

緩衝型のワイヤーロープ式防護柵の開発と実用化

平澤 匡介

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。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：交通安全、事故対策、正面衝突、防護柵、ガードケーブル、ワイヤーロープ式防護柵

1. はじめに

北海道において郊外部の国道は走行速度が高くなりやすく、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。また、高規格幹線道路（高速自動車道及び一般国道の自動車専用道路）においても、1990年代以降建設された多くの区間が4車線のうち2車線のみを暫定的に運用する暫定2車線道路であり、ラバーポールと縁石による簡易分離なので正面衝突による重大事故が発生することがある。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は、スウェーデンの2+1車線道路がある（写真-1）。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、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。

2. ワイヤーロープ式防護柵について

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



写真-1 暫定2車線道路（左：紀勢道）と2+1車線道路（右：スウェーデン）



写真-2 ガードケーブル（左）とワイヤーロープ式防護柵（右）

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。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¹⁾。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²⁾。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³⁾。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。

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ガードレールやコンクリート防護柵に比べ、低廉なことが挙げられる。その他の長所として、開放区間の設置しやすさがある。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運用にある。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、建設コストは高額となる。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、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。

3. 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」⁴⁾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。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（表一1）。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⁴⁾。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。

表一1 分離帯用防護柵の許容最大進入行程⁴⁾

	種別	支柱を土中に埋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

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（表一2、図一1）。

表一2 性能確認試験における衝突条件⁴⁾

種別	車両重量(kg)	衝突速度(km/h)	衝突角度(度)	衝撃度(kJ)
B種（一般国道対応）	25,000	30	15	58.1
	1,000	60	20	16.2
A種（高速道路対応）	25,000	45	15	130.8
	1,000	100	20	45.1

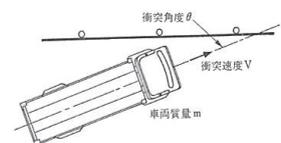
$$I_s = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left(\frac{V}{3.6} \cdot \sin \theta \right)^2$$

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)



図一1 衝撃度の算定式⁴⁾

4. ワイヤロープ式防護柵の開発

我が国では、ワイヤ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、新たな防護柵の開発に着手した。防護柵に求められる機能としては、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とし、性能としては、防護柵設置基準⁴⁾に合致し、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、両方に活用できる高速道路対応規格のAm種とした。仕様を検討する際には、ワイヤ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、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求められる。これらの課題を解決するために開発には、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。

CGシミュレーションでは、支柱を施工性と二輪車の衝突を勘案して、円柱形状とし、防護柵の支柱の材質、板厚の他、ワイヤロープの本数、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った（表-3）。離脱速度、離脱角度、最大進入行程等の結果から、最終的に支柱の板厚が異なる2種類の仕様で試作品を製作し、苫小牧寒地試験道路においてテストドライ

表-3 CGシミュレーション結果の一例

	基準値	シミュレーション結果	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以下	0.91m	○



写真-3 実車衝突実験の状況 (板厚 4.2mm)

バーによる実車衝突実験を行って最終仕様を決定した。実車衝突実験は、防護柵設置基準に定められた防護柵性能確認試験（A種）と同じ条件で行った。ただし、乗用車の衝突実験は危険が伴うため、大型貨物車の実車衝突実験を行った（写真-3）。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段のワイヤロープが車輪の回転により引き下げられるが、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）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と支柱断面図を表-4と図-2に示す。平成24年1月、最終仕様による試作品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設置し、防護柵設置基準に定められた性能確認試験を行った（写真-4）。支柱には、樹脂製の間隔保持材を設け、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、ワイヤ端部を道路の縦断方向に沿って1列に配置している。

試験条件は、以下の通りとした。

- ・防護柵種別：Am種

表-4 ワイヤロープ式防護柵の諸元

項目	仕様
支柱サイズ (材質)	φ89.1×4.2 (STK400)
支柱板厚	4.2mm
支柱ピッチ	3.0m
ワイヤロープ	3×7φ18、5段
ワイヤロープの高さ	1段：970mm、2段：860mm、3段：750mm、4段：640mm、5段：530mm
支柱の高さ	1030mm
スリーブ (材質)	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)

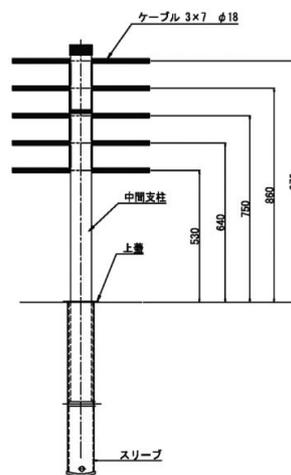


図-2 支柱断面図



写真-4 防護柵設置状況

- ・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）

性能確認試験の結果を表―5に示す。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、乗用車が横転・転覆することなく誘導された（写真―5, 6）。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。防護柵の変形性能においても、最大進入行程は大型貨物車：1.48 m、乗用車：1.02 m と基準の 1.5 m 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（大型貨物車 83.1%、乗用車 66.1%）、離脱角度が衝突角度の6割以下（大型貨物車 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。



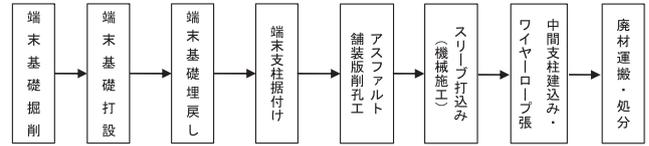
写真―5 試験状況（左：大型貨物車、右：乗用車）



写真―6 防護柵衝突後の大型貨物車の軌跡

5. 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の施工は、端末基礎設置、端末支柱据付け、スリーブ打込み、中間支柱建込み、ワイヤロープ張の流れとなる（図―3）。



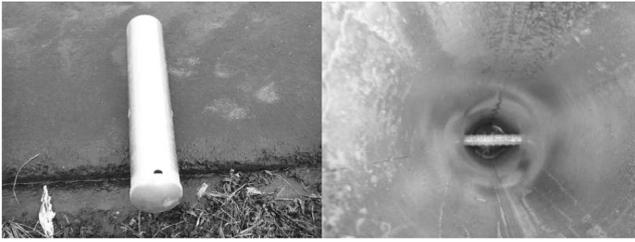
図―3 ワイヤロープ式防護柵施工フロー

既存のガードケーブルと大きく異なる点は、支柱基礎であるスリーブを地中に打込み、支柱を建込み、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 114.3 mm の鋼管（丸パイプ）で、長さは 70 cm である。上端から 40 cm 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―7）。そのため、アスファルト舗装に施工するときには、コアボーリングマシンでアスファルト舗装の削孔が必要となる。スリーブ打込みには、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、打ち込み治具を製作した。治具の先端は、スリーブ底蓋の損傷を防ぐため、底蓋の形状に合わせた（写真―8）。打ち込み治具を使って、苫小牧寒地試験道路の試験施工を行った結果、163 本のスリーブ打ち込みに要した平均時間は、施工機械の移動を含め 1 本当たり 2 分 30 秒であった。今後、路床が硬い箇所で行い、耐久性を検証する必要がある。

スリーブ打ち込み後、端末金具と端末支柱をアン

表―5 性能確認試験の結果

測定項目	条件区分	計測項目	試験結果（基準の合否）
車両の逸脱防止性能	防護柵の強度性能	A 防護柵の損傷	・大型貨物車が突破しない強度を有すること。 ○ 部材の切断等はなく、ケーブル、支柱などにより防護柵が連続保持されている。
	防護柵の変形性能	A 最大進入行程	・車両の進入行程が 1.5m 以下であること。 ○ 最大進入行程は、1.48m であり、必要とする変形性能を有している。
乗員の安全性能	B	車両重心加速度	・10ms 移動平均値が $150 \text{ m/s}^2/10 \text{ ms}$ 未満であること。 ○ X : $66.9 \text{ m/s}^2/10 \text{ ms}$ （防護柵軸方向） ○ Y : $95.2 \text{ m/s}^2/10 \text{ ms}$ （防護柵横軸方向） ・車両は防護柵に衝突後、横転などを生じないこと。
車両の誘導性能	共通	車両の挙動	○ 乗用車は横転・転覆することなく誘導された。 ○ 大型車は防護柵から離れなかったが、離脱の方向に進行しており、横転・転覆することなく安定した姿勢で誘導された。
	共通	離脱速度	・離脱速度は衝突速度の6割以上であること。 ○ 衝突条件A: 衝突速度 52.2km/h の 83.1% (43.4km/h) ○ 衝突条件B: 衝突速度 100.6km/h の 66.1% (66.5km/h)
	共通	離脱角度	・離脱角度は衝突角度の6割以下であること。 ○ 衝突条件A: 衝突角度 14.9度の 0% (0度) ○ 衝突条件B: 衝突角度 20.7度の 35.7% (7.4度)
構成部材の飛散防止性能	共通	部材の飛散状況	・車両衝突時に防護柵構成部材が大きく飛散しないこと。 ○ 付属品が飛散したが、主要部材ではなく、大きな事故につながるから、飛散防止性能を満足していると判断した。



写真一七 スリーブ（左）と管内の支柱支え（右）



写真一八 打込み治具（左）と先端の形状（右）

カーボルトに固定，支柱をスリーブに建て込み，ワイヤーロープを支柱に落とし込み，間隔材とストラップを取り付ける。ストラップは，ケーブル3段目の上に取付ける。支柱のキャップを付け，最後にターンバックルと呼ばれる締め金具で所定の張力に調整して，施工が完了する。

6. 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となった結果，北海道では，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間で設置延長約1.6km，平成24年12月に一般国道275号音威子府村天北峠で設置延長320mの試行導入となった（写真一九）。道央自動車道の設置区間は暫定2車線区間であるが，法定最



写真一九 道央自動車道（左）とR275天北峠（右）



写真一〇 磐越道（左）と紀勢道（右）

高速度80km/hとなっている。また，一般国道275号の設置区間は山間部で曲線半径210mと厳しい線形であるため，中間支柱の間隔を2mに短縮している。さらに，磐越自動車道（設置延長390m）と紀勢自動車道（設置延長1,280m）にも試行導入された（写真一〇）。

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，整備コスト縮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年秋には道央道と一般国道275号において試行導入された。また，延長は短いですが，磐越道と紀勢道でも試行導入された。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。

JICMA

《参考文献》

- 1) 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。
- 2) MacDonald, D. Batiste, R.: Cable Median Barrier Reassessment and Recommendations June 2007. A report requested by the Governor of the state of Washington.
- 3) Xiao, Q., Maria, W.: High-tension Median Cable In-service Performance Evaluation and Cost Effectiveness Analysis, The Transportation Research Board 89th Annual Meeting, 2010.
- 4) 防護柵の設置基準・同解説，(社)日本道路協会，平成20年1月。
- 5) 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.

【筆者紹介】

平澤 匡介（ひらさわ まさゆき）
 (株)土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム
 主任研究員
 博士（工学）
 技術士（建設）

