

邊坡擋土牆加載安全評估及補強之探討－以彰化市南勢坑 上游邊坡為例

陳勝全⁽¹⁾ 王寶立⁽²⁾ 林俐玲⁽³⁾

摘 要

本研究以彰化市南勢坑上游三清宮下方邊坡擋土牆為研究對象，進行加載安全評估、分析及討論，擋土牆係位於三清宮廟宇下方，欲在擋土牆上方增設一多功能混凝土平台，高度與三清宮前廣場銜接。因既有擋土牆面已有多處裂縫，若直接增加載重可能對擋土牆及邊坡產生危害，故先針對擋土牆面裂縫產生原因進行分析，再對擋土牆構造物結構安全及邊坡穩定情形進行分析，結果屬安全無虞；再以直接加載多功能混凝土平台後分析結果，擋土牆構造物本身尚屬安全，惟邊坡穩定分析則屬不安全。故需以合適方式進行補強措施後才能加載平台，本研究以於擋土牆面打設地錨、施設全套管基樁及擋土牆基腳處增設懸臂式擋土牆三種補強方式進行比較分析，考量其工程安全性、施工便利性及經濟性等，經評估選擇於基腳處增設懸臂式擋土牆補強措施，經補強後再次對邊坡穩定分析結果則為安全，顯示所選擇補強方式可行。

(**關鍵詞**：邊坡穩定、安全性評估、地錨、基樁、擋土牆)

On Safety Evaluation and Reinforcement for additional loading of a retaining wall – A case study of the Upstream Slope of the Nanshikeng Creek in Zhang Hua

Sheng-Chuan Chen⁽¹⁾ *Pos-Li Wang*⁽²⁾ *Li-Ling Lin*⁽³⁾

Graduate Student⁽¹⁾ Professor⁽³⁾, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taiwan 402, ROC

Graduate Student⁽²⁾, Department of Engineering and Technology, National Yunlin University of Science and Technology, Taiwan 640, ROC

ABSTRACT

This study analyzes and evaluates the loading safety of the addition of a multi-function concrete

(1)國立中興大學水土保持學系博士生(通訊作者 e-mail：sanchen@mail.swcb.gov.tw)

(2)國立雲林科技大學工程科技研究所博士生

(3)國立中興大學水土保持學系教授

platform on the slope retaining wall at the downside of San Ching Temple, located in the upstream region of the Nanshikeng Creek in Zhang Hua, with a level even with the front square of the temple. Since there had been several crevices on the surface of the existing retaining wall, the slope and retaining wall might be jeopardized with the direct application of the multi-function concrete platform. Therefore, we first conducted analyses on the causes of the crevices, the structure safety of the retaining wall and the stability of the slope in order to assure the safety of the existing retaining wall. With positive results from these analyses, we further analyzed the safety of the retaining wall with direct addition of a multi-function concrete platform onto it. The results showed that although the structure of the retaining wall was safe enough, the slope stability was not totally assured, indicating that appropriate reinforcement was needed before addition of the multi-function concrete platform. This study made a comparative analysis to evaluate the feasibility of different reinforcement measures, such as ground anchors, all casing concrete piles, and cantilever retaining wall, based on such factors as engineering safety, construction easiness and economy. After evaluation, cantilever retaining wall was selected as the reinforcement measure. The slope stability analysis conducted after reinforcement showed positive results, indicating that the reinforcement measure selected was feasible.

(**Keywords** : slope stability, safety evaluation, anchor, pile, retaining wall)

前言

本研究起緣於彰化市南勢坑野溪上游三清宮寺廟前廣場擬延伸擴建，所擴建之平台預計作為當地民眾休憩觀光用之多功能平台，惟平台基地位置則需構築在原廣場前下方邊坡既有擋土牆之上方(95年興建而成)。經現地勘查結果，由於既有擋土牆構造物表面目前已有產生多處裂縫，包括有張力裂縫、收縮裂縫及角隅裂縫等，若貿然直接加載混凝土高載重之構造物，除可能引發構造物本身結構破壞，亦可能造成該處邊坡滑動之虞。因此，本研究以大地工程軟體中邊坡穩定分析軟體 STABL6H 對該既有擋土牆構造物及該處邊坡分析是否安全及穩定，再考量於既有擋土牆構造物上方增加載重（增加多功能混凝土平台）後重新分析既有擋土牆

及邊坡是否仍安全穩定，並嘗試以不同的補強方式對既有擋土牆及邊坡進行分析及評估後，提出最佳的補強處理方案建議，確保加載後安全性，並提供相關工程執行單位參考。

研究材料與方法

(一) 研究試區簡介

1. 地理位置及地形

研究試區位於彰化縣彰化市南勢坑野溪上游，即位於三清宮寺廟廣場前下邊坡，試區地理位置如圖 1 所示。由國土資訊系統資料倉儲及標準制度分組網站之自然環境資料庫分組（內政部，2010）查詢得知研究試區平均高程為 129.92 公尺，平均坡向為約 72 度（東北向），平均坡度約 17 度，試區面積 280 平方公尺（擬加載多功能混凝土平台之

基地面積)，另地形查詢結果，研究試區地形圖如圖 2 所示，加載平台位置示意圖如圖 3 所示。

2. 地質

由現場踏勘得知，研究試區地層地質年

代屬更新世，地質名稱為頭嵙山層，如圖 4 所示，新鮮岩層膠結程度尚佳，但受風化程度較高者，膠結力易弱化，膠結物易遭沖失，而形成風化後之殘留土層，另影響土壤強度之因素，則有土壤組織構造、覆土壓力及地下水等。



圖 1 研究試區地理位置圖

Figure 1 Location map of study area

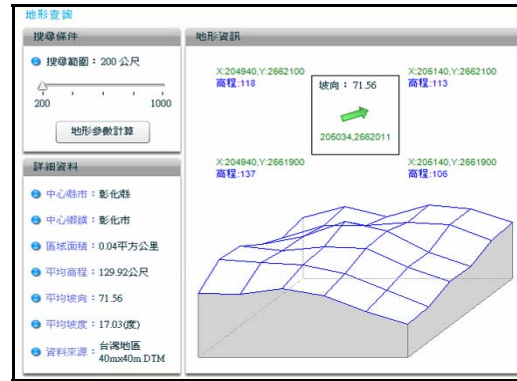


圖 2 研究試區地形圖

Figure 2 Topographic map of study area



圖 3 加載多功能混凝土平台示意圖

Figure 3 Loading the multipurpose concrete platform diagram

3. 土壤

由現地探勘得知研究試區土壤屬紅壤，本類土壤除其剖面顏色以紅色為主為特色外，其它之特徵包括質地細、粘度大、塑性高、土壤構造發達、排水性好，而有效水份含量則較其它類為少。

4. 斷層分佈

依台灣活斷層查詢資訊系統（中央大學地質應用研究所，2007）查詢資料顯示，研究試區附近活動斷層以彰化斷層距離最近，約 3.63 公里，其他斷層依序為車籠埔斷層距離約 12.13 公里，屯子腳斷層距離約 19.66 公里，大茅埔-雙冬斷層距離約 24.25 公里，三義斷層距離約 27.95 公里，水裡坑斷層距離約 29.50 公里。圖 5 為研究試區鄰近之活動斷層距離位置圖。

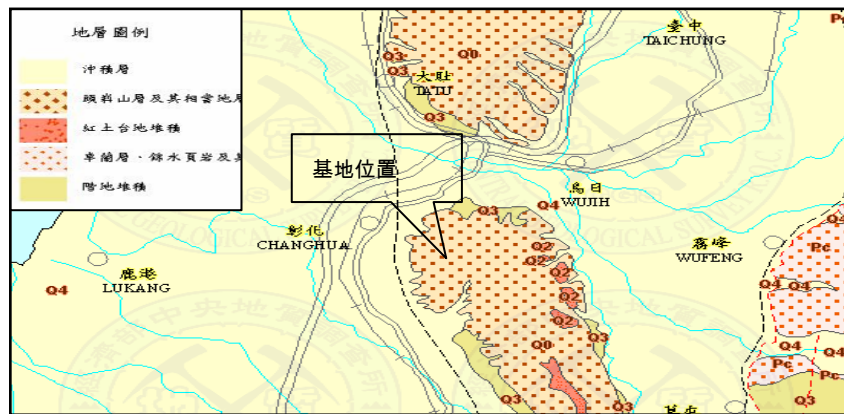


圖 4 研究試區地質圖

Figure 4 The geology of study area

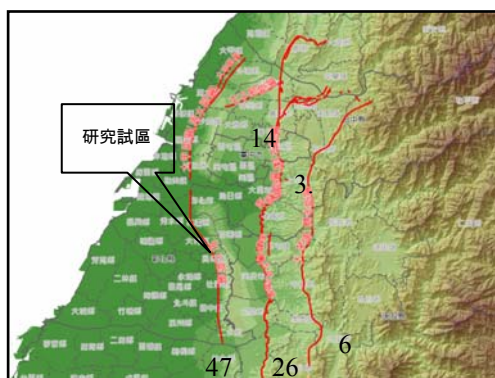


圖 5 研究試區鄰近斷層位置圖

Figure 5 The fault location of study area

5. 地下水

地下水是影響邊坡穩定與基礎工程的重要因素，其中最主要為土壤中孔隙水所引起的超額孔隙水壓的消散，對邊坡穩定的破壞影響甚巨，另降雨及滲流影響地下水位高低及邊坡穩定性亦大（林德貴等，2007），而本研究試區的地下水狀況，經由野外現場調查結果顯示，未發現有地下水。

（二）研究方法與步驟

本研究之研究流程圖如圖 6 所示，研究項目簡述如下：

1. 既有擋土牆構造物配置調查：包括不同年代所興建擋土牆位置、型式、尺寸、縱斷面分布及構造物目前現況等。

2. 既有擋土牆構造物裂縫調查及分析：包括構造物表面目前產生之張力裂縫、收縮裂縫及角隅裂縫分布情況，並分析裂縫產生原因。

3. 既有擋土牆構造物結構安全分析及邊坡穩定分析

(1) 本文使用之邊坡穩定分析軟體 STABL6H，係使用二維極限平衡法來分析一般邊坡穩定的問題(黃亦敏等, 2001)。STABL 程式最早由普渡大學 Siege 於 1975 年發展而成。程式中係假設邊坡土壤及構造物為一均質的區塊，並可設定其土壤總體密度、乾密度、C 值及 ϕ 值等相關土壤參數，再以限定範圍內產生的破壞面(圓弧、隨機或塊狀等破壞模式)，各破壞面計算其安全係數 (F.S.)，以搜尋出有可能的破壞模式以利工程師針對此弱面使用構造物進行補強(黃景川, 1993；唐玄惠等, 2005；陳佑旻, 2008)。

(2) 擋土牆構造物結構安全分析：依據建築技術規則(內政部, 2011)及建築物基礎構造設計規範(內政部, 2001)，對於構造物滑動、傾倒及基底承載力，於常時及地震狀況時之安全係數值(F.S.)，不得低於表 1 之規定；以 STABLE6H 軟體進行分析檢核，並就各項參數依研究試區實際情形適當設定，包

括土壤參數如底部土層之土壤單位重、飽和單位重、土壤凝聚力及土壤摩擦角等，回填土層之土壤單位重、飽和單位重、土壤凝聚力及土壤摩擦角等；地震情況參數如地表加速度、用途係數等；材料參數如鋼筋混凝土單位重、混凝土之抗壓強度、混凝土之容許應力及鋼筋之降伏強度等，依分析結果檢核構造物結構之安全性。

(3) 邊坡穩定分析：參考建築技術規則(內政部, 2011)、水土保持技術規範(行政院農業委員會, 2010)及水土保持手冊(行政院農業委員會水土保持局, 2010)，對於通過擋土牆構造物底部土層之滑動破壞面，於長期載重狀況時之安全係數值(F.S.)，本研究建議不得低於表 2 之規定；以 STABL6H 進行邊坡穩定分析，並就各項參數依研究區域實際情形適當設定，包括土壤參數如土壤單位重、飽和單位重、土壤凝聚力及土壤摩擦角等；地震參數如水平地震加速度係數及垂直地震加速度係數等；暴雨模式之設計暴雨線設定等，依邊坡穩定分析結果評估邊坡穩定性。

4. 擋土牆構造物加載混凝土平台後結構安全分析及邊坡穩定分析

(1) 擋土牆構造物加載平台後結構安全分析：在既有構造物上方加載平台後其滑動、傾倒及基底承載力，於常時及地震狀況時之

表 1 構造物結構安全分析之安全係數要求值

Table 1 The F.S. of structural safety analysis

分析模式	滑動檢核	傾倒檢核	基底承載力
常時 F.S.	1.5	2.0	3.0
地震 F.S.	1.2	1.5	2.0

(資料來源：內政部建築技術規則等)

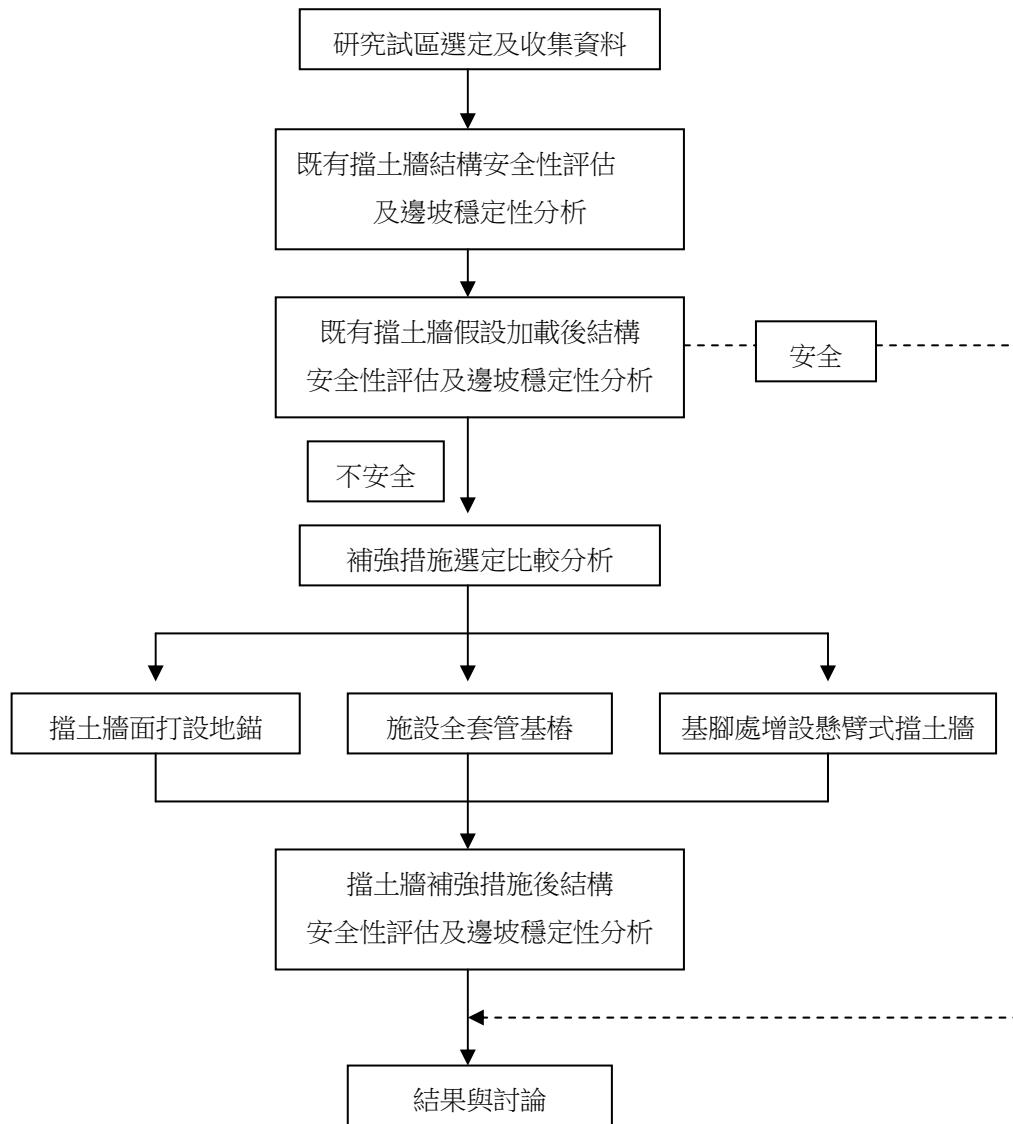


圖 6 研究流程圖

Figure 6 Flow chart of the study.

表 2 邊坡穩定分析安全係數要求值

Table 2 The F.S. of slope stability analysis

平常模式	地震模式	暴雨模式
F.S. \geq 1.5	F.S. \geq 1.2	F.S. \geq 1.2

安全係數值(F.S.)，仍不得低於表 2 之規定；其各項參數設定原則亦相同。本研究擬於三清宮廣場前邊坡既有擋土牆（A 線懸臂式擋土牆）內側基地，面積 280 平方公尺，於基地上方加載多功能鋼筋混凝土平台，平台面積 324 平方公尺、平台厚度約 0.35 公尺。加載後再以 STABL6H 進行既有擋土牆構造物結構安全分析，視分析結果評估構造物本身安全行於平常或地震狀況時可否承受加載。

(2) 加載平台後邊坡穩定分析：既有擋土牆（A 線懸臂式擋土牆）內側基地，以面積 280 平方公尺，以 STABL6H 分析後每單位面積可承載重量（約 1 ton/m²）、基地上方加載多功能鋼筋混凝土平台，其平台面積 324 平方公尺、厚度約 0.35 公尺，平台每單位面積重量約 0.85ton/m² 等條件進行邊坡穩定分析。

以 STABL6H 進行加載後之邊坡穩定分析，並就各項參數依研究區域實際情形適當設定，依邊坡穩定分析結果評估加載多功能鋼筋混凝土平台後，於平常、地震及暴雨狀況時邊坡是否仍屬穩定。

5. 擋土牆補強方案選取與評估

(1) 補強參考方案選取：邊坡處理工法包括排水、整坡、外撐(buttrressing)、加勁、地錨、樁等，各種工法均有其利弊得失，本研究考量補強工法之安全性、成本性及施工可行性等因素，提出三種補強參考方案並接續以下評估分析，選定最佳補強方案。

(2) 補強方案評估分析：分別針對三種補強參考方案，進行安全分析，即考量平常模式、地震模式及暴雨模式之邊坡穩定分析安全係數值；另就成本分析，依各方案單價分析結



圖 7 研究試區擋土牆工程配置圖

Figure 7 The retaining wall location of study area.

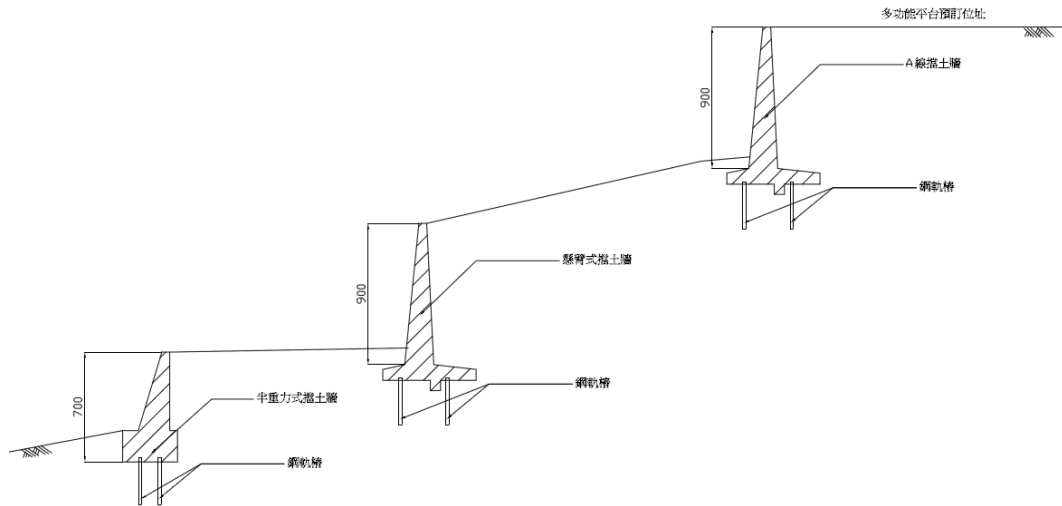


圖 8 擋土牆工程縱斷面示意圖

Figure 8 The vertical section of retaining wall

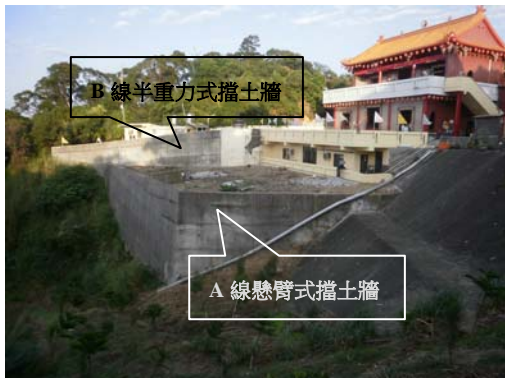


圖 9 研究試區現況照片 1

Figure 9 The status of the study area photo 1

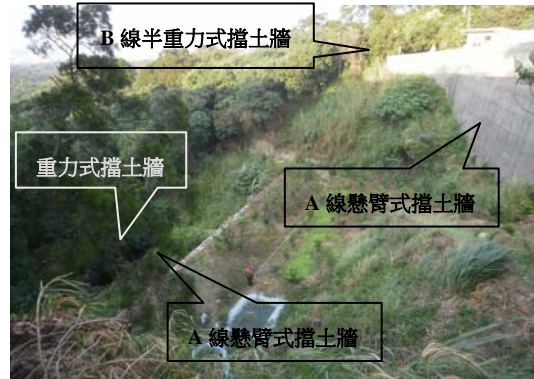


圖 10 研究試區現況照片 2

Figure 10 The status of the study area photo 2

果可得出各方案成本高低；再就施工可行性分析，由施工便道開設限制性、施工機具進出難易度及施工工期長短等進行分析，最後綜合以上評估分析結果，選定最佳補強方案。

(3) 補強方案載重檢核：由選定補強方案後，針對補強後研究試區邊坡可承載總重量，包括多功能混凝土平台構造體重量，即淨載重；另加上平台上如停放車輛或站立人數等之活載重等各項載重檢核。

結果與討論

(一) 邊坡擋土牆構造物配置調查

本研究試區邊坡上擋土牆構造物配置經調查有 95 年 3 月完成之 A 線懸臂式擋土牆，長度 38 公尺，高度為 10 公尺、B 線半重力式擋土牆，長度 25.5 公尺，高度由 4.1 公尺漸變至 8.1 公尺；及 96 年 12 月底於 A 線懸臂式擋土牆下方高度 10 公尺懸臂式擋土牆及高度 7 公尺重力式擋土牆。本研究擬於 A 線懸臂式擋土牆及 B 線半重力式擋土牆所圍成範圍上方加載多功能混凝土平台，故需進行構造物現況評估者即為 A 線懸臂式擋土牆及 B 線半重力式擋土牆，而需進行研究試區邊坡穩定分析者即以整體邊坡穩定為考量，則包括 95 年 A 線懸臂式擋土牆、96 年懸臂式擋土牆及重力式擋土牆等。研究試區擋土牆構造物配置如圖 7 所示，其縱斷面示意圖如圖 8 所示，現況照片如圖 9、10 所示。

(二) 既有擋土牆構造物裂縫調查及分析

經調查 A 線懸臂式擋土牆已產生 9 處裂縫，其中 5 處屬於收縮裂縫，3 處屬於張力裂縫及 1 處屬於角偶裂縫。研判 A 線懸臂式擋土牆 5 處收縮裂縫及 1 處角偶裂縫係發生在新拌混凝土的淺、寬、靜止及獨立短裂縫，另 3 處張力裂縫則為構造物基礎土壤因長期壓密造成的二次沉陷所致；調查 B 線半重力式擋土牆上方平台已產生不均勻沉陷，B 線半重力式擋土牆亦有產生 2 處裂縫，分別為張力裂縫及剪力裂縫，且 B 線半重力式擋土牆有滑動現象，經分析 B 線半重力式擋土牆係位於回填區，評估係施工時回填夯實不夠所造成。

(三) 既有擋土牆結構安全分析

A 線懸臂式擋土牆結構安全分析，輸入參數設定原則如下：

土壤參數設定，底層土壤屬紅土層，土層狀態為較緊密，因此假設土壤單位重為 20.0 kN/m^3 ，飽和單位重為 20.5 kN/m^3 ，土壤凝聚力 C 為 15 kPa ，土壤摩擦角 ϕ 為 26° ；回填層假設為一般土壤，壓密度為 90%，其中含有現地土質回填以及外購土方，因此假設土壤單位重為 19.0 kN/m^3 ，飽和單位重為 19.4 kN/m^3 ，土壤凝聚力 C 為 0 kPa ，土壤摩擦角 ϕ 為 28° 。地震參數設定，依據建築物耐震設計規範中本試區地震模式中尖峰加速度為 $0.4g$ ，考慮擬靜態加速度 $\alpha=(2/3)\times 0.7\times$ 尖峰加速度，即水平地震加速度 $\alpha_h=(2/3)\times 0.7\times 0.4g\div 0.2g$ ，垂直地震加速度 $\alpha_v=(1/2)\times 0.21g\div 0.1g$ 。材料參數設定，假設鋼筋混凝土單位重 2.4 t/m^2 ，混凝土之抗壓強度 $f_c'=210 \text{ kg/cm}^2$ 。

暴雨模式設定，一般設計暴雨線約為 2/3 邊坡高以上，由於本試區位於山陵線上所以平常模式未設地下水位線。

原構造物基礎打設鋼軌樁為間距 1m 打設雙排，由於 STABL 程式中並無鋼軌樁的參數，所以在本次分析時假設打設鋼軌樁的區域為一地質改良區，凝聚力 C 為 150 kPa ，土壤摩擦角 ϕ 為 26° 。

A 線擋土牆結構安全分析結果，常時分析模式及地震分析模式於滑動檢核、傾倒檢核及基底承载力之分析安全係數均高於表 2 之 F.S. 要求值，表示 A 線擋土牆結構屬安全，分析結果如表 3 及表 4 所示。

(四) 加載前邊坡穩定分析

未加載多功能混凝土平台時邊坡穩定分

析，分別就 A 線懸臂式擋土牆處邊坡及下方懸臂式與重力式擋土牆之邊坡（南勢坑）進行分析後結果如下，於平常模式、地震模式

表 3 常時擋土牆結構安全分析結果表

Table 3 Structural safety analysis of retaining wall (Ordinary)

分析模式	分析安全係數 F.S.	F.S.要求值	說明
滑動檢核	1.92	1.5	安全
傾倒檢核	4.51	2.0	安全
基底承載力	4.37	3.0	安全

表 4 地震時擋土牆結構安全分析結果表

Table 4 Structural safety analysis of retaining wall (Earthquake)

分析模式	分析安全係數 F.S.	F.S.要求值	說明
滑動檢核	1.38	1.2	安全
傾倒檢核	1.82	1.5	安全
基底承載力	2.05	2.0	安全

表 5 A 線懸臂式擋土牆處邊坡穩定分析結果表

Table 5 Slope stability analysis of Cantilever Type Retaining Wall A

分析模式	分析安全係數	F.S.要求值	說明
平常模式	1.84	1.5	安全
地震模式	1.21	1.2	安全
暴雨模式	1.39	1.2	安全

表 6 南勢坑處邊坡穩定分析結果表

Table 6 Slope stability analysis of Nanshikeng stream

分析模式	分析安全係數	F.S.要求值	說明
平常模式	2.00	1.5	安全
地震模式	1.29	1.2	安全
暴雨模式	1.39	1.2	安全

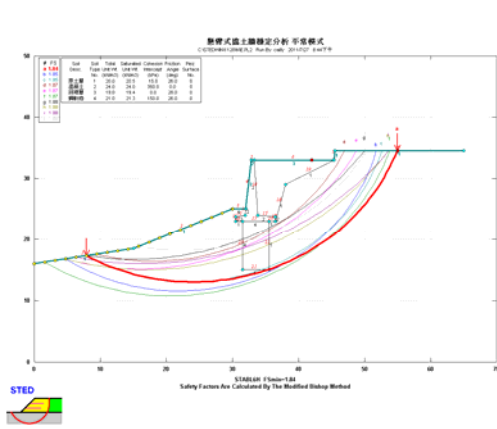


圖 11 A 線懸臂式擋土牆處邊坡穩定分析（平常模式）

Figure 11 Slope stability analysis of Wall A(Ordinary)

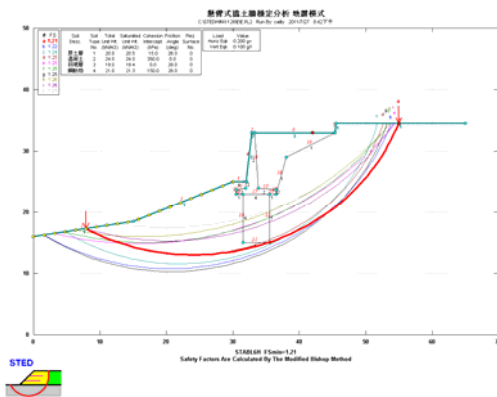


圖 12 A 線懸臂式擋土牆處邊坡穩定分析（地震模式）

Figure 12 Slope stability analysis of Wall A(Earthquake)

及暴雨模式之分析安全係數均高於表 2 之 F.S.要求值，表示邊坡穩定分析均屬安全，A 線懸臂式擋土牆處邊坡穩定分析結果如表 5、圖 11~13 所示；南勢坑處邊坡穩定分析結果如表 6、圖 14~16 所示。

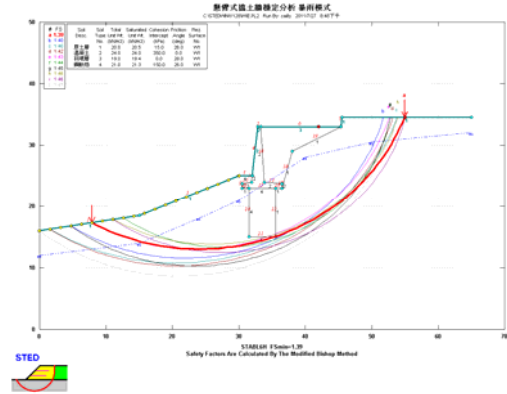


圖 13 A 線懸臂式擋土牆處邊坡穩定分析（暴雨模式）

Figure 13 Slope stability analysis of Wall A(Storm)

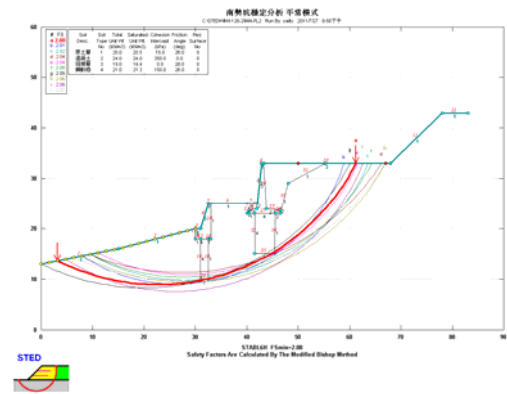


圖 14 南勢坑處邊坡穩定分析（平常模式）

Figure 14 Slope stability analysis of Nanshikeng (Ordinary)

於 A 線懸臂式擋土牆上方加載一多功能混凝土平台，對於整體構造物滑動、傾倒及基底承载力，於常時及地震狀況時之安全係數值(F.S.)，仍不得低於表 2 之規定；以試區面積 280 平方公尺，假設邊坡每單位面積可承載重量約 1 ton/m²，計可承載總重量為 280 ton/m²，另依三清宮廟方規劃加載平台面積

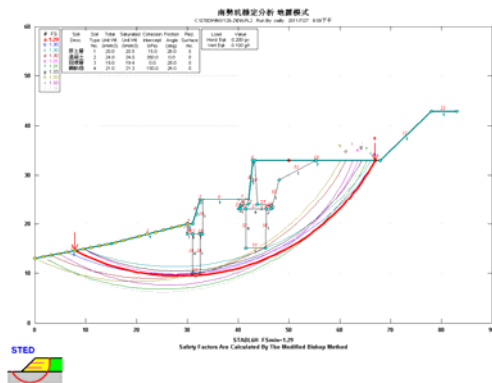


圖 15 南勢坑處邊坡穩定分析（地震模式）

Figure 15 Slope stability analysis of Nanshikeng (Earthquake)

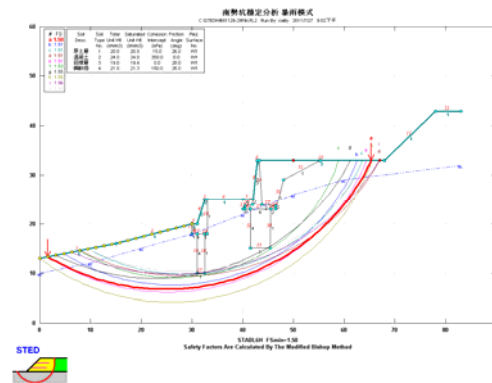


圖 16 南勢坑處邊坡穩定分析（暴雨模式）

Figure 16 Slope stability analysis of Nanshikeng (Storm)

表 7 常時擋土牆加載結構安全分析結果表

Table 7 Structural safety analysis of retaining wall loading (Ordinary)

分析模式	分析安全係數 F.S.	F.S.要求值	說明
滑動檢核	1.78	1.5	安全
傾倒檢核	3.91	2.0	安全
基底承載力	4.37	3.0	安全

表 8 地震時擋土牆加載結構安全分析結果表

Table 8 Structural safety analysis of retaining wall loading (Earthquake)

分析模式	分析安全係數 F.S.	F.S.要求值	說明
滑動檢核	1.33	1.2	安全
傾倒檢核	1.75	1.5	安全
基底承載力	2.05	2.0	安全

324 平方公尺，厚度 0.35 公尺等條件，以 STABL6H 再進行 A 線懸臂式擋土牆結構安全分析，分析結果在常時及地震時分析模式，於滑動檢核、傾倒檢核及基底承載力均尚屬安全，分析結果如表 7 及表 8 所示。

(六) 加載後邊坡穩定分析

針對於 A 懸臂式擋土牆上方加設多功能混凝土平台，其載重依試區面積 280 平方公尺，以 STABL6H 分析邊坡每單位面積可承

載重量約 1 ton/m²，加設之平台面積 324 平方公尺、厚度約 0.35 公尺，平台每單位面積重量約 0.85 ton/m²，及輸入參數值與加載前相同條件等，再進行邊坡穩定分析，對於通過擋土牆底部土層之滑動破壞面，其長期載重狀況時之安全係數值 F.S.仍不得低於表 2 之規定。

經邊坡穩定分析結果於平常及暴雨分析模式屬安全範圍，但於地震分析模式下，分析安全係數僅為 1.18，未達 F.S.要求值 1.2，即屬不安全，分析結果如表 9 及圖 17~19 所示。即不宜在 A 線懸臂式擋土牆上方直接加設平台，如確需加設時，應評估分析適當補

強措施，以提昇邊坡承載力、增加邊坡穩定性為考量。

(七) 擋土牆補強方案選取及分析

本研究考量補強工法之安全性、成本性及施工可行性等因素，提出三種補強參考方案進行評估分析，方案一於既有牆面打地錨、方案二於擋土牆基礎設施全套管基樁、方案三於擋土牆基腳處前方增設懸臂式擋土牆以增加被動土壓力。三補強方案之示意圖，如圖 20~22 所示。

以上選取之三種補強方案再進行邊坡穩定分析，而方案三係於 A 線

表 9 加載後邊坡穩定分析結果表

Table 9 Slope stability analysis of structural loading

分析模式	分析安全係數	F.S.要求值	說明
平常模式	1.73	1.5	安全
地震模式	1.18	1.2	不安全
暴雨模式	1.32	1.2	安全

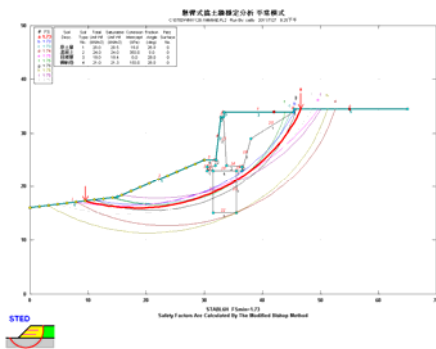


圖 17 加載後邊坡穩定分析（平常模式）
 Figure 17 Slope stability analysis of loading (Ordinary)

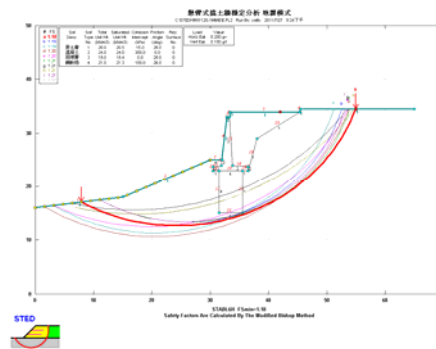


圖 18 加載後邊坡穩定分析（地震模式）
 Figure 18 Slope stability analysis of loading (Earthquake)

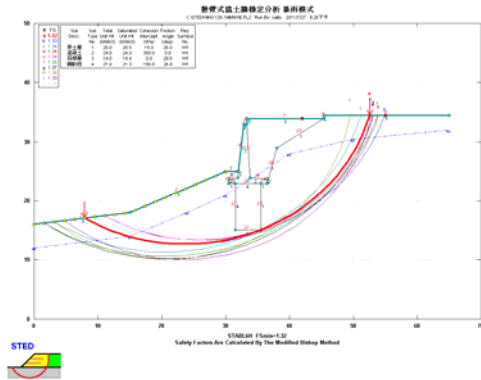


圖 19 加載後邊坡穩定分析（暴雨模式）

Figure 19 Slope stability analysis of loading(Storm)

懸臂式擋土牆基腳處前方進行補強，即於 A 線懸臂式擋土牆之下邊坡處再興建一座高度約 7 公尺之懸臂式擋土牆，因考量構造物載重過大恐影響下方邊坡，需以整體邊坡穩定為考量進行分析，三種補強方案安全性分析結果，如表 10 及圖 23~31 所示。

三種補強方案安全分析結果，於平常、地震及暴雨模式均屬安全，尤其於平常模式三方案分析安全係數均已超過 F.S.要求值，邊坡穩定已由加載平台後之不安全提昇至安全程度，顯見三種方案均可行，但其中又以

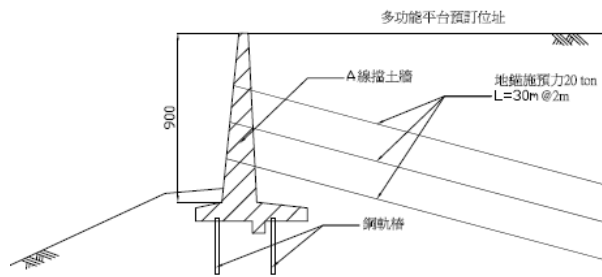


圖 20 補強方案一示意圖

Figure20 The chart of reinforcement plan 1

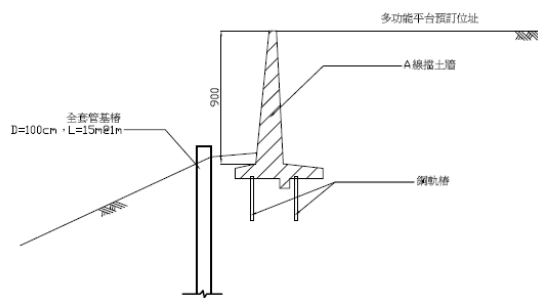


圖 21 補強方案二示意圖

Figure 21 The chart of reinforcement plan 2

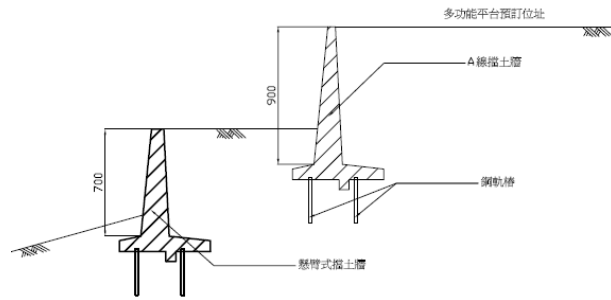


圖22 補強方案三示意圖

Figure 22 The chart of reinforcement plan 3

表10 各補強方案後邊坡穩定分析結果表

Table 10 Slope stability analysis of after reinforcement plan

補強方案	平常模式	地震模式	暴雨模式	安全分析
F.S.要求值	1.5	1.2	1.2	
方案一(打地錨)	1.97	1.29	1.5	安全
方案二(全套管基樁)	1.94	1.31	1.52	安全
方案三(加建擋土牆)	1.74	1.25	1.38	安全

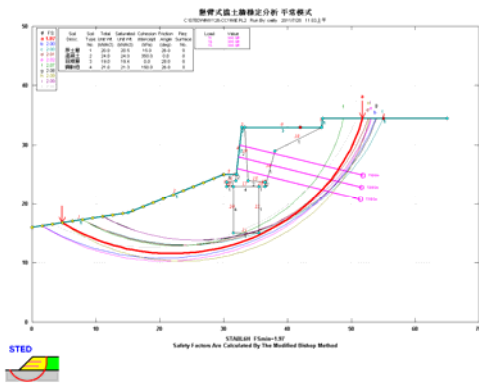


圖23 方案一邊坡穩定分析（平常模式）
 Figure 23 Slope stability analysis of plan 1(Ordinary)

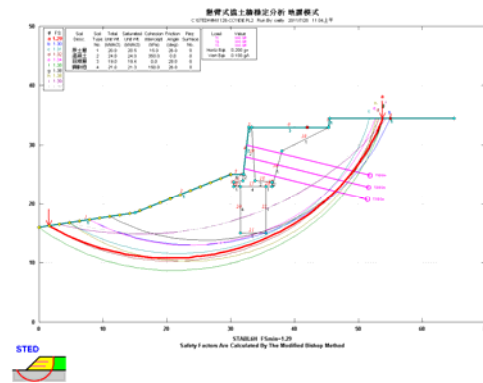


圖24 方案一邊坡穩定分析（地震模式）
 Figure 24 Slope stability analysis of plan 1(Earthquake)

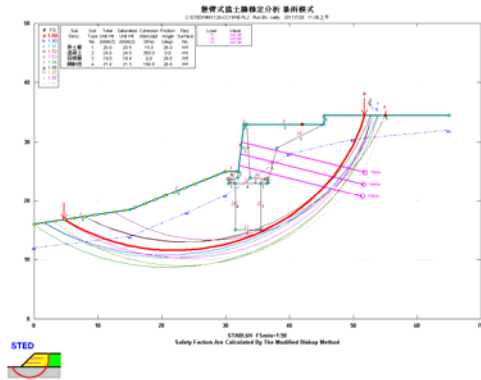


圖 25 方案一邊坡穩定分析（暴雨模式）
Figure 25 Slope stability analysis of plan 1(Storm)

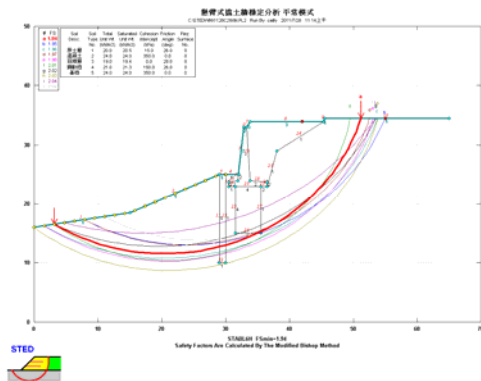


圖 26 方案二邊坡穩定分析（平常模式）
Figure 26 Slope stability analysis of plan 2(Ordinary)

方案三加建懸臂式擋土牆之分析安全係數較高。

三種補強方案成本分析，以每進行米單價分析做為成本估算，各方案中的構造物以道路工程參考圖（交通部公路總局，1997）做為參考基準（交通部公路總局，1997），經成本分析結果以全套管基樁單價最高、打地錨次之，加建懸臂式擋土牆最低。

（八）補強方案選定與評估

考量既有構造物緊鄰三清宮廟宇，在補強方案選用工法應用考量施工的可行性及便利性，在開設施工便道限制性比一般工程高，施工機具進出難易度亦為考量項目之一，另工期長短、完工後景觀及節能減碳等其他項目並不在本研究評估的主要範疇。各補強方案可行性評估：

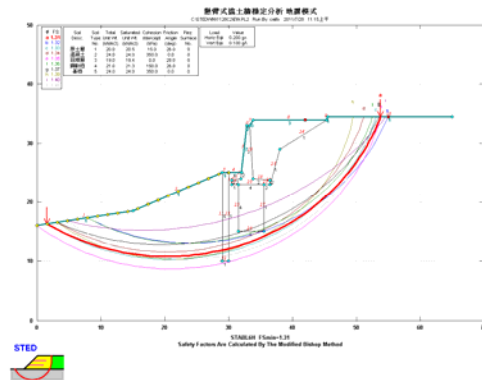


圖 27 方案二邊坡穩定分析（地震模式）
Figure 27 Slope stability analysis of plan 2(Earthquake)

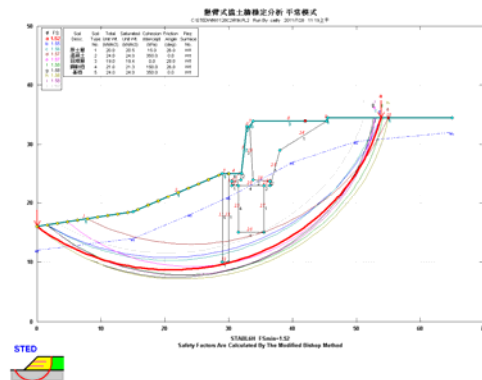


圖 28 方案二邊坡穩定分析（暴雨模式）
Figure 28 Slope stability analysis of plan 2(Storm)

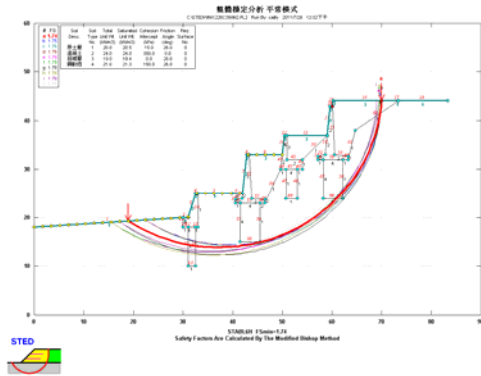


圖 29 方案三邊坡穩定分析（平常模式）
Figure 29 Slope stability analysis of plan 3(Ordinary)

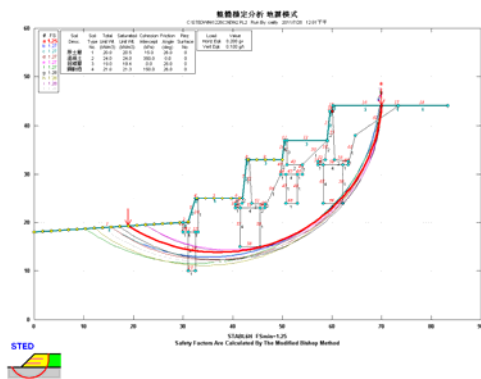


圖 30 方案三邊坡穩定分析（地震模式）
Figure 30 Slope stability analysis of plan 3(Earthquake)

方案一（打地錨）：地錨施做可在既有構造物旁搭設鷹架，並以鑽機施做，施工的便利性良好，且工期短，完成後對周遭的環境及邊坡影響小，但既有構造物已有破損，若再對構造物表面施以預力可能對結構造成影響，故應先做裂縫修補後再進行地錨打設，此外亦須考量地錨往後養護的工作。

方案二（全套管基樁）：全套管基樁在鑽掘時須要約 5~6m 的施工平台，由於 B 線擋

土牆上方為人行步道，若機具要進出須另外開設便道較為不便，雖然施工便利性較差，但完成後對周遭環境及邊坡的影響也較小，在施做時因為接近擋土牆基腳，仍須注意避免因基腳淘空而損壞既有構造物，此外工程完工後有多餘土方須處理，要避免造成二次的災害。

方案三（加建懸臂式擋土牆）：加建懸臂式擋土牆優點為施工機具中等、施工便道不須大量開設，缺點為工期較長，並且完工後對周遭環境改變較大，相對邊坡上再加載，對下方邊坡需整體考量是否能負擔，此部分之邊坡穩定分析中時已考量且並無疑慮。

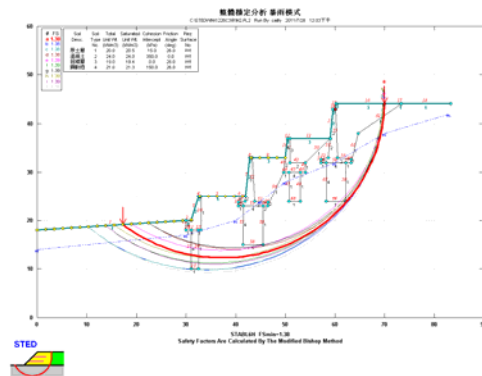


圖 31 方案三邊坡穩定分析（暴雨模式）
Figure 31 Slope stability analysis of plan 3(Storm)

最後考量補強方案之邊坡穩定安全分析、施工成本性及可行性等，選擇以方案三加建懸臂式擋土牆為補強方案，各補強方案評估分析如表 11 所示。

（九）補強方案載重檢核

由補強方案三即加建懸臂式擋土牆後之分析結果，試區邊坡每單位面積可承載重量

以 STABL6H 軟體重新分析可提昇至約 2 ton/m²，以試區面積為 280 平方公尺，本試區即可承載總重量為 560 ton/m²，而未來多功能混凝土平台設置完成後面積為 324 平方

公尺，以平台結構體每單位面積重量為 0.85 ton/m²，則多功能混凝土平台興建後結構體總重量為 275.4 ton，可知在多功能混凝土平台興建後本試區尚可承載重量為 284.6 ton。

表 11 各補強方案評估比較表

Table 11 Appraisal comparison of reinforcement plan

評估項目	方案一（打地錨）	方案二（全套管基樁）	方案三（加建懸臂式擋土牆）
成本	次高	高	較低
方案理念	增加既有擋土牆的抗滑動、抗推出及抗傾倒的能力，防止因上方加載造成擋土牆破壞。	保護構造物基腳邊坡，增加邊坡抗剪能力，防止邊坡造成滑動進而保護上方的構造物。	增加既有擋土牆的被動土壓力，以達到基腳邊坡穩定的作用。
優點	1.隱性工法，對周遭環境影響小 2.不須開設大型施工便道 3.施工迅速，兩期影響小	1.隱性工法，對周遭環境影響小 2.增加邊坡土壤抗剪能力佳 3.施工迅速，兩期影響小	1.施工難度低 2.成本為方案評估中最低 3.不須大型便道
缺點	1.施工費用較高 2.地錨完成後須定期養護 3.錨頭施預力時須注意，避免既有裂縫加大	1.施工費用最高 2.施工剩餘土方須處理	1.對原地貌改變較大 2.工期較長

結論

本研究針對欲在既有 A 線懸臂式擋土牆上方加載多功能混凝土平台，進行既有構造物結構安全分析、邊坡穩定分析、加載多功能平台構造物結構安全分析、加載後邊坡穩定分析、補強方案選定及加載後承載量檢核計算等項目，獲以下綜合性結論：

- 1.既有構造物調查分析，A 線懸臂式擋土牆有 5 處收縮裂縫及 1 處角隅裂縫為發生在混凝土初凝時段，另 3 處張力裂縫為土壤長期的壓密造成基礎沉陷所產生；B 線半重力式擋土牆因施工時回填夯實不夠造成道路不均勻沉陷，地面有龜裂，及擋土牆有 2 處裂縫，且擋土牆有輕微滑動情形。
- 2.A 線懸臂式擋土牆面雖有數處裂縫，經結

構安全分析在常時及地震時於滑動檢核、傾倒檢核及基底承载力均屬安全；邊坡穩定分析對於通過擋土牆底部土層之滑動破壞面，其長期載重狀況時在平常、地震及暴雨模式分析結果亦屬安全。

- 3.A 線懸臂式擋土牆如加設多功能混凝土平台時，擋土牆本身結構安全分析在常時及地震時於滑動檢核、傾倒檢核及基底承载力尚屬安全；而邊坡穩定分析對於通過擋土牆底部土層之滑動破壞面，其長期載重狀況時在地震及暴雨模式分析結果屬安全係數臨界值尚屬安全，但在平常模式分析結果屬不安全，不可直接加載平台，應對既有擋土牆做適當補強措施才可加載。
4. 本文建議補強方案有三，方案一於既有擋土牆面打設地錨，方案二於擋土牆基礎施設全套管基樁，方案三於擋土牆基腳處前方加建懸臂式擋土牆。
5. 各補強方案經邊坡穩定分析結果均可達安全，其中以方案三加建懸臂式擋土牆分析結果安全係數值較其它二方案為高；在單價成本分析結果，以方案三加建懸臂式擋土牆較便宜，方案一打地錨次之，方案二全套管基樁單價較貴，在考量安全性分析、成本及施工的可行性等，選定方案三加建懸臂式擋土牆作為本研究補強方案。
6. 選定補強方案三於既有擋土牆下方邊坡加建基礎保護用之懸臂式擋土牆後，上方欲加載多功能平台之邊坡單位面積可承載重量可提昇，且經本文載重檢算結果，試區可承載總重量包括多功能平台重量為靜載重，及停放小轎車或大客車或站立人數等活載重，均屬安全無虞。

參考文獻

1. 內政部(2011)，「建築技術規則」，內政部 2011 年 2 月 25 日修正。
2. 內政部(2001)，「建築物基礎構造設計規範」，內政部訂定。
3. 內政部(2010)，「國土資訊系統-資料倉儲及標準制度分組網站-自然環境資料庫分組」，內政部。
4. 中央大學地質應用研究所(2007)，「台灣活斷層查詢系統」，中央大學地質應用研究所。
5. 行政院農業委員會(2010)，「水土保持技術規範」，行政院農業委員會 2010 年 10 月 15 日修正。
6. 行政院農業委員會水土保持局(2010)，「水土保持手冊」，行政院農業委員會水土保持局編印。
7. 交通部公路總局(1997)，「道路工程參考圖」，交通部公路總局編定。
8. 林德貴、陳啟天、徐森彥、蘇苗彬(2007)，「梨山地滑區降雨滲流及穩定分析」，水土保持學報，第三十九卷，第四期，第 419-451 頁。
9. 唐玄蕙、吳淵洵(2005)，「道路加勁邊坡破壞與修復之案例探討」，第 11 屆大地工程研討會論文集，台北 CASE STUDY OF HIGHWAY REINFORCED SOIL SLOPE FAILURE AND REHABILITATION。
10. 黃景川(1993)，「加勁邊坡之穩定分析—

- 切片法電腦程式之開發與比較」，地工技術雜誌，第 43 期，第 60-69 頁。
11. 黃亦敏、李維峰、洪勇善(2001)，「電腦程式於坡地穩定性與整治分析之應用」，山坡地安檢及監測研討會論文集，台北，第 19-47 頁。
 12. 陳佑旻(2008)，「加勁擋土結構暴雨模式之穩定分析」，碩士論文，中華大學土木與工程資訊學系，新竹，第 50-60 頁。
 13. 堅尼士工程顧問有限公司(2004)，「STEDWIN 與 STABLE 程式手冊」，台北。
 14. 經濟部中央地質調查所(2010)，「地質資料整合查詢」，經濟部中央地質調查所。
-

100 年 06 月 27 日收稿

100 年 07 月 17 日修改

100 年 10 月 05 日接受