頁岩泥岩混合淡色崩積土	良好	4.0
49	砂頁岩泥岩混合黃壤	尚可	6.0
50	洪積母質紅壤	良好	4.0
51	洪積母質黃壤	良好	4.0
52	洪積母質淡色崩積土	良好	4.0
53	紅壤母質沖積土	不良	8.0
54	低腐植質粘化土	不良	8.0
55	有機質土	非常不良	10.0
56	洪積物石灰岩混合黃壤	不良	8.0
57	洪積物砂頁岩混合黃壤	良好	4.0
58	砂頁岩石灰岩混合黃壤	良好	4.0

資料來源：「水庫集水區崩塌地潛勢分析及崩塌土方量估算之研究」

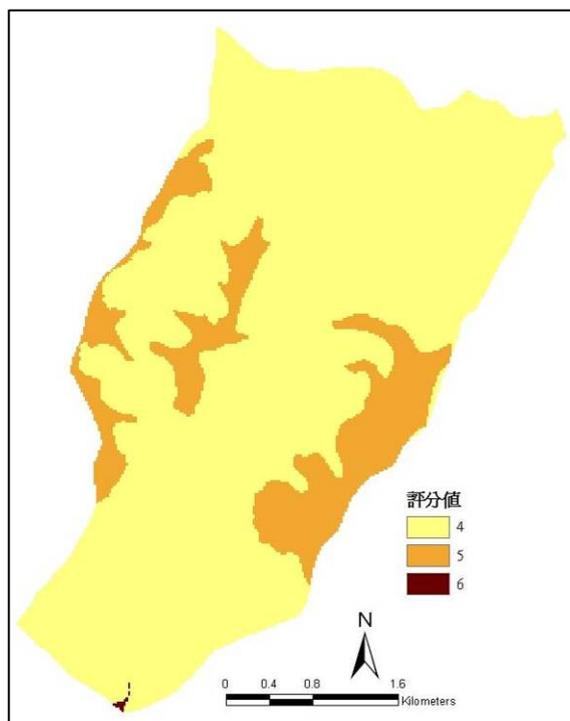


圖 3-2-11 清流溪集水區水文評估面評分值分佈圖

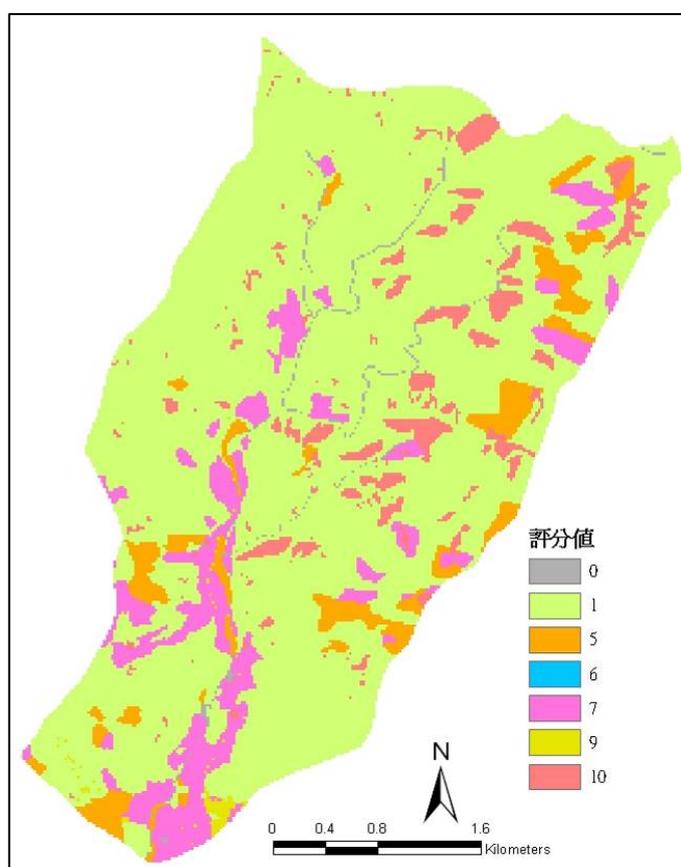
#### 4. 植被評估面(VI)

植被評估面之重視特性乃為地表植被的差異導致該邊坡塊體引發崩塌之難易度，故以植被指標(Vegetation Index，簡寫為VI)代表植被評估面對邊坡崩塌之影響，植被指標細部評估表如表3-2-8所示。清流溪集水區植被評估面評分值分佈圖如圖3-2-12所示。

**表 3-2-8 植被指標細部評估表**

分類	植被種類	VI
林地	繁密之針葉林、闊葉林	1
	稀疏之針葉林、闊葉林	2
	未成年之樹叢、竹林	3
草生地	百喜草、高爾夫球場	4
	高度小於 50 公分之雜草地	5
農墾地	檳榔、香蕉、茶園、水稻、牧草地	6
	柑橘、果樹、特有作物、鳳梨	7
	雜作、花生、玉米、高山蔬菜	8
人為用地	水泥地、瀝青地、建屋用地、雜石地	9
裸露地		10

資料來源：「水庫集水區崩塌地潛勢分析及崩塌土方量估算之研究」



**圖 3-2-12 清流溪集水區植被評估面評分值分佈圖**

### 5.道路開發評估面(RDI)

山坡地開發一直是山坡地土砂災害主要促發原因，且以切坡角之道路開發對邊坡穩定影響最大，道路開發促使邊坡坡趾不穩定而影響上方塊體之穩定性，極易造成邊坡坍方或路基流失，由於邊坡崩塌是否受道路開發之影響，主要在於該邊坡與道路開發之距離遠近而定，給定道路開發之影響範圍以100公尺為界，並以道路開發指標(Road Development Index, 簡寫為RDI)代表道路開發於降雨事件中引發邊坡崩塌之難易性，評分標準如表3-2-9所示。清流溪集水區道路開發評估面評分值分佈如圖3-2-13所示。

表 3-2-9 道路開發指標評估分數表

人為開發狀況	RDI
評估點 100 公尺內有道路開發	10
評估點 100 公尺內沒有道路開發	0

資料來源：「水庫集水區崩塌地潛勢分析及崩塌土方量估算之研究」

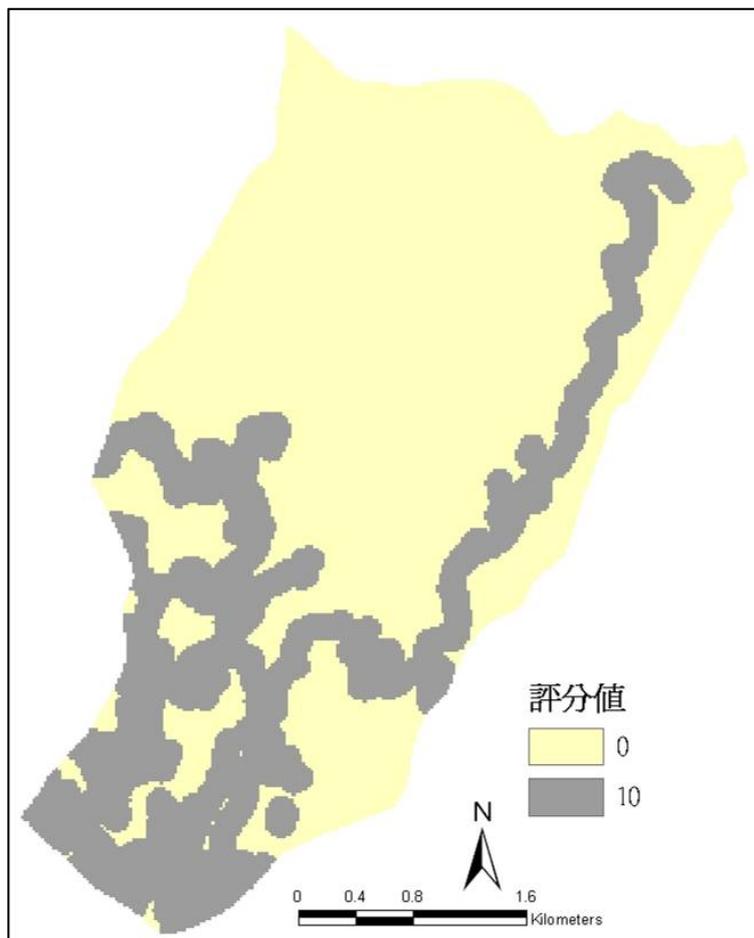


圖 3-2-13 清流溪集水區道路開發評估面評分值分佈圖

## 6. 邊坡狀態評估面(RI)

崩塌續發評估因子(Reoccurrence Index, 簡寫為RI)代表邊坡過往崩塌歷史對該邊坡往後於降雨事件引發崩塌潛勢之影響，評分如表3-2-10所示。清流溪集水區邊坡狀態評估面評分值分佈圖如圖3-2-14所示。

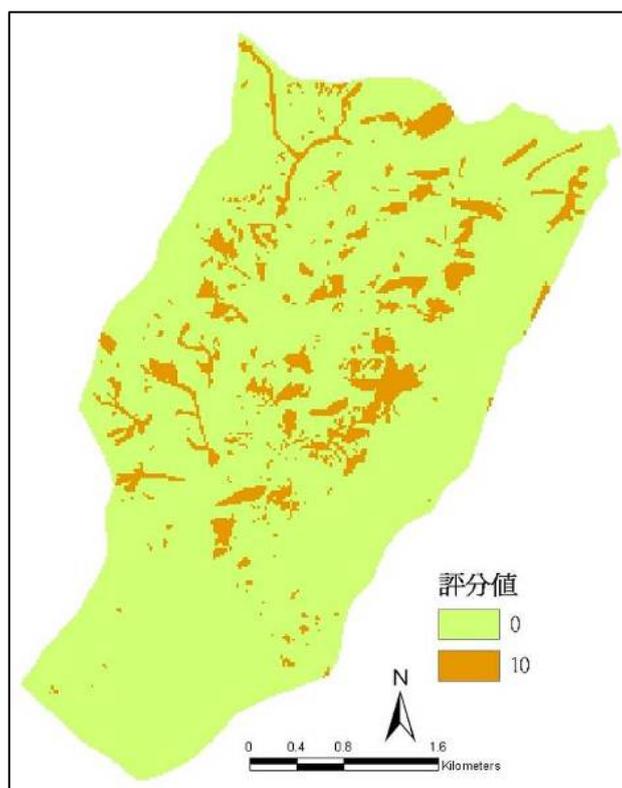


圖 3-2-14 清流溪集水區邊坡狀態評估面評分值分佈圖

表 3-2-10 崩塌續發評估面評估表

過往崩塌情況	RI
該處過往未曾發生過任何崩塌事件	0
該處過往曾發生崩塌事件	10

資料來源：「水庫集水區崩塌地潛勢分析及崩塌土方量估算之研究」

清流溪集水區以上述六項評估面各細部評估因子給定評分後，各評估面各因子之評分值累積即為清流溪集水區未降雨未地震之自然情況下崩塌潛勢評估分佈，將評分值區間等分為3區間，即為未降雨未地震之自然情況下之低、中及高崩塌潛勢，詳見圖3-2-15。

清流溪集水區共有19.25%面積位於低崩塌潛勢區位(評分值小於3.11)，主要分佈於計畫區東側區位，因為此區位地層大多為白冷層裡冷段，崩壞比為3.64%、地層指標GSI/評分為1，且岩性為砂岩、板岩

互層，崩壞比3.64%、岩性指標 $L$ 評分為1，故地質評估面( $G$ )評分分佈於0~1，另邊坡狀態評估面( $R$ )亦過往較少發生崩塌事件( $R$ 評分為0)，故降低了發生崩塌之潛勢；計畫區57.19%面積位於中潛勢崩塌區位(評分值介於3.11~4.58)，大多分佈於集水區中上游，此區位地層主要為白冷層梅子林段與階地堆積層，崩壞比13.49%與8.35%、地層指標評分為5.30~10分，且岩性為厚層石英砂岩夾硬頁岩及礫石、砂及粘土，崩壞比13.49%與6.44%、岩性指標 $L$ 評分為10、3.56，故地質評估面( $G$ )評分提高於5~8，而植被評估面( $V$ )及道路開發評估面( $RDI$ )影響較小，其提高崩塌可能發生性為中崩塌潛勢；計畫區23.56%面積位於高潛勢崩塌區位(評分值大於4.58)，主要分佈於計畫區西側中下游，除地質評估面影響外( $G$ 評分5~8)，道路開發(道路開發評估面 $RDI$ 為10)、地表土地利用(植被評估面 $V$ 為7~10)與921地震後形成之崩塌地(邊坡狀態評估面 $R$ 為10)容易引起崩塌或再次發生崩塌，因而提高了崩塌潛勢，故區內高崩塌潛勢主要分佈於集水區道路旁及人為利用頻繁或裸露區位。

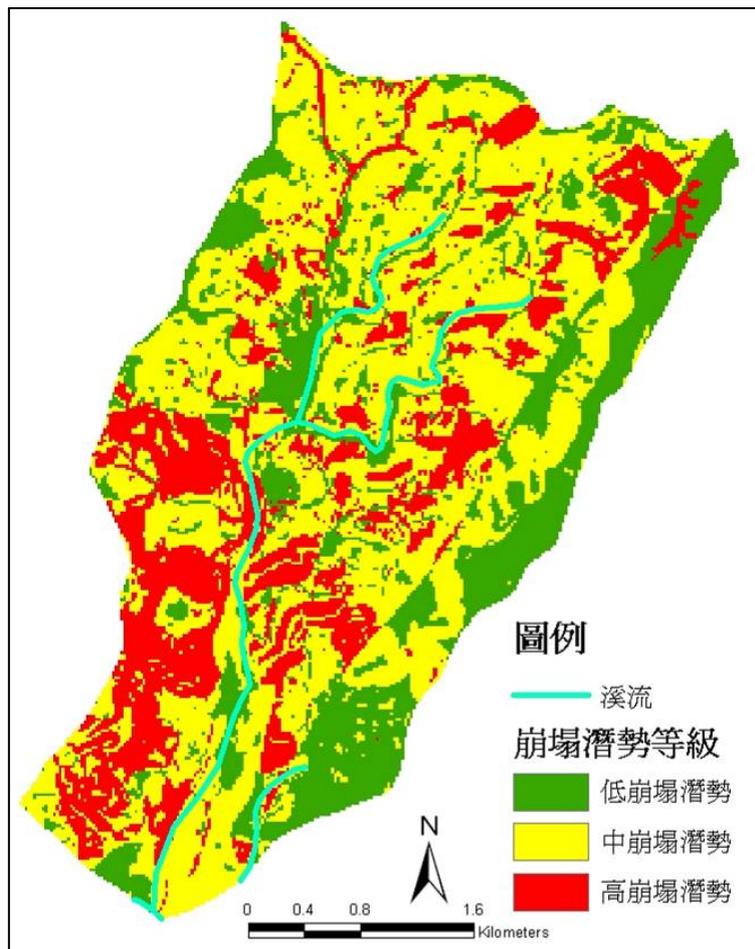


圖 3-2-15 清流溪集水區自然情況崩塌潛勢圖

## 二、降雨情況崩塌潛勢評估

降雨乃為明顯之崩塌誘發作用因子，以降雨量之特性參數而言，涵蓋範圍包含臨前降雨及降雨事件降雨量。所謂臨前降雨係指考慮某降雨事件時，該降雨事件發生前之降雨量，此類臨前降雨在降雨事件發生前便對該研究區之邊坡及流域產生濕潤現象，就邊坡崩塌現象而言，邊坡塊體於降雨事件發生前之土壤濕潤狀態相當重要，此值也影響該邊坡塊體在承受多少降雨量便能引發邊坡崩塌之門檻值，此類降雨前之邊坡塊體之濕潤狀態可以臨前降雨指標(Antecedent Rainfall Index, 簡寫為ARI)代表降雨事件前之臨前降雨量對邊坡崩塌現象之影響，評分方式如(3.4)式所示。

$$ARI = \sum_{n=1}^{10} 0.85^n \times (0.8 \times R_n) = 0.85 \times 0.8 \times R_1 + 0.85^2 \times 0.8 \times R_2 + \dots + 0.85^{10} \times 0.8 \times R_{10} \quad (3.4)$$

於上式中， $R_n$ 代表降雨事件前 $n$ 天之雨量(單位：mm)。在目前尚未有研究定論降雨影響崩塌程度與其他因子影響崩塌程度之比較前，假設「降雨因子對邊坡崩塌影響程度等同於其他評估面之影響程度」，設立降雨衝擊因子(rainfall impact index, 簡寫為RII)代表降雨事件對邊坡崩塌之誘發特性評估分數，評分方式如(3.5)式所示，式中之 $R$ 代表降雨事件之累積降雨量(單位：mm)，故建構之降雨事件崩塌潛勢評估模式之評分方式則如(3.6)式所示。

$$RII = \log(ARI + R) \dots\dots\dots (3.5)$$

$$\text{降雨事件之崩塌潛勢評估模式評估值} = \frac{RII}{(\text{降雨誘發因子影響})} \times \text{自然情況邊坡崩塌潛勢評估值} \quad (3.6)$$

依「水庫集水區崩塌地潛勢分析及崩塌土方量估算之研究」(陳樹群，2006)中對降雨引發崩塌門檻值之推求結果，可將清流溪集水區自然情況崩塌潛勢評估值套疊上降雨誘發因子，以四個區段來代表該邊坡可能發生崩塌現象之潛勢，以瞭解清流溪集水區在未來面臨降雨事件發生時，降雨量多寡與可能發生崩塌之位置關係，茲將此四區段分述如下：

1. 未達最低門檻值：代表該邊坡在降雨情況下之崩塌潛勢評估值未達蒐集過往邊坡崩塌案例之最小降雨情況崩塌潛勢評估值(評估值8.93)。
2. 低崩塌潛勢區：代表該邊坡在降雨情況下之崩塌潛勢評估值，介於蒐

集過往邊坡崩塌案例之最小降雨情況崩塌潛勢評估值(評估值8.93)至平均崩塌門檻值減標準偏差之間(評估值10)。

3. 中崩塌潛勢區：代表該邊坡在降雨情況下之崩塌潛勢評估值，介於蒐集過往邊坡崩塌案例之平均值加減一個標準偏差之間(評估值10~12)。
4. 高崩塌潛勢區：代表該邊坡在降雨情況下之崩塌潛勢評估值，大於過往邊坡崩塌案例之平均值加標準偏差以上評估值(評估值12)。

本計畫以逐次加多降雨效應值反應清流溪集水區在邊坡崩塌現象出現的趨勢及時間早晚，表3-2-11為清流溪集水區於不同降雨效應下之各分區所佔百分比，圖3-2-16至圖3-2-21則為清流溪集水區依降雨效應值不同而給定之崩塌潛勢評估值分佈圖。

由圖3-2-15在降雨效應100mm影響下，清流溪集水區已有16.8%面積達中、高崩塌潛勢區域，74.22%面積位於未達最低門檻值區域，高崩塌潛勢區域主要集中於集水區上游左支流區位，在降雨效應影響較不強烈下，除地形坡度(邊坡坡度指標評分10)、地質狀態(地層及岩性指標評分10)影響外，也因多處既有崩塌地(崩塌續發評估因子10)使上游左支流區域邊坡有較高之崩塌潛勢。

在降雨效應100mm至500mm之間，清流溪集水區崩塌潛勢評估值進入中高崩塌潛勢區之面積增多，而未達最低門檻值區域面積由降雨效應100mm時之74.22%降低至降雨效應500mm之32.91%，其中之中高崩塌潛勢區域面積由原先降雨效應100mm時之16.8%增加至降雨效應500mm時之47.4%，除原先於集水區上游左支流區域之中高崩塌潛勢面積增加外，主要中高潛勢崩塌區增加於集水區西側中下游區位，探討其原因，雖然西側中下游區域地勢較為平緩，但其道路開發影響範圍大(道路開發指標評分10)，加上人為土地利用較為頻繁(植被指標細部評分6~10)，在相同地質條件不佳下，此區域邊坡崩塌潛勢在此段降雨效應下上升極快。

降雨效應500mm至600mm之間，清流溪集水區崩塌潛勢評估值進入中高崩塌潛勢區之面積趨緩，由原來降雨效應500mm之47.4%增為降雨效應600mm之56%，中高崩塌潛勢區增加範圍以原先中崩塌潛勢區提

高為高崩塌潛勢區或以高崩塌潛勢區位範圍擴大為主。

本計畫於風災過後(97年9月底)赴現地調查結果，比對模擬分析結果與現地狀況發現，主流集水分區下游右岸高崩塌潛勢區位均有坡面大量土石下移堆置路面或蝕溝土石扇狀堆積現象，另眉原溪西寶橋上下游兩岸邊坡高潛勢區位，已崩塌地範圍亦有再次發生崩塌情形，危及下方西寶橋通行，符合本計畫崩塌潛勢模擬分析結果。

表 3-2-11 清流溪集水區不同降雨效應下各分區所佔面積百分比表

降雨效應	未達最低門檻值 (%)	低崩塌潛勢區 (%)	中崩塌潛勢區 (%)	高崩塌潛勢區 (%)
降雨效應 100mm	74.22	8.98	11.63	5.17
降雨效應 200mm	61.07	12.62	13.20	13.11
降雨效應 300mm	44.00	23.24	12.55	20.21
降雨效應 400mm	34.61	26.42	15.82	23.15
降雨效應 500mm	32.91	19.69	21.49	25.91
降雨效應 600mm	25.72	18.28	28.51	27.49

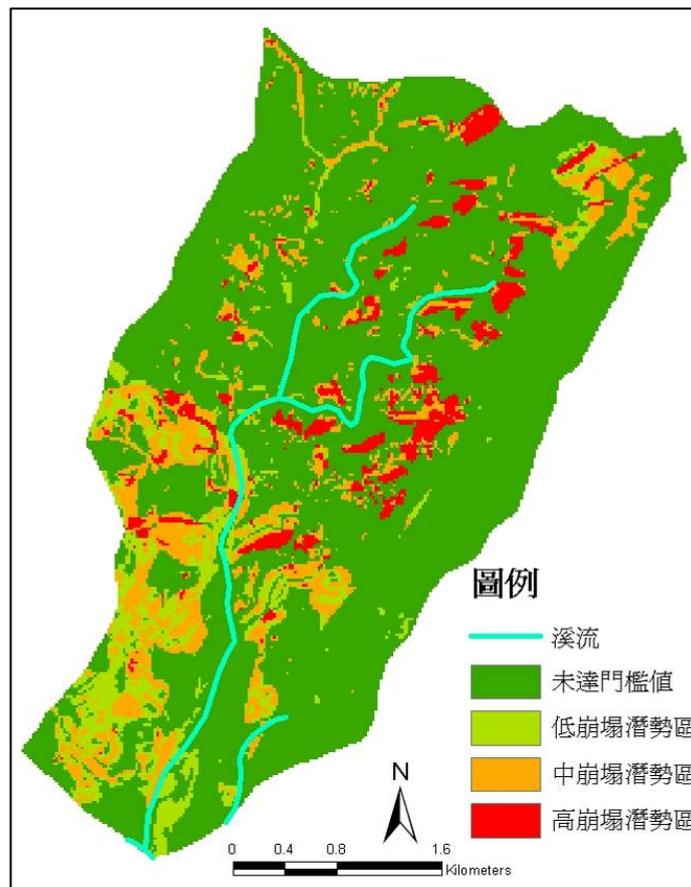


圖 3-2-16 降雨效應 100mm 崩塌潛勢圖

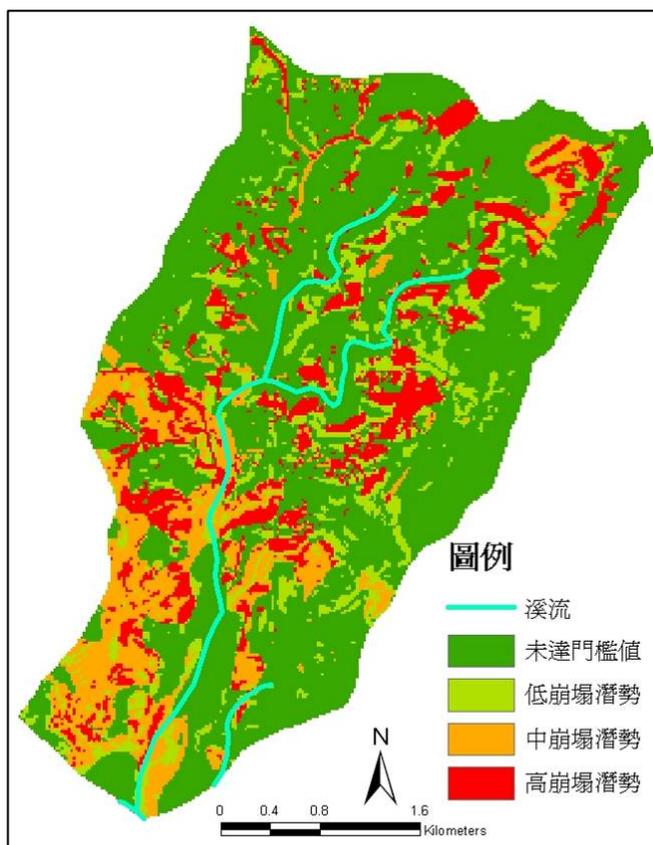


圖 3-2-17 降雨效應 200mm 崩塌潛勢圖

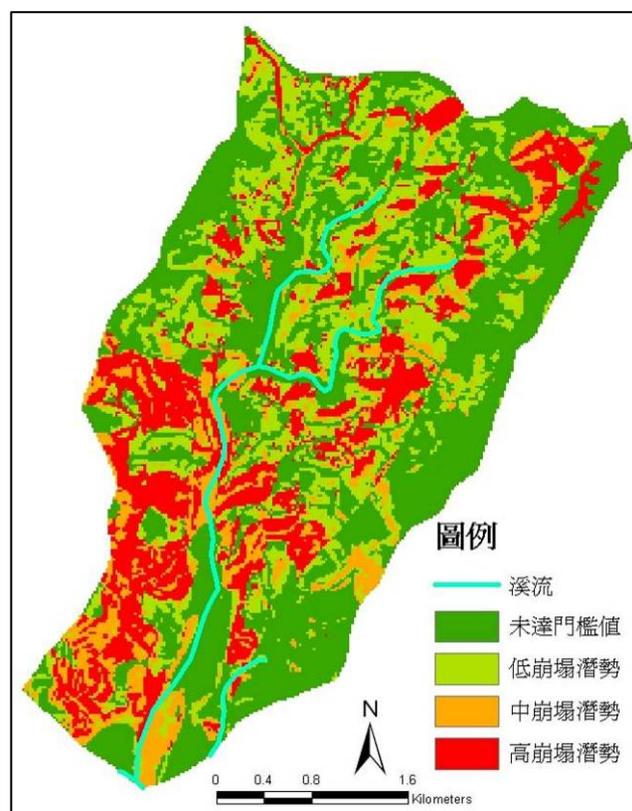


圖 3-2-18 降雨效應 300mm 崩塌潛勢圖

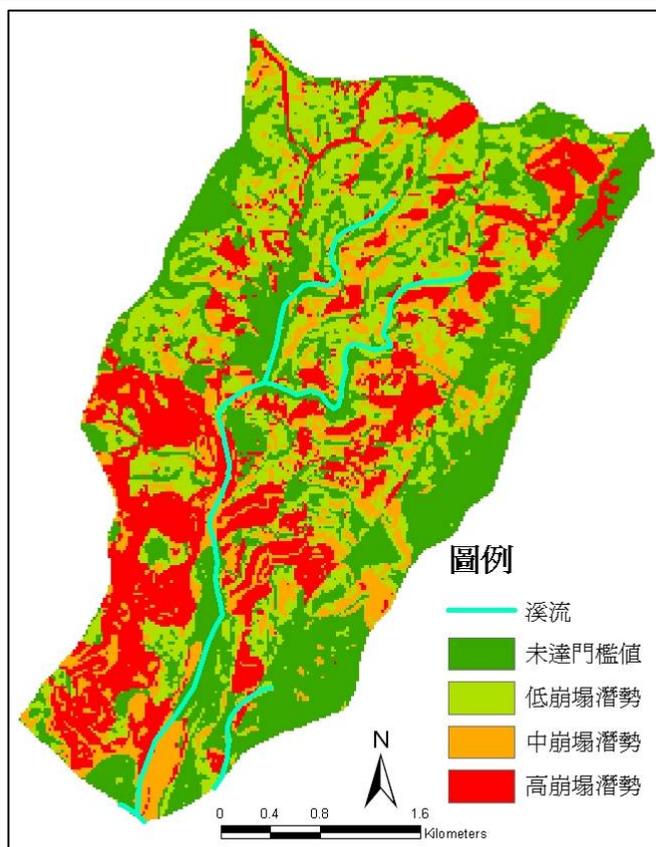


圖 3-2-19 降雨效應 400mm 崩塌潛勢圖

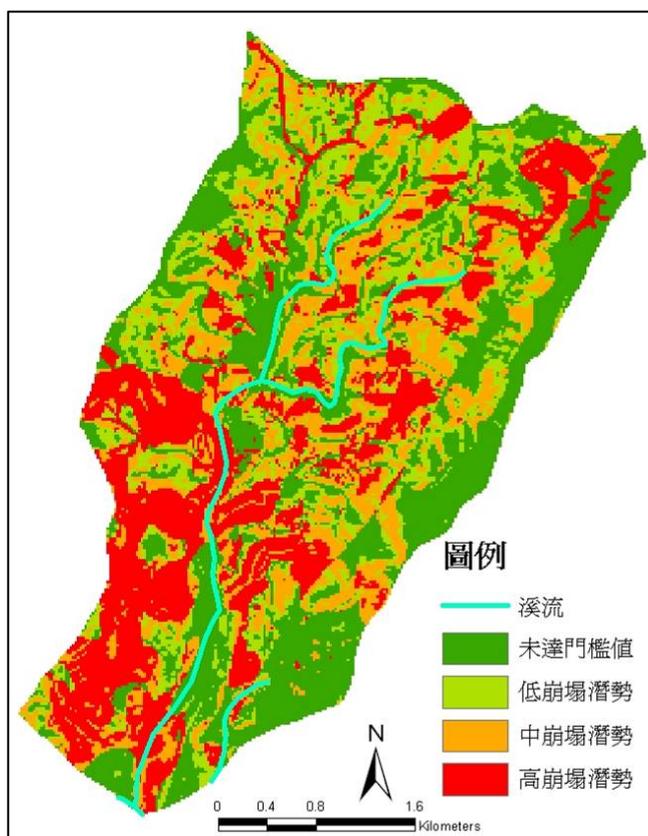


圖 3-2-20 降雨效應 500mm 崩塌潛勢圖

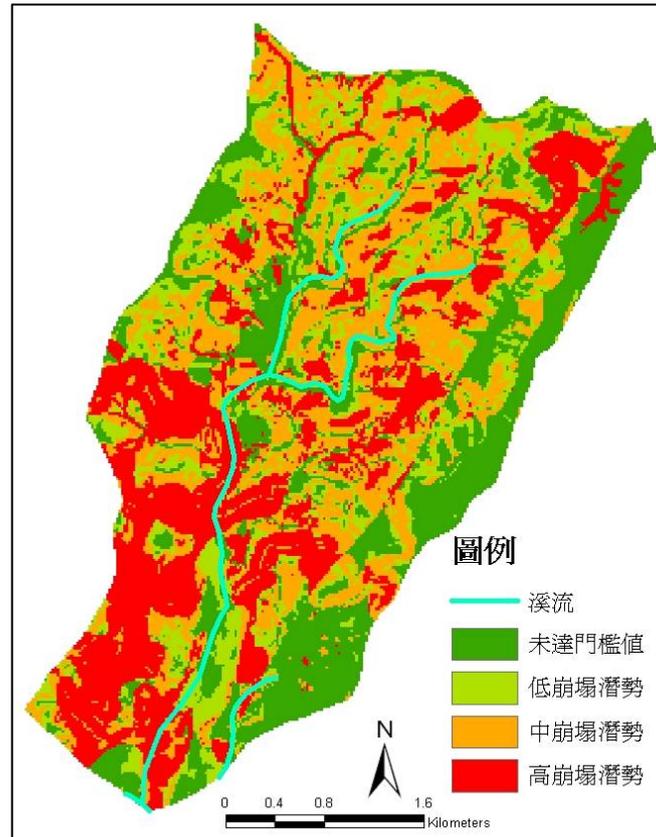


圖 3-2-21 降雨效應 600mm 崩塌潛勢圖

### 3-3 道路水土保持

#### 一、調查流程

計畫區內主要道路為投80線、區內道路及聯絡道等，近年來清流部落經管理機關(水保局、南投縣政府、鄉公所、原民會等)進行道路整治維護尚屬完善，惟集水區眉原溪中游左右岸區內道路為混凝土路面、眉原山系道路為碎石路面。現況坡面截排水系統並不完善，坡面逕流直接下沖道路，破壞道路鋪面或淘空路基，影響區內交通；上游部分河段未施設護岸處，因洪水沖刷及土石侵蝕而造成道路坍塌，建議人為開發利用頻繁區域加鋪路面、增設L型側溝或混凝土排水溝，改善路面排水，避免地表逕流漫流導致路面淘刷損壞，河岸旁道路配合施設護岸保護，調查流程如圖3-3-1，集水區道路現地調查詳附錄六。

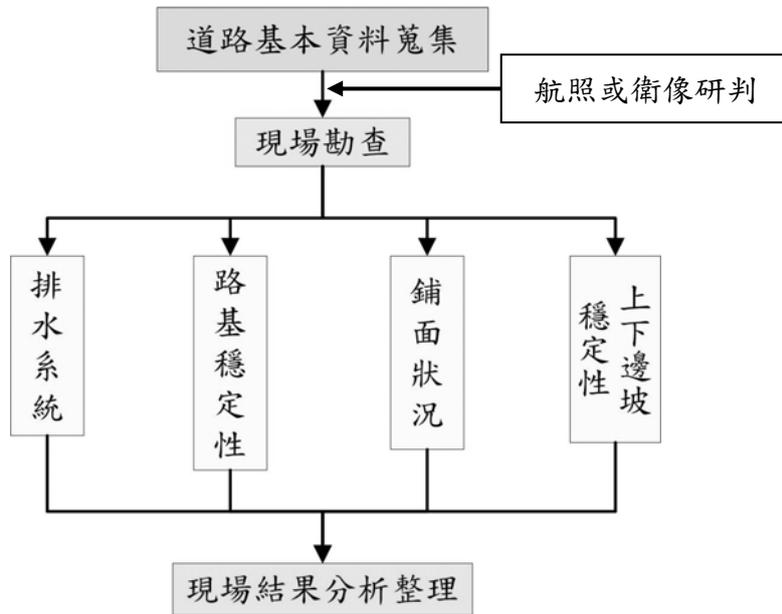


圖 3-3-1 道路調查流程圖

## 二、現況調查

本計畫區中之道路均為區內道路，主要分佈於清流部落周邊，右側道路沿山系通行至上游眉原山，為清流部落村民從事農耕及運送作物的主要道路，道路系統如圖3-3-2，分述如下：

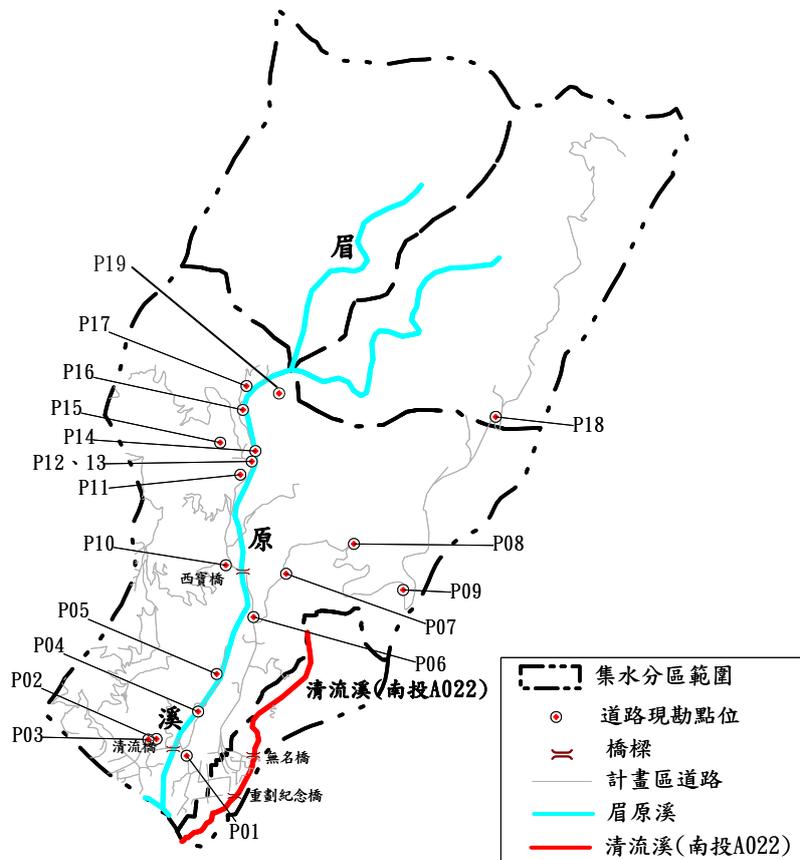


圖 3-3-2 清流溪等集水區道路系統及現勘點位圖

(一)眉原溪兩岸道路系統

計畫區道路系統主要位於主流兩側，受卡玫基、辛樂克等多次風災後，道路損壞原因有：1.眉原溪旁道路路基淘空流失；2.野溪與眉原溪匯流處土砂大量下移沖毀道路；3.護岸基礎流失造成堤頂道路損壞。



(二)上游坡地道路系統

集水區上游道路僅有左支流集水分區聯絡道，其人為開發利用頻繁，道路開闢造成邊坡不穩定，多處未設置水土保持設施，每遇颱風豪雨造成坡面崩塌、道路損壞，風災後道路損壞原因：1.坑溝野溪土砂大量下移破壞路面；2.眉原溪兩岸坡地因人為開發導致崩塌影響下方道路通行；3.道路側無排水設施，造成地表逕流漫淹。





表 3-3-1 清流溪等集水區道路現地調查表

編號	縣市	鄉鎮	村里	集水區	位置	參考座標		破壞類型	破壞長度 (m)	現況描述
						X座標	Y座標			
P01	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	眉原溪-清流橋	244023	2662982	路基毀損		河寬50.0m土砂淤積嚴重4.0m，清流橋與道路銜接掏空損壞，下游左岸攻擊波處無護岸保護，風災造成農地流失，原堆砌岸際之塊石流失，下游右岸既設護岸損壞流失置於河床中，上游右岸原疏濬土砂堆置下移1/3，兩岸農地流失嚴重。
P02	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	眉原溪清流橋西北側150m	243783	2663116	路基毀損		天然林相，路寬4m，道路上下邊坡開發造成邊坡裸露，崩塌潛勢高，道路周邊危木多，影響通行
P03	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	眉原溪清流橋西北側200m	243718	2663111	路基毀損		上邊坡寬3m、深1.5m既設管涵出露(φ60cm)長度500m，過水路面埋設(φ60cm)管涵無常流水，有一沖刷坑深1m，下邊坡長寬2m，平均坡降20%，粒徑30-40cm，道路損壞因土砂下移，下游施設排水溝
P04	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	眉原溪右岸清流橋上游380m	244115	2663335	路基毀損	80	河寬40.0m右岸四岸處為一攻擊坡造成道路路基掏空，河床淤積嚴重損壞長度約80.0m(終點244132、2663390)
P05	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	野溪01-03匯流口下游	244262	2663636	路基毀損、土砂掩埋		路寬3.0m部分為眉原溪右岸，路基損壞部分為野溪01及03土砂下移掩埋路面
P06	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	眉原溪左岸西寶橋下游370m	244555	2664092	土砂掩埋		路寬3.0m道路兩側無排水設施，上邊坡土砂下移造成路面土砂淤積嚴重，影響道路通行
P07	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	野溪-02下游	244814	2664439	路基毀損		河寬3.0m平均坡降30%，平均粒徑40-50cm土砂下移過水路面埋設2支直徑120cm管涵下游有一沖刷坑河床淤積1.0m
P08	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	眉原溪左岸西寶橋東側900m	245352	2664678	邊坡崩塌		寬3m、高5m、覆土深1m，道路上方崩塌地
P09	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	眉原溪西寶橋東側1300m	245744	2664309	土砂掩埋		寬度2m平均粒徑30-40cm，上游為天然岩盤、土砂下移堆置於過水路面
P10	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	西寶橋-野溪04旁	244335	2664507	路基毀損		上邊坡管涵淤塞水漫流路面，沖刷下邊坡
P11	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	眉原溪西寶橋右岸上游800m	244450	2665232	路基毀損	100	路寬4m，位於眉原溪西寶橋凹岸處，路基掏空損壞長100m
P12 P13	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	清流枝野溪75旁	244541	2665338			左岸道路為碎石路面
P14	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	眉原溪右岸西寶橋上游1000m	244570	2665422	路基毀損、路面破碎	250	路寬4m，道路崩塌路基掏空250m，右岸護岸出露位於眉原溪左岸攻擊波處
P15	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	清流枝75野溪上游	244290	2665489	路面破碎	150	清流枝75野溪上游河寬4m、平均坡降30%、平均粒徑60-70cm左岸漿砌石基礎掏空150m，部分護岸背填土流失，左岸道路為碎石路面，上游防砂壩基礎掏空外露，右岸壩翼出露損壞嚴重，右岸有一崩塌地。
P16	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	匯流口旁	244470	2665751	路基毀損	20	匯流口農地流失原有道路損壞20m、原埋設過水路面管涵因路基掏空外露
P17	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	眉原溪野溪08	244499	2665942	邊坡崩塌	80	右支流上游既設護岸損壞(右岸)堆置於河道中，平均坡降40%，平均粒徑50-60cm，原護岸上方道路因坡腳損壞造成崩塌，崩塌地寬30m、高3m、覆土2m，護岸損壞80m
P18	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	別毛山西北側570m	246480	2665696			碎石路面
P19	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	上游左、右支流匯流口下游	244700	2666010	道路開闢		新開闢道路，上、下邊坡裸露，無施設任何水土保持設施

資料來源：本計畫整理

### 三、問題分析

經過現地調查，本計畫區道路之問題分析，可歸納為下列幾點，分述如下：

- (一)眉原溪上游地質屬白冷層，河岸側向解理發達；另眉原斷層從本計畫東南側通過岩體破碎，上游土砂大量下移，道路位於凹岸攻擊坡處路基淘空流失損壞；清流橋處因眉原溪土砂下移河道側向侵蝕嚴重，於辛樂克風災後橋台處路基流失道路中斷。
- (二)本計畫區內野溪坑溝坡度較陡，豪雨時水流常順野溪坑溝急洩而下，直接沖擊路面造成路面破損，或使道路排水系統無法容納瞬間之洪水量而溢流，影響交通，經坡面水流挾帶下之土砂造成排水系統堵塞，造成溢淹。
- (三)計畫區內道路排水系統除清流部落內較為完善外，其餘道路皆屬產業道路，道路側無排水設施，當雨季時易造成地表逕流漫淹切割道路路面，淘刷道路基礎。
- (四)計畫區內道路邊坡多處種植植淺根性作物或果樹，如檳榔、梅樹及果樹等根系不發達或植栽間距大之經濟作物，固地力較差，道路邊坡土壤較易流失，影響路面安全

### 3-4 坡地水土保持

#### 一、調查流程

本計畫坡地水土保持工作，將針對山坡地範圍農地進行現場勘查予以確認，並供後續治理計畫之參考，其現場調查重點如下：

- (一)坡地水土保持設施：是否施設山邊溝、平台階段。
- (二)排水設施：是否可達安全排水。
- (三)園內道路：農路、園內道、山邊溝或作業道，是否建立完整銜接體系，排水系統與園內道路交會處是否有過水路面處理或埋設函管。
- (四)地表覆蓋或敷蓋：有無植生、覆(敷)蓋程度及種類。
- (五)園內土地利用情形：宜林地、不安定土地(崩塌地、蝕溝)。

## 二、現況調查

本計畫區坡地種植主要以果園(梅樹、香蕉、蕃茄及檳榔)為主，果園面積約為135.62公頃(含香蕉園約佔集水區面積8%)，坡地雖設有平台階段等簡易設施，但仍缺乏完善排水設施，多處農地坡度過陡，易形成災害，建議加強辦理坡頂截水溝、縱向排水溝、農地截水系統及擋土設施。而計畫區內林業事業區主要分佈在計畫區北側，包含埔里事業區第31~32林班、34~38林班及八仙山事業區第120、134與第136~137林班等事業區。

經現場調查計畫區溪流兩岸以自然植被為主，部分為果樹種植(梅樹、香蕉)，計畫區內坡地水土保持包括農地水土保持及林地水土保持，現調查如下所述(詳圖3-4-1、表3-4-1)：

- (一)計畫區內坡面農墾地多為鬆散之崩積土層，且坡地多種植梅子、香蕉及檳榔等經濟作物，還有蕃茄及瓜類等淺根性植物，雖然部分坡地坡腳設有石牆保護及設置平台階段等簡易設施，但仍缺乏完善排水設施，且多處農地坡度過陡，一旦暴雨時期，逕流流速過快，坡面沖蝕嚴重，易形成災害，其中主流集水分區溪流兩岸及左支流集水分區坡面較為顯著。
- (二)計畫區自然環境面積約佔計畫區面積之88.63%，約1,513.04公頃，多分佈於山坡地與林班地之範圍內，多為闊葉針葉混合林，具有減少逕流與增加水資源涵養之作用。





圖 3-4-1 清流溪等集水區坡地水土保持現地調查位置圖

表 3-4-1 坡地現勘一覽表

編號	縣市	鄉鎮	村里	集水區	參考座標		位置	現況描述
					X	Y		
S1	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244423	2662682	重劃紀念橋旁	水稻耕作，現況良好
S2	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244350	2665848	清流枝75野溪旁蝕溝上游坡地	種植果樹、坡地排水不良
S3	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	245248	2664650	眉原溪左岸西寶橋東側800m-檳榔園	檳榔園，坡地水保、排水不良
S4	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	246276	2665369	別毛山西北側500m	種植番茄、施設階段平台、農塘
S5	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	246788	2666303	別毛山北側1200m-埔里事業區38林班地	伐木作業
S6	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244770	2666150	右支流上游	種植果樹、坡面道路排水不良，邊坡崩塌
S7	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244350	2664520	眉原溪清流橋上游右岸	野溪01、02下方坡面果園，沖蝕嚴重、土壤流失
S8	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	244090	2663500	眉原溪西寶橋下游右岸	野溪04右岸及下方果園，河岸崩塌、沖蝕嚴重

資料來源：本計畫整理

### 三、問題分析

#### (一) 檳榔

計畫區內檳榔種植多集中於上游左支流集水分區之山坡地，由於檳榔栽植前之整地，地表擾動嚴重，植生破壞，降雨易產生逕流與沖蝕，且耕作之第二年所產生的土壤流失要比第一年嚴重，故大多發生於新植檳榔前的整地期及檳榔幼齡期，此外如果除草工作結束後即遇上大雨，則土壤沖蝕會更為驚人。



檳榔除了樹本身對土壤沖蝕防治效果不彰之外，農民常利用重機械於坡地全面淨耕墾植，或勤於施肥除草，用殺草劑清除檳榔林下雜草，破壞地表植生，在植株樹冠未長成前，降雨之截留量小，地表逕流沖蝕量大。

參考中研院檳榔問題研討會(1998)及張文詔(1997)於屏東科技大學坡度 $34^\circ$ 之陡坡地檳榔園試區觀測(詳見表3-4-2)，於民國83~86年間檳榔淨耕區平均每年之沖蝕量達262.2公噸/公頃(換算土壤深度為18.7mm)，而裸露地對照區為425.0公噸/公頃，自然植生覆蓋檳榔園為149.2公噸/公頃(如表3-4-2)；換言之，陡坡淨耕之檳榔園在沒有其他植生覆蓋保護下之沖蝕情況相當嚴重，且土壤流失所產生的泥砂亦造成下游之災害與損失(即社會成本)，故檳榔樹下種植百喜草全園植生覆蓋，是防止土壤沖蝕之有效方法。

#### (二) 果園

計畫區內常見的果園種植種類除梅子外，大多香蕉、蕃茄等淺根性植物，根據現況調查成果，真正



實行果園覆蓋或敷蓋工作之果園著實不少，經現勘調查發現本計畫區於清流部落周邊農地，其地勢平坦且農民施設平台階段耕種，狀況大致良好；但於上游坡地部分由於地勢陡峻絕大多數實行等高耕作、施設山邊

溝或平台階段之果園並不多見，由於缺乏這些可截短坡長，分段截洩逕流以防止坡面沖蝕之農地水土保持工程設施，僅靠覆蓋及敷蓋之農藝方法來防制沖蝕，其功效並不够完善，加上本計畫區多屬白冷層，屬質地較鬆軟之地質，一旦遭逢豪大雨時，坡面上的逕流具有強大的沖蝕能力，此將造成坡面有土砂下移之疑慮。

### (三)伐木作業

依據現行之「台灣森林經營管理方案」規定，台灣每年伐木量限制在20萬立方公尺以下。據林務局(2005)統計，2004年進行伐採林木的面積704.83公頃，採伐材積708,01立方公尺，此採伐量尚不及國內木材消費量的1%。然我國人工林面積約42.2萬公頃，佔全台灣森林面積之1/5，人工林在林木成熟後，適度伐採可回收造林投資，增加木材供給外，森林更新後，以生長旺盛而固碳率高的新林木取代生長停滯的老林木更能有效的減少二氧化碳。



計畫區內上游地區為林班地，於現勘調查時正進行伐木作業，伐木除上述優點外，伐木同時更應注意林地水土保持，避免林地裸露造成坡面崩塌及土壤沖蝕。

**表 3-4-2 1994~1997 年度陡坡地檳榔園試驗區之土壤沖蝕量**

年度	觀測之降雨量 (mm)	土壤沖蝕量(公噸/公頃/年)		
		淨耕檳榔園	自然植生覆蓋檳榔園	淨耕裸露對照區
1994	2,040.6	113.8	0.0	530.5
1995	749.0	4.3	0.0	53.9
1996	1,681.5	589.3	179.0	798.8
1997	1,947.0	333.8	417.9	316.8
小計		6,418.1	1,050.2	1,700.0
平均		262.6	149.2	425.0

資料來源：中研院檳榔問題研討會 87.4.8

### 3-5 土石流潛勢溪流

#### 一、調查流程

本計畫針對區內土石流潛勢溪流進行現地調查包括：(1)溪流位置確定，現有防砂工程狀況；(2)溪床堆積物狀況；(3)土石流扇狀地狀況、溢流點調查；(4)災害歷史訪查；(5)溪流沿線崩塌狀況；(6)保全對象調查等。並由土石流源頭之崩塌坡面總面積及透過現地踏勘預估最大崩塌厚度，由坡頂至坡趾厚度遞減至零，推算潛在土石流料源以及崩塌地區之不穩定土方量；調查流程詳圖3-5-1，計畫區土石流潛勢溪流詳圖3-5-1。

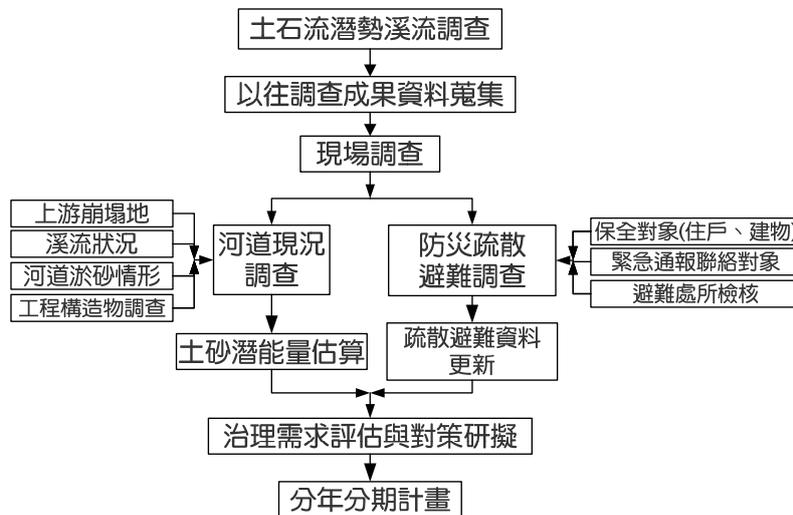
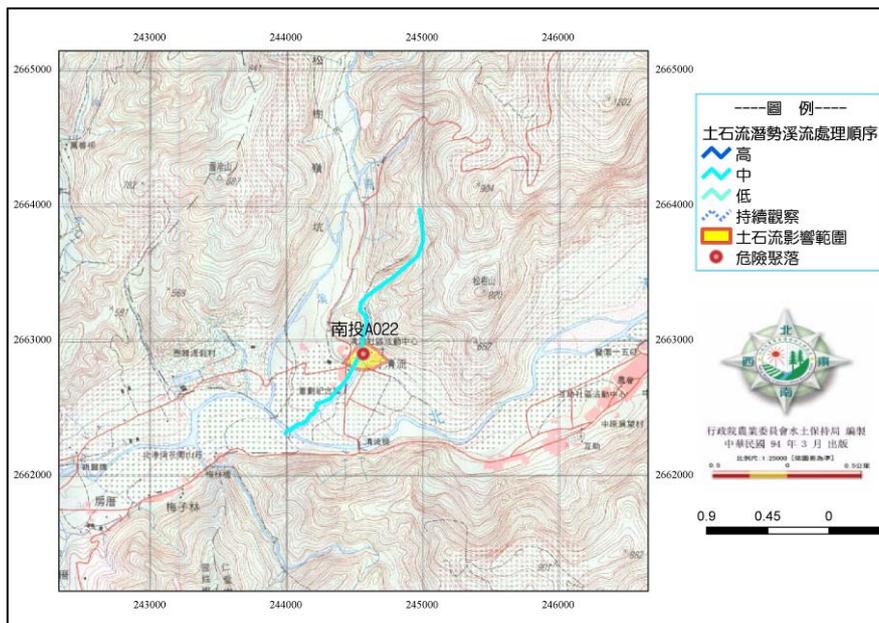


圖 3-5-1 土石流潛勢溪流調查流程圖



資料來源：水土保持局

圖 3-5-2 土石流潛勢溪流圖-南投 A022

## 二、現況調查

依據行政院農業委員會水土保持局所公布之土石流潛勢溪流資料顯示，本計畫區內有1條土石流潛勢溪流，為南投A022，土石流潛勢溪流基本資料詳表2-7-2，計畫區內土石流潛勢溪流調查位置如圖3-5-3及所示。茲將現地調查結果分述如下(詳表3-5-2)：

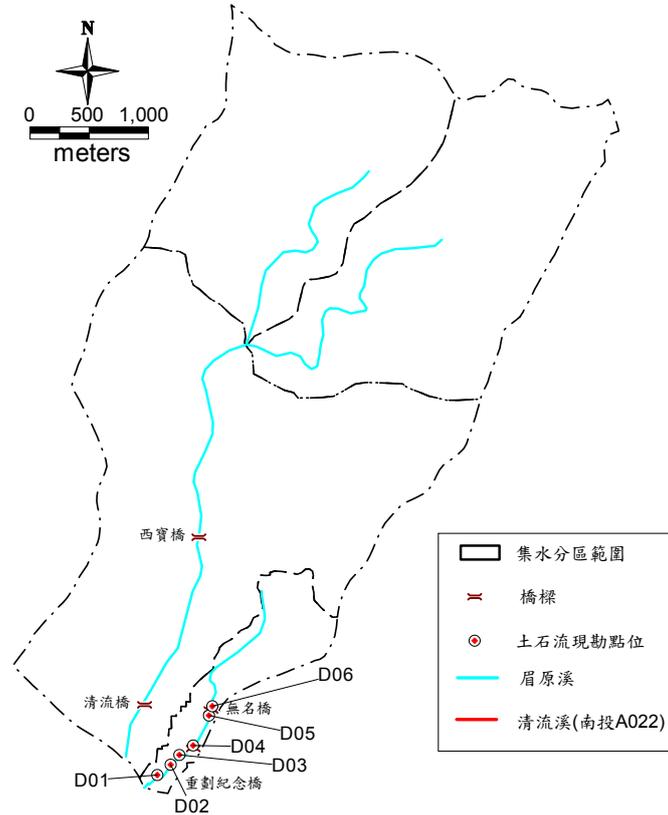


圖 3-5-3 土石流潛勢溪流現地調查位置圖

(一)無名橋上游河段：河道寬度約10.0m，平均坡度7.85%左右兩岸植生狀況良好，上游已施設有潛壩2座、固床工7座及RC護岸2m高，河道現況良好，計畫期間經歷卡玫基、辛樂克等風災後，僅少量土石下移河道，無造成重大災損。



(二)無名橋至重劃紀念橋河段均已整治，河道寬度約6.0m，平均坡度5.35%，無名橋下約150m為低水流路工，低水流路工下游接續左右兩岸為高約2.0m乾砌塊石護岸，目前兩岸現況良好。



(三)重劃紀念橋至防砂壩河段，平均坡度11.66%，部分河段未施設工程構造物，河道土石淤積，且流向不穩導致下游段河岸有崩塌現象，建議施設護岸及固床工，保全對象為兩岸農地。下游部分已施設固床工處，其基礎有淘刷外露現象，建議施設護岸保護兩岸農地。於卡孜基、鳳凰風災過後僅下游未設護岸處河岸邊坡崩塌，其餘現況良好，建議兩岸增設砌石護岸(L=320m)連續式固床工12座、河道整理。



(四)防砂壩至匯流口河段：防砂壩下游既設護岸100m，平均坡度3.07%，下游至匯流口處無施設護岸保護，造成道路農地流失，匯流口處因受北港溪影響農田、道路淘刷流失，影響農民生命財產安全，南投A022與北港溪匯流口處為本計畫先期重點規劃治理區域，後續配合水利署北港溪治理計畫作完善規劃整治，以期達成上、中、下游整體規劃，建議施設提防L=125m、護岸L=60m、固床工2座及堤後排水50m。



表 3-5-1 土石流潛勢溪流現地調查表

編號	縣市	鄉鎮	村里	集水區	溪流名稱	參考座標		位置描述	潛勢等級	土石流發生類型	現況描述
						X	Y				
D01	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	南投A022	244099	2662404	清流溪南投A022與北港溪匯流口	低等潛勢	溪流型	河寬擴大成喇叭口，土砂淤積既有道路損壞30.0m，土砂平均粒徑20-30cm
D02	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	南投A022	244212	2662492	清流溪防砂壩下游	低等潛勢	溪流型	防砂壩處靜水池淤積，淤積深度約1.0m
D03	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	南投A022	244286	2662575	重劃紀念橋下游	低等潛勢	溪流型	施工起點(防砂壩上游)
D04	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	南投A022	244402	2662656	清流溪南投A022-重劃紀念橋	低等潛勢	溪流型	A022重劃紀念橋
D05	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	南投A022	244536	2662911	清流溪-無名橋1	低等潛勢	溪流型	灌溉溝疑因取水浚路損壞水量減少，清流部落排水主要匯入A022河床輕微淤積
D06	南投縣	仁愛鄉	互助村	眉原溪	南投A022	244565	2662990	清流溪-無名橋2	低等潛勢	溪流型	A022上游無名橋河寬10.0m土砂淤積輕微，河道狀況尚屬穩定平均粒徑30-40cm、平均坡降15%

### 三、問題分析

依據現場調查及訪談當地居民結果分析：

- (一)南投A022-清流溪無名橋上游已整治，兩岸植生良好、現況穩定，無名橋下游為施設封底之複式斷面渠道，無生態棲息活動空間，建議後續改善其生硬之混凝土斷面形式，增加生態多樣性。
- (二)重劃紀念橋上游已整治砌石護岸形式，經歷卡玫基、辛樂克等颱風後，僅河床中部分固床工有輕微損壞情形，然而下游部分河道未施設護岸處，有河岸沖刷崩塌、河道土石淤積及農地流失發生，建議

施設護岸及固床工。

(三)南投A022與北港溪匯流口處，因受北港溪洪水影響加上未施設構造物保護，有農地、道路流失情形，考量有重要保全對象，故規劃為本計畫先期重點治理區位，配合北港溪治理計畫堤線劃分權責範圍，並施設護岸保全土地流失。

### 3-6 保全對象分佈

計畫區主要重要村落為清流部落，其位置如圖3-6-1，其中清流溪-土石流潛勢溪流南投A022流經部落後匯流北港溪，近年來未曾發生重大災害，且中、上游均已整治，現況溪流穩定，目前無危險之虞，僅下游匯流口處為施設保護構造物有農地、道路流失情形，另眉原溪下游右岸為泰雅渡假村，現況均良好穩定。計畫區主流兩岸亦有少數住家保全對象，部分位於災害發生高潛勢地區，應持續注意未來發展情勢並加以規劃整治。

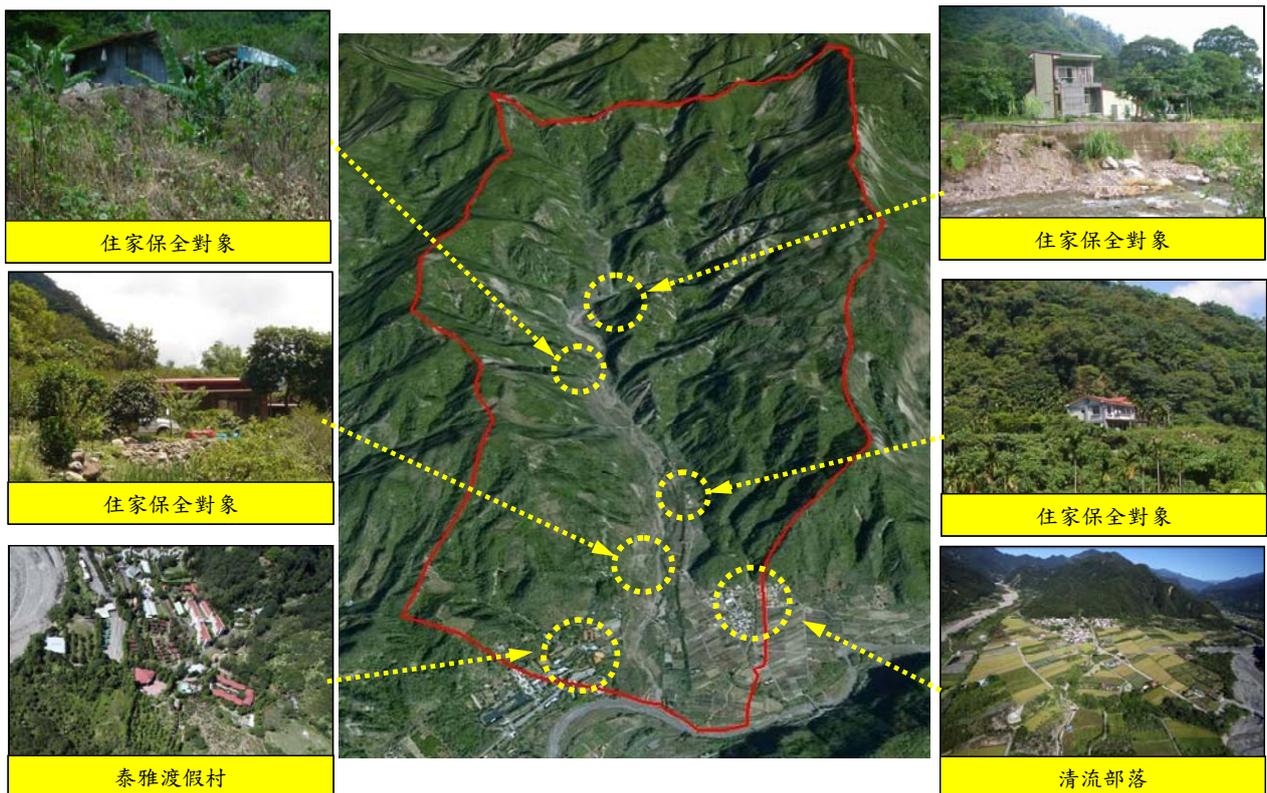


圖 3-6-1 清流溪等集水區保全對象分佈位置圖

### 3-7 颱風災害調查

#### 一、颱風災害調查情形

歷年來各颱風豪雨事件均對計畫區造成嚴重災損，均為大量豪雨造

成洪水、土砂災害，歷年颱風豪雨事件日雨量詳表3-7-1，本計畫執行期間遭遇卡玫基(97.7.17)、鳳凰(97.7.28)、新樂克(97.9.15)及薔蜜(97.9.30)颱風來襲，於颱風事件過後均赴現地調查及洽詢當地民眾代表及村長，茲將風災後現況情形概分為溪流土砂淤積、野溪坑溝沖蝕及既有構造物損壞，位置分佈如圖3-7-1所示：

表 3-7-1 歷年颱風豪雨事件日最大雨量表

災害事件	桃芝颱風	七二水災	六九水災	卡玫基颱風
發生時間	2001年 7月30日	2004年 7月4日	2006年 6月9日	2008年 7月18日
一日最大暴雨(mm)	345	400	371	396.5
重現期距(年)	12	27	18	25
災害事件	鳳凰颱風	辛樂克颱風	薔蜜颱風	
發生時間	2008年 7月28日	2008年 9月15日	2008年 9月30日	
一日最大暴雨(mm)	231.5	554.5	319	
重現期距(年)	3	>100	8	

參考雨量站：經濟部水利署清流(1)雨量站

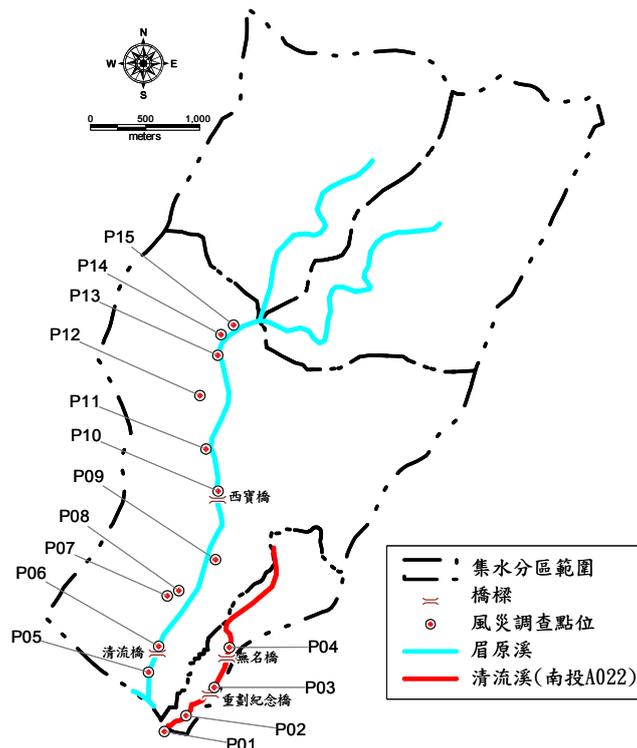


圖 3-7-1 清流溪等集水區颱風災害現地調查位置圖

(一)溪流土砂淤積

比對計畫區內兩條主要溪流，眉原溪及清流溪(南投A022)，其颱風災害後現地調查如下：

### 1.清流溪-土石流潛勢溪流(南投A022)

溪流河道風災後現況大致良好，上游並無明顯土砂料源下移河道，溪流狀況趨於穩定，惟下游未施設護岸處有沖刷崩塌情形。

颱風災害前	颱風災害後(薔蜜颱風後)
	
<p>P03-重劃紀念橋</p>	

颱風災害前	颱風災害後(薔蜜颱風後)
	
<p>P04-清流溪上游-無名橋</p>	

	
<p>P02-清流溪下游-防砂壩上、下游，薔蜜颱風後河道土砂堆積</p>	

## 2.眉原溪

眉原溪主流風災過後土砂淤積嚴重，河道平均淤高約達2m，因大量土石下移河道，造成部分河段洪水漫淹，構造物損毀情形。

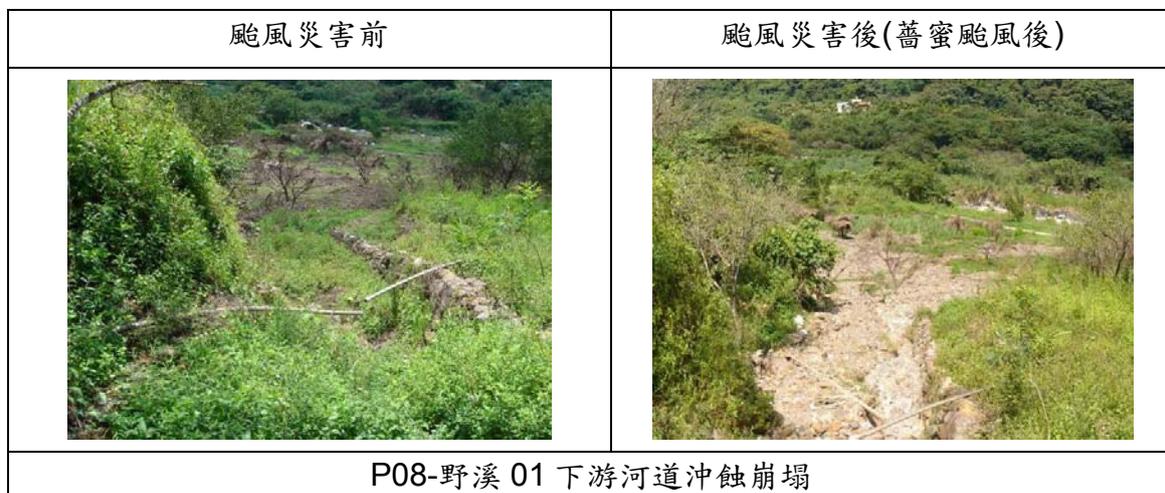




P06-下游清流橋下游，薔蜜颱風後河道土砂堆積

(二)野溪、坑溝沖蝕

計畫區內颱風災害過後眉原溪沿岸野溪、坑溝均有擴大沖蝕、大量土石下移，部分野溪坑溝危及附近住家、農田果園等保全對象，為本計畫先期治理重點區位。



颱風災害前	颱風災害後(薔蜜颱風後)
	
	
<p>P09-野溪 03 上、下游颱風後河道沖蝕、土石下移</p>	

颱風災害前	颱風災害後(薔蜜颱風後)
	
	
<p>P07-眉原溪旁坑溝沖蝕擴大、土石下移</p>	

蕃蜜颱風後河道沖蝕擴大、土砂堆積	
	
P12-野溪 06 上游土石枯木堆積	P14-野溪 07 土石堆積河道

### (三)既有構造物損壞

颱風災害後為計畫區帶來豪雨及洪水災害，除造成眉原溪主流土石淤積嚴重，亦造成沿岸既有構造物損壞或未施設護岸處河岸崩塌，為道路基礎淘刷崩塌或沿岸農地流失。

颱風災害前	颱風災害後(蕃蜜颱風後)
	
P01-清流溪下游匯流口，颱風後河岸沖蝕土地流失	

蕃蜜颱風後既設構造物磨蝕、損壞	
	
P10-西寶橋下游護岸基礎淘刷	P11-眉原溪右岸護岸損壞

蕃蜜颱風後既設構造物磨蝕、損壞	
	
P12-野溪 06 上游道路沖毀	P13-眉原溪右岸道路損毀 1
	
P13-眉原溪右岸道路損毀 2	P15-眉原溪匯流口下游右岸護岸淘空
	
P14-野溪 07 上游道路、護岸塌壞	P15-眉原溪匯流口下游潛壩淘刷

## 二、河道緊急處理工程

(一)計畫執行期間經歷卡玫基、鳳凰、辛樂克及蕃蜜等颱風，均造成大量土石下移河道，計畫區眉原溪上游西寶橋及下游清流橋河道上下游均有土石堆積阻塞水路情形，尤其下游清流橋兩岸尚有以往河道整理之土石堆置，於風災過後有大量下移河道阻塞橋樑下通水斷

面，造成水流溢淹，沖刷橋樑上下游兩岸，造成河岸農地流失及土石堆積橋樑之狀況。



(二)眉原溪清流橋下游颱風過後災損情形嚴重，本計畫規劃為重點治理區位，進行地形測量及工程細部設計，惟南投縣政府仁愛鄉公所於民國97年11月中，進行眉原溪清流橋上下游河道緊急處理工程作業，經民國97年12月10日水保局南投分局邀集仁愛鄉公所承辦人員會同現勘討論，並於民國98年1月13日會同委員現場審查，考量現況經河道清疏整理無立即致災危險性，將其列為後續分年分期治理規劃。



### 3-8 水文分析

#### 3-8-1 雨量站之選定

##### 一、雨量站

計畫區鄰近繼續觀測雨量之雨量站，計有：清流(1)、惠蓀及八仙山等3個雨量站(表3-8-1及圖3-8-1)，均屬經濟部水利署管轄。考量各雨量站距離計畫區之遠近，本計畫選用同一流域且鄰近計畫溪流出口之清流(1)雨量站為代表站(位置詳見圖3-8-1)進行水文分析。

二、流量站之選定：計畫區內並無水位流量站。

#### 3-8-2 頻率分析

依據經濟部水利署清流(1)雨量站民國37~96年之日雨量資料，求出計畫區歷年最大一日及二日暴雨量，其中民國36年及38年因資料有部分缺漏，故不列入討論中(表3-8-2)。以常態型、對數常態II型、對數常態III型、皮爾遜III型、對數皮爾遜III型及極端值I型等6種機率分佈進行降雨頻率分析，並海生及威伯點繪法，估算平方差和(SSE)及標準差(SE)，藉以選取最佳分佈(表3-8-3)。經分析後，本計畫採用偏差值最小之皮爾森III型所求得之一日暴雨頻率分析結果。

表 3-8-1 清流溪等集水區鄰近雨量站概況表

水利署 站號	站名	站址	流域	經辦 單位	座標(TW-67)		標高 (m)	記錄 年份 (民國)	備註
					X	Y			
1430P004	清流(1)	南投縣仁愛鄉互助村(三角公園北邊)	烏溪	經濟部水利署	244431	2662574	410	37~迄今	採用站
1430P104	惠蓀(2)	南投縣仁愛鄉新生村山林巷1號(中興大學惠蓀林場)	烏溪	經濟部水利署	252447	2665278	667	72~迄今	
1420P081	八仙山(1)	台中縣和平鄉八仙山	大甲溪	經濟部水利署	248674	2669203	1,600	78~迄今	

來源：本計畫彙整



資料來源：經濟部水利署

圖 3-8-1 清流溪等集水區鄰近雨量站分布圖

表 3-8-2 清流溪等集水區最大一日及二日暴雨量表(1/2)

民國年	一日最大			二日最大		
	月	日	暴雨量(mm)	月	日	暴雨量(mm)
36	6	13	234.0	6	13 ~ 14	424.5
37	6	19	100.0	6	19 ~ 20	186
39	7	9	38.3	6	12 ~ 13	67.2
40	8	22	85.5	5	16 ~ 17	167.5
41	7	18	98.5	7	18 ~ 19	185
42	8	16	196.3	8	16 ~ 17	208.6
43	4	17	81.7	7	18 ~ 19	86.3
44	9	3	232.1	7	22 ~ 23	255.3
45	9	16	323.2	9	16 ~ 17	369
46	6	5	250.9	6	5 ~ 6	358.7
47	5	22	104.7	5	22 ~ 23	144.5
48	8	8	397.3	8	8 ~ 9	460.2
49	7	31	412.0	7	31 ~ 32	514.3
50	5	27	77.3	8	1 ~ 2	137.5
51	8	5	158.8	7	21 ~ 22	233.3
52	9	11	304.2	9	10 ~ 11	505.8
53	6	2	115.4	6	2 ~ 3	154.2
54	8	19	190.0	8	18 ~ 19	285.4
55	8	16	309.3	8	16 ~ 17	561.2
56	5	22	131.9	5	22 ~ 23	196.1
57	6	10	106.9	6	9 ~ 10	194.6
58	9	26	153.7	8	7 ~ 8	180.6
59	9	6	343.7	9	6 ~ 7	467.3
60	9	22	134.4	9	22 ~ 23	147.8
61	8	16	328.5	8	16 ~ 17	426.8
62	7	18	158.3	7	17 ~ 18	190.3
63	8	23	306.1	8	22 ~ 23	504.5

資料來源：本計畫整理分析

表 3-8-2 清流溪等集水區最大一日及二日暴雨量表(2/2)

民國年	一日最大			二日最大		
	月	日	暴雨量(mm)	月	日	暴雨量(mm)
64	6	11	126.4	5	21 ~ 22	165.2
65	7	4	359.3	7	3 ~ 4	597.6
66	7	31	216.0	7	25 ~ 26	259.5
67	7	31	167.3	7	31 ~ 32	273.2
68	8	24	275.4	8	23 ~ 24	391.8
69	8	27	111.4	8	27 ~ 28	192.2
70	9	2	360.7	9	1 ~ 2	545.3
71	5	31	216.0	5	30 ~ 31	345
72	6	3	242.6	6	2 ~ 3	309.9
73	6	3	144.4	5	27 ~ 28	198.2
74	8	22	199.0	8	22 ~ 23	308.9
75	8	22	145.9	6	4 ~ 5	204
76	7	27	184.9	7	26 ~ 27	229.1
77	5	22	142.8	5	22 ~ 23	203.2
78	7	26	297.2	7	26 ~ 27	353.5
79	8	19	300.0	8	19 ~ 20	460
80	6	24	116.0	6	23 ~ 24	176
81	8	30	134.0	7	6 ~ 7	204
82	5	27	205.0	5	26 ~ 27	320
83	8	8	373.0	8	8 ~ 9	500
84	6	9	116.0	6	9 ~ 10	171
85	7	31	171.0	7	31 ~ 32	334
86	8	18	160.0	6	10 ~ 11	273
87	6	7	83.0	6	7 ~ 8	165
88	5	27	114.0	5	27 ~ 28	198
89	6	13	107.0	6	12 ~ 13	169
90	7	30	345.0	7	29 ~ 30	347
91	6	11	142.0	6	11 ~ 12	147
92	6	12	105.0	4	3 ~ 4	123
93	7	4	400.0	7	3 ~ 4	705
94	8	29	95.0	8	31 ~ 32	111
95	6	9	371.0	6	9 ~ 10	539
96	9	18	226.0	6	7 ~ 8	309

資料來源：本計畫整理分析

表 3-8-3 清流溪等集水區最大一日暴雨頻率分析成果表

重現期距 (年)	常態	對數常態 II	對數常態 III	皮爾遜 III*	對數皮爾遜 III	極端值 I	
1.1	76.4	100.5	83.6	<b>83.3</b>	91.2	82.7	
2	202.1	180.8	192.9	<b>192.6</b>	181.5	186.2	
5	287	268.9	282.4	<b>282.9</b>	278	283.5	
10	331.4	331	335.1	<b>335.8</b>	343.4	347.9	
20	368.1	392.9	382	<b>382.6</b>	406.4	409.8	
25	378.7	413	396.3	<b>396.8</b>	426.4	429.4	
50	409.3	476.5	438.7	<b>438.7</b>	488	489.8	
100	436.8	541.8	478.9	<b>478.2</b>	549.3	549.7	
海生	SSE	3.73E+04	5.10E+04	2.84E+04	<b>2.75E+04</b>	4.44E+04	4.53E+04
	SE	25.37	29.64	22.33	<b>21.96</b>	27.91	27.94
威伯	SSE	3.58E+04	3.78E+04	2.48E+04	<b>2.40E+04</b>	2.87E+04	2.77E+04
	SE	24.83	25.53	20.87	<b>20.53</b>	22.42	21.85

註：「\*」表示本計畫採用，單位：mm。

### 3-8-3 洪峰流量分析

計畫區各重現期距洪峰流量分析將依流域之地文因子及各重現期距日暴雨量藉以推算，因此本計畫依集水區特性劃分集水分區及選擇數個水文控制點(詳表3-8-4及圖3-8-2)，並依據各控制點之地文因子及各重現期距日暴雨量，採用合理化公式及三角形單位歷線法分析各重現期距降雨量下之洪峰流量，以供日後工程設計參考。茲將各分析方法說明如下：

#### 一、合理化公式

在缺乏實測流量記錄之小流域常以此法推估洪峰流量，惟該公式僅限於集流面積小於1,000公頃以下之小集水區使用，其公式為：

$$Q_p = \frac{1}{3.6} * C * I * A$$

式中， $Q_p$ 為洪峰流量(cms)； $C$ 為逕流係數； $I$ 為降雨延時等於集流時間 $t_c$ 時之平均降雨強度(mm/hr)； $A$ 為流域面積(km<sup>2</sup>)。

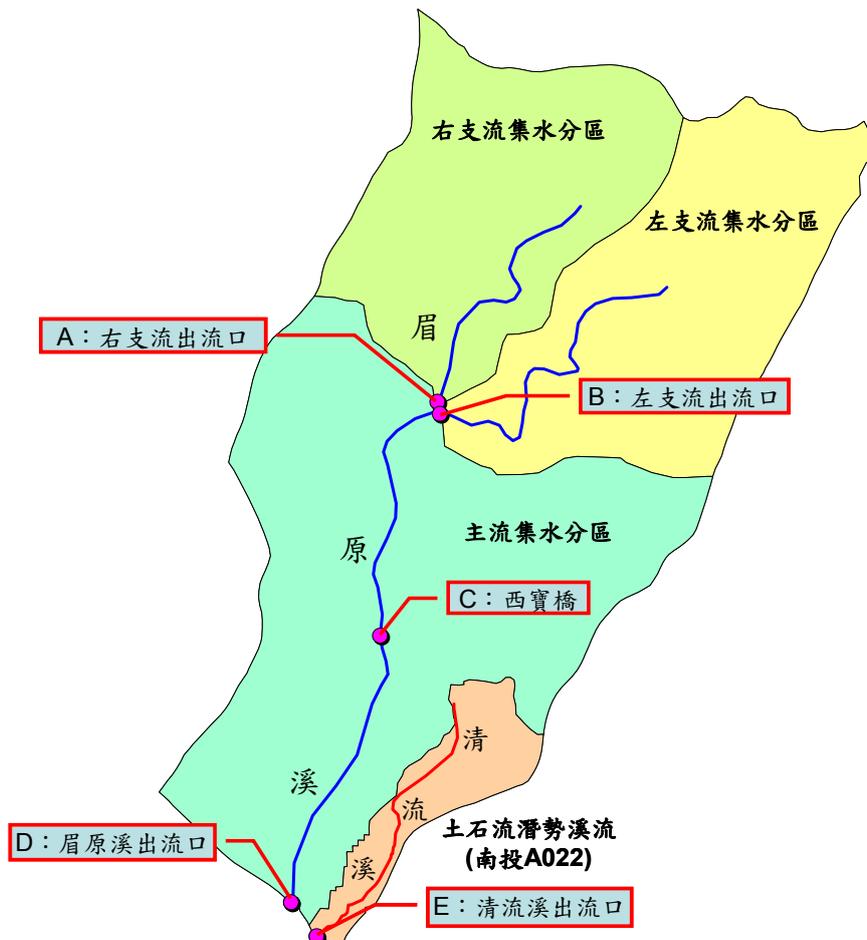


圖 3-8-2 集水區分區及水文控制點分佈圖

表 3-8-4 清流溪等集水區控制點地文因子一覽表

控制點	溪流長度 (m)	高差 (m)	面積 (ha)	集流時間 (hr)	說明
A	3,180.09	739	389.14	0.25	眉原溪上游右支流出流口
B	4,315.45	819	437.81	0.30	眉原溪上游左支流出流口
C	6,170.43	929	1,249.28	0.41	眉原溪上游西寶橋
D	8,265.66	1,029	1,613.80	0.54	眉原溪出流口
E	2,403.89	518	93.35	0.22	清流溪(南投A022)出流口

茲將上式中各因子之採用值說明如下：

### (一)逕流係數C

逕流係數為逕流量與降雨量的比值，視地形、地勢、土壤、地質、集水區面積、土地利用及覆蓋情形、降雨總量、強度及延時等因子而異。參考行政院農業委員會「水土保持技術規範(2003)」第十八條規定(如表3-8-5)，考量計畫區大多屬於無開發整地之山嶺區，在無實測可靠資料地區，逕流係數採用0.80。

表 3-8-5 逕流係數參考值

集水區狀況	陡峻山地	山嶺區	丘陵地或森林地	平坦耕地	非農業使用
無開發整地區 之逕流係數	0.75~0.90	0.70~0.80	0.50~0.75	0.45~0.60	0.75~0.95

資料來源：行政院農業委員會「水土保持技術規範」(2003)。

### (二)集流時間 $t_c$

集流時間 $t_c$ 係指逕流自集水區最遠一點到達工程地點出水口所需時間，一般為流入時間與流下時間之和，其計算公式如下：

$$t_c = t_0 + t'$$

$$t_0 = l/v$$

式中， $t_c$ 為集流時間(hr)； $t_0$ 為流入時間(雨水經地表面由集水區邊界流至河道所需時間)(hr)； $t'$ 為流下時間(雨水流經河道由上游至下游所需時間)(hr)； $l$ 為坡面長度(km)； $v$ 為漫地流流速(一般採用0.3~0.6m/sec)，本公司採用0.6。依「水土保持技術規範」第二十七條規定，考量計畫區多為天然河道，因此流下速度之估算，採用芮哈(Rziha)經驗公式：

芮哈(Rziha)公式：

$$t' = L / W \quad W = 72(H/L)^{0.6}$$

式中， $t'$ 為集流時間(hr)； $W$ 為流下速度(km/hr)； $H$ 為溪流縱斷面平均高度(km)； $L$ 為溪流長度(km)。

### (三)降雨強度 $I$

依據水利署清流(1)雨量站之Horner公式作為降雨強度公式推估之依據，其推估公式如下：

$$I = \frac{a}{(t + b)^c}$$

式中： $I$ 為降雨強度(mm/hr)； $t$ 為集流時間(hr)； $a$ 、 $b$ 、 $c$ 為係數，參考經濟部水利署民國92年「台灣地區雨量測站降雨強度-延時Horner公式分析」報告，採清流(1)站皮爾遜Ⅲ型之推估值(表3-8-6)，集水區合理化公式推估降雨強度詳見表3-8-7。

**表 3-8-6 清流(1)站 Horner 降雨強度公式之分析參數**

重現期距(年)	a	b	c
2	444.603	6.149	0.5294
5	542.997	6.577	0.5063
10	597.281	5.427	0.4948
20	658.573	5.727	0.4889
25	682.755	5.872	0.4885
50	727.333	4.633	0.4815
100	815.873	6.384	0.4844

資料來源：參考經濟部水利署「台灣地區雨量測站降雨強度-延時 Horner 公式分析」(2003)。

**表 3-8-7 集水區合理化公式推估降雨強度**

控制點	各重現期距之降雨強度 $I$ (mm/hr)						
	$I_2$	$I_5$	$I_{10}$	$I_{20}$	$I_{25}$	$I_{50}$	$I_{100}$
A	88.38	114.66	134.24	149.61	154.76	173.44	185.07
B	82.39	107.34	125.44	140.04	144.93	161.97	173.66
C	72.50	95.16	110.94	124.20	128.64	143.19	154.64
D	64.32	84.99	98.97	111.06	115.09	127.78	138.70
E	92.64	119.83	140.51	156.40	161.73	181.66	193.12

資料來源：本計畫分析整理

## 二、三角形單位歷線

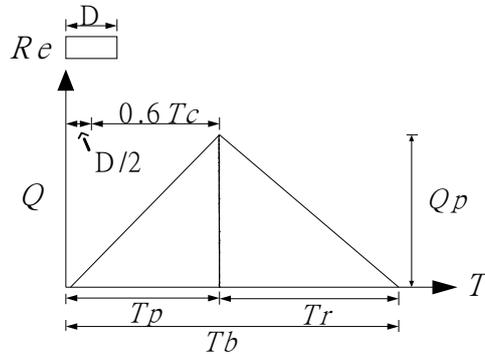
三角形單位歷線是為應用方便，假設單位時間之超滲雨量所形成的流量歷線為三角形，其形狀及各參數因子可依經驗公式推定；美國水土保持局(U.S. Soil Conservation Service)對此提出下列經驗公式：

$$Q_p = 0.208 * A * Re / T_p$$

$$T_p = D / 2 + 0.6 * T_c$$

$$T_r = 1.67 * T_p \text{、} T_b = T_p + T_r$$

$$D \leq 0.133 T_c$$



式中： $Q_p$  = 洪峰流量(cms)； $A$  = 流域面積(km<sup>2</sup>)； $Re$  = 超滲雨量(mm)； $T_p$  = 開始漲水至洪峰發生之時間(hr)； $D$  = 單位降雨延時； $T_c$  = 集流時間(hr)； $T_r$  = 洪峰流量發生至歷時終端之時間(hr)； $T_b$  = 基期時間(hr)； $L$  = 排水路最遠點至控制點之距離(km)； $H$  = 排水路最遠點與控制點之高程差(m)。配合三角形單位歷線法估算需要，本公司採用清流(1)雨量站Horner兩型公式皮爾遜III型之兩型分佈型態(表3-8-6)，而兩型單位時間刻度 $D$ 則依據下列原則選擇。

$T_c > 6 \text{ hr}$	→	$D = 1.0 \text{ hr}$
$3 \text{ hr} < T_c \leq 6 \text{ hr}$	→	$D = 0.8 \text{ hr}$
$1 \text{ hr} < T_c \leq 3 \text{ hr}$	→	$D = 0.4 \text{ hr}$
$T_c \leq 1 \text{ hr}$	→	$D = 0.15 \text{ hr}$

將前述兩種方法中各控制點在各種推算方式下所求得之各重現期距洪峰流量及比流量加以彙整如表3-8-8。

表 3-8-8 清流溪等集水區各控制點之洪峰流量及比流量一覽表

編號	位置說明	集水區面積(km <sup>2</sup> )	分析方法	重現期距(年)						
				2	5	10	20	25	50	100
A	右支流 出流口	3.89	合理化公式	76.43 (19.64)	99.15 (25.48)	116.09 (29.83)	129.37 (33.25)	133.83 (34.39)	149.99 (38.54)	160.04 (41.13)
			三角形單位歷 線-Horner法	58.02 (14.92)	77.11 (19.83)	89.53 (23.02)	99.03 (25.46)	102.25 (26.29)	112.76 (28.99)	122.92 (31.60)
B	左支流 出流口	4.38	合理化公式	80.16 (18.31)	104.43 (23.85)	122.04 (27.88)	136.25 (31.12)	141.01 (32.21)	157.58 (35.99)	168.96 (38.59)
			三角形單位歷 線-Horner法	61.76 (14.11)	82.68 (18.88)	95.55 (21.82)	106.02 (24.21)	109.57 (25.02)	120.06 (27.41)	130.87 (29.88)
C	西寶橋	12.49	合理化公式	201.26 (16.11)	264.19 (21.15)	308.00 (24.65)	344.81 (27.60)	357.13 (28.59)	397.52 (31.82)	429.30 (34.36)
			三角形單位歷 線-Horner法	157.40 (12.61)	211.46 (16.94)	244.31 (19.57)	271.41 (21.74)	280.57 (22.47)	307.13 (24.59)	334.78 (26.81)
D	眉原溪 出流口	16.13	合理化公式	230.66 (14.29)	304.80 (18.89)	354.91 (21.99)	398.27 (24.68)	412.73 (25.57)	458.24 (28.40)	497.41 (30.82)
			三角形單位歷 線-Horner法	183.21 (11.36)	247.25 (15.33)	285.62 (17.71)	317.78 (19.71)	328.61 (20.38)	359.36 (22.28)	391.71 (24.29)
E	清流溪 出流口	0.93	合理化公式	19.22 (20.59)	24.86 (26.63)	29.15 (31.22)	32.44 (34.76)	33.55 (35.94)	37.69 (40.37)	40.06 (42.92)
			三角形單位歷 線-Horner法	14.26 (15.34)	19.02 (20.46)	21.99 (23.65)	24.37 (26.21)	25.18 (27.08)	27.61 (29.69)	30.10 (32.37)

註：1.單位 cms

2.( )為比流量，單位 cms/km<sup>2</sup>

資料來源：本計畫分析整理

### 3-8-4 現況流量推估檢討

依據蒐集之雨量資料與前述分析方法，分析集水區不同重現期距之洪峰流量，並計算其比流量與支流流量，考量計畫區多為林地與坡地、集流時間短且集水面積超過1,000公頃，故不適用合理化公式，因此建議採三角型單位歷線法配合Horner降雨強度公式推估之流量成果做為後續水理計算之依據；此外，參考「水土保持技術規範(2003)」第65條規定，野溪治理採用50年重現期距保護標準，將採用50年重現期距之分析成果做為本計畫設計保護之標準。另依據「水土保持技術規範」第65條之規定，推算計畫洪水量。

由於計畫區多屬山坡地，因此考慮暴雨洪流之輸砂能力，應酌予考量水流含砂情形，故計畫含砂水流洪峰水量可以下式估算：

$$\overline{Q}_p = Q_p(1+\alpha)$$

式中， $\overline{Q}_p$  為含砂水流流量(cms)； $Q_p$  為清水流流量(cms)； $\alpha$  為水流中泥砂混合率(一般以流量之5~10%估算)。考量計畫區河道尚有大量不安定土砂，因此基於安全考量，本計畫主流 $\alpha$ 採20%計。茲將計畫區重現期距25年、50年及100年之含砂水流之洪峰流量分析成果彙整如表3-8-9。

表 3-8-9 計畫區各控制點含砂水流之洪峰流量( $Q_{25}$ 、 $Q_{50}$ 、 $Q_{100}$ )分析成果表

控制點	位置說明	清水流 $Q_{25}$ (cms)	含砂水流 $Q_{25}$ (cms)	清水流 $Q_{50}$ (cms)	含砂水流 $Q_{50}$ (cms)	清水流 $Q_{100}$ (cms)	含砂水流 $Q_{100}$ (cms)
A	右支流出流口	102.25	122.70	112.76	135.31	122.92	147.50
B	左支流出流口	109.57	131.48	120.06	144.07	130.87	157.04
C	西寶橋	280.57	336.68	307.13	368.56	334.78	401.74
D	眉原溪出流口	328.61	394.33	359.36	431.23	391.71	470.05
E	清流溪出流口	25.18	30.22	27.61	33.13	30.10	36.12

註：本計畫分析整理

### 3-8-5 土石流泥砂運移量之估算

依據水土保持局資料顯示，集水區內土石流潛勢溪流為清流溪(南投A022)，位於集水區下游東側，流路貫穿清流部落，經現況調查結果目前上游無名橋僅少量土石下移現象，從現地殘留痕跡研判土石量規模不大，針對計畫區內之土石流擬以土石流流量分析法推求其洪峰流量，土石流泥砂運移量之估算以理論推估為主，其推估方法如下：

1. 首先估算流動中之土石流體積濃度，土石流之濃度受溪床坡度影響甚大，一般以下列公式表示：

$$C_D = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)}$$

式中， $C_D$ 為流動中土石流體積濃度； $\rho$ 為水之密度( $\text{kg/m}^3$ )； $\sigma$ 為土石密度( $\text{kg/m}^3$ )； $\theta$ 為溪谷之坡度； $\phi$ ：土石之內摩擦角。

2. 推估溪流中之清水流量( $Q_W$ )：以前述洪峰流量分析成果來估算。

3. 由清水流量( $Q_W$ )及土石流體積濃度( $C_D$ )可推求土石流之流量( $Q_D$ )，其關係如下：

$$Q_D = \frac{C^*}{C^* - C_D} Q_W, \quad C^* = 1 - P_r$$

式中， $Q_D$ 為土石流之流量( $\text{cms}$ )； $Q_W$ 為溪谷上游之清水流量( $\text{cms}$ )； $C^*$ 為溪床上土石堆積物之體積濃度(詳表3-8-10)； $P_r$ 為溪床上土石堆積之孔隙率； $C_D$ 為流動中土石流之體積濃度，經計算之 $C_D$ 代入上列公式中，可推估得土石流流量；依據「水土保持技術規範」之規定，整流工程之洪水量估算，採用50年一次重現期距之洪峰流量為原則；估算成果詳表3-8-11。

表 3-8-10 泥砂堆積特性  $C^*$  及泥砂體積濃度和內摩擦角  $\phi$  一覽表

泥砂堆積特性		$C^*$
一般鬆散砂及卵石		0.61~0.63
中等緊密砂及卵石		0.64~0.67
緊密砂及卵石		0.68~0.75
泥砂特性	緊密程度	內摩擦角 $\phi$
砂：圓形顆粒	鬆散	27~30
	中等緊密	30~35
	緊密	35~38
砂：角形	鬆散	30~35
	中等緊密	34~40
	緊密	40~45
卵石中夾雜泥砂		34~48
沉泥		26~35

表 3-8-11 土石流流量估算表

土石流 潛勢溪流	坡度 $\theta(^{\circ})$	土石密度 $\gamma_s(\text{kg}/\text{m}^3)$	清水密度 $\gamma_w(\text{kg}/\text{m}^3)$	內摩擦角 $\psi(^{\circ})$	土石流體 積濃度 $C_D$	土石流堆積物 體積濃度 $C^*$	清水流量 $Q_w(\text{cms})$	土石流流量 $Q_D(\text{cms})$
南投A022	12	2.65	1.00	33	0.29	0.67	30.38	54.26

資料來源：本計畫分析

## 3-9 河床粒徑調查與分析

### 3-9-1 河床質調查

#### 一、調查方式

依據水土保持技術規範為了解河道之情勢，對河道中之泥砂做河床質粒徑分析，其調查分析方式如下所述：

#### (一)河床質採樣：

採樣孔位置選定在沖淤嚴重河段，過去曾受洪水影響之河床面，採樣孔至少為一平方公尺之正方形，深度至少60公分(如遇岩盤左右移動量測)，同時進行野外粗顆粒篩分析，細粒徑以四分法採取樣品攜回室內分析；並記錄採樣孔尺寸，推算採樣體積，記錄最大石徑之尺寸。



#### (二)河床質粒徑分析：

##### 1.野外粗顆粒分析：

凡大於標準篩3/8吋以上之礫石，分用1吋、1/2吋、3/4吋及3/8吋之方孔篩，於挖掘現場做篩分析，將各篩上停留之礫石分別秤重記錄，大於3吋以上之礫石，則直接使用鋼卷尺量其粒徑並秤重，同時記錄各樣孔之最大石徑。



2.細粒徑分析：通過3/8吋之顆粒，秤總重以四分法檢取約二公斤重之樣品，烘乾秤重，再於室內以標準篩#4、#8、#16、#20、#30、#50、#100、#200號分別做篩分析，將各篩上停留之砂秤重記量，依樣品重與採樣總重之比例，



換算各粒徑別之停留重量，再與野外粗顆粒分析結果合併，依各粒徑分別算出其停留百分率及通過百分率。

### 3. 粒徑分析：

以顆粒分析結果之粒徑別百分率，繪出各採樣孔之顆粒分析累積曲線，以下列計算式求平均粒徑：

$$D_n = D_i \times P_i$$

式中， $D_n$ =平均粒徑，單位mm； $D_i$ =兩相鄰篩號孔徑之幾何平均值，單位mm； $P_i$ =篩號停留百分率。



### (三) 調查結果

本計畫於民國97年11月27日進行河床質採樣調查，於眉原溪匯流口下游、西寶橋下游及土石流潛勢溪流南投A022下游分別採樣共3處，位置如圖3-9-1所示，另因眉原溪下游清流橋至北港溪匯流處正進行河道緊急處理工程：土砂清運，故未進行採樣。採樣分析之結果詳表3-9-1，並分別以Lane-carlson、San Luis River、Einstein及Strickler四種經驗公式估算河床粗糙係數，結果如表3-9-2所示。



由表3-9-1分析成果可知，上游河床坡度較陡處平均粒徑較大，至中、下游河床坡度漸緩則平均粒徑漸小，符合現地調查狀況。

表 3-9-1 河床粒徑分析成果表

採樣地點	平均粒徑 Dm(mm)	各代表粒徑(mm)						砂質含量% (4.76mm以下)
		D20	D35	D50	D65	D75	D90	
A-眉原溪匯流口下游	133.44	14.48	48.22	168.86	285.84	350.16	440.07	12.38
B-西寶橋下游	111.74	10.09	51.99	97.81	216.95	300.78	420.39	17.09
C-南投A022	79.60	13.86	47.36	92.10	166.00	219.44	299.59	14.58

資料來源：本計畫資料分析整理

表 3-9-2 曼寧粗糙係數 n 值計算結果一覽表

區位	曼寧粗糙係數計算式				本次建議採用 平均值
	Lane-carlson	San Luis River	Einstein	Strickler	
	$0.0156 d_{75}^{1/6}$	$0.0142 d_{75}^{1/6}$	$0.0132 d_{65}^{1/6}$	$0.015 d_{50}^{1/6}$	
A-眉原溪匯流口下游	0.040	0.038	0.034	0.034	0.036
B-西寶橋下游	0.039	0.037	0.032	0.033	0.035
C-南投A022	0.037	0.035	0.031	0.031	0.033

資料來源：本計畫資料分析整理

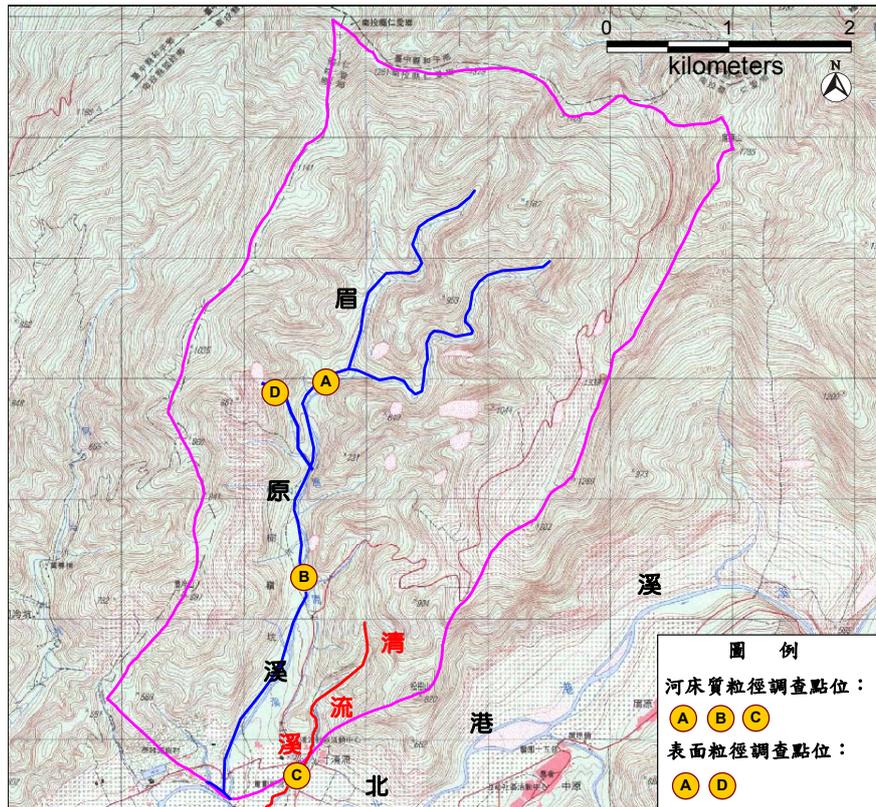


圖 3-9-1 河床粒徑調查分析點位圖

### 3-9-2 河床表面粒徑調查

#### 一、採樣位置

現場河床表面粒徑調查，以每500公尺採樣二處，且每一處須調查五個橫斷面(含本橫斷面及往上下游面各取二個，每一橫斷面之距離為3d且其距離不得小於一公尺，d為沿橫斷面方向之採樣距離)，每一橫斷面以不少於5個測點為原則，且測點之間隔不得超過10公尺，五個橫斷面計取25點以上，採樣點位示意圖如圖3-9-2所示。

#### 二、採樣方法

(一)每一採樣點，以量測該點長寬各約20公分範圍之河床表面土石粒徑

(採最大粒徑者)為原則。

(二)現場調查土石粒徑採短徑中最大尺寸者為計算值。

### 三、粒徑分析

表面粒徑調查之粒徑調查成果詳表3-9-3所示，規劃後續治理權責單位若於上游區域設計梳子壩或開口壩時，應依據所需土石流設計粒徑依照下列公式設計開口或壩柱間距寬度。

$$b_0 = (1.5\sim 2.0)D_e$$

$b_0$  = 梳子壩或開口壩寬度(m)

$D_e$  = 土石流設計粒徑(m)

表 3-9-3 表面粒徑調查成果

採樣地點	Dm	代表粒徑(mm)							Dmax
	(mm)	d <sub>20</sub>	d <sub>35</sub>	d <sub>50</sub>	d <sub>65</sub>	d <sub>75</sub>	d <sub>90</sub>	d <sub>95</sub>	(cm)
A-眉原溪匯流口下游	722.54	512.22	616.22	673.91	733.86	775.08	894.48	857.52	100
D-清流枝75上游	591.27	417.02	471.19	536.69	618.97	684.77	755.92	777.96	80

資料來源：本計畫資料分析整理

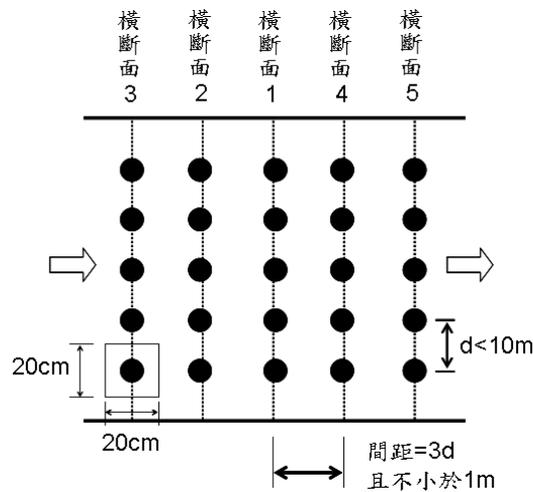


圖 3-9-2 表面粒徑採樣點位示意圖



## 3-10 水理分析

### 3-10-1 通洪能力檢討

#### 一、水理檢討模式

為瞭解現況溪流之通洪能力，本計畫依據水理起算要素、斷面粗糙係數及各河段流量分配情形，並配合數值地形之河道斷面資料，採用美國陸軍工程師團水文工程中心(Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers)所發展計算水面剖線之數值模式HEC-RAS模式，模擬現況溪流及計畫溪流之水位、流速等水理因子，並與溪流兩岸現有標高比較，作為未來斷面分析及工程佈置之依據。

#### 二、起算水位

各斷面水位係依標準步推法，考慮河槽摩擦、渦流水頭損失及橋墩水位壅高影響，自下游控制斷面之正常水深向上游利用HEC-RAS一維水理分析之混合模式分析(假設流況為亞臨界流及超臨界流混合情況)。

#### 三、檢討成果

分析成果如圖3-10-1所示，模擬水位較高、易有淹水災害分別描述如下：

##### (一)眉原溪上游匯流口

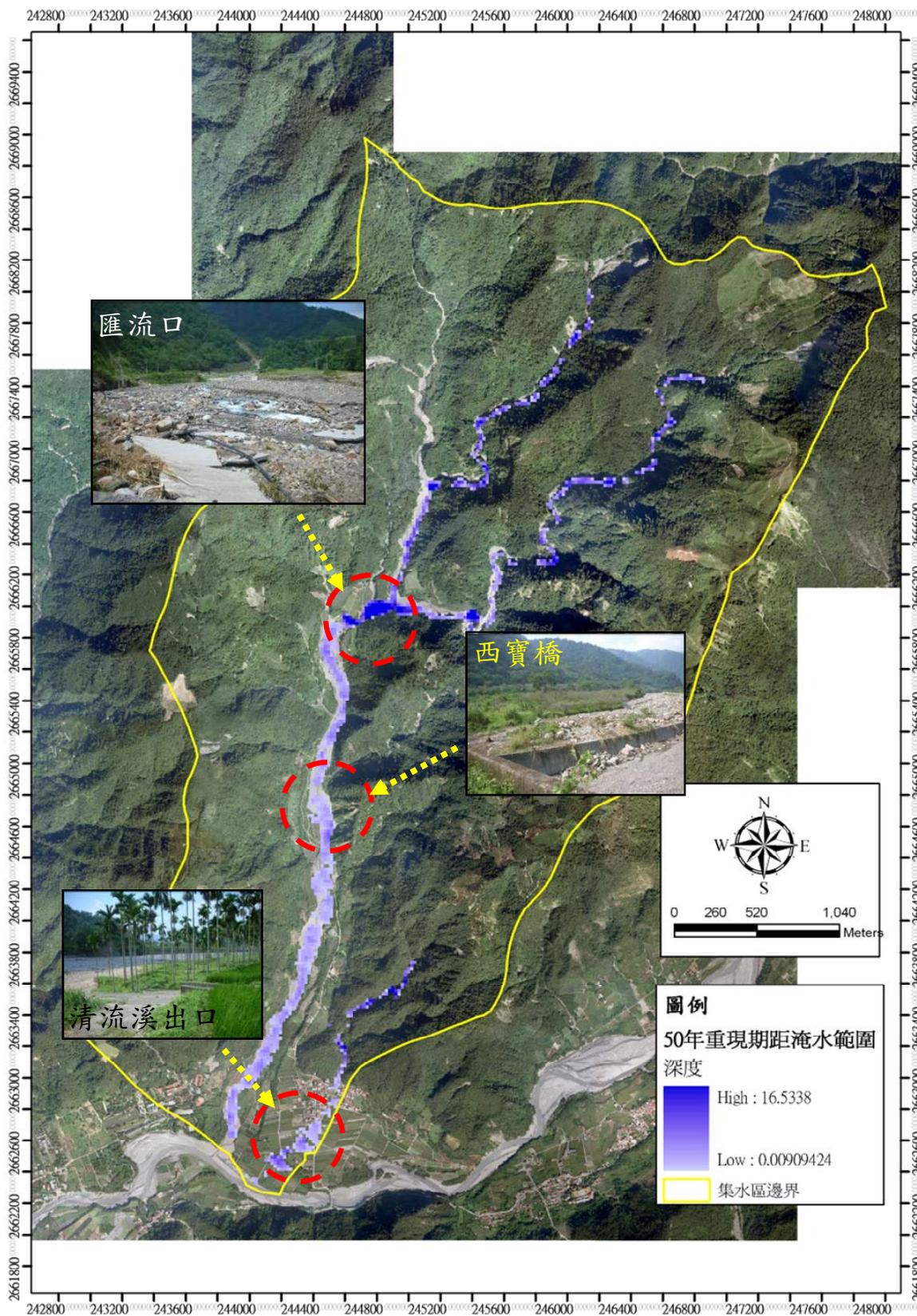
眉原溪上游匯流口處，左、右支流匯流流量大增，又其河道束縮造成排水斷面不足，依據現場勘查結果發現：現況河道卵礫石堆積嚴重，因河道淤塞有洪水溢淹兩岸情形，造成岸邊護岸、道路破損情形嚴重。

##### (二)西寶橋

西寶橋上下游河道較易發生淹水災害，依現地調查西寶橋兩岸護岸高度不足，且河道中堆積大量土砂礫石，提高河道高程，易造成河水溢堤淹沒後方土地。

##### (三)清流溪出口

清流溪下游出口處兩岸皆為耕地地勢低平，經現場勘查後河道斷面較狹窄，且部分河段護岸施設不當，容易造成淹水災情。



資料來源：本計畫整理分析

圖 3-10-1 清流溪等集水區通洪能力模擬成果

### 3-10-2 淹水區位分析

本計畫採用美國聯邦緊急管理署(FEMA)認可，適用於水災淹水模擬之程式-FLO-2D，配合5公尺x5公尺之DTM資料及集水區相關地文、水文參數進行淹水模擬。茲將淹水模擬分析模式及模擬流程概述如下：

#### 一、淹水模式簡介-Flo-2D模式

Flo-2D是由Fortran語言寫成的二維洪水災害模擬模式，由O' Brain和 Julian於1998年10月在猶他州科羅拉多大學發表，採用一維變量模式及二維漫地流模式模擬渠道、漫地流及街道流之流況，亦可模擬溢堤、潰壩時水流之互動機制，其理論依據主要係利用非牛頓流體模式(考量降伏應力、黏滯力、碰撞力與紊流應力)與中央有限插分(Central finite difference scheme)數值方法，解運動簡化之控制方程式，以求取水平面上x軸方向之平均流速 $u$ 、y軸方向之平均流速 $v$ 與流動深度 $h$ ，茲將該模式之特色簡述如下：

#### (一)假設條件

- 1.淺水波假設。
- 2.滿足穩定流阻滯方程式(steady flow resistance equation)。
- 3.靜水壓力分佈。
- 4.差分時間間隔內為穩定流(steady flow)。
- 5.規則的網格斷面形狀與水力粗造度。
- 6.每一個網格點的高程與曼寧值僅有單一值。

#### (二)限制條件

- 1.假設為定床模式，而由於定床模式之限制，故無法模擬河道刷深與淤積之現象
- 2.無法模擬震波(shock wave)與水躍(hydraulic jumps)現象。

#### (三)模擬對象

適用於都市淹水(街道、建築物)、河道溢堤、海岸洪氾區(可模擬海嘯、湧浪)、潰壩模擬、洪水平原管理、工程風險設計、不規則形狀河道水理演算、橋樑涵洞水理演算(以率定曲線表示影響性)等，可以處理

漫地流、沖積扇洪氾水理變化、泥流及土石流等。

## 二、模擬步驟及流程

本計畫將透過淹水模式分析，配合現地調查資料，了解地區淹水可能影響之現地範圍，以供未來工程規劃及災害搶救之參考。

## 三、水患區域調查

以本計畫所分析整理之集水區模擬降雨頻率25年及50年淹水情勢，並將模擬成果與現地調查容易淹水區域進行套疊(圖3-10-2、圖3-10-3)。由圖中可知，計畫區主要淹水區域集中於左右支流交匯口地區、西寶橋附近地區和土石流潛勢溪流-南投A022下游匯流入北港溪附近地區，與現地調查之主要淹水區域大致符合；茲將計畫區主要淹水區域分述如下：

### (一)左右支流交匯口地區

此區由左右兩支流共同匯入，水量急劇增大，又因下游河道地形束縮，造成溪水向兩側平地漫淹，依模擬成果與現場勘查得知，若發生50年重現期距之降雨，將造成兩岸之淹水範圍約有2.45公頃。

### (二)西寶橋附近地區

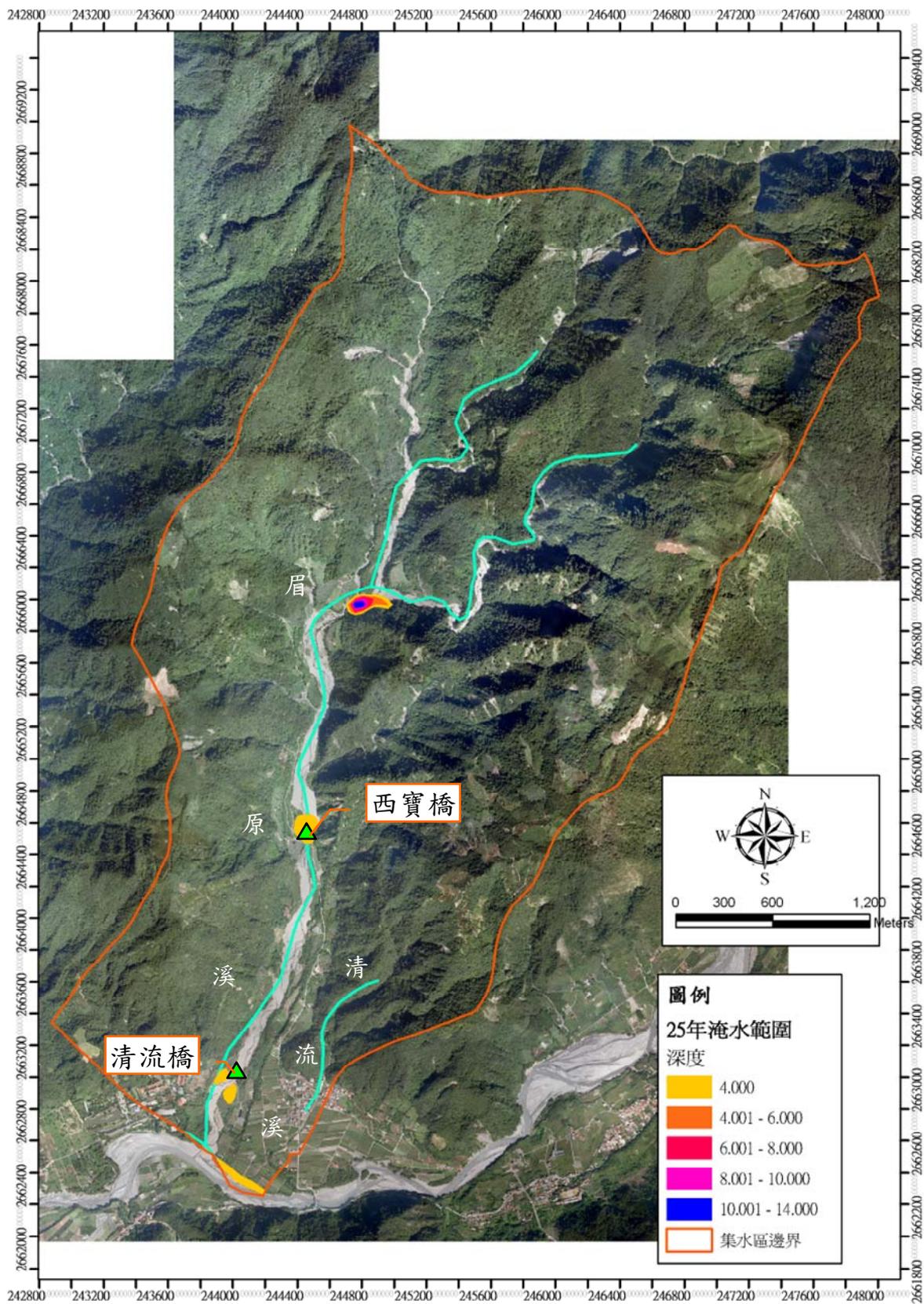
依模擬結果，西寶橋上游地區容易發生淹水災害，其主要原因乃西寶橋上游河道寬約156公尺，至西寶橋時河道寬度僅剩28公尺，河道寬度快速束縮，造成溪水向兩側平地漫淹，依模擬成果與現場勘查得知，若發生50年重現期距之降雨，將造成兩岸之淹水範圍約有2.38公頃。

### (三)清流橋下游

依模擬成果，清流橋下游左右岸於發生50年重現期距之降雨時，將造成淹水範圍約有1.3公頃，依現地調查其主要原因為既設護岸高度不足，造成護岸後方淹水災害。

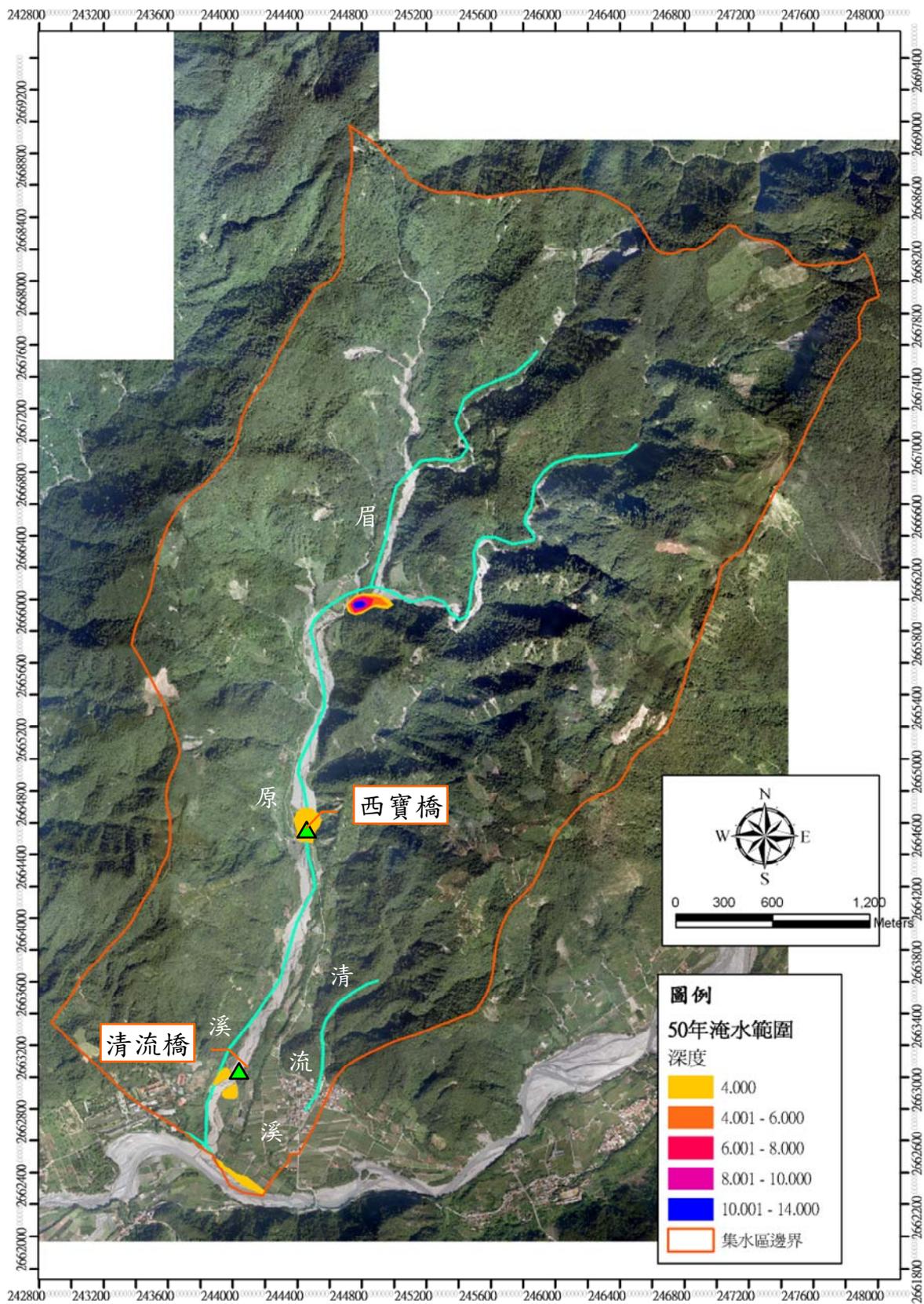
### (四)土石流潛勢溪流-南投A022(清流溪)下游匯流口地區

土石流潛勢溪流-南投A022最下游匯入北港溪處地勢低平，多為農田耕地，依模擬成果及現勘得知，若發生50年重現期距之降雨，將造成之淹水範圍約有1.38公頃，其主要原因為地勢高程過低，又因北港溪之外水較高，故容易於此區域造成淹水災害。



資料來源：本計畫整理分析

圖 3-10-2 清流溪等集水區 25 年重現期距淹水模擬圖



資料來源：本計畫整理分析

圖 3-10-3 清流溪等集水區 50 年重現期距淹水模擬圖

### 3-11 土砂分析(土砂生產量調查及原因分析)

本計畫區內大多為山坡地，其地勢陡峻、地質脆弱且河短流急，形成易受沖蝕之區域；於九二一地震後邊坡坡面鬆動，易形成崩塌；崩塌所產生之鬆散土石及裸露之崩塌坡面因豪雨逕流之沖蝕進入溪流中，形成計畫區河道砂源；另區內山坡地之人為不當開發使用所致生之土壤流失，也是計畫區主要砂源之一。茲將計畫區泥砂生產之來源列舉如下：

#### 一、水文氣象

本計畫區屬亞熱帶氣候，降雨時間集中於雨季，每逢颱風季節及豪雨侵襲，造成區內相當程度之泥砂沖蝕。此部份大多屬於細顆粒之砂源。

#### 二、地質與土壤

計畫區內河道大多屬於礫石或風化之砂岩、頁岩，經由水流沖刷後，常造成河岸剝落崩塌，通常此類泥砂顆粒較大，大多為卵礫石；而坡地大多為砂、頁岩互層及石質土，坡面逕流導致土壤沖蝕量非常大。

#### 三、地形因素

計畫區內地形大部份屬陡坡地，在坡度較陡之地區，地表逕流對表層土壤之沖蝕力相對較大，而坡度陡峻之河川水流，其挾砂能力也相對較強，故泥砂產量相對增加。

#### 四、道路開闢

計畫區除了主要的縣道外，尚有四通八達之農路，直達集水區較上游之山區，致使天然穩定之坡面遭受破壞，開挖坡面或填方坡面施工及維護不良，於豪雨過後，產生崩落土石，隨著豪雨逕流進入溪流，故道路開闢亦是本計畫區主要砂源之一。

#### 五、坡地開發利用

計畫區內大量之農業墾植(包括：果樹及檳榔等)，其大面積之坡面開發利用，致使表土鬆散及天然覆蓋不良所引致之土壤流失，亦是造成區內另一泥砂主要來源。

#### 六、地震及崩塌地

計畫區內地質破碎、土壤多數屬石質土、加上崩塌位置多在山嶺區，地勢陡峻、坡面裸露，易受降雨沖刷而土石崩落，崩落土石部份堆

積在坡腳，部份則形成土石流；計畫區位處眉原斷層帶附近，因地震作用所產生之零星崩塌，及九二一大地震造成大面積崩塌，亦是集水區主要泥砂來源之一。

以下針對計畫區內之地表土壤沖蝕量、崩塌土方量、土石流潛勢溪流土砂量推估及各集水分區土砂流出量推估做一完整之說明。

### 3-11-1 地表土壤沖蝕量推估

沖蝕不僅對於土壤直接破壞，同時也造成土壤顆粒之搬運，土壤養分流失並導致土地之生產力下降。在另一方面，也由於地表土壤之大量流失，經由水的攜帶，引發水庫或河道之淤積，造成許多災害。

本計畫利用地理資訊系統「ArcGis」估算本計畫區土壤沖蝕量，依據水土保持技術規範所規定之通用土壤流失公式(USLE)加以估算。水土保持技術規範(2004年9月)第三十五條規定：「山坡地土壤流失量之估算，得採用通用土壤流失公式(Universal Soil Loss Equation, USLE)」，其公式如下所示：

$$A_m = R_m \times K_m \times L \times S \times C \times P$$

式中， $A_m$ =土壤流失量(tons/ha/yr)； $R_m$ =降雨沖蝕指數(Mj-mm/ha/hr-yr)； $K_m$ =土壤沖蝕指數(tons-ha-yr/ha-Mj-mm)； $L$ =坡長因子； $S$ =坡度因子； $C$ =植生覆蓋因子； $P$ =水土保持處理因子。

#### 一、降雨沖蝕指數( $R_m$ )

降雨沖蝕指數( $R_m$ )係由黃俊德(1979)分析本省八個氣象站(基隆、新竹、台中、日月潭、高雄、恆春、台東及花蓮)20年的自記日雨量記錄，並以全台灣200個雨量站的月雨量資料為輔，利用這些氣象站之記錄以非線性迴歸方程式求算各地雨量與年降雨沖蝕指數的關係，建立臺灣本島的年平均降雨沖蝕指數，利用地理統計可求算台灣地區年平均降雨沖蝕指數等值圖，本計畫區之降雨沖蝕指數分佈如圖3-11-1。

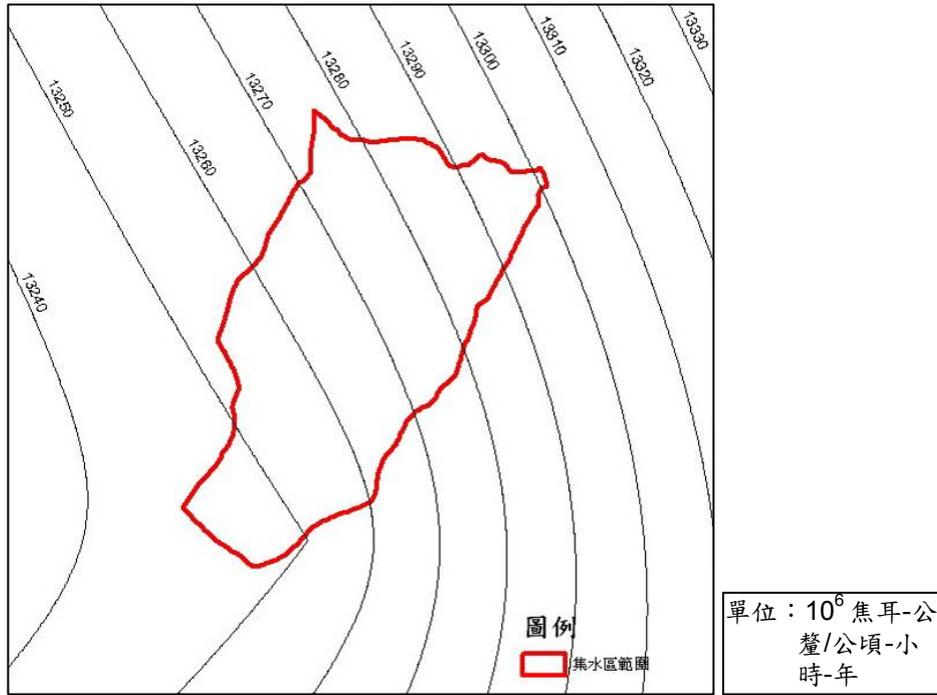


圖 3-11-1 清流溪等集水區年平均降雨沖蝕指數(Rm)圖

二、土壤沖蝕指數(Km)

土壤沖蝕指數(Km)係採用萬鑫森、黃俊義(1981、1989)所調查之台灣坡地土壤沖蝕指數值，利用地理統計可求算台灣地區土壤沖蝕指數等值圖。本計畫區之土壤沖蝕指數分佈如圖3-11-2所示。

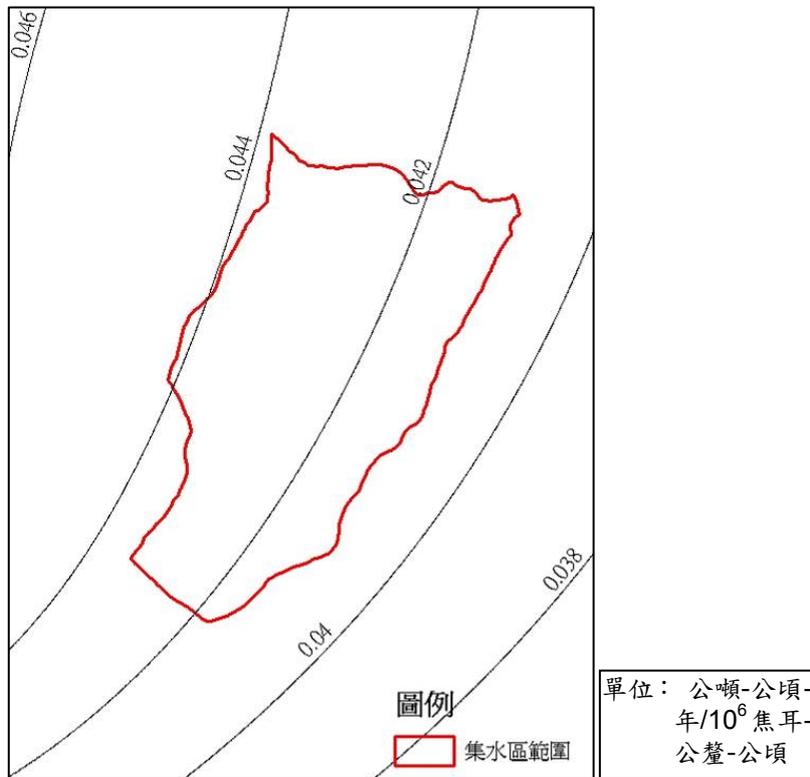


圖 3-11-2 清流溪等集水區土壤沖蝕指數(Km)圖

### 三、坡長因子(L)

通用土壤流失公式中，坡長因子(L)係採用Wischmeier and Smith (1965)之計算式： $L=(l/22.13)^m$ ；式中l為地表漫地流之流長(公尺)，m隨著坡地的坡度而改變，Wischmeier and Smith (1978)分析指出：當坡地坡度小於1%時， $m=0.2$ ；當坡度介於1%與3%之間時， $m=0.3$ ；當坡度介於3%與5%之間時， $m=0.4$ ；而當坡地坡度大於5%時， $m=0.5$ 。地表漫地流之流長係由地表逕流開始發生的地點起算，至沖蝕的土壤發生明顯淤積或至匯集逕流水之渠道為止，其間的水平投影距離。

坡長因子之計算，除了田間小規模樣區試驗可直接量測之外；若以集水區為考量，多數學者係以固定坡長或網格大小來估算，至目前為止並無學者對集水區之坡長提出合理的計算。假設集水區坡面受到地面窪蓄、入滲等作用以及山溝、道路排水側溝等之截流，地表漫地流之流長甚少超過100公尺，以及一般坡地安全排水，超過100公尺即需分段排水，否則逕流集中易形成蝕溝之條件下；以數值高程模型，利用排水流向之觀念，撰寫程式萃取集水區漫地流與渠道流(為安全與方便計算，地表水之流長若超過100公尺時，可視為渠道流)之空間分布。藉由集水區漫地流之流長，利用USLE坡長因子之算式，自動萃取集水區之坡長因子，供坡面土壤流失量及泥砂產量之合理評估。

由於評估集水區之地形係利用台灣地區數值高程模型，網格解析度為20m×20m所產生。若以地表水之流向為指標，累計流長在5個網格以下者可視為漫地流，以此來估算集水區之坡長分布；累計流長超過5個網格時視為渠道流。

### 四、坡度因子(S)

坡度因子係計算各網格之平均坡度( $\theta$ )，再以Wischmeier and Smith (1978)所提出之坡度因子公式： $S=65.4\sin^2\theta+4.56\sin\theta+0.0654$ 求算而得。

### 五、覆蓋與管理因子(C)

由於台灣地區之C值尚無資料庫可資利用，目前C因子取得方式已逐漸由遙測影像來取代，利用土地利用判釋結果轉換為C值，然影像判釋工作需專業之遙測操作人員及耗費時間方能取得所需資訊，若能藉由綠

色植生量之評估來產生所需之C值資料庫，將有效地縮短評估C值所需時間。為能迅速取得C因子，利用遙測理論之植生指標(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)來計算覆蓋與管理因子。NDVI值之計算方法如下所示：

$$NDVI = \frac{(IR - R)}{(IR + R)}$$

IR為近紅外光；R為紅光，其值域介於-1至1之間。所求得NDVI值愈大顯示地表植被覆蓋愈佳，而地表植被覆蓋愈佳則表示C值愈小，將NDVI線性反向配置成C值，其公式為：

$$C = \left[ \frac{1 - NDVI}{2} \right]^a$$

式中a為實數，經計算後之C值介於0至1之間，而a值可由集水區內主要之土地利用的NDVI值計算而得。以集水區常見之地表覆蓋而言，通常以林地最多，其次為農作物包括果樹類及蔬菜類，其他則為水域、裸露地或草地等。以衛星影像計算NDVI時，通常水域、建築區與裸露地之NDVI值極為相近，將其轉換為C值時會明顯高估(根據水土保持技術規範：水體之C值為0，建築區之C值為0.01)，故本計畫在計算C值時將水域、水體及建築區之部分挖除，以避免高估；而山區之雲層亦為C值反向配置之干擾因子，對於雲層太多之影像亦應予以修正。

本計畫利用民國97年11月2日所拍攝之SPOT-5衛星影像資料，以線性反向計算C值(即a=1時)，將NDVI之擬合結果如圖3-11-3，理論上C值愈小為覆蓋良好林地，C值愈大為裸露地。將計畫區之水域、水體及建築用地挖除後之林地、果樹類、蔬菜類及裸露地之NDVI值以線性反向計算，其C值分布如圖3-11-4。

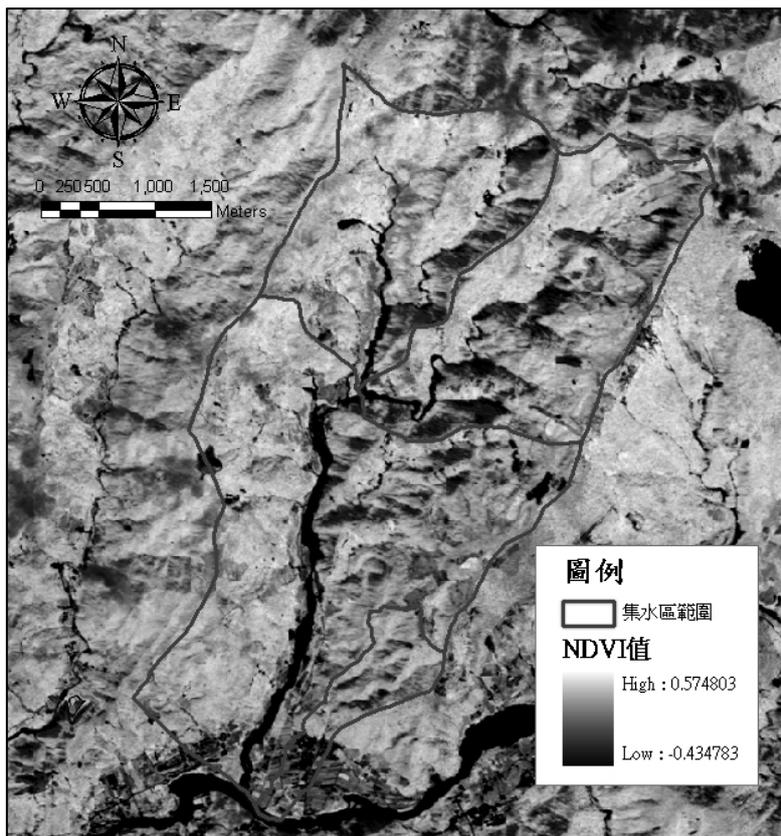


圖 3-11-3 清流溪等集水區 NDVI 常態化差異植生指標圖

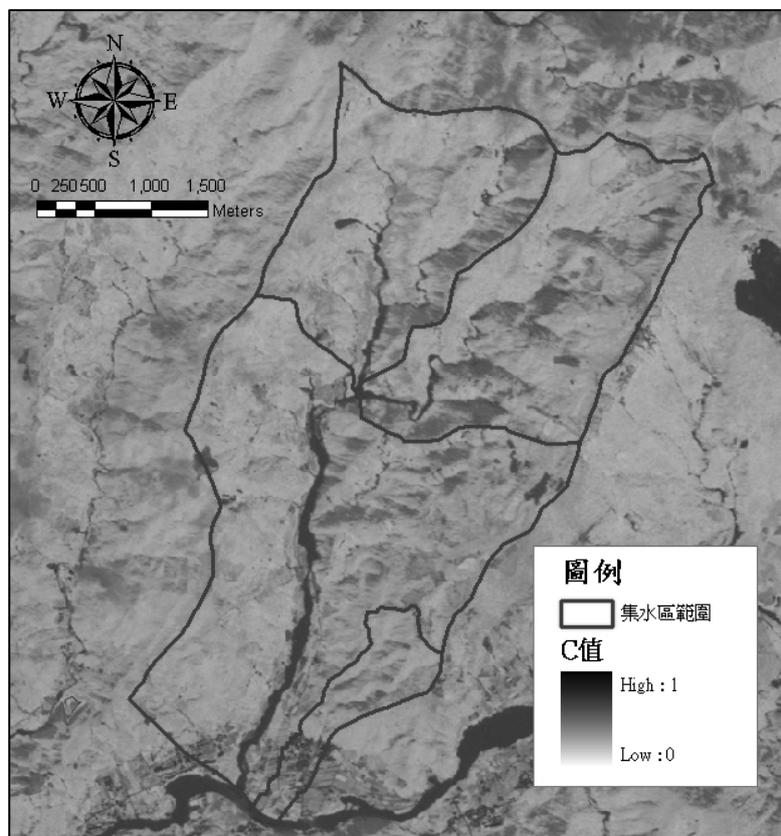


圖 3-11-4 清流溪等集水區 C 值分佈圖

## 六、水土保持處理因子(P)

以最危險狀態為考量，即假設在無任何水土保持處理之狀態下(P=1)進行評估。

## 七、泥砂遞移率

集水區泥砂經由沖蝕傳輸至下游出口處者，謂之集水區泥砂產量；此與集水區總沖蝕量不同。在某一時期內通過溝渠或河流某一斷面之輸砂量與該斷面以上之集水區總沖蝕量之比，稱為泥砂遞移率(Sediment Delivery Ratio ; SDR)。因渠道崩塌量與河床輸砂量不易量測；加上泥砂遞移率牽涉到時間與空間的尺度，河床質之遞移需以較大重現期距之逕流水方能將其帶動，致集水區渠道沖蝕量無法如坡面土壤流失量可用USLE公式簡易的以年平均值來加以評估。而坡面泥砂遞移率受到降雨、土壤、地形、植生與人為等因子之影響極大，因子間亦存在著交感效應，實用上並無法逐一考量。為簡易計算坡面泥砂之遞移率，假設坡面泥砂主要係由坡面地表水所帶動，運移至渠道(常流水)而流失。依此一假設及泥砂遞移率之定義，泥砂遞移率可視為某格點對最接近渠道格點之泥砂貢獻量，若將泥砂貢獻量用網路上游流入面積表示，則網路上游流入面積愈大，其產生的逕流量亦愈大，愈能將泥砂帶至河道。因此，集水區坡面上任一格點之泥砂遞移率，可視為該格點上游流入面積與該格點流至最接近渠道之上游流入面積之比值；意即濱水區愈靠近渠道之格點，其坡面沖蝕之泥砂愈容易進入渠道，而增加河道之泥砂產量，故泥砂遞移率愈高。集水區之坡面泥砂產量( $Y_s$ )可由集水區坡面土壤流失量( $A_m$ )與坡面泥砂遞移率(SDR)之乘積( $Y_s=A_m*SDR$ )來推算(林昭遠及林文賜，1999)，藉由網格之排水流向可計算每個網格之泥砂遞移率(如圖3-11-5)。

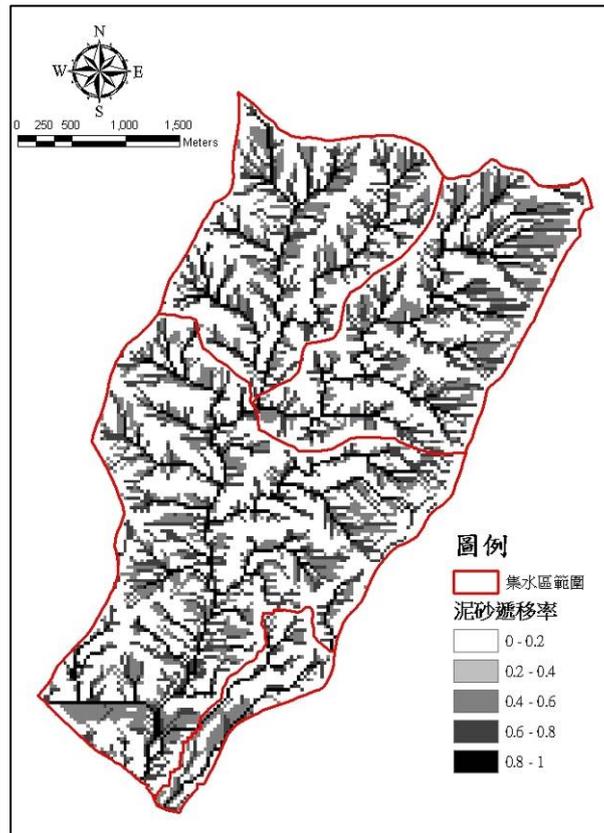


圖 3-11-5 清流溪等集水區泥砂遞移率圖

八、土壤沖蝕量估算

根據分析成果，計畫區年平均土壤沖蝕量約為 $119,259(m^3/year)$ ，平均沖蝕深度為 $7.05mm$ ，以上游眉原溪左、右支流集水分區最多，下游眉原溪主流集水分區次之，南投A022集水分區較少；上游左、右支流集水分區因位處山嶺陡坡區域，地表逕流對表層土壤之沖蝕力相對較大，另研判前後期航照圖顯示區域內亦有頻繁之農耕、果園開發行為，加上處於眉原斷層帶附近地質破碎及土壤多數屬石質土，其地勢陡峻、坡面裸露而形成大量地表土壤沖蝕，且坡度陡峻之河川水流，其挾砂能力也相對較強，故泥砂產量相對增加，分析成果如圖3-11-6、表3-11-1所示。

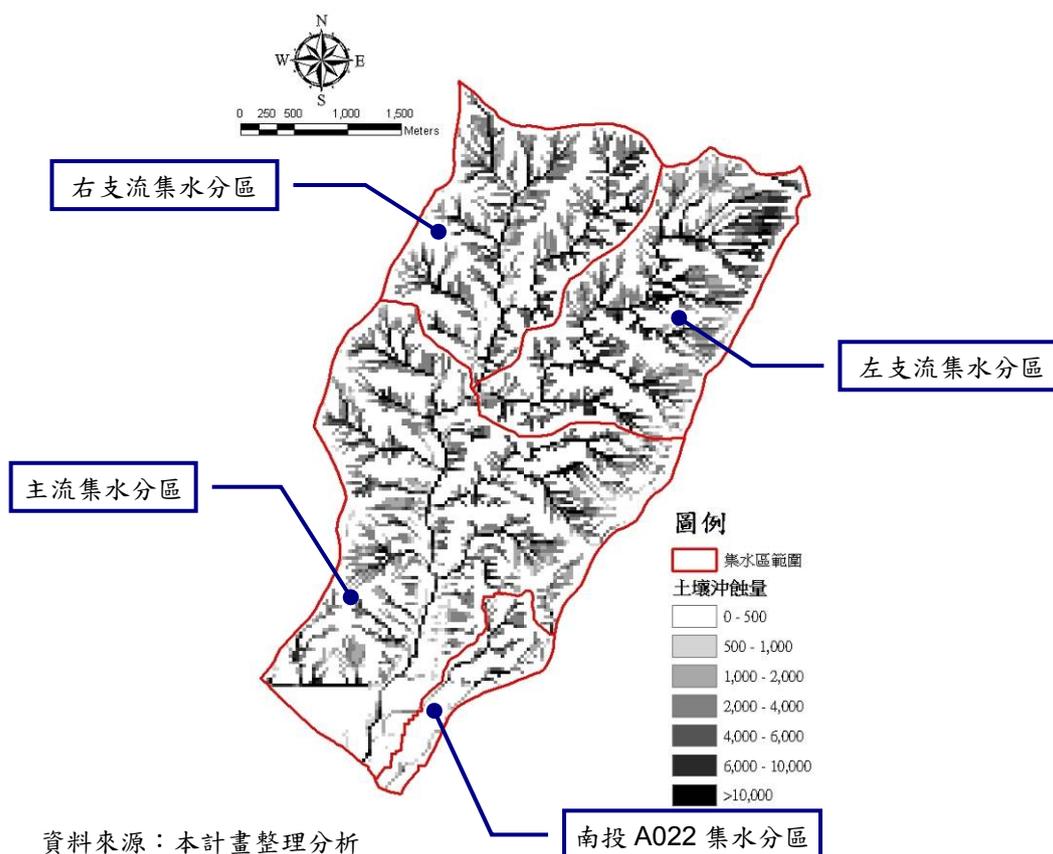


圖 3-11-6 清流溪等集水區土壤沖蝕量圖

表 3-11-1 清流溪等集水區各集水分區土砂生產量表

集水分區	集流面積(ha)	坡面土壤沖蝕量 (m <sup>3</sup> /year)	平均沖蝕深度(mm)	排序
眉原溪右支流	390.10	24,398.40	6.24	2
眉原溪左支流	433.60	50,642.55	11.65	1
眉原溪主流	787.20	43,909.76	5.56	3
南投A022	81.10	308.84	0.38	4
總計	1,692	119,259.55	7.05	

資料來源：本計畫整理分析

由前期水土保持局「烏溪、北港溪及八卦山西麓上游集水區整體調查規劃」(96.09)所推估年平均土壤沖蝕量範圍及水利署「烏溪流域聯合整體治理規劃」(92.02)所推估清流溪集水區坡地沖蝕泥砂生產量約122,731(m<sup>3</sup>/year)，與本計畫推估之119,259(m<sup>3</sup>/year)相比較，差距並不大，研判差距在於目前計畫區崩塌裸露面積縮小，地表植生漸漸恢復，及後續整治工程發揮成效所致。

### 3-11-2 崩塌土方量推估

依照水土保持技術規範第三十八條規定：「崩塌量調查方法，應由實測或部分配合推估實施之。新崩塌地，得利用實際勘查或利用航照圖判斷，亦可得利用衛星影像分析，以進行崩塌量之調查。」

崩塌發生之原因常為土壤孔隙水壓增加，致使風化層的抵抗力小於重力作用，而導致地滑或崩塌現象之發生。當岩石碎屑伴和土壤與水分沿坡面向下移動，直到崩塌材料用盡為止方停止運動，崩塌材料常因此堆積在河道或較緩之坡面。在崩塌量之推估上，一般常用的方法為(Dymond et al., 1999)假設坡面之剪應力等於抗剪力時(圖3-11-7)，為啟動崩塌之機制瞬間，此時剪應力為 $F_g = \rho * g * \sin\theta$ 而抗剪力為 $F_s = S/d$ ，因此可得崩塌深度與坡度之關係為：

$$d = S / (\rho * g * \sin\theta)$$

式中，S：剪應力、d：崩塌深度、 $\rho$ ：土體密度、g：重力加速度、 $\theta$ ：坡度。

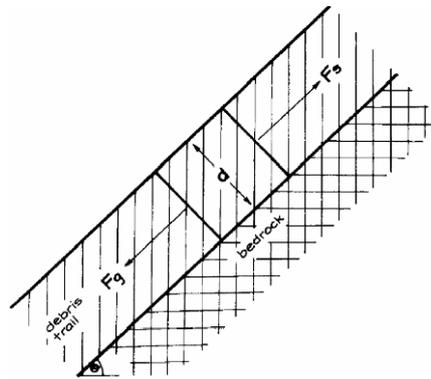


圖 3-11-7 坡面崩塌機制示意圖

由上式應可觀察到崩塌深度與坡度之正弦呈現正比關係，但事實上並非任何坡度的邊坡皆可發生崩塌現象，崩塌常好發在某特定範圍內(歐陽元淳，2003)，因為太緩和的邊坡無法促使坡面產生足夠的剪應力，而太陡邊坡則常因表土的風化層太薄，亦無法產生足夠的崩塌力量。於計畫集水區內崩塌地進行判釋評估時，利用前後期航照圖(2003年、2008年)及地形圖並從河道堆積土石估算分析，依照現況不同之坡度範圍給定代表之崩塌深度如表3-11-2。

表 3-11-2 坡度與崩塌代表性深度對照表

坡面坡度(度)	崩塌平均代表深度
0~30	1.5
30~60	1
>60	0.5

註：本計畫依現地調查修正

上述是假設崩塌為風化後之岩體或崩積層，故為一經驗式，崩塌地若道路可到達作調查者則以現地調查之資料為主，但在對大面積之集水區進行總體評估或大量之崩塌地土方量計算時，實為一簡單迅速的方法。

依據農委會水土保持局於93年七二水災後針對崩塌地之判釋成果顯示，計畫區內共有47處崩塌地，崩塌面積達108.82ha。為掌握計畫區內最新崩塌分佈區位，採用SPOT-5衛星影像(2008.11.2拍攝)配合本計畫進行之航空正射影像(2008.10.22拍攝)、無人載具空拍照片(2008.11.11拍攝)進行崩塌地判釋及數化，作為崩塌地現勘及崩塌量推估之依據。

本計畫經影像判釋及現勘比對後發現計畫區崩塌地雖已有植生輕微入侵或部分崩至岩盤出露，但其多數坡面上仍有淺層覆土有再崩之虞，且本次判釋之崩塌地多屬4年來之新增崩塌地，故推估4年來之崩塌土方量約149.7萬立方公尺，平均年崩塌量約37.4萬立方公尺，其中崩塌量以上游左支流集水分區及主流集水分區為最多。計畫區各集水分區崩塌土方量推估結果詳表3-11-3所示。

表 3-11-3 清流溪等集水區各集水分區崩塌土方量表

集水分區	資料	單位	合計	集水分區	資料	單位	合計
眉原溪右支流	崩塌地個數	處	62	眉原溪左支流	崩塌地個數	處	75
	崩塌地面積	m <sup>2</sup>	372,932		崩塌地面積	m <sup>2</sup>	500,458
	崩塌量	m <sup>3</sup>	407,600		崩塌量	m <sup>3</sup>	531,966
眉原溪主流	崩塌地個數	處	163	南投 A022	崩塌地個數	處	4
	崩塌地面積	m <sup>2</sup>	482,566		崩塌地面積	m <sup>2</sup>	2,294
	崩塌量	m <sup>3</sup>	554,211		崩塌量	m <sup>3</sup>	3,441
				總計崩塌地個數			304
				總計崩塌地面積 m <sup>2</sup>			1,358,250
				總計崩塌量 m <sup>3</sup>			1,497,218

資料來源：本計畫資料分析整理

### 3-11-3 土石流潛勢溪流土砂流出量推估

土石流潛勢溪流土砂量涉及崩積料源供給量之不確定性及河道輸送能力之縱向變化，依據水土保持局最新之公告土石流潛勢溪流區位可知，計畫區內有一土石流潛勢溪流南投A022，經現場勘查現況已經整治，且現況植生入侵，因此參考水土保持局90年12月委託國立成功大學水利及海洋工程系謝正倫教授之「桃芝颱風災區土石流潛勢分析成果」報告書調查結果，建議採用不超過機率50%之迴歸方程式予以計算，較符合現場評估結果，其公式如下： $V_{50} = 19,498A^{0.56}$

式中，A為溪流之有效集水面積(km<sup>2</sup>)，V為土石流流出量(m<sup>3</sup>)。針對本計畫區內之土石流估算土砂流出量，土石流潛勢溪流南投A022之有效集水面積約93.4ha，總計推估土石潛能流出量約有1.88萬m<sup>3</sup>。

### 3-11-4 集水區土砂流出量推估

#### 一、河道輸砂量推估

基於集水區內各河段並無實測斷面資料，故本計畫將採用Takahashi平衡濃度公式(1982)推算各支流之年平均輸砂能力。此公式可用於各種底床坡度下，求得輸砂平衡濃度，進一步計算河段輸砂量(此公式較適用於河床質以礫石、粗砂等粗顆粒為主的河道)。

$Cd_{\infty} = \exp(1.7 \ln \theta - 5.83)$ ，式中： $Cd_{\infty}$ ：體積濃度(m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)、 $\theta$ ：河道縱向坡度(°)

將各重現期之輸砂量依其發生之機率加權相加，其總和即為該河段之平均年輸砂量，可依下列公式計算：

$$Q_A = 0.01Q_{200} + 0.005Q_{100} + 0.015Q_{50} + 0.04Q_{25} + 0.08Q_{10} + 0.2Q_5 + 0.4Q_2$$

式中， $Q_A$ =平均年輸砂量； $Q_{200}, Q_{100}, \dots, Q_2$ =200年, 100年, ... 2年重現期洪水之輸砂量。推估結果詳表3-11-4所示。

表 3-11-4 清流溪等集水區各集水分區輸砂能力計算表

集水分區	集水區面積(ha)	坡度(度)	體積濃度(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	輸砂能力(m <sup>3</sup> )							平均輸砂能力(m <sup>3</sup> )	
				1.1年	2年	5年	10年	20年	25年	50年		100年
右支流	389.14	3.12	0.021035	40,912.58	94,594.99	138,945.61	164,927.31	187,913.01	194,887.31	215,466.39	234,866.71	96,521.53
左支流	437.81	2.78	0.017229	33,509.42	77,477.97	113,803.31	135,083.60	153,910.03	159,622.32	176,477.60	192,367.42	79,055.89
主流	1613.80	2.307	0.012478	24,268.44	56,111.65	82,419.45	97,831.22	111,465.83	115,602.83	127,809.88	139,317.72	57,254.43
南投A022	93.35	1.2	0.004028	78,33.45	18,111.91	26,603.63	31,578.30	35,979.321	37,314.675	41,254.91	44,969.45	18,480.78

註：年平均輸砂量=0.25×1.1年輸砂能力+0.35×2年輸砂能力+0.2×5年輸砂能力+0.08×10年輸砂能力+0.04×25年輸砂能力+0.015×50年輸砂能力+0.005×100年輸砂能力+0.01×200年輸砂能力

資料來源：本計畫資料分析整理

## 二、泥砂產量推估

各主要支流集水區年平均產砂量包含年坡地沖蝕量及年平均崩塌量，年坡地沖蝕量是依據水土保持技術規範規定之通用土壤流失公式(USLE)，並以ArcGIS系統推估(詳3-11-1節)，年平均崩塌量則是由前後期判釋之新增崩塌地(前期為七二水災後之崩塌地及本計畫判釋之崩塌地)比較4年來之崩塌量，求其年平均崩塌。

依據上述分析原則，各控制點下游河段之河段輸砂能力可分析該河段之土砂流出量及土砂淤積量(或淘刷量)，其泥砂運移情形及流程如表3-11-5和圖3-11-8和所示；茲將各河段情況分述如下：

- (一)上游左、右支流集水區現況為土石回淤情形，此兩區位為眉原溪上游河段，雖然溪床坡度變化大、輸砂能力較強，但因上游坡面多處崩塌裸露地，大量土砂下移至河道，且於左右支流匯流處地形河道急促束縮，造成土石阻塞河床回淤，呈現河道淤積狀態。右支流泥砂產量合計 $157,389\text{m}^3$ (年坡地沖蝕量+年平均崩塌量)，年平均河道輸砂量 $96,522\text{m}^3$ ，故其年平均河道土石淤積量為 $60,867\text{m}^3(157,389\text{m}^3-96,522\text{m}^3)$ ；左支流泥砂產量合計 $152,542\text{m}^3$ (年坡地沖蝕量+年平均崩塌量)，年平均河道輸砂量 $79,256\text{m}^3$ ，故其年平均河道土石淤積量為 $73,486\text{m}^3(152,542\text{m}^3-79,256\text{m}^3)$ 。
- (二)主流河道由左右支流匯流口以下，河道坡度漸緩輸砂能力降低，兩側坡面仍有大量崩塌裸露坡地，大量土砂下移至河道，故本區段呈現一嚴重淤積狀態，以上游西寶橋及下游清流橋附近因河道束縮尤為嚴重。主流河道泥砂產量合計 $358,041\text{m}^3$ (主流土砂生產量+上游輸砂產量)，年平均河道輸砂量 $57,254\text{m}^3$ ，故其年平均河道土石淤積量為 $300,787\text{m}^3(358,041\text{m}^3-57,254\text{m}^3)$ 。
- (三)土石流潛勢溪流-南投A022(清流溪)上游坡面呈現較為穩定之狀態，崩塌裸露地較少，無大量土砂下移至河道，但河道坡度較大，故呈現一輕微淘刷狀態。清流溪泥砂產量合計 $1,169\text{m}^3$ (年坡地沖蝕量+年平均崩塌量)，年平均河道輸砂量 $18,481\text{m}^3$ ，故其年平均河道土石掏刷量為 $17,312\text{m}^3(1,169\text{m}^3-18,481\text{m}^3)$ 。

結果分析計畫區主要溪流眉原溪整體呈現土石淤積狀態，利用集水區泥砂產量計算推估，主流河道平均年土砂淤積量約達40萬 $m^3$ 左右，以現地調查並利用計畫區數值地形模型結果依現地河道平均河寬、坡度、溪流長度、高程變化及土石淤積狀態估算不安定土方量(詳圖3-11-9)，其約為37.5萬立方公尺，與本計畫推算集水區主流年平均河道土石淤積量大致相符，利用DTM配合現地調查以分析河道土砂淤積量，分析泥砂產量推估結果以規劃集水區防砂工程規模、保護構造物等。

綜合計畫區河道通洪能力檢討、淹水區位分析及土砂分析可知，由於計畫區地質不佳、颱風豪雨及地震因素等影響，坡面沖蝕及大量崩塌土石下移主流河道，造成眉原溪土砂淤塞嚴重，除了因土石侵蝕造成河岸邊坡崩塌、道路護岸損壞之外，於眉原溪上游匯流口、中游西寶橋及下游清流橋上下游，因河道地形狹隘或施設橋樑河道束縮造成通水斷面不足，以致洪水土砂溢淹兩岸路面，造成構造物損毀、土地流失及危及當地居民生命財產；土石流潛勢溪流-南投A022(清流溪)依據各項分析及現地調查結果可知，上游坡地狀況穩定僅少量土石下移河道，因坡陡流急造成河床有沖蝕下刷情形，其下游匯流北港溪兩岸處因未施設構造物保護以致農地流失、道路損毀。

表 3-11-5 清流溪等集水區土砂運移量計算表

集水分區	年坡地沖蝕量 S1( $m^3$ )	年平均崩塌量 S2( $m^3$ )	合計 S1+S2( $m^3$ )	年平均河道 輸砂量( $m^3$ )	年平均河道 土石淤積量( $m^3$ )
右支流	24,398	132,991	157,389	96,522	淤積60,867
左支流	50,642	101,900	152,542	79,056	淤積73,486
主流	43,910	138,553	182,463	57,254	淤積300,787
南投A022	309	860	1,169	18,481	淘刷17,312

資料來源：本計畫資料分析整理

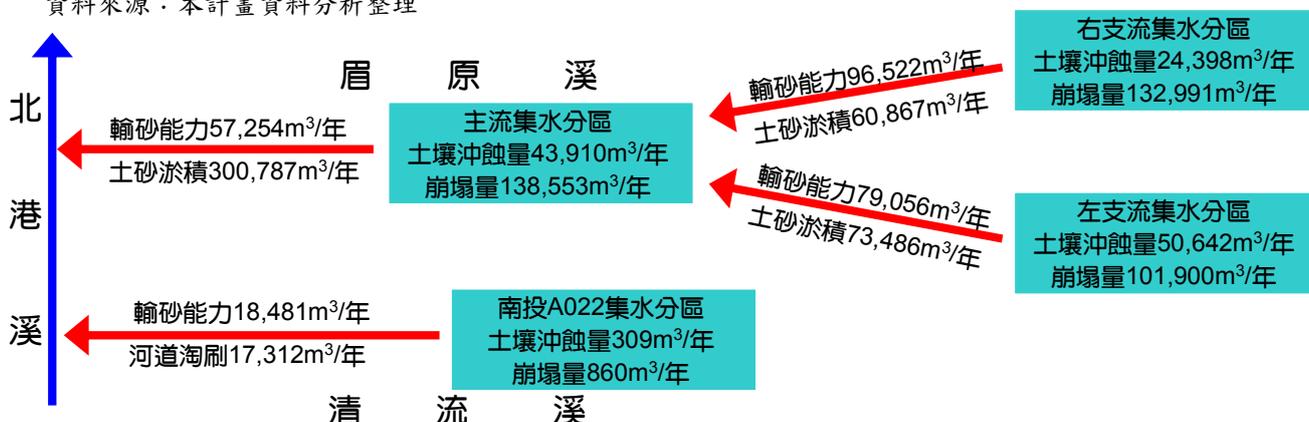


圖 3-11-8 清流溪等集水區泥砂運移情形流程圖

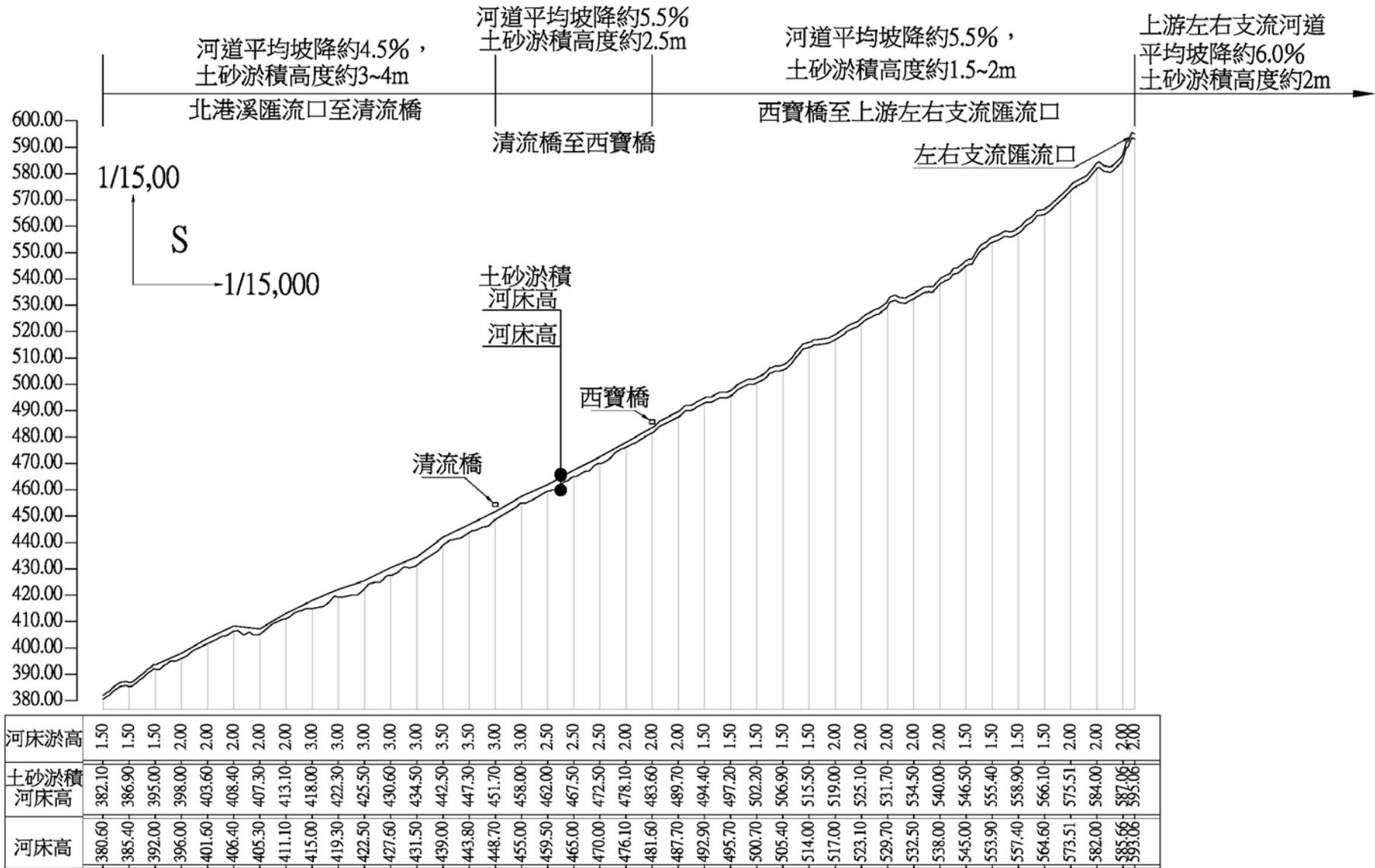


圖 3-11-9 眉原溪主流河道高程及土砂淤積調查分析圖