

# 論文 梁端開孔を有するヒンジリロケーション梁の逆対称加力実験

安田 稜太\*1・赤井 冬来\*2・金川 基\*3・丸田 誠\*4

**要旨:**筆者らは、RC 造骨組のプレキャスト化による施工の合理化を目的としてヒンジリロケーション(以下、HR)を適用する研究を行っており、既報では梁端開孔 HR を適応した片持ち梁加力実験を行った。本報では、梁端部や梁一般部に開孔(複数開孔)を設けた場合や T 形スラブ付きの逆対称梁加力実験を実施した。その結果、HR により、部材角  $R=1/20\text{rad}$  まで安定した靱性能を有することを確認した。特に、梁一般部に  $D/4$  ( $D$ : 梁せい) 開孔を設けた試験体および T 形スラブ付きのトップコンクリート強度を下げた強度打ち分け梁においても開孔部の損傷は少なく、優れた履歴性状を示し、更なる施工の合理化・省力化が期待できる。

**キーワード:** ヒンジリロケーション, プレキャスト, 高強度鉄筋, 機械式継手, 梁端開孔, 複数開孔

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート(以下、RC)造において、柱梁接合部をプレキャスト(以下、PCa)化することで、躯体工事の大きな省力化が期待できる。しかし、十字に梁が取付く中柱の柱梁接合部は、運搬車両の積み込み可能長さの制限から PCa 化が困難となる。また、梁端開孔を有する場合、開孔部の損傷が大きく大変形まで耐力を保持することは困難であることが多い。

この課題に対する 1 つの解決方法として、ヒンジ位置を移動させる技術、いわゆるヒンジリロケーション(以下、HR)の活用が考えられる。本研究における HR 部材は、図-1 のように柱面から継手部分にかけて梁主筋よりも高強度の鉄筋を用いて、梁端部を高強度鉄筋で補強するものである。

既報<sup>1)</sup>では、梁端部せん断余裕度や開孔部の補強方法を主な実験因子として HR 片持ち梁の構造実験を実施し、梁端部に開孔を設けた場合においても HR が成立し、梁端部の損傷が抑制できることを確認した。そこで本研究では、片持ち梁では検討が難しい、梁一般部にも開孔を設けた複数開孔梁や片側のみを HR させた梁、トップコンクリート強度を下げた強度打ち分け<sup>2)</sup>(以下、異種強度)梁といった実験因子を追加し、梁部材としての挙動および破壊性状の確認し、HR を適用した RC 梁の構造性能を明らかにすることを目的とした逆対称曲げを受ける梁(以下、逆対称梁)の構造実験を実施した。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体

試験体諸元を表-1 に、鉄筋の材料特性を表-2 に、試験体形状および配筋の例を図-2 に示す。既報<sup>1)</sup>では、修正広沢式<sup>3)</sup>による梁端部せん断強度  $cQ_{sm2}$  を RC 規準の略

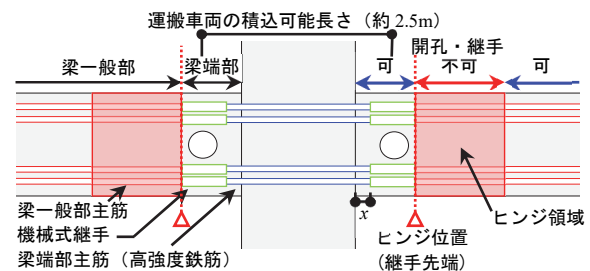


図-1 HR 接合部の概念

算式<sup>3)</sup>による梁一般部曲げ強度  $cQ_{fl}$  で除した梁端部せん断余裕度を 1.0 以上確保すれば、梁一般部における曲げ破壊が先行することを確認した。本実験ではこの値を 1.12~1.40 として設計し、梁部材としての限界部材角の確認のため、継手先端曲げ破壊型 5 体を計画した。

試験体は超高層集合住宅における基準階大梁の約 1/2 スケールを想定し、梁幅  $B$  を 300mm、梁せい  $D$  を 450mm、内法スパン  $L$  を 2000mm とした。梁端部の開孔径は  $D/4$  とし、水平位置は継手中央(スタブ面から  $0.39D$ )とした。なお、機械式継手に充填するモルタルには 120N/mm<sup>2</sup> 級のものを用いた。柱面から継手末端までの距離  $x$  は、既報<sup>1)</sup>と同じく、45mm および 0mm とした。

PB-18 は既報<sup>1)</sup>の片持ち梁を逆対称梁とした試験体であり、同等の性能を有するかを確認する。PB-19 は PB-18 の梁端部に  $D/4$  開孔を、継手先端から梁せい  $D$  離れた梁一般部には  $D/3$  開孔を設けた。PB-20 は入力せん断応力度レベルを 0.05 以上とした、複数開孔である。PB-21 は無開孔であり、片側のみを HR させ、継手末端をスタブ面付け(図-1 に示す  $x$  を 0mm)とした。PB-22 は梁の両側にスラブを設けた異種強度梁であり、異種強度による梁の打ち継ぎ面でずれが生じないように、ずれ防止筋<sup>2)</sup>を配筋した。HR 梁と異種強度梁を組み合わせた場

\*1 静岡理科大学 理工学研究科システム工学専攻 (学生会員)

\*2 西松建設(株) 技術研究所 建築技術グループ 修士(工学) (正会員)

\*3 西松建設(株) 技術研究所 建築技術グループグループ長 修士(工学) (正会員)

\*4 静岡理科大学 理工学部建築学科 教授 博士(工学) (フェロー会員)

表-1 試験体諸元

| 試験体   | PB-18                | PB-19          | PB-20            | PB-21            | PB-22 <sup>※2</sup> |                |
|---|----------------------|----------------|------------------|------------------|---------------------|----------------|
| 梁 (PCa) コンクリート強度 $b\sigma_B (bF_c)$         | [N/mm <sup>2</sup> ] | 62.8(60.0)     | 61.5(60.0)       | 43.3(42.0)       | 63.9(60.0)          | 63.3(60.0)     |
| トップコンクリート強度 $t\sigma_B (tF_c)$              | [N/mm <sup>2</sup> ] |                | —                |                  |                     | 37.1(36.0)     |
| 等価コンクリート強度 <sup>2)</sup> $e\sigma_B (eF_c)$ | [N/mm <sup>2</sup> ] |                | —                |                  |                     | 54.0(51.5)     |
| 開孔径 (梁端部)                                   | [mm]                 |                | 112.5(D/4)       |                  | —                   | 112.5(D/4)     |
| 開孔径 (梁一般部)                                  | [mm]                 | —              | 150.0(D/3)       | 112.5(D/4)       |                     | —              |
| 梁端部主筋                                       |                      | 8-D19 (SD590)  | 6-D19 (SD590)    | 8-D19 (SD590)    | 6-D19 (SD590)       | 6-D19 (SD590)  |
| 引張鉄筋比 $p_t$                                 | [%]                  | 2.12           | 1.54             | 2.12             | 1.53                | 1.53           |
| 梁一般部主筋                                      |                      | 8-D16 (SD490)  | 6-D16 (SD490)    | 8-D16 (SD490)    | 6-D16 (SD490)       | 6-D16 (SD490)  |
| 引張鉄筋比 $p_t$                                 | [%]                  | 1.47           | 1.07             | 1.47             | 1.06                | 1.06           |
| せん断補強筋                                      |                      |                | 4-S6@50 (KSS785) |                  |                     |                |
| せん断補強筋比 $p_w$                               | [%]                  |                | 0.84             |                  |                     |                |
| 開孔補強筋 <sup>※1</sup>                         |                      | 6-S10 (KSS785) |                  | —                | 6-S10 (KSS785)      | 6-S10 (KSS785) |
| 開孔補強筋比                                      | [%]                  | 1.19           | —                | —                | 1.19                | 1.19           |
| 孔際せん断補強筋 <sup>※1</sup>                      |                      | 12-S6 (KSS785) |                  | —                | 12-S6 (KSS785)      | 12-S6 (KSS785) |
| 孔際せん断補強筋比                                   | [%]                  | 0.75           | —                | —                | 0.75                | 0.75           |
| 入力せん断応力度レベル                                 |                      | 0.046          | 0.047            | 0.052            | 0.036               | 0.044          |
| 想定破壊モード                                     |                      | 継手先端曲げ         |                  | 継手先端曲げ<br>スタブ面曲げ | 継手先端曲げ              |                |

※1: -の前の数字は、孔周囲の補強筋の有効な範囲内<sup>3)</sup>で、円形孔中心より45°方向に引いた直線が交差する各補強筋の本数を示す。

※2: PB-22はスタブ筋にD6@100(SD295)を、ずれ防止筋に2-S8(KSS785)を用いた。

表-2 鉄筋の材料特性

| 鋼材  |        |                |        | 降伏強度<br>$\sigma_y$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強さ<br>$\sigma_{max}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数<br>$E_s$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----|--------|----------------|--------|--|--|--|
| 種類  | 材種     | 使用試験体          | 部位     |  |  |  |
| D16 | SD490  | 全試験体           | 梁一般部主筋 | 530.9                                      | 727.2  | 19.0×10 <sup>4</sup>                   |
| D19 | SD590  | 全試験体           | 梁端部主筋  | 642.8                                      | 815.2  | 19.4×10 <sup>4</sup>                   |
| S6  | KSS785 | 全試験体           | せん断補強筋 | 939.1                                      | 1134.7   | 17.7×10 <sup>4</sup>                   |
| S10 | KSS785 | PB-18,19,20,22 | 開孔補強筋  | 913.8                                      | 1109.5   | 18.8×10 <sup>4</sup>                   |
| D6  | SD295  | PB-22          | スラブ筋   | 398.4                                      | 601.4  | 17.8×10 <sup>4</sup>                   |
| S8  | KSS785 | PB-22          | ずれ防止筋  | 972.1                                      | 1191.3   | 19.6×10 <sup>4</sup>                   |

合の性状を確認する。なお、等価コンクリート強度  $eF_c$  の算出は、トップコンクリート強度  $tF_c$  と天端から打ち継ぎ面までの距離  $tD$  の積と梁 (PCa) コンクリート強度  $bF_c$  と下端から打ち継ぎ面までの距離  $bD$  の積の和を梁せい  $D$  で除した値とした<sup>2)</sup>。

## 2.2 載荷方法

セットアップ状況を図-3に示す。載荷は、試験体に軸力が作用しないように鉛直ジャッキで制御し、水平変形制御による正負交番漸増繰返し載荷とした。載荷サイクルは部材角  $R=\pm 1/800$  を1サイクル、1/400, 1/200, 1/100, 1/50, 1/33, 1/20rad.を各2サイクル行った。

## 3. 実験結果

せん断力一部材角関係および最終部材角の破壊状況を図-4に、実験結果と計算値を表-3に示す。表-3における梁一般部および梁端部せん断強度  $cQ_{su1}$ ,  $cQ_{su2}$  は、開孔を有する場合は修正広沢式<sup>3)</sup>を、無開孔試験体は荒川mean式<sup>3)</sup>により算出した。全ての試験体において、実験の最大強度  $eQ_m$  は梁一般部曲げ強度  $cQ_{fu1}$  以上となっており、安全側に評価できた。また、梁一般部に  $D/3$  開孔を設けた PB-19 以外の試験体では、最終部材角である  $R=1/20$ rad. サイクル負側まで耐力を保持し、最大耐力を迎

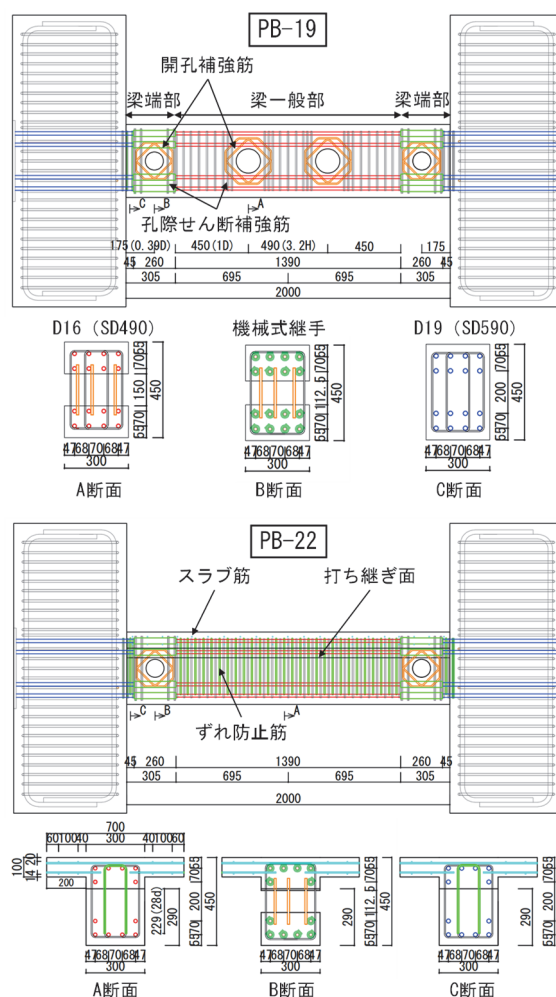


図-2 試験体形状および配筋の例

えた。しかし、PB-19では  $R=+1/20$ rad. サイクルまで他試験体と同様の安定した履歴性状を示したが、 $R=-1/20$ rad. サイクル途中で梁一般部開孔部のせん断破壊が生じた。

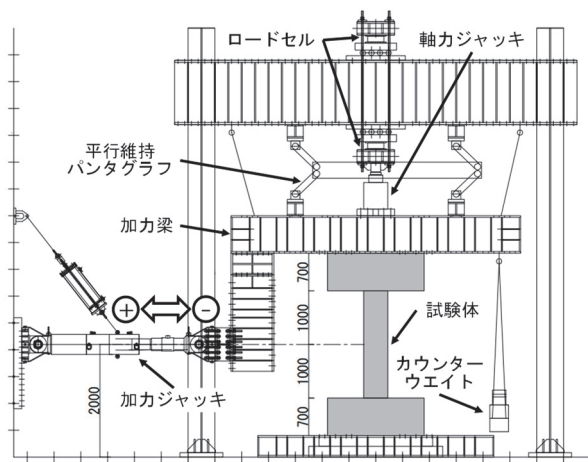


図-3 セットアップ状況

### 3.1 実験経過

全ての試験体で  $R=1/800\text{rad}$  時に梁端部に曲げひび割れが発生し、PB-18,19,20 では  $R=1/400\text{rad}$  時に、PB-21,22 では  $R=1/200\text{rad}$  時に梁一般部におけるせん断ひび割れが発生した。また、全ての試験体で  $R=1/100\text{rad}$  時に継手先端の1段筋、 $R=1/100\text{rad}$  時および  $R=1/50\text{rad}$  時に継手先端の2段筋が降伏し、HR が確認された。梁端部に開孔を設けた試験体では、最終部材角である  $R=1/20\text{rad}$  の1サイクル目で継手先端（ヒンジ位置）からの曲げひび割れや圧壊による梁端部上下のひび割れ進展により、開孔部せん断ひび割れが拡幅した。特に、PB-18 ではその傾向が顕著にみられたが、破壊状況から梁端部における損傷は少なく、履歴性状においても PB-19 を除いて、 $R=1/20\text{rad}$  の2サイクル目まで最大耐力の80%以上を保

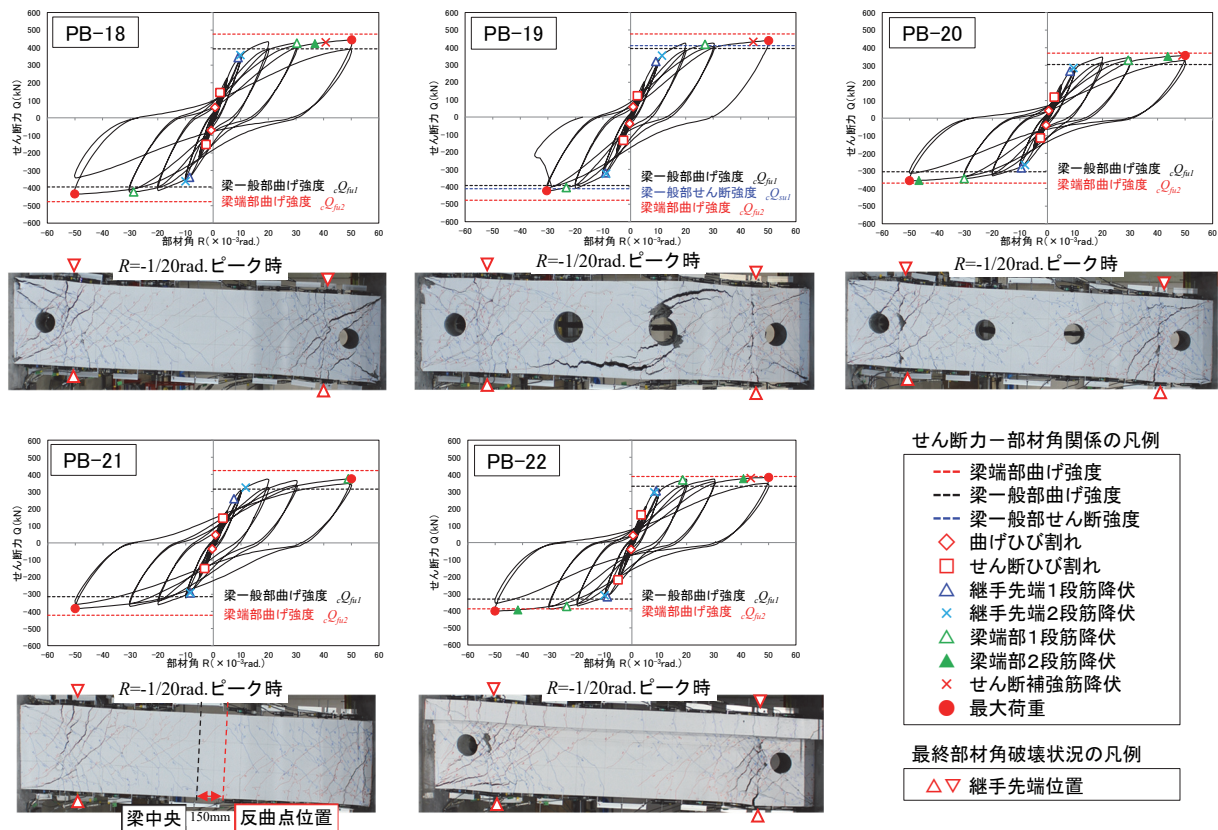


図-4 各試験体のせん断力-部材角関係および破壊状況

表-3 実験結果と計算値

| 試験体   | 実験値                    |   | 終局強度計算値                                      |   |                   |   |  |                   |                                     |                                    |  |      | 破壊モード<br>※3 |
|-------|------------------------|---|--|---|-------------------|---|--|-------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--|------|-------------|
|       |                        |   | 曲げ ※1  |   |                   |   |  | せん断               |                                     |                                    |  |      |             |
|       | 最大強度<br>$eQ_m$<br>(kN) | 最大強度部材角<br>$eR_m$<br>( $\times 10^{-3}\text{rad}$ ) | 梁一般部曲げ強度 <sup>3)</sup><br>$eQ_{fu1}$<br>(kN) | 梁端部曲げ強度 <sup>3)</sup><br>$eQ_{fu2}$<br>(kN) | $eQ_m / eQ_{fu1}$ | 梁一般部せん断強度 <sup>3)</sup><br>$eQ_{su1}$<br>(kN) | 梁端部せん断強度 <sup>3)</sup><br>$eQ_{su2}$<br>(kN) | $eQ_m / eQ_{su1}$ | 梁一般部せん断余裕度<br>$eQ_{su1} / eQ_{fu1}$ | 梁端部せん断余裕度<br>$eQ_{su2} / eQ_{fu1}$ | 梁一般部附着余裕度 <sup>4)</sup> ※2<br>$\tau_{bu} / \tau_f$ |      |             |
| PB-18 | 444                    | 50.2  | 393  | 477   | 1.21              | 503   | 0.84   | 441               | 1.01                                | 1.28                               | 1.12   | 1.60 | F           |
| PB-19 | 439                    | 50.1  | 393  | 477   | 1.21              | 411   | 1.07   | 439               | 1.00                                | 1.05                               | 1.12   | 1.59 | FS          |
| PB-20 | 356                    | 50.1  | 305  | 370   | 1.21              | 420   | 0.85   | 426               | 0.83                                | 1.38                               | 1.40   | 1.38 | F           |
| PB-21 | 384                    | 50.1  | 314  | 422   | 1.34              | 453   | 0.72   | 427               | 1.00                                | 1.44                               | 1.36   | 2.16 | F           |
| PB-22 | 401                    | 50.1  | 330  | 388   | 1.17              | 477   | 0.79   | 436               | 0.92                                | 1.45                               | 1.32   | 1.49 | F           |

※1: PB-22 の曲げ強度は、矩形と T 形の平均として算出。 ※2: 梁一般部附着余裕度は、靱性指針<sup>4)</sup>による附着信頼強度  $\tau_{bu}$  を梁一般部のスパンを用いた設計用附着応力度  $\tau_f$  で除した値。 ※3: 継手先端での曲げ破壊を F、継手先端曲げ降伏後の開孔部せん断破壊を FS とする。

持しており、梁端部せん断余裕度を1.12以上確保すれば、優れた靱性能を有することが確認できた。梁一般部に  $D/3$  開孔を設けた PB-19 は、 $R=+1/20\text{rad.}$  の1サイクル目まで他試験体と同様に耐力が上昇し、ピークで最大耐力となったが、その後の  $R=-1/20\text{rad.}$  で前回ピークである  $R=-1/33\text{rad.}$  を迎える直前で、急激な耐力低下を起し、梁一般部における開孔部せん断破壊となった。この原因については、5章で検討する。梁一般部に  $D/4$  開孔を設けた PB-20 は、 $R=1/20\text{rad.}$  の2サイクル目まで梁一般部における開孔部せん断ひび割れの拡幅は確認されなかった。開孔を設けずに片側のみを HR させ、継手末端をスタブ面付けとした PB-21 では、破壊性状から、片側のみ HR させたため反曲点位置が梁の中央ではなく、目視で HR していない側に  $150\text{mm}$  ( $D/3$ ) 程度移動していることを確認できた。また、表-3 より他試験体と比較して付着余裕度が大きく、スリップ性状が若干小さい履歴となった。さらに、他試験体では  $R=1/50\text{rad.}$  時もしくは  $R=1/33\text{rad.}$  時に梁端部の1段筋が降伏に至っているが、継手末端をスタブ面付けとしたことで、 $R=1/20\text{rad.}$  時に降伏に至った。このことから、継手末端をスタブ面付けとしたことで、他試験体と比較して梁端部主筋降伏を遅らせ、梁端部の損傷抑制効果が見られた。異種強度梁とし、梁の両側にスラブを設けた PB-22 は、 $R=1/20\text{rad.}$  の2サイクル目でスラブの圧壊が顕著になったものの、打ち継ぎ面でのずれは最大で  $0.5\text{mm}$  程度と小さく、異種強度による他試験体との破壊性状の相違は見られず、HR が成立していることを確認した。

### 3.2 主筋ひずみと曲率分布

PB-19 の負側サイクルピーク時における上端1段筋および2段筋のひずみ分布を図-5に、PB-19 および PB-21 の負側サイクルピーク時における平均曲率分布を図-6に示す。曲率は梁側面上下位置で計測した区間変形から

求めた区間平均曲率である。主筋ひずみ分布では、梁端部および梁一般部に開孔を設けた場合でも、継手先端が先行して降伏していることを確認した。平均曲率分布では、両試験体とも継手先端主筋降伏時の  $R=1/100\text{rad.}$  時までは梁端部における曲率が若干大きい傾向を示したが、降伏後の  $R=1/50\text{rad.}$  時以降は継手先端部の曲率が突出し、増大した。また、片側のみを HR とした PB-21 においても継手先端部の曲率の増大を確認した。さらに、他試験体と比較し、継手をスタブ面付けとしたことで梁端部における曲率が若干小さい傾向がみられたとともに、図-6に示す点より、曲率0の位置は中央位置  $1000\text{mm}$  から  $725\text{mm}$  の区間内と HR していない側に移動しており、反曲点位置は破壊性状と対応しているといえる。

以上のことから、複数開孔を設けた場合や片側のみを HR を計画した試験体においても継手先端位置での値が大きくなり、HR が成立したことを確認した。

### 3.3 ずれ防止筋ひずみ分布

PB-22 の負側サイクルピーク時におけるずれ防止筋のひずみ分布を図-7に示す。ひずみ計測位置は5箇所とも梁せいの中央である。図より、ひずみの値は最大で  $1500\mu$  程度であることを確認した。

## 4. ヒンジリロケーション梁の構造性能

### 4.1 等価粘性減衰定数

最大等価粘性減衰定数が他試験体と比較し低い傾向がみられた代表試験体 PB-20 の等価粘性減衰定数 ( $heq$ ) を図-8に示す。実験値と計算値を比較するために、限界耐力計算の減衰評価式による計算式を以下に示す。

$$heq(\%) = 1/\pi \times (1 - 1/\sqrt{\mu}) \times 100 \quad (1)$$

$\mu$  : 塑性率

全ての試験体で、初期サイクルを除き最終部材角である  $R=1/20\text{rad.}$  時まで上昇する傾向を示した。また、実験

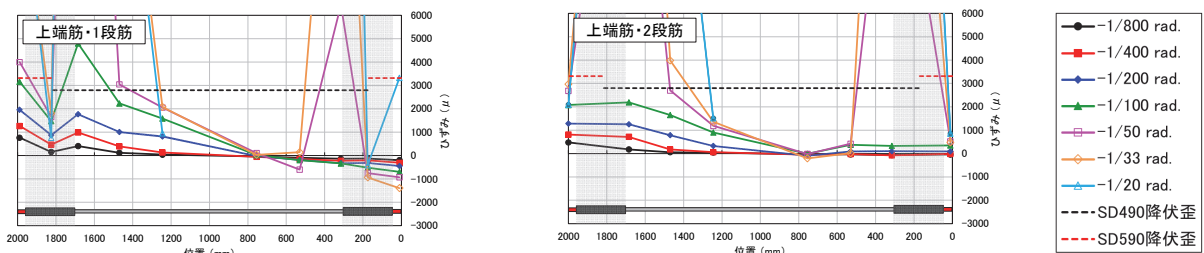


図-5 主筋ひずみ分布 (PB-19)

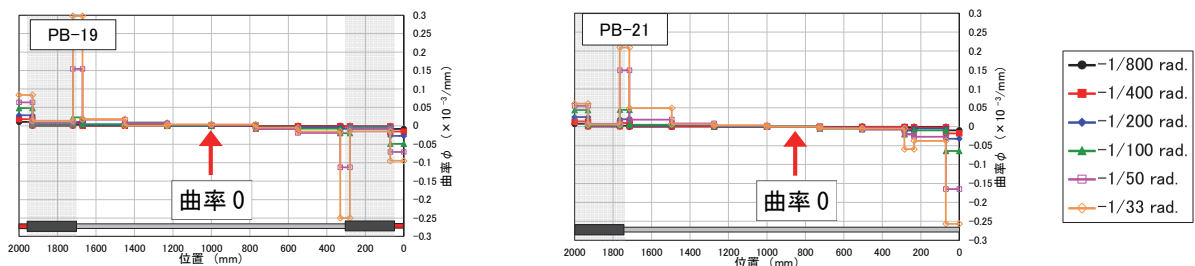


図-6 平均曲率分布 (PB-19, PB-21)

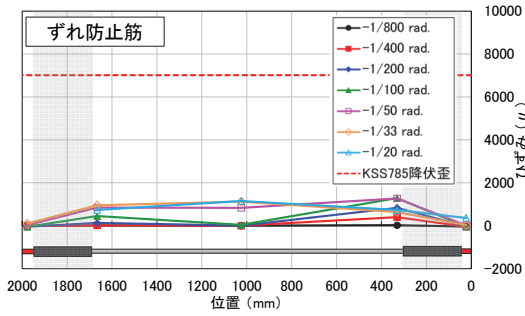


図-7 ずれ防止筋ひずみ分布 (PB-22)

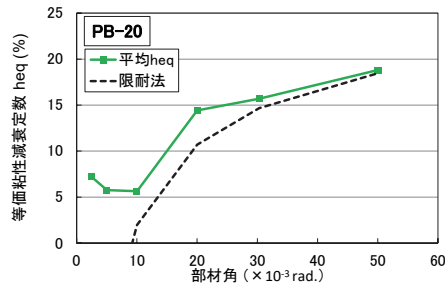


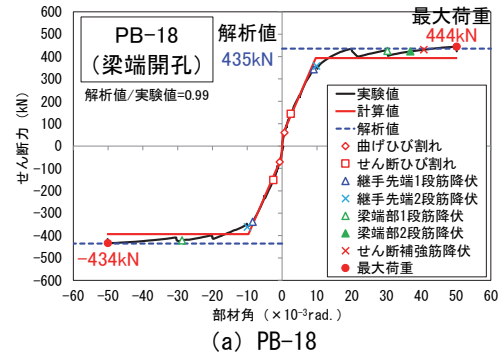
図-8 等価粘性減衰定数 (PB-20)

値が式(1)による計算値を上回った。HR し、複数開孔を設けた場合においても優れたエネルギー吸収能力を有していることを示し、一般的な RC 梁と同等な性能を有することを確認した。

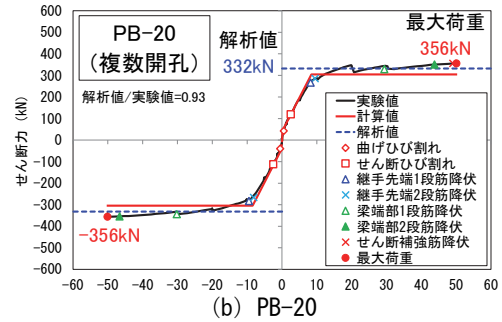
#### 4.2 骨格曲線の評価

既報<sup>1)</sup>の片持ち梁では、初期剛性は精度よく評価できることを確認したが、 $R=1/100\text{rad.}$ 時付近における梁曲げ降伏点で強度が出にくい傾向が見られた。そこで、梁端部に開孔を設けた PB-18、複数開孔を設けた PB-20 および梁の両側にスラブを付けた PB-22 の実験値、計算値およびファイバーモデルを用いた断面解析値との比較を図-9 に示す。計算値は文献<sup>3)</sup>に準じて、曲げひび割れモーメントは式(2)、弾性剛性は式(3)、剛性低下率は式(4)、曲げ終局モーメントは式(5)により算定した。また、PB-22 における T 形断面の断面二次モーメントは式(6)により算定した。全ての試験体で、式(3)の等価断面二次モーメント  $I_e$  は鉄筋による増大率を考慮し、形状係数  $\kappa$  は矩形 (=1.2) とした。なお、PB-22 の曲げ終局強度は、矩形と T 形の平均として算出し、解析値はスラブを圧縮・引張の両方の場合を考慮した平均とした。

3.2 節において、主筋降伏以前の曲率分布で梁端部が継手先端よりも大きい値を示していることから、梁端部における変形も考慮し、かつ、実験値との合致度が高いため、弾性剛性  $K_e$  および剛性低下率  $\alpha_y$  は梁全体のせん断スパンを用いた。各記号に関しては RC 規準<sup>3)</sup>を参照されたい。曲げ解析は、水平断面をコンクリート、鉄筋ともに小要素に分割し、平面保持仮定の下に曲率を与えて行い、高強度コンクリートを対象とした Fafitis-Shah モデル<sup>3)</sup>を用いた。また、鉄筋は完全弾塑性モデルとした。



(a) PB-18



(b) PB-20

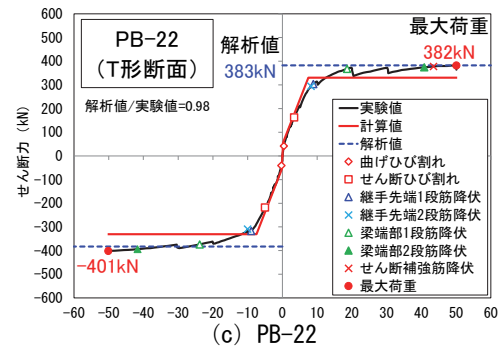


図-9 骨格曲線の評価

$$M_c = 0.56\sqrt{\sigma_B}Z_e \quad (2)$$

$Z_e$  : 等価断面係数

$$K_e = 1/(a^3/3E_cI_e + \kappa a/G_cA_c) \quad (3)$$

$a$  : せん断スパン (梁中央からスタブ面まで)

$I_e$  : 等価断面二次モーメント (鉄筋考慮)

$\kappa$  : 形状係数 (=1.2)

$G_c$  : せん断弾性係数

$$\alpha_y = (0.043 + 1.64np_t + 0.043a/D)/(d/D)^2 \quad (4)$$

$n$  : ヤング係数比

$$M_u = 0.9a_t\sigma_yd + 0.9a_{ff}\sigma_y(D - d_f) \quad (5)$$

$a_f$  : スラブ引張鉄筋断面積

$f\sigma_y$  : スラブ筋降伏強度

$d_f$  : 天端から引張鉄筋重心位置までの距離

$$I_T = 4\alpha - 3\beta^2/\gamma \cdot bD^3/12 \quad (6)$$

$\alpha, \beta, \gamma$  : スラブによる断面二次モーメント増大率の係数<sup>3)</sup>

比較した結果、全ての試験体でひび割れ点および弾性剛性はおおむね精度良く評価できることを確認した。また、ファイバーモデルを用いた曲げ解析値が実験の最大強度を精度良く評価できることを確認した。しかし、既報<sup>1)</sup>の片持ち梁と比較し、本実験では梁曲げ降伏強度は

実験値に近い値を示したものの、計算値が大きめに評価する傾向がみられ、一般のRC梁のように $R=1/100rad$ 程度で強度が出ていない。原因として、主筋に高強度鉄筋を使用していること考えられる。今後の課題として、高強度鉄筋を含む梁部材の復元力特性について詳細な検討を行う必要がある。

## 5. 無開孔梁の計算値との比較・検討

3.1 節において、梁一般部に  $D/3$  開孔を設けた PB-19 は、梁一般部せん断余裕度を 1.0 以上(1.05)確保しても、 $R=1/20rad$  で急激に耐力低下し、梁一般部における開孔部せん断破壊となり、靱性能が低下した。このせん断余裕度は両端ヒンジを仮定したせん断力より算出している。そこで、高強度開孔補強筋を用いた有孔梁開孔部の補強設計法<sup>9)</sup>に基づき、有孔梁のせん断余裕度  $Q_{DI}$  を算出した。その計算値を表-4 に示す。有孔梁のせん断余裕度  $Q_{DI}$  は式(7)に示すように、耐力低減係数を用いず、有孔梁実験値の余裕度  $\alpha_{01}$  と設計用せん断力式が有する余裕度  $\alpha_1$  を別々に扱い行う補強設計方法である。上記設計法による、無開孔のせん断終局強度以上のせん断耐力を期待する場合のせん断余裕度計算式は式(7)により算定した。

$$Q_{DI} = \alpha_{01} \times Q_{HI} / \alpha_1 \times Q_{SU1} \quad (7)$$

$\alpha_1$ : RC 造無孔梁の大野・荒川 min 式の余裕度 (=1.62)

$\alpha_{01}$ : RC 造有孔梁実験値の  $Q_{HI}$  に対する余裕度 (=1.34)

$Q_{SU1}$ : RC 造無孔梁の大野・荒川 min 式<sup>3)</sup>

$Q_{HI}$ : RC 造有孔梁の修正広沢式<sup>3)</sup>

表-4 高強度開孔補強筋を用いた有孔梁開孔部の補強設計法による計算値

| 試験体   | 設計用せん断力計算値                                     |
|-------|--|
|       | 無開孔のせん断終局強度以上のせん断耐力を期待する場合の梁一般部せん断余裕度 $Q_{DI}$ |
| PB-19 | 0.77   |
| PB-20 | 0.88   |

表-4 より、PB-20 の梁一般部せん断余裕度が 1.0 に満たない 0.88 であるが開孔部せん断破壊には至っていない。しかし、 $D/3$  開孔とした PB-19 では 0.77 とさらに小さく、このことが一つの原因として靱性能の低下につながったと考えられる。

## 6. まとめ

本研究では、梁端部および梁一般部に開孔を有する HR 梁や片側のみ HR させた梁、T 形スラブ付き HR 梁の逆対称梁加力実験を実施し、本実験の範囲において、以下の結論を得た。

- (1) せん断力-部材角関係、破壊状況および主筋ひずみ分布より、本実験の範囲では、梁端部および梁一般

部に開孔 ( $D/4$ ) を設けた場合や異種強度梁とした T 形スラブ付き試験体においても継手先端位置で先行して降伏し、無開孔と同様に HR が成立し、優れた変形性能を実現できることが分かった。

- (2) 片側のみ HR を計画した試験体においても想定した破壊モードとなり、HR の成立を確認した。
- (3) 梁端部せん断余裕度を 1.12 以上確保すれば、梁一般部における曲げ破壊が先行することを確認した。
- (4) 継手末端をスタブ面付けとした試験体では、他試験体と比較して梁端部主筋降伏を遅らせ、梁端部の損傷抑制効果が見られた。
- (5) 異種強度梁とした試験体では、最終部材角まで打ち継ぎ面でのずれは最大で 0.5mm 程度と小さく、梁端部に開孔を設けた場合においても他試験体と同様に HR が成立し、優れた靱性能を有した。
- (6) 骨格曲線の評価において、曲げひび割れ点および初期剛性、ファイバーモデルによる最大強度の評価はおおむね精度良く評価できることを確認した。しかし、梁曲げ降伏点は計算値が大きく評価する傾向が見られた。
- (7) 梁一般部に  $D/3$  開孔を設けた試験体では、梁一般部せん断余裕度を 1.05 確保しても、靱性能が低下した。原因として  $D/3$  の大開孔であること、両端 HR を想定したこと、高強度開孔補強筋を用いた有孔梁開孔部の補強設計法による無開孔のせん断終局強度以上のせん断耐力を期待する場合では、梁一般部せん断余裕度が 0.77 と低いことが考えられる。

## 参考文献

- 1) 安田稜太, 赤井冬来, 金川 基, 丸田 誠: 梁端部に開孔を有するヒンジリロケーション梁に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.2, pp.433-438, 2022
- 2) 金川 基, 濱田 聡, 竹中啓之, 高橋孝二: プレキャストコンクリート強度打ち分け RC 梁に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.2, pp.193-198, 2018
- 3) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 2018
- 4) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 1999
- 5) Fafitis, A. and Shah, S.P.: Lateral Reinforcement for High-Strength Concrete Columns, ACI, SP-87, pp.213-232, 1985
- 6) ダイヤレン NS 技術マニュアル, コーリョー建販株式会社