

繊維ロープ製車両用防護柵の開発

三田村 文寛¹

¹福井県建設技術研究センター (〒918-8108福井県福井市春日3丁目303)

車両衝突時の安全性の確保や維持補修費の縮減を目的として繊維ロープを鋼製ケーブルの代わりに用いたケーブル型車両用防護柵の研究を積み重ねてきた。実用化にあたって、実際の車両用防護柵を設置して車両による衝突試験を実施し性能確認を行った。衝突試験の結果、繊維ロープ製車両用防護柵の性能(防護柵の強度性能、防護柵の変形性能、乗員の安全性能、構成部材の飛散防止性能)を確認することができた。繊維ロープ製車両用防護柵は鋼製のガードレールや鋼製のケーブル型防護柵(ガードケーブル)と比較して衝突時の車両の加速度が小さいことが分かり、乗員の安全性能が優れていることが明らかとなった。

キーワード 繊維ロープ、車両用防護柵、性能確認試験

1. はじめに

一般的に設置されている鋼製のガードレールは、車両衝突時に破損したレールが車内に突き刺さることによる等の死亡事故は毎年繰り返され、安全性の確保が課題となっている。また、積雪地域で多く用いられる鋼製のガードケーブルは視認性が悪く、夏期にはケーブルが気温上昇により伸び、再緊張が必要になる等の欠点がある。その他、ガードケーブルの端部にかかる負荷が大きいため鋼製ケーブルが端部で抜ける損傷事例が多く見られる。繊維ロープを鋼製ケーブルの代替に用いた車両用防護柵(以下では繊維ロープ製車両用防護柵と称する)は、車両衝突時に部材が車内に突き刺さることがなく、繊維ロープの弾性領域の伸度は鋼製レール・鋼製ケーブルに比べ大きい。そのため、車両衝突時の乗員が受ける衝撃度は緩和されると考えられる。繊維ロープは容易に外皮を設けることが可能で、外皮を明色にすることにより視認性を改善することが可能である。また、繊維ロープは熱伝導率が低いいため気温による伸縮はほとんどない。そのため、通年ロープ長の調整は必要なく、繊維ロープの伸度で衝撃度を吸収するためガードケーブルの端部にかかる負荷は小さい。以上のことにより前述の課題・欠点を解消できるため、繊維ロープ製車両用防護柵の研究を積み重ねてきた。車両用防護柵の実用化にあたっては、実際の車両用防護柵を設置して車両による衝突試験(「車両用防護柵性能確認試験方法について」(平成10年11月5日付け建設省道路局道路環境課長験通達)を実施し性能確認を行う必要がある。今回は、路側用B種(車両衝突速度60km/h)¹⁾の車両用防護柵を対象に以下1)繊維ロープ1本当たりの目標とする引張破断強度の設定、2)引張試験によ

る目標の引張破断強度の確認、3)車両による衝突試験、4)試験結果の解析による性能確認の検討を行う。

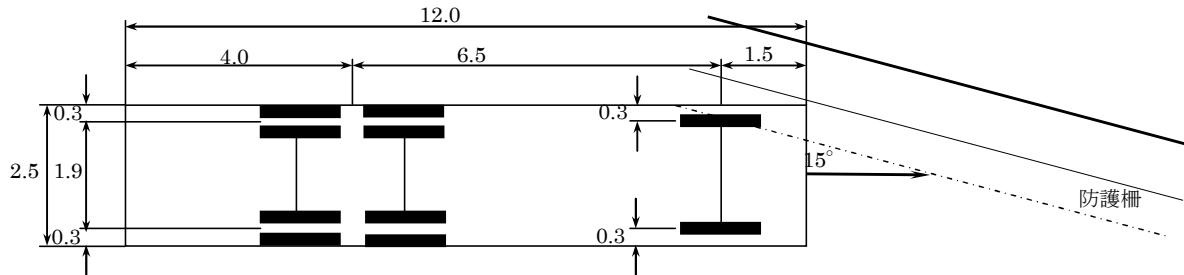
2. 繊維ロープの目標の引張破断強度

(1) 目標の引張破断強度の設定

繊維材料は経済性、強度及びリサイクル性に優れた高強度ポリエステルを選択した。繊維ロープの目標とする引張破断強度は次のとおり定めた。1)路側用B種の車両用防護柵の衝撃度60kJ以上¹⁾を想定し使用する繊維ロープ4本で衝撃度を受け持つものと仮定する、2)繊維ロープ製車両用防護柵の中間支柱間隔8mとし、衝突時に道路構造令²⁾に規定される設計車両のタイヤが道路から逸脱しないため、繊維ロープの原位置からの許容の道路直角方向変位量を0.95m以内とする(図-1参照)、3)繊維ロープの張力と伸度が比例する(直線性を示す)ように設置時の繊維ロープに緊張力30kNを入れた。1)の条件で2)の条件を満足するよう逆解析した結果、目標とする繊維ロープの引張破断強度は230kNであった。

(2) 目標の引張破断強度の確認

繊維ロープの引張試験はJIS「L 2707 ポリエステルロープ」に準じて行った。試料は呼称太さ30mm、主材ロープはストランド(糸の束を数本～数十本集めて撚りをかけた大きい束)数12本、リード数(L/D、単位：倍、図-2参照)8倍、被覆材ロープはストランド数16×2本、リード数5倍を用い、試料数は3で行った。試験の結果、繊維ロープの引張破断強度は平均237kN(最低233kNであり目標の引張破断強度を満足した(図-3参照)。



〔車両の防護柵に対する進入角度 15°，防護柵から道路端部までの余裕 0.3m として，タイヤが逸脱しないためには許容の道路直角方向変位量 $1.5\text{m} \times \sin 15^\circ + 0.3\text{m} \times \cos 15^\circ + 0.3\text{m} \approx 0.95\text{m}$ 〕

図-1 繊維ロープの許容の道路直角方向変位量

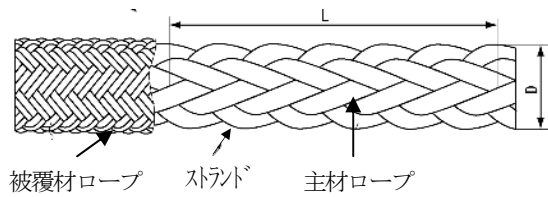


図-2 合成繊維ロープの概念図

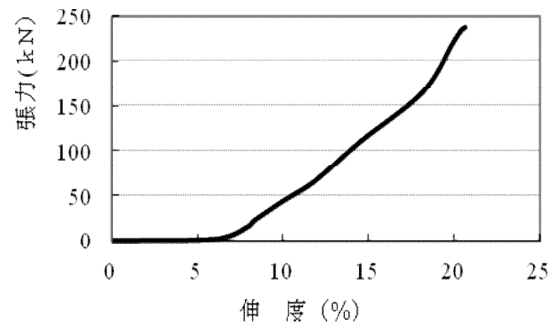


図-3 繊維ロープの張力-伸度曲線

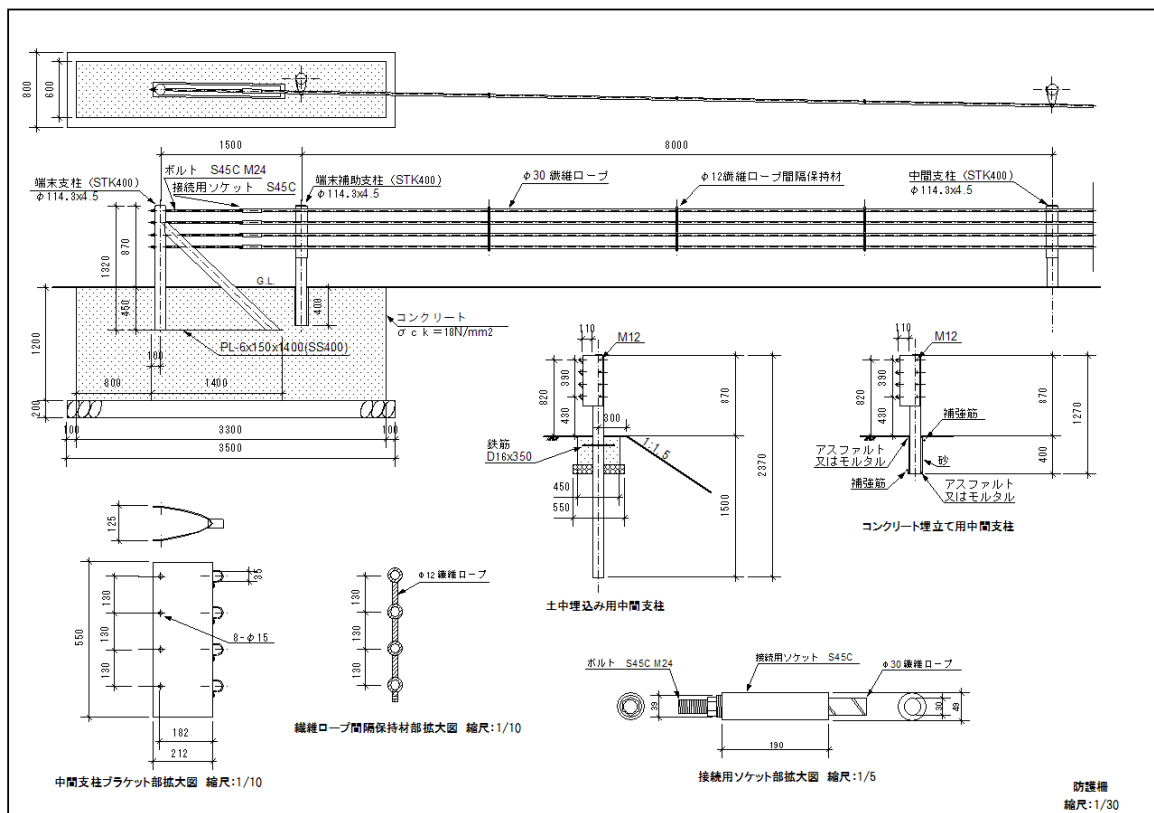


図4 繊維ロープ製車両用防護柵構造図

表-1 試験に使用した車両の諸元

車 両	質量(t)	重心高さ(m)
乗用車 1	1.46	0.7
乗用車 2	1.85	0.85
乗用車 3	1.66	0.65
大型貨物車	25.01	1.6

(3) 繊維ロープ製車両用防護柵の構造

路側用B種種別の繊維ロープ製車両用防護柵の構造図を図4に示す。ただし、耐雪型構造¹⁾を図示した。ガードケーブル(Gc-B-6E)³⁾を基本にしているが、以下 1) 繊維ロープの端末支柱に取り付け専用の固定具、2) ブラケットのロープ固定部、3) 繊維ロープ製の間隔保持材の点が異なる。

3. 性能確認試験

(1) 繊維ロープ製車両用防護柵の設置

供試体として起点(衝突車両のスタート側)と終点に端末支柱を設置した延長24.0mの実物大の繊維ロープ製車両用防護柵を設置する。起点側端末支柱から2.0m離れたA点と、A点から6.0、7.0、8.0m(各中間支柱間隔で試験を行う)離れたB点に中間支柱を設置し、A-B点(中間支柱)間に車両を衝突させる。間隔保持材は設置しなかった。中間支柱は土中埋め込みで衝突試験終了ごとに交換する。

(2) 標準の衝突条件と衝突方法

衝突条件はA条件とB条件があり次に標準の条件を示す¹⁾。1) 衝突条件A：路面から重心までの高さが1.4mの大型貨物車による60kJ以上の衝撃度による衝突でその際の衝突角度は15°とする。2) 衝突条件B：質量1トンの乗用車による衝突でその際の衝突角度は20°とする。今回の試験はテストドライバーの運転により行うので、衝突角度や衝突速度にばらつきが出ることが予想されることから、衝突時の衝撃度で標準の条件との比較・評価を行う。試験に使用する車両の諸元を表-1に示す。衝突回数は乗用車と大型貨物車でA-B点間(中間支柱間)、6.0、7.0、8.0mに衝突させるので合計6回行う。乗用車の質量は全て標準の条件より大きい、大型貨物車の重心高さ1.6mと標準の条件より高いので性能評価時に衝撃度の補正を次の式(1a)で行う。

$$I_s' = I_s \cdot (1.4 - h) / (H - h) \quad (1a)$$

$$= I_s \cdot (1.4 - 0.625) / (1.6 - 0.625)$$

$$= 0.795 I_s$$

補正後の衝撃度(kJ), I_s : 衝撃度(kJ), h : 繊維ロープの重



写真-1 試験状況(衝突条件A)

心高さ(m), H : 衝突車両の重心高さ(m)である。

(3) 計測方法

前述の通達の「車両用防護柵性能確認試験方法について」に準じて行う。衝突速度、衝突角度、車両の最大進入行程、離脱速度と離脱角度は高速度カメラ画像の解析により測定する。

(4) 試験結果と考察

試験結果を表-2に示す。参考までに標準値及び基準値¹⁾を示す。標準値及び基準値を満足しない値を網かけで示す。衝突条件Aの中間支柱間6mのケースで衝突角度が小さくなり衝撃度が満たなかったが他は満足している。中間支柱間が最も狭い6mのケースが車両用防護柵全体の剛性上不利になるので性能確認の上では問題はない。以下、確認性能について結果を示し考察する。

a) 防護柵の損傷

繊維ロープは衝突条件に拘らず、被覆材ロープの損傷のみであった。衝突条件Aのケースでは衝撃度が60kJに満たなかった中間支柱間6mのケースではほとんど損傷がなかったが、中間支柱間7mのケースでは地表面で約10°に曲がり、8mのケースでは同じく地表面で約20°に曲がった。衝突条件Bのケースでは中間支柱間隔に拘らず、中間支柱の損傷はほとんどなかった。

b) 車両の最大進入行程

表-3に示す通り、基準値以下であったが、ガードケーブル(Gc-B-6E)は0.25m、ガードレール(Gr-B-4E)は0.17mであり³⁾数値は大きかった。

c) 車両重心加速度

衝突条件Bで評価を行う。中間支柱間隔に拘らず、基準値以下であった。ガードケーブル(Gc-B-6E)は48m/s²/10ms、ガードレール(Gr-B-4E)は44m/s²/10msであり³⁾、約25%小さくなっている。

d) 車両の挙動

衝突条件及び中間支柱間隔に拘らず、車両はスムー

表-3 性能確認試験結果

中間支柱間 (A-B点間) (m)	衝突 条件	車両質量 (t)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (deg)	衝撃度 (kJ)	離脱速度 (km/h)	離脱角度 (deg)	車両の最大 進入行程(m)	繊維ロープ の道路直角 方向変位量(m)	加速度 (注3)
6	A	25.01	31.0	13.5	40.1	29.2	5.4	0.48	0.48	24.5
7			31.3	18.2	73.3	30.5	1.9	0.59	0.59	22.9
8			36.4	15.8	75.4	35.2	3.8	0.89	0.89	43.6
標準・基準値		25.00	30.0	15.0	約 60.0	(注1)	(注2)	1.10	0.95	—
6	B	1.46	61.2	23.1	26.7	14.7	11.2	—	—	34.4
7		1.85	43.6	28.0	23.7	22.0	7.6			36.1
8		1.66	48.3	29.1	28.0	29.5	6.2			35.7
標準・基準値		1.00	60.0	20.0	16.2	(注1)	(注2)			90.0

注1)衝突速度の60%以上, (注2)衝突角度の60%以下, (注3)加速度 ($\text{m/s}^2/10\text{ms}$) は車両重心における水平2方向加速度計による合成加速度の10ms移動平均の最大値

表-4 経済性の比較

(単位: 円/m)

	繊維ロープ製 車両用防護柵	ガードケーブル
イニシャルコスト	15,500	13,000
ランニングコスト (20年)	1,200	7,000
ライフサイクルコスト	16,700	20,000

ズに方向を変え, 特に異常は認められなかった。

e)離脱速度

衝突条件Bの中間支柱間6.7mのケースで基準値を下回った。繊維ロープの下2本に小型自動車の先端が潜ったためであり, 繊維ロープに間隔保持材を取り付けることで改善できると考えられる。その他は全ての基準を満足した。

f)離脱角度

全て基準値を満足した。

g)部材の飛散状況

部材の飛散はなかった。

h) 道路直角方向変位量

車両の最大進入行程と同じ値であり, 全て基準値を満足した。

以上, 今回の性能確認試験において, 繊維ロープ製車両用防護柵の性能は確認できたと考えられる。

4. まとめ

車両用防護柵用の繊維ロープを開発し, これを用いた路側用B種のケーブル型防護柵の性能を実車衝突試験により確認した。得られた知見は次のとおりである。

- 1)高強度ポリエステル(呼称太さ 30 mm)ロープで引張破断強度 230kNを確保した。
- 2)車両用防護柵全体で最も剛性の小さい中間支柱間 8mのケースで性能を確認することができた。
- 3)繊維ロープは衝突条件に拘らず, 被覆材ロープの損傷

表-5 CO²の排出量の比較

	繊維ロープ	鋼製ケーブル
素材(kg CO ₂ /t)A	1,500 *1	1,300 *1
製造(kg CO ₂ /t)B	1,239 *2	1,040 *3
材料(kg CO ₂ /t)A+B	2,739	2,340
延長 1km 当たり重量(t)	3.250	5.500
延長 1km 当たり 排出量 (kg CO ₂)	8.90	12.87

出典: (社)環境情報センター*1、企業聞き取り調査*2、推計(製造×0.8) *3

のみであった。衝突条件Aでは中間支柱の損傷が見られたが, 衝突条件Bでは中間支柱の損傷はほとんどなかった。

- 4) 車両の最大進入行程はガードケーブル(Gc-B-6E)及びガードレール(Gr-B-4E)より大きかった。
- 5) 車両重心加速度は衝突条件Bで基準値以下であり, ガードケーブル(Gc-B-6E)やガードレール(Gr-B-4E)と比較して約25%小さくなっている。
- 6) 部材の飛散はほとんど見られなかった。

以上の結果, 繊維ロープ製車両用防護柵は衝突事故時の乗員や周辺の人々に対する安全性が確認できた。コスト比較を表-4に示す。ライフサイクルコストで経済性に優れる。また, CO²の削減効果は表-5のとおり約30%であり普及が望まれる。

参考文献

- 1) 防護柵の設置基準・同解説(平成 20 年 1 月(社)日本道路協会)pp.13-15pp.93-95, pp.127-128
- 2) 道路構造令の解説と運用(平成 16 年 2 月(社)日本道路協会)pp.154-164
- 3) 車両用防護柵標準仕様・同解説(平成 16 年 3 月(社)日本道路協会)p.2p.23