

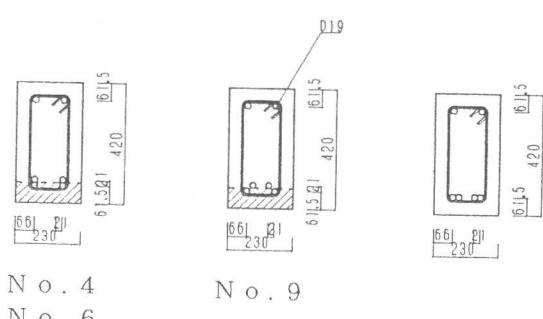
[2048] 梁端接合部で重ね継手した鉄筋コンクリート梁の曲げせん断性状

東健二^{*1}・香取慶一^{*2}・林静雄^{*3}

1. はじめに

プレキャスト鉄筋コンクリート（以下、P C aと記す）構造においては、部材同士をその材端で接合することが切望されている。材端部に接合部を設けたP C a構造物の設計では、その接合部の設計が特に重要となるが、接合方式の多様化による設計作業の汎用性の無さと煩雑さから継手の構造特性を設計に直接反映させることは少なく、接合部に母材と同等の構造性能を確保することが多い。また、P C a構工法の開発を目的とした継手の研究は、特定の継手形式の構造性能に関するものが多く、一般的に適応することを意図した研究は少ない。

筆者らは、R C構造物に最も一般的に用いられている重ね継手の研究を構造物をモデル化した要素実験によって行い、その強度と変形性能について明らかにするとともに、重ね継手による材端接合の可能性について検討してきた¹⁾。本研究は、要素実験では確認することができなかった梁端部における重ね継手の構造特性に及ぼす曲げせん断の影響を明らかにするものである。



試験体No.	フック形状	重ね長さ	梁せい(cm)	横補強筋比(%)	打ち継ぎ
1	継ぎ手無し	—	42	0.42	—
2				0.42	—
3		20d		0.59	—
4	フック無し	—	42	0.42	有
5		30d		0.42	—
6		—		0.42	有
7		40d		0.42	—
8					—
9	90°	10d	42		有
10	フック	—	61	0.42	—
11	余長12d	20d	42		—
12		30d			—

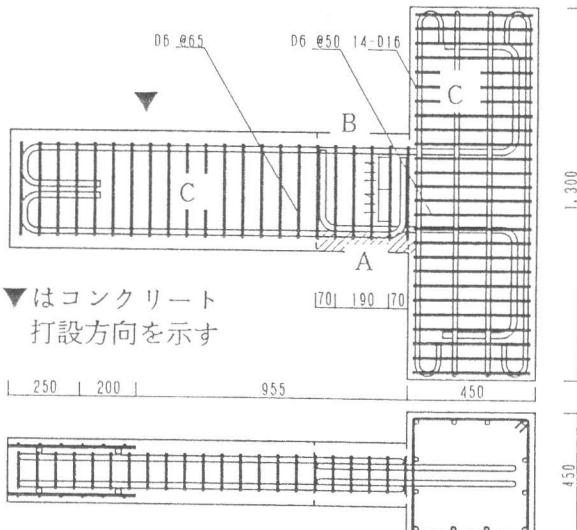


図1 試験体配筋

*1 東京工業大学工業材料研究所 研究生、工修（正会員）

*2 東京工業大学工業材料研究所 助手、工修（正会員）

*3 東京工業大学工業材料研究所 教授、工博（正会員）

2. 実験概要

2. 1 試験体

試験体一覧を表1に、試験体の配筋例を図1に示す。試験体は、下端筋のみを同一箇所で重ね継手した片持ち梁型試験体である。各試験体の形状は、断面幅を23cm、せん断スパン比を2.75で共通させている。実験因子は、継手形状、重ね長さ、横補強筋量、外郭PCAを想定した打継ぎの有無および梁せいである。継手形状は、フックのないものと90°フックで余長12dの2種類とし、重ね長さはフックなしのもので20d～40dの3種類、フック付のもの（折曲げ加工4dの中心間距離）で10d～30dの3種類とした。横補強筋比pwは、横補強筋間隔を65mmとし鉄筋径を変えた、0.42%、0.59%の2種類とした。通常、梁の外郭PCAはU字型であるが、外郭PCAの側面部分の長さが梁端接合部材の耐力・韌性に及ぼす影響を排除するため、外郭PCAの形状を平型とした。外郭PCA部は主筋を内臓し、応力を伝達する主筋の間に打継ぎを設けた。梁端部にフック付重ね継手を設けた場合、主筋折曲げ部から圧縮域へ応力が伝達されることによる継手耐力の増大が考えられる。梁せいの変化がこの応力伝達機構に及ぼす影響を調べるために、梁せいを42cm、61cmの2種類とした。材料の力学的性質を表2に示す。主筋にはSD345のD19を、横補強筋にはSD295のD6、D10を用いた。コンクリートは粗骨材最大粒径20mmの普通コンクリートを用い、ブリージング等による継手主筋の付着劣化を防ぐため、図1に▼で示した方向からコンクリートを打設した。

2. 2 加力方法

載荷は正負交番繰り返しとし、載荷履歴は部材角R=1/1000で1回、5、10、15、20、30×1/1000で各々3回繰り返した後、50/1000で1回繰り返し実験を終了した。継手側の主筋が引張鉄筋となる方向への載荷を負側とした。せん断力による加力点の変位量を電気式変位計により、継手区間内の主筋および横補強筋のひずみを電気抵抗式ひずみゲージによりそれぞれ測定した。

3. 実験結果

3. 1 破壊性状

代表的な破壊状況を図2に示す。各試験体の曲げ、せん断ひび割れの発生荷重は、それぞれ、2.0tf、4.5tfとほぼ一致していた。破壊形式は、フック形状、重ね長さ、打継ぎの有無の違いにより以下の3つに分かれた。

[付着割裂破壊] フックのない一体打ちの試験体で重ね長さが30d以下の試験体Nos. 2、3、5に見られた。各試験体には、R=-10/1000時に試験体側面に任着割裂ひび割れが発生した。その後、重ね長さ20dの試験体Nos. 2、3はR

表2 材料の力学的性質

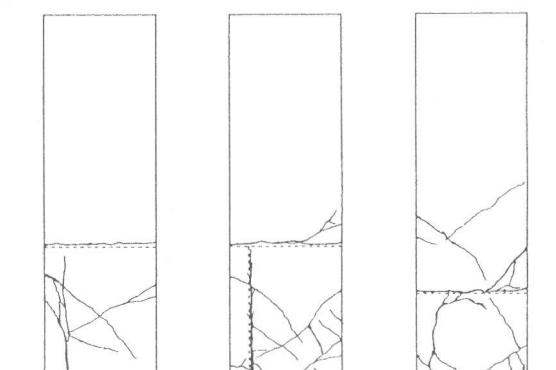
コンクリート

位置	圧縮強度 (kgf/cm ²)	割裂強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (×10 ⁶ kgf/cm ²)
A	262	23.3	214
B	308	26.1	220
C	329	29.0	262

コンクリート位置は図1参照

鉄筋

種類	降伏強度 (tf/cm ²)	引張強度 (tf/cm ²)	弾性係数 (×10 ⁶ kgf/cm ²)
D6	4.31	5.89	193
D10	3.54	5.25	187
D19	3.54	5.57	193



N o. 2

N o. 4

N o. 8

図2 試験体破壊状況

$R = -10/1000$ 、重ね長さ 30 d の試験体 No. 5 は $R = -20/1000$ の繰り返し時に、ひび割れ幅が急激に広がり、耐力は急激に低下した。

[支圧破壊] フック付で重ね長さ 10 d の試験体 Nos. 8、9 に見られた。 $R = 20/1000$ の繰り返し時に、せん断ひび割れおよびフック定着による支圧によりフック折曲げ部のコンクリートが、劣化し、試験体は耐力を失った。

[打継ぎ面せん断すべり破壊] 打継ぎを有するフックのない試験体 No. 4 に見られた。打継ぎ面のひび割れ発生は、一体打ち試験体 No. 2 の側面の付着ひび割れよりはやく、 $R = -5/1000$ の繰り返し時に打継ぎ面にひび割れが発生した。その後、打継ぎ面にひび割れが進展し、 $R = -15/1000$ の繰り返し時に、このひび割れ幅が拡大して、試験体は耐力を失った。

3. 2 荷重-変位関係

荷重-変位関係を図 3 に示す。正側の繰り返し加力時には、いずれの試験体も破壊直前まで、耐力の低下はほとんど見られない。各試験体の継手主筋は、 $R = -8 \sim -10/1000$ で引張降伏した。

フックのない場合、一体打ちの試験体の荷重-変位関係は、付着割裂ひび割れが発生する $R = -10/1000$ までは継手のない試験体 No. 1 のものとほとんど差がない。重ね長さが短いものほど付着割裂ひび割れの進展による耐力低下が早く起こり、重ね長さ 20 d の試験体 No. 2 は、付着ひび割れの発生直後の繰り返し時に急激に耐力が低下する。日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による応力の小さな位置における必要重ね長さである 30 d の試験体 No. 5 においても、梁端部付近の付着割裂ひび割れ幅が $R = -20/1000$ の繰り返し時に広がり、耐力は急激に低下する。しかし、重ね長さが 40 d あれば、継手のない試験体と同等の変形性能を有している。打継ぎを有する重ね長さ 30 d の試験体 No. 6 は、 $R = -50/1000$ に至るまで耐力低下は見られず、

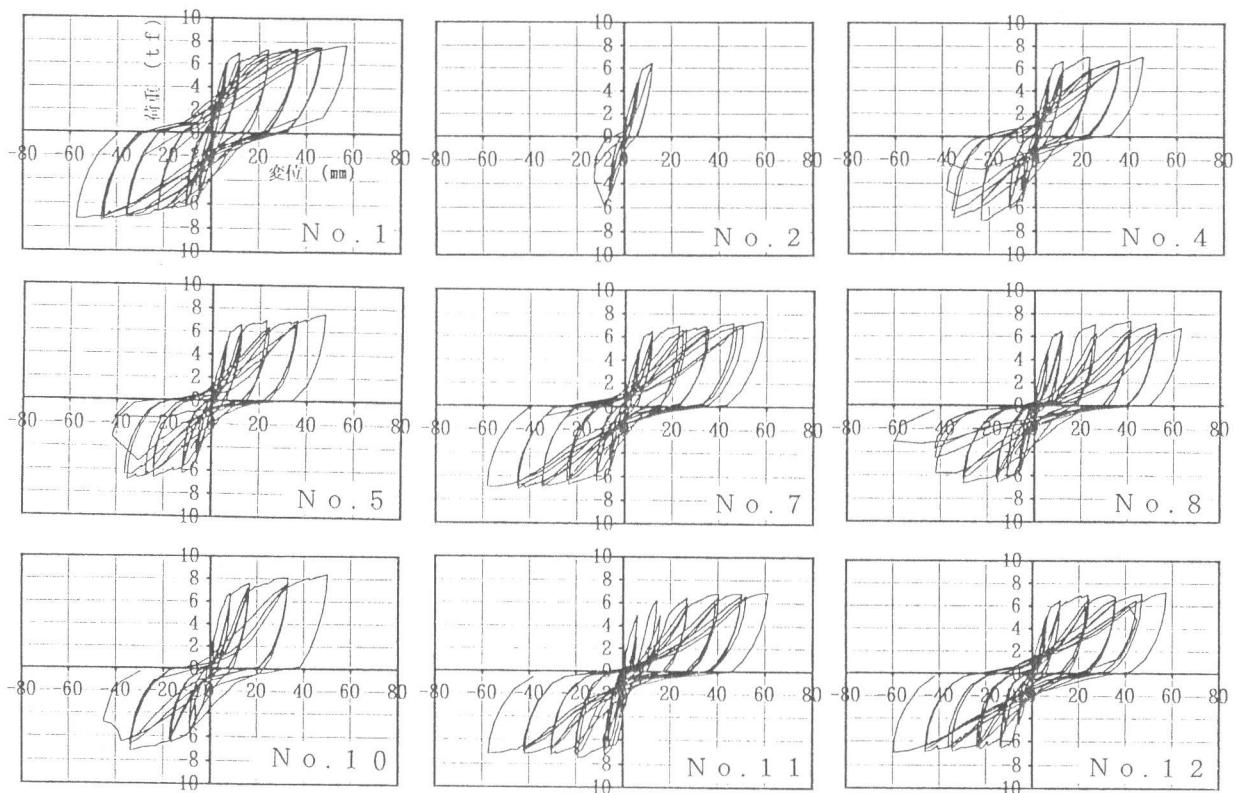


図 3 荷重-変位関係

荷重－変位関係は安定した紡錘形の履歴曲線を示していた。

フック付きの場合、重ね長さ 10 d の試験体 No. 8 は、履歴曲線が逆 S 形となるものの、 $R = 15/1000$ の繰り返し時まで耐力低下は顕著にみられず、 $R = 20/1000$ 以降の繰り返し載荷により、主筋折曲げ部のひび割れ幅の増大によるコンクリートの劣化により急激に耐力が低下する。重ね長さ 20 d の試験体 No. 11 は十分な変形性能を有しているが、 $R = 15 \times 1000$ 以降、履歴曲線が若干、逆 S 形となる。継手のない試験体と同等の構造性能を得るためにには、重ね長さを 30 d 以上にする必要があるものと考えられる。

3.3 変形性能

限界変位量と重ね長さの関係を図 4 に示す。ここで、限界変位は最大耐力以降、最初に最大耐力の 80 % に低下した時の変位量とした。

フックのない場合、重ね長さが長いものほど変形性能は優れている。重ね長さ 20 d の試験体は $R = -10/1000$ で急激に耐力を失ったのに対し、重ね長さ 40 d の試験体は継手のない試験体と同等の変形性能を有している。重ね長さ 20 d の場合、横補強筋が 1.4 倍になると変形性能は約 2.0 倍となる。これは $R = -10 \sim -15/1000$ で主筋が降伏し部材の変形が急増したためであり、主筋降伏後の韌性を確保するためには補強筋比 0.59% では不十分である。打継ぎを設けた試験体の変形性能は同一重ね長さの一体打ちのものより優れていた。これは、図 1 に示すように継手を設けた試験体の継手主筋の配置が一体打ちのものと異なるため両者の破壊性状に違いがでたことと、梁有効せいが一体打ちのものより小さく、試験体に生じるせん断応力が小さいことによるものと考えられる。継手主筋の降伏が $R = -10/1000$ 付近であったことより、重ね長さ 20 d の試験体の塑性率（限界変形／降伏変形）は、1.0 と文献 1) による引張試験結果とよく一致していたが、重ね長さ 30 d のものは 2.0 程度と引張試験結果より小さかった。これは、重ね長さが長い場合には、曲げせん断等のひび割れ発生と曲げ変形の増大によりかぶりコンクリートが剥離しやすいこと、主筋まわりのコンクリート自体にも引張力が生じるため付着割裂ひび割れの進展がはやいことが考えられる。これに対し、重ね長さが短い場合、これらの影響が大きくなる前に付着割裂破壊するために両者の結果が一致すると考えられる。

フック付きの場合、重ね長さが 20 d 以上の試験体は、継手のない試験体と同等の変形性能を有している。打継ぎを有する試験体の変形性能は、一体打ちのものより小さくなっている。これは、フック折曲げ部のコンクリートに打ち継ぎはいることによって支圧耐力が低下して、主筋の付着喪失後の変形性能に差がでたものと考えられる。梁せい 61 cm の試験体 No. 10 の変形性能は、梁せい 42 cm の試験体 No. 8 のものより小さくなっている。梁せいの大きな試験体においては、継手主筋の折曲げ部から梁圧縮域へ応力が伝達される角度が鉛直に近くなるため、その伝達機構の応力分担が小さくなるためであると考えられる。重ね長さ 10 d の試験体の塑性率は 4.0 程度であり、重ね長さ 10 d のものは 5.0 以上であった。

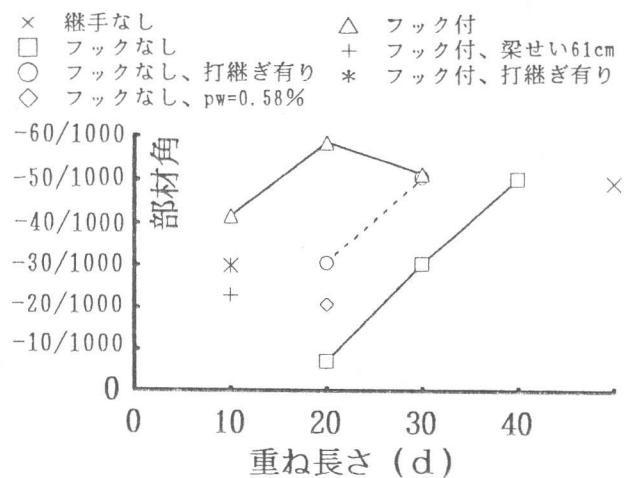


図 4 限界変位量と重ね長さの関係

3.4 主筋のひずみ分布

重ね部の主筋のひずみ分布を図5に示す。フックのない場合、主筋降伏前までは、主筋のひずみ分布はほぼ直線であるが、柱危険断面側から20d以上区間における主筋のひずみ勾配は、20d以内のものより緩やかになる傾向が見られる。重ね長さ20dの試験体No.2は主筋降伏前に付着割裂破壊しており、その最大平均付着応力度は、 53.0kgf/cm^2 であった。文献3)による付着割裂強度式において主筋本数を継手本数と置き換えて算出した付着割裂強度は、 53.3kgf/cm^2 と実験値とよく一致していた。打継ぎを有する試験体のひずみ分布は一体打ちのものと差がなく継手主筋間に打継ぎがあっても応力が有効に伝達されていることがわかる。

フック付きの場合、主筋が最大付着応力度に達するまでは、フックのない試験体と同様の傾向を示すが、重ね部の付着が喪失しても主筋のひずみは増大し、折曲げ定着付近のひずみが急増する。これは、コンクリートが継手の支圧により劣化することにより、余長部の定着機構のみにより耐力を保持するため、折曲げ定着側のひずみが増大することによる。フック付重ね継手の重ね長さ部の最大平均付着応力は、 60.0kgf/cm^2 でフックのないものより大きかった。

3.5 横補強筋のひずみ分布

横補強筋のひずみ分布を図6に示す。一体打ちの場合、 $R = 20/1000$ 以後の正側加力時において、材端位置の横補強筋のひずみが増大する傾向が見られた。これは、継手主筋が引張となる負側加力時には、コンクリートに付着割裂ひび割れが広がるため、せん断ひび割れ幅の拡大が分散されるのに対し、正側加力時には主筋は付着劣化することなく、せん断ひび割れ幅が広がるためであると考えられる。

打継ぎを有する場合、負側加力時における継手両端部の横補強筋のひずみが大きく、打継ぎ面がせん断すべり破壊した試験体No.4においては、横補強筋ひずみの最大値は 2000μ を超えていた。打継ぎ面のせん断すべりによるひび割れが拡大することによってせん断ひび割れ幅の増大が抑えられることと横補強筋筋が打継ぎ面に対してダボとして働くためであると考えられる。打継ぎ面のすべりに対する主筋の定着部のダボ効果により、打継ぎを有するフック付き試験体No.9の破壊モードは、フック折曲げ部のコンクリートの支圧破壊であった。

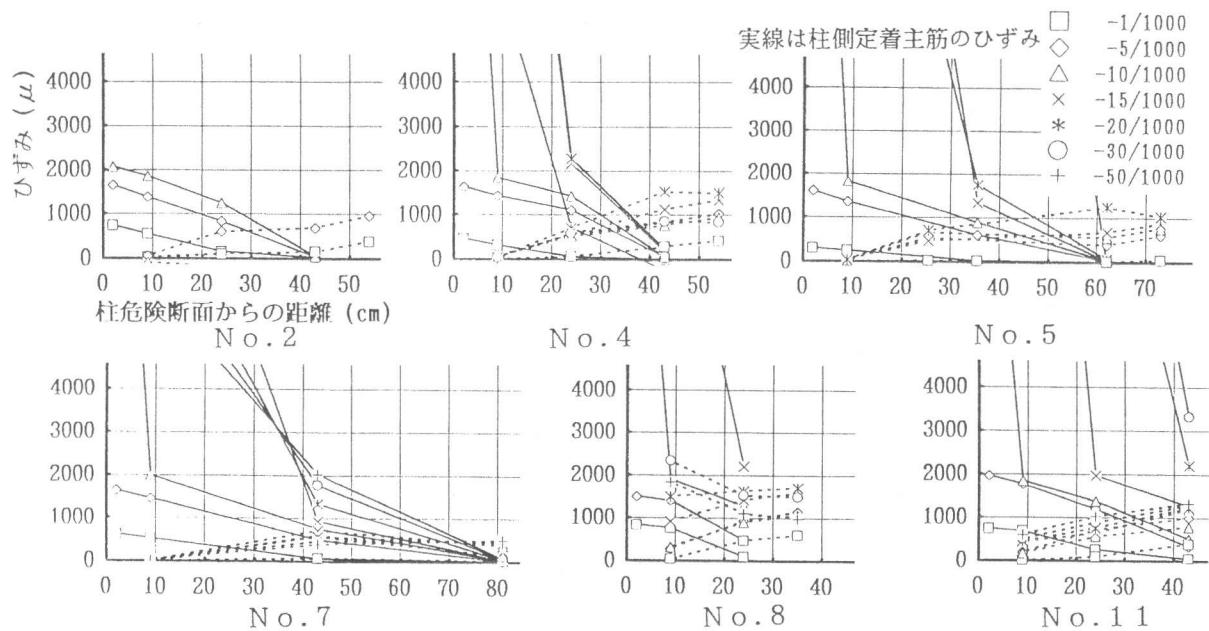


図5 主筋のひずみ分布

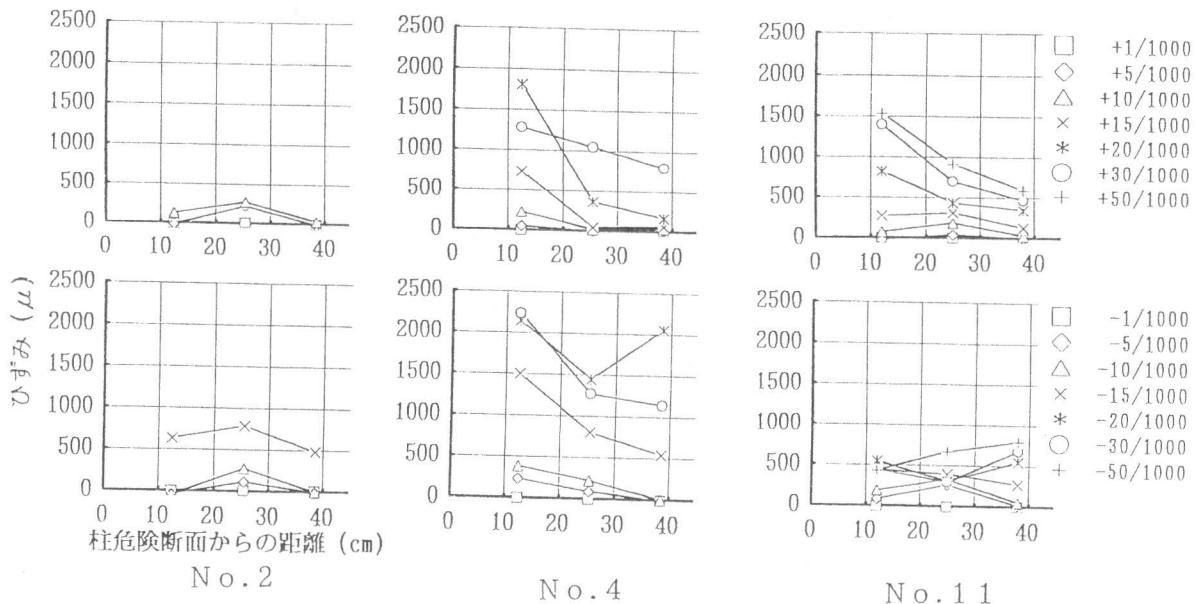


図6 横補強筋のひずみ分布

4.まとめ

- 1) 重ね継手を有する部材に継手のない部材と同等の構造性能を確保するためには、フックのないもので40d以上、フック付きのもので30d以上の重ね長さが必要である。
- 2) フックがなく重ね長さ20dの試験体は、曲げせん断の影響が大きくなる前に急激に付着割裂破壊する。重ね長さが短い部材の強度については、本実験による結果と引張試験による結果はよく一致していた。重ね長さが長い場合、本実験によって得られた部材の塑性率は、かぶりコンクリートの剥離等の影響によって、引張試験による結果より小さくなつた。
- 3) フック付き試験体は、重ね部の継手主筋の付着喪失後もフック折曲げ部のコンクリートの支圧により耐力を保持している。継手主筋間にコンクリートの打継ぎを設けた場合は、支圧部のコンクリート劣化によって、一体打ちの試験体よりも変形能力が低下する。
- 4) 外郭P C aのように応力を伝達する継手主筋間にコンクリートの打継ぎがある場合、継手両端部位置の横補強筋のひずみは、継手中央位置の値より大きくなつた。これは、打継ぎ面のせん断すべりが継手両端部から進行するためであり、継手主筋端部のフックによるダボにより打継ぎ面のせん断すべり破壊を防ぐことが可能である。

謝辞

本研究は、日米共同研究「プレキャスト鉄筋コンクリート造」の一環として行われた実験の一部である。関係各位に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 東健二、林静雄、香取慶一：鉄筋コンクリート梁端接合部における重ね継手の強度と変形性能、コンクリート工学年次論文報告集15-2、pp. 205～210、1993
- 2) 東健二、林静雄、香取慶一：重ね継手に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 943～944、1992
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説、1990