

連続トンネルにおける運転シミュレーション による明暗順応の可視化

柳 珍英¹・榎田敦之¹・河原幸弘²・玉置康雄³・日根幸雄¹

¹株式会社エイト日本技術開発 構造事業部 (〒532-0034 大阪府大阪市淀川区野中北1-12-39)

E-mail: yuu-ji@ej-hds.co.jp, E-mail: enokida-a@ej-hds.co.jp, hine-yu@ej-hds.co.jp

²正会員 株式会社エイト日本技術開発 構造事業部 (〒532-0034 大阪府大阪市淀川区野中北1-12-39)

kawahara-yu@ej-hds.co.jp

³株式会社エイト日本技術開発 技術本部 (〒700-8617 岡山県岡山市北区津島京町3-1-21)

E-mail: tamaoki-ya@ej-hds.co.jp,

トンネル坑口部は、明り部とトンネル部とで昼間の急激な照度の変化とトンネル進入直後に生じる目の順応の遅れを緩和するために入口部照明が設置される。トンネルは、入口と出口があり、入口では明るいところから暗いトンネルに入った場合に最初はまったく見えなくても次第にものが見える暗順応が生じる。出口では、入口とは反対に暗いトンネルから明るいところへ出るため最初はまぶしく感じて、次第に正常に回復する明順応が生じる。この明暗順応を緩和するために入口部照明を設置しているが、トンネル坑口間が短くトンネルが連続する場合には、この明暗順応が繰り返し作用するため運転者の安全性の低下が危惧される。

そのため本報告では、連続するトンネル群において明暗順応による視覚影響を運転シミュレーションを用いて体感できるよう表現を行った結果について報告するものである。

Key Words : *safety driving, continuous tunnel, driving simulation, light-dark adaptation, light distribution characteristics*

1. はじめに

図-1に示すようにトンネル坑口部では、晴天時には野外輝度が明るく、トンネル坑内は暗くなるため、明暗順応による視認性の低下が生じる。この明暗順応による視認の遅れを解消するためにトンネル坑口部では、トンネル坑内よりも明るい入口照明が設置される。急峻地形部において線形条件の制約から坑口間距離が短くトンネルが連続して計画される場合には、この明暗順応の繰り返しによる運転者の視認性悪化が走行安全性の低下を招く恐れがある。

トンネルの計画、設計段階では、実際に道路を建設してからでないと走行時の視環境は体感できないため、これまででは、比較的坑口間の短いトンネルであってもルーバー等の設置検討を行い、経済性の理由から設置しない場合がみられるのが現状である。

そこで、本報告では、運転シミュレーションを用いて道路計画を再現し、明暗順応を可視化することによって走行安全性に対する事前評価を行った結果を報告するも

のである。

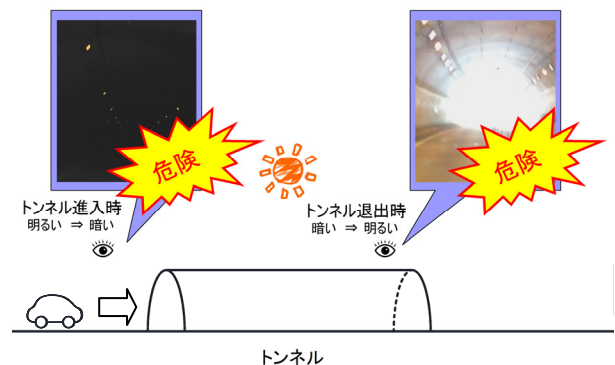


図-1 トンネル出入口における明暗順応

2. 運転シミュレーションの現状と課題

従来の運転シミュレーションは、より現実的に滑らかな動きを表現するには、PCスペックの問題および膨大なデータの処理を行うため多くの記憶装置が必要であり、

このような問題に対してより現実的な動きの表現が難しいのが現状¹⁾であった。しかし、近年はPCスペックが非常に高くなり、また、記憶装置も大容量のハードディスクが安価に入手できるため、道路計画における見え方などの再現として運転シミュレーションによって、体感し、体外的な説明会などにて分かり易い説明資料として活用される機会が多くなってきている。

しかし、運転シミュレーションでは、トンネル坑口や道路線形を条件とした見え方による走行安全性の研究^{2)~5)}はされているものの、明暗順応の再現による研究は、現行の市販されているソフトなどでは、表現が難しいためこれまでに実施されていないのが現状である。

また、運転シミュレーションを用いた検討は、従来に比べてPCの高性能化などからスピーディになっているもののデータ作成に時間を要することや費用面等から容易に普及するものでない課題がある。

3. 計画区間の概要

計画対象は、約2.5kmの区間において急峻山地部であり、図-2に示すように7本のトンネルが連続する。平面線形計画として平面曲線の区間内最小半径は $R=300\text{m}$ と小さい。また、縦断線形として、一般的にはトンネル内の縦断勾配として3%程度以下の勾配を目安にして計画される場合が多いが、本計画地では、前後の道路計画のコントロール条件から縦断勾配は最急約5%と急勾配であり、トンネルの計画上、非常に厳しい線形条件として計画されている（設計速度 60km/h 、第1種4級）。

また、各トンネルの坑口間距離が約100m以下と短いことから、頻繁に明暗順応の繰り返しが生じ走行安全性の低下が懸念される。

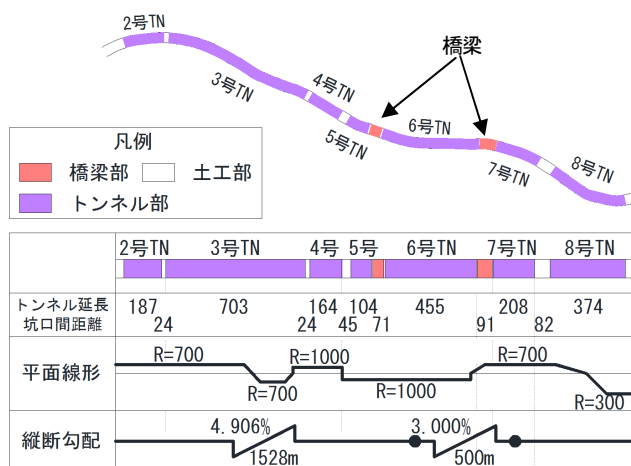


図-2 検討対象区間における道路計画条件

4. シミュレーションデータ作成

シミュレーションデータの作成として、従来の運転シミュレーションに比べてより現実的なモデルを再現するため地形データから、滑らかなモデルとなるように「3次元モデルの作成」、「VRアプリケーションの設定」、「照明の再現」を行う。ここで、「照明の再現」においては、坑外輝度およびトンネル内の照明輝度の配光特性を再現することで、坑口部の明暗順応を可視化した。

とくに、本シミュレーション作成においては、以下に着目してデータ作成を行った。

- ① 実際の見え方を考慮した再現性
- ② 明暗順応の可視化表現

(1) 実際の見え方を考慮した質感設定

①道路線形データ入力

道路設計成果から、平面線形、縦断線形、片勾配摺り付け情報を入力し三次元データによる道路線形の情報入力を行う。

②地形データ入力

図-3に示すように計画平面図等の地形コンター情報を元に地形データの三次元化入力を行う。測量データがすでに三次元の高さ情報を保持していればそのまま活用できるが、測量データに高さの情報がない場合には、高さ情報の認識をCAD上のコンターデータから高さ情報を設定することで三次元コンターを作成する。作成に要する時間は、一般のPCで約1ヶ月程度の基礎データの構築を行う。

③トンネル他、構造物入力

図-4に示すように入力した道路データと地形データを合成し、トンネルやその他構造物の三次元モデルをパーツごとに作成する。これらは、運転シミュレーションのベースデータとなる三次元モデルの作成を行う。

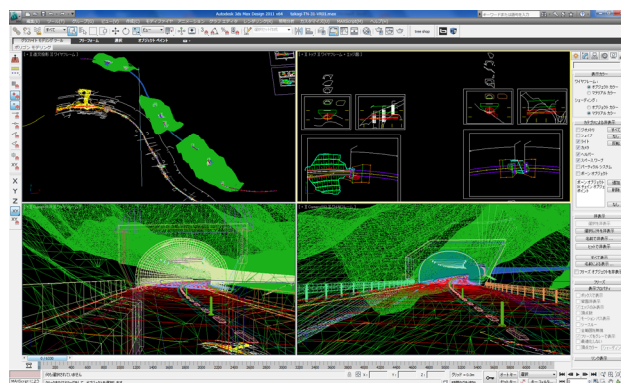


図-3 地形データおよび構造物の入力画面

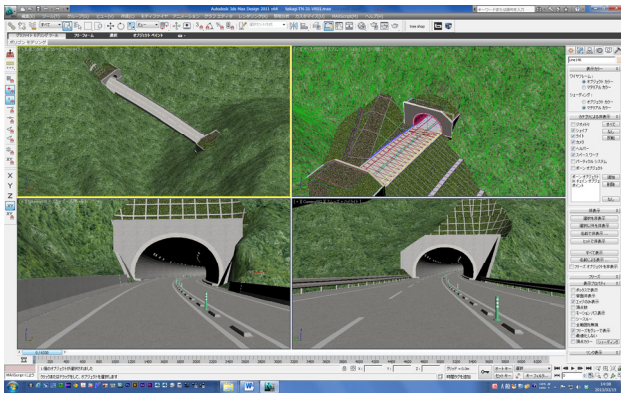


図4 質感の入力画面（見え方）

(2) 配光特性を考慮した明暗順応の表現

トンネル出入口においては、トンネル入口部に設置される入口照明の照度、配光特性、光源特性等の入力条件が重要となる。

配光特性については、照明メーカーと協力のもと当社で調整した配光特性データを利用している。

坑外輝度とトンネル内輝度の明暗差の表現については、CGソフト上での画像生成時の明るさ調整において写真撮影での露出制御に準じた設定となるため、坑外輝度からトンネル内照明の輝度への変化に合わせて露出値を適宜設定し、適正露出となるよう表現した。

なお、照明設備の配置は、設備予備設計の照明配置にもとづき割付を行った。

(3) 走行速度と動画の関係

走行速度と動画の関係については、画像数と走行距離を連動し、一定間隔における動画速度（体感速度）を調整している。画像数が少ないほど動画の動きがぎこちなくなり、画像数が多くなればなるほど滑らかな動きを表現する。ただし、画像数を多くするとデータ容量が大きくなるため、本計画では、15枚/秒の画像数を作成している。

(4) その他

運転シミュレーション動画を起動するためのパソコンの仕様については、一般に市販されているパソコン（3Dゲームが動くもの）で十分である。

図-5～図-8に明暗順応および配光特性を考慮した運転シミュレーションの静止画像を示す。

トンネル入口では、明るいところから暗いトンネルへ進入するためより一層、トンネル内が暗いイメージが分かる。トンネル内の走行については、照明灯具からの配光特性をよく表しているのが分かる。また、トンネル出口では、暗いトンネルから明るい坑外へと退出することからより一層、眩しくなることがうまく表現できている。



図-5 明かり部走行



図-6 トンネル入口付近（最暗時）



図-7 トンネル内走行（R=300m）



図-8 トンネル出口付近（最明時）

5. 検証結果

運転シミュレーションによる検証の結果、本トンネル設計区間においては以下のことが懸念される。

- ① カーブ区間が多く、トンネル出口まで見通せない区間が多いため、緊張感を感じる。
- ② トンネルが連続しており、坑口間距離が短いため、明暗順応の繰返し変化が頻繁になり、視認性に劣る。
- ③ 縦断勾配がきつく、速度増加が懸念される中、上記理由から前方の車や対向車を十分に視認できない恐れがあるため、安全性に劣る。
- ④ 交通の状況によっては、明暗順応だけでなく、複合的な要因で運転者のストレス要因となりえる可能性がある。

このように、運転シミュレーションおよび明暗順応シミュレーションを通して実際の運転状況を視覚的に体感することで、設計時における走行安全性の評価が可能となる。

とくに②については、従来の明暗順応シミュレーションでは、明順応・暗順応の変化は坑外輝度や照明設備による違いや、運転者の個人差による違いもあるため、数値化して一定の設定を行うことが難しかった。そのため、本シミュレーション作成では、実際に晴天時のトンネル走行をビデオ撮影した映像を参考に明順応・暗順応の時間的変化を割り出して設定を行い、また、照明メーカーの協力により独自で設定した配光特性データを用いることで坑口部明暗順応の可視化を実現した。

6. おわりに

設計時において、走行安全性を評価することは非常に難しいが、運転シミュレーションおよび明暗順応シミュレーションを有効に用いることで、走行安全性における

課題を設計の時点で把握し、改善・解決に導くことが可能である。

また、明暗順応シミュレーションによるトンネル内照明の可視化は、灯具の配置間隔、数、光源の選定等における適切性を検証することができるため、トンネル照明設備設計への活用が期待される。

さらに、CGモデルによる三次元情報は、より計画が解り易く、地元住民、関係者間での事業説明などにおいての利用が効果的と考える。今後、データの追加等を行うことで関係者協議資料としての活用が望まれる。

謝辞：本報告の作成にあたりご協力いただきました発注担当者および関係者各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 趙曉明, 小林一郎, 星野裕司, 中田雅博: トンネル空間へのCGアニメーションの適用, 土木学会西部支部研究発表会, pp.344-345, 2001.3.
- 2) 池田武司, 飯田克弘, 森康男, 松本晃一, 野口雅弘: トンネル坑口形状の評価のための交通機能・運転者心理を考慮した指標の構築, 土木計画学研究・講演集, No.22(2), pp.963-966, 1999.10.
- 3) 金子哲也, 大口敬, 飯田克弘, 渡邊亨: ドライビング・シミュレータを用いた追従挙動特性の研究, 土木計画学・講演集, No.23(3), pp.801-804, 2000.
- 4) 大口敬, 金子哲也, 飯田克弘, 渡邊亨: ドライビング・シミュレータを用いた同路線形と追従挙動特性に関する研究, 土木計画学・講演集, No.24, 2001.
- 5) 小川圭一, 土井和広, 久坂直樹: 交通安全対策の検討に対する簡易ドライビングシミュレータの応用可能性, 大阪交通科学研究会, 交通科学 VOL37, No.1, 2006.

(2013.9.2 受付)

VISUALIZATION OF THE ADAPTATION TO LUMINOSITY LEVEL BY THE DRIVING SIMULATION IN CONTINUOUS TUNNELS

Jin-young YOO, Atsuyuki ENOKIDA, Yukihiro KAWAHARA,
Yasuo TAMAOKI and Yukio HINE

Tunnels has closed spaces, and it is important to ensure the sight distance of the tunnel at all tunnel design. Moreover, if the field of view is hindered, the light-dark adaptation will significantly affect driving safety in clear weather in the entrance of tunnel. Thus, the tunnel design that incorporates driving safety will be required in the case of the location between both tunnels is short. The significance of light fluctuation in relationship of driving safety at the entrance of the tunnel is increased. In this study, some discussions of driving safety in a continuous tunnel are expressed by using the computer aided driving simulator.