

トンネル内の自然風の把握および予測に関する検討

(独)土木研究所 正会員 ○石村 利明、森本 智、角湯 克典

1. はじめに

道路トンネルの換気設備は、トンネル延長、交通量、換気対象物質の自動車排出ガス量等の諸条件に加えて、自動車の走行による交通換気力と自然風を考慮した設計が行われている。しかし、供用後の換気設備の運用は、時々刻々と変化する交通換気力や自然風とは関係なく、所要のトンネル内環境が最小限確保されるように一定パターンに従った制御をしている場合が多い。このため、換気設備の運用に交通換気力と自然風を考慮した制御を行えば換気設備のランニングコストを大幅に削減できる可能性が高い。より一層の経済的な換気設備の運用を実施するためには、時々刻々と変化する交通換気力および自然風を考慮した制御方法の確立が必要である。本稿では、トンネル内の自然風を把握および予測することを目的として、供用前の道路トンネルを用いた実態調査を実施したので報告するものである。

2. 検討方法

道路トンネル内に発生する自然風の実態を把握することを目的として、供用前の道路トンネルを用いて、トンネル内の風向風速、両坑口の気圧・温湿度の調査を行った。

実態調査は、表-1 に示すようにトンネル延長、両坑口の標高差など、条件の異なる3トンネルとした。各トンネルともに表-2、図-1 に示す各調査の項目および測点数について5日間の計測を実施した。

計測は、1秒間隔にて行い10秒間の単純平均値をデータロガーに記録した。なお、各トンネル内の3箇所における風向風速は、ギル型風向風速計を用いた連続測定のほか、超音波式の断面風速計を用いて各測定箇所にて24時間程度以上の計測を別途実施した。

3. 検討結果

3.1 トンネル内の風向風速

Aトンネルにおけるギル型風向風速計および断面風速計の経時変化を図-2 に示す。これより、両風向風速計はほぼ同じ値を示しているが、低風速域でギル型風速計の値が小さくなっているため、分析に用いるトンネル風向風速は、ギル型風向風速値を断面風速値で補正した値を用いることとした。図-3 に補正後の調査期間中におけるトンネル内の風向風速結果を示す。Aトンネルでは、夜間から午前中にかけて正の風速値を、午前中から夜間にかけて負の風速値となる傾向にある。また、図中では48+00地点の値のみが示されているように見えるが、3箇所

表-1 調査トンネル

トンネル名	延長 (m)	平面曲率 (m)	縦断勾配 (%)	両坑口の標高 (m)		両坑口の標高差 (m)
				起点側	終点側	
Aトンネル	1463m	R=800	-2.977	186.121	143.17	42.951
Bトンネル	1402m	R=1200	0.4	115.078	120.686	-5.608
Cトンネル	2472m	R=1100	-0.809	209.221	194.346	14.875

表-2 調査項目および数量

トンネル内の風向風速	3
両坑口の大気圧	2
トンネル内および両坑口の 温度・湿度	5
両坑口の風向風速	2
通行車両の状況	1

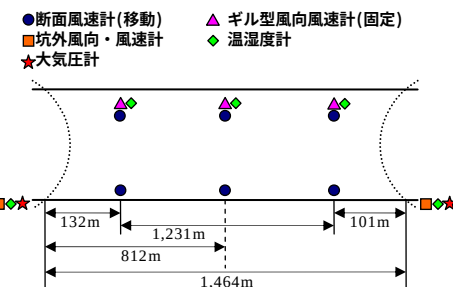


図-1 計測機器の配置 (Aトンネル)

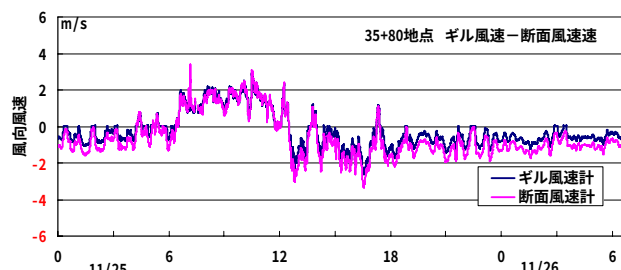


図-2 ギル型風向風速計と断面風速計の比較

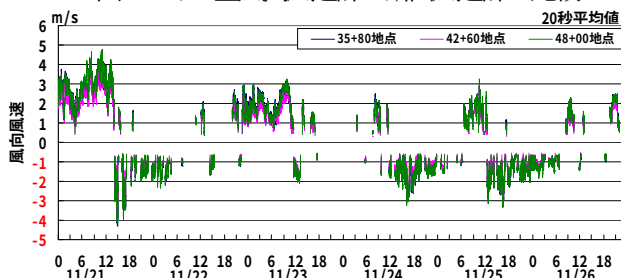


図-3 トンネル内風向風速

キーワード 道路トンネル、換気施設制御、自然風、実態調査

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (独)土木研究所 TEL 029-879-6791

トンネル内の各風向風速は、時間的な遅れなどは生じていないと判断できる。

3.2 両坑口における大気圧とトンネル内風向風速との関係

図-4 に A トンネルの両坑口で測定した大気圧の経時変化を示す。両坑口の大気圧差は概ね 500Pa 程度で推移しているが、両坑口の標高差約 43m による影響が大きく現れている。両坑口の大気圧について標高および温度による補正を行った後の大気圧差をトンネル内の風向風速との関係を図-5 に示す。図には同様に整理した B、C トンネルの結果も示す。いずれのトンネルにおいても坑口間の大気圧差とトンネル内の風向風速は、相互に連動していることが分かり、風向が変化する場合においても連動した結果を示していることが分かる。

3.3 トンネル内の自然風の予測方法

通常、自然換気力は次式で定義される。次式の関係に基づき、両坑口間の大気圧差からトンネル内の自然風を予測する。

$$\Delta P_{MT} = \left(1 + \zeta_e + \lambda \cdot \frac{L}{D}\right) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_n^2$$

ただし、 ΔP_{MT} : 坑口間自然換気力 (Pa)
 ζ_e : トンネル入口損失係数
 λ : トンネル壁面摩擦損失係数
 L : トンネル延長 (m)
 D : トンネル代表直径 (m)
 U_n : 自然風によるトンネル内平均風速 (m/s)
 ρ : 空気の密度 (kg/m³)

予測結果を図-6 に示す。図は、各トンネルの代表的な約 1 日分について 5 分間の平均値をもとに、トンネル入口損失係数を 0.6、トンネル壁面摩擦損失係数を 0.01～0.025 までは 0.005 ピッチで変化させた時の予測した自然風と実測値を示す。いずれのトンネルにおいても壁面摩擦損失係数の大きさにより風速値は異なるものの、大気圧差から予測した自然風は実測値と概ね一致していることが分かる。これより、一定の方向にある程度の風速が発生している時は、壁面摩擦損失係数を的確に把握することで十分な精度で予測できると考えられる。ただし、低風速域については風向が一致しない時間帯があった。

4. まとめと今後の課題

トンネル内の自然風を両坑口の大気圧差より概ね予測することができることが分かった。今後、実際の換気制御に自然風を考慮していくためには、トンネル内の壁面摩擦損失係数などを正しく評価するとともに、計測値を分析する時間間隔等について検討を行い、さらに予測精度を向上させる必要がある。

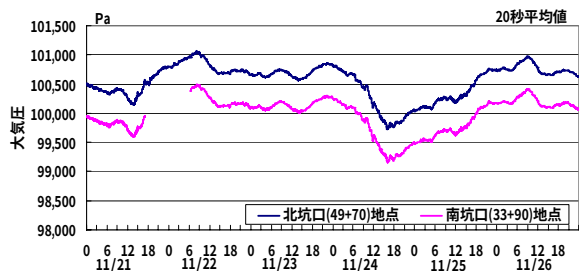


図4 両坑口における大気圧 (A トンネル)

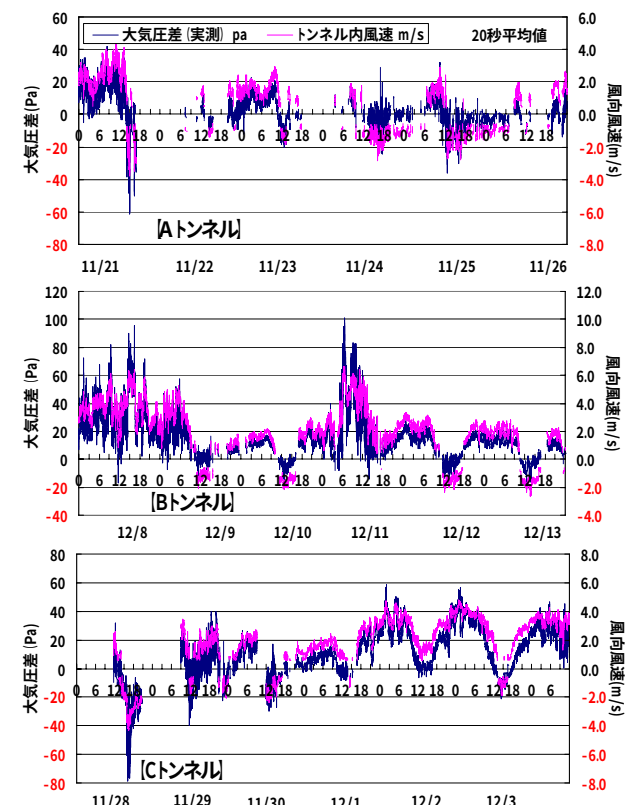


図5 大気圧差とトンネル内の風向風速

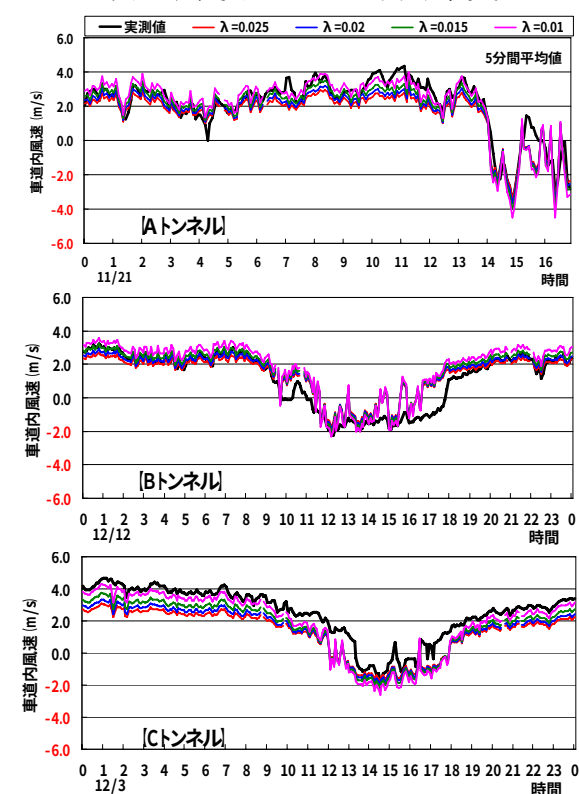


図6 トンネル内の風向風速の予測