



RRPB89020350

(4.P)

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

坪林隧道通風系統模擬與分析(I)

Simulation of the Ventilation System of Ping-lin Tunnel (I)

計畫編號：NSC 89-2212-E-034 -002

執行期限：88年8月1日至89年7月31日

主持人：張鴻明 私立中國文化大學機械工程學系

一、中文摘要

本計畫於現有福德隧道通風實測系統上增設遠距即時數據擷取系統，使我們得以長時間連續記錄該隧道詳細完整之車流與氣流數據。從中歸納出曾於該隧道實際發生過的多種狀況下之車流模式與通風光景。這些實測數據將做為我們修正該隧道通風系統一維理論模式中所含各參數之依據，從中發展出一套可釐訂於交通順暢狀況下行駛於隧道內之中大型車和小型車之阻力係數、風機升壓係數、和摩擦因子等重要參數的作法並歸納出這些係數值或廣泛關係式。所得結果可作為設立包含實測暫態車流之坪林隧道一維通風數值模式之基礎，以便一窺暫態車流在此類多管連通系統所可能產生之現象和效應。本計畫的成果與其背後所累積的實測系統建立經驗和建構理論模式的方法皆可使我們的隧道通風分析技術更臻實際與完善，為未來進一步建立坪林隧道整個通風系統甚至於其他規劃中的新隧道通風系統尋求確實可行之道。

關鍵詞：遠距即時數據擷取系統，實地監測，通風參數，隧道通風理論模式。

Abstract

Facilities that can acquire the in-situ measured data from the remote end have been added to the existing in-situ ventilation measurement system at Fu-De Tunnel. So that we are able to continuously record the detail traffic as well as their associated air stream data in the tunnel. The measured data provide the theoretical tunnel ventilation model with the necessary information for evaluating the proper value of each primary ventilation parameter. This work builds one of the key elements for setting up theoretical tunnel ventilation models that include the dynamic road traffic, and also provides some information that makes more reliable the theoretical model of the entire ventilation system of Ping-lin Tunnel.

Keywords: Remote data-acquisition system, in-situ measurement, tunnel ventilation parameters, theoretical ventilation models of road tunnels.

二、緣由與目的

過去數年在國科會與交通部國工局等政府機關之支持下，使國內隧道通風相關研究得以展開，使這項關乎國人行車安全甚鉅之課題得到應有之重視與較深入之了解。近年來，我們為了使隧道研究更確實可靠而對北二高上的福德隧道的車流與通風狀況進行持續之量測，其目的主要在於藉這些實測數據的幫助，來大幅提升所建立之隧道通風理論模式之可靠度。唯由於該實測系統目前仍將實測數據儲存在現場之記憶盒當中，必須以人員往返現場的方式取回數據。但因受限於數據記憶盒容量，此一方式僅適合當我們只著眼於長期追蹤車流總體變化之研究。由於隧道行車狀況不少時候是瞬息萬變的，若欲清楚捕捉住各種狀況之詳細暫態特徵，則將產生大量數據而於短時間就會填滿整個記憶體。此時以人員往返現場的數據擷取方式將非常勞累費時並不切實際，尤其當該隧道位於遠方時更是如此。這些原因促使我們產生了於現有實測系統上建立一套遠距數據擷取系統的構想。另外，由於近年來通訊與電腦技術之突飛猛進，也使得建立該系統的構想變成可行。此一福德隧道遠距數據擷取系統的建立將使我們得以持續取得諸如：夜間、白晝、上下班時段、週末、週日、連續假日前後、颱風天、防空演習、甚至於各種意外事故等各種狀況下之詳細暫態車流特徵與通風光景。建立福德隧道遠距數據擷取系統乃是我們的階段性目標，該目標之達成將使我們擁有較完整的通風實測數據可賴以建構或研發出一個可對在該實測隧道實際發生過的各種狀況能精確模擬分析的通風理論模式。除此之外，該系統的建構經驗亦將在未來直接有助於建立更完善之坪林隧道或其他隧道相類似的數據擷取系統，而這種以一維通風模式和實測系統相互搭配來建構理論模式的技術與經驗亦可同樣引用於坪林隧道或其他隧道之整體通風系統理論模式之建立，而使該等模式對實際狀況具準確之定量分析能力。

三、結果與討論

在本研究中我們於既有的通風實測系統上加裝一套遠距數據擷取系統使我們隨時可以傳回數據與監看即時交通狀況，因此得以相當方便地仔細捕捉記錄隧道車流與氣流之暫態特徵，並將其

中的車流數據所代表的真實交通狀況以錄影畫面呈現出來。例如圖 1 所記錄的是於 2000/4/13 8:04 左右，福德隧道南下孔道出口處之交通狀況，時值上班交通尖峰時刻車流擁擠，車行緩慢。圖 2 所顯示的是於 2000/4/13 13:53 左右該處之交通狀況，當時車流稀疏車行順暢。而圖 3 則顯示該處於 2000/4/24 18:55 左右(時值下班交通尖峰時刻)外側車道之車流特別擁擠車行亦較緩慢，此乃因其前方不遠處出口匝道擁擠回堵的緣故。雖系統目前尚受限於頻寬而無法傳回即時動態影像，但對於我們正確解讀所測交通流量數據已大有助益。

由所測得之車流數據我們約略可歸納出下列五種較常見的交通類型:1. 午夜到清晨時段之順暢稀疏車流(平均車速 100km/hr, 車流密度小於 0.002veh/m, 分別如圖 5 與圖 6 所示) 2. 白天順暢稍密車流(平均車速 95km/hr, 車流密度 0.012veh/m 上下, 如圖 9、圖 10、圖 14、和圖 15 所示) 3. 早晨和傍晚上下班尖峰時段之擁塞車流(平均車速 30km/hr, 車流密度 0.043veh/m 上下, 最高達 0.074veh/m, 如圖 9 和圖 10 所示) 4. 因故執行交通管制而有車流突然中斷一段時間, 如圖 13 和圖 14 所示) 5. 由傍晚至午夜逐漸遞減車流量等。在本研究中我們將由所測得之諸多車流與其所引致之風速數據中, 挑選順暢車流情況(亦即上述 1 和 2 兩類型)為主, 利用文獻[1、2]所述通風模式來尋求隧道內各型車輛之車流密度與阻力係數之關係式。

由隧道出口之實測車流數據(圖 4、5、8、9、13、14)、我們即可推測出每時刻在隧道內之車輛數, 由這些車輛數目和隧道長度與車道數目即可算出隧道內之平均車流密度, 如圖 6、10、15 所示。當堵車或交通管制時車速下降車流密度特別高(圖 10、15)。此時這些車輛通常無法像順暢車流時段一樣地維持定速通過隧道, 而且由於此時有些車距太小致使系統產生車型與車數上的誤判(圖 11 和 16 各型車比率上的驟變即反應此訊息)。因此在這些時段和其附近之理論風速與實測風速並不甚吻合(圖 12、17)。我們因此僅取順暢車流情況來探求各阻力係數。

由於在福德隧道所測得順暢車流情況分別發生在午夜到清晨時段(平均車速 100km/hr, 平均車流密度 0.0008veh/m)和白天介於上班和下班之間的時段(平均車速 95km/hr, 平均車流密度 0.011veh/m), 我們於是依據實測數據以通風模式尋求出在這兩車流密度下之小型車和中大型車之最佳阻力係數值和隧道摩擦因子 f 。 f 之調整所影響的僅是理論風速的總量而阻力係數之調整則尚會影響其變動量。依此特性可求出當平均車流密度 0.0008veh/m 時該兩類型車輛之阻力係數值分別是 0.224 和 0.48, 摩擦因子 $f=0.017$ (圖 7)。而當平均車流密度 0.011veh/m 時該兩類型車輛之

阻力係數值分別是 0.16 和 0.32 摩擦因子仍是 0.017(圖 12 和 17)。根據這些數據, 我們粗略假設兩阻力係數呈線性關係而可列出福德隧道在順暢車流情況下小型車阻力係數 C_{ds} , 和中大型車阻力係數 C_{dml} 與車流密度(含各型車) T_d 的簡單關係式分別如下:

$$C_{ds} = 0.16 - 6.27(T_d - 0.011) \quad (1)$$

$$C_{dml} = 0.32 - 15.69(T_d - 0.011) \quad (2)$$

我們可以想見當車流密度 T_d 小於某值之後, 前車對後車阻力係數應當幾無影響, 因此此時阻力係數應趨於定值。另外若以小型車車身長 5m, 且各車間相隔一車身長, 則車流密度之最大值一般應不會大於 0.1。上兩式明顯並不能代表這兩極端情況。我們只能說在 $0.0008 \leq T_d \leq 0.011$ 範圍內該兩式才有較佳代表性, 其反應阻力係數隨車流密度增加而下降的現象。我們亦可將車型效應亦引進阻力關係式, 使用小型車和中大型車之前視面積分別為 $3.5m^2$, $7.11m^2$, 隧道水力直徑 10.38 m 等數據和因次分析, 我們可簡單地歸納出下列關係式

$$C_d = 0.160 - (T_d \cdot D_h - 0.114)[0.604 + 27.1(A_v/D_h^2 - 0.033)] + 4.776(A_v/D_h^2 - 0.033) \quad (3)$$

其中 A_v 和 D_h 分別是車輛之前視面積和隧道之水力直徑。另外須注意的是該兩式是在隧道內有三車道和中大型車所佔比率約 15%(2000 年福德隧道之情況)等條件下所歸納得到的結果。阻力係數關係式之更高精確度與更廣況適用範圍的建立則有賴進一步的研究。

四、成果自評

遠距即時數據擷取系統的建立確實相當有助於我們取得多種實際狀況下之交通和通風數據。這些數據乃是研發更可靠通風理論模式所不可或缺的。在本研究中, 我們依據實測數據和通風理論模式歸納出福德隧道之摩擦因子為 0.017 以及一個可以代表各型車在三車道隧道內順暢車流情況下之阻力係數與車流密度的關係式。另外我們亦發現福德隧道白天車流量有逐年升高的情形, 隧道內之引致風速亦比三年前提高 1m/s 左右, 上下班尖峰時段亦常會發生以前所沒有的堵車現象。可見一個隧道的通風情況與所面對的問題並非一成不變。我們應對其進行長期確實觀測和研究以了解其可能問題和對策。

五、參考文獻

- [1] 陳發林, 張鴻明, 「隧道通風實測與理論分析之比較研究」, 交通部台灣區國道新建工程局, 研究報告 096-1, 1997。
- [2] H. M. Jang, Falin Chen, A Novel Approach to the Transient Ventilation of Road Tunnels, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol.86, pp.15-36, 2000.

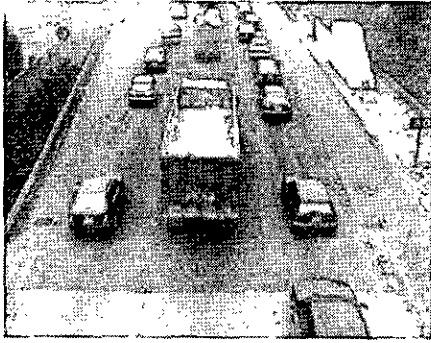


圖 1: 隧道南下孔出口路況, 2000/4/13 8:04

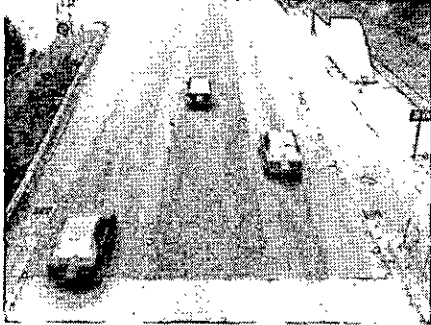


圖 2: 隧道南下孔出口路況, 2000/4/13 13:53



圖 3: 隧道南下孔出口路況, 2000/4/24 18:55

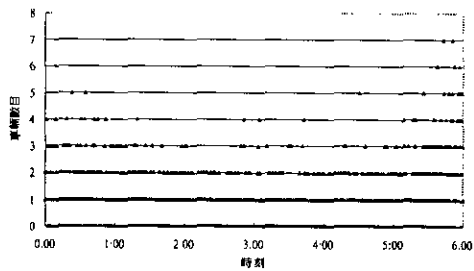


圖 4: 每 10 秒小型車輛數目實測值 2000/1/14 00:00-06:00

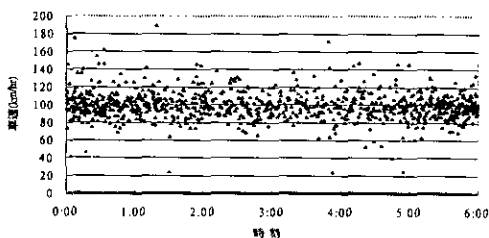


圖 5: 每 10 秒所測得之小型車均速 2000/1/14 00:00-06:00

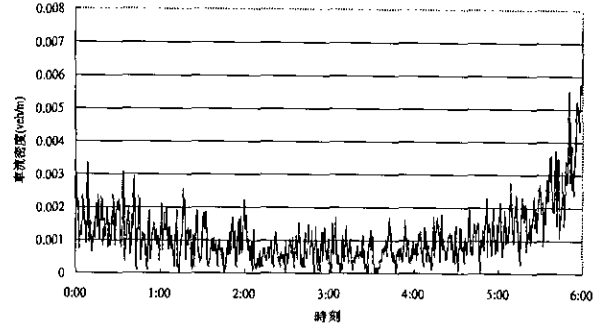


圖 6: 隧道內平均車流密度 2000/1/14 00:00-06:00

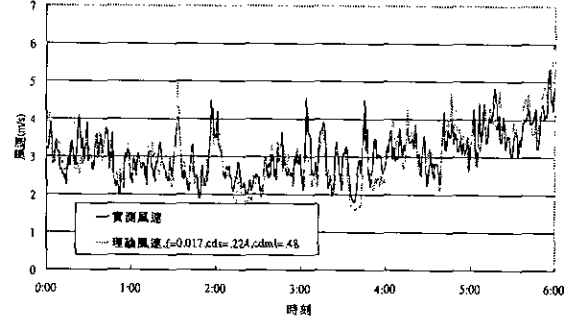


圖 7: 風速之理論與實測值比較 2000/1/14 00:00-06:00

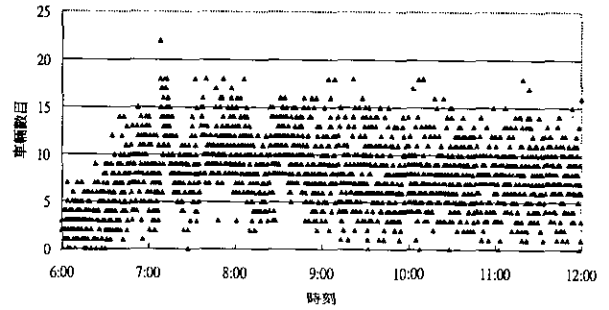


圖 8: 每 10 秒小型車輛數目實測值 2000/6/21 06:00-12:00

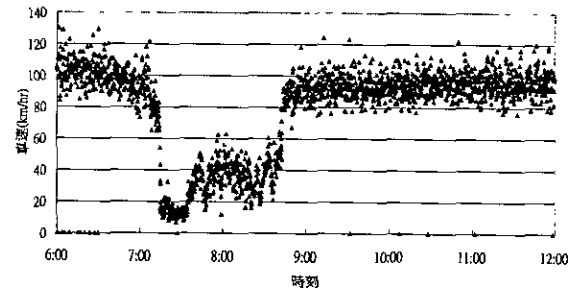


圖 9: 每 10 秒所測得之小型車均速 2000/6/21 06:00-12:00

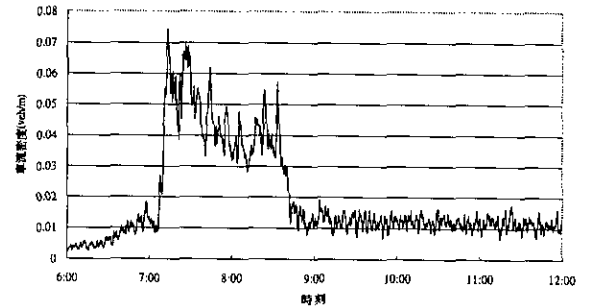


圖 10: 隧道內平均車流密度 2000/6/21 06:00-12:00

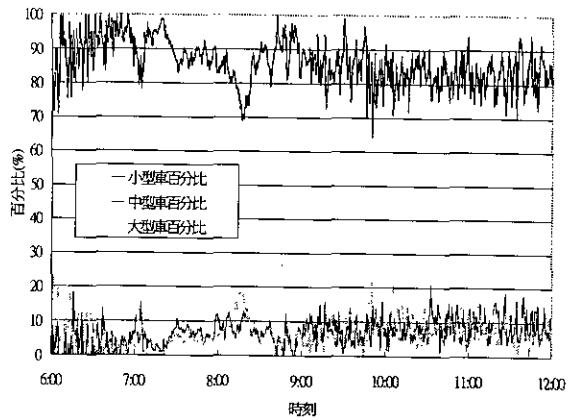


圖11:各型車百分比 2000/6/21 06:00-12:00

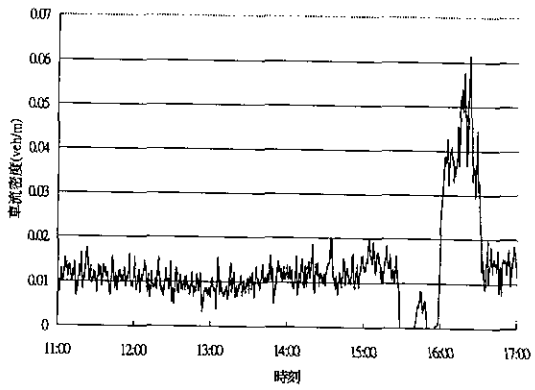


圖15: 陸橋內平均車流密度 2000/6/21 11:00-17:00

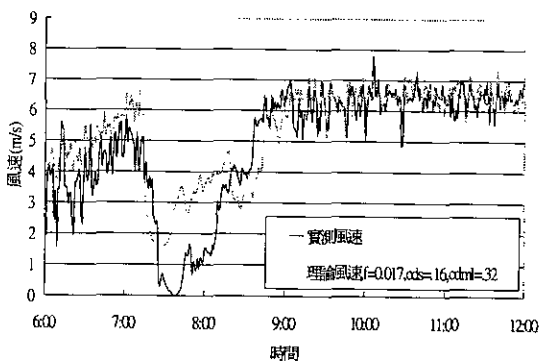


圖12: 風速之理論與實測值比較 2000/6/21 06:00-12:00

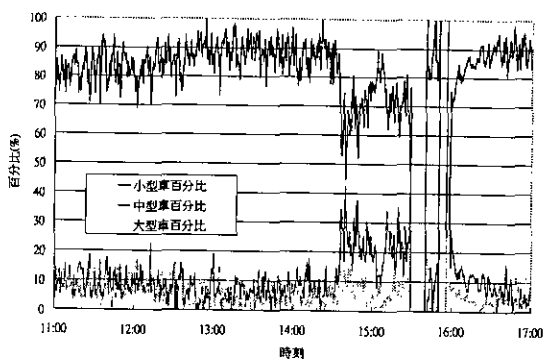


圖16:各型車百分比 2000/6/21 11:00-17:00

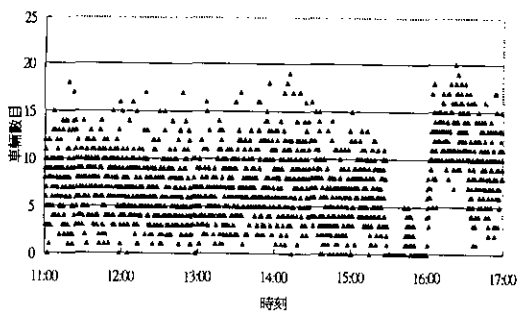


圖13: 每10秒小型車輛數目實測值 2000/6/21 11:00-17:00

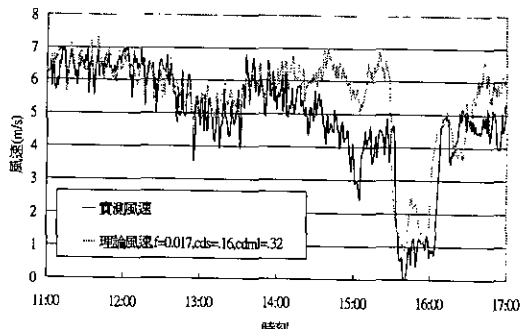


圖17: 風速之理論與實測值比較 2000/6/21 11:00-17:00

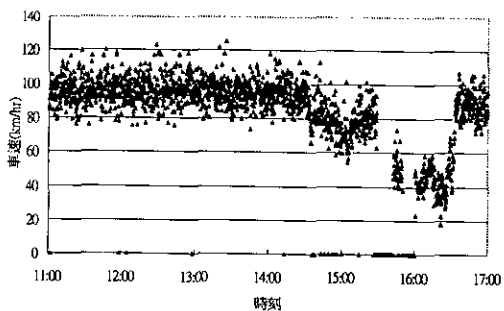


圖14: 每10秒所測得之小型車均速 2000/6/21 11:00-17:00