

正会員 堀内 浩三郎
水谷 敏則

1. まえがき

近年、道路トンネルの諸設備の合理化、省エネルギー化に対する要請が強く呼ばれている。道路トンネルには、換気、照明設備、非常用施設等の設備が設置されているが、このうち照明設備は、トンネル内を走行する自動車に前方の障害物を発見し安全に停止しうるための視距を確保することを目的として設置されている。

トンネル内における視距と支配する要素としては、照明の明るさ、障害物の大きさや形態、運転者の視力等があり、これらの他に最も重要な要素の一つとして煤煙の濃度がある。すなわち、トンネルを走行する自動車の排気する黒煙等の煤煙はトンネル内にくもらせ、障害物の発見、識別を困難にしている。

ここでは、道路トンネル内において所要の視距を確保するために必要な明るさと煤煙濃度との関係を把握するために実施した実験およびその解析の結果を報告する。

2. 研究目的

道路トンネルでは、主としてディーゼル車の排気する煤煙に対してこれを許容濃度値以下にするために換気設備が設置されている。この煤煙濃度の許容値はトンネル内の照明レベルによって左右される性質のものである。すなわち、煤煙濃度の許容値はある照明条件下で運転車が道路前方の障害物を発見し、安全に停止できる限界として定められるものであり、照明の明るさを変えれば煤煙濃度の許容値も変わりうるものである。このように換気設備と照明設備との間には密接な関係が存在する。このことは、換気設備の能力と照明設備の能力をうまく組み合わせることにより、全体としての設備規模を合理化し、所要電力を削減するなど、トンネル設備の経済化を図る可能性のあることを示唆するものである。このような観点から、煤煙濃度と照明の明るさとの関係について現時点で見直しを行いより信頼性のあるデータを得ることを目的として実験的検討を実施したものである。

3. 研究方法

トンネル内における障害物の見え方についての従来の研究方法は、被験者の視力や、試験に繰返すことによる視標の慣れ等の問題があるため今回の実験では基本的に立ち返り、トンネル内での物の見え方に影響を与える要因を理論的に検討、整理した結果に基づいて、煤煙の光学的特性を把握するための実験とその解析を行った。

4. トンネル内での見え方に関する理論

人間の視覚により障害物の存在を知覚できる否かは、障害物の輝度とその背景面の輝度との比率（輝度対比 C 、および見かけ輝度対比 C' ）が、人間の眼の輝度に対する識別能力（輝度対比弁別力 C_a ）を上回っているか否かによって決まる。しかし、トンネル内では空气中に自動車から発生する煤煙が浮遊しているため、照明光が煤煙粒子を照射することによって発生する光幕現象によって物の見え方が低下する。この結果、トンネル内では $C' \leq C_a$ であれば障害物の存在を視認できることとなる。

トンネル内で煤煙がある場合の運転者から見た障害物の輝度 L_o' および障害物の背景面の見かけ輝度 L_r' は次式によって表される。

$$L_o' = L_o \times \frac{T(a)}{100} + L_r(a) \quad \text{----- (1)}$$

$$L_r' = L_r \times \frac{T(b)}{100} + L_r(b) \quad \text{----- (2)}$$

但し、 L_o : 清浄な空気中の障害物の輝度、 L_r : 平均路面輝度
 $L_o(a)$ $L_r(b)$: 運転者から見たときの光幕輝度、 Ta : 煤煙透過率
 次に運転車の眼に入る障害物の見かけ輝度対比 C' は次式で表される。

表-1 実験条件

項 目	内 容
光源の種類	低圧ナトリウムランプ、蛍光ランプ
灯具配列	向き合せ、片側
灯具間隔 (m)	5, 10
煤煙透過率 (%)	(100), 70, 50, 30, 20, (10)
光幕輝度の測定距離 (m)	50, 80, 130, 200
路面上の水平面照度 (lx)	100 ~ 150 (5m向き合せ配列)

$$C' = \frac{(L_r - L_0) \frac{I(a)}{100} + L_w(b) - L_w(a)}{L_r \cdot \frac{I(a)}{100} + L_w(b)} \quad (3)$$

運転者の眼の輝度対比并列のCaは、実験的に求めた値に実験室内の実験条件、観測条件と実際のトンネルにおける運転者の視覚条件と相違に対するある係数(フィールドファクター)を乗ずることによって求められる。

5. 光幕輝度に関する実験および結果

煤煙の光学的特性を把握するために実験は、土木研究所内の実大トンネル実験施設を用いて、表-1に示すような実験条件で実施した。煤煙の発生源は、ディーゼルトラックと同じエンジンの大型ディーゼル発電機を用いた。トンネル内の煤煙濃度の設定は、図-1に示すように発電機の排ガス配管によりトンネルの地下ダクトへ導き、トンネル内を巡回する方法で行った。エンジンに対する負荷は、塩水入りのタンクと電気抵抗板によって行った。測定項目は、路面照度、路面輝度、光幕輝度、等価光幕輝度、煤煙透過率等を測定し、結果を表-2に示す。実験から得られた値を用いて(1)、(2)、(3)式を用いて整理し、障害物の輝度対比および輝度対比并列のと同じ見え方を維持するための煤煙透過率と路面輝度の関係を図-2に示す。

以上の検討の結果から次の事項が明らかとなった。

- (1) 煤煙透過率 τ を上げれば、路面輝度 L_r を小さくし、逆に τ を下げれば L_r を大きくすることにより同等の見え方を確保できること、明らかとなった。
- (2) 走行速度が40%の場合、走行速度が60%で τ が40%以上の場合および走行速度が80%で τ が50%以上の場合には、光源の種類(ナトリウム灯、蛍光灯)によらず所要の路面輝度 L_r はほとんど同一である。
- (3) 走行速度が80%のとき煤煙透過率 τ を50%から40%に下げようとする場合には、路面輝度 L_r をナトリウム灯で約1.7倍、蛍光灯で約2.8倍とする必要がある。

参考文献

土木研究所資料
第2096号

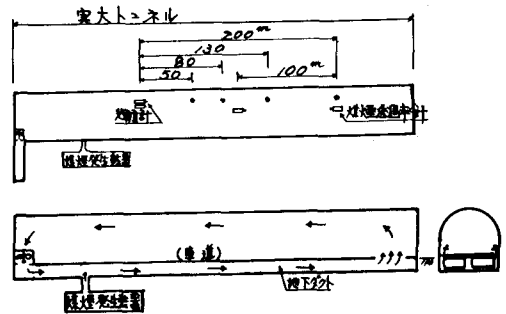


図-1 実験の概要図

表-2 単位照度(100 lx)あたりの光幕輝度、等価光幕輝度等

照明条件	透過率 (%)	路面輝度 L_r (cd/m ²)	光幕輝度 L_v (cd/M)				等価光幕輝度 L_{ev} (cd/M)
			50m	80m	130m	200m	
(ナトリウム灯)	100	1.05	—	—	—	—	0.78
向き合わせ配列	74	1.02	0.7	0.8	1.4	1.9	0.75
	53	9.8	0.7	1.2	1.9	2.8	0.77
	60	1.06	1.3	1.8	2.7	4.1	0.79
	45	1.10	2.0	2.9	4.1	5.6	0.80
	30	1.13	2.9	4.0	5.3	6.4	0.80
Eh=146 lx	24	1.14	3.4	4.6	5.8	6.7	0.81
	14	9.5	3.7	4.5	5.1	5.4	0.77
(蛍光灯)	100	8.2	—	—	—	—	0.93
向き合わせ配列	77	7.9	0.5	0.8	1.2	1.8	0.87
	54	7.5	1.0	1.4	2.1	2.8	0.87
	53	8.5	1.7	2.4	3.6	5.1	0.91
	40	8.7	2.6	3.6	4.9	6.2	0.91
	29	8.7	3.2	4.3	5.7	6.7	0.91
Eh=113 lx	23	8.8	3.6	4.8	6.1	6.9	0.91
	12	8.0	3.8	4.9	5.7	6.0	0.88

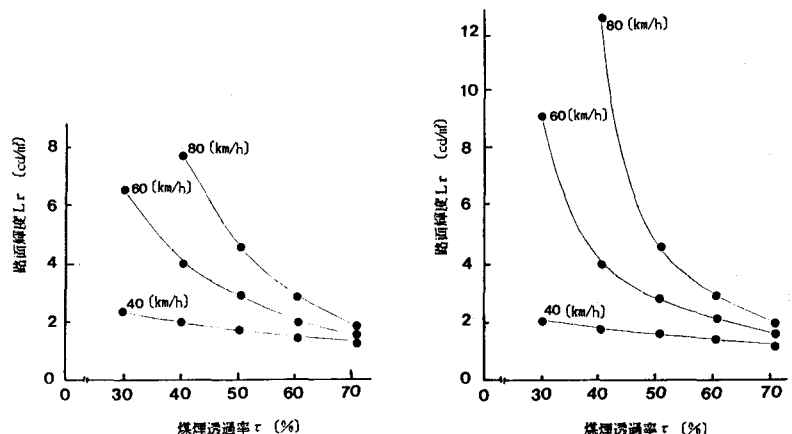


図-2 同視見え方を維持するための煤煙透過率と路面輝度の関係