

# 土壤保水劑對飛砂抑制效率之研究

黃隆明<sup>(1)</sup> 黃律迪<sup>(2)</sup>

## 摘要

本研究為瞭解土壤保水劑對飛砂抑制之效益，採取大安溪砂土，從事相關實驗，經由砂粒物性分析得知，砂粒平均含水率、密度及粒徑分別為 0.5%、2.72g/cm<sup>3</sup> 及 0.313mm，為級配不良之砂土。而由土壤保水劑吸排水曲線及應用性分析得知，保水劑在多水時進行吸水，缺水時排水，不但有良好之可逆性，且效果持久；又當施用濃度提升時，有提高砂面膠結強度及降低土壤 pH 值之效果；再由百慕達草種發芽率分析得知，土壤保水劑雖不會降低發芽率，但隨濃度提升會延緩種子發芽。此外，由風洞試驗顯示，在 10m/s 風速下，土壤保水劑之濃度為 0.1% 時，飛砂抑制效率可達 98.8%；而當風速達 15m/s，濃度超過 0.33% 時，則無飛砂現象產生，因此，隨濃度提升，土壤保水劑對於抗風蝕及定砂有顯著的功效。

(**關鍵詞**：土壤保水劑、飛砂、風洞)

## Study on the Aeolian Sand Restrain Efficiency of Soil Water Holding Substance

*Long-Ming Huang*<sup>(1)</sup> *Lu-Di Huang*<sup>(2)</sup>

Associate Professor<sup>(1)</sup>, Graduate Student<sup>(2)</sup> Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taiwan

## ABSTRACT

This study was planned to investigate the aeolian sand control effect by soil water holding substance. According to the soil experiment results of the physical properties of the sand, the soil of Da-an river was sorted as poorly graded sandy soil, the moisture content was about 0.5%, the average particle size was about 0.313mm; the density was 2.72 g/cm<sup>3</sup>. Soil water holding substance not only had nice reversibility also lasting effect, when the moist carries on absorbing water, lacks the draining water, when the concentration was increase, the soil shear stress was be

---

(1)國立中興大學水土保持系副教授 (通訊作者 e-mail：lmhuang@dragon.nchu.edu.tw)

(2)國立中興大學水土保持學系研究生

higher and soil pH was decrease but the germination potential of Bermuda grass seeds were not affect except the slow growth. As to the wind tunnel experiment, the results showed that when wind speed was 10m/s and concentration was 0.1%, could reach the aeolian sand restrain efficiency of 98.8%, additionally when wind speed increase to 15m/s and concentration more than 0.33% no aeolian sand would be found. Therefore, with the concentration increase, the aeolian sand control had significant effect.

(Key words : soil water holding substance, aeolian sand, wind tunnel)

## 前言

台灣地區雖有充沛之降雨，然而由於河短流急、地勢陡峻，故蓄水不易，復加颱風豪雨頻仍，使得原本地形、地質結構脆弱的山坡地，每逢豪大雨，必造成大量的土砂沖刷，產生嚴重的土砂災害。又因台灣河川流量乾濕季分明，變化極大，在每年 5~10 月豐水期時，降雨量多，河川流量大，土砂經由河川夾帶至下游，堆積於河岸兩側及出海口處；而在每年 11~4 月枯水期時，由於降雨量少，河川流量小，此時原本堆積在河岸兩側及出海口處的泥砂，因為水位下降，形成廣大面積之裸露地與綿延的砂岸。

由於枯水期間正值東北季風盛行，裸露之河灘地，飛砂及揚塵瀰漫，不但影響空氣與環境品質，而且嚴重危害農作及房舍；近年來，雖然縣市政府皆已積極投入各河口飛砂及揚塵的防制工作，有以築砂堤的方式阻水及引水，透過提昇水位來增加水覆蓋區域；亦有水帶砂面噴水同時配合協助街道灑水；或構築定砂設施、護甲覆蓋及水幕攔截等(黃隆明等，2010)，以防治飛砂及揚塵，然而始終成效不彰，因此，如何研發有效的防治工法？實為目前重要的課題。

砂粒之運移與其物理特性息息相關，

Bagnold (1941)在研究中指出，粒徑介於 0.5 ~2mm 間之砂粒，因受重力作用影響較大，故其運動型態主要以滾動(creep)為主，當砂粒滾動時，藉由彼此間的碰撞來傳遞能量，使未起動之砂粒移動，而非直接自氣流獲得移動能量；又粒徑介於 0.1~0.5mm 時，除了本身之重力影響外，亦受風力上揚作用，彼此間相互碰撞後彈跳至空中，高度一般在 1m 以下，運動速度大約為風速的 1/2~1/3，運動型態則以跳躍(saltation)為主，當跳躍之砂粒撞擊較大質量之砂粒時，可能停止彈跳，並改以滾動方式前進，遇到阻礙時則形成堆砂；至於粒徑小於 0.1mm 之砂粒，其運動型態以懸浮(suspension)為主。Blanco and Lal (2008)在研究中也同樣發現，並以圖示說明砂粒之運動方式，如圖 1 所示。

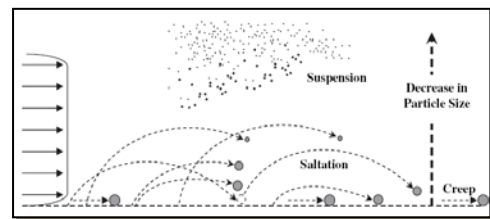


圖 1 砂粒運動示意圖 (Blanco and Lal, 2008)  
Fig. 1 Illustrative plots for the transporting motion of windblown sand particle (Blanco and Lal, 2008)

田中貞雄(1954)研究得知，砂體含水率增加時，起動風速亦隨之增加；對相同含水率而言，起動風速與粒徑大小成正比。Johnson (1965)在研究砂粒之起動風速時發現，當砂體含水率大於 1%，砂粒之移動開始受到較大的影響。林信輝(1979)等指出，吸附在砂粒孔隙間之水份，會增加砂粒間的結合力，使其不易受風吹散，因此，砂粒起動必須克服水體之結合力。游繁結等(1989)在濁水溪河口飛砂量調查中發現，溪床飛砂主要發生在含水率小於 0.5%的條件下。黃隆明等(2010)以大甲溪床砂粒從事飛砂移動機制之風洞實驗發現，當砂粒含水率低於 1.22%時，飛砂量達到最大值；而含水率從 1.24%遞增至 1.84%時，飛砂量急遽減少；又當含水率達到 1.84%時，對砂粒起動之抑制作用達到最大值。

Chepil (1956)研究中指出，土壤風蝕的程度與土壤所吸附水份多寡有直接的關係；土壤之抗蝕性與土粒上水膜的凝聚力有關，為了使土粒分散，風的強度必須大於水膜對土粒的凝聚力，當水分勢能降至 15 大氣壓 (bar) 時，抗蝕性就變得非常小。Bisal & Hsieh (1996)研究發現，砂質壤土含 4.0% 的水分含量，可使其具有抗風蝕的能力。Belly (1964)發現在固定風速下風蝕量與表面砂土的水分含量有線性關係，當土壤溼度超過 0.5% (重量水分含量) 時，風蝕的發生可藉由土壤溼度與風速的對數圖表查得。

由上述得知，含水率是影響砂粒運移機制的主要因子，若能提升砂體表面含水率，即能有效抑制飛砂與揚塵。有鑑於此，本研究擬探討土壤保水劑對飛砂抑制之效益，實

驗所用之砂粒係取自大安溪濱海地區，再於室內從事砂粒物性分析，至於土壤保水劑則是從事吸排水曲線、土壤 pH 值、植生發芽及砂面膠結等基礎特性試驗，除此之外，並進行風洞試驗，據以瞭解土壤保水劑之抗風蝕性與抑制飛砂之功效，綜合本研究流程如圖 2 所示，所得成果將可提供作為爾後研擬飛砂防治對策之依據，對於充實濱海地區飛砂治理資料庫將有貢獻。

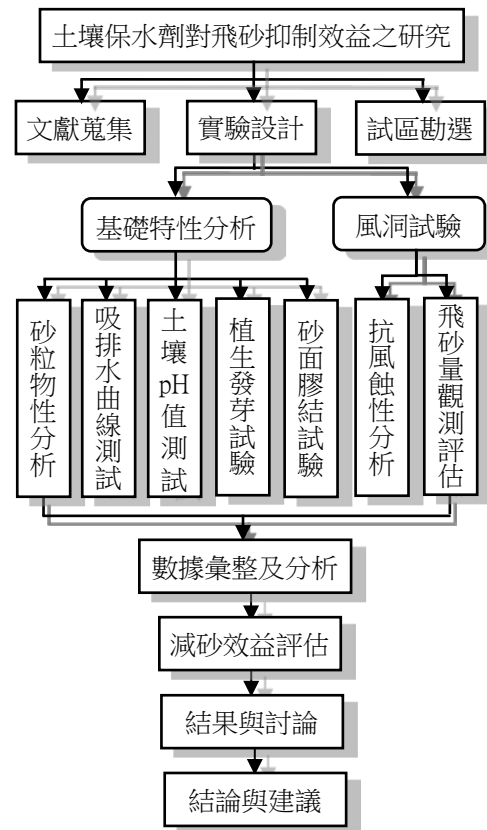


圖 2 研究流程圖

Fig. 2 the flow chart of the study

## 材料與方法

### 一、試驗材料

土壤保水劑是具有電離性基團羧基結構的高吸水性有機分子，分子間為交聯聚合而成的網路狀結構，含有強親水性基團，通過其分子內外側電解質離子濃度所產生的滲透壓，對水有強烈締合作用；因此，具有降溫與保溫性、吸水與保水性、吸肥與保肥性、吸水與排水可逆性等優點，不但適用性高，而且 pH 值為中性，在釋放的水分中沒有不良物質，無毒無害，安全性無虞，可自然降解，還原為氨態氮、水和少量鉀離子，可有效改良土壤。除此之外，由於能夠減少施肥量，延長肥料效期，而且具有顯著的節水性能，降低抗旱成本，節省勞力支出，因而可以達到省工省時的經營目標，提高農業收入，保障農民收益，對於民生經濟具有實質效益。

本研究試驗所用之土壤保水劑為聚丙烯醯酸(PAM)，此種材料號稱微型水庫，是一種獨具三維網狀結構的有機高分子聚合物。Madler and Letey (1989)及 Malik and Letey (1991)使用聚丙烯醯酸(PAM)噴附於小粒徑之土壤(0.25~0.5mm)，發現 PAM 僅能附著於土壤表面，不能滲入土壤內部。Miller 等(1998)亦使用相同之 PAM 噴附於大粒徑之土壤(6.3~9.5mm)，結果發現 PAM 不僅能附著於土壤表面，並能滲透入聚合體內部。由於一般砂粒粒徑皆小於 2mm，因此，在使用土壤保水劑後，該材料將僅能附著於砂土表面，很少能夠滲入砂土內部。

由於土壤保水劑是一種高分子聚合物，無毒具黏性，可自然降解，在土壤中能將

水分迅速吸收並保住，不滲失，將其噴灑於砂土上，能夠膠結表土抑制飛砂，進而保護底層土壤，減少揚塵料源；因其特有的吸水、貯水、保水性能，故廣泛應用於土地荒漠化治理，對於濱海飛砂防治將具有決定成敗的作用。

### 二、基礎特性分析

本研究試驗所用之砂粒取自大安溪濱海地區，於實驗室自然風乾後，進行砂粒之物性分析及土壤保水劑物化性質和應用性分析，包含砂粒之含水率、密度、粒徑及土壤保水劑吸排水曲線、土壤 pH 值、砂面膠結強度、發芽率及發芽勢分析等試驗，作為基本對照資料之參考依據，而後再於風洞中進行抗風蝕性及飛砂量觀測，並分析其減砂效益，詳述如下：

#### (一) 砂粒物性分析

##### 1. 砂粒含水率

本項實驗依據 Walter H. Gardner (1986)之土壤水分試驗方法，採用烘乾秤重法分析，以求得砂粒含水率(W)及水份係數(MF)。

##### 2. 砂粒密度

本項實驗依據 Blake, G.R. & K.H. Hartge (1986)之實驗方法，採用比重瓶法分析，以求得砂粒之顆粒密度。

##### 3. 砂粒粒徑

為瞭解樣區砂粒粒徑分布之趨勢，依據 Gee G.W. & J.w. Bauder (1986)之

方法，將砂粒樣本放入排序好之美國標準篩內，經由搖篩機過篩分析，如圖 3 所示。



圖 3 美國標準篩

Fig 3 U.S.A Standard sieves

過篩後將殘留於各篩網上之砂粒重量，轉換為百分比，繪製成粒徑分布曲線圖。並分別求取其平均粒徑、中值粒徑  $d_{50}$ 、曲率係數  $C_c$  及均勻係數  $C_u$ ，用以判別砂粒之級配狀況。

#### (二) 吸排水曲線測試

本項試驗使用三個 1g 重之土壤保水劑樣本，測定其極限含水量後，以篩網每天記錄其排水重量，直至不再排水為止，每個樣本再加水重複測試八次，將所得資料繪圖，即為土壤保水劑之吸排水曲線。

#### (三) 土壤 pH 值測試

本項試驗以 0.1%、0.2%、0.25%、0.33% 及 0.4% 等五種不同濃度處理之砂土，與無土壤保水劑處理之砂土，比較其 pH 值之差異

，並重複測試三次，且依據美國農藝學會之土壤分析方法(1986)，將水與土重以 1:1 均勻攪拌混合，待靜置後，由 pH 儀測定其結果。魏勝林(2011)以 pH 值 9.28 及 5 mmol/L 的  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  為鹼性處理液，進行盆栽試驗，與對照組相比，結果發現 60~100mg 的保水劑，對 pH 值有顯著的降低效應( $p < 0.01$ )。

#### (四) 草種發芽試驗

##### 1. 發芽材料整備

將大安溪砂土以 #10 篩網(2mm)過篩，於實驗室自然風乾後，秤取 200 克土樣，鋪滿於實驗盒上，再將百慕達草種 100 粒均勻撒播，種子不宜接觸實驗盒邊緣，以六種處理方式，無土壤保水劑對照組及土壤保水劑濃度分別為 0.1%、0.2%、0.25%、0.33% 與 0.4% 等，採三重複進行試驗，觀察並比較各種處理之差異。王志剛(2008)研究土壤保水劑在不同施用濃度下對作物出苗率和幼苗生長的影響，結果顯示，施用土壤保水劑可顯著提高作物出苗率並改善幼苗生成狀況。

本項試驗期間自民國 103 年 12 月 25 日至 104 年 1 月 15 日，為期 22 天，一切依據國際種子檢查規則施作，為避免觀測時間點不同造成誤差，從第一天開始，即以每日 18 時為固定觀察記錄之時間點，試驗期間隨時保持砂面濕潤，並取出已發芽之草種，再統計發芽之平均值，並記錄其結果。

##### 2. 發芽試驗

試驗所採用之草種為百慕達草，發

芽試驗依日本農業土木事業協會之種子發芽步驟及國際種子學會(ISTA)規定之國際種子檢查規則(台灣省政府農林廳, 1993)進行, 計算發芽率、相對發芽率及發芽勢; 發芽率係指在試驗期限和條件下, 正常種子發芽數目之比率, 而相對發芽率則是試驗組發芽率與對照組發芽率之比值, 如下所示:

$$\text{發芽率(\%)} = \frac{\sum A}{N} \times 100$$

式中:  $\sum A$ =發芽種子總數,  $N$ =種子總數

$$\text{相對發芽率(\%)} = \frac{\text{試驗組發芽率}}{\text{對照組發芽率}} \times 100$$

發芽勢為紀錄每日試驗種子發芽之數目, 並求其發芽速率。藉以決定種子之發芽最大潛能及價值(林信輝, 2001), 其計算式如下:

$$\text{發芽勢}(\text{day}^{-1}) = \frac{(100)(A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_N)}{(A_1 T_1 + A_1 T_1 + A_3 T_3 + \dots + A_N T_N)}$$

式中:  $A$ =發芽數,  $T$ =發芽時間,  $N$ =試驗日

### (五) 砂面膠結強度試驗

將砂粒土樣均勻鋪設於實驗盒內, 厚 6 公分, 放置於通風良好處自然陰乾後, 噴灑五種不同濃度 0.1%、0.2%、0.25%、0.33% 及 0.4% 之土壤保水劑, 待表面膠結風乾後, 再與未噴灑土壤保水劑處理之對照組, 以山中式硬度計垂直插入, 測定其砂面硬度之差異。

### 三、風洞試驗

本試驗所採用之風洞設備是根據 R. A. Wooding 之設計, 依照不同實驗所需修改而

成, 此為非循環吹出式(blowing type)風洞, 其全長為 10m, 其中試驗段長 4.8m, 高 0.5m、寬 0.3m, 如圖 4 所示, 側面開有觀測視窗兩扇, 高 0.5m、寬 2.4m, 動力以 5hp 之馬達驅動風扇, 於進氣口處有控制閥門, 由控制桿控制進風量大小以達到風速之調節。

Armitt and Counihan (1968)於風洞之入口處, 加上三角楔形之渦流產生板(vortex generators)以模擬大氣紊流; Standen (1972)將三角楔形之渦流產生板, 改良成錐形擾流板(spires), 並加上水平格子板, 所模擬出之邊界層在 6 倍邊界層厚之下風面處達到平衡。依據前人之試驗, 本研究亦在風洞試驗段之入口處設置一長度為 0.62m 之擾流板, 其後再鋪設長度為 0.6m 之地氈以穩定風場, 經測試結果, 在整流設備後約 0.6m, 流場趨近於穩定, 邊界層厚度約 0.25m。

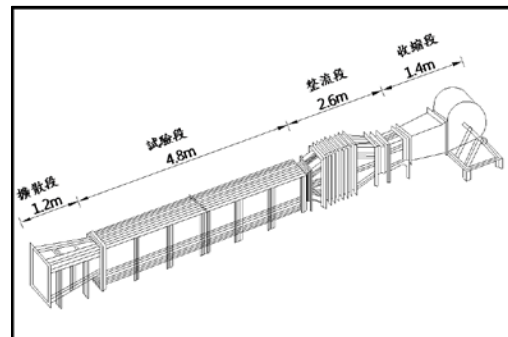


圖 4 風洞構造示意圖

Fig.4 The shape of wind tunnel

Biggs(1954)之研究, 阻塞比大於 10% 則阻塞效應較大, 阻塞比介於 6~10% 間對於流場特性影響較小, 阻塞比若小於 5.6% 則可忽略阻塞效應。朱佳仁(2006)指出若模型之阻塞比過大時, 氣流會因通風斷面縮小而加速, 導致風速測量結果產生誤差。在本研究



中實驗盒高 3cm，阻塞比 6%，對於流場特性影響較小。

### (一) 抗風蝕性分析

將砂粒放置於通風良好處，自然陰乾後，均勻鋪於 40cm×30cm×3cm 之實驗盒內，再將 500ml 五種不同濃度處理 0.1%、0.2%、0.25%、0.33% 及 0.4% 之土壤保水劑溶液，倒入實驗盒抹平，使溶液均勻覆蓋在砂土表面，待其完全乾燥後進行風洞實驗，風速分為 10m/s 及 15m/s，此二種風速皆為東北季風期間現地最常見之風速，測定時間 3 分鐘，每種處理重複試驗三次，求其平均值；未倒入土壤保水劑處理之對照組，也以相同方式測定，最後再計算各種處理之風蝕率，本試驗配置係參考黃隆明等(2015)，如圖 5 所示。

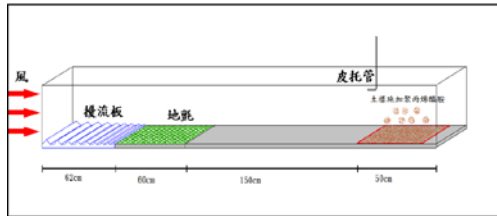


圖 5 飛砂量之觀測

Fig. 5 Observation on aeolian sand

### (二) 飛砂量觀測評估

飛砂量觀測針對前述五種處理，評估裸露地進行土壤保水劑之抑制工法後，其飛砂抑制效率(Aeolian Sand Restrain Efficiency, ASRE)之差異；實驗方法與上述相同，風速分為 10m/s 及 15m/s，測定時間 3 分鐘，每種處理重複試驗三次，求其平均值。

## 結果與討論

### 一、基礎特性分析

#### (一) 砂粒物性分析結果

##### 1. 砂粒含水率分析

將砂粒樣本風乾後，採三重複方式進行烘乾稱重，以減少實驗誤差，分析結果顯示，三次試驗之砂粒含水率分別為 0.6%、0.43% 及 0.47%，平均值為 0.5%，水分係數為 1.005。由於砂粒含水率係影響砂粒運移之重要因素，砂粒在低含水率時，因受水體結合力量小，運動型態主要為懸浮及跳躍；當含水率增高時，運動型態逐漸改為跳躍及滾動，甚至停止。故含水率高時，直接影響飛砂量多寡，研究結果顯示，大安溪砂粒在自然風乾的狀態下，含水率約為 0.5%，此結果說明該地區砂粒運動型態主要為懸浮及跳躍，且有助於後續風洞試驗之進行。

##### 2. 砂粒密度分析

砂粒密度分析同樣採三重複方式，經比重瓶法實驗分析結果，三次試驗之砂粒密度分別為 2.70 g/cm<sup>3</sup>、2.73 g/cm<sup>3</sup> 及 2.74 g/cm<sup>3</sup>，平均值約為 2.72 g/cm<sup>3</sup>。砂粒密度亦為影響砂粒運動之主要因素，在相同的體積下，若密度越大則重量越重；當砂粒越重，吹動砂粒所需之能量及風速就越強，因此，砂粒密度將會直接影響砂粒之起動風速和飛砂量，故實驗結果能夠做為爾後不同試區飛砂量比對說明之依據，亦可提供砂粒質地及形狀係數分析之所需。

### 3.砂粒粒徑分析

利用搖篩機將大安溪砂粒樣本經美國標準篩(#10、#20、#40、#60、#100、#140、#200)，8種篩網過篩後，再將停留於各篩網上之砂粒秤重，本項實驗同樣採三重覆方式，經平均後把所得之數據依重量百分比，繪製成粒徑分佈圖，結果如圖6所示；由圖6得知，粒徑分佈在0.25mm~0.42mm者最多，0.149~0.25mm次之，而0.84mm以上及通過0.074mm之砂粒最少。茲將粒徑分佈曲線圖中，所獲得之砂粒特性分析結果，進一步分析得知，大安溪砂粒之平均粒徑為0.313mm、中值粒徑為0.174mm、曲率係數Cc為0.905、均勻係數Cu為

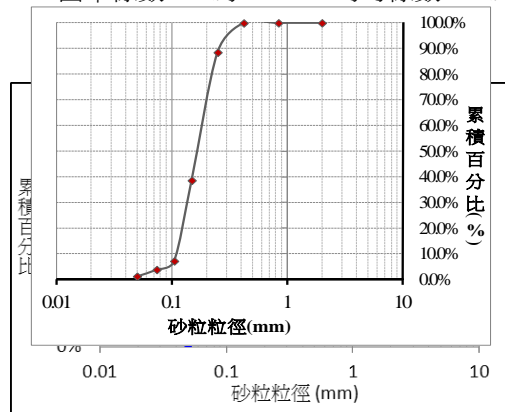


圖6 大安溪粒徑分佈曲線

Fig 6 Distribution of average particle size in Da-an River

#### (二) 吸排水曲線測試結果

本項試驗使用三個1g重之土壤保水劑樣本，經測定其極限含水量約為200g，再以篩網每天記錄其排水重量，直至不再排水為止，每個樣本再加水重複測試八次，記錄期間自103年12月15日至104年2月22日

止，共計70天，將所得資料取其平均後繪製成土壤保水劑之吸排水曲線圖，如圖7所示。

由圖7得知，土壤保水劑在初期25天內，吸水飽和後，每隔3至4天，排水量約100至130g；而後持續觀察結果，每隔13至16天，才將所有吸收之水分排空，且反覆加水均能達到極限吸水量，其間差異不大；由於土壤保水劑具優良的吸水與保水性能，能迅速吸水及緩慢排水且效果持久，在應用上極具潛能。

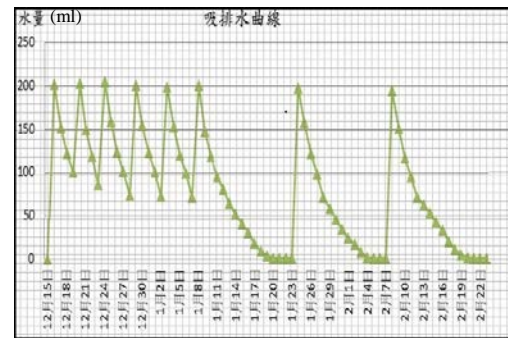


圖7 吸排水曲線圖

Fig. 7 Water suction and drainage curves

#### (三) 土壤 pH 值測試

將0.1%、0.2%、0.25%、0.33%及0.4%等五種不同土壤保水劑濃度處理之砂土及無土壤保水劑處理之砂土，依據美國農藝學會之土壤分析方法，再將水與土重以1:1均勻攪拌混合，待靜置後，用儀器測定六種處理之砂土，其pH值變化狀況，並重複三次，結果如表1所示；由表1得知，無土壤保水劑處理之砂土，其pH為8.23，屬於弱鹼性土壤，隨著土壤保水劑濃度越高，pH值隨之下降，濃度最高之砂土，其pH值降至8.07，顯示土壤保水劑添加後，有吸附鹼性



雜質兼具改善土壤的功能，促使植生較易存活，現地大面積使用，效果將會更加顯著。

(四) 草種發芽試驗結果

1. 草種相對發芽率

以六種處理方式，無土壤保水劑對照組及土壤保水劑濃度分別為 0.1%、0.2%、0.25%、0.33%與 0.4%等，採三重複進行試驗，觀察並比較各種處理下百慕達草種發芽情況，結果如圖 8 所示，由圖 8 得知，種子的發芽期程會受土壤保水劑濃度的影響，對照組種子從第 9 日開始發芽，發芽高峰期在 13~16 日，第 16 日過後種子即無發芽情形；而土壤保水劑濃度 0.1%及 0.2%處理之種子，在第 9~10 日開始發芽，發芽高峰均在 13~18 日，0.1%及 0.2%分別在第 17 日與第 18 日過後種子就不再發芽；又 0.25%處理之種子，發芽高峰在 12~15 日，第 15 日過後種子即停止發芽；至於在較高濃度 0.33%及 0.4%處理之種子，則延遲至第 11 日才發芽，發芽高峰則接續於第 12~15 日發展，且均於第 18 日過後種子不再發芽。

將試驗組發芽率與對照組發芽率所求得之比值，即相對發芽率如表 2 所示，其相對發芽率介於 104.7%~107%之間，顯示不同濃度的土壤保水劑均對種子發芽有提升的趨勢，不會因濃度增加，而增強土壤膠結強度，使相對發芽率下降，推測其可能因為土壤保水劑之水分可加速軟化種皮，促進種子萌芽。

表 1 不同處理之土壤酸鹼度

Table 1 Soil pH under different treatments

| 濃度(%) | pH 值 |
|-------|------|
| 0     | 8.23 |
| 0.10  | 8.22 |
| 0.20  | 8.19 |
| 0.25  | 8.17 |
| 0.33  | 8.13 |
| 0.40  | 8.07 |

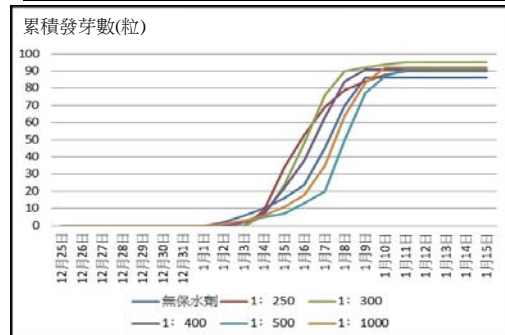


圖 8. 百慕達草種不同處理之累積發芽曲線  
Fig. 8 Germination curve of Bermuda grass seeds under different treatments

表 2 百慕達草種之相對發芽率

Table 2 The relative germination rate of Bermuda grass seeds

| 濃度(%) | 相對發芽率(%) |
|-------|----------|
| 0     | 100      |
| 0.10  | 104.7    |
| 0.20  | 110.5    |
| 0.25  | 105.8    |
| 0.33  | 105.8    |
| 0.40  | 107.0    |

2. 草種發芽勢

將百慕達草種以六種處理方式，無土壤保水劑對照組及土壤保水劑濃度分別為 0.1%、0.2%、0.25%、0.33%與 0.4%等，所求得之發芽勢如表 3 所示，以 0.1%濃度處理之草種，其發芽勢最高，而隨濃度升高，發芽勢有降低的趨勢，尤其

濃度在 0.33% 及 0.4% 時，比對照組之發芽勢還低，然而濃度在 0.1%、0.2% 及 0.25% 時，其發芽勢皆高於對照組；由此得知，土壤保水劑濃度須達 0.25% 以上，才會對草種發芽有負面的影響。再者，由試驗組中顯示，不論土壤保水劑濃度高低，均不會妨礙植生發芽，但隨濃度提高對植生發芽則有延後的趨勢，究其原因，可能因為土壤保水劑提供充足的水分環境，使原本不易萌芽的草種，也能在較長時間後，發芽生長。

表 3 不同處理之草種發芽勢

Table 3 Germination potential of grass seeds under different treatments

| 濃度(%) | 發芽勢(day-1) | 發芽截止日 |
|-------|------------|-------|
| 0     | 7.1488     | 16    |
| 0.10  | 7.4751     | 18    |
| 0.20  | 7.4219     | 18    |
| 0.25  | 7.3387     | 16    |
| 0.33  | 6.6182     | 18    |
| 0.40  | 6.8503     | 17    |

(五) 砂面膠結強度試驗結果

在砂面噴灑五種不同濃度 0.1%、0.2%、0.25%、0.33% 及 0.4% 之土壤保水劑，待表面膠結風乾後，再與未噴灑土壤保水劑處理之對照組，以山中式硬度計垂直插入，測定其砂面之硬度，結果如圖 9 所示，由圖 9 得知，砂面之硬度隨土壤保水劑濃度增加而遞增，若將對照組之土壤強度設定為 0，則土壤保水劑濃度最高之 0.4%，其土壤強度可達 0.765 kg/cm<sup>2</sup>，因此，土壤保水劑濃度越高，土壤強度愈強，則抵抗風蝕的能力也愈高。

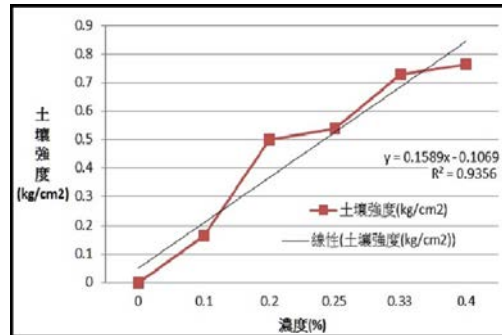


圖 9 不同處理之土壤強度

Fig. 9 Soil shear stress under different treatments

二、風洞試驗

(一) 抗風蝕性分析

將土樣均勻鋪於 40cm×30cm×3cm 之實驗盒內，再將 500ml 五種不同濃度處理 0.1%、0.2%、0.25%、0.33% 及 0.4% 之土壤保水劑溶液，倒入實驗盒抹平，使溶液均勻覆蓋在砂土表面，待其完全乾燥後進行風洞實驗，風速分為 10m/s 及 15m/s，測定時間 3 分鐘，每種處理重複試驗三次，求其平均值，實驗結果如圖 10 及圖 11 所示。

由圖 10 得知，無土壤保水劑處理之對照組與其他五組處理後之土樣，在抗風蝕性方面，有明顯的差異；經過處理後之土樣，抗風蝕能力增強，在 10m/s 風速下，無處理之對照組，其風蝕率為 11.6g/m<sup>2</sup>-s，而經 0.1% 濃度處理之土樣，其風蝕率已可降至 0.14 g/m<sup>2</sup>-s，其抗風蝕能力達 98% 以上，剩餘各組樣本則完全沒有風蝕量產生。

至於在 15m/s 風速下，由圖 11 得知，無處理之對照組，其風蝕率為 67.33g/m<sup>2</sup>-s，比風速 10m/s 時，約增加六倍；而其他經過處理之土樣，濃度 0.1%、0.2% 及 0.25

%之風蝕率分別為 53.56g/m<sup>2</sup>-s、6.54 g/m<sup>2</sup>-s 及 6.21 g/m<sup>2</sup>-s，但濃度達 0.33%以上之土樣，則仍然完全無風蝕現象；因此，當風速達 15m/s時，土壤保水劑之濃度若為0.1%時，其抗風蝕能力僅約二成，濃度在 0.2%~0.25%時，其抗風蝕能力則可達九成以上，又若要完全防止飛砂產生，則施用土壤保水劑之濃度，必須達到 0.33%以上，方能充分發揮其抗風蝕性。

## (二) 飛砂量觀測評估

飛砂量觀測之實驗方法與前述相同，風速分為 10m/s 及 15m/s，測定時間 3 分鐘，每種處理重複試驗三次，求其平均值，而後針對五種不同濃度處理之土樣，評估裸露地進行土壤保水劑之抑制工法後，其飛砂抑制效率(ASRE)之差異，實驗結果如表 4 及表 5 所示。表中

$$\text{飛砂抑制效率(\%)} = \frac{\text{無處理飛砂量} - \text{有處理飛砂量}}{\text{無處理飛砂量}}$$

由表 4 得知，無土壤保水劑處理之對照組與其他五組處理後之土樣，在抗風蝕性方面，有明顯的差異；經過處理後之土樣，抗風蝕能力增強，在 10m/s 風速下，無處理之對照組，其飛砂量為 250.6g，而經 0.1%濃度處理之土樣，其飛砂量已可降至 3.0g，其飛砂抑制效率高達 98.8%，剩餘各組樣本則完全沒有飛砂量產生。

至於在 15m/s 風速下，由表 5 得知，無處理之對照組，其飛砂量為 1454.4g，比風速 10m/s 時，約增加六倍；而其他經過處理之土樣，濃度 0.1%、0.2%及 0.25%之風蝕率分別為 1157.0g、141.3g 及 134.1g，但濃度

達 0.33%以上之土樣，則仍然完全無風蝕現象；因此，當風速達 15m/s 時，土壤保水劑之濃度若為 0.1%時，其飛砂抑制效率僅 20.45%，濃度在 0.2%~0.25%時，其飛砂抑制效率則可高達 90%以上，又若要完全防止飛砂產生，則施用土壤保水劑之濃度，必須達到 0.33%以上，方能充分發揮其飛砂抑制作用。

由於土壤保水劑在低濃度 0.2%時，即具有很高的飛砂抑制效率，並可促進草種發芽生長，因此，在河岸裸露砂地，建議可併用土壤保水劑混合草種植生定砂之雙重工法，以達到事半功倍，不但省工省時，而且能夠完全防止飛砂產生，尤其於鋒面或季風來臨前施作，將更能有效降低飛砂及揚塵之危害，未來將進一步從事現地試驗，以彌補室內試驗之不足，並調整修正相關程序，期能做為爾後預警防治系統建立之參考依據，使飛砂抑制工法更臻完善。

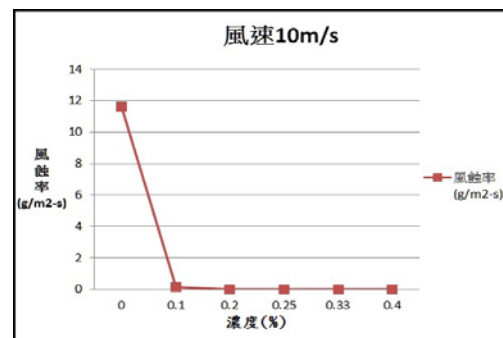


圖 10. 不同處理下(10m/s)風蝕損失量

Fig. 10 Weight of wind erosion under different treatments (10m/s)

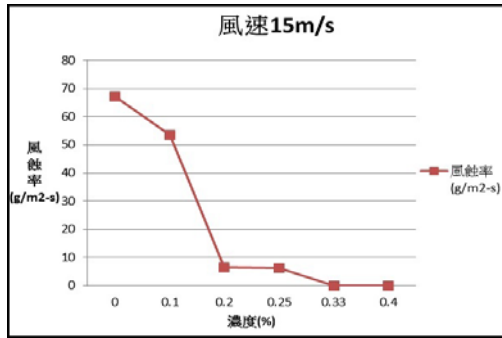


圖 11 不同處理下(15m/s)風蝕損失量  
Fig. 11 Weight of wind erosion under different treatments (15m/s)

表 4 風速 10 m/s 之飛砂抑制效率  
Table 4 Aeolian Sand Restrain Efficiency under 10m/s wind speed

| 濃度 (%) | 飛砂量 (g) | 飛砂抑制效率 (%) |
|--------|---------|------------|
| 0      | 250.6   | 0          |
| 0.10   | 3.0     | 98.8       |
| 0.20   | 0       | 100        |
| 0.25   | 0       | 100        |
| 0.33   | 0       | 100        |
| 0.40   | 0       | 100        |

表 5 風速 15 m/s 之飛砂抑制效率  
Table 5 Aeolian Sand Restrain Efficiency under 15m/s wind speed

| 濃度 (%) | 飛砂量 (g) | 飛砂抑制效率 (%) |
|--------|---------|------------|
| 0      | 1454.4  | 0          |
| 0.10   | 1157.0  | 20.45      |
| 0.20   | 141.3   | 90.28      |
| 0.25   | 134.1   | 90.78      |
| 0.33   | 0       | 100        |
| 0.40   | 0       | 100        |

### 結 論

綜合上述之結果與討論，可得結論如下：

1. 溪砂土經由物性分析後求得其平均含水率、密度及粒徑分別為0.5%、2.72g/cm<sup>3</sup>及0.313mm，為級配不良之砂土。
2. 經由吸排水曲線測試結果，1g重之土壤保水劑，其極限含水量約為200g，吸排水週期為13至16天，不但有良好之可逆性，且效果持久。
3. 當土壤保水劑施用濃度提升時，有提高砂面膠結強度及降低土壤pH值之效果，具有改善土壤的功能。
4. 由百慕達草種發芽率分析得知，土壤保水劑雖不會降低發芽率，但隨濃度提升會延緩種子發芽，將有助於原本不易萌芽的草種，也能在較長時間後，發芽生長。
5. 風洞試驗顯示，在10m/s風速下，土壤保水劑之濃度為0.1%時，飛砂抑制效率可達98.8%；而當風速達15m/s，濃度超過0.33%時，則無飛砂現象產生，因此，隨濃度提升，土壤保水劑對於抗風蝕及定砂有顯著的功效。

### 參考文獻

1. 朱佳仁 (2006)，「風工程概論」，科技圖書股份有限公司。
2. 台灣省政府農林廳 (1993)，「國際種子檢查規則」，台灣省政府農林廳編印，pp. 13-16。
3. 林信輝(1979)，「砂體含水率與飛砂量之關係試驗」，中華水土保持學報，10(2):173-193。

4. 林信輝 (2001),「水土保持植生工程」, 高立圖書有限公司。
5. 黃隆明、范姜明威、林信佑 (2010), 「台灣中部河口飛砂及揚塵之調查與研究」,風砂揚塵防治策略及防治成效工法暨案例研討會, 台中縣清水鎮。
6. 黃隆明、蔡易衡 (2015), 「砂粒運移特性與含水率關係之研究」, 國立中興大學水土保持學報, 47(1):1259-1272。
7. 游繁結 (1989), 「濁水溪河口飛砂量之調查與研究」, 農林學報, 38(1):75-104。
8. 魏勝林 (2011), 「保水劑和泥炭降低 pH 值效應及對木樁耐鹼脅迫的影響」, 江蘇農業科學, 2011(1) :187-189。
9. 田中貞雄 (1954), 「風蝕防止に関する研究」, 農業氣象, 10(1, 2), 57-59。
10. Armitt J. and J. Counihan (1968), "The Simulation of the Atmospheric Environment, Atmospheric Environment", Vol.2,49-71.
11. Bagnold, R.A. (1941), "The Physics of Blown Sand and Desert Dunes, Methuen", Reprinty by Chapman and Hall, p.265.
12. Bagnold R.A.(1977), "Wind Tunnel Observation", JAPASA.
13. Belly P.Y. (1964), "Sand movement by wind. U.S. Army Coast Engineering Research Center", Technical Memo 1:38p.
14. Biggs, J.M. (1954). "Wind load on truss bridges", ASCE 119(1): 879
15. Bisal. F and J. Hsieh (1996), "Influence of Moisture on Erodibility of Soil by Wind", soil science, (3):143-14.
16. Blake, G.R. & K.H. Hartge (1986), Particle Density, In A. Klute (ed.) Methods of soil analysis", Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA. Madison, WI, USA, p.377-381.
17. Chepil W.S. (1956), "Influence of moisture on erodibility of soil by wind", Soil Science Society Proceedings, 20: 288-291.
18. Gee G.W. & J.w. Bauder (1986), "Particle-size Analysis, In A. Klute (ed.) Methods of soil analysis", Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA. Madison, WI, USA, p.383-385
19. Johnson, J.W. (1965), "Sand Movement on Costal Dunes", Proc, Federal Inter-Agency Sedimentation Conference, US Dept. Agri. Misc. Publ, 970:747-755.
20. Madler A.and Letery J. (1989), "Adsorption isotherms of polyanions on soil using tritium-labeled compounds", Soil Sci.Soc.Am.J., 53: 1375-1378.
21. Malik M. and Letey J. (1991), "Adsorption of polyacrylamide and polysaccharide polymes on soil material", Soil Sci. Soc. Am. J , 380-383.
22. Standen, N.M. (1972). "A spire array for generating thick turbulent shear layers for natural wind simulation in wind

- tunnels", Rep. LTR-LA-94, National Aeronautical Establishment, Ottawa, Canada
23. Walter H. Gardner (1986), "Water Content, In A. Klute (ed.) Methods of soil analysis", Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA. Madison, WI, USA, p.493-541
24. 彰城興業有限公司，  
<http://www.flasco.com.tw/>

---

104年06月15日收稿

104年06月24日修改

104年06月26日接受