

基因演算法於邊坡穩定分析之初步應用

王美齡⁽¹⁾ 馮正一⁽²⁾ 張育瑄⁽³⁾

摘要

本研究採用 Zolfaghari (2005)的基因演算方式，應用切片法中的 Morgenstern and Price Method 進行土壤邊坡的穩定分析，並搜尋安全係數及滑動面。先藉由均質邊坡的分析，對於邊坡穩定在計算前的參數指定，歸納參數最恰當的值，再利用實際案例試區之分析，以 SLOPE/W 進行比較，驗證基因演算法對邊坡穩定分析的可靠度與準確性。

關鍵字：基因演算法、邊坡穩定、安全係數、滑動面

A Preliminary Application of Genetic Algorithm on Slope Stability Analysis

Mei-ling Wang¹ Zheng-yi Feng^{2} Yu-hsan Chang³*

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

Abstract

This study adopts genetic algorithm (GA) by Zolfaghari (2005) and analyzes the stability of soil slope with Morgenstern and Price method using method of slices to search the factor of safety and failure surface. The assignment of primarily parameters is according to the rule-of-thumb values from homogeneous slope for calculation. The paper compares the results carried out by GA for two test sites with those results of SLOPE/W to verify the reliability and accuracy of the analysis.

Keyword : Genetic algorithm, slope stability, factor of safety, slip surface

⁽¹⁾ 國立中興大學水土保持學系 學士

⁽²⁾ 國立中興大學水土保持學系 副教授，通訊作者 e-mail:tonyfeng@nchu.edu.tw

⁽³⁾ 國立中興大學水土保持學系 博士生

前言

邊坡穩定性分析一直以來都是坡地工程中很重要的一個環節，不論是在對工程邊坡與自然邊坡安全性的評估，以及民眾的生命財產安全均有很大的關連性。傳統邊坡穩定性分析的方式，大多使用極限平衡法來加以運算。其優點在於方法簡單、可找出潛在滑動面以及量化的安全係數，這其實也可以視為是一種最佳化的過程。極限平衡法的分析步驟多半一開始先假設數個滑動面，然後進行分析搜尋，最後以安全係數為最小的滑動面作為最危險的滑動面。然而，此種一步步的搜尋方式雖然可收斂，但卻容易只搜尋到局部的最佳值，不一定能搜尋到真正的破壞面。

而在最佳化問題當中，若能仿照生物界自然而成的機制：「物競天擇，適者生存，不適者淘汰，則所產生的結果必然能得到最適宜的情況。基因演算法就是根據如此的想法，來自達爾文演化論的啟發，所發展的一套演化型的計算。它可導入人類的想法與創新，也易與電腦相互對應，是一種新穎且有效率的智慧型運算工具。

基因演算法在各領域中廣受應用、也頗有潛力求解最佳化問題的工具。但基因演算法應用在邊坡穩定的先例不多，如何運用適當的基因演算運算元、引用合宜的控制參數、改進不足之處，是一個重要的探討課題。

文獻回顧

基因演算法已廣泛地應用在各個不同的領域，作為最佳化問題的求解。國外已有初步將「簡單基因演算法」(Simple genetic algorithm)應用在邊坡穩定分析的實例探討。McCombie and Wilkinson(2002)發展一套簡單基因演算法(Simple genetic algorithm)搜尋圓弧型破壞面的最小安全係數，整體架構中的變異數利用圓弧型破壞面的半徑與圓心 xy 座標，結合成字串，呈現一種擁有近似三維模式的染色體進行演算。結果指出此簡單基因演算法可成功的搜尋到邊坡的臨界圓，相較於「蠻力計算法」(brute force approach)能快速得到結果，並求得滑動面與安全係數值。從其研究的結果發現，簡單基因演算法適合應用在非圓弧型破壞面的分析。

Zolfaghari, et al.(2005)提出，邊坡穩定分析若使用圓弧型破壞的方式求解，會高估安全係數的數值，導致對邊坡穩定性有不保守的判定。相反的，非圓弧型邊坡穩定分析為較可靠的估算方法。簡單基因演算法比起單一或隨機的搜尋方式，更能快速搜尋到最小安全係數的非圓弧型破壞面。此演算法與 Morgenstern-Price 法的結合，可求解邊坡上同時具有邊坡幾何與載重等多變數之最小安全係數。

基因演算法理論

基本概念

達爾文的演化理論，解釋了生物圈中的自然現象，提出物種的遺傳和變異、生物間的生存鬥爭以及自然選擇的重要論點，強調物種在不斷變遷的環境中，為了生存、為了適應環境，

因而進化，繁殖出生存力和適應力較好的下一代。

基因演算法利用達爾文的進化論作為基礎，在物競天擇，適者生存的演進理念之下，仿照自然界中生物的天擇、交配與突變等，編譯出一套演算方法以做為求解最佳化問題的工具。

在 1960 年代，基因演算法率先由 Holland (1975) 所提出，在他的著作“Adaptation in Natural and Artificial Systems”中約略可看出基因演算法的雛形，書中主要闡述自然與人工系統的適應問題，Holland (1975) 可說是基因演算法的始祖，他奠定了基因演算法的基礎與發展。

生物在繁殖的過程中會透過染色體進行交配及突變，交換染色體上的基因，改變組成，使得親代與子代間產生變異；基因演算法中，將每一個體(可能是參數或解)稱作是染色體(Chromosome)，隨機產生其基因值，再透過編碼轉換成可交換位元的形式。一個世代的染色體所成的集合稱作為母體或族群(Population)，由於每一個體有著不同的特性，此時需締造「適應函數」又稱「適存值」(Fitness value)作為篩選的門檻值，就像是藉由彼此的競爭和環境的考驗下，剔除掉適存值較低的個體，並篩選出適存值高的母體進行複製，適存值越高的，可以複製出越多的子代，接著從其中選擇來兩兩交配(Crossover)，並適切的加入突變的機制，以期產生適存度更高的下一代，如此下來，透過疊代的程序使得群體一代代優化並逐漸逼近於最佳解，演算流程如圖 1 所示。進行基因演算法分析之前，只需要基本的邊坡剖面

數據、土層資料、地下水資料，是不需要先進行傳統分析方法來決定適當的基因演算法參數。因為基因演算法參數的指派是以機率統計的方式為基礎，是依照使用者可以接受的範圍所訂定。在程式的指派當中，對於收斂的標準已有詳盡的指定。只會與收斂的程度有關，疊代的次數多，收斂的結果較為精確，但所需花費的時間也較多。不會出現無法收斂的情況。

基因演算法專有名詞介紹

(陳安斌，2005; Coley, 1999; Haupt and Haupt, 2004)

◆ 初始族群(Initial Population)

在進行基因演算法的運算之前，須先隨機指派具有一定數量的染色體(Chromosome)，所有染色體的集合稱為族群(Population)。而族群大小的決定，通常取決於問題複雜的程度，問題越複雜，所需要的族群越大，才能越具有多樣性並有效計算達到收斂的目的，如此一來也較不易陷入局部最佳解(Local Optima)。

◆ 編碼(Encoding)

為了使未知雜亂的參數能適切的在電腦中運算，必須將參數加以統一編碼，越接近問題空間的編譯方式能使運算上更有效率。基因演算法的編碼方式有多種型態，如二進位編碼(Binary Encoding)、實數編碼(Real-valued Encoding)、符號編碼(Signal Encoding)、格瑞編

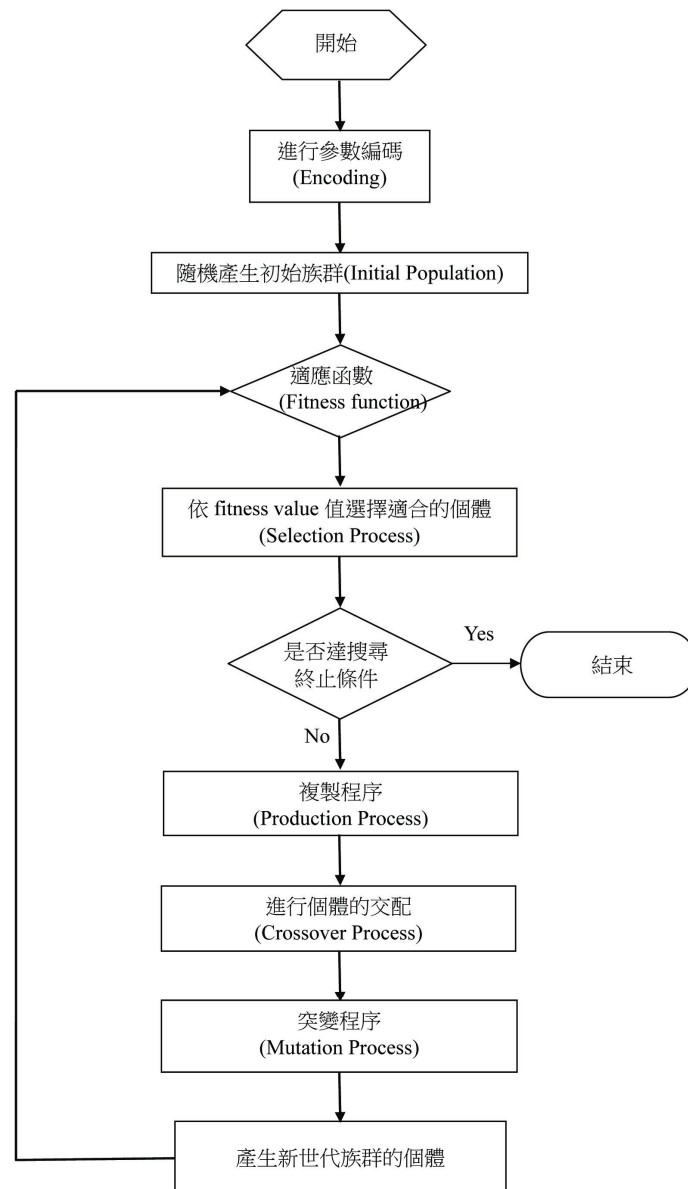


圖 1 基因演算法流程圖

Fig. 1 GA flow chart

碼(Gray Encoding)等，取決在於要如何在最短的時間內有效的與電腦或運算工具作結合、交換資訊的難易度以及資訊的表示方式等，不應有任何資訊的遺漏。其中最普遍的方式為二進位編碼，將數值利用二進位轉換成 0 與 1 排列的字串，使它容易與電腦作結合，若字串編碼後的長度為 x ，表示整個搜尋空間可能的解有 2^x 個，但二進位編碼也是有很大問題所在，例如非整數的數值很難轉換成二進位、在字串中緊鄰的兩個數字雖然只差一個字元，但其基因型微小的變化會導致表現型非常大的改變。因此對於不同型態的問題，在編碼上的選擇是很重要的。

◆ 染色體(Chromosome)

於生物上的觀點，染色體是在繁殖的過程中進行交配和突變時改變基因組成，透過基因型(Genotype)的改變影響表現型(Phenotype)的特徵來達到演化的目的。同樣的在基因演算法中，染色體作為運算的單元，代表問題中的參數或是搜尋空間中的一組解，透過編碼轉換成字串(基因型)，進行一連串的基因操作後，變換染色體上的位元，同時也改變了原本參數的數值(表現型)。染色體的長度代表所有參數編碼後的長度，長度越長代表搜尋空間分割的越細、越精確，但也會導致搜尋時間太長增加搜尋的難度。

◆ 適應函數(Fitness Function)

又稱為適存度，作為判斷個體在經由基因操作後是否能繼續留存在族群中的依據。個體越符合適應函數，表示適應能力越高，生存的機會也就越大；相反的，越不符合適應函數的個體，淘汰的機會也就越高。在最佳化的問題當中，好的適應函數能快速縮小搜尋空間達到目標最佳解，因此，選定整個問題的適應函數是需要達到了解問題的屬性以及充分評估個體間的適應能力。

◆ 篩選與複製(Selection and Reproduction)

選擇與複製的目的在於產生適存度較高的新一代，藉以得到最佳解的族群。因此主要依據適存度的高低決定該成員是否複製，即選擇個體的機率會與其適存度成正比。

◆ 交配(Crossover)

產生新個體的主要程序，交配的形式會影響個體的歧異度，其過程如下：將複製到交配槽(mating pool)中的個體(染色體)中，隨機選取兩個字串作為親代，接下來，交換字串上的部份基因以產生新的子代。交配的形式可分單點交配(Single point crossover)、雙點交配(Two point crossover)以及均勻交配(Uniform crossover)，其示意圖如圖 2 及圖 3 所示。交配的機率需事先指定，適當的交配率可減少出錯的機會，太高則會導致計算時間的浪費。

單點交配：先隨機選擇交配點，將此點之後的二進位編碼相互交換對調。

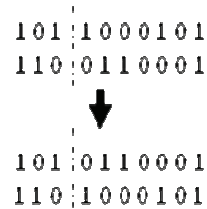


圖 2 單點交配示意圖

Figure2. Single point crossover

- 雙點交配：在進行交配的染色體上分別隨機選取兩個點，相互交換兩點間的字串，即達到雙點交配。

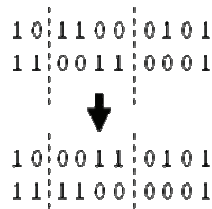


圖 3 雙點交配示意圖

Figure3 Two point crossover

- 均勻交配：均勻交配是定義染色體上每個點都是交配點，由每一個點之交配率決定該點之基因是否該進行交配。

◆ 突變(Mutation)

為了避免陷入局部最佳值，我們在運算過程中作了微小的調整，在個體(染色體)上隨機挑選一個基因並加以改變，增加基因的變異度，讓演化更具有多樣性。突變程序如圖 4 所示。

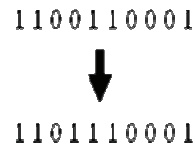


圖 4 突變程序示意圖

Fig.4 Mutation process

基因演算法程式發展理念

由前人的研究看來，基因演算法確實能成功求解許多不同的最佳化問題。對於這類型的最佳化問題，切片法為邊坡穩定分析之最主要工具，其中更以 Morgenstern and Price (1965)之解法較為嚴密。為了結合基因演算法與邊坡穩定的分析，本研究以普遍的極限平衡法作為出發點，利用非圓弧型滑動機制作為破壞形式，以其中 Morgenstern-Price Method 來進行分析主軸。

Morgenstern-Price Method 的解析方法 (Zolfaghari, et al., 2005; Abramson, et al., 2002)

Morgenstern-Price Method 為切片法中最嚴謹的方法，它提供精確的計算方法求出非圓弧型滑動面的安全係數，分析邊坡的穩定性。這個方法的主要觀點在於切片間的力存在且作用的角度不相同，要求在每一個切片內，需滿足力與力矩平衡，此方法可同時解析圓弧型及非圓弧型破壞面。假定切片間的作用力的大小與方向有一關係，即(Zolfaghari, et al., 2005):

$$\frac{X}{E} = \tan \theta \cdot f(x) \quad \text{----- (1)}$$

or

$$\frac{X}{E} = \lambda \cdot f(x) \quad \text{----- (2)}$$

式子當中 λ 為常數，而 θ 為切片間作用力的傾角， $f(x)$ 為自定的函數，可為正弦函數、梯形或定值等， X 為切片所受的剪應力， E 為切片所受的正向力。在分析一個切片上的作用力 (圖 5)：

達靜力平衡時，所有的力會形成一封閉多邊形，藉此可推導出每一個切片間作 Q_i 用力為 (Zolfaghari, et al., 2005)：

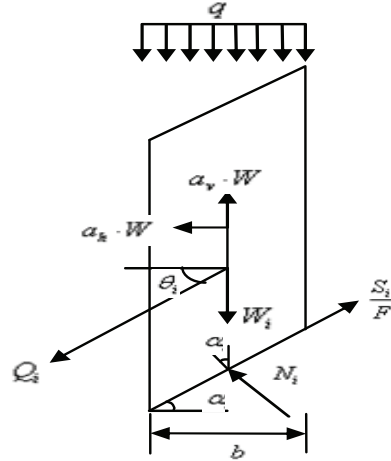


圖 5 切片分力圖(Zolfaghari, et al., 2005)

Figure. 5 Forces of a slice

$$Q_i = \frac{\frac{c \cdot b / \cos \alpha}{F} + \frac{\tan \phi}{F} (W \cdot \cos \alpha - u \cdot b \cdot \cos \alpha + q \cdot b \cdot \cos \alpha - W \cdot a_v \cdot \cos \alpha - W \cdot a_h \cdot \sin \alpha) - W \cdot \sin \alpha - q \cdot b \cdot \sin \alpha + W \cdot a_v \cdot \sin \alpha - W \cdot a_h \cdot \cos \alpha}{\cos(\alpha - \theta_i) + \sin(\alpha - \theta_i) \cdot \frac{\tan \phi}{F}}$$

..... (3)

根據力學的要件，整個滑動面須滿足水平力平衡(式 4)以及垂直力平衡(式 5)，同時，合力矩也要為 0(式 6)，即(Zolfaghari, et al., 2005):

$$\sum_{i=1}^n (Q_i \cdot \cos \theta_i) = 0 \quad \text{----- (4)}$$

$$\sum_{i=1}^n (Q_i \cdot \sin \theta_i) = 0 \quad \text{----- (5)}$$

$$\sum_{i=1}^n (Q_i \cos \theta_i \cdot Y_{Q_i} + Q_i \sin \theta_i \cdot X_{Q_i}) = 0 \quad \text{----- (6)}$$

分別對水平合力以及合力矩取絕對值，結果恆為 0。

$$\left| \sum M \right| = \left| \sum_{i=1}^n (Q_i \cos \theta_i \cdot Y_{Q_i} + Q_i \sin \theta_i \cdot X_{Q_i}) \right| = 0 \quad \text{----- (7)}$$

$$\left| \sum F_x \right| = \left| \sum_{i=1}^n (Q_i \cdot \cos \theta_i) \right| = 0 \quad \text{----- (8)}$$

根據代數理論，將上式兩者結合，並將結果定

義為 QM (式 9)，作為安全係數的判別式。由式 9，理論上每一個搜尋到的破壞面在代入適當的安全係數後會滿足力與力矩平衡， $QM=0$ ，但實際上能收斂到如此絕佳的程度仍是有些許難度(Zolfaghari, et al., 2005)。

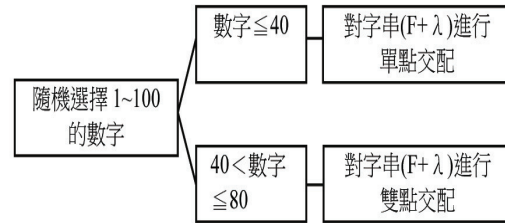


圖 6 安全係數的交配機制

Fig.6 Crossover of safety factor

$$QM = \left| \sum F_x \right| + \left| \sum M \right| = \left| \sum_{i=1}^n (Q_i \cdot \cos \theta_i) \right| + \left| \sum_{i=1}^n (Q_i \cos \theta_i \cdot Y_{Qi} + Q_i \sin \theta_i \cdot X_{Qi}) \right| = 0 \quad \dots\dots\dots (9)$$

分析參數的訂定(Zolfaghari,et al., 2005)

1 安全係數(F)以及切片間角度(θ)

從運算方程式中可以知道，切片間作用力的角度以及假設的安全係數均為未知參數，須先作初始的假定再利用疊代的方式加以運算。

2 滑動面

要決定一個非圓弧形的滑動面，本研究以簡化的二維模式來探討，建立邊坡剖面上滑動的沿線。首先要產生開始滑動的起始點位置，利用切片底部的角度做變數，在事先設定好的切片數及切片寬，使用起始點位置的座標值、第一個切片的角度值以及第二個切片到最後一個切片增減的角度差值，轉換成字串串連起來，作為基因演算法中的變數(染色體)。

因此在分析時只需要基本的邊坡剖面數據、土層資料、地下水資料。因為分析參數的指派是以機率統計的方式為基礎，是依照使用者可以接受的範圍所訂定。

適應函數的決定

本研究基於 Zolfaghari, et al. (2005)所撰寫的程式，進行研究與解析兩部分的基因演算法，第一部分針對某一滑動面，搜尋它的安全係數值，滑動分析是建立在力矩平衡之理論上，為了判定安全係數的可靠度，關鍵在於分析時每個切片須要達到平衡，整個滑動面的合力為零，合力矩也為零。

第二部分進行搜尋破壞面的基因演算法，此時適應函數主要反映破壞面的穩定度，越穩定的滑動面，越不容易滑動破壞，藉由邊坡安全性初步評估的指標:使用安全係數來判定一個滑動面好壞，安全係數越小可能發生破壞的機率越大。

基因演算法內部機制 (Zolfaghari, et al., 2005)

1 編碼方式

本研究使用最簡單的二進位編碼，而此方法最大的缺點在於只能用在正整數的編譯，對於小數點或者是負整數仍須特定的方式來解譯，因此，對極有可能有小數點產生的安全係

數和角度值，透過將原本的變數放大 100 倍，可以解決二進位編碼的缺憾，唯一美中不足的是，運算的時間可能更長。

2 製造初始樣本

從一開始的設定中，可以自行決定初始樣本(Initial Population)的數目為多少，即決定滑動的數目和各個滑動面一開始所試驗的安全係數 F 和 λ 值。本試驗設定初始滑動面的數目為 70 個，利用隨機選擇的方式選取 70 個 X_i ，再依據不同位置可能變化的角度，指定每一個 F 、 λ 值作為初始樣本，並分別代入運算，將所得的結果進行篩選之後，再接續一連串基因演算法的演算程序。

3 運算元操作

◆ 篩選和複製

在決定了一開始運算所需的初始樣本，也就是我們隨機選取的 100 組 F 、 λ 值和 70 組的滑動面之後，有了滑動面和 F 、 λ 值便可以開始進行 Morgenstern-Price Method 的滑動計算並求得每一個假設滑動面的安全係數值，然而對於特定滑動面安全係數的推衍，仍須從隨機假設的 100 組初始樣本中進行篩選，其中作為過濾這些安全係數的判別工具就是所謂的適應函數，也就是前面所提到的 QM 值，能使得整體滑動面的合力與合力矩(QM)最接近 0 時的安全係數為最可行的安全係數，因此在 Morgenstern-Price Method 運算完後，使用 QM 作為適應函數(或者稱為適存度)，訂定 50% 的淘汰率，從 100 組 F 、 λ 中，將 QM 值較大的 50 組淘汰，再讓剩下的 50 組作為真正的初始

樣本並進行複製，然後再將複製的進行交配，因而產生新的樣本，接著一樣代入 Morgenstern-Price Method 法進行穩定分析，利用適存度篩選 50 組的原始樣本和 50 組交配後的新樣本，QM 值較大的 50% 淘汰，如此疊代優選下來，即可得出某一滑動面的安全係數，再將所有的滑動面，如前面所提的方法，全部疊代過後，可得到每一個滑動面的安全係數，這樣下來，所有剛開始隨機選取的滑動面均可得到一個最逼近的安全係數值，因此，已求解出安全係數的滑動面，同樣的，也要利用適應函數來進行篩選。滑動面隨著安全係數越小，可能發生的機率越大，因此利用安全係數作為滑動面的適應函數，一樣使用 50% 的篩選率，安全係數較小的 50%，也就是 35 組的滑動面存活下來，複製相同大小的樣本作為母體，將複製的樣本進行交配、突變等基因演算的程序，產生新的滑動面並求出安全係數，再與原始樣本一同進行滑動面的篩選，經過如此一代代的最佳化，即可尋找出安全係數最小，也就是最有可能的滑動面。

◆ 交配

Case1. 決定安全係數

在針對決定某滑動面的安全係數，本研究使用 F 、 λ 作為求此最佳解的運算個體，也就是演算法中的染色體(Chromosome)。由前面已提過，本研究使用的二進位的編碼，所以先將 F 、 λ 乘以 100 倍，予以整數化後進行二進位編碼，再合併起來，形成多參數字串型態的運算元。在進行交配之前，須一開始就決定交配的機率為多少，本研究預設會進行交配程序的機率為

80%，其中再細分為 40%的機率進行單點交配，另外 40%的機率進行雙點交配。Case2.決定滑動面

搜尋滑動面的演算中，用來進行交配的染色體(Chromosome)由起始點的 x 座標和沿著切片底部的每一個水平傾角所組合而成，表示為

$$X_1 + \alpha_1 + \Delta\alpha_2 + \Delta\alpha_3 + \Delta\alpha_4 + \cdots + \Delta\alpha_n$$

其中 n 為總切片數。與安全係數的搜尋一樣，均套用二進位的編碼，以便進行基因演算中位元的變換。因考慮整個演算法搜尋的速度，所以將三個參數作字串的合併，結合成一單獨的變異數，若光對整個染色體作單點、雙點的交配，很難使得 X_1 、 α_1 、 $\Delta\alpha_1$ 這三個參數都有達到變換的目的，可能產生只有某一個或某兩個變數發生變異，則結果必定會有極大偏差，因此本研究將交配的機制分成五種：

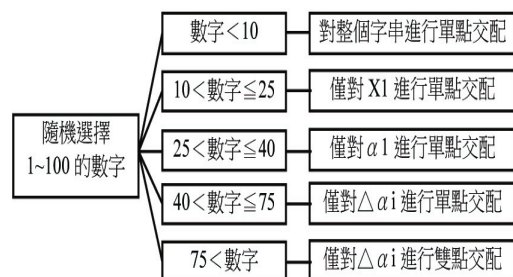


圖 7 搜尋滑動面的交配機制

Fig7. Crossover of slip surface

◆ 突變

突變的用途在於避免結果落入局部最佳值，因而以微小的機率於染色體間變換字元，才能適時的跳脫不成熟的搜尋趨勢。本研究預設 8%的突變機率，即隨機取 0~100 的數字，若

數字小於或等於 8，則進行突變的程序，接著再任意挑選字串上的字元，若字串元為 1 將它改變成 0，反之亦然。本研究中，尋找安全係數和決定破壞面的突變程序相同，都是套用 8%的突率。

基因演算法程式架構

本研究所應用基因演算法於邊坡穩定分析上，乃以 Visual Basic 語言改寫 Zolfaghari, et al. (2005)使用之程式，其搜尋安全係數的基因演算的流程如圖 8 所示，搜尋臨界破壞面之演算流程如圖 9 所示。

研究區域概況

1 灣雅試區

研究試區位於彰化縣花壇鄉之東南側，其海拔高度介於 100~120 公尺，為八卦山丘陵地。試區地層屬於第四紀更新世之頭嵙山層，主要由砂岩、泥岩、頁岩組成。土壤大部分屬於崩積土，少部分為黃壤及紅壤，土層厚度約在 90~120cm。

2 東勢試區

試區位於東勢林場步道楓香林區外二八甲亭旁農路下邊坡，本區地質屬卓蘭層，由砂岩、泥岩及頁岩為主體，東勢林場高程由南向北遞減，坡度平緩，試區下方有一野溪，上方有一橫向排水溝，然而效果不彰，地下水都由坡面地表滲出，水量不豐卻持續不斷，滑動土體兩端裂縫均形成蝕溝，深達一公尺，有水流動。該邊坡曾於九二一地震時發生大規模地滑，經

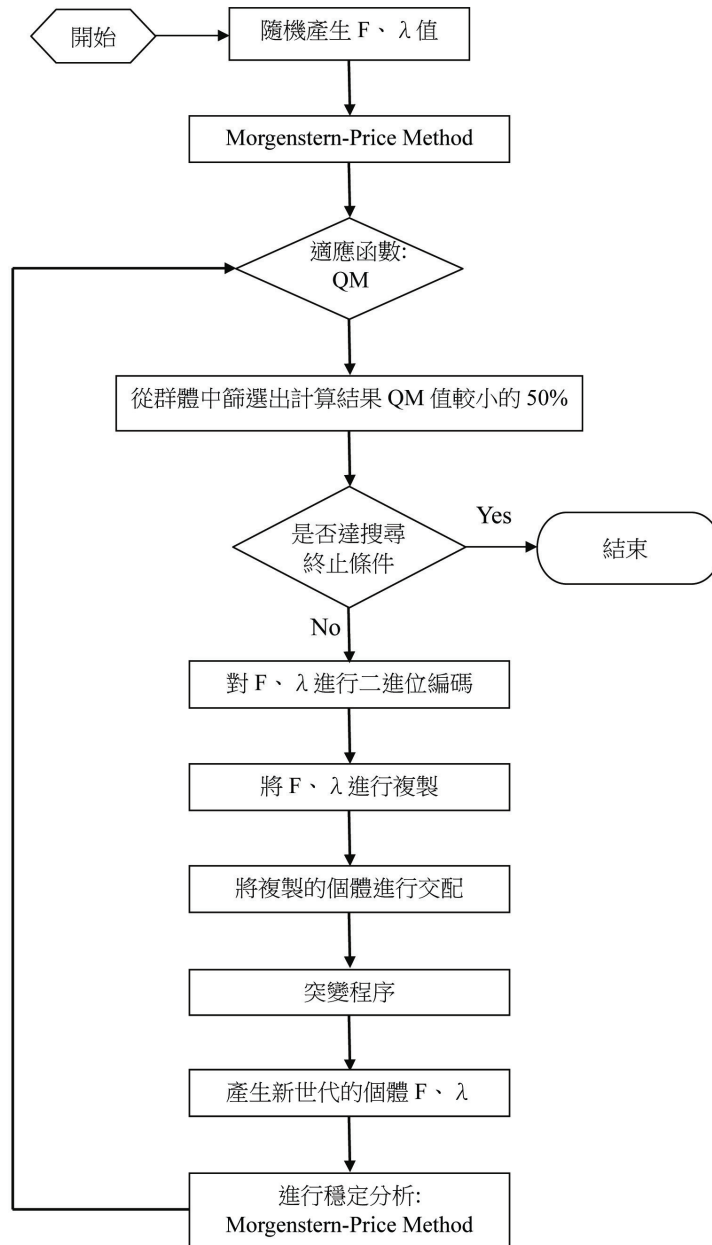


圖 8 搜尋安全係數之演算流程
Figure.8 Search procedure of F.S.

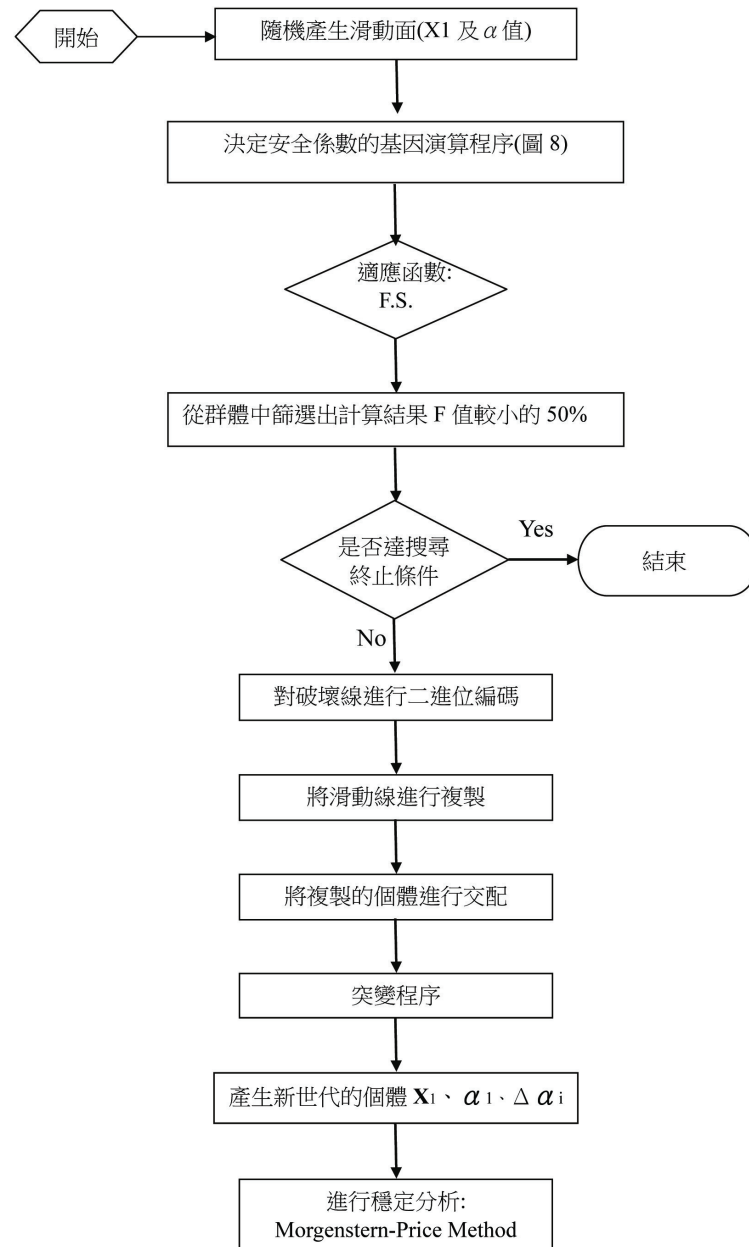


圖 9 搜尋臨界破壞面之演算流程

Figure.9 Search procedure of critical surface

整治後邊坡植生復育良好，然在 2007 年起邊坡陸續出現滑動、路基淘空。在勘查期間也有崩塌地滑動之情況發生，現地土壤結構十分鬆軟，有再次滑動之疑慮。

分析結果探討

1 均質邊坡的分析結果

在訂定邊坡的基本資料以及基因演算法的初步設定之前，對於該施行甚麼樣的運算依據、方法及次數以便能達到最大的精確性和運算效率無法知曉，因此套用最簡單的案例分析，找出可以得到較好結果的情況作為預設

值，同時也可以驗證程式的可行性。

1.1 不同疊代運算次數(Generation)影響的結果

本研究使用的方式，在搜尋破壞面時使用一套基因演算法，在整個流程中安全係數的決定，同樣也用了一套基因演算法來運算，但這兩者疊代運算次數的多寡沒有一定的規範，全靠使用者的需求(不會出現無法收斂的情況。在程式的指派當中，對於收斂的標準已有詳盡的指定。只會與收斂的程度有關。)，假若定義滑動面的疊代次數為 10 次，安全係數 100 次，則總共需運算到 1000 次，疊代次數多，收斂的結果較為精確，但卻有可能會延遲運算的時間、

表 1 不同的疊代次數所對應的安全係數(GA analysis)
Table 1 F.S. of different iteration number - GA analysis

疊代次數	10	20	30	40	50	60	70	80
安全係數 F.S.	1.356	1.417	1.292	1.357	1.337	1.347	1.383	1.385
疊代次數	90	100	110	120	130	140	150	-
安全係數 F.S.	1.368	1.363	1.347	1.333	1.362	1.352	1.364	-

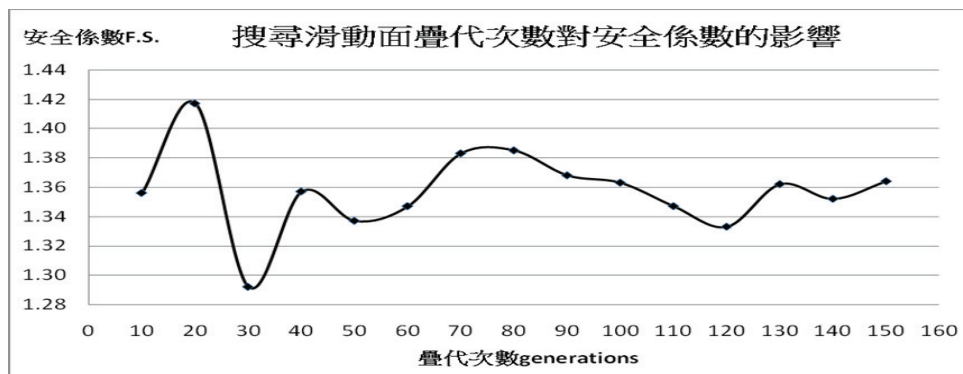


圖 10 滑動面疊代次數對安全係數的影響(使用 GA analysis 計算)

Figure. 10 Influence of iteration numbers of slip surface on F.S.

究先利用最簡單的案例，變更疊代的運算次數，挑選出最佳的結果。

速度變得緩慢，若是次數太少，雖說仍可收斂，但卻有可能無法達到收斂的目的，因此，本研由圖 10 可看出趨勢從一開始的上下跳動而慢慢收斂趨向於平滑，雖然運算時間拉長了許多，在疊代了 150 次後，計算出的安全係數值為 1.364，對照 SLOPE/W 分析出安全係數的值 1.367，明顯可以驗證出疊代次數的增加的確可以得到較精準的安全係數值，搜尋到較佳的滑動面。

2 現地分析結果

2.1 灣雅

灣雅地勢平緩，坡度約為 16° ，大多屬於土壤地層，所有 C'值均設為 0 KPa，其中表土

崩積層的 ϕ 角為 37° ，砂泥互層的 ϕ 角為 31.7° ，沒有地下水，於坡面中段位置有一柏油路面。利用 GA analysis 分析，指定的切片寬為 30cm，疊代的次數為 20 次，結果發現搜尋到的滑動面起始位置大約在柏油路面的下方，滑動面的切片數 74 個，切面後段底部約在第二層土層往下 2m 位置，安全係數為 2.214。使用 SLOPE/W 分析，可看出滑動面起始位置同樣於柏油路面的下坡段開始下切，經過回填層到粗粒砂層及泥層的底部方 1m 處，再從坡面最終點切出，為一非圓弧型的滑動面，切片數 45 個，安全係數為 2.44。比較兩者的分析結果(圖 11)，可以看出 GA analysis 搜尋到的滑動區塊較小，安全係數值較低，較為不同的是在回填層與粗粒砂層及泥層的交界處，GA analysis 傾向於沿著土

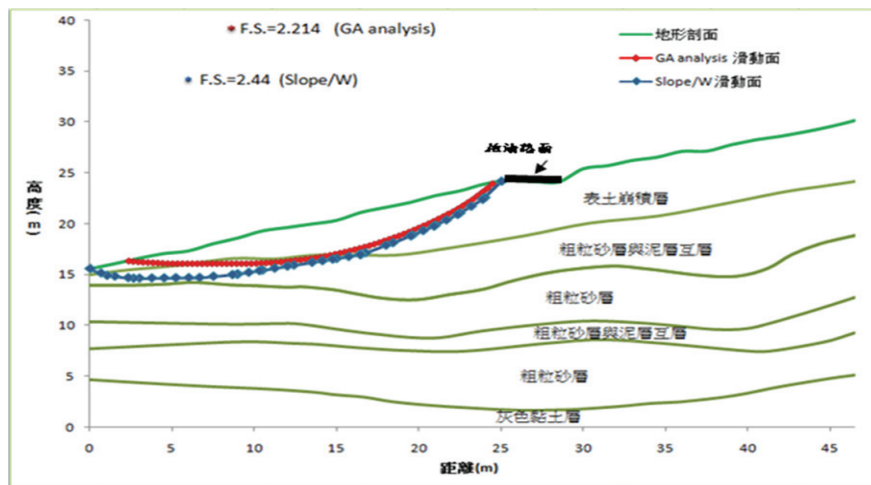


圖 11 GA analysis 與 SLOPE/W 滑動面搜尋結果的比較(灣雅試區)

Figure. 11 Comparison of slip surface searched by GA and SLOPE/W for Wan-ya test site

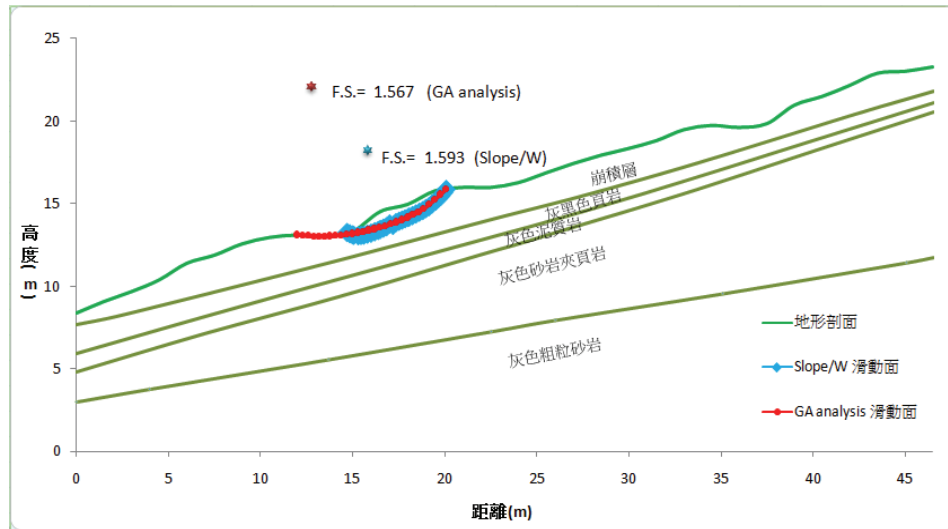


圖 12 GA analysis 與 SLOPE/W 滑動面搜尋結果的比較(東勢試區)

Figure. 11 Comparison of slip surface searched by GA and SLOPE/W for Don-Shi test site

層水平切出坡面，而 SLOPE/W 則繼續向下切入到接近砂泥互層的底部才向上切出剖面，兩者的分析結果均為非圓弧形的滑動面。

2.2 東勢

東勢的地層大多屬於岩層地層，理論上本是不適用於本研究的分析，但因先前九二一層發生地滑岩層上也有一層約兩公尺厚的崩積層，且有再次崩落的可能，因而探討之。研究區位的坡度約 19° ，最上面的土層為崩積層，土層參數 C' 為 0 KPa， ϕ 角為 30° ，底下全都是岩層地形，地下水位位於最下面的粗粒砂岩層。使用程式 GA analysis 分析，指定的切片寬為 30cm，疊代的次數為 20 次，發現搜尋出的滑動面切於崩積層的位置，約在邊坡中間凹陷之

處，所得到的切片數 27 個，安全係數為 1.567。

以 SLOPE/W 分析，同樣使用 Morgenstern-Price method 計算，搜尋出的最佳破壞面位置亦約位於中間崩積層的凹陷處，滑動面切片數為 33 個，安全係數值為 1.593。從兩者的分析結果發現(圖 12)，GA analysis 所分析出的滑動面位置與 SLOPE/W 差異不大，其搜尋出的滑動面較長，但安全係數略小一些。

結論與建議

本研究在邊坡穩定分析中，加入基因演算模式，進行滑動面以及其最小安全係數的搜尋。為驗證基因演算法於邊坡穩定的適用性與可靠性，以及參數的調配和運算元的控制，編

擬一套程式，採用二進位的參數編碼，使用安全係數以及力與力矩總和的大小分別作為適應函數，並在選擇複製、交配、突變的階段，搭配機率及特定的方式，產生新的個體。在分析的階段，利用不同的操作設定找出較佳的參數組合，探討疊代次數與安全係數的關係，並利用實際案例試區之分析，驗證基因演算法對邊坡穩定分析的可靠度與準確性。本研究獲得的結論如下：

1. 由二處現地分析的結果，可以知道基因演算法能有效推估邊坡穩定的破壞面，且最小安全係數可以收斂。
2. 當疊代次數不多時，雖然不能保證已經搜尋到最佳值，仍有逼近最佳解的趨勢。對於此種無法預知到最佳解的問題，基因演算法可以快速找到某種程度的滿意解。
3. 基因演算法可塑性高、能適用於許多不同領域的研究，但相對的，內部的架構較繁複，所以在計算時需要給予十分詳盡的指派動作，才能真正達到收斂的目的。
4. 基因演算法的初始族群大部分都是隨機產生的，相對來說這些族群的好壞也是無法控制的，倘若可藉由資料的限制，參考背景因素，在一開始就設定得到較好的母體，則演化的速度可以加快，收斂的結果也會趨向於最佳解。
5. 本研究所探討的穩定分析僅考慮現地地質特性，但造成崩塌或滑動的誘因許多來自於降雨、入滲，未來研究可繼續納入該

因子。

誌 謝

本研究承國科會 NSC97-2815-C-005-017-E 計劃之支持，以及 Dr. Zolfaghari, A.R. 提供程式給本研究，在此一併表達謝意。

參考文獻

1. Holland, John H(1992) ,“Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis With Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence”,Cambridge, Mass. MIT Press
2. Coley, D.A.(1999),“World Scientific: An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers”.
3. Haupt, R.L., Haupt, S.E.(2004),“Practical Genetic Algorithms”,Second edition, John Wiley & Sons, Inc.
4. McCombie, P.F., Wilkinson, P.(2002),“The use of the simple genetic algorithm in finding the critical factor of safety in slope stability analysis,” Computer and Geotechnics, Vol.29, pp.699-714.
5. Zolfaghari, A.R., Heath, A.C., McCombie, P.F. (2005), “Simple genetic algorithm search for critical non-circular failure surface in slope stability analysis,” Computer and Geotechnics,

- Vol.32, pp.139-152.
6. Zolfaghari, A., Heath, A.C. (2008), "A GIS application for assessing landslide hazard over a large area," Computer and Geotechnics, Vol.35, pp.278-285.
 7. GEO-SLOPE International Ltd.(2008), "Stability Modeling with SLOPE/W 2007", An Engineering Methodology, Third Edition, GEO-SLOPE International Ltd.
 8. 陳安斌(2005)「智慧型決策」, 引用自 <http://apc.iim.nctu.edu.tw/2005intelligence/GP.pdf/>
-
- 98年05月24日收件
98年08月10日修改
99年01月25日接受

水土保持學報 42(1)：65-82 (2010)

Journal of Soil and Water Conservation, 42(1)：65-82 (2010)