

◆ 環境影響評価特集 ◆

建設工事に伴う二酸化窒素、浮遊粒子状物質の予測手法について

朝倉義博* 村松敏光**

1. まえがき

環境影響評価法の制定に伴い、新たに建設工事における二酸化窒素及び浮遊粒子状物(以下、「NO_x」「SPM」という)の環境影響を予測・評価する手法が必要となった。建設省では「道路環境アセスメントマニュアルに関する大気質検討委員会(委員長:横山長之(財)日本気象協会参与)」を設け、環境アセスメント手法について討議を行い、技術的事項について整理した¹⁾。

この中で課題となったのは、建設工事における建設機械排出ガスによる工事現場周辺への環境影響予測をおこなうために、大気拡散に関するシミュレーション・モデルに必要な予測パラメータをどのように設定するかであった。このため、建設機械の排気管からの時間別のNO_x、SPMの排出量を調査するシャードイナモ試験および排出ガスの拡がりを調査するトレーサガス拡散試験の結果を基にこれら予測パラメータを設定した。

本報告は、これら建設工事における大気拡散予測式の予測パラメータの設定方法について紹介するものである。

2. 従来のNO_x、SPM予測式の課題

工事のNO_x、SPMの環境影響予測は、建設機械の稼働に伴う排出ガスを対象として年平均値を予測する。これらガス状物質の大気拡散予測式は、一般に風速が1m/secを越える有風時には式(1)のブルーム式を、また風速が1m/sec以下の弱風時には式(2)のパフ式^{2),3)}が用いられているが、予測パラメータとして、年間の排出ガス量を表す窒素酸化物(以下、「NO_x」)及びSPM排出係数、有風時の排出ガスの風下距離の拡がりを表現する拡散幅、排出ガスの拡散中心高さを表す排出源高さ、排気管から排出されるNO_xが大気中で酸化されてNO₂となる量を換算するNO_x変換式の設定が必要となる。しかし、これら予測パラメータは、未だ確立された方法がなく、事例としてはNO_x排出係数等⁴⁾があるのみである。このため以下に、これら予測パラメータの設定方法を述べる。

①【有風時(風速1m/sを超える場合;正規型ブルーム式)】

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \cdot u \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad (1)$$

ここで、

$C(x, y, z)$: (x,y,z)地点におけるNO_x、SPM濃度(ppm,mg/m³)

Q : NO_x、SPM排出係数(cc/s又はmg/s)

u : 平均風速(m/s)

H : 排出源高さ(m)

σ_y, σ_z : 水平(y)、鉛直(z)方向の拡散幅(m)

x : 風向に沿った風下距離(m)

y : x軸に直角な水平距離(m)

z : x軸に直角な鉛直距離(m)

②【弱風時(風速1m/s以下の場合;簡易パフ式)】

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \cdot \alpha^2 \cdot \gamma} \left[\frac{1 - \exp(-l/t_0^2)}{2l} + \frac{1 - \exp(-m/t_0^2)}{2m} \right] \quad (2)$$

ここで、

$$l = \frac{1}{2} \left[\frac{x^2 + y^2}{\alpha^2} + \frac{(z-H)^2}{\gamma^2} \right]$$

$$m = \frac{1}{2} \left[\frac{x^2 + y^2}{\alpha^2} + \frac{(z+H)^2}{\gamma^2} \right]$$

ここで、

t_0 : 初期拡散幅に相当する時間(s)

α, γ : 拡散幅に関する係数(m/s)

3. NO_x、SPM排出係数の設定

建設機械のエンジンは一般にディーゼル機関が用いられており、搭載エンジンのタイプにより副室式(IDI)、直接噴射式(DI)、直接噴射式過給式(DI/T)、直接噴射式給気冷却過給式(DI/TC)の4タイプに分けられる。建設省「排出ガス対策型建設機械指定要領」に基づき平成7年12月までに認定された排出ガス対策型建設機械のエンジンタイプと定格出力の関係を図-1に示す。エンジンタイプの構成比は、定格出力毎に異なっており、これより定格出力毎のNO_x(SPM)排出係数も異なると予想される。しかし、実際の工事においては出力に応じてエンジンタイプを指定し、建設機械を調達することは困難である。このため、NO_x(SPM)排出係数は式(3)に

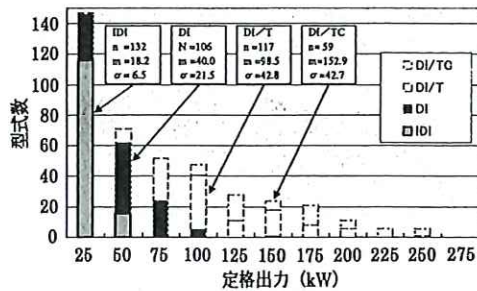


図-1 エンジンタイプ別の定格出力と型式数の関係

示すようにエンジンタイプによらない建設機械の機種・規格に応じた $\text{NO}_x(\text{PM})$ 排出係数原単位 Q_i を設定し、年間標準運転時間 h_i を乗じることにより、建設機械からの年間の $\text{NO}_x(\text{SPM})$ 排出量を設定することとした。ここで、PMとは排気管から排出される粒子状物質のことであり、一般にエンジン由来のPMは、約98%が $7\mu\text{m}$ 以下の粒子といわれており⁵⁾、PM=SPM(粒径が $10\mu\text{m}$ 以下の粒子状物質)と扱って差し支えないと考えられる。

$$E_{\text{NO}_x(\text{SPM})} = \sum Q_i \times h_i \quad (3)$$

ここで、

$E_{\text{NO}_x(\text{SPM})}$: $\text{NO}_x(\text{SPM})$ 排出係数 (g/年)
 Q_i : 建設機械 i の $\text{NO}_x(\text{PM})$ 排出係数原単位 (g/h)
 h_i : 建設機械 i の年間標準運転時間 (h/年)

また、 $\text{NO}_x(\text{SPM})$ 排出係数原単位 Q_i は、式 (4) に示すように定格出力別のエンジン排出係数原単位に定格出力と補正係数を乗じることにより計算する。

$$\begin{aligned} Q &= (\bar{P} \times \overline{\text{NO}_x(\text{PM})}) \times fr / \bar{f} \\ &= \overline{\text{NO}_x(\text{PM})} \times fr / (\bar{f} / \bar{P}) \\ &= \overline{\text{NO}_x(\text{PM})} \times (fr / P) / (\bar{f} / \bar{P}) \times P \\ &= (P \times \overline{\text{NO}_x(\text{PM})}) \times Br / b \\ &= (P \times \overline{\text{NO}_x(\text{PM})}) \times k \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、

Q : $\text{NO}_x(\text{PM})$ 排出係数原単位 (g/h)
 P : 定格出力 (kW)
 $\bar{P}$: ISO-C1モードにおける平均出力 (kW)
 $\overline{\text{NO}_x(\text{PM})}$: $\text{NO}_x(\text{PM})$ エンジン排出係数原単位 (g/kW·h) [ISO-C1モードによる正味の排出係数原単位]
 fr : 実際の作業における燃料消費量 (g/h)
 $\bar{f}$: ISO-C1モードにおける平均燃料消費量 (g/h)
 Br : 実際の作業における燃料消費量 fr を定格出力で除した値

(g/kW·h 建設省土木工事積算基準の燃料消費率 $\times 0.8$)

b : ISO-C1モードにおける平均燃料消費率 (g/kW·h)

k : 補正係数

ここで、 $\text{NO}_x(\text{PM})$ エンジン排出係数原単位の設定の手順を図-2に示す。 $\text{NO}_x(\text{PM})$ エンジン排出係数原単位の設定は、建設機械の稼働時を想定した排出ガスの測定方法(シャードイナモ試験)により測定されたデータ(図-3~6)をエンジンタイプ別、出力帯別に分類し、排出ガス対策型建設機械のエンジンタイプ別、定格出力帯別の認定型式数(417型式:平成7年12月現在)で加重平均することにより求めた。なお、定格出力帯は、図-1のエンジンタイプ別の型式数頻度を考慮し、7.5~15kW, 15~30kW, 30~60kW, 60~120kW, 120kW以上で区分した。また、建設機械のシャードイナモ試験方法としては、自動車用以外のエンジンを対象としたISO8178が定められており、モードとして建設機械の稼働を模擬した重負荷エンジン用のC1モードがある。

補正係数は、ISO-C1モードで与えられたエンジン排出係数原単位から機種ごとの実際の作業負荷を考慮するための係数であり、機種ごとに実作業の定格出力当りの燃料消費率とISO-C1モードの燃料消費率の比で与えられる。ここで、ISO-C1モードの燃料消費率は、排出ガス対策型建設機械のデータを用いた(図-7)。

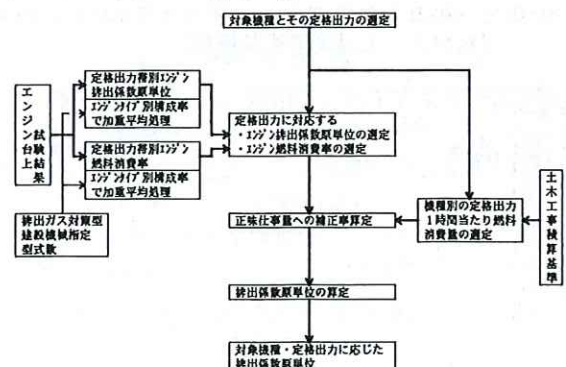
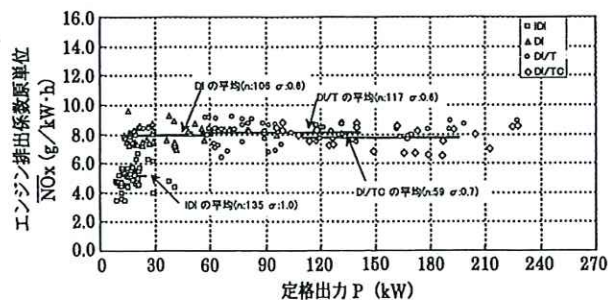


図-2 建設機械の排出係数原単位の設定手順

図-3 定格出力と NO_x エンジン排出係数原単位の関係 (排出ガス対策型建設機械)

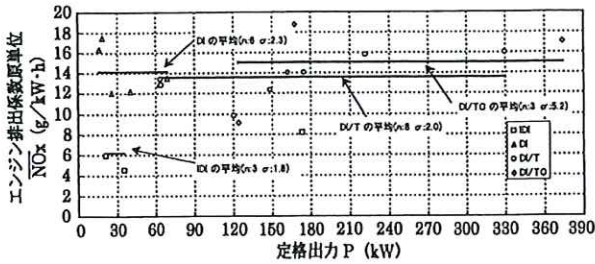


図-4 定格出力と NO_x エンジン排出係数原単位の関係
(排出ガス未対策型建設機械)

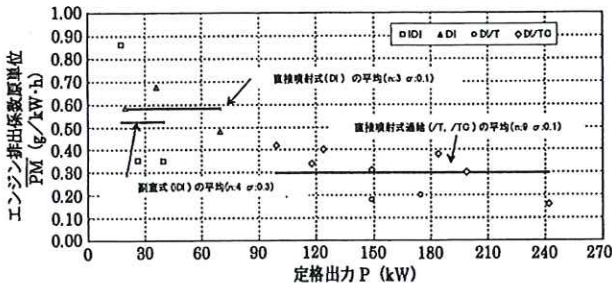


図-5 定格出力と PM エンジン排出係数原単位の関係
(排出ガス対策型建設機械)

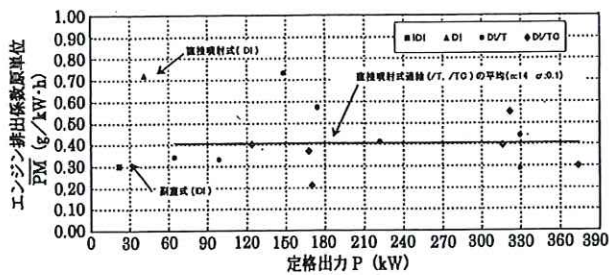


図-6 定格出力と PM エンジン排出係数原単位の関係
(排出ガス未対策型建設機械)

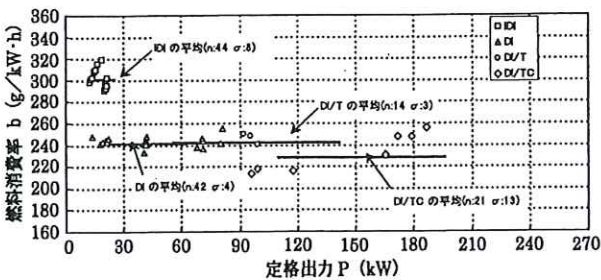


図-7 定格出力と燃料消費率の関係

表-1 定格出力別の NO_x(PM) エンジン排出係数と平均燃料消費率

定格出力	NO _x		PM		b
	排出ガス対策型	排出ガス未対策型	排出ガス対策型	排出ガス未対策型	
~15KW	5.3	6.7	0.53	0.53	296
15~30KW	6.1	9.0	0.54	0.59	279
30~60KW	7.8	13.5	0.50	0.63	244
60~120KW	8.0	13.9	0.34	0.45	239
120KW~	7.8	14.0	0.31	0.41	237

単位 (g/kW·h)

以上のデータを用い、各定格出力別の NO_x (PM) エンジン排出係数原単位を計算したものを表-1 に示す。

4. 拡散幅、排出源高さ、NO_x 変換式の設定 4.1 大気拡散実験

拡散幅 σ_y , σ_z はガスの風下距離に応じた拡がりを表した Pasquill-Gifford の拡散幅 σ_{yp} , σ_{zp} に、建設機械の機体、排出ガスの排出速度、走行等の拡散に及ぼす影響要因を表した初期拡散幅 σ_{y0} , σ_{z0} 及び平均化時間のべき指数 r で補正した式 (5), (6) で与えられる。また、排出源高さは H は、建設機械の排気管高さ H_0 に排気ガスの排出速度及び排気ガスの熱量による浮力効果を含んだ排気上昇高さ ΔH を加算した式 (7) で与えられる。

$$\sigma_y = (60/3)^r \sigma_{yp} + \sigma_{y0} \quad (5)$$

ここで、Pasquill-Gifford の水平方向拡散幅 (m)

σ_{y0} : 水平方向初期拡散幅 (m)

r : 平均化時間のべき指数

$$\sigma_z = \sigma_{zp} + \sigma_{z0} \quad (6)$$

ここで、

σ_{zp} : Pasquill-Gifford の鉛直方向拡散幅

σ_{z0} : 鉛直方向初期拡散幅 (m)

$$H = H_0 + \Delta H \quad (7)$$

ここで、 H_0 : 排気管高さ (m)

ΔH : 排気上昇高さ (m)

このため、大気拡散に及ぼす機体の影響が大きい建設機械 (32t 排出ガス対策型ブルドーザ) を固定煙源としてトレーサガス (SF₆) 拡散実験を 12 ケース行い、初期拡散幅 σ_{z0} , σ_{y0} 、平均化時間のべき指数 r および排気上昇高さ ΔH の推定した。また、鉛直方向初期拡散幅 σ_{z0} に対する建設機械の走行の影響をみるため、移動煙源 (2.4km/h) の拡散実験を 2 ケース行い、先の固定煙源のパラメータと比較した。なお、推定するパラメータは、前述のパラメータの他に大気安定度もパラメータとして取り入れ、測定値と推定値との差の二乗和が最小となるように各パラメータを設定した。

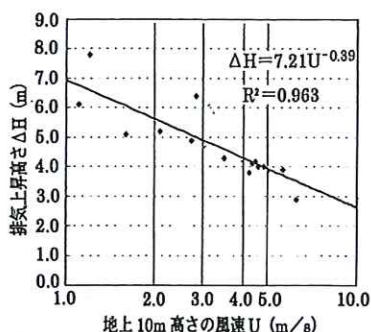
更に、建設機械の排出ガスの NO_x 変換式を検討するために実験時に NO_x 及び NO₂ を測定した。

4.2 実験結果

(1) 固定煙源の初期拡散幅 σ_{z0} , σ_{y0} 、平均化時間のべき指数 r の推計

① 測定された全データは、Pasquill-Gifford 図を補正した理論式に近似しており、実測値と推定値との整合性はよい。

② 鉛直初期拡散幅は、平均 $\sigma_{z0} = 2.9\text{m}$ (標準偏差 0.42m)、水平方向初期拡散幅は平均 $\sigma_{y0} =$

図-8 風速 U と排気上昇高さ ΔH との関係

3.5m (標準偏差 1.73m)、平均化時間のべき指数 $r=1/5$ であった。

(2) 固定煙源と移動煙源の鉛直方向初期拡散幅 σ_{z0} の比較

① 移動煙源における鉛直方向の初期拡散幅は、平均 $\sigma_{z0}=2.6\text{m}$ (標準偏差 0.05m) であり、固定煙源の初期拡散幅と比較してやや低い値となった。

(3) 排出ガス上昇高さ ΔH の推計

排出ガス上昇高さ ΔH に影響する排気ガスの排出管出口における排出速度は 48m/s であり、排気温度は 255°C であった。

① 排気管の排気上昇高さ ΔH と風速 U の関係は、CONCAWE, Brummage 等^{2),3)} により $\Delta H \propto U^{-3/4 \sim -1}$ といわれているが、今回の調査結果では $\Delta H \propto U^{-0.39}$ であり、指数がやや低い値となった (図-8)。

② 排気上昇高さ ΔH はフルスロットルの状態で最低 3m 程度あり、建設機械の大気拡散予測式においては無視できないパラメータである。

(4) NO_x 変換式

NO_x から NO_2 への変換は、空気中のオゾン濃度、窒素酸化物濃度及び排出される窒素酸化物濃度により変化し、工事現場と一般環境では異なる。このため、今回の実験で得られたデータを用い、式 (8) に示す道路事業の供用で用いられる NO_x 変換式による推定値と比較することにより、変換式の適用の可能性を検討した。

$$[\text{NO}_2] = 0.0587[\text{NO}_x]^{0.416} (1 - [\text{NO}_x]_{BG}/[\text{NO}_x]_T)^{0.630} \quad (8)$$

ここで、

NO_x : 対象道路寄与分の NO_x 濃度 (ppm)

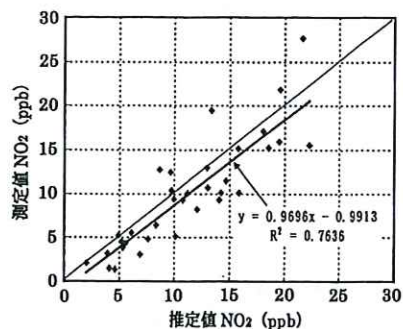
NO_2 : 対象道路寄与分 NO_2 濃度 (ppm)

$[\text{NO}_x]_{BG}$: NO_x のバックグラウンド濃度 (ppm)

$[\text{NO}_x]_T$: NO_x のバックグラウンド濃度と道路寄与分の合計値 (ppm)

$([\text{NO}_x]_T = [\text{NO}_x] + [\text{NO}_x]_{BG})$

図-9 に測定データと式 (8) の NO_x 変換式を用

図-9 NO_2 の推定値と実測値の関係

いた推定値の関係を示す。なお、推定値の計算にあたって、 NO_x のバックグラウンド濃度は、実験時の NO_x のバックグラウンド濃度の平均値 (9.3ppb) を用いた。この結果、推定値と実測値は相関が高いことが確認され、式 (8) を工事環境に適用しても問題がないことが確認された。

5. まとめ

今回の建設工事の二酸化窒素及び浮遊粒子状物質の予測方法の提案は、建設機械特有の予測に必要なパラメータを設定したものであり、実際の工事現場のデータを基にした精度の検証が必要となる。今後はこれらの確認を行うため、現場での実測を通じた知見を集め、予測精度の向上を図っていききたい。

また、本研究の検討にあたって道路環境アセスメントマニュアル検討委員会の委員の先生方には多大なご提案、ご指導をいただき、ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 朝倉、村松、持丸、新田：工事中の環境影響評価手法、土木技術資料、41-8, pp.42-47, 1999.8
- 2) 公害研究対策センター：窒素酸化物総量規制マニュアル (改訂版), pp.176-249, 1993.8
- 3) 浮遊粒子状物質対策検討会：浮遊粒子状物質汚染予測マニュアル, pp.176-251, 1997.12
- 4) 建設機械に関する技術指針、建設省経機発第 247 号、平成 3.10.8
- 5) 山根和夫：第 25 回大気汚染学会講演要旨集, pp.574, 1984.

朝倉義博*



建設省土木研究所
材料施工部機械研究室
主任研究員
Yoshihiro ASAKURA

村松敏光**



同 機械研究室長
Toshimitsu MURAMATSU