計畫編號：109保發-11.1-保-01-06-001（14）

建構小型動物生態友善邊壁之另類新思維（I）

An alternative new approach to constructing eco-friendly sidewalls for small animals （I）

（期末報告書）

執 行 單 位：國立嘉義大學

執 行 期 間：109年02月26日至109年12月31日

計畫主持人 ：王柏青 副教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國109年11月

（本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考）

建構小型動物生態友善邊壁之另類新思維 （I）

摘要

台灣水利工程與道路工程，多以垂直式混凝土設計，點狀或線性的蓄水池、排水溝、野溪治理工程，易造成小型動物受困或移動上的障礙。本研究以嘉義地區為研究範圍，將台灣南海溪蟹、王錦蛇幼體置於不同紋路的 90 度壁面上進行攀爬實驗。5 種紋路樣式中發現，採用 45 度內角和交叉設計的紋路樣式 E 最有助於溪蟹在垂直壁面上攀爬。20 個樣本，50 公分距離，平均完成時間為 2 分 03 秒。另 3 種紋路樣式皆使得王錦蛇攀爬成功，10 個樣本，100 公分距離，平均完成時間為 1 分 56 秒。而採取內角隔排設計的樣式 D 具有兩個物種的攀爬紀錄，值得進一步改善成為通用型紋路。

關鍵詞：壁面紋路、動物脫困、生態設計

An alternative new approach to constructing eco-friendly sidewalls for small animals （I）

Abstract

Water conservancy and road constructions in Taiwan are mostly designed in vertical concrete. These point-shaped or linear reservoirs, drainage ditches, and river constructions may cause small animals trapped or blocked. 20 *Nanhaipotamon formosanum* and 10 *Elaphe carinataon* were placed on 90˚walls with different patterns for climbing experiment. Result shows that type E, which got 45-degree internal angle and cross design, is the most helpful for crab to climb on vertical walls.20 samples completed 50cm vertical wall in a average time of 00:02:03. Most snakes have successfully climbed all the three 100 cm patterns in 00:01:56.Type D that recorded climbing of two species needed further improvement to become a universal design.

Keywords: wall textures, animal rescue, ecological design

目次

摘要.....I

Abstract.....II

目次..... III

表次..... V

圖次.....VI

第一章　緒論 1-1

第一節　計畫緣起 1-1

第二節　計畫目標 1-5

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 2-2

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 3-2

第四章　動物攀爬實驗 4-1

第一節　動物樣本之基本條件紀錄 4-3

第二節　運動行為模式分析 4-6

第三節　實驗材料與紋路設計 4-11

第五章　結果及討論 5-1

第一節　結果 5-1

第二節　討論 5-6

參考文獻.....參-1

附錄.....附-1

附錄一、實驗物種飼養狀況 附-1

附錄二、生物基礎資料 附-2
附錄三、蛇類測量圖 附-4
附錄四、實驗巢箱內部溫度-照度圖 附-5
附錄五、實驗室內環境溫度-濕度-照度圖.....附-6
附錄六、步伐樣態紀錄表 附-7
附錄七、壁面紋路尺寸 附-9
附錄八、攀爬實驗各組完成時間 附-12
附錄九、完成時間與生理資料對比 附-14
附錄十、性別與完成時間檢定 附-17
附錄十一、爬行軌跡圖 附-19
附錄十二、提案審查會議紀錄暨回覆辦理情形 附-36
附錄十三、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形 附-39
附錄十四、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形 附-43

表次

表 3-1 計畫甘特圖……3-1

表 3-2 計畫交付項目圖……3-2

表 4-1 台灣南海溪蟹基礎生理資料……...4-3

表 4-2 王錦蛇基礎生理資料…….....4-5

表 4-3 台灣南海溪蟹基礎生理資料(運動行為).....4-6

表 4-4 每支步足佔比表…….....4-7

表 5-1 台灣南海溪蟹各組完成時間表…….....5-2

表 5-2 台灣南海溪蟹(雌雄)各組完成時間表.....5-3

表 5-3 台灣南海溪蟹完成時間與體重大小相關性分析表.....5-4

表 5-4 王錦蛇各組完成時間表…….....5-5

表 5-5 王錦蛇幼體完成時間與體重大小相關性分析表.....5-6

圖次

圖 1-1 人工結構物示意圖.....1-1

圖 1-2 目前人工生態逃生設施.....1-4

圖 2-1 計畫流程圖.....2-1

圖 2-2 台灣南海溪特徵結構.....2-3

圖 2-3 實驗地點位置圖.....2-6

圖 2-4 實驗物種飼養狀況.....2-8

圖 4-1 實驗生物運動示意圖.....4-2

圖 4-2 採樣地點.....4-4

圖 4-3 台灣南海溪蟹生物測量情況.....2-12

圖 4-4 蛇類生物測量圖.....4-5

圖 4-5 步伐頻率與完成時間關係.....4-7

圖 4-6 步態紀錄示意圖.....4-8

圖 4-7 台灣南海溪蟹運動模式.....4-9

圖 4-8 花浪蛇運動時間.....4-10

圖 4-9 花浪蛇攀爬行為.....4-11

圖 4-10 實驗工具圖.....4-12

圖 4-11 實驗巢箱圖.....4-13

圖 4-12 壁面紋路樣式.....4-14

圖 5-1 台灣南海溪蟹各組完成時間圖.....5-2

圖 5-2 王錦蛇各組完成時間圖.....5-5

第一章　緒論

第一節　計畫緣起

台灣地狹人稠，許多土地卻在都市擴張下超限利用。而為求高效建設，工程大量採用混凝土設施，如擋土牆、排水溝、沉砂池等，這些垂直或下凹的設施（如圖 1-1）都會威脅到野生動物的生命安全。根據鄭偉群等人 2012 至 2017 年的野外觀察紀錄，受困於人工結構物的陸域動物物種總計 36 種，受困的動物含括小體型的蛙類、蜓蜥，至中小體型的鳥類與哺乳類。台灣生態工程於 2002 年正式應用，十年來生態逐漸受到重視，有關之野生動物移動輔具也正開始發展。



圖 1-1 人工結構物示意圖

台灣的河川堤防、道路邊坡、溪溝整治因經濟效益與風險考量，多以混凝土三面光設計。均一化設計往往與周圍環境格格不入，加上對環境缺乏瞭解，常在不適宜的地點施工，造成野生動物移動的障礙，並減少族群遷移與基因交流的可能。中小型動物如哺乳類、兩棲類、甲殼類與部分爬蟲類，因棲地周遭環境，加上其活動及體型限制，經常被困死在懸涯峭壁般的混凝土設施中。目前相關研究建議與生態工法多注重在材質更替、坡度減緩或外掛設施等，但多在土地不足與資源缺稀的情況下窒礙難行。

混凝土材質的工程結構物都有著幾乎光滑的牆面，不同於自然環境的溪溝或水池，表面粗超、坡度平緩，動物多能找到平緩、粗糙的邊坡脫離困境。有些混凝土結構物對於小型動物來說高度落差過大，陡峭的壁面使小型動物攀爬困難，而低於地表的囊狀設計更宛如掉落式陷阱，受困的野生動物會因摔落受傷、缺乏營養、曝晒虛脫或下雨積水而死亡。此外，混凝土結構物通常伴隨在柏油路旁，野生動物因無法快速通過，導致力竭或反應延宕，最終被路殺（roadkill）。景觀與道路生態學家 Richard T.T.Forman（2015）曾提過，除了棲地破碎化，路殺也是野生動物數量降低的主要原因。道路死亡率對物種豐度與族群大小都有負面影響，進而影響到遺傳多樣性（Fahrig & Rytwinski, 2009）。族群數量減少可能導致不利的遺傳效應（genetic

effect），如遺傳多樣性的減少和近親繁殖的增加（Frankham, 2005）。

不少生態學研究指出，網狀的道路建設持續地侵犯著原始生態環境，使棲地破碎、縮小、獨立且互不相聯（Collinge, 1996），這將導致生態系統功能趨於簡化（李俊生、張曉嵐、吳曉莆、全占軍、范俊韜，2009）。物理性的阻隔對小型野生動物而言更容易由一個主要族群（metapopulation）分割成數個副族群（subpopulation），進而影響物種的基因交流（Langen, Gunson, Jackson, Smith & Ruediger, 2015）。線性設施所產生的新界線不僅破壞了地景結構的完整性，更壓縮了動物的生存空間，最終成為動物移動、遷移和基因交流的障礙（Holderegger & Giulio, 2010）。

環保主義（environmentalism）為當代的主流思潮，許多生態相關知識被納入工程的研究與設計，發展出不同的工法。生態廊道的概念在土地規劃中逐漸被實踐，例如道路兩側設計讓野生動物穿越的橋樑或函管，結果證實了野生動物通道（wildlife crossing structure）是相當可行的方法（Forman et al., 1995），合適的設計可以大幅降低野生動物因道路所造成的傷亡（Clevenger & Waltho, 2000），增加動物存活、移動與基因交流的機會。有些情況經營管理單位還會使用圍籬與植被來阻絕或導引野生動物使用通道（Plante, Jaegera & Desrochers, 2019），或使用警告標誌或降低車輛速限（Collinson, Marneweck &

Davies-Mostert, 2019）。

除了穿越平面道路的通道，針對垂直人工結構物也有脫困設施如，斜坡、梯子、草繩等，卻因設置範圍有限而無法滿足全面的需求，且特定地點的設置長期之下將引來盜獵者或捕食者的駐守。此外就工程上的考量，多數地點具有腹地不足與材料可及性的問題而不適合降低坡度或更換材質，外嵌式的設施也會影響既有設施原本的功效。

本計畫以動物的運動行為（locomotion）作為工程設計的依據，透過提高小型動物脫困的機率來改善人工結構物。希望能為野生動物保育提供多一種工具，減緩開發對野生動物生存造成的壓迫。



圖 1-2 目前人工生態逃生設施。A.浮動式逃生斜坡 (劉威廷 攝)；B. 青蛙逃生梯 (林雅玲 攝)；C.部分雙側緩傾斜式側溝 (劉威廷 攝)；

D.集水井動物逃生斜坡（鄭偉群 攝）

由動物運動的角度去切入工程設計，能使建設工程對於動物生存的壓迫降低，對於棲地的破壞降低，也能以更因地制宜、就地取材的方式，考量不同的地理、環境條件，來進行工法的設計與施工，推動生態的保育行動。本研究希望從實務之角度，提供一種便捷替選工法協助小型動物攀爬，並減少對流水斷面之影響，從實務角度，建構友善、簡易、快速佈建之輔具，協助小型動物自人工邊壁中脫困。

第二節　計畫目標

一、計畫目標

本計畫的目標是建構小型動物的邊坡設計與施工原則。藉由動物的運動行為能力以及對建設環境的反應，探討動物在不同紋路的垂直壁面上的運動行為。

國內大多地區為減少工程佔地面積，許多溪流或溝渠工程護岸與水平面之夾角大於 60°，多數中小型野生動物難以從底部攀爬逃脫，形成動物受困及水陸域橫向阻隔等問題，而當前解決方式唯有採用臨時脫困設施協助動物，故本計畫旨在思考如何將工程之土地利用減至最小的同時，讓動物也可自行逃脫這些生態陷阱。

此外，計畫將考量混凝土模板及施工步驟與器具，來設計簡易、快速、可行的工程輔具，協助小型動物自人工結構物中攀爬脫困；或是提供一種便捷替選工法，進行二次施工，並以對流水斷面之影響最小為目標，提升水土保持與保育的機能。本計畫就土地與材質限制、施工器具與步驟、動物的運動行為，探討適合動物攀爬的邊坡設計，成果具有以下的工程與生態的潛在貢獻：

（一）提供廣泛適用之生態補償：就目前台灣既有的渠道、擋土牆等垂直人工架構物做出改善，例如利用切割機鑿切既有面材。

（二）新設邊壁可快速施作完成：例如選用清水模板施作，脫膜後即有功效，而不用二次施作。

（三）彈性組合：可針對地區特殊物種組成，調整面材組合模式，提供多樣攀爬壁面。

（四）提供法規修訂之參考：公共工程可藉此修訂標準，或藉由「生態檢核」之成果，要求對生態熱區（ecological hotspot）的垂直邊壁進行改善。

二、目標族群

農村多位於都市與未開發林地之銜接處，是生物種類豐富的生態過度帶（ecotone）。然而分布在農村的混凝土設施物卻阻礙了動物的移動，利於排水的結構設計，反而成為了野生動物的困局。水泥化的

建設大幅更動了農村原來的動物棲地，以往出現在農田生態系的爬蟲類、兩棲類，甲殼類類皆逐漸消失。由於經費與經驗限制，本次計畫將取兩種農田生態物種做為實驗目標物種。以爬蟲類與甲殼類，探討小型動物運動行為與不同混凝土壁面紋路的關係。

(一) 甲殼類

施志昀、李伯雯（2009）在《台灣淡水蟹圖鑒》中提到，由於自然灌溉渠道變更為混凝土渠道，導致蟹類族群數受影響。螃蟹以頭胸甲為重心，使用四對步足進行移動，螯足為了防禦、進攻與掘洞，不參與運動。爬行時一側步足彎曲，用足尖抓住地面，另一側步足向外伸展，當足尖夠到遠處地面時便開始收縮，而原先彎曲的一側步足馬上伸直了，把身體推向相反的一側（如圖 4-1 所示）。

促使螃蟹移動的動機可分為三種：生殖遷徙、覓食移動及禦敵或挖穴。長距離遷徙的藍蟹 *Callinectes sapidus* 一天可移動 1000 公尺到釋卵地點（Cargo, 1958）。短距離離開巢穴的螃蟹，如股窗蟹屬的 *Scopimera inflata* 會在半徑 50 公分內不斷儲存食物（Fielder, 1970）。和尚蟹 *Mictyris longicarpus* 會在 1 至 2 個小時內切換進食與行走模式，並以每秒 0.15 公尺的速度返回 400 公尺內的巢穴。而 Ocypode 屬的眼角沙蟹一晚可行 300 公尺以尋

找獵物。

螃蟹在平行中的運動模式有三種，行走（walking）、小跑（trotting）與奔馳（galloping）。行走模式的螃蟹會使用四足交替步態（alternating tetrapod gait），單邊主要采 1-3-2-4 或 2-4-1-3 的組合，兩邊對側循環（Barnes, 1975；Clarac, 1981）螃蟹以撐杆原理的倒鐘擺型（inverted pendulum）移動方式往前推進，利用勢能與動能交替可減少肌肉額外產出機械能的需求（Full & Weinstein, 1992）。小跑（trotting）的移動方式與行走相同，但節省的能量減少，形成類似彈跳球或彈簧桿般幅度更大的同步擺蕩（Full & Weinstein, 1992）。而在 Blickhan & Full（1987）的研究中，角眼沙蟹在達到每公尺 0.8-0.9 秒以上時就會運用奔馳（galloping）來移動。奔馳中的步態與常態不同，肌肉的電位活動轉變，第五或第四步足騰起并不會參與到運動當中，通過跳躍與更低的步伐頻率提速，騰空模式也會出現（Burrows & Hoyle, 1973）。

螃蟹的移動速率在超越最高耗氧量時會進行無氧代謝（anaerobic metabolism）來提供能量。在 Full（1987）對眼角沙蟹的研究當中，發現在運動十至十五分鐘后發現乳酸鹽的排除將會提供運動時所需的能量。低於最高耗氧速率（maximum aerobic

speed）中的能量消耗則由有氧代謝的 ATP 提供。而螃蟹在步行轉換到小跑地過程中，肌肉也會呈現出大幅度增加的乳酸鹽，并且大量消耗磷酸精氨酸（Full & Prestwich, 1986）。

擁有較高有氧容量的動物可以承受更高的，眼角沙蟹可達到的最大耗氧量與記錄中的變溫動物如蜥蜴相同（Bennnett, 1982）。利用幾丁質的鰓與閉鎖循環系統呼吸並不會限制氧氣吸入能力（Full & Weinstein, 1992）。以眼角沙溪爲例，在最高有氧速度兩至三倍的速度中可支撐 50-36 秒，在維持數秒內甚至有可能提高至 15-20 倍（Full & Prestwich, 1986）。耐久度方面，眼角沙蟹以每秒 0.3 公尺的速度可持續 7.5 分鐘，135 公尺的距離。但在 2 分鐘行走 2 分鐘間歇的情況下，可提升至 87 分鐘，787 公尺的距離（Full & Weinstein, 1992）。在持續性的運動下，遠距離移動能力將受間歇影響，隻要有間歇階段，螃蟹可以不知疲勞的高速行走。在緊張狀態下，如過長的運動時段與過少的間歇時段也將會限制螃蟹的運動行爲（Full & Weinstein, 1992）。

螃蟹的運動行為涉及步足和粗糙表面的接觸，依賴抓地力進而移動身體，混凝土化的工程表面缺乏多孔隙的結構，使螃蟹移動時，指尖沒有施力點來支持身體移動，難以攀爬陡峭的邊壁，落入溝底便難以脫困。

(二) 爬蟲類

蛇類爬行時，身體於地面上進行水平的波狀彎曲運動，使彎曲處的後邊施力於粗糙的地面上，由地面的反作用力推動蛇體前進，由於蛇沒有胸骨，肋骨可以前後自由移動，肋骨與腹鱗之間有肌肉相連。肌肉收縮時便協助肋骨向前移動，這就帶動後側的腹鱗逐漸豎立，如同踩著地面，接著肌肉放鬆之後，腹鱗後緣施力於粗糙的地面，靠反作用把身體往前推，使蛇的身體向前爬行。

現今的排水工程表面光滑缺乏顆粒，不同於在不規則的岩壁或樹梢移動時，蛇類可以利用骨骼、肌肉與外皮共同協調，以支援前半段的身軀，以懸空方式跨越兩端（林郁君、黃基礎、杜銘章，1999），Heckrotte （1967） 曾比較不同吻肛長的蛇類瞬間的爬行速度，結果發現吻肛長大的速度顯著大於吻肛長小的蛇，但是當吻肛長大於 45 cm 時，則速度反而下降。另外在遊蛇屬中也發現體型越大其瞬間爬行速度較低（Hailey & Davies, 1986）。蛇類的吻肛長與年齡有一定程度的相關，年齡越大通常體型也越大（Parker & Plummer, 1987），因此年齡與體型的成長，影響蛇的生理及行為衰退的現象，也影響了蛇類攀爬與逃脫的能力。

擋土牆、排水溝廣泛用於山區道路與斜坡邊，若是角度過於陡峭或是高度距離較長，會使部分爬行力不足之爬蟲動物或是兩

棲類等較小型的動物，再遷移過程中因無法穿越，不斷在路面上沿著牆面移動，增加在道路上滯留的時間，相對遭路殺之機率即增高。目前資料顯示，臺灣路殺以兩棲爬行類為主要族群，兩生占 51%、爬行類占 26%，而過去文獻指出爬行動物是通過車輛碰撞最受道路影響的脊椎動物之一，他們容易被駕駛員故意碾死，且因外溫動物的動物需求，經常停留在柏油路面上體溫調節，再加上其體型細長，使他們更容易發生輾斃情形（Oliveir et al., 2018）。而根據農委會特生保育中心成立之路殺社，以往的路殺紀錄中，蛇類以嘉義縣為全台紀錄最多，其中尤其為帶卵母蛇經常被路殺，另體型較小的陸棲蛇類最不容易翻過壁面。本計畫參考相關動物行為與邊坡設計相關研究，藉由不同動物體型差異、邊坡紋路變化、邊坡角度變化，探討不同的混凝土邊坡對於動物攀爬的影響。期待計畫成果可供日後田野地區道路邊坡與水利邊坡設計之工程參考。

第二章 工作執行方法與步驟

第一節 工作執行方法

確立計畫動機與目的之後，首先由文獻回顧分析動物生理學基礎與現地物種生理調查之相關研究，接續進行實驗動物運動性為分析，擬定壁面紋路初步設計，進行初步實驗，藉由實驗結果探討紋路設計與修正，進行二次實驗，分析討論結果與後續工程與研究相關建議（如圖 2-1）。

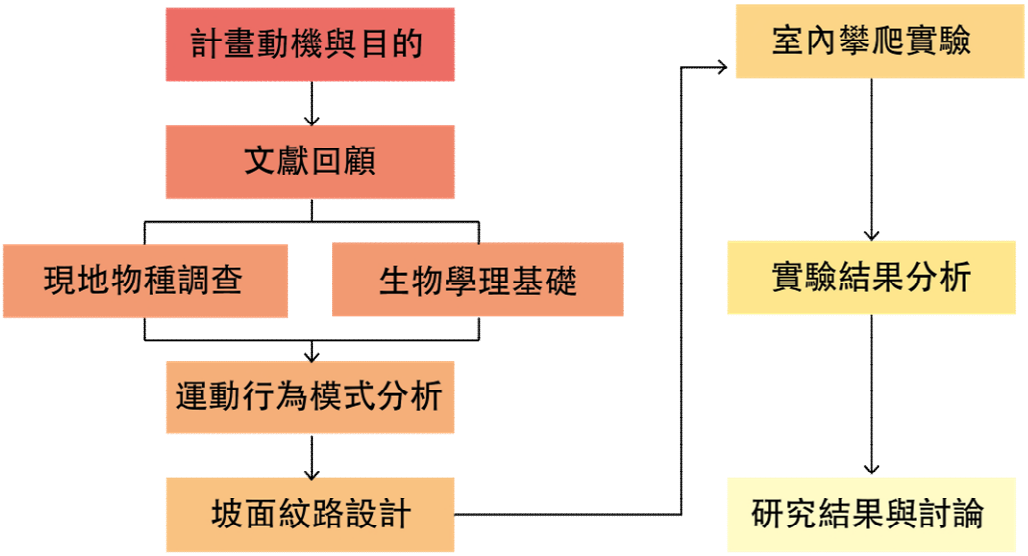


圖 2-1 研究流程

第二節　工作執行步驟

一、實驗物種選擇

考慮環境適應性、體型大小與採樣難易度，甲殼類與爬蟲類分別取出現在嘉義淺山與平地農田的台灣南海溪蟹與王錦蛇作為實驗物種。

(一)台灣南海溪蟹（*Nanhaipotamon formosanum*）

台灣南海溪蟹屬於溪蟹科南海溪蟹屬。臺灣南海溪蟹在國際自然保護聯盟瀕危物種紅色名錄（IUCN Red List）中被列爲易危（VU）保育類動物。台灣南海溪蟹是台灣特有的中型淡水陸蟹，早期是容易見到的螃蟹之一，近年道路相關建設造成了農村景觀破碎化，棲地面積下降使得族群數量大幅減少，台灣南海溪蟹棲息在山溝及田埂的泥質洞穴中，大多挖掘在隱密的草叢或樹根地下約 50 公分深處，以及山中水流兩岸泥洞中。繁殖季為春季至夏季。目前分布在彰化以南地區，嘉義地區嘉義市植物園、蘭潭後山步道、嘉大蘭潭校區及觸口自然教育中心皆有發現族群。

動物尺寸頭胸甲寬約為 3.5 公分，長 2.5 公分，單邊步足（底節到指尖）最長為 5.5 公分，最短為 4.5 公分（如圖 2-3 所示），體長狹小的淡水蟹棲地因灌溉渠道改爲混凝土渠道導致族群數受影響，受困於排水設施、混凝土結構之間。

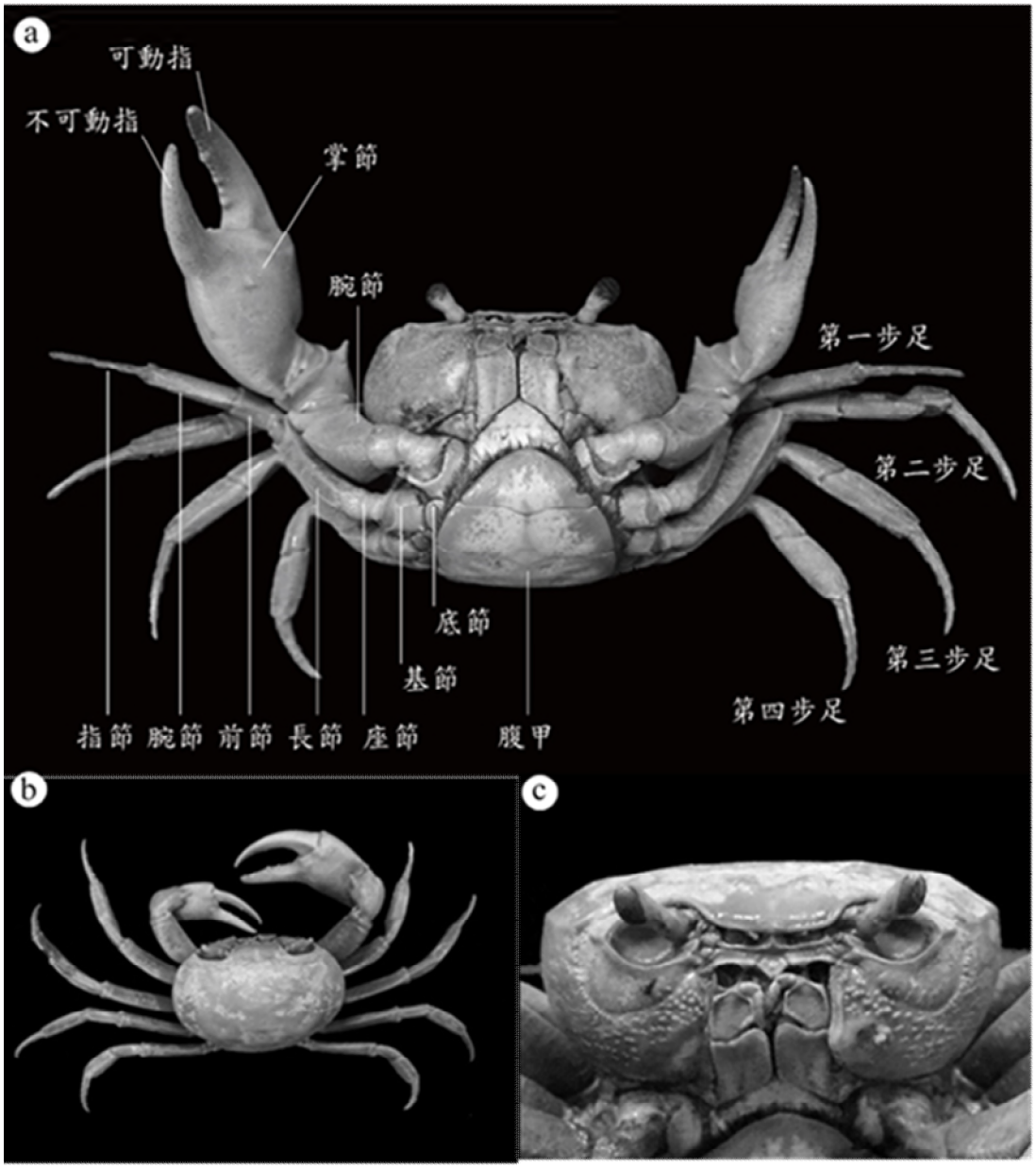


圖 2-2 台灣南海溪蟹特徵結構 （a）台灣南海溪蟹有雙螯八足，其中一支螯為特化螯，都有可動指與不可動指，而每足有七節，由內到外分別為底節、基節、座節、長節、前節、腕節和指節；（b）頭胸甲較圓滑，與澤蟹屬相似；（c）頰區有疣粒。

(二)王錦蛇（*Elaphe Carinata*）

王錦蛇別名稜鱗錦蛇，因遇威脅時肛門腺會分泌強烈臭味，也俗稱王錦蛇、臭青母，是台灣常見的大型蛇類，蛇亞目黃頷蛇科錦蛇屬下的一種無毒蛇類，最大體長約達 265 公分，成蛇體色深棕色或橄欖綠，頭頸部之鱗片大且邊緣呈黑色，最大特徵為吻上至眼睛前緣經常呈現黑色「王」字紋，全身鱗片具明顯稜脊，而幼蛇全身呈淺棕色或灰綠色，帶有黑棕色之小斑點。

分布於台灣本島、馬祖及蘭嶼 2000 公尺以下之中低海拔地區，主要棲息地為闊葉林、混生林、草地等，也會出現在人爲環境之墾地、溝渠、建築物。喜歡在潮濕環境活動，曾是水田或農田的常見物種，經常被獵捕，供應蛇店做為食用，日間及夜晚皆會活動。以鼠類、鳥、蛙為主食，亦有捕食蟲類、蜥蜴及其他蛇類之記錄，食物缺乏時，甚至以同類為食。於夏季產卵，每窩可產卵 8 到 14 枚，孵化期約 1 個月，會有護卵的行為。

二、預定實驗地點

北回歸線穿越嘉義形成亞熱帶、溫帶至寒帶等不同之氣候型態，氣溫與林相有顯著的垂直變化造成林相分層且植物種類豐富，形成多樣的動物棲息地，不同的棲地環境且交錯分布，許多動物生存空間與人類活動空間相當緊密，對於生態友善的工程技術，對於嘉義生態環

境有著更加重要的需求。

本研究實驗地點以嘉義市蘭潭風景區旁之嘉義大學景觀系一樓，進行室內實驗研究。

蘭潭風區景物資源豐富，兩棲類以拉都希氏赤蛙、貢德氏赤蛙、澤蛙、面天樹蛙、史丹吉氏小雨蛙、黑眶蟾蜍最為豐富。爬蟲類的調查以南蛇、紅斑蛇、斯文豪氏攀蜥、雨傘節、麗紋石龍子、斑龜、青蛇較易被發現（王柏青、尤仕丞、莊淑瓊，2016）。於 2011 之現地調查中，共發現兩棲類 12 種、爬蟲類 18 種（蕭文鳳，2011）。

風景區因遊憩、交通機能進行多處土木工程，其中又以嘉義大學密度最高，校園內佈滿多處高聳擋土牆、排水溝，不利蛇、陸蟹爬行，常見個體受困，區域內亦常發現一些陸蟹，如南海溪蟹困於樓梯梯角終致死亡，而實驗地點內現有南海溪蟹之族群掘洞築巢，周邊亦有蛇類個體，可就地力之便，現場採取實驗材料進行實驗。



圖 2-3 實驗地點位置圖

三、實驗物種管理

在 2020 年的 6 至 9 月採集嘉義蘭潭地區的台灣南海溪蟹與王錦蛇作為目標物種，研究其行為能力。並根據俞渭江（1976） 採集野外實驗動物的要求數量，以及捕捉後所需適應期，來採集目標物種。

(一) 台灣海南溪蟹

採集自嘉義大學蘭潭校區。由於經過長期飼養可能影響其行為能力，本實驗盡可能在捕捉後 14 天內完成計測。於實驗室中進行台灣南海溪蟹之爬行、位移行為能力，以及其步足對於不同

紋路與角度之爬行能力。飼養環境放置石塊、泥土與植被，水位不低於 2 公分，並固定更換水源。飼養期間每 3 天餵食蟋蟀或大麥蟲。

(二) 王錦蛇

採集自臺灣嘉義市蘭潭地區，實驗動物自野外攜回實驗室飼養，首先測量其基本生理結構數據，研究期間將飼養環境溫度保持在 27°C，每兩條王錦蛇分別飼養約大於 80（長）*40（寬）*40（高） cm 之專用飼養箱中，飼養環境盡可能比照原生棲息環境，放置若干枯木枝與遮蔽物，提供可躲藏之區域，減少緊迫。另有水盆固定更換水源，提供乾淨飲水及淨身處。預計共採集 10 隻，而研究期間每 7 天餵食一次，並根據林家蔚（2010）指出大多數個體於飼養一個月後開始進行實驗。



圖 2-4 實驗物種飼養狀況

第三章 工作進度與交付項目

第一節 計畫甘特圖

本計畫預計於 1 至 4 進行相關資料文獻的回顧收集，4 月至 8 月進行目標物種運動行為之觀察紀錄與分析，與初部實驗測試、調整，第二階段於 4 至 10 月進行正式實驗與資料採集、數據分析，最後進行成果報告撰寫與發表。

表 3-1 計畫甘特圖

重要工作項目	109 年											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
資料回顧與收集												
目標物種運動行為之觀察紀錄與分析												
初部實驗測試、調整												
正式實驗與資料採集、分析												
成果報告撰寫與發表												

第二節　計畫交付項目

本研究計畫除常規創新研究計畫書與成果展示簡報外，另交付 7 件小型動物友善邊壁紋路設計圖，並預計申請成為專利項目。

表 3-2 計畫交付項目表

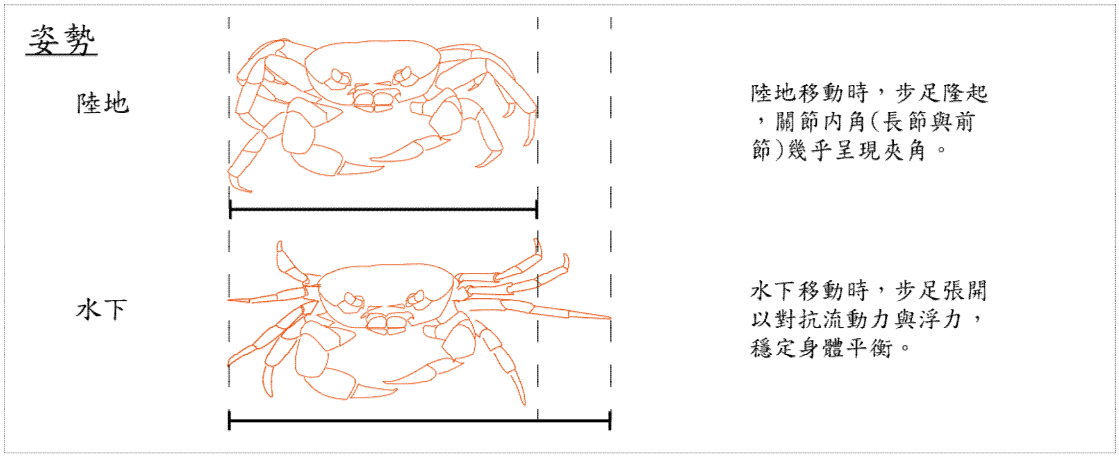
交付項目	規格及數量	交付階段及時程
創新研究計劃書	5 份	11/13
友善邊壁紋路設計	7 件	11/13
成果展示簡報	1 份	12/14

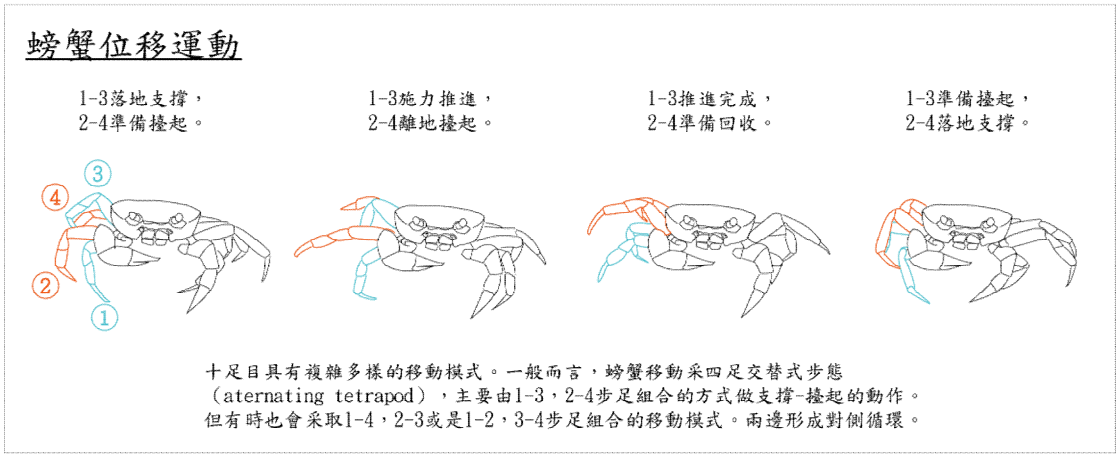
第四章　動物攀爬實驗

參考台灣現況之擋土牆、給排水溝渠、沉砂池、護欄、路緣石等現有邊壁形式及使用困境，本次實驗將以自製實驗箱進行。為降低干擾變數，坡度與實驗環境溫度、溼度、照度將被列為控制因子。實驗觀測變項分別為壁面紋路類型(自變項)與攀爬時間(依變項)。

為對應台灣土地狹小之工程實務限制，角度因考量農田地區、及山坡地土地有限，以 90°進行測試（參考圖 2-9）。而壁面紋路將參考實驗動物體之生理構造、運動行為模式與施作流程。

十足目運動模式複雜，螃蟹一般采取四足交替步態（alternating tetrapod），由四個步足交叉組合的方式做支撐—撐起的動作，兩邊成對側循環。另，蛇類爬行方式主要受體型或是生境影響。目前已知有蛇形、側繞式、手風琴式以及毛毛蟲式。實驗前測將對動物運動模式做分析，並針對間隔距離 L，深度 d 及高度 h 等尺寸進行推算。此次實驗中，實驗物種將會進行垂直爬行，步態將有別於平行移動的模式。本次壁面紋路樣式研究將以提升物種垂直爬行速度、穩定度為主要目標。垂直爬行可能會促發的無氧代謝，恢復率、間歇階段、可承受距離等因素將列入後期研究。





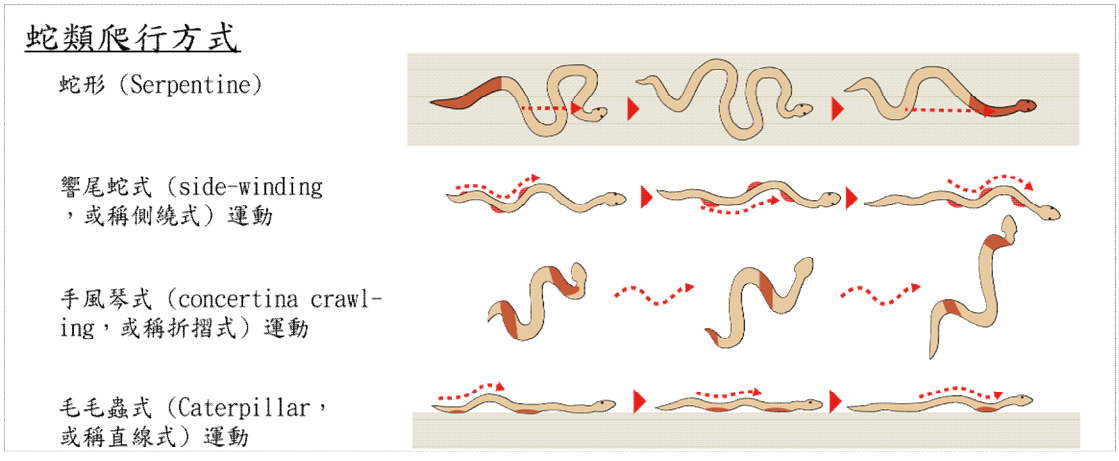


圖 4-1 實驗生物運動示意圖

第一節　動物樣本之基本條件紀錄

一、台灣海南溪蟹

台灣海南溪蟹樣本的基本條件量測包括性別、體重、雄胸甲寬及最長指節的長度。以電子式計重秤量計體重，單位為公克，再以液晶游標卡尺進行指節、胸甲寬量測，單位為毫米。實驗個體於嘉義大學蘭潭校區，景觀學系系館北側、生物農業科技二館西北側以及第六停車場東北側捕獲。採集樣本數量共 21 隻，雄性 11 隻，雌性 10 隻。平均體重為 23.9 克，最輕為 7 克，最重為 47 克。頭胸甲平均寬 35.3 釐米，最短 23.7 釐米，最長 46.3 釐米。頭胸甲垂直均寬 29.32 釐米，最短 18.1 釐米，最長 36.7 釐米。指節長度均長 12.03，最短 9.3 釐米，最長 16.1 釐米。

表 4- 1 台灣南海溪蟹基礎生理資料

	體重(g)	頭胸甲寬(mm)	頭胸甲長(mm)	最長指節(mm)
max	47	46.3	36.7	16.1
min	7.0	23.7	18.1	7.5
mean	23.9(±9.66)	35.3(±5.21)	28.78(±4.44)	12.03(±1.97)

說明：實驗採集樣本 N=21，參與攀爬實驗者 N=20。



圖 4-2 採樣地點



圖 4-3 台灣南海溪蟹生物測量情況

二、王錦蛇

王錦蛇樣本的基本條件量測包括體重與體長，由於幼體的性別需要較大的刺激才能辨識且差異性不大，故於本次實驗中剔除。由於以電子式計重秤量計體重，單位為公克。體長的部分先將蛇體放置於 A3 尺寸切割墊進行攝影記錄，再匯入電腦以軟體進行後製測量。王錦蛇樣本共 10 隻幼體，平均體長在 469.87 釐米，最短 390.97，最長 521.07。平均體重有 20.3 克，最低 16 克，最高 25 克。

表 4-2 王錦蛇基礎生理資料

	體長 (mm)	體重(g)
max	521.07	25.00
min	390.97	16.00
mean	469.87(±41.26)	20.3(±2.83)

說明：實驗採集樣本與參與實驗同為 N=10。

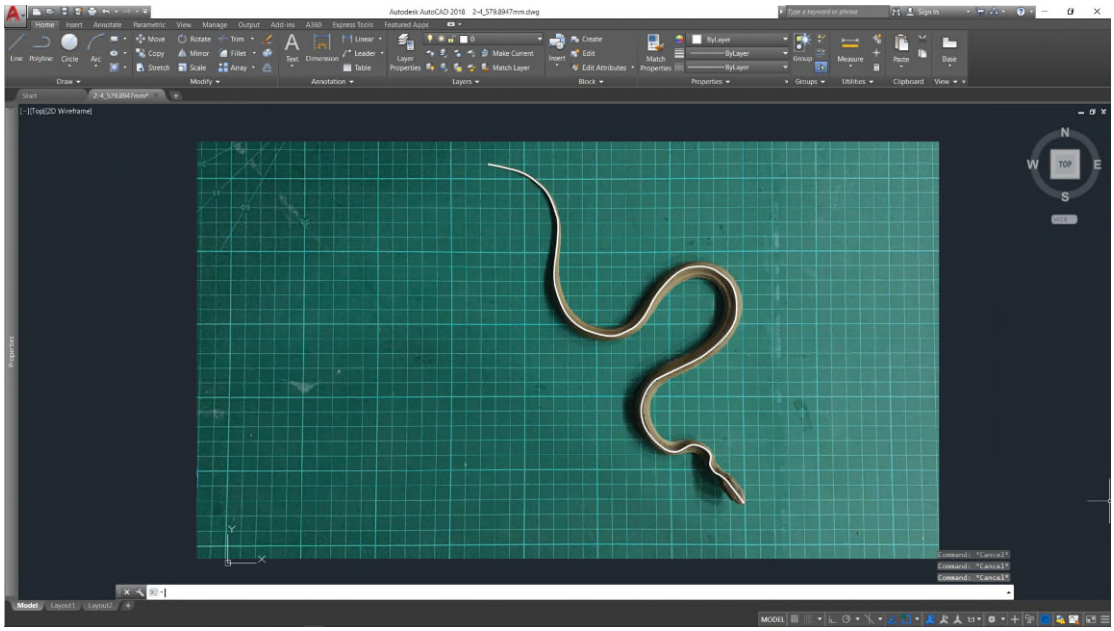


圖 4-4 蛇類生物測量圖

第二節　運動行為模式分析

一、台灣南海溪蟹

運動行為觀察實驗共採集 8 隻野外個體。體重最低為 14 克，最高為 41 克；頭胸甲寬最短 3 公分，最長 4.5 公分；最長步足長 4 至 6 公分，最短步足長 3 至 4.9 公分。實驗將溪蟹放置於 1 公尺水泥跑道上進行運動行為觀察，每隻重複 3 次。

表 4-3 台灣南海溪蟹基礎生理資料(運動行為)

N=8

	頭胸甲寬(㎜)	最長步足（㎜）	最短步足（㎜）	體重（g）
max	45	60	50	41
min	29	40	30	14
mean	35.5(±6.1)	50.13(±8.70)	39.25(±7.51)	25.88(±10.2)

(一)　頻率與時間

總共記錄 24 筆平行運動數據，用時最長為 42 秒 73，最短為 6 秒 08，大部分在 18 至 26 秒以內完成。以全程參與之步足作測量，步伐頻率（step frequency）最高者為 25 次，最低為 14 次，多數介於 16 到 19 次。而步伐頻率與完成時間之間並無顯著關係。

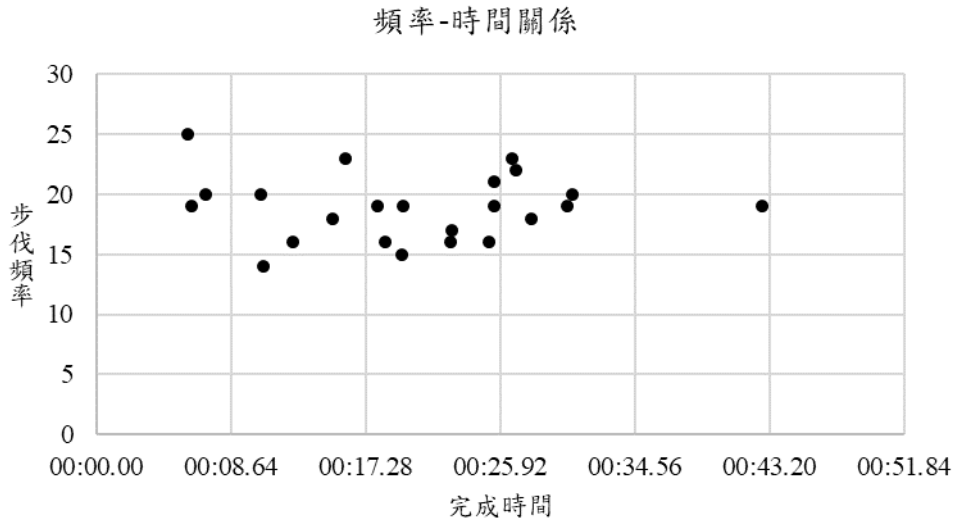


圖 4-5 步伐頻率與完成時間關係

(二) 步足佔比（duty factor）

步足佔比為支撐階段佔支撐與轉換階段之百分比，即著地時間佔整體運動時間之百分比。所有實驗樣本中，最高者為 86.3%（六號拖尾端第二支），最低為 18.23%（六號領先端第三支），而兩端的第二支步足皆有較高的佔比值（>70%）。而整體比較下，拖尾端比領先端具有較高的佔比值（58.71%;50.28%）。

表 4-4 每支步足佔比表

no.	L-1	L-2	L-3	L-4	T-1	T-2	T-3	T-4
1	82.34	73.07	56.45	0.00	52.43	79.60	71.28	65.88
2	30.50	41.29	40.29	0.00	33.96	29.58	33.82	28.38
3	75.00	77.02	67.91	22.86	78.10	72.86	72.18	69.43
4	57.14	42.12	60.22	82.27	82.04	66.58	69.54	48.96
5	44.06	73.35	75.24	54.37	74.70	65.98	51.85	61.92
6	82.64	69.02	18.23	0.00	66.00	86.30	70.18	80.72
7	67.65	78.20	49.03	39.27	67.53	64.62	68.15	0.00
8	0.00	60.00	41.27	48.00	0.00	53.85	51.11	61.19

(三)　步態（gait）

實驗以每秒 120 偵（120fps）的慢動作影像紀錄，黑色浮條表示支撐階段（support phase）的時間，而間隔表示轉換階段（transfer phase）的時間，結果顯示台灣南海溪蟹的平行運動多數呈現後時性波（metachronal wave）模式，也就是學者 Barnes（1975）所提出的四足交替步態（alternating tetrapod gait）。但由於環境因素影響，會發生有些個體第一或第四步足緊貼著壓克力通道壁面而沒有參與到運動的情形。觀察結果發現，台灣南海溪蟹在行走時最多會使用 5 到 6 支步足作支撐，而最少則需要 3 支。

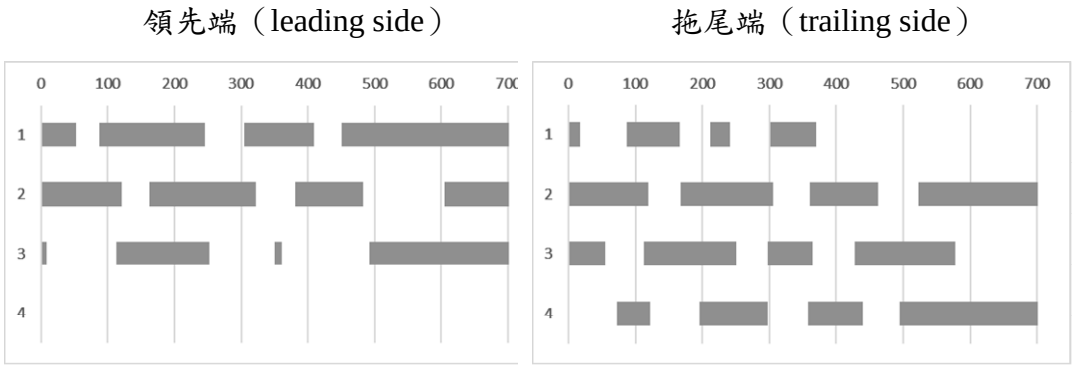


圖 4-6 步態記錄示意圖

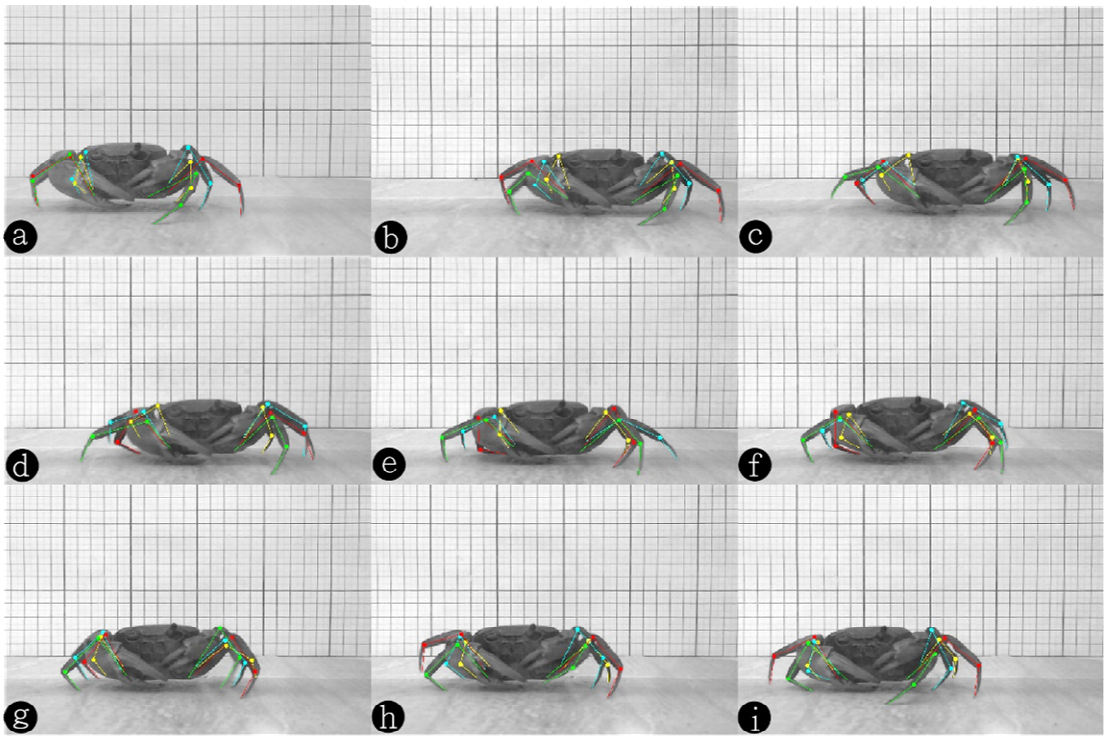


圖 4-7 台灣南海溪蟹運動模式。以第 1 步足（綠色）起步為例，台灣南海溪蟹在進行運動時，（b）領先端第 1 與第 3（藍色）步足抬起；（c）接著在領先端第 1 步足還沒落地之前，拖尾端第 2（紅色）與 4（黃色）相繼抬起，四支步足皆處於轉換階段；（d）領先端第 1 與第 3 步足相繼落地，拖尾端第 2 與第 4 步足持續轉換階段；（e）所有步足處於支撐階段，可觀察到領先端第 2 步足已幾乎緊貼軀幹，而拖尾端第 3 步足也伸展到最長距離；（f）（g）這時領先端的第 2 支與第 4 支步足抬起，拖尾端的第 3 步足與第 1 步足也相繼抬起；（h）（i）原先抬起的領先端 1-3 與拖尾端 2-4 步足轉為支撐階段，輪到領先端 2-4 與拖尾端 1-3 步足抬起。

二、花浪蛇

實驗樣本獲取與飼養條件困難，故產生多次變動，在前期實驗中使用了與王錦蛇幼蛇體型相仿且同為陸棲蛇類之花浪蛇來作為參考。

(一) 頻率與時間

實驗將花浪蛇放置於 90 公分長，5 公分寬的水泥跑道上進行運動行為觀察並紀錄下頭部到達出口的時間，每隻重複 3 次。排除轉彎或停滯不前的情況，總共記錄 18 筆資料，大部分完成時間都在 40 秒以下。

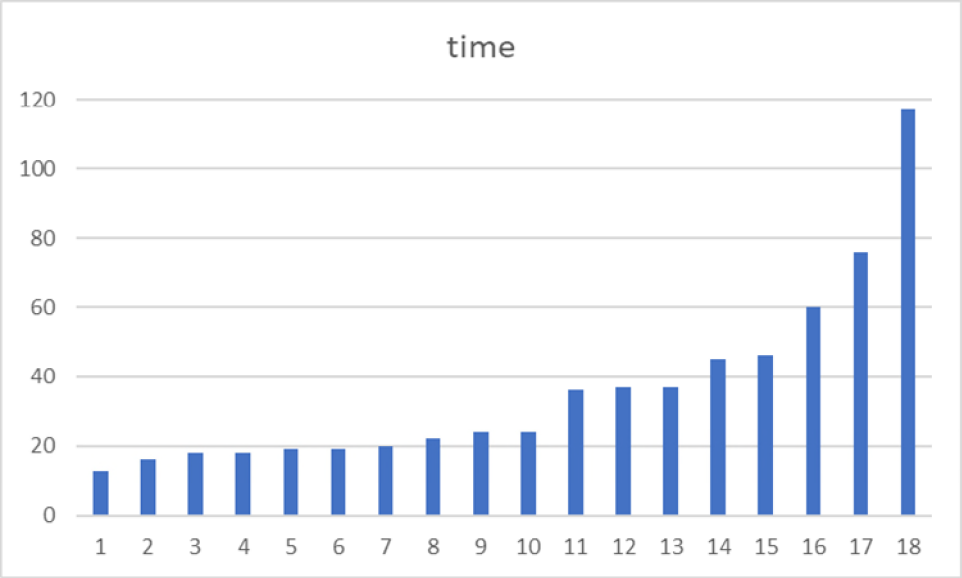


圖 4-8 花浪蛇運動時間

(二) 爬坡能力測試

實驗隨機挑選樣本放置於 90 公分長，5 公分寬的水泥跑道上進行爬坡能力測試。觀察結果發現若在一邊沒有阻隔的情況下花浪蛇隻能在 10 度的坡道上前進。15 度開始身體就會往下滑，或是頭部往外探。但在加上 1 公分的邊條以後，王錦蛇將會「弓」

的方式將身體往上挪動，最陡可達到 60 度。

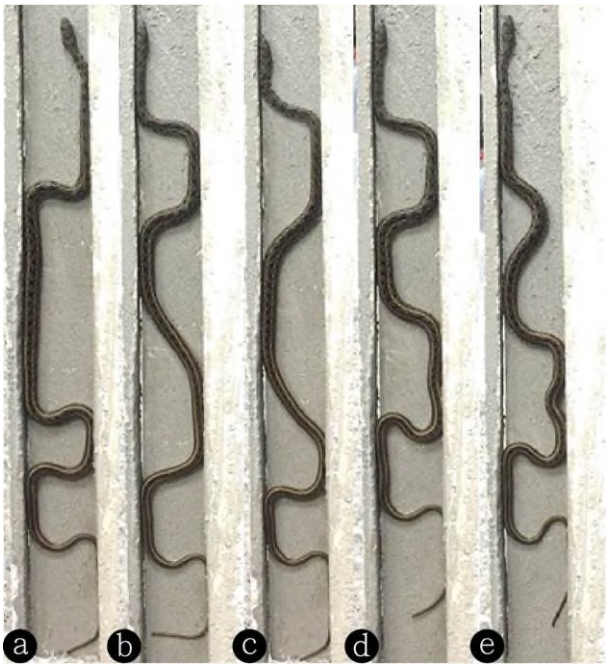


圖 4-9 花浪蛇攀爬行為。（a）花浪蛇在平地中會使用蛇型（圖 2-6），而在垂直環境中會以「弓」字型支撐在垂直面上；（b）頭部兩吋以下往左施力緊靠，尾部逐漸上捲；（c）（d）尾部往上捲縮，此時整體與壁面有五個接觸面。（e）當尾部負責施力支撐時，頭部將有餘力繼續往前探伸。

第三節　實驗材料與紋路設計

一、實驗材料

壁面紋路模板均以 3D 列印聚乳酸(Polylactide, PLA)線材作為實驗材料。為了呼應工程常規尺寸，實驗壁面整體尺寸設定為 30 公分寬，100 公分長。實驗進行中以 onset HOBO Pendant temp/light 每 5 分鐘進行巢箱內部照度、溫度記錄，以 HOBO ext temp/RH logger, Pendant MX Temp/Light 每 15 分鐘進行周遭環境濕度、溫度、照度記錄。實驗全程以攝影機每秒 60 貞紀錄。實驗期間將以噴霧器灑水保

持動物皮膚濕潤，並以 2mm 軟枝條觸碰壁面產生震動提高動物移動機率。

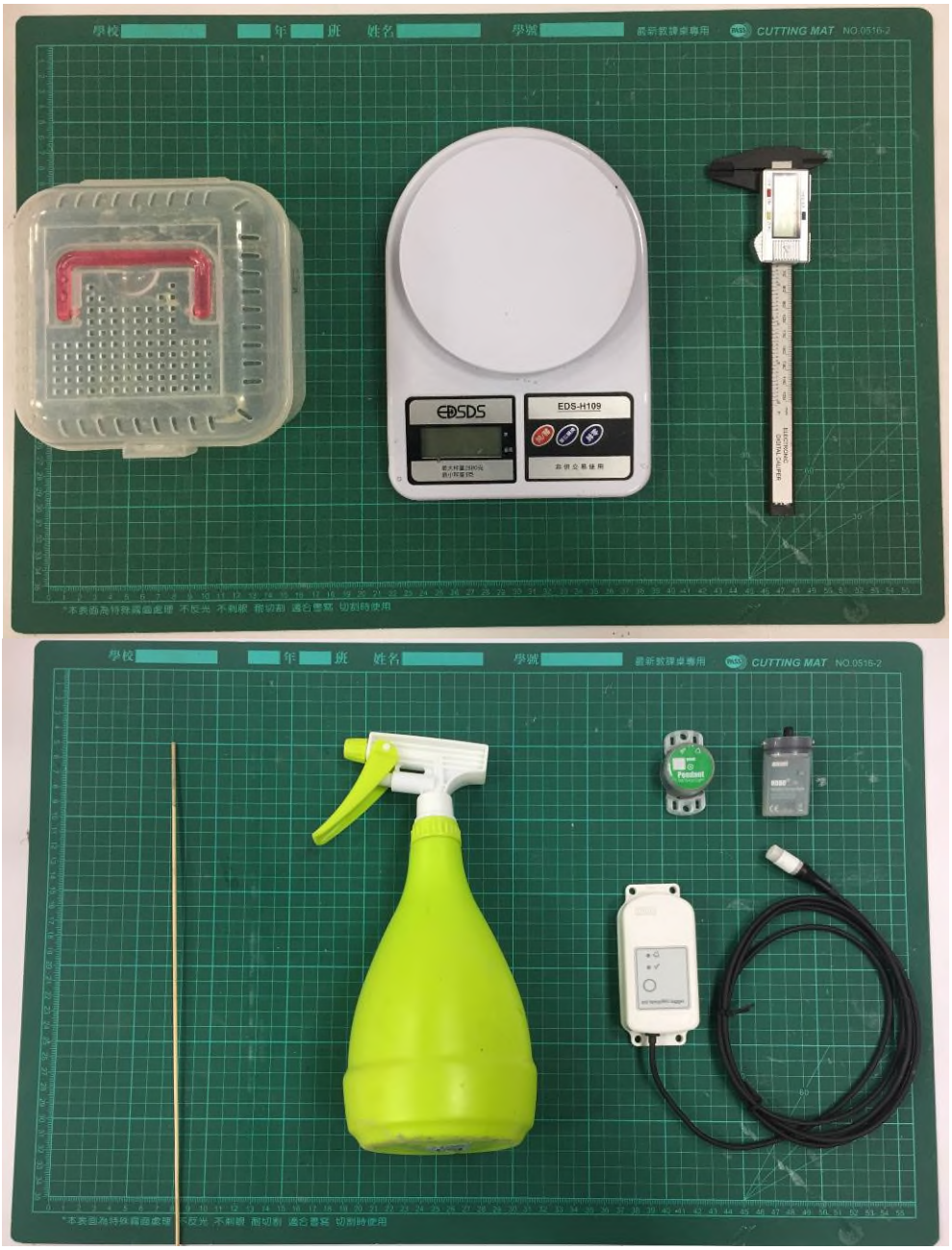


圖 4-10 實驗工具圖

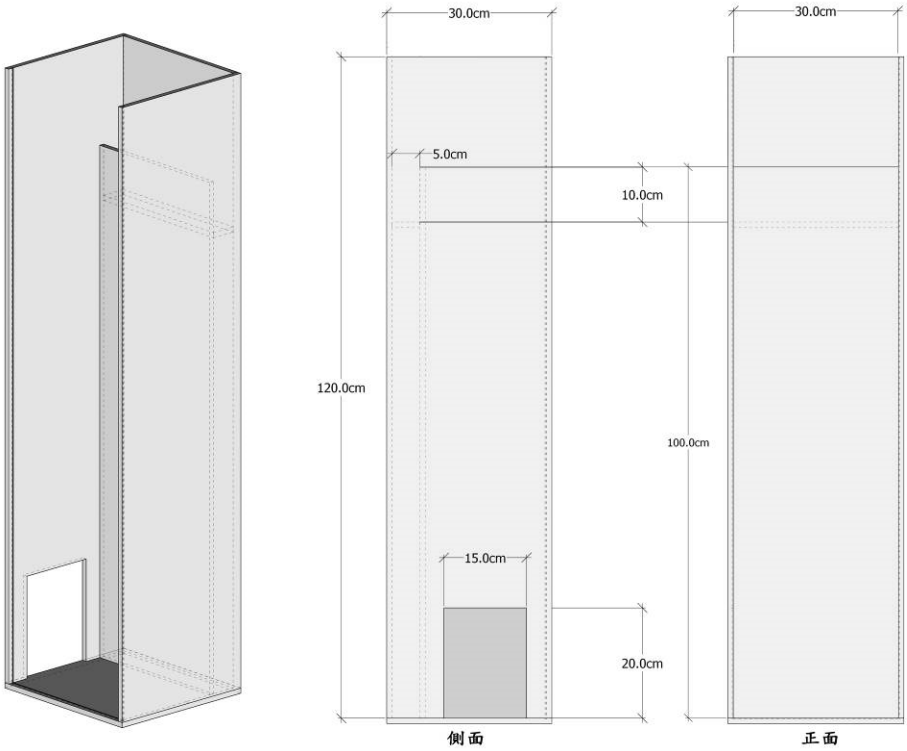




圖 4-11 實驗巢箱圖

二、壁面紋路樣式

壁面紋路樣式考慮到對既有結構物施工的可能性，為了降低量體減損，紋路深度設定最低 0.5 公分，最高 2 公分。而紋路間距參考螃蟹跨步的最大距離，2 公分。台灣南海溪蟹八對步足長短不一，交錯設計有較多的施力點，將有助於螃蟹攀爬。此外，C、D、E 樣式具有內切角度，以便螃蟹有更多的空間進行勾抓。蛇類的攀爬紋路參考蛇行與肢體支撐形成的「弓」字型而採用圓柱(F)與階梯式設計(G)。

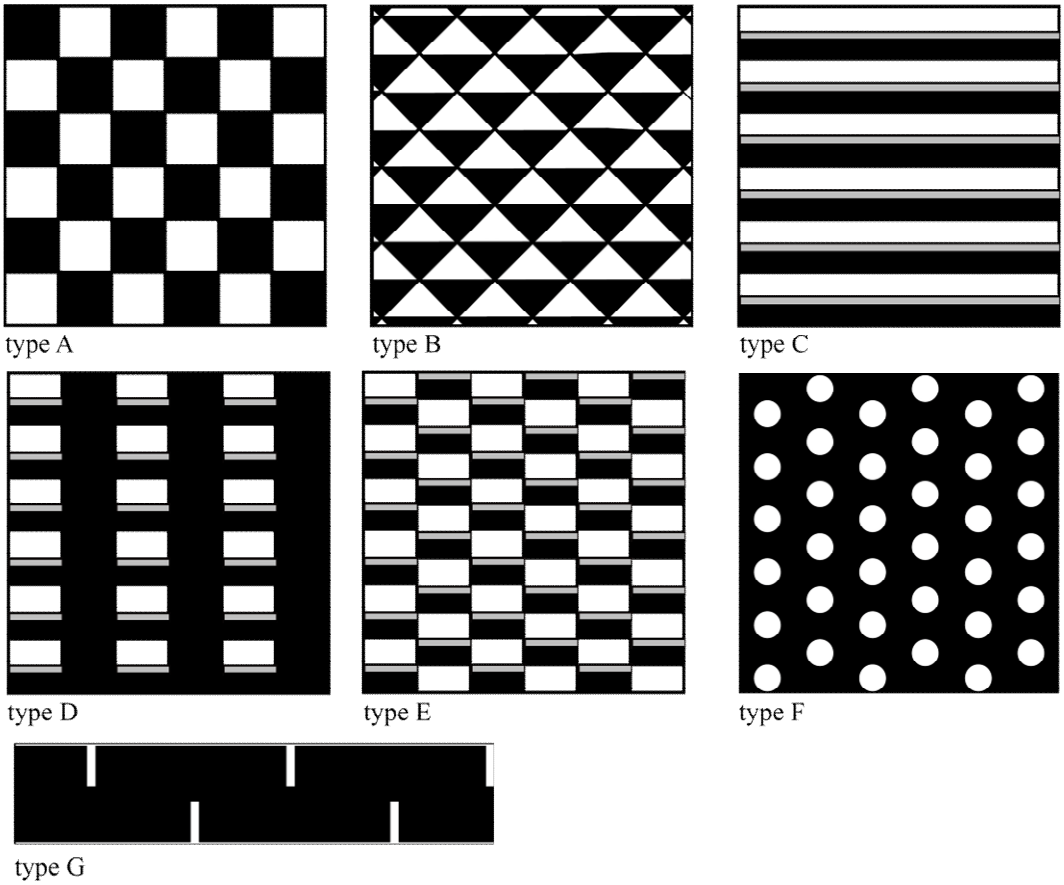


圖 4-12 壁面紋路樣式

第五章　結果及討論

第一節　結果

一、台灣南海溪蟹

實驗在外部環境平均溫度 26.07℃，濕度 72.02%，照度 8.25Lux，實驗巢箱內部環境平均溫度 27.02，平均照度 1.96Lux 的情況下進行(附-4)。由於前置實驗中發現螃蟹由水平移動轉向垂直攀爬的意願極低，故實驗由中標 50 公分處開始，紀錄 20 隻台灣南海溪蟹在的爬行軌跡與攀爬時間。實驗判斷成功之條件為 5 分鐘內保持垂直或水平移動，10 分鐘以內超過 30 公分，失敗者將不列入平均計算。

(一)　各組樣式完成時間

觀察結果顯示，南海溪蟹在 50 公分的 5 種紋路樣式平均完成時間由低至高為 C(0:01:40) > D(0:02:10) > E(0:02:03) > B(0:03:08) > A(0:03:27)。5 種紋路間完成時間最高為 7 分 18 秒(A)，最低為 12 秒(E)。成功率方面，僅有一組達到 100%，其餘皆低於 60%，排列由高至低分別為 E(100%) > C(60%) > B(55%) > D(50%) > A(40%)。其中樣式 E 全 20 隻皆完成攀爬，平均完成時間排列第三。樣式 C 則有 17 隻完成攀爬，平均完成時間排列第一。樣式 D 僅有 8 隻完成攀爬，平均時間排列二。

表 5-1 台灣南海溪蟹各組完成時間表。每組皆以 20 隻樣本參與測試。成功率由高至低排列為 E > C > B > A > D。

		Duration(hh:mm:ss)		
type	N	mean	min	max
A	10(50%)	0:03:27(±0:01:48)	0:01:11	0:07:18
B	11(55%)	0:03:08(±0:01:47)	0:00:45	0:06:40
C	17(60%)	0:01:40(0:01:41)	0:00:22	0:06:11
D	8(40%)	0:02:10(±0:01:09)	0:00:54	0:02:10
E	20(100%)	0:02:03(±0:01:39)	0:00:12	0:05:37

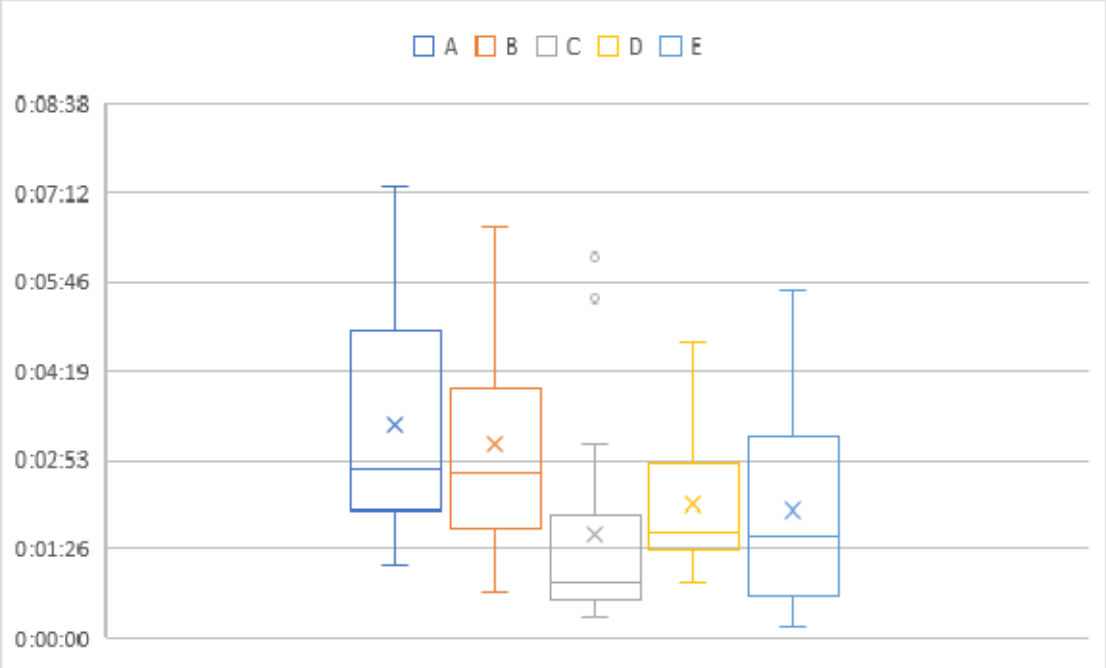


圖 5-1 台灣南海溪蟹各組完成時間圖。平均時間由低至高排列為 C > D > E > B > A。

(二) 完成時間與性別關係

從樣式 A，B，C 的平均完成時間差異上可觀察到雌性相較於雄

性來的低，但統計上並無顯著關係(p>0.05)。同理，在樣式 D 中雄性平均完成時間比雌性低但無顯著關係。而最低完成時間皆集中在雌性群體，最高完成時間則無明顯差異。總體而言，雖最低平均完成時間與最低完成時間集中在雌性樣本群，但根據統計結果，性別對於完成時間並無直接影響。

表 5-2 台灣南海溪蟹(雌雄)各組完成時間表

type			Duration(hh:mm:ss)		
		N	mean	min	max
A	male	5	0:04:21(±0:00:53)	0:02:01	0:04:20
	female	5	0:02:34(±0:02:02)	0:01:11	0:07:18
	p=0.16				
B	male	6	0:03:38(±0:02:15)	0:00:45	0:06:40
	female	5	0:02:33(±0:00:31)	0:01:46	0:03:18
	p=0.34				
C	male	8	0:02:12(±0:02:06)	0:00:24	0:02:07
	female	9	0:01:04(±0:00:34)	0:00:22	0:06:11
	p=0.18				
D	male	5	0:01:47(±0:00:20)	0:01:31	0:02:15
	female	3	0:02:23(±0:01:23)	0:00:54	0:04:47
	p=0.44				
E	male	10	0:02:05(±0:01:32)	0:00:35	0:05:37
	female	10	0:02:01(±0:01:45)	0:00:12	0:05:32
	p=0.93				

(一) 完成時間與體重大小關係

雖然實驗進行中常發現體型較小的溪蟹具有較高的移動意願，但經統計發現所有樣式與樣本的體重和頭胸甲寬之間並沒有呈現顯著性與相關性(pearson correlation, p>0.005, r>0.5/-0.5)。

表 5-3 台灣南海溪蟹完成時間與體重大小相關性分析表

			weight (g)		length (mm)	
type	N	duration(s)	mean		mean	
A	10	207.3(±108.43)	25.5(±11.7)		36.03(±6.36)	
			p=0.567	r=0.06	p=0.524	r=-0.02
B	11	188.363(±107.1)	25.81(±11.2)		36.33((±6.13)	
			p=0.68	r=-0.16	p=0.715	r=-0.193
C	17	100.18(±100.51)	22.41(±10.14)		34.66(±5.53)	
			p=0.813	r=0.23	p=0.833	r=0.25
D	8	129.625(±69.36)	20.75(±12.54)		33.04(±6.82)	
			p=0.823	r=0.38	p=0.780	r=0.32
E	20	123.1(±98.81)	24.5(±9.52)		35.56(±5.2)	
			p=0.918	r=0.35	p=0.943	r=0.40

二、王錦蛇

實驗在外部環境平均溫度 26.07 ˚C，濕度 72.02%，照度 8.25Lux；實驗巢箱內部環境平均溫度 27.02，平均照度 1.96Lux 的情況下進行。垂直攀爬距離為 100 公分。10 分鐘以上無法移動或掉落 3 次既終止該樣本的測試，失敗者不列入平均計算。

(一) 各組樣式完成時間

觀察結果顯示，王錦蛇幼體在 100 公分的 3 種紋路樣式平均完成時間由低至高為 F(103s) > D(119s) > G (128)。3 種紋路間完成時間最高為 478 秒(G)，最低為 23 秒(G)。成功率方面，僅有樣式 G 為 90%，另兩組 D、F 皆 100%。其中樣式 D 原為蟹類設計，但結果發現 45 度內角與隔排設計對蛇類攀爬行為而言也具有明顯的助益。

表 5-4 王錦蛇幼體各組完成時間表

		Duration(s)		
type	N	mean	min	max
D	10(100%)	119(±91)	51.00	296
F	10(100%)	103(±104)	24.00	363.00
G	9(90%)	128(±152)	23.00	478.00

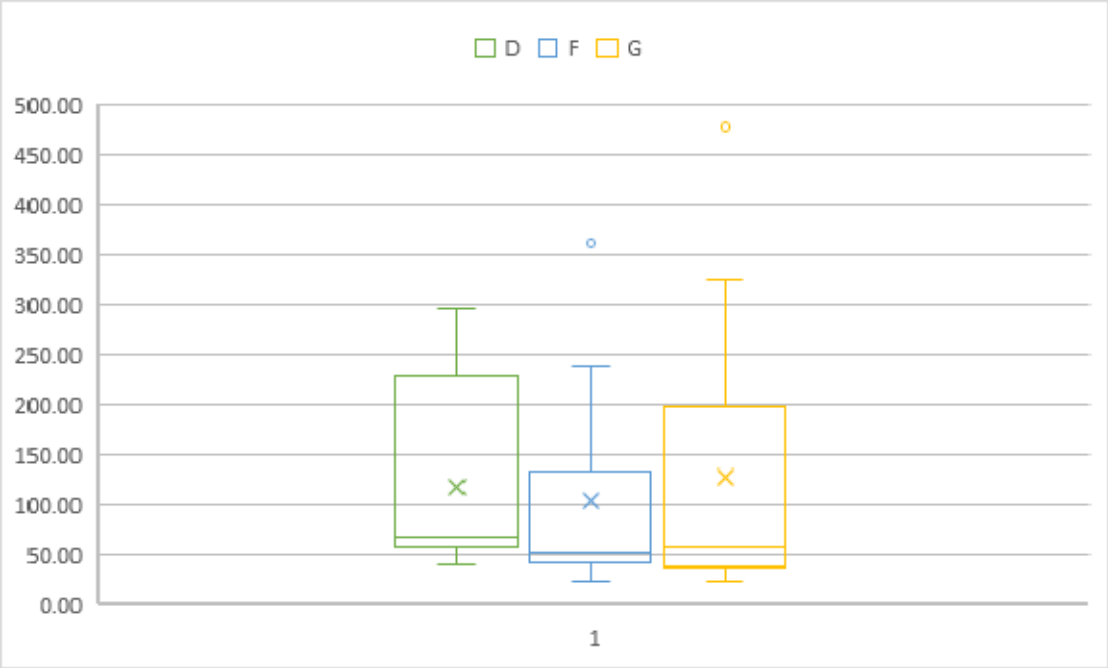


圖 5-2 王錦蛇幼體各組完成時間圖。平均時間由低至高排列為

F>D>G

(二) 完成時間與體重大小關係

王錦蛇的體重與體長對於各組完成時間並無顯著性的作用(p>0.005)，而在樣式 F 與體重，樣式 G 與體長體重關係當中雖然呈現負相關，但卻相關性不強(r = -0.25 ~ -0.5)。從平均完成時間觀察，多數樣本皆於 1 分鐘(116.07s)或以內完成 100 公分的攀爬，大約為 1 秒 1.16 公分的速率。

表 5-5 王錦蛇幼體完成時間與體重大小相關性分析表

			weight (g)		length (㎜)	
type	N	duration(s)	mean		mean	
D	10	119(±91)	20.3(±2.83)		469.87(±41.26)	
			p=0.597	r=0.089	p=0.533	r=0.03
F	10	103(±104)	20.3(±2.83)		469.87(±41.26)	
			p=0.108	r=-0.427	p=0.362	r=-0.127
G	10	128(±152)	20.78(±2.57)		469.63(±33.52)	
			p=0.114	r=-0.41	p=0.2078	r=-0.29

第二節 討論

本次實驗中沒有內角的樣式對於台灣南海溪蟹的攀爬較為不利，成功率皆低於 60%，平均完成時間接近 3 分鐘(179s)。帶有內角設計的樣式中，C、E 對溪蟹的攀爬具有較高的幫助，平均完成時間低於 2 分鐘(113 秒)。而樣式 D 因為嘗試隔排式設計讓蛇類也能攀爬，卻因為間距過高對溪蟹攀爬不利。儘管如此，45 度內角與隔排式的設計具有極大的可能得出蛇類與蟹類通用的紋路。蛇類方面，樣式

D、F、G 皆對王錦蛇幼體的垂直攀爬有明顯的幫助，完成時間皆低於 2 分鐘(116.07s)。

本次初探型研究旨在提供多種紋路樣式為主，後期研究面向可針對壁面材質、紋路深度、間距或動物的耐受度、能量消耗等連續變項之探討。也可整合更多物種之運動行為模式，透過紀錄物種在人工結構物表面上的身理反應與機制，建立動物於非自然環境的運動行為資料庫，找出各種樣式之間的共通性以達到效益最大化。

參考文獻

1. 王柏青、尤仕丞、莊淑瓊，2016，嘉義市蘭潭風景區水質水量保護區周邊環境現況調查研究分析。未出版之研究報告。嘉義：國立嘉義大學。
2. 交通部臺灣區國道高速公路局，營運階段國道永續發展環境復育改善研究計畫，中華民國 100 年 12 月
3. 呂光洋、陳世煌、陳賜隆，1989，臺灣爬蟲類動物—《陸棲蛇類》，臺北市：台灣省政府教育廳出版。
4. 林郁君、黃基礎、杜銘章，1999，影響蛇類跨越能力的變因，師大生物學報 34 卷 2 期, 129-135。
5. 林家蔚，2010，臺灣鈍頭蛇對陸生軟體動物黏液的追蹤行為之探討，臺灣師範大學生命科學研究所學位論文。
6. 李俊生、張曉嵐、吳曉莆、全占軍、範俊韜，2019，生態環境學報 18 卷 3 期，P1169 - 1175
7. 施志昀、李伯雯，2009，台灣淡水蟹圖鑒，晨星出版社
8. 俞渭江，1976，生物統計附試驗設計，農應出版社，p.234~262。
9. 郭瓊瑩、葉佳宗，2011，自景觀生態取向之綠色基盤系統建設探討氣候變遷回應之城市治理，城市學學刊 2 卷 1 期， 31-63
10. 黃鉅友、吳振發、謝燕芬，道路闢建對鄉村發展影響評估，興大

園藝，37，pp89~103

11. 蕭文鳳，2011，100 年嘉義市八掌溪及蘭潭地區生物資源調查計畫成果報告書。未出版之研究報告。嘉義：國立嘉義大學。
12. 劉威廷，2011，國道道路致死調查機制動物通道規劃設計與成果，國道永續經營環境復育研討會，交通部台灣區國道新建工程
13. 鄭偉群、林雅玲、劉威廷、蘇維翎、黃于玻，2018，野生動物受困人工結構物初探，自然保育季刊第 102 期，pg 24-35
14. Hailety P. M. C. Davies 1986, Effects of size, sex, temperature and condition on activity metabolism and defence behaviour of the viperine snake, Natrix maura, *journal of Zoology, Volume208, Issue4* , Pages 541-558
15. Barnes, W. J. P. 1975. Leg co-ordination during walking in the crab, Ucapugnax., *comparative physiology, 96*: 237-256.
16. Bennett, A. F. 1982. The energetics of reptilian activity. In C. Gans and F. H. Pough （eds.）, *Biology of Replilia, Vol. 13*, pp. 155-199. Academic Press, New York.
17. Blickhan, R. and R. J. Full. 1987. Locomotion energetics of the ghost crab. II. Mechanics of the center of mass. *Experimental Biology, 130*:155-174.
18. Burrows, M. and G. Hoyle. 1973. The mechanism of rapid running in the ghost crab, Ocypode ceratophthalma. *Experimental Biology*. *58*:327-349
19. Cargo, D. G. 1958. The migration of adult female blue crabs,

Callinectes sapidus Rathbun, in Chincoteague Bay and adjacent water. *J. Mar. Res. 16*: 180-191.

20. Carlton Heckrotte 1967, Relations of Body Temperature, Size, and Crawling Speed of the Common Garter Snake, *Thamnophis s. sirtalis,Copeia, Vol. 1967, No. 4* , pp. 759-763
21. Clarac, F. 1981. Decapod crustacean leg coordination during walking. In C. F. Herreid and C. R. Fourtner （eds.）, *Energetics and locomotion in arthropods*, pp. 31-72. Plenum Press, New York
22. Clevenger, A. P., Waltho, N,2000, Factors Influencing the Effectiveness of Wildlife Underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada, *Conservatio biology ,Volume14, Issue1*
23. Collinson, W.J., C. Marneweck, H.T. Davies-Mostert. 2019. Protecting the protected: reducing wildlife roadkill in protected areas. *Animal Conservation, 22（4）*: 396-403.
24. Fielder, D. R. 1970. The feeding behavior of the sand crab Scopimera inflata （Decapoda, Ocypodidae）. *journal of Zoology. 160*:35-49.
25. Full, R. J. 1987. Locomotion energetics of the ghost crab. I. Metabolic cost and endurance. *Experimental Biology. 130*:137-153
26. Full, R. J. and K. N. Prestwich. 1986. Anaerobic metabolism of walking and bouncing gaits in ghost crabs. *journal of Zoology. 26*:88A.
27. Jackson, S.D., D.J. Smith, and K.E. Gunson. 2015. Mitigating road effects on small animals. In: K.M. Andrews, P. Nanjappa, S.P.D.

Riley （eds.）. Roads and Ecological Infrastructure: Concepts and Applications for Small Animals. Baltimore, Maryland: Johns Hopkins Press.

28. Randy S. Kautz, Stephen R. Bittner, and Tom H. Logan. 2010. Wildelife Crossing Handbook. Breedlove, Dennis & Associates, INC.
29. Richard T.T. Forman, 2002, Road Ecology: Science and Solutions
30. Richard T.T. Forman, 1995. Land mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge , *U K:Cambridge University Press.*
31. Rolf Holderegger, Manuela Di Giulio, 2010, The genetic effects of roads: A review of empirical evidence, *Basic and Applied Ecology, 11（6）*:522-531
32. Schwevers U., Adam B. 2020. Basic Requirements of Fish Protection and Downstream Passage. In: Fish Protection Technologies and Fish Ways for Downstream Migration. Springer, Cham.
33. Langen, T.A., K.M. Andrews, S.P. Brady, N.E. Karraker, and D.J. Smith. 2015. Road effects on habitat quality for small animals. In: K.M. Andrews, P. Nanjappa, S.P.D. Riley （eds.）. Roads and Ecological Infrastructure: Concepts and Applications for Small Animals. Baltimore, Maryland: Johns Hopkins Press
34. Larissa Oliveira Gonçalves,Diego Janisch Alvares,Fernanda Zimmermann Teixeira,Gabriela Schuck,Igor Pfeifer Coelho,Isadora Beraldi Esperandio,Juan Anza,Júlia Beduschi,Vinicius Augusto

Galvão Bastazini,Andreas Kindel 2018, Reptile road-kills in Southern Brazil: Composition, hot moments and hotspots, S*cience of The Total Environment, Volume 615*, 15 February 2018, Pages 1438-1445

35. Lenore Fahrig, Trina Rytwinski, 2009, Effects of Roads on Animal Abundance: an Empirical Review and Synthesis, *Ecology and Society,14（1）*: 21

36. Plante J, Jaeger JAG, Desrochers A. 2019.How do landscape context and fences influence roadkill locations of small and medium-sized mammals?. *Environ Manage. 1*;235:511-520.

37. R. Frankman, 2005, Stress and adaptation in conservation genetics, *Evolutionary Biology, Volume18*, Issue4, Pages 750-755

38. Silvi Pili, Pere Serra, Luca Salvati, 2019, Landscape and the city: Agro-forest systems, land fragmentation and the ecological network in Rome, Italy, *Urban Forestry & Urban Greening, Volume 41*, 230-237

39. Sharon K.Collinge, 1996, Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning, *Landscape and Urban Planning, 36（1）*:59-77

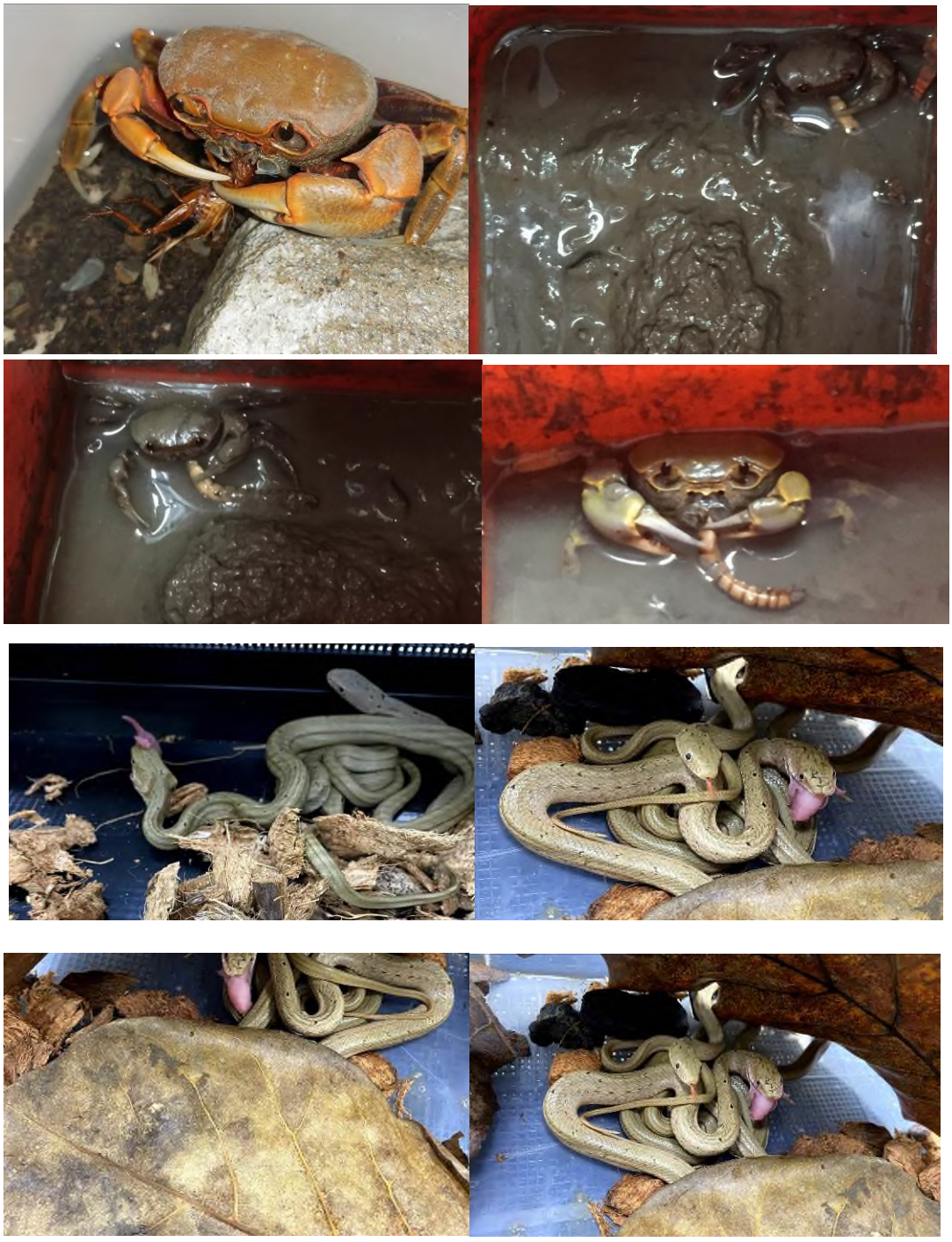
40. Silvia Pili,Pere Serra Luca Salvati, 2019, Landscape and the city: Agro-forest systems, land fragmentation and the ecological network in Rome, Italy, *Urban Forestry & Urban Greening, 41*, 230-237

41.W Parker, M Plummer - 1987 - The Blackburn Press: Caldwell, NJ, Population ecology. In 'Snakes: Ecology and Evolutionary Biology'. （Eds RA Seigel, JT Collins, and SS Novak.） pp. 253–30

42.Weinstein, R. B. and R. J. Full. 1992. Intermittent activity alters endurance in an eight-legged ectotherm. *The American journal of physiology, 262（5 Pt 2）:*R852-9.

附錄

附錄一、實驗物種飼養狀況



附錄二、生物基礎資料

台灣南海溪蟹(運動行為觀察)

no.	頭胸甲長（cm）	最長步足（cm）	最短步足（cm）	重量（g）
1	3.6	6	4.9	35
2	4.5	6	4.5	39
3	4.5	6	5	41
4	2.9	4	3.5	17
5	3.2	4.9	4	19
6	3.7	5.2	3.5	25
7	3	4	3	17
8	3	4	3	14

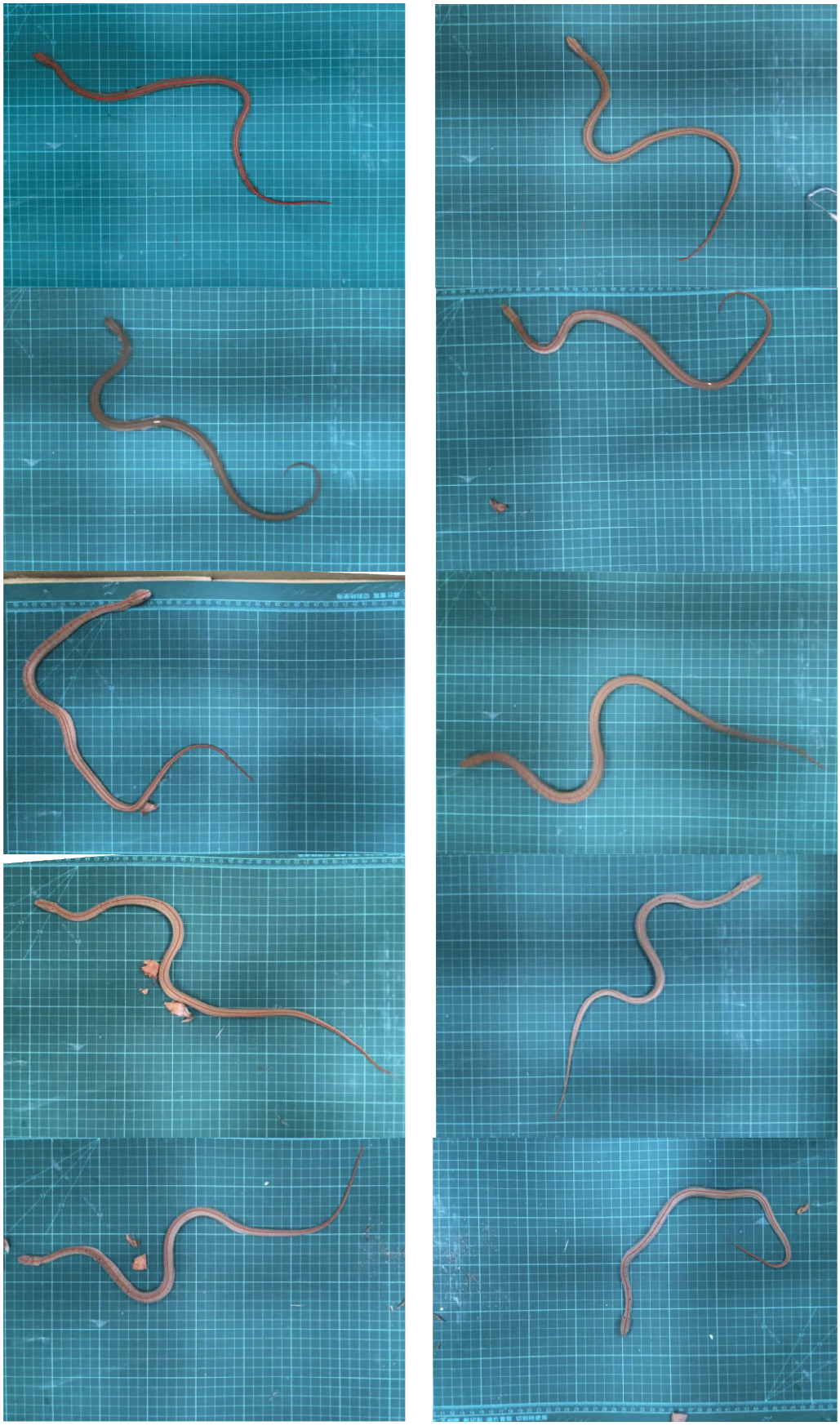
台灣南海溪蟹(攀爬實驗)

no.	性別	體重(g)	頭胸甲寬(mm)	頭胸甲長(mm)	最長指節(mm)
1	雌	32	40	33.8	11.8
2	雌	28	34.9	36.7	10.6
3	雄	23	35.1	28.7	11
4	雌	21	35.2	28.32	10.3
5	雄	15	30	24.4	7.5
6	雄	29	38.8	31.7	15
7	雄	29	39.3	30.5	13.4
8	雌	38	42.6	35.5	16.1
9	雄	32	38.3	32	13.8
10	雌	30	39.4	31.6	13.1
11	雄	33	39.2	31.3	12.7
12	雌	12	30	23.8	11.2
13	雄	9	25.7	21.7	9.4
14	雌	19	32.9	27.2	12.8
15	雄	18	33.1	26.3	12.3
16	雌	15	32.6	26.2	11.7
17	雌	20	34.4	27.1	11.2
18	雄	25	36.1	28.6	13
19	雌	47	46.3	32.9	14.3
20	雄	7	23.7	18.1	9.3
21	雌	20	33.6	28	12.2

王錦蛇

no.	體長 (mm)	體重(g)
1	436.6	19
2	440.84	19
3	438.35	18
4	520.22	24
5	479.62	19
6	521.07	23
7	461.07	18
8	499.15	25
9	510.76	22
10	390.97	16

附錄三、蛇類測量圖



附錄四、實驗巢箱內部溫度-照度圖

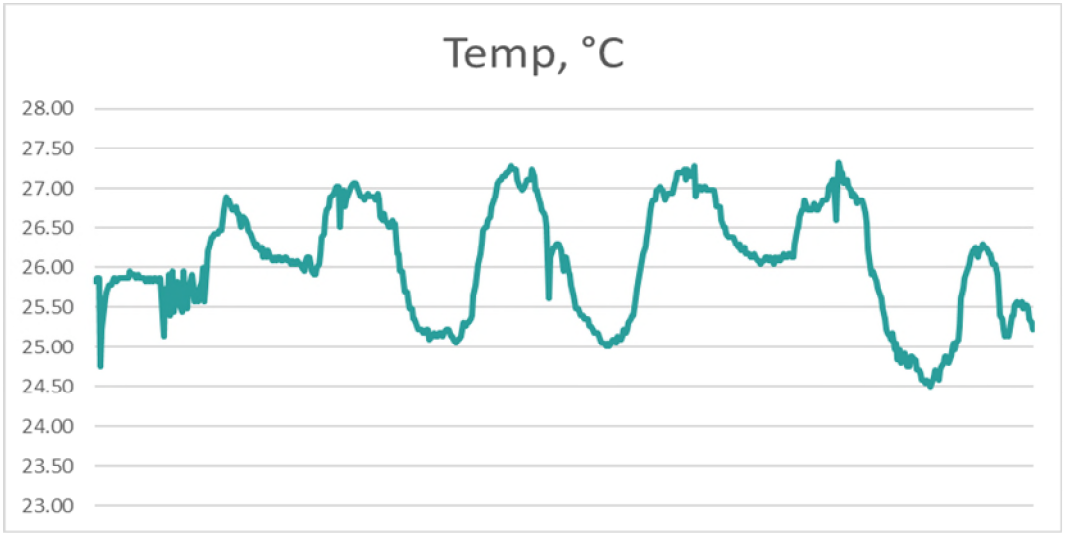
Mean=26.99。C(+0.03), 1.96 Lux(+4.17)

Mean=27.23。C(+0.20), 0Lux

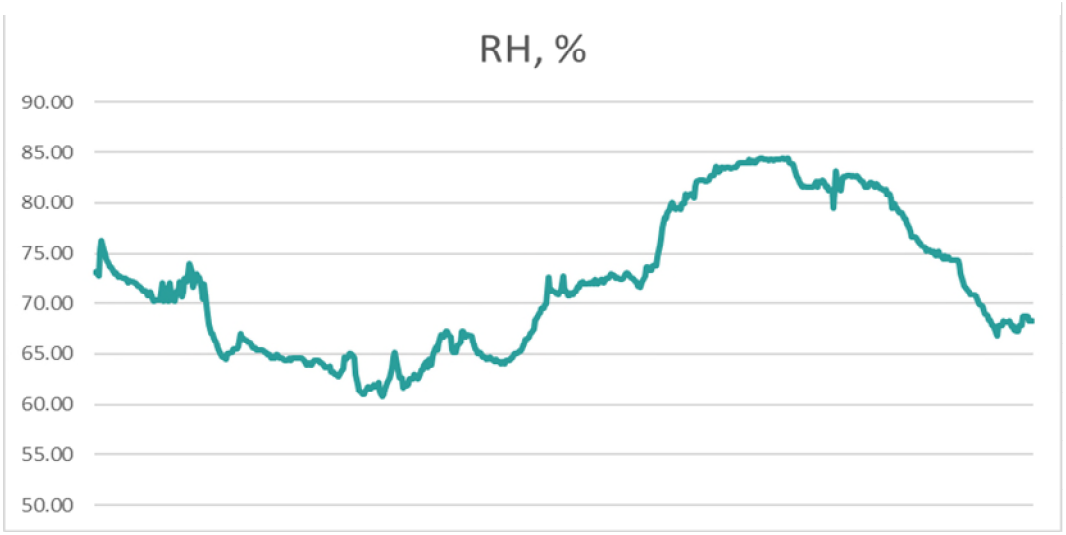
Mean=27.10。C(+0.22), 0Lux

Mean=25.88。C(+0.17), 0Lux

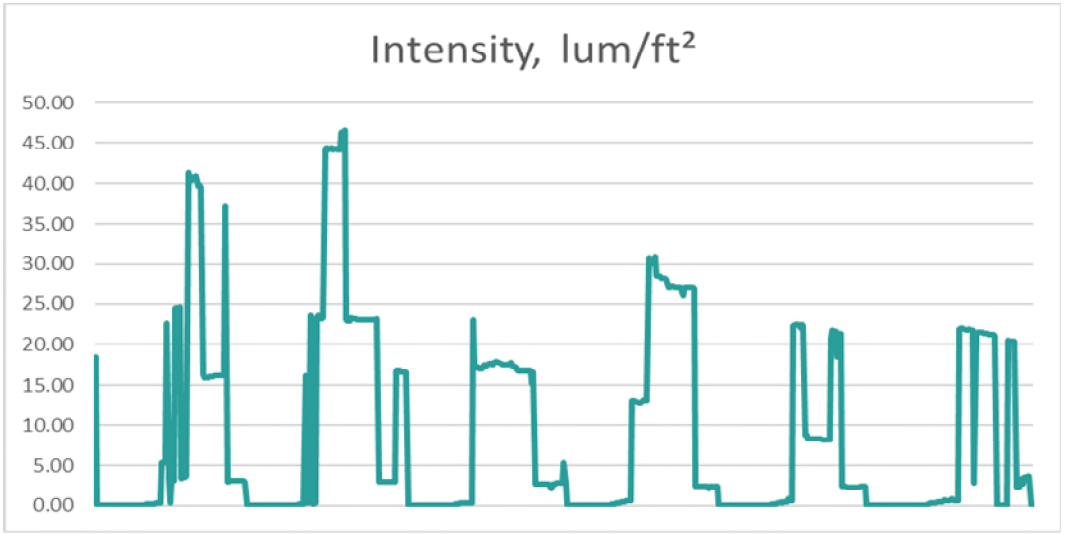
附錄五、實驗室內環境溫度-濕度-照度圖



2020/11/03-11/09. Mean=26.07(±0.71), max=27.32, min=24.49



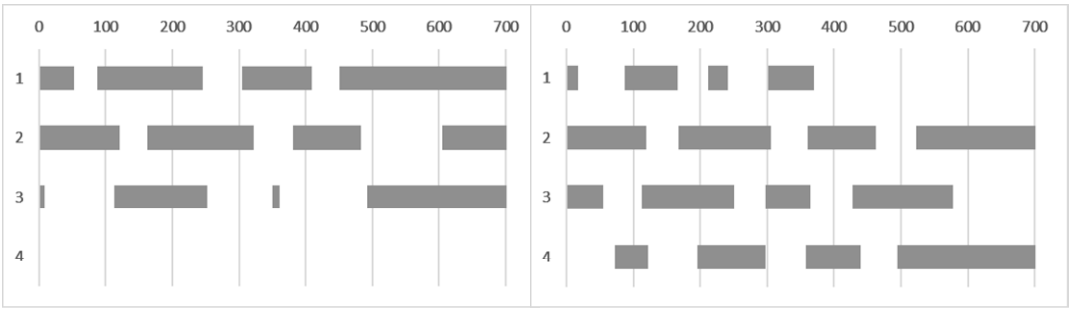
2020/11/03-11/09. Mean=72.02(±7.06), max=84.40, min=60.79



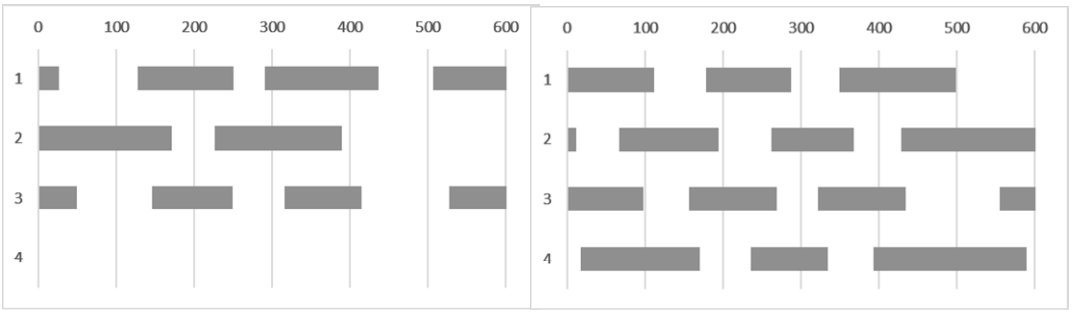
2020/11/03-11/09. Mean=8.65(±11.68), max=46.60, min=0.00

附錄六、步伐樣態紀錄表

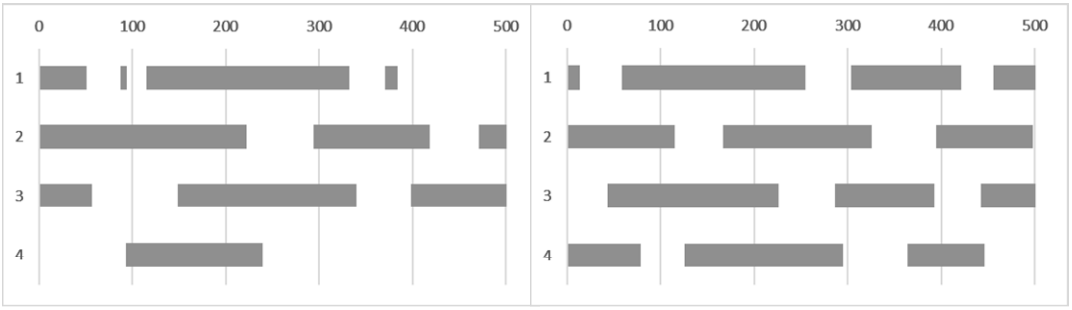
領先端（leading side）　　拖尾端（trailing side）



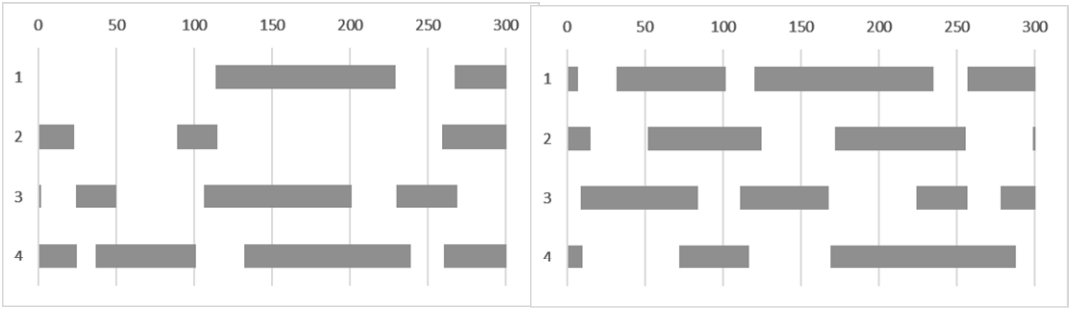
no.1



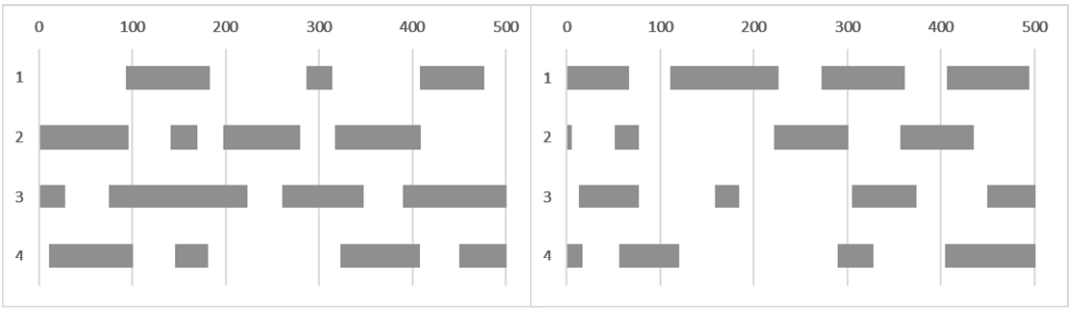
no.2



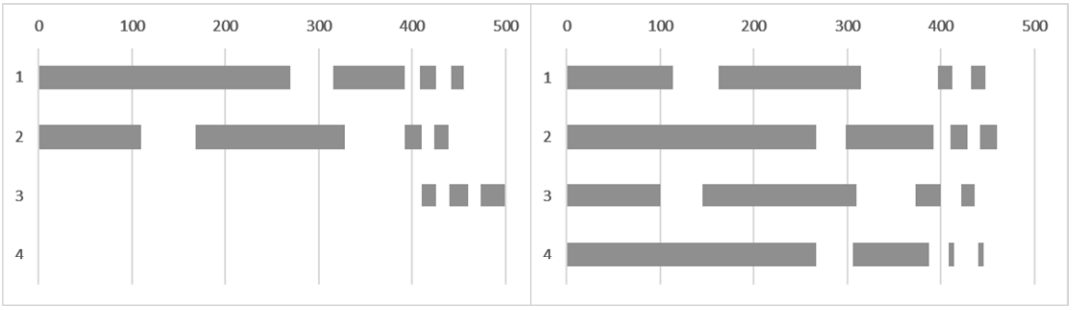
no.3



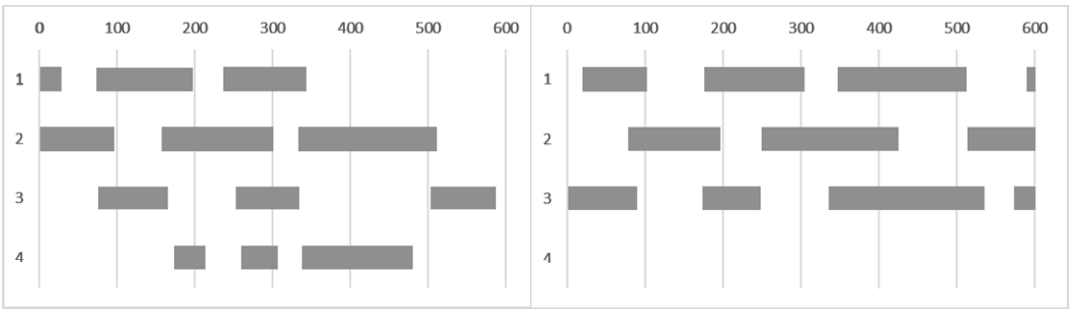
no.4



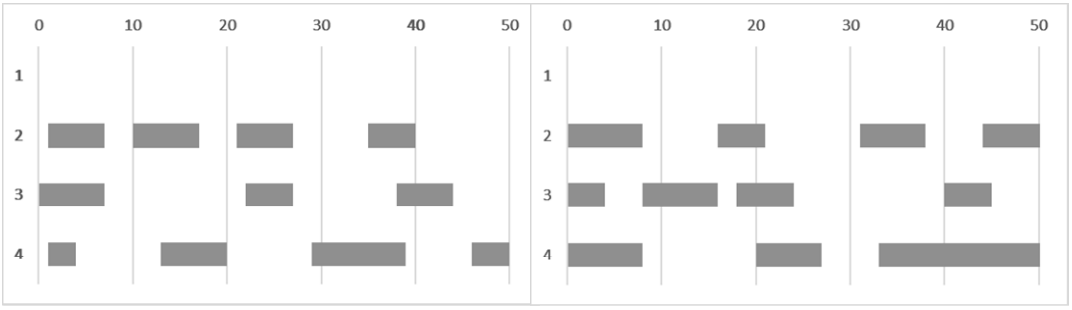
no.5



no.6

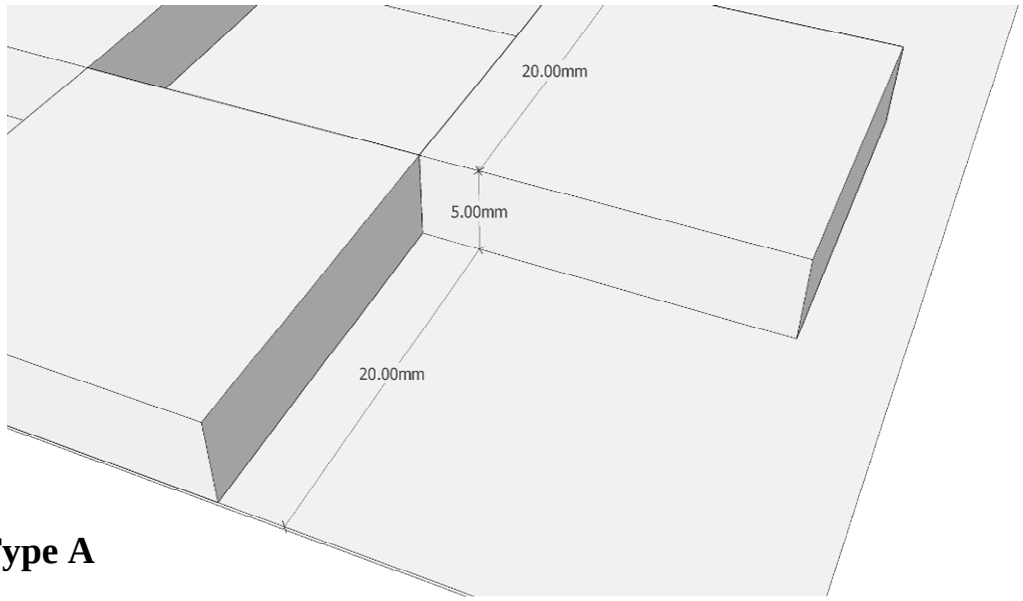


no.7

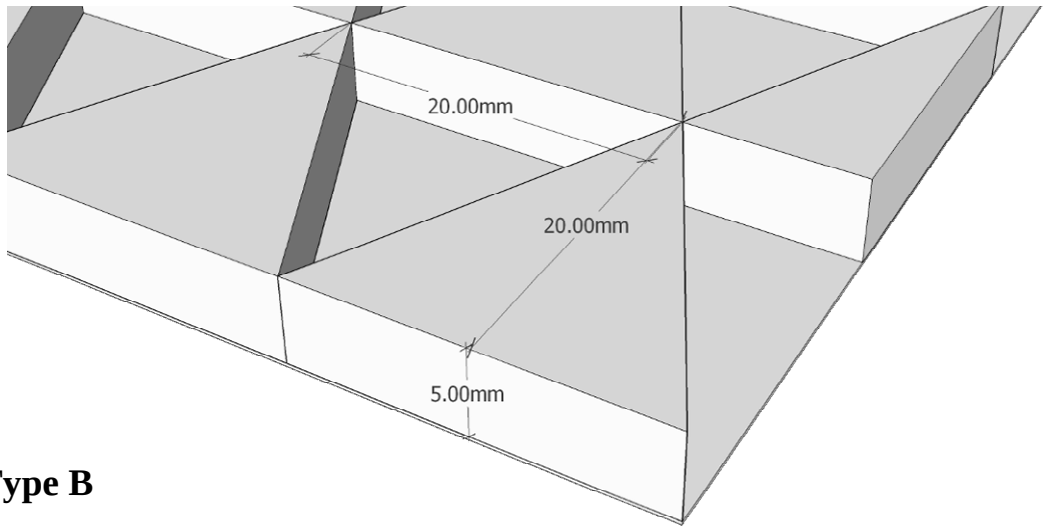


no.8

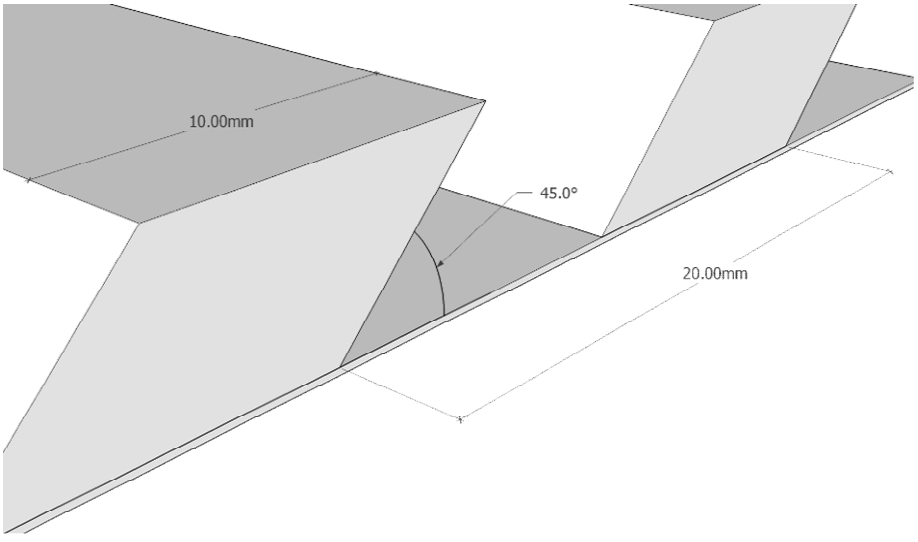
附錄七、壁面紋路尺寸



Type A



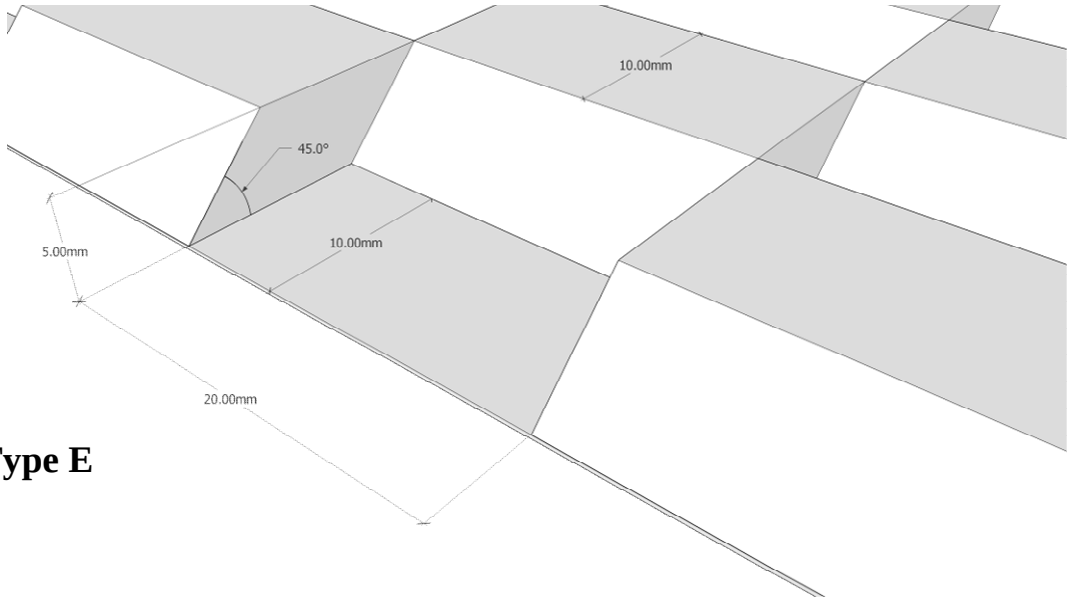
Type B



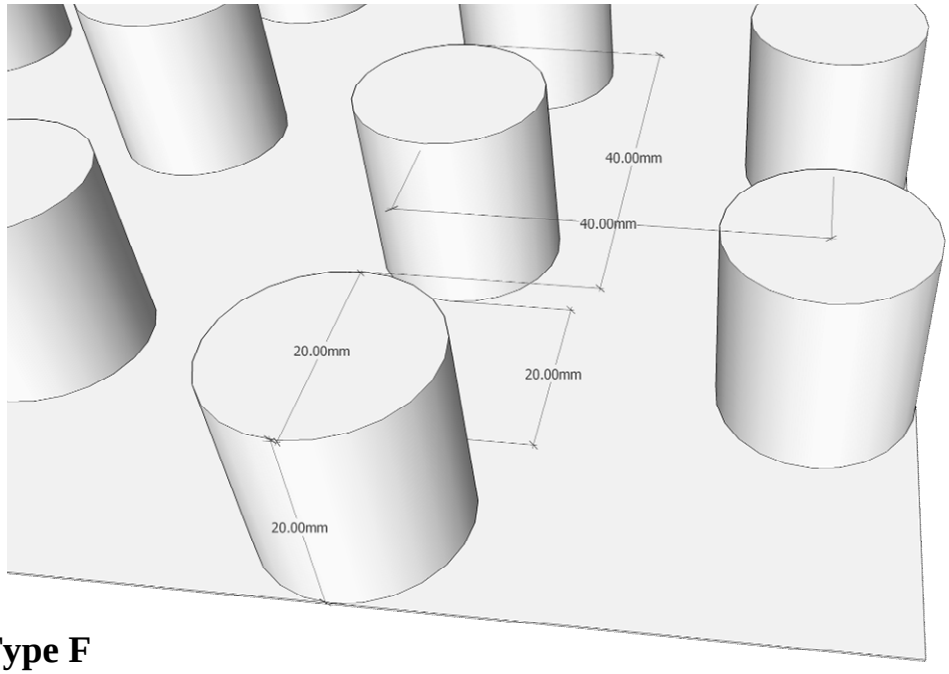
Type C



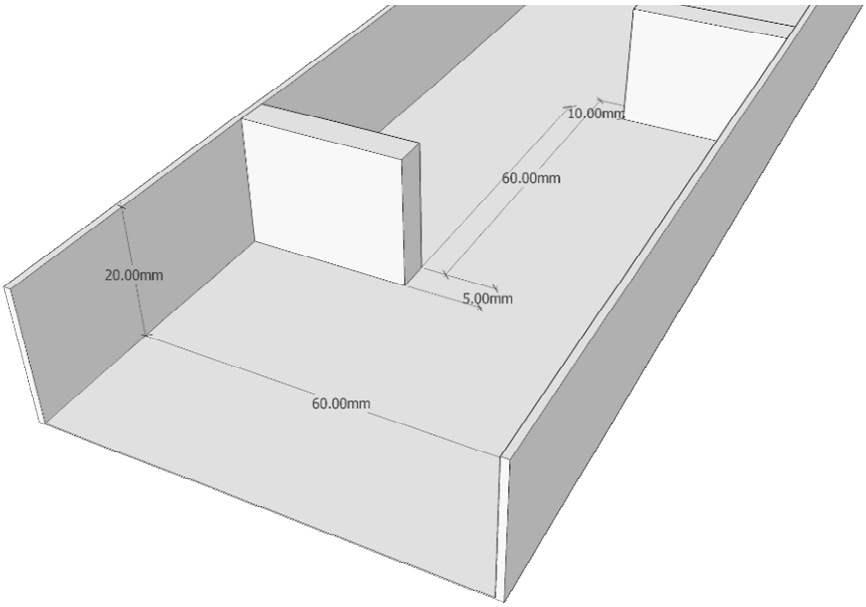
Type D



Type E


40.00mm
40.00mm
20.00mm
20.00mm
20.00mm

Type F


10.00mm
60.00mm
20.00mm
5.00mm
60.00mm

Type G

附錄八、攀爬實驗各組完成時間

type A **N=10**

duration(s)	
F	M
129.00	71.00
260.00	197.00
133.00	302.00
125.00	438.00
121.00	297.00

type B **N=11**

duration(s)	
F	M
106.00	45.00
137.00	95.00
198.00	400.00
163.00	243.00
161.00	145.00
-	379.00

type C **N=17**

duration(s)	
F	M
38.00	24.00
92.00	55.00
49.00	127.00
34.00	112.00
22.00	61.00
65.00	55.00
330.00	54.00
187.00	27.00
371.00	-

type D **N=8**

duration(s)	
F	M
91.00	84.00
94.00	110.00
135.00	287.00
-	182.00
-	54.00

type E **N=20**

duration(s)	
F	M
332.00	35.00
85.00	128.00
51.00	148.00
41.00	112.00
30.00	235.00
12.00	337.00
34.00	51.00
250.00	42.00
170.00	116.00
205.00	48.00

附錄九、完成時間與生理資料對比

Type A

	duration(s)	weight (g)	length (x)	length (y)	Dactyl (mm)
	71.00	23.00	35.10	28.70	11.00
	129.00	21.00	35.20	28.32	10.30
	197.00	15.00	30.00	24.40	7.50
	302.00	29.00	38.80	31.70	15.00
	260.00	38.00	42.60	35.50	16.10
	133.00	30.00	39.40	31.60	13.10
	438.00	33.00	39.20	31.30	12.70
	125.00	12.00	30.00	23.80	11.20
	121.00	47.00	46.30	32.90	14.30
	297.00	7.00	23.70	18.10	9.30
mean	207.30±108.43	25.50±11.70	36.03±6.36	28.63±4.93	12.05±2.55

Type B

	duration(s)	weight (g)	length (x)	length (y)	Dactyl (mm)
	45.00	23	35.1	28.7	11
	106.00	21	35.2	28.32	10.3
	95.00	15	30	24.4	7.5
	400.00	29	38.8	31.7	15
	243.00	29	39.3	30.5	13.4
	137.00	38	42.6	35.5	16.1
	198.00	30	39.4	31.6	13.1
	145.00	33	39.2	31.3	12.7
	163.00	12	30	23.8	11.2
	161.00	47	46.3	32.9	14.3
	379.00	7	23.7	18.1	9.3
mean	188.36±107.10	25.82±11.20	36.33±6.13	28.80±4.73	12.17±2.46

Type C

	duration(s)	weight (g)	length (x)	length (y)	Dactyl (mm)
	24.00	23	35.1	28.7	11
	38.00	21	35.2	28.32	10.3
	55.00	15	30	24.4	7.5
	127.00	29	39.3	30.5	13.4
	92.00	38	42.6	35.5	16.1
	49.00	30	39.4	31.6	13.1
	112.00	33	39.2	31.3	12.7
	34.00	12	30	23.8	11.2
	61.00	9	25.7	21.7	9.4
	22.00	19	32.9	27.2	12.8
	55.00	18	33.1	26.3	12.3
	65.00	15	32.6	26.2	11.7
	330.00	20	34.4	27.1	11.2
	54.00	25	36.1	28.6	13
	187.00	47	46.3	32.9	14.3
	27.00	7	23.7	18.1	9.3
	371.00	20	33.6	28	12.2
mean	100.18±100.51	22.41±10.14	34.66±5.53	27.66±4.1	11.85±1.98

Type D

	duration(s)	weight (g)	length (x)	length (y)	Dactyl (mm)
3	84.00	23	35.1	28.7	11
4	91.00	21	35.2	28.32	10.3
5	110.00	15	30	24.4	7.5
9	287.00	32	38.3	32	13.8
12	94.00	12	30	23.8	11.2
14	182.00	9	25.7	21.7	9.4
21	135.00	47	46.3	32.9	14.3
22	54.00	7	23.7	18.1	9.3
mean	129.63±69.36	20.75±12.54	33.04±6.82	26.24±4.8	10.85±2.14

Type E

	duration(s)	weight (g)	length (x)	length (y)	Dactyl (mm)
	332.00	32.00	40.00	33.8	11.8
	35.00	28.00	34.90	36.7	10.6
	85.00	23.00	35.10	28.7	11
	128.00	21.00	35.20	28.32	10.3
	148.00	15.00	30.00	24.4	7.5
	112.00	29.00	38.80	31.7	15
	51.00	29.00	39.30	30.5	13.4
	235.00	38.00	42.60	35.5	16.1
	41.00	32.00	38.30	32	13.8
	337.00	30.00	39.40	31.6	13.1
	30.00	33.00	39.20	31.3	12.7
	51.00	9.00	25.70	21.7	9.4
	12.00	19.00	32.90	27.2	12.8
	42.00	18.00	33.10	26.3	12.3
	34.00	15.00	32.60	26.2	11.7
	250.00	20.00	34.40	27.1	11.2
	116.00	25.00	36.10	28.6	13
	170.00	47.00	46.30	32.9	14.3
	48.00	7.00	23.70	18.1	9.3
	205.00	20.00	33.60	28	12.2
mean	123.10±98.81	24.50±9.52	35.56±5.2	29.03±4.4	12.08±2.01

附錄十、性別與完成時間檢定

t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數不相等

Type A

	F	*M*
平均數	153.6	261
變異數	3557.8	18625.5
觀察值個數	5	5
假設的均數差	0	
自由度	5	
t 統計	-1.612412689	
P(T<=t) 單尾	0.083895159	
臨界值：單尾	2.015048373	
P(T<=t) 雙尾	0.167790319	
臨界值：雙尾	2.570581836	

Type B

	F	*M*
平均數	153	217.8333333
變異數	1163.5	22011.36667
觀察值個數	5	6
假設的均數差	0	
自由度	6	
t 統計	-1.037996387	
P(T<=t) 單尾	0.169640701	
臨界值：單尾	1.943180281	
P(T<=t) 雙尾	0.339281403	
臨界值：雙尾	2.446911851	

Type C

	F	*M*
平均數	132	64.375
變異數	17858.5	1358.839286
觀察值個數	9	8
假設的均數差	0	

自由度	9
t 統計	1.457038584
P(T<=t) 單尾	0.089546466
臨界值：單尾	1.833112933
P(T<=t) 雙尾	0.179092933
臨界值：雙尾	2.262157163

Type D

	F	*M*
平均數	106.6666667	143.4
變異數	604.3333333	8686.8
觀察值個數	3	5
假設的均數差	0	
自由度	5	
t 統計	-0.83424447	
P(T<=t) 單尾	0.221081893	
臨界值：單尾	2.015048373	
P(T<=t) 雙尾	0.442163786	
臨界值：雙尾	2.570581836	

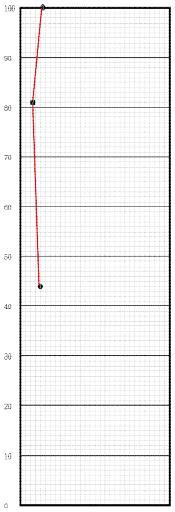
Type E

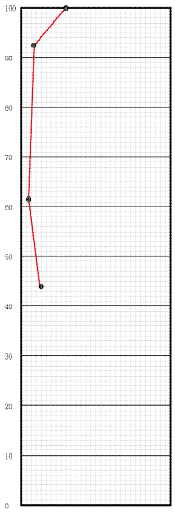
	F	*M*
平均數	121	125.2
變異數	12327.33333	9358.4
觀察值個數	10	10
假設的均數差	0	
自由度	18	
t 統計	-0.090190799	
P(T<=t) 單尾	0.464565813	
臨界值：單尾	1.734063607	
P(T<=t) 雙尾	0.929131627	
臨界值：雙尾	2.10092204	

附錄十一、爬行軌跡圖

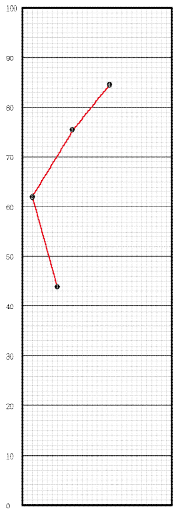
Type A

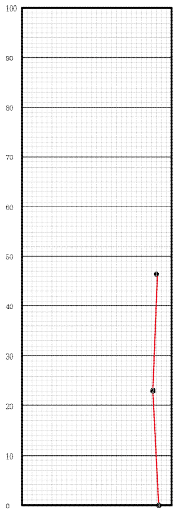

no.1

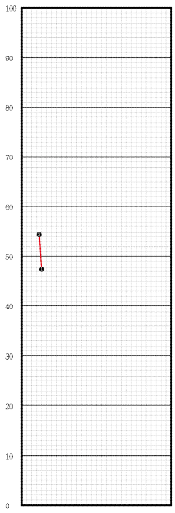

no.2

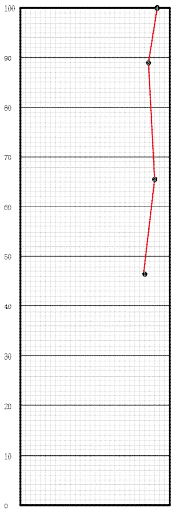

no.3

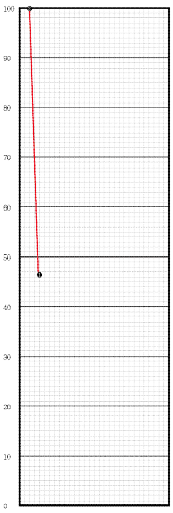

no.4


no.5

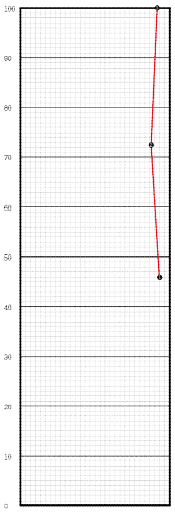

no.6


no.7

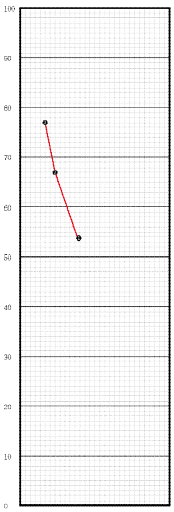

no.8



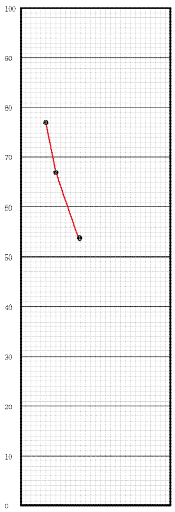
no.9



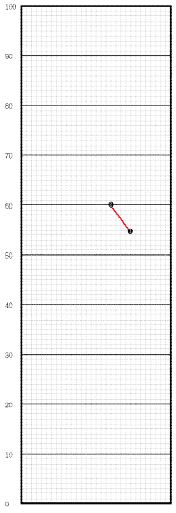
no.10



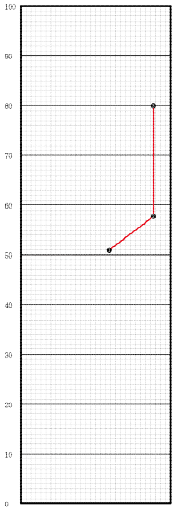
no.11



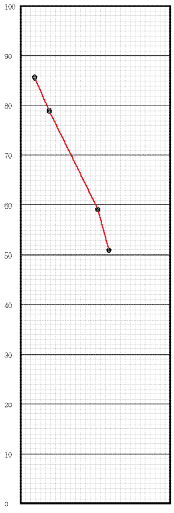
no.12



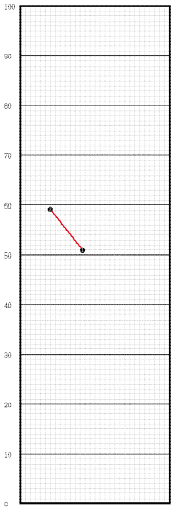
no.13



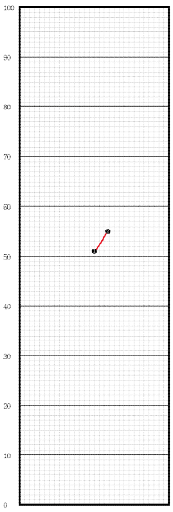
no.14



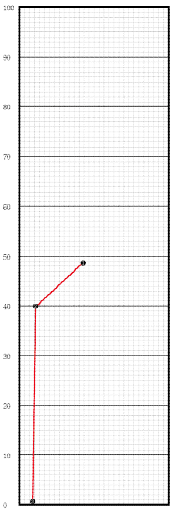
no.15



no.16



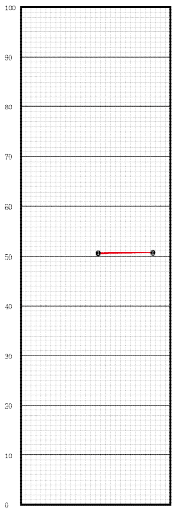
no.17



no.18

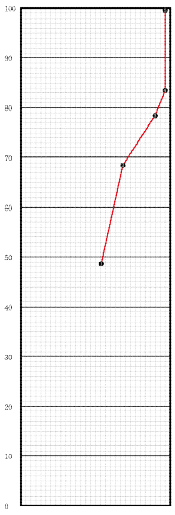


no.19



no.20

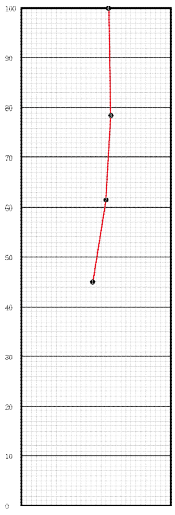
Type B



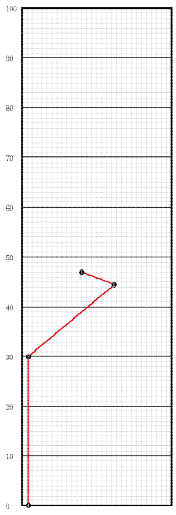
no.1



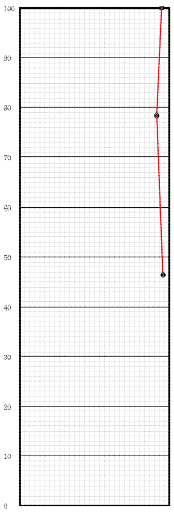
no.2



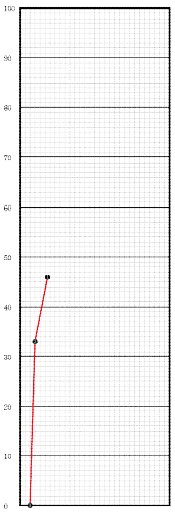
no.3



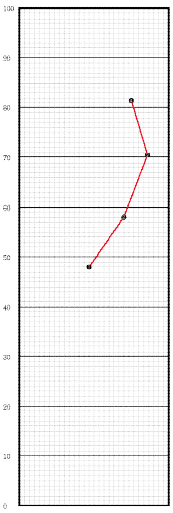
no.4



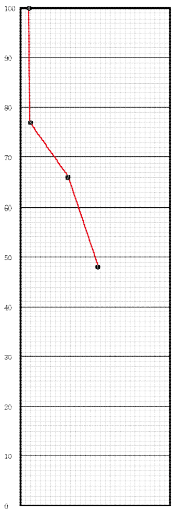
no.5



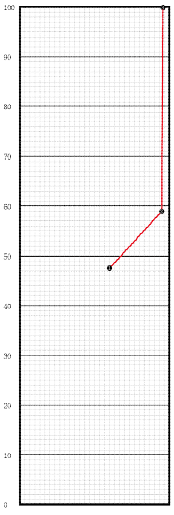
no.6



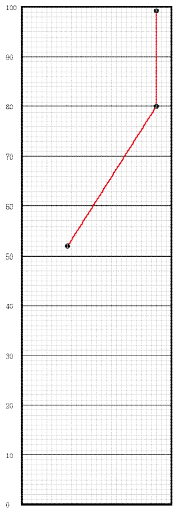
no.7



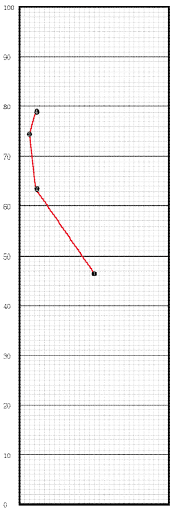
no.8



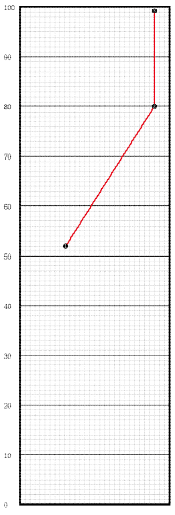
no.9



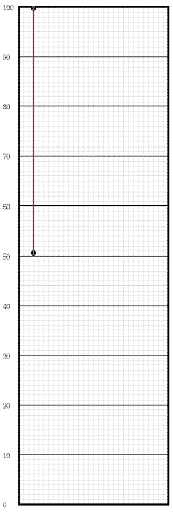
no.10



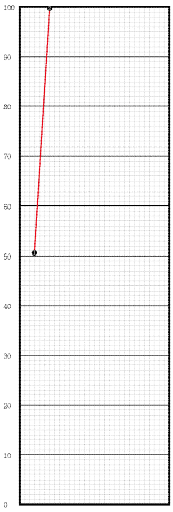
no.11



no.12



no.13



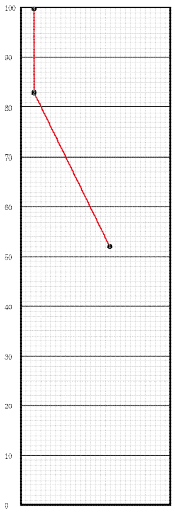
no.14



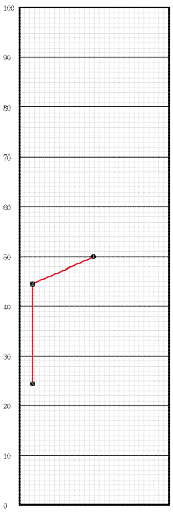
no.15



no.16



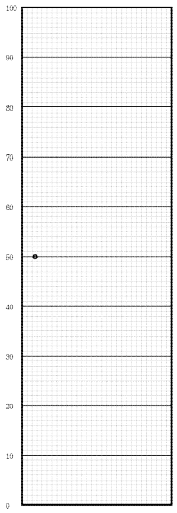
no.17



no.18



no.19

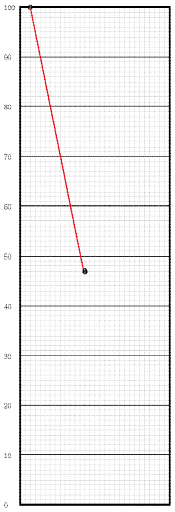


no.20

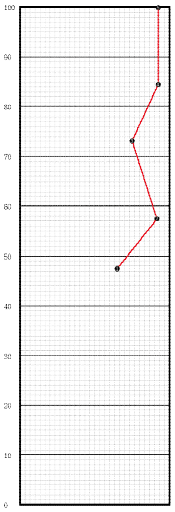
Type C



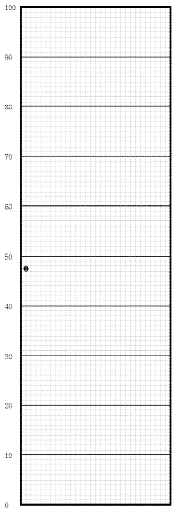
no.1



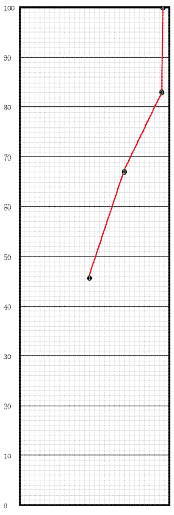
no.2



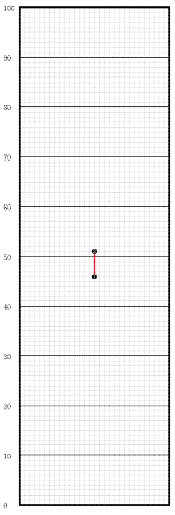
no.3



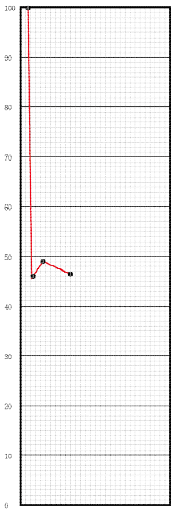
no.4



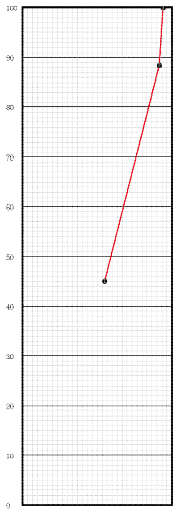
no.5



no.6



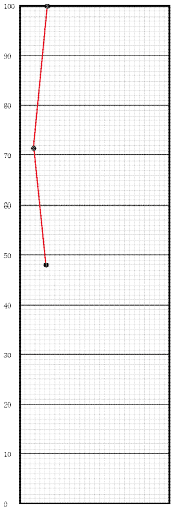
no.7



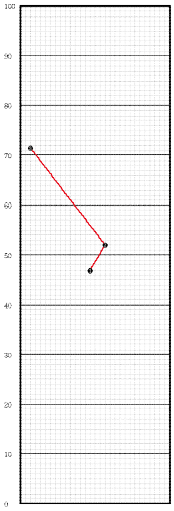
no.8



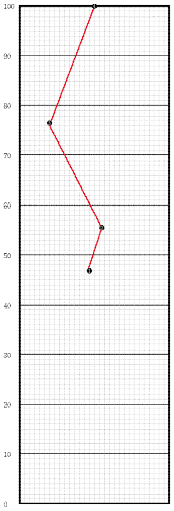
no.9



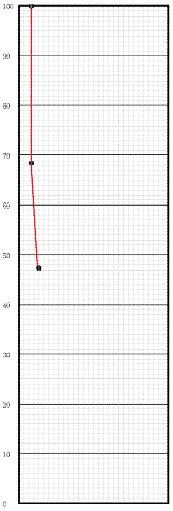
no.10



no.11



no.12



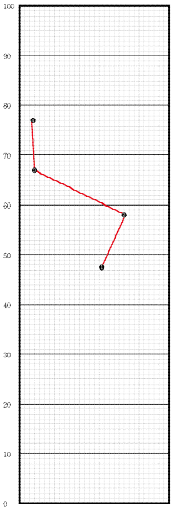
no.13



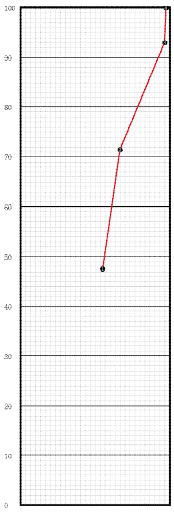
no.14



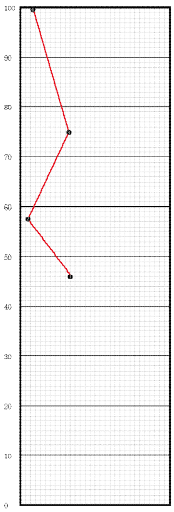
no.15



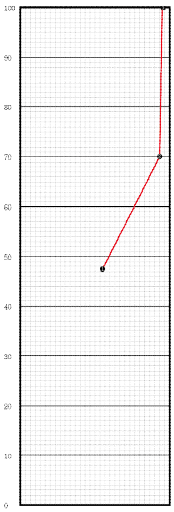
no.16



no.17



no.18

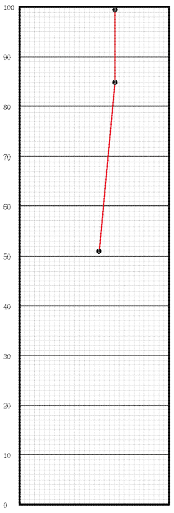


no.19

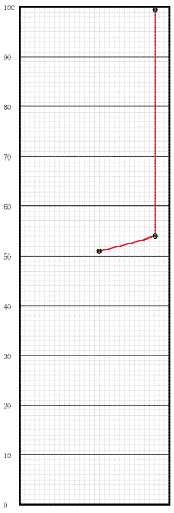


no.20

Type D



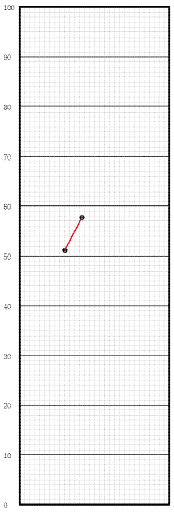
no.1



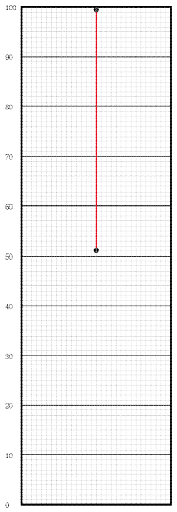
no.2



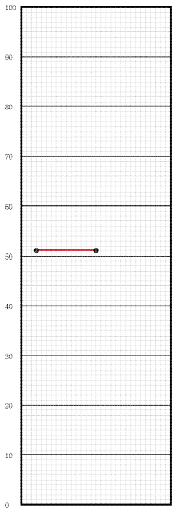
no.3



no.4



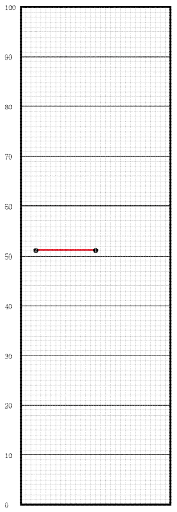
no.5



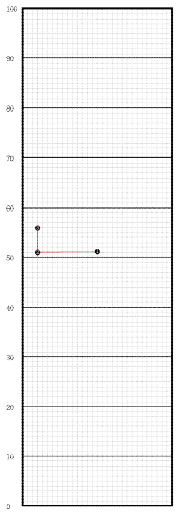
no.6



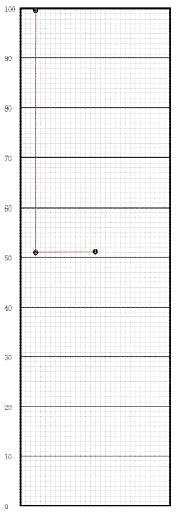
no.7



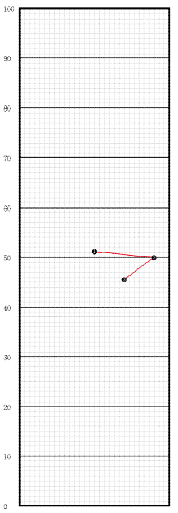
no.8



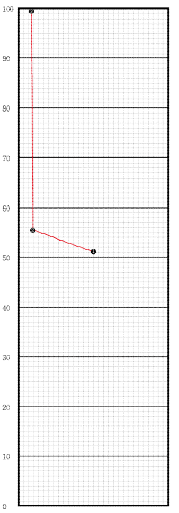
no.9



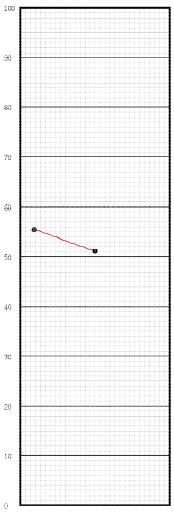
no.10



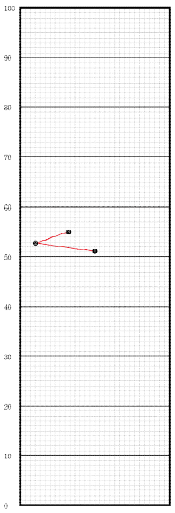
no.11



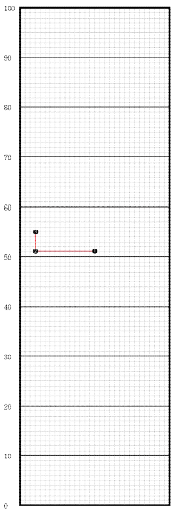
no.12



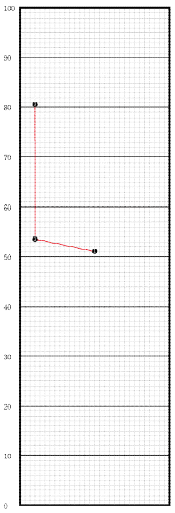
no.13



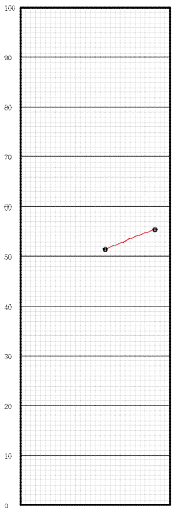
no.14



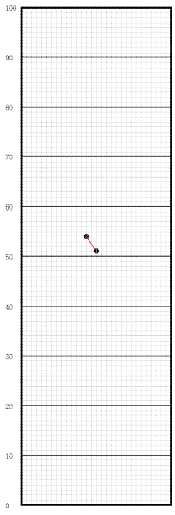
no.15



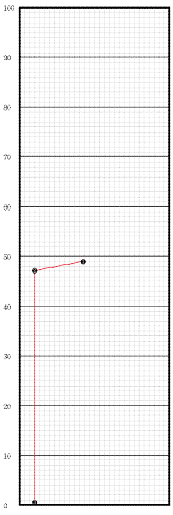
no.16



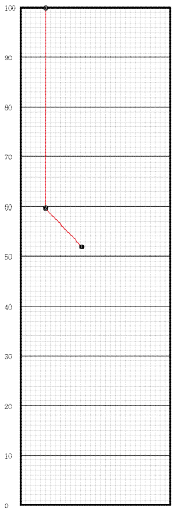
no.17



no.18

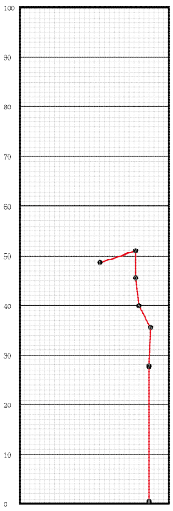


no.19

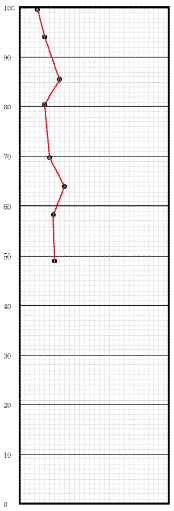


no.20

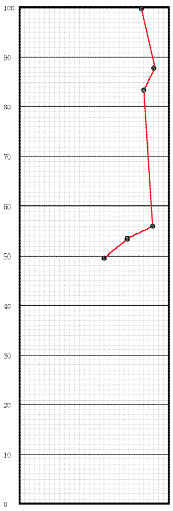
Type E



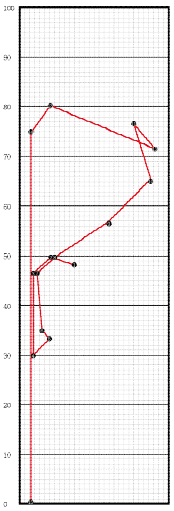
no.1



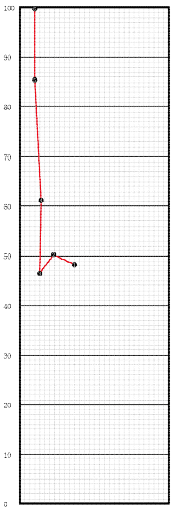
no.2



no.3



no.4



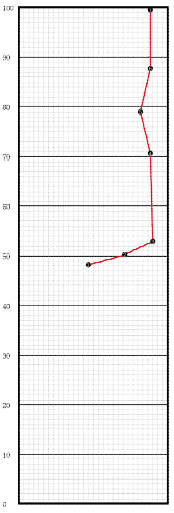
no.5



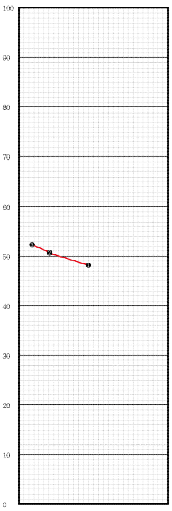
no.6



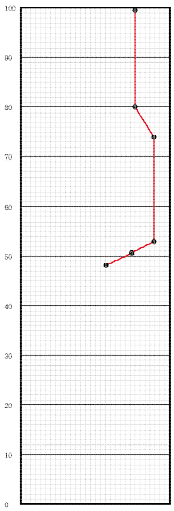
no.7



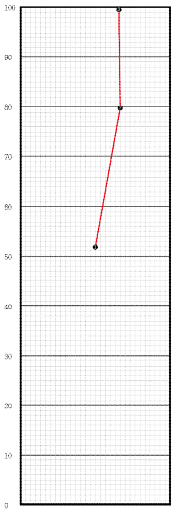
no.8



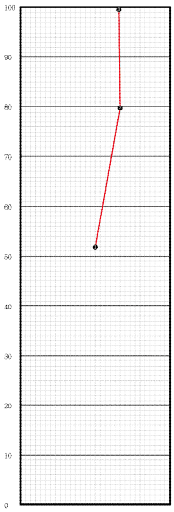
no.9



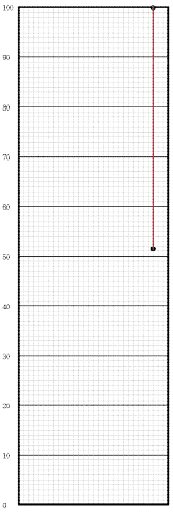
no.10



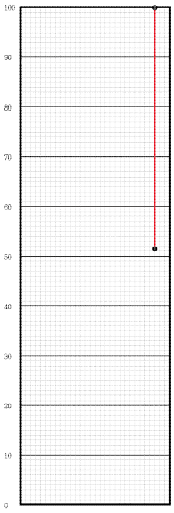
no.11



no.12



no.13



no.14

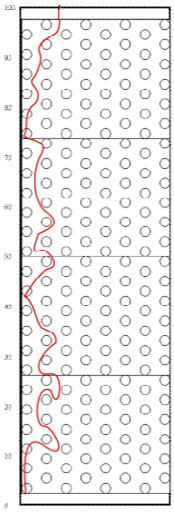


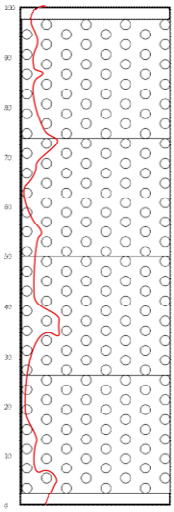
no.15

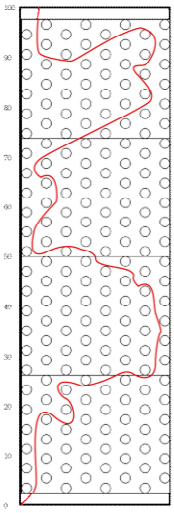


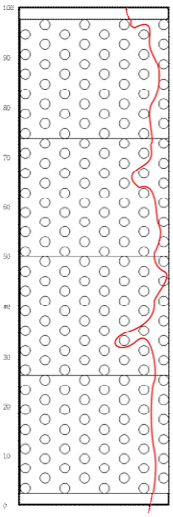
no.16

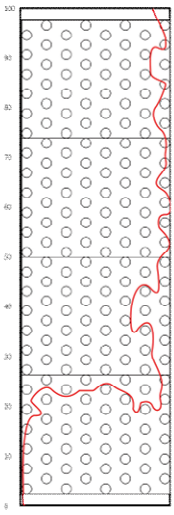
Type F

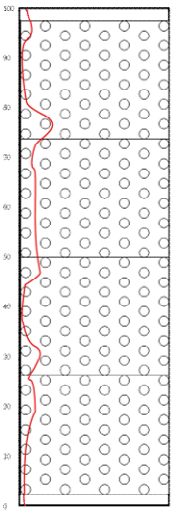

no.1

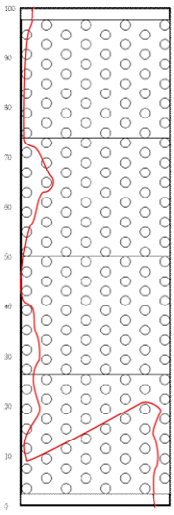

no.2

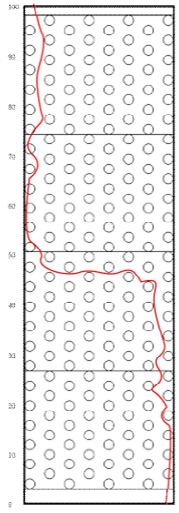

no.3


no.4

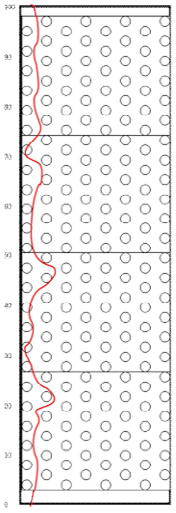

no.5


no.6

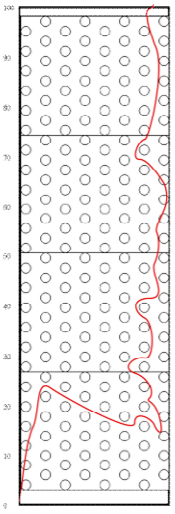

no.7



no.8

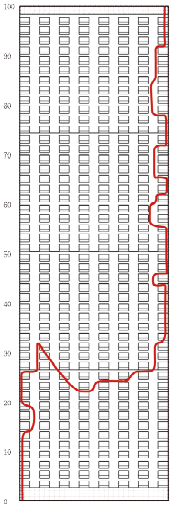


no.9

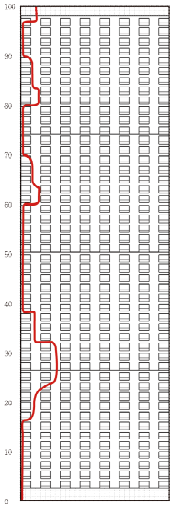


no.10

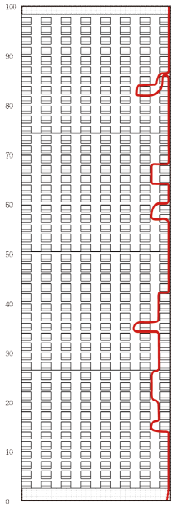
Type D



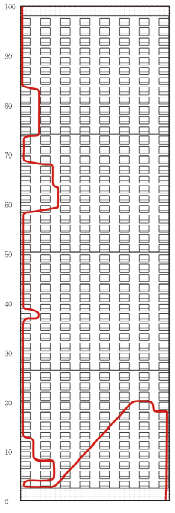
no.1



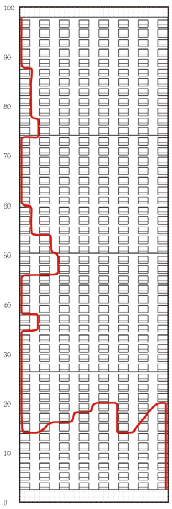
no.2



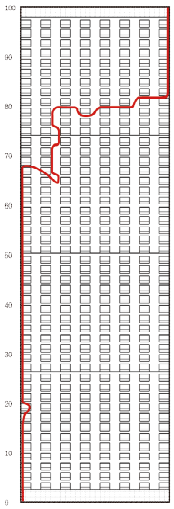
no.3



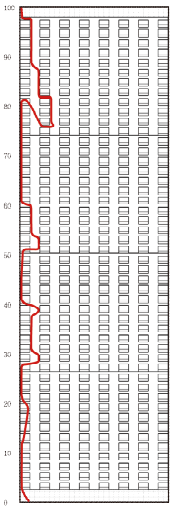
no.4



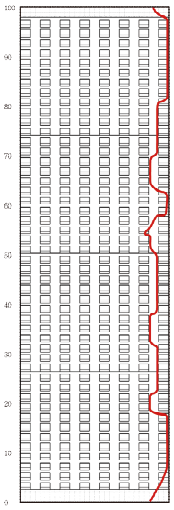
no.5



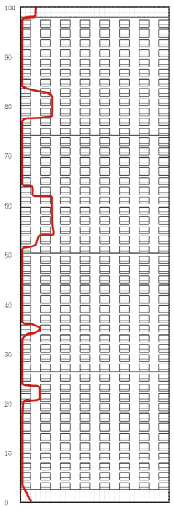
no.6



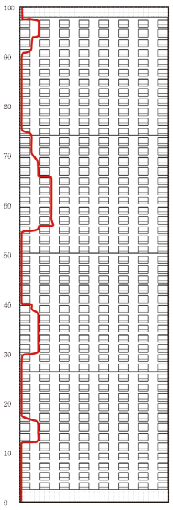
no.7



no.8

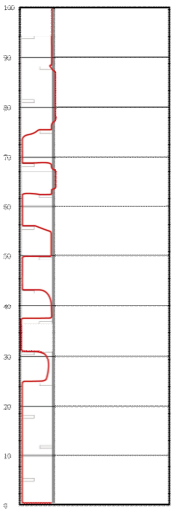


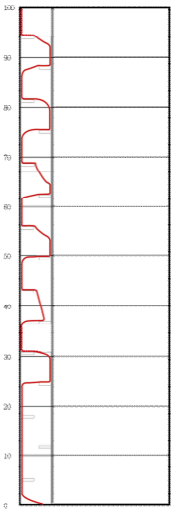
no.9

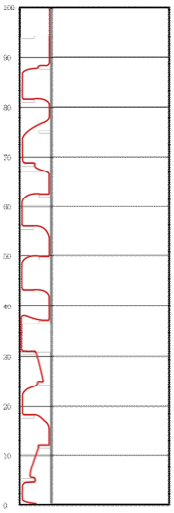


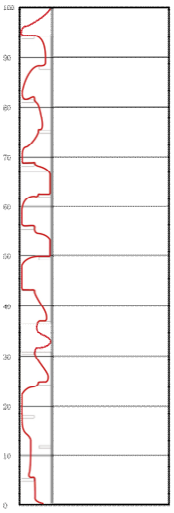
no.10

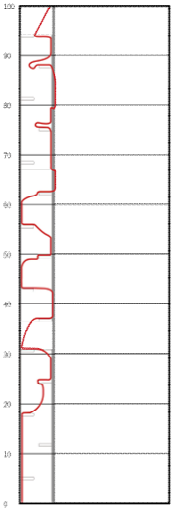
Type G

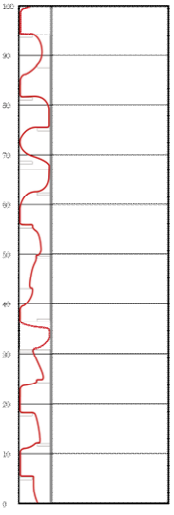

no.1

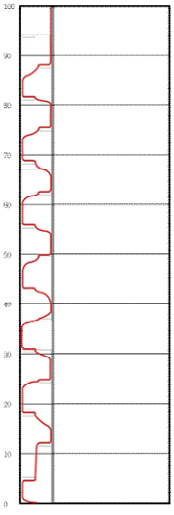

no.2

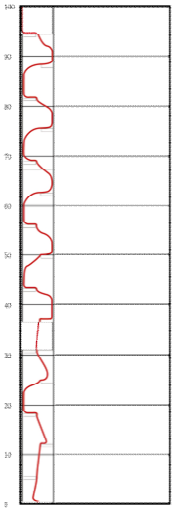

no.3


no.4

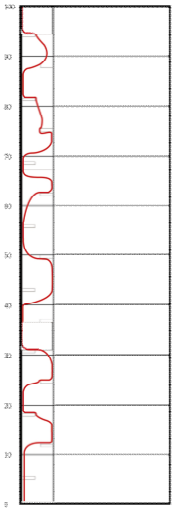

no.5


no.6


no.7



no.8



no.9

附錄十二、提案審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	提案審查意見	提案修正回覆辦理情形（2/25）	期初報告修正說明（4/14）
報告內容審查意見：			
一	請增加阻隔設施之設計研究，防止動物進入危險區域。	本計畫在實驗時，會利用阻絕圍籬等設施，減少其它動物進入實驗區。	
二	2.本計畫擬由生物本身特性從實務之角度出發，測量生物身 體尺寸，生物行為能力整理，探討動物於不同尺度、角度、坡度等地水泥坡面移動與爬行能力，以找出易於動物爬行脫困的工程技術、水泥邊坡設計準則，以利小型動物從邊壁脫困，其中除了小動物體型尺寸外，其移動能力如何評估或如何執行其	本計畫物種移動能力之評估，是以該實驗對象能「成功」跨越該障礙物（含例如: 面材、角度、垂直距離等變項）為原則。在實驗進行時，亦可統計跨越該障礙所需之時間。而本實驗所取得各變項之數據，可以計算其相關性或以迴歸分析表明其間的關係。	

項次	提案審查意見	提案修正回覆辦理情形（2/25）	期初報告修正說明（4/14）
	行動能力之實驗應述明。		
三	以臺灣南海溪蟹及台灣鈍頭蛇特定物種進行探討，其成果是否適用其他甲殼類（蟹）及爬蟲類（蛇）。	因物種生理與生態特性不同，故本實驗之成果不見得適用於其它物種。然本計畫之初始願景是想取得各物種間最大公約數，以減低友善工法之相關施作成本。	由於台灣鈍頭蛇棲地環境已中高海拔為主，考量目標生物取得，本實驗於期初以平地常見的王錦蛇取代台灣鈍頭蛇
四	實驗針對邊壁角度、紋路類型及紋路深度進行探討，建議可增加探討小型動物對於構造物高度（或距離）之攀爬能力，作為設計參考。	謝謝委員建議。會嘗試將構造物高度（或距離）之攀爬能力納入計算。	

項次	提案審查意見	提案修正回覆辦理情形（2/25）	期初報告修正說明（4/14）
五	所選兩物種均以道路邊溝及路殺為考量，建議增加或擇一類易受溪流治理工程影響之關鍵物做為研究目標，並提供野溪治理工程規劃設計參考。	因經費之限制，本計畫擬先以 2 物種為實驗對象，而未來預計以溯溪型魚類為探討對象。	
六	奮起湖係林務局管轄區域，是否有更適合的淺山山坡地可供研究？	因奮起湖周邊有發現鈍頭蛇族群，所以擬以該區為實驗位址。因本次計畫書修改之期程相當緊迫，一時無法於其它淺山坡地找到合適地點。然本計畫會持續尋找恰當地點，亦或改變實驗之目標物種。	由於爬蟲類目標物種變更為王錦蛇，以及區位限制考量結果，將實驗地區統一於嘉義市蘭潭地區進行，比較相同環境下物種的攀爬情形。

附錄十三、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	提案審查意見	期初回覆辦理情形（4/14）
報告內容審查意見：		
一	P.2-11 第五節，動物於不同的紋路角度變化之攀爬能力試驗，建議增加造型模版、樣式及構造物之斜率對小型動物攀爬路徑、習性、高度和距離，納入觀察研究。	謝謝委員建議。高度與路徑關係到各別個體的活動量以及恢復率等生化層面問題，本次計畫將先以工程尺度考量，限制在 60 至 100 公分高、30 公分寬的環境進行實驗。斜率(坡度)的部分也將會在設置大於 60 度以上，盡可能模擬野外艱困的移動環境。
二	P.1-9 本計畫擬測量動物身體尺寸、整理動物行為能力，以探討動物於混凝土壁面移動與爬行能力，其中選取台灣南海溪蟹為實驗對象，其主要分布在彰化以南到台南之間，是否具有甲殼類動物特徵之代表性？	甲殼類動物型態多變以更能適應生活環境。台灣南海溪蟹所屬之南海溪蟹屬的頭胸甲型狀與澤蟹屬相似，兩屬螃蟹之間的生活環境也都為山溝，具有泥質土的環境。按習性猜測，有挖掘洞穴行為的螃蟹，體型特徵會趨向圓、厚，以方便鑽入泥土。而淡水蟹中頭胸甲趨向方型、扁小的清溪蟹屬則適合居住溪流的岩縫當中。
三	P.2-1 圖 2-1 中壁面紋路	挑選野外採樣地點中合適的渠道／

項次	提案審查意見	期初回覆辦理情形（4/14）
	調整後進行正式實地測驗，請補充說明實地測驗地點、進行方式。	擋土牆設置計畫所設計之壁面，並假設紅外線攝影儀來觀察野外個體使用情況。
四	P.2-5 請補充說明預計以多少數量台灣南海溪蟹進行爬行能力、位移行為能力等分析。	將採集 10 至 20 隻成體進行正式實驗。
五	P.2-7 文中說明促使螃蟹移動的動機可分為三種：生殖遷徙、覓食移動及禦敵或 挖穴，因此實驗中應讓實驗對象具有移動的動機，是否已有相關規劃。	將設置刺激物誘發覓食行為，此外台灣南海溪蟹是穴居型物種，故在出口段設置陰暗的容器也將能誘發回巢躲避的行為。
六	P.2-12 動物於不同紋路、角度變化之攀爬能力採用完全隨機實驗設計，每樣紋路 -角度組合做 3 重複，請補充說明樣本數大小。	每個實驗樣本將重複 3 次進行爬行以獲取平均值。

項次	提案審查意見	期初回覆辦理情形（4/14）
七	P.2-16 實驗壁面長度目前僅設定為 50 公分，建議配合排水溝、道路邊壁等人工結 構物尺寸進行調整。	謝謝委員建議。U 型溝深度位於 40 至 100 公分之間。考量施工慣用尺寸，壁面高度將以 60 公分為主。
八	通篇均以水利工程與道路工程論述，請以水保局執行的相關工程來探討本計畫。	謝謝委員建議。本計畫成果也將可用在山地擋土牆與排水溝。
九	P.1-6 生態補償，請說明如何補償。	在已發生困死事件的環境下進行裝設或改善措施。
十	鄭偉群等人野外觀察受困於人工結構物…請說明其觀察的人工結構物屬性，如公路 單位設置的排水構等。參考文獻未見該資料來源。	感謝委員提醒，已補充於參考文獻第 12 項。

項次	提案審查意見	期初回覆辦理情形（4/14）
十一	施志明 2009 在臺灣淡水蟹圖鑑提到的混凝土渠道亦請說明其屬性。	台灣南海溪蟹普遍出現在早期農田的環境中。當時的灌溉渠道仍為植生或以泥質、石質的壁面為主。在更改為垂直混凝土渠道破壞了原始棲地，也阻撓了螃蟹的通行。

附錄十四、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	提案審查意見	期初回覆辦理情形（4/14）
報告內容審查意見：		
一	P.2-1 圖 2-1 中坡面紋理調整後進行正式實地測驗，是否已改成室內實驗，請修正。	感謝委員意見，已修正為「實內攀爬實驗」。
二	P.2-10 實驗設計包含兩個可操作之變數：壁面角度、紋路類型，即為自變項中壁面類型、壁面角度，後續又有壁面紋路，請統一。	感謝委員意見，已修正至 P.4-1「實驗觀測變項分別為壁面紋路類型(自變項)與攀爬時間(依變項)。」
三	P2-12 實驗壁面高度目前設定將以 60 公分為主，建議針對不同高度進行實驗，以瞭解動物可能之攀爬能力。	感謝委員意見，由於本次實驗為初次探究，面臨種種基礎難題，如活體採集、飼養、模型列印、設計瓶頸等。故本次將角度與高度設為控制因子(90 度；100 公分)，聚焦在紋路樣式的可行性。

項次	提案審查意見	期初回覆辦理情形（4/14）
四	P.2-12 實驗期間將以適量誘發物提高動物的移動機率，適量誘發物之配置為何？	感謝委員意見，已補充至 P.4-11「實驗期間將以噴霧器灑水保持動物皮膚濕潤，並以 2mm 軟枝條觸碰壁面產生震動提高動物移動機率。」
五	P.3-2 第四點彈性工程施作的組合模組，擬針對地區特殊物種組成，調整面材組合模式，應說明如何針對台灣南海溪蟹、花浪蛇以外物種等進行調整。	感謝委員意見，本次初探實驗從小型動物如甲殼類與小型蛇類為起點，並從中挑選嘉義平原區物種台灣南海溪蟹與王錦蛇作為目標物種。未來希望建立更完整的動物攀爬行為資料。
六	P4-1 章節名稱應為結果與討論，而非結論與建議。	感謝委員意見，遵照辦理。
七	動物於不同紋路、角度變化之攀爬能力採用完全隨機實驗設計，除考慮紋路對攀爬能力、角度對攀爬能力之單獨作用外，應考量兩者之交互作用。	感謝委員意見，由於本次實驗為初次探究，面臨種種基礎難題，如活體採集、飼養、模型列印、設計瓶頸等。故本次將角度與高度設為控制因子(90 度；100 公分)，聚焦在紋路樣式的可行性。

項次	提案審查意見	期初回覆辦理情形（4/14）
八	P1-1 第 1 段第 2 行…農田水利全面採用…全面刪除，加工程大量。	感謝委員意見，遵照辦理。
九	P1-1 底 1 段第 4 行野外觀察紀錄，期初意見中請說明期觀察的約略位置及內容如公路單位設置的排水溝等，未見說明。	感謝委員意見，根據鄭偉群等人(2018)年的文獻提出，涉及野生動物受困的區位涵括了野溪治理工程、道路排水、農業相關等業務。
十	P1-2 第 1 段河川堤防、道路邊坡、溪溝整治…多以混凝土三面光設計，不能劃上等號。	感謝委員意見，諸多設施的功能與結構都有著原先的設計考量。本研究目的旨在保留原先設計的情況下，同時考量野生動物的移動需求。
十一	P1-2 第 1 段第 7 行資源缺稀，請說明何意。	感謝委員意見，如高齡少子化的農村社區缺乏人力物力凝聚成為具有更動能力的群體，使得難以達成大規模恢復為生態棲地的理想作法。

項次	提案審查意見	期初回覆辦理情形（4/14）
	P1-4 最後 1 行改善農村基礎設施條件，移除，…降〝低〞，維護農村生態文化，移除。	感謝委員意見，遵照辦理。
	未見實驗之螃蟹、蛇相片，僅有手繪之圖片，不合理。	感謝委員意見，P.2-1, P.4-9 皆為本次實驗所採集之活體。更多實體照請參附錄一。
	實驗材料與紋路中，實驗巢箱如此設計，其理由及依據應說明清楚，另實體物件在哪。	感謝委員意見，實驗巢箱設計包括了起始置入門，頂點生物躲藏空間與單面壓克力觀察面。參 P.4-13。
	P2-14 圖 2-9 看不出來模板角度可動。	感謝委員意見，由於本次實驗為初次探究，面臨種種基礎難題，如活體採集、飼養、模型列印、設計瓶頸等。故本次將角度與高度設為控制因子(90 度；100 公分)，聚焦在紋路樣式的可行性。

項次	提案審查意見	期初回覆辦理情形（4/14）
	依 P3-1 表 3-1 計畫甘特圖，各項重要工作項目除成果報告外幾已完成，但各項實驗之實體情形未見相片，不合理。	感謝委員意見，P.2-1, P.4-9 皆為本次實驗所採集之活體。更多實體照請參附錄一。
	題目為建構小型動物生態友善邊壁，實體實驗的內容與結果，應加強說明與 P4-9 建議的連結性。	感謝委員意見，實體實驗的內容與結果指出了生物攀爬使用人工設計紋路的可行性與效率，進一步鞏固了未來動物攀爬行為的研究基礎與人工友善動物設施的開發趨勢。