

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

Development of indexes that incorporates traffic faculty and driver's mentality to Evaluate Tunnel Portals

池田武司* 飯田克弘** 森 康男*** 松本晃**** 野口雅弘****

By Takeshi IKEDA, Katsuhiko IIDA, Yasuo MORI, Koichi MATSUMOTO and Masahiro NOGUCHI

1.はじめに

高速道路における交通渋滞による時間的、経済的損失は大きく、その対策を行うことが社会的に要請されている。渋滞は交通集中によって発生することが多く、その発生箇所としてはサグ、トンネル、インターチェンジ合流部、料金所などがある。このうちトンネルは、渋滞発生箇所にも占める割合が高い。そのため、トンネル部における渋滞の諸要因を把握し、対策を検討することの必要性は高い。

サグやトンネルのようなボトルネックにおける渋滞現象に対し越は、走行車両の速度低下がきっかけとなって発生した減速波が、次々と追従車両に伝播し、渋滞が発生するという仮説を提示している²⁾。

ここでトンネルでの速度低下の発生箇所は、大きく、トンネル進入部、トンネル内部、トンネル出口部に分類できる。このうち佐野らはトンネル進入部に着目し、道路幅の縮小や坑口形状などが与える心理的圧迫感の影響によって、ドライバーがアクセルを緩め、その結果走行車両の速度が低下することを指摘している³⁾。

このようにトンネル進入部の諸要因と運転行動の関連に着目した研究としては、トンネル内装板等の視環境³⁾⁴⁾⁵⁾や、トンネル部の路肩幅員⁶⁾に着目した研究がある。

これらの研究では、地点平均速度や交通量によって現象の把握を行っており、個々のドライバーの運転行動や心理状況にまでは着目していない。速度低下現象の把握やその対策を検討するためには交通現

象からの検討だけでなく、運転行動やそれに関連する心理状況を定量的に把握し検討することが必要である。

またこれらの研究では、速度低下地点における速度低下量など地点に着目して分析を行っているが、たとえばある地点で大きく速度が減少しても、その継続時間が短ければ交通流全体への影響は小さいと考えられる。したがって坑口を評価するためには進入区間における運転者の連続的な挙動を表現する評価指標を用いて分析する必要がある。

以上のことから、本研究では、心拍数と注視点を利用して、ドライバーの心理状況を定量的に把握することをねらいとした評価指標および、速度やアクセル使用量の変動とその継続時間を考慮した評価指標を構築する。

また、室内実験で得られた運転行動データに基づき評価指標を試算し、複数のトンネル坑口の相対比較を試みる。

2.室内実験の概要

分析に必要な各データを収集するためにドライビングシミュレータを用いた室内実験を行った。本研究で用いた室内実験システムの構成を図-1に示す。

なお筆者らは、高速道路単路部およびトンネル進

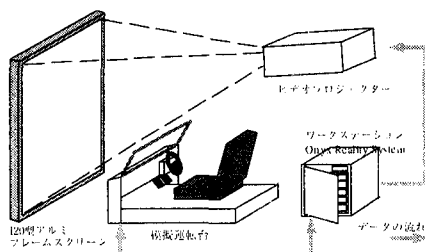


図-1 実験システムの構成

キーワード: 交通行動分析, 交通流

*学生会員 **正会員 博士(工) ***正会員(工博)

大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻

(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 TEL06-6879-7611

E-mail: ikeda@civil.eng.osaka-u.ac.jp)

****正会員 JH 試験研究所交通環境研究部交通研究室

(〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1 TEL042-791-1621)

入部において、各データの変動を示す推移と、注視対象別の注視率（定義については後述）について室内実験の再現性が高いことをすでに確認している⁷⁾。

以下では、実験の概要を示す。

(1) 被験者

被験者は計 35 名である。サンプル数を考慮し被験者属性には極端なばらつきを持たせないこととし、運転免許取得後 1 年以上経過している 20 代前半の男性で構成した。

(2) 実験区間

実験区間は再現性を確認した実験で用いた区間⁷⁾のうち北陸自動車道下り小河トンネル手前 42.6kp 付近～小河トンネルの先 44.9kp 付近までとした。これはトンネル坑口付近の道路線形が直線であり、線形の影響を排除するためである。この小河トンネルの坑口を、図-2 に示す 5 つの坑口代替案に置き換えて実験を行った。

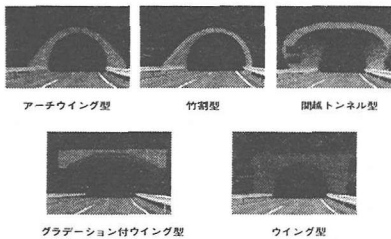


図-2 坑口代替案

(3) 坑口代替案の概要

ウイング型は、心理的圧迫感を与えると考えられているコンクリート部分の面積⁸⁾が大きい形状である。アーチウイング型は、ウイング型のコンクリート部分の面積を縮小した形状である。またグラデーション付ウイング型は、心理的圧迫を軽減させることをねらいとしてウイング型のコンクリート面にグラデーションペイントを施した形状である。竹割型は、コンクリート部分の面積が最も小さく、下部が徐々に左右に広がりながら手前に突出する形状である。関越トンネル型は、全体が左右に広がりながら手前に突出し、特に上部では左右への広がり方が大きい形状である。

(4) 実験の手順

被験者には実験直前に文書と口頭にて実験の目的、概要、およびドライビングシミュレータの操作方法に関する説明を行い、現地のビデオ映像を提示した。

さらに本走行前には、2 回練習走行を行わせた。また本走行では走行車線は追越車線とし、周辺走行車線の提示は行っていない。ここで実験中は走行車線の指示以外被験者には速度や操舵などについて特に指示を与えなかった。また、各代替案は、提示順序による運転行動データの偏りが発生しないよう、被験者ごとに異なる順序で提示した。

(5) 調査項目

収集したデータは車両速度 (km/h)、アクセル、ブレーキ使用量 (%), 心拍数 (拍/分), 注視点 (座標), 注視対象 (図-3 の各要素) であり、各データとも、距離軸にそって 1m ごとに整理した。ただし、本研究では、視線の移動速度から視線運動をサッケード (高速の視線移動運動) とそうでないものに分離し、視線運動がサッケードでなければ注視していると定義した。なお、視線運動の閾値としては、10 度/秒の値を採用している⁹⁾。図-4 に、速度、アクセル使用量、心拍数の推移を統合した例を示す。



図-3 注視対象要素

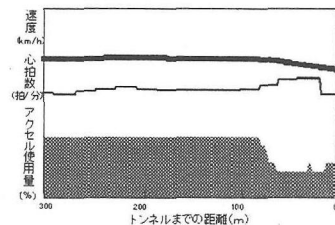


図-4 グラフ化された運転行動データ例

3. 評価指標の構築

分析対象区間を、ドライバーがトンネル坑口全体を完全に視認できる、トンネル坑口手前 300m 地点からトンネル坑口までとし、この区間のデータを用いて指標を算出する。なお、指標算出前に、心拍数データで、最高心拍 $>2 \times$ 最低心拍となる区間のデータは異常値¹⁰⁾として棄却を行っている。以下では本論文で提案する指標の概要を説明する。

(a) 速度、アクセル使用量指標

交通機能面からみると、直線の単路部において、速度、あるいはアクセル使用量は、その減少量および、減少状態で走行する距離が小さい方が望ましい。そこで、本研究では、各被験者ごとの分析対象区間における速度の平均値を $\bar{v}$ 、地点*i*における速度を v_i とする時に、 $v_i < \bar{v}$ となる地点における $v_i - \bar{v}$ を分析対象区間で累計し、指標とする。また、アクセル使用量についても同様に算出する（図-5 参照、以下速度指標、アクセル指標と呼ぶ）。

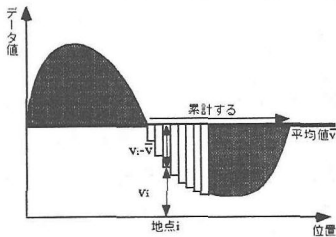


図-5 指標の概念

(b) 心理指標（心拍数、視線）

一般に、心理的圧迫を受けたり、緊張した状態で心拍数は上昇する¹¹⁾。したがって文献 3)での指摘も考慮すると、心拍数の増加量および、増加状態で走行する距離が小さい方が望ましい。そこで本研究では、前述の速度、アクセル指標と同様に、各被験者ごとの分析対象区間における心拍数の平均値を $\bar{h}$ 、地点*i*における心拍数を h_i とする時に、 $h_i > \bar{h}$ となる地点における $h_i - \bar{h}$ を分析対象区間で累計し、指標とする（以下心拍指標と呼ぶ）。

一方、情報収集の過程で、ドライバーは視線を動かすが、見通しのよい比較的空いた道路で運転する場合、大部分の時間、目線を前方の遠景に向ける（モーラントの研究）¹²⁾。また、文献 12)の筆者は、運転者の視界を、前方あるいは側方に設けられた幅 10cm、上下 5mm のスリットからのものに制限して走行する実験を行っている。そして、この結果から、

視線が前方を向いていれば進路は安定するが、側方に振れると進路が安定せず左右にぐらつき、速度が低下する一因となることを指摘している。以上より本研究では、視線の横方向の散らばりに着目し、各被験者ごとの分析対象区間における注視点の*x*座標の平均値を $\overline{ex}$ 、地点*i*における*x*座標を ex_i とする時に、 $\overline{ex} - ex_i$ の絶対値を分析対象区間で累計し、指標とする（以下視線指標と呼ぶ）。

4. 評価指標の算出

室内実験で得られたデータをもとに、3.で示した指標を各被験者ごとに算出し、その全被験者における平均値と標準偏差を各評価対象ごとに算出した。また、参考として、各指標の平均値について、絶対値が小さいものから順に、各評価対象の順位付けを行った。これらを表-1 に示す。

表-2 指標間の相関係数

	速度	アクセル	心拍
速度	-		
アクセル	0.11	-	
心拍数	0.47	-0.76	-
視線	-0.78	-0.69	0.08

ここで、各指標間の関係を把握するため、各指標間の相関係数を算出した。

これを表-2 に示す。

まず、速度とアクセル指標に注目すると、相関は高くはならなかった。これは、アクセル使用量と速度の間にタイムラグがあることが一因と考えられる。

次に、視線指標と、他の指標に注目すると、速度、アクセル指標との相関がともに高く、3.で述べたように、左右への視線のぶれが速度低下の一因となるということを説明するような結果となった。

最後に、心拍指標と、速度、アクセル指標に注目すると、アクセル指標とは正の高い相関となり、心理状態がアクセル使用量の減少に影響を及ぼしているということを説明するような結果となった。

表-1 評価指標

	速度			アクセル			心拍			視線		
	平均	標準偏差	順位	平均	標準偏差	順位	平均	標準偏差	順位	平均	標準偏差	順位
アーチウイング型	-188.73	145.24	***	-297.68	455.47	*****	210.78	95.40	*****	430.50	193.17	*****
竹割型	-223.66	230.37	*	-402.83	544.61	***	232.12	135.18	****	558.73	361.15	*
関越トンネル型	-186.16	155.29	*****	-390.12	487.00	*****	238.20	132.10	***	484.70	244.22	***
グラデ付ウイング型	-171.26	137.78	*****	-422.07	660.71	**	281.27	180.45	*	462.70	223.84	****
ウイング型	-200.42	188.17	**	-439.08	724.56	*	247.59	143.82	**	550.41	407.54	**

（順位は指標の絶対値が一番小さいものが*****, 一番大きいものが*）

5.各代替案の評価

4.で算出した指標の平均値を用いて各対象の評価を行う。評価の参考として、各要素ごとに、注視対象別の注視率（各要素を注視した状態で走行した距離/分析対象区間全体の距離）を算出した。これを図-6に示す。

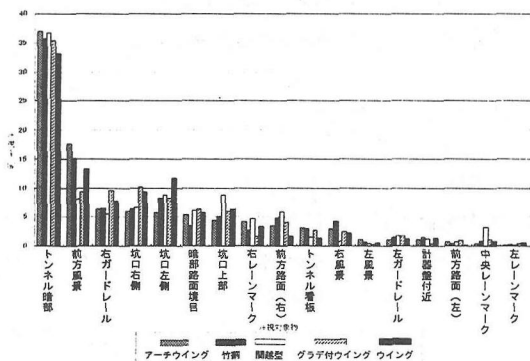


図-6 注視対象別の注視率

表-1に示すように、アクセル指標、心拍指標、視線指標の絶対値がすべての代替案の中で最も小さく、総合的に最も評価が高いと考えられた代替案がアーチウイング型であった。また、速度指標に着目するとグラデーション付ウイング型の評価が高かった。一方、最も評価が低いのが、速度指標、心拍指標、x座標指標の絶対値がすべての代替案の中で2番目に大きく、アクセル指標の絶対値が最も大きいウイング型であった。

このような結果となった要因としては、坑口コンクリート部の面積が挙げられる。すなわちアーチウイング型では坑口（右側、左側、上部）の注視率が低く、ウイング型では注視率が高くなっていることから坑口コンクリート部の面積が大きいほど、ドライバーが坑口を注視する割合が大きく、それに伴って心理的影響を受ける可能性が高いと考えられる⁸⁾。このため、前者の評価は高く、後者の評価は低くなったものと考察できる。また、グラデーション付ウイング型は、坑口の注視率は高いものの、グラデーションペイントによって心理的圧迫を緩和しているため、評価が高くなったものと考察できる。

ところで、竹割型では、速度指標、視線指標の絶対値がすべての代替案の中で最も大きくなっている、ここで速度指標の度数分布表（図-7参照）を見る

と、一部のデータが他から外れ値を示しており、これが指標の算定値に影響を与えている。また、視線指標についても同様のことがいえた。

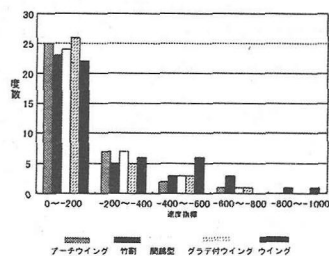


図-7 速度指標の度数分布表

6.まとめ

本研究では、ドライバーの心理状況を定量的に把握することをねらいとした評価指標および、速度やアクセル使用量の変動とその継続時間を考慮した評価指標を構築した。また、室内実験で得られた運転者データを元に評価指標を試算し、坑口代替案を相対比較した。

本研究では全被験者のデータで分析を行ったが、今後は、評価に影響をおよぼす、外れ値について、異常値である可能性を検討する必要がある。また、異常値でないと判定できる場合は、平均的なドライバーと特異なドライバーを分ける実験結果の分類方法を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 日本道路公団ホームページ <http://www.japan-highway.go.jp>
- 2) 越正毅:高速道路のボトルネック容量, 土木学会論文集 第371号IV-5 pp.1-7, 1986年7月
- 3) 佐野信夫, 嘉指登志也, 米川英雄, 富高久智:トンネル部における走行円滑性に関する一考察, 高速道路と自動車 第38巻第3号 pp.20-29, 1995年3月
- 4) 米川英雄, 永井淳一, 山本敦義, 山内靖彦:トンネル視環境が交通容量に及ぼす影響, 高速道路と自動車 第38巻第11号 pp.26-30, 1995年11月
- 5) 米川英雄:トンネル坑口部における走行性への影響要因, 高速道路と自動車 第39巻第5号 pp.28-34, 1996年5月
- 6) 飯尾広美, 榎戸靖暢, 水上秀夫:トンネル部の路肩幅員と走行特性, 高速道路と自動車 第34巻第2号 pp.27-35, 1991年2月
- 7) 飯田克弘・森康男・金鍾旻・池田武司・三木隆史:バーチャリアリティーシミュレーションによる室内実験システムの構築とその再現性検討-高速道路トンネル進入部への適用, 土木計画学研究・講演集 No.21(1), pp.507-510, 1998年11月
- 8) 飯田克弘・森康男・三木隆史・三井大生:トンネル進入時におけるドライバーの挙動および反応の分析, 土木計画学研究・講演集 No.20(2), pp.295-298, 1997年11月
- 9) 福田良子, 佐久間美能留, 中村悦夫, 福田彦彦:注視点の定義に関する実験的検討, 人間工学 Vol.32, No.4, pp.197-224, 1996年
- 10) 人間工学ハンドブック編集委員会:人間工学ハンドブック, 金原出版, 1974年
- 11) 宮田洋・藤澤清・柿木昇治:生理心理学, 朝倉書店, 1995年
- 12) 牛生嗣(平尾収):歩行者 人動車 道, 三栄書房, 1995年