

トンネル照明の維持管理について — LED化へ向けての対応 —

小樽開発建設部 小樽道路事務所 第2工務課 ○山田 誠
施設整備課 越國 一九
岩内道路事務所 工務課 前川 悟

低圧ナトリウムランプの製造中止によるトンネル照明の維持管理について、コスト縮減と道路照明施設設置基準・同解説の観点から適切な運用手法を検討し、実際のトンネルを用いて試験的に検証するものである。

キーワード：維持・管理、トンネル照明、予算

1. はじめに

トンネル照明は道路構造令第34条第2項の「トンネルには、安全かつ円滑な交通を確保するため必要がある場合においては、当該道路の設計速度等を勘案して、適当な照明施設を設けるものとする。」の規定に基づき設置しているものであり、交通安全施設に位置付けられている。

昨今、省電力・長寿命によるコスト縮減や基本照明で長年使用していた低圧ナトリウムランプが製造中止となったことからLED照明への更新が推し進められている。

しかし全てのトンネル照明をLED化するには、膨大な予算と期間を要するため寿命によるランプ不点灯の影響を軽減する対策が必要である。

よって本稿では維持費を抑制しつつ既設トンネル照明を適切に運用するための手法を検討する。

2. トンネル照明の構成

トンネル照明の構成は「道路照明施設設置基準・同解説(昭和56年4月)」¹⁾(以下「旧設置基準」とする。)により、基本照明、入口部照明、出口部照明、接続道路の照明及び停電時用照明に分類される。

さらに、一般国道のトンネル内に設置される照明設備は大別すると図-1に示すとおり基本部照明と入口部照明に分類される。

なお、小樽開発建設部管内におけるトンネル照明は49箇所が旧設置基準、13箇所は平成19年度に改訂された基準(以下「新設置基準」とする。)により整備されている。

(1) 基本照明

基本照明は、トンネルを走行する運転者が前方の障害物を安全な距離から視認するために必要な明るさを与える照明であり、トンネル全長にわたって灯具を一定間隔に配置する。

なお、交通量が減少する深夜においては、基本照明の路面輝度(路面の明るさ)を半分程度に低減することができる。

(2) 入口部照明

昼間、トンネル外の道路を走行してきた運転者の目は、野外の輝度に順応した状態でトンネルに接近してくるため、トンネル内部が暗黒に見えよく識別できないものとなる。

また、トンネル進入直後も運転者の目が急激な明るさの変化に順応するまで遅れが生じてしまう。この進入直後から起きる目の順応遅れを緩和するため入口部には基

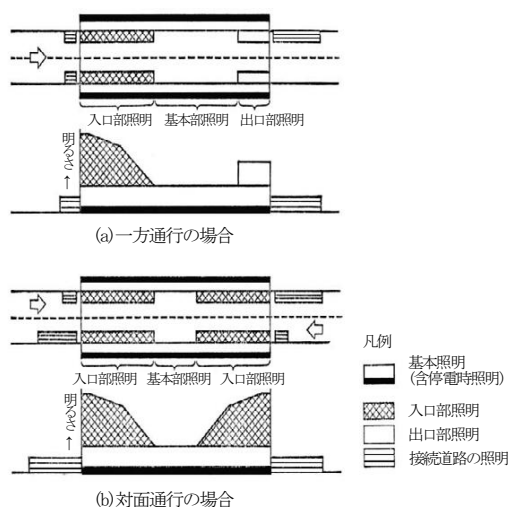


図-1 トンネル照明の構成例

本部より高いレベルの照明施設が必要となり、晴天や曇天など野外の明るさに応じて制御されている。

3. トンネル照明のLED化

トンネル照明は、昭和40年代から本格的に設置され、当時の光源としては低圧ナトリウムランプが主流であった。その後、1970～1980年代にかけ高圧ナトリウムランプが普及し、2000年以降は車両性能が向上し排ガスの煤煙濃度が低下したことでトンネル内視環境が改善され、経済的・演色性に優れたセラミックメタルハライドランプや蛍光灯などの白色光源が主流となった。近年は地球温暖化対策計画（平成28年5月13日閣議決定）の政府方針を踏まえ、環境負荷及び省電力・長寿命で最も高効率となるLED照明が主流であり国土交通省においても「LED道路・トンネル照明導入ガイドライン（案）」に基づきトンネル照明のLED化を推進している。

これら光源の変化に伴い低圧ナトリウムランプは、2019年3月末をもって製造中止となった。

(1) LED照明の有効性

LED照明は省電力・長寿命・環境負荷軽減（CO₂・ランプ廃材の抑制）等の特徴を有しており、発光効率や器具としての総合効率が著しく向上している。特に光源の寿命に関しては低圧ナトリウムランプと比較すると表-1のとおり10倍になる。

さらに省電力であることから受電契約を含めたコストの低減が可能となる。

表-1 低圧ナトリウムランプとLED照明の光源寿命

ランプ規格	光源寿命
低圧ナトリウムランプ	約 9,000 時間
LED 照明	約 90,000 時間

(2) LED化の手法

トンネル照明のLED化には以下の手法がある。

a) 新基準方式

新基準方式とは新設置基準に則り、野外輝度、設計速度及び設計交通量を基に平均路面輝度及び輝度均斉度を満たした灯具配置を決定するものである。この場合、基本照明の間隔は従来の低圧ナトリウムランプに比べ設置間隔が広がるため、器具の設置台数を減らすことが可能となる。

なお、この方式ではケーブルの更新が必要となるため、高額な工事費用と長期の施工日数を要する。

b) 置換方式

置換方式とは既設の低圧ナトリウム照明器具の設置箇所をLED照明器具に置き換える方式であり、設置する器

具は、低圧ナトリウムランプと同程度の光束及び配光のものを使用する。この方式の場合、ケーブルの再利用が可能で工期を短縮出来る利点があるが、既設の設置間隔と同配置になるため、新基準方式に比べ器具の設置台数が多くなる。

(3) ランプ交換数の抑制を考慮した照明点灯方式

製造中止となった低圧ナトリウムランプの交換数を抑制した最も効果的な運用は、トンネル照明の消灯による運用が考えられる。

トンネル照明の消灯に関しては「平成22年度維持費削減における道路・トンネル照明の現状と今後」²⁾で、トンネル入口部照明（晴天）の消灯によるランプ交換費の削減について検討を行った。しかし、結果として道路事務所管内全体の21%の照明を消灯しても、ランプ交換費用の削減とならない結果となった。これは、消灯対象となった照明が、寿命の長い高圧ナトリウムランプを使用していること及びトンネル入口部照明（晴天）は年間の点灯時間が短い事が要因であった。

4. 小樽開発建設部の対応

小樽開発建設部管内のトンネル照明は、全てのトンネル照明をLED化するまで長期間に渡り低圧ナトリウムランプが必要となることから次の対応を行った。

(1) 予備ランプの購入

低圧ナトリウムランプ製造中止を受け、過去の年間ランプ交換数の実績を基に可能な範囲で予備ランプを購入した。

しかし、表-2に示すとおり予備ランプ購入数と過年度のランプ交換数を比較すると、現在と同様の運用であれば、3年後に予備ランプが不足することが想定される結果となった。

表-2 予備ランプ対応可能年数

ランプ規格	年間ランプ交換数					年間平均値	各事務所総購入数	予備ランプ対応可能年数
	H25	H26	H27	H28	H29			
NX35	567	692	650	692	712	663	2,060	3年
NX55	57	73	99	108	89	85	350	4年
NX90	14	14	14	14	14	14	165	12年
NX135	21	20	23	20	22	21	175	8年

注1) 年間ランプ交換数は、小樽開発建設部管内全トンネルの数値
注2) 各事務所総購入数は、管内各事務所で購入したランプ数の合計

(2) ランプ交換数の抑制

LED化完了まで道路交通の安全かつ円滑な交通を確保しつつ、低圧ナトリウムランプの交換数を抑制する対策が求められるが、3. (3)から入口部照明の消灯に関して

は期待する費用対効果を得られないことから、基本照明に着目した対策手法を検討した。

基本照明は、日中は全灯、夜間は片側消灯にて運用している。これは、旧設置基準にて夜間における平均路面輝度を 0.7(cd/m²)未滿とならない値まで低減可能とされているからである。これを踏まえトンネルを走行する運転者が前方の障害物を安全な距離から視認するために必要な照明であることに留意し、以下の消灯方式を検討した。

a) 一つ置き消灯方式

基本照明を1台置きに消灯する方式(図-2)である。この場合、深夜点灯の照明が消灯されるため、最低平均路面輝度を満たさないこと、消灯するランプの撤去費用が必要となることが課題となる。

b) 片側消灯方式

基本照明の片側を全て消灯する方式(図-3)である。最低平均路面輝度を考慮し、深夜消灯の回路全体を消灯する。この場合、日中の平均路面輝度を確保することは出来ないが回路全体を消灯させるため分電盤の配線用遮断器を切ることで容易に実現が可能となる。

また、片側は全て点灯するため光学的誘導効果が得られる。

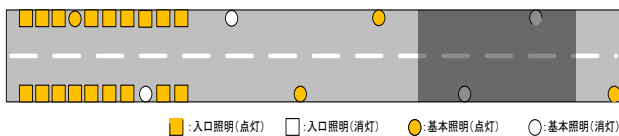


図-2 一つ置き消灯方式

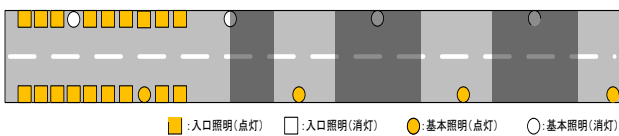


図-3 片側消灯方式

両方式を比較した結果、一つ置き消灯はメリットがないため、片側消灯を採用し実際のトンネルにおいて照度測定を実施することとした。

5. 小樽道路事務所管内での照度測定

片側消灯を行った場合の平均路面輝度を確認するため、設置当時の測定結果で確認できない入口部照明の照度測定を現地で実施した。

(1) 照度測定

測定は以下の2トンネルで実施した。

神岬トンネル (延長 1162.5m : 平均的な延長)

Makoto Yamada, Ikku Koshikuni, Satoru Maekawa

基本照明設置間隔 7.8m

来岸トンネル (延長 165.9m : 短延長)

基本照明設置間隔 7.5m

a) 測定条件

入口部照明 曇天設定

基本部照明 深夜消灯設定 (片側全消灯)

b) 測定方法

「新設置基準 (付録 5 測定要領)」よりトンネル入口増灯部全長にわたり、道路縦断方向 5m 間隔で道路横断方向は車線中心線上で測定を実施した。(図-4)

神岬トンネル (起点坑口より 200m 地点間)

来岸トンネル (起点坑口より 95m 地点間)

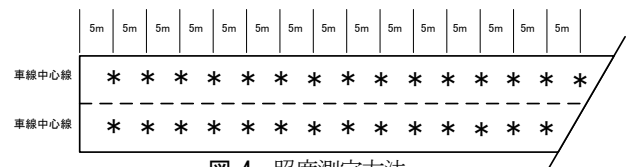


図-4 照度測定方法

凡例 *測定点

(2) 測定結果

各トンネルの照度測定結果(図-5、図-6)より両トンネルともに設置時の輝度と大差はない状況で、基本照明片側消灯の条件下でも基準輝度を下回ることにはなかった。

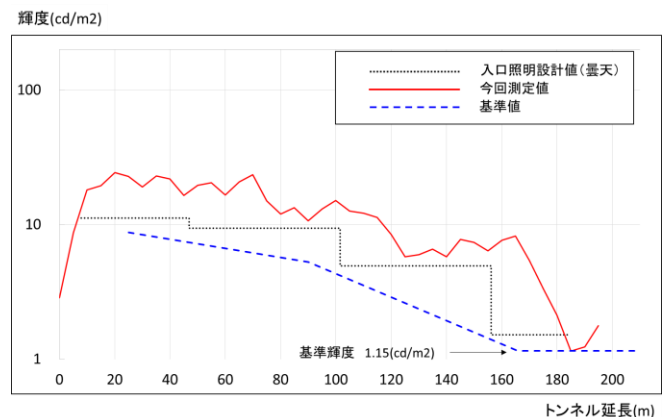


図-5 神岬トンネル照度測定結果

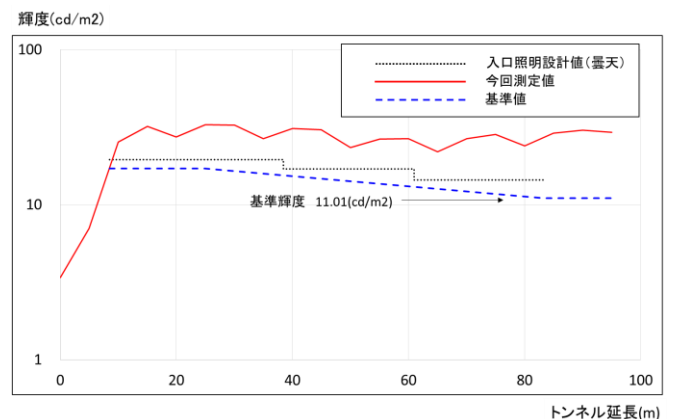


図-6 来岸トンネル照度測定結果

(3) 片側消灯における考察

片側消灯を実施した場合の入口照明及び基本照明の考察を行う。

a) 入口部照明

照度測定結果から、基本照明を消灯した影響で神岬トンネルの一部で設計値を下回ったが確保すべき基準輝度を満足しているため、入口部照明としての機能を有していると判断できる。

b) 基本照明

基本照明は、片側消灯を実施した場合、日中における基準輝度は確保出来ないが夜間消灯時の最低平均路面輝度 0.7(cd/m²)を満足していることは設置当時の測定結果で確認されている。

また、トンネルを走行する運転者が前方の障害物を安全な距離から視認するために必要な明るさを与えるための照明であり、実際に神岬トンネルの片側消灯における昼夜の状況を以下に示すが、見え方の違いに大きな差はなく視認性という点では通行に支障を与えるものではなく光学的誘導効果として機能すると判断できる。



写真-1 神岬トンネル基本照明点灯状況(昼)



写真-2 神岬トンネル基本照明点灯状況(夜)

以上の入口部照明、基本照明の考察から片側消灯方式は安全かつ円滑な交通を確保する点においてその機能を有していることから運用可能と判断できる。

ただし、基本照明においては日中における基準輝度が確保されていないことに留意し、トンネル照明の LED 化が完了するまでの暫定的な運用として位置づけるものとする。

6. 片側消灯による効果

片側消灯方式を採用した場合の効果について検討する。

(1) ランプ交換数の削減

基本照明の点灯数が半減するため、表-3 に示すとおり当初想定した予備ランプの対応可能年数は、最も交換数の多い NX35 については 3 年から 6 年に延長可能となる。

表-3 予備ランプ対応可能年数(消灯方式)

ランプ規格	年間平均値	消灯方式による軽減	各事務所総購入数	予備ランプ対応可能年数
NX35	663	331	2,060	6年
NX55	85	45	350	8年
NX90	14	14	165	12年
NX135	21	21	175	8年

(2) 維持管理費の削減

年間における基本照明ランプの交換数を半減することでランプ交換費用及び電気料金の削減が期待できる。

a) ランプ交換費の削減

小樽開発建設部管内における基本照明のランプ交換費は、平成 30 年度実績で約 8,100 千円である。片側消灯方式を採用することで基本照明の点灯数が半減することから 50%にあたる約 4,050 千円の大幅な削減が可能となる。

b) 電力料金の削減

電力料金に関しては、参考として小樽道路事務所での消灯による削減額を平成 30 年度実績から試算した。算出手法は、LED 化未対応の既設トンネル (12 箇所) において、トンネル照明負荷容量から夜間消灯部分の電力量を求めることで算出した。

なお、トンネル照明については電力量の計量を伴う契約であり実際の電力料金とは異なる。

照明電力料金 約 21,860 千円/年

削減電力料金 約 1,840 千円/年

結果、照明電力料金の約 8.4%にあたる削減が期待できる。

(3) シミュレーション

上記から片側消灯方式による維持管理費の削減に効果が得られる結果となったが、(1)より予備ランプ対応可能年数が最短で 6 年であることからランプ不足による照明不点灯を防止するには並行して既設トンネル照明の LED 化を早急に進めランプ交換数を抑制する必要がある。

そこで、片側消灯方式による運用を用いて低圧ナトリウムランプを使用した既設トンネル照明の LED 化工事を過年度の施工実績や工事費平準化の観点から計画・実施した場合を想定し、将来のランプ交換費と予備ランプ残数の推移を次の条件に基づきシミュレーションを行った。

a) 対象トンネル

低圧ナトリウムランプ使用のトンネルとする。

小樽道路事務所 12 箇所
岩内道路事務所 25 箇所
計) 37 箇所

b) 年間施工規模

過年度の施工実績や現実的な予算状況を考慮し以下の条件とする。

施工延長 3 km程度
最大施工数 3 トンネル

c) 更新工事費

各トンネルの工事費は小樽開発建設部管内における過年度の施工実績からトンネル延長の(m)当たり単価を算出した。これにトンネル延長を乗ずることで各トンネルの照明 LED 化に必要な工事費を算出した。

(m)当たり単価 114,000 円

d) 優先順位

ランプ交換数の抑制を最優先とし b) の条件となるよう各トンネルを組み合わせ決定する。

- ① 照明器具数が多い
- ② 経過年数が多い
- ③ 年間工事費の平準化

e) シミュレーション結果

ランプ交換費と予備ランプ残数の推移(図-7)より照明器具数の多いトンネルを優先的に更新することで、現在保有する予備ランプを不足させることなくトンネル照明の LED 化完全移行は可能であると確認できる。

また、トンネル照明の LED 化に応じてランプ交換費が減少していく。1 年目のランプ交換費は約 3,400 千円であり、(2) a) で記述した平成 30 年度実績のランプ交換費約 8,100 千円と比較すると 4,700 千円の削減が可能となり 1 年目から 58%にあたる大幅な削減率が得られ、コスト縮減効果が大きいことが分かる。

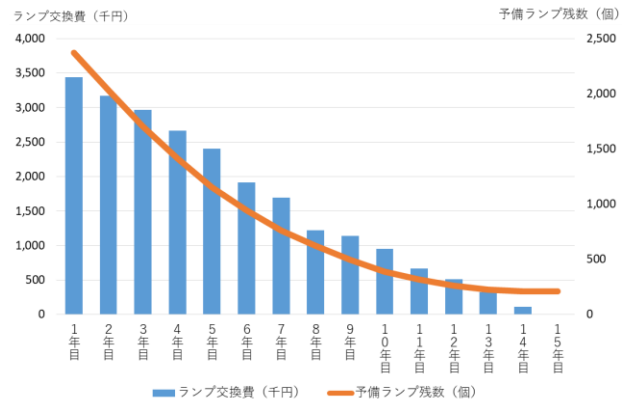


図-7 ランプ交換費と予備ランプ残数の推移

7. おわりに

LED照明は、省電力・長寿命の面で優位性が高く普及促進により今後も技術の進展が見込まれるものと考えられ、トンネル照明に限らずLED化に向け早期の更新を必要としていた。こうした状況の中で小樽開発建設部でも多数使用している低圧ナトリウムランプ製造中止の影響は大きくトンネル照明のLED化は急務となった。

よって本稿では、これを機会にトンネル照明の管理方針を見直し片側消灯による運用面での考察及びランプ交換費用、電力料金の削減を考慮した総合的なコスト削減の検討を行った結果、片側消灯による運用は必要不可欠であるとの結論に達したものである。

今後の維持管理に参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路照明施設設置基準・同解説。
- 2) 国土交通省北海道開発局：第54回(平成22年度)北海道開発技術研究発表会。