

計畫編號：ARDSWC-114-065

小型動物垂直通行友善邊壁之實踐
Implementation of Animal-Friendly
Sidewall Small Animal Vertical Crossing
(成果報告書)

執行單位：國立嘉義大學

執行期間：114 年 02 月 18 日至 114 年 12 月 31 日

計畫主持人：王柏青 副教授

農業部農村發展及水土保持署 編印

中華民國 114 年 12 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本署施政參考)

小型動物垂直通行友善邊壁之實踐

摘要

台灣沿海與丘陵地區大量存在混凝土擋土牆、排水溝與堤岸等人工垂直構造物，形成高光滑且缺乏抓附點的邊壁，對小型陸生動物的移動造成困擾。過往研究於室內進行測試，缺乏野外環境中的實證資料，且設計產出仍無法進入投入實際場域。本研究以台灣南海溪蟹、凶狠圓軸蟹與陸寄居蟹等具代表性的陸生甲殼類為模型，針對通行紋路之可用性、邊壁材料與模組設計進行開發與測試。研究利用台灣生物多樣性公開資料、民間情報與現地勘查，選定嘉義蘭潭、小琉球美人洞與旭日亭山側擋土牆、台江城西青草崙堤防等場域進行野外實驗。設計階段以 3D 列印原型，再以矽膠翻模製成水泥模組，水泥模塊規格為 1 公分*1 公分連續方形槽孔、間距寬 0.5 公分、深度 0.5 公分、內有 45°斜角。野外測試結合紅外線相機記錄、捕捉後釋放（C&R）與定點觀測，記錄不同物種於自然環境中的攀爬行為。結果顯示，多數改良後的紋路模組能有效幫助陸生甲殼類的垂直通行，並展現跨物種的通用性，支持其作為生態友善邊壁的可行工法。

關鍵詞：人工結構物、野生動物通行、動物友善設計

Implementation of Animal-Friendly Sidewalls for Vertical Crossing by Small Terrestrial Fauna

Abstract

Artificial vertical structures—such as concrete retaining walls, drainage channels, and embankments—are widespread in Taiwan’s coastal and hilly regions, creating smooth, grip-less barriers that hinder the movement of small terrestrial animals. Existing studies rely mainly on indoor tests and lack field-based validation. This study uses *Nanhaipotamon formosanum*, *Cardisoma carnifex*, and terrestrial hermit crabs as model species to evaluate the usability of textured passage designs, wall materials, and modular structures. Biodiversity databases, citizen-science reports, and site surveys guided the selection of field locations, including Chiayi Lantan, Xiaoliuqiu, and Taijiang. Cement modules were created from 3D-printed prototypes, featuring 1 cm × 1 cm continuous square grooves with 0.5 cm spacing, 0.5 cm depth, and 45° beveled interiors. Field tests using infrared cameras, capture-and-release, and fixed-point observations recorded climbing behaviors across species. Results show that most improved textured modules effectively support vertical passage for terrestrial decapods and demonstrate cross-species applicability, indicating their potential as wildlife-friendly edge-wall designs.

Keywords: artificial structures, wildlife passage, animal-friendly design

目次

摘要.....	I
Abstract.....	II
目次.....	III
表次.....	IV
圖次.....	IV
第一章 緒論	1-1
第一節 計畫緣起	1-1
第二節 計畫目標	1-3
第二章 工作執行方法與步驟	2-1
第一節 工作執行方法	2-1
第二節 工作執行步驟	2-4
第三章 工作進度與交付項目	3-1
第一節 計畫甘特圖	3-1
第二節 計畫交付項目	3-1
第四章 結論與建議	4-1
第一節 結論	4-1
第二節 建議	4-6
參考文獻.....	參-1
附錄.....	附-1
附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形	附-1
附錄二、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形	附-4
附錄三、過往研究	附-6

表次

表 1 計畫甘特圖	1
-----------------	---

圖次

圖 1 人工結構物對小型動物垂直通行之影響	3
圖 2 計畫流程圖	1
圖 3 生物多樣性網格搜尋結果	4
圖 4 嘉義大學蘭潭校區實驗地點及現況照	6
圖 5 小琉球實驗地點及現況照（旭日亭山側擋土牆）	7
圖 6 小琉球實驗地點及現況照（美人洞擋土牆）	7
圖 7 青草崙堤防實驗地點及現況照	8
圖 8 過往(110 年)紋路設計圖	10
圖 9 本年度(114 年)改良後紋路設計圖	10
圖 10 本年度(114 年)翻製水泥模塊紋路設計圖	11
圖 11 實驗材料製作步驟	12
圖 12 水泥模塊製作概覽	13
圖 13 實驗基本器材	15
圖 14 嘉義蘭潭實驗場域架設情形	16
圖 15 颱風期間實驗場域情況（水生生物科學館）	17
圖 16 小琉球實驗場域架設情況（旭日亭山側擋土牆）	18
圖 17 小琉球實驗場域架設情況（美人洞擋土牆）	19
圖 18 陸寄居蟹使用改良前紋路攀爬	2
圖 19 凶狠圓軸蟹使用改良後紋路攀爬	3
圖 20 台灣南海溪蟹攀爬紋路利用情形	3
圖 21 台灣南海溪蟹使用水泥模塊攀爬	5
圖 22 城西社區提供之陸蟹觀察紀錄	6

第一章 緒論

繼 109~110 年度之研究成果，進行小型動物垂直通行友善邊壁之野外實踐。本研究計畫旨在解決因垂直人工結構（如擋土牆、排水設施）對小型動物（如陸蟹與蛇類）遷移造成的生態障礙問題。現行設施常因設計不友善，導致小型動物受困於結構中或遷移受阻，進而影響棲地連結性與基因交流，威脅生態系統的穩定性。本研究將通過科學化選址、多樣化紋路設計應用，開發適應多種環境條件的友善邊壁工法，並以實證數據驗證其效能。此研究不僅能改善動物移動的安全性與效率，減少因道路與人工結構造成的族群減少，還將提供生態工程應用的新範例，對支持國際生態保育目標與台灣國土生態綠網的推動具有重要意義，並可為後續相關設施的優化提供參考依據。背景議題詳述如下：

第一節 計畫緣起

台灣地區地狹人稠，隨著都市擴張與基礎設施建設的需求提升，大量採用混凝土設施（如擋土牆、排水溝、沉砂池等），雖能有效提升結構穩定性，但卻對野生動物的生存構成了顯著威脅。混凝土結構物的高度落差、光滑邊壁以及囊狀設計，對於中小型動物如兩棲類、爬蟲類和小型哺乳類而言，宛如“掉落式陷阱”。受困動物往往因摔傷、缺乏食物與水源、曝曬或積水而死亡(鄭偉群等人，2012-2017；

Collinge, 1996 ; Holderegger & Giulio, 2010)。混凝土結構物多分布於道路或河道周圍，當動物無法快速通行時，可能導致路殺(roadkill)的發生，進一步加劇野生動物的死亡率(Forman, 2015)。道路網絡的擴張不僅破碎化棲地，還導致族群間基因交流的阻隔，使動物族群被分割為小型副族群(subpopulations)，影響其遺傳多樣性並增加近親繁殖風險(Fahrig & Rytwinski, 2009 ; Langen et al., 2015)。長期而言，這種生態破碎化將壓縮動物的生存空間，削弱生態系統功能並降低生物多樣性(李俊生等，2019)。在全球環保意識抬頭的背景下，許多生態相關的知識已融入工程設計，推動生態工法的發展。針對道路與人工結構對動物遷移的阻隔，生態廊道與動物通道(wildlife crossing structures)的概念逐漸被採用，透過設計橋梁、涵管或外掛設施，為動物提供安全通行的途徑(Forman et al., 1995 ; Clevenger & Waltho, 2000)。相關研究指出，合適的動物通道設計能有效降低道路傷亡率，並提升生物遷移與基因交流的機會(Plante et al., 2019)。然而，現有策略也面臨挑戰。例如，坡度減緩或材料替換的方式，因私有土地徵收困難及設計空間不足，難以在廣泛範圍內實施。同時，垂直人工結構物的脫困設施，如斜坡、梯子或草繩等，雖有助於減輕小型動物的困境，但因設置範圍有限或長期遭遇盜獵者駐守，而無法滿足全面需求(Sharon K. Collinge, 1996)。未來的生態工法應在有限空間內採取更靈活的輔助

設施設計，例如近垂直邊壁結構的改造，以減少對土地資源的額外需求，並提升結構的生態友善程度。



圖 1 人工結構物對小型動物垂直通行之影響

第二節 計畫目標

一、全程目標

本研究計畫的全程目標聚焦於建立一套全面性的野生動物友善環境框架，以緩解全球化基礎設施快速發展對動物福利與生物多樣性造成的負面影響。本研究團隊致力於探索人工結構與自然生態系統共存的解決方案，推動動物福利的提升與棲地連結的修復，為全球生態保育與永續發展提供科學基礎。全程目標包括：

(一) 動物友善基礎設施的系統性規劃與推廣

建構可應用於多樣態人工結構的設計框架，涵蓋道路、排水系統與擋土牆等線性基礎設施。框架將以不同棲地類型的需求為基礎，從多物種福祉的角度出發，確保基礎設施對生態系統的干擾降至最低(IUCN, 2020)。

(二) 科學導向的動物福利提升策略

結合環境行為學與保育科學，開發有效的設施設計，如友善邊壁、緩坡與模組化結構，為動物提供更安全的遷移通道與棲地連結機會。目標在於減少因人工結構導致的物種受困、捕食風險與生存壓力，促進生物族群的基因交流與健康發展(Benítez López et al., 2021)。

(三) 國際保育框架與永續發展目標的實踐

與國內外保育機構合作，將研究成果納入全球性保育政策，如聯合國永續發展目標(SDG 15)及 IUCN 生態連結框架。目標是推動更多區域的人工結構生態改造，實現基礎設施與自然環境的永續共存(Ghoddousi et al. 2021)。本計畫本計畫旨在為國際生態保育提供創新思維與範例，不僅緩解人工結構對野生動物的生態壓力，還將推動基礎設施設計的轉型，從而構建更友善、更永續的全球環境。

二、本年度目標

本年度研究期望填補陸蟹垂直通行的資料空白，推動人工結構與動物需求融合的實踐，為友善設計的持續創新提供基石。具體目標包括：

(一) 實現野外的實踐應用

開發並安裝針對陸蟹垂直通行需求設計的攀爬紋路，完成不同棲地類型（淺山、平原及海岸）的現場測試，記錄紋路在實際環境中的適應性與功能表現。

(二) 驗證攀爬紋路設計的有效性

通過野外測試收集數據，分析攀爬紋路對陸蟹通行效率的影響，包括通行率、攀爬時間及安全性，確保設計的可靠性與實用性。

(三) 建構研究框架

整合多棲地條件與多樣物種需求，建立陸蟹垂直通行友善設計的系統性框架，為未來針對不同蟹類及人工結構的改良提供科學依據與參考模型。

第二章 工作執行方法與步驟

第一節 工作執行方法

一、計畫流程

本研究計畫分為四個階段，逐步完成關鍵工作項目，以確保生態友善邊壁的有效性。在選址期，將透過生物多樣性資料分析與多準則決策，選出最適合的實驗地點。施作期則根據選址結果確定設計方案，進行材料測試並完成邊壁施工與安裝。進入初步測試期後，將收集物種通行數據與安全性監控，並根據測試結果調整設計。在進階測試期，將對設計進行優化，並透過中短期監測與綜合評估，提出未來推廣應用的建議（圖 2）。

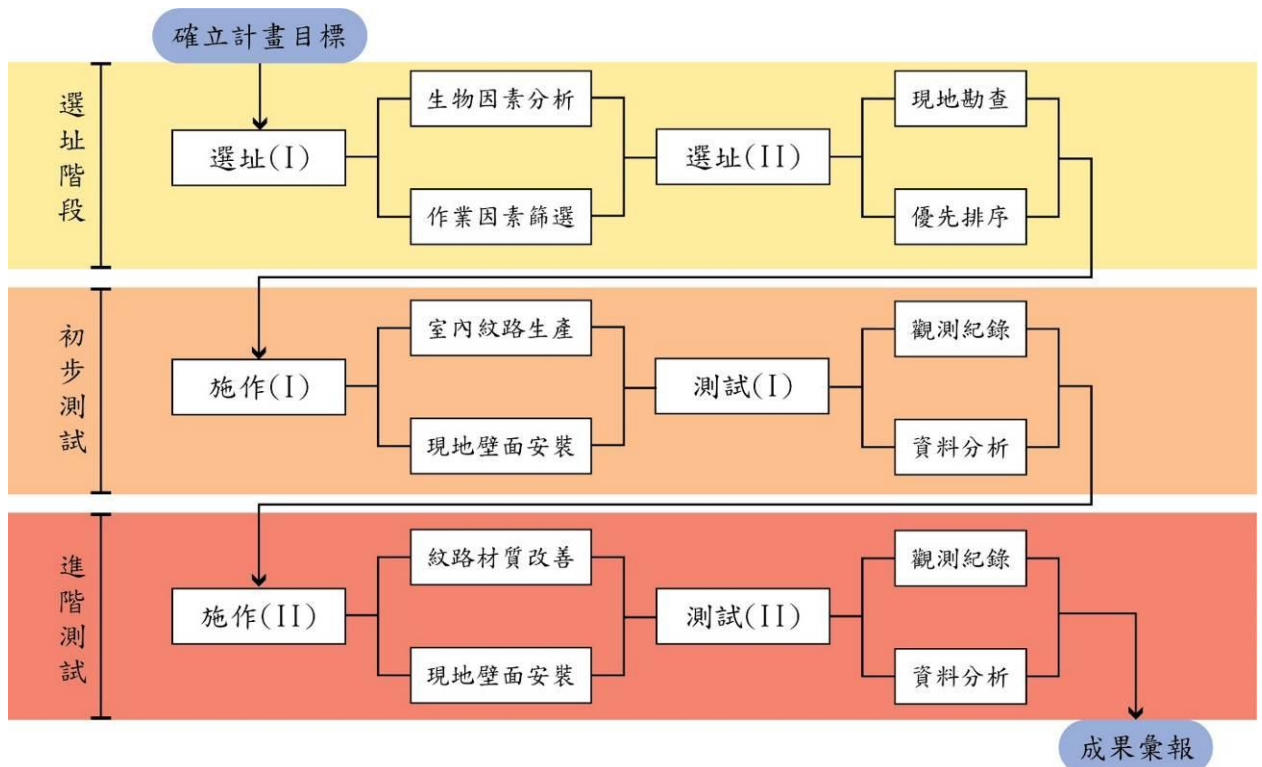


圖 2 計畫流程圖

二、課題與對策

課題一、選址與環境挑戰

1. 多棲地條件差異

說明：異陸蟹棲地包括淺山、平原及海岸，其地形和環境條件差異顯著。例如，海岸地區可能受到潮汐與鹽害影響，淺山地區則因環境不穩定性增加施工風險。同時，需在不同棲地間尋找通行瓶頸點，並確保設施的穩定性與功能性。

對策：結合 GIS 分析與現地訪查，尋找棲息地密集區域，聚焦人工結構與自然棲地的過渡區（如灌溉渠道周圍），並避開高風險地區（如沙質流失區或極端潮差區）。

2. 選址協調困難

說明：跨地區的生態研究可能面臨土地權屬不明或需與多方協調的情況，增加選址的複雜性。

對策：在生物熱區範圍內，優先考量公家用地。若涉及其他單位或私人土地，則提前進行接洽，確保合作意願並降低選址障礙。

課題二、材料與環境適應性問題

1. 材料耐用性不足

說明：內角交叉排列的方格紋路需在不同環境中保持一致

性能，但普通 PLA 可能因高鹽濕環境或長期暴露而劣化，導致攀爬效率降低或結構損壞。

對策：針對普通 PLA 進行優化（如增加特殊塗裝以提高耐用性）。若經費允許，則測試其他特殊材料（如複合環保材質）以應對不同棲地需求。

2. 環保材料的高成本

說明：使用環保材料（如耐候 PLA 或複合材質）需額外增加開發或採購經費，短期內可能難以負擔大規模應用。

對策：將邊壁設計模組化，每段邊壁設計為獨立單元，便於更換損壞部分或移動到不同測試地點重複使用。

課題三、測試與數據收集

1. 多地點同步觀測

說明：挑戰在三類棲地中同時展開實驗需投入大量人力與設備，數據收集的持續性與準確性可能因資源分散而受到影響。

對策：觀測通行率與通行時間作為核心數據指標，簡化監測與分析流程。透過紅外線攝影機進行夜行性陸蟹行為的 24 小時自動監測，並定期手動補充觀測。

2. 數據樣本不足

說明：限於觀測時間及資源，可能難以在不同環境中獲得足夠的樣本數據進行有效分析。

對策：將數據收集劃分為兩階段，以降低初期投入壓力並確保數據品質。透過多次測試觀察不同時間與天氣條件下的通行表現，並利用多地點數據整合，分析不同棲地條件下設計的適應性與通行效率，克服單一地點樣本不足的問題。

第二節 工作執行步驟

本研究針對小型動物垂直通行友善邊壁工法，設計四個實踐步驟分別為，以生物多樣性數據及 GIS 分析進行選址，結合現地調查篩選適合的試驗地點；於室內進行紋路設計與材質測試，並安裝於現場進行初步觀測；最後根據結果進行改良，完成二次實地實驗，驗證設計效果與耐用性。此流程為小型動物通行障礙的改善提供具體的操作架構，各項流程分述如下：

一、選址(I)：資料篩選與初步分析

(一) 生物因素分析

使用生物多樣性數據（iNaturalist、GBIF）識別目標物種的熱點分布區域，結合目標物種的生態需求（棲地特性、遷移模式）及活動季節，縮小潛在實驗地點範圍。

（二）作業因素篩選

參考水保局流域管理範圍與可操作性分析，篩選適合的水保設施，排除易受環境極端事件（如颱風、洪水）影響的高風險區域。

二、選址(II)：現地評估

（一）實地調查

使用生物多樣性數據尋找物種潛在分布位置，進行現地勘查，記錄目標物種之出沒。

（二）優先排序

根據出沒可能性、施工可行性、交通易達性等因子選定實驗場址進。

三、施作(I)：室內設計與初步實地實驗

（一）室內紋路生產

利用 3D 列印技術製作初步實驗邊壁紋路，測試材質包括 PLA、光敏樹脂等。對紋路進行初步攀爬測試，記錄目標物種通行時間、通行率和抓附力需求。

（二）現地邊壁安裝

將選定的紋路原型安裝於實驗地點，並搭配安裝紅外線感應攝影機與環境傳感器進行持續監測。

(三) 初步觀測

觀察動物的通行情況及設計物的環境適應性，記錄初步數據，並分析缺陷。

四、施作(II)：改良與進階觀測

(一) 紋路與材質改良

根據初步實驗結果，對紋路設計進行優化（如角度、排列方式），並嘗試耐用性更強或更環保的材料（如水泥、複合材料等）。

(二) 實地實驗

安裝改良後的紋路結構，並擴展實驗至其他地區物種或生命階段（如幼體與成年體）。測試目標包括通行效率提升幅度、材料耐候性及對植生和水文的影響等。

第三章 工作進度與交付項目

第一節 計畫甘特圖

本研究計畫分為四個階段，逐步完成關鍵工作項目，以確保生態友善邊壁的有效性。在選址期，將透過生物多樣性資料分析與多準則決策，選出最適合的實驗地點。施作期則根據選址結果確定設計方案，進行材料測試並完成邊壁施工與安裝。進入初步測試期後，將收集物種通行數據與安全性監控，並根據測試結果調整設計。在進階測試期，將對設計進行優化，並透過中短期監測與綜合評估，提出未來推廣應用的建議。

表 1 計畫甘特圖

重要工作項目	114 年										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
選址期											
施作期											
初步測試											
進階測試											
成果報告撰寫											

第二節 計畫交付項目

本計畫之創新工作在於設計並實踐針對動物垂直通行友善的邊壁紋路，填補現有生態工程對小型動物垂直攀爬需求的不足。根據陸蟹的生態行為與攀爬特性，計畫提出帶有內角之方格狀紋路設計，提

供垂直通行所需之抓握空間與活動機會。計畫以 3D 列印技術生產設計原型，修正後進行矽膠翻模，製作簡易水泥成品。並透過蒐集生態情報及現地勘查選定多處地點進行田野測試，以測試紋路設計對不同物種之垂直通行效益。本計畫動物友善邊壁實踐成果包含改良後紋路設計圖、翻製水泥模塊、陸蟹攀爬影像紀錄等。

一、選址與現場評估

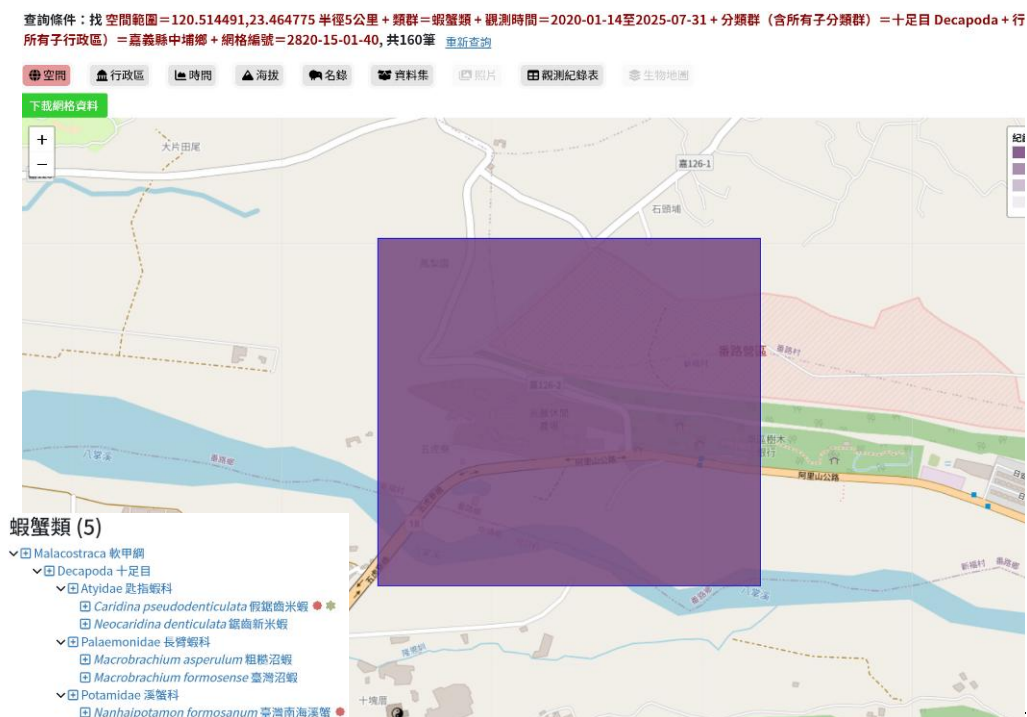
(一)生物多樣性資料分析

使用台灣生物多樣性網格 TBN，收集來自 iNaturalist 和 GBIF 等目標物種棲息熱點資料庫數據，考量陸蟹棲地與人工結構之重疊區域，以嘉義市仁義潭中心往外半徑 5 公里作為尋找範圍，觀測時間為 2020-01-14 至 2025-07-31。尋找分類為十足目，並剔除蟹類以外之物種如米蝦、沼蝦等。搜尋結果顯示具蟹類紀錄之範圍共 2 處，分別為嘉義縣竹崎鄉（網格編號：2820-15-10-43），觀測紀錄為 1 筆日本絨螯蟹(*Eriocheir japonica*)；及中埔鄉（網格編號：2820-15-01-40），觀測紀錄為 1 筆台灣南海溪蟹(*Nanhaipotamon formosanum*)，其中台灣南海溪蟹為特有種且在 IUCN 國際紅皮書中被列為易危物種 (vulnerable, VU)。

根據內政部國家公園署台江國家公園管理處 109 年度陸蟹生態

調查結果，園區內陸蟹種類高達 32 種，其中曾文溪口南岸城西夢幻湖及周邊海岸林為重要陸蟹熱點，凶狠圓蟹族群更是台灣最大族群。然目前在青草崙防汛道路旁有部分區段堤腳為 90 度光滑垂直水泥結構，雖未直接造成抱卵雌蟹降海遷徙之阻礙，但仍會增加抱卵雌蟹滯留於路面的時間而提高路殺及被捕捉的風險。

同位於台灣西南端之小琉球亦擁有高達 20 種之陸蟹，含毛足特氏蟹及紫地蟹，其中紫地蟹族群數最多，抱卵雌蟹降遷遭受路殺同為主要問題。大鵬灣國家風景區管理處琉球管理站主任指出，小琉球的紫地蟹於 2024 年路殺調查有 1679 隻，2025 年則紀錄有 1489 隻，其中環島公路美人洞路段為主要路殺熱區。另外旭日亭山側之擋土牆也因牆面光滑陡峭而對雌蟹降海造成困擾。



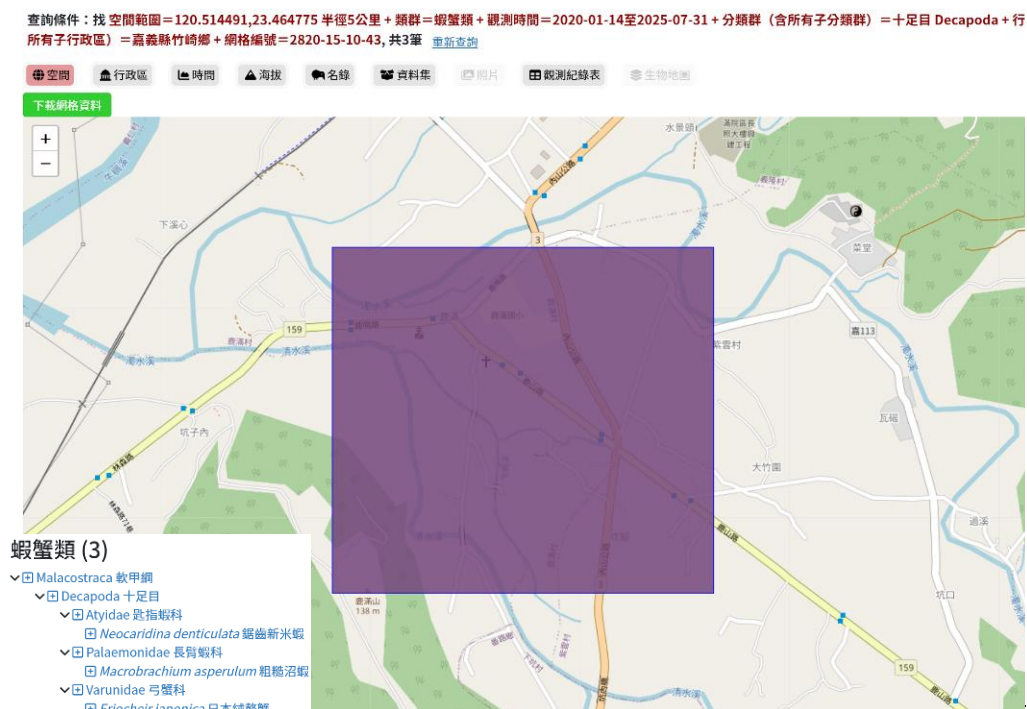


圖 3 生物多樣性網格搜尋結果。*中埔鄉之結果雖共為 160 筆，但具有蟹類紀錄之 1*1km 範圍共只有 5 筆紀錄，且僅有 1 筆為台灣南海溪蟹。圖源：截自 <https://www.tbn.org.tw/>

(二)選址決策

經場勘結果發現過往紀錄之點位幾乎無法目擊陸蟹個體的出沒，且大部分現況無法滿足實驗環境之需求。實驗主要因子為陸蟹出沒機率，再者為交通易達性及施工可行性。根據過往目擊資料與棲地環境綜合評估，初步實驗地點選定嘉義大學蘭潭校區。嘉義大學蘭潭校區已維持數年之溪蟹分布調查，校內具有多處穩定之台灣南海溪蟹族群分布，棲地緊鄰人工結構體如排水道、擋土牆、集水井等，符合實驗需求。

小琉球方面，據地方護蟹組織提供之情報選定兩處高潛力之實驗地點，即美人洞路段前段及旭日亭山側擋土牆，可觀察陸蟹種類含紫

地蟹、毛足特氏蟹、寄居蟹等。而台江國家公園鹿耳門一帶為凶狠圓軸蟹出沒熱區，實驗區域為城西夢幻湖青草崙堤防沿岸。

(三)現場調查與實地評估

嘉義大學蘭潭校區共發現 6 處穩定之台灣南海溪蟹族群分布區域，其中水生生物科學館、機車第六停車場及景觀學系路口排水道為高潛力實驗地點，三處皆有溪蟹築穴口臨靠人工結構物之特徵(圖 4)。

小琉球島嶼西北側美人洞彩繪牆排水孔及部分水泥渠道崩裂處，總長約 63 公尺高約 140 公分，得觀察紫地蟹棲息與活動；島嶼東北側旭日亭山側擋土牆，總長約 50 公尺高約 230 公分，目前為路蟹攀爬麻繩附掛示範區(圖 5)。

台江國家公園城西夢幻湖(鹿耳門夢幻湖)北側青草崙堤防前段，總長約 865 公尺，堤腳高約 40 公分或以上，底處可發現多具凶狠圓軸蟹乾枯遺體(圖 7)。

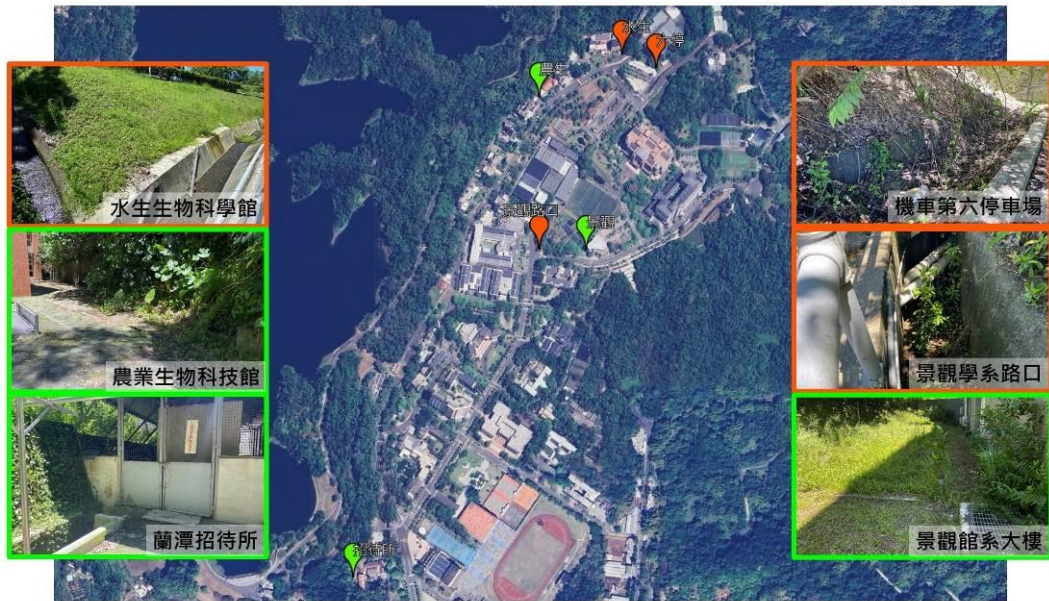


圖 4 嘉義大學蘭潭校區實驗地點及現況照



圖 5 小琉球實驗地點及現況照（旭日亭山側擋土牆）。經管理站主任及當地護蟹組織主要負責人指示，擋土牆底部排水溝中段有排水涵管，可供陸蟹降海遷徙。



圖 6 小琉球實驗地點及現況照（美人洞擋土牆）。排水孔及水泥結構崩毀處皆可發現紫地蟹之出沒。



圖 7 青草崙堤防實驗地點及現況照

二、設計與施工準備

(一)設計方案確認與修正

根據選址結果，制定生態友善邊壁的設計方案，包括紋路類型、材料選擇及安裝方式，並針對目標物種的攀爬需求進行優化。本次設計方案由 110 年建構小型動物生態友善邊壁之另類新思維(II)研究結果改良，考量蟹類攀爬之直覺性，調整後之隔柵設計擁有更多勾抓空間，減少試探行為發生，室內初步可觀察溪蟹更靈活之表現。設計規格如下：

- 1.原設計為 1 公分*1 公分相交間隔之方塊槽孔，左右間距寬 1 公分、上下間距 1 公分、深度 0.5 公分、內有 45°斜角。
- 2.調整後為 1 公分*1 公分連續方塊槽孔、間距寬 0.1 公分、深度 1 公分、內有 45°斜角。
- 3.基於翻製量產需求之設計規格為 1 公分*1 公分連續方形槽孔、間距寬 0.5 公分、深度 0.5 公分、內有 45°斜角。

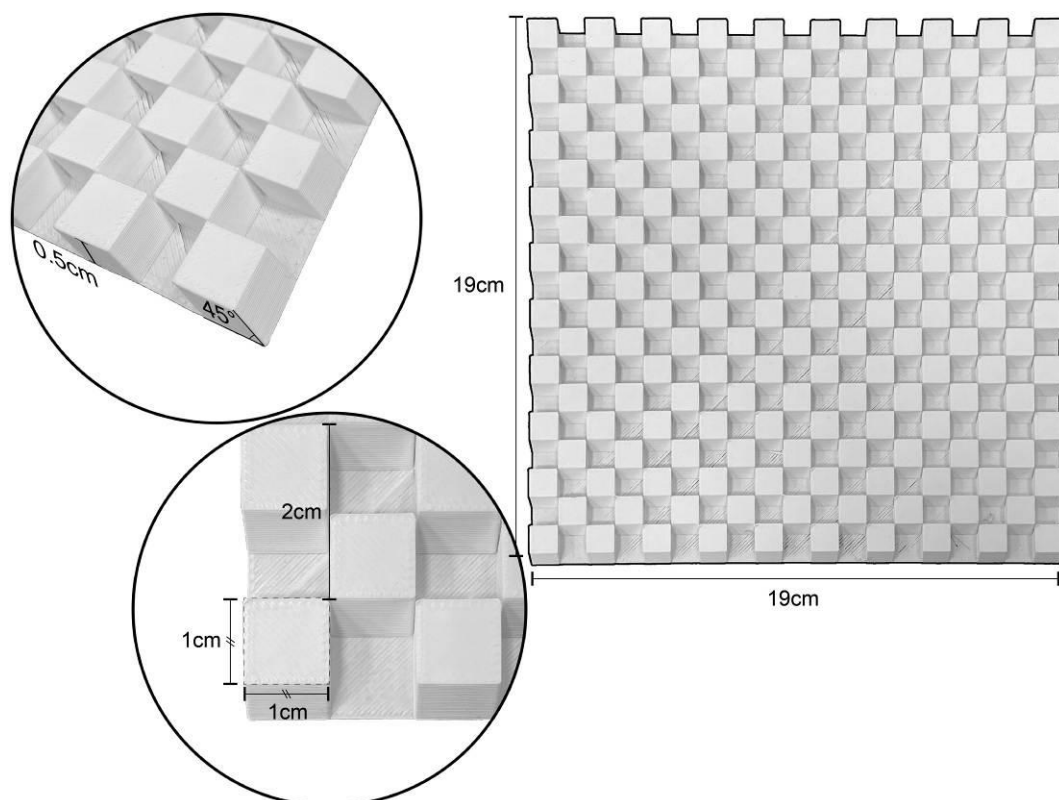


圖 8 過往(110 年)紋路設計圖

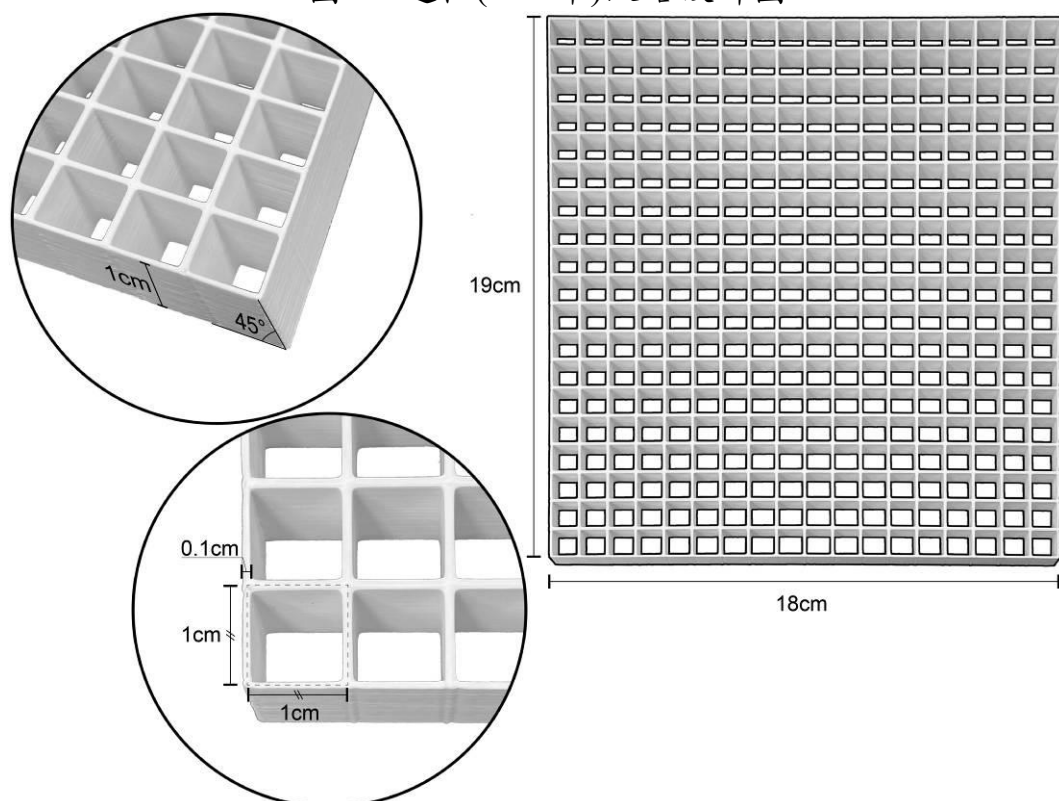


圖 9 本年度(114 年)改良後紋路設計圖

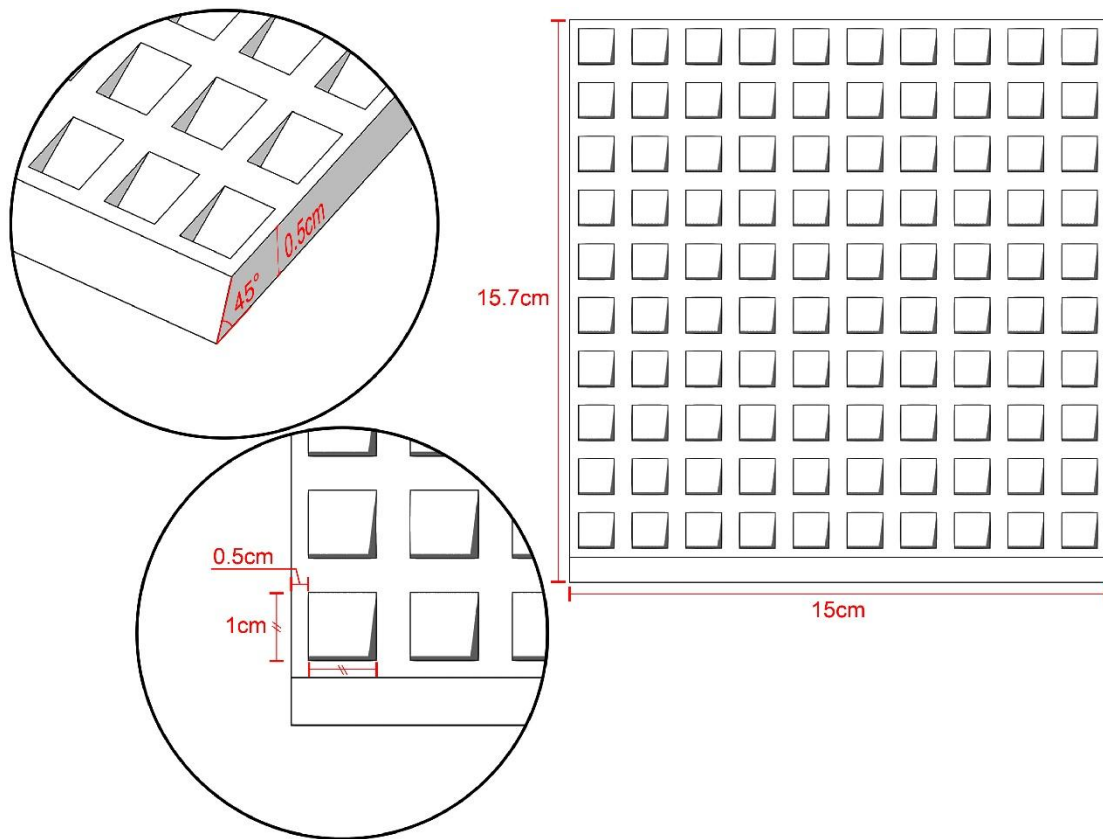


圖 10 本年度(114 年)翻製水泥模塊紋路設計圖

(二)材料製作

本次設計由開源 3D 軟體 BLENDER 4.4 建模，以 bambu lab studio 切片，並採用熱堆疊(fused deposition modeling, FDM)方式製作原型，利用高溫加熱擠出高熱塑性材料層層堆疊而成型。機型為拓竹 Bambu Lab X1 carbon，主要列印參數為層高 0.2mm、填充模式為直線交錯(Grid)、填充量為 15%、噴頭溫度為 220°C、熱床溫度為 60°C。線材則採用 Spider Maker 直徑 1.75mm±0.03mm 之暖白色聚乳酸(polylactic acid, PLA)，然 PLA 抗紫外線能力較弱，故另施以水泥漆作為表層防護。

水泥模塊則使用矽膠與凝固劑以 100：1.5 比例混合，將 3D 列印之紋路原型噴上離型劑，爾後將矽膠淋上紋路原型直至淹滿 1 至 2 公分，待矽膠完全凝固後取出矽膠模具，以 1：2 預拌水泥砂漿倒入矽膠模具內，放置於陽光底下曝曬 1 至 2 日後取出水泥模塊，翻面進行日曬直至完全乾燥。

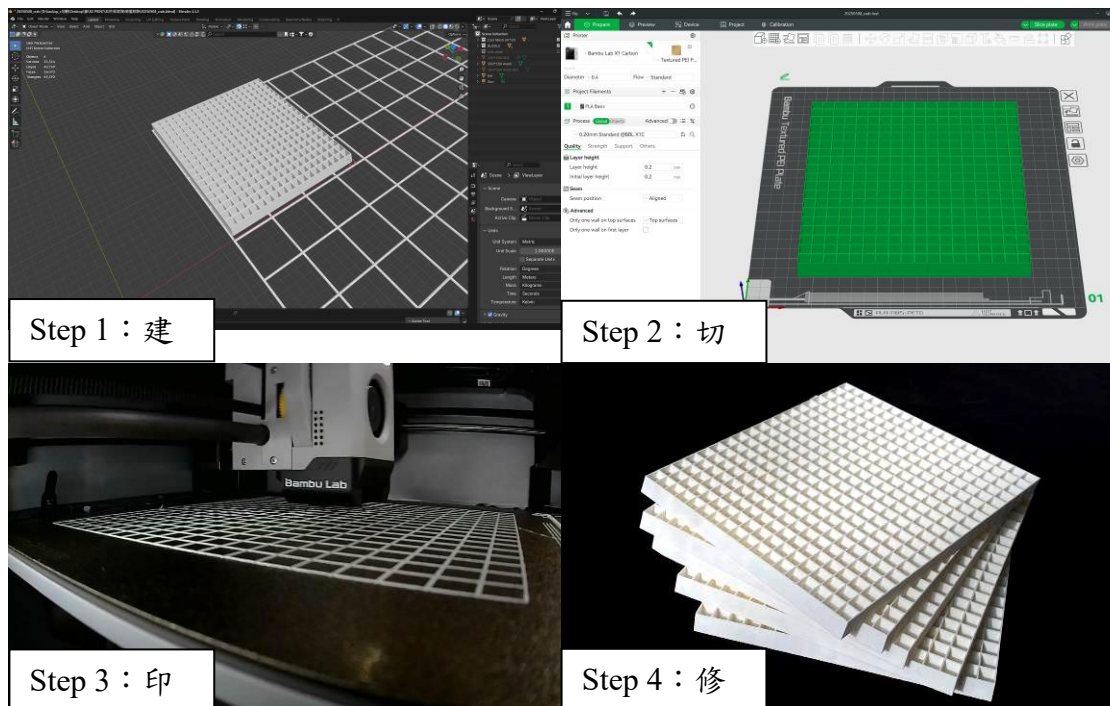


圖 11 實驗材料製作步驟

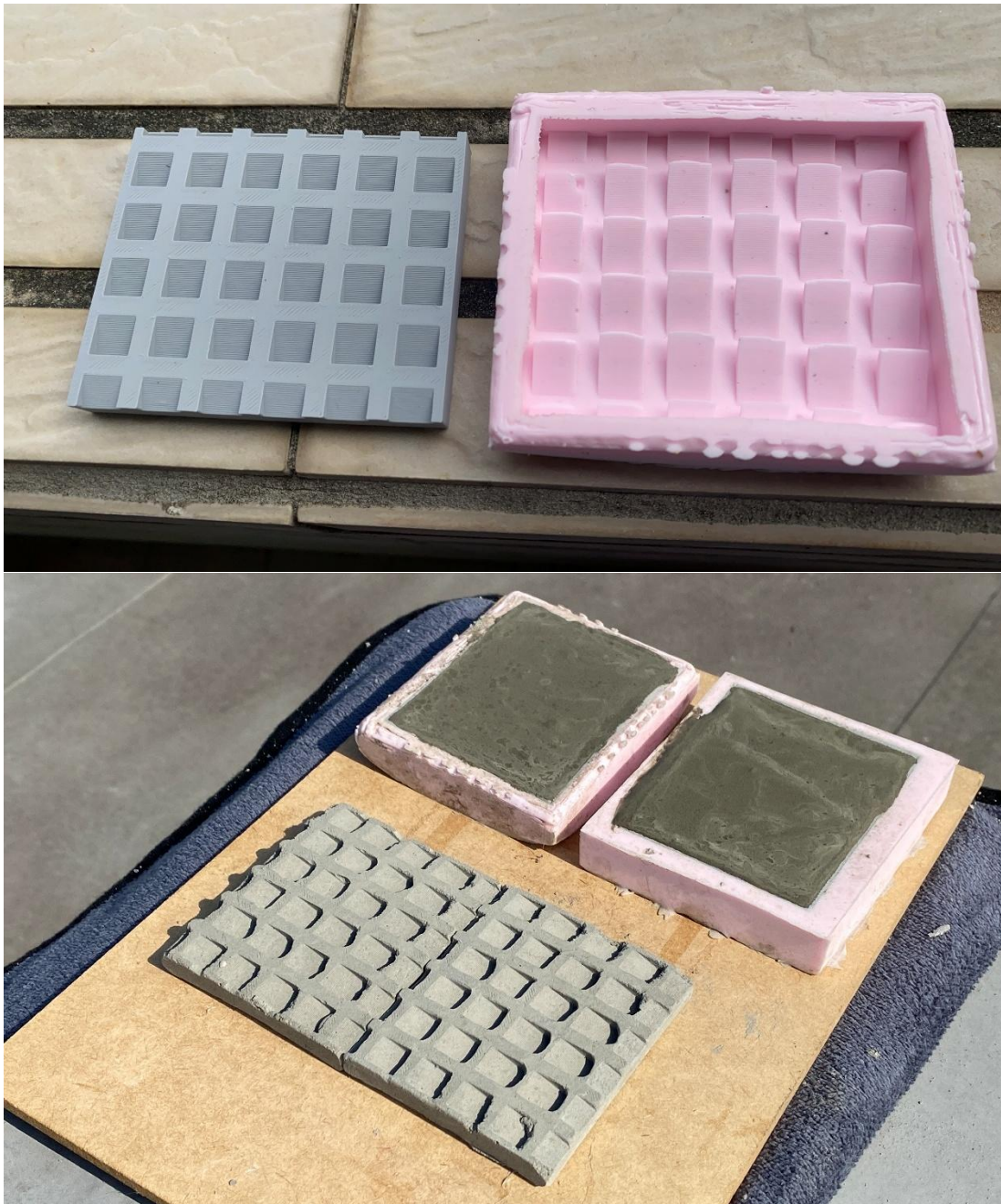


圖 12 水泥模塊製作概覽。上圖為紋路原型與矽膠模具；下圖為水泥翻模過程與成品。

(三)施工準備與布置

嘉義蘭潭實驗地點內以尼龍束帶將紋路模板綁定於 60*120 公分之平面方格網或直接並接，並以可調式掛勾吊掛於人工結構物上，頂部與底部視環境狀況增加負重物防止高強度水流擾動。

小琉球實驗地點以矽利康黏合於垂直牆面上。台江青草崙堤防由於結構量體較長，故採取採取偶遇式捕捉後釋放之實驗方法。

影像紀錄則採用紅外線攝影機 GardePro A5 以定時拍攝模式紀錄，解析度為 64MP、每 10 分鐘連拍 3 張、拍攝時段為夜間 1800 至清晨 0600。相機搭載 Sony Starvis 晶片，f/1.6 大光圈並具高效影像運算，具 36 顆高效能隱蔽式紅外線(940nm)閃光燈泡，閃光範圍 100 呎，即使在低光或黑暗環境中仍可以拍攝清楚影像。相片資訊包含日期、時間、溫度及月相。

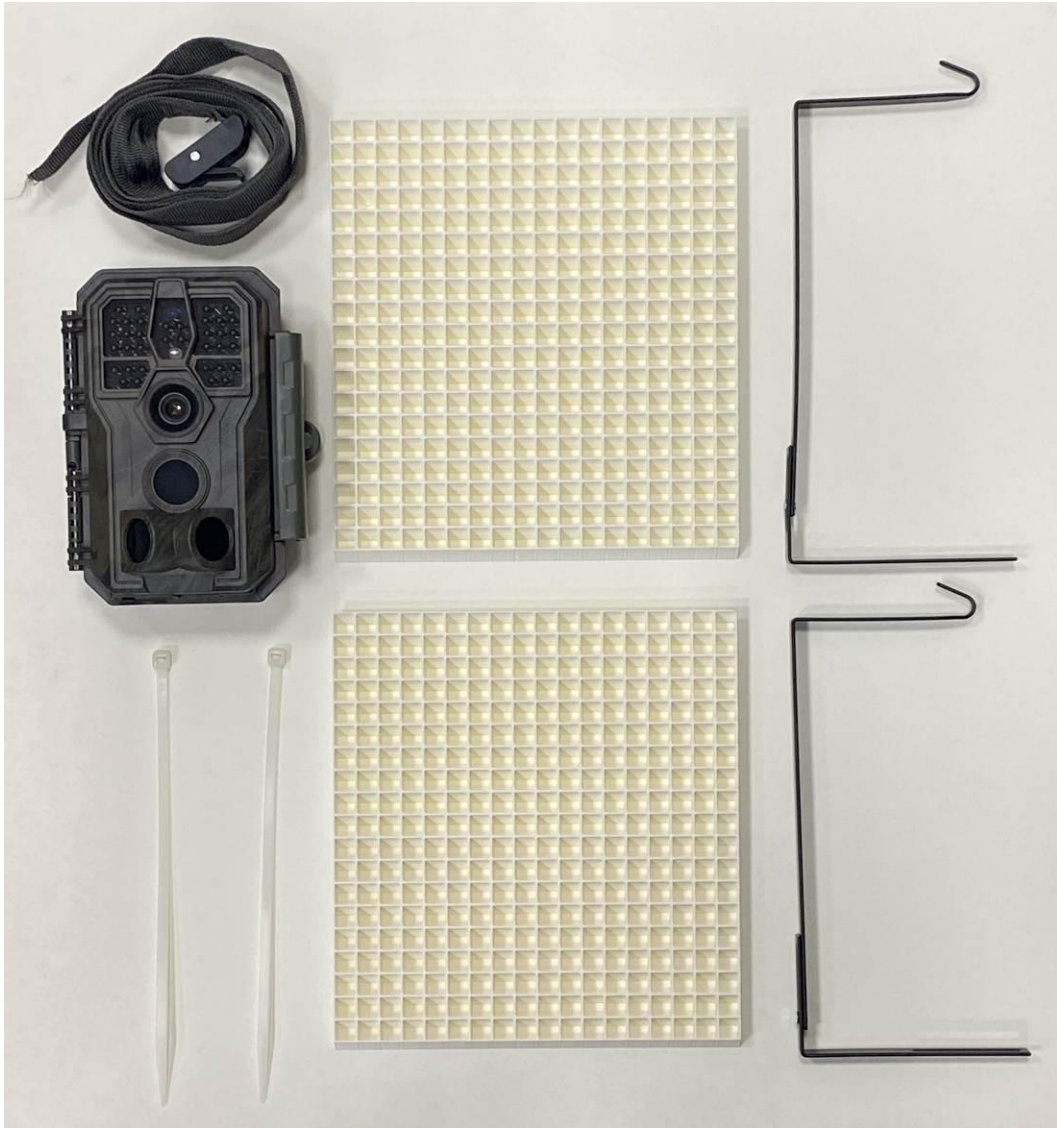


圖 13 實驗基本器材

(四)安裝與施工

在選定場址安裝邊壁模組，確保所有施工細節符合設計要求，並進行必要的安全檢查與測試。安裝測試期間(7/5~7/8)經歷過丹尼絲颱風，模板並無嚴重位移或損壞，洪水流經期間曾發生傾斜，平復之後有部分歪斜但仍可完整記錄模板覆蓋範圍。一處紅外線攝影機則傾斜幅度較大，但仍可照常運作，保持紀錄功能。

小琉球測試時間為10/4-10/1，紀錄時間為晚間1800至清晨0600，

攝影模式設定為每隔 15 分鐘連續拍攝三張。



圖 14 嘉義蘭潭實驗場域架設情形。上圖為水生生物科學館；中圖為機車第六停車場；下圖為景觀學系路口旁大排。

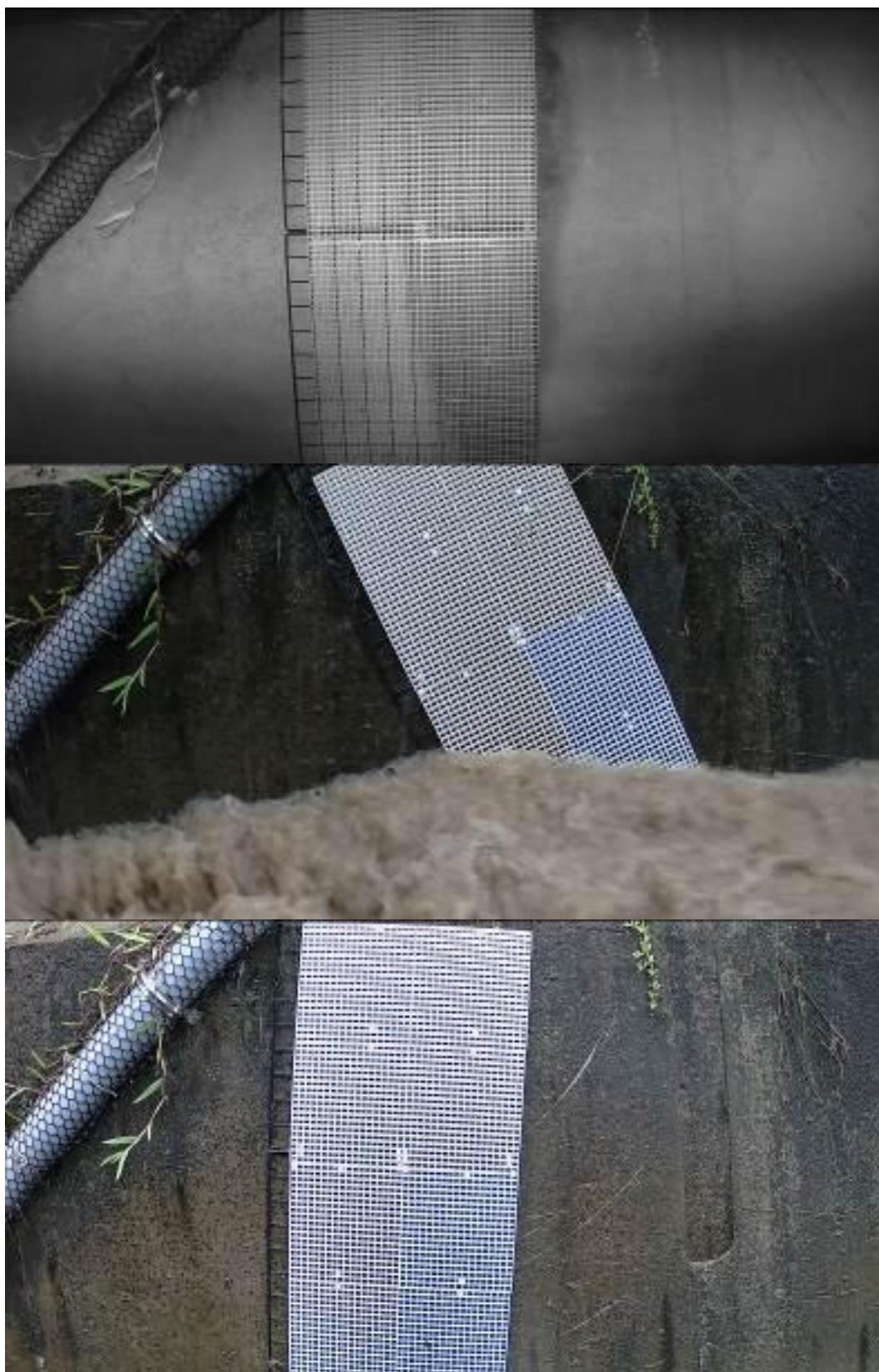


圖 15 颱風期間實驗場域情況（水生生物科學館）。圖上至下分別為颱風前、中、後。



圖 16 小琉球實驗場域架設情況（旭日亭山側擋土牆）



圖 17 小琉球實驗場域架設情況（美人洞擋土牆）

第四章 結論與建議

第一節 結論

(一)紀錄物種

本研究以台灣常見或具代表性的陸蟹為研究物種，透過垂直邊壁通行設計之實驗，評估不同陸生等級蟹類在人工結構環境中的通行能力與適應行為。所謂「陸蟹」泛指具備部分或高度陸生能力之蟹類，在水外具有活動能力，並非屬於單一分類群而是一種生活型態，常見於方蟹總科（Grapsoidea）、溪蟹總科（Potamoidea）、和尚蟹科（Mictyridae）、沙蟹科（Ocypodidae）、陸寄居蟹科（Coenobitidae）等。陸蟹可依 Watson-Zink（2021）所述六級陸生性分級系統區分，涵蓋自潮間帶至乾燥森林的廣泛生境。

本計畫初步以台灣南海溪蟹為實驗對象，該種為中高陸生等級物種，平時棲息於平地與淺山溪溝、林緣濕地等處，適合評估通行紋路對常見丘陵環境中溪蟹族群之影響。凶狠圓軸蟹或毛足特氏蟹則分別分布於濱海低海拔林地與潟湖濕地，具明顯之降海施幼習性，對於縱向通行需求更為迫切，亦可作為海陸遷移物種的實驗組。另棲息在砂質海灘的高潮帶至海岸林間外的寄居蟹，亦有棲息於海岸林下或紅樹林之物種，同樣具有降海釋幼、幼蟹登陸之需求。

(二) 攀爬測試

觀察記錄於 6 月、8 月、10 月、11 月分別進行，目前為止並無野外陸蟹直接使用之記錄，遂補充捕捉後釋放紀錄，物種含台灣南海溪蟹、陸寄居蟹及凶狠圓軸蟹。紅外線攝影機並無獲得長期大量之降遷紀錄，僅有部分主動捕捉測試可供翻模後水泥模塊可行評估。



圖 18 陸寄居蟹使用改良前紋路攀爬



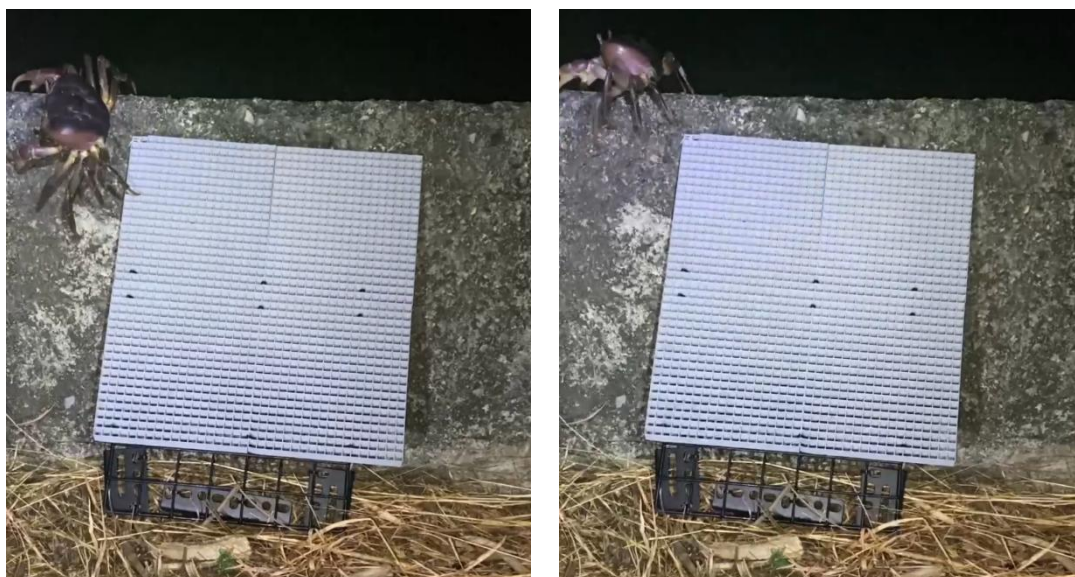


圖 19 凶狠圓軸蟹使用改良後紋路攀爬



圖 20 台灣南海溪蟹攀爬紋路利用情形。左為舊有設計，右改良後設計。

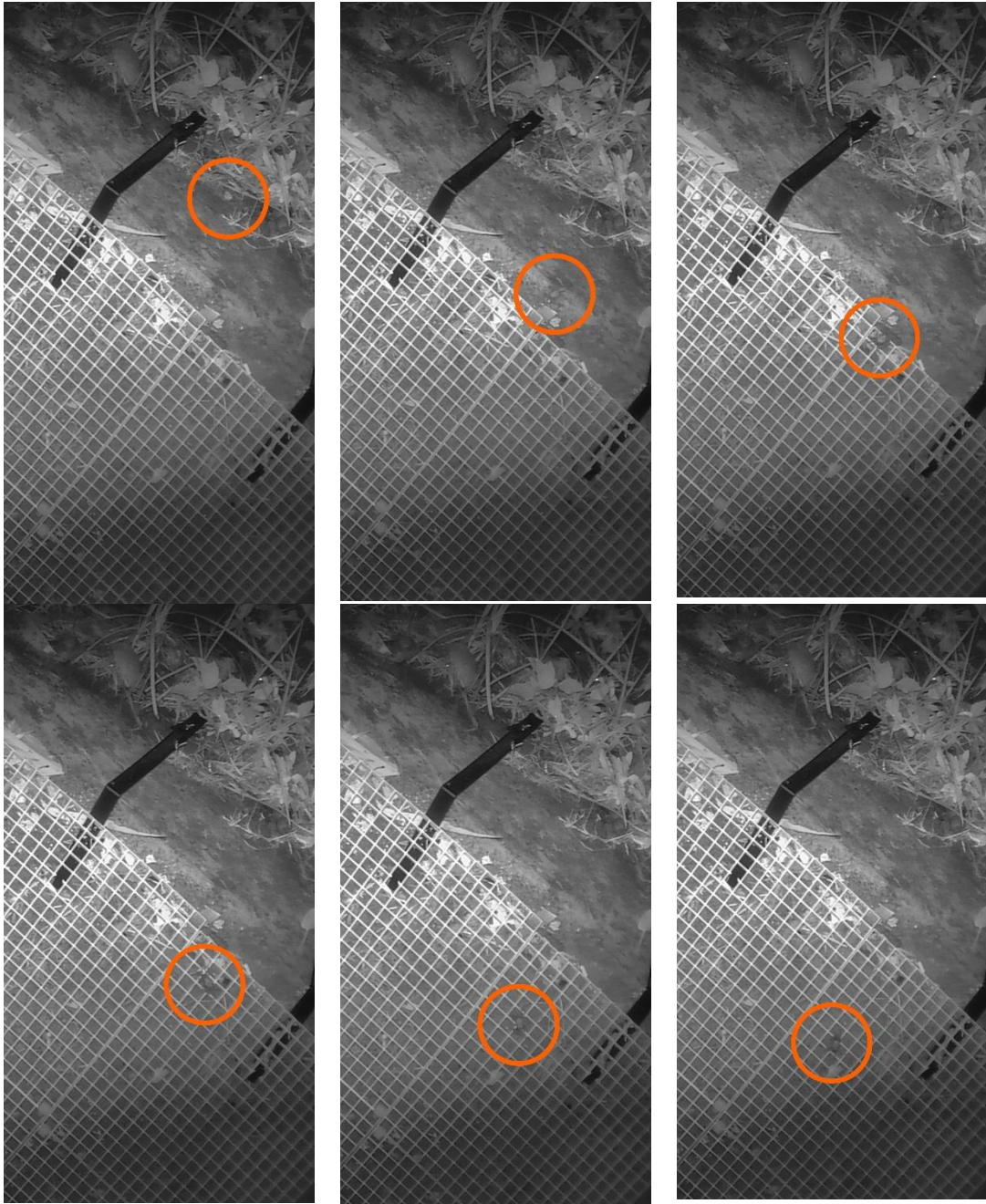


圖 21 台灣南海溪蟹幼蟹現地使用紀錄



圖 22 台灣南海溪蟹使用水泥模塊攀爬

第二節建議

由於對陸蟹活動範圍與時機掌握不足，無法收穫大量數據，本計畫團隊預計將於明年度延續資料收集工作，目前已與相關民間團體取得聯繫，如小琉球護蟹志工、城西社區，未來將合作進行長期監測。路方面，水泥模塊雖已成功翻製，然量產製作或是現場鑄造之模具仍有待研發。

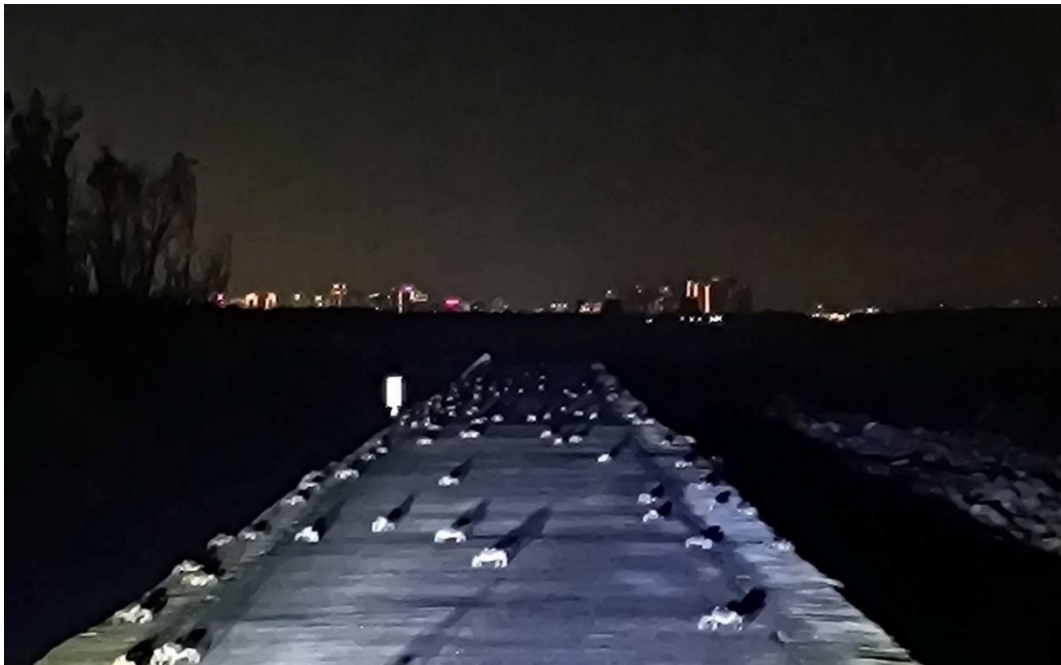


圖 23 城西社區提供之陸蟹觀察紀錄

參考文獻

1. Benítez-López, A., et al. (2021). The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis. *Biological Conservation*, 248, 108618.
2. Clevenger, A. P., & Waltho, N. (2000). Factors influencing the effectiveness of wildlife underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada. *Conservation Biology*, 14(1), 47-56.
3. Collinge, S. K. (1996). Ecological consequences of habitat fragmentation: Implications for landscape architecture and planning. *Landscape and Urban Planning*, 36(1), 59 – 77.
4. Dell, Anthony I., John A. Bender, Kristin Branson, Iain D. Couzin, Gonzalo G. de Polavieja, Lucas P. J. J. Noldus, Alfonso Pérez-Escudero, Pietro Perona, Andrew D. Straw, Martin Wikelski, and Ulrich Brose. 2014. “Automated Image-Based Tracking and Its Application in Ecology.” *Trends in Ecology & Evolution* 29(7):417 – 28.
5. Fahrig, L., & Rytwinski, T. (2009). Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. *Ecology and Society*, 14(1), 21.
6. Forman, R. T. T. (2015). *Road ecology: Science and solutions*. Island Press.
7. Ghoddousi, Arash, Erin K. Buchholtz, Alia M. Dietsch, Matthew A. Williamson, Sandeep Sharma, N
8. iko Balkenhol, Tobias Kuemmerle, and Trishna Dutta. 2021. “Anthropogenic Resistance: Accounting for Human Behavior in Wildlife Connectivity Planning.” *One Earth* 4(1):39 – 48.
9. Holderegger, R., & Giulio, M. D. (2010). The genetic effects of habitat fragmentation: consistent or confounded? *Current Biology*, 20(10), R541 – R542.
10. IUCN (2020). Wildlife-friendly linear infrastructure: Addressing biodiversity impacts of transportation systems. *IUCN World Conservation Congress*.
11. Langen, T. A., Gunson, K. E., Jackson, S. D., Smith, D. J., & Ruediger, B. (2015). Mitigating road mortality for amphibians and reptiles. *Conservation Biology*, 29(1), 139 – 149.
12. Plante, J., Jaeger, J. A., & Desrochers, A. (2019). The effectiveness

- of highway fencing in reducing wildlife – vehicle collisions. *Journal of Wildlife Management*, 83(5), 966-974.
13. Saaty, R. W. 1987. “The Analytic Hierarchy Process—What It Is and How It Is Used.” *Mathematical Modelling* 9(3):161 – 76.
 14. Watson-Zink, V. M. (2021). Making the grade: Physiological adaptations to terrestrial environments in decapod crabs. *Arthropod Structure & Development*, 64, 101089.
 15. 李俊生、張曉嵐、吳曉莆、全占軍、范俊韜（2019）。道路建設對生態系統穩定性的影響。生態學報, 39(2), 150-158.
 16. 臺灣生態學會(2020)。台江國家公園陸蟹生態調查。台江國家公園管理處委託辦理。

附錄

附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	1.核定經費為559仟元。 2.混凝土構造物多需先組裝模板後，再灌注混凝土，目前為求美觀均以造型模板組裝，其面飾不同紋路，建議研究造型模板不同紋路對小型動物垂直通行友善差異，提出可兼具美觀與生態性之模板形式圖樣。	謝謝評審的建議，以下為逐項意見回覆。 1.已依照核定經費調整計畫工作項目與預算細目。 2.本研究設計之紋路系針對動物行為需求，經由室內實驗證實之結果，設計尺寸與角度有一定要求，但不排除與既有之造型模板結合的可能性。本研究以探討紋路野外使用情況為主，施工方式研究為輔。預計於既有之場址及設施，以附掛預制紋路之方式進行。搜集資料後修正之設計可投入後續場鑄或預鑄工法研究參考。
二	一、P1.本年度計畫日期有誤。 二、「11-00薪俸」1.計畫專任助理人員請註明學歷及年資。 三、「12-00保險」請詳述保險各項的名稱。 四、「按日按件計資酬金」1.應低於業務費35%。2.研究主持人費以6,000 元/月為上限。 五、「25-00物品」「26-10雜支」請細分量化單價數量說明。 六、「26-20行政管理費」請按計畫經費總額(不含行政管理費)之10%以內調整計算。	謝謝評審的建議，已修正計畫日期與經費細目說明。

項次	審查意見	回覆辦理情形
	【行政管理費上限=(計畫經費總額-行政管理費)×10%=計畫經費總額/11】 七、「預算明細表」之薪俸及研究主持人費和附表一「薪俸、研究主持人費明細表」之薪俸及研究主持人費不一致。	
三	1.「11-00薪俸」1.計畫專任助理人員請註明學歷及年資，併請確認係"專任"或"兼任"。 2.本年度執行期限請修正為自114年2月18日至114年12月31日。(10.4個月)。薪俸、保險、退休離職儲金、主持人費、兼任研究助理，請以計畫執行期限10.4個月內編列。年終獎金亦配合計畫期程。	謝謝評審的建議，已修正計畫日期與經費細目說明。
四	一、「按日按件計資酬金」臨時工請改為兼任研究助理，並敘明學歷，併請依規定限額內編列酬勞。 二、「25-00物品」資料處理費、資料儲存費、分析軟體，請改編於「27-20資訊服務費」，並填「附表三資訊設備費用明細表」。 三、「25-00物品」施工器材，請細分量化單價數量說明。 四、附表一「薪俸、研究主持人費明細表」請刪除兼任研究助理資料。	謝謝評審的建議，已修正經費細目說明。

項次	審查意見	回覆辦理情形
五	1.P13"專任研究助理(高中畢業)"，請再確認若為專科學生每月薪資為 6000 元，若非專科學生請依按日按件計資酬金編列。 2.P14 與 P16 附表三 雲端存處空間及繪圖軟體經費相反，請再確認。	謝謝評審的建議，已修正經費細目說明(兼任研究助理薪俸及資訊服務費部分)。

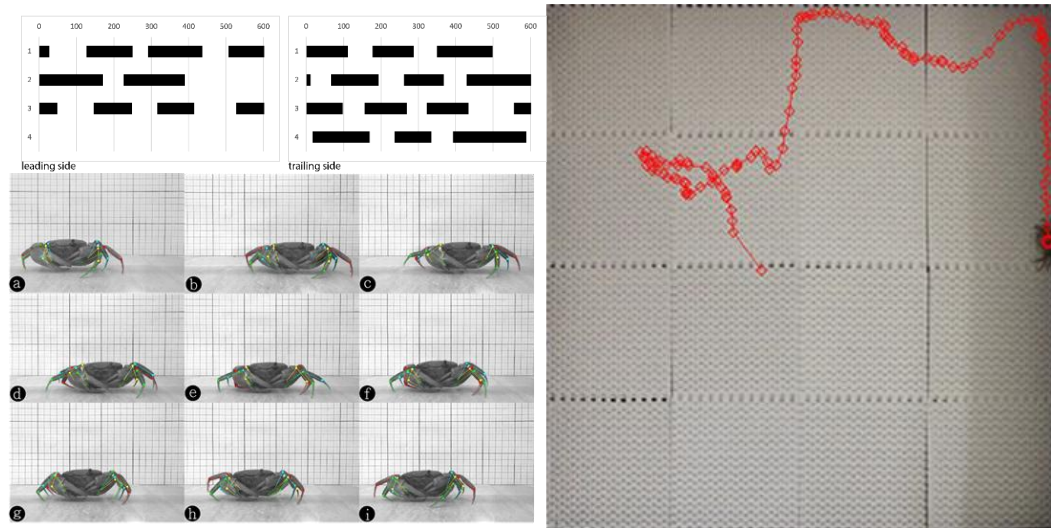
附錄二、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

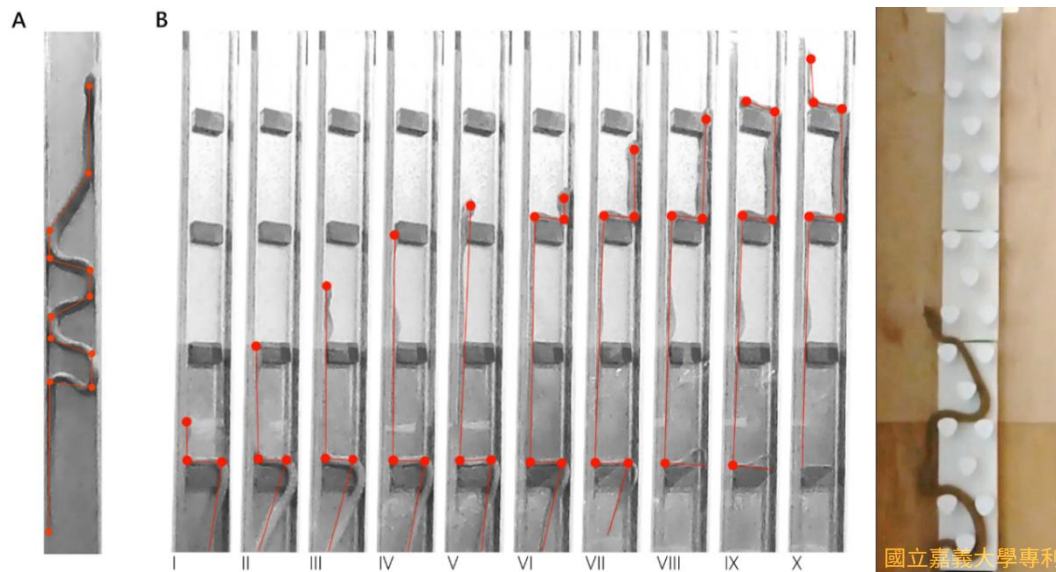
項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	本研究針對水保工程之生物棲地管道有更進一步之研究，調查當地若有陸蟹的出現，可於工程中編列所需之腹地土層及既有構造物光滑面的鋪設改善和營造措施，提高生物多樣性效益。	感謝委員指教，本研究已於本年度進行陸蟹出沒熱點盤點，未來將著力於縮小範圍，並找尋合適之地點與社區、公家單位合作，進行更進一步的實踐，期能回應國際生物多樣性保育之目標。
二	可加強更多物種的探討，並可分類給出調查結果，目前市面上的造型模板，可納入幾項粗糙度較具代表性之品項納入研究，分析其差異。	感謝委員提點，本年度目標物種為台灣地區代表性之中大型陸蟹(紫地蟹、凶狠圓軸蟹、毛足特氏蟹及台灣南海溪蟹)，未來將針對更多體型差異之陸蟹進行研究。目前市面上之造型模板尺寸上較無特定物種專一性，且顆粒較大
三	後續可再加強清水模之搭配。	感謝委員建議，本研究下階段之目標即為投入生產研發，目前設計之紋路內角對於現場鑄造較有難度，將以工廠預鑄作為先驅生產方案。
四	考慮到目標陸蟹類群中，有明確的利用濱溪帶下緣潮濕土層穴居的物種(如臺灣南海溪蟹)，未來或可結合其適合棲地間的小尺度連續度指標的發展，以更適切的評估通道的效益。	感謝委員指教，目前已有媒合社區及民間組織，未來將持續進行路蟹遷移行為與棲地連結度之觀察。
五	可以考慮不同紋理與坡度的相互搭配。	感謝委員指示，計畫係針對垂直壁面通行阻礙進行改善設計，待生產開發方式確立後，亦可運用於不同坡度與造型之壁面。
六	友善邊壁後續養護是否有評	感謝委員提點，目前所考量之

項次	審查意見	回覆辦理情形
	估其成本？	設計帶有小型槽塊空間，沙土落入後可形成淺根性植被之著生介質，除垂直通行外亦可成為垂直型微棲地，以提高生物多樣性。
七	面磚因要至於野外，日照曝曬容易導致材料劣化，材質方面是否有相關研究？	感謝委員提問，實驗材料僅為設計原型，往後將以工程應用之水泥材質作為生產材料。
八	可以誘餌，引誘動物通過邊壁。	感謝委員建議，團隊已有嘗試此方案，紋路架設之位置也非常鄰靠洞穴位置，唯獨陸蟹並無受到該誘因所影響，平面與垂直之交界有待處理，未來將持續關注野生動物之通行需求與動機。

附錄三、過往研究

過往研究建立了垂直邊壁紋路與攀爬效率的基礎資料庫，探索了台灣南海溪蟹、黃灰澤蟹及王錦蛇幼體的行為模式與攀爬需求。研究強調了結合內角、隔排及倒卵型設計的潛力，並證明角度與紋路樣式對小型動物通行效率的決定性作用。未來應進一步研究更多物種的行為模式，並整合出適合多樣物種及棲地類型的設計，同時著力於野外現地實驗與邊壁紋路施工方法的研發，以推動動物友善邊壁設計的全面應用。





【109 年研究：垂直邊壁紋路對小型動物攀爬行為的影響】

本研究首次揭示了紋路設計對小型動物攀爬效率的影響，為後續設計多物種友善邊壁提供了基礎數據。45度內角與隔排設計顯示出通用紋路的潛力，但仍需進一步研究其對材料選擇與其他動物行為的適應性。

一、研究物種與方法

本研究於嘉義地區進行，聚焦台灣南海溪蟹與王錦蛇幼體的垂直攀爬行為測試。研究設計了5種不同紋路樣式（A、B、C、D、E），比較其對溪蟹和蛇類攀爬效率的影響。測試使用90度垂直邊壁，並記錄成功率與平均完成時間。

二、關鍵發現

台灣南海溪蟹：

- 樣式E（45度內角交叉設計）最適合溪蟹攀爬，20個樣本在50公分距離的平均完成時間為2分03秒。
- 無內角設計的紋路對溪蟹攀爬不利，成功率低於60%，平均完成時間延長至3分鐘。

王錦蛇幼體：

- 樣式D（內角隔排設計）最適合兩物種通用，蛇類在100公分距離的平均完成時間為1分56秒。樣式D、F、G皆對蛇類攀爬有顯著幫助，完成時間均低於2分鐘。

【110年研究：不同角度與紋路樣式對動物攀爬行為的影響】

本研究拓展了多物種在垂直人工結構中的攀爬行為資料，聚焦於克服 90 度垂直邊壁的通行障礙。結果表明，45 度內角交叉設計和倒卵型紋路在提升蟹類與蛇類攀爬效率上具有顯著效果，為多物種通用友善紋路設計提供了科學依據，並進一步助力改善垂直人工結構對小型動物遷移的生態阻隔。

一、研究物種與方法

本年度研究延續了對台灣南海溪蟹與黃灰澤蟹的攀爬能力測試，並新增基盤攀爬角度對其移動行為的影響。同時，針對王錦蛇幼體測試了 4 種不同紋路的垂直攀爬效率。

二、關鍵發現

蟹類：

- 黃灰澤蟹的垂直攀爬平均完成時間（97秒）顯著優於台灣南海溪蟹（325秒）。
- 基盤角度對溪蟹影響顯著，60度角在完成距離、速度及轉折數上表現最佳，顯示較平緩的角度有助於提升運動效率。

蛇類：

- 在4種紋路中，倒卵型紋路的攀爬效率最高（平均完成時間為21.5秒），其他紋路的完成時間在26.2~30.9秒之間，速度差異達1.4倍。