

プレキャスト型車両用防護柵の開発

Development of a Precast-type Guard Fence for Vehicles

三澤孝史* 石井敏之* 川口昇平* 高島通男** 中村方紀***

要旨

我が国の高速道路の多くは高度経済成長期に建設され、供用期間が 40 年を超える構造物が増えている。これらの構造物は経年劣化が進んでおり、補修や更新などの対処が必要となっている。今回、高速道路の路側の車両用防護柵を対象に、施工性に優れたプレキャスト型の剛性防護柵を開発した。開発した防護柵は、高速道路の高架・橋梁部にも適用可能な防護柵の種別：SB 種の性能を有するものである。SB 種の性能を確認するために静的載荷試験の実施後、最終的に車両衝突試験を（財）土木研究センターに依頼して実施した。その結果、大型車および乗用車による車両衝突試験の要求性能を満足し、開発した防護柵が SB 種の性能を有することを確認した。

キーワード：車両用防護柵、プレキャスト、車両衝突試験

1. まえがき

我が国の高速道路の多くは高度経済成長期に建設され、供用期間が 40 年を超える構造物が増えている。これらの構造物は経年劣化が進んでおり、補修や更新などの対処が必要となっている。一方で、流通や緊急輸送路として都市部の交通網の重要性はますます高まっており、通行止めや交通規制の社会的影響が大きくなっている。そのため、首都圏では外環道や圏央道などの道路ネットワークの整備を待って、首都高速道路の大規模更新の実施時期の検討が進められている¹⁾。

しかし、既存の高架橋を供用しながら、劣化した箇所のみを更新できれば、交通規制による経済損失とインフラのライフサイクルコストを低減することが可能である。この部分更新技術の一環として、高速道路高架橋の車両用防護柵に適用できる早期施工が可能なプレキャスト型の剛性防護柵（以下、プレキャスト高欄）を開発した。本プレキャスト高欄は、劣化した既設防護柵の更新、交通事故による防護柵の損傷時の取り替えとともに新設時への適用を目指して開発したものである。

車両用防護柵は道路区分や設計速度、区間の別により表 1 のように分類される²⁾。今回開発するプレキャスト高欄の目標性能として、高速道路に適用可能な車両用剛性防護柵の種別：SB 種を目指した。そのためには、実車両による車両衝突試験により、SB 種の性能を有することを確認する必要がある。

本報では、開発したプレキャスト高欄の概要、構造性能を確認するために行った静的載荷試験結果および実車

両を用いた車両衝突試験結果について報告する。

2. プレキャスト高欄の概要

開発したプレキャスト高欄の概要を図 1 に示す。図 1 に示すように、プレキャスト高欄は、厚さ 200mm の RC 製の直壁（以下、RC 壁）と鋼製地覆により構成されている。

RC 壁と鋼製地覆は上下 2 段の連結ボルトにより一体となっている。床版へは鋼製地覆を金属系アンカーにより固定することによりプレキャスト高欄を床版に設置する。

このプレキャスト高欄の特徴を以下に示す。

表 1 防護柵種別の適用区分²⁾

道路の区分	設計速度 (km/h)	一般区間		重大な被害が発生するおそれのある区間		新幹線などと交差または近接する区間	
		種別	衝撃度 (kJ)	種別	衝撃度 (kJ)	種別	衝撃度 (kJ)
自動車専用道路	100 以上	A	130	SB	280	SS	650
	80 以上						
	60 以下			SC	160	SA	420
のそ道路他	60 以上	B	60	A	130	SB	280

*技術研究所 **東日本支社東京支店 ***東日本支社東北支店

- i. 想定される衝突荷重に対しては、地覆のリブが弾性範囲で容易に変形し、衝撃による荷重を緩和する
- ii. 過大な荷重に対しては、地覆のリブが降伏し、車両の路外への逸脱を防ぎつつ、壁全体の変形を許容することにより、衝撃荷重を緩和し、床版と RC 壁の損傷を抑制する

プレキャスト高欄 1 基の長さは、設置、運搬の取り扱い易さ（長さ、重量）を考慮して 2m とした。隣接するプレキャスト高欄は、RC 壁をボルトにより連結している。プレキャスト高欄の耐力は、鋼製地覆の断面性能を調整することによって設定することができる。

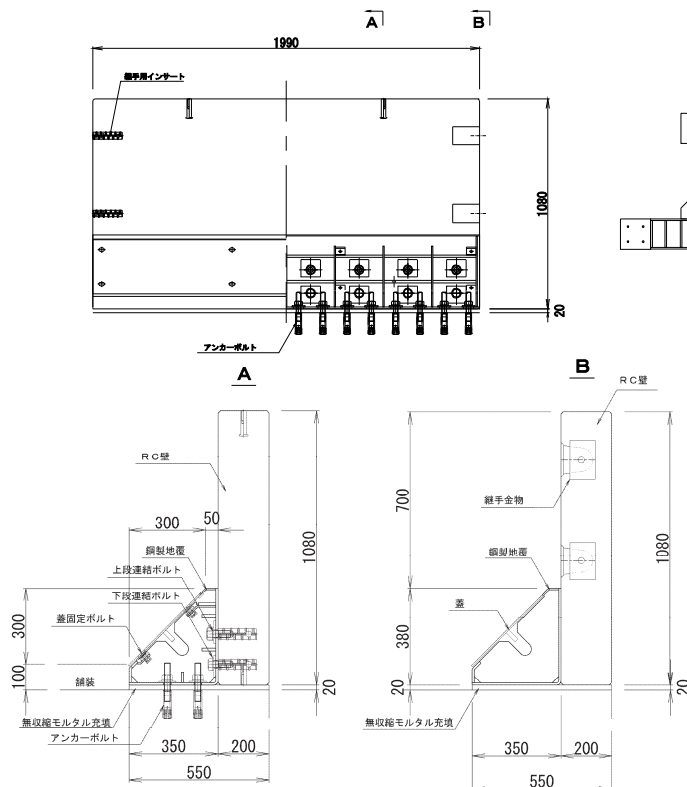


図-1 プレキャスト高欄の概要

以降は変位制御で荷重した。

b. 計測項目

主な計測項目は、載荷荷重、変位（載荷点、RC 壁）、RC 壁の鉄筋ひずみ、プレキャスト高欄の地覆の鋼材ひずみ、アンカー軸力、RC 壁と地覆間の連結ボルトのひずみである。図-3 に計測配置を示す。

3.2 静的載荷試験結果

a. 荷重-変位関係

荷重と載荷位置の変位関係を図-4 に示す。

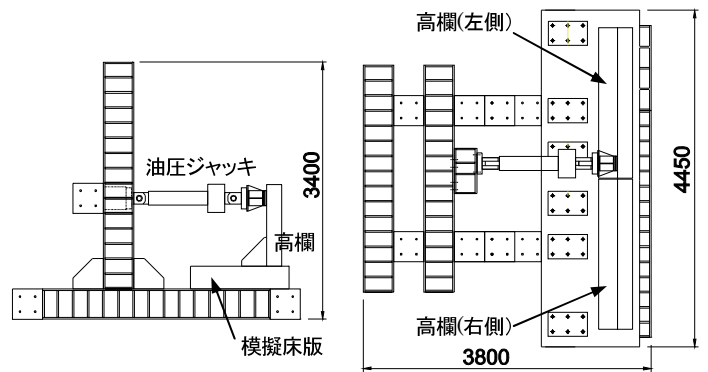


図-2 載荷装置

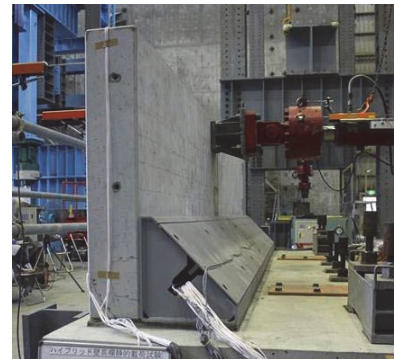


写真-1 載荷状況

3. 静的載荷試験

3.1 静的載荷試験の概要

プレキャスト高欄の構造性能を確認するために静的載荷試験を実施した。

a. 試験体および試験方法

載荷装置を図-2 に示す。試験体は、実大のプレキャスト高欄を用い、2 基を接続した。プレキャスト高欄は模擬床版に金属製アンカーにより定着させた。載荷状況を写真-1 に示す。

試験体の使用材料を表-2 に示す。

載荷は油圧ジャッキにより、プレキャスト高欄の端部を単調増加で、地覆のリブが降伏するまでは荷重制御で、

表-2 プレキャスト高欄の仕様

部 位	仕 様
RC 壁	コンクリート $f'_{ck}=30N/mm^2$
	鉄筋 主筋 D16 (SD345) 配力筋 D13 (SD295A)
地覆	鋼製 SS400
RC 壁と地覆の連結ボルト	M27、SS400
アンカー	M24、SS400
高欄間の接続ボルト	M22、強度区分 8.8

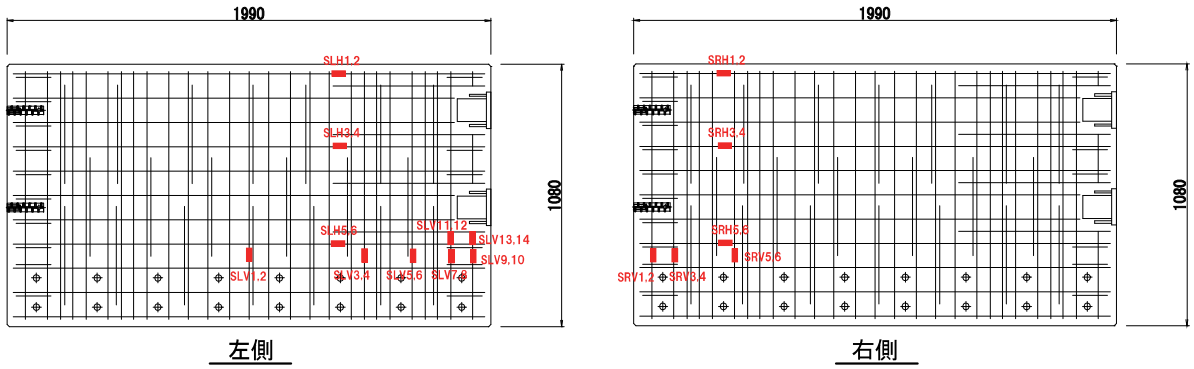


図-3 (1) RC 壁・鉄筋ひずみの計測配置

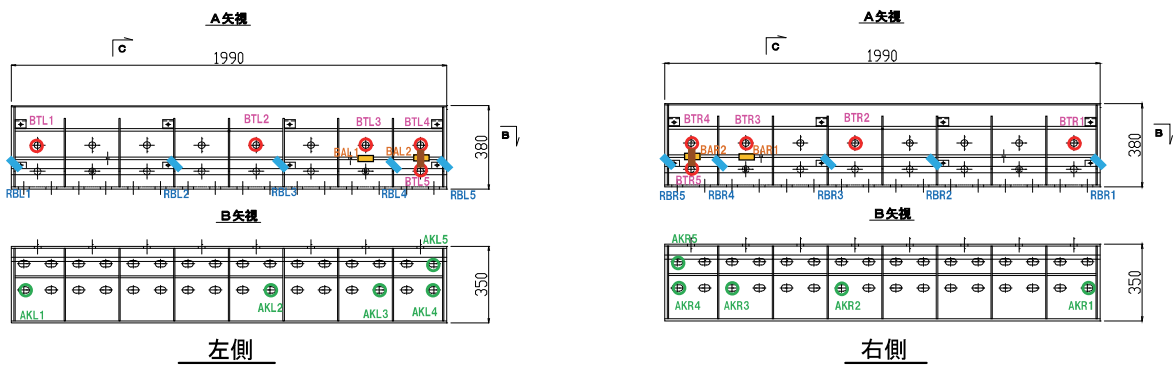


図-3 (2) 鋼製地覆のひずみの計測配置

図-4 より、試験の最大荷重は約 270kN であり、設計荷重 150kN 以上の荷重を示した。荷重が約 220kN において地覆のリブ 1 枚が材料試験から求めた降伏ひずみに達した。

実降伏強度から算出されるリブの降伏荷重と試験値は概ね合致しており、ほぼ設計通りにリブが降伏している。

b. 地覆のリブのひずみ

図-5 に、地覆のリブのひずみ計測結果を示す。

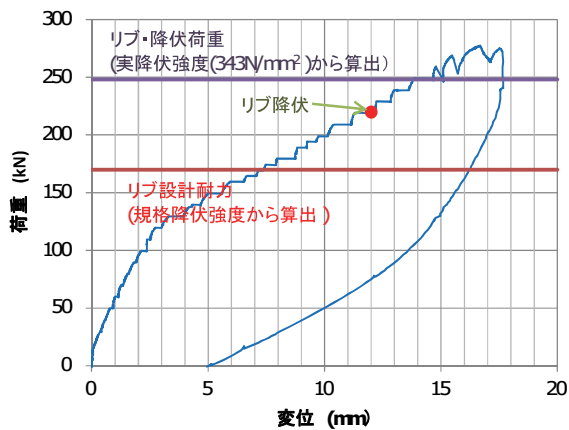


図-4 載荷点における荷重-変位関係

設計荷重 150kN ではリブは降伏していない。荷重が約 210kN で左側の試験体の中央のリブ (RBL3) が降伏し、約 270kN でさらに左側のリブ (RBL2) が降伏した。図示していないが、右側の試験体のリブのひずみは、最大荷重時においても全て 1200 μ 以下であり、左側の試験体に比べ小さい。

c. RC 壁の鉄筋のひずみ

図-6 に、高欄の RC 壁の主鉄筋のひずみの計測結果の一例を示す。

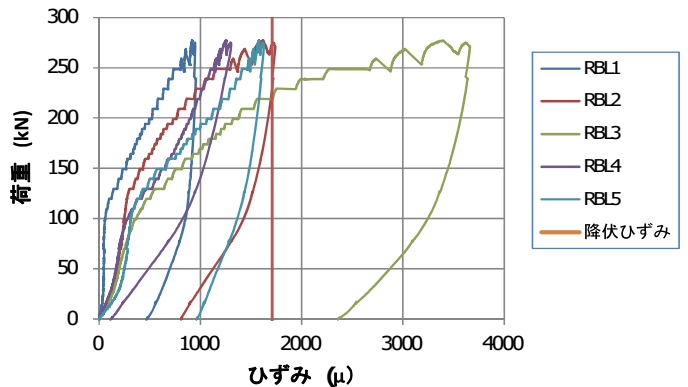


図-5 リブのひずみ (左側・試験体)

左右の試験体の主筋および配力筋は、最大荷重時においても降伏していない。これは、リブが先に降伏したため、RC 壁の鉄筋は降伏しなかったと考えられる。また、主鉄筋のひずみについては、載荷側である左の試験体に比較的大きなひずみが発生している。

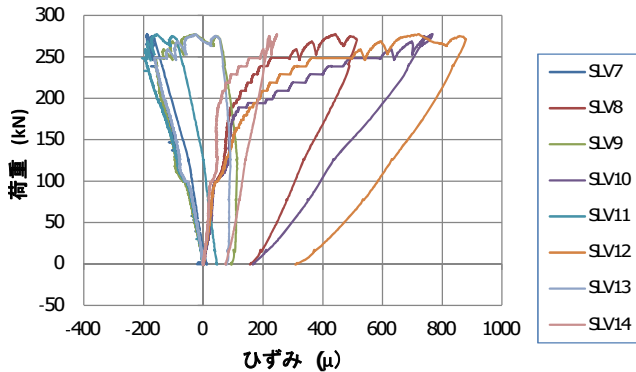


図-6 主筋ひずみ (左側・試験体)

d. 破壊状況

載荷試験終了時のひび割れ状況を写真-2に、ひび割れ状況のスケッチを図-7に示す。

約 160kN で曲げひび割れが発生し、以降、荷重の増加とともにひび割れ本数が増加していった。最終的には、載荷部近傍のコンクリートの押し抜き破壊により荷重が低下した。



写真-2 ひび割れ状況 (載荷試験終了時)

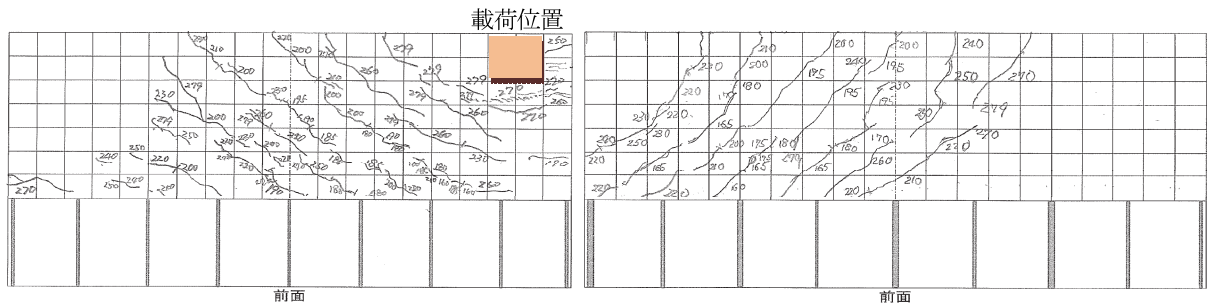


図-7 ひび割れ状況 (載荷試験終了時)

4. 車両衝突試験

4.1 試験概要

(財) 土木研究センターに依頼し、(独) 国土総合研究所の衝突試験場において、プレキャスト高欄が剛性防護柵の種別：SB 種の性能を有することを確認するため、以下に示す試験条件 A、B の実車両による車両衝突試験を実施した。

条件 A (大型車) :

車両質量 20.0t、衝突速度 75km/h、衝突角度 15°
衝撃度 291kJ

条件 B (乗用車) :

車両質量 1.0t、衝突速度 100km/h、衝突角度 20°

車両衝突試験の試験項目を表-3に示す。

一般的に、防護柵の強度を上げると大型車の路外逸脱防止性能 (条件 A) は高くなるが、一方で緩衝性が低下し衝突時に乗員車等の乗員に及ぼす被害 (条件 B) が大きくなる。従って、車両の路外逸脱防止性能と乗員被害の防止・軽減性とのバランスを取る必要がある。

車両衝突試験の試験条件 B においては、車両衝突時の乗員の安全性が主な評価項目の一つである。評価指標は、表-3に示すように、車両重心加速度である。これまで車両衝突試験により SB 種の性能を確認されている剛性防護柵は、フロリダ型、単スロープ型のみであり、今回開発したプレキャスト高欄のような直壁型は実績がない。これまでの知見から車両重心加速度は防護柵前面の形状の影響が大きいと言われている。

写真-3に試験条件 A 用のプレキャスト高欄設置状況を示す。条件 A ではプレキャスト高欄を 12 基 (全長 24m)、条件 B では 6 基 (全長 12m) を設置した。配置図を図-8に示す。条件 A、B ともプレキャスト高欄の端部が車両の計画した衝突点である。

4.2 試験結果

写真-4、5に条件 A、B の車両衝突試験状況を示す。

写真-6に条件 A の車両衝突後のプレキャスト高欄を示す。プレキャスト高欄に付着しているペンキの跡は、

表-3 車両衝突試験の測定項目

測定項目		条件区分	評価項目	
車両の逸脱防止性能	防護柵の強度性能	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
	防護柵の変形性能	A	剛性防護柵の塑性変形	・主たる部材に塑性変形が生じないこと
乗員の安全性		B	車両重心加速度	・10ms 移動平均が $200\text{m/s}^2/10\text{ms}$ 未満であること
車両の誘導性能		共通	車両の挙動	・車両は防護柵に衝突後、横転等を生じないこと
			離脱速度	・離脱速度は衝突速度の 6 割以上であること
			離脱角度	・離脱角度は衝突角度の 6 割以下であること
構成部材の飛散防止性能			部材の飛散状況	・車両衝突時に防護柵の構成部材が大きく飛散しないこと



写真-3 プレキャスト高欄設置状況 (条件A)

車両の接触箇所を識別できるように試験直前に車両に塗布したペンキが付着したものである。

試験状況を記録したビデオ等により、大型車は左前輪が地覆に乗り上げ、左バンパー、フェンダーおよび前輪の順でプレキャスト高欄の RC 壁に衝突した。その後、車両は RC 壁を駆け上がりとともに向きを変え、後部および後輪が衝突した。車両は左車輪が地覆に乗り上げるようにプレキャスト高欄に沿って進んだ。プレキャスト高欄から離脱後、車両は横転、転覆することなく誘導された。大型車の衝突に対しプレキャスト高欄は突破されることはなく、主要部材の塑性変形も見られなかった。

図-9に、条件 A におけるプレキャスト高欄の鋼製地覆・リブのひずみの計測結果の一例を示す。横軸の時間は計測開始からの時間を示している。図-9に示すように、ひずみの計測波形には、最初に車両の前部がプレキャスト高欄に衝突した時点と、車両の後部が衝突した時点における2つのピークが見られる。車両後部がプレキャスト高欄に衝突する時点では、まず車両前部が衝突することにより衝突エネルギーを消費しているため、ひ

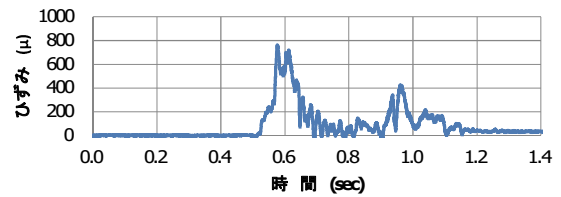
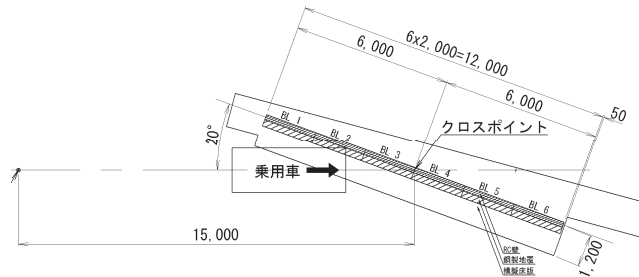
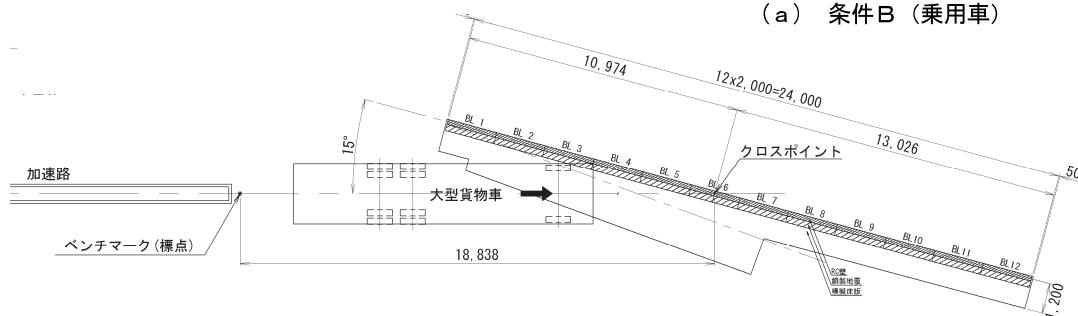


図-9 プレキャスト高欄の地覆・リブのひずみ



(a) 条件B (乗用車)



(b) 条件A (大型車)

図-8 車両衝突試験のプレキャスト高欄配置図



写真一 4 車両衝突試験状況 (条件 A)



写真一 5 車両衝突試験状況 (条件 B)



写真一 6 (1) 車両衝突試験後の状況 (条件 A)



写真一 6 (2) 車両衝突試験後の状況 (条件 A)

ずみは車両前部の衝突時に比べ小さくなっている。

また、その他の地覆のリップのひずみも全て 1000μ 以下であり、線形範囲内である。条件 B の乗用車の場合も、大型車と同様に、左前輪が地覆に乗り上げ、左バンパー、フェンダーおよび前輪の順でプレキャスト高欄の RC 壁に衝突した。その後、車両は RC 壁を駆け上がるとともに向きを変え、後部および後輪が衝突した。プレキャスト高欄から離脱後、車両は横転や転覆することなく誘導された。

条件 B では、乗員の安全性の評価項目である車両重心加速度は $200\text{ m/s}^2/10\text{ms}$ 未満であり、所要の性能を満足した。

車両の挙動、離脱速度、離脱角度で評価する車両の誘導性能および部材の飛散防止性能についても試験 A、B とも所要の性能を満たした。

以上のように、条件 A、B ともに、試験の全ての評価項目を満足し、SB 種の性能を有することを確認した。

5. あとがき

施工性に優れたプレキャスト型の車両用剛性防護柵の開発に取り組み、目標である高架や橋梁部の高速道路にも適用できる車両用剛性防護柵の種別：SB 種の性能を有することを車両衝突試験により証明することができた。

今後、劣化した車両用防護柵の更新、修繕や新設への適用を目指していきたい。

なお、本開発は IHI 建材工業との共同開発である。

【参考文献】

- 1) 「首都高速道路構造物の大規模更新のあり方に関する調査研究委員会 報告書」、2013.1
- 2) (社)日本道路協会、「防護柵の設置基準・同解説」、2008.1