

# 2車線道路におけるワイヤーロープ式防護柵の開発と実用化

平澤 匡介<sup>1</sup>・高田 哲哉<sup>1</sup>・石田 樹<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (独) 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1-3-1-34)

中央分離帯がない2車線道路では、正面衝突が起きると死亡事故等の重大事故になりやすい。2車線道路の中央分離帯は、道路構造令で特例として設置が認められているが、用地拡幅など高コストのため、設置は限定される。緩衝型のワイヤーロープ式防護柵は、支柱が細いので必要設置幅が少なく、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。本稿は、実車を衝突させた性能確認試験を行い、道路構造令や防護柵設置基準等への適合性を確認し、施工や維持管理等の実用化について検討した結果を報告するものである。

キーワード 事故防止, 交通安全, 事故対策, 防護柵, 正面衝突

## 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。道路幅員が狭い道路中央に防護柵を設置している例として、スウェーデンの2+1車線道路がある。スウェーデンでは、2+1車線道路の安全性向上のために、中央分離帯として導入コストが最も低いワイヤーロープ式防護柵を設置している。ワイヤー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。本稿は、緩衝機能を有するワイヤーロープ式防護柵を2車線道路の中央分離帯として開発するために、CGシミュレーションや実車衝突実験により、防護柵設置基準に定める高速道路分離帯用Am種の試験条件で性能確認試験を行い、道路構造令や防護柵設置基準等への適合性を確認し、施工や維持管理等の実用化について検討した結果を報告するものである。

間続いた都道府県別交通事故死者数ワースト1を、平成15年から平成24年まで返上することができた。しかしながら、平成24年の交通事故死者数は依然として200人であり、致死率も全国平均の約2.0倍と未だに深刻な状況が続いている。交通死亡事故のうち、最も多い事故類型は正面衝突であり、全体の19%を占めており、その割合は全国に比べ1.8倍に及ぶ(図-1)。

(独) 土木研究所寒地土木研究所では、新たな正面衝突事故対策手法として、2車線道路のセンターライン上に切削溝を配置するランブルストリップスの開発及び実用化を行った<sup>1)</sup>。ランブルストリップスは、大きな正面衝突事故防止効果があることが確認されたが、山間部の縦断勾配や平面線形などの道路線形が厳しい区間では、その効果が減少することが明らかになった。そのような区間では、物理的に車線逸脱を防ぐことが求められるが、従来タイプの中央分離帯では、拡幅等を伴うため費用が高額になることから、設置箇所は限定される。

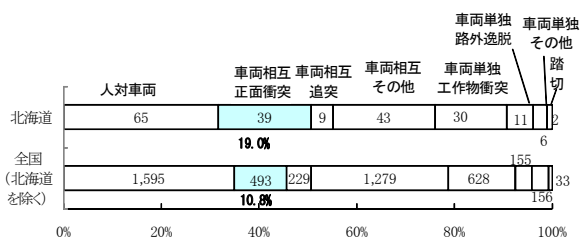


図-1 事故類型別死亡事故件数(H21)

## 2. 正面衝突事故発生状況と課題

北海道の交通事故対策は、交通管理者との連携のもと、必要な道路整備を進めてきた結果、平成14年度まで11年

## 3. 欧米における導入事例

ワイヤーロープ式防護柵は、たわみ性防護柵のうち、ケーブル型防護柵に分類される。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、衝撃をワイヤーロープが受け止め、車両への衝撃を緩和することである（写真-1）。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。ワイヤー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-1 ガードケーブル（左）とワイヤーロープ式防護柵（右）

全幅員が13mの狭幅員でも中央分離施設としてワイヤー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-2）。

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ー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-2 ワイヤーロープ式防護柵付きの2+1車線道路（スウェーデン）

米国では、2001年に英国・Brifon社のワイヤー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のワイヤー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ーロープ式防護柵を設置している。

#### 4. ワイヤーロープ式防護柵の利点

スウェーデンでワイヤーロープ式防護柵が採用された理由の一つに設置コストが挙げられる。スウェーデンにおける標準的な中央分離施設の設置コストは、1m当たり、ワイヤーロープは約200SEK（約3000円）、ガードレールは約400SEK（約6000円）、コンクリートは約600SEK（約9000円）である。また、ワイヤーロープ式防護柵は、ガードレール、コンクリート製に対して支柱が変形しやすいので、衝撃吸収能力が高い（写真-3）。その結果、スウェーデンの2+1車線道路では交通事故死者数・重傷者数が大幅に減少した。ただし、狭い道路幅員に中央分離施設を設置しているため、物損事故を含めると、事故件数が増加したと報告されている<sup>5)</sup>。

一般に、2車線区間の中央に分離施設を導入する際の課題は、交通事故、故障車等が発生した時の交通の開放である。駐停車があっても交通に支障とならないように中央分離施設に側方余裕を加えることや広い路肩を採用する場合、設置費用は高額となる。

スウェーデンでは、除雪作業等の維持管理のためにUターンができる開放区間を設けているほか、写真-4に示すように人力でワイヤーと支柱を外すことにより、部分的に中央分離施設を開放することで故障や事故等の緊急時の対応を可能としている<sup>6)</sup>。この他に、クイック・ロックと呼ばれる部品でワイヤーを分断する場合やカッターでワイヤーを切断する場合もあるが、復元に時間が掛かるので、使用機会は少ない。



写真-3 ワイヤーロープ式防護柵の衝突実験状況<sup>6)</sup>



写真-4 緊急時の開放例<sup>6)</sup>

#### 5. 日本国内への導入可能性の検討

ワイヤーロープ式防護柵を日本国内に導入するためには、「防護柵の設置基準・同解説」<sup>8)</sup>に示される性能を有しなければならない。防護柵に求められる機能は強度性能、変形性能、車両の誘導性能、構成部材の飛散防止性能である。強度性能は大型貨物車の衝突に対して、突

破されない強度を有することである。変形性能は、大型貨物車の衝突に対して、車両の最大進入行程が表-1に示す値を満足することである。乗員の安全性能は、乗用車の衝突に対して、車両の受ける加速度が基準値を満足することである。車両の誘導性能は、大型貨物車、乗用車の衝突時において、離脱速度が衝突速度の6割以上であることと離脱角度が衝突角度の6割以下であることである。構成部材の飛散防止性能は車両衝突時に構成部材が大きく飛散しないことである。これらの性能のうち、ワイヤーロープ式防護柵は、支柱が変形し、ワイヤーロープの張力で衝撃を緩和する特性上、変形性能の基準値をクリアすることが課題となる。

変形性能の基準値である最大進入行程は、車両が防護柵に衝突する時に、前輪または後輪の内側が防護柵の柵面の原位置より路外方向に踏み出る距離の最大値である(表-1)。一般国道の場合はB種：1.1m、高速道路の場合はA種：1.5mが適用される<sup>9)</sup>。

表-1 分離帯用防護柵の許容最大進入行程<sup>9)</sup>

種別	支柱を土中に埋め込む場合の最大進入行程(m)
C, B	1.1m以下
A, SC, SB, SA, SS	1.5m以下

また、車両の誘導性能においても、乗用車の衝突時における離脱角度と離脱速度の基準値をクリアすることが課題となる。その理由として、最大進入行程を小さくするためには、支柱の強度を高めることが考えられるが、高強度の支柱は車両の衝突速度を減衰させることになるので、ワイヤーロープ式防護柵にとって、変形性能と車両の誘導性能を満足することが求められる。

防護柵は設置基準に示される車両用防護柵性能確認試験を実施し、各性能規定を満足しなければならない。試験は車両総重量25トンの大型貨物車を用いて行う衝突条件Aと車両総重量1トンの乗用車を用いて行う衝突条件Bの2種類の衝突実験を行う。

## 7. ワイヤーロープ式防護柵の仕様検討

我が国では、ワイヤーロープ式防護柵の施工実績がないため、社団法人鋼製防護柵協会と共同研究を締結し、Trinity社(米国)の製品(写真-5)を輸入し、一般国道の分離帯に設置できる防護柵Bm種に対応した性能確認試験を平成21年3月に行った<sup>9)</sup>。その結果、車両の逸脱防止性能は、防護柵を突破されない強度を有していた。懸念されていた変形性能は、大型貨物車の最大進入行程が0.585mとなり、規定値の1.1m以下を満たした。

Trinity社のワイヤーロープ式防護柵は、Bm種の性能

を有することが明らかになったが、日本での生産や改良に向け、ライセンス等についてTrinity社の担当者と話し合った結果、合意に至らず、新たな防護柵を開発することが必要となった。新たに開発するワイヤーロープ式防護柵は、鋼製防護柵協会との共同研究の下、日本の防護柵設置基準<sup>9)</sup>に合致し、手でワイヤーと支柱を外すことにより、部分的に中央分離施設を開放できることなどを要件として、開発を進めた。また、性能としては、高速道路の簡易分離(ラバーポール)2車線区間や一般国道の正面衝突事故対策として、両方に活用できるAm種とした。検討の結果、支柱は、施工性と二輪車の衝突を勘案して、円柱形状とした。支柱を挿入するさや管も円柱形状とし、支柱の直径は89.1mm、さや管の直径は114.3mmを採用した。支柱高さは82cm、さや管の埋め込み深さは70cm、支柱ピッチは3m、材質はSTK540とした。ワイヤーロープは4本とし、地表からの高さは、上から75cm、64cm、53cm、42cmに位置する(写真-6)。支柱には、樹脂製の間隔保持材を設けた。端末基礎は、できるだけ設置する幅員が少なくなるように、ワイヤー端部を道路の縦断方向に沿って1列に配置した。平成22年3月にAm種の性能確認試験を行った結果、乗用車を使用した試験条件Bでは、Am種の性能を満足したが、大型貨物車を使用した試験条件Aでは、車両が防護柵を突破し、Am種としての性能を有していないということが明らかとなった。



写真-5 Trinity社の防護柵



写真-6 新規開発の防護柵

性能確認試験の結果を踏まえ、ワイヤーロープ式防護柵の改良を検討した結果、支柱の高さと材質、ワイヤーロープの高さ、支柱スリットの形状を変更した。支柱の材質をSTK540から、より軟らかいSTK400に変更した。支柱の高さは地表から92cm、ワイヤーロープの高さは、上から86cm、75cm、64cm、53cmに変更した(写真-7)。また、ストラップ数も2個とした。支柱の地盤は、前回は砂質土を締め固めた地盤に対して、アスファルト舗装とし、平成23年1月に再試験を行った。その結果、乗用車を使用した試験条件Bでは、Am種の性能を満足したが、大型貨物車を使用した試験条件Aでは、前回のような防護柵を突破するという現象は発生しなかったものの、最大進入行程が1.99mとなり、防護柵設置基準の1.5m以下という値を満足することが出来ず、Am種としての性能を有していないということが明らかとなった。大型貨物車を使った試験条件Aで最大進入行程が、大きくなった要因は、4本のワイヤーロープのうち、3本の

ワイヤーロープが、車輪の回転により引き下げられて、最上段の1本しか機能しなかったことによるものである(写真-8)。



写真-7 改良した防護柵 写真-8 大型貨物車衝突状況

平成22年と平成23年に行った性能確認試験の結果を検証し、分離帯用Am種(高速道路)の基準に合致したワイヤーロープ式防護柵を開発するために、鋼製防護柵協会が所有するCGシミュレーションを活用しながら、防護柵の仕様検討を行った。ワイヤーロープ式防護柵は、ワイヤーロープのたわみで衝撃を吸収する反面、対向車線へのはみ出し量、すなわち最大進入行程が大きくなるなど、仕様を検討する際にはトレードオフの関係にある必要条件が多い。例えば、大型貨物車の進入行程を小さくするためには、支柱の強度を高めることやワイヤーロープの設置高さを高くすることが考えられるが、乗用車衝突時の離脱速度低下やワイヤーロープが車体を捕捉出来ないことが懸念されるなど、二律背反にある条件を満足させるバランスの取れた仕様が求められる。

CGシミュレーションでは、防護柵の支柱の材質、板厚の他、ワイヤーロープの本数、高さ、バンド数、張力、支柱の設置間隔等の数値を変えて、性能確認試験と同じ条件でシミュレーションを行い、離脱速度、離脱角度、最大進入行程等の結果から、分離帯用Am種(高速道路)の基準を満足すると思われる2種類の仕様を得た。2種類の仕様は、板厚が4.2mmと3.2mm以外、全て同じ仕様である。

性能確認試験のために2種類の仕様の防護柵を試作し、苫小牧寒地試験道路においてテストドライバーによる実車衝突実験を行って最終仕様を決定した。苫小牧寒地試験道路における実車衝突実験は、テストドライバーが車両を運転し、「防護柵設置基準・同解説」のAm種に対応した防護柵性能確認試験と同じ条件で行った。ただし、乗用車の衝突条件Bは危険が伴うため、大型貨物車の衝突条件Aによる実車衝突実験を行った。実車衝突実験の結果、板厚4.2mmのタイプでは下3段、板厚3.2mmのタイプでは下2段のワイヤーロープが車輪の回転により引き下げられ、最大進入行程(1.5m以下)、離脱速度(衝突速度の6割以上)、離脱角度(衝突角度の6割以下)やその他の項目を含め、全ての項目で基準を満足した。実験結果は大差がなかったが、衝突後の車両軌跡を解析した結果、板厚4.2mmのタイプの方が車両の向きを素早く変えていることから、車両の誘導性能上有利であると判断し、この仕様で性能確認試験を行うこととした。

最終的な防護柵の仕様の主な変更点を以下に示す。

- ・支柱の高さ(92cm→103cm)
- ・ワイヤーロープの本数(4本→5本)
- ・最上段のワイヤーロープの高さ(86cm→97cm)
- ・支柱の板厚(3.2mm→4.2mmまたは3.2mm)
- ・ストラップの数を削減(2個→1個)

平成24年1月に行った性能確認試験は、平成22年、平成23年に行った試験と同様に高速道路に設置できるA種の実車衝突試験を国土交通省国土技術政策総合研究所内の衝突試験施設で行った。

試験条件は、以下の通りとした。

- ・防護柵種別：Am種
- ・防護柵形式：ケーブル型たわみ性車両用防護柵
- ・基礎種類：土中用基礎(両端アンカー)

車両が衝突する箇所の間支柱の地盤は、平成23年の再試験と同様にアスファルト舗装とした。防護柵の設置状況を写真-9、試験条件を表-2に示す。



写真-9 再改良した防護柵の設置状況

表-2 性能確認試験の衝突条件(Am種)

衝突条件A				
<試験日 平成24年1月18日(水)>				
試験車両 質量(t)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)	衝撃度 (KJ)	車両重心 高さ(m)
20.0 (20.1)	52.0 (52.3)	15.0 (14.9)	140.0 (140.0)	1.4 (車両総重量時)

衝突条件B		
<試験日 平成24年1月12日(木)>		
試験車両 質量(t)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)
1.0 (1.06)	100.0 (100.6)	20.0 (20.7)

・地盤条件:標準地盤上  
(表層はアスファルト舗装:150mm)  
・支柱基礎:土中埋込み  
(支柱を土中のサヤ管に埋込み)  
・供試体長:69.0m  
・施工方法:北海道開発局 道路・河川工事仕様書に準拠

※( )内の数値は試験結果を示す。

性能確認試験の結果、車両の逸脱防止性能は、大型車が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た(写真-10、写真-11)。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95.2m/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:1.48m、乗用車:1.02m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83.1%、乗用車66.1%)、離脱角度が衝突角度の6割以下(大型車0%、乗用車35.7%)と規定を満足した。その結果、「防護柵設置基準・同解説」に定めるAm種の試験項目に対し、全て基準値を満足したことが明らかになった。



写真-10 車両衝突時の状況 (左: 大型車, 右: 乗用車)



写真-11 防護柵衝突後の大型車の軌跡

## 8. ワイヤロープ式防護柵の施工方法

ワイヤロープ式防護柵は、支柱基礎であるスリーブに支柱を差し込み、ワイヤロープを添架する方式を採用している。開発したワイヤロープ式防護柵のスリーブは直径114.3mmの鋼管（丸パイプ）で、長さは70cmである。上端から40cmの位置に支柱を支えるための鉄筋を配置している。スリーブの底には施工時の土砂混入防止と設置後の雨水流入防止のために鉄蓋を溶接している（写真-12）。



写真-12 スリーブ管 (左) と管内の支柱支え (右)

スリーブは既設のガードレールやガードケーブルの支柱と同じ直径であるため、施工機械はガードレール支柱打込機（モンケン式）を使用した。ただし、ガードレール支柱打込機ではスリーブを舗装表面まで打ち込むことができないため、打ち込みに特別なアタッチメントが必要となった。ブレーカーに接続するアタッチメントに求められる性能としては、スリーブ管を素早く正確に打ち込むこと、耐久性を有することなどが挙げられるが、検討の結果、打込時の反力でスリーブ管が左右にぶれないようにするため、アタッチメントは鉄材を削りだし、取り付け部から先端まで一体化させ、支柱打込機に上手く収まるように作成した。さらに、底蓋の損傷を防ぐため、アタッチメントの先端は底蓋の形状に合わせた（写真-13）。スリーブ打込み方法は、アスファルト舗装を削孔した後に、打込に要した時間を計測した。削孔径は110mmとした。22箇所のスリーブ管施工時間を計測した

結果、舗装削孔時間は、平均約2分30秒、次の削孔位置への移動準備を含めた削孔時間全体では、約4分を要した。スリーブ管打ち込みは、平均5分を要したが、慣れるに従って約4分まで短縮された。移動準備を含めた打ち込み時間全体では、約7分を要した。



写真-13 アタッチメントの装着 (左) と装着後の状況 (右)

## 9. 施工時における初張力の検討

ワイヤロープ式防護柵は、主にワイヤロープの張力によって衝突車両を受け止めるため、張力が低下すると機能も低下する可能性がある。緊張後のワイヤロープは、時間の経過とともに張力が低下するため、施工後の張力管理が必要となる。2車線道路の中央にワイヤロープ式防護柵を設置する場合、張力の測定や再緊張の作業には、交通規制が必要となるため、張力低下は少ない方が望ましい。そのため、初張力の導入時に規定の値よりも高い張力を掛け、短時間でワイヤロープの初期伸びを促進するプレストレッチ法を試行した。

プレストレッチでは人力で緊張させることが可能な最大張力33kN(3365kg)を掛け、その後にガードケーブルの初張力として「防護柵の設置基準・同解説」に指定されている22kN（冬期）に調整した。この際、プレストレッチ法の有効性を検証するため5本のワイヤロープの内、1本はプレストレッチを行わない方法で緊張した。また、プレストレッチの状態に保つべき時間を検討するために、4本に33kN(3365kg)の張力を掛けている時間は、1時間、2時間、3時間、18時間とした上で、平成24年2月9日に5本のワイヤロープを22kN(2243kg)に調整した。その後、張力測定を、1日後、2日後、3日後、4日後、1週間後、2週間後、3週間後、4週間後に行った。測定の結果、プレストレッチ無しの場合、緊張の1日後から張力低下が起り、4週間後の張力低下は18.3%であった。プレストレッチ有りの場合、4週間後の張力低下は1時間で5.8%、2時間で9%、3時間で1.3%、18時間で4%となった。緊張時間の大小と張力低下の割合の関係には、バラツキはみられたが、プレストレッチ法の有効性は確認することができた。一方、適当なプレストレッチ時間は見いだせなかったが、わずか1時間でも相当の効果があることがわかった（図-2）。なお、プレストレッチされたワイヤロープを22kNに調整した後に張力の上昇がみられたが、これは測定時の気温低下の影響と思われる。

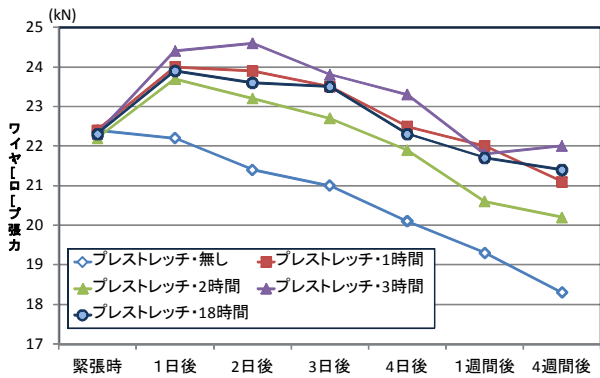


図-2 張力測定結果

## 10. 実道への試行導入

ワイヤーロープ式防護柵は、防護柵設置基準におけるAm種の性能を有していることが明らかになった結果、平成24年11月に開通した道央自動車道大沼公園ICから森IC間（延長約9.7km）が、当該区間内、約1.6kmの延長で試行導入された。当該区間は、暫定2車線区間であるが、法定最高速度80km/hとなっている（写真-14）。また、平成24年12月には、一般道では全国初となる一般国道275号音威子府村天北峠において試行導入された（写真-15）。当該区間は延長320mであるが、山間部で曲線半径210mと厳しい線形であり、ワイヤーロープ式防護柵の開発目的であった「ランブルストリップスは山間部の縦断勾配や平面線形などの道路線形が厳しい区間で効果が減少し、物理的に車線逸脱を防ぐことが求められる。」ということに合致する。なお、曲線部では曲線半径に応じて中間支柱の間隔を短縮する必要があるが、曲線半径が200m以上250m未満の場合は2m（暫定値）としている。



写真-14 道央自動車道（左）と冬期道路状況（右）

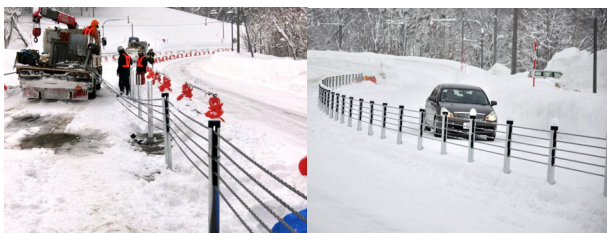


写真-15 R275天北峠での施工状況（左）と施工後の状況（右）

## 11. 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。ワイヤー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、整備コスト削減と安全性の向上が期待できる。本研究では、ワイヤーロープのたわみで衝撃を吸収する反面、対向車線へのはみ出し量を小さくするという難しい課題を解決すべく、支柱の高さや硬さ、形状、ワイヤーロープの高さや本数、張力、支柱の設置間隔等の組み合わせを検討し、最適な仕様を模索した。その結果、平成24年1月に行った性能確認試験により、防護柵設置基準に定める分離帯用Am種（高速道路）の基準を満足したことを確認した。平成24年秋以降には道央道、磐越道、紀勢道と一般国道275号において試行導入された。今後は、張力低下や事故発生時の状況、復旧に要する時間・費用等の維持管理に掛かるデータを収集すると共に、B種に適合する仕様の検討や実験の実施、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、施工・維持管理マニュアルの策定を行う予定である。

### 参考文献

- 1) 平澤匡介ほか：新しい事故対策手法としてのランブルストリップスの開発と実用化に関する研究，土木学会論文集 第4部門 NO.800 / IV-69，平成17年10月。
- 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) Derr, B.: Application of European 2+1 Roadway Designs, NCHRP RESEARCH RESULTS DIGEST, 2003. 4.
- 6) CASS Cable Safety System Product Manual, Trinity Industries Inc.
- 7) BlueSystem社ホームページ; <http://www.bluesystems.se/>
- 8) 防護柵の設置基準・同解説，（社）日本道路協会，平成20年1月。
- 9) 平澤匡介ほか：2車線道路における緩衝分離構造の導入可能性の検討，土木計画学研究・論文集Vol. 27, No. 5, pp. 1035-1044, 2010. 9.