

トンネル内装工の有無別における ETC2.0 データを用いた交通状況分析

米村 圭一郎¹・中野 清人²・山崎 哲也³・村田 雄輝⁴・加藤 人士⁵

¹ 正会員 株式会社片平新日本技研 交通都市計画部 (〒112-0002 東京都文京区小石川 2-22-2)

E-mail: yonemura@katahira.co.jp

² 正会員 株式会社高速道路総合研究所 道路研究部 (〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1)

E-mail: k.nakano.aa@ri-nexco.co.jp

³ 正会員 株式会社高速道路総合研究所 道路研究部 (〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1)

E-mail: t.yamazaki.ac@ri-nexco.co.jp

⁴ 正会員 東日本高速道路株式会社 東北支社 北上管理事務所 (〒024-0072 岩手県北上市北鬼柳 16-73-2)

E-mail: y.murata.ac@e-nexco.co.jp

⁵ 正会員 株式会社片平新日本技研 インフラマネジメント部 (〒112-0002 東京都文京区小石川 2-22-2)

E-mail: h-katoh@katahira.co.jp

トンネル内には内装工や照明を設置し、安全かつ円滑に走行するための環境を構築している。内装工は、交通量とトンネル延長に基づき適用範囲が規定され、1km 以上のトンネルは概ね内装工が設置されている。また、照明は、演色性・長寿命化に優れた白色照明が従来のナトリウム灯から標準化され、視覚環境・メンテナンスコストの向上が図られている状況にある。本検討では、全国的高速道路 2,000 トンネルに対して道路・交通条件等が類似しているトンネルを抽出し、内装工の有無とトンネル照明設備（ナトリウム灯、白色照明）の差異が、平均速度、加減速度、急制動等の交通挙動に与える影響について ETC2.0 データを用いて分析した結果を報告するものである。

Key Words: interior finishing, tunnel lighting, traffic behavior, ETC2.0

1. 概要

トンネル内には内装工や照明を設置し、安全かつ円滑に走行するための環境を構築している。内装工は、交通量とトンネル延長に基づき適用範囲¹⁾が規定され、1km 以上のトンネルは概ね内装工が設置されている。また、内装工の設置高さの変更、現行基準の改定などもあり、そのあり方²⁾も見直されている状況にある。

照明は、演色性・長寿命化に優れた白色照明が従来のナトリウム灯から標準化され、視覚環境・メンテナンスコストの向上が図られている状況にある。

本検討では、全国的高速道路 2,000 トンネルに対して道路・交通条件等が類似したトンネルを抽出し、内装工の有無とトンネル照明設備（ナトリウム灯、白色照明）の差異が、平均速度、加減速度、急制動等の交通挙動に与える影響について ETC2.0 データを用いて分析した結果を報告するものである。

2. 内装工・照明設備の役割

トンネル内装工は、①前方車両や障害物の背景となり視認性の向上を図る。②美観を整え、運転者に不快感を与えない。③視線誘導効果を向上させ交通の安全な誘導を図る。④照明効果を向上させることを目的としている。なお、トンネル内工の適用範囲（図-1 参照）は、延長と交通量を参考に設定されている。

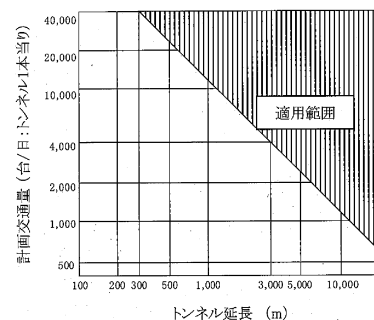


図-1 トンネル内装工の適用範囲

トンネル照明設備は、道路状況、交通状況を的確に把握するための良好な視環境を確保し、道路交通の安全、円滑を図ることを目的としている。

3. 交通状況分析の概要

近年、標準化されつつある白色照明とこれまで用いられてきたナトリウム灯下での照明種別と内装工の有無による走行環境の差異（図-2 参照）を ETC2.0 データを用いて明らかにする。

(1) 分析視点

走行に与える内部・外部環境はドライバー、道路構造、交通環境に大きく分類することができる。ドライバーは、個々の運転特性が異なるため、ETC2.0 データを用いて、個車の走行・挙動状況を把握する。なお、道路構造、交通環境は、分析対象トンネルの条件を可能な限り類似させ、分析内容をシンプルにするものとした。その視点を表-1 に示す。



図-2 照明の違いによる視環境の変化

表-1 分析の視点

内部・外部環境	要素	分析視点
ドライバー 	運転特性(車種別)	ETC2.0データより、トンネル内の運転特性を把握
道路構造 	平面曲線、縦断勾配、トンネル延長(1.5km以上)、車線数(2車線)等	トンネルデータベースを作成し、可能な限り、似通った道路構造・交通環境を抽出
交通環境 	規制速度、交通量、交通渋滞、気象条件、交通事故等	

表-2 トンネルデータベースの構成要素

-	出典資料	構成要素
トンネルデータベース	トンネル施設調書	トンネル延長(KP)
		交通区分(対面・片側)
		照明設備
		照明方式 光源
	内装工	内装種別
		内装高さ
	道路線形データ	平面曲線 縦断勾配
	交通統計	規制速度
		年平均日交通量(H26-H30)
		大型車混入率(H26-H30)
	交通事故調書	渋滞データ(H26-H30)
		事故データ(H26-H30)

(2) 分析対象トンネル

分析対象トンネルは下記ルールに基づき設定（図-3 参照）した。

- ①一方向2車線（対面区間は除く）
- ②検討区間はトンネル中央部とし、トンネル延長は1.5km以上とする。
- ③内装工はタイル張り、塗料などの種類が存在するが、内装効果は同じであるため、種別は区分しない。
- ④内装工の変更（未設置⇒設置、設置⇒撤去）、照明条件（照明灯具）が変更となったトンネルは、道路・交通環境の要因変化がキャンセルアウトされるため、検討対象トンネルの有力候補とする。
- ⑤比較的良好な ETC2.0 データが取得できる平成 28 年（2016 年）以降を分析対象とする。

(3) トンネルデータベースの作成

全国 2,000 トンネルから分析対象トンネルを抽出するために、トンネル、交通環境、事故データ等を組み合わせてトンネルデータベースを作成した（表-2 参照）。

トンネルデータの構成項目は、車線運用、トンネル延長、内装工の有無、照明種別等で構成される。交通環境データは、曲線半径、縦断勾配等の道路線形、交通量、大型車混入率等で構成される。事故データは、トンネル内での交通事故が多発している箇所は条件設定が複雑になるため、平均的な交通事故（事故率）が発生しているトンネルを対象にするため、事故データも含めたデータベースを作成した。

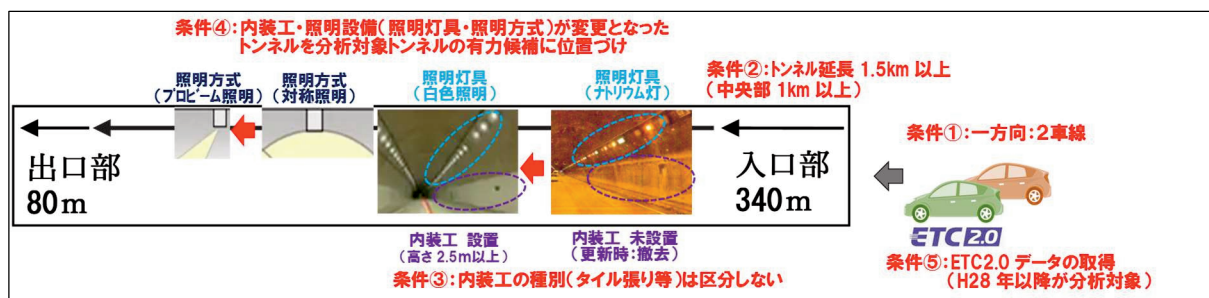


図-3 分析対象トンネルのイメージ

(4) 分析対象トンネルの抽出

トンネル内装工の設置有無別の分析を行うために、内装工の撤去期間が存在する同一トンネルを照明灯具別に3本ずつ抽出（図-4、表-3参照）する。

同一トンネルで内装工の有無比較ができるため、分析対象トンネルは計6本（表-4参照）とした。

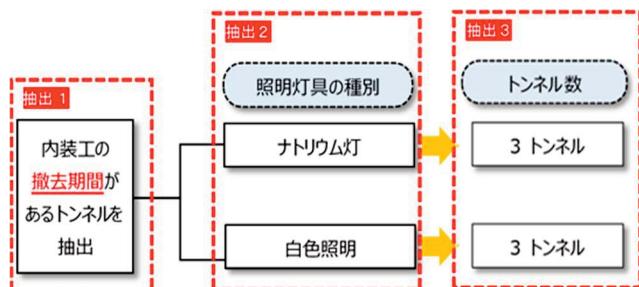


図-4 分析対象トンネルの抽出フロー

表-3 分析対象トンネルの抽出条件

	項目	備考	使用データ
抽出条件1	① トンネル延長1.5km以上、片側2車線		トンネル施設調査
	② 内装工高2.5m以上		トンネル施設調査
	③ 内装工撤去期間あり	同一トンネルで、内装工有無の分析が可能	高速道路3会社からの情報提供
	④ 事故発生トンネル（H26～H30）	事故の発生状況の変化も分析項目の1つであるため、事故発生トンネルを抽出	交通事故調査
↓			
全1,948トンネル中、91トンネル抽出			
↓			
抽出条件2	⑤ 交通量等級「AA」または「A」		トンネル施設調査
	⑥ 事故率が全国平均に近いトンネル ※高速道路本線の平均総事故率は27.4件/億台キロ	平均的な事故が発生したトンネルを抽出	交通統計、交通事故調査
↓			
	候補	備考	
	ナトリウム灯	6トンネル	
	白色照明	8トンネル	
↓			
抽出条件3	⑦ 交通環境（縦断勾配、平面曲線）が類似するトンネル		トンネル施設調査
	⑧ 交通量、大型車混入率、規制速度が類似するトンネル		交通統計
	⑨ 内装工撤去時期の確認	ETC2.0データがあるかどうか（H28以降であれば、比較サンプル数が多い）	

表-4 分析対象トンネル（6トンネル）

No	照明灯具 (TN中央部)	トンネル					内装工				H26～H30 総事故率 (件/億台キロ)	交通量関係			規制速度 (km)	勾配(%)	平面曲線(m)	
		管轄	トンネル名	上下	路線	区間	延長 (km)	内装工幅 (m)	種別	撤去時期		再設置時期	交通量等級	H30交通量 (日/台)				大型車混入率
1-1	ナトリウム灯	中日本	都夫良野	下り(左ルート)	東名高速道路	大井松田 I C ～御殿場 I C	1.689	1.82	鉄板	H27.6.30	H28.9.21	12.3	AA	46,375	41.4%	80	-1.7% ～ +0.5%	∞
1-2	ナトリウム灯	西日本	天神	下り	宮崎自動車道	都城～田野	1.648	1.82	石綿板	H30年度		20.8	A	8,251	15.2%	80・100	-1.6%	1000
1-3	ナトリウム灯	西日本	牛頭山	上り	中国自動車道	広島北 J ～加計SIC	3.573	2.42	石綿板	H29年度		33.9	A	3,080	28.4%	80	-1.0% ～ +0.5%	3000
1-4	白色照明	西日本	笠井山	上り	山陽自動車道	山陽～岡山	3.197	4	石綿板	H29年度	H31.6～H33.6	25.3	AA	19,124	45.4%	80	-0.4% ～ +2.2%	3600
1-5	白色照明	西日本	赤坂	上り	山陽自動車道	福山東～福山西	1.521	2.42	石綿板	走行H28年度、 追越H27年度	H29.1.24～ H31.1.13	27.6	A	22,180	40.4%	80・100	-1.5%	3000～20000
1-6	白色照明	東日本	立峠	下り	長野自動車道	安曇野 I C ～麻績 I C	3.629	2.42	石綿板	H28.3.30～ H28.4.20	H29.11～H30.4	18.4	A A	13,673	24.5%	80	+2.0%	400～4000

(5) 交通状況分析

ドライバー（運転特性）に関する分析は、トンネル流入から流出までの走行連続性、トンネル内の速度分散、急制動等の交通挙動を ETC2.0 データを用いて分析する。分析時の視点を以下に示す。

① 走行連続性（車両の速度軌跡より速度・加速度）

- ・分析データ：ETC2.0データ（経路履歴データ）
- ・分析期間：5日間（ある程度の自由走行が可能な時間帯：QV図等で確認）
- ・検証方法：個車（車種別：大型・小型で規制速度が異なる）の速度軌跡図より、交通状況を定性的に整理、トンネル流入前、トンネル中央部等の平均速度の差

② 速度分散（トンネル中央部の速度分布）

- ・分析データ：ETC2.0データ（経路履歴データ）
- ・分析期間：5日間（自由走行時間）
- ・検証方法：車種別のトンネル中央部における速度分布（平均速度±1σ）

③ 交通挙動（トンネル中央部における急制動）

- ・分析データ：ETC2.0データ（挙動履歴データ）
- ・分析期間：1ヶ月
- ・検証方法：トンネル中央部における「急制動の発生頻度」

ETC2.0 は、ルートガイダンス情報、障害箇所等の画像情報、安全運転を支援する情報等の提供を受けられるサービスで、プライバシー対策がなされた上で「走行履歴」「挙動履歴」等を道路交通行政の交通分析等に活用している（図-6参照）。なお、プローブ情報の収集・利用は、利用者の同意を得ることが前提となっている。

(6) 分析対象とする交通環境・車種

走行速度や交通挙動に着目するため、前方車両の影響を排除できる「自由走行領域」を分析対象とする（図-5参照）。追従走行の一般的な平均車頭時間は、2.2～2.3秒程度（100km/hの車間距離 60m程度）であることを踏まえ、倍となる5秒以上（100km/hの車間距離 140m以上）を確保している昼間時間（7-17時：日の出～日の入り）を対象とした。夜間はトンネル坑内と外部の明るさの環境が近いいため、対象外とした。

また、ETC2.0 データを分析すると「大型車」のデータに欠損が多いため、今回は「小型車」のみに着目することとした。

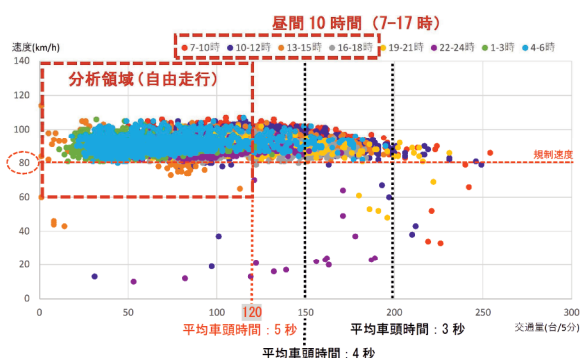


図-5 5分間トラカンデータを用いた QV 図



図-6 ETC2.0 データの概要³⁾

(7) 分析結果（ナトリウム灯）

分析対象トンネルより、得られた結果を以下に示す。

また、結果の一例として、中国道（上り線）の牛頭山トンネルの分析結果を図-7に示す。

①走行連続性

トンネル中央部の平均速度は、「内装工なし」より「内装工あり」の方が低い傾向にある。加減速度は、「内装工なし」「内装工あり」ともに同じ傾向を示している。

②速度分布

平均速度のバラツキ（標準偏差）は、「内装工あり」が大きくなっているが、加減速度は「内装工あり」が小さくなっており、「内装工あり」の方が安定した走行環境を提供できていると考える。

③急制動

トンネル中央部における急制動の発生率は、「内装工あり」のほうが相対的に低く、「内装工」の設置により走行環境が向上していると考えられる。

④まとめ

内装工を設置することで、速度差・加減速度のばらつきが小さく、急制動の発生率も低下しているため、走行連続性、安全性が向上していると考えられる。

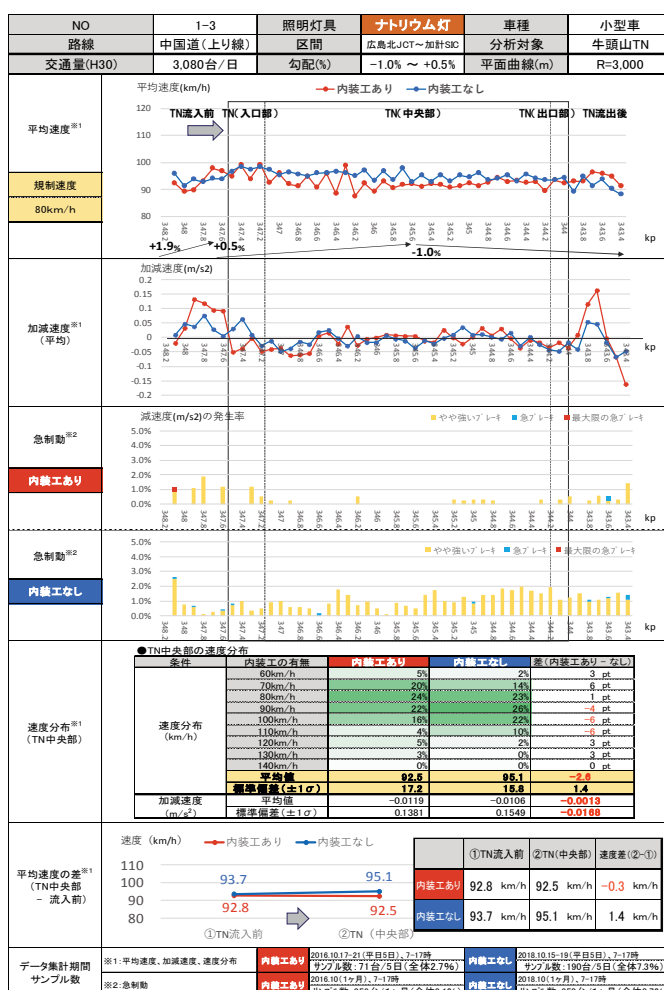


図-7 牛頭山トンネル（ナトリウム灯：内装工の有無別）

表-5 分析結果の総括

項目	ナトリウム灯	白色照明
内装工の設置効果 (走行データ)	・内装工の設置により、 速度差、加減速度のバラツキが小さく、急制動の発生率が低い。 ⇒内装工の設置により、 走行環境が向上	・内装工の設置により、 加減速度のバラツキが小さく、走行環境が向上している。 ・急制動の発生率は、内装工の設置有無で変化が見られない。 ・走行データ評価では、内装効果は限定的であり、走行環境の寄与度は低い。
補足① (主観的評価)	-	・内装工の有無を評価した主観的評価(過去評価:明るさ、見えやすさ、色合い、美観、線形の分かりやすさ等)では、 内装工の設置により走行環境が向上している。
補足② (内装工の目的)	-	・白色照明は、視認性の向上、美観、照明効果を向上させるため、 視線誘導の向上を図ることが必要。
内装工のあり方	・内装工を設置し、 走行環境を向上させる必要がある。	・ 新技術等を含む柔軟な運用を可能とし、走行環境を向上させる。

減速度は小さくなっているため、安定した走行環境が提供できていると考える。

④まとめ

内装工の設置により、加減速度のバラツキが小さくなり、走行性は向上したが、急制動の発生率には大きな変化はみられない。

4. まとめ

走行データ(ETC2.0)の分析から、ナトリウム灯のトンネル環境下において内装工の必要性が確認されたが、白色照明下のトンネルでは演色性の向上もあり、内装工の効果は限定的(表-5参照)となった。

しかし、過去に実施した主観的評価では、白色照明下において内装工を設置したほうが高評価であった。また、「内装工の役割」のうち、視線誘導効果を向上させる必要があることを踏まえ、反射材などの新技術を活用した視線誘導を図る柔軟な運用も含め、走行環境を向上させるため、内装工のあり方について検討していきたい。

参考文献

- 1) 設計要領第三集 トンネル本体工建設編・保全編、東日本高速道路(株)、中日本高速道路(株)、西日本高速道路(株)、2020.7
- 2) 村田雄輝：高速道路トンネルにおける内装工のあり方に関する検討、トンネル工学報告集、第28巻I-50、2018.11
- 3) 伊藤正秀：ETC2.0データを用いた道路交通の見える化、国土技術政策総合研究所講演会資料、2015.12

(2021. 8. 6 受付)

TRAFFIC CONDITION ANALYSIS USING ETC2.0 FOCUSING ON WITH AND WITHOUT OF THE TUNNEL IN-TERIOR WORKS

Keiichiro YONEMURA, Kiyoto NAKANO, Tetsuya YAMAZAKI, Yuki MURATA and Hitoshi KATO

In order to drive safely and smoothly in the tunnel, interior work and lighting equipment are installed to improve the running performance. In this study, we reported the results of analysis, how the difference of the tunnel interior work and the tunnel lighting equipment (sodium lamp, white lighting) affects the driving behavior such as speed, acceleration / deceleration, and sudden braking using the ETC2.0 data of the tunnel that has been extracted from 2,000 highway tunnels nationwide which has a similar road and traffic conditions.

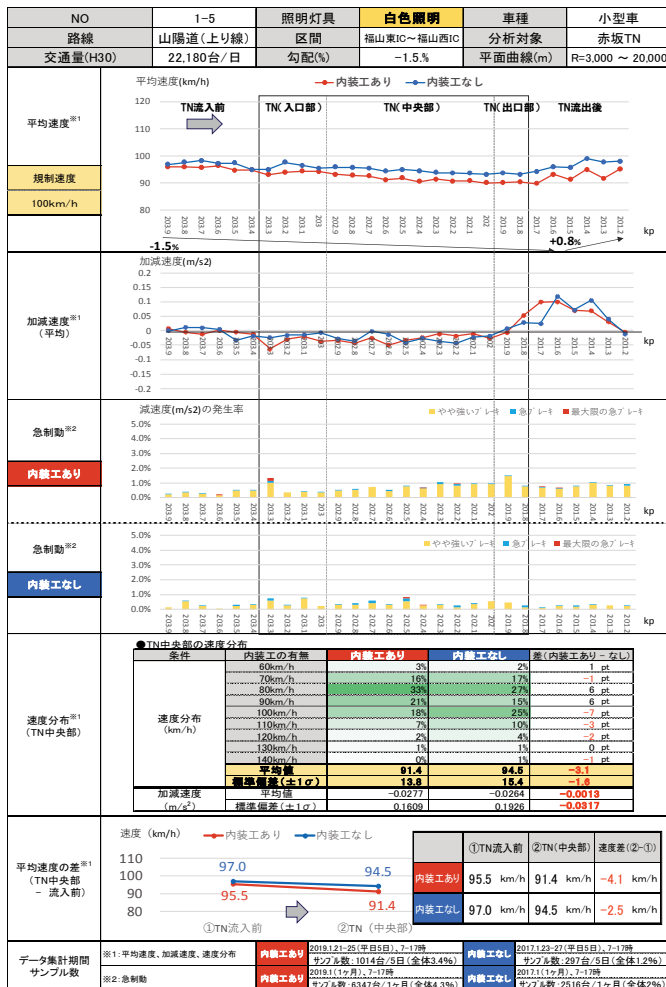


図-8 赤坂トンネル(白色照明:内装工の有無別)

(8) 分析結果(白色照明)

分析対象トンネルより、得られた結果を以下に示す。

また、結果の一例として、山陽道(上り線)の赤坂トンネルの分析結果を図-8に示す。

①走行連続性

ナトリウム灯と同様に、トンネル中央部の平均速度は、「内装工なし」より「内装工あり」の方が低く推移している。加減速度は、「内装工なし」「内装工あり」ともに同じ傾向を示している。

②速度分布

平均速度のバラツキ(標準偏差)は、「内装工あり」の方が小さく、トンネル坑内で安定走行できている。加