道路トンネル坑口における汚染物質の漏れ出し特性* (第2報、濃度分布および坑口漏れ出し率の模型実験による検証)

小松 厚造^{*1}, 山田 隆司^{*2}
佐藤 憲明^{*3}, 下川 龍雄^{*4}

Leakage of Exhaust Pollutants from Exit Portals of Road Tunnels (2nd Report, Investigation on Concentration Distribution and Leakage Ratio using a Model Tunnel)

Kohzo KOMATSU, Takashi YAMADA,
Noriaki SATOH and Tatsuo SHIMOKAWA

The present study deals with the control of leakage of pollutants from exit portals of road tunnels. This report, supplementing the 1st report, describes an accuracy of the theoretical formula for concentration distribution and leakage ratio of the ventilation method, consisting of a transverse ventilation system with an extraction shaft. The results of this study confirm the effectiveness, both in theoretical and experimental terms, of the present ventilation method as a measure against environmental pollution around exit portals of road tunnels.

Key Words: Tunnel Ventilation, Concentration, Pollution, Diffusion, Automobile, Mass Transfer, Model Test

1. ま え が き

道路トンネルにおける換気は、トンネル内における通行の安全、快適性および維持管理作業のための環境を確保することを目的としている。しかし近年では、これに加えてトンネル坑口周辺への大気環境保全に対して、有効に機能する換気方式の選定が必須条件となっている。特に、都市内の道路トンネルにおいては、市街地との接点となるトンネル坑口からの汚染物質の漏れ出し抑制が、坑口環境保全上の重要課題の一つに挙げられている。このような背景から第1報⁽¹⁾では、坑口周辺の環境対策として有力と考えられる図1に示す集中排気立坑付き横流換気方式に着目し、この換気方式を対象としてトンネル内の流れ場とともに濃度分布および坑口漏れ出し率に関する理論式を提示し、あわせて実用化に対しての具体的な計算例をも示した。

本研究では、第1報のトンネル内濃度分布および坑口漏れ出し率に関する理論式の妥当性を確認することを目的として、図1の換気方式を有するトンネルを対象とし、自動車走行装置を用いた模型実験を実施した。

この実験値と理論値とを比較検討した結果、理論式の妥当性が確認できたので報告する。

Fig. 1 Transverse ventilation system with extraction shaft

2. 記 号

A _e : 集中排気立坑断面積	m ²
A _r : 車道断面積	m ²
C: 濃度	—
D: 軸方向拡散係数	m ² /s

* 原稿受付 1996年1月18日。

^{*1} 正員, (株)住原総合研究所 (〒251 藤沢市本藤沢4-2-1)。

^{*2} 正員, (株)日本メンテナンス (〒112 東京都文京区後楽1-2-7)。

^{*3} 首都高速道路公団 (〒100 東京都千代田区霞ヶ関1-4-1)。

^{*4} 首都高速道路技術センター (〒105 東京都港区虎ノ門1-1-21)。

d_r : トンネルの代表直径	m
d_v : 自動車の代表直径	m
E_e : 排気ダクトの排出率	—
E_i : トンネル入口の漏れ出し率	—
E_o : トンネル出口の漏れ出し率	—
E_s : 集中排気立坑の排出率	—
L_r : トンネル実延長	m
Q_v : 一車線当たりの車頭間隔 ($= 2 V_r / N$)	m
N : 交通量	veh/h
Q_e : 集中排気立坑の排気流量	m^3/s
Q_r : 車道流量 ($= A_r \cdot U_r$)	m^3/s
q_b : 横流換気の送気流量	$m^3/(s \cdot m)$
q_e : 横流換気の排気流量	$m^3/(s \cdot m)$
q_{out} : トンネル出口の漏れ出し量	m^3/s
Re : レイノルズ数 ($= U_r \cdot d_r / \nu$)	—
R_{vi} : 走行レイノルズ数 ($= V_v \cdot d_v / \nu$)	—
U_r : 車道流速	m/s
V_v : 自動車速度	m/s
x : トンネル軸方向距離	m
ν : 動粘度	m^2/s
ω : トレーサガス放出量 または汚染物質排出量	$m^3/(s \cdot m)$
γ_L : 大型車混入率	—

添 字

1: 横流換気区間

2: 縦流換気区間

3. 実験装置および方法

3.1 実験装置 模型実験によりトンネル内の流れおよび濃度場を詳細に調べるためには、トンネル内を走行する自動車の影響を考慮することが不可欠であり、図2に示すような模型自動車走行装置を開発した⁽²⁾。装置の両端にホイールがあり、一端の駆動ホイールは、可変速モータに直結し、他端の従動ホイールは巻き掛けたエンドレス特殊ベルトを介して、駆動ホイールと同速度で回転する。エンドレス特殊ベルトの端部にそれぞれの交通条件に応じて、取り付けられた多数の模型自動車群は、トンネル内を直線走行する。模型自動車の走行条件は、走行速度をプーリの回転速度で、また車頭間隔、大型車混入率は、ベルトへの模型自動車取り付け台数を変えることにより設定した。測定システム概要を図3に示す(図4)。トンネル模型は送・排気ダクトおよび集中排気立坑で構成する集中排気立坑付き横流換気方式の一方交通トンネルとし、仮想トンネル部を含む全長10.75mの亚克力製トンネルである。トンネルは矩形断面形状とし、その代表直径 d_r は37.2mmで、模型縮率は実物の1/200である。なお、仮想トンネルは、供試トンネル区間に十分発達した乱流速度場を形成させるための助走区間としての役割を担うほか、車道流量の測定区間とした。横流換気区間の送・排気ダクトならびに坑口側の集中排気立

Fig. 2 Vehicles driving apparatus

坑には、それぞれ送・排風機を接続しこれによりトンネル内に換気風を発生させた。送気口および排気口からの送・排気流量をトンネル軸方向にわたって均一にするため、20個の浮子式流量計を用いて調節した。また、集中排気立坑の排気流量はトレーサガス濃度法により求めた。自動車走行下におけるトンネル内汚染源は、トレーサガスとして高純度炭酸ガスを用い、ガスボンベ、気化器、圧力調整器、マスフローコントローラを通して、走行路面から連続点源状に放出した。トンネル流量は、仮想トンネル上流側からトレーサガスを点源放出し、十分混合した下流位置で濃度を測定し、トレーサガスの保存則と流量の連続の関係から求めた。トンネル内の濃度分布を得るために、トンネル軸方向にわたって設けた、天井壁および側壁の測定孔 ($\phi 1$ mm) からサンプリングし、多点切り替え器を介して非分散赤外線ガス分析計 (サーモエレクトロン社製) を用いて濃度を測定した。あわせて、排気ダクトおよび集中排気立坑内の排気濃度も測定し、排出率を求める際の基礎データとした。なお、トンネル内でのトレーサガスの放出量は流れ場に影響を及ぼさないよう車道流量の1%以内とした。

Fig. 4 Overview of experimental apparatus

Fig. 3 Schematic diagram of measuring system

3.2 実験条件の設定 トンネル内を走行させる模型自動車の交通条件は、実物交通状態 ($N = 1771$ veh/h, $V_t = 38.1$ km/h, $\gamma_t = 0.252$) の平均車頭間隔を基準に、模型自動車を縮率1/200ピッチの車頭間隔で、2車線に振り分け配置し、これらの模型自動車群を実物と同一速度で連続走行させた。大型車は混入率にしたがい、小型車群中に均等配列した。本実験においては、模型自動車走行下の無次元車頭間隔は $l_1/d_r = 5.78$ とし、また、横流換気を送・排気流量 $q_s = |q_e| = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ として、集中排気立坑位置より上流側の車道流速を一定に保った状態で、集中排気立坑の排気流量 Q_e を種々に変えた。なお、小型車として2000ccクラスの普通乗用車、大型車として7.75トン積トラックを、縦、横、長さが相似な面取り直方体で近似させた(図5)。本実験における走行レイノルズ数は、 $R_{e1} = 5600$ である。また、車道流速とトンネル代表直径を基準とするレイノルズ数は、 $R_{e2} = 12400$ である。

Fig. 5 Simulated vehicles

3.3 実験値の整理 トンネル軸に沿う各位置で測定した濃度 C を式(1)の相対濃度 C_r で整理した。

$$C_r = C / C_0 \quad (1)$$

ここに、基準濃度 C_0 は式(2)で定義した。

$$C_0 = \omega / (-q_e) \quad (2)$$

さらに、トンネル内の汚染物質総発生量(この実験におけるトレーサガス総放出量に相当)に対する、坑口漏れ出し量の比率で表す坑口漏れ出し率 E_e は、式(3)で定義した。

$$E_e = q_{out} / (\omega \cdot L_r) \quad (3)$$

坑口漏れ出し率を求めるに当たって式(3)中の坑口漏れ出し量 q_{out} の測定が必要となるが、この量を直

接測定することは精度その他の面から困難である。したがって、坑口漏れ出し率は、計測可能な排気流量、排気濃度さらにトレーサガス総放出量を既知として、トレーサガスの保存則の関係から求めた。すなわち、式(3)と等値する式(4)を用いて坑口漏れ出し率を求めた。

$$E_e = 1 + (q_e \cdot l_1 \cdot C_{ed} - Q_e \cdot C_e) / (\omega \cdot L_r) \quad (4)$$

ここに、 C_{ed} は横流換気排気ダクトの排気濃度、 C_e は集中排気立坑の排気濃度である。また、 q_e はマイナス符号とする。

坑口漏れ出し率 E_e は、交通条件やトンネルの幾何学的条件が一定のもとでは主として、トンネル坑口側の流れ状態に強く依存すると考えられる。つまり、坑口側の流れ状態が順流から逆流パターンへと推移するにしたがい、坑口漏れ出し率も変わることが予想される。そこで、坑口側の流れ場を支配するパラメータとして、集中排気立坑の排気率 Q_e / Q_{e1} に着目し、この排気率を種々に変えた際の坑口漏れ出し率を調べることにした。

ここで、汚染物質を対象とする排気ダクトならびに集中排気立坑の排出率は式(5)、(6)で定義した。

$$E_e = q_e \cdot l_1 \cdot C_{ed} / (\omega \cdot L_r) \quad (5)$$

$$E_s = Q_e \cdot C_e / (\omega \cdot L_r) \quad (6)$$

4. 理論値と実験値の比較

トンネル実延長 $L_r = 5.75$ m の集中排気立坑付き横流換気方式について集中排気立坑の離隔距離 $l_2 = 0.5$ m 一定で集中排気立坑の排気流量 Q_e を変えた場合の、相対濃度分布、坑口漏れ出し率および排出率などの特性について、理論値と実験値の比較をおこなった。理論による濃度、坑口漏れ出し率および排出率は、第1報に示されている関係式から求めた。これらの関係式を表1に再掲載した。表2に理論計算における設定値を示す。なお、表2中の軸方向拡散係数 D の値は、文献(3)の特性線図から求めた。模型実験における走行レイノルズ数は実現象のそれより3桁程度小さいが、圧力損失係数あるいは運動量修正係数、そして拡散場のパラメータである軸方向拡散係数などのレイノルズ数依存性を考慮して、実験と理論の対応関係を把握するという意味ではさしつかえないものと判断した。

Table 1 Theoretical formula

Terms	Through flow conditions ($\frac{Q_{r,1}}{Q_{r,2}} \leq 1.0$)		Reverse flow conditions ($\frac{Q_{r,1}}{Q_{r,2}} > 1.0$)	
Concentration distribution	Transverse ventilation section	$C(x) = \frac{\omega}{q_e} \left\{ -1 + \frac{e^{\frac{U_1 x}{2D}}}{\sinh \phi L_0} \left[\frac{(1+K)}{e^{\frac{U_1 L_0}{2D}}} \sinh \phi x - \sinh \phi (x-L_0) \right] \right\}$	$C(x) = \frac{\omega}{q_e} \left\{ -1 + \frac{e^{\frac{U_1 x}{2D}}}{\sinh \phi L_0} \left[\frac{(1+\Delta)}{e^{\frac{U_1 L_0}{2D}}} \sinh \phi x - \sinh \phi (x-L_0) \right] \right\}$	
	Longitudinal ventilation section	$C(x) = \frac{\omega}{A U_{r2}} \left\{ x - L - \frac{\left(\frac{A U_{r2} K}{q_e} + L - L_0 \right) \left[e^{\frac{U_1 (x-L_0)}{2D}} - e^{\frac{U_1 (L-L_0)}{2D}} \right]}{\left[e^{\frac{U_1 (L-L_0)}{2D}} - 1 \right]} \right\}$	$C(x) = \frac{\omega}{A U_{r2}} \left\{ x - L + \frac{\left(\frac{A U_{r2} \Delta}{q_e} + L - L_0 \right) \left[e^{\frac{U_1 (x-L_0)}{2D}} - 1 \right]}{\left[e^{\frac{U_1 (L-L_0)}{2D}} - 1 \right]} \right\}$	
Leakage ratio	Entrance	$E_i = \frac{\phi A_r D}{q_e L_r \sinh \phi L_0} \left[\frac{(K+1)}{e^{\frac{U_1 L_0}{2D}}} + \frac{U_{r1}}{2\phi D} \sinh \phi L_0 - \cosh \phi L_0 \right]$	$E_i = \frac{\phi A_r D}{q_e L_r \sinh \phi L_0} \left[\frac{(\Delta+1)}{e^{\frac{U_1 L_0}{2D}}} + \frac{U_{r1}}{2\phi D} \sinh \phi L_0 - \cosh \phi L_0 \right]$	
	Exit	$E_o = 1 - \frac{l_1}{L_r} + \frac{A U_{r2} K}{L_r q_e} - \frac{D}{L_r U_{r2}} + \frac{\left(\frac{A U_{r2} K}{q_e} + L - L_0 \right)}{L_r \left(e^{\frac{U_1 (L-L_0)}{2D}} - 1 \right)}$	$E_o = -\frac{D}{U_{r2} L_r} - \frac{\left(\frac{A U_{r2} \Delta}{q_e} + L - L_0 \right) e^{-\frac{U_1 L_0}{2D}}}{L_r \left[e^{\frac{U_1 (L-L_0)}{2D}} - 1 \right]}$	
Discharge ratio of the exhaust duct	$E_e = \frac{l_0}{L_r} + \frac{\phi A_r D}{q_e L_r \sinh \phi L_0} \left[K \left(\cosh \phi L_0 - \frac{U_{r1}}{2\phi D} \sinh \phi L_0 - e^{-\frac{U_1 L_0}{2D}} \right) - 2 \left(\cosh \left(\frac{U_{r1} L_0}{2D} \right) - \cosh \phi L_0 \right) \right]$		$E_e = \frac{l_0}{L_r} + \frac{\phi A_r D}{q_e L_r \sinh \phi L_0} \left[\Delta \left(\cosh \phi L_0 - \frac{U_{r1}}{2\phi D} \sinh \phi L_0 - e^{-\frac{U_1 L_0}{2D}} \right) - 2 \left(\cosh \left(\frac{U_{r1} L_0}{2D} \right) - \cosh \phi L_0 \right) \right]$	
Discharge ratio of the extraction shaft	$E_s = \frac{A_r K}{q_e L_r} (U_{r1} - U_{r2})$		$E_s = \frac{A_r \Delta}{q_e L_r} (U_{r1} - U_{r2})$	
Coefficient and others	$K = -\frac{\phi A_r D}{q_e \sinh \phi L_0} \left(\frac{U_{r1} \sinh \phi L_0}{2\phi D} + e^{-\frac{U_1 L_0}{2D}} - \cosh \phi L_0 \right) + \frac{2\phi A_r D}{q_e \sinh \phi L_0} \left[\cosh \left(\frac{U_{r1} L_0}{2D} \right) - \cosh \phi L_0 \right] + \frac{D}{U_{r2}} \left[e^{\frac{U_1 (L-L_0)}{2D}} - 1 \right]$		$K = -\frac{\phi A_r D}{q_e e^{\frac{U_1 L_0}{2D}} \sinh \phi L_0} + \frac{\phi A_r D}{q_e \sinh \phi L_0} \left(\cosh \phi L_0 - \frac{U_{r1}}{2\phi D} \sinh \phi L_0 - e^{-\frac{U_1 L_0}{2D}} \right) + \frac{A U_{r1}}{q_e} \left[e^{\frac{U_1 (L-L_0)}{2D}} - 1 \right]$	
	$L_r - l_0 + \frac{D}{U_{r2}} - \frac{\phi A_r D}{q_e \sinh \phi L_0} \left(\frac{U_{r1} \sinh \phi L_0}{2\phi D} + e^{-\frac{U_1 L_0}{2D}} - \cosh \phi L_0 \right) + \frac{2\phi A_r D}{q_e \sinh \phi L_0} \left[\cosh \left(\frac{U_{r1} L_0}{2D} \right) - \cosh \phi L_0 \right] + \frac{(L-L_0) e^{-\frac{U_1 L_0}{2D}}}{\left[e^{\frac{U_1 (L-L_0)}{2D}} - 1 \right]}$		$L_r - l_0 + \frac{D}{U_{r2}} - \frac{\phi A_r D}{q_e \sinh \phi L_0} \left(\cosh \phi L_0 - \frac{U_{r1}}{2\phi D} \sinh \phi L_0 - e^{-\frac{U_1 L_0}{2D}} \right) - \cosh \phi L_0 + \frac{(L-L_0) e^{-\frac{U_1 L_0}{2D}}}{\left[e^{\frac{U_1 (L-L_0)}{2D}} - 1 \right]}$	
	$\Delta = \frac{\frac{\phi A_r D}{q_e e^{\frac{U_1 L_0}{2D}} \sinh \phi L_0} + \frac{\phi A_r D}{q_e \sinh \phi L_0} \left(\cosh \phi L_0 - \frac{U_{r1}}{2\phi D} \sinh \phi L_0 - e^{-\frac{U_1 L_0}{2D}} \right) + \frac{A_r (U_{r1} - U_{r2})}{q_e} - \frac{A U_{r1}}{q_e} \left[e^{\frac{U_1 (L-L_0)}{2D}} - 1 \right]}{\frac{\phi A_r D}{q_e e^{\frac{U_1 L_0}{2D}} \sinh \phi L_0} + \frac{\phi A_r D}{q_e \sinh \phi L_0} \left(\cosh \phi L_0 - \frac{U_{r1}}{2\phi D} \sinh \phi L_0 - e^{-\frac{U_1 L_0}{2D}} \right) + \frac{A_r (U_{r1} - U_{r2})}{q_e} - \frac{A U_{r1}}{q_e} \left[e^{\frac{U_1 (L-L_0)}{2D}} - 1 \right]}$		$\Delta = \frac{\frac{\phi A_r D}{q_e e^{\frac{U_1 L_0}{2D}} \sinh \phi L_0} + \frac{\phi A_r D}{q_e \sinh \phi L_0} \left(\cosh \phi L_0 - \frac{U_{r1}}{2\phi D} \sinh \phi L_0 - e^{-\frac{U_1 L_0}{2D}} \right) + \frac{A_r (U_{r1} - U_{r2})}{q_e} - \frac{A U_{r1}}{q_e} \left[e^{\frac{U_1 (L-L_0)}{2D}} - 1 \right]}{\frac{\phi A_r D}{q_e e^{\frac{U_1 L_0}{2D}} \sinh \phi L_0} + \frac{\phi A_r D}{q_e \sinh \phi L_0} \left(\cosh \phi L_0 - \frac{U_{r1}}{2\phi D} \sinh \phi L_0 - e^{-\frac{U_1 L_0}{2D}} \right) + \frac{A_r (U_{r1} - U_{r2})}{q_e} - \frac{A U_{r1}}{q_e} \left[e^{\frac{U_1 (L-L_0)}{2D}} - 1 \right]}$	
	$\phi = \sqrt{\left(\frac{U_{r1}}{2D} \right)^2 - \frac{q_e}{A_r D}}, \quad L = L_r + L_{s1} + L_{s0}, \quad l_0 = L_{s1} + l_1$			

Table 2 Calculation conditions

Nomenclature	Values
A_r	$1.452 \times 10^{-3} \text{ (m}^2\text{)}$
L_r	5.75 (m)
d_r	$3.72 \times 10^{-2} \text{ (m)}$
L	5.862 (m)
d_t	$7.880 \times 10^{-3} \text{ (m)}$
D	0.22 (m^2/s)
L_{a1}	0 (m)
L_{a0}	0.112 (m)
l_1	5.25 (m)
l_2	0.5 (m)
q_e	$1 \times 10^{-3} \text{ (m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}))$
q_b	$1 \times 10^{-3} \text{ (m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}))$
U_{r1}	5 (m/s)
U_{r2}	-4.78~5.0 (m/s)
ω	$5.79 \times 10^{-6} \text{ (m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}))$

4.1 相対濃度分布 図6a)~d)にトンネル軸方向の相対濃度 C_r の分布を4通りの排気率について理論値と実験値を比較した結果を示す。図6a), b)は、順流域、図6c), d)は、逆流域それぞれの流れ状態での

相対濃度分布である。この図からわかるように、横流換気区間 ($0 < X/L_r < 0.913$) における相対濃度は、いずれの排気率においてもトンネル出口側に向かって上昇する類似の分布傾向となっている。一方、集中排気立坑位置を境とする坑口側の縦流換気区間では排気率による相対濃度への影響が顕著に認められる。すなわち、順流状態では図6a), b)に示されるように、相対濃度のピーク値が坑口区間内に出現し、しかも、トンネル出口端で比較的高い相対濃度を示す。これに対して、逆流状態においては坑口区間内の濃度ピークは、完全に無くなり集中排気立坑位置からトンネル出口に向けて濃度は急激に減衰し、トンネル出口端では極めて小さい濃度値となる (図6c), d))。

この流れ状態での坑口区間内における濃度低減効果は、逆流によるトンネル出口からの外気導入による移流作用と軸方向拡散によってもたらされたものと判断される。さらに、相対濃度の理論値と実験値を比較すると横流換気区間では、概して理論値の方が実験値より若干大きめとなっているものの、本研究の検討に基づく理論式は、トンネル内濃度分布の予測に有効であることがわかる。

Fig. 6 Distribution of relative concentration

$$|q_e| = q_b = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$$

4.2 坑口漏れ出し率 図7に排気率と坑口漏れ出し率の関係を理論と実験とで比較した結果を示す。図7からわかるように、理論および実験とも坑口漏れ出し率 E_o は、排気率 Q_o/Q_{r1} に大きく依存し、排気率が大きくなるに従い坑口漏れ出し率は低下すること、さらに、排気率に対する坑口漏れ出し率の推移は、理論値と実験値とでほぼ類似の傾向を示していることも把握できる。また、この検討例の場合、排気率が1.2で坑口漏れ出し率は約3%となるが、排気率が1.2を越える領域では、坑口漏れ出し率の低下は鈍化する傾向にある。例えば、排気率が2付近において、理論、実験ともに坑口漏れ出し率は、零にならないことに留意する必要がある。以上に述べた坑口漏れ出し率についての理論と実験の比較検討の結果、本研究による坑口漏れ出し率の理論式は、集中排気立坑付き横流換気方式のトンネル坑口における、汚染物質の漏れ出し率あるいは漏れ出し量の予測に、十分適用できることが確かめられた。

Fig. 7 Relationship between exhaust rate and exit portal leakage ratio
 $|q_o| = q_b = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / (\text{s} \cdot \text{m})$

4.3 排気ダクトおよび集中排気立坑の排出率

図8に排気ダクトおよび集中排気立坑の排出率 E_o 、 E_s についての理論値と実験値の比較を示す。この図から、 E_o 、 E_s とも理論値と実験値は良く一致していることが確認できる。さらに、排気ダクトの排出率 E_o は、排気率に無関係におおむね23%と一定であるが、集中排気立坑の汚染物質を対象とする排出率 E_s は、排気率の増加とともに高くなり、排気率がおおむね1.2以上では、飽和傾向となることなども把握でき

る。なお、逆流域での排出率 E_s の飽和特性は、坑口漏れ出し率の鈍化傾向に直接的に反映していることがわかる。

Fig. 8 Discharge ratio of exhaust duct and extraction shaft
 $|q_o| = q_b = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / (\text{s} \cdot \text{m})$

5. あとがき

道路トンネル坑口からの汚染物質の漏れ出し抑制を目的とした集中排気立坑付き横流換気方式のトンネルを対象として、第1報において提示した濃度分布、坑口漏れ出し率ならびに排出率を予測するための理論式の妥当性を検証するため、自動車走行装置を用いた模型実験を実施した。その結果、濃度分布、坑口漏れ出し率さらに排出率などの理論値は実験値といずれもよい一致を示した。これによって第1報で示した理論式は集中排気立坑付き横流換気方式のトンネル内濃度分布、坑口漏れ出し率などの予測式として有効であることが検証できた。最後に、本研究についてご指導を賜った大橋秀雄 東京大学名誉教授に深く感謝の意を表す。

文 献

- (1) 山田ほか2名、道路トンネル坑口における汚染物質の漏れ出し特性、日本機械学会論文集(B編)、60巻577号、1994 9
- (2) 小松、ターボ機械、第9巻第9号、1981年9月号、pp. 45-52
- (3) N. Sato, Y. Ohta, K. Komatsu, 5th International symposium on the AERODYNAMICS AND VENTILATION OF VEHICLE TUNNELS, BHRA, Lille, France: 20-22 May, 1985, PP. 445-460