

# 急速施工と高耐久性を目指した 新たなプレキャスト壁高欄の開発と衝突安全性能

Development of New Precast Concrete Railing which aimed at Rapid Construction  
and High Durability as well as Collision Safety Performance

Aoki Keiichi  
青 木 圭 一\*  
Tanaka Yoshikazu  
田 中 嘉 一\*\*\*\*

Uehira Kenji  
上 平 謙 二\*\*  
Takagi Kinuka  
高 木 絹 華\*\*\*\*\*

Kanzaki Takao  
神 崎 隆 男\*\*\*  
Tamura Tatsuya  
田 村 辰 也\*\*\*\*\*

## はじめに

道路橋の壁高欄は、一般に、場所打ちコンクリートで構築され、その補修・補強も場所打ちが主体的であったが、近年では、安定した品質、強度、耐久性の向上、省力化、工期短縮、施工環境改善等を考慮して、JIS工場で作成されるプレキャスト製の壁高欄も見受けられるようになってきた。しかし、これら従来製品の接合法では、既設床版を貫通させた鉛直接合ボルトや、壁高欄内に配置したPC鋼材の緊張作業などが伴い、施工性、経済性、耐久性等に課題があると思われる。

また、防護柵の基準も、時代とともに改訂が行われ、現時点で基準を満足しない防護柵も見受けられる。さらには、凍結防止剤の散布により、塩害を発生したものも多くあり、維持管理対策が必要な防護柵も存在する。

筆者らは、これら課題を解決すべく、プレキャスト壁高欄の接合法を新規に開発した。当工法の開発により、既設床版への削孔作業やPC鋼材の緊張作業を伴わない強固な接合法を提供でき、主に道路橋の壁高欄の新設や補修・補強を目的とした壁高欄の取替えを効率的かつ容易に実現できる。特に、大掛かりな交通規制が伴うRC床版の更新事業への適用性は高く、工場製作されたプレキャスト床版等と当該プレキャスト壁高欄との組み合わせにより、スピード施工の実現と工期短縮に貢献できるものとする。

本稿では、新たなプレキャスト壁高欄の開発経緯を説明したうえで、『製作』、『組立て』の施工性確認試験の報告と完成した壁高欄に対して実施した、重さ約5tの重錘衝突による『安全性確認試験』の概要を報告する。

## 1. 壁高欄接合部の新たな構造開発

### 1-1 床版と壁高欄の接合部構造

#### (1) 既設床版との接合部構造

床版内に配置された既設壁高欄の主鉄筋を有効活用し、

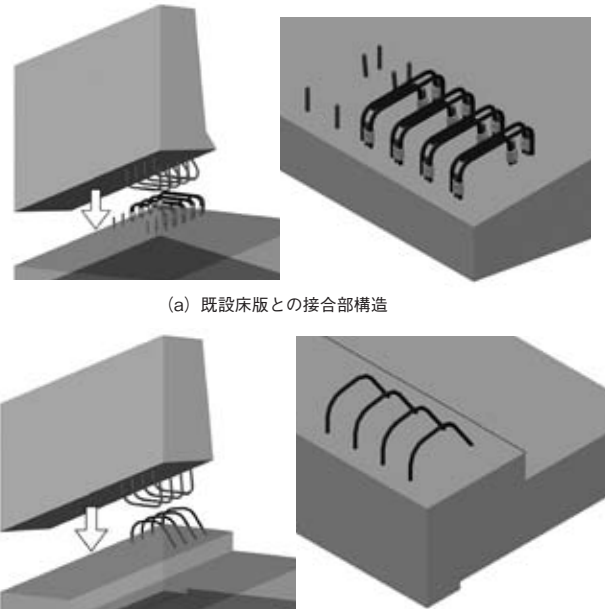
機械式継手（OSフープグリップ）を用いて、新たにループ状の鉄筋を形成させる。新設壁高欄の本体側も同様のループ状の鉄筋加工を施し、これらのループ状の鉄筋を互いにかみあわせ、なおかつ、ループ状の鉄筋内に橋軸方向に複数の補強鉄筋を配置し、高強度モルタルを充填して一体化を図る構造である（図-1(a)）。

#### (2) 新設床版または床版取替え時の接合部構造

新設床版または床版取替え時には、あらかじめループ状の鉄筋加工が可能であり、機械式継手を必要としない接合部構造が採用できる。また、接合部の継目から、雨水等の劣化要因の進入を防ぐ目的から、接合面を床版上面より高くしておくことも有効である（図-1(b)）。

#### 1-2 壁高欄どうしの接合部構造

壁高欄どうしの橋軸方向の接合部構造は、孔あき鋼板ジ



(a) 既設床版との接合部構造

(b) 新設床版との接合部構造

図-1 床版と壁高欄の接合法

\* (株)高速道路総合技術研究所 道路研究部 橋梁研究室 室長  
\*\* (株)デイ・シー 執行役員 技術部担当部長 工博  
\*\*\* " 技術部 技術開発チーム 主査  
\*\*\*\* 開発虎ノ門コンサルタント(株) 技術部 課長  
\*\*\*\*\* " " 課長代理 工博  
\*\*\*\*\* (株)ティ・ケイ・エム・パブリックワークス 技術本部長

キーワード：プレキャスト壁高欄、急速施工、高耐久性、遮塩性、床版取替え、衝突実験

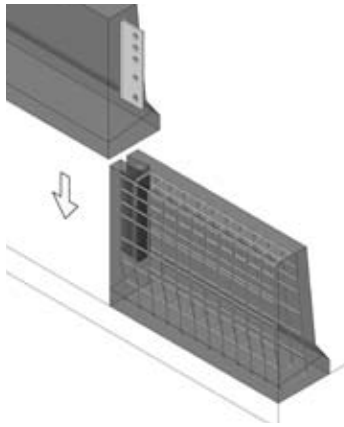


図-2 壁高欄どうしの接合法

ベル（以下、PBL（Perfobond-Leiste））を有する部位（オス側）を編鋼板からなる箱断面内（メス側）に挿入し、高強度モルタルを充填して一体化を図る構造である（図-2）。

## 2. 接合部構造の設計概要

### 2-1 床版と壁高欄の接合部

床版と壁高欄の接合部は、いわゆるRCのループ継手構造であり、プレキャストPC床版の橋軸方向の一体化等において豊富な実績<sup>2),3)</sup>がある。ループ状の鉄筋のフープ効果により、重ね継手長が短くなり場所打ち接合部の幅を小さくすることが可能である。

急速施工を実現するには、極力、接合部の場所打ち範囲を縮小することが望ましい。当該プレキャスト壁高欄の床版との接合部の場合には、機械式継手を配置したループの鉄筋が配置可能であり、高流動モルタル充填に必要な鋼材の空気を確保した必要最小高さは13～18 cmとなる（図-3、写真-1）。

なお、新設の場合には機械式継手が必要ないため、必要最小高さをさらに小さくすることが可能である。

接合部の安全性については、通常の壁高欄の設計による配筋に対し、ループ継手を施した状態に対して、DIN 1 045等の規定にとらわれず、必要最小限を目指す方針とし、衝突実験によって確認することとした。

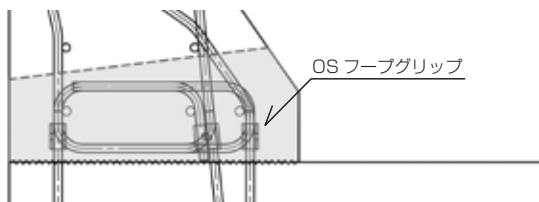


図-3 床版と壁高欄の接合部断面図



写真-1 既設床版と壁高欄の接合部鉄筋配置

### 2-2 壁高欄どうしの接合部

#### (1) 設計概念と断面力算定方法

プレキャスト壁高欄どうしの接合部に発生する主たる断面力は、車両衝突荷重によって生じる橋軸方向の曲げモーメント $M_x$ （図-4）である。当断面力に対して、孔あき鋼

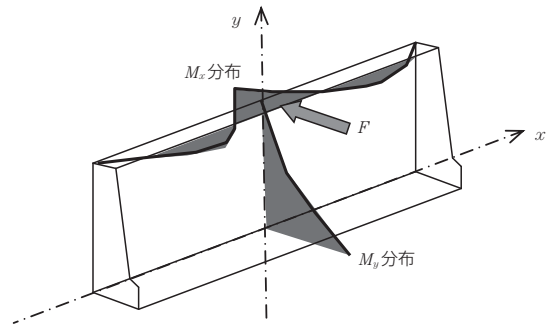


図-4 壁高欄の設計断面力 (M) の分布

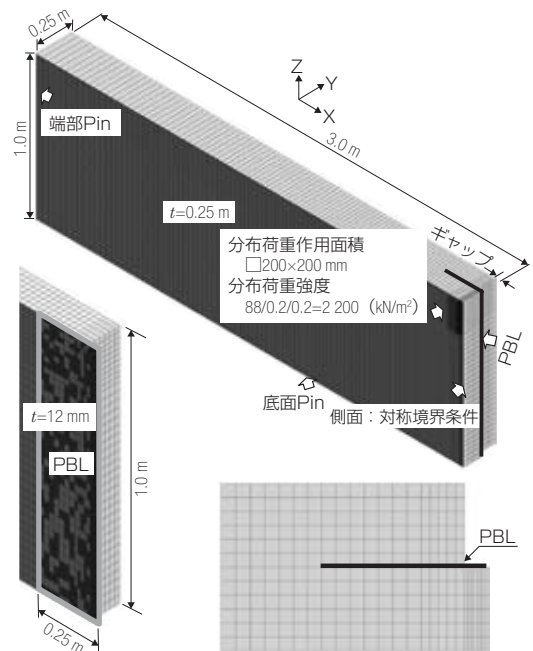


図-5 接合部の解析モデル（対称1/2モデル）

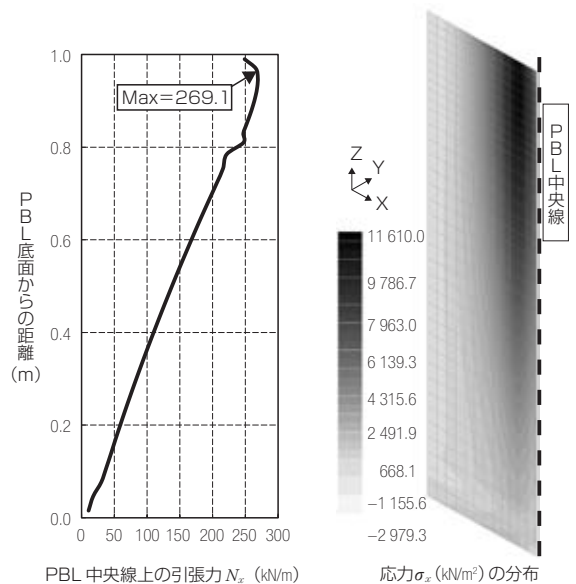


図-6 PBLの引張力の分布と $\sigma_x$ の分布

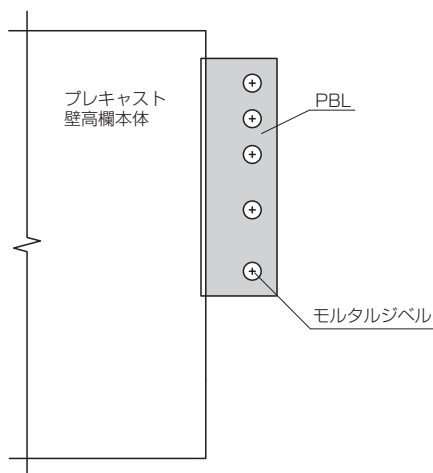


図-7 PBLの配置構造

板ジベルが、ずれ止め（引張材）として抵抗し、所定の安全性を確保すればよいと考えた。

PBLに作用する断面力の算定は、PBLを模擬した3次元FEM解析を実施し、接合部に発生する断面力を直接的に算定する方法を採用した（図-5）。なお、当該モデル化の妥当性を確認するために、現行設計基準との整合確認および平板理論での断面力算定結果との比較検証<sup>4)</sup>を行った。

## (2) PBLの設計

PBLに発生する断面力は、壁高欄天端で最大となる三角形分布の特徴を有する（図-6）。

これに対して、PBLのずれ止め耐力は、土木学会の推奨式<sup>5)</sup>を基本とし、充填材にモルタルを使用することから、1割の低減補正<sup>6)</sup>を行ったうえで必要なモルタルジベル配置を検討した。なお、衝突荷重の安全率<sup>7)</sup> ( $F_s = 1.5$ )を確保するため、モルタルジベルのせん断耐力の照査では、設計断面力を1.5倍して照査し、これを満足するジベル配置を設定した（図-7）。

## 3. 壁高欄の性能

### 3-1 使用コンクリートに求めた性能

寒冷地における高速道路では、路面の凍結防止を目的に、塩カル等の凍結防止剤が撒かれる。そのため、車両の通行等に伴って、壁高欄表面に塩分が付着し、それが壁高欄内部に浸透し、壁高欄の劣化につながっている例が多数見られる。

表-1 使用材料

材料名	種類・産地・名称	密度 (g/m <sup>3</sup> )
セメント	早強ポルトランドセメント (H)	3.14
	高炉スラグ微粉末 (BF) 4000プレーン	2.90
水	水道水 (W)	1.00
細骨材	静岡県菊川市河東産 (山砂) (S)	2.60
粗骨材	〃 (山砂利) (G)	2.65
混和材	ポリカルボン酸エーテル系高性能AE減水剤 (AD)	—

表-2 コンクリート配合

コンクリートの種類	W/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
		W	H	BF	S	G	AD
40-21-25 (H4000B-30%)	40	170	298	128	783	915	3.84

そこで、本壁高欄は、早強ポルトランドセメントをベースに高炉スラグ微粉末を添加して密実なコンクリートとし、遮塩性、凍結融解抵抗性を高めた高耐久性コンクリートを標準とした。

### 3-2 材料および配合

本プレキャスト壁高欄の製作では、鉄筋の配置や鉄筋量を考慮して、密実なコンクリートを打設するため、コンクリートの設計基準強度を40 N/mm<sup>2</sup>とし、目標スランブは21 cm、空気量を4.5%とした。

表-1に使用材料を、表-2にコンクリートの配合をそれぞれ示す。

### 3-3 コンクリートの物性

コンクリートの目標値および物性を以下に示す。

#### (1) コンクリートの目標値

- ・スランブ：21±2 cm
- ・空気量：4.5±1.5%
- ・設計基準強度：40 N/mm<sup>2</sup>(材齢28日, 標準養生)

なお、試験方法はJISによった。

#### (2) コンクリートの物性

コンクリートの性能は、いずれの目標値を満足するものであった。

## 4. 壁高欄の製作および組立て

### 4-1 製作

プレキャスト壁高欄の製作は、衝突安全性確認試験のため、3 mブロックを2個製作した。ここでは、その製作について述べる。

鉄筋については、設計に準じた鉄筋をユニット化して型枠組立て後、型枠内に挿入し、コンクリート打設を行った。鉄筋のユニット化を写真-2に示す。

なお、図-1に示すように、壁高欄下面には、床版鉄筋との接合のためのループ状の鉄筋が配置されているため、コンクリートの打設方法については逆さ打ちとし、型枠脱枠後、吊り変えて正常に戻した。コンクリートの打設状況を写真-3に示す。

脱枠後のコンクリート下面の打ち継目には、後打ち無収縮モルタルの付着を考慮してチッピングを行った。

また、壁高欄には、通信管路6条を配置し、それぞれの間隔は粗骨材寸法の20 mmが入る間隔を確保した。

プレキャスト壁高欄の完成写真を写真-4に示す。なお、



写真-2 鉄筋のユニット化



写真-3 コンクリート打設



写真-6 鉄筋の組みあがり配置



写真-4 プレキャスト壁高欄の完成写真

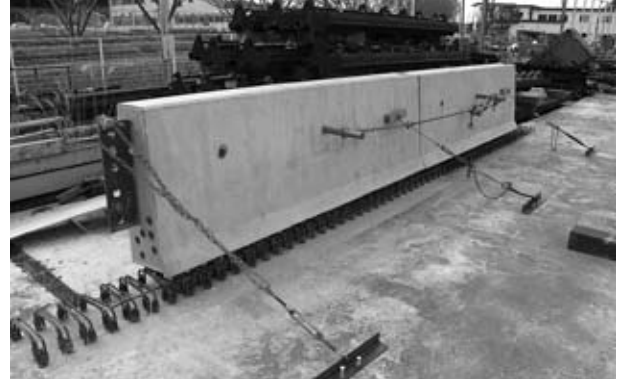


写真-7 組立て完成写真

写真において手前に孔の開いた鋼材が突出しているが、これが橋軸方向の接合構造の一部となるPBLである。

#### 4-2 組立て

プレキャスト壁高欄を配置する前に、床版との接合部が狭小部となるため、既設床版に配置された鉄筋にOSフープグリップを用いてループ状の鉄筋配置を行った。その鉄筋配置および鉄筋量は、設計で算出した配置および鉄筋径による。OSフープグリップを用いた鉄筋の組立て状況と、鉄筋の組みあがった状況を写真-5および写真-6にそれぞれ示す。

なお、新設橋梁の場合には、図-1(b)に示すように、OSフープグリップを用いた鉄筋の組立ての必要が無いため、床版にあらかじめループ鉄筋を配置しておけば、ループ鉄筋を配置したプレキャスト壁高欄を上から落とし込むだけで所定のループ鉄筋継手となるため、施工はきわめて簡単となる。

床版鉄筋の配置が完了後、プレキャスト壁高欄を上から落とし込んで組み立てた。据付けに際しては、ホイールクレーンにて壁高欄本体を吊り上げ、所定の位置に誘導し慎重かつ速やかに設置した。設置後に高さおよび通りの微調整を行い、仮固定を行った。壁高欄の高さ調整には、鋼製の調整ねじを用い、壁高欄を落とし込んだ後でも調整を可能にした。

施工性は、きわめて良好で、橋軸方向の接合構造の開発の目的、つまり急速施工を十分発揮できる施工方法であることが証明された。組立て完成状況を写真-7に示す。

組立て終了後、接合部には型枠を設置し間詰め無収縮モルタルを注入した。この接合部は、断面も小さく鉄筋も交錯するため、コンクリート施工では施工性も悪く収縮ひび割れも懸念されることから無収縮モルタル施工とした。無収縮モルタルには、施工部位の構造を考慮してセメント系無収縮グラウトモルタルを使用し、流動性、強度発現性に



写真-5 OSフープグリップを用いた鉄筋の配置



写真-8 無収縮モルタル注入状況



写真-9 完成状況

優れた材料とした。

無収縮モルタル注入状況と完成状況を写真-8および写真-9にそれぞれ示す。

## 5. 衝突安全性の確認試験

### 5-1 試験目的

本プレキャスト壁高欄には、前述したように新たな接合構造を用いたため、静的な設計上の安全性とともに、車両衝突による安全性を確認する必要がある。

そこで、衝突安全確認試験では、既設床版と壁高欄の接合部および壁高欄どうしの接合部のそれぞれの安全性を確認する目的で実施した。

### 5-2 試験方法

衝突安全確認試験は、設計上の荷重載荷面からの壁高欄への力の伝達挙動を考慮して、3 mブロックを2個並べて6 mの壁を作り試験した(写真-9)。

壁高欄の衝突安全性能の確認手法としては、実走行車両による衝突実験が望ましいが、ここでは、それぞれの接合部構造のみに着目した耐衝撃試験として、コンクリートを充填した鉄製の立方体を、壁高欄に直角にぶつける落錘衝撃試験法を採用した。

車両用防護柵の設計基準<sup>1)</sup>によれば、剛性防護柵の設計荷重は、以下の式によっている。

$$F = k_f \frac{2 \cdot (1 + e_v)}{L_w \cdot \sin \theta} \cdot \left( \frac{W}{W_r} \right)^2 \cdot I_s \cdot a \quad (1)$$

ここに、

$F$  : 衝突荷重 (kN)

$k_f$  : 補正比例係数 (=0.1)

$I_s$  : 衝撃度 (kJ),  $I_s = (1/2) \cdot (W/g) \cdot v^2 / \sin^2 \theta$

種別 SA では、 $I_s = 420$  (kJ)

$\theta$  : 衝突角度 (度) = 15度

$W$  : 車両重量, 種別 SA では 25 t

$v$  : 衝突速度 (m/s), 種別 SA では 80 km/h

$a$  : 斜面低減係数

その他の記号の説明は割愛する。

式(1)の衝突荷重  $F$  は、衝撃度  $I_s$  に比例する量として定義づけられており、補正係数  $k_f = 0.1$  は、衝突時の運動エネルギーの90%が車両の変形等により消費され、10%のみが壁高欄に伝達する<sup>8), 9)</sup>ものとして推定される値である。

参考までに、式(1)を用いて、衝撃度から衝突荷重を算定した場合は、車両重量25 tで衝突速度80 km/hの種別 SA (衝撃度420 kJ) のフロリダ型の衝突荷重は、88 (kN) となる。

以上の結果、図-8の重錘衝撃試験法での試験体に与えるべき運動エネルギーは、

$$E_p = k_f \cdot I_s = 0.1 \times 420 = 42 \text{ (kJ)} \quad (2)$$

を一つの基準値として評価した。重錘の重量は、付属治具を含めて約5.0 tであり、自由落下させた際に、衝突面に与える運動エネルギーが42 kJになるように高さを算定し、落下高さを85 cmとした。重錘の衝突面は、偏載荷とならないように球型の突起状とし、壁高欄の載荷面には、硬質ゴム製の載荷板 (□20×20 cm) を設置した。なお、載荷板の配置位置と大きさは、建設省土木研究所(当時)をはじめとする共同研究成果<sup>10)</sup>と整合させるものとした。

### 5-3 試験結果

衝突安全性試験の重錘は、壁高欄の橋軸方向の継手部に衝突するように計画した。その重錘の衝突位置と釣上げ状況を図-8に示す。また、重錘を配置した状況を写真-10に示す。

衝突安全性試験の結果、橋軸方向の壁高欄どうしの接合部には、かすかに鉛直方向に微細なクラックが入ったものの、接合部が曲げ引張を受け、壁高欄が接合部で橋軸直角方向に折れ曲がるような変形挙動は見られなかった。

損傷を受けたのは、既設床版を模擬した床版の付け根で、床版と壁高欄の間の間詰め無収縮モルタルには損傷はなく、既設床版を模擬した床版上面の界面で剥離し、引張側の一部の鉛直鉄筋に衝撃破断が確認された。これは、衝

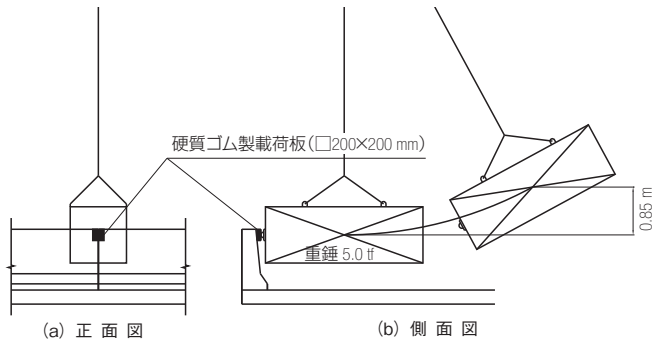


図-8 重錘の衝突位置と釣上げ状況



写真-10 重錘配置状況



写真-11 試験結果

突による大きな曲げ引張力の作用に伴い、構造的に弱かったと推測される既設床版を模擬した床版界面が剥離し、鉄筋に引張力が集中したものと推察される。結果的に壁高欄全体が若干面外に変形したものの、大きく橋軸直角方向に変形することもなく、この程度の変形では、衝突車両が橋梁外に逸脱することは考えづらく、壁高欄の衝突安全性が十分確保されることが証明できた。試験結果の状況を写真-11に示す。

#### おわりに

本プレキャスト壁高欄工法について、試験施工および衝突実験を行った結果、下記事項が確認された。

- ① 床版とは、機械式の接合方法ではないため、高さ管理などの施工調整が容易である。
- ② 壁高欄どうしの接合に、PBL接合を用いたが、施工性が容易である。
- ③ 衝突実験の結果、所要の性能を、当該接合方法で十分確保することが可能である。壁高欄どうしの接合方法においては、更なる簡素化も可能と推定される。

以上から、走行規制等が伴う場合、あるいは延長が長い橋梁等の壁高欄に、当該プレキャスト壁高欄を用いることにより、従来の場所打ち工法の場合と比較して、「はじめに」でも述べたとおり耐久性の向上に伴う長寿命化が可能である。さらには、施工時間の短縮も可能（工期短縮が可能）とすることができ、今後の維持管理対策として、最も有効な手法であると確信する。

なお、工場製品であることから、従来タイプと比べ、運

搬・架設費等の費用がかさみ、初期コスト面では不利となるが、工期短縮や耐久性の観点を含めた適用性について、更なる検討を進めていきたい。

#### 謝辞

本プレキャスト壁高欄の開発にあたって、特に、部材の製作、衝突安全性確認試験、ならびに部材の積算までドーピー建設工業(株)の掛川工場に委託した。掛川工場の高原工場長はじめ関係各位には、部材の製作、試験まで一貫してご尽力いただいた。

また、既設床版とプレキャスト壁高欄の接合において、特に既設床版の鉄筋とループ形状を形成するための鉄筋どうしの接合には、後打ちとなる接合部の範囲を極力小さくするため、岡部(株)のOSフープグリップ工法を適用した。岡部(株)には、開発当初から「OSフープグリップ」の提供と接合工法の指導をいただいたばかりか、組立てまで参画いただき、東京支店・東京営業部の小西氏はじめ関係各位にご尽力いただいた。

最後に、プレキャスト壁高欄の設計や衝撃試験の試験荷重の検討等、版理論や衝撃理論について、大阪市立大学名誉教授の園田恵一郎先生にもご尽力いただいた。

ここに、ご尽力いただいた皆様に深く感謝申し上げます。

#### 〔参考文献〕

- 1) 日本道路協会：車両用防護欄標準仕様・同解説（2004.3）
- 2) 松井繁之、角 昌隆、向井盛夫、北山耕造：RCループ継手を有するプレキャストPC床版の移動載荷試験、プレストレストコンクリート技術協会、第6回シンポジウム論文集、pp.149～154（1996.10）
- 3) 酒井秀明、上平泰右、上平謙二：ダブルループ継手構造を有するRC床版の力学的特性に関する研究、土木学会論文集：Proceedings of JSCE（760）、pp.45～61（2004.5.20）
- 4) 青木圭一、上平謙二、田中嘉一、高木綱華：プレキャスト壁高欄の新たな接合工法の開発、第9回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム論文集、pp.313～320（2011.10）
- 5) 土木学会：複合構造標準示方書、pp.64～66（2009年制定）
- 6) 新谷英司、蝦名貴之、上平謙二、柳田文夫：波形鋼板とコンクリート床版の結合方法に関する実験的研究、プレストレストコンクリート技術協会、第9回シンポジウム論文集、pp.91～96（1999.10）
- 7) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編（2012.3）
- 8) 佐藤武：自動車交通事故とその調査、交通工学実務双書、第9巻、pp.89～119（1987）技術書院
- 9) 緒方紀夫、木曾 茂、西田宏司：橋梁のコンクリート製防護欄の耐荷力に関する試験検討、ハイウェイ技術、No.4、pp.75～80（1996.4）
- 10) 建設省土木研究所道路部交通安全研究室、日本道路公団試験研究所、(社)セメント協会：高速化対応型コンクリート製防護欄に関する共同研究報告書（1998.6）

#### 特集趣旨

上野 淳人

新湊大橋（臨港道路 富山新港東西線）整備事業

衛藤 謙介・大筒 牧男

新湊大橋主塔上部の設計と施工

衛藤 謙介・北川 淳一・山本 信哉・小西 英明・能勢 幸二・中森 康博

新湊大橋主橋梁部（主桁）の製作と施工

西村 章・清木 計成・佐藤 巖・瀧 靖文・田中 裕明・衛藤 謙介

新湊大橋の景観デザイン

永井 栄・中埜 智親・審良 郁夫・米沢 栄二・松金 伸・猪爪 一良

新湊大橋の鋼桁耐風対策

由井 陸粹・森川 陽介・中垣 毅・関口 忠志・長井 正嗣・勝地 弘

橋梁と基礎  
2013年2月号  
小特集  
新湊大橋

ご案内



A4判 62ページ  
定価 1 120円 (税込)  
(送料 100円)

バックナンバー・内容のお問い合わせは…

(株)建設図書 電話 03(3255)6684