

報告 PCa 部の厚みが薄いハーフ PCa 梁部材の曲げせん断実験

森末 匠^{*1}・村上輝樹^{*2}・平松道明^{*3}・岸本一蔵^{*4}

要旨: プレキャストコンクリート部材は工期短縮, 労務削減, 施工精度向上など多くのメリットがあるが, 部材の小型, 軽量化は常に重要な課題である。本論文では, 工場作製のプレキャスト部に現場でのコンクリート打設により部材を完成させるハーフプレキャスト梁部材を対象として, 重量軽減を主たる目的としてプレキャスト部の厚みを薄くして作製したコンクリート梁部材に対して曲げせん断性能実験を行った。また一体型のコンクリート梁部材の実験結果との比較から, 本実験で対象としたハーフプレキャスト梁部材の曲げせん断性能は, 一体型として作製された部材と同等の性能を有することを明らかにした。

キーワード: ハーフプレキャスト梁部材, 薄肉プレキャスト部, 接合面のずれ, ひび割れ幅

1. はじめに

プレキャストコンクリート部材の使用は工期短縮, 労務削減, 施工精度向上など多くのメリットがある。一方, 運搬や揚重の容易さから部材の小型, 軽量化は重要な課題となっている。そのため, 工場で作製するプレキャスト部に現場でのコンクリート打設により部材を完成させる構造であるハーフプレキャスト梁部材が研究・開発されている¹⁾³⁾。本論文では, 重量軽減を主たる目的としてプレキャスト部の厚みを薄くして作製したコンクリート梁部材に対して曲げせん断性能実験を行った。また同形状, 同配筋をもつ一体型のコンクリート梁部材も同様の実験を行い, 両者の結果との比較から, 本論文で設定した梁部材の曲げせん断性能について検討を行う。

2. 試験概要

2.1 試験体

試験体概要および一覧を図-1, 表-1に示す。試験体は, 15階建て建築物を想定した大梁寸法をベースとし, 約1/2の縮尺モデルとしている。梁断面(梁幅 $b \times$ せい D)は $400\text{mm} \times 500\text{mm}$, 試験区間の部材長さ L は 1500mm で, 全試験体で共通である。引張側鉄筋降伏が先行, つまり曲げ破壊が先行するように設計された3体 (M_N , M_PCa , M_H), せん断破壊が先行するように設計された2体 (S_N , S_PCa) で計5体の試験体である。

M_N は基本となる一体打ちの試験体で, M_PCa は M_N と同じ主筋, せん断補強筋をもち断面下部を厚さ 65mm の薄肉 PCa 化した試験体である。 S_PCa の打ち継ぎ部にはずれ防止を目的とした補強筋(接合筋)を配筋

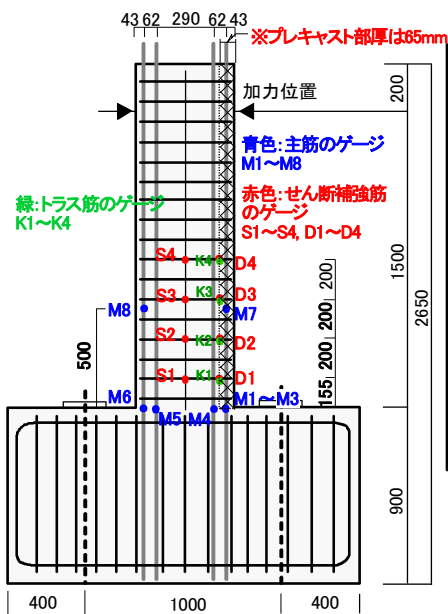


図-1 試験体概要

表-1 使用材料およびゲージ番号

試験体	M_N	M_PCa	M_H	S_N	S_PCa
断面形状					
想定破壊形式	曲げ破壊型			せん断破壊型	
$F_c(\text{N}/\text{mm}^2)$	48			60	
主筋	8-D19			8-D22	
	鋼種 SD490				
せん断補強筋(中央)	4-S10		4-U10.7		2-S10
	鋼種 KSS785		SPBD1275		KSS785
せん断補強筋(接合面)	—		—		2-D10
	—		—		鋼種 SD295
打継部仕上げ	—	刷毛引き	刷毛引き	—	刷毛引き
ひずみゲージ測定番号	M_N	梁主筋	せん断補強筋(中央)	せん断補強筋(接合面)	トラス筋 測定点数
	M_PCa	M1~M8	S1~S4	D1~D4	16
	M_H				20
	S_N				20
	S_PCa				16
	24				

*1 近畿大学大学院 総合理工研究科 (正会員)

*2 大成ユーレック (株) 設計部

*3 (株) PCaLab (正会員)

*4 近畿大学 建築学部建築学科教授 博士 (工学) (正会員)

うに設置した載荷板)を支えることにより載荷点が所定の位置よりずれることを防ぐ形式とした。(写真-1)

載荷履歴は図-3に示すように部材変形角で R=1/400, 1/200 で各 1 サイクル, 1/100, 1/75, 1/50 で各 2 サイクルを基本として, これに長期荷重時の耐力 (QL) と短期荷重時の耐力 (QS) についても各 1 サイクルを加えて載荷を行った。なお, QL, QS の載荷については R=1/200 の載荷に近い変形時に発生するため, 試験体により発生する順番が異なる。実験終了は, 1/50 の載荷が終了した後, 正側方向へ押しきりを行い完了した。

3. 実験結果と考察

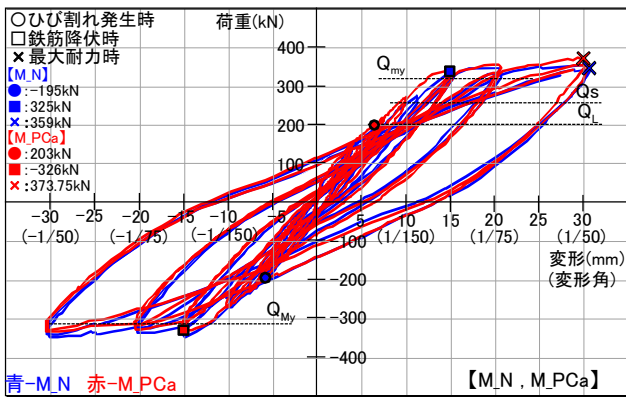
3.1 荷重-変形関係

図-4(1-3)にそれぞれ, 曲げ破壊先行型試験体 (M_N, M_PCa), 同じく高強度材料を用いた試験体 (M_H), セン断破壊先行型試験体 (S_N, S_PCa) の荷重変形関係を

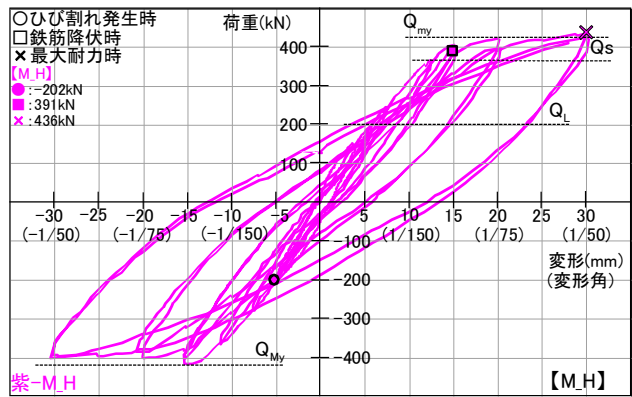
示す。また, 各図には, 実強度を用いて求めた各種耐力 (長期荷重時せん断力 (QL), 短期荷重時せん断力 (QS), 主筋降伏時のせん断力 (Qmy), 終局せん断強度 (Qu)) を記している。同図より, せん断破壊先行型の試験体 (同図 (3)) を含め全ての試験体で, 主筋が降伏する曲げ破壊先行型の破壊性状で, その履歴形状は引張鉄筋降伏が先行する履歴エネルギー吸収の大きい紡錘形となっていることがわかる。また, 曲げ破壊先行型, せん断破壊先行型のちがいにらず一体打ち試験体とプレキャスト試験体に明確な差はみられなかった。

3.2 主筋ひずみ

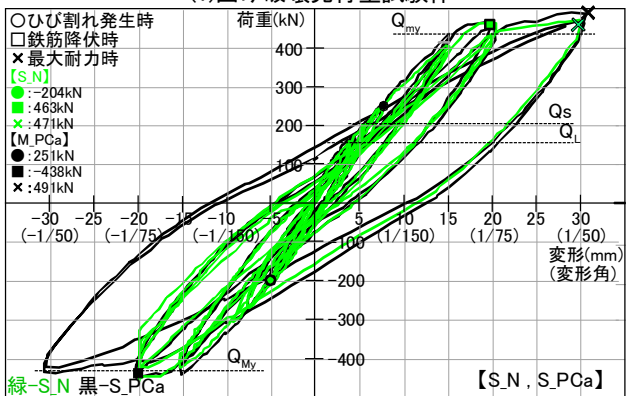
図-5に各試験体の主筋のひずみ推移状況を示す。図が煩雑になるのを避けるため, また主筋が塑性化してしまうと判断が難しくなるため, 表示範囲は負側 R=1/200 ~ 正側 R=1/100 (1 回目到達時) で, かつ図-4と同様,



(1)曲げ破壊先行型試験体



(2)曲げ破壊先行型試験体(高強度材料)



(3)せん断破壊先行型試験体

図-4 荷重-変形関係

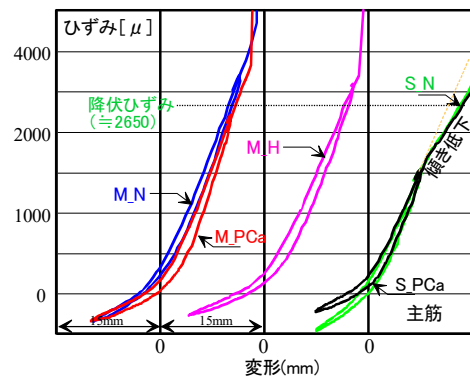


図-5 主筋ひずみの推移 (R=-1/200~1/100)

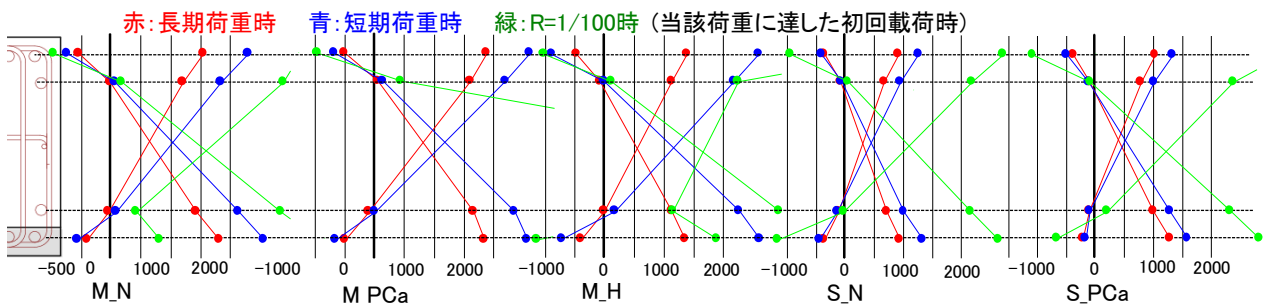


図-6 断面内の主筋ひずみ分布

試験体別に分けて示している。曲げ破壊先行型では、M_PCa では M_N に比べて除荷時の履歴がやや膨らみ形状となっているが、再載荷時のラインは両者でほぼ平行であり、変形増加に伴う主筋の応力増分はほぼ等しい事がわかる。せん断破壊先行型である S_N, S_PCa 試験体では共に変形量が 7.5mm 付近で傾きが低下している。これは、同変位付近で部材にせん断ひび割れが発生したためである。また、両者の履歴形状は圧縮側領域で差がおおくなるものの、引張を受ける側ではよく一致している。これらより、プレキャスト部材の主筋-コンクリート間の付着性状は一体型と同様であることがわかる。また、図-6 に、各試験体の主筋のひずみ分布（スタブに最も近い位置に貼付されたもの：M3~6）を示す。同図は、長期・短期荷重時、および R=1/100 時の状況を示しているが、鉄筋が降伏している R=1/100 時の一部を除いていづれの時点でも断面内で直線的に分布している。従ってプレキャスト部材においても、一体として打設された試験体と同様に主筋ひずみの分布に平面保持が成り立っていると判断できる。

3.3 せん断補強筋（断面中央位置）

図-7 に各試験体のスタブから 360mm の位置にあるせん断補強筋のひずみ（ゲージ貼付位置は断面中央付近：S3）の推移状況を示す。同図は変形角が正側 R=1/75 から

R=1/50 負側（1 回目）までの状況を示したものである。せん断破壊先行で計画した S シリーズを含め、全ての試験体でせん断補強筋のひずみは 2000 μ より小さい。なお、これ以降の荷重領域では部材耐力が上昇しないためせん断補強筋のひずみは上昇していない。せん断補強筋の降伏時ひずみは 4500 μ 以上であるので、せん断補強筋には十分余裕があることがわかる。図-7 はスタブから 360mm 位置のみのデータであることから、他の位置のデータとの違いが大きいことを確認するため図-8 に S_PCa を例として 1 つの試験体の計測した全 4 か所（S1~S4）のデータを示す。次に、図-9 には、同じくせん断補強筋（PCa 部と後打ち部の境界付近：D2）のひずみ状況を示す。図-7 との比較でわかるように、境界付近でのひずみの値は中央位置でのひずみよりもやや小さく、接合面のずれ発生等による付加的な力を受けている様子はみられない。

3.4 トラス筋

図-10 にトラス筋（プレキャスト部と後打ち部の境界に配置：K2）のひずみ状況を示す。トラス筋のひずみは何れの試験体でも、正側荷重（プレキャスト部が引張を受ける側）でやや大きくなるものの、負側荷重では、値の変化程度および値そのものも非常に小さい。これは、正側荷重時には曲げひび割れがトラス筋を横断するため、

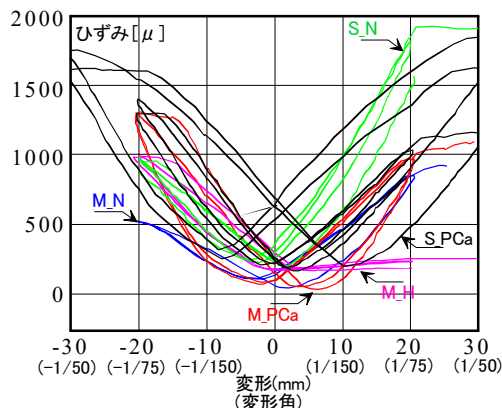


図-7 せん断補強筋のひずみの推移
(スタブより360mmの位置の値)

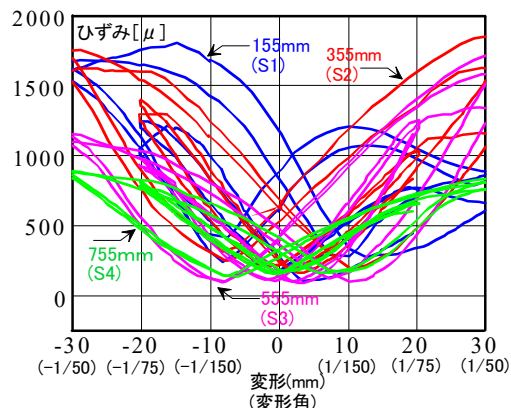


図-8 せん断補強筋(中央)のひずみの推移
(試験体S_PCa)

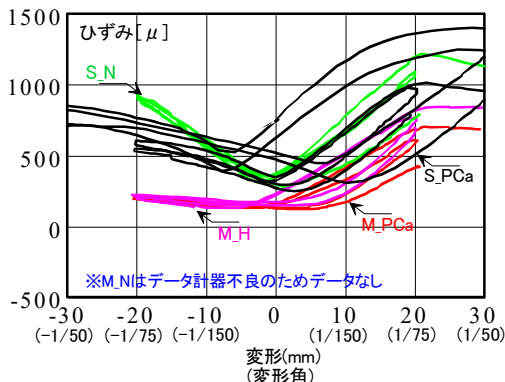


図-9 せん断補強筋(接合面位置)のひずみの推移
(試験体別:スタブより355mmの位置)

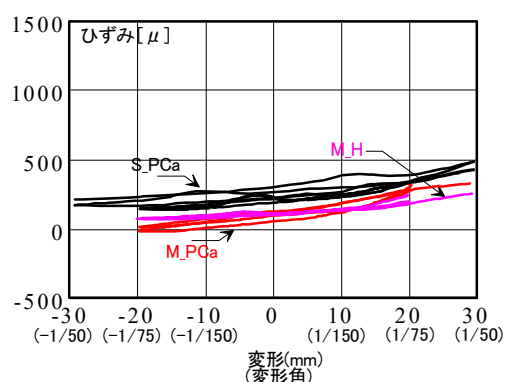


図-10 トラス筋のひずみの推移
(試験体別:スタブより355mmの位置)

ひずみの値が若干上昇するものの、負側荷時にはトラス筋は圧縮側となり、プレキャスト部と後打ち部コンクリートの接合面があることによる影響はほとんど受けてないためと考えられる。

3.5 プレキャスト部と後打ち部のずれ

図-11に試験体の最もスタブに近い箇所に設置した亀裂計：C1（プレキャスト部と後打ち部のずれ量）の値の推移状況を示す。同図(a) x方向＝断面せい方向、(b) y方向＝部材軸方向の値であり、正の値は、前者で「プレキャスト部と後打ち部が離れる方向」、後で「プレキャスト部が部材の先端側に移動する方向」である。同図(a)より、x方向のズレは、M_H、S_PCaでは変形量にかかわらず極小さい値ではぼ一定の値である。また同図(b)より y方向のずれについても(a)の各試験体の挙動

と同様の傾向がある。一方、M_PCaについては、正側20mmを越える辺りより x、y 両方向とも値は大きくなっている。ただし、その後の荷荷時で値が増大することなく、安定したループを描いている。また、ずれの増大後の値も 0.2mm 程度と絶対値としては極小さい値である。図-12には、荷荷方向に対して側面となる側のひび割れ状況を示す。同図より一体打ち試験体、プレキャスト試験体間でひび割れ発生状況はよく似ており、またプレキャスト部材ではプレキャスト部と一体打ち部の接合面にひび割れはみられない（スタブ部近傍の危険断面位置では若干のひび割れがみられるものの、このひび割れが材軸に沿って進展することにはなかった）。これらのことから、本実験で用いた試験体のプレキャスト部は一体打ち部とずれを生じることはないと考えて良いと判断で

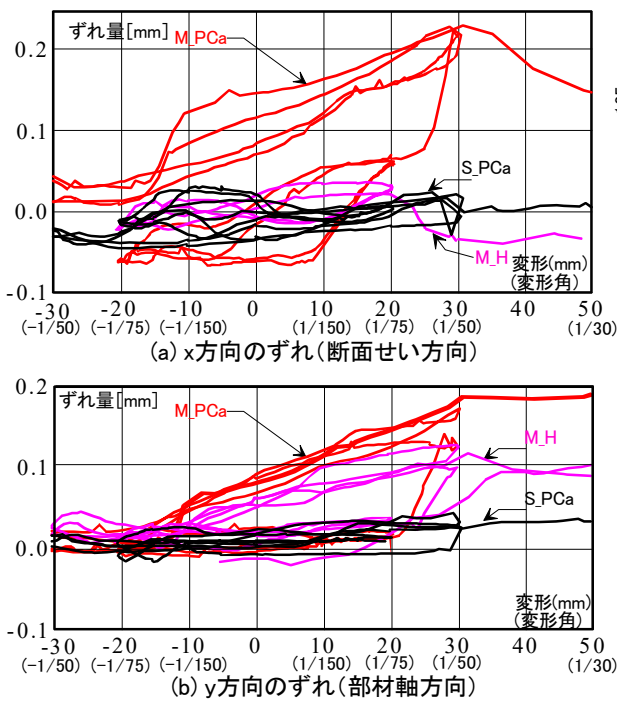


図-11 接合部のずれ量(スタブより900mmの位置)

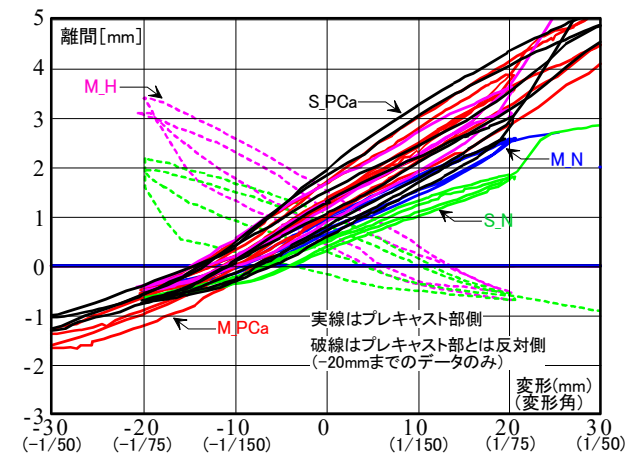


図-13 プレキャスト部ースタブ部の離間状況

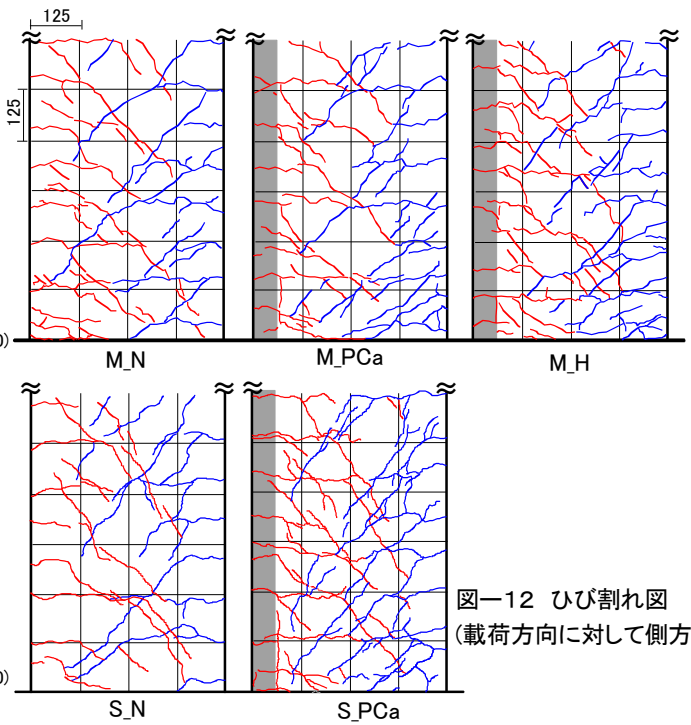


図-12 ひび割れ図
(荷荷方向に対して側方)

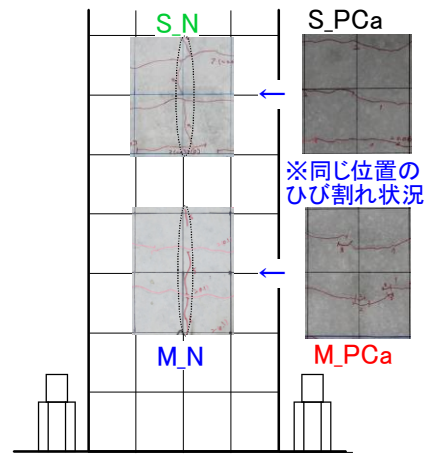


図-14 引張を受ける面のひび割れ状況
(主筋に沿ったひび割れ)

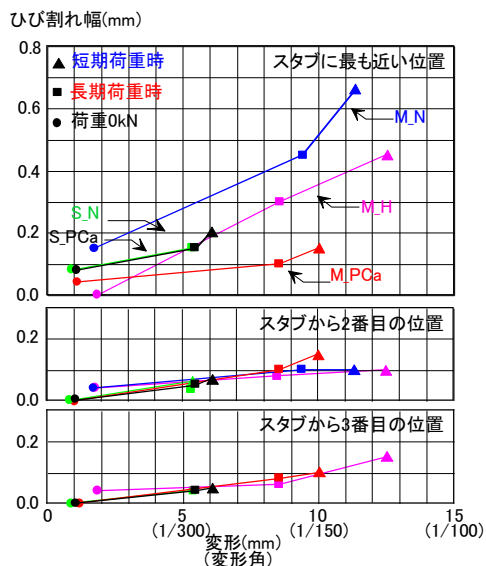


図-15 曲げひび割れ幅の推移

きる。

3.6 プレキャスト部の離間状況

一体打ち試験体と異なり、プレキャスト部のコンクリートは試験体のスタブ部のコンクリートと一体化されていない、そこで同部分での挙動（プレキャスト部が引張側となったときの、プレキャスト部とスタブ部の離間状況）について試験体のスタブ部極近傍に取り付けた変位計（スタブ部より試験体側約 20mm 上部の位置設置：図-2）によりその挙動を計測した。計測結果を図-13 に示す。同図より、主筋が弾性範囲である 20mm 以内の範囲では部材のプレキャスト側とその反対側に取り付けられた変位計の基本的な挙動に大きな違いはなく、プレキャスト部がスタブ部のコンクリートと一体でないことは部材挙動にほとんど影響していない。

3.7 主筋に沿って発生するひび割れ

図-14 は、正側載荷時に引張となる側（プレキャスト部材についてはプレキャスト部）のひび割れ状況を $R=1/100$ 時について示したものである。同図より一体型試験体（M_N, S_N）では材軸方向に主筋に沿ってひび割れが発生しているのに対し、M_PCa, S_PCa 試験体では発生していないことがわかる。また、これ以降の変形においても（主筋が降伏して耐力上昇が殆どなかったため）主筋に沿ったひび割れは発生しなかった。以上よりプレキャスト部が本試験体程度の厚み（65mm）であれば主筋-コンクリート間の付着が問題となることはないと考えられる。

3.8 ひび割れ幅の推移

プレキャスト部に発生するひび割れ幅が一体打ちと大きく異なることがない事を確認するため、図-15 に、正側載荷時に引張となる側（プレキャスト部材についてはプレキャスト部）に発生する曲げひび割れ幅について、短期荷重時耐力（ Q_s ）、そこから除荷し長期荷重時耐力

（ Q_L ）、荷重 0 となった場合について、横軸に変形量をとって示した。なお、検討している面に現れているひび割れはいずれの試験体も 3 本の主たるひび割れが進展しているためそれらについてグラフ化している。1 番目（スタブに一番近いひび割れ）が最も大きく、これに比べると 2,3 番目のひび割れはかなり小さい。また、何れの試験体であっても、変形量が小さくなるとほぼ比例的にひび割れ幅が小さくなっており、この傾向は一体打ち試験体、プレキャスト試験体によらず同じ傾向である。

4. まとめ

軽量化を目的としてプレキャスト部の厚さを薄くして作成したハーフプレキャスト梁部材（15 階建て建築物を想定した大梁寸法をベースとし、約 1/2 の縮尺モデル）を作製し曲げせん断実験を行った。その結果、本実験で用いた試験体では、1）主筋、せん断補強筋、プレキャスト部と後打ち部の一体性確保を目的としたトラス筋、それぞれのひずみ状況、2）プレキャスト部と後打ち部境界面のずれ量、3）ひび割れ発生状況 のいずれから判断しても、プレキャスト部と後打ち部の一体性には問題なく、通常の一体打ち試験体と同等の性能を有していることが確認できた。

謝辞

本論文を作成するにあたり、近畿大学建築学部 4 年生の北見梓氏（現 トヨタ T&S 建設（株））、山田琉聖氏（現 高松建設（株））、近畿大学大学院環境系工学専攻 西中浩輔氏、大成コーレック（株）出嶋翔氏にご協力いただきました。ここに謝意を示します。

参考文献

- 1) 飯島宣章,原田直哉,岡野創,井上富太:「U 字型ハーフプレキャスト梁部材に関する実験的研究」,日本建築学会大会学術講演梗概集,1993.9
- 2) 正田雄高,藤本純一,都祭弘幸:「高強度ハーフプレキャスト RC 梁の実験的研究」,日本建築学会大会学術講演梗概集,1999.9
- 3) 佐藤圭一,田中正之,増田安彦,吉岡研三:「主筋とせん断補強筋を内蔵する薄肉 PCa 板を用いたハーフプレキャスト梁の力学的性状に関する研究」,日本建築学会大会学術講演梗概集,1996.9
- 4) 日本建築学会:現場打ち同等型プレキャスト鉄筋コンクリート構造設計指針(案)・同解説,日本建築学会,2002
- 5) (一財)日本建築総合試験所:「高強度せん断補強筋デーパープー鉄筋コンクリート造梁、柱に用いる高強度せん断補強筋」,第 16-31 号,2017.2