

ドライビングシミュレータを用いた ワイヤロープ区間の安全対策の評価

阿部舜哉¹・浜岡秀勝²

¹学生会員 秋田大学 大学院理工学研究科土木環境工学コース (〒010-8502 秋田市手形学園町1番1号)

E-mail: m8023801@s.akita-u.ac.jp

²正会員 秋田大学教授 理工学部土木環境工学コース

高速道路において、対面通行となる暫定2車線区間の安全対策として、ワイヤロープが設置されている。ワイヤロープの設置により、対向車線への飛び出し事故件数は減少し、その効果が確認されている。しかしその一方で、ワイヤロープへの接触事故が増加している。本研究では、ワイヤロープへの接触事故を減らす安全対策の効果について、安全対策を設置していないコースと7種類の安全対策を設置したコースを作成し、ドライビングシミュレータを用いた実験を実施した。アンケート調査や運転行動の分析から、既存の安全対策よりも新たに考案した誘導線の安全対策は、ワイヤロープへの接触事故を減らす効果が高いことが明らかとなった。

Key Words : driving simulator, expressway, wire rope, road safety, safety measurer

1. 研究背景と目的

高速道路の対面通行となる暫定2車線区間では、安全対策のため、中央分離帯にワイヤロープが設置された区間がある。国土交通省の調査^{注1)}によると、ワイヤロープ区間における対向車線への飛び出し事故件数は、令和3年12月までに0件であった。平成28年度と同じ区間における対向車線への飛び出し事故件数157件に比べると、事故件数の大きな減少を確認できる。また、その際に発生した死亡事故に関しても、平成28年度は9件であったのに対し、令和2年度は0件であった。

しかしその一方で、課題として、ワイヤロープの設置が年々増加するにつれ、ワイヤロープ自体に接触する事故が増加している。平成29年度のワイヤロープ設置区間の全長115kmで発生したワイヤロープへの接触事故件数は240件であった。これに対し、令和2年度のワイヤロープ設置区間の全長565kmで発生したワイヤロープへの接触事故件数は540件であった。ワイヤロープへの接触事故が発生してしまうと、接触した車両は自走できず、その区間は通行止めとなる。その区間を利用したいドライバーは、一般道を走行しなければならず、ドライバーへの影響が大きくなる。秋田県では、仁賀保ICから岩城ICの区間で、令和元年の8月から10月の間に、11件

の通行止めを伴う事故が発生しており、これは、前年比で4件の増加である^{注2)}。そこで、本研究では、ワイヤロープへの接触事故を防ぐ安全対策について検討する。

2. 実験概要

(1) 実験環境

ワイヤロープへの接触事故を防ぐ安全対策を考察するため、実験により様々な対策の効果を評価する。このとき、実際の高速道路での実験は、安全対策の設置に多大な時間と費用がかかるのみならず、実交通への影響も考えられるため、安全上好ましくない。ゆえに、対策による効果を確認するためには、仮想空間での実験が有効である。そこで、ドライビングシミュレータ(以下、DS)を用いて走行実験を実施した。

本研究で用いたコースは、全長7kmであり、その中にラバーポール区間とワイヤロープ区間が交互に3回ずつ出現する(図-1)。ここで、すべての走行区間が直線部の場合、運転開始からハンドル操作の必要がなくなるため、車両位置の分析を十分に行えない。したがって、コースの道路線形は、曲率半径800mの左右カーブを含むものとした。

DS では、時間や気象条件も任意の状況に設定できる。今回の実験では、安全対策の効果を確認することが目的であるため、時間帯は昼間、気象条件は晴れとした。

また、運転中、ドライバーの視線を様々な箇所に誘導するため路肩に標識を設置したり、ワイヤロープ区間を走行中に対向車とすれ違うように DS で設定を行った。

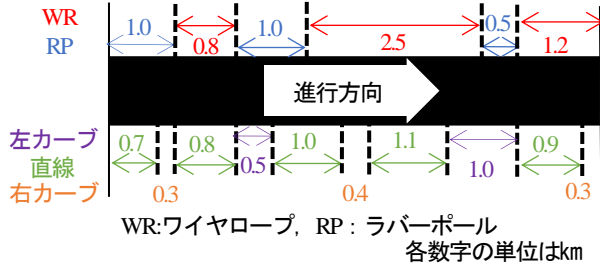


図-1 走行コースの内訳

(2) 安全対策の設定

本研究では、ワイヤロープ区間に設置した安全対策の有無による実験結果の違いから、安全対策の効果を検討する。安全対策に関しては、既存の安全対策を設置したコースを 6 種類、独自対策を設置したコースを 1 種類作成した。コースの様子に関しては図-2 に示す。

本研究で設置した 7 つの安全対策について述べる。第一は、ワイヤロープをつなぐ支柱を緑色に変更したもの（以下、緑支柱）である。これは、通常時と比較し、支柱を緑色に変更することで、支柱を目立たせ、ワイヤロープへの意識を向けさせる目的の安全対策である。第二は、注意喚起の標識を路肩に設置した安全対策である。これは、漫然運転になりやすい高速道路において、脇見運転による事故を発生させないようにドライバーへの注意を促す安全対策である。第三に、同様の目的で注意喚起するための文字を道路上に設置した安全対策も設定した。第四は、イメージハンプの安全対策である。これは、立体に見えるハンプを中央の白色破線の代わりに設置し、ワイヤロープへの意識を向けさせる目的の安全対策である。第五は、ドット線の幅を太くした安全対策である（以下、ドット線）。これは、本来中央の白色破線は、幅 15 cm であるが、ワイヤロープ区間では、その幅を 45 cm にすることでワイヤロープへの意識を向けさせる目的の安全対策である。第六は、ワイヤロープに反射板を設置したの安全対策である（以下、反射板）。これは、ワイヤロープの一部に反射板を設置し、通常よりもワイヤロープを目立たせ、意識を向けさせる目的の安全対策である。反射板は 5 本あるワイヤロープのうち、1 番上と上から 3 番目のワイヤロープに設置した。また、反射板 1 つの長さは、15m であり、35m 間隔で設置した。最後は、誘導線の安全対策である。この対策は、道路中央の白色破線の外側から 120cm 離れた位置から幅 20cm の緑色

の線をワイヤロープ区間に設置した。この誘導線は、運転手が走行中自分の位置を誘導線に合わせながら走り、走行位置の安定とワイヤロープから離れて走行する目的のために設置した安全対策である。しかし、この誘導線は実際にはない安全対策であるため、何の情報もないドライバーが意図した走行をするのは困難である。そのため、誘導線の位置に到達する前に、路側の標識によって誘導線を説明することにした。

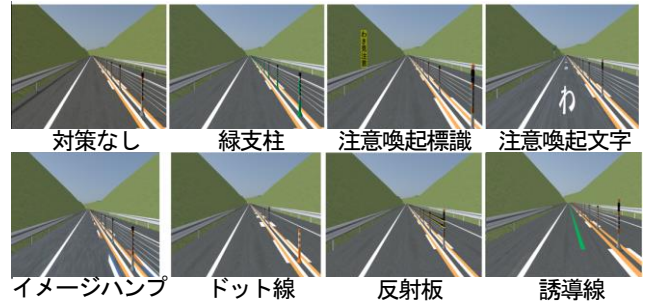


図-2 走行コースの様子

(3) 実験概要

2022 年 11 月 29 日から 12 月 9 日の間に、被験者 31 人に、8 回ずつ、合計 248 回の走行実験を行った（表-1）。被験者は 20 代から 60 代の男女である。実験の様子に関しては、図-3 に示す。

実験において、普段運転する自動車と DS の操作感異なる恐れがあるため、実験前に事前走行を実施し、ハンドルやアクセル操作等を被験者に確認してもらった。走行実験では、ワイヤロープ区間の規制速度にならない、被験者に 70km/h の走行速度を伝え、運転に無理のない範囲での速度の維持と安全運転を指示した。実験ではラバーポール区間を 50 km/h で走行している状態から走行を開始し、被験者自らが加速して走行する設定とした。

本実験における走行順序としては、全被験者共通で、1 回目の走行が対策なしのコース、2 回目以降の走行は、安全対策を設置したコースを走行した。安全対策を設置したコースの走行順序は、運転疲労や DS への慣れによる評価の違いを除くため、被験者ごとにランダムに入れ

表-1 実験概要

実験場所	秋田大学 総合研究棟 5 階
実験日時	2022 年 11 月 29 日～12 月 9 日
被験者	31 名 (20～60 代の男女)
走行回数	一人あたりの実験回数 8 回、 合計 248 回
走行距離	走行 1 回あたり 7km
取得データ	DS 出力データ(走行速度, 走行位置, 走行距離), 目線カメラ, アンケート



図-3 実験の様子

替えた。また、同様の理由から、全 8 回の実験走行のうち、半分の 4 回の実験走行を終了した段階で 5 分ほどの休憩をとっている。

さらに、被験者の視線を記録するため、目線カメラを使用した。目線カメラは、ハンドルの上部分に設置した(図-4)。目線の設定は、1 回目と休憩終了後の 5 回目の実験走行前に設定し、目線の記録を取得した。

本実験では、走行位置、走行距離、走行速度などのデータを DS から取得した。これらのデータより、被験者の運転行動を分析する。また、実験時はアンケート調査も実施し、各対策や実験全体に関する被験者の主観評価を確認した。安全対策の有無や各安全対策ごとに主観評価した結果を比較して、各安全対策に関する運転中の効果に関する評価を行う。



図-4 目線カメラの位置

3. アンケート調査結果

(1) アンケート調査の概要

安全対策の効果を評価する上で、客観的な運転行動のデータ以外に、ドライバーの感じる主観的な評価も重要である。そのため、実験の際に、アンケート調査を実施した。アンケート調査は、各安全対策を設置したコース走行後と全 8 回の走行実験終了後に実施した。各安全対策を設置したコース走行後のアンケート調査では、走行中の安全対策への気づき、設置している安全対策の意味を理解していたかに関して被験者に回答してもらった。

また、全 8 回の走行実験終了後のアンケート調査では、各安全対策を比較するアンケートやシミュレータ自体に関するアンケート、個人に関するアンケートに回答してもらった。質問の一例を表-2に示す。各安全対策の評価の結果を比較し、その効果を検討する。

表-2 アンケート調査の質問の一例

	質問
各安全対策 コース走行後	走行中対策に気づきましたか
	対策は意味が何かわかりますか
全コース 走行後	事故に気を付けて走行できた安全対策はどれですか
	ワイヤロープから離れていると感じた対策はどれですか

(2) 安全対策の効果

各安全対策を設置したコースの走行後に実施したアンケート調査の結果からの効果を検討する。走行中にドライバーが安全対策を認識し、その結果ワイヤロープへの接触事故を減らす効果があるか確認する必要がある。加えて、ドライバーが安全対策に対し、理解して走行していたかも確認する必要がある。そこで、「走行中、安全対策に気づいたのか」を、また安全対策に気づいた場合には、「その安全対策が設置されている意味がわかるか」の調査をした(図-5)。その結果、注意喚起文字は、すべての被験者が走行中に認識し、対策の意図を理解して走行したことを確認できた。また、誘導線、注意喚起標識、緑支柱、イメージランプの安全対策も 8 割以上の被験者が認識し、安全対策の意図を理解し走行したことが確認できた。したがって、この 5 つの安全対策は、ドライバーが走行中に認識しやすく、意図を理解してもらいやすい効果がある。

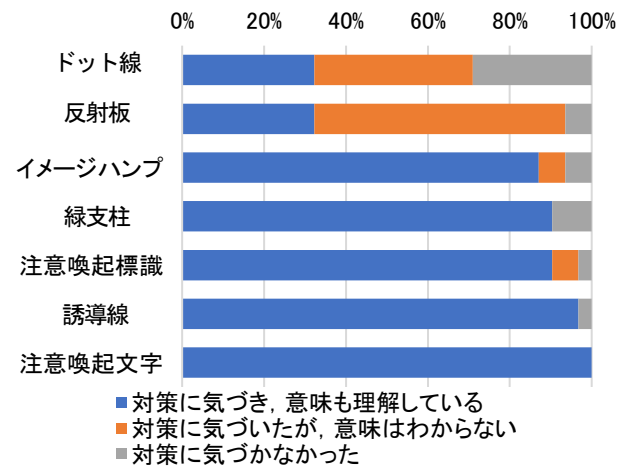


図-5 安全対策に関する認識具合

しかしその一方で、反射板やドット線は、運転中に認識されず、意図を理解してもらえない可能性が考えられる。この原因としては、被験者の運転頻度に関係するとも考えられる。全コース走行後のアンケートの際に、被験者の個別属性を調査した(図-6)。その結果、年に数回の運転頻度であると回答した被験者が 9 名、月に数回の運転頻度であると回答した被験者が 8 名であった。つ

まり、日頃運転しないと考えられる被験者が多かった。普段運転しないため、安全対策について見たことがない、知らないと考えられ、この原因がこのような結果となったのではないかと考えられる。

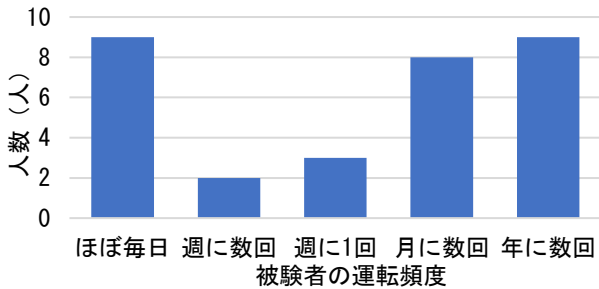


図-6 被験者の日頃の運転頻度

次に各種安全対策を設置したコースの走行後に実施したアンケート調査の結果からの効果を検討する。安全対策を設置していないコースと比較し、ワイヤロープから離れて走行していたと感じた安全対策を複数回答可能で回答してもらった (図-7)。その結果、唯一誘導線のみが全被験者の過半数となる 16 人以上が、安全対策を設置していない場合と比較し、ワイヤロープから離れて走行したと感じた安全対策であると確認できた。そのことから、ドライバーの主観的評価の観点から誘導線は、ワイヤロープから離れて走行する効果があることを確認できる。

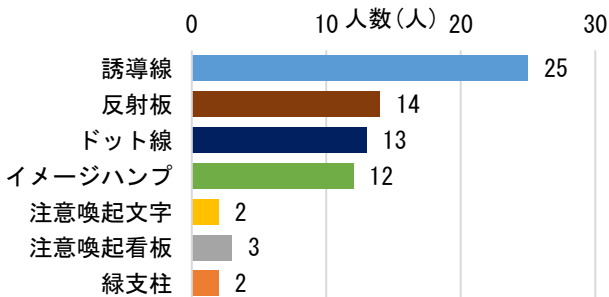


図-7 ワイヤロープから離れて走行したと感じた安全対策

また、同様に全コース走行後のアンケート調査として、事故に気を付けて走行したコースを並び替えて回答してもらった (図-8)。その結果、4 割以上の被験者が最も事故に気を付けて走行したコースを誘導線と回答した。これより、誘導線は、走行中のドライバーへ事故に対し、気をつけさせる効果があり、事故を減らす効果があると考えられる。さらに、このアンケート調査から全コースの評価点を求めた。評価点に関しては、最も事故に気を付けて走行したと回答したコースを 8 点、最も事故に気を付けて走行できなかったと回答したコースを 1 点とし、その平均値としている。その結果、誘導線の評価点は、6.06 点であり、最も評価点が高いことから、誘導線は、

最も事故に気を付けて走行しやすい効果があると考えられる。

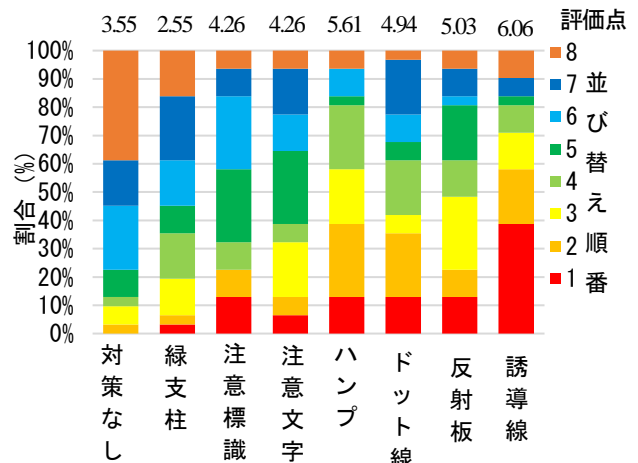


図-8 事故に気を付けて走行したコースとその評価点

4. 安全対策の運転行動への影響

(1) 分析の概要

ワイヤロープ設置区間における安全性を評価する視点として、車両の位置が「ワイヤロープから離れている状況」や「車線中央にとどまる状況」が考えられる。本研究では、ワイヤロープへの接近が危険な状態であると考え、前者の視点に立ち分析を行うことにした。

実験で用いた DS では、走行位置、走行速度、走行時間などの使用状況を取得した。本研究では、道路横断方向の走行車線の走行位置を分析に用いるため、中央のは白色破線の外側からの走行車の右タイヤまでの隔離から評価する。走行コースは、ラバーポール区間とワイヤロープ区間があるが、安全対策の評価を行うため、ワイヤロープ区間の走行位置のデータのみを分析対象とする。また、直線とカーブ区間それぞれ分け、評価する。

(2) ワイヤロープ区間の直線部の運転行動

ワイヤロープ区間の直線部における走行位置について、安全対策の有無や各種安全対策による比較を行う。安全対策を設置していない場合と各安全対策ごとの走行位置の分布を 10cm ごとに集計した (図-9)。その結果、誘導線は、他と比較して、ワイヤロープから離れて走行した傾向が見られ、残りのコースは似たような分布形状となった。この傾向を詳しく分析するため、各被験者の走行コースごと平均走行位置を図-10 に示す。その結果、安全対策を設置していない場合の平均走行位置は、69.6 cm であった。この平均走行位置と各安全対策の平均走行位置を比較すると、誘導線の平均走行位置は 98.2 cm、ドット線の平均走行位置は 95.0 cm であった。これら 2 つの安全対策は、安全対策を設置していない場合よりもワイヤ

ロープから離れて走行する効果が特に高いことを確認できる。また、誘導線やドット線の安全対策ほどではないが、イメージハンブと反射板の安全対策に関しても安全対策を設置していない場合よりもワイヤロープから離れて走行する効果が確認できた。また、平均走行位置に関して、平均値の差の検定を行い、各コースの有意差を確認した。その結果、誘導線は、他の7つのコースとのp値が0.05未満であったことより、有意差があることが確認できた。また、ドット線も同様に他の7つコースとのp値が0.05未満であったため、有意差を確認できた。

次に、走行位置の分散を安全対策の有無や各安全対策ごとに比較を行う。走行位置の分散は、走行中の安定具合を表し、分散の値が小さいほど走行位置の安定した走行をしたと解釈できる。走行位置の分散を、図-11に示す。その結果、安全対策を設置していない場合の平均分散は、782.1 cm²であった。各安全対策との平均分散を比較すると、誘導線が441.4 cm²、イメージハンブが460.1 cm²、ドット線が459.6 cm²、反射板が461.8 cm²であった。これら4つの安全対策は、安定した走行をしやすく、事故になりづらい安全対策であることが確認できた。また、平均走行位置と同様に平均値の差の検定を行った。その結果、誘導線は、他の7つのコースとのp値が0.05未満であったことより、有意差があることが確認できた。また、イメージハンブ、ドット線、反射板は、互いの安全対策とのp値が0.05以上であり、有意差は確認できなかった。

これまでの運転行動の分析は、全被験者を合わせた平均走行位置や分散に関する分析であった。しかし、毎日のように運転している人と年に数回しか運転しない人では、運転することに関する経験量が大きく異なる。そのため、運転頻度が異なると差が出ると考えられる走行中の分散を運転頻度別に分析を行う。他の視点として、あまり運転しないドライバーが事故にあいやすい可能性が高いとの考えからである。

まず、走行中の直線区間の分散について、被験者を運転頻度別に分けて分析をする(図-12)。その結果、運転頻度が年に数回である被験者は、ほぼ毎日運転している被験者に比べ分散が大きい傾向がみられた。つまり、普段あまり運転しないと考えられるドライバーは、走行位置の安定しない運転をする可能性があることが確認された。しかし、その中でも誘導線、イメージハンブ、ドット線、反射板は、普段運転しない被験者の場合でも走行位置の分散が大きくなりなく、普段運転しないと考えられるドライバーにも効果のある安全対策であることが確認できた。さらに、被験者の運転頻度別に分けそれぞれ走行位置の分散に関する平均を求めた(図-13)。その結果、全安全対策に関して、被験者の運転頻度が少なくなるにつれ、分散の値が大きくなり、不安定な走行をする傾向にあることが明らかとなった。また、運転頻

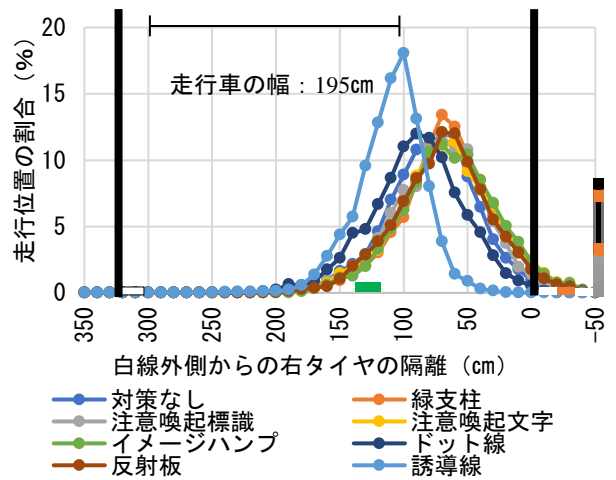


図-9 直線区間の走行位置の分布

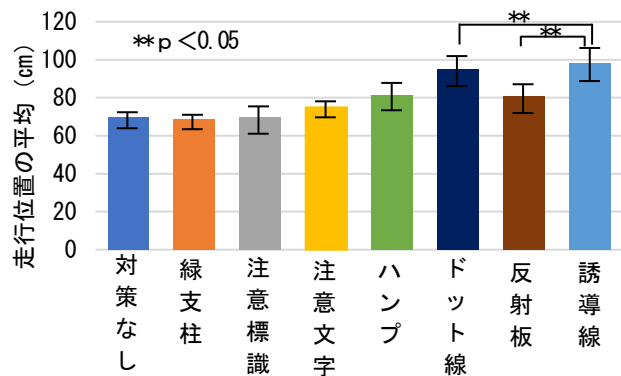


図-10 各被験者の平均走行位置

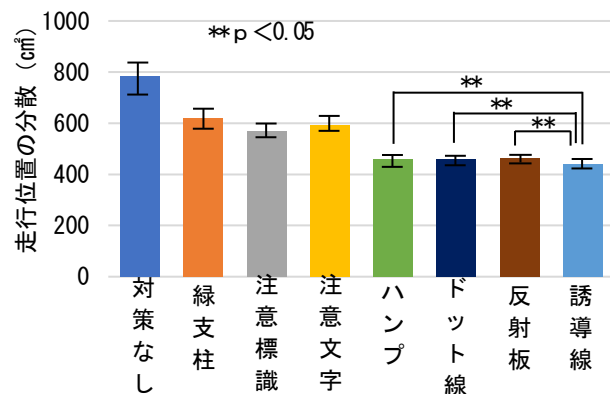


図-11 各被験者の走行位置の分散

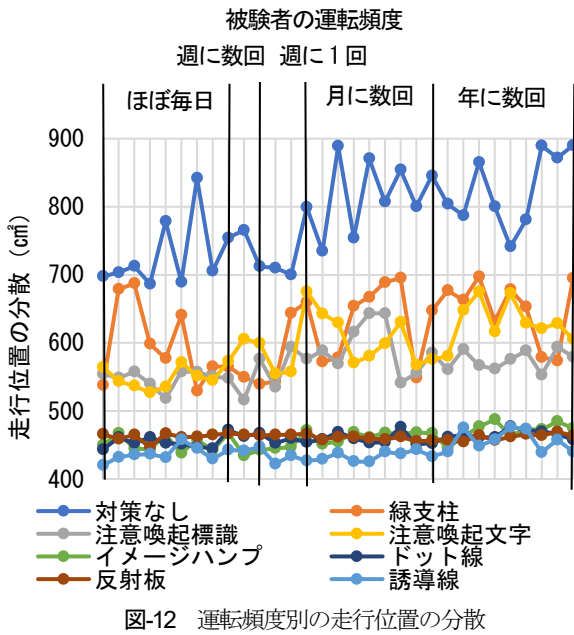


図-12 運転頻度別の走行位置の分散

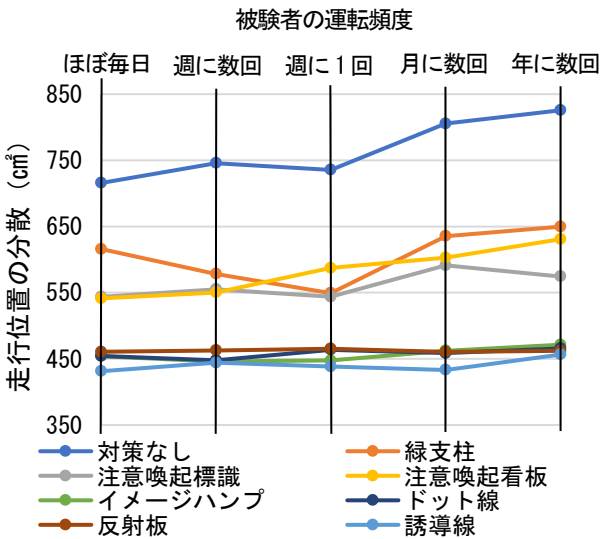


図-13 運転頻度別の走行位置の分散の平均

度に関係なく、対策なしと緑支柱の安全対策は不安定な走行をする傾向が確認された。一方で他の6つの安全対策は、日頃あまり運転しないドライバーでも走行位置が安定し、安全に走行する効果が確認できた。その中でも特に反射板はどの安全対策と比較しても、安定した走行を可能とし、事故を発生させにくい安全対策であることが確認できた。

(3) ワイヤロープ区間の平面曲線部の運転行動

直線区間と同様に平面曲線部の走行時の運転行動に関して分析する。まず、左カーブ時の走行位置の分布を図-14、右カーブ時の走行位置の分布を図-15に示す。その結果、直線区間のときほどの特徴が左右両カーブ区間の走行位置の割合からは見られなかった。そのため、左右両カーブ区間の平均走行位置と直線区間の平均走行位

置を比較する(図-16)。その結果、左カーブ区間を走行する際は、ワイヤロープに接近して走行し、右カーブ区間では、ワイヤロープから離れて走行する結果となった。本実験における評価の視点から、左カーブ区間の走行は直線や右カーブ区間よりも危険な状況であると考えられる。また、右カーブ区間はもっとも安全な状況であることが確認できた。そのため、危険な状況である左カーブ区間の走行位置を詳しく分析する必要がある。

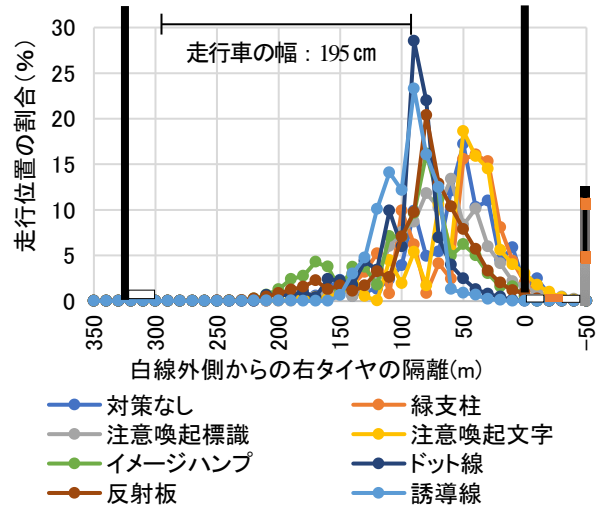


図-14 左カーブ区間の走行位置の分布

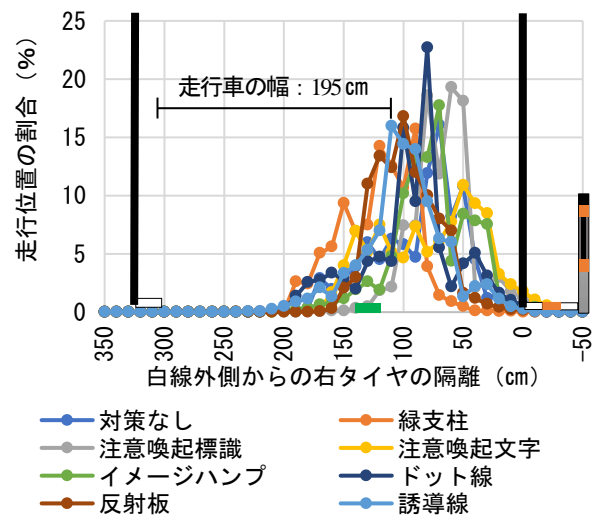


図-15 右カーブ区間の走行位置の分布

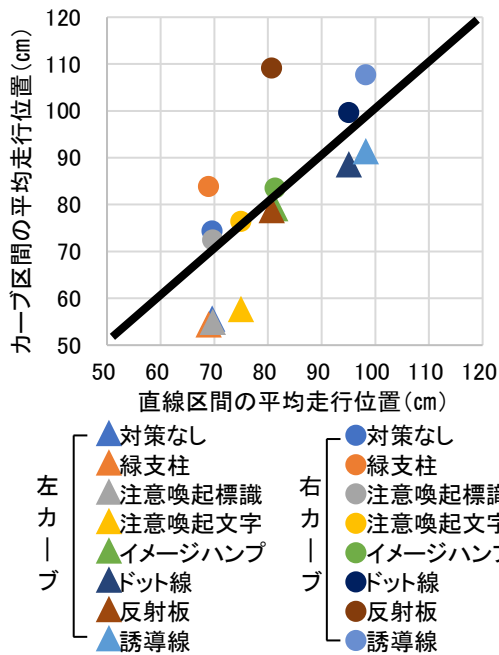


図-16 直線とカーブ区間の平均走行位置の比較

左カーブについてさらに分析を行う。イメージハンブや反射板の安全対策は直線区間とカーブ区間の走行位置の差があまりなく、カーブ区間においてワイヤロープへの接触事故を減らす効果が確認できた。また、誘導線やドット線を太くする安全対策も比較的左カーブ区間の際にワイヤロープに接近しすぎない安全対策であることが確認できた。

また、左カーブ区間の走行位置の分散に関して、直線区間と同様に対策による走行位置を安定させる効果を分析する(図-17)。その結果、左カーブ区間の安全対策を設置していない場合の分散は、1119cm²であった。安全対策を設置していない場合の分散と各種安全対策の分散を比較すると、イメージハンブが908cm²、ドット線が837cm²、反射板が878cm²、誘導線が840cm²であり、直線区間と同様に分散の値が左カーブ区間では、小さく、走行位置を安定させる効果があり、事故を発生させにくい安全対策であることが確認できた。

なお、右カーブ区間の走行位置の分散に関しても、直線、左カーブ区間と同様に、イメージハンブ、ドット線、反射板、誘導線は、分散の値が右カーブ区間で小さく、走行位置を安定させる効果があり、事故を発生させにくい安全対策であることを確認している。また、この分散に関して、平均値の差の検定を行い、各コースの有意差を確認した。その結果、誘導線は、ドット線以外の6つのコースとのp値が0.05未満であったことより、有意差があることが確認できた。しかし、ドット線とのp値は0.05以上となり、有意差があるとは言えない結果となった。また、ドット線は、誘導線以外のコースとのp値が0.05未満であることより、有意差を確認できた。

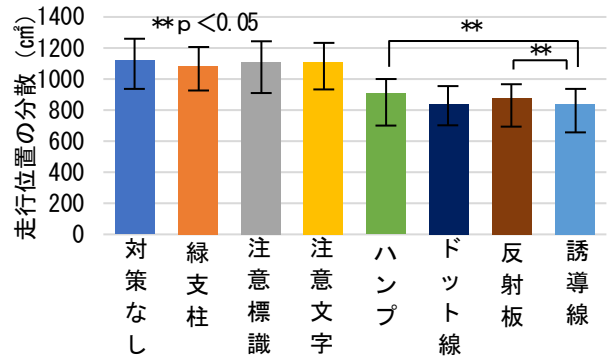


図-17 左カーブ区間の走行位置の分散

5. まとめ

ワイヤロープは、現在対向車線への飛び出し事故を減少させるものとして、その効果が十分に確認されている。しかしながら、ワイヤロープの設置が年々進むにつれて、ワイヤロープ自体に接触する事故が増加しているのが、ワイヤロープの現在の課題であった。そこで、本研究では、現在設置されている既存の安全対策と新たに考案した安全対策のワイヤロープへの接触事故を減らす効果を検討した。

検討方法としては、DSで安全対策を再現し、20代から60代以上の男女31名を対象とした走行実験を実施した。実験の際に実施したアンケート調査と、DSの出力データから安全対策の効果を明らかにした。

アンケート調査の結果から、誘導線は、ドライバーの主観的評価の観点から安全対策を設置しない場合と比較し、ワイヤロープから離れて走行したと感じやすい安全対策であることが明らかとなった。また、誘導線は、事故に気を付けて走行しやすい安全対策であることも明らかとなった。

走行位置の分布や平均値から直線区間において、誘導線とドット線の安全対策がワイヤロープから離れて走行する効果があることが明らかとなった。また、走行位置の分散の分析結果からは、イメージハンブ、ドット線、反射板、誘導線の4つの安全対策が、安定した走行をする効果があり、事故が起きにくい安全対策であることが明らかとなった。また、左右カーブ区間の走行位置の分散からも同様にこの4つの安全対策に関する安定した走行をする効果が明らかとなった。

平面曲線部の走行位置より、直線区間と比較すると、ワイヤロープから離れて走行する効果は、どの安全対策からも確認することは難しかった。そのため、直線区間と平面曲線部を比較した際に、左カーブ区間がワイヤロープに接近して走行する傾向が確認された。被験者の運転頻度別に直線区間と左カーブ区間の平均走行位置を比

較すると、あまり運転しないと考えられるドライバーほど、左カーブの際にワイヤロープへ接近して走行する傾向が明らかとなった。しかしその中でもイメージハンブと反射板の安全対策は、左カーブ区間でワイヤロープに接近しない効果が確認できた。

以上の結果を表にまとめると（表-3）、DS による限定された条件でのものであるが、ドライバーの主観やワイヤロープから離れて走行する効果や走行位置の安定性の観点から、誘導線の安全対策は、本実験で再現した既存のどの安全対策よりもワイヤロープへの接触事故を減らす効果があることが明らかとなった。

しかし、本研究では、現在設置されているすべての安全対策の効果を確認することができなかった。そのため、本実験で再現していない安全対策がワイヤロープへの接触事故を減らす効果があることも予想される。また、本研究では、昼間の時間帯のみの走行実験となったため、夜間の走行による効果なども今後検討する必要がある。さらに、今回新たに考案した誘導線の安全対策は完全な安全対策ではなく、路肩方向に寄りすぎて走行した部分も見られた。誘導線の安全対策に関する効果をさらに検証するため、設置場所、色、幅など様々なパターンでの実験が必要である。

表-3 実験結果のまとめ

	項目	緑支柱	注意標識	注意文字	ハンブ	ドット線	反射板	誘導線
アンケート	①				○	○	○	◎
	②				○	○	○	◎
直線区間	③				○	◎	○	◎
	④				○	○	○	◎
左カーブ区間	③				○	◎	○	◎
	④				○	◎	○	◎

項目①：ドライバーがワイヤロープから離れて走行する
と感ずる効果

項目②：ドライバーが事故に気を付けて走行する効果

項目③：ワイヤロープから離れて走行する効果

項目④：安定した走行をする効果

◎：高い効果がある

○：効果がある

NOTES

注1) 国土交通省、ワイヤロープ設置箇所交通状況について（土光部・中小橋のモニタリング評価）。

注2) 暫定 2 車線高速道路のワイヤロープに課題 死亡事故減少も接触事故・通行止め増 対策は？。

(?)