

逢甲大學  
交通工程與管理學系碩士班  
碩士論文

山區道路設計運用生態工法與傳統  
工法比較之研究

Comparison between Ecological Engineering  
Method and Traditional Engineering Method  
for the Roadway Design in the Mountain  
Area

指導教授：徐耀賜

研究生：黃堂展

中華民國九十五年六月

## 誌謝

兩年研究所生活終於劃上句號，時光無法倒流，而回憶卻可喚醒過往之時光。轉眼間兩年即逝，曾有歡樂亦曾手足無措，短短兩年，卻有著深深的體會。兩年生活，猶如煙火般美麗而短暫，而回憶將永遠保存於心裡，等著哪天打開這永無保存期限的回憶來慢慢品嚐之。

能拿到碩士學位，首要感謝的莫過於父母及可愛的小妹，父母對我，猶如放風箏般，起初擔心無風之助力而飛不高，當風箏飛得又高又遠，又適時拉動手中線，時時用那線牽引我、呵護我，讓我能飛得如此順遂，於求學及生活上永遠給我最好之環境，因而才有今天的我。

於研究所求學過程，最感謝論文指導教授徐耀賜博士，恩師徐博士意氣風發、豪氣萬千，如陽光般普照我、栽培我，除論文指導外，更教授我待人處世之社會學，令我著實成長不少。此外亦感謝林大傑老師之輔導，及王偉哲老師、苟昌煥老師於百忙中撥冗為學生進行口試指導。

此兩年生活，感謝全體碩士班同學於課業上之協助，學長宇軒哥、斐哥、阿六哥、俊宏、光愷、阿華哥；學弟宜炫、宇勝、志明等，於生活上之陪伴令我研究生活增添些許色彩，更感謝好友小塗、建宏、鑛恩、奇修、緹宸、小蟲、雅雯、書涵、Doris、Vicky等，陪我走過低潮，幫助我由谷底站上高峰，並且順利畢業。

一個階段之結束，伴隨另一階段之開始。於求學階段認識許多朋友，也在各階段適時的幫助及陪伴我，由衷感謝你們。

黃堂展 謹誌

逢甲大學交通工程與管理學研究所

2006年 仲夏

## 摘要

傳統山區道路工程對環境衝擊甚大，且施工過程從材料取得、施工營建、使用維護到回收利用之生命週期中，各環節無不對地球環境產生衝擊。生態工法強調以安全為基礎之前提下，創造優質環境，因地制宜借力使力，依建設施工類型及環境特性，採行最適當之對應治理機制。

本研究運用「層級分析法(AHP)」從事專家問卷調查，經統計分析並計算各決策層面及評估準則之權重作為山區道路施工生態工法與傳統工法之綜合評估依據，即在道路安全性之前提下，分別就道路特性、路側特性、生物特性等三個層面作評估分析。道路特性之評估準則為：透水性、承載力，路側特性之評估準則為：安全性、土壤性、人為程度、閒置腹地、演色性、密度、高度，生物特性之評估準則為：綠覆率、植物多樣性、植物本土性、移動路徑、物種相對豐富度。另收集山區道路工程採用生態工法的實際案例加以應證，以檢驗本研究所建立綜合評估方法的正確性，提供給決策者進行策略釐定之參考。

研究結果顯示，整體山區道路規劃施工過程中，最終以生態工法為最適施工方案，不僅一改往昔工程施工者對於傳統工法之執著，更令吾人了解到生態工法於山區道路施工上之可行性及長久實用性。

關鍵詞：生態工法、層級分析法(AHP)

## **Abstract**

Traditional engineering method for the roadway design in the mountain area has an adverse impact on environment. Each link makes environment influence during construction until it is fully finished. Ecological engineering method emphasizes that high quality environment on the basis of safety and takes actions that suit local circumstance.

This research carries out a questionnaire survey of experts' opinions on traditional engineering method and ecological engineering method, and utilizes the analytical hierarchy process for deriving the weightage of the criteria as a basis for an overall assessment of the method under consideration. On the premise of structural safety, the assessment concerns achievements of a method in three categories of objectives, i.e., characteristic of road, characteristic of roadside, characteristic of organism and a total of eighteen criteria are established. The result shows that ecological engineering method for the roadway design in the mountain area is better than traditional engineering method.

Key words: Ecological Engineering Method, Analytical Hierarchy Process (AHP)

# 目錄

誌謝 .....	I
中文摘要 .....	II
英文摘要 .....	III
圖目錄 .....	VII
表目錄 .....	IX
第一章 緒論 .....	1
1.1 研究緣起 .....	1
1.2 研究目的 .....	2
1.3 研究方法與流程 .....	3
第二章 文獻回顧 .....	6
2.1 前言 .....	6
2.2 生態工程之定義 .....	7
2.3 生態工法之沿革與定義 .....	8
2.4 生態工法之應用原則 .....	14
2.5 生態工法於道路設計的思維 .....	15
2.5.2 減少對生態環境與系統之干擾 .....	16
2.5.3 避免大挖大填造成山坡不穩 .....	17
2.5.4 避免山區道路因降雨而變河道 .....	17
2.5.5 生態工法穩定邊坡 .....	17
2.6 生態工法應用材料種類 .....	18
2.7 公路與生態工法 .....	20
2.7.1 阻礙動物活動路線 .....	20
2.7.2 噪音干擾 .....	21
2.7.3 廢氣污染空氣 .....	21

2.7.4 油漬污染水質 .....	21
2.8 道路建設對環境衝擊的影響 .....	21
2.8.1 路側植生帶及動物的影響 .....	24
2.8.2 道路及車輛對生態族群的影響 .....	25
2.8.3 道路的環境污染 .....	26
2.8.4 路網的阻隔效應 .....	27
2.9 供生物穿越公路之通道工程 .....	28
2.10.1 美國西維吉尼亞州山區公路生態工法 .....	30
2.10.2 瑞士山區公路建設特殊公法簡介 .....	32
2.10.3 日本生態道路經驗 .....	38
2.11 研究方法相關文獻 .....	42
第三章 研究方法 .....	46
3.1 分析階層程序法 .....	46
第四章 層級準則架構與方案 .....	53
4.1 層級架構的建立 .....	53
4.2 構面與評估準則之整理 .....	55
4.2.1 道路路基層面考量 .....	55
4.2.2 排水設施層面考量 .....	56
4.2.3 緩衝設施層面考量 .....	56
4.2.4 邊坡設施層面考量 .....	57
4.2.5 周邊土地使用狀況層面考量 .....	58
4.2.6 照明設施層面考量 .....	59
4.2.7 植被特性層面考量 .....	60
4.2.8 物種特性層面考量 .....	61
4.2.9 小結 .....	62
第五章 方案評選 .....	63
5.1 評估準則權重分析 .....	63
5.2 方案層面權重分析 .....	65
5.3 各層面下標的權重評析 .....	67
5.4 各準則權重評析 .....	72
5.5 方案權重評析 .....	81

第六章 實證研究 .....	83
6.1 案例背景說明 .....	83
6.2 實地評估 .....	84
6.2.1 道路特性 .....	84
6.2.2 路側特性 .....	85
6.2.3 生物特性 .....	86
6.3 評估結果綜合分析 .....	87
第七章 結論與建議 .....	92
7.1 結論 .....	92
7.2 建議 .....	94
參考文獻 .....	95
附錄 .....	104



## 圖目錄

圖 1.1	研究流程 .....	5
圖 2.1	生態工程應用分類 .....	8
圖 2.2	山區路廊圖 .....	16
圖 2.3	生態工法於道路之思維 .....	18
圖 2.4	生態道路維護管理 .....	24
圖 2.5	道路寬度與動物移動距離之關係 .....	25
圖 2.6	道路對周邊環境之干擾 .....	26
圖 2.7	各種道路環境污染源及影響範圍 .....	27
圖 2.8	生態路廊 .....	30
圖 2.9	瑞士 St. Gallen 附近之加勁土牆設計斷面 .....	33
圖 2.10	瑞士 St. Gallen 附近之土牆 .....	33
圖 2.11	瑞士山區公路所採用的 PENTFIX 護坡綠化工法 ...	34
圖 2.12	瑞士山區公路之綠化情形 .....	34
圖 2.13	瑞士公路懸臂式道路面板，遠景照 .....	35
圖 2.14	瑞士公路懸臂式道路面板，近景照 .....	35
圖 2.15	瑞士景觀擋土牆 .....	36
圖 2.16	瑞士景觀隔音牆 .....	36
圖 2.17	瑞士 Vitznau 鎮利用廢棄輪胎填築的擋土牆 .....	37
圖 2.18	瑞士高架橋梁 .....	37
圖 2.19	瑞士高架橋梁橋墩基座植生情況 .....	38
圖 3.1	AHP 作業流程圖 .....	48
圖 3.2	層級結構圖 .....	49
圖 3.3	比較單元說明 .....	50
圖 4.1	層級架構圖 .....	54
圖 5.1	方案決策下之各層面權重圖 .....	66
圖 5.2	道路特性層面下之標的權重圖 .....	67



圖 5.3	路側特性層面下之標的權重圖 .....	68
圖 5.4	生物特性層面下之標的權重圖 .....	69
圖 5.5	整體層面下之標的權重圖 .....	71
圖 5.6	道路路基下之準則權重圖 .....	72
圖 5.7	緩衝設施下之準則權重圖 .....	73
圖 5.8	排水設施下之準則權重圖 .....	74
圖 5.9	邊坡設施下之準則權重圖 .....	75
圖 5.10	周邊土地使用狀況下之準則權重圖 .....	76
圖 5.11	照明設施下之準則權重圖 .....	77
圖 5.12	植被特性下之準則權重圖 .....	78
圖 5.13	物種特性下之準則權重圖 .....	79
圖 5.14	各標的下之準則權重圖 .....	81
圖 5.15	方案決策權重圖 .....	82
圖 6.1	仁愛鄉行政區域圖 .....	83



## 表目錄

表 5.1	山區道路施工準則 .....	63
表 5.2	問卷發放 .....	65
表 5.3	方案決策下之各層面權重 .....	65
表 5.4	道路特性層面下之標的 .....	67
表 5.5	路側特性層面下之標的 .....	68
表 5.6	生物特性層面下之標的 .....	69
表 5.7	整體層面下之標的 .....	70
表 5.8	道路路基下之準則 .....	72
表 5.9	緩衝設施下之準則 .....	73
表 5.10	排水設施下之準則 .....	73
表 5.11	邊坡設施下之準則 .....	75
表 5.12	周邊土地使用狀況下之準則 .....	76
表 5.13	照明設施下之準則 .....	77
表 5.14	植被特性下之準則 .....	78
表 5.15	物種特性下之準則 .....	79
表 5.17	各標的下之準則權重 .....	80
表 5.18	方案決策權重 .....	81
表 6.1	傳統工法評比表 .....	88
表 6.2	生態工法評比表 .....	90

# 第一章 緒論

## 1.1 研究緣起

以往道路工程施工常運用傳統工程為首要考量，其只考慮施工前後之方便、經濟、實用性，而未考慮完工後是否危害生態系的自然穩定。往昔土木工程師快速地改變地形地貌，往往對自然環境生態造成衝擊破壞。隨著全球社會對生物多樣性保育與永續發展的重視，社會大眾對工程的期許也由安全、經濟的要求，提升到注重「生態」與「永續」的層面。如何將「傳統工程技術」與「生態」的需求結合，讓工程建設能與環境生態相互整合而共存共榮，對山區道路設計而言，實為一項重大的突破與挑戰。

歐、美、日、澳等國已逐漸將「生態工程」的理念納入工程規劃設計的範疇中。自1998年首次於國內舉辦「生態工程與自然工法」研討會以來，「生態工法」相關之研討會、講習會逐年增加。1999年九二一集集大地震後災區之坍方、坡地裂縫與土石流整治，更加大量採用「永續經營」概念，以從源頭做起的治理方式，配合「生態工法」進行裸露坡地的植栽復育，對抑止新土石崩塌造成二次災害發揮不錯的效果；行政院經建會更將「綠建築」列為「城鄉永續發展政策」的執行重點，營建署也透過「營建白皮書」全面推動「綠建築」；行政院在2002年七月中公佈「挑戰2008：國家重點發展計畫」，列出台灣未來發展之十大方向主軸，其中「水與綠建設計畫」即在建構優質之生活環境，並將推動「生態工法」與「綠營建」列為達到此一目標之重點項目。因此近年來國內土木工程界已有逐漸導向注重「生態」的趨勢。

然而生態工法在國內的應用與實踐過程中，因為在起步階段，可資借鏡的成功案例並不多。本研究擬從「生態工法之內涵」與「生態工法基本原則」探討山區道路生態工法之可行性，希望有助於認識生態工法之本質。

傳統工法行之有年，工程相關人員對其整體施工流程均較嫻熟，而生態工法之應用則為新的嘗試。新的觀念與作法，在相對僵化的採購與驗收制度以及傳統較保守之工作倫理與專業思維下，造成一些發展上的困境應即早破除改善。例如：「生態」與「假生態」之爭，以及「生態工法不夠安全」之疑慮等等。在此，除建議工程專業人員應加速涵養對「生態的深切認知」外，亦期待更多生態專業人員能加入生態工程規劃，且能給予工程人員更多的鼓勵與支持。

## 1.2 研究目的

本研究旨在以工程管理的觀點針對山區道路施工建設所適用的生態工法進行探討，參考相關文獻並經由問卷訪談的方式瞭解專家學者有關山區道路工程考慮因素的知識與經驗。由於影響山區道路的因素眾多，而這些因素可能彼此相互干擾與衝突，透過AHP層級分析來決定這些因素的重要程度，據此因素權重以進行最佳工法的綜合評比。除此之外，並蒐集山區道路工程採用生態工法之實際案例，以檢驗本研究所建立綜合評比的正確性。茲將本研究之目的闡述如下：

1. 探討道路工程生態工法的種類及適用性，並確立山區道路工程可運用的生態工法。
2. 建立綜合評比模式，以使生態工法的選用有合理依據，避免流於人為主觀因素的影響，提供決策的參考。
3. 本研究所建立的評比，期能供做後續研究再行擴充發展的基礎。
4. 針對傳統工法及生態工法施工規畫過程中所引發之準則方案以比較。

## 1.3 研究方法與流程

本研究為了進行山區道路改善設計生態工法與傳統工法比較之研究，先由理論探討，再進一步利用多門學科之學者專家的個別判斷，整合成一個客觀性的、綜合性的及科際整合的因素架構。因此本研究之研究設計，包括問卷設計、學者專家之選定狀況及本研究因素之選取步驟及方法加以說明，並闡述本研究採用分析階層程序法（AHP）的理由、特點及其架構。研究流程如圖 1.1 所示。研究內容則列點分別敘述如下：

### 1. 界定研究目的與範圍

本研究為利用分析階層程序法（AHP）為基礎進行山區道路改善設計運用生態工法與傳統工法比較之研究。以工程管理的觀點針對山區道路施工所適用的工法進行探討，參考相關文獻並經由問卷訪談的方式瞭解專家學者有關山區道路工程考慮因素的知識與經驗。

### 2. 回顧相關文獻

本研究文獻回顧擬針對景觀生態學與生態工法相關學理的應用、綠營建指標及準則之定義等相關文獻進行探討，以作為問題診斷與對策研擬之理論基礎。

### 3. 建立研究方法

本研究採用分析階層程序法，作為本研究問卷資料之分析工具，因此，本章節將探討分析階層程序法的特點、架構及其在本研究中之應用情形。

### 4. 實例應用分析

本研究以配合交通部公路總局進行脊樑山脈旅遊線景觀改善計畫中選取風景秀麗、生態豐富的台十四甲線霧社至合歡山莊段作為實證研究地點，希望透過本研究將台十四甲線沿線環境加以

分析，並依前述架構比較本路段在進行景觀改善工程前後之施工方法。

## 5. 結論與建議

根據前述的分析結果提出本研究的結論，並對於往後相關研究與發展提出建議，以期獲得更完備的施工評準架構。



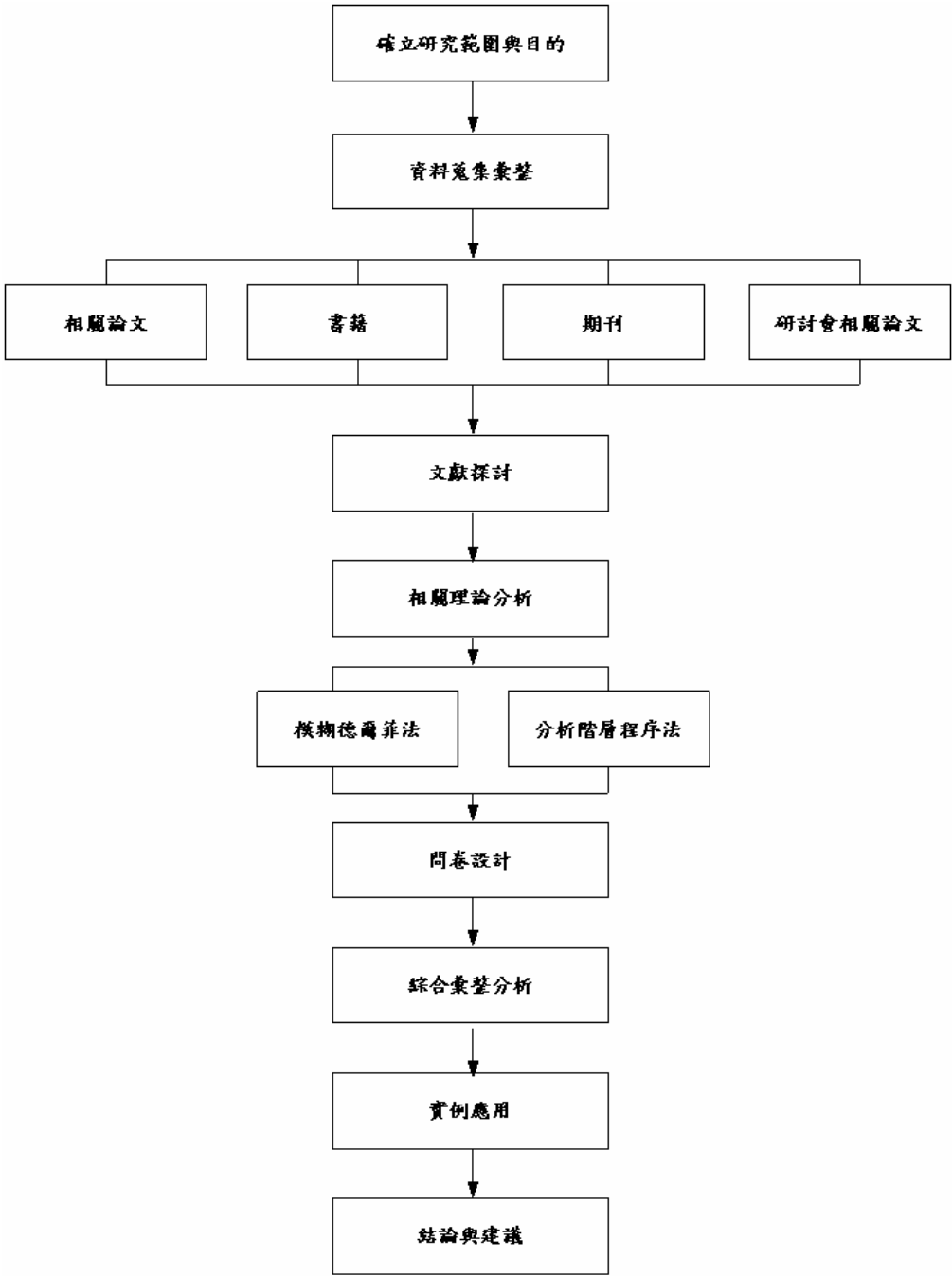


圖 1.1 研究流程

## 第二章 文獻回顧

### 2.1 前言

生態工法早期多應用於河溪整治、大地工程、水資源工程、渠道、河川復育等，近期已漸被應用到水利工程、水保工程、營建工程、都市工程、運輸工程等相關建設工程之中。台灣地區，每逢颱風豪雨，山區土石崩，導致人民生命財產遭受損失不計其數。因此，政府大推動「綠色矽島計畫」，以生態工法復育自然環境，減少人工構造物對大自然的衝擊，避免地球資源無限制消耗。近年來地球環境遭受破壞，地球高溫化、臭氧層破壞、酸雨、熱帶雨減少等，使整個生存環境遭受嚴重威脅。因此，先進國家逐步重視自然生態及天然資源保育。

人類社會為自然生態系統之一環，人類生存有賴生態系統所提供之各種完整而必要的服務，例如：光合作用固定太陽能；保持水文循環，緩解極端的水文事件；廢棄物與污染物質的吸收、分解和脫毒；土壤侵蝕的防護和土壤肥力的創造和再生；空氣和水的淨化；生物多樣性的維持，人類從中獲取農業、醫藥和工業的關鍵元素等等。然而傳統工程在創造環境提升生活水準的同時，未能兼顧對自然資源與生態環境的維護保育，導致地球資源大量耗竭與自然環境快速惡化，而危及永續發展。故而有近代「生態工程」(Ecological Engineering or Ecotechnology)或「生態工法」(Ecological Engineering Method)之崛起，要求在不破壞生態系統的原則下進行各項工程行為，甚而更進一步希望能復育已破壞之生態系統，以緩解人類長期施加於自然環境之壓力。雖然「生態工程」或「生態工法」之明確定義及適用範圍，至今尚未統一，但綜合國內外相關文獻資料，仍可釐清一些之基本概念。



## 2.2 生態工程之定義

依據Bergen 等人之定義，生態工程乃符合生態原則並整合人類社會與自然環境以使兩者能共存共榮之永續系統設計 (Ecological engineering is the design of sustainable systems, consistent with ecological principles, which integrates human society with its natural environment for the benefit of both.)。意即在符合「生態原則」的前提下，以工程技術來設計一種能永續利用的系統。它與「傳統工程」最大的不同在於「生態工程」能同時兼顧「人類」與「自然界」二者的利益；而「傳統工程」則往往僅以「人類利益」為優先考量，在不知不覺中對大自然做出無可挽回的破壞。

Mitch & Jørgensen 在 Ecological Engineering 一書中，將生態工程之應用分為四大類(如圖2.1)，分別為：生態環境工程、生態系統復育、生態產業與生態工法。世界各國因國情不同，則有不同之應用重點與發展方向。美國大多應用在生態系統復育與生態環境工程兩領域；中國則強調在生態產業之應用；德國之「近自然之水利建設」(naturnaher wasserbau)與日本之「近自然工法」(nature-working method)，則與台灣近年來之發展較接近。



圖 2.1 生態工程應用分類

資料來源：林鎮洋、徐嘯雷 資料重繪

## 2.3 生態工法之沿革與定義

綜觀世界上生態工法之發展沿革，可清楚發現生態工法之觀念最早係源自於德國與瑞士，其理念備受肯定。近年來，各界致力於生態工法之研究、應用以及推廣，且依領域之差異而不斷被賦予不同之內涵，並逐漸推廣至全球各地。

### 2.3.1 國外部份

- (1) 生態工法最早起源自於歐洲瑞士、德國。
- (2) 1938年，德國Seifert首先提出近自然河溪整治之概念，在完成傳統河流治理任務之基礎上，可以達到接近自然、價廉、並保持景觀美感的一種治理方案。【27】
- (3) 1951年，Kruedener提出生物工程(Bioengineering)一詞，其為一種在進行大地或水資源工程時，用於處理不穩定邊坡、河岸或河床時，所採行之生物工程技術。【27】

- (4) 1960 年代後期，德國 Ernst Bittmann 等人提倡「生物河川工法」，以蘆葦、柳樹設計的護岸應用於萊茵河河系。【27】
- (5) 1962 年，H.T.Odum 【21】提出生態工程(Ecological Engineering)之名詞，並且發表「Man In The Ecosystem」一文，即存在於生態體系之人類，文中提及，生態系統中即使小部份之人造手段亦可能破壞整個生態環境，故採用之工法應以生態為原則。
- (6) 1971 年，Odum 又提出生態工程之概念，其認為生態工程便是大自然的經營管理，以一個獨特之觀點補強傳統工程，或可謂一種與大自然合夥之關係。【22】
- (7) 1971 年，Schlueter 提出近自然治理河川之概念，首先應是滿足人類對於溪河利用之要求，同時亦應維護或創造河溪生態多樣性。【27】
- (8) 日本自 1980 年代中期即積極採用「多自然型建設工法」於河川治理，甚至於 1999 年成立了「生態與土木工程學會」(Ecology and Civil Engineering Society)，開啟「土木」與「生態」兩專業結合之先例。
- (9) 1983 年，Odum 又提到生態工程，認為此種融合生態系之新式工程設計便是一種利用自律行為系統的領域。【27】
- (10) 1983 年，Bidner 認為河道治理的首要考慮是河道水力學特性與地貌學特點，溪河的自然狀況，以作為河道整治與人為干預程度的標準。【27】
- (11) 1984 年，Straškraba【26】提出生態技術(Ecotechnology)一詞，認為生態系具有自我重組與自行調整適應之能力。研訂 17 項生態工法之細則鼓勵回收資源再利用。
- (12) 1984 年，近自然河川整治工法之概念正式引進日本，以生態系統的設計輔以親水機能，創造近自然狀態之永續生態環境。

- (13)1983 年 Uhlamn、1984 年 Straškraba、1985 年 Gnauck 分別提及生態技術，此乃基於對生態的深度認知而用於生態系管理的技術，其目的在於將執行相關措施之成本及其對環境造成的損害降至最低。【28】
- (14)1989年，生態學家Mitsch提出生態工程之觀念，乃是運用生態系之自我設計(Self-Design)能力為基礎，強調透過人為環境與自然環境間之互動達到互利共生(Symbiosis)之目的。【10】
- (15)1989年，Mitsch and Jørgensen、Odum【18】亦提出生態工程之理念，此法即是讓人類社會及其所在自然環境皆能受益之設計。生態工程是一種設計、運用經濟系統與自然界之關係的技術，進而促使人類與其環境間相互調適。【9】
- (16)1992 年，Hohmann 從維護河溪生態平衡之觀點出發，認為近自然河道治理是減輕人為活動對河溪的壓力，維持河溪環境多樣性、物種多樣性及河道生態系統平衡，並漸恢復自然狀況之可行性工程措施。【23】
- (17)聯合國於 1992 年各國簽訂之「21 世紀議程」第 40 章裡，明確提出永續發展指標的重要性，各國及相關研究組織於近年來，發展了相當數量的「永續發展指標」或「永續性指標」。
- (18)「生態效益」(Eco-Efficiency)的基本理念在聯合國的要求下，於 1992 年在巴西里約熱內盧召開的地球高峰會議中提出，並獲與會各國一致的支持。
- (19)1993 年五月，美國之國家科學院 NAS(National Academy of Sciences)所主辦的生態工法研討會中，生態工法的定義變為「能夠將人類社會與自然環境相結合而得到最佳效果之生態系統設計」。【27】
- (20)1996 年，日本河流整備中心認為，多自然型河川整治就是營造近乎自然的多樣性生物生息空間的河川治理工程，係在治

水、防砂的安全原則下，復育、創造出豐富自然的水邊環境及河床微地形。【7】

- (21)2000 年，英國政府通過「建構一個美好品質的生活—更為永續的營建策略」(Building a Better Quality of Life: A Strategy for More Sustainable Construction)。
- (22)2001 年，美國土木工程師學會通過「土木工程師在永續發展中所扮演的角色」之政策聲明，強調土木工程師在永續發展的需求下，須要具備更寬廣的教育，以擔負起多元專業團隊中領導者的角色。
- (23)2002 年，英國之土木工程師學會等團體出版「社會、永續與土木工程—策略與行動計畫」(Society, Sustainability and Civil Engineering: A Strategy and Action Plan)，承諾為社會提供更永續的土木營建工程。
- (24)2002 年，聯合國在南非約翰尼斯堡召開的全球永續發展高峰會議，與會代表皆認為保護及管理自然資源是經濟與社會發展之重要基礎，易言之，惟有確保環境系統的永續，人類社會活動才能持續不墜。
- (25)2006 年 2 月，國際社會已經用環境永續的「生態想像」(Ecomagination)來衡量石油，並提出棄「黑金」而投「綠金」的行動。瑞典已經提出一個「停用石油」的能源策略，這個擁有 9 百萬人口的國家，將不再興建新核能電廠的情況下，於 2020 年時擺脫對石油的消費與依賴，將所有石化燃料替換成為再生能源，以貫徹瑞典人「絕對有比石油更好的替代能源」的想法。另外，全球第二大的石油公司—英國石油(BP)也準備投資 80 億美元，轉形成全世界最大的再生能源公司，該公司預估每年將有勁漲 60 億的商機。
- (26)2006 年 3 月 20 日，聯合國生物多樣性大會在巴西登場並公佈最新出版的「全球生物多樣性展望」(GBO)，GBO 指出，從

15 個評量指標來看，全球生物多樣性持續流失，除非各國政府拿出前所未見的魄力，否則不可能在 2010 年之前做到生物多樣性公約制定的目標。【56】

### 2.3.2 國內部份

民國八十六年，前台灣省政府農林廳委託中華民國環境綠化協會進行「台灣地區邊坡暨河溪綠美化自然工法一個案調查與探討」之研究計畫，此為「自然工法」一詞首度被提及，此後，「自然工法」名詞便常出現於相關業務推廣與研究計畫中。

隨後，國內生態工法亦被廣泛應用於水利工程與河川治理上，該技術是源自於日本河岸、砂防事業所主張之「近自然工事」、「近自然工法」的範疇，而日本所用的名稱則是來自德國與瑞士所使用”Naturnaher Wasserbau”之翻譯。其水利工程是將生態保育納入工程中考慮，如河川整治、魚道之設計等，這些都是以生態工法為出發點的實際應用。近年來，國內生態工法之焦點亦漸轉移至國道與其他公共工程建設上，更為生態工法往後的發展，豎立了重要的里程碑。

近年來，隨著國內生態保育意識的高漲及國家重大政策的革新，各機關學校紛紛舉辦生態工法相關之研討會，國內各界進而開始對生態工法之定義與內涵眾說紛紜。在此，茲針對國內各領域專家學者所提及生態工法之定義整理如下：

- (1) 1997年，行政院農委會水土保持局提出自然工法，強調採用天然資材為主要材料，融合周邊地形自然景觀，減少造成環境衝擊為理念設計，構築可供動植物棲息之空間，創造兼具防災及生態復育功能之方法。
- (2) 2000年，林鎮洋提及生態工法，係以安全為基礎、生態為導向、永續為目標的近自然土木工程技術【27】。
- (3) 2001年，蔡厚男提及生態工法，即透過施工前嚴密之生態環

境調查，了解周遭土地之演化過程與潛力，掌握生態群落的單元，遵循自然演替的法則，結合工程技術及生態觀念，以跨領域之整合及開放的討論，提出營造自然與人類共存共榮之方法【48】。

- (4) 2001年，行政院永續會為推動『恢復生物多樣性』，便積極要求各行政部門提供各項永續行動計畫，並宣示民國92年為永續元年，揭開台灣維護環境資源永續的決心與行動力。
- (5) 2002年，鄭光炎提及生態工法：以安全、生態及永續經營之概念，付諸實行於工程建設與自然環境中【53】。
- (6) 2002年，林信輝提及自然生態工法，並區分為狹義與廣義兩方面【30】。

狹義：取當地之可應用資材，在儘可能不破壞當地生態及環境景觀下，對一般邊坡及河溪，包括對崩塌地等特殊地點所作之穩定、整治工程與措施。

廣義：對週邊環境保存、維護、永續性利用、復舊及改良所進行之工事，包括生物與非生物材料之應用。

- (7) 2002年，汪靜明提及生態工法，係以環境生態為基礎，並考量系統安全穩定與生物多樣性保育，永續經營為目標，所採取順應自然之工程方法，以達到維護人類社會及自然生態的互利共生【19】。
- (8) 2002年，蔡仁惠提及生態工法，係以生態系統之自我設計為基礎，師法自然，透過工程方法之輔助，維護或修護生態環境之永續發展【27】。
- (9) 2002年，林金德、黃于玻、蔡真珍提及生態工法，即在工程技術或方法中溶入對環境及生態的尊重之工法【29】。
- (10) 2002年，行政院公共工程委員會在八月十四日生態工法諮

詢小組第三次會議中，將生態工法定義為「基於對生態系統之深切認知與落實生物多樣性保育及永續發展，而採取以生態為基礎、安全為導向的工程方法，以減少對自然環境造成傷害」。

綜合上述，吾人可清楚看出，行政院公共工程委員會對生態工法之定義可謂集各方之大成，在台灣地區最具代表性。

## 2.4 生態工法之應用原則

以生態工法為生物學及生態學之基石，在遵循自然法則下，進行防洪防災整治工程及水資源集水區的經營管理，使自然與人類共存共榮。在現今的學術界及實務界中，許多人常嚷嚷著「生態工法」，但是卻只是注重工法，流於只知其然不知其所以然的窠臼，事實上，生態工法並不是僅止於冠上一頂「生態」大帽子的工法，注重使用自然材質，更重要的是必須以生態及生物學的觀念為其施工基礎觀念；以下就生態學的觀點來介紹生態工法的應用原則：【22】

### 1. 自我調節

(1)生態系會自我調節，承續先前演化之結果，具備回饋機制、恢復和緩衝之能力，因此，愈能依照其自我調節能力運作，愈能降低維持該系統之能源成本。

(2)生態系自我調節的能力，會隨著生態系的構造越複雜、物種數目越多而變得越強，所以化學和生物多樣性有助於提升生態系統之緩衝能力。

(3)導致生態系自我調節失效的三個主要原因是物種組成的變化、環境因素的改變和信息系統的破壞，所以在生態工法的設計上，我們要注意到生態系統內每一個生物或非生物因子都是息息相關的，若改變驅動作用會導致生態系統的巨大變化，而且各種生態系統均相伴而生，相互影響，故應儘可能維持生態系統之



完整，尤其在地理環境邊緣，是最易受到傷害的，所以在不同生態系統間過渡地帶的生態交會區之介面，應採漸進式設計，而非激烈之劇變，人類生存環境與自然環境的交會區就是最好的例子。

## 2. 生態系具有能量流動、物質循環以及信息傳遞三大功能。

(1)因為能量的流動是屬於單方向的，所以在生態工法的設計上需注意到能量的轉換與固定，以將單位能量達到最大的利用效果；最常看到的是綠色植物的使用，藉著綠色植物行使光合作用，將光能及熱能轉化為有機質，成為初級生產者，提供其他生物的能量來源。

(2)物質流動是循環式的，若將人類活動結合進入自然生態系之循環路徑，則可減輕污染之影響；另外一方面來說，生態工法的設計原則，更應積極的注意到維持物質流動的循環性，減少阻斷循環的因子，並幫助循環的順暢性，譬如綠化環境有助於碳元素的循環、滲水性鋪面的設立有助於水的循環等等。

(3)信息傳遞則包括了營養信息、化學信息和行為信息，而由這些信息構成了信息網；因此，生態系統需要生物功能與化學組成之間的和諧協作，才能達到信息網的正常運作。

(4)生態系中營養階層的數目受限於生產者所固定的最大能值，和這些能量在流動過程中的巨大損失；因此相輔相成的，有規則運作的生態系，能量流動的損失亦越少，具有較高的生產力。

## 2.5 生態工法於道路設計的思維

### 2.5.1 用最少車道數來滿足交通需求【9】

1.軟體（管理），硬體（車道）兼用以最少車道數滿足交通需求

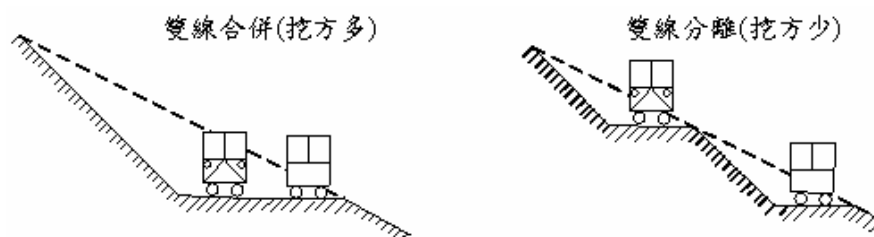


圖 2.2 山區路廊圖

- (1) 確實做好交通量調查及交通需求預測
- (2) 以避車道及超車道來取代雙車道設計
- (3) 設計並鼓勵民眾使用大眾運輸系統
- (4) 採用調撥車道之方式解決不同時段、不同方向之流量需求

## 2. 軟體包括路標及避車標示

- (1) 清楚之路標，包括：時速、路牌、彎路、窄路慢行
- (2) 教育並培養正確運用道路的方法及素養
- (3) 彎路及山區彎道用反射鏡
- (4) 適當的號誌設計增加道路使用效率

### 2.5.2 減少對生態環境與系統之干擾

1. 做適當的生態調查
2. 慎選路線以減少對生物棲息環境不當的分割
3. 做動物廊道，供其通過道路
4. 盡量避免以高路堤興建道路

### 2.5.3 避免大挖大填造成山坡不穩

1. 慎選適當路線
2. 環境敏感地區，適當的減少車道數量及寬度
3. 妥善運用 grading requirements
4. 避開不穩定地質區

### 2.5.4 避免山區道路因降雨而變河道

1. 做適當的橫向截水，使雨水分散流入植被山坡
2. 避免用紐澤西護欄，以集中雨水

### 2.5.5 生態工法穩定邊坡

1. 研究造成不穩定因子，從源頭將因子去除
2. 治水必先治山，將水引到安全之處
3. 避免用混凝土，加重大地的負荷
4. 碎石坡以防落石網及浮根性灌木或爬藤類植物穩定，切忌噴漿
5. 以植物穩定山坡
6. 與其他部會協調共同解決問題

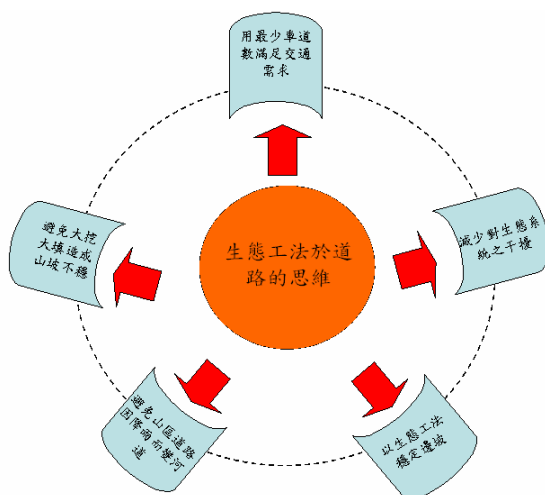


圖 2.3 生態工法於道路之思維

## 2.6 生態工法應用材料種類

生態工法所使用材料通常需考量自然性、穩定性、耐久性、及經濟性。以下針對生物材料、天然石材、人造資材此三種工材類別及選擇基準加以說明【24】

### 1. 生物材料

生物材料可包括植生材、木材等，其中木材常應用於河川整治，可在河川護岸或橫向治水工部分使用木材來建造，不過需考慮其強度、耐久性與腐朽等問題。在坡降平緩之河床、水流流速慢坡度不高、但土質鬆軟的河岸邊坡處，採用植生材料為適當之選擇。利用木本植物根系固結土砂，防止土砂移動，或利用活木樁穩定護岸結構物。樹蔭亦可阻止河川藻類發育過剩，有利魚類生存，除形成自然多樣之濱溪系統外，並可提供人類一休閒親近自然之場所。此一環境除可保育當地生態、提供生物生存之基本空間外，更可發揮環境綠美化之效果。由於植生材具有諸多優點，因此以下對其功能及應用多加說明。植生材之選取需考量：

(1)應以本地原生物種材為優先選擇。

(2)生長繁茂之濱溪植物是否會造成河道變小、斷面減少之問題。

以及植物流失對於下游造成的衝擊及破壞。

(3)根系生長對河岸岩石是否造成節理發達而崩解。

(4)應事先調查研究當地的植被狀況，選擇其中之優勢種類、誘鳥植物及提供蜜源及食草予昆蟲，計畫性地誘引及繁衍鳥類或昆蟲。

## 2. 石材

天然石材如卵石、塊石因其顆粒較粗，可用來抵抗沖刷及水流之拖曳力。且由於天然石材組成之構造物表面較為粗糙且空隙多，有利於動植物生存。一般山坡地野溪之石材較多，如能就地取材，施工會較快速且經濟。若能以石材與植生混合使用，塊石結合插枝待植物生長後，其根系可保護河岸及固定背後之土砂材料，強化石材間之結合。

### (1) 石材之選擇

石材選取原則上應以當地工程結構物強度要求之石材為主，以達到安全穩定的目標。於整治工程中，由於構造物主要用來抵抗逕流、水流沖刷力及土壤側壓力等作用，故一般採用硬度高、比重之大之硬岩及準硬岩石材(依據抗破壞能力之高低，將石材硬度分為硬岩、準硬岩石、軟岩)若於考量視覺美觀則可使用軟岩。工程設計時應依需求狀況，選擇配置石材種類，作有效應用達最佳之效果。

### (2) 石材外觀之考量

選擇工程結構物石材時，應考慮石材之耐久性、抗風化性、及與環境自然結合性，以降低工程結構物對環境之衝擊。一般而言，溪流整治在安全之考量下，應保有溪流樸素粗曠之形態，減少人工之多餘加工，盡量選擇使用與當地自然環境相符之石材，以保有天然溪澗之形態美。

## 3. 人造資材

由於施工地區天然石材有限，若由他處大量開採石材，反而會對當地生態造成更大的傷害，所以在考量結構安全及經濟性之前提下，建議使用人造資材以替代天然石材。人造資材包括混凝土、護坡植生框、格網、箱籠結構或混凝土廢棄物等。工法之選定應就功能、生態、經濟及景觀等方面加以評估。

### (1) 混凝土材料

優點在於能提供較高強度及耐久性，且材料取得較為方便，但缺點為不易營造自然生物生長之環境，因此若採用混凝土材料，建議在結構物表面進行植生綠化處理如：覆蓋爬藤植物、造型模板或表面覆土種植植栽等方法。

### (2) 地工合成材料

當原生植被無法抵抗沖刷侵蝕時，可使用地工合成材如：蜂巢格網、防沖蝕網等來保護河岸邊坡。防沖蝕網可由自然纖維製成，圍束或包覆材料免於沖刷，利用包覆土料植生亦可促進原生植物復育，但需考量材質受紫外線影響、或對水質影響及施工專業技術。

## 2.7 公路與生態工法

在公路規劃選擇路線之過程中，對沿線周邊自然環境之實地調查與資料蒐集，乃為選擇交通路線之前置作業，路線之規劃應避免遇窪則填、遇河架橋、遇山開挖、遇樹則砍等直線行思考，而應以保護生態之觀念思考。【27】

### 2.7.1 阻礙動物活動路線

一般公路開闢後，兩側之動物圈即遭受隔離，而無法互相遷徙繁殖，尤其地面式高密度之路網建設，往往使得生物圈被切割成無數個小孤島，島與島間之動物若欲相互交往，則須冒著被車壓輾之

風險，而動物在孤獨之環境下生活只有瀕臨滅亡絕種之命運。對於環境敏感度高之地區，為避免影響動物之生態，可採用高架道路或開闢動物穿越道，使道路兩側之動物能相互交往而能永續生存。

### 2.7.2 噪音干擾

車輛通行時所產生之噪音，將破壞動物之生活環境，動物在受噪音干擾之情況下被迫遷徙，公路附近之環境將失去生態平衡。欲防止噪音干擾，可於公路兩側設置隔音牆或緩衝帶，以減緩對附近生態之衝擊。

### 2.7.3 廢氣污染空氣

車輛所排放之一氧化碳廢氣，將汙染附近空氣，導致週遭之動植物產生病變而無法生存。為防止廢氣污染，應加強車輛廢氣檢測，淘汰不良車輛。

### 2.7.4 油漬污染水質

車輛所排放之油漬掉落地面，下雨時即隨著雨水流至排水溝，最後流入河川，導致河川或地下水水質受污染。防止油漬污染水質，應將道路排水溝旁之汙水處理廠，經處理，合乎排放標準後，再排入河川。

## 2.8 道路建設對環境衝擊的影響

動物學家在 1991 年開始監測狼的遷徙路徑時發現：從該年 7 月至 1995 年 12 月之間，牠的行徑遍及 10 萬平方公里的廣大陸域——涵蓋美國 3 個州和加拿大的 2 個省，這是當時所有的保護區都無法提供的廣大範圍。

這項研究突顯了棲地規模可能正關聯著保育的成敗。後續更有學者研究美東及加拿大的野生動物保護區，進一步證實當保護區小於 2590 平方公里時，均有物種消逝的現象。因為隨著人類工業成長、經濟發展及都市不斷擴張下，造成自然環境面積銳減，同時愈

來愈分散與破碎化。雖然設有國家公園及相關保護區，但彼此之間卻各自孤立，有如島嶼般產生地理上的隔絕，特別是對於具遷徙性的大型哺乳動物，常形成難以跨越的鴻溝（孤島效應），大大削減了原來保育的良善美意。

由於事關瀕危物種的生存以及能否保有生物多樣性，一股企圖將各個孤立保護區串聯起來的保育新思潮——「生態廊道」的概念，因此應運而生。1997 年世界自然保育聯盟（The World Conservation Union, IUCN）在西澳舉辦的一場研討會中，更決議日後相關保護區應當改採「從島嶼式到網絡式」的規劃。

「生態廊道」的設置已有許多成功案例，如「美洲生態走廊」北起美國阿拉斯加州的育空—庫斯考文三角洲，南抵阿根廷的火地島沿海，總長4萬公里，構想始自1967年，並於1990年在美國、墨西哥和中美洲各國相繼啟動，現已初具規模，所保護的物種占美洲大陸的一半。

另外，鑒於自然棲地（包括國家公園）內常因築路造成地景的嚴重切割與破碎化，近年來更發展出「野生動物跨越道」（wildlife crossing）的各種設計，以期兩棲類、哺乳類等動物都能同時使用道路兩旁的多樣棲地，如美國佛羅里達州大約花了4年時間，在州際75號公路興建了「野生動物跨越道」，並記錄興建跨越道前後16個月的野生動物動態。

國內農委會林務局積極著手規劃「中央山脈保育廊道」，希望藉由連接中央山脈地區的高山林地、自然保留區、野生動物保護區、自然保護區及國家公園等，構成完整的生態網路及綠色廊道。

道路建設對生態的影響是從工程一開始對原本在道路預定地上的生態就產生滅絕性的影響，施工過程中則對鄰近生態系統以另一種形式干擾著，完工通車後則開始造成微氣候與交通的生態阻絕效應。生態系統因而會有暫時及永久的改變。【25】



邱銘源以維護管理的環境觀點，進一步歸納公路對另五種形式包括：

- 1.風切效應（wind shear）所造成的干擾，致使開放性邊坡區塊周圍之植生，因需承受較大的風切壓，而不易存活或處於競爭之劣勢。
- 2.開挖後之坡面生態機質不良，腐植質層遭移除，且坡度多半更為陡峭，導致植生回復不易。
- 3.施工過程與竣工後開始提供服務期間，因國內尚未針對非點源污染之防治工作有明確的規範及要求，加上傳統道路設計要求快速排水，避免路面積水，皆會造成非點源污染。
- 4.噪音、空污、及震動的干擾，都是其他型態的污染與環境壓力。
- 5.為方便養護且僅注重安全考量的情況下，常有過度設計的現象發生。
- 6.光害：光害主要起因於夜間道路及車輛之照明，不但會造成道路周遭落葉時序錯亂，且干擾動物行為，例如螢火蟲不能產卵、趨光性昆蟲受道路車燈引誘而死亡。
- 7.不透水鋪面阻絕水循環、過度維護管理，以及微氣候之改變，皆為道路工程所帶來的衝擊與干擾。

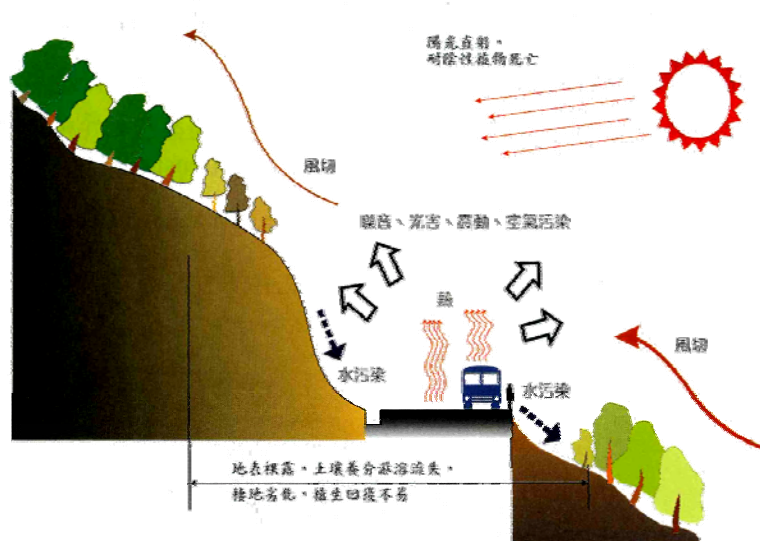


圖 2.4 生態道路維護管理

### 2.8.1 路側植生帶及動物的影響

#### 1. 對植生的影響

包括過度除草，造成物種的滅絕及棲地多樣性的衰減、外來種的入侵；致使原生植群衰減及路面的化學污染影響道路周邊的植物群落等。另高架橋量體的日照陰影，或由於微氣候的改變等，造成周邊植生日照時數減少影響生長或枯死。

#### 2. 對動物及移動的干擾

因過度除草及維護管理，影響賴以草花維生的昆蟲、爬蟲類及兩棲類生物，且路側禾本科植物的清除，易造成草原鳥類繁殖的干擾；部分道路阻斷動物移動路徑，且道路寬度過寬會造成動物橫越時之傷亡。

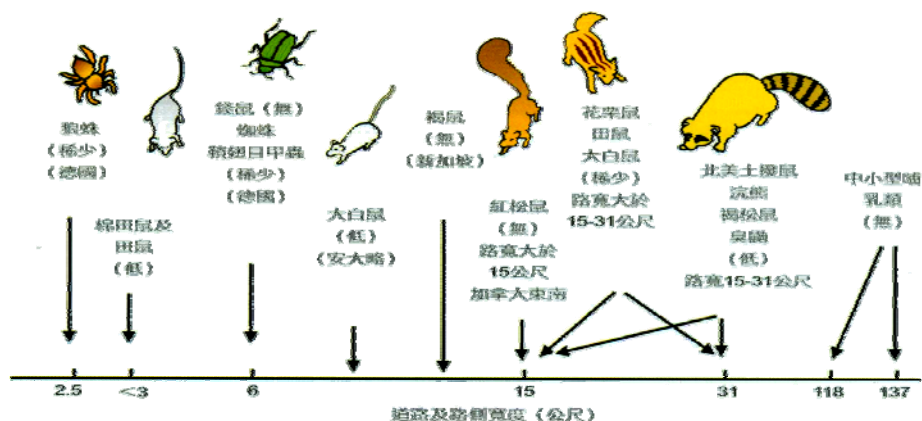


圖 2.5 道路寬度與動物移動距離之關係

資料來源：Forman, 1998

## 2.8.2 道路及車輛對生態族群的影響

### 1. 道路對動物的傷害

依據相關研究推估，美國過去三十年因道路建設及交通事故傷亡之動物數量，遠超出人類的獵捕數量，若計入車輛大燈及擋風玻璃上，因撲火效應而傷亡之昆蟲族群，更是難以計算；在台灣根據陽明山國家公園管理處的統計，七年來在轄區路邊發現之動物屍體已超出九千筆，經檢討造成道路動物事故之主因為道路的寬度、車速及流量。

### 2. 車輛的干擾及路廊緩衝帶的留設

在荷蘭有60%靠近道路繁殖的鳥類族群，密度遠低於林地及草原之族群密度，其中主要之原因為車輛噪音的干擾；其次為排放污染及視覺干擾；其有效的緩衝林帶，在車道速限120公里，流量每日10,000輛時為305公尺。部分敏感之草原鳥類，噪音值甚且不得高於35db。就一般大型的動物而言；若路廊之緩衝帶低於200公尺，則族群之密度將逐漸下降。

### 3.道路的阻隔效應及棲地碎裂

路廊對動、植物棲地之切割，造成生態的阻隔效應（barrier effect）及棲地的碎裂，若無相關迴避及補償對策將使族群數量降低甚或消失，尤其對於移動能力較低之兩棲類之衝擊影響較大。

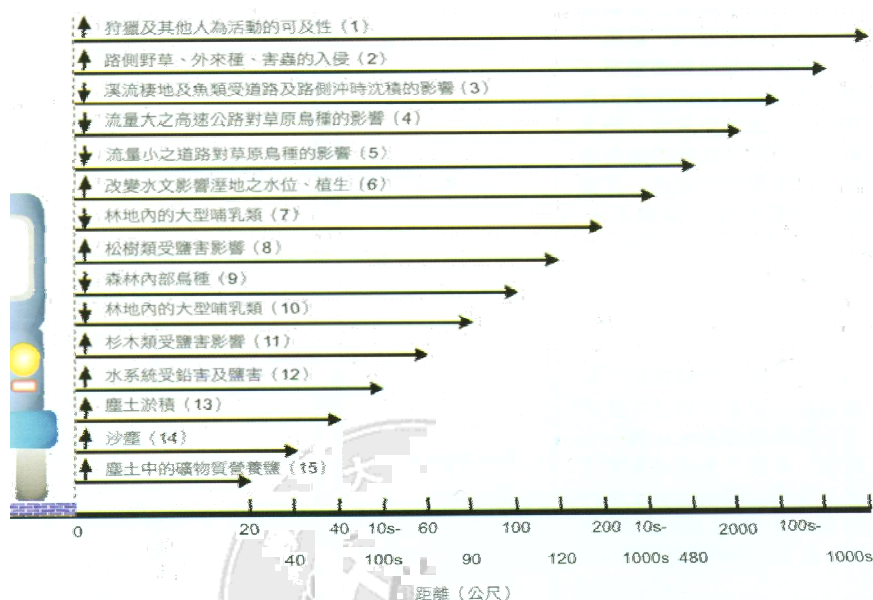


圖 2.6 道路對周邊環境之干擾

資料來源：Forman，1995

### 2.8.3 道路的環境污染

#### 1.道路的排放水

道路逕流水的冲刷及污水的排放，對鄰近水域生態系之衝擊最大，其排放之油污、粉塵、泥沙、礦物質及營養鹽等，對周邊環境均造成干擾，其中以其化學污染源的沉澱與堆積，若透過食物鏈的傳遞造成之衝擊頗為深遠。

#### 2.污染源的堆積效應

影響道路污染源堆積之主要因子，包括道路的幾何線形、縱坡、長度、寬度及維護管理方式；次要之因素尚有土壤的成分、植生覆蓋、鋪面材料、排水廊道佈設等因素。

### 3.化學污染

道路的化學污染，除了路面油污隨逕流水排放外，尚包括汽車廢氣的污染及輪胎碎屑的污染，相關污染源容易造成鄰近地區重金屬的沈積。

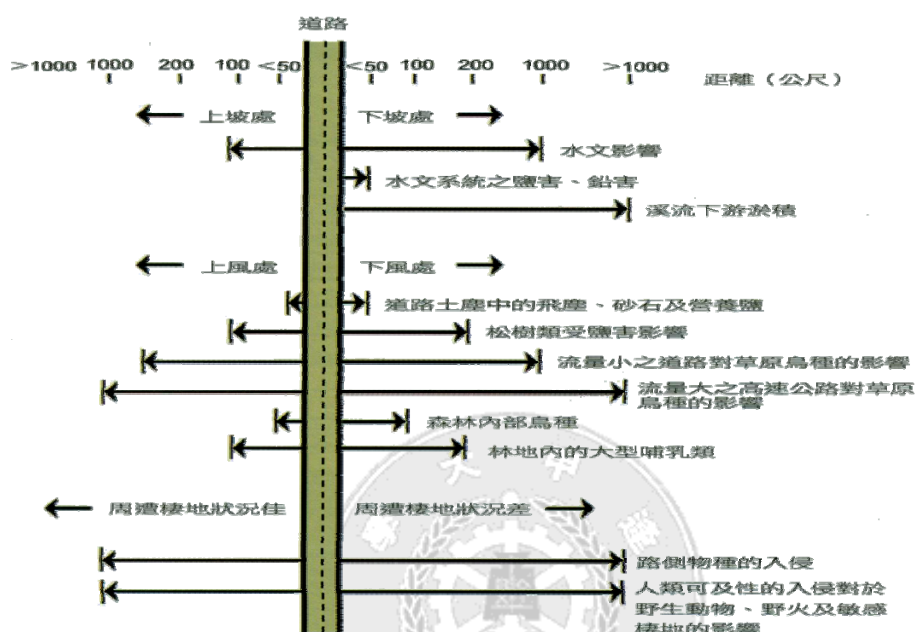


圖 2.7 各種道路環境污染源及影響範圍

資料來源：Forman，1995

#### 2.8.4 路網的阻隔效應

##### 1.道路對地景的衝擊

道路建設引進之人為開發及干擾，對地景之衝擊遠高於道路建設之破壞，從景觀尺度來看，路網的主要衝擊包括：景觀結構的瓦解、生態梯度的破壞、生物多樣性的降低及水平向生物流的干擾，如地下水位、流域等之切割。

##### 2.道路的密度

單位面積之道路密度，已經成為許多道路生態衝擊影響之指標，其影響之評估因子包括：動物移動的補償、族群的碎裂程度、

人類活動的干擾、水路及水域生態系等；道路密度指標僅係一個區域內各種道路類型的平均指標；如能納入道路之類型、寬度、交通量及路網連接度等將更能反映道路密度對地景之衝擊評估。

## 2.9 供生物穿越公路之通道工程

在澳洲 Brisbane, Slacks Creek 與 Calamvale 市郊間之公路每日有 26,330 部車流量，且預期每年會再增加 2%。因而有設計與建造統包(D/B)制之公路拓寬工程計畫，為了因應成長之交通量，將每向原為兩車道，擴建成四車道；於未來還可再增建兩條車道。每個車道寬 3.5 m，不同向之車道間採用 6 m 寬之造園式的中央分隔帶。此外，也加建兩條 2 m 寬之腳踏車道。全部工程經費約 790 萬美元，於 2005 年 3 月底完工。

該工程計畫之主要挑戰不在於複雜的工程技術，而是須說服環保團體。因該段公路分割了兩片深林，即面積 542.5 公頃之 Karawatha 森林是城市內最大之尚未開墾的森林地(bushland)保護區。兩區內均棲息高價值之野生動物，包括澳洲無尾熊(koalas)、袋鼠(kangaroos)、沙袋鼠(wallabies)與小的有袋哺乳動物(marsupial mammals)如 dunnarts、planingales 與 gliders 等。因鄰近的土地開發增加，使得動物由一處遷移至另一處，且常受到阻礙，讓動物難以覓食、覓水及尋偶；若非有效地連結其他面積大且尚未開墾的森林地的節點，且予以維繫，則那些動物族群無可避免地消失。

工程師不但於施工時，保護稀有及頻林珣種之動物族群；且於完工後，讓當地的動物群(fauna)仍易於活動，不受公路影響。Brisbane 市政府委員會(city council)為確保該交通運輸計畫具有生態效益，設計及建造了生物陸橋(如圖 2.8)、兩地下穿越道、一條高架穿越道，讓稀有且瀕臨絕種之野生動物族群可安全地跨越公路車道。

跨越北車道與南車道的 40 m 長之生物陸橋圖如 2.8 所示，係

建在兩座拱形下部結構之上；預期各種袋鼠、沙袋鼠、樹袋熊(koala)會使用這種陸橋。兩座拱形結構物在中央分隔帶上相連接。每座拱形結構物由 20 片 2 m 寬之預鑄混凝土板構成。每座拱預組成兩部份，用半拖車(semitrailers)運至現地，每部份用 100Ton 的油壓起重機吊裝組立；然後，在橋板上栽種本土植物群(indigenous flora)。寬 15m 的板橋面約 70%密植覆蓋灌木、草與較高的植物群。而數根 15 m 高的柱之設置間距是 20 m。覆蓋式植栽(canopy plantings)與柱提供較小哺乳動物在植栽下移動到另一根柱上。有些橋面鋪築礫石是為了喜好開闊空間與無阻視野之動物族群使用。

兩條地下穿越道均是斷面尺寸 2.4 m × 2.4 m 之鋼筋混凝土箱涵，係為了輸送小暴雨時之水流及提供蛙(frogs)與 dunnarts 等動物穿越公路之通道；於水流較大時，箱涵也是魚類的通道。每座箱涵底板之 1.6 m 寬部份，抬高 400 mm，形成平台(bench)，使晴天時維持不浸水，是為了讓陸性(terrestrial)動物族群於雨季時，易經由平台穿越公路。在箱涵內，細心佈設水平向之木(timber runners)、垂向與水平向之繩索、岩塊(rock)、巨石(boulders)、圓木(logs)與小卵石(pebbles)等，以模擬自然環境。在箱涵進、出口處，也植栽，俾導引蛙、蜥蜴(monitor lizard)、dunnarts、澳洲袋狸(bandicoot)、針鼹(echidna)、planigale 與秧雞(rail)等動物族群使用這種箱涵。

第三類是樹木式(arboreal)設施，也為了動物穿越公路之用。設施係用三根高度 8 至 10 m 的桿，再公路中央分隔帶內設置一根，公路兩側的森林內也各設置一根，以支承海洋及尼龍所編成之繩梯，該繩梯可耐紫外線。【28】





圖 2.8 生態路廊

資料來源：Shuster, A., p. 8~19 ASCE Civil Engineering, March 2005

## 2.10 先進國家山區道路分析與探討

歐美諸國其山坡地的設計與構築對環境保護的要求極高，大多數的山區公路不但對週遭環境的衝擊低，甚至部份公路的構築與環境融合成一體，此種設計與觀念上的創意值得吾人借鏡。以下就美國、歐洲、日本山區公路之成功案例，其中值得吾人借鏡之處提出，藉供我國山區公路建設之參考。【9】

### 2.10.1 美國西維吉尼亞州山區公路生態工法

為了經由交通建設帶動美國 Appalachian 山區之經濟發展，西維吉尼亞州推動交通廊道 H 的興建計畫，它係 4 車道之公路，自 Weston 向東，經 Appalachian 山區至西維吉尼亞州與維吉尼亞州之邊界，長達 134miles (即 216km)，工程總經費超過 10 億美元。

在交通廊道 H 中，靠近西維吉尼亞州與維吉尼亞州之邊界，且經 Appalachian 山區之路段，工程相當艱鉅，對公路規劃與設計者是一項很大之挑戰。因該段公路除沿線之環境敏感及有歷史遺跡外，沿線之地形與地工條件的變化相當大。譬如，有些路段之地層是硬岩、砂岩與石灰岩；但其他路段之地層又是頁岩與黏



土，因此，就地工觀點而論，這種土壤與岩盤變化出現之地質多變性，尤其在岩盤面傾斜之處，令公路之整地工程頗具挑戰性。有些地方之公路邊坡的開挖深度達 200ft (即 60m)，此外，由於跨越許多山脊與山谷之地形，使得該公路約每哩就有一座橋或管涵。

估計交通廊道 H 的工程計畫中，移除 1cu yd (即  $0.76\text{m}^3$ ) 土壤之單價為 4 美元。交通廊道 H 之大部份路段的平均造價是：每 mile (即 1.6km) 約 1,100 萬美元，它主要是開挖費用。

交通廊道 H 的公路底層採用 6inches (即 15cm) 之粒狀骨材。根據使用壽年成本分析 (life-cycle cost analysis) 之結果，有重型卡車通行之路段採用混凝土面；岩盤基礎及高架之路段則採用柔性之瀝青路面。瀝青路面較平滑且易保熱，也較適合用在高處經常下雪之路段，以利冬季之除雪工作。

交通廊道 H 於規劃、設計與施工階段均有妥善之環保措施，譬如：

1. 公路需跨越數條奇特、原始或原產鱒魚之河川，基本上，儘量採用無橋墩之橋樑。
2. 有 2/3 之排水管涵係設在河床面以下，管涵內面襯砌卵石，俾重建成適宜魚類通過之自然水路。
3. 對公路沿線之舊礦坑滲水使得河水成酸性者，將工程計畫的其他部分所多出石灰石移入該處之河川，使河水變成中性化。
4. 保護歷史性地標與建築物，譬如，美國南北戰爭時之兩處古戰場、數棟南北戰爭前所建造之農舍與一處於西元 1700 年代末期興建之農莊。

### 2.10.2 瑞士山區公路建設特殊公法簡介

瑞士面積約 41,000 平方公里，境內阿爾卑斯山脈綿延廣被，湖光山色，風景優美，遐邇馳名。而其交通建設亦屬世界先進，境內鐵、公路互長綿密，縱橫交錯，無遠弗屆，即使在高山偏遠地區亦不例外。由於觀光旅遊是該國經濟主要收入，因此其公路建設之一大特色即是其規劃、設計均充分考量整體環境景觀之協調與相容。瑞士山區道路開發不但未對環境造成衝擊破壞，反與觀光事業相輔相成，多處工程建設並成為地標。使用者不但享受便捷的交通，同時亦可盡情欣賞怡人的湖光山色，其設計理念值得國內借鏡。以下即為其工程設計配合環境及景觀若干案例之介紹。

#### 1. 以加勁土牆做為隔音牆

位於 Gossau 市至 St.Gallen 市間之 N1 國道，由於交通流量甚大，產生高度噪音，為了降低公路對當地居民所造成不良影響，必須使用隔音設施。傳統隔音板除無法有效降低該處之噪音，對二旁綠茵盎然的景觀亦極不協調。而土壤雖是極佳的隔音材料，但因路權及成本之考量，易無法使用傳統之土堤。當局在詳細評估之後決定使用加勁土壤填築而成之路堤，其設計斷面如圖 2.9，施工狀況及完成實景則如圖 2.10。

由於使用加勁材料，因此可以在有限的路權範圍內，依照地勢填築而成坡度陡峭的路堤（ $1:2=H:V$ ），其造價較傳統隔音牆亦僅超出約 20%。路堤填築完成後即予以植生綠化，成為一片綠意的優雅景致，除提供行車者賞心悅目的視覺享受外，對當地居民而言，綠色籬籬極低噪音的環境使其毫不感覺公路的存在，但卻可享受到公路建設的便捷，自然降低其對公路建設的反感。類似的設計在 Dresden 市及 St.Margrethen 市亦得到同樣的成功效果。

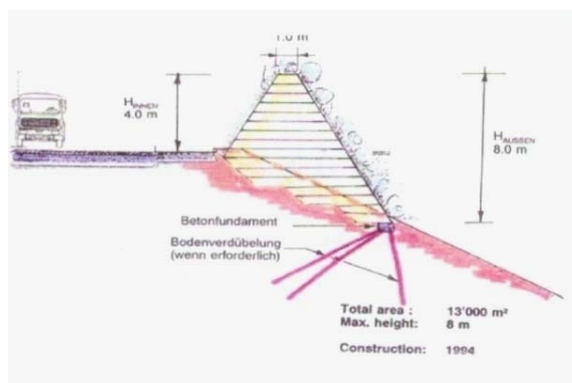


圖 2.9 瑞士 St. Gallen 附近之加勁土牆設計斷面



圖 2.10 瑞士 St. Gallen 附近之土牆

## 2. 邊坡整治

位於 Berneck 市附近之 28 號公路，由於岩坡發生滑動造成事故，必須加以整治。當局經過調查分析後評估該處岩石非常不穩定，必須完全移除。裸露之岩坡在傳統上可以岩錨、噴漿或掛網等方式加以穩定，然而由於該地位處住宅區，景觀要求相當高，當局在評估之後決定採用先進的岩坡穩定綠化 PENTIFIX 工法，在移除破碎的岩盤之後打設岩釘及岩錨以穩定岩坡，次再張掛鍍鋅鋼線網，最後則噴覆一層含有草種及肥料的特殊耐雨水沖刷之噴植層(如圖 2.11、圖 2.12)。由於岩釘、岩錨及鋼線網可穩坡面，而噴植層則可提供坡面水土保持功能，完工後數個月之內綠草如茵，完全與當地景觀相容。不但避免了傳統工法所早成的視覺污染，亦成功的維持了交通的安全。

相同的工法應用在 Gralos 鎮附近的 16 號公路亦是十分成功，此處因為岩坡較陡峭，故除張掛鋼線網之外，另鋪設一層柔性加勁格網以利噴植層之附著。



圖 2.11 瑞士山區公路所採用的 PENTFIX 護坡綠化工法



圖 2.12 瑞士山區公路之綠化情形

### 3. 山區公路設計

盧森（Luzern）市是瑞士著名的觀光勝地，區內有 Vierwald 等四座高山湖，群山環抱，有森林王國之湖的美稱。為了開發觀光資源，瑞士公路當局在此闢建環湖公路，但為滿足山光水色景觀上之協調，其設計有多處值得稱道之處：

#### (1) 懸臂式道路面板（Cantilever deck）設計

為了降低對當地自然景觀之破壞，同時減少邊坡防護、整治的成本，以懸臂方式支撐的道路處處可見(圖 2.13、圖 2.14)，借

助預力岩錨、岩釘之支撐，將路面拖架於峭壁上，此種設計可完全避免傳統山區公路的挖填，大幅減少公路施工成本。



圖 2.13 瑞士公路懸臂式道路面板，遠景照



圖 2.14 瑞士公路懸臂式道路面板，近景照

## (2) 景觀式擋土牆

由於瑞士國民水準甚高，對於環境景觀之保護不遺餘力，加上當地經濟以觀光事業為主，因此一般市容均經美化，各式植栽美不勝收，公路旁擋土結構的設計其景觀要求亦相對十分嚴格。傳統色澤單調的混凝土擋土牆並不多見，代之以植生式預鑄擋土牆、天然石材擋土牆或以紋飾、石版配合花木植栽加以美化，賞心悅目，倍增行車視覺享受(圖 2.15、圖 2.16)。





圖 2.15 瑞士景觀擋土牆



圖 2.16 瑞士景觀隔音牆

### (3) 廢輪胎的利用

瑞士公路當局對於環保工作之推行極為積極，盧森湖畔 Vitznau 鎮附近特以廢輪胎填築成一約 8m 高之加勁擋土牆，除可有效解決當地廢輪胎堆積問題外，兼可做落石防護牆之用，對於工程單位推行環保之決心亦有極大的宣導效果。植生後之廢輪胎擋土牆在景觀上不致造成太大負面之影響(圖 2.17)。

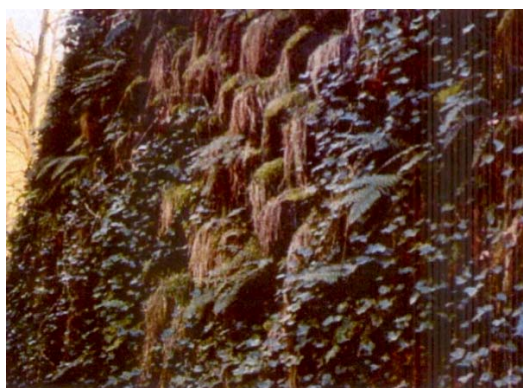


圖 2.17 瑞士 Vitznau 鎮利用廢棄輪胎填築的擋土牆

#### (4) 高架橋梁

瑞士山區道路之另一特色即是高架橋梁。由於公路當局對於水土保持及景觀極為重視，因此鮮少大挖大填，在稍陡峭之山腰即以連續高架橋方式蛇行通過，對於環境生態之衝擊較小，其特色為高且細的橋墩，常達數十公尺甚至百餘公尺高，與週遭之村落景觀相融，成為地標。橋墩基座周圍植生情況極佳，不僅有助於橋樑之整體景觀，亦可減少橋墩沖刷、水土流失之機率(圖 2.18、圖 2.19)。

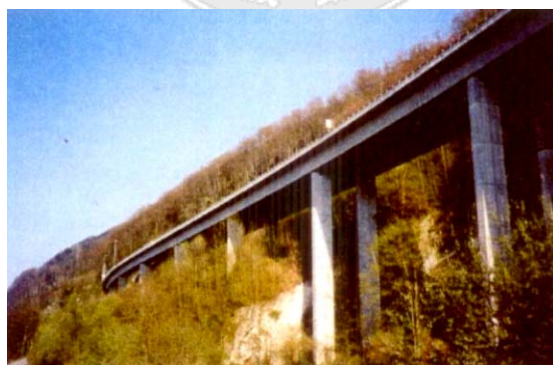


圖 2.18 瑞士高架橋梁



圖 2.19 瑞士高架橋梁橋墩基座植生情況

### 2.10.3 日本的生態道路（Ecoroad）經驗

鄰國日本在地緣環境（地形、地質、水文等）、文化背景及政經制度上均與我國有相當程度的關聯，且日本對於國土開發及公共建設的推動，在制度及法規上均建立有完整的機制，其公路建設發展過程之經驗，值得國內參考及借鏡學習。

本在國土綜合開發的架構下，長期穩定的持續推動道路建設，並依「道路整備計畫」以五年為一期定期檢討，自 1954 年起已完成十一期的推動計畫，迄 2002 年止預估完成 8262 公里的高速公路。計劃推動初期，由於道路建設的迫切，相關環境保護及評估的準則未臻健全，造成環境許多衝擊，加上 1969 年起發生許多公害事件，更引起環保團體對道路建設主管機關的質疑。

1971 年所設立的环境廳，提出以環境政策新座標為口號的許多環境保護法案，如：「都市綠地保全法」、「國土利用計劃法」等。故日本道路公團自 1973 年起開始委託學術機構，探討道路建設對周邊植生的影響。因此 1929 年日本第一條生態道路，春日山周遊道路再度被奉為主臬，其後的高速公路建設，在環境保護的潮流及日趨嚴謹的法規下推動，累積了許多道路建設與環境共生的經驗。



1994 年隸屬於建設省的道路環境研究所，更設立生態道路檢討委員會，推動道路建設與環境共生的相關研究，惟與歐洲推動初期情況類似，個案多僅局部的環境保護與棲地維持，對於大規模的景觀生態聯繫與維持，在當時法規的規範下較無法全面推行。自 2000 年聯合國生物多樣性條約締約後，日本政府將自然棲地減少、阻隔、棲地環境品質降低的防止等課題，列入環境基本計畫中，作為日後之施政目標。

日本道路建設與環境共生之理念，其道路保育對象及對策如表 2.1 所示。自 1973 起開始委託學術單位研究計畫，1997 年正式推動生態道路以來，已累積許多的案例經驗，其對環境保育策略包括：棲地的復育與再升、棲地的創造、棲地條件的提升、目標物種的繁殖或移植及其他對策等六大類，其策略手法因個案背景條件而有所不同，經施工後之調查及監測資料顯示，其成效均已達預期目標。相關案例應用之策略手法列於表 2.2。

表 2.1 日本生態工法道路保育對象及對策

保育對象分類		保育對策分類
I 植物	A.水生	1. 棲地的復育與再生 2. 棲地的開創 3. 棲地條件的提昇 4. 棲地碎裂的連結 5. 目標物種的繁殖或移植 6. 其他
	B.溼地	
	C.陸生	
II 魚類	A.河川	
	B.湖泊	
	C.迴流魚場	
III 中小型動物	蛇、兔、爬蟲類等	
IV 大型動物	鹿、猴、狸等	
V 鳥類	A.中小型鳥	
	B.猛禽	
	C.水鳥	
VI 昆蟲		

## VII 棲地環境

資料來源：廣賴利雄，1999

表 2.2 日本道路建設應用生態工法案例一覽表

編號	道路名稱	保育對象	分類編號	生態工法對策	對策分類	主管機關	成效
1	日光宇都宮高速公路，日光交流道至清瀧交流道路段	整體生態環境	VII 棲地環境	表土保存地面植生復原	1 棲地的復育與再生	日本道路公園	植生生物良好
2	日光宇都宮高速公路沿線(櫃木縣)	植物	IC 陸生植物	邊坡坡度調緩，種植原生喬木	1 棲地的復育與再生	日本道路公園	卻認植生成長
3	東富士五湖道路(山梨縣)	路上植物	IC 陸生植物	補植現有優勢種	1 棲地的復育與再生	日本道路公園	植生生育恢復良好
4	中部縱貫自動車道安房峽(岐阜縣、長野)	路上植物	IC 陸生植物	工址植栽移植邊坡完成後再移回並補植現有優勢種	1 棲地的復育與再生	日本道路公園	

	縣)						
5	東明自動車道(靜岡縣濱松市附近)	路上植物	IC 陸 生 植 物	邊坡原生林保存	1 樓地的復育與再生	日本道路公園	植生生物良好
6	首都高速公路東京都 3.4.5.6 號線	路上植物	IC 陸 生 植 物	高架橋下綠化耐陰樹種的利用	1 樓地的復育與再生	日本道路公園	
7	名神自動車道	路上植物	IC 陸 生 植 物	工址植栽移植邊坡完成後再移回並補植現有優勢種	1 樓地的復育與再生	日本道路公園	
8	首都圏中央聯絡道路	路上植物	IC 陸 生 植 物	邊坡植生生態綠化工法	1 樓地的復育與再生	建設省	

9	日光宇都宮高速公路，日光交流道至清瀧交流道路段	兩棲類及爬蟲類	Ⅲ爬蟲類	保育類烏龜產卵棲地遷移替代	1 棲地的復育與再生	日本道路公園	新棲地已有繁殖紀錄
10	鳥取縣米子自動車道	兩棲類及爬蟲類	Ⅲ爬蟲類	路廊切割造成天然紀念物兩棲類之水域棲地阻隔研擬替代棲地補償	1 棲地的復育與再生	日本道路公園	

資料來源：廣賴利雄，1999

## 2.11 研究方法相關文獻

張新立（民 91），在我國車輛行車事故鑑定制度之研擬與評估一文中，以分析層級程序法（AHP）及理想解類似度偏好順序技術（TOPSIS）求算評估準則之相對權重且評選最佳方案，其分為兩階段問卷調查，透過第一階段之專家學者問卷調查及專家學者座談會，廣納各方意見並對初擬之評估準則與方案進行檢討並修正，以完成事故鑑定制度評估架構與替選方案之研擬，最後利用第二階段之專家學者問卷調查，蒐集專家學者對方案標的與評估準則之評估資料。

吳國平（民 92），在研究設置新型道路交通工程設施決策評估方法一文中，使用模糊德菲法篩選出適當的評估準則，繼而利用模糊層級分析法求取各準則的權重，且其為了考慮決策資訊的完備、公平，且期許專業者能夠充分發揮其角色，在問卷調查對象上以公部門決策者、專家學者、相關業者與地方民意代表為主要對象。

李上好（民92），其在以AHP/FI建構土地利用潛力評估方法之研究中，以層級分析法為研究方法，建立土地利用潛力評估模式。首先回顧相關文獻，並藉由第一階段問卷，初步擬定評估架構圖，經由第一次階段問卷結果，綜合專家意見後將層級架構內容做修正，利用土地潛力評估階層架構實施第二階段問卷，藉由專家填寫各項目與影響因子間之對偶比較，以作為最後權重求取依據。最後，將所建構之土地潛力之評估模式，運用於研究區域分析探討，以供未來土地開發者之參考。

鄭思蘋（民92），針對都會區颶洪災害作一客觀分析，發展出一套洪災損失評估模式，並對易淹水致災地區進行其潛勢剖析，以提供颶洪來襲前計畫地區淹水程度之預警。利用灰關聯度分析法判斷天然因素與人為因素共計七大因子對研究區域遭受颶洪淹水損失之相對重要性，以作為分析階層程序法分析權重之依據。綜合考量「分組四分位曲線分析法」、「空間分布灰預測模式」與「洪災潛勢指數法」之模擬結果有助於剖析並瞭解研究地區淹水損失之嚴重性，並可作為合理分級易淹水區洪災潛勢之依據。

李信佑（民92），在宜蘭縣公路建設計畫優先順序之研究一文中，採用分析階層程序法及德菲法求得各評估準則間之權重，再運用簡單加權法計算各計畫建設方案之總得分，並依據此得分高低，排定道路建設計畫方案之初步優先順序，最後採用群落分析法，以方案之得分分群。

葉名山（92民），以分析階層程序法建立我國軌道行車保安委員會組織細部規劃的最佳方案，擬出四項標的及十一項細項準則，並研擬出三個鐵路事故鑑定組織細部規劃之方案，以學者專家、政府單位與營運單位三個群體為進行調查受訪對象，計算出各標的與評估準則之權重，以評選出最適方案。

黃振嘉（民93），在生態工法應用於國道工程建設之分析研究一文中，首先透過文獻與專家問卷訪談研擬構建出其層級架構，並透過兩階段專家問卷設計，第一階段問卷配合模糊德菲法

用以篩選重要評估準則，第二階段則配合模糊層級分析法進行準則權重之計算，最後再請受訪專家針對傳統工法與生態工法分別應用於國道工程設施之建設與各評估構面之間的效益給予一個評分值，以價值矩陣法分別求取兩種工法設施之績效值，並針對兩種工法間之績效值差異進行比較，以供做生態工法應用於國道建設之可行性分析。

王鈞平（民 93），以層級分析法建立休閒旅館發展潛力評估指標及評估方式。經由文獻回顧與參酌本國旅館產業特性研擬訂定基地因素、資源與潛力與基礎設施等三項評估構面以及 13 項次評估準則，並以層級分析法求出各準則之權重，建立發展潛力評估模式架構。

李佳穎（民 93），其文在探討鐵路總局組織規劃的可能性，考量車路分離之因素與國外軌道經營管理，研析出四種方案並分別對專家與員工做問卷調查，以模糊層級分析法，構建出四大層面與九項評估準則，評選出成立鐵路總局組織架構之最適方案。

表 2.3 研究方法相關文獻

作 者	年 代	研 究 方 法	研 究 對 象
張新立	民 91	AHP、TOPSIS	事故鑑定制度評估架構與替選方案研擬
吳國平	民 92	模糊德菲法、FAHP	設置新型道路交通工程設施決策評估法
李上好	民 92	AHP/FI	土地利用潛力評估
鄭思蘋	民 92	灰關聯度分析法、AHP	都會區颶風災害潛勢剖析
李信佑	民 92	AHP、德菲法	宜蘭縣公路建設計畫優先順序
葉名山	民 92	AHP	建立我國軌道行車保安委員會組織細部規劃的

			最佳方案
黃振嘉	民 93	模糊德菲法、FAHP	生態工法應用於國道工程建設之評估構面效益，傳統工法和生態工法之設施績效比較
王鈞平	民 93	AHP	建立休閒旅館發展潛力評估指標及評估方式
李佳穎	民 93	FAHP	探討鐵路總局組織規劃的可能性



## 第三章 研究方法

本研究採用分析階層程序法，作為本研究問卷資料之分析工具，因此，本章節將探討分析階層程序法的特點、架構及其在本研究中之應用情形。

### 3.1 分析階層程序法

當人們遇上複雜度高、難度大的問題需作決策時，由於人的能力與時間的限制，無法獲取充份的資訊，需在有風險有爭議及不確定因素下作有效的決策，並且正確的評估各因素間的相關重要性之程度時，就必須有一套重要的方法程序來執行評估作出有效的決策。

在1971年，美國匹茲堡大學教授Thomas L. Saaty為了處理在不確定因素下之複雜決策問題，提出一套有系統的決策方法，這系統決策模式叫“分析層級程序法”(Analytical Hierarchy Process)，目的在評估各相關因素而解決複雜的問題。

AHP分析法是將複雜問題系統簡化為簡明的要素層級系統。再彙集學者專家的意見及各階層決策者的意見，採用名目尺度(nominal scale)執行要素間的成偶比對(pairwise comparison)，予以量化後建立成偶，比對矩陣(pairwise comparison matrix)，據以求出各矩陣之特徵向量(eigenvector)，並依其特徵向量作為層級各要素間的優先順序，並求算出最大特徵值，用予以評定比對矩陣一致性指標的相對權重之強弱，以提供決策者做決策時的參考指標。(鄧振源、曾國雄，1989)

所謂層級係由至少兩個以上的層級所組成，而AHP則將各個層級連結起來，計算出AHP層級之各因素間相對整個層級的優先順位、相對權重。分析層級程序法可建立連接所有比對成對比較矩陣之一致性指標(Consistency Index)與一致性比率(Consistency Ratio)。



Ratio)。依此結果，評估出整個層級的一致性的程度。因此AHP不僅用專家的意見解決複雜性的決策問題，也藉比對矩陣及特徵向量來決定影響各個因素間的相對權重問題。AHP作業方法由Satty於1971提出，開始應用後於1972至1978間，經不斷的應用與試驗與修正，在1978 後為更多學者重視與使用之後，發現AHP分析法在做決策分析上有相當的貢獻。

AHP層級分析法是將所要決策的問題分成較簡明的層級結構關係，並且透過問卷調查的方式（僅為可能方式之一）進行評比，找出各層級要素的優先順序。

本研究以問卷方式取得評估數據（包含主、客觀資料），配合AHP之主要作業流程如圖3.1所示：



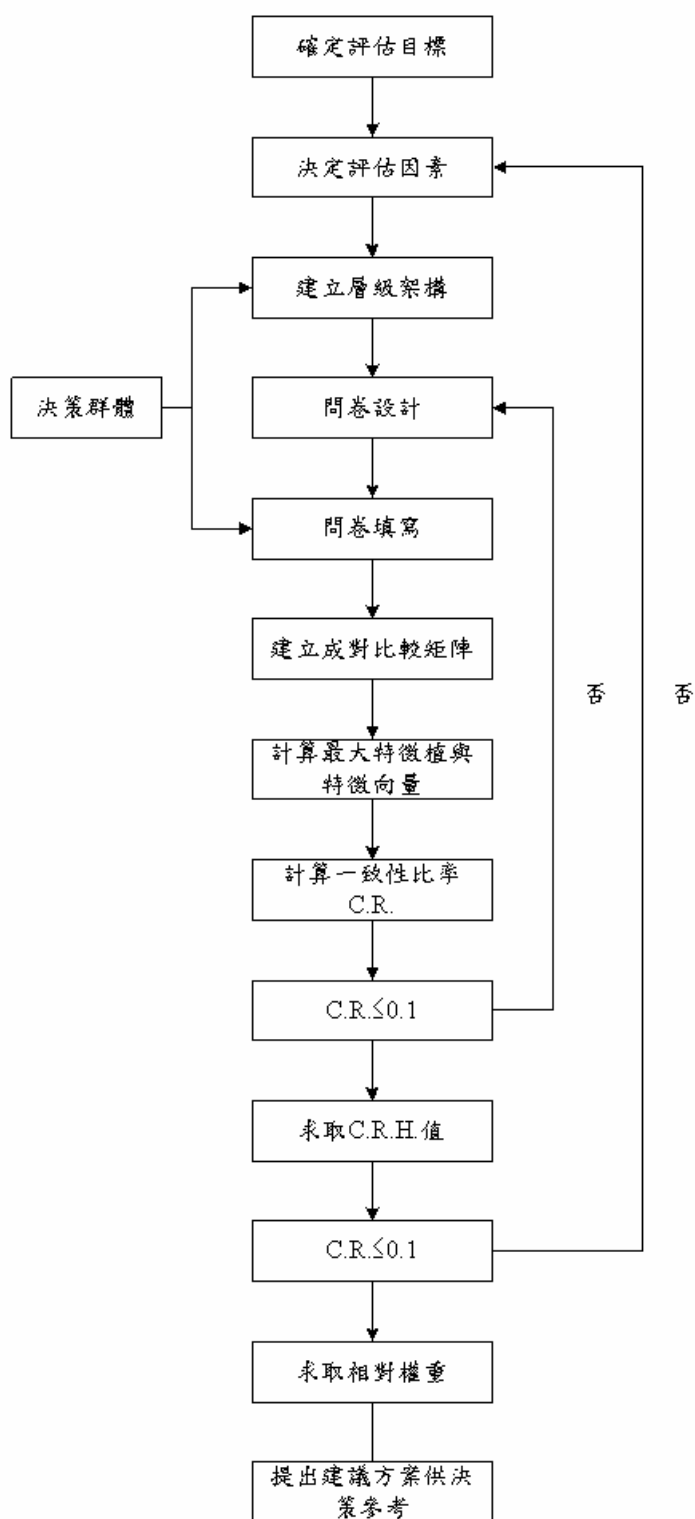


圖 3.1 AHP 作業流程圖

資料來源：楊天護，2003

針對AHP法之作業程序步驟，分別說明如后（馮正民、邱裕鈞，民國93年）

### 1. 建立層級關係

先將一複雜的評比問題分成四個層級：一是解決問題的目標（Goal），二是如何達到目標標的（Objective），三是衡量標的達成的準則（criteria），四是擬考慮的方案（Alternative）。圖3.2為層級結構之例。

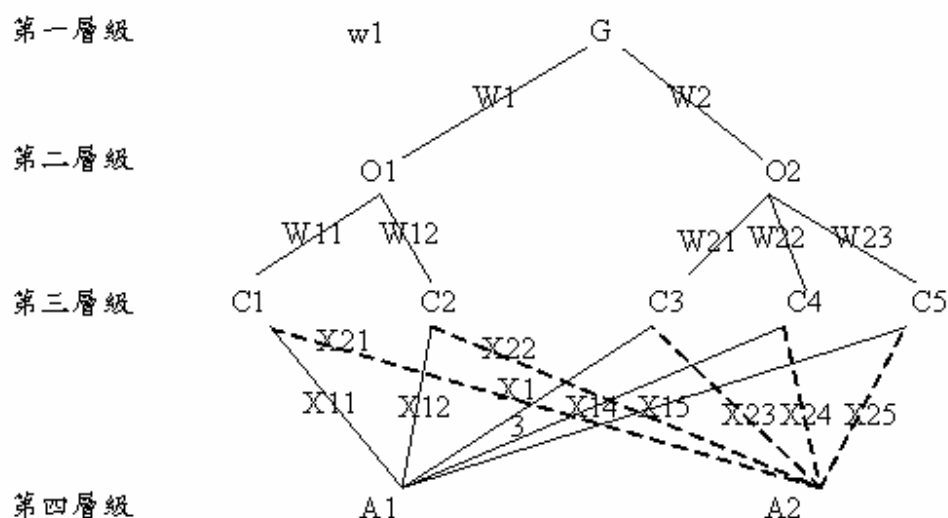


圖 3.2 層級結構圖

### 2. 建立成對比較矩陣

就各階層之每個單元內之評估項目進行兩兩比較，經由調查建立各評估項目間優劣關係的比較矩陣。所謂單元係指權重和為1之評估項目，以圖3.2之層級結構圖為例，它包含了8個成對比較單元。

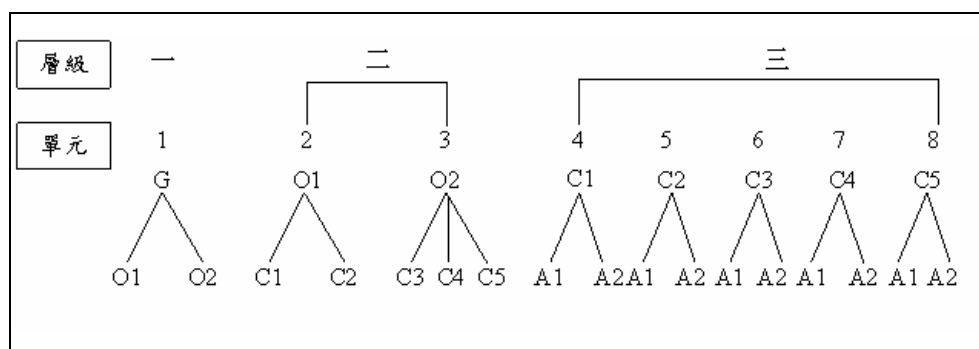
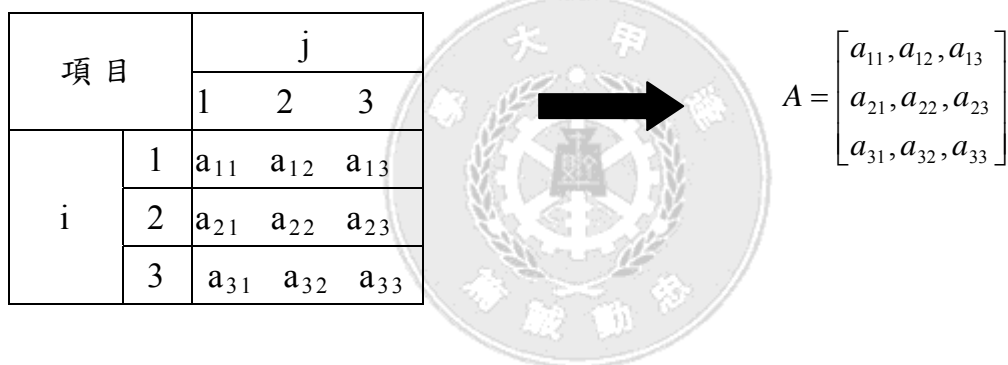


圖 3.3 比較單元說明

以圖3.3第三個比較單元之3個比較評估項目情境為例，其成對比較矩陣（A）可以表示如圖3.4。

圖 3.4 成對比較矩陣說明



其中， $a_{ij}$ 代表評估項目i權重（ $W_i$ ）對項目j權重（ $W_j$ ）之比值，理論上應滿足以下關係：

$$a_{ij} = W_i / W_j \quad (3-1)$$

$$a_{ik} = a_{ij} \times a_{jk} \quad (\text{遞移性}) \quad (3-2)$$

$$a_{ij} \times a_{ji} = 1 \quad (3-3)$$

$$a_{ii} = 1 \quad (3-4)$$

### 3. 求解權重並檢定一致性

另某個比較單元包含有n個項目，且 $W_i$ 代表第i個評估項目之權重值，則權重矩陣（W）可表示如下：

$$W = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix}, \text{ 且 } \sum W_i = 1$$

若成對比較矩陣完全符合 (3-1) 到 (3-4) 式之條件，則由於：

$$A = \begin{bmatrix} a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n} \\ a_{21}, a_{22}, \dots \\ \vdots \\ a_{n1}, a_{n2}, \dots, a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1 / W_1, W_1 / W_2, \dots, W_1 / W_n \\ W_2 / W_1, W_2 / W_2, \dots \\ \vdots \\ W_n / W_1, \dots, W_n / W_n \end{bmatrix}$$

故存在以下關係：

$$\begin{aligned} AW &= nW \\ (A - nI)W &= 0 \end{aligned} \quad (3-5)$$

其中， $n$  不僅為比較評估項目數，同時亦應與成對比較矩陣 ( $A$ ) 之最大特徵值 (the maximum eigenvalue,  $\lambda_{\max}$ ) 相等，故亦應滿足下式：

$$(A - \lambda_{\max} I)W = 0 \quad (3-6)$$

利用 (3-6) 式、權重和為 1 之關係以及調查之  $A$  矩陣，即可求得各項目的權重值。

但是經由調查得到的成對比較矩陣，或多或少會違反遞移性關係，違反情形越嚴重，表示受訪者之回答越不一致，且  $\lambda_{\max}$  值會與  $n$  值有更大的差距，此時所得到之權重值越不可信。為了解調查資料之可信度，通常以一致性指標 (Consistence Index, CI) 進行檢定，公式如下：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3-7)$$

其中， $\lambda_{\max}$ 與n之定一同（3-5）式與（3-6）式。為檢定評估結果是否具有一致性，一致性比率（Consistency Ratio, CR）值則被用為判斷成對比較矩陣一致性的基準，一致性比率值定義為：

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3-8)$$

其中RI值為平均隨機指標（RI），各階層數之RI值如表3.1所示。

表 3.1 平均隨機指標

階數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

若  $CI \leq 0.1$ ，表示成對比較矩陣內之評比可被接受；若  $CI > 0.1$ ，則受訪者之成對比較矩陣不被接受而宜重新評比，或研究者應放棄此筆調查樣本。

#### 4.計算各方案之優勢比重值

經過一致性檢定通過後，即可進行各方案優勢比重值之計算，通常以  $P_i$  代表方案I之優勢比重值， $P_i$ 可由各層級的權重相乘加總而得，值愈大者表示被採納之優先順序愈高。

## 第四章 層級準則架構與方案

### 4.1 層級架構的建立

本研究經由專家問卷分析後建立生態工法應用考量因子為架構，以下針對評估項目之等級劃分方式加以說明。就本次研究的目的而言，乃是以交通相關單位決策人員的角度切入，構建出道路特性、路側特性、生物特性等主要層面，而其標的依序為「道路路基考量」、「排水設施考量」、「緩衝設施考量」、「邊坡設施考量」、「周邊土地使用狀況考量」、「照明設施考量」、「植被特性考量」與「物種特性考量」等八項。在影響因素的蒐集上，本研究是以上述八個標的為方向，站在學者、專家與業者的立場上，嘗試研擬出完備的評估準則。在此一步驟中，本研究參考了相關文獻，同時在客觀環境的限制之下與少數學者、相關決策人員訪談之後，盡量針對研究目標找出眾多可能的影響因素。在每一層級要素均具有獨立性的基本假設之前提下，本研究共彙整出「透水性」、「承載力」、「坡度」、「水量」、「緩衝設施高度」、「阻隔性」、「安全性」、「土壤性」、「人為程度」、「閒置腹地」、「演色性」、「照明設施之密度」、「照明設施之高度」、「綠覆率」、「植物多樣性」、「植物本土性」、「移動路徑」及「物種相對豐富度」等十八項準則。上述所有標的與影響因素在經過整理後，其層級架構關係如圖4.1所示。

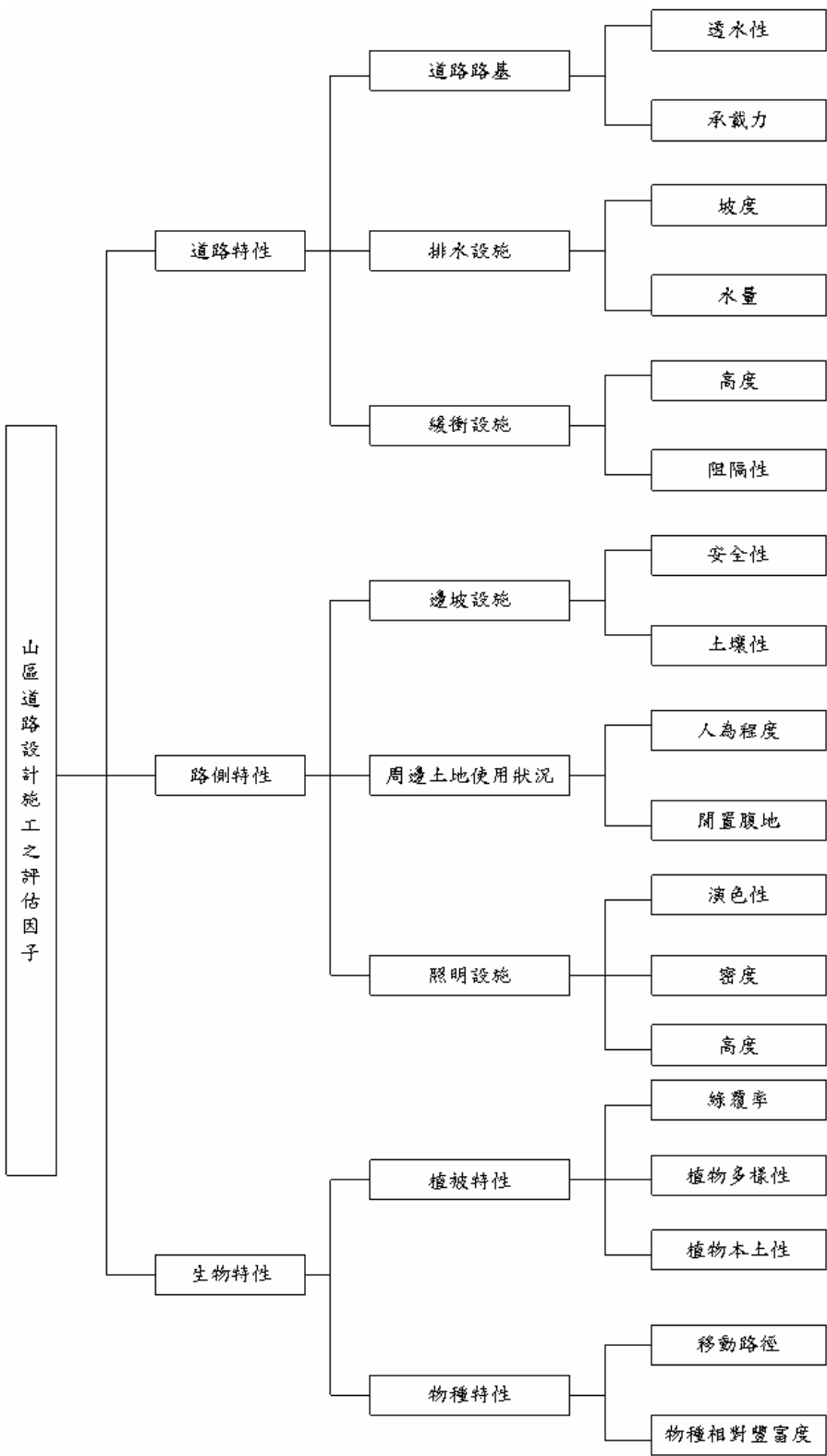


圖 4.1 層級架構圖



## 4.2 構面與評估準則之整理

AHP之層級結構已在前一節當中建立，本研究將依「道路路基考量」、「排水設施考量」、「緩衝設施考量」、「邊坡設施考量」、「周邊土地使用狀況考量」、「照明設施考量」、「植被特性考量」與「物種特性考量」等八個層面為架構，分別對其所屬的準則加以說明介紹並做一小結。【42、43】

### 4.2.1 道路路基層面考量

道路路基為承受路面、路肩之土壤部份。本研究依據相關參考文獻的整理與實際相關決策人員的訪談過程中得知，「透水性」與「承載力」二項為在道路路基層面的考量下較為重要的影響因子，茲分別說明下：

1.透水性：雨水通過鋪面，直接滲入路基，而具有使水還原於地下之性能。

透水性的評估等級可依鋪面種類分為四級。

第一級為透水性極差的水泥混凝土路面；

第二級為稍可透水的瀝青混凝土路面；

第三級為排水性較好之排水性瀝青混凝土路面；

第四級為排水性極佳的碎石路面。

#### 2.承載力

承載力評估等級可依地區分類及功能系統分類之公路等級並將其區分為四級。

第一級為交通承載量最大之一級路、二級路；

第二級為交通承載量較大之三級路、四級路；

第三級為交通承載量一般之五級路；

第四級為交通承載量較少之六級路。

### 4.2.2 排水設施層面考量

道路主要供汽車行駛使用，路面附有塵土、油漬，而汽車廢氣中有微細顆粒，一旦下雨，便會將這些異物帶入河川，造成河川污染。而排水設施即為排除雨水、污水及廢水之溝渠，排水工程設計目的旨在防止地面水造成道路損壞、影響行車安全，並兼顧原有排水功能及環境品質。本研究亦可被發現到排水設施層面的考量中，在此共歸納出「坡度」與「水量」二項準則，其說明如下：

#### 1.坡度

坡度的評估等級可分為四級。

- 第一級為山區農路邊溝坡度小於百分之0.5；
- 第二級為一般道路邊溝坡度小於百分之0.2；
- 第三級為一般道路邊溝坡度陡於百分之0.2；
- 第四級為山區農路邊溝坡度陡於百分之0.5。

#### 2.水量

水量的評估等級可依鋪面種類分為四級。

- 第一級為表面僵硬且透水性極差的鋼筋混凝土邊溝將所有排水量沖刷至河川；
- 第二級為表面軟化但不可透水的漿砌卵石將所有排水量沖刷至河川；
- 第三級為表面軟化亦可透水的拋石水溝可減緩流速；
- 第四級為表面軟化亦可透水的草溝以達過濾及沉降之功效。

### 4.2.3 緩衝設施層面考量

緩衝設施其範圍包含分隔帶、槽化島、公共設施帶。本研究在此也顧及到間接的效用，於交通效用此一構面共擬出「緩衝設施高度」與「阻隔性」二項準則，分別說明如下：

## 1. 高度

緩衝設施高度的評估等級可依公路等級及護欄高度分為四級。

第一級為公路等級一至四級路之護欄高度低於現地鳥類及昆蟲飛行習性；

第二級為公路等級五至六級路之護欄高度高於現地鳥類及昆蟲飛行習性；

第三級為公路等級五至六級路之護欄高度低於現地鳥類及昆蟲飛行習性；

第四級為公路等級一至四級路之護欄高度高於現地鳥類及昆蟲飛行習性。

## 2. 阻隔性

緩衝設施阻隔性的評估等級可依隔離設施設置形式分為四級。

第一級為路權範圍無隔離設施亦無其他通道；

第二級為路權範圍設置隔離設施但無其他通道；

第三級為路權範圍無隔離設施但利用管涵設低水路及步道；

第四級為路權範圍設置隔離設施亦利用管涵設低水路及步道。

### 4.2.4 邊坡設施層面考量

邊坡設施為保護邊坡有崩塌之虞時，用來修改坡度、穩定邊坡所設置之設施。其設施形式可分為擋土牆及護坡。在本構面上共擬定了「安全性」與「土壤性」等兩個準則，分別說明如下：

#### 1. 安全性

邊坡安全性的評估等級可分為四級。

第一級為需進行整治之邊坡且邊坡坡度大於土壤抗剪角；

第二級為需進行整治之邊坡且邊坡坡度小於土壤抗剪角；

第三級為無潛在危險之邊坡；

第四級為不易風化之岩石-穩定邊坡。

## 2.土壤保水性

土壤保水性主要考量邊坡表面保留雨水的能力，由於大自然因素造成下雨後雨水入滲地層造成土壤吸水軟化，土壤之抗減強度降低，土體失去平衡而造成邊坡崩塌。

土壤保水性的評估等級可分為四級。

第一級為邊坡表面土壤裸露面積大於 75%；

第二級為邊坡表面土壤裸露面積在 75%-50% 之間；

第三級為邊坡表面土壤裸露面積在 50%-25% 之間；

第四級為邊坡表面土壤裸露面積小於 25%。

### 4.2.5 周邊土地使用狀況層面考量

周邊土地使用型態是指研究區域之陸域地區的土地使用種類、強度、及人為設施分佈等使用型態。此研究依據相關參考文獻中可以得知，「人為程度」與「閒置腹地」等四項為在周邊土地使用狀況層面的考量下較為重要的影響因子，茲分別說明下：

#### 1.人為程度

周邊土地使用型態人為程度的評估等級以使用強度對基地之影響，可分為四級。

第一級為工業用地、停車場、及商業用地；

第二級為住宅用地、機關用地；

第三級為農業用地、林業用地；

第四級為山壁、河道。

#### 2.閒置腹地

周邊土地使用型態閒置腹地的評估等級以距離效果評估，可分為四級。

第一級為半徑150公尺之範圍內無法連接至其他棲地；

第二級為半徑150公尺之範圍內可連接至其他棲地；

第三級為半徑100公尺之範圍內可連接至其他棲地；

第四級為半徑50公尺之範圍內可連接至其他棲地。

#### 4.2.6 照明設施層面考量

在夜間或隧道等亮度急遽變化場所設置照明設備，使道路使用者擁有良好之視覺環境，得以能充分掌握道路及交通狀況，以達交通安全及流暢等目的。本研究在照明設施層面中共歸納出「演色性」、「密度」與「高度」三項，其說明如下：

##### 1. 演色性

演色性是物體在光源下的感受與在太陽光下感受的逼真度百分比，演色性高的光源對顏色的表現較好，意為眼睛所看到的顏色愈接近自然原色。

演色性的評估等級可分為四級。

第一級為演色性逼真度25%以下；

第二級為演色性逼真度25%-50%；

第三級為演色性逼真度50%-75%；

第四級為演色性逼真度75%以上。

##### 2. 密度

密度的評估等級可分為四級。

第一級為燈具密度過高造成光源干擾並影響行車安全；

第二級為燈具密度過高但不影響行車安全；

第三級為燈具密度不干擾生態但不能滿足基本行車安全；

第四級為燈具密度不致干擾生態僅滿足基本行車安全。

##### 1. 高度

高度的評估等級可分為四級。

- 第一級為燈具高度過高造成光源干擾並影響行車安全；
- 第二級為燈具高度過高但不影響行車安全；
- 第三級為燈具高度不干擾生態但不能滿足基本行車安全；
- 第四級為燈具高度不致干擾生態且滿足基本行車安全。

#### 4.2.7 植被特性層面考量

指配合當地之生態考量，道路兩側植栽、植群以在地原生樹種為主，並保有植物多樣性，提高其綠覆率，並以模擬原有林相複層植栽手法種植。因此，本研究亦在植被特性構面之下研擬了「綠覆率」、「植物多樣性」與「植物本土性」等三個準則，分別說明如下：

##### 1. 綠覆率

綠覆率的評估等級依據國內綠地相關法令規定，可分為四級。

- 第一級為綠覆率小於15%；
- 第二級為綠覆率15%-30%；
- 第三級為綠覆率30%-45%；
- 第四級為綠覆率達45%以上。

##### 2. 植物多樣性

植物多樣性的評估等級以一定面積內，植物種類所佔的比例。此值越高，植物種類越豐富，等質性越低；反之，種類豐富度較小時，植物之重現性較大。植物種類越多樣，可供給內部更多生物生存的機會，其計算式： $D=S/N$ （ $D$ 表種類豐富度； $S$ 表種數； $N$ 為個體數，亦可用面積代替），依據上式可計算出植物種類多樣性指標，分為四級。

- 第一級為 $D < 2$ ；
- 第二級為 $3 \leq D \leq 4$ ；
- 第三級為 $5 \leq D \leq 6$ ；
- 第四級為 $7 \leq D$ 。

### 3.植物本土性

植物本土性係指生長於當地環境區域內的原生植物所佔的比例，分析原生植物數量佔區域內植物總數，可分為四級。

第一級為 $0 < \text{本土植物比例} \leq 0.25$ ；

第二級為 $0.25 < \text{本土植物比例} \leq 0.5$ ；

第三級為 $0.5 < \text{本土植物比例} \leq 0.75$ ；

第四級為 $0.75 < \text{本土植物比例} \leq 1$ 。

### 4.2.8 物種特性層面考量

除了上述構面的考量外，物種特性層面考量應該也是必須加以考慮的指標之一。物種特性指針對動物移動路徑進行基地道路周邊物種之調查，依據其生活圈範圍、生活習性及棲地環境，考量可能之替代移動路徑。並因應在地鳥類及昆蟲之飛行習性及食性，檢討現有路權範圍兩側植生種類及高度。本研究在此構面下共擬定了「移動路徑」與「物種相對豐富度」二項準則，分別說明如下：

#### 1.移動路徑

移動路徑的評估等級可分為四級。

第一級為未設置動物移動路徑；

第二級為有現成之涵洞、管涵；

第三級為僅針對重要交通衝擊點設置替代管涵；

第四級為針對現地生物習性移動路徑設置替代管涵。

#### 2.物種相對豐富度

物種相對豐富度係指棲地樣區內物種數量佔其所在生物地理區或行政區域內物種總數的比例。

即反映研究區域內物種數與組成生物之豐富度、頻度等介量關係。

依公式：

$$R = (M/M_{\max}) * 100\%$$

式中 R 表物種相對豐富度；M 表棲地樣區內物種的數量；M<sub>max</sub> 為行政區內物種總數。由上式得出相對豐富度之比例。由少至多分為四級：

第一級為  $0 < \text{物種相對豐富度} \leq 0.1$ ；

第二級為  $0.1 < \text{物種相對豐富度} \leq 0.3$ ；

第三級為  $0.3 < \text{物種相對豐富度} \leq 0.5$ ；

第四級為  $0.5 < \text{物種相對豐富度}$ 。

#### 4.2.9 小結

本章針對研究架構所擬定之因子提出十八項應用準則，於山區道路施工設計中加入綠營建及生態工法之思維模式，除尊重環境之生態規劃考量外，在工程上更應以低能源使用、低廢棄物產生之綠營建方式施作，包括生態保全、節能、資材、減廢、保水，綠化等全方面考量進行設計。



## 第五章 方案評選

### 5.1 評估準則權重分析

在完成評估架構及評估方案之研擬後，乃透過專家問卷的設計對受訪之學者專家進行問卷調查，以蒐集方案評選所需之資料，經由層級分析法(AHP)，計算出各標的及各評估準則之權重，再計算各績效達成值，進行準則及方案之優勢排序，以評選出最適方案。

一、依據文獻研究探討整理，發現「山區道路施工」受到下列相關關鍵因素（表5.1）之影響。

表 5.1 山區道路施工準則

層面	標的	準則
道路特性	道路路基	透水性
		承载力
	排水設施	坡度
		水量
	緩衝設施	高度
		阻隔性
路側特性	邊坡設施	安全性
		土壤保水性
	周邊土地使用狀況	人為程度
		閒置腹地
	照明設施	演色性
		密度
		高度

生物特性	植被特性	綠覆率
		植物多樣性
		植物本土性
	物種特性	移動路徑
		物種相對豐富度

經由問卷調查，並利用上述相關因素影響程度之問卷，針對各界專家進行調查作答及實證分析，期望能探討出影響「山區道路施工方法」的各關鍵因素之影響重要程度。

二、本研究問卷首先擬定調查的族群對象：依特定工作行業別的專家代表為特定對象。在行業上有公路單位、業者、學術界。經由問卷調查所得結果，採用層級分析法（AHP）加以分析求得各關鍵因素的優先權重，再者以統計幾何平均數方法分析整理、比較各單位對關鍵因素影響程度之權重，最後經整合各界專家在各種關鍵因素下，對山區道路施工影響因素的相對權重，以供相關單位各方人士參考。

本研究係以台灣山區道路生態工法為主要對象，問卷調查對象如下：

公路單位：公路總局二區工程處

業者：相關工程顧問公司

學術界：逢甲大學交通工程與管理學系教授。

問卷計發出35份，共回收34份，確認有效問卷為30份

表 5.2 問卷發放

受訪對象	發放份數	回收份數	回收率	有效問卷	有效問卷率
公路單位	20	19	95%	17	89%
業者	10	10	100%	8	80%
學術界	5	5	100%	5	100%
總計	35	34	98%	30	90%

## 5.2 方案層面權重分析

表 5.3 方案決策下之各層面權重

<div>群體</div> <div>評估層面</div>	整體決策	
	平均值	排序
道路特性層面	0.432	1
路側特性層面	0.334	2
生物特性層面	0.234	3

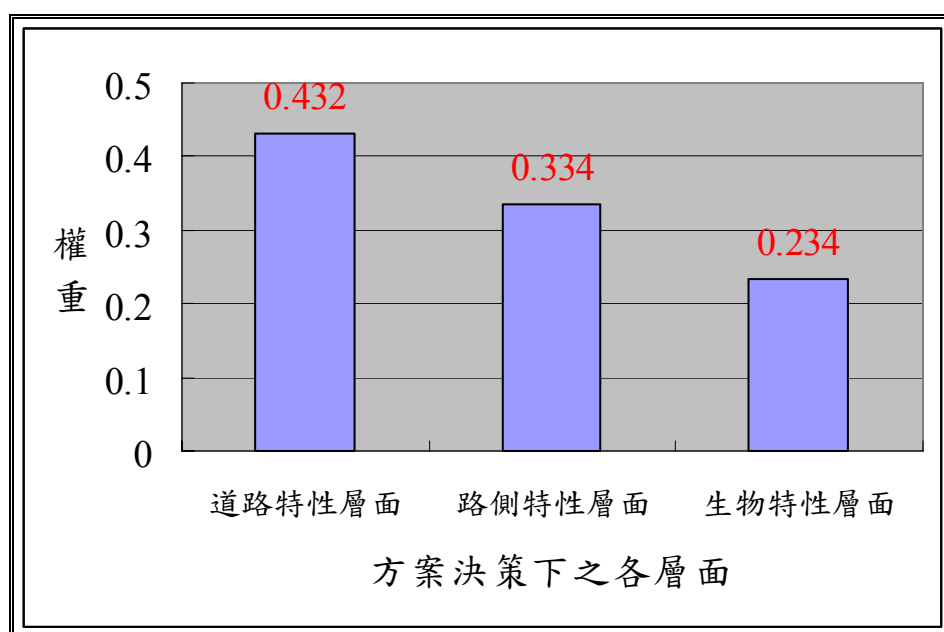


圖 5.1 方案決策下之各層面權重圖

由表5.3得知，道路特性層面、路側特性層面與生物特性層面中：以道路特性層面(0.432)最高，其次路側特性層面(0.334)，最低為生物特性層面(0.234)。

上述結果顯示整體專家受訪者認為此三層面中，首要重視層面為道路特性層面，由此可知，專家學者認為山區道路施工方案上仍以道路基本特性之選擇首為重視，此與現行施工著重於實用性相吻合。

### 5.3 各層面下標的權重評析

表 5.4 道路特性層面下之標的權重

群體 評估標的	整體決策	
	平均值	排序
道路路基	0.522	1
排水設施	0.198	3
緩衝設施	0.28	2

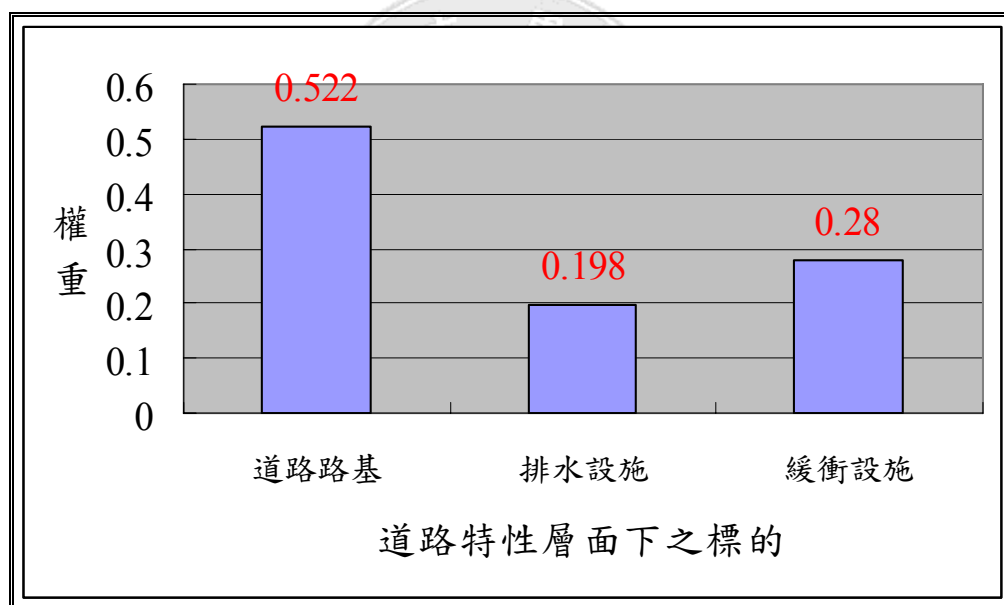


圖 5.2 道路特性層面下之標的權重圖

由表5.4得知，於道路特性層面下之道路路基、排水設施、緩衝設施等標的中：以道路路基標的(0.522)最高，其次為緩衝設施標的(0.28)，最低為排水設施(0.198)。

上述資料顯示於道路特性層面下承受路面、路肩土壤之道路路基部份，於山區道路施工方案評選時專家學者首為重視。故於

方案規劃施工時應優先將其納入考量。

表 5.5 路側特性層面下之標的權重

評估標的 \ 群體	整體決策	
	平均值	排序
邊坡設施	0.396	1
周邊土地使用狀況	0.282	3
照明設施	0.322	2

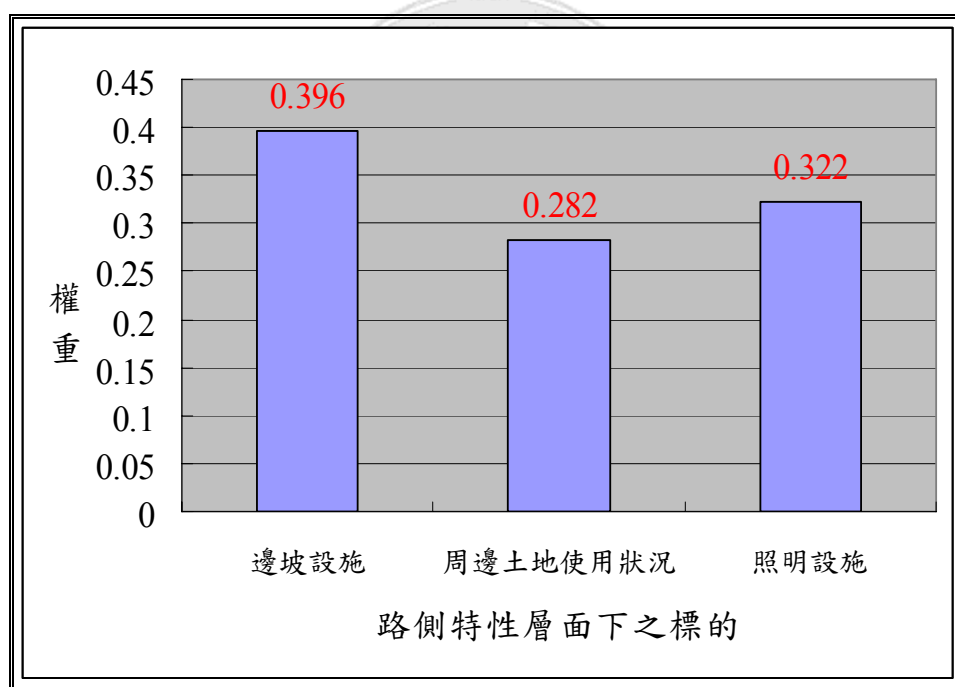


圖 5.3 路側特性層面下之標的權重圖

由表5.5得知，於路側特性層面下之邊坡設施、周邊土地使用狀況、照明設施等標的中：以邊坡設施標的(0.396)最高，其次為照明設施標的(0.322)，最低為周邊土地使用狀況標的(0.282)。

上述資料顯示，受訪者於山區道路施工方案決策規劃方面較重視邊坡設施。邊坡設施為保護邊坡有崩塌之虞，用來修改坡度、穩定邊坡所設置之設施。其設施形式可分為擋土牆及護坡。由此可知，學者專家認為於路側特性施工層面上，以邊坡設施優先為整體方案施工之考量。

表 5.6 生物特性層面下之標的權重

群體 評估標的	整體決策	
	平均值	排序
植被特性	0.623	1
物種特性	0.377	2

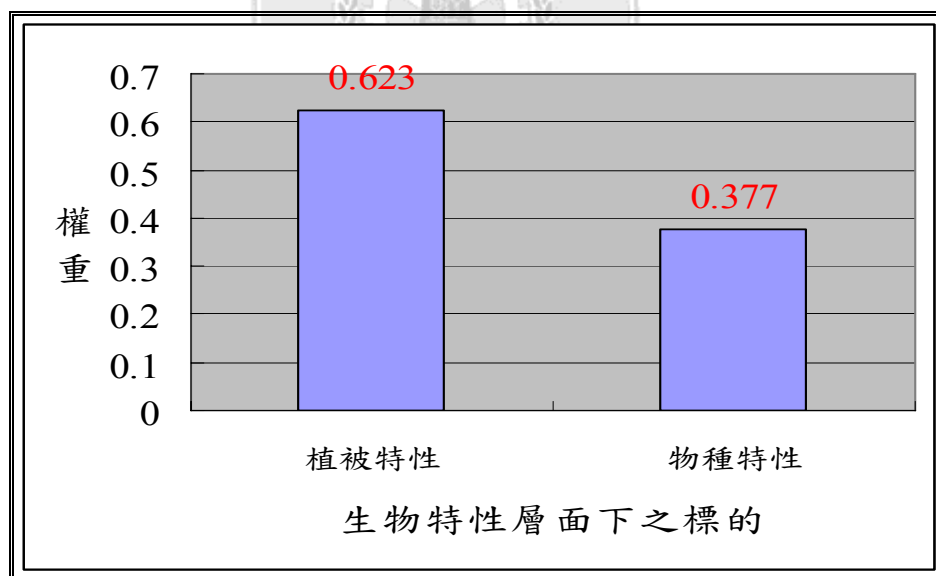


圖 5.4 生物特性層面下之標的權重圖

由表5.6得知，於生物特性層面下之植被特性與物種特性等標的中：以植被特性標的(0.623)最高，其次為物種特性標的(0.377)。

上述資料顯示，生物特性層面下之植被特性與物種特性中，施工方案決策規劃首重植被特性面之規劃。因此為配合當地之生態考量，道路兩側植栽、植群應以在地原生樹種為主，以保有豐富及多樣之植被特性，其次為物種特性之考量。

表 5.7 整體層面下之標的權重

<div> <div>群體</div> <div>評估標的</div> </div>	整體決策	
	平均值	排序
道路路基	0.226	1
排水設施	0.086	8
緩衝設施	0.121	4
邊坡設施	0.136	3
周邊土地使用狀況	0.097	6
照明設施	0.111	5
植被特性	0.146	2
物種特性	0.088	7



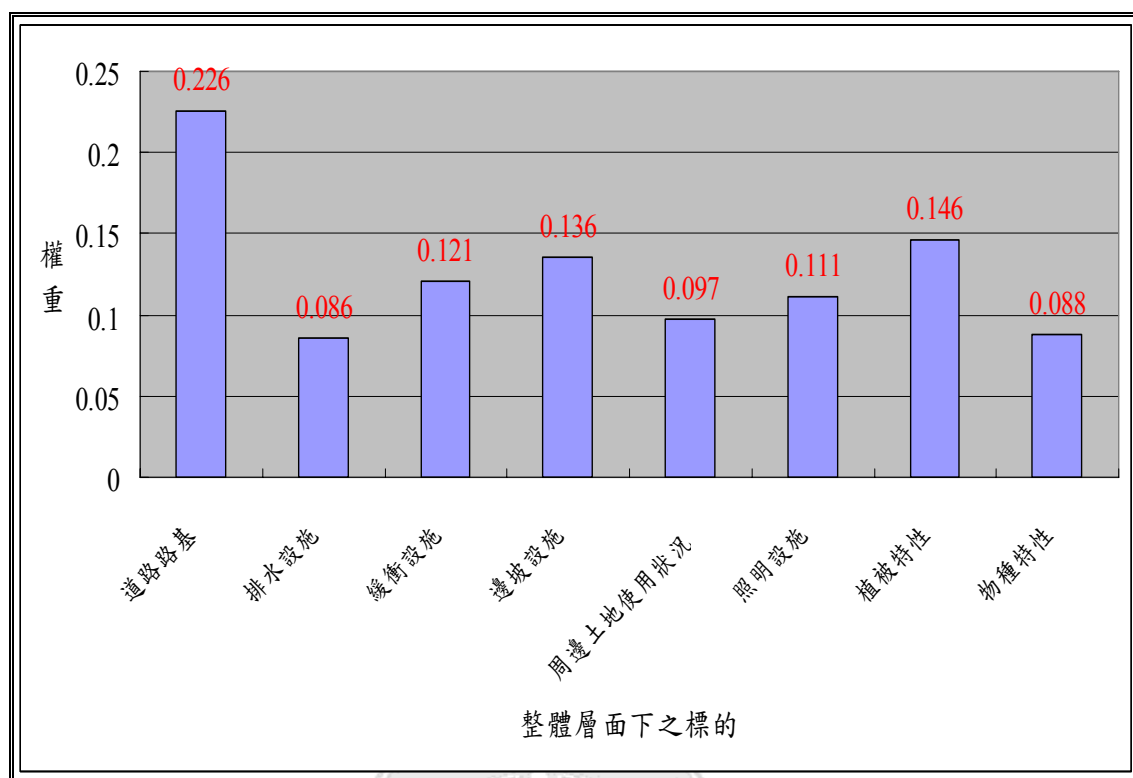


圖 5.5 整體層面下之標的權重圖

由表 5.7 資料中得知，以整體山區道路施工方案決策規劃層面下之道路路基、排水設施、緩衝設施、邊坡設施、週邊土地使用狀況、照明設施、植被特性與物種特性等標的評估準則中：以道路路基(0.226)最高，其次為植被特性(0.146)，再者為邊坡設施(0.136)，第四為緩衝設施(0.121)，第五為照明設施(0.111)，最低為排水設施(0.086)。

上述資料顯示，於整體層面下之標的以道路路基、邊坡設施、緩衝設施等傳統施工項目仍為首要規劃與施工之決策點，此與目前公路施工仍著重於傳統工法中，以實用為基礎原則相互吻合。

## 5.4 各準則權重評析

表 5.8 道路路基下之準則權重

群體 評估準則	整體決策	
	平均值	排序
透水性	0.413	2
承載力	0.587	1

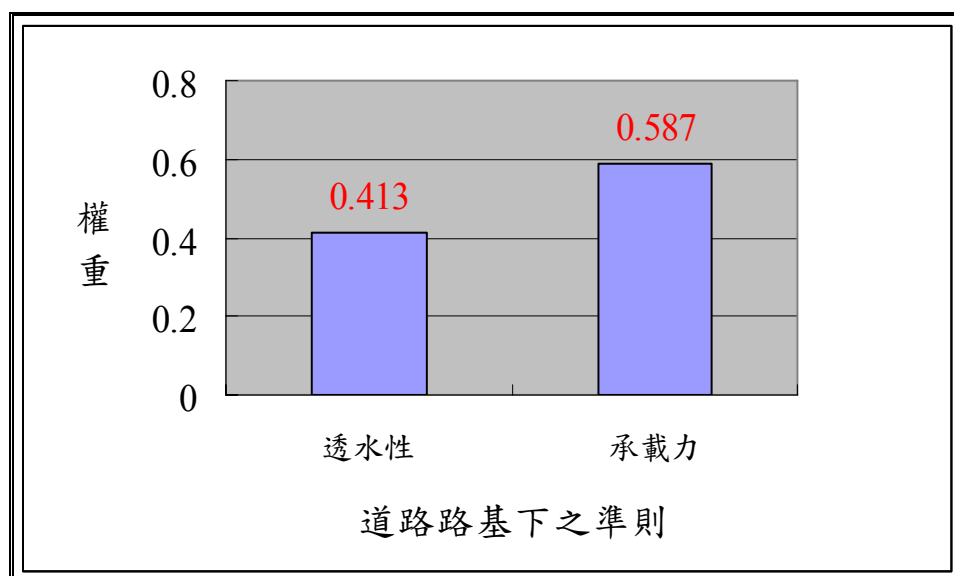


圖 5.6 道路路基下之準則權重圖

由表5.8可得知在道路路基標的下之透水性準則、承載力準則中：以承載力準則（0.587）最高，其次為透水性準則（0.413）。

由上述資料數據顯示，山區道路施工規劃方案道路路基標的下之準則，以承載力準則較佳，專家學者認為於道路路基施工面而言，應首重交通承載量，依據行車狀況評定路面承載力，其次則為依使用功能評估鋪面種類，需採用自然材料之透水性考量。

表 5.9 緩衝設施下之準則權重

群體 評估準則	整體決策	
	平均值	排序
高度	0.333	2
阻隔性	0.667	1

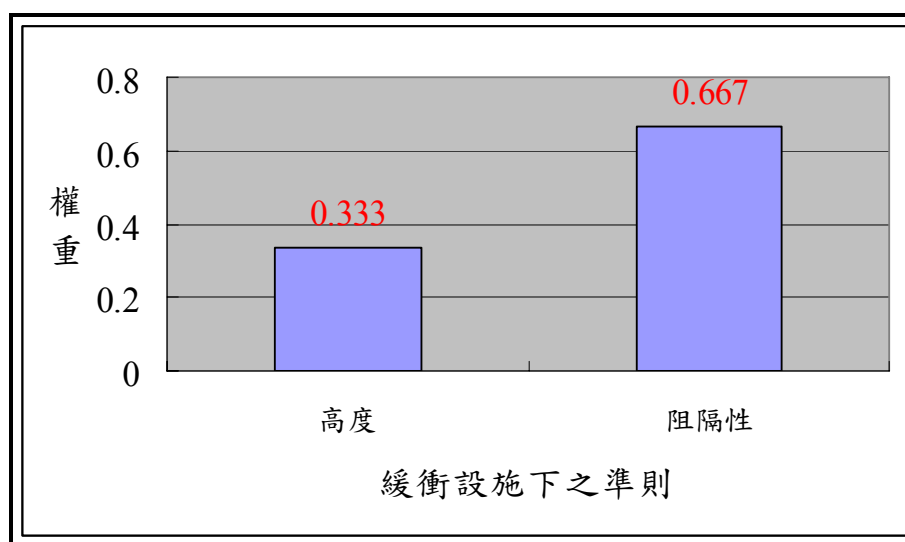


圖 5.7 緩衝設施下之準則權重圖

由表5.9得知，在緩衝設施標的下之高度準則與阻隔性準則中：以阻隔性準則(0.667)最高，其次為高度準則(0.333)。

由上述資料中顯示，專家學者於緩衝設施下之準則中，認為道路分隔帶、槽化島等緩衝設施，除其材料應採用自然材料外，並應以考慮其阻隔性為優先評估規劃，再者為高度等級之規劃施工。

表 5.10 排水設施下之準則權重

評估準則 \ 群體	整體決策	
	平均值	排序
坡度	0.392	2
水量	0.608	1

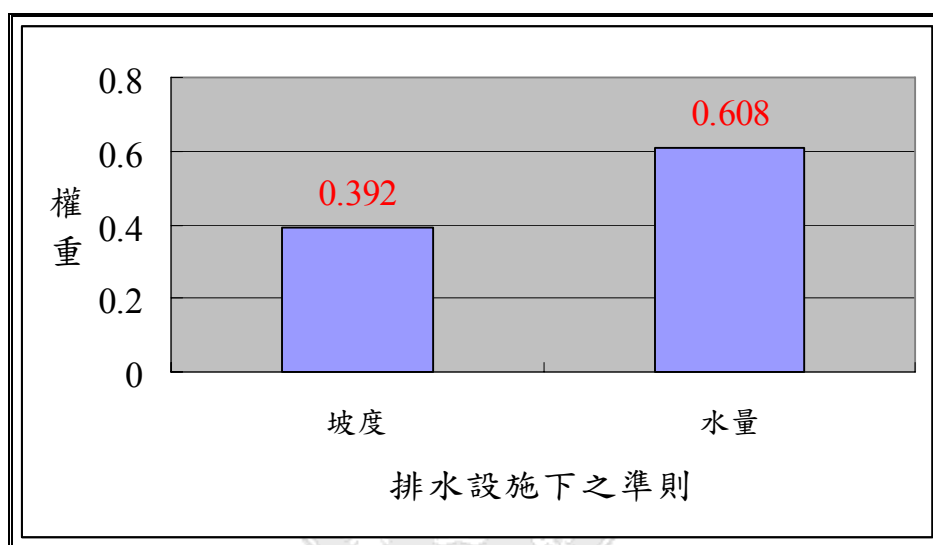


圖 5.8 排水設施下之準則權重圖

由表5.10中可得知，於排水設施標的下之坡度準則、水量準則中：以水量準則(0.608)最高，其次為坡度準則(0.392)。

由上述數據資料所述中，吾人可知，評估此山區道路施工規劃方案之專家學者認為，排除雨水、污水及廢水之溝渠，排水工程設計時，除防止地面水造成道路損壞、影響行車安全，並兼顧原有排水功能及環境品質外，其規劃應首重水量之評估規劃。其次則為道路邊溝之坡度。

表 5.11 邊坡設施下之準則權重

評估準則 \ 群體	整體決策	
	平均值	排序
安全性	0.722	1
土壤保水性	0.278	2

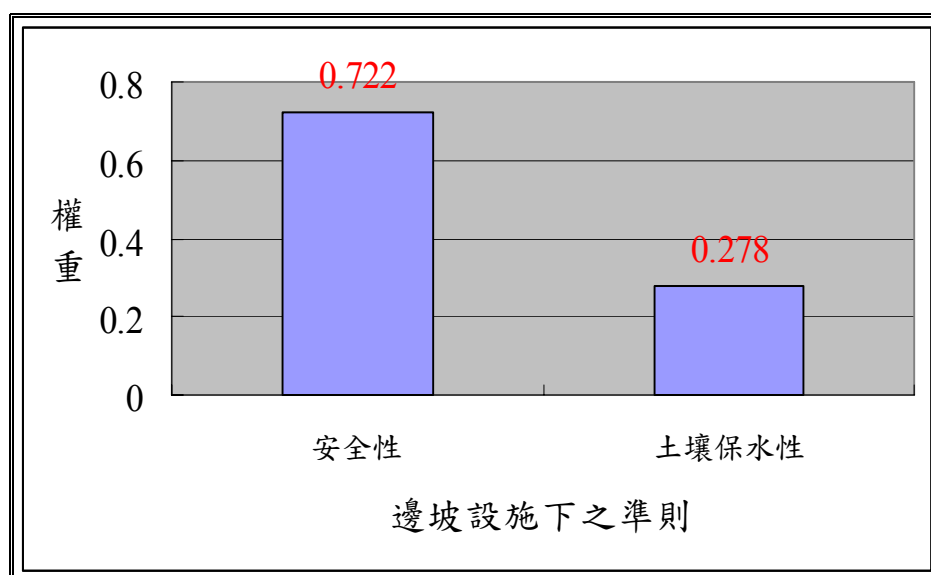


圖 5.9 邊坡設施下之準則權重圖

由表5.11中可知，在邊坡設施標的下之安全性準則與土壤保水性準則中：以安全性準則(0.722)最高，其次為土壤保水性準則(0.278)。

經由上述數據資料得知，於山區道路施工規劃中之邊坡設施面下，進行整治之土壤抗剪角大小、有無潛在危險之邊坡及是否為不易風化之岩石穩定邊坡等安全性首為重要；其次為大自然因素造成下雨後，雨水入滲地層造成土壤吸水軟化、土壤之抗剪強

度降低、土壤失去平衡而造成邊坡崩塌等之邊坡土壤保水性。

表 5.12 周邊土地使用狀況下之準則權重

群體 評估準則	整體決策	
	平均值	排序
人為程度	0.759	1
閒置腹地	0.241	2

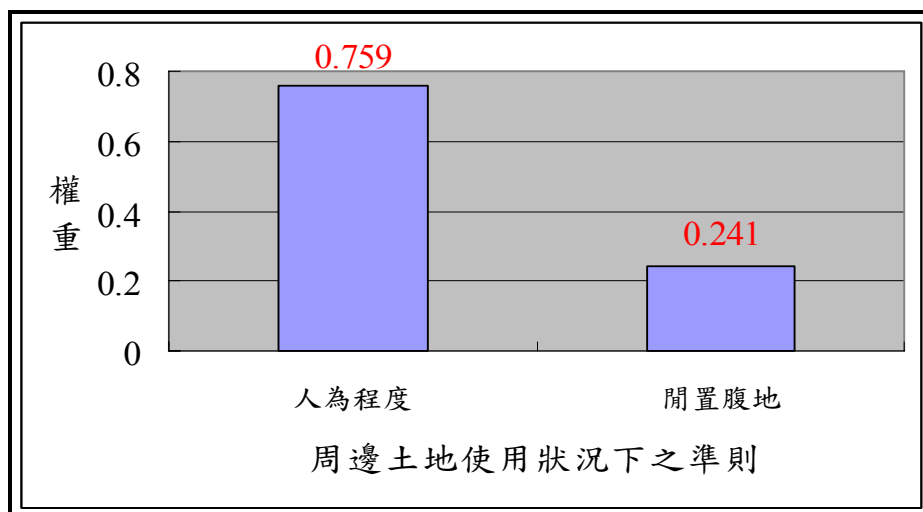


圖 5.10 周邊土地使用狀況下之準則權重圖

由表5.12中可知，在周邊土地使用狀況標的下之人為程度準則與閒置腹地準則中：以人為程度準則(0.759)最高，其次為閒置腹地準則(0.241)。

上述資料顯示，周邊土地使用狀況於方案規劃施工中，以周邊土地使用型態之人為程度的評估對道路施工規劃之影響首為考量。其人為程度包括：工業用地、停車場、商業用地、住宅用地、機關用地、農業用地、林業用地、山壁、河道等；其次則為周邊

土地使用型態閒置腹地之評估。

表 5.13 照明設施下之準則權重

群體 評估準則	整體決策	
	平均值	排序
演色性	0.451	1
密度	0.147	3
高度	0.402	2

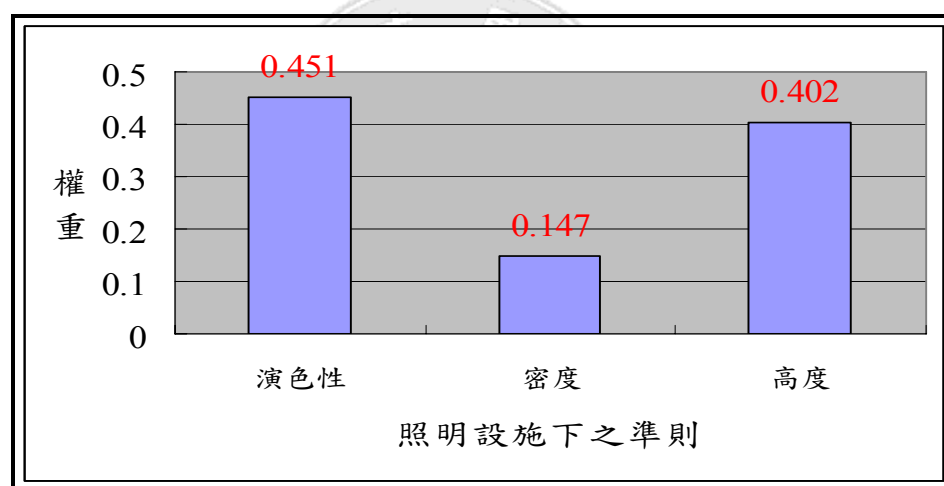


圖 5.11 照明設施下之準則權重圖

由表5.13中可知，在照明設施標的下之演色性準則、密度準則及高度準則中：以演色性準則(0.451)最高，其次為高度準則(0.402)，最低為密度準則(0.147)。

由上述資料中得知，在照明設施標的下之演色性準則、密度準則及高度準則中，專家學者認為，物體在光源下的感受與在太陽光下感受的逼真度百分比之演色性於整體照明設施規劃下應優先考慮，其次為燈具高度是否造成光源干擾並影響行車安全，再

者為燈具密度大小。

表 5.14 植被特性下之準則權重

群體 評估準則	整體決策	
	平均值	排序
綠覆率	0.451	1
植物多樣性	0.392	2
植物本土性	0.157	3

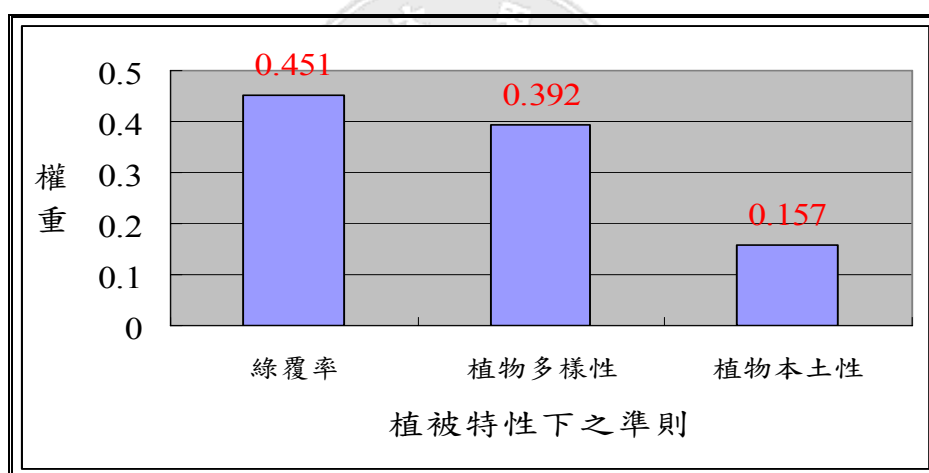


圖 5.12 植被特性下之準則權重圖

由表5.14可得知，在植被特性標的下之綠覆率準則、植物多樣性準則與植物本土性準則中：以綠覆率準則(0.451)最高，其次為植物多樣性準則(0.392)，最低為植物本土性準則(0.157)。

經由上述資料顯示，方案規劃施工過程，專家學者於植被特性下之準則評選中，其認為用地範圍內植栽垂直投影面積所佔的百分比之綠覆率準則首為優先評估之重點，其次則為一定面積內，植物種類所佔的比例所形成之植物多樣性準則，最後為生長



於當地環境區域內的原生植物所佔的比例之植物本土性準則。

表 5.15 物種特性下之準則權重

評估準則 \ 群體	整體決策	
	平均值	排序
移動路徑	0.341	2
物種相對豐富度	0.659	1

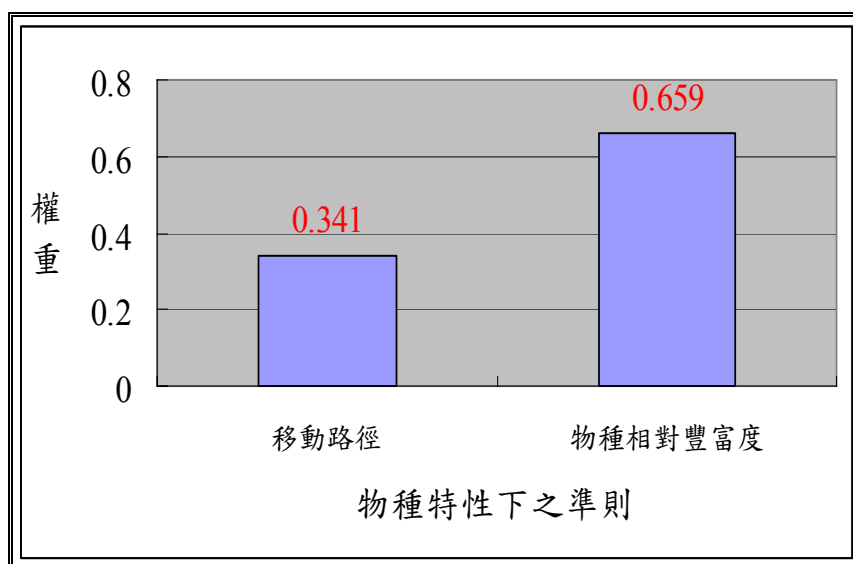


圖 5.13 物種特性下之準則權重圖

由表5.16中可知，於物種特性標的下之移動路徑準則與物種相對豐富度準則中：以物種相對豐富度準則（0.659）最，其次為移動路徑準則（0.341）。

由上述資料顯示，方案規劃中物種特性下之準則評選，專家學者認為以物種相對豐富度準則，即棲地樣區內物種數量佔其所在生物地理區或行政區域內物種總數的比例，應優先為之考量，其次則為動物在一般的運動模式如：連續運動及間歇運動過程

中，所形成之巢域、疏散及遷徙的移動路徑。

表 5.17 各標的下之準則權重

<div> <div>群體</div> <div>評估準則</div> </div>	整體決策	
	平均值	排序
透水性	0.093	3
承载力	0.132	1
坡度	0.034	14
水量	0.052	9
高度	0.04	12
阻隔性	0.081	4
安全性	0.095	2
土壤保水性	0.037	13
人為程度	0.071	5
閒置腹地	0.0227	17
演色性	0.049	10
密度	0.016	18
高度	0.043	11
綠覆率	0.066	6
植物多樣性	0.057	8
植物本土性	0.0229	16
移動路徑	0.03	15
物種相對豐富度	0.058	7

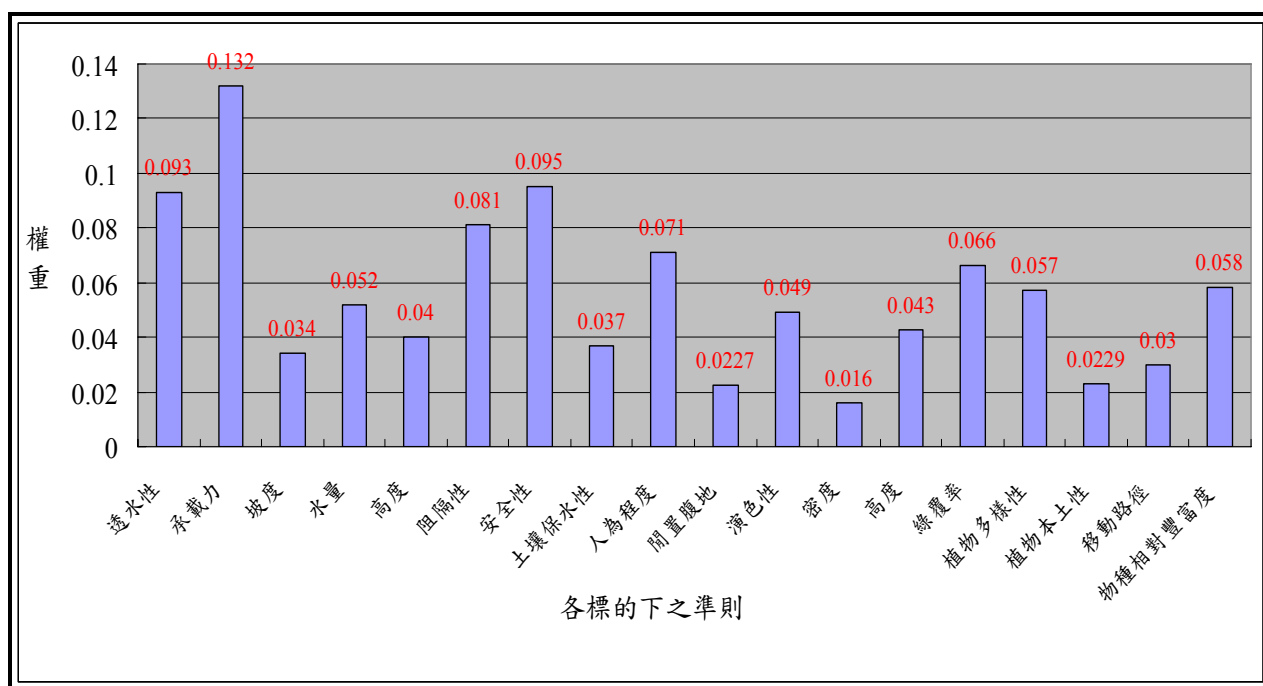


圖 5.14 各標的下之準則權重圖

由表 5.17 中可得知，各標的下之準則權重中：以道路路基下之承載力準則(0.132)最高、其次為邊坡設施下之安全性準則(0.095)、再者道路路基下之透水性準則(0.093)、第四為緩衝設施下之阻隔性(0.081)、最低則為照明設施下之密度準則(0.016)。

由上述所顯示之資料中可知，就整體準則而言，其評估結果以此道路施工後所能承受之交通承載量大小最為重視，亦是施工前最需注意及優先評估之考量點。

## 5.5 方案權重評析

表 5.18 方案決策權重

群體 評估準則	整體決策	
	平均值	排序
傳統工法	0.395	2
生態工法	0.605	1

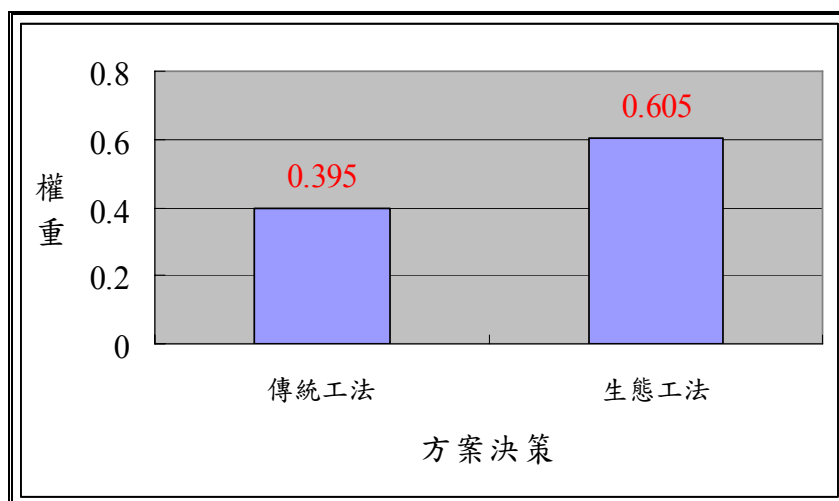


圖 5.15 方案決策權重圖

由上表 5.18 中可知，整體山區道路施工方案規劃評選結果中，以生態工法之方案權重(0.605)最高，其次為傳統工法之方案權重(0.395)。

由上述結果，吾人可知，對於整體山區道路規劃施工過程中，無論是傳統工法較重視之安全性、實用性、承载力等，亦或是生態工法所強調之動物移動路徑、植物生長多樣性、綠覆率高低等，其就整體而言對於施行生態工法於山區道路設計規劃上，最終仍以生態工法為最適施工方案，不但一改往昔工程施工者對於傳統工法之執著，更令吾人了解到生態工法於山區道路施工上之可行性及永續性。

## 第六章 實證研究

### 6.1 案例背景說明

本案例以交通部公路總局進行脊樑山脈旅遊線景觀改善計畫中選取台十四甲線霧社至合歡山莊段（0K～33K）作為實證研究地點，希望透過本研究將台十四甲線（0K～33K）沿線環境基質加以分析，並依前述架構提供本路段未來在進行景觀改善工程時得以運用之生態工法建議。

南投縣位台灣中部，台灣省之地理中心，為全台灣唯一不臨海的縣，為全省第二大縣份，僅次於花蓮縣。仁愛鄉位於中央山脈中區，東以合歡、奇萊山與花蓮縣交界，南至安東軍山與信義鄉相接，西與魚池鄉、埔里鎮、國姓鄉為界，北臨臺中縣和平鄉，境內分為十四村。台十四甲經過仁愛鄉南豐村、大同村。

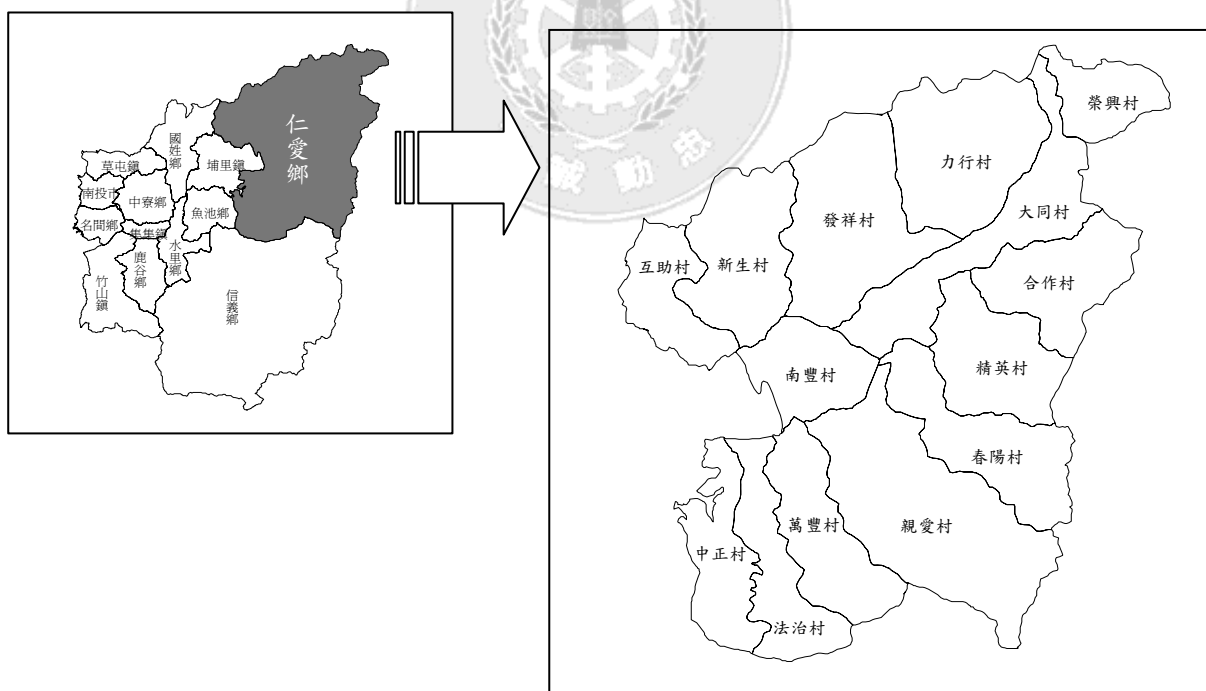


圖 6.1 仁愛鄉行政區域圖

## 6.2 實地評估

本研究配合公路總局調查，並依據第五章所擬定之評估準則，針對各評估單元進行評估因子之評估計分，將其分為四個等級，第一級評值為0.25；第二級評值為0.5；第三級評值為0.75；第四級評值為1。依各因子之評級轉換值與專家問卷所得之第三因子權重相乘積，所得之值再依層級結構推算，以瞭解實證基地中傳統工法與生態工法於此路段之相對性。

### 6.2.1 道路特性

#### 1. 道路路基

##### (1) 透水性

依據基地現況調查得知，台14甲線霧社至合歡山莊段之道路路面均為瀝青混凝土面，依評估等級為第二級。

##### (2) 承载力

依據台14甲線位於南投縣仁愛鄉，其公路等級本應歸於六級路，但受到谷關進入梨山道路中斷，現有聯絡之車輛均需繞由本區對外聯絡。因此評估其公路等級為五級路，依承载力評估等級為第三級。

#### 2. 緩衝設施

##### (1) 高度

依據現況調查，本路段兩側之護欄主要有水泥護欄、鋼板護欄及鋼索護欄，因此未有如高速公路側的高護欄或隔音牆。因此評估等級屬於第三級為公路等級五至六級路之護欄高度低於現地鳥類及昆蟲飛行習性。

##### (2) 阻隔性

依據現況調查，本路段二側之護欄具有穿透性並不能阻隔生

物闖入道路。因此評估等級屬於第一級為路權範圍無隔離設施亦無其他通道。

### 3. 排水設施

#### (1) 坡度

坡度的評估等級屬於第四級為山區農路邊溝坡度陡於百分之0.5。

#### (2) 水量

目前台14甲路側排水均為鋼筋混凝土邊溝，因此評估等級屬於第一級為表面僵硬且透水性極差的鋼筋混凝土邊溝將所有排水量沖刷至河川。

## 6.2.2 路側特性

### 1. 邊坡設施

#### (1) 安全性

經現況調查顯示，本路段0K-33K約有45%邊坡屬第一級需進行整治之邊坡且邊坡坡度大於土壤抗剪角，多已完成擋土牆工程；有40%邊坡屬第二級需進行整治之邊坡且邊坡坡度小於土壤抗剪角，部分採用植草格框護坡；有15%屬第三級為無潛在危險之邊坡。

#### (2) 土壤保水性

本路段現有植生狀況大致良好，僅沿線坡腳處土壤裸露，因此評估等級屬於第四級為邊坡表面土壤裸露面積小於25%。

### 2. 周邊土地使用狀況

#### (1) 人為程度

周邊土地使用型態人為程度的評估等級以使用強度對基地之



影響，評估等級屬於第四級。

## (2) 閒置腹地

周邊土地使用型態閒置腹地的評估等級以距離效果評估，評估等級屬於第四級為半徑50公尺之範圍內可連接至其它棲地。

## 3. 照明設施

### (1) 演色性

演色性的評估等級屬於第二級為演色性逼真度25%-50%。

### (2) 密度

在台14甲線0K-33K沿線現有路燈數量很少，僅有特殊地點有設置，因此評估等級屬於第四級為燈具密度不致干擾生態僅滿足基本行車安全。

### (3) 高度

目前燈具高度不致干擾生態且滿足基本行車安全為第四級。

## 6.2.3 生物特性

### 1. 植被特性

#### (1) 綠覆率

在台14甲線0K-28K沿線除人工設施物外，其餘土地大致植栽覆被狀況良好，但28K-33K受地質影響植栽覆被狀況較差。因此綠覆率的評估等級屬於第三級為綠覆率30%-45%。

#### (2) 植物多樣性

透過最小單位面積調查結果，單位面積內之植物種類平均在第二級為 $3 \leq D \leq 4$ 。



### (3) 植物本土性

台14甲沿線除接近霧社段以及清淨農場段的植物較多為人工種植外，其餘道路段植栽多為原生植物，因此在植物本土性的等級屬於第二級為 $0.25 < \text{本土植物比例} \leq 0.5$ 。

## 2. 物種特性

### (1) 移動路徑

目前台14甲沿線並未調查現地動物生物習性，未設置動物移動路徑為第一級。

### (2) 物種相對豐富度

本地區原生動物資源相當豐富，但台14甲沿線因長期受到人為活動影響，許多動物的活動範圍移往人煙稀少處，僅有不受人類活動干擾之物種會留在基地內，因此評估等級屬於第二級。

## 6.3 評估結果綜合分析

綜合上述評估結果，實證基地各評估因子之評級轉換值與各因子所佔權重之乘積如表所示。其計算過程說明如下：

1. 各評估項目達成程度之四個等級由低至高分別給予：第一等級0.25分；第二等級0.5分；第三等級0.75分；第四等級1分之轉換值。
2. 將個別評估項目之轉換值乘上因子權數，求得第三層級考量因子達成程度。
3. 將上一步驟所求得第三層級因子之達成程度分組加總，乘上對應之第二層級因子權數，求得第二層級因子之達成程度。依此類推可求得第一層級與最終目標層之達成程度。

表 6.1 傳統工法評比表

層級	因子	權數	評比值	現階段效果
評估準則	透水性	0.413	0.5	0.207
	承载力	0.587	0.75	0.44
	小計			0.647
	坡度	0.392	1	0.392
	水量	0.608	0.25	0.152
	小計			0.544
	高度	0.333	0.75	0.25
	阻隔性	0.667	0.25	0.167
	小計			0.417
	安全性	0.722	0.5	0.361
	土壤保水性	0.278	1	0.278
	小計			0.639
	人為程度	0.759	1	0.759
	閒置腹地	0.241	1	0.241
	小計			1
	演色性	0.451	0.5	0.226
	密度	0.147	1	0.147
	高度	0.402	1	0.402
	小計			0.775
	綠覆率	0.451	0.75	0.338
	植物多樣性	0.392	0.5	0.196
	植物本土性	0.157	0.5	0.079
	小計			0.613
	移動路徑	0.341	0.25	0.085
	物種相對豐富度	0.659	0.5	0.33
	小計			0.415

評估標的	道路路基	0.522	0.647	0.338
	排水設施	0.198	0.544	0.108
	緩衝設施	0.28	0.417	0.117
	小計			0.563
	邊坡設施	0.396	0.639	0.253
	周邊土地使用狀況	0.282	1	0.282
	照明設施	0.322	0.775	0.25
	小計			0.785
	植被特性	0.623	0.613	0.382
	物種特性	0.377	0.415	0.156
	小計			0.538
評估層面	道路特性	0.432	0.563	0.243
	路側特性	0.334	0.785	0.262
	生物特性	0.234	0.538	0.126
	合計			<b>0.631</b>

表 6.2 生態工法評比表

層級	因子	權數	評比值	現階段效果
評估準則	透水性	0.413	1	0.413
	承载力	0.587	0.5	0.294
	小計			0.707
	坡度	0.392	1	0.392
	水量	0.608	1	0.608
	小計			1
	高度	0.333	0.5	0.167
	阻隔性	0.667	0.75	0.5
	小計			0.667
	安全性	0.722	0.75	0.542
	土壤保水性	0.278	1	0.278
	小計			0.82
	人為程度	0.759	0.75	0.569
	閒置腹地	0.241	1	0.241
	小計			0.81
	演色性	0.451	0.75	0.338
	密度	0.147	1	0.147
	高度	0.402	1	0.402
	小計			0.887
	綠覆率	0.451	1	0.451
	植物多樣性	0.392	0.75	0.294
	植物本土性	0.157	0.75	0.118
	小計			0.863
	移動路徑	0.341	0.75	0.256
	物種相對豐富度	0.659	0.25	0.165
	小計			0.421

評估標的	道路路基	0.522	0.707	0.369
	排水設施	0.198	1	0.198
	緩衝設施	0.28	0.667	0.187
	小計			0.754
	邊坡設施	0.396	0.82	0.325
	周邊土地使用狀況	0.282	0.81	0.228
	照明設施	0.322	0.887	0.286
	小計			0.839
	植被特性	0.623	0.863	0.538
	物種特性	0.377	0.421	0.159
	小計			0.697
評估層面	道路特性	0.432	0.754	0.319
	路側特性	0.334	0.839	0.28
	生物特性	0.234	0.697	0.163
	合計			<b>0.762</b>

由表 6.1 與表 6.2 可知台十四甲線霧社至合歡山莊段山區道路改善建設其施工對整個工程及生態達成率而言，現階段效果其權重為(0.631)，若著重生態面而言，其效果權重則為(0.762)。因此可知以生態面著手於整體台十四甲線霧社至合歡山莊段山區建造改善時，其效果優於現階段(偏重傳統工法)。

因此，於山區道路建設中，藉由生態工法之應用來達到工程安全與生態保育之效用，其成果優於傳統工法。生態工法與傳統工程建設兩種思維模式必須進行完整的結合，透過本案例之探討及分析研究中得知，以永續發展及生物多樣性為目標，於生態與安全上尋求一合理之平衡點。

## 第七章 結論與建議

19 世紀末，混凝土誕生，從此廣泛地運用在各種工程之中，100 多年來的研究與應用，讓傳統工法發展出深厚的理論基礎。傳統工法在人類文明中有它的貢獻，卻也讓人類的生活陷入水泥叢林之中，對環境造成無法回復的傷害。

1938 年，德國學者 Seifert 首先提出近自然河溪整治的概念；1962 年，H.T. Odum 提到生態工法一詞；至今，生態工法已成普世價值。何謂生態工法？簡單地說，即在需要工程的地方，從規畫、設計到施工，利用對生態環境衝擊最小的方式來進行。公共工程委員會將生態工法列為政府公共工程的政策方向，由上而下全面推動生態工法。

本研究經由國內外相關文獻之蒐集、分析與比較後，已完成評估山區道路建設利用生態工法與傳統工法之評比，以道路特性層面、路側特性層面與生物特性層面等三方面進行探討，利用專家問卷調查方式、蒐集專家學者對選方案標的與評估準則之評估資料，並採用層級分析法（AHP）進行方案評估。茲將本研究所獲得之相關結論與建議說明如下。

### 7.1 結論

1. 國內山區公路建設，受限於經費、觀念、環境、行政上之限制，因而常造成山區環境、生態上之嚴重破壞。經由相關文獻之探討得知，近年來政府已開始重視生態工程層面。
2. 生態工法絕非全面性的廢除混凝土工程，而是於安全之基礎下，創造出傳統混凝土與生態保育相互平衡的治理方案。
3. 隨著行政院公共工程委員會對生態工法之推動，由本研究整體標的權重中首重道路路基，其次為植被特性，亦可得知過內專家學者對生態工法已逐漸接受中。

4. 國外山區公路案例中，許多觀念值得國內學習效法，例如瑞士山區公路以加勁擋土牆作為隔音牆、邊坡整治運用貼地工法配合綠化植生、懸臂棧橋結構、廢輪胎加勁擋土牆、採用高架橋梁等。
5. 由本研究可知，一般進行山區道路設計施工時，安全性為優先考量要素，其餘則為附加於安全性外的次要層面，於山區道路設計施工安全的前提下依道路特性、路側特性及生物特性進行評估比較，而將評估結果提供給決策者進行策略之釐定確為一可行的方法。
6. 透過層級分析法及專家問卷實證研究之綜合評判結果發現，在評估準則排序比較方面，生態工法應用山區公路建設上的主要考量因素依順序為「道路路基之承載力」、「邊坡設施之安全性」等項目，此外，決策者較不重視的因素為「照明設施之密度」、「周邊土地使用狀況之閒置腹地」。
7. 在傳統工法與生態工法之綜合績效評比方面上，透過專家問卷的調查，在山區道路施工上生態工法的績效值為0.605優於傳統工法的績效值0.395。因此生態工法應用於山區道路施工對整體成效而言是可行且適用。
8. 本研究以台十四甲線霧社至合歡山莊段作為實證案例，藉由生態工法之應用來達到工程建設安全之效用，其成果優於傳統工法。生態工法與傳統工程建設兩種思維模式必須進行完整的結合，透過本案例之探討及分析研究得知，以永續發展及生物多樣性為目標，於生態與安全上尋求一合理之平衡點。

## 7.2 建議

1. 山區道路建設之新觀念，非單考慮建造時之工程經費為唯一考量層面。因此，建議後續研究者能蒐集更多此類相關資料，更進一步加以研究。
2. 生態工法至今仍有許多層面正處於萌芽階段，如：生命週期、生態材料等，如何運用於大小工程案上皆為值得後續研究之議題。
3. 本研究僅選定台14甲線霧社至合歡山莊段作為本研究實證基地。若有更豐富的資料將能更有助於應證。
4. 本研究僅就我國山區道路應用生態工法與傳統工法在施工上之道路特性、路側特性及生物特性予以比較，然而有關施工上經濟效益、生命週期等問題可為後續研究。
5. 山區道路生態工法之建設中，鮮少建立整體資料庫，由於國內生態工法足見受重視，期望後續研究者及政府單位能建立一套生態工法施工資料庫，對後續研究將有更精進之進步空間。



## 參考文獻

### 一、中文部分

1. 王辛隆、張亦通(2002)，「野溪治理運用生態工法-以南坑野溪整治為例」，水土保持自然工法研討會，第 82-83 頁。
2. 王惠敏，（1998），「生態綠化及休息站服務區景觀美化考察」報告書，國道高速公路局。
3. 王惠敏，1988，高速公路景觀設計與植物維護-以中山高速公路為例，造園季刊，3(3)：4-12。
4. 王敬國，（2000），生物資源。王敬國編，資源與環境概論。pp. 86-107。
5. 中興大學水資源保育及防災研究中心，(1999)，生態工程與自然工法論文集。
6. 台北科技大學，(2000)，生態工法講習班講義。
7. 台大農村規劃與發展研究中心，（1998），「道路與水域之生態系統規劃-動植物之新生活區」，田園城市出版社。
8. 交通部，（2002），交通政策白皮書。
9. 行政院公共工程委員會，(2004)，生態工法案例編選集。
10. 余任光，（2000），「國道排水設計之回顧與檢討－國道建設十週年論文集」，P41-51，國道新建工程局。
11. 吳久雄，（2001），「針對不同地形之植生工法選擇」九二一重建區崩塌地處理訓練講義，公路局。
12. 吳俊慧，1980，中央分隔島設置準則之研究，碩士論文，台灣大學土木工程研究所。
13. 吳輝龍(2002)，「水土保持之自然生態工法」，自然生態工法實務研討會，中興大學。
14. 吳輝龍(2003)，「推動自然生態工法之展望」，泥岩自然生態工法研討會。

15. 吳輝龍(2003)，「採自然生態工法於土石流崩塌地整治之理念及案例介紹」，2003 生態工法人才培訓講習會論文集，第 4-1~4-29 頁。
16. 李怡慧，(2001)，「生態工程應用於校園水域設施之研究」，台大土木所碩士論文，p.25-29。
17. 李素馨，(1999)，「道路相關設施景觀設計準則之研究」，國道高速公路局。
18. 吳正雄，(2000)，「台北市野溪治理近自然工法應用之探討」，近自然工法研討會，第 174-187 頁，。
19. 汪靜明，“生態工法之生態內涵”，2002 生態工法講習班論文集，2002。
20. 周南山，(1997)，「引進地工新技術以保護公路之環境、生態與景觀之研究」，環境保護文教基金會。
21. 林俊寬、許添籌譯；新田伸三原著，1985，植栽理論與技術，詹氏書局。
22. 林晏州，(2001)，行道樹景觀美質評估，造園學報，7(2):71-97。
23. 林晏州，陽明山國家公園生態旅遊路線及解說規劃，陽明山國家公園管理處委託研究報告。
24. 林又青、洪勇善、陳榮河，(2003)，生態工法安全分析。
25. 林憲德，(1999)，「城鄉生態」，詹氏書局。
26. 林鎮洋(2003)，「生態工法之法展趨勢與現況」，生態工法與生物多樣性研討會論文集，第 16-47 頁。
27. 林鎮洋、邱逸文，(2003)，「生態工法概論」，台北科技大學水環境研究中心。
28. 林獻川，(2000)，「由景觀生態學觀點探討農業排水路設計之研究」，台大農工碩士論文。
29. 林金德、黃于坡、蔡真珍，(2002)，「現階段生態工法推展所面臨的問題與對策」，第一屆自然生態工法理論與實務研討會論文集。
30. 林信輝，“野溪自然生態工法評估指標及設計參考圖冊之建立期末報告書”，行政院農業委員會水土保持局，南投，2002。

31. 邱士生，（2000），「台灣地區國道網建設制度化之研究－國道建設十週年論文集」，P15-28，台北：國道新建工程局。
32. 邱銘源，（2002），「國道建設應用生態工法之準則研究」，台大園藝所碩士論文。
33. 財團法人中華建築中心，（2001），「綠營建工程方案－推動綠營建工程評估審議制度及評估指標之研究」台北：行政院公共工程委員會。
34. 財團法人中華建築中心，（2001），「綠營建工程方案－道路工程建立綠營建工程設計規範及設計準則」台北：行政院公共工程委員會。
35. 陳王琨編著，（1996），「營建工程環境管理與污染防治」，淑馨出版社。
36. 陳隆陞，（1996），柔腸寸斷步步危機－賀伯橫掃後的新中橫，大自然季刊，53期 62-71 頁。
37. 彭國棟（2000），「生態工法及生態綠化」，自然保育季刊，第31期，第6-17頁。
38. 湯宗達（1997），「以生態系統完整性為中心之河川生態品質評估架構」，中興大學資源管理研究所碩士論文。
39. 葉欣誠、于蕙清，（2005），「國際環境永續性指標之探討」，國立中央大學環境工程研究所，《永續環境管理之制度與方法研討會》。
40. 黃佳盛，（1996），行道樹的選取與栽植設計，農業世界，（159）：62-64。
41. 黃彥三，（1987），木材衝擊抗彎強度之研究，林試所研究報告季刊，2(2)：145-154。
42. 黃秋煌、黃振嘉、徐耀賜，（2004），「生態工法於公路工程應用之研究(一)、(二)、(三)」，營建工程 289、290、291 期。
43. 黃秋煌，（2005），「山區道路景觀改善運用生態工法準則之研究-以台十四甲線霧社至合歡山莊段為例」，逢甲大學交通工程與管理學系碩士論文。

44. 楊秋霖，（2001），「道路邊坡植生綠化規劃設計原則」九二一重建區崩塌地處理訓練講義，公路局。
45. 農業委會水土保持局，（1998），自然生態工法網頁。鼎漢國際工程顧問公司（譯），世界銀行著，《永續運輸—論政策改革之優先課題》，鼎漢。
46. 趙睦男譯，（1984），「生態學譯粹」，台灣省公共衛生研究所。
47. 蔣忠國，（1999），「道路景觀規劃與設計」，道路建設之計劃管理研討會論文，中華民國運輸學會，P5-11。
48. 蔡厚男，（2001），「道路建設與生態工法」九十年度創造台灣城鄉新風貌示範計畫生態工法講習會，台北：內政部營建署。
49. 蔡厚男，（2001），「道路建設與環境共生的希望工程—生態工法的理念事例與實踐」交通部鐵公路景觀研討會論文，台北：國道新建工程局。
50. 鄭文隆，（1997），「邊坡保護措施簡介」，國道新建工程局（簡介 018）。
51. 鄭文隆，（2000），「邊坡坍滑案例回饋設計之研究」，國道新建工程局（技術叢書 012）。
52. 鄭光炎，（2000），「生態工法簡介」，土木工會技師報 NO.200。
53. 鄭光炎，（2002），「生態工法之工料分析」，生態工法研討會講義，第 3-1~3-2 頁。
54. 鄭先祐，（1992），「生態環境影響評估學」，國立編譯館。
55. 謝森和，（2003），「生態概論」，2003 年生態工法人才培訓講習會論文集，第 6-1~6-10 頁。
56. 蘋果日報，（2006），國際視窗(AA3)，「物種滅絕速度飆高千倍」。
57. 蘋果日報，論壇(A15)，謝和霖(看守台灣協會執行長)，「請大官們疼惜生態環境」，2006 年 3 月 8 日。

## 二、日文部分

1. （社）道路綠化保全協會，（1999），エコロードブック。

2. (木通)渡達也, (1993), 事例篇, 龜山章、(木通)渡達也編, 水邊のリハビリテーション, pp. 117-224。
3. 久保哲司、福留脩文, (1990), 自然あふれるまちづくり。財団法人リバーフロント整備センター編, 多自然型建設工法の理念と實際, まさと水邊に豊かな自然を, pp.1-72。
4. 財団法人リバーフロント整備センター, (1995), 川の親水プランとデザイン。
5. 大熊孝, (1992), 河川の進自然工法, 山杉恵一、進士五十八編, 自然環境復原の技術, pp.87-92。
6. 大泰司紀之, (1998), 「野生動物の交通事故対策」, 東京: 北海道大學圖書刊行會。
7. 竹林征三, (1999), 「環境共生 pocket book」, 東京: 山海堂。
8. 藤田正裕(訳), (1999), バイオエンジニアリングを用いた緑の道路設計, 集文社。
9. 道路環境研究所生態道路検討委員會, (1997), 「自然との共生おめざす道づくり」, 東京: 大成出版社。
10. 日本生態系協會, (2001), 「環境保護最新知識—bio network」, 東京: 信山社。
11. 日本道路協會編集, (1989), 道路環境整備マニュアル。
12. 日本道路協會, (1988), 道路綠化技術基準・同解説, 丸善株式會社。

13. 日本道路公團，（1999），「緑と高速道路」，東京：日本道路公團。
14. 北村圭一，（1992），市民のための人工なぎさ，山杉恵一、進士五十八編，自然環境復原の技術，pp.118-127。
15. 櫻井善雄，（1992），自然湖岸の生態と復元，山杉恵一、進士五十八編，自然環境復原の技術，pp.104-117。
16. 櫻井善雄，（1994），續.水邊の環境學，再生への道をさぐる。
17. 龜山章，（1992），生態系保全綠化，小橋澄治、村井宏、龜山章編，環境綠化工學，pp.135-146。
18. 龜山章，（1992），道路整備における生態系の保全手法，山杉恵一、進士五十八編，自然環境復原の技術，pp.60-66。
19. 龜山章，（2001），「エコロードー生き物にやさしい道づくり」東京：大成出版社。

### 三、西文部分

1. Bergen, S.D., Bolton, S.M., and Fridley, J.L., 1997. Ecological Engineering: Design Based on Ecological Principles. Paper No. 975035, 1997 International Meetings of the ASAE.
2. Crance, J.H. ,(1987).Guidelines for using the Delphi technique to develop habitat suitability index curves, Biological report 82(10.134), National Ecology Center, Fish and Wildlife Service, US Department of the Interior.
3. Curatolo, J.A. and Murphy, S.M.(1986).“The Effect of Pipelines, Roads, and Traffic on the Movement of Caribou (Rangifer tarandus), ” Can. Field Nat., 100, pp. 218-224.
4. De Vries, J.G., 2004. Eco-Roads: Safe and sound for People and Nature, International Conference on Eco-Technology.
5. Ellenberg, H., Muller , K. and Stottele, T.(1981).“Strassen-Okologie: Auswirkungen von Autobahnen

- und Strassen auf Okosysteme deutscher Landschaften,” Deutsche Strassenliga, Bonn.
6. Etienne, R.S., Vos, C.C., and Jansen, M.J.W.(2003). “Ecological Impact Assessment in Data-Poor Systems: A case Study on Metapopulation Persistence,” *Environmental Management*, Vol. 32, No. 6, pp. 760-777.
  7. Farina, A.,(1998). 「Principles and Methods in Landscape Ecology」, Chapman & Hall Press, London.
  8. Form, R.T.T. ,(1999), Horizontal Processes, Roads, Suburbs, Societal Objectives, and Landscape Ecology. In: *Landscape Ecological Analysis*, pp.35-53. Klopatek, J.M. and R.H. Gardner, (eds.).
  9. Forman, R. T.T. & Godron. M,(1986), 「Landscape Ecology」, John Wiley, New York..
  10. Forman, R. T.T.,(1995). 「Land Mosaics--The Ecology of Landscapes and Regions」, Cambridge University Press. , P145-176.
  11. Forman, R. T.T.,(1998). 「Road And Their Major Ecological Effects」. *Annual Review. Ecol. syst.* V29.p207-231.
  12. Forman, R. T.T.,(1998).「Road Ecology: A solution for the giant embracing us」. *Landscape ecology* V13.p3-5.
  13. Groot-Bruinderink, G. W. T. A. and E. Hazebroek,1996. Ungulate traffic collisions in Europe.–*Conserv. Biol.*,10:1059-1067.
  14. Gilbert, T. and Wooding, J.(1994). “Chronic Roadkill Problem Areas for Black Bears in Florida,” Unpublished Report, Florida Game and Fresh Water Fish Commission, 24 pages.
  15. Hill, D. et al.(1997). “Integrating Habitat and Species Protection into Transport and Regional Development Policies: An Initial Study,” *Ecoscope Applied Ecologists*, North Torkshire.

16. Jeffrey M. Klopatek and Robert H. Gardner.,(1999). 「Landscape Ecological Analysis Issues and Applications」.springer.p35-53.
17. Krummenacher, E. and Mier. C.(1989). “Geleise als Barrierefur die Amphibienwanderung: Untersuchung der Wirksamkeit einer Sanierung,” Aqua Terra, Schwerzenbach, witzerland.
18. Mitsch, W. J., S.E. Jørgensn, (1989). Ecological Engineering: An Introduction To Ecotechnology, Wiley, New York.
19. Mitsch, W.J., S. E. Jorgensn, (1989). Ecological Enguneering: An Introduction To Ecotechnology, Wiley, New York.
20. Norton, B.G ,(1991). Toward unity among Environmentalists, New York, Oxford University Press.
21. Odum, H.T.,(1962). Man in the ecosystem. In proceedings Lockwood Conference on the Suburban Forest and Ecology. Conn. Agr. Station 652. Storrs, CT, pp.57-75.
22. Odum, H.T., (1972). Environment, Power, and Society. New York: Wiley-Interscience.
23. Odum, H.T., 1983. System Ecology: An Introduction. Wiley, New York.
24. Rund Cupers. (1996). 「Ecological compensation of the impacts of a road. Preliminary method for the A50 road link (Eindhoven-Oss. The Netherlands) 」.Ecological Engineering v7.p327-349.
25. Rund Cupers.,(2001). 「ecological compensation in Dutch Highway Planning」.Environment Management.V27.p75-89.
26. Straškraba, M. ,(1984). New ways of eutrophication abatement. In M. Straškraba. Randl, and P. Procalova, eds. Hydrobiology and Water Quality of Reservoirs. Acad. Sci., C sk Budjovice, Czechoslovakia, pp.37-45.
27. Smith, R.L. & T.M. Smith, (1991), Ecology & Field Biology.
28. Shuster, A., 2005, ASCE Civil Engineeri. p. 8~19



29. Turner, M.G., R.H. Gardner, R.V. O'Neill, (2001), Landscape Ecology in theory and practice.
30. Vos, C.C. and Cardon, J.P.(1998). "Effects of Habitat Fragmentation and Density on the Distribution Pattern of the Moor Frog *Rana Arvalis*," Journal of Applied Ecology, Vol. 35, pp. 44-56.
31. Wenche E. Dramstad, James D. Olson. And Richard T.T. Forman, (1996), 「Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land-Use Planning.」 Washington, DC: Island Press.
32. Wolf. K.-R.(1993). "Zur Biologie der Erdkröte *Bufo L.* unter besonderer Berücksichtigung der Bedeutung von Migrationshindernissen auf das Wanderverhalten und die Entwicklung von vier Erdkrötenpopulationen im Stadtgebiet von Osnabrück," Ph.D. thesis, University Osnabrück, Edwin Mellen Press, Lewiston, New York, 312 pages.

### 三、參考網站

1. 交通部公路總局網站：<http://www.thb.gov.tw/>
2. 中華民國景觀學會網站：<http://www.landscape.org.tw/>
3. 行政院國家永續發展資訊網站：<http://ivy2.epa.gov.tw/nsdn/>
4. 交通部台灣區國道新建工程局網站：<http://www.taneeb.gov.tw/>
5. 交通部台灣區國道高速公路局網站：<http://www.freeway.gov.tw/>
6. 土木技師工會網站：<http://www.twce.org.tw/>
7. 生態工法首頁網站：<http://wildmic.npust.edu.tw/biology/>
8. 生態工法專屬網站：<http://eem.wra.gov.tw/>
9. 中國土木水利學會網站：<http://www.ciche.org.tw/>
10. 全國生態工法入口網網站：<http://eem.pcc.gov.tw/docs/index.htm>
11. 生態建築專門網網站：<http://ecology.archi.com.tw>

## 附錄

各位交通專家，您好！

感謝您願意於百忙中撥冗填答此問卷，本研究問卷目的，希望針對傳統工法及生態工法施工設計過程中所引發之項目予以進行比較。素仰您在交通公路領域之卓越成就，希望您能撥冗回覆本問卷，以提供本研究更為正確且完整之決策資訊。

本問卷所得資料僅供學術研究之用，絕不單獨對外發表。非常感謝您的協助！於此再次敬上十二萬分的謝意！  
敬祝您

新春愉快 萬事如意

逢甲大學交通工程與管理學系指導教授：徐耀賜 博士

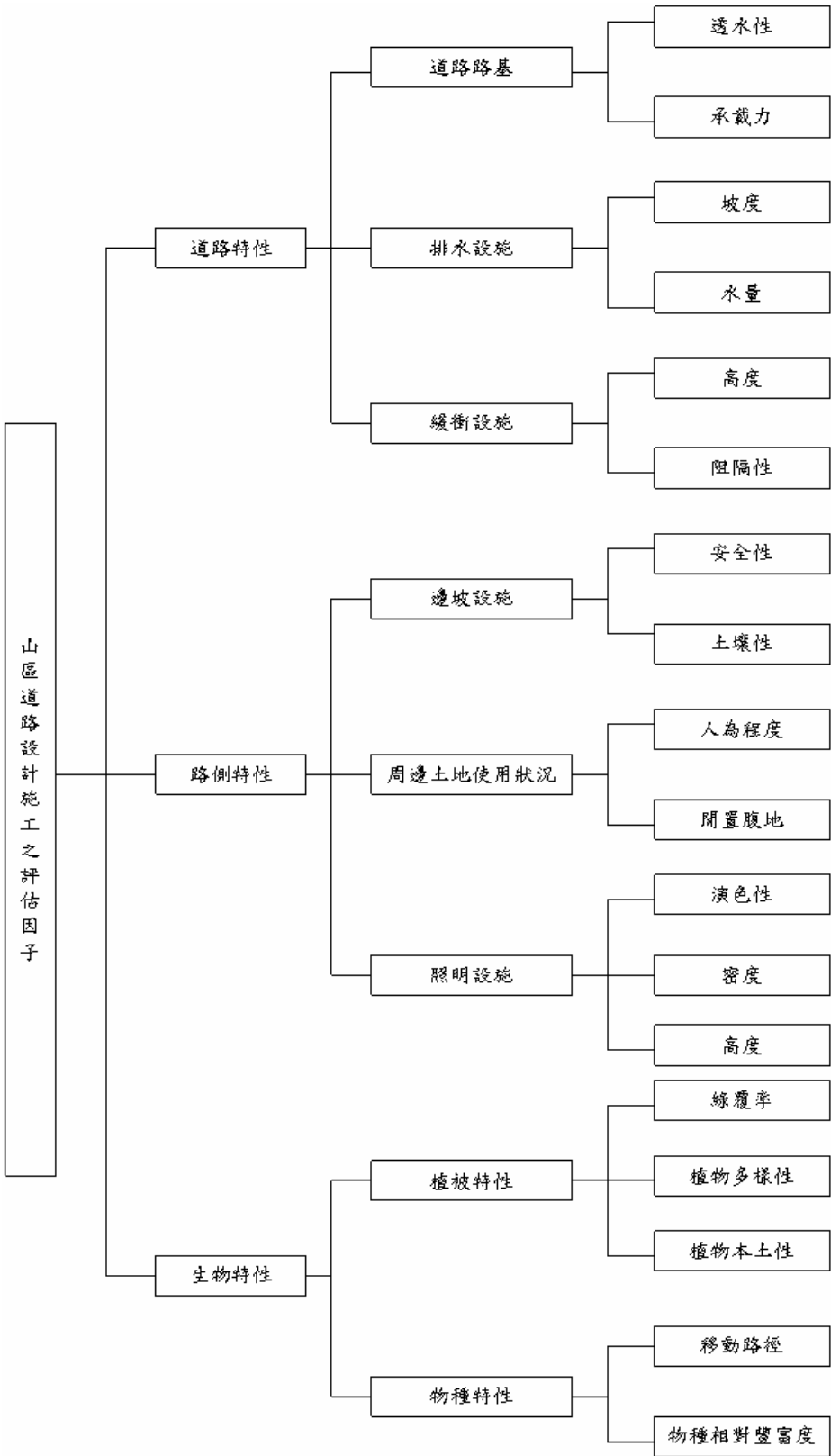
研 究 生：黃堂展

敬上

連絡電話：(04) 2451-7250 # 4664

### 【問卷填寫說明】

1. 本問卷希望藉由各位專家學者寶貴意見針對傳統工法與生態工法之參考準則權重分析與方案之評選。
2. 本研究之相關準則架構、定義與方案均於下文中說明之，請於填寫時予以參照。
3. 請依您個人之專業素養及經驗之主觀認定，選擇各評估準則與方案之相對權重。
4. 倘若本問卷上有遺漏未列之準則，希望您能夠不吝指教，將其填寫於本問卷最末「建議事項」部份。



圖一 層級架構圖

## 【問卷內容】

## 一、兩兩權重比較之簡例

1. 請就不同之要素，依其在評選山區道路設計施工最適方案，兩兩相對重要程度進行比較、勾選。
2. 其比值全依個人專業素養之主觀認定。
3. 範例說明：對於成績與智商相對重要性的比較，某甲認為成績與智商的重要性比值為 1:8，則表示為：

評估 尺度 項目一	絕對 重要		極為 重要		頗為 重要		些許 重要		同等 重要		些許 重要		頗為 重要		極為 重要		絕對 重要	評估 尺度 項目二
	9:1	8:1	7:1	6:1	5:1	4:1	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	
成績																✓		智商

## 二、權重比較之填寫

## (一) 各層面相對重要性

1. 請就道路特性、路側特性、生物特性三大層面之相對重要性進行比較

評估 尺 度  項 目 一	絕 對 重 要		極 為 重 要		頗 為 重 要		些 許 重 要		同 等 重 要		些 許 重 要		頗 為 重 要		極 為 重 要		絕 對 重 要	評估 尺 度  項 目 二
	9:1	8:1	7:1	6:1	5:1	4:1	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	
道 路 特 性																		路 側 特 性
																		生 物 特 性
路 側 特 性																		生 物 特 性

(二) 請就各層面下，不同標的的重要程度為何

1. 在『道路特性』層面下，不同標的的重要程度為何：

評估 尺度 項目一	絕對 重要		極為 重要		頗為 重要		些 許 重要		同 等 重要		些 許 重要		頗為 重要		極為 重要		絕對 重要	評估 尺度 項目二
	9:1	8:1	7:1	6:1	5:1	4:1	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	
道路路基																		排水設施
																		緩衝設施
排水設施																		緩衝設施

2. 在『路側特性』層面下，不同標的的重要程度為何：

評估 尺度 項目一	絕對 重要		極為 重要		頗為 重要		些 許 重要		同 等 重要		些 許 重要		頗為 重要		極為 重要		絕對 重要	評估 尺度 項目二
	9:1	8:1	7:1	6:1	5:1	4:1	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	
邊坡設施																		周邊土地 使用狀況
																		照明設施
周邊土地 使用狀況																		照明設施

3. 在『生物特性』層面下，不同標的的重要程度為何：

評估 尺度 項目一	絕對 重要		極為 重要		頗為 重要		些 許 重要		同 等 重要		些 許 重要		頗為 重要		極為 重要		絕對 重要	評估 尺度 項目二
	9:1	8:1	7:1	6:1	5:1	4:1	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	
植被特性																		物種特性

(三) 請就各標的下，不同準則的重要程度為何

1. 您認為在『道路路基』標的下，不同準則的相對重要程度為何：

評估 尺度 項目一	絕對 重要		極為 重要		頗為 重要		些 許 重要		同 等 重要		些 許 重要		頗為 重要		極為 重要		絕對 重要	評估 尺度 項目二
	9:1	8:1	7:1	6:1	5:1	4:1	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	
透水性																		承載力

2. 您認為在『排水設施』標的下，不同準則的相對重要程度為何：

評估 尺度 項目一	絕對 重要		極為 重要		頗為 重要		些 許 重要		同 等 重要		些 許 重要		頗為 重要		極為 重要		絕對 重要	評估 尺度 項目二
	9:1	8:1	7:1	6:1	5:1	4:1	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	
坡度																		水量

3. 您認為在『緩衝設施』標的下，不同準則的相對重要程度為何：

評估 尺度	絕對 重要		極為 重要		頗為 重要		些 許重要		同等 重要		些 許重要		頗為 重要		極為 重要		絕對 重要	評估 尺度
	9:1	8:1	7:1	6:1	5:1	4:1	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	
項目一																		項目二
高度																		阻隔性

4. 您認為在『邊坡設施』標的下，不同準則的相對重要程度為何：

評估 尺度	絕對 重要		極為 重要		頗為 重要		些 許重要		同等 重要		些 許重要		頗為 重要		極為 重要		絕對 重要	評估 尺度
	9:1	8:1	7:1	6:1	5:1	4:1	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	
項目一																		項目二
安全性																		土壤性

5. 您認為在『周邊土地使用狀況』標的下，不同準則的相對重要程度：

評估 尺度	絕對 重要		極為 重要		頗為 重要		些 許重要		同等 重要		些 許重要		頗為 重要		極為 重要		絕對 重要	評估 尺度
	9:1	8:1	7:1	6:1	5:1	4:1	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	
項目一																		項目二
人為程度																		閒置腹地

6. 您認為在『照明設施』標的下，不同準則的相對重要程度為何：

評估 尺度 項目一	絕對 重要		極為 重要		頗為 重要		些 許 重要		同 等 重要		些 許 重要		頗為 重要		極為 重要		絕對 重要	評估 尺度 項目二
	9:1	8:1	7:1	6:1	5:1	4:1	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	
演色性																		密度
																		高度
密度																		高度

7. 您認為在『植被特性』標的下，不同準則的相對重要程度為何：

評估 尺度 項目一	絕對 重要		極為 重要		頗為 重要		些 許 重要		同 等 重要		些 許 重要		頗為 重要		極為 重要		絕對 重要	評估 尺度 項目二
	9:1	8:1	7:1	6:1	5:1	4:1	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	
綠覆率																		植物本土性
																		植物多樣性
植物本土性																		植物多樣性

8. 您認為在『物種特性』標的下，不同準則的相對重要程度為何：

評估 尺度 項目一	絕對 重要		極為 重要		頗為 重要		些 許 重要		同 等 重要		些 許 重要		頗為 重要		極為 重要		絕對 重要	評估 尺度 項目二
	9:1	8:1	7:1	6:1	5:1	4:1	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	
移動路徑																		物種數量



三、請就『生態工法』與『傳統工法』分別以評估準則進行評價，並在適當位置打「v」，評價愈好，表示愈利於該方案執行。

1.不同方案對『透水性』準則之評價

準則 評價 方案	評價						
	很差	差	稍差	普通	稍好	好	很好
	1	2	3	4	5	6	7
傳統工法							
生態工法							

2.不同方案對『承載率』準則之評價

準則 評價 方案	評價						
	很差	差	稍差	普通	稍好	好	很好
	1	2	3	4	5	6	7
傳統工法							
生態工法							

3.不同方案對『自然材料』準則之評價

準 則 評 價 方 案	評價						
	很差	差	稍差	普通	稍好	好	很好
	1	2	3	4	5	6	7
傳統工法							
生態工法							

## 4.不同方案對『坡度』準則之評價

準則 評價 方案	評價						
	很差	差	稍差	普通	稍好	好	很好
	1	2	3	4	5	6	7
傳統工法							
生態工法							

## 5.不同方案對『地下水』準則之評價

準則 評價 方案	評價						
	很差	差	稍差	普通	稍好	好	很好
	1	2	3	4	5	6	7
傳統工法							
生態工法							

## 6.不同方案對『水量』準則之評價

準則 評價 方案	評價						
	很差	差	稍差	普通	稍好	好	很好
	1	2	3	4	5	6	7
傳統工法							
生態工法							

## 7.不同方案對『高度』準則之評價

<div>準則</div> <div>評價</div> <div>方案</div>	評價						
	很差	差	稍差	普通	稍好	好	很好
	1	2	3	4	5	6	7
傳統工法							
生態工法							

## 8.不同方案對『阻隔性』準則之評價

<div>準則</div> <div>評價</div> <div>方案</div>	評價						
	很差	差	稍差	普通	稍好	好	很好
	1	2	3	4	5	6	7
傳統工法							
生態工法							

## 9.不同方案對『連續性』準則之評價

<div>準則</div> <div>評價</div> <div>方案</div>	評價						
	很差	差	稍差	普通	稍好	好	很好
	1	2	3	4	5	6	7
傳統工法							
生態工法							

## 10.不同方案對『安全性』準則之評價

<div>準則 評價 方案</div>	評價						
	很差	差	稍差	普通	稍好	好	很好
	1	2	3	4	5	6	7
傳統工法							
生態工法							

## 11.不同方案對『土壤性』準則之評價

<div>準則 評價 方案</div>	評價						
	很差	差	稍差	普通	稍好	好	很好
	1	2	3	4	5	6	7
傳統工法							
生態工法							

## 12.不同方案對『人為程度』準則之評價

<div>準則 評價 方案</div>	評價						
	很差	差	稍差	普通	稍好	好	很好
	1	2	3	4	5	6	7
傳統工法							
生態工法							

## 13.不同方案對『閒置腹地』準則之評價

<div>準則</div> <div>評價</div> <div>方案</div>	評價						
	很差	差	稍差	普通	稍好	好	很好
	1	2	3	4	5	6	7
傳統工法							
生態工法							

## 14.不同方案對『綠覆率』準則之評價

<div>準則</div> <div>評價</div> <div>方案</div>	評價						
	很差	差	稍差	普通	稍好	好	很好
	1	2	3	4	5	6	7
傳統工法							
生態工法							

## 15.不同方案對『綠地連續性』準則之評價

<div>準則</div> <div>評價</div> <div>方案</div>	評價						
	很差	差	稍差	普通	稍好	好	很好
	1	2	3	4	5	6	7
傳統工法							
生態工法							

## 16.不同方案對『植物多樣性』準則之評價

<div>準則 評價 方案</div>	評價						
	很差	差	稍差	普通	稍好	好	很好
	1	2	3	4	5	6	7
傳統工法							
生態工法							

## 17.不同方案對『移動路徑』準則之評價

<div>準則 評價 方案</div>	評價						
	很差	差	稍差	普通	稍好	好	很好
	1	2	3	4	5	6	7
傳統工法							
生態工法							

## 18.不同方案對『物種數量』準則之評價

<div>準則 評價 方案</div>	評價						
	很差	差	稍差	普通	稍好	好	很好
	1	2	3	4	5	6	7
傳統工法							
生態工法							

#### 四、建議事項

---

---

---

---

---

