

ISSN:1812-2868

臺灣公路工程

第 44 卷 第 10 期

〈每月 15 日出刊〉



TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

Vol. 44 No.10 Oct. 2018

交通部公路總局

中華民國 107 年 10 月 15 日



封 面 說 明

台21線93K+843

陳有蘭溪橋

陳毅銘 提供



臺灣公路工程

TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

中華民國 41 年 11 月 11 日創刊

第 44 卷 第 10 期 目錄

本刊為中華民國 41 年 11 月 11 日創刊，至 63 年 3 月 1 日發行第 22 卷第 5 期，經合併本局發行之臺灣公路工程、養路及公路機料等三種月刊，仍以臺灣公路工程為名，於 63 年 7 月 15 日起重訂為第 1 卷第 1 期繼續發行

臺灣公路工程

發行人

陳彥伯

社長

許鈺漳

總編輯

陳敬明

總幹事

李崇堂

編輯

賴常雄 陳進發

鄧文廣 李忠璋

黃三哲 何鴻文

蔡宗成 薛讚添

陳營富 陳嘉盈

林清洲 李順成

陳松堂 吳昭煌

江金璋 邵厚潔

顏召宜

實務報導

落石災害評分系統於省道邊坡分級管理之應用

..... 陳進發 (2)

BMPs 設施削減道路逕流污染效益評估分析

..... 王韻瑾 (20)

落石災害評分系統於省道邊坡分級管理之應用

陳進發*

摘要

臺灣地區多山，而山區公路常伴峽谷及溪流而行，長久以來因人力巡檢視角有限，無法探及更上層邊坡狀況，致使零星落石偶有發生，無法有效的防治落石問題。近年來由於遙感探測技術之普及，公路總局亦藉由 UAV/S 及 LiDAR 等科技設備加入巡檢行列，惟因資源有限，為有效率的投入科技巡檢資源，於現有邊坡定性分級制度內，需要再快篩擇定更需要進階檢測的邊坡單元。經評估後擇定落石災害評分系統（Rockfall Hazard Rating System, RHRS）為快篩方法，而評分結果對應之進階檢測項目，則是運用科技巡檢所得之圖資辦理變異性分析、浮落石分析、裂縫檢視等，經過快篩評分等級列 4-5 級邊坡單元稱之為優先關注邊坡。公路總局將省道 123 處 A、B 級邊坡，運用 RHRS 快篩出具有中高風險落石的邊坡單元 43 處，預期透過科技的協助，定期監控邊坡地形與高程變化，發現問題及早改善。本文主要從省道邊坡養護管理制度變革歷程介紹起，迄至目前採行的定性分級，以及即將採行的 RHRS 評分準則（定量分級）。該準則係根據交通部科技顧問室 1996 年委託臺灣大學擬訂的修正版本為基礎，再依據 2018 年 16 場次之現地專家評分會議後的修訂版，主要評分因子計有地形、地質、坡面植被與氣候組成之落石危害觸動條件，落石災害歷史、曝露度等因子組成之行車安全風險，及設置防護設施後各邊坡之殘餘風險，評分越高，該邊坡之落石災害風險愈高，愈可能促成邊坡崩塌或交通中斷。

關鍵字：落石、評分、科技巡檢、分級管理。

* 交通部公路總局 副總工程司

一、前言

公路總局為有效率的投入科技巡檢資源於省道邊坡養護，並於檢視邊坡全貌發現問題後，進一步辦理落石防治。爰於現有邊坡定性分級制度內，再快篩擇定更需要進階檢測的邊坡單元，所以經評估後採用落石災害評分系統（Rockfall Hazard Rating System，RHRS）為快篩方法。

該系統最早係由 Wyllie 於 1987 年提出，後經美國俄勒岡州運輸部修改，用以對俄勒岡州 3000 多個公路邊坡進行評估，以降低落石對交通的影響。由於 RHRS 在俄勒岡州的成功經驗，後續被美國其他 18 個的州採用，其他國家亦陸續使用，如印度以原 RHRS 為基礎，擴充至 28 個評分項目，成功評估其高速公路落石災害。我國亦已累積許多 RHRS 的應用經驗。交通部科技顧問室 1996 年委託臺灣大學土木工程學系研究道路落石坍方之危險度分級準則及防治改善工法，曾以台 2 線為案例，依據我國道路以及地質特性，修訂 RHRS 的評估項目。

RHRS 為一指數評分方法（3 的次方），公路總局所採用的評分準則係根據交通部科技顧問室 1996 年委託臺灣大學擬訂的修正版本（參考文獻 1），再依據 2018 年於台 3、台 7、台 9、台 14、台 18、台 20 等山區公路合計 16 場次之現地專家評分會議後的修訂版，主要評分因子計有地形、地質、坡面植被與氣候組成之落石危害觸動條件，落石災害歷史、曝露度等因子組成之行車安全風險，及設置防護設施後各邊坡之殘餘風險，評分越高，該邊坡之落石災害風險愈高，愈可能促成邊坡崩塌或交通中斷。

二、省道邊坡養護管理制度變革歷程

省道邊坡多為自然邊坡，長約 1 千 1 百餘公里的山區公路，與新闢公路所形成有人工設施的路塹或路堤邊坡，管理方式與困難課題自是相異，在客觀條件上有影響範圍、地質、排水、植被等先天因素，在主觀條件上則有交通量、視角、緩衝空間等後天行車安全風險因素，以及部分災害復建後的殘餘風險，錯綜複雜的綜合於現今省道所遭遇的自然邊坡單元。因氣候急遽變遷所引致公路邊坡之災情，導致民眾對於公路管理之期待不再只是預置機具搶通或是通報災情而已，而是對於行車安全的管理應有更積極性、智能化的制度改變，因此特別整理省道邊坡養護管理制度變革歷程如下：

2.1 民國100年以前：車巡公路狀況並預置機具搶修

長久以來，對於省道邊坡的養護管理重點，依據 92 年版公路養護手冊規定，邊坡項目僅有巡查及一般簡單的注意事項，巡查時著重於從車上以目力檢視公路各種狀況，必要時以徒步或攀登方式，儘可能接近公路設施。此節於當時自有其時空背景因素，惟若現今有 2 項課題可從不同角度思考其合理性；一是由管理者角度執行此條文簡易明確，對於目力檢視不到的範圍，自然無應注意而未注意之責，然若需徒步或攀登，亦載明僅

限於公路設施，此類思維雖廣為公路管理者所接受且口述傳承，然對於一次又一次的公路災害致用路人傷亡的訴訟或監察院調查結論案件中，恐非如是思考，如 97 年台 21 線豐丘明隧道附近因崩塌活埋 7 人事件，又如 99 年梅姬風災期間蘇花公路 26 人罹災事件。另一是由用路者角度思考，每位用路人應該都會希望於穿越或即將穿越山區公路時，能獲得任何會危及人身安全或通阻的相關訊息。因此，為了國賠責任考量，民國 100 年以前尚未建立封路機制，於颱風天或是劇烈天候期間，最常見的就是預置機具，等候坍方阻斷道路交通後搶通。直至 97~99 年間，省道山區公路連續遭逢多次邊坡崩塌致用路人傷亡慘重，公路單位開始歸零思考如何管理廣大的自然邊坡，正向面對安全議題。

2.2 民國100~103年間：律定重點監控路段建立公路防災預警機制

要正向面對自然邊坡的安全管理議題，首先面對的問題就是如何定義「邊坡單元」以及「國賠責任」。有關定義「邊坡單元」問題；因當時並未有邊坡管理系統，如要緊急建置全國省道邊坡資料亦非易事，面對即將到來的汛期，需有一套可供基層操作之準則，於是在 100 年 05 月串連養路管理者主觀經驗中之易致災邊坡為「重點監控路段」，律定「降雨觀測指標」、「管理值」及「預警性封路」等觀念納入標準作業程序內頒布實施並演練，建置完成公路防災預警機制，算是對於公路邊坡於災時開始有管理與控制作為。當時公路單位為防災預警之需要，依其路段特性與抗災力區分為 1 級與 2 級重點監控路段。特別是 1 級重點監控路段表示該路段內存有較低抗災力之點位，如蘇花公路、北橫公路、中橫公路...等，其災時的管理方式如次；屬 1 級重點監控路段，經研判後續仍有持續降雨趨勢，路段得封閉；屬 2 級重點監控路段，路段原則維持通行，保全或開口契約廠商應駐點守視，惟若路段內出現坍方、缺口、下陷等災情徵狀或在路況不明確狀況下得予以暫時封閉。首次實施防災預警機制，經過 1 個汛期的實務驗證後，再於 100 年 11 月以會議結論形式，初步先將邊坡依養護管理等級分為 A~D 以利防災管理，如表 2.1 山區公路邊坡防災分級管理制度，但實質上當時養護管理面尚未有較具體的邊坡單元分級，所以當時也僅有 1、2 級重點監控路段的制度，尚未落實邊坡分級管理。

同時為因應防災需要，開始規定有「朝巡制度」，所謂朝巡制度需實際以目視巡查（跡象、徵兆），針對目視範圍內能力所及進行處理，車上影像主要用於輔助巡查、紀錄過程，並於早上 8 點前完成巡查，邊坡分級啟動標準如下：

1. A 級比照重點監控路段，行動值解除後，持續巡查7日進行防治作為。
2. B、C 級當24小時累積降雨量達350mm 時，啟動朝巡制度。
3. D 級依養護手冊辦理。

表 2.1 山區公路邊坡防災分級管理制度（100 年 11 月）

養護管理等級	分級標準	防災管理等級	應變管制機制
A	重點監控路段（依據歷史災情記錄評估致災之風險或學者專家合議篩選訂定）	1級監控路段	災前：依所律定之降雨觀測指標門檻值執行預警及封路作業。 災後：行動值解除後，持續巡查7日進行防治作為。
B	偶有落石或有些許疑似不穩定徵兆，尚未設置邊坡護坡設施	2級監控路段	災中：達行動門檻值時，路段原則維持通行，保全駐點守視，並蒐集監控路段路況訊息回報工務段。惟若路段內出現坍方、缺口、下陷等災情徵狀或在路況不明確狀況下得予以暫時封閉。 災後：24小時累積降雨量達350mm時，啟動朝巡制度1周。
C	曾有落石坍方紀錄，無明顯不穩定徵兆，已設有防護措施。	1. 視需要部份列2級監控路段。 2. 特殊狀況：達「全面警戒」時機時。	1. 列2級監控路段者依上開規定辦理，餘依養護手冊辦理。 2. 達「全面警戒」時機時，全面封閉。
D	5年內未有落石坍方紀錄，無明顯不穩定徵兆之邊坡	特殊狀況：達「全面警戒」時機時。	1. 一般依養護手冊辦理。 2. 達「全面警戒」時機時，全面封閉

而另一項「國賠責任」問題；就客觀面而言，防災沒有 100 分，即便是面對自然邊坡的行車安全，也不會有絕對安全零風險的管理，這當中當然涉及改善所需的財力、知識與科技的極限，還有複雜難知的環境因素，如地文、水文及氣象等。所以為解除國賠責任此一心結，於標準作業程序導入「風險管理」，強調管理目的是為控制風險，降低致災機率，其全文如次；「橋梁及公路於發生災害或有發生災害危險之虞時，本風險管理機制循標準作業程序及時封閉橋梁及公路，保障用路人生命財產安全，並使公路運輸功能所遭受損害減至最低程度」。另一作法是於標準作業程序內明訂封路管理值係依歷史水情與災害紀錄訂定或委託研究或邀請專家學者以合議制試議訂。將管理值趨近客觀，並由制度面來擔負基層所擔憂之國賠責任。此為邊坡安全管理之一大轉變，將原來的被動等候通報，轉為積極主動的災前風險控制。

公路養護手冊迄自 101 年修訂後計有經常及特別巡查、定期檢測及特別檢測規定，與 92 年版相較之下，增加了檢測項目，惟同樣的是仍是以目力檢視來作後續之判斷，對於邊坡單元或自然邊坡相對較少著墨。依據 101 年版養護手冊巡查之定義；公路用地或路權範圍內各類公路設施之巡視與檢查，主要係從車上以目力檢視公路各種狀況，若發現狀況下車詳查，邊坡之日間經常巡查頻率為 1 次/週，下邊坡 1 次/季。另外檢測可依養護手冊附表 A2-2 所載係以目力或輔以簡易器具，瞭解其定義，分定期檢測與特別檢測。定期檢測係一年辦一次，對設有擋土構造物之邊坡實施檢測，檢查項目計有表 A3-2~A3-10；分別為防石柵、石籠、噴凝土護坡、混凝土格框、地錨護坡、混凝土擋牆、預力地錨擋牆（預力損失、錨頭銹蝕…）、加勁擋牆、邊坡護坡與擋土設施檢測附件圖片等表格，綜上，不難瞭解定期檢測係為人工邊坡所規定。

另一項為特別檢測，實施頻率依養護手冊所載為必要時，其檢查項目除定期檢測所有項目外，再新增表 A3-1，也就是自然邊坡特別檢測表，此表內容比較值得關注的是，檢查項目 10：坡頂與坡面截水、排水設施，其對應養護項目：裂縫修補、截排水設施破壞修復、淤塞清除；以及檢查項目 11：非法耕作及佔有，其對應養護項目：予以制止、排除及復舊。依其檢查與養護內容，對於自然邊坡而言，已有將巡查視角，從路側擴及至上邊坡稜線，也就是坡頂，惟陡峭山壁或高聳自然邊坡，人員無法攀爬進入，檢測方法為何？檢測時機雖載為必要時，可何種情境視為必要時？此為當時邊坡管理之困難課題，尚待公路單位進一步突破。

2.3 民國103~106年間：導入風險管理將邊坡定性分級

公路在平常時期，其因天然災害致災之風險並不高，可謂「安全」，惟在劇烈天候下山區公路可能發生崩塌、泥石流、水瀑、落石、路基流失…等等災情，引致用路人致災之風險提高，因此風險提高至某種管理值，公路管理單位就必須要實施所謂「風險控制」的應變作為。103 年由於防災的需求，開始導入風險管理的概念，也就是認為在特定場景下，因公路邊坡崩壞造成用路人罹災的風險，其實就是天候危害度、邊坡脆弱度及人員曝露度等 3 項指標所組成（天候危害度：災害性暴雨規模出現頻率；邊坡脆弱度：崩塌機率；人員曝露度：交通量），所以為了控制風險，開始調整邊坡安全管理控制策略：平時降低脆弱度，發現脆弱點改善，提高抗災力；災時降低曝露度：因應情境降低交通量。

為有效的發現脆弱點，早自 102 年 6 月起即開始針對全國省道山區道路之高崩坍潛勢路段，運用中央地調所環境基本地質圖、地質災害潛勢圖加上省道公路路線圖資套疊，調查現況邊坡地質、坡度、防護設施等資料，將山區道路分為 A、B、C、D 四等級，歷時 10 個月建置完成邊坡定性分級管理制度，從先前重點監控路段經驗式的管理概念，以定性分類將之具像化為 A~D 級，並開始推廣導入 UAV 輔助巡檢及檢視坡頂狀況，並頒訂邊坡特別檢測時機與方式。

2.4 民國106年迄今：導入定量分級管理制度及科技巡檢

當時邊坡分級管理屬定性分級，養護手冊規定期檢測頻率每年一次，惟巡檢能力尚無法擴及更上層邊坡。106 年 6 月導入美國加州 1 號公路災害管理哲學，作法從【防止】逐步轉變到【管理】，成立「運用 UAV/S、LiDAR 等科技技術於公路養護管理，提升行車安全推動計劃」，增進山區公路邊坡巡檢的效能。並且為了讓遙感探測監控邊坡的技術能制度化的被運用，於 107 年 8 月導入邊坡定量分級管理制度，律定危害度中、高風險邊坡單元列入定期科技巡檢，並依危害度之不同律定不同之巡檢方式與頻率，大幅提升巡檢效率及擴展巡檢視角至稜線。

三、定性與定量分級

3.1 定性分級

依據公路總局 103 年 4 月所訂定邊坡分級管理制度如表 3.1，並同時建立邊坡口卡管理系統滾動檢討更新資料，制度於 103 年建立之初，第 1 階段所清查之 2500 餘處中央地調所圖資顯示之高潛勢路段，經現地逐一確認並鍵入邊坡資訊管理系統歷時 10 個月，收斂為 1,817 處邊坡單元；A 級邊坡 48 處（佔 3%）、B 級邊坡 95 處（佔 5%）、C 級邊坡 921 處（佔 51%）、D 級邊坡 753 處（佔 41%）。邊坡口卡管理系統並再與防救災資訊系統及氣象局劇烈天候監測系統相結合，成為可追蹤高風險區發生強降雨之預警系統，並已上線運作多年。迄至 107 年 8 月最新邊坡分級資料總數減少為 1,363 處；A 級邊坡 140 處（佔 10%）、B 級邊坡 32 處（佔 3%）、C 級邊坡 728 處（佔 53%）、D 級邊坡 463 處（佔 34%），總數減少的原因，應是 D 級邊坡經 5 年觀察未再有災害發生而降級退場之故，但近 4 年來因邊坡巡檢制度之逐步建立與擴展視角至稜線，致 A、B 級屬明顯或疑似有不穩定徵兆邊坡有增加之趨勢。

表 3.1 公路總局邊坡定性分級管理制度

邊坡分級	2年內災害紀錄	5年內災害紀錄	護坡設施	邊坡不穩定徵兆
A	有	-	復(興)建中	明顯
B	有	-	無法設置	疑似
C	-	有	-	無
D	-	未有	-	無

實施邊坡分級管理，主要係掌握轄管邊坡的最新狀況，並針對不同級別屬性的邊坡，採取不同的管理方式，使有限的養護資源針對性投入更增效率，因此於建立分級制度後，隨即於現地設置邊坡銘牌，並訂定各級別邊坡日常養護管理遭遇各情境應辦巡檢事項（如表 3.2），以及災時防災管理遭遇各情境應即時處置事項（如表 3.3）。實質上補充說明了，當時養護手冊規定特別檢測的時機為「必要時」，該「必要時」的時機即為表 3.2 所列各情境，所應實施的邊坡也不再抽象廣泛，而是依各自不同的級別屬性實施客製化的養護巡檢。

表 3.2 日常養護管理遭遇各情境應辦巡檢事項

各情境之處置方式	A	B	C	D	大型地滑、 順向坡
1.3小時累積雨量達 <u>120mm</u> 以上	1	1	1	1	1
2.前期(48小時)累積雨量達 <u>350mm</u> 以上	2	1	--	--	2
3.海上颱風警報解除後	1	1	1	1	1
4.震度6級以上區域	3	3	3	1	2
5.無預警大規模坍方搶通後	4	4	4	4	4
6.鄰河側上游發布土石流紅色警戒	1	1	1	1	1

註：

處置 1：2 日內實施特別巡查。

處置 2：14 日內完成特別檢測。

處置 3：(1) 7 日內完成特別檢測 (2) 實施朝巡 1 週 (3) 取得空中或衛星影像。

處置 4：(1) 實施朝巡、暮巡 1 週 (2) 取得空中或衛星影像。

表 3.3 災時防災管理遭遇各情境應即時處置事項

各情境之處置方式	A	B	C	D	大型地滑、 順向坡
1.3小時累積雨量達 <u>120mm</u> 以上	3	3	4	4	-
2.前期(48小時)累積雨量達 <u>350mm</u> 以上	1	1	2	2	2
3.海上颱風警報解除後	5	5	5	5	5
4.震度6級以上區域	6	6	6	6	6
5.無預警大規模坍方搶通後	7	7	7	7	7
6.鄰河側上游發布土石流紅色警戒	8	8	-	-	8

註：

處置 1：降低雨量門檻值。

處置 2：加強水情監控。

處置 3：實施巡查作業。

處置 4：揭露路段強降雨訊息。

處置 5：颱風警報期間，依「公路防災預警機制」辦理。

處置 6：依「交通部公路總局因應大規模震災標準作業程序」辦理。

處置 7：保全守視（必要時交通管制）。

處置 8：擬定加碼部署策略，按計畫執行。

另外針對公路法 60-1 條:公路主管機關為修建或維護公路及其設施安全...進入公、私有土地內,「實施必要之巡查或檢測」...。事實上係因應 99 年國道 3 號 3.1 公里崩塌事件(俗稱國 3 走山事件),修法讓公路管理者依法可巡檢至路權以外之範圍,因此特別於表 3.2 遭遇震度 6 級以上區域所屬 A~C 級邊坡,以及無預警大規模坍方搶通後之 A~D 級邊坡、大型地滑與順向坡等,均需取得空中或衛星影像,也就是開始有邊坡坡頂巡查的機制出現,也在此時開始推廣無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle,縮寫:UAV 如圖 3.1)的使用,使基層同仁均能自行操控 UAV 巡查坡頂狀況。



圖 3.1 工務段使用之 UAV 照片

3.2 定量分級

103 年因防災實際需要,增訂養護管理有遭遇各情境應辦巡檢事項規定;災時應即時處置事項規定,惟尚缺邊坡依其危害度之不同而應有不同日常定期或特別巡檢方式及之頻率規定。所以為利管理更有效率,透過現行 A、B 級邊坡分屬明顯或疑似不穩定徵兆,再進入細部定量評估,而細部定量評估的方法則選定落石災害評分系統(簡稱 RHRS)為快篩方法。

1. 落石災害評分系統

落石災害評分系統採用之評分方法，係使用表 3.4 邊坡危害度評估因子評分表，評估因子主要根據交通部科技顧問室 1996 年委託臺灣大學擬訂的修正版本，再依據 2018 年於台 3、台 7、台 9、台 14、台 18、台 20 等山區公路合計 16 場次之現地專家評分會議（如圖 3.2）後的修訂版（如表 3.4），該表危害度等級則依循美國公路單位 RHRS 方法，以 110 分為分隔區間，共分為 5 級。第 5 級為危害度風險最高等級，風險度依序往前遞減。



圖 3.2 現地專家評分會議照片（場址為台 9 線蘇花公路 115K）

依各危害度分級之不同，針對中高風險等級（第 4~5 級）歸類為優先關注邊坡，訂定進階巡檢方式與頻率。為落實實施公路總局於 107 年 8 月自發性的擬定「公路總局邊坡定性定量分級暨進階檢測圖資建置計畫」，其計劃目的主要以定性分級為主、定量分級為輔，落實定期檢測、發現問題、提早改善的主動式預防性養護作為。效能面的提升則是導入科技巡檢、管理更有效率；將定性分級精進為定量分級管理制度，大幅減低人為主觀判斷之分級誤差，並依危害度之不同律定不同之巡檢方式與頻率，大幅提升巡檢效率。

表 3.4 邊坡危害度評估因子評分表（修改自陳榮河、林美聆、林銘郎，1996）

邊坡危害度評估因子評分表				
評估因子	評分準則與分數			
	3分	9分	27分	81分
地形特徵【取平均】（A1）				
坡高(m)	5-14	15-24	25-34	35以上
坡度或 坡型 (取大值)	40-49	50-59	60-69	70度以上
			凹直形、凸嘴形	凸直形、凹澹形
地質狀況【取大值】（A2）				
岩性	結晶質岩石 (如:大理岩、石英岩)	粗顆粒岩石 (如:塊狀礫岩、砂岩)	泥岩石 (如:泥岩、頁岩、板岩、片岩及砂頁岩互層)	斷層帶
不連續面	塊狀	節理發達	破碎、變形	崩積(落石堆)、開裂
順向坡	層面傾角≤坡度	未見砍腳，無差異侵蝕	未見砍腳，差異侵蝕	砍腳
	層面傾角>坡度	無差異侵蝕	層面差異侵蝕 無剪裂開裂	層面差異侵蝕 層間剪裂、開裂
邊坡植被及水流狀況【取大值】（A3）				
植被面積(%)	80以上	79-30	29-10	小於10
排水設施	截排水完整	截排水不完整或損壞	出現蝕溝、明顯沖刷	蝕溝已堆積落石
氣象加權（B1）				
加權乘子	1	1.1	1.2	1.3
前一年度連續降雨月份 單日最高降雨量(mm)	小於130	130-199	200-349	350以上
近三年平均落石坍方歷史【取大值】（C1）				
災害紀錄(次/年) <有搶修紀錄>	1次以下	2-3次	4-6次	大於6次
落石頻率 <連續3次清理紀錄>	每季1次以下	高於每季1次	高於每月1次	高於每週1次
近三年落石尺寸及坍方規模大小【取大值】（C2）				
坍落土方量(m ³)	小於200	200-499	500-999	1,000以上
落石尺寸(m)	<0.2	0.2-0.6	0.6-2.0	>2.0
交通流量狀況（C3）				
日平均交通量(PCU)	小於5,000	5,000-9,999	10,000-19,999	20,000以上
道路寬度及腹地有無【取平均】（C4）				
道路寬度 腹地有無	大於9m 有腹地	大於9m 無腹地	9m(含)以下 有腹地	9m(含)以下 無腹地
區域聯外交通影響（C5）				
是否為風景遊憩區主要道路	非主要道路	主要道路 (觀光軸線)	非主要道路	主要道路 (觀光軸線)
替代道路有無	有替代道路	有替代道路	無替代道路	無替代道路
現有防護設施加權（D1）				
加權乘子	0.7	0.8	0.9	1.0
防護設施成效	有二項防護設施且成效良好，或施作完成5年以上，成效驗證良好 (含預力地錨者於1年內已檢測過且有監控系統)	一項防護設施效果佳或施作完成2年以上，成效驗證良好 (含預力地錨者於2年內已檢測過且有監控系統)	有防護設施但成效不佳或防護設施已施作完成尚未滿2年成效驗證 (含預力地錨者於2年內已檢測過但無監控系統)	無防護設施或有防護設施但無法消除致災成因 (含預力地錨者於2年內均未辦理檢測過)
危害度評分				0
危害度等級				第一級

2. 邊坡危害度評估因子評分表說明

本評分系統目前係以定性分級後之 A、B 級邊坡為適用範圍，如係屬未開放通行路段則暫不納入本評分系統，另致災成因屬下邊坡曲流攻擊或沖蝕、地滑邊坡、或因路面逕流水沖蝕路基等，因非屬本評分準則之適用範圍，應以個別認定分級及律定適當巡檢方式。

為利使用評分表的公路管理者能更快速的在現地填表評分，且不至於與專家評分結果差異太大，特別藉由 16 場次的現地專家評分會議，實務操作時所碰到之難題，以養護管理者的角度撰寫填表說明及注意事項如下：

(1) 前置作業

先確認可能會危害用路人的區間路段，再以 UAV 空拍照或 GIS 截圖將區間路段往上以小集水區分水嶺（稜線）的概念設定為本次評估標的的「邊坡單元」，納入評估範圍的原則主要係以會加速或減緩致災成因的因子，如圖 3.3 屬容易且單純之邊坡單元，而圖 3.4 因所關切的路段屬明隧道外側，而明隧道口上方沖蝕溝卻常有落石彈跳至無隧道庇護的路段內，所以需將其納入評估標的的邊坡單元內，評分結果方不致失真。

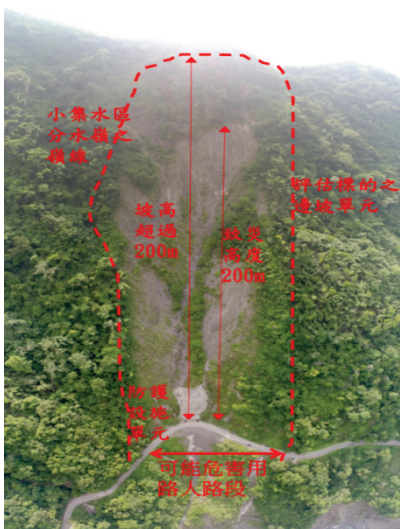


圖 3.3 台 20 線評估之邊坡單元

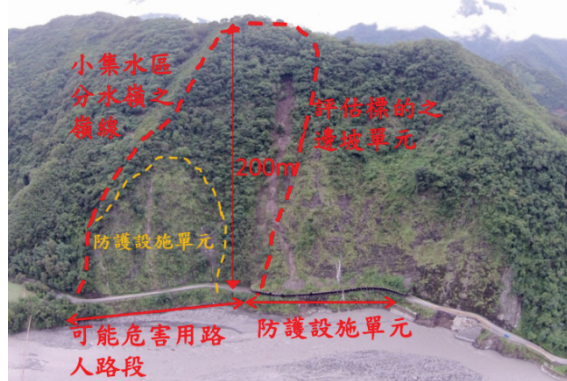


圖 3.4 台 20 線鄰接明隧道評估之邊坡單元

(2) 地形特徵【取平均】(A1)

坡高：以 UAV 等工具實地測繪評估路段內的稜線高度（非致災高度）。坡度：以工具（坡度計或 Google Earth）量測評估範圍軸線底部與頂端 2 點之平均坡高或邊坡單元中控制危害度坡面的坡度。坡型：邊坡坡型種類如表 3.5 邊坡坡型種類，實務分類操作如圖 3.5 台 18 線 76k 邊坡坡型分類。

表 3.5 邊坡坡型種類（陳榮河等人，1996）

垂直剖面	水平剖面	分類名稱
凸	凸	凸嘴形
凸	平直	凸直形
凸	凹	凸窪形
平直	凸	直嘴形
平直	平直	平直形
平直	凹	直窪形
凹	凸	凹嘴形
凹	平直	凹直形
凹	凹	凹窪形

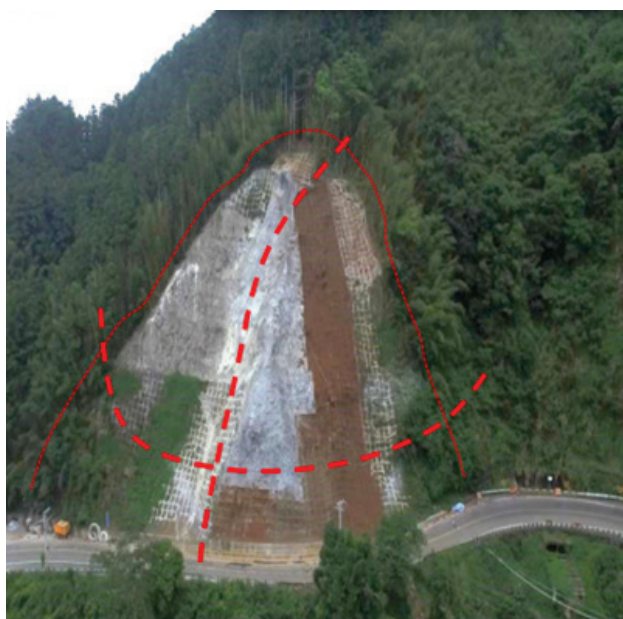


圖 3.5 台 18 線 76k 邊坡坡型分類
（垂直剖面：凸，水平剖面：凸，分類名稱：凸嘴形）

（3）地質狀況（A2）

現地勘查及查閱地調所數位圖資有關斷層資料(SafeTaiwanGIS 圖資可供查詢或下載地調所地靈靈 App，可直接定位查詢所在地地質狀況及 100 公尺內有無斷層帶)，本欄位順向坡評分如圖 3.6 台 7 線順向坡層面傾角 \leq 坡度，但未見砍腳，現地檢視有差異侵蝕屬第 3 級分 27 分，但另一選項不連續面已開裂,所以選最大值 81 分。



圖 3.6 台 7 線順向坡

(4) 邊坡植被狀況 (A3)

以 UAV 空拍照片，將評估範圍約略分成 3 等分 (如圖 3.7)，分別就每一區估算原生植被之百分比，再合計後除以 3 即可得之。注意：估算評估範圍的原生植物，並非裸坡內的草本植物。

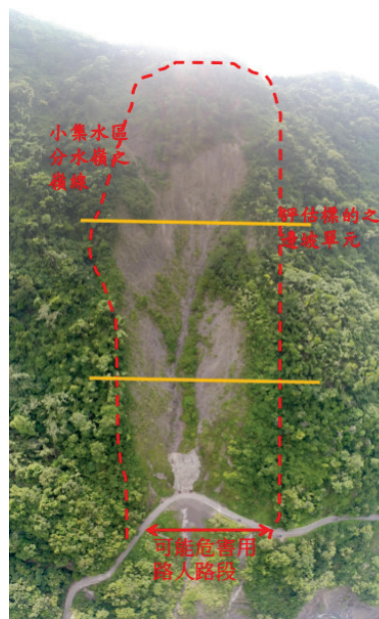


圖 3.7 估算邊坡植被狀況簡易法

(5) 排水設施 (A3): 如圖 3.8 查看截排水溝或週界排水設施完整性、是否有落石堆積物或沖刷。



圖 3.8 台 18 線 35k 邊坡評估復建後排水設施之完整性

(6) 氣象加權 (B1): 進入中央氣象局網站, 選氣候, 進入氣候網頁後, 於氣候統計欄內選觀測資料查詢。

(7) 近三年平均落石坍方歷史【取大值】(C1)

【災害記錄】係指有搶修紀錄, 例如有造成阻斷或需動員機具方能排除之災害。從公路總局邊坡口卡系統內查詢再加上年度內專案或零星災害之勘災明細表, 統計該邊坡單元年度內發生次數。【落石頻率】係指無需動員機具, 即能以人力清除之零星落石。從巡查或值班記錄簿查詢, 曾經於某一週/月/季內, 曾發生連續 3 次以上的清理紀錄。

(8) 落石坍方規模大小 (C2)

由基層養護管理單位勘災明細表中查詢歷次最大坍落土方量 (M3) 或是近三年零星落石堆中單顆塊石最大尺寸。

(9) 交通流量狀況 (C3)

路段日平均交通量 (PCU), 如係管制通行路段則先以受災前之交通量估算, 如係屬未開放通行路段則暫不納入本評分系統。

(10) 道路寬度及腹地有無 (C4)

現地勘查填報, 係指山側有無腹地供落石緩衝, 如係另側腹地則需視有無護欄阻隔, 如有護欄阻隔則因用路人尚無法於緊急時避難, 故視為無腹地, 反之, 則可視為有腹地。

(11) 區域聯外交通影響 (C5)

依據「觀光遊樂地區申請設置道路交通指示標誌審核要點」第 3 點，所稱之第 1 類及第 2 類觀光遊樂地區，判斷是否為風景觀光軸線主要道路，及查明有無替代道路。

(12) 現有防護設施加權 (D1)

現地以 UAV 勘查坡面上有無防護設施及其成效評估，其中有防護措施成效不佳係指設置後仍無法完全消除致災成因，或尚無法涵蓋所有致災範圍，或防護設施已施作完成滿/尚未滿 2 或 5 年成效驗證，據此評估該邊坡單元之殘餘風險。

(13) 評分表統計說明

A 總得分 = (A 組得分) × B 組得分 + C 組得分 × D 組得分

B 危害度等級與總得分：

第 1 級：總得分 109 以下

第 2 級：總得分 110~219

第 3 級：總得分 220~329

第 4 級：總得分 330~439

第 5 級：總得分 440 以上。

C 本表危害度等級係參考美國奧勒崗州交通廳訂頒

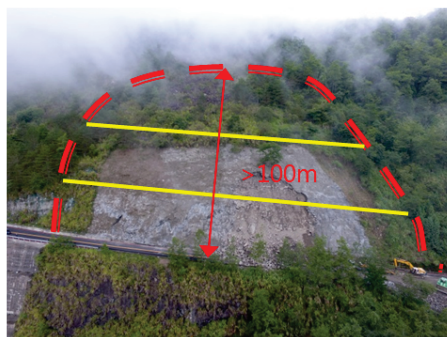
Rock-fall Hazard Rating System (RHRS) 評分準則，以 110 分為分隔區間，共分為 5 級。

四、於公路養護管理之實務應用

落石危害評分系統於公路邊坡養護管理之應用，主要在於將現行的定性分級制藉由該評分系統，將所謂明顯或疑似邊坡不穩定徵兆的 A、B 級邊坡，再評出對用路人的危害度分級，並依各級別導入更適切之科技巡檢與頻率。也就是以現行定性分級結果為主，定量分級因屬危害度為輔，協助將 A、B 級邊坡之巡檢方式及頻率依危害度之不同而有所區別。舉例而言，B 級邊坡第 4 級簡明標記為 B (定性分級) -4 (定量分級)。

4.1 實地評分

經由適用條件的篩選，公路總局各區養護工程處轄下 A、B 級納入評估的邊坡單元合計約 123 處 (資料截止至 107 年 7 月)，其實際做法如次；首先運用既有運行的邊坡口卡系統，調查轄下 A、B 級邊坡數量，並經條件篩選後至現地評分，配合 UAV 空拍邊坡單元照片，再利用「邊坡危害度評估因子評分表」逐項檢核評分後製作成「邊坡單元評估圖」(如圖 4.1)，並將評分內容彙整至「公路總局各區處轄管省道 A、B 級邊坡定量分級彙整表」(如表 4.1)，總計列優先關注邊坡計有 43 處，其餘各級別處數請詳表 4.1。



信義段台21線
133k+500~133k+600 (新中橫公路)



評估結果為A-5:A級邊坡第5級

邊坡危害度評估因子評分表

評分項目	評分結果
坡高(m) [A1]	35m以上(81分)
坡度或坡型(取大值) [A1]	60~69度(27分)
[A1]平均值	54分
地質狀況[A2]	泥岩石(27分) (如:泥岩、頁岩、板岩、片岩及砂頁岩互層)
不連續面[A2]	破碎、變形(27分)
順向坡[A2]	未見迭腳、無差異侵蝕(9分)
[A2]取大值	27分
植被面積(%) [A3]	29~10%(27分)
排水設施[A3]	出現蝕溝、明顯沖刷(27分)
[A3]取大值	27分
上一年度連續降雨月份單日最高降雨量(mm)[B1]	570mm(新高口雨量站) (1.3)[350mm以上]
災害紀錄(有搶修紀錄)(次/年)[C1]	4~6次以下(27分)
落石頻率(連續3次清理紀錄) [C1]	高於每週1次(81分)
[C1]取大值	81分
坍塌土方量(m3) [C2]	3000[>1000] (81分)
落石尺寸(m) [C2]	0.6~2.0(27分)
[C2]取大值	81分
交通流量狀況(PCU) [C3]	5,000以下(3分)
道路寬度及腹地有無 [C4]	7.5m(81分)
是否為風景遊憩區主要道路/替代道路有無 [C5]	主要道路-無替代道路(81分)
防護設施成效 [D1]	有防護設施但無法消除致災成因(1.0)
總得分(級距)	467分(第5級)

圖 4.1 以台 21 線 133k 現地評分為例，製作完成之邊坡單元評估圖
(公路總局養路組提供)

表 4.1 公路總局各區處轄管省道 A、B 級邊坡定量分級彙整表(公路總局養路組提供)

	A、B級邊坡總數(處)	1、2級 (處)	3級 (處)	4級 (處)	5級(處)	優先關注邊坡 (4+5級)(處)
一工處	A級：11處；B級：3處 共14處	7	4	3	0	3
二工處	A級：17處；B級：4處 共21處	4	12	2	3	5
三工處	A級：20處；B級：6處 共26處	5	11	9	1	10
四工處	A級：54處；B級：2處 共56處	3	32	21	0	21
五工處	A級：1處；B級：5處 共6處	2	0	4	0	4
總計	A級：103處；B級：20處 共123處	21	59	39	4	43

4.2 依危害度分級導入科技定期巡檢

經由完成 A、B 級邊坡定量評估後，依其危害度等級的不同有各別對應的檢測項目及頻率，特別針對評分等級為 4-5 級的邊坡單元，屬中高風險等級的「優先關注邊坡」，辦理定期的科技巡檢等進階檢測，檢測項目包含 1.變異性分析（前後期 3D 數值高程模

型套圖比對地形變化)、2.浮、落石分析(建 3D 點雲圖環景類近端檢視節理狀況、固結狀況、支撐狀況)、3.張力裂縫發現或檢視(UAV 或 LiDAR)、4.人工設施檢視、5.綜合評估建議等 5 大項。另針對評分等級為第 3 級邊坡單元,亦增加需至少每季 1 次 UAV 升空辦理外觀巡檢,以利落實坡頂巡查之規定,相關檢測內容及頻率詳表 4.2「邊坡巡查及檢測頻率現行進階彙整表」。

表 4.2 邊坡巡查及檢測頻率現行進階彙整表(公路總局養路組提供)

進階對象	定量分級	輔助機具	檢測項目	定檢頻率	備註
A、B級 邊坡 (定性分級)	1、2 級	攝影機(行車紀錄器)、相機、卷尺、其它量測儀器	邊坡外觀及人工設施檢測	1次/年	現行邊坡巡查制度
	3級	UAV (工務段自辦)	1.邊坡外觀空拍巡檢 2.邊坡分級調整建議	1次/季	
	4級	UAV或 LiDAR (委外辦理)	1.變異性分析(以3D數值模型比對) 2.浮、落石分析(以3D點雲圖檢視) 3.張力裂縫發現或檢視 4.人工設施檢視 5.綜合評估建議(含後續關注異狀項目、後續維護、補強與整治工法建議)	每年汛期前至少1次	優先關注邊坡
	5級			每年汛期前及10月 前至少各1次	
<small>註1：各級檢測內容係採除次一級應辦檢測項目外再增加該項檢測項目,定檢頻率亦同。 註2：第4~5級所列各子項檢測項目(1~4)得依個案邊坡之地質或環境條件不同,經敘明原因後該子項免予辦理,不須全數施做,例如2.浮、落石分析屬岩盤地質較為適合、土坡地質則不適用;3.張力裂縫發現或檢視則適用土坡地質</small>					

五、結論與建議

1. 利用「落石災害評分系統(RHRS)」進行細部定量評估,再依其危害度等級的不同,將中高風險等級歸類為「優先關注邊坡」,並對此類邊坡制定進階巡檢的方式與頻率,以便將定性分級進階到定量分級制度,大幅降低人為主觀判斷之分級誤差,達到以定性為主,定量為輔之理念,且透過對中高危害度邊坡實施定期檢測,更能提早發現問題,達到主動預防性養護作為。
2. 本文運用定量分級之成果,導入科技巡檢,並採用 UAV/S、LiDAR 等科技設備及遙感探測技術,針對每處中高風險邊坡建置數位化圖資檔案,經由圖資套疊或模型檢視,更加容易找出上邊坡或坡頂,平時人力不易到達處之危害因子實施落石防治或邊坡改善,有效增進山區公路養護管理效能,藉以提升行車安全及巡檢效率。
3. 本文透過 RHRS 快篩進入進階檢測,發現以前人力所不及處之問題,及早改善,建立有效的邊坡管理機制;定性分級→定量分級→進階檢測(科技巡檢)→落石防治/邊坡改善等4階段。
4. 本次落石災害評分系統應用於省道邊坡分級管理,實際有123處評分案例及驗證樣本數,因省道邊坡分級係採滾動檢討,仍需於108年汛期結束後再依實務操作之經驗修正調整評分因子,以利評分結果更加貼近實際落石危害度,並評估成效。

誌謝

本文完成感謝公路總局各區養護工程處及養路組同仁，花費近 2 個月時間完成現地 123 處調查及評分，特別是養路組傅主任工程司立祥與黃健綜工程司，完成「邊坡定性定量分級暨進階檢測圖資建置計畫」，更感謝臺灣大學林銘郎教授、王泰典教授、交通大學翁孟嘉教授、成功大學吳建宏教授分別參與現地 16 場次的專家評分會議，協助提供寶貴的評分因子修正調整建議與相關參考資料，謹此一併誌謝。

參考文獻

1. 陳榮河、林美聆、林銘郎（1996），台灣區道路落石坍方之危險度分級準則及防治改善工法研究，交通部科技顧問室委託，第22-43頁。
2. 王鑫（1988）地形學，聯經出版社，第134 頁。
3. Wyllie, Duncan （1987）, Slope Inventory System, Proceedings of the Federal HighwayAdministration Rockfall Mitigation Seminar, FHWA. Region 10, Portland。

BMPs 設施削減道路逕流污染效益評估分析

王韻瑾*

摘要

暴雨產生逕流雨水沖刷道路、停車場、廣場等地表累積之污染物，如落塵、輪胎屑、煞車磨耗物、滴落地面的機油、草坪肥料與農藥及各類液體，該污染物質成分為懸浮物質、沉積物、耗氧物質、營養鹽、油脂、重金屬、酸或鹼等，因逕流沖刷進入承受水體造成嚴重污染，稱之為道路非點源污染（non-point sources pollution）。本局第一區養護工程處為有效削減道路非點源污染，因此參考國外的作法，並於新竹段台 3 線 86k+200（峨眉鄉）選取一示範場址，設置植生滯留槽（bioretention），因其同時具有雨水淨化及景觀營造的功能，故又稱之為雨花園（rain garden）。

為了解雨花園的污染去除成效，因此於本場址進行 2 場次雨水水質採樣，每一場次分別於入流、出口採取 3 點次的水樣進行污染效益分析（共計 12 點次），經調查結果顯示，此一路段因非屬交通繁忙之路段，交通流量不高，故 12 點次檢測所得之重金屬濃度均低於環保署公告之方法偵測極限值（MDL）；入流水中之營養鹽類則以總磷（TP）及磷酸鹽（PO₄）較高，氨氮（NH₃-N）的濃度較低，經雨花園淨化過後之平均污染去除成效，分別為總磷 52.9%、磷酸鹽 65.2%、氨氮 34.2%；另外，本路段因位處於郊區且道路兩旁多為農田，車流量低且空氣污染少，故水中懸浮固體（SS）濃度較一般都會型道路低，入流水平均濃度約為 37.13mg/L，經雨花園處理後之出流水 SS 平均濃度則降至 10.17mg/L，平均去除率達 73.0%，由本次之水質採樣調查結果顯示，雨花園可以有效去除道路非點源污染，尤其是懸浮固體及營養鹽。

關鍵詞：道路非點源污染、植生滯留槽、雨花園、營養鹽、懸浮固體

* 交通部公路總局養路組 副組長

一、前言

隨著人口稠密與活動頻繁，及密集路網錯綜複雜與高密度交通流量的迅速成長，公路密集開發增加許多不透水性鋪面，進而增加降雨逕流量，加上近年全球氣候變遷和降暴雨異常，對於公路在暴雨初期所產生的非點源污染，主要係由降雨造成公路逕流雨水沖刷地表後污染物或大氣沉降所產生的污染源，將夾帶污染物的逕流水排入承受水體。故一般水體通常包含重金屬、有機物質、微粒狀物質等。從國內外文獻顯示，公路逕流為地面水體重要的污染源，非點源污染主要是降雨所造成之逕流沖刷地表污染物後，排入邊溝、河川、水庫和海域造成短時間但嚴重的突增負荷（Shock Loading），以及長期的水域水質與生態變化。常引起水庫的優養化以及河水濁度遽升，自來水淨水場無法負荷而停水的現象。一般而言，非點源污染的來源可以大致區分為農業、社區及道路事業活動等（環保署，2010），其中都市逕流中，公路逕流來源就佔了 40%，且所產生之污染物包括懸浮固體、營養鹽、耗氧物質、油脂、重金屬以及漂浮物等，這些污染物對水體水質以及水中生物之影響說明如下：

1. 懸浮固體

懸浮固體為暴雨逕流中含量特別高的物質，固體顆粒在水中阻礙陽光穿透，影響水中初級生產者（藻類、水草）之生長，造成水生動物食物來源缺乏。此外，固體顆粒大量沉積水體底部亦破壞底棲生物棲息地，影響水生動物生長與繁殖。固體顆粒除了泥砂之外，亦經常含有其他污染物如氮、磷、重金屬、油脂等吸附，因此高固體顆粒之暴雨逕流也經常有較高濃度的此等污染物。比重較大的固體顆粒造成河床淤積；含有營養鹽或毒性物質的沈澱物將污染物緩慢釋放至水體，對水體水質及水生生物造成長期的負面影響。

2. 營養鹽

暴雨逕流內主要的營養鹽包括氮及磷，這些營養鹽進入水體後，將造成藻類及水草大量生長的優養化現象，不但影響水體的美觀以及水域生態，同時也降低水體的利用價值。優養水體溶氧的劇烈變化常導致魚貝類缺氧死亡，以及底泥厭氧引起的各種負面的水質效應。藻類造成水處理的困擾，其新陳代謝產物在水中造成臭味，包括死亡之藻細胞在內的有機質在加氯過程產生可致癌物質，影響供水安全。

3. 耗氧物質

水中保持適度溶氧量對於水質的維護以及水生生物的生存與繁殖有決定性的重要性，而逕流中高濃度耗氧物質能對承受水體的溶氧造成短暫但嚴重的影響。暴雨逕流中耗氧物質主要來自溢流之家庭污水、街道污物及垃圾、植物枝葉等，這些物質在水體中為微生物分解，大量消耗溶氧，可造成水體溶氧不足，影響水生生物生存。

4. 油脂

道路油脂之主要來源為汽機車之機油或汽油滴落，油脂附著邊溝或渠道兩側，造成觀瞻上的問題，其在水中分解亦消耗溶氧。浮在水體表面的油脂妨礙溶氧進入水體，加大水中溶氧缺乏之可能性，還有許多油脂在極小濃度即能對水生生物造成毒性，吸附於沈澱物的油脂隨著沈澱物沈積河床，對於底棲生物造成長期的影響。

5. 重金屬

鉛、鋅、鎘與銅為暴雨逕流中最常見之重金屬，這些污染物主要與車輛的使用有關，有些可能來自金屬或化學工廠的非法排放。重金屬對水生生物造成毒性，同時亦影響公共給水安全。許多重金屬有生物累積現象，水中的重金屬經由浮游動植物、魚貝類累積至相當濃度，食用此等魚貝類對人體健康將造成影響。

6. 漂浮物

漂浮物主要來自街道垃圾，包括塑膠、菸蒂、樹葉及其它物質等，這些漂浮物除造成觀瞻上的問題外，還經常含有油脂、農藥、毒性物質、重金屬及細菌。

經由上述的說明可以得知，道路的開發階段與後續的營運階段，均可能產生規模不等之非點源污染，因此國外已開始重視道路非點源污染的削減與防制，其中包括車輛管制、低污染油料使用、道路的定期清掃、排水溝的清淤、路旁綠帶的修整及民眾環境教育等非結構性的方式處理，以及設置具有污染削減能力的設施來進行結構性的處理，其中植生滯留槽為國外公路非點源污染削減常用的技術之一。

本局第一區養護工程處新竹工務段於民國 104 年 7 月在台 3 線 86k+200 隙地內試辦二座「雨花園」，藉以減輕降雨沖刷地表所產生的逕流非點源污染對環境水體的衝擊，以利於控制降雨逕流並削減污染貢獻量。該二座雨花園完工操作迄今已逾二年，其對於污染的削減成效及目前的表現行為，進行盤點與評估分析。

二、文獻回顧

植生滯留槽在國外的使用已相當普遍，尤其是對於道路（包括人行道、停車場及社區巷弄等）逕流非點源污染的處理，因此本章將分別說明道路暴雨逕流非點源污染的相關研究，以及植生滯留槽（雨花園）的使用及其相關的研究成果。

2.1 道路逕流非點源污染

道路由不透水鋪面建造而成，道路的所在位置、土地利用、養護作業、交通量等，都會產生許多污染物，於晴天未降雨時，污染物會在道路鋪面上累積，直到暴雨來臨時，降雨會沖刷不透水表面造成逕流，逕流會帶出大量之污染物，其會排入邊溝、雨水下水道，進而排入河川，造成水體大量負荷。Kayhanian *et al.*, (2001) 表示非點源污染是透

過地表逕流，並且挾帶污染物流入水體中，道路在晴天時，落塵、垃圾、廢棄物及其它污染物會累積在道路、排水溝等不透水面，當降雨來臨時，因為雨水沖刷路面而產生逕流，降雨初期所產生之逕流，通常會產生濃度較高或污染量較高之逕流，即所謂「初期沖刷」(First Flush) 現象。Barrett *et al.*, (1995) 表示暴雨初期沖刷是指逕流事件開始階段會產生較高污染負荷的排放情形。

Kim *et al.*, (2005) 表示道路為非點源污染的重要貢獻之一，因為道路表面之不透水性，會因大自然的沉降、車輛活動等污染來源累積於地表面，並隨著降雨將污染物質直接沖刷進入承受水體中。Drapper *et al.*, (2000) 表示都市非點源污染物與雨水常見的污染物質，主要來源包括沉澱物、營養鹽、需氧物質、重金屬、有毒物質及細菌，如表 2.1。然而，道路逕流污染會因周圍土地利用、日常養護作業、車輛類型及交通量的不同而產生不同污染的影響。

表 2.1 道路非點源常見的污染物質與主要來源

成份	主要來源
懸浮物質	道路鋪面、汽車活動、汽車廢棄物、大氣沉降、施工養護、降雪/冰磨蝕、沉積物擾動。
營養鹽	大氣沉降、路側澆灌、施肥、沉積物擾動。
重金屬	汽車廢棄物（輪胎表面、機油溢漏、齒輪油、螺帽、螺栓等機械潤滑油或車體零件）、大氣中的落塵火山灰。
有毒物質	汽車排氣管、除冰設備、機械潤滑油、路基。
石油	汽車機械潤滑油、汽油的溢漏、除凍劑、水力流、瀝青表面的瀝出物。
細菌	枯枝落葉層、鳥獸糞便、卡車托運的牲畜、行道樹植物與土壤。

資料來源：Drapper *et al.*, (2000)

Wanielista and Yousef (1993) 彙整美國環保署對各州所調查的點源與非點源污染物質，得知由非點源污染貢獻比例較高者，其中包含生化需氧量、總磷、氮、大腸桿菌、重金屬分析等。如表 2.2。

表 2.2 美國環保署調查點源與非點源污染貢獻污染比例

非點源污染	點源污染貢獻比例 (%)	非點源污染貢獻比例 (%)
生物需氧量 (BOD)	30	70
總磷 (TP)	30	66
總凱氏氮	10	90
油脂 (Oil)	30	70
大腸桿菌	10	90
鉛 (Pb)	43	57
銅 (Cu)	59	41
鎘 (Cd)	84	16
鉻 (Cr)	50	50
鋅 (Zn)	30	70
砷 (As)	95	5
鐵 (Fe)	5	95
汞 (Hg)	98	2

資料來源：本研究重新整理

Wu *et al.* (1998) 選擇美國北卡羅萊納州皮埃蒙特 (Piedmont) 地區之高架橋、高速公路、聯絡道場址，其交通量分別為 25,000、21,500 及 5,500ADT (vehicles/day)，經過監測蒐集水質分析結果，高架橋之總懸浮固體 (TSS) 濃度高達 283mg/L，其次為高速公路之 93 mg/L 及聯絡道之 30 mg/L；而其氮磷負荷相似於農業區逕流之負荷。如表 2.3。

表 2.3 各項污染物質濃度比較一覽表

項目	高架橋 HB,N.C.	高速公路 NC49,N.C.	聯絡道 185,N.C.
面積 (m ²)	1,497	2,307	4,452
ADT (vehicles/day)	25,000	21,500	5,500
TSS (mg/L)	283	93	30
Cd (mg/L)	ND	ND	ND
Cu (mg/L)	0.0242	0.0115	0.0046
Pb (mg/L)	0.021	0.0139	0.0065
Zn (mg/L)	ND	ND	ND
NO ₃ -N (mg/L)	2.25	0.22	0.14
TKN (mg/L)	1.42	1.18	1.0
TP (mg/L)	0.43	0.52	0.47
COD (mg/L)	70	39	22
NH ₃ -N (氨氮)	0.83	0.67	0.52

資料來源：本研究整理。"ND"表未驗出。

依據 Eriksson *et al.*, (2007) 所彙整重金屬、總氮、總磷、多環芳香烴化合物 (PAHs) 的都市與道路逕流之污染物濃度如圖 2.1，表示道路逕流的重金屬、多環芳香烴化合物與總磷的濃度皆較都市逕流高出些許，總氮濃度為所有污染濃度最高。

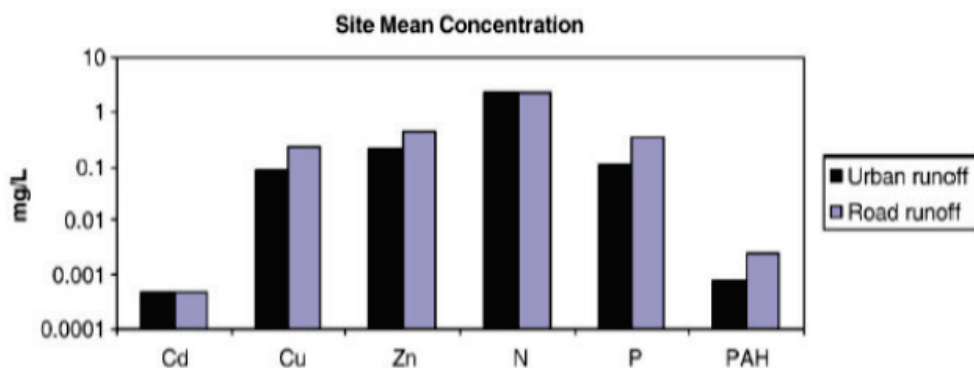


圖 2.1 都市與道路逕流之污染物濃度

鄧宇傑 (2010) 以臺灣臺北地區道路為對象，進行道路逕流污染負荷研究，其中一處研究場址，與本研究同為臺北市建國高架道路，採樣對象同本研究採暴雨逕流水，並將採樣之水樣進行水質分析，分析項目為 SS、NH₃-N、TP 及 COD，其結果詳表 2.4。

表 2.4 道路逕流濃度 (鄧宇傑, 2010)

污染物 公路類型	SS	COD	NH ₃ -N	TP	Fe	Cu	Zn	Pb	Cd
高架橋	120.5	153	2.84	0.218	0.135	0.034	0.002	0.005	0.0003
一般道路	55.8	60	0.57	0.097	0.119	0.013	0.041	0.002	0.0002

單位：mg/L

王韻瑾 (2014) 研究彙整國內外對於道路逕流污染濃度之研究，如表 2.5，彙整各國都市與其相關道路逕流水污染物濃度，包含鎘、銅、鋅、總氮、總磷、鐵、COD 等，發現道路逕流中之 SS 以高架橋及高速公路之污染濃度較高，而 NH₃-N 部分也以高速公路及交通量較高的場所有較大的污染濃度，但有部分之停車場靠近商業區場所亦有很高的污染濃度。國內若能透過長期現場監測調查，進行水質分析評估建立可靠的各項公路類型之非點源污染物質濃度，而建立如不同區域環境、不同季節、不同交通量、不同道路屬性...等之公路逕流非點源污染，並長期監測分析公路逕流非點源污染物質，由政府推廣處理公路逕流非點源污染物質，應可改善水質及避免污染河川水體。

表 2.5 各國相關道路逕流產生污染平均濃度 (mg/L) 一覽表

文獻來源	公路類型		SS	COD	NH ₃ -N	TP	Fe	Cu	Zn	Pb	Cd
Legret and Pagotto (1999)	法國	公路匝道 ADT=12,000	77	-	-	-	-	0.045	0.356	0.058	0.001
Kayhanian and Borroun (2000)	美國加州	高速公路	476.3	146.7	1.9	0.7	-	0.042	0.279	0.089	0.001
Rushton (2001)	佛羅里達州	停車場	11.24	-	0.133	0.106	0.438	0.011	0.046	0.004	-
			13.45	-	0.123	0.105	0.419	0.100	0.044	0.004	-
Brezonik and Stadelmann (2002)	明尼蘇達州	都市公路	184	-	3.08	0.58	-	-	-	0.06	-
黃家勤 (2002)	臺灣南部	高速公路 ADT>50,000	59	70	1.6 (TN)	2.47	0.14	0.05	0.06	-	-
Kayhanian et al. (2003)	加州	高速公路	148.1	123.8	1.1	0.3	-	0.051	0.203	0.080	0.001
Hope et al. (2004)	亞利桑那州	停車場 近輕工業	-	-	0.8	-	-	-	-	-	-
		停車場 近商業區	-	-	9.6	-	-	-	-	-	-
		停車場 近住宅區	-	-	6.7	-	-	-	-	-	-
Kayhanian et al. (2007)	加州	高速公路	112.7	-	1.07	0.29	0.378	0.015	0.069	0.008	0.002
Kim et al. (2007)	韓國	高架橋	155	43	1.66	0.22	-	-	-	-	-
		停車場	25	137	3.23	0.65	-	-	-	-	-
鄧宇傑 (2010)	臺灣臺北	高架橋 ADT=78,178	120.5	153	2.84	0.218	0.135	0.034	0.002	0.005	0.000 ₃
		一般道路 ADT=1,696	55.8	60	0.57	0.097	0.119	0.013	0.041	0.002	0.000 ₂
Kim D-G et al. (2011)	韓國	高速公路	53.1	37.7	-	0.50	8.114	0.152	0.727	-	-
王韻瑾 (2013)	臺灣臺北	忠孝橋 一般道路 ADT=82,625	437.4	180	1.4	0.21	-	0.009	0.334 ₅	0.061	0.002
		華江橋 一般道路 ADT=56,335	148.4	104	3.24	0.65	-	0.009	0.22	0.14	0.002
		台 64 縣 22k+100 (高架橋) ADT=42,738	416.9	192	1.06	0.35	-	0.05	0.72	0.05	0.002

註：本研究僅就各國所發表文獻資料蒐集比較整理。

2.2非點源污染之最佳管理措施

各種非點源污染之控制方法及措施皆可稱為「最佳管理措施」(Best Management Practices, BMPs), 為減少降雨逕流污染所採取之最經濟有效管理技術或作業方法, 一般可分為非結構性及結構性最佳管理技術; 依據行政院環境保護署 2010 年委託國立臺北科技大學水環境研究中心執行之「非點源污染現地處理技術研究計畫」中提及非點源污染控制的方式依其處理原則可以區分為四種型式(1)避免污染物產生(2)污染源產生污染物時, 即加以控制或稱為源頭控制 (source control) (3)非點源污染與暴雨逕流產生後再加處置 (treatment control) (4)視實際需要, 作進一步處理設施之裝置等。結構性的 BMPs 係指所有需要施作工程結構物具有一定結構機制、污染物處理對象或處理設施維護管理措施等, 依不同材料、尺寸等項目評估成本或設施對於水質改善效果評估分析。非結構性的 BMPs 係指以觀念或思想改變, 或場址規劃及教育宣傳等手段, 削減降雨逕流污染之控制技術; 如降低場址不透水性、減少停車場用地之不透水性、天然水路之保護與利用、維護/保育/加強河岸緩衝區域等。

依據行政院環境保護署 102 年 9 月 25 日頒布「降雨逕流非點源污染最佳管理技術 (BMPs) 手冊」提及, 非結構性最佳管理技術係指以觀念及思想改變或採用非結構性管理作業, 如場址規劃及教育宣傳等手段, 削減降雨逕流污染之控制技術, 因其削減污染對象主要為地表累積之污染物, 又可稱為源頭管理技術, 如河岸緩衝區域、降低場址不透水性、減少停車場用地之不透水性、不直接聯結排水系統、天然水路之保護與利用、低衝擊開發原則...等。而結構性降雨逕流非點源污染控制技術包括: 透水性鋪面、入滲池、地下入滲床、入滲溝、雨花園、入滲乾井、過濾設施、植生溝、植生過濾帶、入滲堤、綠屋頂、雨水儲集系統、人工濕地、溼式滯留池、乾式滯留池、水質過濾設備、水岸緩衝帶修復等方式。

非點源污染最佳管理措施, 不管是結構性或非結構性措施, 其主要都是在減輕降雨沖刷地表、建築物所產生之逕流非點源污染對環境水體之衝擊, 並控制開發區產生的降雨逕流, 以削減非點源污染排放量。目前國內一般道路對於道路逕流排水方式, 大都以快速排水方式為原則, 甚少考慮到截留、滯留、除污、淨化...等之有效措施。都會區或近郊的公路週邊, 一般設置有綠化帶或公共空間, 其再利用率幾乎微乎其微, 對於歐美國家早已有普遍利用規劃設計為一些暴雨管理控制措施, 如雨花園、入滲溝、濕式滯留池、人工濕地等, 來削減公路雨水逕流和污染物的排放。表 2.6 為美國環保署在 1993 年歸類之 BMPs 設施及其污染去除效率。另依據美國聯邦公路交通部門對主要道路逕流污染控制措施的污染物去除效率研究結果, 如表 2.7, 就表 2.6 與表 2.7 以透水鋪面為例, 美國環保署在 1993 年所發布之懸浮固體污染物去除效率為 65~100%, 而至 2003 年美國聯邦公路交通部門研究結果其去除效率為 82~95%, 顯示效率更高。

表 2.6 道路逕流污染控制措施的典型 BMPs 之污染物去除效率

單位：%

BMPs 種類	污染物去除效率 (%)				
	懸浮固體	氮	磷	病原菌	金屬
乾式滯留池	30~65	15~45	15~45	<30	15~45
濕式滯留池	50~80	30~65	30~65	<30	50~80
人工濕地	50~80	<30	15~45	<30	50~80
景觀貯集 滲透水池	50~80	50~80	50~80	65~100	50~80
滲透側溝	50~80	50~80	15~45	65~100	50~80
透水鋪面	65~100	65~100	30~65	65~100	65~100
BMPs 種類	污染物去除效率 (%)				
	懸浮固體	氮	磷	病原菌	金屬
草溝	30~65	14~45	15~45	<30	15~45
草帶	50~80	50~80	50~80	<30	30~65
砂濾設施	50~80	<30	50~80	<30	50~80

US EPA (1993), Geographic Targeting : Selected State Examples. EPA Report # EPA-841-B-93-001. Washington, D.C.

表 2.7 道路逕流污染控制措施的污染物去除效率

單位：%

種類	TSS	TP	TN	NO ₃	金屬	細菌	油脂
雨水塘	46~90	20~90	28~50	24~60	46~90	-	-
雨水濕地	65	25	20	-	35~65	-	-
滲透/ 生物 滯留 設施	滲透溝	75~90	50~70	45~70	-	75~99	75~98
	滲透池	75~90	50~70	45~70	-	50~90	75~98
	生物滯留池	75	50	50	-	75~80	-
過濾 設施	地下砂濾	70~90	43~70	30~50	-	22~91	-
	地表砂濾	75~92	27~80	27~71	0~23	33~91	-
	有機質過濾	90~95	49	55	-	48~90	90
植被 設施	植被溝	30~90	20~85	0~50	-	0~90	75
	植被過濾帶	27~70	20~40	20~40	-	2~80	-
透水鋪面	82~95	60~71	80~85	-	33~99	-	-

US Department of Transportation-Federal Highway Administration. Stormwater Best Management Practices in an Ultra-Urban Setting : Selection and Monitoring [EB/OL] .

<http://www.fhwa.dot.gov/environment/ultra-urb/index.htm>, 2008-02-06

2.3 植生滯留槽（雨花園）介紹

1. 設施基本說明

植生滯留槽（bioretention）屬於入滲型設施，可以採小面積且小區塊的形式設計，並且可以配合整體造景的需求，設計成景觀花園，故又可以稱之為雨花園（rain garden），可設置於建築物間的空地或綠地及停車場或道路之分隔島。植生滯留槽主要為引導地表逕流雨水並入滲至槽體設施內部，藉此達到降低暴雨逕流及減緩洪峰到達時間，並且藉由槽體內部人工鋪設之天然材料，將入滲雨水過濾淨化，可去除之污染源如重金屬磷、總凱氏氮（TKN）、氨和硝酸鹽等，故植生滯留槽屬於LID/BMPs的其中一項設施。植生滯留槽設置於保護區的道路交通系統中，可利用分隔島作為植生滯留槽之設置地點，若能有效運用分隔島或停車場的剩餘空間，可減少道路之排水系統的負荷，分隔島若較道路鋪面低則可提供小型蓄水，但必須設置雨水入口與溢流口；植栽部分以能吸附污染物、高耐水性植物為佳，並且定期清除淤泥，注意溢流口之清潔以避免阻塞，停車場則採種植喬木或灌木，分隔島則種植草類為佳。植生滯留槽剖面構造示意如圖 2.2。



圖 2.2 植生滯留槽（雨花園）剖面構造示意圖

2. 設施案例

由於雨花園具有暴雨逕流控制與景觀營造的雙重優點，因此已被廣泛的使用，最主要用於道路附屬設施（如中央分隔島、停車場、人行道及道路旁空地）及建築社區的庭院、公園、綠地及建築物間的畸零地等。雨花園所需的空間及形狀很具有彈性，

而且槽體內部的填料可依需求來調整，因此使用上相當方便，由於設施兼具維修方便及可提供民眾休憩等優點，在國外非常受到歡迎並已完全結合並落實於整體開發，國內亦已逐漸有相關的設施施作，圖 2.3 為本次研究蒐集之案例，並依其使用用地，分為道路設施及建築社區二類。


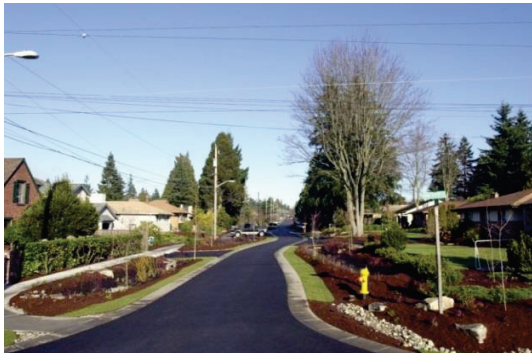



道路設施用地	建築社區用地
	
	
	
	



圖 2.3 植生滯留槽案例照片

3. 設施使用限制與條件

雨花園雖然已被廣泛的使用，但仍有一些使用上的限制與要求，於規劃設計時應審慎考量，包括（City of Edmonton, 2011）：

- (1) 雨花園不等同於滯洪池，無法處理大面積的排水。
- (2) 設施可能被逕流水中的懸浮顆粒阻塞而降低其入滲效能，故必要時應設置預處理系統。
- (3) 一般而言，設施所需面積約為總集水面積的 5%~20%。
- (4) 設施不宜設置於太陡峭的邊坡，以免因邊坡沖蝕而產生災害，一般而言，坡度不宜大於 20%。
- (5) 若設置於停車場內，則可能會減少停車場之有效停車數量。
- (6) 視設施所在地區而異，植生滯留槽的設置成本有可能會高於傳統之暴雨逕流處理設施。

4. 設計參數與設計參考圖說

依前所述，雨花園的使用及設計頗具彈性，規劃設計者可以依現地需求來設計，以下整理設施所需材料及其設計參數供參考：

- (1) 碎石級配料（礫石過濾層）：粒徑約 15.9mm~19.0mm（五分~六分碎石），厚度至少 15cm，用以儲存入滲並淨化後的水體，以確保出流流速。

- (2) 粗砂（過濾層）：粒徑約 0.7mm~1.5mm，厚度至少 10cm，用以作為系統之砂濾層，強化排水及物理性過濾功能，同時可以培養微生物菌，達到生物性過濾的目的。
- (3) 調配土：由 50%陽明山土、30%泥炭土、10%珍珠石、10%蛭石均勻混合調配而成，如此之配比除了可以提供植物種植初期所需之養份之外，經實驗室進行定水頭反覆測試，其滲透係數約可達 6.7cm/s，可有效達到逕流水入滲的要求，現地之鋪設厚度至少 60cm~80cm（視植生對象而定），可以提供槽體植栽及微生物生長養分，進行吸附及降解污染物。
- (4) 卵石：粒徑約 25.4mm~38.1mm（一寸~二吋石），鋪設於槽體表面以保護表土不要被流失，亦可鋪設於入流路徑攔截泥沙及落葉枯枝，減少流入槽體之懸浮物質。
- (5) 植栽：藉由植物吸收槽體之污染物及水量，植栽選擇應以不需施肥、需水量不大的植物為主，並可配合草本植物叢生特性，強化懸浮物質攔阻，另外亦可以配合景觀來設計，常用的植栽包括桂花、杜鵑、仙丹花、月橘、馬櫻丹、金針花、變葉木等。
- (6) 不織布：使用不織布的目的為阻絕上層調配土流入粗砂層中而造成阻塞，另不織布亦可以有水質過濾的功效，可以攔阻水中懸浮顆粒，故開孔徑不宜過大，同時不織布亦可以有效提供微生物菌附著，故厚度不宜過薄，然亦不宜過厚，以免過多的微生物滋長而造成阻塞，影響入滲功能，建議採用有效開孔徑(AOS)小於 0.07mm，厚度介於 2.0mm~3.0mm 之短纖針軋不織布。
- (7) 砂網：主要目的為阻絕上層之粗砂流入碎石級配中造成阻塞，故網目應小於上層粗砂之粒徑，且為避免影響入流水之滲流，網目亦不應過細，故建議可採用網目為 0.3mm~0.5mm 之砂網。
- (8) 防水布：鋪設防水布的目的為阻絕地下滲流水入流至系統內，影響其水淨化成效及排水效能，且為避免上部材料重量及碎石刺穿防水布，故應選擇有足夠強度且耐候的防水布，建議選擇>2mm 厚的塑膠防水布，且為確保其防水性，故至少應鋪設二層。
- (9) 出流管：出流管選用 PVC 管，並依其排水量選擇合宜的口徑，同時於埋設在植生滯留槽內部之段落平均鑽孔，再於其上包覆砂網防止阻塞。

2.4 雨花園污染削減研究

Lucas *et al.*, (2011) 於 Wachusett 水庫集水區之西部的 Boylston 子流域進行雨水管理計畫研究，於試驗場中分別設置雨花園與沉澱前池 (Sediment Forebay) 各 1.5 畝，如圖 2.4，並分析兩設施對於水質改善之效能，其結果顯示雨花園設施能降低總懸浮污染物 (TSS) 1,160 Lbs/yr、磷 (TP) 4.3 Lbs/yr、氮 (TN) 21.4 Lbs/yr、糞生大腸桿

菌群 (Fecal Coliform) 519 Billion colonies/yr，佔子流域污染物之削減率分別為 1.07%、1.01%、1.07%、0.89%，其結果比較詳表 2.8 所示。

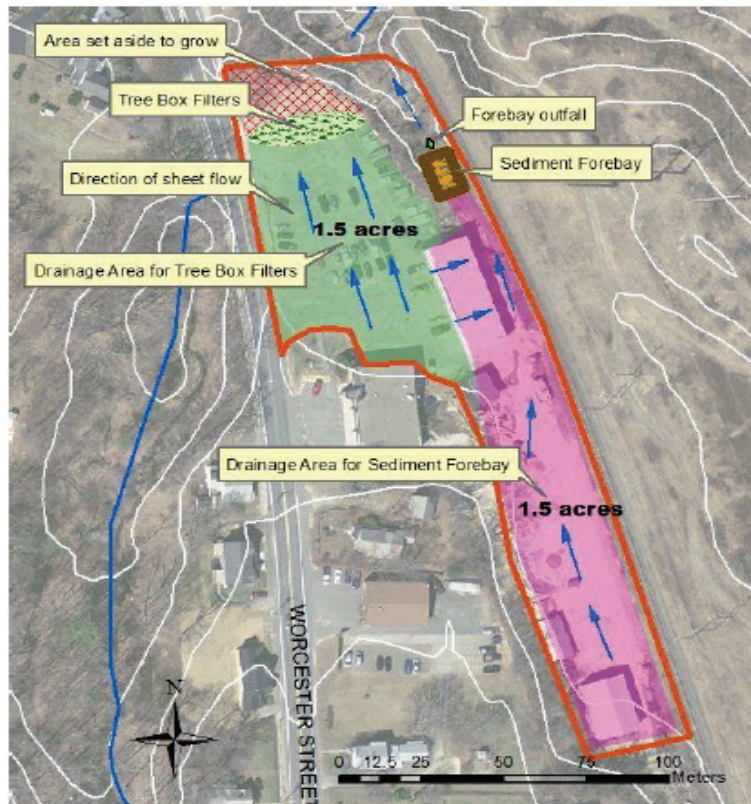


圖 2.4 模場示意圖

表 2.8Boylston 子流域污染物之削減率

BMP	集水面積 (acres)	TSS		TP		TN		Fecal Colform	
		Lbs/yr	%	Lbs/yr	%	Lbs/yr	%	Billion colonies/yr	%
雨花園	1.5	1,160	1.07	4.3	1.01	21.4	1.07	519	0.89
沉澱前池	1.5	268	0.25	0	0	0	0	0	0
合計	3.0	1,428	1.32	4.3	1.01	21.4	1.07	519	0.89

Geronimo *et al.*, (2013) 於韓國亦利用樹箱過濾設施結構，如圖 2.5，期望降低都市的非點源污染及洪峰流量。其樹箱過濾設施結構於最上層鋪上木片屑 (woodchip)、中層為砂石 (sand)，其次再鋪上一層木片屑，最下層則為礫石 (gravel)。結果顯示可減少總懸浮污染物 (TSS) 90%、水溶性重金屬 (Zn、Cu) 70%、有機物 (organics) 與營養物 (nutrients) 則降低 35%~60%，並發現當逕流量減少 20%，則 TSS 最少可減少 80%；而當降雨量小於 5mm，可有效降低流量 73%；降雨量介於 5mm~10mm 之間，可有效降低流量 52%；降雨量大於 10mm，可有效降低流量 22%，流量與降雨深度的關係如圖 2.6。

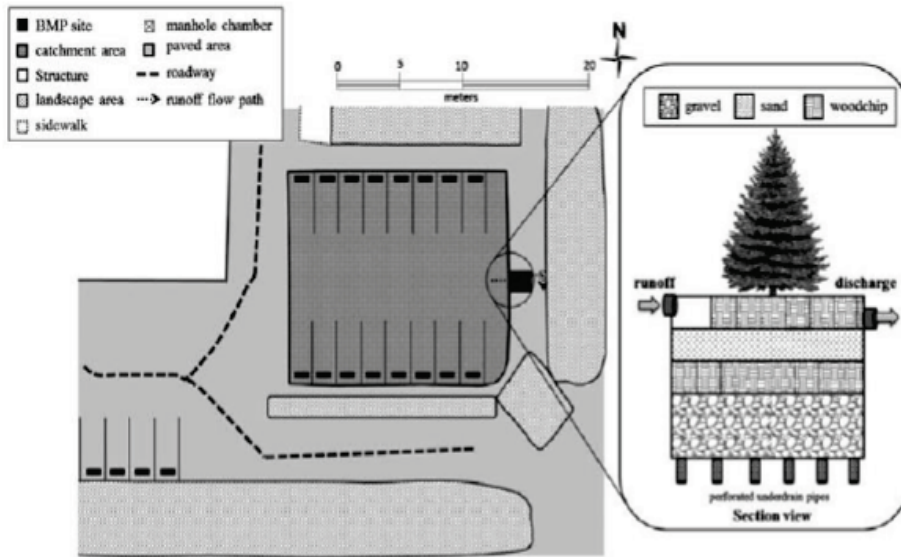


圖 2.5 樹箱過濾設施示意圖

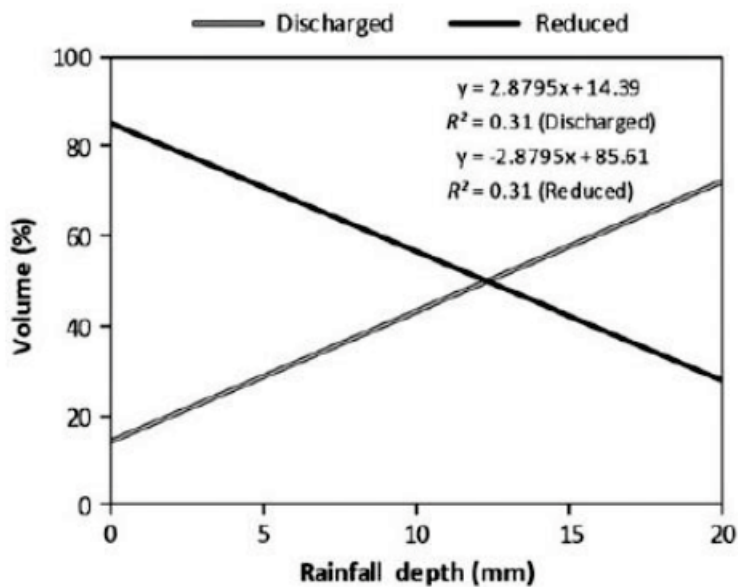


圖 2.6 流量和降雨深度關係圖

雨花園為結合滲透和生物滯留 (biological retention) 之過濾設施，通常被利用作為暴雨管理，可降低洪峰流量高達 96% (Trowsdale et al, 2011、Hunt et al, 2008)，其佔地面積較小，僅佔流域之 5~15%，適用於空間有限之地區。雨花園同時兼顧了綠景觀美學，其大多設置於公路、道路、橋梁、停車場 (Hinman, 2012)。並且可以有效地降低水質污染，例如：懸浮顆粒、有機物和重金屬，甚至可以降低 60% 之營養物質 (USEPA, 1999)。

Luellet al, (2012) 為處理橋墩暴雨逕流，於北卡羅萊納州 540 號公路橋墩下，設置兩處分別處理不同的降雨強度之雨花園，如圖 2.7，其一為大槽，處理降雨強度 25mm 之雨花園，其二為小槽，處理降雨強度 8mm 之雨花園，如圖 2.8，土壤介質層材料為 2.9%的砂礫，86.8%砂，7.8%的泥沙，和 2.5%的粘土，大槽和小槽的槽體特性，如表 2.9，為提高硝酸鹽去除及滯水能力，雨花園中另設置內部蓄水層。

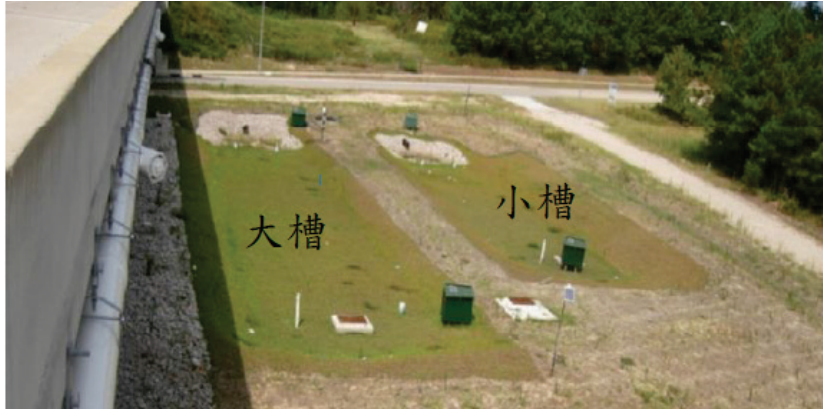


圖 2.7 雨花園大槽及小槽完工圖

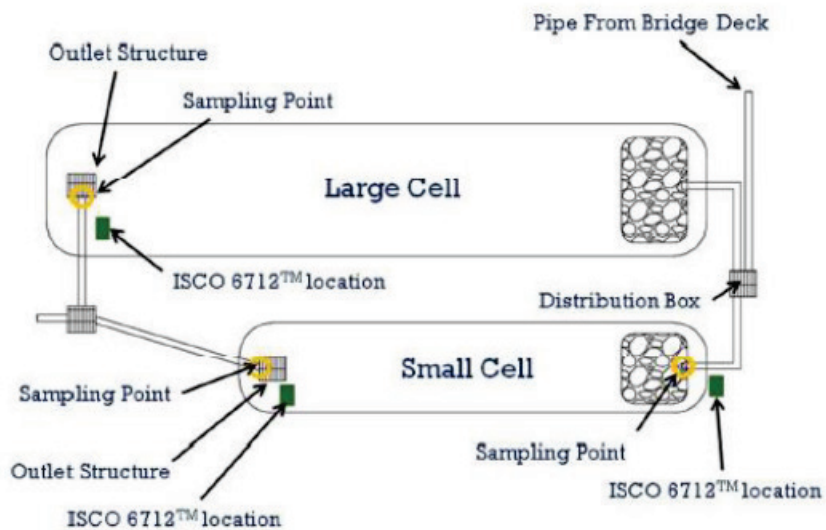


圖 2.8 雨花園大槽及小槽設計圖

表 2.9 雨花園大槽和小槽槽體特性

項目	大槽	小槽
長度 (m)	31	22
寬度 (m)	6	4
表面積 (m ²)	186	93
蓄水量 (m ³)	43	21
土壤介質層深度 (m)	0.51	0.51
蓄水深度 (m)	0.23	0.23

雨花園完成挖掘後，於底層鋪設防滲水之地工合成材，填入 30 公分之 57 號碎石以覆蓋底層排水管，並於鋪設土壤前利用聚丙烯 (polypropylene,PP) 地工織布隔開 57 號碎石層，最後鋪設草皮。本設施利用州際道路既有之排水管路蒐集路面逕流，匯流至分流井後流入雨花園，若降雨量過大超過槽體設計之負荷量，將溢流至下水道排除。

其研究時間由 2009 年 10 月至 2010 年 12 月，共計三十筆入流資料；且大槽有二十四筆出流資料，小槽有二十九筆出流資料，其研究用中位數、平均數及削減率分析大槽與小槽淨化污染的效益，大槽淨化水體的效益優於小槽。(如表 2.10~2.12)

表 2.10 大槽和小槽污染濃度之中位數

系統 污染物	入流 (mg/L)	大槽出流 (mg/L)	小槽出流 (mg/L)
TKN	0.44	0.37	0.41
NO _{2,3} -N	0.30	0.08	0.13
TN	0.72	0.42	0.50
NH ₄ -N	0.05	0.03	0.04
TP	0.08	0.09	0.10
TSS	30	17	21

表 2.11 大槽和小槽污染濃度之平均濃度

系統 污染物	入流 (mg/L)	大槽出流 (mg/L)	小槽出流 (mg/L)
TKN	0.54	0.32	0.42
NO _{2,3} -N	0.34	0.08	0.14
TN	0.86	0.40	0.54
NH ₄ -N	0.08	0.04	0.04
TP	0.11	0.11	0.13
TSS	49	20	26

表 2.12 大槽和小槽污染削減率

系統 污染物	大槽出流 (%)	小槽出流 (%)
TKN	41	22
NO _{2,3} -N	76	58
TN	53	37
NH ₄ -N	56	47
TP	7	-10
TSS	58	47

Templeton *et al.*, (2006) 於南卡羅萊納州高速公路，設置雨花園之評估與現地試驗，由於南卡羅萊納州交通局規定高速公路之逕流水需先通過處理後才可排放至雨水下水道系統，故該局希望藉由設置雨花園淨化高速公路逕流，如圖 2.9。槽體規模為長 7.6m、寬 6m、深 1.2m，內部設計由上至下為 5cm 草皮、30cm 土壤、30cm 碎木屑、60cm 六分礫石。



圖 2.9 雨花園設置位置圖

研究時間由 2005 年至 2006 年 12 月，其研究平均削減率及削減範圍，如表 2.13 分析植生滯留槽淨化污染的效益，設施對重金屬和硝酸鹽氮有一定的削減效果，但對正磷酸鹽的削減效果不佳。

表 2.13 植生滯留槽污染濃度之削減率及削減範圍

項目 \ 污染物	正磷酸鹽	鋅	銅	硝酸鹽氮
平均削減率 (%)	4.8	95.0	44.7	72.7
削減範圍 (%)	-252~100	91~100	-14~100	-28~100

Brown *et al.*, (2011) 於北卡羅萊納州納什維爾，建置兩個不同深度的雨花園，分別為 0.6 公尺深及 0.9 公尺深，兩組雨花園的土壤介質層以砂質壤土為主，實驗由 2008 年 3 月至 2009 年 3 月，詳表 2.14 為雨花園對不同污染物之削減率，由表可知 0.9 公尺的槽體深度較 0.6 公尺槽體深，使削減 TSS 的能力較好；兩個槽體對 TN 的削減效果皆不理想，但兩個槽體對 NH₃-N 的削減可達 78%與 77%，且對結果顯示，雨花園 NH₃-N 的削減與深度無關；TP 的削減於雨花園普遍成效不佳，但由其研究結果顯示，增加雨花園槽體深度，可增加雨花園對 TP 的削減能力。

表 2.14 植生滯留槽污染濃度之削減率

系統 \ 污染物	0.6 公尺深設施 (%)	0.9 公尺深設施 (%)
TKN	42	57
TN	21	19
NH ₃ -N	78	77
TP	10	44
TSS	71	82

三、研究場址

為更落實削減道路之非點源污染負荷量，因此選擇省道台 3 線 86k+200 路權範圍內隙地設置 BMPs 設施-雨花園 (Rain Garden) 二座。選定之場址背景及工作內容，摘錄部分相關資料來說明本研究場址之特性與現地條件。

3.1 地理環境與背景資料

台 3 線 86k+200 左側場址位於新竹縣峨眉鄉境內，峨眉鄉位於新竹縣之南邊，東與北埔相接，北與寶山鄉毗連，西側與西南苗栗縣頭份市、三灣鄉、南庄鄉等三鄉市接壤為界(圖 3.1 及表 3.1)。全鄉面積為 46.80 平方公里，東西長 10.50 公里，南北長 11.80 公里。峨眉鄉原稱月眉，係因峨眉溪曲流凸岸之半月形沖積河階而得名。大正九年(1920)總督府於地方官制改正，將月眉改為峨眉，一直沿用至今。鄉境內地形分屬於竹東丘陵南段及獅頭山山地的丘陵地，全鄉大都是群山層巒疊障，但都是屬於 500 公尺以下的山丘，許多山丘就位於在本鄉界上，沿著稜線提供天然的鄉界線。峨眉鄉為典型農業鄉，鄉境內重巒疊翠，青蔥蓊然，峨眉溪蜿蜒全境，宛若人間仙境，因此孕育出耄耋耆宿，縣內稱一，亦有長壽鄉之美譽及內山公路之稱。

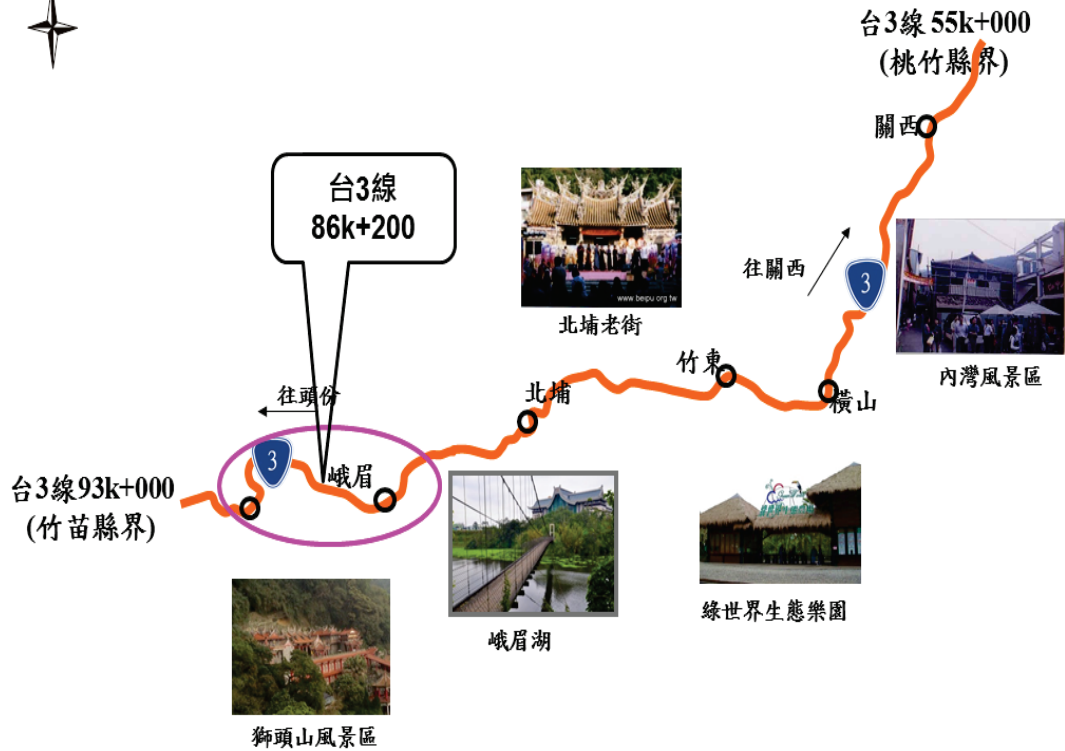


圖 3.1 台 3 線 86k+200 場址位置圖

表 3.1 場址基本資料

場址地點	台 3 線 86k+200 左側	台 3 線 86k+200 左側
道路等級	省道	省道
設置面積	27.5m ² (11m*2.5m)	43.75m ² (17.5m*2.5m)
車道數	4	4
道路型式	郊區公路	郊區公路
平均每日 交通量 (PCU)	3,903	3,903
鋪面型式	瀝青混凝土	瀝青混凝土
護欄型式	鋼板護欄	鋼板護欄
管轄權屬	交通部公路總局	交通部公路總局

3.2 雨花園施工作業流程與成果

選擇在省道台 3 線 86k+200 場址，經過縝密會勘利用隙地內空間，依據環保署頒布「降雨逕流非點源污染最佳管理技術 (BMPs) 手冊」，規劃設計雨花園尺寸、規格、植栽種類等，並計算其可服務集水區面積、非點源污染削減量評估分析、降雨逕流非點源污染管理評估總表。

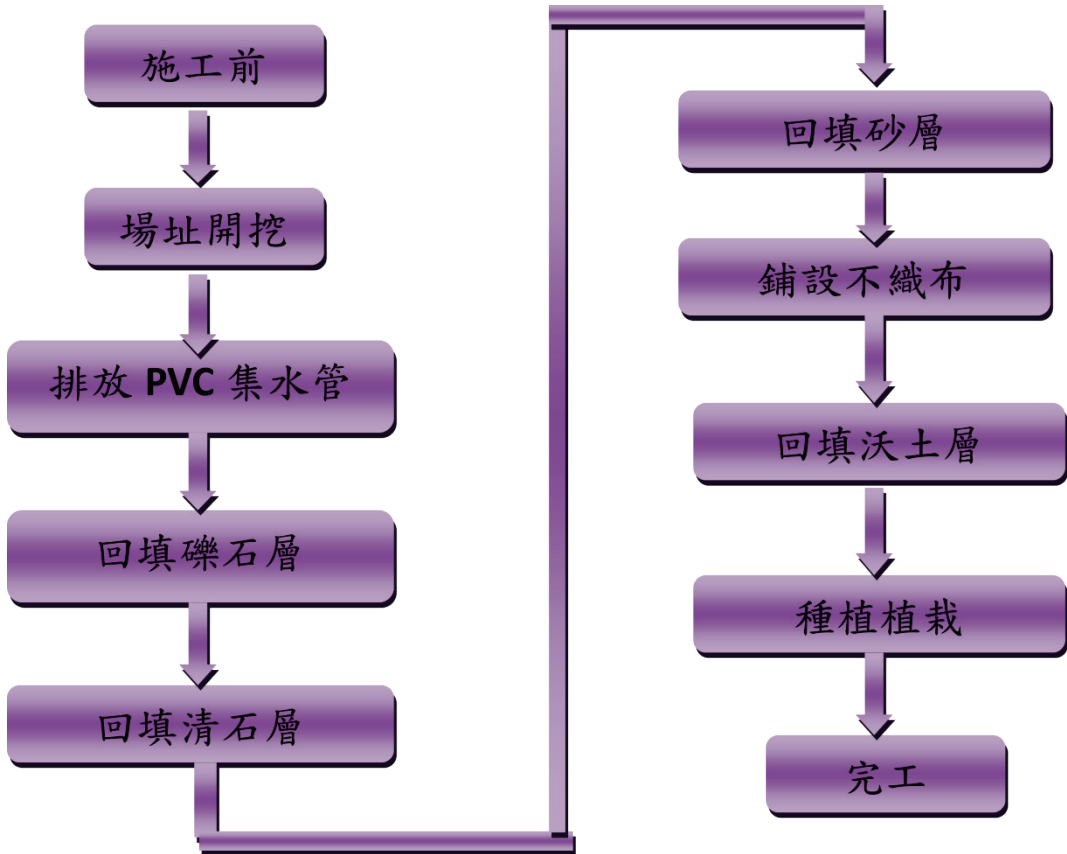


圖 3.2 雨花園施工作業流程



施工前



場址開挖



排放 PVC 集水管



回填礫石層



回填清石層



回填砂層



圖 3.3 雨花園施工流程照片

透過現地施作規劃設計之雨花園，於開挖後埋設 PVC 管係便利將來雨花園操作營運時，該非點源污染逕流水經層層滲濾後才可排放至水體，各分層依照設計分別為回填礫石層、回填清石層、回填砂層、排放不織布、回填沃土層等，完成後再種植植栽與維護。設置兩座雨花園分別為長度各 17.5m、11.5m，寬度均為 2.5m，於 104 年 3 月 16 日開工，104 年 3 月 25 日完工。

3.3 設置雨花園成本效益分析

依據行政院環境保護署頒定之降雨逕流非點源污染最佳管理技術（BMPs）手冊，雨花園係可收集處理道路不透水區域之雨水逕流，本研究規劃設計於台 3 線 86k+200 隙地設置兩座雨花園，包括沃土層、砂層、清石層、礫石層、池底滿鋪透水不織布、植物等。如圖 3.4。

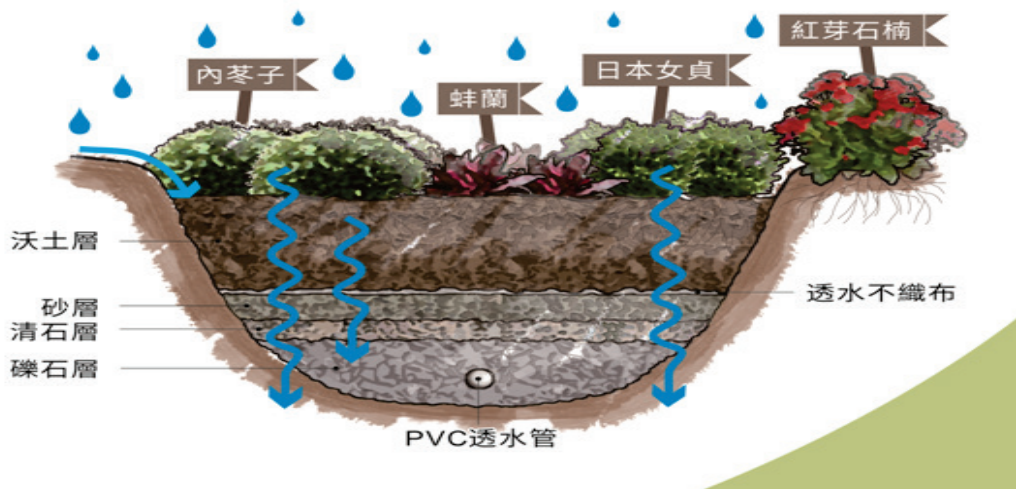


圖 3.4 雨花園剖面示意圖（公路總局曾秀玫工程司協助繪製）

1. 設置成本分析

依據圖 3.4 規劃設計於台 3 線 86k+200 隙地設置雨花園，包含挖方、運費、植栽沃土，壤土、人工填料層（2~6cm 碎石）、過濾砂層、礫石、透水不織布、10cm PVC 管、景觀植栽、零星工料等，每設置 1m²（深度 1.3m）之雨花園 BMP 設施約需 1,250 元（不包含包商利稅、管理費及勞安設施費），如表 3.2。

表 3.2 雨花園設置成本分析

項次	項目及說明	單位	數量	單價	複價	數量計算式
1	挖方	M3	35.75	120	4,290	1.3*2.5*11
2	運費	M3	36	150	5,400	
3	填沃土	M3	13.75	300	4,125	0.5*2.5*11
4	人工填（2~6cm）清石	M3	2.75	900	2,475	0.1*2.5*11
5	人工填過濾砂層	M3	4.125	590	2,434	0.15*2.5*11
6	人工填礫石	M3	9.625	300	2,888	0.35*2.5*11
7	景觀植栽	式	1	5,000	5,000	
8	透水不織布	M2	27.5	120	3,300	2.5*11
9	10cm PVC 管	M	30	78	2,340	
10	零星工料	式	1	2,000	2,000	
	小計				34,251	

2. 操作維護需求

對於規劃設計於台 3 線 86k+200 隙地內設置雨花園，為維護雨花園正常運行，爾後應適時或定期清理以維持雨花園正常功能運作。應注意事項如下：

- (1) 每年至少進行二次檢視沉積物堆積、沖蝕及植被生長情形是否完整。
- (2) 確定入滲狀況良好，若雨後 72 小時仍有雨水滯留，則需進行清理作業。
- (3) 每年應移除沉積物。
- (4) 若設施受明顯沖蝕，補充並重鋪護根物。每二至三年檢視場址更換護根之必要性。
- (5) 種植植被初期，定期修剪及除草。多年生植物於成長季節末期修剪。
- (6) 在長期乾旱期間，雨花園需灑水澆灌。
- (7) 維護作業包含上部植栽養護，可視狀況調整。

3.4 雨花園現況說明

為執行監測採樣，曾多次赴現地勘察，雨花園之現況如圖 3.5 所示，經現場調查發現現場植生情形相當良好，顯示所選擇的植生物種符合當地之生長環境，然因現地植生條件良好，故仍應增加維護管理的次數，以確保其水質淨化功能及景觀營造效益得以持續發揮。



(a) 剛完工階段現況照片 (104 年 10 月 9 日攝)



(b) 本次執行採樣階段現況照片 (105年4月15日攝)



(c) 本次執行採樣階段現況照片 (105年11月21日攝)

圖 3.5 雨花園現況照片

本路段之雨花園共分為二區，分別稱之為北側雨花園與南側雨花園，於雨天至現場現勘時，發現南側之雨花園於降雨時，路面逕流水可以順利流入雨花園中，但下方設置之出水管卻無出流水排出，造成南側之雨花園積水嚴重，如圖 3.6；若遇大雨時，逕流雨水將直接以溢流的方式排入道路側排水溝，如圖 3.7，而無法發揮路面非點源污染水質淨化的成效，推測其原因應為雨花園系統內部產生阻塞（clogging）的現象，應有必要進行重新設置。至於北側雨花園於降雨時，逕流水之入滲效果佳且出流量多，雨花園表面未見積水情形，顯見雨花園系統內部滲透性良好。如圖 3.8。



(a) 南側雨花園（地表積水）



(b) 北側雨花園（地表無積水）

圖 3.6 雨花園地表面降雨時之現況

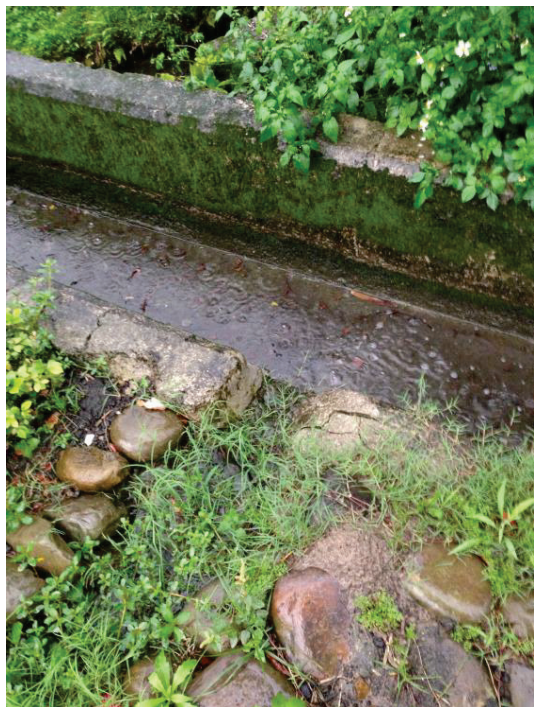
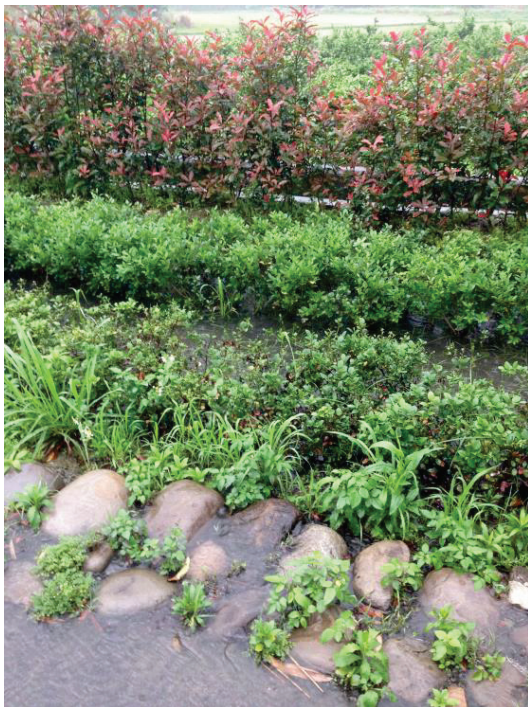


圖 3.7 南側雨花園路面逕流雨水直接溢流至道路排水側溝



圖 3.8 北側雨花園下方排水管之出流水

四、水質採樣及調查計畫

為了解台 3 線 86+200k (峨眉鄉) 雨花園對道路逕流雨水之污染削減效能，本次採取雨花園之入流水及出流水水樣進行水質的檢測。

4.1 水質調查數量及水質檢測項目

本次主要針對雨花園之入流水及出流水進行水質採樣與檢測，並從二者的水質污染濃度變化來得知雨花園對道路逕流雨水的污染削減成效。如表 4.1 所示，於採樣期間共採集二場次的雨天採樣，在降雨期間，分別於道路逕流入流處及雨花園下方排水管之出流處連續採集三筆水樣，因此本採樣共計採集 12 點次的水樣，所採集的水樣進行之水質調查項目包括水溫 (T)、氫離子濃度指數 (pH)、導電度 (EC)、溶氧量 (DO)、總磷 (TP)、氨氮 (NH₃-N)、磷酸鹽 (PO₄)、懸浮固體 (SS)、鉛 (Pb)、總鉻 (Cr) 及鎘 (Cd)，水質採樣情形如圖 4.1 及圖 4.2。

表 4.1 本計畫進行之水質水量補充調查規劃表

調查項目	調查點數	調查頻率 (註 1)	採樣點次
入流水	1 點	每次 3 筆	6 點次
出流水	1 點	每次 3 筆	6 點次
備註	註 1：本計畫水質監測期間以採得二次雨天採樣為期。 註 2：本計畫共採計 12 點次之入流水樣及出流水。		



圖 4.1 雨花園入流水水質採樣 4.2 雨花園出流水水質採樣

4.2 水質採樣作業流程

水樣水質的代表性受到採取水樣的時機與方式及水樣保存方法影響甚劇，為了解現地實際之水質變化的情形，故訂定水質採樣作業流程如圖 4.3。

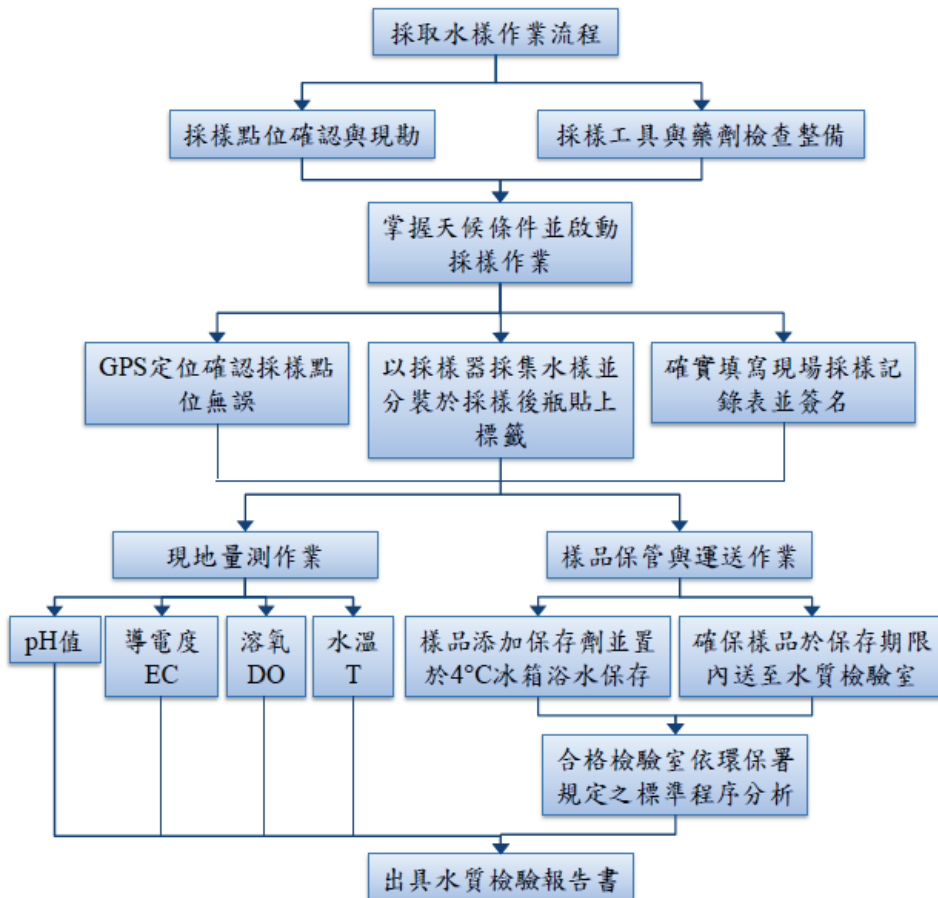


圖 4.3 水質樣品採集作業流程圖

4.3 採樣前準備工作

於進行水質採樣前，應先確實了解採樣計畫之目的性及需求性，針對計畫所需來研擬相關作業流程，茲說明本計畫採樣前工作規劃與準備工作如下，並應填具水質採樣前後準備工作檢查表。

1. 瞭解計畫目的及採樣需求

2. 現場資料蒐集

- (1) 衛星影像基本圖資
- (2) 採樣路線圖
- (3) 既有之雨量站及流量站點位
- (4) 其它單位於該地區之採樣報告
- (5) 水量資料

3. 現場踏勘並選定固定採樣點位

4. 擬定採樣計畫

- (1) 工作名稱
- (2) 採樣日期與工作時程
- (3) 採樣時之天候狀況與臨前條件
- (4) 採樣地區與採樣點位置
- (5) 樣品種類與分析項目
- (6) 採樣器具及保存試劑
- (7) 樣品前處理步驟
- (8) 樣品保存容器與樣品保存時限
- (9) 人員調派
- (10) 交通工具
- (11) 聯絡工作（人員、實驗室、交通）
- (12) 記錄
- (13) 其他

4.4 採樣點位規劃

採樣點的選擇應考慮下列因素：

1. 優先考慮人員安全作業的位置，排除影響工作安全之因素，並做好採樣人員安全防護如設置警示標誌。
2. 定期監測時，應選擇同一採樣位置。

採樣前應依資料研判或辦理採樣現場初勘，瞭解現場地形、水流情況、附近主要污染源及適合的採樣位置。

4.5 水質採樣時機與頻率

在執行採樣工作時，需採取具代表性之水樣，且所取之水樣需能充分代表其當時之水質狀況。本次主要以雨天（暴雨）採樣條件為主，為使採樣作業具有一定之共同性，因此需界定並釐清合宜之採樣時機與頻率。

1. 雨天採樣之條件與方法

採樣之目的在於做污染削減效能的評估，故以少數幾次暴雨污染調查推估雨花園的污染削減，其採樣事件應需能代表調查區域之平均降雨型態，由於所能監測的暴雨事件有限，故在確定是否對某一暴雨事件取樣時須滿足下列條件：

- (1) 確保採樣時之降雨能夠產生足夠之逕流，當次降雨事件之累積降雨量至少應在 10mm 以上，平均值正負 25% 以內為主，且於 24 小時內採集水樣。
- (2) 為有效採集暴雨逕流污染，故於該次暴雨採樣前 48 小時需不得有超過 10mm 以上之降雨。
- (3) 選擇暴雨事件時，亦應注意事件之雨量強度及延時之代表性。

雨天採樣方法以人工採樣進行之，並於採樣後填具採樣記錄表，並將水樣送至檢驗單位進行水質檢驗，若遇風雨過大無法於採樣後立即送至檢驗公司，則應將樣品保存於冰箱內，並於水樣保存期限內送至檢驗公司進行檢驗，若水樣保存超過期限，則視為無效水樣。

2. 採樣記錄

於完成一批次採樣後，採樣人員應於採樣現場立即使用防水紙張及筆墨進行採樣記錄，採樣紀錄包括：

- (1) 採樣人員姓名。
- (2) 測站編號及樣品編號。
- (3) 測站位置描述，包括全球定位系統經緯度資料。
- (4) 採樣方式（單一樣品或混合樣品）。
- (5) 採樣日期及時間。
- (6) 其他環境描述（採樣現場照片），及現場檢測結果，包括氣溫、水溫、pH、溶氧、導電度等。
- (7) 氣候條件，例如氣溫、晴雨狀況等。

本次執行採樣期間共進行 12 點次的水質採樣作業，相關的現場採樣記錄應詳實留下紀錄。

4.6 水質檢測項目與方法

本次水質檢測項目包含氫離子濃度指數 (pH)、溫度 (T)、導電度 (EC)、溶氧量 (DO)、懸浮固體 (SS)、氨氮 (NH₃-N)、總磷 (TP)、磷酸鹽 (PO₄)、鉛 (Pb)、總鉻 (Cr)、鎘 (Cd) 等項目，各檢測項目所需之樣品量及檢測方法如表 4.3。

表 4.3 水質調查項目、檢測單一測站採樣所需之樣品量及容器

水質調查項目	單一測站所需樣品量及容器	備註
pH、水溫、比導電度、溶氧量	1L PE 瓶	現場檢測
懸浮固體	2L PE 瓶	採樣後交由檢驗公司分析
氨氮	2L PE 瓶	
總磷	250mL 褐色玻璃瓶	
磷酸鹽	250mL 褐色玻璃瓶	
鉛	250mL PE 瓶	
總鉻	250mL PE 瓶	
鎘	250mL PE 瓶	

五、水質採樣結果與分析

本次執行期間，分別於 105 年 9 月 27 日及 105 年 11 月 21 日至現場採得有效水樣，除了部分現場檢測項目之外，其它項目均依規定送至環檢所認證之檢驗公司進行水質分析，綜整現場檢測及檢驗公司檢測的結果，如表 5.1 及表 5.2。

表 5.1 第一場水質採樣檢測結果

採樣時間		民國105年9月27日						檢測方法
採樣累積降雨量		21.5mm						
採樣地點 (樣品名稱)		雨花園 (入-1)	雨花園 (出-1)	雨花園 (入-2)	雨花園 (出-2)	雨花園 (入-3)	雨花園 (出-3)	
採樣時間點		10:41	10:41	10:56	10:56	11:12	11:12	
項目	單位	檢測值						現場檢測
水溫	°C	26.6	26.9	26.7	26.7	26.6	26.5	
氣溫	°C	26.1	26.1	26.1	26.1	26.0	26.0	
pH	-	6.57	6.33	7.03	6.49	6.94	6.35	
導電度	µmho/cm	18.2	85.8	16.7	74.8	16.1	63.9	
溶氧量	mg/L	4.99	4.29	4.89	4.35	4.77	4.10	
總懸浮固體	mg/L	39.1	6.3	50	8.1	56.2	17.7	
氨氮	mg/L	0.1	0.07	0.11	0.08	0.1	0.1	
總磷	mg/L	0.350	0.193	0.433	0.193	0.328	0.198	

磷酸鹽	mg/L	0.718	0.407	1.220	0.472	0.657	0.467	NIEA W427.53B
鉛	mg/L	0.0099	0.0062	0.0183	0.0082	0.0125	0.0052	NIEA W306.54A
總鉻	mg/L	0.0328	0.0235	0.0328	0.022	0.0297	0.0251	NIEA W306.54A
鎘	mg/L	0.0031	0.0029	0.0035	0.0025	0.0039	0.0035	NIEA W306.54A

註：本計畫之重金屬檢測值均低於方法偵測極限之測定值"ND"。

表 5.2 第二場水質採樣檢測結果

採樣時間		民國105年11月21日						檢測 方法
採樣累積降雨量		21.5mm						
採樣地點 (樣品名稱)		兩花園 (入-1)	兩花園 (出-1)	兩花園 (入-2)	兩花園 (出-2)	兩花園 (入-3)	兩花園 (出-3)	
採樣時間點		12:30	12:30	12:47	12:47	13:05	13:05	
項目	單位	檢測值						
水溫	℃	25.6	25.6	25.4	25.4	25.4	25.4	現場檢測
氣溫	℃	21.5	21.5	21.5	21.5	22.0	22.0	現場檢測
pH	-	7.35	7.2	6.89	6.75	7.12	6.99	現場檢測
導電度	µmho/cm	51.4	196.4	49.4	180.9	47.6	163.7	現場檢測
溶氧量	mg/L	5.14	5.91	5.13	5.67	5.07	5.49	現場檢測
總懸浮 固體	mg/L	22.1	6.9	37.6	19.2	17.8	2.8	NIEA W210.58A
氨氮	mg/L	0.09	0.06	0.09	0.05	0.10	0.03	NIEA W448.51A
總磷	mg/L	0.255	0.062	0.262	0.187	0.299	0.081	NIEA W427.53B
磷酸鹽	mg/L	0.730	0.107	0.887	0.077	0.706	0.136	NIEA W427.53B
鉛	mg/L	0.0205	0.0125	0.0185	0.0066	0.0085	0.0034	NIEA W306.54A
總鉻	mg/L	0.0026	0.0017	0.0020	0.0005	0.0026	0.0011	NIEA W306.54A
鎘	mg/L	0.0044	0.0042	0.0055	0.0038	0.0061	0.0047	NIEA W306.54A

註：本計畫之重金屬檢測值均低於方法偵測極限之測定值"ND"。

5.1 重金屬檢測結果

本次採樣之 12 點次水質檢測結果可以得知，該路段地表逕流水中（入流水）所含之鉛（Pb）、總鉻（Cr）及鎘（Cd）等重金屬項目的濃度均低於方法偵測極限之測定值，今與其它相關之研究結果相較（詳表 5.3），本路段檢測所得的重金屬濃度值尚在合理範圍內，且濃度較交通繁忙之都會型道路或高速公路低。

表 5.3 道路地表逕流水中重金屬濃度比較表

研究者 (年份)	採樣對象		鉛 Pb (mg/L)	總鉻 Cr (mg/L)	鎘 Cd (mg/L)
鄧宇傑 (2010)	臺灣	高架橋	0.0050	-	0.0003
		一般道路	0.0020	-	0.0002
王韻瑾 (2014)	臺灣	忠孝橋	0.0610	-	0.0020
		華江橋	0.1400	-	0.0020
		台 64 線	0.0500	-	0.0020
Wu et al. (1998)	美國	高架橋	0.0210	-	ND
		高速公路	0.0139	-	ND
		連絡道	0.0065	-	ND
Stotz (1987)	德國	公路一	0.2020	-	0.0059
		公路二	0.2450	-	0.0059
		公路三	0.1630	-	0.0028
Legret & Pagotto (1999)	法國	公路匝道	0.00580	0.0450	0.0010
本計畫 (2016)	臺灣	省道	0.0099~0.0183	0.0297~0.0328	0.0031~0.0039
		省道	0.0085~0.0205	0.0017~0.0026	0.0044~0.0061

若以入、出流的污染濃度變化來探討雨花園對於重金屬的污染去除效益，可知本場址雨花園對於鉛(Pb)的去除成效最高，介於 37.37%~64.32%，平均去除率約為 53.42%；鉻(Cr)的去除成效次之，介於 15.49%~75.00%，平均去除率約為 48.23%；鎘的去除成效最低，介於 4.55%~30.91%，平均去除率約為 18.38%。且第二場降雨的去除成效略高於第一場降雨(詳圖 5.1)，推測其原因為第一場降雨為颱風雨，降雨強度大且流速快，因此系統之水力停留時間較短，而第二場降雨則屬於一般強度之間歇性降雨，系統之水力停留時間較長，因此其對於重金屬污染的去除成效略高，由此可知雨花園系統對於重金屬的去除能力與其水力停留時間長短有關，然二者的差距並未太顯著。

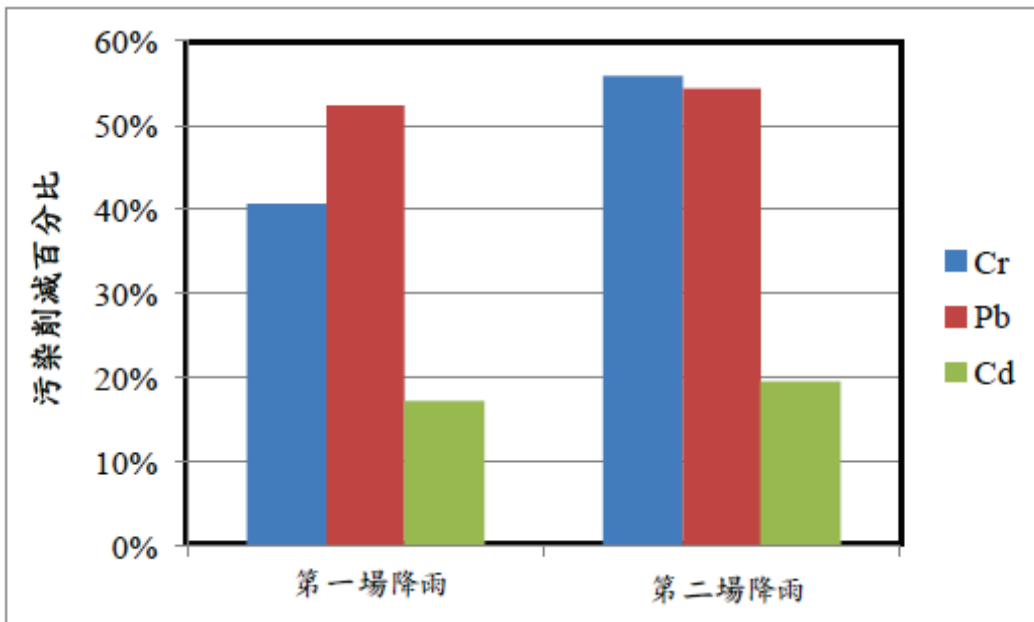


圖 5.1 雨花園對重金屬之污染削減率

5.2 營養鹽檢測結果

由文獻的研究結果可以得知，道路逕流非點源污染之營養鹽濃度與交通流量、車輛類型、城市或鄉村道路、道路清掃頻率及空氣品質有關（王韻瑾，2014），本次路段因屬於交通流量低之郊區道路，故採樣檢測所得之營養鹽濃度較其它研究所採之都市型道路濃度為低，如表 5.4，另比較表 5.4 中三位臺灣研究者與本次所採集的水樣營養鹽濃度相比較，本次採樣路段因位處於新竹峨眉的郊區，砂石車流量低且空氣污染少，因此水中懸浮固體（SS）濃度較都會型道路或高速公路低；再者，本次氨氮（ $\text{NH}_3\text{-N}$ ）濃度亦相較於其它臺灣研究者為低，然而總磷（TP）濃度則不亞於甚至高於都會型道路或高速公路，推測其原因應為本路段周遭大都為農田，農民施灑之肥料或農業機具運送肥料之過程，均可能有部分肥料散落於道路路面或路邊，並隨著降雨而流入雨花園中，因此本次採樣採集入流水時，其水中總磷濃度較高。

若以入、出流的污染濃度變化來探討雨花園對於營養鹽的污染去除效益，得知本雨花園對於各種營養的去除成效差不多，如圖 5.2，二場降雨事件中， PO_4 的去除成效表現最佳，平均去除成效介於 28.9%~91.3%，平均去除率約為 75.5%；TP 的去除成效次之，介於 28.6%~75.7%，平均去除率約為 56.0%； $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除成效最低，介於 0.0%~70.0%，平均去除率約為 41.7%。與重金屬的去除成效相似，第二場降雨的去除成效略高於第一場降雨，推測其原因亦與其水力停留時間長短有關。另外，入流水中 SS 的降雨事件平均濃度介於 68.5mg/L~84.3mg/L，平均去除率約為 70.2%。由此可知雨花園對於 SS 的去除成效頗佳，且對於磷酸鹽類的去除成效表現優於其它營養鹽。

表 5.4 道路地表逕流水中營養鹽濃度比較表

研究者 (年份)	採樣對象		懸浮固體 SS (mg/L)	氨氮 NH ₃ -N (mg/L)	總磷 TP (mg/L)
鄧宇傑 (2010)	臺灣	高架橋	120.5	2.84	0.218
		一般道路	55.8	0.57	0.097
王韻瑾 (2014)	臺灣	忠孝橋	437.4	1.4	0.210
		華江橋	148.4	3.24	0.650
		台 64 線	416.9	1.06	0.350
黃家勤 (2002)	臺灣	高速公路	59.0	1.6 (TN)	2.47
Wu et al. (1998)	美國	高架橋	283.0	0.83	0.43
		高速公路	93.0	0.67	0.52
		連絡道	30.0	0.52	0.47
Stotz (1987)	德國	公路一	137.0	-	0.25
		公路二	181.0	-	0.35
		公路三	252.0	-	0.31
Rushton (2001)	美國	停車場一	11.24	0.133	0.106
		停車場二	13.45	0.123	0.105
本計畫 (2016)	臺灣	省道	39.1~56.2	0.10~0.11	0.328~0.433
		省道	17.8~37.6	0.03~0.09	0.187~0.299

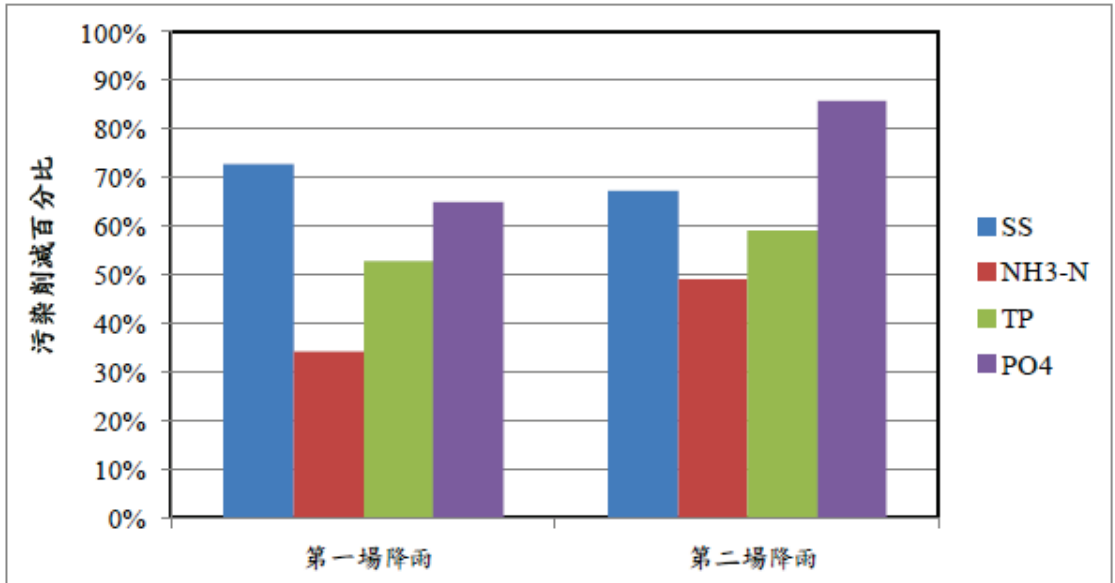


圖 5.2 雨花園對營養鹽之污染削減率

六、結論與建議

本次採樣執行期間進行二場次的降雨事件採樣，並於雨花園之入流及出流口分別採取 3 次的水樣，共計 12 點次的水質採樣調查，由水質調查結果來研判雨花園對於道路非點源污染削減的成效。

6.1 結論

1. 南側雨花園經多次確認，系統內部已阻塞，研判應為沃土層與砂層界面之不織布遭土壤顆粒堵塞住，為使雨花園可以發揮功效，南側雨花園宜挖除重新鋪設，並依沃土粒徑分布來選擇合宜的不織布有效開孔徑且不織布的垂直滲透係數應大於沃土滲透係數至少10倍。
2. 本次調查路段屬於低交通流量之郊區道路，從水質採樣結果與文獻之研究結果相比，本路段之重金屬及懸浮固體濃度均低於都會區之道路及高速公路，由此可知道路暴雨逕流非點源污染濃度與交通流量、車輛類型、城市或鄉村道路、道路清掃頻率及空氣品質有關。
3. 不論是重金屬、營養鹽或是懸浮固體，雨花園均具有良好的削減效益，尤其是對於懸浮固體及磷酸鹽，其去除成效頗佳，平均去除成效均可達至少50%以上。
4. 由本次採集之水質調查結果，可以得知雨花園對於道路逕流非點源污染的削減具有一定的成效，後續宜推廣至其它污染濃度較高的道路路段，並且依當地的污染濃度及地表逕流量來設計雨花園尺寸及內部材料配置。
5. 本路段所設雨花園採用的植物種類選擇合宜，因此經過多次現勘均可以發現植物生長情形良好，且植物可以幫助吸收雨花園內部被攔阻的營養鹽，使雨花園可以達到永續利用的目的。

6.2 建議

為確保雨花園可以長期且穩定的發揮水質淨化的功能，定期的維護管理是必要的，因此本次參考之前設施的相關操作維護經驗，提出雨花園水質淨化設施常見之操作維護包括：

1. 因雨花園為一獨立之阻留入滲式設施，並未與地下水系相連接，故於夏天若超過一週，冬天超過二週未降雨，則應適時的對雨花園灑水，以免植物缺水而枯萎。
2. 平時應注意植物之生長情形，並定期修剪以減少枯枝及落葉的發生，尤其是秋冬季節，同時應儘量撿除掉落於設施表面之枯枝葉，以免造成系統表面的阻塞而阻礙逕流水的入滲。另外，若設施有枯死的植株，亦應儘速移除並視需要判斷是否重新種植。
3. 雨花園應避免施肥，以免額外增加設施的負擔，並可能造成肥料殘留於系統內部，當降雨入滲之後，便可以遭降雨水淋洗而流出，造成出流水之污染濃度上升。

4. 對於地表裸露嚴重或水中 SS 濃度高的場址，應於設施入流口設置簡易之沉砂或攔阻設施，可有效預處理入流之水體，但應於降雨過後定期巡查設施之沉砂池或泥砂攔阻設施是否有淤積的現象，若有，則應進行清淤，以確保下次降雨來臨時，仍可以有效發揮泥砂攔阻的功能。
5. 出流口可能因出流水中的泥砂沉澱，或者是遭週圍植物的入侵或包圍而造成阻塞，應儘可能定期清除阻礙物，避免影響出流水之排出。
6. 設施可能因週遭地表的活動，例如農作機具或車輛的活動而遭到局部破壞，應定期巡查並適時的修復，若損壞嚴重而無法修復，則應拆除重作或易地再施作。
7. 雨花園週圍之其它附屬設施，例如流量量測之 V 型堰或設施告示板等，亦應定期檢查是否有毀損的現象。
8. 颱風或豪大雨過後，應確實檢查設施之完整性及其功能性是否仍正常，以免造成設施的虛設。

參考文獻

1. 黃家勤 (2002)，公路逕流污染調查與控制方法研究，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，NSC91-2211-E-214-003。
2. 鄧宇傑 (2010)，公路逕流之非點源單位污染負荷研究，碩士論文，國立臺北科技大學土木與防災研究所，臺北。
3. 王韻瑾 (2014)，都會區公路非點源污染調查及 BMPs 削減效益評估，博士論文，國立臺北科技大學土木與防災研究所，臺北。
4. 呂書豪 (2015)，提升樹箱過濾設施水質淨化效能之研究，碩士論文，國立臺北科技大學土木與防災研究所，臺北。
5. Amirtharajah A., C. R. O'Melia, Water Quality and Treatment, 4th Edition. New York: McGraw-Hill, 1990, pp. 269-365.
6. Barrett, M.E.; Malina, J. F.; Charbeneau, R.J.; Ward, G. H. Characterization of highway runoff in the Austin, Texas area. CRWR 263, Center for Research in Water Resources, University of Texas at Austin, Austin, TX., 1995.
7. Benedict M.A., E. T. McMahon. Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities Island Press, Washington , 2006.
8. Berman, L.; Hartline, C.; Ryan, N.; Thorne, J. Urban Runoff: Water Quality Solutions. American Public Works Association, Special Report, 1991, No.61.
9. Drapper D., R. Tomlinson and P. Williams, "Pollutant Concentrations in Road Runoff: Southeast Queensland Case Study," Journal of Environment Engineering, ASCE, vol. 126, no. 4, 2000, pp. 313-320.

10. Environmental Protection Agency, Design Manual: Phosphorus Removal, EPA-625/1-87-001, 1987.
11. Fytianos K., E. Voudrias and N. Raikos, "Modelling of phosphorus removal from aqueous and wastewater samples using ferric iron," *Environmental Pollution*, vol. 101, 1998, pp. 123-130.
12. Geronimo F. K. F., M. C. M. Redillas, L. H. Kim, "Treatment of parking lot runoff by a tree box filter," *Desalin. Water Treatment*, vol. 51, 2013, pp. 4044–4049.
13. Jenkins D. and S. W. Hermanowicz, Phosphorus and nitrogen removal from municipal wastewater. Principles and practice, 2nd Edition, U.S.:Lewis Publishers, 1991, pp. 91-110.
14. Kayhanian M., M. K. Stenstrom, S. L. Lau, H. H. Lee, J. S. Ma, H. Ha, L. H. Kim and S. Khan, "First Flush Stormwater Runoff from Highway," American Society of Civil Engineers World Water and Environmental Resources Congress, Orlando, Florida, May, 2001.
15. Kayhanian, M.; Suverkropp, C.; Ruby, A.; Tsay, K. Characterization and prediction of highway runoff constituent event mean concentration. *Journal of Environmental Engineering*. 2007, 85 (2) ,279-295.
16. Kim L. H., M. Kayhanian, K. D. Zoh and M. K. Stenstrom, "Modeling of highway stormwater runoff," *Science of the Total Environment*, vol. 348, no. 1-3, 2005, pp. 1-18.
17. Kim, D. G.; Jeong, K.; Ko, S.O. Evaluation of road sweeping for the reduction of nonpoint source pollutants load from highway runoff, 2011.
18. Kim, L.H.;Ko, S. O.;Jeong, S;Yoon, J. Characteristics of washed-off pollutants and dynamic EMCs in parking lots and bridges during a storm .*Science of the Total Environment* .2007,376 (1-3) ,178-184.
19. Lucas S. H., S. Chris and W. David, Stormwater Management Plan for the West Boylston Brook Subbasin, WPI, MQP-SL1-DCR1, 2011.
20. Luedecke C., S. W. Hermanowicz and D. Jenkins, "Precipitation of ferric phosphate in activated sludge: a chemical model and its verification," *Water Science and Technology*, vol. 21, 1989, pp. 325-337.
21. Prince George's County, Low-Impact Development Design Strategies, Strategies: An Integrated Design Approach, 1999.
22. Trowsdale S. A. and R. Simcock, "Urban Stormwater Treatment using Bioretention," *Journal of Hydrolic Engineering*, vol. 397, 2011, pp. 167–174.
23. Wanielista, M. P.and Yousef, Y. A. (1993) .Stormwater Management, John Wiley and Sons,New York,579 pages.

24. Wu, J. S.; Allan, C. J.; Saunders, W. L.; Evett, J. B. Characterization and Pollutant Loading Estimation for Urban and rural Highway Runoff. *Journal of Environmental Engineering*. 1998, 124 (7) ,584-592.
25. USEPA. Controlling nonpoint source runoff pollution from roads, highways and bridges. Report EPA-841-F-008a, USA. 1995.
26. USEPA (1993) , Geographic Targeting : Selected State Examples.EPA Report # EPA-841-B-93- 001.Washington,D.C.
27. United States Environmental Protection Agency, Stormwater Technology Fact Sheet: Infiltration Trench, EPA 832-F-99-019, 1999.

臺灣公路工程月刊徵稿簡則

- 一、本刊為交通部公路總局工程同仁業餘進修刊物，歡迎本局同仁及國內外有關公路之工程、經濟、規劃、管理、資訊等未經刊登於其他刊物之研究論著均接受投稿；論文如屬接受公私機關團體委託研究出版之報告書之全部或部份或經重新編稿者，作者應提附該委託單位之同意書，並於論文中加註說明。凡由本刊主動邀稿者，不受上述限制。
- 二、本刊為一綜合性公路工程刊物，下列各類稿件均表歡迎：
 1. 論著：以公路工程之理論著述，創作發明，具有學術價值者為主。
 2. 專題研究：以實際經驗及創見，促進技術之改進者為主。
 3. 譯述：以譯述國外書刊雜誌或工程報導，具有參考或實用價值者為主，長稿予以節譯，如涉及著作權問題，由譯者自行負法律責任。
 4. 實務報導：以報導工程設計、施工、試驗之實際經驗為主。
 5. 法令釋義：以介紹或解釋公路交通法規為主。
 6. 新書介紹：以介紹國內外有關公路工程交通新書為主。
 7. 工程文摘：以介紹國內外有關公路交通工程新知識為主。
 8. 讀者通訊：以反應或解答有關公路交通工程問題為主。
 9. 工程報導：以報導國內公路交通工程動態為主。
 10. 業餘隨筆：以有關工程方面之輕鬆雋永之散文記述為主。
- 三、為便於一次刊出，來稿以一萬五千字為限，其中應包括三百字以內之摘要及三至五個關鍵詞，並請註明姓名、身份證字號、戶籍地址、服務單位、職稱、聯絡地址及電話。
- 四、文稿中需註釋處，請標明上標不加括號序碼，按順序往下連續編號，再於文後條列說明。文稿中之數學式，函數請使用正體字、變數請使用斜體字。圖及表中之中文字請使用新細明體，英文字請使用 Times New Roman 字體，圖原則上不加框、繪圖物件以群組處理，表之框線均採細線。參考文獻請按出現序排列，文中提及時請標明上標加括號序碼，參考文獻資料必須完整無缺，請依序書寫作者姓名、論文篇名、期刊（圖書）題名、卷期、出版社、出版日期、起迄頁碼。
- 五、來稿照片、圖片解析度需清楚（或附寄原版），凡無法清晰辨認及製版者，恕不接受；並請提供 Microsoft Word 2010（含以上）版本之電子檔。
- 六、本刊編輯委員對來稿在不變更其論點之原則下有刪改權，來稿一經發表，依本社規定致稿酬，版權歸本刊所有，其他刊物如需轉載，應同時徵得作者及本刊同意，並註明出處。
- 七、來稿如欲退還稿件請附足郵資。
- 八、投稿請寄臺北市萬華區東園街 65 號 8 樓臺灣公路工程月刊社收。

臺灣公路工程

出版者：臺灣公路工程月刊社

地 址：10863 臺北市萬華區東園街 65 號

電 話：(02)2307-0123 轉 8008

網 址：<http://www.thb.gov.tw/> 本局資訊 / 影音及出版品

編 者：臺灣公路工程編輯委員會

出版年月日：中華民國 107 年 10 月 15 日

創刊年月日：中華民國 41 年 11 月 11 日

刊期頻率：每月 15 日出刊

本期定價：新臺幣 30 元

展售處：

五南文化廣場

地 址：40042 臺中市中山路 6 號

電 話：(04)2226-0330

國家書店松江門市

地 址：10485 臺北市中山區松江路 209 號 1 樓

電 話：(02)2518-0207 (代表號)

國家網路書店：<http://www.govbook.com.tw>

三民書局

地 址：10045 臺北市重慶南路一段 61 號

電 話：(02)2361-7511

印刷者：先施印通股份有限公司

地 址：10491 臺北市中山區八德路二段 180 號

電 話：(02)8772-5566

中華民國 107 年 10 月初版一刷

GPN：2004100003

ISSN：1812-2868

著作財產權：交通部公路總局

本刊內容不代表本局意見，發表之文字如需轉載或引用
請先徵得本刊之同意。

(請洽臺灣公路工程月刊社，電話：(02)2307-0123轉8008)

半年新臺幣 150元
一年新臺幣 300元
軍人及學生半價優惠

訂閱匯款至中央銀行國庫局(代號0000022)
帳號(共14碼)：1 1 2 9 7 1 0 9 0 9 5 0 1 9
戶名：交通部公路總局其他雜項收入戶

ISSN 1812-2868



9 771812 1286005

GPN2004100003

定價新臺幣30元