

高速道路トンネル換気制御システム

Expressway Tunnel Ventilation Control System

小山 敏博

KOYAMA Toshihiro

山田 佳弘

YAMADA Yoshihiro

篠原 正憲

SHINOHARA Masanori

大都市圏で計画されている地下空間有効利用型道路トンネルでは、重交通量への対応とトンネル周辺環境保全との協調が最大の課題となっている。この課題を解決するために新たに採用が計画されている横流・縦流混合換気方式に対し、当社では、シミュレーション解析技術を通して、トンネル坑口外部への汚染物質排出を極力抑えるとともに、トンネル内の安全走行環境を維持する換気制御システムを開発した。

Environmental protection and countermeasures against heavy traffic have recently become important problems for underground urban tunnels.

Using simulation technologies, Toshiba has developed a new tunnel ventilation control system that realizes safety for drivers by controlling the exhaust of polluted air.

1 まえがき

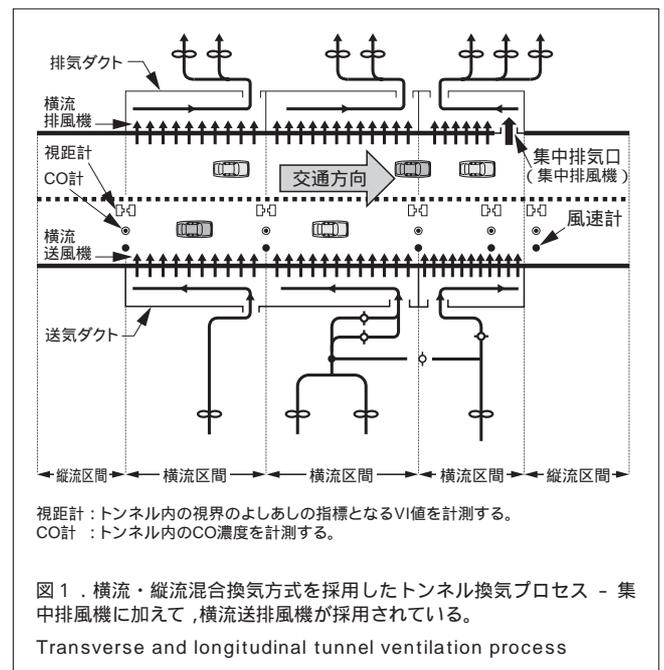
道路トンネルの機械換気方式は、大きくは横流式と縦流式に分かれる。横流式は車道空間周囲の送気ダクトから新鮮な空気を送り込み、排気ダクトから汚染された空気を排出する方式である。これに対し縦流式は、車道空間周囲には換気ダクトを設けず、車道空間を利用して換気風を流す方式である。前者は、ダクトが必要となる分だけトンネル断面積は大きくなるが、重交通量に対応した換気を実現できる。後者は、車道空間周囲のダクトが不要となるため、建設費に直結するトンネル断面積を低減できる利点を備えている。最近計画されている大都市圏の高速道路トンネルでは、換気性能と建設費削減の両面を考え、上記二方式を混合した横流・縦流混合換気方式の採用が検討されている。

当社では、上記トンネル向けに、シミュレーション解析技術を通して、① 汚染物質の坑口外漏れ出し抑制、② トンネル内汚染物質濃度の低減、③ 換気機運転所要電力の低減、といった多目的型換気制御システムを開発した。

ここでは、トンネル換気制御システム開発のキー技術となるシミュレーション解析技術を中心に、大都市圏トンネル向け換気制御技術について述べる。

2 大都市圏トンネル換気プロセスの概要と特長

横流・縦流混合換気方式を採用したトンネル換気プロセスの概要を図1に示す。トンネル内交通形態は一方通行であり、図1の左側坑口がトンネル入口、右側坑口がトンネル出口と



なる。トンネル出口手前には集中排気口が設けられ、集中排気機による排気を行っている。集中排気機は、トンネル内の汚染された空気が両坑口から集中排気口に向かって流れるよう制御する役割を担っており、汚染物質が坑口から漏れ出すのを抑制している。

しかし、トンネル内を走行する車両は、トンネル内に汚染物質(ばい煙、一酸化炭素(CO)など)を排出しながら、汚染された空気をトンネル出口に向かって押し出そうとする力(ピストン効果)を持っている。このため、集中排気口の上流側

には、車道空間周囲から送気ダクト・排気ダクトを通して換気風を流す横流送排風機が設置されている。横流送排風機は、送気ダクトから新鮮な空気を供給するとともに、排気ダクトからは汚染された空気を排出することにより、トンネル内の汚染物質の濃度を許容値以下に抑制する役割を持っている。また、横流の排風量を送風量よりも大きく設定すれば、汚染物質が坑口から漏れ出すのを抑制することもできる。

3 横流・縦流混合換気方式における換気機運転計画

上述のような特長を持つ横流・縦流混合換気方式のトンネルでは、集中排風機と横流区間の送排風機に対し、運転負荷(運転風量)をどのように分担させるかが課題となる。

そこで、当社では、トンネル内の風速分布(トンネル内の空

気が流れる速度の空間的分布)、VI(Visibility Index: 視距)値分布及びCO濃度分布をリアルタイムで演算できる高速演算プログラムを開発した。このプログラム開発により、換気設備が多岐にわたる道路トンネルでも、換気機運転計画をリアルタイムで行うことができる(図2)。

実トンネルでは、各時間帯の交通量(大型車、小型車別)は計測データの統計処理により予測できるため、その予測交通量を入力情報として、換気機負担分担計画を立てる方式としている。この際、①汚染物質が坑口外に漏れ出さない、②トンネル内VI値が許容値内、③CO濃度が許容値内、などの各種制約条件を満足する計画の中から換気機運転所要電力が最小となる計画を抽出している。

4 分合流トンネルへの対応

大都市圏の道路では、交通流の円滑化(渋滞緩和)が最重要課題となっているが、地上の道路網拡張には物理的限界がある。このため、地下空間有効利用の視点から、地下でトンネル自体を分合流させ、道路網を拡張する計画が進行中である。

4.1 平常時換気への対応

分合流トンネルの平常時換気制御では、下記の各性能を考える必要がある。

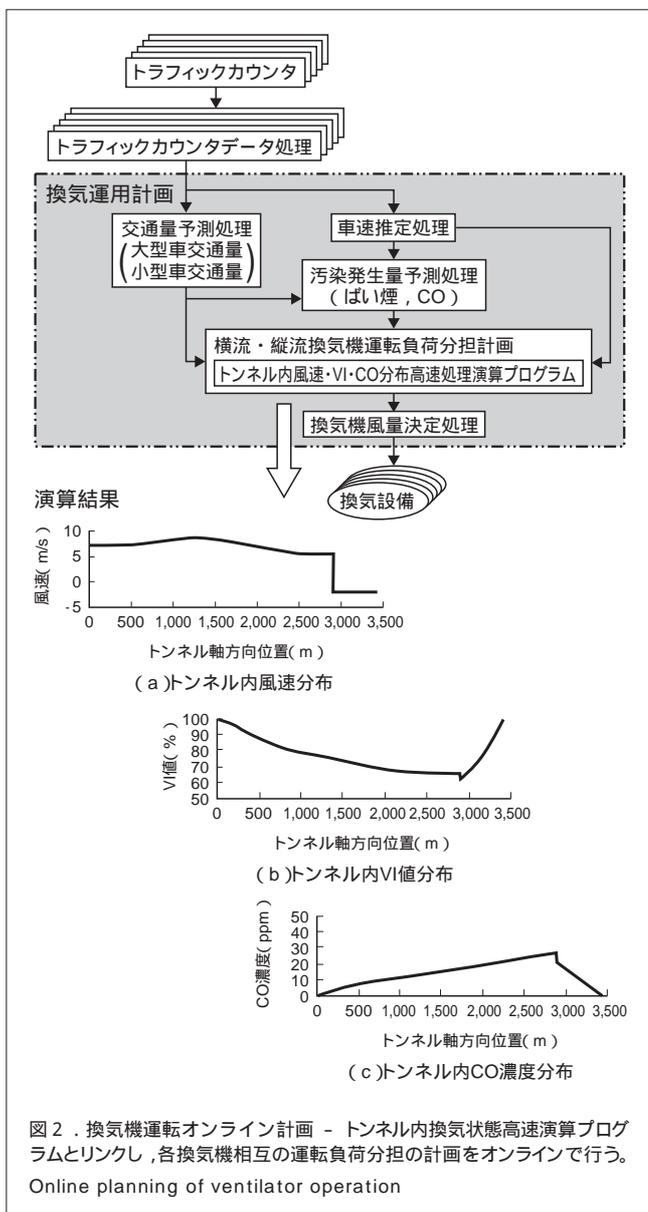
- (1) 本線トンネル出口に加えて分岐トンネルの出口からは、汚染物質が漏れ出さないように制御する。
- (2) 本線トンネル途中で合流するトンネルの風向きは、トンネル入口から合流地点へ向かう方向に安定に制御する。
- (3) 本線トンネル、分岐トンネル及び合流トンネルの風の流れが相互に干渉することを考えたうえで、換気機運転計画を立てる。

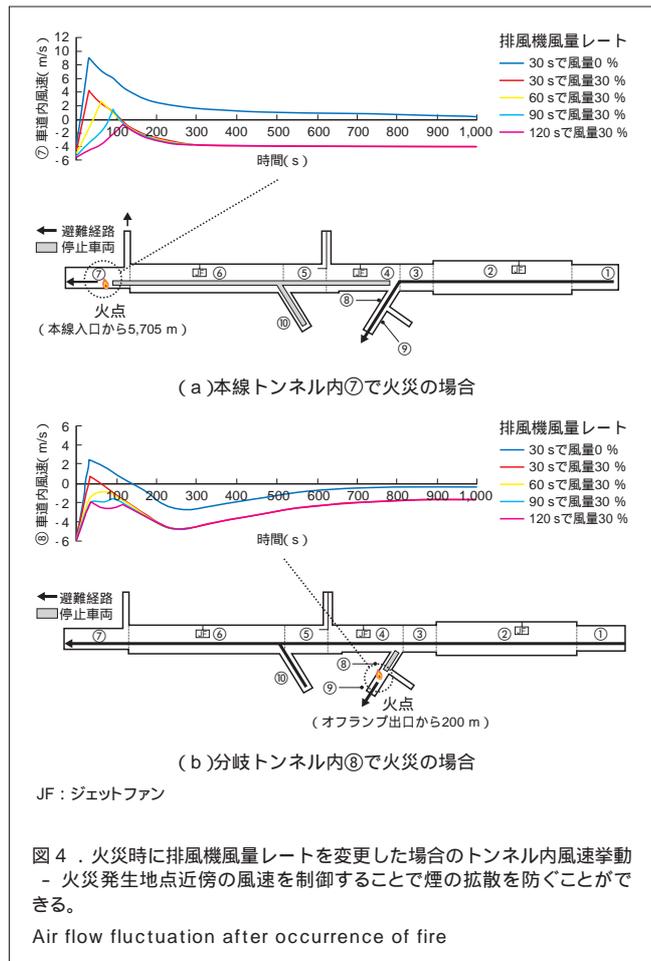
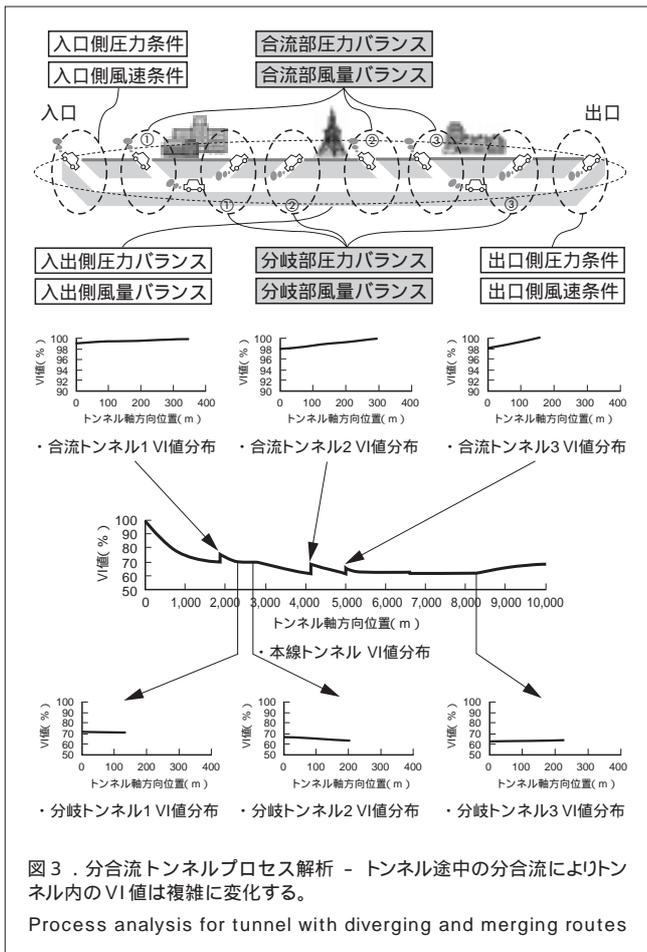
当社では、このようなタイプの分合流トンネルに対し、トンネル内分合流部の圧力バランス、風量バランスを考え、図3のように換気状態の解析を行うことができる換気プロセスシミュレータを開発した。

4.2 非常時(火災時)制御への対応

大都市圏のトンネルは重交通量トンネルとなるため、平常時とともに非常時(火災時)への対応には注意が必要である。火災時における通行車両は、次のような挙動を示すことが予想される。

- (1) 火点(火災発生地点)の上流側で、火点に向かって走行中の車両は火点に近い車両から順次停止していく。
- (2) 火点の下流側で火点から遠ざかる方向に走行中の車両は、そのまま走行を続けトンネル出口から脱出する。
- (3) 渋滞時には、火点上流側、下流側の車両ともにトンネル内に停滞する。



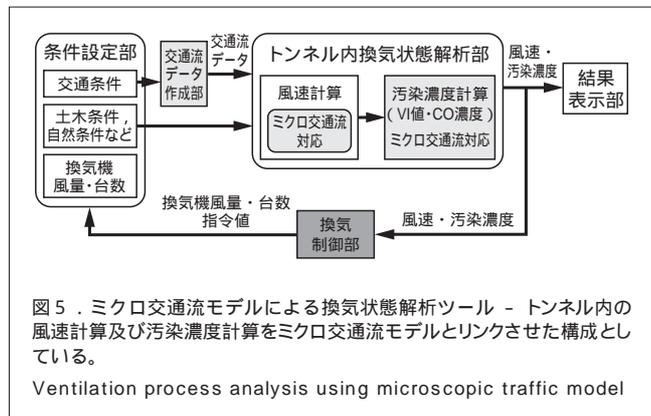


トンネル換気制御としては、火災時に通行車両が煙に巻き込まれないよう、トンネル内の風の流れを制御しなければならない。このため当社では、火災時の風速解析シミュレータを開発し、図4に示すように、火災時の換気機運転方法を解析評価できるようにした。図4は、本線トンネル内で火災が発生した場合、及び分岐トンネル内で火災が発生した場合を例にとり、火災発生地点の風の流れを停止させる制御を行った例である。このように火災発生地点近傍の風速を抑制すれば、煙の拡散を防ぐことができ、ドライバーが安全に避難できる環境の確保につながる。

4.3 ミクロ交通流モデルの導入

分合流トンネルにおいては、本線トンネルの途中で分岐、合流があるため、通行車両の流れによりトンネル内の風の流れは大きく左右されることになる。また、朝夕のラッシュ時間帯渋滞時及びその前後の時間帯において、安定した換気制御を行うためには、車両個々の流れを考えた制御性能検証が必要となる。このため当社では、車両1台1台の流れを考えたミクロ交通流モデルと連携した換気状態解析ツールを開発した(図5)。

図5のツールを使用すると、例えば図6のように合流部で渋滞が発生した場合に、トンネル内のVI値がどのような挙動



を示すのか事前検証できる。これにより、VI計、CO計及び風向風速計といったトンネル内センサを使用した、ダイナミック制御の最適パラメータを事前に検討できる。

4.4 三次元解析の導入

4.1節から4.3節において説明した解析技術は、すべてトンネル軸方向の一次元解析であるが、トンネル内の風の流れは、実際には三次元の挙動を示す。特に、ここで対象としている分合流トンネルでは、分合流部の圧力損失がトンネル内の風の流れに三次元の影響を及ぼす。したがって、分合流トン

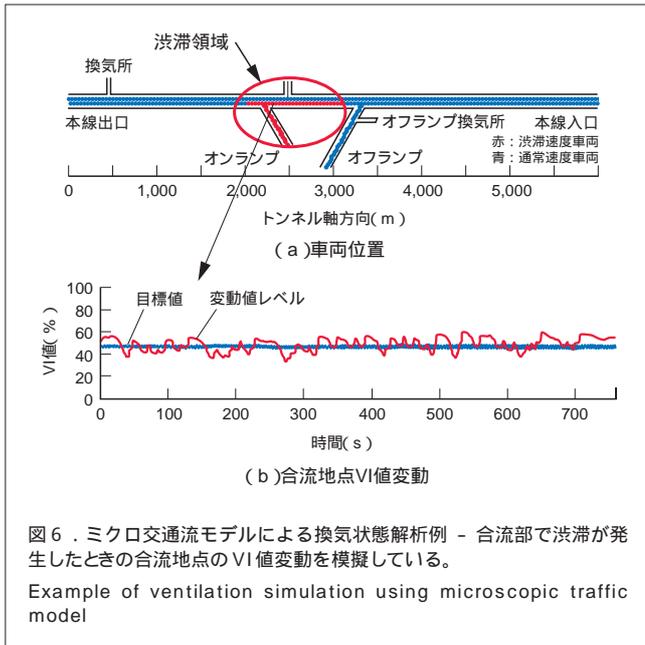


図6．マイクロ交通流モデルによる換気状態解析例 - 合流部で渋滞が発生したときの合流地点のVI値変動を模擬している。
Example of ventilation simulation using microscopic traffic model

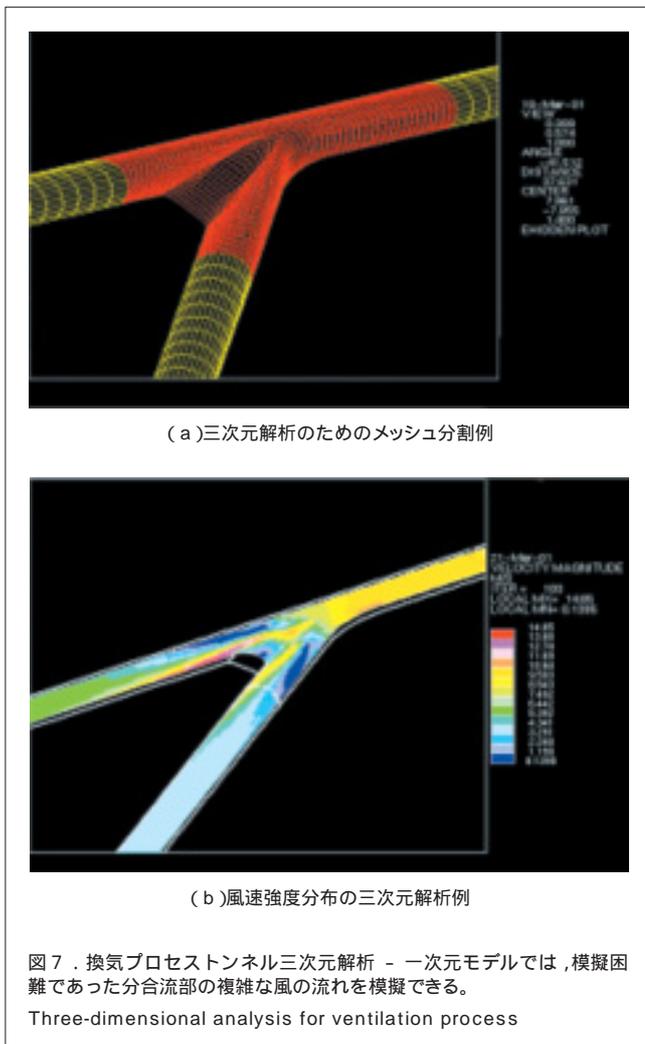


図7．換気プロセストンネル三次元解析 - 一次元モデルでは、模擬困難であった分合流部の複雑な風の流れを模擬できる。
Three-dimensional analysis for ventilation process

ルの換気制御システムを構築するためには、一次元解析と三次元解析との差異を明らかにしたうえで、システムを組む必要がある。

図7は、分合流トンネルにおいて、空気が滞留する可能性のある分岐部の風速を解析し可視化した例である。図7の上図に示されるように、六面体メッシュ手法を用いてトンネル坑口の境界条件などを設定し解析を行っている。このような解析により、分合流トンネル内のセンサや換気設備の最適配置を検討できる。

5 あとがき

大都市圏など都市内交通の円滑化を目的として計画されている地下トンネルを対象として、換気制御システムの考え方とシステム構築に必要な解析技術について述べた。

今後、マイクロ交通流シミュレータと連携した換気プロセス解析ツールを活用し、次のような課題に取り組んでいく所存である。

- (1) 横流・縦流混合換気の方分合流トンネルに対応した、VI値・CO濃度・風速制御システムの最適化
- (2) 分合流トンネルでの火災発生後にドライバーが安全に避難できる環境を確保するための、火災時風速制御の構築
- (3) トンネル坑口周辺の環境保全に向けた、汚染物質漏れ出し抑制制御方式の確立

文 献

- (1) 大橋裕之,ほか.“分岐・合流を有する長大トンネルの平常時縦流換気シミュレーション”.電気学会研究会資料IIC-02-12,2002,p.65-70.
- (2) Ohashi, H., et al.“Development of Transverse Ventilation Simulator for Long Tunnels with Merging and Parting Sections in Urban Areas”.9th International Conference Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels,1997,p.149-160.



小山 敏博 KOYAMA Toshihiro, D.Eng.

電力システム社 電力・産業システム技術開発センター 社会システム開発部主幹,工博。道路,鉄道,空港など交通インフラシステムの研究・開発に従事。電気学会,計測自動制御学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



山田 佳弘 YAMADA Yoshihiro

社会インフラシステム社 社会・産業システム事業部 官公システム技術部。道路分野の換気制御システム,施設管制システムのエンジニアリング業務に従事。

Public & Industrial Systems Div.



篠原 正憲 SHINOHARA Masanori

社会インフラシステム社 府中社会インフラシステム工場 応用ソフトウェア開発担当主務。道路,空港などのシステムの設計・開発に従事。

Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems