第67回(2023年度)　北海道開発技術研究発表会論文

ワイヤロープ式防護柵の端部衝突事故対策の開発

（国研）土木研究所　寒地土木研究所　寒地交通チーム　○平澤　匡介
伊東　靖彦
鋼製防護柵協会　　山田　慶太

ワイヤロープ式防護柵は、ガードケーブルの端末支柱に衝突する死亡事故が多いことから、端末に埋め込み式を採用している。端末金具から端末支柱にかけて斜めに張られたワイヤロープに車両が乗り上げて横転する事故が発生し、対向車線に飛び出すと重大事故に至る可能性もあることから対策を検討した。本稿は、ワイヤロープ式防護柵の端部衝突事故対策として緩衝装置の開発について報告する。

キーワード：ワイヤロープ、端部衝突、緩衝装置、暫定二車線

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二車線道路なので、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、二車線道路であっても、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。（国研）土木研究所寒地土木研究所では、比較的幅員が狭い道路の上下線を分離することに適した防護柵の開発を目指し、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実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[1]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[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箇所に試行導入された。平成27年には、会計検査院が国土交通省・高速道路各社に高速道路暫定二車線区間の安全対策検討を提言し、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㈱高速道路総合技術研究所も共同研究に参加し、東・中・西日本高速道路株式会社の3社の協力の下、暫定二車線区間で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[2]。

写真-1　ワイヤロープ式防護柵（左：東九州道、右：浜田道）

高速道路株式会社3社は、関係機関等と協議の結果、平成29年4月から12路線で計約113kmの土工部区間にワイヤロープを試行設置した（**写真-1**）。試行設置の結果、国土交通省は、正面衝突事故防止の効果が確認できたとして、高速道路暫定二車線区間土工部のレーンディバイダーとして、ワイヤロープ式防護柵を標準設置することを決定し、令和5年3月末迄に1,400km以上の区間に整備された。

ワイヤロープ式防護柵は、ガードケーブルの端末支柱が堅牢なため、衝突した場合、死亡事故に至ることが多いことから、埋め込み式の端末を採用している（**写真-1左**）。令和元年に端末から端末支柱にかけて斜めに張られたワイヤロープに車両が乗り上げて対向車線に飛び出し、横転する事故が発生[3]し、重大事故に至る可能性もあることから対策を検討した。本稿は、ワイヤロープ式防護柵の端部衝突事故対策として緩衝装置の開発について報告する。

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、本報告書ではどちらもワイヤロープ式防護柵として表記する。

HIRASAWA Masayuki, ITO Yasuhiko, YAMADA Keita

2. ワイヤロープ式防護柵端部緩衝装置の開発

(1) 端部衝突事故の再現試験

欧米のワイヤロープ式防護柵も端部は埋め込み式の端末を採用しているが、日本では幅員が狭い道路空間の中央に設置するために、端末金具を1列に配置している（**写真-2**、**図-1**）。ワイヤロープ式防護柵の端末支柱は、中間支柱同様、ガードケーブルの支柱に比べ、強度が低い。端部の斜めに張ったワイヤロープに車両が衝突しても端末支柱の強度が低いため、車両がジャンプすることなく、通過すると考えていたが、令和元年に国土交通省四国地方整備局管内で端末金具から端末支柱にかけて斜めに張られたワイヤロープに車両が乗り上げて対向車線に飛び出し、横転する事故が発生[3]した。欧米の端部に比べ、ワイヤロープが5本なので、高さや角度の違いが要因の可能性もあり、対策を考えるために、端部衝突事故の再現試験を行った。

端部衝突事故を再現するために、レーンディバイダーの仕様を開発するために行った性能確認試験[2]を基本に、試験条件を設定した。衝突速度は暫定二車線区間の規制速度が70km/hであるが、実勢速度を考慮して、80km/hとした。衝突角度は8度（乗用車）とした。

端部衝突事故の再現試験は、令和4年3月11日に苫小牧寒地試験道路で行った。試験条件を以下に示す（**図-2**、**写真-3**）。

・試験車両：乗用車1t、衝突速度80km/h、衝突角度8度
・防護柵仕様：張力10kN、支柱間隔3m
・衝突地点：手前の端末金具

なお、試験車両は、追尾車両からの無線操舵により走行制御を行った。

試験の結果、衝突速度81.5km/h、衝突角度10.3度、衝突時加速度・横方向-1.660m/sec^2、進行方向-3.364 m/sec^{2}で、対向車線方向にジャンプし、回転しながら衝突地点から縦断方向14.5m、横断方向4.6mの地点にルーフを下に着地後、横転しながら縦断方向57.2m、横断方向11.8mの地点で停止した（**写真-4**、**写真-5**）。衝突後の試験車両は、左前輪ロアアームと前後ピラーが大きく変形し、大破の状態であった。また、ワイヤロープ式防護柵は、端末支柱と支柱内の金属製間隔材、および、端末金具に接続されているジョーボルトが破損した。ワイヤロープ式防護柵の端部に乗用車が衝突した場合、条件によっては、ジャンプ事故となることが明らかになった。

写真-2　端部状況（左：スウェーデン、右：道央道）

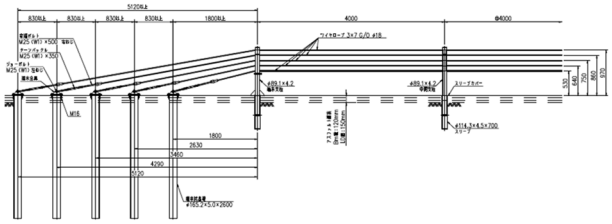

図-1　ワイヤロープ式防護柵正面図（土工部）

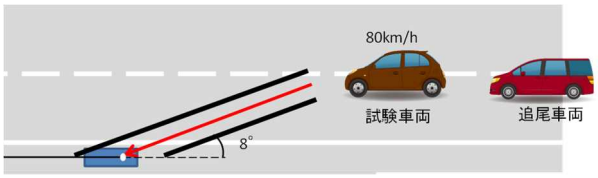

図-2　端部衝突事故の再現試験概要

写真-3　試験車両（左：無線受信装置、右：操舵装置）

写真-4　再現試験（左：衝突前、右：衝突時）

写真-5　衝突後の状況（左：防護柵端部、右：試験車両）

(2) 端部緩衝装置衝突試験

ワイヤロープ式防護柵端部衝突事故対策として、緩衝装置を設置し、乗上げ事故を防止した事例が報告された[3]。同様の緩衝装置を設置し、再現試験と同条件で衝突試験を行った。衝突試験では乗用車の他に、大型車も加えた。試験条件を以下に示す。

・試験日：令和4年3月17日（乗用車）、23日（大型車）
・試験車両：乗用車1t、大型車20t
・衝突速度：乗用車80km/h、大型車52 km/h
・衝突角度：乗用車8度、大型車6度
・防護柵仕様：張力10kN、支柱間隔3m
・衝突地点：手前の端末金具

なお、試験車両は、大型車も追尾車両からの無線操舵により走行制御を行った。

HIRASAWA Masayuki, ITO Yasuhiko, YAMADA Keita

緩衝装置の仕様は、前衛体と後衛体で構成され、躯体は発泡体に珪砂が詰め込まれている。固定方法はアスファルト舗装にアンカーボルト固定されたステンレススチール枠内に置かれている状態である（**図-3**）。緩衝装置と端末金具の離隔は、30cmとした。

乗用車衝突試験の結果、衝突速度80.1km/h、衝突角度7.7度、衝突時加速度・横方向-1.576m/sec^2、進行方向-13.377m/sec^{2}で、緩衝装置の後衛体に衝突した瞬間から車体が浮き、ロープ3段目の高さで浮遊しながら、4本目の支柱でバンパーが引っ掛かり、回転しながら、衝突地点から縦断方向26.2m、横断方向7.5mの地点で停止した（**写真-6、写真-7**）。衝突後の試験車両は、前部の破損が大きく、自走不可の状態であった。緩衝装置がない場合に比べ、停止距離は進行方向に半分以下、横方向に1/3以下になったが、進行方向の衝突時加速度は、無対策の場合と比べて約4倍となった。緩衝装置は、対向車線側に大きく飛散し、ワイヤロープ式防護柵は、支柱4本が破損し、端末柱の金属式間隔材も損傷した。緩衝装置は衝撃を吸収し、車両停止位置を短くしたが、対向車線に飛び出すことを防ぐことができなかった。

大型車の試験結果は、衝突速度53.8km/h、衝突角度5.7度、衝突時加速度・横方向1.369m/sec^2、進行方向-2.937m/sec^{2}で、緩衝装置の前衛体、後衛体、ワイヤロープ式防護柵に衝突しても、速度を減ずることなく、わずかに方向が右にずれた程度で、走行状況に変化がなく、無線のブレーキで停止した（**写真-8、写真-9**）。車両の損傷は軽微であった。緩衝装置は、大型車の衝突に効果がないが、ジャンプ等の挙動の変化も起きないことが明らかになった。

(3) 緩衝ボラードの開発

緩衝装置は、乗用車が対向車線に飛び出すことを防ぐことができなかったが、衝撃を吸収し、停止位置を短くしたことから、もう少し衝撃吸収力を上げるため、緩衝装置の後ろにボラードを設置することを考案した。ボラードが硬すぎると、死亡事故の要因になりかねないので、緩衝型として開発を進めた。緩衝ボラードにはワイヤロープ式防護柵の支柱の製作に使用されている鋼管を使用し、内部に補強材として、コンクリート、珪砂、鉄筋を組合せ、6種類の仕様を考案した（**図-4**）。最適な仕様を決めるために重錘衝突試験で緩衝ボラードの損傷度合いの評価を行った。重錘衝突試験はクレーンでコンクリート製の重錘を吊り下げ、1.5mと3mの高さから重錘を振り子のように落とし、支柱に衝突させる（**写真-10**）。重錘は2,665kg（200cm*100cm*50cm）のコンクリート製で衝突面に丸鋼が埋められており、衝突位置は、緩衝ボラードの80cmの高さに設定し、重錘衝突エネルギーは1.5mで18kJ、3mで58kJと計算される。なお、緩衝ボラードはワイヤロープ式防護柵のスリーブに挿入され、車両衝突時の飛散防止のため、下部に切欠きが設けられ、ス

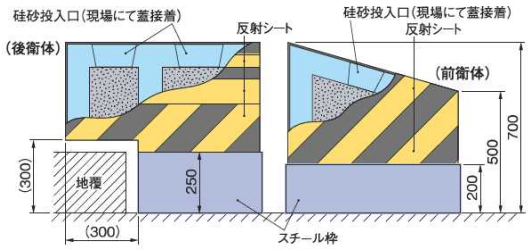

図-3　緩衝装置詳細図[4)]

写真-6　乗用車衝突試験（左：衝突前、右：衝突時）

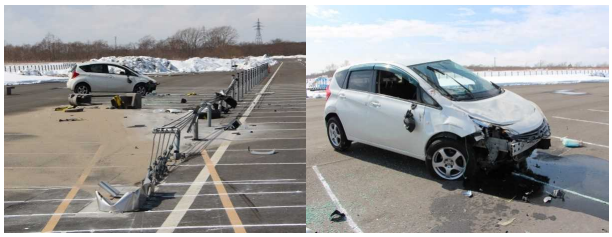

写真-7　衝突後の状況（左：防護柵端部、右：試験車両）

写真-8　大型車衝突試験（左：衝突前、右：衝突時）

写真-9　衝突後の状況（左：防護柵端部、右：試験車両）

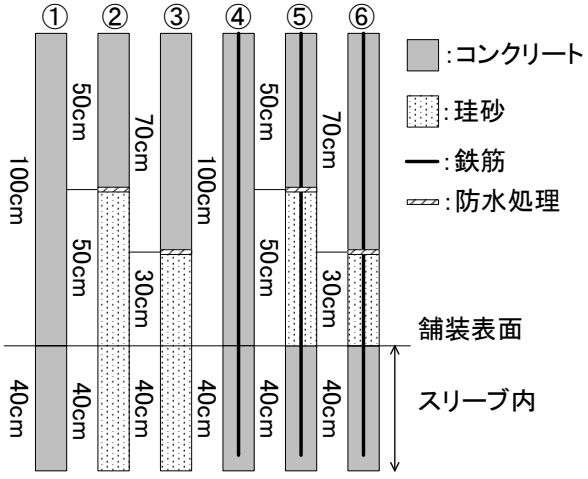

図-4　緩衝ボラード補強材配置

リーブ内の鉄筋に掛かるように設置される。

重錘衝突試験の結果を**写真-11**に示す。①は地際で破断、飛散した。②と③は、1.5mの高さでも地際で折損、下部切欠きが破損し、抜けづらくなり、強度が低いと思われる。④は地際+4cmの箇所で破断し、鉄筋も破断した。⑤と⑥は地際+4～9cmで折損、下部切欠きは無傷で、試験後は簡単に抜くことができた。⑥は1.5mの高さの衝突の時に重錘を押し返す強度があった。これらの結果から、⑥の仕様を端末部衝突試験の緩衝ボラードとして採用した。

緩衝装置の後ろに緩衝ボラード2本を設置し、令和5年2月9日に乗用車衝突試験を行った（**写真-12**）。試験条件は令和4年3月17日の衝突試験と同様である。衝突試験の結果、衝突速度80.4km/h、衝突角度7.7度、衝突時加速度・横方向-7.319m/sec^2、進行方向-23.950m/sec^{2}で、車両は緩衝装置に衝突後、車体が浮き、緩衝ボラードによって、より高くジャンプしながら、着地後、半回転して、衝突地点から縦断方向24.9m、横断方向4.28mの地点で停止した（**写真-13**）。停止距離は少し短くなったが、緩衝ボラードによって、車両をジャンプさせる作用が大きくなり、対向車線に飛び出すことを防ぐことができなかった。

(4) ガードレール型緩衝装置の開発

砂を充填した緩衝装置では、衝撃を吸収することができても車両ジャンプという現象を防ぐことができず、新たな緩衝装置の開発が必要となった。求められる要件は、車両衝突エネルギーを吸収すること、車両ジャンプを防止すること、設置幅が狭いこと、取外し可能であることであり、これらを念頭において様々な形を検討した結果、ガードレール型緩衝装置を考案した（**図-5**、**写真-14**）。ガードレール型緩衝装置は、既製品のガードレールのビームを6本の支柱で支える構造で、ビーム内側にはφ6.3mmの内挿ワイヤロープが2段装填されている。内挿ワイヤロープの目的は、側面からの衝突に対して抵抗力を高め、正面の衝突に対しては抵抗しないように機能することである。支柱は緩衝ボラードの**図-4**に示す⑥の仕様を採用し、衝撃吸収支柱とした。ただし、ビームを取り付けるために、補強材のコンクリート上部70cmの部分を20cmに変更した。衝撃吸収支柱は、飛散防止のため、下部に切欠きを設け、スリーブ内の鉄筋に掛かるように設置される（**図-6**）。

実車衝突試験の評価は、令和4年3月に行った乗用車と大型車の衝突試験と同条件で実施した。乗用車衝突試験の結果、衝突速度80.9km/h、衝突角度11.7度、衝突時加速度・横方向-15.054m/sec^2、進行方向-3.596m/sec^{2}で、車両後方が浮き上がるが、走行車線方向に誘導され、半回転し、端末金具から縦断方向9.1m（左前輪）、横断方向0.73mの地点で停止した（**写真-15**）。緩衝ボラードと緩衝装置の場合に比べ、受ける衝突時加速度が小さくなり、車両衝突の衝撃を吸収しつつ、車両を跳ね返す強度が確

写真-10　重錘衝突試験（左：重錘、右：試験状況）

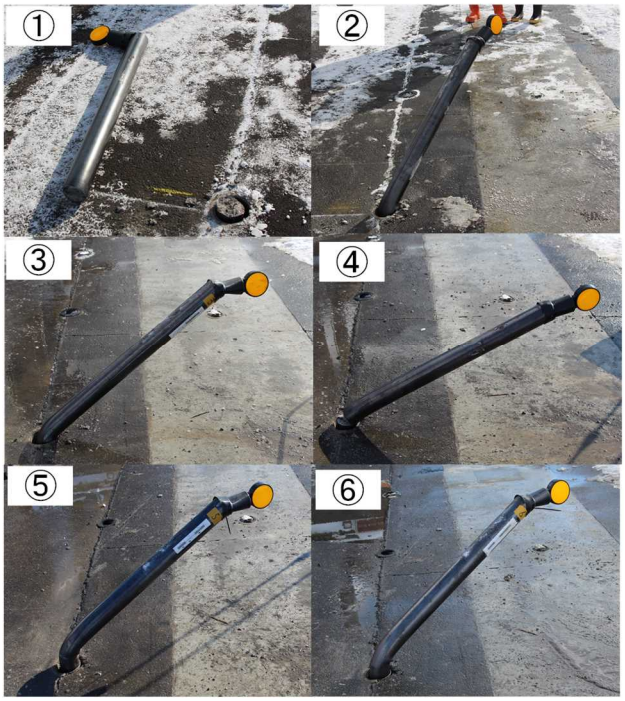

写真-11　重錘衝突試験結果（落下高さ3m）

写真-12　緩衝装置と緩衝ボラード設置状況

写真-13　乗用車衝突試験（左：衝突時、右：衝突後）

認された。車両の損傷状態は左前部分が大破となり、走行不能であった。衝突したビームは反対側のビームを押し込む位置まで変形し、内挿ワイヤは破断しなかった。大きく変形した支柱は2本であり、他の支柱はほとんど変形しなかった。大きく変形した支柱の下部切り欠きは無傷で、比較的簡単に抜くことができたことから、復旧作業の時間は多く掛からないと思われる。内挿ワイヤロ

ープは斜め方向からの側面衝突に対して、中間支柱が倒れる時に張力が発生し、衝突車両に抵抗する仕組みである（**図-7**）。車両衝突時の状況や衝突後のガードレール型緩衝装置の状態を検証した結果、程度は不明だが、車両の誘導に寄与していると思われる（**写真-16**）

大型車衝突試験の結果は、衝突速度51.3km/h、衝突角度8.3度、衝突時加速度・横方向2.849m/sec^2、進行方向-3.216m/sec^{2}で、ガードレール型緩衝装置に衝突しても、走行速度や方向に変化がなく、無線のブレーキで停止した（**写真-17**）。緩衝装置は、大型車の衝突に対してジャンプ等の挙動に影響を与えなかった。衝突後の大型車はエンジン下部に損傷があり、自走不可の状態であった。ガードレール型緩衝装置の支柱は全て倒壊し、地際部から内部の珪砂が噴出している状態であったが、内部の鉄筋が破断せず、飛散防止効果を確認できた（**写真-18**）。

さらに、ガードレール型緩衝装置衝突時の緩衝能力を評価するために、乗用車正面から衝突させる試験を行った。衝突試験の結果、衝突速度78.6km/h、衝突時加速度・横方向6.621m/sec^2、進行方向-23.820m/sec^{2}で、衝突時に車両後方が浮き上がるが、その場に留まった（**写真-19**）。車両は前方を大破したが、室内に損傷はなく、進行方向加速度は令和5年2月に行った緩衝装置と緩衝ボラードを使用した衝突試験と同程度であり、衝突時に衝撃支柱6本がすべて折れて、車両衝突エネルギーを吸収したことが確認された。また、衝突時にガードレール型緩衝装置の端部が潰れ、衝突面積が大きくなったことで、車室内への影響が少なくなったと思われる（**写真-20**）。

3回の実車衝突試験からガードレール型緩衝装置の効果を取りまとめた。

- 乗用車の衝突に対して、側面衝突の場合、ジャンプすることなく、走行車線に誘導し、正面衝突の場合、車室内に損傷を与えることなく、その場に車両を留めることができた。
- 大型車の衝突に対して、効果がないが、ジャンプ等の挙動の変化も起きない。
- 内挿ワイヤロープは斜め方向からの側面衝突に対して、中間支柱が倒れる時に抵抗力が発生し、車両の誘導に寄与したと思われる。
- 衝突試験後の衝撃吸収支柱は、破断することなく、容易に抜くことができたので、復旧作業の時間は多く掛からないと想定される。

3. おわりに

ワイヤロープ式防護柵は、高速道路暫定二車線区間土工部のレーンディバイダーとして標準設置されたことから、令和5年3月末迄に1,400km以上の区間に整備された。全国に普及が進む過程で、ワイヤロープ式防護柵端末部の斜めに張られたワイヤロープに車両が乗り上げて、ジャンプする事故が発生したことから対策を検討した。本

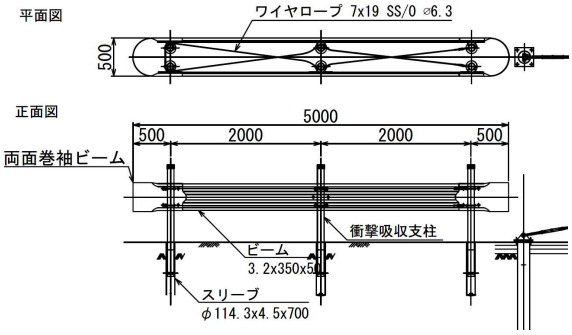

図-5　ガードレール型緩衝装置詳細図（単位:mm）

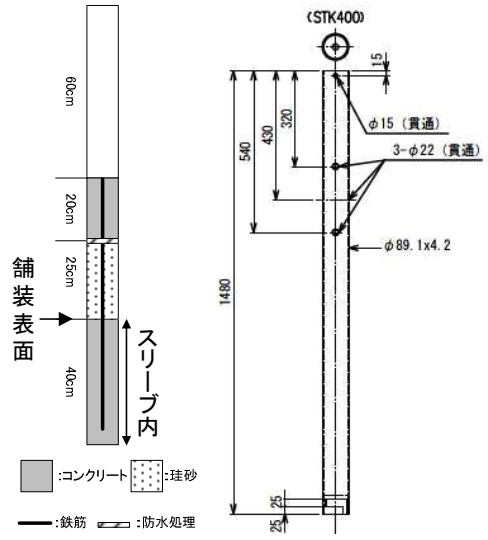

図-6　衝撃吸収支柱補強材内訳と詳細図（単位:mm）

写真-14　ガードレール型緩衝装置（左：全体、右：内側）

写真-15　乗用車衝突試験（左：衝突時、右：衝突後）

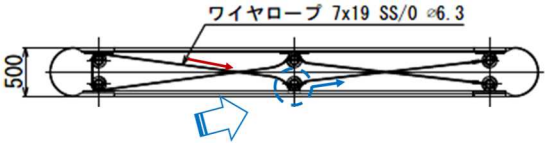

図-7　内挿ワイヤロープの効果

写真-16　乗用車衝突中のガードレール型緩衝装置

研究で開発したガードレール型緩衝装置は、実車衝突試験でワイヤロープ式防護柵の端末事故防止に有効であることを確認した。

高速道路暫定二車線区間では、トンネル、長大橋区間のレーンディバイダーとして、コンクリート製のセンターブロック、スチールパイプのセンターパイプの試行設置が進められている※5（**写真-21**）。センターブロック、センターパイプとワイヤロープ式防護柵は、車両衝突時のたわみ量の違いから直接接続することは避けるべきである。ガードレール型緩衝装置は、支柱を増やすことで延長を伸ばすことや曲線区間であっても曲げ加工が可能なので、ワイヤロープ式防護柵との接続区間に有効であると思われる。

今後は普及に向けて、寒地土木研究所が既に発刊している「ワイヤロープ式防護柵整備ガイドライン（案）」の仕様を改訂する予定である。

写真-17　大型車衝突試験（左：衝突時、右：衝突後）

写真-18　大型車衝突試験後の状況（左：車両、右：支柱）

写真-19　乗用車正面衝突試験（左：衝突時、右：衝突後）

写真-20　乗用車衝突試験後の状況（左：車両、右：端部）

写真-21　センターブロック設置状況（山陽道）※5

参考文献

1) 平澤匡介，渡邊政義：二車線道路における緩衝分離構造の開発，第 32 回交通工学研究発表会論文集，（一財）交通工学研究会，平成 24 年 9 月.
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二車線への適用について，第32回日本道路会議，2017.
3) 黒石和俊，柿内雅史：自動車専用道路対面通行区間における正面衝突事故防止対策の効果と課題について，令和 2 年度四国地方整備局管内技術・業務研究発表会，2020.
4) NOK 株式会社，クッション（衝撃緩衝装置）HP，https://lp.nok.co.jp/rs/875-KFG-767/images/143_TSSD_J_hi_cushionseries.pdf.
5) 国土交通省，第 6 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，2022，https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/front_accident/pdf06/04.pdf.