

隧道通風實測與理論分析之比較研究

研究單位：國立臺灣大學應用力學研究所

計畫主持人：陳發林

類別：機電

編號：研究報告 096

出版年月：1997年12月

GPN 9124860232

◎摘要

北二高福德隧道之啟用提供國內研究隧道通風一個良好的目標。本計畫以其為對象，建立一套適合國內通車環境的隧道通風理論模式。理論模式中許多參數必須靠實際監測數據配合得知，且流場中許多特性更需以理論與細部流場分析相互驗證。故本計畫包含三項主要部分：一維理論模式之建構與分析、二維風場計算、及隧道實地監測。實測數據使我們對目前福德隧道交通與通風狀態的認識更清楚與確實。二維風場計算則為我們顯現了隧道內在風機運轉過程中各處之流場細部結構。除此之外，上述兩項工作亦確認了一維理論模式中所包含之一維和不可壓縮流兩項假設之正當性。而實測數據亦被成功地用以找尋出適用於福德隧道的通風參數。依這些參數所建立之暫態理論模式，經過大量實測數據之考驗，證明了該理論模式的確可成為隧道通風分析和設計工作中的一個既準確又有效的幫手。

◎結論與建議

本計劃完成之工作可分成三大主要部分：福德隧道一維通風理論模式之建構與分析，福德隧道二維風場計算，和福德隧道實測。

1. 一維通風理論模式

在一維理論模式建構工作上，我們首先對各種可用之傳統解法進行仔細之研究與比較，為該模式之發展奠下基礎。其中我們更提出了隧道通風研究上最人性化的圖解法，使我們對模式在各種狀況下之穩態解與解的趨勢，可經圖上數條相關曲線立刻得到。此一圖解法亦被有效地應用於測試福德隧道與通風相關的各係數或參數的影響效應，使我們在釐訂這些係數或參數前，心中先有個譜。後來，當福德隧道之車流與隧道內氣流之全套實測數據完整取得之後，我們又構思了首創的“單群模式”和“多群模式”，將由隧道出口所測得之車流數據，成功地轉換成隧道內的車流數據，使我們的一維理論模式得以相當仔細且近乎忠實地模擬與計算隧道內之暫態風速和每一時刻隧道沿線上之壓力、溫度、和廢氣濃度，這可說是一維通風模式研究上之全新境界。

在報告中，我們亦提出了一套經由所建立的暫態理論模式與隧道實測數據的配合，可逐一釐訂隧道通風相關係數的方法，由該方法我們找出表 8.1 所列之福

德隧道通風相關係數值，這些係數可經由一天 24 小時連續數天之實測數據的檢驗，證實的的確可靠。

理論模式對隧道內壓力的計算結果，使我們了解到隧道沿線之壓力分佈與暫態變動狀況。在交通尖峰時刻，福德隧道內之最高與最低壓力差約僅 35Pa，此一數據可做為選擇隧道內氣流壓力感測器測量精度之參考。另外，理論模式對隧道內空氣溫度分佈與變動狀況之模擬可以相當準確。

相當有助於我們對隧道內熱傳機制的了解。而我們對隧道內之 CO 濃度分佈僅可進行定性研究。理論模式可相當生動地顯示各車輛的 CO 排放率的改變可能對隧道內 CO 濃度分布產生的影響效應。

2. 福德隧道二維風場計算

研究進行中為了探討一維模式中將實際上是三維的問題簡化成一維來考慮是否造成問題被過度簡化，我們因此亦藉著 FLOW3D 的計算程式來以較仔細的方式，分析福德隧道內之風場，特別是著重於了解在相同狀況下，隧道內之速度場和壓力場與一維模式者的差異，以及定性探討風機啟動過程中，風機附近風場的詳細演變情況。結果我們發現，在風機附近二維特徵較明顯，在下游約 10 個隧道水力直徑之後的流場就變得相當接近一維了。這個結論使我們在一維模式中所賦予流場一維假設的正當性有較明確的認識。

此外，我們亦以二維模式對福德隧道南下孔道 11 部風機，以各種不同組合型式操作對風場所造成的影響作一系列的分析，所得結論更能反應出一維理論模式中參數選擇的合理性。

3. 福德隧道實測

在研究進行期間，我們共在隧道內裝設了三組氣流監測器，以確保實測風速值之可靠性，並期盼可以偵測到壓力、溫度、濕度、和 CO 濃度在隧道內的分佈。另外，亦於隧道出口山坡上架設了另一組氣流監測器，以隨時監測隧道外大氣狀況的變化，以期提供一組完整的實測氣流數據，做為釐訂理論模式係數的依據。該三組在不同位置之氣流監測器所測得風速一般皆相當一致，這清楚顯示了隧道氣流的不可壓縮特性，確認了一維理論模式中引用不可壓縮假設的正當性。

在氣流實測上，我們首次引用影像車流監測器，該監測器可不分晝夜與天氣對通過測點之車輛數目、車速、和車身長度的量測與完整之記錄。這些精細準確之數據，激發我們建立了更完善而細緻的暫態理論模式。

我們對隧道之車流與氣流之監測概分兩類：一類以長期監測為目的，讓我們對近半年來通過福德隧道之車流量的大小與變化，和一年多來溫度、濕度、和 CO 濃度的概略值與變動情形留下了相當完整的記錄。從這些記錄我們得以了解目前福德隧德的車流和通風狀況，另外，這些記錄更可做為以後調查研究福德隧道車流與通風狀況變遷研究之重要參考；另一類乃針對理論模式的需要進行監測，這類監測儘量對隧道氣流與車流之暫態變動予以詳細量測與記錄。這類監測數據使我們得以找到適用於福德隧道理論模式之相關係數，並對理論模式和該組係數進行嚴苛的考驗與確認。

在上述三大部分的分工合作下，使我們對福德隧道之交通與通風狀況有更清楚的

認識，亦使我們得以確實地建立了一個相當細緻而強健的福德隧道通風理論模式。該模式的建立正代表我們對發生在隧道內動量、能量、和廢氣成份的傳遞機制有更徹底的了解。雖然由於 CO 濃度和壓力的準確數據無法取得，使得我們對該模式對該兩物理量的預測能力無從評估。但該模式對隧道風速和溫度已展現了卓越的預測與分析能力，只需再有精確的 CO 和其他廢氣感測器的配合，一個隧道全系統完整而實用的通風理論模式必可建立完成，且能在隧道通風分析、設計、和運轉各環節中發揮具體之功用。

表 8.1 福德隧道通風相關係數 (1996 ~ 1997)

系數		時段	
		0 : 00 ~ 6 : 00	6 : 00 ~ 24 : 00
小型車	前視面積	3.5m ²	3.5m ²
	阻力係數	0.32	0.32×0.6
中大型車	前視面積	7.11m ²	7.11m ²
	阻力係數	0.8	0.8×0.7
入口損耗		0.6	0.6
摩擦因子		0.025	0.025
風機升壓係數		0.4	0.4

