

# 暫定2車線区間における ワイヤロープ式防護柵の導入可能性について

平澤 匡介<sup>1</sup>・齊田 光<sup>2</sup>・高田 哲哉<sup>3</sup>・石田 樹<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 (国研)土木研究所寒地土木研究所寒地交通チーム (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

E-mail:hirasawa@ceri.go.jp

<sup>2</sup>正会員 (国研)土木研究所寒地土木研究所寒地交通チーム (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

E-mail:saida-a@ceri.go.jp

<sup>3</sup>正会員 (国研)土木研究所寒地土木研究所寒地交通チーム (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

E-mail:t-takada@ceri.go.jp

<sup>4</sup>正会員 (国研)土木研究所寒地土木研究所寒地交通チーム (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

E-mail:t-ishida@ceri.go.jp

我が国の高規格幹線道路は限られた期間や費用で整備を進めるために、交通量が少ない区間は4車線のうち、2車線のみを暫定的に供用する方法を採用した。暫定2車線区間は大半がラバーポールと縁石による簡易分離であり、正面衝突事故が起きた場合は重大事故に至りやすい。寒地土木研究所では、2車線道路の正面衝突事故を防ぐために、支柱が細く、設置幅が少ない緩衝型のワイヤロープ式防護柵を開発した。本稿は、高規格幹線道路暫定2車線区間の中央帯にワイヤロープ式防護柵の導入を検討するため、暫定2車線区間の道路構造を試験道路で再現し、大型車のすれ違い走行試験や試験参加者の主観評価を行い、さらに、車両衝突時のはみ出し量を低減させるロープ連結材の開発について報告するものである。

**Key Words :** road safety, wire rope barrier systems, head-on collision, median strip, median cable

## 1. はじめに

北海道は、積雪寒冷地でかつ、広域分散型社会を形成し、郊外部の国道は走行速度が高くなりやすく、一度交通事故が起きると死亡事故に至ることもある。郊外部の国道は、大部分が往復非分離の2車線道路なので、正面衝突事故が構造上発生しやすく、発生した場合は死亡事故等の重大事故に至る場合が多い。道路構造令では、特例として中央分離帯の設置が認められているが、事故時の対応等のために車道を拡幅しなければならず、設置は限定される。(国研)土木研究所寒地土木研究所では、比較的幅員が狭い道路の上下線を分離することに適した防護柵の開発を目指し、鋼製防護柵協会と共同研究を締結し、CGシミュレーションや実車衝突実験から防護柵の仕様を決定し、平成24年1月の性能確認試験において防護柵設置基準に定める分離帯用Am種(高速道路)の基準を満足したワイヤロープ式防護柵の開発に成功した<sup>1)</sup>(写真-1)。



写真-1 ワイヤロープ式防護柵(左)と性能確認試験(右)

ワイヤロープ式防護柵は支柱が細く、車両が衝突した時の衝撃を緩和し、設置のための必要幅員も少ない。平成24年秋以降、道央自動車道、一般国道275号、磐越自動車道、紀勢自動車道、一般国道238号、帯広尾自動車道の6箇所にて試行導入された(写真-2)。試行導入された箇所は中央帯の幅員を確保した上で、防護柵として設置されており、暫定2車線区間に設置された箇所は無い。本稿は、高規格幹線道路暫定2車線区間ワイヤロープ式防護柵が導入されることを想定し、苫小牧寒地試験道路において暫定2車線区間にワイヤロープ式防護柵を

設置した道路構造を再現し、大型車のすれ違い走行試験や試験参加者の主観評価を行い、さらに、張力低下時においても車両衝突時のはみ出し量を低減させるロープ連結材の開発について報告するものである。



写真-2 一般国道275号（左）と帯広広尾道（右）

## 2. ワイヤロープ式防護柵について

ワイヤロープ式防護柵は、欧米で普及している“high-tension cable barrier”や“wire rope barrier”と呼ばれるケーブル型防護柵である。日本国内で普及しているケーブル型防護柵（ガードケーブル）と大きく異なる点は中間支柱が細く、車両が衝突した時に中間支柱が変形し、さらに中間支柱からワイヤロープが容易に外れる構造となっていることで、車両衝突時の衝撃をワイヤロープの引張りだけで受け止め、車両内の乗員への衝撃を大幅に緩和できることである（写真-3）。また、支柱とワイヤロープが一体的な構造となっており、表裏がなく、支柱が設置できる空間があれば、容易に設置、撤去が可能のため、既存道路への設置や、狭い幅員の分離帯用として使用することが有利である。一方、ガードケーブルは、支柱に直接衝突させないというブロックアウト構造のため、各支柱にブラケットと呼ばれる部材が取り付けられ、ケーブルと支柱の間に一定間隔の空間を設けている。ワイヤロープ式防護柵に比べ、支柱の強度が高いため、支柱への衝突時には車両に与える衝撃が大きくなる。



写真-3 ガードケーブル(左)とワイヤロープ式防護柵(右)

全幅員が13mの狭幅員でも中央分離施設としてワイヤロープ式防護柵を設置している例として、スウェーデンで普及している2+1車線道路がある。2+1車線道路とは、全線を3車線として整備し、中央の車線を交互に追越車線として利用する方式である（写真-4）。

スウェーデンでは追い越し需要に対応するために、13mの広幅員2車線道路を整備したが、1990年代に重大事故の多発から、対策としてコストが安いワイヤロープ式

防護柵を中央分離施設として設置した2+1車線道路の検討を始めた。2001年に、標準的な13m幅員の2+1車線道路の横断面構成を決定し、防護柵を設置した2+1車線道路の整備延長は、2008年6月で1,800kmに達している<sup>2)</sup>。なお、2+1車線道路を導入しているスウェーデン以外の欧州各国において、中央に防護柵を設置するのは限定的である。



写真-4 スウェーデンの2+1車線道路

米国では、2001年に英国・Brifen社のワイヤロープ式防護柵が連邦道路局(FHWA)の認可を受け、その後、スウェーデンのBlue System社、米国のTrinity社、Gibraltar社、Nucor社の製品が認可された<sup>3)</sup>。米国ウィスコンシン州に設置された33kmのワイヤロープ式防護柵では、中央帯突破事故を削減し、事故の重大性も低下した結果、高い費用便益（維持費を含む）が報告された<sup>4)</sup>。なお、米国では、上下線の分離されている広幅員の中央帯にワイヤロープ式防護柵を設置している。

オーストラリアとニュージーランドでは、1990年代から導入され、2000年代になると郊外部の非分離2車線道路の分離施設として試行導入された<sup>5)</sup>。設置箇所の事前事後分析の結果、正面衝突事故防止効果と費用便益の優位性から、正面衝突リスクの高い箇所では継続的、かつ、利用拡大が指示された<sup>5)</sup>。

スウェーデンにおいても、2009年から狭幅員2+1車線道路の施策として、2車線道路の中央にワイヤロープ式防護柵が設置された<sup>6)</sup>。13m幅の2+1車線道路と狭幅員2+1車線道路の違いは、追越車線の長さや頻度で、13mの約40%に対して、狭幅員では15~30%で、部分的に往復2車線の区間がある。導入前後の事故を分析した結果、死者数と重傷者数を50%削減し、人身事故件数を21%削減した。13m幅の2+1車線道路（規制速度100km/h、追越車線の割合40%）の評価に比べて、差が無かったことが報告された<sup>6)</sup>。

## 3. 2車線道路における運用の検討

日本国内の高速道路建設は1987年に策定された第四次全国総合開発計画で明示された総延長約14,000kmの高規格幹線道路網の計画に沿って進められた結果、2012年4月末の供用延長では10,218km、整備率72%に達した。1990年以降は限られた期間や費用で整備を進めるために、

交通量が少ない区間は4車線で計画された道路のうちの2車線のみを暫定的に供用する方法を採用したため、未だに大半がラバーポールと縁石による簡易分離による暫定2車線区間である。暫定2車線区間の道路は一般道に比べ事故率は低いが、車両走行速度が高いため、正面衝突事故が起きた場合は重大事故に至りやすい。

北海道における高規格幹線道路の2車線道路の構造は、道路種別が第1種第3級で中央帯を設ける場合、幅員13.5m(路肩2.50m-車線3.5m-中央帯1.50m-車線3.50m-路肩2.50m)となる。この場合、1.50mの中央帯にワイヤロープ式防護柵を設置することになるので、道路構造令上の課題はない。しかし、暫定2車線区間の道路構造では幅員12.0m(路肩2.50m-車線3.5m-車線3.50m-路肩2.50m)の中に中央帯の位置付けはない。現状では中央にレーンディバイダー(ラバーポールと縁石)による簡易分離構造を設け、安全性を向上させると共に、「高規格幹線道路等の幾何構造(案)」<sup>7)</sup>に明示されているとおり、故障車(大型車想定)のすれ違いに対して配慮している(図-1)。

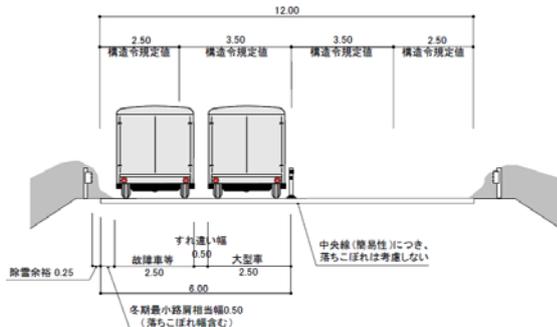


図-1 簡易分離2車線構造の場合の横断面構成例<sup>7)</sup>

ワイヤロープ式防護柵を導入する場合、防護柵として位置づけると中央帯設置が必要<sup>8)</sup>となる。ただし、中央帯における分離帯(マウントアップ)に変わる道路付属物として位置づけられるため、マウントアップは不要である。往復の通行を区分する簡易分離構造として位置づけると、現行の横断面構成で設置可能となる。「道路構造令の解説と運用」では、暫定供用時の道路構造は、必ずしも道路構造令の規定に合致する必要はないが、道路構造令を基本としつつ、当面必要な機能を満足する道路構造でなければならないとしている<sup>8)</sup>。幅員12.0mの高規格幹線道路における横断面構成は、種級区分別に道路構造令の標準値、特例値を使うと路肩1.75m-車線3.5m-中央帯1.50m-車線3.50m-路肩1.75mの2種類が考えられる(表-1)。ワイヤロープ式防護柵を幅員12.0mの高規格幹線道路に導入する時の横断面構成として、表-1に示す2種類とその中間の位置する新たな横断面構成として路肩2.00m-車線3.5m-中央帯1.00m-車線3.50m-路肩2.00mを考案し、それぞれ幅員構成において、実車走行実験を行うこととした。

表-1 幅員12.0mの高規格幹線道路の横断面構成

種級区分	要素	道路構造令		幅員(m)		
		標準値(m)	特例値(m)	完成2車線		
				分離	簡易分離	簡易分離
1種2級	車線	3.5	-	3.5	3.5	3.5
	路肩	2.5	1.75	1.75	2.5	2.5
	中央帯	4.5	2	設定不可	-	-
1種3級	車線	3.5	-	3.5	3.5	3.5
	路肩	1.75	1.25	1.75	2.50*	2.50*
	中央帯	3	1.5	1.5	-	-

※ 除雪車および大型故障車のすれ違いを考慮し設定

#### 4. 防護柵設置箇所における走行試験

幅員12.0mの自動車専用道路にワイヤロープ式防護柵の導入可能性を検討するために、苫小牧寒地試験道路にワイヤロープ式防護柵と簡易分離構造であるラバーポールと縁石を設置し、実際に駐車車両(大型車)があった場合のすれ違いについて、走行実験を行った。走行試験区間は、路肩にL型コンクリート壁を置き、さら試験区間の路肩と中央に雪堤を作り、図-1に示す横断面を再現した(写真-5)。ワイヤロープ式防護柵とラバーポールの区間延長は各々70mとして、区間内に一台ずつ大型車の駐車車両を配置した。また、実際の道路環境に近づけるために対向車線側に大型車を配置した(図-2)。



写真-5 走行試験区間の状況(左:ワイヤロープ式防護柵, 右:ラバーポール)

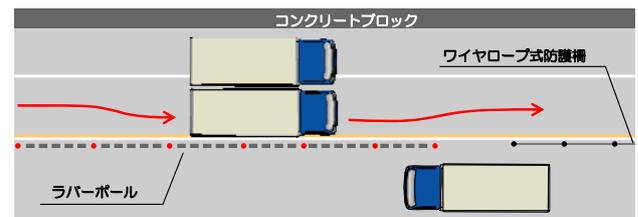


図-2 走行試験の概要

走行試験は4種類の条件を設定し、走行試験1回目は駐車車両が無い条件、走行試験2回目から4回目までは駐車車両があり、区画線の位置が変わる条件とした(図-3)。走行試験1回目と2回目の区画線の位置は路肩2.5m-車線3.5m、走行試験3回目は路肩2.0m-車線3.5m-中央帯1.0m、走行試験4回目は路肩1.75m-車線3.5m-中央帯1.5mとした。なお、ラバーポール区間の区画線の位置は変更しない。

試験には、道路管理者として国土交通省北海道開発局、ネクスコ東日本、ネクスコ総研から計14人、公募の一般ドライバーの60人(乗用車:40人、大型車20人)が参加

し、平成25年3月12日～14日の3日間で行った。客観データとして、試験参加者が運転する乗用車または大型車が駐車車両の横を通過する時の走行速度と通過位置を測定した(写真-6)。走行速度は路面上にテープスイッチを5m間隔で貼り、データロガーで通過時間を記録した。通過位置はラバーポール、及び、ワイヤロープ式防護柵の支柱中心から15cm毎にガムテープを路面に貼り、ビデオカメラで通過車両を撮影し、後日に調査員が記録画像を5cm単位で読み取る方法とした。主観データとしては、走行時の安心感、不安感や圧迫感についてアンケート調査を行った。また、道路管理者には大型車が走行するときの状況を観察し、道路管理者限定の質問項目として、大型車のすれ違いに対する印象等を尋ねた(写真-6右)。

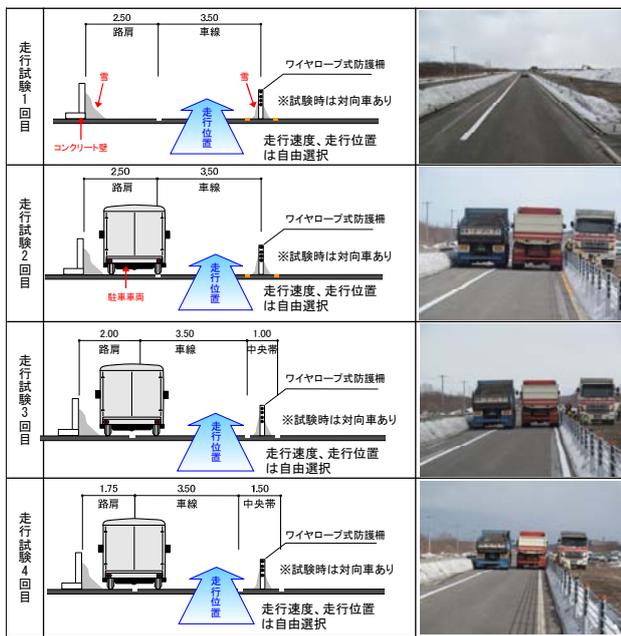


図-3 走行試験の条件と試験状況



写真-6 走行試験の状況(左:乗用車,右:大型車)

### (1) 走行速度と通過位置

走行速度を計測した結果を図-4に示す。走行試験1回目の駐車車両がない時は乗用車で50km/h台、大型車で40km/h台の平均速度を計測し、ブレーキを掛ける車両も見られず、ラバーポール区間とワイヤロープ式防護柵区間の両区間共に2車線道路の通常走行と変わらなかった。道路管理者が参加した走行試験の平均速度は、2回目ワイヤロープ式防護柵の区間で高く、3回目は同程度、4回目はラバーポールの区間で高くなった。一般ドライバ

ー(乗用車)が参加した走行試験では、全ての幅員パターンにおいて、同程度の走行速度であった。また、道路管理者と一般ドライバー(乗用車)の両グループにおいて、駐車車両とのすれ違い時に大きな速度低下は見られず、すれ違い時に問題なく走行できることが確認できた。一般ドライバー(大型車)が参加した走行試験では、2回目、3回目、4回目において、ワイヤロープ式防護柵区間の平均速度が低く、駐車車両とのすれ違いに時間を要したことが原因であった。ラバーポールの設置間隔は10mであり、それに対して、ワイヤロープ式防護柵の支柱間隔は3mで、かつ、ワイヤロープがあるために、すれ違い時に慎重な運転が見受けられた。ただし、駐車車両やワイヤロープ式防護柵に接触する試験参加者は皆無であった。

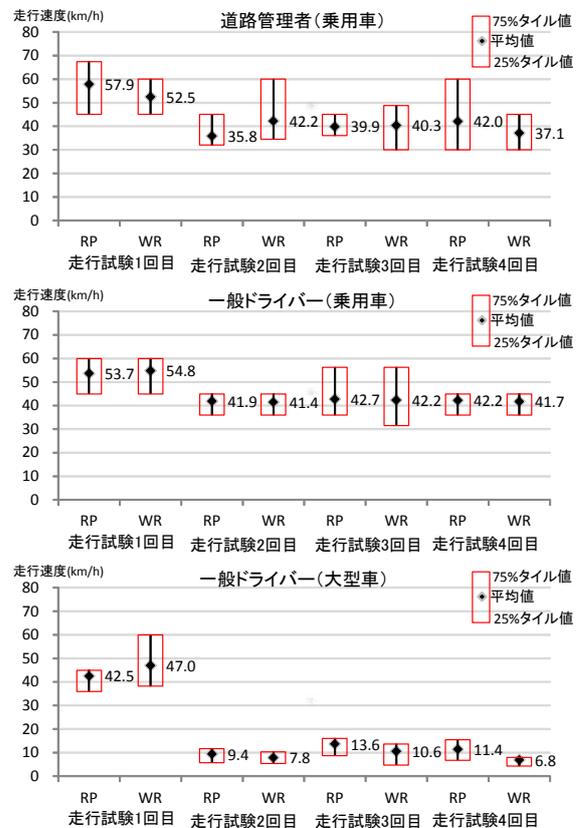


図-4 駐車車両とすれ違う時の走行速度(RP:ラバーポール, WR:ワイヤロープ式防護柵)

通過位置を計測した結果を図-5に示す。ワイヤロープ式防護柵区間とラバーポール区間の通過位置を比べると、全ての試験参加者属性で、また、全ての幅員パターンで、ワイヤロープ式防護柵区間の方が大きく、道路中央から離れた位置を走行している。ドライバーがワイヤロープ式防護柵を防護柵として認識し、防護柵までの空間的余裕を加味して走行していると考えられる。走行試験2回目から4回目までのワイヤロープ式防護柵区間の区画線位置変更に対しては、道路管理者の通過位置が大きくなり、影響が見受けられるが、一般ドライバー(乗用車)

と一般ドライバー（大型車）ではあまり変わらず、影響が見受けられない。

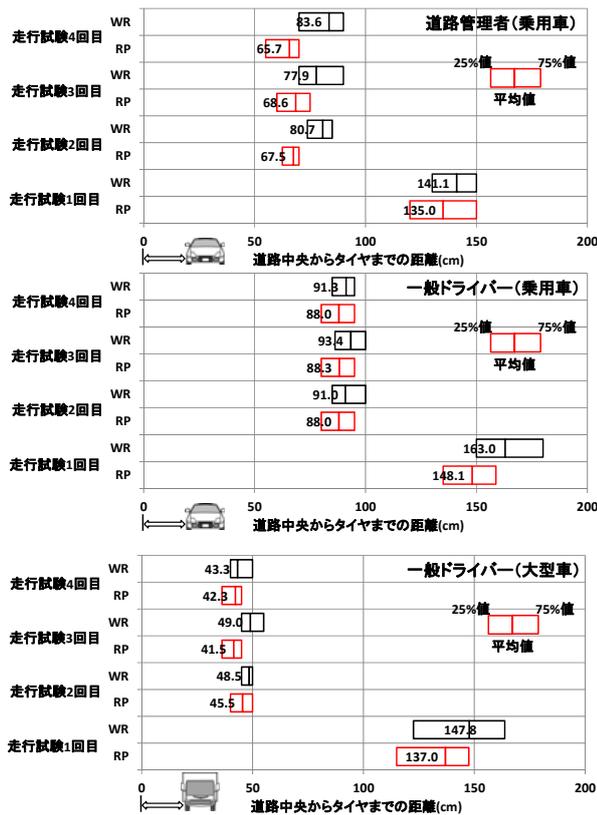


図-5 駐車車両とすれ違う時の通過位置 (RP:ラバーポール, WR:ワイヤロープ式防護柵)

走行試験2回目のワイヤロープ式防護柵区間の区画線は暫定2車線区間の簡易分離構造と同様に敷設した(図-6)。簡易分離構造における白線と黄線は、道路交通法において、白線が「右側部分はみ出し通行禁止」で、黄線が「追い越しのための右側部分はみ出し通行禁止」と定められている。従って故障車等が路肩に停車している場合、通過車両は黄線上までが走行位置として許容されることになり、その距離は道路中央から25cmとなる。一般ドライバー（大型車）の走行試験2回目の通過位置は平均値で48.5cm、25%タイル値で45.0cm、最小値で35.0cmなので、走行試験の結果だけを見ると暫定2車線区間にワイヤロープ式防護柵を導入しても大型車車両同士のすれ違いは可能と考えられる。

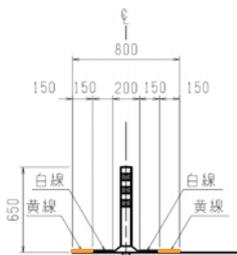


図-6 簡易分離構造の区画線<sup>9)</sup>

## (2) アンケート調査

アンケート調査は、走行試験1回目に対向車を想定した時の安心感と圧迫感を質問項目にした。走行試験2回目から4回目までは駐車車両（大型車）とのすれ違いに対する不安感と圧迫感を質問項目とした(図-7)。また、一般ドライバー限定の項目として、自動車専用道路におけるワイヤロープ式防護柵の設置について質問し、道路管理者限定の項目として、大型車のすれ違いに対する印象、ワイヤロープ式防護柵の導入可能性について質問した。

走行試験1回目において、安心感に対する質問では、全ての試験参加者において、ワイヤロープ式防護柵の方が「安心感がある」、「やや安心感がある」と回答した参加者が多く、圧迫感に対する回答は少なかった。乗用車を運転した道路管理者と一般ドライバーの走行試験2回目～4回目において、すれ違い時の危険を感じたという不安感は、ワイヤロープ式防護柵区間とラバーポール区間の差はあまり見られず、圧迫感についてはワイヤロープ式防護柵区間の方が、「圧迫感を感じた」、「やや圧迫感を感じた」と回答した参加者が多かった。ただし、一般ドライバー（乗用車）において、不安感、圧迫感の回答は、ワイヤロープ式防護柵でも半数以下であった。一般ドライバー（大型車）においては、圧迫感よりもすれ違いに対する不安感を回答する参加者が多く、半数以上であった。

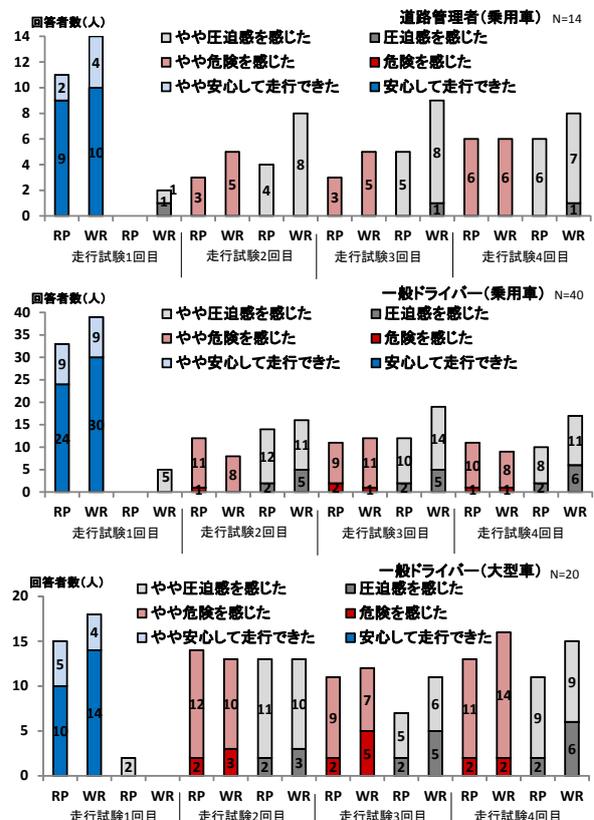


図-7 走行時における安心感・不安感・圧迫感 (RP:ラバーポール, WR:ワイヤロープ式防護柵)

一般ドライバーには、走行試験後に自動車専用道路におけるワイヤロープ式防護柵の設置に対して質問した結果、約8割の参加者が「設置すべき」、「設置しても良い」と回答し、ワイヤロープ式防護柵への肯定的な印象が伺えた(図-8)。道路管理者には、大型車のすれ違いに対する印象について質問した結果、ワイヤロープ式防護柵では、「すれ違いは可能だが、課題がある」、「すれ違いは困難だが、対策により可能である」と回答した参加者が約8割を占めた(図-9)。ワイヤロープ式防護柵の導入可能性について質問した結果、「導入可能だが、課題がある」の回答が最も多く、暫定2車線道路の幅員構成で導入することには課題があり、対策が必要という認識が伺える(図-10)。

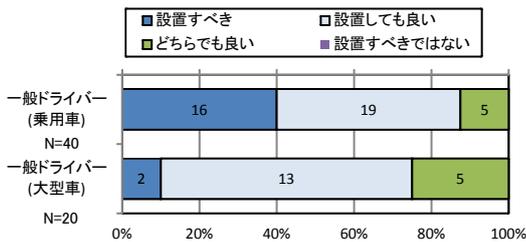


図-8 ワイヤロープ式防護柵の設置について

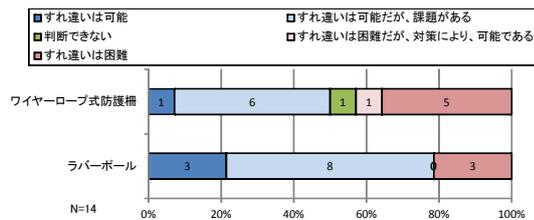


図-9 大型車のすれ違いについて

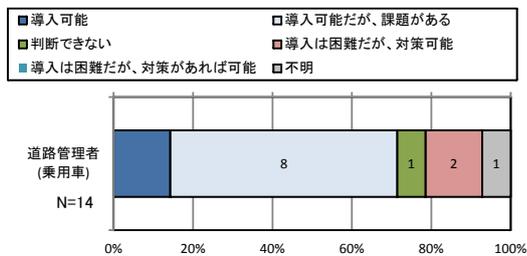


図-10 ワイヤロープ式防護柵の導入について

### (3) 暫定2車線区間への導入可能性の検討

暫定2車線区間にワイヤロープ式防護柵を導入するには以下の3つの方法が考えられる。

- ①幅員全体を拡幅し、中央帯幅員を確保する。
- ②路肩幅員を縮小し、中央帯を確保する。
- ③現行のラバーポール+縁石と同じ区画線扱いで設置する。

①の方法は設置費用が多額となるため、導入箇所は限定的と考えられる。②は走行試験3回目と4回目、③は走行試験1回目と2回目の幅員パターンである。3種類の幅員パターンの結果を比較すると、どのパターンでもすれ違いは可能であり、すれ違い時の走行速度、通過位置、

試験参加者の意見も大きな差は見られなかった。ただし、③の方法では、緩衝型の防護柵とはいえ、ラバーポールに比べ、衝突した時の車両へのダメージは大きいので、区画線として設置するためには道路管理者、交通管理者、道路利用者のコンセンサスが必要と考えられる。

ワイヤロープ式防護柵を「防護柵」として設置する場合、中央帯が必要となる。道路構造令により、第1種第3級の道路の場合、中央帯幅員が1.5m以上必要なので、幅員12mであれば路肩幅員は1.75mとなる。走行試験4回目では、走行車両がすれ違い時に中央帯白線の「右側部分はみ出し通行禁止」に抵触することになった。走行試験2回目の簡易分離構造の場合では白線の「右側部分はみ出し通行禁止」に抵触しなかったが、ワイヤロープ式防護柵を「防護柵」ではなく、「道路付属物」として扱うことになる。磐越自動車道に試行導入されたワイヤロープ式防護柵は、幅員12mの自動車専用道路への導入検討に参考となる(写真-7)。当該区間の中央線は黄線の「追い越しのための右側部分はみ出し通行禁止」なので、すれ違い時の中央帯進入が可能である。



写真-7 磐越道に試行導入されたワイヤロープ式防護柵

## 5. 張力低下時における性能向上対策の検討

ワイヤロープ式防護柵は、金属ロープの特性上、気温が上がると張力が低下し、気温が下がると張力が上がる。齊藤ら<sup>10)</sup>は道央自動車道大沼公園IC~森IC間に設置されたワイヤロープ式防護柵の張力が1年間に18kNの変動があることを確認した。張力が低下すると車両衝突時のたわみが大きくなることが予想され、苫小牧寒地試験道路で行ったBm種仕様決定前の衝突実験では、20kNの張力で最大進入行程が0.670mに対して、10kNの張力では0.797mであった<sup>11)</sup>。幅員の狭い2車線道路の分離構造として使うためには、張力低下時においても車両衝突時の進入行程(対向車線へのはみ出し量)が少ないことが望ましい。そこで張力低下時における最大進入行程を小さくする手法の開発に着手することとした。

最初に、A種性能確認試験<sup>1)</sup>と同じ仕様(ロープ段数:5, 最上段ロープ高さ:970mm, 支柱間隔:3m, 支柱径:φ89.1mm, 支柱板厚:4.2mm)で張力を20kNから15kNに変更して、大型車の衝突実験を行うこととした。平成26年9月30日に苫小牧寒地試験道路で実験を行った結果、最大進入行程は1.18mを記録し、平成23年に行っ

た同じ仕様（張力20kN）の衝突実験の最大進入行程1.18mと同じ値になった<sup>12)</sup>。離脱速度は45.9km/hとなり、進入速度の87.1%、車両は離脱できず、離脱角度は0度、進入角度の0%であった。車両衝突時はワイヤロープの下方4段が車両下に巻き込まれた（写真-8）。なお、平成23年の実験では下方3段であった。最大進入行程や離脱速度等の実験結果は、20kNの衝突実験と概ね同様であったが、端末から8番目と9番目の支柱が破断するという問題が生じた。衝突時の映像を詳細に分析した結果、張力が低いので、タイヤがロープを下げる動作が速く、引き下げられたロープにより支柱を破断した可能性が高いことが明らかになった（写真-9）。



写真-8 ワイヤロープ式防護柵（左）と衝突時の状況（右）



写真-9 衝突後の防護柵（左）と破断した支柱（右）

共同研究者の鋼製防護柵協会と対応策について協議した結果、大型車が衝突したときに、車両下にワイヤロープが巻き込まれることを防ぐ仕組みが必要と判断した。既存技術ではガードレールに使用されている間隔保持材がある（写真-10）。間隔保持材は各ロープの間隔を固定することにより、車両衝突時にロープがバラバラに動くのを防ぎ、衝突車両に対して面として働き、反対側へのはみ出し量を低下させる。しかしながら、ワイヤロープ式防護柵では車両衝突時に中間支柱が折れてしまう構造のため、間隔保持材を用いた場合、下段のロープと同時に上段のロープも車両下に巻き込まれ、防護柵としての機能が発揮されないことが予想される。そこで、大型車両衝突時に最上段のロープが車体にくい込むことを利用し、下段のロープが下げられる力に対して、上段のロープと連結して抵抗するための部材を考案した。この部材はロープ連結材と命名され、既製品の巻付グリッブを活用し、一方を最上段のワイヤロープに固定し、もう一方を最下段のワイヤロープの下を通した後に再び最上段のワイヤロープに固定する（写真-11）。巻付グリッブとは落石防護網等の留め具として使用されている部材で、スパイラル状に成形した鋼線を数本撚り合わせ、内側に

グリッド材を塗布し、摩擦力を増加させた部材である。ロープ連結材が間隔保持材と違う点は、車両衝突時点で最上段のロープが他のロープと連動せず、車体にくい込む時間があることである。なお、ロープ連結材は最大進入行程を小さくすることと張力低下時においても性能を確保することの他に、ワイヤロープ式防護柵の特徴でもある緊急時の開放区間の設置の際に容易に取り外せることや既に設置している区間に容易に後付ができることも考慮されている。ロープ連結材の取り付けは支柱間に1カ所ので、1カ所当たりの取り付け時間は約1分であった（写真-12）。



写真-10 間隔保持材



写真-11 ロープ連結材



写真-12 ロープ連結材の取り付け

ロープ連結材を使用した衝突実験は平成26年度に3回、平成27年度に3回行われ、各回終了後に実験結果を検証し、より性能を向上させるための改良を加えた。平成26年度に3回行った大型車衝突実験の防護柵諸元を表-2、実験結果を表-3に示す。

表-2 ロープ連結材を活用した大型車衝突実験の防護柵諸元

	連結材 Xcm Ycm		初期張力 (kN)	ロープ段数	最上段ロープ高さ (mm)	支柱間隔 (m)	支柱径 (mm)	支柱板厚 (mm)
	X(cm)	Y(cm)						
CASE1	30	62	20	5	970	3	φ89.1	4.2
CASE2	30	46	20	5	970	3	φ89.1	4.2
CASE3	50	46	12	5	970	3	φ89.1	4.2

表-3 ロープ連結材を活用した大型車衝突実験結果

項目	仕様・実施年月		
	CASE1 平成26年10月	CASE2 平成26年11月	CASE3 平成26年11月
ロープ張力 (kN)	20	20	12
車両重量 (t)	20.27	20.28	20.26
衝突速度 (km/h)	50.9	51.5	50.2
衝突角度 (度)	15.1	14.92	15.52
衝撃度 (kJ) ※1	137.5	137.6	141.0
最大進入行程 (m) ※2	0.67	0.96	1.50
離脱速度 (km/h)	38.1	44.0	39.0
(%) ※3	74.9	85.4	77.7
離脱角度 (度)	0.2	0	0
(%) ※4	1.3	0	0

防護柵設置基準規定値：※1 130kJ以上、※2 1.5m以下、※3 60%以上、※4 60%以下

CASE1では、ワイヤロープが車体下に巻き込まれることなく離脱し、最大進入行程は0.69mとなり、A種の大型車衝突実験で過去最低値を記録した（写真-13）。しかし、7番目の支柱のスリット左部分が破断し、飛散した。分析の結果、車両衝突時にストラップが残り、最下段のロープが下げられた事が原因と推察した。支柱破断

の対策としてロープ連結材の長さを62cmから46cmに短くすることにした。

CASE2では、最大進入行程が0.96mとなり、CASE1よりも大きな値となったが、支柱の破断は無かった（写真-14）。全ての項目で防護柵設置基準を満足した。ただし、ロープ連結材が外れ、ワイヤロープの下方3段が車両下に巻き込まれた。ロープ連結材の外れ対策として最上段への巻き付き長さを30cmから50cmに変更した。

CASE3では張力を12kNに変更して実験を行った結果、最大進入行程が1.50mとなり、CASE2よりもさらに大きな値となった（写真-15）。張力が低いことの影響から最下段のロープが高速で下げられ、ロープ連結材が破断し、ロープの下方2段が車両下に巻き込まれた。すぐに上方3段も車両下に巻き込まれ、全てのロープが車両下に巻き込まれた。ロープ連結材無使用の張力15kNの実験では最大進入行程が1.18mであったのに対して、大きな値となった。また、12番目の支柱のスリット右側が破断した。

3回の実験から、ロープ連結材の使用は最大進入行程を大きく低下させる可能性があるが、張力低下時には、増加させる可能性もあることが明らかになった。



写真-13 CASE1 (左: ロープ連結材, 右: 衝突時の状況)



写真-14 CASE2 (左: ロープ連結材, 右: 衝突時の状況)



写真-15 CASE3 (左: ロープ連結材, 右: 衝突時の状況)

平成27年度に3回行った大型車衝突実験の防護柵諸元を表-4、実験結果を表-5に示す。

表-4 ロープ連結材を活用した大型車衝突実験の防護柵諸元

	連結材		初期張力 (kN)	ロープ段数	最上段ロープ高さ (mm)	支柱間隔 (m)	支柱径 (mm)	支柱板厚 (mm)
	Xcm	Ycm						
CASE4	30	62	12	5	970	3	φ89.1	4.2
CASE5	30	62	20	5	970	3	φ89.1	4.2
CASE6	30	46	12	5	970	3	φ89.1	4.2

表-5 ロープ連結材を活用した大型車衝突実験結果

仕様・実施年月	CASE4 平成27年7月	CASE5 平成27年8月	CASE6 平成27年11月
項目			
ロープ張力 (kN)	12	20	12
車両重量 (t)	20.18	20.32	20.58
衝突速度 (km/h)	53.7	51.3	52.8
衝突角度 (度)	16.6	14.9	13.9
衝撃度 (kJ) <sup>*1</sup>	183.2	136.4	127.7
最大進入行程 (m) <sup>*2</sup>	1.47	0.92	0.95
離脱速度 (km/h)	45.1	38.6	41.3
(%) <sup>*3</sup>	84.1	75.2	78.2
離脱角度 (度)	0	3.2	0
(%) <sup>*4</sup>	0	21.5	0

防護柵設置基準規定値: <sup>\*1</sup>130kJ以上、<sup>\*2</sup>1.5m以下、<sup>\*3</sup>60%以上、<sup>\*4</sup>60%以下

CASE4では、CASE1と同じ仕様で、張力を12kNに変更して実験を行った結果、最大進入行程が1.47mとなり、CASE1の最大進入行程0.69mの約2倍となったが、設置基準の1.5m以下であった。また車両は離脱しなかったが、ロープ接した状態で停止し、ロープが車両下に巻き込まれることは無かった（写真-16）。しかし、11番目の支柱のスリット左部分が破断し、飛散した。

CASE5では、最大進入行程が最小であったCASE1の仕様に対してストラップの位置を1段上に変更し、実験を行った結果、最大進入行程は0.92m、ロープも車両下に巻き込まれる事無く、車両が離脱した（写真-17）。しかし、離脱する直前に14番目の支柱のスリット左部分が破断し、飛散した。

CASE6では、全ての項目で防護柵設置基準を満足したCASE2と同じ仕様で、張力を12kNに変更して実験を行った結果、最大進入行程が0.95mとなり、CASE2とほぼ同じ値となった。ワイヤロープの下方2段が車両下に巻き込まれ、離脱出来なかった。（写真-18）。



写真-16 CASE4 (左: 衝突時の状況, 右: 衝突後の状況)



写真-17 CASE5 (左: 防護柵設置状況, 右: 衝突時の状況)



写真-18 CASE6 (左: 衝突時の状況, 右: 衝突後の状況)

ロープ連結材を使った大型車衝突実験を行った結果、CASE1・CASE4の仕様では、張力20kN時の最大進入行程が0.69mと小さいが、張力12kN時の最大進入行程は1.47mとなり、張力低下時の性能劣化が見られ、支柱も飛散した。CASE2・CASE6の仕様では、張力20kN時の最大進入行程が0.96mであったが、張力12kN時の最大進入行程は0.95mとなり、張力低下時でも性能を保持した。これらの結果から、ロープ連結材の最終仕様はCASE2・CASE6とした。

連結材を使ったワイヤロープ式防護柵の性能確認試験は平成28年3月に苫小牧寒地試験道路で行った。防護柵はAm種の仕様（表-2）にCASE2の連結材を取り付けた（写真-19）。試験車両の乗用車は脱着可能なRTK-GPS制御ロボットによる完全自動無人走行（写真-20）、大型車はテストドライバーによる操舵で性能確認試験を行った（写真-21）。



写真-19 防護柵（左：中間支柱、右連結材）



写真-20 試験車両（左：RTK-GPS、右：自動操舵ロボ）



写真-21 衝突状況（左：乗用車、右：大型車）

表-6に実験の結果、車両の逸脱防止性能は、大型車の衝突に対して、防護柵を突破されない強度を有しており、乗員の安全性能は、乗用車が横転・転覆することなく誘導され、車両損傷は前部が破損しているが、車室が保存され、最大加速度も79.0m/s<sup>2</sup>/10msと小さく、規定値の150m/s<sup>2</sup>/10msを満足しており、緩衝能力が確認された。防護柵の変形性能においても、最大進入行程は大型車：0.945m、乗用車：0.935mと基準の1.5m以下という値を満足した。車両の誘導性能においては、離脱速度が衝突速度の6割以上（大型車65.7%：34.6km/h /52.7km/h、乗用車69.6%：70.6km/h /101.4km/h）、離脱角度が衝突角度の6割以下（大型車10.1%：1.5度/14.9度、乗用車25.5%：5.1度/20.0度）となり規定値を満足した。飛散防止性能におい

ては、乗用車衝突時に主要部材の飛散が無かったが、大型車衝突時に7本目の支柱がスリーブから引き抜かれ、飛散防止性能を満足しなかった。

表-6 ロープ連結材を活用した性能確認試験結果

性能確認項目		性能規定	A種性能確認試験結果（ロープ連結材有り） 大型車：平成28年3月11日 乗用車：平成28年3月9日
車両の逸脱防止性能	防護柵の強度性能	・防護柵の損傷 大型貨物車が突破しない強度を有すること	部材の切断等はなく、ワイヤ、支柱などにより防護柵が連続保持されており、突破しない強度を有している。
	防護柵の変形性能	・最大進入行程 車両の進入行程が1.5m以下であること	最大進入行程は、0.945mであり、必要とする変形性能を有している。（乗用車：0.935m）
乗員の安全性能		・車両重心加速度 10ms移動平均値が 150m/s <sup>2</sup> /10ms未満であること	防護柵軸方向：79.0 m/s <sup>2</sup> /10ms 防護柵横軸方向：78.7 m/s <sup>2</sup> /10ms
車両の誘導性能		・車両の挙動 車両は防護柵に衝突後、横転などを生じないこと	乗用車は横転・転覆することなく誘導された。大型車は離脱し、横転・転覆することなく誘導された。
		・離脱速度 離脱速度は衝突速度の6割以上であること	大型車：52.7km/hの65.7%（34.6km/h） 乗用車：101.4km/hの69.6%（70.6km/h）
		・離脱角度 離脱角度は衝突角度の6割以下であること	大型車：1.5度（衝突角度14.9度の10.1%） 乗用車：5.1度（衝突角度20.0度の25.5%）
構成部材の飛散防止性能		・部材の飛散状況 車両衝突時に防護柵構成部材が大きく飛散しないこと	支柱P7がスリーブから抜けて飛散したため、飛散防止性能を満足していない

ロープ連結材の効果については、乗用車衝突状況をH23年度性能確認試験と比較すると、上段ワイヤ(1～2段目)の2本が乗用車のルーフに乗り上げたが、H27年度の試験では連結材が上段ワイヤの押し上げ防止に効果を発揮し、5本のワイヤが有効に働くことで、車両の最大進入行程を1.02mから0.935mに低下させたと考えられる（写真-22）。

大型車衝突状況では、H23年度の試験で、下段ワイヤ(3～5段目)の3本が前輪タイヤに押し下げられ、前輪タイヤの内側に入り、上段ワイヤ(1～2段目)の2本みで車両を誘導していたが、H27年度の試験では最下段(5段目)の1本が押し下げられたものの、1～4段目のワイヤ4本が有効に働き、車両を誘導し、連結材が前輪タイヤの押し下げ防止に有効に働き、車両の最大進入行程を1.48mから0.945mに低下させた（写真-23）。



写真-22 乗用車衝突状況（左：H23試験、右：H27試験）



写真-23 大型車衝突状況（左：H23試験、右：H27試験）

ロープ連結材を使った防護柵の性能確認試験ではほとんどの項目においてH23年度試験より性能向上が確認されたので、連結材の仕様はCASE2が最適であると判断した。なお、平成28年度に防護柵、連結材の仕様は極力変更しない条件で、支柱引き抜き防止策を講じ、再試験を行う予定である。

## 6. おわりに

2車線道路において、正面衝突事故を確実に防ぐため、中央に防護柵を設置することは、地形的な制約や予算の確保が難しいため、限定的であった。ワイヤロープ式防護柵は従来の中央分離施設よりも少ない幅員で設置でき、整備コスト縮減と安全性の向上が期待できる。

本稿では暫定2車線区間への導入を検討するために走行試験を行い、可能性を検討した。道路構造令に照らし合わせると、導入するには課題もあるが、安全性を大きく向上させるので柔軟な運用を期待したい。また、車両衝突時に対向車線へのはみ出し量を低減させ、かつ、張力低下時でも性能を保持するロープ連結材は、2車線道路の中央に設置するための有効な技術と考えられる。ワイヤロープ式防護柵の普及促進のためには、性能確認試験の再試験で技術の確立を目指す次第である。

今後は普及に向けて、設置条件（道路線形、構造物箇所等）に適した細部構造や効率的な施工方法を検討し、整備ガイドライン（案）の策定を行う予定である。

## 参考文献

1) 平澤匡介, 高田哲哉, 石田樹: 2車線道路における

- ワイヤロープ式防護柵の開発と実用化, 平成 25 年度国土交通省国土技術研究会, 2013.
- 2) 平澤匡介, 宗広一徳: スウェーデンの道路構造・交通安全対策に関する調査, 寒地土木研究所月報, 平成 21 年 2 月.
  - 3) MacDonald, D. Batiste, R. : Cable Median Barrier Reassessment and Recommendations June 2007, A report requested by the Governor of the state of Washington.
  - 4) Xiao, Q., Maria, W. : High-tension Median Cable In-service Performance Evaluation and Cost Effectiveness Analysis, The Transportation Research Board 89th Annual Meeting, 2010.
  - 5) Roos, D. M. McTiernan, D. Thoresen, T. McDonald, N. : Evaluation of the Safety Impact of Centre-of-the-road Wire Rope Barrier (WRB) on Undivided Rural Roads, Austroads Technical Report, 2009.
  - 6) Anna, V. : Traffic safety effects of narrow 2+1 roads with median barrier in Sweden, 17th International Conference Road Safety On Five Continents, 2016.
  - 7) 高規格幹線道路等の幾何構造（案）, 北海道開発局建設部道路計画課, 2008.
  - 8) 道路構造令の解説と運用, (社) 日本道路協会, 2015.
  - 9) 北海道開発局 道路設計要領・第6集 標準設計図集, 北海道開発局, 2012.
  - 10) 齊藤進, 丸山正: ワイヤロープ式防護柵の張力管理について—道央道の事例報告—, 第31回日本道路会議, 2015.
  - 11) 平澤匡介, 高田哲哉, 石田樹: ワイヤロープ式防護柵の性能向上と実用化に向けた技術開発について, 平成26年度北海道開発技術研究発表会, 2015.
  - 12) 平澤匡介, 渡邊政義: 2車線道路におけるワイヤロープ式防護柵の開発, 寒地土木研究所月報第713号, 2012.