

緩衝型のワイヤーロープ式防護柵



研究の目的



- 本研究の目的は、**2車線道路の中央分離施設として、設置幅が少なく、緩衝機能を有するワイヤーロープ式防護柵を開発**するために、試験施工や突車衝突させた性能試験を行い、道路構造令や防護柵設置基準等の適用性を検討する。

ワイヤーロープ式防護柵とは

◆ワイヤーロープ式防護柵の定義

ワイヤーロープ式防護柵とは、**高いじん性を有するワイヤーロープと、比較的強度が弱い支柱により構成され、車両衝突時の衝撃に対して、主にワイヤーロープの引張り力で抵抗する防護柵**である。**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**なため、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。



スウェーデン2+1車線におけるワイヤーロープ式防護柵設置状況

◆ワイヤーロープ式防護柵の特徴

- ・ワイヤーロープ式防護柵は、欧米で既に導入されている細い支柱を有するたわみ性防護柵で、スウェーデンでは2+1車線道路の分離施設として採用
- ・**日本国内の防護柵と比べ、衝撃吸収能力が高い**
- ・端末部は埋め込み式
- ・**必要幅員が少ないため、道路幅員に制約がある区間での設置が可能**
- ・**製品によっては、ワイヤーを取り外し、中間支柱を引き抜くことで、任意の箇所で解放することができる**



衝突実験一衝撃吸収性に優れている

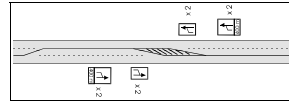


埋め込み式の端末処理

欧米における導入背景

スウェーデン

- 13mの広幅員2車線道路(約3,500km)を追い越し車線を交互に配置する2+1車線に再構築し、中央にワイヤーロープ式防護柵を採用(1991年～試験設置、1993年～導入)
- 設置費(製品価格、工事費含む)は、ワイヤーロープ:約200SEK/m、ガードレール:約400SEK/m、コンクリート:約600SEK/m



米国

- 2001年、英国・Brifen社のワイヤーロープ式防護柵を連邦道路局(FHWA)が認可
- 続いて、スウェーデンのBlue System社、米国のTrinity社、Gibraltar社、Nuor社が認可
- 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
- 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は、中央帯突車事故を削減、その結果、高い費用便益(維持費を含む)を記録

ワイヤーロープ式防護柵の形状



Brifen社

Nucor社

Gibraltar社

Gunnebo社



Blue System社

Trinity社

緊急時の開放



30m区間を開放するために3本のワイヤーロープをポストから外し、地面に置く。



ポストを引き抜く。



事故に対応するため、緊急車両にワイヤーロープ上を通過させる。



交互通行により事故箇所での交通を確保する。もし設置箇所が突進車から、車両を通過させることができるが、確認する必要がある。



ポスト入れ、ワイヤーロープを持ち上げて戻す。再び緊張させる必要はない。

スウェーデンでは、手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、クォー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、復元に時間がかかるので、使用機会は少ない。

日本国内への導入可能性の検討

◆日本における分離帯用防護柵の許容最大進入行程

種別	支柱を土中に埋め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

◆欧州の許容最大進入行程

W classes	Value (m)
W1	W = 0.6
W2	W = 0.8
W3	W = 1.0
W4	W = 1.2
W5	W = 1.7
W6	W = 2.1
W7	W = 2.5
W8	W = 3.0

スロープの2-1車線

◆日本の基準と欧州規格における衝突試験の実験条件

種別	車両重量(kg)	衝突速度(km/h)	衝突角度(度)	衝撃度(kJ)
防護柵の設置基準・同解説	25,000	30	15	58.1
	1,000	60	20	16.2
A種	25,000	45	15	130.8
	1,000	100	20	45.1
EN1317 Level N2	900	100	20	40.6
	1,500	110	20	81.9

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

ここで、衝撃度(kJ)
 m: 車両重量(t)
 V: 衝突速度(km/h)
 θ: 衝突角度(度)
 衝撃度の算定式

※防護柵設置基準の種別
 A種: 高速・自専道、B種: 一般道設計速度60km以上、C種: 一般道設計速度50km以下
 S種: 高速・自専道で重大な被害が発生するおそれのある区間

ワイヤーロープ式防護柵の位置づけ

◆ワイヤーロープ式防護柵の定義

ワイヤーロープ式防護柵とは、高いじん性を有するワイヤーロープと、比較的強度が弱い支柱により構成され、車両衝突時の衝撃に対して、主にワイヤーロープの引張り力に抵抗する防護柵である。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。

◆道路構造令における設置必要幅

ワイヤーロープ式防護柵を“防護柵”として設置する場合には、中央帯の必要幅は1.10mである。ただし、道路構造令の標準的な規格設定を勘案すると、中央帯幅は1.25mと判断される。

分離帯0.10m(0.25m)
 側方余裕0.025m
 側帯0.025m

ワイヤーロープ式防護柵設置必要幅

新型ワイヤーロープ式防護柵の開発

鋼製防護柵協会と共同で開発

【求められる性能】
 ・日本の防護柵設置基準に合致する
 ・施工性に優れている
 ・維持管理上の問題がない など

【求められる機能】
 ・人力でワイヤーと支柱を外すことにより、部分的に中央分離帯施設を開放できる

【特徴】
 ・ワイヤーロープ: 4本
 ・支柱とスリーブ: 円柱形状
 ・支柱の高さ: 82cm
 ・支柱の直径: 89.1mm、スリーブの直径: 114.3mm
 ・支柱のスリットには切り欠きを設定
 ・結束バンドの採用
 ・ワイヤーロープの端末は、道路の縦断方向に沿って1列に配置し、埋設型

【防護柵主要諸元】

項目	寸法
支柱径	φ89.1(3.504)
スリーブ径	φ114.3(4.500)
ワイヤーロープ	37φ1.7(6.350)
地盤からワイヤーロープまでの高さ	120 ± 20mm
支柱の高さ	82mm
支柱径	φ89.1(3.504)
支柱間中心幅	100mm
支柱間中心幅	100mm (2.000(支柱間中心幅))
プロテクタ径	φ60

支柱のスリット

82cm

防護柵性能確認試験(A種: 高速道路)-1回目-

・試験場所 国土技術政策総合研究所構内衝突試験施設

・試験日時
 乗用車: 平成22年3月9日(火)午前11時
 大型車: 平成22年3月18日(木) 午前11時

・試験条件
 中央分離帯用Am: 高速道路の一般区間用
 乗用車: 衝突速度100km/h、衝突角度20度
 大型車: 衝突速度52km/h、衝突角度15度

・試験項目
 車両の逸脱防止性能、乗員の安全性、車両の誘導性能、構成部材の飛散防止性能

◆ワイヤーロープ式防護柵が目指す道路

指定2車線区間(簡易中央帯)

指定2車線区間(ワイヤーロープ式防護柵)

衝突試験状況

乗用車衝突試験後の状況

衝突試験後の現場写真

衝突後の乗用車写真

衝突後の防護柵支柱写真

防護柵性能確認試験(A種: 高速道路)-1回目- 結果

測定項目	条件区分	計測項目	試験結果
車両の逸脱防止性能	A	防護柵の強度性能	<ul style="list-style-type: none"> 大型貨物車が突破しない強度を有する。 車両が防護柵を突破したため、必要とする強度性能を有していない。
		防護柵の変形性能	<ul style="list-style-type: none"> 車両の進入行程が1.5m以下である。 車両が防護柵を突破したため、必要とする変形性能を有していない。 ※乗用車は1.07mでOK
乗員の安全性性能	B	車両重心加速度	<ul style="list-style-type: none"> 10ms移動平均値が150m/s²/10ms未満である。 X: 75.1 m/s²/10ms Y: 82.5 m/s²/10ms
車両の誘導性能	共通	車両の挙動	<ul style="list-style-type: none"> 車両は防護柵に衝突後、横転などを生じない。 車両が防護柵を突破したため、必要とする誘導性能を有していない。
		離脱速度	<ul style="list-style-type: none"> 離脱速度は衝突速度の6割以上である。 衝突条件A: 離脱していない 衝突条件B: 衝突速度 100.9km/hの60.8% (61.3km/h)
		離脱角度	<ul style="list-style-type: none"> 離脱角度は衝突角度の6割以下である。 衝突条件A: 離脱していない 衝突条件B: 衝突角度 20.1度の59.2% (11.9度)
構成部材の飛散防止性能	共通	部材の飛散状況	<ul style="list-style-type: none"> 車両衝突時に防護柵構成部材の飛散が見られない。 部材一部が破断落下したが、大きな飛散はみられない。

◆性能確認試験結果 → A種の基準を有していない

ワイヤーロープ式防護柵の改良

CGシミュレーション結果(乗用車)

項目	実車値	シミュレーション値	判定
衝突速度	60km/h(40km/h)	77.2km/h	○
最大進入行程	1.5m以上	1.15m	△
衝突角	15度以上	45.9度	○

CGシミュレーション結果(大型車)

項目	実車値	シミュレーション値	判定
衝突速度	52.3km/h(40km/h)	42.8km/h	○
最大進入行程	1.5m以上	0.9m	○

衝突試験の前に、鋼製防護柵協会所有のCGシミュレーションにより、防護柵の材質やワイヤーの高さ等の条件を入力し、防護柵設置基準の値を満足する規格を決定した。

検討の結果、以下の変更を実施

- 支柱とワイヤーロープの高さを変更
- 支柱スリットの形状を変更
- 支柱の材質をSTK540からSTK400に変更
- 2個のストラップを採用
- 支柱端部の間隔保持材をプレート形状からパイプ形状に変更

防護柵供試体諸元

項目	仕様
支柱径	φ89.1×3.2 (STK400)
支柱間隔	3.0m
ワイヤーロープ	3×7φ18 5股
地鉄からワイヤーロープまでの高さ	1段: 860mm 2段: 750mm 3段: 640mm 4段: 530mm
支柱の高さ	1030mm
スリーブ(柱管)	φ114.3×4.5 (STK400)
スリーブ中埋め込み長	70mm
ブロックアウト量	0mm (支柱はスリーブに400mm埋込み)

分層帯用Am種の試作品(左: 端末、右: 中間部)
左下: 端末支柱、右下: 中間支柱

防護柵性能確認試験(A種: 高速道路)-2回目-

試験場所 国土技術政策総合研究所構内衝突実験施設

試験日時
乗用車: 平成23年1月12日(水)午前11時
大型車: 平成23年1月18日(火)午前11時

試験条件
中央分離帯用Am: 高速道路の一般区間用

乗用車: 衝突速度100km/h、衝突角度20度
大型車: 衝突速度52km/h、衝突角度15度

試験項目
車両の逸脱防止性能、乗員の安全性、車両の誘導性能、構成部材の飛散防止性能

衝突試験状況

乗用車衝突試験後の状況

衝突後の防護柵の破損状況

衝突後の乗用車破損状況

防護柵性能確認再試験(A種: 高速道路)-2回目-結果

測定項目	条件区分	計測項目	試験結果
止衝性能の強度性能	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。部材の性能は高く、テープ、支柱などにより防護柵が連続保持されている。
		防護柵の逸脱性能	○最大進入行程が1.5m以下であること。乗用車は1.182mであり、必要とする逸脱性能を有していない。(乗用車は1.182mであった。)
乗員の安全性性能	B	乗員重心加速度	○10ms移動平均値が150m/s ² /10ms未満であること。 X: 62.9 m/s ² /10ms Y: 63.7 m/s ² /10ms
		車両の挙動	○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。大型車は防護柵から離れなかったが、車頭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。
車両の誘導性能	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 52.3km/hの86.0% (45.0km/h) 衝突条件B: 衝突速度 100.0km/hの65.6% (66.2km/h)
		離脱角度	○離脱角度は衝突角度の8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 19.8度の 19.2% (3.8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欠く飛散しないこと。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ことはないことから、飛散防止性能を満足していると判断した。

最大進入行程以外はA種の基準をクリアしたが、改良後、再試験が必要

ワイヤーロープ式防護柵の改良(平成23年度)

CGシミュレーション結果(乗用車)

項目	実車値	シミュレーション値	判定
衝突速度	60km/h(40km/h)	83.3km/h	△
最大進入行程	1.5m以上	1.18m	△
衝突角	15度以上	106.6度	○

性能確認試験の前に、CGシミュレーションによる検討と苫小牧寒地試験道路におけるテストドライバー運転による大型貨物車衝突実験を実施。

CGシミュレーションによる検討の結果、以下の変更を実施

- 支柱の高さ(92cm→103cm)
- ワイヤーロープの本数(4本→5本)
- 支柱の板厚(3.2mm→4.2mm or 3.2mm)
- ストラップの数を削減(2個→1個)

防護柵供試体諸元

項目	仕様
支柱径(材質)	φ89.1×4.2 (STK400)
支柱間隔	4.2m
支柱ピッチ	3.0m
ワイヤーロープ	3×7φ18 5股
1段	910mm
2段	860mm
3段	750mm
4段	640mm
5段	530mm
支柱の高さ	1030mm
スリーブ(柱管)	φ114.3×4.5 (STK400)
スリーブ中埋め込み長	70mm
ブロックアウト量	0mm (支柱はスリーブに400mm埋込み)

テストドライバー運転による大型貨物車衝突実験

苫小牧寒地試験道路におけるプレ衝突試験

性能確認試験の前に、苫小牧寒地試験道路においてテストドライバー運転による大型貨物車衝突実験を行い、防護柵設置基準の値を満足する規格を決定した。

プレ衝突実験

苫小牧寒地試験道路

平成23年9月2日: 大型車

最大進入行程: 1.182m

最大進入行程: 1.192m

板厚4.2mmの車両衝突軌跡

板厚3.2mmの車両衝突軌跡

最大進入行程(板厚4.2mm): 1.182m, 板厚3.2mm: 1.192mは大差なかったが、車両軌跡より、板厚4.2mmの方がはね返り力が強いことが明らかとなった。


防護柵性能確認試験(A種:高速道路)-3回目-

・試験場所 国土技術政策総合研究所構内衝突実験施設

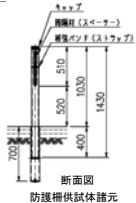
・試験日時
乗用車:平成24年1月12日(木)午前11時
大型車:平成24年1月18日(水)午前11時

・試験条件
 中央分離帯用Am: 高速道路の一般区間用
乗用車:衝突速度100km/h、衝突角度20度
大型車:衝突速度52km/h、衝突角度15度

・試験項目
 車両の逸脱防止性能、乗員の安全性、車両の誘導性能、構成部材の飛散防止性能



防護柵設置状況



断面図

防護柵供試体諸元

項目	A種諸元
支持サイズ	φ89×4.2 (S16400)
支持ピッチ	3.0m
ワイヤーロープ	3×16.18 SR
1段	970mm
2段	890mm
3段	790mm
4段	640mm
5段	520mm
支持の高さ	1020mm
スリーブ	φ114.3×4.5 (S16400)
スリーブ中埋め込み長	710mm
スリーブにスリーブに400mm埋込み	
ブロックアウト厚	0mm

性能確認試験(A種) -3回目-



分離帯用Am種の衝突試験の状況(2012年1月)



衝突後の防護柵の破損状況(2012年1月)



衝突後の乗用車と大型車の破損状況(2012年1月)



大型車の防護柵衝突後の軌跡(2012年1月)

・分離帯用Am種の衝突試験を再度実施した結果、乗用車を使った試験では、横転・転覆することなく誘導され、**最大進入行程(対向車線へのはみ出し)も1.016m**であったので、性能規程を満足している。また、車両損傷は、前部が破損しているが、車室が保存され、**加速度も95.2 m/s²/10ms**と小さかったため、衝撃吸収能力が確認された。

・大型車を使った試験では、シミュレーションの結果より、**最大進入行程は大きくなったものの、1.480m**となり、**防護柵設置基準の1.5m以下という値を満足した。**

・**防護柵設置基準のAm種の試験項目に対し、全て基準値を満足した。**

防護柵性能確認再試験(A種:高速道路)-3回目-結果

測定項目	条件区分	計測項目	試験結果
土質性能の逸脱防止性能	A	防護柵の強度性能	○大型乗用車が突壊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破壊破壊されている。
	A	防護柵の変形性能	○車両の進入行程計: 5m以下であること。 ○最大進入行程は、1.480mであり、必要とする変形性能を有している。(乗用車は1.016mであった。)
乗員の安全性	B	車両重心加速度	○10ms移動平均値が150m/s ² /10ms未満であること。 X: 96.9 m/s ² /10ms Y: 95.2 m/s ² /10ms
	共通	車両の挙動	○車両は防護柵に衝突後、横転などを生じないこと。 ○乗用車は防護柵から離れなかったが、乗員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。
車両の誘導性能	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93.1% (43.4km/h) 衝突条件B: 衝突速度 100.6km/hの95.1% (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 37% (7.4度)
	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可能性が低いことから、飛散防止性能を満足していると判断した。
備考			大型車は防護柵から離れていないが、防護柵と平行になった後、小さな角度で離脱方向に安定した姿勢で進行していたことから、離脱角度は防護柵と平行とし、0%とした。

A種の基準を全てクリア

スリーブ(支柱基礎)施工方法の検討

効率的な施工方法を確立するために、さや管(支柱基礎)打ち込み治具を作成し、試験施工を実施



打ち込み治具装着状況



スリーブ装着状況



スリーブ打ち込み直後(アスファルト舗装コア抜き有り)



コア抜き状況

- ・スリーブ打ち込み機は、ガードレール支柱打ち込み機のエアストライカーを使用
- ・打ち込みは、打ち込みキャブの代わりに治具を製作
- ・打ち込み治具は、施工の正確性、効率性、治具の耐久性を向上させるために、鉄材を削り出し、製作

スリーブ(支柱基礎)施工時間



スリーブ打ち込み状況(アスファルト舗装コア抜き無し)



スリーブ打ち込み直後(アスファルト舗装コア抜き無し)

打ち込み順	コア抜き準備	コア抜き	さや管打設準備	さや管打設
1	0:01:50	0:02:24	0:01:40	0:02:30
2	0:02:00	0:02:45	0:02:50	0:01:15
3	0:01:05	0:02:32	0:02:22	0:02:26
4	0:01:38	0:03:11	0:02:27	0:02:16
5	0:01:27	0:02:41	0:01:52	0:02:11
6	0:01:10	0:02:19	0:01:58	0:03:06
7	0:02:05	0:02:47	0:02:27	0:03:50
8	0:02:57	0:02:38	0:01:48	0:04:18
9	0:01:04	0:02:25	0:01:25	0:03:02
10	0:01:14	0:02:28	0:01:48	0:03:59
11	0:01:27	0:01:54	0:01:43	0:03:58
12	0:01:22	0:03:57	0:01:49	0:03:09
13	0:02:16	0:02:30	0:01:50	0:04:13
14	0:01:40	0:02:00	0:01:40	0:04:19
15	0:01:31	0:02:20	0:01:54	0:04:49
16	0:01:07	0:02:09	0:01:46	0:04:35
17	0:01:09	0:02:11	0:01:46	0:04:53
18	0:01:38	0:02:05	0:02:01	0:04:58
19	0:01:02	0:02:06	0:01:52	0:04:15
20	0:01:08	0:02:06	0:02:27	0:03:24
22	0:02:08	0:02:00	0:02:07	0:03:44
平均	0:01:28	0:02:27	0:01:58	0:03:53
21	-	-	0:02:21	0:03:57

※直接打ち込み

- ・アスファルト舗装のコア抜きは、平均約2分30秒、次の削孔位置に移動準備を含めると、約4分を要した。
- ・スリーブ打ち込みは、平均5分を要したが、慣れてくると約4分であった。移動準備を含めると、約7分を要した。
- ・コア抜きを行わず、アスファルト舗装にスリーブを直接打ち込んだ場合は、約10分を要した。しかし、アスファルト舗装への損傷は見られなかった。

緊急時の開放試験

・日時:平成24年5月29日(月)10:00~15:00 ・場所:苫小牧基地試験道路








- ①中間ターンバックルの支柱直近にワイヤークリップを固定し、ターンバックルを外す。
- ②部分的にワイヤーロープを支柱から外し、支柱を抜き取り、開放区間を設置する。
- ③外した支柱を建て込み、ワイヤーロープを外した手順で元に戻す。

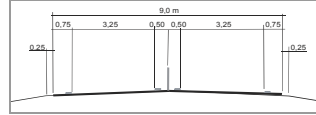
ワイヤーロープ式防護柵がもたらすもの



- 2車線道路の中央に防護柵を設置
- 正面衝突事故防止による安全性の向上
- 高速道路暫定2車線区間では、安全性の向上の他に、規制速度UPによる時間便益の向上
- 他の防護柵に比べ、導入コスト縮減による経済性の向上
- 任意の箇所で部分的に開放区間を設置

スウェーデンの2車線道路におけるワイヤーロープ式防護柵の設置計画

Road 23 Sandsbro-Drättinge
 Length 20 km
 AADT 6000-8000
 12 percent heavy vehicles
 9 m wide
 Normal sideareas for the roadtype
 Open for traffic in December 2009



今後の予定

◎目的と目標の設定

◎防護柵開発

- A種、B種、C種への対応
- 機能・性能要件の整理(開放区間の設置等)
- 冬期間の維持管理
- スリーブの形状(軟弱地盤、橋梁・トンネル)
- 端末構造(Con・鋼管杭)
- 付属部品(視線誘導:反射材、スノーポール、視線誘導標・デリニエーター)
- 路肩用への対応

◎施工方法

- 効率的な施工方法、施工機械の開発、施工治具の開発
- 張力測定器具
- 施工マニュアルの作成
- 様々な条件における施工方法(軟弱地盤、橋梁・覆道・トンネル等の構造物)

◎実道での効果検証

- 維持管理の課題整理
- 事故後の補修方法・体制・補修部品
- 効果の把握(調査)

◎普及に向けて

- NETISの登録
- 整備ガイドラインの作成