

2車線道路におけるワイヤーロープ式防護柵の開発

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 ○平澤 匡介
武本 東
渡邊 政義

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、用地幅など高コストのため、設置は限定される。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車線道路とワイヤーロープ式防護柵がある。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、緩衝機能にも優れている利点を有する。本稿は、日本国内の2車線道路の中央分離施設としてワイヤーロープ式防護柵を開発するために、実車を衝突させた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、中央分離施設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施設として開発するために、試験施工や実車衝突させた性能試験を行い、道路構造令や防護柵設置基準等の適用性を検討した結果を報告する。

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)。

(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

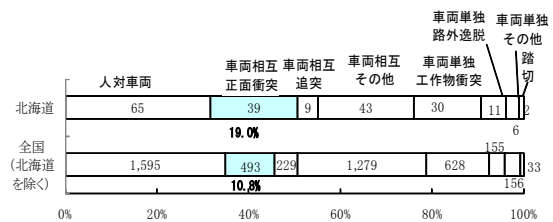


図-1 事故類型別死亡事故件数(H21)

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。



写真-1 ランブルストリップス (左: R237, 右: R275)

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。

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・Brifem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、



写真-2 ガードケーブル（左）とワイヤーロープ式防護柵（右）

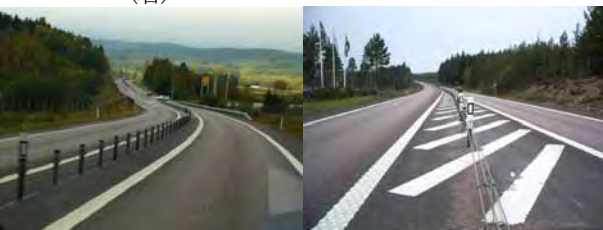


写真-3 ワイヤーロープ式防護柵付きの2+1車線道路（スウェーデン）

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⁾。

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-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⁷⁾。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-4 ワイヤーロープ式防護柵の衝突実験状況⁸⁾



写真-5 緊急時の開放例⁹⁾

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⁸⁾。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

表-1 日本の分離帯用防護柵の許容最大進入行程⁸⁾

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⁹⁾

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

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

ここで I_s : 衝撃度 (kJ)

m : 車両質量 (t)

V : 衝突速度 (km/h)

θ : 衝突角度 (度)

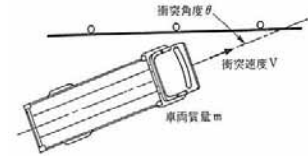


図-2 衝撃度の算定式⁸⁾

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⁸⁾。

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。

6. 防護柵性能確認試験の実施

日本国内の道路に設置する防護柵は、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」(以下防護柵設置基準という)に示される車両用防護柵性能確認試験を実施し、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種類の衝突試験において、各性能規定を満足しなければならない。防護柵設置基準において車両用防護柵は、C, B, A, SC, SB, SA, SSの7種類の強度段階により種別の設定が行われている。分離帯に設置されるものは添え字にmが付加され、例えば、一般国道(設計速度60km/h以上の一般区間)の分離帯に設置する防護柵はBm種、高速道路(設計速度80km/h以上の一般区間)の分離帯に設置する防護柵はAm種となる。

(1) Bm種に対応した防護柵性能確認試験の実施

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、海外製品を輸入し、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行った。製品の輸入にあたっては、いくつかの製品の中から人力でワイヤーと支柱が着脱可能なTrinity社(米国)のワイヤーロープ式防護柵を選択した。防護柵の支柱は、C型の溝形鋼でC-100×50×4-1200(縦×横×厚さ-長さ、単位；mm)、地上高さ80cm、材質はSTK540である。支柱を差し込むスリーブ管は、角パイプで□-76.2×127×2.9-686(縦×横×厚さ-長さ、単位；mm)である(図-3)。支柱ピッチは3m、ワイヤーロープは3本で、地表からの高さは、上段75cm、中段64cm、下段53cmに位置し、設置状況を写

で、端末支柱を端末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。

新しく試作したワイヤーロープ式防護柵は、高速道路に設置できるAm種の性能確認試験を行った。表-5に試験条件を示す。試験の結果(写真-11)、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。乗用車を使用した試験条件Bの結果は、車両重心位置の最大加速度が $82.5\text{m/s}^2/10\text{ms}$ となり、規定値の $150\text{m/s}^2/10\text{ms}$ を満たしている。離脱速度は衝突速度の6割以上(66%)、離脱角度は、衝突角度の6割以下(59%)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。

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。また、衝突後の支柱の破損状況を確認すると、写真-12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、支柱の剛性が低くなったことが考えられる。

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。



写真-11 衝突時の状況 (左: 大型貨物車, 右: 乗用車)



写真-12 衝突後の支柱の破損状況

(3)Am種に対応した防護柵性能確認再試験の実施

平成22年3月に行った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。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ーの高さ等の条件を検討し、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。支柱スリットの形状は、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。また、乗用車の衝突条件時において、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。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。また、ストラップ数も2個とした。変更状況を図-5と写真-13に示す。

性能確認再試験は平成23年1月に行い、試験条件は前回と同様であった(表-6)。ただし、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た。再試験を行った結果、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、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(写真-14)。ただし、車両の逸脱防止性能は、大型貨物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。車両の誘導性能においても、離脱速度は衝突速度の6割以上(大型貨物車86%、乗用車66%)、離脱角度は衝突角度の6割以下(大型車0%、乗用車19%)と規定を満足した。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-14)。

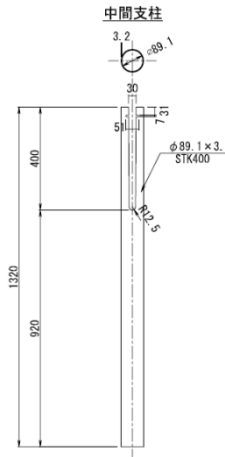


図-5 改良した支柱



写真-13 改良防護柵設置状況

表-6 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)
1.0 (1.14)	100.0 (100.9)	20.0 (19.8)

・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

※()内の数値は試験結果を示す。



写真-14 再試験の状況 (左: 大型貨物車, 右: 乗用車)

(4)防護柵の改良と大型貨物車の衝突実験

平成23年1月に行った性能確認試験の結果を踏まえ、ビデオ画像を詳細に分析し、支柱の高さと板厚、ワイヤーロープの本数、ストラップ数の変更を検討した。その結果、支柱の高さは地表から103cm、ワイヤーロープの本数は5本に変更し、高さも上から97cm、86cm、75cm、64cm、53cmに変更した。また、ストラップ数は1個とした(図-6)。支柱の板厚は前回と同じ3.2mmの他に、4.2mmのタイプを試作し、国土総合技術研究所における性能確認試験を行う前に、テストドライバーが運転する大型貨物車により実車衝突実験を苫小牧寒地試験道路で行った。衝突条件はAm種に対応した防護柵性能確認試験における衝突条件Aと同じ大型車両重量20t、衝突速度52km/h、衝突角度15度とした(写真-15)。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、離脱速度、離脱角度の項目で基準を満足した(表-7、写真-16)

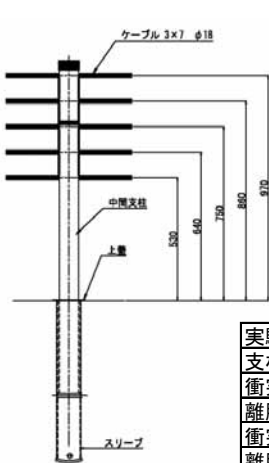


図-6 改良した支柱



写真-15 改良防護柵(t=4.2mm)

表-7 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-16 実験時(左)と衝突後(右)の状況

7. 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。本稿では、Am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、平成22年3月と平成23年1月に行った試験では設置基準に定める性能を満足することができなかった。しかし、テストドライバーが運転する大型貨物車衝突実験では、性能を満足することが確認できたので、再び、平成24年1月に性能確認試験を行う予定である。試験で性能が確認された後は、サグやクレスト、カーブ区間等の対応など、実用化に向けた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プルストリップ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) BS EN 1317-2, Road restraint systems. Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for safety barriers, August 1998.