

コンクリート舗装における ワイヤロープ式防護柵の設置仕様の開発

(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
嶋山 乃
鋼製防護柵協会 佐藤 義悟

ワイヤロープ式防護柵は支柱が細く、狭い幅員の分離に有利である。高速道路の暫定2車線土工部中央にレーンディバイダーとして整備された結果、正面衝突による死亡事故抑止などの安全性が確認された。しかし、コンクリート舗装では、端末杭や中間支柱のスリーブ施工に課題がある。本稿は、コンクリート舗装への仕様として、既設橋梁用支柱とあと施工アンカーの組合せを考案し、大型車衝突試験を行ったので、その結果を報告する。

キーワード：事故防止、ワイヤロープ、防護柵

1. はじめに

北海道は、積雪寒冷地であつ、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、2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²⁾(写真-1)。



写真-1 ワイヤロープ式防護柵(左)と性能確認試験(右)²⁾

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2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2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・西日本高速道路株式会社の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試行設置するための研究開発を行った³⁾。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113.3kmの土工部区間にワイヤロープを試行設置した。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2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3年3月末迄に990km以上の区間に整備された。

ワイヤロープ式防護柵が高速道路暫定2車線区間土工部のレーンディバイダーとして整備が進む課程で、寒地土木研究所には、コンクリート舗装への設置方法の技術相談が複数あり、設置仕様を開発することにした。

本稿は、コンクリート舗装への仕様として、既設橋梁用支柱とあと施工アンカーの組合せを考案し、大型車衝突試験を行ったので、その結果を報告する。

2. コンクリート舗装における設置仕様の開発

(1) 短尺スリーブによる設置仕様の開発

高速道路の暫定2車線区間土工部に設置する標準的な仕様は、杭基礎の端末とスリーブに挿入した中間支柱と5本のワイヤロープから構成される(図-1)。

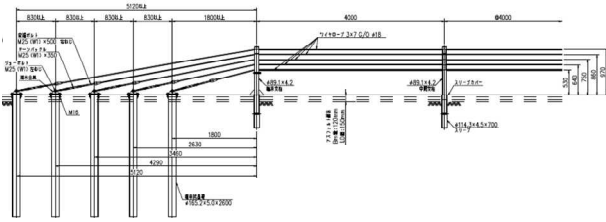


図-1 ワイヤロープ式防護柵正面図（土工部）

杭基礎は、2.6m、スリーブは、70cmの深さに、アスファルト舗装を削孔した後、施工機械により打ち込まれる。コンクリート舗装では、アスファルト舗装よりも支持力が期待できることから、端末杭を使用せずに、端末金具をあと施工アンカーでコンクリート舗装に直接固定することと、短いスリーブを使用することを検討した。

あと施工アンカーとは、既設のコンクリート構造物に「後で施工するアンカー」のことで、大別すると金属系と接着系がある。金属系は穿孔した後で、孔に打ち込むと拡張部が開き、直ちに固定されるが、接着系は穿孔した後で、孔に接着系樹脂を注入し、硬化に所定の時間を要する。端末金具には、ワイヤロープの張力が常に掛かることと、車両衝突時に大きな張力が掛かることから、金属拡張式を選定した（図-2）。金属拡張式は、専用の拡張ドリルで拡張部を設けるので、摩擦力で受ける拡張式と異なり、円錐面にかかる支圧力で加重を受けるので、大きな引張耐力が得られる。施工方法は、ドリルで下穴を穿孔し、拡張カッターで拡張を行い、アンカーを打ち込み、拡張部を開くことにより、金属拡張式のあと施工アンカーが固定される。金属拡張式あと施工アンカーの仕様を表-1に示す。コンクリート舗装の厚さを考慮し、穿孔穴先端深さが200mmを超えないこと、大型車衝突時にワイヤロープに掛かる張力が最大80kN程度掛かることから、ボルト1本に掛かる短期許容引張荷重が20kNを超える種類を選定した。施工時の状況を写真-2に示す。施工時の課題として、端末金具が上手く入らない状況が見られ、ボルト出代長さが長いことも影響しているが、精度良く穿孔するための工夫が必要であることが明らかになった。

コンクリート舗装への設置仕様として、スリーブの長さを70cmから27cmに短くした短尺スリーブを選択した。短尺スリーブは、高速道路でボックスカルバートが設置された箇所に70cmのスリーブが適用できない場合に開発したスリーブで、衝突時の支柱の抜けを防ぐために、支柱下部に切欠きを設ける構造とした（図-3）。短尺スリーブ対応の下部切欠き付き支柱は、重錘衝突試験や引張り試験を行い、車両衝突時に短尺スリーブが共抜けしないことを確認した（写真-3）。また、ボックスカルバート設置箇所では、スリーブ周囲の支持力を得るためにコンクリート製の根固めブロックを用いるが、コンクリート舗装では不要となる。短尺スリーブを用いたコンクリート舗装の仕様の性能を確認するために、大型車衝突

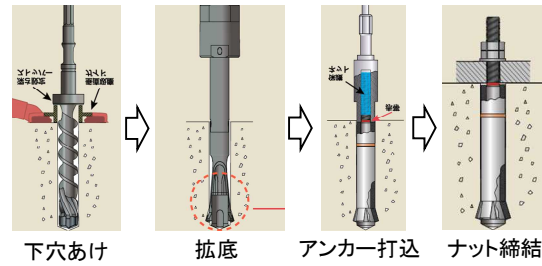


図-2 あと施工アンカー（金属拡張式）施工手順⁴⁾

表-1 金属拡張式あと施工アンカーの諸元

ねじ仕様（ピッチ）	M16 (2.0)
穿孔径 (mm)	30.5
穿孔深さ (mm)	131
穿孔穴先端深さ (mm)	137.5
アンカー拡張径 (mm)	42.3
最小躯体厚み (mm)	200
長期許容引張荷重 (kN)	25.1
短期許容引張荷重 (kN)	37.6
長期許容せん断荷重 (kN)	17.5
短期許容せん断荷重 (kN)	26.3

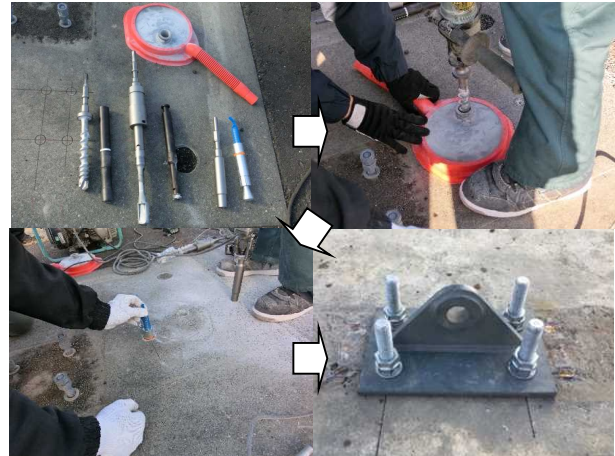
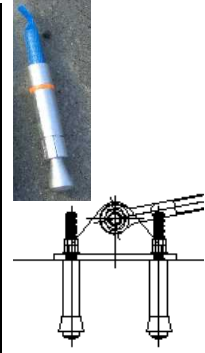


写真-2 あと施工アンカー（金属拡張式）施工状況

（左上：アンカーと施工工具一式、右上：下穴あけ、左下：アンカー打込、右下：端末金具取付）

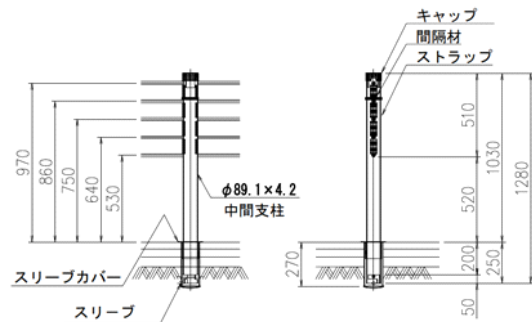


図-3 衝突試験（2019）の支柱詳細図



写真-3 下部切欠き支柱と短尺スリーブの試験状況

試験を行った。大型車試験は、スタントマンが操舵し、2019年12月5日に苫小牧寒地試験道路で行った。試験条件は、暫定2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に研究開発を行った時と同様に、車両重量：20t、衝突速度：52km/h、衝突角度：6度とした³⁾。ワイヤロープ式防護柵の諸元を表-2に示す。スリーブの施工では、スリーブコアを削孔し、スリーブとコンクリート舗装の隙間にグラウト材を注入し、硬化後に支柱建込み、ロープ緊張を行ったが、土工部での施工に比べ、施工時間が大幅に増えた（写真-4）。

表-2 衝突試験(2019)の防護柵諸元

項目	LD種
支柱(下部切欠き)	φ89.1mm×1280mm×4.2mm (STK400)
スリーブ	φ114.3mm×270mm×4.5mm (STK400)
支柱ピッチ	4.0m
ワイヤロープ	3×7φ18、5段
張力	10kN(30kNのプレテンション)
地表からワイヤロープまでの高さ	1段目:970mm 2段目:860mm 3段目:750mm 4段目:640mm 5段目:530mm
ストラップバンド	1段目と2段目の間
支柱の高さ	1030mm
ブロックアウト量	0mm



写真-4 ワイヤロープ式防護柵施工状況

(左上：スリーブコア削孔、右上：短尺スリーブ、左下：スリーブ周囲グラウト材注入、右下：衝突試験直前)

大型車衝突試験の結果、最大進入行程（はみ出し量）は支柱番号8で0.368mを記録し、土工部標準仕様である平成28年12月の性能確認試験（張力10kN）の最大進入行程0.350m³⁾とほぼ同程度であった（写真-5、表-3、図-4）。離脱速度は39.9km/hとなり、衝突速度の68.0%、離脱角度は2.29度となり、衝突角度の38.2%を記録した。支柱番号7と支柱番号9が抜けて、支柱番号6のスリット左側が飛散した。支柱と共に抜けたスリーブはなく、スリーブ周囲のコンクリートがわずかに破損した程度であった。端末金具は、衝突試験後の目視で確認した結果、外観の変化はなかった。試験に使用した大型車は、左前側の損傷度合いが小さかったが、左前輪がバーストした。短尺スリーブによる設置仕様は、土工部の標準仕様と同



写真-5 衝突試験(2019)状況（左：衝突時、右：衝突後）

表-3 衝突試験(2019)結果

試験条件及び結果				離脱角度 (度)	最大進入 行程 (mm)
重量 (トン)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)	衝撃度 (kJ)	離脱速度 (km/h)	支柱番号
20.0 (20.44)	52 (49.9)	6 (6.0)	22.8 (21.5)	2.29 33.9	支柱番号8 368

()内は実測値

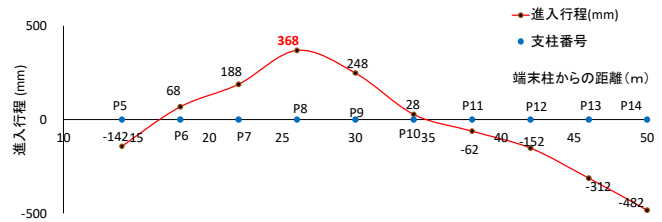


図-4 衝突車両の進入行程(2019)

等の性能を発揮したが、施工時間が掛かることやコンクリート舗装内の鉄筋や中央の施工目地を切断しなければならず、施工性に課題があるので、スリーブを使用しない仕様を検討することにした。

(2) 既設橋梁用支柱による設置仕様の開発

ワイヤロープ式防護柵には、スリーブを使用しない支柱として新設橋梁用と既設橋梁用の2種類がある。新設橋梁用支柱は、橋梁施工時にアンカプレートをセットして、アンカーボルトで支柱を固定する方式である。既設橋梁用支柱は既設アスファルト舗装を開削し、橋梁床版面から立ち上げたコンクリート基礎に鉄筋アンカーを使用し、支柱ベースプレートとコンクリート基礎を定着させる方式である。既設橋梁用支柱は、橋梁床版に影響を与えないようにアンカーボルトに掛かる引抜き力を小さくする必要があり、基部にプレートを使用し、道路の横断方向に強軸、縦断方向に弱軸の方向性を持つ（図-5、写真-6）。

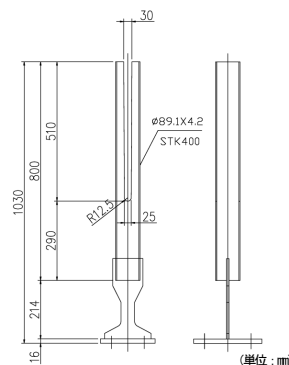


図-5 既設橋梁用支柱法図



写真-6 既設橋梁用支柱

既設橋梁用支柱をコンクリート舗装に固定するために、あと施工アンカーの選定を検討した。端末金具の固定に使用した金属拵底式のあと施工アンカーは、他種よりも高価であることと、既設橋梁用支柱のねじ穴がM24仕様なので、穿孔穴先端深さが200mmを超えることから、選定から除外した。また、あと施工アンカーには、おねじタイプとめねじタイプがあるが、交通事故の際に支柱を取り外し、開口部を設ける事態を想定すると、ボルト出代がないめねじタイプが有利であると考え、金属系と接着系のめねじタイプを選定し、大型車衝突試験で使用することにした。ボルトのねじ仕様は、M24の他に、M20も候補として選定し、最終的に、金属系めねじタイプのM24とM20、接着系めねじタイプのM24とM20、計4種類のあと施工アンカーを18本の支柱に対して、交互に配置し、施工した(表-4、表-5、写真-7、写真-8)。施工した結果、金属系は、穿孔(深さ、方向)の精度が重要である

表-4 金属系めねじタイプの諸元

ねじの呼称	M20	M24
b:外径(mm)	25.4	31.8
c:全長(mm)	83	110
d:ねじ部長さ(mm)	31	55
下穴(径×深さmm)	φ26×93	φ33×120
最大引張荷重(kN)	53.0	68.0

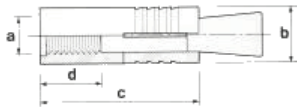


表-5 接着系めねじタイプの諸元

ねじの呼称	M20	M24
D:外径(mm)	28	36
L:全長(mm)	145	150
l:ねじ部長さ(mm)	35	45
下穴(径×深さmm)	φ32×145	φ42×150
最大引張荷重(kN)	113.4	131.0

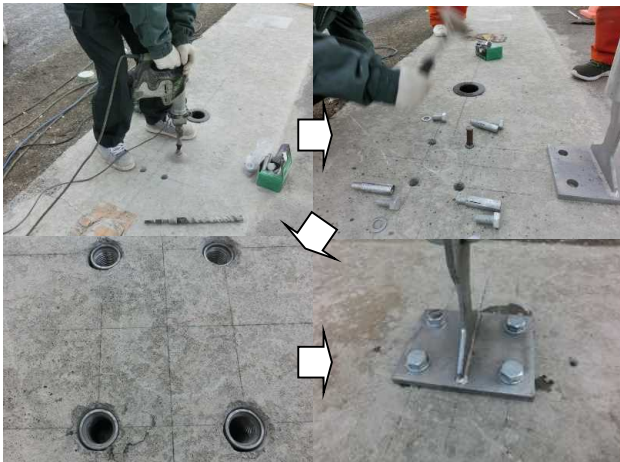
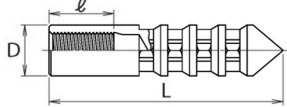


写真-7 金属系めねじタイプ施工状況



写真-8 接着系めねじタイプ施工状況

こと分かった。写真-7に示すように、穿孔が深すぎるとめねじアンカーも舗装面よりも深く固定され、結果的に六角ボルトの長さが足りなくなった。しかし、浅すぎるとアンカーが突出し、プレートが浮くことになる。また、M24はねじ穴に対して、余裕が少なく、穿孔の方向精度が要求された。アンカー周りにわずかな隙間ができる場合もあり、凍結融解によるひび割れが懸念される。ただし、接着系に比べ、施工と同時に支柱の設置が可能なこと、総じて安価であることが有利である。接着系は、穿孔に時間を要するが、接着系樹脂が固まる前に支柱を設置することで、穿孔精度は問題にならなかった。ただし、支柱の固定に時間を要することや支柱ベースプレート裏に接着系樹脂が付着することを防ぐためにシート貼付等の工夫が必要であった。なお、端末金具は、2019年に施工した金属拵底式アンカーを使用した。

大型車試験は、2020年12月9日に苫小牧寒地試験道路で、2019年の試験条件と同様に行った。ワイヤロープ式防護柵の諸元を表-6、設置状況を写真-9に示す。

表-6 衝突試験(2020)の防護柵諸元

項目	LD種
支柱サイズ	φ89.1mm×800mm×4.2mm (STK400)
リブ	110mm×294mm×170mm×9mm
支柱ピッチ	4.0m
ワイヤロープ	3×7φ18、5段
張力	10kN(20kNのプレテンション)
地表からワイヤロープまでの高さ	1段目:970mm 2段目:860mm 3段目:750mm 4段目:640mm 5段目:530mm
ストラップバンド	1段目と2段目の間
支柱の高さ	1030mm
脚部サイズ	t16×延長方向250mm×横断方向200mm (あと施工アンカーM24,またはM20×4本)
ブロックアウト量	0mm



写真-9 設置状況(左:端末金具、右:既設橋梁用支柱)

大型車衝突試験の結果、最大進入行程は、支柱番号10で0.853mを記録し、既設橋梁用支柱を開発するために行った2018年の大型車衝突試験（張力10kN）の最大進入行程0.725m（支柱番号9）より0.128m大きな値となった。また、2019年の衝突試験よりも0.485m大きな値となった（写真-10、表-7、図-6）。離脱速度は46.1km/hとなり、衝突速度の87.8%、離脱角度は、ワイヤロープ4本が車体下に巻き込まれ、スタントマンの操舵で離脱したと判断したので、0度とした。支柱の固定に使用した金属系のM20、M40、接着系のM20、M40の4種類のあと施工アンカーには、損傷が見られず、試験後にボルトを外して、状態を確認した結果、再利用が可能な状態であった。端末金具も外観に変化はなかった。抜けた支柱や飛散した支柱はなかった。衝突車両の損傷は、非常に小さく、自走可能な状態であった。

コンクリート舗装に向けた仕様としては、概ね満足する結果であったが、2016年以降に行ったレーンディバイダーとしての大型車衝突試験で、最大進入行程が最も大きな値となったので、最大進入行程を小さくする改良を検討することにした。



写真-10 衝突試験(2020)状況 (左: 衝突時、右: 衝突後)

表-7 衝突試験(2020)結果

試験条件及び結果				離脱角度 (度)	最大進入 行程 (mm)
重量 (トン)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)	衝撃度 (kJ)	離脱速度 (km/h)	
20.0 (20.06)	52 (52.5)	6 (6.0)	22.8 (23.3)	0度 46.1km/h	支柱番号10 853

() 内は実測値

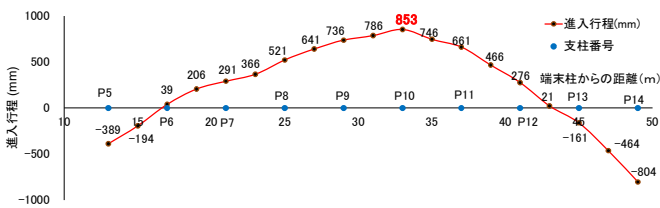


図-6 衝突車両の進入行程(2020)

(3) ロープ連結材を使った設置仕様の開発

ワイヤロープ式防護柵の研究開発の過程で、最大進入行程を小さくする手法として、ロープ連結材がある⁹⁾。ロープ連結材は、既製品の巻付グリッブを活用し、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し、支柱間の中央に取り付ける。巻付グリッブ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-11）。

ロープ連結材の効果は、大型車衝突時に前輪タイヤが下段ロープを車体下に巻き込む動作を、ロープ連結材が前輪タイヤの位置でロープを留めていることが、前輪タイヤの向きを変える作用となり、最大進入行程を小さくすることにつながることである。

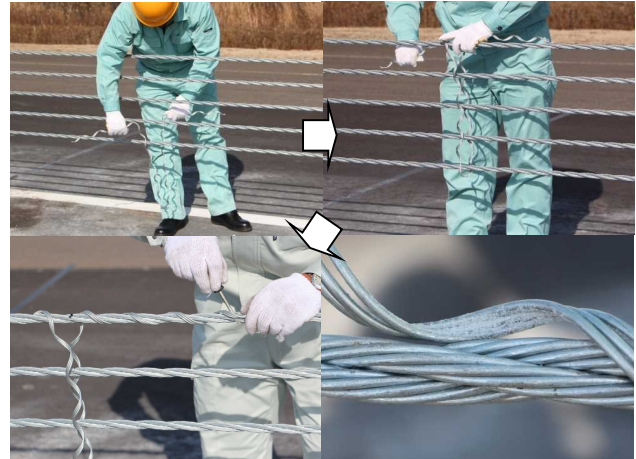


写真-11 ロープ連結材の取付方法とグリッド材

大型車試験は、2021年11月25日に苫小牧寒地試験道路で、試験条件は、2019年、2020年と同様に行った。ワイヤロープ式防護柵は、2020年の仕様に対して、各支柱間にロープ連結材を取り付けた（写真-12）。端末金具の金属拡底式、支柱固定用の金属系M20とM40、接着系M20とM40のあと施工アンカーは再利用した。

大型車衝突試験の結果、最大進入行程は、支柱番号8で0.466mを記録し、2020年の衝突試験（ロープ連結材なし）の最大進入行程0.853m(支柱番号10)より0.387m小さな値となった（写真-13、表-8、図-7）。ロープ連結材の効果は、動画で下段3本のロープが前輪途中で留まる様子から確認できた。衝突車両はロープが車体下に巻き込まれることがなかったので、上手く離脱できたことから、離脱角度は2.5度で、衝突角度の42.4%となり、離脱速度は48.8km/hで衝突速度の91.9%を記録した。2020年の試験と同様に、支柱の固定に使用したあと施工アンカーに損傷が見られず、端末金具も外観に変化はなかった。抜けた支柱や飛散した支柱もなく、衝突車両の損傷は、2020年の試験よりも小さく、自走可能な状態であった。



写真-12 防護柵設置状況とロープ連結材取付状況



写真-13 衝突試験(2021)状況 (左:衝突時、右:衝突後)

表-8 衝突試験(2021)結果

試験条件及び結果				離脱角度 (度)	最大進入 行程 (mm)
重量 (トン)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)	衝撃度 (kJ)		
20.0 (20.54)	52 (53.1)	6 (5.9)	22.8 (23.6)	2.5度 48.8km/h	支柱番号8 466

()内は実測値

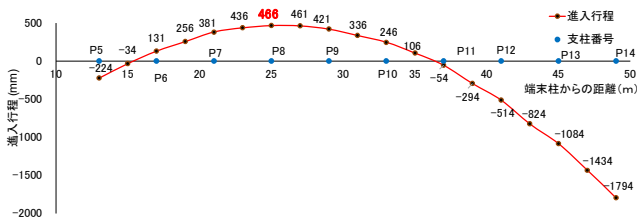


図-7 衝突車両の進入行程(2021)

2019年から2021年の大型車衝突試験の結果から、コンクリート舗装に向けた仕様として、以下のように考案した。

- ・ 端末金具の固定は、金属拡底式あと施工アンカーとする。
- ・ 中間支柱は、既設橋梁用支柱基部プレート式を使用する。
- ・ 中間支柱の固定は、金属系、または、接着系のめねじタイプのあと施工アンカーとし、ねじ径はM20とする。金属系と接着系は、施工条件を考慮して選択する。
- ・ あと施工アンカーの仕様は、端末金具の場合は引抜荷重20kN以上、中間支柱の場合は引抜荷重12kN以上とし、穿孔深さがコンクリート舗装厚を超えないようにする。
- ・ 道路幅員が狭い場合は、ロープ連結材を取り付けることを検討する。

3. 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。

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。平成29年以降、高速道路暫定2車線区間にワイ

ヤロープ式防護柵がレーンディバイダーとして普及し、令和3年3月末迄に990km以上の区間に整備された。

国土交通省は、有識者による「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」において、2017年3月から2020年12月末までに整備されたワイヤロープ区間558km(有料区間)を調査したところ、整備前1年で、9件の死亡事故、28件の負傷事故が発生したが、整備後3年9ヶ月経過しても、死亡事故、負傷事故が起きていないことを公表した⁶⁾。他方、飛び出し事故は5件発生し、物損事故も、整備前1年157件から、整備後3年9ヶ月で1,323件に増えたことが課題として挙げられた。

本研究では、高速道路暫定2車線区間の正面衝突事故防止対策として有効性が確認されたワイヤロープ式防護柵の設置適用箇所を広げるために、コンクリート舗装への設置仕様を開発した。端末金具に金属拡底式あと施工アンカーを使用することで、鋼管杭の端末基礎が不要になり、既設橋梁用支柱基部プレート式と金属系、または、接着系のめねじタイプのあと施工アンカーを使用することで、スリーブが不要になる。さらに、ロープ連結材を使用すると土工部標準仕様と同程度の変形性が見込まれることが明らかになった。

今後は普及に向けて、(国研)寒地土木研究所が既に発行している「ワイヤロープ式防護柵整備ガイドライン(案)⁷⁾」の仕様を改訂する予定である。

参考文献

- 1) 防護柵の設置基準・同解説, (社)日本道路協会, 平成28年12月.
- 2) 平澤匡介, 渡邊政義: 2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.
- 3) 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.
- 4) (株)ミヤナガ, 金属拡底式アンカーシステムHP, https://www.miyana.co.jp/jp/products/anzex/pdf/mi_ANZEX-D_pamphlet.pdf
- 5) 平澤匡介, 畠山乃, 佐藤義悟: ワイヤロープ式防護柵の性能向上に関する研究開発について, 第41回交通工学研究発表会論文集, (一財)交通工学研究会, 令和3年8月.
- 6) 国土交通省 HP・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布資料, https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/front_accident/pdf/05/03.pdf
- 7) (国研)寒地土木研究所・ワイヤロープ式防護柵HP, https://www2.ceri.go.jp/wire_ropes/