

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 暴雨期間河川水質模式設計流量之研究(二)

A Study on Design Flow for River Water Quality Modeling during Storm Periods( )

計畫編號：NSC 89-2211-E-002-044

執行期限：88 年 08 月 01 日至 89 年 07 月 31 日

主持人：郭振泰 國立台灣大學土木系 教授

### 一、中文摘要

在河川水質模擬預測與涵容能力分析時，台灣地區一般採用  $Q_{75}$ ，而在美國則採用  $Q_{7,10}$ ，不論  $Q_{75}$  或是  $Q_{7,10}$  均強調枯水期流量，因此其水質模式所考慮之主要污染物負荷乃為點源污染物。本研究目的主要是探討暴雨期非點源污染傳輸之複雜現象，利用美國環保署發展的 BASINS 模式中之非點源污染模式 NPSM 及一維動態河川水質模式 CE-QUAL-RIV1，考慮不同暴雨型式之非點源污染傳輸的情形，以及污染物進入河川後對河川水質所造成的影響，並比較暴雨期與枯水期河川水質之差異，進而訂定設計雨型與河川設計流量。

關鍵詞：點源污染、非點源污染、BASINS 模式、CE-QUAL-RIV1 模式、設計雨型、設計流量

### Abstract

For a design flow,  $Q_{75}$  is used in river quality simulation in Taiwan and  $Q_{7,10}$  is used in U.S.A. No matter using  $Q_{75}$  or  $Q_{7,10}$ , it emphasizes the flow in the dry period, and it only takes account of point source pollution.

The purpose of this research is to investigate the transport of the nonpoint source pollution during the storm period. This research use the NPSM model of the BASINS developed by U.S. EPA and the CE-QUAL-RIV1, one dimensional river water quality model, to simulate the transport of the nonpoint source pollution during the storm period, and compare the difference of the river water

quality between the storm and dry periods. Finally, the design storm and design flow for nonpoint source pollution simulation in a river is decided.

Keywords: point source pollution, nonpoint source pollution, BASINS model, CE-QUAL-RIV1 model, design storm, design flow.

### 二、緣由與目的

在水質模擬預測與涵容能力分析時，台灣地區一般採用  $Q_{75}$ ，而在美國則採用  $Q_{7,10}$ ，不論  $Q_{75}$  或是  $Q_{7,10}$  均強調枯水期流量，因此其水質模式所考慮之主要污染物負荷乃為點源污染 ( point source pollution )。

設計暴雨與降雨頻率及延時均有關係，而不同的暴雨型式對集水區 ( 包括都市 ) 的污染物傳輸與河川水質均有顯著的影響。暴雨期的河川流量為非穩態 ( unsteady )，其與降雨型式、集水區面積、形狀和河道特性皆有關係，此時非點源污染的傳輸亦十分地複雜。暴雨時期，河川中污染物負荷量因非點源污染而增加，同時河川流量也比枯水期時高出許多，故河川中污染物的濃度不一定比枯水期時來的高，必須深入探討並做比較。除此之外，暴雨期之河川設計流量應如何決定，現今仍無定論，有必要針對此問題做進一步的模擬分析。

本研究目的主要是探討暴雨期非點源污染傳輸之複雜現象，利用美國環保署發展的 BASINS 模式中之非點源污染模式 NPSM 及一維動態河川水質模式 CE-QUAL-RIV1，考慮不同暴雨型式分別模擬

非點源污染傳輸的情形及污染物進入河川後，對河川水質造成的影響，並比較暴雨期水質分佈與枯水期水質狀況，進而訂定設計雨型與河川設計流量。

### 三、模式介紹

BASINS 模式於西元 1996 年由美國環保署所發展[1]，主要包兩大模式，分別為 NPSM 與 QUAL2E，可用於集水區之非點源污染與河川水質數學模擬，能夠同時對點源與非點源污染執行模擬，並用於每日最大污染量負荷(TMDLs)之研究。BASINS 利用 GIS 作為聯繫整個系統的工具，把模擬所需的步驟整合至單一系統底下，將繁瑣的程序利用最簡單明瞭的方式來呈現，最後用地圖或圖表的方式將模擬結果輸出。BASINS 中的 NPSM 為結合點源與非點源污染的規劃模式，屬於一擁有連續模擬的功能，能夠模擬集水區非點源污染量、逕流量、污染物負荷量、分析點源排放量，以及演算河道中流量與水質分佈歷線。

因為暴雨期間河川水流及水質傳輸為非穩態(unsteady)，QUAL2E 無法進行正確之水理模擬，故以美國陸軍工程師團水道試驗室所發展之 CE-QUAL-RIV1 一維動態河川水質模式[2]取代 QUAL2E 模式。此模式對流量及水質採用完全動態模式(fully dynamic)，目的在於結合暴雨洪流量(storm water runoff)來估算河川水質。

### 四、研究方法

本研究主要在於對河川進行水質模擬分析，探討河川在暴雨時期的水質狀況，模擬的水質項目有：碳生化需氧量(CBOD)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、總懸浮固體(SS)、正磷酸鹽(orthophosphate)及溶氧量(DO)，並考慮各種不同型式之設計暴雨，探討集水區的非點源污染傳輸對河川水質的影響，最後將暴雨期模擬之水質狀況與枯水期水質分佈做一比較，依分析結果決定合適的設計暴雨與設計流量，研究步驟如下：

1. 北勢溪水質模擬相關資料蒐集：蒐集北

勢溪之氣象、水文、水理、水質、土地利用、河川斷面資料，及歷年來北勢溪非點源與河川水質模擬的相關研究。

2. BASINS 中的非點源污染模式(NPSM)檢定與驗證：以暴雨時採得的水樣資料，進行非點源污染模式之水文、水質參數的檢定與驗證。
3. 河川水質模式(CE-QUAL-RIV1)的檢定與驗證：選取兩組北勢溪歷年水質實測資料，進行水質模式的檢定與驗證。
4. 設計暴雨(design storm)與設計流量(design flow)之決定，方法如下：
  - (1) 分別將不同延時(2小時、4小時)對應不同頻率(1.1年、2年、5年、10年和25年)的設計暴雨輸入NPSM模式進行模擬，可以得到各子集水區(subbasin)於暴雨時所沖刷出的污染負荷量及流量大小。
  - (2) 將NPSM模式模擬所得的各子集水區(subbasin)於暴雨時所沖刷出的污染負荷(loadings)及流量，經由適當地換算及分配，加入CE-QUAL-RIV1水質模式中，進行北勢溪流域暴雨期之水理與水質模擬。
  - (3) 模擬不同延時、不同頻率之暴雨對於北勢溪的水質變化，並和枯水期水質做一比較，選取相對於枯水期水質狀況較差的降雨型態(即對河川水質影響較大，可沖刷並攜帶最多的污染量進入河川)，此暴雨可作為未來河川污染防治時的設計暴雨(design storm)。
  - (4) 暴雨期河川所使用的設計流量=枯流量+降雨逕流量。若暴雨期的河川水質較枯水期時的情形還差，應採用更高的流量如 $Q_{70}$ 、 $Q_{60}$ 或 $Q_{50}$ 重新模擬分析，並以枯水期水質作為檢定準則，必須使得各水質項目的濃度接近枯水期時的情形才為適當的暴雨設計流量。若模擬之結果與枯水期水質差異很大，則繼續增加流量直到接近枯水期水質為

止，此時雖有非點源污染被沖刷入河川，但因設計流量的提高，可增加河川的涵容能力與溶氧量，來確保河川能維持良好的水質，並可將河川生態系統所受的傷害降至最低。

## 五、模式應用

本文考慮延時 2 小時與 4 小時，重現期距為 1.1 年、2 年、5 年、10 年和 25 年的設計雨型[3,4]，來作為推求暴雨期河川設計流量之輸入條件。

假設北勢溪流域有多個點源污染排入河川中，考慮河川水質最嚴重的情況，來模擬暴雨期點源污染與非點源污染對河川水質分佈之影響；所假設的點源污染資料參考「Principles of Surface Water Quality Modeling and Control」[5]中，未經任何處理過程之點源排放濃度，假設之點源污染相關資料整理如表 1。

首先利用 CE-QUAL-RIV1 模擬河川在枯水期 ( $Q_{75}$ ) 僅受點源污染時整段河川水質分佈情形。接著將不同之設計雨型，利用 NPSM 模擬得到的流量與非點源污染量，輸入 CE-QUAL-RIV1 中模擬河川水質，也就是暴雨期須同時考慮點源污染與非點源污染對河川水質的影響，最後將整段河川枯水期水質與各種設計雨型之暴雨期水質做一比較，模擬結果如圖 1 至圖 5 所示。

由圖中可以發現：當降雨延時為 2 小時，2 年頻率或 4 小時，5 年頻率的設計雨型，各項水質狀況最差。原因是 1.1 年頻率的降雨，因降雨強度不足，無法沖刷較多的地表污染物進入河川，故河川水質比 2 年或 5 年頻率的降雨好；而 10 年與 25 年頻率的降雨，因降雨量增多，河川的流量亦隨之增加，故會有稀釋作用的現象產生，所以河川水質較 2 年或 5 年頻率的降雨佳。

余嘯雷教授[6]利用 HSPF 模擬延時 11 小時，各種不同降雨體積 (0.1 in ~ 3.0 in) 的暴雨，對於美國維吉尼亞州 Dry river 的影響，研究結果指出在 1.0 in 的降雨條件

下，河川水質狀況較嚴重，而此時的降雨屬於模擬狀況裡中等強度的暴雨。謝斌暉[7]亦曾探討不同之設計雨型，對於基隆河水質所造成的影響，得到的結論為延時 2 小時，2 年頻率或 4 小時，5 年頻率的降雨條件下，河川水質狀況較差。將二者之研究與本研究整理如表 2 所示。三者之研究可以得到一個共同結論：中等強度的降雨型態對於河川水質影響較為嚴重，因為此時的降雨條件，河川中所增加的流量不足以稀釋地表逕流所帶入河川的污染物，故水質會較差；而強度大的降雨，會因河川流量增加，所以有稀釋作用的現象，故水質會較好。

由本研究所獲得的成果 (圖 1 至圖 5)，顯示若以流量為  $Q_{75}$  來模擬北勢溪水質狀況，延時為 2 小時，2 年頻率與 4 小時，5 年頻率之設計暴雨，河川水質狀況較差，故應採用更高的流量如  $Q_{70}$ 、 $Q_{60}$  或  $Q_{50}$  來作模擬分析，並以枯水期水質作為檢定準則，必須使得各水質項目的濃度接近枯水期時的情形才為適當的暴雨設計流量；若模擬之結果與枯水期水質差異很大，則繼續增加流量直到接近枯水期水質為止。

模擬結果發現當採用  $Q_{50}$  作為北勢溪暴雨的設計流量時，暴雨期間之碳生化需氧量 (CBOD)、氨氮 ( $\text{NH}_3\text{-N}$ )、總懸浮固體物 (SS)、正磷酸鹽 ( $\text{PO}_4\text{-P}$ )、溶氧量 (DO) 均最接近枯水期時的濃度歷線，表示北勢溪流域的水質狀況在此設計流量下，不受非點源污染的影響，模擬結果如圖 6 至圖 10。

## 六、結論與建議

1. 本研究使用美國環保署最新發展的 BASINS 模式，將研究區域的 GIS 資料輸入模式，透過 GIS 工具的特性，輸出 NPSM 模式 (HSPF) 所需的輸入資料，能夠有效獲得地理環境參數，更可減少資料的整理與輸入時間，並降低出錯機會。
2. CE-QUAL-RIV1 之模擬可以考慮河道側流量與時間序列的資料，來進行暴雨期河川動態 (unsteady) 水理水質模

擬，較能符合實際自然狀況；而 QUAL2E 只適用於河川枯流量時的穩態 ( steady ) 水質模擬，與實際狀況有所出入。

3. 在使用 CE-QUAL-RIV1 的水理模擬時，其初始流量對應之初始水深的給定必須恰當( 和河川斷面寬度有關 )，否則模式無法進行模擬。其正確程序為：
  - ( 1 ) 河川分段，並輸入該河川每一節點的寬度。
  - ( 2 ) 輸入每一節點的流量與對應之水深；若模式無法計算，可根據該節點之流量與斷面寬度適當地加大水深。
  - ( 3 ) 最後根據模擬之最終時間的流量與水深來作為初始流量與初始水深。
4. 若考慮多個假設的點源污染排入河川中，先模擬枯水期水質狀況，再探討各種設計雨型之河川水質變化，最後將暴雨期水質與枯水期水質做一比較，如圖 1 至圖 5 所示，結果為延時 2 小時，2 年頻率或 4 小時，5 年頻率的暴雨對河川水質的影響較大，若頻率超過 10 年以上，則稀釋作用的現象較為明顯。
5. 在延時 2 小時，2 年頻率或 4 小時，5 年頻率的降雨條件下，採用  $Q_{50}$  為河川設計流量，可使暴雨期之河川水質最接近枯水期水質，如圖 6 至圖 10 所示，表示在此設計流量下，河川水質不受非點源污染的影響。
6. 本研究建議北勢溪在做水污染防治與規劃設計時時，應考慮非點源污染影響較嚴重的設計暴雨來分析，其設計暴雨為延時 2 小時，2 年頻率或 4 小時，5 年頻率。
7. 在台灣地區一般採用  $Q_{75}$  來進行水質模擬預測與涵容能力分析。暴雨期時，所產生的非點源污染分布極廣且污染物的質與量不易掌握，對河川的水質狀況造成極大的影響，若同樣採用  $Q_{75}$  河川水質不一定能維持良好狀

態。另外，暴雨期河川設計流量之決定，國內外較少有相關的研究報告，往後應該對此問題加以研究。

## 七、參考文獻

1. Lahlou, M., Shoemaker, L., Choudhury, S., Elmer, R., Hu, A., Manguerra, H. and Parker, A., Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Source ( BASINS ): User's Manual for Version 2.0, U.S. EPA, Office of Water, EPA-823-B-98-006, 1998.
2. U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, CE-QUAL-RIV1: A Dynamic, One Dimensional ( Longitudinal ) Water Quality Model for Stream -User's Manual, 1995,10.
3. Chow, V. T., Maidment, D. R. and Mays, L.W., Applied Hydrology, McGraw-Hill Co., 1998.
4. 王如意、謝龍生、王鵬瑞，「台北都會區淹水區域預測之研究 ( 一 ) - 子計畫二：都會郊區降雨-逕流模式之研究 ( 一 )」，NSC87-2621-P-002-049，民國 87 年。
5. Thomann, R. V. and Muller, J.A., Principles of Surface Water Quality Modeling and Control, Harper & Row, 1987.
6. Yu, S.L. and Zhang, H.X., "The Total Maximum Daily Load ( TMDL ) Approach to Watershed Pollution Control" , Proceedings of International Workshop on Watershed Management in the 21<sup>st</sup> Century, National Taiwan University, 2000.
7. 謝斌暉，「暴雨期間河川水質模式設計流量之研究」，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國八十八年七月。

## 八、圖表

表 1 點源污染之資料

	排入節點	流量 (CMD)	CBOD (ppm)	NH3-N (ppm)	PO4-P (ppb)	SS (ppm)
點源 1	3	740	250	50	600	250
點源 2	6	760	250	50	600	250
點源 3	10	660	250	50	600	250
點源 4	12	630	250	50	600	250
點源 5	14	990	250	50	600	250

表 2 設計雨型相關研究比較表

	本研究	謝斌暉之研究	余嘯雷教授之研究
使用工具	BASINS、CE-QUAL-RIV1	VAST、WASP5	HSPF
研究區域	北勢溪流域	基隆河流域	美國維吉尼亞州的 Dry river
探討之水質項目	SS, CBOD, DO, NH3-N, PO4-P	SS, BOD, DO	NO3-N
採用暴雨	延時 2 小時、4 小時，頻率 1.1 年、2 年、5 年、10 年和 25 年之雨型	延時 2 小時、4 小時，頻率 2 年、5 年、10 年和 25 年之雨型	總體積為 0.1 in ~ 3.0 in 之均勻降雨
結論	在延時 2 小時，2 年頻率或延時 4 小時，5 年頻率的降雨條件下，河川水質狀況較差。	在延時 2 小時，2 年頻率或延時 4 小時，5 年頻率的降雨條件下，河川水質狀況較差。	在 1.0 in 之降雨條件下，Dry river 的水質狀況較差。

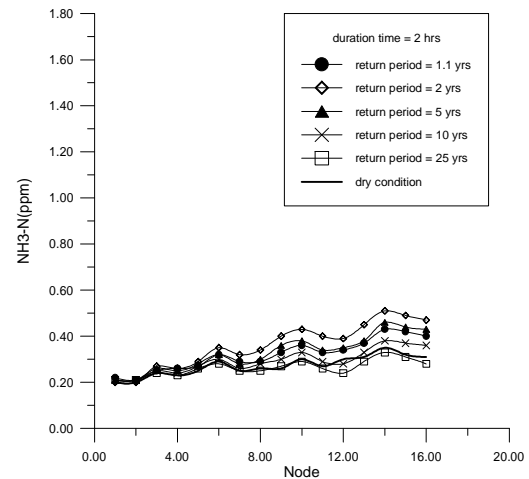


圖 2 NH3-N 模擬結果

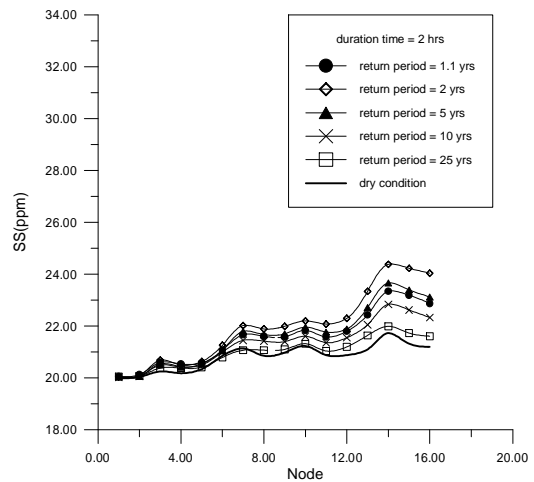


圖 3 SS 模擬結果

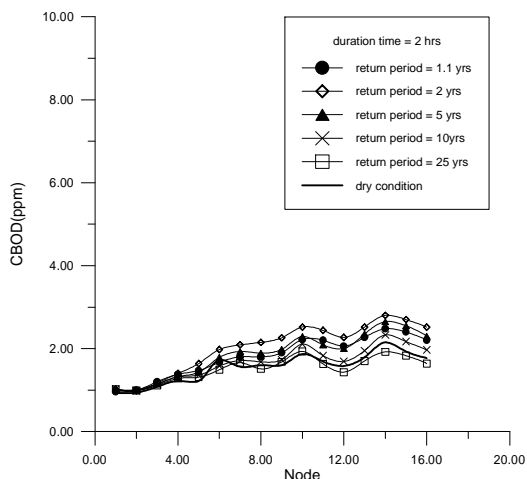


圖 1 CBOD 模擬結果

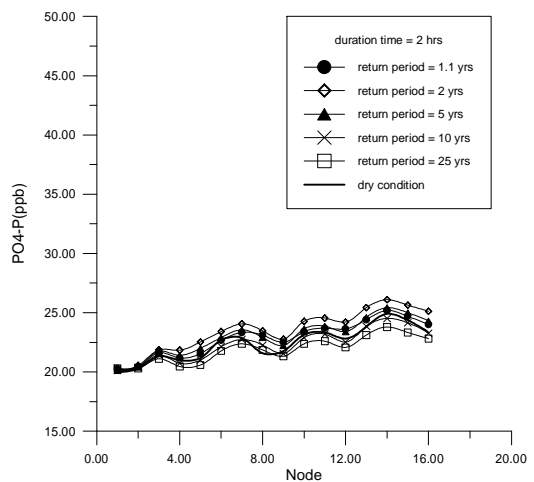


圖 4 PO4-P 模擬結果

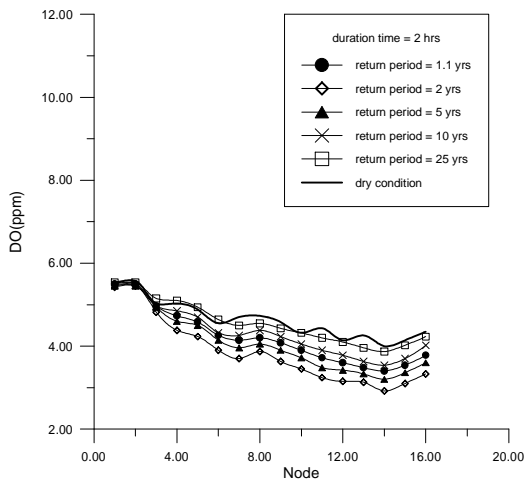


圖 5 DO 模擬結果

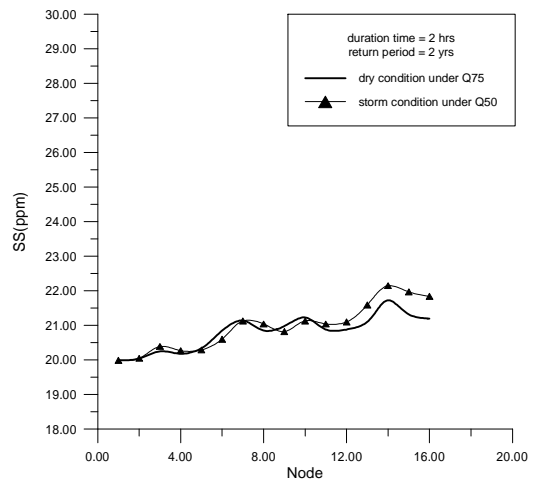


圖 8 設計流量時之 SS 濃度

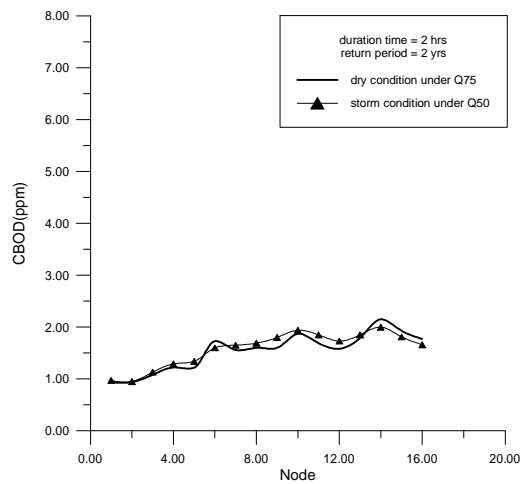


圖 6 設計流量時之 CBOD 濃度

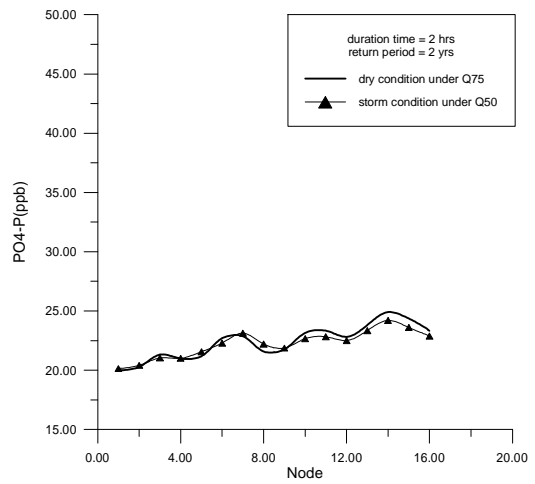


圖 9 設計流量時之 PO4-P 濃度

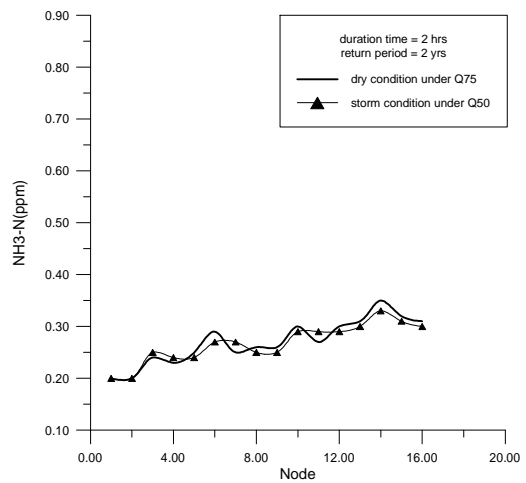


圖 7 設計流量時之 NH3-N 濃度

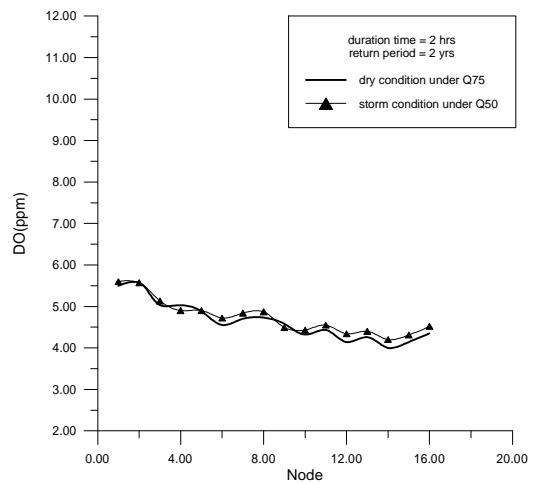


圖 10 設計流量時之 DO 濃度