計畫編號：SWCB-111-025

再生複合工程材料應用於預鑄構體植生改善與智能維護
成果報告
Application of Recycled Composite Engineering Materials in the Improvement and Intelligent Maintenance of Precast Structures

執 行 單 位：逢甲大學

執 行 期 間：111 年 02 月 16 日至 111 年 12 月 15 日

計畫主持人 ：林秉賢 助理教授

協同主持人 ：楊杉澤

計畫參與人 ：陳偉強、許惠綺、王浣雅、邱玟詠、王維廷、張維錦、李詠微、許芯瑜、詹惠安

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 111 年 12 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）

摘要

本研究主要透過文獻的回顧了解工程塑膠(PVC)的特性與其應用特性，藉由塑膠射出，可以任意改變型態，搭配玻璃纖維的材料混和應用，提高整體延展度與設施強度。在了解傳統混凝土吸熱特性，導致土壤乾涸，植生死亡的特性，本研究藉由工程塑膠、傳統混凝土與木頭當作預鑄花箱，透過覆土植生，針對草本植物生長特性，進行試驗料解，初步獲得工程塑膠(PVC 加入玻璃纖維)後，在冬季與夏季植草試驗，冬季條件，土壤保濕的能力在植生周期內變化不明顯，但以 PVC 較混凝土多 10-15%，夏季時，因為度較高，生長初期，土壤保濕程度以木頭保持較好，後期植生出來，則以 PVC 保濕較佳，落差可達 25-30%。整體植生密度則仍以後期生長維護較佳之 PVC 與木箱笑過較好，落查達 25%。最後透過智慧化土壤濕度的偵測與灑水及滴水的灌溉，考量日後工地完工後的維護，藉由試驗成果，生長高度取決於草種，黑麥草大於高弧草大於百喜草，但以容器材料種類之影響，在土壤水分的控制下，PVC 與木箱的效果接近，甚至有時木箱較好，可作為後續延續試驗的探討。

關鍵字: 工程塑膠、預鑄花箱、植生、土壤濕度

Abstract

This study mainly understands the characteristics and application characteristics of engineering plastics (PVC) through literature review. Through plastic injection, the shape can be changed arbitrarily, and it can be mixed with glass fiber materials to improve the overall ductility and facility strength. In order to understand the heat-absorbing characteristics of traditional concrete, which can lead to drying of the soil and the death of vegetation, this study used engineering plastics, traditional concrete, and wood as a pre cast flower box, and conducted experiments on the growth characteristics of herbaceous plants through covering soil and vegetation. Preliminary After obtaining engineering plastics (PVC added with glass fiber), grass planting experiments were carried out in winter and summer. Under winter conditions, the ability of soil moisture retention did not change significantly during the planting cycle, but PVC was 10-15% more than concrete. High, in the early stage of growth, the moisture content of the soil is better maintained by wood, and in the later stage when the vegetation grows, it is better to use PVC to maintain moisture, and the difference can reach 25-30%. The overall planting density is still better with PVC and wooden boxes, which are better in later growth and maintenance, and the failure rate reaches 25%. Finally, through intelligent soil moisture detection and sprinkler and drip irrigation, the maintenance of the construction site in the future is considered. According to the test results, the growth height depends on the grass species. Ryegrass is greater than tall arc grass and BaiShi grass, but with The effect of the type of container material, under the control of soil moisture, the effect of PVC is similar to that of wooden boxes, and sometimes even wooden boxes are better, which can be used as a follow-up experiment.

Key words: Engineering Plastics, PRE-CAST Flower Boxes, Vegetation, Soil Moisture

目次

摘要 I

Abstract II

目次 III

表次 V

圖次 VI

第一章 前言 1-1

第一節 計畫緣起 1-1

第二節 計畫擬解決問題 1-3

第三節 計畫目標 1-4

第四節 計畫內容 1-4

第五節 預期成果及影響： 1-5

第六節 實施方法與步驟： 1-5

第二章 文獻回顧 2-1

第一節 護岸植生 2-1

第二節 工程塑膠與碳排 2-12

第三章 材料說明與設計方案 3-1

第一節 材料介紹 PET+GF(玻纖) / PVC+GF(玻纖) 3-1

第二節 結構規劃設計 3-19

第三節 基礎保水設計 3-26

第四章 實驗規劃與分析 4-1

第一節 試驗規劃 4-1

第二節 試驗分析 4-10

第五章 現地調查 5-1

第六章 應用與分析 6-1

第一節 安裝與應用 6-1
第二節 智能維護改善 6-16
第七章 結論與建議.....7-1
第一節 結論 7-1
第二節 建議 7-1
參考文獻..... 參 1
附件一 試驗數據(冬季與夏季試驗)
附件二 預鑄實驗紀錄表(實驗組 vs 對照組)有圖
附件三 審查意見

表次

表 2-1 常用工程塑膠特性表 2-13

表 2-2 塑膠耐候性測試.....2-14

表 3-1 添加補強劑對 PET 物性之影響.....3-5

表 3-2 添加不同組成之纖維補強對 PET 之影響 3-5

表 3-3 添加補強劑對 PET 物性之影響.....3-5

表 3-4 FR-PET 工程塑膠之溫度特性.....3-6

表 3-5 各種難燃及工程塑膠之長期使用溫度比較(樣片厚度 1.5mm) 3-7

表 3-6 配方研發.....3-9

表 3-7 蜂巢結構組合樣式.....3-25

表 6-1 土球直徑及植穴深度表 6-10

圖次

圖 1-1 研究流程圖.....1-7
圖 2-1 常見之生態植生護岸 2-2
圖 2-2 常見預鑄混凝土護岸 2-5
圖 2-3 雲林縣門六市黃德坑溪 PCB 全尺寸構造物 2-7
圖 2-4 現場施工之執行監測與數值模擬比對 2-11
圖 2-5 工業界的高分子塑膠材料分類 2-13
圖 2-6 PVC 與各類材質碳排比較 2-16
圖 2-7 PVC 與各類塑膠碳排比較 2-17
圖 3-1 噴泉流的剪切流場導致的分子鏈排向 3-1
圖 3-2 噴泉流導致的纖維方向 3-2
圖 3-3 纖維排向對產品不同方向（平行及垂直流動方向）的收縮影響 3-3
圖 3-4 良好的玻纖排列示意圖 3-4
圖 3-5 PET 之耐衝擊強度、熱變形溫度及抗拉強度 3-6
圖 3-6 PET 應用 3-7
圖 3-7 材料機械特性之比較(資料來源:Ticona).....3-8
圖 3-8 注塑機（射出機） 3-10
圖 3-9 塑料擠出.....3-11
圖 3-10 注塑機（射出機）成品 3-11
圖 3-11 吹塑機.....3-12
圖 3-12 熱成型.....3-12
圖 3-13 吹塑機成品.....3-12
圖 3-14 澆注成型.....3-13
圖 3-15 硬質 PVC 材料試驗初步成果 3-14

圖 3-16 PP+GF(玻璃纖維)材料試驗初步成果.....3-15
圖 3-17 NY+GF(玻璃纖維)材料試驗初步成果.....3-16
圖 3-18 PVC+30%GF(玻璃纖維)材料試驗初步成果.....3-17
圖 3-19 本次計畫使用的材料 SGS 材料橋度試驗成果.....3-18
圖 3-20 模塊蜂巢連結網牆系統.....3-19
圖 3-21 設計模擬示意圖.....3-20
圖 3-22 各類型設計形式.....3-21
圖 3-23 單元組件 1 蜂巢結構設計圖.....3-22
圖 3-24 單元組件 2 蜂巢結構設計圖.....3-23
圖 3-25 單元 1 及 2 之 3D 列印成果.....3-24
圖 3-26 單元組件 1 與單元組件 2 蜂巢結構組合示意圖.....3-24
圖 6-1 系統組合立體強框護坡示意圖.....6-1
圖 6-2 系統組合立體強框護坡模擬圖.....6-2
圖 6-3 護岸植穴單體系統圖.....6-9
圖 6-4 覆土面積示意圖.....6-11
圖 6-5 智能維護設施架構示意圖.....6-16
圖 6-6 智能感測設施與滴管啟閉閥示意圖.....6-17

第一章　前言

第一節　計畫緣起

隨著時代的進步，人們越來越重視環境生態與永續共存，對於工程的生硬結構，希望透過工程的低矮化、緩坡化、生態化、永續化外，勞動部更為提升營造業職業安全，推動營造業四化，包括設計標準化、構件預鑄化、施工機械化及人員專業化；對水保局辦理山坡地崩塌處理、野溪整治等相關水保工程而言，水保工程職安觀念，更應積極落實。自108年開始，預鑄化的工程被廣為應用，但是在考量永續生態以及勞工安全，觀察發現存在以下幾點問題，包含:

1.現行預鑄化工程仍以混凝土為主，雖然透過工廠預鑄或現地場鑄減少對野溪河道或邊坡的澆置波壞生態，減輕不少，但是，為減省整體成本，使用的材料仍以混凝土為主，無法達成減碳的效果，在外觀上，仍是白白的，灰灰的，生硬的材料，難與周邊環境融入整合。

2.預鑄工法在材料的選擇，考量成本與安全，仍以混廷土搭配鋼筋的組合為主，因此，整體重量相當沉，在吊掛上，不能以工程怪手代替，反而得開闢良好的便道供適當噸位的吊車進行作業，施工過程不僅破壞河道生態，有時，因施工環境險峻加上山谷風勢強勁，使得施工吊掛公安風險遽增，表示結構本身疑似過重所致。

3.因為選用材料為混凝土，且河岸或坡面施工前後，甚至在服務階段，因結構易聚熱，加上透水性不佳，導致原先設計之植生，無法永續生長，此時，整體結構外觀上生硬，且難與周邊環境融為一體。

4.因預鑄工法多數利用固定鑄模，因此，在結構上已成設計定局，河道受水流變化難生成變化，反而產生順直的高速流動，若坡降較大

區位，容易導致強沖刷區設計保護力不足，使得基礎掏空，影響整體結構安全。

為此，擬透過在塑膠王國與紡織王國的台灣，找尋替代混凝土產品且能達成結構化穩定、易施工、節能減碳且環境永續的材料作為水土保持野溪河道預鑄化工程的材料選擇，相當重要。.在檢討過去眾多預鑄構件，包含自然因素與人為因素影響整體安全與應用推廣，包含

1.自然因素

（1）地層內部不穩定：地層內部鬆軟或受擾動。

（2）雨水沖刷：雨水滲入地層內，導致土層吸水軟化而不穩。

（3）地下水滲透：地層含有地下水，水流形成岩層間之潤滑劑而造成滑動。

（4）河水沖刷：河流兩側之邊坡長期受沖刷，土壤被掏空，坡腳剪力降低而坍方。

（5）海水衝擊：海岸邊坡受海水衝擊，土層被侵蝕、沖刷，坡腳剪力降低而坍方。

（6）冰凍作用：土壤因冰凍產生體積變化而不穩定。

（7）湖水浸泡：湖水滲入地層內土壤吸水軟化而不穩定。

2.人為因素

（1）坡頂載重增加

（2）邊坡高度增加

（3）邊坡受河道外力作用，引起剪應力增加。

（4）地下水超抽在未知情況下急速洩降，導致坡面失穩。

（5）邊坡植生不當導致坡面裸露沖蝕。

本計畫擬透過挑選市面上常見的再生塑膠(PVC及PET)，透過熱溶解技術，與纖維材料做結合，產生複合型創新再生材料，一方面加

強材料的韌性與結構穩定性，另一方面，透過再生塑膠的應用，在環保上有其環境友善的貢獻外，希望透過塑膠的奈米孔隙，讓預鑄塊體的空間回填土具有雙向呼吸功能，提高對水與熱的交換，以輔助與改善該模組塊對植生的永續(如植物根系的生長、土壤濕度與溫度的調節以及對喬本植物的應用度提升)。透過工程塑膠與並與傳統混凝土預鑄構件成效的比對，以突破預鑄構件的問題瑕疵。

第二節　計畫擬解決問題

隨著時代的進步，人們越來越重視環境生態與永續共存，對於工程的生硬結構，希望透過工程的低矮化、緩坡化、生態化、永續化外，勞動部更為提升營造業職業安全，推動營造業四化，包括設計標準化、構件預鑄化、施工機械化及人員專業化；對水保局辦理山坡地崩塌處理、野溪整治等相關水保工程而言，水保工程職安觀念，更應積極落實。自108年開始，預鑄化的工程被廣為應用，但是在考量永續生態以及勞工安全，觀察發現存在以下幾點問題，包含

1.現行預鑄化工程仍以混凝土為主，雖然透過工廠預鑄或現地場鑄減少對野溪河道或邊坡的澆置波壞生態，減輕不少，但是，為減省整體成本，使用的材料仍以混凝土為主，無法達成減碳的效果，在外觀上，仍是白白的，灰灰的，生硬的材料，難與周邊環境融入整合。

2.預鑄工法在材料的選擇，考量成本與安全，仍以混廷土搭配鋼筋的組合為主，因此，整體重量相當沉，在吊掛上，不能以工程怪手代替，反而得開闢良好的便道供適當噸位的吊車進行作業，施工過程不僅破壞河道生態，有時，因施工環境險峻加上山谷風勢強勁，使得施工吊掛公安風險遽增，表示結構本身疑似過重所致。

3.因為選用材料為混凝土，且河岸或坡面施工前後，甚至在服務階段，

因結構易聚熱，加上透水性不佳，導致原先設計之植生，無法永續生長，此時，整體結構外觀上生硬，且難與周邊環境融為一體。

4.因預鑄工法多數利用固定鑄模，因此，在結構上已成設計定局，河道受水流變化難生成變化，反而產生順直的高速流動，若坡降較大區位，容易導致強沖刷區設計保護力不足，使得基礎掏空，影響整體結構安全。

為此，擬透過在塑膠王國與紡織王國的台灣，找尋替代混凝土產品且能達成結構化穩定、易施工、節能減碳且環境永續的材料作為水土保持野溪河道預鑄化工程的材料選擇，相當重要。.

第三節 計畫目標

本計畫擬透過挑選市面上常見的再生塑膠(PVC及PET)，透過熱溶解技術，與纖維材料做結合，產生複合型創新再生材料，一方面加強材料的韌性與結構穩定性，另一方面，透過再生塑膠的應用，在環保上有其環境友善的貢獻外，希望透過塑膠的奈米孔隙，讓預鑄塊體的空間回填土具有雙向呼吸功能，提高對水與熱的交換，以輔助與改善該模組塊對植生的永續(如植物根系的生長、土壤濕度與溫度的調節以及對喬本植物的應用度提升)。透過工程塑膠與並與傳統混凝土預鑄構件成效的比對，以突破預鑄構件的問題瑕疵。

第四節 計畫內容

1.文獻回顧:透過不同國內外常見生態化護岸的種類蒐集，生態植生的應用，預鑄護岸的優缺點資料蒐集、工程塑膠應用與優缺點比對。

2.材料說明與設計方案:內容包含再生塑膠(PVC及PET)與添加玻璃纖維的材料特性比對，材料組成的單元設計與安裝應用方案討論。

3.結構單元設計與應力分析:主要討論結構單元的規畫、設計、製作與應力分析。並將設計單元做結構物化結合，利用設計軟體做呈現，並以3D列印的方式，將不同組合形式射出，並透過工廠將混凝土預鑄塊、PET+玻璃纖維、PVC+玻璃纖維原尺寸製作出來。

4.實驗分析:主要針對不同類型產品結構與植生環境，如土壤濕度、溫度等變化，在不同類型植生條件生命週期的觀測，以及對應的內外水壓力變化與結構化後，河道可能產生的沖淤變化做比對。

第五節　預期成果及影響：

透過一連串設計、規劃、製作與試驗分析以及相關結構應力的檢討，擬獲得不同材料組合與設計結構型式對生態友善綠化的護岸成效提出複合工程塑膠應用於野溪護岸的貢獻。

第六節　實施方法與步驟：

1.前言:內容包含計畫緣由、計畫目的、預期目標、人力組成、時規劃、預期成果等。

2.文獻蒐集(傳統護岸與植生條件、預鑄構件應力分析、工法介紹、工法優缺點、護岸種類回顧、工程塑膠)

3.材料說明與設計方案:內容包含再生塑膠(PVC及PET)與添加玻璃纖維的材料特性比對，材料組成的單元設計與安裝應用方案討論。

4.試驗規劃與操作:內容包含不同材料之預鑄塊體對植生影響(草本植物以栽種的方式與草皮鋪設的方式)對不同土壤分層溫度影響，另外針對量測植生根力在不同材料與土壤溫溼度影響下抓土能力。並赴現場調查目前已設置預鑄塊體之植生狀況與抓土能力做對照。針對成果，提出智能化改善措施，透過土壤溫度、土壤濕度，設置滴

灌系統。

5.結果討論:試驗結果分析包含草本與喬本植生土壤溫度與土壤含水量分布對植生生長比對、河道沖淤變化與適用性討論、工程方案討論，應力分析、減碳分析與經濟規模分析。針對智能滴灌系統，了解生長狀況。

6.結論與建議:針對不同預鑄材料之生長，提出後續改善之建議。

其流程圖及進度如表1-1及圖1-1

表1-1 進度乾梯圖

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
文獻蒐集	▮	▮									
材料準備	▮										
試驗觀測		▮	▮			▮	▮				
試驗分析				▮	▮	▮			▮	▮	▮
智能維護設計						▮	▮	▮			
智能維護試驗								▮	▮	▮	
穩定分析								▮	▮	▮	
碳排分析								▮	▮	▮	
整體分析					▮	▮			▮	▮	▮

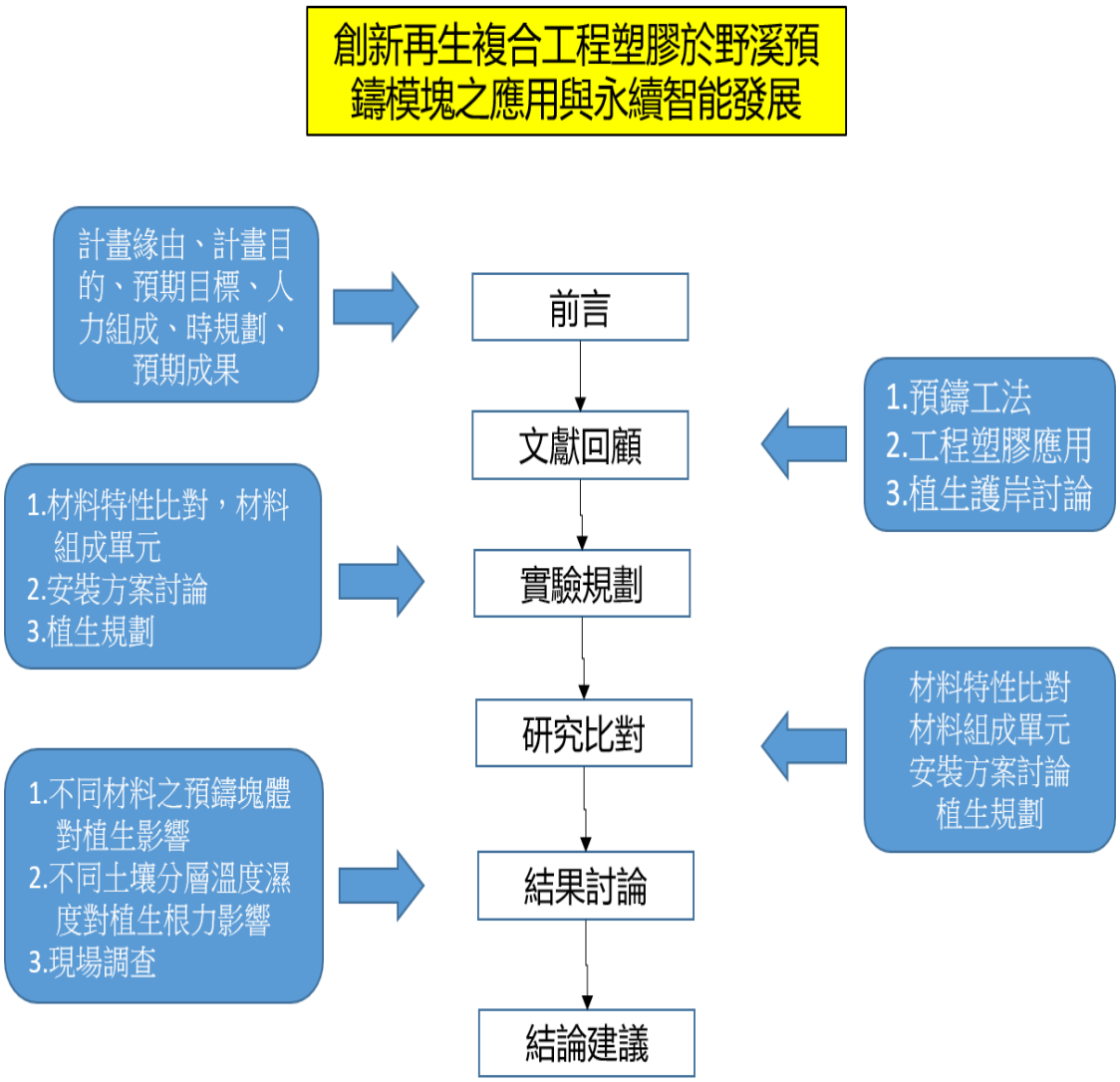

創新再生複合工程塑膠於野溪預鑄模塊之應用與永續智能發展
計畫緣由、計畫目的、預期目標、人力組成、時規劃、預期成果
前言
文獻回顧
1.預鑄工法
2.工程塑膠應用
3.植生護岸討論
1.材料特性比對，材料組成單元
2.安裝方案討論
3.植生規劃
實驗規劃
研究比對
材料特性比對
材料組成單元
安裝方案討論
植生規劃
1.不同材料之預鑄塊體對植生影響
2.不同土壤分層溫度濕度對植生根力影響
3.現場調查
結果討論
結論建議

圖 1-1 研究流程圖

第二章　文獻回顧

第一節　護岸植生

本項主要針對國內外常見護岸工法種類與近期預鑄構件的回顧

一、護岸工法種類

為創造一個適合生物生長的多樣性溪流，因此溪流護岸治理重點，乃在於增加濱溪生物的岐異度，且必須從溪流平面及其縱、橫斷面形式的配置上，予以充分的整體考量。

1. 傳統整治工法
   （1）考量結構之安全性及耐久性
   （2）鋼筋、混凝土材料
   （3）不透水、單調
2. 生態工法(近自然工法)
   （1）考量工程與環境、生態之諧合關係
   （2）以生態系統之自我調適能力為基礎
   （3）環境之永續發展
   （4）常見種類如下
      （A）塊石乾砌工；
      （B）蛇籠綠化工；
      （C）塊石護岸；
      （D）拋石護岸；
      （E）抗沖 蝕網；
      （F）抗沖蝕網配合植生；
      （G）拋石 （砌基）工；

（H）木框格牆上加植栽；

（I）打樁編柵。



圖 2-1 常見之生態植生護岸

二、常用植物的種類

- 護岸植栽

1. **百慕達草**--因其根狀莖蔓延力強，常用以鋪建草坪，或栽於堤岸上保土

固堤。

2. **五節芒**-台灣全島低海拔山野、溪流旁、荒廢地、丘陵地以至海岸皆有、地下莖非常發達。
3. **固土性強--苦藍盤、火炭母草**
4. **水性---蘆葦、蘆竹**
5. **培地茅**

- 護岸喬木

1. **台灣肖楠─常綠大喬木**，適於海拔高 300~1,900m，3-4 月移植。
2. **楓香─落葉大喬木，**適於固土防塌、庭園景觀，1-5 月以種子播種後移植。
3. **相思樹─常綠大喬木**，低海拔各地均可種植，3-5 月扦插育苗或 7-11 種子撒播繁殖。
4. **茄苳─半落葉大喬木**，喜強光照與濕潤土壤，6-12 月採種育苗後移植。
5. **白雞油─半落葉大喬木**，抗旱性強，9-12 月採種育苗後移植。
6. **櫸(台灣櫸)─落葉喬木**，優良木材之一，良好水土保持樹種，7-9 月以種子播種育苗後移植。
7. **烏心石又名(台灣含笑)**--樹冠濃密、生存能力及抗病蟲害能力強的特性。

依據上述說明，將台灣常見之喬木及灌木作資料蒐集，作為試驗用之選擇，其花期與呈現的顏色，如下所示:

喬木			灌木		
樹種	花期	花色	樹種	花期	花色
山紅柿	春	白	杜鵑	春	白、紫、紅
香桂	春	白	日本女貞	春	白
山櫻花	春	乳黃白	台灣赤楠	春	黃白
大葉楠	春	隱紅果	台東火刺木	春	白
紅楠	春	黃綠	田代石斑木	春	白
香楠	春	黃綠	呂宋莢迷	春	白
大頭茶	春	白	柃木	春	黃白
光臘樹	春	黃白	燈稱花	春	白
朴樹	春	黃綠	樹蘭	夏	黃
櫸木	春	淡黃綠	十子	夏	白
茄冬(重陽木)	春	黃綠	山芙蓉	夏	紅白
烏心石	春	黃	小葉厚殼樹	夏	白
青剛櫟	春	黃綠	小葉榕	夏	隱花果
烏桕	春	黃綠	春不老	夏	紫白
構樹	春	紫紅	鵝掌藤	秋	黃褐、黃綠
黃連木	春	黃綠	梧	冬	乳白
紅淡比	春	黃白	杜虹花	春、夏	粉紅
楓香	春	米黃	楓港柿	春~夏	淡黃
鐵冬青	春	白	野牡丹	春、夏	粉紅
苦楝	春	紫	桃金孃	春、夏	桃紅
稜果榕	夏	紅	內冬子	冬、夏	米黃
九芎	夏	白	月橘(七里香)	夏~秋	白
正榕	夏	綠	黃梔花	春、夏	白
竹柏	夏	黃白			
杜英	夏	白			
破布鳥	夏	白			
軟毛柿	夏	白			
無患子	夏	黃綠			
雀榕	夏	隱花果			
台灣欒樹	秋	黃			
水黃皮	秋	淡紫			
榔榆	秋	黃綠			
魚木	春、夏	紫紅			
黃槿	夏、秋	黃			
台灣肖楠	冬、春	綠			
台灣海桐	夏~秋	黃白			
水梗木薑子	秋、冬	淡黃			
楊梅	春、夏	聚合果			

三、預鑄混泥土護岸

預鑄混凝土塊堆疊擋土結構 (Precast Concrete Block，簡稱 PCB 擋土結構)

1. PCB 擋土牆結構在台灣已有部分與國外應用於邊坡崩塌穩定擋土

工法、渠道襯砌護、造園景觀工程、河岸沖蝕防等應用分類如圖 2-2 所示。同時台灣在近年之坡地擋土工程中引入許多生態工程(Ecological Engineering)之施作方式。因此，PCB 擋土牆構造物，在配合生態工程之設計理念後普遍採用作為護岸或護坡之擋土設施，其高柔度、高透水及高粗糙度之工程特性提供生態符合度較高的另一種工法選擇。

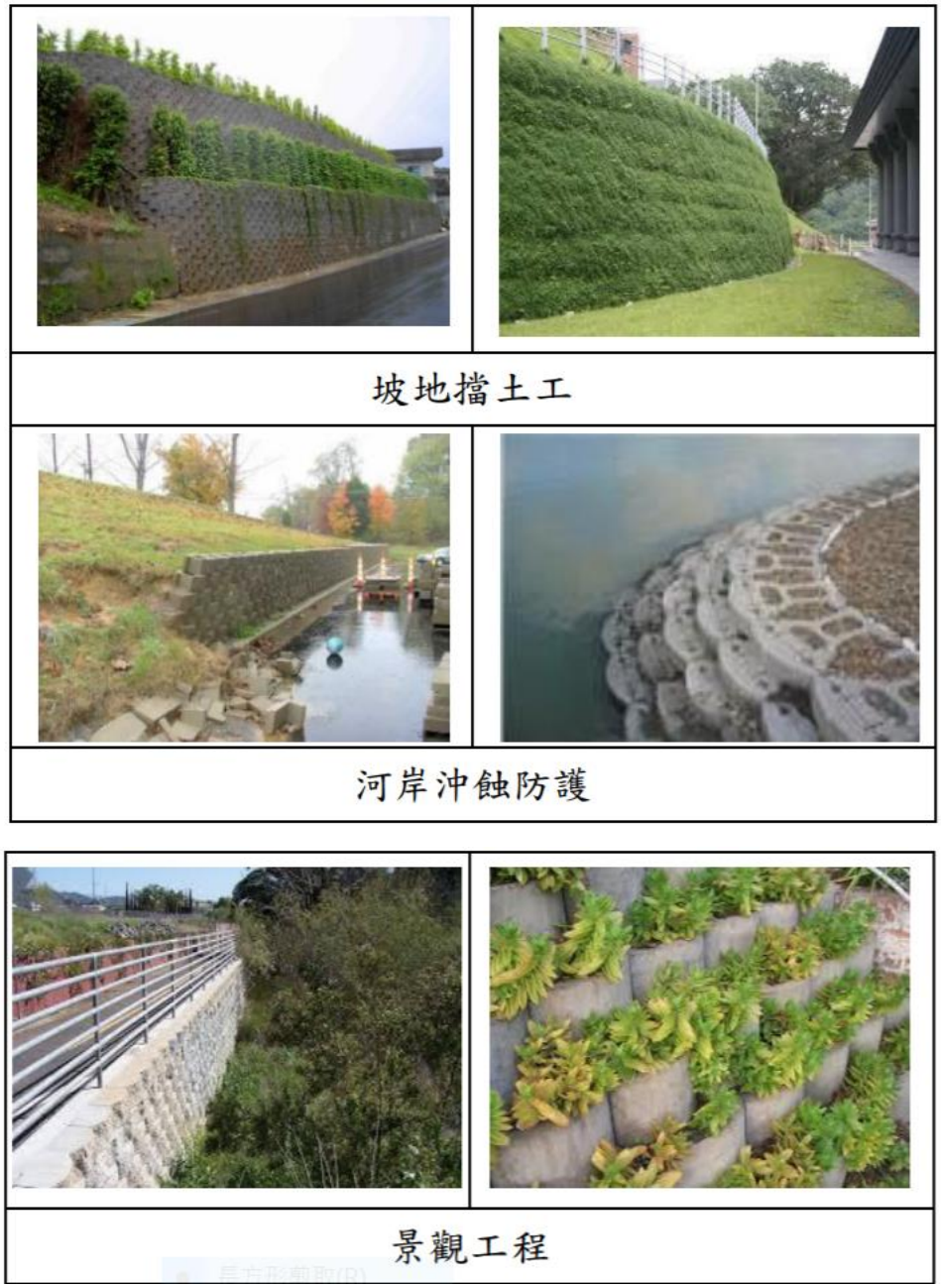
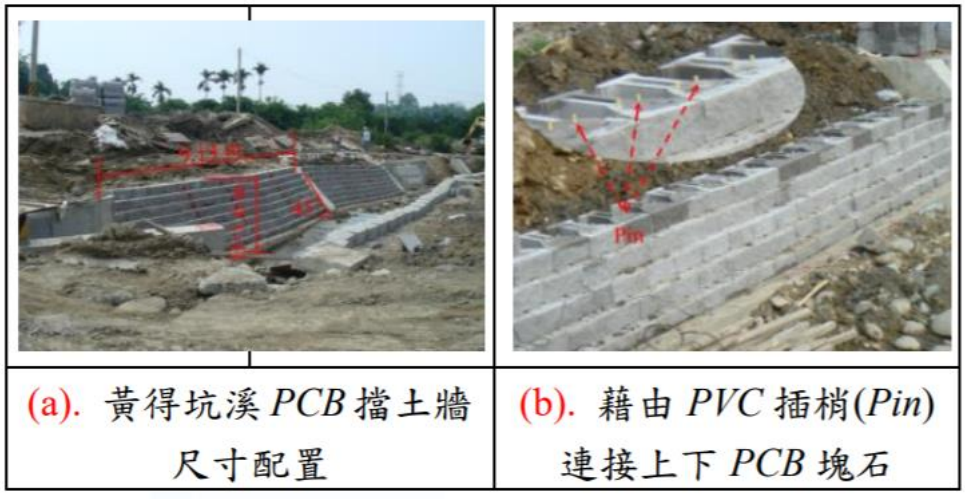


圖 2-2 常見預鑄混凝土護岸

2. PCB 擋土結構物在工程之運用於擋土工程及渠道沖蝕防護之應用相當普遍，目前有關評估 PCB 擋土牆在現場和實驗室之研究結果相當少。然而可得知相關堆疊式擋土牆之文獻。如 Zhang 等人(2004)，利用分離元法與實際觀測結果之比較可透過回填土壤高及牆體破壞模式作分析探討。Harkness 等人(2000)透過 UDEC 程式模擬 Burgoyne's(1834)針對四種不同形式乾石擋土牆，所進行的現場實驗，探討強體破壞模式外並將分析所測得之側向土壓力及牆底承壓力之分佈情形與現場量測值進行比較。Powrie 等人(2002)利用有限元素法及分離元素法與現場實際觀測結果比對提出牆體破壞模式，進行擋土牆穩定性分析。Powrie 等人(2002)以同樣以 UDEC 程式進行乾石牆之角偶半徑(round corner radius)土壤回填引起牆體不連續面介面勁度，乾石牆接近基礎底部塊石之承壓應力對穩定性分析之影響。Huang(1997)，利用不連續體變形法 DDA 程式分析 H 型預鑄塊擋土牆內部各塊體內部之受力與變形行為。並對側向土壓力及基底承壓力進行分析探討。
3. 堆疊式乾石擋土牆多項參考價值。但文獻大部份集中於二維分析，與真實三維構造物產生些許誤差以致受人質疑。
4. PCB 擋土牆構造物之摩擦阻抗力組成，由預鑄混凝土塊介面勁度(kn、ks、 j)及連結上下塊石之 PVC 玻璃纖維插梢(pin)，如此對對 PCB 擋土牆構造物之整體力學與變形行為有著很大的影響。至於相關單元材料之工程性質，在國內外相關商業生產的 PCB 塊石、PVC 插梢之材料特性有所介紹外。PCB 擋土牆構造物在回填堆疊過程中，利用塊石間產生變形時，具有良好的自我調整性以緩和應力集中，如此對減少側向變形有很大之幫助。同時塊石間之節理不連續面及牆背後置放礫石料，能夠快速地將土壤中的孔隙水排出，

藉此提供較高之土壤剪力強度，因而擋土牆體獲得穩定。此特性與 H 型預鑄混凝土塊擋土牆排水特性具有相同特點。因此 PCB 擋土牆構造物更能適用於偏遠地區之溪流整治或崩塌地之擋土工程措施。在 PCB 擋土牆構造物在使用期間受洪水沖刷或河岸之碰撞而發生裂損與劣化。可預期 PCB 擋土牆若單元塊石損壞，有幾項因素亦會影響擋土牆之側向變形，其中如單元塊石漏失並形成大的孔洞，再者進而導致整體構造物之潰散。設計與施工者對於上述情形應有所體認。研究結果發現，風化效應為影響乾石牆穩定性主要因子。乾石牆之回填高度(臨界回填高)，間接影響牆頂之位移量變化。回填土壤單位重之緊密程度關係到土壤之含水量與孔隙水壓大小。背填土壤回填配置期間每層須經輕微滾壓，回填土壤作用於擋土牆之側向土壓力與側向變形之影響。由牆體水平位移對牆體產生加速度變化大小定義牆體穩定性與破壞模式判定牆體為外凸(凸腹)或傾倒破壞模式。界面勁度大小對牆面發生塊體外凸(凸腹)變形為重要影響因素之一。

雲林縣斗六市黃德坑溪 PCB 全尺寸護岸實驗



(a). 黃得坑溪 *PCB* 擋土牆尺寸配置

(b). 藉由 *PVC* 插梢(*Pin*)連接上下 *PCB* 塊石

圖 2-3 雲林縣門六市黃德坑溪 PCB 全尺寸構造物

5. 圖 2-3 說明台灣 PCB 構造物之主要運用類型。現地施工過程在雲

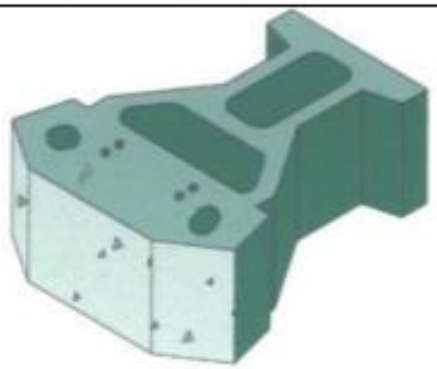
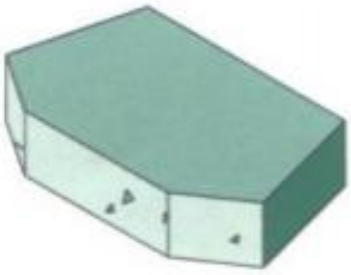
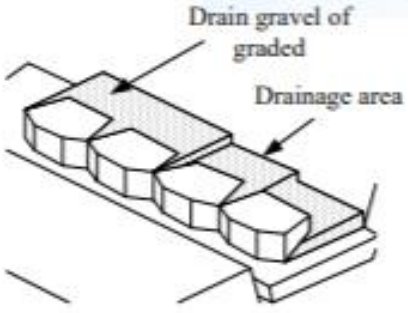
林縣斗六市黃德坑溪護岸擋土牆中，以電子測距經緯儀執行三維變形監測。所測得變形數據資料可提供相關工程的校準依據或更近一部作為研究設計參考用。PCB 牆身塊體材料性質混凝土製品運用範圍極為廣泛，且施工構築期間能夠事先預鑄成塊，同時對生態維護與減少施工對環境污染影響的保護是刻不容緩。

6. 一般混凝土塊單位重範圍為 14.7~24.5kN/m^3 (1,500~2,500 kg/m^3)，常重混凝土單位重 22.5kN/m^3 (2300 kg/m^3)，但在執行混凝土配比過程，可以變化不同骨材性質達到商業不同需求。描述混凝土塊石物理參數方法，大致由沉積岩、石灰岩和砂岩。硬度高為石英岩的花崗岩和玄武岩、變質岩、板石等。塊石單位重將隨風化效應導致塊石結構單位重降低。Harkness(2000)等人，利用 Burgoyne(1853)的實驗數據，建議花崗岩塊在完整情況下密度 (granite)26kN/m^3=2650 kg/m^3。當花崗岩塊單位重 26 kN/m^3=2650kg/m^3(Goodman, 1980) 遞減至 22.2 kN/m^3(2270kg/m^3)，則單位重將會減少 14%，所對應塊石厚平均遞減約 5%。至於 PCB 構造物之使用材料單元性質，如表 2-1 所示。

7. 現場監測及 PCB 擋土現場數值分析結果利用 3DEC 程式模擬分析 PCB 擋土牆構造物變形行為及現場施工監測比對驗證，就 PCB 擋土牆施工造成偏心影響及牆體界面之剪力行為作詳盡之探討。依據三維監測資料結果顯示，PCB 擋土牆體之側向變形會造成側向土壓力重新分布，此造成因素如影響回填土壤堆疊高度及牆體塊石幾何排列形狀。由現場 PCB 擋土牆所造成變形資料顯示，當回填土壤引起的側向土壓力，將會造成 PCB 擋土牆變形，此過程將可能引起牆體重心位置改變。同時，回填土壤之合力作用位置重新分布，距牆趾位置 nH 高度位置(如，牆體傾角 α 為 45°與 90°其側向土壓力合力

作用位置及側向土壓力分佈將截然不同)。現地 PCB 擋土牆堆疊過程，受牆體傾角為 90◦影響，當 PCB 塊石堆疊至牆頂部時，回填土壤產生之側向應力與 PCB 塊石間交互作用。回填土壤作用於牆體之側向應力的分布產生張力與壓力區，所以在接近基礎底部之塊石會產生壓力現象。回填堆疊延伸至牆頂部時，受到回填側向土壓力作用，造成的側向土壓力與牆體塊石自重及介面間摩擦阻抗之三者交互作用影響，可看出牆頂部土壓力成張力區，牆體側向位移會產生張力彎曲，造成牆頂部塊石將產生分離之狀態。在施工現場設置電子測距經緯儀測站，執行三維測量，由 PCB 牆面監測點變化顯示，在牆體傾角 α=45◦之牆體變形，觀察後發現在基礎底部上方第二、三個塊石產生外凸鼓脹之側向位移趨勢。此情況證明，PCB 擋土牆合力作用位置，受牆體幾何形狀限制下，側向位移最大位置與牆體傾角 α=90◦牆合力作用位置比較後，確實顯示在牆體傾角 α=45◦限制下，回填土壤壓力分布狀態有明顯下降之趨勢。此原因為回填土壤的側向土壤力作用於 PCB 牆體時，牆體傾角 α 為 45◦時 PCB 塊石自重往垂直方向明顯增加，將 PCB 牆後方的回填土壓力產生遞減趨勢，對減少側向變形有一定程度幫助。現行現場數值模擬分析後，比較現場施工監測變化資料與現場數值模擬分析結果極為相似，如圖 2-4(b) 所示。施工監測結果之正確性比對，對擋土牆之變形行為將有很大的助益及可說明 3DEC 程式適用模擬 PCB 擋土牆構造物之力學反應行為。

表 2-2 PCB 擋土結構各項材料單元之尺寸及工程性質

PCB 擋土結構材料單元	材料單元尺寸及工程性質
	預鑄混凝土塊單元： 體積：65×45.7×20 cm(長×寬×高) 重量：約 0.54 kN/塊 抗壓強度(f_c')：20×10^3 kN/m^2
	預鑄混凝土塊頂蓋單元： 體積：27×45.7×10cm (長×寬×高) 重量：約 0.19 kN/塊 混凝土強度(f_c')：20×10^3 kN/m^2
	聚丙烯連接插銷單元： 比重：1.85 剪力強度：440 kPa 拉力強度：758 kPa 彎曲強度：822 kPa
	排水單元： 採用礫石材料作為排水單元並與預鑄混凝土塊單元緊扣。排水濾料之重量除可增加牆體之穩定性外，並可迅速消散牆背之孔隙水壓如表 2。

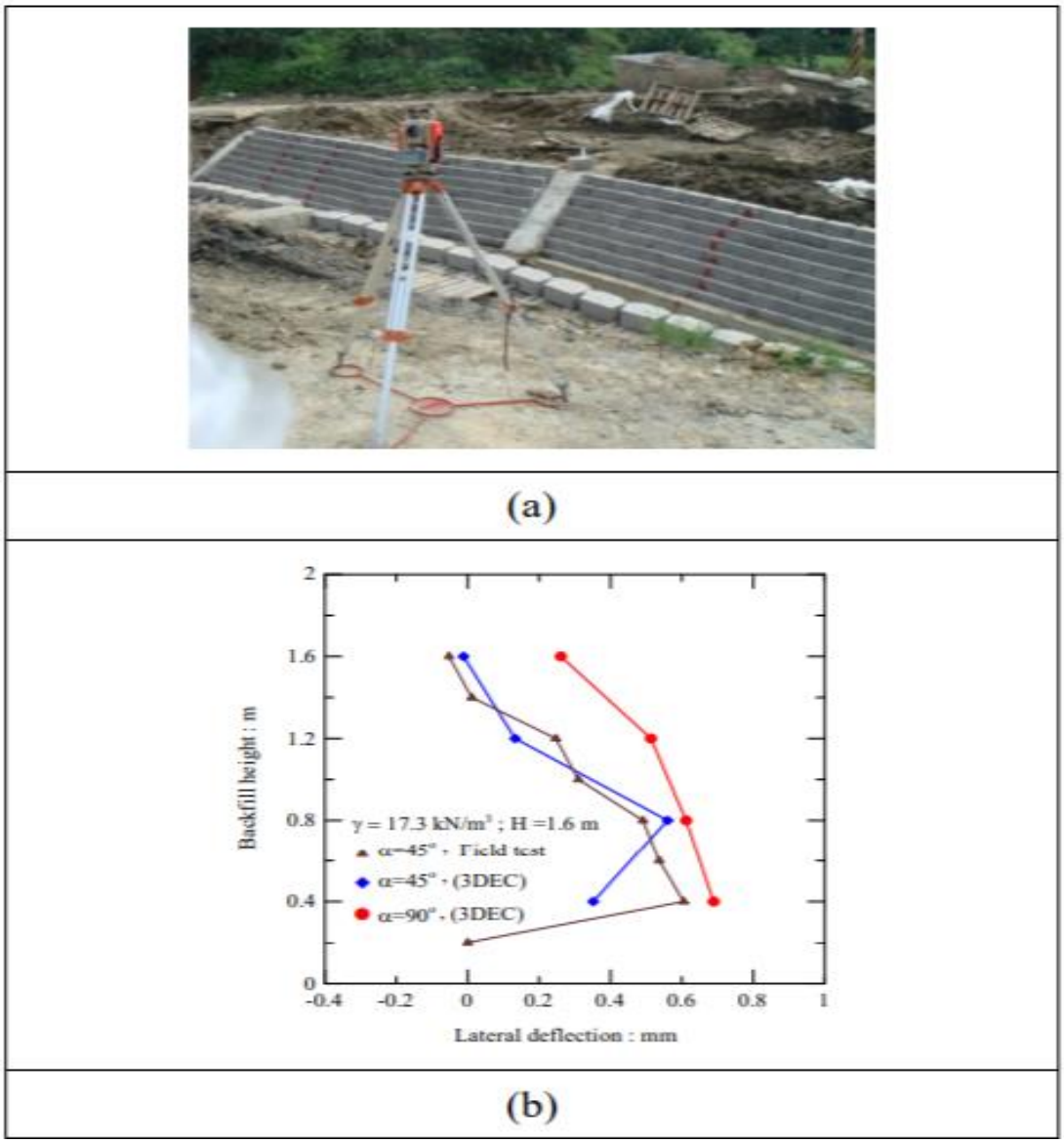


圖 2-4 現場施工之執行監測與數值模擬比對

8. 本研究在雲林縣斗六市黃德坑溪進行 PCB 擋土牆施工，設計牆高為 1.6 m。PCB 擋土牆在穩定情況下，由預鑄混凝土塊石之界面勁度(kn、ks、 j)及 PVC 玻璃纖維插梢上下堆疊連結。利用電子測距經緯儀執行三維變形監測，將現場測得變形資料，繪製成牆體側向位移圖，結果顯示 PCB 擋土牆在混凝土基礎上方第二、三個塊石發生滑動外凸鼓脹位移，當 PCB 塊石延伸堆疊至牆頂部時，牆體變形受側向應力影響，牆頂部塊石趨向偏心傾斜狀態。
9. 利用電子測距經緯儀執行現場三維變形監測，測點設置在 PCB 擋

土牆寬之中央線位置，在 PCB 塊石界面變形模式中，以牆體頂部偏心傾斜及接近基礎區域之塊石間產生滑動鼓脹位移。PCB 擋土牆與乾石牆結構最大差異為 PCB 擋土牆之牆體除了塊石材料界面勁度 (kn、ks、 j) 抵抗側向土壓力外。另外再由 PVC 玻璃纖維插梢增加牆體塊石間之剪力強度，以增加擋土牆整體之勁性。所以兩者變形模式，將有多處相同之力學變形行為。

10. 針對 PCB 擋土牆施工現場執行三維施工監測。目的對 PCB 擋土牆現場施工引起塊石變形作深入瞭解， PCB 擋土牆現場三維監測變形資料建立，對 PCB 擋土牆現場正常施工情形下引起的側向變形相關資料非常少，當現場資料庫的建立後，將對數值模擬結果之正確性，將極大有助益，且更加可以延伸數值模擬分析的廣泛性以減少分析後 對結構力學行為質疑存在性。

第二節 工程塑膠與碳排

工程塑料（Engineering Plastics，也稱功能性材料 Performance Plastics）是一類可以作為結構材料在較寬的溫度範圍內承受機械壓力，在較為苛刻的化學和物理環境下使用的高性能高分子材料。它是一類強度、韌性、耐熱性、硬度、以及抗老化性能均衡的高性能材料。通用工程塑料行業內一般指五大：PC（聚碳酸酯）、PBT/PET（聚對苯二甲酸丁二酯和聚對苯二甲酸乙二酯）、PA（聚醯胺）PPE(Polypheyleneether 聚苯醚, Sabic 公司叫法為 PPO)、POM（聚甲醛）如下塑料金字塔透徹的說明了五大工程塑料的位置及地位。如圖 2-5 及表 2-1。

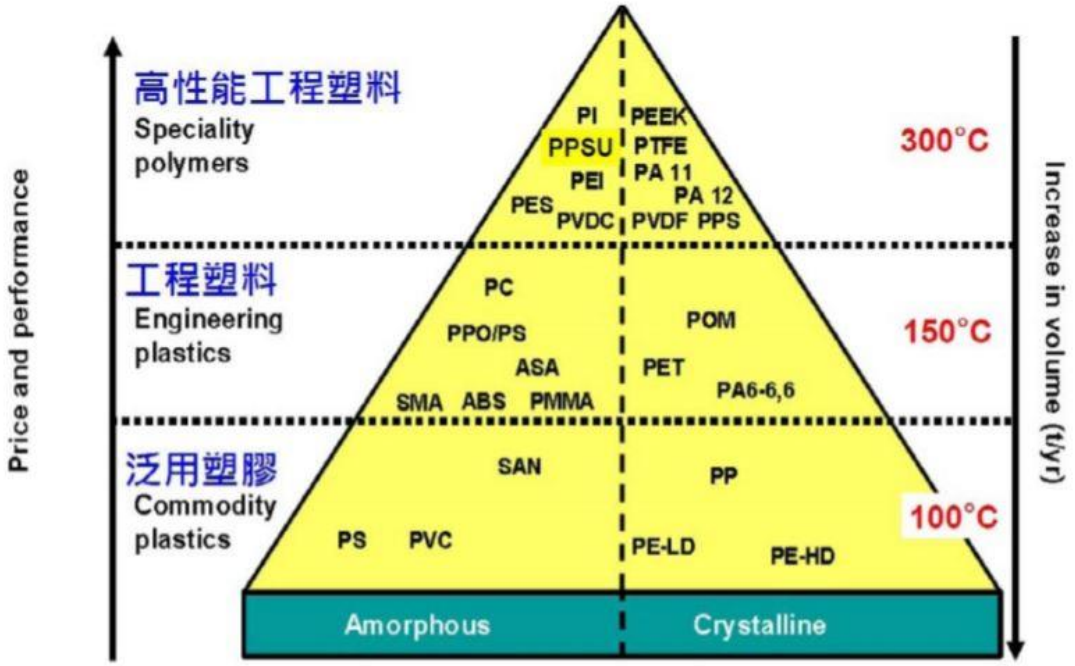


圖 2-5 工業界的高分子塑膠材料分類

表 2-3 常用工程塑膠特性表

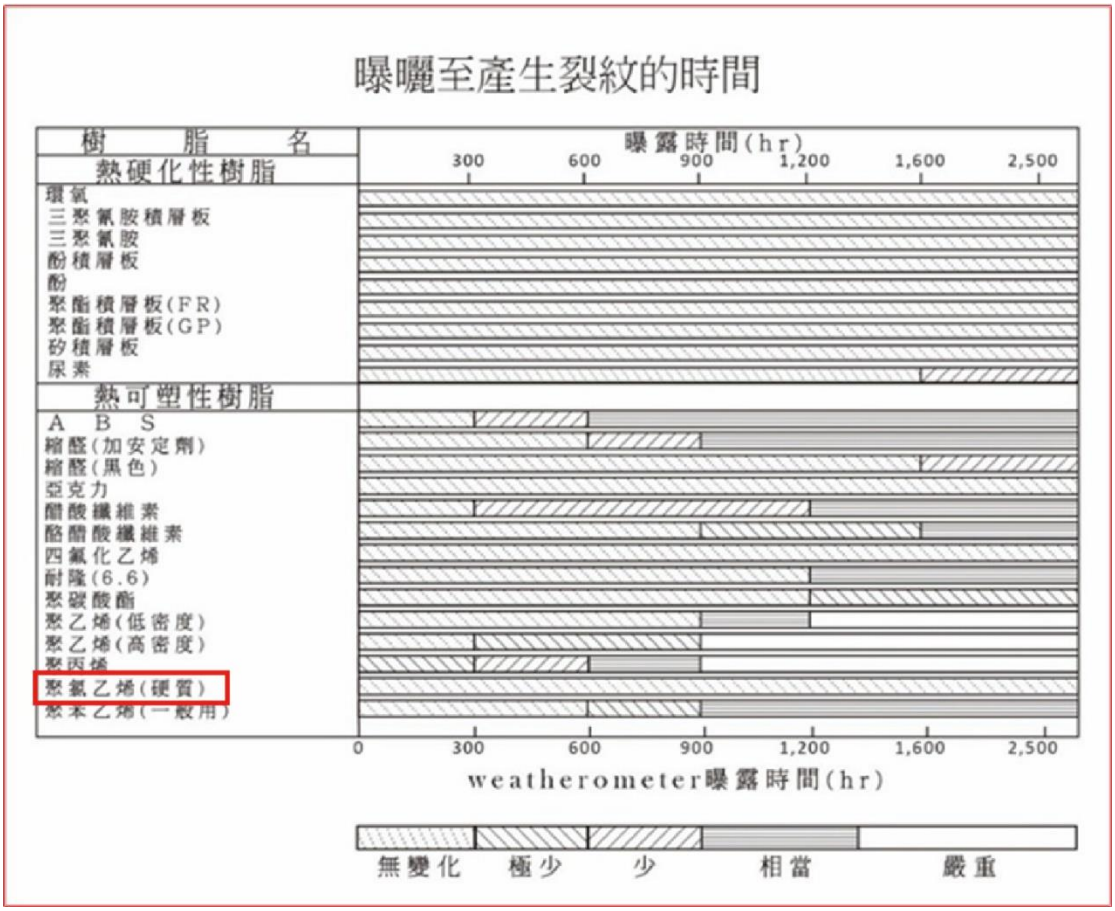
特性	學名	測試方法		PVC	CPVC	HDPE	UPE	PVDF	PTFE	PET	PP	N-6	N-66	MC	POM	ABS	PS	PMMA	PC	PEEK	BAKELITE	FRP
	俗名	ASTM	單位	氯乙烯	氯乙烯	聚乙烯	乙烯樹脂	鐵氟龍2F	鐵氟龍4F	聚酯膠	聚丙烯	尼龍6	尼龍66	單尼龍	塑膠鋼	ABS	聚苯乙烯	壓克力	聚碳酸酯	PEEK	電木	玻璃纖維
物理性質	比重	D790		1.5	1.54	0.94	0.94	1.78	2.25	1.38	0.92	1.15	1.15	1.17	1.42	1.07	1.1	1.2	1.2	1.26-1.32	1.5	2
	原物質形態	常用材料	目標	灰色	黃灰色	白色	白色	白色	白色	白色	白色	白色	淺土黃色	乳白色	純白色	白色	透明	透明	透明	乳白色	棕色	淺灰色
	吸水率	D570	%	0.07-0.4	0.05	<0.01	<0.01	0.04	<0.01	0.3	0.02-0.03	1.6	1.5	0.6-2.0	0.22	0.1-0.8	0.05-0.5	0.3-0.4	0.15	0.14	1.5	0.1-1.0
	過光變化	—	—	容易老化	耐光老化	易光老化	不變	不變	不變	易光老化	變黃	變黃	變黃	變黃	不易變化	老化	老化	老化	不變	不易老化	不變	不老化
	機械加工性	—	—	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○	○	◎	○	○	○	◎	◎	△	×
機械性質	硬度	D785	kg/cm^2	R108-118	R117-122	R38-50	R40-58	Shore D 80	Shore D 50-60	R70-115	R90-100	R103-118	R108-118	R112-120	R78-80	R80-118	M20-80 R50-150	R84-105	R70-R118	Shore D 88	E79-82	R100-105
	抗拉強度	D638	$10^3 kg/cm^2$	350-630	527-633	220-390	400-470	490	140-320	1200-1760	350-360	490-860	630-840	670-840	620	170-430	210-480	490-770	560-670	—	211-633	1400-4200
	延長率	D638	kg/cm^2	2.0-4.0	4.5-6.5	15-100	300-560	100-300	200-400	70-130	3.0-20	2.5-320	60-300	30-320	60-75	10-140	5-40	2.0-10	60-100	50	0.37-0.57	4
	抗拉彈性率	D638	kg/cm^2	2.5-4.2	2.53-3.36	42-1.68	20-1.10	0.34	0.41	3.2-4.2	2.1-3.4	1.1-2.7	1.2-2.9	3.5-5	2.8	0.7-2.0	1.4-3.2	3.2	2.5	1.1	—	14-28
	壓縮強度	D695	kg/cm^2	560-910	633-1550	330	230	700	120	914-211	490	560-910	470-880	770-980	1120	188-177	280-630	840-0	880	900	17-35	3500-4900
	彎曲強度	D790		700-1130	1020-1200	70	200	—	—	598-1620	560	560-980	880-980	980-1120	910	250-950	350-700	900-1300	950	1700	1200-1500	4900-7000
	衝擊強度	I200		1.0-3.0	5.44-30.5	6.2-10.9	不破壞	19	16.4	70	2.2-16.3	5.5-19.0	5.5-10.9	223	6.5-7.8	3.8-66	2.7-60	2.6-7	65-87	8.3	2.0-4.0	100-163
化學性質	鹼類變化	D543	—	△	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○	△	○	○	○	◎	◎	△	△
	強酸變化	D543	—	△	○	△	◎	△	◎	◎	△	×	×	△	×	△	△	△	△	◎	△	△
	弱酸變化	D543	—	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	○	○	○	○	◎	△	△
	強鹼變化	D543	—	○	◎	◎	◎	△	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	○	△	×	×	◎	△	△
	有機溶變化	D543	—	○	○	○	◎	◎	◎	○	○	○	○	○	◎	×	×	×	△	◎	△	△
熱性質	熱變形溫度	D648	°C/18.5kg/cm²	80	95-112	43-54	91	160	240-245	180	99-104	67-70	66-104	149-210	110	94-107	100max	74-102	130-140	250	—	139-278
	連續耐熱溫度	長時間	°C	65-75	99	80	120	150	290	100	85	79-121	32-150	121-149	80-120	60-110	60-79	71-85	120	160	150	180
	熱膨脹率	D696	10^5/°C	7.0-25	6.8-7.6	11.0-13.0	12	12	10	2	6-8.5	8.3	8	9	8.5	6.0-13	3.4-21	50.-9.0	6.6	1.4	1.4	1.1-3.5
	熱傳電弧性	C177		3.0-7.0	3.3	11-12.4	11-12.4	3	6	3.63	2.8	5.85	5.885	—	5.5	4.6-6.6	1.0-3.0	4.0-6.0	4.6	2.2	4.9	4.0-10
電氣性質	耐熱電弧性	D495	sec	—	—	200-235	—	50-70	>200	125	120	135	130-140	—	240	47-87	20-100	—	10-120	4.8	2-130	120-180
	絕緣破壞強度	D149		14	1.22-1.50	7.7-19.7	50	10.2	18.9	18	19.7-260	7.3-20	15.1-18.3	2.0-20.1	18.3	2.2-16.	11.8-23.6	7.7-21.6	15.7	190	200-400	300-400
	誘電性	D150	1Khz	200	—	2.3-2.35	2.2	8	2	—	2.65	4.0-4.9	3.9-4.5	3月7日	3.8	2.4-4.75	2.4-4.5	3.0-3.5	3.02	3.4	—	—
	體積抵抗	D257	Ω-cm	10^{15}	10^{15}	$>10^{15}$	10^{15}	2×10^{15}	$>10^{15}$	10^{15}	2×10^{15}	10^{12}–10^{15}	10^{15}–10^{16}	10^{12}–10^{15}	10^{15}	10^{15}	$>10^{15}$	$>10^{15}$	2×10^{15}	5×10^{16}	5×10^{15}	$>10^{15}$
應用特性建議				酸鹼化學品、一般塑膠材料使用、可耐	機械性質與耐化性均較氯乙烯佳、	焊接性、表面機械性質佳、易溶解及抗黏性佳、可耐	機械性質與耐化性均較氯乙烯佳、可	耐高溫較鐵氟龍佳、耐化性、絕緣性、吸濕性極小、溫度比	耐高溫、抗腐蝕性極佳、機械性質與耐化性均為最大缺點、	耐高溫、抗腐蝕性極佳、機械性質與耐化性均為最大缺點、	內應力大、比重最小、價宜、	機械強度、剛性好、電氣性質好、吸收衝擊與震動、耐	抗腐蝕性好、耐高溫、耐摩擦、耐熱溫度高、加	耐高溫、抗腐蝕性好、耐熱溫度高、加	不耐有機溶劑、	加工容易成形、不耐有機溶劑、造光性好、顏色變化多、易碎、	容易加工成形、造光性好、顏色變化多、易碎、	機械強度、衝擊性、原與耐老化性佳、	仍能維持原尺寸、	耐高溫、硬度高、在高溫條件下作、	電氣性質、	機械強度、電氣性質、

符號說明：◎：很好 ○：好 △：限定條件下可以 ×：不宜 上述數據僅供參考用，僅供參考用。

PVC 是一種非常耐用的工程塑料，大多數 PVC 應用的使用壽命在 10 到 100 年之間，其中一半以上的使用壽命超過 15 年(圖 2-6)。PVC 是一種非常適合回收利用的材料：可以多次回收而不會損失性能 PVC 在

塑料回收中也擁有最長的歷史，因此在某些國家中，其機械回收利用得到了很大發展。各類塑膠耐候性測試如表 2-2。

表 2-4 塑膠耐候性測試



資料來源 黃俊欽教授

由上表可知聚氯乙烯(pvc)，在經過 2500 小時曝曬耐候實驗後材料無任何變化，塑膠分文熱固性及熱塑性，熱固性塑膠固化後無法回收再利用，熱塑性則可加熱還原再生使用，PVC 為各項塑膠中，回收性及耐候性能最佳的塑膠。

國際綠色和平組織之所以會稱 PVC 為「毒塑膠」，不是指不含任何添加劑的 PVC 本身而言，但也不光指含有添加劑的 PVC 產品而言，而是因為其整個生命週期，從原料開採、製造、使用、到廢棄的所有階段，對環境與人體健康造成危害，本計畫採用回收 PVC 不易降解也不

可進行掩埋，也不能進入焚化爐燃燒，故對環境污染造成很大的傷害，加上 PVC 垃圾處理成本日益提高，且處理再製經濟效益不高，故廠商及資源回收業者不願意回收，目前歐盟處理廢棄 PVC 的方式是以回收自生循環利用來取代廢棄處理的傳統方式，讓可成為永續再生循環的材料， PVC 可來源於水管、發泡廚衛浴板、PVC 建材....等，破碎後混至玻璃纖維成為本研究使用原料主要目的在提供回收 PVC 能夠產生更高的結構強度提高耐候性，水保工程通常為永續工程，希望工程施作完畢後低養護減少反覆施工對生態環境造成的傷害本激化希望施工完成的工程在 PVC 材質高耐候特性下能夠穩固的框護土壤層，讓植物的根系能夠有時間自然生長根固土表層，形成永續的自然生態工法，PVC 材質因不易降解特性在環境成為無法處理廢棄物，本計畫構造物需長期於戶外曝曬且埋於土壤中，大部分的材質會因紫外線造成裂解老化脆裂，利用 PVC 耐候不易降解劣勢，但也是優勢(抗老化、不易產生微塑膠)的特性，同時解決 PVC 對環境的影響成為永續的循環建築材料。

本計畫採用的材料為回收 PVC 複合玻纖材料， PVC 對於環境危害的疑慮眾所皆知，但 PVC 材料作為全球第二大塑膠使用原料，應用於各式加工製品當中，國外面對 PVC 塑膠的處理方式在歐盟聚氯乙烯製造商協會(The European Council of Vinyl Manufacturers，2020)，發表的報告中表示，PVC 是一種源自自然資源（石油，天然氣和鹽）的合成材料，就像我們現代世界中使用的許多其他材料一樣。它是地球上研究最科學的物質之一。科學研究一直一致地發現，PVC 遠不是某些非政府組織所描繪的問題材料，它與我們使用的其他材料並沒有太大不同，並且確實具有一些有趣的優勢。

如圖 2-6 所示為例，例一、以同樣 15 公分管徑的管材，每公里 PVC 管的碳排放量為 0.78kg CO_2，但鐵管卻高達 2.72 kg CO_2，高出約 3.5 倍

的碳排。例二、以建造農業用溫室為例每平方公里所產生的碳排放分別為 PVC(聚氯乙烯)-0.177 kg CO_2、POLYOLEFIN(乙烯)-0.346 kg CO_2、GLASS(玻璃)9.5 kg CO_2，比較結果選用 PVC 製造的產品其碳排放低於其他類材質。

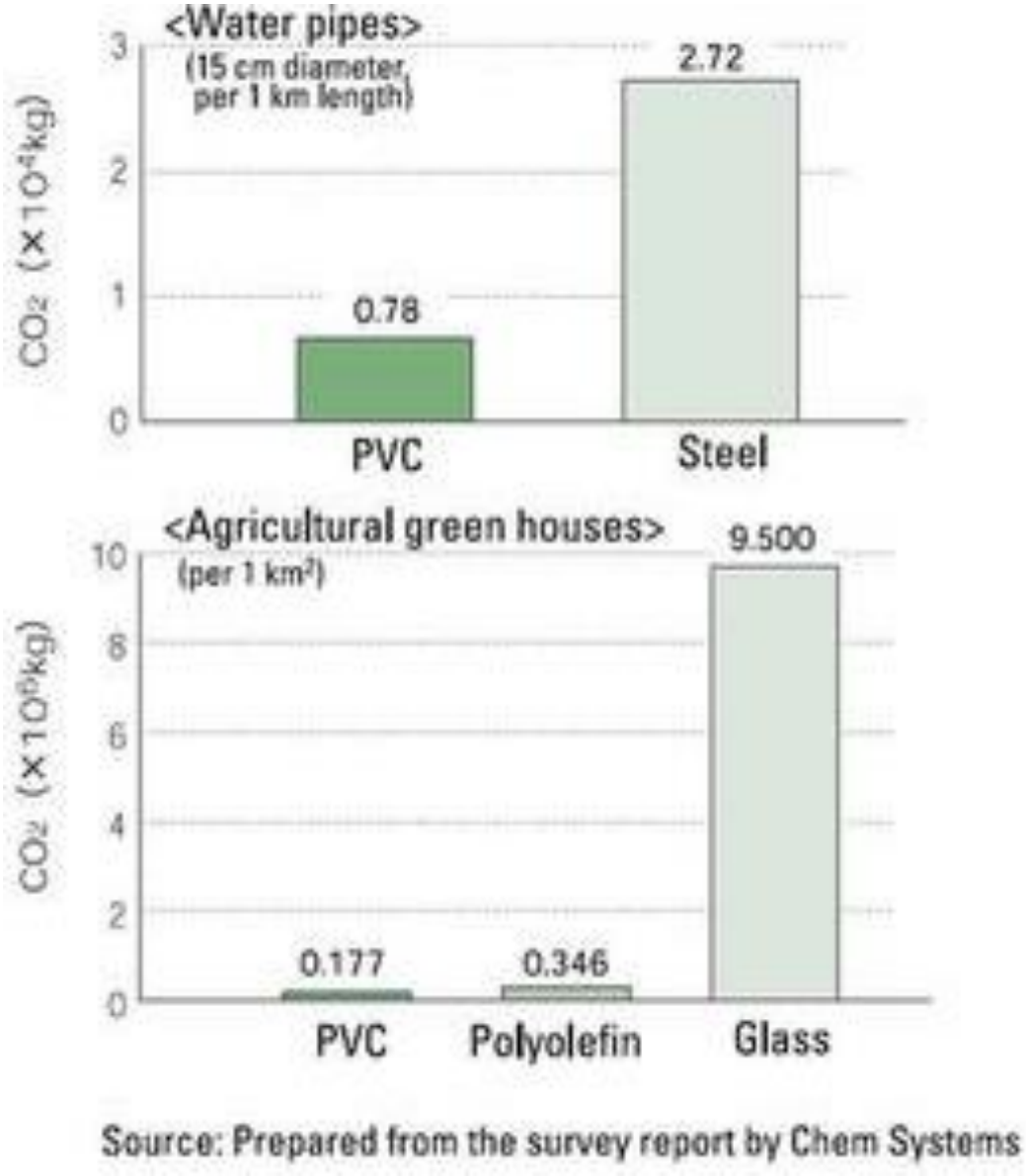


圖 2-6 PVC 與各類材質碳排比較

圖 2-7 為常用工程塑膠碳排放比較，PVC 碳排放量為各量塑膠中最低。

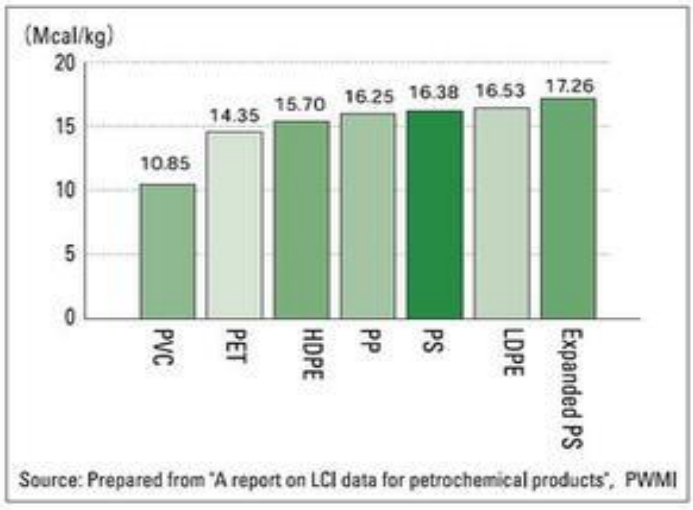


圖 2-7 PVC 與各類塑膠碳排比較

在考慮全球變暖時，我們從生產到消耗和處置的整個生命週期中使用的材料的 CO_2 排放量是一個重要因素。(圖 2-8)的測試與由金屬或玻璃製成的相同產品相比，事實證明，就 CO_2 排放而言，PVC 對環境的影響最小。PVC 產品還通過低導熱率顯著提高了能源效率。PVC 窗框或型材的隔熱度是鋁型材的三倍。因此，PVC 窗框減少了供暖和空調的能耗。

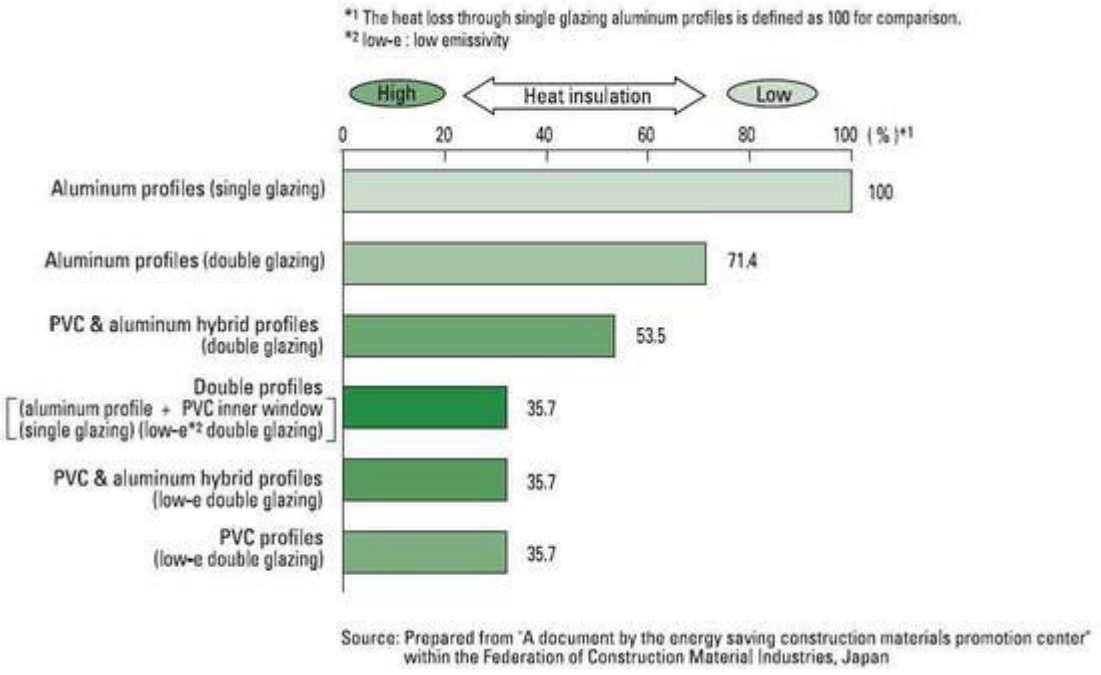


圖 2-8 PVC 與鋁合金於節能窗的耗能表現

PVC 中有 57%是由氯製成的，氯是由食鹽製成的，食鹽是地球上稀有的少數自然資源之一。因此，PVC 大大有助於節省油氣的不可再生資源，特別是與許多其他塑料完全依靠石油生產的塑料相比。塑料通常被認為是一次性或一次性使用的象徵。但是，實際上，塑料是不會生鏽或腐蝕的耐用材料。

PVC 是一種非常耐用的塑料：大多數 PVC 應用的使用壽命在 10 到 100 年之間，其中一半以上的使用壽命超過 15 年(圖 2-6)。PVC 是一種非常適合回收利用的材料：可以多次回收而不會損失性能 PVC 在塑料回收中也擁有最長的歷史，因此在某些國家中，其機械回收利用得到了很大發展。在歐洲，有 74 萬噸的 PVC 產品被回收利用。通過行業贊助計劃於 2018 年回收。而且，在日本，2013 年約有 80%的報廢農用薄膜（農用薄膜）被回收再用於地板等。所有材料（PVC 也不例外）都具有可持續性問題。這些是由它們的特定屬性引起的，也取決於它們在整個生命週期中的使用方式以及它們的處置方式。PVC 與其他材料的不同之處在於 PVC 行業對可持續性的了解，這可能比許多其他合成材料製造商更好。此外，PVC 行業正在系統地應對 PVC 的可持續性挑戰，以確保其在可持續發展中的有用作用。

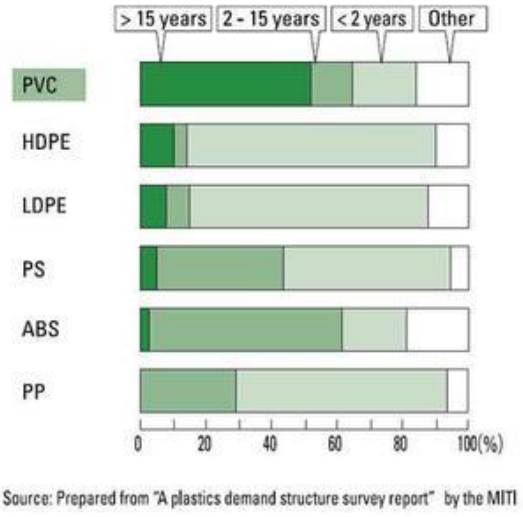


圖 2-9 PVC 與其他塑膠使用週期比較

第三章　材料說明與設計方案

第一節　材料介紹 PET+GF(玻纖) / PVC+GF(玻纖)

一、材料說明 PET+GF(玻纖) / PVC+GF(玻纖)

本計畫以使用環境及特性選用兩種工程塑膠為原料。

- PET＋玻璃纖維 30%
- PVC＋玻璃纖維 30%

二、添加 GF(玻纖)的優點

塑膠分子各方向收縮率不同　成型結構難捉摸 不只材料的比容特性會影響產品尺寸，塑料的高分子結構也是本質上非常重要的效應，尤其是充填階段的流場效應所引發微觀結構-分子鏈排向的變化，如圖 3-1。

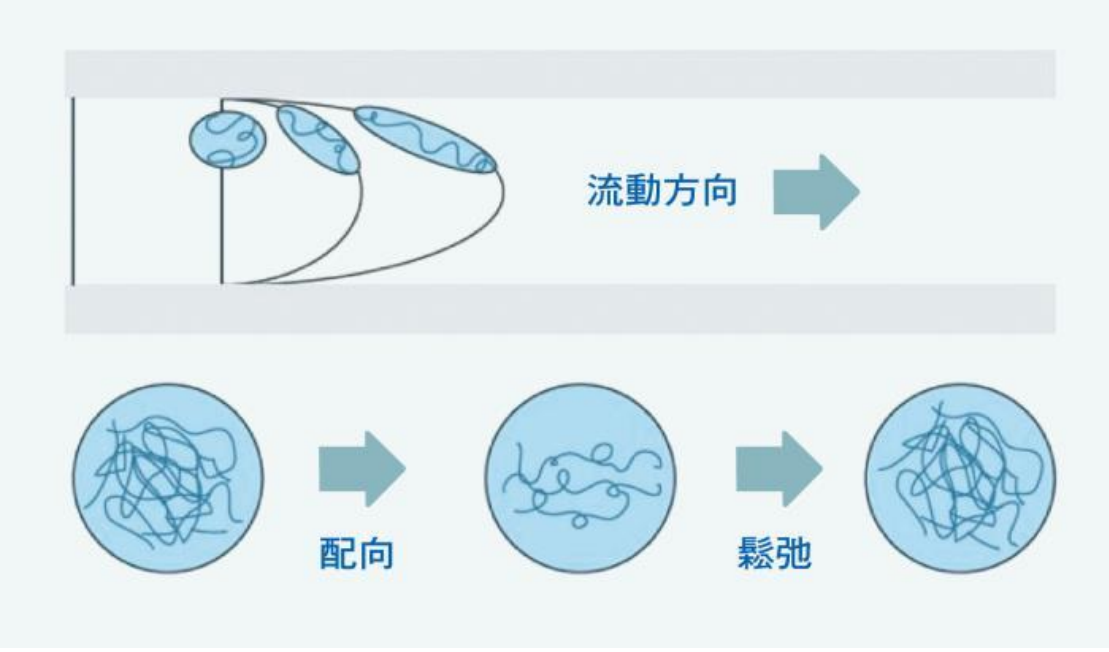


圖 3-1　噴泉流的剪切流場導致的分子鏈排向

當溫度高於相轉移溫度（玻璃轉移溫度 Tg 或熔點 Tm）時，塑膠的高分子鏈會受到流場作用而拉伸，等回復到室溫時因為被拉伸

的流動方向分子鏈回縮，其收縮量較垂直於流動方向大，因此各方向的收縮率不盡相同，導致產品各部位分子排向不同。此外，產品沿厚度及流動方向都有隨時間變化的應力分布，這也可稱為是因流動而產生的殘餘應力分布，這就是為什麼流動場（充填路徑）複雜的產品往往伴隨無可預期的翹曲，因此使流動單純化通常是改善翹曲的第一步，如圖 3-2。

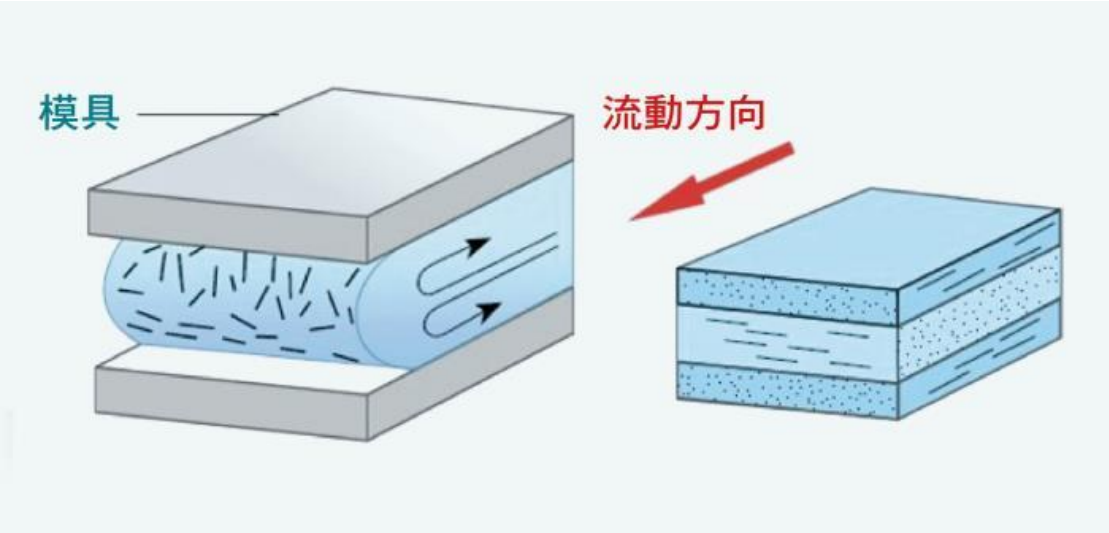


圖 3-2 噴泉流導致的纖維方向

有些產品因其強度需求，會在塑膠中添加一定比率的纖維，這些纖維在充填階段也會受到流場影響而有不同的排向，纖維在剪切速度場中迴轉產生排向而使兩側與中間層收縮度不同。上下兩層會平行於流動方向，中間則會垂直於流動方向，並且跟塑膠分子鏈排向一樣，當產品厚度、特徵導致流場改變時，纖維的排向也會改變。而且，因為纖維的剛性遠比高分子強，收縮時纖維本身會抵抗流動方向的收縮，因此含纖料的流動方向收縮會小於垂直流動方向。含纖料的收縮行為正好與純塑料相反，這也是材料對成型結果非常重要的影響，如圖 3-3。

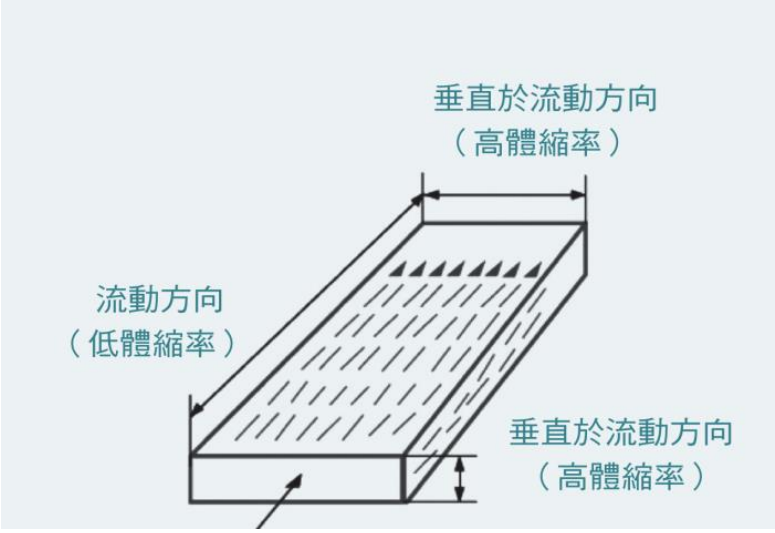


圖 3-3 纖維排向對產品不同方向（平行及垂直流動方向）的收縮影響

台灣早期發展之纖維補強塑膠以添加玻璃纖維切股材料為主，混練後的塑膠粒纖維長度<0.5mm，添加比例約 20~30wt%，隨著混練技術成熟及產業對玻璃纖維強化塑膠強度、剛性、輕薄化等需求的提高，台灣纖維補強複材產業界開始發展高比例玻纖含量 40wt%以上之射出成型加工製程研發工作，提升複材產品之剛性。但伴隨著下游端產品的需求，短纖複材之材料機械性質依舊無法滿足市場需求。

目前工程塑膠的含纖量比例一般而言訂於 30%左右，這樣的含纖量對於塑膠加工成型較為容易，過少的含纖量因為加工成型時的流動方向會造成纖維無法均勻層疊降低塑膠件的強度，反之過多的纖維在一些塑膠成形方法加工上會造成流動性變差而無法成型。因此於高分子材料中加入玻纖的用意，就是將一般普通人改造成鋼鐵人的方法，如圖 3-4。

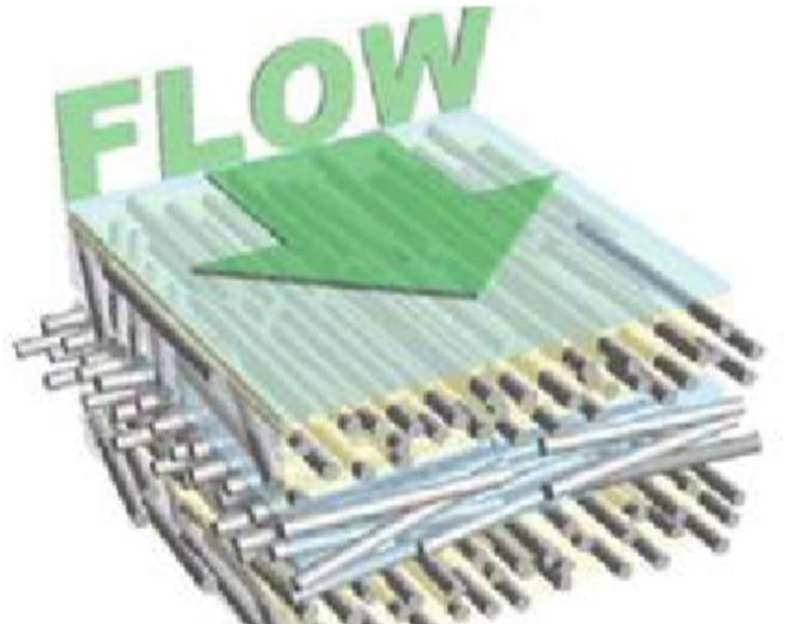


圖 3-4 良好的玻纖排列示意圖

三、PET＋玻璃纖維 30%，物理性介紹

良好的玻纖等強化材之效果 :添加玻璃纖維、碳纖維、雲母粉、滑石粉等均能改良 PET 之成型及物性，如表 3 所示。表 4 是添加不同組成之纖維補強材對 PET 物性之影響，可見同時添加玻璃纖維及礦纖維和單獨添加璃纖維比較時，雖然同時添加玻璃纖維及礦纖維時物性強度之補強效果較小，但是卻有較小之異方向性，且較不會產生翹曲之異常。添加玻璃纖維對 PET 之補強效果十分明顯，表三為未填加玻纖與添加 30% 玻纖之 PET，各項物性之比較，由表中可知，添加 30%之玻纖可以使 PET 之抗拉強提高 3 倍，使彎曲彈性率提高 3.8 倍，使耐衝擊強度提高 2.5 倍，熱變型溫度提高 139℃(在荷重 18.6kg/ cm^2 之下)。對於應用在河道上的剪切應力，對結構來說具有適當的保護能力，如表 3-1-表 3-3。

表 3-1 添加補強劑對 PET 物性之影響

規格	良好影響	不良影響
成型性	1. 可以縮短成型週期。 2. 改善成型離型性。	1. 對成型機之套筒、模具等產生摩耗。 2. 使熔融塑料之流動性降低。
物性	1. 使機械強度如抗拉、耐衝擊強度、剛性提高。 2. 提高熱變形溫度。 3. 可以降低熱膨脹係數。 4. 尺寸安定性變佳、收縮率減少。	1. 比重增大。 2. 使成型品表面粗糙化。 3. 使成型品之熱性質、力學性質產生異方向性。

表 3-2 添加不同組成之纖維補強對 PET 之影響

規格	單位	流動方向	橫方向
玻璃纖維 30(%)	抗拉強度 (kg/ cm^2)	1,500	1,000
	伸長率 %	2.9	3.2
礦纖維 / 玻璃纖維合 30%	抗拉強度 (kg/ cm^2)	890	720
	伸長率 %	2.4	2.2

表 3-3 添加補強劑對 PET 物性之影響

規格		未添加玻纖	填加玻纖 30%
玻璃纖維含量	(%)	0	30
比重		1.38	1.56
抗拉強度	(kg/ cm^2)	540	1,620
伸長率	(%)	200	2.7
彎曲強度	(kg/ cm^2)	不破損	2,600
彎曲彈性率	(kg/ cm^2)	24,000	91,400
NI 衝擊值	(kg•cm/ cm)	4	10.3
熱變型溫度℃	(18.6kg/ cm^2)	85	224
表面硬度	(ROCKWELL)	M106	M100

分別表示填加玻纖能明顯提高 PET 之耐衝擊強度、熱變形溫度及抗拉強度。

- 耐熱性 :

添加玻纖之 PET 工程塑膠 (簡稱 FR-PET) 擁有相當好的耐熱性，是它的一大特徵，如表四所示，FR-PET 有較相當高的融點、熱變形溫度。如表五所示，難燃級 FR-PET 之長期使用溫度較其它常用之

難燃級泛用工程塑膠為高，如圖 3-5 及表 3-4。

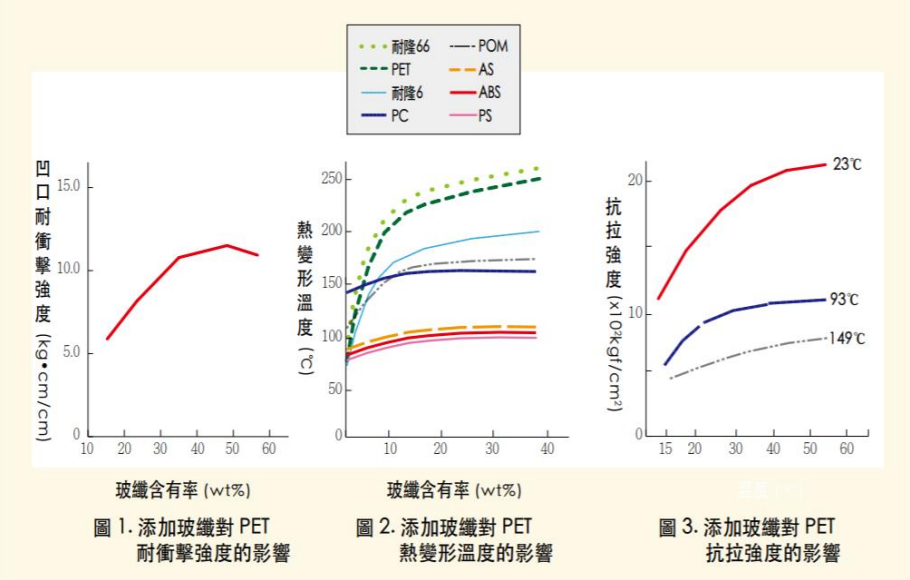


圖 3-5 PET 之耐衝擊強度、熱變形溫度及抗拉強度

表 3-4 FR-PET 工程塑膠之溫度特性

玻纖添加量 %		30	35	35
融點	(℃)	254	254	254
熱變形溫度	(18.6kg/ cm^2) (4.6kg/ cm^2)	224 247	226 248	229 249
熱傳導度	(W/m K)	0.29	0.32	0.33
線膨脹係數	(10^{-5}/m/m/℃)	2.7	2.3	1.1

- 剛性：

高剛性是 FR-PET 除了耐熱性以外的另一大特徵，若和性質較接近的 PBT 工程塑膠比較時，FR-PET 的剛性約較添加同比率玻璃纖維之 PBT 高出 30%左右。因為 FR-PET 有良好的剛性，因此被認為是一種可以適用於厚度較薄的成型品。工程塑膠的彎曲彈性率越高，則其剛性也相對較高，若以添加 55%玻纖之 FR-PET 為例，其彎曲彈性率可達 180,000kg/cm^2，約可達鋁合金的 1/4，而其它泛用型工程塑膠若添加玻璃纖維時均無法達此程度剛性，必需改添加礦纖才能達到此程度的剛

性，如表 3-5 及圖 3-6。

表 3-5 各種難燃及工程塑膠之長期使用溫度比較(樣片厚度 1.5mm)

工程塑膠種類	UL 長期使用溫度指數		
	電氣性	機械性	
		有衝擊	無衝擊
FR-PET	150	150	150
PBT	140	130	140
耐隆 66	130	115	115
變性 PPE	110	105	110
PSF	160	140	160
PEI	170	170	170
PPS	200	200	220



圖 3-6 PET 應用

三、PVC＋玻璃纖維 30%物理性介紹

- 複合材料的定義與歷史為何要加玻纖

先來嚴肅一點看學術上的名詞─複合材料，根據國際標準化組織給複合材料所下的定義是：兩種或兩種以上物理和化學性質不同的物質組合而成的一種多相固體材料，各種組成材料在性能上能互相取長補短，因而產生協同效應，使複合材料的綜合性能優於原組

成材料而滿足各種不同的要求。複合材料種類繁多，但其中應用最廣的，當屬以纖維補強的高分子複合材料（纖維複合材料，簡稱纖維複材），而纖維複材基本的組成是纖維及高分子基材。纖維是決定複合材料機械性質的主要因素，用以承受主要負載，限制微裂紋延伸，提高材料剛性與抗疲勞及潛變性能等，如圖 3-7。

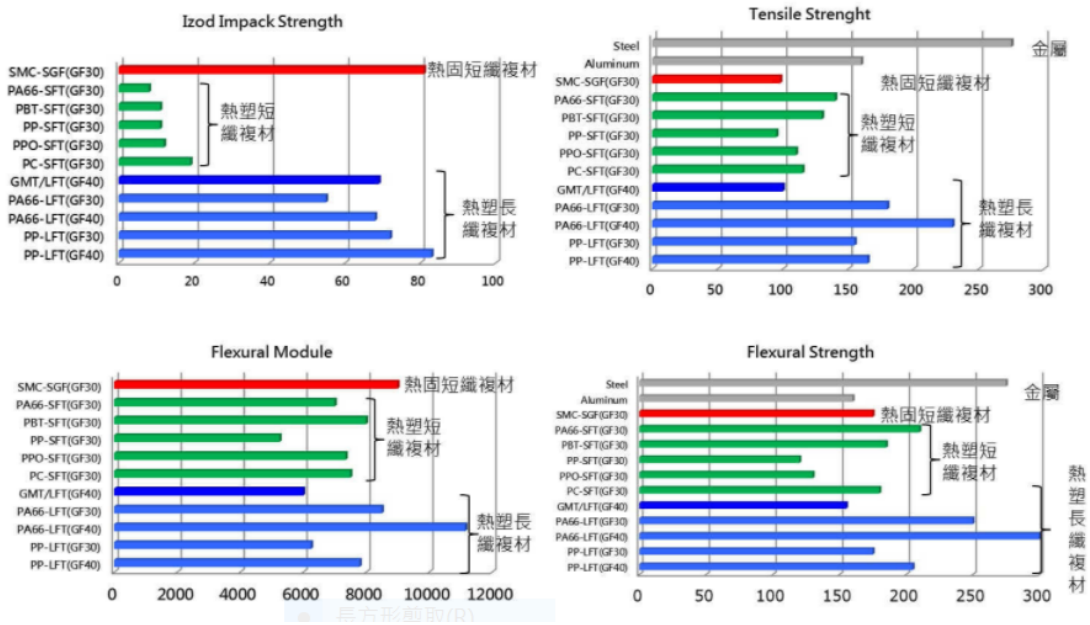


圖 3-7 材料機械特性之比較(資料來源:Ticona)

- 最廣泛使用的塑膠 PVC

  PVC 的應用與木材、鋼鐵相比，PVC 具有高彈性、耐寒強度高、耐磨、光潔度好等優點，因此世界 PVC 應用比例大致為：建築塑料制占 65%，包裝 8%，電氣與電子 7%，家俱及裝飾占 5%，一般消費 4%，其它 11%。

- 環保議題

  PVC 是聚氯乙烯的簡稱，英文為 Polyvinylchloride，被國際綠色和平組織稱為「毒塑膠」，卻也因為便宜、製造方便，而成為產量僅次於 PE 的第二大泛用塑膠，廣泛存在於我們的生活周遭，嚴重威脅著我們的環境與身體健康。

- 改變 PVC 特性

PA、PP、PVC、PC...除了以玻纖、礦纖、碳纖來提升剛性以外，亦開發出其他種類的剛性填充材，可減少表面浮纖不光滑的現象，以硬質 PVC 舉例添加 17%剛性可從 300 kgf 提升到 420 kgf...等等，如表 3-6。

表 3-6 配方研發

	流動性改善	剛性提升	韌性提升	耐候性提升	防火性提升 (UL-94)	導電性 (ohms/sq)	透明性提升
PVC		◎	◎	◎	◎		
PE	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
PP	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
ABS	◎	◎	◎	◎			
PS		◎	◎	◎	◎	◎	
PC	◎			◎	◎	◎	
PA	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
PBT		◎			◎		
PLA		◎	◎		◎		

四、計畫單元件可使用的成型方式與常見塑膠加工成型方式

- 塑膠加工成型方式

一般而言，塑膠原料可大分為兩大類：「熱塑性塑膠」及「熱固性塑膠」。熱塑性塑膠在常溫下通常為顆粒狀，加熱到一定溫度後變成熔融的狀態，將其冷卻後則固化成型，因此，熱塑性塑膠可經由加熱熔融而反覆固化成型，所以熱塑性塑膠的廢料通常可回收再利用，亦即有所謂的「二次料」。相反的，熱固性塑膠則是加熱到一定溫度後變成固化狀態，即使繼續加熱也無法改變其狀態。因此，熱固性塑膠無法經由再加熱來反覆成型，所以熱固性塑膠的廢料通常

是不可回收再利用的。

塑料作為一種高分子的化合物有各種各樣的處理方法方法。每種方法都有其優點和缺點，更適合於特定的應用。通過相關有趣的動圖看看他們是如何被加工的，如圖 3-8。

注塑機（射出機）

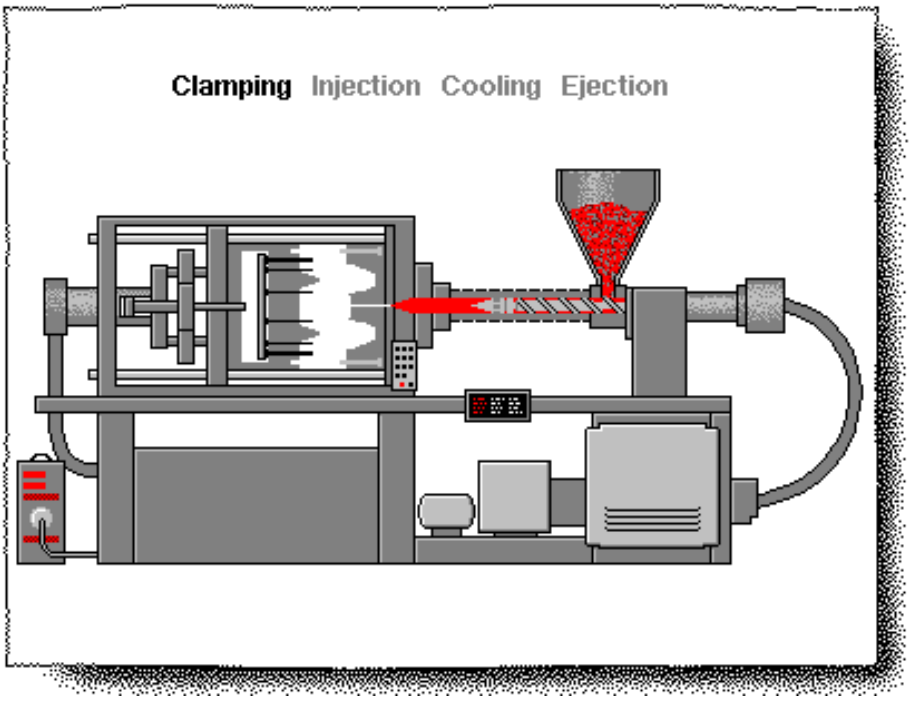


圖 3-8 注塑機（射出機）

注塑(射出)是一種通過將材料注射到模具中製造零件的製造方法。加工塑料的主要方法是注射成型。在這個過程中，塑料被放置到料斗，然後料斗將塑料加熱注入，它是通過一長的腔室與一個往復螺杆推壓。之後，它被軟化成流體狀態。噴嘴位於腔室的末端，流體塑料通過噴嘴強製冷卻，閉合模具。當塑料冷卻和固化時，半成品從壓機中退出，如圖 3-9。

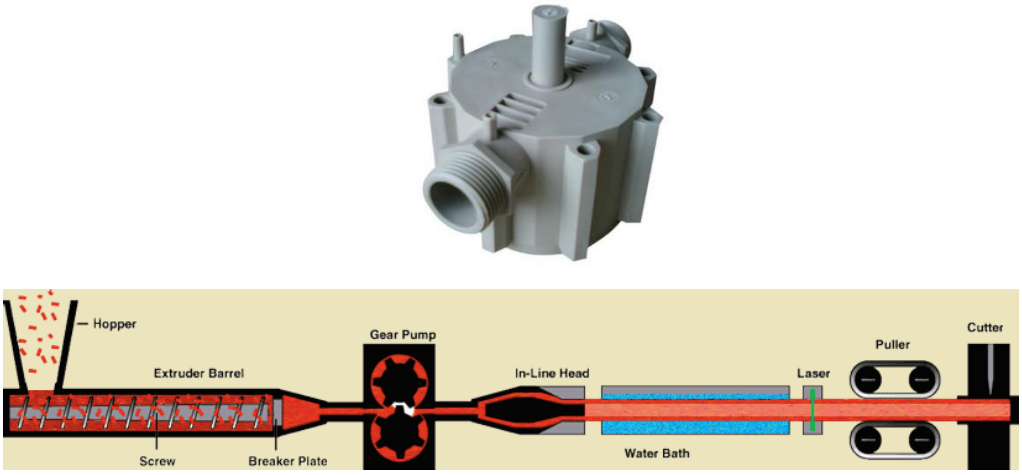


圖 3-9　塑料擠出

塑料擠壓是一個大批量製造的方法，其中塑料原材料被熔化形成連續的輪廓。擠出的過程通常是用來製造如膜，連續片材，管，型材，棒材，外套絲，長絲，線，和電纜。和注塑機一起，乾燥的塑料放置到料斗並送入一個長的加熱室中。在腔室的末端，材料被壓出一個小開口，或在所需的最終產品的形狀的模具。塑料離開模具後，它被放置在傳送帶上冷卻。鼓風機有時會在此過程被使用，幫助其冷卻，如圖 3-10-圖 3-11。

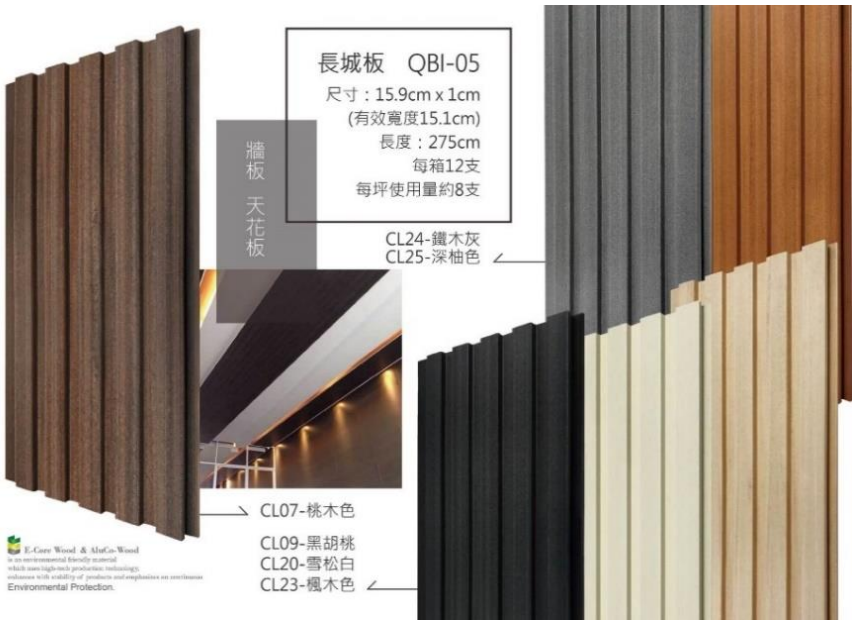


圖 3-10　注塑機（射出機）成品

吹塑機

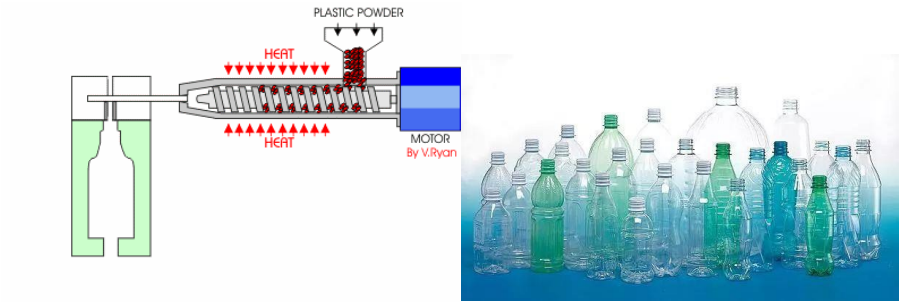


圖 3-11 吹塑機

吹塑是製造空心塑料製品的成型方法，是藉助氣體壓力使閉合在模具型腔中的處於類橡膠態的型坯吹脹成為中空製品的二次成型技術，如圖 3-12-圖 3-13。

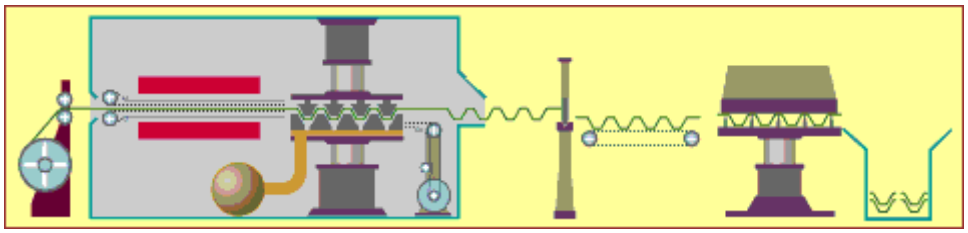


圖 3-12 熱成型

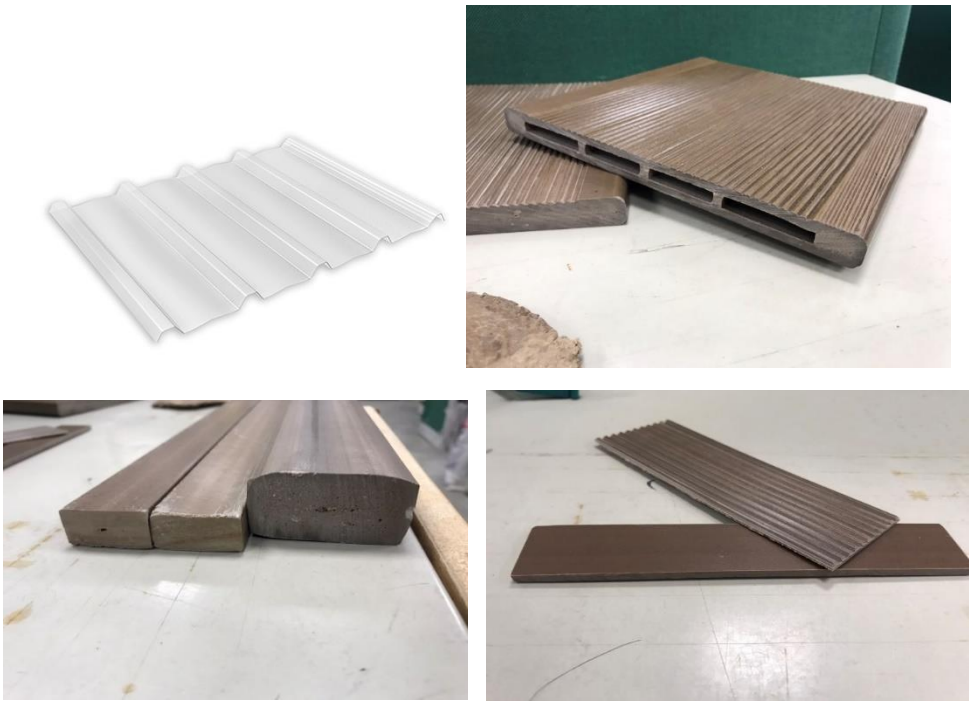


圖 3-13 吹塑機成品

將熱塑性塑料片材加工成各種製品的一種較特殊的塑料加工方法。片材夾在框架上加熱到軟化狀態，在外力作用下，使其緊貼模具的型面，以取得與型面相仿的形狀。冷卻定型後，經修整即成製品。此過程也用於橡膠加工。近年來，熱成型已取得新的進展，例如從擠出片材到熱成型的連續生產技術，如圖 3-14。

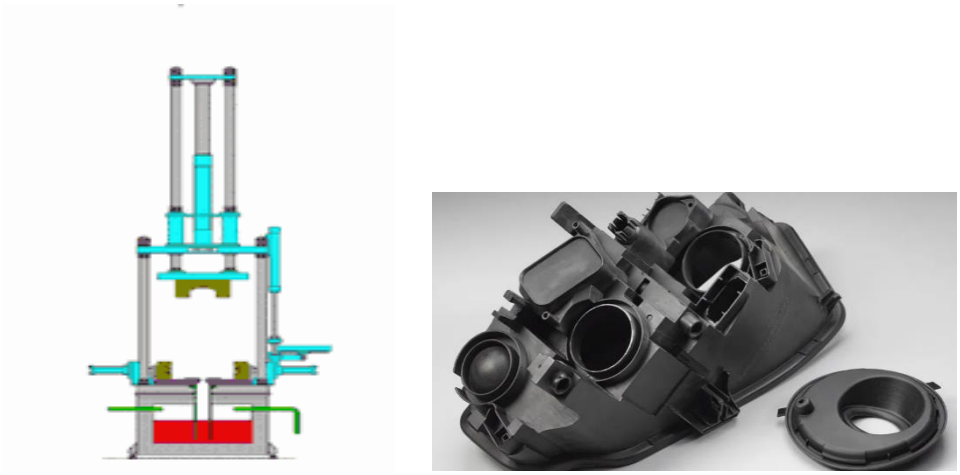


圖 3-14 澆注成型

早期的澆鑄是在常壓下將液態單體或預聚物見聚合物注入模具內，經聚合而固化成型變成與模具內腔形狀相同的製品。60 年代出現了尼龍單體澆鑄見聚醯胺隨著成型技術的發展，傳統的澆鑄概念有所改變，聚合物溶液、分散體指聚氯乙烯糊和熔體也可用於澆鑄成型。

五、材料力學與其他高分子工程塑膠力學比較試驗報告

針對本次研究所使用的相關材料，包含硬質 PVC、PP+GF(玻璃纖維)、NY+GF(玻璃纖維)、PVC+30%GF(玻璃纖維)等材料試驗，如圖 3-15-圖 3-18 所示。

(一)硬質 PVC

材料名稱	樣品編號	力量最大值 kgf	彎曲強度 Kgf/㎡	彎曲模數 Kgf/㎡
硬質 PVC	1	11.588	678.990	20526.604
	2	11.779	690.148	19944.429
	3	12.011	703.779	23405.681

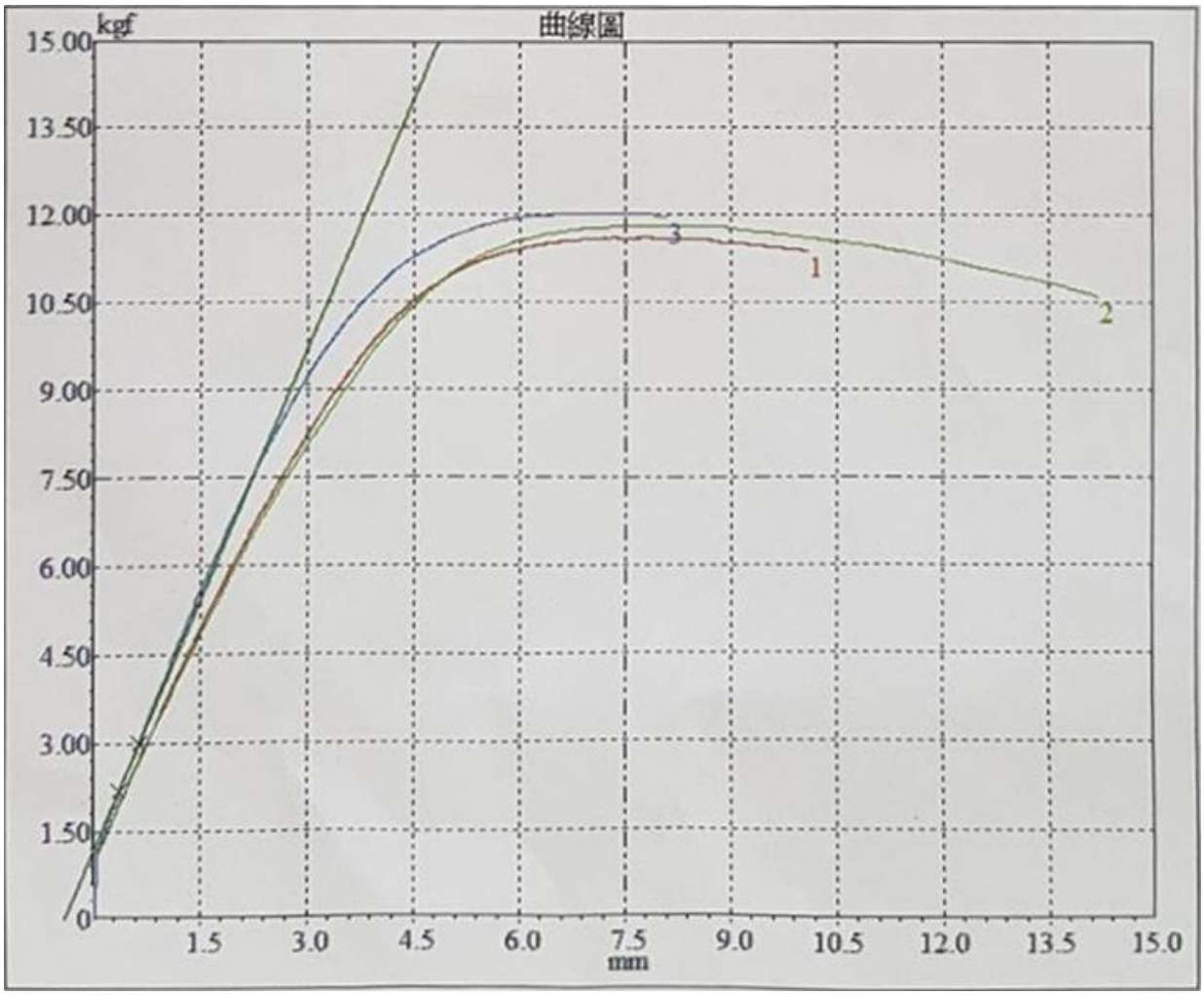


圖 3-15 硬質 PVC 材料試驗初步成果

(二)PP+GF(玻璃纖維)

材料名稱	樣品編號	力量最大值 kgf	彎曲強度 Kgf/㎡	彎曲模數 Kgf/㎡
PP+GF	1	14.076	824.750	37580.366
	2	14.081	825.067	37033.219
	3	14.102	826.288	38133.379

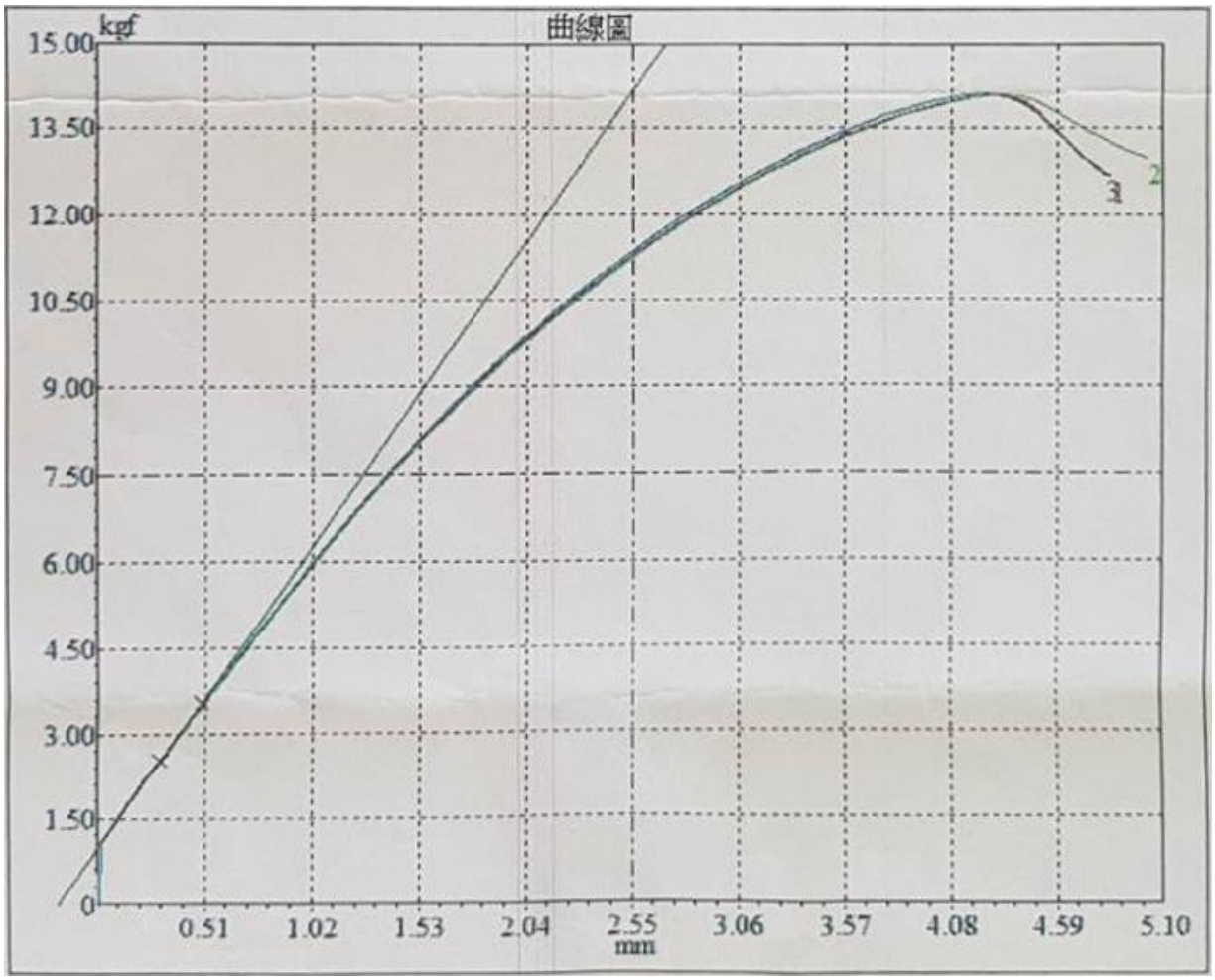


圖 3-16 PP+GF(玻璃纖維)材料試驗初步成果

(三)NY+GF(玻璃纖維)

材料名稱	樣品編號	力量最大值 kgf	彎曲強度 Kgf/㎡	彎曲模數 Kgf/㎡
NY+GF	1	28.810	1688.083	69017.617
	2	28.861	1691.086	68242.492
	3	28.051	1643.641	67331.487
	4	28.506	1670.259	68948.694
	5	28.809	1688.056	68090.040

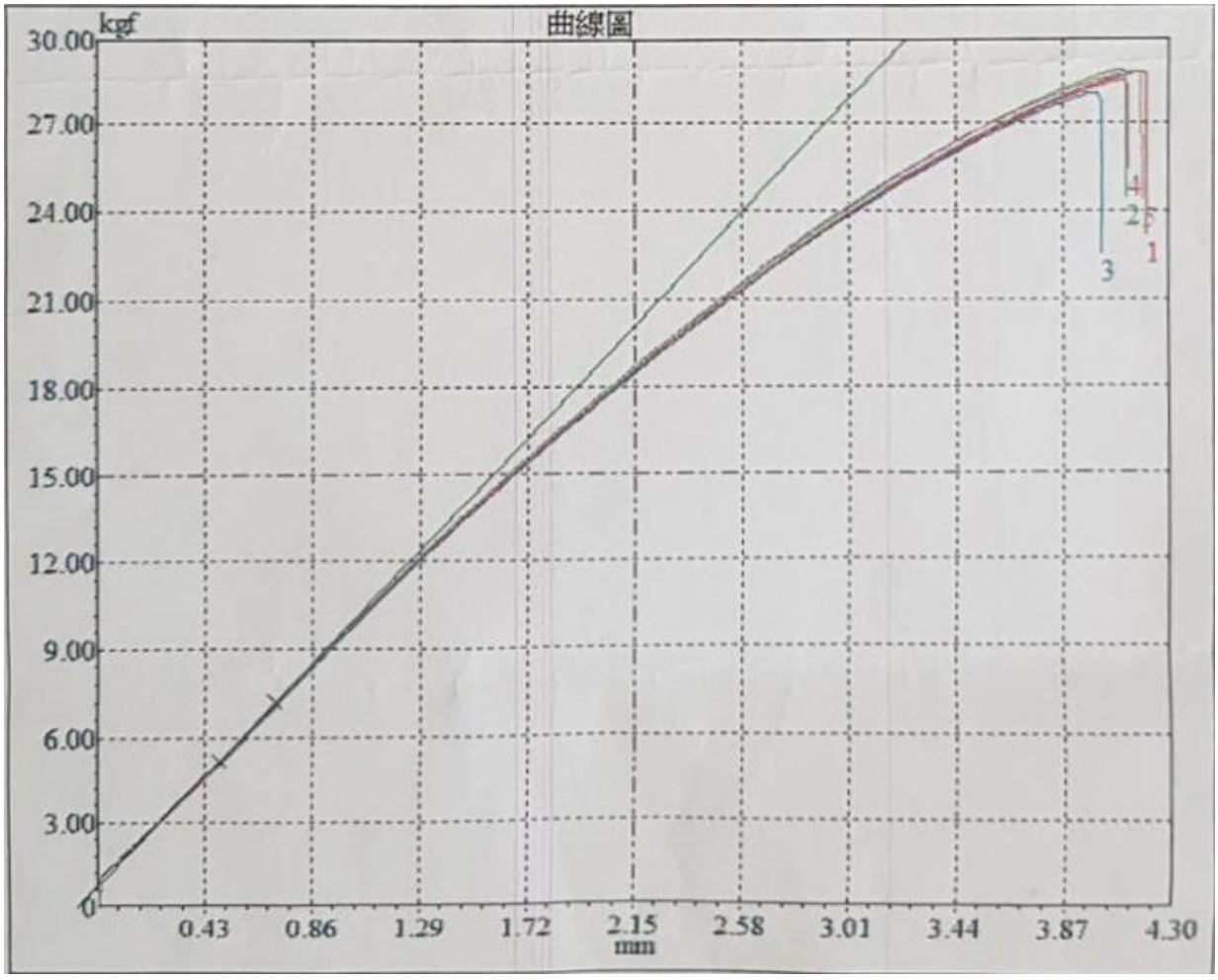


圖 3-17 NY+GF(玻璃纖維)材料試驗初步成果

(四)PVC+30%GF(玻璃纖維)-

材料名稱	樣品編號	力量最大值 kgf	彎曲強度 Kgf/㎡	彎曲模數 Kgf/㎡
硬 PCV+30%GF	1	15.990	936.910	73448.635
	2	16.463	964.608	78198.204
	3	15.593	913.635	79158.613
	4	15.978	936.197	77597.464

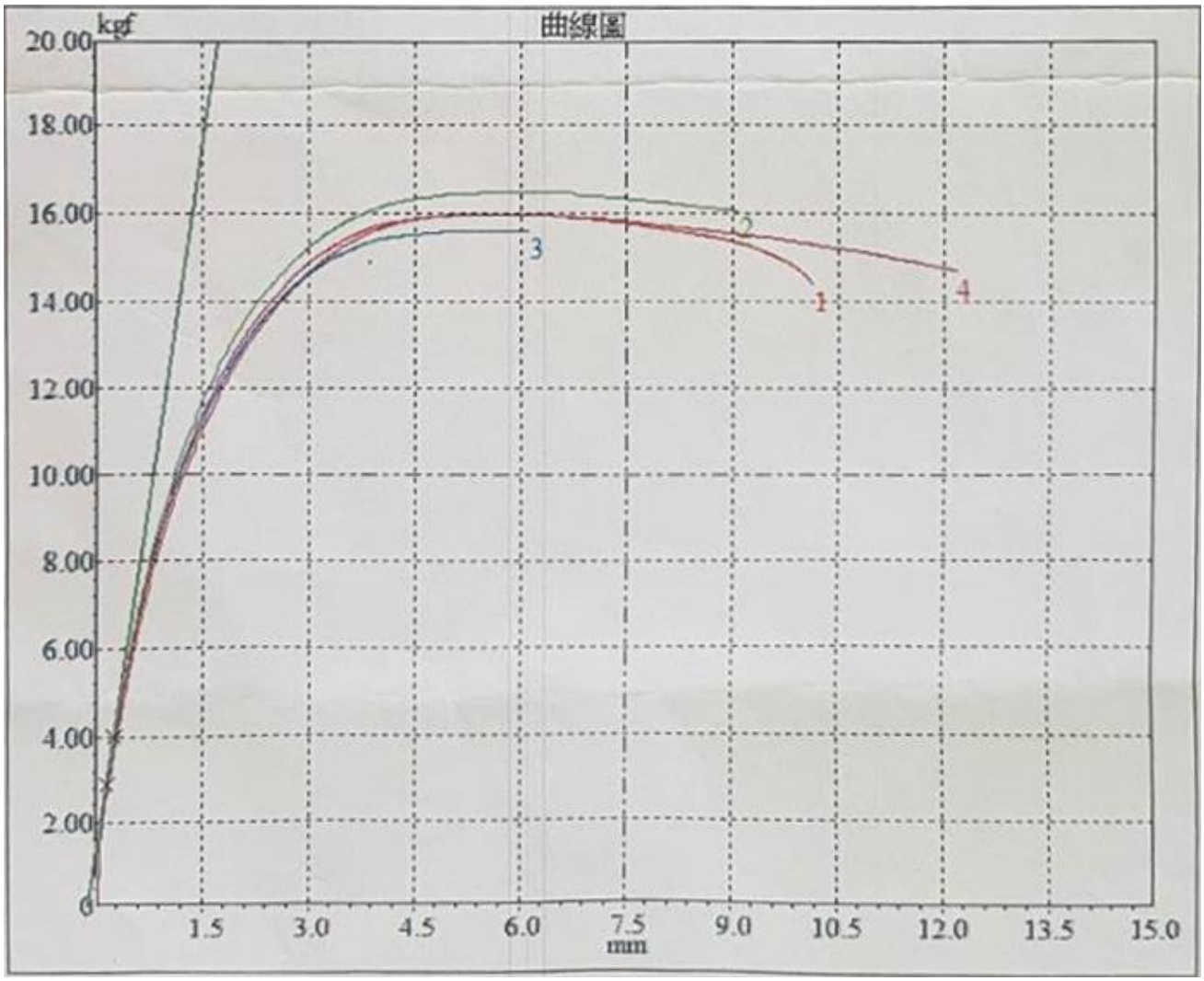
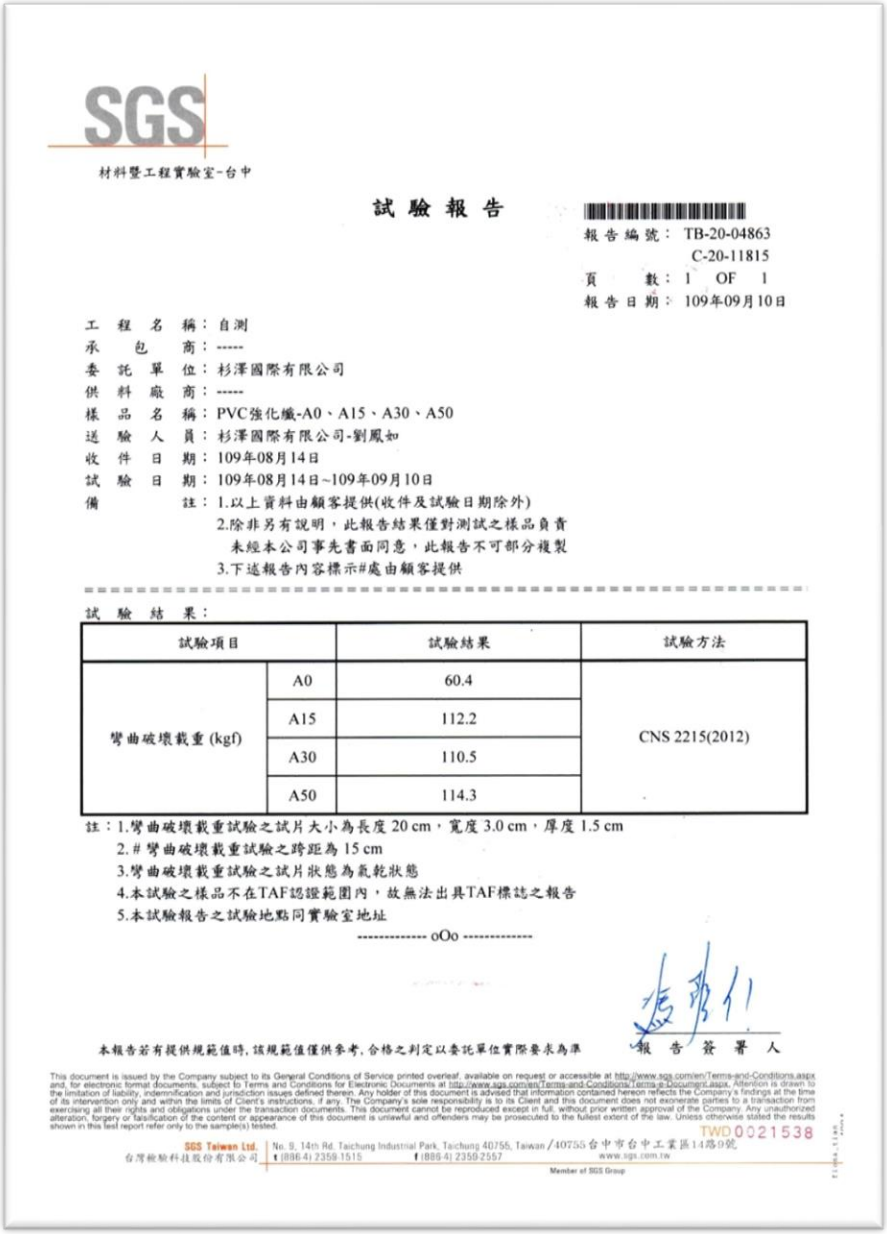


圖 3-18 PVC+30%GF(玻璃纖維)材料試驗初步成果

此次計畫使用材料 PVC+玻纖的彎曲破壞強度測試報告，測試樣板 A0 代表無玻璃纖維添加、A15 代表 15%玻璃纖維添加、A30 代表 30%玻璃纖維添加、A50 代表 50%玻璃纖維添加，如圖 3-19。

測試結果

1. 加了玻璃纖維明顯增強其力學強度,但是添加量的多寡並無明顯的差異,故以工程塑膠添加比例而言 30%為最合適的添加比例。
2. 加入玻纖是為了提高高分子材料的剛性、收縮性、耐候性、甚至防火性能,不加玻纖的塑膠高分子如我們這次使用的 PVC 塑膠為例力學物理特性提高 2~3 倍,使得 PVC 材料由一般的泛用塑膠原料,提升為工程塑膠等級原料。



SGS
材料暨工程實驗室-台中

試 驗 報 告

報告編號：TB-20-04863
C-20-11815
頁　　數：1 OF 1
報告日期：109年09月10日

工 程 名 稱：自測
承 包 商：-----
委 託 單 位：杉澤國際有限公司
供 料 廠 商：-----
樣 品 名 稱：PVC強化纖-A0、A15、A30、A50
送 驗 人 員：杉澤國際有限公司-劉鳳如
收 件 日 期：109年08月14日
試 驗 日 期：109年08月14日~109年09月10日
備　　註：1.以上資料由顧客提供(收件及試驗日期除外)
2.除非另有說明，此報告結果僅對測試之樣品負責
未經本公司事先書面同意，此報告不可部分複製
3.下述報告內容標示#處由顧客提供

試 驗 結 果：

試驗項目		試驗結果	試驗方法
彎曲破壞載重 (kgf)	A0	60.4	CNS 2215(2012)
	A15	112.2	
	A30	110.5	
	A50	114.3	

註：1.彎曲破壞載重試驗之試片大小為長度 20 cm，寬度 3.0 cm，厚度 1.5 cm
2.#彎曲破壞載重試驗之跨距為 15 cm
3.彎曲破壞載重試驗之試片狀態為氣乾狀態
4.本試驗之樣品不在TAF認證範圍內，故無法出具TAF標誌之報告
5.本試驗報告之試驗地點同實驗室地址

---------- oOo ----------

報 告 簽 署 人

本報告若有提供規範值時，該規範值僅供參考，合格之判定以委託單位實際要求為準

This document is issued by the Company subject to its General Conditions of Service printed overleaf, available on request or accessible at http://www.sgs.com/en/Terms-and-Conditions.aspx and, for electronic format documents, subject to Terms and Conditions for Electronic Documents at http://www.sgs.com/en/Terms-and-Conditions/Terms-e-Document.aspx. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any holder of this document is advised that information contained hereon reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. This document cannot be reproduced except in full, without prior written approval of the Company. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law. Unless otherwise stated the results shown in this test report refer only to the sample(s) tested.

SGS Taiwan Ltd. 台灣檢驗科技股份有限公司 | No. 9, 14th Rd. Taichung Industrial Park, Taichung 40755, Taiwan / 40755台中市台中工業區14路9號
t (886-4) 2359-1515 f (886-4) 2359-2557 www.sgs.com.tw
Member of SGS Group

TWD0021538

圖 3-19　本次計畫使用的材料 SGS 材料橋度試驗成果

第二節　結構規劃設計

一、基本說明-模塊蜂巢連結網牆系統

1. 工程塑膠材質選定 PET+GF、PVC+GF，二種材料皆具有可塑性通過模具塑形量化生產，具備高抗衝擊、高抗摩擦性、高耐候性、且質地輕易搬運及施工便利性，為良好的護岸工事應用材質。

2. 模塊蜂巢連結網牆系統

使用工程塑膠經模成型，質地輕抗衝擊，塊件之間可互相扣合連結，形成網式牆體並隨地形變換位置，塊件具有樁位固定孔，可打入固定樁，形成地錨與土石層連接，利用經緯連接成護岸網狀牆，塊件為上下貫穿筒狀體，回填土後可植栽根系發達的植物，根系可自由向下生長，根系幫助坡體土石固著，護岸坡體增加綠化景觀效果，可解決水泥預鑄系統，質重搬運、施工不易，不抗衝擊易裂，塊件無法連結易因坡體壓力推擠造成區塊位移，導致崩坍。如圖 3-20 所示。

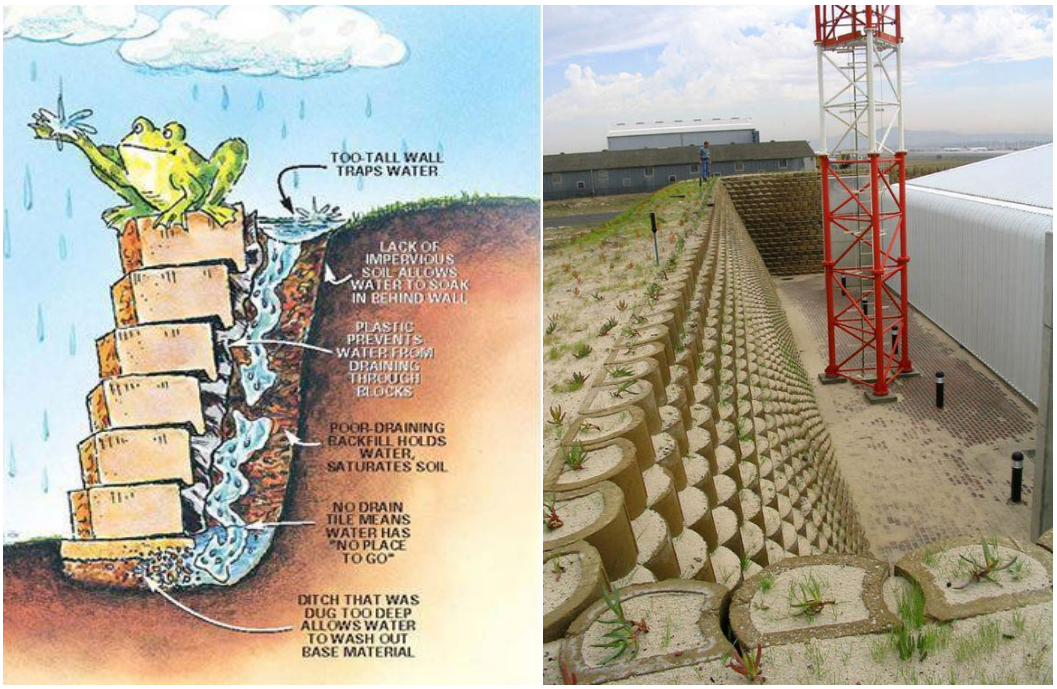


圖 3-20　模塊蜂巢連結網牆系統

3. 模塊蜂巢設計方向

(1) PCB 工法與地錨工法的結合。

(2) 具高耐候(氣候變化)，高衝擊強度，一體成形多點自體連接系統，結合成高強度蜂巢結構牆體。

(3) 立體蜂巢結構牆體，可在鬆軟地質形成骨架式結構，框護易坍的土質地形。

(4) 垂直向利用地錨工法，將結構體與坡體垂直固定。

(5) 輕量化於野溪整治時優化工程施工及搬運成本。

(6) 積木式組合概念，多方向性快速變化組合型態，配合現地環境調整組裝模式。

(7) 降低工程施工環境損害低汙染。

(8) 中空籠式結構體，回填覆土以利植生根系發展及高排水性，營造生態多樣化。

(9) 多彩組合單元模塊，可選擇與地形環境搭配的顏色，降低人工化的視覺厭惡感，視覺景觀融合自然環境。

(10) 循環永續再生材料，使用回收原料再製的單元模塊，減塑，減碳，單元模塊未來可以 100%回收再製，實現搖籃到搖籃的循環經濟模式，如圖 3-21。



圖 3-21　設計模擬示意圖

二、蜂巢結構

- 蜂巢的特點

(一)設計精密：

蜂巢的底部並非全是平坦的，乃是稍微外突的，而外突的程度是以堅穩和合乎經濟為原則，若太突出的話，則不合建築力學為原則；若太平的話，則不合實用原則，因為儲存量會因而減少。

(二)經濟實用：

容量是面積乘容器的長度，所以計算起來，仍然是六角形的容量最大。若以同樣材料去製造一個容量最大的盛器，最理想穩固的形狀是六角形。在理論上，圓形是最完全和容量最大的，但圓形卻不能與另一個圓形物體相連，雖然容量最大，但在組合體裏卻是最差。所以六角形另外一個特點是設計完美，因為每一個六角形都可以和其他六個大小相同的六角形相連接，在材料利用上是最經濟，沒有絲毫浪費，如圖 3-22。

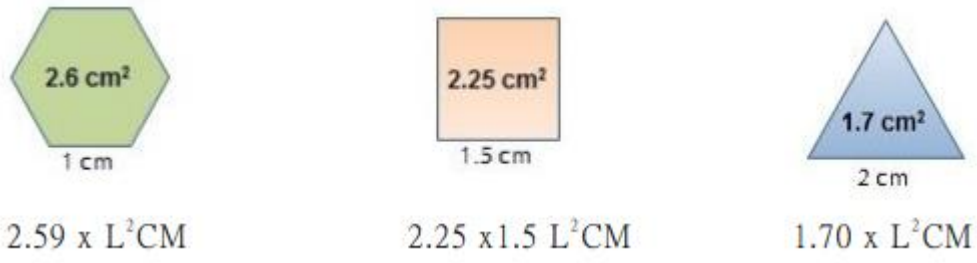


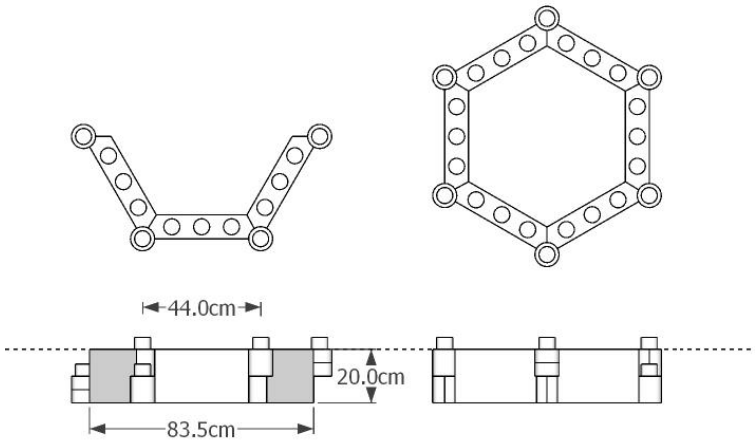
圖 3-22 各類型設計形式

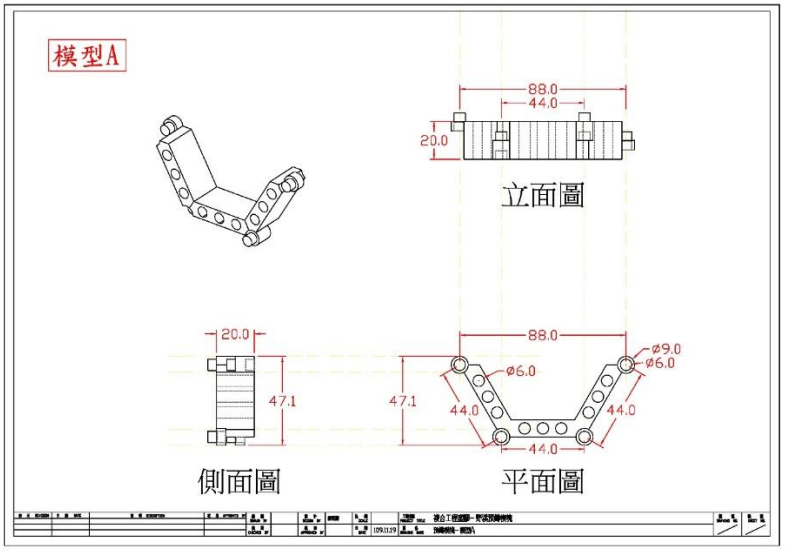
三、單元件說明

- 一體成形多點自體連接系統，結合成高強度蜂巢結構牆體

(一)單元組件 1(圖 3-23)

以兩個組建，組合成六邊型構造，並於各邊角設有插銷結合點，配合腔壁孔洞可進行垂直向的組合，中空腔室形成保溫構造。





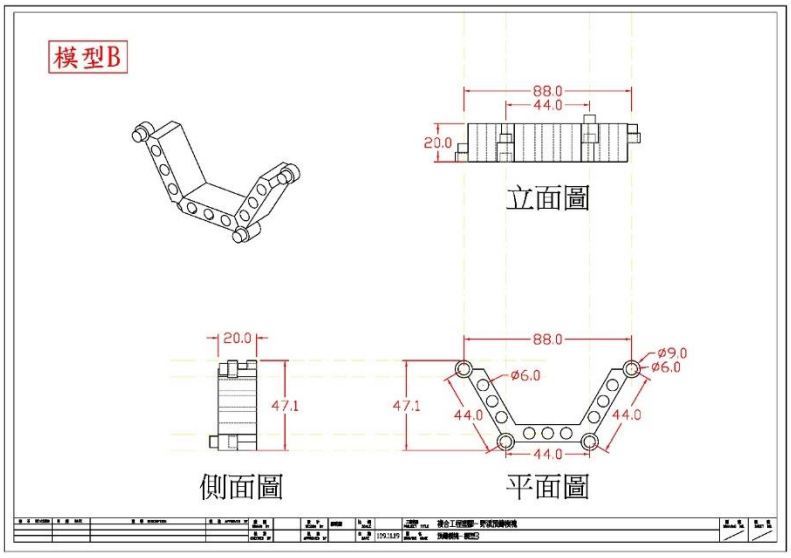
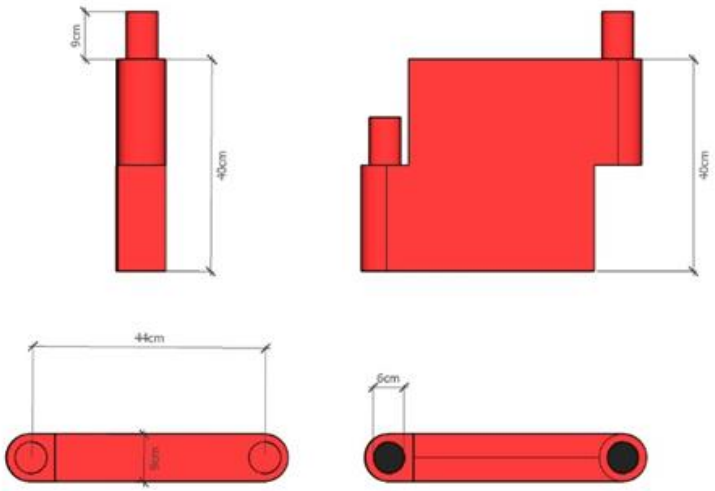


圖 3-23 單元組件 1 蜂巢結構設計圖

(二)單元組件 2(圖 3-4)



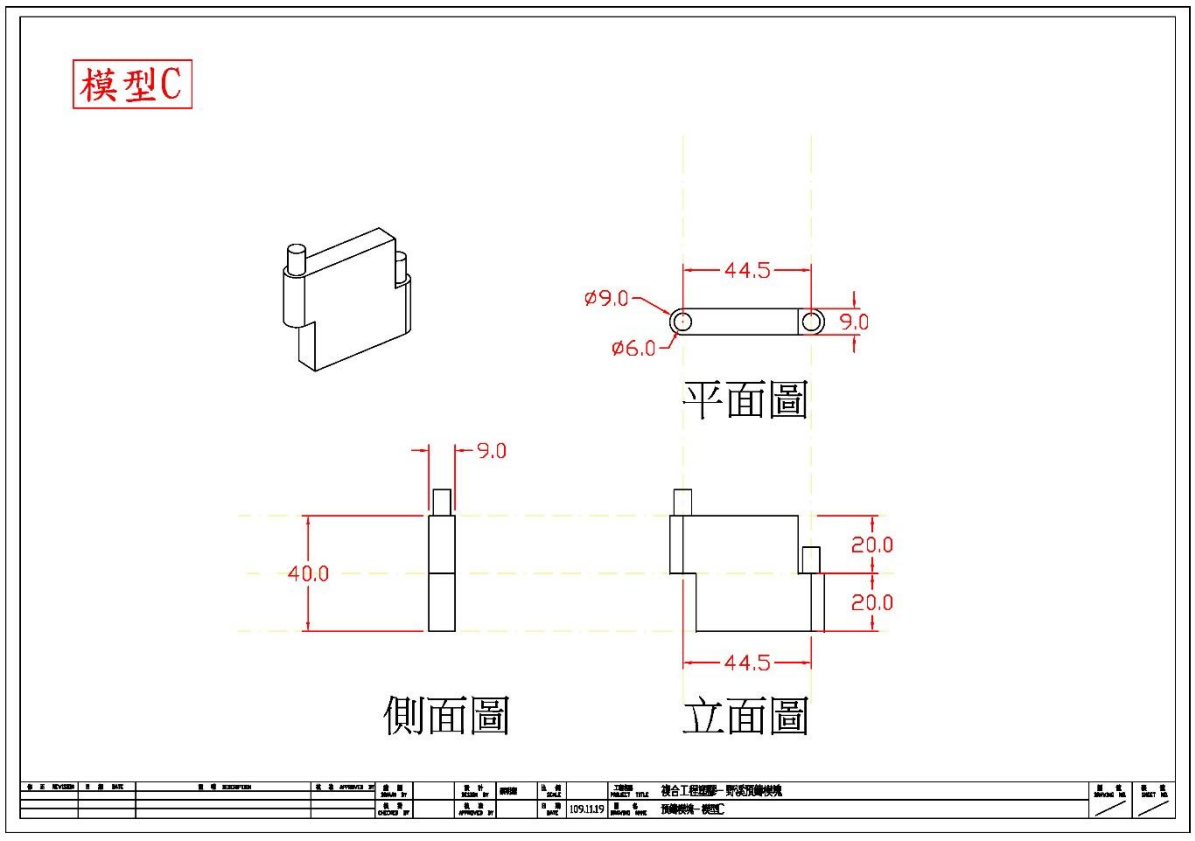


圖 3-24 單元組件 2 蜂巢結構設計圖

- 組塊連接件其目的為延伸長度及彎曲變形的結合配件。
- 單元組件 1&2 的結合方式。

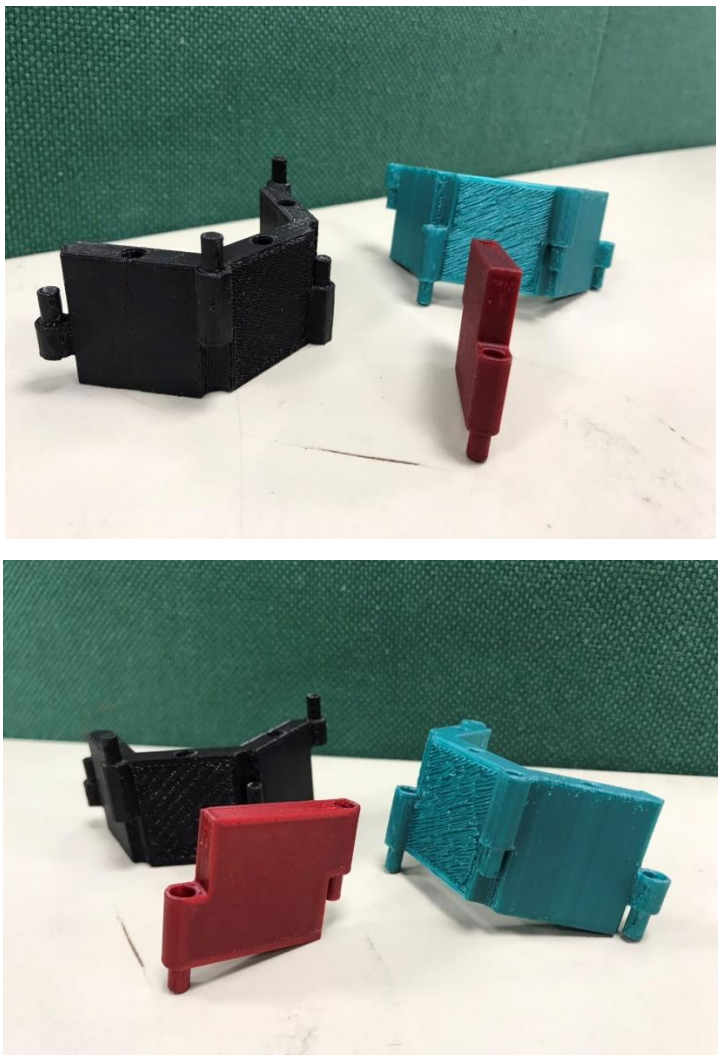


圖 3-25　單元 1 及 2 之 3D 列印成果

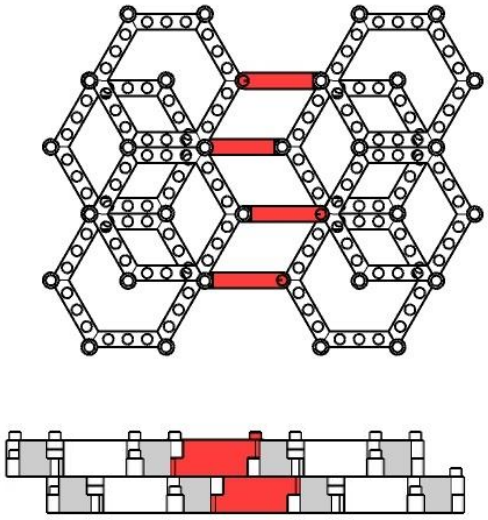
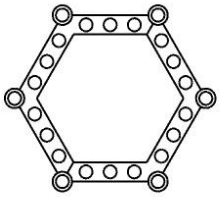
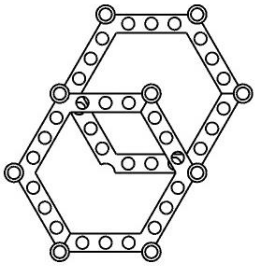
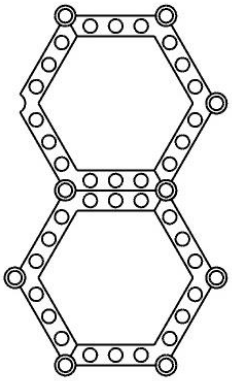
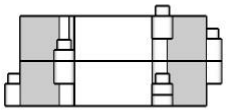
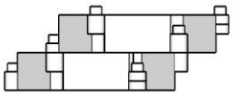
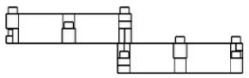
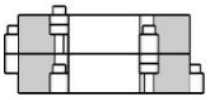
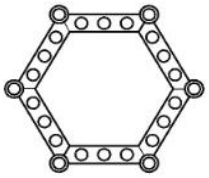
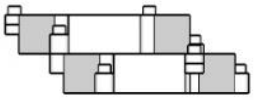
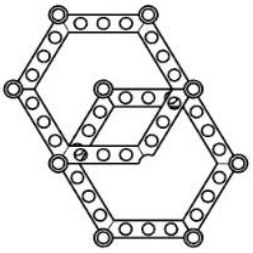
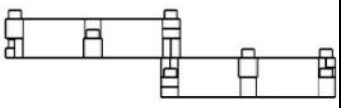
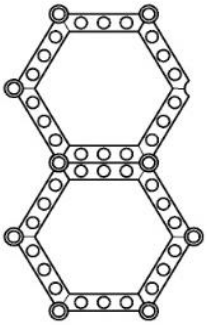


圖 3-26　單元組件 1 與單元組件 2 蜂巢結構組合示意圖

表 3-7 蜂巢結構組合樣式

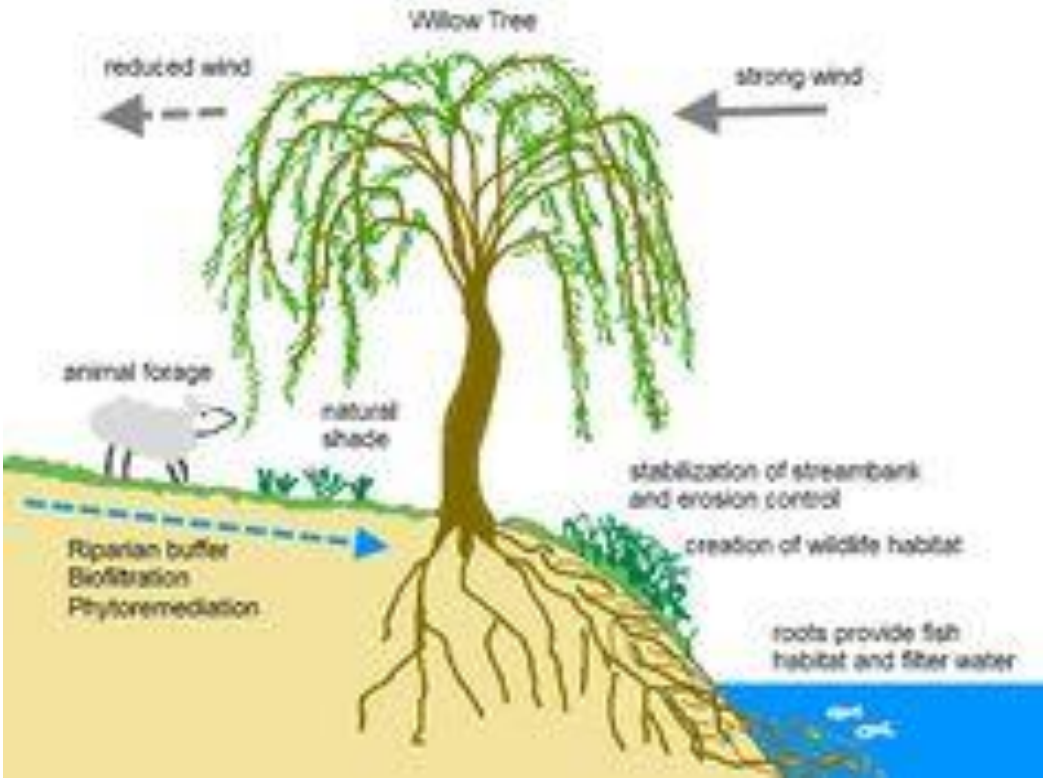
位移量	0%	50%	100%
上視圖			
立面圖			
	 	 	 

第三節 基礎保水設計

蜂巢植生系統之設計理念分為兩個環境使用方向:1.水土保持土坡護框應用，2.景觀植生槽雨花園應用

- 1.水土保持土坡護框

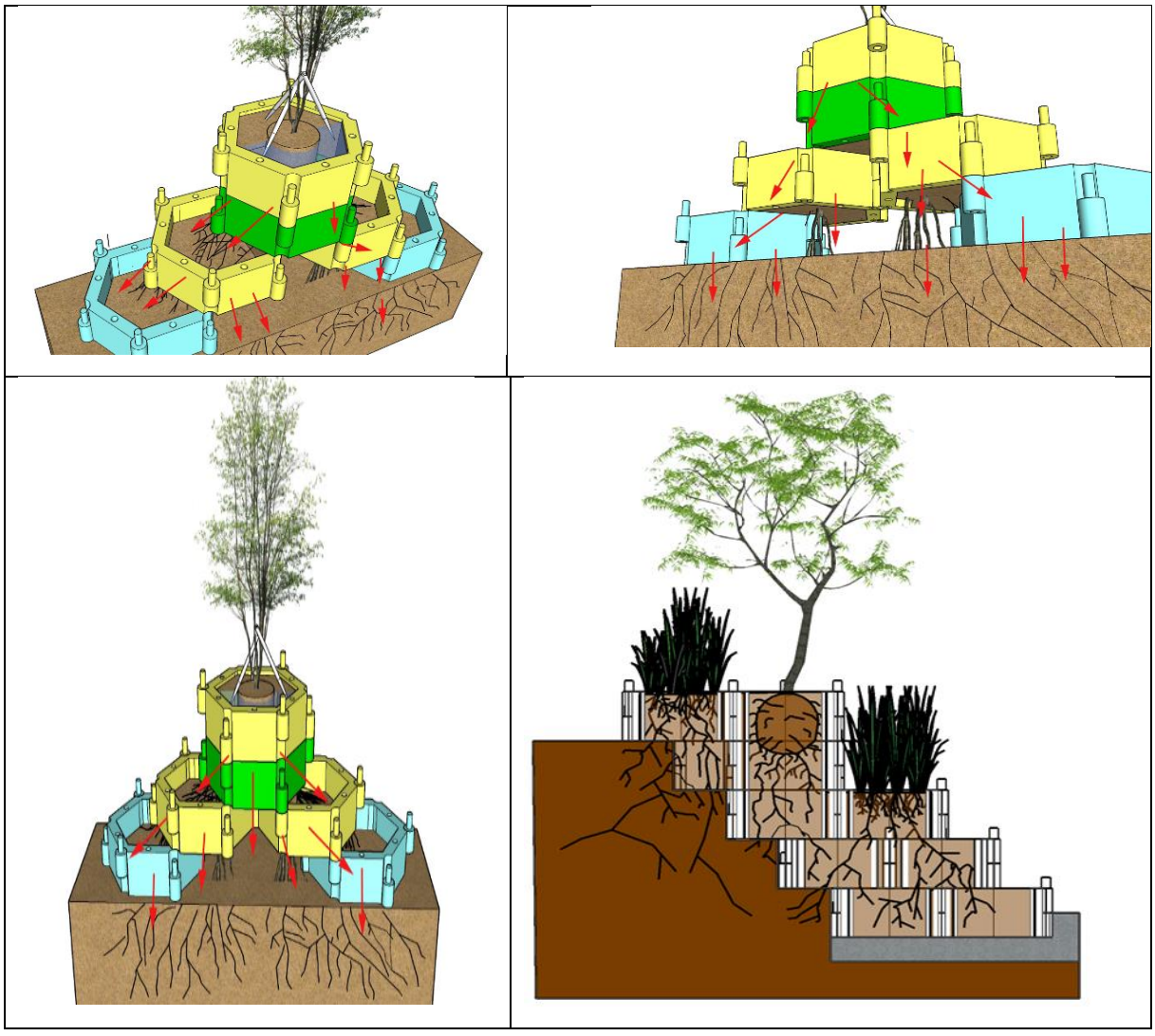
在自然環境中植物的根系是水土保持最佳的防禦手段



- 本系統設計理念應用於都會區排洪水道生態化或野溪整治時，系統之六角蜂巢結構交互連結，於土壤層中形成蜂窩狀結構體，框護土壤層使土壤不會因雨水沖刷流失表土，植生層土壤與原環境坡體互通不施加保水層工法，此目的是為了植物的根系能在蜂巢結構與土壤層交互連結竄根牢固土壤層，


Fig. 4. Root systems of prairie plants (from http://en.wikipedia.org)

- 最終達到利用自然植被保護水土保持的概念。



- 2. 景觀植生槽雨花園應用
- 本系統應用於都會區排洪水道生態化或堤岸生態景觀綠化時




- 施作區下方已有鋪設礫石層或水泥基礎鋪設時，植生槽框內可鋪設透水布織布或保水透氣層以利雨水回滲及保水防止框內土流失，





- 常見保水透氣介質如：赤玉土：顆粒狀，火山灰堆積形成，微酸不含害菌，盆栽常用土，透氣、保水、保肥性佳，可單獨使用，也可與其他介質混合使用。
- 鹿沼土：產於鹿沼火山地區一帶，保水、透氣、微酸性，混合其他介質使用，不可多放如要多放須加些石灰、碳等鹼性物質，適合耐貧脊的植物(如：杜鵑、茶花等)。
- 壤土：壤土是指地表 10 公分以下的土壤，土質鬆散，顏色不一，使植

物保持直立，供給所需養分，含有機質及礦物質，使用於盆栽時可混合其他介質(如：礫石、沙、蛭石、真珠石等)使用。

- 純沙：澆水之後無黏性，保水性差，排水性良好，可跟壤土混合成沙質壤土，或跟其他介質混合使用，延緩土壤失水時間。
- 泥炭土：皆國外進口，水苔埋在地底數萬年腐化後所產生，乾淨、質輕，具保水、保肥等特性，混合其他介質使用。
- 礫石：指平均粒徑大於 0.2 公分，小於 0.64 公分的岩石或礦物碎屑物，與土壤混合使用增加盆土透氣及排水。
- 腐植土：又稱為堆肥、庭園黑金，以落葉、木屑等有機質，經微生物長期發酵分解所形成，本身含有些微養分，鬆散不易結塊，保水保肥力佳。
- 蛭石：由雲母經高溫處理而成，混合土壤可保持土壤鬆散透氣，保水，常用於無土栽培法，適合插杆、育苗。
- 真珠石：由石灰岩經高溫處理而成，顆粒狀質輕，排水透氣性良好，常配合泥炭土使用，適合播種、扦插繁殖使用。
- 椰纖：由椰子殼碾碎加工而成，依照使用方式製成椰纖土、椰絲、椰殼塊等，使用時混合其他介質使用，適合播種、育苗。
- 稻殼：又稱粗糠，稻米加工的副產品，可製成有機肥，混在土中可保持土壤的透氣、排水，撒在樹下可防止雜草滋生；現有新技術可製成碳化穀殼，碳化穀殼保肥能力較佳，可中和土壤 PH 質。

第四章　實驗規劃與分析

依據前述針對國內護岸的文獻回顧及設計單元的說明，提出利用護岸常見植栽在不同材料之設計單元下，了解土壤溼度、溫度變化、生長情形與植生根力之影響，其規劃說明如下:

第一節　試驗規劃

本次試驗區分為兩大種類，主要包含植生的觀察以及結構體設計檢討，作為是否需要設置基礎台的依據:

(一) 預備試驗

主要針對常見之水保植物，在傳統花箱(塑膠花盆、木板、混凝土)之試驗，對應利用PCV+玻璃纖維花箱，利用草皮鋪設與種子栽種兩方式，在不同天氣條件(冬季與夏季)，正常人工養護條件下，材料對植物生長的比對。其檢測項目如下:

1. 土壤溫度
2. 土壤濕度
3. 材料內外溫度
4. 植生狀況(生長高度、密度等)

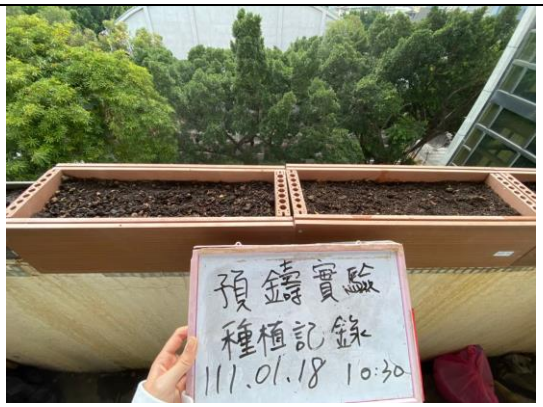
初步選定的草種包含

1. 黑麥草
2. 高狐草
3. 百喜草

試驗單體說明如下:

1. 木花箱:長:50 cm 寬: 14 cm 高: 20 cm 厚: 1.6 cm
2. 混凝土花箱: 長:40 cm 寬:12 cm 高:15 cm 厚:1 cm

3. PCV+玻璃纖維預鑄花箱: 長:56 cm 寬:16 cm 高: 20cm 厚:1.8cm
4. 半透明PCV+玻璃纖維預鑄花箱: 長:56 cm 寬:16 cm 高: 20cm 厚:1.8cm

	
混凝土花箱	PVC+玻璃纖維預鑄花箱
	
木頭花箱	透明PCV+玻璃纖維預鑄花箱

(二) 量測儀器

1. 溫度計

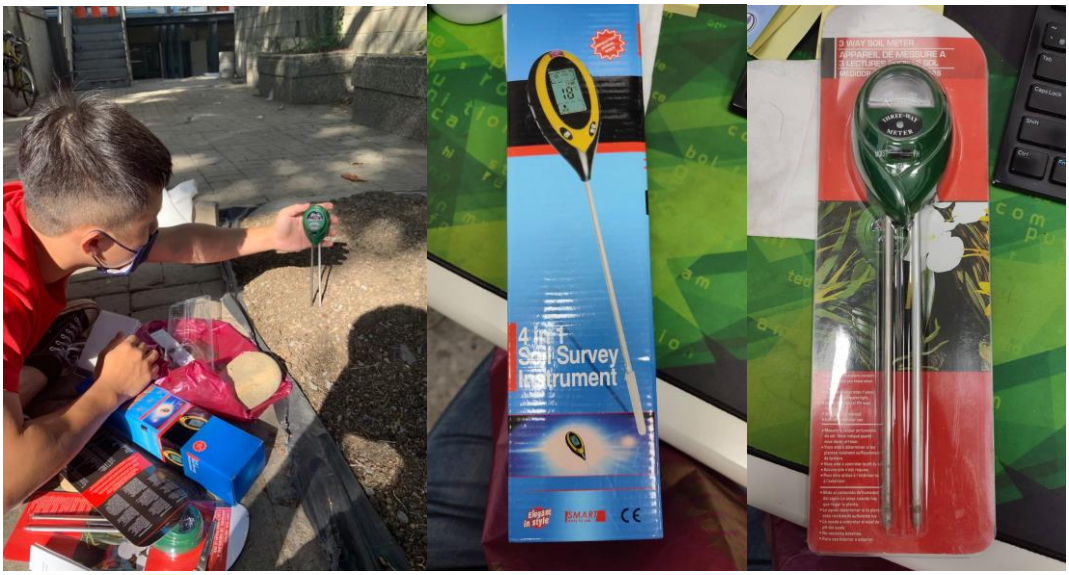
非接觸式額溫槍，可量測-50-400度，準確性1.5度1.5%





2. 土壤含水量計與濕度計

可量測土壤含水量及 PH 及土壤溫度



3. 拉拔器

利用行李秤做拉拔



四、植生試驗觀測儀器的設置

主要透過溫度、濕度與含水量的設置，了解因為預鑄材料的改變，在陽光曝曬下不同分層的溫度變化、濕度變化以及受到水流沖刷條件下，結構物的穩定度與產生的棲地變化。

1.溫度計



2. 土壤含水量計



3.拉拔試驗



主要觀測植物生長周期，受陽光照射，每日連續且分層變化，了解

(三)植生試驗儀器布置示意

將各組試驗結果，透過有線串聯的方式，儲存在現地紀錄器中，觀察每日地表溫度、濕度與日照度變化，觀察各土層在種植草本、木本植物的土壤變化。

(四)冬季試驗

將試驗設置之PVC加玻璃纖維、混凝土以及木板，以長方形形式進行配置，並栽種黑麥草、百喜草、高狐草草仔，並透過草的生長高度、土壤問度、濕度、結構體內外層溫度進行觀測。





(五)夏季試驗

將先前試驗設置跟現場尺寸接近之塊體，包含PVC、混凝土以及木板，以六角形進行配置，放置黑麥草、百喜草、高狐草，並透過設置正方形PVC曹框，針對木本植物與爬藤進行觀測。









第二節 試驗分析

本計畫以三種不同材料製作之預鑄塊體及三種不同類型植物，於正中午12點與下午5點進行溫度、濕度試驗，並觀察植物根系狀況，透過試驗結果，主要分析項目如下：

1.在土壤溫度變化,表層溫度較空氣溫度高,整體以混凝土高於木頭或PVC,但是當權樹生長完成(約3週)，以木頭較低再來是PVC，且黑麥草高於百喜最後是高弧草。

2.設施本體溫度變化，經過一天六七小時的曝曬，混凝土高於PVC最後是木頭，草種對於整體結構溫度影像不大，內壁則以PVC較低，但仍與空氣落差20度以上。

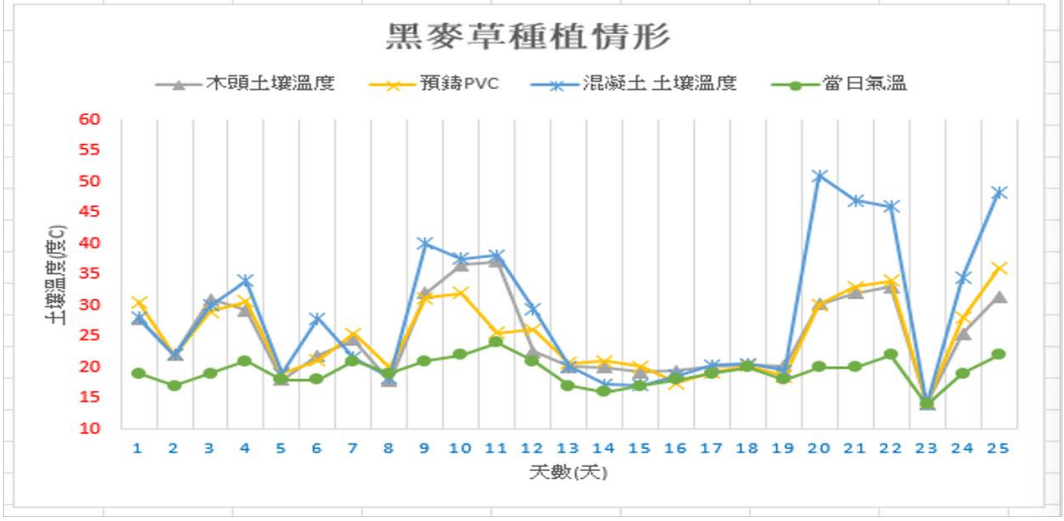
3.土壤酸鹼物變化，一開始都偏酸，歷經太陽照射，PH值接近中性，但高弧草對於PVC變動影響較不影響。

4.土壤濕度再三種草的影響，唯有PVC影響較小。但是草的生長高度則以木頭較高，混凝土較差但是對於百喜草影響，僅有PVC生長較好。

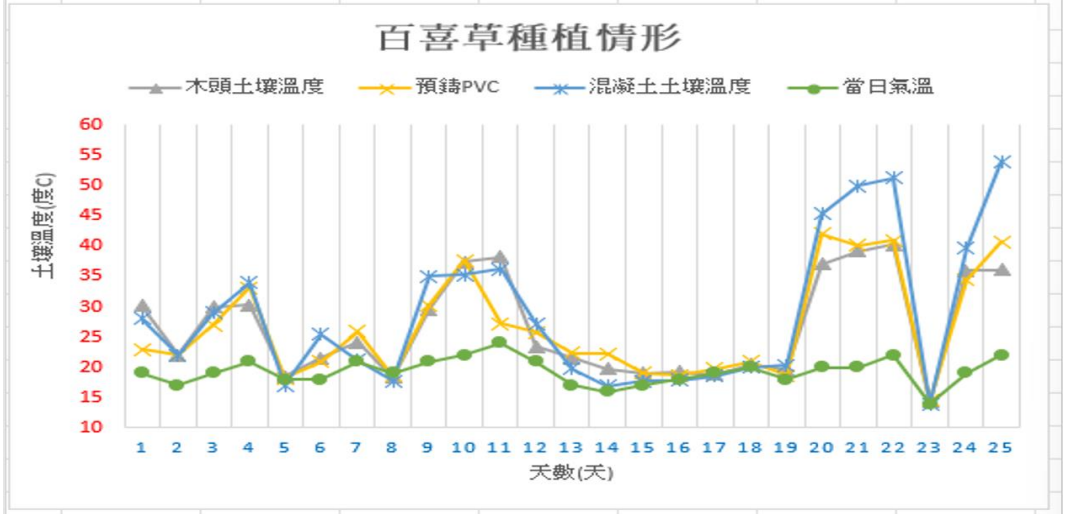
5.生長面積而言，黑麥草較早達成100，混凝土生長面積受溫度影響，生長較差，僅有50-75%，且百喜草根高弧草生長較慢至少兩週以上才會達成75%。

(A)三種預鑄塊體及三種類類型植物產生之土壤溫度變化(冬)。

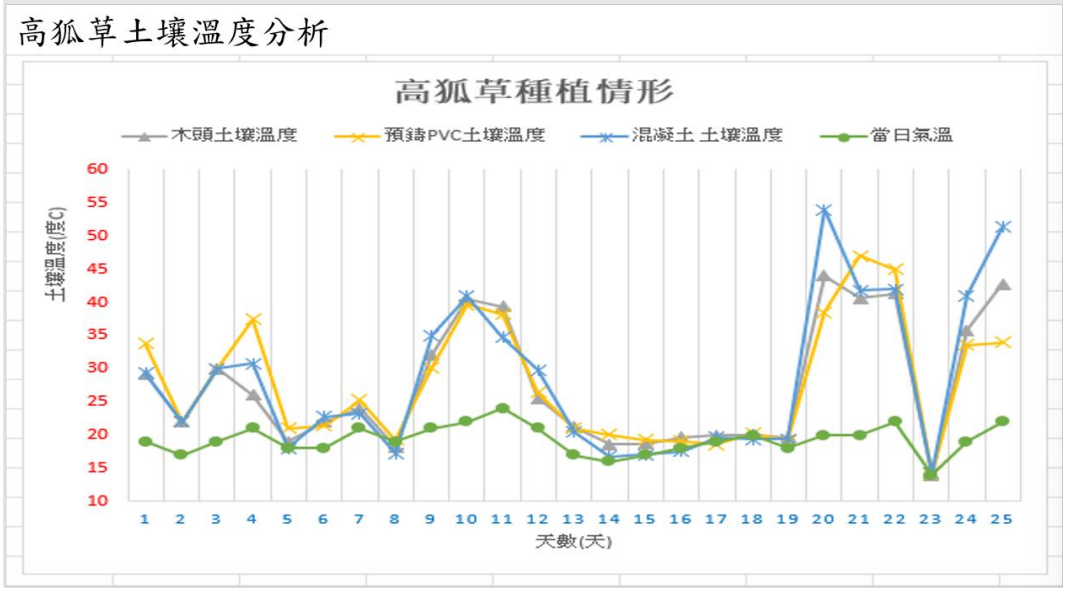
黑麥草土壤溫度分析



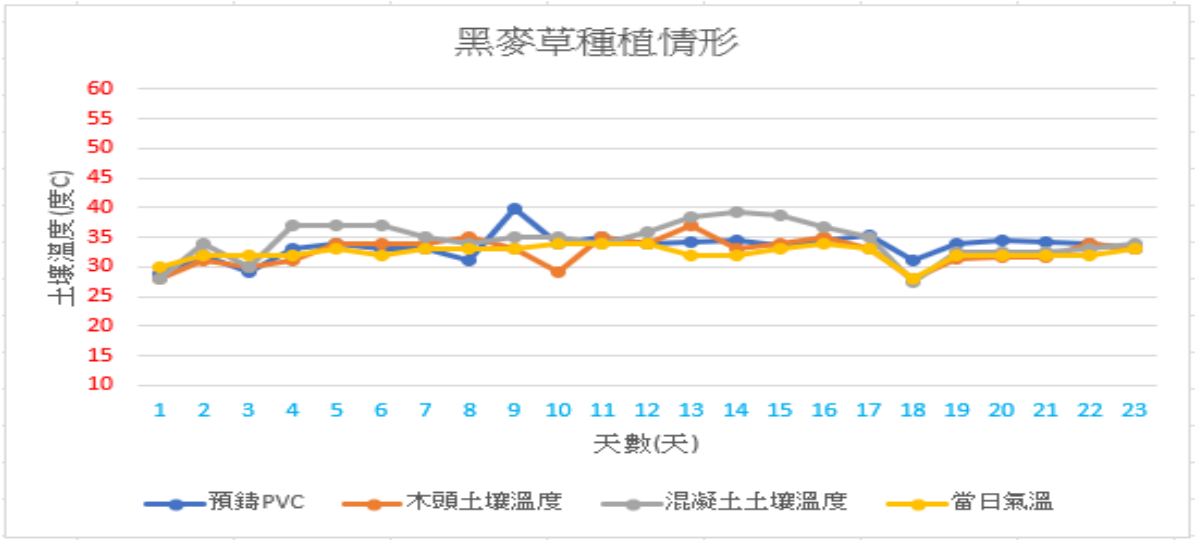
百喜草土壤溫度分析

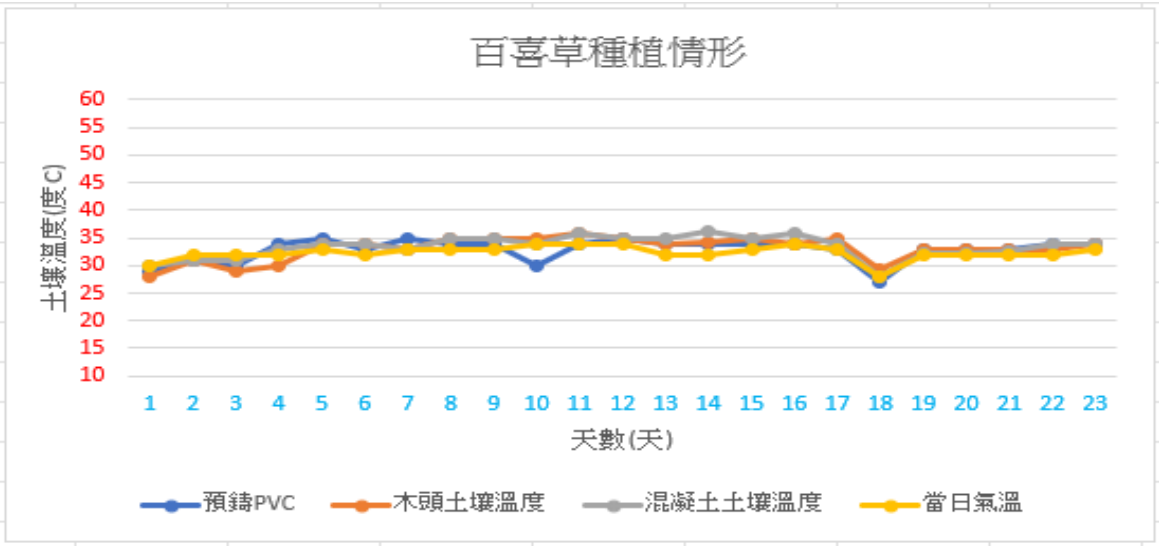


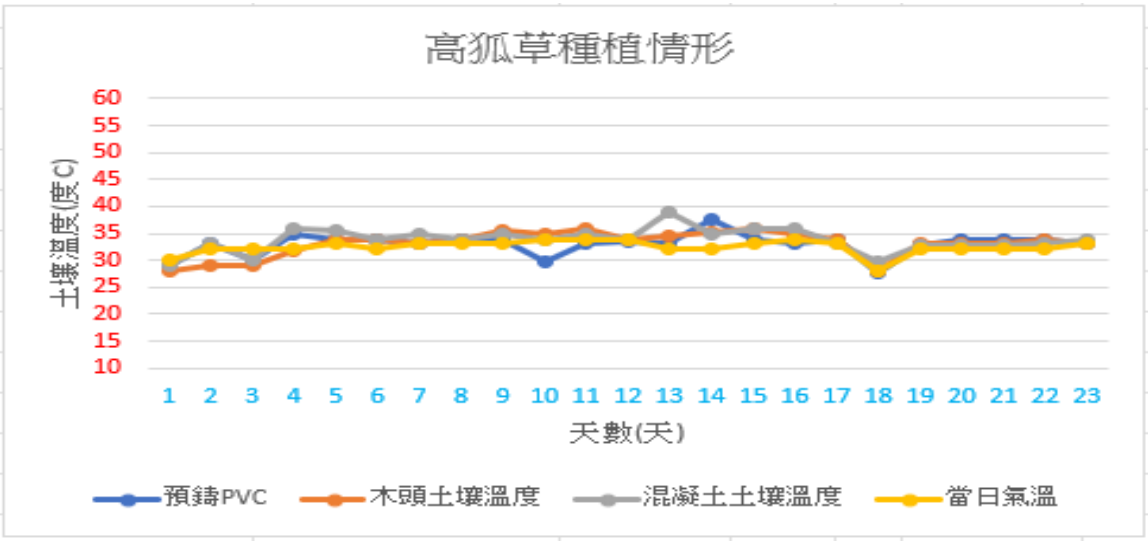
高狐草土壤溫度分析



(B)三種預鑄塊體及三種類類型植物產生之土壤溫度變化(夏)。

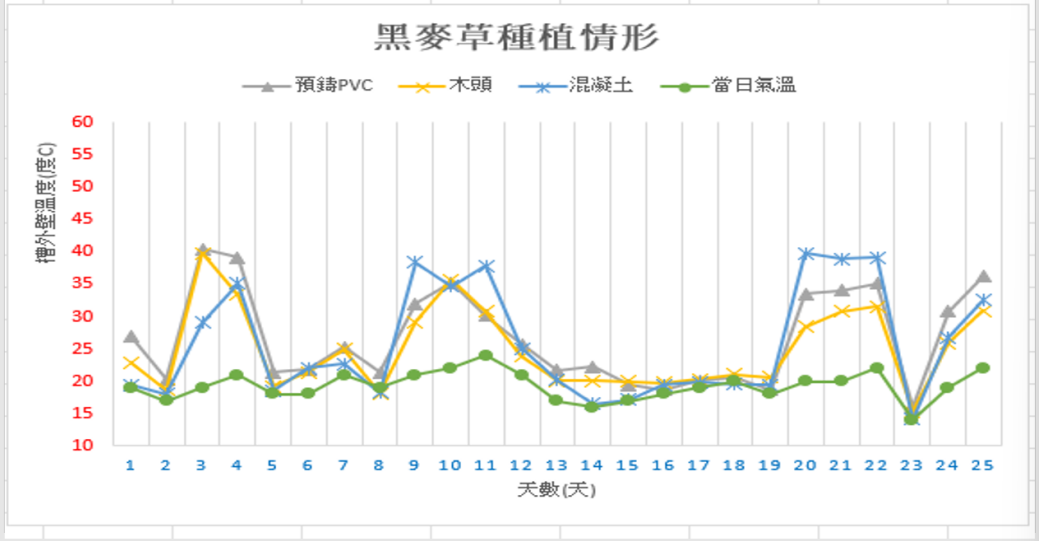




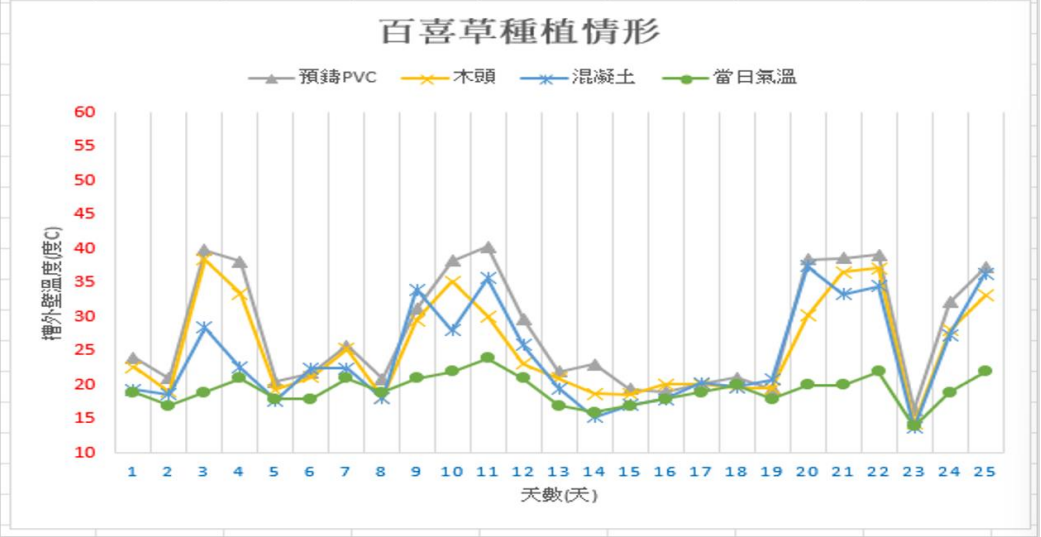


(C)三種預鑄塊體及三種類類型植物產生之向光面外側溫度變化(冬)。

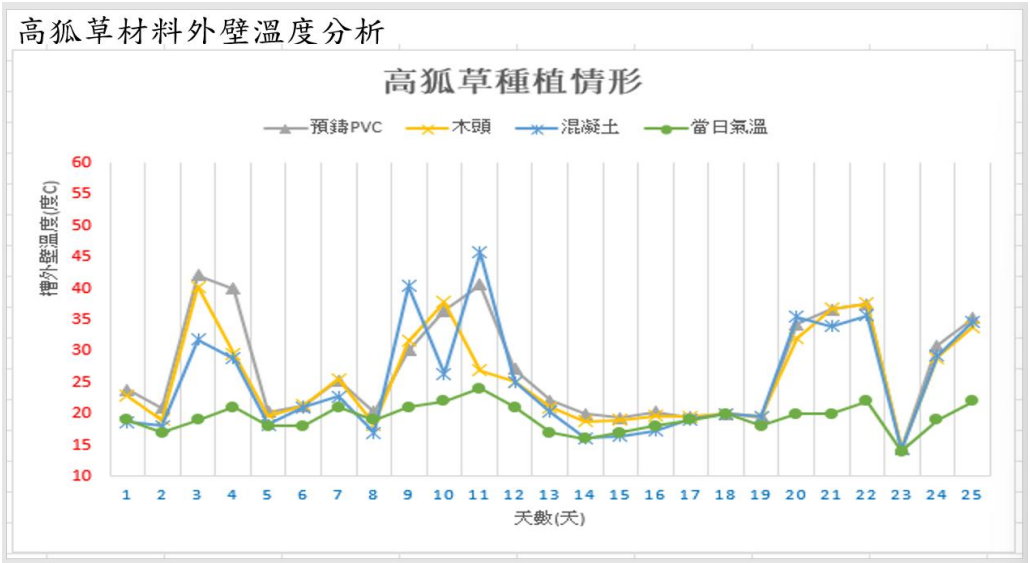
黑麥草材料外側溫度分析



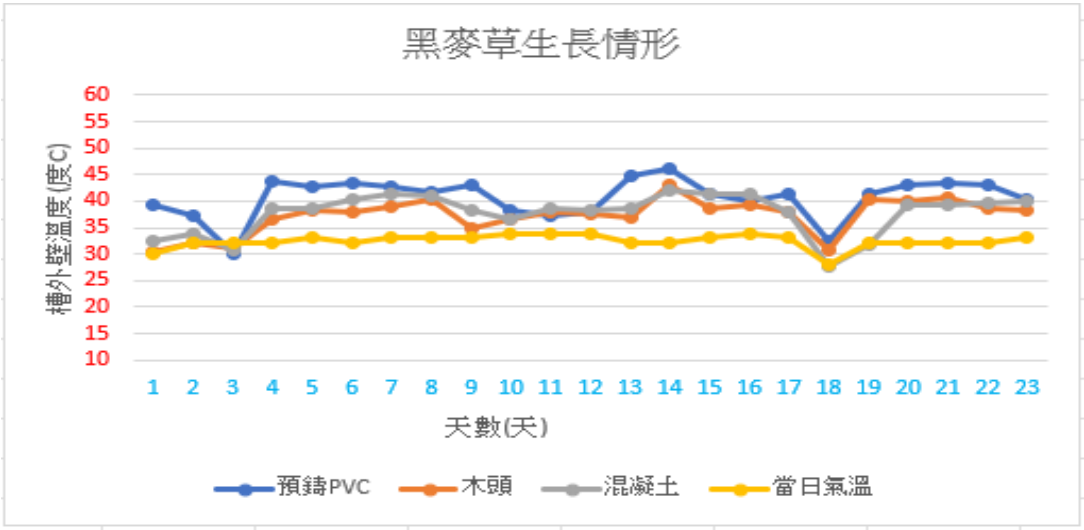
百喜草材料外壁溫度分析

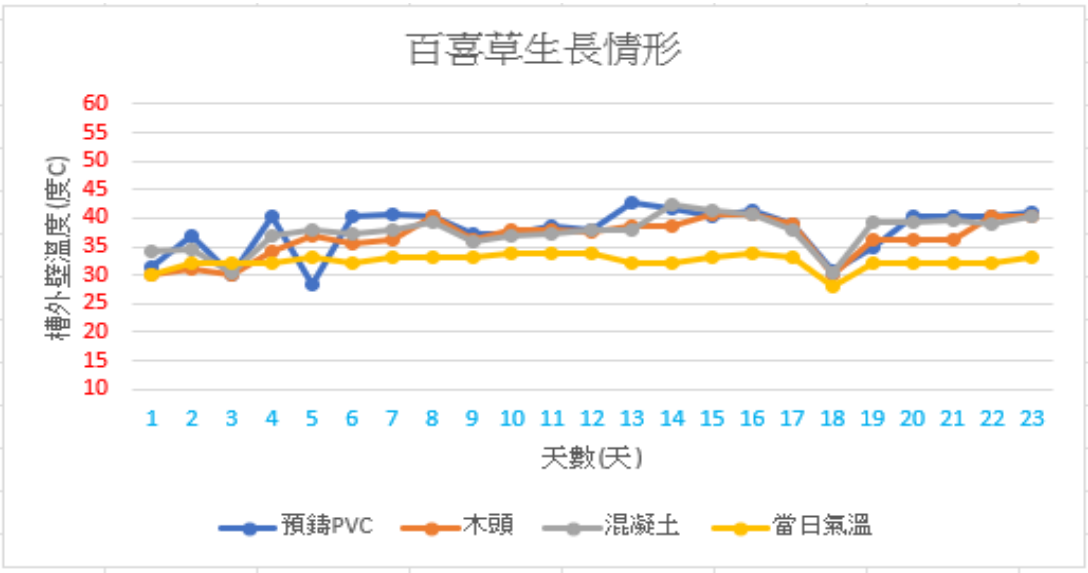


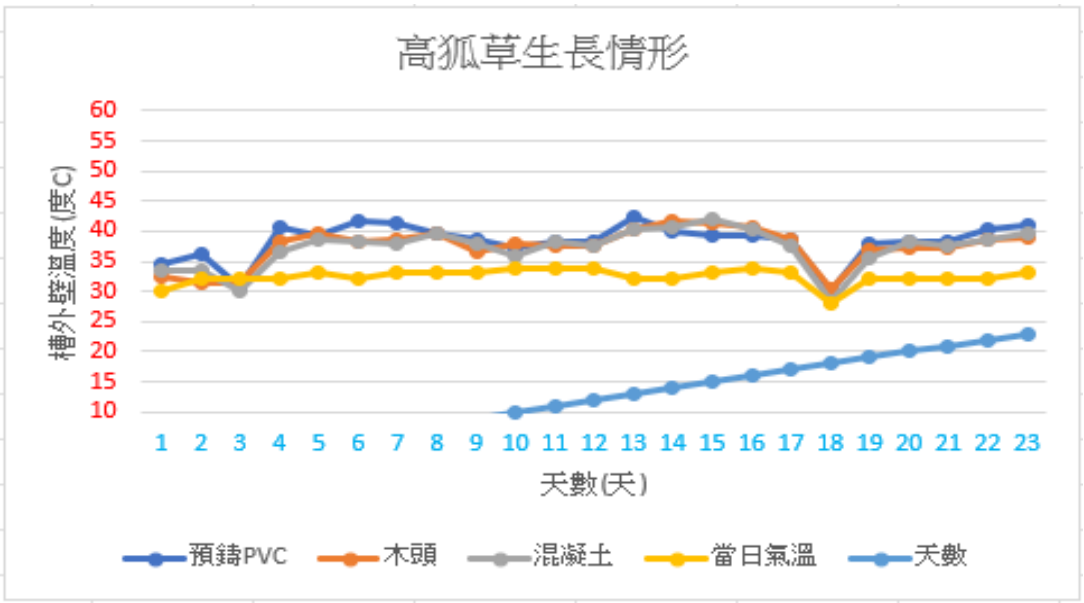
高狐草材料外壁溫度分析



(D)三種預鑄塊體及三種類類型植物產生之向光面外側溫度變化(夏)

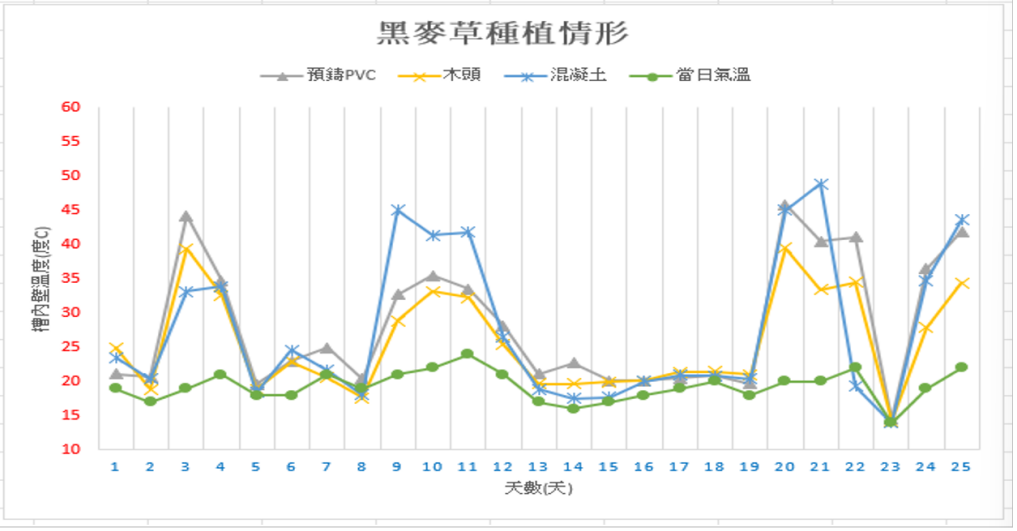




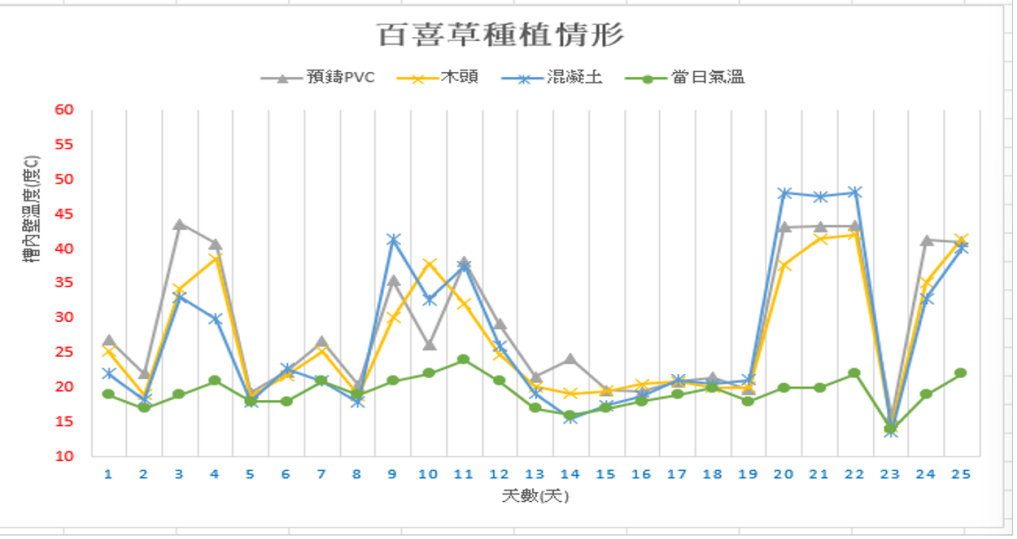


(E)三種預鑄塊體及三種類類型植物產生之試驗槽體背光面溫度變化(冬)。

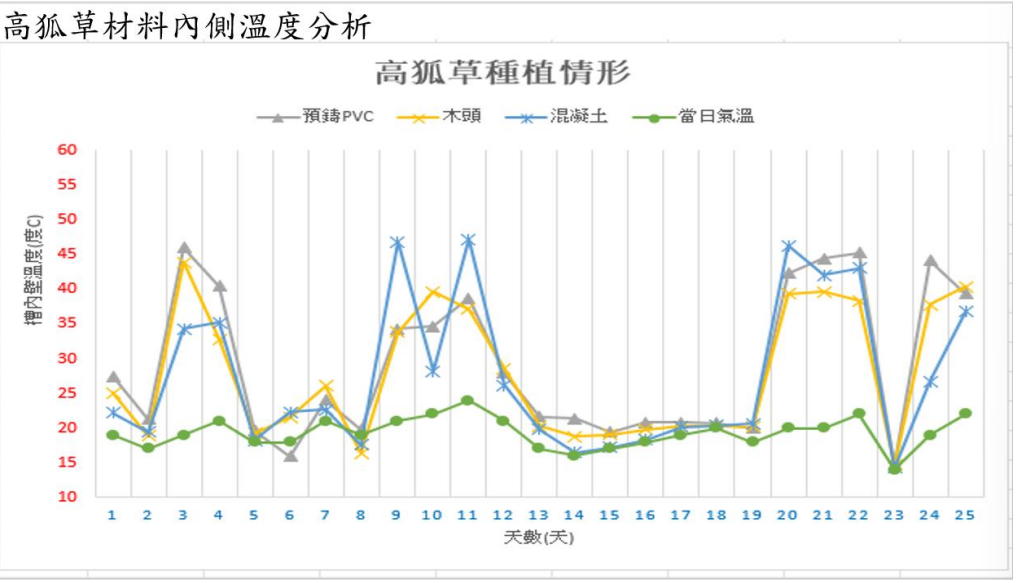
黑麥草材料內側溫度分析



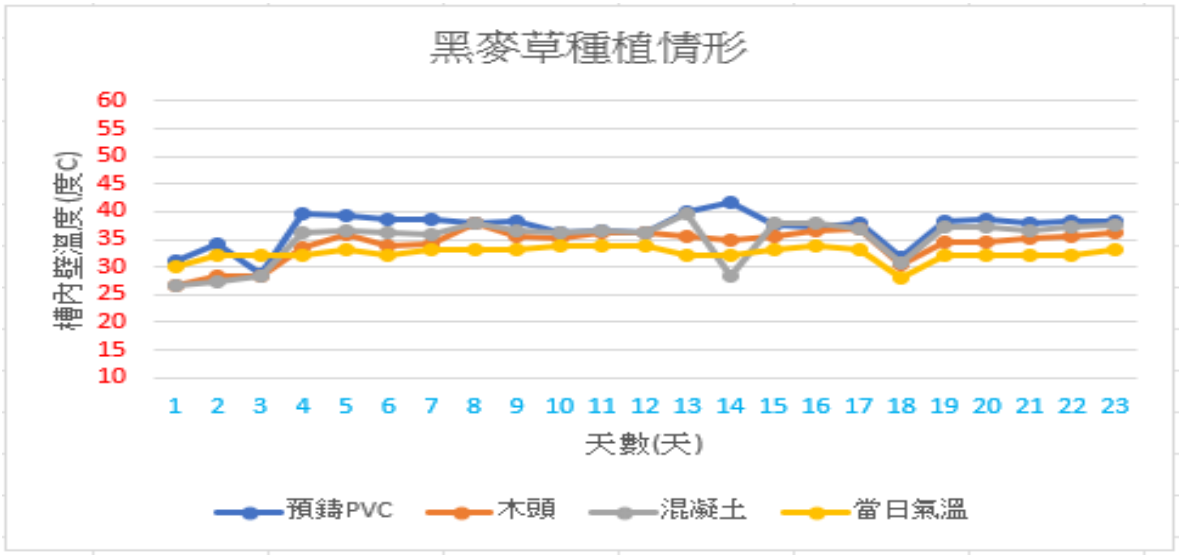
百喜草材料內側溫度分析

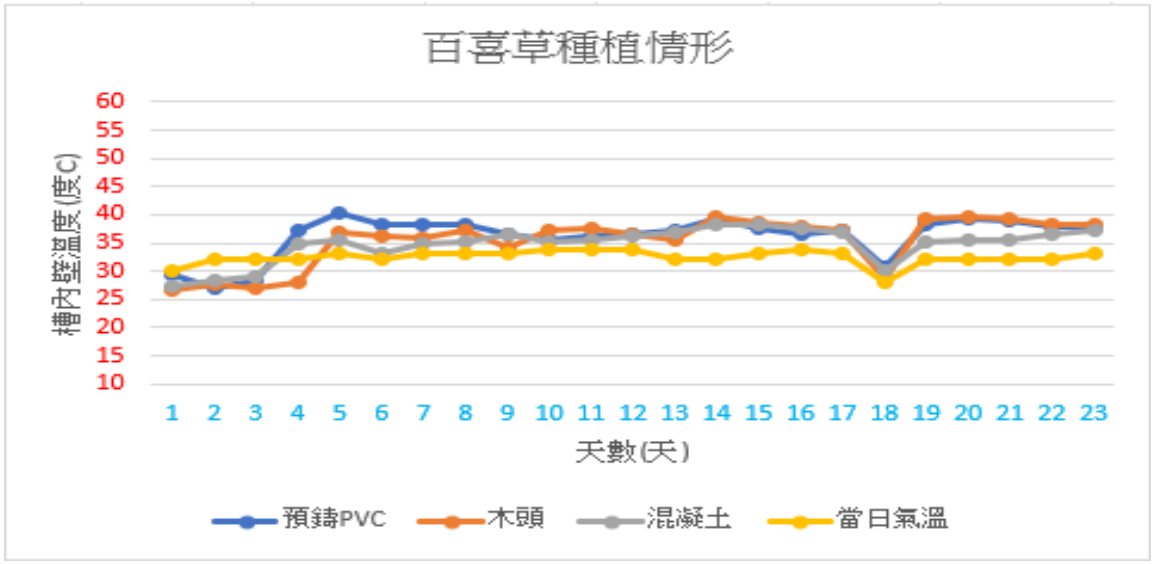


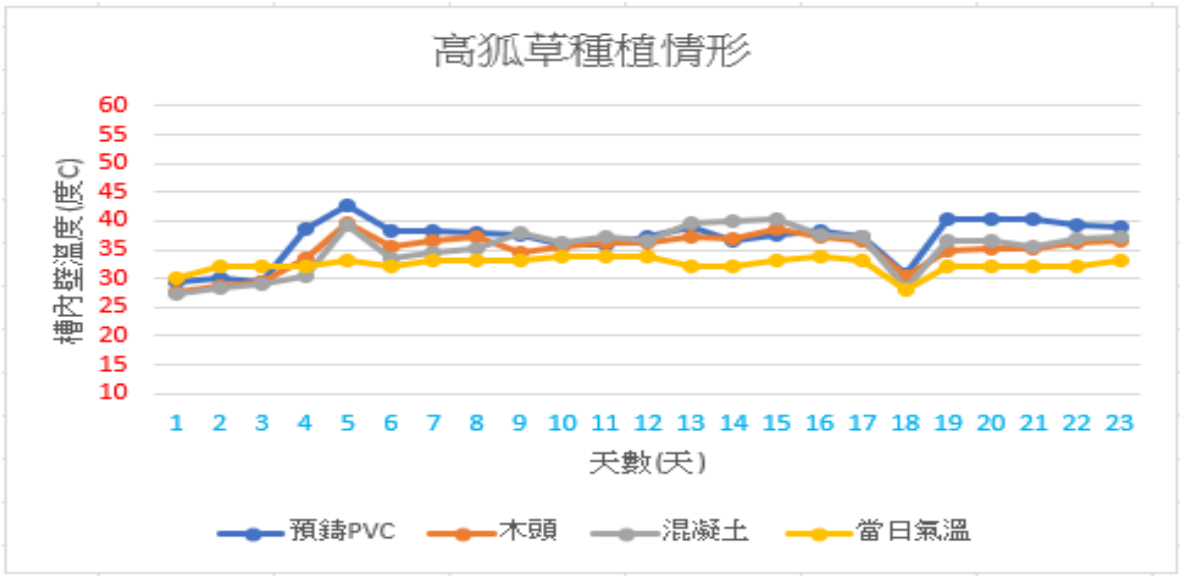
高狐草材料內側溫度分析



(F) 三種預鑄塊體及三種類類型植物產生之試驗槽體背光面溫度變化(夏)

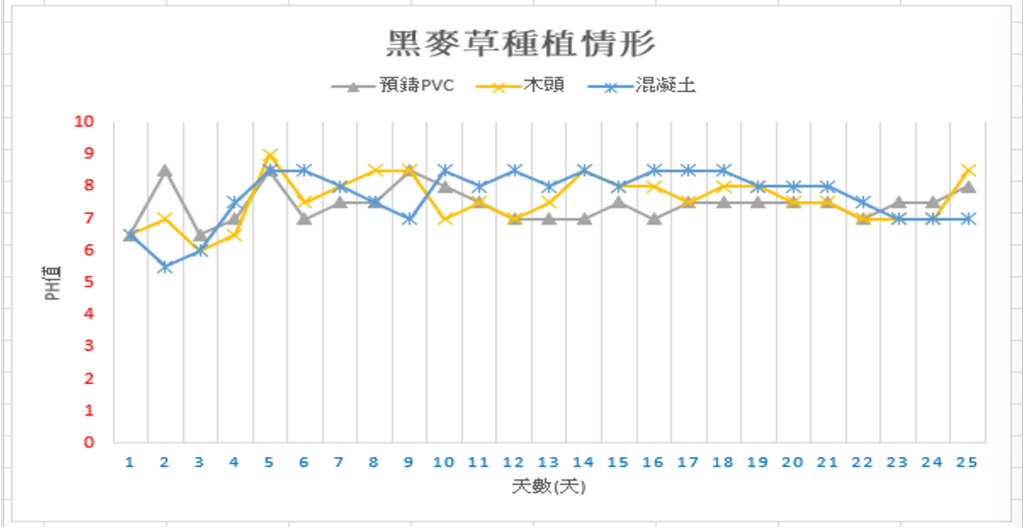




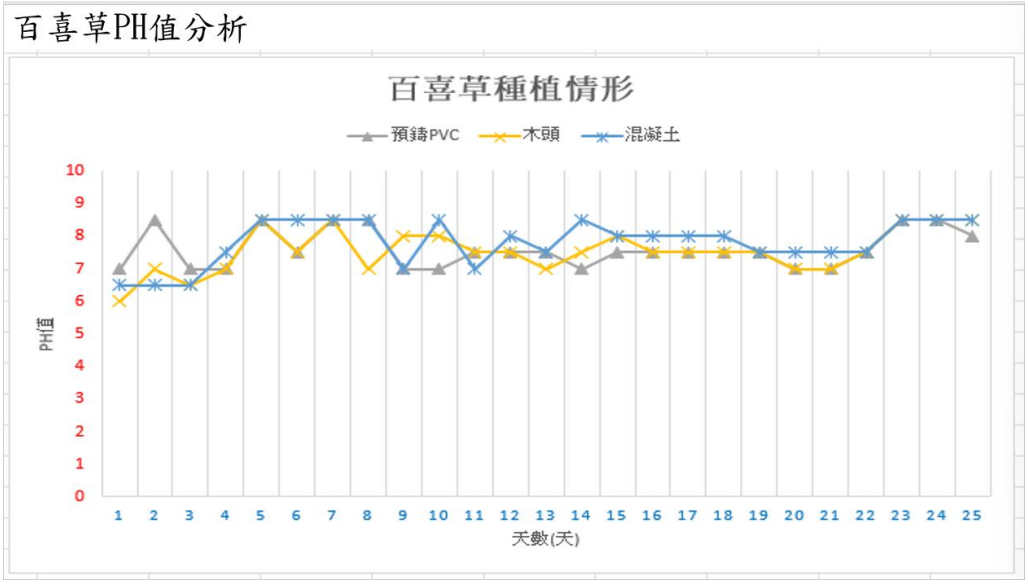


(G)三種預鑄塊體及三種類類型植物產生之植物土壤酸鹼度變化(冬)。

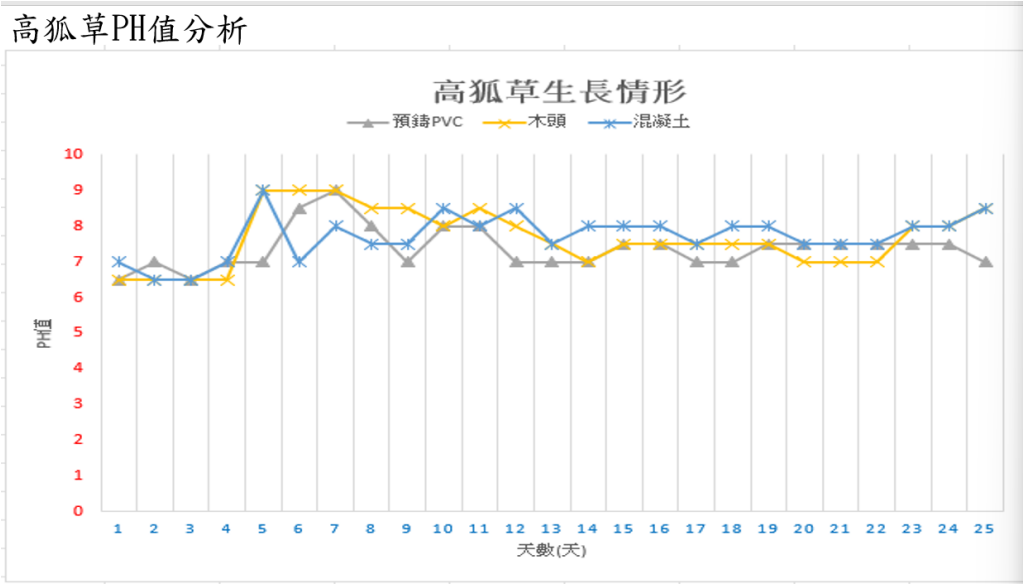
黑麥草PH值分析



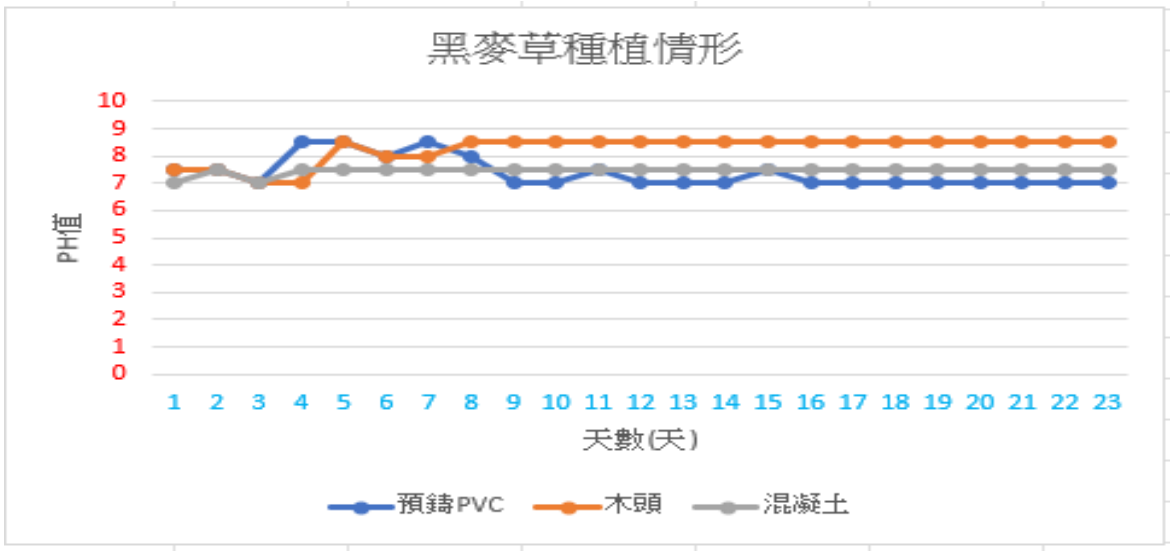
百喜草PH值分析

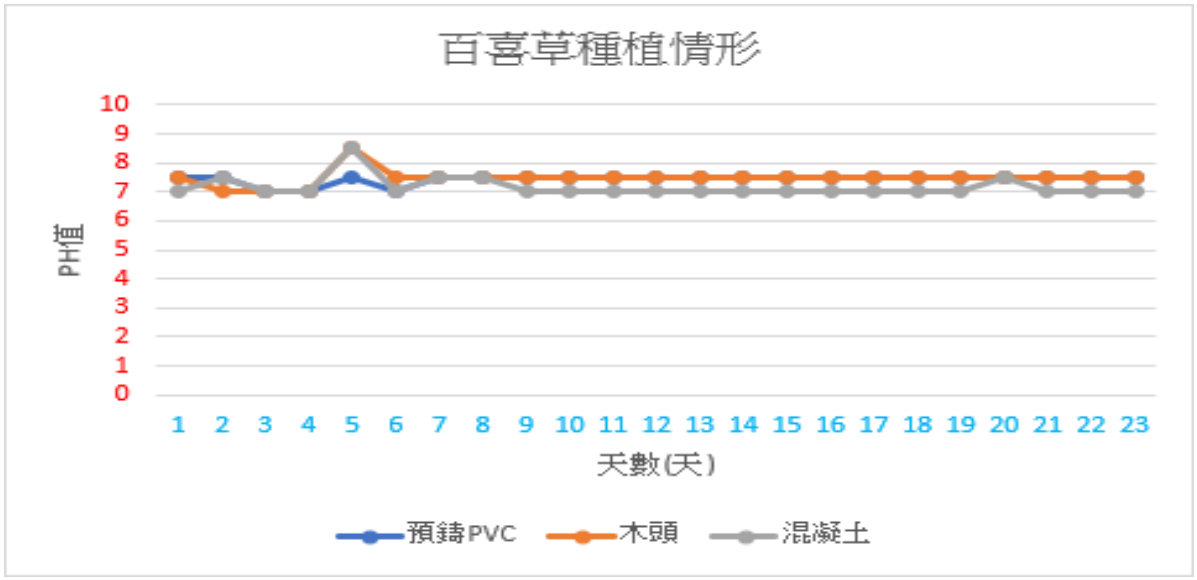


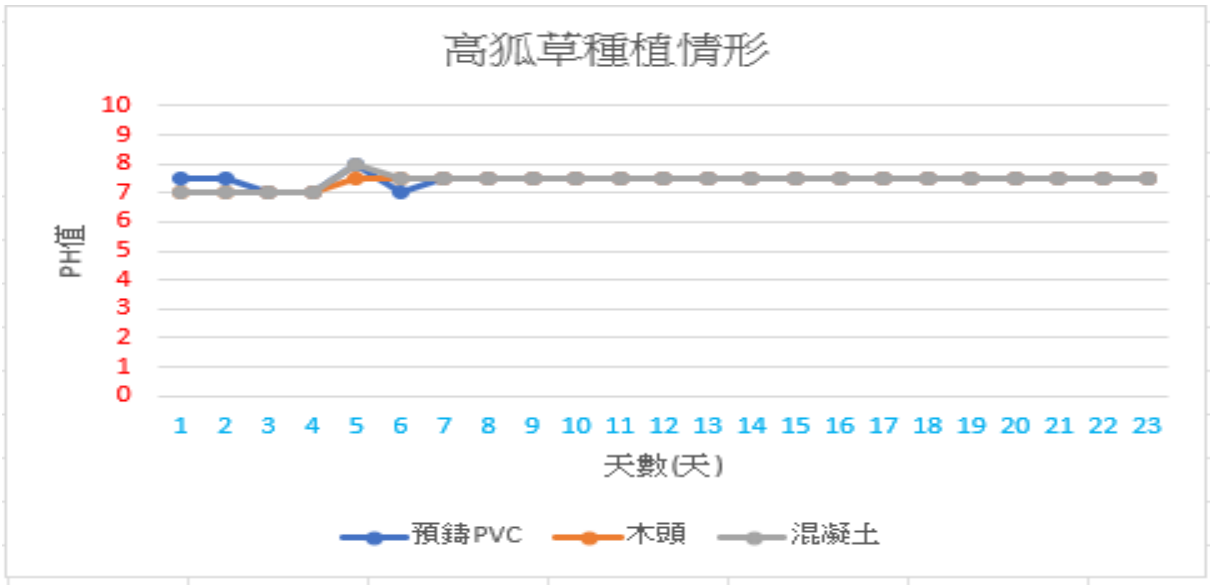
高狐草PH值分析



(H)三種預鑄塊體及三種類類型植物產生之植物土壤酸鹼度變化(夏)

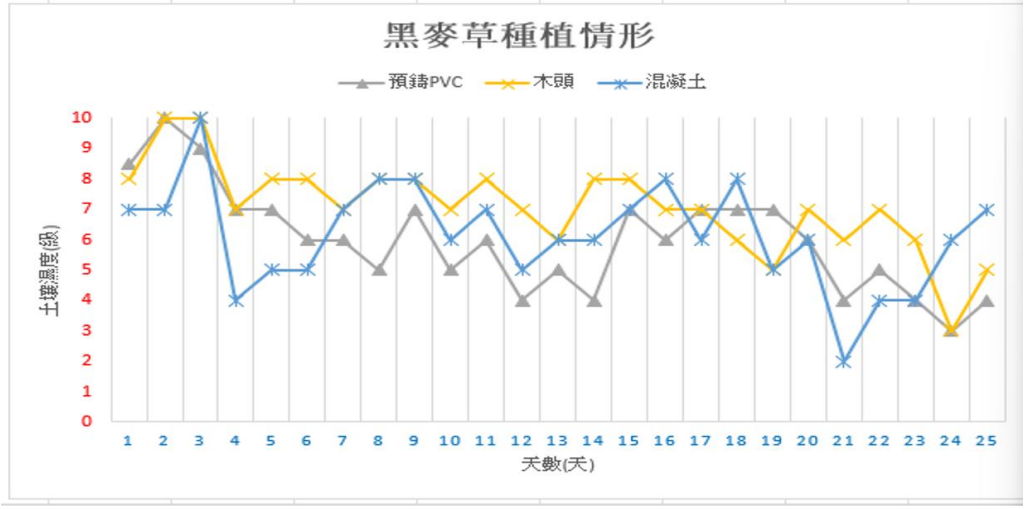




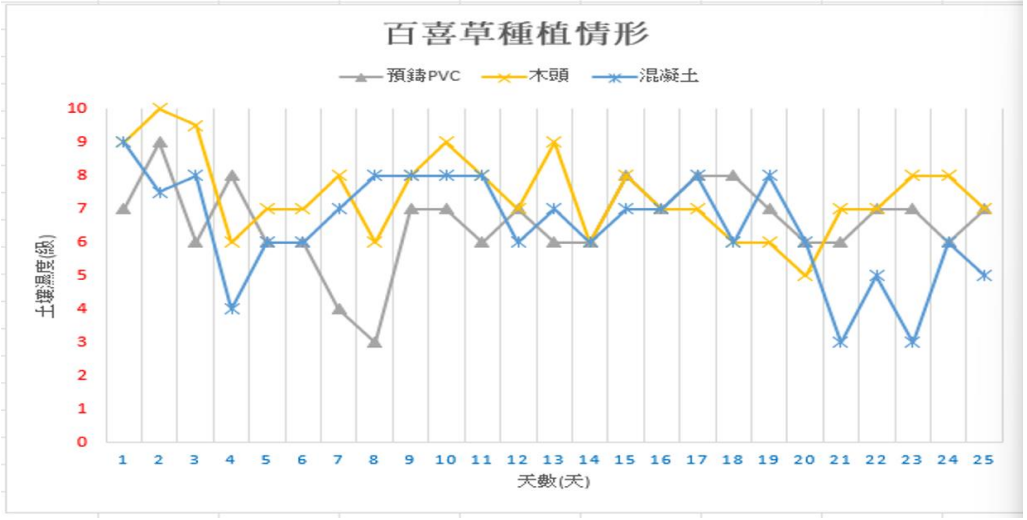


(I) 三種預鑄塊體及三種類類型植物產生之植物土壤溼度變化(冬)。

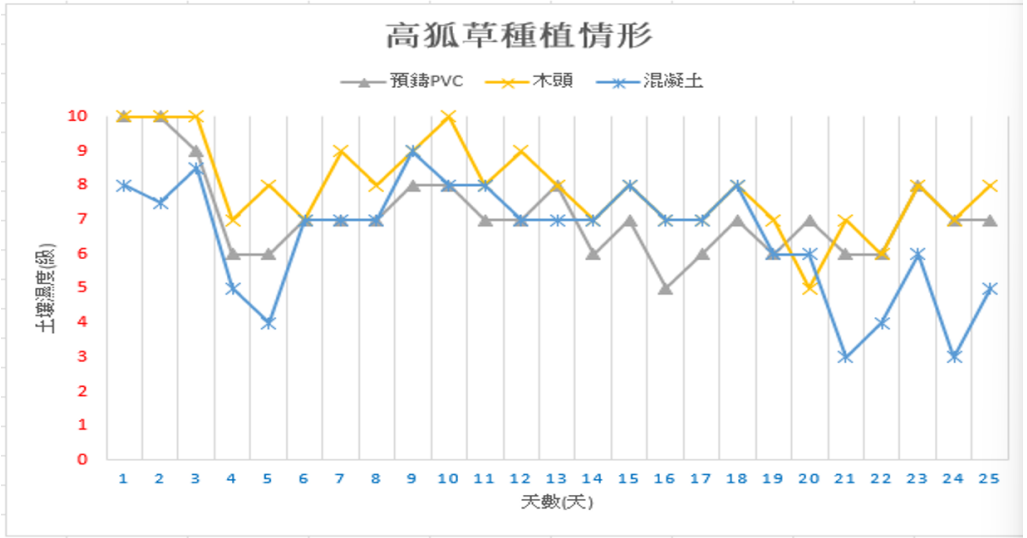
黑麥草土壤溼度分析



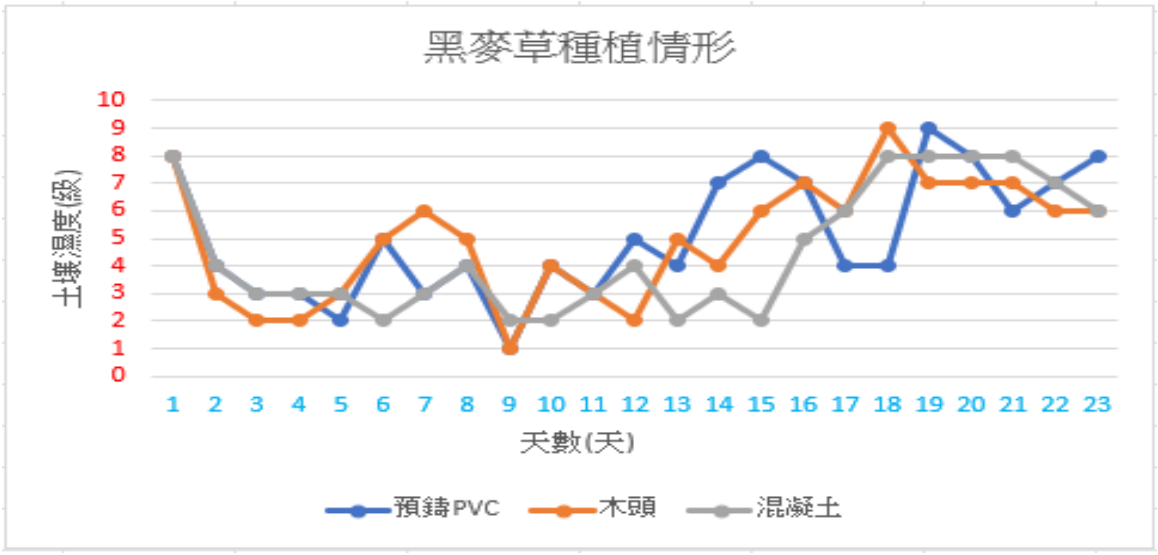
百喜草土壤溼度分析

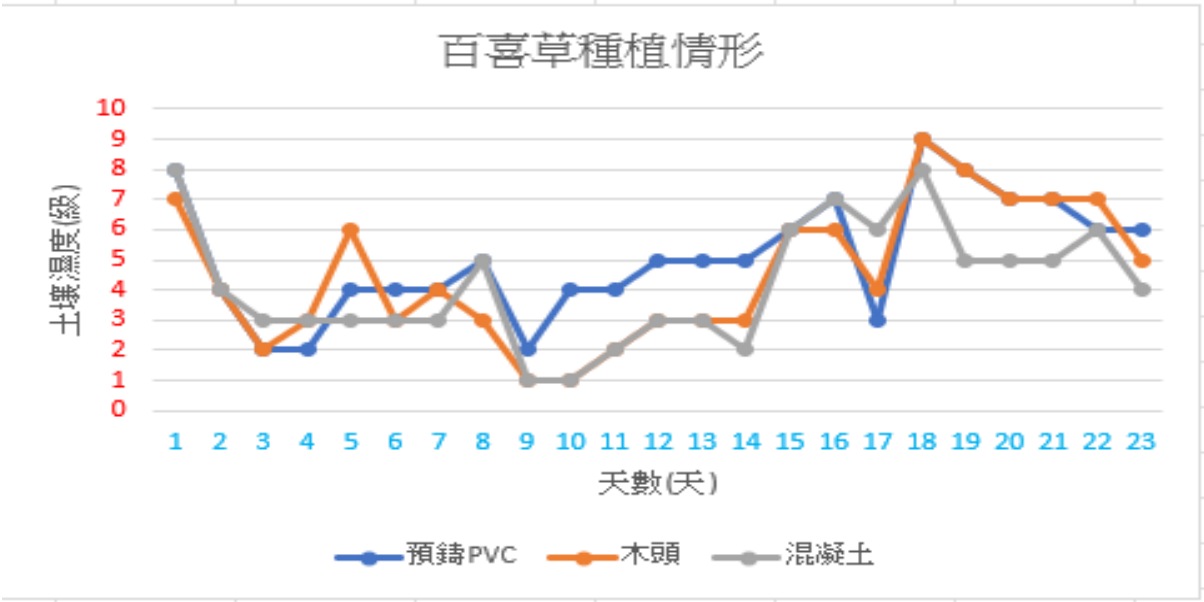


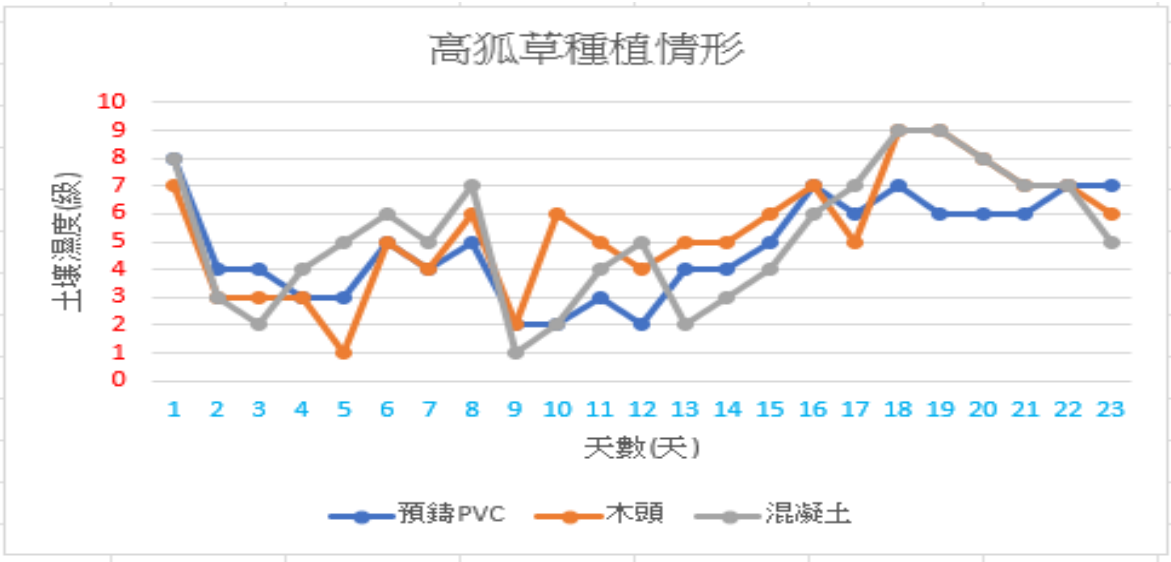
高狐草土壤溼度分析



(J) 三種預鑄塊體及三種類類型植物產生之植物土壤溼度變化(夏)

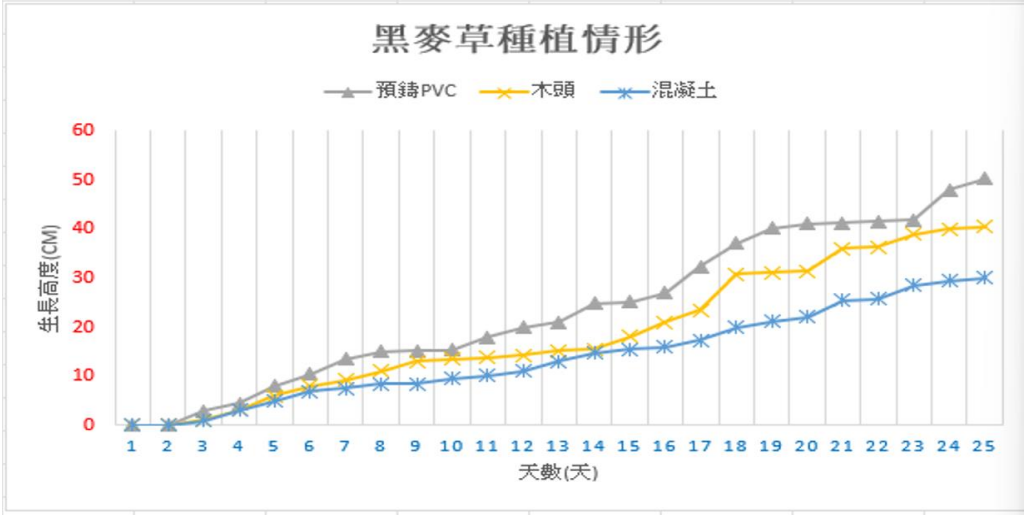




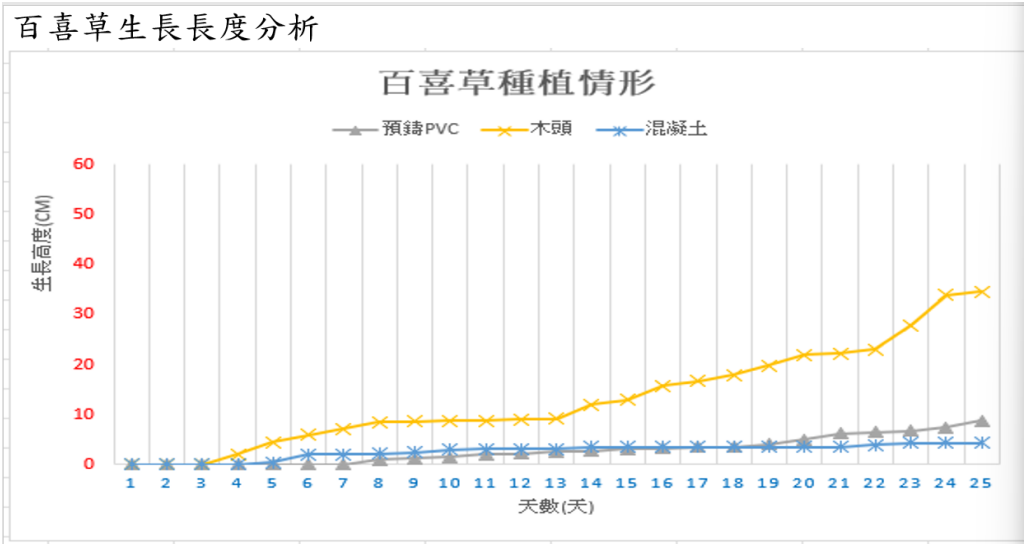


(K)三種預鑄塊體及三種類類型植物產生之植物生長高度變化(冬)。

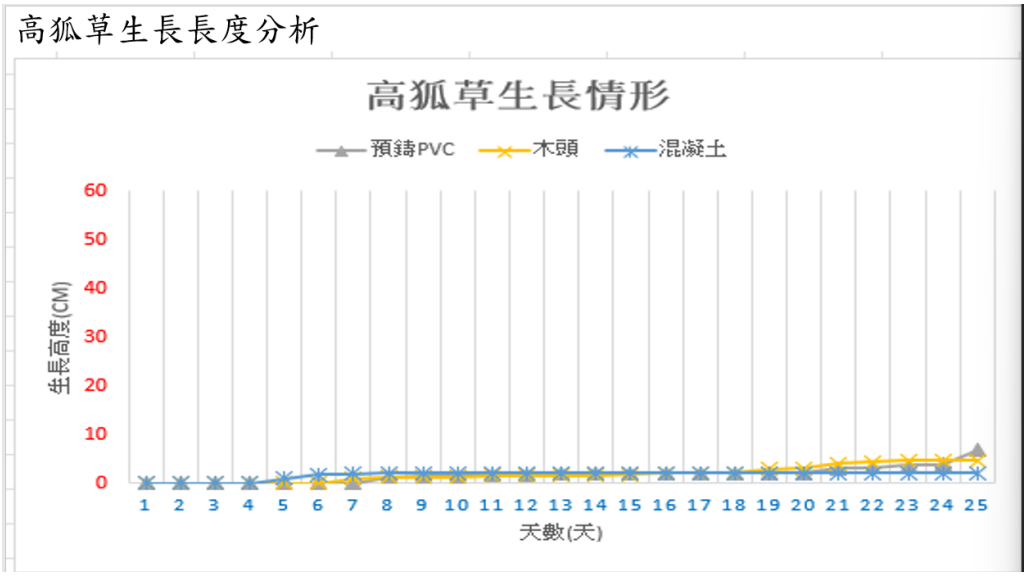
黑麥草生長長度分析



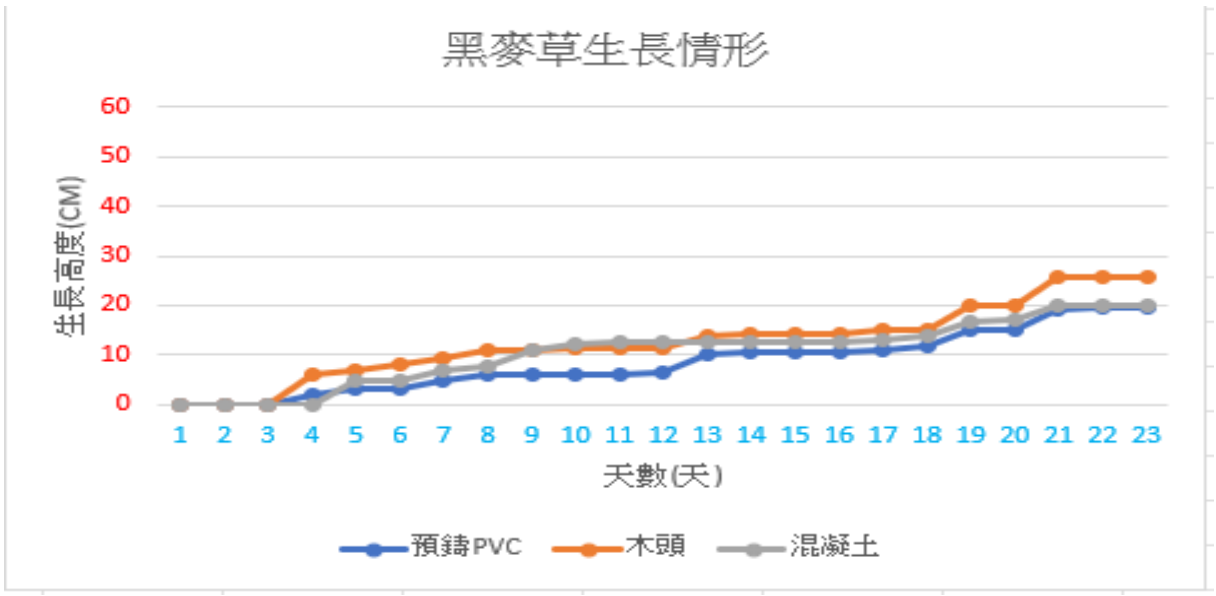
百喜草生長長度分析

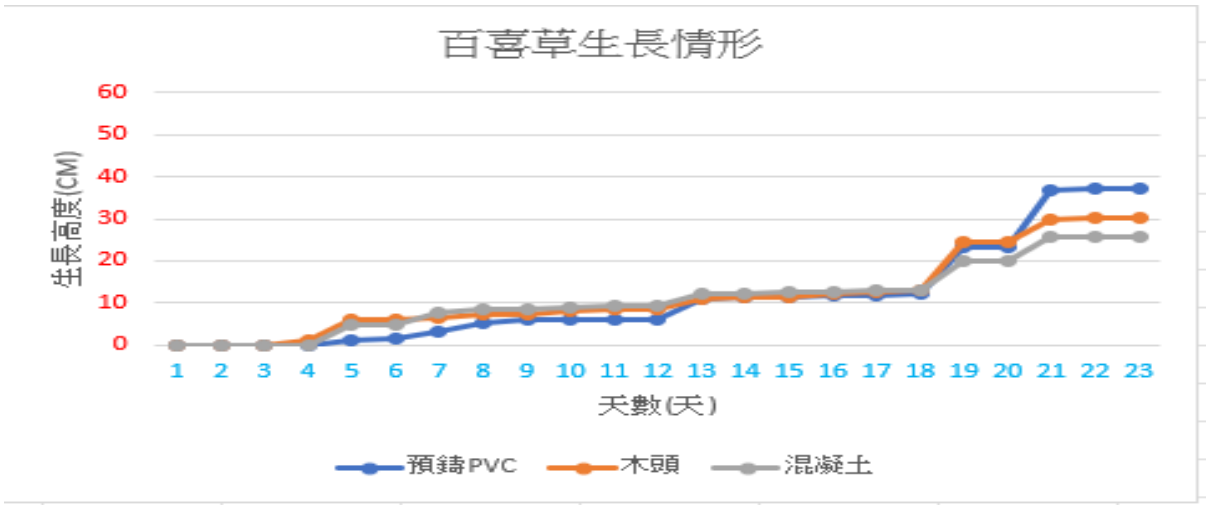


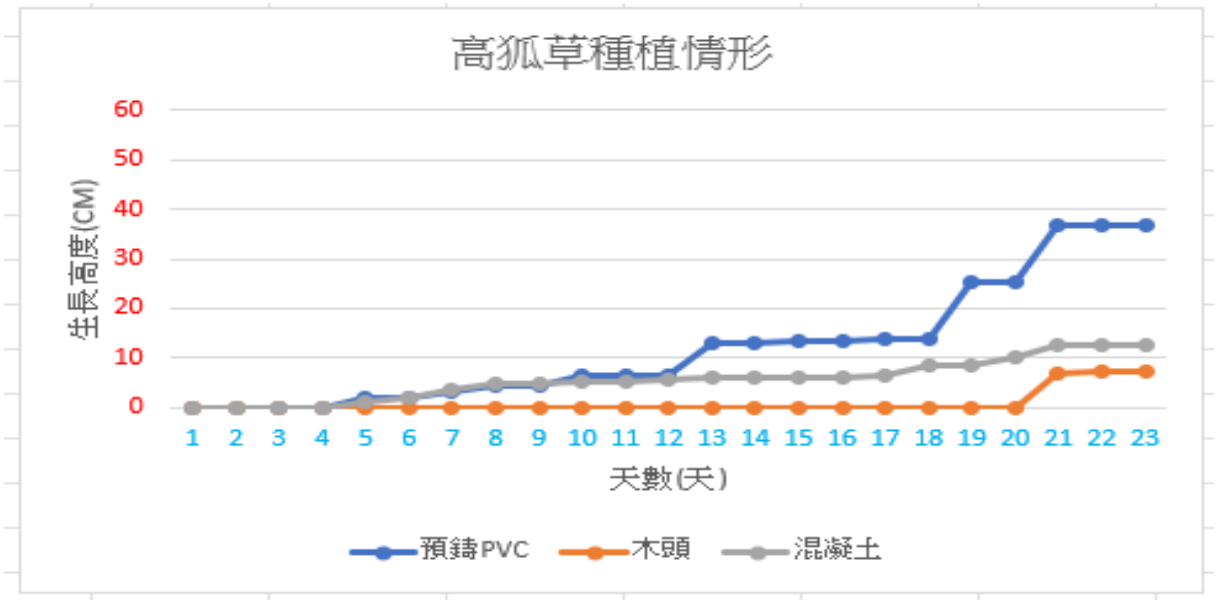
高狐草生長長度分析



(L)三種預鑄塊體及三種類類型植物產生之植物生長高度變化(夏)

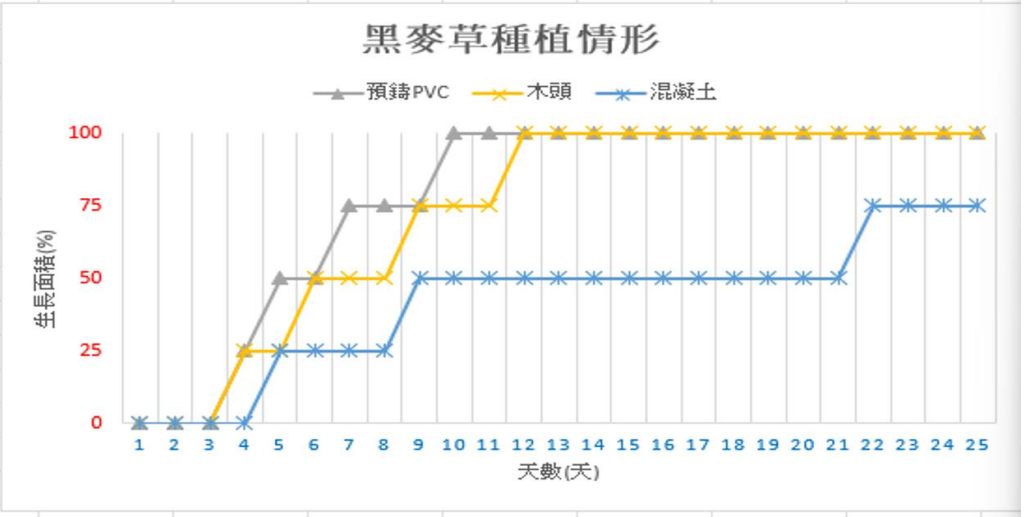




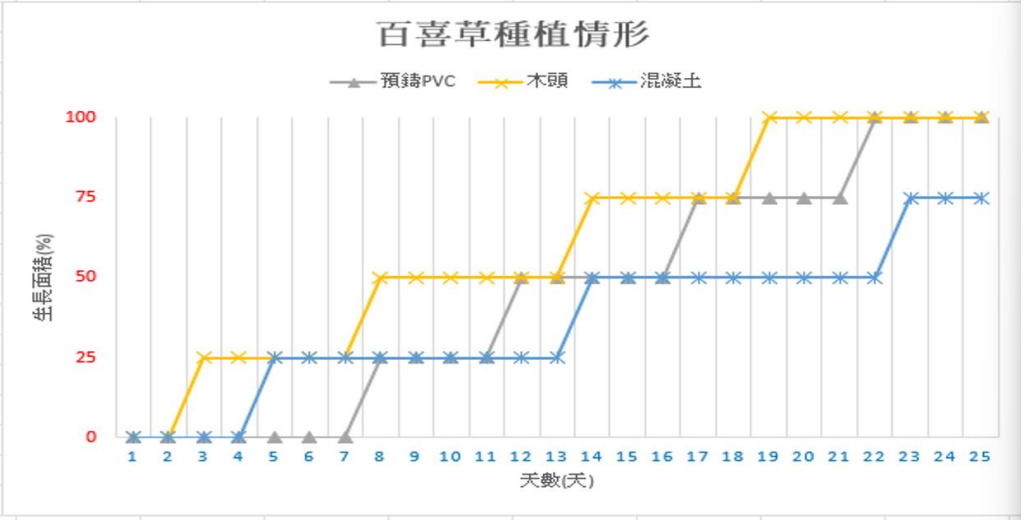


(M) 三種預鑄塊體及三種類類型植物產生之植物生長面積變化(冬)。

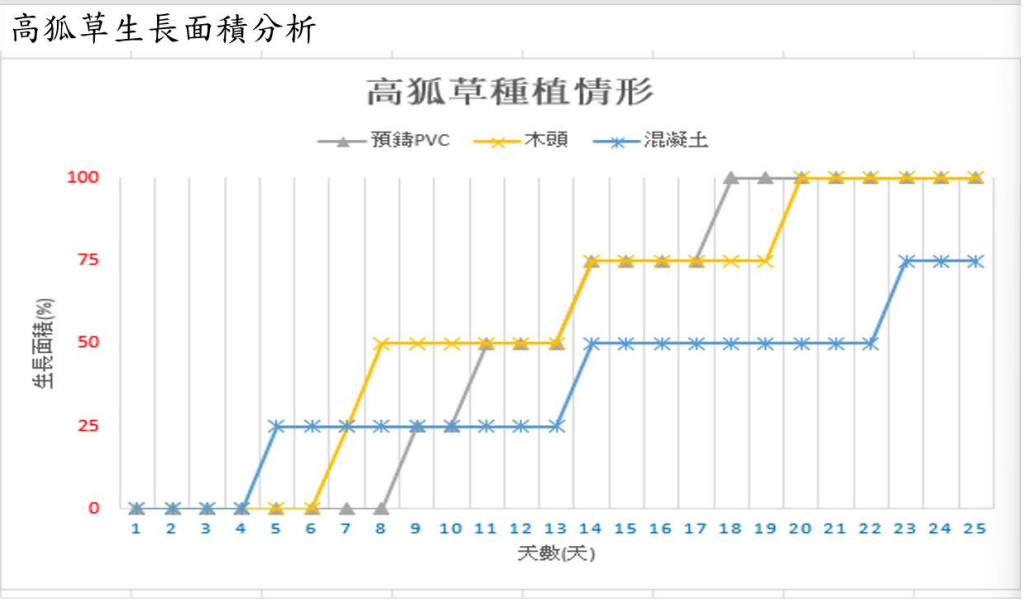
黑麥草生長面積分析



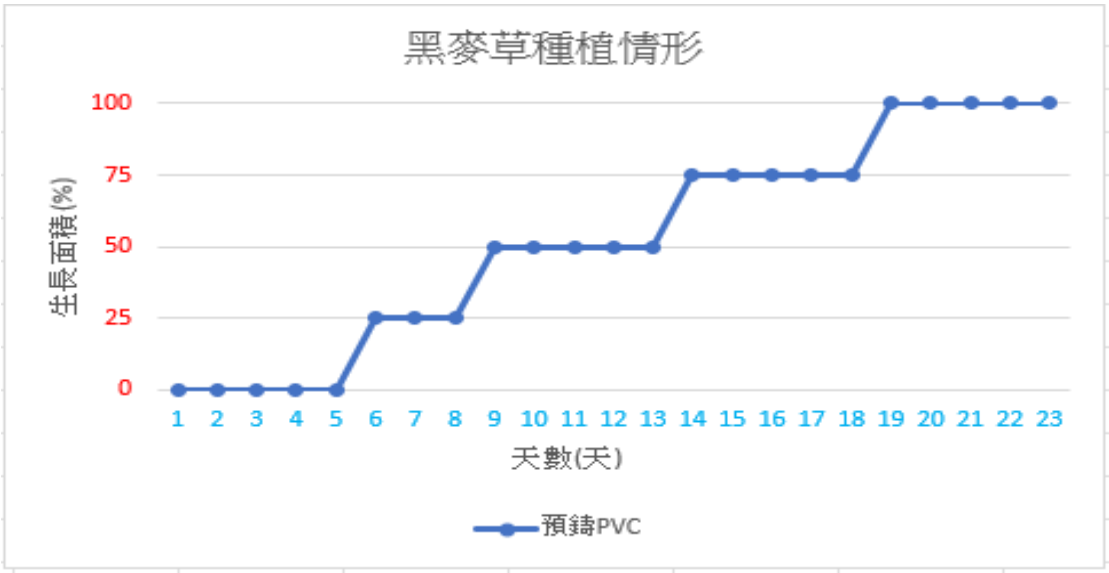
百喜草生長面積分析

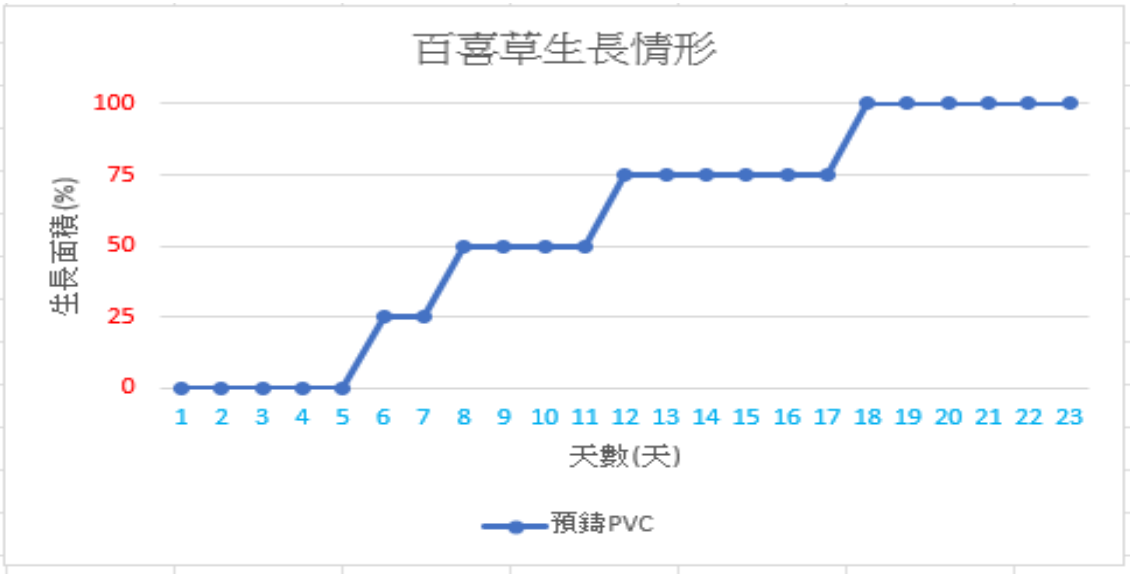


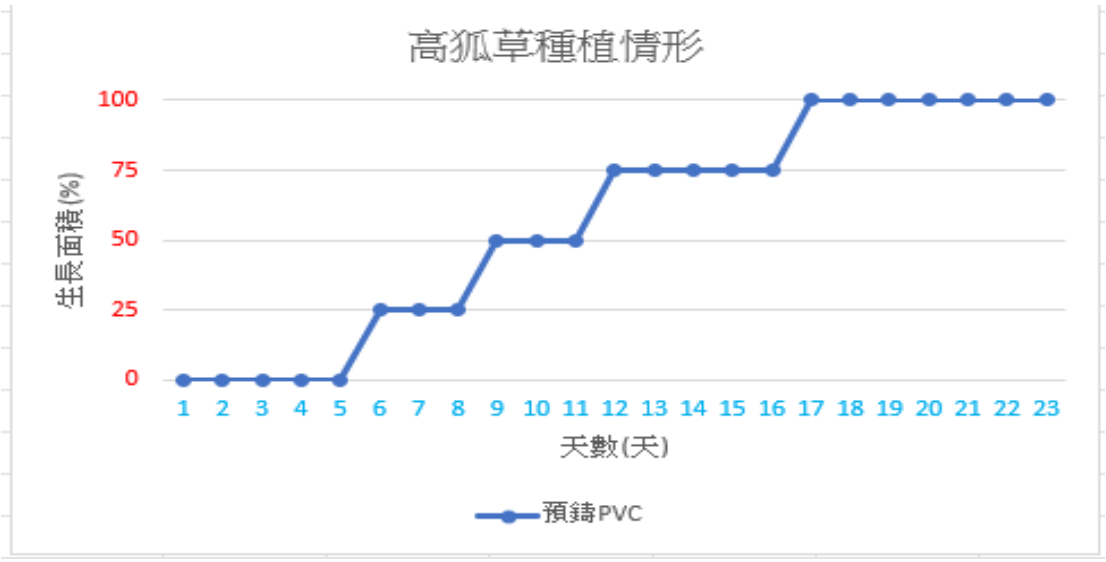
高狐草生長面積分析



(N)三種預鑄塊體及三種類類型植物產生之植物生長面積變化(夏)


黑麥草種植情形
生長面積(%)
100
75
50
25
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23
天數(天)
預鑄PVC


百喜草生長情形
生長面積(%)
100
75
50
25
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23
天數(天)
預鑄PVC


高狐草種植情形
生長面積(%)
100
75
50
25
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23
天數(天)
預鑄PVC

第五章　現地調查

本計畫現地調查主要針對設置有預鑄塊石之工程，就預鑄塊損壞情形、預鑄槽內植生生長狀況與回填土狀況以及預鑄塊融入周邊環境情形進行調查與分析。

一、調查位置

本計畫初步擬選定水保局臺中分局110年度苗栗獅潭鄉「大東勢溪橫濱二橋上下游也溪整治工程」、水保局臺中分局110年度苗栗三灣鄉「三灣銅坪橋上下游野溪治理工程」、水保局臺中分局110年度苗栗苑裡鎮「蕉埔里4鄰乾坑野溪整治二期工程」、水保局臺中分局109年度台中東勢區「茄苳寮溪六期整治工程」及水保局臺南分局109年度屏東恆春鎮「出火橋下游野溪整治二期工程」做為調查對象，但是可依現場做位置之調整。

	
大東勢溪橫濱二橋上下游也溪整治工程	三灣銅坪橋上下游野溪治理工程



蕉埔里4鄰乾坑野溪整治二期工程



茄苳寮溪六期整治工程





出火橋下游野溪整治二期工程

二、調查項目

本計畫主要調查主要項目包含預鑄塊外觀及整體結構性、預鑄塊體植生及環境融入等，透過調查之項目瞭解預鑄混凝土塊植生狀況，並針對灑種的成果，土壤溫溼度、拉拔力等，進行中部與南部案立場後續分析。

<table>
<tr><td colspan="6">混凝土預鑄塊現地調查表

調查日期： 天氣： 調查人員：</td></tr>
<tr><td>工程名稱</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>縣市</td><td colspan="2"></td><td>鄉鎮</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>座標TWD97</td><td>X</td><td></td><td>Y</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>預鑄塊型式</td><td colspan="5">□平面鋪蓆型(蓆式預鑄護岸)
□分層疊砌型(疊式預鑄護岸)</td></tr>
<tr><td>預鑄塊損壞情形</td><td>□無損壞</td><td colspan="4">損壞□傾倒 □破損 □預鑄塊槽覆土流失 □基礎淘空
□覆蓋 □其他_____
原因研判_____</td></tr>
<tr><td>預鑄塊植生情形</td><td colspan="5">□植生茂密 □植生稀疏 □無植生
原因研判_____</td></tr>
<tr><td>預鑄塊植生種類</td><td colspan="5">□草本類 □木本類</td></tr>
<tr><td>預鑄塊覆土基材</td><td colspan="5">□礫石+土 □土 □礫石 □土包袋 □其他_____
□土讓濕潤 □土壤乾</td></tr>
<tr><td>周邊環境</td><td colspan="5">□裸露 □植生茂密，覆蓋 □溪流有常流水
□其他_____</td></tr>
<tr><td>現況維護做為</td><td colspan="5">□無 □設置自動灑水器 □人力澆灌</td></tr>
<tr><td rowspan="3">預鑄塊體表面溫度</td><td colspan="2" rowspan="2">迎光面-</td><td rowspan="3">覆土溫度</td><td colspan="2">表土溫度-</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">距表土10公分溫度-</td></tr>
<tr><td colspan="2">背光面-</td><td colspan="2">距表土20公分溫度-</td></tr>
<tr><td>預鑄塊體土體含水量</td><td colspan="5">距表土20公分處</td></tr>
<tr><td>現況照片</td><td colspan="5">說明</td></tr>
<tr><td>工程
設計圖</td><td colspan="5"></td></tr>
</table>

三、分析

透過現地調查結果，主要分析項目如下：

A. 預鑄塊體應用於野溪工程之弱面，經由預鑄塊損情形進行分析，進一步檢討原因，並提出改善建議。

B. 預鑄塊體植生狀況，針對原規劃種植之種類適宜性、覆土土壤成分組成、土壤含水情形。

C. 考量施作之工程需與當地環境融合，且能營造出當地生態環境，不再是過去傳統混凝土裸露。

檢討工程完工後，預鑄塊體及周邊植生養護情形。

四、成果說明

1. 三灣銅坪橋上下游野溪治理工程已完工將近一年時間，現場植生被拘限在曹框內，但算良好，除了土壤酸鹼偏向鹼性 9.0 外，調查時間屬於早上，僅有 28-30 度，因河水充沛，土壤濕度亦有 7(70%)，整體植生拉拔力高，可達 4.8kg。

2. 大東勢溪橫濱二橋上下游野溪整治工程已完工將近一年時間，現場植生稀疏，除了土壤酸鹼偏向酸性 6.5 外，調查時間屬於早上偏中午，僅有 30-32 度，塊體曝曬，可達 38 度，無水流通過，土壤濕度僅有 3(30%)植生不良，整體植生拉拔力中等，水平可達 2.3kg。

3. 蕉埔里 4 鄰乾坑野溪整治二期工程已完工將不到一年時間，現場預鑄塊體植生稀疏，除了土壤酸鹼偏向中性 7.0 外，調查時間屬於中午，僅有 29-30 度，塊體直接曝曬，無水流通過，土壤濕度僅有 2(20%)植生不良，整體植生拉拔力低，水平可達 1.2kg。

4. 茄苳寮溪整治六期工程已完工將不到一年時間，現場預鑄塊體植生稀疏，除了土壤酸鹼偏向中性 7.0 外，調查時間屬於下午，僅

有 29-30 度，塊體直接曝曬，無水流通過，土壤濕度僅有 2(20%)另一處樹蔭處有達 4(40%)植生不良，整體植生拉拔力低，水平可達 1.2-2.8kg。

5. 出火橋下游野溪整治二期工程已完工將不到一年時間，現場預鑄塊體植生稀疏，頂部有野生草種，除了土壤酸鹼偏向中性 7.0 外，另外兩處受覆土影響，偏酸性 6.0-6.5。調查時間屬於上午，但是南部日照多，快體溫度有 50.3 度，塊體直接曝曬，無水流通過，土壤濕度僅有 3(30%)另一處樹蔭處有達 7(70%)植生不多，整體植生拉拔力低，水平可達 1.9-2.9kg，但是垂直盛高可達 6KG。

整體而言，多數的預鑄塊體受到陽光曝曬，溫度高，植生稀疏，有長流水的或有樹蔭處，土壤濕度才會提升，但多數植生能力低，僅有爬藤類。

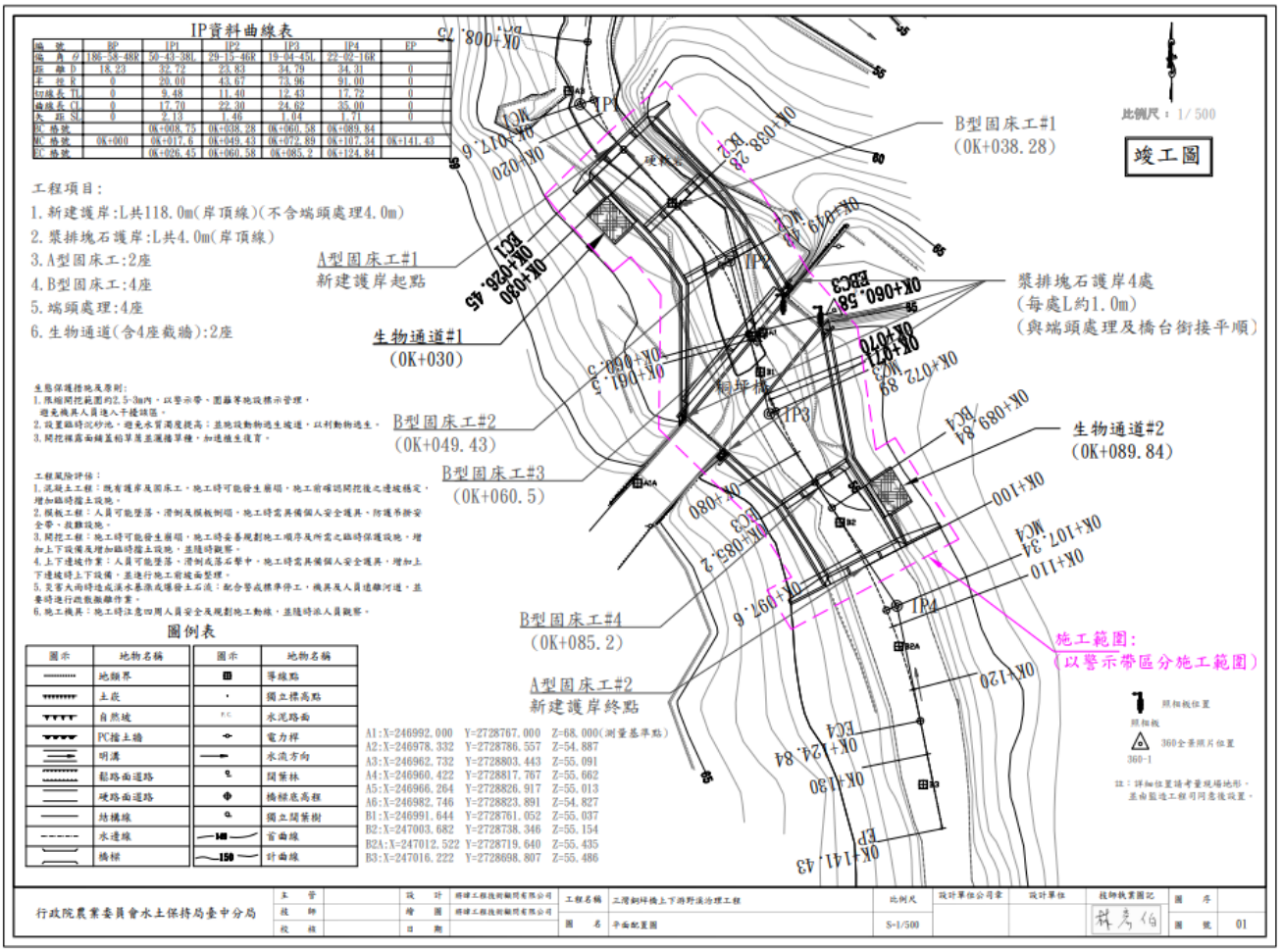
植生工程現地調查表

日期: 2022/06/16　天氣: 晴天

(一) 工程基本資料

工程編號	110-ADE-39-2-009	地點	苗栗 市 三灣 鄉
工程名稱	三灣銅坪橋上下游野溪治理工程		代表座標 TWD97
計畫名稱	整治性治山防災計畫		X：246991；Y：2728778
工程經費	5,000 千元		
工程內容	固床工 6 座，護岸 118 公尺，端頭處理 4 座，生物通道 2 座		

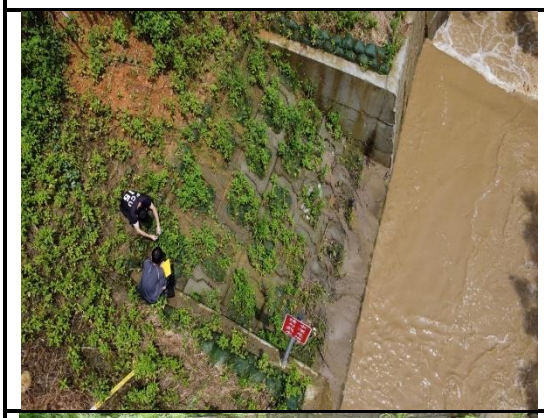
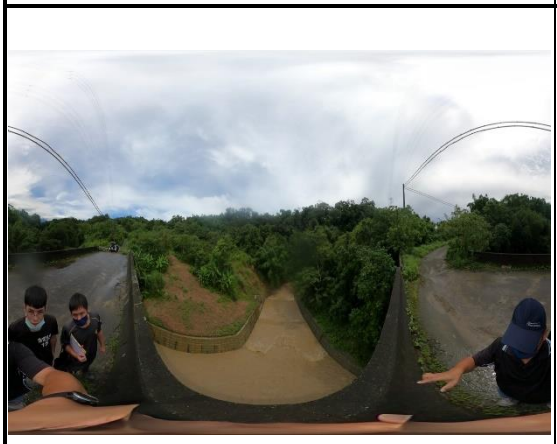
(二) 設計圖說



(三) 植生調查

序號	植物種類	生長高度(cm) (Max/Min)	日照	濕度	PH 值	溫度(℃)			水平最大拉力 (kg)	垂直最大拉力 (kg)
						土壤表層	土壤內	塊溫		
1	鬼針草	79.8/36.2	500	7	9.0	28	28	30	4.8	3.9

(四) 現場照片與說明

	說明： 預鑄塊護岸植被覆蓋良好 拍攝日期： 111/06/16		說明： 預鑄塊護岸圖 拍攝日期： 111/06/16
	說明： 拉伸試驗圖 拍攝日期： 111/06/16		說明： 使用 360 度照相機拍攝現場照片 拍攝日期： 111/06/16
	說明： 360 度照相機現場照片 拍攝日期： 111/06/16		說明： 360 度照相機現場照片 拍攝日期： 111/06/16
	說明： 360 度照相機現場照片 拍攝日期： 111/06/16		說明： 現場試驗照片 現場試驗儀器照片(日照) 拍攝日期： 111/06/16

勘查單位/人員：林秉賢 / 邱玟詠 / 王維廷

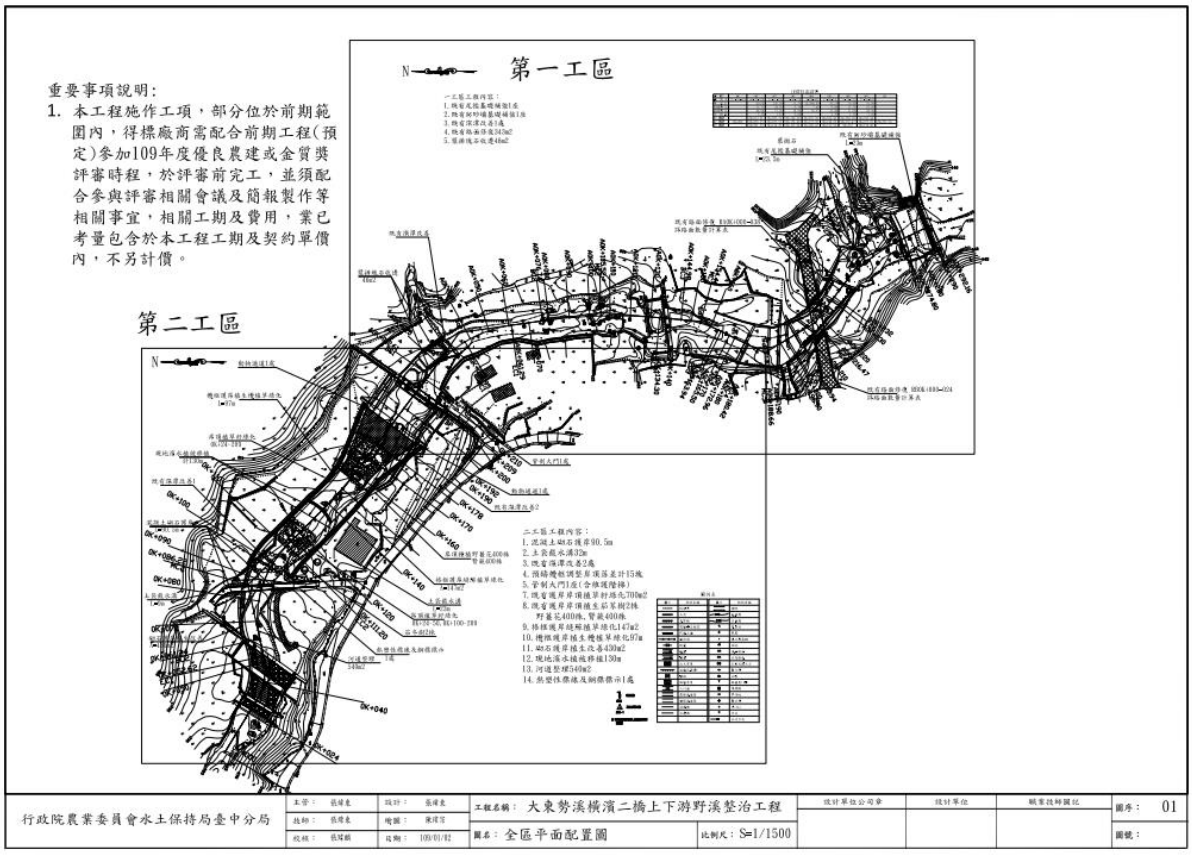
植生工程現地調查表

日期: 2022/06/16 天氣: 晴天

(一) 工程基本資料

工程編號	109-ADE-04-2-023	地點	苗栗 市 獅潭 鄉
工程名稱	大東勢溪橫濱二橋上下游野溪整治工程		代表座標 TWD97
計畫名稱	整體性治山防災計劃		X：243952；Y：2712771
工程經費	16,000 千元		
工程內容	防砂壩 1 座，護岸 90.5 公尺，排水溝 32 公尺，跌水 3 座，植生面積 1474 平方公尺，喬木兩株，灌木 800 株，地被植物 147 平方公尺,既有尾檻基礎補強 1 座、防砂壩基礎補強 1 座、深潭改善 1、路面修復 343m2、漿排塊石收邊 46m2、預鑄槽框調整岸頂落差計 15 塊、管制大門 1 座(含維護階梯)、河道整理 540m2、熱塑性標線及鋼標標示 1 處		

(二) 設計圖說



(三) 植生調查

序號	植物種類	生長高度(cm) (Max/Min)	日照	濕度	PH 值	溫度(℃)			水平最大拉力 (kg)	垂直最大拉力 (kg)
						土壤表層	土壤內	塊溫		
1	狼尾草	37.8/21.4	900	3	6.5	38	32	29.5	2.3	4.6

(四) 現場照片與說明

	說明： 現場試驗照片(土壤內溫) 拍攝日期： 111/06/16		說明： 現場試驗儀器照片(濕度) 拍攝日期： 111/06/16
	說明： 預鑄塊生長情形 拍攝日期： 111/06/16		說明： 現場試驗照片 拍攝日期： 111/06/16
	說明： 現場試驗照片 拍攝日期： 111/06/16		說明： 工程 360 度影像 拍攝日期： 111/06/16
	說明： 工程 360 度影像 拍攝日期： 111/06/16		說明： 工程 360 度影像 拍攝日期 111/06/16

勘查單位/人員：林秉賢 / 邱玟詠 / 王維廷

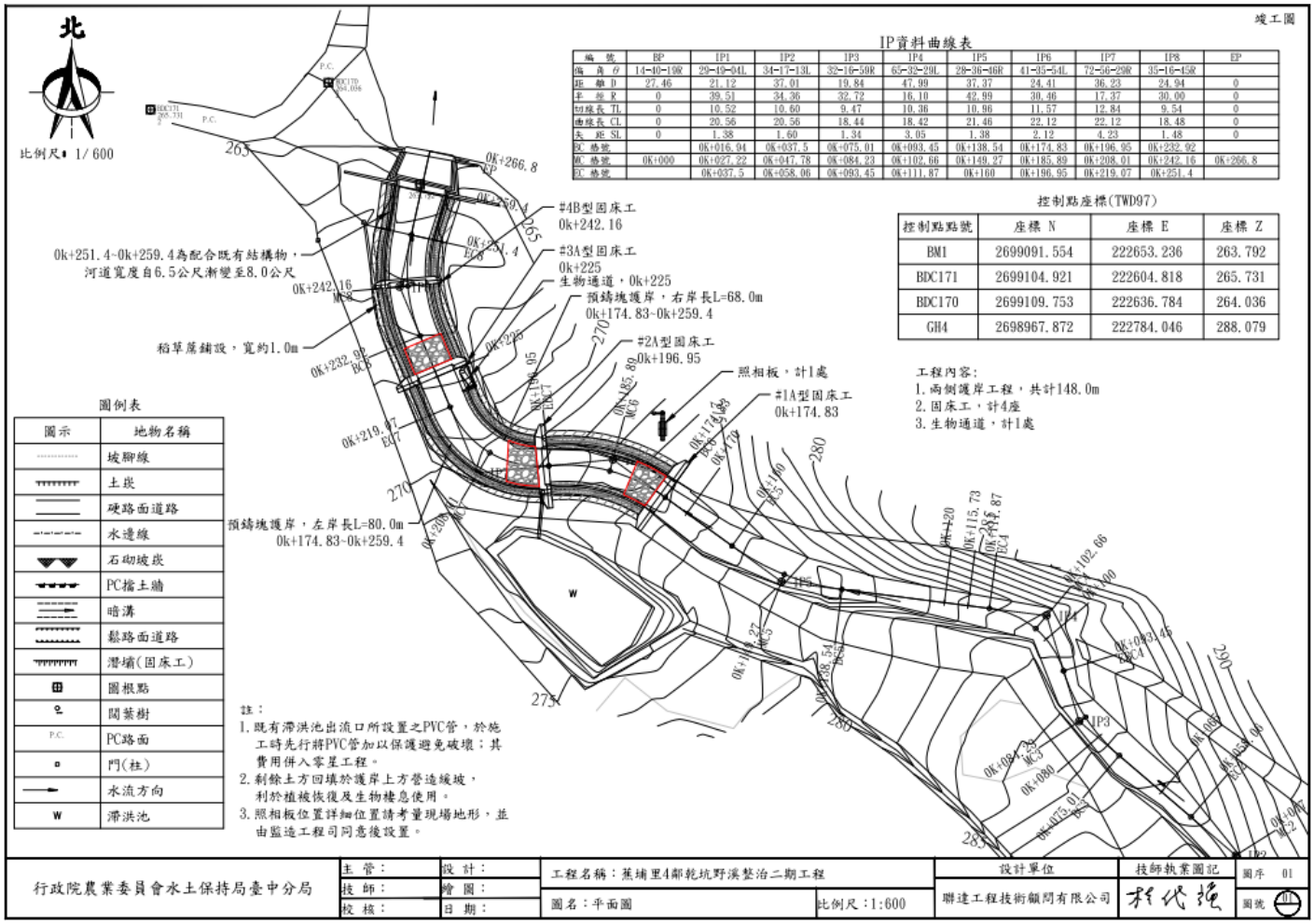
植生工程現地調查表

日期: 2022/06/16　天氣: 晴天

(一) 工程基本資料

工程編號	110-FRAP-02-2-016	地點	苗栗 市 苑裡 鎮
工程名稱	蕉埔里 4 鄰乾坑野溪整治二期工程		代表座標 TWD97
計畫名稱	縣市管河川及區域排水整體改善計畫		X： 222655 ；Y：2699091
工程經費	5,000 千元		
工程內容	固床工 4 座，護岸 148 公尺，兩側預鑄塊護岸工程 148M，生物通道 1 處		

(二) 設計圖說



(三) 植生調查

序號	植物種類	生長高度(cm) (Max/Min)	日照	濕度	PH 值	溫度(℃)			水平最大拉力 (kg)	垂直最大拉力 (kg)
						土壤表層	土壤內	塊溫		
1	野茼蒿	160.6/23.5	600	2	7.0	29.1	31	30.9	1.2	4.9

(四) 現場照片與說明

	說明： 現場試驗儀器照片(日照) 拍攝日期 111/06/16		說明： 現場試驗儀器照片(植物高度) 拍攝日期 111/06/16
	說明： 工程預鑄塊現場照片 拍攝日期 111/06/16		說明： 現場試驗圖 拍攝日期 111/06/16
	說明： 預鑄塊體內寬約 60 公分 拍攝日期 111/06/16		說明： 預鑄塊體長約 1 公尺 拍攝日期 111/06/16
	說明： 預鑄塊體高約 60 公分 拍攝日期 111/06/16		說明： 工程 360 度相片 拍攝日期 111/06/16

勘查單位/人員：林秉賢 / 邱玟詠 / 王維廷

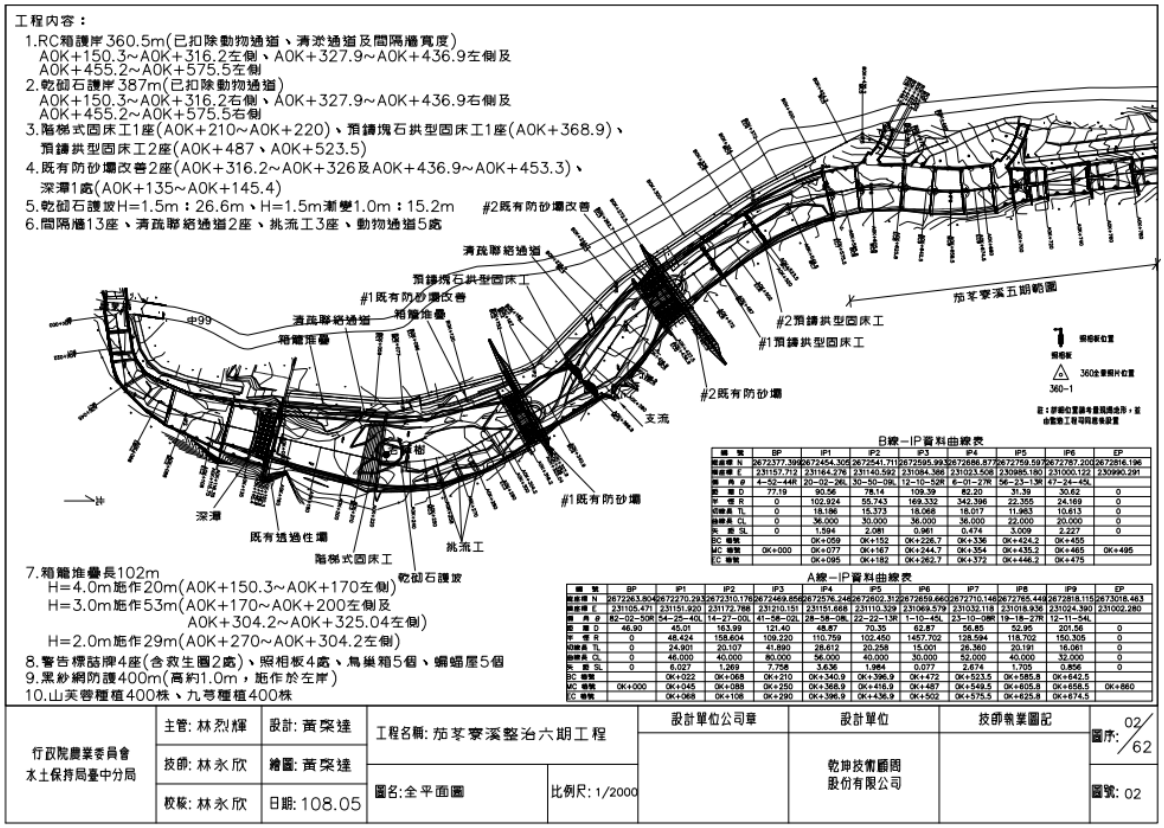
植生工程現地調查表

日期: 2022/06/16　天氣: 晴天

(一) 工程基本資料

工程編號	109-ADE-04-2-038	地點	台中 市 新社 區
工程名稱	茄苳寮溪整治六期工程		代表座標 TWD97
計畫名稱	治山防災(土砂災害防治)		X：231105；Y：2672358
工程經費	30,800 千元		
工程內容	固床工 4 座,RC 箱護岸 360.5m、乾砌石護岸 387m、既有防砂壩改 善 2 座、乾砌石護坡 41.8m、間隔牆 13 座、清淤通道 2 座、挑流 工 3 座、動物通道 5 處、箱籠堆疊 102m、山芙蓉種植 400 株、九 芎種植 400 株		

(二) 設計圖說



(三) 植生調查

序號	植物種類	生長高度(cm) (Max/Min)	日照	濕度	PH 值	溫度(℃)			水平最大拉力 (kg)	垂直最大拉力 (kg)
						土壤表層	土壤內	塊溫		
1	鬼針草	160.6/23.5	600	2	7.0	29.1	31	30.9	1.2	4.9
2	青箱	117.1/19.0	200	4	7.0	28.8	30	28.9	2.8	5.0

(四) 現場照片與說明

	說明： 現場試驗儀器照片(土壤內溫) 拍攝日期 111/06/16		說明： 現場試驗儀器照片(日照) 拍攝日期 111/06/16
	說明： 現場試驗儀器照片(PH 值) 拍攝日期 111/06/16		說明： 工程預鑄塊現場照片 拍攝日期 111/06/16
	說明： 工程預鑄塊植生生長情形 拍攝日期 111/06/16		說明： 工程 360 度相片(下游) 拍攝日期 111/06/16
	說明： 工程 360 度相片(中游) 拍攝日期 111/06/16		說明： 工程 360 度相片(上游) 拍攝日期 111/06/16

勘查單位/人員：林秉賢 / 邱玟詠 / 王維廷

植生工程現地調查表

日期: 2022/06/16 天氣: 晴天

(一) 工程基本資料

工程編號	109-ADE-07-4-017	地點	屏東 縣 恆春 鎮 出火
工程名稱	出火橋下游野溪整治二期工程		代表座標 TWD97
計畫名稱	整體性治山防災計畫		X： 227061 ；Y： 2434025
工程經費	39,000 千元		
工程內容	固床工 8 座,跌水 1 座,預鑄塊 RC 護岸(基座 555.5m、左右岸預鑄塊牆身 2347 塊)、新主支流護岸基座 130m、橋涵 1 座、環保路面 467m2、生態通道 1 座、邊坡埋設排水管 120m、動物通道 4 座、坡腳保護工 222.5m、調節設施 1 座、分流設施 1 座、土包袋木柵 303m、木柵橫向加固 2,160 才、隔牆 18 座、堤尾工 1 座、既有預鑄塊重新吊放 365 塊		

(二) 設計圖說



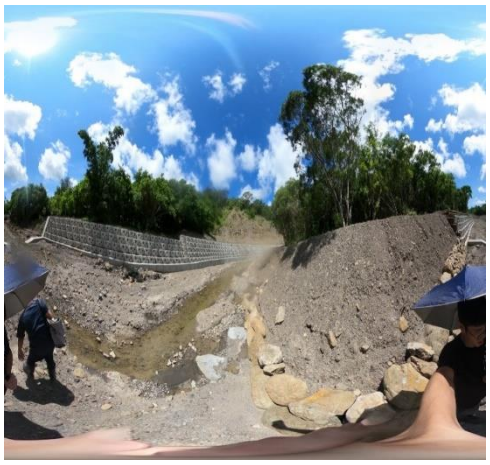
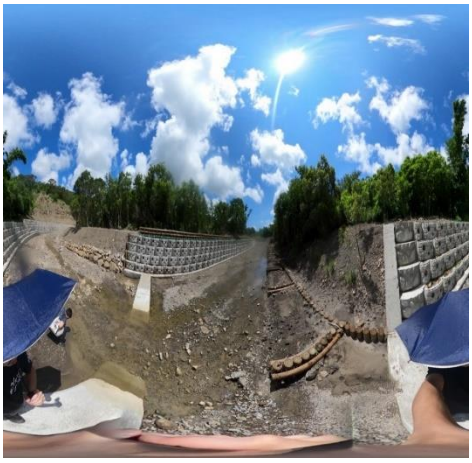
(三) 植生調查

序號	植物種類	生長高度(cm) (Max/Min)	日照	濕度	PH 值	溫度(℃)			水平最大拉力 (kg)	垂直最大拉力 (kg)
						土壤表層	土壤內	塊溫		
下游	紫羊茅	16.4/15.3	900	3	7.0	50.3	35	38.4	1.8	5.3
中游	紫羊茅	18.2/14.7	900	7	6.5	41.1	36	39.8	1.9	5.5
上游	濱刀豆	73.2/17.6	900	7	6.0	41.1	36	41.1	2.9	6.0

(四) 現場照片與說明

	說明： 支流匯流點照片 拍攝日期 111/06/17		說明： 現場試驗儀器照片(植生高度) 拍攝日期 111/06/17
	說明： 工程預鑄塊現場照片(中游) 拍攝日期 111/06/17		說明： 現場試驗儀器照片(PH 值) 拍攝日期 111/06/17
	說明： 現場試驗儀器照片(木頭預鑄塊塊溫) 拍攝日期 111/06/17		說明： 現場預鑄塊攀爬照片 拍攝日期 111/06/17

	說明： 現場預鑄塊攀爬照片 拍攝日期 111/06/17		說明： 木頭預鑄塊植生情形 拍攝日期 111/06/17
	說明： 現場試驗儀器照片(木頭預鑄塊塊溫) 拍攝日期 111/06/17		說明： 工程預鑄塊空拍照(中游) 拍攝日期 111/06/17
	說明： 現場試驗儀器照片(PH 值) 拍攝日期 111/06/17		說明： 工程預鑄塊現場照片(下游) 拍攝日期 111/06/17

	說明： 工程 360 度照片(上游) 拍攝日期 111/06/17		說明： 工程 360 度照片(支流匯流點) 拍攝日期 111/06/17
	說明： 工程 360 度照片(中游 1) 拍攝日期 111/06/17		說明： 工程 360 度照片(中游 2) 拍攝日期 111/06/17
	說明： 工程 360 度照片(下游 1) 拍攝日期 111/06/17		說明： 工程 360 度照片(下游 2) 拍攝日期 111/06/17
勘查單位/人員：林秉賢 / 邱玟詠 / 王維廷			

第六章　應用與分析

第一節　安裝與應用

- 積木式組合概念，多方向性快速變化組合型態，配合現地環境調整組裝模式。
- 系統組合成立體強框護邊坡地形

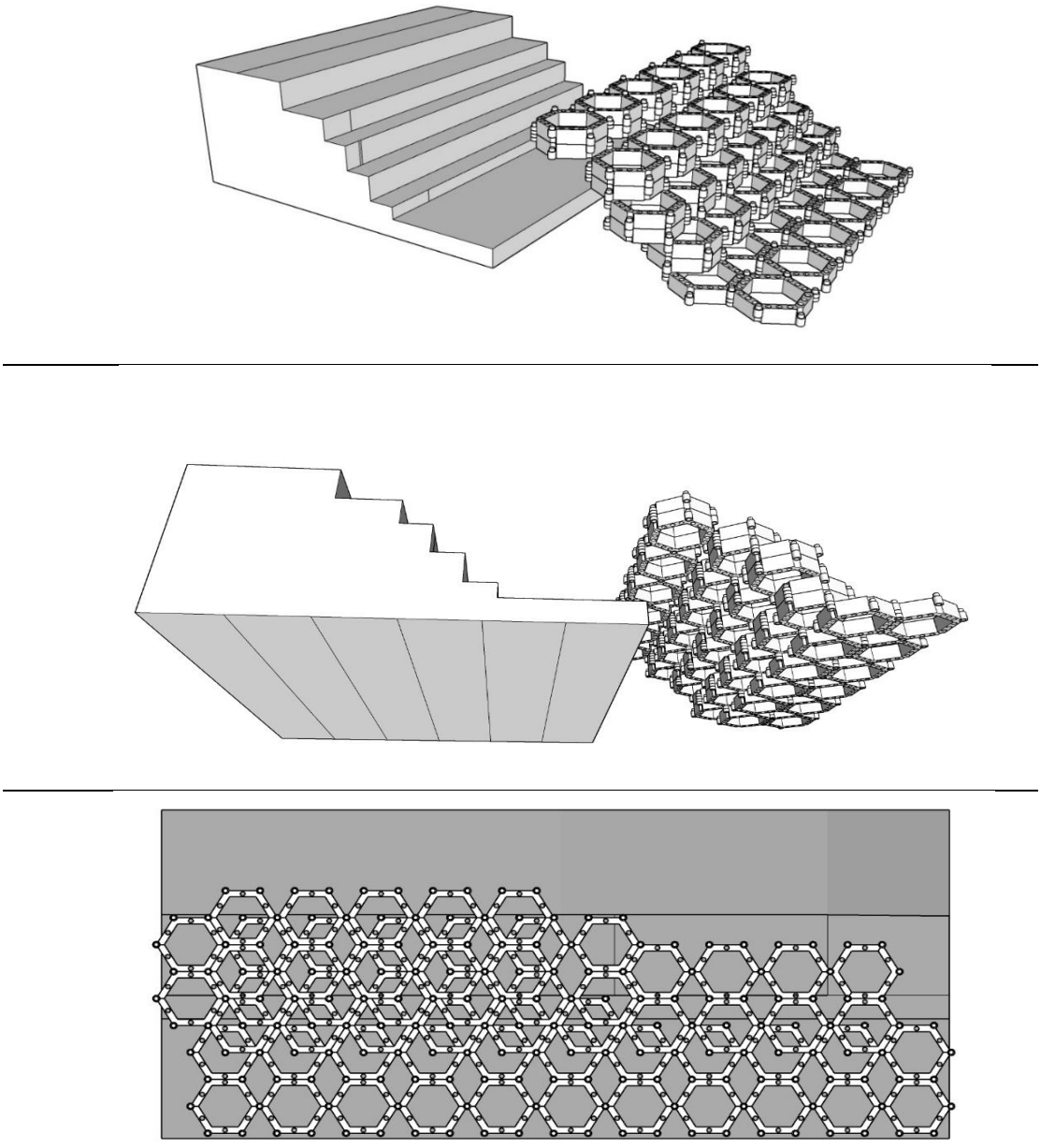


圖 6-1　系統組合立體強框護坡示意圖

多彩組合單元模塊，可選擇與地形環境搭配的顏色，降低人工化的視覺厭惡感，視覺景觀融合自然環

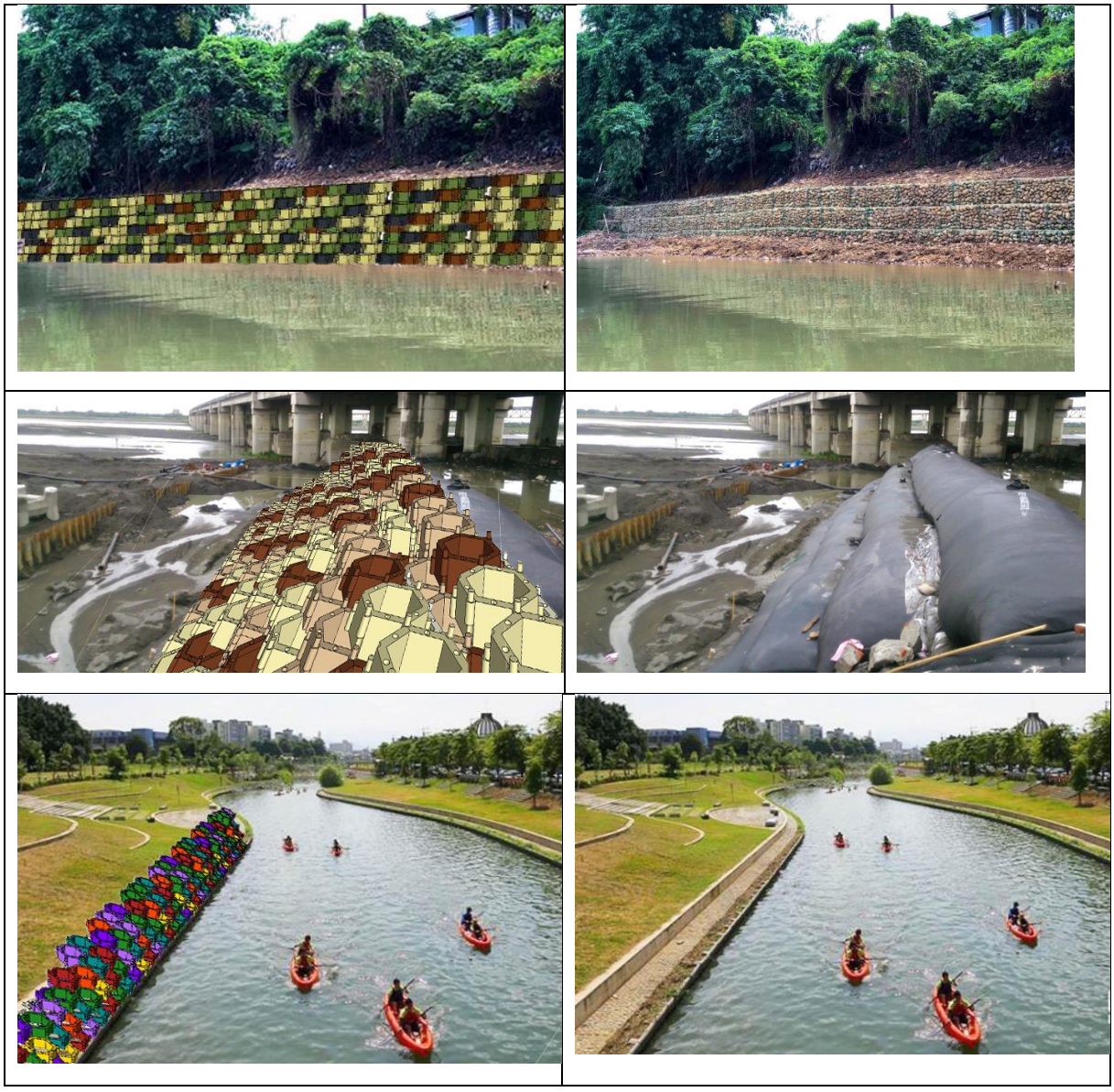


圖 6-2　系統組合立體強框護坡模擬圖

一、優劣勢分析

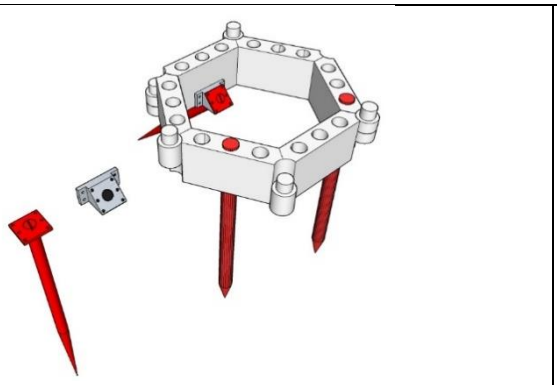
1.PCB 工法與地錨工法的結合。

2.降低工程施工環境損害低汙染。

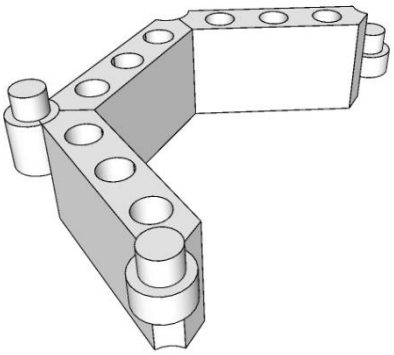
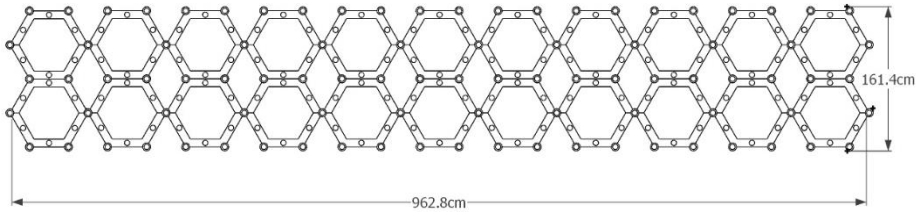
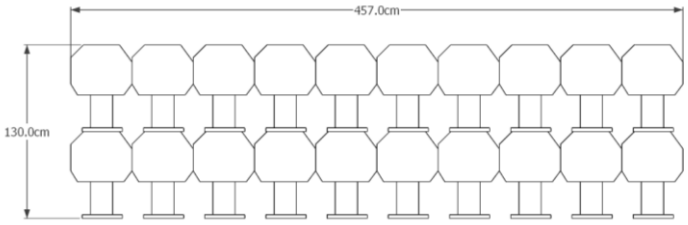
3.輕量化於野溪整治時優化工程施工及搬運成本。

4.循環永續再生材料，使用回收原料再製的單元模塊，減塑，減碳，單元模塊未來可以 100%回收再製，實現搖籃到搖籃的循環經濟模式。

	
自重式壘砌擋土牆，有如疊疊樂積木，組塊間互相不連接，單元件受推力及拉力影響而位移	本計畫系統如樂高積木，單元件間裡用插銷式結合，完成後為整體系統結構，不會應為局部壓力造成區塊位移現象

	結合地錨系統可利用腔體結合孔洞插入地樁 90o固定，另本系統可視需求連接地錨固定座，角度可為 45o、60o以坡度斜率進行垂直錨定，加強坡體與結構牆的穩定連接
	

二、經濟效益評估

<table>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>一般山區或野溪地形，大形重機具及大型貨車無法抵達，本系統考量模塊輕量化，組合化，不須大型運輸及吊掛設施，工程人員施工時可單人搬運雙人施工，降低工程施作成本</td><td>組塊單元件預估重量
PET 材料重量≒ 30kg（件）
PVC 材料重量≒ 20kg（件）</td></tr>
<tr><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td colspan="2">以 3.5 噸貨車一趟可載 42 組預鑄模塊為例，可鋪設面積為 962X161X(H)20=3m³</td></tr>
<tr><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td colspan="2">3.5 噸貨車一趟可載一般 PCB 檔土牆 20 組，可鋪設面積為 457X130X(H)20=1.1 m³</td></tr>
</table>

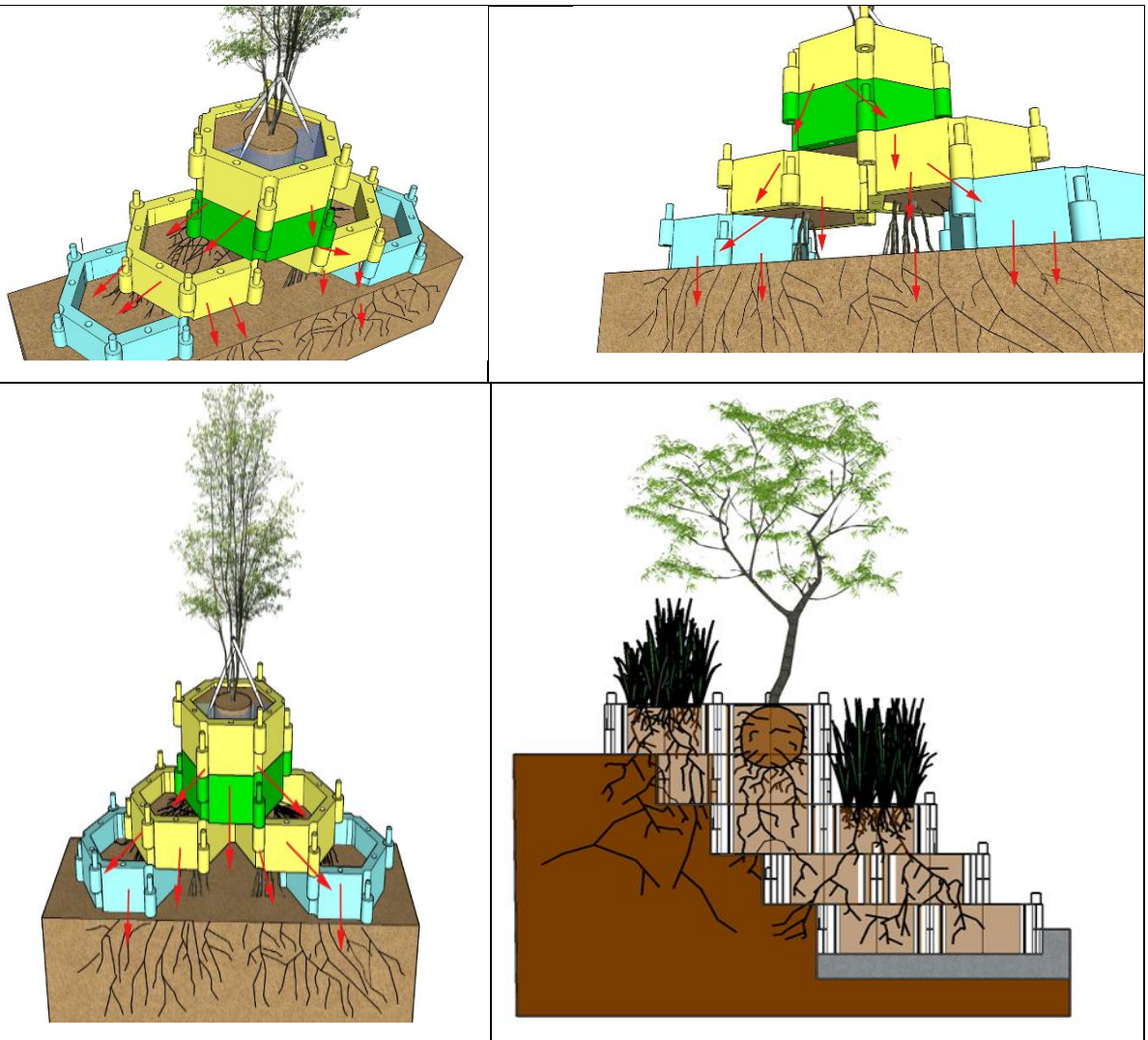
三、植生綠化

1. 過去植生槽塊的缺失

- 植栽作物受限，可能不易取得。
- 周圍環境無法提供作物有利生長。
- 無法栽種深根型喬木或深根型喬木易破壞混凝土結構。
- 過去混凝土邊坡不利深根型喬木重植，常因地震或颱風導致邊坡坍塌，土石掏空。

2. 系統綠化植生計畫

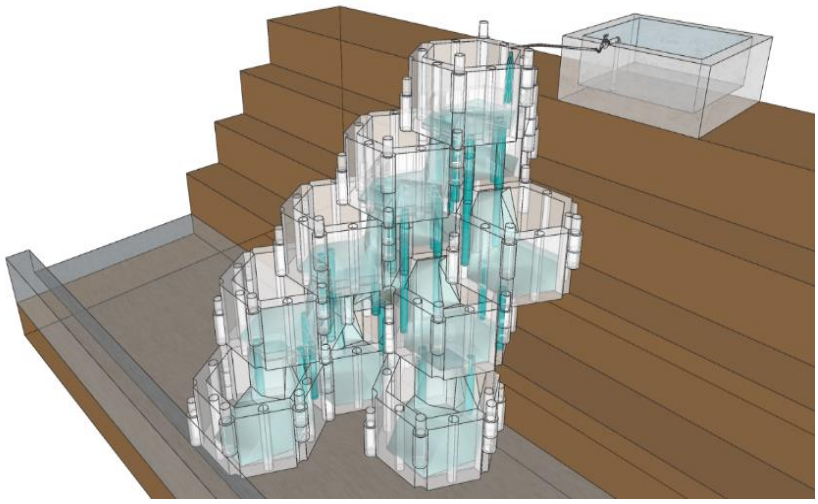
✧ 植物跟系發展圖



- 中空籠式結構體，回填覆土以利植生及高排水性，生態多樣化。

- 中空結構能讓植物根系往下發展。
- 根系可握裹土壤，防止坡體的滑動。
- 根系可緊密連結預鑄模塊。

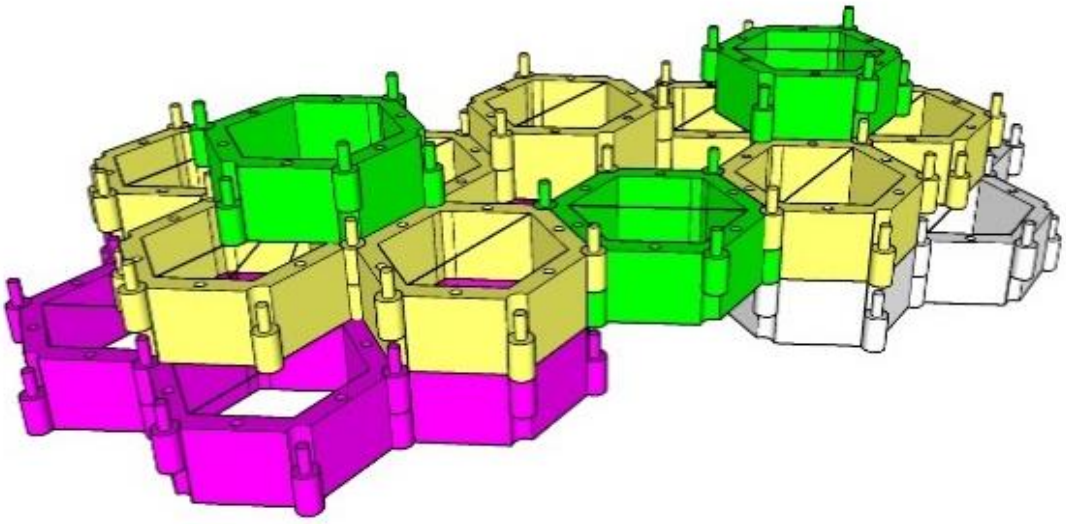
✧ 水流方向滲透圖



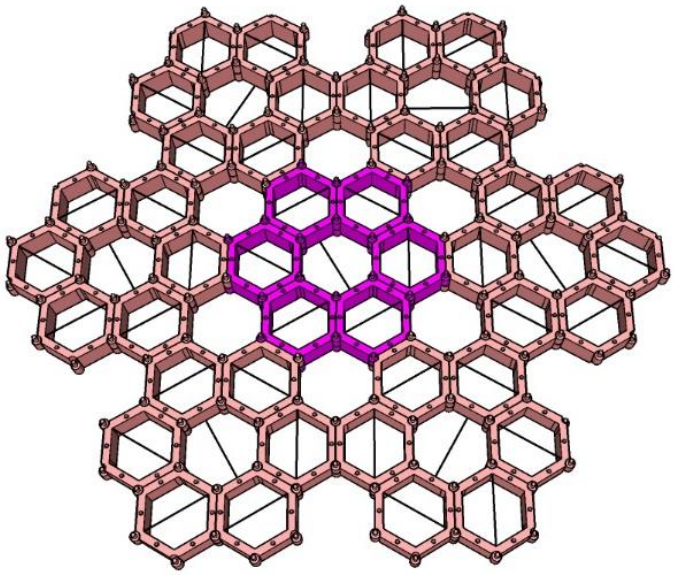
- 中空結構能讓水滲透到最底層
- 智能化滴灌系統，結合溼度計，自動澆水功能

- 多元的組合方式

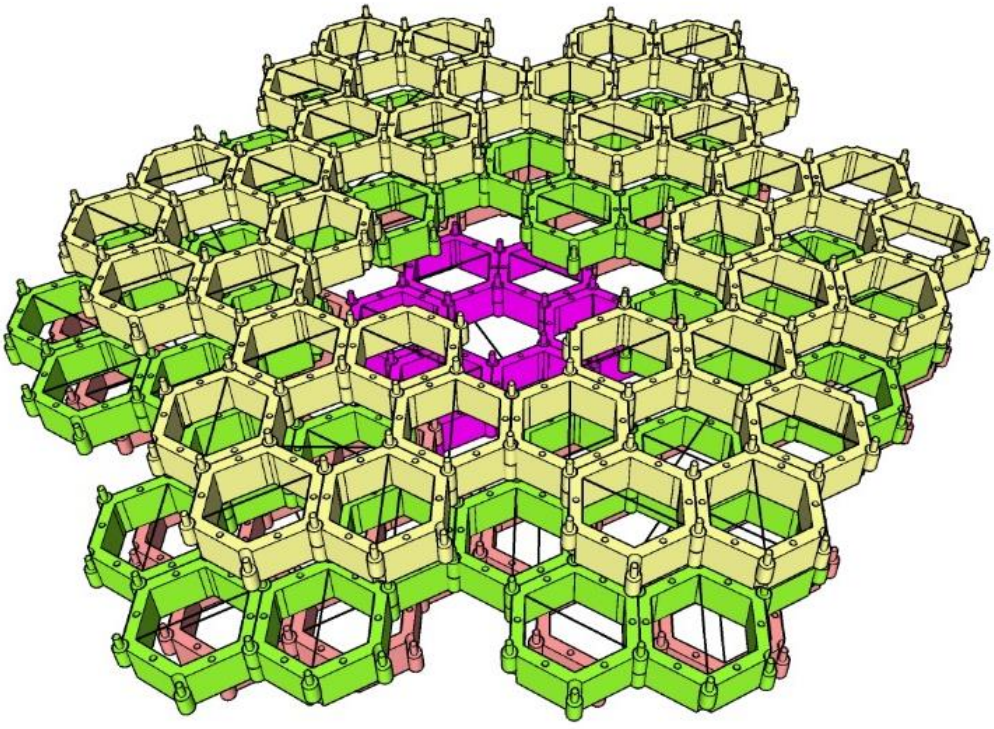
(1)依坡度斜率水平或垂直位移組合



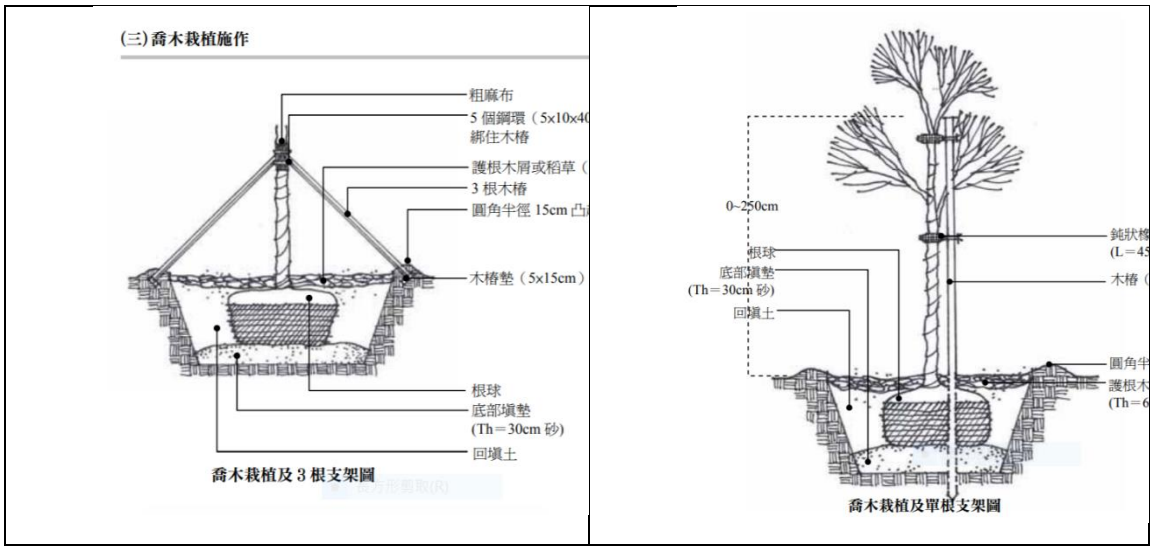
(2)紫色組塊區去化可成為大型樹穴植入區



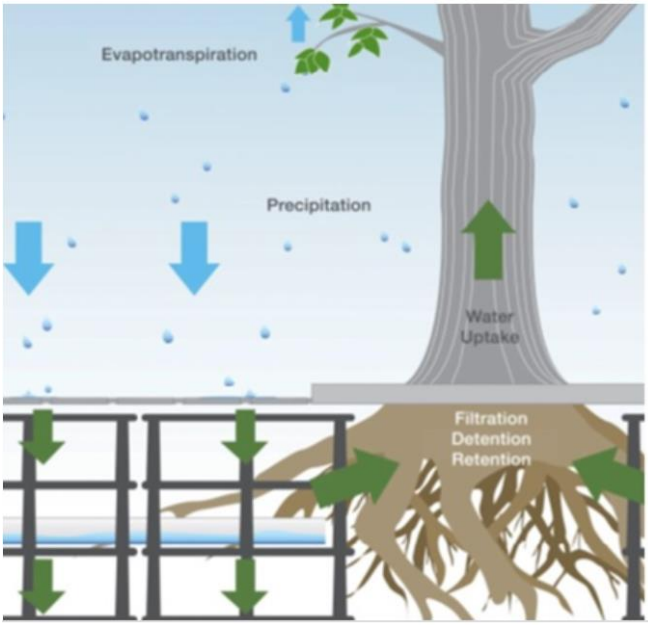
(3)垂直可層疊立體合



- 植穴設計



- 植穴立體化增加根系發展



四、護岸型植穴設計

樹木的根系絕大多數都是生長在 50-60 公分深度的淺層土壤中，因此需要很寬的面積來維持根系生長的需求，才能夠提供樹木足夠的支撐力。但是一般河川護岸環境的土地資源稀有地形陡峭，若直接將樹木種植於坡體上會導致樹木根系無法生長，一旦遇到強風，樹木將會倒塌。植穴立體化設計能讓樹木獲得良好的生長條件，同時

結合蜂巢連結網牆系統，增強護岸抗衝擊強度。

（1）護岸植穴單體系統

植穴立體化系統由六邊形單元件變化組合而成，兩側預留孔洞以利樹木根系生長，無需另外增加模組，具有節省施工成本與施工便捷的特點。

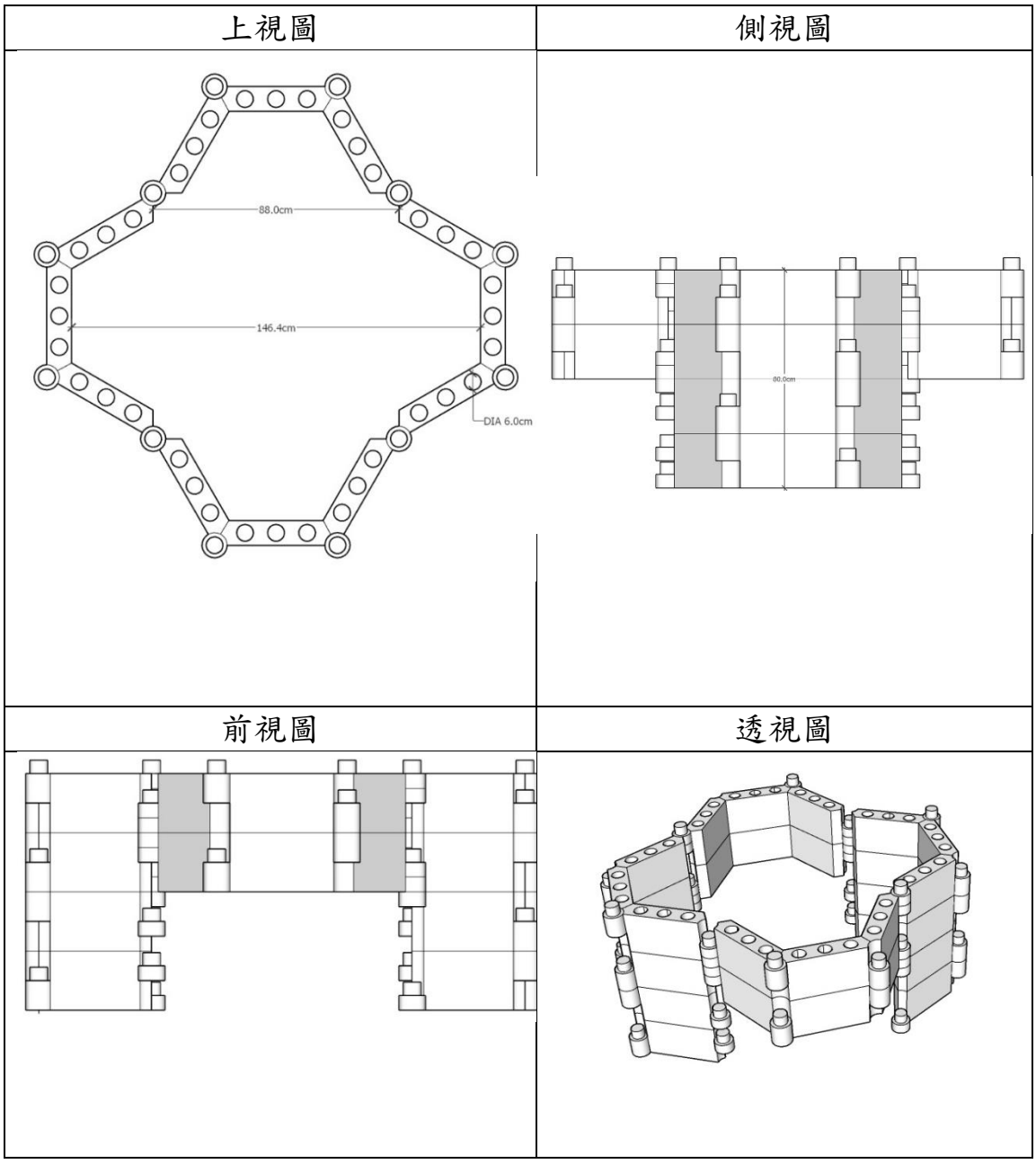


圖 6-3 護岸植穴單體系統圖

（2）植穴覆土面積

樹穴尺寸影響種植樹木的大小，土球直徑及植穴深度依下表所示。

表 6-1 土球直徑及植穴深度表

土球直徑及植穴深度

形狀	米高幹周 (cm)	土球直徑 (cm)	土球深度 (cm)	植穴直徑 (cm)	植穴深度 (cm)
喬木	10 未滿	33	25	69	37
	10 以上~15	38	28	75	40
	15 以上~20	47	33	87	46
	20 以上~25	57	39	99	53
	25 以上~30	66	45	111	59
	30 以上~35	71	48	117	62
	35 以上~45	90	59	141	75
	45 以上~60	113	74	171	90
	60 以上~75	141	91	207	109
	75 以上~90	170	108	243	128

形狀	樹高 (cm)	土球直徑 (cm)	土球深度 (cm)	植穴直徑 (cm)	植穴深度 (cm)
灌木	30 未滿	15	8	29	23
	30 以上~50	17	10	33	26
	50 以上~80	20	12	37	28
	80 以上~100	22	13	41	31
	100 以上~150	26	16	46	35
	150 以上~200	30	19	54	40
	200 以上~250	35	23	61	46
	250 以上~300	40	26	69	51

參考自：日本國土交通省

護岸型植穴最大直徑為 146cm，植穴深度 80cm，回填覆土體積約 1.7m^3。依上圖所示，可種植喬木之米高幹周最大為 35-45cm，土球最大直徑 90cm，最大深度 59cm。可種植灌木最高樹高為 300cm，

土球最大直徑 40cm，最大深度 26cm。如下圖所示：

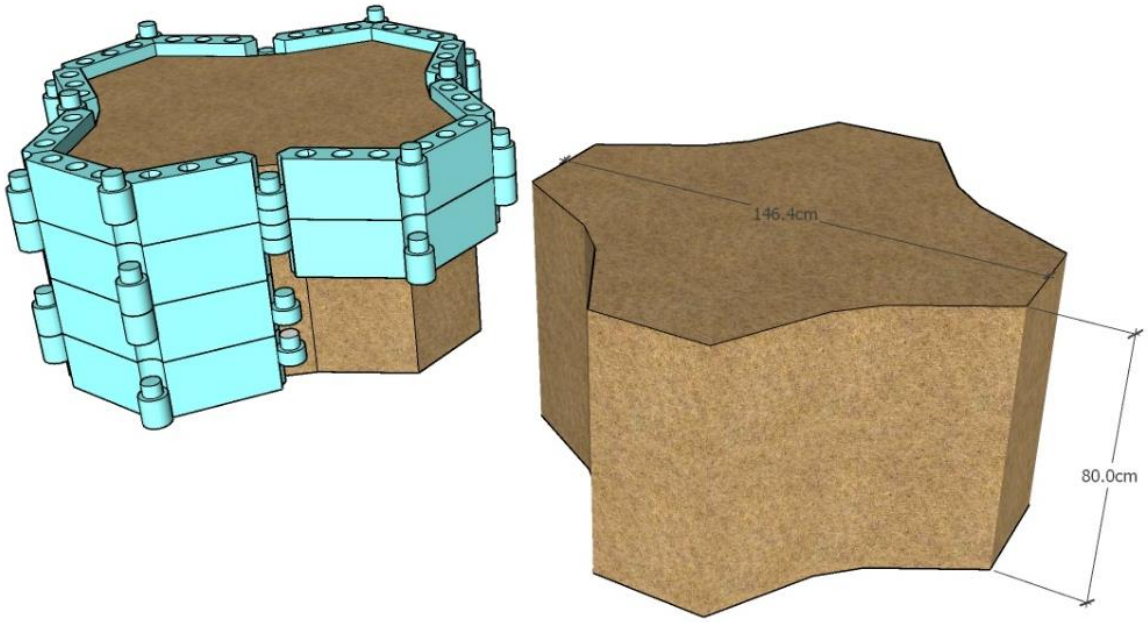
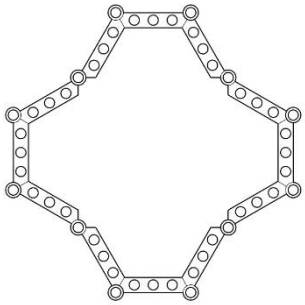
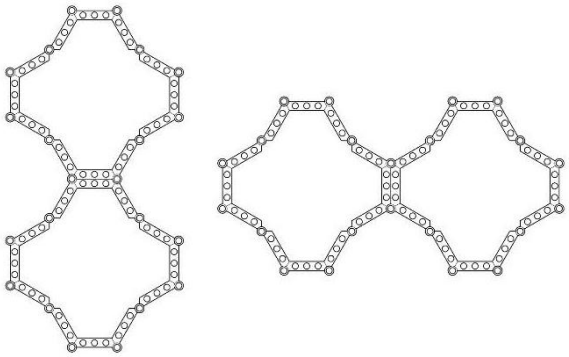
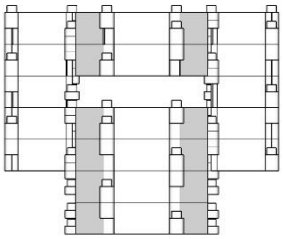
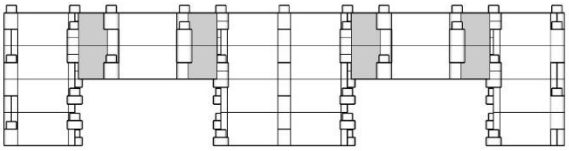
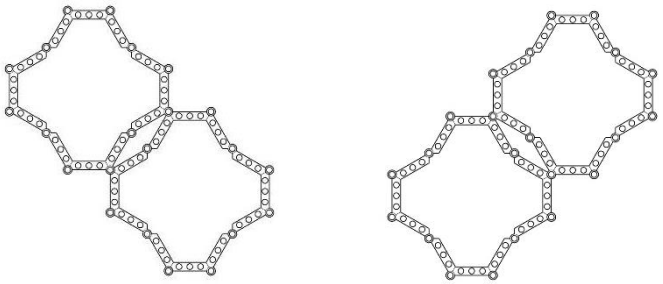
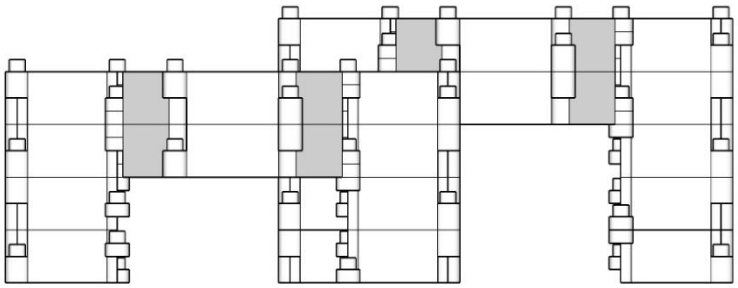
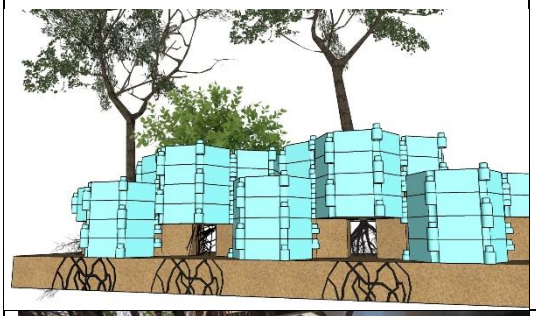


圖 6-4 覆土面積示意圖

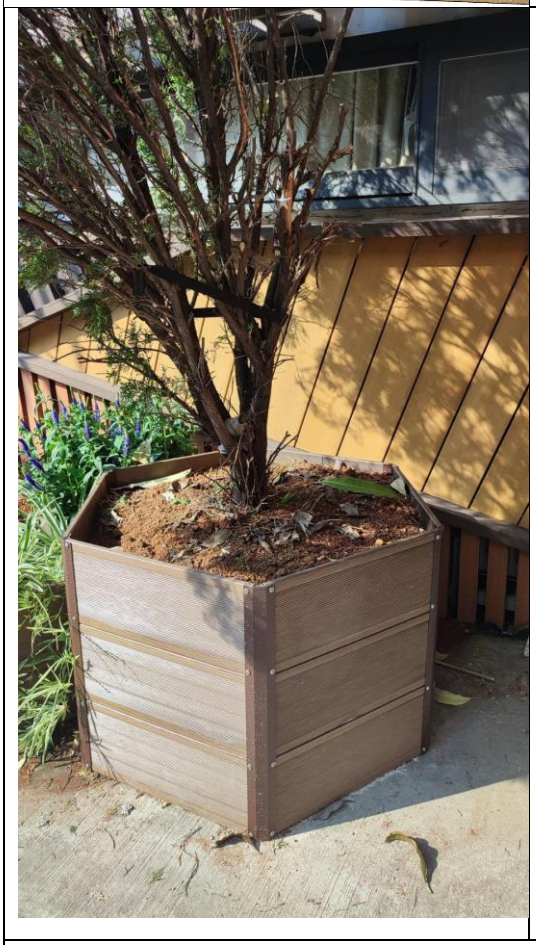
（3）護岸型植穴組合系統

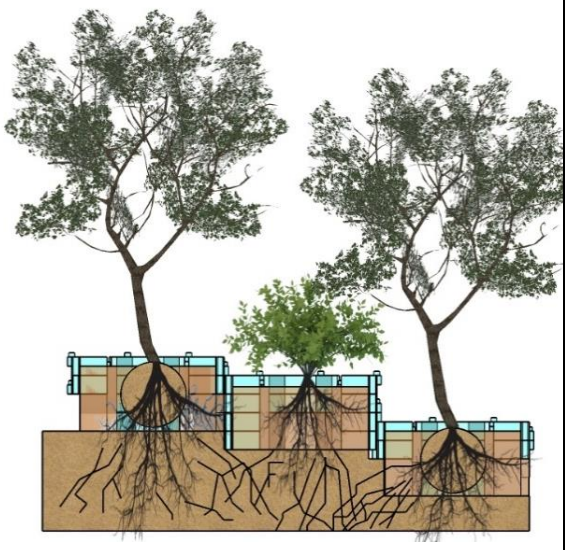
護岸型植穴組合系統由多個護岸型植穴連接而成，通過每個植穴預留的 2 側孔洞，該系統有利於樹木之間的根系竄生達到牢固土坡的作用。該系統可依護岸地勢變化而變化，具有上下、前後、左右、斜向的調整方位,並且可依現況選擇連接六邊形單元件或是護岸植穴。

<table>
<tr><td>植穴位移</td><td>上下</td><td colspan="2">前後（左右）</td></tr>
<tr><td>上
視
圖</td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>立
面
圖</td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>植穴位移</td><td colspan="3">斜向</td></tr>
<tr><td>上
視
圖</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>立
面
圖</td><td colspan="3"></td></tr>
</table>





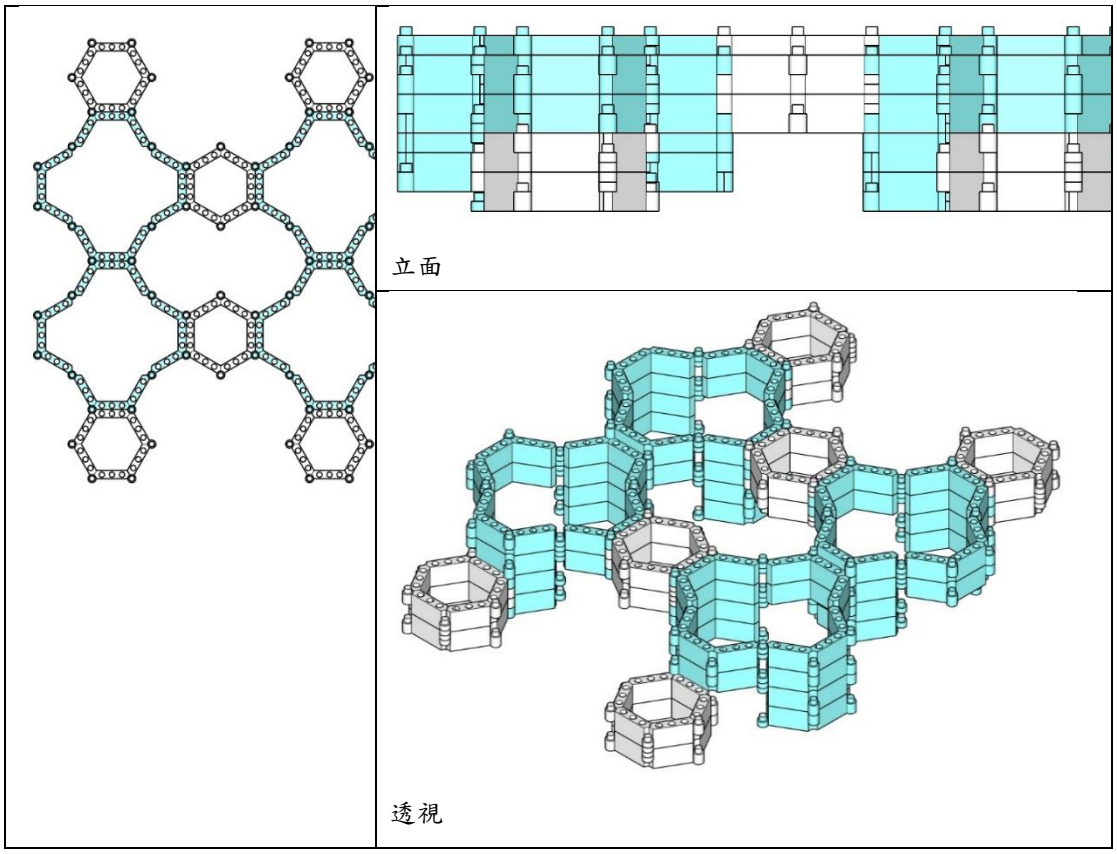




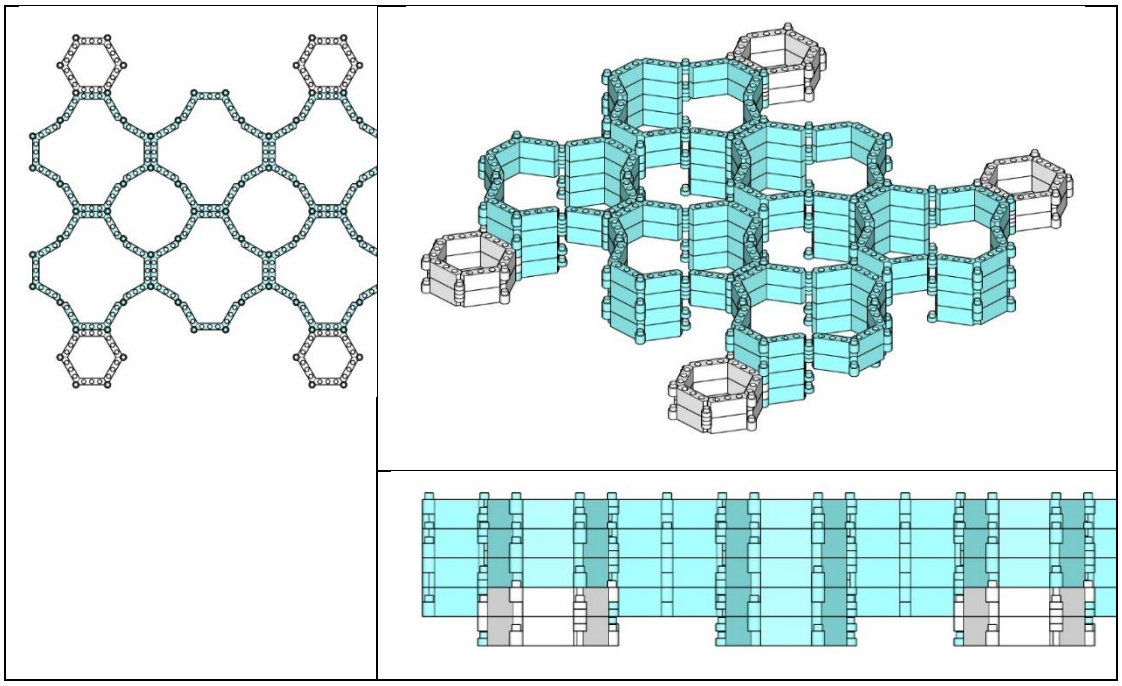
- 中空籠式結構體，回填覆土以利植生及高排水性，生態多樣化
- 中空結構能讓植物根系往下發展。
- 根系可握裹土壤，防止坡體的滑動
- 根系可緊密連結預鑄模塊。

樹穴與單元件連接圖

（1）間距式植穴

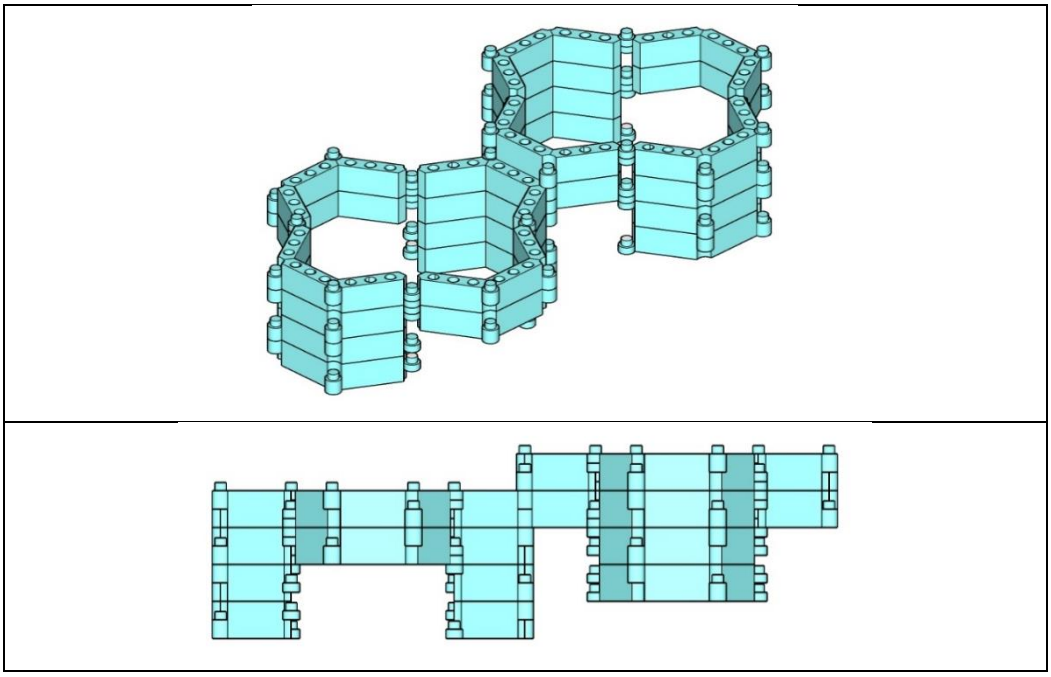


（2）連續式植穴

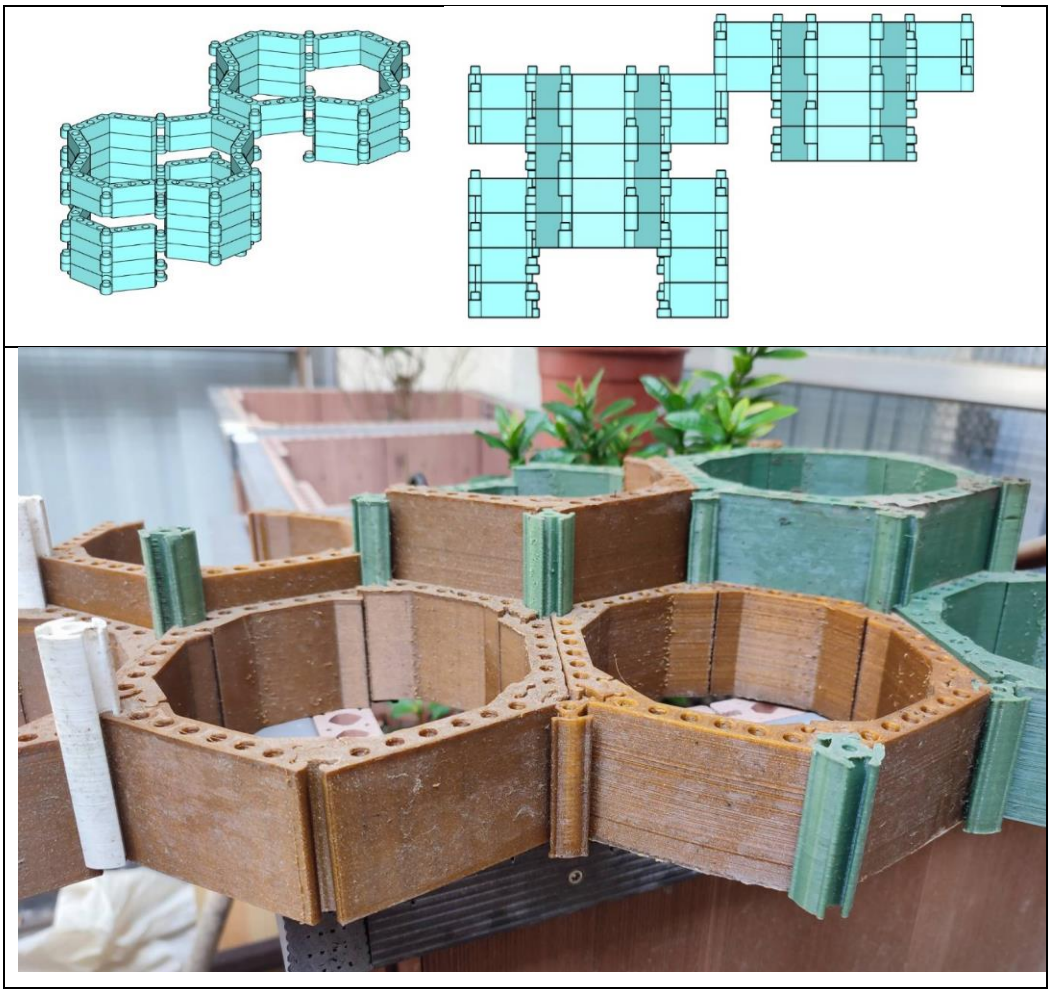


植穴坡度

（1）緩坡



（2）陡坡



第二節 智能維護改善

為了使日後預鑄試體在野外能夠更具長遠的生存下去，考量土壤濕度是影響預鑄塊體植物生長的主要關鍵，由試驗成果雖然看出，即便在冬季的測試，空氣溫度與壤土溫度，最大落差可以達 20 度以上，為避免壤土過乾，傳統作法是以人工澆置，而本次建議，可搭配雨水儲集設施或利用既有之集水井，透過重力的方式，搭配感測裝置(初步以土砂濕度與土壤溫度為量測依據)觀測成果，作為晶片自動閥門啟閉的依據，如圖 6-5 所示，其感測晶片與滴灌控制馬達如圖 6-6 所示，預計期末完成預鑄試體的智能維護建置。目前現場僅有 2-3(20-30%)相當低，日後會以 5 當作門檻，土壤溫度控制在 28 度作為智能維護門檻。

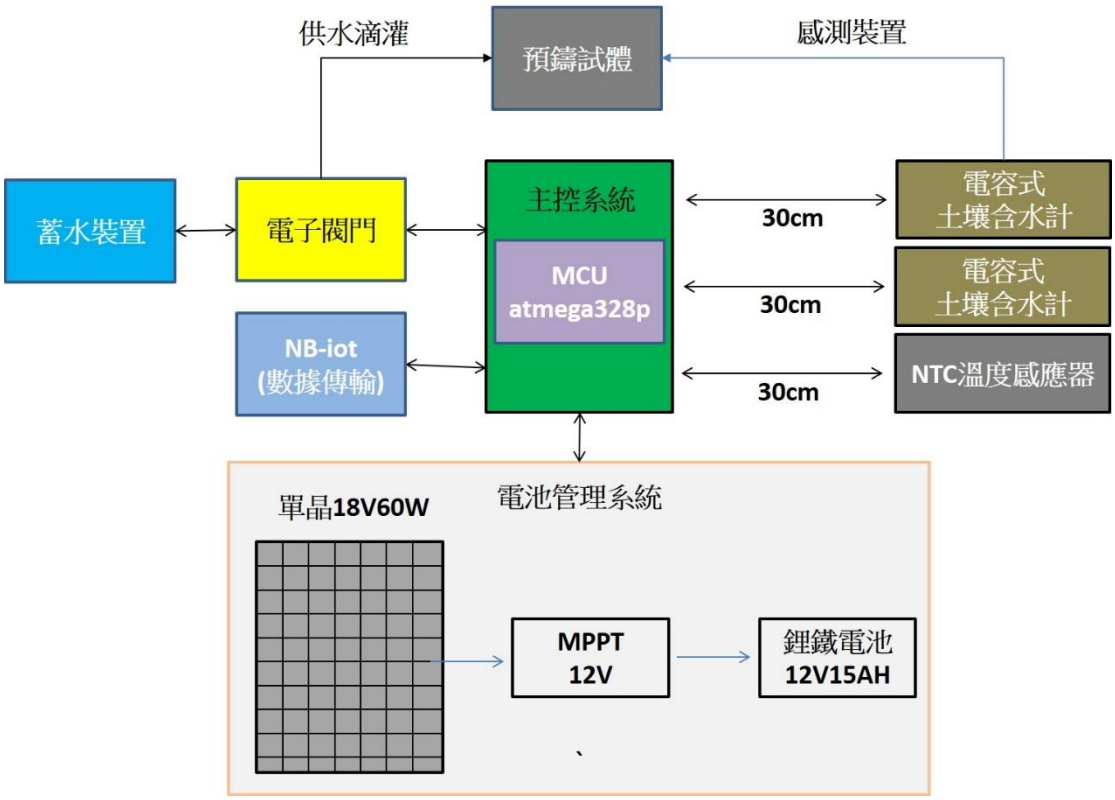


圖 6-5 智能維護設施架構示意圖



圖 6-6 智能感測設施與滴管啟閉閥示意圖

材料	黑麥草	百喜草	高狐草
木頭 灑水			
混凝土 灑水			
PVC+玻璃纖維 灑水			
PVC+玻璃纖維 滴灌			

透過上述試驗，針對土壤溫度與濕度進行智慧控制，調整灑水與滴灌的啟動時間，並藉由太陽能供電，以達成日後工地能自我管理運作，試驗數據如附件一所示。可獲以下結論

1.以黑麥草來說，受到太陽照射影響，雖有自動灑水系統補充土壤濕度，但整體生長惠出現局部生長阻礙，且滴灌生長高度亦被限制，最大生長高度出現在混凝土預鑄塊，達 40cm，但僅出現塊體局部區位，不像木頭跟 PVC+玻璃纖維者均勻。因冬季測試，內外溫度不如夏季變化大。

2.以百喜草來說，以混凝土生長較茂盛，木頭出現局部長不出來，最大高度出現在木頭，達 12.6cm，其餘皆小於 10 公分。但是從滴灌的成果，生長高度不輸木頭植生槽，表示，草的特性，需水量並非生長關鍵，關鍵在土壤溫度，抑制百喜草的生長，而這種草需要的是溫度協助生長，但相對 PVC+玻璃纖維的確達到控溫效果，且透過智慧化的管理，中上層土壤過濕，百喜草的生長也被影響。

3.以高弧草來說，三種容器分析，本草種所需溫度較高才能生長，因此生長高度以混凝土與木頭較為接近，達 28-29cm，但植生密度仍以木頭較好，濕度要較高生長較佳。

第七章　結論與建議

第一節　結論

1.透過文獻的回顧了解工程塑膠(PVC)的特性與其應用特性，藉由塑膠射出，可以任意改變型態，搭配玻璃纖維的材料混和應用，提高整體延展度與設施強度。

2.透過塑膠射出技術，將預鑄塊藉由連結器整合，構造化後可任意變化形體尺寸配置，提高工程的可塑性。

3.了解傳統混凝土吸熱特性，導致土壤乾涸，植生死亡的特性，藉由工程塑膠、傳統混凝土與木頭當作預鑄花箱，透過覆土植生，針對草本植物生長特性，進行試驗料解，初步獲得工程塑膠(PVC 加入玻璃纖維)後，在冬季與夏季植草試驗，冬季條件，土壤保濕的能力在植生周期內變化不明顯，但以 PVC 較混凝土多 10-15%，夏季時，因為度較高，生廠初期，土壤保濕程度以木頭保持較好，後期植生出來，則以 PVC 保濕較佳，落差可達 25-30%。整體植生密度則仍以後期生長維護較佳之 PVC 與木箱笑過較好，落查達 25%。

4.透過智慧化土壤濕度的偵測與灑水及滴水的灌溉，考量日後工地完工後的維護，藉由試驗成果，生長高度取決於草種，黑麥草大於高弧草大於百喜草，但以容器材料種類之影響，在土壤水分的控制下，PVC 與木箱的效果接近，甚至有時木箱較好。

第二節　建議

1.創新材料的應用特性，改善傳統混凝土對土壤與植物的不友善性，但後續針對結構穩定性與臨水面的應用，可透過試驗了解，甚至藉由實際施作來做比對。

2.工程塑膠的結構化後，對於木本植物的應用，因費時，需長時間觀察，且對於根系抓土的能力，仍需補充評估，建議後續若有試驗，可延續了解。

3.本次智慧化試驗，因研製較為後期完成，僅能針對冬季進行試驗，後續建議針對夏季的草種做比對，以了解對於土壤濕度溫度的影響。

4.建議後續試驗可針對 0 維護的情況下，PVC 工程塑膠與混凝土及木箱對植物的生廠影響，多久才會全數死亡，及如何藉由植生衰敗死亡的土壤特性進行討論與後續改善之建議。

參考文獻

1.王振瀾(1989)。省產竹材保存研究之回顧，林產工業，8:3卷頁79-85。

2.王松永，張宗豫(1989)。八種木材及五種防腐劑之抗蟻性的室內促進試驗，林產工業8(3);頁13-31。

3.王維漢(2008)。塑膠材料業的新契機，工業材料雜誌261期，頁193-202，工業技術研究院。

4.內政部營建署(2011)。木構造建築物設計及施工技術規範木構造建築物設計及施工技術規範。

5.沈銘原(2019)。纖維複合材料的發展，財團法人國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心，科學發展561期，頁56-61。

6.內政部建築研究所(2009)。建築減廢設計原則與手法之初步研究。

7.行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)。「水土保持手冊」。

8.行政院農業委員會、台灣省政府農林廳水土保持局、工業技術研究院能源與資源研究所(1992)。「崩塌地調查、規劃與設計手冊(地滑篇)」。

9.林欣媛(2019)。這六招，讓循環建築變成可能，天下雜誌循環經濟專欄，天下雜誌出版，台北市。

10.林維明(2009)。自然生態工法在溪流治理上的規劃設計理念，水利會訊第12期，頁33-34，台灣省水利技師公會。

11.洪勇善，陳榮河(2016)。生態工法之安全性及工法探討，工程永續與土木防災研討會。

12.洪勇善(2000)。「現地坡面土釘加勁工法之應用」，土木技術，第31 期，第45-55 頁。

13.洪勇善(2005)。「坡地社區生態防災工法暫行技術手冊暨解說擋土設施及坡面保護工編」，內政部建築研究所委託研究報告。

14.陸象豫、孫銘源(2019)。土壤溫度概述，行政院農業委員會林業試驗所。林業研究專訊，第6期，頁59。

15.廖贊勛(2014)。聚氯乙烯建材回收機制及未來發展方向之研究，碩士學位論文，國立台北科技大學建築與都市研究所，台北市。

16. 廖桂賢(2018)。台灣都市河川的想像：突破限制才是真前瞻。鳴人堂，聯合報。

17. 劉正宇;李文昭;王恩華(1992)。機械性質及膠合性之探討，林產工業，頁19-29。

18.劉佳勝林信輝朱祐賢(2014)。區域排水整治環境營造與植生保育案例調查分析野溪預鑄護岸，行政院農業委員會水土保持局。

19.蔡穎玫、葉羽馨、王茂齡(2019)。射出成形，財團法人國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心。科學發展7月，559期，頁42-51。

20.賴品瑀(2014)。毒性化學物質重金屬類物種鑑識技術研究計畫行政院環境保護署環境資訊中心。

21.魏浩揚(2004)。「本土再生構法之研究」，行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告。

22. Author(s) : Haygreen, J. G. ; Bowyer, J. L. (1996) Forest products and wood science: an introduction.

23.Bruce, D. A. and Jewell, R. A. (1987). “Soil nailing: application and practice- part 2,” Ground Engineering, 20(1), pp. 21-38.

24.Byrne, R.J., Cotton, D., Porterfield, J., Wolschlag, C. and Ueblacker, G. (1998). “Manual for Design and Construction Monitoring of Soil Nail Wall,” Federal Highway Administration.

25.Lazarte, C. A., Elias, V., Espinoza, R. D. and Sabatini, P. J. (2003).

"Geotechnical Engineering Circle NO.7," Federal Highway Administration.

26.The European Council of Vinyl Manufacturers (2020)，PVC and the three pillars of sustainability Retrieved from.https://pvc.org/sustainability/