

繊維ロープ製車両用防護柵の車両衝突シミュレーション解析

金沢大学大学院自然科学研究科 学生員 ○ 遠田 真澄
 金沢大学環境デザイン学系 正会員 前川 幸次

1. はじめに

車両用防護柵には“たわみ性防護柵”と“剛性防護柵”があり、たわみ性防護柵の一つであるガードケーブルには、通常、鋼製ワイヤーロープが使用されている。一方、繊維ロープは、視認性がよい、温度による伸縮が少ないため再緊張が不要で管理が容易、断面剛性が低いいため緩衝効果を期待できる、などのためガードケーブルに適した部材であり、繊維ロープを用いたガードケーブルの実車衝突試験が行われた¹⁾。本研究ではその実車衝突実験データを参照値とした車両衝突シミュレーション解析について実験結果と併せて報告する。

2. 繊維ロープ製ガードケーブルの実車衝突実験概要

実験に用いた車両用防護柵（ガードケーブル）は一般道路側用（B種）である。車両衝突実験の前提条件としては、車両の逸脱防止や誘導性能に対する“衝突条件A：車両質量 $M=25\text{ton}$ ・衝突速度 $V=30\text{km/h}$ 以上・衝突角度 $\alpha=15$ 度・衝撃度 $I_s=60\text{kJ}$ 以上”と乗員の安全性能に対する“衝突条件B：車両質量 1ton ・衝突速度 60km/h 以上・衝突角度 20 度”がある。一方、最小離脱速度、最大離脱角度、最大進入行程や最大加速度などの各性能評価の基準値が定められている²⁾。衝撃度 I_s とは防護柵直角方向の車両の運動エネルギーで、 $I_s=(1/2)M\{V/3.6\sin\theta\}^2$ である。

試作段階であることから、通常車両衝突実験で用いられる国総研の施設ではなく、民有地に設置したガードケーブルに乗用車3車種（質量・車高が $1.46\text{ton}\cdot1.45\text{m}$ 、 $1.66\text{ton}\cdot1.70\text{m}$ 、 $1.85\text{ton}\cdot1.42\text{m}$ の各1台）と大型車1



図-1 衝突条件Bの例



図-2 繊維製ガードケーブル

台（質量 25ton ）をプロドライバーの運転により衝突させた（図-1）。ガードケーブルは、図-2に示すように全長 24m の繊維ロープ4本、端末柱2本および中間支柱2本で構成されている。繊維ロープは高強度ポリエステルを素材とする12本撚り $\phi 30\text{mm}$ で、破断強度は 230kN/本 であり、繊維ロープと端末柱を連結する索端金具（専用ソケット）以外はB種の鋼製ガードケーブルで用いられている部材である。また、中間支柱の位置を移動することにより中央の衝突区間長を3種類（ 6m 、 7m 、 8m ）とし、衝突位置は、車両幅中心線が衝突区間中央を通るようにした。ドライバーの安全のために中間支柱を直撃するケースは行わなかった。

表-1は試験結果を示している。速度および角度は上方から 300fps で撮影した画像解析により、加速度は水平2方向加速度計の合成値の最大値である。色網掛けは基準値を満たさない数値である。衝突条件Aの場合、前提条件①～④および各性能評価値⑤～⑧は基準値をほぼ満たしている。衝突条件Bの場合、乗員の安全性の指標である離脱角度や 10ms 平均加速度の最大値は十分に小さい結果となっているが、前提条件が基準値を満たしていない。本研究では、衝突条件Bの計測データを用いて

表-1 繊維ロープ製ガードケーブル性能試験結果

衝突条件	A			B				
	基準値	実験値			基準値	実験値		
衝突区間長 (m)	—	6	7	8	—	6	7	8
①車両質量 (ton)	25.0	25.0			1.0	1.46	1.85	1.66
②衝突速度V (km/h)	30 以上	27.3	30.2	32.7	60	47.5	42.5	41.3
③衝突角度 α (度)	15	15.0	15.6	13.9	20	23.1	25.6	26.4
④衝撃度 (kJ)	60 以上	58.6	62.4	60.0	参考[16.2]	22.1	23.1	24.9
⑤離脱速度 (km/h)	Vの6割以上	29.2	28.0	28.8	Vの6割以上	20.9	19.4	28.0
⑥離脱角度 α' (度)	α の6割以下	8.0	4.2	4.0	α の6割以下	12.9	6.4	9.7
⑦最大進入行程 (m)	1.1 以下	0.26	0.18	0.82	—	—	—	—
⑧加速度 ($\text{m/s}^2/10\text{ms}$)	—	24.5	22.9	43.6	90 以下	34.4	36.1	35.7

キーワード 繊維ロープ, ガードケーブル, 車両衝突実験, 衝突シミュレーション

連絡先 〒920-1192 石川県金沢市角間町 金沢大学理工研究域環境デザイン学系 TEL. 076-234-4602

シミュレーションの検討を行い、次に前提条件に基準値を用いたシミュレーションにより各性能評価を試みる。

3. 繊維ロープ製ガードケーブルの車両衝突シミュレーション

解析には LS-DYNA を使用した。図-4 は解析モデルの全体図を示す。繊維ロープは CABLE 要素とし、1本あたりの初期緊張力 30 kN を導入することから、解析では図-5 の引張試験から得られたヤング率 $E=2.04 \text{ GPa}$ の線形弾性体とした。中間支柱やそのブラケットはシェル要素とし、

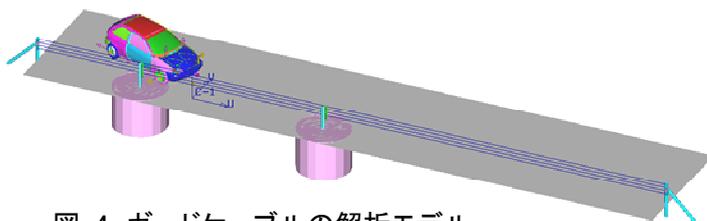


図-4 ガードケーブルの解析モデル

材料特性をバイリニア ($E=206 \text{ GPa}$, $\sigma_y=240 \text{ MPa}$, $E_n=800 \text{ MPa}$, $\sigma_u=400 \text{ MPa}$) とした。中間支柱が土中に埋め込まれた状態を表すために $\phi 2 \text{ m}$ の円柱地盤を弾性係数が 200 MPa の SOLID 要素で分割し、中心に中間支柱と同径・深さ 1.5 m の穴を設けて接触

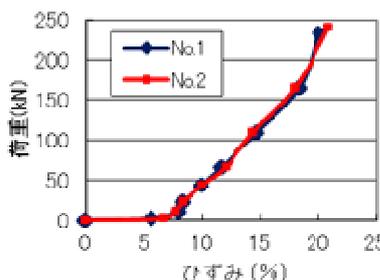


図-5 繊維ロープ引張試験

条件により支柱を支持した。また、繊維ロープは中間支柱のブラケット部で滑動支持されるので、ブラケットに取り付けた剛なリングとその内側を貫通するロープの間に接触条件を用いた。端末柱の形状および繊維ロープの取り付けについては、ロープ端の変位拘束を目的として単純化したため、実構造とは異なる。

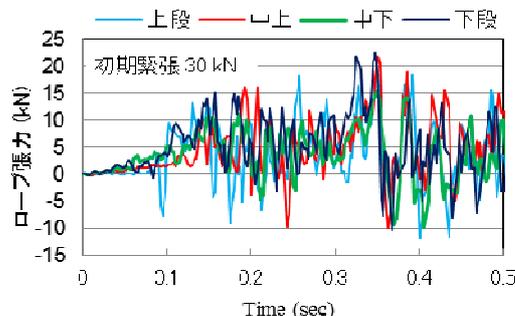


図-6 ロープ張力の例 (衝突条件B, 6m)

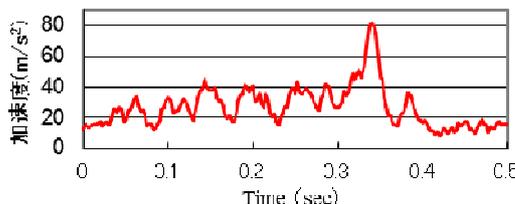


図-7 車両加速度の例 (衝突条件B, 6m)

車両は NationalCrashAnalysisCenter³⁾ が公開している約 20 万節点・19 万 shell 要素からなるモデル (Metro・車重 830 kg , 姉妹車はスズキ カルタス) の Mass 要素の質量を調整して用いた。

表-2 は、車種以外の前提条件①～③を実験と同じにして解析から得られた各ロープ張力の最大値および性能評価値 (⑤離脱速度, ⑥離脱角度, ⑦10ms 平均加速度の最大値) を、それぞれ実験値と比較して示している。表中の色網掛けは前提条件に基準を用いたときの解析値である。そのロープ張力および加速度の時刻歴を、衝突区間長 6 m の場合についてそれぞれ図-6 および図-7 に示す。表-2 から、性能評価値⑤～⑦の実験値と解析値の差は大きくはない。衝突条件 B の実験は前提条件が基準を満たしていなかったため、性能評価は困難であったが、前提条件に基準を用いた解析における性能評価値は基準内に入っている。

謝辞

福井県雪対策・建設技術研究所、西田殖産(株)、小浜製綱(株)には計測の便宜をはかっていただいた。また、研究室の学生 (湯本愛美・中村香央里) の協力を得たことを記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 三田村・他：繊維ロープ製車両用防護柵の性能確認試験, VI-4, 平成 21 年度土木学会中部支部研究発表会
- 2) (社)日本道路協会：防護柵の設置基準・同解説, 2008. 1
- 3) NationalCrashAnalysisCenter : <http://www.ncac.gwu.edu/>

表-2 繊維ロープ製ガードケーブルの車両衝突シミュレーション結果

衝突条件 B	実験		解析		基準		解析			
	6	7	8	6	7	8	6	7	8	
衝突区間長 (m)	6	7	8	-	6	7	8			
①車両質量 (ton)	1.46	1.85	1.66	1.0						
②衝突速度 V (km/h)	47.5	42.5	41.3	60.0						
③衝突角度 α (度)	23.1	25.6	26.4	20.0						
上段ロープ増加力 (kN)	7.0	12.3	5.3	41.2	12.5	35.1	-	19.6	48.0	49.1
中上ロープ増加力 (kN)	3.8	17.6	4.7	20.9	5.6	40.0	-	21.7	57.1	37.8
中下ロープ増加力 (kN)	19.6	15.0	17.1	13.2	17.2	38.8	-	15.3	34.7	12.0
下段ロープ増加力 (kN)	20.8	13.1	17.5	71.1	17.6	14.4	-	22.5	22.4	15.3
⑤離脱速度 α' (km/h)	20.9	37.3	19.4	19.3	28.0	26.6	36 以上	40.8	38.4	46.1
⑥離脱角度 (度)	12.9	10.6	6.4	6.4	9.7	14.0	12 以下	3.6	3.7	4.8
⑦加速度 ($\text{m/s}^2/10\text{ms}$)	34.4	45.3	36.1	58.4	35.7	42.4	90 未満	81.6	65.3	52.9