

自動車トンネルにおけるNO_x連続測定結果について

福岡三郎 舟島正直 横田久司
中村健 梅原秀夫

1 はじめに

自動車トンネル内の汚染物質調査を行い、走行中の自動車の平均的な汚染物質排出特性を把握することは、従来から行われており、当研究所でも1980年の笹子トンネル調査、1981～82年の東京港第2航路海底トンネル調査等を行い多くの知見を得ている。¹⁾²⁾³⁾自動車トンネルは、一般道路とは異なり、気象条件の影響を受けない閉鎖的環境条件を備えており、汚染物質濃度変化の原因を発生源側に求めやすい。そのような利点に着目して筆者らは、自動車トンネルにおけるNO_x連続測定を経年的に行い、自動車排出ガス規制の効果の判定をすべく検討を試みたので以下にその結果を報告する。

2 調査方法

(1) 調査対象トンネル

調査は、東京港第2航路海底トンネル上り車線で行った。トンネルの詳細については、既報のとおりである。²⁾調査を行った上り車線は、中央防波堤周辺で廃棄物処分を終えた空積載の車両が通行し、その走行車速は、実測により約70km/h程度と確認されている。²⁾

(2) 調査期間

1983年～1987年の各9～12月の期間（1983年のみ6～12月）

(3) 測定方法

図1に示す東京港第2航路海底トンネル断面図のうち13号地側立坑近辺に窒素酸化物自動記録計（化学発光式）榊本製作所製ACL-14DS型、積算平均機構付）並びにダクト風速計（プロベラ式）小笠原計器製作所製DV300型）を設置し調査を実施した。また、通過台数は、港湾局管理のトラフィックカウンター（ループコイル式）計測値を利用した。なお、ダクト風速計は、図1に示すように車道部分壁際の管理用歩道に設置した関係か

ら、測定値がやや少なめになる傾向があるので、昭和57年度調査におけるSF₆によるトレーサー実験結果からの補正係数1.07を今回も使用することとした。

(4) 測定結果の整理方法

窒素酸化物自動記録計の測定結果を、一酸化窒素（NO）、二酸化窒素（NO₂）、窒素酸化物（NO_x: NO+NO₂）別に整理した。NO_x等の測定値並びに風速測定値は、1時間毎にデータを求め、1日のうちごみ搬入時の8～16時の8時間を測定時間とし、データ整理の対象とした。また、後述するNO_x混合排出係数算出の都合から、NO_x、風速、交通量の3項目が全て測定されている時間のみをデータ整理の対象とした。

3 調査結果と考察

(1) トンネル内NO_x濃度測定結果

表1に5年間の各年別有効測定日数、NO_x平均濃度標準偏差、NO_x濃度範囲（日平均値の）、並びにNO₂濃度とその比率を示す。なお、1983年は、調査期間が6～12月であるが、他の年との比較上、この表では6～8

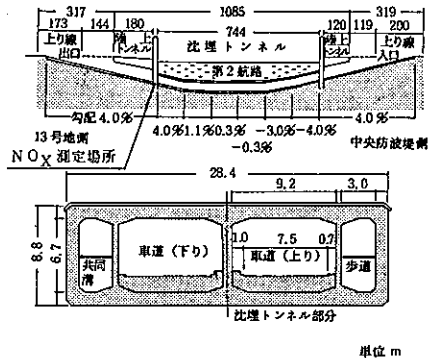


図1 東京港第2航路海底トンネル断面図

表1 トンネル内NOx濃度連続測定結果

年	日数	平均ppb	標準偏差	濃度範囲ppb	NO ₂ 濃度ppb	比率%
58	68	78.7	14.9	51.8~118.0	10.7	13.6
59	63	80.0	14.5	53.3~128.6	13.0	16.3
60	71	74.4	11.5	46.9~102.4	8.3	10.9
61	63	79.7	9.9	52.9~110.0	8.1	10.2
62	55	87.7	14.9	54.3~113.9	9.6	11.0

表2 年別NOx混合排出係数

年	g/km			
	平均風速	平均交通量	B.G濃度ppb	混合排出係数
58	6.12	519.6	9.0	2.604
59	4.86	487.7	9.3	2.235
60	4.93	506.8	9.0	2.018
61	5.56	538.5	8.9	2.319
62	5.41	535.8	12.1	2.421

月の測定データを除外した。

表1に見るように、4カ月間のNOx平均濃度は、74~88ppbで、最近2年間は濃度が上昇傾向にある。また、NOx日平均値の濃度範囲は、47~128ppbであり、これら濃度変動のうち、最低値は含水率の高い高温多湿時に、最高値は12月の低温乾燥時に出現している。

トンネル内NOx濃度中に占めるNO₂の比率は、10~16%であり、ガソリン車の混入率の高いトンネルの測定例⁴⁾5.8~7.4%に比べるとNO₂比率がやや高いが、ディーゼル車率95%のトンネル調査結果としては、妥当な数値と思われる。

(2) 排出ガス規制効果の検証

前述したように、本調査の目的は、トンネル内NOx濃度連続測定を経年的に行うことにより、排出ガス規制の効果を確認することである。しかし、トンネル内NOx濃度は、交通量、バックグラウンド(B.G)濃度等によって変動するもので、そのままの形では経年的な比較をしにくい。そこで、トンネル内における自動車からのNOx排出実態を端的に表現する指標として、NOx混合排出係数(NOx E、F)を次式によって算出することとした。

$$NOx \text{ E,F (g/km} \cdot \text{台)} = \frac{W}{L \times N} \times (C_1 - C_2) \times \rho \div K$$

ここで

W: 風量 (m³/h) で W=3600×w×S×F

W: 風速測定値 (m/秒)

S: トンネル断面積 (m²)

F: 風速修正係数 (1.07)

L: 入口から測定点までの距離 (0.894km)

N: 交通量 (台/時)

表3 規制年次別、型式別NOx排出原単位

規制区分	大型車		小型車
	直噴式	副室式	
52年規制	5.27	2.55	2.12
54年規制	4.38	2.64	1.89
57年規制	—	—	1.61
58年規制	3.81	—	—

(注) 耐用年数は大型車7年、小型車5年とした。

ρ: NO₂の密度 (1.91)

K: 下り車線からの混入率〔昭和57年度のトンネル調査時のSF₆トレーサー実験結果より1.12〕

C₁: トンネル内NOx濃度 (ppb)

C₂: B、G濃度 (晴海測定局NOx濃度, ppb)

各年別の平均風速、1時間平均交通量、B、G濃度、NOx混合排出係数算出結果を表3に示す。また、図2にNOx E、Fの経年変化グラフを示す。この図2には、通常のNOx排出量予測に用いられている排出原単位(東京都環境保全局並びに建設省設定のもの)から、規制年次別、エンジン型式別NOx排出量を表4のように定めた場合の走行速度80km/hにおけるNOx排出係数の年別値の経年変化も示した。(大型車混入率は、トンネル実測値の32%を用いた)

図2に見るとおり、トンネル調査結果から算出した、NOx E、Fは、1983年から1985年にかけて低減傾向が続いていたが、1986~1987年はやや排出係数が増大している。一般的にトンネル内NOx濃度を変動させる要因としては、①交通量、②大型車混入率、③ディーゼル車エ

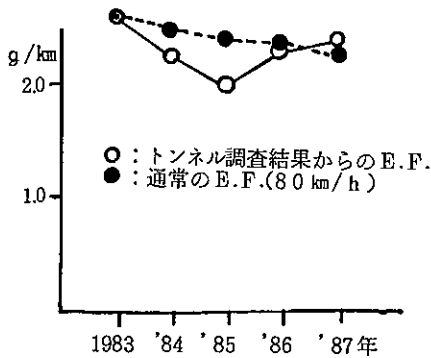


図2 NOx E・Fの経年変化

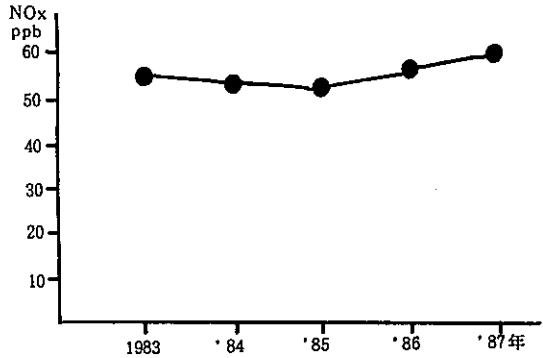


図3 一般環境測定室NOx都内平均値の推移

ンジン型式別構成比, ④車齢別構成比, ⑤B. G濃度, ⑥温度, 湿度等環境条件などが考えられる。これらの要因のうち, ①と⑤については表4に示したように計算に折り込み済みのものである。④の車齢別構成比は, 最新規制年次のNOx排出量の少ない車両の比率が年々多くなるのが普通と思われ, NOx濃度を下降させる側の要因である。また, ⑥の温度, 湿度等環境条件は, 調査時期一定ならば, 年によってそれ程変動するものではない。結局, トンネル内NOx濃度を上昇させ, NOx E.F.値を増大させるものとしては, ②, ③の要因が最も大きいと思われる。

大型車混入率については, 本海底トンネルではそれ程の変動はなく, 1985年までは平均32%で推移してきたが, 1986年はごみ搬入量が増え(対前年比11%増)大型車混入率も5%程度高くなっている。大型車混入率5%の変動は, 2%程度NOx E.F.の数値を大きくするが, トンネル調査では, 1985年に比べ1986年では約15%のNOx E.F.の増大であり, 大型車混入率の変動だけでは説明できない。したがって, 1986年以降のNOx E.F.の増大は, ③のディーゼル車エンジン型式別構成比の変動(NOx排出量の多い直噴型ディーゼル車の増大)もかなり寄与しているものと思われるが, ディーゼル車の直噴率の変動が不明であるので, この要因の影響度を定量的に把握することはむずかしい。

以上述べたように, 自動車トンネル調査結果から算出したNOx E.F.の経年変化グラフを見る限り, 自動車排出ガス規制の効果が表われているとは言いがたい。一方, 最近5年間の一般環境測定室のNOx濃度の都内年間平

表4 月別NOx平均濃度

ppb		
月	測定日数	NOx濃度
6	14	67.5
7	20	55.1
8	26	55.3
9	65	65.6
10	121	75.9
11	90	86.5
12	53	93.6

均値の推移も, 図3に見る如く昭和60年度まで低減傾向を示していたものが, 61年度以降NOx濃度の上昇が見られ, トンネル調査結果におけるNOx E.F.の推移とよく似た傾向となっている。

(3) 温, 湿度等環境条件とNOx濃度との関係

前述したようにトンネル調査におけるNOx濃度の最低値は高温多湿時に, 又, 最高値は低温乾燥時に出現している。さらに, トンネル調査結果の月別NOx濃度平均値を求めると表4の如くなり, NOx濃度は7, 8月の高温多湿時が低く, 12月の低温乾燥時が高い傾向が明瞭に示されている。

このように, 温・湿度とNOx濃度は密接な関係をもつものである。これは大気中水分, 気温, 大気圧等の変化が自動車エンジンのNOx生成量に及ぼす影響によるもので, 黒田らの実験によると大気湿度によるNOx排

出濃度変化要因は、実質的な空燃比変化と、水噴射と同様な水蒸気による燃焼温度低下効果によるものであるとし、さらに大気温度及び大気圧変化も空燃比を変化させるものであり、NOx排出濃度に影響するとしている。

こうした温・湿度等環境条件の影響は、自動車トンネル内NOx濃度にも表われてくる訳で、12月のNOx平均濃度は、7、8月の平均濃度の1.7倍にも達している。また、大気中水分のNOx排出量に及ぼす影響が大きいため、絶対湿度(混合比月間平均値)とNOx混合排出係数との相関を求めた。ここで使用した混合比は、東京管区気象台測定の水蒸気圧並びに大気圧値から次式を用いて算出した。

$$\text{混合比 (g/kg)} = \frac{0.622e}{p-e} \times 1000$$

ここで

e: 蒸気圧 (mb)

p: 大気圧 (mb)

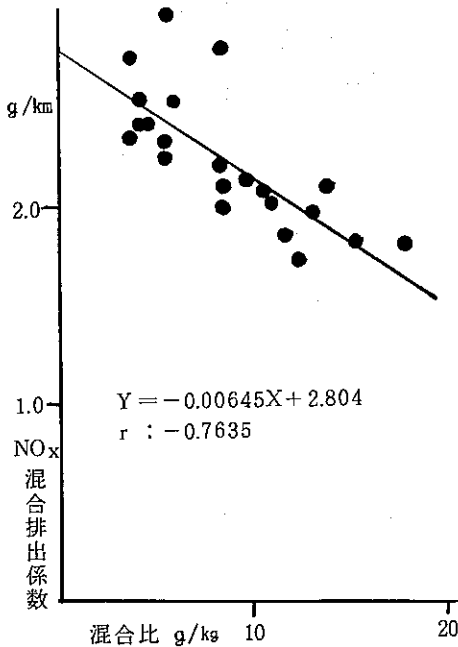


図4 NOx混合排出係数と混合比の関係

相関図を図4に示す。図に見るとおり、絶対湿度が高く大気中水分が多いとNOx排出量が少ないという負の相関が、本トンネル調査結果からはっきり示されている。

大気中湿度の自動車からのNOx排出量に及ぼす影響については、従来から認識されており、自動車排出ガス排出基準に定める公定法でも大気湿度補正係数(Kh補正)として定められている。このKh補正では、標準状態を気温25℃、絶対湿度75grains/lb(混合比10.6g/kg)としており、自動車からのNOx排出量は、全てこの状態(5~6月又は9月の時期に出現しやすい。)に換算して補正、計算されている。したがって、この状態より低温、低湿度の状態の時は、実際のNOx排出量は排出係数で見積られている量より多くなる訳で、冬季NOxの高濃度予測シミュレーション作業等には留意する必要がある。

4 まとめ

自動車排出ガス規制の効果を確認するために、一つの方法として自動車トンネル内のNOx濃度の連続測定を行ったところ、一部規制の効果はみられるものの、最近2年間では、規制の効果がそれ程顕著でないことがわかった。

又、このような自動車トンネル内のNOx濃度を測定する場合、絶対湿度等の環境条件がNOx濃度に大きく影響することが確認された。

参考文献

- 1) 伊瀬洋昭ら: 粒子状物質の発生源寄与に関する調査, 東京都公害研究所年報1981
- 2) 伊瀬洋昭ら: 自動車排出汚染物質の排出実態に関するトンネル調査 — 第一報 —, 東京都公害研究所年報1983
- 3) 福岡三郎ら: 自動車排出汚染物質の排出実態に関するトンネル調査 — 第二報 —, 東京都公害研究所年報1984
- 4) 佐々木祐三: 高速道路における窒素酸化物排出量の算定, 高速道路と自動車 Vol.21 No.9 (1978)
- 5) 黒田 裕他: NO排出濃度に及ぼす大気湿度の影響について, 自動車技術 Vol. 24 No.4 (1970)