

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

A Study on Design Flow for River Water Quality Modeling during the Storm Period

計畫編號：NSC88-2211-E-002-036

執行期限：87年8月1日至88年7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

本研究之目的在探討由於非點源污染引起之河川水質污染，其設計暴雨或河川流量（歷線）應選擇之型式及大小。根據許多研究顯示許多河川，非點源污染往往要比點源污染來得重要，而暴雨期之設計暴雨型式或河川設計流量應如何訂定，乃為一重要且值得探討的題目。本研究使用河川水質模式，結合非點源污染模式，分析、比較不同暴雨之污染物傳輸現象及對河川水質的影響，以及決定適當的暴雨期河川設計流量或應採用的設計暴雨型式。

關鍵詞：設計流量、非點源污染、每日最大總污染負荷、河川水質模式、非點源污染模擬、設計暴雨。

Abstract

The purpose of this research is to investigate the appropriate use of design flow or design storm during the storm period for river water quality study due to nonpoint source pollution. Many studies have shown that nonpoint source pollution is more significant compared to point source pollution for river pollution. Hence, the determination of design flow due to nonpoint source pollution is an important topic to be studied. This research

uses river water quality models in conjunction with nonpoint source pollution models to compare and analyze the nonpoint source pollutant transport and its effect on river water quality to decide the appropriate choice of design flow or design storm during the storm periods.

Keywords : Design flow, nonpoint source pollution, total maximum daily load(TMDL), design storm, river water quality model, nonpoint source pollution modeling.

二、計畫緣由及目的

河川污染分析往往藉由水質數學模式之應用來探討，在水質模擬預測與涵容能力分析時，在台灣地區一般採用 Q_{75} （歷史之日流量有 75% 大於或等於此設計容量）；而在美國採用 $Q_{7,10}$ （頻率為 10 年一次之連續七天年最低平均日流量）。不論是 Q_{75} 或 $Q_{7,10}$ 均為枯水期流量，因此水質模式所考慮之污染物負荷乃為點污染源。

許多資料顯示暴雨引起的非點源污染物對河川或水庫水體污染的重要性不亞於點污染源，在台灣的情形也類似[1]。暴雨期時，污染物負荷因為非點源污染而增加。

(原來的點污染源仍存在),但暴雨期間河川流量也比枯水期時高出許多,故此時河川中污染物的濃度不見得比枯水期時還高,但必須加以互相比較。另外,暴雨期之河川設計流量應如何決定,至今國際上仍沒有一定論[2],實有必要加以深入探討。

美國環保署(EPA)對河川涵容能力分析已實施每日最大總污染負荷(TMDL, total maximum daily load)考量[3,4],也即同時需考慮點污染源及非點污染源之影響。暴雨期之流量為非穩態(unsteady),而流量與降雨、集水區特性、河道特性皆有關,此時非點源污染物的傳輸現象也十分複雜[5]。

本研究之內容乃結合非點污染源模式與河川水質數學模式,考慮各種暴雨型式(頻率、降雨延時)及非穩態模擬(在集水區及河道中),探討各種暴雨型式對污染物負荷及河川水質的影響,比較枯水期與暴雨期之河川水質分佈,決定暴雨期河川污染分析所應採用的設計暴雨或設計流量大小及型式,供河川污染分析及都市下水道規劃、集水區水污染控制之參考。

三、研究方法

本研究之研究方法及內容主要在對暴雨期間河川水質執行模擬、分析,探討非點源污染因暴雨沖刷進入河川之行為,模擬項目包括溶氧(DO)、生化需氧量(BOD)、懸浮固體物(SS)等三項;模式則採用 VAST[6]暴雨非點源模式進行各集水區流量及污染物的歷線推估,再選用 QUAL2E[7]、WASP5[8]河川水質模式分別進行枯流量及暴雨期間的水質模擬,其中 QUAL2E 模式為一穩態(steady state)所以僅用來模擬河川在枯流量(Q_{75})時的水質;最後利用降雨-逕流模式可轉換為設計流量(或流量

歷線)的關係,研究不同的暴雨型式對集水區的污染物傳輸的影響,最後依模擬結果決定適當的暴雨期河川設計流量。研究方法詳述如下:

1. 本研究選用基隆河來進行實際的應用。
2. 參考非點源污染及河川水質模式之相關文獻,並收集基隆河流域之相關地文、水質、土地利用、設計暴雨及河川斷面等相關料。
3. 選定基隆河水質實測資料,分別進行 QUAL2E、WASP5 模式的檢定與驗證。
4. 採樣地點的選擇,並進行現場採樣。
5. 以採樣資料執行 VAST 模式之水文、水質參數與晴天污染物累積速率(dry weather loading rate, kg/day)的檢定與驗證。
6. 分別將各延時(2 小時、4 小時)及各頻率(2 年、10 年及 25 年)的設計暴雨雨型帶入 VAST 模式進行模擬,得到各子集水區(subbasin)被暴雨所沖刷的污染物負荷(loading)及各子集水區的流量與污染物歷線。
7. 將 VAST 模式所得到各子集水區(subbasin)被暴雨所沖刷的污染物負荷(loading)及各子集水區的流量,加入 WASP5 模式中的非點源污染負荷與流量的部分進行基隆河暴雨期之水質模擬。
8. 比較三種模式之模擬結果,分析各頻率、延時的降雨對於基隆河水質的關係,對河川水質影響較大的頻率(或延時)的暴雨(此即能沖刷並攜帶最多污染物進入河川者)可作為將來最佳管理作業(BMPs)時的設計暴雨(design storm)。
9. 若暴雨期間的水質較晴天時差,則便需考慮採用較高流量作為河川污染分析之設計流量(design flow),也可進一步調整河川原有的晴天設計流量(Q_{75}),利用不同歷時的設計流量(Q_{60} 、 Q_{80} 、 Q_{90})所產生的污染物歷線,決定基隆河的設計流量。

10. 當調整流量後的暴雨污染物歷線與晴天時的污染物歷線接近時，即表示該河段在此流量時（調整後的流量），河川中雖有非點源污染物的排入，但是隨著流量的提高所增加的涵容能力（擴散、延散與再曝氣作用等現象）便能減少水質惡化的程度，增加河川中的溶氧量（dissolved oxygen），表示此暴雨期的流量時，可確保河川良好水質，減少河川生態系統（ecosystem）的破壞。

11. 實例之選取與應用

本研究選用基隆河來進行模式的應用，所以模式之檢定、驗證過程乃為必要的，並分成現況、點源污染控制 30%、點源污染控制 80% 及點源污染控制 80% 後，非點源污染也控制 30% 等四種狀況來進行模擬。

四、結論與建議

(一) 結論

本研究利用 QUAL2E、WASP5 河川水質模式與 VAST 暴雨非點源污染模擬程式分別做枯流量與暴雨期間的水質模擬與分析，就模式方面來比較，本研究可做出以下兩點結論：

1. 以 QUAL2E 與 WASP5 河川水質模式進行基隆河枯流量模擬時，所需參數幾乎相同，且本研究所使用之河川分段也相同，所以 SS、DO、BOD 的模擬結果均很接近；但 WASP5 模式因各個段落（segment）均要有資料的輸入，所以局部的現象較容易表現。
2. 以 VAST 模式與 WASP5 模式執行暴雨期間的水質模擬時，雖然流量與污染物歷線均由 VAST 模式產生，但由於兩個模式在污染物濃度的計算方式與河道資料的不同，所以模擬的結果也不盡相同。若以資料的需求度來說，WASP5 要求較嚴格，所以在資料及所檢定的參數無誤

的情形下，應以 WASP5 所模擬的結果為佳。

本研究以模式模擬的結果，如圖一至圖三所示，可做出以下幾點結論：

1. 就不同頻率的降雨對非點源污染物的沖刷與河川水質的關係而言，頻率越高的降雨雖然降雨強度高，但是逕流量也相對較高，此時的河川水質受初期沖刷和稀釋作用的影響，所以水質不見得比頻率小的暴雨來得差。以本研究的結果顯示：採用 2 ~ 5 年頻率的降雨對河川水質的影響較大，若頻率超過 10 年以上稀釋作用便較為明顯，如圖四至圖九所示，另如表一所示。
2. 若以相同頻率、不同延時的降雨來做比較：以 2 小時的降雨對於河川水質的影響較為明顯，其原因可能是延時 2 小時的降雨強度較大的緣故。
3. 當點源污染獲逐漸獲得控制時，此時基隆河的水質受暴雨所沖刷、攜帶的非點源污染物的影響；溶氧在晴天與暴雨時都有顯著的提高，部分河段暴雨時的溶氧，由於流量增加，也會有比晴天時高或是相當接近的情形，如表二所示。
4. 當有 80% 的點源污染獲得控制，同時也控制了 30% 的非點源污染時，此時總懸浮固體物的濃度在暴雨時下降了 5 ~ 20mg/l 左右；生化需氧量濃度在晴天時已經相當的低，且暴雨時的濃度也減少了將近一半多（與現況相比）；溶氧在暴雨時下游會有比晴天時高的情形，下游在非點源污染獲得控制後水質才會有顯著的提升（暴雨時濃度增加量為 42% 左右），如表三所示。

(二) 建議

1. 本研究建議基隆河流域在做最佳管理作業（BMPs）時，應考慮非點源污染物的影響較高的設計暴雨來作分析為宜，其設計暴雨（design storm）為採延時 2 小時，降雨頻率為 2 ~ 5 年。
2. 當採用 Q_{60} 作為基隆河暴雨的設計流量時，基隆河流域暴雨期間之懸浮固體物、生化需氧量及溶氧歷線均最接近枯

流量時的歷線，如圖十至圖十二所示，即基隆河的水質在此設計流量時不受非點源污染物的影響。

3. 基隆河流域中、下游部分的水質除了受暴雨非點源污染物的影響之外，感潮的影響也不可忽略，應針對感潮與非點源污染物之間的影響做進一步的模擬、分析，以期研究結果更接近真實情形。
4. 在研究過程中，以採樣工作最不易掌握，且成果足以影響整個模式的模擬結果，其原因乃因降雨時機的不確定性，常有採樣人員在長期守候時不下雨，當採樣人員撤離後，傾盆大雨便隨之而至的情形發生；加上民眾的認知度普遍不夠，本研究所架設的儀器曾遭有心人士惡意的破壞。所以在做暴雨期間水質採樣工作時，除了以採用自動化監測為宜之外，也應注意採樣前與附近居民、工廠的溝通，以期研究能順利的完成。

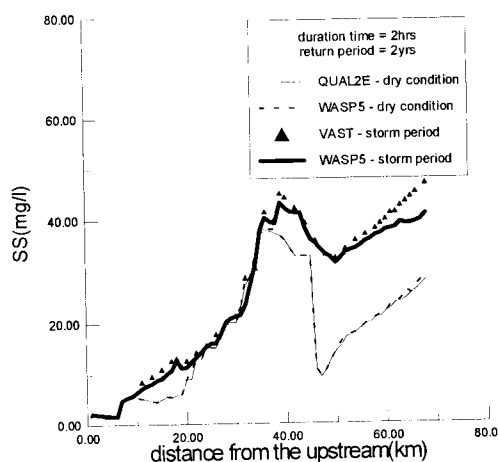
五、參考文獻

1. 郭振泰、蔣本基、李公哲、顏有利，"台灣地區典型城鎮非點源污染之研究"，中國土木水利工程學會第 12 屆廢水處理技術研討會論文集，台灣大學環工所，民國 76 年 9 月，pp.535-547。
2. Thomann, R. V., 互相討論意見，1996 年 12 月訪華期間。
3. U.S.EPA, 1991, Guidance for Water Quality-based Decisions: The TMDL Process, U. S. Environmental Protection Agency, EPA 440/4-91-001.
4. U.S.EPA, "Compendium of Watershed-scale Models for TMDL Development", Office of Wetlands, Oceans and Watersheds, Washington, DC, June 1992.
5. Donigan A. S. and W. C. Huber, "Modeling of Nonpoint Source Water Quality in Urban and Non-urban Areas" EPA/600/3-91/039, Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U. S. EPA, GA, June 1991.
6. Tisdale, T. S., R. J. Kaighn, and S. L. Yu.,

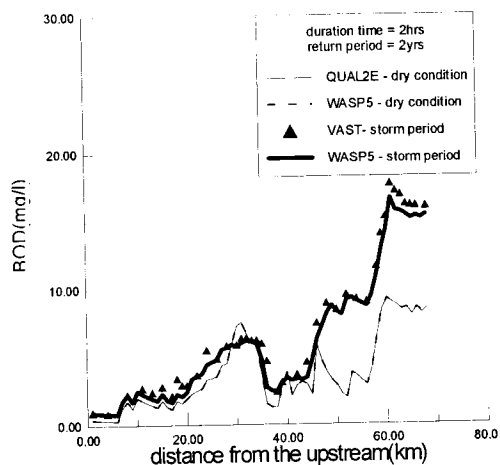
"The Virginia Storm (VAST) Model for Stormwater Management - Urban's Guide", University of Virginia, Charlottesville, Virginia, USA, May 1994.

7. Brown, L. C., and T. O. Barnwell, Jr., "The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS", EPA/600/3-87/007. U. S. Environmental Protection Agency, Athens, Ga., 1987.
8. Ambrose, R. B. and J. L. Martin, The Water Quality Analysis Simulation Program, WASP5 Model Documentation, U. S. EPA, Athens, Georgia, 1993.

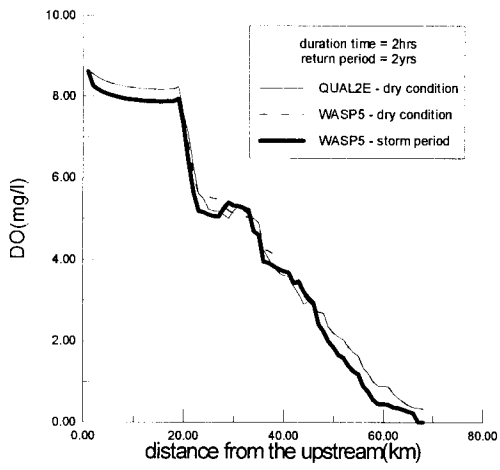
六、圖表



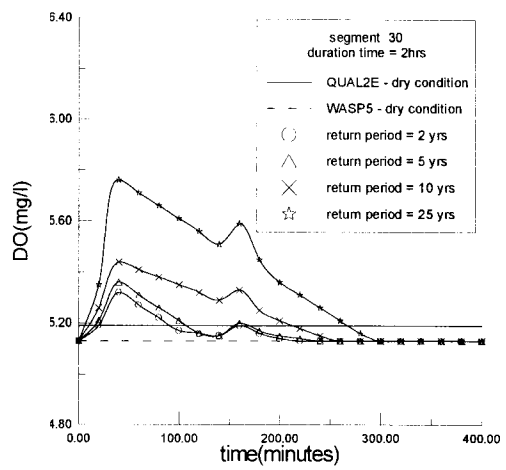
圖一 總懸浮固體物(SS)模擬結果



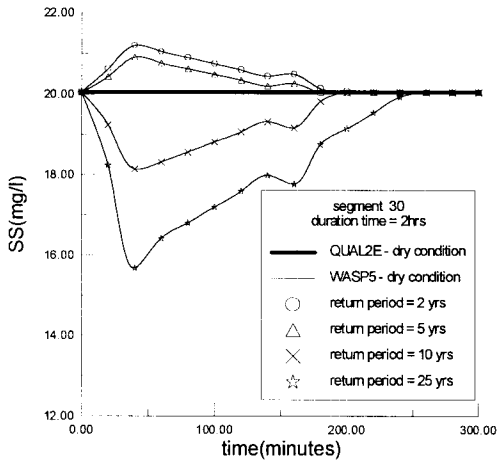
圖二 生化需氧量(BOD)模擬結果



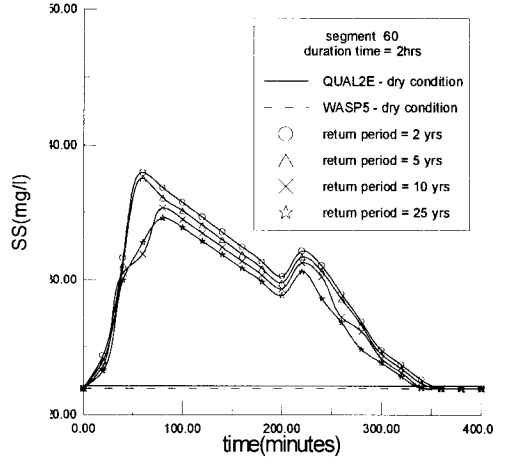
圖三 溶氧量(DO)模擬結果



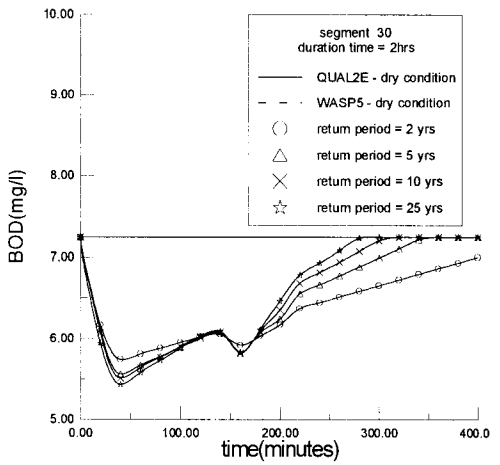
圖六 第30段落之溶氧量濃度歷線



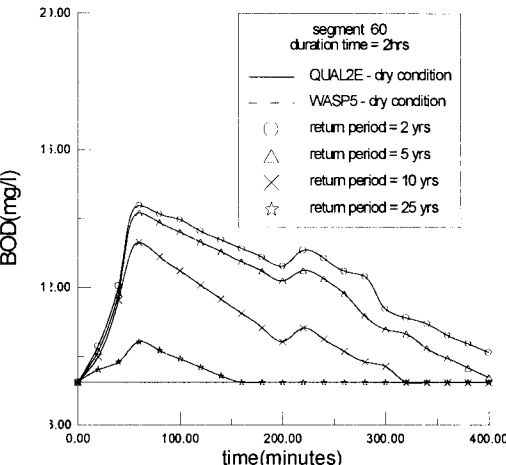
圖四 第30段之落懸浮固體物濃度歷線



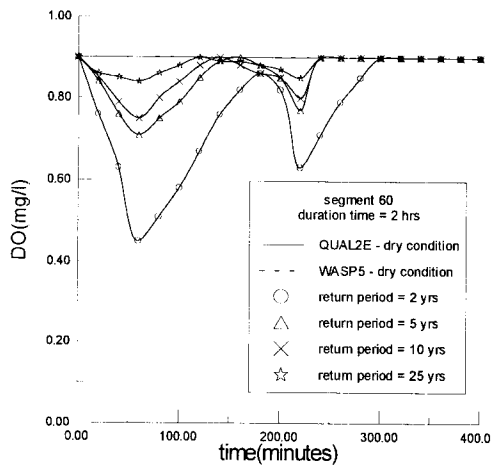
圖七 第60段之落懸浮固體物濃度歷線



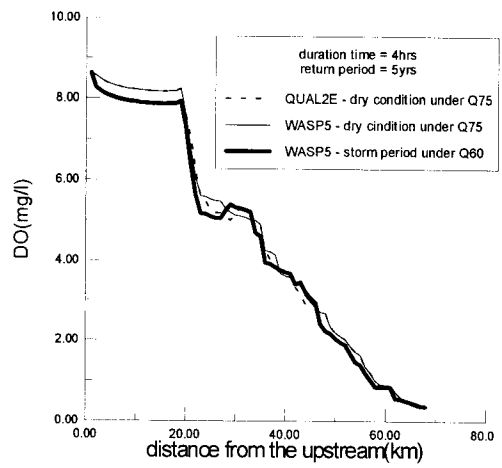
圖五 第30段之落生化需氧量濃度歷線



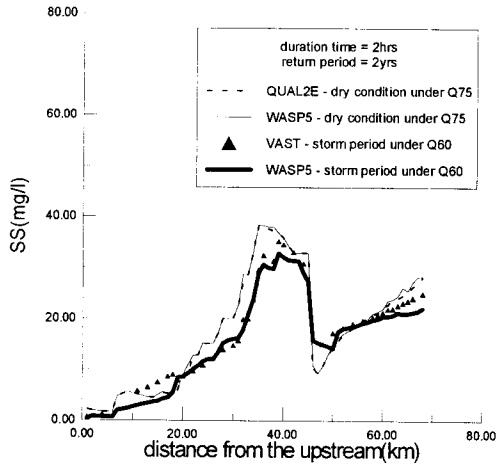
圖八 第60段落之生化需氧量濃度歷線



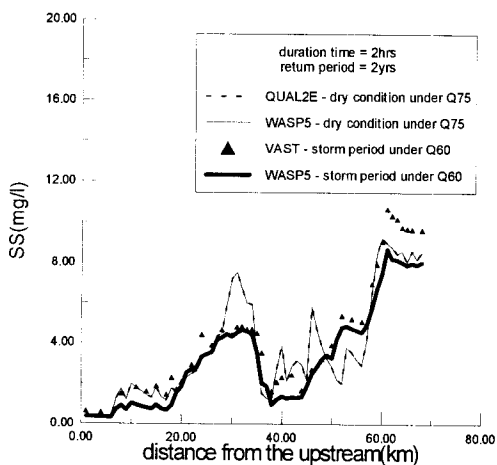
圖九 第60段落溶氧濃度歷線



圖十二 設計流量時之溶氧濃度



圖十 設計流量時之懸浮固體物濃度



圖十一 設計流量時之生化需氧量濃度

表一 狀況二污染物濃度削減或增加的平均百分比

百分比%	延時			延時4小時		
	SS	BOD	DO	SS	BOD	DO
上游	-12.31	-13.4	12.72	-12.04	-12.24	11.3
中游	-12.13	-12.56	12.25	-11.93	-11.95	11.62
下游	-8.74	-9.1	9.23	-8.62	-8.89	8.41

-號表示削減

表二 狀況三污染物濃度削減或增加的平均百分比

百分比%	延時			延時4小時		
	SS	BOD	DO	SS	BOD	DO
上游	-32.61	-35.1	12.7	-31.3	-34.7	12.6
中游	-32.13	-34.82	12.7	-31.15	-34.22	12.65
下游	-18.2	-19.6	27.4	-18	-18.7	27.4

-號表示削減

表三 狀況四污染物濃度削減或增加的平均百分比

百分比%	延時			延時4小時		
	SS	BOD	DO	SS	BOD	DO
上游	-58.23	-59.37	14.1	-55.7	-58.42	13.7
中游	-55.13	-60.73	15.3	-55.14	-58.3	14.6
下游	-46.2	-47.96	42.2	-45.3	-46.12	42

-號表示削減