

## 防沖蝕網毯覆蓋率對邊坡土壤流失量之影響

簡士濠\* 李明熹 簡維信 戴紫陽 王重棋 陳俊廷

**摘要** 本研究主要以同材質不同立體結構之防沖蝕網毯，鋪設於黏質邊坡土壤後，在不同坡度（36°、46°與61°）及不同降雨強度（100 mm hr<sup>-1</sup>及150 mm hr<sup>-1</sup>）下，於室內進行土壤沖蝕試驗，以評估網毯在不同覆蓋率下，邊坡土壤沖蝕潛勢及作物與管理因子（C值）的變化。研究結果顯示，黏質邊坡土壤鋪設高覆蓋率（99%）防沖蝕網毯後之土壤流失率未達1.0%（0.01-0.08%），而C值為0.007±0.008；鋪設覆蓋率83%與77%間之網毯的土壤流失率介於0.04%至100%，C值分別為0.219±0.381及0.288±0.177。本研究亦指出，網毯覆蓋率為影響邊坡土壤沖蝕量之主要因子，兩者達顯著負相關，線性關係為  $C\ value = -0.0098\ Vegetation\ Cover\ (\%) + 1.0084$ 。

**關鍵詞：**防沖蝕網毯、覆蓋率、黏質邊坡土壤、土壤沖蝕、作物與管理因子。

## The Effects of the Cover Ratio of Erosion Control Geosynthetic Mesh on Soil Losses along Hillslopes

Shih-Hao Jien\* Ming-Hsi Lee Wei-Hsin Chien Tzu-Yang Tai Chung-Chi Wang  
Chun-Ting Chen

**ABSTRACT** This study aims to evaluate the effects of different cover ratios of erosion control geosynthetic mesh on the erosion potential along hillslopes. Simulated erosion tests were carried out under three slope gradients (36°, 46° and 61°) and two rainfall intensities (100 mm hr<sup>-1</sup> and 150 mm hr<sup>-1</sup>). The C factors were also estimated for each mesh after determination of actual soil losses. The results indicated that the mesh with 99% cover ratio had very low soil loss ratios (0.01-0.08%) and low C values (0.007±0.008). The meshes with cover ratios of 83% and 77% had higher soil loss ratios ranging from 0.04% to 100% than the one with higher cover, and the estimated C values for these two meshes were 0.219±0.381 and 0.288±0.177, respectively. A significantly negative linear relation ( $C\ value = -0.0098\ Vegetation\ Cover\ (\%) + 1.0084$ ) was found between vegetation cover ratio and soil loss in this study, which further indicates that vegetation cover ratio is a critical factor determining soil loss along hillslopes.

**Key Words :** Cover ratio, erosion control geosynthetic mesh, hillslope, soil erosion.

### 一、前言

台灣地處板塊交界處，地質複雜脆弱，地形地貌多變且坡度分布極為不均；加上不當的坡地開發與長

期超限利用，使植被破壞嚴重且土壤急遽退化。近年，由於氣候變遷之故，台灣地區高強度且長延時的降雨頻繁，加上植被受土地超限利用破壞，坡地土壤嚴重沖蝕或崩落而致使重大災害，損及人民生命財產，因

此坡地保育為目前急切進行之要務。加上亞熱帶及熱帶季風氣候使台灣土壤呈中、高度風化，山坡地或台地土壤部分為中高度風化之壤質或粘質土，諸如紅土台地邊緣或高速公路兩側邊坡；此外，由於母岩的影響，台灣南部的泥岩惡地亦屬質地較為粘重的山坡地，且土壤流失情形屬十分嚴重。壤質土或粘質土通常土壤質地較為粘重、保水性強且滲透係數低，因此此類邊坡土壤的災害類型主要為土壤沖蝕與邊坡崩滑。Bonilla and Johnson (2012) 認為受土壤質地支配的土壤保水能力及滲透係數為影響土壤沖蝕與逕流量的兩重要因素。蘇 (2007) 指出若台地崖邊坡之坡度若超過 15%，土壤流失量將隨著坡度上升而有急遽增加之現象。針對沖蝕嚴重之粘質邊坡土壤，發展或充分了解保育工法為防災首要任務。

就邊坡穩定而言，若僅以生態為主要考量，則對坡地災害地區採天然植生復育以恢復原有生態環境，乃較符合「永續目標」；然而，自然復育通常需時數年至數十年時間，恐無立竿見影的功效，因此，在考量安全性及時效性上，須以人為工程為輔。因此，於邊坡上鋪設抗沖蝕網毯產品 (rolled erosion control products, RECPs) 為普遍且適當之作法。藉由鋪設抗沖蝕網毯於邊坡地表，能使坡面更加穩定，甚至緩衝雨滴的打擊力，進而達到護坡的功能。此外，當邊坡坡度超過 35°時，植物生長受到抑制，如僅以自然植生工法，於植被發展初期時並無法立即保護坡面。Ghiassian et al. (1996) 提出結合生物構件 (植物) 來防止邊坡破壞或侵蝕，同時並能促進植物生長；同時，該學者亦提出如於坡度大於 45°鋪設網毯，坡地防沖蝕效果最佳。許多學者也提出，如運用植生網毯再搭配其它水土保持工法，更能達到事半功倍之效 (Balan and Rao, 1996; Ahn et al., 2002; 吳臻燾, 2005; 徐文義, 2008)。

抗沖蝕網毯由二十世紀中期開始蓬勃發展至今不歇，材料及類型繁多，運用於實際邊坡沖蝕防治上尤其需要更多詳細資訊 (林, 2001; Rickson, 2006)。然而，目前的問題為台地崖邊坡或山坡地常呈陡峭，坡度往往超過 30°以上，且各類型抗沖蝕鋪網產品適用之坡度及環境並無詳盡規範。陳 (2008) 指出，921 大地震後臺灣大量引進不同類型之人造披覆資材並應用於坡面保護工程上；然而，臺灣目前對自行生產之披覆資材仍尚未建立一套具規模且本土化檢的測方法及應用種類規範。因此，本研究主要測試目前臺灣常用之編織型不可分解的防沖蝕網毯，於鋪設於粘質邊坡土壤後，以模擬降雨並控制在不同坡度下評估網毯於邊

坡土壤抗沖蝕能力；同時，獲得實際沖蝕量後，亦評估鋪設網毯後邊坡土壤覆蓋因子 (C 值) 的變化及與覆蓋率間之關係。

## 二、材料與方法

### 1. 供試土壤選擇及性質

本實驗採用屏東地區平頂山台地崖邊坡紅壤為供試土樣 (120°36'31"E, 22°38'45"N)(圖 1)。研究區域多為第四紀洪積母質紅壤，土壤呈強酸，pH 於 3.5 至 4.5 之間。此外，表層土壤有機物質礦化迅速，加上沖蝕現象普遍，有機質含量皆未超過 2%(千田勝己, 1980; 謝與王, 1989; 江志峰, 1992)。本研究採集表土 (0-15 cm); 採集過程將地上部植生與枯枝落葉清除，同時一併將土壤中大礫石及植物根系移除。土壤採回即風乾，並過 4 號篩 (<5 mm) 使土壤條件均質化，儲存供後續分析。試驗項目為質地分析 (soil texture)(Gee and Bauder, 1986)、土壤有機碳 (soil organic carbon) 含量 (Nelson and Sommer, 1982)、飽和水力傳導度 (saturated hydraulic conductivity,  $K_{sat}$ )、土壤團粒穩定度 (aggregation stability)(Kemper and Rosenau, 1986) 與阿太保限度。



圖 1 土壤採樣地點

Fig.1 Location of the study soil

## 2. 供試土壤養治試驗

沖蝕試驗之土盆大小約為長 90 cm、寬 30 cm、高 10 cm。沖蝕盆底部每隔 10 cm 鑽一排水孔，土壤鋪入土盆前，底部平鋪一紗網（孔徑約為 1 mm），避免養治或沖蝕試驗時土壤顆粒之流失。之後將過篩土壤分層逐漸填入土盆，每盆填入土重 13 kg，再以小鏟將沖蝕盆土壤抹平及與切口高度相同。待沖蝕盆土壤表面整平後，便將防沖蝕鋪網裁切符合容器之規格大小，把上端面之地工鋪網反折置入沖蝕土盆容器內，其餘反摺與土壤表面貼齊，考量土盆大小，本研究將六支長釘依固定間距將鋪網固定於沖蝕盆上。待沖蝕土盆靜置於室內養治，每日拔草及澆灌水一次，澆水量以保持田間容水量（約飽和含水量之 70%）為準則（Huang and Chen, 2010）。土壤沖蝕試驗進行前先於室內養治四週，待土壤自然夯實穩定後即進行沖蝕試驗。

## 3. 沖蝕材料

本研究之沖蝕試驗於人工模擬降雨實驗室內進行。人工模擬降雨實驗室建築總面積達 210m<sup>2</sup>，高度約 15 m 高。降雨室考慮在無風的條件下，雨滴在降落 9.5m 後達到終端速度。本研究利用 3 種相同材質且不同孔徑和立體結構之防沖蝕網毯：鋪面高勁度透水性濾布、環絨狀植生網、蜂巢式植生網與一對照組（裸露地）進行沖蝕試驗（圖 2）。本研究選之 3 種防沖蝕鋪網，皆屬於非分解式的材質。一般用於坡度過陡及加勁檔土牆，一般非分解式鋪網之運用坡度為較陡峭之坡度（ $\geq 35^\circ$ ）。

## 4. 沖蝕試驗條件

本試驗以 2 種降雨強度（100 mm hr<sup>-1</sup> 及 150 mm hr<sup>-1</sup>），3 種坡度（36°、46°與 61°）下室內土壤沖蝕試驗，每 5 分鐘收集一次逕流水及受沖蝕之土砂，把收集之沖蝕液置於容器中靜置過夜，倒除上層液後，將沖蝕液置於 105°C 烘箱中，以測得土壤沖蝕量。此外，本研究利用室內沖蝕試驗所得之實際土壤流失量，推算出各抗沖蝕網毯覆蓋下之覆蓋及管理因子（C 值）。

## 5. 影像分析軟體

本研究以影像處理軟體 ImageJ 辨識覆蓋鋪網之覆蓋率。ImageJ 處理顏色主要有三種方式：虛擬影像（color Images）、三原色影像（RGB images）及三原色與色彩（RGB/ HSB）堆疊或合成之影像。本研究使用 ImageJ 中以三原色影的色差方式將不同資材覆蓋範圍

的顏色差異做區別，利用圖片上不同的色差，應用於辨識細小面積及不規則之色塊，來進行定量單區塊面積及數個區塊總面積。ImageJ 影像軟體之影像辨識正確率已為學者所接受（Chopping, 2011），且成功被使用來辨識植生覆蓋率，即使在光線為斜照的情形下。

## 6. 統計分析

將野外調查表之基本資料與土壤理化分析進行統計整理，並且使用 SPSS 統計軟體進行單因子變異性分析及迴歸分析。

# 三、結果與討論

## 1. 土壤基本性質分析

表 1 為本試驗土壤之物理化學基本性質。試驗土壤屬黏質土，黏粒含量超過 50%；過多黏粒應為造成

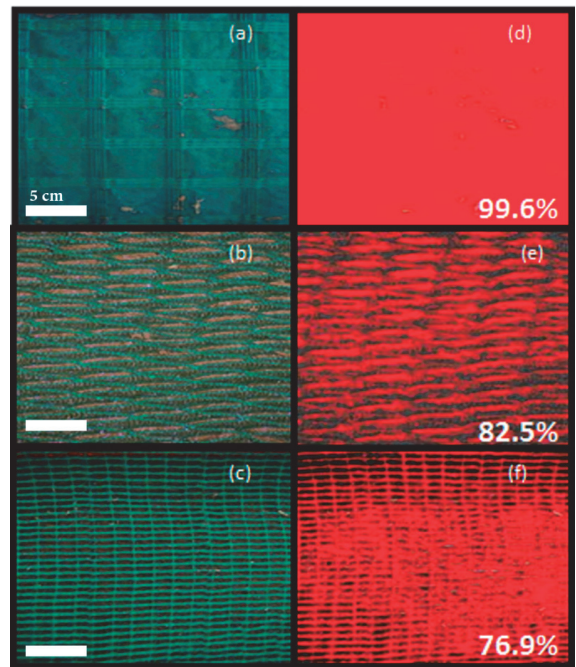


圖 2 抗沖蝕網毯之覆蓋情形：(a) 高勁度透水性濾布；(b) 蜂巢式植生網；(c) 環絨狀植生網；紅色影像部分為以 ImageJ 辨識之網毯覆蓋率（右下角數字）：(d) 高勁度透水性濾布；(e) 蜂巢式植生網；(f) 環絨狀植生網

**Fig.2 Identifying of cover ratio (the values in the photos) for each geosynthetic mesh by using ImageJ: (a,d) permeable filter with high stiffness; (b, e) honeycomb mat; (c, f) circular fluffy mat**

土壤導水度不佳 ( $97 \pm 30 \text{ mm hr}^{-1}$ ) 之主要原因。供試土壤之土壤有機質含量屬不足 ( $\sim 2\%$ )；然而，土壤團粒穩定度約為 77%，屬於偏高之等級。一般而言，土壤有機質應為提高土壤團粒穩定度之主要影響因子 (Milne and Haynes, 2004；Bhattacharyya et al., 2007；Shrestha et al., 2007)，但本研究的低有機質含量土壤之高團粒穩定度可能為高量之鐵、鋁氧化物，甚至為高黏粒含量所致。此外，本土壤之高黏粒含量亦為造成高液性限度 (43%) 和塑性限度 (31%) 之主要因子。

## 2. 各環境條件對土壤沖蝕量之影響

### (1) 降雨強度對邊坡土壤沖蝕量之影響

許多學者指出降雨強度為一影響土壤流失之重要因素 (Barthès et al., 1999; Auerswald et al., 2003)。本研究結果發現，未鋪設任何網毯前，土壤沖蝕量隨降雨強度增強而明顯增加，且在  $150 \text{ mm hr}^{-1}$  的高降雨強度下，邊坡土壤崩滑 (土盆內土壤全數滑落) 的機率顯著較  $100 \text{ mm hr}^{-1}$  高 (圖 3)。邊坡於鋪設抗沖蝕網毯後，沖蝕試驗結果指出，降雨強度的增加並未使得土壤沖蝕量提高，此結果明顯反映出抗沖蝕鋪網的鋪設對邊坡保護的效益。整體而言，本試驗指出邊坡土壤沖蝕量於統計上與降雨強度並無顯著相關 (表 2)；然而，本研究仍可指出，倘若未鋪設任何抗沖蝕鋪網時，邊坡土體崩落 (圖 4) 或沖蝕的狀況將隨降雨強度增加而較為嚴重。此外，本結果亦顯示，坡度與土壤沖蝕量呈顯著負相關，此現象可能與垂直受雨面積有關；當坡度越大，垂直受雨面積較低，實際土壤沖蝕量也顯著較低，但此相關性可能僅限於本研究所選定的  $36^\circ$  至  $61^\circ$  內，於研究坡度範圍外之相關性，尚需更進一步相關研究證實。

### (2) 坡度對邊坡土壤沖蝕量之影響

表 2 及圖 3 顯示土壤流失量隨坡度提高而減少，兩者間具有顯著負相關 ( $r = -0.42, p < 0.05$ )。本研究推測造成此原因為，高強度透水性濾布完整覆蓋坡面，且網面平順，故入滲通過鋪網的水量隨坡度增加而減少；在另兩種鋪網，當坡度越平緩時，鋪網的投影孔徑較大，顯示雨滴直接打擊穿越鋪網機率將提高；反之，當坡度提高時投影孔徑將降低，故沖蝕量減少。此外，雨滴與坡面角度所撞擊的角度亦將影響邊坡土壤沖蝕量，高坡度使雨滴接觸坡面時，動能消散僅能形成鋪網上

逕流，進而造成土壤沖蝕率下降的現象 (Singer and Lo Bissonnais, 1998；Cruse et al., 2000；蘇，2007)。

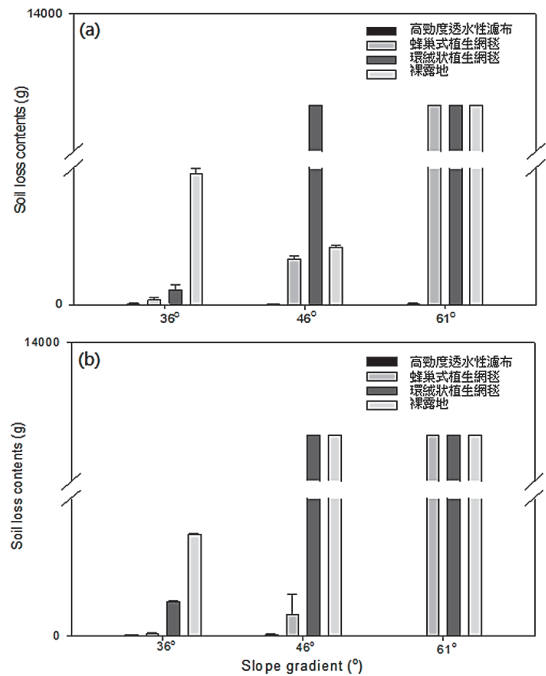


圖 3 不同坡度之土壤沖蝕量：(a) 降雨強度為  $100 \text{ mm hr}^{-1}$ ；(b) 降雨強度為  $150 \text{ mm hr}^{-1}$

Fig.3 Soil loss contents under different slope gradients with different rainfall intensities: (a)  $100 \text{ mm hr}^{-1}$ ; (b)  $150 \text{ mm hr}^{-1}$

表 1 土壤物化性質分析

Table 1 Basic soil properties of the study soil

性質	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	OM (%)	$K_{sat}$ ( $\text{mmhr}^{-1}$ )	AS (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)
	22±14	26±9.0	52±16	2.3±1.0	97±30	77±13	43	31	13

AS : aggregate stability ;  $K_{sat}$  : saturated hydraulic conductivity ;  
OM : soil organic matter ; LL : liquid limit ; PL : plastic limit ; PI : plasticity index

表 2 各環境條件與土壤沖蝕量之 Spearman 相關係數 (n = 29)

Table 2 Spearman's correlation coefficients between soil losses and environmental settings

	降雨強度	坡度	鋪網覆蓋率	邊坡土壤流失量
降雨強度	1.00			
坡度	-0.28	1.00		
鋪網覆蓋率	0.10	0.43*	1.00	
邊坡土壤流失量	0.01	-0.42*	-0.89**	1.00

\*:  $p < 0.05$ ; \*\*:  $p < 0.01$



此外，本研究發現，各抗沖蝕鋪網使用時具有坡度上之限制。無論在  $100\text{ mm hr}^{-1}$  或  $150\text{ mm hr}^{-1}$  的降雨強度下，高勁度透水性濾布適用於各種坡度，即使坡度高達  $61^\circ$ ；蜂巢式植生網適用於  $\leq 46^\circ$  之坡度下，高於該坡度，儘管鋪設植生網，仍有邊坡滑動或崩落的潛勢；最後，環絨狀



圖 4 地滑式崩落

Fig.4 Soil falls as landslide

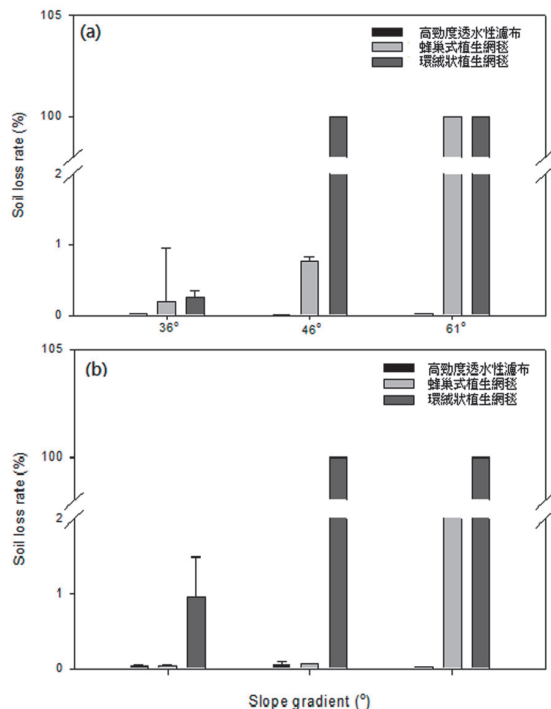


圖 5 不同坡度之土壤流失率：(a) 降雨強度為  $100\text{ mm hr}^{-1}$ ；(b) 降雨強度為  $150\text{ mm hr}^{-1}$

Fig.5 Soil loss rate under different slope gradients with different rainfall intensities: (a)  $100\text{ mm hr}^{-1}$ ; (b)  $150\text{ mm hr}^{-1}$

植生網僅較適用於  $\leq 36^\circ$  之坡度下。整體而言，孔徑較大的防沖時鋪網，如蜂巢式植生網與環絨狀植生網，抗沖蝕效果較全覆蓋式的高勁度透水性濾布差；然而，孔隙粗且多的鋪網產品較有利於植物生長，此外，糙度亦可攔阻泥沙與水分，如利用於噴植上，或能較高勁度透水性濾布更有效使土壤與植生資材固結土壤中，使初植種子不因降雨即直接沖落至坡腳，進而增加植生效益。

### (3) 網毯覆蓋率對邊坡土壤沖蝕量之影響

本試驗以 ImageJ 影像分析軟體便是測得各網毯覆蓋率 (圖 2)，覆蓋率順序為：高勁度透水性濾布 (99.6%) > 蜂巢式植生網 (82.5%) > 環絨狀植生網 (76.9%)。研究結果亦指出土壤沖蝕量隨覆蓋率減少而增加 (圖 3、4)；鋪設高覆蓋率 (99%) 網毯之土壤流失率為 0.01-0.08%，而鋪設覆蓋率約 75-85% 間之網毯的土壤流失率介於 0.09% - 96% 之間。本沖蝕試驗於高坡度時有土體崩滑之虞 (圖 4)，此可能為雨水自網毯空隙間滲入土體，待土壤飽和後，加上坡度條件夠陡峭，邊坡土壤則容易崩滑。此外，實驗結果亦顯示，如以沖蝕量相對較多的坡度 ( $36^\circ$ ) 為例， $\geq 95\%$  覆蓋率可降低約 98% 的沖蝕量 (圖 3、圖 5) (與未鋪設網毯沖蝕量比較)，85% 的覆蓋率可降低約 90% 的沖蝕量，而 75% 覆蓋率約可降低約 65% 的沖蝕量。

本研究所採用的網毯與陳 (2008) 所採用的部分編織型網毯相同，且試驗結果亦相類似，該作者指出當坡度  $35^\circ$  時，編織立體鋪網抑制土壤沖蝕之成效最佳，原因為鋪網之高數蓋率可降低雨滴衝擊土壤之能量，雖然鋪網結構上無法有效阻截逕流夾帶之泥砂，但仍可分散逕流，降低逕流沖蝕能量。高覆蓋率是造成沖蝕量減少的主要原因，因為抗沖蝕的機制主為在減少雨滴飛濺沖蝕、或者是增加糙度以減少並減緩逕流進而減少沖蝕量的產生。

### 3. 不同網毯作物與管理因子 (C 值) 之比較

在不同的降雨強度與坡度下，將各不同環境因子下之沖蝕量除以裸露地之沖蝕量，可得各沖蝕控制網毯產品 (RECP) 之作物及管理因子 (C 值)；依該值可量化並比較各網毯之抗沖蝕能力。根據本實驗沖蝕試驗結果所測定之 C 值 (表 3)，顯示不論何種降雨強度下或各種坡度下

(36°、46°及 61°)，高強度透水性濾布的抗沖蝕效果為三種網毯中最佳，C 值為最低值的 0.007；原因為此種沖蝕控制網毯產品會直接被覆於土表上，直接減少雨滴降落打擊地表的機率。蜂巢式植生網與環絨狀植生網的 C 值分別為 0.219 與 0.288；結果顯示，三種試驗網毯的 C 值皆低於 0.300，顯示當有效降雨時，該三種網毯皆可抵消雨水動能，且避免雨水與土面接觸，破壞團粒而促使沖蝕加劇。

此外，本試驗將覆蓋率與 C 值進行迴歸分析 (圖 6)，結果顯示兩者呈現一顯著現性關係 ( $r^2 = 0.99$ )，線性方程式如下：

$$C \text{ value} = -0.0098 \text{ Vegetation Cover (\%)} + 1.0084$$

本試驗所得知線性方程式或作為未來於邊坡土壤鋪設抗沖蝕網毯時或預測沖蝕量時之 C 值計算之參考依據。然而，本試驗所提出之 C 值與覆蓋率之線性方程式並非全然可適用於各種狀況，此方程式僅針對黏質土壤適用；此外，未來該方程式仍需添增覆蓋率 $\leq 60\%$ 的實驗數據來加強驗證與真實度。

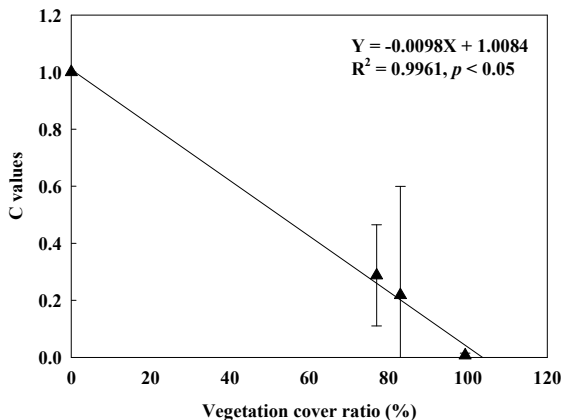


圖 6 覆蓋率與作物管理因子 (C 值) 之關係。

Fig.6 The relation between vegetation cover ratio and C factor

表 3 不同環境條件下與不同網毯鋪設後之 C 值對照表

Table 3 C factors under different geosynthetic meshes

網毯種類	作物與管理因子 (C值)
高強度透水性濾布	0.007 ± 0.008
蜂巢式植生網	0.219 ± 0.381
環絨狀植生網	0.288 ± 0.177

## 四、結 論

鋪設防沖蝕網毯為目前常用之穩定邊坡的工法之一；然而，台灣複雜的地貌與多變的坡度狀況，使得運用上無法使用單一抗沖蝕鋪網產品類型。此外，防沖蝕網毯適用之各坡度及環境並無詳盡資料。本試驗嘗試使用常用之三種防沖蝕網毯類型，評估網毯的抗沖蝕能力與適用環境條件。本研究結果顯示網毯覆蓋率為最重要之防沖蝕因子，以台灣較普遍之坡度為例 (35°-40°)，約略 75% 覆蓋率可降低約 65% 的沖蝕量 (與未鋪設網毯沖蝕量比較)；約略 85% 覆蓋率可降低約 90% 的沖蝕量，而 >95% 覆蓋率可降低 98% 的沖蝕量。常用來預測土壤沖蝕量的通用土壤流失公式 (universal soil loss equation, USLE) 中的 C 值與覆蓋率成負顯著 ( $p < 0.05$ ) 負線性關係，方程式如下：C value = -0.0098 Vegetation Cover (%) + 1.0084，此式僅為本研究條件下所獲得之經驗式，未來仍需增加不同覆蓋率之沖蝕資料以修正本式。

## 參考文獻

- [1] 千田勝己 (1980)，「台灣某些紅壤的黏土礦物特性與有關理化性質之研究」，台北，國立台灣大學農業化學研究所博士論文，130。(Katsumi Chida. (1980). *A study on the clay mineral composition and physicochemical properties of some Taiwan latosols*, Ph.D. Dissertation, National Taiwan University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
- [2] 江志峰 (1992)，「台灣地區若干不同母質來源紅壤之特性、化育與分類」，國立中興大學土壤學研究所碩士論文。(Jiang, Z.F. (1992). *Characteristics, pedogenesis and classification of red soils derived from some different parent material in Taiwan*, Master thesis, National Chung Hsing University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
- [3] 林信輝 (2001)，「水土保持植生工程」，高立圖書有限公司，台灣，227-229。(Lin, S.H. (2001). *Vegetation engineering in soil and water conservation*, Gau Lih Book Co. Ltd., Taiwan, Taiwan, ROC, 227-229. (in Chinese))
- [4] 吳臻燾 (2005)，「利用現地監測驗證國道礫石土邊坡土釘工法之研究」，朝陽科技大學營建工程系碩士論文。(Wu, Z.T. (2005). *Utilizing Monitoring System to Prove a Freeway Gravel Slope of Soil Nailing Method*, Master thesis, Chaoyang University of Technology, Taiwan, ROC. (in Chinese))

- [5] 徐文義 (2008), 「鋪網噴植應用於山區道路邊坡保護效果之探討」, 國立屏東科技大學水土保持系碩士論文。(Hsu, W.I. (2008). *Study of Hydroseeding Applied on the Mountain Road Hillslope Conservation Effectiveness*, Master thesis, National Pingtung University of Science and Technology, Taiwan, ROC. (in Chinese))
- [6] 陳樹群、王士豪、林俊岳、陳駿豪 (2008), 「不同類型人造被覆資材抑制坡地沖蝕之成效分析」, 中華水土保持學報, 39(3), 289-302。(Chen, S.C., Wang, S.H., Lin, J.Y., and Chen, C.H. (2008) "The Efficiency of Artificial Geo-Textiles for Hillslope Erosion Control." *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 39(3), 289-302, Taiwan, ROC. (in Chinese))
- [7] 謝兆申、王明果 (1989), 「台灣土壤」, 國立中興大學土壤調查試驗中心, 台灣。(Hsieh, C.S., and Wang, M.K. (1989) "The Soils in Taiwan." Soil Survey and Testing Center, National Chung Hsing University, Taiwan, ROC. (in Chinese)).
- [8] 蘇煒哲 (2007), 「坡度影響地表逕流與土壤沖蝕之探討」, 國立中興大學水土保持系碩士論文。(Su, W. J. (2007). *Effect of Slope on Surface Runoff and Soil Erosion*, Master thesis, National Chung Hsing University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
- [9] Ahn, T.B., Cho, S.D. and Yang, S.C. (2002), "Stabilization of soil slope using geosynthetic mulching mat." *Geotextiles and Geomembranes*, 20, 135-146.
- [10] Auerswald, K., Kainz, M., Fiener, P. (2003), "Soil erosion potential of organic versus conventional farming evaluated by USLE modelling of cropping statistics for agricultural districts in Bavaria" *Soil Use and Management*, 19, 305-311.
- [11] Balan, K., and VenkatappaRao, G. (1996), "Erosion control with natural geotextiles." The Asian Society for Environmental Geotechnology and CBIP, New Delhi, 317-325.
- [12] Barthes, B., Albrecht, A., Asseline, J., De Noni, G., Roose, E. (1999), "Relationship between soil erodibility and topsoil aggregate stability or carbon content in a cultivated Mediterranean highland (Aveyron, France)." *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 30, 1929-1938.
- [13] Bonilla, C.A., Johnson, O.I. (2012), "Soil erodibility mapping and its correlation with soil properties in Central Chile." *Geoderma*, 189, 116-123.
- [14] Chopping, M. (2011), "CANAPI: canopy analysis with panchromatic imagery." *Remote Sensing Letters*, 2, 21-29.
- [15] Cruse, R.M., Berghoefer, B.E., Mize, C.W. and Ghaffarzadeh, M. (2000), "Water drop impact angle and soybean protein amendment effects on soil detachment." *Soil Science Society of America Journal*, 64, 1474-1478.
- [16] Gee, G.W., and Bauder, J.W. (1986), "Particle-size analysis." *Methods of Soil Analysis, Part 1*. 2nd ed. Agronomy Monograph, 9. ASA and SSSA, Madison, WI, USA, 383-411.
- [17] Ghiassian, H., Hryciw, R.D., Gray, D.H. (1996), "Laboratory testing apparatus for slopes stabilized by anchored geosynthetics." *Geotechnical Testing Journal*, 19, 65-73.
- [18] Huang, C.C., Chen, Z.S. (2010), "Carbon and nitrogen mineralization of sewage sludge compost in soils with a different initial pH." *Soil Science and Plant Nutrition*, 55, 715-724.
- [19] Kemper, W.D. and Rosenau, R.C. (1986), "Aggregate stability and size distribution." *Methods of soil analysis. Part 1*. 2nd ed. Agronomy Monograph, 9. ASA and SSSA, Madison, WI, 524-441.
- [20] Nelson, D.W., Sommers, L.E. (1982), "Total carbon, organic carbon, and organic matter." *Methods of Soil Analysis, Part 2*. 2nd ed. Agronomy Monograph, 9. ASA and SSSA, Madison, WI, 539-577.
- [21] Rickson, R.J. (2006), "Controlling sediment at source: an evaluation of erosion control geotextiles." *Earth Surface Processes & Landforms*, 31, 550-560.
- [22] Singer, M.J., and Bissonnais, Y.L. (1998), "Importance of surface sealing in the erosion of some soils from a Mediterranean climate." *Geomorphology*, 24, 79-85.

---

2013年01月16日 收稿

2013年02月19日 修正

2013年03月08日 接受

(本文開放討論至 2013 年 12 月 31 日)