

2車線道路における緩衝分離構造の検討*

Feasibility Study of Wire Rope Guardrail Systems on Two Lane Road in Japan *

平澤匡介**・武本東***・宗広一徳****・葛西聡*****

By Masayuki HIRASAWA**・Azuma TAKEMOTO***・Kazunori MUNEHIRO****・Satoshi KASAI*****

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りやすい。郊外部の国道は、大部分が往復非分離の2車線道路であり、限られた空間を対向する車両が高速で移動するために、正面衝突事故が起きると、死亡事故等の重大事故になりやすい。道路構造令では、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。道路幅員が狭い道路の中央に防護柵を設置している例として、スウェーデンの2+1車線道路がある。スウェーデンでは、このような区間に中央分離施設を設置する場合、コストが最も低いワイヤーロープ式防護柵を設置している。ワイヤーロープ式防護柵は、支柱が細く緩衝機能があり、必要幅員も少ない。本稿は、ワイヤーロープ式防護柵を日本の2車線道路の分離施設として導入するために、試験道路における試験施工や性能を確認するための衝突試験を行い、道路構造令や防護柵設置基準等の適用性を検討し、日本における導入可能性を考察した結果を報告する。

2. 正面衝突事故発生状況と課題

北海道の交通事故対策は、交通管理者との連携のもと、必要な道路整備を進めてきた結果、平成16年度まで13年間続いた都道府県別交通事故死者数ワースト1を平成17年から平成20年まで4年連続で返上したが、平成20年の交通事故死者数は依然228人で、致死率も全国平均の約1.6倍と未だに深刻な状況が続いている。交通死亡事故で、最も多い事故類型は正面衝突で、全体の26%を占め、その割合は全国に比べ約2倍以上である(図-1)。また、道路種別では、国道が最も多く、約半数近くを占める。

*キーワード：交通安全、道路計画、サービス水準

**正員, 博士(工学), (独) 土木研究所寒地土木研究所
(札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34、
TEL011-841-1738、FAX011-841-9747)

***正員, 工修, (独) 土木研究所寒地土木研究所

****正員, 博士(工学), (独) 土木研究所寒地土木研究所

*****正員, 工修, (独) 土木研究所寒地土木研究所

(独) 土木研究所寒地土木研究所では、新たな正面衝突事故対策手法として、2車線道路のセンターライン上に切削溝を配置するランブルストリップス(写真-1)の開発及び実用化を行った¹⁾。ランブルストリップスは、大きな正面衝突事故防止効果があることが確認されたが、山間部の縦断勾配や平面線形などの道路線形が厳しい区間では、その効果が減少することが明らかになった。そのような区間では、物理的に車線逸脱を防ぐことが求められるが、従来の中央分離帯では、拡幅等を伴うため費用が高額になり、設置が限られている。

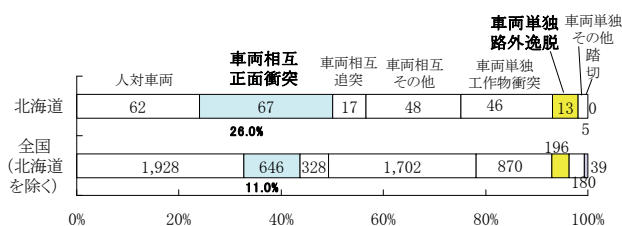


図-1 事故類型別死亡事故件数(H18)



写真-1 ランブルストリップス(左: R237、右: R275)

3. 欧米におけるワイヤーロープ式防護柵

狭幅員でも中央分離施設を設置している例として、スウェーデンで普及している2+1車線道路におけるワイヤーロープ式防護柵がある。2+1車線道路とは、全線を3車線として整備し、中央の車線を交互に追越車線として利用する方式である(写真-2)。



写真-2 ワイヤーロープ式防護柵付きの2+1車線道路(スウェーデン)

スウェーデン国内のワイヤーロープ式防護柵は、1991年から1992年の間に試験的に導入が開始され、その後、1993年から1994年までの間、設置延長が増加した。これとは別に、スウェーデンでは追い越し需要に対応するために、13mの広幅員の2車線道路を整備したが、1990年代に重大事故の多発から、コストが安い対策としてワイヤーロープ式防護柵を中央分離施設として設置した2+1車線道路の検討を始めた。2001年に、標準的な13m幅員の2+1車線道路の横断面構成を決定し、防護柵を設置した2+1車線道路の整備延長は、2008年6月で1,800kmに達している²⁾。2+1車線道路を導入している欧州のスウェーデン以外の国では、防護柵を設置するのは限定的である。

米国では、ワイヤーロープ式防護柵が正面衝突事故対策として中央に設置されたのは、1968年にニューヨーク州運輸省が低張力の3本ワイヤーロープを使った防護柵が最初である。2001年には英国のメーカーが連邦道路局(FHWA)の認可を受けた高張力ワイヤーロープ式防護柵のマーケティング活動を米国で開始し、その後4つの製品が認可された³⁾。

米国とスウェーデンの大きな違いは、米国が上下線の分離されている広幅員の中央帯に防護柵を設置していることに対して、スウェーデンは、上下線が分離されていないことに加え、全幅員が13mと狭いことである。

4. ワイヤーロープ式防護柵の利点

スウェーデンでワイヤーロープ式防護柵が採用された理由の一つに設置コストが挙げられる。スウェーデンにおける標準的な中央分離施設の設置コストは、ワイヤーロープ：ガードレール：コンクリートの比率は、約1:2:3程度である。また、ワイヤーロープ式防護柵は、ガードレール、コンクリート製に対して支柱が変形しやすいので、衝撃吸収能力が高い(写真-3)。その結果、スウェーデンの2+1車線道路では交通事故死者数・重傷者数が大幅に減少し、物損事故が増えた。ただし、狭い道路幅員に中央分離施設を設置しているため、物損事故を含めると、事故件数が増加したと報告されている⁴⁾。



写真-3 ワイヤーロープ式防護柵の衝突実験状況⁵⁾

2車線区間に中央分離施設を導入する際の最大の課題は、交通事故、故障車等が発生した時の交通の解放である。駐停車があっても交通に支障とならないように中央分離施設に側方余裕を加えることや広い路肩を採用するため、膨大な設置費用となる。

スウェーデンでは、除雪作業等の維持管理のためにUターンができる解放区間(写真-2)を設けているほか、写真-4に示すように手動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、クイック・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、復元に時間が掛かるので、使用機会は少ない。



写真-4 緊急時の解放例

5. 欧州と日本の防護柵設置基準

ワイヤーロープ式防護柵を日本に導入するためには、防護柵の設置基準に示す性能を有しなければならない。防護柵に求められる機能は強度性能、変形性能、車両の誘導性能、構成部材の飛散防止性能である。このうち、ワイヤーロープ式防護柵にとって、最も厳しいのは変形性能である。支柱が変形して衝撃を吸収することが特徴なので、日本に導入されなかった一因と思われる。

日本の防護柵の変形性能に関する基準値は最大進入行程と呼ばれ、車両が防護柵に衝突する時に、前輪または後輪の内側が防護柵の柵面の原位置より路外方向に踏み出る距離の最大値である(表-1)。一般国道の場合は主にB種：1.1mが適用される⁶⁾。スウェーデンは欧州規格EN 1317-2に準じており、2+1車線道路の場合、衝突試験の条件はLevel N2で最大進入行程はW5Classの1.7mである⁷⁾。

これらの数値は、衝突試験の条件が異なるので、一概に比較することは難しい。そこで、衝突試験の衝撃荷重を計算した結果、スウェーデンで採用している条件は日本のB種より大きく、A種より小さい値となった(表-2)。最終的には衝突試験を実施しなければ、正確な最大進入行程は把握できないが、日本のB種の防護柵として適用できる可能性が見いだせた。

表-1 日本における分離帯用防護柵の許容最大進入行程⁸⁾

	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

表-2 日本の基準と欧州規格における強度性能

	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	B種	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

6. 苫小牧寒地試験道路における試験施工

ワイヤーロープ式防護柵を導入するに当たり、日本では施工方法も明らかになっていない。そこで鋼製防護柵協会と共同研究を締結し、製品を輸入し、苫小牧寒地試験道路において試験施工を行うこととした。試験施工は直線区間を 200m、カーブ区間は曲線半径 100mと曲線半径 200mを各 100m施工することとした。日本のガードケーブルの支柱は円柱であるが、ワイヤーロープ式防護柵のスリーブ管は四角柱なので、施工方法が不明であった。筆者らは、平成 20 年 11 月にスウェーデンを訪問し、施工方法の調査を行った²⁾。その結果、写真-5 に示すようにドリルは使わず、油圧ハンマーの先の特殊なアタッチメントにスリーブ管を装着して、アスファルトに直接打撃で挿入する施工方法を確認した。

そこで、鋼製防護柵協会の協力の下、スリーブ管をアスファルトに挿入するためのアタッチメントを作成し、直接打撃で施工した。スウェーデンの専用機と違い、高速かつ確実な施工とならなかったが、3 日間延べ 19 時間で 184 本のスリーブ管を施工することが出来た。いくつかの問題もあったが平成 20 年 12 月に施工を完了した。



写真-5 支柱の施工機械（左）と施工後のスリーブ管（右）



写真-6 作成したアタッチメント（左）と施工状況（右）



写真-7 端末部（左）とカーブ区間の施工状況（右）

7. ワイヤーロープ式防護柵の性能確認試験

ワイヤーロープ式防護柵の性能評価のため、平成 16 年 3 月付け国土交通省道路局長通達「防護柵の設置基準の改正について」（以下防護柵基準という）に示される実車衝突試験を国土交通省国土技術政策総合研究所内の衝突試験施設において行った。試験条件は、一般国道に

設置することを想定して、以下の通りとした。

- ・防護柵種別：Bm 種
- ・防護柵形式：ケーブル型たわみ性車両用防護柵
- ・基礎種類：土中用基礎（両端アンカー）

衝突試験は大型車と乗用車の 2 回行うことが決められており、表-3 に試験条件を示す。主な試験項目は、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である。

表-3 試験条件

衝突条件A				
<試験日 平成21年3月10日(火)>				
試験車両 質量(t)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)	衝撃度 (KJ)	車両重心 高さ(m)
20.0 (20.2)	35.0 (35.1)	15.0 (15.3)	63.0 (66.7)	1.4 (車両総重量時)

衝突条件B		
<試験日 平成21年3月6日(金)>		
試験車両 質量(t)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)
1.0 (1.1)	60.0 (60.2)	20.0 (21.1)

・地盤条件：標準地盤上
 ・支柱基礎：土中埋込み
 （支柱を土中のサヤ管に埋込み）
 ・供試体長：75.0m
 ・施工方法：北海道開発局 道路・河川工事仕様書に準拠

※（ ）内の数値は試験結果を示す。

衝突試験を行った結果（写真-8）、車両の逸脱防止性能は、防護柵を突破されない構造を有しており、大型車の最大進入行程が 0.585m、乗用車が 0.635m で、規定値を満たしている。乗用車の数値の方が大きくなったのは、車両先端部が低いので、一番上のワイヤーが車体を上手く受け止めることが出来なかったことが原因と思われる。乗員の安全性能は、車両重心位置の最大加速度が $38.1\text{m/s}^2/10\text{ms}$ となり、規定値の $90\text{m/s}^2/10\text{ms}$ を満たしている。車両の誘導性能は、車両の挙動が横転などしなかったこと、離脱速度は衝突速度の 6 割以上（大型車 71.2 % : 25.0km/h/35.1km/h、乗用車 65.9 % : 39.7km/h/60.2km/h）、離脱角度は、衝突角度の 6 割以下（大型車 24.8 % : 3.8 度/15.3 度、乗用車 0 % : 0 度/21.1 度）と規定を満たしている。構成部材の飛散防止性能は、ケーブルと支柱が取り外れる構造となっているが、主要部材の飛散は見られなかった。



写真-8 衝突時の状況（左：大型車、右：乗用車）

衝突後のワイヤーロープ式防護柵は、支柱が破損しているにもかかわらずワイヤーの緊張は保たれており（写真-9）、ワイヤーに傷が無ければ、支柱を交換するだけで補修が完了するので、修繕費用を抑えることが出来ると推察される。ただし、幅の狭い道路に設置することや軽微な接触でも支柱はダメージを受けるので、維持管理コストについては、今後の検討課題である。



写真-9 衝突後の状況と損傷した支柱

8. 冬期維持管理上の課題検討

北海道での実用化に向けて、冬期間の維持管理上の課題を検討した。最重要課題は、狭い幅員に設置することに加え、支柱が堅牢ではないため、除雪作業により折損等の影響が懸念される。そこで、除雪作業によるワイヤーロープ式防護柵への影響を把握するため、除雪車を車道端から0, 10, 20, 30, 40cmの位置で除雪作業を行い、支柱等への影響を観測するとともに、支柱付近の雪堤高さを計測した。試験の結果、支柱への影響やワイヤーロープへの雪の付着も見られなかった。また、除雪位置と支柱付近の雪堤高さについての相関性は確認できなかった。この他、積雪融水による支柱基礎部の冠水および結氷の可能性を確認するため、0℃以下の条件下で支柱基礎部分に注水する試験や積雪融水による凍結試験を行ったが、支柱が抜けなくなるほどの結氷は確認できなかった。これらのことから機械除雪では支柱周囲の雪堤除去が困難であるが、支柱スリーブ管への表面水の進入による結氷はわずかであり、冬期間の維持管理において大きな問題が生じるものではないと考えられる。

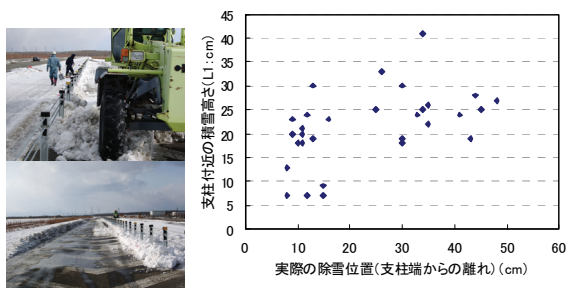


図-2 除雪試験状況と測定結果

9. ワイヤーロープ式防護柵の設置必要幅の検討

日本の道路構造令では、中央帯は側帯と分離帯で構成されることとされている。また、ワイヤーロープ式防護柵は凸型の縁石に変わる道路付属物として位置づけられるので、マウントアップは不要となる。建築限界を侵さない必要最小限度の幅員構成は、道路構造令における特例値の関係により、種級区分により異なる。中央帯の必要幅は側帯＋側方余裕c＋防護柵幅＝2@（0.25+0.25）+0.10＝1.10となるが、道路構造令では、0.25m刻みの数値設定をしており、1.25mで設定される可能性もある。この幅員を第3種2級完成2車線の完全分離に適用すると、総幅員12.0mが11.6mとなり、道路幅員を40cm縮小することができる。わずか40cmである

が道路建設費を考慮すると、防護柵設置は十分費用対効果が得られると考えられる。

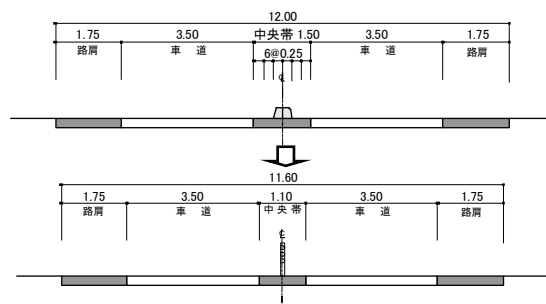


図-3 ワイヤーロープ式防護柵設置を考慮した幅員構成
（※第3種2級の主要幹線を想定して車線幅員3.50mを採用）

10. あとがき

北海道の2車線道路において、正面衝突事故対策としてランブルストリップスは効果的であった。しかし、物理的に正面衝突を防ぐ対策が必要な箇所であっても、地形的な制約や予算の確保が難しいため、これまでは対策を実施することが出来なかった。ワイヤーロープ式防護柵はそのような区間に対策を実施できるばかりではなく、現在の高規格暫定2車線区間や今後の地域高規格道路等への適応も考えられる。従来の中央分離施設よりも少ない幅員で設置できることは大幅な整備コスト縮減につながる上に、安全性の向上も同時に達成できる可能性がある。今後は、ワイヤーロープ式防護柵を設置する場合の道路構造を検討し、整備効果の把握、実用化に向けた課題の抽出を行う予定である。

参考文献

- 1) 平澤匡介ほか：新しい事故対策手法としてのランブルストリップスの開発と実用化に関する研究，土木学会論文集 第4部門 NO.800 / IV-69，平成17年10月。
- 2) 平澤匡介，宗広一徳：スウェーデンの道路構造・交通安全対策に関する調査，寒地土木研究所月報，平成21年2月。
- 3) MacDonald, D. Batiste, R. : Cable Median Barrier Reassessment and Recommendations June 2007, A report requested by the Governor of the state of Washington.
- 4) Derr, B. : Application of European 2+1 Roadway Designs, NCHRP RESEARCH RESULTS DIGEST, 2003.4.
- 5) CASS Cable Safety System Product Manual, Trinity Industries Inc.
- 6) 防護柵の設置基準・同解説，（社）日本道路協会，平成20年1月。
- 7) Vägar och gators utformning Säker framkomlighet - Preliminära riktlinjer för utformning, reglering och drift, Vägverket, 2006.6.