

地工織布應用於橋墩基礎保護 —以國道三號大甲溪橋為例

賴瑞應 交通部運輸研究所港灣技術研究中心簡任研究員兼科長
黃宇謙 交通部運輸研究所港灣技術研究中心助理研究員

摘要

國道三號大甲溪橋，近年在颱風作用下，河道深槽區之橋墩基礎樁帽有裸露之情況發生，高速公路局大甲工務段採用鼎型塊排置工法來保護橋墩基礎，雖頗有成效，然於河水長期沖刷下，鼎型塊有流失破壞的狀況發生，導致大甲工務段於每年汛期過後要針對流失的鼎型塊加以補鋪，以確保橋墩基礎的安全。

本研究針對本所過去研擬之地工織布結合鼎型塊保護工法，以大甲溪下游橋梁為研究對象，選擇 1 座橋梁規劃地工織布現地鋪設方式，並進行室內水工模型沖刷試驗與現地鋪設試驗，以驗證地工織布保護工法之施工性及保護成效，提供相關橋梁管理單位未來施政之應用。

一、前言

國道三號大甲溪橋位處臺中市，北接臺中市外埔區，南接臺中市清水區，橋長約 2,850 公尺，於民國 92 年竣工，除民國 93 年間之艾利颱風及民國 102 年潭美颱風豪雨沖刷下，使南側之數座橋墩樁帽有裸露之情形外，竣工至今尚無嚴重的沖刷災害。

近年高速公路局大甲工務段採用鼎型塊排置工法來保護橋墩基礎，雖頗有成效，然於河水長期沖刷下，鼎型塊有流失破壞的狀況發生，導致大甲工務段於每年汛期過後要針對流失的鼎型塊加以補鋪，以確保橋墩基礎的安全。

本研究藉由室內水工模型試驗，研提改善鼎型塊流失的橋基保護工法，並於現場鋪設以驗證其可行性。

二、室內水工模型試驗

2.1 試驗規劃

本研究以長 15 公尺、寬 0.8 公尺、深 0.8 公尺之試驗水槽(如圖 1)，鋪設試驗底床質及橋墩基礎，進行渠槽水工模型沖刷試驗。

渠槽側壁之材質為強化透明玻璃，以利於試驗進行時之觀測，渠槽尾端有一小型沉砂池用以避免試驗砂流入尾水池，後設尾水閘門(tailwater gate)，用以控制試驗水深(如圖 2)。

供水系統以 $16\text{m}^3/\text{min}$ 之抽水馬達從蓄水池中抽水，經由給水管送至定水頭箱，供應水量至渠槽中，定水頭箱至渠槽間設有一顯示式管路手動矩形閘閥，可控制流量流至渠槽中。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(如圖 3 示意圖)。

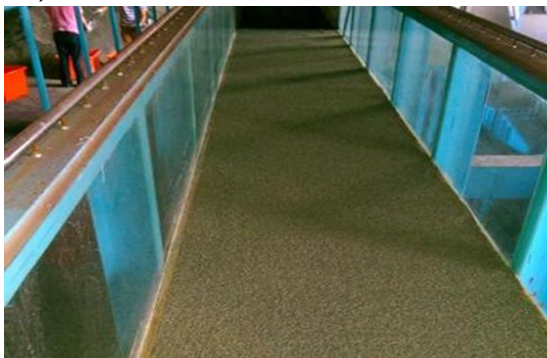


圖 1 渠槽斷面圖



圖 2 渠槽尾水控制閘門

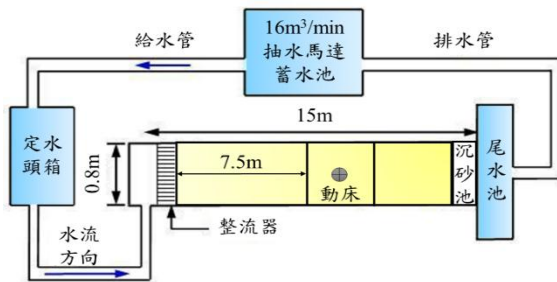


圖 3 試驗渠槽配置示意圖(俯視)

2.2 橋墩模型

本試驗模型依據國道三號大甲溪橋的實際尺寸以縮尺 100 分之 1 製作(如圖 4)。



圖 4 試驗橋墩模型尺寸

2.3 渠槽佈置

為使水流進入試驗區段時能保持平順穩定，以吸管製成之蜂巢式整流器(如圖 5)減緩水流紊亂程度，使水流可平順進入試驗區段。

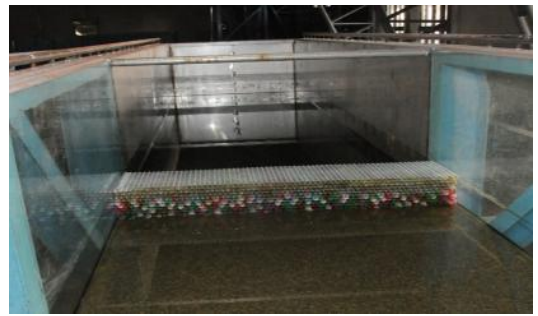


圖 5 吸管製成之蜂巢式整流器

另外，速度分佈方程式之基本假設為均勻流，而在流況尚未完全發展的情況下所量測的資料，並不適用於分析。故在選定試驗段位置之前，須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，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 與泥沙臨界啟動速度 V_c 之比值，即 V/V_c 為 1.0 情況下量測水深。

經試驗觀察，本試驗之完全發展區段位於距入流口約 7.0 m~9.3 m 之間，因此，試驗設計距入流口 7.5m~9.5m 之區段為試驗區，其餘為定床區，橋墩落墩於距入流口 8.5 m 處，定床區鋪設 1.5 公分之砂以保持與試驗段相同之河床糙度(如圖 6)。

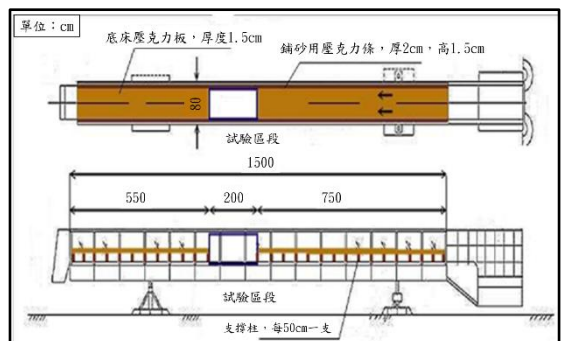


圖 6 渠槽試驗段佈設示意圖

2.4 流量及臨界流速率定

本試驗之流量係由給水管上之閘閥所控制，水流從定水頭箱經由給水管輸送到渠槽中，再流至尾水池，並藉由尾

水池蓄水量與時間關係，率定流量與閘閥開口之關係公式(如圖 7)。本試驗閘閥之流量率定公式如下：
 $Y=0.0013X-0.0033$ ； $R^2=0.9963$
 (Y 為流量(cms)、X 為閘閥開口大小(mm))

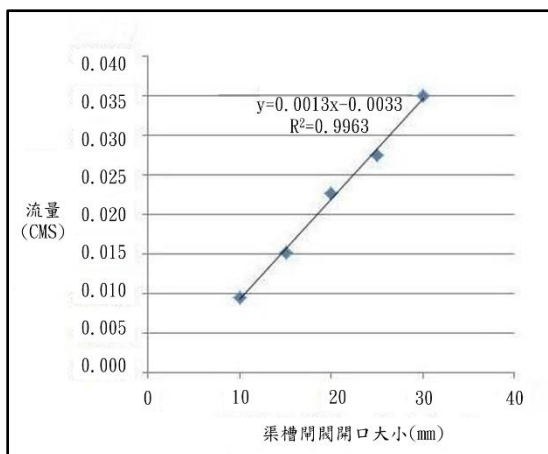


圖 7 流量率定曲線圖

有關臨界流速，本試驗參考過去相關文獻並依試驗室條件及公式、輸入參數之取得難易來評估結果，最後擇定採用 Melville (1999) 回歸臨界啟動試驗數據所獲得之公式如下：

$$\frac{V_c}{u_{*c}} = 5.75 \log \left(5.53 \frac{y}{D_{50}} \right)$$

$$\begin{cases} u_{*c} = 0.0115 + 0.0125 D_{50}^{1.4}, & 0.1\text{mm} < D_{50} < 1\text{mm} \\ u_{*c} = 0.0305 D_{50}^{0.5} - 0.0065 D_{50}^{-1}, & 1\text{mm} < D_{50} < 100\text{mm} \end{cases}$$

(V_c 為底床質臨界啟動速度、 y 為試驗水深、 D_{50} 為試驗砂之中值粒徑、 u_{*c} 和 V_c 單位皆為 m/s)

2.5 試驗流程

本試驗無法進行長時間沖刷來模擬現地長期沖刷所造成的連續性破壞，爰此，本試驗設定以每天 8 小時沖刷時間來進行，試驗流程如圖 8。

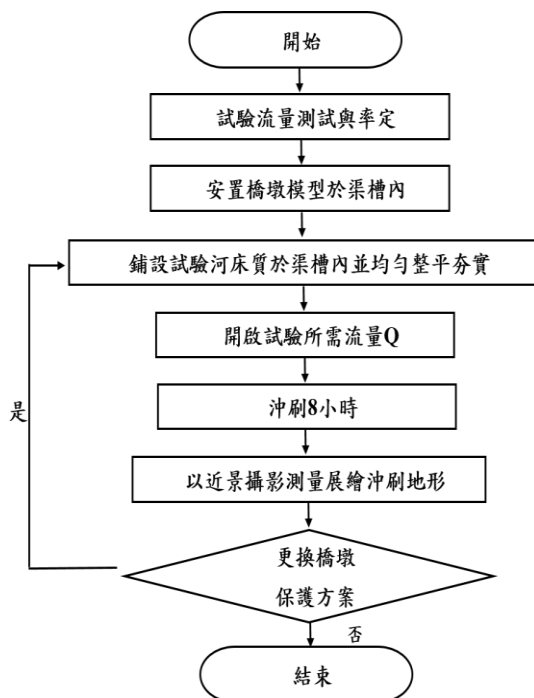


圖 8 試驗流程圖

在進行沖刷試驗前，先將試驗用橋墩置於渠槽動床試驗段，除控制橋墩與渠槽兩側邊壁等距離外，並確定試驗用橋墩保持鉛垂，另本試驗模型以樁帽完全裸露之狀況鋪設(樁帽頂約高於試驗底床 3.8 公分)，相關佈置如圖 9 所示。



圖 9 橋墩鋪設情形

此外，底床質以經篩選過之均勻粒徑細砂鋪設，並於每一方案試驗前，將底床質均勻鋪設於渠槽中，再以木板整平，確保準確性。

俟前揭準備工作完成，則開啟閘閥進行放水作業，並利用閘閥控制流量。首先以小流量將試驗砂淹沒，並以尾水板來抬升水位到試驗水位高，再將流量慢慢增大到臨界流速之流量，固定閘閥開度，每一方案以沖刷 8 小時，模擬現地之沖刷破壞，試驗完成，再將閘閥控制開度關閉停止進水。

8 小時沖刷試驗結束後，關閉流量閘閥，待水排除後，以近景攝影三維重建技術(透過一般數位相機，利用多視角所拍攝的多張序列影像，進行影像匹配，再經由匹配後所得之影像特徵點，以核線幾何關係進行場景重建，以大量多餘觀測進而解算求得場景空間之具體座標，並進行三維密點雲模型重建)，得到沖刷範圍等深圖。

2.6 試驗成果—橋基無保護工方案

為瞭解橋墩基礎在無保護工情況下的沖刷狀況，鋪設試驗模型如圖 10 所示，其沖刷情形如圖 11 所示，可看出橋墩基礎附近之土砂有嚴重之沖刷。

以近景攝影測量展繪之沖刷情形，如圖 12 所示，最大沖刷深度約為 8.4 公分。



圖 10 無保護工試驗模型



圖 11 無保護工基礎沖刷情形

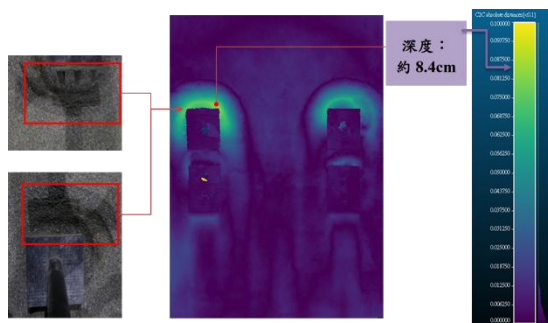


圖 12 近景攝影測量展繪之無保護工基礎沖刷情形

2.7 試驗成果—鼎型塊保護工法方案

本試驗方案 2 依據國道三號大甲溪橋採用之鼎型塊排置工法，以鼎型塊圍繞橋墩基礎並鋪設試驗模型，如圖 13 所示，其沖刷結果如圖 14 所示，可看出橋墩基礎附近之土砂沖刷情形較無保護工方案改善許多。

以近景攝影測量展繪之沖刷情形，如圖 15 所示，最大沖刷深度約為 2.7 公分，較無保護措施大幅減少約 5.7 公分，顯示鼎型塊圍繞橋墩基礎的保護工方案有其成效，惟試驗結果顯示，部分鼎型塊仍有流失的狀況發生。

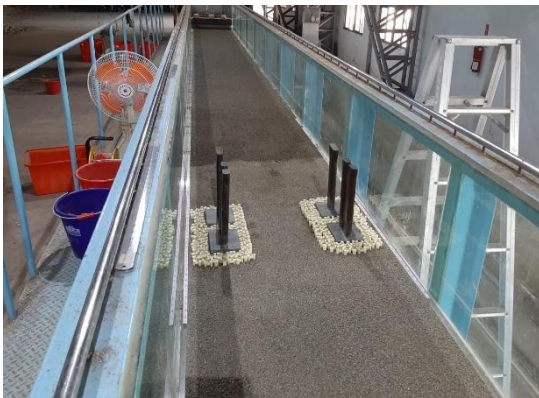


圖 13 鼎型塊保護方案試驗模型



圖 14 鼎型塊保護方案沖刷情形

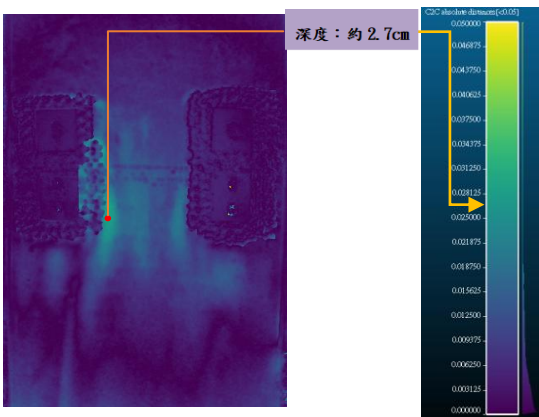


圖 15 近景攝影測量展繪之鼎型塊保護方案沖刷情形

2.8 試驗成果—鼎型塊結合地工織布方案

為減少鼎型塊因底床質流失造成整體保護工之沉陷流失破壞，本次在鼎型塊下鋪設一層地工織布(如圖 16)，期望能減少底床質之沖刷流失，其鋪設完成之試驗模型及沖刷結果，如圖 17、圖 18 所示。

圖 19 為沖刷結果以近景攝影測量展繪情形，由圖可知，最大沖刷深度約 1.6 公分。

經試驗得知，相較於鼎型塊圍繞橋墩基礎而無鋪設織布的保護方案有更少的沖刷深度，另外，鼎型塊的流失情況也有改善，顯示鼎型塊結合地工織布圍繞橋墩基礎的方案有較佳的保護成效。



圖 16 橋墩周圍鋪設地工織布

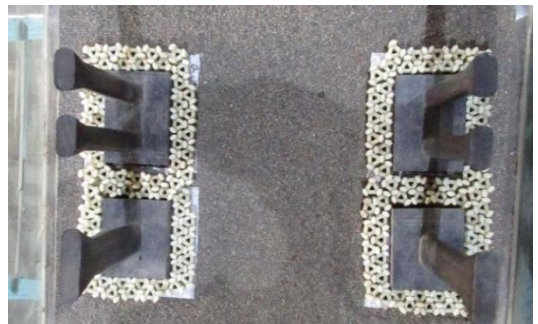


圖 17 鼎型塊結合織布保護方案試驗模型



圖 18 鼎型塊結合織布保護方案沖刷情形

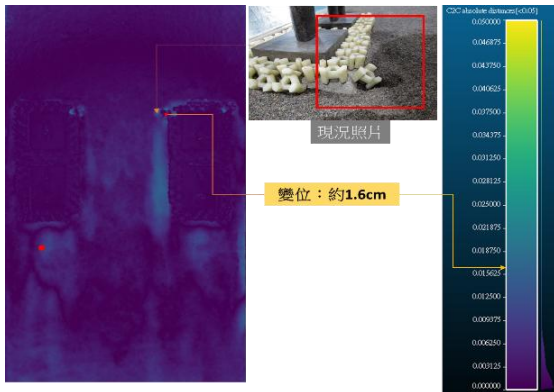


圖 19 近景攝影測量展繪鼎型塊結合織布保護方案之沖刷情形

2.9 小結

表 1 為橋墩基礎無保護方案、鼎型塊圍繞橋墩基礎及鼎型塊結合地工織布圍繞橋墩基礎 3 種方案(不考慮保護工之材料耐久性)最大沖刷深度及鼎型塊穩定度之試驗結果。

結果顯示鼎型塊結合地工織布圍繞橋墩基礎保護方案，橋墩基礎的沖刷深度大幅減少至約 1.6cm，且鼎型塊嚴重流失的問題也有改善，顯示鼎型塊結合地工織布圍繞橋墩基礎保護方案為最優的保護方案。

另外，礙於本研究試驗時間僅 8 小時，無法模擬水流沖擊力長時間對材料之磨損破壞及連續性破壞，試驗結果可能與現況之破壞機制或許有差異，後續鼎型塊結合地工織布圍繞橋墩基礎保護

方案，規劃將以現地試驗方式來驗證保護成效。

表 1 不同方案最大沖刷深度及鼎型塊穩定度比較

方案	最大沖刷深度	鼎型塊穩定度
無保護方案	8.4cm	
鼎型塊圍繞橋墩基礎	2.7cm	流失嚴重
鼎型塊結合地工織布圍繞橋墩基礎	1.6cm	流失輕微

三、地工織布現地鋪設及保護成效觀測

3.1 前期會勘

依循前節試驗成果，並與高速公路局、設計監造及施工單位研商鋪設地點、方式後，決定配合國道三號大甲溪橋橋梁基礎補強工作，於橋墩 P27R 及 P24L 進行織布鋪設，並以鄰近之 P26R 及 P23L 為對照組(無織布鋪設)，俟確立先期準備完備後，即進行織布採購及現地鋪設工作，並針對後續保護成效觀察進行規劃。

3.2 高強度織布規格

原則上應用於橋基保護工的織布其物理特性要能抵抗河水及泥沙的沖刷，所以強度要強；為減少流體的作用力，織布透水性要好；為減少細粒料的流失，織布孔徑不能太大。材質依過去的研究顯示，聚丙烯纖維(PP)較聚酯纖維(PET)耐久性佳，另外，紫外線照射會影響織布的強度，施工過程及施工後織布均有可能外露遭紫外線照射，所以材質需有抗紫外線功能，綜合考量上述因素及國內織布廠商生產的規格後，依需要採購高強度織布。

3.3 現地鋪設施工規劃

再經由所需規格完成高強度織布發包，並通過材料尺寸的相關抽驗後，即進場至國道三號大甲溪橋規劃橋墩鋪設織布，施工流程規劃可分以下步驟進行：

1. 現場整地

整個施工流程首先是進行橋墩基礎周圍之鋪設範圍整地，如圖 20 所示，範圍依規劃的鼎型塊排置的寬度(本研究規劃 2 排)，深度原則上以既有河床高程為基準，往下開挖約一個鼎型塊高度為宜，另外，下游側考量減少跌水沖刷效應，採降階地形整地。

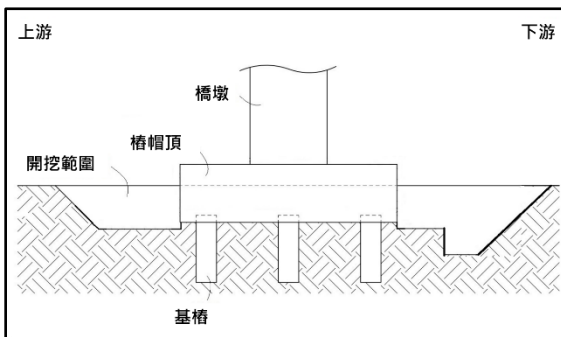


圖 20 橋墩基礎周圍整地範圍示意圖

2. 高強度織布及防護層織布鋪設

於整地完成後，接著進行高強度織布之鋪設，由樁帽頂往下鋪設至覆蓋整個開挖面的底部，如圖 21 所示。防護層織布覆蓋於高強度織布上，覆蓋範圍同高強度織布，如圖 22 所示，織布平面展開圖及斷面圖，如圖 23 所示。

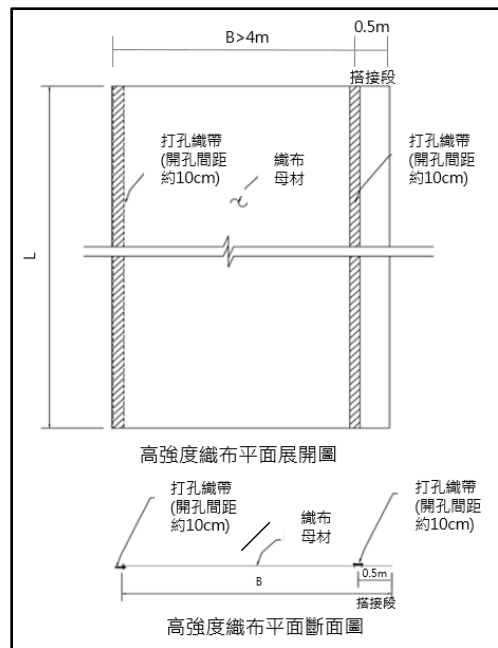


圖 21 高強度織布鋪設覆蓋示意圖

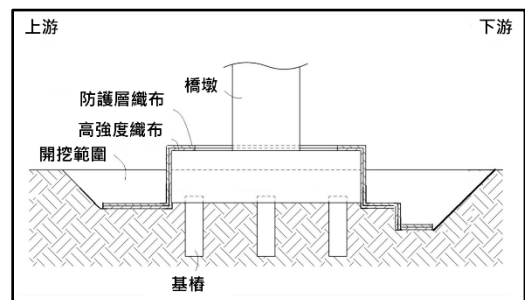


圖 22 防護層與高強度織布覆蓋示意圖

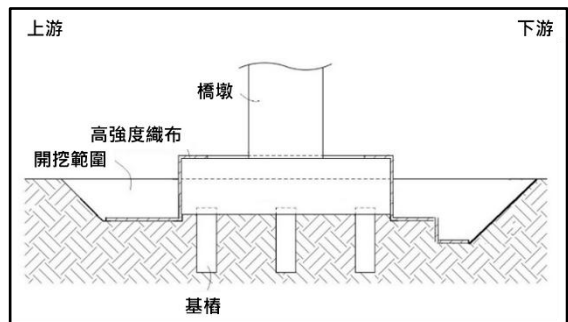


圖 23 高強度織布平面展開圖與斷面圖

此外，為配合樁帽尺寸，採用搭接方式進行，以利織布完整覆蓋(如圖 24)。

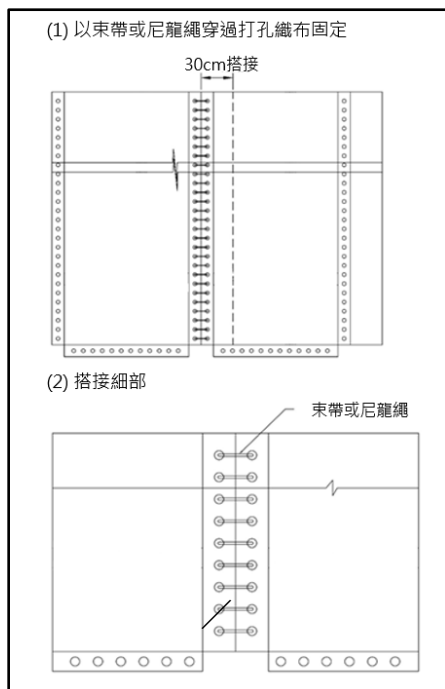


圖 24 高強度織布施工搭接圖說

3. 鼎型塊排置

最後將鼎型塊吊放至防護層織布上，進行排置，如圖 25 所示，並進行必要的回填。

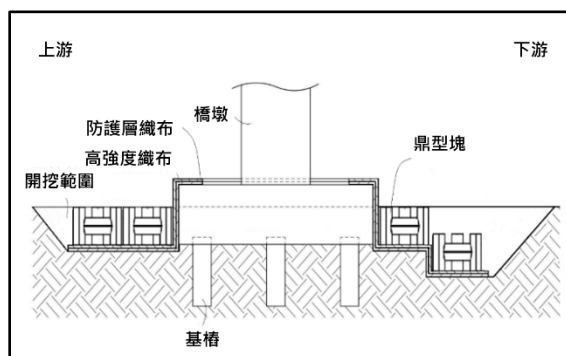


圖 25 鼎型塊吊放排置示意圖

3.4 現場施工

現地施工依上節規劃進行，施工前、中、後之相關照片，臚列如圖 26～圖 35。



圖 26 橋墩基礎上游整地



圖 27 橋墩基礎下游整地及地形降階



圖 28 吊放織布於橋墩基礎樁帽上



圖 29 完成樁帽四周織布展開及固定



圖 30 織布鋪設及單元間之綁紮作業



圖 31 防護層織布鋪設



圖 32 鼎型塊吊放與排置作業



圖 33 鼎型塊結合織布保護工鋪設完成(上游側)



圖 34 鼎型塊結合織布保護工鋪設完成(下游側)

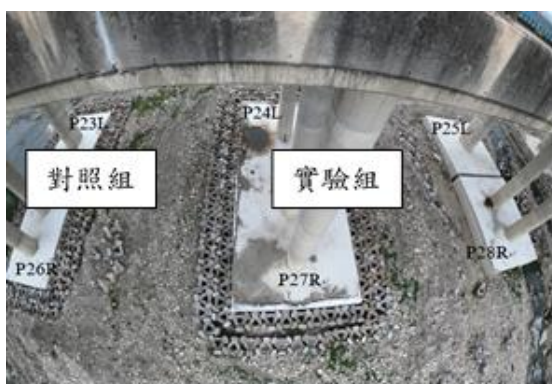


圖 35 國道三號大甲溪橋試驗觀測橋址

四、結論及建議

4.1 結論

1. 由本研究試驗橋址現地鋪設的施工經驗顯示，本研究規劃地工織布結合鼎型塊保護工法之鋪設斷面及施工步驟具體可行。

2. 依據本研究室內斷面水工模型沖刷試驗結果顯示，鼎型塊保護工法有其保護成效，惟鼎型塊易有沖刷流失導致保護工損壞的情況發生。
3. 上述試驗結果亦顯示，本研究研擬的地工織布結合鼎型塊保護工法，其保護橋梁基礎沖刷的成效優於鼎型塊保護工法，且鼎型塊流失的情況也有顯著改善，顯示地工織布結合鼎型塊保護工法優於僅有鼎型塊之保護工法。
4. 後續地工織布結合鼎型塊保護工法的成效評估，可藉由鼎型塊的流失情形、橋梁基礎之沖刷深度及歷年保護工維護費用等項目來評估保護工的成效。

4.2 建議

1. 本研究由於現地試驗鋪設需配合既有耐震補強工程的工地現況、合約規定及施工廠商的配合意願，來規劃現地的保護工鋪設斷面，爰此，試驗斷面僅鋪設 2 排的鼎型塊圍繞橋梁基礎，此鋪設範圍是否足夠，有待日後驗證。
2. 後續可持續針對鋪設的橋址條件，以室內水工模型研擬更適宜的鋪設斷面方案，提供改良現地試驗保護工鋪設斷面之參考。
3. 後續可持續增加現地試驗橋址鋪設的案例，驗證地工織布結合鼎型塊保護工法之施工可行性及保護成效。

運輸研究所，2019。

3. 邱永芳、賴瑞應、胡啟文，近景攝影測量應用於渠槽試驗底床量測之探討，中國土木水利工程學刊，第四十四卷第六期，59~69 頁，2017。
4. 張藝馨，「不均勻圓形橋墩之局部沖刷研究」，碩士論文，國立中央大學土木工程研究所，2000。
5. Melville, B. W. and Chiew, Y. M., "Time scale for local scour at bridge piers", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.125, No.1, 1999, pp. 59-65.
6. Raudkivi, A.J., and Ettema, R., "Clear-water scour at cylindrical piers", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.111, No.4, 1983, pp.713-731.
7. Raudkivi, A.J. and Ettema, R., "Effects of sediment gradation on clear water scour", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.103, No.10, 1977, pp.1209-1212.

參考文獻

1. 賴瑞應、胡啟文、曾文傑，「地工織物應用於橋墩基礎保護之可行性研究」，交通部運輸研究所，2020。
2. 賴瑞應、胡啟文、曾文傑，「國道三號大甲溪橋橋墩保護工法研究」，交通部