

AHP 評選邊坡穩定生態工法之可行性研究

Feasible Study on AHP for Selecting an Optimal Slope Eco-Stabilization Method

洪明瑞

Ming-Jui Hung

摘要

邊坡穩定技術採用生態工法的理念，雖已逐漸成為坡地整治工法之主流與趨勢，然坡地穩定工法之選用，由於牽涉到地形與坡度、地質與土壤特性、環境條件、施工難易度、成本、工期以及維護性等諸多變因與不確定因素，若非有一系統性的評準方式，實不易有效且合宜地作出明確的決策。有鑑於此，本文嘗試利用具有多評準決策分析效能之層級分析法，透過專家問卷、統計分析與綜合評估的過程，探討其應用在邊坡生態工法評選上的可行性與實用價值。初步研究結果顯示，在生態復育性、就地取材度、景觀相符性、施工難易度以及環境因素等五項準則中，以生態復育性之權重最高，顯見其可視為邊坡生態工法評選考量中最為重要之因素。另外，由評選過程發現，由於 AHP 學理簡單、操作容易且引入專家之經驗，在提昇工程決策之效益與品質上，不失為工程人員之有效輔助工具。

關鍵詞：邊坡穩定、生態工法、層級分析法

ABSTRACT

Gradually it has become to use ecotechnology for slope stabilization. Due to large factors involved, such as topography, geology, soil characteristic, environment condition, construction workability, cost, time, and maintenance etc, there is no systematic slope evaluation method. So far it is difficult to decide effectively and suitably for selecting an ecological slope method. Thus, the aim of this study is to overcome above problems and moreover to confer with selecting ecotechnology feasibility and practicality by using analytic hierarchy process (AHP). Finally, elementary research results of this study show that the ecological restoration is most import factor almost for selecting ecological slope method. Besides, the AHP can be to enhance the benefit and quality of engineering policy for slope stability, due to it has simply theory, easy operation process, and using expert experiment etc.

Keywords : Slope stability, ecotechnology, analytic hierarchy process.

一、前言

當世界邁入二十一世紀且人類科技正一日千里之際，寶島台灣卻不斷地發生河川氾濫、洪患、坡地崩塌、道路坍方等天然災害，尤其在歷經 921 集集大地震的洗禮後，各種山坡地災害（土石流、山崩、地滑以及落石等）更是接二連三的發生，不但讓社會經濟付出了慘痛的代價與影響整體國力的發展，更危及我們賴以維生的水土資源與生

態環境。因此，該如何有效地採用合宜的生態工法進行山坡地之穩定與整治工作，實為坡地防災與環境地工領域上之重要課題，更是工程人員爾後所必須面對的嚴峻挑戰。然邊坡穩定生態工法之選用，由於牽涉到地形與坡度、地質與土壤特性、環境條件、施工難易度、成本、工期以及維護性等諸多內、外在影響因素；故在工法之選用上，亟需有一系統性的評選方式，方能有效且合宜地作出明確的決策，同時減少因誤判所引發工

程失敗的風險。有鑑於此，本文引用在諸多領域已廣泛應用之層級分析法，利用其具有的多評準決策分析效能，透過專家問卷、統計分析與綜合評估的過程，探討其應用在邊坡生態工法評選上的可行性與實用價值，期能提供工程人員在邊坡穩定之規劃設計上，有另一較具科學決策過程之選擇依據。

二、相關文獻回顧

2.1 生態工法的緣起與定義

1938 年德國工程師 Seifert[1]首先提出「近自然(Near nature)河溪整治」的概念，希望以接近自然、廉價的治理方案，確保河川原有的美麗風貌與天然景觀，此可謂「生態工法」的濫觴。而「生態工法」一詞，最早則是美國生態學家 H. T. Odum[2]博士於 1962 所提出，他主張自律行為(Self-organizing activities)的生態工程(Ecological engineering)觀念，對自然環境的變更，採用最少的人工能量，以維護棲地系統的自我更新能力，並將生態工程應用於污水之處理上。到了 1989 年，美國生態學家 W. J. Mitsch 等人[3]更明確定義出生態工法的觀念以及適用範疇，指出生態工法要注重人為環境與自然環境間的互動，並可達到人類與自然生態雙贏的目的，從此生態工法正式成為一研究學門。隨後，經過數十年的研究和討論（如 Hohmann(1992)[4]認為人類應減少對生態的破壞，以維護環境多樣性及生態系統之平衡，Herricks(2000)[5]則主張生態工法應建構在工程施作以及生態學理論之上，並指出就工程面而言，應認清要做什么與怎麼做；而在生態面上，則須做到充份地應用既有資源的原則等），生態工法逐漸從一種概念，發展成實務的施工準則，且從歐陸逐步散播到北美、日本，並成為全世界重要的工程方法之一。

台灣早在 1989 年即引入生態工法並應用於環境政策之分析上，然迄 2000 年左右才陸續應用於各河道之治理以及九二一重建區大規模的崩塌地整治上；起步雖較晚，但近年來在政府大力推動以及民間環保意識高漲的推波助瀾下，讓早已千瘡百孔、滿目瘡痍的變色山河有一重新獲得休養生息的機會，並為台灣的環境保護與生態保育，

重新燃起一道永續發展的契機。至於，由於各國對生態工法（或稱近自然工法、生態工程）之詮釋、應用以及發展背景皆有所不同，國內公共工程主管機關「行政院公共工程委員會」為謀求共識與觀念上的統一，以利生態工法的宣導與各工程主辦機關的推廣，遂於 2002 年組成生態工法諮詢小組，由不同領域之專家學者共同研議並定義如下：「生態工法(Ecotechnology)係指人類基於對生態系統的深切認知，為落實生物多樣性保育及永續發展，採取以生態為基礎、安全為導向，減少對生態系統造成傷害的永續系統工程皆稱之」[6]。此定義清楚地揭示出生態工法的精神（落實生物多樣性保育及永續發展）、原則（以生態為基礎、安全為導向）以及目的（減少對生態系統造成傷害），應可視為台灣地區工程建設與環境保護並重的最高指導原則。

2.2 生態工法的內涵

1.生態工法的精神

生態工法包含了「生態」和「工法」兩個部分的融合，生態是指生物與其生存環境間的互動關係，而工法則是人類為了生活的安全，在環境中建造工程設施的方法或技術；然要在工法之中融入生態的觀念，最重要的精神則在於尊重環境中各種生物的「平等權」與「生存權」；同時，人類環境倫理的思想，亦必須拋開以往偏狹且自私的「人類中心」（人為萬物之主宰並深信人定勝天），改以「生命中心」（尊重自然並強調人類與萬物平等）以及「生態中心」（追求生態體系之平衡與永續發展），方能畢竟全功。地球係由森林、草原、海洋、湖泊、濕地等各種不同生態系(Ecosystem)所組成，每一個生態系都有不同的環境和生物，而隨著環境的不同，工法的設計也要跟著改變。換言之，生態工法沒有固定的形式，必須因應個案的特性並對生態環境進行全盤瞭解與深刻的認知，才能減輕對環境的衝擊與影響。因此，工程雖是為了讓人類的生活更安全，但是亦必須能夠同時考慮到我們周遭其他生物的安全與生存，人類方能和大自然互利共處，營造地球的永續發展，而這也就是生態工法基本精神之所在。

2.生態工法的考量原則與優勢

綜合文獻上有關生態工法的看法與主張，可將進行生態工法時所須把握的幾項基本原則，歸納如下：(1)應對整體性系統與環境進行整合；(2)應依現存之自然條件，建設一個良好的生態環境；(3)須對周邊環境從事永續性的維護、保存與利用；(4)應尊重自然環境原有之多樣性；(5)生態工法非僅是消極的保護，更應積極地促使自然環境再生，進而形成一理想的生態網；(6)應特別重視就地取材，運用當地資源進行工程規劃與施作；以及(7)須尊重自然環境既有之原始性等[7]。此外，生態工法相較於傳統工法，則具有以下幾項優勢，包括：(1)就地取材，較可節省材料與搬運費；(2)對自然環境影響小，較不會破壞大自然之生態景觀；(3)施工及養護成本可降低；(4)可創造生態多樣化之環境；以及(5)將工程與景觀結合，可創造較優質的生活空間等[7]。

3.生態工法的成功要件

依行政院公共工程委員會的統計資料顯示，至 2003 年底，政府推動以生態工法處理全省之土石流及崩塌地等潛在危害地區，預計將超過 3,000 處[6]。其間，已累積諸多的成功經驗，但亦不乏功虧一簣的失敗案例；若再進一步綜合國外之施工案例，實不難發現，生態工法應用成功與否的關鍵主要係取決於心態問題，故有人一語道出「生態工法」其實就是「心態工法」。此外，由於生態工法並無既定的標準模式，其應用往往須因地制宜、就地取材，同時考量不同的地理、人文與生態等條件以進行工法的設計與施工，自然無法以同一套標準適用於各地。因此，只有倚靠正確的基本理念，才是確保生態工法成功的不二法門。以下是從諸多經驗與施工案例中所彙整的七項生態工法成功要件，包含：(1)須從觀念及心態確實做起，意即尊重自然的心態工法；(2)需進行整體性與全面性的系統考量；(3)對現有生態環境應有深切的認知；(4)減少工程建設對生態之衝擊降到最小程度；(5)研究可能造成安全問題之因子，並從源點將危害因子去除；(6)因地制宜，就地取材；以及(7)不需做就不要做，減少資源之消耗等[6]。

4.生態工程的規劃理念

生態工法不是萬靈丹，亦非全無瑕疵的工程律典，更沒有固定或標準的模式可資遵循，但在工程肇建之初，下列幾項基本的規劃與設計理念則必須加以考量，方能在滿足工程安全之餘，生態與環境品質亦能同時獲得確保。包括：(1)以最少量的營建來滿足需求；(2)整體性系統環境的整合；(3)全生命週期（規劃、設計、施工、維護與拆除）的考量；(4)從集水區源頭治理，減緩流速、增加入滲；(5)提高雨水截留、入滲，充份利用水資源；(6)保留河川蜿蜒多樣性，營造生物多樣性棲地；(7)就地取材運用當地資源；(8)減少公路闢設、減車道及採用適當的車道寬度；(9)利用自然植生穩定邊坡；以及(10)資源回收再生利用等[6]。此外，就工法本身而言，在規劃設計階段則應把握：表面孔隙化、構造物最小化、坡度緩坡化、材質自然化、界面透水性等五化原則，期能達到安全防災、生態保育、休閒遊憩等三合一功能的目標[8]。

1)表面孔隙化

傳統工程常利用鋼筋水泥作為營建材料，形成表面光滑、緻密的構造物，使得動植物沒有附著生長與躲藏的地方，造成生態嚴重的破壞。若改為表面孔隙化的砌石護岸等工程，就能增加生物的棲地，恢復自然生態。

2)構造物最小化

當進行工程設施時，幾乎所有的構造物都會造成環境的改變或破壞，因此人為構造物能不做就盡量不做、能最少化就最少化，將可減低人為的干擾與對環境的衝擊，同時也能節省工程經費、後續維護以及能源的消耗。

3)坡度緩坡化

工程構造物本身陡峭的坡度會讓生物難以遷移與親近，也容易受到水土的沖刷，所以降低水工構造物（如護岸、壩體）的高度，並以踏步式的固床工來減緩坡度，不僅能保持功能，還能增加親近水的機會。

4)材質自然化

自然的砌石、植被是進行工法時最好的材料，例如利用植草來當作穩定山坡地的材料等方法。自然的材質不僅取得容易，也能提供生物棲息的空間，讓景觀更自然、美觀。

5)界面透水化

水的循環是自然生態極為重要的一環，讓雨水能夠滲入地層，而不直接流入河川、海洋，對水土保持、地下水資源涵養以及微氣候的調整等亦相當的重要，因此透水的的路面、溝渠、堤岸等，都是生態工程設計的重點。

3.1 一般邊坡穩定技術

由於牽涉到地理位置、地層構造、地形地貌、氣候因素以及坡地利用與開發方式等的差異，世界各地對於邊坡穩定技術均有不同的分類方式。以坡地開發與整治法令相當完備且在坡地安全防災上極具成效的日本地區[9]為例，其工法型態亦因不同的專業觀點或坡地災害類型及防護對象等而有不同的分類方式，諸如：

- 1.日本材料學會(1986)將其分為：避開工、坡面保護工、排水工、地盤改良工、擋土工等五種工法[10]。
- 2.日本全國地滑及傾斜地崩壞對策協議會(1981)[11]針對急傾斜地(Steep slope)提出：抑制工(Restraint works，排水工、坡面植生保護工、噴覆工、泥水工、木工、切除工)、抑止工(Countermeasure works，切土工、擁壁工、杭工、錨定工、盛土工)以及其他工事(鋪面材料保護工、落石防護工、防墜工、臨時防護工)等對策。
- 3.申潤植(1995)[12]針對山體滑動(地滑)之防止對策，歸納為抑制工(排土工、回填工、溪間工、水路工、地下水排除工、煤氣排除工)與抑止工(擁壁工、杭打工、豎井排桩、地錨工)兩大類。
- 4.日本鐵路施設協會(1984)[13]針對落石防護對策，提出預防工法(落石防止林、斜面切取、

浮石整理、根固工、表面被覆)與防護工法(落石防止林、多段式落石止柵、落石誘導柵、落石防止壁、落石止柵、落石防止網、落石覆、落石止擁壁、落石止土堤)之要點與適用性。

- 5.新田伸山等人(1984)[14]將邊坡保護工分為：植生工法(吹付工、播撒工、植生筋工、筋芝工、植生袋工、植生盤工、植生穴工等)、土木工作物坡面保護工法(坡面保護工、坡面排水工、擋土工、落石防止工)等兩大類。
- 6.小橋澄治(1983)[15]依坡面保護之目的與適用性，將其歸納為：植生工、構造物坡面保護工、擁壁、坡面排水工、落石防止工等五類。
- 7.部分機構依邊坡破壞機制進行之分類：抑制工(淺層控制)、抑止工(深層控制)、防護工(落石控制)、防治工(土石流控制)等[16]。

在歐美地區，根據美國公路研究會(Highway Research Board，簡稱 HRB，1958)之研究報告[17]以及 Abramson etc.(1996)[18]等對邊坡滑動之防治，將其分為：迴避法、挖除法、地表排水、地下排水、擋土結構以及其他工法等類型。至於，其他部分機構則依淺層或深層等穩定機制的差異，將邊坡穩定方式分為：生物性穩定工法、物理性穩定工法、化學性穩定工法等三種型態[16]。表 1 所示為上述部分穩定工法之進一步彙整，詳細資料則可自行參閱各文獻之說明。

4.1 邊坡穩定生態工法

事實上，邊坡穩定生態工法大都由傳統的坡地穩定技術衍生而來或與之息息相關，並非全是新的施工方式或技術，任何一種傳統工法均可藉由構造物表面的粗糙化、孔隙化、透水化、自然化，同時利用植生或景觀處理等手法，達到回復生態及降低環境衝擊的目的。換言之，只要工程人員秉持前揭生態工法的精神、考量原則、成功要素以及規劃設計理念，同時整合「低環境生態衝擊與破壞」、「低資源使用與損耗」、「廢棄資源再生利用」、「工程生命週期的延壽」等綠營建(Green construction)概念，即可創造一良好的邊坡穩定生態工程。

表 1 一般邊坡穩定工法之分類情形

| 機構 | 類型 | 工法名稱 | 機構 | 類型 | 工法名稱 | 機構 | 類型 | 工法名稱 |
|----------------|-------|--------|------|--------|----------|-----------------|---------|---------|
| 日本材料學會 1986 | 避開工 | 落石防護措施 | 日本地區 | 抑制工 | 排水工 | 美國公路研究會 1958 | 迴避法 | 變更路線或地點 |
| | | 明挖覆蓋 | | | 坡面保護工 | | | 架設橋樑 |
| | | 隧道 | | 抑止工 | 排土工 | | 挖除法 | 上部挖除 |
| | | 橋工 | | | 擋土牆 | | | 減緩坡度 |
| | 坡面保護工 | 噴植法 | | | 地錨與岩錨 | | | 分階整平 |
| | | 植生帶法 | | 防護工 | 抑止樁 | | | 不穩定部分清除 |
| | | 草苗植生法 | | | 落石防止網 | 地表排水 | 溝渠 | 坡面處理 |
| | | 草皮鋪植法 | | | 落石防護柵 | | | 植生覆蓋 |
| | | 打樁編柵 | | | 落石防護壁 | | | 噴漿 |
| | | 固定框法 | | | 落石覆 | | | 裂縫填充 |
| | | 噴漿護坡 | 防治工 | 防治工 | 導流、流路工 | | | 節理充填 |
| | | 自由格樑 | | | 抑制、抑止工 | | | 漿砌卵石 |
| | | | | | 消止、降能工 | | | 鋪砌卵石 |
| | 排水工 | 地表排水 | 歐美地區 | 生物穩定工法 | 植生工法 | | 地下排水 | 排水管 |
| | | 地下排水 | | | | | | 排水溝 |
| | | 垂直排水井 | | 物理穩定工法 | 被覆工法 | | | 排水隧道 |
| | | 水平集水管 | | | 噴漿工法 | | | 排水直井 |
| | | 集水井 | | | 砌壓工法 | | 擋土結構 | 虹吸管 |
| | | 排水廊道 | | | 格子樑工法 | | | 坡腳回填 |
| | 地盤改良工 | 電氣化學工法 | | | 落石防護工法 | | | 擋土牆 |
| | | 離子交換工法 | | | 柵工法 | | | 打樁 |
| | | 注入工法 | | | 蛇籠工法 | | | 錨定結構 |
| | 擋土工 | EPS 工法 | | | 壓重填土工法 | 其他工法 | 化學處理或灌漿 | 鋼支撐 |
| | | 砌石擋土牆 | | | 組合擋土工法 | | | 凍結 |
| | | 蛇籠擋土牆 | | | 排水工法 | | | 電熱法 |
| | | 土釘工法 | | | 加勁土工法 | | | |
| | | 加勁擋土牆 | | | 燒結工法 | | | |
| | | 格床式擋土牆 | | | 滑動防止樁工法 | | | |
| | | 懸壁式擋土牆 | | | 地錨工法 | | | |
| | | 扶壁式擋土牆 | | 化學穩定工法 | 水泥穩定處理工法 | | | |
| | | 扶壁式擋土牆 | | | 石灰穩定處理工法 | | | |
| | | 扶壁式擋土牆 | | | 灌漿工法 | | | |
| | | 扶壁式擋土牆 | | | 離子交換工法 | | | |
| | | 扶壁式擋土牆 | | | 電氣化學工法 | | | |

根據 Gray and Sotir(1995)[19]的分類，邊坡生態工法可分為兩大類型，其一為「生物穩定技術(Biotechnical stabilization)」，另一為「土壤生物工程方法(Soil bioengineering)」。其中，生物穩定技術係指整合具有生命力的植物與無生命力的力學元件（如地工織物、土釘、石籠等）之邊坡穩定設計方法，如格框噴植法、土釘混合噴植法；而土壤生物工程則指僅利用具生命力的植物植生之邊坡穩定設計方法，如打樁編柵法、培地茅(Vetiver)植生工法[20]。惟不論生物穩定技術或土壤生物工程方法，其目標均是以模仿自然生長的方式來加速邊坡本身生態的恢復能力[21]，同時減少環境的衝擊與傷害；因此，「植生復育」與「生態綠化」

可謂是邊坡穩定生態工法的營造重點且有別於傳統工法的主要差異所在。然值得一提的是，邊坡穩定生態綠化的精神與目的，與一般所謂的環境或景觀綠化並不相同。生態綠化的目的係在於追求復育一個符合生態原則的天然環境，故對於坡面植生的選擇，除須考量當地潛在的植被與環境特性，選擇演替過程中優勢的種類作為培育的對象外；同時，在栽植過程中更要考量彼此間生長的相互影響，方能真正建造一個具有層次變化、高歧異度、多功能性且結構完整的植物社會與生態環境，達成植物社會「極相(Climax)」之最終狀態。

生物穩定技術與土壤生物工程方法除了牽涉到坡面之景觀美學外，對於邊坡穩定與安全所需之力學與水力機制更是息息相關。然工程人員大致上習以傾向採用並熟悉鋼筋混凝土等人為構造材料的設計與分析，對於植物與石材等天然資材的認知相對較少，且大多欠缺施工規範可茲遵循；故利用植物的莖幹或根系作為穩定坡面的設計元素，並能同時滿足力學與水力上的需求，將考驗著工程師之專業與智慧，更為邊坡穩定生態工程追求永續發展所必須努力的方向。

1. 國內邊坡穩定生態工法

國內邊坡穩定生態工法之應用型態涵蓋「生物穩定技術」與「土壤生物工程方法」，其中，較具生態與景觀優勢的工法當中，以近年來大台北地區及其他縣市山坡地社區崩塌之整治工程、第二高速公路沿線挖方坡之保護以及野溪河谷坡面局部崩塌之整治等施工案例顯示，較常見的有：格框（預鑄混凝土框、鐵或鋼製框、場鑄連續混凝土框、木製框）噴植法、土釘混合噴植法、打樁（木樁、鋼筋樁）編柵法、坡面噴植法（直接噴植、鋪網客土噴植、TG 綠化工法）、植生帶（束）鋪植法（不織布植生帶、肥束帶）以及草苗栽（鋪）植法等幾種方式。有關上述各種工法之型態、圖例、適用性、優缺點以及施工規範等之詳細內容，讀者可進一步查閱文獻[22-28]之說明；本文僅針對格框噴植法、土釘混合噴植法兩種生物穩定技術，以及打樁編柵法之土壤生物工程方法等三種工法，簡要說明如下。

1) 格框噴植法

格框噴植法係於較為陡峭的坡面（約 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ），利用水泥、鋼筋混凝土、鐵或鋼絲網、木材等材料，利用預鑄或於現場澆置等方式構築成方形、圓形、菱形或自由形狀等之固定格框，並於其內噴植草種、植生基材或客土植生，以形成一道加勁且具有連貫性的穩定坡面，減緩坡面之風化與沖刷作用；完成後不久即可達到綠化之效果，各種不同型態所構成之格框，如圖 1[11,23,24]所示。

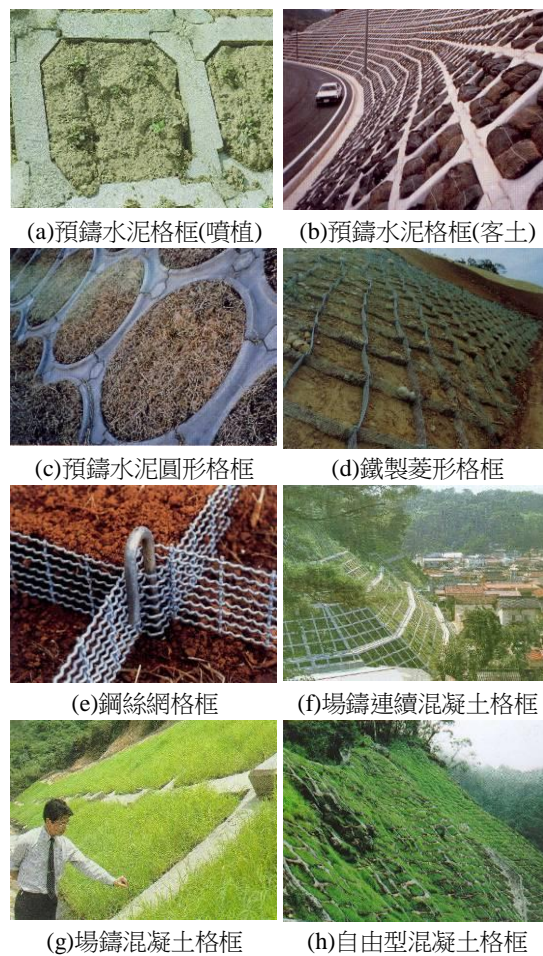


圖 1 各種格框噴植工法之穩定情形

2) 土釘混合噴植法

土釘混合噴植法係以傳統坡面穩定之土釘工法（Soil nailing）結合上述之格框噴植法的方式，藉以克服格框噴植法無法適用於坡面稍具有潛在深層滑動時之缺點，同時又可改善以往土釘噴凝土作業造成坡面景觀與生態上的破壞等問題。其作法如同格框噴植方式，惟另於格框之結點處以鋼棒貫入土壤中，或先行鑽孔並放入鋼棒後再以水泥砂漿灌注等方式，利用土釘入土深度所形成之錨碇握裹力，與地層充分結為一連貫之結構實體，適用於坡面較為陡峭（約 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ）且有潛在較為深層滑動之虞的坡面穩定，施作方式如圖 2[6,23]所示。

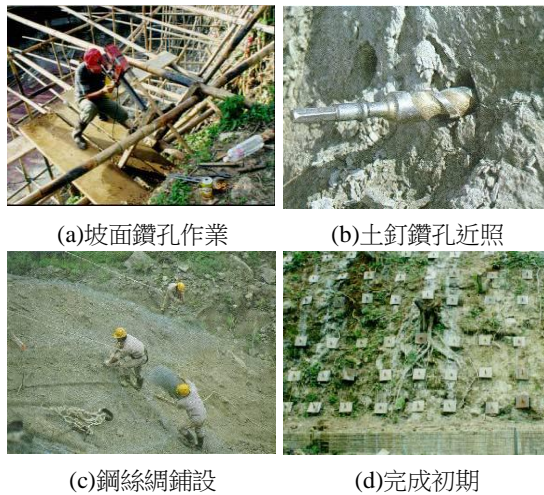


圖 2 土釘混合噴植工法之施作

3)打樁編柵法

打樁編柵法係以萌芽力強之天然樹類枝條（如榕樹、柳樹、九芎、黃槿等）當成本樁打設，或打設鋼條、鋼筋等人工金屬樁，再以竹片、木條或 H.D.PE 網等編柵並回填客土植生的方式。適用於坡度較為平緩（約 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ ）之填土坡面或崩塌區邊坡之植生綠化，具有工法簡易、施工迅速、成本低廉且易於配合蜿蜒地形施工等特點。使用打樁編柵法進行邊坡穩定保護的生態效益，初期可攔阻坡面風化與不穩定的土石，減緩邊坡坡度；後期（樹種與草種長大）則可防止土壤的流失與坡面之沖刷，達到穩定的效果，圖 3[6,23]則為施工案例之情形。

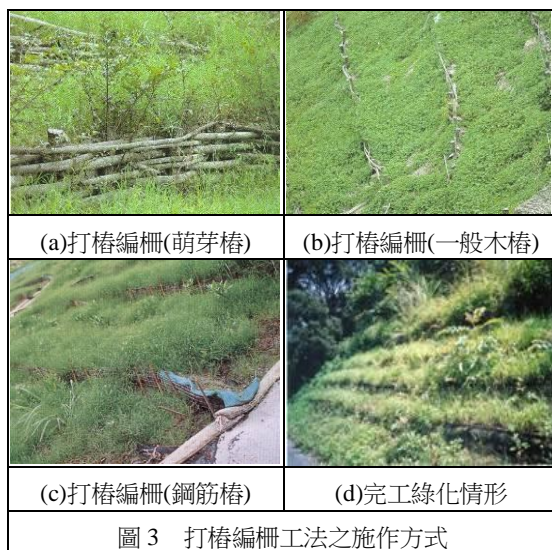


圖 3 打樁編柵工法之施作方式

茲將上述三種國內常用的邊坡穩定生態工法之適用性、工法之優勢、生態特性以及相關問題等之說明，進一步彙整如表 2 所示。

2.國外邊坡穩定生態工法

國外邊坡穩定生態工法之應用型態極為眾多，視不同的地區、地質條件以及山坡地開發型態、土地利用方式與管制法令等而有所不同，有的偏向使用「生物穩定技術」（如日本、香港等），有的則偏向採用「土壤生物工程方法」（如德國、荷蘭等）。其中，有部分工法早已引入台灣並有應用案例，諸如：連續纖維補強土(Geofiber)工法（或稱為 TG 綠化工法）、廢輪胎擋土工法、椰纖網客土防蝕植生工法、活樹枝互層鋪埋土(Brushlayers)工法、Vetiver（培地茅、香根草）植生工法等五種較為常見的邊坡生態穩定技術，表 3 為其內容之簡要彙整，讀者可自行參考文獻[19-21,29-32]更詳盡的說明。

三、研究方法與進行步驟

3.1 研究方法

由於邊坡穩定生態工法的類型以及影響因素（諸如：地形與坡度、地質與土壤特性、環境條件、施工難易度、成本、工期以及維護性等）眾多，在規劃設計上易因主、客觀或不確定因素等而影響決策之品質，故本研究綜合研判問題之特性後採用層級分析法作為分析之主要工具，以探討其評選邊坡穩定生態工法之可行性。層級分析法係由 Thomas L. Saaty(1971)[33]所發展出的一套決策方法，後經由不斷的應用、修正與驗證，目前大致上已臻完備。其過程係將複雜的問題予以系統化與層級化後，透過問卷調查、量化分析以及綜合評估等方式，提供決策者選擇有利的方案以減少錯誤決策的風險。由於學理簡單、操作容易，同時能擷取多數專家與決策者的意見，可有效地應用在資訊不足或具有不確定(Uncertainty)因素情況下的問題之決策上。

表 2 國內常見邊坡穩定生態工法特性之彙整

| 工法 | 適用性 | 工法之優勢 | 生態特點 | 備註 |
|---------|---|--|--|--|
| 格框噴植法 | 1.崎嶇不平或陡峭的邊坡表面。 2.風化或沖蝕作用發達的邊坡表面。 3.坡度在 45° 以上 60° 以下之坡面穩定。 | 1.可順應崎嶇不平之坡面進行護坡工程,減少不必要之挖填方與整坡作業,減少環境生態之破壞。 2.相較於傳統之擋土牆工法而言,可縮短施工期限。 3.短時間(約 2 至 6 個月)之綠化效果佳。 | 1.可選擇當地原生之草苗或草種進行植生,短期有利於環境與景觀之綠化,長期則可逐漸營造生態復育之契機。 2.有利於整體環境之綠化效果與生態景觀之協調性。 | 1.對具有潛在滑動面存在之邊坡,須搭配預力地錨等技術方具備長期穩定之效果。 2.成本相較於其他的坡面植生工法為高。 3.完成初期須費時進行澆水除草或施肥等養護作業。 4.若植生效果不佳時,原裸露之混凝土格框將不利於景觀美感與生態之復育。 |
| 土釘混合噴植法 | 1.崎嶇不平或較為陡峭的邊坡表面。 2.風化或沖蝕作用發達的邊坡表面。 3.地層材料之強度較為軟弱或具有潛在之淺層滑動現象。 4.坡度超過 60° 以上之坡面穩定。 | 1.可順應崎嶇不平之坡面進行護坡工程,減少不必要之挖填方與整坡作業,減少環境生態之破壞。 2.可克服格框噴植法無法適用於具有潛在滑動面之缺失。 3.成本較地錨為低且施工期限亦較短。 4.除具綠化效果外,整體穩定性更佳。 | 1.可選擇當地原生草苗或草種進行植生,短期有利於環境之綠化,長期則可逐漸營造生態復育之契機。 2.改善傳統噴漿固化坡面之方式,於格框內噴植或客土植生,可降低對環境生態之衝擊與景觀之破壞。 | 1.由於須打設土釘,故施工成本較一般植生工程為高。 2.完成初期須費時進行澆水除草或施肥等養護作業。 3.若植生效果不佳或草種不茂盛時,原裸露之混凝土格框與土釘錨頭等將不利於景觀美感與生態之復育。 4.坡面地下水位高或土質為軟弱之黏性土壤時,土釘之加勁與握裹效果將大為降低。 |
| 打樁編柵法 | 1.崎嶇不平或具風化與沖蝕作用之邊坡表面。 2.一般土壤之挖填方坡面、崩積土或具有淺層崩塌坡面之地區。 3.坡度在 30° 以上 45° 以下之坡面穩定。 | 1.可順應崎嶇不平之坡面進行護坡工程,減少不必要之挖填方與整坡作業,減少環境生態之破壞。 2.相較於其他坡面植生措施,施工較為簡便、快速且成本亦較低廉。 3.短時間綠化效果佳。 | 1.枝條發芽後,除可提供景觀綠化外,根系亦可提高坡面土壤之抗蝕能力。 2.短期可固定坡面不安定之土石,長期則有利於植物之生長、環境綠化以及生物之棲息。 | 1.不適用於具有潛在滑動面之邊坡。 2.若應用於過於陡峭之坡面,因沖刷作用大,成效較難控制。 3.岩性坡面之施作較為困難且植生效果亦不佳。 |

應用 AHP 須滿足下列九項基本假設,包括:
(1)一個系統可被分解成許多種類或成分,並形成有向網路的層級結構;(2)層級內的要素均假設具有獨立性;(3)每一層級內的要素,可以用上一層級內某些或所有的要素作為評準以進行評估;(4)比較評估時,可將絕對數值尺度轉換為比例尺度;(5)進行成對比較後,使用正倒值矩陣(Positive

reciprocal matrix)處理;(6)優劣與強度之偏好關係均應滿足遞移性(Transitivity);(7)完全具遞移性不容易,因此容許有不具遞移性的存在,但須檢測其一致性的程度;(8)要素之間的優勢程度,可經由加權法則加以求得;以及(9)任何要素只要出現在階層結構中,不論優勢程度如何小,均被認為與整個評估結構有關。

表 3 國外常見邊坡穩定生態工法特性之彙整

| 工法 | 適用性 | 工法之特點 | 備註 |
|-----------|--|---|--|
| 連續纖維補強土工法 | 1.可容許較陡峭的坡角(約達 70°),施工坡面之高度可高過 45m 以上。 2.坡面不論有無原生樹木均可順利施作。 3.風化或沖蝕作用發達的邊坡表面。 | 1.可容許較陡峭的坡面,同時具有抗沖刷、植生容易、不影響坡面滲透性及易於配合地形施作與工期短等特點。 2.因具連續纖維,補強土的剪力強度與延展性均高於砂土,完成後之坡面,在正常情況下可維持 20 年以上。 3.可配合岩釘、土釘或地錨等先行穩定坡面後再以人力或機具進行噴築。 4.補強土上植生易於生長,可採用台灣本土的草種與花種進行綠化。 | 1.所需專業技術性較多、機具與材料大多須進口以及操作人員須經受訓等,故成本較高。 2.壁面內須設置排水帶。 3.因成本較高,不適合公路邊坡大面積之穩定處理,但可應用在隧道洞口、坡地社區等局部穩定處理上。 4.屬於「生物穩定技術」。 |

| | | | |
|----------|---|--|---|
| 廢輪胎擋土工法 | 1.坡腳之穩定。 2.公路護坡與路堤之穩定。 3.有落石墜落與撞擊之場合。 | 1.廢輪胎取得容易且成本低廉，具經濟性、施工容易、機動性高、透水性佳、不需大型施工機具等特點，又可解決污染問題，達到環境保護之效果。 2.廢輪胎碎顆粒與砂土混合物之阻尼容量較一般土壤高，具避震與減震功效。 3.擋土牆最上層可覆土植草與種植爬藤或懸垂植物，達到美化與穩定的功能。 4.廢輪胎可應用於：路堤填方材料、擋土牆輕質背填材料、鋪面材料、隔震溝填充材以及原型廢輪胎擋土牆等。 | 1.廢輪胎的利用有：廢輪胎壓縮塊、原型廢輪胎、廢輪胎碎片、廢輪胎粉末等方式。 2.原型廢輪胎擋土牆的設計應充分考量牆長、牆高、撞擊力、原型廢輪胎尺寸、堆疊順序等，以確保整體之安全。 3.當牆高超過 2.5m 或 3m 以上時，應評估其穩定性與輪胎間之變形行為。 4.屬於「生物穩定技術」。 |
| 椰纖網客防植生法 | 1.岩石坡面長期之植生綠化。 2.坡面上土質較為貧瘠，不易自然植生之場合。 | 1.利用人工客土層於岩坡表面上，以提供植物生長養分、水分與著力的空間。 2.施工容易，維護成本不高，除椰纖網可能須進口外，其餘材料與施工費用尚屬合理範圍，整體之長期經濟性與實用性均佳。 3.可預防岩坡之侵蝕風化並達到景觀長期綠化之功效。 | 1.椰纖網可能須仰賴進口。 2.為使景觀與防蝕功能得以長期發揮，可能須設置一套簡易的滴灌系統，以利養護之進行。 3.屬於「生物穩定技術」。 |
| 活枝層鋪土工法 | 1.土質邊坡且可直接扦插之場合。 2.坡面有冲刷或淺層滑動等問題時。 3.坡度不可過於陡峭，以 30°~45° 之間為宜。 | 1.無需人工材料，直接以活樹枝進行坡面保護，施工簡便、成本低廉且與環境相容。 2.樹枝根系發展後對於土壤具有加勁功效，同時可把邊坡內的水分吸收並蒸散，如同水平排水帶的功能；而露出坡面的枝葉，則具有攔砂、阻擋雨水及降低地表逕流與沖蝕的能力。 3.一般完工後約兩年即有茂密的植生。 | 1.效果與傳統的加勁擋土牆相近，有垂直插枝植入、成束捆綁填溝、互層鋪埋等方式。 2.對於淺層滑動與坡面冲刷之保護效果良好，但坡面若存有較為深層的潛在滑動問題時，則應先以其他地工技術處理後再行施作。 3.屬於「土壤生物工程方法」。 |
| 培茅植生法 | 1.土質邊坡且可直接播種之場合。 2.坡面有冲刷或淺層滑動等問題時。 3.坡度不可過於陡峭，以 60° 以下為宜。 | 1.有緻密的地上草叢與深入的地下根系，對土壤的穩固功效佳，同時可減緩雨滴與地表逕流對坡面的沖蝕，且施工容易、施作與維護成本低廉。 2.生長快速且環境適應能力佳，對於公路邊坡或崩塌裸露的坡地相當適合。 3.對於裸露的坡地，可作為先驅植物以穩定坡面，且其根系垂直向下生長，不會與其他植物競爭肥料與水分。 | 1.為近年來較新的水土保持植物，聯合國正大力推廣應用。 2.有野生型（可以種子傳播繁殖）及栽培型（須以無性營養繁殖）之分，草本之外觀並非漂亮。 3.在低溫環境下不易茂密生長，若土壤結冰更易於死亡。 4.屬於「土壤生物工程方法」。 |

3.2 AHP 之應用程序

應用 AHP 處理複雜的問題時，大致上可區分為下列七個主要步驟，分析流程則如圖 4[34]所示，要點如下。

1.問題的界定

首先，清楚地界定所欲分析問題之範圍與型態，同時將所有可能影響評選結果的因素皆納入層級架構中。

2.建立層級結構

將問題範圍內之影響因素分解成數個層級，再將群體區分成數個次群體，逐級建立層級結構。每一層級只影響另一層級，同時僅受另一層

級的影響；而層級的多寡，端賴系統的複雜性與分析所需而定。此外，層級內的各要素，則應力求具備獨立性。至於，決策者利用 AHP 分析問題時，則應站在最高層級來考量不同層級間的邏輯性與其間的相互影響，而非直接從各層級的要素來分析。

3.問卷設計及調查

設計問卷之原則，須清楚地敘述每一成對比較的問題，並將某一層級內的任二個要素，以上一層級的要素為評準，逐一進行成對的比較，藉以分別評估該二個要素對評準的相對貢獻度或重要性。此外，將評估尺度劃分為五項，即同等重要、稍重要、頗重要、極重要及絕對重要等，並賦予名目尺度 1、3、5、7、9 的衡量值；另有四項介於五個基本尺度之間，則賦予 2、4、6、8 的

衡量值。

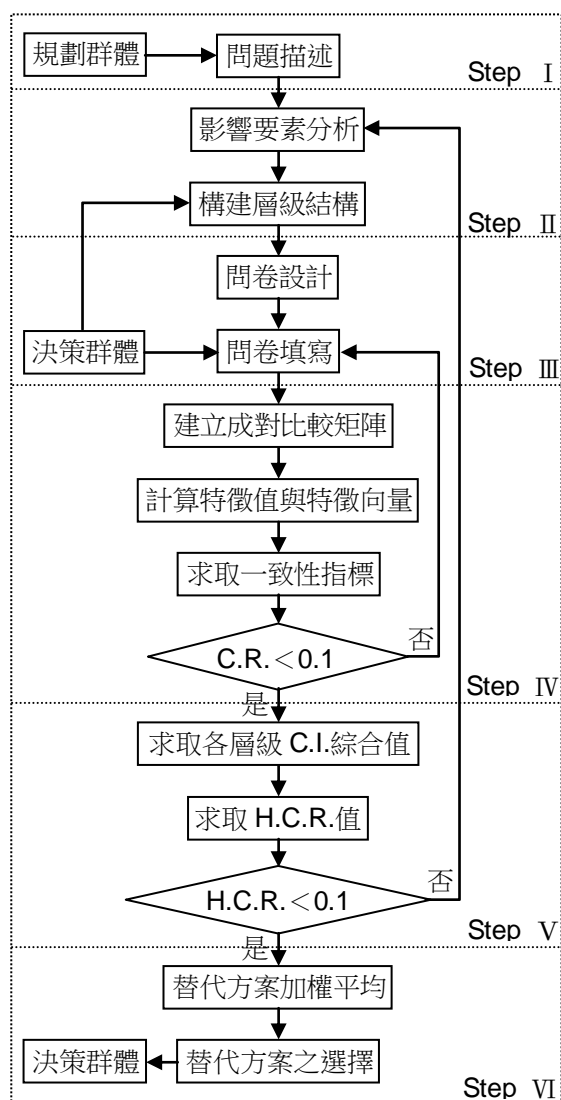


圖 4 AHP 應用流程圖[34]

4.建構成對比較矩陣

根據問卷調查所得之統計資料與分析結果，建構成對比較矩陣，將 n 個要素衡量結果置於成對比較矩陣 A 的上三角形部分，而主對角線為要素自身的比較，故其值為 1。下三角形部分的數值，為上三角形部分相對位置數值的倒數，即 $a_{ij}=1/a_{ji}$ 。有關成對比較矩陣的元素，其數學式如下：

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

5.特徵值與特徵向量的計算

求得成對比較矩陣 A 後，即可使用數值分析中常用的特徵值解法，找出各比較矩陣之最大特徵值 λ_{\max} 及其所對應之特徵向量（或稱優勢向量，Priority-vector），求得各層級中各要素的權重 W_i 大小。有關特徵值與特徵向量，其數學式如下：

$$(A - \lambda I)X = 0 \quad (2)$$

式中， λ_{\max} 為成對比較矩陣 A 之特徵值（單位轉換常數或比例常數）、 I 為單位矩陣、 X 則為成對比較矩陣 A 之特徵向量（各層級中各要素的權重值）。

6.層級一致性的檢定

受訪者所填寫之問卷是否前後具有一致性、合理性，或者可能產生相互矛盾的現象，則須進行一致性的檢定。一般而言，判斷受訪者所填寫之問卷是否具一致性，可利用統計學上的一致性指標 (Consistency index, C.I.) 與一致性比率 (Consistency ratio, C.R.) 來評量。其中，一致性指標值的判斷公式如下：

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

式中， n 為評估要素之個數， λ_{\max} 為最大特徵值。若 $C.I.=0$ ，表示前後判斷完全具一致性，當 $C.I. > 0.1$ ，表示前後判斷不連貫， $C.I. \leq 0.1$ 則為可容許的偏誤。至於，一致性比率之計算式如下：

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (4)$$

其中， $R.I.$ 為隨機指標 (Random index)，意即成對比較矩陣，在不同的階數下，產生不同的 $C.I.$ 值之謂。若 $C.R.$ 值 ≤ 0.1 時，表示矩陣的一致性程度令人滿意。反之，則顯示層級間要素之關連性有問題，必須重新進行要素及其關連性的分析，以避免作成不良的決策。

7.替代方案之選擇

若整個層級結構通過一致性檢定後，即可進

行替代方案的綜合評估。意即在最終目標的條件下，進行各替代方案綜合評點（優勢程度）的計算（優勢向量），以確定方案之優先順序，供作決策之依據。

四、評選過程與成果分析

為便於判定 AHP 用於評選邊坡生態工法之可行性與實用價值，本文僅針對在第二高速公路中普遍採用的「格框噴植法」與「土釘混合噴植法」兩種工法，透過專家訪談與問卷調查的方式進行簡要的說明。此外，因受限於篇幅，有關專家訪談、問卷調查表、統計分析以及相關計算（成對比較矩陣、特徵值、特徵向量、一致性指標、一致性比率、優勢向量）等過程均予以省略，讀者可自行參閱文獻[35]的說明。

4.1 評選過程

採用上述圖 4 之 AHP 分析流程，逐步進行邊坡穩定生態工法之評選工作，簡述各主要階段之內容如下。

1.問題的界定

基於生態（景觀）維護性、施工期限、工程品質、安全性、經濟性（工程成本）等因素之綜合考量，試從「格框噴植法」與「土釘混合噴植法」兩種邊坡生態穩定工法中，評選出一較為適合或較佳之工法。

2.建立層級架構

為求簡化評選與分析的過程，以利研判 AHP 應用在邊坡穩定生態工法評選上可行性與準確性，本文暫時僅考量生態（景觀）維護性與施工期限兩大主要的評估準則以建立層級架構，如圖 5 所示。其中，生態維護性的優劣，係以生態復育性、就地取材度、景觀相符性等三項作為評估的要素；而影響施工期限的因子，主要則考量施工難易度以及天然環境之因素等兩項。

3.問卷調查與成果分析

本文針對兩位（中興工程顧問公司地工部與台北縣政府工務局）邊坡穩定處理之專家進行訪談與調查。其中，問卷評估之尺度分為絕強(9：1)、極強(7：1)、頗強(5：1)、稍強(3：1)、等強(1：1)、稍弱(1：3)、頗弱(1：5)、極弱(1：7)、絕弱(1：9)九項，並附予中間值(8：1、6：1、4：1、2：1、1：2、1：4、1：6、1：8)作為衡量。

有關調查量表之格式與內容、成對比較（正倒）矩陣、特徵值、特徵向量、層級一致性檢定以及優勢向量等之分析過程，因礙於篇幅，本文僅將最後之分析結果彙整於表 4 至表 7 中。

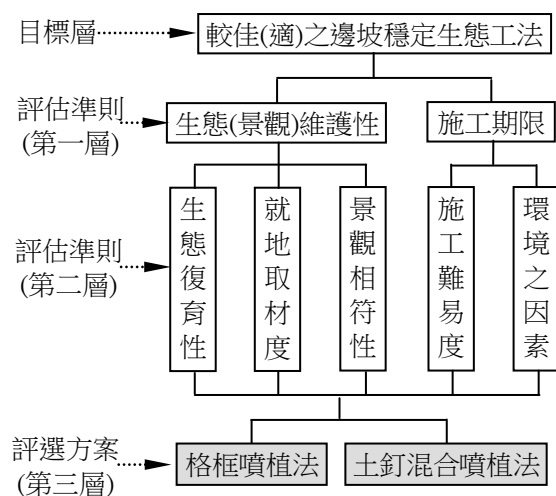


圖 5 本研究之 AHP 層級架構

4.2 成果討論

第一階層的評估準則為生態（景觀）維護性與施工期限，其中：生態（景觀）維護性係基於安全無虞之前提下，以建立接近自然、合乎生態且善盡環保責任之邊坡結構物為主要的考量，包含生態復育性、就地取材度以及景觀相符性等要素。至於，施工期限則包括施工難易度與環境因素兩大項。由問卷調查與分析結果所求得之生態（景觀）維護性相對權重之平均值為 0.75，而施工期限之相對權重平均值為 0.25，如表五所示；顯示兩位受訪者在評選邊坡生態工法時，對於生態（景觀）維護性之重視程度均較施工期限高出許多。

表 4 問卷調查結果

| 評估項目 \ 結果 | 第一位受訪者 | 第二位受訪者 |
|----------------|------------|-----------|
| 生態維護性 vs 施工期限 | 重要些(3:1) | 重要些(3:1) |
| 生態復育性 vs 就地取材度 | 重要些(3:1) | 同等重要(1:1) |
| 生態復育性 vs 景觀相符性 | 同等重要(1:1) | 重要些(3:1) |
| 就地取材度 vs 景觀相符性 | 重要些(3:1) | 重要些(3:1) |
| 施工難易度 vs 環境之因素 | 不重要許多(1:5) | 不重要些(1:3) |
| 生態復育性* | 較不滿意(1:3) | 較不滿意(1:3) |
| 就地取材度* | 同等滿意(1:1) | 同等滿意(1:1) |
| 景觀相符性* | 同等滿意(1:1) | 較滿意(3:1) |
| 施工難易度* | 較不滿意(1:3) | 較不滿意(1:3) |
| 環境之因素* | 干擾較少(3:1) | 干擾較少(3:1) |

註：*表示以土釘混合噴植法為基準，各評估項目逐一與格框噴植法進行比較。

表 5 第一層評選準則相對權重表

| 受訪者 \ 相對權重 | 生態(景觀)維護性 | 施工期限 |
|------------|-----------|------|
| 第一位受訪者 | 0.75 | 0.25 |
| 第二位受訪者 | 0.75 | 0.25 |
| 平均值 | 0.75 | 0.25 |

表 6 第二層評選準則相對權重表

| 受訪者 \ 相對權重 | 生態維護性 | 就地取材度 | 景觀相符性 | 施工困難度 | 環境之因素 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 第一位受訪者 | 0.345 | 0.239 | 0.166 | 0.041 | 0.208 |
| 第二位受訪者 | 0.322 | 0.107 | 0.322 | 0.063 | 0.188 |
| 平均值 | 0.333 | 0.173 | 0.244 | 0.052 | 0.198 |

表 7 第三層工法評選準則相對權重表

| 受訪者 \ 相對權重 | 格框噴植工法 | 土釘混合噴植工法 |
|------------|--------|----------|
| 第一位受訪者 | 0.519 | 0.481 |
| 第二位受訪者 | 0.592 | 0.408 |
| 平均值 | 0.555 | 0.445 |

第二階層的評估準則為生態復育性、就地取材度、景觀相符性、施工難易度以及環境之因素等五項。其中：生態復育性係指因工程施作之影響，所需生態復育之時間、難易以及恢復原本景觀之程度；就地取材度係指於工程施作地點，選擇適當可用之當地或天然材料，其取得的難易程度；景觀相符性係指其所採用之資材，所能達到與現地環境及自然景觀相符之程度；施工難易度則指施工的困難程度與其施作特性；而環境之因素則係指地質、地下水、地震與天候等影響因素之干擾程度。

表 6 之分析結果顯示，生態復育性之相對權重的平均值為 0.333、就地取材度之平均值為

0.173、景觀相符性之平均值為 0.244、施工難易度之平均值為 0.052，而環境之因素平均值為 0.198。由此可得知，受訪者對以上五項評估準則的重視順序為生態復育性、就地取材度、景觀相符性、環境之因素以及施工難易度。由於維護生態與生態復育之能力為生態工法中最基本且為最重要之目的；因此，問卷分析顯示受訪者對生態復育性最為重視，其結果並不令人意外。此外，能在當地取得與景觀相符之材料亦是生態工法主要的考量原則，故就地取材度與景觀相符性兩準則之受重視程度相近亦甚為合理，惟就地取材之相對權重略低於景觀相符性。至於，就影響施工期限的因素而言，受訪者對環境之因素的重視度較施工難易度來的高，原因在於施工性較可藉由施工技

術或變更設計等方式加以克服，但環境之因素卻往往非工程人員可完全且能有效地掌握，因此對環境之因素的重視程度較高。

第三階層分析為格框噴植與土釘混合噴植兩工法的最後評選結果，如表 7 所示。格框噴植法的相對權重平均值為 0.555，要較土釘混合噴植法的 0.445 為高，顯示格框噴植法在考慮各階層之影響因子下，要較土釘混合噴植法為適宜，此評選結果，可提供相關單位在進行邊坡生態工法評選時的參考。

五、結論與建議

本文簡要探討利用 AHP 評選邊坡穩定生態工法之可行性，初步獲得之結論與建議如下。

1. 以 AHP 分析邊坡穩定生態工法之評選過程發現，由於其學理簡單、操作容易且引入專家之經驗，對於協助選用邊坡穩定生態工法甚具可行性，不失為進行決策時之有效輔助工具。
2. 受訪者在邊坡生態工法的評估上，對於生態（景觀）維護性之重視程度遠較施工期限來的高。此外，受訪者對於生態復育性、就地取材度、景觀相符性、施工難易度以及環境之因素等準則中，以生態復育性權重最高；由此可推論，生態復育性可視為邊坡生態工法評選考量中最為重要之因素。
3. 綜合各評估因素，雖然格框噴植法較土釘混合噴植法為佳，但此係依據受訪者的認知與經驗所調查之結果，並不能完全地反應各種情況。換言之，在不同的工程地點、不同的天然環境以及不同的工程要求等因素之影響下，可能會獲得不同的較佳工法。
4. 對於特殊或坡度較為陡峭而須採用複合工法的邊坡，一般無法由單一工法的評選方案類型中直接獲得組合類型之替代方案。然若一開始之評選方案類型即已考量其為一組合型式之生態工法，且評估準則中之各要素亦能充分反應坡地與複合工法的特性時，則理論上仍可藉由 AHP 評選出組合型式之邊坡穩定生態工法。

5. 本文僅針對格框噴植與土釘混合噴植兩大工法進行分析，且評估要項僅考量五項，受訪專家亦僅兩位，故評選結果之可靠度與普及性略感不足；尚有賴於後續研究加以改善。

參考文獻

- [1]國立台北科技大學，生態工法技術參考手冊，經濟部水資源局(2000)。
- [2]Odum, H. T., "Man in the ecosystem," In Proceedings Lockwood Conference on the Suburban Forest and Ecology, Bull. Conn. Agr. Station 652. Storrs, CT, pp. 57-75 (1962).
- [3]Mitsch, W. J. and S. E. Jorgensen, Ecological Engineering: An Introduction to Ecotechnology, Wiley, New York (1989).
- [4]Hohmann, H., Basic Documents of International Environmental Law, London: Graham and Trotman (1992).
- [5]Herrick, E. E., "An Ecological Design Paradigm for Watershed Management," Proceedings of the International Workshop on Watershed Management in the 21st Century, Taipei, Taiwan (2000).
- [6]2004 生態工法案例編選集，行政院公共工程委員會(2004)。
- [7]潘南飛、許琦、謝孟勳，邊坡生態工法規劃與管理之智慧型專家系統建構，行政院國家科學委員會一般專題研究計畫(2003)。
- [8]吳輝龍、鄒宗儒、張承愈，「邊坡穩定工法與自然保育」，地工技術，第 94 期，第 61-72 頁(2002)。
- [9]洪明瑞、蕭中維、劉源清、吳桂陽，「日本與香港地區山坡地防災管理措施之介紹」，技師月刊，第 36 期，第 51-64 頁(2005)。
- [10]拱祥生、林宏達，「植生對邊坡生態工法穩定性影響分析初探」，技師月刊，第 31 期，第 60-68

頁(2003)。

- [11]National Conference of Landslide and Slope Failure Control, Slope Failures in Japan, pp.32-56 (1981).
- [12]申潤植，日本對山體滑動和山體崩潰的治理－最新的概論，山海堂，日本，第 31-38 頁(1995)。
- [13]三上善藏，落石防止防護工法，理工圖書株式會社，東京，第 49-99 頁(1984)。
- [14]新田伸山、小橋澄治，土木工事のり面保護工，鹿島出版會，東京，第 81-124 頁(1984)。
- [15]小橋澄治，斜面安定，土質工學基礎叢書 9，鹿島出版會，東京，第 76-120 頁(1983)。
- [16]洪明瑞、張吉佐、張惠文、黃俊鴻，「對台灣山坡地開發應有的認知(三)」，現代營建雜誌，第 242 期，第 61-70 頁(2000)。
- [17]Department of Soils, Geology, and Foundations Committee on Landslide Investigations, Landslides and Engineering Practice, Highway Research Board Special Report 29, U.S. Highway Research Board (1958).
- [18]Lee, W. A., T. S. Lee, S. Sharma, and G. M. Boyce, Slope Stability and Stabilization Methods, John Wiley & Sons, Inc., New York, pp.441-582 (1996).
- [19]Gray, D. H. and B. Sotir, "Biotechnical Stabilization of Steepened Slopes," Paper Present at the Transportation Research Board 746th Annual Meeting, Washington, D. C. (1995).
- [20]The Vetiver Network, <http://www.vetiver.org> (2006).
- [21]馮正一、林永光，「考量環境、生態與景觀需求之邊坡保護技術」，地工技術、第 92 期，第 5-18 頁(2002)。
- [22]林信輝，植生工程圖說/一般挖方坡面，中華民國環境綠化協會(1996)。
- [23]鍾弘遠，坡地開發、水土保持/植生工程設計要覽，地景企業，台北(1995)。
- [24]林信輝，水土保持植生工程，高立圖書公司，台北(2001)。
- [25]林鎮洋、邱逸文，生態工法概論，明文書局，台北(2003)。
- [26]林鎮洋 等人，生態工法技術參考手冊，明文書局，台北(2004)。
- [27]陽明，生態工法，文笙書局，台北(2004)。
- [28]公共工程基本圖，行政院公共工程委員會(2006)。
- [29]Nittoc, Geofiber Brochures, Nittoc Construction Co., Ltd. (2001).
- [30]廖長志，原型廢輪胎在大地工程上之研究，碩士論文，國立台北科技大學土木與防災研究所，台北(2001)。
- [31]三力技術工程顧問有限公司，土釘護坡及景觀植生工程綜合報告(1997)。
- [32]王裕文，<http://grassland.agron.ntu.edu.tw/vetiver.html>，台灣大學農藝學系草地研究室網站(2006)。
- [33]Saaty, T.L., The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York (1980).
- [34]鄧振源與曾國雄，「層級分析法 (AHP) 的內涵特性與應用 (上)」，中國統計學報，第二十七卷，第六期，第 5-22 頁(1989)。
- [35]洪明瑞、林致遠、梁漢溪，坡地穩定技術結合生態工法之基礎性研究 (NSC 92-2211-E-131-004-)，國科會九十二年度專題研究計畫精簡報告(2004)。