

論文 異種の機械式継手を併用したプレキャスト部材接合部の力学的性状

平野 勝識^{*1}・丸山 久一^{*2}・笹谷 輝勝^{*1}・吉野 次彦^{*3}

要旨:本研究は、大型プレキャスト部材を対象とした部材接合工法の開発の一環として、接合部の一体性に関する検討を行ったものである。本工法は、接合する部材それぞれに、二種類の異なる機械式継手用スリーブが埋設されており、部材組立時に設置する接合筋を介して一体とする工法であり、種々の利点を有している。本報告は、実大断面部材の曲げせん断実験結果およびその評価のために材料の非線形性を考慮したファイバー法による解析結果との比較検討を行ったものである。本工法における継手単体の実験結果を近似した解析により、プレキャスト部材の接合部の挙動を評価できることがわかった。

キーワード:プレキャスト工法, 部材接合, モルタル充填式継手, ねじふし鉄筋継手

1. はじめに

従来は場所打ちで施工されていた規模のコンクリート構造物も、近年社会的なニーズとしてプレキャストコンクリート製品化され、これらの製品はますます大型化、大断面化の傾向にある。従来は発生応力の大きい位置での分割は避けられてきたが、プレキャスト部材の大型化に伴い、発生応力に制約されず施工性、運搬性に配慮した任意の位置で分割し、現場で容易に一体化できる工法の開発が求められている^{1),2)}。

著者らは、プレキャスト部材の接合方法として、種類の異なる機械式継手を併用し接合位置に断面欠損部の無い新しい工法を開発した。

本報は、この工法の接合部の曲げ耐力、ひび割れ性状および変形性状を検討するために実施した実験結果である。

2. 工法概要

プレキャストコンクリート部材の接合方法には数多くの工法が開発されているが、多くの工法は接合部に断面欠損部を設け、この欠損部で部材の接合を行った後、モルタル等を間詰めする方法がとられている。

本工法は、図-1に示すように接合する部材それぞれに種類の異なる機械式継手用スリーブが埋設されており、また、接合面上下に溝を設け接合筋をモルタル充填により一体とすると同時に溝にモルタルを充填することによりせん断コッターを形成することを特長とする工法である。また、部材接合部に欠損部が無いため間詰めが不要であるとともに製造・運搬時に部材から鉄筋が突出しないという利点を有している。

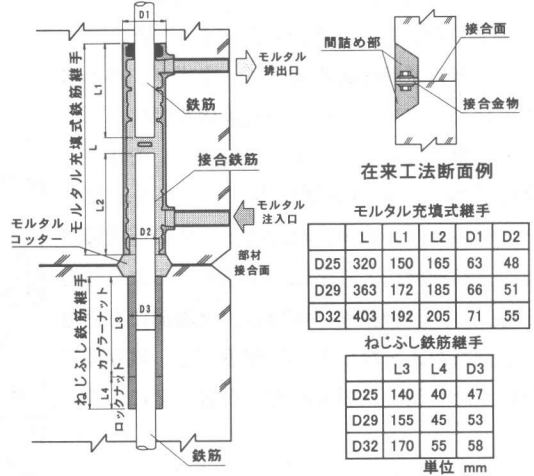


図-1 工法概要

*1 (株)フジタ 技術センター 技術研究所 土木研究部 工修 (正会員)

*2 長岡技術科学大学教授 環境・建設系 Ph.D. (正会員)

*3 (株)ムサシ設計 (正会員)

3. 実験目的

本実験は、部材接合に異なる二つの機械式継手を併用した接合部の力学的性状を実大実験により検討し、併せて接合鉄筋を太径化、高強度化して集約化した場合の部材性状を継手の物性値を用いた解析により検討することを目的として行った。

4. 試験体

試験体は表-1に示す接合面の無い一体型(B1)、中央を継手で接合し一体化する分割型(B2, B3)の3体とした。分割型は、一体型と同じ鉄筋強度で集約太径化したB2と鉄筋強度を上げて細径化したB3である。図-2に試験体形状を示す。試験体寸法および配筋は実大を想定し、断面寸法は高さ450×幅1,000mm、長さ4,000mmとした。分割型は、断面の全主筋を接合することを基本とし、接合部の継手本数を少なくするために、鉄筋の太径化、高強度化により継手筋の集約化を行った試験体である。B3はB2の継手鉄筋の鋼種を上げて更に細径化した試験体であり、継手鉄筋の降伏耐力が等価となるよう径を決定した。継手鉄筋の定着長は、土木学会の標準施工書に準じてSD295を30d, SD390を40dとした。

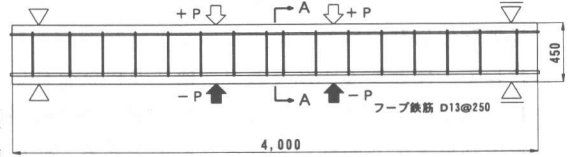
分割型の試験体製作方法は、まずプレキャスト部材として半分の長さの試験体を製作し、所要強度発現後に2つの部材を接合し、モルタル充填式継手に高強度無収縮モルタルを充填した。モルタルの強度発現後の試験体の運搬時には、PC鋼棒により全断面圧縮となるよう軸力を導入し、実験直前に解放し、実験前に有害なひび割れが入らないように配慮した。試験体に使用した材料の素材試験結果を表-2に示す。

5. 実験方法

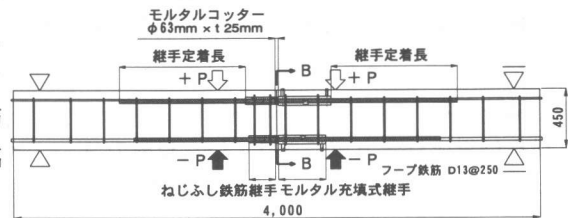
加力方法および変位計測位置を図-3に示す。加力はいずれも $a/h=3.0$ とした2点载荷による正負交番の曲げ実験であり、部材接合面の性状を確認するために、2つの鉄筋継手の近

表-1 実験シリーズ

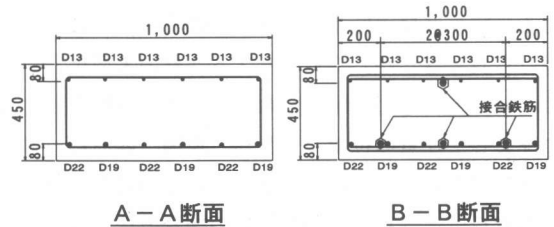
No.	想定工法	鉄筋強度	継手	継手定着長
B1	一体型	SD295	無	---
B2	分割型		有(D32/D29)	30d
B3		SD390	有(D29/D25)	40d



(1) 一体型 (B1)



(2) 分割型 (B2, B3)



A-A断面

B-B断面

図-2 試験体形状

表-2 材料の素材試験結果

(1) コンクリート・モルタル

材料	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (×10 ⁴ N/mm ²)	ポアソン比	割裂強度 (N/mm ²)
コンクリート	34.9	2.87	0.16	2.4
充填モルタル	130.0	3.68	---	---

(2) 鉄筋

鉄筋径	材種	降伏点 (N/mm ²)	降伏点ひずみ (×10 ⁻³)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数E25% (×10 ³ N/mm ²)
D13	SD295A	374	2,037	539	1.96
D19		386	2,097	549	1.87
D22		347	1,847	518	1.90
D29*		350	1,913	534	1.87
D32*		327	1,732	506	1.89
D25*	SD390	444	2,450	646	1.88
D29*		440	2,378	628	1.91

*)プレキャスト部材接合鉄筋

傍での載荷とした。加力は、荷重制御でひび割れ発生、主筋降伏の80%ひずみを正負1回、主筋降伏ひずみを正負3回載荷した後、変位制御で部材角 $1.0/100\text{rad.}$ 、 $1.5/100\text{rad.}$ で各正負2回載荷し、その後 $1.0/100\text{rad.}$ ずつ変位を増加させ破壊が確認されるまで載荷を行った。なお、変位制御は載荷点の変位により行った。

6. 実験結果の検討

6.1 ひび割れ発生状況

ひび割れ発生の最終状況を図-4に示す。一体型(B1)は曲げひび割れが分散して発生するのに対して、接合部を有する分割型(B2、B3)は接合部の目開きに変形が集中し、部材に発生するひび割れ本数が少なかった。

6.2 降伏耐力と最大耐力

実験結果一覧を表-3に示す。また、曲げモーメントと部材角の包絡線を図-5に、曲げモーメントと部材角の $R=2/100\text{rad.}$ までを図-6に示す。分割型の降伏耐力は一体型(B1)よりやや低かった。これは、分割型が一体型と異なり載荷前から接合面というコンクリートの不連続面を有しているため、ひび割れが分散して発生する一体型に比べひび割れが接合面に集中し、鉄筋だけで引張力を負担するようになる変形域までは一体型

よりも耐力が低くなるという接合部材の一般的な傾向を示していると考えられる。

最大耐力は、鉄筋継手が土木学会「鉄筋継手評価指針」のA級継手に相当する継手であるが、接合部に対して比較的過酷な条件で載荷実験を実施したため、部材角 $R=3/100\text{rad.}$ で接合鉄筋の抜け出しが発生し最大耐力となったが一体型よりも高い値を示した。B2の接合鉄筋の降伏耐力がほぼ等価となるよう接合鉄筋の鋼種を上げて更に集約細径化したB3は抜け出しが早い段階で発生したため、最大耐力がB2と比較してやや低くなった。

6.3 初期曲げ剛性

荷重と加力点変位の包絡線の変位 15mm (R

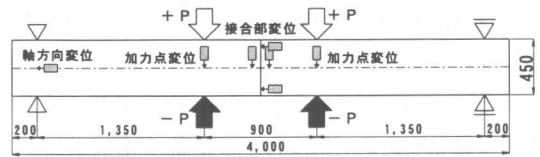


図-3 加力方法および変位計測位置

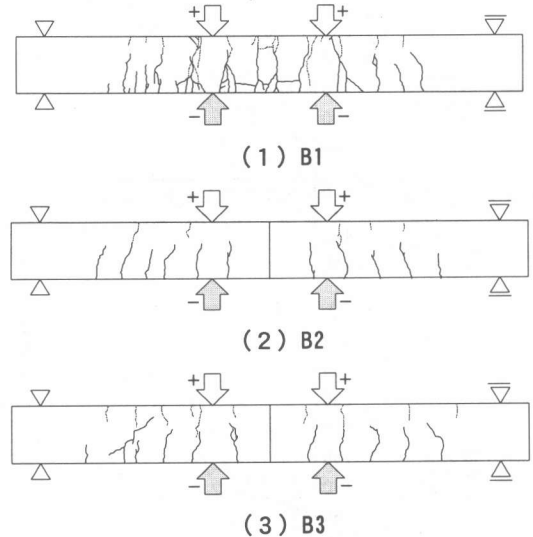


図-4 ひび割れ発生状況

表-3 実験結果一覧

試験体	正負	降伏時		最大時	
		My (kN·m)	Ry ($\times 10^{-2}\text{rad.}$)	Mmax (kN·m)	Rmax ($\times 10^{-2}\text{rad.}$)
B1	正	244	0.60	279	5.00
	負	-116	-0.39	-136	-5.03
B2	正	196	0.49	325	3.00
	負	-89	-0.30	-130	-3.32
B3	正	190	0.52	299	2.00
	負	-104	-0.38	-131	-2.01

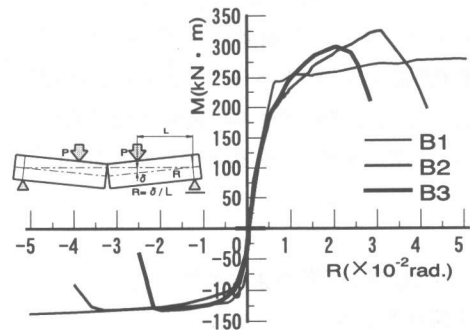


図-5 曲げモーメント～部材角包絡線

= 1/100rad.) までを図-7に示す。B 2, B 3 (分割型) の初期剛性はB 1 (一体型) と比較して約 60%程度であった。また, 接合鉄筋の鋼種の異なる B 2 (SD295) と B 3 (SD390) の初期剛性はほぼ同等であった。

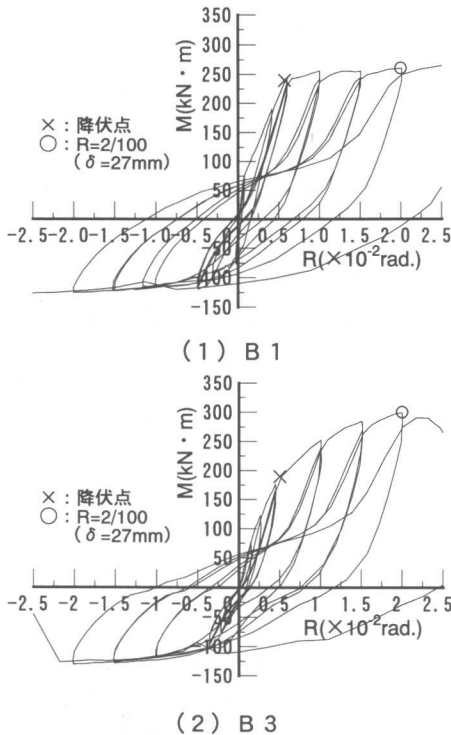


図-6 曲げモーメント～部材角曲線

6.4 ひび割れ幅の検討

図-8に一体型 (B 1) と分割型 (B 3) のひび割れ幅実測値分布図を示す。加力点の部材角で 3/100rad. までのものを表示している。一体型 (B 1) は, 曲げ区間全域に分散し, 分割型 (B 3) は, 接合部に集中している。

図-9に一体型と分割型の曲げ区間のひび割れ幅実測値の和の比較を示す。両者はほぼ同様の傾向を示し, ひび割れ幅の総和は曲げ変形に比例して増加する。一体型と分割型の間には明確な差は見られない。

7. 実験結果の解析および考察

7.1 解析モデル

実験値の評価のために解析を行い, 曲げ耐力

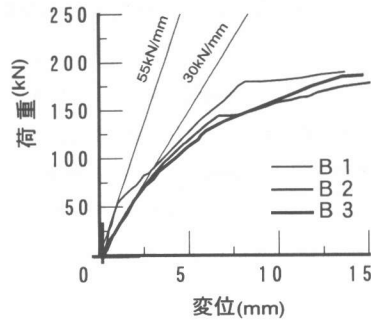
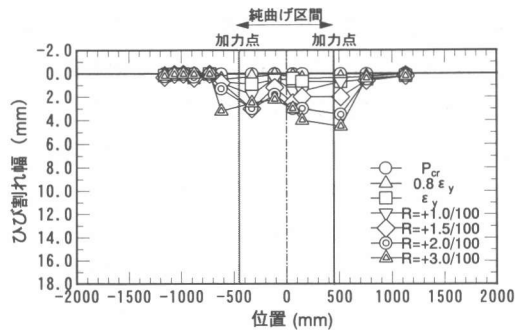
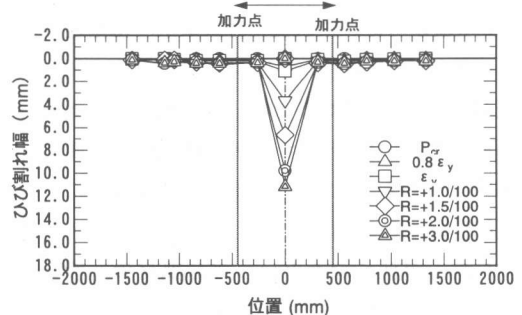


図-7 包絡線初期剛性



(1) 一体型 (B 1)



(2) 分割型 (B 3)

図-8 ひび割れ幅分布

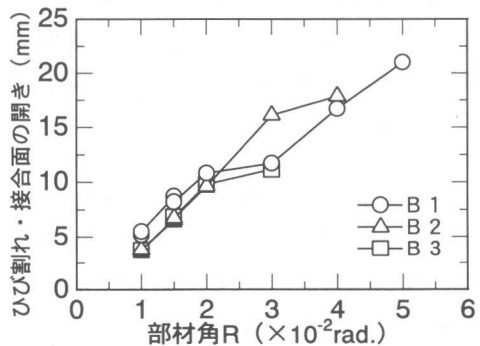


図-9 部材角～ひび割れ幅の総和の関係

と変形について比較検討を行った。解析はファイバー法により実施した。解析モデルを図-10に示す。断面の上下方向の分割は、かぶり部分は10mm、主筋間は15mmとした。スパン方向の分割数は、ハーフスパンで10分割とした。計算で使用した材料モデルを図-11に示す。実施した計算ケースを表-4に示す。

鉄筋のモデルは、実験の挙動に基づき鉄筋継手を主筋として仮定し、単体引張試験結果を近似したものである。継手単体の引張試験は土木学会「継手評価指針」の静的耐力性能試験方法に準拠して実施した。本継手は2種類の継手を複合した構造であるため、伸び変形の測定は図-12に示す2種類の継手全体を含む2点間を測定検長として計測した。コンクリートの材料モデルは、圧縮側は実圧縮試験結果の非線形性を考慮してTri-Linear近似した。引張強度は、一体型は圧縮強度の約1/10、分割型は0とした。分割型は接合部とプレキャスト部材の鉄筋量が異なる。初期剛性はコンクリートの剛性が支配的で鉄筋の剛性の影響を大きく受けないが、降伏以降のひび割れによりコンクリートの剛性が低下する変形域では、鉄筋量の多いプレキャスト部材の変形特性が支配的となる。一方、最大耐力は継手の抜け出し時のひずみで決まることを考慮して解析を行った。

7.2 解析結果

解析結果を図-13と表-4に示す。一体型は初期剛性、降伏後の挙動ともに良く一致している。分割型は変形性状、最大耐力は良く一致しているものの、降伏耐力はB2、B3ともに正側実験値が計算値より低い値となっている。これは、今回の単調引張試験による継手単体試

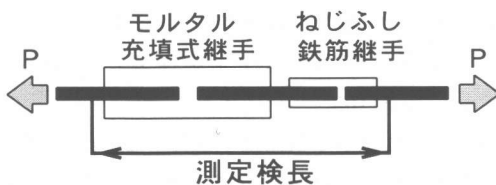
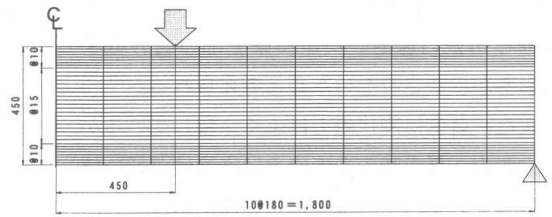
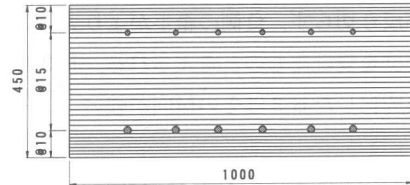


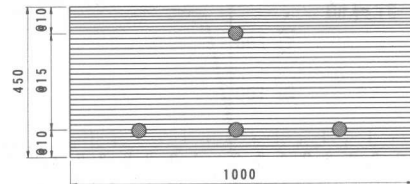
図-12 継手引張試験概要



(1) 縦断面

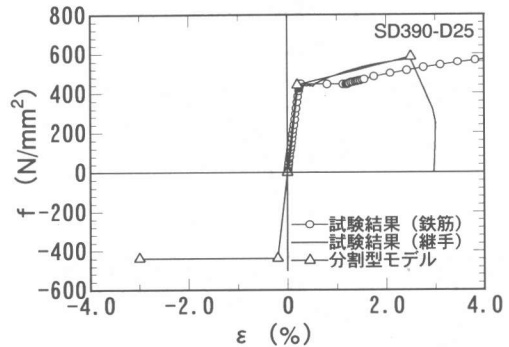


(2) 断面 (一体型)

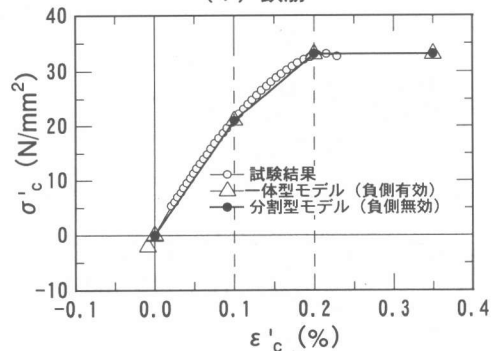


(3) 断面 (分割型)

図-10 解析モデル



(1) 鉄筋

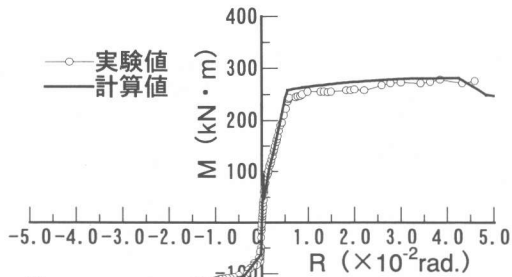


(2) コンクリート

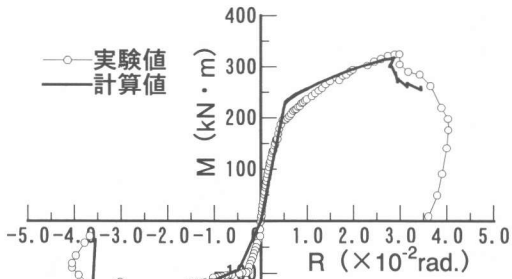
図-11 計算用材料特性

験をモデル化した解析では、本曲げ実験のような曲げ引張の繰返しによる継手部の耐力低下の影響が反映されないためと考えられる。

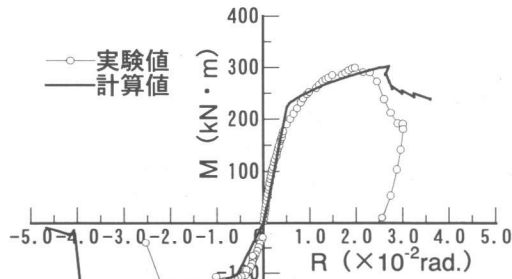
また、負側は降伏耐力はよく一致しているが、最大耐力、最大時の変形能力は実験値が低い値となっている。これは負側の鉄筋1本に対し、正側は3本であるため、繰返し加力時の正側継手変位が戻り切らず、負側の継手がより大きな引抜き変位を受けたものと考えられる。B2をさらに集約化したB3はその傾向が強い。



(1) 一体型 (B1)



(2) 分割型 (B2)



(3) 分割型 (B3)

図-1.3 計算結果

表-4 実験結果一覧

試験体	区分	My	Mmax
		(kN·m)	(kN·m)
B1	正	実験値	244
		計算値	258
		実/計	0.95
	負	実験値	-116
		計算値	-105
		実/計	1.10
B2	正	実験値	196
		計算値	230
		実/計	0.85
	負	実験値	-89
		計算値	-93
		実/計	0.95
B3	正	実験値	190
		計算値	225
		実/計	0.85
	負	実験値	-104
		計算値	-103
		実/計	1.01

8. まとめ

本実験によって以下のような知見を得た。

- (1) プレキャスト部材の接合に、二種類の継手を使用した場合、一体型と比較して初期剛性はやや低下するが、降伏耐力はほぼ同等である。最大耐力は高いが、鉄筋の抜け出しにより最大時の変形量は小さくなった。
- (2) B2とB3は接合鉄筋の降伏耐力が同等となるように鋼種と断面積を変更した試験体であるが、剛性にはほとんど差が無く、接合鉄筋の鋼種変更が可能であることがわかった。
- (3) 継手単体の引張試験結果をモデル化した解析により、プレキャスト部材の接合部の降伏後の変形挙動を評価できた。

参考文献

- 1) 吉野次彦ほか：プレキャスト鉄筋コンクリート柱部材の接合部に関する力学的性状，土木学会第49回年次学術講演会，V552，pp.1104-1105，1994.9
- 2) 笹谷輝勝ほか：鉄筋継手を有する柱部材の力学的性状について，土木学会第52回年次学術講演会，V177，pp.354-355，1997.9