

トンネル照明における調光実施の有無による コスト比較について —日方泊トンネルにおける考察—

留萌開発建設部 施設整備課 ○若狭 雄貴
羽角 速人
立川 文夫

国土交通省では、道路脱炭素化基本方針に基づき2030年度までに国が管理する道路は全てLED照明にする計画があり、トンネル照明についても同様である。道路照明施設設置基準等において、基本照明について夜間の路面輝度を1/2に低減することが出来るとされている。そこで、一般国道231号日方泊トンネル照明をLED化するにあたり、低減を実施する場合としない場合についてコストメリットによる比較検討を行ったので、その成果について発表する。

キーワード：設計・施工、維持・管理

1. はじめに

道路照明やトンネル照明で一般的に使用されている各種ランプは生産中止が相次いでおり、既存の照明設備について、順次LED化を進めている。トンネル照明をLED化するにあたり、従前どおり交通量による基準輝度の設定から設計を始めるが、各種基準に依れば日交通量が10,000台未満の場合は、路面輝度を低減（以降、調光という）することが出来るという定めとなっている。

トンネル照明の構成は、基本照明と入口照明に分けられ、どちらも調光の実施が一般的であるが、日交通量が少なく、調光を実施するトンネルにおいて基本照明を夜間及び深夜に調光することが必要なのかという視点に立って検討することは、これまでなかったと考える。

しかし、ライフサイクルコストという観点から、トンネル照明に限らずインフラの維持管理を考える上で重要な要素となっており、今後も必要不可欠な要素であると思われる。

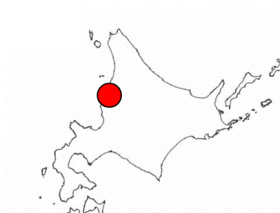


図-1 日方泊トンネル位置図

今回、図-1に示す増毛町にある一般国道231号の日方泊トンネルを例に基本照明の調光について、コスト面からの比較検討を行ったので、その結果を報告する。

2. 日方泊トンネル照明の概要

| | |
|---------|--------|
| 全長 | 2,900m |
| トンネル等級 | B等級 |
| 設計速度 | 60km/h |
| 日交通量 | 3,500台 |
| 施工前照明台数 | 534台 |
| 施工後照明台数 | 213台 |

なお、日方泊トンネル坑口の起点側は、写真-1に示すように開口部のある覆道（湯泊第3覆道：L=150m）と接続しており、一方で終点側は写真-2に示すように覆道と接続しておらず、橋梁と接続している。



写真-1 日方泊トンネル（起点側坑口）



写真-2 日方泊トンネル（終点側坑口）

ここで、令和7年度はトンネル全体の照明の内、中央に位置するトンネル電気室を境に起点側の約半数のみをLED化するものである。残りは次年度以降の施工を予定しているが、コスト比較の対象については完成時の姿を想定している。

3. トンネル照明における調光とは

“電気通信施設設計要領（電気編）¹⁾ 第10章 トンネル照明設備”及び“道路照明施設設置基準・同解説²⁾”ではトンネル照明の調光に関して、『トンネル照明は、交通の安全に配慮のうえ、効率的かつ経済的に運用するものとする。』と記述されている。またそれぞれの解説では、『トンネル照明は、野外の明るさと交通量、および照明施設の目的に応じて合理的に運用するものとし、具体的には路面輝度を制御することによってこれを行う。』、『トンネル照明の調光には、回路の点滅による減灯と照明器具の光出力を変化させる減光がある。』と記述されている。以上からトンネル照明では、調光の実施方法について、「照明器具の点灯台数を減ずること」又は「照明器具1台当たりの明るさを減ずること」のいずれかの方法で行っても良いことが読み取れる。

(1)平均路面輝度

道路照明施設設置基準・同解説より日方泊トンネルの平均路面輝度は、設計速度が60km/hであることから表-1のとおり平均路面輝度2.3cd/m²を標準値として設定する。

表-1 基本照明の平均路面輝度

| 設計速度 (km/h) | 平均路面輝度 (cd/m ²) |
|-------------|-----------------------------|
| 100 | 9.0 |
| 80 | 4.5 |
| 70 | 3.2 |
| 60 | 2.3 |
| 50 | 1.9 |
| 40 以下 | 1.5 |

なおトンネル1本当たりの日交通量が10,000台未満である場合、昼夜を問わず基本照明の平均路面輝度の値を1/2まで低下させることができるため、日交通量が3,500台である日方泊トンネルの設計輝度を以下のとおりとなる。

・設計輝度

$$2.3(\text{cd/m}^2) \times 1/2 = 1.15(\text{cd/m}^2) \quad (1)$$

計算(1)より、前提条件として日方泊トンネルの設計輝度は、表-1に示す平均路面輝度よりも低い値である1.15cd/m²と設定出来ることがわかる。

(2)調光率

トンネル照明の調光については、基本照明において平均路面輝度の値に対して夜間は1/2、深夜は1/4程度まで調光することが「道路照明施設設置基準・同解説」で認められている。またいずれの場合においても、路面輝度は0.7cd/m²未満としてはならないという各種基準等の記述を考慮し、調光率を検討する。

日方泊トンネルの設計輝度は、上記より1.15cd/m²であるが、ここから夜間を1/2、深夜を1/4程度まで調光する場合、路面輝度が0.7cd/m²を下回ることになった。したがって以下のとおり調光が可能である下限値を計算すると以下の通りとなる。

・調光率

$$0.7(\text{cd/m}^2) \div 1.15(\text{cd/m}^2) = 0.608 \div 61(\%) \quad (2)$$

計算(2)により求めた調光率61%を、日方泊トンネルにおける基本照明の調光率として設定することとした。

(3)対応方針

トンネル照明更新前の日方泊トンネルにおいては、調光制御を行ってこなかったが、今回トンネル照明更新工事を行う基となった設計成果では、各種基準等の記述から調光による制御を実施する方針が示された。

調光を実施する条件として、

- ①基本照明について、夜間・深夜に調光率61%とする。
- ②入口部照明では晴天時を調光率100%とすると、曇天時で調光率50%とし、夜間は消灯（0%）する。

以上の制御を行うことで調光を実施するものとした。

4. 調光線工事費と電気料金の試算

3章では設計成果により、これまで日方泊トンネルでは行ってこなかった調光制御を実施する方針とした。

本章ではトンネル全体に調光線を施工した場合の工事費に加え、トンネル照明の調光制御を行うことにより削減できる電気料金を試算することで、それぞれのコスト比較について検討する。

トンネル照明は、基本照明と入口照明に分けられるが、日方泊トンネルで調光を行うのは基本照明だけである。入口照明の調光については調光線を用いた減光（例えば100%→50%→0%）を採用していない。

これはトンネル入口付近の野外輝度に応じて晴天回路、曇天回路に分け、各回路毎に電源線の入切による減灯（100%→0%）を行う方法を採用したことで、減光と同等の調光を実現したためである。
これにより調光線を廃止した。

(1)調光線工事費

調光線の施工費を試算した結果、材料費を表-2より6,873,000円、労務費を表-3より6,950,000円、それぞれを合計した金額を直接工事費として計上する。

表-2 材料費

| | | |
|--------------------------|--------|------------|
| 制御用ビニル絶縁 シースケーブル（調光線） | 6,160m | 2,310,000円 |
| トンネル照明分岐加工費※1 | 201箇所 | 4,563,000円 |
| 合 計 | | 6,873,000円 |

※トンネル内3ヶ所に設置されている非常駐車帯設置の照明器具12台は、調光を実施しないため、分岐加工費の箇所は照明器具の合計213台から12台分を差し引いた201箇所分となる。

表-3 労務費

| | | |
|--------------------------------|-------|------------|
| ケーブル及び電線配線 CVV3.5mm2-4C ピット | 44m | 57,000円 |
| ケーブル及び電線配線 CVV3.5mm2-4C ラック | 33m | 68,000円 |
| 通信・制御ケーブル配線 | 125径間 | 6,825,000円 |
| 合 計 | | 6,950,000円 |

ここまで試算した直接工事費（材料費＋労務費）13,823,000円に諸経費を加えた26,205,000円を調光線工事費とする。

さらに各回路毎に1本ずつ必要だった電源ケーブルについて、2回路分を1本で賄える4Cケーブルを採用したことでケーブルも減らすことが可能となり、さらなるコスト削減につながった。

具体的には、調光を行う場合は

- ・晴天回路用電源線（2Cケーブル） 1本
 - ・曇天回路用電源線（2Cケーブル） 1本
 - ・調光線（2Cケーブル） 1本
- となり、合計3本が必要となる。

一方、今回の日方泊トンネル照明では、調光線が不要となったことで、電源線合計2本（4C分）を必要とするが、4Cケーブルは一般的に市販されているため、これを使用することでケーブル本数は1本となった。

(2)電気料金の試算

調光制御による削減電気料金については、まずトンネル全体の全照明分の消費電力を算出する。

・全消費電力

$$\sqrt{3} \times 26.4(\text{A}) \times 415(\text{V}) = 18,976(\text{W}) \rightarrow 19(\text{kW}) \quad (3)$$

➤消費電流：26.4(A)

➤電圧（三相3線式）：415(V)

計算(3)により求めた全消費電力19kWに、3章で設定した調光率61%を適用することで、調光制御による日低減電力量及び年間低減電力量を算出する。

・日低減電力量

$$19(\text{kW}) - \{19(\text{kW}) \times 0.61\} = 7.41(\text{kW}) \quad (4)$$

・年間低減電力量

$$7.41(\text{kW}) \times 12(\text{h}) \times 365(\text{日}) = 32,456(\text{kWh}) \quad (5)$$

➤時間（夜間・深夜）：12h(18時～6時)

➤年間日数：365日

計算(4)、(5)の結果より、調光制御を行うことにより1年間に低減できる電力量は、32,456kWhと算出することができる。

ここまでの結果を基に、年間及び20年間で削減できる電気料金を試算する。

・年間削減電気料金

$$32,456(\text{kWh}) \times 20.55(\text{円}) = 666,970(\text{円}) \\ \rightarrow 667,000(\text{円}) \quad (6)$$

・20年間削減電気料金

$$666,970(\text{円}) \times 20(\text{年}) = 13,339,400(\text{円}) \\ \rightarrow 13,340,000(\text{円}) \quad (7)$$

➤電気料金：20.55円/kWh

（北海道電力HPより：契約種別 高圧電力Ⅲ型）

計算(6)より、年間削減電気料金は667,000円と試算することができる。なお“道路・トンネル照明器材仕様書・同解説³⁾”では、LEDトンネル照明器具の本体推定耐用年数を『おおむね20年』としている。そのため計算(7)では、20年間の削減電気料金13,340,000円を算出し、これを調光制御により削減できる電気料金と試算した。

(3)両者の比較

これまでの両者の試算結果を踏まえ、調光線の工事費と削減できる電気料金のコスト比較を行う。

表-4 コスト比較

| | |
|----------|-------------|
| 調光線工事費 | 26,205,000円 |
| 20年間電気料金 | 13,340,000円 |

表-4のとおり、調光線工事費を26,205,000円とした時に、調光制御により削減される電気料金は、20年間で13,340,000円となる。そのため現在の電気料金では、20

年間で試算を行ったとしても調光を実施しない方がコストを抑えられる結果となった。つまり、調光すなわち減光することで電気料金を抑えるために行う調光線の工事費が、電気料金の削減に結びつかないという結果となった。

なお電気料金は燃料価格の高騰などにより変動することもあると考えられるが、単純計算で20年間電気料金が約2倍になって、初めて調光線工事費と同額となる。

5. まとめ

今回、トンネル照明では一般的に実施されている調光制御について、調光を行った場合のコスト面に着目し、調光線を施工する工事費と調光制御を行うことにより削減できる電気料金を比較することで、実際にどれくらいのコストを抑えることができるのかを検討した。

今回、比較検討を行った日方泊トンネルを例にとると、全長は2,900mと長いですが、日交通量は3,500台と少ないトンネル条件では、調光制御を実施しない方がコストを抑えることができる試算となった。このような条件下においては、調光線の敷設延長に対して調光制御を行う照明の数が少ないため、節電効果が十分に発揮できない。これにより、調光を実施しない方がコストを抑えることにつながったと考えられる。

ここまでの検討を踏まえ、これまで実施することが一般的であったトンネル照明の調光について、設計条件によっては調光制御を実施しない方が経済的な場合もあることが分かった。トンネル照明のLED化については、CO₂の削減による環境面への配慮は勿論のこと、調光を行わないことによるコスト縮減など、最も考慮すべき内容を明確にしてから、各種検討を行う必要があると考える。

6. あとがき

「維持管理コスト削減」は、膨大な数の各種インフラを維持する上で考えなければならない課題である。今回のケースでは、日方泊トンネルのような交通量が少なく平均路面輝度を1/2 にできる延長の長いトンネルにおいて、基本照明の夜間・深夜の調光を実施しないことが維持管理コスト削減につながったという結果となり、今後の維持管理を考える上で意義のあるものだと考えている。

本稿では、一般国道231号日方泊トンネル照明を例にコスト比較を実施したが、他のトンネルでは設計条件が異なるため、直ちに適用できる訳ではない。また本例とは反対に、日交通量とトンネル延長との関係で、調光した方がコストを下げられる場合もあると考えられ、その部分を十分考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 一般社団法人建設電気技術協会 電気通信施設設計要領・同解説（電気編）平成 29 年版 pp10-1～10-43（平成 29 年 9 月）
- 2) 公益社団法人日本道路協会 道路照明施設設置基準・同解説 平成 19 年度版 pp67～75（平成 19 年 11 月 15 日）
- 3) 一般社団法人建設電気技術協会 道路・トンネル照明器材仕様書・同解説 平成 30 年版 pp3-10（平成 31 年 1 月）