

2車線道路における緩衝分離構造の導入可能性の検討*

Feasibility Study of Wire Rope Guardrail Systems on Two Lane Road in Japan*

平澤匡介**・武本東***・葛西聡****

By Masayuki HIRASAWA**・Azuma TAKEMOTO***・Satoshi KASAI****

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りやすい。郊外部の国道は、大部分が往復非分離の2車線道路であり、限られた空間を対向する車両が高速で移動するために、正面衝突事故が起きると、死亡事故等の重大事故になりやすい。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ない、設置は限定される。道路幅員が狭い道路の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、このような区間に中央分離施設を設置する場合、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、支柱が細く緩衝機能があり、必要幅員も少ない。本稿は、ワイヤーロープ式防護柵を日本の2車線道路の分離施設として導入するために、試験道路における試験施工や性能を確認するための衝突試験を行い、道路構造令や防護柵設置基準等の適用性を検討し、日本における導入可能性を考察した結果を報告する。

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16年度まで13年間続いた都道府県別交通事故死者数ワースト1を平成17年から平成20年まで4年連続で返上したが、平成20年の交通事故死者数は依然228人で、致死率も全国平均の約1.6倍と未だに深刻な状況が続いている。交通死亡事故で、最も多い事故類型は正面衝突で、全体の26%を占め、その割合は全国に比べ約2倍以上である(図-1)。また、道路種別では、国道が最も多く、約半数近くを占める。

*キーワード：交通安全、道路計画、サービス水準

**正員，博士(工学)，(独)土木研究所寒地土木研究所

(札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34、

TEL011-841-1738、FAX011-841-9747)

***正員，工修，(独)土木研究所寒地土木研究所

****正員，工修，(独)土木研究所寒地土木研究所

(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(写真-1)の開発及び実用化を行った¹⁾。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、従来の中央分離帯では、拡幅等を伴うため費用が高額になり、設置が限られている。

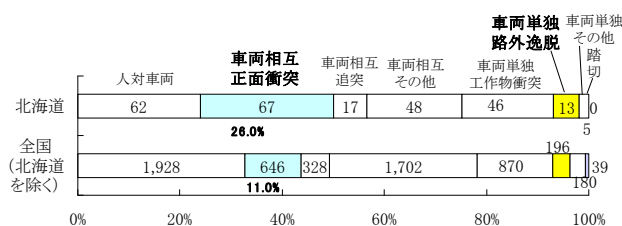


図-1 事故類型別死亡事故件数(H18)



写真-1 ランブルストリップス(左：R237、右：R275)

3. 欧米におけるワイヤーロープ式防護柵

狭幅員でも中央分離施設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車線道路におけるワイヤーロープ式防護柵がある。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)。



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)

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-3）。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-3 ガードケーブル（左）とワイヤーロープ式防護柵（右）

スウェーデン国内のワイヤーロープ式防護柵は、1991年から1992年の間に試験的に導入が開始され、その後、1993年から1994年までの間、設置延長が増加した。これとは別に、スウェーデンでは追い越し需要に対応するために、13mの広幅員の2車線道路を整備したが、1990年代に重大事故の多発から、コストが安い対策として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²⁾。2+1車線道路を導入している欧州のスウェーデン以外の国では、防護柵を設置するのは限定的である。

米国では、ワイヤーロープ式防護柵が正面衝突事故対策として中央に設置されたのは、1968年にニューヨーク州運輸省が低張力の3本ワイヤーロープを使った防護柵が最初である。2001年には英国のBriflen社が連邦道路局(FHWA)の認可を受けた高張力のワイヤーロープ式防護柵のマーケティング活動を米国で開始し、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³⁾。

米国とスウェーデンの大きな違いは、米国が上下線の分離されている広幅員の中央帯に防護柵を設置していることに対して、スウェーデンは、上下線が分離されていないことに加え、全幅員が13mと狭いことである。

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、ワイヤーロープ：ガードレール：コンクリートの比率は、約1:2:3程度である。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-4）。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、物損事故が増えた。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⁴⁾。

2車線区間に中央分離施設を導入する際の最大の課題は、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ため、膨大な設置費用となる。



写真-4 ワイヤーロープ式防護柵の衝突実験状況⁵⁾

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（写真-2）を設けているほか、写真-5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。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-5 緊急時の開放例

5. 欧州と日本の防護柵設置基準

ワイヤーロープ式防護柵を日本に導入するためには、防護柵の設置基準に示す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。このうち、ワイヤーロープ式防護柵にとって、最も厳しいのは変形性能である。支柱が変形して衝撃を吸収することが特徴なので、日本に導入されなかった一因と思われる。

日本の防護柵の変形性能に関する基準値は最大進入行程と呼ばれ、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）。一般国道の場合は主にB種：1.1mが適用される⁶⁾。スウェーデンは欧州規格 EN 1317-2 に準じており、2 + 1 車線道路の場合、衝突試験の条件は Level N2 で最大進入行程は W5Class の 1.7mである⁷⁾（表-2）。

表-1 日本における分離帯用防護柵の許容最大進入行程⁶⁾

	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

表-2 欧州における分離帯用防護柵の許容最大進入行程⁷⁾

クラス	最大進入行程	クラス	最大進入行程
W1	W ≤ 0.6m	W5	W ≤ 1.7m
W2	W ≤ 0.8m	W6	W ≤ 2.1m
W3	W ≤ 1.0m	W7	W ≤ 2.5m
W4	W ≤ 1.3m	W8	W ≤ 3.5m

これらの数値は、衝突試験の条件が異なるので、一概に比較することは難しい。そこで、衝突試験の衝撃荷重を計算した結果、スウェーデンで採用している条件は日本のB種より大きく、A種より小さい値となった（表-3）。最終的には衝突試験を実施しなければ、正確な最大進入行程は把握できないが、日本のB種の防護柵として適用できる可能性が見いだせた。なお、衝撃度の算出を図-2に示す⁶⁾。

表-3 日本の基準と欧州規格における強度性能

	種別	車両重量(kg)	衝突速度(km/h)	衝突角度(度)	衝撃度(kJ)
防護柵の設置基準・同解説	B種	25,000	30	15	58.1
		1,000	60	20	16.2
	A種	25,000	45	15	130.8
		1,000	100	20	45.1
EN1317	Level N2	900	100	20	40.6
		1,500	110	20	81.9

$$Is = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{V}{3.6} \cdot \sin \theta \right)^2$$

ここでIs：衝撃度(kJ)

M：車両質量(t)

V：衝突速度(km/h)

θ：衝突角度(度)

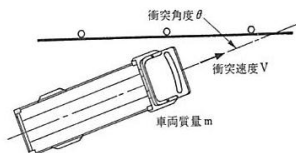


図-2 衝撃度の算定式⁶⁾

6. 施工方法の検討

ワイヤーロープ式防護柵を導入するに当たり、日本では施工方法も明らかになっていない。そこで鋼製防護柵協会と共同研究を締結し、製品を輸入し、苫小牧寒地試験道路において試験施工を行うこととした。

製品の輸入に当たっては、まず、ワイヤーロープ式防護柵の製作会社とその製品を調査した。その結果、英

国の Brifen 社、米国の Trinity 社、Gibraltar 社、Nucor 社、スウェーデンの Blue System 社、Gunnebo 社等の製品があり、それぞれ支柱の形状やワイヤーロープの添架方法に特徴があることが分かった（写真-6）。この中から、前述のように、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が出来る製品は、Trinity 社と Blue System 社の製品で、両者の大きな違いは、支柱の形状が上から見て I 型か C 型の形状であることである。C 型の支柱は、四隅が丸みを帯びており、二輪車の衝突を想定すると、I 型の支柱のエッジが鋭利であることに比べ有利である。また、輸入に掛かる費用と時間は、スウェーデンに比べ、米国の方が少ないので、Trinity 社の製品を輸入し、試験施工や性能確認試験を行うこととした。



写真-6 各社のワイヤーロープ式防護柵；Brifen社⁷⁾（左上）、Trinity社（右上）、Gibraltar社⁷⁾（左中）、Nucor社⁷⁾（右中）、Blue System社⁷⁾（左下）、Gunnebo社⁷⁾（右下）

試験施工に用いたワイヤーロープ式防護柵の支柱は、C-100×50×4-1200（C 型形状、縦×横×厚さ-長さ、単位；mm）で、地上高さ 800mm である。スリーブ管は、□-76.2×127×2.9-686（角パイプ形状、縦×横×厚さ-長さ、単位；mm）である。ワイヤーロープは、3 段で、上段は地表から高さ 75cm、同様に中段は 64cm、下段は 53cm に位置する。防護柵の端末基礎は、コンクリート基礎に L 字型のアンカーブラケットをアンカーボルトで留める構造である（図-3）。

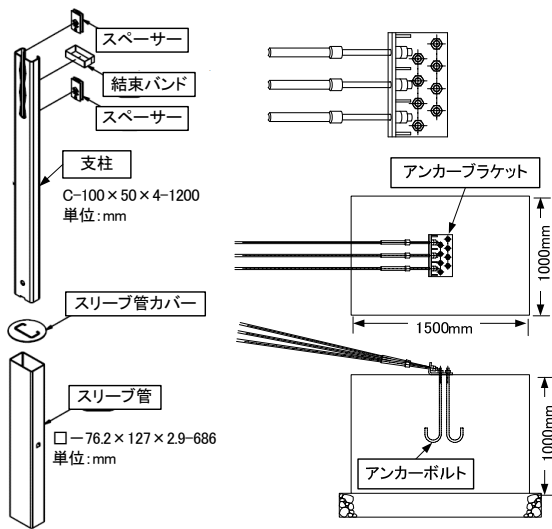


図-3 ワイヤロープ防護柵の支柱、スリーブ管（左）と末端基礎（右）の詳細図

ワイヤロープ式防護柵をカーブ区間で設置する場合は、内側への傾きや道路線形とワイヤロープの位置に差が生じることに注意しなければならない。そこで、直線区間（延長 200m）の試験施工に加え、曲線半径が 100m と 200m のカーブ区間（延長共に 100m）を施工することとした。

施工方法については、スリーブ管が角パイプの形状なので、筆者らは、平成 20 年 11 月にスウェーデンを訪問し、調査を行った²⁾。その結果、写真-7 に示すようにドリルは使わず、油圧ハンマーの先の特殊なアタッチメントにスリーブ管を装着して、アスファルトに直接打撃で挿入する施工方法を確認した。装着から挿入完了までに掛かる時間は、20 秒程度であった。中間支柱は、打ち込まれたスリーブ管に直接差し込まれる。現地の施工会社に施工速度を尋ねたところ、概ね 1 日で 1km の施工が可能と回答があった。標準仕様の支柱間隔は 3m なので、約 330 本の中間支柱建込に相当する。日本国内において、機械打込によるガードケーブル中間支柱建込の 1 日当たり施工量は、国土交通省の標準歩掛で 50 本なので、ワイヤロープ式防護柵の施速度は、ガードケーブルの施工速度の約 6 倍となる。



写真-7 スリーブ管施工機械（左）と施工後の状況（右）

苫小牧寒地試験道路における試験施工は、鋼製防護柵協会の協力の下、スリーブ管をアスファルトに挿入するためのアタッチメントを作成し、直接打撃で施工した

（写真-8）。スウェーデンの専用機と違い、高速かつ確実な施工とならなかったが、3 日間延べ 19 時間で 184 本のスリーブ管を施工し、平成 20 年 12 月に施工を完了した（写真-9）。



写真-8 作成したアタッチメント（左）と施工状況（右）



写真-9 直線区間の支柱（左）と末端部施工状況（右）

直線区間の試験施工は、寒地試験道路内の試験走路上に施工し、曲線半径が 100m と 200m のカーブ区間は試験走路上に設置できる場所がないので、敷地内の未舗装の条件でスリーブ管を土中に埋め込むこととした（写真-10）。土中埋め込みは、アスファルト舗装の場合に比べ、地盤の支持力が弱く、内側へ傾くリスクがあり、不利な条件ではあるが、この条件で傾きが少なければ、実道への施工条件としての制約が少ないこととなる。



写真-10 カーブ区間の施工中（左）と施工後（右）の状況

カーブ区間に設置したワイヤロープ式防護柵の傾きは、張力を負荷し、中間支柱と基礎部の移程量を計測した。試験条件は、曲線半径が 100m と 200m 区間（設置延長は共に 100m）で、張力を緊張前の 0.7t から 1.0t、1.5t、2.0t にした時の中間支柱頭部の移程量、スリーブ管頭部の移程量を計測した（図-4、図-5）。その結果、張力が 2.0t の場合でも中間支柱が倒れ込むことは無く、曲線半径の違いによる移程量の違いを見いだすことはできなかった。全体的に中間支柱の移程量の方が、スリーブ管の移程量より大きな値となった。ただし、曲線半径 200m に設置したスリーブ管については、横方向のみ最大張力 2.0t で移程量 11.7mm となり、全体で最も大きな値を示した。

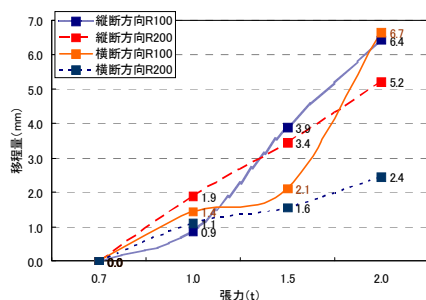


図-4 カーブ区間における中間支柱の変位測定結果

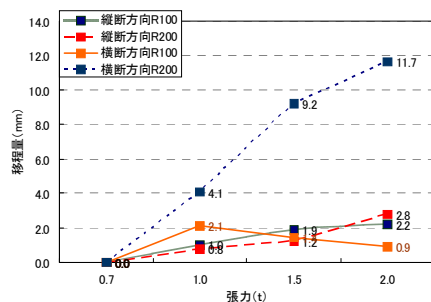


図-5 カーブ区間におけるスリーブ管の変位測定結果

試験施工の結果、いくつかの課題を見いだすことができた。スリーブ管の打設に関しては、短時間で垂直に建込むために専用の打込機械が必要であること、アタッチメントとスリーブ管の間に土砂が混入して、スムーズに建て込むことができなかったため、土砂を混入させない工夫が必要であることなどが明らかになった。スウェーデンの施工会社はスリーブ管の底に金属製のキャップを付けて建込んでいたが、写真-6 のようにアスファルト舗装のひび割れを誘発していたので、対応策の検討が必要である。また、ワイヤーロープの張力を調節するターンバックルは全長 370mm のうち調整代が約 270mm しかなく、施工延長が長くなるほどロープの伸びも大きくなるので、より長いターンバックルが望ましい。また、ターンバックルへのロープの継ぎ手加工の精度も検討しなければならない。アンカーブラケットについては、ワイヤーロープの 3 本が並列に接続されているので、1 本目の中間支柱までの 3m の区間は中間支柱の幅の 10cm よりも幅広となる。部分的ではあるが、道路構造令上の建築限界を侵すことになり、この区間の中央帯はより広い幅が必要となる（写真-11）。



写真-11 ターンバックルによるワイヤーロープ緊張作業（左）と末端のアンカーブラケット（右）

7. ワイヤーロープ式防護柵の性能確認試験

ワイヤーロープ式防護柵の性能評価のため、平成 16 年 3 月付け国土交通省道路局長通達「防護柵の設置基準の改正について」（以下防護柵基準という）に示される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において行った。ワイヤーロープ式防護柵の供試体は、試験施工を行った Trinity 社の製品を使用し、諸元を表-4、設置状況を写真-12 に示す。

表-4 ワイヤーロープ式防護柵の供試体諸元

項 目	8種
支柱サイズ	G-100mm×50mm×4mm
支柱ピッチ	3.0m
ワイヤーロープ	3段
地表からワイヤーロープまでの高さ	上段：750mm 中段：640mm 下段：530mm
支柱の高さ	800mm
スリーブ管の土中埋込み長	700mm (支柱のスリーブ管埋込み長は400mm)
ブロックアウト量	0mm



写真-12 ワイヤーロープ式防護柵の供試体設置状況

試験条件は、一般国道に設置することを想定して、以下の通りとした。

- ・防護柵種別：Bm 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）

衝突試験は大型車（衝突条件 A）と乗用車（衝突条件 B）の 2 回行うことが決められている（表-5）⁶⁾。主な試験項目は、車両の逸脱防止性能、乗員の安全性、車両の誘導性能、構成部材の飛散防止性能である。

表-5 衝突条件

衝突条件A				
<試験日 平成21年3月10日(火)>				
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 (20.2)	35.0 (35.1)	15.0 (15.3)	63.0 (66.7)	1.4 (車両総重量時)
衝突条件B				
<試験日 平成21年3月6日(金)>				
試験車両 質量(t)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)		
1.0 (1.1)	60.0 (60.2)	20.0 (21.1)		

- ・地盤条件：標準地盤上
- ・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：75.0m
- ・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。

衝突試験を行った結果（写真-13）、車両の逸脱防止性能は、ワイヤーロープと支柱が取り外れる構造になっているが、防護柵を突破されない強度を有しており、変形性能は、大型車の最大進入行程が 0.585m、乗用車が 0.635m で、規定値の 1.1m 以下を満たしている。

乗員の安全性能は、乗用車の車両重心位置の最大加速度が $38.1\text{m/s}^2/10\text{ms}$ となり、規定値の $90\text{m/s}^2/10\text{ms}$ を満たしている。

車両の誘導性能は、車両の挙動が横転などしなかったこと、離脱速度は衝突速度の 6 割以上（大型車 71.2 % : 25.0km/h/35.1km/h、乗用車 65.9 % : 39.7km/h/60.2km/h）、離脱角度は、衝突角度の 6 割以下（大型車 24.8 % : 3.8 度/15.3 度、乗用車 0 % : 0 度/21.1 度）と規定を満たしている。

構成部材の飛散防止性能は、ケーブルと支柱が取り外れる構造となっているが、主要部材の飛散は見られず、規定を満たしている。



写真-13 衝突時の状況（左：大型車、右：乗用車）

衝突後のワイヤーロープ式防護柵は、支柱が破損しているにもかかわらずワイヤーの緊張は保たれており（写真-14）、ワイヤーに傷が無ければ、支柱を交換するだけで補修が完了するので、修繕費用を抑えることが出来る。ただし、幅の狭い道路に設置することや軽微な接触でも支柱はダメージを受けるので、維持管理コストについては、今後の検討課題である。



写真-14 衝突後の状況と損傷した支柱（上段：大型車、下段：乗用車）

また、衝突試験に用いた車両の破損状況では、大型車が、バンパーと左前輪のホイールがわずかに破損している程度に対して、乗用車は、バンパーが外れ、車両の

左前部はワイヤーロープにめり込む形で停止した。ただし、乗用車は左前輪を損傷したが、自走が可能であり、車室内の損傷は無かった（写真-15）。



写真-15 衝突車両の破損状況（左：大型車、右：乗用車）

8. 冬期維持管理上の課題検討

（1）除雪作業試験

北海道での実用化に向けて、冬期間の維持管理上の課題を検討した。最重要課題は、狭い幅員に設置することに加え、支柱が堅牢ではないため、除雪作業により折損等の影響が懸念される。他方、除雪後の雪は、堆雪された雪堤からこぼれ落ちてくるので、防護柵にできるだけ近づいて除雪作業を行うことが望ましい。そこで、除雪作業による中間支柱への影響と除雪作業後の堆雪の状況を測定する試験を行った。試験方法は、ワイヤーロープ式防護柵に沿って除雪車を走行させ、除雪ブレードが支柱から 10cm, 20cm, 30cm, 40cm, 50cm の離れた位置で各々約 10m の延長で除雪作業を行い、支柱に変位がある場合は、その移程量を計測することとした（図-6）。また、除雪作業後に、各支柱付近の堆雪した雪堤高さ L1 と除雪位置の雪堤高さ L2、雪堤から落ちこぼれた雪の幅を測定した（図-7）。除雪作業には、ある程度の雪の量が必要なので、試験道路内にある雪を集めて、50cm 程度の高さに敷きならしてから試験を行った。

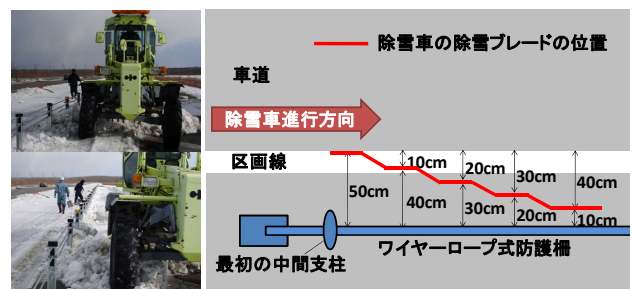


図-6 除雪作業試験と試験方法

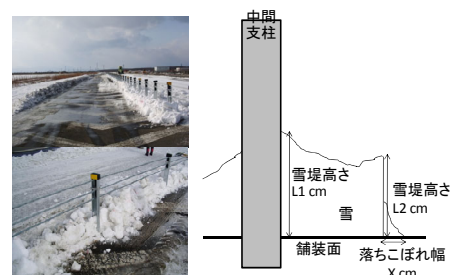


図-7 堆雪状況（左）と測定項目（右）

試験は、平成 21 年 2 月 16 日 13 時～14 時に行い、気温は -3.0°C 、路温は -1.0°C であった。試験の結果、支柱に変位は見られず、ワイヤーロープへの雪の付着も無かった。また、防護柵に最も接近した場合でも、除雪作業の効率性の低下は確認できなかった。

除雪位置と支柱付近の雪堤高さに相関は確認できなかった。同様に、除雪位置と除雪位置の雪堤高さにも相関は確認できなかった(図-8)。また、除雪位置の雪堤高さと堆雪時の落ちこぼれ幅も、相関は確認できなかった(図-9)。

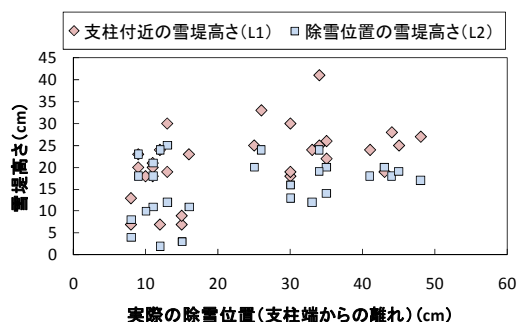


図-8 除雪位置と雪堤高さ

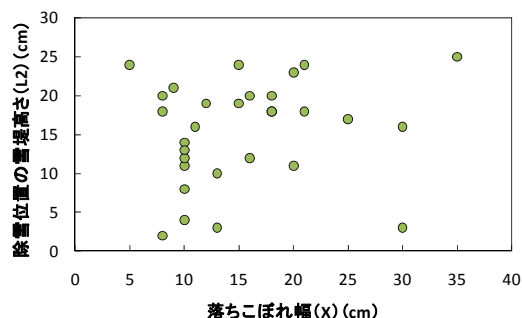


図-9 除雪位置の雪堤高さと落ちこぼれ幅

(2) 浸水試験

緊急時に中間支柱を抜いて、交通を開放することを想定した場合、冬期間の凍結により中間支柱が抜けなくなるリスクがあると考えられる。そこで、中間支柱の基礎部であるスリーブ管内に注水し、貯留水による結氷状況を測定した(写真-16)。



写真-16 スリーブ管内の浸水試験状況

試験は、平成 21 年 2 月 17 日 7 時～11 時に行い、注水は、6 本のスリーブ管に行った。気温は、 -5.0°C ～ 16.0°C 、路温は、 -1.0°C ～ 9.2°C であった。注水の結果、いずれの場合もスリーブ管内部の結氷は確認されず、満水にした水は、15 分ほどで全て浸透した。また、注

水時の気温が -5°C と -7°C 以下の場合に分けて、整理したが、差は無かった(図-10)。

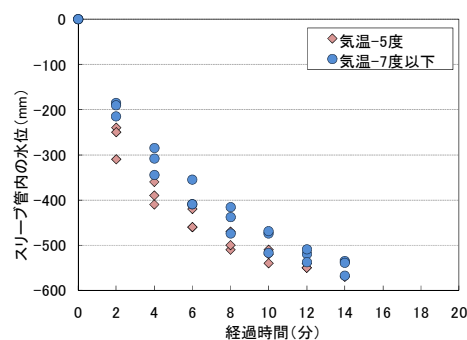
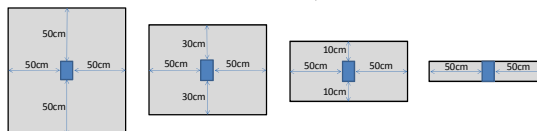


図-10 スリーブ管内の浸水試験測定結果

(3) 融雪水による凍結試験

注水では凍結しなかったが、融雪水のように徐々に侵入する水で凍結することも考えられるので、支柱周辺に雪堤や支柱から離れた位置に雪堤を設置し、この融雪水による支柱基礎部のスリーブ管内の水位状況、およびこれに伴う結氷状況を測定した。雪堤は、支柱の周りに大きさや高さが異なる 8 種類と支柱から離れた位置に 2 種類を作成した(図-11)。計測対象の支柱は、支柱周りに雪堤を作成した 32 本と近隣の雪堤がない支柱 4 本、支柱から離れた位置に作成した雪堤に近い支柱 6 本の計 42 本とした。計測項目は、スリーブ管上端からスリーブ管の中の水または氷までの深さ、気温、路温である。

◆支柱周りに作成する雪堤の規格(高さは15, 30cm)



◆支柱から離れた位置に雪堤の規格

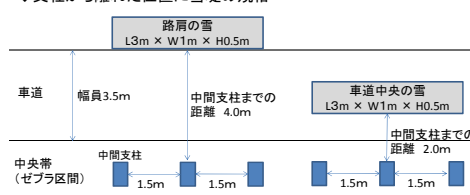


図-11 融雪水による凍結試験の堆雪状況

試験は、平成 21 年 2 月 17 日に雪堤を作成し、2 月 18 日、19 日、20 日に各日 14 時、17 時、20 時の 3 回計測した。雪堤を作成した平成 21 年 2 月 17 日の気温は作成し始めた時点で -8.0°C から終了時には 0°C まで上昇した。翌日の 18 日の計測時の気温は、 0°C から -9°C 、2 日目の 19 日の計測時の気温は、 0°C から -9°C 、3 日目の 20 日は、気温が 1°C から -4°C の範囲であった。また、計測期間中に降雪があり、どの程度融雪水があったのか、確認することができなかった。

計測の結果、スリーブ管内の水位が確認できたのは、462 回中の 64 回であった。また、水位は最大で底から 27mm とわずかであった。気温や支柱周囲に設置した雪

堤の規模や支柱から離れとの相関は確認されなかった（図-12）。

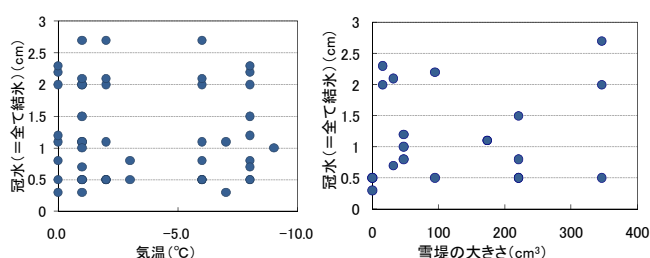


図-12 融雪水によるスリーブ管内の水位測定結果

9. ワイヤロープ式防護柵の設置必要幅の検討

日本の道路構造令では、中央帯は側帯と分離帯で構成されることとされている。また、ワイヤロープ式防護柵は凸型の縁石に変わる道路付属物として位置づけられるので、マウントアップは不要となる。建築限界を侵さない必要最小限度の幅員構成は、道路構造令における特例値の関係により、種級区分により異なる。中央帯の必要幅は側帯＋側方余裕 c ＋防護柵幅 $= 2\phi$ ($0.25 + 0.25$) $+ 0.10 = 1.10$ となるが、道路構造令では、0.25m刻みの数値設定をしており、1.25mで設定される可能性もある。この幅員を第3種2級完成2車線の完全分離に適用すると、総幅員 12.0m が 11.6m となり、道路幅員を 40cm 縮小することができる（図-13）。

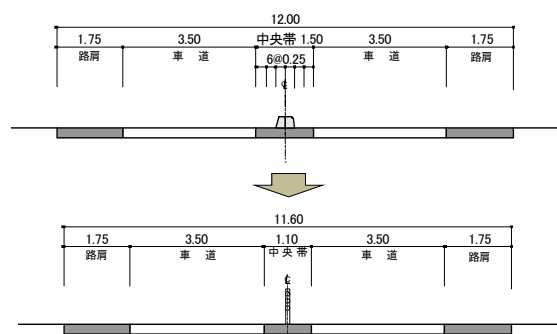


図-13 ワイヤロープ式防護柵設置を考慮した幅員構成（※第3種2級の主要幹線を想定して車線幅員3.50mを採用）

10. 日本国内への導入可能性の検討

ワイヤロープ式防護柵導入に向けた課題を整理した結果、高規格幹線道路や一般国道等の道路種別や橋梁やトンネル等の構造物箇所への設置箇所への適合性、接触事故や補修に掛かる維持管理費や設置・補修時の路上作業エリアの確保・交通規制、スリーブ管内への浸水による影響が挙げられた。

北海道開発局が所管する高規格幹線道路および地域高規格道路における自動車専用道路の大部分は、将来的な完成4車線への移行を前提とした暫定2車線で供用されており、当該区間における設置適合性について検討した。基本断面構成（第1種2級）は、幅員： $W = 2.50 +$

$3.50 + 3.50 + 2.50 = 12.00\text{m}$ である。中央分離帯は設置されないが、簡易分離構造として基本的にラバーポール等のレーンディバイダーが設置されている。道路構造令では分離片側1車線道路の第1種の左側路肩幅員は規定値 2.50m から特例値 1.75m まで縮小できているので、断面総幅を変更しない場合の幅員構成として、1.5m の中央分離帯にワイヤロープ式防護柵を設置し、幅員： $W = 1.75 + 3.50 + 1.50 + 3.50 + 1.75 = 12.00\text{m}$ に変更することが考えられる（図-14）。この場合、「高規格幹線道路等の幾何構造（案）」⁹⁾では、路肩幅員が 2.5m 未満の区間は、標準で 500m 間隔に非常駐車帯を設置することを前提としていることが、導入に向けた課題となる。ワイヤロープ式防護柵は、幅が 10cm 以下なので、1.5m の中央帯でも、0.7m の右側側方余裕を確保できることから、左側路肩に駐車車両が発生しても、ラバーポール等のレーンディバイダーが設置されている状況とほとんど変わらない交通運用ができると推察される。また、従来の防護柵と違い、緊急時に開放できる機能を有することを考慮すると、供用中の暫定2車線区間の高規格道路でも十分に運用でき、かつ、安全性を向上させることが期待されるので、導入を進めるためには「高規格幹線道路等の幾何構造（案）」⁸⁾の改訂または運用上の解釈を検討する必要がある。

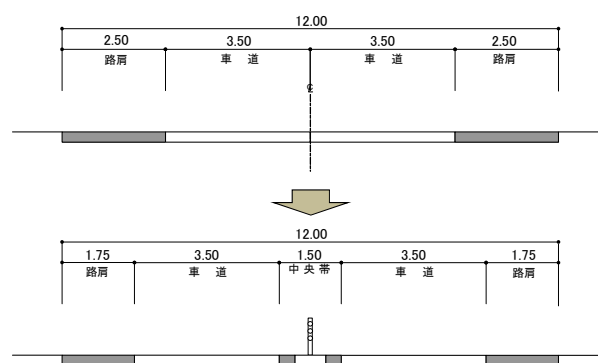


図-14 暫定2車線区間に適用した幅員構成（第1種2級）

一般国道に設置する場合は、寒地試験道路の結果を踏まえると、平面曲線半径 200m 程度であれば、支柱間隔を密にさえすれば、十分に設置は可能と考えられる。縦断線形的にも設置要件の判断となるような制約は特にないものと想定される。設置箇所としては、正面衝突事故対策として通常の中央帯設置では拡張等の用地的制約が大きい区間、付加追越車線（避讓車線含む）の設置区間、沿道出入りが少ない郊外部の区間や比較的線形が緩やかな峠部等の区間、郊外部における往復分離がされていない4車線以上の区間が考えられる。

接触事故や補修に掛かる維持管理費については、スウェーデンで死亡事故は激減したが、人身事故件数の減

少以上に物損事故件数の増加が報告されている⁴⁾。高速道路の2車線区間に設置した場合は、補修時における通行止め等の交通規制も課題である。ただし、人身事故にしなければ、警察官による事故処理に掛かる時間が節減でき、社会的には事故による人的損失も削減できるので、費用便益の観点から検証する必要があると思われる。

スリーブ管内への浸水による影響については、底部を密閉すると路体への影響はなくなるが、支柱の腐食等の影響が懸念される。スリーブ管上端を舗装面より高く設定し、上部を密閉し、底部を開放すると、路体と支柱への影響はなくなるが、衝突時に支柱が受ける衝撃により、スリーブ管上部が破損するリスクが生じる。これらの課題はスリーブ管の施工方法も含めて、今後の課題である(図-15)。

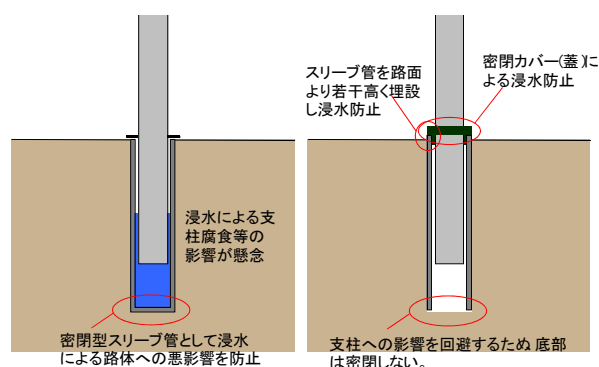


図-15 スリーブ管内浸水への対応 (案)

1.1. あとがき

北海道の2車線道路において、正面衝突事故対策としてランブルストリップスは効果的であった。しかし、物理的に正面衝突を防ぐ対策が必要な箇所であっても、地形的な制約や予算の確保が難しいため、これまでは対策を実施することが出来なかった。ワイヤーロープ式防護柵はそのような区間に対策を実施できるばかりではなく、現在の高規格暫定2車線区間や今後の地域高規格道路等への適応も考えられる。

本報告では、防護柵設置基準に規定した性能確認試験で、試験に用いたワイヤーロープ式防護柵が一般国道の規格であるB種に適合していることが確認できた。この製品は、日本国内の一般国道では、道路中央や路側の防護柵として設置可能である。また、曲線区間においても、内側に傾くことなく設置できることが明らかとなった。ただし、試験施工では、施工方法や製品の品質、形状に課題があり、実用化に向けて対応を検討する必要がある。冬期維持管理上の課題を検討するために行った試験では、除雪作業が支柱に影響を与えることがなかったが、堆雪した雪堤からどのくらい雪がこぼれ落ちるか、良い結果が得られなかった。これは雪質が水を含んだべた雪であったことに起因すると思われる。また、浸水試

験でも、支柱の基礎部であるスリーブ管内が凍結することが確認できず、原因としては凍結抑制層まで達していることと底蓋等がないので、水が短時間に浸透した結果と考えられる。融雪水による凍結試験でも、わずかに結氷が確認できた程度であったので、冬期間でも支柱の引き抜きには影響を及ぼさないとと思われるが、スリーブ管への浸水に対して路盤や路床が受ける影響も懸念される。冬期の維持管理については、様々な気象条件下でどのような課題があるか、今後も継続的に調査検討を行う必要があると思われる。

実用化に向けて解決すべき課題はあるが、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るので、安全性の向上に加え、整備コストの縮減が期待される。特に、どこでも開放区間を設けることができる機能は、従来の防護柵にはなく、日本の2車線道路の分離施設として、導入が期待される。

今後は、防護柵設置基準のA種の性能確認試験を行い、高速道路への導入を検討し、整備効果の把握、実用化に向けた課題の抽出を行う予定である。

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 Re assessment and Recommendations June 2007, A report requested by the Governor of the state of Washington.
- 4) Derr, B. : Application of European 2+1 Roadway Designs, NCHRP RESEARCH RESULTS DIGEST, 2003. 4.
- 5) CASS Cable Safety System Product Manual, Trinity Industries Inc.
- 6) 防護柵の設置基準・同解説，(社)日本道路協会，平成20年1月。
- 7) Brifen社ホームページ；<http://www.brifen.co.uk/>，Gibraltar社ホームページ；<http://www.gibraltartx.com/>，Blue System社ホームページ；<http://www.blue-systems.se/>，Nucor社ホームページ；<http://nucorhighway.com/>，Gunnebo社；<http://www.gunnebo.com/>
- 8) Văgar och gators utformning Säker framkomlighet - Preliminära riktlinjer för utformning, reglering och drift, Văgarverket, 2006. 6.
- 9) 高規格幹線道路等の幾何構造 (案)，(社)北海道開発技術センター，平成13年3月。

2車線道路における緩衝分離構造の導入可能性の検討*

平澤匡介**・武本東***・葛西聡****

中央分離帯がない2車線道路では、限られた空間を対向する車両が高速で移動するために、正面衝突による死亡事故が起きることがある。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、費用が高額になるので、設置は限定される。ワイヤーロープ式防護柵は、支柱が細く緩衝機能があり、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施設として導入するために、試験施工や性能を確認するための衝突試験を行い、道路構造令や防護柵設置基準等の適用性を検討し、日本における導入可能性を考察した結果を報告するものである。

Feasibility Study of Wire Rope Guardrail Systems on Two Lane Road in Japan *

By Masayuki HIRASAWA**・Azuma TAKEMOTO***・Satoshi KASAI****

On two-lane roads without median strips, fatal high-speed head-on collisions often occur in limited spaces. While installation of median strips is permitted under the Road Construction Ordinance, such installations are limited due to high costs. Wire rope guardrail systems use thin posts, have a buffering function and require minimal width. This study examines the possibility of introducing such wire rope guardrail systems to replace median strips on two-lane roads in Japan, by using test construction and collision tests to confirm performance, and by determining the applicability of the above ordinance, guard fence installation standards and other regulations.
