

道路トンネルにおける換気対象物質の自動車からの排出量の傾向

森本 智・石村利明・日下 敦

1. はじめに

道路トンネルの換気施設の設計の対象とする有害物質は、道路トンネル技術基準¹⁾(以下「基準」という。)により煤煙及び一酸化炭素とすることが規定されている。これらの設計濃度は、トンネル内の交通の安全性及び快適性並びに維持管理作業の安全性を確保するために必要な値として、煤煙は設計速度に応じて80km/h以上の場合は煤煙透過率50%、60km/h以下の場合は煤煙透過率40%、一酸化炭素は設計速度によらず100ppmと基準により規定されている。

上記基準の解説書として、道路トンネル技術基準(換気編)・同解説²⁾(以下「同解説」という。)がある。同解説では、2000年から2005年に実施した実態調査の結果等をもとに、2008年に換気施設の設計に用いる換気対象物質の自動車1台当たりの排出量の見直しを行っている。土木研究所では、実態調査の実施や調査結果を踏まえた排出量の見直しを提案するなど、同解説の改定作業に携わるとともに継続的に調査を実施している。

2008年以降においても排出ガス基準に適合した自動車の割合が増加することなどにより、換気対象物質の排出量が増加していることが予想される。合理的な換気施設設計を行うためには、排出量の傾向について実態を把握し、適切な排出量の設計値を設定することが重要となる。

本報告では、供用中の道路トンネルにおける実態調査を実施し、換気対象物質の濃度について計測するとともに、その結果を用いて自動車1台当たりの排出量を算出した結果について報告する。

2. トンネル内の換気対象物質の濃度

2.1 実態調査の概要

供用中の道路トンネルにおいて、換気対象物質である煤煙と一酸化炭素の濃度を把握することを目的に実態調査を実施した。煤煙はトンネル内の

表-1 調査トンネルの概要

| | |
|-------|----------------------|
| 路線名 | 一般国道1号 |
| トンネル名 | 丸子藁科トンネル |
| 延長 | 2,027m |
| 縦断勾配 | i=±0.3% |
| 内空断面 | 63.1m ² |
| 交通方式 | 二車線対面交通 |
| 換気方式 | ジェットファン付立坑集中排気縦流換気方式 |

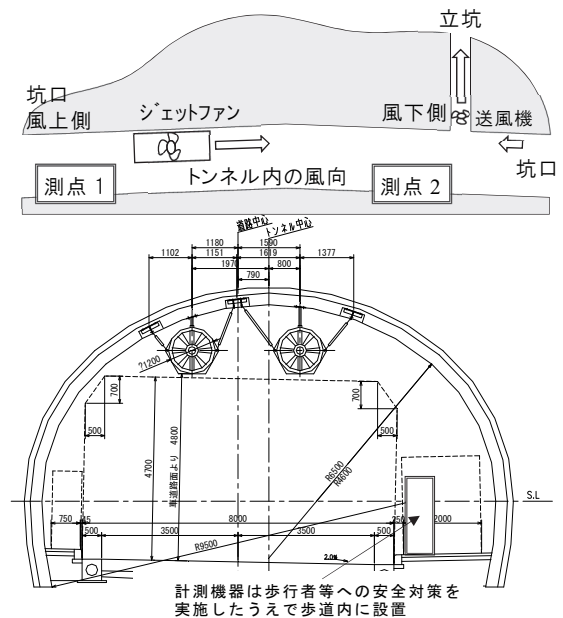


図-1 計測機器の配置

見え方に影響を及ぼす物質で主にディーゼル車の排出ガス中に含まれる黒煙(排出ガス由来)とタイヤ等に付着した土砂、路面やタイヤの摩耗による粉じん(巻上げ由来)を合計したものである。煤煙濃度は道路トンネル内の見え方を表す指標として100m当たりの透過率(以下「煤煙透過率」という。)で規定されている。一酸化炭素はトンネル内の利用者に対して生理的な影響を及ぼす物質で主にガソリン車の排出ガス中に含まれる。実態調査の実施時期は2017年10月、調査期間は連続する64時間程度とした。調査トンネルは表-1に

示す一般国道1号静岡バイパス丸子藁科トンネルとした。換気対象物質の濃度の計測は他機関も含めると複数のトンネルで実施されており、本トンネルはそのうちの1つである。本トンネルでは過去にも調査を実施しており、排出量の変化を把握することに適している。調査期間中は計測機器の配置をふまえトンネル内の風向を一方向（図-1に示すトンネル内の風向の方向）としておく必要があるため、既設のジェットファン・送風機を常時稼働させた。計測項目は換気対象物質である煤煙透過率、一酸化炭素濃度のほか、排出量の算出に必要なトンネル内の風向・風速、大型車・小型車別の交通量とした。各計測機器は歩行者等への安全対策を実施したうえで歩道内に設置した。煤煙透過率は煤煙透過率計を風下側の立坑付近1箇所（図-1に示す測点2）に設置した。煤煙透過率計は、投光器と受光器等から構成され（写真-1）、それぞれの機器を100m離して設置し、投光器から受光器へ到達した光の割合を計測した。煤煙透過率100%とは投光器から発した光が全て受光器に到達した状況で、煤煙・粉じんなどの浮遊物質等による見え方への影響がほとんど無い状態を表す。一酸化炭素濃度は一酸化炭素濃度計を風上側の坑口付近（図-1に示す測点1）及び風下側の立坑付近（図-1に示す測点2）の2箇所に設置しそれぞれ計測した。トンネル内の風向風速は風向風速計を風上側の坑口付近及び風下側の立坑付近の2箇所に設置しそれぞれ計測した。

2.2 実態調査の結果

図-2に調査期間中におけるトンネル内の風向・風速の計測結果を示す。計測された値は全て正の値となっており、トンネル内の風向は、常時図-1に示す風向となっていることがわかる。トンネル内の風速は、バラツキはあるもののおおむね2m/sから5m/sの間で推移していることがわかる。すなわち、トンネル内の空気は、風上側（測点1の側）の坑口から新鮮な空気を取り込まれ、風下側（測点2の側）に移動する際に、自動車の排出ガスの影響を受け測点2の濃度は高くなる。

図-3に煤煙透過率と10分間毎の交通量を示す。煤煙透過率は、交通の影響を受け、交通量が少ない時間帯は高い値となり、交通量が多い時間帯は低い値となる。その値は、基準で示す規定値（40%）を十分に満足していることがわかる。



写真-1 煤煙透過率計（受光部）の設置例

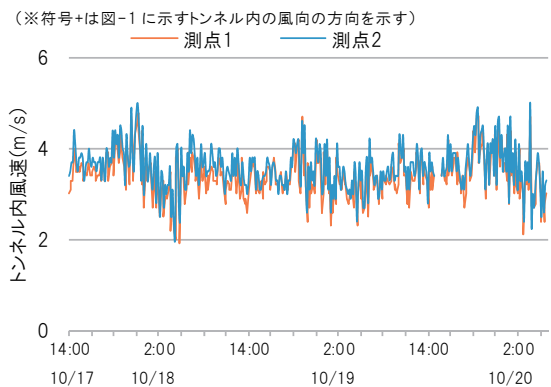


図-2 トンネル内の風向・風速

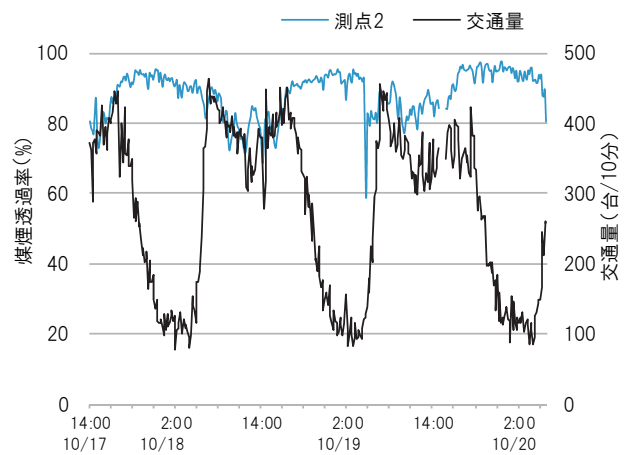


図-3 煤煙透過率

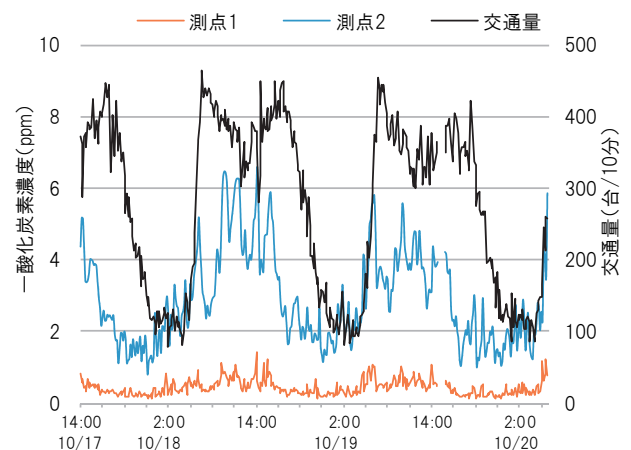


図-4 一酸化炭素濃度

図-4に一酸化炭素濃度と10分間毎の交通量を示す。一酸化炭素濃度は、トンネル内の風上側（測点1）では濃度の変動は少ない。一方、風下側（測点2）では交通の影響を受け、交通量が少ない時間帯は小さな値となり、交通量が多い時間帯は大きな値となる。その値は、基準で示す規定値（100ppm）を十分に満足していることがわかる。なお、煤煙透過率が一時的に60%程度まで低下する時間帯があったが、この状況下での一酸化炭素濃度は6ppm程度であり、基準で示す規定値を十分に満足している。

3. 換気対象物質の1台当たりの排出量

3.1 排出量の算出方法

2. で示した結果から、換気対象物質の自動車1台当たりの排出量を算出する。煤煙の排出量は式(1)により煤煙透過率を煤煙濃度（ki）に変換し、式(2)により1台あたりの排出量として算出した。なお、本調査では、測点1における煤煙透過率は計測していないため、k1を算出する際の煤煙透過率は100%とした。一酸化炭素の排出量についても式(2)と同様の考え方で算出した。

$$ki = -\frac{1}{L} \ln \tau \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

$$K = \frac{(k2-k1)*Q}{L*N} \dots\dots\dots \text{式(2)}$$

ここで、

- τ：煤煙透過率、K：煤煙排出量(m²/km・台)、
- k1、k2：トンネル内の煤煙濃度(1/m)、
- Q：車道内流量(m³/10min)、
- L：計測地点間の距離(km)、
- N：交通量(台/10min)

とした。

3.2 排出量の算出結果

図-5に煤煙の排出量と大型車混入率の関係、図-6に一酸化炭素の排出量と大型車混入率の関係を示す。この図から求めた線形近似式に大型車混入率100%を代入した値が大型車1台当たりの排出量、大型車混入率0%を代入した値が小型車1台当たりの排出量となる。

この方法により算出した排出量の結果及び2015年に筆者らが同様の調査を実施し、同様の方法で排出量を算出した結果を表-2にあわせて示す。調査で得られた排出量は、同解説の設計値と

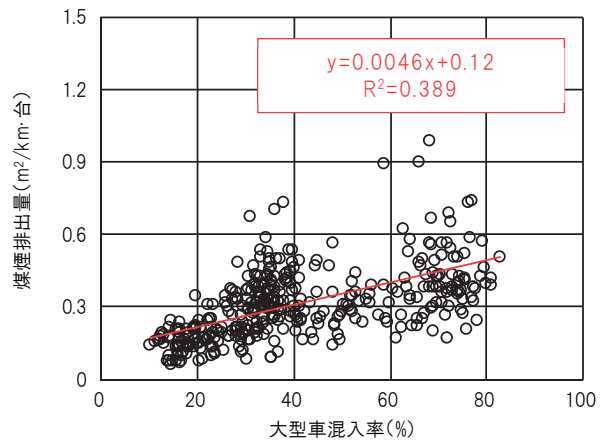


図-5 煤煙排出量と大型車混入率

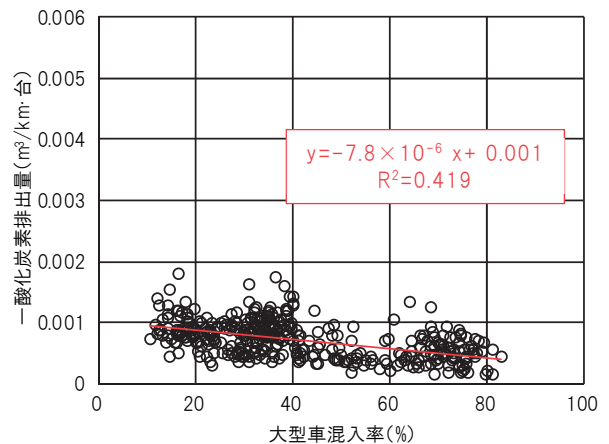


図-6 一酸化炭素排出量と大型車混入率

表-2 排出量の算出結果

| 交通量 実施年度 (台/日) | 大型車 混入率(%) | 走行速度 (km/h) | 煤煙 (m ² /km・台) | | 一酸化炭素 (m ³ /km・台) | | |
|-------------------|---------------|----------------|------------------------------|------|---------------------------------|--------|--------|
| | | | 小型車 | 大型車 | 小型車 | 大型車 | |
| 2015 | 42,128 | 33.7 | 49.8 | 0.12 | 0.44 | 0.0005 | - |
| 2017 | 39,104 | 33.7 | 50.1 | 0.12 | 0.59 | 0.0010 | 0.0003 |
| 排出量の平均値 | | | | 0.12 | 0.51 | 0.0008 | 0.0003 |
| 同解説の設計値 | | | | 0.3 | 1.5 | 0.005 | 0.005 |
| 排出量の平均値/同解説の設計値 | | | | 41% | 34% | 15% | 5% |

比較し、煤煙は小型車が40%程度・大型車が35%程度、一酸化炭素は小型車が15%程度・大型車が5%程度となっており、全体に少なくなっていることがわかる。

3.3 排出量の経年変化

換気対象物質の排出量は、同解説の設計値と比較し少なくなっていることが明らかとなった。ここでは、同解説の設計値を定める際の根拠のひとつとして用いられている2005年排出ガス基準（新長期規制）までの自動車排出ガス規制に適合した車両が年々ある割合で入れ替わっていくこと

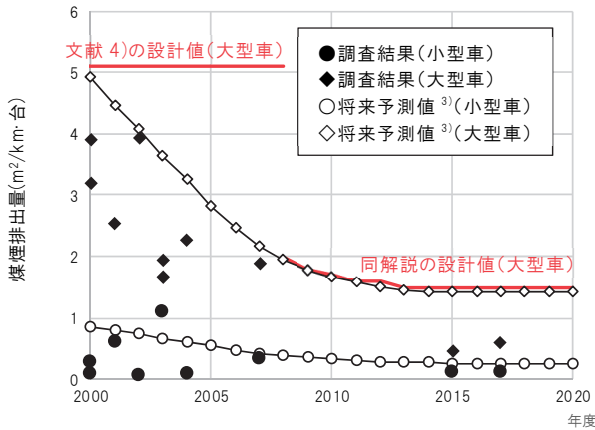


図-7 煤煙排出量の経年変化

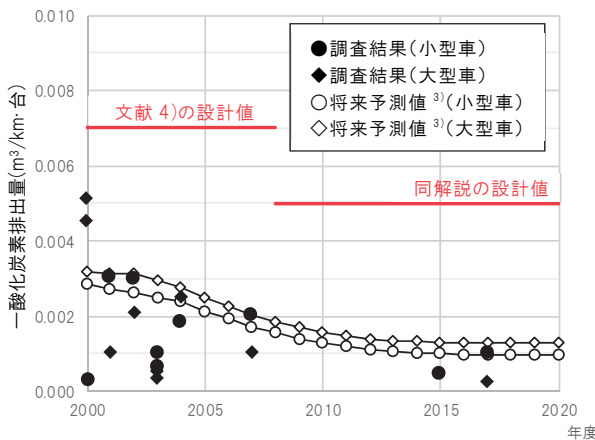


図-8 一酸化炭素排出量の経年変化

を前提として2008年に算出した将来予測値³⁾と比較する。図-7に煤煙排出量の経年変化、図-8に一酸化炭素濃度の経年変化を示す。なお、図には3.2で算出した排出量及び2000年以降に実施した同様の実態調査から得られた排出量ならびに同解説の設計値、同解説の改定以前に用いられていた設計値⁴⁾、将来予測値³⁾について記載した。

図-7より今回の実態調査から得られた煤煙の排出量は、小型車・大型車ともに、その値は同解説の設計値及び予測値をとともに下回っていることが確認できる。

図-8より今回の実態調査から得られた一酸化炭素の排出量は、小型車の値は予測値と同程度であるものの同解説の設計値と比較すると下回っており、大型車の値は、同解説の設計値及び予測値をとともに下回っていることが確認できる。

4. まとめ

供用中の道路トンネルにおいて、換気対象物質の濃度を把握することを目的に実態調査を実施し、得られた結果から、自動車1台当たりの排出量の傾向について把握した。本調査で得られた結果をまとめると以下のとおりである。

調査結果から得られた自動車1台あたりの煤煙および一酸化炭素の排出量は、同解説の設計値及び2008年に算出した将来予測値と比較し、減少傾向にあることが明らかとなった。

今後においては、今回得られた結果等をふまえ、適切な排出量の設計値について検討を行いたい。

参考文献

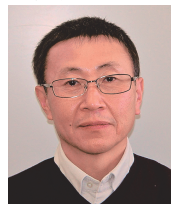
- 1) 建設省都市局長・道路局長：道路トンネル技術基準、1989
- 2) (社)日本道路協会：道路トンネル技術基準（換気編）・同解説 平成20年改訂版、2008
- 3) 真下英人、石村利明：道路トンネルの換気施設設計に用いる諸定数に関する研究、土木研究所資料第4097号、2008
- 4) (社)日本道路協会：道路トンネル技術基準（換気編）・同解説、2001

森本 智



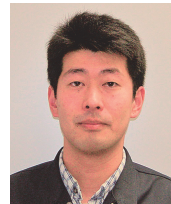
土木研究所道路技術研究
グループトンネルチーム
主任研究員
Satoshi MORIMOTO

石村利明



土木研究所道路技術研究
グループトンネルチーム
専門研究員
Toshiaki ISHIMURA

日下 敦



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
Atsushi KUSAKA