

山岳隧道工程對鄰近環境水文地質影響之研究 Study on Hydrogeological Impact of Tunneling in Mountainous Area

顧承宇 譚志豪 冀樹勇 陳錦清 (中興工程顧問社)

C-Y Ku, C-H Tan, S-Y Chi, J-C Chern (Sinotech Engineering Consultants, Inc.)

關鍵詞：山岳隧道、水文地質、基流、地下水

Keywords: Tunnel, hydrogeology, baseflow, groundwater

摘要

台灣地區因雨量充沛，且位於歐亞板塊與菲律賓板塊交接處，活躍的造山運動造成岩層之破碎度高而節理發達，故地表水易沿地質弱面滲入岩層，以致岩盤中之地下水水位較高且儲存量豐富。根據以往雪山隧道及新永春隧道之開挖經驗顯示，穿過高山地形之長隧道因水文地質條件十分複雜，於隧道施工時常因大量隧道湧水引發鄰近區域環境水文地質之爭議。近年來政府因經濟發展之考量，尚待推動的隧道工程如：北宜鐵路計畫、蘇花高速公路及水力與電力工程隧道(如曾文越域引水隧道)等，這些隧道工程許多路段穿越台灣地區之高山地形，未來施工時將無可避免的遭遇隧道湧水之問題。然而以往水文地質之相關研究多著重於平原地區之地下水資源，對於山岳地區之地下水問題研究尚少。本研究著眼於環境水文地質問題於未來隧道工程中之關鍵性，故嘗試以地下水水平衡概念模式及區域地下水模式進行隧道開挖對鄰近環境水文地質影響之研究。結果顯示，本研究之方法應可有效的評估相關隧道工程對於鄰近環境水文地質之影響。

Abstract

Taiwan is an active mountain belt created by the oblique collision between the northern Luzon arc and the Asian continental margin. With sufficient recharge of groundwater from rainfalls, abundant amount of groundwater was often found at the mountainous areas in Taiwan. In the engineering practice such as Shueh-Shan tunnel and Hsin-Yong-Chun tunnel, huge amounts of groundwater inflow were encountered during the tunnel excavation. The drainage of such large amount of groundwater often raises hydrogeological issues from the environmental points of view. Since several similar tunneling projects are planning in the near future, the study of hydrogeological impact of tunneling in mountainous area was conducted in this paper using the water balance concept and the regional groundwater flow model. Results obtained show that the methods proposed here can provide quantitative evaluation for such problems.

一、前言

台灣地區因雨量充沛，且位於歐亞板塊與菲律賓板塊交接處，活躍的造山運動造成岩層之破碎度高而節理發達，故地表水易沿地質弱面滲入岩層，以致岩盤中之地下水水位較高且儲存量豐富。根據以往雪山隧道及新永春隧道之開挖經驗顯示，穿過高山地形之長隧道因水文地質條件十分複雜，於隧道施工時常因大量隧道湧水引發鄰近區域環境水文地質之爭議。如雪山隧道開挖湧水出水量平均達約 $8640 \text{ m}^3/\text{day}$ [1, 2]，此湧水量是否對雪山山脈山區地下水資源之產生影響，或是隧道湧水對於鄰近敏感區域(如溫泉區或是作物)之影響等，皆為重要之關切課題。

近年台灣地區因經濟發展之考量，未來有待推動的隧道工程有北宜鐵路計畫、蘇花高速公路及水力與電力工程隧道(如曾文越域引水隧道)等，這些隧道工程許多路段穿越台灣地區之高山地形，未來施工時將無可避免的遭遇隧道湧水之問題。然而以往水文地質之相關研究多著重於平原地區之地下水資源，對於山岳地區之地下水問題研究尚少，因此目前隧道開挖工程遭遇湧水問題僅著眼於以工程處理，多未考量其對區域環境水文地質之影響。著眼於環境水文地質問題於未來隧道工程中之關鍵性，本研究嘗試以地下水水平衡概念模式及區域地下水模式進行隧道開挖對鄰近環境水文地質影響之研究。

二、研究方法

隧道工程常引發鄰近區域環境水文地質之爭議，如雪山隧道湧水曾引發「礁溪溫泉與金盈瀑布水量變小」、「翡翠水庫入流量減少」、與「坪林地區茶樹枯死」等 [3]。歸納上述隧道湧水對環境水文地質可能之影響可分為以下二部分，第一為隧道湧水對區域地下水水資源影響，第二為隧道上方地下水位洩降影響。

(1)、隧道湧水對區域地下水水資源影響

地下水為水循環中之一部份，降雨或地面水流藉由入滲至地表下之含水層，而形成地下水。地下水又因利用型態之不同，部分回歸於地面水，部分仍成為地下水，成為一個水平衡狀態 [4]。隧道湧水可視為人為汲取地下水，故隧道湧水量是否會對區域地下水水資源造成影響可藉由地下水水平衡概念進行評估，換言之，隧道湧水量是否對區域地下水水資源造成影響可藉由檢核隧道湧水量與地下水自然補注量之關係加以評估。地下水水平衡模式可表示如下：

$$Q_i - Q_o = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

其中 Q_i 為系統流入量， Q_o 為系統流出量， ΔS 為儲水量變化， Δt 為單位時間。在一封閉之集水區系統中，可推得地下水補注量相當於河川基流量(Rutledge, 1998 [5, 6])。本研究採用 Rutledge 於美國地質調查所提出之基流估計方法，其

主要係利用河川流量分割法(streamflow partitioning)，經由分析河川流量資料與流量歷線，利用基流分離技術將基流量由河川流量中分離出來，並依據地下水水平衡概念模式，以此推估出地下水自然補注量。

河川流量分割法推估基流量首先將連續日流量資料填入一維陣列中，之後重複計算河川日流量資料以找出符合消退時段之流量，並令地下水出流量等同於該時段之河川日流量資料(只要其日流量資料衰退小於 0.1 個對數週期, Barnes 1939 [7])，而無法符合消退時段之流量資料則以內插方式計算而得。在一般的情況下，通常選擇以一長時期的紀錄來作分析，以獲得較精確的地下水出流量。當分析的時期夠久時，由水平衡所造成的貯水變化則可忽略，且可將所估計出之地下水排水量視為有效補注量。

本研究河川流量資料採荖濃溪新發大橋流量站之流量觀測紀錄，紀錄時間由 1958 年 2 月至 2002 年 12 月，觀測年限內之所有日流量紀錄約一萬六千筆資料，逐月基流量之分析結果如圖 1 所示，年總入滲深度分析結果如表 1 所示。進一步考慮本計畫區域每年 1、2、3、4、11 及 12 月為乾季，取各月平均入滲深度，將累積入滲深度與時間繪圖，利用低流分析(如圖 2 所示)，可得本區域長期穩定之地下水補注年總入滲深度。

(2)、隧道上方地下水位洩降影響

隧道湧水除需考慮上述對區域地下水水資源影響，尚需考慮地下水流場模擬與隧道上方地下水位洩降影響。本研究以荖濃溪附近之少年溪溫泉區為研究對象進行分析，考慮一隧道施工後之地下水位洩降對該溫泉之可能影響。分析所使用之數值分析工具為三維有限元素地下水分析程式 FEMWATER [8]，該程式可進行穩態及暫態之地下水流動分析，結合數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)可快速建構水文地質概念模型。

本研究首先根據該區域(荖濃溪附近之少年溪溫泉區)之 DTM 與水文地質特性建構三維之水文地質概念模型(如圖 3 與圖 4 所示)，並根據現地量測及室內試驗資料研判分析所需之水文地質參數，最後透過數值程式依據前述圖 1 逐月基流量之分析結果考慮地下水補注情形下，隧道開挖後之施工排水對鄰近少年溪溫泉區水位洩降之影響。

三、結果討論

本研究採用 Rutledge 於美國地質調查所提出之基流估計方法，推估本區域長期穩定之地下水補注年總入滲深度約為 62 公分。再考慮新發大橋流量站上游集水區面積為 812.03 平方公里，可推出該區地下水總補注量約為 5.03 億立方公尺。本結果可作為未來進行相關隧道工程時評估隧道湧水量之多寡是否對區域地下水

水資源造成影響之依據。

另地下水流場模擬結果如圖 5 及圖 6 所示，溫泉區與隧道上方之地下水位洩降情形可參考該位置之地下水位面剖面圖(如圖 6 所示)。分析結果顯示，本區域全區之地下水位洩降最大為 22 m，發生於西南側山脊陵線位置，至於溫泉區部分因地下水洩降速率低於補注速率，故本階段分析並無顯著洩降發生。唯地下水洩降之分析仍需仰賴未來相關隧道施工後地下水位與地表水系之長期監測與參數校核工作，以進一步釐清隧道施工之可能影響。

四、結論

近年來由於經濟環境之提昇，人們對於環境與生態議題之逐漸重視。著眼於環境水文地質問題於未來隧道工程中之關鍵性，本研究嘗試以地下水水平衡概念模式及區域地下水流場模擬模式進行隧道開挖對鄰近環境水文地質影響之研究。結果顯示，本研究所採用之方法應可有效的評估相關隧道工程對於鄰近環境水文地質之影響。

五、參考文獻

1. 黃金山、陳仲賢、劉萬里、曾鈞敏、與林文勝，「山區地下水或可當旱象時替代水源」，土木水利，第三十卷，第四期，pp. 44-49，2003。
2. 交通部台灣區國道新建工程局，2000 年，北宜高速公路施工階段坪林隧道湧水問題評估調查服務工作-第三期評估調查報告。
3. 商業周刊，第 879 期，pp. 100-116，2004。
4. Freeze, R. A. and Cherry, J. A., 1979, Groundwater, Englewood Cliffs, N.J. Prentice-Hall, 1979.
5. Rutledge, A.T., 1998, Computer programs for describing the recession of ground-water discharge and for estimating mean ground-water recharge and discharge from streamflow data, update: U.S.G.S. Report.
6. 李振誥、陳尉平、李如晃，2002，應用基流資料估計法推估台灣地下水補注量，台灣水利季刊，第 50 卷，第 1 期，頁 69-80。
7. Barnes, B.S., 1939, The structure of discharge recession curves: Transactions of American Geophysical Union 20, p. 721-725.
8. Lin, H. C., D. R. Richards, G. T. Yeh, J. P. Cheng and N. L. Jones. (1996). "FEMWATER: a three-dimensional finite element computer model for simulating density dependent flow and transport", US Army Engineer Waterways Experiment Station, Pennsylvania State University, Brigham Young University.

表 1 年總入滲深度分析結果

流域名稱	流量站	集水區面積 (平方公里)	河川流量分析結果 (年, 公分)	基流量分析結果 (年, 公分)
荖濃溪	荖濃新發大橋	812.03	258.5	170.2

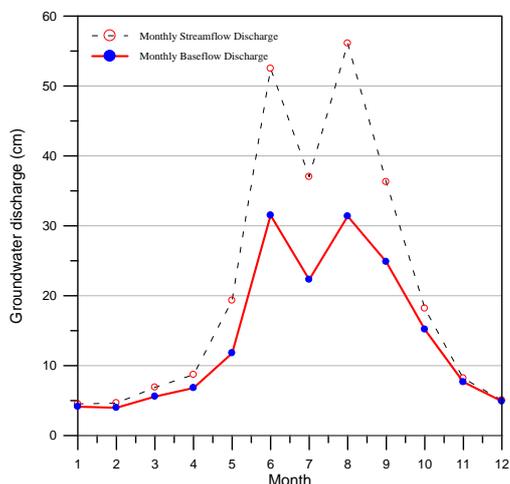


圖 1 逐月基流量分析結果

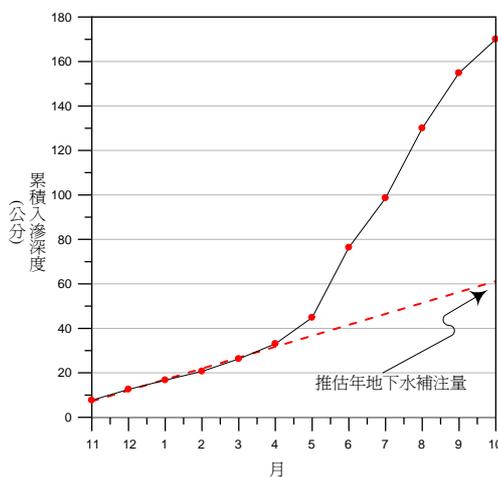


圖 2 地下水補注量推估結果

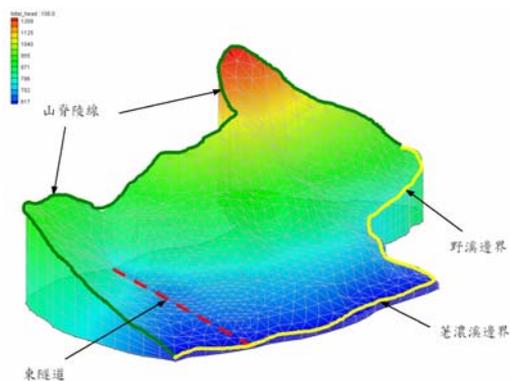


圖 3 三維水文地質概念模型

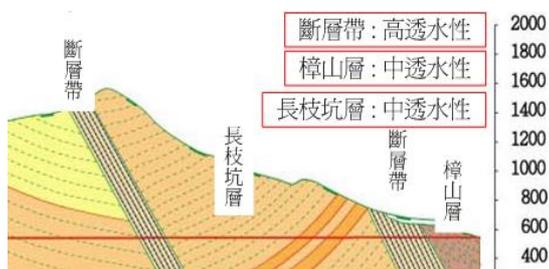


圖 4 水文地質概念模型(隧道剖面)

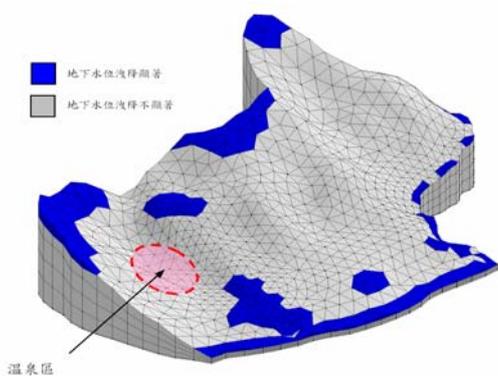


圖 5 地下水水位洩降情形

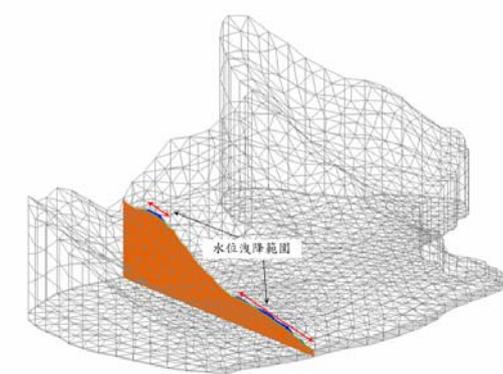


圖 6 隧道正上方地下水水位洩降情形