

灘地植生密度對河川洪流之影響

王順昌^{(1)*} 陳樹群⁽²⁾

摘 要

本研究為探討灘地植生密度對河川洪流之影響，試驗採全斷面性植生及單邊密植時對水流之阻礙束縮效應，模擬各施放流量之植生區前端及中間段斷面平均水位抬升、流速及 n 值之變化影響，植生密度增加及流量增加，對水流有阻升及提高水位的趨勢，隨流量增大水深增漲率有越緩之趨勢，其中植生密度 4 為交叉排列方式時水位抬升最為明顯，對於單邊密植時因有另一邊 1/2 河道寬無植生，因此水深之增漲率就比植生密度 4 方案時小。植生密度之增加，對流速有遞減之趨勢，與無植生時之情況比較，其流速遞減約 20%~70% 左右，而植生密度 5 及 6 因單邊密植及一邊無植生兩者差異較大流速相差約 7~12 倍，又以單邊無植生之流速比全無植生時流速反而增加 10~50 倍。植生密度隨著密度及流量增加，對 n 值有漸增之趨勢，其中植生交叉排列比植生平行排列大。試驗結果顯示水深抬升率受到的各種因子的影響，不宜以單一參數做為判別基準，應比較各項參數的影響程度再作為判別依據。

(關鍵字：灘地、洪流、植生、密度、水深抬升)

The Effects of Beach Vegetation Density on River Flood

Shun-Chang WANG^{(1)*} Su-Chin CHEN⁽²⁾

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

ABSTRACT

To investigate the effects between density of river beach vegetation and flood current, a flume experiment was carried out to measure water levels, discharges and average Manning's N values in cases of full cross-section and unilateral vegetation respectively. The result showed that the water level were correlation with vegetation density and discharge. Besides, the increasing rate of water level reduced while the increasing of discharge, especially in case of full cross-section vegetation with cross-arranged pattern (case of Density 4). Comparing with the case with unilateral vegetation, it showed a less water level increasing rate, because there were with no vegetation at the half side of

(1)國立中興大學水土保持系博士生(通訊作者 E-mail:osc@wrap.gov.tw)

(2)國立中興大學水土保持系教授

channel. In the case of full cross-section vegetation, the flow velocity was decreased with increasing vegetation density, and there are 20% to 70% decrement of velocity comparing with the case with no vegetation. In the case of unilateral vegetation, the velocities in vegetation region were 7 ~ 12 times (case of Density 5 and 6) smaller than that in the other sides. Furthermore, the velocities at the side with no vegetation were 10 ~ 50 times larger than that in the case of the control group. The Manning's N values were positively correlated with vegetation density and discharge. Besides, it also related to the vegetation arranged pattern. It concluded that water level raising rate was affected by various factors. Therefore, multiple, not a single, parameters should be considered as the basis of discrimination.

(Keywords: beach land, flood, vegetation, density, water depth raising)

前言

台灣的河川流量豐枯期間差異甚大，高灘地種植利用情形常見且普遍。惟依照現行河川區域種植規定，於河川區域內高灘地種植高密度高莖作物並不符合河川管理辦法。但依據河川局實務經驗，高灘地種植植生對於河防安全雖然有阻塞水流，抬高洪水位的負面效應，卻亦有護堤固灘，減緩流速，促使深槽流路穩定的正面效果，但對於植生地之下游的裸露地，卻又會產生沖刷的負面影響。河川管理辦法中第十一條規定，「河川管理機關為防洪治理及河川保育需要，得依防洪設施規劃地點、形式，按種植樹種特性並估計其成長型態，以防洪植栽工法辦理，並得採密集植栽」，惟在經費有限的情形之下，大規模布設防洪植栽工法成本昂貴，若能由民眾在主管機關的規定進行高灘地種植，即可達到保護河堤，增進防洪功能之效果，惟需訂定一適宜種植規定及合理的種植密度，儘量減少河川區域種植對河防安全的負面衝擊，又能發揮其正面功效，本研究藉由水工模型玻璃水槽試驗之成果進行分析，研究成果提供台灣河川管理單位修訂河川灘地種植

規定之參考。

研究目的

為探討於河川灘地內種植草本和木本植物對河川洪流之影響，以作為河川管理、治理措施實施之參考依據。藉由水工模型玻璃水槽試驗成果分析，作為瞭解河川灘地植生對洪流水為抬升的影響，同時對流速及糙度係數增加值與植生密度間的關係，其目的在於瞭解灘地植生密度對河川洪流之影響程度，並作為河川灘地種植規定訂定河川區域種植密度限制之參考依據。

試驗布置與方法

3.1、模型布置

本模型採用鋼骨基座長 20 公尺、寬 1 公尺、高 0.7 公尺之玻璃水槽模型進行試驗，坡度計有 1/500 及 1/1000 兩種，植生材料以直徑 2.2cm 高 10cm 木圓株加葉冠共計高 20cm，流量施放為 0.0855、0.145 及 0.2m³/sec 等 3 組，布置平面及側面示意如圖 1 所示。試驗方案計有植生密度 0(無植生)、植生密度

1(25 株/m²)、植生密度 2(45 株/m²)、植生密度 3(50 株/m²)、植生密度 4(95 株/m²)、植生密度 5 (100 株/m²單邊密植)及植生密度 6 (100 株/m²單邊 1m 間隔密植)，等六組，其中植生密度 1 及密度 3，為平行排列，密度 2 及密度 4，則為交叉排列，密度 5 及 6 密度為單邊 (1/2) 密植，另 1/2 寬為無植生，每 1 株樹幹投影面積為 0.00038m²，樹幹+樹冠淹 1/2 投影面積為 0.003208m²，樹幹+樹冠淹 1/2 投影面積為 0.003208m²，樹幹+樹冠全淹投影面積為 0.005407m²，布置情形如圖 2～圖 7 及照片 1～3 所示。

3.2、試驗方法

流量率定利用尾水池為水槽，以體積法求得流量率定曲線，植生試驗區布置長度為 5 公尺，植生布置從第 0.15 公尺開始至 5.05 公尺，因此水深及流速之量測點位置，由 0

斷面(代號:S0)，往前 0.8 公尺(代號:S-80)，往後 0.1 公尺(代號:S+10)，除 S-10、S0、S+10 之斷面長度間隔為 0.1 公尺外，餘各斷面間隔為 0.2 公尺，量測由 S-80 至 S+590 止，共計量測 35 個斷面，每個斷面布置 6 個量測點，共計 210 個量測點，如圖 8 所示。

流速量測以二維電磁流速儀量測流速，並以微調游標針尺量測水深(位)，每斷面 6 點，分別從左側邊牆算起 5、20、40、60、80 公分及 95 公分處，其中左、右兩點距離邊壁為 5 公分。為避免邊壁影響，平均水深及平均流速之計算係擷取斷面中間 4 點的數據平均，施放流量為 0.0855、0.145 及 0.2m³/sec 時，其水深足夠以河川流速觀測三點法量測 0.2、0.6 及 0.8 水深處之流速，平均流速計算以 (0.2+(0.6*2)+0.8)/4 求得。

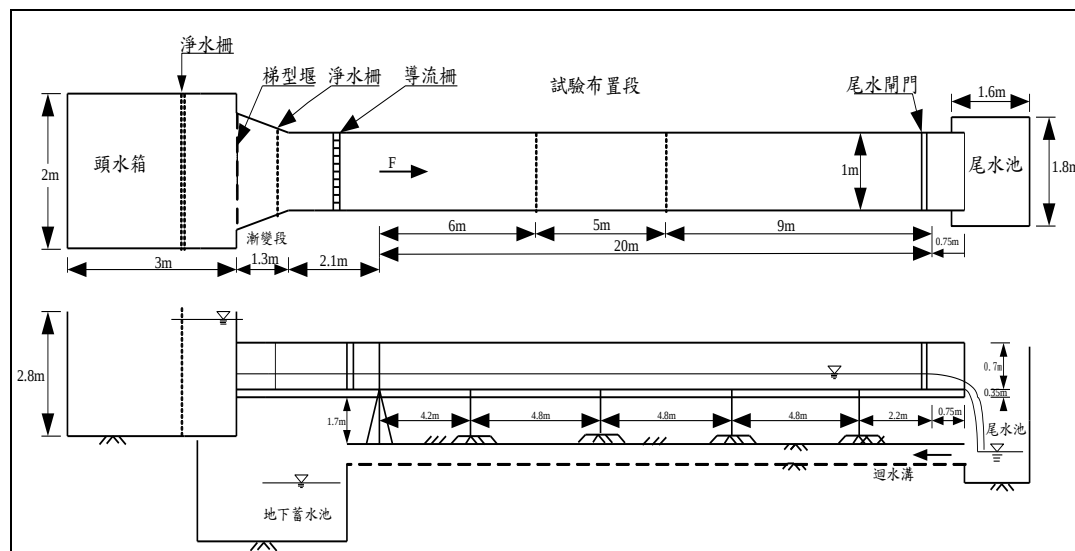


圖 1 平面及側面布置示意圖

Figure 1 Plan and side layout schematic diagram

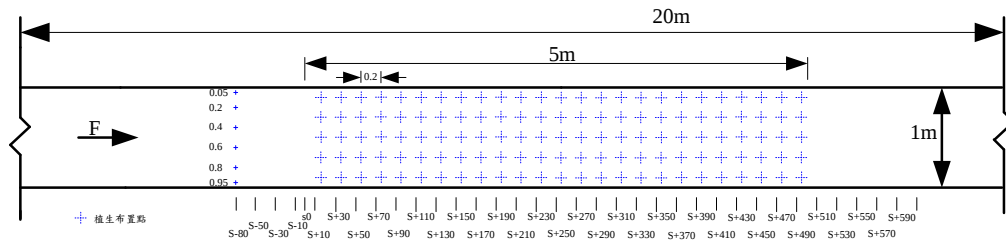


圖 2 試驗植生密度 1 方案平面布置圖

Figure 2 The layout plan of vegetation density testing program 1

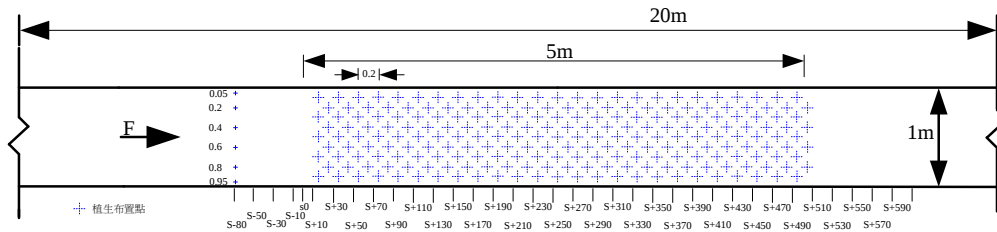


圖 3 試驗植生密度 2 方案平面布置圖

Figure 3 The layout plan of vegetation density testing program 2

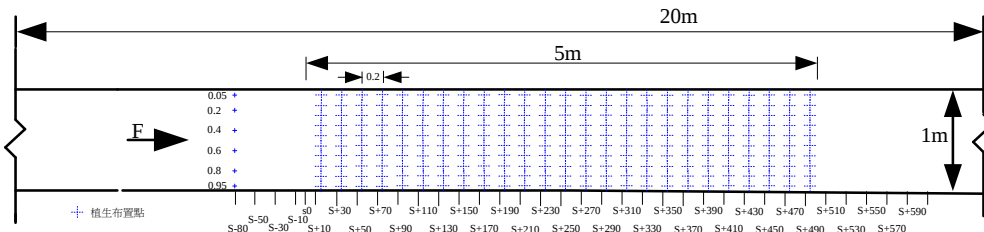


圖 4 試驗植生密度 3 方案平面布置圖

Figure 4 The layout plan of vegetation density testing program 3

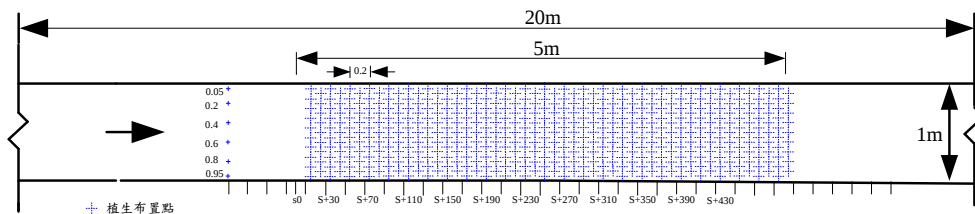


圖 5 試驗植生密度 4 方案平面布置圖

Figure 5 The layout plan of vegetation density testing program 4

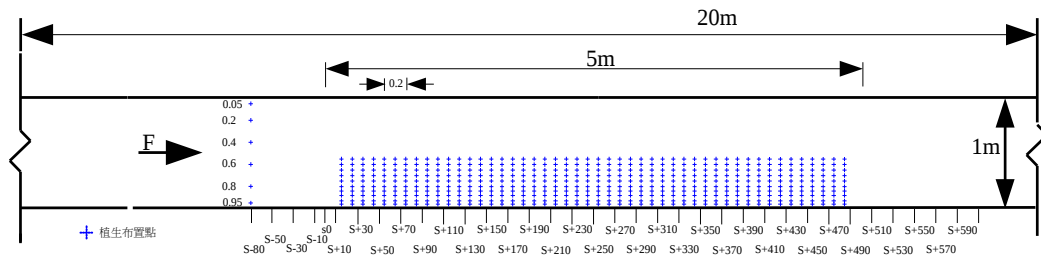


圖 6 試驗植生密度 5 方案平面布置圖

Figure 6 The layout plan of vegetation density testing program 5

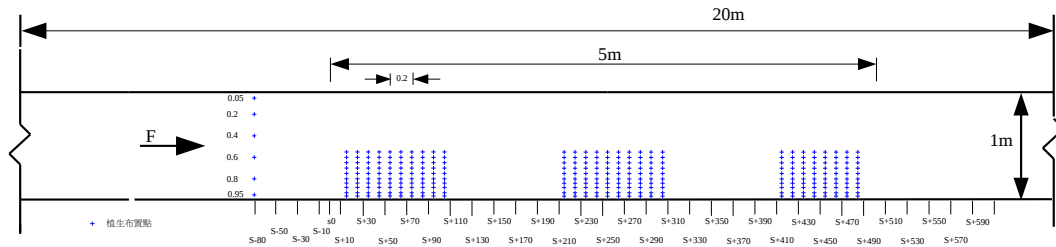


圖 7 試驗植生密度 6 方案平面布置圖

Figure 7 The layout plan of vegetation density testing program 6

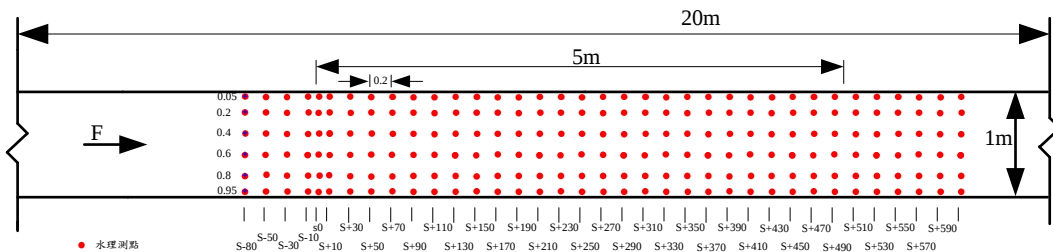
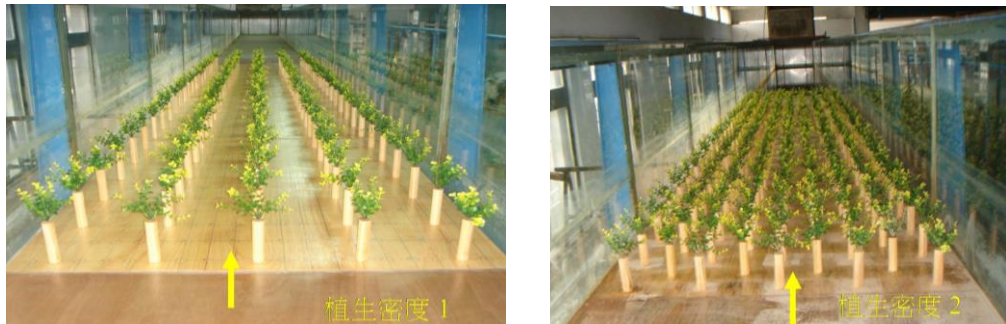
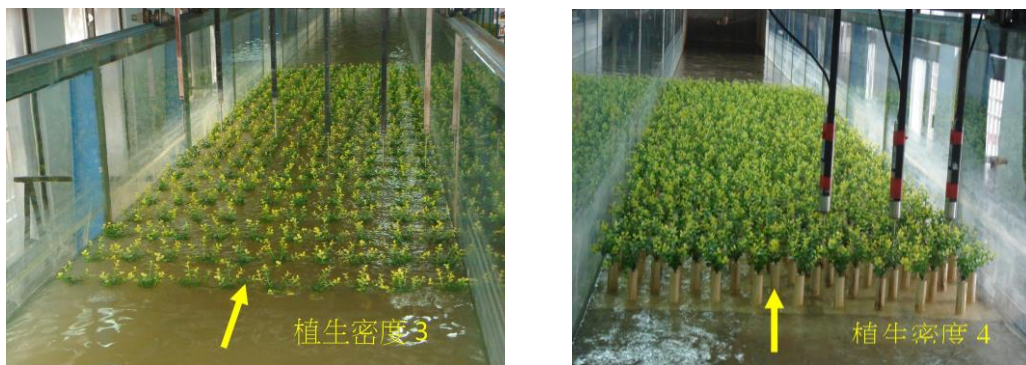


圖 8 單寬玻璃水槽試驗量測水位、流速點平面布置圖

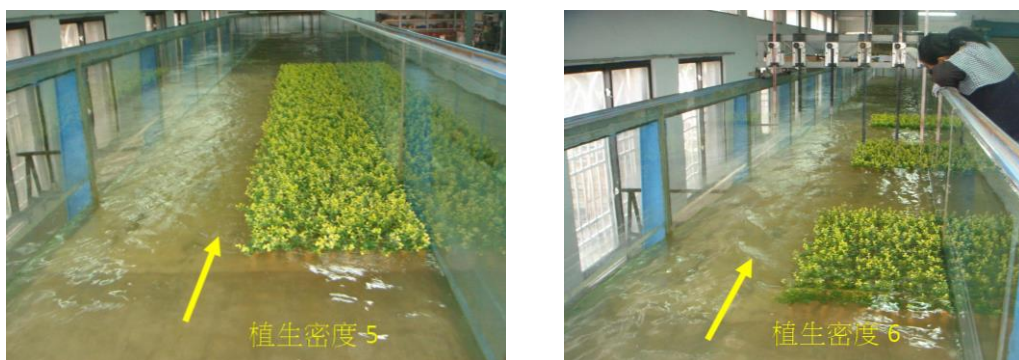
Figure 8 The layout plan of single-wide glass sink test measuring the water level and flow rate point



照片 1 試驗植生密度 1 及 2 方案
Photo 1 Vegetation density testing programs 1 and 2



照片 2 試驗植生密度 3 及 4 方案
Photo 2 Vegetation density testing programs 3 and 4



照片 3 試驗植生密度 5 及 6 方案
Photo 3 Vegetation density testing programs 5 and 6

3.3、試驗成果與分析

本研究在兩種坡度 1/500 及 1/1000 及不

同植生密度方案試驗，所得量測斷面水深及流速其成果，如表 3-1 及表 3-2 所示。由結果得知植生密度 5 及 6 中的水深隨流量增加而

增加；但植生密度 5 及 6 係單邊密植，而另 1/2 寬度為無植生，然而植生區中的水深顯示與另一側無植生區的水深幾乎完全相同。流速方面隨流量增加而增加，但也隨植生密度之增加而遞減，當水深增加時 n 值亦有增加之趨勢，植生密度 5 及 6 植生區因密植 n 值

增加多，而無植生之 1/2 處因流速增加而 n 值變小，另植生布置排列為交叉方式，其 n 值大於植生平行排列約 1 倍以上。再利用曼寧公式 ($V=1/n \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$) 反推算其相對之 n 值。

表 3-1、各植生方案之平均水深、流速及 n 值(slope:1/500、s+50~s+390)

Table 3-1: The average water depth, flow rate and value n in each vegetation program (slope:1/500、s+50~s+390)

流量 (m ³ /sec)	0.0855	0.1450	0.200	0.0855	0.1450	0.200	0.0855	0.1450	0.200
方案	水深 (m)			平均流速 (m/sec)			n		
無植生	0.130	0.172	0.195	0.659	0.844	1.026	0.015	0.013	0.012
植生密度 1	0.159	0.216	0.240	0.539	0.674	0.836	0.017	0.016	0.015
植生密度 2	0.188	0.242	0.267	0.457	0.601	0.751	0.048	0.041	0.043
植生密度 3	0.188	0.248	0.274	0.459	0.589	0.734	0.023	0.023	0.022
植生密度 4	0.226	0.279	0.305	0.380	0.523	0.659	0.050	0.056	0.053
植生密度 5 密植區	0.146	0.220	0.253	0.135	0.274	0.327	0.200	0.180	0.193
植生密度 5 無植生區	0.146	0.222	0.254	1.066	1.080	1.132	0.023	0.034	0.035
植生密度 6 密植區	0.141	0.212	0.243	0.198	0.282	0.372	0.127	0.161	0.130
植生密度 6 無植生區	0.141	0.213	0.242	1.052	1.078	1.136	0.021	0.031	0.032

表 3-2、各植生方案之平均水深、流速及 n 值(slope:1/1000、s+50~s+390)

Table 3-2: The average water depth, flow rate and value n in each vegetation program (slope:1/1000、s+50~s+390)

流量 (m ³ /sec)	0.0855	0.1450	0.2000	0.0855	0.1450	0.2000	0.0855	0.1450	0.2000
方案	水深 (m)			平均流速 (m/sec)			n		
無植生	0.147	0.189	0.213	0.581	0.765	0.939	0.012	0.011	0.010
植生密度 1	0.170	0.224	0.249	0.506	0.650	0.805	0.013	0.012	0.011
植生密度 2	0.196	0.247	0.273	0.439	0.590	0.736	0.035	0.029	0.035
植生密度 3	0.201	0.255	0.281	0.428	0.571	0.713	0.018	0.017	0.016
植生密度 4	0.231	0.282	0.308	0.372	0.518	0.653	0.038	0.043	0.043
植生密度 5 密植區	0.150	0.224	0.256	0.133	0.267	0.333	0.211	0.201	0.191
植生密度 5 無植生區	0.149	0.224	0.256	1.036	1.045	1.101	0.022	0.033	0.036
植生密度 6 密植區	0.149	0.218	0.248	0.193	0.302	0.371	0.127	0.147	0.134
植生密度 6 無植生區	0.148	0.218	0.246	1.011	1.049	1.095	0.021	0.031	0.033

3.3.1. 試驗坡度 1/500 之水深及 n 值比較

(1) 水深方面，各流量由縱向水面線量測結果均顯示，於植生區前端水位抬升最高，且隨著密度增加，其趨勢更為明顯，而植生區域內水位下降則受植生密度影響，對下游影響長度約為河寬之 3~4 倍長左右，各流量試驗方案縱剖面線詳如圖 9~圖 11 所示。斷面 S+50~S+390 及植生區前斷面 S-80~S+10 之平均水深抬升率(%) 計算是以無植生密度方案時之水深作為比較基準，其中植生密度 2 及植生密度 3 之植生密度接近，其水位變化趨勢一致，各流量之植生密度與水深抬升率，尤以植生密度 4 方案抬升較大，其中植生密度 5 及 6 方案因一邊密植另一邊無植生，其兩邊水位變化小幾乎同高，且水位較其他植生密度方案低，由圖 9~11 得知，植生區中間段及植生區前之水位抬升率以植生密度 4 為最大，約 50% 以上，詳如圖 12 及圖 13 所示。

(2) 流速方面，當植生密度增加及流量增加時，流速增減率係以無植生時之值為基準，當植生密度 1 方案時流速衰減約 18~20%，植生密度 2 方案時流速衰減約 27~30%，植生密度 3 方案時流速衰減約 28~30%，植生密度 4 方案時流速衰減約 36~42%，其中以植生密度 5 及 6 方案之密植區衰減最為明顯約達 67~79%。但植生密度 5 及 6 方案之無植生區因流量增加而流速反而大於無植生時，如流量為 $0.2\text{cm}^3/\text{sec}$ 時，流速約增 10%；流量為 $0.145\text{m}^3/\text{sec}$ 時流速約增 28%，流量為 $0.0855\text{m}^3/\text{sec}$ 時流速約增約 60%，詳如圖 14 所示。

(3) n 值方面，在三組施放流量於無植

生時之 n 值都介於 0.012~0.015 之間，植生密度方案 1、3、5 無植生區、6 無植生區等之 n 值都介於 0.013~0.035 之間，但其中植生密度 2 及 4 方案則因植生為交叉排列致使 n 值介於 0.041~0.056 之間，又以植生密度方案 5 之密植區其 n 值介於 0.18~0.2 之間，植生密度方案 6 之密植區（因有 1 公尺間隔無植生）其 n 值介於 0.127~0.161 之間。

3.3.2. 試驗坡度 1/1000 之水深及 n 值比較

(1) 水深方面，各流量由縱向水面線量測結果均顯示，於植生區前端水位抬升最高，且隨著密度增加，其趨勢更為明顯，植生區域內水位洩降受植生密度之影響，對下游影響長度約為河寬之 1.5~4 倍長左右，各流量試驗方案縱剖面線，詳如圖 15~圖 17 所示。斷面 S+50~S+390 及植生區前斷面 S-80~S+10 之平均水深抬升率(%) 計算是以無植生密度方案時之水深作為比較基準，其中植生密度 2 及植生密度 3 之植生密度接近，其水位變化趨勢一致，各流量之植生密度與水深抬升率，尤以植生密度 4 方案抬升較大，其中植生密度 5 及 6 方案因一邊密植另一邊無植生，其兩邊水位變化小幾乎同高，且水位較其他植生密度方案低，由圖 15~17 得知，植生區中間段及植生區前之水位抬升率以植生密度 4 為最大約 80% 以上，詳如圖 18 及圖 19 所示。

(2) 流速方面，當植生密度增加及流量增加時，流速增減率係以無植生時之值為基準，當植生密度 1 方案時，流速衰減約 13~15%；植生密度 2 方案時流速衰減約 22~24%；植生密度 3 方案時，流速衰減約 24~26%；植生密度 4 方案時，流速衰減約 30~36%

%，其中以植生密度 5 及 6 方案之密植區衰減最為明顯，約達 60~77%。但植生密度 5 及 6 方案之無植生區因流量增加而流速反而大於無植生時，如流量為 $0.2\text{cm}^3/\text{sec}$ 時，流速約增 17%；流量為 $0.145\text{m}^3/\text{sec}$ 時，流速約增 37%；流量為 $0.0855\text{m}^3/\text{sec}$ 時，流速約增 74~78%，詳如圖 20 所示。

(3) n 值方面，在三組施放流量於無植生時之 n 值都介於 0.01~0.012 之間，植生密度方案 1、3、5 無植生區、6 無植生區等之 n 值都介於 0.011~0.036 之間，但其中植生密度 2 及 4 方案則因植生為交叉排列致使 n 值介於 0.029~0.043 之間，又以植生密度方案 5 之密植區其 n 值介於 0.191~0.211 之間，植生密度方案 6 之密植區（因有 1 公尺間隔無植生）其 n 值介於 0.127~0.147 之間。

3.3.3 植生樹冠的影響

試驗量測 0.2 水深時幾乎都在樹冠裡面，所以都受到冠部的影響，當流量 $0.145\text{m}^3/\text{sec}$ 時，其 0.2 水深是在冠部裡，當流量 $0.2\text{m}^3/\text{sec}$ 時之水深就超過冠部，此時 n 值分別為 0.041 及 0.043，隨流量增加而變大，這情形於植生密度 4 時可看到，其 0.2 水深在流量 0.0855 及 $0.145\text{m}^3/\text{sec}$ 時的 n 值分別是 0.05 及 0.056，反過來說在試驗室裡面，當流量增加至 $0.2\text{m}^3/\text{sec}$ 時其 n 值減少至 0.053，其區勢與無植生時類似，這應該就是冠部的影響，當它的水深幾乎過冠部時，其 n 值達到最大值，就是說冠部的影響最顯注，當水深明顯超過冠部時，n 值又開始減少，顯示植生樹冠在水體的影響減少。

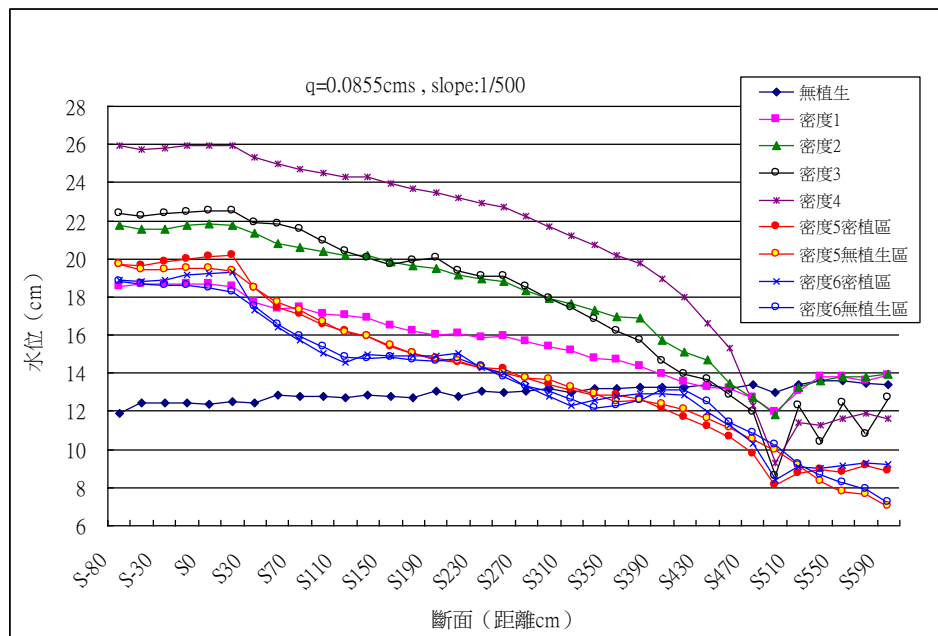


圖 9 各試驗方案縱剖面水位

Figure 9 The water level in longitudinal section of each testing program

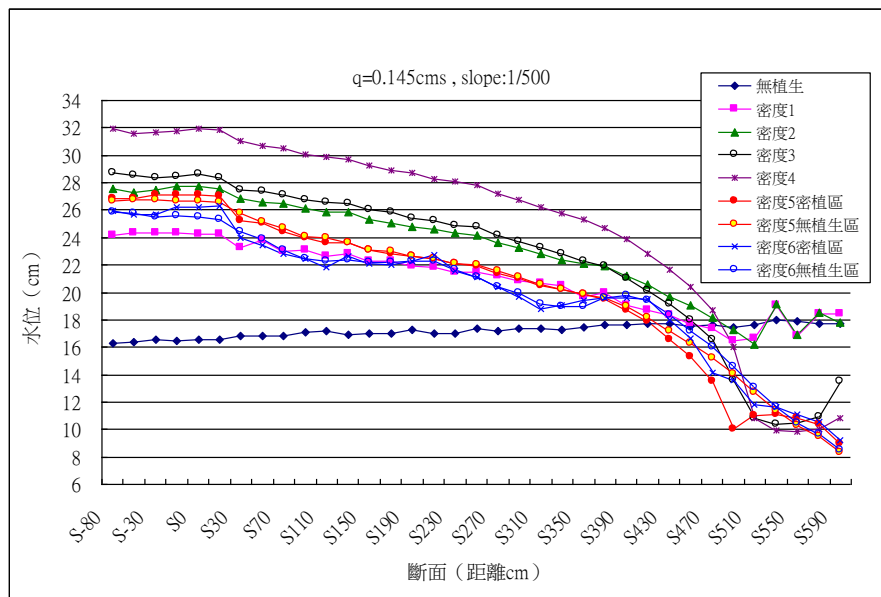


圖 10 各試驗方案縱剖面水位

Figure 10 The water level in longitudinal section of each testing program

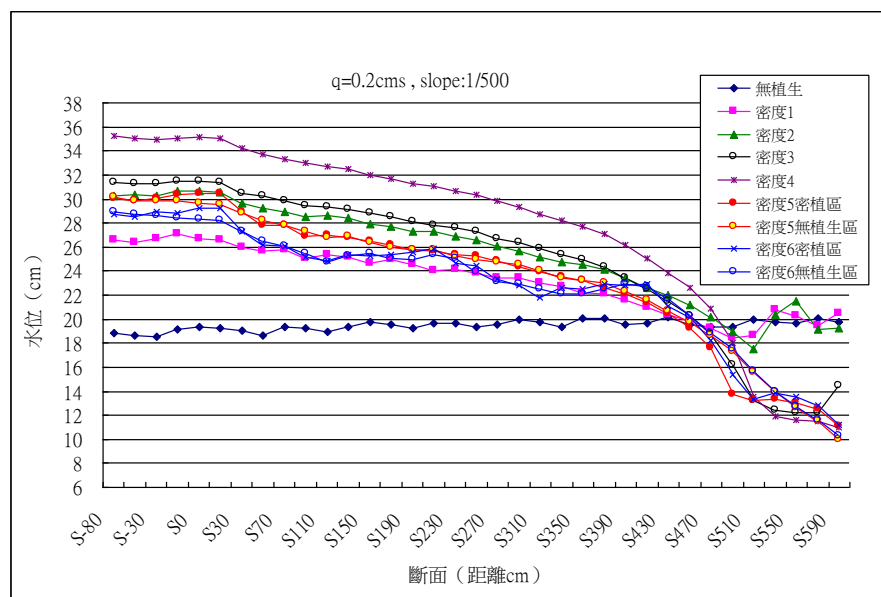


圖 11 各試驗方案縱剖面水位

Figure 11 The water level in longitudinal section of each testing program

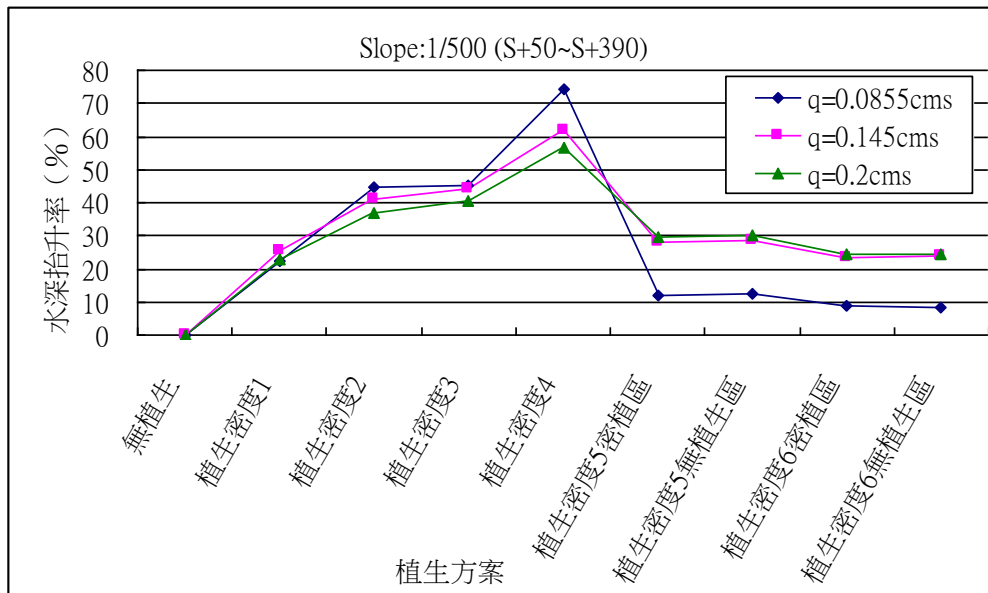


圖 12 各流量試驗方案縱剖平均水深抬升率

Figure 12 The average water depth raising rate in longitudinal section of each flow testing program

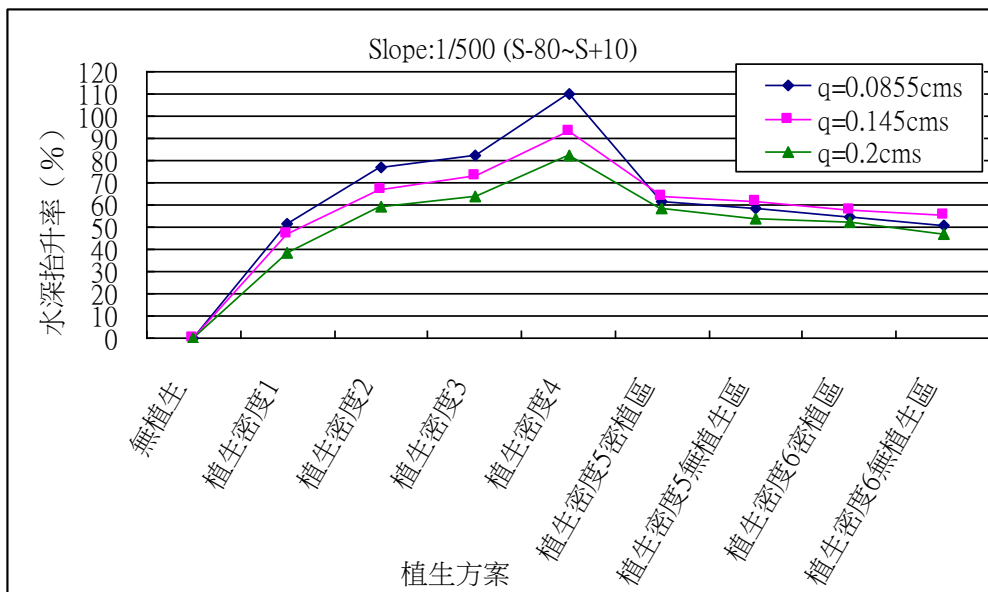


圖 13 各流量試驗方案植生區前縱剖平均水深抬升率

Figure 13 The average water depth raising rate in front longitudinal section of vegetation zone in each flow testing program

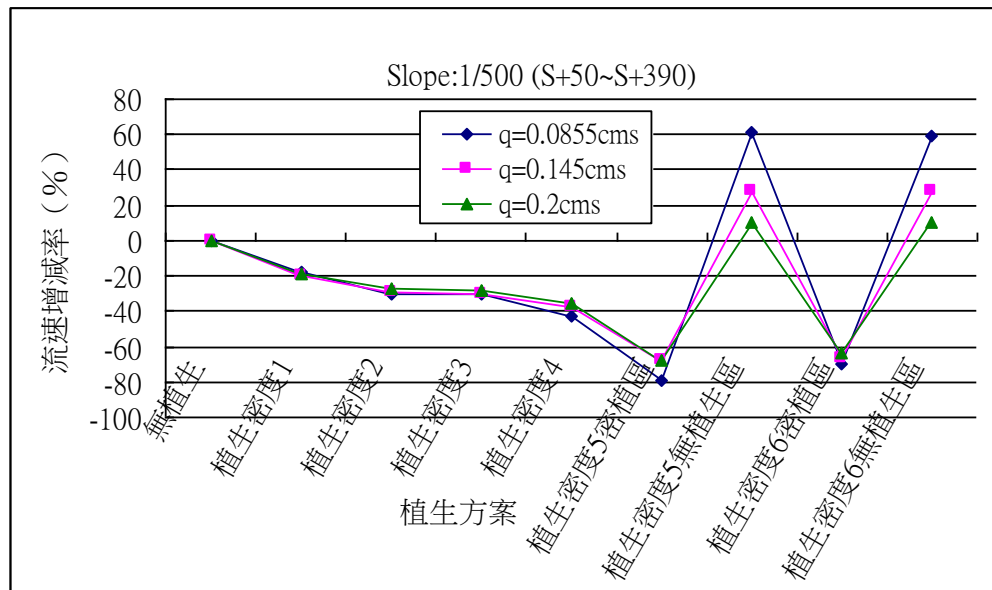


圖 14 各流量試驗方案平均流速增減率

Figure 14 The average change rate in flow rate of each flow testing program

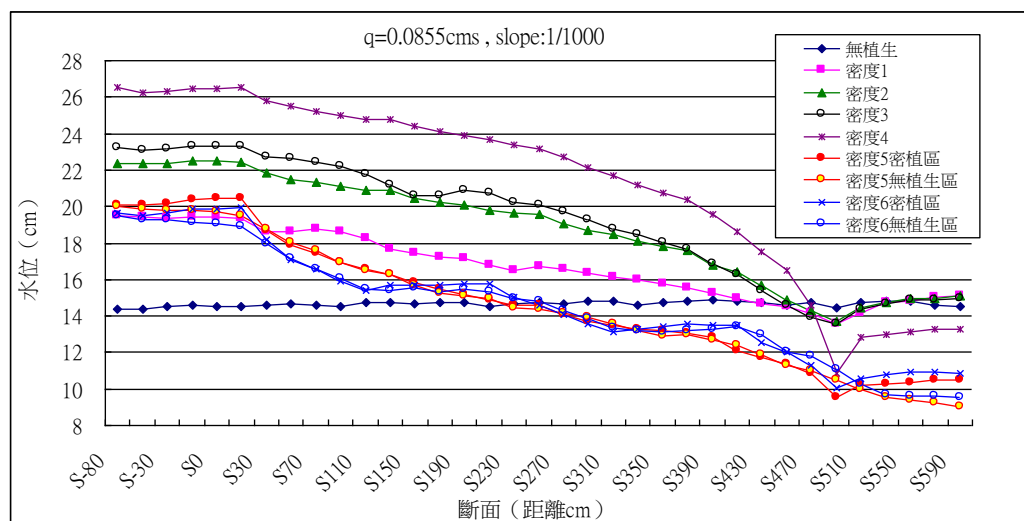


圖 15 各試驗方案縱剖面水位

Figure 15 The water level in longitudinal section of each testing program

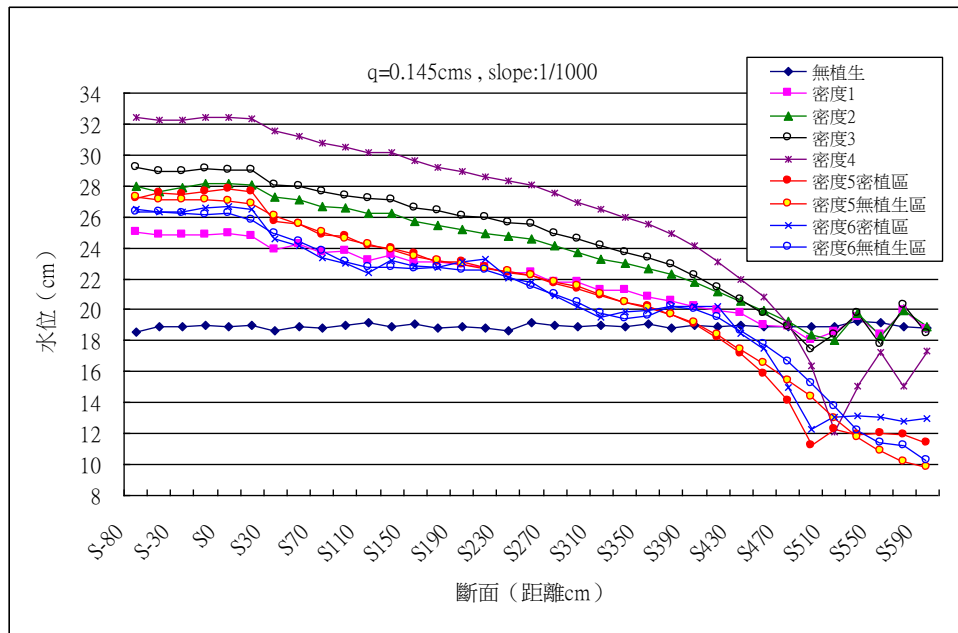


圖 16 各試驗方案縱剖面水位

Figure 16 The water level in longitudinal section of each testing program

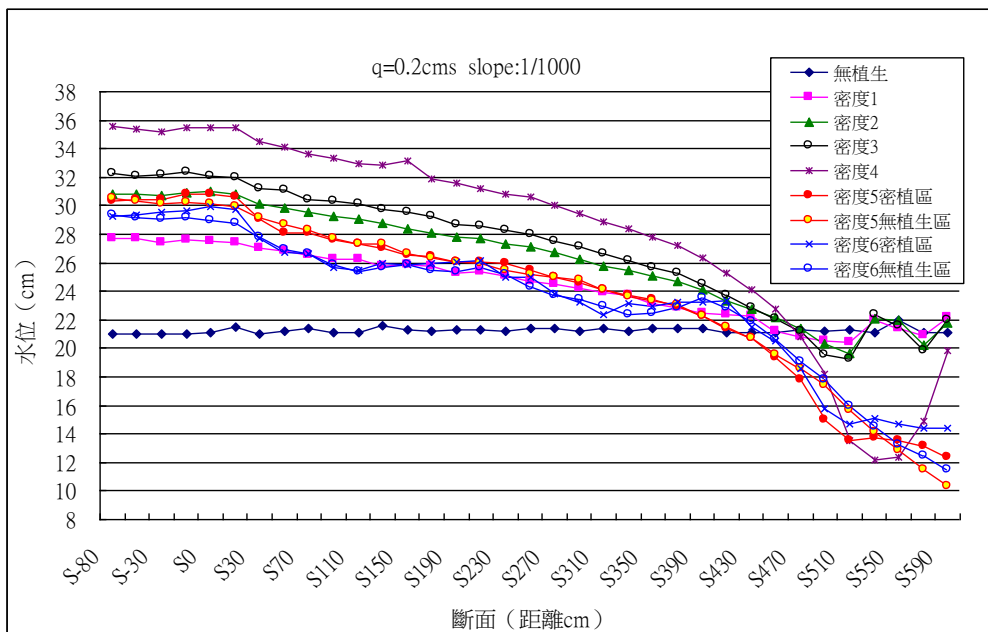


圖 17 各試驗方案縱剖面水位

Figure 17 The water level in longitudinal section of each testing program

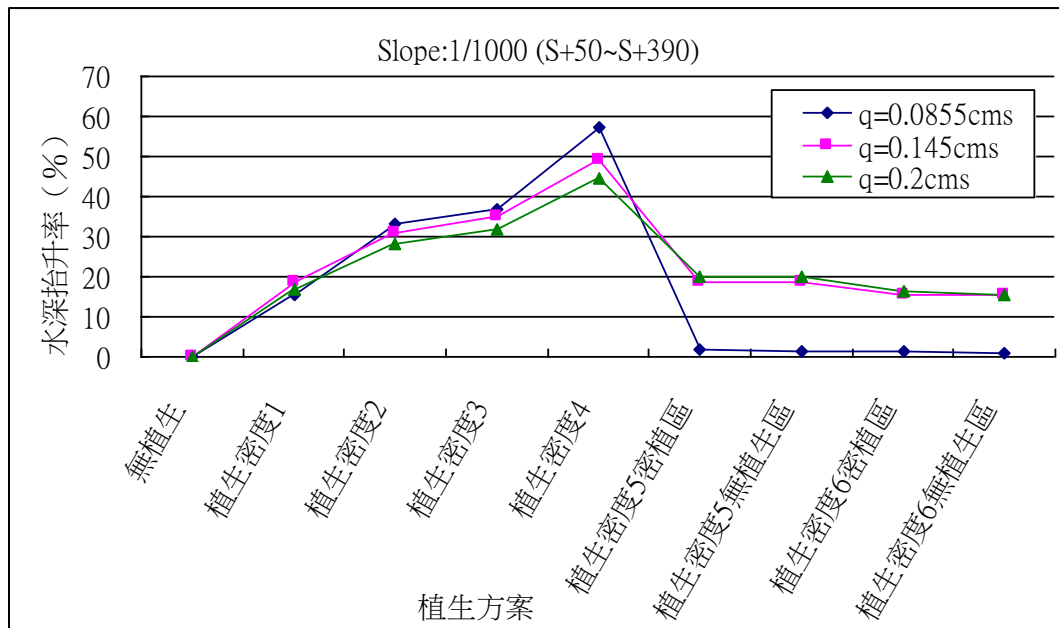


圖 18 各流量試驗方案縱剖平均水深抬升率

Figure 18: The average water depth raising rate in longitudinal section of each flow testing program

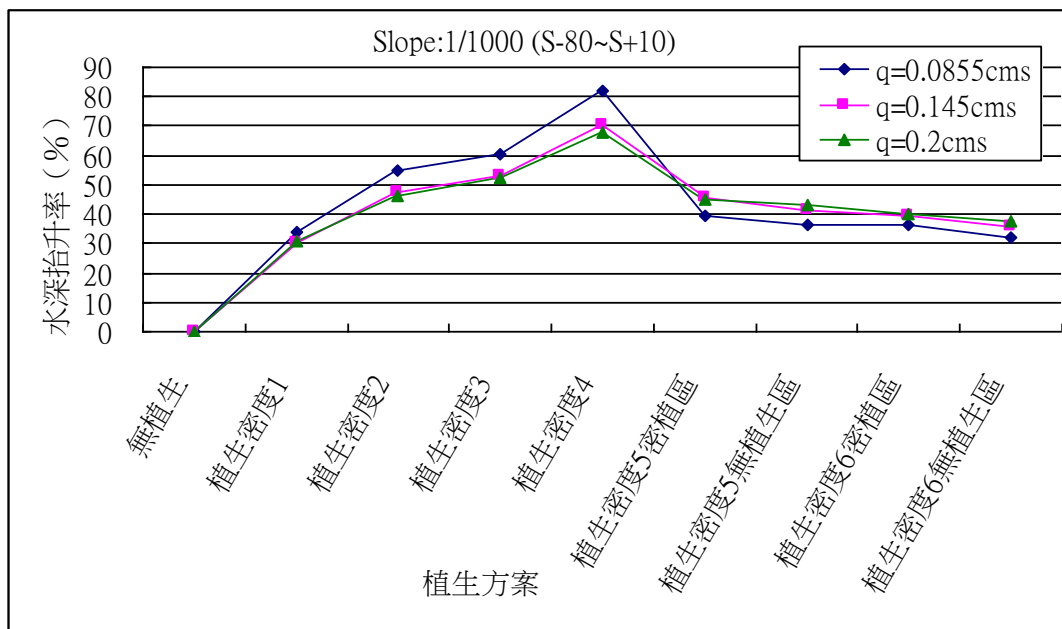


圖 19 各流量試驗方案縱剖平均水深抬升率

Figure 19 The average water depth raising rate in longitudinal section of each flow testing program

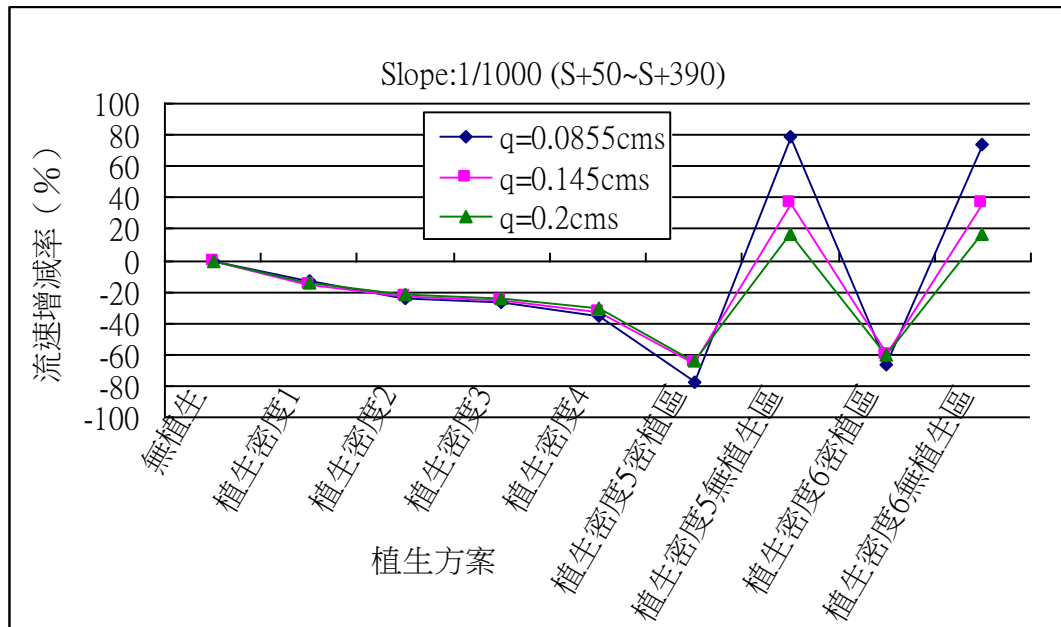


圖 20 各流量試驗方案平均流速增減率

Figure 20 The average change rate in flow rate of each flow testing program

結論

1. 植生區域前端斷面水位抬升最高，隨著密度增加，趨勢更為明顯，植生密度之增加，對流速有遞減之趨勢，與無植生時之情況比較，其流速遞減約 20%~70% 左右，而植生密度 5 及 6 因單邊密植及一邊無植生兩者差異較大流速相差約 7~12 倍，又以單邊無植生之流速比全無植生時流速反而增加 10~50 倍。

2. 依據試驗結果研判灘地植生密度對洪流之影響是在於植生區前水位抬升、植生區後及無植生區河槽處之流速會增加。試驗坡度 1/500 及 1/1000 之水位變化都相當一致且差距小。

3. 植生排列為平行時 n 值介於 0.011~

0.036 之間，交叉排列時 n 值介於 0.041~0.056 之間，密植排列時之 n 值介於 0.127~0.211 之間，此 n 值已超乎常態之曼寧 n 值。

建議

1. 本試驗布置植生區及無植生區之高程一樣，應考慮現場複式斷面形式以符合河川灘地之地形因素。

2. 水位之抬升與通水斷面寬及植生密度、排列方式有明確之關係，因此河川灘地植生利用，應以現地現況情形布置之試驗可得較佳結果

謝誌

本試驗資料係於經濟部水利署水利規劃試驗所水工模型試驗所完成。

參考文獻

1. 王凱立(2005),「河川濱水帶適生植物及其水流阻力之研究」,國立中興大學水土保持學系研究所碩士論文。
2. 吳銘城(2008),「水通過柔性植生流場特性之試驗研究」,國立成功大學水利及海洋工程研究所,碩士論文。
3. 呂珍謀、賴泉基、詹勳全、李明靜(2005),「透水與非透水結構物附近流場比較」,台灣水利, 53(4): 46-52。
4. 李育修(2008),「渠槽植株排列對泥砂沖淤及流況影響之研究」,國立中興大學水土保持學系研究所碩士論文。
5. 李鴻源、李戎威、張正誼(1994),「高莖作物對河川水流之影響(下)」,農藥世界,第 132 期, pp.79~86。
6. 李鴻源、李戎威、張正誼(1994),「高莖作物對河川水流之影響(上)」,農藥世界,第 131 期, pp.48~51。
7. 林杰熙、黃宏斌(1994),「排列密度對阻力係數之影響探討」,台灣水利, 42(3): 22-30。
8. 林信輝、王凱立(2005),「濱水帶植生對水流阻力之影響」,水土保持學報 37 (2): 183-198。
9. 徐劭涵(2008),「部分植生渠道之未浸末植生水利分析」,國立成功大學水利及海洋工程研究所,碩士論文。
10. 張乃薇(2006),「植生渠床之定量緩變速流研究」,國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
11. 許盈松、等(2004),「河川區域種植分級之初步研究」,第八屆海峽兩岸水利科技交流研討會。
12. 郭律君(2005),「水流流經群樁之水理特性研究」,國立成功大學水利及海洋工程研究所,碩士論文。
13. 游新福、黃宏斌(1992),「植生渠道阻力係數之研究」,台灣水利, 40(4): 50-59。
14. 楊山慶(2007),「草溝水理實驗之研究」,國立中興大學水土保持學系研究所碩士論文。
15. 經濟部水利署(2004)「河川區域種植規定修正研究」報告。
16. 蔡宗憲(2004),「糙度對河川高灘地利用的影響-以高屏溪為例」,國立成功大學水利及海洋工程研究所,碩士論文。
17. 嚴曉嘉(2007),「植生擺設型態水流與床砂變化之渠槽實驗」,國立中興大學水土保持學系研究所碩士論文。
18. Baptist, M.J. (2003), "A flume experiment on sediment transport with flexible submerged vegetation," *International workshop on Riparian Forest vegetated channels: hydraulic, morphological and ecological aspects*, Trento, Italy.
19. Brookes, A. and Shields Jr., F.D. (1996), *River Channel Restoration: Guiding principles for sustainable projects*, Wiley, Chichester, England.
20. Chow, V.T. (1959), *Open Channel Hydraulics*, pp.108-114, McGraw-Hill, New York.

21. Elliott, A.H. (2000), "Settling of Fine Sediment In A Channel with Emergent Vegetation," *J. Hydraulic Eng.*, pp. 570-577.
22. Fairbanks, J. and Diplas, P., (1998), "Turbulence characteristics of flows through partially and fully submerged vegetation," *Proc., Wet-lands Engineering and River Restoration Conf.*, Denver, pp. 865-870.
23. Fiener, P. and Auerswald, K. (2006), "Influence of scale and land use pattern on the efficacy of grassed waterways to control runoff," *Ecological Engineering*, 27: 208-218.
24. Jamal, M.V., Samani and Kouwen, N., 2002, "Stability and Erosion in Grassed Channels," *J. Hydraulic Eng., ASCE*, 128(1): 40-45.
25. Järvelä, J. (2002), "Flow resistance of flexible and stiff vegetation a flume study with natural plants," *J. Hydrology*, 269(1-2): 44-54.
26. Järvelä, J. (2005), "Effect of submerged flexible vegetation on flow structure and resistance," *J. Hydrology*, 307: 233-241.
27. Jin, C.X., and Römken, M.J.M. (2001), "Sediment Trapping by Vegetative Filter Strips," *J. Sediment Res.*, 15(2): 233-244.
28. Jonathan K.L., Lisa C.R. , Harry L.J. and Hannah M.V. (2004), "Drag coefficients for modeling flow through emergent vegetation in the Florida Everglades," *Ecological Eng.*, 22: 237-248.
29. Koloseus, H.J. and Davidian, J. (1966), "Free surface instabilities correlations," *Geological Survey Water-Supply*, 1592, p. 72.
30. Kouwen, N. (1988), Field Estimation of the Biomechanical Properties of Grass *Journal of Hydraulic Research*. Vol. 26, No. 5, pp. 559-568.
31. Kouwen, N. and M. Fathi-Moghadam (2000) Friction Factors for Coniferous Trees along Rivers, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*. 126(10), 732-740.
32. Kouwen, N. and R.M. Li (1980) , Biomechanics of Vegetative Channel Linings, *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, Vol. 106, No. HY6, pp. 1085-1103.
33. Kouwen, N. and Unny, T.E. (1973), "Flexible roughness in open channels," *J. Hydraulics Division, ASCE*, 99(5): 713-728.
34. Kouwen, N., Unny, T.E., and Hill, H.M. (1969), "Flow retardance in vegetated channels," *J. the Irrigation and Drainage Division, ASCE*, 95(2): 329-342.

103 年 05 月 06 日收稿

103 年 05 月 12 日修改

103 年 05 月 28 日接受

水土保持學報 46 (4): 1183–1200 (2014)

Journal of Soil and Water Conservation, 46 (4): 1183 – 1200 (2014)