

## 2車線道路におけるワイヤーロープ式防護柵の開発\*

Development of wire rope guardrail systems on two lane road in Japan \*

平澤匡介\*\*・武本東\*\*\*・葛西聡\*\*\*\*・山口健悟\*\*\*\*\*

By Masayuki HIRASAWA\*\*・Azuma TAKEMOTO\*\*\*・Satoshi KASAI\*\*\*\*・Kengo YAMAGUCHI\*\*\*\*\*

### 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ず、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、ワイヤーロープ式防護柵を開発し、施工方法の検討や性能を確認するための衝突試験を行い、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21年まで5年連続で返上したが、平成21年の交通事故死者数は依然218人で、致死率も全国平均の約1.7倍と未だに深刻な状況が続いている。正面衝突による死亡事故は、全体の18%を占め、その割合は全国に比べ約1.7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

\*\*\*\*\*非会員, 東京製綱株式会社

(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>。平成14年から平成18年までに北海道の国道のセンターライン上にランブルストリップスを設置した38路線、延べ延長338kmにおける各箇所の施工前2年間と施工後2年間の正面衝突事故件数を集計した結果、55%の減少となり、大きな正面衝突事故防止効果があることが確認された(図-2)。しかしながら、ランブルストリップスは、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(図-3)。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。

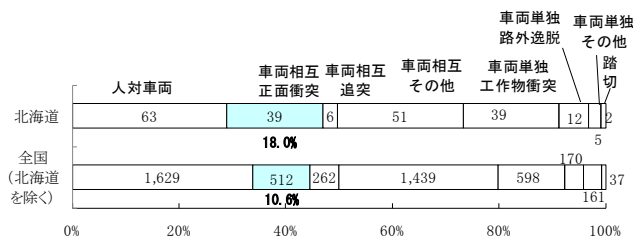


図-1 事故類型別死亡事故件数(H20)

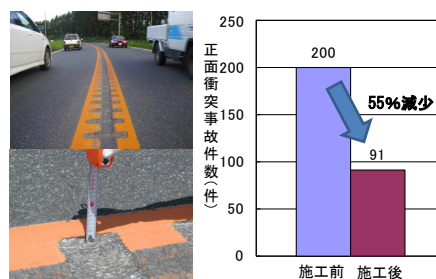


図-2 ランブルストリップス施工箇所の正面衝突事故件数

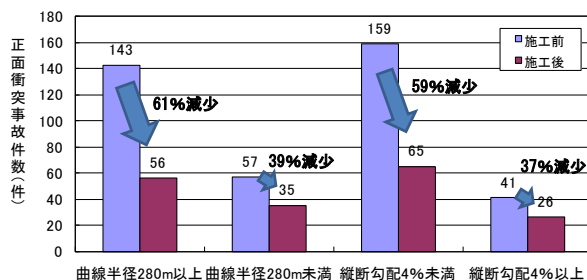


図-3 ランブルストリップス施工箇所の道路線形別正面衝突事故発生件数

### 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-1）。



写真-1 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)

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<sup>2)</sup>。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年には英国のメーカーが連邦道路局(FHWA)の認可を受けた高張力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4つの製品が認可された<sup>3)</sup>。ウィスコンシン州において、3種類の高張力ワイヤーロープ式防護柵中央分離帯に設置し、事前事後調査を行った結果、物損事故は増えたが、重大事故が大きく減少し、費用対効果B/Cが3~12と算出された<sup>4)</sup>。

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。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<sup>5)</sup>。

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解放である。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。

スウェーデンでは、除雪作業等の維持管理のためにUターンができる解放区間を設けているほか、写真-2に示すように手動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-2 緊急時の解放例

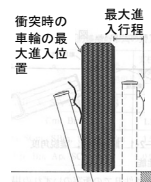
### 5. 欧州と日本の防護柵設置基準

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、高速道路の場合はA種：1.5mが適用される<sup>6)</sup>。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LevelN2で最大進入行程はW5Classの1.7mである<sup>7)</sup>。

表-1 日本における分離帯用防護柵の許容最大進入行程<sup>8)</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



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-2)。

表-2 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

### 6. ワイヤロープ式防護柵の性能確認試験 (B種)

ワイヤ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。ワイヤロープ式防護柵は、米国Trinity社の製品(写真-3)を輸入し、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)

衝突試験は大型車と乗用車の2回行うことが決められており、表-3に試験条件を示す。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。



写真-3 ワイヤロープ式防護柵 (Trinity社製)

表-3 試験条件

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-4)、車両の逸脱防止性能は、防護柵を突破されない構造を有しており、大型

車の最大進入行程が0.585m、乗用車が0.635mで、規定値を満たしている。乗員の安全性能は、車両重心位置の最大加速度が38.1m/s<sup>2</sup>/10msとなり、規定値の90m/s<sup>2</sup>/10ms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なかった。



写真-4 衝突時の状況 (左：大型貨物車、右：乗用車)

### 7. ワイヤロープ式防護柵の開発

筆者らは、平成20年11月にスウェーデンを訪問し、ワイヤロープ式防護柵に関する調査を行った<sup>2)</sup>。現地でTrinity社の担当者と打ち合わせの結果、Trinity社のワイヤロープ式防護柵では、日本の衝突試験の条件において、B種で合格できる性能を有しているが、A種の試験では難しく、支柱の間隔を2m程度まで縮めるか、ワイヤの数を増やすなどの改良が必要との結論を得た。その後、日本での生産や改良に向け、ライセンス等について話し合ったが、合意に至らず、その結果、(独)土木研究所寒地土木研究所は、東京製綱株式会社と共同研究を締結し、新たな製品を開発することとなった。

新たに開発するワイヤロープ式防護柵に求められる性能として、日本の防護柵設置基準に合致すること、施工性に優れていること、維持管理上の問題がないことなどが挙げられ、機能として、手でワイヤ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が挙げられた。

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(写真-5)。支柱の基礎部であ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。支柱のスリットには切り欠きを設け、さらに、結束バンドを1つ採用した。これは、ワイヤが支柱から離脱することを遅らせることにより、最大進入行程を少なくさせることを狙いとしている。ワイヤの本数も、Trinity社の製品が3本であったことに対して、4本とした。端末基礎は、道路構造令上の建築限界をできるだけ侵さないように、ワイヤの端部を道路の縦断方向に沿って1列に配置した(写真-6)。構造

諸元を表-4 に示す。



写真-5 中間支柱の形状



写真-6 ワイヤー端部と基礎の形状

表-4 ワイヤーロープ式防護柵諸元

項目	B種
支柱サイズ	φ89.1×3.2 (STK540)
支柱ピッチ	3.0m
ワイヤーロープ	3×7φ18, 4段
地表からワイヤーロープまでの高さ	1段: 750mm 2段: 640mm 3段: 530mm 4段: 420mm
支柱の高さ	820mm
サヤ管	φ114.3×4.5 (STK400)
サヤ管土中埋め込み長	700mm (支柱はサヤ管に400mm挿入)
ブロックアウト量	0mm

## 8. ワイヤーロープ式防護柵の性能確認試験 (A種)

新しく試作したワイヤーロープ式防護柵は、B種の性能評価試験と同様に、高速道路で設置できる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において行った。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)

衝突試験は大型車と乗用車の2回行うことが決められており、表-5に試験条件を示す。

表-5 試験条件

衝突条件A				
<試験日 平成22年3月18日(木)>				
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 (20.7)	52.0 (52.3)	15.0 (15.0)	140.0 (146.0)	1.4 (車両総重量時)

衝突条件B		
<試験日 平成22年3月9日(火)>		
試験車両 質量(t)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)
1.0 (1.1)	100.0 (100.1)	20.0 (20.1)

- ・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: 74.4m
- ・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-7)、乗用車を使用した試験条件Bでは、A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、A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。乗用車を使用した試験条件Bの結果では、最大進入行程は 1.07m、車両重心位置の最大加速度が 82.5m/s<sup>2</sup>/10ms となり、規定値の 150m/s<sup>2</sup>/10ms を満たしている。離脱速度は衝突速度の 6 割以上 (65.9% : 61.3km/h/100.9km/h)、離脱角度は、衝突角度の 6 割以下 (乗用車 59.2% : 11.9 度/20.1 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なかった。



写真-7 衝突時の状況 (左: 大型貨物車, 右: 乗用車)

大型貨物車が、防護柵を突破した原因は、車両衝突時にワイヤーが下がり、ワイヤーの張力で車両を誘導することができなかったことによるものである。衝突後の支柱の破損状況を確認すると、写真-8 のように、支柱のスリットの最下部から折れていることから、車両衝突時に想定した以上に早く、支柱がスリット最下部から割れてしまい、ワイヤーの高さを保持できないことが、一因と思われる。



写真-8 衝突後の支柱の破損状況

## 9. 支柱基礎の試験施工

ワイヤーロープ式防護柵を開発するに当たり、効率的な施工方法を確立することも重要である。スウェーデンでは、ドリル等を使わず、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であった。施工速度を現地の施工担当者に聞くと、概ね1日で1kmと回答があった。ただし、さや管の周りのアスファルト舗装が壊れており、凍結融解が懸念される。そこで、日本のガードケーブルやガードレールの施工機械を使用し、さらに、コ

ア抜き等を行い、さや管を施工したが、いくつかは写真-9のようにひび割れが発生した。さや管施工時に垂直を保持しながら打設できる機械が必要と思われる。



写真-9 支柱基礎の試験施工状況と施工結果

## 10. 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。従来の中央分離施設よりも少ない幅員で設置できることは大幅な整備コスト縮減につながる上に、安全性の向上も同時に達成できる可能性がある。

今回は、A種に対応したワイヤーロープ式防護柵の開発を目指し、試作品による性能確認試験を行ったが、残念ながら、性能を満足することができなかった。今後は、これらの要因を詳しく分析し、改良案を検討し、平成22年度中に改良したワイヤーロープ式防護柵の性能確認試験を再度行う予定である。

また、整備効果の把握、実用化に向けた課題の抽出も併せて検討する予定である。

なお、今回開発したワイヤーロープ式防護柵は、特許出願や意匠の登録を申請中である。

## 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 89th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, D. C., 2010, 1.
- 5) Derr, B. : Application of European 2+1 Roadway Designs, NCHRP RESEARCH RESULTS DIGEST, 2003. 4.
- 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) Vägar och gators utformning Säker framkomlighet - Preliminära riktlinjer för utformning, reglering och drift, Vägverket, 2006. 6.