

第四章 崩塌地處理原則與對策

4.1 處理原則

本區之崩塌地處理方法，包含工程與非工程方法，工程方法包含抑制工法與抑止工法，抑制工法是指以改變邊坡之地形或地下水等自然環境，來穩定邊坡的各種工程設施，如整坡、排水等；抑止工程是指以工程結構來抗制滑動，具即效性，如排樁、擋土牆等。

非工程方法則以疏散與觀測為主，所觀測之項目有地下水位觀測、雨量觀測、地表變位觀測及滑動面觀測等。整治工程除了應考慮最佳報酬率外，整個計畫的緩急程度亦不容忽視，故整治工程應依各種調查結果擇一或組合數種工法，做最有效的應用，本計畫崩塌地處理方法如圖4-1-1所示。

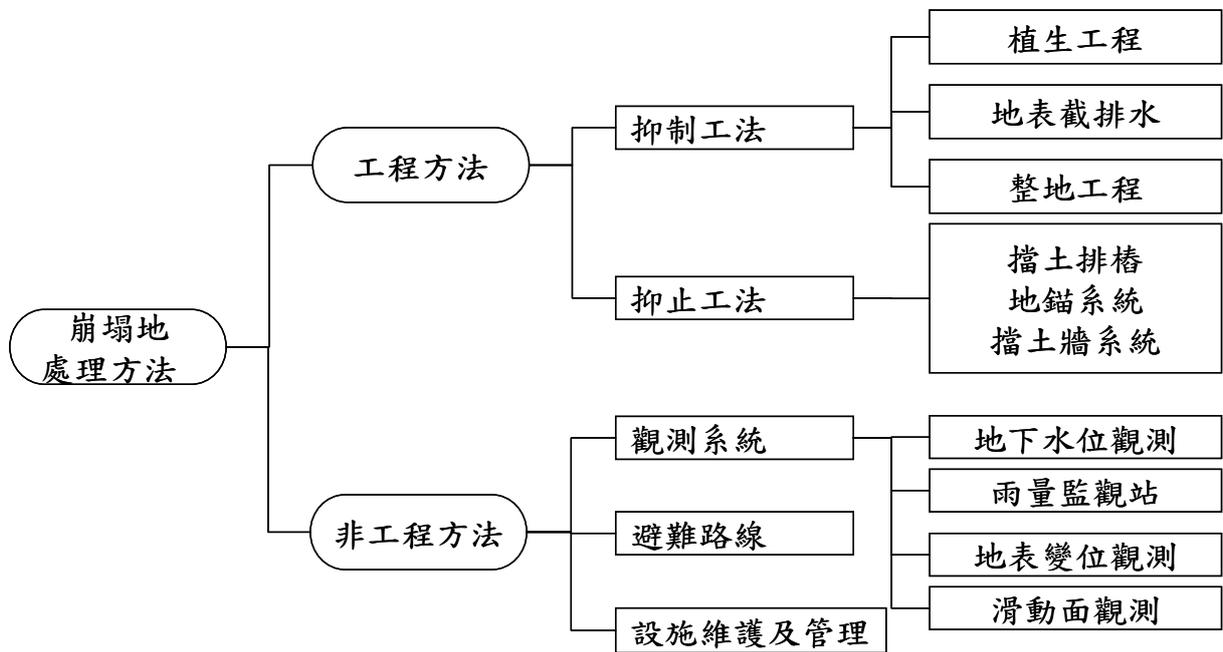


圖 4-1-1 崩塌地處理方法

地層依據發生原因與防治方法，彙整如下圖所示。依照前章分析，本地滑地屬於自然誘因產生之地層滑動，地滑類別則為崩積土地滑，後續將依邊坡穩定分析、崩塌地觀測結果，擬定較適合當地之防治方法。

◎地滑發生原因與其防治方法

Failure Mechanism of Landslide and its Remediation Processes

主要原因		地滑類別	防治工法										備考	
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J		
自然誘因	降雨、融雪滲透、地下水增加、河川侵蝕	岩盤地滑	◎	△	◎	△	◎	○	○	○	◎	◎	△不常使用之工法 ○偶而使用之工法 ◎最常使用之工法	
		風化岩地滑	◎	△	◎	△	◎	○	○	○	◎	◎		
		崩積土地滑	◎	◎	◎	△	○	◎	◎	○	○	△		
		粘質土地滑	◎	◎	○	○	△	◎	◎	○	○	△		
人為誘因	挖土	岩盤地滑	△	△	◎	△	◎	○	○	○	◎	△不常使用之工法 ○偶而使用之工法 ◎最常使用之工法		
		風化岩地滑	△	△	◎	△	◎	○	○	○	◎			
		崩積土地滑	○	◎	◎	△	◎	◎	◎	◎	○			△
		粘質土地滑	◎	◎	○	△	△	◎	◎	○	○			△
	填土	崩積土地滑	△	◎	◎	△	△	◎	◎	◎	◎			○
		粘質土地滑	△	△	△	△	△	◎	◎	◎	◎			△

註：A：地表排水工程(滲透防止工程，排水溝)
 B：淺層地下水排除工程
 C：深層地下水排除工程(橫向集水管，集水井)
 D：地下水截斷工程
 E：挖方工程(含護坡工程)
 F：填方工程(含擋土工程)
 G：河川構造物
 H：佈樁工程
 I：深基礎樁
 J：岩錨

資料來源：崩塌地調查、規劃與設計手冊（地滑篇），水土保持局，民國81年。

圖4-1-2 地滑發生原因與其防治方法

4.2 邊坡穩定分析

本計畫根據鑽探結果(地滑觀測、地表觀測等資料分析)，及參考週遭相關地質報告，以STABL進行邊坡穩定分析。

STABL程式係以FORTRAN程式語言撰寫而成，利用二維的極限平衡法分析邊坡穩定問題，且以切片法計算安全係數，亦可分析特定之滑動面之外，對於異向性土壤、邊坡內的地下水位、坡面或坡頂上的外加载重及邊坡上地錨或岩錨的設置等都能加以分析，且可迅速分析出模擬的邊坡問題，其分析步驟整理如圖4-2-1所示。

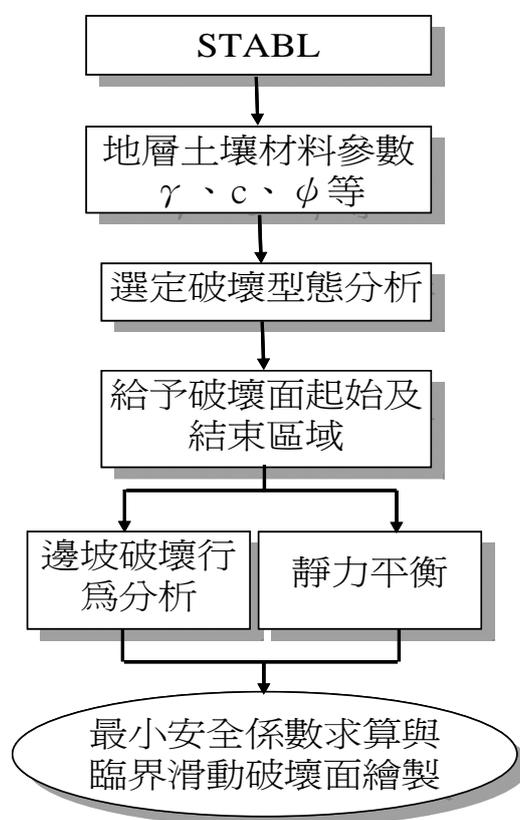


圖4-2-1 STABL分析流程

一、地層土壤材料參數

本計畫參考「大旗崩塌地災害復建工程」之地質鑽探試驗資料，其地質鑽探試驗結果，土壤參數 $\gamma=16.2 \text{ KN/m}^3$ ； $c=3.9 \text{ KN/m}^2$ ； $\phi=19^\circ$ ，其下岩層之岩層參數 $\gamma=20.6 \text{ KN/m}^3$ ； $c=49 \text{ KN/m}^2$ ； $\phi=28^\circ$ 。

依此地層土壤材料參數，經STABL邊坡穩定分析結果，於「常時」之環境特性，邊坡安全係數小於1，呈現不穩定易滑動之情形，破壞圓弧曲線落於坡趾處覆土層，與本計畫長期觀測地表變位與TDR觀測及現況比較有所不同，顯見該地層土壤材料參數需進行檢討。

故本計畫以地質鑽探試驗數據為主體並參考鄰近區位鑽探報告，修正本區地層土壤材料參數。修正後，本區地質土壤主要分為2層，表土覆蓋層主要為粉質粘土與頁岩塊混雜之崩積層，土壤參數 $\gamma = 16.2 \text{ KN/m}^3$ ； $c = 14 \text{ KN/m}^2$ ； $\phi = 19^\circ$ ，其下為頁岩層偶夾薄砂頁岩層，選用之岩層參數 $\gamma = 20.6 \text{ KN/m}^3$ ； $c = 49 \text{ KN/m}^2$ ； $\phi = 28^\circ$ 。

本計畫為求修正後之地層土壤材料參數能具現地之代表性，再依莫拉克風災前之邊坡地型與風災期間之降雨觀測結果，進行邊坡穩定分析。分析結果，「暴雨」時，主測線邊坡安全係數為1.07；副測線邊坡安全係數為0.83，分析成果如圖4-2-2、圖4-2-3所示。副測線邊坡於「暴雨」時安全係數小於1，呈現不穩定易發生滑動破壞之現象，破壞曲線落於覆土層。此一分析結果與莫拉克風災後現況及第3章地表變位觀測成果相近，即莫拉克風災後，於主測線之地表變位觀測與TDR觀測並無滑動之情形，而副測線邊坡覆土層有淺層位移。

推測試驗資料中覆土層參數偏低原因，1.試體取樣於莫拉克颱風後，現地覆土層含水飽和度較高；2.取樣之試體為風災時所崩落之解壓土體；3.試體取樣時因震動擾動及試體保存方式等因素，造成覆土層強度降低與原土壤參數產生落差。

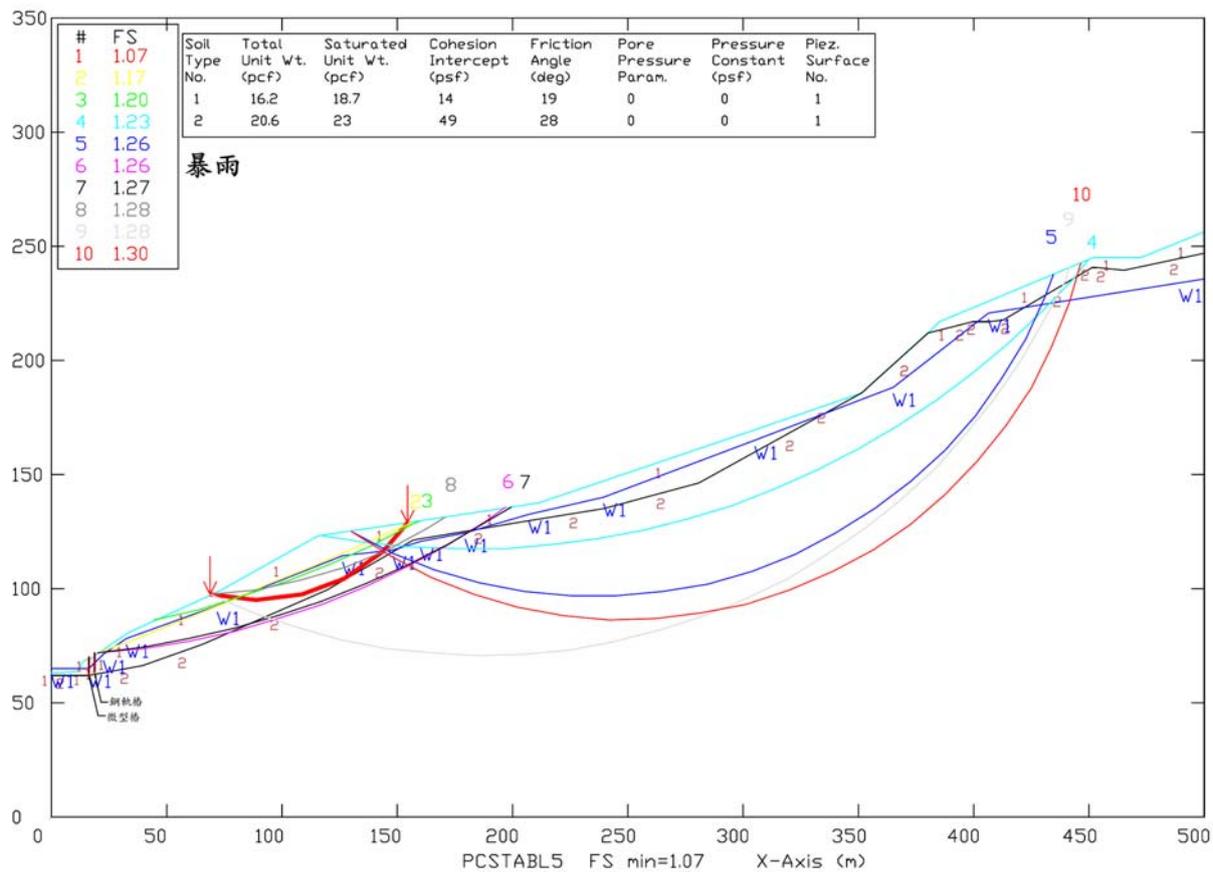


圖4-2-2 莫拉克風災降雨事件主測線邊坡穩定分析-暴雨

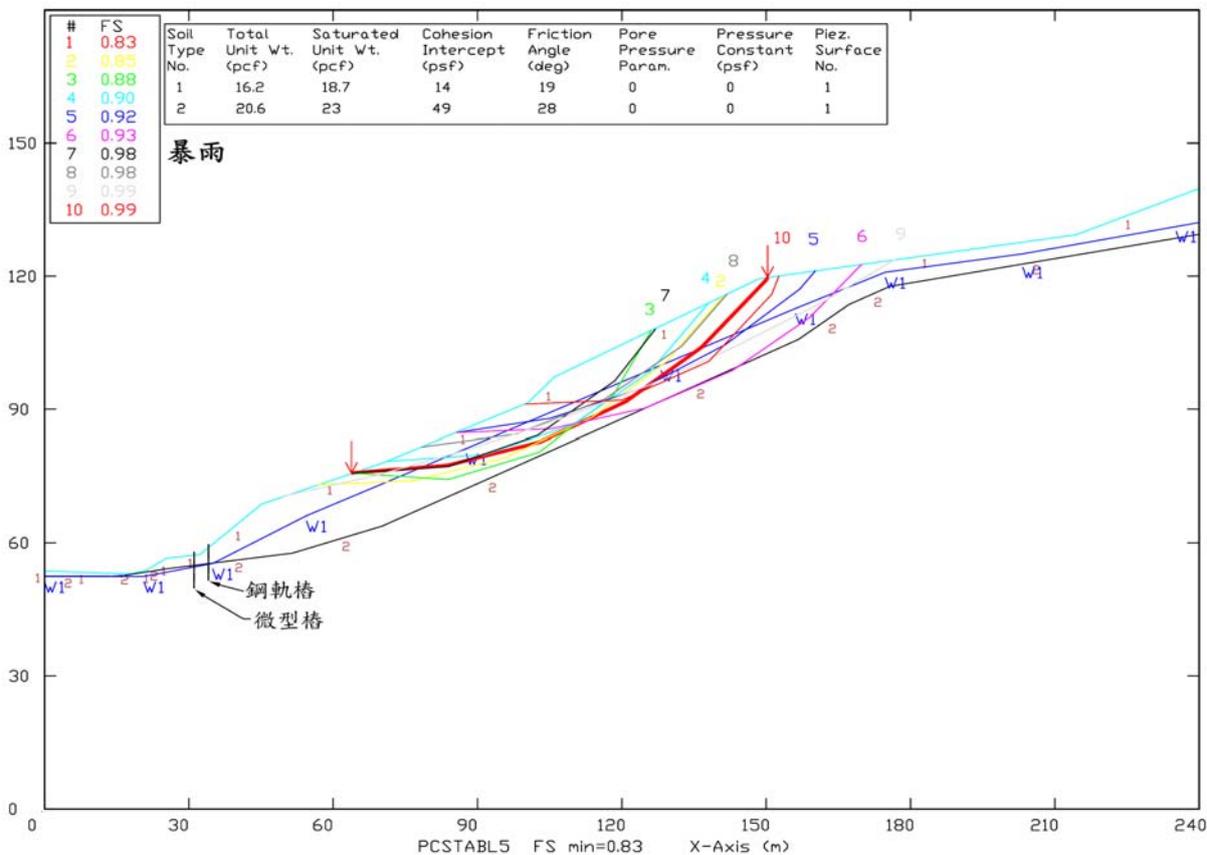


圖4-2-3 莫拉克風災降雨事件副測線邊坡穩定分析-暴雨

二、現況穩定性分析

經本計畫初步分析判斷，邊坡穩定分析擬針對本區主測線邊坡及副測線邊坡分別進行「常時」及「暴雨」兩種環境特性之STABL邊坡穩定分析。

主測線邊坡主要包含有崩塌頭部、滑落崖與崩塌區之冠部及坡趾等，於97年7月13日下午發生大面積地層滑動後，水土保持局南投分局立即進行崩塌頭部、滑落崖之裂縫填補、坡頂客土袋截水、坡面帆布覆蓋、坡面截水處理、坡面裂縫填補、危木砍除與頭冠部安全排水2處等工程；崩塌區之冠部及坡趾，於災害發生後亦立即進行河道清淤與坡趾施設鋼軌樁、微型樁加固防止滑動等工程，非工程方法方面，於地質鑽探後同時進行地下水位觀測、滑動面觀測、地表變位觀測與雨量觀測等儀器之佈設。本計畫依據災後崩塌之地形及所施設之緊急與短期工程與非工程觀測成果進行邊坡穩定分析。

根據分析結果，主測線邊坡於「常時」安全係數(FS)=1.13，研判本區覆土層屬崩積土，土壤強度低且結構鬆散，且位於主測線崩塌區之冠部及坡趾段地形坡度較陡(S=54.76%)，為發生表土層破壞之潛在因素。另依現地地下水位觀測結果，於暴雨時，當地下水位上升至離地面7m時，安全係數(FS)將會位於臨界值1.07，若水位繼續上升，其安全係數(FS)將會小於1，主測線邊坡仍處於不穩定之狀態，安全係數介於臨界值，破壞曲線落於下方邊坡處之覆土層內，故主測線邊坡仍有加強治理，增加邊坡穩定之需求，分析結果如圖4-2-4、圖4-2-5所示。

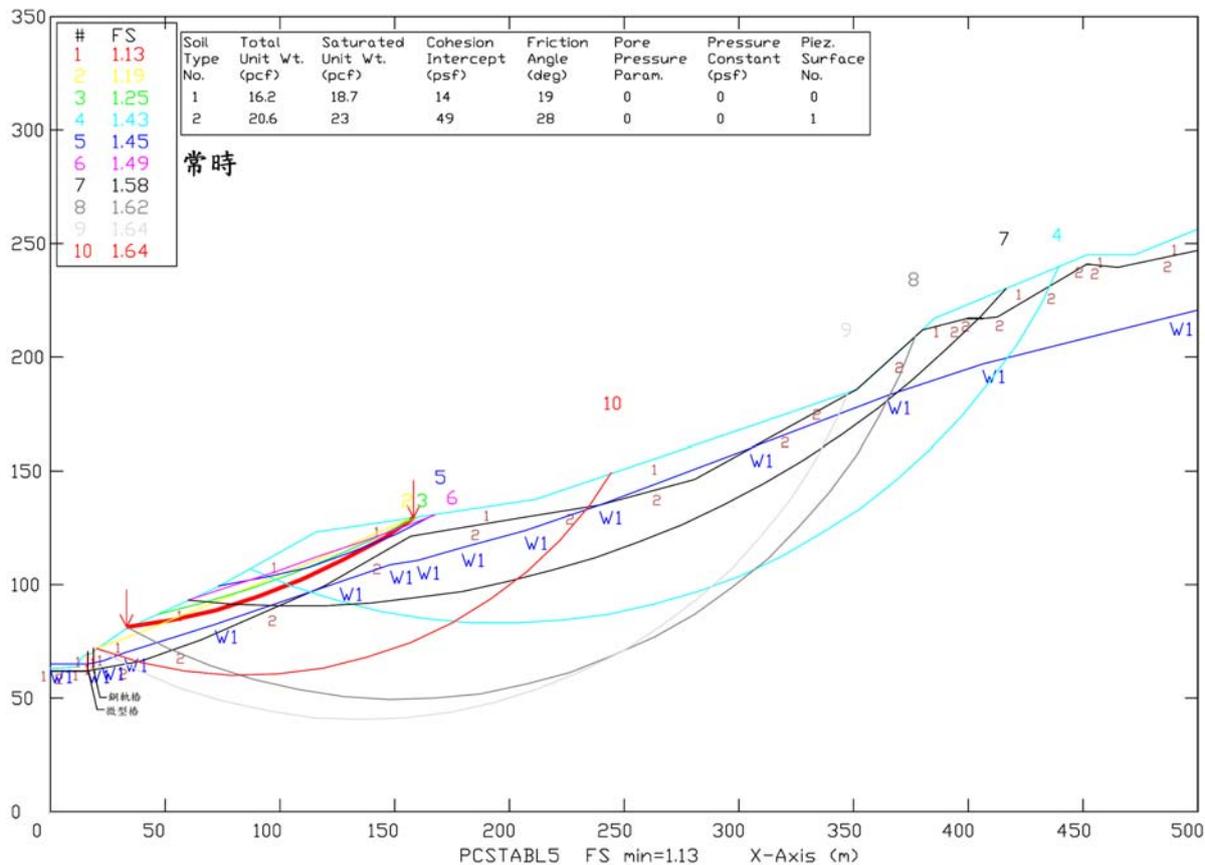


圖4-2-4 主測線邊坡常時邊坡穩定分析

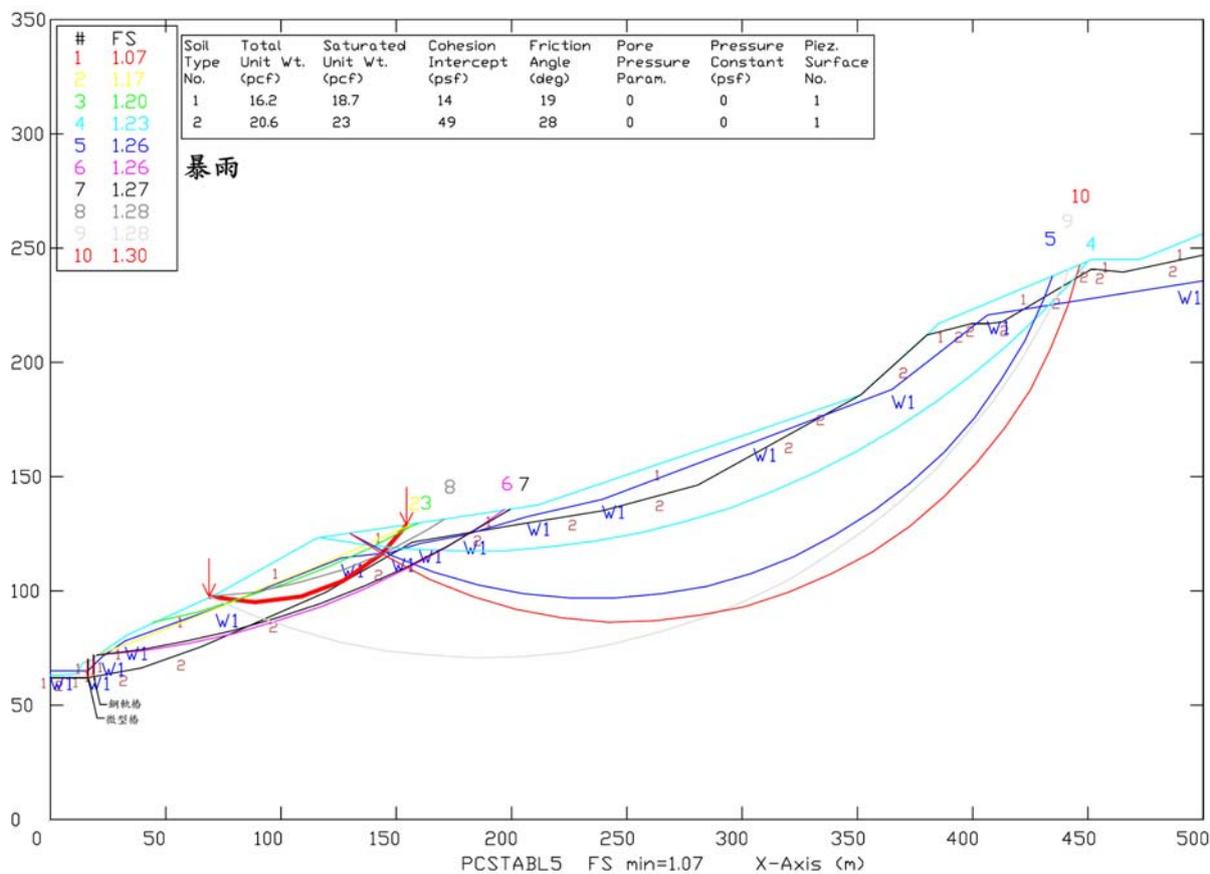


圖4-2-5 主測線邊坡暴雨邊坡穩定分析

副測線邊坡主要範圍包括崩塌區之冠部及坡趾，觀測期間，TDR觀測並無滑動現象，僅於98年4~5月間因降雨及8月份莫拉克颱風期間，地表變位觀測有明顯淺層滑動之現象。針對此一現象，本計畫在莫拉克風災後，立即進行災後現地調查與地形測量，並做副測線現況地形邊坡穩定分析。因莫拉克風災後現地坡腳淘刷流失，致使副測線邊坡地形較主測線邊坡地形變化大，經分析結果副測線邊坡，於常時安全係數(FS)=1.09，暴雨時安全係數(FS)=0.96，安全係數皆介於臨界值，顯示副測線邊坡仍不穩定，後續需加強工程之治理。副測線邊坡分析結果整理如圖4-2-6、圖4-2-7所示。

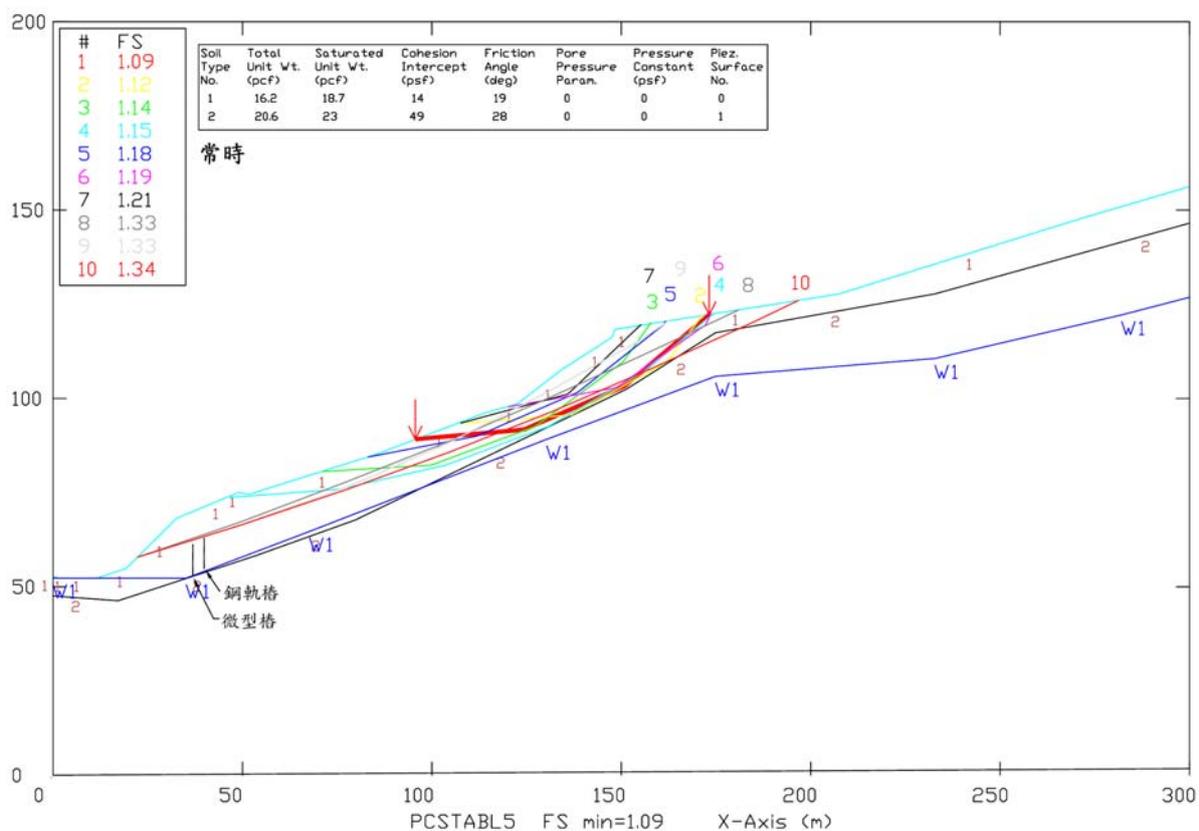


圖4-2-6 副測線邊坡常時邊坡穩定分析

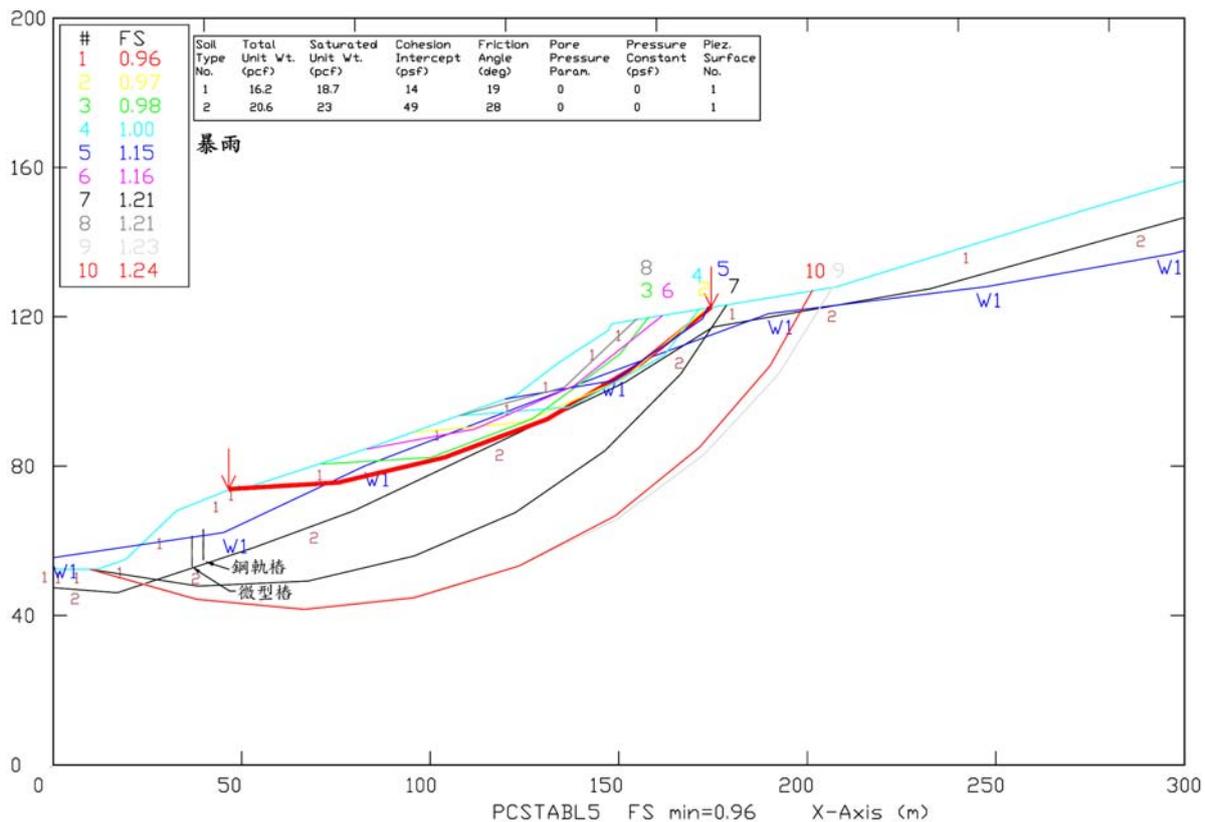


圖4-2-7 副測線邊坡暴雨邊坡穩定分析

4.3 處理對策

本節由現場調查、地滑地觀測資料及綜合上述邊坡穩定分析成果，擬定治理對策與工法，做為後續執行之參考，提出之規劃對策方案乃依照現階段本區地形、地質特性、資料蒐集及鑽探資料、觀測分析而得。規劃處理之對策說明將由冠部至坡趾水長流溪逐一說明，各項處理措施包含坡頂截水、滲透防止處理、坡面處理、坡趾穩定等對策。整體平面配置彙整如圖4-3-1所示，縱斷面配置如圖4-3-2。

一、坡頂截水處理

本計畫地表觀測以及蒐集台電於 # 194 電塔之傾斜管觀測資料，發現於颱風豪雨時位移量有明顯增多，且目前坡頂仍有部分地表裂隙，為避免坡頂之地表逕流流入裂隙或脆弱地層內，而造成二次滑動情形，必須藉由坡頂截水及地表排水工程，將表面逕流排放至安全地方。坡頂截水依照現況可分兩部分進行處理，分別為通往大旗農路排水及通往冠部之農路排水，分別概述如下：

（一）大旗農路截水

為排除上邊坡地表逕流，避免流入本區，於崩塌區上邊坡大旗農路處，採用擋土牆配合矩型溝，將坡頂至崩塌區之逕流截除，並於適當位置配合坡度變化，設置消能條減緩水流能量，將水導至既有溝渠排放。相關配置如圖4-3-3～圖4-3-4所示。



大旗農路截水溝整治前現況

（二）冠部農路截水

由大旗農路至崩塌冠部中，有一舊有之農路，可於該處設置第二條截水，由於本條截水之集水範圍不大，流速較緩，採用拍漿溝處理，將水排放至下游既有溝渠，可達到安全排水之目的。相關配置如圖4-3-5～圖4-3-6所示。

二、滲透防止處理

根據現場地表調查，在崩塌區上邊坡，目前仍有多條裂縫，為避免水流滲透，將對本區坡頂多觸裂縫進行相關滲透防止工程，回填材料以運用原地土方，或具阻水功能之黏質土為佳，裂縫填補後必須迅速完成植生處理。



大旗邊坡裂隙整治前現況

三、坡面處理

本項處理可分為三部分，分別為(1)掛網植生、(2)階段處理（配合撒播及覆蓋稻草席）以及(3)縱橫向排水設施。

於滑落崖坡面較陡處，因目前崩塌坡面坡度達到64.53%，植生入侵不易，為求迅速恢復植生，規劃採用掛網植生並搭配能快速恢復植生之草種，掛網面積約為2.5公頃。



大旗滑落崖整治前現況

滑落崖以下至崩塌頭部中坡度較為平緩（ $S=23.6\%$ ）之區域，根據地質鑽探資料覆土深度為6~7公尺間，目前坡面沖蝕情形顯著，地表形成多處大小不一之沖蝕溝，如順原有地形直接進行治理，因地表逕流之流向不穩，可能對構造物造成破壞，且不易施工，故規劃將此區整理成平台階段，並於階段表面鋪設稻草席及撒播草種，以快速恢復植生。平台階段搭配縱橫向排水以蒐集地表逕流，順利將坡面之逕流排往下游安全處。

橫向排水採用拍漿溝，縱向排水則採用矩形溝設計，於縱向溝面加入消能設施，並於適當位置設置跌水或潛壩，以減緩流速，達到消能目的。且因本區屬於崩積土層，土質破碎鬆軟，故在縱橫向排水下施設盲管以收集淺層之地下伏流水，並預留覆蓋土沉陷高度，同時。本計畫亦編列工程維護經費，作為後續排水與坡面植生修復與維護費用。相關配置如圖4-3-7~圖4-3-11所示。

坡面處理於下邊坡至坡趾部份，本計畫規劃進行修坡工程，修坡位置詳圖4-3-1，主測線下方邊坡部分，從已完成施設之鋼軌樁與微型樁上方，以邊坡坡度1:1、坡形分爲5階、每階坡高5公尺、平台寬度5公尺，進行修坡；副測線下方邊坡目前已進行「大旗崩塌地災害復建工程」，本計畫規劃，後續將銜接工程完工後所修整之坡形，以邊坡坡度1:1、坡形分爲8階，每階坡高5公尺，平台寬度約6公尺，修坡之內容與相關配置詳圖4-3-12、圖4-3-13所示。

四、坡趾穩定

於崩塌坡趾處，已進行鋼軌樁與微型樁之緊急處理。後續並進行「大旗崩塌地坡趾保護工程」，其工程內容包含有重力式護岸382公尺、消能塊共計38處、微型樁共計76處、橫向集水管預留共計3處及坡面排水出口預留共計2處，相關配置詳圖4-3-14。



此外於莫拉克風災後，爲避免副側線邊坡坡趾凹岸處受水長流溪持續淘刷，造成基腳流失，進而發生邊坡滑落情形，水土保持局南投分局立即於坡趾處進行2件災害復建工程，首先爲「大旗崩塌地災害復建工程」，工程內容包含：縱向A1、A2主拍漿溝共計312m、A1、A2拍漿支溝共計539m、HDPE暗溝143m、集水井2座、RCP管6支、矩形溝5m及長15m排樁80支等，已於99年1月10日開工，預計於99年12月15日完工，其次爲「大旗崩塌地災害復建第二期工程」，工程內容包含：排樁工程共計106支，帽樑共148m，護岸工程153.5m，固床工2座，噴漿溝300m，厚層噴植1,400m²及臨時性防災措施等，相關配置詳圖4-3-15~4-3-17所示。

本計畫所規劃之坡頂截水及滑落崖以下至崩塌頭部中之坡面穩定處理，是將坡頂及坡面之地表逕流截流，並將不穩定坡面進行整理，以上工程已陸續完工。

根據本計畫之地下水位觀測資料，坡面上之地下水位於莫拉克颱風(降雨重現期達100年以上)時上升約2.9公尺爲觀測期間最高水位，而地表變位觀測與TDR觀測並無滑動變位之情形，顯見工程已發揮治理成效，工程完工現況照片如圖4-3-18所示。



圖4-3-18 主測線邊坡工程治理竣工現況

本計畫再依據規劃工程完工後之情形與各項觀測成果，於主測線邊坡進行規劃後之邊坡穩定分析，規劃後常時之安全係數(FS)=1.28，暴雨時之安全係數(FS)=1.24；於副測線邊坡部分，於現有工程完工與規劃坡形修整後，常時之安全係數(FS)=1.25，暴雨時之安全係數(FS)=1.12。綜合上述分析成果，本區處理對策於常時之安全係數能達到1.20以上，暴雨之安全係數亦能達到1.10以上，有效降低邊坡滑動或因基腳淘刷導致邊坡破壞之潛勢。分析結果整理如圖4-3-19~圖4-3-22所示。

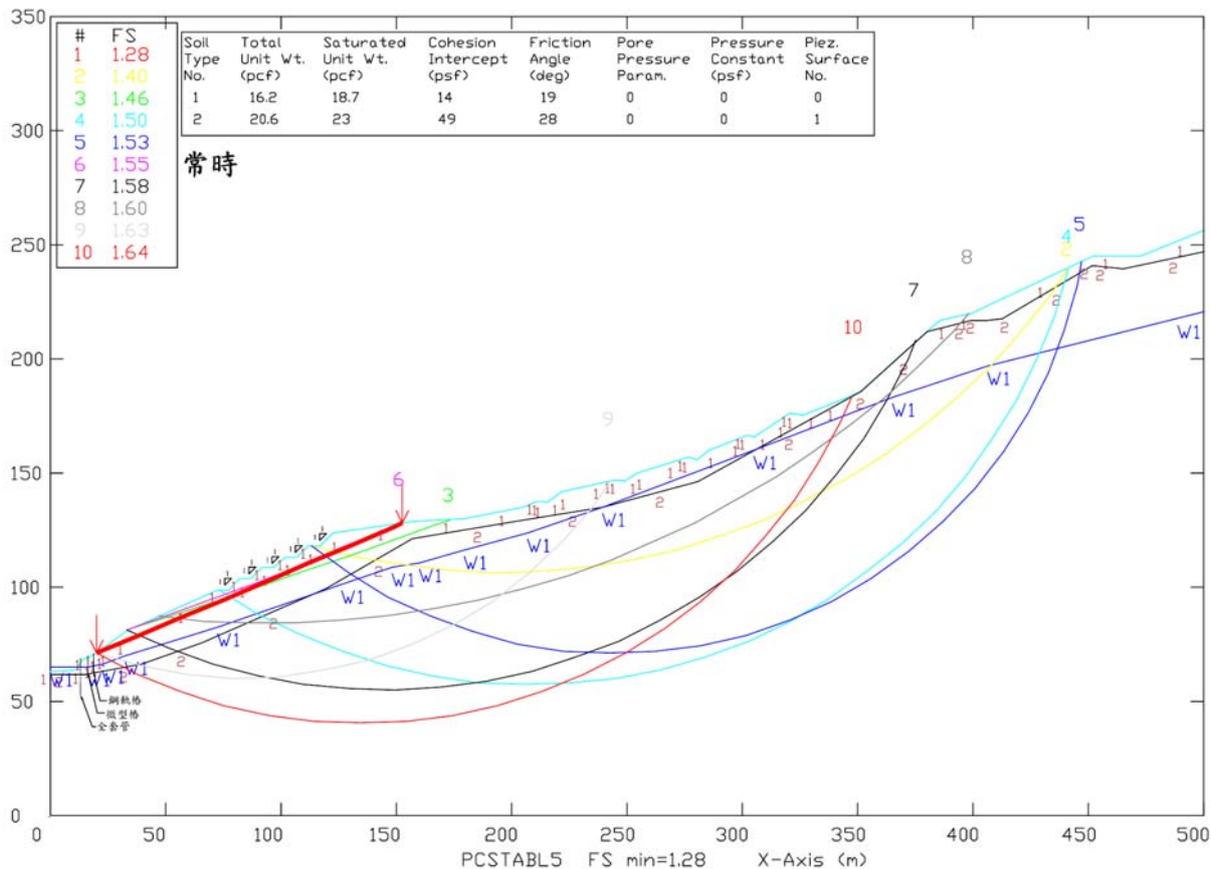


圖4-3-19 主測線邊坡規劃後常時邊坡穩定分析

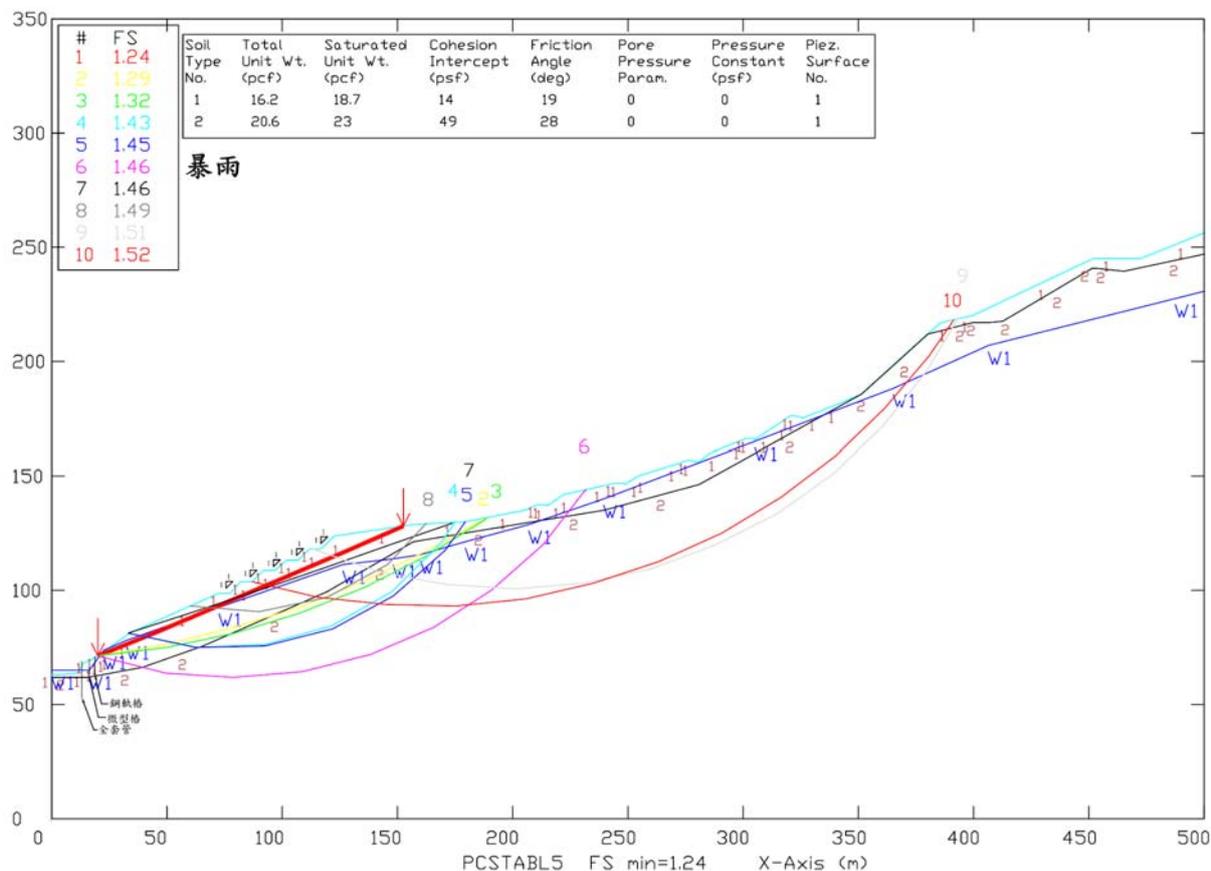


圖4-3-20 主測線邊坡規劃後暴雨邊坡穩定分析

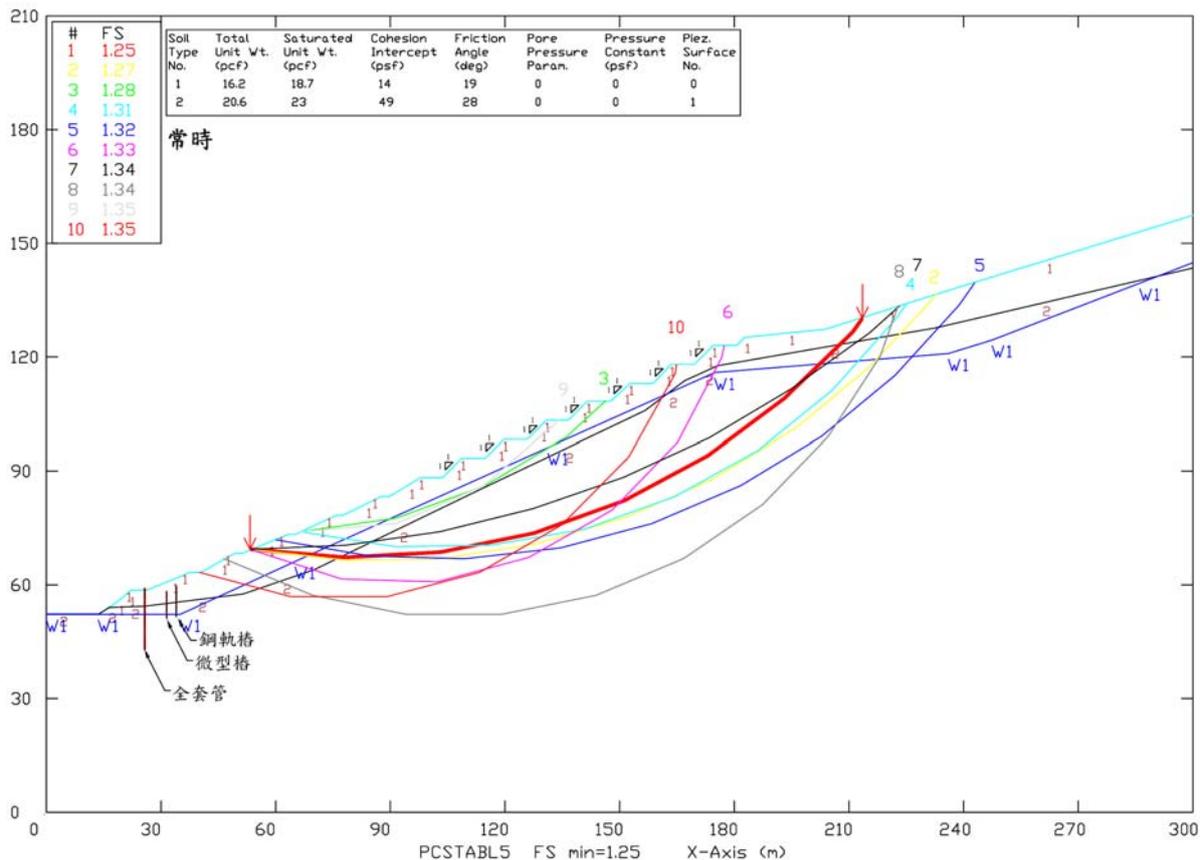


圖4-3-21 副測線邊坡規劃後常時邊坡穩定分析

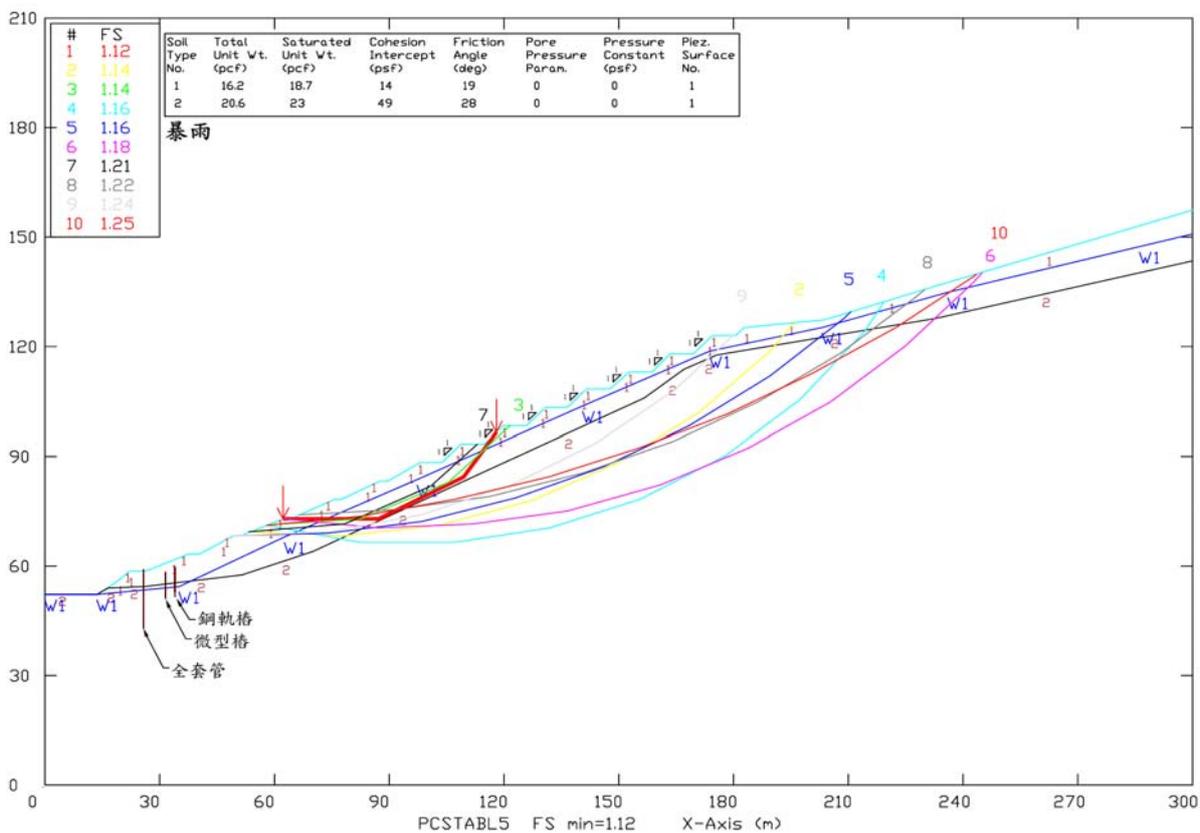


圖4-3-22 副測線邊坡規劃後暴雨邊坡穩定分析

五、工程之維護管理

因上述之地表排水及坡面植生，根據地質鑽探，皆施作於目前崩塌坡面之崩積土層上，避免因地層繼續滑動而造成破壞，將注意後續工程設施之維護管理。

六、工程中與工程後之持續觀測

為充分瞭解本區整治中及整治後之地層變動情形，並驗證整治之成果、建立管理準則，規劃利用相關觀測設施於工程中及工程後持續觀測，以確保工程之預期效能，並評估工程之成效，同時可作為後續警戒之參考。

七、河川整體治理

原則上依據上述處理，坡面應具有一定之穩定性，然本區坡趾即位於水長流溪畔，仍屬中央管河川。為求整治之整體性，在此提出河川一併整治之規劃。

1. 為避免崩塌坡趾持續受到水長溪淘刷，規劃針對水長流溪河道進行疏濬並設置深槽線，使流心偏離本區崩塌坡趾。
2. 目前河道寬度及水利署計畫中之河道治理線較狹小，可能造成河道束縮情形，規劃向左岸擴大目前計畫中之河道治理線。

八、坡頂截水出口改善規劃

於坡頂截水處理所截流之地表逕流，排至崩塌地旁邊之野溪，該野溪目前已有護岸保護，但既有護岸因年代久遠有損壞情形，保護強度不足，為求排水系統之完整，應進行改善，以維護左岸居民及農地之安全。



圖4-3-1 整體規劃平面配置圖

圖4-3-2 崩場地處理縱斷面示意圖

圖4-3-3 坡頂截水平面圖(1)

圖4-3-4 坡頂截水標準圖(1)

圖4-3-5 坡頂截水平面圖(2)

圖4-3-6 坡頂截水標準圖(2)

圖4-3-7 坡面穩定配置圖

圖4-3-8 坡面穩定A1排水溝配置圖

圖4-3-9 坡面穩定A2排水溝配置圖

圖4-3-10 縱向排水溝標準圖

圖4-3-11 階段及橫向排水圖

圖4-3-12 主測線修坡及橫向排水圖

圖4-3-13 副測線修坡及橫向排水圖

圖4-3-14 坡趾穩定配置圖(1)

圖4-3-15 坡趾穩定配置圖(2)

圖4-3-16 排椿設施標準圖

圖4-3-17 坡趾穩定配置圖(3)