

景観に配慮した車両用ガードパイプの開発

Development of Guard-pipe for Vehicle in the consideration of Landscape

天野光一*, 松田博**, 松永博明***, 伊藤登****

Koichi Amano, Hiroshi Matsuda, Hiroaki Matsunaga, Noboru Ito

*工博, 日本大学教授, 理工学部社会交通工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

**神鋼建材工業株式会社 製造部 (〒660-0086 兵庫県尼崎市丸島町 46)

***新日鉄建材工業株式会社 土木開発技術部 (〒135-0042 東京都江東区木場 2-17-12)

**** (株) プランニングネットワーク (〒114-0012 東京都北区田端新町 3-14-6)

The Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT), Japan revised the barrier regulations in 1998. New regulation provided as the performance-based regulation by abolishing the structural criteria of the old regulation to incorporate the landscape aspects into the infrastructure. This paper discussed the development process of the new barriers that satisfied the new regulation. The objectives of this development are to create and maintain a good landscape of road with the aesthetic barrier. Through the results of the collision tests with the trial products, it was confirmed that the new barriers attained the initial development objectives. It is, hence, expected that the new barriers will be widely utilized in the areas with picturesque scenery as well as urban areas in Japan.

Key Words: Barrier, Guard-pipe, Collision test, Simulation, Landscape

キーワード: 防護柵、ガードパイプ、衝突実験、シミュレーション、景観

1. はじめに

1998 年 11 月に「防護柵の設置基準・同解説」が発行され、車両用防護柵はこれまでの形状・寸法等の仕様規定から性能規定に改訂された。この改訂により、車両用防護柵としての性能を満足すれば、地域特性、景観性等の多様化したニーズに配慮した防護柵の開発が可能となった。本稿で紹介する景観に配慮した車両用ガードパイプの開発はこの基準の改定に呼応して行われたものである。2002～2003 年の A 種の開発の終了によって、高速道路以外で使用する A、B、C 種すべてがそろったわけであり、国道以下の整備という観点に立てば、景観を配慮したガードパイプの開発が一段落したといってよい。本稿では前述した A 種車両用ガードパイプの開発について記述するものであるが、併せてその前段である B 種の開発についても解説するものとする。

2. A 種開発に至るまでの開発経緯

2.1 建設省による景観型防護柵開発の着手

わが国においては 1972 年以来、ほとんどの防護柵が一

定の形状(写真-5 事前参照)であり、機能は十分満足しているものの、景観的に問題なしとはいえない状況にあった。建設省東北地方建設局(現国土交通省東北地方整備局)ではそのような状況を鑑み、また 1998 年の防護柵設置基準の性能評価規定への変更を睨み、1996 年末に景観を考慮した標準型新車両用防護柵(B 種)の開発に着手した。その開発に当たって、委員会が設置され、筆者のうち天野は委員会の委員長として、伊藤は全体をマネジメントする事務局として参加した。当初の委員会においてはメーカー側の代表として鋼製防護柵協会も参画し、産学官の協力体制の元開発を進めていった。

2.2 基本デザインの決定と意匠登録

前述の委員会において、まず防護柵(ガードレール、ガードパイプ、ガードケーブル)の景観特性および景観デザインの方向性とポイントを整理した。ガードレールの景観特性として、外部への眺望を阻害しやすい、外部からもその面積が大きいため目立つ、ビーム面に並ぶボルトナット等は煩雑な印象を与えやすい、支柱部は要素が多く煩雑となりやすい、などマイナスのものが多くあげられた。ガードレールに比べガードパイプは外部への眺望阻害が少な

く、外部から見ても控えめな印象であることから、景観デザイン上の利点が多いため、ガードパイプ型の防護柵を開発することとした。その際に景観デザインの方向性としては、周辺景観を引き立てる控えめなデザインであること、ストリートファニチャー等周辺要素とのデザインの脈絡を有していること、歩行者に触れられることを想定した材質感や形態を有していることをあげ、デザインのポイントとしては、ビームパイプ径をできるだけ細くし軽快な印象を目指すこと、支柱とビームの太さや支柱高さのバランスを整え安定感のあるデザインとすること、ビームと支柱を一体的にデザインすることなどをあげた。また、コストを考えパイプは手に入りやすい標準的なものを使用することとした。その結果、図-1に示す三段型と、二段型の2種類の基本デザインを決定した。このデザインの特徴は、透過性に優れていること、ビーム上面がすっきりとしていること、支柱と上段パイプのブラケット（コネクター）の外観を強調しアクセントとしていること、ビームパイプの上段を太くし橋梁用防護柵との形態的脈絡を持たせていることなどがあげられる。この基本デザインについては後に委員会のメンバーとなる大野美代子氏（M&M デザイン事務所）に依頼し、委員会の議論を経て前述のように決定の後、大野氏の名を発案者として明記した上で東北地方建設局長の名で意匠登録を行った。道路管理者が設置する標準の道路付属物について民間のデザイナーが名を連ね

ートナーとして委員会により選定された。

2.4 衝突実験による性能の確認と標準品としての認定

試作品を製作し静的実験による確認を経て、建設省土木研究所の衝突実験施設を利用し実車衝突実験を行った。その結果、防護柵（B種）としての性能を満足できることが確認できた。その後、前述したように1998年防護柵設置基準が性能評価規定に改正されるが、その際すでにB種防護柵としての性能が確認されているため本防護柵は基準に付属する標準図集にも掲載され、標準品として認定された。

2.5 民間主導による同形状他種防護柵の開発

景観型新車両用ガードパイプ（B種）の開発終了に際して、開発委員会及び東北地建はメーカーに対して、同形状他種（S、A、C種等）の開発については民間主導で積極的に行ってほしい旨の要請をした。この要請に応じて、2000年には神鋼建材工業株式会社によりC種が開発された。その後さらに日鐵建材工業株式会社の参画を得て、2002年から2003年にかけて本稿で後述するA種の開発が行われたわけである。

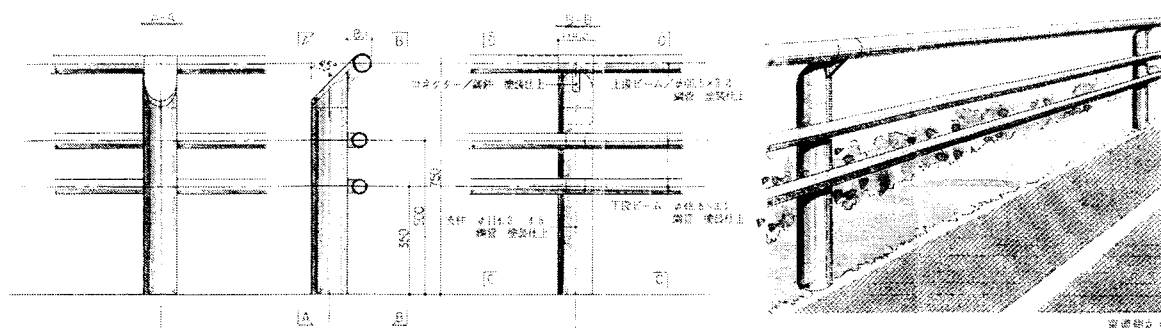


図-1 三段型ガードパイプの基本デザイン案（B種）

ることは極めてまれであり、今後の開発におけるデザイナーの位置づけについて先行的な事例となったと考えられる。

2.3 開発への民間の参画（技術提案コンペの開催）

東北地方建設局は、この基本デザインを遵守した製品を実用化するために、1998年6月にメーカーを対象とした技術提案コンペを開催した。その結果23社34提案が寄せられた。当時ではメーカー団体を開発パートナーとすることがより一般的であったと考えられるが、広く技術アイデアを募集し先端的な技術により基本デザインを遵守しつつ低コストで開発を遂行可能なパートナーを選定したというこのコンペも今後の開発の先行例となると信じている。このコンペの結果、神鋼建材工業株式会社が開発パ

3. A種ガードパイプの形状の検討

防護柵としての性能の評価に先駆けて、A種車両用ガードパイプの詳細形状の検討を行った。意匠登録を行ったB種のものと同様の製品として開発すること、ガードパイプとしての景観的な統一性にも寄与することからも、基本的には前述した基本形状を守ることが前提条件となった。ただし、先に開発したB種では、3本ビーム、2本ビームの2タイプを開発したが、A種防護柵においては求められる機能が厳しいため、3本タイプのみとした。また、支柱、ビームとも以下に示すように高い強度のものを採用した。なお、下段ビームについてはB種2本ビームタイプの下段ビームと同じ径のものを採用した。これは、支柱にビームを取り付ける際に用いるブラケットの統一を図るとい

う意図も含んでいる。

支柱 (mm) (直径) × (部材厚)

B 種 114.3×4.5→A 種 139.8×4.5

上段ビーム (mm) (直径) × (部材厚)

B 種 76.3×3.2→A 種 89.1×4.5

中下段ビーム (mm) (直径) × (部材厚)

B 種 48.6×3.2→A 種 60.5×4.5

次にビームの高さの検討を行った。

A 種の開発に至るまでの実車衝突実験の経験から小型車の特性について以下のようなことが明らかとなっていた。わが国の小型車のバンパーは車両幅全幅をカバーしておらず、車両前方両サイド、すなわち防護柵に衝突するコーナー部分（通常は左前方コーナー）はバンパーとしての強度をまったく持っていない。そのため、車両が防護柵に衝突した直後にタイヤが防護柵に衝突するという現象が生じる。その結果ホイールと防護柵の接触によって防護柵が車両を誘導するという傾向も見られた。A 種では小型車の衝突速度が 100km/h と非常に速いため、下段の 2 本のパイプが適切にホイールと接触する必要が推測された。そのため、以上の機能を満足するための形態に対する条件と景観的なおさまりとのバランスを考えながら、1cm 刻みでビームの位置を検討した結果、以下のようにビーム中心位置を決定した（図-2 参照）。

上段ビーム (mm)

B 種 800→A 種 780

中段ビーム (mm) 下部

B 種 600→A 種 480

下段ビーム (mm) 上部

B 種 450→A 種 330

4. 衝突実験による性能の確認

4.1 衝突条件

車両用防護柵としての性能確認は「防護柵の設置基準・同解説」に規定されている衝突条件 A（大型車）による主として防護柵の強度確認および、衝突条件 B（小型車）による乗員の安全性を検証する。

各々の衝突条件を表-1 に示す。

表-1 衝突条件

	衝突条件 A (大型車)	衝突条件 B (小型車)
車両質量	20 t	1 t
衝突速度	51 km/h	100 km/h
衝突角度	15 度	20 度
衝撃度	134 kJ	—

4.2 性能評価基準

種別 A 種土中用防護柵に対する衝突条件 A および B の評価基準を表-2 に示す。すなわち表-2 に示す性能が満足されれば（形態の如何にかかわらず）基準を満足する防護柵と判断できうということである。

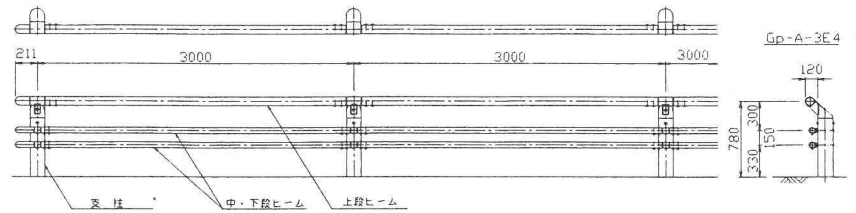


図-2 衝突実験用供試体

4.3 衝突条件 A（大型車）の実験結果

表-2 評価基準

評価項目	評価基準	適用
車両の逸脱防止性能	強度性能	防護柵が突破されない強度を有すること。 衝突条件 A
	変形性能	
乗員の安全性	車両の受ける加速度が 150m/s ² /10ms 未満であること。	衝突条件 B
車両の誘導性能	車両は防護柵衝突後に横転などを生じないこと。	衝突条件 A 衝突条件 B
	離脱速度	
	離脱角度	
構成部材の飛散防止性能	車両衝突時に構成部材が大きく飛散しないこと。	

大型車による衝突条件 A の実験結果は、車両は突破・横転することなく正常に誘導・離脱し、評価基準を全て満足することができた。

実験結果を表-3 に、大型車の衝突状況を写真-1 に示す。

表-3 実験結果

評価項目	実験結果
最大進入行程	0.36m ≤ 1.1m OK
離脱速度	43km/h ≥ 31km/h (衝突速度の 60%) OK
離脱角度	7 度 ≤ 9 度 (衝突角度の 60%) OK

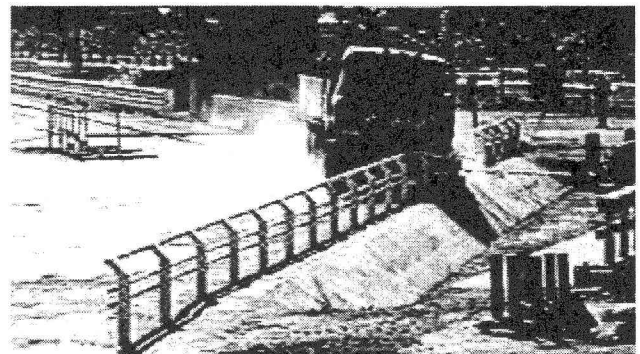


写真-1 大型車衝突実験

4.4 衝突実験B（小型車）の実験結果

（1）第1回目

小型車は円滑に誘導・離脱し、評価基準の誘導性能、構成部材の飛散防止性能は満足した。しかし、車両の受ける加速度はX方向（車両進行方向） $155.8\text{m/s}^2/10\text{ms}$ 、Y方向（車両進行方向に直角方向） $113.8\text{m/s}^2/10\text{ms}$ であり、許容値 $150\text{m/s}^2/10\text{ms}$ を超える結果となり、乗員の安全性能を満足することができなかった。

（2）改良検討

第1回目の実験結果から、最大加速度の発生は車両前輪が支柱に接触した時であり、車両前輪による支柱への衝撃を軽減させることが必要であることがわかった（写真-2参照）。改良は大型車の実験結果に影響を与えないと判断できる範囲とし、後述する3Dシミュレーション、部材実験により検討した結果、中下段ビームのインナースリーブ板厚を4.5mmから6.0mmに変更し、支柱近傍のビーム曲剛性を高めることにより車両前輪と支柱との接触量を抑え、車両の受ける衝撃を軽減させることとした。

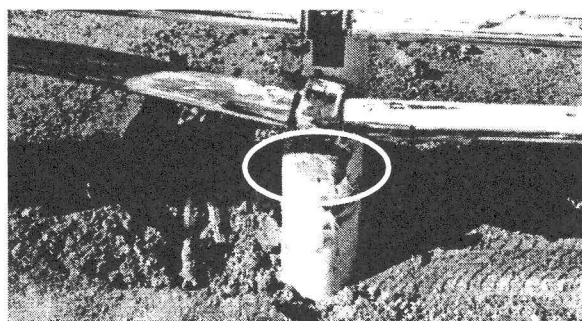


写真-2 前輪の衝突痕

（3）第2回目

インナースリーブを改良した供試体で再度、衝突条件Bで実験を実施した結果、加速度許容値を満足し、乗員の安全性能、その他の評価基準も全て満足することができた。実験結果を表-4に、小型車の衝突状況を写真-3に示す。

表-4 実験結果

評価項目	実験結果
加速度	X 方向: $122\text{ m/s}^2/10\text{ms} < 150\text{ m/s}^2/10\text{ms}$ Y 方向: $122\text{ m/s}^2/10\text{ms} < 150\text{ m/s}^2/10\text{ms}$ OK
離脱速度	$74\text{ km/h} \geq 60\text{ km/h}$ (衝突速度の60%) OK
離脱角度	$9^\circ \leq 12^\circ$ (衝突角度の60%) OK

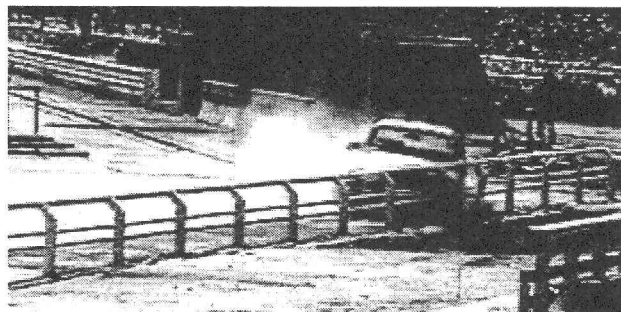


写真-3 小型車衝突実験

4.5 衝突実験による性能評価

衝突実験B（小型車）での第1回目では加速度が基準値を上回ったものの、衝突実験A（大型車）の結果に影響を及ぼさない形での改良（外形に変化なく剛性を上げたのみの改良）により、第2回目の衝突実験で基準を満たすことができた。これら3回の衝突実験結果により、防護柵設置基準の要求する性能をすべて満たすことが確認できた。

5. 3Dシミュレーションによる改良案の検討

5.1 シミュレーション検討の必要性

現在、車両用防護柵の性能は、防護柵設置基準により実車衝突実験で確認することとなっている。しかし、実車衝突実験はあまりに動的な要素が多いためその結果をあらかじめ予測することが極めて困難である。特に小型車衝突実験は、高速度衝突であるため、その難度が高い。このため、車両用防護柵の開発には多くの時間、費用を要する。実車衝突実験の代替とまではならずとも、精度良くシミュレートできれば、実車衝突実験の回数を減少させることは可能であり、経済的（時間、費用）に防護柵開発を進めるためには、シミュレーションの検討はきわめて有効であると考えられる。

5.2 シミュレーションの適用

今回は前述した、衝突実験Bに着目し、第1回目で基準を超えた構造を如何に改良し、基準に適合できるかという観点でシミュレーションを試みた。したがって、衝突条件は、車両質量1(t)、衝突速度100(km/h)、衝突角度20(度)であり、評価項目は、乗員の安全性能、車両の誘導性能、構成部材の飛散防止性能である。なお、シミュレーションモデルとしては陽解法動的有限要素解析ソフトPAM-CRASH™を用いた。

5.3 衝突実験B第1回目の構造に対するシミュレーションモデルの適用

衝突実験B第1回目の構造に対して、陽解法動的有限要素解析ソフトPAM-CRASH™を適用した。衝突実験結果とシミュレーション-1の結果を比較・評価すると（表-5参照）、防護柵の性能のうち乗員の安全性能すなわちXおよびY方向の加速度以外は基準を満足しており、比較的一致しているかのように見えた。しかしながら、表-5の中でも、安全性能を評価する加速度値に関しては、150を越えている方向が実車衝突実験とシミュレーション-1ではX,Y方向が異なることが分かった。また、さらに詳細に加速度の波形を検討すると図-1で分かるように最大加速度の発生している時刻が実車衝突実験とシミュレーション-1では衝突の前半と後半というように異なることがわかった。

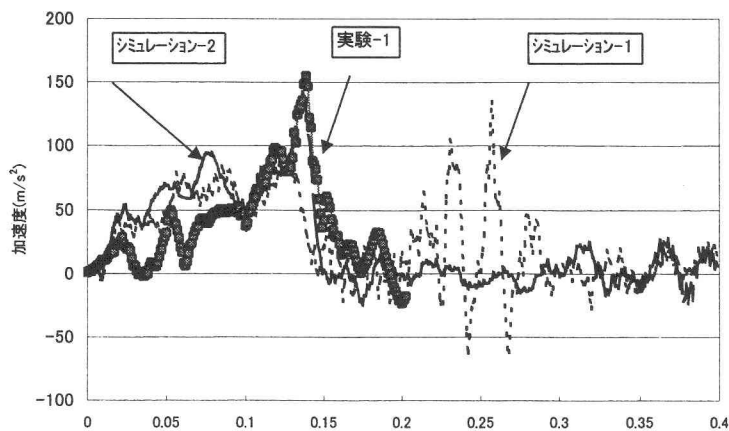
この実写衝突実験との乖離の原因として、シミュレーション-1における車両モデルに問題があると考え、車両モデ

ルの中のタイヤモデルの変更を行い、再度演算（シミュレーション－2）を行った。

このモデルの改良の結果、シミュレーション－2では表－5中のいずれの値も実車衝突実験の結果に極めて近く、また、さらに詳細な図－1中の加速度波形（最大値、発生時刻）も、実車衝突実験とよく近似する結果となった。すなわち陽解法動的有限要素解析ソフトPAM-CRASH™に対してモデル改良を行った改良型モデルの有効性が確認されたといつて良い。ただし、シミュレーションの加速度最大値の値そのものについては衝突実験値よりも約10%低く解析出力することから、次の改良構造の検討では最大値の割り増しを考慮し検討を行うこととした。

表－5 衝突実験B 1回目構造のシミュレーション

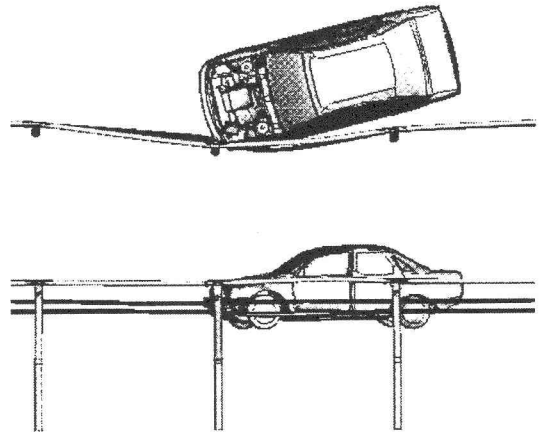
ガードパイプ構造			衝突実験B 1回目			評価基準
検証方法			衝突実験	シミュレーション		
				1	2	
部材の飛散防止性能			OK	OK	OK	
誘導性	離脱角度		7.12	2.9	10.9	12(度)以下
	離脱速度		60.1	62.0	68.8	60(km/h)以上
			OK	OK	OK	
安全性	10ms最大加速度	X (m/s ²)	155.8	134.8	141.8	150(m/s ²)未満
		(sec)	0.139	0.257	0.136	
		Y (m/s ²)	113.8	159.4	100.9	
		(sec)	0.111	0.224	0.135	
			NG	NG	OK	
参考	最大進入行程		0.435	0.457	0.479	－
	支柱最大変位量		0.3	0.371	0.372	－



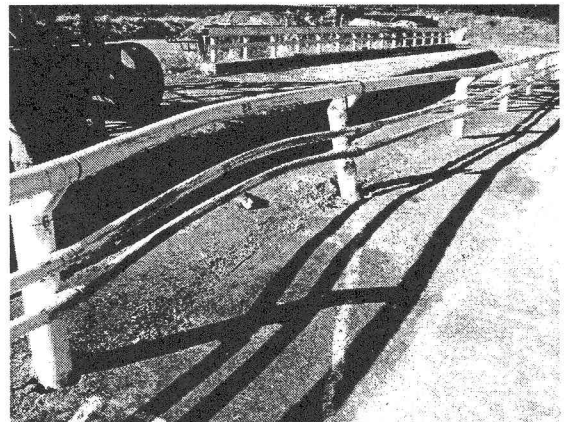
図－1 オリジナル構造の波形例（X方向）

5.4 改良構造の検討と検証

衝突実験B第1回目の構造で150(m/s²)を超える大きな加速度が発生した原因は前述したように車輪の支柱に対する衝突が大きなものと考えられる。さらにその前段階のタイヤが支柱に衝突した原因についてシミュレーションや実験結果から解析すると、車輪が支柱近傍でビームを押し込んだことが車輪の支柱への衝突の主な要因と推測することができた。（図－2、写真－4）



図－2 シミュレーションによる衝突状況



写真－4 衝突実験後のビームの変形

この車輪の支柱への衝突を軽減する対策としては、大型車の再検証を必要としないことを前提とし、強度低下が無い軽微な変更とすることにした。図－3にその対策を検討する流れを示す。経済性、施工性など総合的に勘案し、インナースリーブやブラケットを改良した構造の性能をシミュレーションにより確認した。そのシミュレーション結果を表－6に示す。シミュレーションによれば、インナースリーブ厚を4.5mmから6.0mmに増加させる改良が効

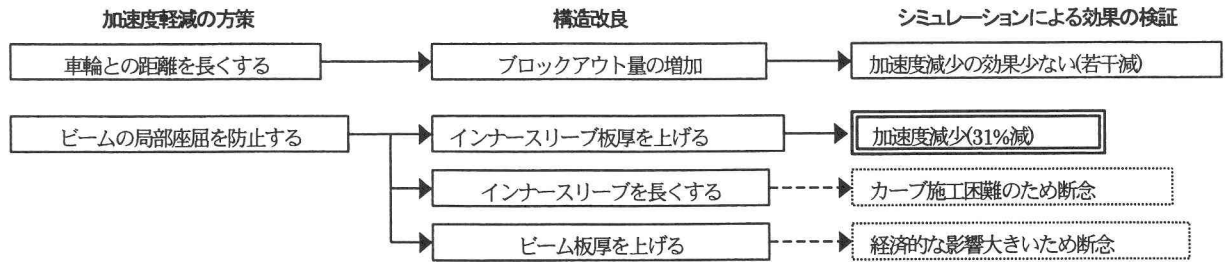


図-3 改良構造とその効果

表-6 改良構造の検証結果

検証方法		シミュレーション			衝突実験	
構造		第1回構造	改良		改良	
ガードパイプ 部材寸法 (mm)	インナ- 長	486	486	486	486	
	インナ- 板厚	4.5	<u>6.0</u>	<u>6.0</u>	<u>6.0</u>	
	フロッ クアウト	85	85	<u>90</u>	85	
誘導性	離脱角度(度)	10.9	7.91	8.1	9.0	
	離脱速度(km/h)	68.8	68.0	68.4	73.8	
安全性	10ms最大加速度	X (m/s ²)	141.8	109.1	106.6	121.8
		Y (m/s ²)	100.9	93.6	93.3	122.1

果的であり、第1回目の構造のシミュレーション結果に比べて3割程度の加速度の減少が期待できることが推測できた。それに比してブロックアウト量の増加の効果は比較的少なかった。このシミュレーション結果を受けて、改良案としてはインナースリーブ厚を増加させたものに決定した。第4節でも述べたがこの改良の結果加速度は予想通り減少し、基準に適合する結果を得ることができた。

5.5 シミュレーションの有効性

今回の改良案のシミュレーションではX方向で約1割、Y方向で約3割の誤差が出てしまった。今回は改良の目安として用いたため、この程度の精度でも実車衝突実験を行う際の目安としては十分なものであったが、事前検討として用いるためには精度を上げることが望まれる。

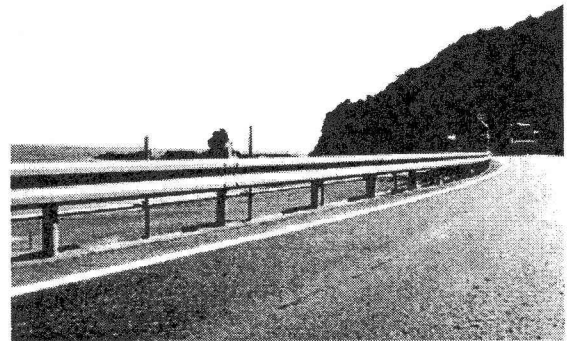
6. 整備事例

写真-5にこの種のガードパイプの整備事例を示す。特にこのように眺望の開けた場所での従来型の防護柵との相違は明らかといってよいと思われる。ただし、従来型の防護柵に比べればやはり価格の上昇は避けられず、その景観的評価と費用についてはさらに検討を行う必要がある。

7. 結論

本開発の特徴は以下の3点である。

①構造（機能）と形態とのバランスを重視したデザインで



事前



事後

写真-5 福島県内国道6号線整備事例

あること

- ②国レベルの基準の性能評価型への変更に呼応した開発であること
 - ③特注品ではなく標準品の開発であること
- 大規模な一つだけのモデル的な橋などのデザインばかりでなくこのような小さくとも標準品となりうる開発も今後重要であると考える。

参考文献

- 1) 防護柵設置要綱・同解説 道路協会 1972
- 2) 防護柵設置基準・同解説 道路協会 1998

(2003年9月12日受付)