

本標識の作用明確化に基づく工事規制区間における情報提供 Providing Information in Construction Restricted Areas of Expressway Based on Clarification of the Function of Principal Signs

飯田 克弘¹, 丸橋 慧士²

Katsuhiro IIDA¹, and Keishi MARUHASHI²

近年、工事区間始端部に正面から進入する事故が急増している。この原因として運転手、道路、車両の三要素間での問題が考えられるが、本研究では、運転手-道路系の問題に着目し、衝突事故低減に向けた工事区間での規制情報提供の提案を試みた。ドライビング・シミュレータを用いた室内走行実験を実施し、運転者の注視と車線変更位置、車線変更を判断した対象をデータとして取得した。分析結果から、車線数減少標識、道路工事中標識をこの順序で2枚ずつ設置し、最高速度標識を現行の設置方法に準拠し設置することが先に述べた事故のリスクを低減する可能性を把握した。この標識配置に、先行研究で特定した、遠方から視認しやすく、車線変更位置を早める効果がある標識車を組み合わせた規制情報提供が工事区間での衝突事故低減に期待できると提案した。

In recent years, the number of accidents involving head-on collisions at the beginning of work zone has been increasing rapidly. In this study, we focused on principal signs among the various signs that exist in construction restricted areas and proposed a method of providing regulatory information within the work zone to reduce the number of collisions considering driver-road interaction. We conducted an indoor driving experiment using a driving simulator and collected data on the driver's gaze, lane change position, and the target of the decision to change lanes. Based on our analysis, we found that the risk of such accidents could be reduced by installing two each of reduced lane signs and road construction signs in that order, and installing maximum speed signs in accordance with current installation methods. We suggest that this sign arrangement, combined with regulatory information provided by a sign car that is highly visible from a distance and effective in encouraging early lane changes, as identified in a previous study, can significantly reduce the risk of collisions in work zones.

Keywords: 工事規制区間, 情報提供, ドライビング・シミュレータ, 本標識, 標識車

Construction Restricted Areas, Providing Information, Driving Simulator, Principal Sign, Sign Car

1. はじめに

2023 年中の全国における交通事故発生件数は 307,911 件 (前年比+7,072 件)、交通事故死者数は 2,678 人 (前年比+68 人) であり、ともに増加している。特に死者数が増加したのは、2015 年以來 8 年ぶりである。警察庁は、新型コロナウイルス対策が緩和され、人々の外出機会が増えたことが背景にあるとする見解を示している。

しかしこの間、先進運転支援システム (Advanced Driver Assistance System : 以下、ADAS) の開発・普及が進められている。ADAS の主機能である衝突被害軽減ブレーキ (Autonomous Emergency Braking : 以下、AEB) の新車装着率²⁾は 2020 年には 95.8%まで上昇しており、2021 年 11 月から国内で生産される新車の AEB 装着が義務化され

ている。また、交通事故総合分析センターが計測した AEB 有無別の登録・届出車数 10 万台当たりの対四輪車追突死傷事故件数 (2018 年度)³⁾によると、AEB 非搭載車の 208.9 件に対し、AEB 搭載車は 98.4 件となっており、AEB 搭載車の事故リスクが低いことがわかる。車の安全性を上回る外出機会の増加は考えにくく、これまで想定されていなかった新たなタイプの事故が発生していることが予見される。

この一つとして、工事区間での事故が考えられる。NEXCO 中日本が管理する工事区間での事故件数は 2017 年度 (103 件) から 2021 年度 (413 件) までの 4 年間で 4 倍以上に増加している⁴⁾。リニューアル工事に伴う工事規制の増加も背景にはあるが、工事規制数はここまで

1 正会員, 博士 (工学), 大阪大学大学院工学研究科

Member, Dr. Eng, Graduate School of Engineering, Osaka University

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 e-mail: iida@civil.eng.osaka-u.ac.jp Phone: 06-6879-7611

2 修士 (工学), 関西電力株式会社

ME, Kansai Electric Power Company

増加していない。特に工事区間に正面から進入し、工事区間始端部（以下、始端部）に衝突する事故が多くの割合を占めている。

本研究では、この事故に着目した。この事故の原因としては、主に三つ考えられる。第一に、前方不注意により運転手が工事区間の存在に気付いていない、もしくは気付くのが遅れている事象が増えているということである（運転者-道路系の問題）。

第二に、AEB が規制材に反応していないことが考えられる。これは、障害物によってはAEBが正常に機能しないという、メーカーが発信している注意事項⁵⁹⁾からも推察される。実際に、実証実験で得られた結果から、現行の規制材に対して、AEBの作動が期待できないことが報告されている⁷⁸⁾（車両-道路系の問題）。

第三に、ADAS に対する運転手の過信が挙げられる。この過信が、安全性に欠けた運転挙動を引き起こすことを問題視する先行研究が多数存在している⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾。第二の原因で指摘したAEBの作動制限を考慮すると、ADASに対する運転手の過信が内包するリスクは高くなる（運転者-車両系の問題）。

本研究では、これらの問題のうち運転者-道路系の問題に焦点を当てた対策を考える。工事区間での事故を取り扱った研究として、上畑ら¹³⁾は録画された交通事故発生時の映像から、矢印板接触時の状況を観察し、事故形態の実態を明らかにしている。しかし、具体的な対策を検討するまでには至っておらず、この点が課題として挙げられる。ここで、公表されている資料¹⁴⁾に基づき工事規制区間への誤進入事故原因を集計した結果を図1に、事故形態別に原因を推定した結果を図2に示す。

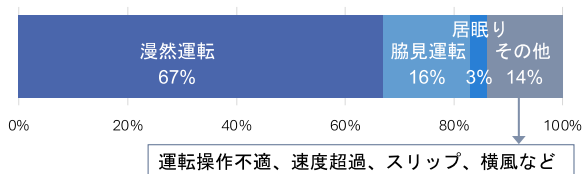


図1 工事規制区間への誤進入事故原因¹⁴⁾



図2 誤進入事故の形態別推定原因

図2中赤字で記載された箇所は運転者の責に帰すべき事由であり、青字で記載された箇所は環境の影響によるものであるため、いずれも道路管理者が制御する

ことは難しい。そこで、本研究では上記の場合を除外して、衝突事故低減が期待できる対策を検討する。具体的には、早期の適切な工事規制情報提供を研究対象とする。当然、漫然や脇見の度合いによっては効果を得にくいと考えられるが、情報提供が注意喚起に繋がり、漫然や脇見を抑制する可能性もある。また何より早めの車線変更を促すことが当該事故対策の方向性の一つであると考えた。

始端部での衝突事故低減に向けて、工事区間で運転手に規制情報を提供することが可能な施設は、現状では主に標識、矢印板および標識車が使用されている。筆者らは先行研究¹⁵⁾で、矢印板および標識車の規制情報デザインに着目し、表1に示す4つの規制情報デザインに対して、「視認しやすさ」、「指示の伝わりやすさ」という観点で評価を試みた。結果として、K-3、K-4は遠方からでも視認がしやすく、K-3は早めの車線変更を促す効果があることが示された。

表1 先行研究で使った規制情報デザイン



次に本研究では、標識に着目した。ここで、入手可能な保安施設設置要領¹⁶⁾¹⁷⁾(図3)を参照すると、最高速度標識や速度低下を促す看板の設置地点は指定されていることが読み取れるが、他の標識の種類や枚数、配列など設置方法・根拠に関しては明文化されていないことがわかる。また、この根拠を明らかにした先行研究も見られない。

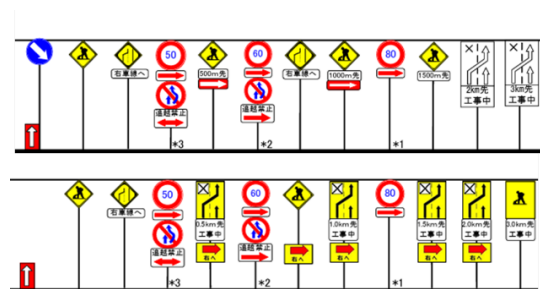


図3 保安施設設置例 (NEXCO 中日本)

本研究では、始端部における衝突事故低減に向けた工事区間における、規制情報の提供方法の提案を本研究の最終的な目標とするが、その第一段階としてドライビング・シミュレータ（以下、DS）を用いた室内走行実験を実施した結果に基づき、法定外看板、補助標識を除く本

標識(法定の規制、警戒標識)の種類や枚数、配列に関する根拠の把握を試みた。これは、この根拠が把握できてはじめて法定外看板、補助標識を含む現状の評価が可能になると考えたからである。そして、最後に本研究と先行研究で得られた知見を整理し、本標識のみを用いた、始端部における衝突事故低減に向けた規制情報の提供方法の提案を行った。

2. 室内走行実験

2.1 実験概要

本研究では、2023年11月1日、同2日、同6日から同10日、同13日および同14日の計9日間で、計24名の被験者に対し実験を行った。被験者として、普通自動車免許を取得している25歳以下の学生24名を募集した。

2.2 実験で使った道路モデル

先行研究¹⁵⁾で使用した、中央自動車道(改良前)、山陽自動車道、高松自動車道の3つの区間を、道路構造令・高速道路設計要領に準拠して設計した調整区間で結合した全長約12kmの道路モデルを使用した(図4)。

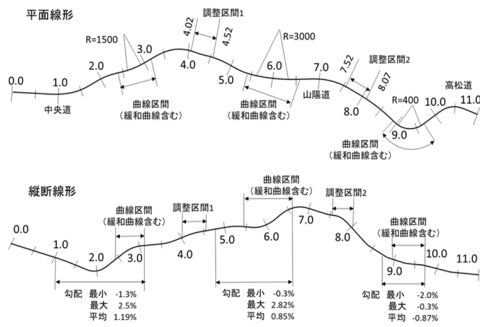


図4 道路モデルの線形図

2.3 実験で使った規制情報パターン

本研究では、設置標識の種類や枚数、配列と矢印板および標識車の規制情報デザイン異なる規制情報パターンを使用した(表2)。

規制現行は現在、実際に高速道路で使用されている標識と矢印板および標識車に準拠して作成した規制情報パターンであり、練習走行(2.5で詳述)で使用した。

規制代替①、②は、標識と矢印板は規制現行と同じであり、標識車に先行研究¹⁵⁾で評価の高かったK-3、K-4(表1)を採用したパターンである。

規制代替③は規制代替①から車線数減少標識を除いたもの、規制代替④は規制代替③の道路工事中標識を車線数減少標識に変更し、標識車をK-4にしたものとなっている。最高速度標識は、これら3枚が同じ地点に設置されているのに対し、車線数減少標識と道路工事中標識に関しては、枚数、設置位置が異なっている

状況である。1章で述べた通り、本研究では、本標識の種類や枚数、配列に関する根拠の把握を試みるため、それぞれの警戒標識が運転者にどのように利用されているのかを明らかにする必要がある。そこで、法定標識の種類が不足しているため実際の工事規制区間に適用することはできないが、規制代替③、④を評価対象に組み込んだ。

表2 実験で使った規制情報パターン

標識車までの距離	標識										矢印板	標識車
	1.7km	1.3km	1.2km	1.0km	0.8km	0.7km	0.5m	0.4km	0.3km	0.2km		
規制現行	▲	●	▲	▲	●	▲	●	▲	▲		→	▲
規制代替①	▲	●	▲	▲	●	▲	●	▲	▲		→	▲
規制代替②	▲	●	▲	▲	●	▲	●	▲	▲		→	▲
規制代替③	▲	●		▲	●		●	▲			→	▲
規制代替④	▲	●		▲	●		●	▲			→	▲

2.4 走行条件

先行研究¹⁵⁾と同じく、DSの映像に図4の道路モデルを投影した。被験者には3.0kpから80km/hで走行開始し、道路状況に応じた運転を行ってもらった。走行終了は、工事区間が表示されている場合、標識車を通過した地点とした(2.4(2)で詳述)。

(1) 周辺車両条件

本研究では、周辺車両を追越車線に自車両前後2台ずつ設置した(図5)。周辺車両の存在によって被験者が車線変更をためらうのを防ぐため、自車両前後に余裕のあるギャップ(111.1m)をとった。また、自車両と周辺車両との相対位置を固定するため、周辺車両の速度は自車両と同じ速度とした。



図5 周辺車両配置

(2) 走行順序と規制情報パターンの設置場所

被験者が規制代替①~④を走行した際のデータ取得が実験の目的であるが、工事区間での走行を重ねることにより、下流側に工事区間が存在しており車線変更が必須であると被験者が予想し、標識や矢印板および標識車

の確認を怠る可能性がある。そこで、工事区間が存在しないダミー走行を2回実施した。したがって、実験では一人6走行してもらった。なお、走行順序に偏りが生じないよう、全被験者24名の規制代替①～④の走行順序を1、3、5、6走行目に均等になるように振り分け、ダミー走行を2、4走行目に設定した(表3)。

表3 走行順序

id	1回目走行	2回目走行	3回目走行	4回目走行	5回目走行	6回目走行
1	①	ダミー	②	ダミー	③	④
2	①	ダミー	②	ダミー	④	③
3	①	ダミー	③	ダミー	②	④
4	①	ダミー	③	ダミー	④	②
5	①	ダミー	④	ダミー	②	③
6	①	ダミー	④	ダミー	③	②
7	②	ダミー	①	ダミー	③	④
8	②	ダミー	①	ダミー	④	③
9	②	ダミー	③	ダミー	①	④
10	②	ダミー	③	ダミー	④	①
11	②	ダミー	④	ダミー	①	③
12	②	ダミー	④	ダミー	③	①
13	③	ダミー	①	ダミー	②	④
14	③	ダミー	①	ダミー	④	②
15	③	ダミー	②	ダミー	①	④
16	③	ダミー	②	ダミー	④	①
17	③	ダミー	④	ダミー	①	②
18	③	ダミー	④	ダミー	②	①
19	④	ダミー	①	ダミー	②	③
20	④	ダミー	①	ダミー	③	②
21	④	ダミー	②	ダミー	①	③
22	④	ダミー	②	ダミー	③	①
23	④	ダミー	③	ダミー	①	②
24	④	ダミー	③	ダミー	②	①

さらに、規制代替①～④の走行において、同じ場所に工事区間を設置すると、被験者が工事区間位置を予想する可能性がある。そこで、使用する道路モデル上において、道路条件(平面線形条件、勾配)が同様である同一曲線内の4地点を選定し、標識車の設置場所とした(図6)。そして、標識車に付随する標識と矢印板を表2の間隔で設置した(表4)。

また、この4つの設置場所において、規制代替①～④の出現回数が均等になるように組み合わせを24通り設定し、各被験者にランダムに振り分けた。

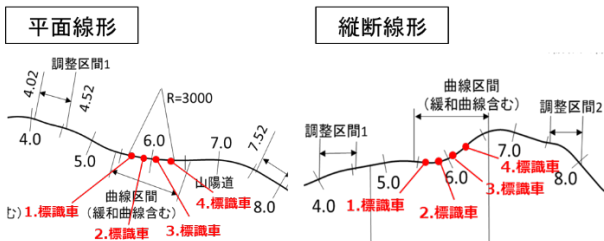


図6 標識車の設置場所

表4 標識、矢印板、標識車の設置開始場所

	標識	矢印板	標識車
1	3.95KP	5.45KP	5.65KP
2	4.15KP	5.65KP	5.85KP
3	4.35KP	5.85KP	6.05KP
4	4.55KP	6.05KP	6.25KP

2.5 実験手順

まず、被験者には、実験上の注意事項や個人情報の取り扱いなど重要事項を説明し、実験参加への同意書に記名、押印をしてもらった。その後、実験で使用する装置、実験の流れについて説明を行った。

次に、DSの操作および運転感覚に慣れるための練習走行を行った。まず、実験で使用する道路モデルの6.5kp～12.0kpを周辺車両が存在しない条件での走行をしてもらった。また、全被験者に同じ条件で練習してもらったために、実験担当者から車線変更やブレーキ・アクセルワークの指示を行い、それに従って走行してもらった。このとき走行音の音量に違和感がある場合は、違和感のない音量に調節した(以上、練習走行1)。一旦走行を停止した後、次は周辺車両が存在する条件で、もう一度、同じコースを最初から走行してもらった。ここでは実験担当者から練習走行1のような指示をせず、DSの運転に慣れたと感じるまで、被験者に自由に走行してもらった

(以上、練習走行2)。走行終了後、DS運転座席にて視線を計測する装置(ナックイメージテクノロジー社製アイマークレコーダーEMR-9、以下、EMR)を装着し、実験で使用する道路モデルの6.5kp～9.5kpを追越車線に周辺車両が存在する条件での走行をしてもらった。この走行では、工事区間における車線変更にも慣れてもらうために、走行車線に設置された規制現行の標識と矢印板および標識車を確認し、車線変更を行ってもらった(以上、練習走行3)。

その後、休憩をとり被験者の健康状態を確認し、実験走行を開始するに当たっての注意事項を教示した。次に、教示する条件を示す。

- ・ キープレフトでの走行を基本とする
 - ・ 壁や他の車両に衝突しないように走行する
 - ・ 走行速度の目安として、実験で使用する区間の制限速度(時速80km)を伝える
 - ・ 上記3点以外は、普段どおりの運転を心がけること
- 実験走行終了後、EMRを取り外し、休憩をとり被験者の健康状態を確認した後、実験走行に関するヒアリング(2.6(2)で詳述)を行った。

2.6 取得データ

(1) 運転挙動データ

走行開始からの経過時間[s]、走行車線、走行地点(kp)[km]、速度[km/h]、加速度[m/s²]、車線中心からのずれ[m]を0.1秒ごとDSにより記録した。分析の際は、これらを線形補間により0.001kpごとのデータに変換した。

また、EMRにより視線座標データを取得した。視線座標データを用いて、規制代替①、②における各標識の注視時間を算出し、運転手が工事区間を走行中に確

認する傾向が高い可能性がある標識を把握する(4章で詳述)。

(2)ヒアリングデータ

実験走行終了後、まずPCに録画した自身の走行映像をレビューし、実験走行の状況を思い出してもらった後、表5に示す質問に回答してもらった。

表5 実験走行に関するヒアリング

ヒアリング内容	回答形式
この先、車線変更が必要であると認識した対象(標識、矢印板および標識車)は何か	各パターンにおいて、対象を回答 各パターンにおいて、以下で回答
【工事が行われており、車線が規制されている】 【車線変更を行わなければならない】 という状況を把握するのに、 標識は適切な設置枚数であったか	1: とても多い 2: 多い 3: 適切 4: 少ない 5: とても少ない

3. 車線変更に影響を与える標識

本章では、運転挙動データやヒアリングデータを用いて、規制情報パターン間で比較評価を行い、車線変更の必要性を伝え、行動を促す効果がある標識を把握する。

3.1 分析指標

車線変更が必要であると判断した対象の位置および車線変更位置(図7)の二つの指標を用いて、車線変更に影響を与える標識を把握する。以下に二つの指標の定義を示す。

(1) 車線変更が必要であると判断した対象の位置

2.6(2)で述べた通り、実験走行に対するヒアリングにおいて、走行中に車線変更が必要であると判断した対象(以下、判断対象)を各パターンで回答してもらった。この判断対象の設置地点(kp)を車線変更判断対象位置とした(以下、判断対象位置)。なお、判断対象は各標識、もしくは矢印板および標識車のいずれかである。

(2)車線変更位置

DSには1/66秒ごとに、走行地点(kp)および車線中心と車両中心の距離(m、車線中心に対して右側に位置する場合は+値、車線中心に対して左側に位置する場合は-値)が記録されている。実験で使用した道路モデル(図4)は車線幅が3.5mであるため、走行車線中心と車両中心の距離が+1.75m以上になると、車両中心の位置が追越車線側に移動し、車線変更を行ったと判断できる。このようにして、車両中心の位置が追越車線側に初めて移動した時刻における走行地点(kp)を車線変更位置とした。

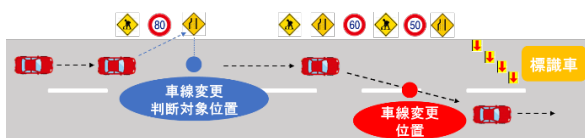


図7 車線変更判断対象位置、車線変更位置

3.2 車線変更に影響を与える標識

分析には、各被験者の判断対象位置と車線変更位置の二つの位置がプロットされた、横軸が標識車までの距離であるグラフを用いる(図8)。青点は判断対象位置、赤点は車線変更位置を示しており、同一被験者の2点は線で結んでいる。これ以降の分析では、特定の標識を「標識の種類」と「同一種類の標識の中で上流から数えて何枚目か」で示す。

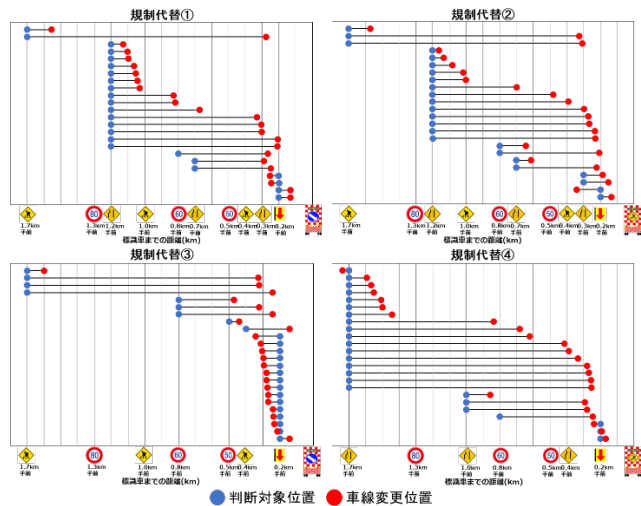


図8 判断対象位置、車線変更位置の分布図

表6 判断対象別の人数の比率

	判断対象別の人数の比率	
	車線数減少標識	その他
規制代替①	70.8%	29.2%
規制代替②	70.8%	29.2%
規制代替④	75.0%	25.0%

(1)車線変更の必要性を伝える効果がある標識

図8を見ると、規制代替①、②および④では、判断対象が車線数減少標識であった被験者が多いことが読み取れる。そこで、判断対象が車線数減少標識であった人数とその他の対象であった人数の比率の差について、規制代替①、②および④の各パターンでZ検定を行った。結果として、表6より、規制代替①、②において車線数減少標識では70.8%、その他の対象では29.2%であり、人数の比率に有意差が確認された(p<0.05)。また、規制代替④において車線数減少標識では75.0%、その他の対象では25.0%であり有意差が確認された(p<0.05)。よって、車線数減少標識を確認することにより、車線変更が必要であると判断する人数の比率が高いといえる。これは、車線数減少標識を設置していない規制代替③において、多くの被験者(62.5%)が矢印板および標識車を確認するまで、車線変更が必要であると判断できていないことから推察される。また、規制代替①、②および④の3パ

ターンにおいて、車線数減少標識を判断対象としている被験者の中で、1枚目の同標識を判断対象としている被験者の割合は83.3%、2枚目の同標識では13.0%、3枚目の同標識では3.7%であった。このことから、1枚目の車線数減少標識を判断対象とし、上流で車線変更が必要であると判断している被験者が多いことや、2枚目の同標識を判断対象としている被験者も一定数存在し、3枚目の同標識が判断対象となる可能性が低いことが分かる。

さらに、**図8**を見ると、規制代替①～④の各パターンにおいて、始端部近傍での判断対象は矢印板および標識車であることが分かる。3枚目の車線数減少標識と道路工事中標識に到達するまでに車線変更の必要性を判断できていない被験者の中で、矢印板および標識車を判断対象としている被験者の割合は88.9%と多くを占めており、3枚目の車線数減少と道路工事中標識は判断対象となる可能性が低いといえる。

(2)車線変更の行動を促す効果がある標識

規制代替①～④の各地点における車線変更を行った被験者の人数を比較するために、車線変更を行った被験者の累積人数、累積割合の推移図(**図9**)を用いて分析を行う。これ以降、標識車までの距離が〇kmの地点までに車線変更を行った被験者の累積割合を「〇km地点までの車線変更累積割合」と示す。

まず、**図9**を見ると、規制代替④は他のパターンと比べて1.3km地点までの車線変更累積割合が高いことが読み取れる。そこで、規制代替④と他のパターンにおける1.3km地点までの車線変更累積割合の差について、McNemar検定を行った。結果として、**表7**より規制代替④では29.2%、他のパターンでは4.17%であり、1.3km地点までの車線変更累積割合に有意差が確認された($p < 0.05$)。また、規制代替①、②は規制代替③と比べて、1.0km地点までの車線変更累積割合が高いことが読み取れる。そこで、規制代替①、②と規制代替③における1.0km地点までの車線変更累積割合の差について、McNemar検定を行った。結果として、**表7**より規制代替①では33.3%、規制代替③では4.17%であり、1.0km地点までの車線変更累積割合に有意差が確認された($p < 0.05$)。また、規制代替②では25.0%、規制代替③では4.17%であり、1.0km地点までの車線変更累積割合に有意傾向が確認された($p < 0.1$)。ここで、1枚目の車線数減少標識が規制代替④では1.7km地点、規制代替①、②では1.2km地点に設置されていることと、上述した分析結果から、1枚目の車線数減少標識を通り過ぎてから次の標識に到達するまでに車線変更を行った人数の割合が高いと考えられる。これにより、1枚目の車線数減少標識は車線変更の行動を促す効果があることが示唆された。

また、**図9**から各パターンにおいて、0.3km地点以降で車線変更を行った被験者の人数の割合が高いこと

が読み取れる。この割合は、規制代替①、②および④では41.7%、規制代替③では62.5%であり(**表7**)、始端部近傍で車線変更を行う被験者が多いことが分かる。0.3km地点以降で車線変更を行った箇所は規制代替間ではほぼ同様であり、車線数減少標識が表示されていない規制代替③に着目すると判断対象は0.2km付近の矢印板になっている。このことから、本研究で着目した「車線変更が必要であると判断した対象の位置」と「実際に車線変更を行わなければならないと判断した地点」とは異なることが推測される。つまり、上流側で車線変更が必要であると判断した場合、実際に車線変更を行わなければならない地点までは車線変更を保留していたと考えられる。保留は、判断を一旦止めることにも繋がりリスクが生じる可能性がある。しかし、工事規制区間で起こっている事故を防ぐには、早めの車線変更を促すことが対策の方向性の一つであることは間違いなく、このためには早めに車線変更の必要性を伝えることが重要である。今後、保留行動の有無による急ハンドルなどの車線変更挙動の違い、最長1分程度となる保留行動中の運転行動変化などについて精査する必要がある。

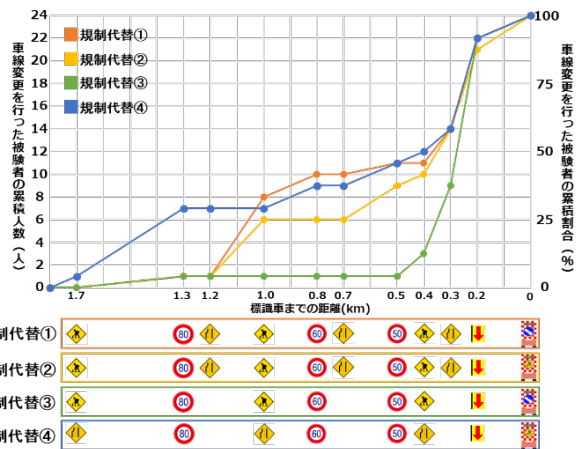


図9 車線変更を行った累積人数、割合の推移図

表7 各地点までの車線変更累積割合

	各地点までの車線変更累積割合		
	1.3km	1.0km	0.3km
規制代替①	4.17%	33.3%	58.3%
規制代替②	4.17%	25.0%	58.3%
規制代替③	4.17%	4.17%	37.5%
規制代替④	29.2%	29.2%	58.3%

4. 工事区間を走行中に確認される傾向がある標識

本章では、3章の結果を踏まえ、本標識のみを用いた始端部における規制情報の提供方法を検討するため、視線座標データを用いて、各標識の注視時間(以下、標識

注視時間)の中央値を比較することにより、運転手が工事区間を走行中に確認する傾向が高い可能性がある標識を把握する。ここで上述した通り、規制代替③、④は実際の工事規制区間に適用はできないため、規制代替①、②を対象に分析を行った。なお、走行中にEMRがずれる等視線データが正常に計測できていなかった被験者6名を分析対象外とした。

4.1 分析指標

以下に分析指標である標識注視時間の定義を示す。

EMRで取得した視線座標データから、被験者が走行中に各標識を注視した時間を算出し、標識注視時間とした。ここで、前方に設置されている標識を発見し、通り過ぎるまでの間に、視点は「標識」と「標識以外の注視対象」との間で移り変わる(図10)。この一連の過程で「標識」を注視している時間を合計し、標識注視時間とした。

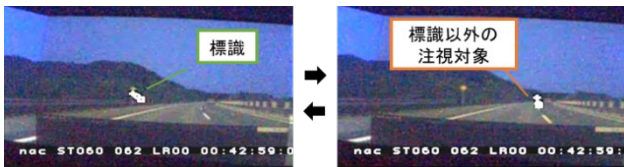


図10 視点の移動

4.2 標識注視時間の比較

図11に規制代替①、②における各標識の標識注視時間、表8に標識注視時間の中央値を示す。図11の各標識には標識車までの距離を付記している。まず、図11を見ると、規制代替①、②において最高速度標識の標識注視時間が長くなっていることが読み取れる。そこで、規制代替①、②における各標識の標識注視時間の中央値の差についてFriedman検定を行った。結果として、図11、表8より、規制代替①において1枚目の最高速度標識(4.03s)、2枚目の同標識(2.35s)と3枚目の道路工事中標識(0.93)、3枚目の車線数減少標識(0.95s)との間で標識注視時間に有意差が確認された($p < 0.05$)。また、規制代替②において1枚目の最高速度標識(3.15s)、2枚目の同標識(2.33s)、3枚目の同標識(2.52s)と3枚目の車線数減少標識(0.90s)との間で標識注視時間に有意差が確認された($p < 0.05$)。また1枚目の最高速度標識(3.15s)と3枚目の道路工事中標識(1.30s)との間で標識注視時間に有意差が確認された($p < 0.05$)。よって、工事区間走行中に運転手は最高速度標識をよく確認していると考えられる。

次に、図11、表8を見ると、規制代替①、②において1枚目の道路工事中標識の標識注視時間が、1枚目の最高速度標識に次いで長くなっていることが分かる。同様にFriedman検定を行ったところ、結果として、規制代替①において、1枚目の道路工事中標識(2.50s)と2枚目の車線数減少標識(0.88s)との間で、標識注視時間の差に有意傾向が確認された($p < 0.1$)。また、規制代替②において、1枚目の道路工事中標識(2.77s)と3枚目の車線数減少標識(0.90s)との間で、標識注視時間に有意差が確認された($p < 0.05$)。よって、工事区間を走行中に運転手は1枚目の道路工事中標識を確認する傾向があると考えられる。

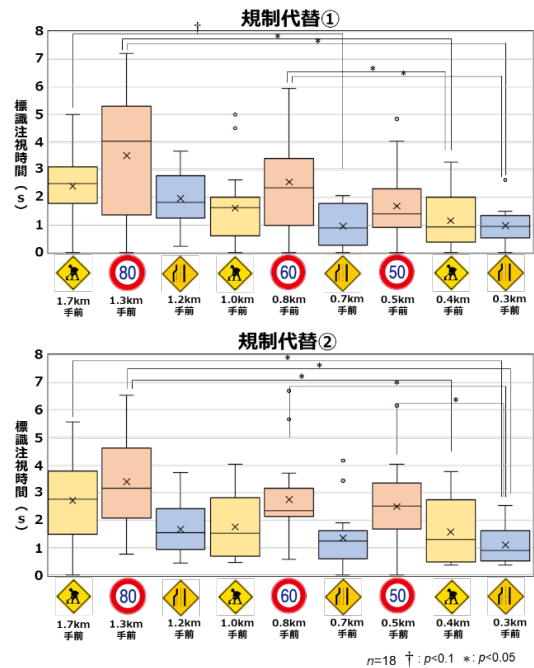


図11 規制代替①、②における標識注視時間

ここで、図11を見ると、規制代替①、②において1枚目の道路工事中標識の標識注視時間の最小値が0、つまり注視していない被験者がいることが読み取れる。1枚目の道路工事中標識を注視していない被験者は3名存在しており、3名とも他の標識は注視していたことを別途確認した。つまり、走行中に1枚目の道路工事中標識を見落とした可能性が考えられる。なお、2枚目以降にも標識注視時間の最小値が0となる場合が確認できる。これらは見落としの他に、それ以前の標識で情報を確認したため見なかったなど複数の理由が考えられる。この理由を特定するためには、注視時間

表8 標識注視時間の中央値

	標識注視時間の中央値(s)								
	1.7km	1.3km	1.2km	1.0km	0.8km	0.7km	0.5km	0.4km	0.3km
規制代替①	2.50	4.03	1.82	1.63	2.35	0.88	1.40	0.93	0.95
規制代替②	2.77	3.15	1.55	1.52	2.33	1.23	2.52	1.30	0.90

の解析が終了し、実験から時間が経過した時点で被験者に理由を思い出してもらう必要があるが、正確に思い出してもらえるか確証はない。この理由の特定については今後の課題とし、今回は注視時間から見落としを推定できる1枚目の標識について言及した。

5. 衝突事故低減に向けた規制情報提供の把握

本章では、3章と4章の結果を踏まえた客観的な評価に加え、設置枚数の適切性に関する主観的な評価により、設置する標識の種類や枚数、配列に関する根拠を把握する。そして、本研究と先行研究で得られた知見を整理し、始端部における衝突事故低減に向けた工事区間での規制情報提供を提案する。

5.1 標識の設置方法に関する客観的な評価

まず、3章では、車線数減少標識、特に1枚目には、車線変更の必要性を伝え、早めの行動を促す効果があることが示唆された。また、4章では、工事区間を走行中に運転手は最高速度標識、1枚目の道路工事中標識を確認する傾向があると示唆された。

上記の標識の設置順序について考える。先述した通り最高速度標識の設置地点は指定されていると考えられるため、車線数減少標識と道路工事中標識の設置順序に着目する。ここで、始端部に衝突する事故の対策としては、なるべく早くに車線変更の必要性を伝え、行動を促すことが重要である。このことは、高速道路会社のドライバーズサイト¹⁸⁾でも、標識を確認でき次第早めの車線変更をするよう呼び掛けている。よって、標識設置場所の最も上流部に車線数減少標識を設置するべきである。以上より、上流から車線数減少標識、道路工事中標識の順序で設置することが、衝突事故低減の観点からふさわしい順序であると考えられる。

ここで、車線数減少標識と道路工事中標識の設置枚数が1枚ずつであると、標識による規制情報を運転手が把握することができない可能性や、運転手が標識を見落とす可能性が考えられる。実際に、3.2(1)の判断対象位置に関する分析で示した通り、車線数減少標識が判断対象であった被験者の中で、2枚目の車線数減少標識が判断対象であった被験者が10%以上存在した。また、4.2の標識注視時間に関する分析で示した通り、1枚目の道路工事中標識を注視しなかった被験者が3名存在し、他の標識の確認状況から見落としの可能性が示唆された。以上を踏まえると、車線数減少標識と道路工事中標識を複数枚繰り返して設置する必要があると考えられる。

次に、繰り返して設置する枚数について考える。2枚目の車線数減少標識と道路工事中標識は上記の理由で設置する必要があると考えられるので、3枚目の各標識を設置する必要性を考える。ここで、3.2(1)より3枚目の車線数減少標識と道路工事中標識に到達するまでに車線変更の

必要性を判断できていない被験者の多く(88.9%)は矢印板および標識車を判断対象としている。よって、3枚目の車線数減少標識と道路工事中標識が判断対象となる可能性は低いと言える。また、4.2より3枚目の車線数減少標識と道路工事中標識は、最高速度標識と比べて相対的に短い時間ではあるが、それぞれ約1秒注視されていることが分かっている。本研究で問題視している、始端部での衝突事故を防止するためには、車線変更の判断をした上で、始端部直前では前方をよく注視してもらうことが重要であることは言うまでもない。よって、判断対象になる可能性が低く、かつ、運転者の前方注視を阻害する可能性がある、3枚目の車線数減少標識、道路工事中標識は削減することが妥当であると考えられる。

以上のことから、車線数減少標識と道路工事中標識をこの順序で2枚ずつ設置し、最高速度標識を規制現行に準拠した設置方法が、衝突事故低減に向けた標識による規制情報提供であると考えられる。

5.2 標識の設置枚数に関する主観的な評価

2.6(2)で先述した通り、実験走行に関するヒアリングにより、被験者が各パターンを走行中に「工事が行われており、車線が規制されている」「車線変更を行わなければならない」という状況を把握するのに、標識の設置枚数が適切であったかという問いに、「とても多い」、「多い」、「適切」、「少ない」、「とても少ない」の5段階で回答してもらった。その結果、規制代替①、②の両方、もしくは片方を「多い」、または「とても多い」と評価し、規制代替④を「適切」と評価している被験者が半数以上(54.2%)を占めていた(表9)。

表9 設置枚数の適切性の集計結果

	グループ1	グループ2	グループ3	グループ4	グループ5
規制代替① 規制代替② (標識枚数9枚)	多い、 とても多い	適切	多い	適切	とても多い
規制代替④ (標識枚数6枚)	適切	少ない	少ない	適切	多い
	13人	7人	2人	1人	1人

現行の設置枚数を支持する人の存在、被験者数、被験者属性等を考慮すると、これが工事区間を走行する運転手にとっての多数派の意見だと言い切ることはできないが、少なくとも本研究の範囲では、規制現行の標識の設置枚数から1~3枚ほど削減した方が良いという意見が大勢を占めていると捉えることができる。5.1で導出した標識の設置方法は、規制現行の標識から設置枚数を2枚削減したものとなっている。よって、客観的な評価だけでなく、運転手の主観的な評価からも適切な規制情報提供であると考えられる。

5.3 衝突事故低減に向けた規制情報提供

3.2 の車線変更への影響に関する分析より、始端部近傍では、車線変更の判断対象が矢印板および標識車になることが多く (88.9%)、かつ4割から6割の被験者が始端部近傍で車線変更を行っていたことから、矢印板および標識車が車線変更に与える影響は大きいと考えられる。よって、先行研究で早めの車線変更を促すことが示されている K-3 の標識車を設置することが衝突事故低減の観点から妥当であると考えられる。よって、5.1 で導出した標識と K-3 を組み合わせた規制情報提供 (図 12) が始端部での衝突事故低減に期待できるといえる。

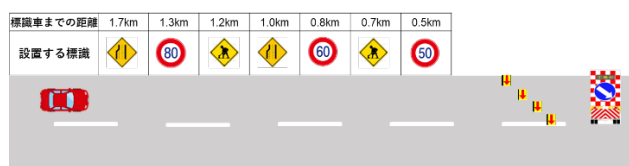


図 12 衝突事故低減に向けた規制情報提供

6. おわりに

本研究は、始端部における衝突事故低減に向けた工事区間における、規制情報の提供方法の提案を本研究の最終的な目標とし、その第一段階として DS を用いた室内走行実験を実施した結果に基づき、本標識の種類や枚数、配列に関する根拠の把握を行った。そして、本研究と先行研究で得られた知見を整理し、本標識のみを用いた、始端部における衝突事故低減に向けた規制情報の提供方法を提案した。以下に、本研究で得られた成果を示す。

- 車線数減少標識、特に1枚目は車線変更の必要性を伝え、早めの行動を促す効果があるといえる。また、最高速度標識、1枚目の道路工事中標識を運転手は確認する傾向があると考えられる。
- 運転手が規制情報を把握できない可能性を考慮し、車線数減少標識、道路工事中標識を複数枚設置する必要がある。この時、3枚目の各標識は判断対象となる可能性が低く、始端部直前での運転手の前方注視を阻害する要因となる可能性があるため、削減することが妥当であると考えられる。よって、車線数減少標識、道路工事中標識をこの順序で2枚ずつ設置し、最高速度標識を現行の設置方法に準拠し設置することが根拠に基づいた標識による規制情報提供であると考えられる。これは、設置枚数の適切性に関する主観的な評価からも妥当であるといえる。
- 始端部近傍では、車線変更の判断対象が矢印板および標識車になることが多く、かつ始端部近傍で車線変更を行う被験者が多いことから、矢印板および標識車は、早めの車線変更を促す効果がある K-3 が衝突事故低減の観点から妥当である。よって、導出した標識と K-3 を組み合わせた規制情報提供が始端

部での衝突事故低減に期待できるといえる。

今後は、本研究での提案に、法定外看板、補助標識を加えた評価を行う予定である。また、本研究では走行車線規制を想定して規制情報提供の提案を行ったが、この提案が追越車線規制時にも効果的か検証する必要がある。

参考文献

- 1) 警察庁：交通事故発生,
https://www.npa.go.jp/publications/statistics/koutsuu/index_jiko.html (最終閲覧日：2024年1月6日)
- 2) 国土交通省：自動車：自動車局関係予算,
https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr1_000026.html (最終閲覧日：2022年1月6日)
- 3) 公益財団法人交通事故総合分析センター：衝突被害軽減ブレーキ (AEB 装置) の対四輪車追突事故低減効果の分析結果,
<https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku/koureiuntan/menkyoseido-bunkakai/3/kakusyu-siryuu/4.pdf> (最終閲覧日：2024年1月6日)
- 4) NEXCO 中日本：2021 年における交通死亡事故の発生状況について,
https://www.cnexco.co.jp/images/press_conference/198/29790010461f0977d1a9c8.pdf (最終閲覧日：2022年5月11日)
- 5) トヨタ自動車：YARIS HEV 取扱説明書,
https://manual.toyota.jp/yaris/2207/hev/ja_JP/contents/home.php (最終閲覧日：2024年1月6日)
- 6) 日産自動車：NOTE e-POWER 取扱説明書,
https://www.nissan.co.jp/SP/OM/NOTE/2210/manual_t00um6xj5a.pdf (最終閲覧日：2024年1月6日)
- 7) 山本隆・中島信行・吉川 貴司：高速道路の工事規制材に対する先進運転支援システムの反応確認実験, 交通工学論文集, 10 巻, 1 号, pp. 27-31, 2024.
- 8) 飯田克弘・和田侃樹・丸橋慧士：工事規制区間始端部での情報提供検討に向けた ADAS 作動条件比較, 交通工学論文集, 10 巻, 1 号, pp. 58-65, 2024.
- 9) 鈴木桂輔・山田喜一：ドライバのシステム依存による不安全行動を考慮した衝突被害軽減ブレーキの有効性評価, 計測自動制御学論文集, Vol.42, No.7, pp.822-828, 2006.
- 10) 大谷亮・宇野宏・飯星明：運転支援機能への信頼感がドライバ行動に及ぼす影響に関する基礎的研究, 自動車技術会 学術講演会前刷集, No. 99-04, pp. 15-20, 2004.
- 11) 安部原也・伊藤誠・田中健次：誤警報および不警報が前方衝突警報システムに対するドライバの信頼と運転行動に与える影響, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 第 8 号, pp. 565-571, 2006.

- 12) 伊藤誠：負荷軽減のための運転支援システムに対する過信をもたらす要因の研究，計測自動制御学論文集，Vol. 45, No. 11, pp. 555-561 2009.
- 13) 上畑 旬也・櫻井 光昭・稲吉 龍一・大宮 博之・深井 靖史・野中 康弘・赤羽 弘和：高速道路の工事車線規制始端部における交通事故発生状況分析，交通工学研究発表会論文集，pp.73-79，2022.
- 14) NEXCO 東日本，NEXCO 中日本，NEXCO 西日本：高速道路上での工事規制内への進入事故が多発しています！～事故原因の約9割が前方不注意！前をしっかりと見て、運転に集中して！～
https://www.c-nexco.co.jp/corporate/pressroom/news_release/6017.html
1 (最終閲覧日：2024年11月17日)
- 15) 飯田克弘・丸橋慧士・大田一成：事故リスク低減に向けた工事区間始端部の規制情報デザイン，交通工学論文集，9巻，2号，pp.61-68，2023.
- 16) 関東地方整備局：道路工事保安施設設置基準，
https://www.ktr.mlit.go.jp/road/shihon/road_shihon00000054.html (最終閲覧日：2024年2月3日)
- 17) 大阪府都市整備部：道路工事保安施設設置基準，
<https://www.pref.osaka.lg.jp/attach/4811/00387444/douroukoujihoannsisetutuchikijyunnR4.3.pdf> (最終閲覧日：2024年2月3日)
- 18) ドライバーズサイト：安全に高速道路をご利用いただくための取り組み，<https://www.c-nexco.co.jp/images/news/4854/932b0ddcb6407544059d721086b09dbf.pdf> (最終閲覧日：2024年2月3日)