

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 -

福 岡 三 郎 飯 田 靖 雄 舟 島 正 直
 芽 島 正 資 鈴 木 正 次 梅 原 秀 夫
 泉 川 碩 雄 渡 辺 武 春 小 野 塚 春 吉
 伊 瀬 洋 昭 朝 来 野 國 彦 佐 々 木 裕 子
 遠 藤 立 一 (保 健 部)
 (保 健 部)

1 はじめに

東京港第2航路海底トンネルを利用した自動車からの汚染物質排出実態調査は、①、ディーゼル車からの汚染物質の平均的排出特性把握、②、内燃機関以外から発生する粉じんの排出実態究明、等自動車の走行が道路沿道へ及ぼす影響を総合的に把えることを目的として行われ、すでに第1報で、トンネル調査手法の検討、走行まきあげ粉じんを含む自動車からの粒子状物質排出係数の試算結果等を報告¹⁾したが、引続いて第2報では、ディーゼル車から排出される粒子状物質のキャラクタリゼーション(金属、Bap、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 等成分組成検討)、 NO_x 、 SO_2 、HCHO等ガス状汚染物質排出実態検討、ならびに、すでに設定されている自動車排出ガスエミッション・ファクターのトンネル調査からの検証を行った結果について報告する。

2 測定・分析法

東京港第2航路海底トンネル調査は、1981年6月23日から7月2日(第一回)と1982年5月24日から28日まで(第二回)の2回にわたり実施し、第1報で詳述した方法で汚染物質のサンプリング、測定分析を行った。第2報に係る汚染物質の測定分析法は表1に示す通りである。

3 測定結果と考察

(1) 硫酸イオン、硝酸イオンのトンネル内濃度と混合排出係数

ハイボリウム・エア・サンプラー(Hi-Vol)で捕集した粉じんの中の硫酸イオン(SO_4^{2-})、硝酸イオン(NO_3^-)濃度を表2に、測定結果から算出した混

表1 汚染質測定分析法

測定項目	サンプリング	分析法
窒素酸化物	自動記録計	ケミ・ルミネッセンス NO_x 計
亜硫酸ガス	インピンジャー	パラ・ロザニリン法
ホルムアルデヒド	バブラー	2・4 デイニトロヒドラジン法
炭素成分	Hi-Vol	燃焼分解法(CHN計)
硫酸イオン	"	液クロ法
硝酸イオン	"	カドミウム還元法
ベンゾ(a)ピレレン	"	真空昇華・TLC・蛍光分光分析
Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn	"	酸抽出原子吸光分析
その他の元素	Low-Vol	武蔵工大原子炉の気送管照射簿による放射化分析

表2 トンネル内硫酸イオン・硝酸イオン濃度
(第1回調査)

汚染物質	項目	平均濃度 $\mu g/m^3$	変動係数 %	濃度範囲 mg/m^3	トンネル外 濃度 $\mu g/m^3$
硫酸イオン		35.0	45.1	91.8 - 8.3	7.8
硝酸イオン		3.2	62.5	8.0 - 0.2	0.7

表3 硫酸イオン・硝酸イオン混合排出係数

汚染物質	項目	n	混合排出係数 mg/km	変動係数 %	範囲 mg/km
硫酸イオン		33	42.5	53.8	112.9 ~ 0.8
硝酸イオン		33	3.9	62.9	9.8 ~ 0.1

合排出係数を表3に示す。

トンネル内SO₄²⁻平均濃度35.4 μg/m³は、一般環境濃度例えば、国設大気汚染測定所の全国平均値8.4 μg/m³に比べて4倍程度の濃度であるが、沿道周辺地点では、気象条件によっては30~40 μg/m³の濃度が時折出現しており³⁾、トンネル内濃度とそれ程差がない。また、粉じん総量に対する比率は、トンネル調査の場合3.2%で、一般環境濃度での比率7~13%に比べて、かなり率が低い。一方、SO₄²⁻の混合排出係数は、平均42.5 mg/kmで、これは筆者らが台上試験により求めた渦室式ディーゼル車の中速域(20~30km/h)、予燃焼、直噴式ディーゼル車では高速域(35~45km/h)での排出係数⁴⁾に近い数値である。

NO₃⁻のトンネル内濃度3.2 μg/m³は、国設東京大気汚染測定所の昭和56年度の平均値5.4 μg/m³より低い値で、自動車がNO₃⁻汚染にどの程度寄与しているか疑問があるが、トンネル外濃度との差から求めたNO₃⁻の混合排出係数の平均値は3.9 μg/m³となっている。

(2) Bapのトンネル内濃度と混合排出係数

第一回調査及び第二回調査におけるBapのトンネル内濃度を表4に、またその結果をもとに算出した混合排出係数を表5に示す。トンネル出口(以下C₂)地点でのBap濃度は第一回調査が4.9 μg/m³、第二回調査が4.7 μg/m³で、都内9地点平均濃度(昭和54年度)2.1 μg/m³⁵⁾に比べて2.4倍程度高い濃度であるが、沿道周辺地域との比較では、むしろ、トンネル内濃度より沿道地域の方が高い濃度が報告されている³⁾また、粉じん総量に対する比率も約4 ppmで、都内9地点における比率12.3 ppmより小さい値となっている。

表4 トンネル内Bap濃度

測定場所	項目	平均濃度 μg/m ³	変動係数 %	濃度範囲 μg/m ³
第1回調査	トンネル外	0.9	44.4	1.7-0.3
	C ₂ (トンネル出口)	4.9	38.8	9.3-2.2
第2回調査	C ₁ (トンネル入口)	3.1	35.8	6.9-1.2
	C ₂ (トンネル出口)	4.7	39.1	11.1-2.4

Bapの混合排出係数が、第一回調査と第二回調査とでは、2倍以上数値に差があるが、これは、調査手法のちがいに起因するものである。第二回調査のトンネル

表5 Bapの混合排出係数

項目	n	混合排出係数 mg/km	変動係数 %	範囲 mg/km
第1回調査	33	6.3	47.9	11.3 -0.0
第2回調査	30	2.9	72.8	9.0 -0.0

表6 Hi-Vol 粉じん中の
重金属濃度・混合排出係数

項目	n	平均濃度 μg/m ³	変動係数 %	濃度範囲 μg/m ³	トンネル外濃度 μg/m ³	濃度差 μg/m ³	混合排出係数 mg/km
粉じん総量	33	1.077	63.0	2.888 ~254	82	995 (13)	1.881
クロム	25	0.110 (0.010)	69.1	0.289 ~ND	0.009 (0.011)	0.101 (12)	0.158
銅	22	0.281 (0.026)	53.7	0.625 ~ND	0.126 (0.154)	0.155 (2)	0.242
鉄	33	3.9 (2.97)	103.8	122.1 ~0.4	1.95 (2.39)	28.9 (16)	45.1
マンガン	33	1.71 (0.159)	118.7	7.89 ~0.04	0.08 (0.098)	1.63 (21)	2.6
鉛	22	0.19 (0.018)	78.9	0.63 ~ND	0.07 (0.085)	0.12 (7)	0.187
亜鉛	33	1.68 (0.158)	60.1	4.43 ~ND	0.34 (0.415)	1.34 (3)	2.1

※1 平均濃度、トンネル外濃度()内粉じん総量に対する比率
※2 濃度差()内トンネル内濃度のトンネル外濃度に対する比率

ル入口(以下C₁)地点でもBapはかなりの濃度があり、第1報のSF₆実験結果でも指摘している反対車線からの汚染物質の流入ならびにトンネル入口までの掘割り構造部分(320 m)で排出される汚染物質の侵入がかなりあることが想定される。結局、これら流入汚染物質濃度を差引くことのできる第二回調査結果からの排出係数が、より排出実態に近いと思われる。混合排出係数2.9 μg/kmは、Williamsらの1.7 μg/km⁶⁾、Gabeleらの0.98 μg/km⁷⁾に比べてやや数値が大きいがこれは、調査方法のちがい(高温サンプリングが避けられない台上試験と常温サンプリングができるトンネル調査)に起因するものと思われる。

(3) トンネル内粉じんの成分元素濃度

第一回調査における原子吸光分析によるHi-Vol粉じん中重金属濃度及びその混合排出係数を表6に示す。また、同じく放射化分析によるLow-Vol粉じん中の多元素分析結果を表7に示す。表にみるように鉄、マンガン、バナジウム、アルミニウム、スカンジウム、カルシウムなどは、変動係数がかなり大きく、トンネル内濃度の外の濃度に対する倍率が高く、粉じん総量における倍率を何れも上回っている。これらの元素が何れも土壌の主成分であることから考えると、まきあげ粉じんの影響がそのまま成分元素濃度の傾向に表われていると思われる。また、鉛、塩素、臭素な

表7. Low-vol 粉じんの多元素分析結果

第1回調査

項目 元素	n	平均濃度	変動係数 %	濃度範囲	トンネル外濃度	濃度差	混合排出係数
粉じん総量	6	892 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	47.6	1,740~450 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	837 (16)	1,421 mg/km
アルミニウム	5	24.5 " ※(2.7%)	82.4	65.5~5.2 "	1.2 " (2.2%)	23.3 ※※(20)	38.4 "
カリウム	5	4.4 " (0.5)	61.4	9.8~2.2 "	0.3 " (0.5)	4.1 (15)	6.8 "
ナトリウム	5	6.4 " (0.7)	42.2	11.9~3.6 "	0.5 " (0.9)	5.9 (13)	9.7 "
塩素	5	9.1 " (1.0)	25.3	12.2~5.5 "	1.0 " (1.8)	8.1 (9)	13.3 "
カルシウム	6	42.4 " (4.8)	93.8	125.5~6.8 "	4.7 " (8.5)	37.7 (9)	62.0 "
鉄	5	22.7 " (2.5)	68.1	47.3~5.7 "	0.9 " (1.6)	21.8 (25)	35.9 "
亜鉛	5	1.38 " (0.15)	39.3	2.37~0.73 "	0.64 " (1.1)	0.74 (2)	1.2 "
バナジウム	5	226 ng/m^3 (0.025)	89.8	640~50 ng/m^3	11 ng/m^3 (0.02)	215 (20)	353 $\mu\text{g}/\text{km}$
スカンジウム	5	4.5 " (5 ppm)	77.1	11.0~1.5 "	0.1 " (2 ppm)	4.4 (45)	7 "
臭素	5	55 " (61ppm)	26.2	75~33 "	13 (236 ppm)	42 (4)	69 "
クロム	6	269 " (302ppm)	45.8	397~80 "	23 (418 ppm)	246 (12)	1.2 "

※ 平均濃度, トンネル外濃度 () 内粉じん総量に対する比率% (ppm)

※※ 濃度差 () トンネル内濃度のトンネル外濃度に対する倍率

表8 笹子海底両トンネルの重金属混合排出係数比較

トンネル 元素	笹子	海底
鉛	360~3,270 $\mu\text{g}/\text{km}$	187 $\mu\text{g}/\text{km}$
鉄	2.9~8.7 mg/km	45.1 mg/km
亜鉛	0.10~0.38 "	2.1 "
マンガン	0.06~0.14 "	2.6 "

どのトンネル内濃度は、一般の市街地における濃度²⁾とそれ程の差はない。

なお、鉄、亜鉛、鉛、マンガンの4成分については、当研究所が昭和55年度に笹子トンネルで実施した調査において混合排出係数を試算しているの、表8に海底トンネルとの比較を示す。表8にみるように混合排出係数は、鉛をのぞいて海底トンネルの方が何れも桁がちに数値が大きい。これは、海底トンネルが清掃車専用道路であるためにまきあげ粉じんが著しく多いためと思われる。それに対して鉛の場合は、プレミアムガンリンに4アルキル鉛として含有されている関係

から、ガンリン車混入率の大きい笹子トンネルの方がトンネル内濃度で倍、混合排出係数で2~17倍大きい数値が示されている。

(4) ガス状汚染成分のトンネル内濃度と混合排出係数

第2回調査における亜硫酸ガス(SO₂)、窒素酸化物(NO_x)、アルデヒド(HCHO)のトンネル内濃度を表9に、また、その結果をもとに算出した混合排出係数を表10に示す。

ア 亜硫酸ガス(SO₂)

ガス状汚染成分のうちSO₂は、水にとけやすい物質であるため、湿度の高い日、降雨日等においては、かなりトンネル壁体等に吸着する可能性が考えられる。第2回調査期間中は、降雨日はなかったが5月27日夜間にトンネル壁体の水洗い清掃が行われており、その影響を受けて、5月28日のトンネル内SO₂濃度は前日に比べて著しく低く、C₁よりC₂においてその傾向が顕著で、C₂-C₁の濃度差が逆転している場合が多かった。5月28日の場合は、極端な例であるにせよ、日

表9 トンネル内ガス状汚染物質濃度

第2回調査

汚染物質	項目	平均濃度	変動係数 %	濃度範囲
亜硫酸ガス ppb	C ₁ (トンネル入口)	43.1	36.9	80~14
	C ₂ (トンネル出口)	82.6	42.0	166~11
窒素酸化物 ppm	C ₁	0.39	30.3	0.61 ~0.23
	C ₂	0.85	24.7	1.23 ~0.58
ホルムアルデヒド ppb	C ₁	12.5	24.8	18.4 ~5.7
	C ₂	21.2	30.2	38.1 ~8.0

表10 ガス状汚染物質混合排出係数

汚染物質	項目	n	混合排出係数 g/km	変動係数 %	範囲 g/km
亜硫酸ガス		26	0.26	42.7	0.55 ~0.03
窒素酸化物		16	1.51	24.2	2.16 ~0.86
ホルムアルデヒド		30	0.21mg/km	53.3	0.55mg/km ~0.04

中トンネル内温度が外気温より10°C近くも低いことからみて、他の日においても壁体等へのSO₂の吸着は或る程度あるものと思われる。

軽油のS含有量0.39%、比重0.83とし、環境保全局が設定したディーゼル車のSO₂排出係数(燃費)から1km当りの軽油消費量を、大型車253ml、中型車126ml、小型車96mlとした場合、トンネル内でのS発生量は、1時間当たり約240gと推定されるが、一方、汚染物質測定結果から、SO₂²⁻としては、35μg/m³の平均濃度から約10g、SO₂としては、82.6ppbの平均濃度から約95gのS分が計算され、残りの135gのSが、いおう酸化物或はいおう化合物として壁体等に吸着されたものと推定される。

イ 窒素酸化物 (NOx)

C₂地点におけるNOx濃度は、期間平均0.85ppm、C₁地点との差は、0.46ppmで、Hi-vol粉じん等に比べて変動係数は小さい。

C₂、C₁両地点のNOx測定結果から算出した混合排出係数は、1.51g/kmで、これは、昭和55年度に実施した笹子トンネル調査結果⁸⁾における排出係数(大型車12.5g/km、小型車2.63g/km)に比べてやや小さい数値となっている。これは、①海底トンネルの場合

下り勾配の部分が多くこれがNOx排出係数を小さくしていること。②笹子トンネルでは、ガソリン車の混入率が高く、高速域のNOx排出係数が大きいこと、等に起因しているためと思われる。

また、トンネル内におけるNO₂/NOx比は、トンネル入口では0.23(0.09/0.39)トンネル出口では0.12(0.10/0.85)となっている。出口地点での比率が小さくなっているのは、外気に近い入口では、一般環境濃度の影響があることと、出口地点にくるまでに、SO₂同様NO₂も壁体等への吸着が考えられること(5月28日の場合NO₂濃度もSO₂同様、C₂-C₁間の濃度差が逆転している)等によるものと思われる。一方、ガソリン車の混入率の高い自動車トンネルの測定例として、都夫良野トンネルにおけるNO₂/NOx比を、佐々木は平均5.8~7.4%と算出しており¹⁰⁾、本調査結果より若干比率が小さい。一般的にディーゼル車の排ガス中NO₂/NOx比は、ガソリン車に比べて若干率が大いと言われており、ディーゼル車混入率が95%を占める海底トンネルの方がNO₂/NOx比が大きくなるのも当然であろう。

ウ ホルムアルデヒド (HCHO)

HCHOのトンネル出口濃度は21.2ppb、入口濃度は12.5ppbとなっている。これらの測定値から算出された混合排出係数は、21mg/kmと求められた。この数値は、筆者らが密室式ディーゼル車の台上試験より求めた低速領域における排出係数値とほぼ一致している¹¹⁾。

(5) 大型車交通量と汚染濃度との関係

トンネル調査の場合、汚染物質の混合排出係数を求め、これと大型車混入率との関係式から、大型車、小型車別の排出係数を算出するのが普通であるが、海底トンネルの場合、大型車混入率との関係を求めることがむづかしいので、本報告では、単に大型車交通量と汚染物質濃度との関係を検討することのみにとどめた。

図1~図6は、大型車交通量とNOx濃度、粉じん(β線ダスト計値、Hi-vol測定値)、カーボン(C)濃度、HCHO濃度、BaP濃度との相関を示したものである。

図にみるとおり、大型車交通量と相関の良いのは、NOx、β線ダスト計値、C濃度である。回帰定数即ち図のY軸切片が大型車以外の車両による汚染濃度とするならば、平均濃度からこの数値を差引いたものが大

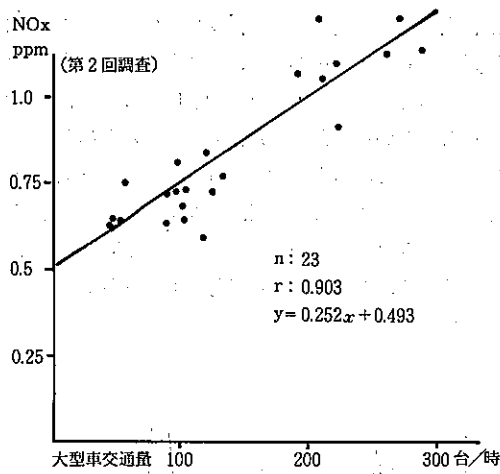


図1 NOx 濃度と大型車交通量との関係

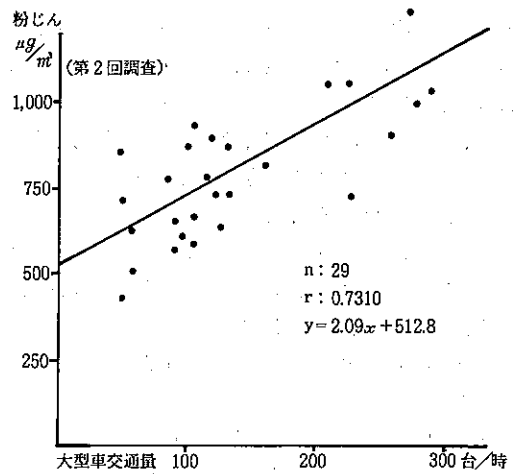


図2 β線ダスト計値と大型車交通量との関係

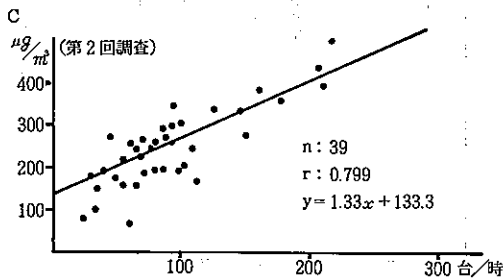


図3 カーボン濃度と大型車交通量との関係

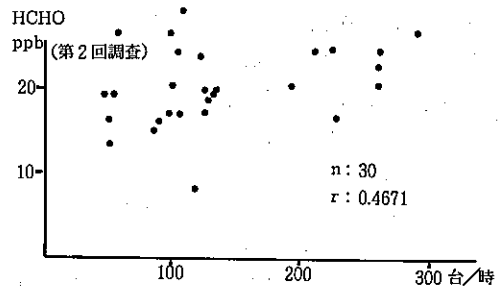


図4 HCHO 濃度と大型車交通量との関係

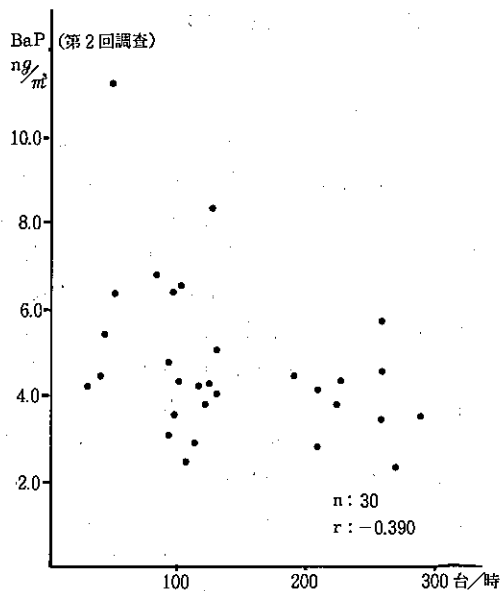


図5 BaP 濃度と大型車交通量との関係

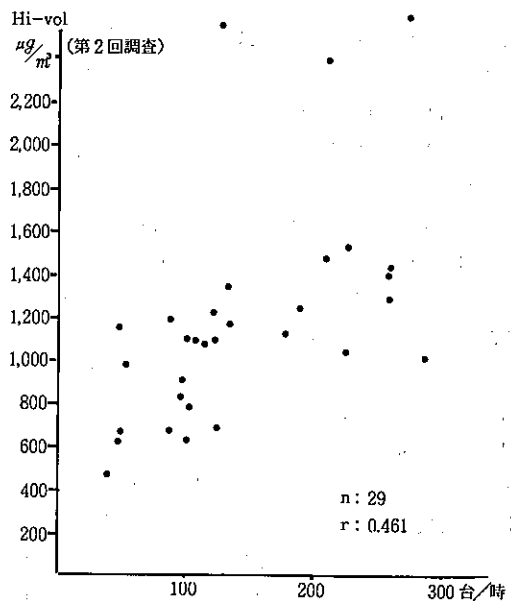


図6 Hi-vol 粉じん濃度と大型車交通量との関係

型車による汚染濃度となる。このようにして算出した汚染濃度の全体の平均濃度に占める割合即ち大型車による汚染寄与率は、NO_xで0.43、β線ダスト計値で0.37、C濃度で0.45となり、NO_x、粒子状物質汚染における大型車の寄与が大きいことがわかる。

また、HCHO濃度は、大型車交通量との関係がはっきりしない。HCHOは、シャーシダイナモメーターによる台上試験でも、大型車より小型車の方が排出係数が大きい場合もみられており⁴⁾、何れも車両の大きさとHCHO排出量との関係が見出されにくくなっている。

Hi-vol 粉じん値は、まきあげ粉じんの影響が大きく、このまきあげ粉じんもその時の湿度条件等に影響されるため、大型車交通量との関係がうすれている。

Bap濃度も大型車交通量との関係が悪く、むしろマイナスの相関がうかがえる。車両の大きさ別のBap排出量のデータが少く、何とも言えないが、大型車からのBap排出量はそれ程多くないことが想定される。

(6) 設定されている排出係数のトンネル調査結果からの検証

自動車トンネル調査結果の有効な利用法の一つとして、すでに設定されている自動車排出ガス排出係数の精度の検証がある。車種別交通量とトンネル内換気条件さえわかれば、排出係数を用いてトンネル内汚染物質濃度を算出することができる。そこで、ここでは、東京都環境保全局が設定しているNO_x排出係数と、アメリカEPAが、カンサスシティの道路アセスメントで使用した自動車からの粒子状物質の排出係数について、本トンネル調査結果からの検証を試みた。

ア NO_x

NO_x排出係数は、環境保全局が昭和51年度ならびに昭和55年度に設定した⁹⁾ものを用いた。車種構成は、大型車(車両重量10t)、中型車(5t)、小型車(3t)及びガソリン車(乗用車)とし、規制年次構成比、貨物車(大型、中型)における直噴率等は全て環境保全局設定のものを用い、NO_x排出係数をそれぞれ、大型車：5.85 g/km、中型車：2.93 g/km、小型車：1.34 g/km、ガソリン車：2.23 g/kmと設定した。この排出係数を使用して、第2回調査のトンネル出口におけるNO_x濃度を試算した。図7にトンネル出口におけるNO_x実測濃度と計算濃度の経時変化グラフを示す。図7にみるとおり、14-15時のNO_x濃度に差がある

が、全般的には両者の変動傾向はほぼ一致しており相関係数も0.823とかなり高く、環境保全局設定の排出係数にもとづく計算濃度と実測濃度とにそれ程の差がないことがわかった。また、計算濃度における車種別寄与率をみると、大型車0.5、中型車0.17、小型車0.29、ガソリン車0.04となっている。この大型車の寄与率0.5は、前述の大型車交通量とNO_x濃度との関係式から導かれた大型車寄与率0.43より若干数値が大きい。

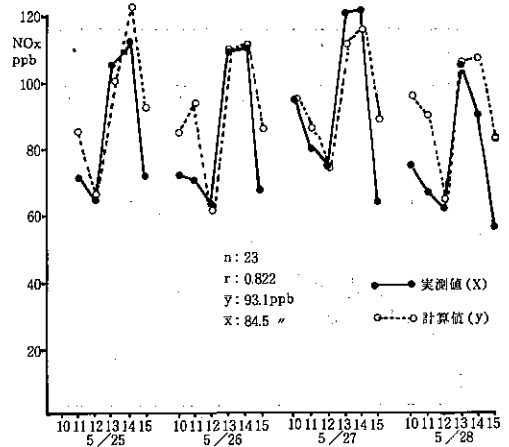


図7 排出係数からのNO_x計算濃度とトンネル内NO_x濃度の日変化グラフ

イ 粒子状物質

カンサスシティの道路アセスメントで設定された自動車からの粒子状物質の排出係数は、大型貨物車1.24 g/km、小型貨物車0.31 g/km、ガソリン車0.0094 g/kmである¹²⁾。この排出係数を海底トンネルの場合にあてはめたが、中型車は便宜上小型貨物車に組入れて計算を行った。計算の結果、第1回トンネル調査におけるトンネル出口の粒子状物質濃度は265 μg/m³、第2回トンネル調査の計算濃度は、371 μg/m³と求められ、この数値は、β線ダスト計実測値の40~46%程度である。平均濃度はこのようにやや差があるが、計算濃度とβ線ダスト計値の相関は図8、9に示すように、比較的良く、とくに第2回調査では、r: 0.824を示し、両者の濃度変動に相関性が強いことがわかる。

また、図10は、第一回調査における排出係数から計

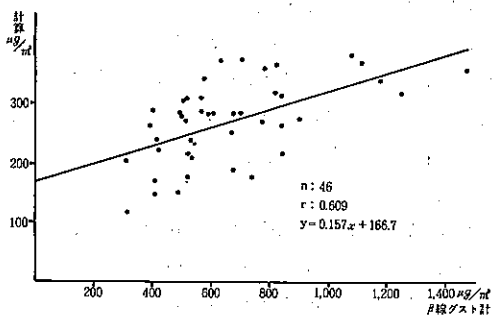


図8 排出係数からの粒子状物質計算濃度とβ線ダスト計値と関係(第1回調査)

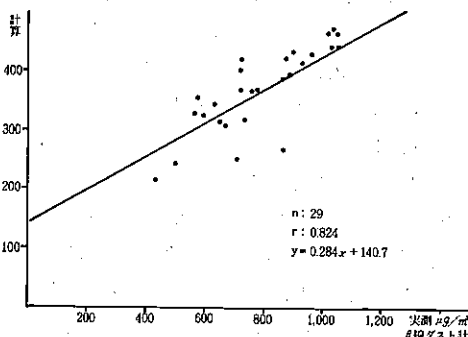


図9 排出係数からの粒子状物質計算濃度とβ線ダスト計値との関係(第2回目)

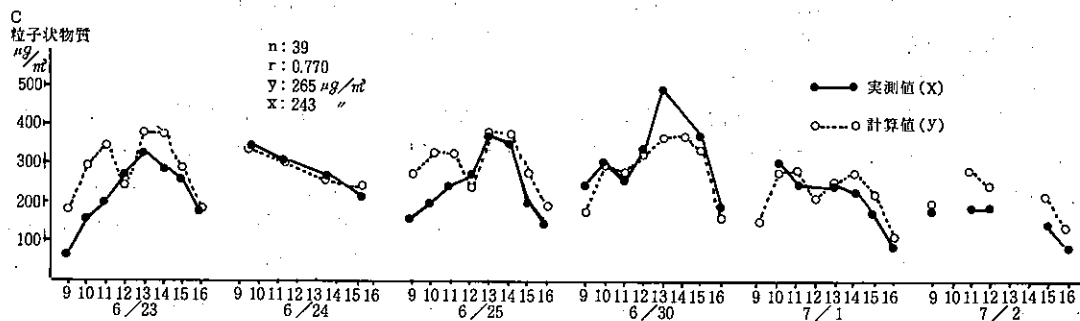


図10 排出係数からの粒子状物質計算濃度とトンネル内C濃度の日変化グラフ

算した粒子状物質濃度とカーボン濃度(C)の経時変化グラフを示したもので、図にみるとおり、排出係数からの計算濃度とC濃度は、変動傾向も濃度レベルもほぼ一致している。さらに、計算濃度の車種別寄与率をみてみると、大型車0.55、小型車0.44、ガソリン車0.01となっており、NO_x同様、大型車の寄与率が大きい。

4 ま と め

海底トンネルを利用して、ディーゼル車からの汚染物質排出実態調査を行い、粒子状物質のキャラクターゼーション、ガス状汚染物質排出実態、トンネル濃度と既設排出係数との関係を検討した結果、つぎのことがわかった

① トンネル内SO₄²⁻濃度は、平均35μg/m³で、沿道周辺地域と同程度の濃度であり、その混合排出係数は42.5mg/kmで、台上試験での小型車の中速域、大型

車の高速域の排出係数に近い数値となっている。また、燃費から計算されるS分の4%がSO₄²⁻として排出されている。

② トンネル内NO₃濃度は、平均3.2μg/m³で、国設東京大気汚染測定所の年平均値より低い数値であるが、混合排出係数は3.9mg/kmと求められた。

③ トンネル内BaP濃度は、第1回目4.9ng/m³、第2回目4.7ng/m³で、これは沿道周辺地域の濃度より低く、粉じん総量に対する比率も4ppmと一般環境における比率よりも小さい。また、混合排出係数は、調査手法の点から、第2回目調査の2.9μg/kmが排出実態に近い数値と思われる。

④ 粒子状物質の多元素分析の結果、土壌成分と思われる元素が著しく多かった。

⑤ SO₂は、トンネルが湿潤状態にあるとき、トンネル壁体等に吸着する率が高く、今後調査する場合注意を要することがわかった。

- ⑥ トンネル出口地点における NO_x濃度は平均 0.85 ppm で、このうち 1/2 は、大型車が寄与していることがわかった。NO_x混合排出係数の平均は、1.51 g/km と求められた。また、トンネル内における NO₂ / NO_x 比は、トンネル出口で 0.12 で、ガソリン車混入率の高いトンネルに比べてやや数値が大きい。
- ⑦ HCHO の混合排出係数の平均は、21mg/km で、これは小型ディーゼル車の台上試験より求めた低速領域における排出係数とほぼ同じ数値である。
- ⑧ 大型車交通量と相関が良いのは、NO_x、β線ダスト計値、カーボン濃度で、HCHO、Bap、Hi-vol 粉じん濃度とは相関が悪い。
- ⑨ 環境保全局の設定している NO_x の排出係数をトンネル交通量に適用して求めた計算濃度と、トンネル内 NO_x 実測濃度とは比較的良く一致していた。
- ⑩ EPA がカンサスシティの道路アセスメントで使用した粒子状物質排出係数を、トンネル内交通量に適用して求めた計算濃度と、トンネル内カーボン濃度とは NO_x 同様比較的良く一致していた。

参 考 文 献

- 1) 伊瀬洋昭ほか：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1報- 東京都公害研究所年報、1983年版 (1983)。
- 2) 環境庁大気保全局大気規制課編：国設大気測定網測定結果昭和56年度版 (1983)。
- 3) 瓦家敏男ほか：自動車排ガス等による街路空気汚染の推移と現状 空気清浄 vol19 No2 (1981)。
- 4) 舟島正直ほか：大型ディーゼル車からの汚染物質排出実態 東京都公害研究所年報1982年版 (1982)。
- 5) 東京都公害研究所：浮遊粒子状物質等測定データ集 (1982)。
- 6) R.L.Williams et, al: Benzo(a)pyrene Emission from Gasoline and Diesel Automobiles SAE Paper 790419 (1979)。
- 7) Peter, A, Gabele: Emission Patterns of Diesel Powered Passenger Car Part II SAE Paper No 770168 (1977)。
- 8) 伊瀬洋昭ほか：粒子状物質等汚染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年版 (1981)。
- 9) 東京都環境保全局：東京都内自動車交通量及び自動車排出ガス排出量算出調査報告書 (1982)。
- 10) 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 vol21 No9 (1978)。
- 11) 福岡三郎ほか：小型ディーゼル車からの汚染物質排出実態 東京都公害研究所年報1981年版 (1981)。
- 12) T.Briggs et, al: Air Quality Assessment of Particulate Emission from Diesel powered Vehicles EPA-450/3-78-038 (1978)。