

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科(三)

探究精神獎

083003

「曲」之有道，「蛤」才知道

學校名稱：桃園市平鎮區南勢國民小學

作者：	指導老師：
小六 李祿順	羅美豐
小六 李宜臻	
小六 林庭安	
小六 呂煜紳	

關鍵詞：蛤蜊、河道坡堤、生態

摘要

本研究以蛤蜊殼粉摻配水泥塊所構形的河道坡堤及形狀為主題，透過自行設計的落錘重力、摩擦力實驗，探討不同比例蛤蜊殼粉摻配的水泥，對水泥塊特性的影響；模擬不同坡道形狀與結構，比較對水流與生物棲息的影響，結果發現 20% 蛤蜊殼粉摻配的六邊形蜂巢水泥塊能承重達 2.18kg/片 ，耐衝擊性佳。摻配比例越高，吸水率增加、釋水量較少。蛤蜊殼粉 $\mu s \approx 0.81 >$ 顆粒 $\mu s \approx 0.58$ ，蛤蜊殼粉的平均粒徑及偏差值為 0.028 ± 0.016 毫米，有利於水中生物攀附。梯形、長方形、平行四邊形的凹凸交錯坡道能有效減緩水流速度和堆積作用且黑殼蝦亦偏好此結構的棲息環境。本研究為了改善傳統水泥溝渠生態不友善的缺點，展現蛤蜊殼粉水泥塊在生態共融、資源再利用與綠建築應用上的潛力。

壹、前言

一、研究動機

每天回家的路上，發現農田旁的溝渠多為垂直、平滑表面的匱字型設計(圖 1)，看到動物困在溝渠中難以自救的樣子，我們心中都感到不忍！文獻調查發現，已有多種溝渠形式的設計，如（圖 2~圖 4）等。然而，這些設計仍存在許多問題。因著這份對生命的愛與責任，推動進行河堤坡道的研究。因此，本研究探討：

- (一)如何能夠在 90 度的河道加上不同形狀的凹凸坡道來輔助野生動物自救的機會，亦可增加人類生活的陸地面積？
- (二)蛤蜊殼粉是否可以替代水泥，也可以減少二氧化碳排放量？
- (三)添加蛤蜊殼粉後，使摩擦力增加是否能讓生物易攀附爬上岸？
- (四)是否能有效的補充地下水，以解決農民的問題？
- (五)是否能幫助水生生物進入凹凸中躲避威脅並提供凹窪棲息空間與植物共生？

同時兼顧永續發展目標(SDG11、SDG15)，有潛力降低工程成本與提升功能效益。

 SDG 11 永續城市	11 永續城市與社區 (Sustainable Cities and Communities) ——建設具包容、安全、韌性與永續性的城市與居住環境。	 SDG 15 陸地生態	15 陸地生態 (Life on Land) ——保護、恢復並促進永續利用陸地生態系統，防止土地荒漠化，阻止生物多樣性喪失。				
	不會飛行的離鳥落入 三面光水圳 ，難以自行脫逃。(圖 1)		增加水圳 表面粗糙化 的砌石溝，讓水裡的動物有機會爬上去。(圖 2)		水圳兩側 角度傾斜 設計，較能提供生物行走與活動空間。(圖 3)		在水圳上以 洗衣板 作為 通道 ，能減少野生動物掉落的風險。(圖 4)

(註：以上照片引自世新大學小世界週報、上下游 News&Market)

二、研究目的

(一)探討蛤蜊殼摻合料對水泥塊承載強度的影響

1. 比較不同比例蛤蜊殼**粉**摻合的水泥塊承載強度

2. 比較不同比例蛤蜊殼**顆粒**摻合的水泥塊承載強度

(二)探討蛤蜊殼摻合料對水泥塊透水性的影響

1. 測試不同比例蛤蜊殼**粉**摻合的水泥塊吸水率與釋水速度

2. 測試不同比例蛤蜊殼**顆粒**摻合的水泥塊吸水率與釋水速度

(三)探討蛤蜊殼摻合料對水泥塊表面摩擦力的影響

1. 比較不同比例的蛤蜊殼**粉**摻合的水泥塊表面摩擦力

2. 比較不同比例的蛤蜊殼**顆粒**摻合的水泥塊表面摩擦力

(四)探討不同坡道形狀對水流流速及堆積作用的影響

1. 比較不同坡道形狀(凸坡、凹凸交錯坡)的**水流速度**

2. 比較不同坡道形狀(凸坡、凹凸交錯坡)的泥沙**堆積作用**情形

(五)探討不同坡道結構對生物棲息環境的影響

1. 評估不同坡道形狀(**凸坡**)水生動物的棲息情形

2. 評估不同坡道形狀(**凹凸交錯坡**)水生動物的棲息情形

相關教材(108課綱)：三上：生活中的力、三下：我是動物解說員、五上：動物世界、五下：力與運動、大地的奧祕、六下：地球的生態

三、文獻回顧

(一) 相關課程及科展作品的內容探討

參考國小單元課程及歷屆相關科展作品，將本研究依據文獻提及相關的關鍵字「河川」、「水泥」、「坡堤」實驗內容，進行可再探討的內容整理成下表 1-1

表 1-1 自然與生活科技課本及科展作品中可再探討的內容

文獻中探討的相關內容	本研究可再探討的內容
全國高職組土木科第 43 屆： 以生態工法之理念綠化河川 護岸之研究	左列 43 屆及 51 屆科展實驗中，發現魚鱗灰取代水泥砂漿作實驗，推測蛤蜊殼粉是否也可以替代水泥，使水泥使用量減少。也有針對水泥塊進行抗壓強度和土壤強度的測試。
探討 土壤中加不同比例的水泥 含量對植物生長、土壤強度、沉陷量與防沖蝕的影響。	因此我們推測是否不同比例的蛤蜊殼粉也會影響其抗壓強度？是否可以找出最好的水泥塊最佳比例，也能友善生態環境。 實驗設計
全國高職組土木科第 51 屆： 黏黏有魚！魚鱗灰取代水泥	1. 不同比例的蛤蜊 粉 或蛤蜊 顆粒 取代水泥含量，可以 減少二氧化碳排放量 ，永續愛地球的環境設計。

<p>砂漿試體試驗 測其對抗壓強度和抗拉強度之影響，進而瞭解魚鱗灰是否可以取代部分水泥，將其廢物利用，並達到綠建築永續之主旨。</p>	<p>2. 試著將蛤蜊殼磨碎後，調配不同比例的蛤蜊殼粉，取代水泥含量，製作改良出新的水泥塊。 3. 自行設計落錘撞擊重力的實驗，確認水泥塊最大承載力的強度大小。找出最佳比例的蛤蜊殼粉製作出來的水泥塊。 4. 利用黑殼蝦實際操作生態棲地的觀察，凹凸交錯坡道的水泥塊到底對牠們是否有幫助？不同形狀的凹洞和凸坡的水泥塊是否也會影響覓食、棲息情形？</p>
<p>全國科展國小組第 44 屆： 從人工消波塊看自然生態工 法 河岸或海岸觀察各式各樣的 人工消波塊，探討其特性， 縮小比例製作消波塊模型， 討論不同頻率、振幅水波， 在消波塊的阻擋下，沙岸變 動的情形。</p>	<p>左列科展實驗中，發現有消波塊縮小比例製作多種不同形狀的模型，進行沙子的流動實驗。 因此我們推測是否因水泥塊設計不同的形狀坡道，也會影響河道的沙子產生變動的情形。 實驗設計 1. 自製不同的形狀(梯形、三角形、長方形、平行四邊形) 凹、凸的六邊形水泥塊，以縮小比例(邊長 5 公分)的六邊形柱體及不同形狀的(凹坡、凸坡、凹凸交錯坡)模型，探討水流流速、泥沙堆積情形及水生生物對水泥塊表面的摩擦力大小，是否有助於牠們攀爬向上？ 2. 自製 S 形的坡道，再將不同形狀的凹凸水泥塊放上去，模擬河道進行設計實驗。</p>

貳、研究設備及器材

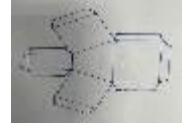
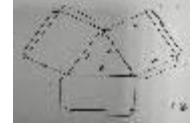
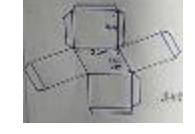
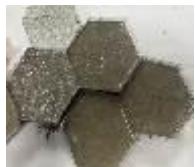
一、化學藥品與原料(註:以下照片由作者拍攝)

蛤蜊	蛤蜊大小	水泥	沙子	蛤蜊粉	澄清石灰水

二、儀器與設備(註:以下照片由作者拍攝)

自製 承載力實驗	自製 河道凹凸實驗	彈簧秤	電子秤	磨豆機	顯微鏡

三、其它材料(註:以下照片由作者拍攝)

塑膠手套	奇異筆	玻璃片	標籤紙	布丁杯	滴管
					
鐵鎚	鐵尺、刀片	剪刀	量角器	塑膠瓦楞板	塑膠盆
					
紗網	鐵棒	螺帽	塑膠透明片	膠帶	棉繩
					
自製模型 六邊形柱體	自製模型 梯形	自製模型 三角形	自製模型 長方形	自製模型 平行四邊形	碎石
					
立體六邊形 柱體展開圖	立體梯形柱 展開圖	立體三角柱 展開圖	立體長方體 柱展開圖	平行四邊體 柱展開圖	半圓形體柱 展開圖
					
自製模型梯 形腳柱(凸) 	自製模型三 角形腳柱 (凸)	自製模型 長方形腳柱 (凸)	自製模型平 行四邊形腳 柱(凸)	自製模型梯 形(凹)	自製模型三 角形(凹)
					
自製模型長 方形(凹)	自製模型平 行四邊形(凹)	自製模型 半圓形腳柱 (凸)	剪下透明片 圖形再摺黏 成立體形	攪拌不同比 例的水泥灌 漿成型	黑殼蝦和 水草
					

參、研究過程與研究方法

一、研究流程

確定研究主題



研究可以取代河道坡堤的水泥材料與不同坡堤的形狀階梯對水流流速及堆積作用的影響，進而友善自然生態環境。

配合康軒版(三上)：生活中的力

康軒版(三下)：我是動物解說員

康軒版(五上)：動物世界

康軒版(五下)：力與運動、大地的奧祕

康軒版(六下)：地球的生態

蒐集相關資料



蒐集臺灣的河川設計及分布情形

查詢農田水利署全球資訊網介紹如何從自然、文化、休閒角度再利用、溪河川教育中心—觀光導覽網介紹

查詢歷屆科展有關河川護堤實驗相關資料

討論研究內容



討論實驗的變因項目：

(一)蛤蜊殼粉或顆粒可以替代水泥嗎？比例多少最為適合？且能達到最好的承載強度嗎？

(二)加入蛤蜊殼粉或顆粒後的水泥塊的吸水性好嗎？是否會影響水泥塊的抗壓強度及有效補充地下水資源？

(三)設計不同形狀的輔助階梯，是否有助於水生動物的生存和棲息？
對生態是否為友善的設計？90 度的河道加上輔助階梯是否有加分的效果，又可達到增加陸地的面積？

實驗輔助工具



自行設計落錘重力實驗、設計摩擦力實驗，自製六邊形柱體及梯形、三角形、長方形、平行四邊形(凹和凸)水泥塊階梯。

研究實驗

目的^一探討蛤蜊殼摻合料對水泥塊承載強度的影響

實驗一~1 比較不同比例蛤蜊殼粉摻合的水泥塊承載強度

實驗一~2 比較不同比例蛤蜊殼顆粒摻合的水泥塊承載強度

目的^二探討蛤蜊殼摻合料對水泥塊透水性的影響

實驗二~1 測試不同比例蛤蜊殼粉摻合的水泥塊吸水率與釋水速度

實驗二~2 測試不同比例蛤蜊殼顆粒摻合的水泥塊吸水率與釋水速度

目的^三探討蛤蜊殼摻合料對水泥塊表面摩擦力的影響

實驗三~1 比較不同比例的蛤蜊殼粉摻合的水泥塊表面摩擦力

實驗三~2 比較不同比例的蛤蜊殼顆粒摻合的水泥塊表面摩擦力

目的^四探討不同坡道形狀對水流流速及堆積作用的影響

實驗四~1 比較不同坡道形狀(凸坡、凹凸交錯坡)的水流速度

實驗四~2 比較不同坡道形狀(凸坡、凹凸交錯坡)的泥沙堆積作用情形

目的^五探討不同坡道結構對生物棲息環境的影響

實驗五~1 評估不同坡道形狀(凸坡)水生動物的棲息情形

實驗五~2 評估不同坡道形狀(凹凸交錯坡)水生動物的棲息情形

應用



期望能廣泛使用在各縣市農田旁的灌溉溝渠和河川中

二、市售「落錘撓度儀的試驗原理」與「檢測方法的創新設計」

(一)市售落錘撓度儀的試驗原理

試驗目的：評估路面基底層之承載力。因此由此設計去構想創新設計實驗方法。

實驗步驟如表 3-1 所示。表 3-1 落錘撓度儀裝置實驗步驟

		
(1)協助固定儀器，避免晃動	(2)提升落錘到預定高度	(3)釋放落錘使其自由降落

(註：以上照片引自交通部公路局工程材料技術所-路面科)

(二)落錘重力試驗的設計與步驟

定義：在鐵棒 30 公分處做記號，以累加一個螺絲帽堆疊後同時落下到水泥塊。評估材料或製品在受到衝擊或撞擊時的性能的測試設備。測試材料的強度、韌性、耐衝擊性、斷裂性等性能。

測量方法：螺帽一顆原重量：36 克重，經過計算高度 30 公分處落下的速度為 $V=2.424\text{m/s}$ ，落錘的重量約為 87.2 克重/顆

落地速度：根據自由落體運動的物理原理，物體從較高的高度掉下來時，會有更多的時間加速，因此落地時的速度會更快。自由落體的速度(從 30 公分的高度掉下來的物體)以下公式計算： v 是落地速度； g 是重力加速度(約為 9.8m/s^2)； h 是高度，落地速度分別為： $v=\sqrt{2gh}$

$$V_{0.3} = \sqrt{2 \times 9.8\text{m/s}^2 \times 0.3\text{m}} = 2.424 \text{ m/s}$$

重量是由物體的質量和重力加速度決定的，其中： m 是物體的質量， g 是重力加速度。公式為： $\text{Weight}=m \times g=0.036 \times 2.424=0.0872\text{kg}=87.2\text{g}$ ，實驗步驟如下表所述：

表 3-2 自製落錘重力試驗裝置實驗 (註:以下照片由作者拍攝)

				
(1)螺帽一顆原重量：36 克重	(2)在鐵棒 30 公分處做記號	(3)先放少許的螺帽，開始測試	(4)用 150 公分的鐵棒，可疊放更多的螺帽	(5)測試到水泥塊出現裂痕為止

(三)摩擦力實驗的設計與步驟

定義：六邊形柱體的水泥塊與紙上接觸面之間，至兩者產生相對運動前可承受的力量，即為最大摩擦力。

測量方法，步驟如表 3-3 所述：先在紙上畫上刻度(公分)，再將水泥塊放置紙上，利用彈簧秤水平拖拉水泥塊(棉繩 30 公分)，測試直到能拉動水泥塊瞬間時的移動重量(gw)及距離(cm)。



表 3-3 自製摩擦力裝置實驗(註:以下照片由作者拍攝)

棉繩 30 公分	畫上起始線，並畫上刻度公分	水泥塊放置紙上用彈簧秤水平拖拉	用尺確認水泥被移動距離

三、研究方法

其中本研究所有實驗相關照片及圖片，皆為作者們親自拍攝及手繪

實驗一~1：比較不同比例蛤蜊殼粉摻合的水泥塊承載強度

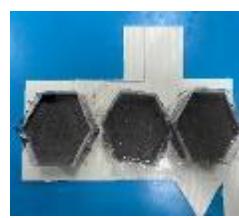
(一)推測：蛤蜊粉越多，水泥較少的實驗 5 承載力較弱，因此從實驗 5 開始測試。我們預估以 13 顆螺帽開始落錘重量(約 1134gw)開始。以實驗 5 的最大承重力的前一階段重量開始測試實驗 4，以此類推其它實驗。

(二)實驗步驟如表 1-1 所示：

- 準備大量的蛤蜊殼，放入袋中先敲碎，再用磨豆機磨細，即完成蛤蜊殼的粉狀材料，再摻合水泥和沙子攪拌後倒入自製的六邊形柱體塑膠模型中。
- 先用紙張畫出六邊形圖紙，再拿透明的塑膠片畫出大小，方便剪出邊長 5 公分、高 5 公分的六邊形柱體模型(無腳座)，之後灌入不同的比例的蛤蜊殼粉，有 0%、5%、10%、15%、20%、25%，再搭配不同比例的水泥和沙子，在模型中等待乾燥，模型高度約 2.5 公分。
- 製作不同比例的水泥塊，使用電子秤量出實際的重量：六邊形柱體積共 325 克，(以實驗 4 為例)：水泥 $325 \times 0.2 = 65$ 克；沙子： $325 \times 0.6 = 195$ 克；蛤蜊 $325 \times 0.2 = 65$ 克，水約 30 毫升。
- 拆模後開始泡澄清石灰水養護期 7 天，確保水泥塊較為穩定且起始點相同。
- 螺帽原物質重 = 36g/顆，定位落錘重量實驗，從高度 30 公分處落錘放下，速度 = 2.424 m/s，物質重 = 87.2g/顆。

表 1-1 進行不同比例蛤蜊殼粉水泥塊之模型實驗(註:以下照片由作者拍攝)

(1)準備蛤蜊殼 $3L*2cmW$	(2)放入袋中用鎚子先敲碎	(3)再用磨豆機把碎殼磨細	(4)蛤蜊殼粉狀成品裝袋	(5)準備砂子和水泥
(6)在紙上畫出邊長 5 公分的六邊立體展開圖形	(7)用透明片描繪六邊形的立體展開圖	(8)用剪刀把圖形剪出來	(9)紙膠帶不牢固，改用防水膠帶黏六邊形柱體	(10)組裝完成的六邊形柱體

				
(11)確認蛤蜊殼粉的比例重量	(12)攪拌不同比例的水泥灌入模型中	(13)標記並放置等待乾燥	(14)乾燥後脫模成品	(15)放在澄清石灰水中養護 7 天

實驗一~2：比較不同比例蛤蜊殼顆粒摻合的水泥塊承載強度

(一)推測：對照組的水泥比例越高，所以承載強度越強；實驗 5 的水泥比例越少，承載強度會越弱。

(二)實驗步驟如表 1-2 所述：

- 1.與表 1-1 實驗步驟相同，製作邊長 5 公分、高 5 公分的六邊形柱體模型(無腳座)，再灌入不同比例的蛤蜊顆粒數量，有 0 顆、4 顆、6 顆、8 顆、10 顆、12 顆，再配合不同比例的水泥和沙子，秤重放入紙碗中均勻攪拌，再倒入自製的六邊形體模型中，等待乾燥。
- 2.鐵棒長度增加至 150 公分，65 個螺帽(極限數量，每個螺帽高度為 1.4cm)，從 55 公分高處開始落下，每個實驗都各落錘 10 次，只要出現有裂痕就停止，最後再量水泥塊被撞擊後總重量的減少情形。

$$V_{0.55} = \sqrt{2} \times 9.8m/s^2 \times 0.55m = 3.28m/s \quad Weight = m \times g = 0.036 \times 3.28 = 0.118kg = 118g$$

$$65 \text{ 個螺帽} \times 118g = 7670g = 7.67kg \quad 7670g \times 10 \text{ 次(撞擊次數)} = 76,700g$$

$$65 \text{ 個螺帽} \times 1.4 \text{ 公分} = 91(cm) \quad 91cm + 55cm = 146(cm) \rightarrow \text{小於 } 150cm \text{ 鐵棒長度}$$

表 1-2 進行不同比例蛤蜊殼顆粒水泥塊之模型實驗(註:以下照片由作者拍攝)

				
(1)調配水泥+沙子+水並攪拌均勻	(2)將蛤蜊中間夾層放入水泥	(3)先放少許的水泥沙漿後，放入蛤蜊第一層	(4)接著再放入少許水泥沙漿，再放第二層蛤蜊	(5)最後剩餘的泥漿倒入盒中，完全覆蓋蛤蜊。

實驗二~1：測試不同比例蛤蜊殼粉摻合的水泥塊吸水率與釋水速度

實驗二~2：測試不同比例蛤蜊殼顆粒摻合的水泥塊吸水率與釋水速度

(一)推測：蛤蜊殼粉的比例越多，吸水率會增加，釋水速度會較慢。蛤蜊殼顆粒加水泥後，吸水率比蛤蜊殼粉少；釋水速度會比較快。

實驗測定方法：

1. 吸水時間：

定義：將成型的水泥模型泡在澄清石灰水中，浸漬養護期 7 天。

測量方法：須先將模型取出擦乾，再秤其總飽和的吸水量。

2. 吸水率：

定義：在一定時間內，材料所吸收水分之重量與材料完全乾燥時重量之比值。

測量方法：將飽和吸水量所得到的數據套入公式。

公式：飽和吸水量 - 吸水前淨重 / 淨重 * 100% = 吸水率

3. 釋水速度

定義：單位質量的吸水載體，在單位時間內所釋出的水分。

測量方法：將飽和吸水後的水泥塊再放置在保麗龍箱內，可控制溫濕度，每二小時測量重量一次，計算出每二小時釋出的水量，連續測量24小時。

釋水速度的基本公式：(以對照組為例)

$$V = \frac{W_t}{A \cdot t} \quad \text{釋水速度} = \frac{11}{0.028 \times 24} = \frac{11}{0.672} \doteq 16.37 \text{ (g/m}^2 \cdot \text{hr)}$$

(蛤蜊殼顆粒)

V：釋水速度 ($\text{g/m}^2 \cdot \text{hr}$)； W_t：某段時間內釋出的水重量 (g) 或體積 (mL)

A：試體的表面面積 (m^2)； t：時間長度 (min)

(二) 實驗步驟如表 2-1 所述：

1. 水泥塊乾燥拆模後，用奇異筆寫上實驗編號，浸泡澄清石灰水 7 天後擦乾，每二小時測量重量一次，計算出每二小時釋出的水量，連續量測 24 小時。

表 2-1 不同比例蛤蜊殼(粉/顆粒)水泥塊之吸水率和釋水速度實驗(註:以下照片由作者拍攝)

				
(1) 將塑膠模拆下，水泥塊模型拿出	(2) 拆下的塑膠模型殼	(3) 用奇異筆寫在水泥塊上，標記實驗項目	(4) 接著放入澄清石灰水，再放入水泥塊浸泡	(5) 用電子秤每一個模型，並紀錄下來

實驗三~1：比較不同比例的蛤蜊殼粉摻合的水泥塊表面摩擦力

實驗三~2：比較不同比例的蛤蜊殼顆粒摻合的水泥塊表面摩擦力

(一) 推測：蛤蜊殼粉的比例越多，水泥塊的表面的摩擦力越大；蛤蜊殼顆粒的比例越多，水泥塊的表面的摩擦力越大。

1. 最大靜摩擦力實驗：

最大靜摩擦力 (F_{fs}) 就是讓物體剛開始移動時所需的最大拉力。

計算最大靜摩擦力(以實驗 3 為例計算) $F_{fs}=0.24 \times 9.81=2.35\text{N}$

因為 1 公斤力 = 9.81(N)，所以：

計算摩擦係數 μ_s (靜摩擦係數)，我們使用摩擦力公式： $F_{fs}=\mu_s F_n$

正向力 (即物體的重量)： $F_n=0.291 \times 9.81=2.86\text{N}$

計算 μ_s (靜摩擦係數)：

$$\mu_s = \frac{F_{fs}}{F_n} = \frac{2.35}{2.86} \quad \mu_s \approx 0.82$$

靜摩擦係數 μ_s 數值越大，表示兩個物體之間的摩擦力越大。一般來說， $\mu_s=0.82$ 屬於高摩擦係數的範圍，類似於橡膠對乾燥混凝土的摩擦力。

(二) 實驗步驟如表 3-1 所述：

1. 準備棉繩固定長度 30 公分，在紙上畫上刻度(公分)，分別將不同比例的水泥塊放置紙上，利用彈簧秤水平拖拉水泥塊，測試直到能拉動水泥塊瞬間時的移動重量(gw)及距離(cm)。進行多次測試後，將結果記錄下來。

表 3-1 進行不同比例蛤蜊殼(粉/顆粒)水泥塊之摩擦力實驗(註:以下照片由作者拍攝)

			
(1)棉繩 30 公分	(2)畫上起始線，並 畫上刻度公分	(3)水泥塊放置紙上 彈簧秤水平拖拉	(4)用尺確認移動距 離

實驗四~1：比較不同坡道形狀(凸坡、凹凸交錯坡)的水流速度

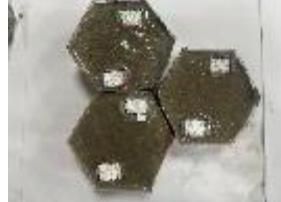
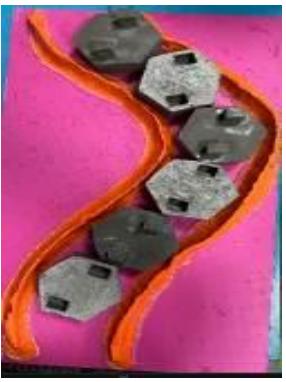
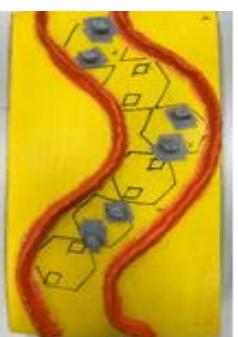
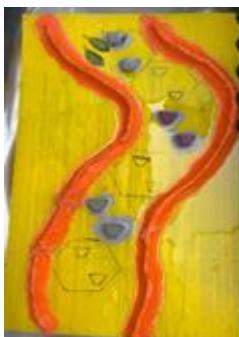
(一)推測：不同坡道形狀中的凸坡對水流速度的影響比較大，平行四邊形的斜邊是順水流方向，因此流速時間會較短且快。

(二)實驗步驟如表 4-1 所述：

- 先自製出多個不同形狀的塑膠模型，再摻合不同比例的蛤蜊殼粉/顆粒+水泥+沙子，製作水泥塊模型。
- 利用油性黏土和熱融膠製作出相同寬度、長度(100cm)的水道，將不同形狀的水泥塊放在坡道水平面上，畫上不同形狀坡道的水泥塊凹凸洞的位置，再將河道的凹凸洞位置割出來，才能把凹凸的水泥塊放在瓦楞板的下方，進行不同凸出形狀的水泥塊坡道實驗。設置起始線和終點線(固定距離和河道寬度)，在起始線上放一片榕樹葉(水漂流物品)，觀察葉子流動情形。
- 用澆水器裝滿(5 公升)的水量，在固定高度 30 公分處澆灌，需要 28 秒的時間，所以澆灌水的流速= $30/28=1.07\text{ cm/s}$ ，同時開始用碼錶計時。至少實驗 3 次以上，並將實驗結果記錄後計算平均。
- 先將洗手臺底部加水到 7.5 公分(即河道水深高度)，將河道放在洗手臺時，放置透明塑膠杯墊在下方，增加河道的高度，也能讓河道本身保留有水的情形，再用澆水器澆灌，葉子就會產生流動情形。
- 計算實驗的速率：距離/時間=速率→河道長度 $100\text{cm}/3.37\text{s}=29.7\text{cm/s}$ (平行四邊形為例)

表 4-1 進行不同坡道形狀(凸坡/凹凸交錯坡)水泥塊之水流流速實驗(註:以下照片由作者拍攝)

			
(1)模型梯形(凸)	(2)模型三角形(凸)	(3)模型長方形(凸)	(4)平形四邊形(凸)
			
拆模後梯形	拆模後三角形	拆模後長方形	拆模後平形四邊形

			
(5)模型梯形(凹)	(6)模型三角形(凹)	(7)模型長方形(凹)	(8)平行四邊形(凹)
			
拆模後梯形	拆模後三角形	拆模後長方形	拆模後平行四邊形
			
(9)用油性黏土做出彎曲的河道	(10)水泥塊模型畫下位置	(11)水泥塊模型畫下位置	(12)水泥塊模型畫下位置
			
(13)水泥塊模型畫下位置	(14)割出凸形的位置	(15)割出凸形的位置	(16)割出凸形的位置
			
(17)放上凸形河道	(18)葉子流水實驗	(19)葉子流水實驗	(20)沙子流動情形

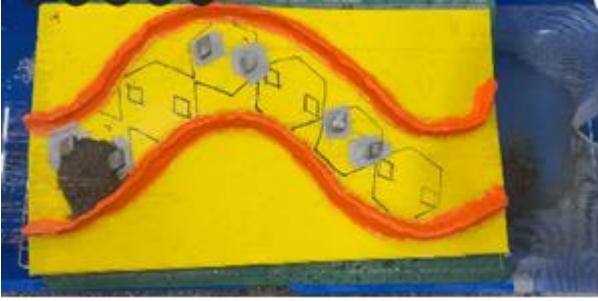
實驗四~2：比較不同坡道形狀(凸坡、凹凸交錯坡)的泥沙堆積作用

(一)推測：凸坡和凹凸交錯坡河道的平行四邊形，兩側是斜邊，所以水流速會較快，所以比較不會產生堆積情形。

(二)實驗步驟如表 4-2 所述：

- 製作相同寬度的水道和固定的坡度 15 度，將不同形狀的凸/凹凸坡道放在水盆上面，在水道上畫上起始線和終點線(固定距離和河道寬度)，在起始線上放 50 克重的沙子。
- 用澆水器裝滿 5 公升的水，從固定高度與流速 30 公分處澆灌，至少實驗 3 次以上，觀察記錄時間並拍照下來，說明堆積情形，再計算出流速。

表 4-2 進行不同坡道形狀(凸坡/凹凸交錯坡)水泥塊之堆積作用 實驗(註:以下照片由作者拍攝)

	
(1)下方有長方形水盆接水，末端有沙網接住沙子。先實驗不同形狀的凸坡道。	(2)再實驗凹凸交錯坡道的沙子堆積實驗。

實驗五~1：評估不同坡道形狀（凸坡）水生動物的棲息情形

(一)先查詢黑殼蝦(生存條件)相關資料：

平均壽命	18 個月~24 個月。(2~4 週的體長約 3.5~5 毫米，成體體長約 3 公分)
換水頻率	每週換水 20%~30%，避免水質突變，建議使用老水或除氯水。
水溫	最適溫度：18~25°C；可耐範圍：15~30°C (低於 15°C 活動減少，高於 30°C 易導致壓力。)
pH 值	最適範圍：6.5~7.5 (稍微偏酸至中性) 可耐範圍：6.0~8.0 (過酸或過鹼易影響脫殼)
棲地需求	流速：緩慢到中等流速(約 10 ± 2)cm/s，符合棲息需求。 生活層次：底層生物 底質種類：細沙、碎石、沉木、水草 (利於隱藏與方便挖掘、覓食) 避難空間：水草、金魚藻、水蘊草，提供隱蔽。食性是雜食性。 光照需求：喜歡陰暗處，強光下會減少活動
食物來源	天然食物：生物膜、藻類、枯葉、有機碎屑、小型無脊椎動物 人工飼料 (飼養環境)：藻類錠、蝦糧、水草殘渣
生態互動與威脅	○適合共存生物：小型魚類 (如孔雀魚、斑馬魚)、螺類、水草 ✗ 主要天敵：大型魚 (如鯉魚、吳郭魚)、水鳥、螃蟹、水蛇 ✗ 環境威脅：水污染 (重金屬、農藥、化學肥料)、強水流改變棲地

(二)推測：以U形的河道(固定角度 90 度)，放入不同坡道形狀 (凸坡)，可以幫助生物比較容易取得食物，能改善溝渠裡水生生物的生存條件，也可以增加陸地面積的腹地。

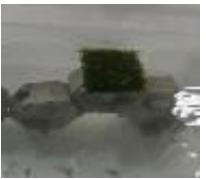
(三)實驗步驟如表 5-1 所述：

- 以U形的河道(固定斜度 90 度)，排列擺放不同坡道形狀 (凸坡) 的水泥塊疊放在水箱(水箱

大小 $55\text{cm} \times 38.5\text{cm} \times 22\text{cm}$)和水深度(22cm)，放入成蝦50隻，使用打氣機機型號：A-057-180：雙孔氣泵(2.5W，空氣最大輸出流量180L/H (3L/min))放置在水箱的左上方，較不會影響黑殼蝦棲息覓食行為和分布。

2. 在不同形狀凸坡道的最上方放莫斯水草綠地毯(面積為 $8\text{cm} \times 8\text{cm}$)的食物，每天固定早上和放學時間觀察水草上的蝦子數量情形，連續觀察3週並紀錄下來，可以得知蝦子的喜好是哪一種坡道形狀的階梯。

表 5-1 進行不同坡道形狀(凸坡)水泥塊之黑殼蝦棲息情形實驗(註:以下照片由作者拍攝)

					
(1)準備莫斯水草($8\text{cm} \times 8\text{cm}$)	(2)放入黑殼蝦	(3)打氣位置及白色置物箱裝水	(4)打氣機浦(2.5W)	(5)排列不同坡道形狀的凸坡	(6)放上水草後觀察

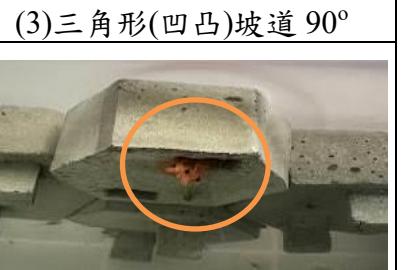
實驗五~2：評估不同坡道形狀（凹凸交錯坡）水生動物的棲息情形

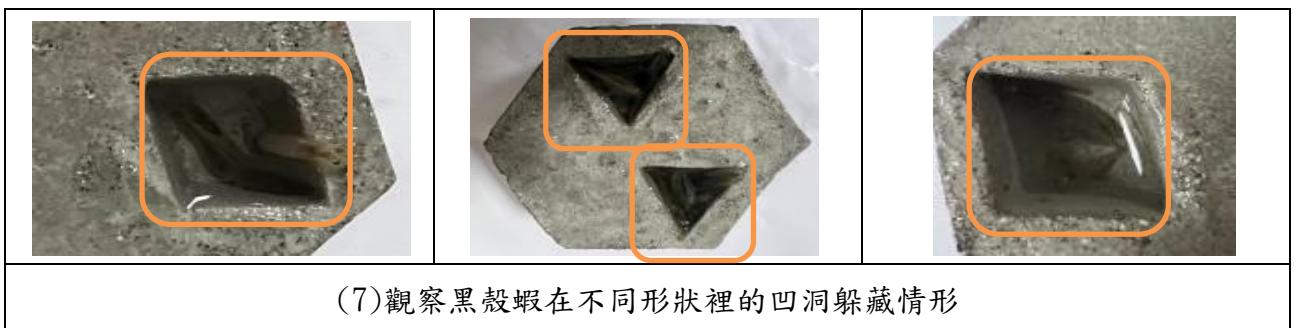
(一)推測：水生生物會比較喜歡凹凸坡形狀，可以躲避天敵和棲息環境而提高生存機會。

(二)實驗步驟如表 5-2 所述：

1. 以山的河道(固定斜度90度)，排放不同坡道形狀(凹凸交錯坡)的水泥塊疊放排列在水箱中(水箱大小： $55\text{cm} \times 38.5\text{cm} \times 22\text{cm}$)和水深度(22cm)，放入成蝦50隻，使用打氣機馬力(2.5W，空氣最大輸出流量180L/H (3L/min))放置在水箱的左上方。
2. 在不同形狀凹凸坡道的最上方放莫斯水草綠地毯(面積為 $8\text{cm} \times 8\text{cm}$)的食物，每天固定早上和放學時間觀察水草上的蝦子數量情形，連續觀察3週並紀錄下來，可以得知蝦子的喜好是哪一種坡道形狀的階梯。
3. 第二週在水盆中放入大螯蝦(天敵)，牠也會爬到最高處的凹洞處躲藏(近拍)，黑殼蝦會在凹洞裡躲藏情形更明顯。

表 5-2 不同坡道形狀(凹凸交錯坡)水泥塊之黑殼蝦棲息情形實驗(註:以下照片由作者拍攝)

		
(1) 梯形(凹凸)坡道 90°	(2)長方形(凹凸)坡道 90°	(3)三角形(凹凸)坡道 90°
		
(4)平形四邊形(凹凸)坡道 90°	(5)觀察黑殼蝦覓食水草情形	(6)放入大螯蝦，也會爬到最高處的凹洞處躲藏(近拍)



(7) 觀察黑殼蝦在不同形狀裡的凹洞躲藏情形

肆、研究結果與討論

實驗一~1：比較不同比例蛤蜊殼粉摻合的水泥塊承載強度

一、實驗說明

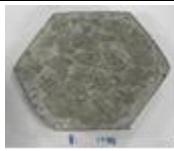
(一) 本研究最初討論以蜂巢形為水泥塊構造，因其精細結構堪稱是工程學上的奇蹟。而發想水泥塊的實驗，因六邊形的堆疊設計不僅能**最大化空間使用率**，這種結構具有高效率和高穩定性，是大自然的完美設計。

(二) 製作縮小版的水泥塊做實驗，實驗中 0% 蛤蜊殼粉泥砂漿為對照組，再以不同的蛤蜊殼粉比例取代部分水泥量為實驗組，**最後換算實際工程上的大小比例**，期待找到替代水泥溝渠的坡道，達到廢棄物再利用的綠建築概念。

二、實驗結果：

表 4-1 「不同比例蛤蜊殼粉」承載強度比較表 (以下每個水泥塊都加水約 30 毫升)單位：克

實驗面向	對照組	實驗組1	實驗組2	實驗組3	實驗組4	實驗組5
不同比例	40%水泥 +60%沙子 +0%蛤蜊	35%水泥 +60%沙子 +5%蛤蜊	30%水泥 +60%沙子 +10%蛤蜊	25%水泥 +60%沙子 +15%蛤蜊	20%水泥 +60%沙子 +20%蛤蜊	15%水泥 +60%沙子 +25%蛤蜊
水泥重量	130克	117克	100克	85克	65克	48.7克
沙子重量	195克	195克	195克	195克	195克	195克
蛤蜊粉重	0克	20克	30克	50克	65克	80克
水泥灌入模型後拍照示意圖(側面)						
水泥灌入模型後拍照示意圖(正面)						
乾燥後模型圖						
模型淨重	345	332	330	291	296	292
24小時後模型淨重	351	344	342	302	308	305
落錘累加螺帽重量	37個螺帽 =3226gw	37個螺帽 =3226gw	29個螺帽 =2529gw	23個螺帽 =2006gw	14個螺帽 =1221gw	14個螺帽 =1221gw

實驗圖示						
裂痕情形	有刻痕	有刻痕	有刻痕	有刻痕	有刻痕	有刻痕
落錘累加螺帽重量	39個螺帽 =3401gw	39個螺帽 =3401gw	31個螺帽 =2703gw	25個螺帽 =2180gw	15個螺帽 =1308gw	15個螺帽 =1308gw
實驗圖示						
裂痕情形	有裂痕	有裂痕	有刻痕	有刻痕	有刻痕	有裂痕
落錘累加螺帽重量	以下省略	以下省略	33個螺帽 =2878gw	27個螺帽 =2354gw	19個螺帽 =1657gw	以下省略
實驗圖示						
裂痕情形			有刻痕	有刻痕	有刻痕	
落錘累加螺帽重量			35個螺帽 =3052gw	29個螺帽 =2529gw	21個螺帽 =1831gw	
實驗圖示						
裂痕情形			有刻痕	有刻痕	有刻痕	
落錘累加螺帽重量			37個螺帽 =3226gw	31個螺帽 =2703gw	23個螺帽 =2006gw	
實驗圖示						
裂痕情形			有刻痕	有裂痕	有刻痕	
落錘累加螺帽重量			39個螺帽 =3401gw		25個螺帽 =2180gw	
實驗圖示						
裂痕情形			有裂痕		有裂痕	
落錘後淨重量	350	342	342	300	305	294
減少重量	-1	-2	-0	-2	-3	-11
相對減少重量%	-0.28	-0.58	-0	-0.66	-0.97	-3.6
與 0% 差值	0.00	-0.3	+0.28	-0.38	-0.69	-3.32

註：實驗順序為實驗 5→實驗 4→實驗 3→實驗 2→實驗 1→對照組(註:以上照片由作者拍攝)

實驗一~2：比較不同比例蛤蜊殼顆粒摻合的水泥塊承載強度

一、實驗說明：

- (一)自行設計市售的落錘儀器，利用較重的36克金屬螺帽疊加多顆後，提高55公分後，放下重擊實驗，比較粉狀粒出現重量及裂痕情形，若水泥塊本身重量變動越少、被撞擊多次沒有裂痕，表示耐衝擊和承載力較強。
- (二)若直接使用蛤蜊顆粒狀來替代水泥量，可以減少打碎磨粉的工程，是否也可以減少水泥的使用量，減少二氧化碳產生，也達到廢棄物再利用的綠建築概念。
- (三)找出最佳的顆粒狀的比例，也可以承載汽車和小動物的重量。

二、實驗結果：

表4-2「不同比例蛤蜊殼顆粒」承載強度比較表(以下每個水泥塊都加水約30毫升)單位：克

實驗面項	對照組	實驗組1	實驗組2	實驗組3	實驗組4	實驗組5
不同比例	40%水泥 +60%沙子 +0%蛤蜊	35%水泥 +60%沙子 +5%蛤蜊	30%水泥 +60%沙子 +10%蛤蜊	25%水泥 +60%沙子 +15%蛤蜊	20%水泥 沙子 +20%蛤蜊	15%水泥 +60%沙子 +25%蛤蜊
水泥重量	240克	210克	180克	150克	120克	90克
沙子重量	360克	360克	360克	360克	360克	360克
蛤蜊顆重	0	20克	30克	50克	65克	80克
蛤蜊數量	0顆	4顆	6顆	8顆 (兩層)	10顆 (兩層)	12顆 (兩層)
蛤蜊位置圖						
水泥灌入模型後拍照片示意圖 (側面)						
乾燥後模型圖						
模型淨重	586	599	569	573	587	518
24小時後模型淨重	593	611	575	577	600	527
落錘累加螺帽重量	65個螺帽 × 10次 =76,700	65個螺帽 ×10次 =76,700	65個螺帽 ×10次 =76,700	65個螺帽 ×10次 =76,700	65個螺帽 ×10次 =76,700	65個螺帽 ×2次 =15,340
實驗圖示						
落錘次數 裂痕情形	第10次 有刻痕	第10次 有刻痕	第10次 有刻痕	第10次 有刻痕	第10次 有裂痕	第2次 有裂痕
落錘後	591	606	569	569	590	519

淨重量						
減少重量	-2	-5	-6	-8	-10	-8
相對減少 重量%	-0.33	-0.82	-1.04	-1.39	-1.67	-1.52
與 0% 差 值	0.00	-0.49	-0.71	-1.06	-1.34	-1.19

(註:以上照片由作者拍攝)

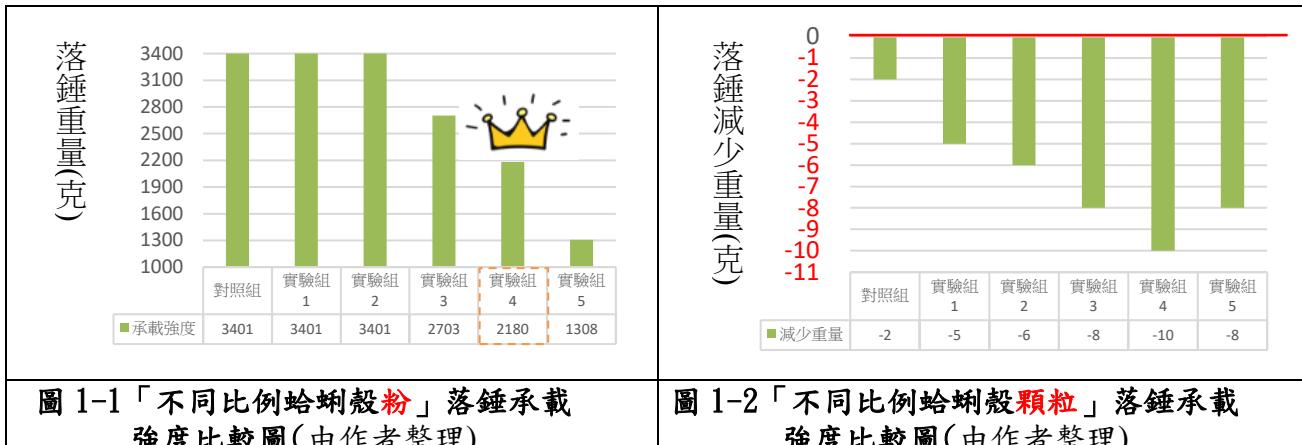


圖 1-1 「不同比例蛤蜊殼粉」落錘承載
強度比較圖(由作者整理)

圖 1-2 「不同比例蛤蜊殼顆粒」落錘承載
強度比較圖(由作者整理)

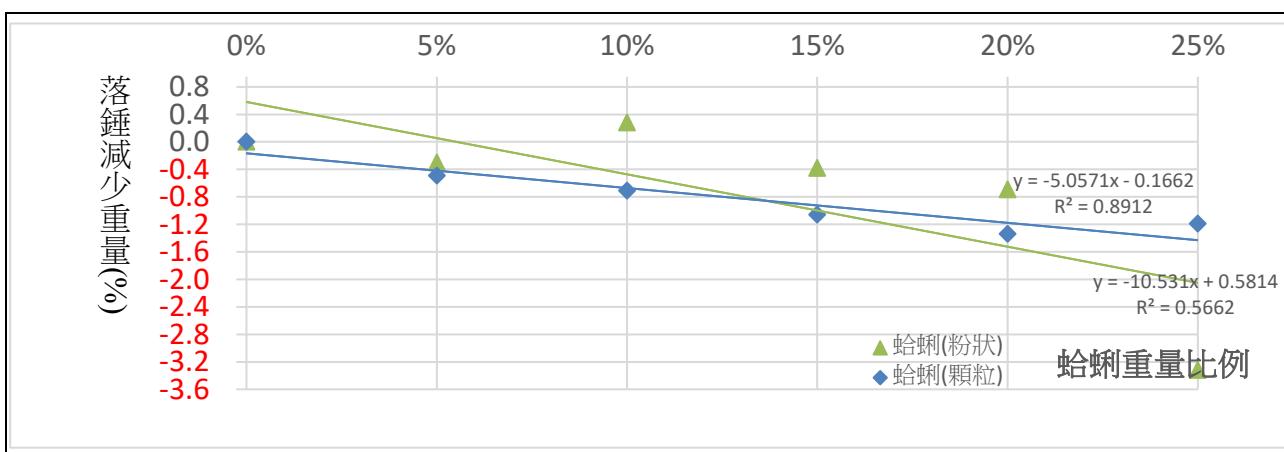


圖 1-3 「不同比例蛤蜊殼粉/顆粒」落錘承載強度趨勢圖(由作者整理)

三、實驗討論：

(一)蛤蜊殼粉落錘承載實驗：

- 驗證結果與我們當初推測相同，當蛤蜊殼粉的比例越多，承載力會逐漸減弱。
- 六邊形柱體上底面積為 65 平方公分，厚度是 2.5 公分，總體積是 162.5 立方公分，實驗 4 能承重約 2.18kg，若製作成一般家庭用的磁磚大小，例如：(30*30cm)/片， $900\text{cm}^2/65\text{cm}^2=13.8$ 倍，實驗 4 的承載力可達到 2.18×13.8 倍，約 30kg/片。再以蜂巢式結構疊加坡道溝渠，足以承重汽車和小動物等重量。

(二)蛤蜊殼顆粒落錘承載實驗：

- 實驗 4 落錘第 10 次有裂痕，比實驗 5 落錘第 2 次就有裂痕表現得好。因此，蛤蜊顆粒越多，被落錘重擊後，出現粉狀粒的水泥較多，減少重量也較多，表示承載力較微弱。
- 蛤蜊殼顆粒(8 顆)15% 的比例之水泥塊被撞擊 10 次後都沒有裂痕，表示足以承載 76.7kg 的力，也能滿足我們的實驗目的。

四、小結：

- (一)蛤蜊殼粉會隨著粉狀比例的增加，承載力急速下降(斜率較陡)，因此粉狀比例不宜過多。
- (二)以實驗3(蛤蜊粉15%)和實驗4(蛤蜊粉20%)的比例來調配製作不同形狀坡道模型都足以承重汽車的重量，因此我們決定使用(蛤蜊粉20%)進行「不同形狀的水泥塊模型」的河川溝渠實驗。
- (三)蛤蜊殼顆粒減少承載重量表現較穩定的趨勢線，且顆粒和粉狀在15%比例時有交點，可供後續設計與工程參數設定。

實驗二~1：測試不同比例蛤蜊殼粉摻合的水泥塊吸水率與釋水速度

一、實驗說明：

- (一)專家：「水泥化水圳會減少挹注地下水，地下水量會日漸缺乏。當農地遇上旱季、圳水不足時，農民將難以透過地下水補充灌溉用水。」因此我們想蛤蜊粉取代水泥後，是否能改善此問題。
- (二)比較不同比例的蛤蜊殼粉實驗中，水泥塊吸水和釋水情形可以增加挹注地下水，對農民有助益，是否也會影響其後續使用上的耐久性問題？

二、實驗結果：

表4-3 吸水率和釋水速度比較表

(以下每個水泥塊都加水約30毫升)單位：克

實驗面向	對照組	實驗組1	實驗組2	實驗組3	實驗組4	實驗組5
不同比例	40%水泥 +60%沙子 +0%蛤蜊	35%水泥 +60%沙子 +5%蛤蜊	30%水泥 +60%沙子 +10%蛤蜊	25%水泥 +60%沙子 +15%蛤蜊	20%水泥 +60%沙子 +20%蛤蜊	15%水泥 +60%沙子 +25%蛤蜊
模型圖						
吸水前淨重	345	332	330	291	296	292
飽和吸水重	360	354	352	313	318	314
吸水率%	4.3	6.6	6.6	7.5	7.4	7.5
釋水重量 1小時後	360	350	352	312	316	314
2小時後	359	352	350	312	316	314
4小時後	359	351	346	309	315	311
6小時後	358	350	346	309	315	311
8小時後	358	349	346	308	314	310
10小時後	357	348	345	308	313	310
12小時後	357	347	345	307	312	309
14小時後	355	347	345	307	312	308
16小時後	355	346	344	306	311	307
18小時後	353	346	344	306	311	307
20小時後	351	345	344	305	310	306
22小時後	351	344	343	304	309	306
24小時後	351	344	342	302	308	305
釋水量	-9	-10	-10	-11	-10	-9
釋水速度g/m ²	-18.29	-20.33	-20.33	-22.36	-20.33	-18.29

(註：以上照片由作者拍攝)

實驗二~2：測試不同比例蛤蜊殼顆粒摻合的水泥塊吸水率與釋水速度

一、實驗說明：

(一)比較不同比例的蛤蜊顆粒實驗中，水泥塊吸水和釋水情形可以增加挹注地下水，對農民有助益，是否也會影響其後續使用上的耐久性問題？

二、實驗結果：

表 4-4 吸水率和釋水速度比較表

(以下每個水泥塊都加水約 30 毫升)單位：克

實驗面向	對照組	實驗組 1	實驗組 2	實驗組 3	實驗組 4	實驗組 5
不同比例	40%水泥 +60%沙子 +0%蛤蜊	35%水泥 +60%沙子 +5%蛤蜊	30%水泥 +60%沙子 +10%蛤蜊	25%水泥 +60%沙子 +15%蛤蜊	20%水泥 +60%沙子 +20%蛤蜊	15%水泥 +60%沙子 +25%蛤蜊
模型圖						
吸水前淨重	586	599	569	573	587	518
飽和吸水重	604	623	586	589	616	543
吸水率%	3.1%	4%	2.9%	2.7%	4.9%	4.8%
釋水重量 1小時後	603	622	586	588	615	542
2小時後	603	622	585	587	614	542
3小時後	602	621	584	587	614	542
4小時後	602	620	584	587	613	541
6小時後	600	620	583	586	611	540
7小時後	599	618	582	586	610	539
8小時後	598	618	582	585	609	538
10小時後	598	617	580	584	608	537
12小時後	597	616	580	583	606	536
14小時後	596	615	578	582	605	535
18小時後	595	613	577	580	604	533
20小時後	594	610	576	577	602	530
22小時後	593	611	575	577	600	527
24小時後	593	611	575	577	600	527
釋水量	-11	-12	-11	-12	-16	-16
釋水速度g/m ²	-16.37	-17.86	-16.37	-17.86	-23.81	-23.81

(註：以上照片由作者拍攝)

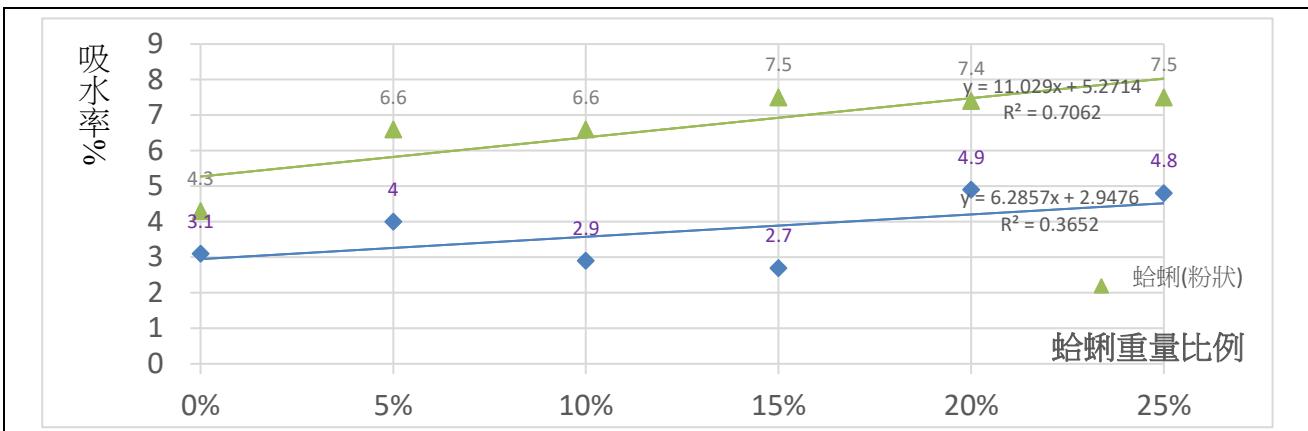


圖 2-1「不同比例蛤蜊殼粉/顆粒」吸水率趨勢圖(由作者整理)

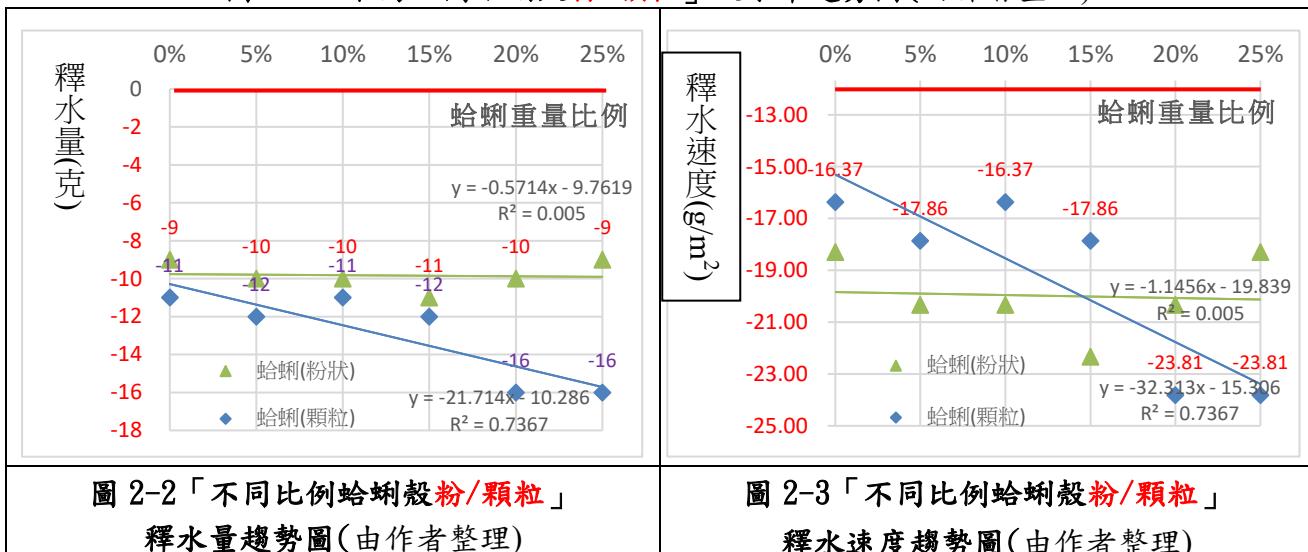


圖 2-2「不同比例蛤蜊殼粉/顆粒」
釋水量趨勢圖(由作者整理)

圖 2-3「不同比例蛤蜊殼粉/顆粒」
釋水速度趨勢圖(由作者整理)

三、實驗討論：

(一)吸水率部份：

- 蛤蜊粉量 15% 比例後，吸水量也會隨之增加，蛤蜊殼粉可增加補充地下水，但是一定會影響水泥塊的耐久性。(吸水率從約 5% 提升到接近 8%)。
- 蛤蜊顆粒狀也有吸水率上升趨勢，但數據較不穩定，吸水率小於蛤蜊殼粉。因此，蛤蜊顆粒狀會降低吸水率，高耐久性。(吸水率從約 3% 提升到接近 5%)。

(二)釋水量而言：

- 蛤蜊粉狀可以穩定水分，對照組和實驗組釋水量大致相同。
- 蛤蜊顆粒數量越多(即水泥少)，釋水量明顯下降(斜率陡)，因此顆粒越多釋水越快，不利保水。
- 經查文獻後發現適合農民生態型溝渠(兼顧水生生物棲息)的吸水率建議值如下：吸水率從約 6%~10%，表面微孔保濕，有助生態生存，但結構強度需注意。

四、小結：

- 吸水率：蛤蜊殼粉 > 蛤蜊殼顆粒，釋水速度穩定，控制性高，適合長期穩定供水，可兼顧透水與保水需求，對農作灌溉較有利。
- 釋水量：蛤蜊殼顆粒 > 蛤蜊殼粉，顆粒狀釋水速度較快，可快速排水的短期應用場景。

實驗三~1：比較不同比例的蛤蜊殼粉摻合的水泥塊表面摩擦力

一、實驗說明：

(一)此實驗的發想是若蛤蜊殼粉摻合料對水泥塊表面會增加表面摩擦力，可以對水中生物有助益，因此定義摩擦力實驗：以瞬間移動的距離越短、以最少的彈簧秤的重量來比較摩擦力大小。

(二)水泥塊中的蛤蜊殼粉比例增加，彈簧秤重量會減少，瞬間移動距離也會逐漸減少。因此利用靜摩擦係數來計算，再做比較。

二、實驗結果：

表 4-5 「蛤蜊殼粉」之表面摩擦力比較表 (以下每個水泥塊都加水約 30 毫升)單位：克

實驗面向	對照組	實驗組1	實驗組2	實驗組3	實驗組4	實驗組5
不同比例	40%水泥 +60%沙子	35%水泥 +60%沙子 +5%蛤蜊	30%水泥 +60%沙子 +10%蛤蜊	25%水泥 +60%沙子 +15%蛤蜊	20%水泥 +60%沙子 +20%蛤蜊	15%水泥 +60%沙子 +25%蛤蜊
水泥重量	130	117	100	85	65	48.7
沙子重量	195	195	195	195	195	195
蛤蜊重量	0	20	30	50	65	80
模型淨重	345	332	330	291	296	292
拉動彈簧秤重	270	260	240	230	210	220
不移動距離(cm)	0	0	0	0	0	0
起始拉力重	280	270	250	240	230	230
最大靜摩擦力 (F_{fs})	2.75	2.65	2.45	2.35	2.26	2.26
正向力(F_n)	3.38	3.26	3.24	2.85	2.90	2.86
靜摩擦係數 (μ_s)	0.81	0.81	0.76	0.82	0.78	0.79
瞬間移動距離 (cm)	2.8	0.7	1	0.4	0.6	0.8
拉動彈簧秤重	290	280	260	250	240	240
第二次移動距離 (cm)	3	1.1	1.4	0.8	1	1.2

實驗三~2：比較不同比例的蛤蜊殼顆粒摻合的水泥塊表面摩擦力

一、實驗說明：

(一)將不同比例的蛤蜊殼顆粒的水泥塊放在紙上進行拉動彈簧秤重，觀察並記錄拉動彈簧秤的重量和瞬間移動的距離。記錄如下表 4-6。

(二)資料文獻查詢：水泥本身的表面比較粗糙，大約在 $\mu_s \approx 0.82$ ，表示這個物體與表面為高摩擦係數，在工程設計上，可增加摩擦力(提升水生生物的地面抓地力)。

表 4-6 「蛤蜊殼顆粒」之表面摩擦力比較表 (以下每個水泥塊都加水約 30 毫升)單位：克

實驗面向	對照組	實驗組1	實驗組2	實驗組3	實驗組4	實驗組5
不同比例	40%水泥 +60%沙子	35%水泥 +60%沙子 +5%蛤蜊	30%水泥 +60%沙子 +10%蛤蜊	25%水泥 +60%沙子 +15%蛤蜊	20%水泥 +60%沙子 +20%蛤蜊	15%水泥 +60%沙子 +25%蛤蜊

水泥重量	240	210	180	150	120	90
沙子重量	360	360	360	360	360	360
蛤蜊重量	0	20	30	50	65	80
蛤蜊數量	0	4顆	6顆	8顆	10顆	12顆
模型淨重	593	611	575	577	598	527
拉動彈簧秤重	330	340	310	320	250	330
不移動距離(cm)	0	0	0	0	0	0
起始拉力重	340	350	320	330	260	340
最大靜摩擦力(F_{fs})	3.34	3.43	3.14	3.24	2.55	3.34
正向力(F_n)	5.75	5.88	5.58	5.62	5.08	5.76
靜摩擦係數(μ_s)	0.58	0.58	0.56	0.58	0.50	0.58
瞬間移動距離(cm)	2	2.5	1.9	1.5	1.8	2
拉動彈簧秤重	350	360	330	340	270	350
第二次移動距離(cm)	2.5	3	2.5	2	1.9	2.5

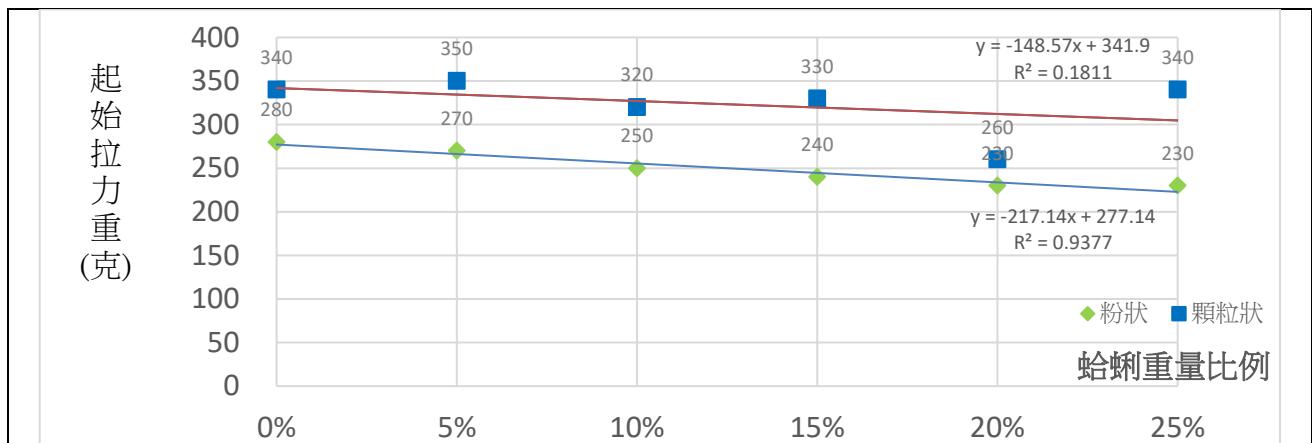


圖 3-1「不同比例蛤蜊殼粉/顆粒」起始拉力重趨勢圖(由作者整理)

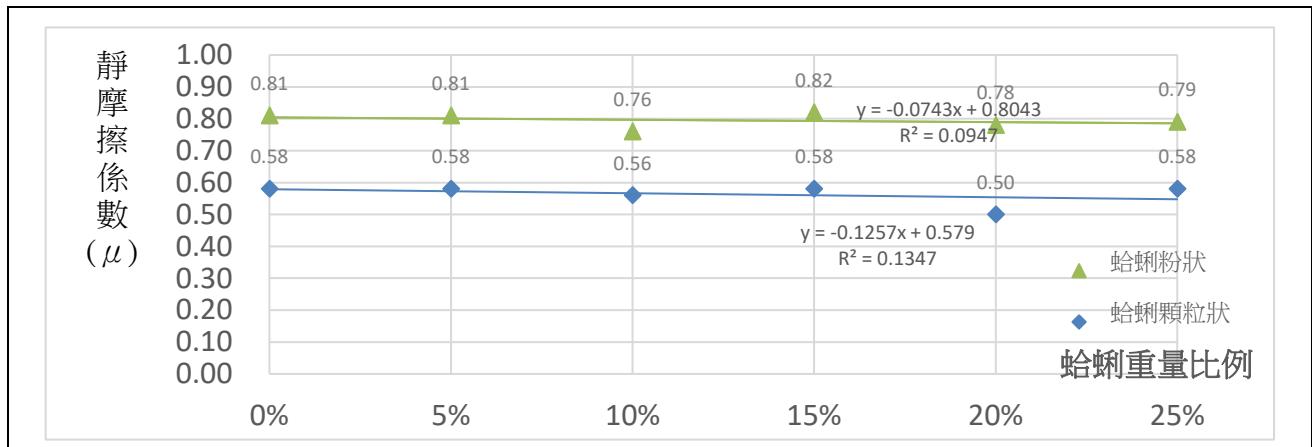


圖 3-2「不同比例蛤蜊殼粉/顆粒」靜摩擦力係數趨勢圖(由作者整理)

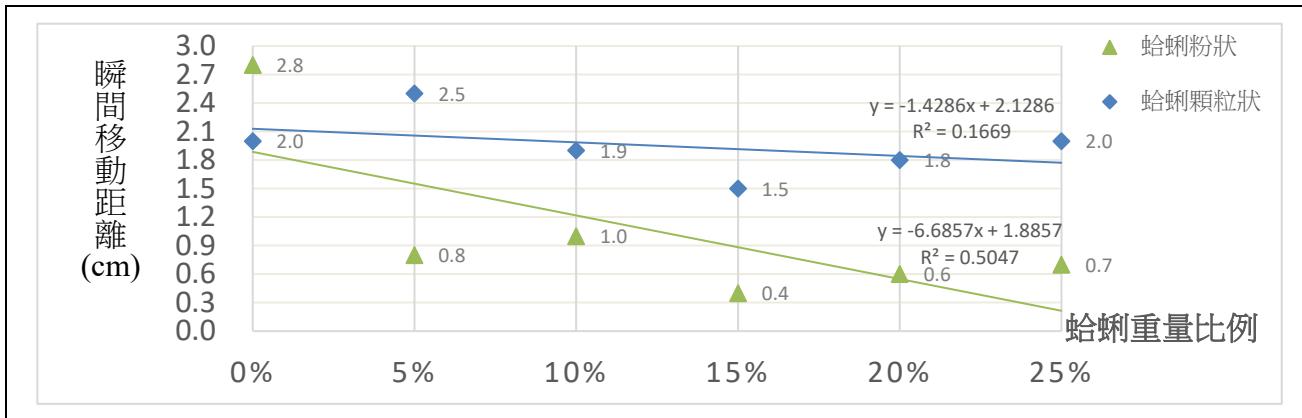


圖 3-3 「不同比例蛤蜊殼粉/顆粒」瞬間移動距離趨勢圖(由作者整理)

三、實驗討論：

(一) 起始拉力重

1. 蛤蜊殼粉和顆粒比例逐漸增加，彈簧秤重量微幅下降，表示增加蛤蜊殼粉或顆粒，反而減輕水泥塊重量的效果。

2. 蛤蜊殼粉的趨勢線較穩定，實驗 3~5 蛤蜊殼粉的比例越多，起始拉力重量相對較少。

(二) 靜摩擦係數

1. 蛤蜊殼粉的靜摩擦係數 > 蛤蜊顆粒靜摩擦係數，靜摩擦係數隨著蛤蜊殼粉或顆粒的比例增加，呈現微幅下降。

2. 蛤蜊殼粉的靜摩擦力實驗組之間約在 $\mu s \approx 0.81$ ，大致相同；蛤蜊殼顆粒的靜摩擦力實驗組約在 $\mu s \approx 0.58$ ，大致相同。因此，粉狀 $\mu s \approx 0.81 >$ 顆粒狀 $\mu s \approx 0.58$ ，蛤蜊殼粉的摩擦力較大。

(三) 瞬間移動距離

1. 瞬間移動的距離越短，表示摩擦力越大。從大到小排序：實驗 3 > 實驗 4 > 實驗 5，所以蛤蜊殼粉或顆粒的比例越多，摩擦力會逐漸減少。

2. 蛤蜊殼粉的斜率較陡，表示粉的比例越多，瞬間移動的距離越小且明顯。

(四)如果蛤蜊殼粉粒徑再細一點，20%比例蛤蜊殼粉摻配下，可以減少摩擦力。因此，我們以顯微鏡觀測法，隨機選取 50 顆粉粒長邊粒徑，最小與最大顆粒徑介於 3.1~54.3 μm，其平均粒徑及偏差值為 0.028 ± 0.016 毫米(如圖 3-4)，有利於水中生物攀附。若可以利用較大的機器統一製作磨得更碎一點，可減少摩擦力。

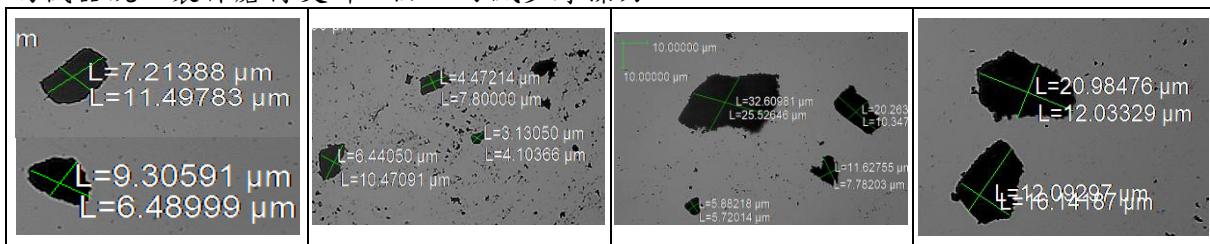


圖 3-4 蛤蜊殼粉粒徑圖(供參考) (註:以上照片由作者拍攝)

四、小結：

(一)彈簧起始拉力的重量：蛤蜊殼顆粒 > 蛤蜊殼粉，所以蛤蜊殼顆粒需要較大的拉力。

(二)蛤蜊殼粉 $\mu s \approx 0.81 >$ 蛤蜊殼顆粒 $\mu s \approx 0.58$ ，蛤蜊殼粉有較高的摩擦力。正符合我們實驗前的推測，有利於後續的實驗設計。

(三)蛤蜊殼粉的比例增加會減少瞬間移動距離，提升表面摩擦力，所以，蛤蜊殼粉的摩擦力 > 蛤蜊殼顆粒的摩擦力，可以協助小動物順利攀爬自救，減少滑動現象。

實驗四~1：比較不同坡道形狀(凸坡、凹凸交錯坡)的水流速度

一、實驗說明：

- (一)河道中常有一些樹枝或樹葉等雜物，因此想了解河道坡堤加上不同形狀的凸坡或凹凸交錯坡道後，是否會影響雜易堵塞及流速、堆積作用的情形發生？
- (二)水流平穩有利於沉積與生態穩定，因此想驗證是哪一種形狀的坡道搭配凸坡或凹凸交錯坡，更利於水生動植物棲息。
- (三)上網查詢文獻後，發現在自然或模擬生態渠道中， $10\pm2 \text{ cm/s}$ 的水流流速通常能兼顧黑殼蝦活動、生殖與覓食需求。

二、實驗結果：

表 4-7 「不同坡道形狀凸坡」之葉子水流流速比較表

單位：秒

實驗面向	對照組	實驗組1	實驗組2	實驗組3	實驗組4
不同形狀	無	梯形	三角形	長方形	平行四邊形
實驗模型圖示					
流動時間 第一次	1.32	9.12	8.21	13.80	3.50
流動時間 第二次	1.30	9.78	7.63	14.08	2.95
流動時間 第三次	1.25	10.25	7.25	13.95	3.65
平均時間	1.29	9.72	7.70	13.94	3.37
流速cm/s	77.5	10.3	13	7.2	29.7
名次	1	4	3	5	2

(註：以上照片由作者拍攝)

表 4-8 「不同坡道形狀凹凸交錯坡」之葉子水流流速比較表

單位：秒

實驗面向	對照組	實驗組1	實驗組2	實驗組3	實驗組4
不同形狀	無	梯形	三角形	長方形	平行四邊形
實驗模型圖示					
流動時間 第一次	1.32	12.12	8.45	16.48	6.26

流動時間 第二次	1.30	11.60	9.13	15.08	6.81
流動時間 第三次	1.25	12.35	8.55	15.95	6.65
平均時間	1.29	12.02	8.71	15.84	6.57
流速cm/s	77.5	8.3	11.5	6.3	15.2
名次	1	4	3	5	2

(註:以上照片由作者拍攝)

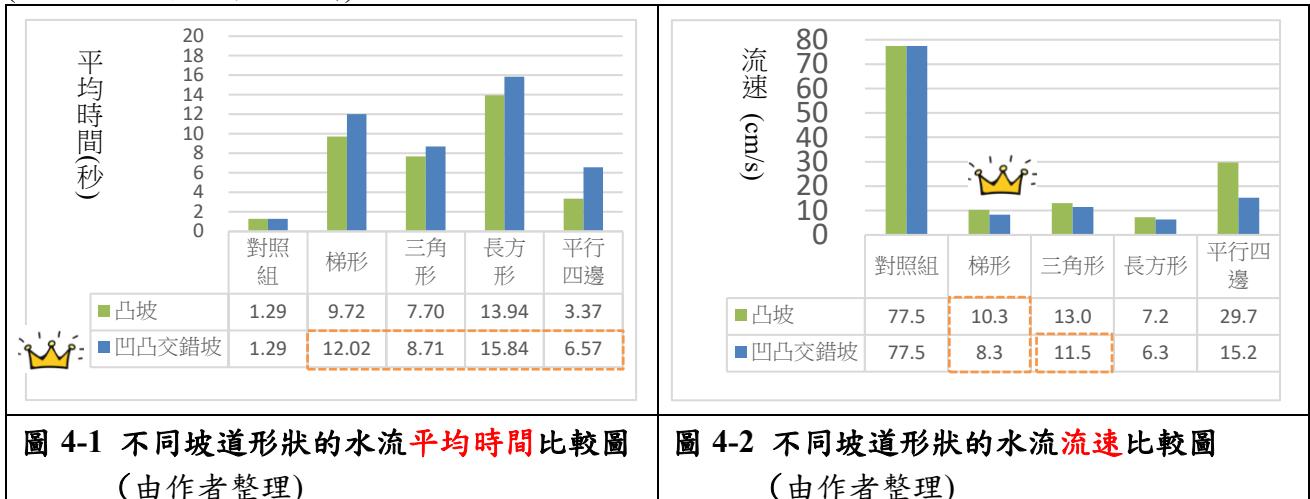


圖 4-1 不同坡道形狀的水流平均時間比較圖
(由作者整理)

圖 4-2 不同坡道形狀的水流流速比較圖
(由作者整理)

三、實驗討論：

(一)葉子水流流速

- 為了讓葉子流動情形較順利，因此在水槽中實驗，將河道的水位加高，放上平行四邊形的凸坡河道時(左右兩側是斜邊)，葉子流動時間最短；而放上長方形的凸坡河道時(四個角)，葉子流動時間最長。
- 當實驗凹凸交錯坡道時，葉子經過凹洞處會在原地迴旋繞圈幾秒後才往後流動，因此流經凹凸交錯坡河道的時間長一點，所以凹凸坡流速較緩慢些。
- 凸坡道和凹凸交錯坡道的流速比較排列都相同，由最快到最慢排列：對照組>平行四邊形>三角形>梯形>長方形。

四、小結：

(一)建議採用(凸坡+梯形)、(凹凸交錯坡+梯形或三角形)的坡堤河道組合較佳，流速符合黑殼蝦的棲息環境，具有結構穩定與生態效益。

實驗四~2：比較不同坡道形狀(凸坡、凹凸交錯坡)的泥沙堆積作用

表 4-9 「不同坡道形狀凸坡」之沙子堆積比較表(註:以下照片由作者拍攝) 單位：cm/s

實驗面向	對照組	實驗組1	實驗組2	實驗組3	實驗組4
不同的形狀	無	梯形	三角形	長方形	平行四邊形
準備期					

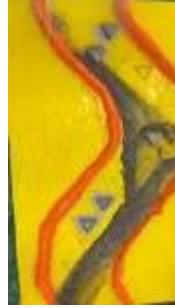
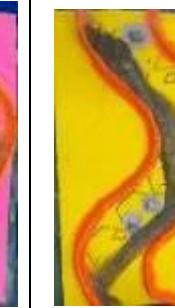
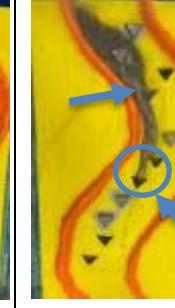
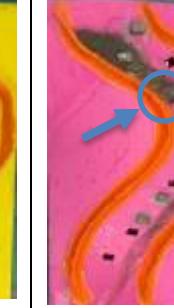
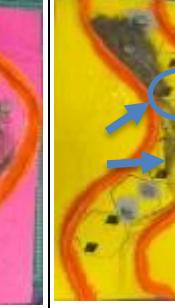
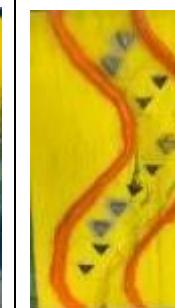
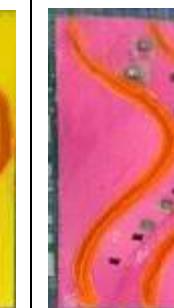
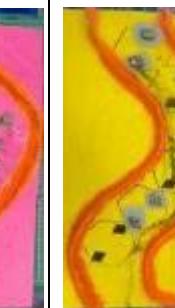
沖刷與堆積情形 (過程圖示)					
沖刷與堆積情形 (結果圖示)					
情況說明	流水30秒 保留約16克	流水30秒 保留約5克	流水9秒 保留約3克	流水16秒 乾淨	流水14秒 保留約1克
流速cm/s	3.3	3.3	11.1	3.8	7.1

表 4-10 「不同坡道形狀凹凸交錯坡」之沙子堆積比較表(註:以下照片由作者拍攝)單位:cm/s

實驗面向	對照組	實驗組1	實驗組2	實驗組3	實驗組4
不同的形狀	無	梯形	三角形	長方形	平行四邊形
準備期					
沖刷與堆積情形 (過程圖示)					
情況說明	在凹處堆積	下方的凹洞中流失沙子	凹洞處會流失沙子	凹洞處沙子就會流走	凹洞處會流失沙子
沖刷與堆積情形 (結果圖示)					

說明	流水30秒仍保留約16克	流水10秒後沙子很乾淨	流水7秒後沙子很乾淨	流水12秒後沙子很乾淨	流水8秒後沙子很乾淨
流速cm/s	3.3	10	14.3	8.3	12.5

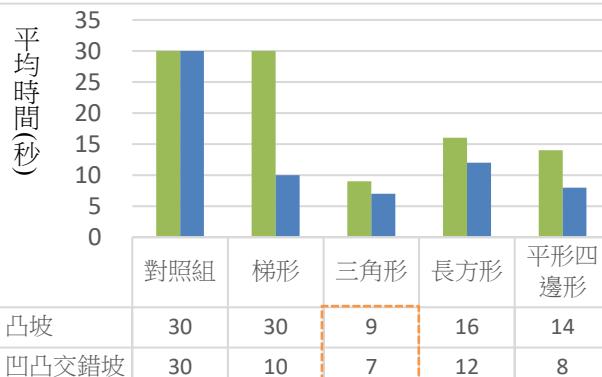


圖 4-3 不同坡道形狀的流水時間比較圖
(由作者整理)

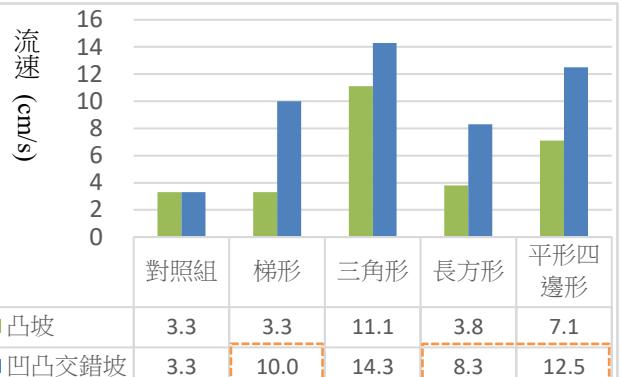


圖 4-4 不同坡道形狀的堆積流速比較圖
(由作者整理)

三、實驗討論：

(二)泥沙堆積作用：

1. 凸坡的河道堆積實驗中，表現最好的是一**三角形**的河道，能在 9 秒內將沙子沖刷得很乾淨；其次是平行四邊形和長方形的沙子流動時間稍微長一點，但沖刷得也很乾淨。
2. 在實驗組 1-5 中的凹凸交錯坡河道上，都能以較短時間將堆積的沙子往下沖刷流走，經流速計算後，大部份都適合黑殼蝦的生存流速度。

四、小結：

1. **凹凸交錯坡**的流速 > **凸坡**的流速，凹凸交錯坡能將沙子沖刷得很乾淨，所以**凸坡**流速容易產生堆積作用。
2. **凹凸交錯坡+梯形**、**凹凸交錯坡+長方形**、**凹凸交錯坡+平行四邊形**的組合**設計**，都適合生態流動速度和適當的堆積，有利於水中生物的生存環境。

實驗五~1：評估不同坡道形狀（凸坡）水生動物的棲息情形

一、實驗說明：

- (一) 實驗初想用兩棲類生物—青蛙，但是本脊椎動物及友善生態著想，使用黑殼蝦替代之。
- (二) 分別將不同形狀的坡堤排列在水箱中，在坡堤的最上方放上水草，觀察黑殼蝦會偏好哪一種形狀攀爬上去覓食。

二、實驗結果：

表 5-1 不同坡道形狀(凸坡)之生物棲息數量比較表

單位：隻

實驗面向	對照組	實驗組1	實驗組2	實驗組3	實驗組4
不同坡道形狀	平面	梯形	三角形	長方形	平行四邊形
排列方式 (圖示)					
第一週	8	13	8	5	14
第二週	7	12	11	7	20
第三週	10	15	20	11	23
總平均	8	13	13	7	19

(註:以上照片由作者拍攝)

實驗五~2：評估不同坡道形狀（凹凸交錯坡）水生動物的棲息情形

一、實驗說明：

(一)由於溝渠中常有外來入侵種生物，原生種生物無法躲避威脅，生存環境被剝奪，造成無法繁衍下一代，因此想評估有凹凸的設計，對水中生物能有多少幫助。

二、實驗結果：

表 5-2 不同坡道形狀(凹凸交錯坡)之生物棲息數量比較表

單位：隻

時間	實驗面向	對照組	實驗組1	實驗組2	實驗組3	實驗組4
第一週	不同坡道形狀	(平面)	梯形	三角形	長方形	平形四邊形
	水草上	8	13	9	13	12
	凹洞裡	0	8	15	10	19
	凸階上、石階上	13	11	22	18	19
第二週	水箱底部	29	18	4	9	0
	水草上	7	12	9	13	16
	凹洞裡	0	10	18	12	19
	凸階上、石階上	16	17	23	20	15
第三週	水箱底部	27	11	0	5	0
	水草上	10	11	11	16	17
	凹洞裡	0	12	22	13	19
	凸階上、石階上	17	23	17	19	14
平均	水箱底部	23	4	0	2	0
	水草上	8	12	10	14	15
	凹洞裡	0	10	18	12	19
	凸階上、石階上	15	17	21	19	16
	水箱底部	27	11	1	5	0

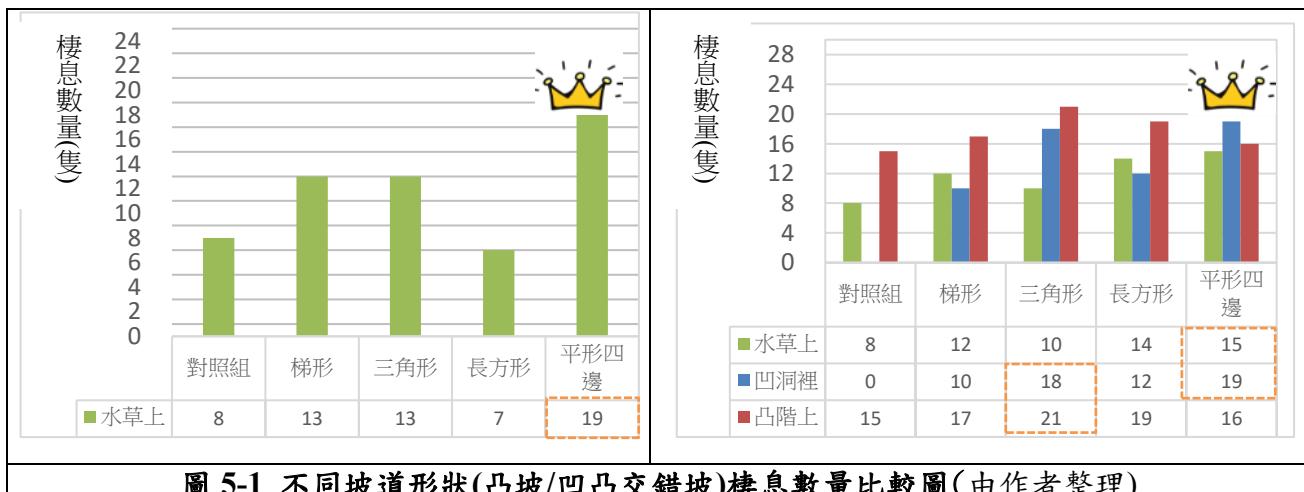


圖 5-1 不同坡道形狀(凸坡/凹凸交錯坡)棲息數量比較圖(由作者整理)

三、實驗討論：

(一)不同坡道形狀之凸坡實驗

- 黑殼蝦在凸坡道的平行四邊形水草上數量最多，其次是梯形及三角形。
- 長方形與對照組棲息數量偏低，形狀較不利於生物棲息，對照組可能與缺乏遮蔽有關。

(二)不同坡道形狀之凹凸交錯坡實驗：

- 第一次購買後放置於水箱後，尚未買打氣機，因此在無打氣狀態時，黑殼蝦的死亡率極高，於是再購買第二次補上實驗數量。

2. 黑殼蝦比較喜歡**三角形+凹凸交錯坡道與平行四邊形+凹凸交錯坡道**，棲息總數最高，在凹洞裡的數量也較多，適合生物棲息空間。

3. 黑殼蝦也喜歡附著、攀爬在凸階上，但效果會隨著形狀的設計變化而數量有點不同。

四、小結：

(一)配合先前「水流速度減緩」、「堆積效果提升」的設計結果，可得知**平行四邊形**兼具「水利功能」與「生態棲地」的永續溝渠的坡道。

(二)友善的生態工法：**凹凸交錯坡**搭配**三角形或平行四邊形**的河道坡道的設計，總數量最多，是兼具易製作又實用的河道坡堤。

伍、結論

一、透過實驗我們獲得以下幾點結論：

(一)以(水泥 20%+沙子 60%+蛤蜊粉 20%)比例製作水泥塊，提高了溝渠與生物共生的可能性，適合製成**U形**河道坡堤。

(二)蛤蜊殼粉摻合料對水泥塊的**承載強度**，達到**2噸以上**，因此當人或小動物不甚失足時，可以踩踏在不同的形狀的坡道上也不會有崩裂、垮下的現象。

(三)蛤蜊殼粉替代水泥比例越高，吸水率越高；**吸水率**：蛤蜊殼**粉**>蛤蜊殼**顆粒**。
蛤蜊殼顆粒數量越多，釋水量越多；**釋水量**：蛤蜊殼**顆粒**>蛤蜊殼**粉**。

(四)蛤蜊殼粉的靜摩擦係數 $\mu s \approx 0.81$ >蛤蜊殼顆粒的靜摩擦係數 $\mu s \approx 0.58$ ，蛤蜊殼粉的平均粒徑及偏差值為 0.028 ± 0.016 毫米，因此蛤蜊殼粉的摩擦力較大，有利於水中生物攀附。

(五)葉子經過凹洞的河道坡道時，會在原地旋轉繞圈，因此**凹凸交錯坡**>**凸坡**的河道流速，所以凹凸坡河道流速較緩慢。在「**梯形或三角形+凹凸交錯坡**」的河道坡堤組合，最為穩定與平衡生態效益。

(六)「**梯形或長方形或平行四邊形+凹凸交錯坡**」的河道坡堤組合設計，適合黑殼蝦生態流動速度及沙子適量的堆積作用。

(七)黑殼蝦比較喜歡「**三角形或平行四邊形+凹凸交錯**」坡道，棲息在水泥塊上的總數量最高，在凹洞裡的數量也很多，是舒適的棲息空間。

(八)河道坡堤實驗中可得知「**平行四邊形**」+凸坡或凹凸交錯坡的河道坡堤組合，不論是流速、堆積作用、配合 90 度**U形**溝渠棲息情形，都很適合黑殼蝦或水中生物的生存條件，也提高人類居住陸地面積。

陸、未來展望

一、「蛤蜊殼粉+顆粒」同時摻合料水泥塊大發現

在實驗中是以各別蛤蜊殼粉和蛤蜊殼顆粒摻合料下製作水泥塊，推測若改良成混合兩種成分的水泥塊，在承載重力、吸水率、釋水速度、摩擦力等數值是否會更接近水中生物的生活需求，會不會對地球環境更有幫助呢？

二、「粒徑大小」大發現

實驗中蛤蜊殼粉是用磨豆機打成粉狀，偏差值高，粗糙度在「中度至高度」的區間，假如用較大的機器來磨蛤蜊殼粉，可提高實驗結果的精準性，可以再確認減少摩擦力對水中生物是否有幫助。

三、期望綜合以上 2 點，未來朝向能製作出使用期限更長，更環境友善的水泥塊。

柒、參考文獻資料

- 一、于家居(2018)。天奇凌龍觀賞魚水族。每日頭條：黑殼蝦的繁殖和飼養方法。
<https://kknews.cc/home/b6e6e8m.html>
- 二、王純姬等編(2024)。國民小學自然與生活科技第六冊(五下)。康軒文教事業股份有限公司。第 2 單元 大地的奧祕(p.42-p.62)。
- 三、朱東川(2003)。廢棄牡蠣殼粉取代水泥及細骨材對水泥砂漿性質之影響。國立雲林科技大學，碩士論文。<https://hdl.handle.net/11296/z33f45>
- 四、林立平、古正彬(2007)。川流不襲—減少河川侵蝕工法之研究及效用。第五十八屆全國中小學科學展覽會作品。
- 五、邱政(2000)。黏黏有魚！魚鱗灰取代水泥砂漿試體試驗。第五十一屆全國中小學科學展覽會作品。
- 六、莊惠年、吳鳳美 (1993)。從人工消波塊看自然生態工法。第四十四屆全國中小學科學展覽會作品。
- 七、陳意昌、張俊斌、林信輝、孫明德(2001)。不同材質灌溉排水渠道之研究。水土保持學報 33(2)：67-80。
- 八、陳玉齡、陳昱儒(2021)。河川小「壩」王—「丁壩」對河川挑流、緩流之影響探究。第六十二屆全國中小學科學展覽會作品。
- 九、陳雨音、吳坤洲(2003)。以生態工法之理念綠化河川護岸之研究。第四十三屆全國中小學科學展覽會作品。

【評語】083003

本作品以蛤蜊殼粉取代水泥用料製得水泥塊，應用於河道坡堤構形，兼顧材料利用與生態設計，具永續與環境友善概念。後續可評估長期耐久性，提升研究數據的完整性與應用參考價值。

作品海報

之有道，
才知道

「曲」
「蛤」



摘要

本研究以蛤蜊殼粉摻配水泥塊所構形的河道坡堤及形狀為主題，透過自行設計的落錘重力、摩擦力實驗，探討不同比例蛤蜊殼粉摻配的水泥，對水泥塊特性的影響；模擬不同坡道形狀與結構，比較對水流與生物棲息的影響，結果發現 20% 蛤蜊殼粉摻配的六邊形蜂巢水泥塊能承重達 2.18kg/片，耐衝擊性佳。摻配比例越高，吸水率增加、釋水量較少。蛤蜊殼粉 $\mu s \approx 0.81$ > 顆粒 $\mu s \approx 0.58$ ，蛤蜊殼粉的平均粒徑及偏差值為 0.028 ± 0.016 毫米，有利於水中生物攀附。梯形、長方形、平行四邊形的凹凸交錯坡道能有效減緩水流速度和堆積作用且黑殼蝦亦偏好此結構的棲息環境。本研究為了改善傳統水泥溝渠生態不友善的缺點，展現蛤蜊殼粉水泥塊在生態共融、資源再利用與綠建築應用上的潛力。

一、研究動機

壹、前言

每天回家的路上，發現農田旁的溝渠多為垂直、平滑表面的U字型設計（圖1），看到動物困在溝渠中難以自救的樣子，我們心中都感到不忍！文獻調查發現，已有多種溝渠形式的設計。然而，這些設計仍存在許多問題。因著這份對生命的愛與責任，推動進行河堤坡道的研究。因此，本研究探討：

- (一)如何能夠在 90 度的河道加上不同形狀的凹凸坡道來輔助野生動物自救的機會，亦可增加人類生活的陸地面積？
- (二)蛤蜊殼粉是否可以替代水泥，也可以減少二氧化碳排放量？
- (三)添加蛤蜊殼粉後，使摩擦力增加是否能讓生物易攀附爬上岸？
- (四)是否能有效的補充地下水，以解決農民的問題？
- (五)是否能幫助水生生物進入凹凸中躲避威脅並提供凹窪棲息空間與植物共生？

同時兼顧永續發展目標(SDG11、SDG15)，有潛力降低工程成本與提升功能效益。



不會飛行的雛鳥落入三面光水圳，難以自行脫逃。（圖1 照片引自上下游 News&Market）



11 永續城市與社區 (Sustainable Cities and Communities) ——建設具包容、安全、韌性與永續性的城市與居住環境。



15 陸地生態 (Life on Land) ——保護、恢復並促進永續利用陸地生態系統，防止土地荒漠化，阻止生物多樣性喪失。

相關教材：三上：生活中的力、三下：我是動物解說員、五上：動物世界、五下：力與運動、大地的奧祕、六下：地球的生態

二、研究目的

- (一)探討蛤蜊殼摻合料對水泥塊承載強度的影響。
- (二)探討蛤蜊殼摻合料對水泥塊透水性的影響。
- (三)探討蛤蜊殼摻合料對水泥塊表面摩擦力的影響。
- (四)探討不同坡道形狀對水流流速及堆積作用的影響。
- (五)探討不同坡道結構對生物棲息環境的影響。



不同比例

透水率



釋水速度



貳、研究設備

水泥	沙子	蛤蜊殼	製作蛤蜊粉	塑膠模型	模型長方形(凹)	模型平形四邊形(凹)	模型三角形(凹)	模型梯形(凹)

參、研究方法

一、自製凹和凸不同形狀的水泥塊

確認蛤蜊殼粉的比例重量	攪拌不同比例的水泥灌入模型中	標記並放置等待乾燥	乾燥後脫模成品	放在澄清石灰水中養護 7 天

三、自製摩擦力裝置試驗

棉繩 30 公分	準備彈簧秤	畫上起始線，並畫上刻度公分	水泥塊放置紙上用彈簧秤水平拖拉	用尺確認水泥被移動距離

二、自製落錘重力試驗

螺帽一顆重量是 36 克重	在鐵棒 30 公分處做記號(第一代)	先放少許的螺帽，開始測試	150cm 鐵棒，可疊放更多的螺帽(第二代)	測試到水泥塊出現裂痕為止

四、自製彎曲河道裝置試驗

用油性黏土做出彎曲的河道	水泥塊模型畫下位置	割出凸形的位置	放上凸形的水泥塊	割出凹形的水泥塊

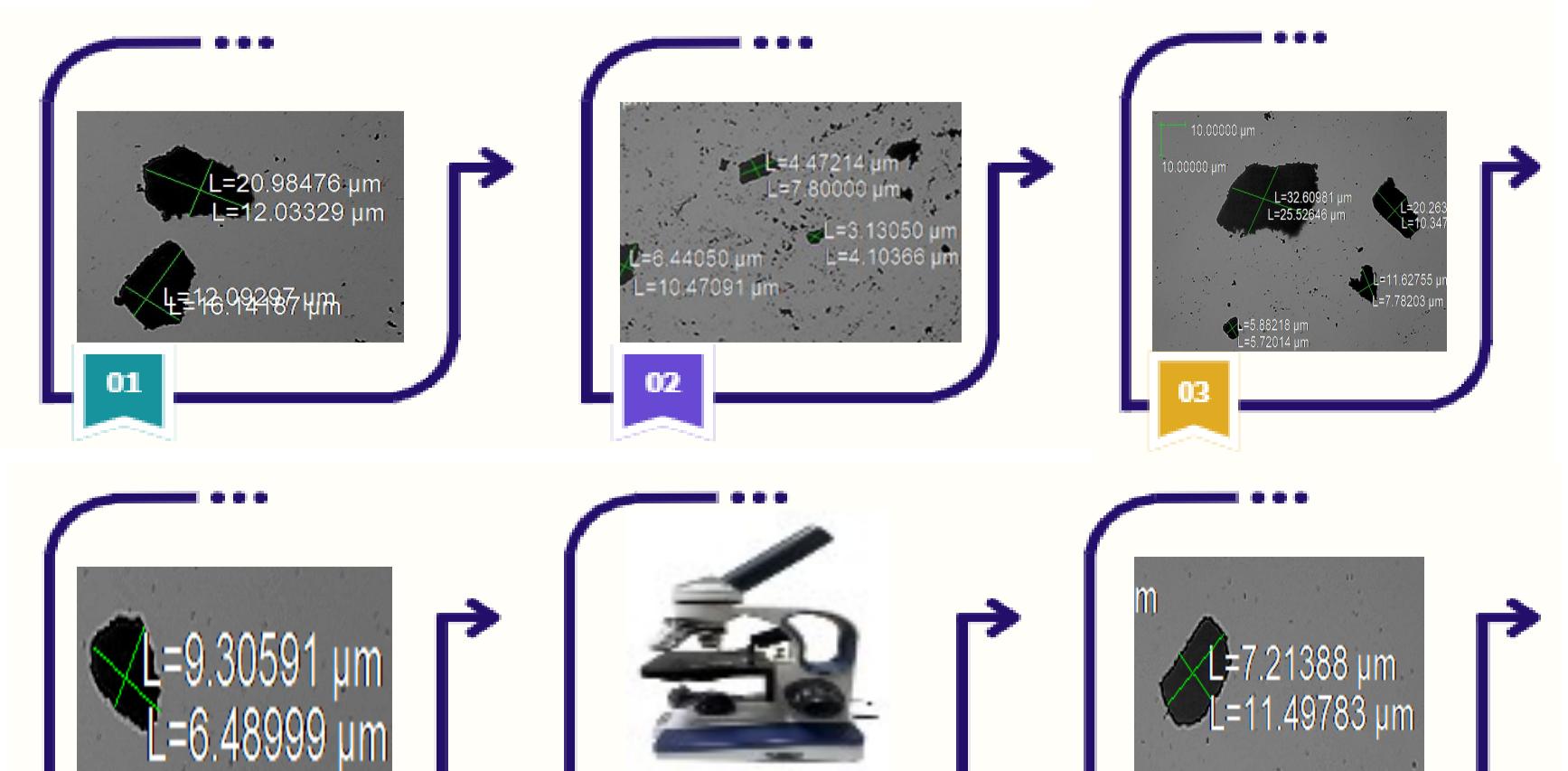
肆、研究結果與討論

目的1：探討蛤蜊殼摻合料對水泥塊承載強度的影響

表 4-1「不同比例蛤蜊殼粉」承載強度比較表

對照組 0%	實驗 1(5%)	實驗 2(10%)	實驗 3(15%)	實驗 4(20%)	實驗 5(25%)
39 個螺帽 3401g	39 個螺帽 3401g	39 個螺帽 3401g	31 個螺帽 2703g	25 個螺帽 2180g	15 個螺帽 1308g

殼粉粒徑大小



目的二：探討蛤蜊殼摻合料對水泥塊透水性的影響

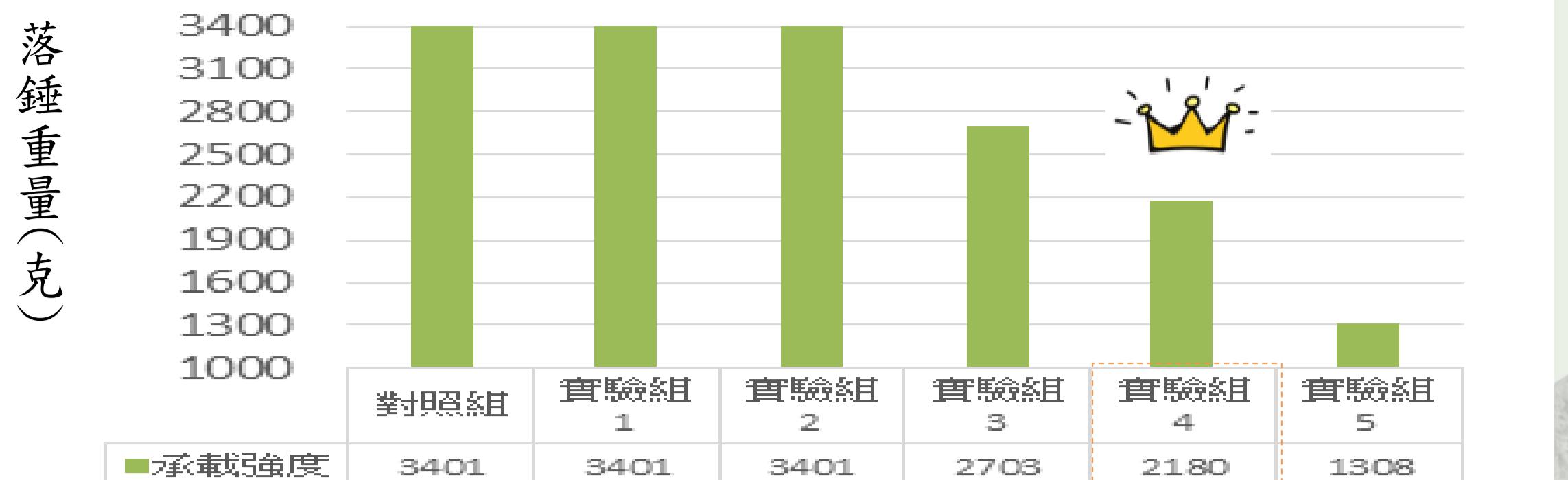


圖 1-1 「不同比例蛤蜊殼粉」落錘承載強度比較圖

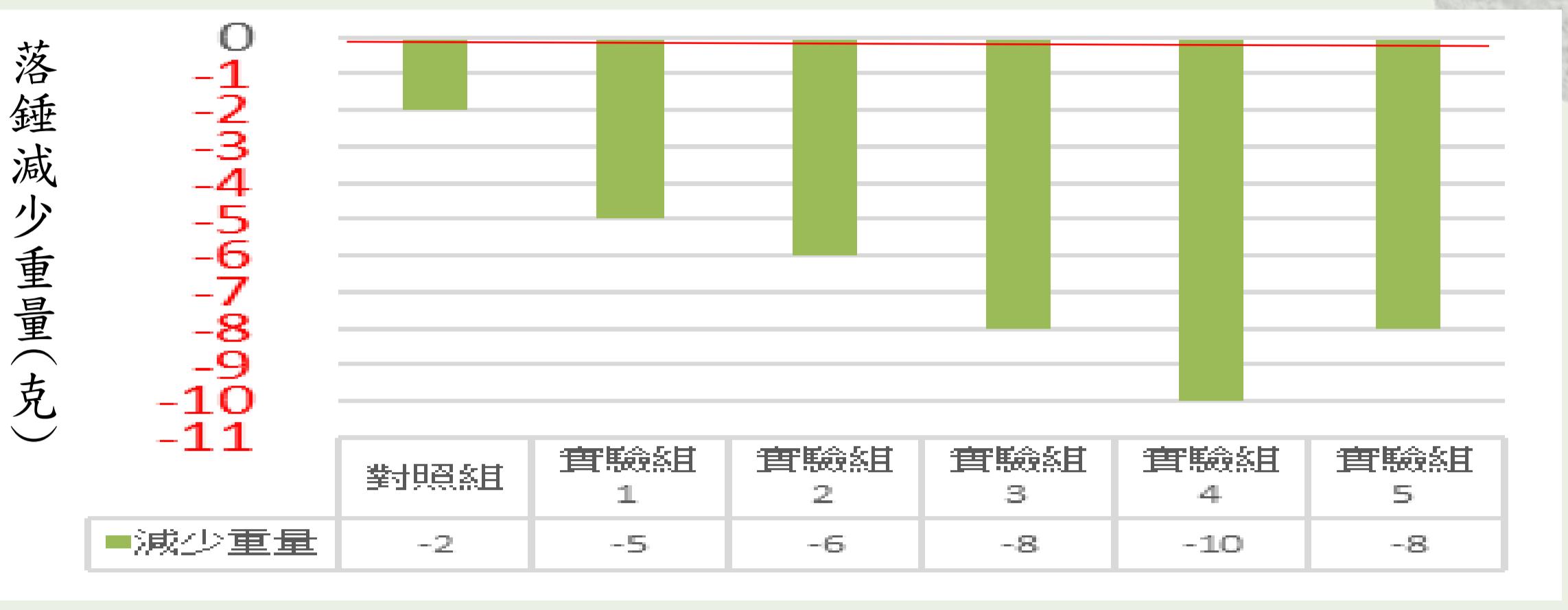


圖 1-2 「不同比例蛤蜊殼顆粒」落錘承載強度比較圖

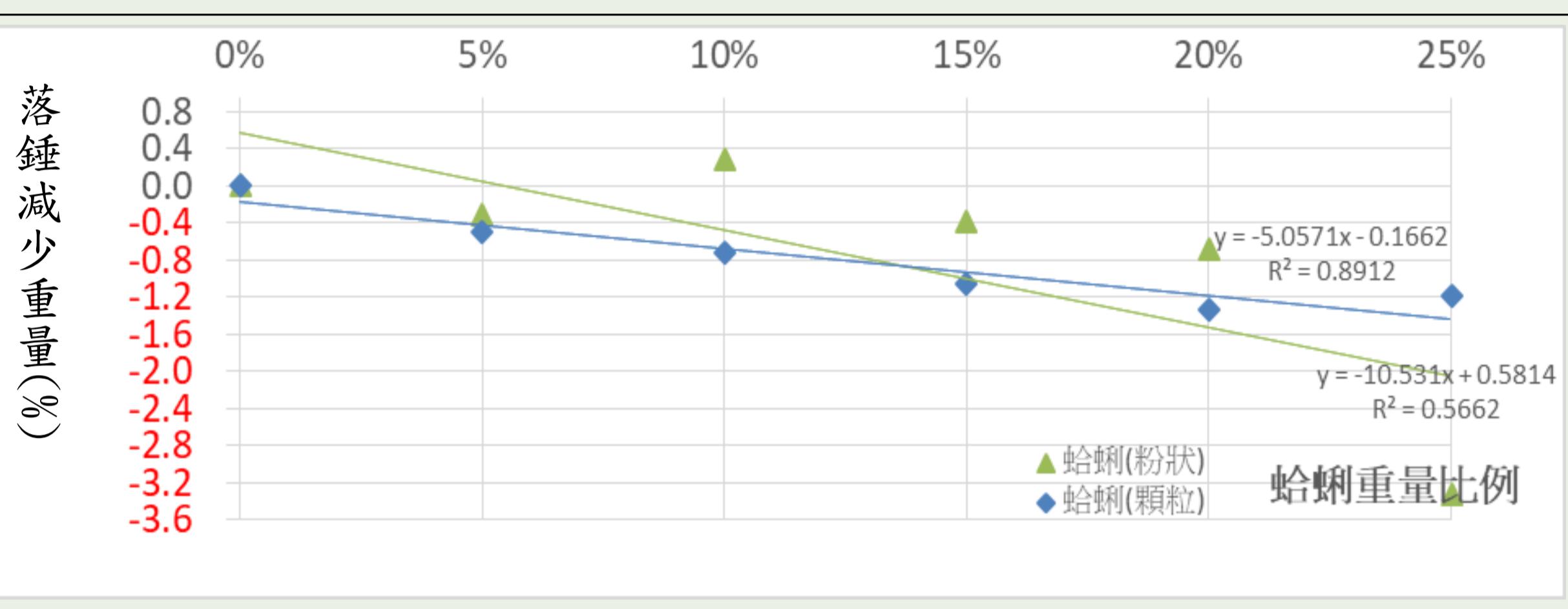


圖 1-3 「不同比例蛤蜊殼粉/顆粒」落錘承載強度趨勢圖

【小結】

- 當蛤蜊粉比例越多，承載力會較弱。因六邊形柱體上底面積為 65 平方公分，厚度是 2.5 公分，(實驗 4)能承重約 2.18kg，再以蜂巢式結構疊加成坡道溝渠，足以承重汽車和小動物等重物。
- 我們以實驗 4(蛤蜊粉 20%)的比例來調製作不同形狀階梯的河川坡堤研究。
- 蛤蜊顆粒越多，被落錘重擊後，出現粉狀粒的水泥較多，減少重量也較多，表示承載力較微弱。

目的三：探討蛤蜊殼摻合料對水泥塊表面摩擦力的影響

目的三：探討蛤蜊殼摻合料對水泥塊表面摩擦力的影響

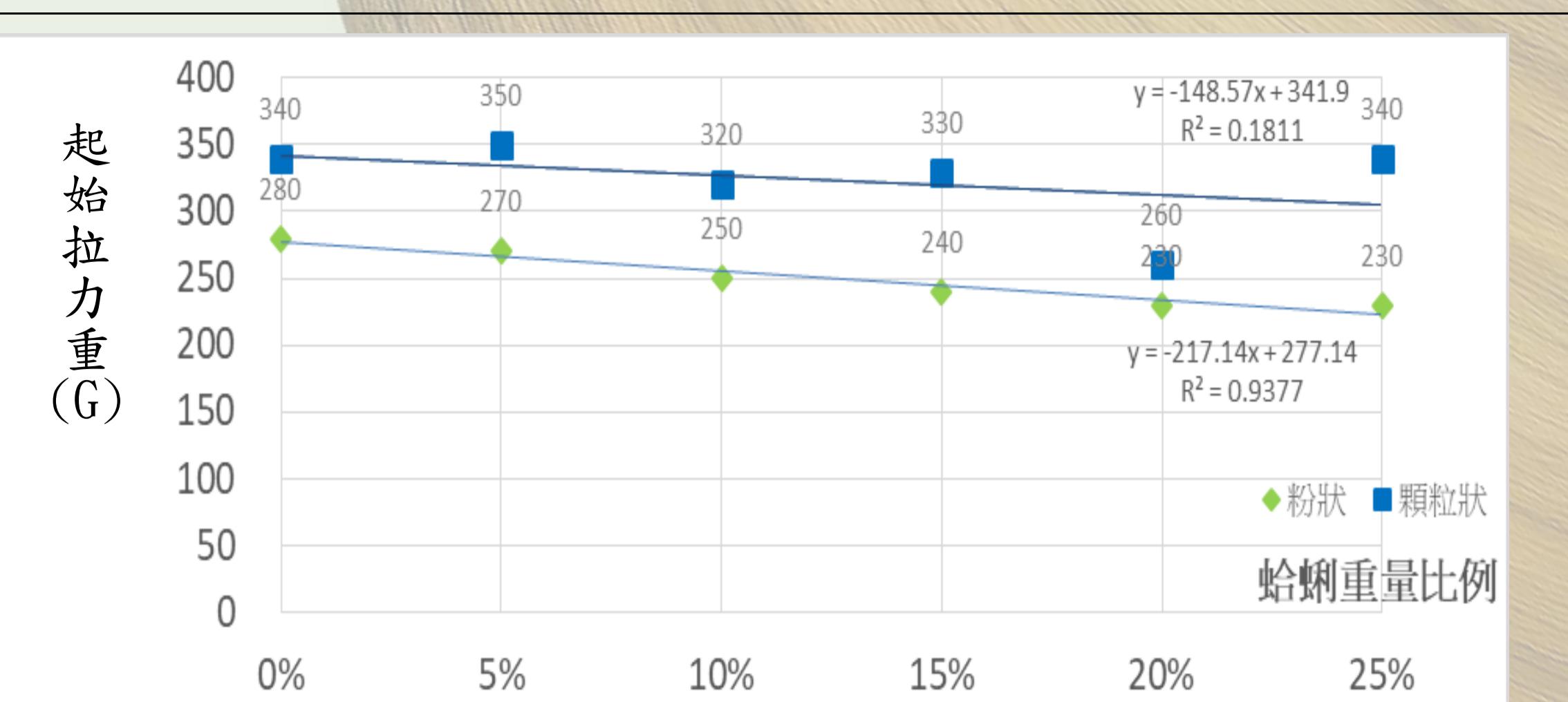


圖 3-1 「不同比例蛤蜊殼粉/顆粒」起始拉力重趨勢圖

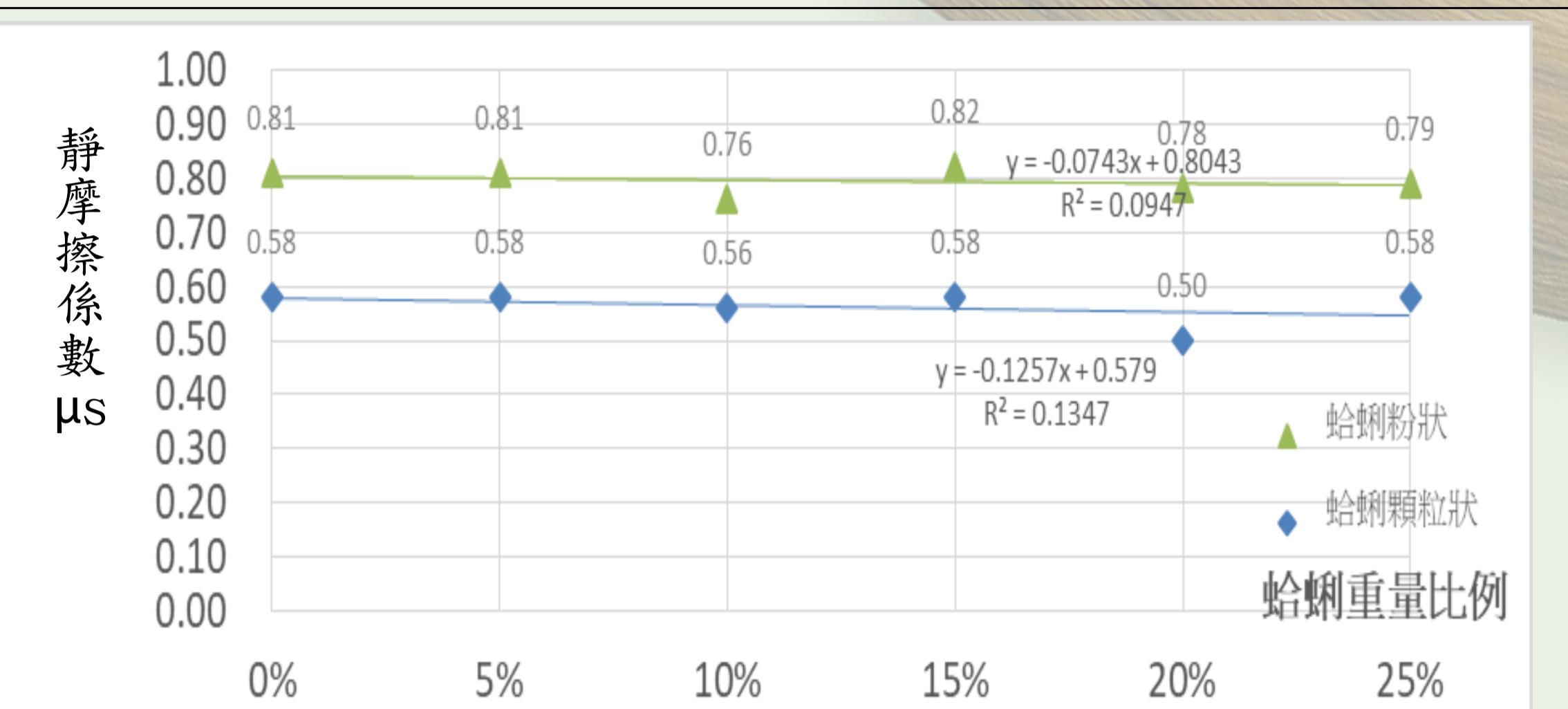


圖 3-2 「不同比例蛤蜊殼粉/顆粒」靜摩擦力係數趨勢圖

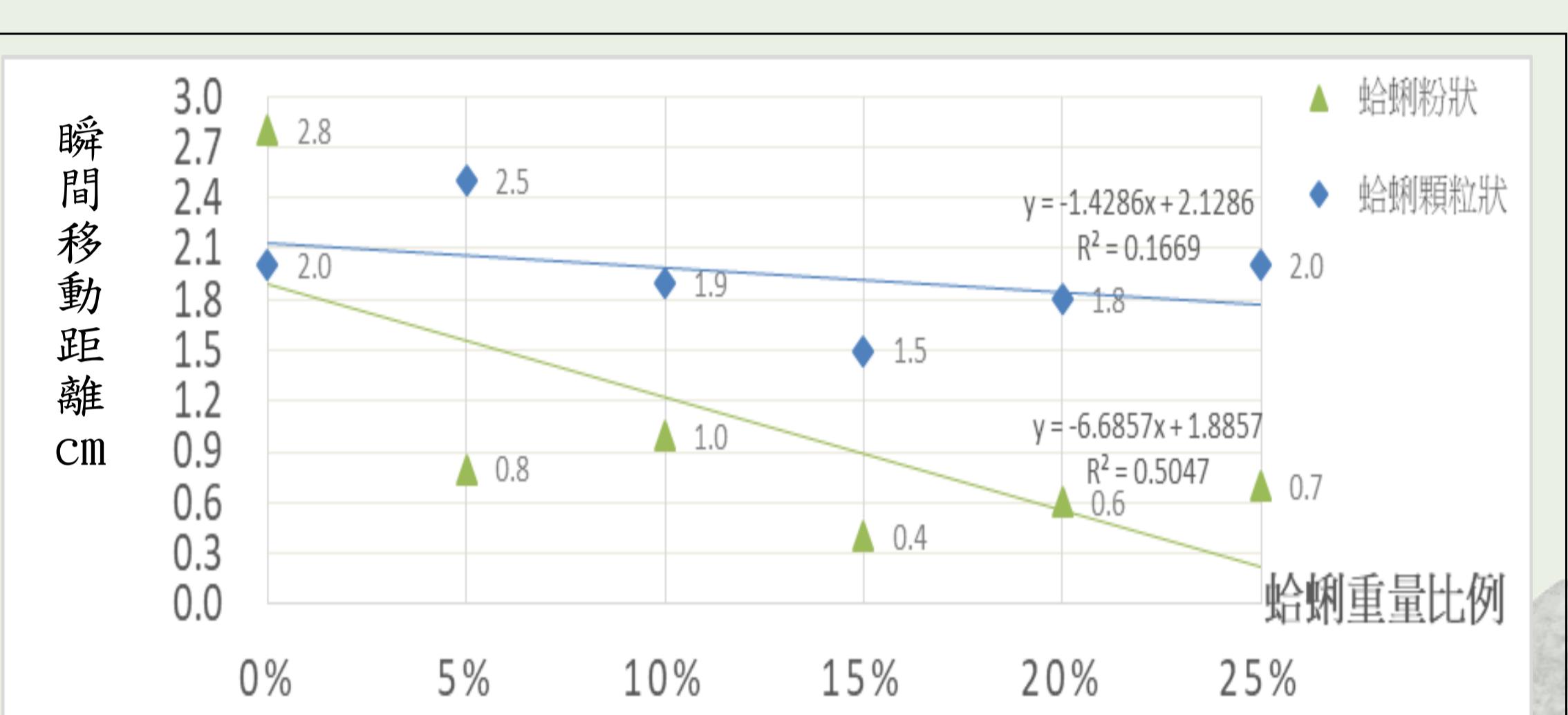


圖 3-3 「不同比例蛤蜊殼粉/顆粒」瞬間移動距離趨勢圖

【小結】

- (一)彈簧起始拉力的重量：蛤蜊殼顆粒 > 蛤蜊殼粉，所以蛤蜊殼顆粒需要較大的拉力。
- (二)蛤蜊殼粉 $\mu_s \approx 0.81$ > 蛤蜊殼顆粒 $\mu_s \approx 0.58$ ，蛤蜊殼粉有較高的摩擦力。正符合我們實驗前的推測，有利於後續的實驗設計。
- (三)蛤蜊殼粉的比例的增加，會減少瞬間移動距離，提升表面摩擦力，所以，蛤蜊殼粉的摩擦力 > 蛤蜊殼顆粒的摩擦力，可以協助小動物順利攀爬自救，減少滑動現象。

目的四-1：探討不同坡道形狀對水流流速的影響

表 4-7 「不同坡道形狀凸坡」之葉子水流流速比較表

實驗面向	對照組	實驗組 1	實驗組 2	實驗組 3	實驗組 4
	不同形狀	無	梯形	三角形	長方形
實驗模型圖示					
平均時間	1.29	9.72	7.70	13.94	3.37
流速 cm/s	77.5	10.3	13	7.2	29.7
名次	1	4	3	5	2

表 4-8 「不同坡道形狀凹凸交錯坡」之葉子水流流速比較表

實驗面向	對照組	實驗組 1	實驗組 2	實驗組 3	實驗組 4
	不同形狀	無	梯形	三角形	長方形
實驗模型圖示					
平均時間	1.29	12.02	8.71	15.84	6.57
流速 cm/s	77.5	8.3	11.5	6.3	15.2
名次	1	4	3	5	2

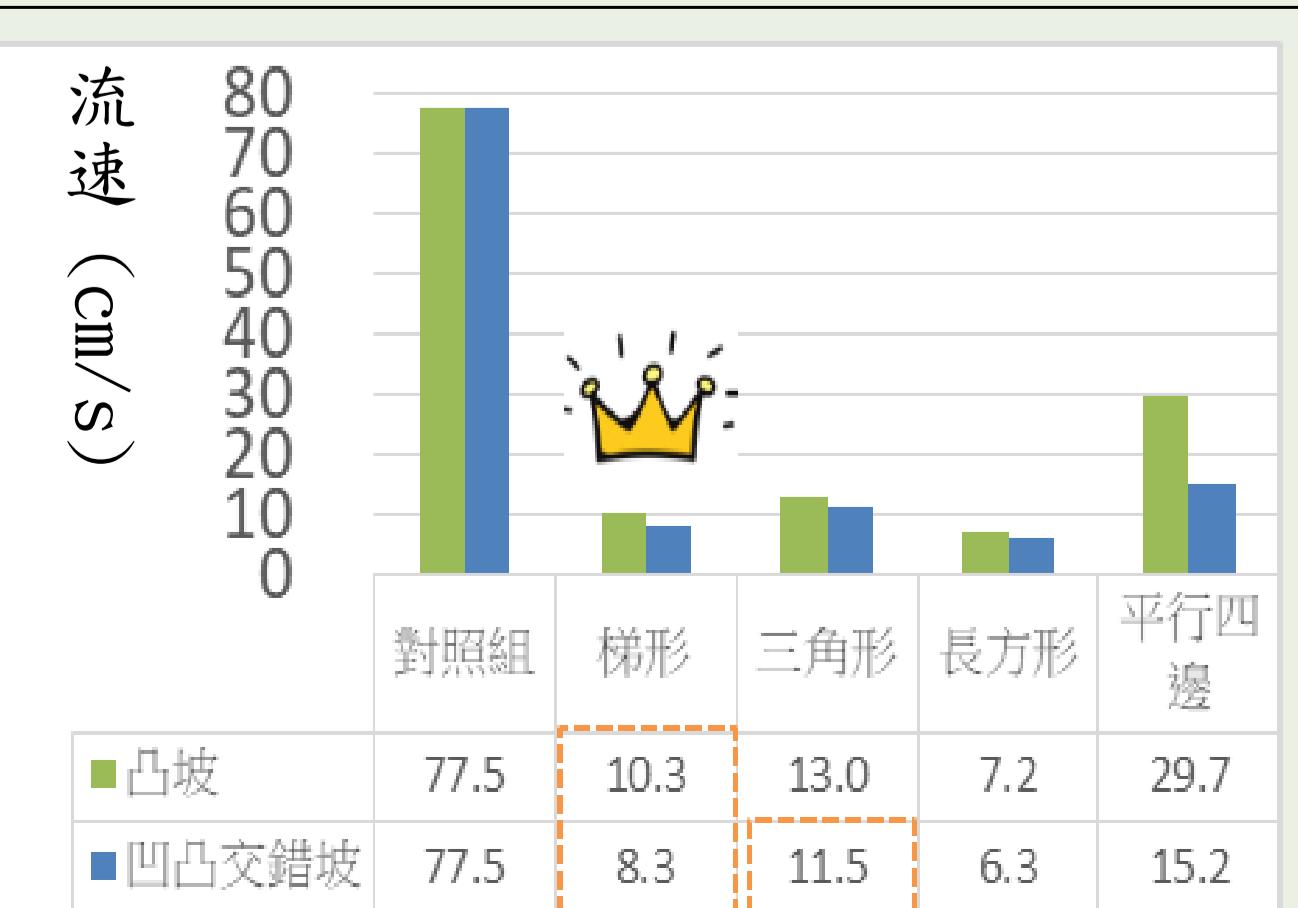
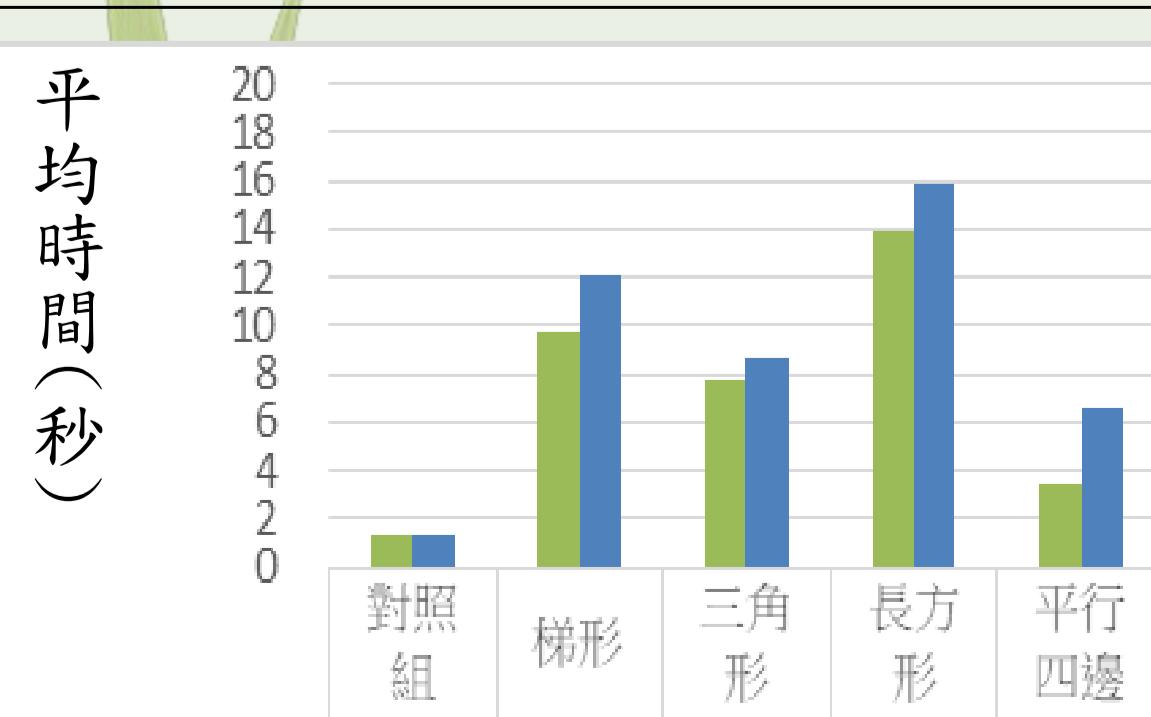


圖 2-1 「不同比例蛤蜊殼粉/顆粒」吸水率趨勢圖

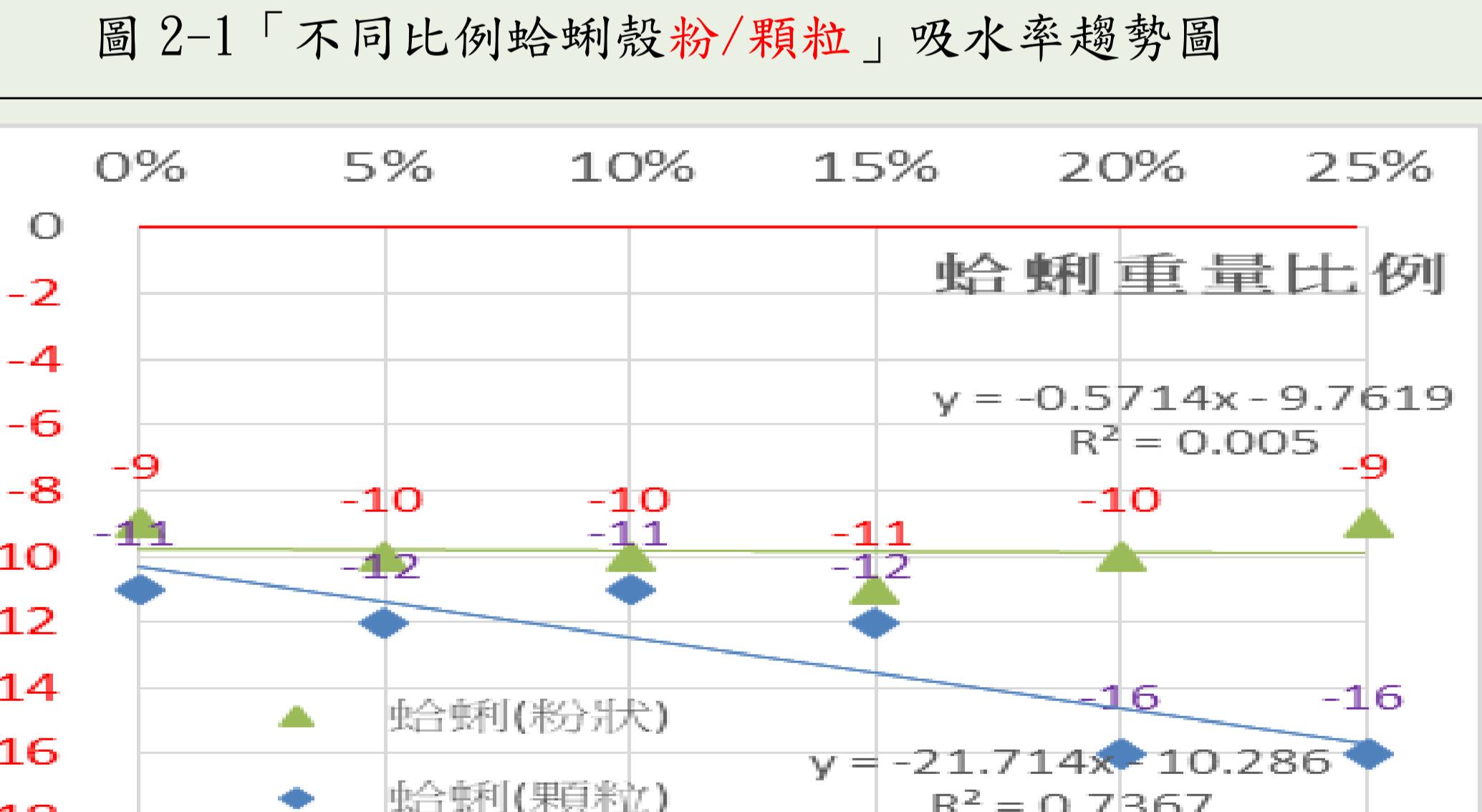


圖 2-1 「不同比例蛤蜊殼粉/顆粒」吸水率趨勢圖



圖 2-2 「不同比例蛤蜊殼粉/顆粒」釋水量趨勢圖

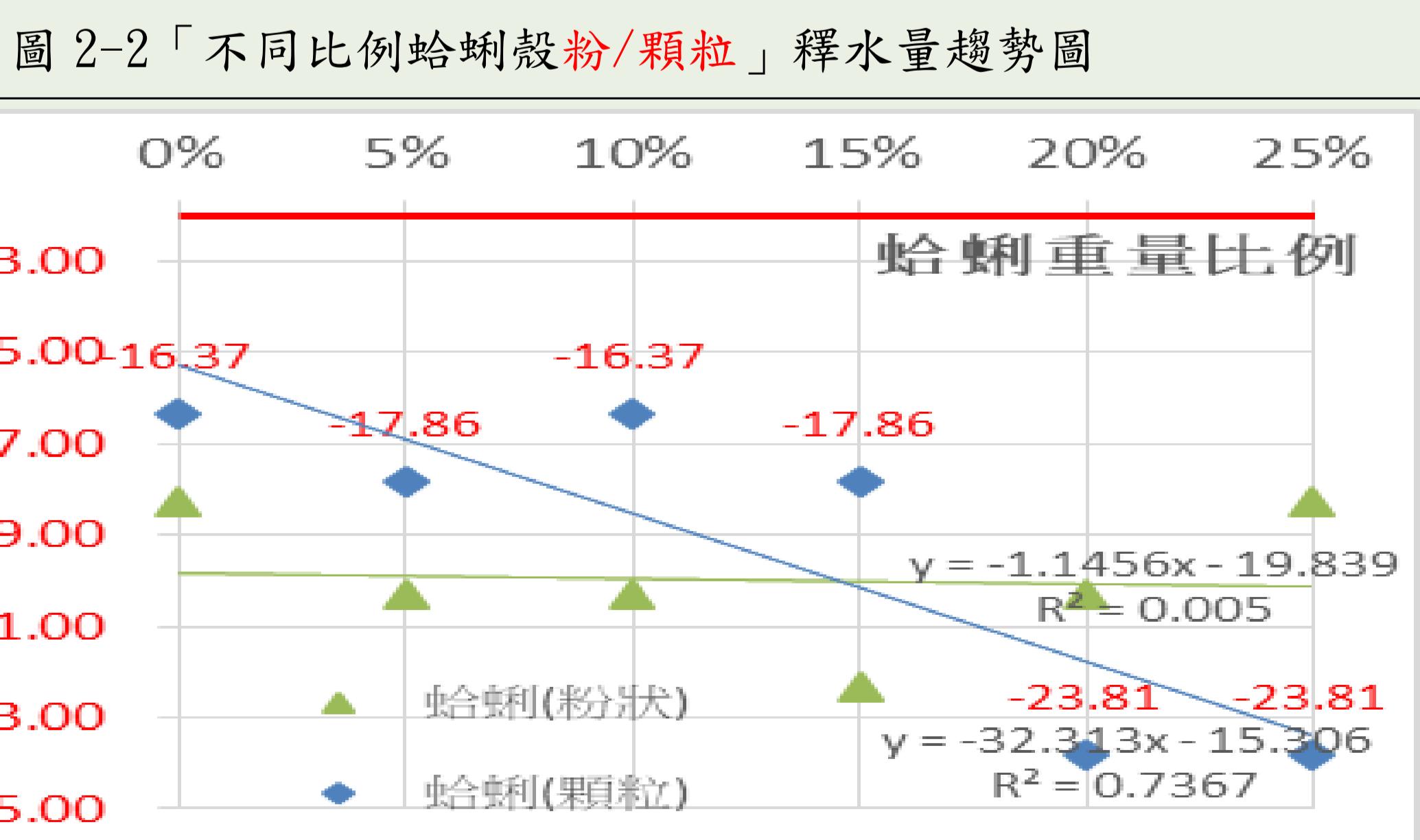


圖 2-3 「不同比例蛤蜊殼粉/顆粒」釋水速度趨勢圖

【小結】

- 吸水率：蛤蜊殼粉 > 蛤蜊殼顆粒，釋水速度穩定，控制性高，適合長期穩定供水，可兼顧透水與保水需求，對農作灌溉較有利。
- 釋水量：蛤蜊殼顆粒 > 蛤蜊殼粉，顆粒狀釋水速度較快，可快速排水的短期應用場景。

目的四-2：探討不同坡道形狀對堆積作用的影響

表 4-9 「不同坡道形狀凸坡」之沙子堆積比較表

實驗	對照組	實驗組 1	實驗組 2	實驗組 3	實驗組 4
形狀	無	梯形	三角形	長方形	平行四邊形
沙子流失圖示					
時間	30	30	9	16	14
沙重	16	5	3	0	1
流速 cm/s	3.3	3.3	11.1	6.3	7.1

表 4-10 「不同坡道形狀凹凸交錯坡」之沙子堆積比較表

實驗	對照組	實驗組 1	實驗組 2	實驗組 3	實驗組 4
形狀	無	梯形	三角形	長方形	平行四邊形
沙子流失情形					
時間	30	10	7	12	8
沙重	16	0	0	0	0
流速 cm/s	3.3	10	14.3	8.3	12.5

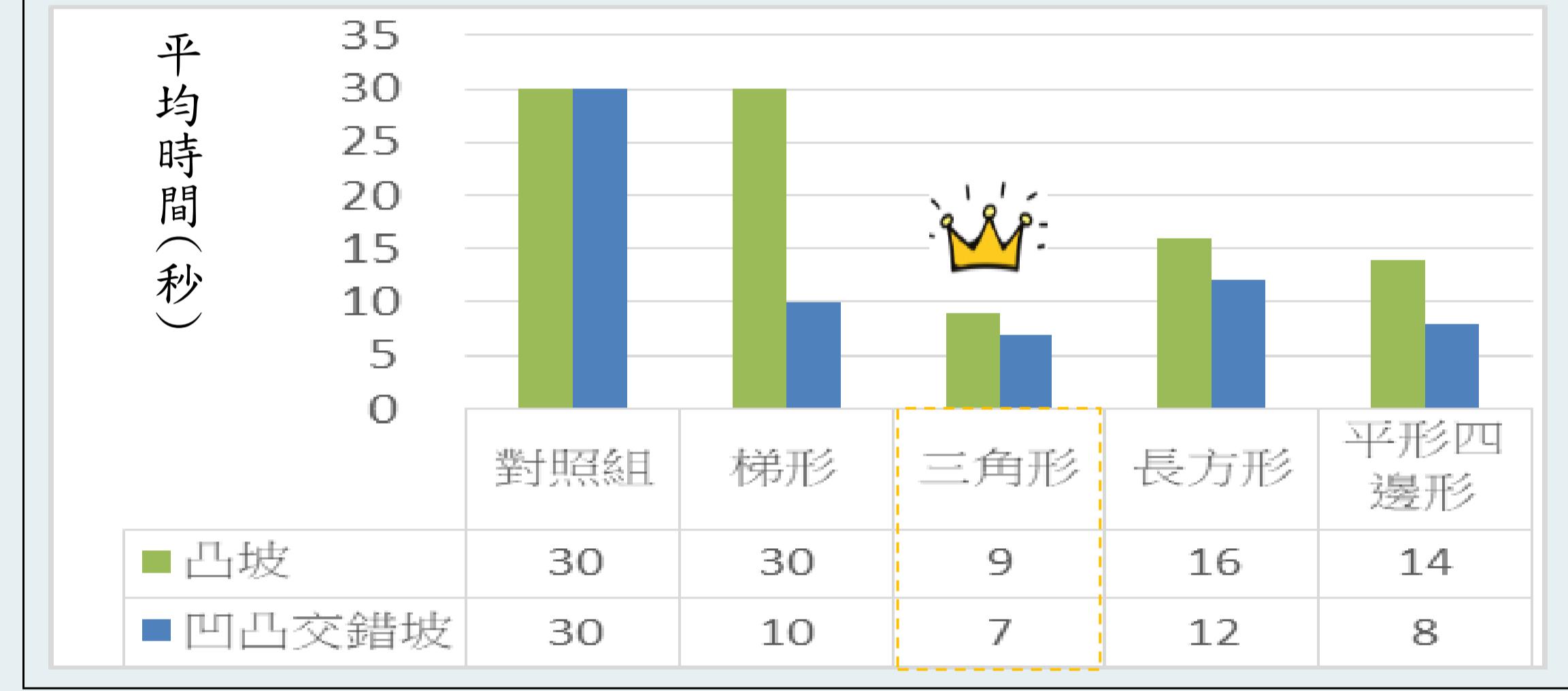


圖 4-3 不同坡道形狀的流水平均時間比較圖

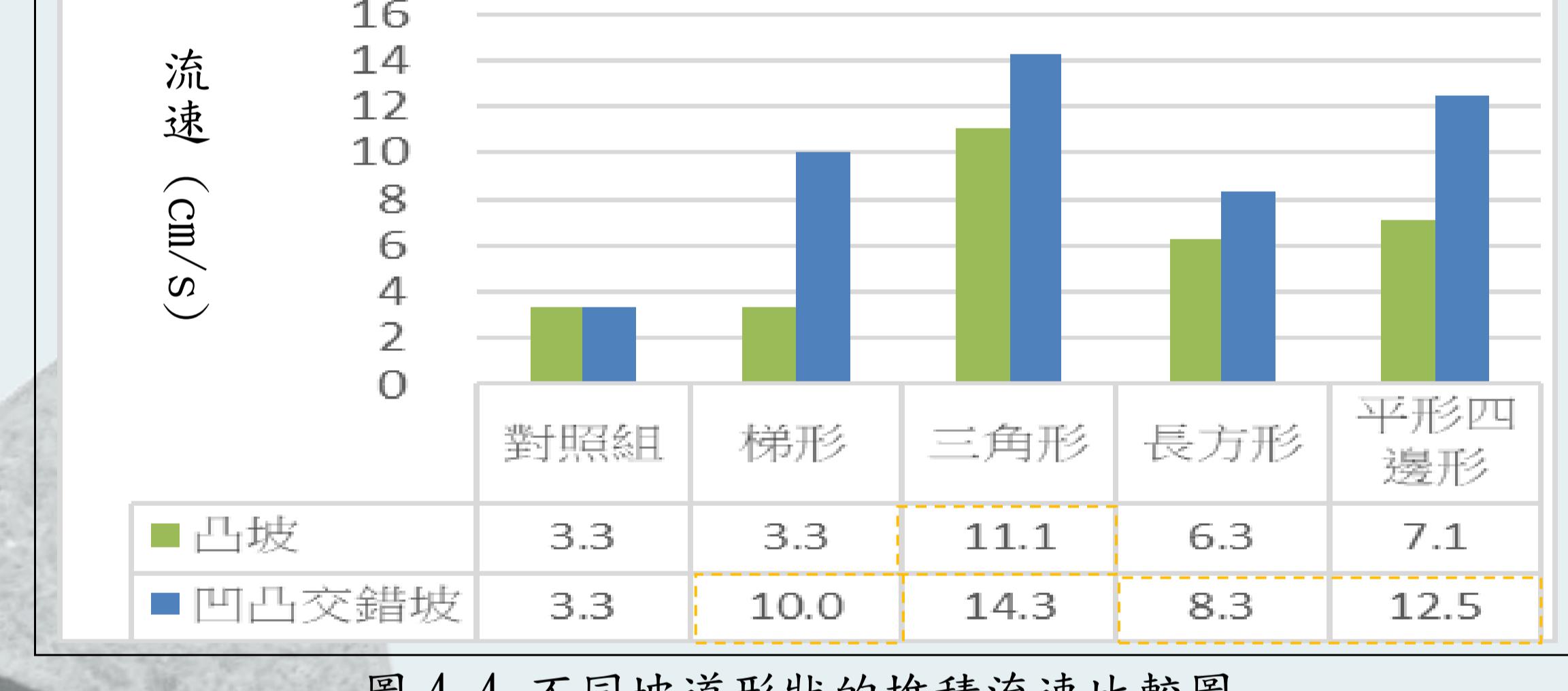


圖 4-4 不同坡道形狀的堆積流速比較圖

【小結】

- 葉子流速實驗：
建議採用【凸坡+梯形】、【凹凸交錯坡+梯形】或【凹凸交錯坡+三角形】的坡堤河道組合較佳，流速符合黑殼蝦的棲息環境，具有結構穩定與生態效益。
- 上網查詢文獻後，發現在自然或模擬生態渠道中，(10 ± 2 cm/s)的水流速通常能兼顧黑殼蝦活動、生殖與覓食需求。
- 沙子堆積實驗：
 - 凹凸交錯坡的流速>凸坡的流速時間，凹凸交錯坡能將沙子沖刷得很乾淨，所以凸坡流速容易產生堆積作用。
 - 【凸坡+三角形】、【凹凸交錯坡+梯形】、【凹凸交錯坡+長方形】、【凹凸交錯坡+平行四邊形】的組合設計，都適合生態流動速度和堆積，有利於水中生物的生存環境。

六、未來展望

一、「蛤蜊殼粉+顆粒」同時摻合料水泥塊大發現

在實驗中是以各別蛤蜊殼粉和蛤蜊殼顆粒摻合料下製作水泥塊，推測若改良成混合兩種成分的水泥塊，在承載重力、吸水率、釋水速度、摩擦力等數值是否會更接近水中生物的生活需求，會不會對地球環境更有幫助？

二、「粒徑大小」大發現

實驗中蛤蜊殼粉是用磨豆機打成粉狀，偏差值高，粗糙度在「中度至高度」的區間，假如用較大的機器來磨蛤蜊殼粉，可提高實驗結果的精準性，可以再確認減少摩擦力對水中生物是否有幫助。

七、參考文獻

- 王純姬等編(2024)。國民小學自然與生活科技第六冊(五下)。康軒文教事業股份有限公司。第 2 單元 大地的奧祕(p. 42-p. 62)。
- 朱東川(2003)。廢棄牡蠣殼粉取代水泥及細骨材對水泥砂漿性質之影響。國立雲林科技大學，碩士論文。
- 林立平、古正彬(2007)。川流不襲—減少河川侵蝕工法之研究及效用。第五十八屆全國中小學科學展覽會作品。
- 邱政(2000)。黏黏有魚！魚鱗灰取代水泥砂漿試體試驗。第五十一屆全國中小學科學展覽會作品。

目的五：探討不同坡道結構對生物棲息環境的影響

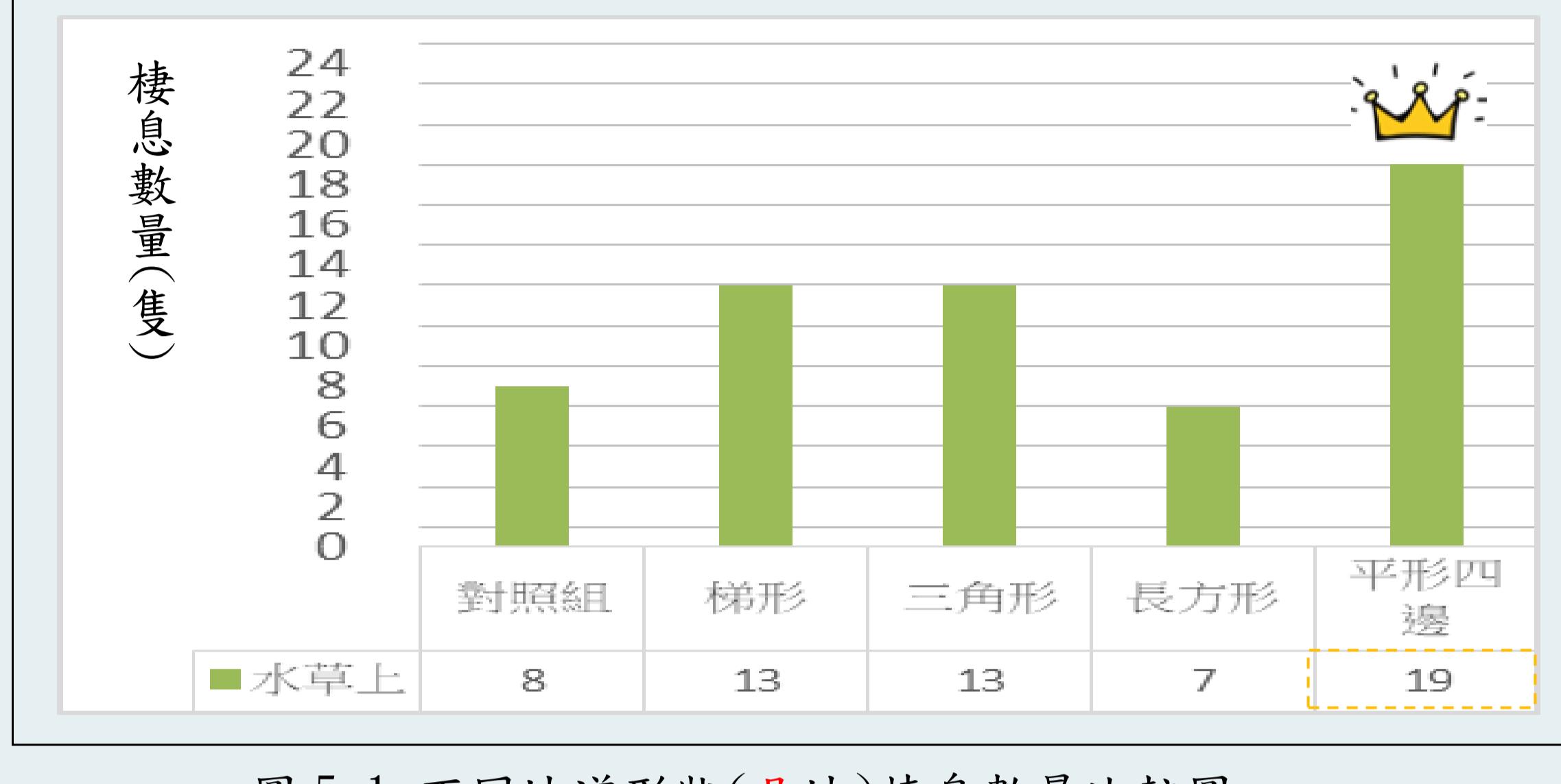
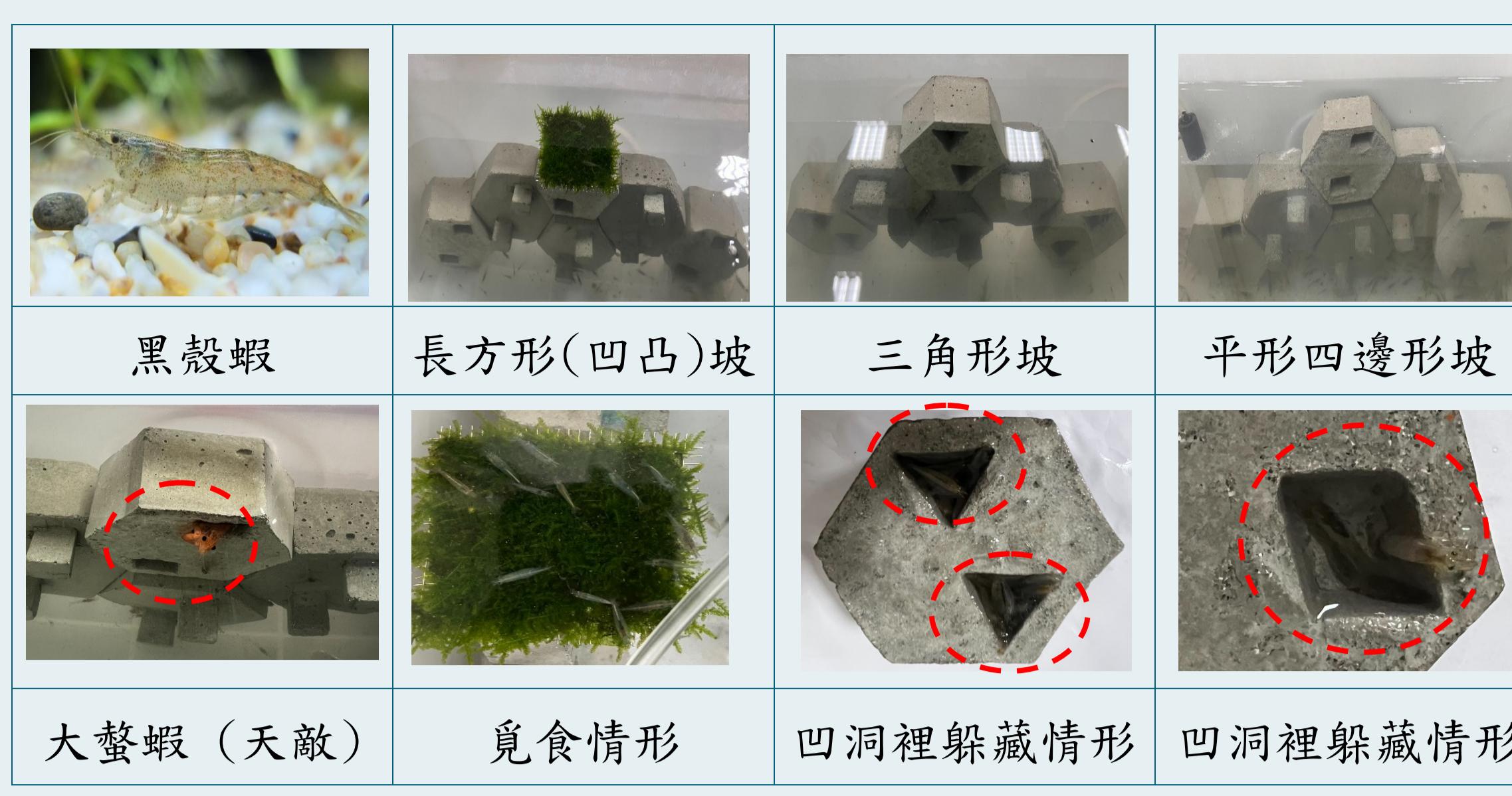


圖 5-1 不同坡道形狀(凸坡)棲息數量比較圖

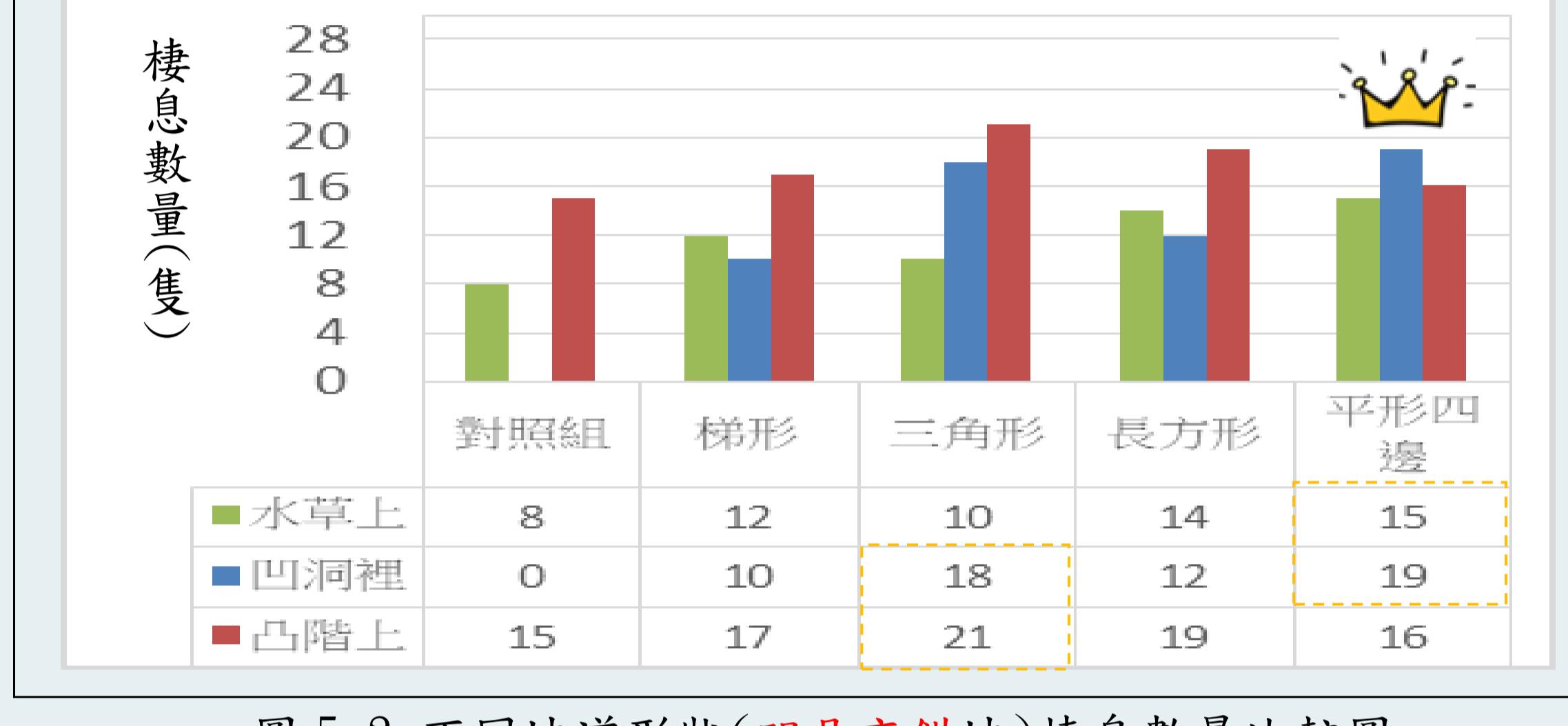


圖 5-2 不同坡道形狀(凹凸交錯坡)棲息數量比較圖

【小結】

- 配合先前「水流速度減緩」、「堆積效果提升」的設計結果，可知平行四邊形兼具「水利功能」與「生態棲地」的永續溝渠的坡道。
- 友善的生態工法：【凹凸交錯坡+三角形】或【凹凸交錯坡+平行四邊形】的河道坡道設計，總數量最多，是兼具易製作又實用的河道坡堤。

伍、結論

- 以(水泥 20%+沙子 60%+蛤蜊粉 20%)比例製作水泥塊，提高了溝渠與生物共生的可能性，適合製成山形河道坡堤。
- 蛤蜊殼粉摻合料對水泥塊的承載強度，達到 2 噸以上，因此當人或小動物不甚失足時，踩踏在不同的形狀的坡道上也不會有崩裂的現象。
- 蛤蜊殼粉替代水泥比例越高，吸水率越高；蛤蜊殼顆粒數量越多，釋水量越多。
吸水率：蛤蜊殼粉 > 蛤蜊殼顆粒；
釋水量：蛤蜊殼顆粒 > 蛤蜊殼粉。
- 蛤蜊殼粉的靜摩擦係數 $\mu_s \approx 0.81$ > 蛤蜊殼顆粒的靜摩擦係數 $\mu_s \approx 0.58$ ，因此蛤蜊殼粉的摩擦力較大，有利於水中生物攀附。
- 蛤蜊殼粉的平均粒徑及偏差值為 0.028 ± 0.016 毫米，蛤蜊殼粉替代水泥比例越高，摩擦力也會較大。
- 葉子流速：葉子經過凹洞的河道坡道時，會在原地旋轉繞圈，因此凹凸交錯坡 > 凸坡的河道流速，所以凹凸坡河道流速較緩慢。在【凹凸交錯+梯形】或【凹凸交錯+三角形】的坡堤組合，具有結構穩定與生態效益。
- 堆積作用：【凹凸交錯+梯形】或【凹凸交錯+長方形】或【凹凸交錯+平行四邊形】的坡堤組合，適合黑殼蝦生態流動速度及適量的堆積。
- 棲息環境：【凹凸交錯+三角形】或【凹凸交錯+平行四邊形】坡道，黑殼蝦在水泥塊上的總數量最高，在凹洞裡的數量也很多，是舒適的棲息空間。
- 河道坡堤實驗中可得知【凹凸交錯坡】搭配不同形狀的坡堤組合，不論在流速、堆積作用及配合 90 度 U 形溝渠棲息情形，都有適合水中生物生存條件的形狀，也提高人類居住陸地面積。