

台中柳川應用生態工法於魚類棲地改善之研究

施上粟^[1] 李鴻源^[2] 胡通哲^[3]

摘 要 本研究以擬似二維數值水力模式 NETSTARS 進行生態工法規劃設計流程之通洪能力分析，並據以作為規劃設計生態工法的基礎。本文以台中柳川區域排水為例，應用擬似二維數值模式 NETSTARS 進行柳川未整治渠道（原始渠道）之通洪能力檢討，並由模擬所得之水位高程檢討洪水位是否超越現有堤岸高度，以推估何處會發生溢堤淹水的情形。模擬結果發現，當發生 2 年、5 年及 10 年洪水時，各斷面水位將高於原有護岸，有越堤的危險；而現有原始渠道斷面 7~8 及 8~9 間則會發生水躍。

本研究並利用水平二維水力模式 TABS-2 進行不同工法對魚類棲地面積的改善情形，模擬結果顯示，因曼寧 n 值提高（反應渠道中施設生態工法），將使渠道流速降低，因而渠道中低於 1.2 m/sec 流速的面積增加約 13.4%；由此可知，應用生態工法對魚類將有正面的助益，可有效提升其棲地面積。

關鍵詞：生態工法、水力數值模式、魚類棲地。

Fish Habitat Improvement Research for Ecotechnology Applications in Liu Regional Drainage

Shang-Shu Shih^[1] Hong-Yuan Lee^[2] Tung-Jer Hu^[3]

ABSTRACT Following the concept of ecotechnology, NETSTARS, a quasi-two dimensional hydraulic model was used to estimate the flood capacity of Liu Regional Drainage in Taichung County. The calculated results, including water surface elevation (w.s.e.) and water velocity, were used as a basis for the ecotechnology. The design consisted of placing a number of concrete blocks, timbers and rocks on the riverbed and riverbank. The model was used to evaluate the present situation and also the proposed design. The cross-sectional w.s.e was obtained and we and evaluated if whether the river banks would be flooded by a rise in the water. The results showed that flooding occurs in all cross-sections during the 2, 5 and 10 year return period discharge. Moreover, hydraulic-jumps occurred in a number of river stretches.

The effects of this applied ecotechnology were investigated and compared with the original method. It was found that the fish habitat increased significantly, when the ecotechnology aimed at decreasing water velocity was used. The ecotechnology was re-

[1] 國立台灣大學土木工程學系博士候選人（通訊作者）

Candidate for Doctor's degree, Department of Civil Engineering, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C.
(Corresponding Author)
E-mail: d90521017@ntu.edu.tw

[2] 國立台灣大學土木工程學系教授

Professor, Department of Civil Engineering, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

[3] 蘭陽技術學院土木工程系副教授

Assistant professor, Department of Civil Engineering, Lan-Yang Institute of Technology, Ilan, Taiwan, R.O.C.

flected by an increased *Manning's n*. The potential fish habitat, in which the flow velocity is lower than 1.2 m/s, increased by around 13.4%. We conclude that applied ecotechnology can improve fish habitat potential.

Key Words: ecotechnology, hydraulic numerical model, fish habitat.

一、前言

有別於傳統工程，所謂生態工程（ecological engineering）是指能同時達到人類需求及自然環境雙贏的工程方法（Mitsch W. J. and S. E. Jorgensen, 1989）。這種以自然生態為主要考量的工程觀點在當初被提出時並未被應用在實際的工程上，僅僅是學術討論的範疇。之後，Odum（1983）又提出更深入的定義：「生態系統工程設計的主要考量及標準在於以外界最低能量的輸入維護棲地系統的自我更新」。在台灣也有類似的定義，公共工程委員會於 2002 年 3 月、5 月及 8 月分別召開數次「生態工法諮詢小組」會議，會中針對生態工法的定義，做成決議如下：「基於對生態系統之深切認知與落實生物多樣性保育及永續發展，而採取以生態為基礎、安全為導向的工程方法，以減少對自然環境造成傷害」。

台灣地區地狹人稠，土地利用程度遠超過歐美國家，而比較接近日本，所以在規劃河川生態工法時，宜因地制宜，即靠近市區的水路設計應以安全為首要考量、生態及親水景觀次之；但於郊區則可優先考量較具生態價值的工法（李鴻源等，2002）；亦即生態

工法的施行，應首先考量河防結構安全，另需考量自然生態系的維護，使得人類的生活空間得到適當的維護並能兼顧生物基盤的自然成長及演替（胡通哲等，2003）。

區域排水之定義在台灣水利法施行細則上係指農田排水、市區排水、事業排水三款之二種以上匯流者或排洩區域性地面或地下之水（台灣省水利規劃試驗所，1988）。區域排水治理規劃早期由防洪「治水」理念，直至近年來民眾對景觀環境及生態保育日趨重視，對區域排水「利水」及「環境」觀念因應而生，以往水泥護岸造成景觀醜陋之情況，因國家正大力提倡水與綠的建設而期許以生態工法取代之，現階段之區域排水治理宜將「生態工法」列為設計考慮；而區域排水採用生態工法因受制於河道寬度、河床粗糙係數改變、用地範圍取得及成本提高等因素影響，必須要先滿足防洪與安全需求，再進行生態景觀的分析與設計。

本文蒐集整理四種護岸生態工法內涵，包括：砌石護岸、箱籠護岸、加勁工法及木排樁護岸工法，四種護岸工法評估如表 1 所示。

表 1 各種護岸工法之安全性、生態、景觀及成本評估表

Table 1 The assessment of riverbank working methods, including the aspects of safety, ecology, landscape and cost

工法	生態性	景觀	安全性	成本	粗糙係數
鋼筋混凝土	不佳	不佳	高	低	0.014
三明治護岸	尚可	不佳	高	低	0.025
砌石護岸	尚可	尚可	中	中	0.021-0.029
箱籠護岸	尚可	尚可	中	中	0.025 -0.030
加勁護岸- 木條面板	尚可	尚可	中	高	0.025 -0.030
加勁護岸- 混凝土（生態塊面板）	尚可	不佳	中	高	0.025
木排樁護岸	佳	佳	低	高	0.025 -0.030

註：本表粗糙係數參考文獻 1、7 及「排水規劃工程設計基準」（81.12.18 水企字第 56552 號函）

根據上表之建議值, 本文據以決定傳統工法之曼寧 n 值為 0.025, 而生態工法之曼寧 n 值則設為 0.03, 以適當反應不同工法對河道粗糙係數的影響。

二、研究方法

1. 擬似二維水理數值模式

本文採用擬似二維 (Quasi-2D) NETSTARS 模式分析流況變化, 控制方程式為:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right) + gAS_f - u \cdot q = 0 \quad (2)$$

$$gAS_f - u \cdot q = 0$$

其中,

A = 河道通水橫斷面積;

Q = 流量;

u = 側流量在主流方向的流速;

t = 時間;

x = 沿水流方向之水平座標;

q = 單位河段長度之側流量;

α = 動量修正係數;

g = 重力加速度;

y = 水位;

S_f = 摩擦(能量線)坡度;

K = 輸水容量。

本模式因採流管數 (stream tube) 方式進行數值運算, 故亦能部分反應河道橫向水理變化, 且本研究河段之流長 (1335 公尺) 遠大於流寬 (平均約 10 公尺), 故本模式計算之平均流速主要用來反應縱向變化, 因此適用本研究之需求; 本模式細節請參考文獻 10。

2. 水平二維數值模式

本文另採用 TABS-2 模式進行水平二維模擬, 由美國陸軍工兵工程師團所發展的一套以有限元素法 (finite element method) 求解之水平二維水理、水質、輸砂數值模式, 適用於河川、湖泊、港灣及水庫等流場之模擬。控制方程式如下 (TABS-2 users manual, 2000):

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (uh)}{\partial x} + \frac{\partial (vh)}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \left(\epsilon_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \epsilon_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + g \frac{\partial a}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} + \tau_x = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \left(\epsilon_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \epsilon_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g \frac{\partial a}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} + \tau_y = 0 \quad (5)$$

其中,

u, v = 水平 x 方向及垂直 y 方向之流速;

x, y, t = x, y 座標值及時間;

ρ = 流體密度;

g = 重力加速度;

a = 底床高程;

h = 水深;

ϵ_{xx} = x 平面上 x 方向的摩擦係數;

ϵ_{xy} = x 平面上 y 方向的摩擦係數;

ϵ_{yx} = y 平面上 x 方向的摩擦係數;

ϵ_{yy} = y 平面上 y 方向的摩擦係數;

τ_x = x 方向剪應力;

τ_y = y 方向剪應力。

本模式細節請參考文獻 14。

3. 柳川區域排水簡介

本研究案例為台中縣市界柳川區域排水, 範圍從柳川第 12 號斷面 (上游), 至柳川排出口第 1 號斷面 (接旱溪廢河道, 下游), 為尚未整治之河道 (原始河道), 該河道附近人口稠密, 時有水患發生。

柳川區域排水屬經濟部水利署第三河川局管轄, 柳川排水源自大甲溪南岸之食水料溪附近, 流經豐原、潭子、舊社、二分埔、北屯後入台中市區內, 再經半平厝、樹子橋後在頭前厝附近流入旱溪廢河道排水路, 為跨縣市排水路。柳川區排地理位置如意圖 1 所示:

本排水屬旱溪廢河道排水流域內之排水支線, 地勢走向為由東北向西南傾斜, 截流前原流域面積為 22.23 Km^2 , 主流長度 27.62 Km , 平均渠寬 10.5 m , 渠底平均坡度約為 1/125, 截流後流域面積為 9.79 Km^2 , 主流長度 10.57 Km , 地盤高程由 102 公尺降至 26 公尺, 渠底平均坡度約為 1/140; 排水下游出口烏日鄉局部地區因地勢較低且排水路未經整治或年久失修, 易受旱溪廢河道外水頂托影響造成出口局部低窪地區的淹水現象。

本文利用經濟部水利署水利規劃試驗所於民國八十九年十二月完成之「台中旱溪廢河道排水檢討規劃報告」中由 SCS 法分析之洪峰逕流量與經水理演算之水位資料 H-Q 關係, 建立數值演算所需之下游水位條件, 如下表 2 所示:



圖 1 研究案例位置示意圖
Fig.1 The location of study site in Taichung County, Taiwan

表 2 旱溪廢河道排水柳川匯流前控制點 H-Q 關係

Table 2 The H-Q relationship of the downstream in Liu Stream which was so-called Han Creek

重現期(年)	洪峰流量(cms)	計畫水位(m)
2	158	27.62
5	214	28.44
10	247	29.22
20	277	29.63

根據李鴻源等（2002）之調查發現，本研究河段於 2002 年魚類相調查中僅發現吳郭魚（慈鯛科）及食蚊魚（亦稱大肚魚，屬胎生魚將魚科）等兩種外來魚種，顯見本區水質不佳；因此本文之探討內容並未觸及水質問題，而集中探討生態工法及水理現象間之關係。

4. 水理模擬分析

本渠道通洪能力分析方式係依據李鴻源等（2002）所建議之流程圖步驟一一檢核，如發現規劃流量造成溢堤現象，則建議採用傳統混凝土工法，若能達到防洪功能，則可進一步考量以生態工法取代傳統混凝土

工法。

三、結果與討論

1. 結果

(1) 渠道整治前（原始渠道）

本文以擬似二維數值模式 NETSTARS 進行柳川未整治渠段之通洪能力檢討，由模擬所得之水位高程檢討洪水位是否超越現有堤岸高度，以推估何處會發生溢堤淹水的情形。本研究分別以重現期距 2、5 及 10 年的洪峰流量進行演算，模擬範圍為柳川第 1 斷面至第 12 號斷面（本文僅列 10 年重現期洪峰流量之模擬水位結果，如表 3 所示）。

模擬結果發現除第一斷面（受外水位邊界條件影響）及部分斷面（斷面 4、8 之曼寧 n 值為 0.03 時發生溢堤）外，均可通過重現期距 2 年之洪水；而斷面 1、3、4 及 7 無法通過重現期距 5 年之洪水，其餘斷面均可通過；斷面 1~8 則無法通過重現期距 10 年以上之洪水。

淹水原因可能是因為排水渠道下游出口局部地區地勢較低且大部分地區均未完成整治，因此

易受排水出口之旱溪廢河道外水位頂托影響；而較上游接近台中市區之渠段，則因為已完成整治，故堤岸較高，較不易發生洪水溢堤事件（經

濟部水利署水利規劃試驗所水利規劃試驗所，2000）。

表 3 原始渠道重現期距 10 年之水理模擬結果

Table 3 The 10-year flood hydraulic simulation results of the original channel

斷號	斷面 累距 (m)	渠底高程 (m)	堤岸高程(m)		計算水位(m)			
			左岸	右岸	n=0.025	溢淹 (是:√; 否:×)	n=0.03	溢淹 (是:√; 否:×)
1	0	25.35	28.65	27.50	29.22	√	29.22	√
2	270	25.63	29.79	29.01	29.46	√	29.54	√
3	407	26.87	30.10	29.36	29.95	√	30.11	√
4	480	27.27	29.71	30.72	30.31	√	30.52	√
5	525	26.85	30.48	33.92	30.49	√	30.72	√
6	581	27.63	30.98	31.04	30.80	×	31.05	×
7	688	28.32	31.22	31.41	31.45	√	31.70	√
8	797	28.51	32.42	31.34	31.91	√	32.17	√
9	932	29.58	33.35	33.25	32.51	×	32.79	×
10	1080	29.77	33.81	33.80	32.91	×	33.20	×
11	1240	31.15	36.52	36.54	33.32	×	33.57	×
12	1335	31.50	36.97	36.86	33.83	×	34.07	×

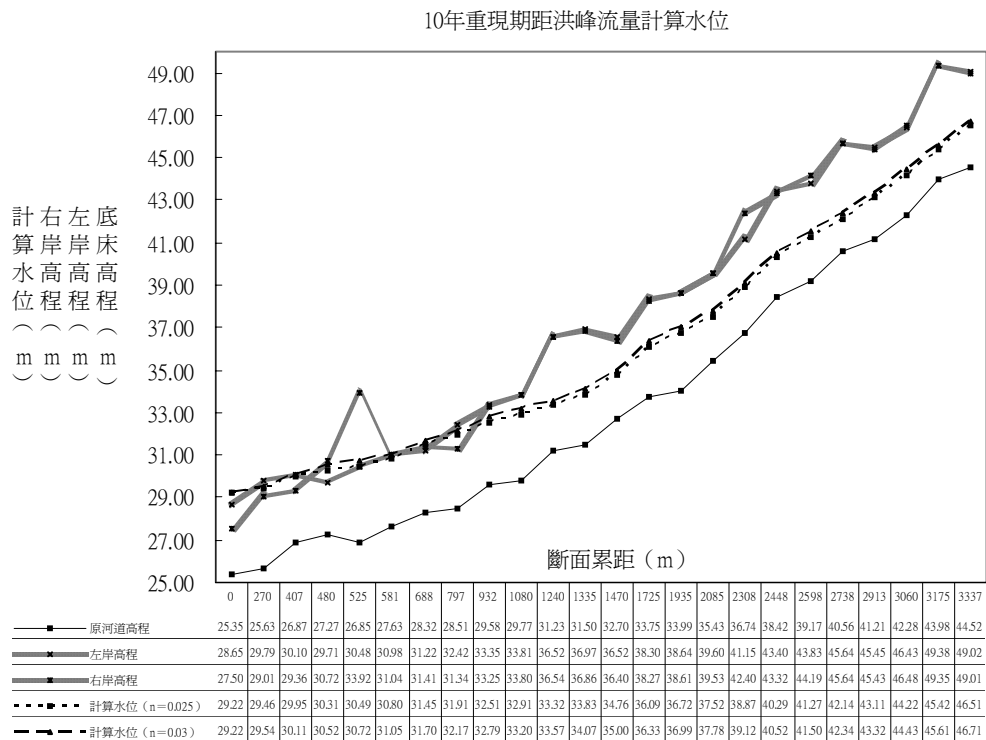


圖 2 重現期距 10 年之水理分析水面剖線（原始渠道）

Fig.2 The 10-year flood simulations of water surface profile in each cross-section of the original channel

(2) 渠道整治後（整治渠道）

本文針對可能發生溢淹之渠段進行探討，並擬定以第 12 號斷面（接近梯型斷面）為範例斷面，並進行其餘 11 個斷面之整治改善。

以 NETSTARS 模式進行柳川整治渠段之水理分析，並分別模擬不同重現期距洪水量之水位與流速（傳統工法：n=0.025；生態工法：0.03），其中表 4 為 10 年重現期距洪水之水位高程及判斷是否溢淹之分析表；圖 3 則為 10 年重現期距

洪水之水面線、底床高程及左、右岸高程比較圖。模擬結果發現，除第 1 斷面受外水位頂托影響外，其餘斷面均能通過 2 年及 5 年重現期距之洪水；而第 1~4 斷面則無法通過 10 年重現期距之洪水量，如要保護堤外區域，應考慮加高背水堤，以防止超過 10 年重現期距之洪水發生溢堤的可能。

表 4 整治渠道重現期距 10 年之水理模擬結果

Table 4 The 10-year flood hydraulic simulation results of the rebuilt channel

斷號	斷面 累距 (m)	渠底高程 (m)	堤岸高程(m)		計算水位(m)			
			左岸	右岸	n=0.025	溢淹 (是：√；否：×)	n=0.03	溢淹 (是：√；否：×)
1	0	25.35	28.65	27.50	29.22	√	29.22	√
2	270	25.63	29.79	29.01	29.41	√	29.48	√
3	407	26.87	30.10	29.36	29.61	√	29.73	√
4	480	27.27	29.71	30.72	29.75	√	29.91	√
5	525	26.85	30.48	33.92	29.86	×	30.04	×
6	581	27.63	30.98	31.04	30.02	×	30.22	×
7	688	28.32	31.22	31.41	30.41	×	30.65	×
8	797	28.51	32.42	31.34	30.90	×	31.16	×
9	932	29.58	33.35	33.25	31.59	×	31.85	×
10	1080	29.77	33.81	33.80	32.39	×	32.66	×
11	1240	31.15	36.52	36.54	33.29	×	33.55	×
12	1335	31.50	36.97	36.86	33.83	×	34.09	×

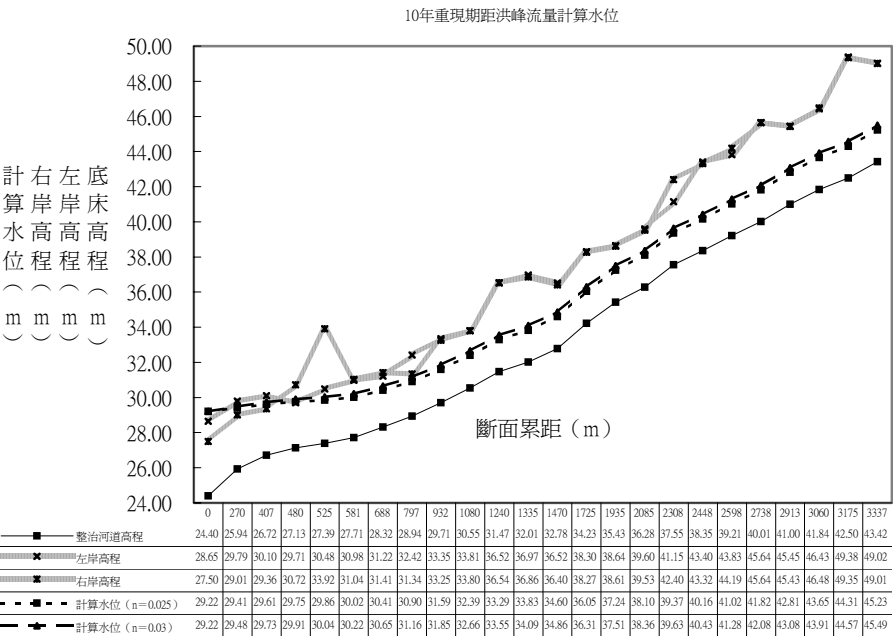


圖 3 重現期距 10 年之水理分析水面剖線（整治渠道）

Fig.3 The 10-year flood simulations of water surface profile in each cross-section of the rebuilt channel

2. 討論

由前述模擬結果得知，在原始渠道中加入護岸生態工法，將造成下游地區遭受洪水溢淹的危險，本文建議應適當整治原有渠道，並假設以第 12 號斷面為範例斷面（接近梯形渠道）進行整治，模擬結果發現：若以 2 年或 5 年重現期距洪水為規劃流量，則此整治渠道可滿足生態工法及通洪之雙重考量；若是以 10 年頻率洪水量設計渠道，則此整治渠道的前 4 個斷面並不適合生態工法的施作，應改以較具防洪能力及安全

考量之混凝土堤防為主。

另外，本文亦整理出整治渠道在各規劃流量下之流速、水深及福祿數值，可作為規劃之考量；另發現在曼寧 n 值為 0.025 的情況下，渠道水流速度較快，因此較上游斷面呈現超臨界流況（supercritical flow）、部分下游斷面則呈現亞臨界流況（subcritical flow），如此將造成部分斷面發生水躍現象（hydraulic jump），在工程規劃設計上應注意發生水躍處之消能問題。本文整理不同條件下之計算水深、流速及福祿數值如下表 5、6 及 7 所示。

表 5 2 年重現期距洪峰流量計算之水理特性表

Table 5 The hydraulic characteristics of the 2-year flood hydraulic simulations

斷號	斷面累距 (m)	渠底高程 (m)	n=0.025			n=0.03		
			流速 (m/s)	水深 (m)	福祿數	流速 (m/s)	水深 (m)	福祿數
1	0	25.35	1.95	3.22	0.324	1.95	3.22	0.324
2	270	25.63	2.94	2.04	0.590	2.81	2.15	0.554
3	407	26.87	3.52	1.64	0.773	3.26	1.80	0.690
4	480	27.27	3.79	1.50	0.859	3.45	1.68	0.750
5	525	26.85	3.93	1.43	0.908	3.56	1.62	0.784
6	581	27.63	4.06	1.37	0.951	3.65	1.57	0.814
7	688	28.32	4.19	1.32	0.996	3.74	1.52	0.845
8	797	28.51	4.24	1.30	1.016	3.79	1.50	0.860
9	932	29.58	4.27	1.29	1.027	3.81	1.49	0.868
10	1080	29.77	4.28	1.28	1.029	3.82	1.49	0.870
11	1240	31.15	4.29	1.28	1.034	3.83	1.48	0.875
12	1335	31.50	4.29	1.28	1.032	3.83	1.48	0.873

表 6 5 年重現期距洪峰流量

Table 6 The hydraulic characteristics of the 5-year flood hydraulic simulations

斷號	斷面累距 (m)	渠底高程 (m)	n=0.025			n=0.03		
			流速 (m/s)	水深 (m)	福祿數	流速 (m/s)	水深 (m)	福祿數
1	0	25.35	2.12	4.04	0.318	2.12	4.04	0.318
2	270	25.63	3.02	2.79	0.533	2.93	2.88	0.510
3	407	26.87	3.60	2.29	0.691	3.40	2.45	0.634
4	480	27.27	3.91	2.09	0.779	3.63	2.27	0.699
5	525	26.85	4.09	1.98	0.834	3.77	2.18	0.738
6	581	27.63	4.29	1.87	0.893	3.90	2.09	0.778
7	688	28.32	4.53	1.75	0.969	4.08	1.98	0.829
8	797	28.51	4.67	1.69	1.013	4.18	1.93	0.860
9	932	29.58	4.75	1.65	1.040	4.24	1.89	0.879
10	1080	29.77	4.78	1.64	1.050	4.27	1.88	0.888
11	1240	31.15	4.81	1.63	1.058	4.29	1.87	0.894
12	1335	31.50	4.81	1.63	1.057	4.29	1.87	0.894

表 7 10 年重現期距洪峰流量

Table 7 The hydraulic characteristics of the 10-year flood hydraulic simulations

斷號	斷面累距 (m)	渠底高程 (m)	n=0.025			n=0.03		
			流速 (m/s)	水深 (m)	福祿數	流速 (m/s)	水深 (m)	福祿數
1	0	25.35	1.82	4.82	0.354	1.82	4.82	0.354
2	270	25.63	2.84	3.47	0.456	2.79	3.54	0.444
3	407	26.87	3.38	2.89	0.587	3.25	3.01	0.554
4	480	27.27	3.69	2.62	0.669	3.50	2.78	0.619
5	525	26.85	3.89	2.47	0.724	3.66	2.65	0.660
6	581	27.63	4.13	2.31	0.790	3.84	2.51	0.709
7	688	28.32	4.50	2.09	0.895	4.10	2.33	0.781
8	797	28.51	4.75	1.96	0.971	4.28	2.22	0.832
9	932	29.58	4.93	1.88	1.025	4.41	2.14	0.869
10	1080	29.77	5.01	1.84	1.050	4.47	2.11	0.888
11	1240	31.15	5.06	1.82	1.065	4.51	2.08	0.900
12	1335	31.50	5.07	1.82	1.067	4.52	2.08	0.902

表 8 計畫堤岸高度與採用工法

Table 8 The suggested riverbank working methods of the ecotechnology in this study

斷號	斷面累距 (m)	渠底高程 (m)	水位高(m)	堤頂高程 (m)	堤岸高度 (m)	建議採用工法
1	0	25.35	29.22	29.22	3.87	箱籠
2	270	25.63	29.41	29.91	4.26	箱籠
3	407	26.87	29.61	30.6	3.73	箱籠
4	480	27.27	29.75	31.22	3.95	箱籠
5	525	26.85	29.86	30.35	3.5	箱籠
6	581	27.63	30.02	30.63	3.00	箱籠
7	688	28.32	30.41	31.32	3.00	箱籠
8	797	28.51	30.90	31.51	3.00	箱籠
9	932	29.58	31.59	32.58	3.00	漿砌石
10	1080	29.77	32.39	32.79	3.02	箱籠
11	1240	31.15	33.29	34.15	3.00	箱籠
12	1335	31.50	33.83	1.82	1.07	箱籠

3. 規劃設計

柳川幹線下游區段可配合將來烏日鄉都市計畫劃定之排水路線施設，其護岸則可考慮採用箱籠工法設計。其中柳川排水路中 0K+000~1K+240 段屬台中縣烏日鄉行政區域，參酌烏日鄉都市計畫劃定河道寬度計畫斷面採背水堤設計，而有關堤岸高度及採行工法整理如表 8 所示，其中斷面 1~8 及 10~12 之護岸採箱籠工法設計；而由於斷面 9 緊鄰住家，故建議採傳統的漿砌石工法設計護岸，且 2~12 斷面之堤岸出水高至少為 0.5m。

其中柳川接旱溪出口附近為烏日鄉都市計畫 10 號公園預定地 (0k+000~ 0k+480)，因此本文建議可將

該處規劃為滯洪區，公園的設置則可考慮設計為河濱公園或溼地公園。

4. 魚類棲地面積探討

本文另以水平二維模式 TABS-2 模擬前述案例之魚類棲地。根據過去的文獻 (葉明峰等, 2000) 指出，較弱小的台灣鏢鱗魚在進行巡航泳速測試時，在流速超過 1.2 m/sec 的情況下，很難游泳超過 30 分鐘；另，根據葉明峰等 (2000) 研究結果發現，鯉科及蝦虎科魚種最適流速分別為 0.2 及 0.3 m/sec，且當流速超過 1.2 m/sec 時，其適合度均降為 0；礙於目前現有文獻僅有前述資料可供援引，因此本文據以假設流速低於 1.2 m/sec 之區域為魚類理想之水理棲地。

本文根據上述文獻回顧之論述結果，進行魚類水理棲地改善模擬，並將河道中流速低於 1.2 m/sec 的區域視為魚類優良之水理棲地；結果發現加入生態工法後，魚類棲地可有效增加，若再搭配適當的護岸工（如丁壩工等），將可形成各種不同之水流流況（如灘、瀨、流等），可滿足不同水生動物棲息所需，而緩流區也可做為魚類在洪氾時期躲藏的地點（胡通哲等，

2003）。

而二維數值模式主要功能在於提供需進行局部斷面設計時，能模擬至局部水理現象（local phenomenon），並可於河道中適當調整曼寧 n 值等參數的方法表現不同工法對渠道水位、流速的影響，這些水理參數可作為穩定性分析、邊坡穩定及工法成本的計算基礎。

模擬區域

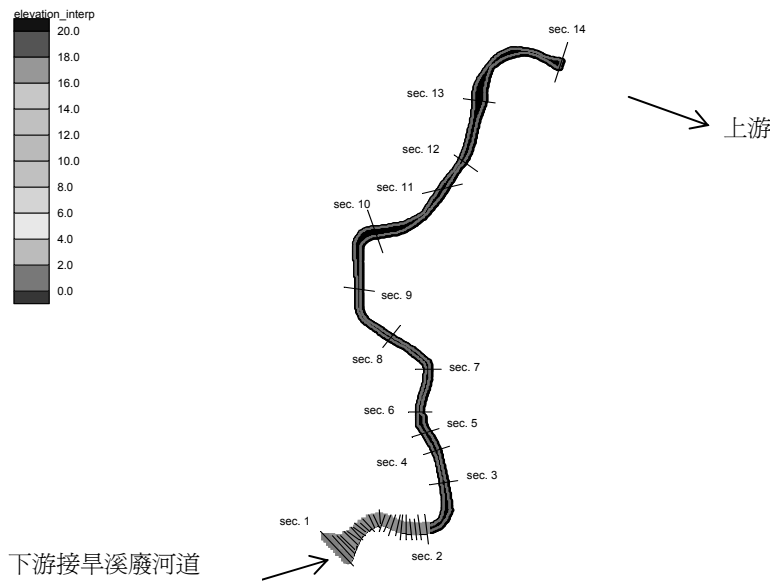


圖 4 柳川排水研究區域示意圖

Fig.4 The study area of two dimensional simulations from upstream to downstream of Liu stream

模擬條件：（上游流量：158cms、下游水位：27.62m）第 1~2 斷面有限元素切分圖：（1329 個 element、4198 個 node）

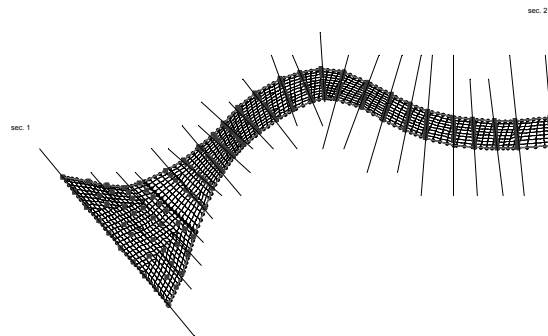


圖 5 模擬區域有限元素切割圖 (1329 個 element、4198 個 node)

Fig.5 The mesh grids of finite elements in the study site

模擬結果

(1) 水深

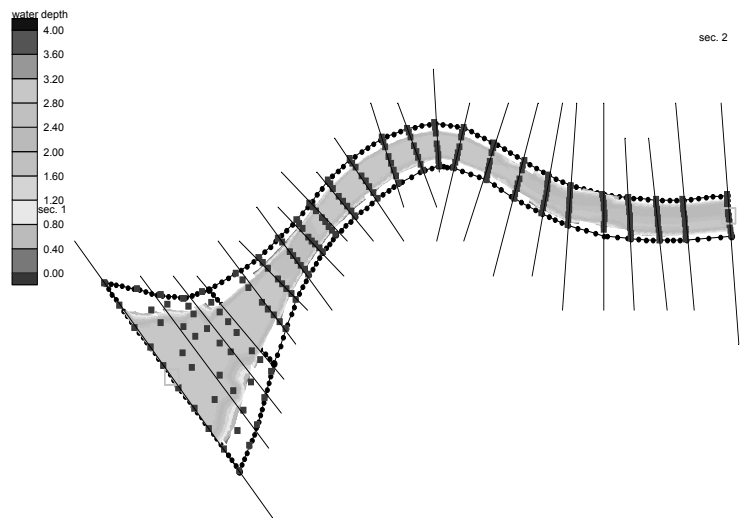


圖 6 模擬區域水深分布圖(最大水深：3.09m；平均水深：2.38m)
Fig.6 The spatial variations of the water depth

(2) 流速

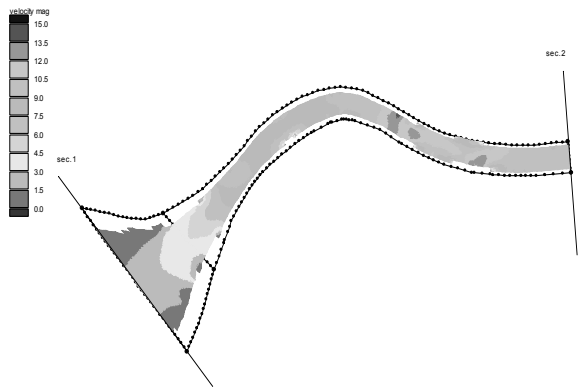


圖 7 模擬區域流速分布圖（平均流速 6.4 m/sec；標準差 3.65 m/sec）
Fig.7 The spatial variations of the water velocity

(3) 當曼寧 n 值分別為 0.025 及 0.03 情況下，流速低於 1.2m/s 的區域面積比較結果，示如下表：

曼寧 n	面積（v < 1.2 m/sec）
0.025	178.58 (m ²)
0.03	202.52(m ²)

在此模擬案例中，因曼寧 n 值提高（反應渠道中施設生態工法），將使渠道流速降低，則低於 1.2 m/sec 流速的面積增加約 13.4%，由此可知，在不考慮河川水質（如溶氧量、酸鹼值、營

養鹽、水溫、懸浮質濃度及河川底質等)的情況
下,應用生態工法對魚類水棲棲地(流速、水深)
將有正面的助益,可有效提升其棲地面積。

四、結論與建議

1. 本文以擬似二維 NETSTARS 模式進行柳川區域排水渠道水理分析,並於水理分析後,求出計畫水位再據以決定護岸高度。若所有的生態工法皆無法通過通洪要求,則建議仍採用較高強度的工法(如鋼筋混凝土工法)。
2. 以柳川區域排水整治段為例,若以箱籠護岸構築,則曼寧 n 值設為 0.03,且以 10 年頻率洪水量進行模擬,所得模擬斷面平均流速為 1.82 - 4.53 m/sec,此流速對游泳性魚類的負荷可能過大;而箱籠護岸的多孔隙材質正好可提供魚類的避難與棲息場所,對生態是正面的。且箱籠護岸於數次洪水過後,孔隙便會存留沃土,可提供植物生長,對景觀綠化亦有助益。
3. 根據水理模擬結果,本文據以完成柳川區排断面 1 至断面 12 之護岸設計,其中除了第 9 號断面緊鄰住家,建議採用漿砌石工法外,其餘断面均建議採用具較佳生態性的箱籠工法。
4. 本文另針對柳川區排下游段,利用水平二維 TABS-2 模式模擬魚類棲地改變情形,結果發現施設生態工法將增加魚類棲地面積達 13.4% (小於 1.2 m/sec 之面積),由此可見生態工法有利於營造較佳之魚類棲地環境。

參考文獻

1. 台灣省水利規劃試驗所(1988),「區域排水規劃」。
2. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2000),「台中旱溪廢河道排水檢討規劃報告」。
3. 胡通哲、施上粟、李鴻源(2003),「生態工法水理數值分析之研究—以多望溪為例」,中華水土保持學報,第 34(2):95-100。
4. 李鴻源、胡通哲、施上粟、黃巧雲、陳正昌(2002),「區域排水生態工法規劃設計之研究」,經濟部水利署水利規劃試驗所。
5. 沈學汶、陳樹群(1998),「河川流域生態保育之目標與指標」,中華水土保持學報 29(2):165-173。
6. 行政院農業委員會特有生物研究保育中心(2001),「棲地復育、保育與生態水利工程規劃設計試驗研究」,經濟部水利署水利規劃試驗所委

託。

7. 逢甲大學水利系(1999),「防洪及護岸預鑄塊體之糙度與厚度分析」,逢甲大學水利系水工試驗室報告 88-1,台灣生態科技股份有限公司委託。
8. 葉明峰、李訓煌、張世倉(2000),「台灣鏟頰魚及台灣石鱚游泳能力之研究」,行政院農業委員會特有生物研究保育中心,棲地生態組。
9. Brigham Young University-Environmental Modeling Research Laboratory (2000), *Users Manual: Open-Channel Flow and Sedimentation*, BOSS International, Inc. and Brigham Young University.
10. Lee, H.Y., H.M. Hsieh, J.C. Yang and C.T. Yang, (1997), "Quasi Two-Dimensional Simulation of Scour and Deposition in an Alluvial Channel," *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 123(3): 600-609.
11. Limerinos, J. T. (1970), *Determination of the Manning coefficient from measured bed roughness in nature channels*, U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1898-B, Federal Center, Colo.
12. Mitsch, W. J. and S. E. Jorgensen (1989), *Ecological Engineering*, John Wiley & Sons, Inc.
13. Odum, H. T. (1983), *Systems Ecology: An introduction*, Wiley, New York, 644.
14. Woody, L. C. (1956), "Estimating hydraulic roughness coefficients," *Agricultural Engineering*, 37 (7): 473-475.

2004 年 3 月 29 日 收稿

2004 年 5 月 17 日 修正

2004 年 6 月 28 日 接受

(本文開放討論至 2005 年 3 月 31 日)