

道路トンネルの換気施設設計に用いる諸定数

石村利明* 真下英人** 角湯克典***

1. はじめに

道路トンネルの換気施設の設計は、トンネル内の視距に影響を及ぼす物質として排出ガス中の黒煙(排気管由来)と粉じん(巻上げ由来)を合計した、いわゆる煤煙と、トンネル利用者および保守作業員に対する生理的な影響を及ぼす物質として一酸化炭素(CO)を対象としている。現在の換気施設の設計においては、これら換気対象物質の排出量と、速度や勾配によって煤煙排出量が増減することによる所要換気量を補正するための速度勾配補正係数は、それぞれ平成3~5年度の実態調査および平成元年の台上試験結果に基づき設定した値を用いている。

近年では、自動車の排出ガス規制や自動車性能の向上により、煤煙やCOの自動車1台あたりの排出量の減少や、速度勾配補正係数などの諸定数が変化していることが予想される。

本研究においては、供用中の道路トンネルにおける排気ガス濃度の実態調査により自動車1台あたりの排出量の推移を把握するとともに、排出ガス規制を考慮した今後の排出量の予測を行い、換気施設の設計に用いる自動車1台あたりの排出量を検討した。また、近年の排出ガス規制車を対象に台上試験を実施し、各排出ガス規制適合車の割合を考慮した速度勾配補正係数の検討を行った。

2. 自動車1台あたりの排気ガスの排出量

2.1 実態調査

実態調査は、表-1に示す一般国道の2車線トンネルで実施した。調査は道路トンネルを1本のチューブと考慮し、トンネルの入口側および出口側の2ヶ

表-1 実態調査トンネルの概要および調査実施年

調査トンネル	延長(m)	最急縦断勾配(%)	換気方法	立坑の有無	交通方法	平成12年	平成13年	平成14年	平成15年	平成16年	平成19年
丸子蔵科トンネル	2,027	0.3	ジェットファン付立坑集中排気縦流式	有	対面	○	○		○		○
空海北トンネル	734	1.61	ジェットファン+送排縦流式	無	一方	○					
宇津ノ谷トンネル	881	1.3	自然換気(立坑集中排気縦流式)	有	一方			○			
防府第三トンネル	1,833	1.3	ジェットファン式縦流式	無	対面				○		
南但馬トンネル	1,224	2.3	ジェットファン式縦流式	無	対面					○	

A Study about a Design Method of Road Tunnel Ventilation Facilities

所において各種の排気ガス濃度とともに、トンネル内を通過した自動車台数を大型車・小型車別の計測を行った。調査項目は、煤煙、COのほか、煤煙濃度に関係する微粒子(2.5 μ m以下の粒子状物質)、粗粒子(10 μ m~2.5 μ mの粒子状物質)の濃度、およびトンネル車道内風速、交通量(大型車・小型車の別)として、48~72時間の連続測定を実施した。

2.2 実態調査結果

実態調査結果により得られた自動車1台あたりの煤煙およびCOの各排出量の経年変化を図-1、図-2に示す。両図には平成3年以降に実施された同様の実態調査から求めた排出量¹⁾および現在の換気設計に用いられている値²⁾を示す。

図-1より、大型車の煤煙排出量は、ばらつきはあるものの換気設計に用いている値に比べて小さく、年々減少していることが分かる。小型車の煤煙排出量は大きな変化は見られない。また、図-2よりCO排出量も全般的には減少傾向を示しており、小型車・大型車ともに換気設計に用いている値に比べて小さくなっていることが分かる。

2.3 換気施設の設計に用いる排出量

2.3.1 排出ガス規制を考慮した排出量の予測

排出ガス規制を考慮した煤煙排出量の将来予測は、

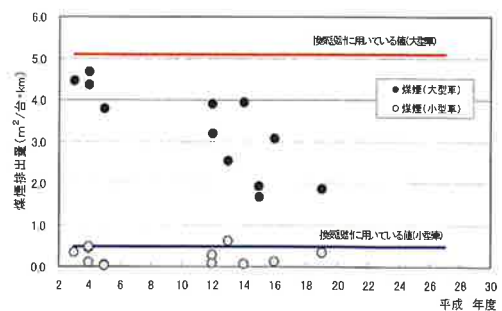


図-1 煤煙排出量の経年変化

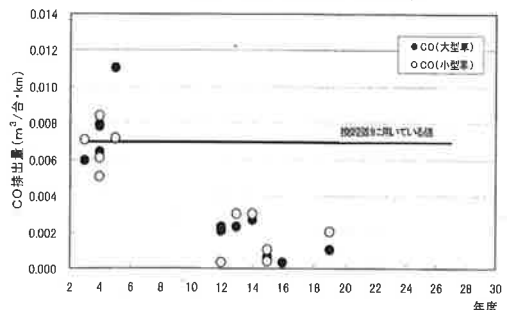


図-2 CO排出量の経年変化

2.2で示した実態調査結果を用いて中央環境審議会における第4次答申までを対象とした新長期規制までを考慮した。将来の煤煙排出量は、図-3に示すように煤煙を巻き上げ粉じんによるもの、排気管由来のものに分け、排気管由来分だけが減少していくという考えにより求めた。推定手順を図-4に示す。ここで、図中のIは実態調査結果から算出した微粒子・粗粒子の排出量を、IIは実態調査から得られた各由来中における微粒子・粗粒子の割合を用いた。IIIは道路環境影響評価に用いている年式別の代表8車種の排出係数原単位³⁾と車種構成比および平均半積載重量³⁾を用いて求めた年式別の車種別(大型車、小型車)排出量を用いて次の方法で求めた。すなわち、まず、年式別の車種別(大型車、小型車)排出量を最近の車両保有台数と年式別の実走行車両の車齢構成を考慮した図-5に示す年式別車両構成比で加重平均することにより将来の車種別排出量を

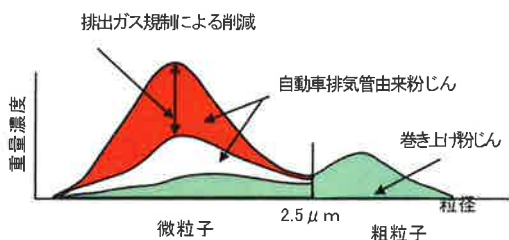


図-3 煤煙排出量の削減概念

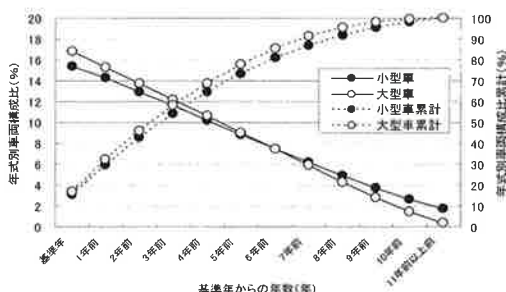
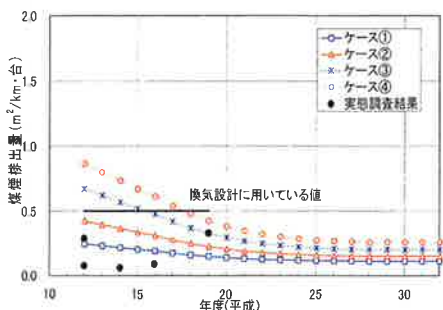


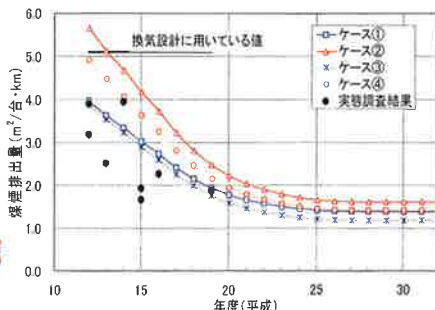
図-5 年式別車両構成比

表-2 煤煙排出量の予測条件の組合せ

ケース	車種別(大型車、小型車)の微粒子・粗粒子排出係数 (g/台・km)	換算係数α、β	基準年
①	H12~H16の全トンネルの平均	H12~H16の全トンネルの平均	H16基準
②	H12~H19の全トンネルの平均	H12~H19の全トンネルの平均	H19基準
③	H19丸子薬科の測定値	H19丸子薬科の値	H19基準
④	H19丸子薬科の測定値	H12~H19の全トンネルの平均	H19基準



(a) 小型車



(b) 大型車

図-6 煤煙排出量の将来予測値

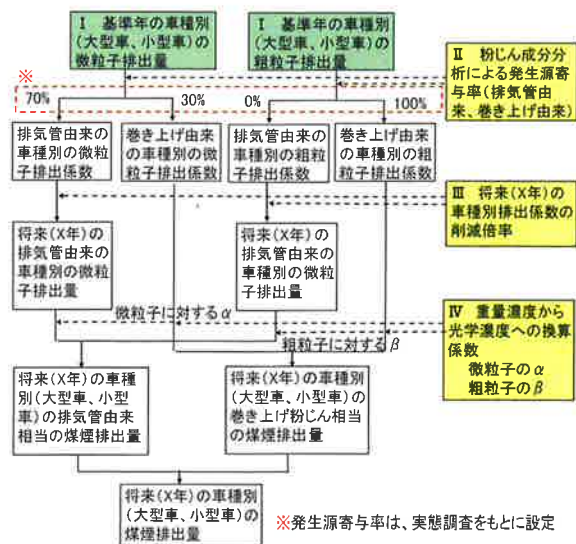


図-4 将来の煤煙排出量の推定手順

求める。次に、基準年の車種別排出量との比を算出して削減倍率とした。IVは実態調査結果をもとに微粒子・粗粒子の排出量(重量濃度)と煤煙排出量(光学濃度)との関係から求めた換算係数を用いた。なお、微粒子・粗粒子の排出量、重量濃度から光学濃度への換算係数、基準年は表-2に示す組合せで設定した。

図-6に煤煙排出量の予測結果を示す。図より、小型車、大型車ともに実態調査結果を包含しているケース④を煤煙排出量の将来予測値と考えると、平成25年頃まで減少傾向にあり、最終的には小型車で約0.3m³/km・台、大型車で約1.5m³/km・台程度まで減少することが分かる。

2.3.2 CO排出量

現在、換気施設の設計に用いるCO排出量は、7%/(km・台)としている。図-7に実態調査で得られたCO排出量の全ての測定値を示す。CO排出量は、急性毒性に対する人体への影響を考慮して、ばらつきなどを考慮した安全側の値に設定する必要がある。そのため、換気設計に用いるCO排出量の設定としては、実態調査結果をほぼ包含できる値とする必要があり、その場合のCO排出量は車種によらず概ね5%/(km・台(包含率:95%)となる。

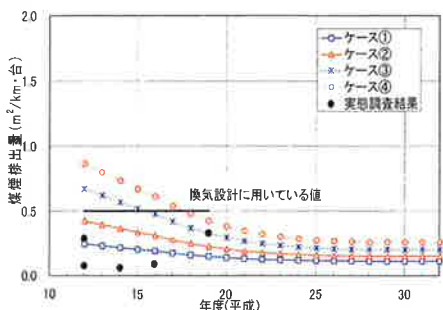


図-7 CO排出量 (H12~H19年)

3. 速度勾配補正係数

3.1 検討方法

煤煙の速度勾配補正係数は、図-8に示す流れで検討した。新短期規制(平成14~16年度)、新長期規制(平成17~19年度)の適合車については図-9に示す装置を用いた台上試験を行い、速度および縦断勾配が自動車から排出される煤煙濃度に及ぼす影響を把握した。さらに、既往の短期規制(平成5~6年度)、長期規制(平成9~11年度)の台上試験結果⁴⁾とあわせて、車両保有台数および年式別車種構成比を考慮した煤煙排出量を算出し、トンネル換気施設の設計を行う際の速度勾配補正係数について検討した。

3.2 各排出ガス規制適合車における速度および勾配の違いによる排出量

新短期・新長期規制車を対象とした台上試験では、煤煙排出量は非常に小さく、走行条件、積載条件の違いによる顕著な差異は認められないことが分かった。図-8の車種別の煤煙排出量に相当する値として、各クラス毎のデータを用いて縦断勾配による煤煙排出量を近似したものを図-10に示す。また、図-8の車両保有台数を考慮した煤煙排出量として、図-10の結果を用いて各クラス毎の車両保有台数を参考に、

小型:4tクラス:12tクラス = 70:15:15として重み付けを行い新短期・新長期規制車の煤煙排出量を求めた結果を図-11(c)に示す。図-11には短期および長期規制車についても過去に実施された台上試験結果⁴⁾を用いて、上記方法と同様に整理した各クラス毎の車両保有台数を考慮した煤煙排出

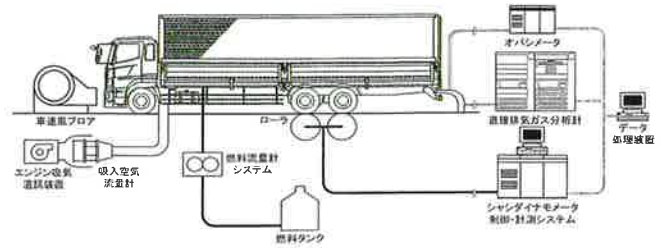


図-9 台上試験装置(シャシダイナモメータシステム)の概要

量もあわせて示した。図より、排出量は、短期、長期、新短期・新長期の排出ガス規制の段階順に小さくなっており、特に新短期・新長期適合車は大型車、小型車に関係なく非常に小さくなっている。また、短期・長期規制適合車は小型車に比べて大型車の排出量が多い。勾配による排出量への影響は、短期規制適合車の大型車が他に比べて大きい。速度による排出量への影響は、短期・長期規制適合車においては現れるが、新短期・新長期規制適合車では現れない。

3.3 排出ガス規制車の割合を考慮した速度勾配補正係数

近年の自動車保有台数および年式別の実走行車両の車齢構成を考慮した年式別車種構成比をもとに短期規制、長期規制、新短期・新長期規制の各排出ガス規制車の割合を求めると、図-12のように推移する。これらの車両割合を考慮して加重平均した煤煙排出

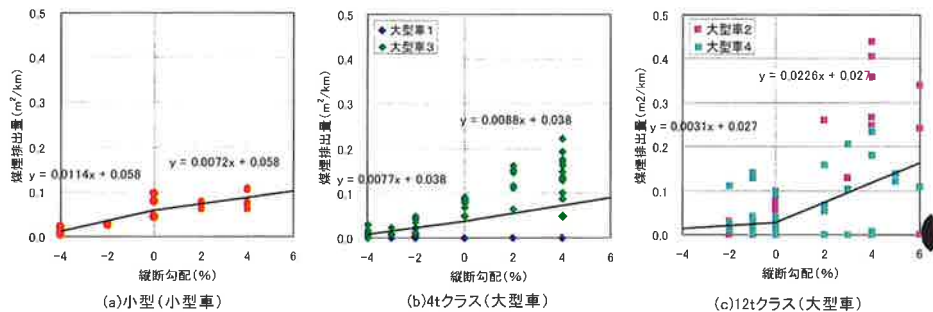


図-10 縦断勾配による各クラス毎の煤煙排出量(新短期・新長期規制適合車)

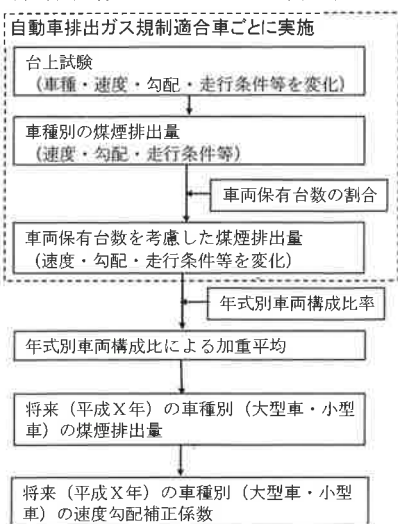


図-8 速度勾配補正係数の検討の流れ

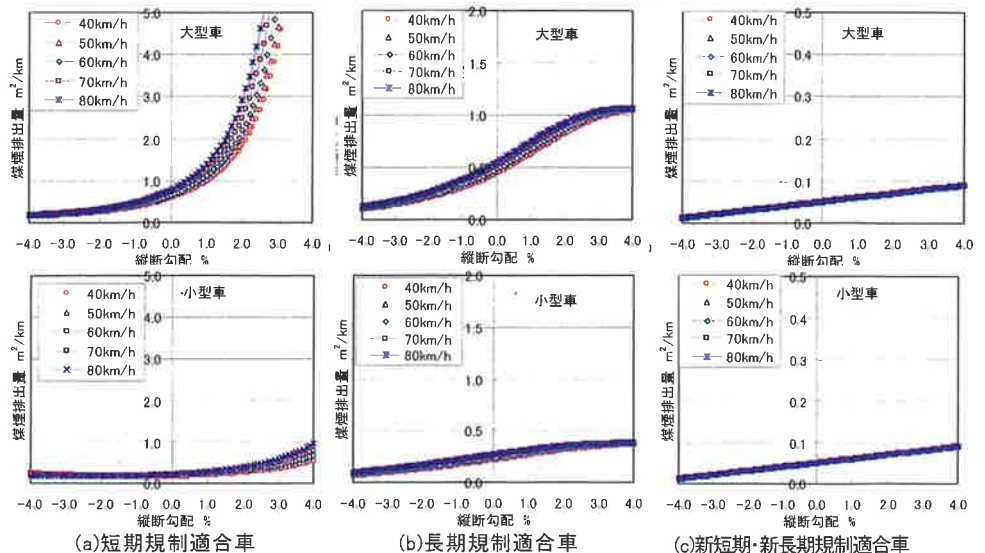


図-11 自動車の各排出ガス規制適合車における速度および縦断勾配による煤煙排出量

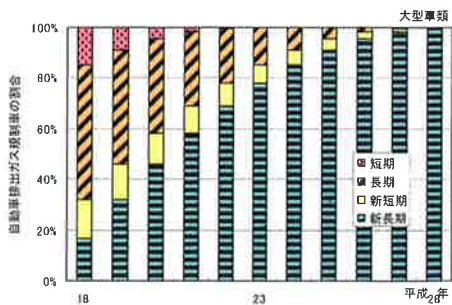


図-12 自動車排出ガス規制適合車の割合

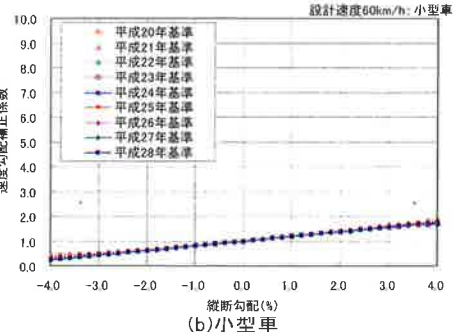
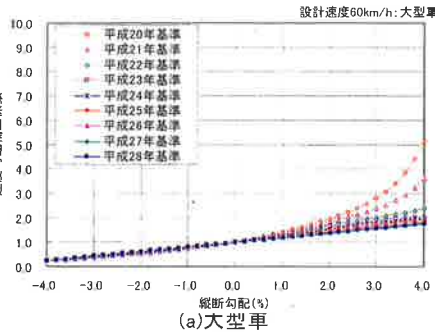


図-13 自動車の各排出ガス規制適合車の割合を考慮した縦断勾配補正係数 (設計速度60km/h)

量を求め、0%勾配を基準 (1.0) にした時の設計速度60km/h時の勾配補正係数を図-13に示す。図より、小型車の速度勾配補正係数は、下り・上りの勾配に関係なく、年度によらずほぼ一つの補正係数で示すことができる。大型車の速度勾配補正係数は、平成24年までは上り勾配が大きくなると急激に変化するものの、平成25年以降は大きな変化はない。また、下り勾配は年度によらずほぼ一つの補正係数で表すことができる。

なお、速度に対する補正は、速度による排出量の影響が現れる短期・長期規制適合車の割合が残る平成24年まではある設計速度を基準にした比率を用いて設定することが必要となるが、平成25年以降は必要なくなる。

4. まとめ

本研究で得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 供用中の道路トンネルの実態調査結果から、自動車1台あたりの排出量は年々減少傾向にある。
- 2) 換気設計に用いる煤煙排出量は、第4次答申までの自動車の排出ガス規制を考慮した排出量の将来予測結果から、大型車・小型車ともに煤煙排出量は平成25年頃まで減少傾向があり、最終的には小型車で約0.3m²/km・台 (現行:0.5m²/km・台)、大型車で約1.5m²/km・台 (現

行:5.1m²/km・台) 程度まで減少する。

- 3) 換気設計に用いるCO排出量は、急性毒性に対する人体への影響などを考えて測定結果のばらつきなどを考慮した安全側の値として考えると、車種によらず実態調査結果をほぼ包含できる概ね5%_v/km・台となる。
- 4) 換気設計に用いる速度勾配補正係数は、小型車は下り・上りの勾配に関係なく、年度によらずほぼ一つの補正係数で示すことができる。また、大型車は上り勾配の補正係数は平成24年までは急激に変化するものの、平成25年以降は大きな変化はなく、下り勾配は年度によらずほぼ一つの補正係数で示すことができる。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所：トンネル換気設計に用いる煤煙の自動車1台あたりの発生原単位と補正係数に関する研究報告書、建設省土木研究所共同研究報告書第114号、平成7年3月
- 2) (社) 日本道路協会：道路トンネル技術基準 (換気編)・同解説、平成13年10月
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所：自動車排出係数の算定根拠、国土交通省国土技術政策総合研究所資料第141号、平成15年12月
- 4) (財) 高速道路調査会：第二東名・名神トンネルの換気設計に関する調査検討 (その3) 報告書、平成12年3月

石村利明*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所道路技術研究グループトンネルチーム主任研究員
Toshiaki ISHIMURA

真下英人**



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所道路技術研究グループ長 (前独立行政法人土木研究所道路技術研究グループトンネルチーム上席研究員)、工博
Dr.Hideto MASHIMO

角湯克典***



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所道路技術研究グループトンネルチーム上席研究員、工修
Katsunori KADOYU