

道路加勁邊坡破壞與修復之案例探討

唐玄蕙¹ 吳淵洵²

摘要

本文以新竹地區某一道路加勁邊坡之破壞為研究案例，針對其破壞原因加以剖析與探討並研擬整治與修復方案。研究結果顯示，降雨為造成本案例加勁邊坡發生破壞之主要天然因素，人為影響方面則分析錯誤、排水系統設置不當或失效、施工品質不良，以及使用與維護不當等各因素均或有關聯。交叉比對分析與施工對於破壞之影響，結果顯示以施工夯實品質最具關鍵性。針對邊坡失敗原因，評估兩種修復方案。考量施工、安全、成本、工期及現地環境條件等因素，最後採用回包式加勁邊坡配合鋼軌止滑樁修復。近年來加勁擋土結構作為道路破壞修復工法之比例漸增，本研究建議之修復方案確實可行，可供工程界處理類似工程之參考。

關鍵詞：加勁擋土結構，邊坡破壞，邊坡修復。

CASE STUDY OF HIGHWAY REINFORCED SOIL SLOPE FAILURE AND REHABILITATION

Amy H. Tang¹ Jason Y. Wu²

ABSTRACT

This research conducted a case study for a reinforced soil slope (RSS) failure occurred in Hsinchu area. Analyses and discussions were performed to explore the facts that caused the RSS to fail. Stabilization strategies also were proposed to rehabilitate the slope. Based on the study, intense rainfall was the primary natural issue for the RSS failure. Human factors involved with the failure included erroneous in the mode of analysis or using incorrect parameters, malfunction of seepage dissipation system, poor construction workmanship, and inappropriate service and maintenance. However, results of cross evaluation for the effect of analysis and construction on the failure have shown that the latter post the worst result. Considering the reasons caused the RSS to fail, this study proposed two remediation measures for slope rehabilitation. RSS with steel root piles was selected as final design based on the considerations of construction, safety, cost, schedule, and site conditions. In recent years, the uses of RSS as remedial measure for highway slope failure are more and more popular. The rehabilitation strategy proposed in this paper has been proved feasible and can be used as reference for similar projects

Key Words: Reinforced Soil Structure, Slope Failure, Slope Rehabilitation.

一、前言

國內使用加勁擋土結構之工程實績已逾數千件，其設計經驗及施工技術均已漸趨成熟，然而隨著此工法之蓬勃發展，完工後產生大量沉陷或滑動破壞等失敗案例亦日趨增多，不但造成工程成本的增加，也間接造成社會資源的浪費，甚至危害公共安全(唐玄蕙，2005)。

2004年7月艾莉颱風侵襲全台，氣象局發布三天豪雨特報。豪雨第二天北台灣各地即紛紛傳出災情，新竹縣五峰、尖石、寶山等地之山區道路邊坡亦嚴重受損，其中包含若干加勁擋土結構。鑑於失敗案例之探討，可供工程人員汲取教訓，累積經驗，提升工程水準，預防失敗之發生。

本研究遂以災後全面坍塌之某加勁邊坡為探討對象，進行破壞觀察及原因調查，包括資料蒐集與現場勘測，據以建立現場地層之分析剖面，推估原邊坡之結構設計，擬訂邊坡穩定分析參數，重新檢核原邊坡設計之安全係數，以探討其破壞原因，釐清問題所在。依據探討結果，研擬不同修復方案，並分別針對施工、安全、成本、工期及現地環境條件等各因素加以考量，決定最佳修復方案。本文依據研究結果，針對本案例加勁邊坡之破壞與修復逐一描述，以供相關工程之參考。

二、現地概況

本案例為新竹縣寶山鄉某道路之下邊坡，因艾莉颱風

1. 盟鑫工業股份有限公司業務部副理

2. 中華大學土木工程學系副教授

之豪雨侵襲而造成全面坍塌。破壞路段長約 70m，寬約 10m，深約 19m。坍塌體直落鄰側約 50m 深之山谷，坍塌界面深峻陡峭，形似平面滑動破壞（照片 1）。滑動體頂部除東西二側仍殘留加勁土體外，餘均為原地層，而殘留之加勁格網亦呈現拉扯斷裂現象，顯示破壞面應位於加勁土體與原地層之界面。滑落山谷之加勁土體其格網埋入長度僅約 3m（照片 2）。此外，坍塌裸露面亦清楚顯示此處道路之鋪面會重新鋪築達 50cm，研判坍塌前之路基已產生嚴重沉陷跡象。

2.1 地質

本案之地質狀況依現場破壞之裸露面可明顯觀察得知其地質剖面為典型新竹頭料山層岩相之砂泥岩層。地層分佈狀況由上而下大致分為：(1) 表土層，為黃棕色粉質細砂，含微量黏土，統一土壤分類為 SM，厚度約 3~5m；(2) 岩層，為高度風化之黃棕色砂岩，砂岩層中植物化石含量頗豐，顆粒細小，膠結不良，層理不明顯，節理亦不發達，厚度約 10~15m，其間於深度約 10m 及 15m 處分別夾有層面平行，厚度約為 10~60cm 之灰棕色泥岩，其方位約為 N70°E/15°NW，與裸露面呈斜交構造。岩質顆粒細小，膠結良好。

2.2 水文

坍塌路段位於道路緩降坡之轉彎處，其地形造成上邊坡地表逕流集中於此，並自坍塌路段之邊坡坡面排除，形成長期坡面沖刷及地表水入滲之現象。坍塌坡面位處谷地地形之南側，坡面佈滿青苔，極為濕潤且有滲水情形。由破壞裸露面之觀察可知，地下水水位位於地表面下約 1m，且由上邊坡路段順坡勢匯集於此排出並已造成基礎積水（照片 3）。

三、破壞檢核與探討

3.1 資料蒐集

3.1.1 原設計構造

依據現場之勘察，可推估原加勁邊坡之設計剖面及加勁材之配置如圖 1 所示。邊坡總高度為 19m 分成三階。加勁格網埋深長度分別為第一階 7m、第二階 7m、第三階 5m，牆面坡度為 1：0.3（V：H）。牆體內部排水設施僅第一階含一層碎石級配，於滑落之加勁土體內未見水平排水管，牆體與原地層之界面處亦無滲流之截排水層。此外，地面排水設施之狀況，依據現場觀察，道路路面排水僅於內側設置矩形排水溝，外側紐澤西護欄之排水孔則大多阻塞。

3.1.2 設計分析檢核

- (1) 穩定分析參數：參考鄰近地區之鑽探與試驗資料(中華大學土木工程學系，1999；國立交通大學，2002)，現場地質材料之穩定分析力學相關參數可推估如表 1 所示。依據表 1 之參數以電腦程式 STEDwin 進行邊坡穩定分析，檢核原設計之安全性。

表 1、地質材料穩定分析參數表

土壤參數 地層類型	濕土單位重 (kN/m ³)	飽和單位重 (kN/m ³)	凝聚力 (kPa)	摩擦角 (°)
原地層	20.0	20.8	345	33.0

加勁層	20.0	21.5	114	23.6
泥岩層	21.9	22.2	535	25.8
混凝土基礎	25.0	25.0	600	0

- (2) 地下水水位：由現場勘察發現，崩塌處局部區域之表土層呈含水濕潤狀態，顯示本區地下水極為豐沛。另根據青苔分佈之情形及裸露坡面滲水之情況，研判地表下約 1m 即為地下水水位面。
- (3) 地震係數：根據內政部頒佈之建築技術規則，使用震區（乙區）水平加速度係數尖峰峰值之 1/3 為設計水平地震加速度係數；設計垂直地震加速度係數為設計水平地震加速度係數之 2/3。

3.1.3 分析結果

依據邊坡穩定分析結果，原設計剖面之分析結果如表 2 所示。

表 2、原加勁邊坡之推估安全係數

分析模式	安全係數	本案	規範值
平常模式		4.30	1.5
地震模式		4.05	1.2
暴雨模式（滿水位）		3.44	1.1

分析結果顯示原設計完全符合建築技術規則所訂定之安全係數要求標準，然實際上本工程表現並非如此，可見分析結果或施工品質有其未盡週延之處，以下就其破壞可能原因加以探討。

3.2 破壞原因之探討

工程設施之破壞原因，一般而言，可自天然因素與人為因素二方面加以探討。本案例之加勁邊坡係於豪雨之後發生全面坍塌，顯示其破壞應與降雨具有密切關聯。前人研究結果顯示，無論國內外，眾多邊坡或加勁擋土結構之破壞皆與降雨有關(周南山，2000；范嘉程、馮道偉，2003；唐玄蕙，2005；Rahardjo, et al., 2001；Cho and Lee, 2002；Pando, 2005)。臺灣雨多且不均，故因降雨而導致之邊坡破壞罄竹難書，位於山坡地之加勁擋土結構自亦不易倖免。降雨及滲流造成邊坡破壞之原因係由於地表逕流所造成之沖刷、侵蝕、地下水浸潤所增加土體之自重與飽和度，以及孔隙水壓或滲流壓力所降低之土壤剪力強度(Abramson et al., 2002)。由此推論，降雨應為造成本案例加勁邊坡發生破壞之主要天然因素。

人為因素方面，工程實踐中之規劃、分析、設計、監造、施工，以及使用與維護等均可能造成一項工程設施之破壞。例如規劃失策、分析錯誤、無証設計、施工品質低劣，以及使用維護不當等(Greenspan, 1989)。

評估人為影響與邊坡破壞之關係，一般而言，可自破壞模式加以判釋(徐邦棟，2001；Greenspan, 1989；Abramson et al., 2002)。本案例加勁邊坡之破壞模式為全面坍塌。此種破壞之產生係加勁擋土結構整體因自重及外力作用，自加勁區與原地層之界面或界面後

方產生滑動而形成。破壞原因以區域性影響為主，如加勁結構體週邊之環境與地質因素等。例如以水文地質而言，地面逕流過大或地下水豐沛均可造成加勁結構體因孔隙水壓及滲流壓力增加而破壞（堅尼士工程顧問公司，2004）。而分析失誤造成加勁材長度設計不足或未依規範施工使加勁土體未與原地層有效聯結亦可能為致災原因。

加勁擋土結構因降雨而破壞的另一重要禍端即為排水系統之分析與設計不當，造成排水能力不足或失效，無法及時渲洩地面逕流與地下滲流，造成土體強度折減、破壞之發生。

依據現場勘察結果，崩塌面位於加勁區與原地層之界面處，此與原設計之預測破壞面相似(圖 2~5)，且於暴雨狀態下之理論安全係數亦超過安全標準，因此依據穩定分析探討之慣例，邊坡理應安全無虞。由此顯示，邊坡破壞之發生原因應為分析常理外之因素，以及施工品質或使用維護等因素之影響。參考上述破壞模式原因並綜合比較現場破壞狀況，邊坡之破壞原因可推論如下：

(1) 分析參數或分析模式錯誤

強度參數為邊坡穩定分析正確與否之所繫，選取參數錯誤，其結果自是誤進誤出(garbage in, garbage out)。加勁擋土結構之穩定分析除加勁材的特殊斟酌外，其分析如同一般邊坡，另應考量短期與長期土壤強度參數之差異及地下水位、水壓之變化。而以電腦程式如 STEDwin 分析時亦應考量加勁填方區與原地層界面之破壞可能性，以及如岩土界面或順向坡等特殊地質構造之影響，而非單純的圓弧破壞自動蒐尋。此外，暴雨時之穩定為加勁擋土結構安全分析之標準流程。分析結果為安全，卻仍因降雨而破壞之現象，足以反証分析內容與過程顯有欠缺週延之處。

目前國內關於邊坡暴雨分析之模擬多以地下水位上升之方式為之，然自降雨於邊坡強度之影響而言，此種假設與實際狀況並不相符。降雨時地下水之動態變化實係先由地表逕流藉重力而下滲至地層中，逐漸抵達地下位面，長期影響下造成地下水位之上升。在此過程中，地表逕流之滲水(infiltration)短期內首先將於不飽和之地層內形成飽和浸潤帶(wetting band)，從而引致不飽和土壤抗剪強度之立即折減，因此暴雨分析除應考量長期狀態地下水位之上升外，另應計算因地表逕流滲水所形成之飽和浸潤帶深度及其因此對土壤不飽和強度參數所造成之短期狀態折減(堅尼士工程顧問公司，2004；Cho and Lee, 2002)。由於降雨所引致之邊坡破壞多為平行坡面之淺層坍塌，顯示對於不飽和土壤而言，此種短期狀態之強度折減實為多數邊坡於暴雨後破壞之主因(Abramson et al., 2002; Cho and Lee, 2002)。

范嘉程及馮道偉(2003)說明浸潤帶之深度係依降雨前後土層之飽和度、降雨延時，以及地層滲透係數而定。土壤凝聚力之損失如缺乏土壤試驗資料，則建議採用原土壤凝聚力之 20%~30%為邊坡淺層土壤於暴雨時安全分析之土壤凝聚力；而土壤飽和度對於摩擦角之影響則可以忽略。

依據上述討論，本案例加勁邊坡破壞之可能原因應為分析時未注意加勁擋土結構不飽和填築土料於暴雨時因滲水浸潤產生強度折減之影響。此外，由現場觀察可知，原加勁邊坡之加勁材埋設長度僅約為坡高(H)之 0.5~0.6 (照片 4)，較一般規範之建議值 0.75~1.0H 為短(堅尼士工程顧問公司，2004)，顯示原邊坡分析時並未重視邊坡界面破壞之可能性，導致加

勁材埋設長度不足。而位於陡坡上之基礎亦未設置止滑樁，造成加勁結構體缺乏基礎抗滑能力，亦說明原設計忽視基礎界面破壞之重要性。

(2) 滲流截排水系統設置不當或失效

由於滲水可造成土體強度折減，因此滲流截排水系統設置之正確與否對於加勁擋土結構之安全即具有關鍵性之影響。相關研究統計近年來國內加勁擋土結構破壞案例之發生原因，其結果顯示多數破壞皆與排水系統不良有關(周南山，2000；唐玄蕙，2005)。本案例現場勘測之結果顯示，崩塌路段因地勢所趨成為地面逕流及地下水匯集之處且流量均極為豐沛，而崩塌之加勁土體中卻未見具體而有效之截排水系統。由此可知，排水系統之不當規劃與設計應為本案例破壞之另一主要原因。

(3) 加勁結構體施工品質不良

工程設施之表現與分析預期不符。若分析無誤，則施工品質必然具有顯著之影響。前述提及分析之價值繫於使用強度參數之正確性。一般加勁邊坡填築土料之夯實標準為修正夯實最大乾密度(modified Proctor density, MPD)之 90%。本研究針對原設計加勁層分析檢核取用之強度即係依此標準而得之試驗值。若假設分析正確，則破壞之發生足以顯示現場施工完成之填築土料其強度低於預期值，說明其夯實度未達設計標準方有以致之。為了解原設計邊坡破壞時加勁層之強度參數，本研究針對暴雨模式安全係數 ≤ 1 之各種狀況執行反算分析(back analysis)，其推估值並與現地土壤 80%~85%MPD 之強度參數比較，其結果摘要如表 3 所示。

表 3 暴雨破壞時反算邊坡強度推估值

分析模式	反算強度參數		夯實度 MPD (%)	直剪強度			
	c (kPa)	ϕ ($^{\circ}$)		未浸水		浸水	
				c (kPa)	ϕ ($^{\circ}$)	c (kPa)	ϕ ($^{\circ}$)
滿水位	0	21	85	-	-	0	21.5
強度折減	5	23.6	80	33	21.8	3	21.3

反算結果顯示，於安全係數 ≤ 1 時之推估強度無論係滿水位或強度折減狀態，其強度參數均與 80%~85%MPD 之土壤浸水強度相似。交叉比對分析模式與夯實土壤浸水強度之關係，發現 90%MPD 土體之凝聚力值於折減至其值之 25%後，其安全係數為 1.97，遠超過規範值。由此顯示，本案例加勁邊坡之破壞主要原因應為填築土料施工品質不良，強度未達分析預期值，降雨浸水後復又折減，與原地層形成明顯界面，因而導致災害之發生。

(4) 使用與維護不當

加勁擋土結構之安全除與其興建過程中之工程實踐水準有關外，亦可能因使用與維護不當而導致災害之發生(唐玄蕙，2005)。依據現場勘察結果，崩塌段之路基曾發生嚴重沈陷，顯示此邊坡早已呈現失穩徵兆，維護單位卻未予積極有效改正，僅作表層之修補，而路面排水系統亦未定期清淤，終於導致整體破壞之發生。

四、修復方案

4.1 整治工法評估及對策研擬

本案例路段嚴重威脅當地聯外道路交通之順暢與安全，因此整治方案以修築道路、恢復交通為要務。一般工程災變之理想整治原則為標本兼治，因此本案例之理想修復方案應自較穩定之谷底開始向上施築填方路段，惟因工程金額較高且區域內呈報災修案件繁多，本工程編列經費不足以支應，因此修復策略宜自坍塌坡面中以可承載之地層為基礎，採用結構支撐方式將可能滑動之路段深植於穩定之岩層內。

一般邊坡坍塌整治工法包括排水、修坡、外撐(butressing)、加勁、地錨、佈樁等，各種工法均有其利弊得失 (Abramson et al., 2002)。本案例針對施工、成本、安全、工期及現地環境條件等各因素加以評估後，整治工法可歸納為兩種方案。方案一採用柔性石籠基礎並配合鋼軌樁止滑，其上再配置回包式加勁結構並以土釘與原地層聯結 (圖 6)；方案二則設置鋼筋混凝土剛性基礎及止滑鋼軌樁，其上同樣配置回包式加勁結構，但改以向原地層擴挖方式增加加勁邊坡之寬度，以提高其重力穩定性 (圖 7)。

4.2 安全分析

本研究亦針對整治方案之安全性以電腦程式 STEDwin，使用表 1 之穩定分析參數值，分別就平常、地震及暴雨各種模式加以分析與檢核，其中暴雨模式另考量凝聚力折減之影響。穩定分析結果摘要整理如表 4，詳細分析內容如圖 8~圖 15 所示。方案一分析結果超過安全標準 (參考建築技術規則規定) 之 2~4 倍，方案二則約 2~3.2 倍，兩者均符合安全標準。

表 4、整治方案之邊坡穩定分析結果

分析模式 安全係數	平常模式	地震模式	暴雨模式 (滿水位)	暴雨模式 ($c'=0.25c$)
要求標準	1.5	1.2	1.1	1.1
方案一	4.96	4.75	4.17	2.15
方案二	4.05	3.82	3.45	2.07

探討二種暴雨分析模式與不同設計方案之關係，分析結果顯示，針對不同設計方案，其暴雨分析模式以滿水位或強度折減等不同方式分析時，所得安全係數趨勢相同，惟強度折減所得值僅約為滿水位所得值之 51~60%，由此顯示暴雨分析模式之選擇對於邊坡安全之預測的確具有顯著之影響，其相關性值得進一步探討。

4.3 成本分析

本研究僅就兩方案所需材料及施工費用等直接成本加以分析比較，不含包商利潤、勞安、品管及營業稅等間接成本，其估算結果如表 5、表 6 所示，方案一約高於方案二 25%。

4.4 修復方案之評估與選擇

兩方案之利弊比較如表 7。就安全性而言，以方案一之安全係數較高，此因土釘結合加勁材之結構方式可有效結合加勁層與原地層，提升邊坡整體抗剪強度，惟就施工、成本、安全、工期及現地環境條件而言，方案二均較方案一為優，且安全上亦可符合設計要求標準，故於綜合評估後，決採用方案二進行崩塌路段之修復。本工程現已開始施工，相關施工過程如照片 5~照片 9。目前進度約 70%，

預定於 94 年 5 月底完工恢復交通。

表 5 方案一：土釘加勁工法之直接成本分析

方案一：土釘加勁工法					
項次	項目及說明	單位	數量	單價	複價
1	機械挖方	M ³	5,023	25	125,575
2	機械填方	M ³	7,839	45	352,755
3	外購土方	M ³	2,816	200	563,200
4	加勁擋土牆	M	70	135,326	9,472,820
5	RC 基礎	M	50	16,623	831,150
6	石籠	M ³	300	1,646	493,800
7	土釘打設	支	210	11,020	2,314,200
8	鋼軌樁打設	支	70	10,260	718,200
9	AC 路面鋪設	M ²	840	865	726,600
10	紐澤西護欄	M	70	1,180	82,600
11	直接工程費合計				15,680,900

表 6 方案二：加勁工法之直接成本分析

方案二：加勁工法					
項次	項目及說明	單位	數量	單價	複價
1	機械挖方	M ³	9,550	25	238,750
2	機械填方	M ³	10,055	45	452,475
3	土方搬運	M ³	9,550	60	573,000
4	外購土方	M ³	505	200	101,000
5	加勁擋土牆	M	70	106,678	7,467,460
6	鋼軌樁	支	140	10,260	1,436,400
7	RC 基礎版	M	70	24,605	1,722,350
8	紐澤西護欄	M	70	1,180	82,600
9	AC 路面鋪設	M ²	560	865	484,400
10	直接工程費合計				12,558,435

4.5 邊坡破壞之檢討

本案例之崩塌類型為加勁層與原地層之界面產生滑動破壞，此種破壞模式普遍存在於山區道路拓寬、挖方區擋土結構等工程設施之中。為增加整體穩定性，本研究以結構支撐及擴挖方式將加勁土體嵌入穩定層並以階梯式分階施作，整治結果尚屬成功，惟此種方式之應用宜視個案條件加以考量。台灣山區道路災變多屬此類破壞，近年來加勁擋土結構作為道路破壞修復工法之比例漸增，本文以一災後全面坍塌之道路加勁邊坡為例，探討其破壞原因並提出修復對策，可供工程界處理類似工程之參考。

臺灣雨多不均，每逢颱風豪雨過後，各山區道路坍塌損壞案件頻傳，災修案件不一而足，但如何依個案各項考量因素進行適當之規劃及整治，實考驗工程師的智慧。搶修工程無論設計或施工，時間均極為緊迫，許多案例甚至不及鑽探或進行相關調查。在此情況下，如何正確獲得設計資料、針對破壞機制進行妥善規劃設計，進而落實施工品質要求，是避免工程二次災變的重要課題。

五、結論與建議

本研究以災後全面坍塌之某加勁邊坡為探討對象，進行破壞觀察及原因調查。依據探討結果，研擬不同修復方案，並分別針對施工、安全、成本、工期及現地環境條件等各因素加以考量，決定最佳修復方案。依據研究結果，可得結論與建議如后：

1. 降雨為造成本案例加勁邊坡發生破壞之主要天然因素，人為影響方面則分析參數或分析模式錯誤、滲流截排水系統設置不當或失效、加勁結構體施工品質不良，以及使用與維護不當等因素均或有關聯，交叉比對分析與施工對破壞之影響，結果顯示以填築土料施工品質不良最具關鍵性。
2. 針對不同設計方案，其暴雨分析模式以滿水位或強度折減等不同方式分析時，所得安全係數趨勢相同，惟強度折減所得值僅約為滿水位所得值之半，由此顯示暴雨分析模式之選擇對於邊坡安全之預測的確具有顯著之影響，其相關性值得進一步探討。

表 7、設計方案比較表

	方案一	方案二
設計理念	<ol style="list-style-type: none"> 1. 土釘結合加勁工法，強調加勁層與原地層之結合，防止界面破壞之發生。 2. 基礎以鋼軌樁增加止滑效果 3. 基礎使用石籠增加排水效果，並加強截、排水系統 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 充分利用現地土方。 2. 增擴加勁土體之尺寸，以重力平衡方式增加邊坡整體穩定性。 3. 使用鋼筋混凝土基礎及鋼軌樁，增加地基承載力及抗滑動能力。
優點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 挖填土方量較少。 2. 原地層與加勁層有效聯接，減少弱面存在之疑慮。 3. 安全係數較高。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 施工動作重複性高，複雜性較低。 2. 施工成本較低。 3. 趕工較容易，工期較易掌握。 4. 施工界面較少。
缺點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 施工成本較高。 2. 施工複雜性較高。 3. 施工界面較多。 4. 工期較長。 5. 鋼軌樁耐久性存疑。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 挖填土方量較多。 2. 原地層與加勁層接合處有弱面之疑慮。 3. 開挖面積大，施工中需封閉道路。 4. 鋼軌樁耐久性存疑

參考文獻

- [1] 唐玄蕙，「加勁擋土結構破壞之案例探討」，碩士論文，中華大學土木與資訊工程系，新竹(2005)。
- [2] 中華大學土木工程學系，「寶山第二水庫築壩材料八十八年度補充調查與試驗成果報告書」，經濟部水利署中區水資源局委託，台中(1999)。
- [3] 國立交通大學，「寶二水庫蓄水後邊坡穩定性研究期末報告」，經濟部水利署中區水資源局委託，台中(2002)。
- [4] 范嘉程、馮道偉，「以有限元素法探討暴雨時邊坡之穩定分析」，地工技術，第 95 期，第 61-74 頁(2003)。
- [5] Rahardjo, H., Li, X. W., Toll, D. G., and Leong, E. C., "The effect of antecedent rainfall on slope stability," *Geotechnical and Geological Engineering*, Vol. 19, pp. 371-399 (2001).
- [6] Cho, S. E. and Lee, S. R., "Evaluation of surficial stability for homogeneous slopes considering rainfall characteristics," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vo. 128, No. 9, pp.756-763 (2002).
- [7] Pando, M. A., Ruiz, M. E., and Larsen, M. C., "Rainfall-induced landslides in Puerto Rico: an overview," *Slopes and Retaining Structures under Seismic and Static conditions*, Geotechnical Special Publication 140, ASCE, CD-ROM (2005).
- [8] Abramson L. W., Lee, T. S., Sharma, S., and Boyce, G. M., "Slope Stability and Stabilization Methods," 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York (2002).
- [9] Greenspan, H. F., O'Kon, J. A., Beasley, K. J., and Ward, J. S., "Chapter 4, Investigation of geotechnical failures," *Guidelines for Failure Investigation*, ASCE, New York, pp. 76-97 (1989).
- [10] 徐邦棟，「滑坡分析與防治」，中國鐵道出版社，北京(2001)。
- [11] 堅尼士工程顧問公司，「結合生態與景觀之加勁擋土結構設計及施工規範」，臺北市土木技師公會研究報告，臺北(2004)。

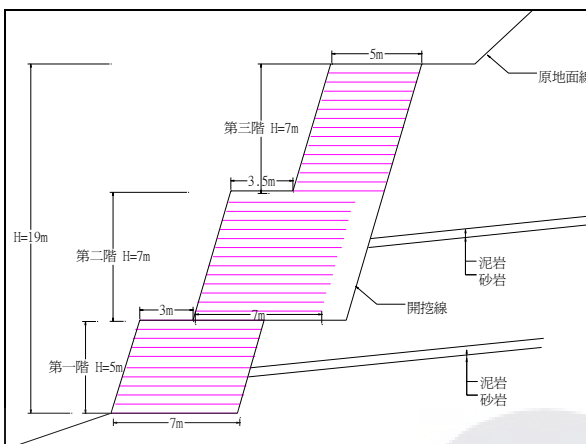


圖 1、原加勁結構推論設計剖面

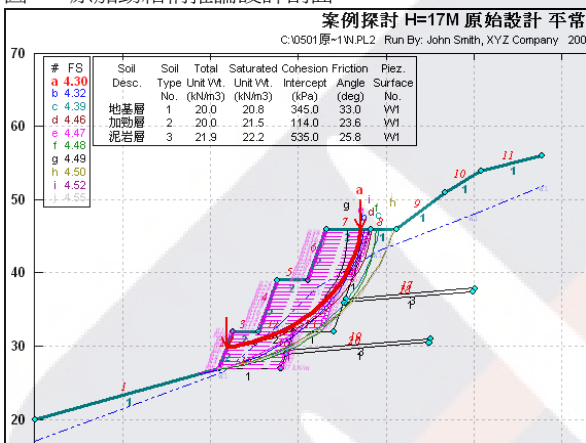


圖 2、原設計安全分析-平常模式

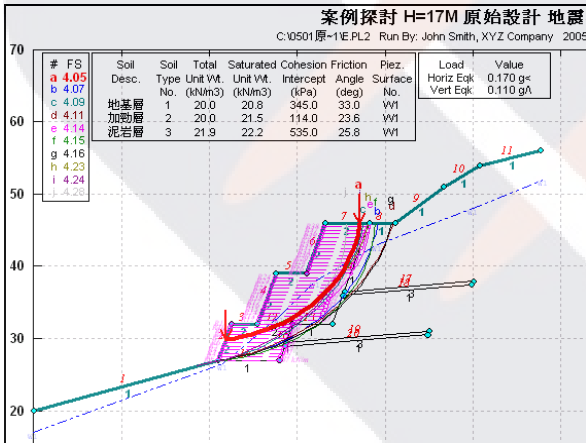


圖 3、原設計安全分析-地震模式

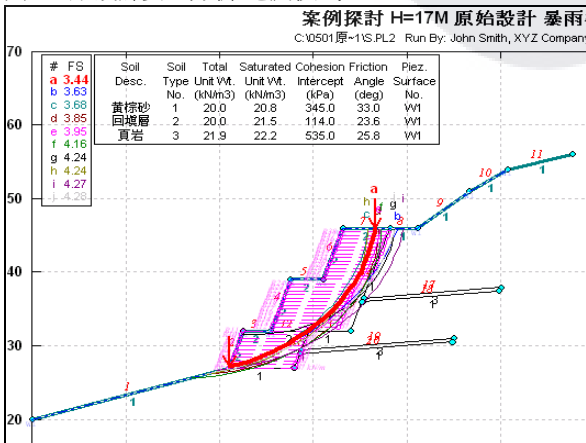


圖 4、原設計安全分析-暴雨模式 (滿水位)

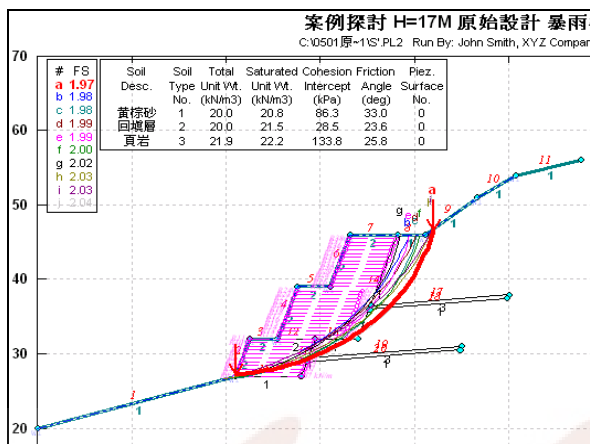


圖 5、原設計安全分析-暴雨模式 (c' = 0.25c)

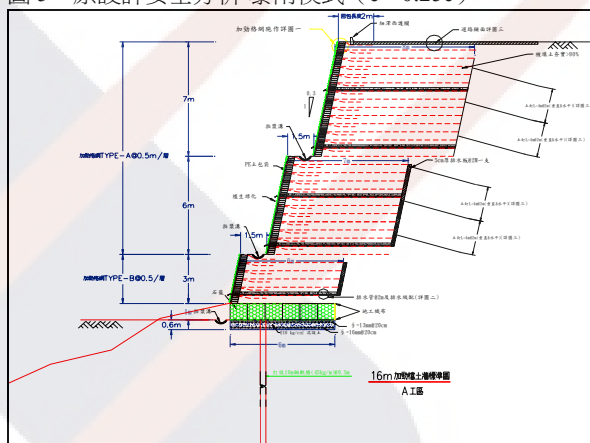


圖 6、方案一-土釘結合加勁結構

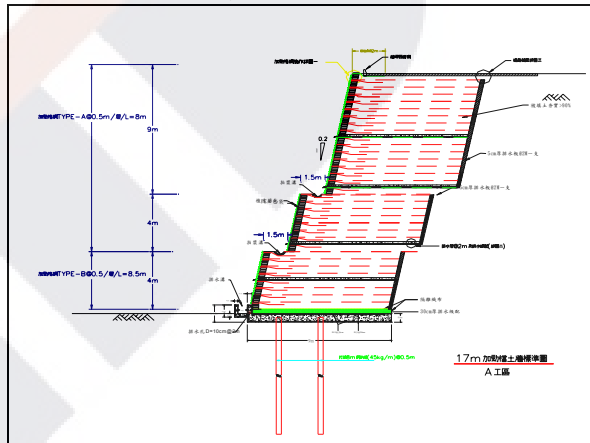


圖 7、方案二-回包式加勁邊坡

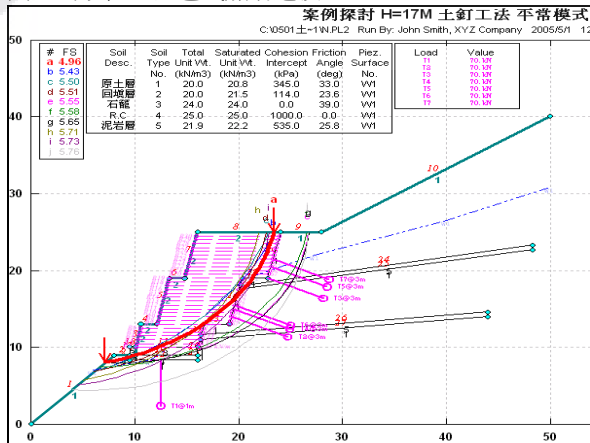


圖 8、方案一-修復後安全分析-平常模式

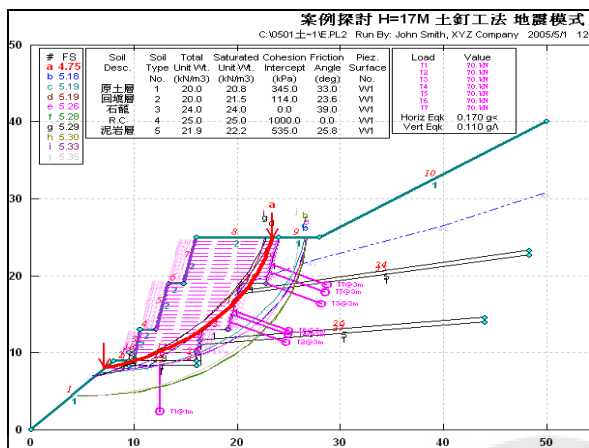


圖 9、方案一修復後安全分析-地震模式

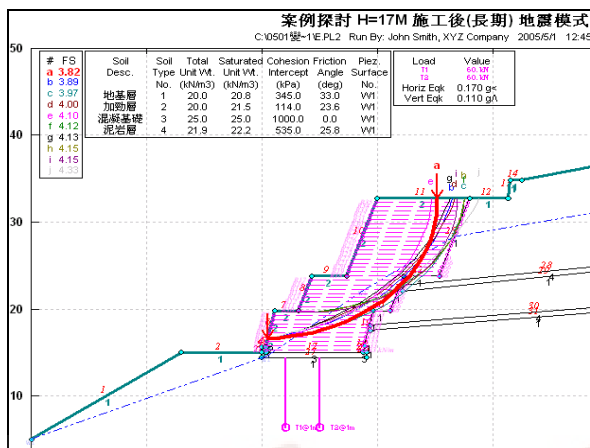


圖 13、方案二修復後安全分析-地震模式

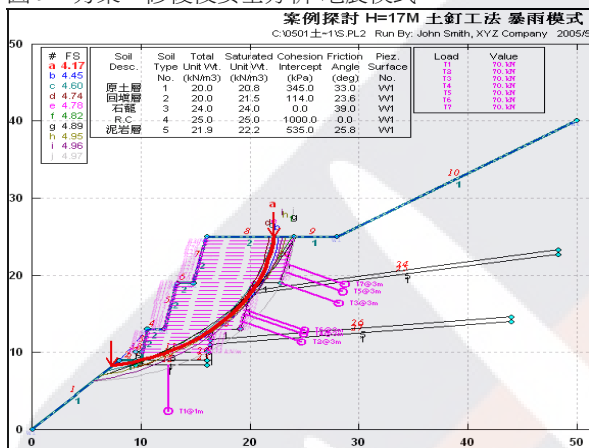


圖 10、方案一修復後安全分析-暴雨模式 (滿水位)

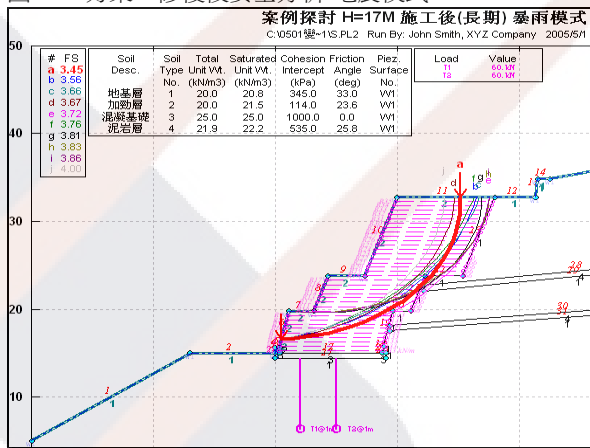


圖 14、方案二修復後安全分析-暴雨模式 (滿水位)

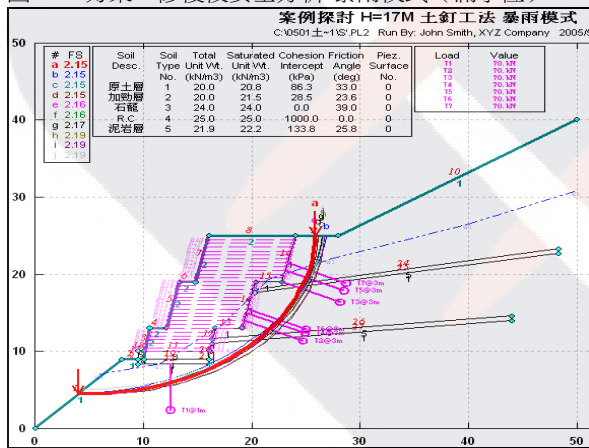


圖 11、方案一修復後安全分析-暴雨模式 (c²=0.25c)

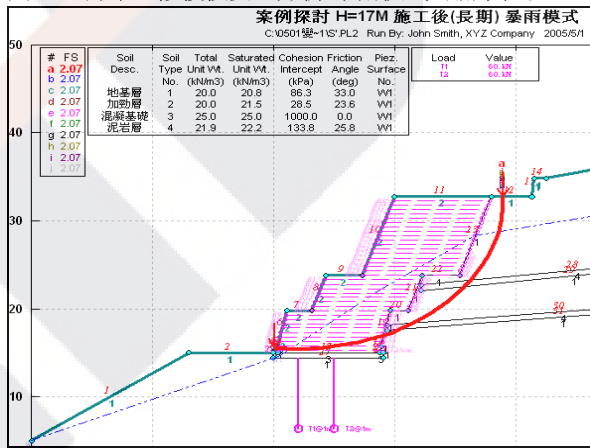


圖 15、方案二修復後安全分析--暴雨模式 (c²=0.25c)

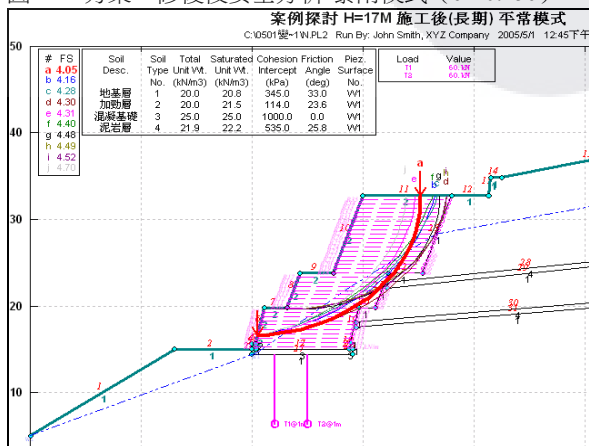


圖 12、方案二修復後安全分析-平常模式



照片 1、坍塌界面陡直，形似平面滑動破壞



照片 2、坍塌之加勁結構



照片 6、施工中—鋪設加勁格網



照片 3、破壞裸露面、基礎積水



照片 7、施工中—進料、整平



照片 4、原加勁邊坡之剖面



照片 8、施工中—夯實



照片 5、基礎開挖完成



照片 9、施工中—已完成之牆面