

# 道路トンネル内の自然風および交通換気力の予測

森本 智\* 石村利明\*\* 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現するためには、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<sup>1),2)</sup>。

本稿では、供用中の道路トンネルを用いた実態調査を実施し、トンネル内の自然風にくわえて交通換気力の把握および予測を行ったので報告する。

## 2. 調査方法

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、および交通量の実態調査を行った。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。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 <sup>2</sup> )	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	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・両坑口の温度・湿度	5
通行車両の状況	1

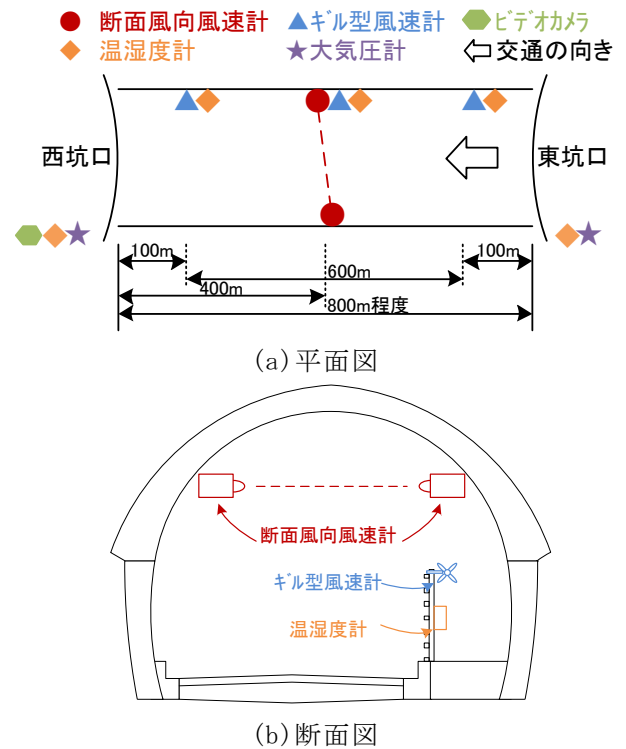


図-1 計測機器の配置

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。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以下の検討を行った。

### 3. 調査、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。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、概ねトンネル断面内の風速を計測できていることがわかる。

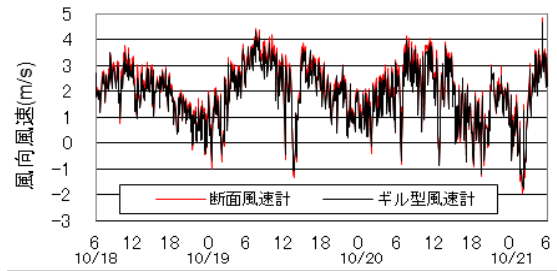


図-2 ギル型風向風速計と断面風向風速計の比較

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箇所の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られる。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。

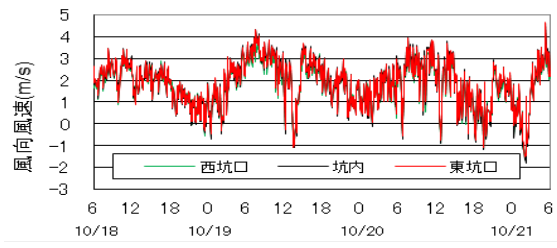


図-3 トンネル内風向風速

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時までには50台(時)程度と大幅に少なくなる傾向にあった。

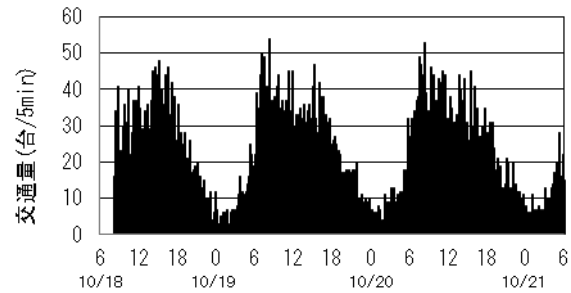


図-4 調査期間中における交通量

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程度で推移しており、これは両坑口の標高差(約4m程度)の影響であると考えられる。

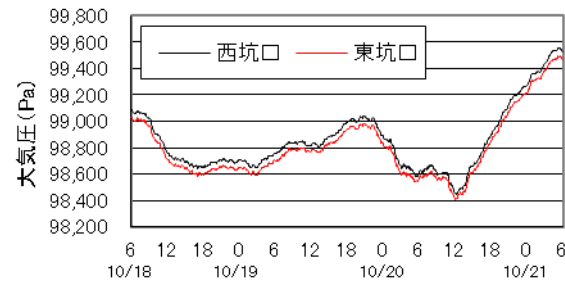


図-5 調査期間中における坑外大気圧

### 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、自然風の風向の逆転が見られる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。

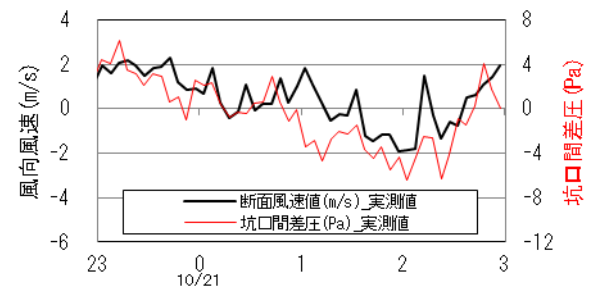


図-6 大気圧差とトンネル内の風向風速

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、風向が逆転する場合においても連動した結果を示している。

通常、自然換気力は次式で定義される<sup>3)</sup>。式(1)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。

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

ただし、 $\Delta P_{MT}$  : 坑口間自然換気力(Pa)

- $\zeta_e$  : トンネル入口損失係数
- $\lambda$  : 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)
- $\rho$  : 空気の密度(kg/m<sup>3</sup>)

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、風向風速値は概ね1m/s未満の差で連動しており、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、トンネル内の自然風は、両坑口の大気圧差より概ね予測できることが確認できた。

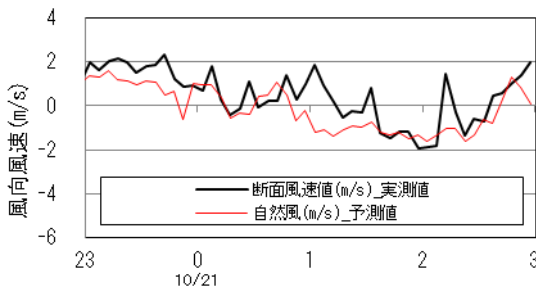


図-7 自然風の予測

### 5. トンネル内の交通換気力の予測

通常、一方通行の場合、交通換気力は次式で定義される<sup>3)</sup>。各車両の速度、および算出した前面投影面積を用いて、式(2)の関係に基づき、交通換気力を予測する。

$$\Delta P_t = \frac{A_m \cdot \rho}{A_r} \cdot n \cdot (V_t - U_r)^2 \quad \dots \text{式(2)}$$

- ただし、 $\Delta P_t$  : 交通換気力(Pa)
- $A_m$  : 自動車等価抵抗面積(m<sup>2</sup>)
- $A_r$  : トンネル断面積(m<sup>2</sup>)
- $n$  : 車両台数(台)
- $V_t$  : 平均走行速度(m/s)
- $U_r$  : トンネル内風速(m/s)

図-8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計算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

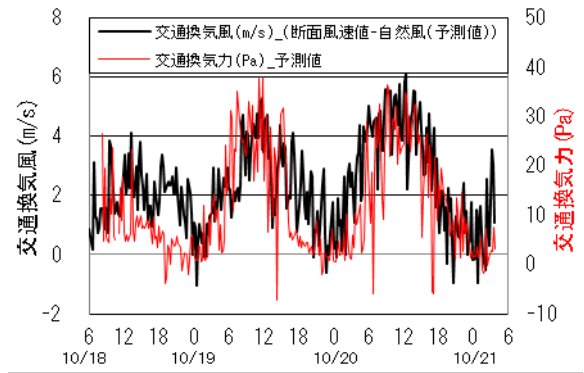


図-8 交通換気力の予測

気力と計算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、トンネル内風速と予測した自然風の差分を交通換気風の成分と考えると、交通量から予測した交通換気力により概ね予測できることが確認できた。

### 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-9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(19日10時から15時、20日6時から15時頃)においては、その他の時間帯に比べ、交通換気力と風向風速の連動にズレが生じている。

図-10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。

これらのことから、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、および交通量等による交通換気力を適切に予測し、それらを足し合わせ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、以下のことがわかった。

- 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。

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考え、交通量から求めた交通換気力と概ね一定の関係にある。

3) トンネル内風速は、坑口間差圧から生じる自然換気力、および交通量等による交通換気力を適切に予測し、それらを足し合わせることで予測できる可能性がある。

今後、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うことを目標とするには、より

高い精度でトンネル内の風向風速を予測する必要があり、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) (社)日本道路協会：道路トンネル技術基準（換気編）・同解説 平成20年改訂版

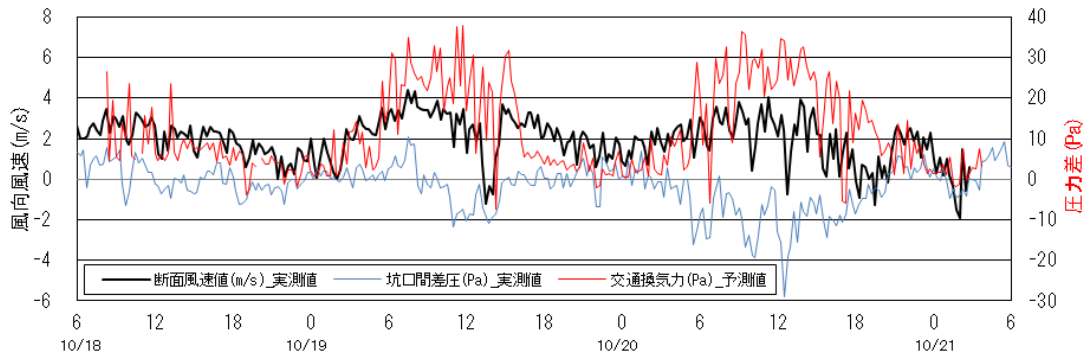


図-9 自然換気力および交通換気力とトンネル内風速の関係

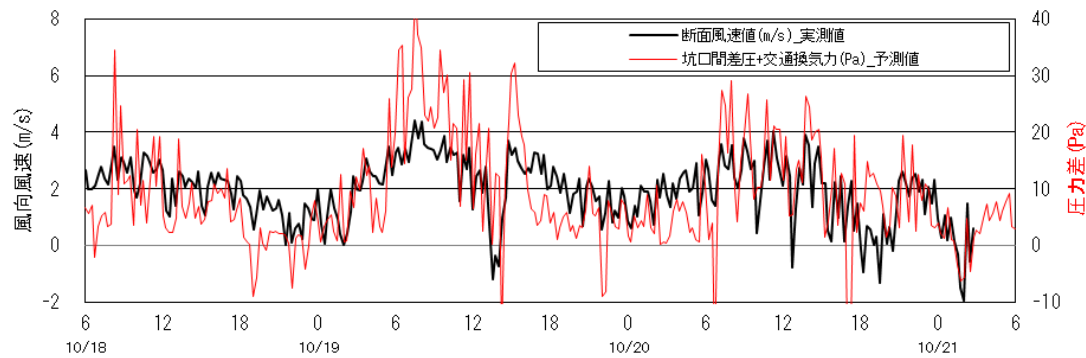


図-10 トンネル内風速の予測

森本 智\*



独立行政法人土木研究所つくば  
中央研究所道路技術研究グループ  
トンネルチーム 研究員  
Satoshi MORIMOTO

石村利明\*\*



独立行政法人土木研究所つくば  
中央研究所道路技術研究グループ  
トンネルチーム 総括主任研究員  
Toshiaki ISHIMURA

角湯克典\*\*\*



独立行政法人土木研究所つくば  
中央研究所道路技術研究グループ  
トンネルチーム 上席研究員  
Katsunori KADOYU