

# 有開口並列プレキャスト PC 大梁工法の研究開発

## Parallel Type Girders using Precast Prestressed Concrete Members with Multiple Openings

小坂 英之 HIDEYUKI KOSAKA

新上 浩 HIROSHI SHINJO

田野 健治 KENJI TANO

山中 久幸 HISAYUKI YAMANAKA

複数の設備用開口を設けた PCaPC 梁部材を 2 本並列に配置する大梁工法を考案し、この基本性状を把握することを目的として長期荷重および地震荷重を作用させた載荷実験を実施した。実験の結果、荷重-変形関係は紡錘形の履歴ループを示し、大変形に至るまで荷重低下の見られない良好な性状であることを確認した。並列配置した 2 つの PCaPC 梁のひび割れ状況および変形状は同様であり、分離されていることによる影響は見られなかった。

**キーワード:** プレキャスト, プレストレス, 開口, 長期荷重, 地震荷重

Loading tests of a parallel type girder using two precasted prestressed concrete members with multiple openings were conducted to verify the structural performance. The girder was subjected to both long term loads and cyclic seismic loads in the tests. In this paper, it was shown that the hysteretic loop of load-displacement relationship had spindle shapes and that strength deterioration was not seen up to at large displacement level. Cracking patterns and deformation behavior of two members which compose a parallel type girder were similar, and the influence of division of members into two parts was not observed.

**Key Words:** Precast, Prestress, Opening, Long Term Load, Seismic Load

### 1. はじめに

大きな無柱空間が求められるオフィス建築などの構造種別は鉄骨造が主流となっているが、昨今ではプレストレストコンクリート (PC) 工法の普及によって鉄骨を用いず鉄筋コンクリート (RC) 造で計画することが可能となってきている。施工法としては高品質と工期短縮を図る手段として工場生産の部材を現場で取り付けるプレキャスト (PCa) 工法の適用が考えられる。しかしながら、大スパンの大梁を PCaPC 化するには、部材の運搬・揚重時の制約条件を満足する部材分割、部材へのプレストレスの導入範囲や導入方法などの実用上の諸課題を同時に解決する必要がある。また、オフィスでは天井内の設備配管を自由に計画できるように、大梁に複数の大開口を設ける必要がある。

筆者らは、このような課題を解決する大スパン大梁工法の一つとして、複数の大開口を有する PCaPC 梁を 2 本並列に配置して 1 本の大梁を構成する構造を考案した。

本報は、この有開口 PCaPC 並列大梁工法の概要ならびに本工法の基本性状を把握するために実施した、長期荷重と地震荷重の双方を作用させた載荷実験について報告するものである。

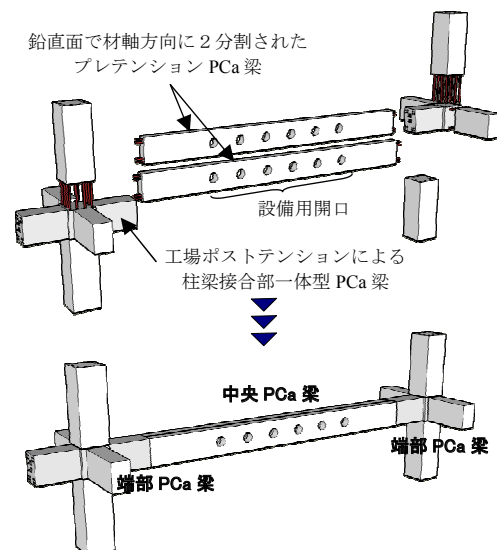


図-1 工法概要

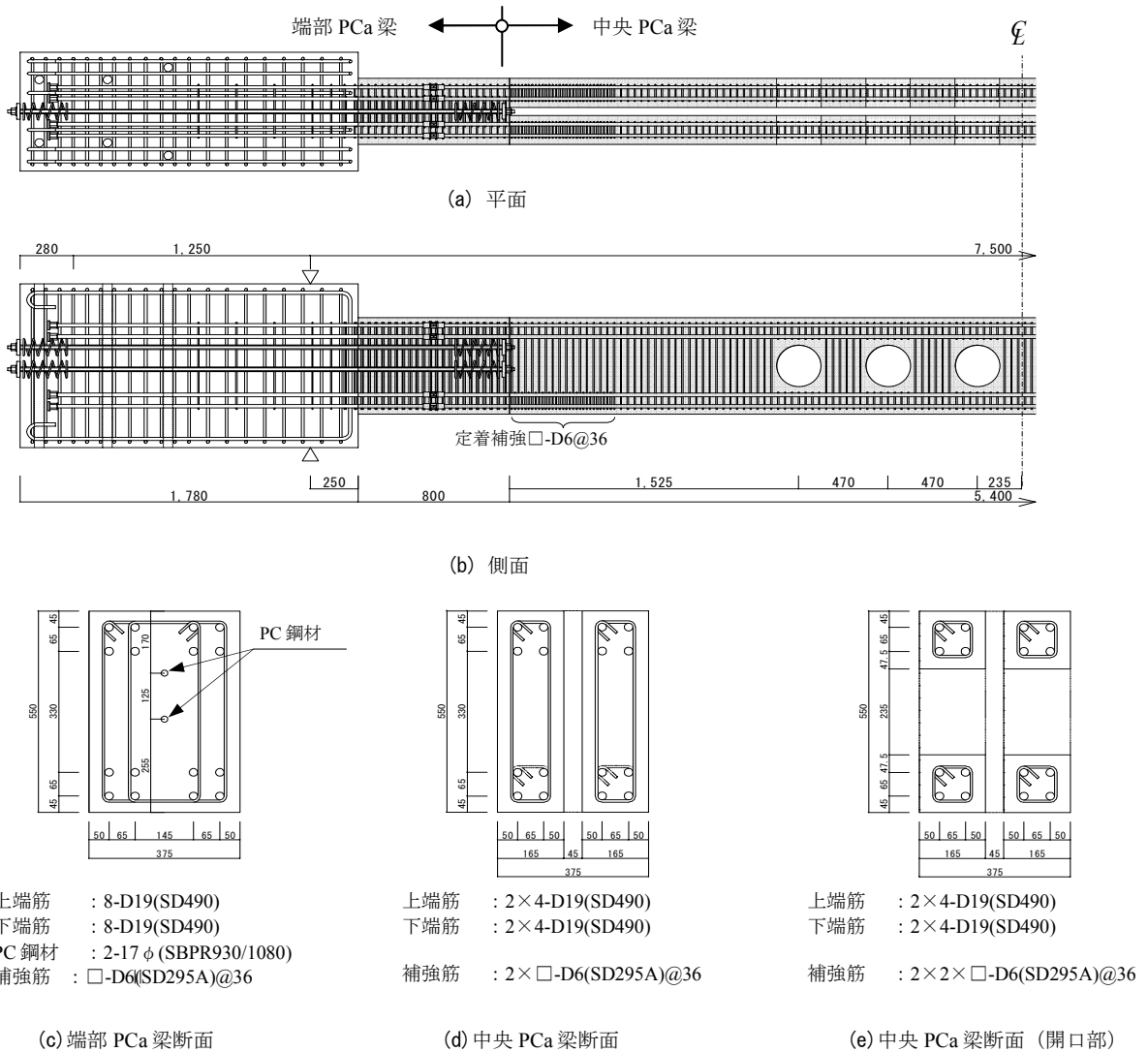


図-2 試験体図

## 2. 有開口並列 PCaPC 大梁工法の概要

図-1 に工法概要を示す。本工法の大梁は、梁端部は柱梁接合部一体型の工場ポストテンション方式の PCaPC 梁（以下、端部 PCa 梁）とし、梁中央部は鉛直面で材軸方向に 2 分割されたプレテンション PCaPC 梁（以下、中央 PCa 梁）を並列に組合せて構成するものである。地震時に高応力を受ける梁端部は通常の断面を確保し、梁中央部は PCa 部材を分割して軽量化を図っている。中央 PCa 梁には、設備配管用に複数の開口があり、並列する 2 つの中央 PCa 梁は床スラブによって一体とする。

端部 PCa 梁には梁主筋用の機械式継手を埋込んでおり、これと中央 PCa 梁から突出した梁主筋を接合することでフル PCa 部材同士の施工を可能とする工法である。

## 3. 長期荷重を作用させた曲げせん断実験

### (1) 試験体計画

図-2 に試験体形状および配筋を示す。試験体は、梁端部の曲げ降伏を想定した約 1/2 縮尺モデルである。端部 PCa 梁および中央 PCa 梁の部材長は各々 780mm、5,400mm とし、両者間に 20mm の目地部を設けて梁の内法長さ  $L_0$  は 7,000mm とした。端部 PCa 梁は幅  $b$  が 375mm、せい  $h$  が 550mm である。中央 PCa 梁は、 $b \times h = 165 \times 550$ mm ( $b/h = 1/3.3$ ) の梁を 45mm のクリアランスを設けて並列させており、外形寸法を端部 PCa 梁と同じにしている。本実験では、中央 PCa 梁の 2 つの梁同士の挙動の差異を確認するためにスラブは設けておらず両者は一体化していない。

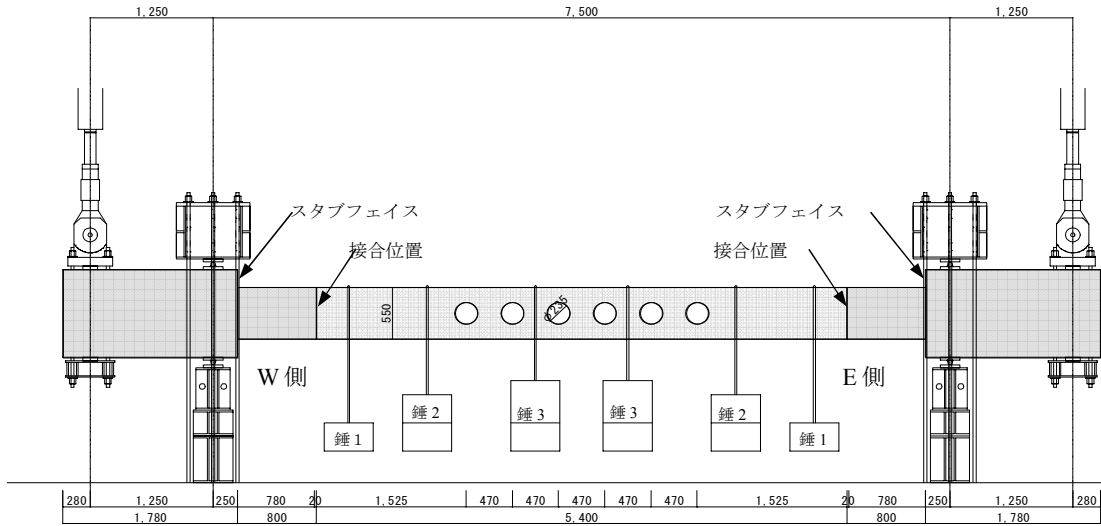


図-3 加力装置図

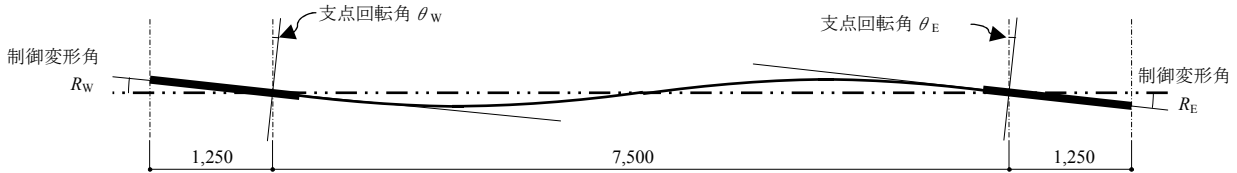


図-4 実験時の制御変形角 R と支点回転角  $\theta$

中央 PCa 梁は、鉄筋緊張によるプレテンション PCa 梁<sup>1),2)</sup>とし、あらかじめ下端主筋（各 4-D19 (SD490)）に引張力（ $\Sigma P=349\text{kN}$ ）を導入した状態でコンクリートを打設し、コンクリート強度の発現後に下端筋の引張力を解放しプレストレスを導入した。端部 PCa 梁はプレキャスト部材を想定（図-1 参照）しているが、本実験では中央 PCa 梁のプレストレス導入後に、中央 PCa 梁と端部 PCa 梁の主筋を機械式継手で接合し、その後コンクリートを打設した。コンクリート強度の発現後に、スタブ部分を含めて PC 鋼材（2-17 $\phi$  (SBPR930/1080)）によりプレストレス（ $\Sigma P=344\text{kN}$ ）を導入した。なお、端部 PCa 梁および中央 PCa 梁の双方の接合面にはせん断コッターを設けている。

試験体の降伏位置は、プレストレス力および長期荷重の影響を受けるため、上端引張となる場合にはスタブフェイス位置、下端引張となる場合には中央 PCa 梁と端部 PCa 梁の接合位置となる。

表-1、表-2 に使用材料の試験結果を示す。

## (2) 加力方法

図-3 に加力装置図を示す。加力は、錘を吊るすことによって長期荷重時の応力状態を模擬し、その後到大野式加力装置により左右の油圧ジャッキで地震荷重に相当する逆向きの荷重を与える正負交番载荷とした。制御はジ

表-1 材料試験結果（鋼材）

使用部位	呼び名 (種別)	降伏点 [N/mm <sup>2</sup> ]	引張強さ [N/mm <sup>2</sup> ]	伸び [%]
梁主筋	D19 (SD490)	538	715	16
補強筋	D6 (SD295A)	363	529	22
PC鋼材	17mm (SBPR930/1080)	106 <sup>※</sup>	1154	14

※0.2%オフセット値

表-2 材料試験結果（コンクリート）

使用部位	圧縮強度 $\sigma_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	圧縮強度 時のひずみ $\epsilon_0$ [ $\times 10^{-6}$ ]	ヤング係数 E [ $\times 10^4 \text{N/mm}^2$ ]	割裂強度 $\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
中央PCa梁	36	1890	2.69	3.2
端部PCa梁 スタブ	59	2560	3.39	3.8

ャッキ荷重によるスタブの変位で行い、図-4 に示すようにスタブの回転角を制御変形角 R とし、左右の変形角が等しく（ $R=R_E=R_W$ ）なるように载荷した。加力履歴は、 $R=\pm 1/800, 1/400, 1/200, 1/100, 1/67, 1/50, 1/33$ （各 2 回）、 $1/20$ （各 1 回）rad の正負繰返し载荷後、 $+1/10$  rad まで押し切ることとした。

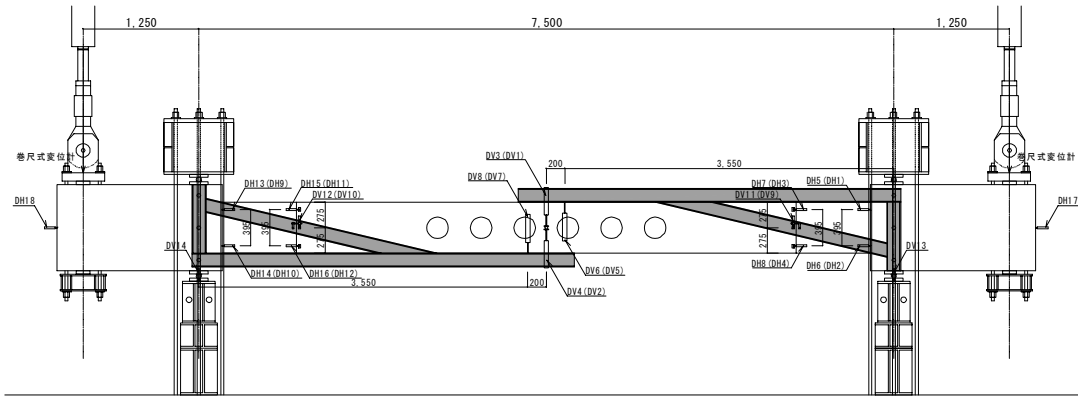


図-5 変位計測位置

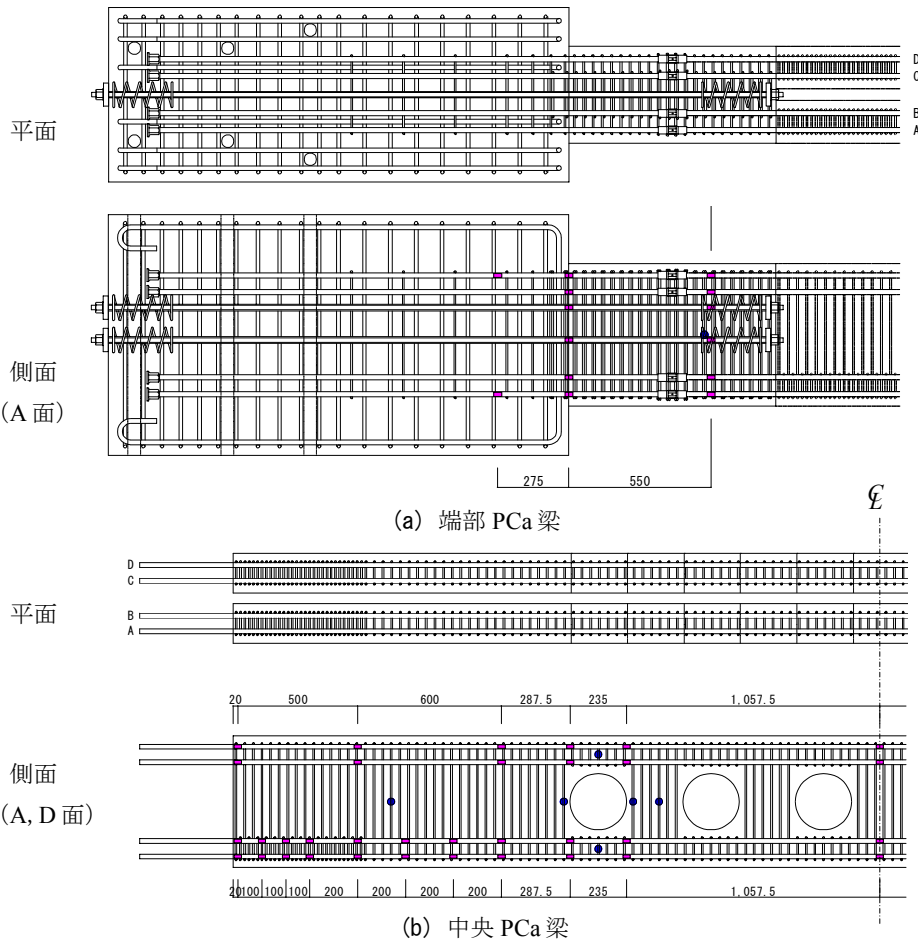


図-6 ひずみゲージ貼付位置

(3) 計測方法

図-5 に変位の計測位置を示す。変位はひずみゲージ式変位計を用い、ピン支点位置に固定した計測フレームを基準とし、梁中央位置と左右の計測フレーム間の変位 (DV1~4) および左右の計測フレーム間の変位 (DV5~8) を計測した。また、スタブフェイスの材端回転角 (DH1,2,5,6,9,10,13,14)、端部 PCa 部材と中央 PCa 部材の接合面の回転角 (DH3,4,7,8,11,12,15,16) およびずれ変形 (DV9~12) を計測した。

図-6 にひずみゲージの貼付位置を示す。ひずみの計測は、中央 PCa 部材の下端筋においては、材端部は材端 20mm の位置から鉄筋径 D の約 5 倍 (=100mm) ごとに 320mm まで、そこから中央に向かって鉄筋径 D の約 10 倍 (=200mm) ごとに 1,120mm まで、そして最も材端部側にある開口の両端および部材中央に貼付した。上端筋においては計測箇所を減じている。端部 PCa 梁は、スタブフェイス位置および 1.0D 離れた位置の主筋および PC 鋼棒に貼付した。

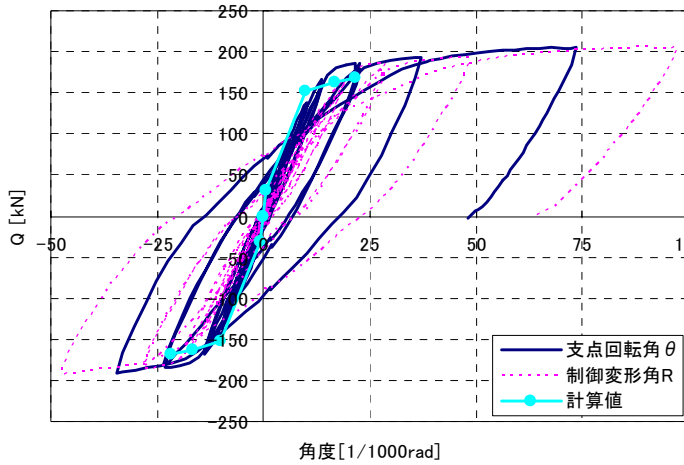


図-7 せん断力-支点回転角関係

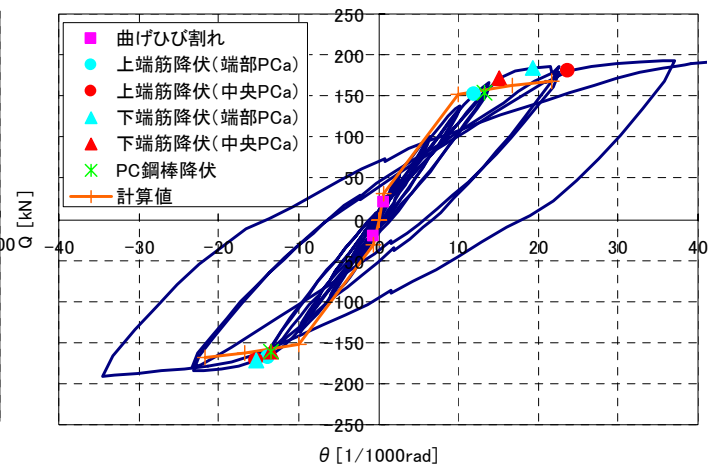


図-8 諸現象の発生状況



図-9 最終破壊状況

## 4. 実験結果

### (1) 荷重-変形関係

図-7 に地震荷重に相当する鉛直加力による梁せん断力  $Q$  と支点回転角  $\theta$  の関係を示す。同図には、両端のスタブフェイス位置が降伏することを仮定し、略算式によって算定した骨格曲線計算値および  $Q$  と制御変形角  $R$  の関係を併記した。 $Q$ - $\theta$  関係の包絡線形状は、骨格曲線の計算値とおおむね対応している。また履歴ループは、エネルギー吸収能力に優れた紡錘形を示し、最終加力までせん断力の低下は見られなかった。

図-8 は  $Q$ - $\theta$  曲線上に諸現象の発生状況を示し、骨格曲線の計算値と比較したものである。曲げひび割れの発生後、梁主筋の降伏現象は、正加力では端部 PCa 梁の上端、中央 PCa 梁の下端、端部 PCa 梁の下端、中央 PCa 梁の上端の順に確認された。端部 PCa 梁の上端主筋降伏後には、PC 鋼棒も降伏ひずみに達している。これらの諸現象の発生時期は、計算値とおおむね対応している。

### (2) 破壊状況

図-9 に最終破壊状況を示す。長期荷重相当の鉛直荷重を載荷した時点で、端部 PCa 梁と中央 PCa 梁の接合位置で部材間に若干の目聞き変位が確認された。鉛直加力開始後、 $R = \pm 1/800\text{rad}$  への加力で端部 PCa 梁に曲げひび

割れが発生し、その後部材中央方向へとひび割れの本数が増加した。中央 PCa 部材の上面にプレストレス力によって生じていた曲げひび割れは、加力によってひび割れ長さが進展した。また  $R = \pm 1/100\text{rad}$  への加力時には、最も端部側の開口周りにせん断ひび割れが発生した。

その後、 $R = +1/50\text{rad}$  への加力において、端部 PCa 梁のスタブフェイス位置の上端筋が降伏し、その後は前述のとおり、中央 PCa 梁の下端、端部 PCa 梁の下端、中央 PCa 梁の上端の順に梁主筋が降伏した。梁主筋降伏後、スタブフェイス位置で軽微なコンクリートの圧壊が生じ、その後の加力で圧壊が進展するとともに、ほぼすべての PC 鋼棒が降伏ひずみに達した。

最終 ( $R = +1/10\text{rad}$ ) 加力時には、端部 PCa 梁のスタブフェイス位置でのコンクリートの圧壊ならびに梁接合位置での中央 PCa 梁端側のコンクリートの一部圧壊が生じていたものの、せん断力の低下は見られなかった。

また、中央 PCa 梁の 2 つの梁のひび割れ状況および各部の変形性状は同様であり、一体化されていないことによる影響は見られなかった。本実験の中央 PCa 梁のせいに対する幅の形状比は 1/3.3 であるが、この形状比がさらに小さくなる場合には検討が必要であろう。

### (3) 回転角の推移

図-10 に地震荷重に相当する鉛直加力によるせん断力

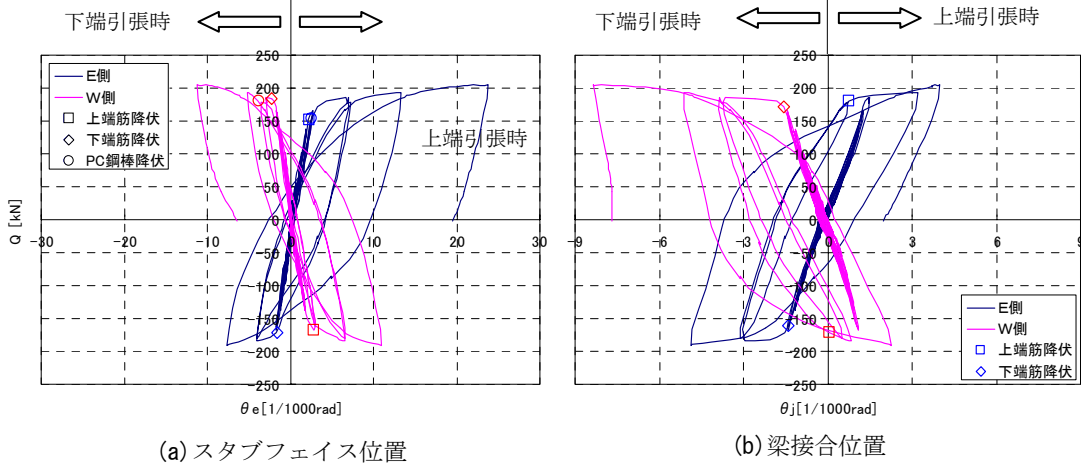


図-10 せん断力と回転角の関係

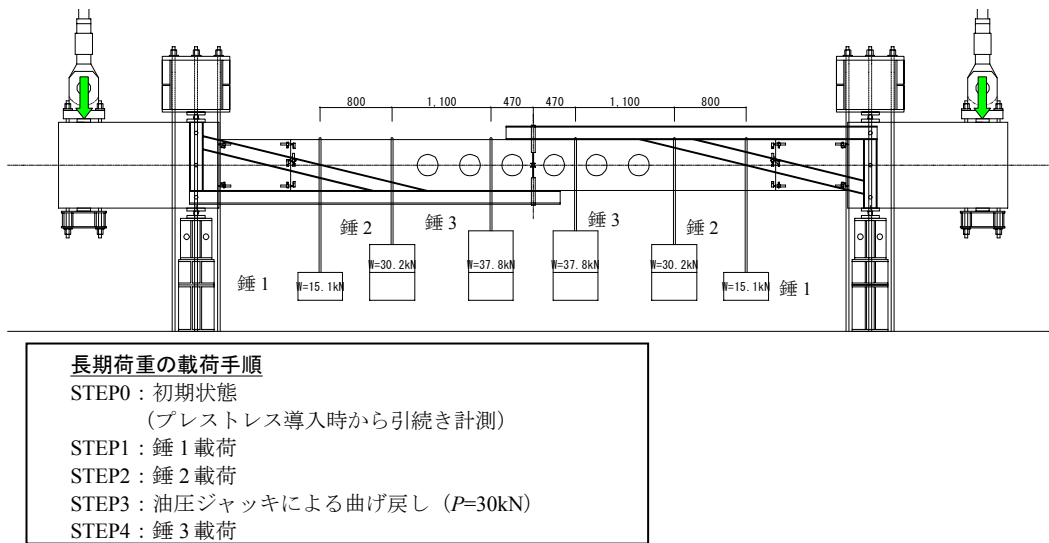


図-11 長期荷重の載荷手順

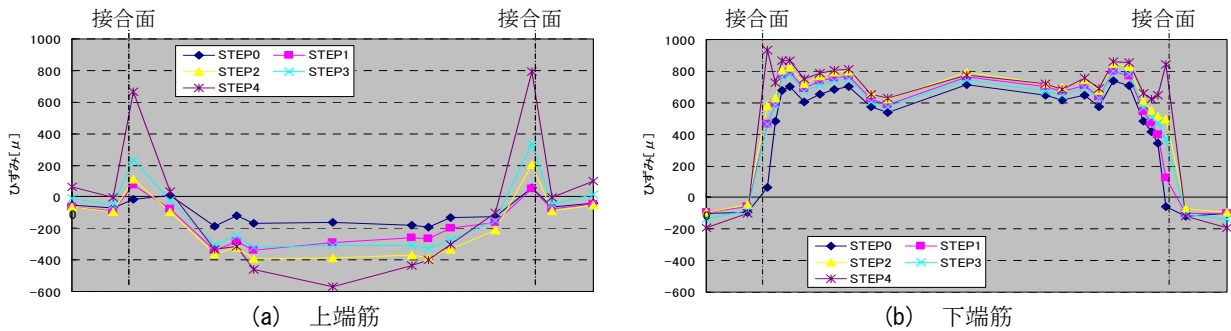


図-12 長期荷重の各載荷ステップにおける梁主筋のひずみ分布

$Q$  とスタブフェイス位置の回転角  $\theta_e$  の関係および  $Q$  と PCa 梁の接合位置の回転角  $\theta_j$  の関係を示す。なお  $\theta_e$  に比べて  $\theta_j$  は小さいため、図の横軸のスケールを変えて表示している。ここでは、せん断力、回転角ともに長期荷重の影響は考慮していない。回転角は、主筋および PC 鋼棒の降伏とともに急激に大きくなっていることがわかる。

(4) 梁主筋のひずみ分布

a) 長期荷重作用時

図-11 に長期荷重に相当する鉛直荷重の載荷手順を、図-12 に各載荷ステップにおける梁主筋のひずみ分布を示す。長期荷重時の応力は、施工時解析結果を反映させた応力分布とし、載荷順序は端部上端、中央下端にひび割れを発生させないように図-11 に示すステップで作用



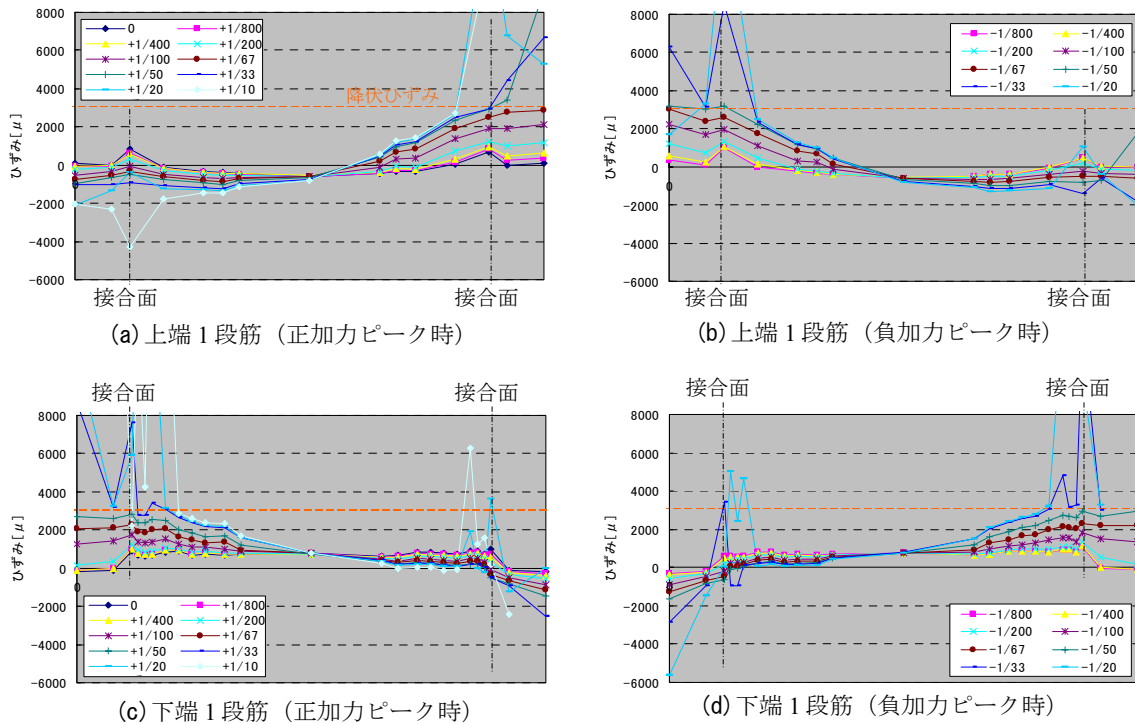


図-13 地震荷重作用時の梁主筋のひずみ分布

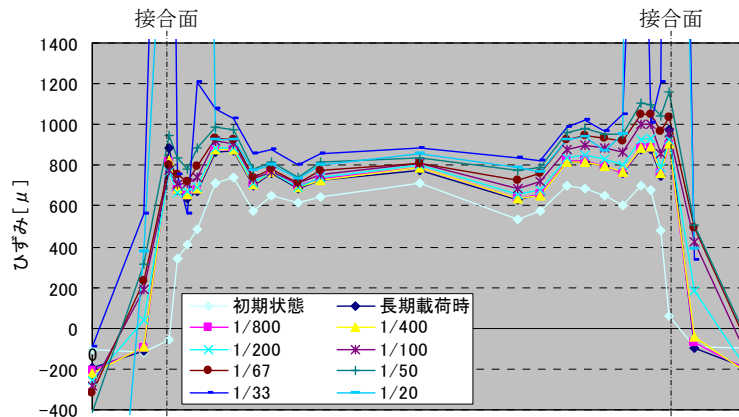


図-14 プレストレスを導入した中央 PCa 梁下端筋のひずみ分布 (下端 1 段筋)

させた。長期荷重を作用させる過程において梁接合位置のひずみは以下に示すように不連続となった。

初期状態 (STEP0) 以降、ひずみは上端筋、下端筋ともに引張側に大きくなり、垂載荷完了時 (STEP4) のひずみ増分量は上端筋で  $\Delta\varepsilon \approx +700\mu$ 、下端筋で  $\Delta\varepsilon \approx +900\mu$  となった。このときの接合位置の目開き変位は、上端筋位置で  $\Delta\delta = 0.28\text{mm}$ 、下端筋位置で  $\Delta\delta = 0.35\text{mm}$  であった。これらは曲げ変形に伴う材軸の伸びによる影響が梁接合位置に集中したためと考えられる。一方、接合面の鉛直方向のずれは、コッターの効果によって、ほとんど生じていない。

プレストレスを導入した中央 PCa 梁の下端筋の定着長さは、STEP4 時のひずみ分布を見ると中央 PCa 梁の端部から 200~300mm 程度であることを示している。

#### b) 地震荷重作用時

図-13 に地震荷重作用時の梁主筋のひずみ分布を示す。上端引張時にはスタブフェイス位置のひずみが先行し、下端引張時には梁接合位置のひずみが先行して大きくなっていることが分かる。

図-14 は、プレストレスを導入した中央 PCa 梁の下端 1 段筋について、各変形角経験後の除荷時のひずみ分布を示したものである。部材端部 (緊張鉄筋定着位置) での除荷時のひずみは、制御変形角  $R=1/200\text{rad}$  程度までは長期荷重作用時の状態を保持しているが、その後は変形角が増すごとに徐々に増加している。

## 5. まとめ

有開口 PCaPC 並列大梁工法の概要および長期荷重と地震荷重の双方を作用させた載荷実験の結果について報告した。結果をまとめると以下のとおりである。

- ① せん断力-変形角関係は、エネルギー吸収能力に優れた紡錘形を示し、最終加力までせん断力の低下が見られない良好な性状を示した。また、包絡線形状と骨格曲線の計算値はよい対応を示した。
- ② 並列配置させた2つの中央 PCa 梁のひび割れ状況および各部の変形性状は同様であり、分離されていることによる影響は見られなかった。
- ③ 鉛直荷重載荷後に、端部 PCa 梁と中央 PCa 梁の接

合部には 0.3mm 程度の目開き変位が確認された。これは曲げ変形に伴う材軸の伸びによる影響が接合面に集中したものと考えられるが、これについては今後の検討課題である。

### 参考文献

- 1) 岩田, 大野, 鈴木, 斉藤, 鳥居: 高強度鉄筋を用いてプレストレスを導入した PRC 合成はりの長期曲げ性状, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.963-964, 1996
- 2) 小田, 田野, 山中: ねじふし鉄筋を用いてプレストレスを導入したハーフ PCa 扁平梁部材の長期たわみ性状 (実験概要および中間結果), 日本建築学会学術講演梗概集, pp.797-798, 2005