

應用水理數值模式於生態工法規劃設計之研究

施上粟¹、李鴻源²、胡通哲³

摘要

本研究以一維數值水理模式 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公法的基礎。本研究以台中柳川區域排水為例進行柳川未整治渠段之通水能力檢討，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。分別以重現期距 2、5、10 年的洪水量進行演算，模擬範圍為柳川第 1 斷面至第 24 號斷面，模擬結果發現，2 年、5 年及 10 年洪峰流量下，水位高於原有護岸，亦即是會淹水。現有自然渠道斷面 7~8 及 8~9 間會發生水躍。

本文建議應適當整治原有渠道，並假設以第 14 號斷面為範例斷面（接近梯形渠道），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雙重考量；若是以 10 年頻率洪水設計渠道，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 RC 堤防為主。

關鍵詞：水理數值模式、生態工法、水躍

On Hydraulic Characteristics Research of Ecological Engineering Design in Liu Regional Drainage, Taichung County

Shang-Shu Shih¹ Hong-Yuan Lee² Tung-Jer Hu³

ABSTRACT

Based on the applications of ecological engineering design, the one-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, can be used as the basis of the ecological engineering design. The cross-sectional w.s.e was obtained and used to evaluate if the water bypasses the river bank.

¹國立台灣大學土木工程學系 博士班研究生

²國立台灣大學土木工程學系 教授

³蘭陽技術學院土木工程系 助理教授

The results showed that all cross-sections are in the danger of overflow under the flood events of 2, 5 and 10 years. Moreover, hydraulic-jumps occurred in the river paragraphs between 7nd and 8rd, 8th and 9th cross-sections. The suggestions of channel improvement were also brought up in this study.

Keywords : Hydraulic numerical model, Ecological Engineering, Hydraulic jump

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, 1988)。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，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；但於郊區則可以優先考慮較具生態價值的工法 (李等, 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。

區域排水之定義在台灣水利法施行細則係指農田排水、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水。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，再進行景觀生態的分析與設計。本文提出四種護岸生態工法加以分析：砌石護岸、箱籠護岸、加勁工法及木排樁護岸工法，各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

工法	生態性影響	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	較鋼筋混凝土佳	較鋼筋混凝土佳	高	低	0.025
砌石護岸	佳	普通	中	中	0.021-0.029
箱籠護岸	佳	佳	中	中	0.025-0.030
加勁護岸- 木條面板	普通	普通	中	高	0.025-0.030
加勁護岸- 混凝土 (生態塊面板)	普通	普通	中	高	0.025

木排椿護岸	極佳	極佳	低	高	0.025-0.030
-------	----	----	---	---	-------------

注：本表粗糙係數參考文獻 1、5 及「排水規劃工程設計基準」(81.12.18 水企字第 56552 號函)

二、研究方法及材料

1. 一維水理數值模式

本文採用擬似二維 (Quasi-2D) NETSTARS 模式分析流況變化，NETSTARS 模式水理模擬具有定量流、變量流演算及二種不同的迴水演算模式；定量流演算係根據一維能量方程式配合節點連續關係，差分聯立求解水位及流量值；變量流演算則係根據 de Saint Venant 之一維渠道變量流連續及動量方程式再配合節點連續關係差分聯立求解水位及流量值，迴水演算方法係均根據一維能量方程式先求解單一河道水位，再由節點水位修正流量法則，並據此計算整個河系的水位及流量，此時節點所連接的河道水位應趨於一致。

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

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

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=單位河斷長度之側流量；

α =動量修正係數；

g=重力加速度；

y=水位；

Sf=，摩擦(能量線)坡度；

K=輸水容量。

本模式細節請參考文獻 8。

2. 柳川區域排水簡介

本研究以台中縣市界柳川區域排水為例，範圍從柳川第 12 號斷面 (上游)，至柳川排出口第 1 號斷面 (接早溪廢河道，下游)，

為尚未整治河道，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崙溪附近，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早溪廢河道排水路，為跨縣市排水路，流經之縣市長度比例為 32：68。柳川區排地理位置示意圖如下所示：

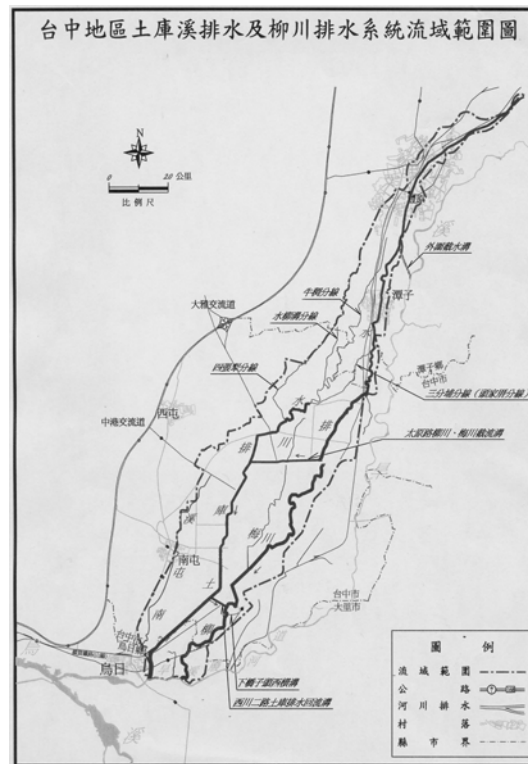


圖1 研究案例為位置示意圖

本排水屬早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 Km²，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 Km²，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，易受早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，如下表所示：

表 2 旱溪廢河道排水柳川匯流前控制點 H-Q 關係

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

3.水理模擬分析

渠道通洪能力分析依據下述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工法。

三、結果與討論

1.結果

(1)整治前（原始河道）

以一維數值模式 NETSTARS 進行柳川未整治渠段之通水能力檢討，由模擬所得之水位高程檢討洪水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，2年、5年及10年洪峰流量下，水位高於原有護岸，亦即是會淹水。現有自然渠道断面7~8及8~9間會發生水躍。各断面在不同重現期距洪峰流量下之模擬水深及底床高程比較如圖2。

排水渠道下游出口局部地區地勢較低且大部份均未完成整治或護岸老舊破損，易受排水出口之旱溪廢河道外水位頂托影響；較上游接近台中市區渠段則因為已完成整治，堤岸較高，不易發生洪水溢堤。除第一断面（受外水位邊界條件影響）及部分断面（断面4、断面8,曼寧n為0.03時發生溢堤）外，均可通過重現期距2年洪水。断面1、3、4、7無法通過重現期距5年洪水，其餘断面均可通過。断面1~8無法通過重現期距10年洪水，需要整治。

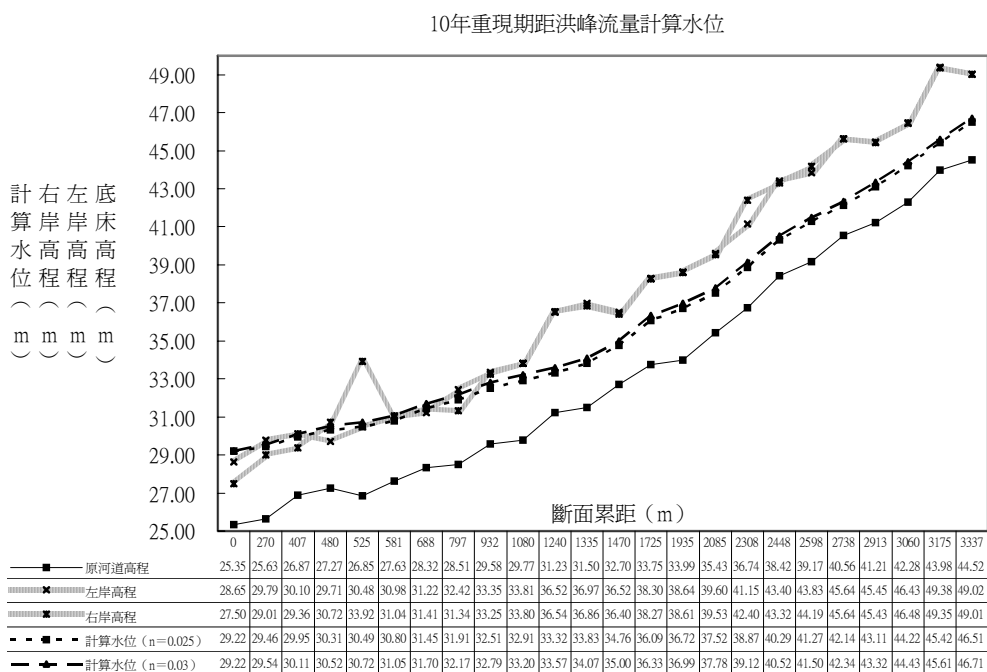


圖2 重現期距10年之水理分析水面剖線（整治前）

(2) 整治後（整治河道）

以 NETSTARS 模式進行柳川整治渠段之水力分析，分別模擬不同重現期距洪水量之水位與流速 (n=0.025 及 0.030)，其中圖 3 為重現期距 10 年之水位線、底床高與左右岸高

程。除了第一斷面外受外水位影響外，其餘斷面均能通過重現期距 2 年及 5 年的洪水。第 1~4 斷面無法通過重現期距 10 年洪水，如果要保護堤外區域，需要加高背水堤。

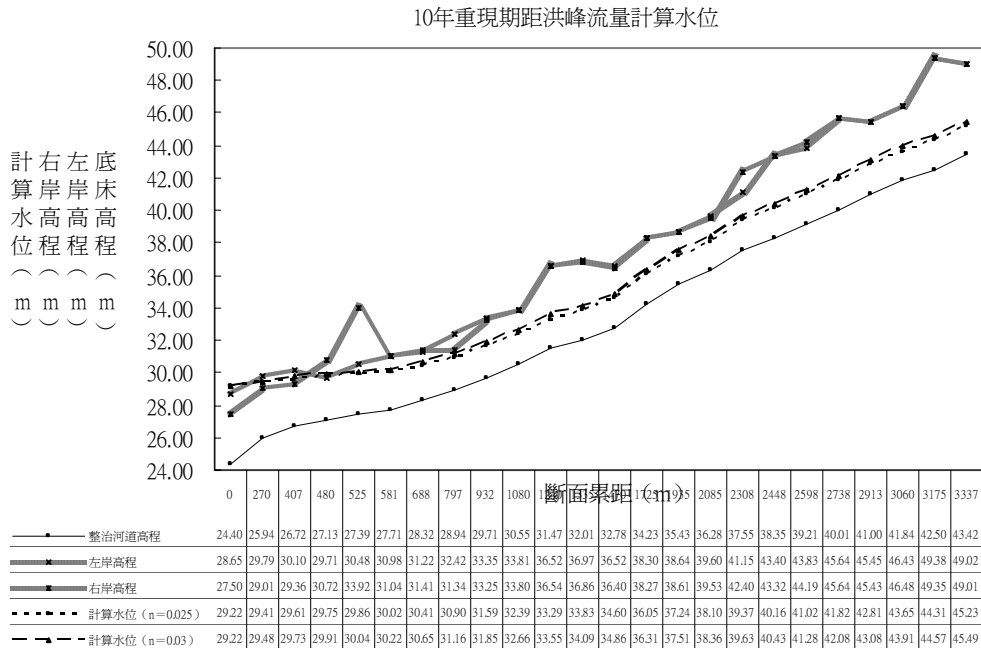


圖3 重現期距10年之水力分析水面剖線（整治後）

2. 討論

由前述模擬結果得知，在原始渠道加入生態工法，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 14 號斷面為範例斷面（接近梯型渠道），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雙重考量；若是以 10 年頻率洪水設計渠道，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，發現在曼寧 n 值 0.025 情況下，渠道水流速度較快，因此叫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），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。整理如表 3 所示：

表 3 10 年重現期距洪峰流量

斷 號	斷面累距	現況渠底 高程	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
.
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

3. 規劃設計

柳川幹線下游區段配合將來烏日鄉都市計畫劃定之排水路線施設，其護岸採箱籠工法。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，有關堤岸高度及採行工法如表 4，其中斷面 1~8 及 10-12 採箱籠工法，斷面 9 由於緊鄰住家，

建議採傳統的漿砌石工法，斷面 2~12 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)，本文建議可將該處規劃為滯洪區，公園的設置則可設計為河濱公園或溼地公園。規劃設計採用工法如下表 4 所示：

表 4 計畫堤岸高度與採用工法

斷面編 號	斷面累距	現況渠底 高程				
			水位高(m)	堤頂高程 (m)	堤岸高度 (m)	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	箱籠
7	688	28.32	30.41	31.32	3	箱籠
8	797	28.51	30.90	31.51	3	箱籠
9	932	29.58	31.59	32.58	3	漿砌石
10	1080	29.77	32.39	32.79	3.02	箱籠
11	1240	31.15	33.29	34.15	3	箱籠
12	1335	31.50	33.83	34.15	3	箱籠

四、結論

1. 本文將柳川區域排水渠道進行一維 NETSTARS 水理分析，該模式能夠模擬臨界流、超臨界流與水躍交界的現象，於水理分析後，求出計畫水位後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，則建議仍採用高強度的工法。
2. 在柳川區域排水整治段為例，若是以箱籠護岸構築，曼寧 n 值設為 0.03，以一維數值模式 NETSTAR 進行水理模擬，以 10 年頻率洪水量，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較大，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。而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，對景觀綠化有所助益。
3. 根據水理模擬分析，本文據以完成柳川區排斷面 1 至斷面 12 之護岸設計，其中除了第 9 號斷面緊鄰住家，建議採用漿砌石工法外，其餘斷面均建議採用具較佳生態性之箱籠工法。

參考文獻

1. 台灣省水利規劃試驗所 (1988)，區域排水規劃。
2. 胡通哲、施上粟、李鴻源，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 卷，第二期，2003。
3. 李鴻源、胡通哲、施上粟、黃巧雲、陳正昌，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，November，2002。
4. 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。
5. 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。
6. Lee, H.Y., Hsieh, H.M., Yang, J.C., and Yang, C.T., Quasi Two-Dimensional Simulation of Scour and Deposition in an Alluvial Channel, ASCE Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 123, No. 7, July 1997.
7. 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.
8. Mitsch, W. F. and S. E. Jorgensen (1989), Ecological Engineering, John Wiley & Sons, Inc.
9. Odum, H. T. (1983), Systems Ecology: An introduction, Wiley, New York, 644.
10. Odum, H. T. (1971), Environment, Power and Society, Wiley, New York.
11. Ugarte, A. and M. Madrid (1994), Roughness coefficient in mountain rivers, Proceeding of Hydraulic Engineering 94', ASCE, Reston, Va., pp.625-656.
12. Woody, L. C. (1956), Estimating hydraulic roughness coefficients, Agricultural Engineering, 37 (7): 473-475.