

高欄の更新技術

西山 宏一・川口 昇平・三澤 孝史

都市高速道路では、供用期間が40年を超えて劣化および損傷が進んだコンクリート製剛性防護柵の更新が課題となっている。そこで、高速道路の路側の車両用剛性防護柵を対象に、早期に機能回復が可能な高欄更新技術の開発を行ったので紹介する。この技術は大きく2つの要素技術で構成される。ひとつは、養生期間が不要で、施工性に優れたプレキャスト型の剛性防護柵であり、都市高速道路で必要とされるSB種の要求性能を満足する。もうひとつは、無水ワイヤーソーを用いて鉛直・水平方向の同時切断を実現し、既存の剛性防護柵を短時間で撤去する技術である。この2つの技術により、老朽化が進む剛性防護柵に対する迅速な更新が可能となり、結果として車両衝突時の安全性向上に寄与できることを期待する。

キーワード：プレキャスト、剛性防護柵、車両衝突試験、無水ワイヤーソー、機械化、SB種、更新

1. はじめに

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、経年劣化は進行し補修や更新等が必要となっている。高速道路高架橋の車両用防護柵も例外ではない。「防護柵」の目的は、主として進行方向を誤った車両が路外、対向車線または歩道等に逸脱するのを防ぐとともに、車両および乗員が受ける衝撃力を最小限にとどめて、車両を正常な進行方向に復元させることとある。しかし、経年劣化や繰り返しの損傷等により、所要の機能を果たさなくなったとき、特に都市部では大きな災害につながるリスクが高くなる。このような所要の性能を満たさなくなった車両用防護柵を補修更新するには、施工ならびに養生期間に応じた長期にわたる車両の交通規制が必要となるが、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、通行止めなどの交通規制による社会的影響が大きくなっているため、道路管理者等からは既存の高架橋を供用しながらの劣化した箇所のみを更新する技術や工期短縮につながる技術などが求められている。このような技術によって、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も可能となる。この部分更新技術の一つとして、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、PCa高欄）および既設の剛性防護柵を交通規制帯の狭隘な作業スペースでも迅

速な撤去を可能とする無水ワイヤーソーによる切断装置を開発した。なお、本PCa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に加え新設構造物への適用を目指して開発したものである。

本報では、開発したPCa高欄と切断装置の性能確認試験及び実証施工の結果について報告する。

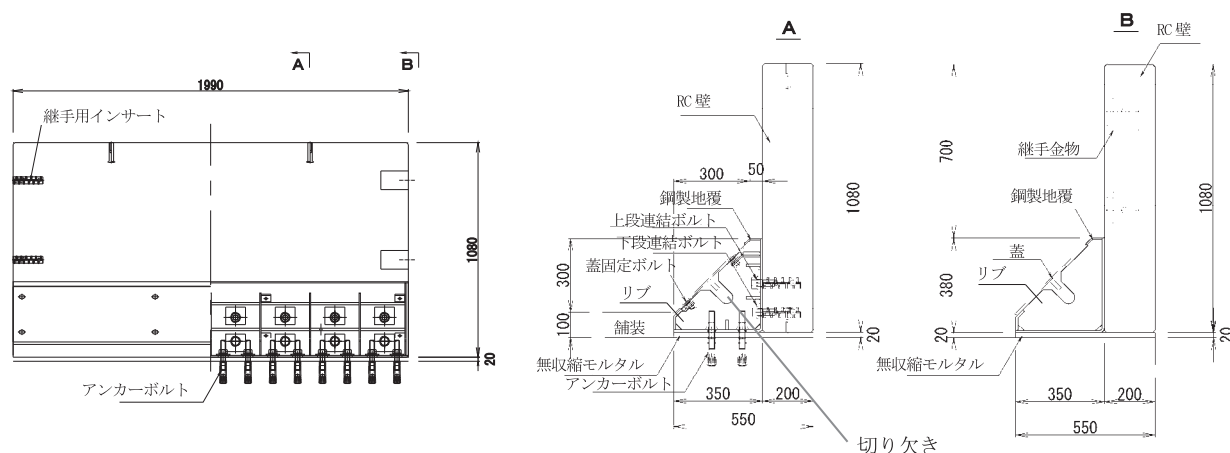
2. PCa高欄

(1) PCa高欄の概要

開発したPCa高欄の概要図を図1に示す。PCa高欄は、厚さ200mmのRC製の直壁（以下、RC壁）と鋼製の地覆（以下、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（16本）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。このPCa高欄の特徴を以下に示す。

- i. 想定される衝突荷重に対しては、地覆のリブが弾性変形することで、車両および乗員が受ける衝撃力を緩和する。
- ii. 想定よりも過大な荷重に対しては、地覆のリブが降伏することでRC壁の損壊を防ぎ、車両の路外への逸脱を防ぎつつ、衝撃荷重を緩和し、床版の損傷を低減する。

PCa高欄1基の長さは、設置、運搬の取り扱い易さ（長さ、重量（約1.5t））を考慮して2mとした。隣接す



図一1 PCa 高欄の概要図

るPCa 高欄は、継ぎ目の段差の発生を防ぐためRC 壁間をボルトにより連結している。PCa 高欄の耐力および変形性能は、鋼製地覆のリップの板厚および切り欠き深さを調整することによって設定することができる。

(2) 車両衝突試験

車両用防護柵は道路区分や設計速度、区間の別により表一1のように分類される¹⁾。今回開発したPCa 高欄は、高速道路に適用可能な車両用剛性防護柵の種別：SB種の性能とした。SB種の性能を確認するためには、実車両を用いた車両衝突試験による性能評価を受ける必要がある。以下に(財)土木研究センターに委託実施した、車両衝突試験(性能評価)の概要と結果を示す。

(a) 試験概要

国土交通省国土技術政策総合研究所の衝突実験施設

において、PCa 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。

試験条件A(大型車)：

車両質量20.0t、衝突速度75km/h、衝突角度15°

試験条件B(乗用車)：

車両質量1.0t、衝突速度100km/h、衝突角度20°

車両衝突試験の測定項目を表一2に示す。写真一1に試験条件A用のPCa 高欄設置状況を示す。試験条件AではPCa 高欄を12基(全長24m)、試験条件Bでは6基(全長12m)を使用した。試験条件A, Bとも、PCa 高欄の弱部と想定されるRC壁端部を車両の計画衝突点としている。

(b) 試験結果

写真一2, 3に試験条件A, Bの車両衝突試験状況

表一1 防護柵種別の適用区分¹⁾

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)
高速自動車国道 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
その他の道路	60 以上	B	60	A	130	SB	280

表一2 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	・10 ms 移動平均が200 m/s ² /10 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



写真一 1 PCa 高欄設置状況 (試験条件 A)



写真一 2 車両衝突試験状況 (試験条件 A)



写真一 3 車両衝突試験状況 (試験条件 B)

を示す。試験条件 A では、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 PCa 高欄の RC 壁に衝突した。その後、車両は左車輪が地覆に乗り上げながら PCa 高欄に沿って進むとともに向きを変

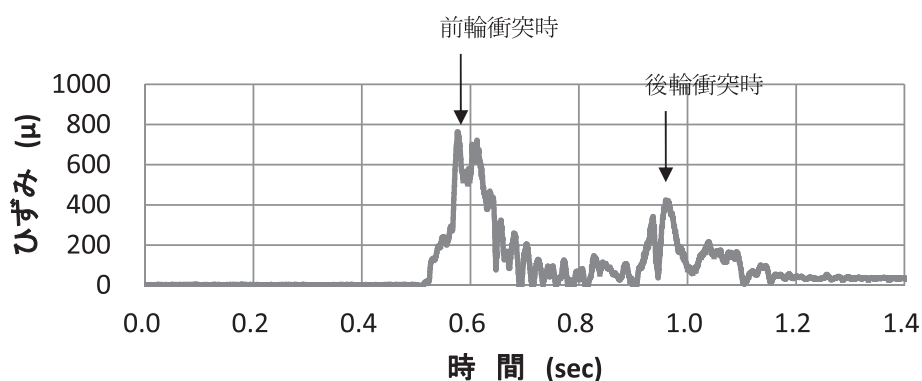
え、車両後部および後輪が衝突した。PCa 高欄との接触後、車両は路外に逸脱することなく、かつ横転することなく路内に適正に誘導された。また、大型車の衝突に対し PCa 高欄の部材の飛散はなく、主要部材に塑性変形は生じなかった。

図一 2 に、試験条件 A における PCa 高欄の鋼製地覆のリブのひずみ計測結果の一例を示す。横軸は計測開始からの時間を示している。ひずみの計測波形には、車両の前輪が PCa 高欄に衝突した時点と、後輪が衝突した時点における 2 つのピークが見られる。車両前部が衝突することによりエネルギーを消費した結果、車両後部が PCa 高欄に衝突した際のひずみは車両前部の衝突時に比べ小さくなったものと考えられる。また、その他の地覆のリブのひずみも全て 1000μ を下回り、弾性範囲内であった。

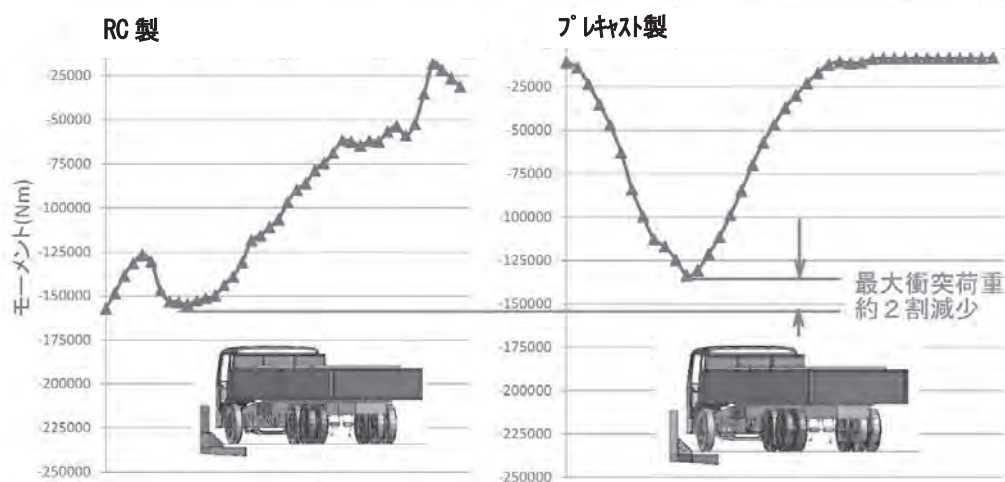
試験条件 B では、乗員の安全性の評価項目である車両重心加速度は $200 \text{ m/s}^2/10 \text{ ms}$ 未満であり、所要の性能を満足した。車両の挙動、離脱速度、離脱角度で評価する車両の誘導性能および部材の飛散防止性能についても条件 A、B とも所要の性能を満たした。以上のように、試験条件 A、B ともに、試験の全ての評価項目を満足し、直壁型の剛性防護柵では、初めてとなる SB 種の性能を有することが確認された。

(3) 解析による緩衝性能の確認

剛性防護柵性能確認試験の試験条件 A を対象に、剛性防護柵および床版をモデル化した 3 次元 FEM による衝突解析により、車両衝突時の床版への影響を検討した。解析ソフトは、衝突・衝撃シミュレーションに実績のある構造解析プログラム PAM-CRASH (動的陽解法) を使用した。解析結果を図一 3 に示す。解析結果より、既存の剛性防護柵に比べ、PCa 高欄では床版に作用する最大衝突荷重が約 2 割低減し、車両衝突時における床版への緩衝性能を有することを確認した。



図一 2 PCa 高欄の鋼製地覆のリブのひずみ



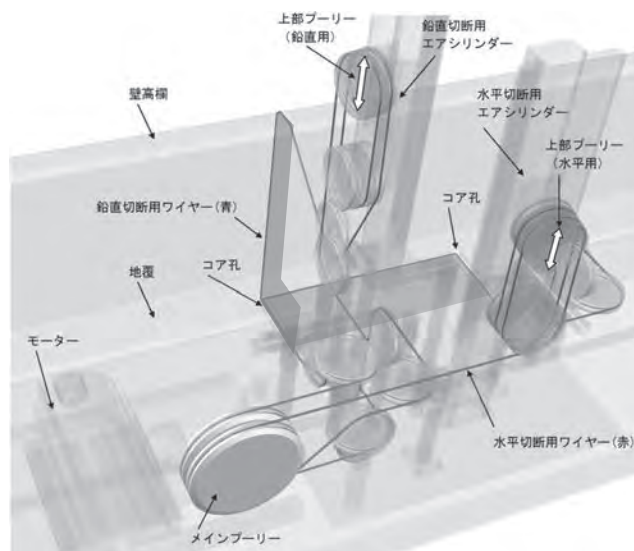
図—3 衝突シミュレーションによる床版作用モーメント比較

3. 無水ワイヤーソーによる2面同時切断装置

(1) 切断装置の概要

開発した切断装置は、無水ワイヤーソーにより剛性防護柵の水平面と鉛直面を同時に切断できる。一般的なワイヤーソーによる切断では、湿式のワイヤーソーが用いられるが、切断作業時の周囲への水の飛散および排水処理を避けるため、水を全く使わない無水ワイヤーソーを採用した。図—4に本装置による水平、鉛直面の切断概念図を示す。開発した幅2mのPCa高欄を設置するために、2.0～2.5m程度の間隔で鉛直面2面および水平面を同時切断できる装置の開発を行った。切断幅を2mと想定すると、一つの鉛直面の切断面積に対して水平面の切断面積が4倍程度になり、同時切断すると切断時間に大きな差を生じる。そこで、水平と鉛直の切断完了時間の差（待ち時間）を小さくするために、水平面は中間にコア孔を設け、切断面をコア孔の左右で分割する方針とした。そして、水平切断面と鉛直切断面に用いる各ワイヤーは、1箇所のコア孔を共有して通す方法を採用した。

図—5に切断装置の概要図を示す。今回製作した切断装置は、1台のモーター（7.5kW）およびメインプーリー1基により、複数のプーリーを介して水平切断用および鉛直切断用ワイヤーを回転させる。水平お



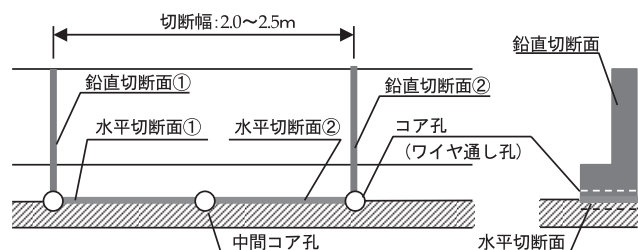
図—5 切断装置の概要図

よび鉛直切断用ワイヤーには、エアシリンダーにより上部プーリーを上昇させることにより、張力をかける機構となっている。この切断装置を用い、図—4に示す左半分の水平切断面①と鉛直切断面①の2面を同時に切断する。同様に右半部の水平切断面②と鉛直切断面②の2面同時切断を行い、左右から同時に施工することで約2mの壁高欄を最小限のサイクルタイムで切断することができる。

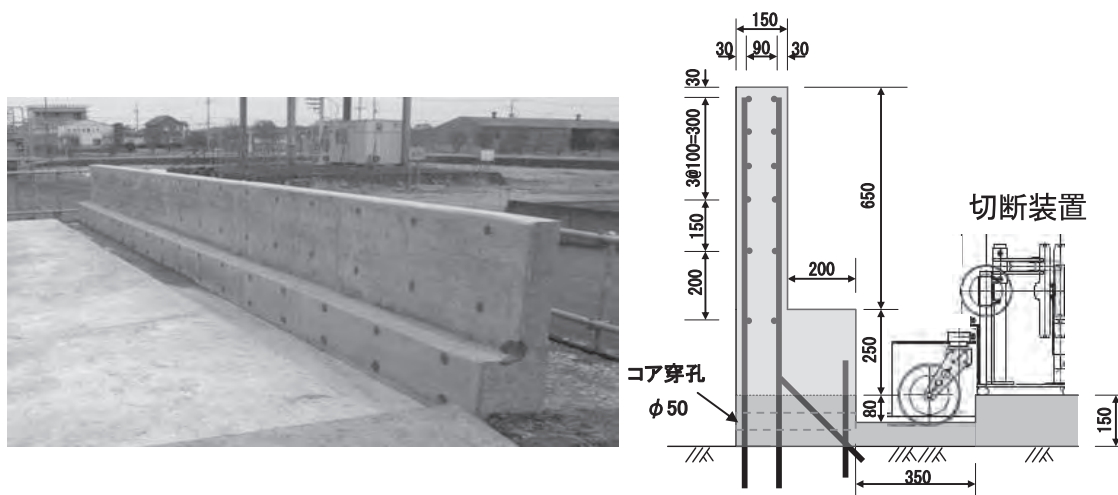
(2) 性能確認試験

(a) 試験概要

図—6に示す実物大の剛性防護柵の試験体を製作して、切断装置の性能確認試験を実施した。防護柵の配筋は実構造物と同様とした。コンクリート強度は呼び強度 24 N/mm^2 、防護柵部の鉄筋は D13 (SD295A) を使用した。実施工では、ワイヤーを通す孔は、予め開けておくのが一般的なため、事前にコア削孔 (ϕ

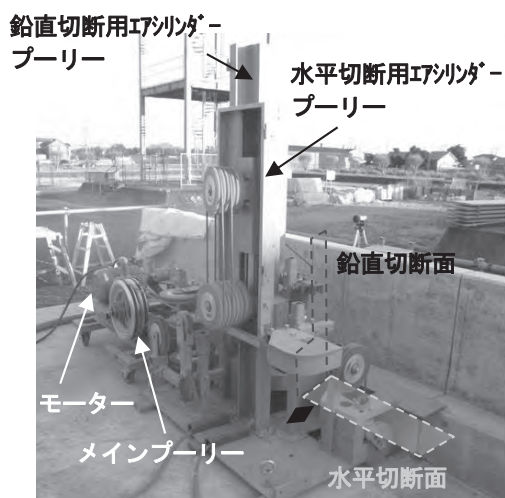


図—4 水平、鉛直面の切断概念図



図一六 実物大の車両用防護柵試験体

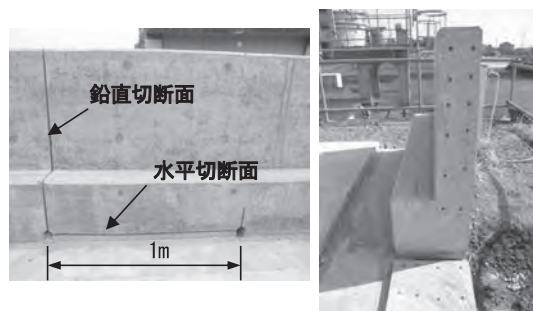
50 mm) した。また、実際の道路面を想定し、舗装に当たる部分を深さ 80 mm 切り欠いた。試験状況を写真一 4～6 に示す。ワイヤーの状況を確認するため、プリーカバーは外して試験した。切断面には防塵カバーを取り付け、集塵機により吸引した。



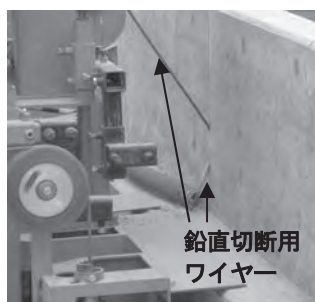
写真一四 性能確認試験状況

(b) 試験結果

写真一 7 に切断終了後の試験体を示す。図一 7 に、試験結果の一例として、切断装置のモーターの電流およびインバーター周波数の経時変化を示す。図一 7 に示すように、ワイヤーが滑らかに回転するまでは、モーターのインバーター周波数を 20 Hz 程度の低回転で切断開始し、徐々に回転数を上げ、約 60 Hz で定常運転した。水平および鉛直切断が完了に近づくとき回転数を徐々に低下させ、ほぼ同時に 2 断面の切断が終了した。切断時間は約 32 分であった。切断時の粉塵は、防塵カバーおよび集塵機による吸引によって視認できないような粉塵の漏れはなかった。



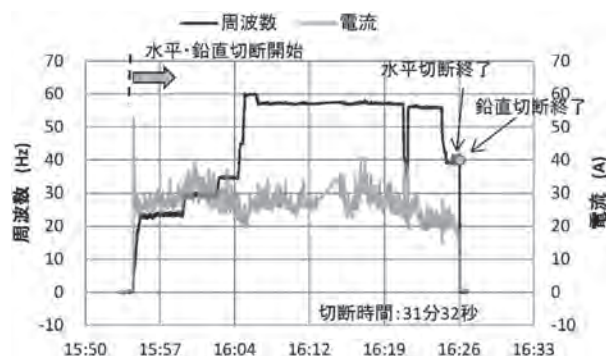
写真一七 切断終了後の試験体状況



写真一五 鉛直面の切断状況



写真一六 水平面の切断状況



図一七 モーターの電流およびインバーター周波数の経時変化

(3) 実証施工

門型柱設置工事で高速道路高架橋の中央分離帯にアンカーフレームを設置するため、剛性防護柵を部分的に撤去する必要があり切断装置を適用した。切断範囲を図—8に示す。水平切断位置が舗装面から380 mm上方にあるため、切断装置を架台に載せて施工した。切断手順は撤去ブロックが縦800 mm、横700 mmと小さく独立しているため、2断面切断①、②の施工後、鉛直切断①、②を行い撤去した。施工状況を写真—8に示す。切断撤去後の切断面を写真—9に示す。水平・鉛直の切断精度も良好であった。また、切断時における粉塵の漏れもなかった。2断面切断の作業時間を表—3に示す。2断面切断の作業時間は、面積に関係なく性能確認試験および実証施工ともに30分前後であった。課題は、切断以外の資機材搬入、移動、切断準備、片付け、搬出の作業時間を短縮することである。



写真—8 施工状況



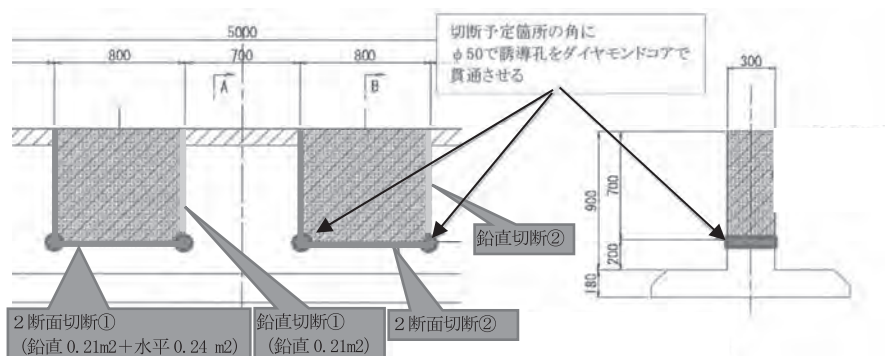
写真—9 切断撤去後の切断面

表—3 性能確認試験での作業時間

作業内容	作業時間	
	性能確認試験	実証施工
資機材搬入～切断準備完了	72 分	74 分
切断開始～切断完了 (1 回目)	46 分	32 分
移動～切断準備完了	52 分	47 分
切断開始～切断完了 (2 回目)	32 分	29 分
片付け～搬出	55 分	49 分

切断面積：性能確認試験 (水平 0.38 m^2 + 鉛直 $0.19 \text{ m}^2 = 0.57 \text{ m}^2$)

：実証施工 (水平 0.24 m^2 + 鉛直 $0.21 \text{ m}^2 = 0.45 \text{ m}^2$)



図—8 切断範囲

4. おわりに

施工性に優れたプレキャスト型の剛性防護柵の開発に取り組み、目標である高速道路高架橋に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。また、無水ワイヤーソーによる2面同時切断装置の性能を実物大の試験体を用いた切断試験および実証施工により確認することができた。今後、劣化した剛性防護柵の更新、修繕や新設への適用を目指していきたい。

謝 辞

最後に、本PCa高欄はIHI建材工業(株)との共同研究により開発に至ったものである。また、本切断装置の開発に当たっては、(株)アクティブの協力を受けた。両社の協力に謝意を表します。

J C M A

《参考文献》

- 1) (社)日本道路協会, 「防護柵の設置基準・同解説」, 2008.1

【筆者紹介】

西山 宏一 (にしやま こういち)
(株)奥村組
東日本支社 リニューアル技術部 技術課
課長



川口 昇平 (かわぐち しょうへい)
(株)奥村組
社長室 経営企画部 企画課



三澤 孝史 (みさわ たかし)
(株)奥村組
技術研究所 土木研究グループ
グループ長

