

道路トンネル内の自然風および交通換気力の 予測に関する研究

森本 智^{1*}・石村 利明¹・角湯 克典²

¹正会員 独立行政法人土木研究所 道路技術研究グループ(トンネル) (〒305-8516茨城県つくば市南原1-6)

*E-mail: morimoto@pwri.go.jp

² 独立行政法人土木研究所 道路技術研究グループ(トンネル) (〒305-8516茨城県つくば市南原1-6)

道路トンネル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と自然風を把握し、これらを考慮した合理的な換気制御技術の開発が必要である。本稿では、供用前および供用中の道路トンネルにおける実態調査を行い、自然風および交通換気力の把握と予測手法の検討を行った。

Key Words : road tunnel, ventilation, natural wind force, traffic ventilation force

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く、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自然風および交通換気力を考慮した制御方法の確立が必要である。筆者らは、これまで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、トンネル延長、両坑口の標高差など条件の異なる供用前の3箇所の道路トンネルを用いた実態調査を行い、いずれのトンネルにおいても壁面摩擦係数を的確に把握すること等で、坑口間の気圧差からトンネル内の自然風を概ね予測できることを確認した¹⁾²⁾。

本稿では、トンネル内の自然風および交通換気力を把握および予測することを目的として、供用中の道路トン

ネルを用いた実態調査を実施したので報告する。

2. 検討方法

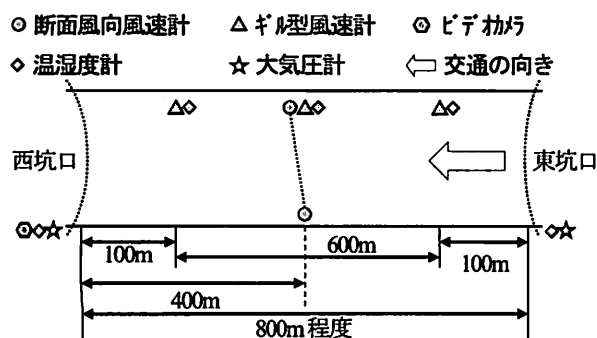
道路トンネル内に発生する自然風および交通換気力の実態を把握することを目的として、供用中の道路トンネルを用いて、トンネル内の風向風速、両坑口の気圧・温湿度、および交通量の調査を行った。実態調査は、表-1に示す一方通行のトンネルを対象として、表-2、図-1に示す各調査の項目および測点数について3日間以上の計測を実施した。計測は、1秒間隔にて行い10秒間の単純平均値をデータロガーに記録した。なお、今回の検討では5分間の平均値をもとに検討を行った。トンネル内の3箇所における風向風速は、歩道柵部に設置したプロペラ回転式のギル型風向風速計を用いた連続測定のほか、坑内中間付近については超音波式の断面風向風速計を設置し、ギル型風向風速計との比較を行った。また、交通量については、坑口部に設置したビデオカメラの映像からカウントした。なお、当トンネルには換気施設は設置されていない。

表-1 調査トンネル

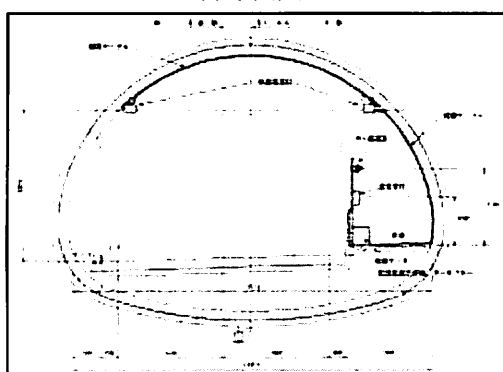
交通方式	延長(m)	断面積(m ²)	平面半径(m)	坑口標高差(m)
一方通行	800	64.1	650	4.2

表-2 調査項目および数量

調査項目	数量(箇所)
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



(a) 平面図



(b) 断面図

図-1 計測機器の配置(Aトンネル)

3. 調査期間中における計測結果

図-2にトンネル中間付近に設置したギル型風向風速計、および断面風向風速計の経時変化を示す。これより、両風向風速計はほぼ同じ値を示していることから、ギル型風向風速計の値は、概ね断面風速計と同じ値を計測していることがわかる。

図-3 にトンネル内3箇所におけるトンネル内の風向風速結果を示す。トンネルは交通方式が一方通行ということもあり、概ね正の風速値となる傾向にある。また、3箇所風速値はほぼ同じ値を示しているため、トンネル内の空気は非圧縮性であると考えることができる。このため、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。これらのことから、本検討で用いるトンネル内の風向風速は、中間付近に設置した断面風向風速計の値を代表値として用いることとする。

図-4に交通量の計測結果について示す。計測期間中における平均交通量は5,500台(日)程度であった。時間帯別でみると、比較的交通量が多い6時から21時までは300台(時)程度であるが、深夜23時から3時までは50台(時)程度と大幅に少なくなる傾向にあった。

図-5 に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60Pa程度で推移し

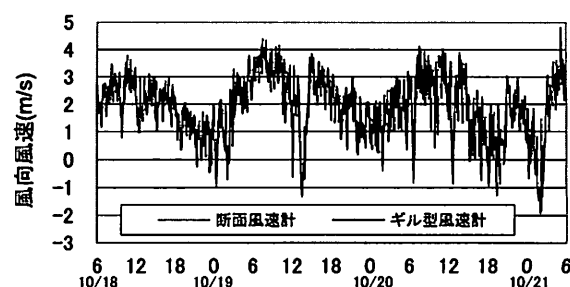


図-2 ギル型風向風速計と断面風向風速計の比較

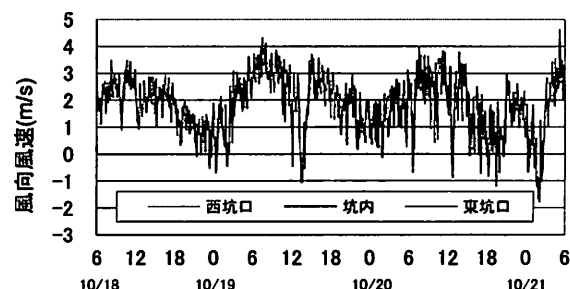


図-3 トンネル内風向風速

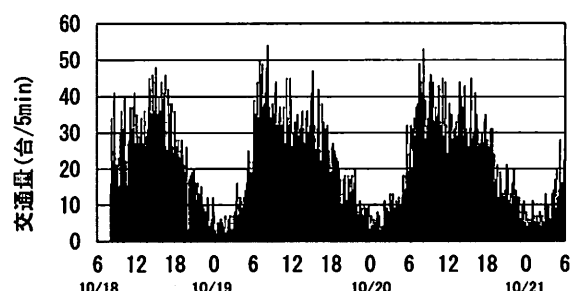


図-4 調査期間中における交通量

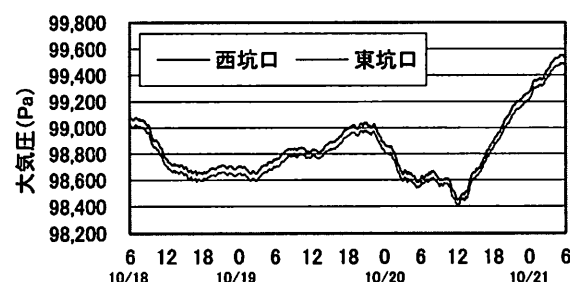


図-5 調査期間中における坑外大気圧

ており、両坑口の標高差約4m程度の影響であると考えられる。

4. トンネル内の自然風の予測

トンネル内の自然風予測の検証については、交通換気力による影響を受けにくい深夜23時から3時までの交通量が少ない時間帯で、自然風の風向が逆転する10月20日の23時から10月21日の3時までを対象に行った。

図-6に標高および温度による補正を行った後の大気圧差とトンネル内の風向風速との関係を示す。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。

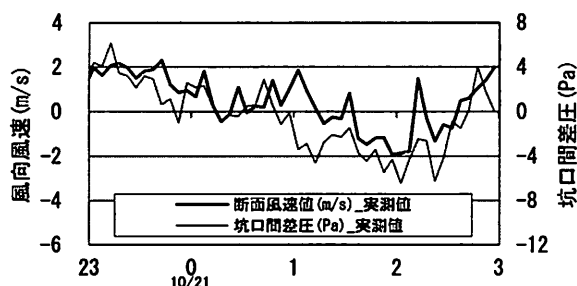


図-6 大気圧差とトンネル内の風向風速

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。

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

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 : 自然風による平均風速(m/s)
 ρ : 空気密度(kg/m^3)

図-7に予測した自然風の値とトンネル内の風向風速との関係を示す。ここでは一般的に用いられる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0.025と設定した。トンネル内の風向風速と予測した自然風の値を比較すると、予測値が変動してはいるものの、全体的な傾向としては比較的近似していることが確認できる。これらのことから、自然風は、両坑口の大気圧差より概ね予測することが確認できる。

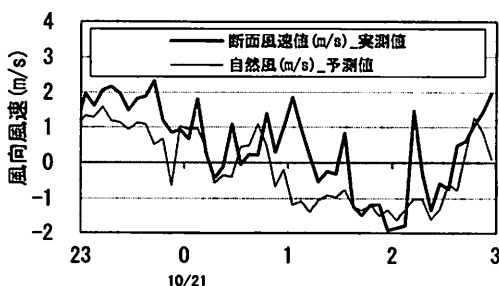


図-7 自然風の予測

5. トンネル内の交通換気力の予測

通常、交通換気力は次式で定義される。各車両の速度、および算出した前面投影面積を用いて、次式の関係に基づき、交通換気力を予測する。

$$\Delta P_t = \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot n \cdot (V_t - U_t)^2 \cdots (2)$$

ただし、 ΔP_t : 交通換気力(Pa)
 A_m : 自動車等価抵抗面積(m^2)
 A_r : トンネル断面積(m^2)
 n : 車両台数(台)
 V_t : 平均走行速度(m/s)
 U_t : トンネル内風速(m/s)

ここで、ビデオカメラの映像分析から各車両について、速度および車長を解析し、自動車ガイドブック³⁾に記載されている車両諸元より、車長と前面投影面積の関係について整理し、各車両に対する前面投影面積を算出した。図-8に車長と前面投影面積の関係を示す。

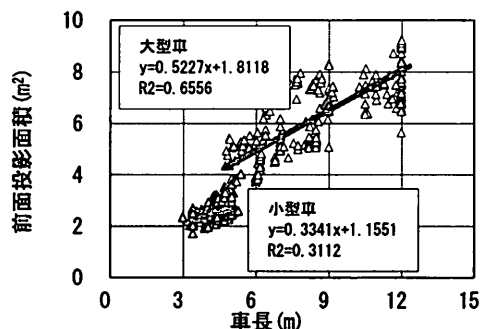


図-8 車長と前面投影面積の関係

図-9に予測した交通換気力を示す。図中にはトンネル内の風向風速値から4.で算出した自然風の予測値を差し引くことにより、分離した交通換気風の値をあわせて示す。交通量から予測した交通換気力と分離した交通換気風は相互に連動していることがわかる。これらのことから、予測した自然風とトンネル内風速との差分を交通換気力の成分として考えると、交通量から予測した交通換気力とは概ね一定の関係にあることが確認できた。

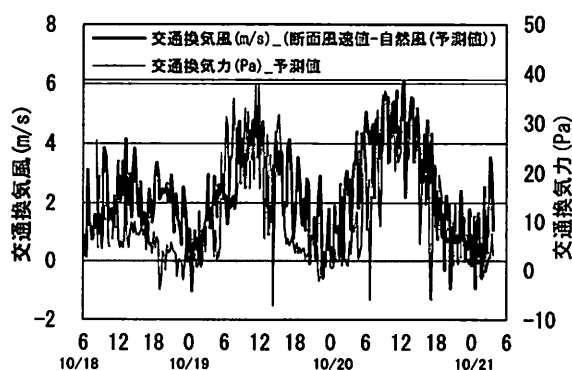


図-9 交通換気力の予測

6. トンネル内風速の予測

以上のことから、自然風は坑口間差圧から、交通換気力は交通量等から概ね予測できることが確認できた。

図-10に計測期間中における坑口間差圧と予測した交通換気力、およびトンネル内の風向風速を示す。坑口間差圧が小さい時間帯においては、交通換気力と風向風速は相互に連動しているが、坑口間差圧が比較的大きな負圧となっている時間帯においては、坑口間差圧が小さい時間帯に比べ、交通換気力と風向風速の連動にズレが生じている。

図-11に坑口間差圧と予測した交通換気力を足しあわせた値、およびトンネル内風向風速の関係について示す。自然換気力と交通換気力の和とトンネル内風速は、調査期間を通じて概ね相互に連動していることがわかる。

このことから、トンネル内風向風速は、坑口間差圧から生じる自然換気力、および交通量から生じる交通換気力を適切に予測し、考慮することで予測が可能であると考えられる。

7. まとめ

供用中の道路トンネルを用いた実態調査を行い、両坑口の大気圧差を用いて自然風の予測を行うとともに、交

通量等から交通換気力の算出を行った結果、以下がわかった。

- 1) 交通量の少ない時間帯における分析により、両坑口の大気圧差から予測した自然風とトンネル内の風向風速とが概ね一致することから、供用中のトンネルにおいても、自然風を予測することが可能であることがわかった。
- 2) 交通量の比較的多い時間帯においては、トンネル内風速と予測した自然風との差分を交通換気風の成分として考えると、交通量から求めた交通換気力と概ね一定の関係にあることがわかった。

今後、より高い精度でトンネル内の風向風速を予測するには、自然換気力および交通換気力の予測精度をさらに向上させる必要があり、壁面摩擦損失係数などを正しく設定するとともに、交通車両の速度や前面投影面積などを的確に把握することなどが重要である。

参考文献

- 1) 石村利明、森本智、角湯克典：道路トンネル内の自然風に関する実態調査、第28回日本道路会議、2010
- 2) 石村利明、森本智、角湯克典：トンネル内の自然風の把握および予測に関する検討、第64回年次学術講演会講演概要集、2010
- 3) 自動車ガイドブック、(社)日本自動車工業会

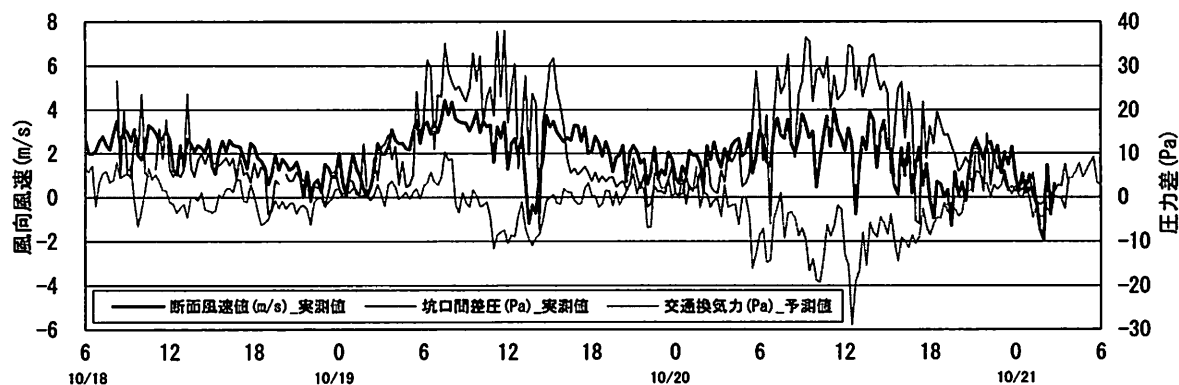


図-10 自然換気力および交通換気力とトンネル内風速の関係

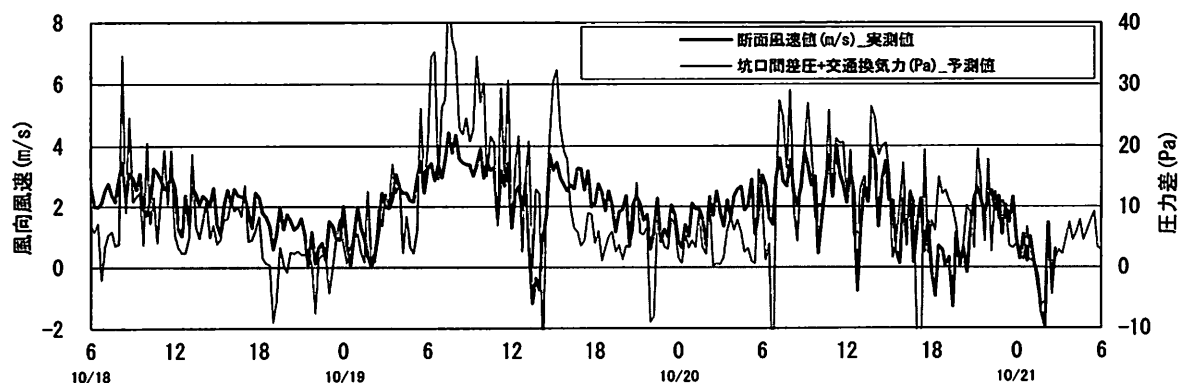


図-11 トンネル内風速の予測