

# 應用點估法及決策樹輔助邊坡整治之風險分析

馮正一<sup>(1)\*</sup>、張育瑄<sup>(2)</sup>、葉柳青<sup>(3)</sup>

## 摘要

本研究選定邊坡穩定處理兩處為風險分析案例，主要利用以點估法(PEM)及決策樹輔助進行整治之決策。為考量影響邊坡穩定之不確定因素，以點估法將參數之不確定性加以考量，並利用 Slide 程式模擬不同方案及不同參數變化下之安全係數。最後將所得破壞機率與所需成本之關係計算出風險值，利用所算得之風險值探討坡地處理整治方案之最適合性，以利整治之決策。

(**關鍵字**：點估法、邊坡穩定性、決策樹、風險分析)

## An Application of Point Estimate Method and Decision Tree in Risk Analysis of Slope Mitigations

*Zheng-yi Feng<sup>(1)</sup>, Yu-Hsan Chang<sup>(2)</sup>, Liu-Ching Yeh<sup>(3)</sup>*

Associate Professor<sup>(1)</sup>, Doctoral Student<sup>(2)</sup>, Master Student<sup>(3)</sup> Department of Soil and Water Conservation National Chung-Hsing University, Taichung, 402 Taiwan, R.O.C.

## Abstract

This study selected mitigation of two slopes as examples for demonstration of the decision support using point estimate method and decision tree to calculate risk. The uncertainties of slope stability and failure probabilities are evaluated using point estimate method using the values parameters of one plus and minus standard deviation. The factors of safety for slopes were evaluated using the Slide code with Morgenstern and Price method. Risks were evaluated by multiplying the failure probability with consequent costs. The risk of the slope mitigations then can be calculated for assisting decision makers.

(**Keywords**: Point Estimate Method, Slope Stability, Decision Tree, Risk analysis)

---

<sup>(1)</sup> 國立中興大學水土保持學系教授 \*通訊作者

<sup>(2)</sup> 國立中興大學水土保持學系博士研究生

<sup>(3)</sup> 國立中興大學水土保持學系研究生

## 前言

邊坡穩定分析不確定因子包括載重、氣候、地質、地層空間變異狀況及分析模式可能含有誤差與簡化等問題，因此，坡地邊坡整治應盡量考慮各不確定因子之變異性與其交互影響。基於邊坡整治方案風險評估對坡地整治決策的重要性，本研究應用點估法(PEM)分析破壞機率，並求得安全係數之期望值與標準差。機率分析理論可考量邊坡不確定因素，將參數之不確定性加以量化與決策樹路徑將極限平衡法分析與PEM結合，求得破壞機率。再與所需成本計算風險值，利用所計算之風險值，探討坡地處理方案之適切性。本研究選擇二處坡地整治案例說明方法論，並進行風險評估，各以4個組合條件進行邊坡穩定安全係數計算，套用PEM法與決策樹計算風險值，以驗證此方法作為決策輔助之可行性。

## 文獻回顧

Ang and Tang等(1984)定義風險為系統破壞機率。劉玉恒等(2000)指出風險乃系統在規定的工作條件和時間內，不能完成預定功能之機率。失敗的機率可為風險的定義之一，在邊坡整治中，風險分析通常將破壞的機率視為安全係數小於1的機率。故邊坡安全係數小於1的機率可用來代表崩塌災害發生之機率，如圖1所示，而E(FS)為安全係

數之期望值，以此方法所計算出的安全係數比傳統定值法(Deterministic method)所計算出來的安全係數更能考量多數的不確定性因素。邊坡穩定之風險性分析常用之二維度邊坡穩定極限平衡分析法，未能考慮分析時各項參數之不確定性影響，導致分析所得之安全係數常需以經驗法則選用較高之標準加以評量，若能影用機率方法進行風險分析，將此等不確定性之影響量化，解析邊坡穩定之風險性，則可更可靠地評估邊坡之穩定情形(陳旺志等，2004)。廖洪鈞等(2001)收集邊坡破壞與非破壞案例彙整出影響坡地崩塌的因素，配合崩塌因素評估準則表，將影響因素予以量化，利用多變量統計中之鑑別分析法和統計套裝軟體(SAS)，將影響邊坡安全的不同因素及降雨情況，做變換組合分析，建立邊坡崩塌機率之估算模式。

魏君蓉(2007)，一般最常見之機率分析方法大概可分為兩類型式，一類為近似法較常應用的有一階二次矩法(First-Order Second-Moment Method)與點估法(Point Estimate Method)等，另一類為蒙地卡羅法(Monte Carlo Simulation)。近似法簡化了許多假設，因應用之層面受到限制，雖可得到安全係數之平均值及變異數等統計量，但無法得到分佈型態。因此，欲得到破壞機率，則需假設安全係數之分佈型態，通常將之假設為常態分佈或對數常態分佈。所以，一般以一階二次矩法為最常使用之近似解法，但此法僅適用於簡易

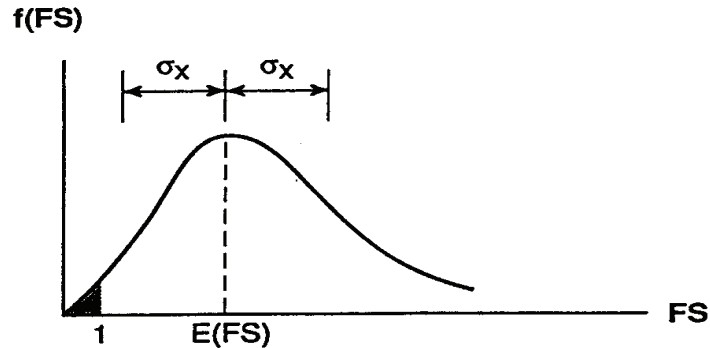


圖1 邊坡安全係數小於1的機率(Turner and Schuster, 1996)

Figure.1 The probability of the FS smaller than 1

的分析模型，而複雜或多變數之分析則以迭代法(Iterative Method)與蒙地卡羅法較佳，應用蒙地卡羅法時，需重複模擬，每一次模擬皆須使用一組與機率分佈對應的隨機變數值，重複模擬後可得到相對應於不同組的隨機變數數值的樣本答案。蒙地卡羅法是數值法的一種，也是一種運用機率密度函數、累積分佈函數及統計量數來解決物理或數學問題的一種方法。蒙地卡羅法主要由機率定理及產生亂數，來決定一個事件的發生，並獲得平均值及標準差來解釋一些屬於機率分佈的物理或數學問題(趙自強，1997)。在邊坡穩定分析中如地質參數、地下水壓力分佈、強度變化、應變過程和空間變量等諸多條件及特性是假設已知的。在面對邊坡處理時，透過蒙地卡羅法大量之隨機模擬結果，把複雜的空間條件

和時間過程簡化成集合參數，求得邊坡處理的近似解，以尋求更合宜之破壞機率。Duffie and Pan(1997)指出蒙地卡羅法其正確性隨著模擬次數增加而增

加，一般來講在99%的信賴水準下，大約要模擬5,000次。由於蒙地卡羅法需要大量演算，故本研究利用計算量較少之PEM點估法進行破壞機率分析，並配合成本考量，評估風險值之大小，以做為處理方案之決策。

## 研究區域概況

一、研究區域一：豐原市公老坪聯外道路災修復建1.區域及地質

位於豐原市公老坪德豐山莊東南側坡向地區。本基地所出露之地層為更新世頭崙山層之香山相(泥岩、砂岩、頁岩)地層。在基地鄰近區域地質構造為車籠埔斷層，車籠埔斷層錯動位置距本基地約0.5公里。聯外道路土方邊坡地層包括有地表覆蓋土層(SF)厚度自2~2.4公尺不等、砂岩夾薄層頁岩(SS//SH)、砂頁互岩層(SS-SH)。基地整體地層走向大致呈北偏東30~40度，向東南傾斜約20度(即N30~40E/20E)。基地範圍內之坡向為東南坡向，為順向坡地形，地層剖面分

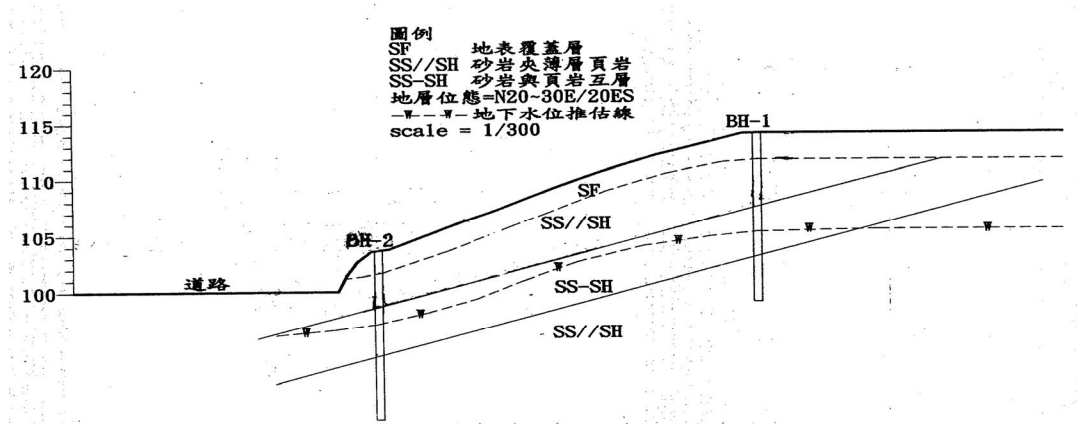


圖 2 案例一地質剖面圖 (摘自永勝顧問有限公司, 2001)

Figure.2 The geological profile of Case I

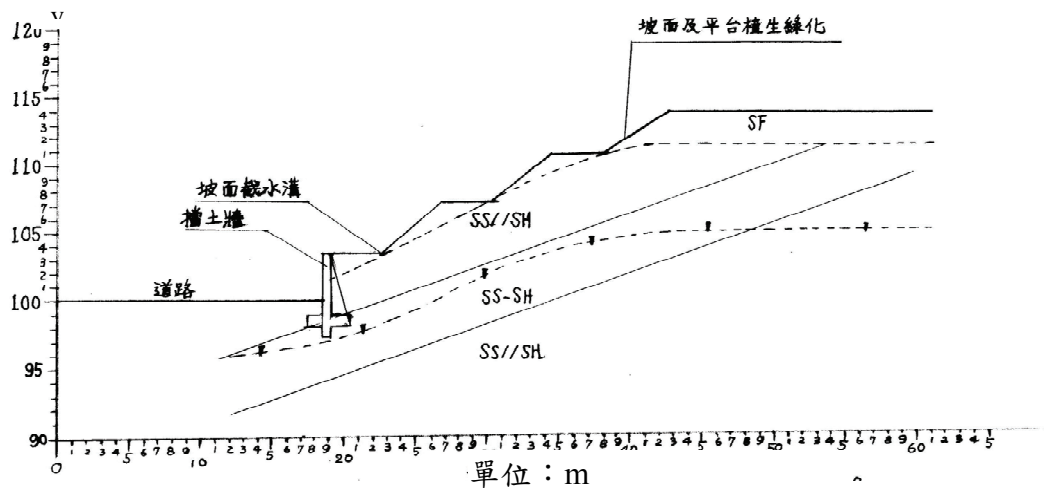


圖 3 案例一(擋土設施)整治規劃剖面示意圖

Figure.3 The mitigation cross section of Case I (Retaining Structure)

佈如圖2, 邊坡剖面如圖3。

## 2. 地下水分佈

本地區屬地下水位較高之地區易發生邊坡破壞, 地下水位深度為 GL(-9.1 公尺)~GL(-6.8 公尺)。分析時假設地下水位尚稱穩定狀態, 該硬體結構施作時特別注意橫向排水功能, 避免因豪雨後地下水路阻塞, 抑制邊坡地下水位升高。

## 二、研究區域二：豐原市東陽別莊後山崩塌地處理

### 1. 區域與地質

位於台灣中部, 東屏中央山脈與東勢鎮、石岡鄉、新社鄉相接, 西鄰神岡鄉, 南接潭子鄉, 北界大甲溪與后里鄉相隔。東陽別莊係臺中縣豐原市東陽里山坡地之區域計畫法頒佈前之開發社區, 遭逢九二一集集地



圖 4 案例二現地狀況照片

Figure.4 Slope condition of Case II

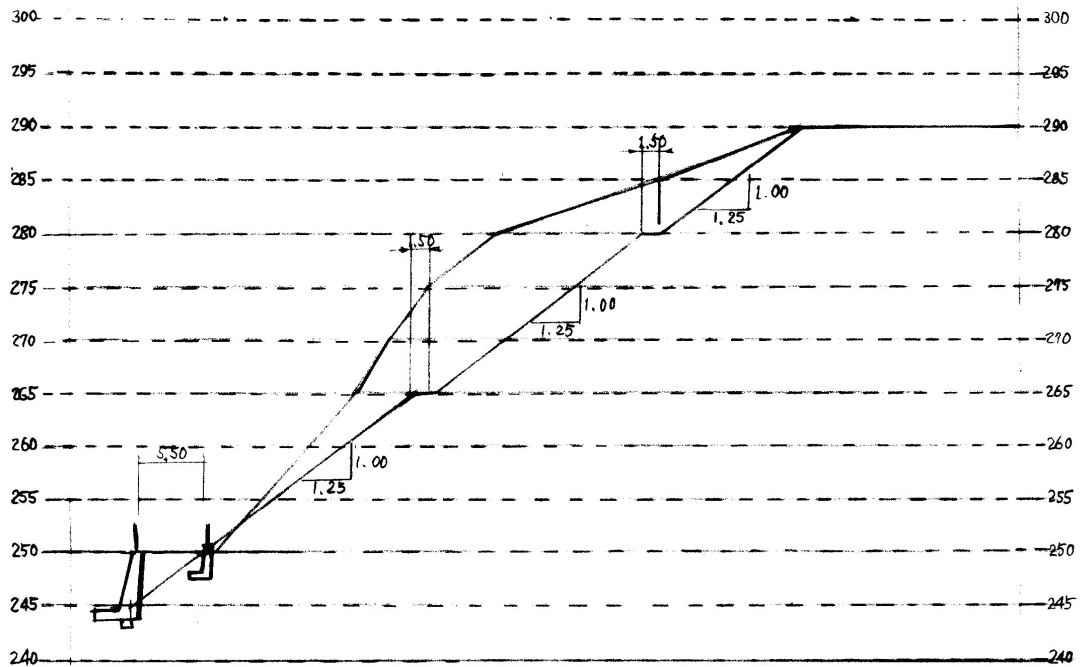


圖 5 案例二擋土設施整治規劃剖面示意圖(單位：公尺)

Figure.5 The mitigation cross section of Case II



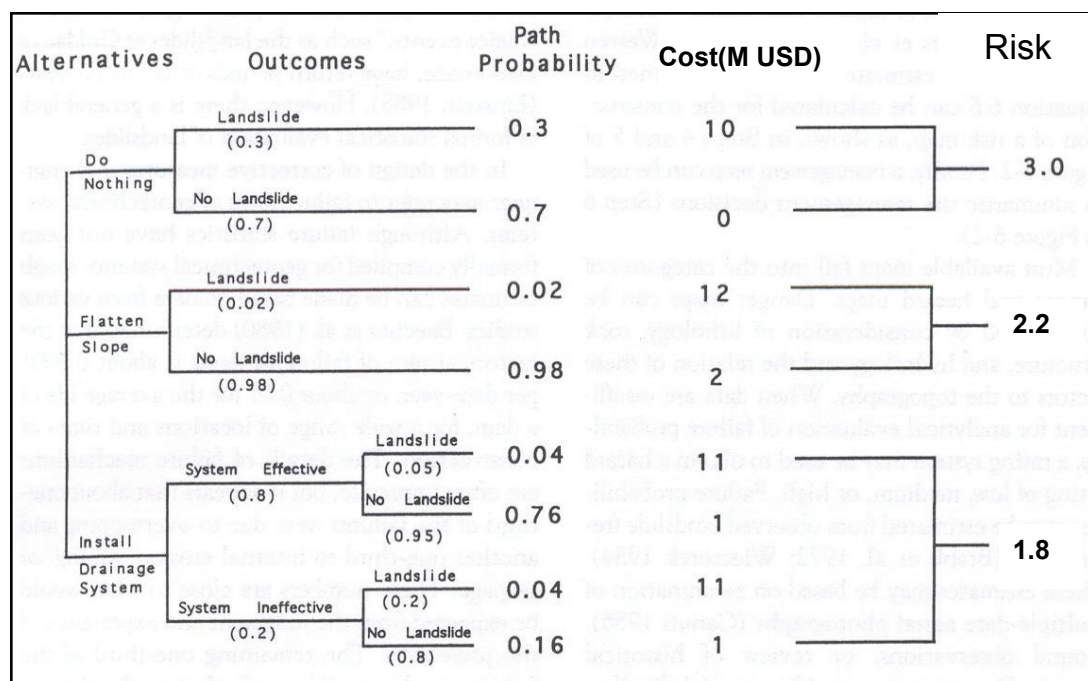


圖 6 邊坡整治之「決策樹」(修改自 Turner and Schuster, 1996)

Figure.6 The decision tree for landslide mitigation (Modified form Turner and Schuster,1996)

震致造成83戶全倒，20戶半倒，重傷4人，緊鄰之後山坡度陡峭，因地震致鬆動崩塌，故震後辦理崩塌地處理，藉以維護社區居民之生命財產安全；復又於93年七二水災部份設施遭受大量雨勢沖刷損壞，乃再次進行崩塌地緊急搶修工作，現地照片如圖4所示。

本區域地質由卓蘭層之砂岩所組成，砂岩呈淡黃色或淺灰色，由細至中粒的混濁砂岩所組成，邊坡剖面如圖5。

## 2.地下水分布

本研究地區坡度陡峭易發生表面逕流滲透之邊坡破壞，地下水位深度為GL(-10公尺)~GL(-21.55公尺)。目前地下水位假設為穩定狀態。施作時硬體亦應特別注意橫向功能，避免邊坡地下水位升高。

## 研究方法

本研究以 PEM 點估法應用 Slide 5.0 (Rocscience, Inc., 2003)以極限平衡法計算邊坡處理方案之安全性，破壞機率，考量處理方案之成本考量後，計算出邊坡整治方案之風險值(risk)，完成坡地邊坡整治處理方案之風險評估。研究方法詳述如下：

### 一、點估法 (Rosenblueth's Point Estimate Method)破壞機率計算

點估法為 Rosenblueth 提出(Abramson et al., 2001)，對安全係數 F 之期望值近似估計法，以兩個輸入變數  $F=G(X, Y)$ 之狀況說明如下。假設 F 為安全係數，兩個隨機變數為 X,Y，考量 4 個“條件”(++, +-, -+, --)。以下為

F 之期望值變異數之計算方法：F++=

$$G((\bar{X} + \sigma X), (\bar{Y} + \sigma Y))$$

$$F+- = G((\bar{X} + \sigma X), (\bar{Y} - \sigma Y))$$

$$F-+ = G((\bar{X} - \sigma X), (\bar{Y} + \sigma Y))$$

$$F-- = G((\bar{X} - \sigma X), (\bar{Y} - \sigma Y))$$

$$E[F] = \rho_{++}F_{++} + \rho_{+-}F_{+-} + \rho_{-+}F_{-+} + \rho_{--}F_{--} \quad (1)$$

上式中：

$$\rho_{++} = \rho_{--} = \frac{1}{4} (1 + \rho_{XY})$$

$$\rho_{+-} = \rho_{-+} = \frac{1}{4} (1 - \rho_{XY})$$

$$\text{Var}[F] = E[F^2] - (E[F])^2 \quad (2)$$

$$E[F^2] = \rho_{++}F_{++}^2 + \rho_{+-}F_{+-}^2 + \rho_{-+}F_{-+}^2 + \rho_{--}F_{--}^2$$

其中：

$\rho$  為變異係數

$E(\quad)$  為期望值

$\text{Var}(\quad)$  為變異數

$\bar{X}$  為 X 之平均值

$\bar{Y}$  為 Y 之平均值

$\rho_{XY}$  為 XY 之關聯係數

$\sigma$  為標準偏差

如果隨機變數有三個，則有8個“條件”(+++，++-，+-，+--，-+-，-++，--+，---)，且  $F=G(X, Y, Z)$ ，則安全係數F之期望值及變異數之計算方法如下：

$$E[F] = \rho_{+++}F_{+++} + \rho_{++-}F_{++-} + \rho_{+-}F_{+-} + \rho_{+--}F_{+--} + \rho_{-+-}F_{-+-} + \rho_{-++}F_{-++} + \rho_{--+}F_{--+} + \rho_{---}F_{---} \quad (3)$$

上式中：

$$\rho_{+++} = \rho_{---} = \frac{1}{8} (1 + \rho_{XY} + \rho_{YZ} + \rho_{ZX})$$

$$\rho_{++-} = \rho_{-+-} = \frac{1}{8} (1 + \rho_{XY} - \rho_{YZ} - \rho_{ZX})$$

$$\rho_{+-} = \rho_{-+} = \frac{1}{8} (1 - \rho_{XY} - \rho_{YZ} + \rho_{ZX})$$

$$\rho_{+--} = \rho_{--+} = \frac{1}{8} (1 - \rho_{XY} + \rho_{YZ} - \rho_{ZX})$$

$$\text{Var}[F] = E[F^2] - (E[F])^2 \quad (4)$$

## 二、破壞機率及穩定性分析

以PEM點估法進行邊坡之破壞機率分析時，首先要取得邊坡之剖面，並以邊坡穩定分析軟體Slide 5.0(Rocscience, Inc., 2003)以極限平衡法計算式(1)所需之4個安全係數，求得安全係數FS之期望值與式(2)之變異

表 1 案例一 地層材料強度參數與變異性之假設

Table 1 The strength parameters and variance of Case I

| 地下水位                                   | 土壤種類      | 力學參數              | 平均值*                   | 估計變異係數 |
|----------------------------------------|-----------|-------------------|------------------------|--------|
| 低水位未達破壞面                               | 表土覆蓋層(SF) | 土壤單位重( $\gamma$ ) | 16.87kN/m <sup>3</sup> | —      |
|                                        |           | 凝聚力(C)            | 1.0 kN/m <sup>2</sup>  | 25%    |
|                                        |           | 摩擦角( $\phi$ )     | 27°                    | 20%    |
| * $\gamma$ 、C、 $\phi$ 參考自永勝顧問有限公司，2001 |           |                   |                        |        |

表 2 案例二 地層材料強度參數與變異性之假設

Table 2 The strength parameters and variance of Case II

| 地下水位              | 土壤種類      | 力學參數              | 平均值*                    | 估計變異係數 |
|-------------------|-----------|-------------------|-------------------------|--------|
| 低水位未達破壞面          | 表土覆蓋層(SF) | 土壤單位重( $\gamma$ ) | 18.34kN/m <sup>3</sup>  | —      |
|                   |           | 凝聚力(C)            | 10.59 kN/m <sup>2</sup> | 25%    |
|                   |           | 摩擦角( $\phi$ )     | 24°                     | 20%    |
| *參考自水土保持局第二所，2003 |           |                   |                         |        |

數，最後以常態分布機率函數積分(cumulative)，求得安全係數FS小於1.0之破壞機率( $P_f$ )。

### 三、處理方案之風險值計算

#### 1、處理方案之破壞機率與成本估計

(1) 依現地地形與地質條件，擬定其適合的工法、方案(如擋土牆、生態工法、排水工法、地錨、土釘等)，並估計各種工法所需之成本。

(2) 根據地質資料( $\gamma$ 、 $c$ 、 $\phi$ 等)以Slide軟體應用點估法(PEM)求出自然復育及實施各種工法、方案之破壞機率。

(3) 災害發生後所造成的損失、賠償等費用估計。

#### 2、風險值計算

本研究風險值(risk)評估以「決策樹」來計算，如圖6所示。其中風險值(Risk)這一項乃以期望成本(expected cost)來代表。也就是

某一個整治方案中包括整治所需之費用、災害發生的賠償等費用乘以其路徑機率(path probability)後相加的總成本。風險值(R)之計算以破壞機率( $P_f$ )乘以成本( $C_r$ )而得，即：

$$R = C_0 \text{ (未崩塌前投入之成本)} + P_f \text{ (破壞機率)} \times C_r \text{ (破壞後之損失與或賠償成本)} \quad (5)$$

#### 3、處理方案決定

由「決策樹」路徑所計算出的風險值進行比較，以圖6之決策樹為例，處理方案包括：(1)什麼都不做(2)坡度整緩處理(3)裝設排水系統；經計算後比較發現，以裝設排水系統方案3之風險值最小(1.80)，而以什麼都不做的方案風險值最大(3.0)。決策時以此做為依據，選擇風險值最小的方案進行整治，即應採方案3為處理之策略。

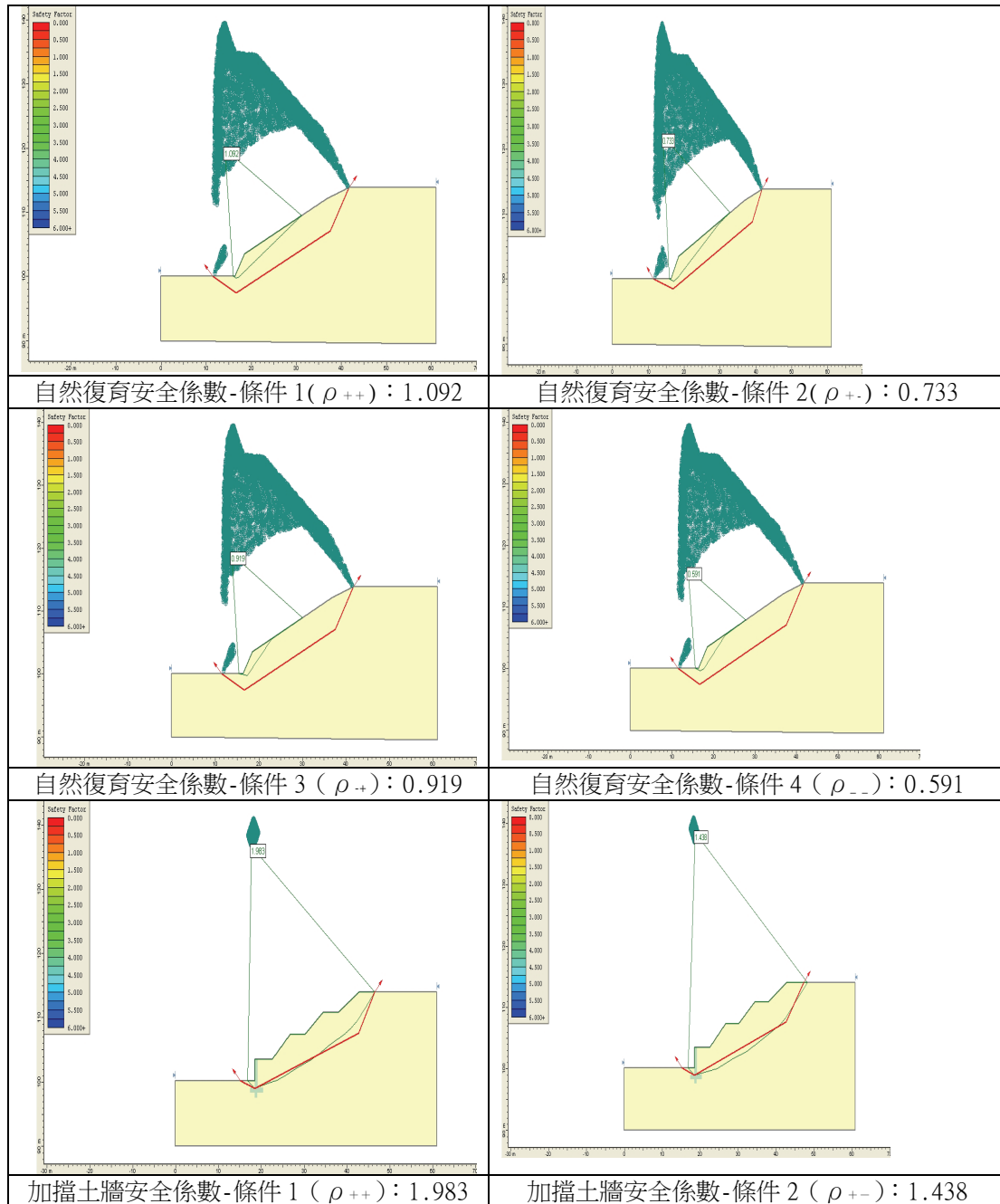
#### 四、案例分析

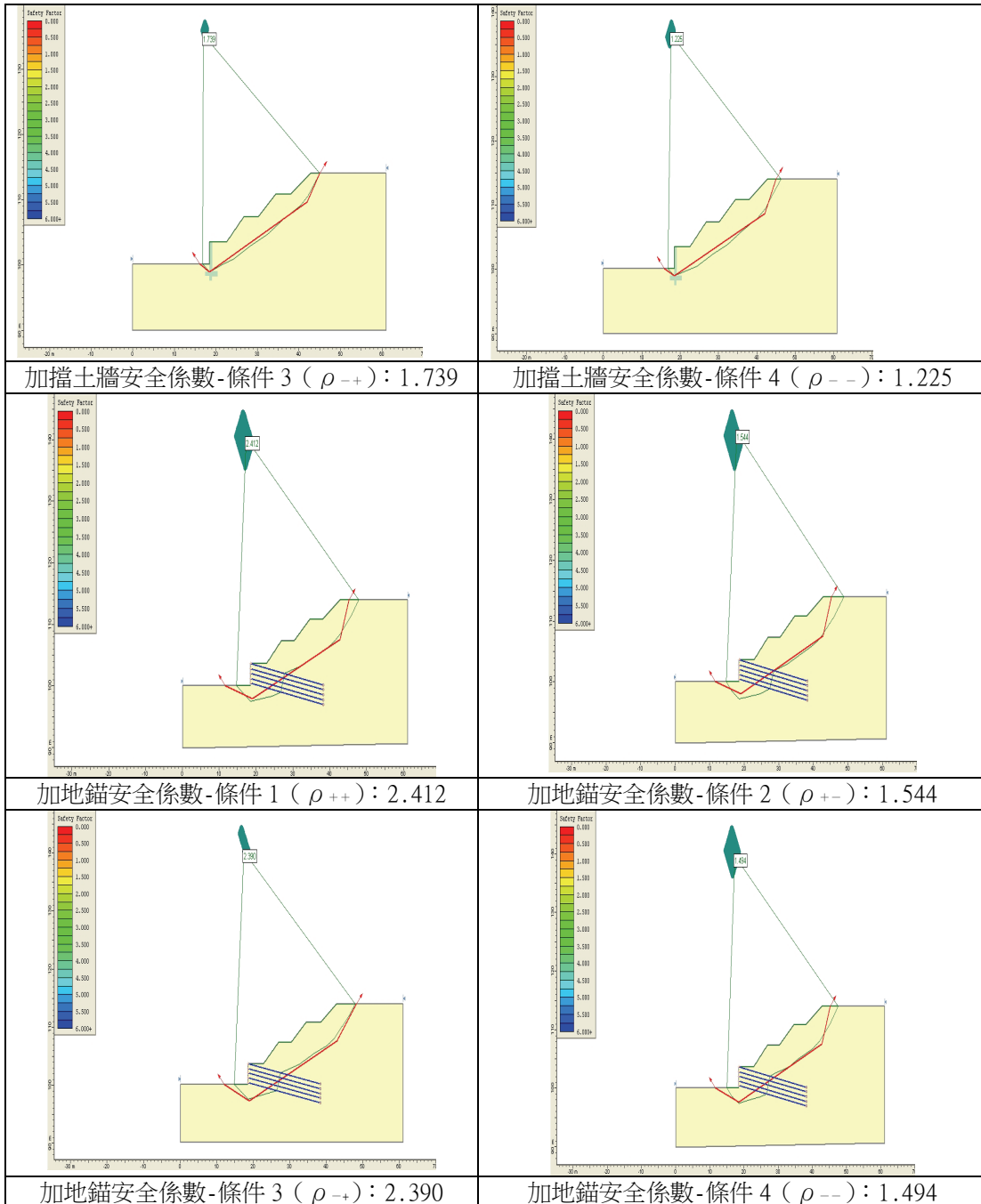
本研究二處邊坡整治案例分析，選用：



表 3 案例一不同方案及條件下之安全係數

Table 3 Safety factor (FS) of Case I on under different conditions



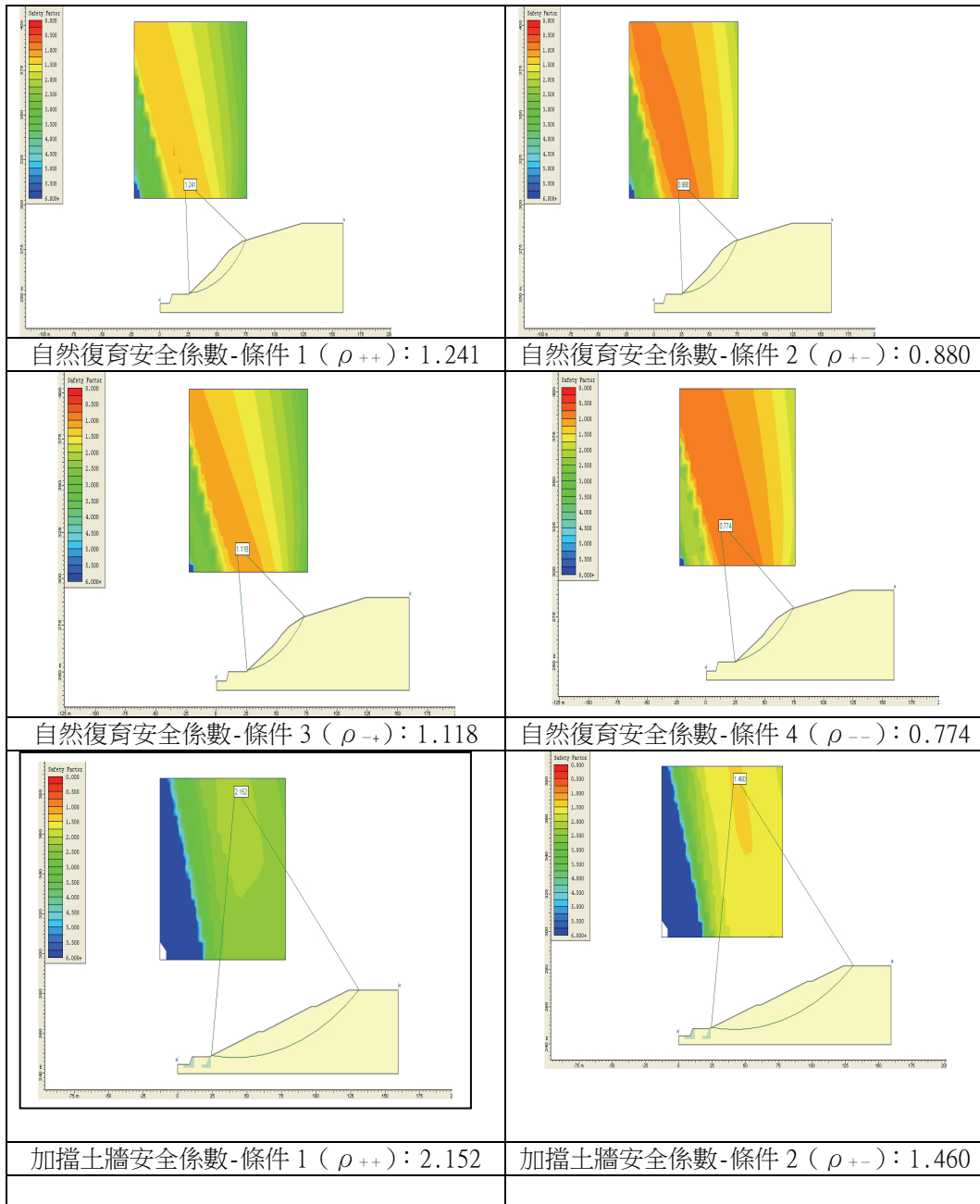


(1)自然復育(2)擋土牆(3)地錨等三種處理方案進行分析。利用Slide程式二維的極限平衡法分析邊坡穩定問題，進行四個安全係數計算，本研究案例之邊坡穩定分析步驟共

分：(1)繪製地形剖面；(2)輸入材料參數；(3)輸入邊坡設定狀態；(4)輸入邊坡破壞模式；(5)設定破壞範圍。簡述步驟如下

表 4 案例二不同方案及條件下之安全係數

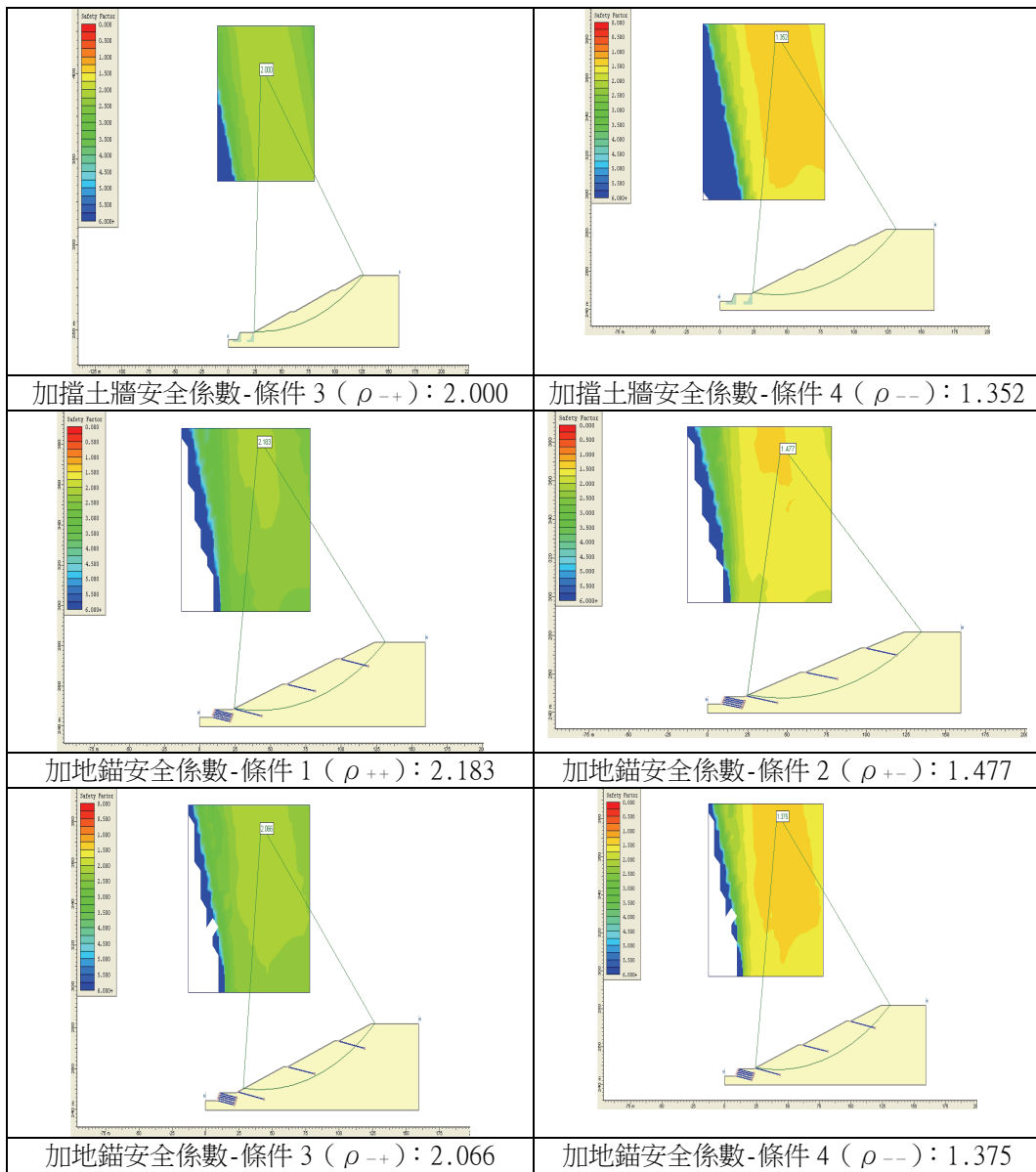
Table 4 Safety factor (FS) of Case II on under different conditions



(1)繪製地形剖面：依照地形圖繪製邊坡之剖面圖。

(2)輸入材料參數：材料之種類在本研究

為覆蓋層，可採現地採集或室內實驗所得數據，所採參數及所估計之變異性如表1及表2所示。



(3)輸入邊坡設定狀態：假設三種方案做邊坡穩定安全係數分析：(a)假設原始邊坡自然復育(b)加入擋土牆設施的結果(c)加地錨設施的分析結果。

(4)輸入邊坡破壞模式：分析採圓弧或平面等破壞滑動面。

(5)設定破壞範圍：可採用自動尋找破壞面或給定其破壞範圍方式分析。

## 結果分析與探討

### 一、安全係數分析結果

兩個案例均選用(1)自然復育(2)擋土牆(3)地錨等三種處理方案，再分別以 Slide 進行 4 個條件安全係數分析，案例一考慮非圓弧型

表 5 案例一自然復育坡面 PEM 計算結果

Table 5 The PEM result of Case I with natural restoration

|             | $\rho$      | c       | $\phi$   | Slide FS     | FS <sup>2</sup> |
|-------------|-------------|---------|----------|--------------|-----------------|
| 條件 1        | $\rho_{++}$ | 1.25    | 32.4     | 1.092        | 1.192464        |
| 條件 2        | $\rho_{+-}$ | 1.25    | 21.6     | 0.733        | 0.537289        |
| 條件 3        | $\rho_{-+}$ | 0.75    | 32.4     | 0.919        | 0.844561        |
| 條件 4        | $\rho_{--}$ | 0.75    | 21.6     | 0.591        | 0.349281        |
| 平均值<br>mean | 0.8322      | 變異數 var | 0.030347 | 標準差 $\sigma$ | 0.174204        |
| 破壞機率        | 0.832       | 破壞機率百分比 | 83.2%    |              |                 |

表 6 案例一加擋土牆 PEM 計算結果

Table 6 The PEM result of Case I with retaining structure mitigation

|             | $\rho$      | c       | $\phi$   | Slide FS     | FS <sup>2</sup> |
|-------------|-------------|---------|----------|--------------|-----------------|
| 條件 1        | $\rho_{++}$ | 1.25    | 32.4     | 1.983        | 3.932289        |
| 條件 2        | $\rho_{+-}$ | 1.25    | 21.6     | 1.438        | 2.067844        |
| 條件 3        | $\rho_{-+}$ | 0.75    | 32.4     | 1.739        | 3.024121        |
| 條件 4        | $\rho_{--}$ | 0.75    | 21.6     | 1.225        | 1.500625        |
| 平均值<br>mean | 1.5947      | 變異數 var | 0.071104 | 標準差 $\sigma$ | 0.266654        |
| 破壞機率        | 0.013       | 破壞機率百分比 | 1.3%     |              |                 |

表 7 案例一加地錨設施 PEM 計算結果

Table 7 The PEM result of Case I with anchor mitigation

|             | $\rho$      | c       | $\phi$   | Slide Fs     | Fs2      |
|-------------|-------------|---------|----------|--------------|----------|
| 條件 1        | $\rho_{++}$ | 1.25    | 32.4     | 2.412        | 5.817744 |
| 條件 2        | $\rho_{+-}$ | 1.25    | 21.6     | 1.544        | 2.383936 |
| 條件 3        | $\rho_{-+}$ | 0.75    | 32.4     | 2.39         | 5.7121   |
| 條件 4        | $\rho_{--}$ | 0.75    | 21.6     | 1.494        | 2.232036 |
| 平均值<br>mean | 1.9614      | 變異數 var | 0.191677 | 標準差 $\sigma$ | 0.437809 |
| 破壞機率        | 0.014       | 破壞機率百分比 | 1.4%     |              |          |

滑動，案例二則採以圓弧型滑動進行分析，均以 Morgenstern and Price 方法分析，各

求出三方案之四個安全係數，分別如表 3 及表 4 所示。

表 8 案例二自然復育坡面 PEM 計算結果

Table 8 The PEM result of Case II with natural restoration

|             | $\rho$      | c        | $\phi$   | Slide FS     | FS <sup>2</sup> |
|-------------|-------------|----------|----------|--------------|-----------------|
| 條件 1        | $\rho_{++}$ | 13.24    | 28.8     | 1.241        | 1.540081        |
| 條件 2        | $\rho_{+-}$ | 13.24    | 19.2     | 0.880        | 0.7744          |
| 條件 3        | $\rho_{-+}$ | 7.94     | 28.      | 1.118        | 1.249924        |
| 條件 4        | $\rho_{--}$ | 7.94     | 19.2     | 0.774        | 0.599076        |
| 平均值<br>mean | 1.0024      | 變異數 var  | 0.030323 | 標準差 $\sigma$ | 0.174135        |
| 破壞機率<br>=   | 0.495       | 破壞機率百分比= | 49.5%    |              |                 |

表 9 案例二加擋土牆 PEM 計算結果

Table 9 The PEM result of Case II with retaining structure mitigation

|             | $\rho$      | c       | $\phi$   | Slide FS     | FS <sup>2</sup> |
|-------------|-------------|---------|----------|--------------|-----------------|
| 條件 1        | $\rho_{++}$ | 13.24   | 28.8     | 2.152        | 4.631104        |
| 條件 2        | $\rho_{+-}$ | 13.24   | 19.2     | 1.460        | 2.1316          |
| 條件 3        | $\rho_{-+}$ | 7.94    | 28.      | 2.000        | 4.0             |
| 條件 4        | $\rho_{--}$ | 7.94    | 19.2     | 1.352        | 1.827904        |
| 平均值<br>mean | 1.7388      | 變異數 var | 0.107856 | 標準差 $\sigma$ | 0.328415        |
| 破壞機率        | 0.012       | 破壞機率百分比 | 1.2%     |              |                 |

## 二、破壞機率分析結果

將所選用之三種處理方案以 Slide 分析，在每個方案四個條件下之安全係數，應用點估法(PEM)計算出安全係數之期望值及破壞機率等，計算結果分別如表 5~7 所示及表 8~10 所示。根據各處理方案之破壞機率計算結果，將三種處理方案之平均安全係數及破壞機率整理比較，如表 11 及 12 所示，安全係數與破壞機率應成反向關係。

## 三、風險值分析結果

本研究之案例各以三種處理方案所計算得到

的破壞機率及估計所需的成本，利用「決策樹」路徑機率乘以成本來計算不同案例之風險值，其中成本的估算應用式(5)來估計之。決策時可選擇風險值最小者，做為決策依據。風險值分析結果圖 7 及 8「決策樹」所示，案例一中方案(1)自然復育之不破壞情形以無需投入任何成本為原則，並比較三個方案之風險值結果，以(2)施設擋土牆方案之風險值最小(0.365)，以方案(1)自然復育之風險值最大(4.16)。方案二中方案(1)自然復育中不破壞情形以無需投入任何成本為原則，經比較決策樹風險值，以(2)加設擋土牆之風險

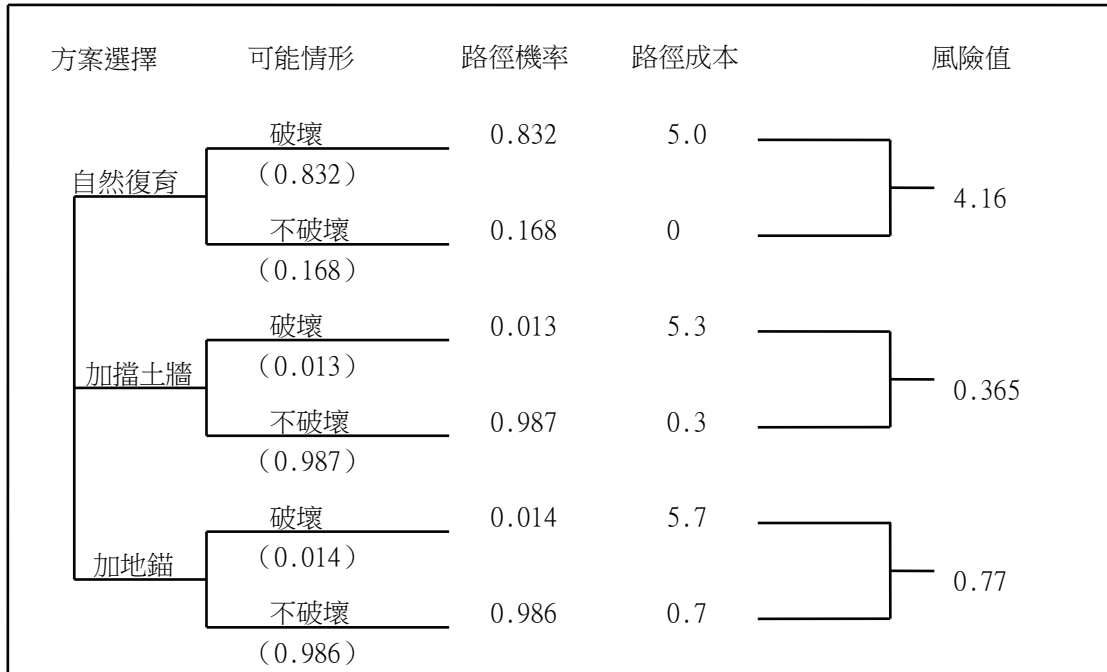


圖 7 案例一邊坡整治方案之決策樹

Figure.7 The decision tree for slope mitigation of Case I

表 10 案例二加地錨設施 PEM 計算結果

Table 10 The PEM result of Case II with anchor mitigation

|             | $\rho$      | c           | $\phi$   | Slide FS     | FS <sup>2</sup> |
|-------------|-------------|-------------|----------|--------------|-----------------|
| 條件 1        | $\rho_{++}$ | 13.24       | 28.8     | 2.183        | 4.765489        |
| 條件 2        | $\rho_{+-}$ | 13.24       | 19.2     | 1.477        | 2.181529        |
| 條件 3        | $\rho_{-+}$ | 7.94        | 28.      | 2.066        | 4.268356        |
| 條件 4        | $\rho_{--}$ | 7.94        | 19.2     | 1.375        | 1.890625        |
| 平均值<br>mean | 1.7745      | 變異數 var     | 0.117338 | 標準差 $\sigma$ | 0.342546        |
| 破壞<br>機率    | 0.012       | 破壞機率<br>百分比 | 1.2%     |              |                 |

### 結論與建議

值最小(0.3597)，而以方案(1)自然復育之風險值最大(3.944)。

本研究利用Slide程式以二維邊坡穩定極限平衡分析法應用點估機率法(PEM)進行風



險分析。考量土壤剪力強度參數之變異性，破壞機率，且配合所需成本，計算各方案之風險分析二個案例之各三種整治處理方案之破

表 11 案例一風險分析結果

Table 11 The risk analysis result of Case I

|            |        |         |        |
|------------|--------|---------|--------|
| 分析狀況       | 自然復育坡面 | 加擋土牆設施後 | 加地錨設施後 |
| FS 值       | 0.8322 | 1.5947  | 1.9614 |
| 破壞機率 $p_f$ | 83.2%  | 1.3%    | 1.4%   |

表 12 案例二風險分析結果

Table 12 The risk analysis result of Case II

|            |        |         |        |
|------------|--------|---------|--------|
| 分析狀況       | 自然復育坡面 | 加擋土牆設施後 | 加地錨設施後 |
| FS 值       | 1.0024 | 1.7388  | 1.7745 |
| 破壞機率 $p_f$ | 49.5%  | 1.2%    | 1.2%   |

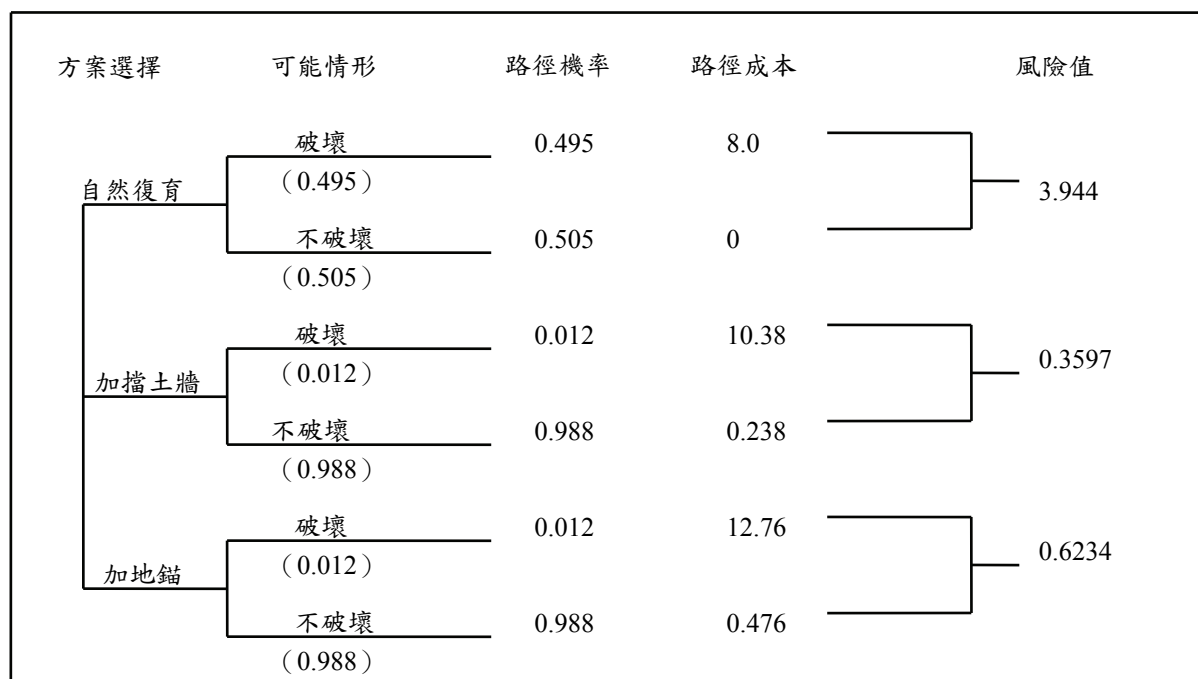


圖 8 案例二邊坡整治方案之決策樹

Figure.8 The decision tree for slope mitigation of Case

險值。獲得下列結論：

- (1) 本研究之風險評估方法，經由案例之實際分析後，初步驗證以Slide計算安全係數後，再以點估法

PEM求破壞機率之方法可行。所求得之風險值成果，可提供坡地處理最佳整治方案之選擇參考，而不需如蒙地卡羅法需進行數千次之重覆計算方得其破壞機率。

- (2) 所分析之兩個案例均以施作擋土牆時的風險值最低，因此建議可選為兩個案例之最佳整治方案。

根據本研究中的經驗，提供幾點建議可供後續研究參考：

- (1) 針對本研究輸入土壤參數，最主要的影響在於其變異範圍，如C值、 $\psi$ 值。故PEM機率法分析時，應需做詳細調查其變異，在進行邊坡整治風險分析時，可得較佳結果。
- (3) 建議可再加入其他不確定因素，如地下水位，此時即需使用3個變數8個條件之點估法。

### 參考文獻

1. Abramson, L.W., Lee, T.S., Sharma, S. and Boyce, G.M. (2001) "Slope Stability and Stabilization Methods", John Wiley and Sons, Inc.
2. Ang, H.C. and Tang, W.H (1984) "Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Vol. II : Decision, Risk and Reliability", John Wiley and Sons, Inc., New York.
3. Duffie, D. and Pan, J. (1997) "An Overview of Value At Risk", Journal of Derivatives, New York., Vol.4, No.3, pp.7-49.
4. Rocscience, Inc.(2003) *Slide 5.0 - 2D limit equilibrium slope stability for soil and rock slopes*. User manuals.
5. Turner and Schuster (1996) "Landslides: Investigation and Mitigation", Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press.
6. 永勝顧問有限公司(2001)，「台中縣豐原市公老坪聯外道路災修復建」。
7. 行政院農業委員會水土保持局第二工務所(2003)，「台中縣豐原市東陽別莊山坡地住宅社區外圍水土保持設施預算書圖」。
8. 陳旺志、蔡光榮、林金炳(2004)，「邊坡穩定之風險性分析」，水土保持學報，36卷第4期，pp.365-376。
9. 葉柳青、張育瑄、馮正一 (2008)，「邊坡整治方案之風險評估」，第12屆大地研討會論文集，2007/08/29-31。
10. 廖洪鈞、林郁欽(2001)，「鑑別分析法於社區邊坡崩塌機率之應用與評估」，土工技術雜誌，第87期，pp.59-72。
11. 趙自強(1997)，「醫學診斷用之X光機的劑量評估」，清華大學原子科學系碩士論文
12. 劉玉恆、麻榮永、吳彰墩(2000)，「土壩滑坡風險計算方法研究」，紅水河，第20卷，第1期。
13. 魏君蓉(2007)，「加勁擋土牆牆面變形之可靠度分析」，暨南土木學系碩士論文

---

98年05月16日收稿

98年06月10日修改

98年06月30日接受

水土保持學報 41(4) : 371-388 (2009)  
Journal of Soil and Water Conservation, 41(4) : 371-388 (2009)