90. トンネル用プロビーム照明の実用化

武田 裕之
(首都高速道路公団)

大橋 利彦 栗本 雅之
(松下電工株式会社)

坂本 正悦
(松下電器産業株式会社)

1. はじめに

交通量が多く、運転者の視野に先行車が存在することが常態であるような道路トンネルでは、輝度の高いトンネル外から進入する際、先行車が急激に暗く見えると運転者に不安感をもたらし、これがトンネル入口での渋滞現象の一因となる。この問題を解決するためには先行車の鉛直面照度を高くする必要があることから、光軸を車の進行方向に設定したプロビーム照明が開発された。今回、首都高速道路の「川崎航路トンネル」「赤坂トンネル」「汐留トンネル」の入口部にプロビーム照明を改修・設置した。また、プロビーム照明は先行車がシルエットになり視認性の低下する出口部の照明にも適するため、川崎航路トンネルの出口部にもこれを設置している。その効果を検証すべく、従来の対称照明とプロビーム照明を比較した交通流解析・アンケート等を実施した。

図1. プロビーム照明イメージ

2. プロビーム照明の設計理論

トンネル入口部における先行車の視認性は以下の要素に影響されると考えられる。

- (1) 車間距離 (走行速度) (2) 先行車背面の鉛直面照度 (輝度) (3) 野外輝度
・ 車間距離

運転者は、先行車との間に安全走行に必要な距離を保ちながら運転すると考えられるが、その距離は走行速度によって異なる。運転者がある運転行動を起こすために必要な時間は、①発見時間、②反応時間、③意志決定時間、④行動時間の四つから構成され、①～③の行動を起こすまでの時間は前視 (Forsight) ,前視に必要な距離は前視距離と呼ばれる。この前視距離は、車線内での位置の維持、速度調節等については、ほぼ走行速度に等しい数値 (80km/h の場合は 80m) になると言われている。したがって、少なくとも前視距離に等しい距離を確保しながら走行することを前提とすれば、車間距離は走行速度と等しい数値となる。

・ 所要鉛直面照度／野外輝度

先行車背面に必要な鉛直面照度を求めるため、トンネル入口部において先行車の視認性の解析・評価が行われた。先行車の視認性は乗用車を想定した縦 1.4m×横 1.7m 反射率 20%視標を対象として、「7. 非常によい」から「1. 視認できない」までの7段階評価で表すものとした。目標とする先行車の視認性は、評価の中間値である「4. 許容できる」以上とした。各車間距離ごとに必要な鉛直面照度を求めて、図2に示す。野外輝度に対する鉛直面照度の比は野外輝度にかかわらず、一定となることわかったため、所要鉛直面照度を野外輝度に対する比 (E_v/L_2) で表し、表1に示す。例えば、車間距離が 80m、野外輝度が 2700cd/m² の場合、所要鉛直面照度は約 1600 lx となる。

図2. 所要鉛直面照度

表1. 所要鉛直面照度

車間距離 (m)	60	80	100
鉛直面照度／野外輝度 (lx/cd/m ²)	0.45	0.60	0.70

Realization of Pro-beam Lighting for tunnel lighting,
Hiroyuki Takeda Shoetsu Sakamoto Toshihiko Ohhasi Masayuki Kurimoto

3. 川崎航路トンネル諸条件と照明施設概要

表2 . トンネル諸条件と照明設置概要

条件	入口部	出口部
設計速度	80 km/h	
断面構成	3車線一方通行	
野外輝度 (L_{20})	4000 cd/m ²	4000 cd/m ²
鉛直面照度	2400 lx	1200 lx
設置区間	80m	80m
光源	高圧ナトリウム灯	高圧ナトリウム灯

鉛直面照度は入口部において表1より $4000 \text{ cd/m}^2 \times 0.6 = 2400 \text{ lx}$ となる。一方出口部においては、 L_a (順応輝度) $= L_{20}$ (野外輝度) の関係があると仮定すると、(入口部では $L_a = 1.5L_{20}$ の関係がある) 車間距離 80m における鉛直面照度/野外輝度 $= 0.6/1.5 = 0.4$ となる。ただし、本施設では、野外輝度の30%、つまり $4000 \text{ cd/m}^2 \times 0.3 = 1200 \text{ lx}$ にて設計し、初期段階において $E_v/L_{20} = 0.4$ を実現して評価するものとした。路面輝度は、従来と同等に設定している。設置距離については、入口部・出口部ともに、80m とした。また、プロビーム照明と既設の対称照明を比較するため、いずれの照明方法にも切り替えが可能になっている。

図3. プロビーム照明

図4. 対称照明照明

4. 現地調査

上記のプロビーム照明が設置された川崎航路トンネルにおいて、実際に運転者が走行している状態で照明効果が十分に表れているか検証を行った。

現地調査では、プロビーム照明点灯時と対称照明点灯時それぞれについて、先行車の見え方・トンネル視環境の評価に関するアンケート調査と、交通量・走行速度・オキュパンシー (占有率) 等の交通流データの収集・解析を冬期 (2月) に実施した。

アンケートは、所要鉛直面照度を求めたときと同様の7段階評価で行った。その結果、入口部において対称照明点灯時のアンケートでは86%の人が「4. 許容できる」以上と回答したが、プロビーム点灯時には98%の人が「4. 許容できる」以上に評価した。対称照明で「4. 許容できる」を下回った人のほとんどがプロビーム照明点灯時には見え方が改善されたと回答している。また、プロビーム照明点灯時、出口部でも約半数の被験者が先行車の見え方が改善されたと回答した。

また、交通流解析に関しては、プロビーム照明点灯時の方が出口部の走行速度が若干速くなっている。

5. まとめ

トンネル入口部において先行車の視認性を改善する「プロビーム照明」を開発し、首都高速道路の3トンネルに設置したうえ、川崎航路トンネルにおいて従来の対称照明と比較した効果検証を行った。その結果、2月の野外輝度の低い時期の調査のため、あまり顕著な差ではないものの、先行車の見え方の改善、出口部での走行速度の上昇など、プロビーム照明の設置による改善効果はみられた。

今後、赤坂トンネル、汐留トンネルを加えて現地調査を継続する予定であり、立地条件、気候条件や交通条件の異なる場合について総合的な調査・解析を行なっていく。

参考文献 1) 坂本正悦ほか:「プロビーム照明の開発」 照明学会東京支部大会 (1995)

2) 武田裕之:「プロビーム照明設置概要 建設電気技術」 1997 技術集 (1997)

3) 坂本正悦ほか:「前からの光、後ろからの光」 照明学会誌3月号 (1998)