

自然・交通条件を考慮した換気制御方法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 20～平 22

担当チーム：道路技術研究グループ（トンネル）

研究担当者：角湯克典、石村利明、森本 智

【要旨】

道路トンネルの換気設備のより一層の合理的・経済的な運用を図るためには、現在、有効活用されていない時々刻々と変化するトンネル内の自然風と自動車の走行による交通換気力を考慮した換気制御方式を確立する必要がある。火災時においては風速制御の精度向上を図ることが必要である。本研究は、供用前および供用中のトンネルでの実態調査により自然風、トンネル内に発生する交通換気力の把握を行い、これらが予測可能であること示した。さらに、自然風、交通換気力を考慮できる換気制御方式および火災時の制御方法の検討を行い、新たな換気制御システムを提案するとともに、供用中のトンネルにおける実証試験を通して、その効果について検証を行った。

キーワード：道路トンネル、換気制御方式、交通換気力、自然風

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量等の諸条件に加えて、自然風と自動車の走行による交通換気力を考慮した設計が行われている。しかし、供用時におけるトンネルの換気設備の運用は、時々刻々と変化する自然風や交通換気力を考慮した制御を行うことなく、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、供用時の換気設備の運用に自然風と交通換気力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。また、火災時においては、対面通行トンネルではトンネル利用者の避難環境の確保のために煙の拡散を極力抑えられるように縦流風速を発生させない換気制御が望まれるが、自然風や交通換気力の影響等により縦流風速の発生抑制は非常に困難である。

本研究は、より一層の合理的・経済的な換気設備の運用を実施するために、共同研究により、時々刻々と変化する交通換気力および自然風の特徴を把握し、これらの影響を考慮した通常時および火災時における換気制御システムの検討・開発および供用中のトンネルにおける実証実験を通して効果の検証を行った。

2. トンネル内の自然風の把握と予測

2.1 実態調査

道路トンネル内に発生する自然風の実態の把握・予測

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。

表-1 自然風の調査トンネル一覧

トンネル名	延長 (m)	断面積 (m ²)	交通形態	平面曲率 R(m)	縦断勾配 (最大) (%)	両坑口の標高差(m)	坑口方位
Aトンネル	1464	65.9	—	800	-3.0	43.0	南-北
Bトンネル	1402	65.6	—	1200	0.4	-5.6	南-北
Cトンネル	2472	64.4	—	1100	-0.8	14.9	南-北

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・両坑口の温度・湿度	5
通行車両の状況	1

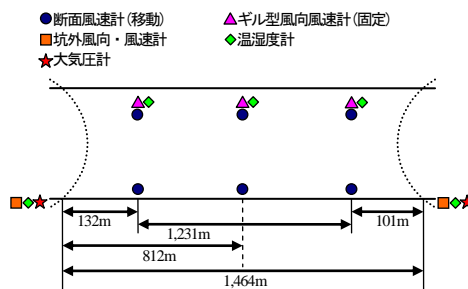


図1 計測機器の配置 (Aトンネル)

2.2 実態調査結果

2.2.1 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 箇所の風速値はほぼ同じ値を示している。これより、トンネル内の空気が非圧縮性であると考えることができ、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。

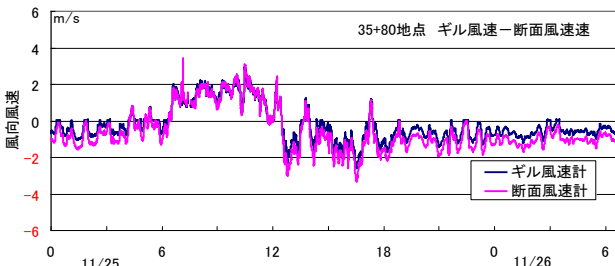


図2 ギル型風向風速計と断面風速計の比較

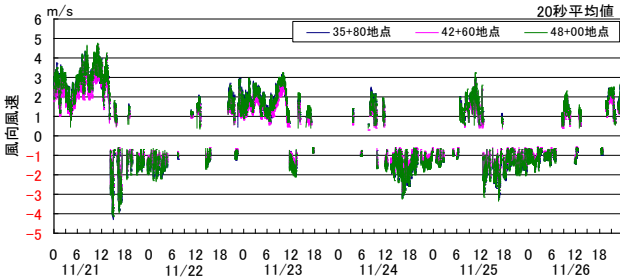


図3 トンネル内風向風速

2.2.2 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 程度で推移しており、両坑口の標高差約 43m による影響が大きく

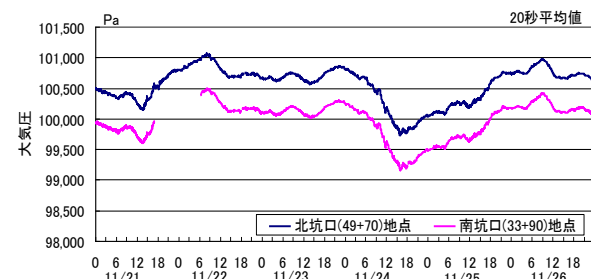


図4 両坑口における大気圧 (A トンネル)

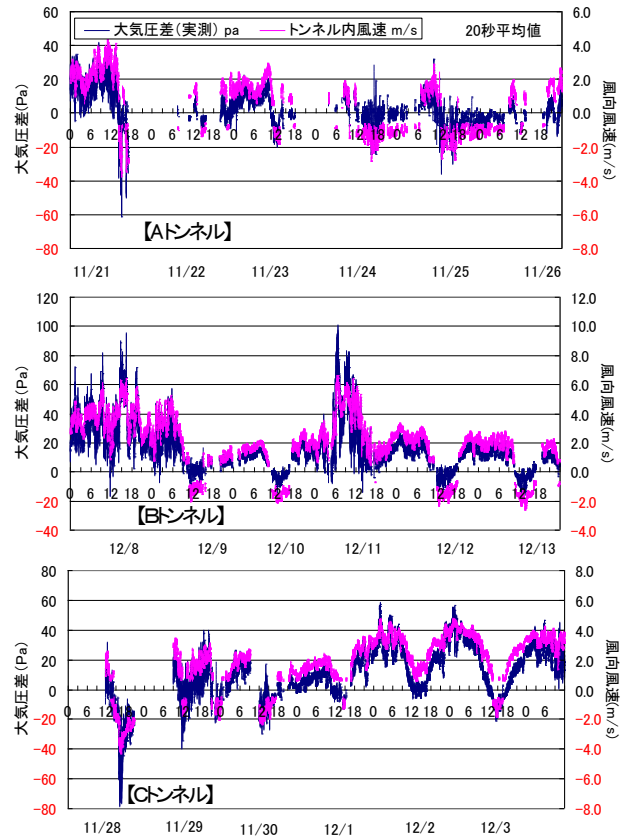


図5 大気圧差とトンネル内の風向風速

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。

2.3 トンネル内の自然風の予測

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。

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

- 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 : 自然風によるトンネル内平均風速 (m/s)
- ρ : 空気密度 (kg/m^3)

(1)式により算出した予測結果を図-6 に示す。図は、各トンネルについて、トンネル内の風向が変化する場合を含む代表的な約 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 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低風速域については風向が一致しない時間帯があり、壁面摩擦損失係数の大きさにより風速値は若干異なるものの、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、両坑口の標高差を含むトンネルの諸条件に関係なく、壁面摩擦損失係数を的確に把握することで自然風は十分な精度で予測できると考えられる。

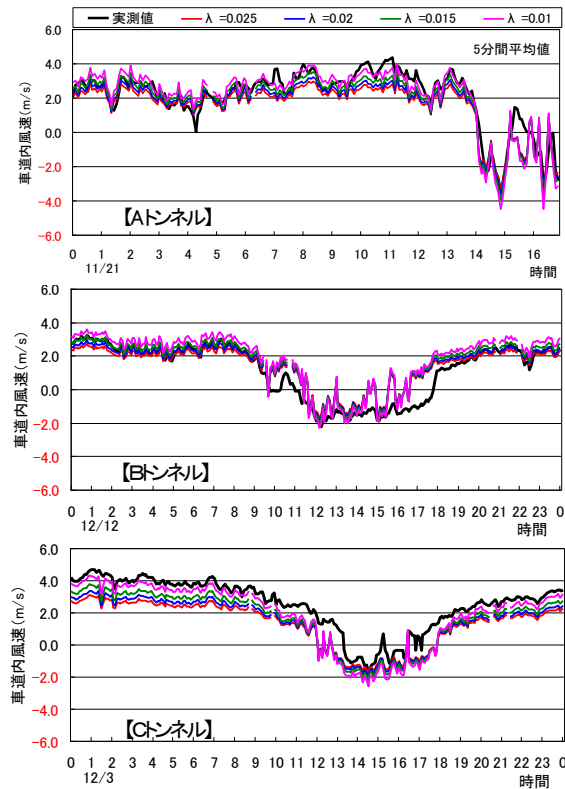


図6 トンネル内の風向風速の予測

3. 交通換気力の把握と予測方法

3.1 実態調査

供用中の道路トンネル内の風向・風速は、自動車走行によって生じる交通換気力のほか、自然風や、換気機による昇圧力の結果によって生じている。前述のとおり、道路トンネル内に発生する自然風は、両坑口間の大気圧差により予測できることが明らかになった。これより、トンネル内に発生している風向・風速から、自然風成分を分離することが可能となる。

実態調査は、表-3に示す交通形態の異なる一方通行トンネルおよび対面通行トンネルの2トンネルで実施した。なお、両トンネルともに、換気機は設置されていない。調査項目は、自然風の実態調査で実施したトンネル内の風向風速、両坑口の気圧・温湿度の調査項目のほかに追加して、交通換気力を把握するための交通量調査として坑口部周辺にビデオカメラによる映像を録画した。交通

量は、ビデオカメラの映像からカウントした。計測は、各トンネルともに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約3日間記録した。

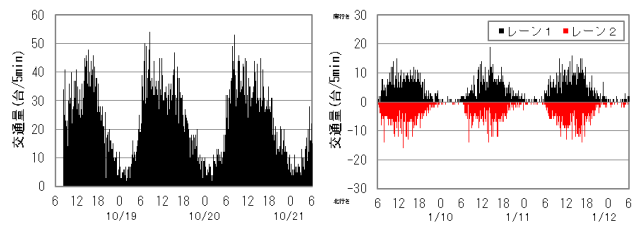
表-3 交通換気力の調査トンネル一覧

トンネル名	延長 (m)	断面積 (m ²)	交通形態	平面曲率 R(m)	縦断勾配 (最大) (%)	両坑口の標高差(m)	坑口方位
Dトンネル	800	64.1	一方	650	1.0	4.2	東-西
Eトンネル	1288	73.4	対面	1500	2.5	31.1	南-北

3.2 計測期間中の交通量

計測期間中の交通量はビデオカメラの映像の分析により求めた。計測期間中における平均交通量はDトンネルで5,500台/日程度、Eトンネルで2,000台/日程度であった。

図-7にDトンネル、Eトンネルの交通量(台/5min)を示す。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Dトンネルは20から40(台/5min)程度、Eトンネルは5から10(台/5min)程度であるが、深夜23時から3時まではDトンネルは5(台/5min)程度、Eトンネルは1(台/5min)程度と大幅に少なくなる傾向にあった。



(a)Dトンネル (b)Eトンネル

図-7 交通量 (Dトンネル、Eトンネル)

3.3 交通換気力の予測

通常、交通換気力は次式で定義される。ここで自動車等価抵抗面積は、ビデオカメラの映像分析から各車両の車長を解析し、自動車ガイドブック¹⁾に記載された車両諸元により車長と前面投影面積の関係について整理し、車長から車両の前面投影面積を用いて算出した。図-8に車長と前面投影面積の関係を示す。

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

- ただし、 ΔP_t : 交通換気力(Pa)
- A_m : 自動車等価抵抗面積(m²)
- A_r : トンネル断面積(m²)
- 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)

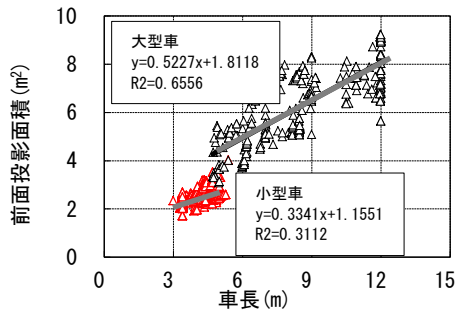
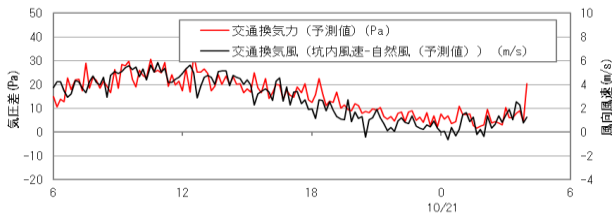
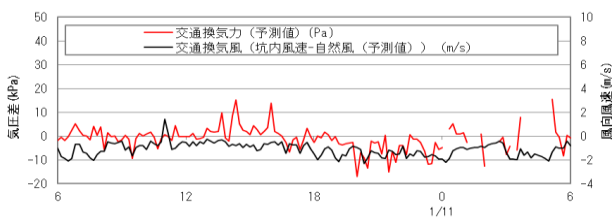


図-8 車長と前面投影面積の関係

図-9にDトンネルおよびEトンネルについて交通換気風と交通換気力の予測値を示す。交通換気風は、トンネル内風向風速の実測値から、坑口間の大気圧差から算出した自然風の予測値を差し引くことにより求めた。交通換気力は、一方通行のDトンネルについては、1レーンと2レーンのそれぞれの交通換気力の和とした。対面通行のEトンネルについては、南行き交通換気力を正の成分とし、北行き交通換気力を負の成分としてそれぞれの和とした。まず、一方通行のDトンネルは、交通量が比較的多い時間帯から少ない時間帯にかけて、交通換気風と、交通換気力の予測値は相互に連動していることがわかる。一方、対面通行のEトンネルは、対面する車両の影響を受け、全体として負の交通換気力が発生していることがわかる。多少の誤差はあるものの、全体としては交通換気風と、交通換気力の予測値は相互に連動していることがわかる。これらのことから、トンネル内風速から自然風の予測値の差分を交通換気力の成分として考えると、交通換気力は、交通量から概ね予測することが可能であると考えられる。



(a)Dトンネル (一方通行)



(b)Eトンネル (対面通行)

図-9 交通換気力の予測

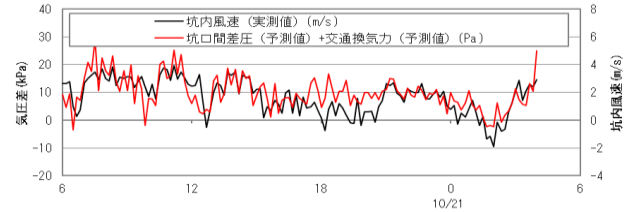
3. 4 トンネル内風速の予測

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から概ね予測できると考えられる。

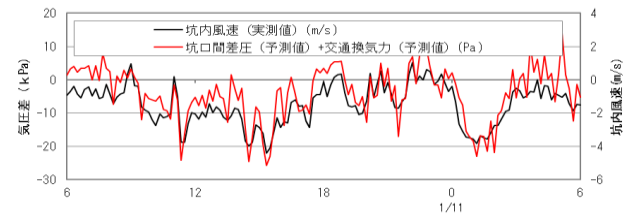
図-10にトンネル内風向風速の実測値と、坑口間差圧と

交通換気力の予測値を足しあわせた値の関係について示す。自然換気力と交通換気力の和は、トンネル内風速の実測値と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から予測すること可能性があると考えられる。



(a)Dトンネル



(b)Eトンネル

図-10 トンネル内風速の予測

4. 自然風・交通換気力を考慮した換気制御方式の検討

自然風は坑口間差圧から、交通換気力は交通量等の情報から予測できる可能性があることが確認できた。これらの情報について継続的な計測を行うことで交通換気力、自然風を考慮した換気制御が可能となる。本検討では、自然・交通条件を活用した換気制御により、①平常時は省エネルギーを実現、②火災時には最短時間での縦流風速零化を達成することを目標として新たな換気制御方法の検討を行った。

4. 1 平常時の換気制御方式

新たな換気制御方式の概要を図-11に示す。新たな換気制御方式は、時々刻々と変化する外乱（自然風、交通流）をトンネル両坑口に設置する高精度の大気圧計、交通量調査のための検出器によって継続的に計測し、各計測値から自然風、交通流（交通換気力）を予測する機能を有していることを特徴とする。具体的な制御方法および機能は下記のとおりである。

- ①風速、VI、CO、交通量など各計測データと交通モデル、換気モデルなどを組み合わせ、交通換気力、VI、CO発生量の推定・予測機能を有する。
- ②先の予測データにもとづき、交通流による交通換気風速・方向との関係を考慮したフィードフォワード量(基本換気量)と坑内風速やVI、CO制御目標値との偏差に対するフィードバック補正とを組み合わせた予測制御機能を有する。

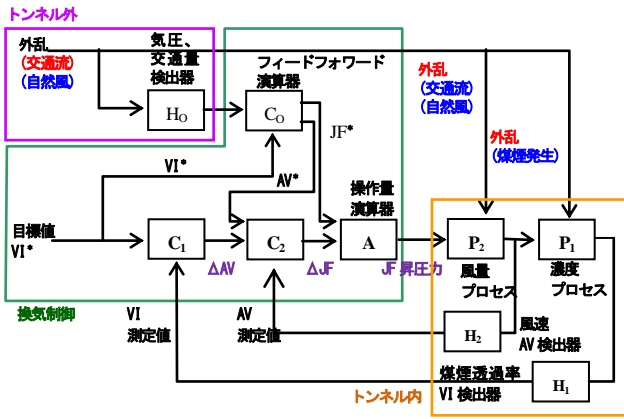


図-11 新換気制御方式の概要

③第1の風速フィードバック制御と第2のVI、COフィードバック制御を備え、第1のフィードバックループを包含するように第2のフィードバックループを形成するカスケード制御機能を有する。

4.2 火災時の換気制御方式

火災時の換気制御方法については、対面通行トンネルでは、煙の拡散を抑制防止のために換気機を停止するのが原則であるが、延長の長いトンネル等では排煙設備を用いてトンネル内の風速を低風速に制御することも行われることがある。本検討では、より精度良く低風速制御が実施できる方法として、インバータ制御による換気制御方法を検討した。

5. 実証試験による制御方式の効果等の検証

4.で示した新たな換気制御方式について、その効果と適用性を検証するため、図-12、表-5に示す延長約1500m、対面通行の供用中のFトンネルで実証試験を行った。換気施設および制御方式を表-6に示す。

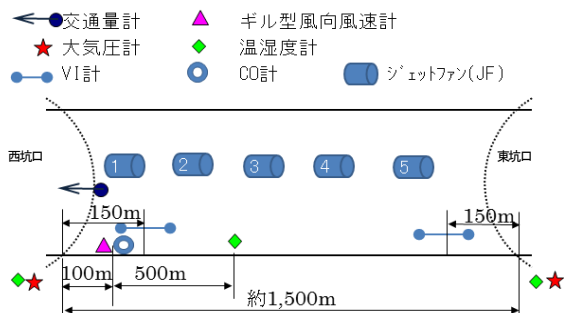


図-12 実証試験トンネルの概要

表-5 実証試験を実施したトンネル

トンネル名	延長 (m)	断面積 (m ²)	交通形態	平面曲率 R(m)	縦断勾配 (最大) (%)	両坑口の標高差(m)	坑口方位
Fトンネル	1544	62.3	対面	4000	-1.0	3.4	東-西

換気方式	JF台数	換気制御方式	トンネル内の計測器	概略交通量 (台/日)
縦流JF	高風速型5台 φ1250mm	フィードバック	VI計2台 (両坑口) CO計1台 (片坑口)	約23000

表-6 換気施設および制御方式

実証試験は、既設トンネルのフィードバック制御方式のためにトンネル内の両坑口付近および片坑口付近に設置してある煤煙透過率計 (VI計：測定区間長100m) と一酸化炭素計 (CO計) に追加して、両坑口に大気圧計、トンネル内に風向風速計、西側坑口に交通量計を設置し、坑口付近の電気室内で各計測データを収集した。計測データに基づき換気運転台数等をコンピュータにより演算処理を行い、その指示に従ってJFの運転を実施した。平常時の換気制御方式は、表-7に示す2方式、火災時の換気制御は表-8に示す2方式について実施した。平常時の換気制御の検証時間帯は各方式とも平日の概ね1日以上とし、火災時の換気制御はトンネル内環境への影響が少ない交通量の少ない夜間から深夜の時間帯でトンネル内環境の悪化に配慮し概ね20分程度実施した。

表-7 検証を実施した換気制御方式 (平常時)

換気制御	既設FB制御 (フィードバック)	新換気制御
制御の基本的考え方	両坑口のVI値を基に、VI値が低い方向へJFを運転する。	両坑口間の大気圧差・交通量をもとにトンネル内の自然風、交通換気力を推定し、JF運転を行う。
具体的な手法	制御ピッチ	10分間隔で制御
	上限VI値	91%超：JF2台停止 90%超：JF1台停止
	下限VI値	80%未満：JF1台追加運転 70%未満：JF2台追加運転
VI値：煤煙透過率		

表-8 検証を実施した制御方式 (火災時)

換気制御	台数制御	インバータ制御
制御の基本的考え方	トンネル内の風速計の値をもとに、風速がゼロとなるようにJFの運転を台数制御で行う。	トンネル内の風速計の値をもとに、風速がゼロとなるようにJFの運転をインバータ制御で行う。
初期条件および制御時の状態	自然風+交通流	自然風+交通流
制御方法	制御する値	トンネル内風速
	制御ピッチ	1分間隔で制御

5. 1 平常時の換気制御方式

図-13 に平常時の換気制御における VI 値・CO 値・JF 運転実績を示す。本トンネルでは昼間の交通量が多く、実証試験中において一部昼間の時間帯で東坑口方向の車両によりトンネル内で交通渋滞が発生した。図中にはトンネル内のほぼ全線にわたり交通渋滞が発生した時間帯(ピンク網掛け部)、夜間の交通量が少なく交通渋滞が発生していない時間帯(グレー網掛け部)を示した。図より VI 値は、両制御ともにトンネル内での交通渋滞等によって一時的に低下する時間帯が発生したが設計濃度 40%を下回することはなかった。既設 FB 制御では概ね 6 時～20 時までは JF 5 台での連続運転に対して、新換気制御では短い周期で JF 運転台数が変化することで VI 目標値が確保されている。CO 濃度は新換気制御で一時的に悪化した場合に 5～15ppm を示したが設計濃度 100ppm に対して十分小さい値であった。

図-14 にトンネル内の風向風速を示す。図には両坑口の大気圧差、交通量等、JF 昇圧力から算定した自然風、交通換気風、JF 換気風も示す。本トンネルでは西坑口の 1 箇所のみで交通量を計測したため東坑口を先頭としたトンネル内のみの交通渋滞に対して交通換気力を十分な精度で把握できず、実測と計算の風速が合致していない時間帯があった。そこで、交通状態が明らかな時間帯(網掛け部)でトンネル内の風速の実測と計算を比較する。トンネル全線で交通渋滞が発生した時間帯での風速の実測と計算は比較的よく整合していることが分かる。また、交通渋滞が発生していない夜間の時間帯も風速の実測と計算は比較的よく整合している。

次に、トンネル内の風速(実測)に影響を与える各成分(交通換気風等)の方向・大きさを比較する。本実証試験中においては交通換気風と JF 換気風が大きく、トンネル内風速には自然風よりも交通換気風と JF 換気風が大きく影響を与えていたと考えられる。渋滞時(ピンク網掛け部)の時間帯の交通換気風と JF 換気風の方向は、既設 FB

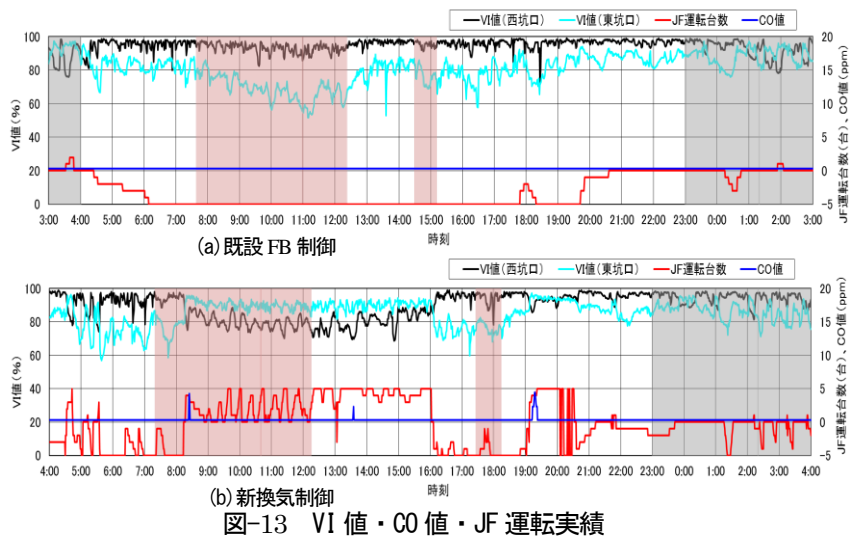


図-13 VI 値・CO 値・JF 運転実績

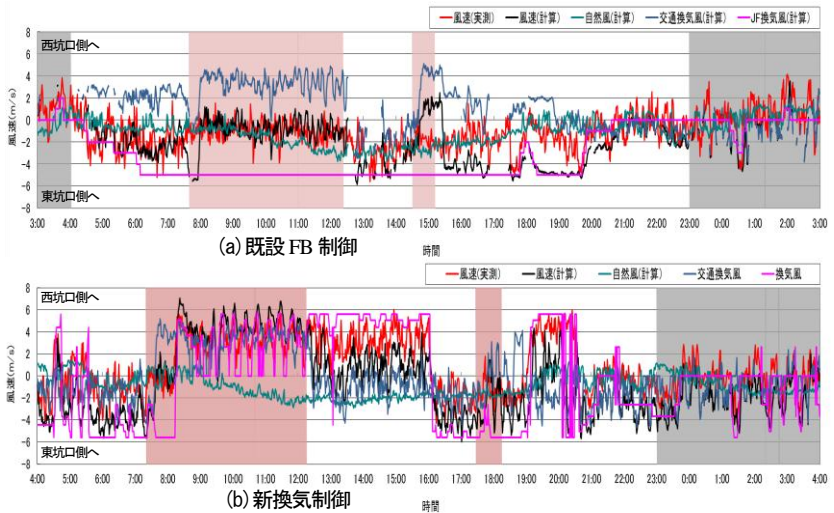


図-14 トンネル内の風向風速

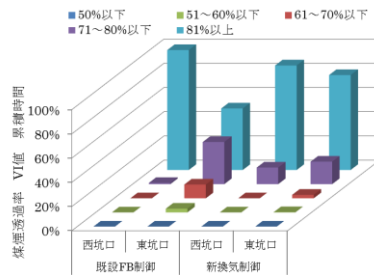


図-15 各 VI 値の累積時間

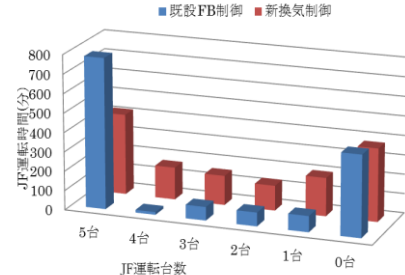


図-16 JF 台数毎の運転時間

制御では逆方向に、新換気制御は同方向であり、新換気制御の機能が現れている。

図-15 に両制御の各 VI 値の累計時間割合を示す。これより、既設 FB 制御は東坑口側のみ VI 値が低下する時間帯が多いが、新換気制御は両坑口ともに同程度の時間割合である。図-16 に JF 台数毎の運転時間を示す。これより、JF 5 台運転は既設 FB 制御で約 800 分、新換気制御で約 400 分であり、新換気制御の JF 運転実績は既設 FB 制御に比較して全体的に少なくなり、JF の稼働実績から算出した使用電力量の試算では、新換気制御が既設 FB 制御に比較して約 8 割であり、2 割程度の電力量の縮減となった。

5. 2 火災時の換気制御方式

図-17、図-18 に火災時における各制御結果を示す。(a)トンネル内風速の4箇所(西坑口側へ、東坑口側へ、中央)の平均値(1秒値)は、トンネル内に交通車両が存在している状態においても、台数制御で制御開始(0分)から8分程度、インバータ制御で制御開始から13分程度まで概ね1~2m/s以下の風速値を維持している。台数制御の時間帯は、比較的少ない交通量であったため制御開始時で1m/s以下のトンネル内風速であり、制御開始3分後からJFの運転が実行された。一方、インバータ制御の時間帯は、交通量が比較的多く、制御開始時で2~3m/s程度あったトンネル内風速が制御開始直後からJFの運転が行われ、開始1分程度で低風速となり、その後も一定時間維持している。

いずれの制御方式においても、風速制御に用いた風速計に近いNO.1のJFが運転(ピンク網掛け部)以降にトンネル内風速値が変動し始めている。これは、NO.1のJFと風速計との距離が80mと近かったため、JF運転による風速値への影響が現れたものと考えられる。

次に、火災制御方式の違いを確認するため、換気シミュレータを用いて低風速制御の解析を行った。換気シミュレータの主な解析モデルは表-9に、解析条件は表-10に示すように、実証試験を実施したトンネルを想定し、坑口から500mの位置で火災が発生したことを想定し、自然風が2m/s、4m/sの2条件について火災発生後30秒後から台数制御、インバータ制御を行った場合の比較を行った。解析上における制御方法は、図-19に示すように台数制御はJF台数のON-OFFによる階段状の制御を、インバータ制御は連続的な制御を行った。

解析結果を図-20に示す。図中には参考としてJFの運転を行わない場合の結果も示した。JFの運転を実施しない場合のトンネル内風速は、火災発生後5~7分程度で自然風に収束している。これはトンネル内の交通状況が、火災と同時に火災地

表-9 換気シミュレータの主な解析モデル

項目	概要
風速モデル	一次元非圧縮モデル
汚染濃度モデル	一次元移流拡散方程式
交通モデル	マイクロ交通モデル

表-10 検討条件一覧

トンネル延長(m)	断面積(m ²)	速度(km/h)	交通量(台/分)	大型車混入率(%)	交通量比	ジェットファン	火災地点	自然風の条件
1500	62.3	60	16	10	5:5	4台(高風速型1250mm)	坑口から500m	2m/s 4m/s

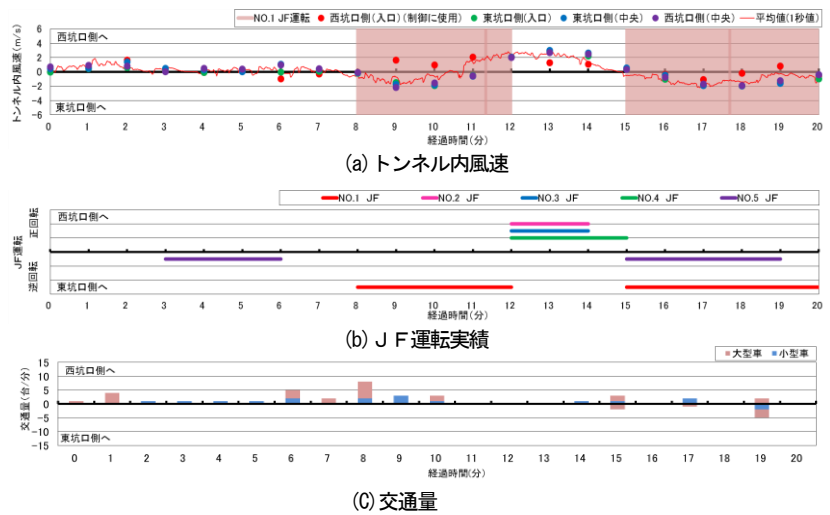


図-17 台数制御の結果

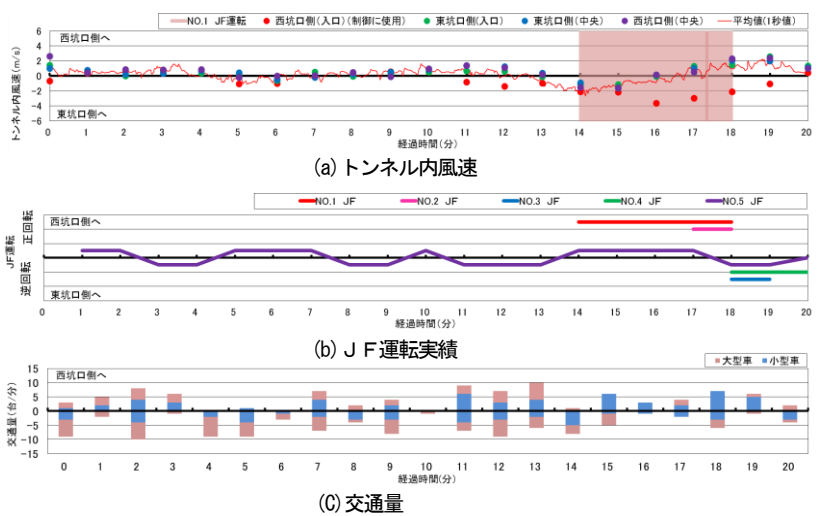


図-18 インバータ制御の結果

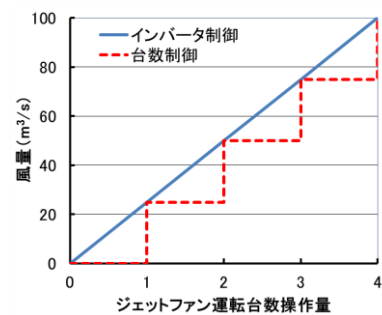


図-19 台数制御とインバータ制御

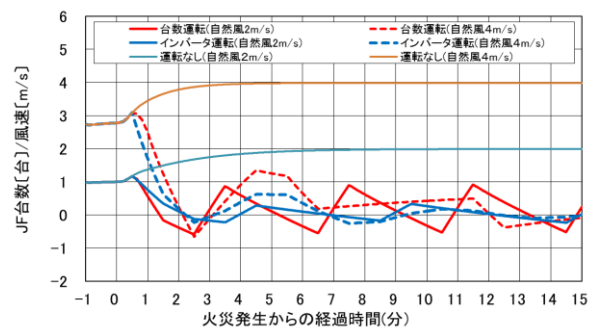


図-20 換気シミュレータによる低風速制御結果

点上流側の車両は停止、火災地点下流側の車両はトンネル外へ移動する等によって、時間とともに交通換気力がなくなりトンネル内風速が自然風に収束するものである。

一方、台数制御、インバータ制御では換気機の運転により火災発生後 1 分～2 分程度で低風速となる。変動幅は台数制御で+1.5～-0.5m/s 程度、インバータ制御で+0.5～-0.5m/s であり、インバータ制御が台数制御に比べて変動幅が小さく、低風速状態を維持しており精度の高い制御が行われることがシミュレーション上確認できた。

以上のように実証試験時の結果からは、両制御方式の顕著な差は見られなかったが、換気シミュレータを用いた解析結果では、インバータ制御が台数制御に比べて精度の高い制御が可能であることが分かった。

6. まとめ

本研究において、供用前および供用中の道路トンネルを用いた実態調査を行い、自然風および交通換気力の把握・予測を行った。また、時々刻々と変化する自然風と交通換気力を考慮できる換気制御方式の提案を行うとともに、実証試験を通して、その効果について検証を行った。これらより、以下のことがわかった。

- 1) 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。
- 3) トンネルの両坑口での大気圧差と交通量計測結果を反映させた換気制御方式は、実証試験を実施したトンネルの既設フィードバック方式に比較して、トンネル内環境が顕著に悪化することなく維持できるとともに、換気機の運転時間も短縮されることが明らかとなり、新換気制御の機能の有効性とその効果が検証できた。
- 4) 火災時において、換気機をインバータ制御することにより、台数制御に比べてトンネル内風速を的確に制御できる可能性がある。

今後は、交通渋滞の発生等にも対応できる交通量データの把握方法の検討、トンネル内の風向転換のタイミング等の調整等を行うことで、さらに効率的な換気方式として提案するとともに、実トンネルへの普及を図ってきたい。

参考文献

- 1)自動車ガイドブック、(社)日本自動車工業会

STUDY ON VENTILATION CONTROL METHOD IN CONSIDERATION OF TRAFFIC AND NATURAL CONDITIONS

Budget: Grants for operating expenses
General account

Research Period: FY2008-2010

Research Team: Road Technology Research
Group(Tunnel)

Author: Katsunori KADOYU
Toshiaki ISHIMURA
Satoshi MORIMOTO

Abstract : To operate the ventilation facilities in tunnel more rational and economical way, the ventilation control system should be established considering the effect of natural wind and the accuracy of smoke control in tunnel fire should be improved.

This research aims at the establishment of economical ventilation control method considering their influences and the results were shown that these were predictable. Also the ventilation control system and smoke control system in tunnel considering the natural wind and traffic ventilation force was examined and new control system was proposed. Also its effect was examined at the real tunnel sites. The results were shown as follows;

- 1) Natural wind at tunnel during service stage was predictable because the natural wind predicted by the air pressure at both portals and the direction and velocity of wind in tunnel was almost the same.
- 2) At the time zone with relatively high traffic volume, the difference between the predicted natural wind velocity and the wind velocity in tunnel had a certain constant relation with traffic ventilation force from traffic volume.
- 3) As for the ventilation system considering the difference of air pressure at both portals and the result of traffic volume, the environment inside tunnels was kept good and the driven time of ventilation machine decreased, comparing with the current feedback system.
- 4) During tunnel fire, the velocity of wind in tunnel in inverter control of ventilation machine was much controlled than that in the number control of ventilation machine.

Keyword: Road tunnel, ventilation control method, traffic ventilation force, natural wind