

90°フック重ね継手を用いたプレキャスト RC 梁の接合部に関する研究

竹中 啓之^{*1}

石川 勝美^{*2} 濱田 聡^{*2}
 清水 隆^{*2} 渡部 幸宏^{*2}
 千田 啓吾^{*2} 太田 行孝^{*2}
 菊田 繁美^{*1} 石岡 拓^{*1}
 傳野 悟史^{*1}

概 要

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、90°折り曲げた梁主筋と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に基づき、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。

Study on the pre-cast reinforced concrete beams with lap joints of longitudinal bars squarely bent at the edge

Hiroyuki TAKENAKA^{*1} Katsumi ISHIKAWA^{*2}
 Satoshi HAMADA^{*2} Takashi SHIMIZU^{*2}
 Takahiro WATABE^{*2} Keigo SENDA^{*2}
 Yuditaka OOTA^{*2} Shigemi KIKUTA^{*1}
 Taku ISHIOKA^{*1} Satoshi DENNO^{*1}

To connect pre-cast reinforced concrete beams at the center of span, we proposed lap joints of longitudinal bars squarely bent at the edge. The lap joints we proposed were composed of bending longitudinal bars and connecting bars. We conducted flexural-shear loading tests using the test specimens varied parameters for concrete strength, ratio of shear reinforcing bar and et al.

From the test results, it was confirmed that it was able to estimate the strength of lap joints of longitudinal bars using the bond strength expression in the past.

^{*1} 技術研究所 ^{*2} 構造設計部

^{*1} Technical Research Institute ^{*2} Structural Engineering Dept.

90°フック重ね継手を用いたプレキャストRC梁の接合部に関する研究

竹中 啓之^{*1} 石川 勝美^{*2}
 濱田 聡^{*2} 清水 隆^{*2}
 渡部 幸宏^{*2} 千田 啓吾^{*2}
 太田 行孝^{*2} 菊田 繁美^{*1}
 石岡 拓^{*1} 傳野 悟史^{*1}

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¹⁾)。柱梁接合部と梁を一体のプレキャスト部材とした工法では、スパン内で梁を接合する部位が発生する。従来の工法では、梁主筋を機械式継手により接合する工法が用いられる場合が多く、高い施工精度が必要であった。本工法は梁スパン内の接合部で90°折り曲げた梁の主筋を重ね継手を用いて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に施工誤差を吸収することができる。左右の90°折り曲げた梁主筋は接合筋(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。本研究では、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を基に、継手部の耐力を既往の重ね継手付着耐力式を準用することにより評価できることを示す。

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倍の幅で試験体スパン中央に設け、接合部内で90°折り曲げた左右梁の主筋(1段筋)を付き合わせる。左右梁主筋の応力を伝達させるため、梁主筋上下1段筋と同数の両端

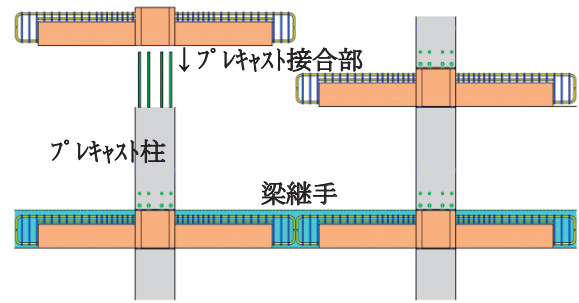


図-1 継手工法概要

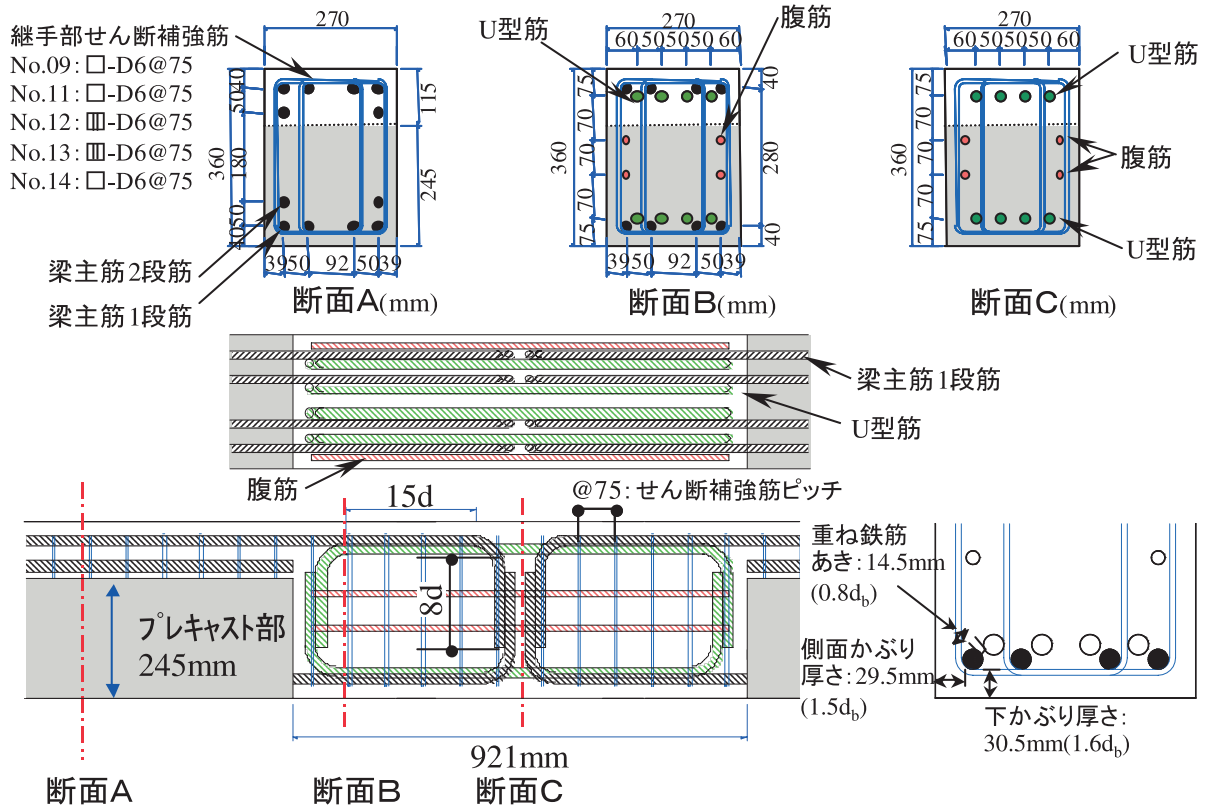


図-2 曲げせん断実験試験体概要

^{*1} 技術研究所 ^{*2} 構造設計部

表-1 実験変数一覧

試験体	Fc (N/mm ²)	p _w (%)	M/QD	空き重ね長 l _s (mm)	90°折曲余長 (mm)	梁主筋
No.09	30	0.32	2.08	15d _b	8d _b	USD685
No.11	30	0.32	2.78			
No.12	30	0.63	2.08			
No.13	60	0.63	2.08			
No.14	30	0.32	2.78			

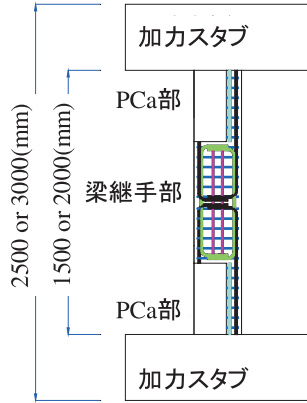


図-3 試験体外観

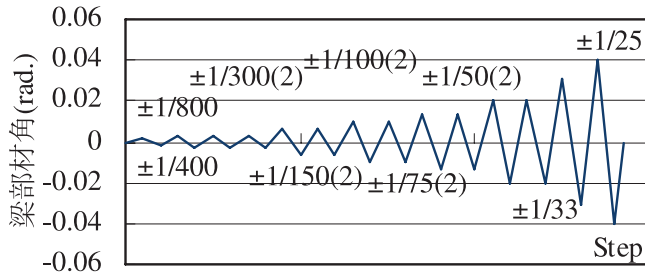


図-4 加力スケジュール

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は2段筋とし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75mmとする。No.09、No.11～13 試験体4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、No.14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 加力装置・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

表-2 材料試験結果

試験体 No.	ヤング係数 (×10 ⁵ N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)
09	0.297 (0.296)	39.5 (39.2)	3.46 (3.01)
11	0.329 (0.315)	42.6 (42.5)	3.50 (3.24)
12	0.310 (0.301)	40.1 (38.6)	3.40 (3.30)
13	0.378 (0.383)	74.8 (73.2)	3.85 (3.79)
14	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 (×10 ⁵ N/mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (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

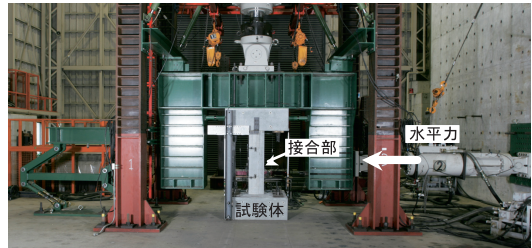


写真-1 曲げせん断実験加力装置

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載荷を行う。加力スケジュールを図-4に示す。加力の制御は梁部材角 (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回ずつ繰り返し、1/33、1/25、1/20rad. を正負1回繰り返す。

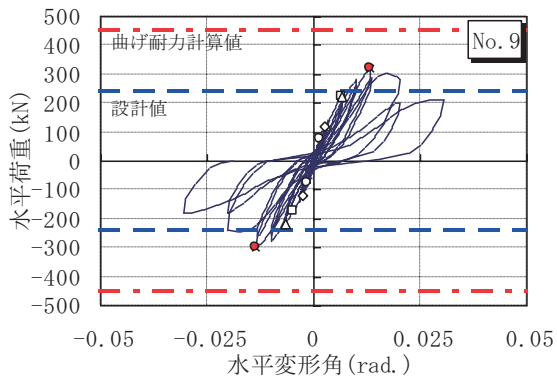
3. 実験結果

3.1 実験経過と荷重変形関係

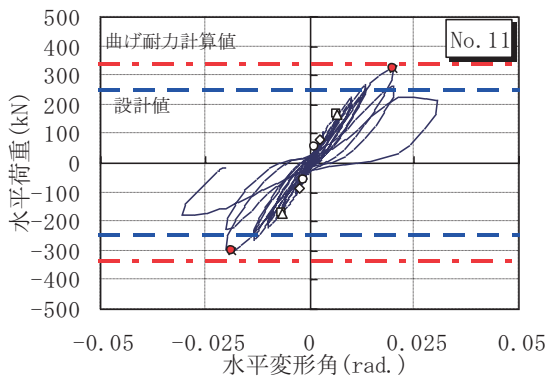
実験結果の一覧を表-3に、各試験体の荷重-変形角関係を図-5に、試験体の最終破壊状況を写真-2に示す。図-5には、建築学会 RC 規準²⁾ 曲げ耐力計算値 (略算式) と4章で評価する重ね継手部の定着強度計算値 (設計値) をあわせて示す。No.09 試験体では変形角 1/800rad. で梁全体に曲げひび割れが発生し、1/400rad. で打継ぎ面から梁上面に向かって斜めにひび割れが発生した。1/150rad. でせん断ひび割れと重ね継手部中央の上下面に付着ひび割れが発生した。1/100rad. で重ね継手部側面に梁主筋に沿ったひび割れが多数発生し、1/75rad. で最大耐力に至った。最大耐力以降、梁端部コンクリートが圧壊し、付着ひび割れが拡幅した。No.11～No.13 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

表-3 実験結果一覧

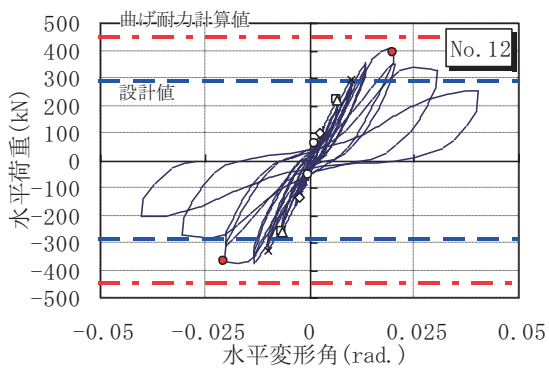
試験体 No.	初期ひび割れ荷重 (kN)	初期ひび割れ変形角 (rad.)	鉄筋降伏荷重 (kN)	鉄筋降伏変形角 (rad.)	最大耐力 (kN)	最大耐力時の変形角 (rad.)	破壊モード
09	76.6 -74.7	1/800 -1/800	-	-	320.7 -296.8	1/75 -1/75	付着破壊
11	51.0 -58.0	1/800 -1/800	-	-	324.4 -298.8	1/50 -1/50	付着破壊
12	58.5 -94.1	1/800 -1/800	-	-	406.0 -376.9	1/50 -1/75	付着破壊
13	76.8 -81.7	1/800 -1/800	298.2 -364.1	1/100 -1/75	434.1 -407.2	1/50 -1/75	曲げ降伏後の付着破壊
14	37.0 -24.0	1/800 -1/800	223.6 -214.9	1/75 -1/75	263.9 -236.1	1/20 -1/25	曲げ降伏



(a) No. 09 (Fc30、pw0.32、M/QD2.08)



(b) No. 11 (Fc30、pw0.32、M/QD2.78)



(c) No. 12 (Fc30、pw0.63、M/QD2.08)

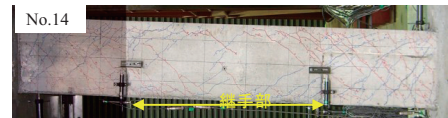
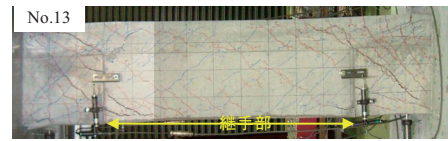
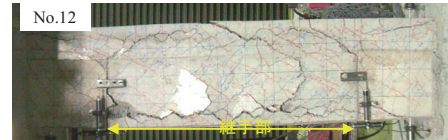
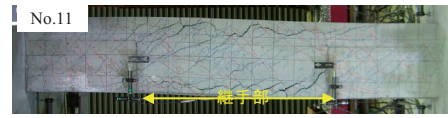
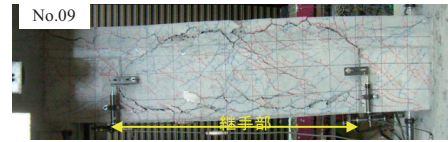
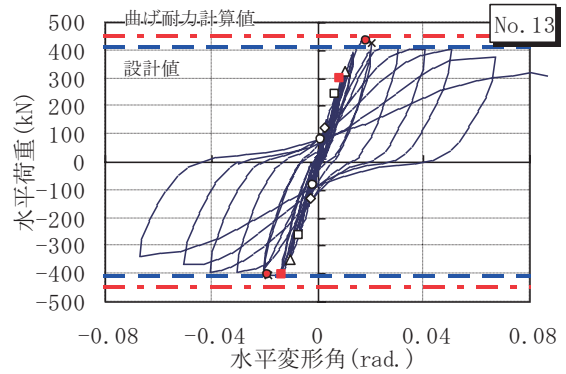
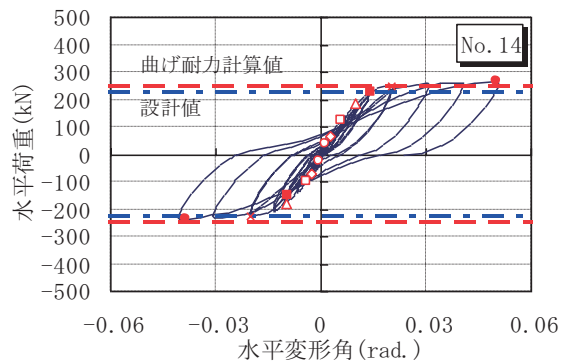


写真-2 最終ひび割れ状況 (矢印の範囲：継手部)

○ 曲げひび割れ ◇ 打継面から接合部上面へのひび割れ □ せん断ひび割れ
△ 接合部上下面に縦ひび割れ ■ 梁主筋降伏 × 梁端部圧壊 ● 最大耐力



(d) No. 13 (Fc60、pw0.63、M/QD2.08)



(e) No. 14 (Fc30、pw0.32、M/QD2.08)
梁端曲げ降伏先行型

図-5 曲げせん断実験時の荷重-変形角関係

No.12 試験体では、No.09 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 No.13 試験体においても同様で No.09 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。No.09、No.11、No.12 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 No.14 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を図-6 に、U型筋のひずみ分布を図-7 に示す。横軸のゲージ位置は、鉄筋にひずみゲージを貼付した位置を示しており(図-8

参照)、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が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、コンクリート強度が Fc30 クラスでせん断補強筋比の小さいものを除くと、最大耐力付近 (1/75 ~ 1/50rad.) では継手端部 (ϵ_1) に対して 90° 折り曲げ端部のひずみ (ϵ_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みられた。

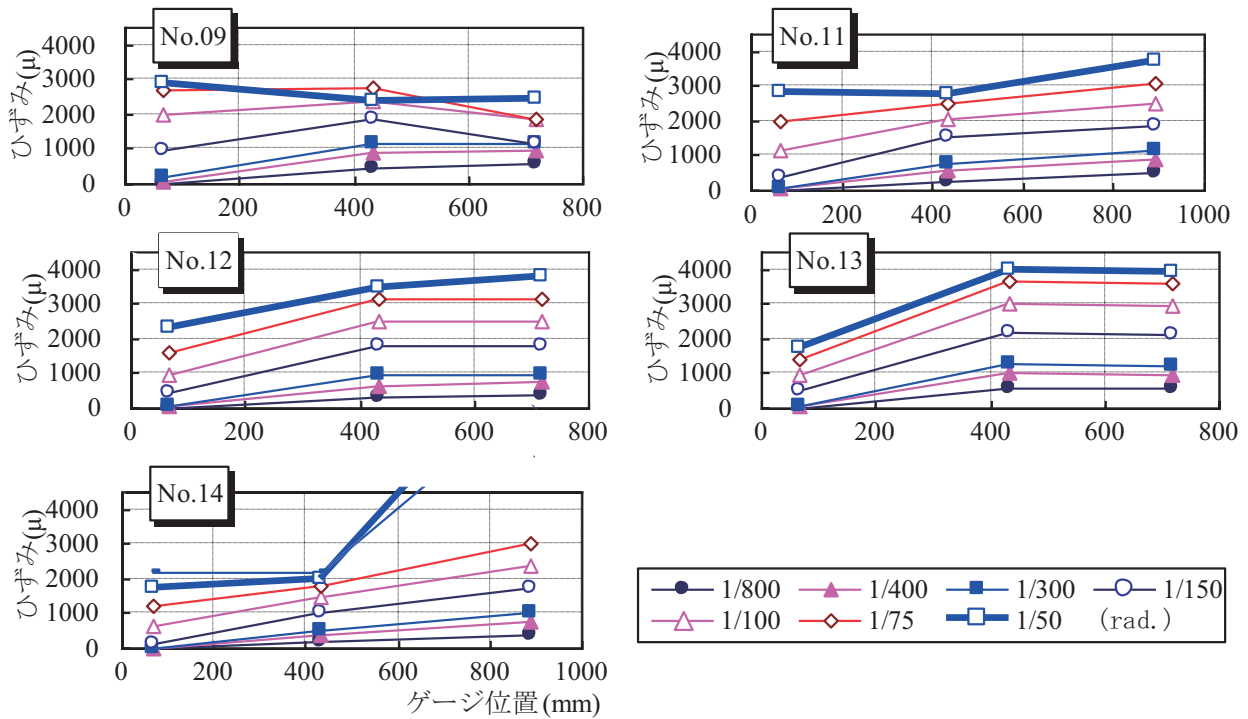


図-6 梁主筋のひずみ分布

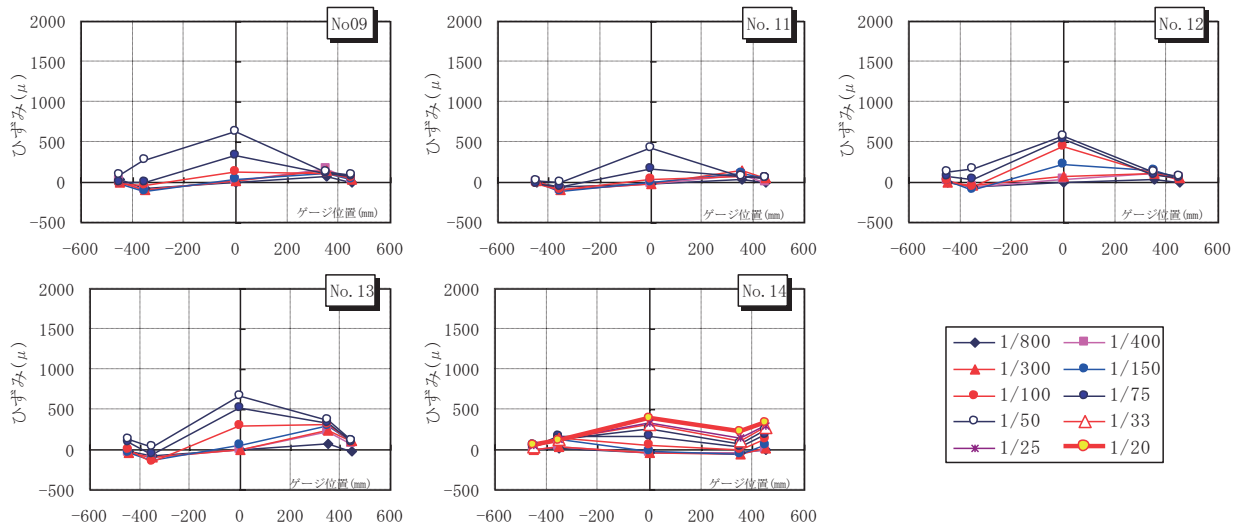


図-7 U型筋のひずみ分布

継手部せん断補強筋のひずみ分布を図-9に、ゲージ貼付位置を図-10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No.09試験体のひずみがNo.12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 プレキャスト部のずれ変形

プレキャスト打ち継部のずれ変形の推移を図-11に示す。プレキャスト打ち継部は、各試験体とも最大耐力時まで変形量は0.3mm~0.4mm程度であった。すべての試験体で最大耐力付近まで、耐力や破壊モードに影響を及ぼすようなずれ変形はみられなかった。また、梁降伏型の試験体No.14では大変形時も0.2mm程度のずれであり、修復性を損なうようなずれ変形はないと判断できる。

4. 考察

4.1 鉄筋付着応力

重ね継手直線部に関する付着応力の推移として、付着応力と梁部材角の関係を図-12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-13に示す。また、図-12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破壊応力計算値^{3,4)}をあわせて示す。

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

τ : 直線部重ね継手付着応力度

τ_{co} : 横補強筋のない場合の付着応力度

τ_{st} : 横補強筋による応力度増分

$$\tau_{co} = (0.54 + 0.10b_i + 5.0 \cdot d_b/l_s) \cdot F^{0.3} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (1.a)$$

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

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

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

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

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

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

ただし、 b : 梁幅 (mm)、 l_s : 梁主筋とU型筋の材

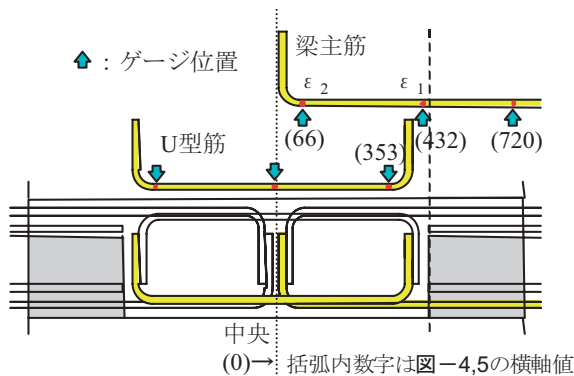


図-8 ひずみゲージ貼付位置

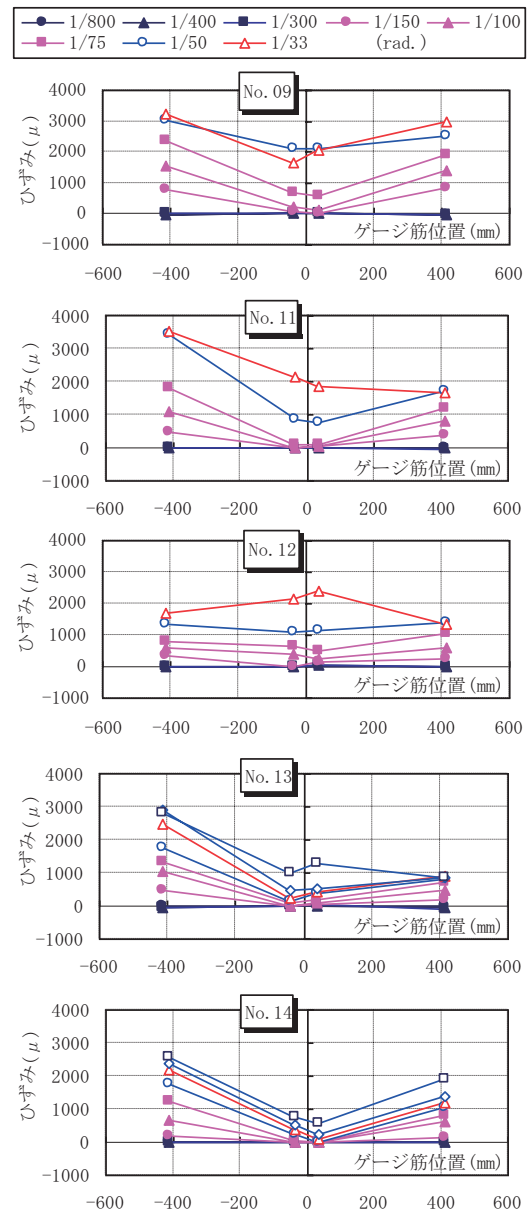


図-9 せん断補強筋のひずみ

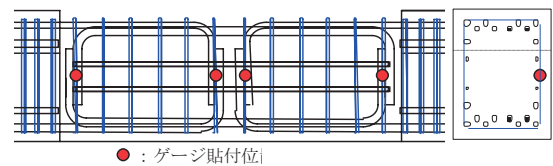


図-10 せん断補強筋ひずみゲージ貼付位置

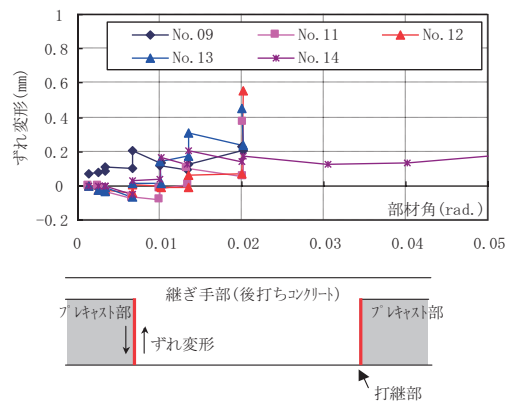


図-11 プレキャスト部のずれ変形

軸方向重ね継手長さ、 F_c : コンクリート強度 (N/mm^2)、 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示す係数、 p_w : 横補強筋比

図-12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。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

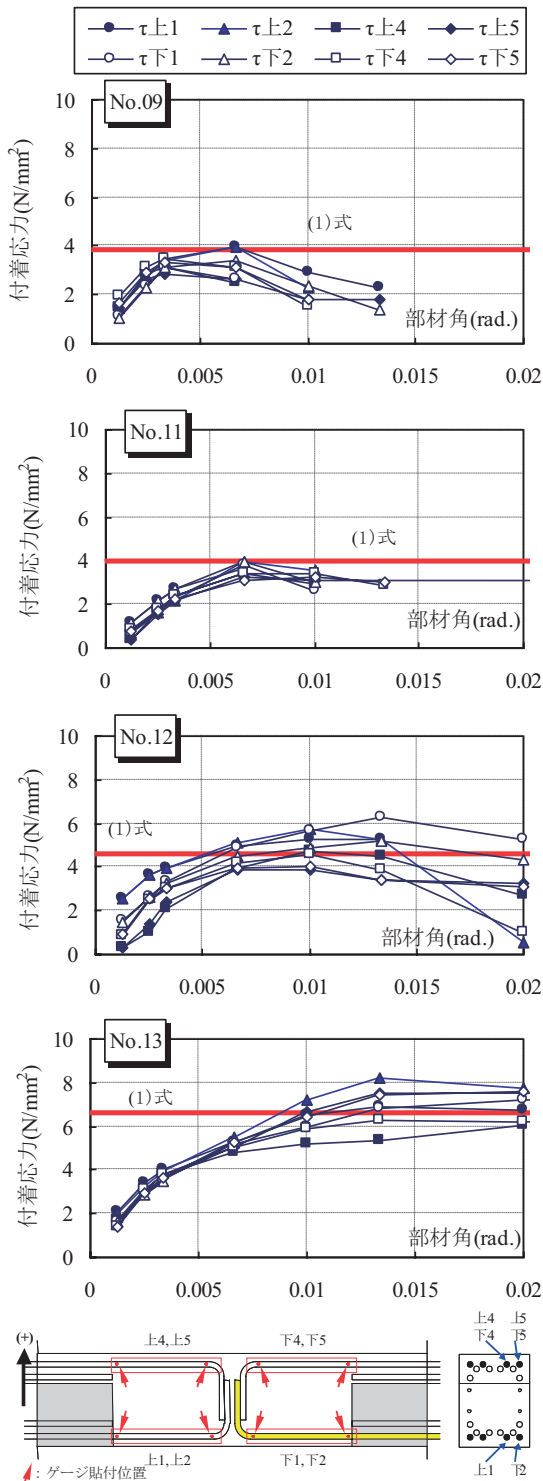


図-12 継手直線部の梁主筋付着応力の推移

マークで図-14に示す。図-14は、No.09、No.11～12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。

4.2 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-14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(τ_{all})を白抜きマークで図-14に示す。ここで示す重ね継手応力とは、継手端部ひずみ(ϵ_1 、図-13参照)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。

$$\tau_{all} = \epsilon_1 \cdot E \cdot A / (l_s \cdot \psi) \quad (2)$$

重ね継手応力(τ_{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(τ_{all})とその時点における直線部付着応力を図-15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-14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-16に示す。本

$$\tau = (\epsilon_1 - \epsilon_2)EA / (\psi \cdot l_s)$$

ϵ_1 : 継手端部のひずみ値
 ϵ_2 : 90°折り曲げ起点部のひずみ値
 E : ヤング係数, A : 鉄筋断面積
 ψ : 鉄筋周長

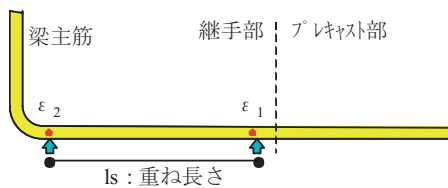


図-13 梁主筋継手直線部付着応力

- ▲■◆ : 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(τ_{all})

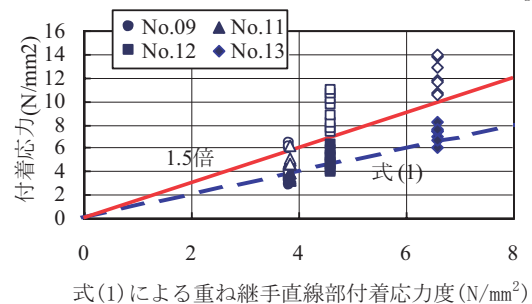


図-14 直線部付着応力最大値と継手耐力

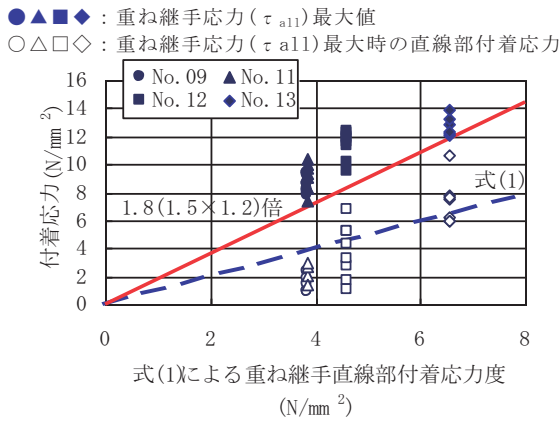
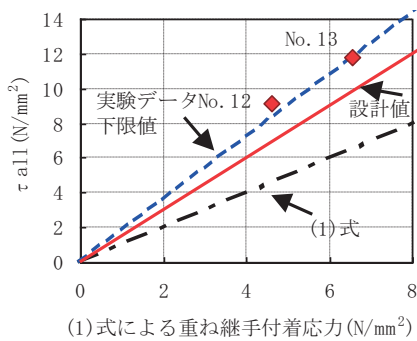
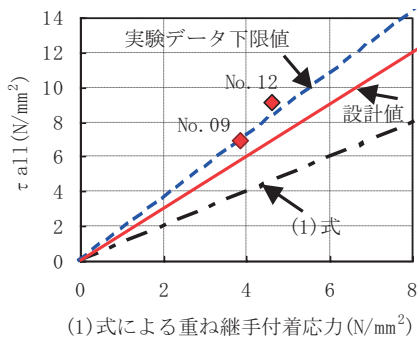


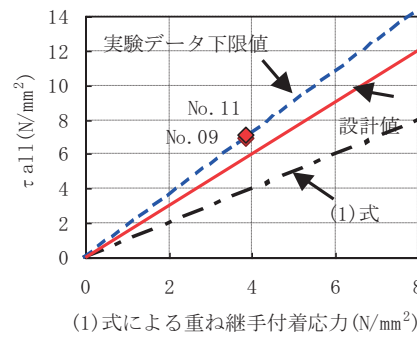
図-15 継手耐力最大値と直線部付着応力



(a) コンクリート強度による比較



(b) せん断補強筋比による比較



(c) せん断スパン比による比較

図-16 実験変数による付着応力の比較

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、おおむね式 (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) 提案した重ね継手部は直線部の付着応力と 90° 折り曲げ定着応力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みられるが、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 (τ_{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、pp. 57、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、pp. 29、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