
**本土化不同草種與期齡及植生毯噴植應用
於草溝曼寧粗糙係數與濾砂功能之研究**

**The effects of various types grass
and hydroseeding RECP at various growth
age on the Manning's coefficient and flow
sedimentation for vegetated grass ditch**

執行單位：國立屏東科技大學

執行期間：107 年 02 月 09 日至 107 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 107 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)

本土化不同草種與期齡及植生毯噴植應用

於草溝曼寧粗糙係數與濾砂功能之研究

摘要

植生工法為傳統沖蝕治理之方式，根據水土保持手冊說明，透過草類、林木或枯枝落葉等殘株作為材料，以栽植覆蓋土壤表層，避免雨水直接打擊或逕流沖蝕，並透過植生之新陳代謝提供有機質，以改良土壤物理性質，提高滲透性與涵水能力，使達到涵養水源與防止土壤流失的效果，最終目的本是希望植生能復育良好達全面覆蓋來降低土壤沖蝕之問題。

為了有效使草溝具備足夠宣洩地表逕流，其斷面設計中主要因子包括地表坡度、斷面及植草曼寧粗糙係數等，早年於 1969 年周文德學者曾依植草高低建議草溝曼寧粗糙係數介於 0.005~0.100，我國水土保持手冊則依植草之疏密建議草溝曼寧粗糙係數介於 0.035~0.060，本校曾以百喜草進行渠道沖蝕研究，分析植生 2 個月百喜草曼寧粗糙係數介於 0.018~0.028，然目前我國草溝設計多採用匍匐性假儉草及類地毯草，然目前我國仍未建立此類草種相關曼寧係數數據。

地工合成材料發展多年，材料功能涵蓋廣闊且成功案例許多，其中於沖蝕控制功能之材料，以高分子纖維製造之地工防沖蝕植生毯在國內外也越來越多工程採用之。

抗沖蝕特性研究中，國內主要著重於坡面植生方法及噴植資材特性探討，與地工防沖蝕毯結合之應用研究較為缺乏，且大部分多以坡地降雨沖蝕作為驗證試驗，暴雨引起漫流或匯流，如截流溝、山邊溝及草溝，甚至河川護岸保護之渠道相關應用也應進行探討。

因此本研究計畫擬採用本校已建置完備之渠道，執行我國常用於草溝匍匐性草種於不同齡期(一個月、兩個月及四個月)與生長狀態之沖刷試驗，以分析其對應之曼寧粗糙係數，另外亦進一步取目前我國常用之地工植生氈，配合匍匐性草種以噴植植生方式，分析不同齡期(一個月、兩個月及四個月)植草生長狀況，並執行渠道沖蝕及濾砂試驗，再分析其對應之曼寧粗糙係數，期望研究成果可供我國生態工法草溝設計之參考。

本研究使用渠道沖蝕試驗及室內植生評估進行三個齡期於兩種不同種植條件下之曼寧粗糙係數，以探討何者更能有效保護土壤表面。研究包括，使用砂質粉土、假儉草、與類地毯草、噴植資材、地工防沖蝕氈等作為試驗材料，研究將採草仔配合植生材與購買市售草皮，植生於試驗土槽後分別於一個月、兩個月及四個月時進行沖蝕，分析不同期齡植草於草溝植生之適用性及分析其對應之曼寧粗糙係數與濾沙特性。

渠道標定試驗結果顯示以 90HP 馬達與渠道坡度為 1% 條件下之水利條件與水土保持手冊草溝最大容許流速(2.5m/s)較為相近，為本研究之主要試驗條件。

已完成假儉草與地毯草之噴植植生與假儉草草皮植生一至四個月植草齡期沖蝕試驗。

植草高度會隨生長齡期增加而增高，導致試驗段水位抬升及通水斷面積增加，致使流速降低及曼寧係數上升與抗沖蝕性增加。

由假儉草試驗數據顯示，草皮植生與 RECP 噴植植生均為有效抗沖蝕植生工法，然 RECP 噴植植生需較長時間達有效植草扎根。

由現階段試驗數據顯示，匍匐性假儉草與類地毯草植生防沖蝕功

效相近。

由二個月的數據顯示，百喜草植草高度較高於匍匐性(假儉草及類地毯草)植草，導致百喜草曼寧係數(0.025)高於匍匐性植草之對應之曼寧係數(0.018~0.020)。

由假儉草試驗數據顯示，四個月植草之曼寧係數(0.024~0.028)較高於兩個月植草之曼寧係數(0.018~0.020)。

綜合試驗數據顯示，平均植草高度 4~5cm 其對應之曼寧係數約為 0.017~0.019，平均植草高度 10~12cm 其對應之曼寧係數約為 0.024~0.028。

由濾砂試驗結果顯示，試驗流速為 0.36m/s 時植草具有良好的濾砂功能，後續可增加流速以評估植草濾砂功能。

土壤具備適當植生，其沖蝕率可低至 0.24%~0.33%。

The effects of various types of grass and hydro-seeding RECP at various growth age on the Manning's coefficient and flow sedimentation for vegetated grass ditch

Abstract

A laboratory study is conducted to analyze the effects of vegetation growth with Rolled Erosion Control Products (RECPs) on the Manning's coefficient (n) in a grass ditch. Three types of vegetation are used in this study; Bahia, Carpet and Centipede grass. Sandy silt soil obtained from a local river bank is used for testing. The indoor test channel is rectangular in cross section measuring 24 m long, 0.6 m wide and 0.6 m high with an adjustable channel bed of 0 ~ 7 %. The grass is planted in stainless steel boxes with the test soil conditions being vegetated soil bed and vegetated erosion control mated covered soil bed with grass seed density of 25g/m². ASTM D6460 test method is used to conduct the tests. One flow condition, three different vegetation types at different growth stages, and one type of RECP is used in the study. Testing is done in three stages; four weeks, eight weeks and sixteen weeks after planting with each test lasting for 30 minutes. An Acoustic Doppler velocimeter is used to measure the velocity and the Manning's equation to determine the roughness coefficient (n). A 90 HP flow pump capacity and 1% slope channel is used for testing. A software (Image J) is used to determine the area coverage of the vegetation in each of the test samples before testing. As the grass grow, its height increases. An increase in the grass height cause the water level in the test section to increase resulting to lower flow rate thus leading to increased Manning's coefficient and erosion resistance. The grass height of Bahia grass at two months was higher than that of Centipede and Carpet grass, resulting to higher coefficients (0.025) than the

corresponding for the other vegetation (0.018~0.020). Using RECP with vegetation increases the Manning's coefficient as the grass continues to grow, vegetation without RECP have slightly lower (0.019 ~ 0.021) values than with RECP (0.013 ~ 0.025). The use of vegetation with RECP requires more time for it to establish, vegetation without RECP have higher % area coverage at the early stages of growth yet at four months it is the opposite. The use of RECP with vegetation in a grass ditch reduces the rate of soil erosion to less than 1%. As the vegetation grows the rate of soil loss decreases, vegetation at one month had slightly higher S.L.R. (0.30 ~ 0.33 %) than at four months (0.125 ~ 0.20 %). The sand filter test results show that the vegetation has a good filter function at flow velocity of 0.36 m/s, and it is recommended that it can be increased to evaluate the grass filter.

Keywords: *Vegetated ditch, RECP, Manning's coefficient, Soil erosion, Channel flow*

目次

摘要	I
目次	VI
表次	VII
圖次	VIII
第一章 緒論	1
第一節 研究動機與研究問題	2
第二章 工作執行方法與步驟	9
第一節 試驗材料	9
第二節 試驗設備	11
第三節 試驗方法與步驟	13
第三章 工作進度與交付項目	22
第四章 結果與討論	25
第一節 渠道水利特性校正試驗	25
第二節 試樣盒植生	26
第三節 渠道沖蝕試驗	28
第五章 綜合與結論	42
參考文獻	46
附錄	48
附錄一、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形	48

表次

表 1-1 植被與其曼寧係數(Chow, 1959)	3
表 1-2 六種植生處理之發芽量 (李元智, 2003)	6
表 1-3 常用噴植資材分類與特性 (謝杉舟, 2006)	8
表 2-1 工程常用之植生資材比率	11
表 2-2 土壤基本性質試驗法	14
表 3-1 研究進度表	23
表 4-1 渠道水利特性標定試驗	26
表 4-2 假儉草沖蝕試驗水利特性摘要表	30
表 4-3 假儉草植生沖蝕試驗剪應力分析表 (單位: PA)	35
表 4-4 假儉草草皮植生沖蝕試驗結果分析表	36
表 4-5 假儉草噴植植生沖蝕試驗結果分析表	36
表 4-6 假儉草 RECP 噴植植生沖蝕試驗結果分析表	37
表 4-7 類地毯草沖蝕試驗水利特性摘要表	37
表 4-8 類地毯草植生沖蝕試驗剪應力分析表單位: PA	40
表 4-9 類地毯草 RECP 噴植植生沖蝕試驗結果分析表	40
表 5-1 沖蝕試驗各項數據	44
表 5-2 沖蝕試驗各項數據	45

圖次

圖 2-1 渠道沖蝕設備	12
圖 2-2 自製舊式不鏽鋼試樣盒.....	13
圖 2-3 改良新式不鏽鋼試樣盒.....	13
圖 2-4 渠道緩衝段及試驗段配置示意圖.....	18
圖 2-5 沖蝕試驗前數據量測	19
圖 2-6 深度沖蝕率點位	19
圖 3-1 研究工作項目流程圖	24
照片 4-1 試驗土盒填土夯實完成情形	27
照片 4-2 假儉草一個月植生情形	27
照片 4-3 假儉草二個月植生情形	28
照片 4-4 類地毯草兩週植生情形	28
圖 4-1 土壤重量沖蝕率	29
圖 4-2 沖蝕試驗前	29
圖 4-3 沖蝕試驗後	29
圖 4-4 假儉草流速延時分佈圖	31
圖 4-5 假儉草曼寧係數分佈圖	32
圖 4-6 假儉草福祿數分佈圖	33
圖 4-7 假儉草剪應力對應之沖蝕率分佈圖	34
圖 4-8 類地毯草流速延時分佈圖	38
圖 4-9 類地毯草曼寧係數	38
圖 4-10 類地毯草福祿數分佈圖	39
圖 4-11 類地毯草剪應力對應之深度沖蝕率分佈圖	39

圖 4-12 不同期齡之植草覆蓋率	41
圖 4-13 假儉草不同期齡之曼寧系數	41

第一章 緒論

植生工法為傳統沖蝕治理之方式，根據水土保持手冊說明，透過草類、林木或枯枝落葉等殘株作為材料，以栽植覆蓋土壤表層，避免雨水直接打擊或逕流沖蝕，並透過植生之新陳代謝提供有機質，以改良土壤物理性質，提高滲透性與涵水能力，使達到涵養水源與防止土壤流失的效果，最終目的本是希望植生能復育良好達全面覆蓋來降低土壤沖蝕之問題。

為了有效使草溝具備足夠宣洩地表逕流，其斷面設計中主要因子包括地表坡度、斷面及植草曼寧粗糙係數等，早年於 1969 年周文德學者曾依植草高低建議草溝曼寧粗糙係數介於 0.005~0.100，我國水土保持手冊則依植草之疏密建議草溝曼寧粗糙係數介於 0.035~0.060，本校曾以百喜草進行渠道沖蝕研究，分析植生 2 個月百喜草曼寧粗糙係數介於 0.018~0.028，然目前我國草溝設計多採用匍匐性假儉草及類地毯草，然目前我國仍未建立此類草種相關曼寧係數數據。

地工合成材料發展多年，材料功能涵蓋廣闊且成功案例許多，其中於沖蝕控制功能之材料，以高分子纖維製造之地工防沖蝕植生毯在國內外也越來越多工程採用之。

抗沖蝕特性研究中，國內主要著重於坡面植生方法及噴植資材特性探討，與地工防沖蝕毯結合之應用研究較為缺乏，且大部分多以坡地降雨沖蝕作為驗證試驗，暴雨引起漫流或匯流，如截流溝、山邊溝及草溝，甚至河川護岸保護之渠道相關應用也應進行探討。

因此本研究計畫擬採用本校已建置完備之渠道，執行我國常用於草溝匍匐性草種於不同齡期(一個月、兩個月及四個月)與生長狀態之

冲刷試驗，以分析其對應之曼寧粗糙係數及濾沙特性，另外亦進一步取目前我國常用之地工植生氈，配合匍匐性草種以噴植植生方式，分析不同齡期(一個月、兩個月及四個月)植草生長狀況，並執行渠道沖蝕試驗，再分析其對應之曼寧粗糙係數，期望研究成果可供我國生態工法草溝設計之參考。

本研究使用渠道沖蝕試驗及室內植生評估進行三個齡期於兩種不同種植條件下之曼寧粗糙係數，以探討何者更能有效保護土壤表面。研究包括，使用砂質粉土、百喜草、假儉草、與類地毯草、噴植資材、地工防沖蝕氈等作為試驗材料，研究將採草仔配合植生材與購買市售草皮，植生於試驗土槽後分別於一個月、兩個月及四個月時進行沖蝕，分析不同期齡植草於草溝植生之適用性及分析其對應之曼寧粗糙係數及濾沙特性。

第一節 研究動機與研究問題

草溝植生在國內外已被廣泛運用於解決溝渠沖蝕，但在台灣植生草溝搭配地工防沖蝕植生氈的案例很少，且我國缺乏本土化植生草種草溝設計參數，所以將透過此次試驗分析百喜草、假儉草與類地毯草，整理出相關資料庫，以提供往後國內水土保持工程草溝設計之參考。

研究範圍將包括以市售草皮鋪設於試驗土盆及地工植生氈配合草仔植生於試驗土盆，再比較研究種植草皮之植生土盆於一個月、兩個月及四個月時置入試驗渠道執行抗沖蝕及濾砂試驗，以評估不同期齡植草抗沖蝕特性與其對應之曼寧粗糙係數及濾砂特性，以探討試驗草種與地工植生氈應用於草溝植生之效用與所需期程，再進一步評估其促進懸浮砂土沉積之特性。

一、 文獻回顧與探討

水土保持手冊 — 草溝

草溝其主要目的為宣洩逕流、植草以防沖蝕土壤沖蝕，保護溝身安全、便利農機作業、維護景觀生態，常用草種有百喜草、假儉草、類地毯草等匍匐性草類。估計曼寧係數百喜草 0.067、假儉草 0.055、類地毯草 0.05。

Chow(1959)依植草生長情況分別為 Low 、Medium、 High 及 very High 標定其曼寧係數如表 1-1。

表 1-1 植被與其曼寧係數(Chow，1959)

資料來源	Vegetation	n
Chow(1959)	Low	0.002~0.010
	Medium	0.010~0.025
	High	0.025~0.050
	Very High	0.050~0.100

(一)植生渠道

陳榮河等人(2008)提到坡地社區地表排水系統之適用性，在生態工法中，地表排水系統含草溝、砌石溝、植生客土溝，其草溝係種植草類於土質溝面內以防止沖蝕，適用於流速不超過 1.5 m/s 者；砌石溝係指以塊石或以卵石襯砌溝面，以些微水泥砂漿將石材孔隙填充固結，若以石材堆疊，靠石材自身角隅結合者，稱之為堆石溝，適用於流速 4.5~6.1 m/sec 及土壤易沖蝕之處；植生客土溝以植生土包堆砌成溝渠，鋪設地工織物於溝底且在其織物下灑上草種提供抗沖蝕及綠化排水溝稱之，屬於地工合成材應用之排水溝，適用於流速約略 1.6~2.4 m/sec 的排水系統。

(二)渠道沖蝕

周峻暉(2010)以渠道沖蝕試驗建立六項水利特性參數包括流速 V 、流體密度 ρ 、流體黏滯係數 μ 、重力加速度 g 、水深 h 及過水面積 A_w ，及四項植生特性參數，包括植株特徵面積 A_g 、曼寧係數 n 、根密度 RD 及根長密度 RLD ，利用因次分析推導出六項無因次參數，以建立各參數與土壤沖蝕度相互間之關係。另在其研究中，3 種百喜草植栽密度種植 60 天，並於 3 種流速下進行沖蝕，其結果顯示土壤沖蝕率皆約為 10 % 或低於 10 %，表示百喜草生長 60 天即有保護能力。

鍾肇光(2006)探討百喜草於渠槽植生之抗沖蝕性，使用兩種土壤進行試驗，然試驗結果顯示，植生渠道曼寧係數約在 0.0158~0.0752 之間，然沖蝕量與水深及流量成正比，在此研究之水力條件中，最大重量沖蝕率約為 10 %。

(三)地工合成材料概述

根據 ASTM D4439-14 (Standard Terminology for Geosynthetics)標準對地工合成材料定義，為一種以聚合物原料所製造而成的平面狀產品，可與土壤、岩石、土地、或其它大地工程相關的材料配合使用，以形成一種在人為的工程、結構物、或系統裡的一個完整的部分。

Koerner(2005)提到，主要因地工合成材料產品可在工廠環境下品控、施工快速、取代傳統材料、替代困難設計之天然建材、研發於適當時機、需要適當規範以利推廣、與天然材料相較具競爭力、使不可能的設計得以落實及具廣大市場與易取得等原因，以促使地工合成材料快速發展。地工合成材料大致可分為八大類，其中包括：地工織物 (Geotextile, GT)、地工格網 (Geogrid, GG)、地工流網 (Geonet, GN)、地工止水膜 (Geomembrane, GM)、地工皂土毯 (Geo Clay Liners, GCL)、地工排水管 (Geopipe, GP)、地工發泡材 (Geofoam, GF)、地工複合材

(Geocomposite, GC)，然以上產品大致可劃分成七大功能應用，分別為區隔(separation)、加勁(reinforcement)、濾水(filtration)、排水(drainage)、阻隔(containment)、防沖蝕(erosion control)、及保護(protection)等。

(四)防沖蝕毯應用

陳樹群等人(2006)提出化學纖維覆蓋材用於缺乏植生復育基盤之裸露坡面時，人造覆蓋材可有效保護土層受雨滴直接濺擊，可建立長期良好之植生復育環境並提高植生存活率，使邊坡植生快速綠化。

翁主怡、許中立(2012)使用不同網目密度之植生鋪網進行室內外試驗，室外試驗於坡長 22 m、坡度 60 %之紅土礫石試驗區進行觀測暴雨後逕流量、土壤沖蝕量、邊坡穩定性及試驗草種百慕達草的生長情形；室內試驗為測試植生鋪網之透水、透氣與保濕情形，並檢測不同植生資材對植物種子之發芽率及抗沖蝕性影響，由沖蝕量試驗結果顯示，鋪設植生鋪網能夠有效降低沖蝕量(降低 50 % ~ 90 %)、增加入滲、減少逕流量之功能，能使土地開發過程中所產生的裸露地坡面迅速恢復植生，達成穩定邊坡之功效。

林信輝等人(2014)進行崩塌地植生復育調查研究中，說明網材應用之問題，以目前實際施工所遭遇問題包含網材過密，導致資材無法接觸土壤，再資材中發芽之根系亦無法深入土中；若網材過密，當植生復育無法穿透時，將使毯身錨定力不足而脫離；常用之掛金屬網噴植之工法，對於網材附著力不佳也為應用之問題，由於菱形金屬網開孔極大，故須靠資材之黏著劑抗沖蝕，然資材隨時間黏度逐漸降低後，資材則開始剝落。

(五)植生方法

林泉盛(2003)在邊坡穩定植生工法之研究中，以錨錠護坡植生、種子撒播植生、直接噴植等三種工法，於同一樣區做施行調查，然多項植生狀況結果顯示，以直接噴植工法為最佳，但若考慮不同治理地之條件，如陡坡坡地最佳之植生治理以型框護坡植生工法為適宜；對於急需整治之裸露地施以直接噴植工法，確可達到加速植生復育之成效。

李元智(2003)以目前國內常用之植生方法，包括 HC、HCP#A 與 HCP#B 等三種厚層噴植工法及 TCP、TKPP 與 TMF 等三種薄層噴植工法，探討其植株生長狀況進行植生效益與適用性評估，然其結果顯示植生初期(15 天)、中期(45 天)及後期(105 天)以 TCP 處理在發芽率與植株高表現最佳，而如表 1-2 所示，雖後期厚層處理有較佳之覆蓋率，但 TCP 及 TKPP 兩種薄層團粒化處理方式在初期有快速植生復育之成效，遠高於三種厚層噴植處理。

表 1-2 六種植生處理之發芽量 (李元智，2003)

工法名稱	植生覆蓋率(%)				
	15 天	45 天	105 天	199 天	319 天
未處理	0.2	0.3	0.5	0.1	0.2
HC	1.3	7.8	89.1	85.6	94.2
HCP#A	0.6	2.3	72.9	84.7	92.5
HCP#B	0.9	4.3	79.8	81.4	86.3
TCP	3.5	83.7	98.6	49.2	62.7
TKPP	5.8	92.1	96.9	40.1	46.5
TMF	1.4	2.1	2.7	1.8	2.1

(六)植生資材

噴植工法使用之基材種類繁多，其包含纖維資材、肥料資材、土壤改良劑、黏著劑、保水劑、種子及其他資材等，主要使用資材視噴植厚度及土壤條件給予比率或種類做調整，其分類及特性如表 1-3。

此次研究將分析百喜草、假儉草和類地毯草應用於草溝，比較研究者種植草皮與鋪設市售草皮於一個月、兩個月及三個月時的抗沖蝕力與曼寧係數，探討何者較適用於現地草溝植生，並整理出本土資料庫，以提供往後國內水土保持參考，再進一步評估其促進懸浮砂土沉積之特性。

表 1-3 常用噴植資材分類與特性（謝杉舟，2006）

項目	特性	種類
纖維資材	充分利用廢棄物回歸土壤，不僅合乎資源再利用與物質循環之自然法則，並可提供種子發芽生長之介質及改善土壤結構，增加噴植之機械性強度。	泥炭苔、樹皮堆肥、菇類、堆肥、甘蔗渣、稻穀堆肥、木屑堆肥、木質纖維、紙漿、椰纖等。
肥料	在自然環境養分不足或急需復育地提供種子發芽初期生長所需之肥分及改善土壤肥力，包含生物性堆肥及人工合成化學肥料與複合肥料等。	有機堆肥、化學肥料、腐質酸有機肥、腐質酸等。
土壤改良劑	能有效解決土壤貧瘠，或因長期大量使用化學肥料過度，造成土壤酸化、鹽化及土壤內微生物活性降低等問題，增進土壤保水性及肥料吸收功能。	苦土石灰、蚵殼粉、草木灰、矽酸爐渣、白雲石粉、沸石、甲殼素、硫磺粉等。
黏著劑	為固結土壤、噴植材料及種子，預防邊坡土壤流失兼具有防沖效果。	可分為被膜型(柏油乳劑)、滲透連結型(丙烯酸樹脂)及滲透填充型(水泥)三種，如乳膠劑、CMC、團粒化劑等。
保水劑	提供乾燥性或保水力較差之土壤中增加資材保水性及通氣性，吸水量可達本身重量之2~3倍，穩定好，能抗各種理化因素之作用，故不易分解，所含礦物成分不會對營養液產生干擾。	蛭石、珍珠石、松脂岩、黑曜岩、高分子保水劑、保水劑、保綠棉等。
種子	配合當地氣候環境及土壤性質選擇適生植物種子，混合於噴植基材，以達到植生綠化及增加土壤根力。	草本、灌木、喬木、藤本、綠肥及苔蘚類。
其他資材	土壤微生物菌、水泥、染色劑、種子發芽促進劑或鳥類忌食劑等。	卜特蘭水泥、天然食用色素(綠色)、菌根菌、好年冬(鳥類忌食劑)等。

第二章 工作執行方法與步驟

本研究以渠道沖蝕試驗及植生試驗探討以市售草皮種植及種子種植作為植生方式時，其植生與抗沖蝕特性，本章將介紹各試驗之細節，包括試驗條件、流程、材料及儀器等，其中試驗方法包括土壤基本特性試驗、RECP 基本特性試驗及渠道沖蝕試驗。

第一節 試驗材料

一、地工防沖蝕毯(RECP)

RECP 在許多研究成果都提出為有效防止土壤流失之產品，本研究依材料之特徵分為立體狀與平面狀沖蝕毯，平面狀 RECP 無明顯凸起物或資材填料孔隙，作為植生工程之覆蓋材能有效發揮防沖蝕效果；立體狀 RECP 具有厚度之毯身結構，立體結構將可提供植生資材填縫於孔隙之中，避免雨水將之帶去。

二、試驗土壤

本研究取用阿公店水庫淤泥進行沖蝕試驗，其土壤粒徑較為均勻，雜質也較少，故取得後不再進行過篩，直接執行土壤基本性質試驗後，依照其結果進行試樣之備製。

三、植生草種

百喜草為台灣目前主要覆蓋草類之一，能有效控制水土流失、增加與保持土壤有機質。百喜草雖較少使用在草溝，但其葉長且軟、根長及匍匐莖之特性，作為渠道應用草種，估計能提供調節洪流之效果。

假儉草為水土保持常用草種之一，適應力強能適應多數土壤，在酸性土壤能生長良好，匍匐莖生長迅速，植株伏貼地面且生長茂密，其草皮耐踐踏性良好。

類地毯草為禾本科多年生草本植物。莖蔓生，無毛，扁平，地上走莖匍匐延伸，喜溼潤，耐高溫但耐寒性差，地毯草分為巴西種和台灣原生種，性喜潮濕、微酸、砂質土壤，低肥亦可生長，匍匐性優，貼地性佳，淡綠色，生長快速且耐陰性良好，適合種植於光線不足的環境下。

四、植生資材

噴植工法為配合 RECP 植生的常見工法，資材參考國內工程常見配比，包含黏著劑、保水劑、促生劑、化學肥料、有機堆肥等，其比例參考飛達貿易如表 2-1，然使用之資材介紹如下：

(七) 黏著劑：高分子黏著劑本黏著劑為填充型黏著劑，為高分子系列材料，乾燥下為粉顆粒狀，加水稀釋後其不溶物僅佔 3.5 %，易與材料結合，並保持黏性，防止其他資材流失，然帶陰離子特性，可以協助種子發芽及土壤有機質分解，並可使水分吸附。

(八) 保水劑：高分子聚合物此保水劑極易吸水，吸水率達 200 倍，在土中扮演臨時儲水之角色，其放水很慢，可達到保水之功能，然放水後，表面仍保持相當程度之乾燥，不會使植栽或草種爛根，能協助種子初期發芽及中期成長所需之水份。

(九) 促生劑：此促生劑由聚乙烯與醋酸乙烯酯乳液混合而成，其功能為解除種子休眠作用，然而提高種子發芽率，並增長胚根長度，在許多研究發現乙烯能促使種子萌發。

(十) 有機堆肥：菇類廢棄物木屑堆肥由廢棄植菇太空包經堆肥發酵之纖維材料，其成分為 95 %天然木屑，與米糠、椰纖等有機物混合，經約四禮拜時間發酵完成。其有機堆肥係含高纖維材質、單位重低，加入黏著劑後，乃為植生用之絕佳材料。

(十一) 化學肥料：複合肥料(N-P-K 15-15-15)屬生理中性肥料，在各種不同的土壤中皆可吸收，然長期施用也不會使土壤酸化，此肥料為遲效性，肥效較長，適用於作物初期與中期，能促使作物蛋白質、葉綠素、及酵素生成，使枝葉生長良好。

本研究使用植生資材支配比摘要，如示於表 2-1。

表 2-1 工程常用之植生資材比率

資材名稱	使用比率
化學複合肥料	0.435 %
黏性物質	1 %
保水劑	1.138 %
促生劑	0.267 %
有機堆肥	97.256 %

第二節 試驗設備

本研究設備分成三部分，分別為試驗材料基本性質試驗設備、渠道沖蝕試驗設備，本節主要敘說渠道沖蝕試驗設備與室內植生評估設備，然材料基本性質試驗設備將於各試驗法步驟內描述之。

一、渠道沖蝕設備

本試驗於屏東科技大學水工試驗室執行，使用長 24 m、寬 0.6 m、

高 0.6 m 之室內可調整坡度渠道，如圖 2-1，最大可調整坡度為 5 %，其為循環水路系統，透過 3 顆沉水式馬達供水，馬達容量分別為 15 HP、40 HP 及 50 HP，此三顆沉水馬達得以相互配合提供多項組合供水能量，並配有一集水室使壓力流變為重力流，使水流更穩定，然可透過集水室進行流量測定。



圖 2-1 渠道沖蝕設備

渠道沖蝕試驗之流速採用手持式旋槳流速儀直接量取，採一點法量測，量取水位於 0.6 倍總深度位置之流速，其流速最小量測精度為 0.03 m/s，然試驗水深並不高，介於 15~25 cm，將可能造成流速不準確，故將另採用集水室進行流量測定，取得試驗流量，再依試驗水深取得斷面平均流速做依據，而水深採鋼直尺直接由渠底量至水面之垂直高度。

渠道沖蝕試驗採自製不鏽鋼試樣盒進行備製各條件之土樣，如圖 2-2，原始鐵盒尺寸長為 0.8 m、內寬 0.53 m、高為 0.15 m，後來為符合水土保持手冊之規定，鐵盒尺寸改為長 0.8 m、寬 0.59 m、高 0.15 m，如圖 2-3，試樣盒之兩側為可拆除之擋板，在試樣備製後，將試樣盒兩側之擋板拆除再吊掛進渠道內進行搭接，每一次沖蝕試驗，採 3 盒搭接成 2.4 m 試驗段進行沖蝕，備製好之試樣重量約為 150 kg，配合

磅秤可量測沖蝕前後之重量差，可取代傳統以沖蝕深度作為沖蝕率之評估方式。



圖 2-2 自製舊式不鏽鋼試樣盒

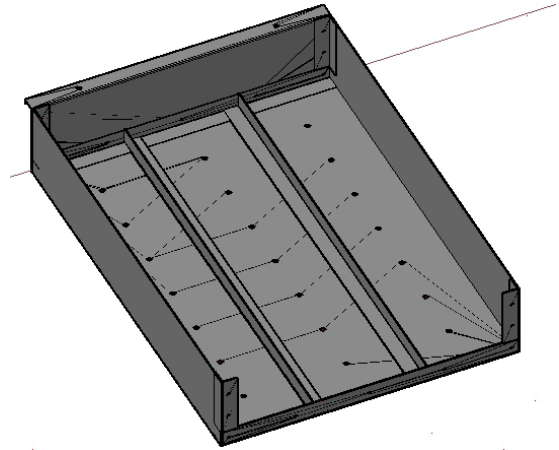


圖 2-3 改良新式不鏽鋼試樣盒

第三節 試驗方法與步驟

本節將詳細描述各試驗規劃、方法與步驟，含土壤基本性質試驗、渠道沖蝕試驗及濾砂特性。

一、土壤基本性質試驗

為了解試驗土壤之基本性質，以供沖蝕試驗之試樣備製參考，及日後研究以不同土樣進行試驗時，能有土樣資料進行比對，故需進行相關之試驗，試驗項目如表 2-2 所示，本小節將詳細介紹之：

表 2-2 土壤基本性質試驗法

試驗項目	試驗標準
比重試驗	ASTM D854-14
篩分析試驗	ASTM D421-85(07)
阿太堡試驗	ASTM D4318-10e1
土壤分類試驗	ASTM D2487-11
標準夯實試驗	ASTM D698-12e1

(一) 篩分析試驗

ASTM D421 為測定土壤粒徑之標準試驗法，另國內標準為粗細粒料篩分析法 CNS 486 及細粒料水洗篩 CNS 5264，其法意即測定土壤中顆粒之粒徑範圍，本研究採#4、#10、#20、#40、#60、#140、#200 篩進行機械篩分析，以取得各篩號通過之百分比，及使用#200 篩進行水洗篩，最後再經結果合併得到粒徑分布。試驗設備包含標準篩組與機械搖篩機。

(二) 土壤比重試驗

ASTM D854 為測定土壤比重之標準試驗法，然國內標準為 CNS 5090，適用小於#4 篩之土壤，若土壤含大於#4 篩，應篩出後分別測試再行加權平均，然其試驗法取約 25 g 烘乾之土壤，於蒸餾水中養護約 12 小時，再置入比重瓶內並加水至 7 分滿，置放於加熱台煮沸 10~40 分鐘，再將蒸餾水注入至比重瓶刻劃線，最後秤取重量再與無土壤之純蒸餾水比重瓶 比較得之結果。試驗設備包含比重瓶、加熱台、溫度計及磅秤(0.01 g)。

(三) 阿太堡試驗

ASTM D4318 為測定土壤液性限度(LL)與塑性限度(PL)之標準試驗法，國內試驗標準為 CNS 5088，然液性限度試驗為測定土壤介於液態與塑態之臨界含水量，以通過#40 篩土壤加水攪拌，以適量之土壤放置於液限儀，再以標準刮刀劃開後進行敲擊，待刮痕密合 1.27 cm 時，紀錄敲擊數，此試驗法應測得 15-25、20-30 及 25-35 之敲擊數各一筆，再進行繪製含水量-敲擊數曲線，再以曲線上敲擊數 25 下之含水量為結果。塑性限度為土壤介於塑性與半固態狀態之臨界含水量，取適量通過#40 篩土壤於毛玻璃上進行搓動，待土壤搓成約直徑 3.2 mm 之土條，且表面均勻龜裂時，該含水量及為塑性限度。液性與塑性限度為土壤分類重要之參數，然塑性指數(PI)為液性限度(LL)扣除塑性限度(PL)。

(四) 標準夯實試驗

ASTM D698 為測定土壤之最大乾單位重($\gamma_{dmax.}$)及最佳含水量(O.M.C.)之標準試驗法，國內標準為 CNS 11777，此法分為標準式與改良式夯實，本研究採用標準式進行，試驗法及以固定之夯模填入各種含水量之土壤進行夯實，最後將各結果繪製於乾單位重與含水量關係曲線，即可求得最大乾單位重及最佳含水量，然其結果將使用於試樣備製中，以最大乾單位重及最佳含水量計算試體盒所需之土量，而設計夯實度 R 為 90 % 以上。

(五) 土壤分類

ASTM D2487 為統一土壤分類試驗法，依據土壤粒徑分布、液性限度、塑性指數等試驗結果執行，為土木工程、水利工程、大地工程、

道路工程、水土保持工程、環境工程設計及施工之考資料，然土壤分類將成為日後研究土壤差異之重要資料。

二、渠道沖蝕試驗

渠道沖蝕試驗乃為本研究之主要試驗，試驗參考 ASTM D6460 進行，以室內大型渠道進行試驗，本小節將詳細介紹其試驗，包含試驗條件、試樣備製方法，數據收集方法等。

1. 試驗條件

本研究主要探討種植種子及種植市售草皮為種植方法的差異，然裸土壤之沖蝕狀況也為重要性之條件。

2. 土樣備製

渠道沖蝕試樣採不鏽鋼試樣盒進行土樣備製，參考標準夯實試驗取得之最大乾單位重及最佳含水量進行計算所需之土樣，本土壤之最大乾單位重為 18.36 KN/m^3 ，最佳含水量約 13.31 %，使用之土樣平時置放於戶外並用透明止水布覆蓋之，經含水量測定約為 13 %，依照不鏽鋼試樣盒之面積，土壤深度設計為 14 cm，土壤夯實度設計為 93 %，計算出所需土量約為 117.6 kg，再以三層(5 cm + 5 cm + 4 cm)人工夯實之方式，將所需土量壓入試樣盒，每層夯實皆須符合該土層厚度，以確保三層之夯實度接近，依照此方法進行備製，夯實度可達 90 % 以上，以符合標準之規定。

植生之試樣放置於土木系工程材料實驗室頂樓進行，然資材配比參考工程常用之配比，包括黏著劑、保水劑、促生劑、化學肥料及有機堆肥，當土壤試樣夯實完成後，秤取資材比率之配比需求。

3. 草皮植生

本研究將採購假儉草、類地毯草及百喜草皮鋪放於不鏽鋼試驗盒夯實完成之土壤上，放置本校土木系工程材料實驗室頂樓進行不同期齡之植生後，再進行渠道沖蝕試驗。

4. RECP 草籽植生

本研究參考業界常用植生資材配比，調配植生資材，其中包括黏著劑、保水劑、促生劑、化學肥料、有機堆肥及草籽，如示表 2-1，草籽含量約 25 g/m^2 調配合草籽植生資材先鋪設於內含夯實土壤之不鏽鋼試驗盒土壤上面，隨之鋪設 RECP 於植生資材上方，再放置於本校土木系工程材料實驗室頂樓植生養護，於不同期齡後再進行渠道沖蝕試驗。

5. 渠道流量校正

由於本校土木系水工渠槽具備 15 HP、40 HP 及 50 HP 三具馬達，本研究初期將進行不同馬力馬達與渠道坡度及流量校正，以為後續流速分析之用。

6. 植草週期

本研究將針對三種不同草種與一種植生毯不同期齡植草進行沖蝕與曼寧係數之分析，植草期齡包括 1 個月、2 個月及 4 個月。

7. 流量標定試驗

本研究擬於執行沖蝕試驗之前，以 0.5%、1.0% 及 2% 坡度配合馬達 55HP 及 90HP 能量，評估試驗系統之流率。

8. 渠道沖蝕試驗進行前準備

本研究使用之試驗渠道渠底由平面不鏽鋼板製成，然因採用之試

樣盒高度為 15 cm，為使水流能平穩通過試樣上方，分別於放置試樣之試驗段前後鋪設緩衝段，考慮試驗土壤之透水係數甚低，故緩衝段之設計為低透水形式，採用之緩衝段鋪設材為 7.5 cm 中空混凝土板，鋪設方式以下層放置裁切好之條狀混凝土塊，上放在放置 60 cm×60 cm 中空混凝土板，試驗段前方放置 14 塊混凝土板搭接形成 8.4 m 前緩衝段，後段則放置 9 塊形成 5.4 m 之後緩衝段，其渠道配置如圖 3-7、圖 3-8。因試驗渠道同為教學用渠道，未來若有教學上需求，使用中空混凝土板搭接之方式，將能快速移除之。

本試驗之試驗段為 4.0m，可放置 5 盆不鏽鋼試樣盒進行搭接。

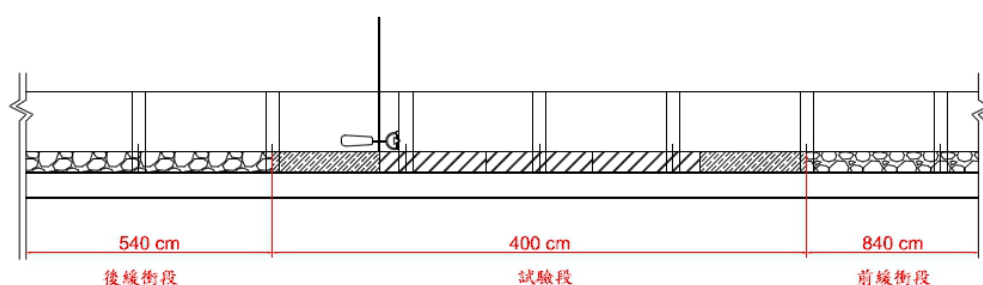


圖 2-4 渠道緩衝段及試驗段配置示意圖

9. 沖蝕試驗

沖蝕試驗之條件將包括裸土、草種、RECP 植生、期齡及流速等條件，初期先需率定渠槽流量，評估鋪草或植生剛完成之狀況，及不同草種與 RECP 植生在不同期齡與不同流速狀況下之土壤沖蝕特性及分析對應之曼寧係數。

在試樣盆量取沖蝕前重量後，吊掛至渠道內進行搭接，搭接完成後，將量測基準板放置於渠道上方，以專用之深度量測尺放置於各點上進行量測沖蝕前高度如圖 2-5，量取深度點如圖 2-6，以比較傳統

深度量測沖蝕率與重量沖蝕率之差異，然渠道進水沖蝕連續30分鐘，於開始後每5分鐘量取水深，以分析平均斷面流速及曼寧係數等水力參數，除水深外並量測水中植生倒伏高度及觀察沖蝕之狀況並記錄之，待30分鐘沖蝕結束後，量取沖蝕後之土壤深度，以計算深度沖蝕率，量測結束後，將中央試樣盒吊掛起並靜置30分鐘，以量取沖蝕後重量之變化來計算重量沖蝕率。



圖 2-5 沖蝕試驗前數據量測

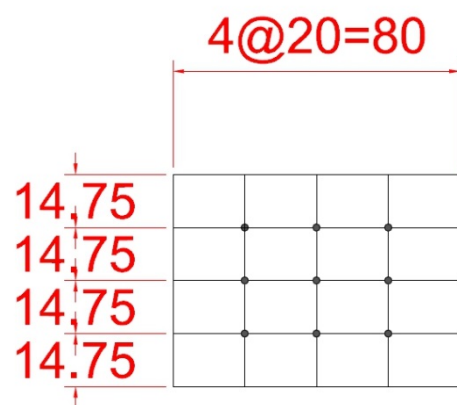


圖 2-6 深度沖蝕率點位

10. 濾砂試驗

擬於草皮植生及植生毯噴植植生四個月植生試樣，於執行沖蝕試驗後，將在試驗段前試驗盒秤重，再執行濾砂特性試驗，試驗前先調整流率得以水流剛可覆蓋於植草，隨後量測流量、流速等，再執行濾砂特性試驗，並於試驗中於試驗段前方將定量石英砂置入水流中，待實驗完成後，再將試驗盒秤重評估植草濾砂之功效情況。

11. 分析及報告撰寫

最後將各狀況之結果依學理分析結果，並將成果撰寫為報告，亦將成果彙整投稿國內外研討會及期刊，初步規劃將成果投稿於水土保

持年會及國際地工材料期刊發表。

12. 數據分析

$$V = Q/A$$

Q = 試驗段流量 cms

V = 試驗段流速 m/s

A = 試驗段通水斷面積 m^2

$$Fr = V/\sqrt{g \times D}$$

Fr = 試驗段福祿數

g = 重力加速度 9.81 m/s^2

D = 水力深度 m

$$\tau = \gamma \times d \times S$$

τ = 試驗段邊界剪應力 Pa

γ = 水單位重 KN/m^3

S = 試驗段坡度 %

d = 水位深度 m

$$n = \frac{1}{V} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

n = 試驗段曼寧係數 $S/M^{1/3}$

R = 水力半徑 m

$$SLRW = \frac{w_0 - w_1}{w_0} \times 100\%$$

SLRW = 土壤重量沖蝕率(%)

w_0 = 沖蝕前飽和土壤重 kg

w_1 = 沖蝕後飽和土壤重 kg

$$SLRD = \frac{d_0 - d_1}{d_0} \times 100\%$$

SLRD = 土壤厚度沖蝕率(%)

d_0 = 沖蝕前平均土壤厚度 cm

d_1 = 沖蝕後平均土壤厚度 cm

第三章 工作進度與交付項目

本研究之目前工作項目及規劃進度，依前期研究已收集了百喜草植生於 RECP 不同期齡之防沖蝕特性外，由於本研究需大量試驗盒之應用，已研製 79 個試驗盒，將以交替方式完成研究。目前本研究案完成之進度摘要至表 3-1，研究流程圖如 3-1。包括假儉草備土及植草工作，由於試驗盒之配置，五月份已進行假儉草之植草及執行渠槽水量校正工作，並於 6 月起開始沖蝕試驗研究工作，再依進度進行數據分析，再進行報告及研究論文之撰寫。

表 3-1 研究進度表

編號	工作項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	備註
1	工作基本特性試驗										
2	土樣準備										
3	草皮植生										
4	草籽資材植生										
5	渠道流量校正										
6	沖蝕與濾砂試驗										
7	數據分析										
8	報告撰寫										

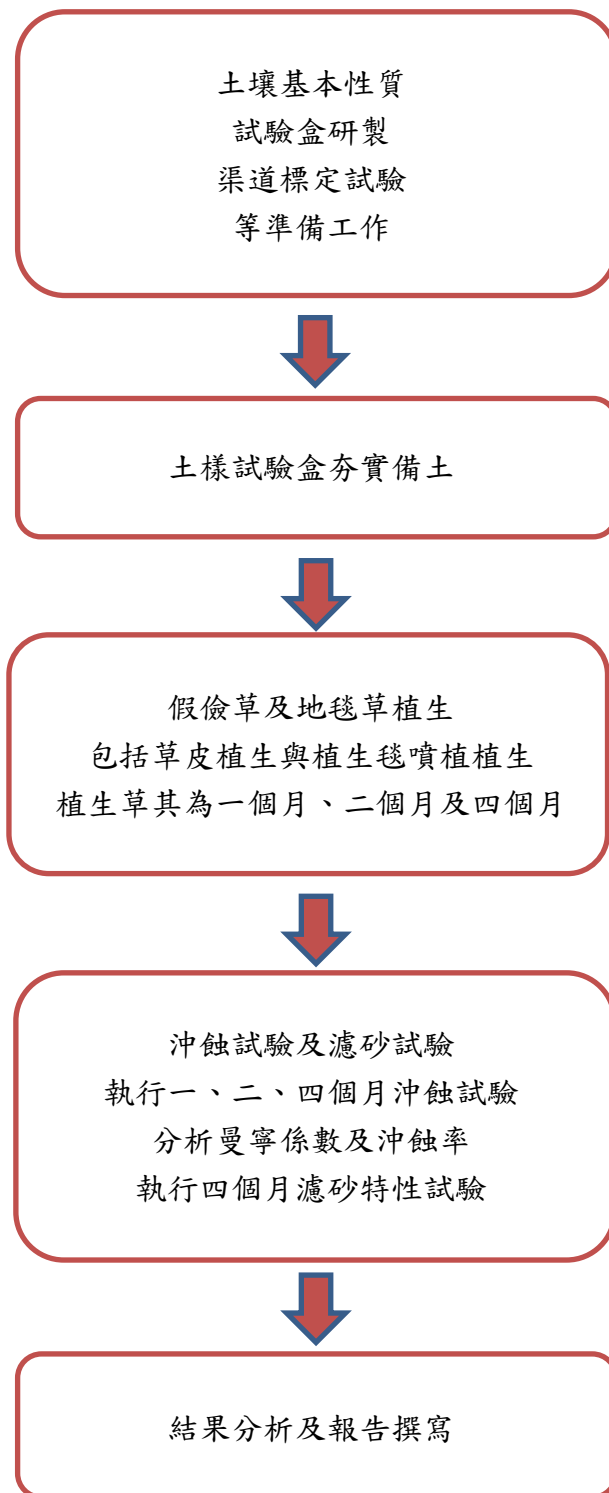


圖 3-1 研究工作項目流程圖

第四章 結果與討論

本計畫至 11 月已完成土樣準備、新型試樣盒之設計與製作、渠道水利特性之標定、裸土沖蝕性試驗、百喜草試驗分析、執行假儉草草皮與植生毯噴植植生條件之一、二和四個月及類地毯草一、二個月試樣之沖蝕試驗，然四個月類地毯草試驗將於十二月執行，研究之結果將依序討論於下。

第一節 渠道水利特性校正試驗

為有效執行沖蝕試驗，本試驗採用未安置試驗盒之條件下，以不同的馬力大小與坡度執行渠道沖水試驗，以了解渠道於不同馬力能量與渠道坡度狀況下之水深、流速與流量，試驗之結結果如表 4-1，由表上可得知流速與流量會隨馬達馬力與渠道坡度增加而增大，經考量流況最接近流速 2.5m/s 條件為本研究主要試驗條件，因此將以 90HP 馬力及坡度 1.0% 為主要試驗條件。

表 4-1 渠道水利特性標定試驗

Slope (%)	Pump Capacity (HP)	Velocity (m/s)	Flow Depth (m)	Discharge (m ³ /s)	Shear stress (Pa)	Froude number
0.5	55	1.0	0.124	0.074	0.062	0.85~0.95
	90	1.5	0.180	0.0162	0.090	1.02~1.87
1.0	55	1.6	0.082	0.080	0.082	1.68~1.87
	90	2.3	0.145	0.180	0.145	1.92
2.0	55	2.7	0.053	0.086	0.106	3.30~4.30
	90	3.3	0.095	0.190	0.190	3.29~3.70

第二節 試樣盒植生

本試驗土壤來自台灣高雄燕巢區阿公店水庫清淤工程之淤泥，其外觀為灰褐色，透過統一土壤分類來了解土壤基本特性。

平均比重 $G_{s, aug}$ 2.62，細度模數 1.22，平均液限 17.8，最佳含水量 13.31，98.99 %通過 #40、95.96 %通過 #60、80.81 %通過 #100、2.02 %通過 #200，根據以上條件，透過統一土壤分類系統，得知試驗土壤屬於砂質貧級配黏土。

為有效執行不同條件下之沖蝕試驗，本研究採用配合試驗渠道研製之試樣土盒，以低塑性土壤(水庫淤泥)夯打置入試樣土盒內，再於土壤表面上植生試驗草皮或鋪設植生資材後覆蓋植生防沖蝕毯植生，

置於試驗區每日澆水養護植生，植生期為一個月、二個月及四個月，然完成植生後再將試驗盒移至渠道內執行沖蝕試驗。如照片 4-1 所示試驗盒於植生前夯實後裸土，然照片 4-2、4-3、4-4 所示，假儉草一個月、二個月及類地毯草一個月期程之植生狀況。



照片 4-1 試驗土盒填土夯實完成情形



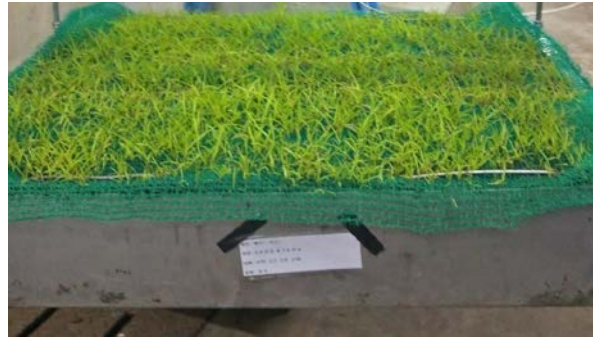
(a)草皮植生

(b)植生毯噴植材植生

照片 4-2 假儉草一個月植生情形

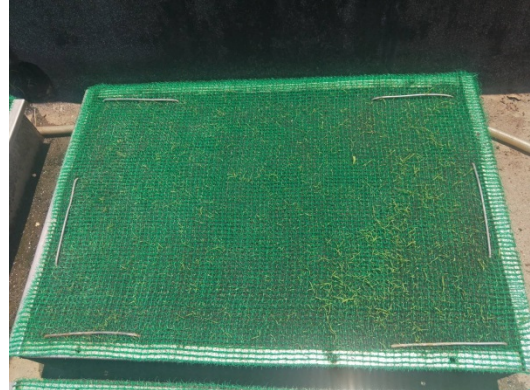


(a)草皮植生



(b)植生毯噴植材植生

照片 4-3 假儉草二個月植生情形



照片 4-4 類地毯草兩週植生情形

第三節 渠道沖蝕試驗

本研究目前已完成假儉草草皮植生與植生毯噴植材植生一、二和四個月之沖蝕試驗，以及類地毯草噴植植生一、二個月，本階段於執行沖蝕試驗期程中亦量測平均流速與水深、試驗前植草平均高度、沖蝕試驗中植草匍匐後高度、水位高度、對應之曼寧係數，並分析土壤重量沖蝕率及深度沖蝕率，為評估沖蝕率，試驗前後稱重過程如圖 4-1、4-2、及 4-3。



圖 4-1 土壤重量沖蝕率



圖 4-2 沖蝕試驗前



圖 4-3 沖蝕試驗後

一、百喜草 RECP 噴植植生

本校前期已研究百喜草與 RECP 噴植植生，其生長齡期為二個月，植草高度為 9.8 cm，流速為 1.24，曼寧係數為 0.025，福祿數為 0.93，剪應力為，沖蝕率。

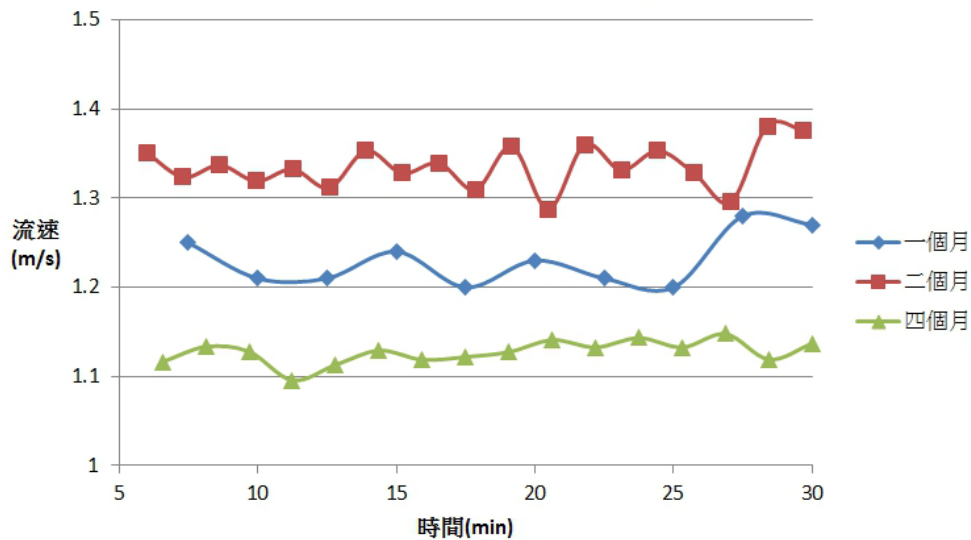
二、假儉草 RECP 噴植與草皮植生

假儉草 RECP 噴植與草皮兩種植生情況下之各齡期(一個月、二個月及四個月)試驗水利特性摘要如表 4-2，本研究分別對於流速、曼寧係數、福祿數、深度沖蝕率及剪應力進行探討。

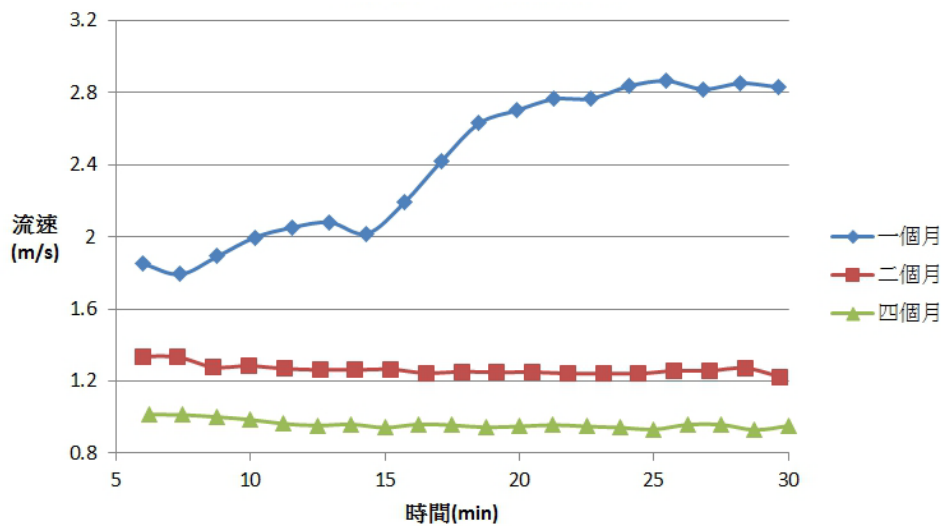
表 4-2 假儉草沖蝕試驗水利特性摘要表

項目	噴植 (一個月)	草皮 (一個月)	噴植 (二個月)	草皮 (二個月)	噴植 (四個月)	草皮 (四個月)
標定流速 (m/s)	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
標定水位 高	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5
標定流量 (m ³ /s)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
草高(cm)	3.5	11.2~14	4.5~7	10~17	7~10	12~18
倒草高 (cm)	2.11	7.83	3.18	8.56	2.5~7.5	5~8
水位高 (cm)	19.25	23.82	19.92	23.5	26.14	27.31
水力半徑 R(m)	0.117	0.133	0.120	0.132	0.14	0.143

假儉草草皮經植生一個月於沖蝕試驗段量測位置呈現水躍現象，導致流速異常飆升，經討論後已改變流速量測位置，然假儉草草皮經植生二、四個月於沖蝕試驗段之流速接趨近於穩定，如示圖 4-4。



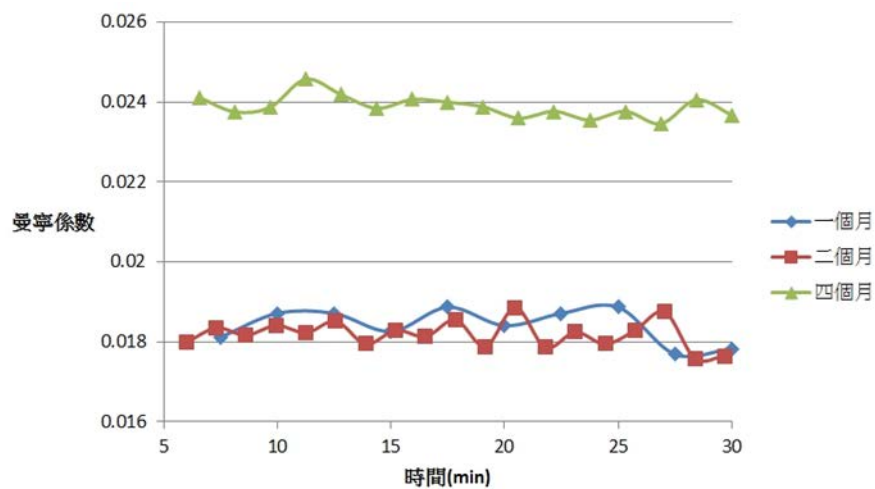
(a)RECP 與假儉草噴植



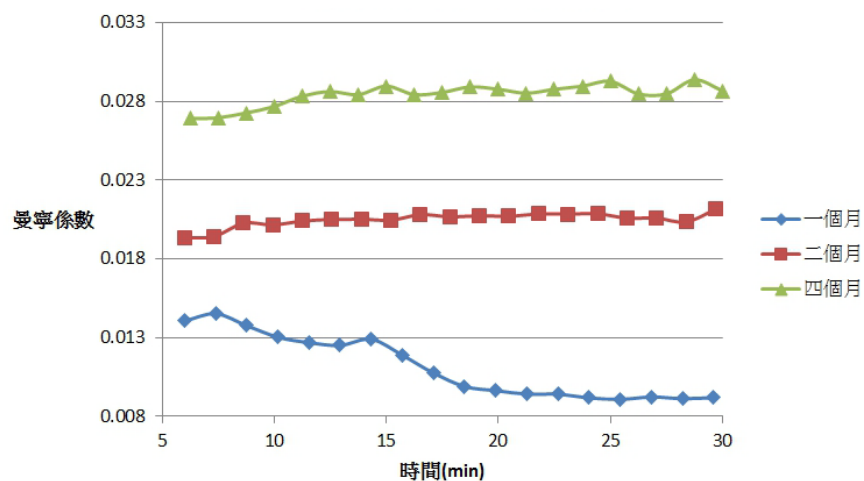
(b)假儉草草皮植生

圖 4-4 假儉草流速延時分佈圖

此二種植生方式之植生齡期沖蝕試驗對應之曼寧係數分析結果呈現於圖 4-5，對於沖蝕試驗而言，曼寧係數增加即表示減緩流速效果增加，噴植和草皮在四個月曼寧係數都有明顯的提高，但由於噴植二個月草並未長高達到流速減緩效果，所以和一個月曼寧係數並無較大差異。



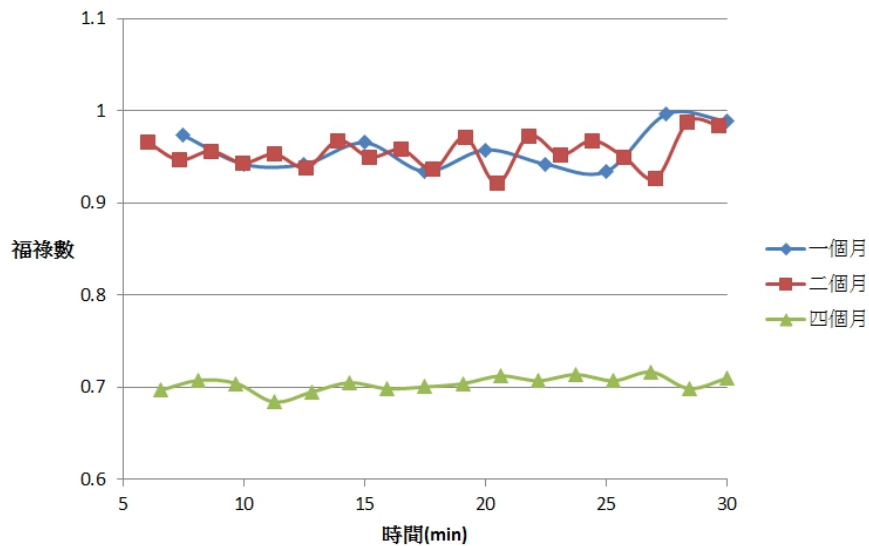
(a)RECP 與假儉草噴植



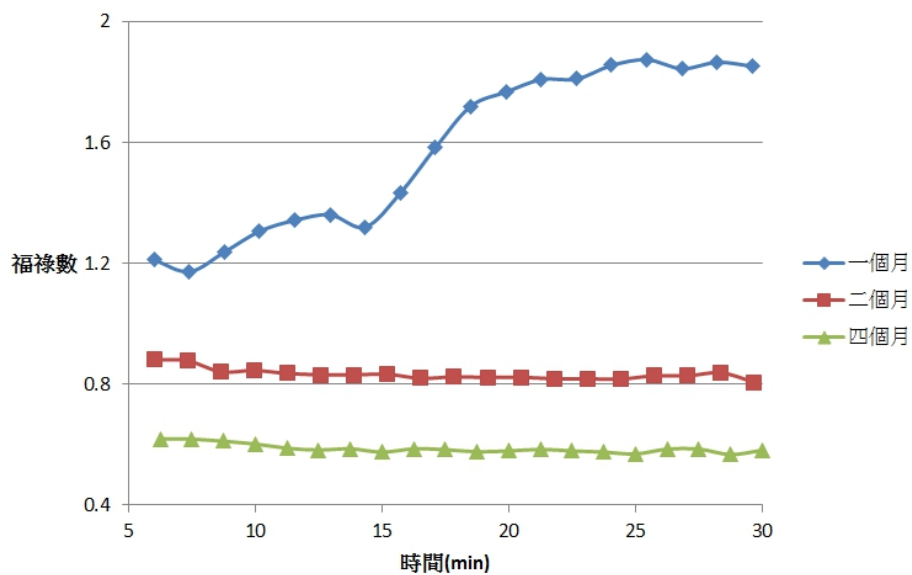
(b)假儉草草皮植生

圖 4-5 假儉草曼寧係數分佈圖

如上對應試驗之福祿數分析結果則摘要於圖 4-6，草皮於試驗齡期為一個月之沖蝕試驗因量測的位置產生跌水之現象，進而造成水流狀況為超臨界流。其餘流況皆處於亞臨界流(福祿數小於 1)。



(a)RECP 與假儉草噴植

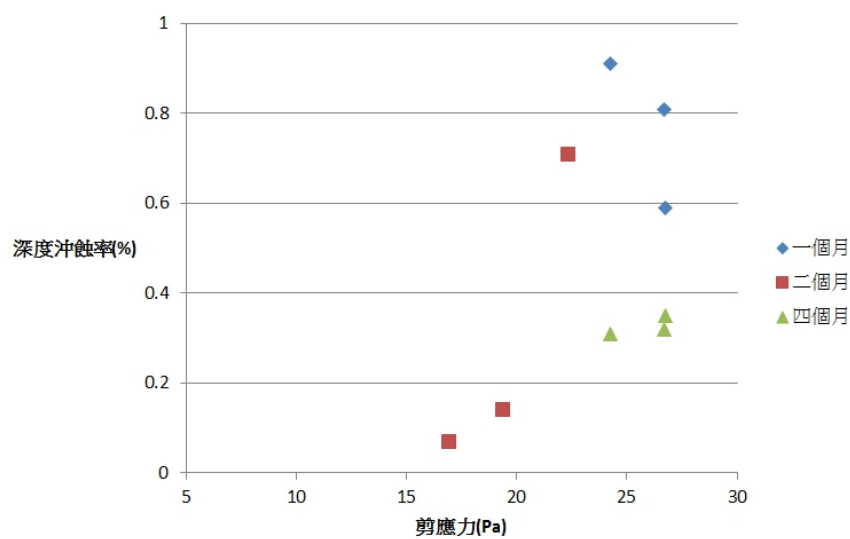


(b)假儉草草皮植生

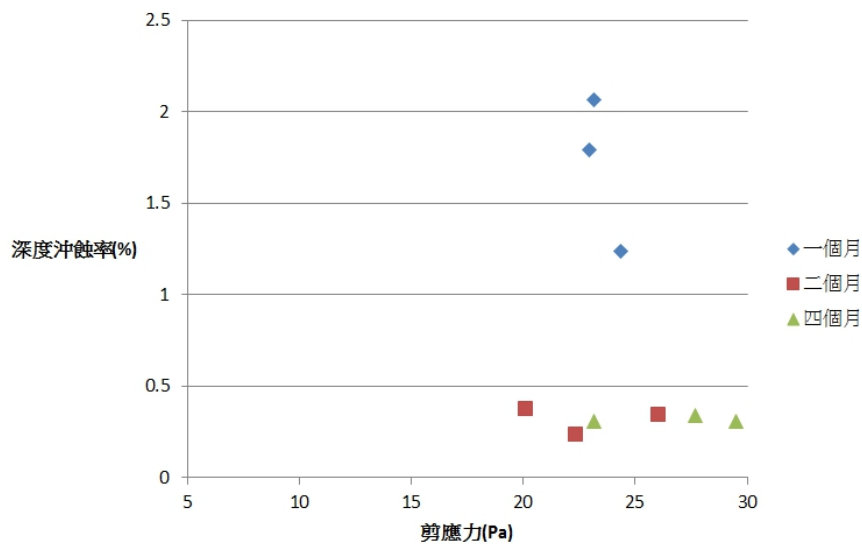
圖 4-6 假儉草福祿數分佈圖

假儉草兩種植生方式試驗分析之沖蝕率則呈現於圖 4-7，噴植在一個月的時候草並未長高，達到抵抗沖蝕效果，草皮剛種植，根系的生長亦未達到抗沖蝕效果，兩者很明顯深度沖蝕率都較其他時期高。

兩種植生方式於植生達兩個月後均有良好之防沖蝕功效，深度沖蝕率均小於 2.5%。



(a)RECP 與假儉草噴植



(b)假儉草草皮植生

圖 4-7 假儉草剪應力對應之沖蝕率分佈圖

最後，進一步利用植生沖蝕試驗分析假儉草於不同齡期之剪應力試驗，其分析結果如表 4-3 所示，二種植生條件之植草剪應力均隨齡期增加而增加，並且草皮植生條件下植草較高，因此曼寧係數較高，也因此，剪應力較高。

而假儉草三種不同植生方式之沖蝕試驗結果摘要如示表 4-4、表 4-5 及表 4-6。

表 4-3 假儉草植生沖蝕試驗剪應力分析表 (單位：Pa)

NO.	草皮植生			噴植植生		
	一個月	二個月	四個月	一個月	二個月	四個月
1	24.362	25.997	29.5	19.375	22.318	26.75
2	22.972	22.318	27.7	18.639	19.375	26.72
3	23.135	20.111	23.18	19.130	16.922	24.23
平均	23.490	22.808	26.8	19.048	19.538	25.9

表 4-4 假儉草草皮植生沖蝕試驗結果分析表

Duration (month)	Grass Height (m)	Flow Velocity (m/s)	Froude Number	Shear Stress (Pa)	Soil loss rate in depth (%)	Mannin g 's Coefficient
1	0.11~ 0.17	2.41	1.58	23.5	1.70	0.011
2	0.11~ 0.17	1.26	0.83	22.8	0.70	0.020
4	0.12~ 0.18	0.96	0.59	26.8	0.32	0.028

表 4-5 假儉草噴植植生沖蝕試驗結果分析表

Duration (month)	Grass Height (m)	Flow Velocity (m/s)	Froude Number	Shear Stress (Pa)	Soil loss rate in depth (%)	Mannin g 's Coefficient
2	0.032~ 0.042	1.21	0.91	18	0.31	0.019
4	0.02~ 0.06	1.22	0.81	22.8	0.16	0.021

表 4-6 假儉草 RECP 噴植植生沖蝕試驗結果分析表

Duration (month)	Grass Height (m)	Flow Velocity (m/s)	Froude Number	Shear Stress (Pa)	Soil loss rate in depth (%)	Mannin g 's Coefficient
1	0.035	1.23	0.96	19.1	0.77	0.018
2	0.045~ 0.07	1.33	0.95	19.5	0.88	0.018
4	0.07~ 0.10	1.13	0.70	25.9	0.33	0.024

三、RECP 與地毯草噴植植生

RECP 與類地毯草噴植植生情況下之各齡期(一個月、二個月)試驗水利特性摘要如表 4-7，四個月試驗將於 12 月時執行，本研究分別對於流速、曼寧係數、福祿數、深度沖蝕率及剪應力進行探討。

表 4-7 類地毯草沖蝕試驗水利特性摘要表

項目	噴植(一個月)	噴植(二個月)
標定流速(m/s)	2.3	2.3
標定水位高(m)	14.5	14.5
標定流量(m ³ /s)	0.2	0.2
草高(cm)	2.5~4	4~5.5
倒草高(cm)	1~2	2~3.5
水位高(cm)	17.44	16.6
水力半徑 R(m)	0.11	0.107

類地毯草於噴植一個月期間，流速依然偏高，然種植二個月後流速減緩明顯，明顯達到減緩效果，流速延時分佈如圖 4-8 所示。

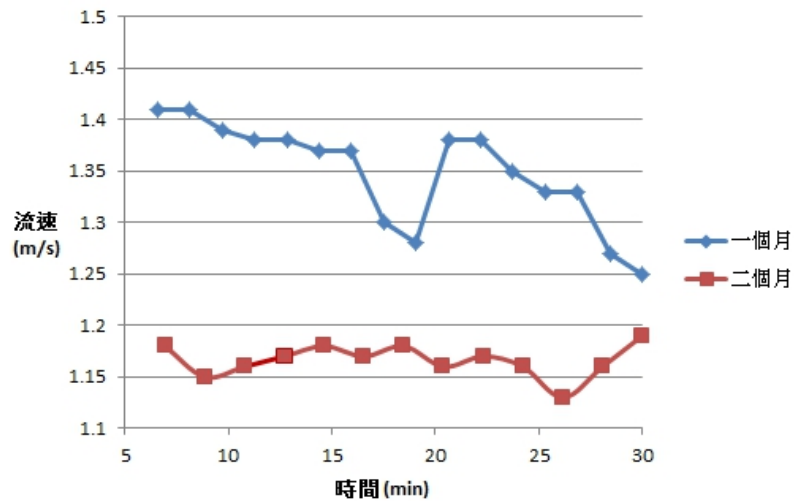


圖 4-8 類地毯草流速延時分佈圖

曼寧係數在二個月的时候，呈現非常穩定的情況，但由於前五分鐘流速未達到穩定，前面數值較中後段凌亂，曼寧係數分佈如圖 4-9 所示。

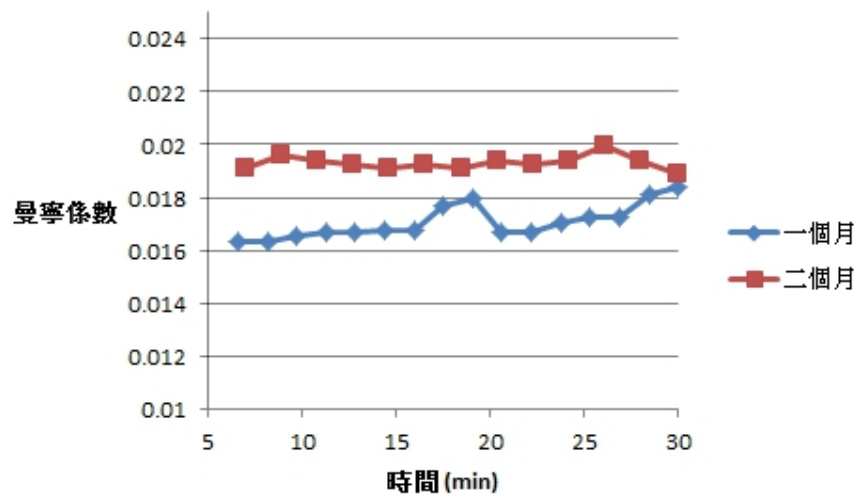


圖 4-9 類地毯草曼寧係數

類地毯草在生長的狀況較假儉草的差，以至於類地毯草無法明顯達到減緩流速，使得福祿數處於超臨界流的狀態，福祿數分佈如圖 4-10 所示。

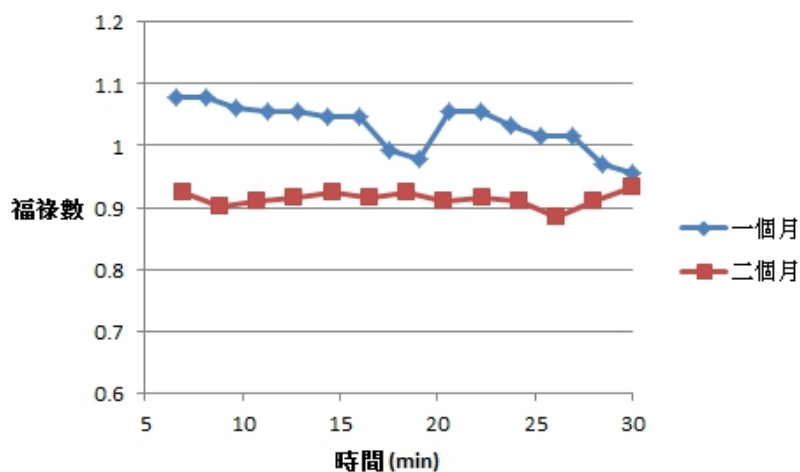


圖 4-10 類地毯草福祿數分佈圖

類地毯草一及二個月之深度沖蝕率呈現於圖 4-11，此二個月之數據並無明顯差異，兩者沖蝕率皆為 0.35 以下。

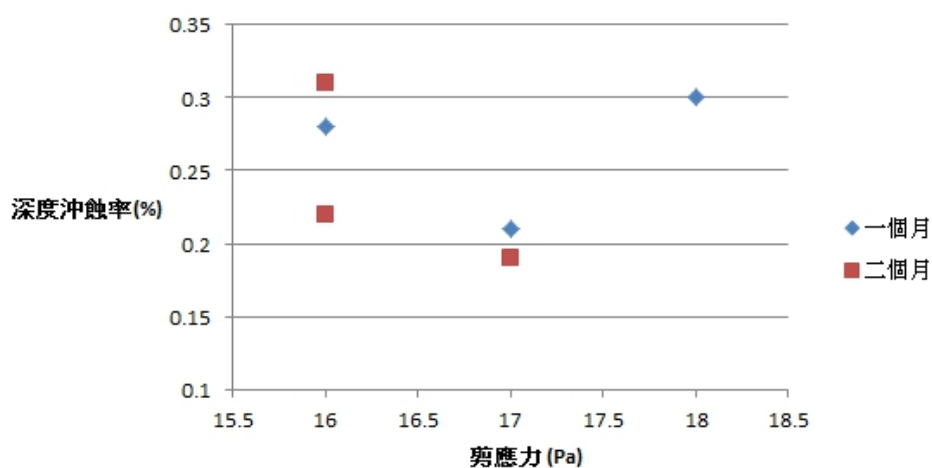


圖 4-11 類地毯草剪應力對應之深度沖蝕率分佈圖

類地毯草一個月與二個月沖蝕試驗結果之剪應力則摘要於表 4-8，
此二個月之數據大致相同，其平均剪應力值借於 16~17 Pa 範圍內。

類地毯草種植試驗結果摘要如示表 4-9。

表 4-8 類地毯草植生沖蝕試驗剪應力分析表單位：Pa

NO.	噴植植生		
	一個月	二個月	四個月
1	16	16	NA
2	17	17	NA
3	18	16	NA
平均	17	16.33	NA

註：NA 為不能提供之情況

表 4-9 類地毯草 RECP 噴植植生沖蝕試驗結果分析表

Duration (month)	Grass Height (m)	Flow Velocity (m/s)	Froude Number	Shear Stress (Pa)	Soil loss rate in depth (%)	Mannin g 's Coefficient
1	0.037	1.35	1.03	17.0	0.26	0.017
2	0.047	1.16	0.9	16.3	0.24	0.019

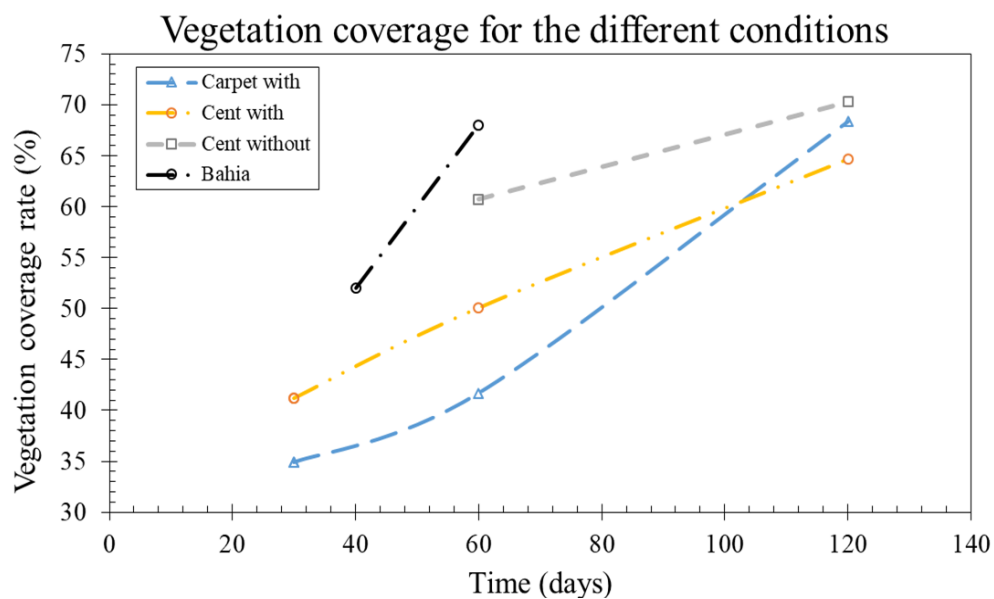


圖 4-12 不同期齡之植草覆蓋率

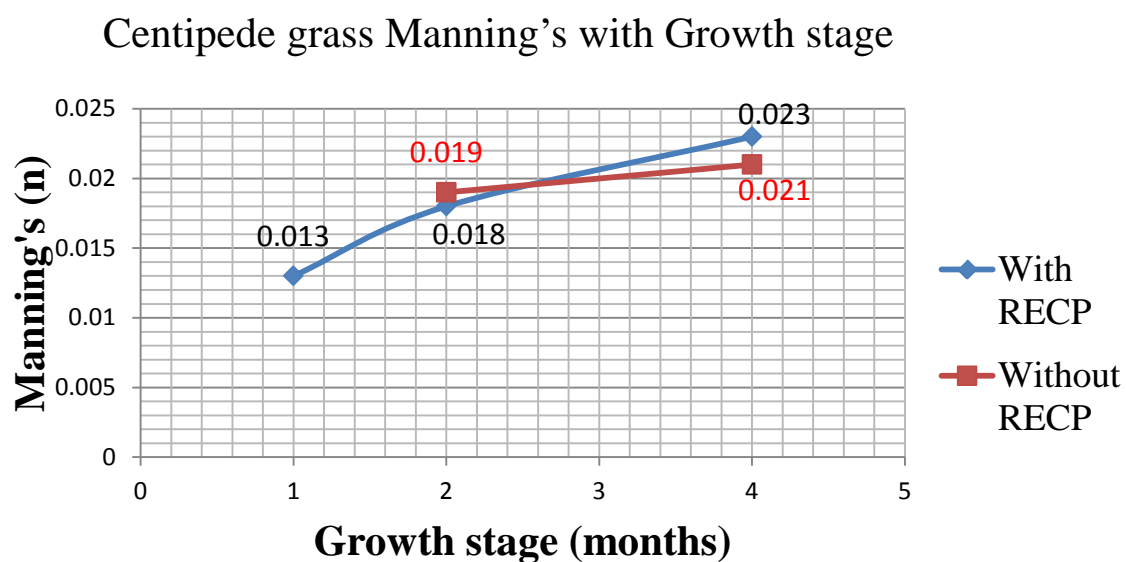


圖 4-13 假儉草不同期齡之曼寧系數

第五章 綜合與結論

本研究目的在於採用本校已建置完成之植草與渠道沖刷設施，將我國草溝常用之匍匐性假儉草與類地毯草草皮種植於設計之不銹鋼製土樣模具內，養護植生至不同齡期(一個月、兩個月及四個月)後進行沖刷試驗，以建立此二類草種應用於草溝之沖刷曼寧粗糙係數之資料，探討種植草種與鋪設市售草皮兩種方式，何者較適用於草溝現地植生及可能促進懸浮泥砂沉降之特性。

另近年地工植生氈為新興之植生輔助噴植材料，因此本研究另將採用本土地工植生氈與噴植材進行植生，並於不同植生齡期與狀況下進行沖蝕試驗，以評估其防沖蝕特性，再分析其對應之曼寧粗糙係數。

目前本階段在研究已完成大部分的植生作業，且完成假儉草一、二和四個月草皮植生及噴植植生及地毯草一、二個月之沖蝕試驗，試驗結果綜合討論如下。

已完成假儉草與地毯草之噴植植生與假儉草草皮植生一至四個月植草齡期沖蝕試驗。植草高度會隨生長齡期增加而增高，導致試驗段水位抬升及通水斷面積增加，致使流速降低及曼寧係數上升與抗沖蝕性增加。

由假儉草試驗數據顯示，草皮植生與 RECP 噴植植生均為有效抗沖蝕植生工法，然 RECP 噴植植生需較長時間達有效植草扎根。由現階段試驗數據顯示，匍匐性假儉草與類地毯草植生防沖蝕功效相近。

由二個月的數據顯示，百喜草植草高度較高於匍匐性(假儉草及類地毯草)植草，導致百喜草曼寧係數(0.025)高於匍匐性植草之對應之曼寧係數(0.018~0.020)。由假儉草試驗數據顯示，四個月植草之曼寧係數(0.024~0.028)較高於兩個月植草之曼寧係數(0.018~0.020)。

綜合試驗數據顯示，平均植草高度 4~5cm 其對應之曼寧係數約為 0.017~0.019，平均植草高度 10~12cm 其對應之曼寧係數約為 0.024~0.028。由濾砂試驗結果顯示，試驗流速為 0.36m/s 時植草具良好的濾砂功能，後續可增加流速以評估植草濾砂功能。土壤具備適當植生，其沖蝕率可低至 0.24%~0.33%。各試驗條件結果摘要如表 5-1 及表 5-2。

本研究不同期齡試驗均分別植栽，由研究過程中，發現植生成長過程中，會受溫度雨量及不同植生樣本之影響而有顯著不同生長成效，由於以上因素，對試驗曼寧係數會有適當之影響，宜後期研究增加樣本數足以降低此項差異效應。

表 5-1 沖蝕試驗各項數據

	草高 (cm)	流速 (m/s)	曼寧係數	福祿數	剪應力 (Pa)	深度沖蝕率 (%)
假儉草噴植 (一個月)	3.50	1.23	0.018	0.96	19.1	0.77
假儉草草皮 (一個月)	11~17	2.41	0.011	1.58	23.49	1.70
類地毯草噴植 (一個月)	3.70	1.35	0.017	1.03	17.0	0.26
百喜草噴植 (二個月)	9.80	1.24	0.025	0.93	21.0	1.15
假儉草噴植 (二個月)	4.5~7	1.33	0.018	0.95	19.50	0.88
假儉草草皮 (二個月)	11~17	1.26	0.020	0.83	22.80	0.70
類地毯草噴植 (二個月)	4.70	1.16	0.019	0.90	16.3	0.24
假儉草噴植 (四個月)	7~10	1.13	0.024	0.70	25.90	0.33
假儉草草皮 (四個月)	12~18	0.96	0.028	0.59	26.80	0.32

表 5-2 沖蝕試驗各項數據

試樣條件	植生草高(m)	土壤深度沖蝕率(%)	平均曼寧係數
假儉草草皮(一個月)	0.11~0.17	1.70	0.011
假儉草 RECP 噴植 (一個月)	0.035	0.77	0.018
類地毯草 RECP 噴 植(一個月)	0.037	0.26	0.017
百喜草 RECP 噴植 (二個月)	0.098	1.15	0.025
假儉草草皮(二個月)	0.11~0.17	0.70	0.020
假儉草 RECP 噴植 (二個月)	0.045~0.07	0.88	0.018
類地毯草 RECP 噴 植(二個月)	0.047	0.24	0.019
假儉草草皮(四個月)	0.12~0.18	0.32	0.028
假儉草 RECP 噴植 (四個月)	0.07~0.10	0.33	0.024

參考文獻

1. 李元智，碩士論文，南部橫貫公路中高海拔道路邊坡噴植植生工法之研究，國立屏東科技大學，2003，。
2. 林泉盛，碩士論文，邊坡穩定植生工法之研究，國立台灣海洋大學，2003。
3. 林信輝、黃保嚴、程怡婕，“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，2014。
4. 周峻暉，碩士論文，不同植生條件渠槽沖蝕之研究，國立屏東科技大學，2010。
5. 翁主怡、許中立，“多功能植生鋪網應用於陡坡地之抗蝕性試驗”，坡地防災學報，第11卷，第1期，14-25頁，2012。
6. 黃木己，碩士論文，地工防沖蝕毯(RECPs)施作方式對植生與沖蝕特性之影響，國立屏東科技大學，2017。
7. 陳榮河、洪勇善、沈哲緯、邱佑銘，“應用生態工法於坡地社區之適用性與設計準則研究”，2008。
8. 陳樹群、林俊岳、王士豪，“人造被覆資材對坡地沖蝕與植生復育成效之研究”，資源科學，第28卷，第3期，186-192頁，2006。
9. 謝杉舟，植生資材應用手冊，國立屏東科技大學水土保持系，1-14

頁，2006。

10. 鍾肇光，碩士論文，植生複合材應用於渠道內面工之研究，國立屏東科技大學，2005。
11. 行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會，水土保持手冊，行政院農業委員會水土保持局，2005。
12. ASTM D4439-14 Standard Terminology for Geosynthetics. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, USA.
13. Koerner R. M., DESIGNING WITH GEOSYNTHETICS, fifth edition, Pearson Education, Inc.

附錄

附錄一、期中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
一、試驗結果說明：		
1.	請補充於報告中，說明表4-1剪應力(Shear Stress)之計算方式。所列之值與圖4.5及表4.3之範圍差異甚大，請檢核。	已於 2-12 頁新增此次試驗所需公式。圖 4-5 與表 4-3 之試驗剪應力值相互應用，其介於 16.922~25.997Pa。
2.	請補充渠道試驗前後之草本試驗照片，以了解及比較沖蝕之現象。	試驗照片補充於圖 4-2 和圖 4-3。
3.	圖4.2 為草皮在養置一個月之曼寧係數變化，其值及趨勢與二個月養置期(即圖4.3)之結果差異甚大，請檢核及補充說明。	植生一個月草皮時，其草皮生長為初期，然在經一個月生長期，其生長狀況明顯改善，因此曼寧係數提升。

項次	審查意見	回覆辦理情形
4.	請補充於報告中，僅見土壤基本性質試驗方法說明，比重試驗，篩分析試驗，阿太堡試驗，土壤分類試驗，標準夯實試驗，但未見各項土壤性質之結果。	已於 4-2 頁進行補充說明。
5.	頁 4-9，由試驗盒中 9 個代表點量測土壤沖蝕深度，請補充量測位置示意圖。	代表點位以補充於圖 2-6 可供參考。
二、書面繕打錯誤：		
1.	頁碼 V，目次裡多項格式錯誤，請修正。	格式錯誤部分已改善。
三、試驗條件補充說明：		

項次	審查意見	回覆辦理情形
1.	請補充敘述渠道中之試驗區域，並說明流況為穩定及均勻流之條件。	新增渠道試驗前準備於 2-9 頁，試驗段區域以圖 2-4 表示之。
2.	請補充說明，試驗使用土壤之粒徑，比重等土壤性質。	土壤特性以及基本性質以補充於 4-2 頁，可供參考。
3.	頁2-9，資材配比參考工程常用之配比，請補充敘明於報告中。	資材配比以及資材種類於表 2-1 有詳細說明。
4.	請補充沖蝕試驗之實驗流程及步驟說明。	以增加說明於 2-10 頁，可供參改。
5.	請補充濾砂試驗之實驗流程及步驟說明。	以於報告中 2-11 頁詳加說明。

項次	審查意見	回覆辦理情形
6.	請補充說明實驗結果，如何計算出曼寧係數，是依據何公式估算。	曼寧係數是以試驗流速和斷面面積求出，公式以補充於2-12 頁。
7.	頁2-3，提及室內植生評估設備，但本文未見此項內容之敘述，請補充。	此次研究主要以渠道沖蝕試驗為主，並無進行室內植生，已修改。

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
1.	不同草種其葉型及根量型態不同，亦有可能影響其曼寧粗糙係數，建議對照組部分有所區別。	本研究以不同草種草皮植生及RECP噴植植生於三種生長期齡為研究範圍，執行其沖蝕率與曼寧係數試驗，葉型與根量可為後期分析研究方向。
2.	草皮初期完成噴植之植被效果不同，因生長情形有差異，比較上應有所說明。	本研究不同期齡試驗均分別植栽，由研究過程中，發現植生成長過程中，會受溫度雨量及不同植生樣本之影響而有顯著不同生長成效，由於以上因素，對試驗曼寧係數會有適當之影響，宜後期研究增加樣本數足以降低此項差異效應。
3.	RECP與假儉草噴植一個月及三個月之曼寧n值皆為0.018，如何說明效益？	由於不同期齡植生為三個不同試樣組，植生時難免會受氣候、溫度及雨量影響試驗生長成效，由於此環境影響因素，

		一個月與兩個月試驗之曼寧係數差異不顯著。
4.	草皮植栽搭配防沖蝕毯之較佳組合為何？	草溝植生可因應施工便利性 及材料工應性，可分別採用草皮植生或RECP配合噴植植生等施工方式，以增加防沖蝕功能。
5.	本研究如何應用於生態工法草溝設計？	研究所得曼寧係數可依草溝設計排水流量，以推算草溝排水斷面與對應之斷面設計。