

◆ 環境影響評価特集 ◆

道路特殊部における大気質の予測手法

山田俊哉* 大城 温** 大西博文***

1. はじめに

閣議決定に基づく環境アセスメントに代わり、平成11年6月から環境影響評価法が全面施行され、法に基づく環境アセスメントが行われることとなった。道路事業の大気質のアセスメントにおいても、最新の知見に基づく予測等の環境影響評価の手法を整理する必要がある。特に道路特殊部については、その構造に即して予測を行う必要があるとの指摘がある。

このような背景を踏まえ、土木研究所では大気質の道路特殊部における予測手法について検討した。本稿では、その検討の概要を報告する。

2. 道路特殊部における大気質の予測手法

道路供用時の大気質の一般部における予測は、これまで道路の中央に点煙源を連続して配置し、各々の点煙源から排出される物質(窒素酸化物、浮遊粒子状物質、二酸化硫黄、一酸化炭素)の濃度を合成して求めることとしている。この場合の点煙源から排出される物質の濃度は、有風時(風速1m/sを超える場合)についてはプルーム式を、また、弱風時(風速1m/s以下の場合)についてはパフ式を用いて予測することとしている¹⁾。さらに、プルーム式またはパフ式に用いる排出量の算出にあたっては、車種別の排出量を交通量及び排出係数により求め、求めた車種別の排出量を合算して求めることとしている。

今回、道路特殊部については、インターチェンジ部、トンネル坑口部、堀割部、換気塔部の4つの構造について検討した。いずれも拡散計算はプルーム式及びパフ式を基本とし、点煙源配置や排出量の算出等を以下のとおりとした。2.1から2.4において、各構造別の予測手法の概要を述べる。

2.1 インターチェンジ部の予測手法

インターチェンジ部の予測は図-1のフローに従

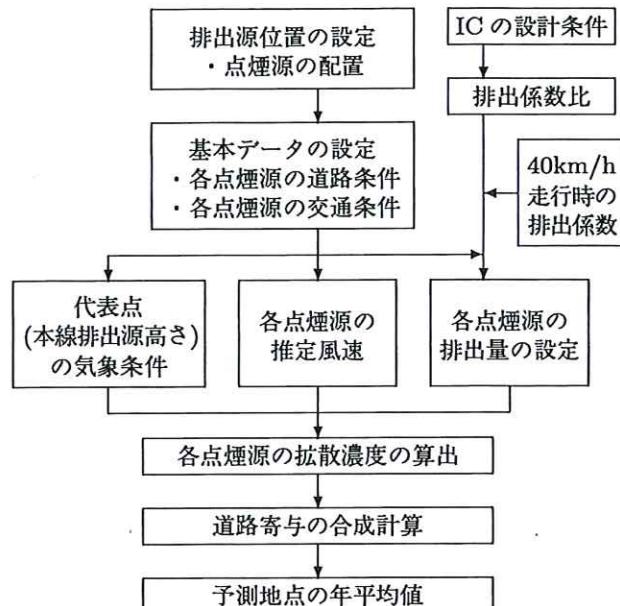


図-1 インターチェンジ部の大気質の予測手順

い、プルーム式及びパフ式を用いて行う。点煙源は本線及びランプ部の車道の中央に沿って基本的には10m間隔で配置し、点煙源ごとに道路構造、車道部幅員及び路面高さを設定する。

2.2 トンネル坑口部の予測手法

トンネル坑口部周辺の予測は図-2のフローに従い、トンネル坑口からの排出による拡散濃度(トンネル寄与分)と明かり部からの拡散濃度を合算して行う。トンネル寄与分は、有風時は噴流モデルと等価排出強度モデルを組み合わせ、弱風時は噴流モデルを用いて予測する。

(1) トンネル寄与分の予測手法

1) 有風時の予測

噴流モデルと等価排出強度モデルを組み合わせて、図-3のフローに従い予測する。

① 噴流モデル

噴流モデルは、「トンネル坑口からの吐出空気は噴流とみなすことができ、この噴流内の流速と濃度は噴流口からある程度離れれば正規分布する」²⁾(図-4)という特性に基づいて導出したモデルである。拡散式はプルーム式と同形であるが、その式は、煙流中心軸の濃度をC(x)とし、中心軸

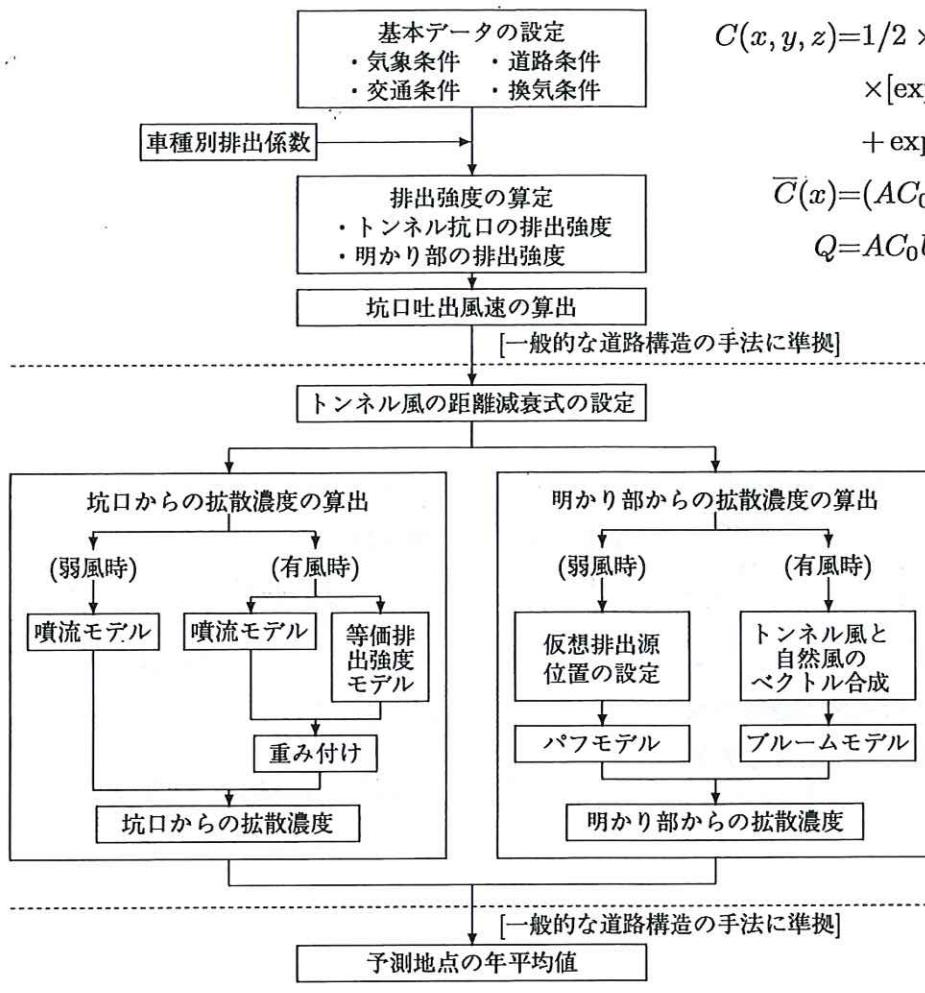


図-2 トンネル坑口部の大気質の予測手順

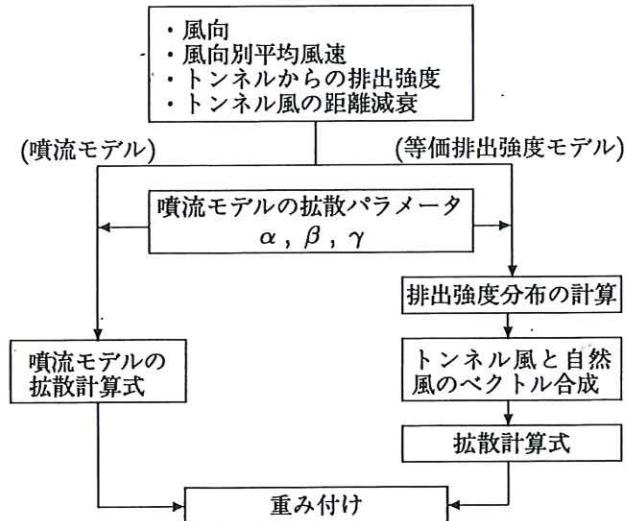


図-3 有風時の計算手順

に直角な水平及び鉛直方向に正規分布形をなして広がることを表す。坑口周辺における任意の位置の拡散濃度は、排出源をトンネル坑口の車道中央に置き、この拡散式を解くことにより求めることができる。

噴流モデルは、次の拡散計算式により表される。

$$C(x, y, z) = \frac{1}{2} \times \bar{C}(x) \times \exp(-y^2/2\sigma_y^2) \times [\exp(-(z-H)^2/2\sigma_z^2) + \exp(-(z+H)^2/2\sigma_z^2)] \quad (1)$$

$$\bar{C}(x) = (AC_0/\pi\sigma_y\sigma_z) \times U_{T0}/U_T(x)$$

$$Q = AC_0 U_{T0}, U_{T0}/U_T(x) = \exp(kx)$$

$$\sigma_y = W/\sqrt{\pi} + \alpha x$$

$$\sigma_z = A/\sqrt{\pi} \cdot W + \beta x$$

ここで、

$$C_0 : \text{坑内濃度 (ppm)}$$

$$U_{T0} : \text{トンネル坑口からの吐出風速 (m/s)}$$

$$U_T(x) : \text{坑口から距離 } x \text{ でのトンネル風の風速 (m/s)}$$

$$Q : \text{トンネル坑口からの排出量 (ml/s)}$$

$$A : \text{トンネル断面積 (m}^2\text{)}$$

$$W : \text{坑口での道路幅 (m)}$$

$$k : \text{トンネル風の減衰パラメータ}$$

$$\alpha, \beta, \gamma : \text{拡散パラメータ}$$

$$H : \text{排出源高さ (m)}$$

$$x : \text{坑口を起点とする吐出方向距離 (m)}$$

トンネル風の減衰パラメータ k 及び拡散パラメータ α, β, γ は、トンネル坑口周辺の実測データを参考に適切に設定する。

②等価排出強度モデル³⁾

等価排出強度モデルは、トンネル坑口から排出される量とその総量が等しく、かつ、ある分布をもつような排出強度を明かり部の排出源に与えるモデルである。このようにして明かり部の排出源に排出強度を与えて、この排出源からの拡散濃度をブルーム式を用いて計算する。

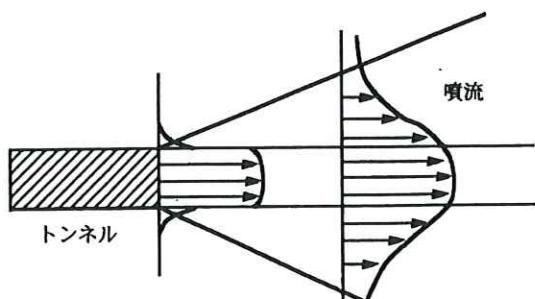


図-4 噴流モデルのイメージ

等価排出強度モデルでは、明かり部に設定した各点煙源の排出量 $q(x)$ を、次式により設定する(図-5)。

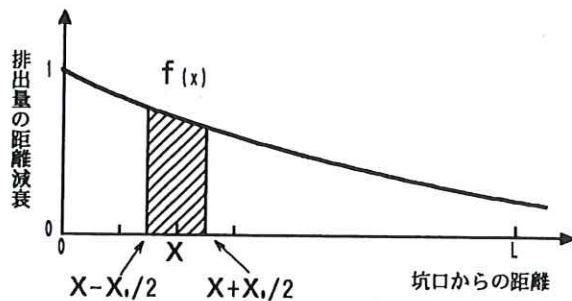


図-5 トンネル坑口周辺に設定された点煙源の排出量の考え方

$$q(x) = B \int_{x-x_0/2}^{x+x_0/2} f(x) dx \quad (2)$$

ここで、

B : 明かり部に設定した点煙源の総排出量と坑口からの排出量を等価とするための係数

$$B = \int_0^L f(x) dx / Q$$

Q : トンネル坑口からの排出量 (ml/s)

$f(x)$: 濃度の距離減衰比

$$f(x) = (A / \pi \sigma_y \sigma_z) \times U_{T0} / U_T(x)$$

各点煙源から拡散する方向と風速は、自然風の風速 U_N とトンネル風の風速 U_T をベクトル合成して設定する。

予測地点の濃度は、噴流モデルと等価排出強度モデルにより算出した濃度をそれぞれ重み付けした後、これらを足し合わせて求める。重み付けの比率は、坑口からの距離に応じて次式により設定する。

噴流モデル：等価排出強度モデル

$$= (200 - R) / 200 : R / 200 \quad (R \leq 200m)$$

ここで、

R : $x - y$ 面における坑口から予測点までの最短距離 (m)

$$R = \sqrt{x^2 + y^2}$$

ただし、 $R > 200m$ においては等価排出強度モデルのみを使用する。

2) 弱風時の予測

弱風時の予測は、有風時の噴流モデルに準拠して予測する。

(2) 明かり部からの拡散濃度の予測手法

1) 有風時の予測

ブルーム式により予測する。ただし、拡散計算に用いる風速は、等価排出強度モデルと同様にして算定した坑口からの吐出風速と自然風の風速のベクトル合成値を用いる。

なお、拡散幅は一般的な道路構造の予測方法と同様に設定する。

2) 弱風時の予測

パフ式により予測する。ただし、排出源の位置及び初期拡散幅に相当する時間 (t_0) は、トンネル風の影響を考慮して適切に設定する。

2.3 堀割部の予測手法

開口部からの排出が平衡状態に達している場合は、切土とみなし、一般的な道路構造の予測方法に準拠して予測する。開口部からの排出が平衡状態に達していない場合は図-6のフローに従い、呼吸量

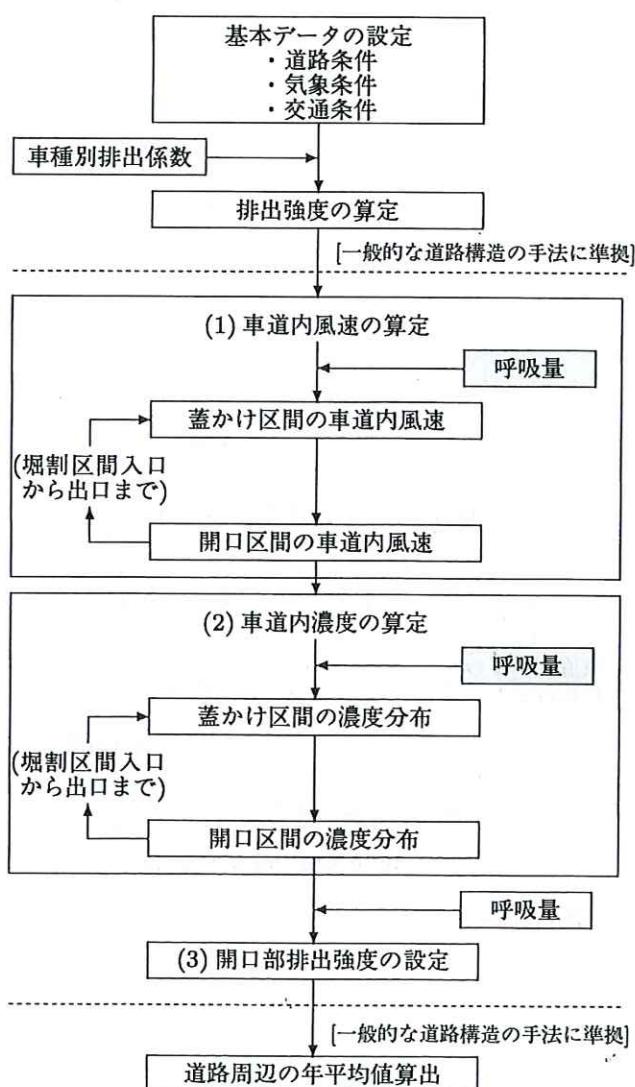


図-6 堀割部の大気質の予測手順

モデルにより車道内濃度を計算し、車道内濃度に基づき開口部の点煙源の排出量を設定して、ブルーム式及びパフ式により予測する。

(1) 呼吸量モデル⁴⁾

堀割構造は、拡散現象からみると、車道全体が開放されている一般の道路構造より閉鎖的である。このような半閉鎖構造の道路内では、走行する自動車によって発生する交通風が道路縦断方向に生じ、道路上で発生した汚染物質が道路縦断方向に移流するとともに車道部上空の開口部からも一部排気される。この移流及び排気現象は、道路内の空気を道路縦断方向に移動させる圧力(正圧)が走行車両の前面に発生することから起こる。一方、走行車両の後面は常に負圧で、これを大気圧に戻すため一部清浄な空気と入れ替わった外気が開口部から道路内に給気される。このように堀割構造内を車両が走行すると、開口部では排気、給気が交互に繰り返される。あたかも呼吸するかのような現象を示すので、この作用を呼吸作用と呼んでいる(図-7)。

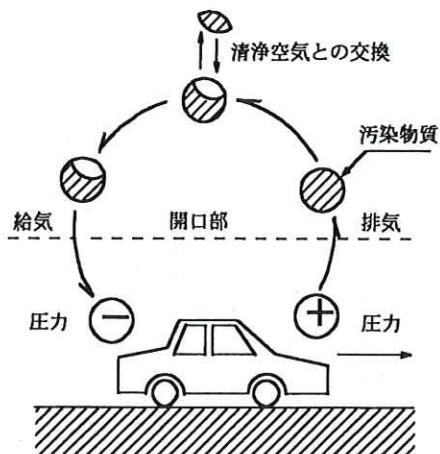


図-7 走行車両による呼吸作用の模式図

(2) 車道内濃度の計算

開口区間の車道内濃度は、呼吸量モデルに基づく次式により算出する。

$$C = Ge/qB - (Ge/qB - C_0) \times \exp\{-qB/(Ar \cdot Vr) \times x\} \quad (3)$$

ここで、

C : 堀割開口区間の車道内濃度 (ppm)

C_0 : 堀割開口区間入口の車道内濃度 (ppm)

Ge : 単位長さ当たりの汚染物質の排出量
($m\ell/s \cdot m$)

x : 堀割開口区間入口からの距離 (m)

L : 堀割開口区間の距離 (m)

Ar : 堀割開口区間の車道内断面積 (m^2)

B : 開口部の開口幅 (m)

Vr : 堀割開口区間の車道内風速 (m/s)

q : 単位呼吸量 ($m^3/s \cdot m^2$)

$$q = q^* \times Vr$$

q^* : 無次元化呼吸量

無次元化呼吸量は、既存資料等から適切に設定する。なお、対面通行の場合は各々の車線の車道内濃度を求め、これを平均して車道内濃度とする。

(3) 点煙源の排出量の設定

開口部の点煙源の排出量は、車道内濃度に単位呼吸量及び開口幅を乗じて設定する。この排出量を用いて、ブルーム式及びパフ式による拡散計算を行う。

2.4 換気塔部の予測手法

換気塔の予測は、排気上昇高さを計算して有効排出源高さ H_e を設定した後、点煙源のブルーム式により行う。

排気口から排出される空気は、一定の排出速度を有している。このため、煙軸高さは換気塔高さより上方に出現する。またダウンウォッシュが生じた場合には換気塔高さより下方に出現する。拡散計算に当たっては、この煙軸高さの上昇又は下降を考慮して排気上昇高さを算出しなければならない。排気上昇高さ ΔH の計算式は、種々の式が提案されているが、道路の換気塔においては熱浮力を持たず排出速度のみを持った排気として、以下のように計算することができる。

換気塔の有効排出源高さ H_e は、次式を用いて算出する(図-8)。

$$H_e = H_0 + \Delta H \quad (4)$$

ここで、

H_0 : 排出口の実体高さ

ΔH : 排気上昇高さ

式(4)の排気上昇高さ ΔH は、次のBriggsの式により算出する⁵⁾。

$$\Delta H = 3 \times (V_s/u) \times D \quad (5)$$

ここで、

V_s : 換気塔吐出速度 (m/s)

u : 換気塔頭頂部における風速 (m/s)

D : 換気塔頭頂部内径 (m)

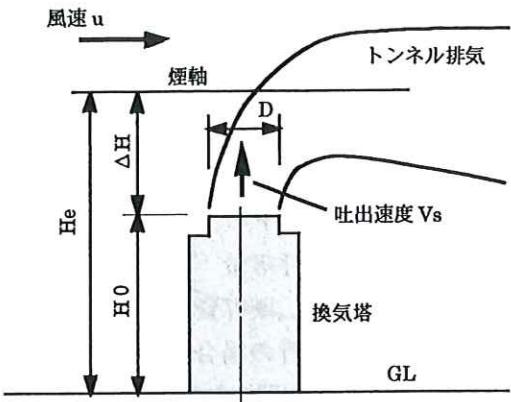


図-8 換気塔の有効排出源高さ

換気塔及び建物によりダウンウォッシュが生ずる場合は、 ΔH を次式により算出する。

$$\Delta H = -2(1.5 - V_s/u) \times D \quad (6)$$

($V_s < 1.5u$ の場合)

予測に用いる気象データは、大気安定度を考慮して適切に設定する。

予測に用いる拡散幅は、Huberの式に基づいて設定する⁶⁾。

1) 鉛直方向拡散幅 (σ_z)

- $x < 3Lb$ $\sigma_z = 0.70Lb$
- $3Lb \leq x \leq 10Lb$ $\sigma_z = 0.70Lb + 0.067(x - 3Lb)$
- $x > 10Lb$ $\sigma_z = \gamma_y(x + x_0)^{\alpha_z}$

2) 水平方向拡散幅 (σ_y)

① $H_0/H_b > 1.2$ の場合

$$\sigma_y = \gamma_y \cdot x^{\alpha_y}$$

② $H_0/H_b \leq 1.2$ の場合

- $x < 3Lb$ $\sigma_y = 0.35Lb'$
- $3Lb \leq x \leq 10Lb$ $\sigma_y = 0.35Lb' + 0.067(x - 3Lb)$
- $x > 10Lb$ $\sigma_y = \gamma_y(x + x'_0)^{\alpha_y}$

ここで、

Lb : 換気所建物高さ H_b と建物幅 W_b の小さい方 (m)

Lb' : $W_b < 10H_b$ ならば $Lb' = W_b$ (m)

$W_b \geq 10H_b$ ならば $Lb' = H_b$ (m)

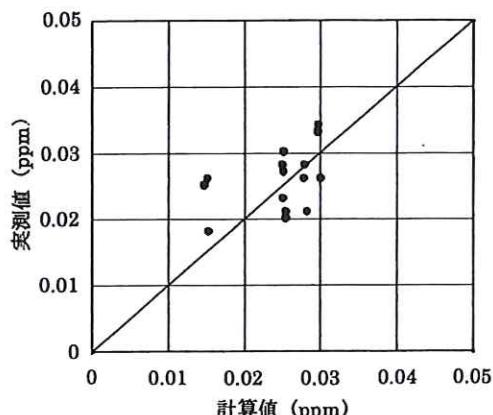
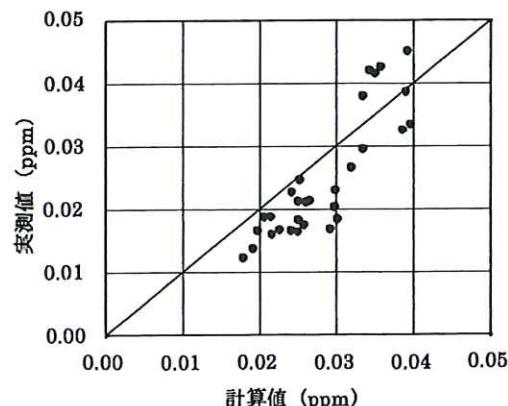
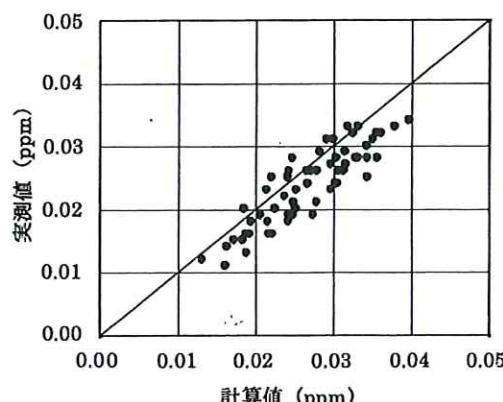
x_0 : P-G 線図で $\sigma_z = 1.17Lb$ となる風下距離と $10H_b$ との差

x'_0 : P-G 線図で $\sigma_y = 0.35Lb' + 0.47Lb$ となる風下距離と $10H_b$ との差

$\alpha_z, \gamma_z, \alpha_y, \gamma_y$: P-G 線図の近似式の係数

3. 予測手法の検証

予測手法の妥当性の検証を高速道路及び一般国道における実測調査を基にインターチェンジ部(図-9)、トンネル坑口部(図-10)、堀割部(図-11)において、NO₂の月平均値を用いて実測値と計算値を比較することにより行った。また、換気塔部(図-12)においてはトレーサガスの1時間平均値を用いて検証した。結果は図-9~12のとおりで

図-9 インターチェンジ部の NO₂ 濃度の実測値と計算値図-10 トンネル坑口部の NO₂ 濃度の実測値と計算値図-11 堀割部の NO₂ 濃度の実測値と計算値

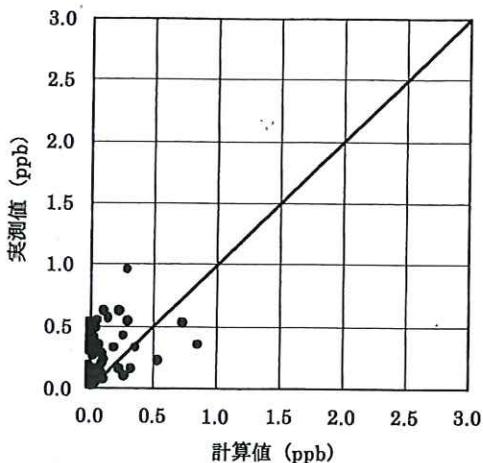


図-12 換気塔部のトレーサガスの実測値と計算値あり、換気塔部は1時間平均値のためややバラツキが大きいが、いずれの手法も実測値と計算値は概ね一致しており、予測手法は妥当と判断できる。

4. あとがき

ここに示した手法は、最新の科学的知見に基づいて検討し、提案されたものである。なお、今後も現場での実測に基づいた知見を集め、予測式等にフィードバックしながら、予測精度の向上を図っていきたい。

最後に、本研究の実施に当たっては、全国の地方建設局及び道路関係公団の方々に測定や資料の提供に多大なご協力をいただいた。また、検討に当たっては、「道路環境アセスメントマニュアルに関する大気環境予測評価委員会（委員長 横山長之：財団法人 日本気象協会参与）」の委員の皆様にご指導をいただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：道路環境整備マニュアル，pp.44-45, 1989.
- 2) 高曾徹、大橋秀雄：接地半円ジェットの乱流拡散，日本機械学会論文集（第2部）Vol.44, No.380, pp.1266-1274, 1978.
- 3) 清水博、足立義雄、辻靖三、根本守：山海堂，道路環境，pp.180-181, 1987.
- 4) 石田稔、稻沢太志：堀割道路におけるガスの呼吸量，土木技術資料，37-2, pp.18-23, 1995.
- 5) Briggs, G.A. : Plume Rise, U.S.Atomic Energy Commission, Division of Technical Information, 1969.
- 6) Huber, A.H. : Evaluation of a Method for estimating pollution concentrations downwind of influencing buildings, Atmos.Environ., Vol.18, No.11, pp.2313-2338, 1984.

山田俊哉*



建設省土木研究所環境部
交通環境研究室主任研究員
Toshiya YAMADA

大城 溫**



同 交通環境研究室研究員
Nodoka OSHIRO

大西博文***



同 交通環境研究室長
Hirofumi OHNISHI