

計畫編號：SWCB-106-045

---

**仿植生根系錨固釘錨固特性之研究**  
**Root type soil anchors engineering strength**  
**properties**

---

執行單位：國立屏東科技大學

執行期間：106 年 02 月 20 日至 106 年 12 月 31 日

計畫主持人：謝啟萬 教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 2017 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)



# 仿植生根系錨固釘錨固特性之研究

## 摘要

天然材料或合成材料製成之植生毯鋪設於坡面上，短期可立即降低坡面土壤沖蝕效果，另當植生毯完成植生復育後，對水土保持功能亦更加提升。目前植生毯固定於坡面上多以金屬錨釘植入固定，為提升錨固效果，須採用較多及較長錨釘以達錨定功能之需求。如能改進錨釘之構造，增進錨釘效果，即可降低錨釘數目及植入長度，另如能改用可分解材質製成之錨釘，亦可增進環境保護之功效。

本研究之專利錨固釘為一種兩段式後置形式之錨固釘，透過實體化與五種市售錨固釘進行抗拉及抗剪之特性比較，以利提供成品設計參考。目前採鋼製錨固釘進行建置樣品以方便設計修改，然未來考量產品化成本，將採塑膠錨體另行修改。

試驗結果顯示五種市售型錨固釘，包含4種塑膠製與1種金屬製，塑膠製因為開模射出製程，再錨體能有豐富形態變化，但在抗拉試驗中，以最簡單設計光滑錨固釘之拉拔力為最高達 361 N，而金屬製可能因錨徑小及同徑錨體之設計，抗拉試驗結果最低為 191 N。本研究仿植生根系錨固釘之試驗結果，在內部爪釘未伸出時為 179 N，其結果如同金屬製錨固釘，但在內部爪釘伸出後，其拉拔力提升效果顯著達 795 N，爪釘伸出後為未伸出之 4 倍，且比市售錨固釘高 1 倍之拉

拔力，代表此專利為有效之概念，但在成本考量上，市售塑膠製錨固釘之單支成本約在 18 元，其成本低廉之優勢為本研究專利品之挑戰，未來應繼續改良，設法改善製作成本，以使高性能之產品具高度競爭力。

透過錨固釘施作抗拉與剪力試驗評估其錨錠機制與特性，再以其結果進行專利品改良，再經由現場試驗確認其功效，研究成果亦可為後期可分解之多爪植入式錨固釘設計研發之參考。

**關鍵詞：**地工防沖蝕毯、錨釘、植生根系、抗拉試驗、抗剪試驗



## 目次

摘要.....	I
目次.....	III
圖次.....	IV
表次.....	V
<b>第一章 緒論 .....</b>	<b>1</b>
第一節 研究背景 .....	1
第二節 研究目的 .....	2
<b>第二章 文獻回顧 .....</b>	<b>3</b>
第一節 錨固釘介紹 .....	3
第二節 使用範圍與安裝 .....	4
第三節 應用問題 .....	5
<b>第三章 研究方法 .....</b>	<b>7</b>
第一節 研究步驟與工作項目 .....	7
第二節 仿植生根細錨固釘製作 .....	8
第三節 試驗方法 .....	11
<b>第四章 試驗成果 .....</b>	<b>15</b>
第一節 市售錨固釘抗拉特性 .....	15
第二節 仿植生根系錨固釘抗拉特性 .....	18
第三節 仿植生根系錨固釘與市售錨固釘比較 .....	23
<b>第五章 結論與建議 .....</b>	<b>25</b>
<b>參考文獻.....</b>	<b>27</b>
<b>附錄.....</b>	<b>附錄 1</b>
附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形 .....	附錄 1

## 圖次

圖 1-1 仿植生根系錨固釘 .....	2
圖 2-1 網毯錨定力不足之現象 .....	5
圖 2-2 現場網材脫落狀況 .....	6
圖 2-3 不同錨釘於礫石地施打狀況 .....	6
圖 3-1 市售各式錨釘(歐吉森企業) .....	8
圖 3-2 仿植生根系錨釘構件示意圖 .....	9
圖 3-3 錨釘貫入土中示意圖 .....	10
圖 3-4 仿植物根系錨固釘樣品 .....	10
圖 3-5 抗拉試驗設備設置示意圖 .....	11
圖 3-6 阿公店水庫淤泥粒徑分布圖 .....	12
圖 3-7 抗拉試驗儀器架設 .....	13
圖 3-8 側向剪力反力架及土樣模具 .....	14
圖 4-1 市售錨固釘之試樣外型 .....	16
圖 4-2 市售錨固釘抗拉試驗結果 .....	17
圖 4-3 刺刀形錨固釘於施作過程中斷裂 .....	18
圖 4-4 爪釘無伸出之抗拉曲線 .....	19
圖 4-5 爪釘正常伸出之狀況 .....	19
圖 4-6 爪釘受阻無法正常伸出 .....	20
圖 4-7 爪釘伸出之抗拉曲線 .....	20
圖 4-8 增加導槽之錨體設計之爪釘退回過程 .....	21
圖 4-9 仿植生錨固釘於沙質粉土進行抗拉試驗之結果 .....	22
圖 4-10 爪釘伸出示意圖 .....	23

## 表次

表 2-1 錨固釘材質特性比較表(株式会社白崎コーポレ ーション).....	4
表 3-1 阿公店水庫淤泥基本性質 .....	12
表 4-1 各錨釘最大拉拔力及價格比較 .....	24







## 第一章 緒論

我國位於亞熱帶區，年雨量豐沛達 2500 mm，且位於太平洋地震環帶範圍中，而且為板殼交接處因此我國除山坡地佔國土約 60%，且山坡地形陡峭，地質年代較輕，且多為破碎，且每年 6~11 月為颱風季，且每年均有多次颱風路徑為我國帶來嚴重豪雨，近年來由於人類不當使用石化能源，引起極端氣候發生頻率增加，更增加暴雨量及其發生頻率，因此如何有效防護我國較不穩定坡面防止土石沖刷沖蝕乃為我國水土保持重要工作之一。其中如何植生或防護並降低坡面土壤沖蝕或流失為重要工作項目。

### 第一節 研究背景

坡地土壤沖蝕是我國山坡地保育利用的長期而難以有效處理的問題之一。根據相關調查研究結果顯示，我國山坡地年平均土壤沖蝕深度高達 7.0 mm，高出世界平均值。由於坡面土壤沖蝕和流失帶來的地表裸露及貧瘠化，將引起土地生產力下降、調蓄能力降低、集水區環境惡化等後果，並形成惡性循環，更進一步惡化了水砂災害規模。因此發展坡地抗土壤沖蝕技術及工法，就成為解決坡地水砂災害及土地利用效率的關鍵課題之一。

本計畫係採用初步研發完成之仿植物根系錨固釘為對象，它主要是作為坡面植生網(毯)或其它植生鋪面的固定材料，如圖 1-1 所示。本項工法不同於以往採用的錨釘，在於釘身具有類似植物根系的根條，可以發揮如同植物根系的抓地力，供較佳的固結力及抗拔出力，具有較好的固結穩坡功能。

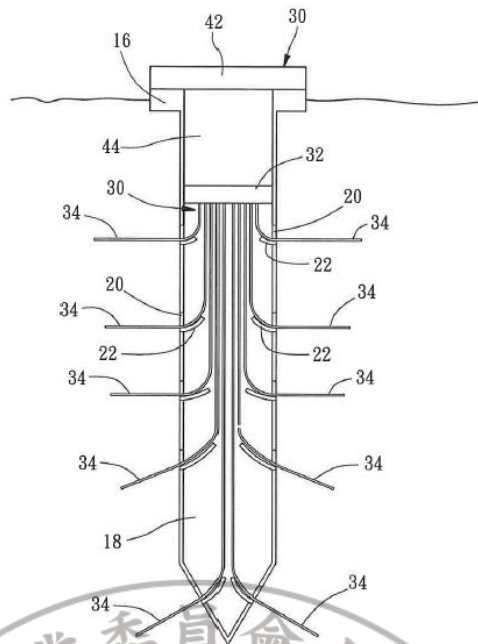


圖 1-1 仿植生根系錨固釘

## 第二節 研究目的

本計畫係以仿植物根系錨固釘為對象，研究其釘長及分布密度等對地表植生網(毯)的錨固功能，有效提升植生網(毯)控制地表土壤沖蝕之性能，錨釘施作後以抗拉及抗剪試驗評估其錨釘特性。

## 第二章 文獻回顧

植生工程常使用不同網材或植生包進行，然錨固釘為將應用材料固定於治理地之重要構件，植生工程技術現今雖發展成熟，但仍有案例失敗之問題，其中錨固力不足也為重要問題之一。本章將回顧相關研究或調查以利計畫執行。

### 第一節 錨固釘介紹

錨固釘大概分成樁型、訂書針型及針型幾種形式，其中訂書針型及針型大多使用在較單純之材料固定功能上不考慮其拉拔力，通常以#12至#8鐵絲彎折成型，釘身成光滑面無多餘倒鉤設計，然若釘身有強度需求則有採用竹節鋼筋彎折而成之錨固釘；樁型錨固釘考慮其拉拔力，故釘身會加以著墨。

錨固釘材質包含塑膠及金屬，其中以鐵製價格最低，如鋼筋或小號數鐵絲彎折而成等錨固釘，在防鏽考量下，鋁製或不鏽鋼彎折或鑄造而成之錨固釘價格自然因製程與材料成本而提高；塑膠錨固釘為塑膠射出製程，錨體能有複雜的倒鉤設計，但因高額開模費用使錨釘價格較鐵製高。在錨體強度考量方面，取決於錨體之設計及型式，依照錨體直徑、材質或幾何提供剛性。

常見塑膠材質包括ABS、PP、PET及PE等，大部分塑膠製的產品皆含倒鉤，雖難以拔起，但因衝擊力弱，在較硬之土壤狀況，用鐵鎚敲打可能會使錨固釘折斷，且因塑膠長期受紫外線照射，釘頭可能會產生裂痕致披覆毯無法錨固而脫離之情形發生，亦有耐用年限極短的產品。鐵製錨固釘雖會生鏽，但也因生鏽使錨體膨脹難以拔起，且

即使遇到較硬之土壤狀況，即變彎曲也不會折斷，成本便宜、强度高為他的特性，與不鏽鋼製錨固釘比較，不鏽鋼雖不容易生鏽損壞，但造價接近鐵製的八倍，故鐵製錨固定被廣為使用，表 2-1 為金屬製錨固釘與塑膠製錨固釘特性比較。

表 2-二-1 錨固釘材質特性比較表(株式会社白崎コーポレーション)

項目	塑膠製	鐵製	不鏽鋼製
價格	中	低	高
腐蝕性	不生鏽	生鏽	難以生鏽
耐用年數	低	中	高
拉伸強度(抵抗)	低	高	高
地盤支持力	中	高	低

## 第二節 使用範圍與安裝

錨固釘主要用於錨定土工織物、格網及植生毯等土工產品於土壤或土礫石地上為主，且錨定深度約在 20 cm ~ 30 cm，與土釘甚至地錨應用於錨定約 2 m ~ 12 m 之範圍不同，傳統錨固釘無論樁型、訂書針型等，主要提供防止披覆毯或材料脫落，無法有效穩定坡面上之滑動面。

錨固釘之安裝方式並無特定規範，各個設計單位或施工廠商皆有自我鋪設程序，如國內施工規範 02921 章噴植草，在綠化帶錨定程序，於綠化帶平鋪後，以 #12 鐵絲製成 U 形釘入土中 20 cm 加以固定；植生綠化暨生態保育網也有介紹一系列披覆資材錨定方法，如椰纖網毯、植生棉毯、植生用織布及加勁格網等，在網毯鋪設完成後，以 #10 高



鍍鋅鐵絲折彎成U形插入錨定，錨定深度須達 25 cm 以上，並依現地地質狀況每平方公尺錨定一處以上。國外對於錨固釘之使用也無特別規範，僅有一些使用建議，如美國防沖蝕協會(ECTC)於坡面地工防沖蝕毯使用與安裝指南提到，典型的錨定方式為垂直方向每 3~5 英尺需錨定 1 支樁型或U形錨固釘，水平方向每 18~24 英尺需錨定 1 支錨固釘；美國聯邦公路局 FP-03 規範中，建議所以地工防沖蝕毯在安裝後，其最小錨定數面積比率應大於  $1.5 \text{ pcs/yd}^2$ ，並依現場土壤類型或狀況提高額外的錨定量。

### 第三節 應用問題

因錨固釘之特性並無太多的研究著筆，故在實際應用中，錨固釘之錨固力不足問題屢屢發生，如劉廷威(2011)於石門水庫集水區內，麻美道路 3k 進行掛網植生成果調查，此治理區採複合立體網為被覆資材，然現場發現部分網毯產生撐篷現象，如圖 2-1，乃因毯身孔隙低，以致植生復育後不易穿透造成網毯錨地力不足之現象。



圖 2-1 網毯錨定力不足之現象

林信輝(2014)指出，鋪網噴植工法有網材脫落之問題，原因包含鋪網施工期未能穩固網材，造成後續網材脫落破壞問題，及錨釘、土釘、螺釘及預力錨釘尺寸長度規格，需依現地坡面條件調整等。在坡度較陡峭且坡長較長之治理地施工時常發生網材脫落之狀況，如圖 2-2。



**圖 2-2 現場網材脫落狀況**

不同材質錨固釘應用在不同條件之場址，應挑選適當之產品進行使用，Greenbio 公司以工程常用之 U 型 #8 號鐵絲與 ABS 塑膠錨釘於礫石地進行錨固測試，測試結果如圖 2-3，U 型鐵絲在打入過程易變形，而 ABS 錨定則發生斷裂之狀況。



a) U 型 #8 鐵絲施打狀況

b) ABS 塑膠錨釘施打狀況

**圖 2-3 不同錨釘於礫石地施打狀況**

## 第三章 研究方法

### 第一節 研究步驟與工作項目

#### 一、研究步驟

(一) 基本資料蒐集：蒐集應用於坡面植生錨固土釘之種類、材質、應用及其限制等，並針對市售常用形態之錨固釘進行抗拉試驗。

(二) 仿植物根系錨固釘製作：以金屬鋼材製作不同長度的仿植物根系錨固釘。

(三) 抗拔出力及剪力試驗：運用前述三種不同長度的仿植物根系錨固釘，植入可固著之錨定材料(如硬質發泡材)及土壤中，其分布密度約於每平方公尺約3~8支，再分別提供3種垂直拉力及水平剪力，模擬自然環境下各種可能的破壞營力。

(四) 性能研析：通過上述的試驗結果，研析在不同長度及分布密度時仿植物根系錨固釘之抗拔出力及抗剪力性能。

(五) 產品化評估：本計畫採用之仿植物根系錨固釘屬於嶄新的工法和技術，具有商品化之潛力。因此，本計畫擬通過省時、減工、安全、綠能減碳及生態永續等面向分析其商品化之可行性和價值。

#### 二、工作項目

(一) 蒐集植生錨固釘之種類、材質、應用、使用限制、拉拔力等基本資料。



- (二) 仿植物根系錨釘之製作。
- (三) 錨固釘抗拉力與抗剪力試驗。
- (四) 錨固釘性能評估分析。
- (五) 產品化評估。

## 第二節 仿植生根細錨固釘製作

目前金屬網及地工植生網常應用於坡面植生與防沖蝕等用途，為穩固金屬網及地工防沖蝕毯，傳統會以鋼筋頂部折彎為丁型施打入土為錨固材料，由於鋼筋與土壤間磨擦阻抗有限，因而有採用不同材質，貫入桿表面具凸點之錨固釘因應而產生，些許改善錨固效果，如圖3-1。



圖 3-1 市售各式錨釘(毆吉森企業)

本研究即採用本國研發之仿植物根系之專利錨固釘為研究方向，此項專利錨釘示意圖，如圖3-2，此項發明含錨釘本體(圖3-2-a)、貫入桿(圖3-2-b)及可伸入土體之根爪(圖3-2-c)。



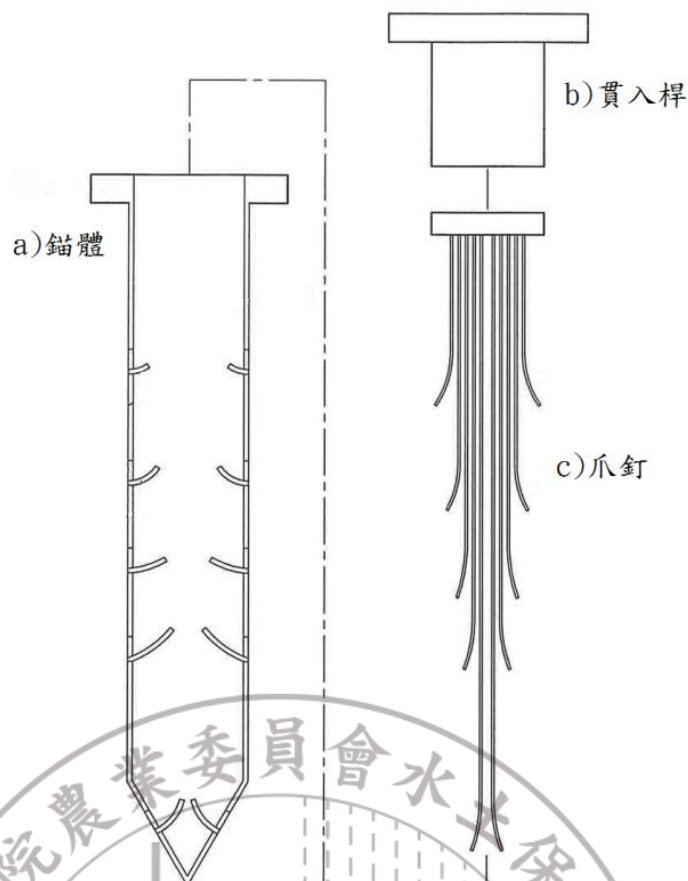


圖 3-2 仿植生根系錨釘構件示意圖

本研究初期設計採用鋼質中空錨體，錨體前端為尖錐狀，錨體上部含一圓盤承打面，以利可經由金屬錘貫入不同性質之土體中；中空錨體中再設置具導向功效之導桿，以利以特別設計可打擊之貫入桿，經由金屬錘二次貫入過程中，得以有效控制導桿於中空錨體向下貫入，中空導桿設計配合爪釘之特別開口，導桿之前端焊接可伸出中空錨體之爪釘，當導桿以貫入桿打擊向下時，爪釘依設計方向，向外伸入土體中，本研究初部設計之仿植生根系錨固釘之初部設計草圖如圖 3-2，圖上顯示貫入土壤中，爪釘伸出之概況，當採用貫入桿將導桿向下貫入時，爪釘可伸入土壤中，爪釘伸入土壤中之情形示意圖則如

示圖3-3，本研究製作仿植物根系錨固釘照如圖3-4，目前初部設計錨固釘外徑為30 mm，錨釘長為250 mm，伸出爪釘長約30 mm，會依如下評估試驗結果再行修改設計。



圖 3-3 錨釘貫入土中示意圖



圖 3-4 仿植物根系錨固釘樣品

### 第三節 試驗方法

為評估仿植生根系錨固釘之效果，本研究乃先行以屏科大紅土層為試驗土層，並以錨栓抗拉設備評估其抗拉強度，抗拉試驗設置之示意圖如圖3-5，但紅土層乃為野地，土壤性質如粒徑、夯實度及植生根系發展狀況等皆為未知且非常不均勻，故另採特製鋼模進行備製土樣。



圖 3-5 抗拉試驗設備設置示意圖

人工夯實之試樣土壤為阿公店水庫之淤泥，其土壤性質及粒徑分布如表3-1及圖3-6，在土樣備製時，將根據夯實試驗之結果，將土壤含水量調整至最佳含水量狀態，在以夯實度93%去計算鐵模所需之土量後，以分層人工夯實之方式進行備製抗拉試驗土樣，此備製方式能使土樣狀況變異性大幅降低，使降低對抗拉試驗之結果影響。

表 3-1 阿公店水庫淤泥基本性質

項目	方法	結果
阿太堡試驗	ASTM D4318	LL=22,PI=4
統一土壤分類法	ASTM D2487	砂粉質黏土(CL-ML)
夯實試驗	ASTM D698	$\gamma_d \max = 1.83 \text{ (t/m}^3\text{)}$ O.M.C. = 14.5 (%)

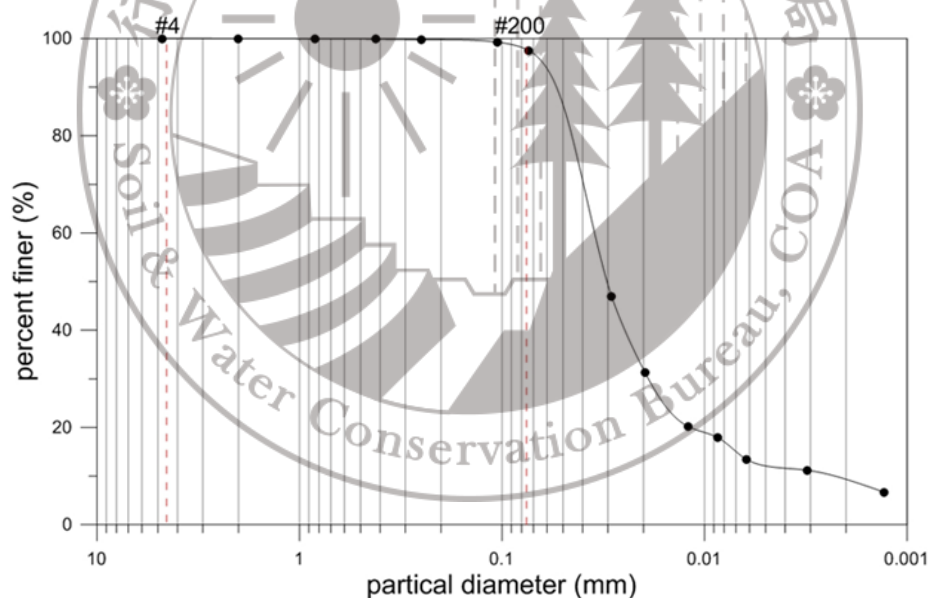


圖 3-6 阿公店水庫淤泥粒徑分布圖

在備製土樣後，針對不同錨固釘進行抗拉試驗，包含市售錨固釘及本研究設計之仿植生根系錨固釘，試驗進行時，將錨固釘打入土樣後，利用油壓缸及荷重讀取設備配合特製之夾具將錨固釘拔出，整試驗體架設如圖3.7。



圖 3-7 抗拉試驗儀器架設

土壤表面之錨頭側推剪力試驗為量測錨固釘受地面物掛載時，錨體受重力或材料自重側滑之阻抗，在錨體受側向推力時，錨固釘可能受彎矩破壞而被拔起或產生錨頭斷裂之剪力破壞情形，其儀器目前還在建置中，如圖 3-8 所示，為側向剪力架設於土樣模具上，另在設計各錨固釘對應之側向推移夾具即完成，側向剪力特性為重要之數據，其為容許承受披覆材及坡面上物之依據。





圖 3-8 側向剪力反力架及土樣模具



## 第四章 試驗成果

### 第一節 市售錨固釘抗拉特性

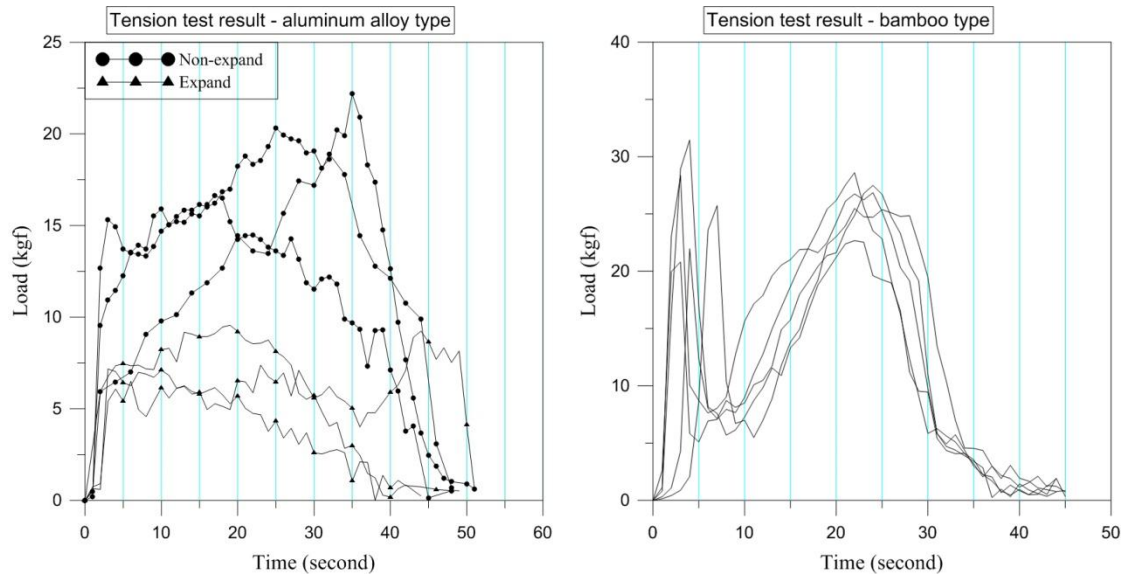
市售錨固釘樣式琳琅滿目，本研究取用市售不同類型之錨固釘進行拉拔力調查，包含螺旋型(A)、刺刀型(B)、鋁合金(C)、竹節型(D)及光滑型(E)等五種，樣式外型如圖4-1所示，抗拉試驗結果如圖4-2，試驗結果以螺紋型及光滑型為最高，平均抗拉荷重分別為344.1 N及361.4 N。光滑型錨固釘雖為測試對象中最短之錨固釘，但漸變增加直徑之異徑錨體可使錨固釘有效增加土壤互制之行為，直接提供較高的摩擦力來阻抗；螺旋錨固釘錨體雖有較大之錨徑，但筆直均一的直徑設計，在錨體打入過程使孔位逐漸變大，故錨體無法完整的接觸錨釘壁體；竹節型錨固釘之平均抗拉荷重為277.9 N，因有較大之突出倒角，在受力曲線可以看出有多重受力之狀況，而均一直徑設計一樣將使錨體有效提升壁體與土壤契合功效；鋁合金錨固釘為測試對象中最細之錨固釘，在受敲擊打入土體時，若受偏心敲擊將使土孔擴大致使錨定力大幅降低，在孔洞過度擴大之狀況下，其平均最大抗拉荷重僅有84.95 N，若敲打過程較為小心，其平均最大抗拉荷重為190.8 N。刺刀型錨固釘在錨體敲擊過程中，錯位的突出倒鉤可漸進將土壤回填倒鉤上方形成阻抗，但過細的錨體或材質因素，使刺刀型錨固釘在打入人工夯實之土樣屢發斷裂之情形，故無法執行測試，錨釘斷裂情形如圖4-3。



圖 4-1 市售錨固釘之試樣外型

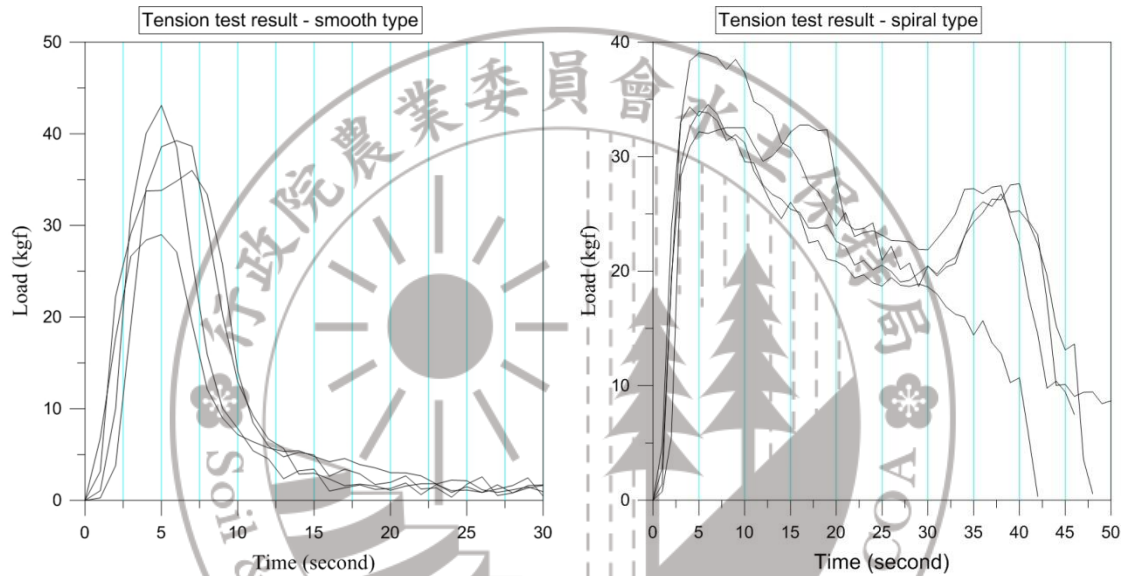






a) 鋁合金錨固釘

b) 竹節錨固釘



c) 光滑錨固釘

d) 螺旋錨固釘

圖 4-2 市售錨固釘抗拉試驗結果



圖 4-3 刺刀形錨固釘於施作過程中斷裂

經市售錨固釘拉拔力評估後，可得知用於地工防沖蝕毯或地工格網之短型錨固釘在淺層土壤作錨定使用時，可以歸納出幾種不同錨釘設計優點，包含非均一直徑漸變錨體、錯位倒鉤及較大倒鉤間距設計等，異徑漸變可使錨體在打入土中有效接觸土體，並可導引錨體垂直向下推進；錯位倒鉤設計在錨體敲打過程中，利用上層倒鉤將土壤撥至下層倒鉤上方使增加錨定力；在含礫石之土壤條件下，礫石無法填縫於過窄的倒鉤間距，而無法發揮更大的錨定力，故間距較寬設計有較良好之效果。

## 第二節 仿植生根系錨固釘抗拉特性

研究初期前行評估錨固釘植入土壤中（爪釘未伸出）之抗拉強度，試驗結果如圖4-4，其平均強度為719.2 N，再行將錨固釘以貫入桿將爪釘伸出土壤後之抗拉試驗，然目前初步製作之錨固釘採鋼管製作錨體，再以#10鐵線加工作為內部爪釘，就目前測試，若正常伸出之狀況如圖4-5所示，然以#10鐵絲作為爪釘之尖頭可能過軟，以致使用貫入桿將爪釘打入含礫石之黏土時，無法正常伸出錨體如圖4-6所示，

但同樣執行未完全伸出爪釘之錨釘抗拉試驗之結果如示圖4-7，其平均抗拉強度為1349.95 N。相較二者，得知爪釘可有效提升錨固力達87.70 %。

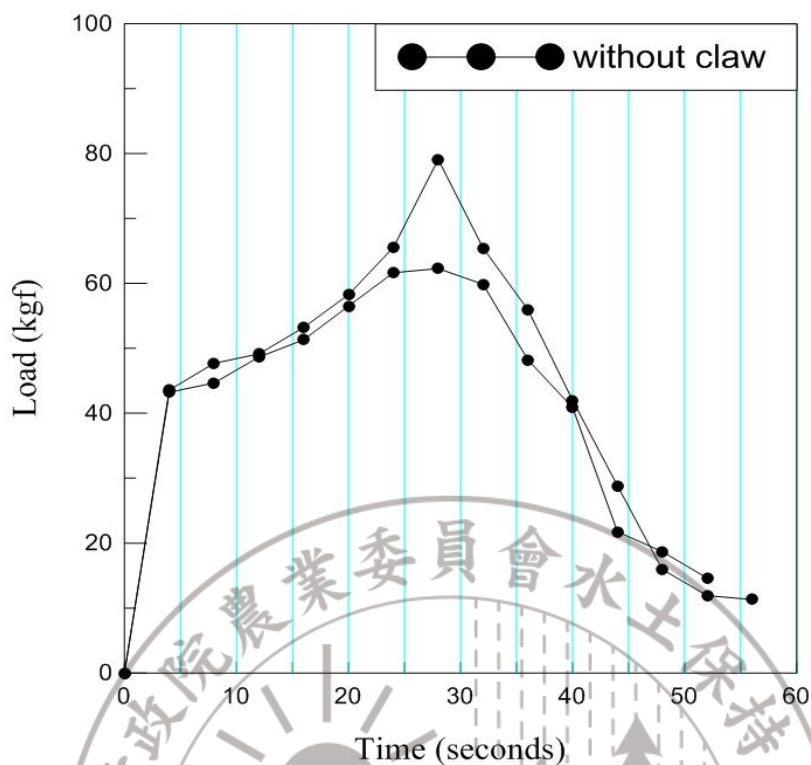


圖 4-4 爪釘無伸出之抗拉曲線



圖 4-5 爪釘正常伸出之狀況



圖 4-6 爪釘受阻無法正常伸出

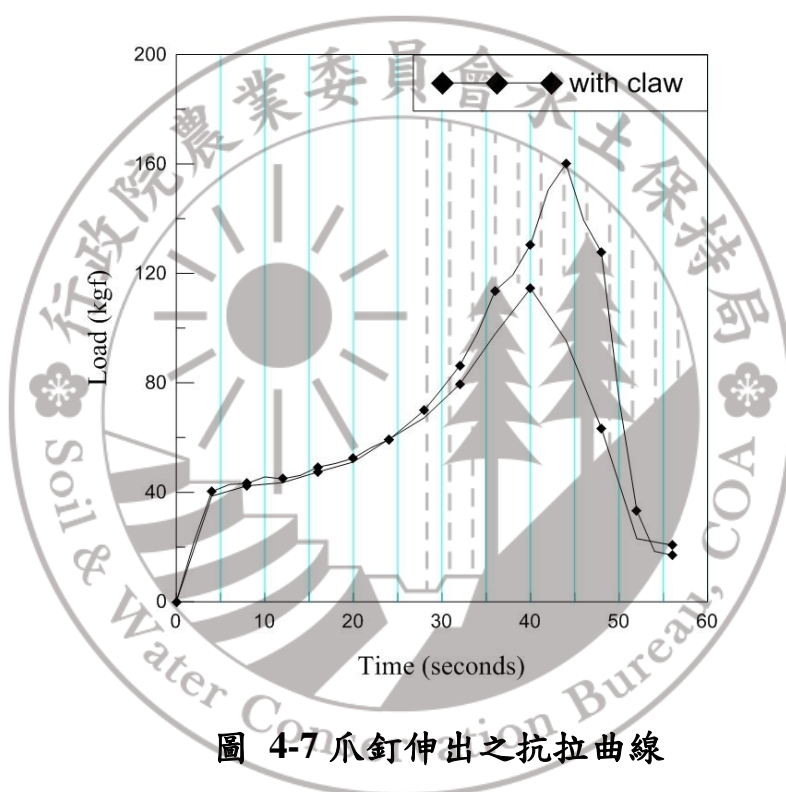


圖 4-7 爪釘伸出之抗拉曲線

為使爪釘可以在錨體內正常伸出，本研究在爪釘內部增加導槽，使各爪絲可以順利伸出錨體，然此設計也將使爪釘可以有退回之功能，以利進行重覆性結果分析，其爪釘退回過程如圖 4-8 所示。



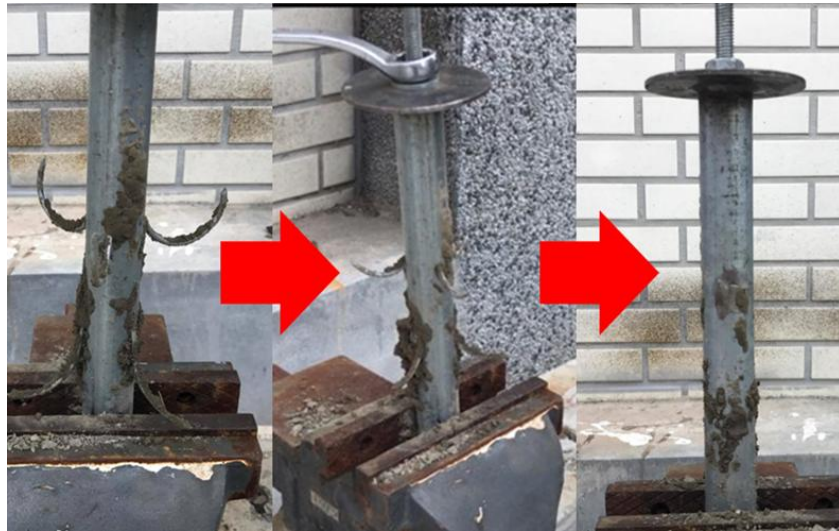
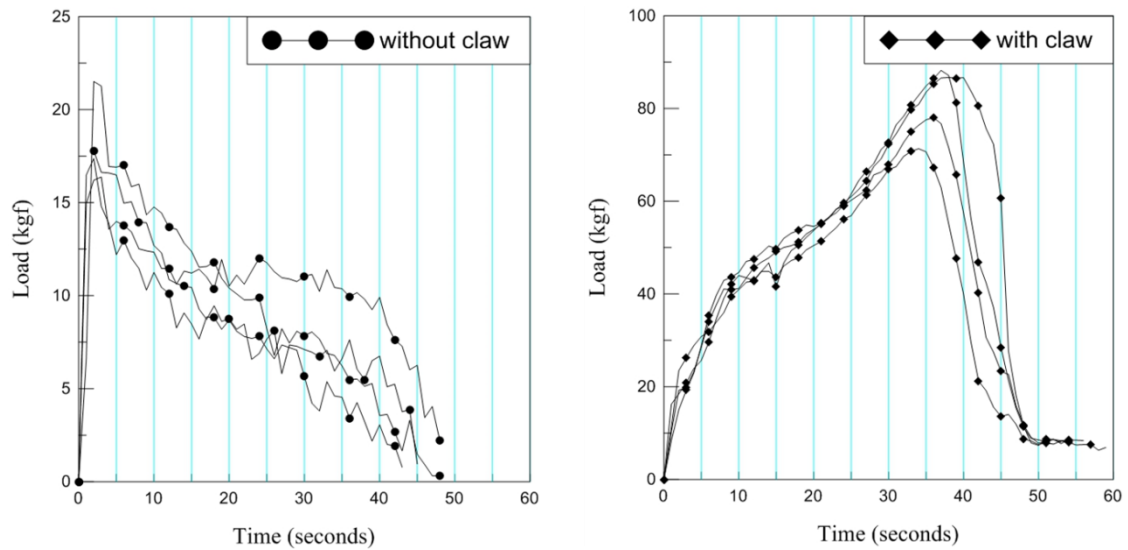


圖 4-8 增加導槽之錨體設計之爪釘退回過程

於含礫石之黏土野地執行錨固釘抗拉測試，因野地無法得知其土壤狀況為何，其土壤夯實度、含礫石之比率及草根加勁情形皆無法保持在相同狀況，故研擬改使用人工夯實土壤進行錨固釘抗拉試驗，其土壤為阿公店水庫淤泥，為質地均勻之砂質粉土，再依其土壤力學性質計算進行備製低變異性之土樣，土壤採目標 93 % 夯實度進行備製。

未伸出及已伸出爪釘之仿植生錨固釘於沙質粉土之土樣皆有良好重覆性結果，其結果如圖 4-9 所示，未伸出爪釘之錨固釘平均抗拉荷重為 179.1 N，若將爪釘打入土體後，將可有效提升拉拔力，其伸出爪釘之錨固釘平均抗拉荷重為 795.30 N，其抗拉強度增加達 3.44 倍，可見爪釘身出具有顯著效果。



a) 爪釘無伸出之抗拉曲線

b) 爪釘伸出之抗拉曲線

圖 4-9 仿植生錨固釘於沙質粉土進行抗拉試驗之結果

仿植生錨固釘在爪釘未伸出時，其錨體筆直光滑，在敲擊打入土體時，僅靠部分錨體接觸提供摩擦力，其行為如同鋁合金錨固釘，但在爪釘伸出後，後置式橫向伸入土壤，提供良好的向上拉拔力，比較螺旋錨固釘與光滑錨固釘，伸出爪釘之仿植生錨固釘有更好的拉拔力。

經過實際錨釘樣品設計及抗拉試驗後，在最後錨體設計上，配製 2 排 3 支 #12 鐵絲爪釘，間距為 5 公分，而爪釘長度完全伸出約為 6 cm，此長度為最佳之長度，如圖 4-10 所示，因爪釘在伸出時將逐漸變曲，若爪釘過長之設計狀況，只會使爪釘為內收折，原由 a 段提供之拉拔阻抗，改由 b 段取代，並不會有增加之效果，然拉拔阻抗若要提升，僅能由提高導孔角度來增加伸出爪釘之受力範圍，但過大的導孔角度

將使抓釘伸出順暢度降低。目前採用之爪釘為#12 鐵絲，其線徑為 2.6 mm，使用在無礫石之土壤條件可順暢伸出，然若含有礫石土壤條件，3.2 mm 之#10 鐵絲為可行之選擇，但其伸出順暢度將大幅降低，而 4.0 mm 之#8 鐵絲則可能致使爪釘伸出困難。

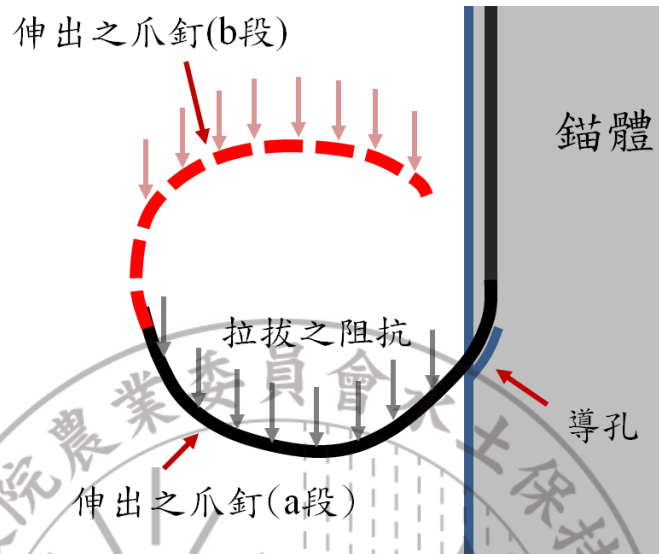


圖 4-10 爪釘伸出示意圖

### 第三節 仿植生根系錨固釘與市售錨固釘比較

市售錨固釘式樣繁多，其結果整理如表 4-1，以拉拔力結果來說，市售以光滑錨固釘最佳，拉拔力達 361.4 N，鋁合金錨固釘拉拔力 190.8 N 為最低，然本研究之樣品，在爪釘未伸出之狀況，其拉拔力與鋁合金相似為 179.1 N，但若爪釘伸出後，其拉拔力可達 795.3 N，高於最佳之光滑錨固釘 2 倍，可見效果顯著。

在成本方面，塑膠錨固釘每支價格平均為 18 元，鋁合金錨固釘單支為 25 元，然經調查市售釘書針型之錨固釘，因用料少且採鐵絲彎折加工簡單，單支價格在 5 元以下，而本次試驗樣品還在試作階段，採鋼管加工製作，還未進入塑膠射出製作階段，故成本上還無法估算，但因仿植生根系錨固釘在整體設計上含有 2 個部件，且其中爪釘為含有鐵之複合部件，在製程上可能會使成本提高，有待最佳話之設計分析，再行製模量產。

表 4-1 各錨釘最大拉拔力及價格比較

錨釘 類型	螺旋	刺刀	鋁合金	竹節	光滑	仿根系 (未伸出)	仿根系 (伸出)
最大拉拔力 (N)	344.13	--	190.80	277.9	361.4	179.1	795.3
單支價格 (元)	18	15	25	23	16	--	--



## 第五章 結論與建議

本研究目地具備專利之仿植生根系錨固釘模型產品，並評估其工程特性，為有效評估此項產品特性，本研究針對目前市售應用於錨定防沖蝕產品於土壤表面之產品評估其功效，為考量渠道常出現土壤為低塑性粉土，本研究用之土壤為取自阿公店水庫清淤之粉土，並經由適當之夯實後執行錨釘特抗拉試驗，然側向剪力設備並進行設計中，研究之結論與建議如下：

### 5.1 結論

仿植生根系錨固釘能有效提升錨固力，透過錨體上之爪釘深入土體，有效增加抗拔力，在抗拉試驗之測試結果，無伸出爪釘之拉拔力為 179.1 N，此時拉拔力為錨體與土壤摩擦力，伸出爪釘後，其拉拔力由爪釘提供達 795.3 N，有無伸出爪釘之拉拔力差異達 4 倍以上。然挑選 5 種市售錨固釘進與本研究樣品對比拉拔力之性能，市售錨固釘之拉拔力最高為光滑錨固釘，其拉拔力為 361.4 N，比起本研究之樣品，仿植生根系錨固釘高出 1 倍之多，證明本研究之產品具有顯著之效果，但在成本考量上，目前還無法量產化，不過就目前市售錨固釘單價調查結果，其塑膠錨固釘單價約在 18 元，本研究之概念成品需最佳化設計研究方可能後續製模量產降低生產成本。

## 5.2 建議

研究製作仿植生根系錨固釘之設計雖有些微修改專利產品之設計，並經過數次修改設計，但仍為修改之必要，其中可包括錨固釘尺寸、爪釘密度、長度及伸展角度均為研究之項目，以期達到最佳化之設計，方可進行後續量產降低生產成本之階段。



## 參考文獻

1. 林信輝，“國有林崩塌地現行鋪網噴植工法應用與問題分析”，  
台灣林業，第 40 卷，第 3 期，35-42 頁，2008。
2. 白崎有限公司，[https://www.bousou-sheet.com/user\\_data/pin.php](https://www.bousou-sheet.com/user_data/pin.php)
3. 孫介文、堯大鈞，“土釘工法之適用性與設計案例”，地工技  
術，第 98 期，65-70 頁，2003。
4. 劉廷威，碩士論文，噴植工法應用埋設網材適用性之研究，國立  
中興大學，2010。
5. Greenbio co., ltd., [http://www.iwadaresou.com/page\\_d.html](http://www.iwadaresou.com/page_d.html).
6. Jerald S. Fifield, “Designing for Effective Sediment and Erosion  
Control on Construction Sites” ForesterPress, 2001.
7. ECTC, “Rolled Erosion Control Products (RECPs) General Usage  
and Installation Guidelines for Slope”, 2014.



## 附錄

### 附錄一、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
1	本錨固釘具有結構特性，但似以土質坡面或較平坦鬆方地面為主，未來如何適用於不同地層或地質地區？如礫石層等。	後續研究可加強爪釘，以利應用於礫石層。
2	試驗現地土壤為紅土，人工夯實土壤試驗採用淤泥，拉力試驗也以均質土壤為主，未來仍需增加不同土壤之試驗資料。	後續研究可增加試驗土壤種類。
3	本研究具有很好的應用，應持續研發。可考量採用環保材料製作。	可考量於後續研究採用可分解材料為錨固釘材料。
4	爪釘伸出及無伸出的抗拉性能存在很大的差異，試說明再什麼樣的土壤條件下較易發生未伸出狀況？	目前爪釘之剛性為影響伸出之要素，可於後研究納入為研究項目。
5	P.24，比較各型錨釘的拉拔力時，是否考量其深度？	以目前常見貫入深度 15~20 公尺為主。
6	倘後續將持續研發，還需要哪些探討工作課題？(土地類型、深度、耐久性等)	土壤種類、貫入深度及錨固釘耐久性均可為後續探討方向。



項次	審查意見	回覆辦理情形
7	仿植生根系錨固釘本計畫試驗為25cm長度，若長度加長，其爪釘的伸出是否因土壤越深其硬度增加，而無法發揮其效果？	依定性觀點較深埋入深度對爪釘伸出應有影響，定量上有待後續研究評估。
8	仿植生根系的錨固釘若大量生產，其單價約多少？	目前離型錨釘仍有待改進，於改進至適當階段後，方會進行量產單價評估。

