

應用MATLAB於北港溪流域水質淨化改善之研究

陳鈞華⁽¹⁾、宋建明⁽²⁾、鄭富尚⁽³⁾、徐貴新⁽⁴⁾、甘俊二⁽⁵⁾

⁽¹⁾屏東科技大學土木工程系副教授、水利技師

⁽²⁾屏東科技大學土木所博士班

⁽³⁾屏東科技大學土木所碩士班

⁽⁴⁾東南科技大學環境管理系副教授兼研發處處長、水利技師

⁽⁵⁾七星農田水利研究發展基金會董事長、水利技師

摘 要

本研究利用 MATLAB 建模進行北港溪河段(從北港大橋站至榮橋站)水質模擬研究，包括生化需氧量(Biochemical Oxygen Demand, BOD₅)和飽合溶氧量(Dissolved oxygen saturation, DOs)之河段斷面出流之結果。以環保署之 4 處水質監測站資料進行北港溪主流和支流之涵容能力分析，以 MATLAB 模式評估模擬下游出流值流量降低 1/2 則 BOD₅ 會由 11.3468mg/L 降低至 11.0704mg/L，將 DOs 9.2444% 支流流量降低至 9.1975% BOD₅ 和 DOs 則會提高 1 倍。經敏感度分析和校正、驗證後，由模擬資料結果顯示，與實測資料相符(調整後 R²=0.973)。故本研究依北港溪基本水文、水質資料，經 MATLAB 建模架構之河段模式，可有效評估北港溪河段 BOD₅ 和 DOs 之水質變化，可供接續研究者之改善北港溪部分河段水質之參考依據。

關鍵詞：北港溪、生化需氧量、飽合溶氧量、水質模擬、水質改善

一、前言

面對已遭受污染的環境，首先要掌握污染源，以便針對其研擬治本的方案。再則根據收集之各項測定指標。依據環保署(2008)報告指出台灣地區受污染河川長度佔全台河川總長之 38.2%，特別於西岸河川之中下游段多為中度之重度污染。因此

本研究以河川水質模式進行模擬評估排水路水質改善後對主流之影響，故本文將以本港溪流域為研究對象，將本港溪四條主要支流利用 MATLAB 進行模擬，透過水質模擬軟體的預測，推估北港溪支流之 BOD 和 DOs 濃度的預測。

二、文獻回顧

本研究依模擬出如要降低 BOD 可將下游支流流量降低一半則 BOD 變化為

11.3468mg/L 降為 11.0704mg/L，但 DOs 為 9.2444% 降為 9.1975% 如支流流量增加

一倍 BOD 會由原來的 11.3468 mg/L 增加為 12.0762 mg/L，DOs 為 9.24444% 增為 9.36837%。與北港溪土庫大橋測站實際監測資料、排水路資料為「應用生態工法整治河川污染調查研究計畫」報告之水質資

三、MATLAB 模式理論

多河段水質模型的 MATLAB 對河流水質進行長距離模擬時，可以把河流分為若干河段，每一段的水文條件基本相同，通過對每一段的模擬選到對全部流程進行水質模擬的目的。關於多河段水質模型，目前主要是以 S-P 模型為基礎構建起來的，可用於模擬河流的 BOD 和 DO，以下簡要給出該模型的構成，並給出利用 MATLAB 求解的程式。

首先給出構建該模型的意識圖。在一條河流上，經常有多個排污口和多個控制斷面。如果將其分為 n 段，則共有 n+1 個節點。節點編號由上游到下游依次為 0, 1, 2, ..., i, i+1, ..., n。其節點 0 帶表上游輸入斷面，n 代表下游輸出斷面。

圖中， Q_i 為節點 i 處由遊排污口排入河流的污水量， m^3/s ； Q_{1i} 由上游到斷面 i 的河水量， m^3/s ； Q_{2i} 為由斷面 i 向下游輸出的水量， m^3/s ； Q_{3i} 為斷面 i 外處引走的水量， m^3/s ； $L_i(O_i)$ 為斷面 i 外排污口的 BOD(DO) 濃度，mg/L； $L_{1i}(O_{1i})$ 為由上游流到斷面 i 的河水 BOD(DO) 濃度，mg/L； $L_{2i}(O_{2i})$ 由斷面 i 向下游輸送河水的 (BOD)DO 濃度 mg/L； $k_{1i}(k_{2i})$ 表示 i 斷面與 $i-1$ 斷面之間的 BOD 衰減(大氣復氧)速

料。結果顯示 BOD 及 DOs 之顯示模擬的結果與實測值趨勢之相同，以及與模擬北港溪水質變化之趨勢一致，由此可知本模擬可供為模擬本河段水質改善變化趨勢之用。

率常數， d^{-1} ； t_i 表示河水由 $i-1$ 斷面到 i 斷面的平均時間， d 。

對於 BOD 的模擬，可表示為：

$$UL+M=L_2$$

式中 L_2 表示各斷面輸出的 BOD 濃度向量； L 表示各斷面輸出的 BOD 濃度向量； U 表示 BOD 響應矩陣， $U=A^{-1}B$ ； M 表示初始斷面影響， $M=A^{-1}G$ 。進一步， A 、 B 、 G 可分別表示為：

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -a_1 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -a_2 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & -a_{n-1} & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$B = \begin{bmatrix} b_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & b_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & b_3 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & b_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$G = \begin{bmatrix} a_0 L_{20} \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

上述矩陣中的元述表示為： $a_{i-1} = \alpha_i(Q_{1i}-Q_{3i})Q_{2i}$ ， $b_i=Q_i/Q_{2i}$ ， $\alpha_i \exp(-k_{1i}t_i)$ 。對於 do 的模擬，可以表示為： $VL+M=O_2$

式中 O_2 表示各斷面輸出的 DO 濃度向量； L 表示各斷面輸出的 BOD 濃度向量； V 表示 DO 響應矩陣， $V=-C^{-1}DA^{-1}B$ ； N 表示初始斷面影響， $N=C^{-1}BO+C^{-1}(F+H)-C^{-1}DA^{-1}G$ ；其中的 A、B、G 同前， O 表示各個斷面輸入的 DO 濃度向量，其餘符號表示為：

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -C_1 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -C_2 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & -a_{n-1} & 1 \end{bmatrix} D =$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -d_1 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -d_2 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & -d_{n-1} & 1 \end{bmatrix}$$

四、結果與討論

北港溪 2009 年如水質、水量監測紀錄之平均值、最大值、最小值如表 1 所列，由圖 1 顯示流量最大值為八月、最小值為二月；圖 2 為 2009 年 BOD 與 DO 濃度變化趨勢圖，顯示 BOD 最大值為四月最小值為十月。

由今年 2010 年一月資料應用本研究以 S-P 模型建構之不均勻流河段模擬之結果如表 3 所列，可之結果如圖 3、4、5、6、7 所示；圖上方型線段為榮橋、土庫橋、和平橋、北港大橋下游段面之飽合溶氧值，圖上凌型線段為榮橋、土庫橋、和平橋、北港大橋下游段面之 BOD₅ 變化在趨

$$F = \begin{bmatrix} f_0 \\ f_1 \\ f_2 \\ \dots \\ f_{n-1} \end{bmatrix}, G = \begin{bmatrix} h1 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}$$

上述矩陣中的元素表示為： $c_{i-1} = \gamma_i(Q_{li} - Q_{3i})/Q_{2i}$ ， $d_{i-1} = \beta_i(Q_{li} - Q_{3i})/Q_{2i}$ ， $f_{i-1} = \delta_i(Q_{li} - Q_{3i})/Q_{2i}$ ， $h1 = c_0O_{20} - d_0L_{20}$ 。其中， $\gamma_i = \exp(-k_{2i}t_i)$ ， $\beta_i = k_{li}(\alpha_i - \gamma_i)/(k_{2i} - k_{li})$ ， $\gamma_i = O_s(1 - \gamma_i)$ 。

勢上並無太大的變化以指數回歸可知 $y=107.5e^{-0.04x}$ ， $X, R^2=(y$ 為 DOs%， X 為側站點 1、2、3、4)，可是為一經驗式。可靠判斷北港溪 DOs 變化。輸入條件如下：上游邊界為土庫大橋測站實際監測資料、排水路資料為「應用生態工法整治河川污染調查研究計畫」報告(環保署，2008)之水質資料(表 2)。結果顯示 BOD 及 DOs 之顯示模擬的結果與實測值趨勢之相同。

由模擬資料顯示，選定之河段資料 DOs、BOD 及水質項目模擬結果與實測值趨勢相符；由 QUAL2K 報告中指出枯水期之 DO 及 BOD 模擬結果較佳，並與陳貞

華(2006)模擬北港溪水質變化之趨勢一致，驗證結果相同，因此河段基本加設資

料可供為模擬本河段水質改善變化趨勢之用。

五、結果與建議

1、S-P 多河段分析模擬運用 matlab code 編撰，結合了 SPSS 進行統計檢定，可依據使用者所給予之水質參數條件進行河川水質模擬演算，此方法可快速有效評估河川 BOD 與 DO 變化情形並有效改善當地排水路水質。

2.本研究依模式中模擬欲降低 BOD 可將下游支流流量降低一半則 BOD 變化為 11.3468mg/L 降為 11.0704mg/L，但 DOs 為 92.444%降為 9.1975%如支流流量增加一倍 BOD 會由原來的 11.3468 mg/L 表 1 監測紀錄之平均、最大最小值

增加為 12.0762 mg/L，DOs 為 9.24444% 增為 9.36837%。

3.本研究基於建立一套合理適當之評估 BOD、DOs 模式北港溪河川，但台灣雨量流沛過多的流量會影響模式的精確性，故建議於評估重要河川時，需考量河川中流量變化是否劇大，而採用更有效之污染排放管制模式和措施。

測站	項目	Q (CMS)	Temp. (°C)	EC (µmho/cm25°C)	SS (mg/L)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	NO3 ⁻ -N (mg/L)
土庫橋	平均值	12.1	26.3	707.5	211.3	4.9	9.2	1.0
	最大值	40.6	30.6	1160.0	764.0	7.5	16.9	1.2
	最小值	4.1	17.6	530.0	58.5	2.6	3.0	0.4
北港大橋	平均值	28.1	25.7	755.0	150.7	4.9	6.3	4.4
	最大值	96.7	33.5	1000.0	840.0	6.8	11.6	7.5
	最小值	13.5	17.3	320.0	36.9	3.0	2.7	1.1

資料來源：環保署監測網，2009

圖 1 SS、流量變化趨勢圖

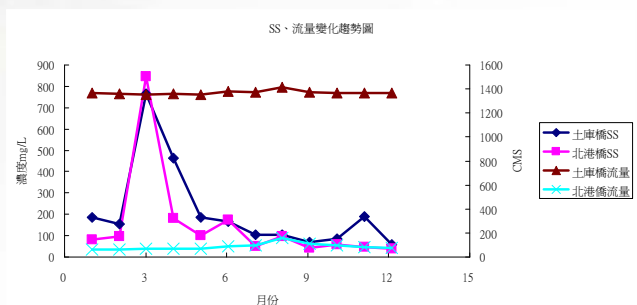


表 3 模擬結果

表 2 模擬範圍內排水路之水質條件

排水路名稱	Q (cms)	Temp. (°C)	EC (µmho/cm25°C)	SS (mg/L)	DO (mg/L)	CBOD (mg/L)	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)
大湖口溪	0.39	32.0	618	36.9	6.3	6.8	2.56
田子林	0.32	31.1	600	48.3	2.1	4.3	4.48
楠仔	0.17	31.1	1,280	436	1.5	459.0	62.20
鹿寮	3.29	29.0	718	29.3	1.8	11.7	1.14
新田	0.02	29.0	546	111	2.5	7.3	0.86

資料來源：環保署，2008。

	模擬 1		模擬 2		模擬 3		模擬 4		模擬 5	
	BOD	DOs	BOD	DOs	BOD	DOs	BOD	DOs	BOD	DOs
榮橋	10.59	59.86	10.59	59.86	10.59	59.86	10.59	59.86	10.59	59.86
土庫橋	10.66	29.82	10.66	29.82	10.66	29.82	10.66	29.82	10.66	29.82
和平橋	8.68	12.77	8.89	13.36	8.68	12.77	8.68	12.77	8.68	12.77
北港大橋	11.34	9.244	12.24	9.80	12.07	9.36	13.19	9.55	11.07	9.19



圖 3 入流值 0 出流值 1(北港大橋)

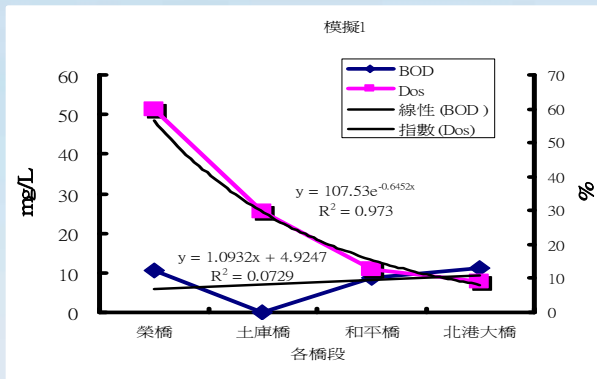


圖 4 入流值 2(和平橋) 出流值 1(北港大橋)

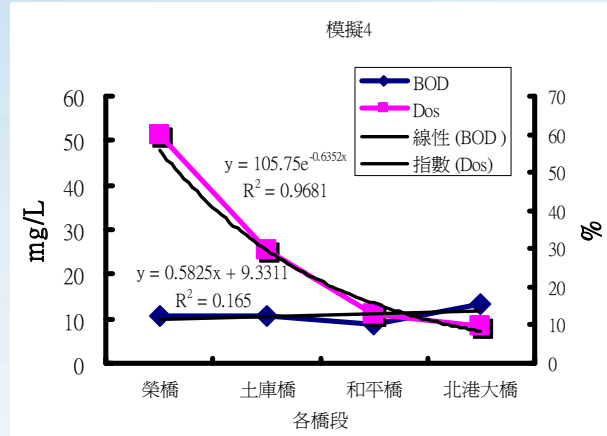


圖 7 入流值 0 出流值 1(北港大橋)

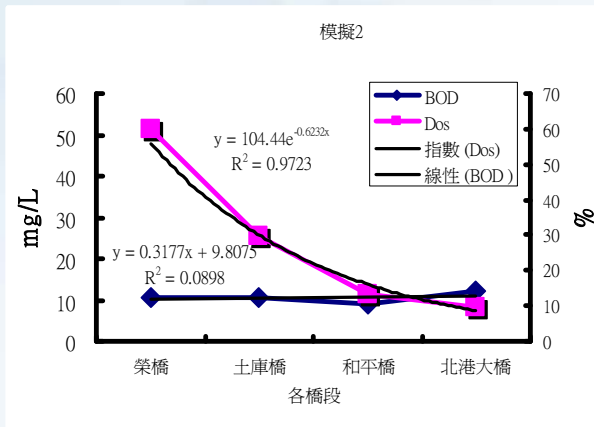


圖 5 入流值 0 出流值 4(北港大橋)

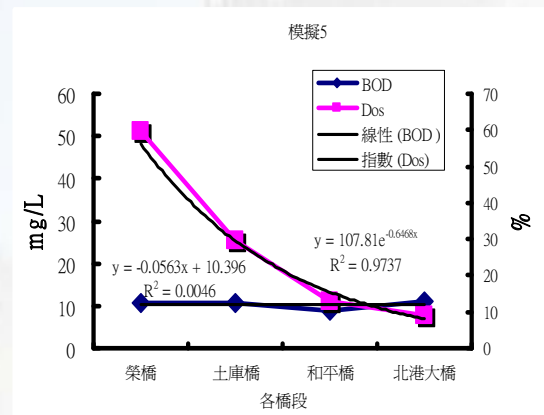
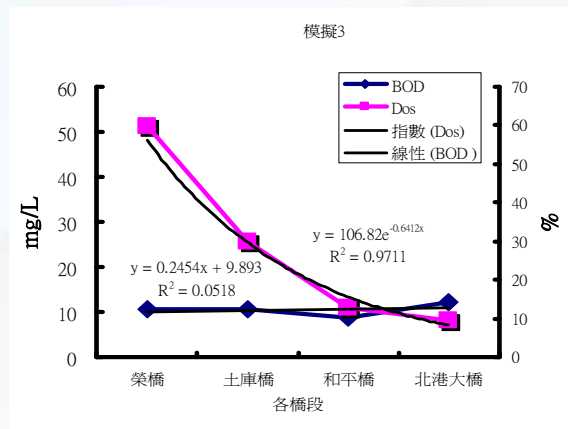


圖 6 入流值 0 出流值 6(北港大橋)



參考文獻

1. Babita Tyagi , Sunita Gakkhar , D.S. Bhargava ,1999, Mathematical modelling of stream DO–BOD accounting for settleable BOD and periodically varying BOD source.
2. Chen Fengwen, Lin Xiude , 2009, QUAL2K model was applied to river water purification site evaluation - to Beigang River Basin. (In Chinese)
3. Chen Chen-hua , 2006, Application of Ecological Engineering Investigation of water pollution remediation plan - to Beigang example, "the researchers report. (In Chinese)
4. Christos S. Akrotas, John N.E. Papaspyros, Vassilios A. Tsihrintzis , 2008, An artificial neural network model and design equations for BOD and COD removal prediction in horizontal subsurface flow constructed wetlands .
5. Fulvio Boano , Roberto Revelli, Luca Ridolfi ,2006, Stochastic modelling of DO and BOD components in a streamwith random inputs.
6. Malik L. Hamia, M.A. Al-Hashimib, M.M. Al-Doori, 2007, Effect of activated carbon on BOD and COD removal in a dissolved air flotation unit treating refinery wastewater.
7. Rani Devi , Dahiya R.P 2007 COD and BOD removal from domestic wastewater generated in decentralised sectors
8. Shrestha , S Kazama , F Newham, L.T.H , 2008, A framework for estimating pollutant export coefficients from long-term in-stream water quality monitoring data .
9. William T. Stringfellow , Jeremy S. Hanlon , Sharon E. Borglin , Nigel W.T. Quinn ,2008, Comparison of wetland and agriculture drainage as sources of biochemical oxygen demand to the San Joaquin River, California
10. 環保署(2008) 「應用生態工法整治河川污染調查研究計畫」報告。

收稿：100年5月4日
修改：100年5月7日
接受：100年5月11日