

2車線道路におけるワイヤロープ式防護柵の活用促進に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 28～令 2

担当チーム：寒地交通チーム

研究担当者：石田樹、高橋尚人、平澤匡介、
高田哲哉、齊田光、佐藤昌哉、
四辻裕文

【要旨】

我が国の高規格幹線道路は限られた期間や費用で整備を進めるために、交通量が少ない区間は4車線のうち、2車線のみを暫定的に供用する方法を採用した。暫定2車線区間は大半がラバーポールと縁石による簡易分離であり、正面衝突事故が起きた場合は重大事故に至りやすい。寒地土木研究所は、2車線道路の正面衝突事故を防ぐために、支柱が細く、設置幅が少ない緩衝型のワイヤロープ式防護柵を開発した。本研究では、高速道路暫定2車線区間の中央にワイヤロープ式防護柵の導入を検討するため、実車衝突試験実施の他に、様々な道路環境下に対応する技術開発を行った。その結果、ワイヤロープ式防護柵を高速道路暫定2車線区間のレーンディバイダーとして整備するための仕様を決定し、設置計画、施工方法、維持管理方法について、整備ガイドライン（案）として取りまとめた。

キーワード：交通安全、事故対策、正面衝突、ワイヤロープ式防護柵、レーンディバイダー

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、特例として中央分離帯の設置が認められているが、中央分離帯の幅と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。(国研)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防護柵の仕様を決定し、平成24年1月の性能確認試験において防護柵設置基準に定める分離帯用 Am 種（高速道路）の基準を満足したワイヤロープ式防護柵の開発に成功した²⁾ (写真-1)。

ワイヤ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。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、帯広広尾自動車道の6箇所にて試行導入された(写真-2)。平成28年までに試行導入された箇所は中央帯の幅員を確保した上で、防護柵として設置されており、暫定2車

線区間に設置された箇所は無かった。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、暫定2車線区間でレーンディバイダーとしての研究開発を行った。

本研究では、高速道路暫定2車線区間の中央にワイヤロープ式防護柵の導入を検討するため、実車衝突試験実施の他に、様々な道路環境下に対応する技術開発を行った。その結果、ワイヤロープ式防護柵を高速道路暫定2車線区間のレーンディバイダーとしての仕様を決定し、設置計画、施工方法、維持管理方法について、整備ガイドライン（案）として取りまとめた。



写真-1 ワイヤロープ式防護柵（左）と性能確認試験（右）



写真-2 一般国道275号（左）と帯広広尾道（右）

2. ワイヤロープ式防護柵の特徴

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”と呼ばれているケーブル型防護柵の一種である。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、さらに中間支柱からワイヤロープが容易に外れる構造となっていることで、車両衝突時の衝撃をワイヤロープの引張りだけで受け止め、車両内の乗員への衝撃を大幅に緩和できることである（写真-3）。また、支柱とワイヤロープが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。一方、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。ただし、車両衝突時の衝撃が大きい場合は、ブラケットだけでは吸収できず、支柱の強度が大きいので、車両に与える衝撃も大きくなる。



写真-3 ガードケーブル（左）とワイヤロープ式防護柵（右）

全幅員が13mの狭幅員でも中央分離施設としてワイヤ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-4）。

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車線道路を導入し、2008(平成20)年6月で1,800kmに達している³⁾。オーストラリアとニュージーランドでは、1990年代から導入され、2000年代になると郊外部の非分離2車線道路の分離施設として試行導入された⁴⁾。設置箇所の事前事後分析の結果、正面衝突事故防止効果と費用便益の優位性から、正面衝突リスクの高

い箇所では継続的、かつ、利用拡大が指示された⁴⁾。



写真-4 スウェーデンの2+1車線道路

3. 暫定2車線区間への導入検討

日本国内の高速道路建設は1987(昭和62)年に策定された第四次全国総合開発計画で明示された総延長約14,000kmの高規格幹線道路網の計画に沿って進められた結果、2012(平成24)年4月末の供用延長では10,218km、整備率72%に達した。1990年以降は限られた期間や費用で整備を進めるために、4車線で計画された道路のうち、交通量が少ない区間は2車線のみを暫定的に供用する方法を採用したため、未だに大半がラバーポールと縁石の簡易分離による暫定2車線区間である。暫定2車線区間の道路は一般道に比べ事故率は低いが、車両走行速度が高いため、正面衝突事故が起きた場合は重大事故に至りやすい。

暫定2車線区間にワイヤロープ式防護柵を導入するには以下の3つの方法が考えられる。

- [1] 幅員全体を拡幅し、中央帯幅員を確保
- [2] 路肩幅員を縮小し、中央帯を確保
- [3] 現行のラバーポール+縁石と同じ区画線扱いで設置

ワイヤロープ式防護柵を導入する場合、防護柵として位置づけると中央帯設置が必要⁵⁾となる。往復の通行を区分する簡易分離構造として位置づけると、現行の横断面構成で設置可能となる。「道路構造令の解説と運用」では、暫定供用時の道路構造は、必ずしも道路構造令の規定に合致する必要はないが、道路構造令を基本としつつ、当面必要な機能を満足する道路構造でなければならないとしている⁵⁾。幅員全体を拡幅するのであれば、導入費用は高額になり、設置箇所は限られ、路肩幅員を縮小するのであれば、路肩の機能が損なわれる可能性もあり、従前において暫定2車線区間に中央分離柵は設置されて来なかった。このような状況下で、平成27年11月に会計検査院から、暫定2車線の高速道路で死傷事故が多発していることに対して、国土交通省や高速道路各社に分離帯設置など安全対策検討の提言が出された。これを受けて、平成28年12月に国土交通省は、高速道路（有料）で暫定2

車線区間の死亡事故が4車線区間に比べ多いことから、緊急対策として、平成29年春から全国の暫定2車線100km区間において、幅員構成を変えず、ラバーポールに代えてワイヤロープを設置することによる安全対策の検証を行うと発表した。道央自動車道、磐越自動車道の中央帯に設置されたワイヤロープ式防護柵は、平成24年から平成28年末までに接触事故が3件起きただけで、反対車線への飛び出しや死傷者も無く、暫定2車線区間の正面衝突事故対策として期待された。

3.1 暫定2車線区間に適した仕様の検討

平成28年から、鋼製防護柵協会に(株)高速道路総合技術研究所を加えた3者で共同研究を締結し、東・中・西日本高速道路(株)の3社の協力の下、暫定2車線区間でワイヤロープ式防護柵を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開始した。

暫定2車線区間に適したワイヤロープ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のAm種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⁶⁾。暫定2車線区間に適したワイヤロープの仕様として、低コストや維持管理の容易さを考慮し、ロープ本数削減、支柱間隔増大、施工張力減少を検討したが、Am種の仕様を開発した過程から支柱構造を変更した場合、短期間で開発するのは困難であると判断し、支柱間隔増大と施工張力減少を開発目標とした。

仕様の検討には車両衝突シミュレーションを使用した。車両衝突シミュレーションは、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使用し、鋼製防護柵協会が作成したモデルである。シミュレーションを行う条件は、大型車：車両重量20t、衝突速度：52km/h、衝突角度：6度とし、ワイヤロープの仕様は基本的にAm種と同じで、支柱間隔と張力を変えて5ケースを検討した(表-1)。なお、ワイヤロープ式防護柵の研究開発において、乗用車を使った性能確認試験では常に良い結果を得られていたので、シミュレーションの検討、及び、実車を使った性能確認試験は大型車を対象とした。

CASE1は、支柱間隔3m、かつ、張力10kNでシミュレーションを行った結果、ワイヤロープ上部2本で車体、下部3本でタイヤを捕捉し、車両を誘導した(図-1左)。最大進入行程は0.325mで、平成24年に行っ

た性能確認試験(Am種)の最大進入行程1.480mよりも大幅に小さな値となった。CASE2は、CASE1から張力を5kNに変更した条件でシミュレーションを行った結果、衝突時の状況は同様で、最大進入行程が0.399mとわずかに大きくなった。CASE3は、支柱間隔4m、かつ、張力15kNでシミュレーションを行った結果、ワイヤロープ上部3本で車体、下部2本でタイヤを捕捉し、車両を誘導した(図-1右)。最大進入行程は0.393mで、CASE2と同程度であった。CASE4は、CASE3から張力を10kNに変更した条件でシミュレーションを行った結果、衝突時の状況は同様で、最大進入行程が0.485mと大きくなった。CASE5は、さらに張力を5kNにした条件とした結果、衝突時の状況は同様で、最大進入行程が0.531mと大きくなった。シミュレーション結果から、支柱間隔4m、張力10kNであっても最大進入行程はそれほどおおきくならず、幅員が狭い暫定2車線区間であっても飛び出し事故が起きる可能性は低いと考え、大型車による性能確認試験を行うこととした。

表-1 車両衝突シミュレーションの条件と結果(1)

	支柱間隔 (m)	張力 (kN)	最大進入行程 [※] (m)	離脱速度 (km/h)	離脱角度 (度)
CASE1	3	10	0.325	40.2	0.02
CASE2	3	5	0.399	42.9	0.03
CASE3	4	15	0.393	45.3	2.20
CASE4	4	10	0.485	45.9	2.59
CASE5	4	5	0.531	44.8	1.57

[※]最大進入行程は、車両が防護柵に衝突した時の車輪内側が防護柵前面から路外方向に移動したときの最大距離

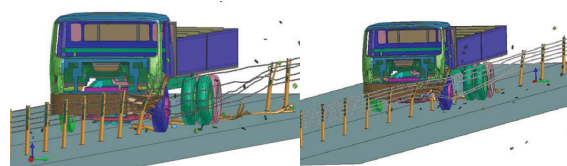


図-1 シミュレーション結果1 (左：CASE1、右：CASE3)

3.2 大型車性能確認試験の実施

車両衝突シミュレーションを行ったCASE4とCASE5の条件で、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。ワイヤロープの設置状況と諸元を表-2と写真-5に示す。試験結果を表-3と写真-6,7に示す。張力10kNでは最大進入行程が0.350mになり、張力5kNでも最大進入行程が0.440mになり、どちらもシミュレーションよりも低い数値となった。どちらのケースも車両衝突時に車体下に巻き込まれたロープ

は1本であったので、最大進入行程が小さくなり、衝突後の車両損傷も小さく、車両は自走可能であった。この結果、暫定2車線区間に設置するワイヤロープはAm種の仕様を支柱間隔4m、張力10kNに変更した仕様とし、張力が5kNに低下した場合でも対応できることが明らかになった。

表-2 ワイヤロープの諸元

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	4.0m
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)



写真-5 ワイヤロープ設置状況 (左: CASE4, 右: CASE5)

表-3 大型車性能確認試験の結果

下段は試験実施日	支柱間隔 (m)	張力 (kN)	車両重量 (t)	走行速度 (km/h)	衝突角度 (度)	衝撃度 (kJ)
CASE4 H28.12.15	4	10	20.12	52.9	6.0	23.7
CASE5 H29.3.8	4	5	20.16	54.5	6.2	26.9

	最大進入行程 (m)	離脱速度 (km/h)	離脱角度 (度)
CASE4	0.350	42.9 81.1%	3.8 63.3%
CASE5	0.440	37.5 68.8%	0 0%



写真-6 車両衝突時の状況 (左: CASE4, 右: CASE5)



写真-7 車両衝突後の状況 (左: CASE4, 右: CASE5)

4. 既設橋梁部への設置仕様の検討

ワイヤロープ式防護柵を土工部に設置する場合は、深さ70cmのスリーブを打ち込み、143cmの支柱の内、40cmをスリーブに挿入する構造である。新設橋梁部においては、ベースポスト方式の支柱をアンカープレートとアンカーボルトにより、最薄8cmのコンクリート基礎に固定することができる構造(図-2)で、帯広尾道のサンドイッチ頂版のボックスカルバートで実績がある(写真-8)。供用済みの区間の既設橋梁部に設置する場合、橋梁床版に影響を及ぼさない方法が必要となり、検討対象の橋梁を50m以下の中小橋として、[1]支柱を設置しない方法、[2]簡易支柱、[3]既設橋梁用支柱を検討した。

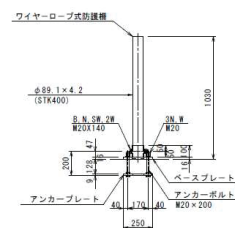


図-2 新設橋梁用支柱

写真-8 BOXカルバート設置例

4.1 支柱を設置しない方法の検討

50m以下の距離であれば、支柱が無くてもワイヤロープだけで衝突車両を跳ね返すことができる可能性があると考え、車両衝突シミュレーションを使って検討した。シミュレーションを行う条件は、大型車: 車両重量20t、衝突速度: 52 km/h、衝突角度: 6度とした。

支柱を設置しない方法は全部で4ケースを検討した(表-4)。CASE6は橋長50mに伸縮装置等を考慮し、68mに支柱を設置しない条件で張力を10kNとして車両衝突シミュレーションを行った。その結果、上部ロープ1本で車体を捕捉し、下部ロープ4本はタイヤで下げられて車体の下に入り、突破はしなかったが、最大進入行程が2.316mと大きくなった(図-3左)。CASE7は24mに支柱を設置しない条件で張力を10kNとしてシミュレーションを行った。その結果、上部ロープ3本で車体を捕捉し、下部ロープ2本はタイヤで下げられて車体の下に入り、最大進入行程は1.226mと約半減した(図-3右)。CASE8とCASE9は50mに支柱を設置しない条件で張力を20kNと30kNに上げて、シミュレーションを行った。その結果、最大進入行程はCASE8で1.758m、CASE9で1.418mとなった。ただし、張力30kNという値は、事故復旧時に締め金具であるターンバックルの取り扱いが容易ではなくなるので、導入は難しい。また、支柱が無いとワイヤロープは自

重でたわむので、車両衝突時のワイヤロープの高さがより低くなり、最大進入行程も大きくなることが予想される。

表-4 車両衝突シミュレーションの条件と結果(2)

	支柱間隔 (m)	張力 (kN)	最大進入行程 (m)	離脱速度 (km/h)	離脱角度 (度)
CASE6	68	10	2.316	49.0	0.55
CASE7	24	10	1.226	45.7	1.12
CASE8	50	20	1.758	47.4	0.32
CASE9	50	30	1.418	47.8	0.08

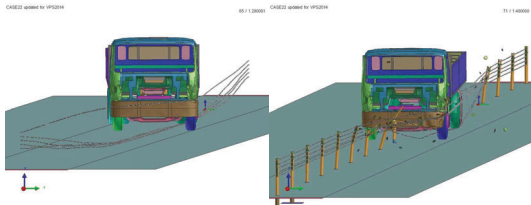


図-3 シミュレーション結果2 (左: CASE6、右: CASE7)

4.2 簡易支柱の検討

支柱が無い状態ではワイヤロープは自重でたわむことから、ワイヤロープの高さを維持することを目的とした簡易支柱を考案した。簡易支柱はシミュレーション結果を検討する過程で、3種類を考案した(図-4)。簡易支柱の特徴は、支柱基部をアスファルト舗装に固定することなく、さらに車両衝突時にはワイヤロープの高さを維持しながら舗装上を衝突車両と共に移動することである。また、土工部に設置された中間支柱と異なり、車両衝突時にワイヤロープと支柱が分離しない構造である。

簡易支柱を設置する方法は全部で4ケースを検討し、シミュレーションを行う条件は、大型車:車両重量20t、衝突速度:52 km/h、衝突角度:6度とした(表-5)。

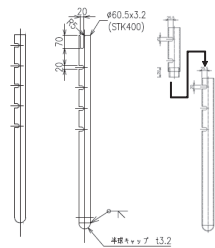


図-4 簡易支柱 (左から簡易支柱1、簡易支柱2、右簡易支柱3)

表-5 車両衝突シミュレーションの条件と結果(3)

	支柱間隔 (m)	張力 (kN)	最大進入行程 (m)	離脱速度 (km/h)	離脱角度 (度)
CASE10	50 簡易支柱1@3m	30	1.176	43.0	0.89
CASE11	50 簡易支柱1@3m	20	1.408	39.7	0.44
CASE12	50 簡易支柱2@6m	20	1.761	39.9	5.44
CASE13	50 簡易支柱3@3m	20	1.673	37.6	10.38

CASE10は50mの延長に3m間隔の簡易支柱1を設置し、張力は30kNとして車両衝突シミュレーションを行った。その結果、簡易支柱を引きずりながら、ワイヤロープ5本で車体を捕捉し、最大進入行程は1.176mとなった(図-5左)。CASE11はCASE10の条件とほぼ同じで、張力を20kNに変更した結果、車両衝突時に支柱が中折れし、最大進入行程が1.408mと約23cm大きくなった(図-5右)。CASE12は簡易支柱2とし、最上段のワイヤロープが支柱から外れるように上部に切欠きを設けた仕様である。これは下段のワイヤロープがタイヤで引き下げられるのに伴って、上段のワイヤロープまで車体下に巻き込まれることを防ぐためである。また、CASE11の支柱が車両衝突時に中折れていたため、CASE12は支柱と車両の接触を減らすことを目的に支柱間隔を6mに拡大した。その結果、簡易支柱とワイヤロープ4本が車体下に巻き込まれ、最上段1本のワイヤロープで車体を捕捉し、最大進入行程は1.761mとなり、CASE11に比べ大きくなった(図-6左)。CASE13は簡易支柱3とし、上下分割構造で、上部はワイヤロープ2本、下部は3本が添架される。シミュレーションは、CASE12の条件から支柱間隔6mを3mに変更した。その結果、簡易支柱の下部とワイヤロープ3本が車体下に巻き込まれ、支柱上部とワイヤロープ2本で車体捕捉し誘導し、最大進入行程は1.673mとなった(図-6右)。

簡易支柱の構造を検討する過程で、解決できない課題として、曲線区間では設置できない、強風の時には柱が揺れる、基部に堆雪がある場合は柱が滑動できない等が挙げられ、設置できる橋梁に限られることから、支柱を固定する方法を検討することになった。

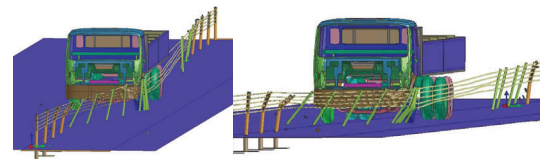


図-5 シミュレーション結果3 (左: CASE10、右: CASE11)

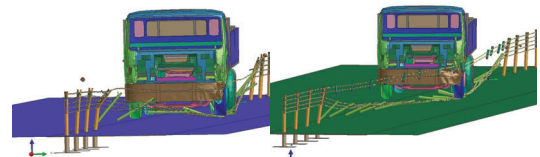


図-6 シミュレーション結果4 (左: CASE12、右: CASE13)

4.3 既設橋梁用支柱の検討

供用済みの区間の既設橋梁部にワイヤロープ式防護柵を設置する場合、橋梁床版に影響を及ぼさない方法が必要となり、既に橋梁部に設置されている高さが

約5cmのラバーポール基礎アンカー金具を使って、支柱をアスファルト舗装に固定する方法を検討した(写真-9)。アスファルト舗装に埋め込まれたアンカー金具の引き抜き強度は、それほど期待できないので、アンカー金具は4個、8個、12個と複数使用する方法を考案した。また、支柱強度を低下させる方法として、ベースポスト方式の他に基部プレート方式(ロングタイプ・ショートタイプ)の3種類を考案した(図-7)。基部プレート方式の狙いは、道路横断方向に強軸、車両進行方向に弱軸の特性を持たせ、対向車線へのはみ出しを少なくしながら、支柱を固定している舗装へのダメージを軽減することである。

アンカー金具のアスファルト舗装引抜き剪断力に対して知見が無いことから、車両衝突シミュレーションモデルを使うことができず、既設橋梁用支柱の評価は、クレーンで重量が2,665kgの重錘を吊り下げ、3mの高さから重錘を振り子のように落とし、支柱に衝突させ、支柱やアスファルト舗装の損傷度合いを測定した(写真-10)。

その結果、ベースポスト方式ではアンカーが舗装から引き抜かれ、舗装も損傷した。基部プレート方式(ショートタイプ)は横断方向の衝突に対して、基部プレートが破断した。基部プレート方式(ロングタイプ)はどの方向の衝突に対しても、基部プレートが折れて、良好な結果となった(写真-11)。支柱基礎のプレート方式(アンカー8個、アンカー12個)のタイプはどちらも舗装から引き抜かれることが無かったが、施工に時間を要し、実用化に向けて課題が残った。



写真-9 アンカー金具

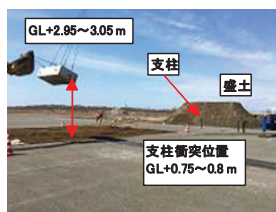


写真-10 支柱衝突試験

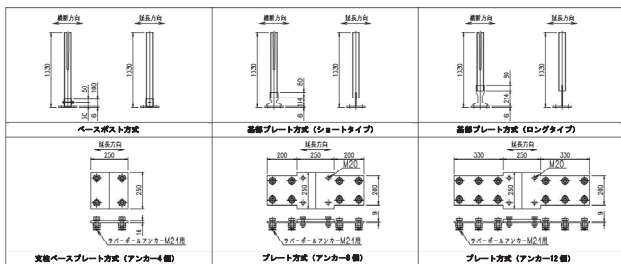


図-7 既設橋梁用試作支柱と試作基礎一覧



写真-11 支柱衝突試験結果 (左: ベースポスト方式、中: 基部プレート方式 (ショート)、右: 基部プレート方式 (ロング))

4.4 実車衝突試験の実施

重錘による支柱衝突試験で良好な結果であった基部プレート方式(ロングタイプ)の支柱を使って、平成29年5月18日に苫小牧寒地試験道路で実車衝突試験を行った(写真-12)。実験条件は、大型車20t、衝突速度52km/h、衝突角度6度、ロープ張力10kNとした。実験の結果、最大進入行程は0.435mを記録し、表-3に示す平成28年12月に行った土工部設置仕様の性能確認試験よりわずかに8.5cm大きな値であった。離脱速度は進入速度の96%、離脱角度は0度であった。ただし、支柱2本が舗装から剥離、飛散し、課題が残った(写真-13)。剥離した舗装の大きさは、ほぼベースプレートと同じであった。それ以外の支柱は、ほぼ車両進行方向に倒れ、スリットも開くことなく、良好な結果であった。この実験結果から既設橋梁用支柱のシミュレーションモデルを作成し、車両衝突シミュレーションを行い、舗装が剥離しない仕様の開発を進めることとした。



写真-12 既設橋梁用支柱



写真-13 実車衝突試験後の状況

車両衝突シミュレーションでは最大進入行程等の他、各支柱のアンカー金具に掛かる引抜き力を算出した。舗装が剥離しないように基部プレートの板厚とくびれ部の仕様を変更して、強度を弱くしながらも、最大進入行程を大きくしないように、シミュレーションは実験スペックの他に3ケースを行った(表-6)。CASE14は、実車衝突試験と同じ仕様で、舗装から剥離した8番支柱と9番支柱の引抜き力は約17kNであった。CASE14以外は全てアンカー金具に掛かる引抜き力が17kNを下回った。3ケース中で、引抜き力が小さいのに、最大進入行程も小さいCASE17の仕様で再実験を行う

ことになった。

表-6 車両衝突シミュレーションの結果(4)

		実車実験	CASE14	CASE15	CASE16	CASE17
基部プレート仕様	幅(mm)	60	60	60	50	50
	厚さ(mm)	12	12	9	12	9
結果	最大進入行程(m)	0.435	0.510	0.642	0.763	0.579
支柱番号	5	やや変形	8.65	10.9	10.7	7.88
	6	斜め倒れ	11.2	12.7	13.4	10.3
最大引抜力	7	斜め倒れ	10.6	12.2	12.1	10.7
アンカー1本あたり	8	剥離	17.4	12.5	12.3	8.64
	9	剥離	17.1	12.1	12.4	8.11
(kN/本)	10	進行倒れ	10.5	12.5	12.0	8.31
	11	進行倒れ	11.2	13.0	13.3	8.29

4.5 実車衝突再実験の実施

基部プレートの仕様は、板厚を 12mm から 9mm、くびれ部の幅を 60mm から 50mm に変更し、前回同様の条件で、平成 29 年 10 月 4 日に苫小牧寒地試験道路で実車衝突再実験を行った(写真-14)。その結果、最大進入行程は 0.470m、離脱速度は 39.8km/h で進入速度の 75.2%、離脱角度は 1.84 度で衝突角度の 27.4%であった。舗装剥離を起こす支柱は無く、概ね車両進行方向に倒れ、良好な実験結果が得られた(写真-15)。

既設橋梁用支柱は、土工部と接続することも考えて、張力 5kN の条件で平成 29 年 11 月 15 日に苫小牧寒地試験道路で実車衝突試験を行った。その結果、最大進入行程は 0.565m、離脱速度は 42.9km/h で進入速度の 78.7%、離脱角度は 2.1 度で衝突角度の 35.0%であった。最大進入行程が約 10cm 大きくなった以外、舗装剥離を起こす支柱も無く、張力が低下しても、10kN と同様の結果が得られた。



写真-14 橋梁用支柱衝突状況



写真-15 衝突再実験後の状況

4.6 支柱傾倒事象の発生

実車衝突再実験の結果が良好であったので、平成 29 年 12 月から平成 30 年 3 月までに、8 箇所の中小橋梁に試行設置したが、そのうち、東海環状道、松山道、東九州道の 4 橋で支柱が傾倒する事象が発生した。最初に傾倒事象が確認された東海環状道の関テクハイ橋では、支柱頂部で最大 40cm 変位し、ベースプレート基部に舗装の盛り上がり確認された(写真-16) 7)。

支柱傾倒の数日前より最高気温が 30℃を超える日が続き、約 34℃で支柱の傾倒が確認された。傾倒事象が発生した 4 橋は、高速道路において比較的急な曲線部に設置されたため、ワイヤロープの張力が円弧内側へ傾倒する力が発生している状態で、かつ、温度上昇に伴いアスファルト舗装の耐力が低下した結果、支柱の傾倒が始まったと推察される。



写真-16 傾倒事象発生状況(左: 全景, 右: No.6支柱) 7)

4.6 既設橋梁用支柱の固定方法の検討

既設橋梁への支柱の固定には、アスファルト舗装のように高温下でも物性が変化しない方法が求められた。鋼製防護柵協会、(株)高速道路総合技術研究所を加えた 3 者で共同研究を締結し、東・中・西日本高速道路(株)の 3 社と検討した結果、温度変化に依存しないコンクリートを使用した固定方法を開発することとした。支柱の基礎コンクリートは、ワイヤロープの張力が円弧内側へ傾倒する力に対抗するために、橋梁床版に定着させなければならない。そこで、コンクリート構造物の増厚工法を参考にして、図-8 に示す基礎コンクリート定着方式を決定した。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されている。

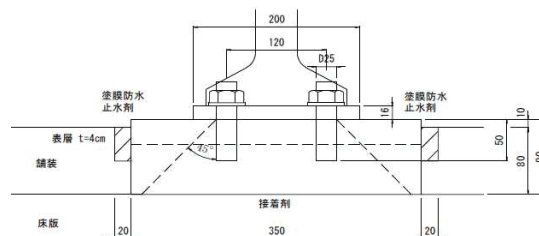


図-8 既設橋梁用支柱の固定方法

高気温環境下においても、基礎コンクリート定着方式の傾倒事象が発生しないか、土木研究所沖縄暴露場に既設橋梁用ワイヤロープの供試体を曲線半径 400m のカーブで設置し、以下の条件で暴露試験を行った。

- ・暴露場場所：沖縄県大宜味村津波

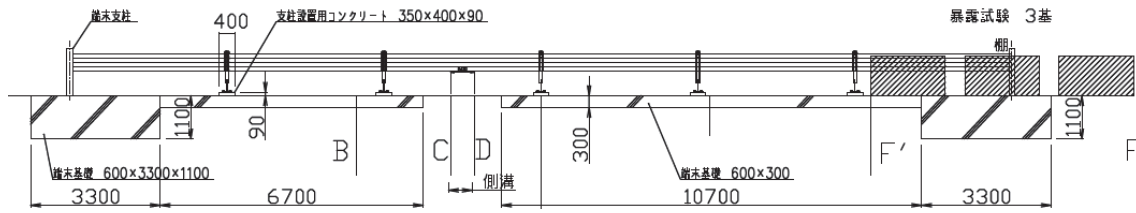


図-9 暴露供試体側面図 (単位: mm)

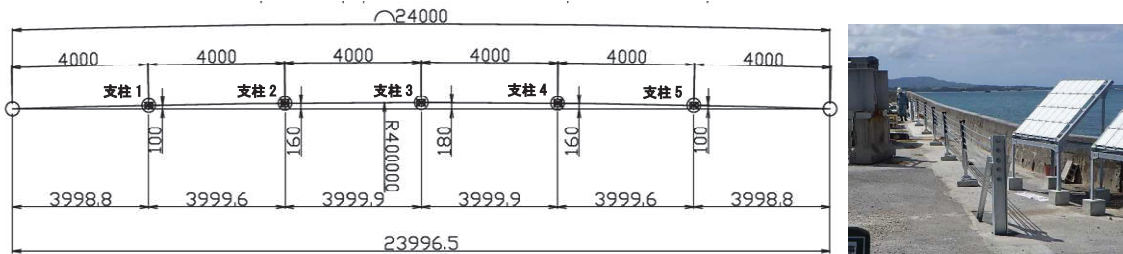


図-10 暴露供試体平面図 (単位: mm) と暴露供試体支柱設置状況

- ・暴露供試体設置日: 平成 30 年 9 月 14 日
- ・暴露期間: 平成 30 年 9 月~12 月 (約 3 ヶ月)
- ・供試体は端末ブロックの H 型鋼にロープを固定
- ・既設橋梁用支柱: 5 本
- ・支柱間隔: 4m
- ・曲線半径: 400m
- ・初期張力: 11.5kN

基礎コンクリートは、コンクリート舗装上に目荒し後、接着剤塗布、超速硬コンクリート (350mm×450mm×90mm) を打設し、アンカーで既設橋梁用支柱を固定した (写真-17)。



写真-17 支柱基礎コンクリート打設状況

測定項目は、気温、ワイヤロープの張力、基礎コンクリートの浮き、支柱の傾き、支柱スリットの開きとした。初期張力は、10kN の 15%増しの 11.5kN とし、気温の変化に反して増減したが、最終日の 91 日目で 10kN であった (図-11)。施工から経過した日数が 91 日目まで測定し、支柱の傾きと支柱スリットの開きは、ほぼ無かった。基礎コンクリートの浮きは、支柱 5 で 18 日目から 4.5mm の値が計測されたが、その後は上昇しなかった (図-12)。その他の支柱では、ほぼ 1.5mm 以内に収まっていて、高温下による傾倒事象は発生しなかった。支柱 5 については、気温が 39℃の高い時の

施工であったため、超速硬コンクリートや接着剤の硬化時間が速く、密着できなかったこと、施工後の雨水による浸水で、写真-18 に示すように隙間が発生したものと推察される。

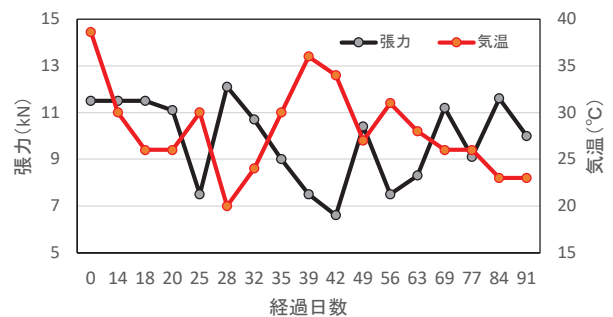


図-11 気温と張力

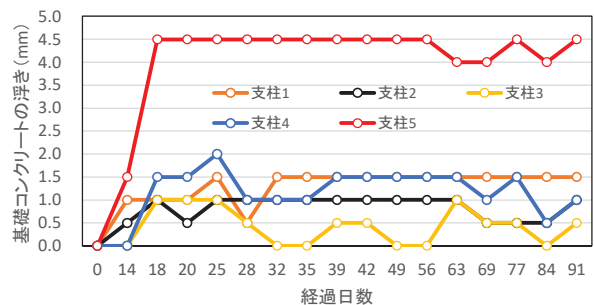


図-12 各支柱の基礎コンクリートの浮きの変位状況

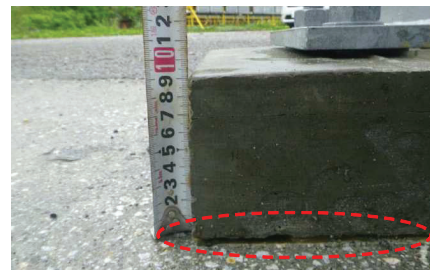


写真-18 支柱5の基礎コンクリートの浮き

高温化でも傾倒事象が発生しなかったが、超速硬コンクリート、接着剤の扱いなど、気温が高い時の施工に留意することと浸水により接着面の劣化の可能性が考えられるので、施工方法を次のように決定した。①コンクリート基礎の大きさにあわせてアスファルト舗装を開削（写真-19 左）、②橋梁床版の既設防水工を撤去し、ブラスト工法、もしくはウォータージェット工法により、床版の表面処理を実施（写真-19 右）、③新旧コンクリートの界面は、はく離に対する付着耐久性、防水機能を高めるため、接着剤を塗布（写真-20 左）、④鉄筋アンカーが施された型枠を設置し、コンクリートを打設（写真-20 右）、⑤コンクリート基礎と既設アスファルトの界面に塗膜系防水材料を施工（写真-21 左）、⑥既設橋梁用支柱を建込み、ワイヤロープを緊張する（写真-21 右）。



写真-19 舗装開削（左）と床版表面処理（右）



写真-20 接着剤塗布（左）とコンクリート打設（右）



写真-21 防水材料施工（左）と既設橋梁用支柱建込み（右）

4.7 基礎コンクリート定着方式実車衝突試験の実施

苫小牧寒地試験道路に既設橋梁用支柱（基部プレート式）と基礎コンクリート定着方式によるワイヤロープ式防護柵を施工し、平成 30 年 9 月 5 日に実車衝突試験を行った（写真-22）。試験条件は、大型車 20 t、衝突速度 52km/h、衝突角度 6 度、ロープ張力 10kN とした。試験の結果、最大進入行程は 0.725m を記録し、平成 29 年 10 月に行った衝突試験より 25.5cm 大きな値であった。離脱速度は進入速度の 90%、離脱角度は 0

度であった。平成 29 年 10 月に行った衝突試験では、支柱 2 本が舗装から剥離、飛散したが、衝突した支柱は全て基部で折れて、基礎コンクリートにも損傷はなかった（写真-23）。衝突試験後に基礎コンクリートの撤去を行った際に、はく離面を確認したところ、比較的きれいな状態であったので、衝突した大型車が支柱を引っ掛けた場合でも、橋梁床版に大きな影響を与えないと推察される。



写真-22 支柱衝突時の状況



写真-23 衝突試験後の状況



写真-24 基礎コンクリートの撤去

試験結果を受けて、NEXCO3 社が管理する道路において、令和 3 年月末までに 107 橋の中小橋に設置された結果、3 橋で接触事故が発生したが、死傷事故に至らず、基礎コンクリートにも損傷はなかった⁸⁾。

5. BOX カルバート箇所における設置仕様の検討

ワイヤロープ式防護柵は、深さ 70cm のスリーブを打ち込む必要があるが、既に BOX カルバートが施工されている箇所は、70cm を確保できないことが多い。そのような箇所では、埋め込み深さが 40cm のスリーブとスリーブの損傷を防止する根固めブロックを使用する仕様となっている（図-13）。しかしながら、普及が進むにつれて、深さ 40cm を確保できない箇所での技術相談が多くあり、対応策を検討する必要が生じた。スリーブを短くすると支柱が挿入されている部分も浅くなるので、車両衝突時に支柱が抜けやすくなる。抜けた場合、2 次被害も懸念される。そこで、車両衝突時の支柱引抜き防止対策として、支柱下部に切欠きを設ける形状を考案した。

切欠き付き支柱は、スリーブに挿入した後に、切欠きをスリーブ内の鉄筋に掛かるように回転して設置する。スリーブの長さは 27cm とし、深さ 20cm の位置に

鉄筋がある（写真-25）。車両衝突時の状況を確認するため、令和元年10月に、重錘衝突試験と重機による引張り試験を行った。重錘衝突試験は、重錘（2,665kg）を衝突速度7.0km/h、衝撃度5.04kJで衝突させた結果、スリーブの周囲の損傷はなかった（写真-26）。また、引張り試験では支柱に高さ75cmの位置でワイヤを掛け、重機で横方向に引いた結果、支柱下部の切欠きが損傷してもなお引き抜くことができなかった（写真-27）。従って、BOXカルバート箇所における設置仕様は、深さ70cm～40cm確保できる場合、40cmのスリーブと根固ブロック（図-14）、深さ27cm～40cm未満の場合、27cmのスリーブと根固めブロックと下部切欠き

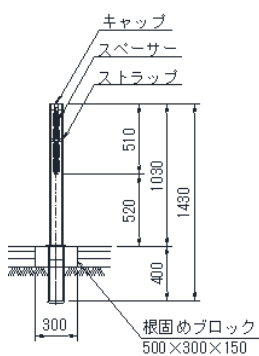


図-13 40cmスリーブ



写真-25 支柱とスリーブ



写真-26 重錘衝突試験（左）と試験後の状況（右）



写真-27 引張り試験（左）と試験後の状況（右）

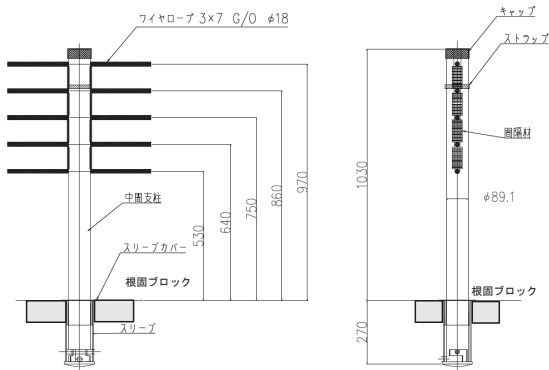


図-14 下部切欠き支柱と短尺スリーブ

支柱、深さが27cm未満の場合、橋梁対応支柱基部プレート式とBOXカルバートに基礎コンクリートを定着させる方式とした。

6. コンクリート舗装への設置仕様の検討

普及が進むにつれて、既設コンクリート舗装への設置に対する技術相談が多くあり、対応策を検討する必要が生じた。コンクリート舗装に端末杭やスリーブを打込むことは、削孔に時間を要するので、施工日数、施工費が増大すること、また、舗装内の鉄筋切断等の課題があり、土工部と同様の仕様では設置できない。そこで、端末金具や支柱をあと施工アンカーで固定する方法を考案し、苫小牧寒地試験道路に試験施工を行い、実車衝突試験を実施した。

あと施工アンカーは、既存のコンクリートを穿孔し、その孔に固着させることによって、新たに接合する構造部材を固定させるアンカーで、埋め込み方法などによって、金属系アンカー、接着系アンカーなどある。

端末金具は、常時張力が掛かるので、金属拡底式アンカーを採用した。施工手順は、図-15に示すように下穴あけ、拡底、アンカー打込、ナット締め付けである。施工した金属拡底式アンカーの仕様は、ネジ仕様M16、穿孔穴先端深さ137.5mm、最小躯体厚み200mm、短期許容引張り荷重37.6kN、長期許容引張り荷重25.1kNであった。施工した結果、ボルト出代長さが79mmあり、突出した部分を切断する必要があること、端末金具の穴に余裕がなく、アンカーの施工精度が要求されることなどが明らかになった。

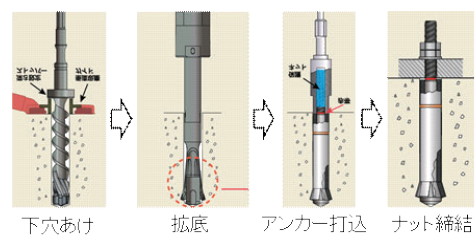


図-15 金属拡底式アンカー施工手順



写真-28 端末金具施工状況

中間支柱には、既設橋梁用支柱基部プレート式をあと施工アンカーで固定する方法を考案した。市販され

ているあと施工アンカーは種類が多く、大部分がおねじタイプである。しかし、2車線道路に設置するワイヤロープ式防護柵は開口部を設ける際に、支柱を取り外すことが必要になり、おねじタイプではボルト出代が舗装から突出するので、パンク等が懸念される。そこで、衝突試験では、種類が少ないめねじタイプを採用することとした。既設コンクリート舗装の仕様を決めるために、金属系アンカー、接着系アンカーの2種類、また、ねじの呼寸もM20とM24の2種類、計4種類のめねじタイプの試験施工を行った(写真-29、表-7、表-8)。施工した支柱は20本あり、4種類のあと施工アンカーを交互に配置した。



写真-29 金属系めねじアンカーと接着系めねじアンカー

表-7 金属系めねじアンカーの仕様

ねじの呼寸	M20	M24
b:外径(mm)	25.4mm	31.8mm
c:全長(mm)	83mm	110mm
d:ねじ部長さ(mm)	31mm	55mm
下穴(径×深さmm)	φ26mm×93mm	φ33mm×120mm

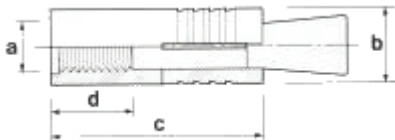
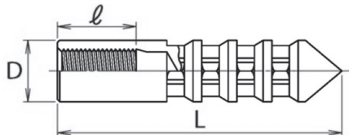


表-8 接着系めねじアンカーの仕様

ねじの呼寸	M20	M24
D:外径(mm)	28mm	36mm
L:全長(mm)	145mm	150mm
l:ねじ部長さ(mm)	35mm	45mm
下穴(径×深さmm)	φ32mm×145mm	φ42mm×150mm



金属系めねじタイプの施工(写真-30)では、以下のことが明らかになった。

- ・アンカー穿孔(深さ、方向)の精度を要求される。
- ・穿孔が深いと六角ボルトの長さが足りなくなり、浅いとアンカーの突出により、プレートが浮くことになる。

・M24はネジ穴に対して、余裕が少なく、アンカー穿孔の精度が要求される。

・アンカー周りにわずかな隙間があり、凍結融解によるひび割れが懸念される。

・アンカー施工と同時に支柱の設置が可能である。

接着系めねじタイプの施工(写真-31)では、以下のことが明らかになった。

・アンカー穿孔に時間を要する。

・接着剤が固まる前に支柱を設置して、六角ボルトの位置を固定すると、設置が容易であった。

・支柱のベースプレート裏に、接着剤付着防止のためにシート等が必要である。

・支柱の固定に時間を要する(気温に左右される)。

・M20とM24の施工の容易さに差は無かった。

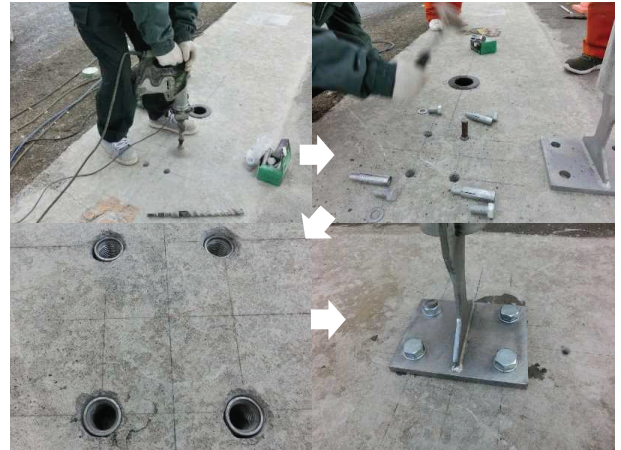


写真-30 金属系めねじアンカーの施工状況



写真-31 接着系めねじアンカーの施工状況

令和2年12月9日に苫小牧寒地試験道路で行った実車衝突試験は、平成30年9月と同様の条件で、大型車20t、衝突速度52km/h、衝突角度6度、ロープ張力10kNとした。試験の結果、最大進入行程は0.810mを記録し、平成30年9月に行った基礎コンクリート定着

方式の衝突試験より 8.5cm 大きな値であった（写真-32）。離脱速度は進入速度の 88%、離脱角度は 0 度であった。支柱の抜けや飛散は無く、破損した支柱を外してあと施工アンカーの状態を確認した結果、金属系、接着系、M24、M20 の全ての種類で損傷が見られなかった（写真-33）。また、端末金具も損傷が見られず、金属拡底式アンカーについても問題が無かった。



写真-32 大型車衝突時の状況



写真-33 衝突前（左）と衝突後（右）の状況

金属系は接着系に比べ安く、施工直後にロープを緊張させることができるが、施工精度が求められ、積雪地域では防水材も必要である。接着系は、施工が容易で、防水材も必要ないが、価格が高めで、ロープ緊張も接着材の硬化を待たなければならない。施工時期や現場条件も様々なので、金属系、接着系のどちらも採用することとした。

既設コンクリート舗装への設置仕様は、端末金具の固定に金属拡底式アンカーM16 を使用し、中間支柱には、既設橋梁用支柱基部プレート式に金属系か、接着系のめねじタイプ M20 を採用することにした。

7. 車両衝突時のたわみを抑える技術の開発

狭幅員構造物箇所にはワイヤロープ式防護柵を設置するためには、車両衝突時のたわみを抑える技術が必要とされる。平成 24 年 1 月の性能確認試験において防護柵設置基準に定める分離帯用 Am 種（高速道路）の基準を満足したワイヤロープ式防護柵の開発に成功したが、試験結果では、変形性能の基準である最大進入行程が A 種基準値の 1.5m 以下に対して、1.48m であったり。ワイヤロープ式防護柵は、金属ロープの特性上、気温が上がると「伸びる」ことにより張力が低下し、車両衝突時のたわみ、つまり、対向車線へのはみ出し

量が大きくなることが懸念された。平成 24 年の性能確認試験では、大型車が衝突したときに、直ぐに下 3 段のロープがタイヤで車体下に巻き込まれ、上 2 段のロープで車両を誘導する状況が確認された（写真-34）。車両衝突時のワイヤロープ式防護柵の対向車線へのはみ出し量を少なくするためには、車両下にロープが巻き込まれることを遅らせる仕組みが必要と考えた。既存技術では、ガードケーブルに使用されている間隔保持材がある（写真-35）。間隔保持材は各ロープの間隔を固定することにより、車両衝突時にロープがバラバラに動くのを防ぎ、衝突車両に対して面として働き、反対側へのはみ出し量を低下させる。しかしながら、ワイヤロープ式防護柵では車両衝突時に中間支柱が折れてしまう構造であり、間隔保持材を用いた場合、前述の通り、下段のロープが車両下に引き込まれると上段のロープも車両下に巻き込まれ、防護柵としての機能が発揮されないことが予想される。大型車衝突時に最上段のロープが車体にくい込むことを利用し、下段のロープが下げられる力に対して、上段のロープと連結して抵抗するための部材を考案し、ロープ連結材と命名した（写真-35）。ロープ連結材は、既製品の巻付グリップを活用し、一方を最上段のワイヤロープに固定し、もう一方を最下段のワイヤロープの下を通した後に再び最上段のワイヤロープに固定する。巻付グリップとはスパイラル状に成形した鋼線を数本撚り合わせ、内側に摩擦力を増加するため、グリッド材が塗布されたもので、落石防護網等の留め具として使用されているものである。



写真-34 大型車衝突時のワイヤロープ状況¹⁾



写真-35 間隔保持材（左）とロープ連結材（右）

ロープ連結材の開発には、Am 種の仕様を変更するために、苫小牧寒地試験道路において平成 26 年から平成 27 年の 2 年間に 6 回の大型車衝突試験を実施した。ま

た、6回の大型車衝突試験の期間中にロープ連結材を使ったCGシミュレーションを構築し、仕様の検討を行った。

衝突試験の防護柵諸元を表-9に示す。ロープ連結材のロープ水平方向の長さX(cm)は、最上段のワイヤロープに巻き付ける片側の長さを示し、長いほど、下方向引張力への抵抗力が大きくなる。ロープ垂直方向の長さY(cm)は、長いほど、最下段ロープが大型車のタイヤに巻き込まれる時間が遅くなり、最上段のロープが車体にくい込む時間に余裕を与える。大型車衝突試験は、性能確認試験と同様に走行速度52km/h、衝突角度15度、車両重量20tで行った。試験結果を表-10に示す。ロープ連結材を使った大型車衝突試験を行った結果、CASE1・CASE4の仕様では、張力20kN時の最大進入行程が0.69mと小さいが、張力12kN時の最大進入行程は1.47mとなり、張力低下時の性能劣化が見られ、支柱のスリット左側（車両進行方向左側）が破断し、飛散した。CASE3では最大進入行程が1.50mとなり、ロープ連結材の水平方向の長さXが大きいと外れづらくなり、最下段ロープに連動し、最上段のロープが下げられるので、最大進入行程を増加させてしまうことが明らかになった。CASE2・CASE6の仕様では、張力20kN時の最大進入行程が0.96mであったが、張力12kN時の最大進入行程は0.95mとなり、張力低下時でも性能を保持した。これらの結果から、ロープ連結材の最終仕様はCASE2・CASE6の水平方向の長さX:30cm、垂直方向の長さY:46cmとした。

平成28年3月にロープ連結材を使ったワイヤロープ式防護柵の性能確認試験を苫小牧寒地試験道路で行った。防護柵はAm種の仕様にCASE2の連結材を取り付けた。試験車両の乗用車は脱着可能なRTK-GPS制御ロボットによる完全自動無人走行、大型車はテストドライバーによる操舵で性能確認試験を行った。試験結果である車両の逸脱防止性能は、大型車の衝突に対して、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、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79.0m/s²/10msと小さく、規定値の150m/s²/10ms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車:0.945m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65.7%:34.6km/h/52.7km/h、乗用車69.6%:70.6km/h/101.4km/h）、離脱角度が衝突角度の6割以下（大型車10.1%:1.5度/14.9度、乗用車

表-9 ロープ連結材を活用した防護柵諸元

	連結材		初期張力 (kN)	ロープ段数	最上段ロープ高さ (mm)	支柱間隔 (m)	支柱径 (mm)	支柱板厚 (mm)
	X(cm)	Y(cm)						
CASE1	30	62	20	5	970	3	φ89.1	4.2
CASE2	30	46	20	5	970	3	φ89.1	4.2
CASE3	50	46	12	5	970	3	φ89.1	4.2
CASE4	30	62	12	5	970	3	φ89.1	4.2
CASE5	30	62	20	5	970	3	φ89.1	4.2
CASE6	30	46	12	5	970	3	φ89.1	4.2

表-10 ロープ連結材を活用した大型車衝突試験結果

項目	仕様・実施年月		
	CASE1 平成26年10月	CASE2 平成26年11月	CASE3 平成26年11月
ロープ張力 (kN)	20	20	12
車両重量 (t)	20.27	20.28	20.26
衝突速度 (km/h)	50.9	51.5	50.2
衝突角度 (度)	15.1	14.92	15.52
衝撃度 (kJ) ※1	137.5	137.6	141.0
最大進入行程 (m) ※2	0.67	0.96	1.50
離脱速度 (km/h)	38.1	44.0	39.0
(%) ※3	74.9	85.4	77.7
離脱角度 (度)	0.2	0	0
(%) ※4	1.3	0	0

項目	仕様・実施年月		
	CASE4 平成27年7月	CASE5 平成27年8月	CASE6 平成27年11月
ロープ張力 (kN)	12	20	12
車両重量 (t)	20.18	20.32	20.58
衝突速度 (km/h)	53.7	51.3	52.8
衝突角度 (度)	16.6	14.9	13.9
衝撃度 (kJ) ※1	183.2	136.4	127.7
最大進入行程 (m) ※2	1.47	0.92	0.95
離脱速度 (km/h)	45.1	38.6	41.3
(%) ※3	84.1	75.2	78.2
離脱角度 (度)	0	3.2	0
(%) ※4	0	21.5	0

防護柵設置基準規定値: ※1 130kJ以上, ※2 1.5m以下, ※3 60%以上, ※4 60%以下



写真-36 性能確認試験後の状況 (平成28年3月)

25.5%:5.1度/20.0度)となり規定値を満足した。飛散防止性能においては、乗用車衝突時に主要部材の飛散が無かったが、大型車衝突時に端末から7本目の支柱がスリーブから引き抜かれ、飛散防止性能を満足しなかった(写真-36)。ロープ連結材を使った防護柵の性能確認試験ではほとんどの項目において平成24年1月の性能確認試験より性能向上が確認されたので、連結材の仕様はCASE2が最適であると明らかになったが、支柱引き抜き防止対策が必要となった。

ワイヤロープ式防護柵の支柱は、スリーブに挿入された後に、5本のワイヤロープと間隔材が支柱スリット

内に取り付けられる。車両衝突時に支柱は折れてしまうが、人力で抜くことができるので、短時間で補修できるメリットがある。しかしながら、車両衝突時に支柱が抜けてしまえば、防護柵設置基準の構成部材の飛散防止性能を満足することができない。平成28年3月の性能確認試験で確認された支柱引き抜き防止対策として、支柱下部に切欠きを設ける形状を考案した(図-16、写真-37)。下部切欠き支柱は、スリーブに挿入した後に、切欠きをスリーブ内の鉄筋に掛かるように回転して設置する。

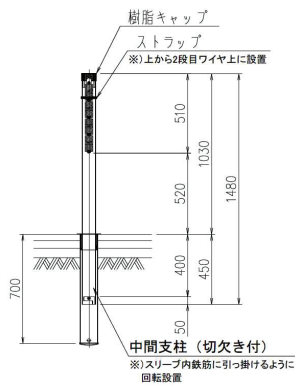


図-16 下部切欠き支柱詳細図



写真-37 新旧支柱

令和2年3月と7月にロープ連結材、下部切欠き支柱を使ったワイヤロープ式防護柵の性能確認試験を苫小牧寒地試験道路で行った。なお、ロープ連結材の開発過程の大型車衝突試験で支柱スリットの片側が破断する事象があったので、ストラップの取付をワイヤロープ2段目と3段目の間から、1段目と2段目の間に変更した(図-16、写真-38)。試験車両の乗用車は、追従車両の無線操舵による完全自動無人走行(写真-39)、大型車はテストドライバーの操舵で性能確認試験を行った(写真-40)。

表-11 に試験結果を示す。車両の逸脱防止性能は、大型車の衝突に対して、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、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 $92.7\text{m/s}^2/10\text{ms}$ 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車: 0.604m 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 $83.5\% : 45.0\text{km/h} / 53.9\text{km/h}$ 、乗用車 $60.4\% : 60.4\text{km/h} / 100.0\text{km/h}$)、離脱角度が衝突角度の6割以下(大型車 $44.0\% : 6.6\text{度} / 15.0\text{度}$ 、乗用車 $41.9\% : 8.5\text{度} / 20.3\text{度}$)となり規

定値を満足した。飛散防止性能においても、主要部材の飛散が無かった。



写真-38 防護柵(左: 中間支柱、右: 連結材とストラップ)

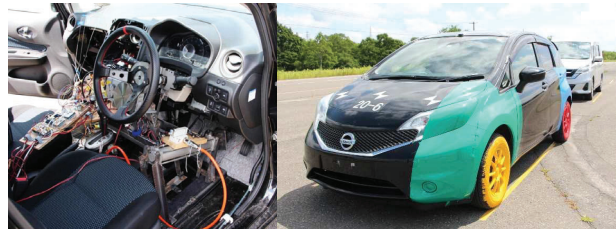


写真-39 試験車両(左: 無線操舵機器、右: 無線操舵車両)



写真-40 衝突状況(左: 乗用車、右: 大型車)

表-11 ロープ連結材を使用した性能確認試験結果

性能確認項目	性能規定	A種性能確認試験結果 (ロープ連結材有り) 大型車: 令和2年3月11日 乗用車: 令和2年7月15日
車両の逸脱防止性能	防護柵の強度性能 大型車が突破しない強度を有すること	部材の切断等はなく、ワイヤ、支柱などにより防護柵が連続保持されており、大型車は突破しなかった。
	防護柵の変形性能 大型車の最大進入行程 ・A種: 1.5m 以下	大型車: 0.604m
乗員の安全性能	乗用車を受ける重心加速度 ・A種: $150\text{m/s}^2/10\text{ms}$ 未満	防護柵軸方向: $76.7\text{m/s}^2/10\text{ms}$ 防護柵横軸方向: $92.7\text{m/s}^2/10\text{ms}$
車両の誘導性能	車両は防護柵に衝突後、横転などを生じないこと	乗用車は横転・転覆することなく誘導された。大型車は離脱し、横転・転覆することなく誘導された。
	離脱速度: 衝突速度の6割以上	大型車: 53.9km/h の 83.5% (45.0km/h) 乗用車: 100.0km/h の 60.4% (60.4km/h)
	離脱角度: 衝突角度の6割以下	大型車: 6.6度 (衝突角度 15.0度 の 44.0%) 乗用車: 8.5度 (衝突角度 20.3度 の 41.9%)
構成部材の飛散防止性能	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、飛散防止性能を満足している。

ロープ連結材の効果については、乗用車衝突状況を平成24年1月の性能確認試験と比較すると、上段ロープの2本が乗用車のルーフに乗り上げたが、令和2年7月の試験では連結材が上段ロープの押し上げ防止に効果を発揮した(写真-41)。

大型車衝突状況では、平成24年の試験で、下段ロープの3本が前輪タイヤに押し下げられ、前輪タイヤの内側に入り、上段ロープの2本みで車両を誘導していたが、令和2年の試験ではロープが1本も押し下げら

れず、5本が有効に働き、大型車を誘導した。連結材が前輪タイヤの押し下げ防止に有効に働いた結果、車両の最大進入行程を1.48mから0.604mに大きく低減させ、変形性能を2.5倍向上させることに成功した(写真-42)。

下部切欠き支柱の効果については、車両衝突時に支柱が抜けることがなかった。また、回転することもなく、概ね道路縦断方向に倒れていた(写真-43)。試験後に、折れた支柱を交換する時は、下部切欠き部も損傷を受けていたので、支柱を抜くことに少し時間を要したが、許容範囲内と思われる。また、ストラップの位置をロープ1段上に変更したことにより、支柱がロープによって切断される事象が起きなかった。車両衝突によって支柱が折れる時に、支柱からロープが抜けやすくなり、支柱分岐部に作用する下方向加重が小さくなったと推察される。



写真-41 乗用車衝突状況(左:平成24年,右:令和2年)



写真-42 衝突時はみ出し状況(左:平成24年,右:令和2年)



写真-43 性能確認試験後の状況(令和2年3月)

令和2年の性能確認試験の結果から、高速道路分離帯用Am種の仕様は、ロープ連結材、下部切欠き支柱を使った仕様に変更することとした。ロープ連結材の技術は、車両衝突時のたわみを大きく低減するので、狭幅員構造物箇所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仕様としても期待される。

8. 張力管理基準の検討

ワイヤロープ式防護柵は張力が防護柵の機能に影響するため、1段目と2段目などの隣接しているワイヤロープが人力によって重ね合わせることが出来る状態になっている場合には、すみやかに所定の張力まで緊張させることが必要である。標準張力は、防護柵設置基準に定められているAm種、Bm種で設置される場合、20kN、道路構造令に記載されている高速道路暫定2車線区間のレーンディバイダーとして設置される場合、10kNと設定した。なお、レーンディバイダーとして設置される場合をLD種と命名した。ワイヤロープは、金属ロープの特性上、気温が上がると「伸びる」ことにより張力が低下し、気温が下がると「縮む」ことにより張力が上がる。齊藤ら⁹⁾は道央自動車道大沼公園IC～森IC間に設置されたワイヤロープ式防護柵の張力が1年間に17.9kNの変動があることを確認した。また、米国テキサス州運輸省が発行した「センターケーブル防護柵保守マニュアル」では、4社5製品について、施工時の気温に基づく張力管理表が提示されている。そこで、ワイヤロープ式防護柵も施工時の気温に基づく張力管理表を作成することとした。

齊藤ら⁹⁾が発表した論文から、道央自動車道大沼公園IC～森IC間に設置されたワイヤロープ式防護柵の平成25年5月～10月までの張力測定データを基に得られた下記近似式を参考にした。

$$\text{最大張力 } y \text{ (kN)} = -0.3075x + 30.715$$

米国テキサス州運輸省が発行した「センターケーブル防護柵保守マニュアル」の4社5製品の張力管理表から華氏、lbfを摂氏、kNに変換し、回帰係数と切片を得た(表-12)。

表-12 気温とロープ張力の関係(単位:kN)

気温(°C)	米国テキサス州保守マニュアル					道央道(実測からの推計)
	NUCOR TL-3	Trinity TL-3,4	Brifen TL-4	Gibraltar TL-3	Gibraltar TL-4	
-10	35.4	29.0	36.1	31.3	34.9	33.8
-5	33.7	27.6	33.3	29.7	33.3	32.3
0	32.0	26.3	30.6	28.1	31.7	30.7
5	30.4	25.0	27.8	26.5	30.1	29.2
10	28.7	23.6	25.0	24.9	28.5	27.6
15	27.0	22.3	22.2	23.3	26.9	26.1
20	25.4	21.0	19.5	21.7	25.3	24.6
25	23.7	19.7	16.7	20.1	23.7	23.0
30	22.0	18.3	13.9	18.5	22.1	21.5
35	20.4	17.0	11.2	16.9	20.5	20.0
40	18.7	15.7	8.4	15.3	18.9	18.4
回帰係数	-0.33	-0.27	-0.55	-0.32	-0.32	-0.31
切片	32.0	26.3	30.6	28.1	31.7	30.7

米国マニュアルの各回係数と道央道の実測値から、傾きを-0.31に設定し、Am種・Bm種は、20°Cで20kNとすると、切片26.2kNを得た。LD種は、20°Cで10kNとすると、切片16.2kNを得た。従って、Am種・Bm種

とLD種の近似式は次式とした。

Am種・Bm種

$$\cdot \text{管理張力 (kN)} = -0.31 \times (\text{気温}^{\circ}\text{C}) + 26.2 \text{ kN}$$

LD種

$$\cdot \text{管理張力 (kN)} = -0.31 \times (\text{気温}^{\circ}\text{C}) + 16.2 \text{ kN}$$

表-12 に示す値と近似式を図-17 に示す。近似式から得られた張力を基に、ワイヤロープ式防護柵整備ガイドライン(案)¹¹⁾の張力管理表を作成した(表-13)。ただし、冬季の施工時最大張力は30kNとし、雪解け後に所定の張力に調整することとし、夏季の施工時最低張力は5kNとした。

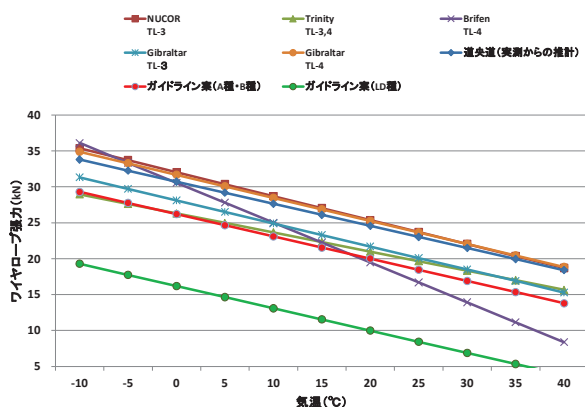


図-17 気温とロープ張力の関係

表-13 ワイヤロープ張力管理表

気温(°C)	管理張力(kN)	
	Am種・Bm種	LD種
-10	29	19
-5	28	18
0	26	16
5	25	15
10	23	13
15	22	12
20	20	10
25	18	8
30	17	7
35	15	5
40	14	5

9. 効率的な維持管理方法の検討

ワイヤロープ式防護柵に車両が衝突した場合、ワイヤロープが絡み、外れないことが想定される。また、緊急車両が現場に急行する場合や事故処理における滞留車両の解放のために、開口部を設けることができる。通常の場合はターンバックルと呼ばれるロープ締め金具を外し、張力をゼロにすると、ワイヤロープを車両から取り除くことができ、支柱を抜けば、開口部を設けることができる。緊急を要する場合は、ワイヤカッターで切断することもできるが、工具が必要で、かつ、

切断すると復旧作業の時間を要するので、切断は最終手段とし、出来るだけターンバックルを外すこととしている。ワイヤロープ式防護柵を高速道路暫定2車線区間のレーンディバイダーとして導入すること検討している段階で、警察庁担当者から警察官が1人でロープ張力をゼロにして、事故現場に急行できる方法の開発を依頼された。

9.1 緊急開放金具の開発

ターンバックルを回すには2、3人の作業員が必要であり、外す時間も5～10分程度掛かる。そこで、事故等の緊急時に1人でワイヤロープの取り外しが可能になる緊急開放金具を開発した。緊急開放金具は、ピンを抜いて、プレートを外し、一方をワイヤロープに固定しながら、もう一方を石頭ハンマー等の打撃により、ワイヤロープから取り外すことができる(図-18)。試作品では作業員1人が1分で5本のロープの連結を外すことができ、かつ、復旧時も、レバブロック等の工具を使い、作業員2～3人で5～10分程度の時間で連結すること出来た(写真-44)。

緊急開放金具は、平成29年5月18日に苫小牧寒地試験道路で既設橋梁用支柱基部プレート式の実車衝突試験を行った際に、支柱間に取り付け、試験後に損傷等がないか確認をした。

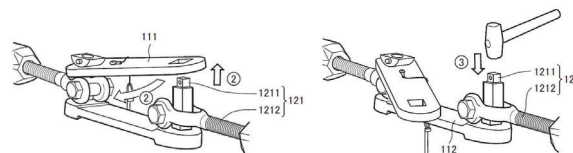


図-18 緊急開放金具の使用方法



写真-44 緊急開放金具の使用状況



写真-45 緊急開放金具の確認試験

9.2 緊急ワイヤロープ切断金具の開発

ワイヤロープを切断すると、復旧する時に接続金具を使用して、切断箇所をつなぐことになる。ロープ切

断面に接続金具を取り付けるには、施工時間も掛かるうえに、熟練した作業員も必要になる。そこで、あらかじめ切断する箇所を決めて、切断箇所の部材をストックすることで、復旧時に直ぐに取り付けることができる金具を開発し、緊急ワイヤロープ切断金具と命名した(図-19)。緊急ワイヤロープ切断金具は、令和元年12月5日苫小牧寒地試験道路で行った実車衝突試験で支柱間に取り付け、衝突時の動画で確認した結果、変化がなく、問題が無かった(写真-46)。

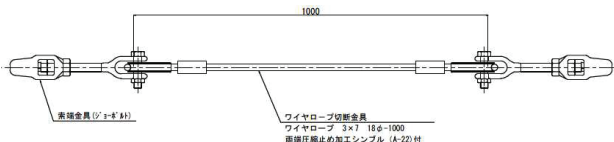


図-19 緊急ワイヤロープ切断金具



写真-46 緊急ワイヤロープ切断金具の確認試験

9.3 回転式間隔材の開発

ワイヤロープ式防護柵は車両が接触すると、中間支柱が損傷し、交換が必要になる。高速道路であれば、補修作業に通行止めの規制が必要となる。支柱の交換は、ターンバックルと呼ばれる締め金具でロープ張力を緩める必要があり、復旧作業には時間を要する。ロープ高さを保持する目的で支柱に挿入されている間隔材は、支柱上部からスライドさせるように挿入しなければならないが、ロープ、間隔材の順に最下段から最上段まで繰り返す必要があり、復旧時間を要する一因となっている(写真-47)。復旧時間を短縮するために、ロープを緊張したまま設置可能な間隔材を開発し、回転式間隔材と命名した。回転式間隔材は前面が各ロープの間隔を保持し、後面は弾力性を有するストッパーによって、ロープが緊張状態にあっても、回転させて支柱に着脱できる構造を有する(写真-48)。ターンバックルでロープの緊張を緩めることなく、ユニック車を使ってロープを上下することにより、破損支柱の交換

を可能にした。また、回転式間隔材は貫通孔もあり、飛散防止ワイヤを通すことにより、橋梁等に設置した場合、橋梁下の道路、線路等への飛散を防止する。平成30年9月の大型車衝突実験では大きく飛散することなく、支柱近くに落下したことを確認した(写真-49)。



写真-47 従来の間隔材

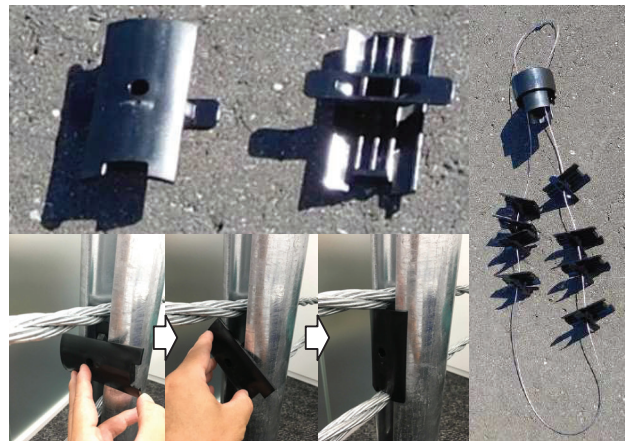


写真-48 回転式間隔材の外観と取付方法



写真-49 回転式間隔材取付状況(左:衝突前、右:衝突後)

10. 視程障害に対応した技術開発

ワイヤロープ式防護柵に視線誘導標を設置するには大きな問題がある。通常、防護柵に視線誘導標を取り付ける場合は、支柱に取り付け金具を用いて設置する。ワイヤロープ式防護柵は車両衝突時に支柱が倒されてもロープの高さを保持させるために、支柱とロープは上手く分離されなければならない。視線誘導標設置基準¹²⁾では、中央分離帯に設置する視線誘導標の高さは高速道路の場合、90cmを標準としている。ワイヤロープ式防護柵において、90cmの高さに視線誘導標を取り付けることは難しく、支柱の上に取り付けること

になるが、支柱とロープの分離を妨げないことが求められる。そこで、平成 25 年に、支柱の上から覆い被せて設置し、下部に設けられた 2 つの貫通孔を通して、樹脂バンドで最上段のロープに結束するゴム製デリネーターを開発した (写真-50)。ゴム製デリネーターは、支柱が倒れる力が働いた時には支柱から外れ、樹脂バンドによりできるだけ飛散することを防ぐ。また、飛散した場合でも軽量、かつ、弾性に富む合成ゴム製なので、第三者への人的被害が起きるリスクを低減させている。平成 25 年 9 月に行った大型車衝突実験では、飛散せず、最上段のロープに留まることに成功した (写真-51)。

ワイヤロープ式防護柵の普及が進むにつれて、吹雪等の視界不良時に向けて自発光式デリネーターの要望があり、ゴム製デリネーターを活用した自発光式デリネーターを開発することとした。開発には、自発光式デリネーターの製作を行っているメーカーの協力を得て、ゴム製デリネーターの台座の上に高輝度反射板と LED を組み合わせた自発光部と太陽光を電源とするためのソーラーパネルが配置される (写真-52)。なお、曲線部等の視線誘導のために、標準電波を利用した同期点滅の機能を有する。



写真-50 ゴム製デリネーター



写真-51 衝突実験後の状況

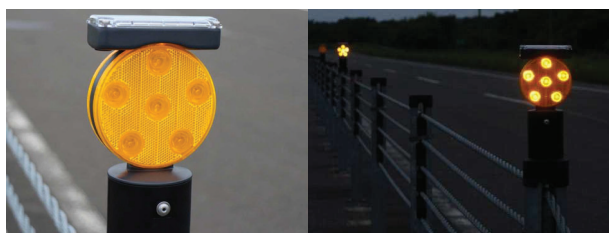


写真-52 自発光式デリネーター設置状況

11. 2 輪車に対する安全性向上の技術開発

既設橋梁用支柱の基部プレートは、2 輪車が転倒、滑走した場合に、ライダーに対する攻撃性が危惧された。そこで、ゴム製の基部保護材を開発した (写真-53 左)。令和 2 年 12 月に実施した大型車衝突実験で使用した既設橋梁用支柱基部プレート式に取り付けて、車両衝突時の支柱基部の挙動を確認したところ、特に阻害することなく、支柱基部と一体になり折れ曲がったことを確認した (写真-53 右)。



写真-53 既設橋梁用支柱基部保護材

12. ワイヤロープ式防護柵の整備効果

ワイヤロープ式防護柵は、平成 20 年から開発に着手し、平成 24 年 1 月の性能確認試験において、日本の防護柵設置基準高速道路用 Am 種の性能を満足する仕様の開発に成功した。その後、道央道、磐越道、紀勢道に試験設置され、安全性の他に、施工性や維持管理上の課題等が確認された。平成 27 年には、会計検査院が国交省・高速道路各社に高速道路暫定 2 車線区間の安全対策検討を提言し、国交省は、高速道路暫定 2 車線区間にワイヤロープ式防護柵をレーンディバイダーとして、平成 29 年に 12 路線で計約 113km の区間に試行設置した。その結果、正面衝突事故防止の効果が確認できたとして、高速道路暫定 2 車線区間土工部のレーンディバイダーとして急速に整備が進み、令和 3 年 3 月末迄に約 990km の区間に整備された (図-20)。

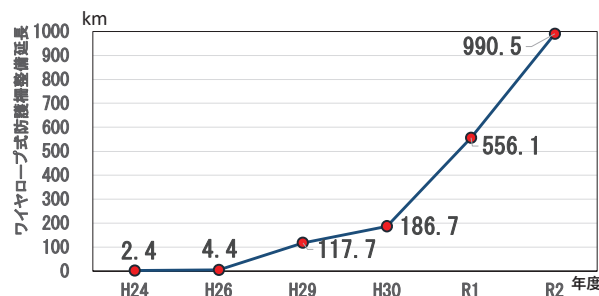


図-20 ワイヤロープ式防護柵の整備延長の推移 (寒地土木研究所調べ)

NEXCO3 社が管理する高速道路暫定 2 車線区間のレーンディバイダーとして設置されたワイヤロープ式防護柵の区間では、設置前の 1 年間で 157 件の飛出し事故が、設置後 4 年 9 か月で 5 件に減少し、同様に死亡事故 9 件が 0 件、負傷事故 28 件が 0 件になり、その安全性が確認された (表-14) ⁸⁾。

表-14 ワイヤロープ設置区間における飛出し事故⁸⁾

	R2年度 (R2.12まで)	R1(H31) 年度	H30 年度	H29 年度	(参考) H28年 飛出し事故
対向車線 飛出し事故	0件	1件	3件	1件	157件
うち 死亡事故	0件	0件	0件	0件	9件
うち 負傷事故	0件	0件	0件	0件	28件

※NEXCO3社が管理する道路における件数を集計
※「H28年飛出し事故」は、R2.12までにWRを設置したIC区間におけるH28年1年間の飛出し事故件数

表-15 技術相談件数とガイドラインDL数

年度	技術相談件数	ガイドラインDL数
H28	9	
H29	6	
H30	29	1,738
R1	54	2,707
R2	109	2,327
計	207	6,772

13. 普及に向けた研究活動

ワイヤロープ式防護柵の普及に向けて、平成30年度からワイヤロープ式防護柵のホームページを開設している(図-21)。さらに、このホームページから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)」¹¹⁾と「標準設計図集」がダウンロードできる(図-22)。ワイヤロープ式防護柵整備ガイドライン(案)は、設置に際し、基本的な仕様、施工方法や維持管理方法を示している。平成30年5月に公表し、研究開発に伴い、令和2年3月までに6度の改訂を行っている。ダウンロード数は、平成30年度～令和2年度の3年間に計6,722に達した(表-14)。

本研究が開始した平成28年の技術相談件数は、9件であったが、普及につれて多くなり、令和2年度は109件となり、5年間で計207件となった(表-15)。



図-21 ワイヤロープ式防護柵のホームページ
(http://www2.ceri.go.jp/wire_rope/index.html)



図-22 ワイヤロープ式防護柵整備ガイドライン(案)

14. まとめ

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。高速道路暫定2車線区間においても、正面衝突事故の対策としてワイヤロープ式防護柵の有効性が確認され、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飛躍的な安全性の向上が期待される。

本研究では、高速道路暫定2車線区間の中央にワイヤロープ式防護柵の導入を検討するため、実車衝突試験実施の他に、様々な道路環境下における対応する技術開発を行った。その結果、ワイヤロープ式防護柵を高速道路暫定2車線区間のレーンディバイダーとして整備するための仕様を決定し、設置計画、施工方法、維持管理方法について、整備ガイドライン(案)として取りまとめた。

ワイヤロープ式防護柵は急速に普及した結果、岩盤のような路床、凍上した路盤等の想定外の設置条件に対し、端末杭、スリーブの的確な施工方法等は、施工試験等を行っていないので、施工現場独自の対応となっている。また、飛出し事故を減少させたが、ワイヤロープに接触する事故が増大した。今後は効率的、かつ、的確な施工方法、接触事故低減対策や復旧作業時間短縮等の研究開発を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) 平澤匡介、武本東、葛西聡：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、2010
- 2) 平澤匡介、高田哲哉、石田樹：2車線道路におけるワイヤロープ式防護柵の開発と実用化、平成25年度国土交通省国土技術研究会、2013
- 3) 平澤匡介、宗広一徳：スウェーデンの道路構造・交通安全

全対策に関する調査、寒地土木研究所月報、2009

- 4) David McTiernan, T Thoresen, Nigel McDonald, Michael De Roos : Evaluation of the Safety Impact of Centre-of-the-road Wire Rope Barrier (WRB) on Undivided Rural Roads、Austroads Technical Report、2009
- 5) 道路構造令の解説と運用、(社)日本道路協会、2015
- 6) 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
- 7) 国土交通省：第3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配付資料、https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/front_accident/pdf03/03.pdf、(参照 平成30年5月14日)
- 8) 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配付資料、https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/front_accident/pdf05/03.pdf、(参照 令和3年6月9日)
- 9) 齊藤進ほか：暫定二車線区間に導入した新型防護柵「ワイヤロープ式防護柵」の維持管理手法について、平成25年度北海道開発技術研究発表会、平成26年2月
- 10) Texas Department of Transportation : Cable Median Barrier Maintenance Manual、<https://tti.tamu.edu/documents/0-5609-P1.pdf>、(参照 平成28年4月1日)
- 11) (国研)寒地土木研究所：ワイヤロープ式防護柵整備ガイドライン(案)、https://www2.ceri.go.jp/wire_rope/
- 12) (社)日本道路協会：視線誘導標設置基準・同解説、昭和59年10月

STUDY ON PROMOTION OF UTILIZATION OF A WIRE ROPE BARRIER FOR TWO-LANE ROADS

Research Period : FY2016-2020

Research Team : Cold-Region Road Engineering
Research Group (Traffic
Engineering)

Author : ISHIDA Tateki

TAKAHASHI Naoto

HIRASAWA Masayuki

TAKADA Tetsuya

SAIDA Akira

SATO Masaya

YOTSUTSUJI Hirofumi

Abstract : Some sections of Japan's expressways with low traffic volume went into services as temporary two-lane roads in order to promote construction of expressways within limited periods and with limited costs. The provision of two out of four originally planned lanes is a tentative decision. Most of the lanes on such temporary two-lane sections are separated simply with rubber poles and median curbs. Head-on collisions on such sections tend to be fatal. To prevent head-on collisions on two-lane expressways, the Civil Engineering Research Institute for Cold Region developed a wire rope barrier that has thin supports and that requires little width for installation. In this study, an actual vehicle crash test was conducted to examine the introduction of a wire rope barrier in a temporary two-lane section of the expressway. We have developed the technology of the wire rope barrier corresponding to various road environments. As a result, the specifications for installing the wire rope barrier as a lane divider for a temporary two-lane section of the expressway were decided. The maintenance guideline (draft) summarizes the installation plan, construction method, and maintenance method.

Key words : road safety, countermeasures for traffic accidents, head collision, wire rope barrier, lane divider