

# 逢甲大學學生報告 ePaper

報告題名：

改良式砂腸袋護岸工法分析

Analysis of Using the Revised Geotextile Tubes as the Revetment

作者：孫崇育、林欣平、陳珮琦、陳呂暉

系級：水利工程與資源保育學系

學號：D9863096、D9967152、D9967076、D9966874

指導老師：吳俊鉉

課程名稱：綠色工程菁英培育課程

開課系所：國立暨南大學 土木工程學系

開課學年： 102 學年度 第 二 學期



## 摘要

本研究主要探討以改良式砂腸袋為護岸之可行性，基於近年台灣河川土砂淤積量大，本研究以營造生態友善環境為原則，提出以砂腸袋加掛沖刷防護袋為護岸之構想，並探討其可行性；根據本研究過往文獻蒐集分析，過往使用混凝土興建護岸並無法達到生態友善環境，且基礎淘刷是過往護岸工法失敗主因，因此本研究認為可以地工砂腸袋取代原有混凝土護岸，並在砂腸袋下方懸掛沖刷防護袋方式降低因底床淘刷造成的基礎淘空現象；不論是地工砂腸袋或沖刷防護袋，都可採用河床堆積土砂為填充物，此舉將有助於增加通水面積、改善河床棲地環境及減少洪水發生；經本研究至濁水溪旁現場勘查以地工砂腸袋為護岸之工法，確認此想法的確可行；再者經由本研究進行渠槽實驗，比對地工砂腸袋懸掛沖刷防護袋在流況改變與床面沖刷及淤積變化情況上，也發現以地工砂腸袋懸掛沖刷防護袋於砂面下之方式最能降低底床淘刷。本研究也針對改良式砂腸袋護岸與混凝土護岸進行效益分析比較，不論在生態五化分析、碳足跡分析及經濟效益分析上，改良式砂腸袋護岸皆比混凝土護岸有更良好的效益。

關鍵字：改良式地工砂腸袋、護岸、渠槽實驗

## Abstract

The study discusses the practicability of using the revised geotextile tubes as the revetment. Because the sediment yield in Taiwan in the recent decade is massive, the study bases on the establishment of eco-friendly environment, raises the idea of using the geotextile tubes with the anti-erosion bag as the revetment and discusses the practicability. According to the related references, the concrete revetment which is common used in Taiwan can't establish the eco-friendly environment, and the river scour is the main reason for the failure of the concrete revetment. The study considers to use the geotextile tube instead of the original concrete revetment, and hangs the anti-erosion bag at the bottom of the geotextile tube to reduce the river scour. The geotextile tube and anti-erosion bag used in the study can be filled with the deposited sediment in the river, like the gravels. Using the deposited sediment as the loading materials can increase the river flowing area、improve the river habitat environment and reduce the flooding events. Based on the field survey along the Jhuoshuei river, the study confirms that using the geotextile tube as the revetment is practical. The study also proceeds the flume experiments to analyze the distribution of river flowing, scouring and sediment deposition, and the results of the flume experiments shows the best design to avoid the river scour is to hang the anti-erosion bag at the bottom of the geotextile tube.

Keywords : Revised Geotextile Tubes、Revetment、Flume Experiments

## 目錄

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 摘要.....                         | I  |
| Abstract.....                   | II |
| 摘要.....                         |    |
| 圖目錄.....                        | IV |
| 表目錄.....                        | VI |
| 一、前言.....                       | 1  |
| 二、文獻回顧.....                     | 2  |
| 2.1 護岸工程介紹.....                 | 2  |
| 2.2 過往護岸工法造成破壞方式說明.....         | 6  |
| 2.3 砂腸袋說明及過往應用範圍.....           | 9  |
| 三、創新應用說明.....                   | 10 |
| 3.1 台灣多數河川環境所面臨的問題.....         | 10 |
| 3.2 以砂腸袋取代混凝土為護岸工程主要材料之可行性..... | 12 |
| 3.3 改良式地工砂腸袋之說明.....            | 12 |
| 四、實際案例應用.....                   | 13 |
| 4.1 現場勘查說明.....                 | 14 |
| 4.2 實驗設備說明.....                 | 15 |
| 4.3 渠槽實驗結果說明.....               | 19 |
| 五、綜合效益評估.....                   | 26 |
| 5.1 生態五化效益分析.....               | 26 |
| 5.2 碳足跡分析.....                  | 27 |
| 5.3 經濟效益.....                   | 28 |
| 六、結論.....                       | 28 |
| 參考文獻.....                       | 29 |
| 附錄.....                         | 30 |

## 圖目錄

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 圖 1 混凝土護岸工法.....                   | 1  |
| 圖 2 蛇籠護岸工法.....                    | 1  |
| 圖 3 傳統護岸工程.....                    | 3  |
| 圖 4 生態護岸工程.....                    | 3  |
| 圖 5 生態護岸工程.....                    | 3  |
| 圖 6 生態護岸工程.....                    | 3  |
| 圖 7 砌石護岸.....                      | 3  |
| 圖 8 漿砌石護岸.....                     | 3  |
| 圖 9 箱籠護岸.....                      | 4  |
| 圖 10 蛇籠護岸.....                     | 4  |
| 圖 11 加勁材料護岸.....                   | 4  |
| 圖 12 木樁捲包護岸.....                   | 4  |
| 圖 13 木排樁護岸.....                    | 4  |
| 圖 14 打樁編柵護岸.....                   | 4  |
| 圖 15 拋石護岸.....                     | 4  |
| 圖 16 蜂巢圍束網格堆疊護岸.....               | 4  |
| 圖 17 混凝土格框護岸.....                  | 5  |
| 圖 18 布袋模毯護岸.....                   | 5  |
| 圖 19 護岸破壞：基礎淘刷.....                | 7  |
| 圖 20 護岸破壞：傾倒破壞.....                | 7  |
| 圖 21 護岸破壞：基礎承载力不足.....             | 7  |
| 圖 22 護岸破壞：洪水沖毀.....                | 7  |
| 圖 23 地工砂腸袋在近年的應用情況照片.....          | 10 |
| 圖 24 台灣河川土砂大量淤積照片.....             | 11 |
| 圖 25 本研究改良式地工砂腸袋構想示意圖.....         | 12 |
| 圖 26 護甲層效益示意圖.....                 | 13 |
| 圖 27 現場勘查點位(圖片取自 google maps)..... | 14 |
| 圖 28 本研究現場勘查照片.....                | 15 |
| 圖 29 本研究現場勘查照片.....                | 15 |
| 圖 30 本研究現場勘查照片.....                | 15 |
| 圖 31 本研究現場勘查照片.....                | 15 |
| 圖 32 本研究所使用之實驗渠槽示意圖.....           | 16 |
| 圖 33 本研究所採用的小型砂腸袋.....             | 17 |
| 圖 34 本研究所採用的小型沖刷防護袋.....           | 17 |
| 圖 35 本研究所採用的雷射測距儀.....             | 17 |
| 圖 36 本研究所採用的顯示式管路手動矩形閘閥.....       | 17 |
| 圖 37 渠槽實驗用砂粒徑分佈圖.....              | 17 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 圖 38 | 本研究所採用的顯示式管路手動矩形閘閥.....                        | 17 |
| 圖 39 | 本實驗渠槽完全發展區段選定範圍圖.....                          | 19 |
| 圖 40 | 本研究渠槽實驗流程圖.....                                | 19 |
| 圖 41 | 砂腸袋護岸與水流方向平行實驗情況.....                          | 20 |
| 圖 42 | 砂腸袋護岸與水流呈 30 度夾角實驗情況.....                      | 20 |
| 圖 43 | 以砂腸袋護岸渠槽實驗流場說明圖.....                           | 21 |
| 圖 44 | 沖刷防護袋懸掛位置編號說明.....                             | 21 |
| 圖 45 | 無懸掛沖刷防護袋之砂腸袋護岸渠槽實驗情況.....                      | 25 |
| 圖 46 | 懸掛兩個沖刷防護袋(1 號及 3 號位置, 砂面下)之砂腸袋護岸渠槽實驗.....      | 25 |
| 圖 47 | 懸掛一個沖刷防護袋(2 號位置, 砂面上)之砂腸袋護岸渠槽實驗.....           | 25 |
| 圖 48 | 懸掛三個沖刷防護袋(1 號及 3 號位置, 砂面上)之砂腸袋護岸渠槽實驗.....      | 25 |
| 圖 49 | 懸掛一個沖刷防護袋(2 號位置, 砂面下)之砂腸袋護岸渠槽實驗.....           | 25 |
| 圖 50 | 懸掛三個沖刷防護袋(1 號及 3 號位置, 砂面下)之砂腸袋護岸渠槽實驗.....      | 25 |
| 圖 51 | 懸掛一個沖刷防護袋(2 號位置, 砂面上)之砂腸袋護岸渠槽實驗.....           | 26 |
| 圖 52 | 懸掛一個沖刷防護袋(2 號位置, 砂面下)之砂腸袋護岸渠槽實驗.....           | 26 |
| 圖 53 | 懸掛三個沖刷防護袋(1、2 及 3 號位置, 砂面上)之砂腸袋護岸渠槽實驗<br>..... | 26 |
| 圖 54 | 懸掛三個沖刷防護袋(1、2 及 3 號位置, 砂面下)之砂腸袋護岸渠槽實驗<br>..... | 26 |

## 表目錄

|  |    |
|--|----|
| 表 1 傳統工程(溪流整治、水利工程)與生態工程之比較.....       | 6  |
| 表 2 本研究懸掛沖刷防護袋之砂腸袋護岸實驗分析結果(單位：mm)..... | 23 |
| 表 3 五化原則比較表.....                       | 27 |
| 表 4 碳足跡比較表.....                        | 28 |
| 表 5 經濟效益估算表.....                       | 28 |
| 表 6 進度表.....                           | 30 |
| 表 7 工作分配表.....                         | 31 |



## 一、前言

台灣河川特性坡陡流急及河身短，加上本身地質脆弱、近年地震及豪雨事件增加、集水區上游崩塌及土石流增多導致河川輸砂量增大，在近年頻繁發生的豪大雨事件中，湍急水流淘刷河川兩岸造成災害現象屢見不鮮。為了保護河川兩岸可能遭受的淘刷破壞，護岸是水利工程上常被此用以降低河岸淘刷及維持河床穩定的主要工法。

過往為防止水流沖刷，建造護岸大都為混凝土護岸(如圖 1)，雖保全了河川兩岸，但也嚴重破壞了生物棲息地。近年追求生態友善環境(Eco-Friendly)及環境保育意識抬頭，採用其他材料興建護岸的工法也開始出現，蛇籠護岸(如圖 2)即為一例，以「就地取材」為原則，以鋼(鐵)絲網綁成立體長條狀，並用河床原本堆積卵礫石用為蛇籠內之堆砌材料，而成為蛇籠護岸；相較於混凝土護岸，蛇籠護岸之透水性可降低護岸後邊坡排水問題，就地取材使用河床原本堆積卵礫石也可改善河床生態棲地環境，蛇籠護岸粗糙表面也可為部分兩棲生物之躲藏棲地。此類注重生態環境的工法後來被稱為(近)生態工法，此類工法也成為近年水利工程上之主流。

本研究也以營造生態友善棲地之理念，並著眼於台灣多卵礫石堆積之河床，提出以地工砂腸袋外加沖刷防護袋之改良式砂腸袋為護岸之理念，後文針對過往護岸所可能引發的災害類型進行討論，並說明本研究之改良式砂腸袋護岸設計理念，也進行渠槽實驗說明及比較改良式砂腸袋護岸可能引發流況改變與淘刷情況，文末也以改良式砂腸袋及一般混凝土護岸在碳減量及生態棲地改善之效益分析。



圖 1 混凝土護岸工法



圖 2 蛇籠護岸工法

## 二、文獻回顧

本研究主要討論改良式砂腸袋為護岸工法，取代過往混凝土或其他材料之護岸工法，因此在文獻回顧將區分為兩部分說明，包含過往護岸工法造成破壞方式說明及砂腸袋過往應用範圍等。

### 2.1 護岸工程介紹

護岸為保護河岸避免流水衝擊產生侵蝕之構造物，其目的在於控制河道範圍、減少水路改變、降低河岸沖刷。傳統的護岸工程在結構型式和材料選擇上力求安全經濟、施工簡便，在使用上偏重防洪功能，忽視了河川的生態效應，對河川的生態及環境帶來了難以估計的損害。為迎合人們對環境的需求以及環境生態保育的趨勢，生態護岸已經成為護岸建設新趨勢。

#### 1.傳統護岸工程

基於水力學最佳水力半徑的理論，傳統護岸工程(如圖 3)遵循以最有效斷面輸送最大流量的原則，在結構設計和材料選擇上追求斷面渠化和較小的水力粗糙率，在使用功能上側重防洪固岸，因此護岸工程建設以水泥、砂漿、石料、混凝土和瀝青等為主要建築材料，而一定程度上破壞了河流的自然功能和河川環境。

#### 2.生態護岸工程

生態型護岸(如圖 4 至圖 7)以保護、創造生物良好的生存環境和自然景觀為前提，在保證護岸具有一定強度、安全性和耐久性的同時，兼顧工程的環境效應和生物效應，以達到適合生物生長的自然狀態，它必須滿足以下幾個方面的要求：A.安全性，這是作為護岸基本功能，即是否能發揮有效的防洪、固岸作用；B.生物性，對本土的原生動植物沒有產生重大的負面影響，盡量不擾動原有棲息地環境或護岸完工後能被本土生物接受；C.親水性，能讓人可比較安全和便利的與水親近；D.景觀性，護岸完工後與周圍景觀環境相協調。而護岸構造型式、材料之選擇，應依水理特性，單用或兼用植物、木料、石材等天然資材，以保護河岸，並運用筐網、石籠、拋石等材料以創造多樣性之孔隙構造，以創造出適合植生、昆蟲、鳥類、魚類等生存之水邊環境(林鎮洋，2001；林政儒，2006)。

目前台灣常見的生態工程護岸形式共有 14 種：砌石護岸(如圖 7)、漿砌石護岸(如圖 8)、箱籠護岸(如圖 9)、箱籠蓆護岸、蛇籠護岸(如圖 10)、加勁材料護岸(如圖 11)、木樁捲包護岸(如圖 12)、木排樁護岸(如圖 13)、打樁編柵護岸(如圖 4)、拋石護岸(如圖 15)、蜂巢圍束網格堆疊護岸(如圖 16)、混凝土格框護岸(如圖 17)、混凝土型框填石植生護岸以及布袋模毯護岸(如圖 18)。



圖 3 傳統護岸工程



圖 4 生態護岸工程  
(日本藤沢市引地川親水公園親水護岸)



圖 5 生態護岸工程  
(日本住吉川中流低水護岸)



圖 6 生態護岸工程  
(花蓮縣文蘭村親水護岸)



圖 7 砌石護岸



圖 8 漿砌石護岸



圖 9 箱籠護岸



圖 10 蛇籠護岸



圖 11 加勁材料護岸



圖 12 木樁捲包護岸



圖 13 木排樁護岸

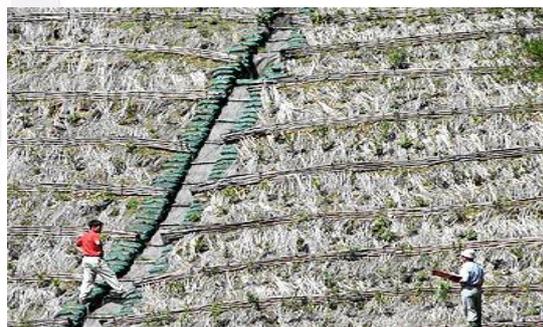


圖 14 打樁編柵護岸



圖 15 拋石護岸



圖 16 蜂巢圍束網格堆疊護岸



圖 17 混凝土格框護岸



圖 18 布袋模毯護岸

過去傳統工程以結構物的安全性為首要考量重點，其次為經濟性考量、景觀綠美化考量，往往忽略了生態性之重要。例如：傳統工法(溪流整治、水利工程)進行結構物施做時運用大量混凝土，於堤防或護岸施工時為漿砌石混凝土封閉式施工方式，無法植生綠美化；封底式固床構造，截斷地下水補注，使水生植物無生存棲息地；完全垂直化的護岸設計，拉遠陸生動植物與水域距離，無法提供良好之植生環境等(陳信雄等，2003)。

生態工程與傳統工法之最大差異在於其是運用自然界本身的調和力，尊重環境中各生物之生存權利，使環境在人為活動之下兩者能處於平衡狀態，並維持與延續生態系統結構與功能。惟運用生態工程之安全強度上，令部分人士仍對生態工法的安全性產生存疑。生態工程並非施做時需全然採用天然資材，而摒棄混凝土等硬性材料，它其實是減輕工程造成之生態問題而衍生之工法，能同時兼顧到「人類」與「自然界」二者的利益。

表 1 傳統工程(溪流整治、水利工程)與生態工程之比較

| 類別       | 傳統工程               | 生態工程                        |
|----------|--------------------|-----------------------------|
| 能源類型     | 石化燃料，非再生性資源        | 太陽能為主，非再生性資源為輔              |
| 型態及組成    | 單一化                | 多元化                         |
| 人類社會之定位  | 與自然區隔              | 為大自然的一部分                    |
| 與其他物種之互動 | 排斥(無法提供動植物之食物及棲息地) | 共榮(可提供動植物之食物及棲息地)           |
| 自我消長     | 無或極低               | 較高                          |
| 再生能力     | 較弱                 | 較強                          |
| 生物棲地     | 破碎零散               | 完整                          |
| 建置成本     | 視工程類別而定            | 視工程類別而定                     |
| 管理成本     | 視工程類別而定            | 視工程類別而定                     |
| 對水源涵養    | 較難涵養水源             | 可涵養水源                       |
| 地下水補注    | 地下水補注困難            | 具地下水補注之功效                   |
| 材料       | 鋼筋、水泥、人工科技材質       | 各種物種、生態系、自然界取得之材質(當地石材、植生等) |
| 強度       | 強度高                | 強度並不容易控制                    |
| 安全性      | 安全性較高              | 安全性較低                       |
| 自然性      | 違反自然               | 順應自然、調和自然                   |
| 生態性      | 破壞生態               | 較不破壞生態                      |
| 視覺性      | 缺乏優美視覺效果           | 具優美視覺效果                     |
| 景觀性      | 景觀突兀               | 景緻優美                        |
| 遊憩性      | 缺乏休閒遊憩功能           | 可提供休閒遊憩空間                   |
| 親水性      | 缺乏親水性              | 親水性佳                        |
| 空間性      | 使用空間相對較小           | 使用空間相對較大                    |
| 永續性      | 低                  | 高                           |

備註：整理自林鎮洋及邱逸文(2003)、陳信雄等(2003)、柴鈞武及梁大慶(2003)。

## 2.2 過往護岸工法造成破壞方式說明

護岸興建是為了保護河川兩岸避免淘刷，但可能因為設計不良或護岸材料問題，而可能引發其他破壞方式。本文蒐集相關文獻並彙整護岸破壞方式，如下分述：

1.基礎淘刷：照片如圖 19，基礎淘刷形成主因為：當位於凹岸之護岸受洪水

猛烈沖刷，護岸本身為剛性結構物，水流沖擊護岸本體時會導致水流往下衝擊，並對護岸下方進行淘刷，若在施工過程為將護岸基礎打得夠深則可能產生基礎淘刷現象。

- 2.傾倒破壞：照片如圖 20，當河川水位暴漲時，護岸先發生基礎淘刷現象，水流往護岸下方基礎淘刷，則使護岸本體產生傾倒，牆身外移傾倒導致破壞。
- 3.基礎承载力不足：照片如圖 21，在設計護岸時，未考慮現地土壤條件即進行設計，於基礎上承載超過其承载力之結構物而導致變形破壞。
- 4.洪水沖毀：照片如圖 22，由於設計失當、偷工減料，或對洪水量的估計不足，於颱風豪雨時，受洪水沖蝕破壞。



圖 19 護岸破壞：基礎淘刷



圖 20 護岸破壞：傾倒破壞



圖 21 護岸破壞：基礎承载力不足



圖 22 護岸破壞：洪水沖毀

綜合上述分析可發現基礎淘刷問題是護岸破壞的主要原因，尤其設置於凹岸處的護岸受到水流猛烈衝擊情況，如何避免向下淘刷水流造成基礎淘刷則是護岸設計上的一個重點；目前許多河段為避免護岸基礎淘刷現象發生，也會在護岸基礎處堆置消波塊降低水流淘刷能量。

水流流經地工砂腸袋時，受到砂腸袋的阻擋，造成水流的流況改變，進而破壞底床泥砂原有之平衡，並在砂腸袋周圍造成局部沖刷。在局部沖刷發展期間，水流流況的複雜性隨著沖刷坑之變化而增加。流經地工砂腸袋周圍的水流形態，大致分成四個部份：

- 1.壅水現象：水流流經砂腸袋時，因砂腸袋的存在而使阻水面積增加，使通水斷面積減小，流速加快。水流流動之動能轉化成位能，造成砂腸袋上游之斷面水位抬升。
- 2.向下射流：沿著地工砂腸袋垂直方向分佈之水平接近流速，因河床邊界影響而由水面向下遞減，此為水平速度，形成一速度梯度，到達砂腸袋鼻端時會產生停滯之現象。當水流於砂腸袋面上產生停滯壓時，此壓力強度與水流流速之平方成正比，其變化趨勢為愈接近河床底部其壓力強度愈小，形成一垂直向下的壓力梯度，此為砂腸袋前方向下射流形成之主因，亦是造成局部沖刷主要作用力之一。
- 3.馬蹄型渦流：向下射流與二次橫向水流相結合後，沿地工砂腸袋周圍形成螺旋運動的三維性渦流，外型類似於馬蹄形狀，故稱為馬蹄型渦流。其由砂腸袋迎水面分離線處開始發生，沿著結構物邊緣向下游傳遞，對沖刷坑中河床質的運移扮演著重要的角色。馬蹄型渦流向下游延伸通過砂腸袋的兩側，強度開始削弱消散破壞掉，而變成一般的亂流。

在沖刷坑中，馬蹄型渦流會使沿壁向下射流的最大速度貼近砂腸袋，且會將射流之影響範圍推向砂腸袋上游，因而擴張沖刷坑範圍。隨沖刷坑逐漸擴大，由於砂腸袋前方水深增加，向下射流強度受墊床作用，故坑內水流局部加速的現象減緩，造成馬蹄型渦流及向下射流強度衰減，使沖刷能力降低。當沖刷能力小於底床質起動所需條件時，沖刷坑即達到平衡狀態。

- 4.消散渦流及尾跡渦流：水流流經砂腸袋後，其下游側之壁面產生水流分離點，使速度剖面產生不連續面，而導致消散渦流之產生。在靠近底床處，消散渦流與馬蹄型渦流產生交互作用，導致水流尾跡向下游傳遞時做橫向與垂向之運動。由於消散渦流具垂直方向的壓力梯度，其所形成之升力，可將泥砂從河床面挑起帶至下游處而產生淤積。沖刷坑於砂腸袋兩側開始發展，其次為砂腸袋周圍迅速向上游延伸，而後會合於砂腸袋前方，遭沖蝕之河床質受水流帶動而移至下游，故砂腸袋上游周圍即形成一個淺的沖

刷坑。

### 2.3 砂腸袋說明及過往應用範圍

早在 1950 年代，英國及荷蘭開始將疏浚河川淤泥填充在大型布袋內做為河流之兩岸堤防，當時應用主要目的在於控制及抑制沖蝕；此種使用方式可謂是後來砂腸袋發展的最早根源，但當時所使用的布袋並未考慮孔隙度，僅當成充填疏浚河川淤泥之包覆物。而以地工材料為砂腸袋製作主要材料開始於 1980 年代早期，當時已開始應用在控制及抑制沖蝕。早期在巴西及法國都曾使用河川淤泥或疏浚河砂為砂腸袋內填充物(Bogossian et al., 1982)，或在荷蘭也曾使用砂腸袋為沖刷坑之填充物(Jagt, 1988)。近年隨科技演進及實際需求，砂腸袋被要求能具有透水性的功能，因此使用不同化工纖維材料以做出不同孔隙度之砂腸袋成為近年主要發展方向(Gaffney et al., 1999; Moo-Young et al., 1999)。

今日我們所提的地工砂腸袋(geotextile tube，如圖 23)可說是傳統常見砂袋之放大延伸應用，利用具抗紫外線之聚丙烯編織而成，經縫合成管狀織布袋，再抽取現地土砂填灌。由於織布之孔隙可將水份排除而保留砂土於袋體內，故可廣泛應用於水利方面之大型結構物。「地工織袋」成品具有抗海水腐蝕性、耐酸鹼性、良好的耐化性及抗紫外線等特性，荷蘭地工合成物河海工程專家 Pilarczyk 就曾廣泛應用沙腸袋，作為海埔新生地之圍堰堤防、離岸堤、養灘堤、防波堤及生態保育人工沙丘等之核心材料。地工砂腸袋工法近年在國外常見應用於海岸工程，可做為突堤、潛堤、或是護岸等結構物，具有施工快速、低環境衝擊、以及低成本的特性。世界各國近年都有使用地工砂腸袋成功案例，以下列舉四個案例說明：

- 1.美國德州 Atkinson Island 應用砂腸圍堤工法保護海岸線堤趾，成效良好(Austin et al., 1997)
- 2.阿拉伯聯合大公國富吉拉 Al Aqah 沙灘應用地工砂腸袋養灘，對環境與景觀衝擊大幅減小(簡學揚等，2012)
- 3.台塑六輕(1993)在麥寮工業區應用砂腸工法圍堤造地，完成造地面積 2652 公頃(陳福改，2002)。
- 4.台南市急水溪王爺港汕沙洲以地工砂腸袋做為潮口復育，完工後歷經 2012 年泰利等颱風而未破損，成效良好(何昱賢等，2013)。



### 三、創新應用說明

#### 3.1 台灣多數河川環境所面臨的問題

台灣屬多山的海島型國家，從地質構造來看，地層年代較輕，地質條件脆弱，河道上游多為風化之礫石岩層，易受降雨沖刷與地震影響，崩落至溪床，提供河床不少鬆散的料源。近年來台灣氣候變遷劇烈，極端降雨的發生，使河川上游集水區產生頻繁土砂災害，包含崩塌及土石流，因此大量土砂進入河川，從圖 24 中可以發現，河川土砂淤積現象由上游至下游都可見到。

台灣河川土砂淤積量大來自兩個原因，包含近年台灣降雨特性改變甚大及河川上游集水區土砂產量大；在近年台灣降雨特性改變說明上，Liu et al.(2008)根據台灣過往 50 年降雨資料分析，認為台灣近年出現小雨減少及大雨增加的趨勢，降雨主要集中在每年夏季與秋季；吳俊鉉等(2010)也曾根據台灣近年重大土砂災害事件之降雨資料進行分析，發現台灣近年嚴重土砂災害發生原因都跟高強度長延時降雨有關，例如在 2009 年莫拉克颱風產生嚴重災害的嘉義縣、高雄縣及屏東縣，都在該縣內之雨量站發現降下「降雨延時 48 小時之超過 200 年頻率估算值之豪雨」(嘉義縣阿里山測站、高雄縣南天池測站及屏東縣尾寮山測站都測得總累積雨量超過 2375.0mm)。而降雨特性改變現象在台灣山區有更明顯趨勢，吳俊鉉等(2010)以位於高屏溪中上游的甲仙雨量站進行分析，發現 2001-2008

年平均年降雨量則比 1961-1970 年之平均年降雨量約增長 30.7%，且月標準偏差也較過往增長 35.9%，此數據也說明每年降雨集中於雨季情況越趨明顯，夏秋兩季豪大雨明顯，而冬季及春季幾乎沒雨。另外單場降雨事件降下偏大雨量也是近年常出現的現象，吳俊鎡等(2010)以甲仙雨量站為例，由 2000-2008 年之平均年降雨量為 3373.9mm，但在 2009 年莫拉克颱風期間(2009/8/6-2009/8/10，共五天)共降下 2142.0mm，約佔平均年降雨量之 63.4%；該研究也一併統計甲仙雨量站由 1961 年至 2009 年之單月降雨量超過 1000mm 次數，發現 1961 至 1970 年僅出現 2 次，但到 2000 至 2009 年間共發生 12 次。

如此集中性的高強度強降雨在台灣河川上游集水區足以產生大量崩塌及土石流現象，大量土砂進入河川，河川無法快速消化情況下，便成為河川土砂大量淤積現象；從上游帶至下游的大量土砂，會對於河川地形、環境造成影響，使原有的河川平衡被破壞。以 2009 年莫拉克颱風為例，根據水利署(2014)估計單一次莫拉克颱風在高屏溪全集水區共產生 12 億立方公尺土砂量，其中 4 億立方公尺土砂量已進入河川或被運移至下游海洋，此 4 億土方量也正是目前在台灣河川看到大量土砂淤積現象的主因，但也仍有 8 億立方公尺土砂量仍殘留於山坡地坡面上，此 8 億立方公尺土砂量可能就淤積於山坡地而成為新的地形地貌，也有可能未來降雨事件中經由地表逕流逐漸帶入河川。河川大量土砂淤積會造成河川通水斷面縮減，因而增加河川兩岸發生洪水的危機；此外，大量土砂淤積也破壞原有河川棲地環境，圖 24 即為本研究蒐集高屏溪上游與下游之河川大量土砂淤積的照片，可發現全河川斷面約有 2/3 寬度都被土砂淤積現象。



圖 24 台灣河川土砂大量淤積照片

左圖為高屏溪上游旗山溪照片，右圖為高屏溪下游照片，圖片取自「典藏台灣網站」(<http://catalog.digitalarchives.tw/>)

### 3.2 以砂腸袋取代混凝土為護岸工程主要材料之可行性

因近年高強度降雨頻繁發生及降雨主要集中在夏秋兩季，也造成台灣河川洪枯差異大，因此在雨季豪雨時期(約為每年夏季及秋季)，台灣河川流量普遍偏大，但在旱季時期(約為每年冬季及春季)，台灣河川主流寬度常不及整個河川寬度 1/5，而剩餘 4/5 的河川寬度幾乎都是土砂淤積。此現象也引發本研究人員思考：

- 1.台灣河川在洪水時期需要興建護岸保護兩岸田地、道路或民戶，在主要河川的護岸也幾乎都採用混凝土為護岸主要材料。
- 2.台灣河川在旱季時期也面臨河川棲地受土砂淤積破壞，這些土砂淤積材料以強度高且不易破碎之卵礫石為主。

根據上述兩個想法，如果將河川護岸主要興建材料由原本的混凝土改為土工材料砂腸袋，且也以河川淤積土砂為砂腸袋主要填充物，則將可達到降低混凝土使用達到生態友善環境及改善河川棲地環境兩個目的。土工砂腸袋於目前多應用於海事工程，如：潛堤或養灘等。台灣過往因考量施工便利及安全性，多使用混凝土護岸，土工砂腸袋較少應用於河川護岸；因應近年環境保護意識抬頭，本研究人員也查到在彰化縣濁水溪溪州大橋上游處也曾以土工砂腸袋為河川護岸之案例(於後述章節會有現場調查說明及照片)，代表以土工砂腸袋為河川護岸是確定可行。

### 3.3 改良式土工砂腸袋之說明

以土工砂腸袋為護岸在上述說明中也提及已有實際案例證明可行，但以土工砂腸袋為護岸仍然無法擺脫基礎淘空問題，甚至因為土工砂腸袋橢圓外型，而使土工砂腸袋下方產生更嚴重基礎淘刷，因此本研究人員提出「改良式土工砂腸袋」之構想(如圖 25)：在原本的土工砂腸袋下方易受淘刷處加掛「沖刷防護袋」，以避免因為土工砂腸袋在河川中可能產生的基礎淘刷問題。

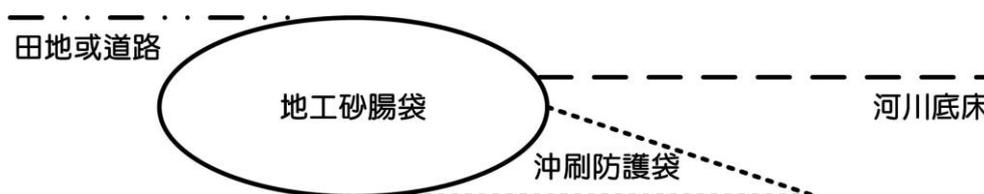


圖 25 本研究改良式土工砂腸袋構想示意圖

加掛「沖刷防護袋」之構想來自於前述的護岸基礎淘刷破壞現象及護甲層效應(Armouring layer, 示意圖如圖 25);本研究於前述提及護岸基礎淘刷破壞現象,也說明目前施工常使用消波塊堆置於護岸基礎處,以降低或避免護岸基礎破壞;本研究也認為即便使用砂腸袋為護岸工法,但仍需注意護岸基礎破壞問題;再者當河川底床由不同粒徑之土砂組成時,如圖 26 乃為最上層及最下層之細顆粒粒徑,且在中間夾了一層粗顆粒粒徑,則在河川底床發生沖刷時,最上層細顆粒粒徑土砂被沖刷後,至粗顆粒粒徑土砂露出,因粗顆粒粒徑土砂之啟動速度需越大,因此若河川流速未能加大,則粗顆粒粒徑土砂將不會被沖走,也因此中間粗顆粒粒徑土砂間接保護住最下層的細顆粒粒徑土砂,此種效益即稱為護甲層效應。

因此本研究構想即為在砂腸袋下方設置或懸掛「沖刷防護袋」,此「沖刷防護袋」建議可同由地工砂腸袋製作過程一併產出,所使用的纖維材料也都相同,唯一差異則在於外觀形狀上的差異;而「沖刷防護袋」填充物則為原河川上堆積之卵礫石土砂,整體堆置方式則如圖 25 所示,以埋設在砂腸袋下方可能產生基礎淘刷處為主。這樣的構想可達成兩個效益,一則改善河川因大量土砂淤積的棲地環境,二則以就地取材方式,將原堆積土砂轉為降低或避免基礎淘刷之防護層,可達到「護甲層效應」保護砂腸袋護岸基礎可能產生的淘空問題。

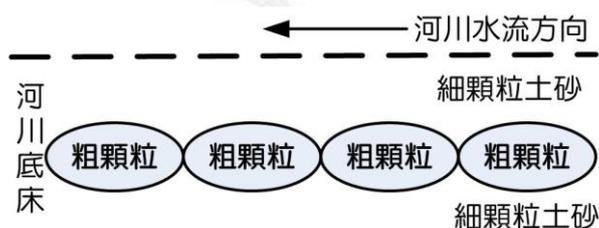


圖 26 護甲層效益示意圖

#### 四、實際案例應用

針對本研究所提出之改良式砂腸袋構想,本研究進行現場勘查及渠槽實驗,現場勘查主要目的在於瞭解以地工砂腸袋為護岸工法在現場使用上之可行性,渠槽實驗主要目的在於瞭解地工砂腸袋加掛沖刷防護袋可能產生的流況改變、沖刷及淤積情況,本研究也一併探討地工砂腸袋之沖刷防護袋之埋設位置所可能產生的流況改變、沖刷及淤積差異情況。

#### 4.1 現場勘查說明

本研究人員於民國 103 年 6 月進行現場勘查，現場勘查地點在於彰化縣濁水溪溪州大橋上游處(如圖 27)，此次現場勘查主要目的在於瞭解以地工砂腸袋為護岸工法之可行性或可能產生的破壞，或是否有本研究人員在思考過程未曾考量的破壞產生方式。經本研究人員至現場勘查及拍攝照片，該地工砂腸袋護岸位於濁水溪旁，地工砂腸袋護岸往河川方向設置丁壩(圖 28)，本研究人員判斷該丁壩作用在於掛淤、造灘、挑流或保護河岸，保護後方地工砂腸袋護岸免受沖刷破壞，由現場照片也可發現地工砂腸袋護岸前方有已有淤積現象，不會有基腳淘刷的問題，代表以地工砂腸袋為護岸之想法確實可行，但必須考量如何避免沖刷現象，在此現場勘查案例則是以設置丁壩進而保護後方地工砂腸袋護岸。

該地工砂腸袋護岸上鋪設織物模板，因織物模板內尚有填充混凝土，本研究人員則認為為更貼近自然環境及降低棲息地破壞，我們構想完全使用地工材料，可使用織物模板，但內填充物可為客土並包含植生種子，在長時間養護情況可達護岸綠化效果。圖 30 則為織物模板內充混凝土，從照片中看出，現地織物模板有破損現象，內部填充之混凝土外露；圖 31 為埋設在織物模板下的地工砂腸袋，因織物模板破損使地工砂腸袋外漏。圖 30 及圖 31 也透露了：此類化工材料之砂腸袋或織物模板在長時間曝曬或人為破壞，可能會產生如圖 30 及圖 31 之破裂或外露情況。



圖 27 現場勘查點位(圖片取自 google maps)



圖 28 本研究現場勘查照片



圖 29 本研究現場勘查照片



圖 30 本研究現場勘查照片



圖 31 本研究現場勘查照片

#### 4.2 實驗設備說明

本研究於逢甲大學水利工程與資源保育學系水工試驗室進行渠槽實驗，所使用渠槽之示意圖如圖 32 所示，試驗渠槽為中型循環玻璃渠槽，以下就循環渠槽之相關配置進行說明。

- 1.試驗渠槽尺寸：本研究所使用之實驗渠槽尺寸分別為長 13.6m、寬 0.5 m、深 0.75m，渠槽側壁之材質為強化透明玻璃。渠槽尾端有一尾水閘門(tailwater gate)，用以控制試驗水深，渠槽下方有一馬達可抬升前後渠槽之高程，進而控制坡度。
- 2.供水系統：以 15HP(Horse Power)之抽水馬達從蓄水池中抽水，經由給水管送至定水頭水箱，供應水量至渠槽中。水流經渠槽後流入尾水池，再經由排水道流進蓄水池，形成一供水循環系統。而定水頭水箱上緣有一溢流管，可將多餘之水量輸送至尾水池。
- 3.流量控制：定水頭水箱至渠槽間設有顯示式管路手動矩形閘閥，可控制流量

流至渠槽中。

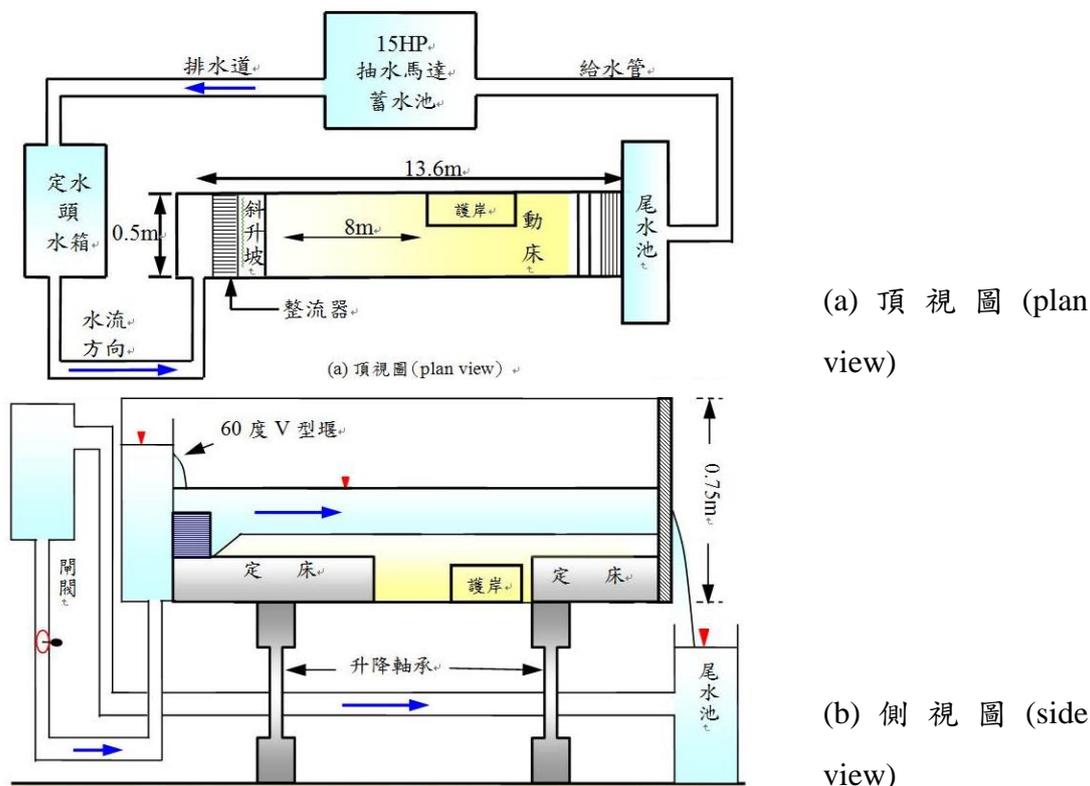


圖 32 本研究所使用之實驗渠槽示意圖

本研究主要探討改良式砂腸袋在渠槽實驗中可能產生的水理、沖刷及淤積現象，因此將使用小型砂腸袋及濾茶包模擬改良式砂腸袋之設備；本研究所使用之小型砂腸袋如圖 33，此小型砂腸袋尺寸分別為長 36.5 cm、寬 18.2 cm 及高 10.4 cm，砂腸袋外體由不織布材料所編織而成，砂腸袋填充物則以小型卵礫石為主，本研究砂腸袋具有透水性；另外本研究以濾茶包(如圖 34)來模擬沖刷防護袋，此小型沖刷防護袋尺寸分別為長 7.2 cm、寬 7.6 cm 及高 4.0 cm，沖刷防護袋外體由棉紙纖維所編織而成，沖刷防護袋填充物則以小型卵礫石為主，本研究沖刷防護袋也具有透水性。

本研究之實驗儀器則以雷射測距儀(如圖 35)及顯示式管路手動矩形閘閥(如圖 36)為主，雷射測距儀主要用在量測沖刷坑深度，顯示式管路手動矩形閘閥則用在控制或讀取渠槽流量。而在實驗過程中，本研究一併採用攝影機及照相機紀錄整個沖刷實驗歷程，藉以瞭解此改良式砂腸袋流場流況與泥砂運移之情形。

本研究於渠槽實驗所使用的底砂為越南砂砂，鋪設厚度為 35cm；該越南砂砂

乃以#20、#30、#40 號篩所篩出之三種泥砂粒徑加以混和，中值粒徑  $d_{50}$  為 0.62mm，標準偏差  $\sigma_g$  約為 1.29，屬於均勻泥砂，其粒徑分佈如圖 37 所示。本試驗之流量，由給水管上之閘閥所控制，水流從定水頭水箱經由給水管輸送到渠槽中，再流至 V 型堰處。V 型堰之流量( $Q$ ，單位 cms)與 V 型堰溢流水深( $Y$ ，單位 cm)率定曲線及公式如圖 38。



圖 33 本研究所採用的小型砂腸袋



圖 34 本研究所採用的小型沖刷防護袋



圖 35 本研究所採用的雷射測距儀



圖 36 本研究所採用的顯示式管路手動矩形閘閥

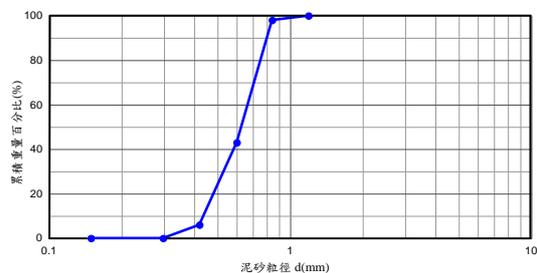


圖 37 渠槽實驗用砂粒徑分佈圖

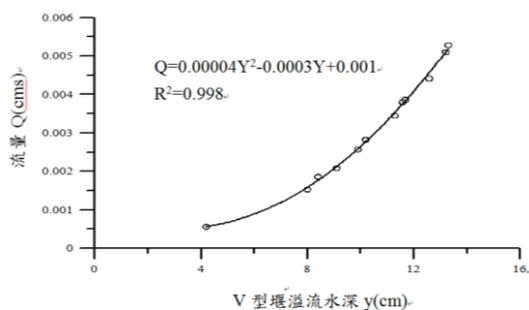


圖 38 V 型堰流量率定曲線圖

另外，為確認本研究量測數據都屬於流況已達完全發展流況，因此在置放改良式砂腸袋前，本研究會先確認試驗區段之流況為完全發展(fully development)流況。因本研究之試驗水深較低，如果以流速剖面決定完全發展段較為困難，故利用試驗區各段水深來決定完全發展段。完全發展段選定之範圍是利用平均流速  $V$  與泥砂臨界啟動速度  $V_c$  之比值(本研究之底床質臨界啟動速度  $V_c$  則由過往率定之經驗公式求得)，即  $V/V_c$  為 0.87 的情況下量測水深，大約 5 公分。經試驗分析結果，本試驗之完全發展區段位於距入流口約 7.00m 至 9.30m 之間，因此本研究設計砂腸袋於距入流口 8.5m 處之動床區段，詳如圖 39。

本研究進行渠槽實驗主要目的有二，一則瞭解利用地工砂腸袋為護岸所引發的流況改變與沖刷及淤積發展情況，二則瞭解本研究提出的沖刷防護袋放置位置與對河床淘刷的改善效果，因此本研究控制砂腸袋有無懸掛沖刷防護袋(分為無懸掛、懸掛一個及懸掛三個)與沖刷防護袋懸掛位置(位於渠槽底砂面上或底砂面下)，共進行六組實驗，實驗過程進行拍照瞭解沖刷發展情況及量測渠槽水深，當實驗達沖刷平衡時(沖刷坑發展已停止)結束實驗，並以抽水馬達緩慢抽水後，再針對床面之沖刷與淤積處進行床面變化量測。本研究之實驗流程圖如圖 40 所示，本研究實驗操作程序如下述：

1. 裝置試驗儀器。
2. 鋪設試驗河床質於渠槽內並均勻整平夯實。
3. 安置地工砂腸袋模型於渠槽內。
4. 開啟定水頭水箱之進水閘閥，再調整顯示式管路手動矩形閘閥之數據所需的流量，試驗時間 2 小時。
5. 待沖刷時間 2 小時結束後，關閉抽水馬達，抽乾試驗段的水，使渠道無含水狀態，以雷射測距儀量測河床剖面高程。
6. 改變不同配置，並重複步驟(1)~(5)。

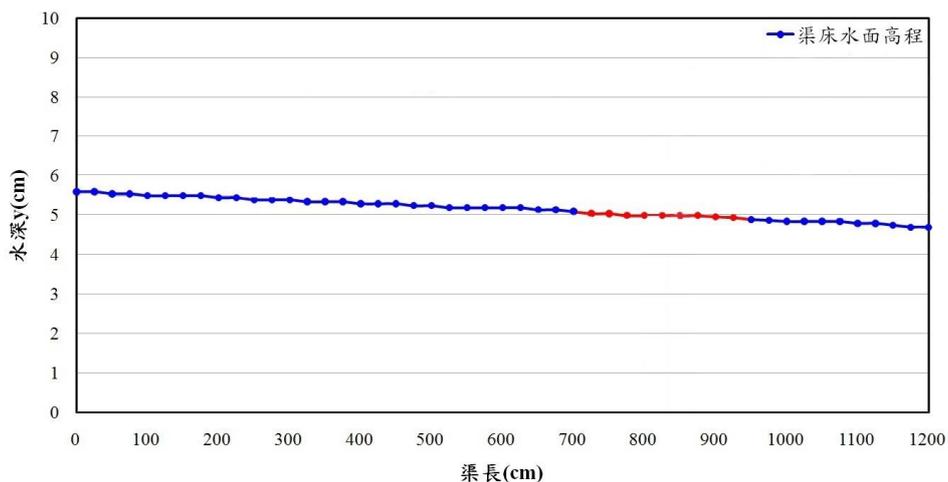


圖 39 本實驗渠槽完全發展區段選定範圍圖

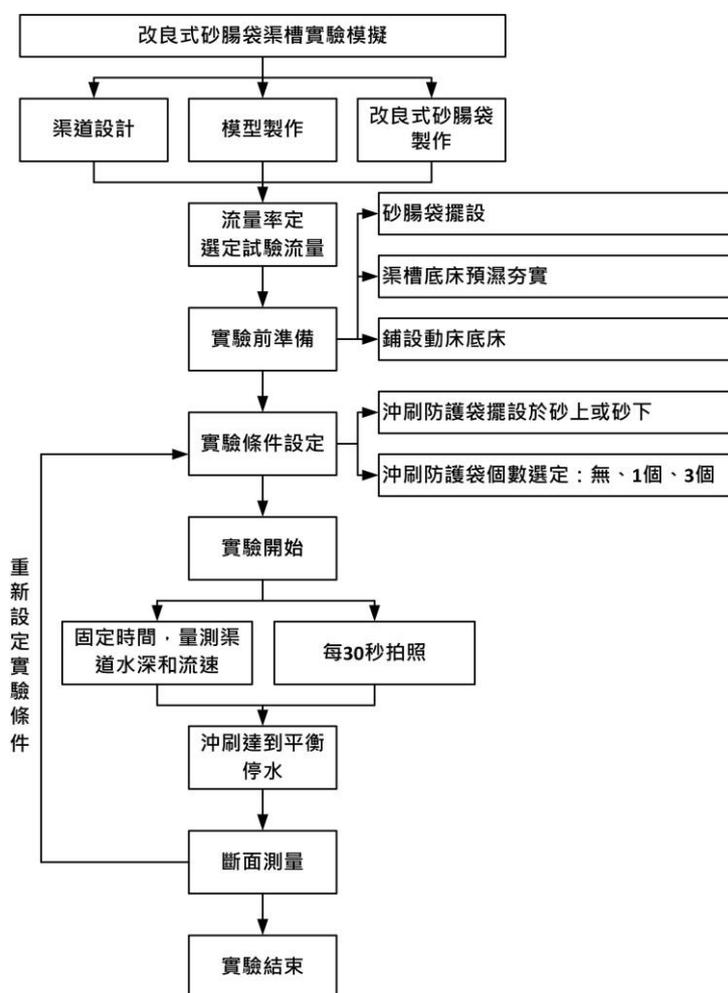


圖 40 本研究渠槽實驗流程圖

#### 4.3 渠槽實驗結果說明

##### 1. 無沖刷防護袋之砂腸袋護岸：與水流方向平行及呈 30 度夾角實驗說明

護岸設置可與水流方向平行，也可與水流方向傾斜，端視當地河岸需保護位置而定；因此此組實驗主要目的在於瞭解砂腸袋設置位置與水流方向夾角所引發的流況及沖刷淤積變化情況；根據本研究實驗結果，當砂腸袋平行水流方向時，可以(圖 41)發現位於砂腸袋最前端因渠道瞬間束縮，而產生了馬蹄形渦流和二次流，對砂腸袋前端產生嚴重的沖刷，而形成寬 18cm 的沖刷坑；而和水流成 30 度(圖 42)中可以明確看到和平行水流不同的是，最前端的沖刷坑消失了，而沖刷坑產生在後方的區域，且愈來愈大，可能是砂腸袋前端不是瞬間束縮斷面，使得前端的水流流速未達到沙子的啟動流速，故不會產生沖刷，而越往後，渠道斷面積減少，在流量相同的情況下，則流速會愈大，使得沖刷影響範圍變大。兩者的影響範圍以砂腸袋與水流流向 30 度角的影响較大，為 142.2cm，遠大於平行水流的影响範圍，為 97.2cm。

從此組實驗也可清楚發現不論砂腸袋護岸與水流方向之夾角為何，沖刷坑通常發展在砂腸袋護岸最前端與中間兩砂腸袋交接處，本研究也針對此兩處沖刷坑進行說明：一則一般護岸設置真實情況是不會將護岸直接設置在河川行水區域內(如圖 41，砂腸袋最前端)，由於本實驗為渠槽實驗，並無法克服將砂腸袋護岸埋設在渠槽兩側玻璃內，因此在砂腸袋護岸與水流方向平行實驗之最前端沖刷坑發展在討論中可暫時被忽略；二則在兩兩砂腸袋交接處所發展的沖刷坑乃因砂腸袋外型上不規則變化，導致水流進入兩砂腸袋交接處並形成沖刷(如圖 43)；此結果也透露：利用砂腸袋為護岸過程，必須注意砂腸袋外型可能導致流場改變及引發沖刷。

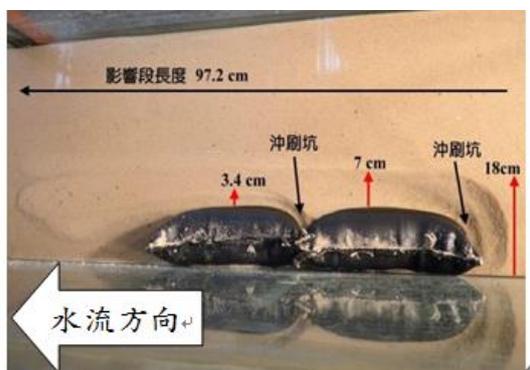


圖 41 砂腸袋護岸與水流方向平行實驗情況      圖 42 砂腸袋護岸與水流呈 30 度夾角實驗情況

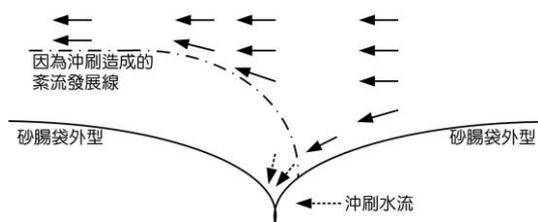


圖 43 以砂腸袋護岸渠槽實驗流場說明  
圖

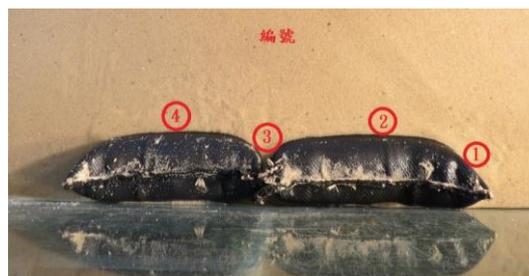


圖 44 冲刷防護袋懸掛位置編號說明

## 2. 有懸掛冲刷防護袋之砂腸袋護岸實驗說明

由上述分析結果可得知：冲刷坑會發生在砂腸袋護岸最前端與兩兩砂腸袋交接處，本研究開始進行有懸掛冲刷防護袋之實驗，為方便後續分析說明及閱讀，本研究將冲刷防護袋懸掛位置編號，如圖 44 所示。表 2 則為本研究進行懸掛冲刷防護袋之砂腸袋護岸實驗分析結果。

圖 45 及圖 46 分別為無懸掛冲刷防護袋與懸掛兩個冲刷防護袋於砂面下之砂腸袋護岸實驗情況，實驗數據則為表 2 之 A 至 D 列，由實驗數據可發現相對於不放冲刷防護袋，於 1 號、3 號位置放置冲刷防護袋可以減小整體沖淤長度及淤積寬度，1 號位置的冲刷防護袋可以有效減小該位置之冲刷寬度及冲刷深度，以及 2 號位置之冲刷寬度，而從 3 號位置(冲刷寬度加寬、深度減小)及 4 號位置冲刷深度加深之情形來看，可以知道加寬/加深的位置有往後移的跡象。

圖 47 及圖 48 分別為懸掛一個冲刷防護袋(2 號位置，砂面上)與懸掛三個冲刷防護袋(1、2 及 3 號位置，砂面上)之砂腸袋護岸實驗情況，實驗數據則為表 2 之 E 至 G 列，可看出加 3 個冲刷防護袋所影響的長度較長為 142mm，冲刷寬度亦是加 3 個冲刷防護袋的較寬，淤積寬度則是加 1 個冲刷防護袋的較寬為 36mm，可知加 3 個砂腸袋影響範圍較大，淤積寬度較小；冲刷高度部分，前端以放 3 個冲刷防護袋者冲刷深度較深，砂腸袋銜接處則是放 1 個冲刷防護袋者冲刷深度較深 23mm，可知加 3 個冲刷防護袋可大幅減小下游端冲刷，卻導致前端些微加大冲刷，總結於底床上方加 3 個冲刷防護袋的效果較好。

圖 49 及圖 50 分別為懸掛一個冲刷防護袋(2 號位置，砂面下)與懸掛三個

沖刷防護袋(1、2 及 3 號，砂面下) 之砂腸袋護岸實驗情況，實驗數據則為表 2 之 H 至 J 列，可看出加 3 個沖刷防護袋所影響的長度較長 68mm，沖刷寬度及淤積寬度亦是加 3 個沖刷防護袋較寬，淤積寬度明顯較 1 個沖刷防護袋較寬 77mm，可知加 3 個砂腸袋影響範圍較大；沖刷高度部分，前端以放 3 個沖刷防護袋者沖刷深度較深，砂腸袋銜接處則是放 1 個沖刷防護袋者沖刷深度較深，可知加 3 個沖刷防護袋可減小下游端沖刷，卻導致前端加大沖刷，綜合以上敘述，於底床下方加 1 個或 3 個沖刷防護袋差異不大。

圖 51 及圖 52 分別為懸掛一個沖刷防護袋(2 號位置)於砂面上與於砂面下之砂腸袋護岸實驗情況，實驗數據則為表 2 之 K 至 M 列，於底床上加沖刷防護袋影響長度明顯較長 180mm，於底床下加沖刷防護袋沖刷寬度 1、2 較寬，然於底床上加沖刷防護袋沖刷寬度 3 明顯較寬 56mm，於底床上加沖刷防護袋淤積寬度大幅寬 96mm，可知於底床上加沖刷防護袋影響範圍較大；沖刷高度部分，前端以沖刷防護袋放置於底床下沖刷深度較深，後端則是沖刷防護袋放置於底床下沖刷深度大幅減小 36mm，綜合以上敘述，於底床下方加沖刷防護袋表現較優。

圖 53 及圖 54 分別為懸掛三個沖刷防護袋(1、2 及 3 號位置)於砂面上與於砂面下之砂腸袋護岸實驗情況，實驗數據則為表 2 之 N 至 P 列，於底床上加沖刷防護袋影響長度明顯較長 254mm，於底床下加沖刷防護袋沖刷寬度 1 較寬，然於底床上加沖刷防護袋沖刷寬度 2 明顯較寬 44mm，於底床下加沖刷防護袋淤積寬度寬 17mm；沖刷高度部分，前端以沖刷防護袋放置於底床下沖刷深度較深，後端則是沖刷防護袋放置於底床下沖刷深度皆大幅減小，綜合以上敘述，於底床下方加沖刷防護袋表現較優。

表 2 本研究懸掛沖刷防護袋之砂腸袋護岸實驗分析結果(單位：mm)

| 沖刷防護袋位置                           | 影響長度     | 沖刷寬度 1    | 沖刷寬度 2    | 沖刷寬度 3    | 淤積寬度             | 沖淤高度 1   | 沖淤高度 2 | 沖淤高度 3   | 沖淤高度 4 |
|-----------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------------|----------|--------|----------|--------|
| A.砂腸袋無懸掛                          | 1109     | 177       | 70        | 72        | 206              | 50       | 17     | 12       | -1     |
| B.砂腸袋懸掛 2 個沖刷防護袋(1 及 3 號，位於砂面下)   | 1087     | 139       | 64        | 87        | 205              | 47       | ---    | -8       | 2      |
| C.沖刷或淤積增減                         | 22       | 38        | 6         | -15       | 1                | 3        | ---    | 20       | -3     |
| D.比對增減情況                          | 總長<br>縮減 | 1 號<br>縮減 | 2 號<br>縮減 | 3 號<br>加寬 | 寬<br>度<br>縮<br>減 | 深度<br>減小 |        | 深度<br>減小 | 加深     |
| E.砂腸袋懸掛 1 個沖刷防護袋(2 號，位於砂面上)       | 1260     | 153       | 55        | 111       | 224              | 37       | ---    | 53       | ---    |
| F.砂腸袋懸掛 3 個沖刷防護袋(1、2 及 3 號，位於砂面上) | 1402     | 172       | 127       | ---       | 188              | 43       | 56     | 30       | 35     |
| G.沖刷或淤積增減                         | -142     | -19       | -72       | ---       | 36               | -6       | ---    | 23       | ---    |

續表 2 本研究懸掛沖刷防護袋之砂腸袋護岸實驗分析結果(單位：mm)

| 沖刷防護袋位置                                      | 影響<br>長度 | 沖刷      | 沖刷      | 沖刷      | 淤<br>積<br>寬<br>度 | 沖淤      | 沖淤      | 沖淤      | 沖淤      |
|--|----------|---------|---------|---------|------------------|---------|---------|---------|---------|
|  |          | 寬度<br>1 | 寬度<br>2 | 寬度<br>3 |                  | 高度<br>1 | 高度<br>2 | 高度<br>3 | 高度<br>4 |
| H.砂腸袋懸掛 1<br>個沖刷防護袋(2<br>號,位於砂面下)            | 1080     | 158     | 66      | 55      | 128              | 42      | ---     | 17      | ---     |
| I.砂腸袋懸掛 3<br>個沖刷防護袋<br>(1、2 及 3 號,<br>位於砂面下) | 1148     | 187     | 83      | ---     | 205              | 50      | 27      | 15      | 6       |
| J.沖刷或淤積增<br>減                                | -68      | -29     | -17     | ---     | -77              | -8      | ---     | 2       | ---     |
| K.砂腸袋懸掛 1<br>個沖刷防護袋(2<br>號,位於砂面上)            | 1260     | 153     | 55      | 111     | 224              | 37      | ---     | 53      | ---     |
| L.砂腸袋懸掛 1<br>個沖刷防護袋(2<br>號,位於砂面下)            | 1080     | 158     | 66      | 55      | 128              | 42      | ---     | 17      | ---     |
| M.沖刷或淤積增<br>減                                | 180      | -5      | -11     | 56      | 96               | -5      | ---     | 36      | ---     |
| N.砂腸袋懸掛 3<br>個沖刷防護袋<br>(1、2 及 3 號,<br>位於砂面上) | 1402     | 172     | 127     | ---     | 188              | 43      | 56      | 30      | 35      |
| O.砂腸袋懸掛 3<br>個沖刷防護袋<br>(1、2 及 3 號,<br>位於砂面下) | 1148     | 187     | 83      | ---     | 205              | 50      | 27      | 15      | 6       |
| P.沖刷或淤積增<br>減                                | 254      | -15     | 44      | ---     | -17              | -7      | 29      | 15      | 29      |



圖 45 無懸掛沖刷防護袋之砂腸袋護岸渠槽實驗情況



圖 46 懸掛兩個沖刷防護袋(1 號及 3 號位置，砂面下)之砂腸袋護岸渠槽實驗情況



圖 47 懸掛一個沖刷防護袋(2 號位置，砂面上)之砂腸袋護岸渠槽實驗情況



圖 48 懸掛三個沖刷防護袋(1、2 及 3 號位置，砂面上)之砂腸袋護岸渠槽實驗情況



圖 49 懸掛一個沖刷防護袋(2 號位置，砂面下)之砂腸袋護岸渠槽實驗情況



圖 50 懸掛三個沖刷防護袋(1、2 及 3 號位置，砂面下)之砂腸袋護岸渠槽實驗情況



圖 51 懸掛一個沖刷防護袋(2 號位置，砂面上)之砂腸袋護岸渠槽實驗情況



圖 52 懸掛一個沖刷防護袋(2 號位置，砂面下)之砂腸袋護岸渠槽實驗情況



圖 53 懸掛三個沖刷防護袋(1、2 及 3 號位置，砂面上)之砂腸袋護岸渠槽實驗情況



圖 54 懸掛三個沖刷防護袋(1、2 及 3 號位置，砂面下)之砂腸袋護岸渠槽實驗情況

## 五、綜合效益評估

本研究以改良式地工砂腸袋(加掛沖刷防護袋)與傳統混凝土護岸進行效益分析及比較，比較原則分為生態五化分析、碳足跡分析及經濟效益分析，如下分述。

### 5.1 生態五化效益分析

在評估工程是否具有生態化常使用生態五化原則，生態五化原則包含表面粗糙化(構造物表面之設計具有粗糙度及多孔性)、高壩低矮化(壩體以階段化，下游面緩坡化)、護岸低矮化(建構生物棲息環境)、材質自然化(材料多樣化及自然化)及施工經濟化(配合現地條件合理規劃)，此生態五化評估原則之目的為降低工程行為對環境之衝擊，減少對自然生態之破壞。本研究以生態工程設計原則中的五

化原則，來比較傳統護岸及地工砂腸袋護岸的差異性，評估過程如表 3 所示；傳統護岸表面光滑且材料多以水泥為主，使得生態環境單一化，而地工砂腸袋護岸為透水性材質，且表面為透水性且粗糙。

表 3 五化原則比較表

|       | 勝！<br>地工砂腸袋護岸 | 重力式混凝土護岸 |
|-------|---------------|----------|
| 表面孔隙化 | 1             |          |
| 高壩低矮化 | 3             | 5        |
| 坡度緩坡化 | 2             | 5        |
| 材質自然化 | 5             |          |
| 界面透水化 | 4             |          |

註：5 分為最佳，空白為不具此原則

## 5.2 碳足跡分析

碳足跡被定義為一項活動或產品的整個生命週期過程所直接與間接產生的溫室氣體排放量。相較於一般大家所瞭解的溫室氣體排放量，碳足跡差異之處在於從消費者端出發，破除所謂的『有煙囪才有污染』的觀念。企業及產業溫室氣體排放，一般是指製造部分相關的排放，但產品碳足跡排放尚須包含產品原物料的開採與製造、組裝、運輸，一直到使用及廢棄處理或回收時所產生之溫室氣體排放量。

生命週期評估屬於系統分析方法之一，其為「產品系統自原物料的取得到最終處置的生命週期中，投入和產出及潛在環境衝擊之彙整與評估。」(ISO14040, 2006)在這所謂「產品系統」，不僅包括實體產品，亦包括服務系統。而需考量之環境衝擊通常包括資源使用、人體健康及生態影響等。

產品碳足跡(CO<sub>2</sub>e) = Σ[活動數據I x 碳排放係數f(CO<sub>2</sub>e/單位活動強度) x GWP 100a]，GWP為全球暖化潛勢係數，產品碳足跡是累積加總產品生命週期各階段之活動數據與碳排放係數之相乘積。本研究針對之改良式地工砂腸袋(加

掛沖刷防護袋)與傳統混凝土護岸之碳足跡分析比較過程如表4所示。

### 5.3 經濟效益

本研究針對之改良式地工砂腸袋(加掛沖刷防護袋)與傳統混凝土護岸之經濟效益比較分析過程如表5所示。從經濟效益評估表中，可以發現地工砂腸袋護岸工料費小於混凝土護岸。地工砂腸袋的施工費用較為複雜，須依現地情況、人員施作、機具等，來進行工料費估算，而不會有確切的費用；而混凝土護岸依據「公共工程委員會-公共工程價格資料庫第48期」，比較有明確的工料費用。

表 4 碳足跡比較表

| 工法種類     | 主要材料     | 碳足跡(kg) |
|----------|----------|---------|
| 地工砂腸袋護岸  | 透水織布、天然砂 | 65.21   |
| 重力式混凝土護岸 | 混凝土      | 885.32  |

表 5 經濟效益估算表

| 工法種類     | 主要材料 | 一進行米材料用量                             | 工料費                  |
|----------|------|--------------------------------------|----------------------|
| 地工砂腸袋護岸  | 透水織布 | 砂腸袋<br>圓周8.6m<br>面積4.9m <sup>2</sup> | 1030元/m <sup>3</sup> |
| 重力式混凝土護岸 | 混凝土  | 5.94m <sup>3</sup>                   | 1900元/m <sup>3</sup> |

## 六、結論

本研究實驗分析後後得知：(1)護岸與水流呈 30 度者，沖淤範圍大於平行水流護岸，其原因為斷面積的束縮，使流速增加而使流況更不穩定所造成。(2)於底床上，砂腸袋加 1 個沖刷防護袋與 3 個沖刷防護袋分析中，以加 3 個沖刷防護袋較優異。(3)砂腸袋加 1 個沖刷防護袋與砂腸袋加 3 個沖刷防護袋之底床上與底床下分析比較中，明顯為沖刷防護袋放置於底床下較為優異。(4)砂腸袋加兩

個沖刷防護袋與未加沖刷防護袋相比，加兩個沖刷防護袋之抗沖效果較為優異。

而在綜合效益評估結果，本研究結果如下所示：(1)以生態五化原則中，砂腸袋護岸比混凝土護岸更貼近生態環境。(2)重力式混凝土護岸之碳排放量幾乎為土工砂腸袋護岸的 13.6 倍。(3)從經濟效益中得知，土工砂腸袋護岸大於重力式混凝土護岸。

## 參考文獻

- 水利署(2014)，「河川野溪及水庫疏濬檢討與展望」，莫拉克颱風災後重建經驗傳承系列座談會，高雄。
- 何昱賢、劉家男、王冬成、曾俊榮(2013)，「土工砂腸應用於王爺港汕沙洲潮口復育之案例」，第 35 屆海洋工程研討會論文集，台灣高雄。
- 吳俊鉉、張延光、朱家興、陳樹群(2010)，「以莫拉克颱風災害談台灣集水區保育治理未來方向」，九十九年度農業工程研討會，台南。
- 林政儒(2006)，「河溪生態護岸工程規劃評估架構之研究」，中華大學土木工程學系碩士論文。
- 林鎮洋(2001)，「生態工法技術參考手冊」，經濟部水資源局。
- 林鎮洋、邱逸文(2003)，「生態工法概論」，明文書局，台北。
- 柴鈺武、梁大慶(2003)，「自然生態工法於水域景觀之案例分析」，中州學報，18(2)：203-214。
- 陳信雄、吳佐川、林麗英(2003)，「治山防災工程考量因子分析之研究」，台大實驗林研究，17(1)：11-24。
- 陳福改(2002)，「砂腸圍提施工模擬分析—以雲林新興工業區為例」，朝陽科技大學碩士論文。
- 劉佩格(2012)，「揭露碳足跡帶動低碳思維風潮—以盟鑫工業為例」，綠基會通訊，13-15 頁。
- 簡學揚、曾俊榮、唐玄蕙(2012)，「土工砂腸袋應用於阿拉伯養灘工法」，第 34 屆海洋工程研討會論文集，第 565-570 頁。
- Austin, D.N., Mlynarek, J. and Blond, E. (1997). "Expanded Anti-clogging Criteria for Woven Filtration Geotextiles," Geosynthetics '97 Conference Proceedings, March 11-13, 1997, Long Beach, CA, pp. 1123 – 1144.

- Bogossian, F., Smith, R. T., Vertematti, J. C., and Yazbek, O. (1982). "Continuous retaining dikes by means of geotextiles." Proceedings, 2nd International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, 211-216.
- Gaffney, D.A., Martin, S.M., Maher, M.H., and Bennert, T.A. (1999). "Dewatering Contaminated, Fine-Grained Material Using Geotextiles," Geosynthetics(99), pp.1016-1031.
- Jagt, H.J. (1988). "Bed Protection, Old Meuse, By Means of Geocontainers," Rijkwaterstaat, Public Works Department of the Netherlands, April 1988.
- Liu, S.C., Shiu, C.J., Chen, J.P., Fu, C.B., "Changes of precipitation intensity in East Asia," 2008 Symposium of Climate Changes in Taiwan, Taipei, pp. 6, 2008.
- Moo-Young, H.K., Tucker, W.R. (2002), " Evaluation of vacuum filtration testing for geotextile tubes," Geotextiles and Geomembranes(20), 191-212.

## 附錄

表 6 進度表

| 日期       | 進度  | 備註   | 分工         |
|----------|---|--|------------|
| 4/10     | 列出想做的題目<br>1.大漢溪濕地、漳和濕地<br>2.生態村<br>3.護岸<br>4.滯洪池<br>5.石門水庫砂崙仔崩塌地 | 1.地工材料在這一個議題能扮演什麼角色?<br>2.是否有任何以地工材料在這議題上進行的研究?<br>3.是否有任何實際案例點可供參考?(例如秋紅谷滯洪池) | 全部         |
| 4/12     | 堂上進度報告  | 報告目前報告進度   | 陳珮琦        |
| 4/16     | 決定題目-改良式砂腸袋應用於護岸及棲地保護   | 蒐集各種護岸破壞的照片  | 全部         |
| 4/22     | 製作進度簡報  | 彙整護岸破壞資料   | 林欣平        |
| 5/6      | 規劃報告內容  |  | 全部         |
| 5/10     | 堂上進度報告  | 報告目前報告進度-實驗規劃  | 孫崇育        |
| 5/16     | 簡報製作  |  | 陳呂暉        |
| 5/24     | 堂上進度報告  | 報告目前報告進度   | 陳珮琦        |
| 5/26~6/7 | 實驗中   |  | 全部         |
| 6/5      | 現地拍照  | 濁水溪溪州大橋  | 全部         |
| 6/8      | 堂上進度報告  | 報告目前報告進度-實驗內容  | 孫崇育<br>陳珮琦 |
| 6/9~6/11 | 報告製作  |  | 全部         |

表 7 工作分配表

| 工作名稱    | 備註     | 人       |
|---------|--------|---------|
| 實驗      |        | 全部      |
| 攝影、拍照   |        | 全部      |
| 影片製作    |        | 陳珮琦     |
| 書面報告    | 前言     | 陳呂暉     |
| 書面報告    | 文獻回顧   | 全部      |
| 書面報告    | 創新應用說明 | 孫崇育、林欣平 |
| 書面報告    | 實際案例應用 | 全部      |
| 書面報告    | 綜合效益評估 | 孫崇育、林欣平 |
| 書面報告    | 結論     | 全部      |
| word 製作 |        | 林欣平     |
| ppt 製作  |        | 全部      |
| 報告人     |        | 孫崇育、陳珮琦 |

