

土 木 科

科別：土木科

組別：高職組

作品名稱：以生態工法之理念綠化河川護岸之研究

關鍵詞：生態工法、植生、土壤強度

編號：091203

學校名稱：

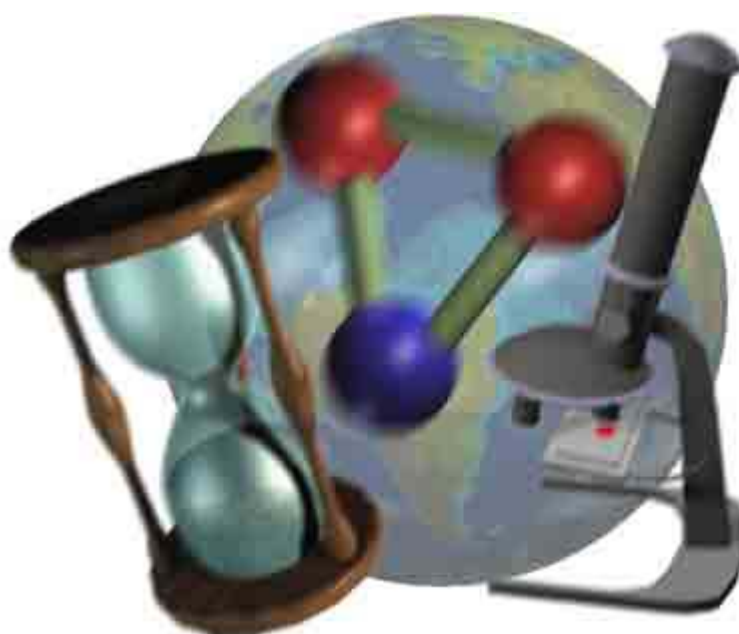
高雄市立海青工商職業學校

作者姓名：

顏承億、劉哲豪、莊智淵

指導老師：

陳雨音、吳坤洲



## 摘要

為有效增加河川兩側護岸的使用空間，建造適合人們親水的環境，本研究嘗試於土壤中添加少量水泥，藉以改善其強度卻又不失土壤植生的特性，期望改善原本單調灰暗的水泥護岸，達到綠美化的效果以建設出更美好的都市居家休憩環境。

本研究探討土壤中添加不同比例的水泥含量對植物生長、土壤強度、沉陷量與防沖蝕的影響。試驗結果顯示，於土壤中添加的水泥含量愈多，土壤強度亦隨之增加，防沖蝕與沉陷的功能愈佳，但是相對地植生效果愈差。

## 壹、研究動機

夜晚的愛河被各式燈火點綴得十分美麗，是適合民眾散步、情侶約會的好去處。但是在白天，愛河少了燈光的陪襯，由水泥組成的護岸呈現一片光禿禿的景象，讓人覺得一點也不想親近。在土木建築工程概要的水利工程單元中曾提到台灣地狹人稠，在都市化的過程中，許多河川地被開發成為都市的一部份，不僅造成河川斷面的縮小，而單調的水泥護岸景觀亦讓人感覺不適。後來我們接觸到河川生態工法的一些基本理念，得知以植物作為邊坡及河川綠美化自然工法之材料，不僅可以保有河川中生物基本生存空間，發揮環境綠美化效果，更可達到生態共存共榮之最高境界。因此本研究以添加少量水泥的方式來改良河川邊坡的強度，並嘗試於改良後的土壤上進行植生，以達到合理使用土地以及景觀美化的目的。

## 貳、研究目的

由參考資料得知，河川整治往往只注重安全性和實用性，卻忽略了對生態環境所造成的影響。因此以生態工法之理念改善原有護岸工程，取代傳統混凝土構造對環境所造成之不協調與衝擊，是本研究之主要目的，以土壤中添加不同比例水泥含量，探討下列四個問題：

- 一、土壤中不同比例的水泥含量對植物生長的影響。
- 二、土壤中不同比例的水泥含量對土壤強度的影響。
- 三、土壤中不同比例的水泥含量對沈陷量的影響。
- 四、土壤中不同比例的水泥含量對防沖蝕的影響。

## 參、研究設備器材

### 一、植生試驗

土壤、草種（黑麥草、百慕達草）、水泥、植生皿（12cm\*15cm\*5cm）、鋼盆、湯匙、電子秤、電鑽、灑水器。

### 二、落鎚試驗

砝碼（200 公克）、砝碼支承、游標尺。

### 三、沈陷試驗

灑水器、游標尺。

### 四、沖蝕試驗

蓮蓬頭、游標尺。

### 五、實物模擬

土壤、草種（黑麥草、百慕達草）、水泥、整理箱（47cm\*36cm\*30cm）、鋼盆、湯匙、電子秤、灑水器。

## 肆、研究過程與方法

### 一、植生試驗

（一）土壤置於烘箱(105 )烘乾 24 小時後，取出待其冷卻至室溫後裝袋密封。

（二）使用電鑽於植生皿的底部打孔，以利排水。

（三）取 1000g 的烘乾土與水泥(水泥重量分別為烘乾土重之 0%、3%、6%、9%、12%、15%、20%)混合均勻，再加入 120g 的水攪拌，拌合完成後盛至植生皿，表面略為輕壓整平，依水土保持手冊建議之水土保持植物之播種量，取黑麥草 10g/m<sup>2</sup>、百慕達草 6g/m<sup>2</sup>，分別撒至拌合土上，輕壓種子使其與拌合土緊密。操作過程如圖 1 所示。

（四）每日早晚澆水一次，記錄草種生長情況。



圖 1-1 植生皿底部鑽孔



圖 1-2 各項拌合材料秤重



圖 1-3 材料拌合



圖 1-4 播種草種



圖 1-5 草種植栽面積



圖 1-6 植栽環境

圖 1 植生試驗流程

## 二、落錘試驗

- (一) 取水泥含量分別為 0%、3%、6%、9%、12%、15%、20%之拌合土，與 120g 的水拌合均勻，盛至植生皿中養護。
- (二) 養護 28 天後，將 200g 之砝碼與砝碼支承固定於拌合土上，砝碼提升至 12 公分處使其自由落下，重複夯擊動作 5 次。操作過程如圖 2 所示。
- (三) 使用游標尺量測拌合土沈陷的高度。



圖 2-1 落錘試驗裝置



圖 2-2 砝碼提升高度



圖 2-3 砝碼落下

圖 2 落錘試驗程序

## 三、沈陷試驗

- (一) 植生試驗進行 28 天後，對每一植生皿澆置大量的水，以模擬暴雨情況。
- (二) 試驗過後，使用游標尺量測拌合土沈陷的高度。

## 四、沖蝕試驗

- (一) 植生試驗進行 42 天後，將植生皿傾斜置於蓮蓬頭下沖蝕，以模擬降雨與地表逕流對邊坡的影響，沖蝕時間持續約 30 分鐘。
- (二) 經過 5、10、20、30 分鐘的沖蝕之後，以游標尺量測拌合土經沖蝕後沖蝕溝的寬度、深度以及長度。

## 五、實物模擬

- (一) 選用水泥含量 3%與 15%之拌合土，於整理箱中作成一坡度約為 30 度之坡面。
- (二) 於坡面上均勻撒上草種(黑麥草、百慕達草)。
- (三) 每日早晚澆水一次，記錄草種生長情況。

## 伍、研究結果

### 一、植生試驗

植生試驗主要用以觀察土壤中含不同比例水泥時，對植物生長的影響。其結果如表一 二及圖 3 5 所示。

表一 黑麥草生長狀況記錄

水泥 天數	0%	3%	6%	9%	12%	15%	20%
1 天	無。	無。	無。	無。	無。	無。	無。
2 天	多數草種直立，一端沒入土中。	部份草種直立，一端沒入土中。	少量草種直立，一端沒入土中。	同左。	只有幾顆草種直立，一端沒入土中。	同左。	同左。
3 天	直立起來的草種開始發芽。	同左。	同左。	同左。	同左。	同左。	同左。
7 天	抽出的新芽已有 7 公分高，分佈面積均勻。	同右，但生長密度較低，且有長出白色絨毛的根。	少數種子抽出新芽，高度約 4 公分左右，部分未發芽的種子亦有長出白色絨毛的根。	同左。	同左。	同左。	只有幾顆種子發芽，高度約 3 公分，部分未發芽的種子有長出白色絨毛的根。
14 天	生長情況呈現一片欣欣向榮，高度達 15 17 公分左右。	生長密度約為 70%，高度約在 12 15 公分。	生長密度約為 70%，高度約在 10 15 公分。	生長密度約為 50%，高度約在 10 12 公分。	生長密度約為 50%，高度約在 10 公分左右。	生長密度約為 40%，高度約在 10 公分左右。	生長密度約為 10%，高度約在 8 10 公分。
21 天	生長情況同上。但是植生皿底部已盤據密密麻麻的根系。	生長高度同上，生長密度達 90%，但是根系固著在土壤表層並未出現於植生皿底部。	生長高度同上，生長密度達 80%，植物的根似乎無法向下扎根。	生長高度同上，生長密度達 80%，根系盤據在土壤表面。	生長高度同上，生長密度約在 70% 左右，根系盤據在土壤表面。	生長高度同上，生長密度約在 70% 左右，根系盤據在土壤表面。	生長高度同上，生長密度約在 20% 左右，根系盤據在土壤表面。

表一 黑麥草生長狀況記錄(續)

水泥 天數	0%	3%	6%	9%	12%	15%	20%
28 天	生長情況同上，但葉子產生彎曲現象。	同左。	同左。	同上。	同左。	同左。	同左。
35 天	葉子彎曲愈發顯著。	同左。	同左。	葉子產生彎曲現象。	同左。	同左。	同左。
42 天	黑麥草出現枯萎現象。	同左。	同左。	同左。	同左。	同左。	大部份黑麥草已枯萎。

表二 百慕達草生長狀況記錄

水泥 天數	0%	3%	6%	9%	12%	15%	20%
1 天	無。	無。	無。	無。	無。	無。	無。
7 天	無。	無。	無。	無。	無。	無。	無。
14 天	無。	無。	無。	無。	無。	無。	無。
18 天	開始發芽，生長密度約 60%。	開始發芽，生長密度約 40%。	開始發芽，生長密度約 20%。	開始發芽，生長密度約 20%。	開始發芽，生長密度約 10%。	少數種子開始發芽。	零星的種子開始發芽。
21 天	生長情況良好，高度約為 0.5 公分。	同左。	高度約為 0.3 公分。	同左。	同左。	同左。	同左。
28 天	生長情況良好，葉片的數目增加，高度約 1 公分左右。	同左。	生長速度較緩慢，高度約在 0.5 公分左右。	同左。	同左。	同左。	同左。
35 天	生長密度達 95%，高度約在 1.5 2 公分。	生長密度達 90%，高度約在 1.0 1.5 公分。	生長密度達 75%，高度約在 0.8 1 公分。	生長密度達 55%，高度約在 0.8 1 公分。	生長密度達 45%，高度約在 0.8 1 公分。	生長密度達 30%，高度約在 0.5 0.8 公分。	生長密度達 10%，高度約在 0.5 0.8 公分。
42 天	生長情況茂盛，高度約在 2.5 公分左右，最高至 4.5 公分。	生長情況良好，高度約在 1.5 1.8 公分之間。	生長情況良好，但成長速度緩慢，高度約 1 公分左右。	同左。	同左。	生長速度緩慢，高度約 0.8 公分左右。	生長速度緩慢，高度約 0.8 公分左右。





圖 3-1 水泥 0%



圖 3-2 水泥 3%



圖 3-3 水泥 6%



圖 3-4 水泥 9%



圖 3-3 水泥 12%



圖 3-4 水泥 15%



圖 3-3 水泥 20%

圖 3 黑麥草種植於不同水泥含量之土壤，第 7 天之生長情況



圖 4-1 水泥 0%



圖 4-2 水泥 3%



圖 4-3 水泥 6%



圖 4-4 水泥 9%



圖 4-5 水泥 12%

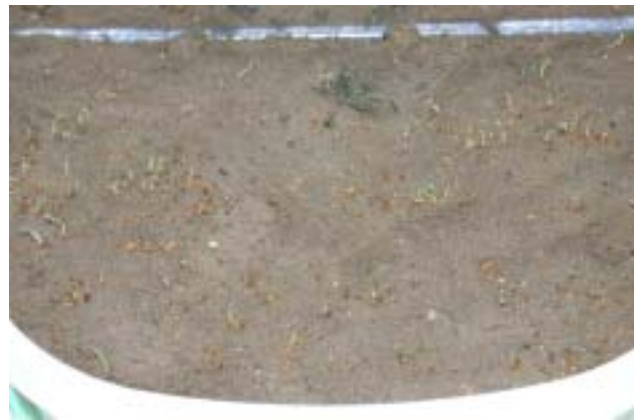


圖 4-6 水泥 15%



圖 4-7 水泥 20%

圖 4 百慕達草種植於不同水泥含量之土壤，第 18 天之生長情況





圖 5-1 水泥 0%



圖 5-2 水泥 3%



圖 5-3 水泥 6%



圖 5-4 水泥 9%



圖 5-5 水泥 12%



圖 5-6 水泥 15%



圖 5-7 水泥 20%

圖 5 黑麥草(左)與百慕達草(右)種植於不同水泥含量之土壤，第 42 天之生長情況

## 二、落錘試驗

落錘試驗主要用來測試土壤強度，由於本校並無落錘試驗的儀器設備，且試驗樣本的表面積較小，因此我們採用 200g 的砝碼，落距 12 公分，連續錘擊 5 次的方式，以土壤沈陷的高度來表示土壤的強度。表三即為試驗結果，以四分法量測沈陷高度，取其平均值。

表三 落錘試驗結果(單位：mm)

水泥含量	0%	3%	6%	9%	12%	15%	20%
1	7.5	1.8	0	0	0	0	0
2	8.0	2.0	0	0	0	0	0
3	8.5	1.8	0	0	0	0	0
4	10.0	1.9	0	0	0	0	0
平均	8.5	1.9	0	0	0	0	0



圖 6-1 水泥 0%



圖 6-2 以游標尺量測沉陷值



圖 6-3 水泥 3%



圖 6-4 水泥 6%

圖 6 不同水泥含量之落錘試驗結果



### 三、沈陷試驗

鬆軟的土壤會因為其自身的重量，以及表面水的重量，漸漸產生沈陷現象，但是此一現象在短時間內的影響並不明顯。然而一場豪雨過後，雨水會軟化土壤，導致土壤產生大量沉陷，因此我們模擬暴雨來臨時的狀況，連續兩天澆置大量的水，觀察植生皿中土壤沈陷的狀況，以四分法量測沈陷高度，並取其平均值。試驗結果如表四及圖 7 所示。

表四 沈陷試驗結果(單位：mm)

水泥含量	0%	3%	6%	9%	12%	15%	20%
1	15.5	5.1	0	0	0	0	0
2	16.8	3.4	0	0	0	0	0
3	18.2	3.2	0	0	0	0	0
4	18.6	4.3	0	0	0	0	0
平均	17.3	4.0	0	0	0	0	0



圖 7-1 水泥 0%沉陷試驗

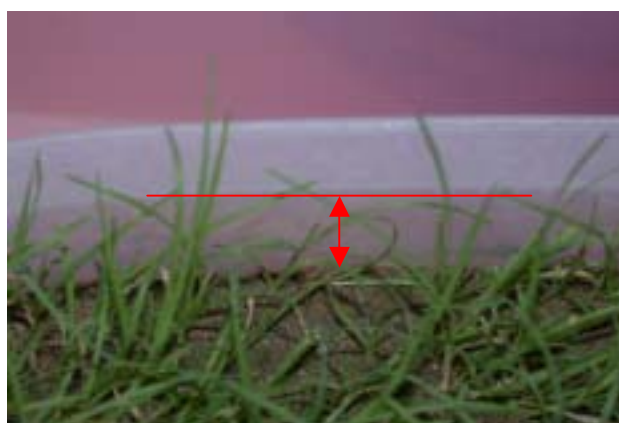


圖 7-2 水泥 0%沉陷情況



圖 7-3 水泥 3%沉陷情況



圖 7-4 水泥 6%沉陷情況

圖 7 不同水泥含量之沉陷試驗結果

#### 四、沖蝕試驗

本試驗之主要目的在探討經由水泥改良後之河川護岸，對地表逕流與雨水沖刷的抵抗能力。試驗結果如表五所示。

表五 沖蝕試驗結果

水泥 時間	0%	3%	6%	9%	12%	15%	20%
5 分鐘	未植生的土壤，在沖蝕不到 1 分鐘隨即出現三道寬約 0.7 公分，深度 1 公分，長度 6 8 公分的蝕溝，因此停止試驗。而有植生的土壤在經過 5 分鐘的沖蝕後，出現數條寬約 0.2 公分，深度 0.4 公分，長度 2 3 公分的蝕溝。	部分表土顆粒被沖刷。	同左。	同左。	同左。	同左。	同左。
10 分鐘	有植生的土壤在沖蝕下持續流失，最大的蝕溝寬約 0.6 公分，深度 0.8 公分，長度 5 公分，故試驗終止。	同上。	同上。	無。	無。	無。	無。
20 分鐘	--	有較大顆粒流失，在表面有小凹洞形成。	同上。	無。	無。	無。	無。
30 分鐘	--	土壤持續流失，但是速度緩慢。	同上。	無。	無。	無。	無。

## 五、實物模擬

本試驗選用水泥含量為 3%與 15%的配比，施作一模擬邊坡 30 度之護岸，將黑麥草與百慕達草混和播種，觀察其植生狀況。試驗記錄如表六與圖 8 所示。

表六 實物模擬之觀察記錄

天數	水泥含量 3%	水泥含量 15%
1 天	無。	無。
3 天	同上，但是澆水產生的地表逕流有將泥土和部份種子沖刷至斜坡底部的現象。	同左，但是被沖刷的數目較多。
7 天	黑麥草開始發芽，發芽分佈情況大致均勻，不過斜坡底部由於有泥土淤積，所以發芽密度略高。	無生長跡象。
14 天	黑麥草生長情況良好，高度約 10 公分，但是百慕達草仍未發芽。由於坡面植生密佈，因此土壤沖刷的現象已經停止。	由於水泥固化情況愈明顯，因此澆水產生之地表逕流已無法再沖刷土壤與種子。斜坡底部的淤積土中開始有黑麥草發芽的影子，而坡面上亦有一小撮的黑麥草發芽。
21 天	在黑麥草分佈較不密集的地方發現百慕達草的蹤影，生長高度約 0.5 公分。而黑麥草持續增長，高度約 15 17 公分。	黑麥草生長範圍仍侷限於原有的部位，生長的速率也不如生長在水泥含量 3%的黑麥草，目前高度約在 8 10 公分左右。
28 天	黑麥草生長茂密，已將整個坡面覆蓋，且因高度過長而呈現彎曲現象。被覆蓋在其下之百慕達草，生長速率趨於緩慢。	黑麥草生長部位同上，生長速率趨於緩和，部份黑麥草葉子尖端呈現發黃現象。
35 天	黑麥草生長情況依舊良好，但是發現被覆蓋住的百慕達草呈現枯萎狀況。	黑麥草生長部位同上，有逐漸枯萎的狀況產生。
42 天	黑麥草生長狀況同上，但百慕達草已不見蹤影。	黑麥草已完全枯死。



圖 8-1 俯視圖



圖 8-2 俯視圖



圖 8-3 百慕達草長出



圖 8-4 黑麥草於坡面底部生長情況



圖 8-5 百慕達草枯死



圖 8-6 黑麥草於坡面底部生長情況(死亡)

圖 8 實物模擬之生長情況，左邊圖片為水泥 3%，右邊為水泥 15%



## 陸、討論

### 一、植生試驗

由參考文獻得知黑麥草的發芽週期約在 3~7 天，百慕達草則為 14~20 天左右，符合我們試驗需求時間範圍之內，此外兩種草種皆具水土保持功效，故我們選用此兩種草種作為試驗材料。

試驗結果顯示(表一及表二)，無論是黑麥草或百慕達草的發芽率，皆會隨著土壤中水泥含量的增加而降低，而生長密度及生長速率亦會隨著水泥含量的增加而降低。探究其原因為水泥的 PH 值較高屬於鹼性，故當土壤中添加少量的水泥時，亦會改變土壤的 PH 值，使得土壤偏鹼性不利於植物生長。此外，水泥會固化土壤增加土壤強度，造成植物的根系無法向下扎根(如圖 9 所示)，只能附著於固化土壤的表面，無法吸收土壤中的養分以及水分，因此隨著種植的時間增加，黑麥草的種子養分消耗殆盡，漸漸產生枯黃狀況。

百慕達草的生長情況與黑麥草則不盡相同。研究資料顯示百慕達草為一種耐旱的草本植物，可生存於險惡的環境之下(如石灰岩地形)。因此推測百慕達草亦可生存於經水泥改良偏鹼性的土壤，實驗結果也證實在水泥含量達 20% 的土壤中，百慕達草依然可以生存，不過水泥含量對百慕達草的生長速率仍有所影響。

前述說明黑麥草不適合生長於鹼性土壤之中，因此培育 35 天之後開始枯萎，而種植在未含水泥土壤中的黑麥草亦有枯萎現象產生，推測其原因可能是由於我們提供的土壤厚度不足，造成黑麥草的根盤據在植生皿底部(如圖 10 所示)，無法供給足夠的養分與生長空間所造成。



圖 9 黑麥草浮起

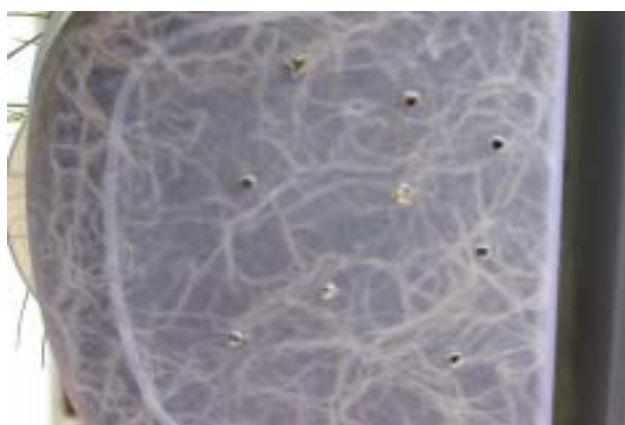


圖 10 黑麥草的根盤據植生皿底部

## 二、落錘試驗

本研究為尋求新的河堤護岸施工方式，使用水泥改良河岸土壤強度，並加以植生綠化，使其兼具有強度與防沖蝕能力，以期營建出一個「綠色護岸」的景色。故我們藉由落錘試驗來測試土壤強度(沖蝕試驗結果討論容待後述)。

試驗結果顯示(表三)，原始未添加水泥的土壤在 200g 的砝碼，落距 12 公分，連續錘擊 5 次的作用下，沉陷值為 0.85 公分，添加水泥含量 3% 的土壤其沉陷值為 0.19 公分而添加水泥含量 6% 以上的土壤則無沉陷的情況產生。由此可知，添加水泥確可有效提昇土壤強度。由參考資料得知，水泥水化作用所產生之膠結物，能將土壤顆粒緊密膠結在一起，造成強度提昇之效果。因此，當土壤中的水泥含量越高，其強度亦越大。

## 三、沈陷試驗

由試驗結果得知(表四)，原始未添加水泥的土壤在連續兩天的暴雨模擬作用下，沉陷值為 1.73 公分，添加水泥含量 3% 的土壤其沉陷值為 0.4 公分，而添加水泥含量 6% 以上的土壤其沉陷值皆無顯著的變化。由此試驗結果可知，於土壤中添加水泥可有效抑止土壤因雨水入滲而產生的沉陷，探究其原因為水泥水化反應所形成之膠結物，會填塞於土壤顆粒間的孔隙。因此當水泥含量越高，土壤顆粒間的孔隙被膠結物填充的比例越高，故沉陷量亦隨之降低。

## 四、沖蝕試驗

由參考資料得知一般土壤表面植生綠化有助於減緩雨水與地表逕流所帶來的衝擊，而經我們實驗結果顯示(表五)，未植生的土壤表面一經漣篷頭的水沖擊，馬上就產生顯而易見的蝕溝，且土壤流失嚴重。而表面有植生的土壤雖然亦有蝕溝產生，但是由於植物的葉面降低水流帶來的沖擊能量，而植物的根系亦有穩固土壤的作用，延緩了蝕溝的產生，顯示出地表植生確實有水土保持的功能。

而添加水泥的土壤於試驗初期，表面有部份未固化的土壤顆粒被水流沖刷掉。在持續沖刷下，水泥含量 3% 的土壤因固化效果較差，因而土壤顆粒被沖刷的痕跡較為明顯且持續發生，於試驗終止後，雖然表面未出現蝕溝，但是卻有一些面積小且淺的蝕洞產生。水泥含量 6% 以上的土壤，則僅於試驗前 5 分鐘時產生表土顆粒被沖刷掉，試驗 30 分鐘後無任何蝕溝或蝕洞產生。

## 五、實物模擬

本研究的目的是希望以生態工法之理念，改良目前傳統河川護岸的施工方法，期望以水泥改良河川邊坡的強度，但是又保有土壤植生的特性，以期創造出接近自然的「綠色護岸」。

實驗結果發現實物模擬與植生試驗的結果略有出入。黑麥草在水泥含量 3%的實物模擬中生長情況良好，不似植生試驗產生枯黃現象，顯示土壤量增加(養分提高)確實有助於植物的生長。此外，再試驗初期百慕達草生長的情況亦十分良好，但是後期卻全部死亡，推究其原因，是因為黑麥草生長茂盛，草長掩蓋住百慕達草，造成百慕達草缺乏陽光照射，導致無法行光合作用而死亡。

而水泥含量 15%的實物模擬中，草種生長的形況並不如預期來的好，不論是在生長速度或生長密度方面都與植生試驗的結果不同。探究其原因，可能是由於灑水時於坡面產生的地表逕流將部分種子沖刷流失，而剩餘未被沖刷的種子又被固化後的水泥鑲嵌於土壤之中無法生長，導致發芽生長情況不同於植生試驗的結果。

## 柒、結論

由植生試驗可知，植物的生長速度與密度隨著土壤中水泥含量的增加而降低，在 PH 值為鹼性的環境中，百慕達草的適應能力較黑麥草為佳。在實物模擬試驗方面，草種會因為灑水的因素而流失，故於現地施作時可考慮採用噴植法，利用高壓噴射的原理將草種種植與土壤之中，降低草種流失的機率。而百慕達草與黑麥草混合種植，由於後者發芽速度快，確實可達到提早綠化的功效，但是百慕達草在黑麥草的遮蔭之下卻無法存活，因此可考慮降低黑麥草的播種量，增加空隙以提高百慕達草的生存機率。

此外，添加水泥的土壤可有效增加土壤強度、減少沉陷量、防止水流沖刷，究其原因為水泥水化反應所產生之膠結物，填充於土壤孔隙之間，故水泥量越高，上述反應愈明顯。但是相對地水泥含量愈高，愈不利於植物的生長。因此本研究建議水泥含量應視使用目的及環境而加以適當調整。

## 捌、參考資料

- 一、經濟部水資源局編著，永續河川空間規劃設計，經濟部水資源局，民國 89 年。
- 二、林信輝，水土保持植生工程，高立圖書有限公司，民國 91 年。
- 三、陳雨音，結構與管溝回填替代工法之探討，私立中華大學土木工程學系碩士論文，民國 91 年。
- 四、農友種苗股份有限公司，<http://www.knowyou.com>。
- 五、植生綠化資訊站，<http://green.nchu.edu.tw/veeesl.htm>。
- 六、水環境研究中心，[http://www.cc.ntut.edu.tw/~wwwwec/eco/eco\\_index.htm](http://www.cc.ntut.edu.tw/~wwwwec/eco/eco_index.htm)。

## 評語

- 1.本研究具生態工法之創新與應用特色。
- 2.植草選擇樣本可再加強使更具鄉土性。
- 3.實驗方法與高工土木材料、施工之課程內容相符性高。