

# 拡径鉄筋を接合構造に用いたプレキャスト壁高欄の開発

## Development of the Precast Railing Using Reinforcing Bar with the Expanded Diameter Head for Connection Joint

構造技術部 藤岡 泰輔 TAISUKE FUJIOKA  
 構造技術部 内堀 裕之 HIROYUKI UCHIBORI  
 技術研究所 三加 崇 TAKASHI SANGA  
 構造技術部 永元 直樹 NAOKI NAGAMOTO

高速道路リニューアル工事が本格化するなか、プレキャスト化による工期短縮が期待される壁高欄は、施工の急速化と相反する複雑な接合構造が少なくない。このため、筆者らは機械式鉄筋定着工法の一つである拡径鉄筋「Trunc-head<sup>®</sup>」<sup>1)</sup>を接合構造に用いたプレキャスト壁高欄「EQ-Wall」を開発した。本稿では、開発したプレキャスト壁高欄の据付け試験やモルタル充填試験で確認された施工性を示すとともに、載荷試験で確認された耐荷性能と衝突安全性について示す。さらに、実橋へ初適用した一例について報告する。

**キーワード**：プレキャスト壁高欄，拡径鉄筋，急速施工，耐荷性能，衝突安全性，施工性

It is expected that the construction period of highway renewal construction can be shortened by using precast railings. However the complex joint structure is a problem in the structure. Therefore, authors developed a precast railing using reinforcing bar with the expanded diameter head for jointing to slab. In this paper, the performance of loading capacity was confirmed by the static loading test and collision test. The workability of proposed structure was confirmed by the installation test and the result of mortar injection test was described and discussed. Moreover, the first application to the actual bridge was also introduced in this paper.

**Key Words**: Precast Railing, Reinforcing Bar with the Expanded Diameter Head, Rapid construction, Loading Capacity, Safety against collision force, Workability

### 1. はじめに

床版取替え工事のさらなる急速施工を実現する一手法として、場所打ち壁高欄のプレキャスト化が期待されている。過去開発された製品は、プレキャスト壁高欄の接合構造に鉄筋ループ継手や PC 鋼材などを主に採用しているが、対象となる接合位置によって接合構造が異なることや、追加部材の配置など施工の煩雑さにおいて改善の余地があると考えられる。そこで筆者らは、「単純(Easy)」と「急速(Quick)」の二つのキーワードを掲げ、接合断面を最小化することを開発コンセプトの軸に置き、現場において配筋筋などの追加部材を一切配置することなく接合構造を成立させることを目標とした。

本稿では、開発したプレキャスト壁高欄の実物大試験体で確認した施工性について示し、静的荷重および衝撃力を与えて確認した壁高欄の耐荷性能と衝突安全性に

ついて示す。さらに、開発したプレキャスト壁高欄「EQ-Wall」を実橋に適用した一例について報告する。

### 2. 接合部材に適用した拡径鉄筋

拡径鉄筋「Trunc-head<sup>®</sup>」<sup>1)</sup>とは、熱間処理により鉄筋端部を円錐台状に拡張した突起構造で、突起部と母材の一体性に優れる定着部材である(図-1)。筆者らは、接

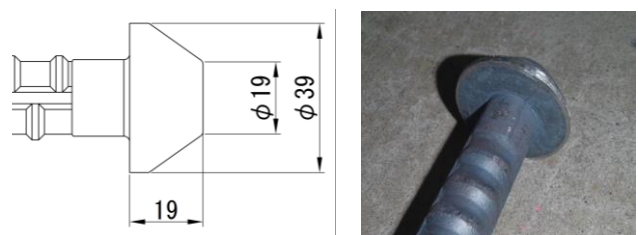


図-1 プレキャスト壁高欄に採用した拡径鉄筋

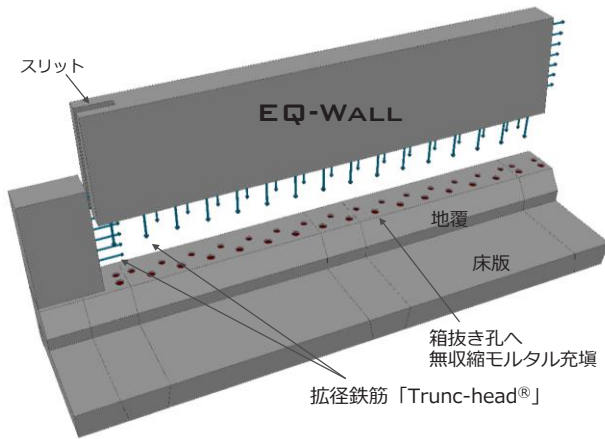


図-2 プレキャスト壁高欄の構造概要

合部の配筋作業を省力化するため、機械式鉄筋定着工法の一つであるこの拡径鉄筋をプレキャスト壁高欄の接合部に適用することを考案した。

### 3. プレキャスト壁高欄の構造概要

プレキャスト壁高欄の構造概要を図-2に、床版取替工事における施工手順の一例を図-3に示す。

プレキャスト壁高欄基部の接合部は、拡径鉄筋を壁高欄下面より突出させ、地覆部に設けた箱抜き孔に挿入し定着する構造とした。また、壁高欄同士の接合部においても壁高欄端部より橋軸方向に拡径鉄筋を突出させ、他方の部材に設けたスリットに収める構造とした。

拡径鉄筋は、高速道路の設計要領第二集<sup>2)</sup>で規定される標準配筋の場所打ち壁高欄（以下、標準壁高欄）と同等の鉄筋量を配置するため、壁高欄基部の接合部にD19@250mm、壁高欄同士の接合部にD16@100mmで配置することを基本とした。拡径鉄筋は、凍結防止剤散布などの影響による鋼材腐食の対策として、拡径部を加工した後に工場においてエポキシ樹脂塗装を施した。各部材間は、施工時の据え付け誤差を考慮し30mm程度の接合目地を設け、その箱抜き孔や接合目地に一般的な無収縮モルタルを充填することで一体化を図る構造とした。

今回提案するプレキャスト壁高欄は、壁高欄を地覆上縁で接合するタイプと地覆下縁で接合するタイプを開発したが、本稿では前者について詳述する。

### 4. プレキャスト壁高欄の要求性能

壁高欄に対する要求性能は、①車両の逸脱防止性能、②乗員の安全性能、③車両の誘導性能、④構成部材の飛散防止性能と規定されており、これらの性能確認試験として実車を壁高欄に衝突させる手法がある<sup>3),4)</sup>。さらに、

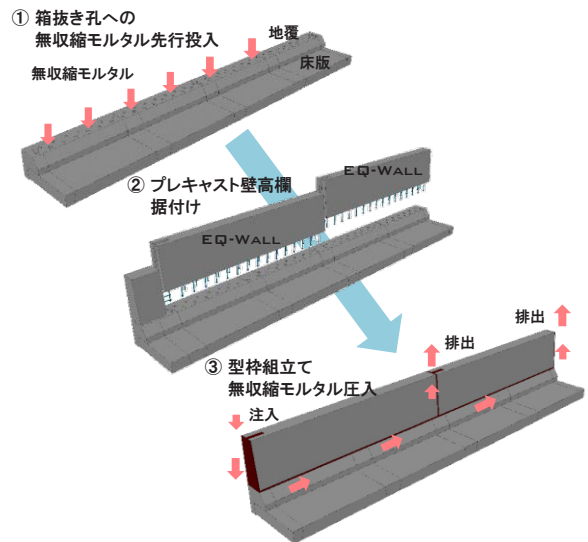


図-3 プレキャスト壁高欄の施工手順

プレキャスト壁高欄として筆者らが求めた性能としては、⑤施工の急速化を実現する施工性、⑥標準壁高欄と同程度の限界状態となる過剰荷時の耐荷性能である。すなわち、プレキャスト化に期待する施工の急速化を満足しつつ、①～④の要求性能は標準壁高欄と同程度の余裕度を持たせ、かつ車両突破による第三者被害を及ぼさないように配慮することを目指した。

プレキャスト壁高欄は、下記手順で開発を進めた。

- 手順1 模擬試験体による接合部のモルタル充填試験
- 手順2 実物大試験体による施工性確認試験
- 手順3 静的荷重による耐荷性能の確認
- 手順4 衝撃力による衝突安全性の確認

### 5. 模擬試験体による接合部のモルタル充填試験

提案するプレキャスト壁高欄が所要の性能を発揮するためには、拡径鉄筋が収まる箱抜き孔やスリットへの確実な定着が不可欠である。それらの間隙部への充填材は無収縮モルタルを採用しており、その品質基準は表-1に示すNEXCO試験法312<sup>5)</sup>に従った。

プレキャスト壁高欄の設置手順は図-3に示すとおり、

表-1 無収縮モルタルの品質基準（NEXCO試験法312）

試験項目	規定値
コンシステンシー	流下時間 セメント系 8±2秒
ブリーディング	練混ぜて2時間後：2%以下
膨張収縮	材齢7日で収縮を示してはならない
凝結	開始1時間以上、終結10時間以内
圧縮強度	材齢3日：25N/mm <sup>2</sup> 以上
	材齢28日：45N/mm <sup>2</sup> 以上
付着強度	材齢28日：3N/mm <sup>2</sup> 以上

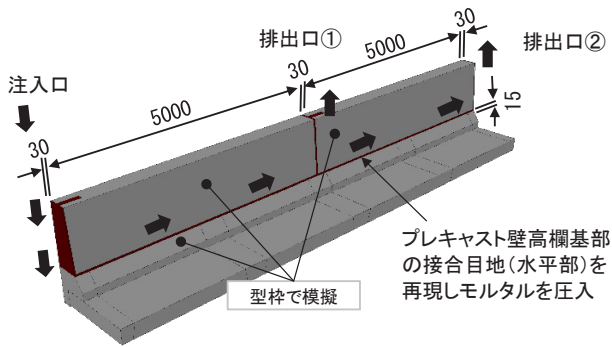


図-4 模擬試験体による接合部のモルタル充填試験



写真-3 壁高欄のプレファブ鉄筋組立



写真-1 無収縮モルタルの充填状況



写真-4 実物大試験体の施工性確認試験



写真-2 壁高欄基部のモルタル充填状況

基部に配置した拡径鉄筋を確実に箱抜き孔へモルタル定着させるため、壁高欄を据え付ける直前に箱抜き孔にモルタルを先行投入する。この作業手順により、不可視部分となる壁高欄基部の拡径鉄筋は確実に地覆部に定着される。一方、接合目地へのモルタル充填作業では確立された注入法がなく、この充填性の程度が耐荷性能へ与える影響も大きいと考えられた。このため、実物大を模擬した型枠試験体を用いて無収縮モルタルの充填試験を行った。模擬試験体による接合部のモルタル充填試験の概要を図-4に、無収縮モルタルの充填状況を写真-1および写真-2に示す。本試験の注入・排出口は、プレキャスト壁高欄同士の接合目地を利用した。モルタルは、注

入口一箇所から 10ℓ/min 程度の速度でモルタルポンプにより圧入した。本試験においては、水平部分の接合目地幅を 15mm に設定してモルタルの圧入作業を行ったが、注入口 1 箇所から延長 10m の区間を充填できた。

無収縮モルタル硬化後、プレキャスト壁高欄の下面となるモルタル上面の空隙発生状況を観察し、空隙面積を 1m 区間ごとに集計した。その結果、空隙面積は区間ごとの面積比で 2%程度と非常に小さく、この空隙が接合構造の耐荷性能に影響がないことを確認した。

## 6. 実物大試験体による施工性確認試験

### (1) プレキャスト壁高欄の製作

開発したプレキャスト壁高欄は、拡径鉄筋と箱抜き孔の設置精度が施工性を左右する。そのため、プレキャスト壁高欄の鉄筋は編成台においてプレファブ化し、拡径鉄筋の平面位置を治具にて固定しコンクリートを打設し製作した(写真-3)。また、地覆部の拡径鉄筋を挿入する箱抜き孔は、鋼製スパイラルシースで形成し、このシースを治具により固定して平面位置と勾配を調整した。鋼製スパイラルシースは、構造物の腐食劣化の要因となることからコンクリートが硬化した後に撤去した。



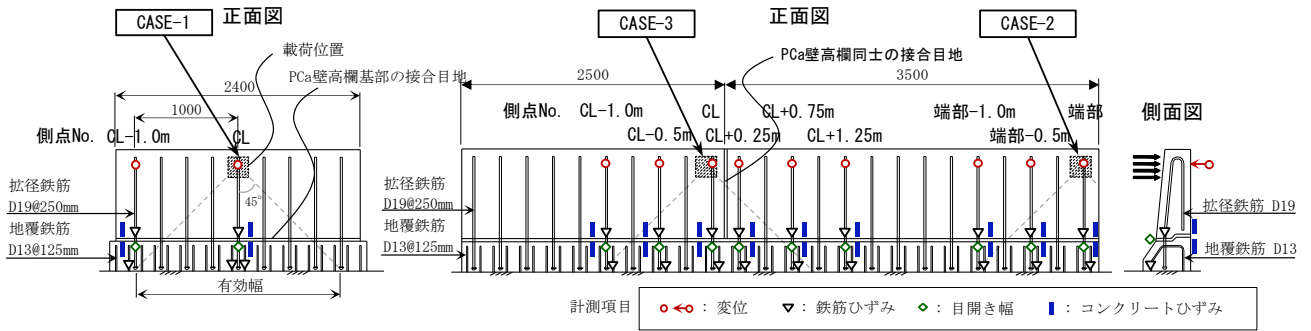


図-5 静的荷重試験の試験体と計測項目および位置図

(2) プレキャスト壁高欄の組立て

プレキャスト壁高欄の実物大試験体の施工性確認試験状況を写真-4 に示す。プレキャスト壁高欄の組立て作業は、プレキャスト壁高欄を仮支持するボルトの高さ調整→モルタルの練混ぜ→箱抜き孔へのモルタル投入→プレキャスト壁高欄の据付け・位置調整→仮固定の手順とした。隣接するプレキャスト壁高欄も同様の施工手順で組立て作業を行った。今回の施工性確認試験では、作業員4名を一班で構成し作業を行った。その結果、全作業工程を30分以内の施工速度で実施した。したがって、実施工においては班数を増やし合理的に施工を分担することにより、さらなる施工の急速化が見込めた。

7. 静的荷重による耐荷性能の確認

(1) 試験概要

静的荷重試験では、実車衝突試験の結果より静的荷重に換算された荷重<sup>6)</sup>を基準とする設計荷重載荷時におけるプレキャスト壁高欄の耐荷性能と過載荷時における破壊性状を確認した。対象のプレキャスト壁高欄は、車両用防護柵の種別SS種(衝突荷重138kN)に対して設計を行い、本試験を実施した。

静的荷重試験の試験体を図-5 および表-2 に示す。CASE-1 では、有効幅と同程度の試験体の中央に荷重を載荷し、載荷点より45度分布の有効幅内にある壁高欄基部の拡張鉄筋の挙動と接合構造の耐荷力に着眼した。CASE-2 では、壁高欄端部に荷重を載荷し端部における変形性能と拡張鉄筋が負担する有効幅について着眼した。CASE-3 では、壁高欄同士の接合目地近傍に荷重を載荷し、橋軸方向に配置した拡張鉄筋の有効性と壁高欄の連続性、および壁高欄の長さ効果について着眼した。

(2) 静的荷重の載荷方法

静的荷重試験の設備概要を図-6 に示す。試験体は反

表-2 耐荷性能試験の試験体一覧

種別	試験体の長さ	載荷位置	照査荷重
CASE-1	2.4m	試験体の中央	設計荷重 破壊荷重
CASE-2	2.5m+3.5m	試験体の端部	設計荷重
CASE-3	2.5m+3.5m	壁高欄同士の接合目地近傍	設計荷重 破壊荷重

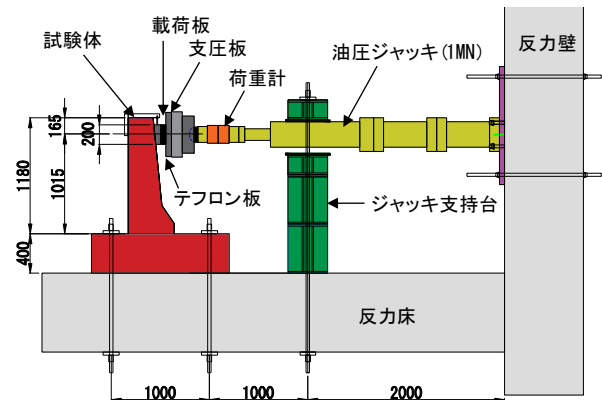


図-6 静的荷重試験の設備概要(側面図)

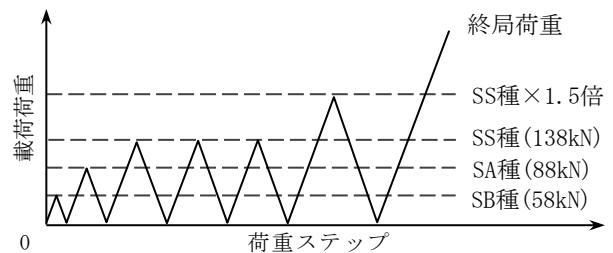


図-7 荷重載荷ステップ (CASE-1 および CASE-3)

力床にPC鋼材で固定し、反力壁に載荷能力1MNの油圧ジャッキを設置して水平に荷重を載荷した。静的荷重のプレキャスト壁高欄への載荷面には、「高速化対応型コンクリート製防護柵に関する共同研究報告書」<sup>4)</sup>を参考にして、□200mm×200mmの鋼製の載荷板を設置した。なお、油圧ジャッキ先端の支圧板と載荷板との間にはテフロン板を挟み、壁高欄の変形が進んでも床版から

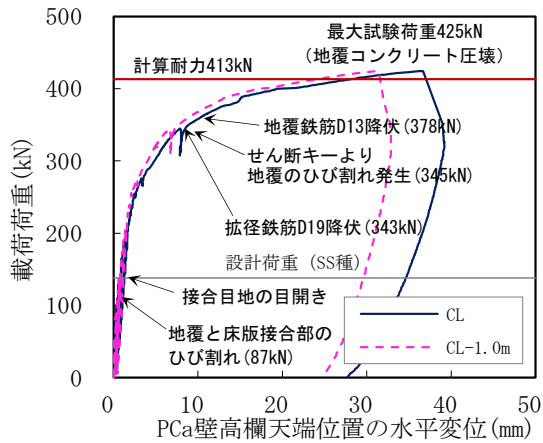


図-8 荷重-変位曲線 (CASE-1)

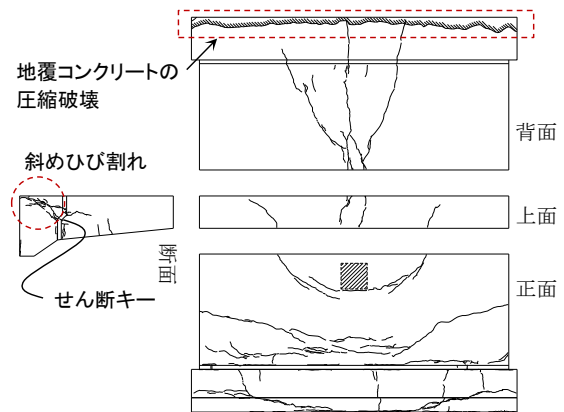


図-9 終局時のひび割れ展開図 (CASE-1)

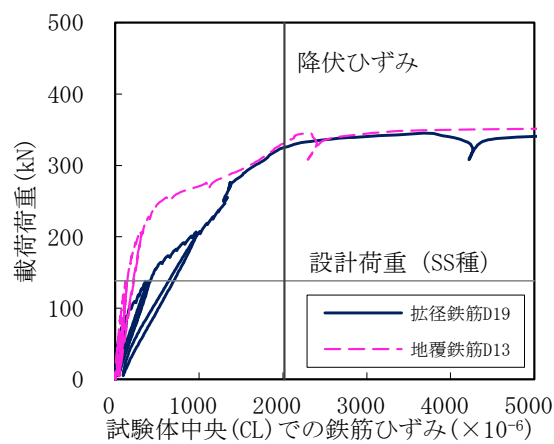


図-10 荷重-ひずみ曲線 (CASE-1)

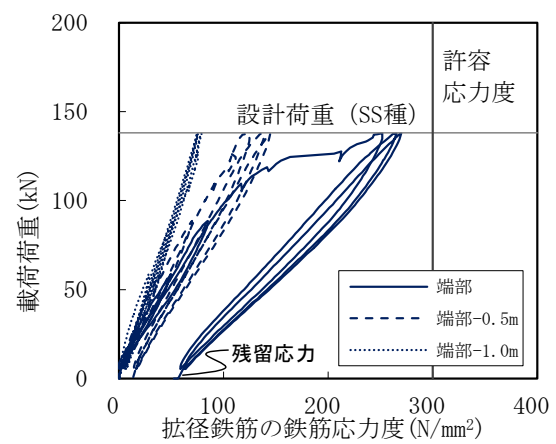


図-11 荷重-応力曲線 (CASE-2)

の高さが一定の位置に荷重が載荷されるように配慮した。

CASE-1 および CASE-3 の荷重ステップを図-7 に示す。CASE-2 については、SS 種の設計荷重載荷ステップまでとし挙動を確認した。

### (3) 試験結果および考察

#### a) CASE-1 (試験体 L=2.4m, 中央載荷)

CASE-1 のプレキャスト壁高欄天端位置における荷重変位曲線を図-8 に示す。プレキャスト壁高欄中央 (CL) と (CL-1.0m) 位置の水平変位は、同一曲線の軌跡を示し、試験体が全体で静的荷重に抵抗している挙動がわかる。ひび割れは、SA 種相当の荷重を載荷した際に場所打ちの地覆と床版との境界部において確認された。SS 種相当の設計荷重載荷時、プレキャスト壁高欄基部の接合目地においてモルタルの目開きが発生したが、鉄筋引張応力は  $77\text{N/mm}^2$  程度と許容値に対して十分小さく、載荷と除荷を 3 回繰り返した後の残留目開き平均  $0.06\text{mm}$  と小さかった。また、壁高欄基部におけるコンクリートの圧縮ひずみも  $245\mu$  と非常に小さかった。

その後、設計荷重の 1.5 倍程度まで弾性的な挙動を示し、設計荷重の 2.5 倍程度の載荷荷重 (343kN) で拡径

鉄筋が降伏した後、プレキャスト壁高欄と地覆接合部のせん断キーより斜め方向に地覆コンクリートにひび割れが発生した。最大試験荷重は 425kN で、場所打ちの地覆と床版との境界部近傍において地覆コンクリートの背面側が圧縮破壊し終局に至った。計算耐力は 413kN で、計算値と試験値は概ね一致した。また、拡径鉄筋の定着部の抜出しやコーン破壊については、荷重変位曲線や破壊状況からは認められなかった。終局時の試験体のひび割れ展開図を図-9 に示す。

次に、試験体中央位置 (CL) における拡径鉄筋と地覆鉄筋の荷重ひずみ曲線を図-10 に示す。プレキャスト壁高欄基部において接合目地の目開きが進んだため、拡径鉄筋のひずみ増加が先行した。拡径鉄筋のひずみが  $1200\mu$  程度に達すると、地覆鉄筋のひずみが著しく増加した。その後、両者はほぼ同一のひずみ履歴を示し、降伏に至った。このため、拡径鉄筋が負担した引張力は、その定着部を介して地覆鉄筋に伝達されており、接合構造の一体性が保持されていることがわかる。

以上より、本接合構造は設計荷重載荷時において RC 部材として要求される耐荷性能を有していること、また

限界状態においても本接合構造の安全性が十分に高いことが確認できた。

b) CASE-2 (試験体 L=6.0m, 端部載荷)

CASE-2 における拡張鉄筋の荷重応力曲線を図-11 に示す。載荷荷重 120kN 程度以降よりプレキャスト壁高欄端部が水平および鉛直に曲がるような斜め 45 度方向のひび割れが発生した。設計荷重載荷時において、コンクリートと鉄筋の発生応力度は許容応力度以下であったが、設計荷重の載荷と除荷を 3 回繰返した後は、端部の拡張鉄筋には 52N/mm<sup>2</sup> 応力が残留し、プレキャスト壁高欄基部の残留目開きは最大 0.13mm であった。

標準壁高欄の端部における鉄筋量は、標準配筋の約 2 倍の鉄筋量を配置するように仕様規定化されている。しかし、今回は本構造の基本性能を調査するため、端部における鉄筋量を標準部と同じ条件で試験を実施した。試験結果より、開発したプレキャスト壁高欄端部の鉄筋量を増やさずとも構造上の許容応力度を満足することはできるが、局所的な残留ひずみが生じるため鉄筋径のランクアップなどにより補強することが望ましいと判断する。

c) CASE-3 (試験体 L=6.0m, 接合目地近傍の載荷)

CASE-3 のプレキャスト壁高欄天端位置における荷重変位曲線を図-12 に示す。壁高欄基部の接合目地におけるモルタルの目開きは、CASE-1 と同様で設計荷重載荷時に確認された。一方、壁高欄同士の接合目地の目開きは、設計荷重の 1.5 倍 (207kN) まで載荷して初めて目視確認された。設計荷重の載荷と除荷を 3 回繰返した後の壁高欄同士の接合目地における目開きは最大 0.04mm であり、壁高欄同士のずれせん断変位は発生しなかった。

その後、荷重を増加させると載荷点より 45 度分布範囲の壁高欄基部に配置された拡張鉄筋と地覆鉄筋が降伏に達し、載荷点からの押抜きせん断破壊による局部破壊で終局に至った。最大荷重は 513kN に達したが、橋軸方向接合部の拡張鉄筋は降伏には至らなかった。また、CASE-1 の試験結果と異なり、地覆背面側のコンクリートは圧縮破壊が生じない局所的な破壊性状であった。

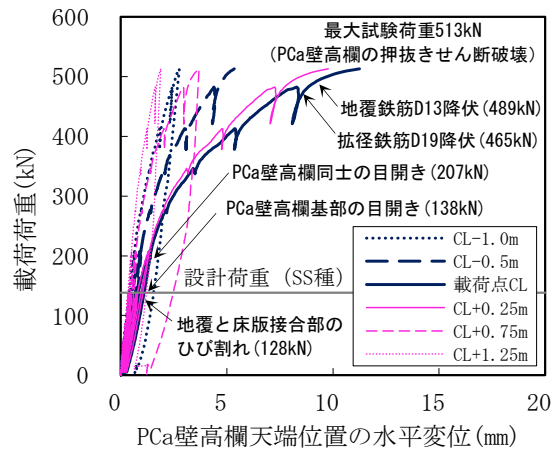


図-12 荷重-変位曲線 (CASE-3)

以上より、本接合構造をプレキャスト壁高欄同士の接合構造に適用することで、隣接する壁高欄の連続性が確保され、設計荷重載荷時および限界状態において、十分な耐荷性能と安全性を有していることが確認できた。

8. 衝撃力による衝突安全性の確認

(1) 試験概要

前述したとおり、壁高欄の衝突安全性を確認する手法として実車を壁高欄に衝突させる動的載荷試験がある。一方、プレキャスト壁高欄の試験法は、実車衝突試験により既に確認されたフロリダ形状の壁高欄を前提とした試験法が提案されている。その試験法に準じ衝撃体に剛性の高い鋼製台車を用い、任意に衝突条件を設定できる試験設備を使用しプレキャスト壁高欄の衝突安全性を確認した。台車による衝突試験状況を写真-5 に、設備概要を図-13 に示す。

プレキャスト壁高欄の長さは 4m を標準とし、反力路盤に堅固に固定した。衝撃体は、総重量 69kN の台車を用い、試験体への進入角度は 90 度とした。衝突位置は、試験体天端から 300mm 下がりの位置とし、衝突面には



写真-5 台車による衝突試験

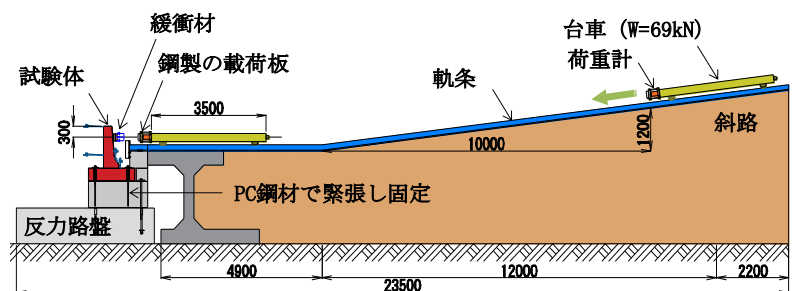


図-13 台車衝突試験の設備概要

表-3 高速道路におけるプレキャスト壁高欄の要求性能

衝突条件	衝撃度	照査内容
設計荷重相当 種別：SS種	6.5kJ	①有害なひび割れ(目安：0.2mm)が発生しないこと ②構成部材が飛散しないこと ③壁高欄および接合部に残留ひずみが発生しないこと
標準配筋の 耐力相当*	28kJ	①壁高欄基部の背面側のかぶりコンクリートに はく離が生じないこと ②接合部の引張部材に破断や抜けが生じないこと

\*設計要領第二集で規定する標準配筋の場所打ち壁高欄

鋼製の載荷板(□200mm×200mm)と緩衝材(ゴム硬度30, 厚さ215mm)を設置した。台車先端の荷重計や台車の衝突速度, 試験体の変位とひずみは, サンプリング速度2kHzで動的測定を行った。

(2) 性能確認と衝突条件

現在の高速道路におけるプレキャスト壁高欄に対する要求性能を表-3に示す。その要求性能を確認する試験法では, 標準壁高欄と同程度の性能を有することを確認する必要性が示されている。具体的には, 標準壁高欄の耐力相当を確認する衝突条件で, 車両突破による第三者被害を及ぼすことがないように配慮されている。

これらの与条件より, 当該プレキャスト壁高欄の衝突試験においては, 段階的に衝撃度を引上げ繰返し衝突させ, 壁高欄が破壊に至るまでの過程を把握することとした。当該試験の衝突条件を表-4に示す。

(3) 試験結果および考察

a) 衝撃力と壁高欄の損傷状況

衝撃力の時刻歴応答値を図-14に, 損傷状況を図-15に示す。衝撃力は, 試験体と台車間に緩衝材を設置しているため, 衝突速度の上昇とともに衝撃力の増加勾配が急激に増大した。STEP-02(設計荷重相当6.5kJ)のときは, 最大衝撃力が94kNで損傷は発生しなかった。STEP-04(耐力相当28kJ)のときは, 最大衝撃力が743kNを示し, 接合部の0.25mm程度の目開きと橋軸方向の全体曲げにより衝突位置背面側に鉛直方向のひび割れが発生した。STEP-05の最大衝撃力は862kNに達したが, 構成部材の飛散は確認されなかった。STEP-06の最大衝撃力は931kNで, 载荷位置を中心とする同心円状のひび割れが顕著となり, 表層剥離が一部確認された。STEP-07では, 衝突位置からの押し抜きせん断破壊で局部破壊に至ったが, 接合部の拡径鉄筋は破断せず, 車両は突破しなかった。

b) 壁高欄の水平変位とひずみ履歴

衝突位置におけるプレキャスト壁高欄の水平変位を図-16に示す。壁高欄の水平変位は, STEP-03まで弾性挙動を示した。STEP-04では壁高欄上端の水平変位の残留が3mm程度発生し, 衝撃度の増大に伴い残留変位も

表-4 当該試験の衝突条件

試験体の種類 载荷位置	衝突STEP	衝撃度
	STEP-01	3.0 kJ
	STEP-02	6.5 kJ
L=4m一般部 (種別：SS種)	STEP-03	20 kJ
	STEP-04	28 kJ
試験体中央	STEP-05	34 kJ
	STEP-06	42 kJ
	STEP-07	65 kJ

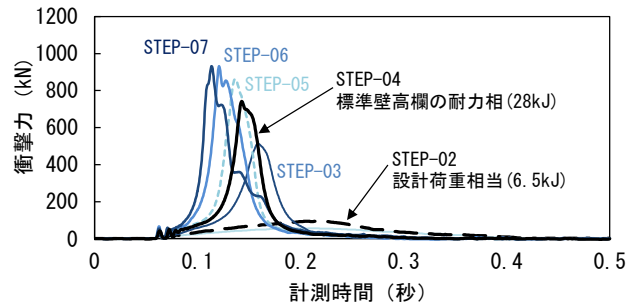


図-14 衝撃力の時刻歴応答値

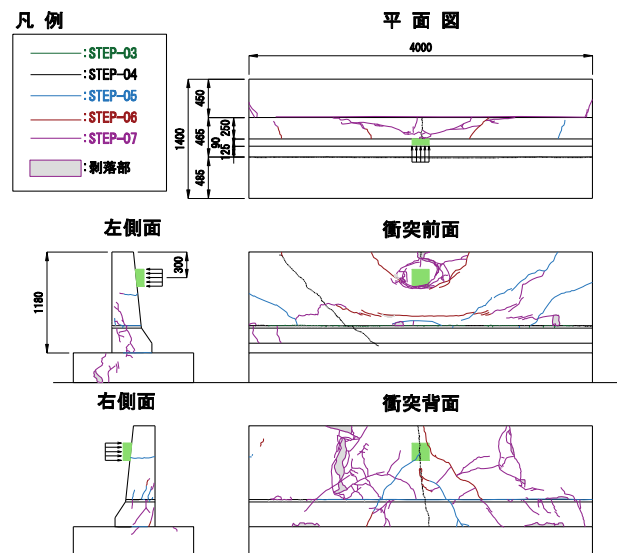


図-15 壁高欄の損傷状況

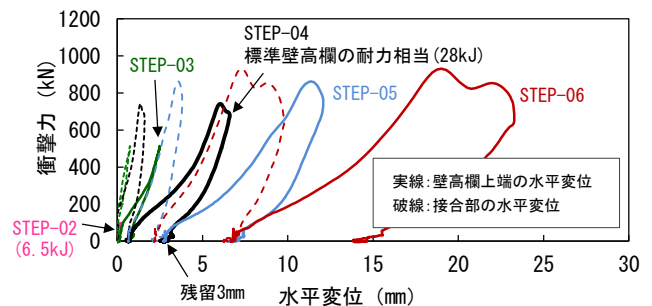


図-16 壁高欄の水平変位

顕著となった。

接合部の拡径鉄筋と床版位置における地覆鉄筋のひずみ履歴を図-17に示す。STEP-03では拡径鉄筋と地覆



鉄筋ともに残留ひずみが最大 300 $\mu$  程度であった。STEP-04 では地覆鉄筋のひずみ増加が先行し、拡径鉄筋ともに降伏に至った。その後、衝撃度の増大とともに最大ひずみと残留ひずみが増加した。

c) 破壊性状に対する考察

同一形状の試験体で静的荷重および衝撃力を与えた際の破壊状況を写真-6 に示す。いずれの破壊性状においても載荷位置からの押し抜きせん断破壊で終局に至ったが、静的荷重では鉄筋が降伏に至った範囲が載荷位置から 45 度分布の範囲内にあるのに対し、衝突試験では広範囲にわたって鉄筋が降伏した。また、衝突試験では衝撃力の増加とともに、徐々に台車先端が壁高欄に貫入する現象が確認された。しかし、両試験の耐力相当の荷重条件では、拡径鉄筋の破断や抜け出しは生じなかった。これらより、当該プレキャスト壁高欄は標準壁高欄と同等の性能を有し、十分な余剰耐力と第三者に対する安全性が確認されたといえる。

(4) 最大衝撃力の時刻歴応答値の算定

今回の衝突試験では 2kHz の動的計測を行っているためサンプリング数が多く高精度であり、荷重の時刻歴推定精度も高い。そのため、壁高欄に伝達されるエネルギーも精緻に求めることができる。そこで、衝突試験で得られたプレキャスト壁高欄と緩衝材のバネ定数を算定し、その荷重変位曲線から時刻歴応答値を算出した。ここでは、衝撃力の実測値の一例と台車重量を変化させた計算結果を示す(図-18)。使用した台車重量は 69kN であり、計算値が実測値に概ね一致していることが検証できた。なお、各台車重量の計算値は、衝突速度を調整し衝突エネルギーを一定とした算定結果であるが、最大衝撃力に達するまでの力積が異なる結果となる(表-5)。

車両が衝突する現象は、衝突体の変形を伴う作用時間の比較的長い衝撃作用特性(ソフトな衝撃)として取り扱われるため、静的荷重による破壊性状とさほど変わらないとの報告もある。しかし、衝撃作用に対するひずみ速度や荷重速度、および衝突体と被衝突体の質量比によって破壊挙動が静的荷重の作用と異なることも知られている。よって、このような衝突実験においては、衝突体の重量と緩衝材を一定とした衝突試験により標準的な構造と性能を相対比較する手法や、力積と最大衝撃力などを考慮したより精緻な評価方法の検討が必要であると考えられる。

9. プレキャスト壁高欄の実橋への適用例

今回提案するプレキャスト壁高欄は、壁高欄を地覆

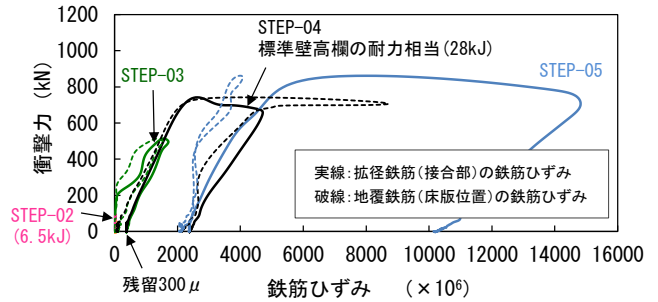
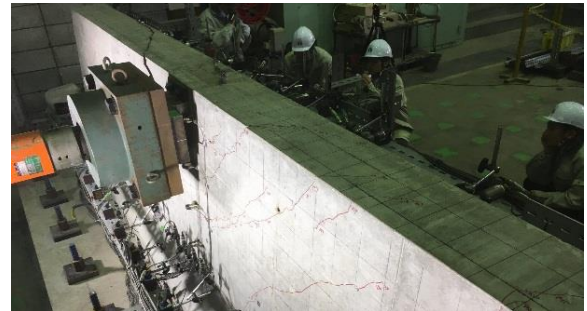


図-17 拡径鉄筋と地覆鉄筋のひずみ



a) 静的荷重による破壊性状



b) 衝撃力による破壊性状

写真-6 試験体の破壊性状の違い

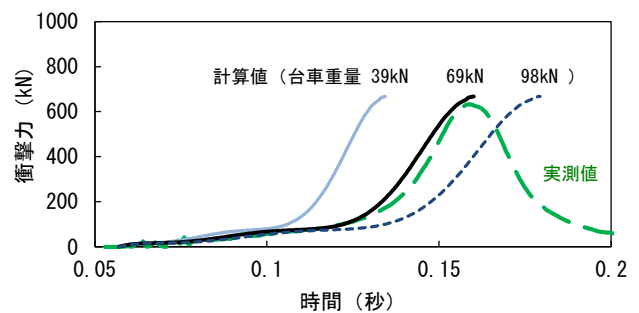


図-18 衝撃力の時刻歴応答値の算定結果

表-5 衝撃エネルギーと力積との関係

台車重量 (kN)	39	69	98
衝突速度 (m/s)	3.20	2.41	2.02
衝撃エネルギー (kJ)	20.4	20.4	20.4
力積 (kNs)	12.8	17.0	20.2

上縁で接合するタイプと地覆下縁で接合するタイプを開発した。実橋においては、後者のプレキャスト壁高欄を



採用した。静的および動的試験にくわえ、壁高欄の据付け試験や接合断面へのモルタル充填試験を実施し施工性についても確認を行った。その結果を踏まえ、施工法をマニュアルとして定め運用した。

実橋におけるプレキャスト壁高欄の設置状況を、写真-6 に示す。プレキャスト壁高欄から突出させた拡径鉄筋と床版に設けた箱抜き孔との接合部に充填する無収縮モルタルは、プレキャスト壁高欄を設置する直前に箱抜き孔に投入し、不可視部分に充填不良が生じない手順で接合作業を行った。箱抜き孔へのモルタル投入後、プレキャスト壁高欄を据え付け、床版および壁高欄同士の接合断面の型枠を組み立て、モルタルポンプを用いて無収縮モルタルを注入した。実橋における実工程から、プレキャスト壁高欄の1日当たりの施工延長は50m以上であり、作業の習熟とともにさらなる施工の急速化が見込めることが確認できた。

## 10. まとめ

開発したプレキャスト壁高欄の各種性能試験と実橋への適用で得られた知見を以下に示す。

- 1) 対象となる接合位置全てに拡径鉄筋を適用し統一化したため、接合時に配力筋などの追加部材を一切配置することなく現場作業の無駄を省けた。このため、開発したプレキャスト壁高欄の接合構造は、従来製品よりも施工の急速化を図ることが期待できる。
- 2) 静的載荷試験の結果より、開発したプレキャスト壁高欄は、車両用防護柵として要求される耐荷性能を十分満足していることが確認できた。プレキャスト壁高欄同士の接合部においても連続版としての挙動を示した。
- 3) 開発したプレキャスト壁高欄の標準配筋で端部に静的荷重を載荷した結果より、コンクリートおよび鉄筋の発生応力は許容応力度以下であった。しかし、今後は本構造の端部への採用に向け、拡径鉄筋の径をラックアップするなど施工性を配慮した対策を講じ、その挙動を確認する必要がある。
- 4) 開発したプレキャスト壁高欄の台車による衝突試験の結果より、高速道路の設計要領第二集で規定する標準配筋の場所打ち壁高欄と同等の耐荷性能および衝突安全性を有することが確認できた。
- 5) 標準壁高欄の耐力相当の荷重条件における衝突試験では、拡径鉄筋の破断や抜け出しは生じず、過載荷時においても接合構造の靱性や堅牢性が高いことが確認できた。なお、過載荷による壁高欄の衝撃破壊モードは、橋軸方向の全体曲げが先行した後、衝突位置から押し抜きせん断破壊で終局に至った。

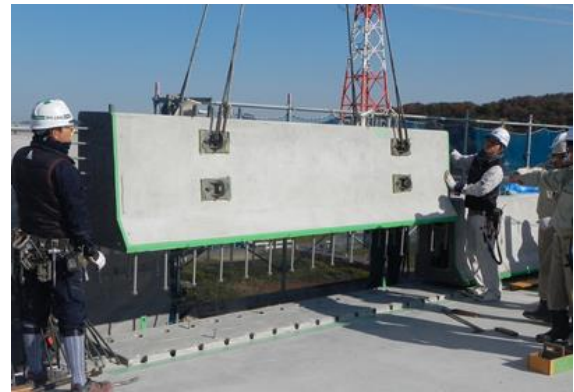


写真-6 実橋におけるプレキャスト壁高欄の施工

- 6) 開発したプレキャスト壁高欄は、接合構造の単純化と施工の急速化の両立を実現できた。このため、壁高欄の1日当たりの施工延長は50m以上であり、床版取替え工事におけるさらなる施工の急速化が見込める。

本開発では、従来煩雑な作業を伴っていたプレキャスト壁高欄の接合構造の課題を刷新するため、筆者らは「単純(Easy)」と「急速(Quick)」の二つのキーワードを掲げ、新たな接合構造の考案に始まり施工法の立案や種々の構造実験を行ってきた。本稿では開発プロセスの一部を取りまとめ報告を行ったが、全ての接合構造を拡径鉄筋と無収縮モルタルで定着する手法に統一化したことが開発の大きな成果となった。

今後、本格化する高速道路リニューアル工事に開発したプレキャスト壁高欄を展開し、交通規制の短縮による社会経済損失を低減するとともに、生産性向上に資するプレキャスト技術として貢献できれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 三加崇, 竹山忠臣, 有川直貴, 篠崎裕生: 端部拡径鉄筋の定着性能に関する検討, 三井住友建設技術研究開発報告 No.14, pp.39-42, 2016
- 2) 東日本・中日本・西日本高速道路株式会社: 設計要領第二集橋梁建設編, 平成28年8月
- 3) 社団法人日本道路協会: 防護柵の設置基準・同解説, 平成28年12月
- 4) 建設省土木研究所道路部, 日本道路公団試験研究所, (社)セメント協会ほか: 高速化対応型コンクリート製防護柵に関する共同研究報告書, 共同研究報告書第207号, 1998年6月
- 5) 東日本・中日本・西日本高速道路株式会社: 構造物施工管理要領, 平成29年7月
- 6) 社団法人日本道路協会: 車両用防護柵標準仕様・同解説, 平成16年3月
- 7) 公益社団法人土木学会: 構造工学シリーズ6「構造物の衝撃挙動と設計法」, 1994年1月