

ミクロ交通流モデルを組み込んだ 分岐合流トンネル換気シミュレータ

Diverging/Merging Tunnel Ventilation Simulator Applying Microscopic Traffic Model

小山 敏博

■ KOYAMA Toshihiro

時本 寛幸

■ TOKIMOTO Hiroyuki

渡辺 泰男

■ WATANABE Yasuo

首都圏で計画されている地下トンネルは、トンネル自体が分岐合流をしながら地上の一般道と接続する。このような分岐合流トンネルは世界でもまだ例がない。分岐合流トンネルでは、トンネル周辺の市街地にばい煙などの汚染物質を排出しないようにトンネル内の風の流れを制御しなければならないとともに、トンネル内の視界や一酸化炭素濃度を管理し、ドライバーが安全に走行できるようにしなければならない。東芝ではこの課題を解決するため、トンネル内を通行する車両一台一台の走行挙動を模擬できるミクロ交通流モデルを組み込んだ分岐合流トンネル換気シミュレータを開発し、分岐合流トンネルの換気制御システムの設計を可能とした。

In the Tokyo metropolitan area, underground tunnels are being planned to connect with ground roads at diverging and merging sections. Such tunnels have never before been planned in the world. While the urban districts around these tunnels are to be protected against air pollution, driver visibility and carbon monoxide concentration in the tunnels also have to be controlled.

Toshiba is now developing a diverging/merging tunnel ventilation simulator applying a microscopic traffic model in order to design ventilation control systems for these tunnels.

1 まえがき

首都圏の自動車専用道路は、1960年代の高度経済成長に伴うモータリゼーションの進展により整備を開始し、現在、営業延長は281 km、利用台数1日平均112万台となっている。近年、首都圏が抱える過密、渋滞、環境悪化、都市機能低下などの問題を解決するため、環状線道路の建設が重点プロジェクトとして位置づけられ実施計画が進められている。この環状線道路のうち大部分をトンネルで構築する区間では、途中に出入り口を多く設けて途中区間での行き来を多くし、首都機能を高める構造となっている。したがって、従来のトンネルとは異なりトンネル自身が分岐・合流する形となる。

また、都市間のトンネルに比べ、都市内のトンネル内部は交通量が極めて大きいため、換気設備も大規模なものとなる。計画では、従来の縦流式(トンネル内を軸方向に換気する方式)と横流式(トンネル内を横切る方向に換気する方式)とを併用する換気方式を採用しようとしている。特に都市内トンネルでは、トンネル内の汚染された空気をトンネル坑口から外へ排出しないようトンネル内の風の動きを制御する必要があるとともに、トンネル内のばい煙濃度や一酸化炭素(CO)濃度を許容値以下に制御し、ドライバーが安全に走行できる環境を確保しなければならない。

このような制御を都市内トンネルで実現するためには、車一台一台の挙動を模擬したうえで、①それぞれの車両から

排出される排気ガスがトンネル内空気をどのように汚染していくのか、②それぞれの車両の挙動がトンネル内の風の動きにどのような影響を及ぼすのか、を定量的にシミュレーションできるツールの開発が課題となっていた。このような課題に対し、今回、道路を走行する車一台一台の挙動を模擬できるミクロ交通流シミュレーション技術とトンネル換気プロセスシミュレーション技術とを連携させた新たなシミュレータを開発したので紹介する。

2 分岐合流トンネル換気プロセスの概要と特徴

現在計画されている分岐合流トンネルのイメージを図1に示す。トンネル入口からトンネル出口までは約10 kmを超える長さとなる。トンネルは市街地の地下を走るため、トンネル途中で分岐及び合流を繰り返しながら、地上の一般道路とトンネルとを結ぶ道路ネットワークの役目を果たす。

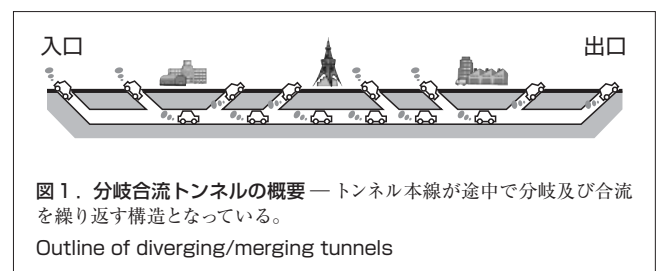


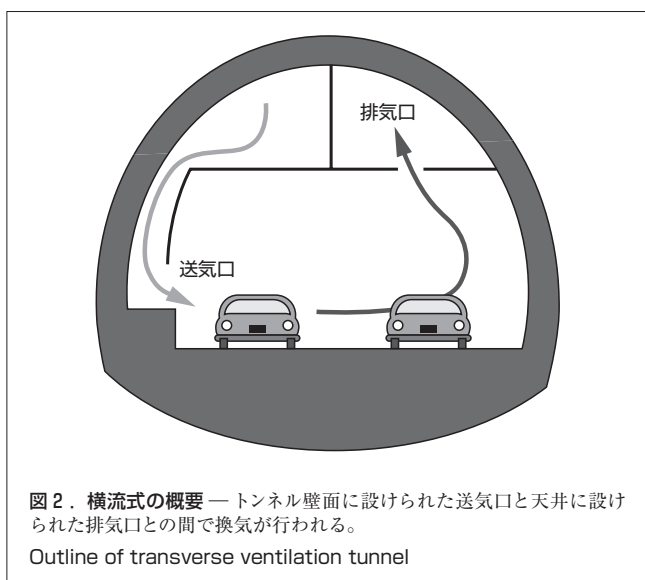
図1 分岐合流トンネルの概要 — トンネル本線が途中で分岐及び合流を繰り返す構造となっている。

Outline of diverging/merging tunnels

また、従来の都市間トンネルには、トンネル軸方向に換気風を流そうとする縦流式換気設備が設置されていた。トンネル内を走行する各車両から排出されるばい煙やCOは入口(換気風上流側)から出口(換気風下流側)に向かって流れていく。このため、下流側に行けば行くほどトンネル内の空気の汚れはひどくなっていく。縦流式は、空気の汚れがひどいときには上流側から下流側に流れる換気風の風速を高くし、トンネル内にばい煙やCOなどの汚染物質がたまらないようにしようとする方式である。

しかしながら、今回のような都市内トンネルでは交通量が多い(排気ガスの量が多い)ため、縦流式のみでトンネル内のばい煙やCOの濃度を許容値以下に制御することは難しい。

そこで、現在の計画では図2に示すような横流式を縦流式と併用する換気方式が採用されようとしている。



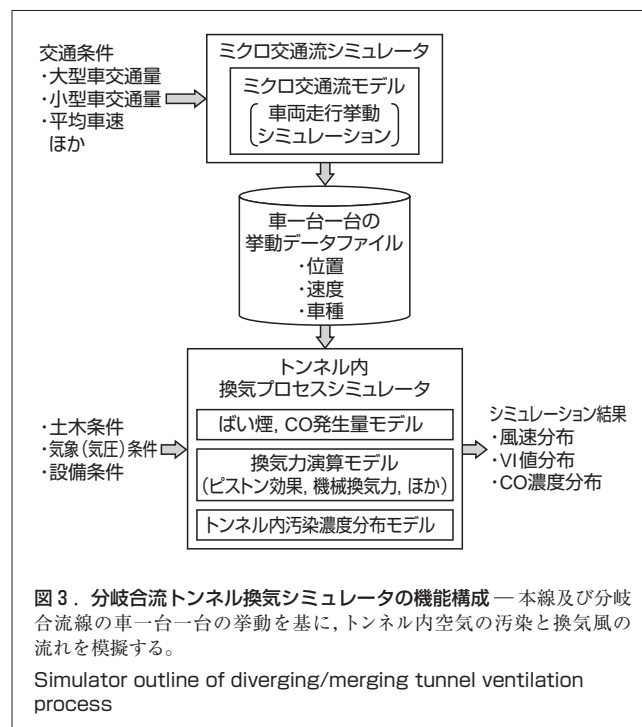
横流式では、トンネルの壁面に約10mピッチで設けられた送気口から新鮮な空気が入り入れられる。一方、トンネル内の汚れた空気は、トンネル天井に同じく約10mピッチで設けられた排気口から排出される。このように横流式は縦流式と異なり、トンネル途中で換気することになるため、都市内トンネルのように交通量の多いトンネルには有効な換気手段とされている。

一方、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、CO)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。都市内トンネルでは、トンネル坑口周辺に市街地が控えているため、汚染された空気を坑口から排出するわけにはいかない。そこで、トンネル内の空気は、トンネルの各坑口からトンネル内部に向かう方向に流れるように制御されなければならない。

このように、都市内トンネルでは、①トンネル内を走行する車両一台一台が排出するばい煙、COがトンネル内空気の汚染に及ぼす影響、②トンネル内を走行する車両一台一台がトンネル内の空気をトンネル出口(本線出口、分岐線出口)に向かって押し出そうとする力、の両者を厳密に模擬したうえで、換気制御システムを構築していくことが必須となる。

3 換気プロセス解析へのマイクロ交通流モデルの導入

以上のような背景から、今回、都市内トンネルで分岐合流を有するトンネルに対し、車一台一台の動きを模擬するマイクロ交通流モデルの導入を試みた。マイクロ交通流モデルの詳細については、この特集の論文“道路交通流シミュレータ”(p.32-35)に述べられているので、ここでは説明を省略する。マイクロ交通流モデルを組み込んだ分岐合流トンネル換気シミュレータの機能構成を図3に示す。



マイクロ交通流シミュレータ部では、マイクロ交通流モデルに基づき分岐合流トンネルを走行する大型車及び小型車の一台一台の走行挙動を模擬している。この走行挙動の模擬結果は、トンネル換気プロセスシミュレータ部にデータファイルとして渡される。トンネル換気プロセスシミュレータ部では、このデータファイルを基に各車両から排出されるばい煙とCOの量を演算し、また各車両が空気を押す力(ピストン効果)を演算する。このようにして、トンネル内を走行する車両一台一台がトンネル内空気の汚染に及ぼす影響と、トンネル内空気の流れに及ぼす影響の両者を厳密に模擬している。

分岐合流トンネル換気シミュレータのもう一つのポイントは、トンネル内の空気の流れをどのようにして模擬するかという点である。トンネル内の空気の流れは以下の各項目に依存する。

- (1) 交通換気力 各車両が空気を押す力(ピストン効果)
- (2) 機械換気力 換気設備のファンの回転により生じる換気力
- (3) 管路摩擦力 トンネル壁面と空気の流れの間に生じる摩擦力
- (4) 自然換気力 トンネル各坑口間の圧力差により生じる換気力
- (5) 入口損失・出口損失 トンネル各坑口で生じる圧力損失

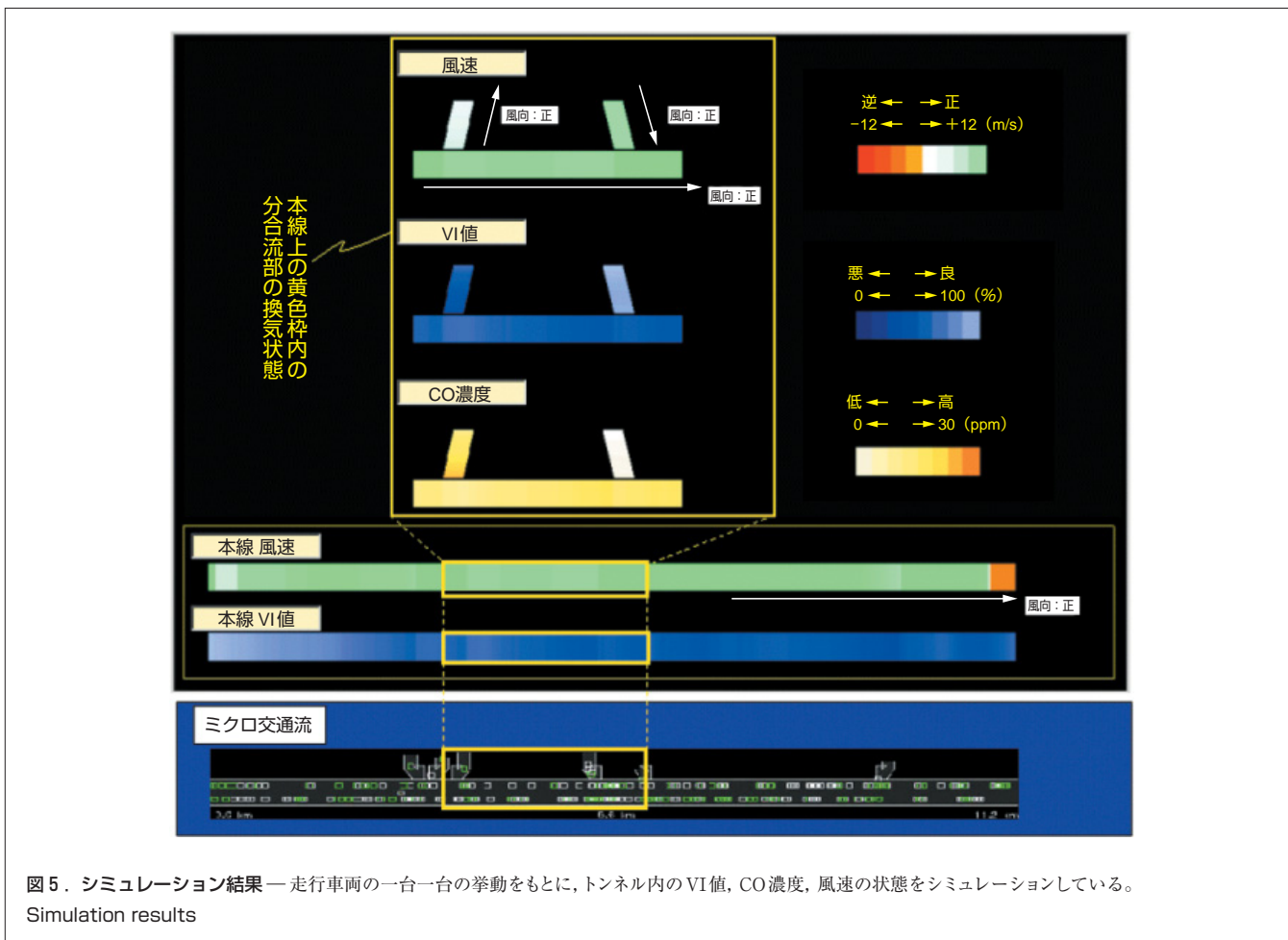
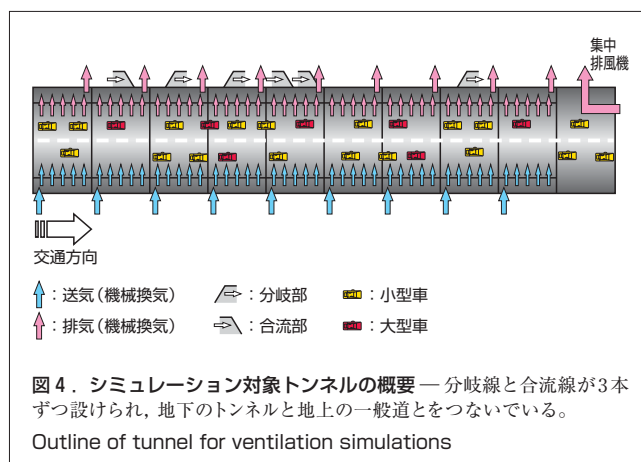
このシミュレータでは、上記のそれぞれの力のバランスによりトンネル内の空気がどちらの方向へどのくらいの速度で流れるかを模擬している。

4 分岐合流トンネル換気シミュレーション例

今回開発したシミュレータによる代表的なシミュレーション例を、次に示す。

4.1 シミュレーション対象トンネルの概要

今回、シミュレーション対象としたのは図4に示すように本線部の全長が約11,000mで、途中に分岐線と合流線がそれぞれ3本ずつ存在する地下トンネルである。本線部及び分岐線、合流線のほとんどの区間に前述の横流式換気設備が設置されている。また、汚れた空気が本線出口側から流出するのを防ぐため、本線出口側付近に設けられた集中排風機でトンネル内空気の吸気を行っている。



4.2 換気状態シミュレーション例

上述のトンネルを対象として、マイクロ交通流のシミュレーションを行い、その結果に基づきトンネル内の視距(VI値^(注1))、CO濃度、風速をシミュレーションした結果の一例を、以下に示す。

図5は、午前9:00~10:00の朝ラッシュ時間帯を想定したシミュレーションの代表時刻の状態を示したものである。

図中下部に、トンネル内を走行する車両個々の走行状況(マイクロ交通流シミュレーション結果)を示している。緑色の四角が大型車、白色の四角が小型車を示している。また、その上に、本線上の風速分布とVI値分布を示している。

また、本線上の黄色枠で囲んだ部分については、分岐線、

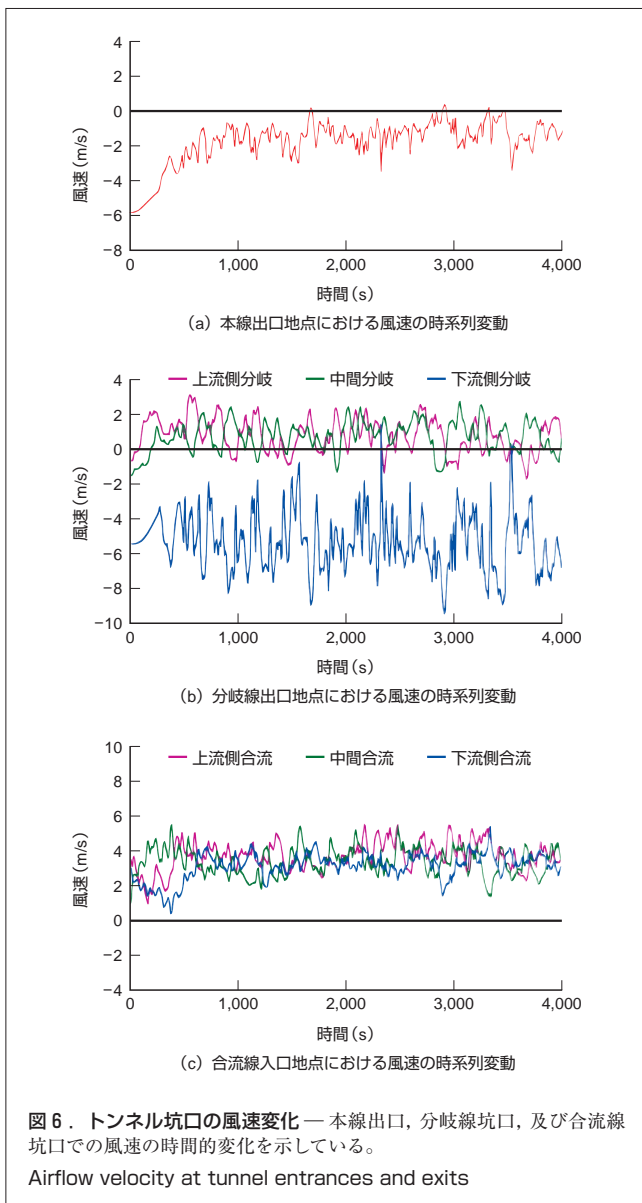


図6. トンネル坑口の風速変化 — 本線出口, 分岐線出口, 及び合流線出口での風速の時間的変化を示している。

Airflow velocity at tunnel entrances and exits

(注1) VIは、Visibility Indexの略で、トンネル内の視界の良しあしを空気の透明度0~100%で表すものである。

合流線を含めた風速分布、VI値分布及びCO濃度分布を拡大して示している。なお、風速分布の図に併記されている矢印は、風の流れの正の向きをこの矢印の方向にとっていることを示している。

既に述べたとおり、都市トンネルでは、トンネル坑口から汚染された空気が排出されていないかが問題となる。

図6は、トンネル坑口の風速が時間的にどのように変化しているかを示したものである。風の流れが交通流によって激しく変動していることがわかる。特に分岐線出口地点の風速はゼロレベルを横切って振動しており、風の向きが不安定となっている。実際の換気制御では、これらの風速がトンネル内部に向かう方向となるように(トンネル外に向かわないように)制御し、トンネル周辺の市街地に汚染された空気が排出されないように制御する必要がある。

5 あとがき

トンネル換気制御システムの目的は、ドライバーが安全に走行できる環境を経済的に効率よく実現することである。今回開発した分岐合流トンネル換気シミュレータにより、トンネル内での交通状況や風の動き、汚染物質(ばい煙、CO)の濃度分布を正確に把握できるようになった。

当社は、豊富なトンネル換気制御システム技術に分岐合流換気シミュレータを融合させることにより、経済的で効率の良い分岐合流トンネル換気制御システムを提供するために開発を進めている。

文献

- (1) 小山敏博,ほか. 高速道路トンネル換気制御システム. 東芝レビュー. 57, 12, 2002, p.19 - 22.
- (2) Ohashi H., Koyama T., 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.



小山 敏博 KOYAMA Toshihiro, D.Eng.

電力・社会システム社 電力・社会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。電気学会会員。
Power and Industrial Systems Research and Development Center



時本 寛幸 TOKIMOTO Hiroyuki

電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター
社会システム開発部。道路交通システムの研究・開発に従事。
Power and Industrial Systems Research and Development Center



渡辺 泰男 WATANABE Yasuo

電力・社会システム社 社会システム事業部 官公システム
技術部主務。道路システムのエンジニアリングに従事。
Infrastructure Systems Div.