

# ワイヤロープ式防護柵の開発と社会実装

平澤 匡介

## 1. はじめに

北海道は広域分散型社会を形成し、郊外部の国道は交通量が少なく、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、正面衝突事故を防ぐことができず、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、急なカーブ区間など、安全に著しい支障がある場合、中央帯の設置が認められているが、車道幅員を拡張しなければならず、設置は限定される。国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所では、平成20年から2車線道路の上下線を分離することに適したワイヤロープ式防護柵の開発に着手し、鋼製防護柵協会と共同研究を締結し、CGシミュレーションや実車衝突試験から仕様を決定した。平成28年からは株式会社高速道路総合技術研究所も共同研究に参加し、高速道路暫定2車線区間で往復の通行を区分するレーンディバイダーとして導入するための研究開発を行った。レーンディバイダーとして、113kmに試工設置した結果、事故防止の安全性が確認されたことから、1,000km以上の社会実装を達成した。

本稿では、往復2車線道路の分離に適したワイヤロープ式防護柵の開発と社会実装による整備効果について報告する。なお、レーンディバイダーは、道路構造令上、建築限界内に設置可能で、防護柵の扱いではないが、ワイヤロープ式防護柵は、防護柵とレーンディバイダー、それぞれの仕様を有するので、本稿ではどちらもワイヤロープ式防護柵として表記する。

## 2. ワイヤロープ式防護柵について

ワイヤロープ式防護柵は、欧米で普及している“high-tension cable barrier”や“wire rope barrier”と呼ばれ、中間支柱が細く、車両が衝突した時に中間支柱が変形し、車両衝突時の衝撃をワイヤロープの引張りで受け止め、車両内の乗

員への衝撃を大幅に緩和できる。また、ワイヤロープが支柱を貫通する一体的な構造となっており、表裏がなく、支柱が設置できる空間があれば、容易に設置、撤去が可能のため、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（写真-1）。

## 3. 防護柵設置基準に適合した仕様の開発

欧米で既に設置されているワイヤロープ式防護柵は、欧州規格、米国規格における高速道路クラスの基準値を満たしていないので、設置は一般道路に限られる。往復分離のために設置されている事例として、スウェーデンの2+1車線道路（写真-2）があるが、道路中央に設置している国は少ない。日本への導入にあたっては、我が国の防護柵設置基準<sup>1)</sup>に適合した仕様を開発する必要がある。防護柵設置基準に規定された性能は、車両の逸脱防止性能、乗員の安全性能、車両の誘導性能、構成部材の飛散防止性能で4つに分けられる。

4つの性能は、防護柵設置基準に定められた性能確認試験を大型車と乗用車で行い、各基準を満足しなければならない。車両の逸脱防止性能は大型車の最大進入行程、乗員の安全性能は、乗用車の衝突に対して、車両が受ける加速度、車両の誘導性能は、車両が跳ね返された時の離脱速度、離脱角度である（図-1）。飛散防止性能は、支柱な



写真-1 ワイヤロープ式防護柵（道央自動車道）



写真-2 スウェーデンの2+1車線道路

どの主要部材が飛散しないことである。なお、最大進入行程は、車両が防護柵に衝突した際に、前輪または後輪の内側が防護柵の柵面の原位置より対向車線方向に踏み出た距離の最大値のことを指す。たわんで車両を跳ね返す仕組みのワイヤロープ式防護柵にとって、最も厳しい基準である。高速道路に設置する場合、種別をA種と呼び、性能確認試験では、大型車が車両重量：20t、衝突速度：52km/h、衝突角度：15度、乗用車が車両重量：1t、衝突速度：100km/h、衝突角度：20度の条件で防護柵に衝突させる。A種の基準値は、大型車の最大進入行程が1.5m以下、乗用車の受ける加速度は150m/s<sup>2</sup>/10ms未満、離脱速度は衝突速度の6割以上、離脱角度は衝突角度の6割以下である。

防護柵設置基準に適合した仕様の開発は、最終的に平成24年1月の性能確認試験（写真-3）で確認できたが、最初に行った平成22年3月の性能確認試験から3回目であり、その間に34パターンの車両衝突シミュレーションの実施や3回の大型車衝突試験を要した。車両衝突シミュレーションは、鋼製防護柵協会がPAM-CRASHという動的陽解法を用いた有限要素法構造解析プログラムを作成し、実車衝突試験を教師データとして、その都度改良しながら、開発を進めた。仕様の検討過程で得られた知見は、車両が衝突した箇所の支柱が折れることで衝撃を緩和するが、衝突位置前後の支柱が折れることなくロープを支えることで反力が生じ、車両を跳ね返すという性能が支柱に求められることである。また、車両が衝突している間、ロープの高さは保持されなければならない、支柱が折れる際にロープは絡まることなく、支柱だけが折れなければならない。大型車の衝突に対しては支柱強度を上げるほど有利であるが、乗用車には衝撃が大きくなるので、乗用車の衝突に対しては衝撃を緩和するというトレードオフの関係を満足する性能が求められた。その結果、開発開始時の仕様から、支柱の高さは92cmから103cm、ロープの本数は4本から5本、最上段のロープの高さは86cmから97cm、支柱の板厚は、3.2mmから4.2mmに変更された（図-2）。設置必要幅を小さくするために、端末は縦1列に配置した。支柱はスリーブに挿入する形になるので、ターンバックルと呼ばれる張力調整金具を外すと、張力がなく

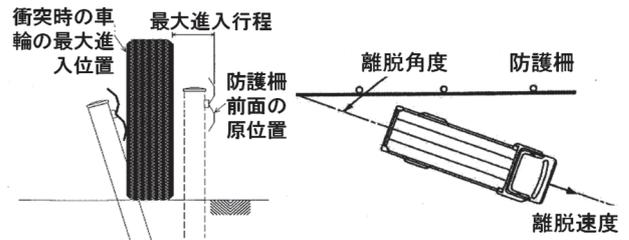


図-1 最大進入行程と離脱速度・離脱角度<sup>1)</sup>



写真-3 性能確認試験（平成24年1月）

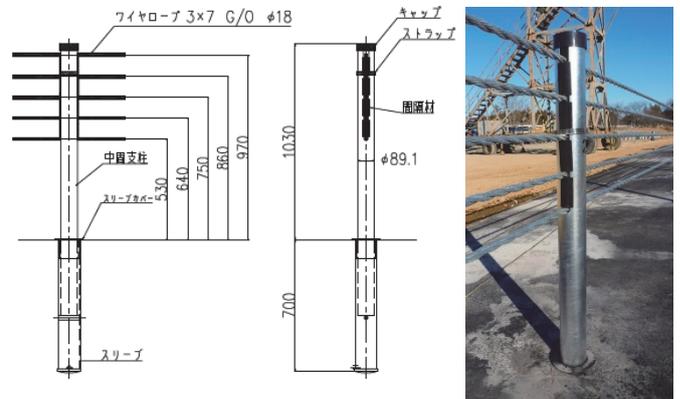


図-2 支柱寸法図（単位：mm）と設置状況

なったロープを支柱から外すことでどの支柱でも簡単に抜くことが可能となり、開口部を設けることができる。

平成24年1月の性能確認試験の結果は、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、最大進入行程は1.48m、乗用車が受けた最大加速度も95.2m/s<sup>2</sup>/10msと小さく、緩衝能力が確認された。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%、乗用車66.1%）、離脱角度が衝突角度の6割以下（大型車0%、乗用車35.7%）となり、主要部材の飛散もなく、全ての基準を満足した。

#### 4. レーンディバイダーとしての仕様の開発

ワイヤロープ式防護柵は、平成24年秋以降、道央自動車道、一般国道275号、磐越自動車道、紀勢自動車道、一般国道238号、帯広尾自動車道の6箇所に設置された。高速道路暫定2車線区間は、ラバーボール等のレーンディバイダーで往復の通行を区分した非分離構造を採用しているが、

平成27年に会計検査院が国土交通省・高速道路各社に当該区間の正面衝突事故が多いことから、安全対策検討を提言した。平成28年に国土交通省は、既に設置されたワイヤロープ式防護柵が反対車線への飛び出しや死傷事故も起きていないことから、高速道路暫定二車線区間の正面衝突事故対策として、ラバーポールに代えてワイヤロープを試行設置し、安全対策の検証を行うと発表した。平成28年からは(株)高速道路総合技術研究所も共同研究に参加し、東・中・西日本高速道路(株)の3社の協力の下、防護柵と同等の性能を有し、暫定2車線区間で中央帯設置の必要がないレーンディバイダーとして試行設置するための研究開発を行った。暫定2車線区間に限定したワイヤロープ式防護柵の仕様を検討するために、防護柵設置基準に定められた性能確認試験A種（高速道路）の衝突条件を見直した。性能確認試験の衝突角度は、片側2車線道路の追越車線中央を走行する車両が路肩防護柵に衝突する条件で大型車15度、小型車20度と定められている。暫定2車線区間に限定して、80km/hで走行する車両が中央分離柵に衝突する時の衝突角度を算出した結果、大型車6度、小型車8度となった<sup>2)</sup>。さらに、支柱間隔を3mから4mに変更し、設置費用を低減し、張力を20kNから10kNに変更し、事故時の支柱交換などの維持管理の容易さを考慮した仕様に変更した。車両衝突シミュレーションで仕様を検討し、平成28年12月、大型車を使った性能確認試験を苫小牧寒地試験道路で行った結果、最大進入行程が0.350m、離脱速度が81%、離脱角度が63%と良好な結果が得られた（写真-4）。さらに、張力低下を想定し、平成29年3月、張力5kNの条件で行った性能確認試験でも最大進入行程が0.440mになり、張力管理の容易さが期待された。

東・中・西日本高速道路の3社は、平成29年4月から8月までに12路線で約113kmの暫定2車線区間にラバーポールをワイヤロープに代えて、試行設置を行った（写真-5）。平成29年11月に国土交通省で「高速道路の正面衝突事故防止対策に関する技術検討委員会」が開催され、ワイヤロープ試行設置の効果検証結果が報告された<sup>3)</sup>。設置後3ヶ月～6ヶ月で死亡事故、負傷事故がなく、設置したカメラでも正面衝突事故防止事例（写真-6）が確認されたことから、国土交通省は高速道路暫



写真-4 性能確認試験（平成28年12月）



写真-5 浜田自動車道

写真-6 事故防止事例<sup>3)</sup>

定2車線区間の土工部に標準設置とすることを決めた。

暫定2車線区間土工部に整備が進められる過程で、様々な施工箇所の条件に対応した仕様を開発した。既設橋梁にワイヤロープ式防護柵を設置する場合、橋梁床版にできるだけ影響を与えないように、支柱強度を弱くする一方で、対向車線へのはみ出しを少なくするように支柱基部に強軸弱軸の方向性を持たせた橋梁用支柱基部プレート方式を考案した（写真-7）。橋梁への支柱の固定には、橋梁床版に基礎コンクリートを定着する方法を開発した（図-3）。橋梁床版と基礎コンクリートの付着強度よりもアンカーボルトの引抜強度を小さくして、衝突した大型車が支柱を引っ掛けた場合でも、アンカーボルトが抜けて、橋梁床版に影響を与えないように配慮した。

土工部に設置する標準的な仕様は、末端に2.6mの杭基礎、支柱に70cmのスリーブを施工する必要があるが、コンクリート舗装では、末端杭基礎、スリーブのための削孔に時間を要し、施工費も高くなる。そこで、末端杭基礎に固定される末端金具と支柱に橋梁用支柱を採用し、それらをおと施工アンカーでコンクリート舗装に直接固定し、末端杭基礎とスリーブが不要となる仕様を考

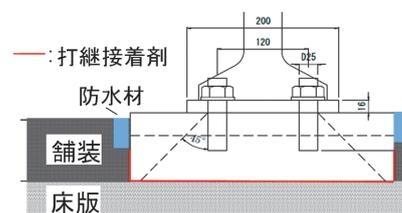


写真-7 橋梁用支柱

図-3 基礎コンクリート定着方式

案した。既設橋梁、コンクリート舗装への設置仕様は、それぞれ大型車衝突試験を行い、良好な結果となり、実道へ展開された（写真-8）。

## 5. 普及と整備効果

ワイヤロープ式防護柵は、前述のように、平成24年から平成28年までに6箇所を設置された後、寒地土木研究所では、普及拡大のために、苫小牧寒地試験道路で暫定2車線区間を再現し、駐停車車両（大型車）があった場合のすれ違い走行試験や一般ドライバーによるアンケート調査を行い、高速道路暫定2車線区間への導入可能性を検討した。その後、国土交通省が高速道路暫定2車線区間の幅員構成を変えずにラバーポールに代えてワイヤロープ式防護柵をレーンディバイダーとして設置することを決定したことから、急速に整備が進み、令和4年3月末迄に1,286kmの区間に整備された。

高速道路2車線区間の分離施設として設置されたワイヤロープ式防護柵の区間558kmを調査したところ、整備前の1年に、9件の死亡事故、28件の負傷事故が、整備後、3年9ヶ月で、死亡事故0件、負傷事故0件であった<sup>4)</sup>。飛び出し事故としては整備前の157件から5件に減少した。ただし、ワイヤロープ式防護柵に接触した事故は、1,323件発生したことから、ラバーポール設置区間では事故に至らない車線逸脱が多発している可能性が示唆された。この区間について、ワイヤロープ式防護柵の整備効果を算出した結果、初年度便益は、2,421,408千円と計算され、初年度費用便益は0.61となった。社会的割引率を4%として計算すると、10年間の便益総額は204億円、費用便益は5.10となった。なお、計算は、ワイヤロープ式防護柵施工費用を10,810円/m、ラバーポール施工費用を3,530円/m（10m間隔に縁石2個含）、国土交通省が公表している事故損害額の原因単位を使用した。

## 6. おわりに

2車線道路の正面衝突事故を防ぐため、中央に防護柵を設置することは、地形的な制約や予算確保が難しく、限定的であった。高速道路暫定2車線区間の正面衝突事故対策としてレーンディバイダーの位置づけでワイヤロープ式防護柵を設置す



写真-8 既設橋梁設置状況（左）とコンクリート舗装設置状況（右）

ることは、拡幅を伴う中央分離施設整備に比べ大幅なコスト縮減とラバーポールに比べ安全性の向上が確認できた。また、様々な施工箇所の条件に対応した仕様を開発し、普及拡大につなげた。安全対策の事業としても、整備効果の有効性が確認され、暫定2車線区間の安全性向上に貢献した。維持管理上で懸念されていた事故時の滞留車両は、開口部を設置して解消できた事例もあり、運用上の問題はなかった。今後は、ワイヤロープに接触する事故の対策を検討し、寒地土木研究所が発刊している「ワイヤロープ式防護柵整備ガイドライン（案）」に維持管理に関する内容を充実させ、普及拡大の他に、既設箇所の維持管理に対しても支援できる内容に改訂する予定である。

## 参考文献

- 1) 日本道路協会：防護柵の設置基準・同解説 ボラードの設置便覧、2021
- 2) 村松忠久、平澤匡介、佐藤義悟、田中潤一：ワイヤロープの非分離暫定2車線への適用について、第32回日本道路会議、2017
- 3) 国土交通省、第2回 高速道路の正面衝突事故防止対策に関する技術検討委員会、2017、[https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/front\\_accident/pdf02/03.pdf](https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/front_accident/pdf02/03.pdf)
- 4) 国土交通省、第5回 高速道路の正面衝突事故防止対策に関する技術検討委員会、2021、[https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/front\\_accident/pdf05/03.pdf](https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/front_accident/pdf05/03.pdf)

平澤匡介



土木研究所 寒地土木研究所  
寒地道路研究グループ寒地交通チーム 総括主任研究員、  
博士（工学）  
Dr. HIRASAWA Masayuki