

# 論文 90° フック重ね継手を用いたプレキャスト RC 梁の接合に関する実験的研究

竹中 啓之<sup>\*1</sup>・菊田 繁美<sup>\*1</sup>・濱田 聡<sup>\*2</sup>・和泉 信之<sup>\*3</sup>

**要旨**：鉄筋コンクリート造プレキャスト梁をスパン中央部付近で接合するため、梁主筋を 90° 折り曲げ定着とし、かつ継手部に接合筋を用いた重ね継手工法を提案し、コンクリート強度、せん断補強筋比などを実験変数として模型試験体を用いた曲げせん断載荷実験を行った。本工法は梁スパンの中央付近で鉄筋コンクリート造プレキャスト梁のジョイントを行う場合の施工精度上の誤差を吸収できる継手接合工法である。実験結果より、既往の重ね継手付着強度式を用いて梁主筋の 90° 折り曲げフックの割り増し分を考慮することで継手部の性能をおおむね評価できることが確認できた。

**キーワード**：90° 折り曲げ定着、プレキャスト梁、梁接合、重ね継手、曲げせん断載荷実験

## 1. はじめに

著者らは、鉄筋コンクリート造骨組のプレキャスト化について研究を行っている(例えば<sup>1)</sup>)。柱梁接合部と梁を一体のプレキャスト部材とした場合、梁同士の接合が生じる。梁主筋を機械式継手により接合する場合は高い施工精度が必要と考えられる。本工法は接合部内で梁の主筋を 90° 折り曲げ定着とし、左右プレキャスト梁の主筋を直接接合しないものであり(図-1)、プレキャスト梁同士の接合において、左右の梁の位置決めの際の施工誤差を吸収することができる。左右の梁主筋は接合筋(ここでは、「U型筋」と呼ぶ。)を介して梁接合部内で重ね継手とする。本論文では、提案する梁継手工法について、継手部の耐力や梁の変形性能を確認するため模型試験体を用いた曲げせん断実験およびその結果について述べる。実験変数は、コンクリート強度、継手部のせん断補強筋比、およびシラスパン比(M/QD)とする。さらに、本継手工法の継手部梁主筋の付着応力を既往の重ね継手付着耐力式を用いて評価・検討した結果についても述べる。

伝達させるため、梁主筋上下 1 段筋と同数の両端部を 90° 折り曲げた U 型筋を左右梁主筋に空き重ね継手させる。梁主筋および U 型筋の 90° 折り曲げ部の余長は  $8d_b$  ( $d_b$ : 鉄筋径)とする。また、梁主筋と U 型筋の空き重ね継手長さは  $15d_b$  とする。梁断面中央部の両側面にはひび割れ抑制を目的として D13 の鉄筋(ここでは、「腹筋」と呼ぶ。)を挿入する。継手部以外のプレキャスト部分の梁主筋には 2 段筋を配し 4+2-D19 とする。2 段筋は継手部手前でカットオフする。試験体は 5 体とし、実験変数は、コンクリート強度 ( $Fc30$ ,  $Fc60$ ), 継手部せん断

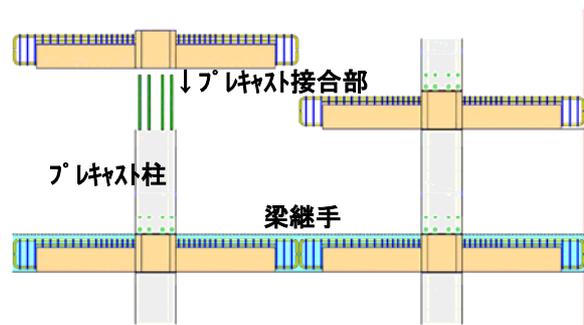


図-1 継手工法概要

## 2. 試験体および加力方法

### 2.1 試験体

試験体継手部の概要を図-2 に、実験変数一覧を表-1 に示す。梁断面は  $b \times D = 270 \times 360 \text{mm}$  で各試験共通とする。接合部は梁せいの約 2.5 倍程度の幅で試験体スパン中央に設け、接合部内で左右梁の主筋(1 段筋)を 90° 折り曲げ定着させる。左右梁主筋の応力を

表-1 実験変数一覧

試験体	Fc (N/mm <sup>2</sup> )	pw (%)	M/QD	空き重ね長 ls (mm)	90° 折曲余長 (mm)	梁主筋
MS01	30	0.32	2.08	15d <sub>b</sub>	8d <sub>b</sub>	USD685
MS02	30	0.32	2.78			
MS03	30	0.63	2.08			
MS04	60	0.63	2.08			
MS05	30	0.32	2.78			SD490

\*1 戸田建設(株) 技術研究所 工修 (正会員)

\*2 戸田建設(株) 構造設計部 工修 (正会員)

\*3 千葉大学 大学院工学研究科建築・都市科学専攻教授 博(工) (正会員)

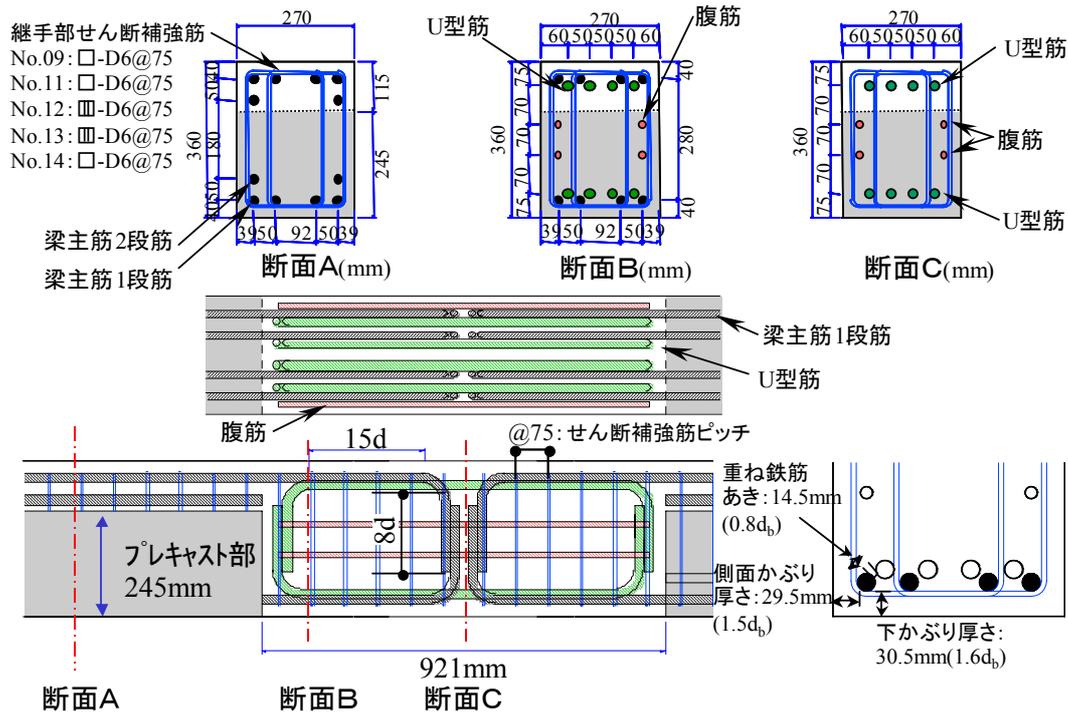


図-2 曲げせん断実験試験体概要

表-2 材料試験結果

試験体	ヤング係数 ( $\times 10^5 \text{N/mm}^2$ )	圧縮強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	割裂強度 ( $\text{N/mm}^2$ )
MS01	0.297(0.296)	39.5(39.2)	3.46(3.01)
MS02	0.329(0.315)	42.6(42.5)	3.50(3.24)
MS03	0.310(0.301)	40.1(38.6)	3.40(3.30)
MS04	0.378(0.383)	74.8(73.2)	3.85(3.79)
MS05	0.300(0.297)	34.7(34.7)	3.00(2.88)

括弧内はプレキャスト部数値

	ヤング係数 ( $\times 10^5 \text{N/mm}^2$ )	降伏強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	引張強度 ( $\text{N/mm}^2$ )
D19 (USD685)	1.90	721	899
D19 (SD490)	1.86	535	706
D13 (USD685)	1.88	761	958
D6 (USD685)	1.83	716*	917

\* : 0.2%オフセット耐力

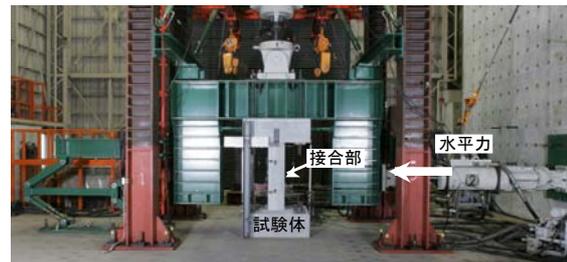


写真-1 曲げせん断実験加力装置

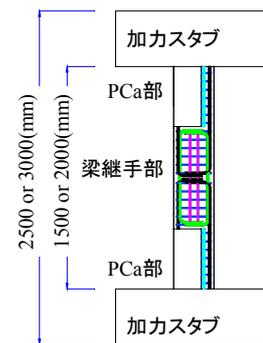


図-3 試験体外観

補強筋比( $p_w=0.32\%$ ,  $0.63\%$ )および  $M/QD(2.08, 2.78)$  とする。せん断補強筋は D6(USD685)材を用いた溶接閉鎖型とし  $p_w=0.32\%$  は外周筋のみ、 $p_w=0.63\%$  は中子筋を設け継手部でのピッチは各試験体共通の  $75\text{mm}$  とする。MS01～MS04 試験体については、梁端部主筋の曲げ降伏に対して継手部の鉄筋付着破壊を先行させるため、梁主筋に USD685 材を使用するが、MS05 試験体については、本継手工法を用いた梁の変形性能を確認する梁曲げ降

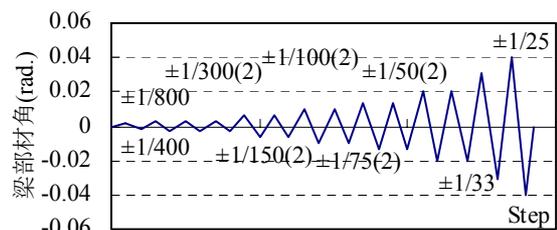


図-4 加力スケジュール

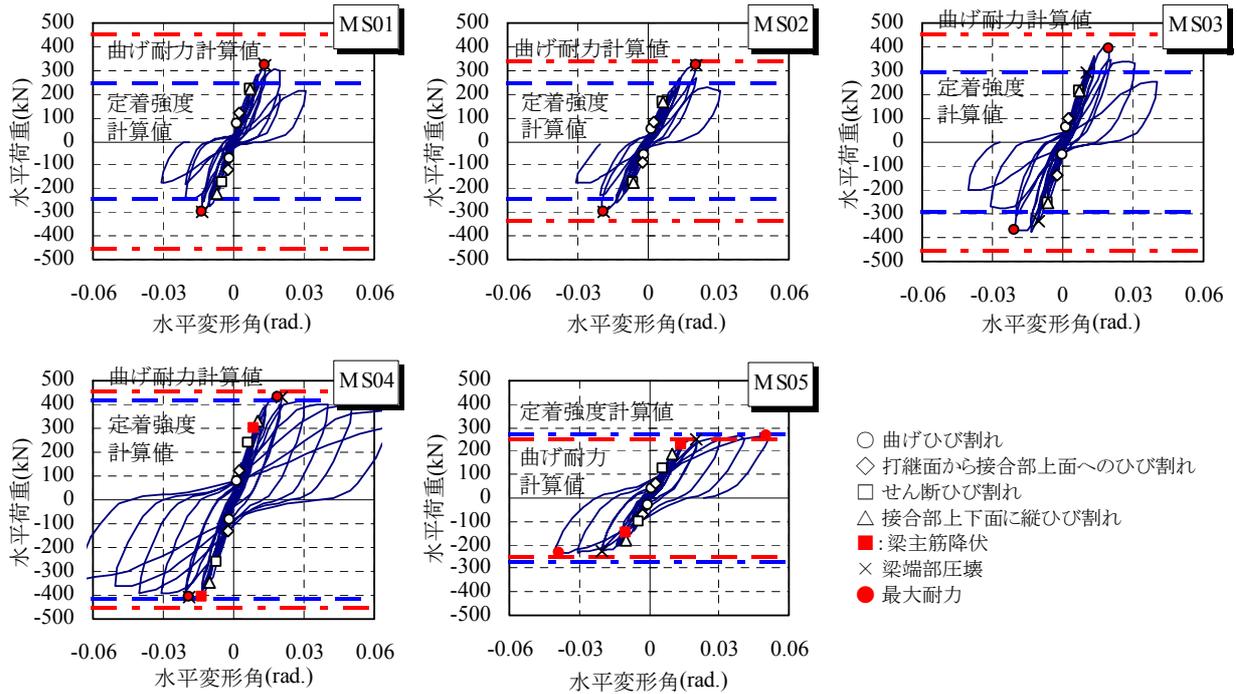


図-5 荷重変形関係

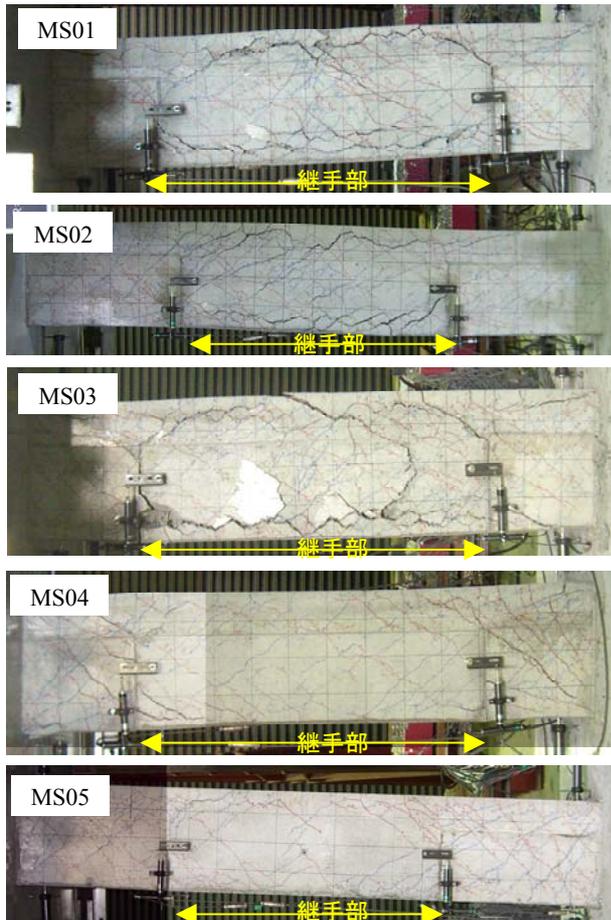


写真-2 最終ひび割れ状況 (矢印の範囲：継手部)

伏先行型試験体として梁主筋にSD490材を使用する。コンクリートおよび鉄筋の材料試験結果を表-2に示す。

## 2.2 加力方法

曲げせん断実験の加力装置を写真-1に、試験体形状を図-3に示す。試験体は梁を90°に立てた状態で上下に加力スタブを設置し、軸力が0になるように鉛直ジャッキを制御しながら反曲点位置に正負交番繰り返し漸増水平荷重を行う。加力スケジュールを図-4に示す。加力の制御は部材角(R)で行い、1/800、1/400rad.を正負1回繰り返した後、1/300、1/150、1/100、1/75、1/50rad.を正負2回ずつ繰り返す、1/33、1/25、1/20rad.を正負1回繰り返す。

## 3. 実験結果

### 3.1 荷重-変形関係と実験経過

各試験体の荷重-変形角関係を図-5に、試験体の最終破壊状況を写真-2に示す。図-5には、建築学会RC規準<sup>2)</sup>曲げ耐力計算値(略算式)と4章で評価する重ね継手部の定着強度計算値を併せて示す。MS01試験体では変形角1/800rad.で梁全体に曲げひび割れが発生し、1/400rad.で打継ぎ面から梁上面に向かって斜めにひび割れが発生した。1/150rad.でせん断ひび割れと重ね継手部中央の上下面に付着と見られるひび割れが発生した。1/100rad.で重ね継手部側面に梁主筋に沿ったひび割れが多数発生し、1/75rad.で最大耐力に至った。最大耐力以降、梁端部コンクリートが圧壊し、付着ひび割れが拡幅した。MS02、MS03、MS04試験体においても破壊経過は同様

であったが、せん断補強筋比の大きい MS03 試験体では、MS01 試験体と比較して重ね継手部のひび割れ幅は小さく、1/50rad.で最大耐力に至った。せん断補強筋比とコンクリート強度の大きい MS04 試験体においても同様で MS01 試験体と比較して重ね継手部の損傷は小さく、1/50rad.で最大耐力に至った。MS01, MS02, MS03 試験体では梁主筋, U型筋, 腹筋, せん断補強筋とも鉄筋は降伏しなかった。本工法を用いた継手部を持つ梁の変形性能を確認するための MS05 試験体では、部材変形角 1/75rad.で梁端部主筋が降伏したが、降伏以降も 1/20rad.まで耐力低下することなく安定した復元力を示した。

### 3.2 鉄筋のひずみ分布

継手部内鉄筋のひずみ分布の例として、せん断補強筋比および M/QD が同じでコンクリート強度の異なる MS03 と MS04 試験体の鉄筋ひずみ分布を梁主筋について図-6 に、U型筋について図-7 に示す。横軸のゲージ位置は、図-8 示す鉄筋にひずみゲージを貼付した位置を示しており、梁の中央をゼロ点とする。梁主筋のひずみ分布について、各試験体とも 1/300rad.までは折り曲げ端部のひずみはほとんど生じていないことから、1/300rad.までの変形の小さな領域では重ね継手部の応力は直線部の付着応力が支配的であると考えられる。1/150rad.から 90° 折り曲げ端部のひずみが徐々に増加し、最大耐力付近 (1/75~1/50rad.) では継手端部 ( $\epsilon_1$ ) に対して 90° 折り曲げ端部のひずみ ( $\epsilon_2$ ) はおおよそ 1/2 程度の大きさとなった。U型筋のひずみ分布については、1/150rad.以降、90° 折れ曲がり付近のひずみはさほど変化しないのに対してU型筋中央部のひずみが大きくなる傾向が見られた。継手部せん断補強筋のひずみ分布の例を、コンクリート強度が同じレベルでせん断補強筋比の異なる MS01 と MS03 試験体について図-9 に示す。図中横軸のゲージ位置はゼロ点が梁中央部を示し、継手部中央付近と端部のせん断補強筋についてのひずみの推移を示している。継手中央部のせん断補強筋のひずみは最大耐力以前においてせん断補強筋比の違いにかかわらずほぼ同じ推移を示し、最大耐力以降に増加した。継手部端部では、補強筋量の少ない MS01 試験体のひずみが MS03 試験体に比べて早期に増加していることがわかる。これは、重ね継手部の付着ひび割れを起因とした継手部端部のせん断ひび割れの進展によると考えられる。

### 3.3 鉄筋付着応力

重ね継手直線部に関する付着応力の推移の例として、付着応力と梁部材角の関係を MS03 および MS04 試験体について図-10 に示す。図にはゲージを貼付した 8 本の梁主筋 1 段筋についての推移を示し、重ね継手直線部の付着応力の算定法は図-12 に示す。また、図-10 には次式(1)に示す角陸によって提案された重ね継手の付着

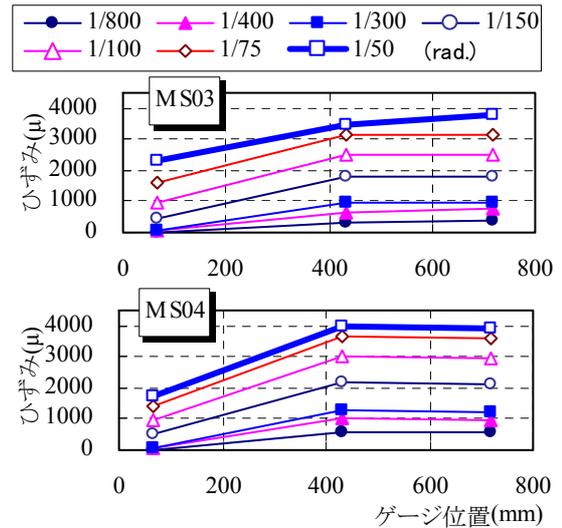


図-6 梁主筋のひずみ分布例

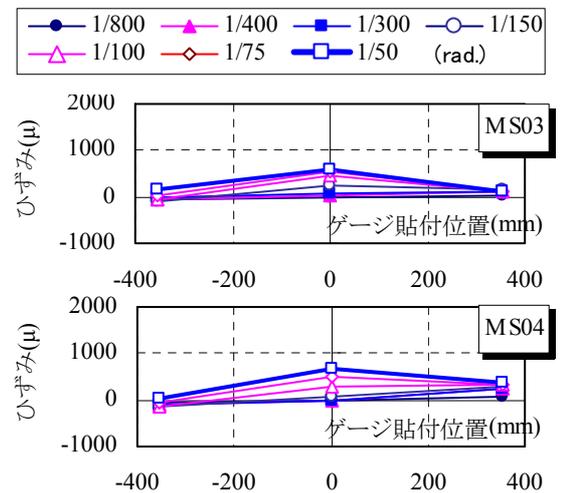


図-7 U型筋のひずみ分布例

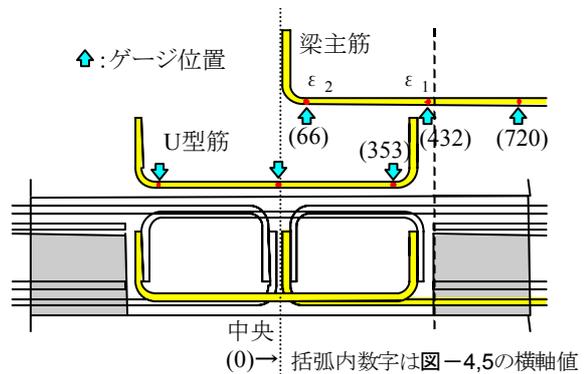


図-8 ひずみゲージ貼付位置

破壊応力計算値<sup>3),4)</sup>をあわせて示す。

$$\tau = \tau_{co} + \tau_{st} \quad (1)$$

- $\tau$  : 直線部重ね継手付着応力度
- $\tau_{co}$  : 横補強筋のない場合の付着応力度

$$\tau_{st} : \text{横補強筋による応力度増分}$$

$$\tau_{co} = (0.54 + 0.01b_i + 5.0 \cdot d_b/l_s) \cdot F_c^{0.3} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (1.a)$$

$$b_i = \min(b_{si}, b_{ci}, b_{vi}) \quad (1.b)$$

$$b_{si} = (b - 2Nd_b) / (Nd_b) \quad (1.c)$$

$$b_{ci} = \sqrt{(2) \cdot ((c_c + c_x) / d_b + 1) - 1} \quad (1.d)$$

$$b_{vi} = \sqrt{(3) \cdot (2c_c / d_b + 1)} \quad (1.e)$$

$$\tau_{st} = 1.8kq_{st}F_c \quad (\text{N/mm}^2) \quad (1.f)$$

$$q_{st} = p_w b / (Nd_b) \quad (1.g)$$

但し、 $b$  : 梁幅(mm),  $l_s$  : 梁主筋と U 型筋の材軸方向重ね継手長さ,  $F_c$  : コンクリート強度(N/mm<sup>2</sup>),  $N$  : 継手の組数,  $d_b$  : 主筋径(mm),  $c_c$  : 鉄筋下かぶり厚さ(mm),  $c_x$  : 鉄筋側面かぶり厚さ(mm) (図-2 参照),  $k$  : 破壊形式による横補強筋の効果を表す係数,  $p_w$  : 横補強筋比

図-10 より、継手の直線重ね部分の付着応力最大値は多少のばらつきはあるが式(1)で与えられる付着応力度におおむね達していることがわかる。継手部付着破壊を想定した他の試験体(MS01, MS02)も同様の結果となった。実験による継手の直線重ね部分の付着応力最大値と式(1)で求められる重ね継手付着応力の比較を塗りつぶしマークで図-11 に示す。図-11 は、MS01~MS04 試験体について、ひずみゲージを貼付して重ね継手直線部の付着応力を算出したすべての鉄筋の値をプロットしている。各試験体の重ね継手直線部の最大付着応力は、ばらつきはあるものの平均値を取ればおよそ式(1)で評価できると考えられる。

#### 4. 考察 (継手部の耐力評価)

重ね継手接合部の耐力は直線部の付着応力と 90° 折り曲げ部の定着耐力の和として算定できると考えられる。図-11 に示したように、直線部の付着応力は式(1)によって評価可能であるが、この付着応力が発揮される時期は 90° 折り曲げ部の定着耐力の発揮に先んじて生じる傾向があった。直線部の付着応力が最大となる時の重ね継手応力( $\tau_{all}$ )を白抜きマークで図-11 に示す。ここで示す重ね継手応力とは、継手端部ひずみ ( $\varepsilon_1$ , 図-12 参照) より、継手部の 90° 折り曲げ定着耐力と重ね継手直線部の付着応力の両方を含んだ形で下式により算出したものである。

$$\tau_{all} = \varepsilon_1 \cdot E \cdot A / (l_s \cdot \phi) \quad (2)$$

重ね継手応力( $\tau_{all}$ )は直線部付着応力のおおよそ 1.5 倍となり、90° 折り曲げ部の寄与分は直線部の 50%程度と考えられる。

重ね継手部の最大耐力時における重ね継手応力( $\tau_{all}$ )とその時点における直線部付着応力を図-13 に示す。重ね継手部の最大耐力時には、90° 折り曲げ部の寄与分が 50~90%に増大し、重ね継手応力は図-11 に示した直線部付着応力最大値を発揮するときの重ね継手応力に対

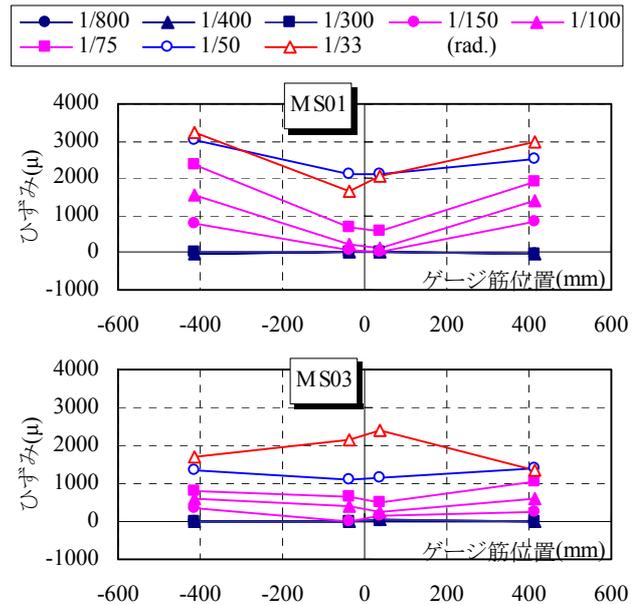


図-9 せん断補強筋のひずみ分布例

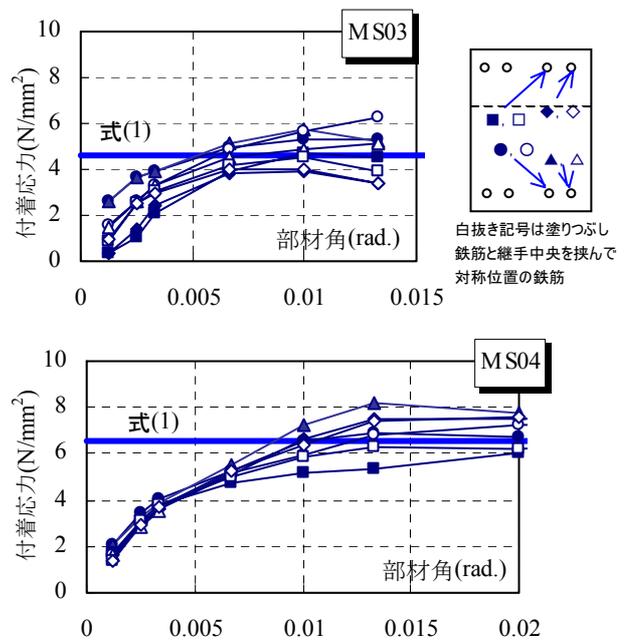


図-10 継手直線部の梁主筋付着応力の推移

●▲■◆ : 直線部最大付着応力  
○△□◇ : 直線部の付着応力最大時の重ね継手応力 ( $\tau_{all}$ )

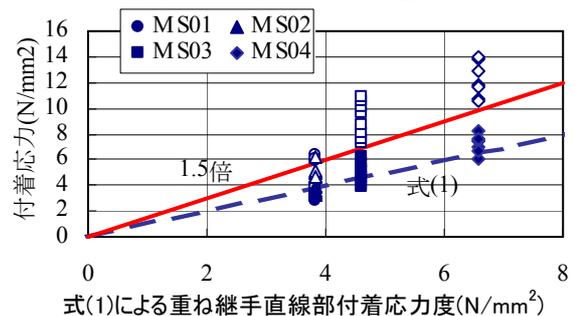


図-11 直線部付着応力最大値と継手耐力

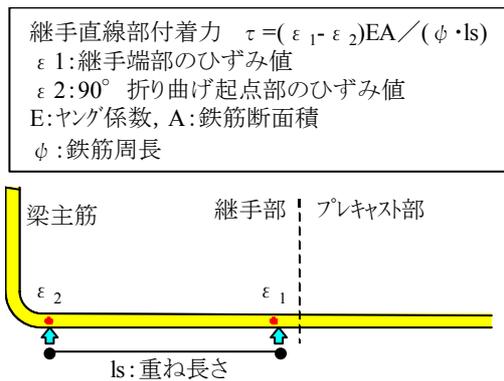


図-12 梁主筋継手直線部付着応力

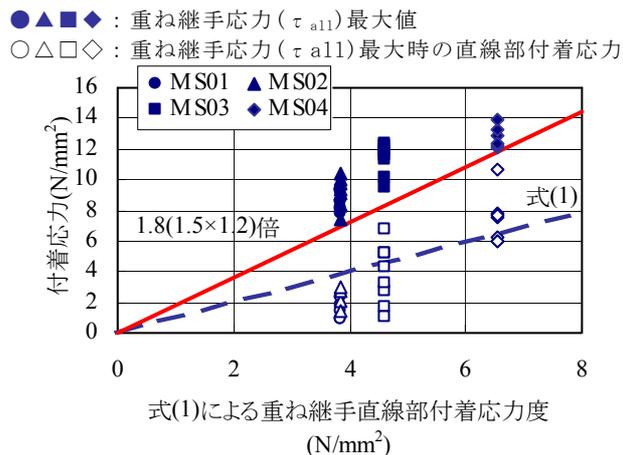
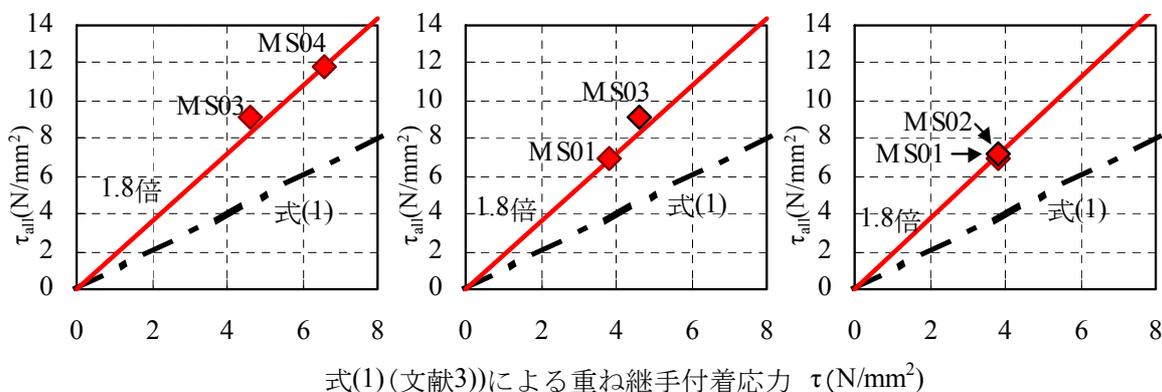


図-13 継手耐力最大値と直線部付着応力



(a)コンクリート強度比較

(b)せん断補強筋比比較

(c)M/QD 比較

図-14 実験変数による付着応力の比較

して約 1.2 倍の値となった。

実験変数ごとに比較した重ね継手応力の平均値と式(1)で得られる付着応力の比較を図-14に示す。本実験の範囲においては実験変数によるばらつきが少なく、概ね式(1)の 1.8 倍(1.5×1.2 倍)の値(図中実線)で評価できると考えられる。

## 5. まとめ

本研究で提案しているプレキャスト梁の接合方法は、現状の成果では継手位置を梁スパン中央位置に限定して設けている。そのことをふまえた上で、梁主筋を 90° 折り曲げ定着をした鉄筋コンクリート造プレキャスト梁継手に関して、以下の知見を得た。

- (1) 提案した重ね継手は直線部の付着応力と 90° 折り曲げ定着応力との和で算定できると考えられる。また、それらの最大値の発生時期には違いが見られるが、直線部の重ね継手応力最大値は既往の重ね継手付着耐力式で評価できる。
- (2) 継手直線部の付着応力が最大となる時の重ね継手応

力 ( $\tau_{all}$ ) に対する 90° 折り曲げ定着部の寄与分は約 50% 程度となった。また、重ね継手部の最大耐力時には、重ね継手直線部の付着応力が低下し 90° 折り曲げ定着部の負担が大きくなるが、本継手部は、既往の重ね継手付着耐力式(1)の値に対して少なくとも 1.8 倍 (1.5×1.2 倍) 程度の耐力となった。

## 参考文献

- 1) 竹中啓之, 濱田聡, 和泉信之, 千葉脩: 接合部一体型高強度プレキャスト RC 骨組に関する実験的研究, コンクリート工学, Vol.27, No.2, pp.631-636, 2005.7
- 2) 鉄筋コンクリート構造計算規準・解説, 日本建築学会, pp57, 1999.11
- 3) 重ね継手の全数継手設計指針(案)・同解説, 日本建築学会, pp29, 1997.8
- 4) 角陸純一: 高強度鉄筋コンクリート部材中の重ね継手の力学性状に関する研究, 神戸大学博士論文, 1995.3