

2024 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 成果報告表單

題目名稱：橋墩穩固設計再優化—探討水流沖刷對橋梁穩固度之影響

一、摘要

本研究主要探討水流對不同橋墩影響，將針對水流對橋墩，以實體模型實驗，進行量化分析及物理分析。研究結果顯示，三種橋墩中，圓形平均沖刷深度最淺，圓形橋墩整體沖刷 1.25cm；三角形平均沖刷深度最深橋墩整體沖刷 1.25cm。而最後結論為前半部愈圓，橋墩前半部的沖刷越小；橋墩後半部愈尖，橋墩後半部的沖刷越小。

二、探究題目與動機

在一堂課上，老師要我們尋找專題方向。對地科有濃厚興趣的我打開社群軟體，看見主頁有關於「918 大地震」的探討主題。在這之中，我發現文章內的幾張橋梁的照片都有明顯的橋墩地基毀損。是什麼原因造成橋墩地基的毀損？有什麼方法可以降低橋墩地基毀損的機率。影響橋墩地基堅固程度的因素，除了材質之外，還有沒有其他的方向可以努力呢？



圖一、美國 1989 ~ 2000 年間 503 座橋梁崩塌原因統計圖

彭康瑜在 2020 的期刊中有提到「雖然台灣與美國的自然環境與工程條件有所不同，但就筆者了解，台灣河川橋梁因河川既短且陡的特性，易因河川運補砂量不足造成河床沖刷，引致橋墩基礎裸露，使得橋梁基礎承载力大為下降，加上橋墩無法承受瞬間水流衝擊而造成橋梁崩塌斷裂，因此，與美國的統計結果類似，「洪水與沖刷」也是台灣橋梁崩塌主要的原因。」

三、探究目的與假設

(一) 研究目的：

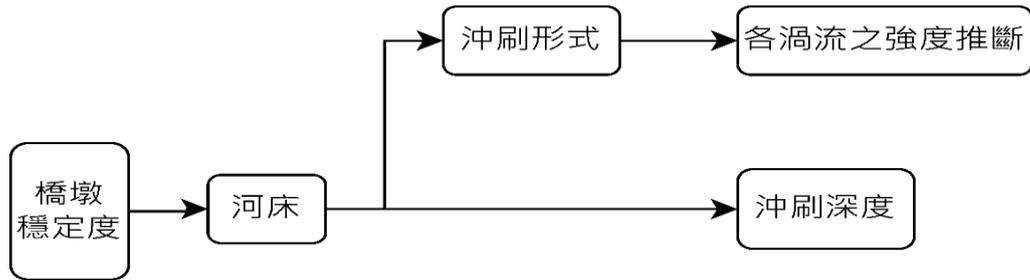
- 1.分析洪水沖蝕河床之深度，並比對公式數據。
- 2.觀察橋墩如何影響周圍渦流之強度。

(二) 探究假設：

- 1.橋墩愈圓，河砂沖刷量越少。

四、探究方法與驗證步驟

(一) 探究架構



(二) 探究設備

1. 模擬實驗用：塑膠 PP 板、河砂、塑膠收納桶、抽水馬達、陶土、保鮮膜
2. 記錄用：馬克筆、白板筆、方格紙

(三) 探究方法

1、前測

(1) 經文獻查詢，了解橋梁遇洪水常見之破壞模式，分析橋梁因洪水而發生的災害機制。同時參考中華民國現行「公路橋梁設計規範」交通法案及相關法規，設計實驗之橋墩模型。

(2) 我們設計實驗河道，河床以沙子填補，在中心放上寶特瓶(如圖二)，並在實驗前後各畫上一條標線，記錄沙子的深度變化，以及實驗沖刷所需秒數(如圖三)。



圖二、前測設備



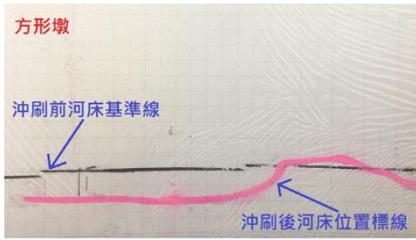
圖三、沖刷記錄

(3) 經測試得知，測試用模型周圍約 3 分鐘出現明顯沖蝕痕跡，所以本章之實驗將以 3 分鐘為一次，進行七次的沖刷。我們將在此次實驗蒐集的所需之數據。

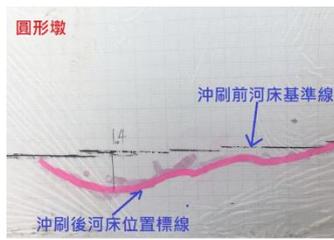
2、實驗流程

(1) 我們的實驗河道長為 60 公分，寬為 30 公分，河砂高度為 3 公分。

(2) 在橋墩模型外圍包上一層保鮮膜，先標記上沖刷前的河床高度，待沖刷後，再標記上沖刷後的狀況，以便記錄原河床高度及沖刷後侵蝕深度(如圖四、五、六)。



圖四、方形墩



圖五、圓形墩



圖六、三角形墩

(3)以抽水馬達抽水至河道上方緩衝區，以製造河川水流。

(4)三種墩形，每種各沖蝕三分鐘，重複五次。

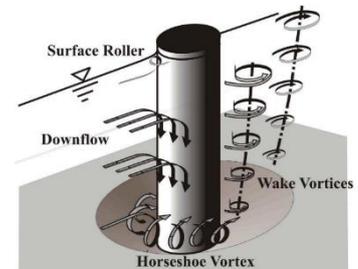
(四) 文獻探討

在《橋墩水深平均二維沖刷模式之發展》中有提到「根據成因的不同，橋墩周圍可能產生的沖刷種類分為：一般沖刷、束縮沖刷、局部沖刷」。本研究將以沖刷深度、局部沖刷、河床補沙量之部分文獻作為理論值的模擬及實驗數據的修飾，因此以下將分為三部分進行相關文獻的探討：

1. 局部流場

當通水斷面縮減時，會在橋墩周圍產生局部流場，如圖九中的表面渦流 (Surface roller)、向下射流

(Downflow)、馬蹄形渦流 (Horseshoe Vortex) 及尾跡渦流 (Wake Vortices)。而根據本文及相關研究，馬蹄形渦流被視為造成橋墩周圍河床變化之主要原因。尾跡渦流是水平狀的渦流，而馬蹄形渦流是垂直狀的渦流。



圖九 局部流場示意圖

2. 沖刷深度

根據「台灣公路工程」引用 Melville 在 1998 年提出的「局部沖刷深度之估算公式」(圖十)，將實驗參數帶入，可以得到以公式推算出來的局部沖刷深度之估算。並與實驗的各墩形之實際平均沖刷深度做比較(如圖十一)。

Melville (1998)

$$h_s = K_y K_s K_\theta$$

其中

$$K_y = \begin{cases} 2.4D_p, & \text{當 } \frac{D_p}{h_2} < 0.7 \\ 2\sqrt{h_2 \times D_p}, & \text{當 } 0.7 < \frac{D_p}{h_2} < 5 \\ 4.5h_2, & \text{當 } \frac{D_p}{h_2} > 5 \end{cases} \quad K_s = \begin{cases} \text{圓柱形} & 1.0 \\ \text{圓鼻端} & 1.0 \\ \text{方鼻端} & 1.1 \\ \text{尖鼻端} & 0.9 \\ \text{斜向柱} & 1.0 \end{cases}$$

= 橋墩形狀參數；

$$K_\theta = \begin{cases} \left(\frac{L}{D_p} \sin \theta + \cos \theta \right)^{0.65}, & \text{非圓柱形橋墩} \\ 1.0, & \text{圓柱形橋墩} \end{cases}$$

= 橋墩指向 (與水流方向之夾角 θ) 參數

L = 橋墩順水流方向之長度 = 20 m

K_y = 橋墩形狀參數

$K_\theta = 180^\circ$

D_p = 橋墩寬(與流水方向平行)

h_2 = 水深 = 0.6

K_s = 結構比值常數(如圖)

L = 橋墩長(與流水方向垂直)

圖十、局部沖刷深度之估算公式

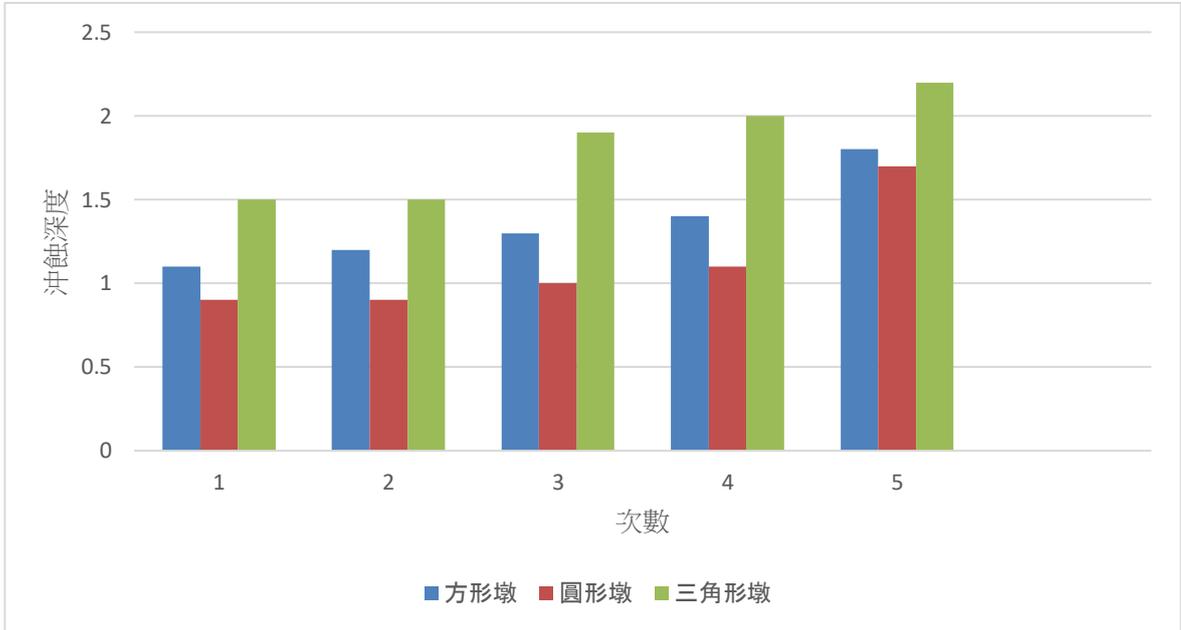
由於部分計算較為難懂，所以本次 sin、cos 之值分別訂為-0.80 及-0.59

3. 河床補沙量

由於馬蹄形渦流為垂直狀渦流，而尾跡渦流為水平狀渦流，所以本次實驗深度取自於前端深度。

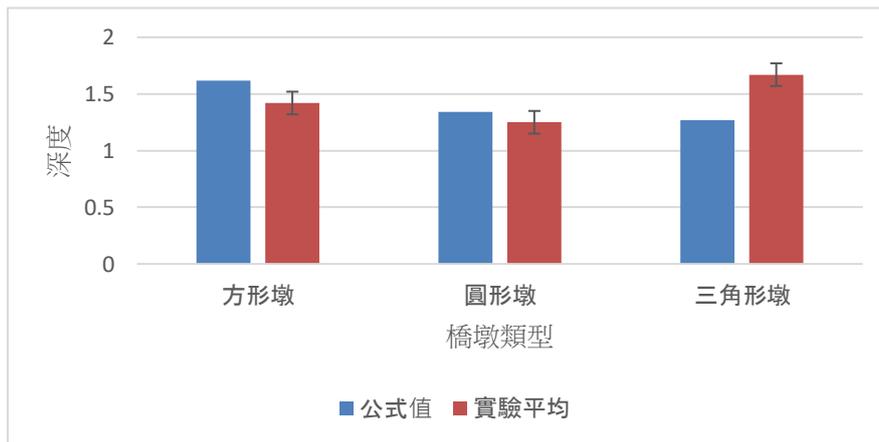
(五) 分析洪水沖蝕河床之深度

1. 記錄如下圖：



圖八、河床沖蝕深度比較 (由淺到深)

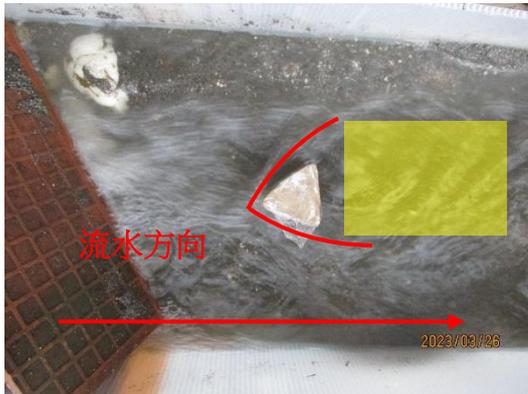
2. 由上圖看來，圓形墩的沖刷深度是最低的，與目前台灣大部分橋梁橋墩形狀吻合。



圖十一、實驗數據與公式計算後數值之差異比較

(六) 觀察橋墩如何影響周圍渦流之強度

如圖十二、十三所示，若橋墩前端的波紋較少(紅線所示)，則代表前端渦流(馬蹄形渦流)較小。橋墩後端的尾跡渦流是水平狀，由流體分離產生的結構，所以會產生。因此我們可以推斷若尾部較圓，所產生的尾跡渦流較小。



圖十二、前端渦流小，尾跡渦流大



圖十三、前端渦流大，尾跡渦流小

五、結論與生活應用

(一)、結論

- 1、經由實體實驗結果得知，前端愈圓，前端的沖刷越小。後端愈尖，後端沖刷越小。
- 2、故經由本實驗結論可推測，若橋梁橫切面呈水滴狀，河床河砂沖刷量應為最少。

(二)、生活應用

- 1、希望未來能驗證上述所說的「若橋梁橫切面呈水滴狀，河床河砂沖刷量應為最少。」

參考資料

1. 彭康瑜. (2020). 橋梁破壞案例與補強延壽. 科學發展, 571, 30–38.
<https://reurl.cc/p5NDk4>
2. 公路橋梁設計規範 (2003)
<https://reurl.cc/6QmgXZ>
3. Aashto. (2002). AASHTO Standard Specifications For Highway Bridge (17th ed.). AASHTO.
<https://reurl.cc/WvQe07>
4. 陳彥酉 (2011) 橋墩水深平均二維沖刷模式之發展 (碩士論文)。國立陽明交通大學機構典藏
5. Liu, P. L.-F., & Kurc, S. A. q. (2013). Introduction to Hydraulics.
6. Raudkivi, A. J. (1986). "Functional trends of Scour at bridge piers," J. Hydr. Engrg., ASCE, 112(1), 1-13.
7. Melville, B. W. and Coleman, S. E. (2000). Bridge scour, Water Resources Publications, LLC, Highlands Ranch, Co.

