

2車線道路におけるワイヤーロープ式防護柵の開発

平澤 匡介¹・渡邊 政義²

¹正会員 (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条3丁目1-34)

E-mail: hirasawa@ceri.go.jp

²正会員 (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条3丁目1-34)

E-mail: watanabe-m22at@ceri.go.jp

中央分離帯がない2車線道路では、正面衝突事故が起きることがあり、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拡幅することを求められ、費用が高額になるので、設置は限定される。幅員が狭い道路空間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、このような区間に導入コストが安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、従来防護柵に比べ、支柱が細く緩衝機能があり、設置のための必要幅員も少ない。特に人力でワイヤーロープや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が可能である。本稿は、2車線道路の中央分離施設として適したワイヤーロープ式防護柵を開発するために、防護柵を試作し、性能を確認するための衝突試験を行った結果を報告する。

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

1. はじめに

北海道は、積雪寒冷地かつ、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、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仕様を検討し、性能確認試験を行い、防護柵設置基準等の適用性を検討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年連続で返上することができた。しかしながら、平成22年の交通事故死者数は依然として200人を超え、東京都と並んで全国ワースト1となり、致死率も全国平均の約1.8倍と未だに深刻な状況が続いている。この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)。

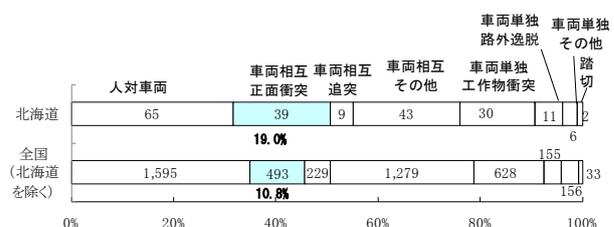


図-1 事故類型別死亡事故件数(H21)

(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。



写真-1 ランブルストリップス (左: R237, 右: R275)

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-2）。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。

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



写真-2 ガードケーブル (左) とワイヤーロープ式防護柵 (右)



写真-3 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)

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-3）。

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²⁾。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。

米国では、2001年に英国・Brifen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³⁾。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⁴⁾。

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、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⁵⁾。



写真-4 ワイヤーロープ式防護柵の衝突実験状況⁶⁾

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。

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-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. 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」⁷⁾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、大型車、乗用車の衝突において、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⁷⁾。スウェーデンにおける防護柵設置基準の最大進入行程は、欧州規格EN 1317-2に準じており、道路の区分に応じて8クラスに分かれている。2+1車線道路の場合、W5クラスの1.7mを採用し⁹⁾、衝突試験の条件はLevelN2である(表-2、表-3)。EN 1317に規定されている衝突試験：LevelN2の衝撃荷重は、日本のB種より大きく、A種より小さい値である(表-3)。なお、衝撃度の算出式を図-2に示す⁷⁾。

また、車両の誘導性能においても、乗用車の衝突時に

表-1 日本における分離帯用防護柵の許容最大進入行程⁷⁾

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⁸⁾

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

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

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。

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

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)

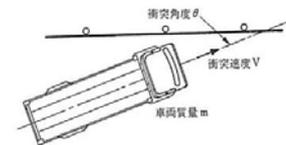


図-2 衝撃度の算定式⁷⁾

6. 防護柵性能確認試験 (B種)

ワイヤーロープ式防護柵を日本に導入するに当たり、日本の設置基準に適合できるか、製品を輸入し、防護柵性能確認試験を行うこととした。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者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⁹⁾(左上)、Trinity社(右上)、Gibraltar社⁹⁾(左中)、Nucor社⁹⁾(右中)、Blue System社⁹⁾(左下)、Gunnebo社⁹⁾(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）。

防護柵性能確認試験は、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-7に示す。

試験条件は、Trinity社の担当者と協議した結果、防護柵は高速道路に設置できるAm種の性能を有していないと判断し、一般国道に設置できるBm種を想定して、以下の通りとした。

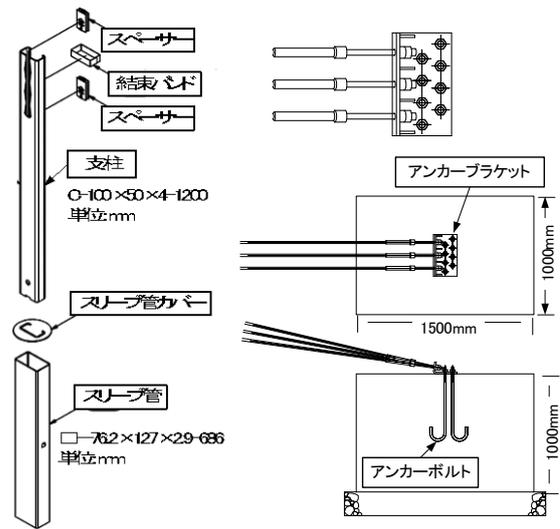


図-3 ワイヤーロープ防護柵の支柱、スリーブ管（左）と端末基礎（右）の詳細図

表-4 ワイヤーロープ式防護柵の供試体諸元

項目	B種
支柱サイズ	C-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め込み長	700mm (支柱のスリーブ管埋め込み長は400mm)
ブロックアウト量	0mm



写真-7 ワイヤーロープ式防護柵の供試体設置状況

- ・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）⁷⁾。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。
- 衝突試験を行った結果（写真-8）、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

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
(支柱を土中のさや管に埋込み)
- ・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。



写真-8 衝突時の状況 (左:大型車, 右:乗用車)

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38.1m/s²/10msとなり、規定値の90m/s²/10ms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ず、規定を満たしている。

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いた(写真-9)。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。



写真-9 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-10)。



写真-10 衝突車両の破損状況 (左:大型車, 右:乗用車)

7. ワイヤーロープ式防護柵の開発

Trinity社の担当者と打ち合わせの結果、Trinity社のワイヤー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、ワイヤー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、鋼製防護柵協会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ー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⁷⁾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-11)。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。支柱にスリットを設け、さらにスリットにはワイヤーを通す部分に切欠を設けた(図-4)。これは、支柱からワイヤーが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

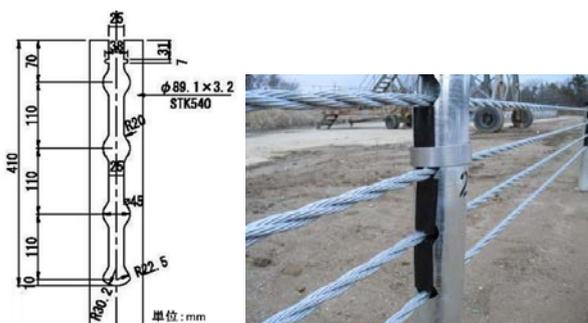


図-4 支柱のスリット 写真-11 支柱とワイヤーの状況

ている。また、スリットや切欠により、弱くなった支柱の剛性を向上させるために、結束バンドを1つ採用した(写真-11)。

支柱には、この他にワイヤーの間隔を保持させるために、樹脂製の間隔保持材ワイヤーの本数も、Trinity社の製品が3本であったことに対して、4本とした。末端基礎は、道路構造令上の建築限界を侵さず、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、かつ、車両が末端支柱に衝突しないように、ワイヤー端部を末端基礎に直接連結した(写真-18)。その結果、末端支柱には、下向きの大きな力が掛かるので、末端支柱を末端基礎の上に配置すると共に、金属製の間隔保持材を採用した。構造諸元を表-6に示す。



写真-11 末端基礎と末端支柱の形状

表-5 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

表-6 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	衝突速度	衝突角度	衝撃度	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	衝突速度	衝突角度
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。

8. 防護柵性能確認試験 (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)

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-6に試験条件を示す。

衝突試験を行った結果(写真-12)、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/s²/10msとなり、規定値の150m/s²/10ms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-12 衝突時の状況 (左: 大型車, 右: 乗用車)

大型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(写真-13)。

また、衝突後の支柱の破損状況を確認すると、写真-14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も、一因と思われる。ワイヤーの離脱を遅らせるために設けた切欠により、支柱の剛性が低いことが考えられる。



写真-13 大型車の突破状況



写真-14 衝突後の支柱の破損状況

9. ワイヤロープ式防護柵の改良

平成21年度に行った性能確認試験の結果を踏まえ、ワイヤロープ式防護柵の改良を検討した。衝突試験時のビデオ画像を詳細に分析し、防護柵の材質やワイヤの高さ等の条件を検討し、防護柵設置基準における高速道路の規格である分離帯用Am種の基準の値を満足する規格を決定した。

検討の結果、支柱に関して以下の変更を実施した。

- ・支柱とワイヤロープの高さを変更
- ・支柱スリットの形状を変更
- ・2個のストラップを採用

支柱スリットの形状は、平成21年度の試験時に、スリット最下部から割れてしまったことから、断面欠損が少ない形状に変更した(図-5)。

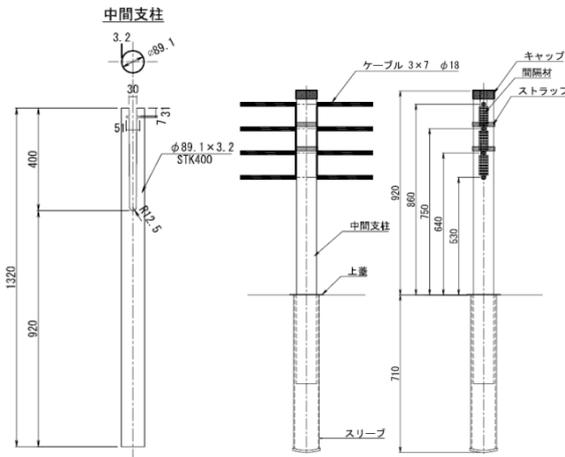


図-5 改良した支柱形状



写真-15 分離帯用Am種の試作品 (左上: 端末, 右上: 中間部, 左下: 端末支柱, 右下: 中間支柱)

また、小型車の衝突試験時において、中間支柱が地際で折損しなかったため、衝撃を吸収する機能を向上させるために、支柱の材質をSTK540から、より軟らかいSTK400に変更した。さらに、支柱末端には、下向きに強い荷重が掛かるので、耐荷力を向上させるため、間隔保持材をプレート形状からパイプ形状に変更した。

変更状況を写真-15、構造諸元を表-7に示す。

表-7 改良ワイヤロープ式防護柵諸元

項目	Am種
支柱サイズ	φ89.1×3.2 (STK400)
支柱ピッチ	3.0m
ワイヤロープ	3×7φ18, 4段
地表からワイヤロープまでの高さ	1段: 860mm 2段: 750mm 3段: 640mm 4段: 530mm
支柱の高さ	920mm
スリーブ	φ114.3×4.5 (STK400)
スリーブ土中埋め込み長	710mm (支柱はスリーブに400mm埋込み)
ブロックアウト量	0mm

10. 防護柵性能確認再試験 (A種)

平成22年度に行った性能確認再試験は、平成21年度に行った試験と同様に高速道路に設置できるA種の実車衝突試験の再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)

ただし、車両が衝突する箇所の中間支柱の地盤は、平成21年度の試験時が砂質土を締め固めた地盤に対して、平成22年度の再試験時はアスファルト舗装とした。

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-8に試験条件を示す。

表-8 試験条件

衝突条件A				
<試験日 平成23年1月18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 (20.6)	52.0 (52.3)	15.0 (14.9)	140.0 (145.6)	1.4 (車両総重量時)

衝突条件B				
<試験日 平成23年1月12日(水)>				
試験車両 質量(t)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)	・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: 69.0m ・施工方法: 北海道開発局 道路・ 河川工事仕様書に準拠	
1.0 (1.14)	100.0 (100.9)	20.0 (19.8)		

※()内の数値は試験結果を示す。

再試験を行った結果、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1.997m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、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（写真-16）。



写真-16 再試験の状況（左：大型車，右：乗用車）

その他の結果は、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、大型車が防護柵を突破されない強度を有しており、変形性能は、乗用車が1.182mで、規定値の1.5m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 $82.9 \text{ m/s}^2/10\text{ms}$ となり、規定値の $150\text{m/s}^2/10\text{ms}$ 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（大型車の86.0%：45.0km/h /52.3km/h，乗用車の65.6%：66.2km/h /100.9km/h），離脱角度は、衝突角度の6割以下（大型車0%：0度/14.9度，乗用車19.2%：3.8度/19.8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。

乗用車を使った試験では、車両に衝突した中間支柱が地際で折損し、車両も横転・転覆することなく誘導された（写真-17）。車両損傷も、前部が破損しているものの、車室が保存され、衝撃吸収能力が確認された（写真-18）。また、大型車を使った試験条件で最大進入行程が、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-18，写真-19）。



写真-17 衝突後の防護柵の破損状況



写真-18 衝突後の乗用車と大型車の破損状況



写真-19 大型車の防護柵衝突後の軌跡

11. ワイヤーロープ式防護柵の仕様検討

平成22年度に行った防護柵性能確認再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シミュレーションにより、防護柵の仕様検討を行った。

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、高さ等の数値を変えて、乗用車と大型車の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を得た（表-9，表-10）。分離帯用Am種（高速道路）の基準を満足すると思われる仕様を2種類選択し、苫小牧寒地試験道路における実車衝突実験により最終仕様を決定することとした。

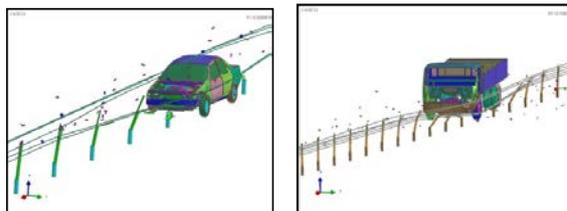


図-6 CGシミュレーション

（左：乗用車，右：大型車）

表-9 CGシミュレーション結果の一例（乗用車）

乗用車			
	基準値	シミュレーション	判定
離脱速度	60km/h以上	53.3km/h	×
離脱角度	12°以下	57.3°	×
最大進入行程	1.5m以上	1.19m	○
加速度	150m/s ² 以下	106.6m/s ²	○

表-10 CGシミュレーション結果の一例（大型車）

大型車			
	基準値	シミュレーション	判定
離脱速度	31.2km/h以上	43.4km/h	○
離脱角度	9°以下	2.19°	○
最大進入行程	1.5m以上	0.91m	○

試作した2種類のワイヤーロープ式防護柵は、板厚が4.2mmと3.2mm以外、全て同じ仕様である（図-7，写真-20）。

【主な仕様】

- ・ワイヤーロープの本数：5本

- ・支柱サイズ：φ89.1mm
- ・支柱の材質：STK400
- ・支柱ピッチ3.0m
- ・支柱の高さ：1030mm
- ・支柱埋め込み長：700mm
- ・支柱の板厚：4.2mm, 3.2mm
- ・ワイヤーロープの高さ：
 - 上から1段目：970mm
 - // 2段目：860mm
 - // 3段目：750mm
 - // 4段目：640mm
 - // 5段目：530mm

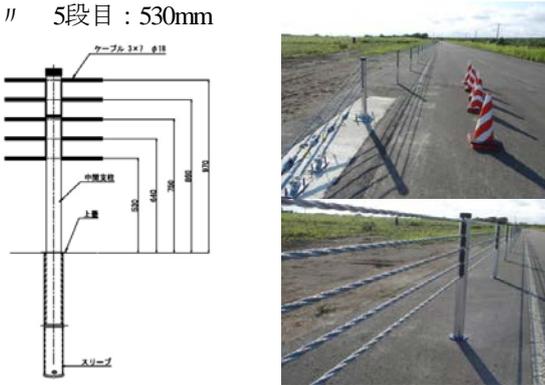


図-7 支柱寸法図

写真-20 試作防護柵

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大型車を運転し、「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衝突条件Aとした。

衝突条件A：大型車・車両両重量20t

衝突速度52km/h, 衝突角度15度

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が、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）の項目で基準を満足した（表-11、写真-21）。実験結果は大差なかったが、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（図-8）。

表-11 衝突実験結果

実験実施日	H23.9.2	H23.9.28
支柱板厚(mm)	4.2	3.2
衝突速度(km/h)	53.7	53.2
離脱速度(km/h)	39.8	39.0
衝突角度(度)	15	14.8
離脱角度(度)	0	0
最大進入行程(m)	1.18	1.19



写真-21 衝突実験時（左）と衝突後（右）の状況

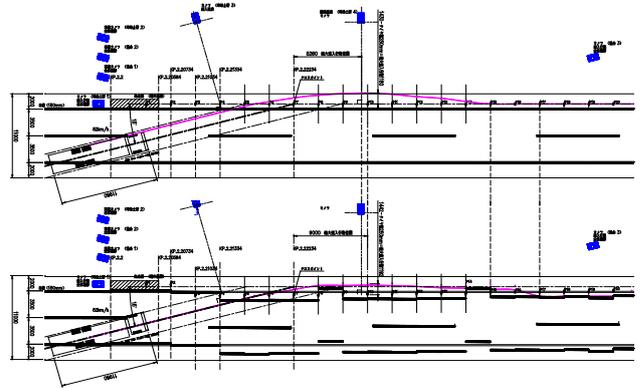


図-8 車両軌跡（上段：板厚4.2mm, 下段板厚3.2mm）

10. 防護柵性能確認再々試験（A種）

平成23年度に行った性能確認再々試験は、平成22年度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。平成22年度に試作したワイヤーロープ式防護柵から変更した主な仕様を以下に示す。

- ・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）
- ・ストラップの数を削減（2個→1個）

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中間支柱の地盤は、平成22年度の再試験と同様にアスファルト舗装とした。表-12に試験条件を示す。

表-12 試験条件

衝突条件A				
<試験日 平成24年1月18日(水)>				
試験車両	衝突速度	衝突角度	衝撃度	車両重心
質量(t)	(km/h)	(度)	(KJ)	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	衝突速度	衝突角度
質量(t)	(km/h)	(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。

防護柵の設置状況と車両衝突時の状況を写真-22と写真-23に示す。



写真-22 防護柵設置状況



写真-23 車両衝突時の状況

実験の結果、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（写真-24）、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 $95.2\text{m/s}^2/10\text{ms}$ と小さく、規定値の $150\text{m/s}^2/10\text{ms}$ を満足しており、緩衝能力が確認された（写真-25）。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%：43.4km/h /52.2km/h、乗用車66.1%：66.5km/h /100.6km/h）、離脱角度が衝突角度の6割以下（大型車0%：0度/14.9度、乗用車35.7%：7.4度/20.7）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-24 防護柵衝突後の大型車の軌跡



写真-25 衝突後の車両破損状況

11. おわりに

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。

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ので、日本の防護柵設置基準を満足する仕様を確立することが困難であった。例えば、大型車が衝突したときの最大進入行程を小さくするためには、柱の強度を高めることが有効策の一つであるが、乗用車が衝突したときに受ける加速度が大きくなることや離脱速度が小さくなるので、トレードオフの関係となる。このように防護柵に求められる全ての機能を満足するために、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シミュレートし、最適な仕様を検討した。

本研究では、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。

今後は、設置条件（道路線形、構造物箇所等）に適した構造検討、効率的な施工方法や適切な維持管理方法の検討、施工・維持管理マニュアル（案）の作成し、一般国道（B種）に適合したワイヤーロープ式防護柵の仕様や実験の実施導入効果の検討を行う予定である。

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) 防護柵の設置基準・同解説, (社) 日本道路協会, 平成20年1月.
- 8) Vägar och gators utformning Säker framkomlighet -

Preliminära riktlinjer för utformning, reglering och drift, Vägverket, 2006.6.

- 9) 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.bluesystems.se/>, Nucor社ホームページ ; <http://nucorhighway.com/>, Gunnebo社 ; <http://www.gunnebo.com/>

(2012. ? . ? 受付)