

論文 モルタル充填式継手を有する鉄筋コンクリート部材の力学的性状

大橋茂信^{*1}・楨谷栄次^{*2}・吉野次彦^{*3}・寺戸一哉^{*4}

要旨：本報は、RC部材の鉄筋継手にモルタル充填式継手を用いた場合のスリーブ部分の付着応力を検討するために行った実験結果を示したものである。継手位置を変えて、スリーブ両端の鉄筋およびスリーブ表面にひずみゲージを貼付し、ひずみ分布からスリーブ周辺の付着応力を検討すると共に、継手位置と変形状の関係についても検討を行った。実験の結果、スリーブ継手を有する場合でもスリーブ両端の主筋のひずみは継手の無い場合とほぼ同じ分布であること、継手の位置に関わらずスリーブ部分の付着力で応力が伝達されることが分かった。

キーワード：モルタル充填式継手、付着応力、変形性能、応力分布

1. はじめに

鉄筋継手の中でも、モルタル充填式継手の場合は、継手の機構上、他の機械的継手と比較してスリーブの長さが大きく、また、表面が平滑であるので、スリーブ部分の付着力が損なわれて、付着破壊を誘発するのではないかと懸念が指摘されている。

一方、モルタル充填式継手を含むRC部材の性能に関しては、すでに多くの実験が行われているが、付着性能については、定量的な資料が少なかった。

本研究は主にスリーブの付着性能について検討を行ったものである。

鉄筋の付着性能に関しては、逆対称型の加力が最も影響が大きく、付着破壊を誘発しやすいと考えられるが、本実験はスリーブ部分の付着性状に対する基礎資料を得る事を目的とし、片持ち梁形式の部材について、スリーブ部分の付着性状について検討を行った。

2. 試験体

試験体形状を図-1, 2に、本試験体を使用した継手スリーブの形状を図-3に示す。

試験体断面は 500mm×300mm とし、主筋には

6-D25 を用いた。加力点位置は脚部から 1,000mm の位置とし、全長を 1,250mm とした。

試験体は、脚部にスリーブ継手を設けたもの(N0.1)1体、継手のないもの(N0.2)1体、脚部から 500mm 立ち上がった位置に継手を設けたもの(N0.3,4)2体の計4体を作製した。

本実験は、継手位置の影響、スリーブの付着応力を検討するために行うことが目的であるため、プレキャスト部材を組み立てるのではなく、鉄筋をあらかじめスリーブ継手で接合した後、部材は一体打ちで作製した。

なお、N0.1は、鉄筋の抜け出しを防止するために、試験体端部 1,250mm の位置に定着板を取り付けたが、N0.2～N0.4 については鉄筋に定着板を取り付けず、コンクリートとの付着力のみで定着させるものとした。

本試験体に用いたスリーブは、長さが 280mm である。したがって、N0.3,4 はスリーブ端部からの定着長さが、 $L=1250-(500+280)=470\text{mm}$ となり、スリーブ端からの定着長さは $18.8d$ である。

なお、主筋の材質として N0.1～N0.3 には SD345 を、N0.4 には SD390 を用いた。使用材料の機械的性質を表-1に示す。

^{*1} 東京鉄鋼(株)技術開発センター (正会員)

^{*2} 関東学院大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

^{*3} ムサシ設計 (正会員)

^{*4} 東京鉄鋼(株)エンジニアリング事業部 (正会員)

3. 実験方法

加力方法を図-4に示す。加力は片持ち梁形式とした。加力の制御は NO.1 を基準として NO.2,3 は NO.1 と同一の加力ステップで繰り返し加力を行った。鉄筋降伏までは荷重制御とし、脚部の主筋が降伏ひずみに達した以降は変位制御とし、最終的には 40mm まで変位を与えた後、加力を終了した。なお、NO.4 は主筋に SD390 を用いているので、NO.1 とは異なる変位での制御を行った。変位はスタブに取り付けたゲージホルダーと加力点位置の相対水平変位、部材端部の鉄筋小口面に取り付けた変位計による主筋のぬけ出しをそれぞれ測定した。主筋のひずみゲージは、ゲージ部分のコーティングによる付着性能の劣化を防ぐために図に示すように鉄筋に幅 5mm 深さ 3mm の溝加工を行い、この溝の中にひずみゲージを貼付し、リード線も溝の内部で処理を行った。なお、スタブ内およびスリーブ内部の鉄筋部分には溝を設けなかった。ひずみゲージは左右の鉄筋各 3 本のうち、中央の主筋に取り付けた。

4. ひび割れおよび変形性能の検討

4.1 ひび割れ発生および破壊状況

表-2 に実験結果の一覧を示す。表中の計算値は e 関数法によって算定した値である。4 体で計算値が多少異なっているが、これは鉄筋の断面積が多少異なること、材齢によってコンクリート強度が多少異なるためである。NO.1 は鉄筋の脚部には溝を設けていないので鉄筋の断面積として 3-D25 として算定、NO.2~NO.4 は主筋のうち 1 本に溝を設けているので溝の断面積分を補正して耐力を算定、また、NO.4 は主筋に SD390 を用いた。降伏耐力は計算値に対して 1.04~1.14、最大荷重は計算値に対して 1.11~1.24 であった。

図-5 に加力終了時のひび割れ発生状況を示す。初期ひび割れは脚部の付け根位置に曲げひび割れが発生し、荷重の増加に伴って、曲げせん断ひび割れに進展した。図からわかるよう

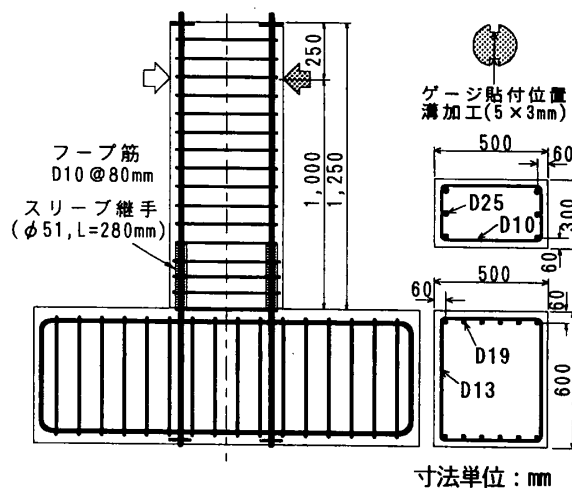


図-1 試験体形状

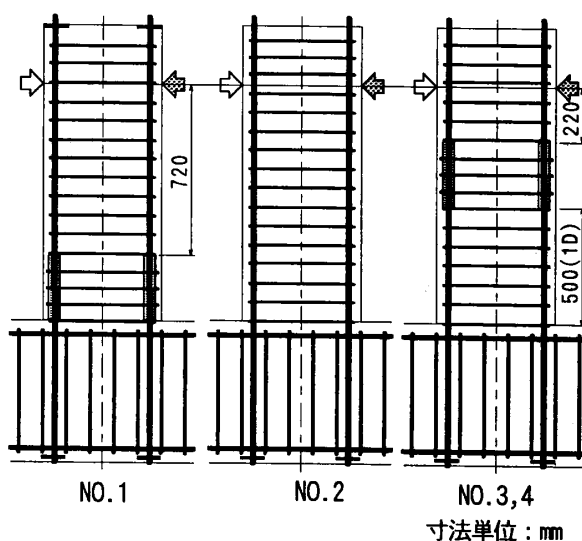


図-2 継手位置

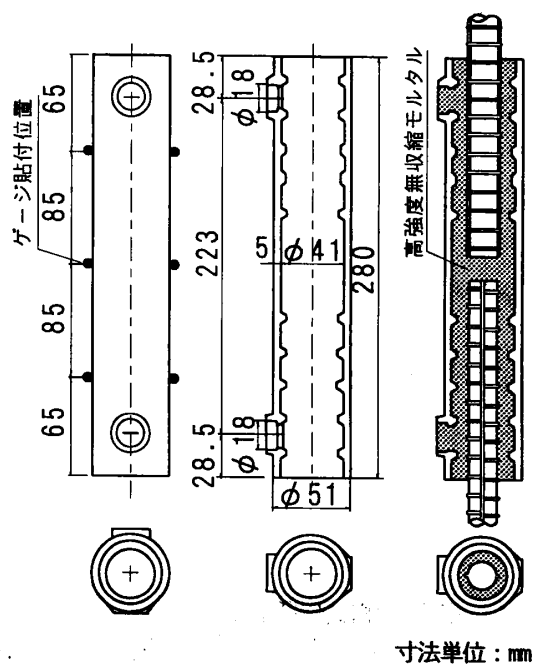


図-3 スリーブの形状

に、NO.1 は脚部の圧壊の状況が他の 3 体と比較して比較的軽微であった。これは NO.1 が脚部に継手を設けた試験体であり、スリーブが圧壊防止に寄与していたためである。NO.2 は継手の無い試験体であり、ひび割れは脚部 1.5D の区間に集中し、脚部の圧壊が著しい。NO.3,4 の脚部のひび割れ発生状況も NO.2 と同様であった。

4.2 継手位置と変形状

図-6～7 に加力点位置の荷重変形曲線を示す。図-7 は 4 体の荷重変形曲線の包絡線である。NO.1～NO.3 の降伏荷重はほとんど同じであったが、継手位置を脚部に設けた NO.1 は降伏後も変形の増大と共に荷重が漸増し、最終加力時まで耐力の低下はなかった。NO.2,3 は部材角 $R=2.5/100\text{rad}$ までは NO.1 と全く同じであるが、部材角 $R=2.5/100\text{rad}$ を過ぎる頃から荷重が低下しはじめて、NO.2 は最終加力時では最大荷重の約 86%まで耐力が低下している。NO.4 も最大耐力以降、耐力がやや低下しているが、NO.4 に関しては他の 3 体とせん断補強量が同じであるのに対して、主筋の強度が大きいため脚部の曲げせん断破壊が進行したためである。なお、4 体とも鉄筋端部の抜け出しについては全く変位が検出されなかった。

履歴曲線の安定性（エネルギー吸収性能）を検討する一つの指標として荷重変形曲線における各ループ毎の面積を求め、図-8 に示した。NO.1 は変形の増大と共にループ面積が大きくなっているのに対して NO.2,3 は部材角 $R=3/100\text{rad}$ を過ぎるとループ面積が減少傾向であり、ループ面積は脚部に継手のある NO.1 が良好な結果となっている。なお、継手位置を脚部から 1D 離れた位置に設けた場合の変形状は継手のない場合と同じ傾向であった。

5. スリーブの付着性状に関する検討

5.1 主筋のひずみ分布

図-9 に主筋のひずみ分布を示す。図は各荷重階での最大荷重時におけるひずみ値を抽出

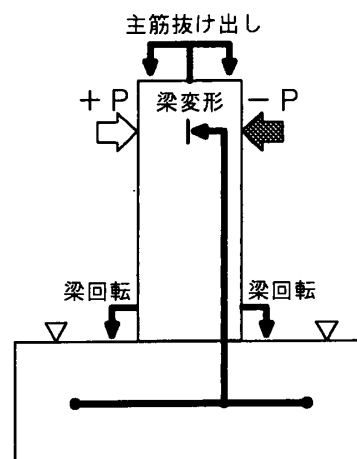


図-4 加力方法

表-1 使用材料の機械的性質

(1) コンクリート

項目	圧縮強度 N/mm ²	割裂強度 N/mm ²	弾性係数 $\times 10^4$ N/mm ²	ポアソン比
標準養生	33.8	-----	2.56	0.157
実験開始時	22.8	2.77	2.32	0.146
実験終了時	30.4	2.93	2.49	0.190

(2) 鉄筋

項目	降伏点 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	弾性係数 $\times 10^5$ N/mm ²	降伏ひずみ $\times 10^{-6}$
D10	390	553	1.79	2185
D13	360	515	-----	-----
D25(SD345)	362	577	1.92	2215
D25(SD390)	438	649	1.94	2425

(3) 充填モルタル

項目	圧縮強度 N/mm ²	割裂強度 N/mm ²	弾性係数 $\times 10^4$ N/mm ²	ポアソン比
実験開始時	103.7	-----	-----	-----

表-2 実験結果一覧

		ひび割れ荷重(kN)		降伏荷重(kN)		最大荷重(kN)		
		実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値
NO.1	正	29.4	38.2	0.77	233	1.10	271	1.24
	負	-29.4		0.77	-220	1.04	-266	1.21
NO.2	正	35.3	38.2	0.92	232	1.12	250	1.16
	負	-34.3		0.90	-219	1.06	-252	1.17
NO.3	正	29.4	38.2	0.77	236	1.14	259	1.20
	負	-34.3		0.90	-221	1.07	-253	1.17
NO.4	正	29.4	38.2	0.77	275	1.10	284	1.10
	負	-29.4		0.77	-263	1.05	-286	1.11

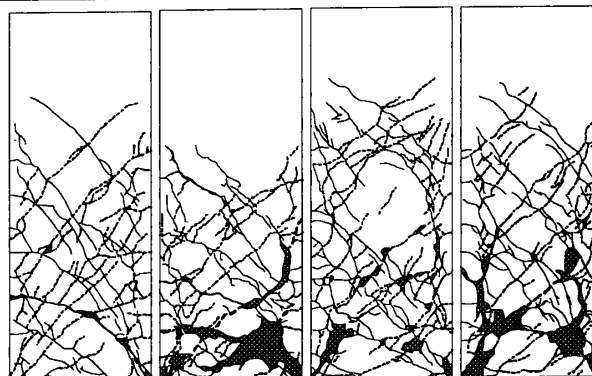


図-5 ひび割れ発生状況（加力終了時）

して表示したひずみ分布である。本試験体に用いた鉄筋のうち、SD345の降伏ひずみは約 2200×10^{-6} 、SD390は約 2400×10^{-6} であった。

変形の増大と共に鉄筋の降伏域が伸展し、NO.1は脚部から455mmの位置が部材角 $R=2.5/100\text{rad.}$ の加力時に降伏してひずみが急増するが、605mmの位置は弾性域であった。

NO.2, NO.3, NO.4のスリーブを除く部分については同じ位置にゲージを貼付した。部材角 $R=2.5/100\text{rad.}$ までは3体ともひずみの進展状況はほとんど同じ傾向で、スリーブ直下の位置(脚部より475mm)では一部降伏ひずみを越える程度であった。この位置のひずみはNO.2では部材角 $R=3.5/100\text{rad.}$ の加力時に急増するが、NO.3, 4は1ステップ前の部材角 $R=3/100\text{rad.}$ の加力時に急増している。また、スリーブ直下の主筋には大きな引張りひずみが発生しているが、スリーブ直上の主筋のひずみは最終段階まで弾性範囲であった。これはスリーブによって主筋が充分定着されていたためであると考えられる。

5.2 NO.1とNO.2の比較

NO.1は脚部に継手を設けた試験体であり、NO.2は継手のない試験体である。また、NO.3は脚部より1D(50cm)上にスリーブを取り付けて、このスリーブの両端および中央部にひずみゲージを貼付した。継手の機構上、スリーブ中央はスリーブのみで引張力を負担していることになるが、スリーブの断面積は鉄筋の断面積よりも大きい。本試験体に用いたスリーブの断面積は鉄筋の1.51倍である。したがって、スリーブ中央から検出されたひずみとスリーブ近傍の鉄筋から検出されたひずみを直接比較する事は出来ない。このため、測定されたスリーブ中央のひずみ値を補正し、鉄筋と同一断面と仮定した場合の見掛けひずみを算定した。なお、鉄筋とスリーブの弾性係数はほぼ同じであったので、補正に当たってはスリーブから検出されたひずみに断面積比を乗じて算定した。

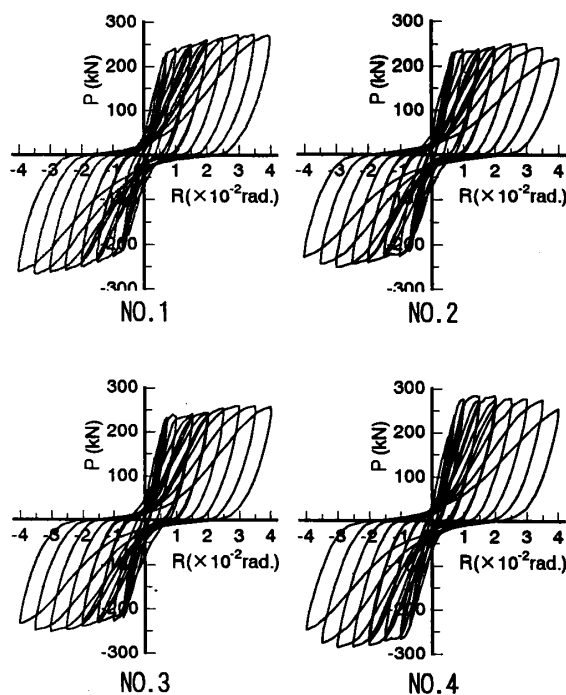


図-6 荷重変位曲線(加力点位置)

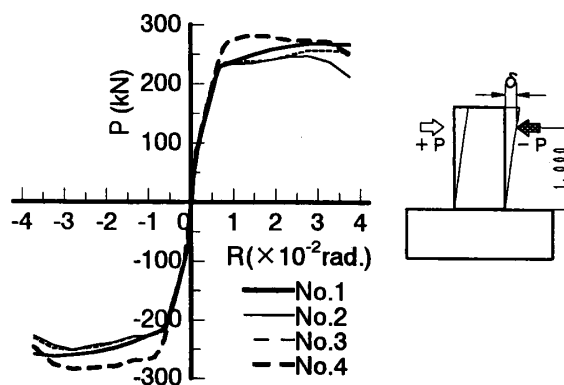


図-7 包絡線(加力点位置)

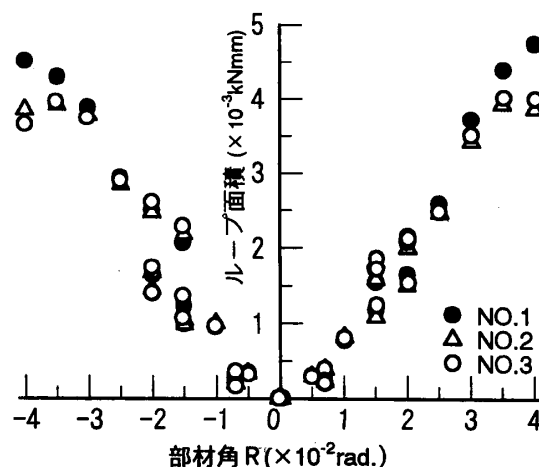


図-8 荷重変位曲線のループ面積

NO.1, NO.2 について補正後の2体の比較図を図-10に示す。補正後の各位置のひずみ分布は2体共ほぼ同じであり、NO.1のスリーブ中央にはNO.2の同じ位置の鉄筋と同程度の引張力が作用していることがわかる。部材角 $R=1/100\text{rad}$. 以下の範囲ではスリーブの両端で大きなひずみ勾配が有り、脚部においてもスリーブ部分で鉄筋とほぼ同程度の付着力を伝達していることがわかった。なお、部材角 $R=2/100\text{rad}$. を過ぎる頃から2体共、脚部の曲げせん断ひび割れが顕著となり、圧縮側コンクリートも一部圧壊しており、脚部では付着がほとんど期待できなくなっている。したがって、脚部に継手位置を設けた場合でも、大変形時には付着に対してスリーブの影響は少ないと考えられる。

5.3 NO.2とNO.3の比較

NO.1と同様にNO.3についてもスリーブ中央のひずみを鉄筋との断面積比で補正し、継手の無いNO.2と比較して図-11に示した。NO.3は、部材角 $R=3/100\text{rad}$. 以降の繰返しにおいてスリーブ周辺のひび割れが顕著となり、ひび割れ幅が大きくなった。しかし、鉄筋の降伏領域はNO.2, NO.3とも1D区間であった。スリーブ中央のひずみを断面積比で補正した値はNO.2の同位置の鉄筋に生じたひずみとほとんど同じ値で、継手を設けた区間のNO.2とNO.3のひずみ勾配はほとんど同じであった。スリーブ直下の位置ではNO.2,3共に部材角 $R=3/100\text{rad}$. 以降、鉄筋が降伏しているが、スリーブ直上の位置では最終加力時まで弾性範囲であった。したがって、引張力を受ける鉄筋にスリーブ継手を設けても継手区間で充分定着されていることになる。

部材角 $R=3/100\text{rad}$. におけるNO.3のスリーブ両端に相当する脚部から475mmおよび840mmの位置のNO.2の主筋のひずみは、それぞれ 2450×10^{-6} , 1450×10^{-6} で、この区間のひずみ勾配から平均付着応力度を算定すると 3.27N/mm^2

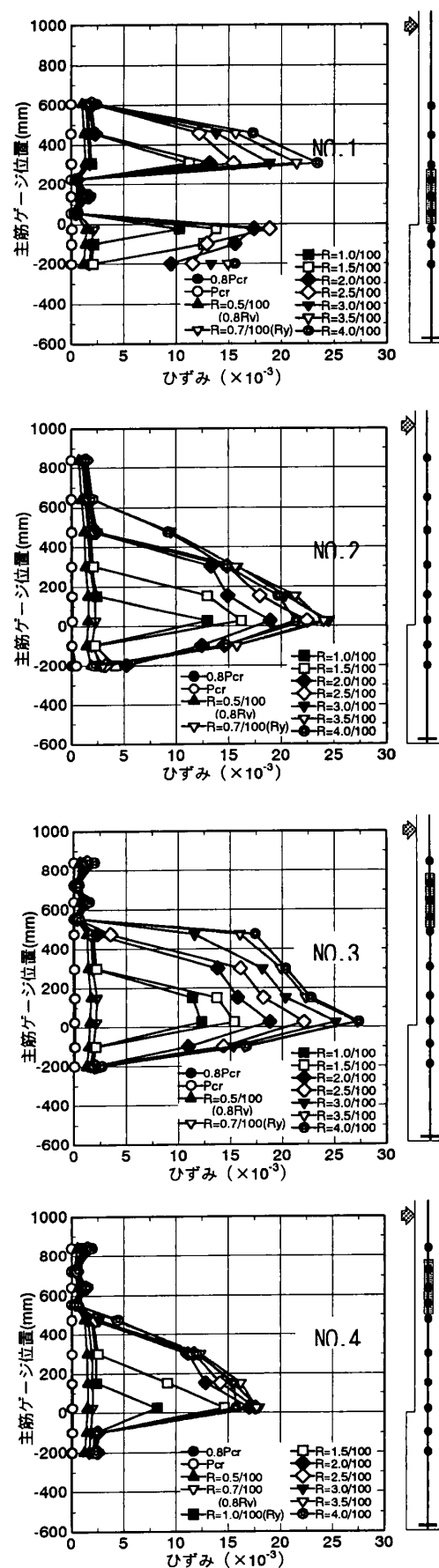


図-9 主筋のひずみ分布

となる。本実験に用いたスリーブの周長は鉄筋 (D25) の2倍であり、スリーブの平均付着応力度は鉄筋の1/2が作用していることになる。この範囲では、鉄筋とスリーブの付着性状に差はなかった。

図-12に NO.3 のスリーブ近傍のひずみ分布を示す。スリーブ直下 (①) の鉄筋のひずみは、大変形時にはすべて降伏した。スリーブ直上 (⑤) は、最終段階まで弾性域であり、スリーブ両端の鉄筋に作用する引張力には大きな差があるが、スリーブ両端 (②, ④) のひずみにはほとんど差がなかった。

6. まとめ

本実験の結果から以下のことがわかった。

- 1) 継手を脚部に設けた場合は、脚部のコンクリートの圧壊が軽微となり、大変形の繰返しを与えても耐力低下が少なく、継手がない場合よりも良好な履歴が得られた。
- 2) 応力の最も大きい脚部にスリーブ継手を設けても、鉄筋とほぼ同程度の付着力を伝達している。圧縮側コンクリートの圧壊後はその区間の付着はほとんど期待できなくなるが、これは継手のない場合と同じであり、付着に対してスリーブの影響は少ない。
- 3) 異形鉄筋に対してスリーブ表面はやや平滑であるが、表面積が大きいこと、突起物があることなどから、定着に対して特に不利になることはないと考えられる。

参考文献

- 1) 吉野次彦, 三瓶昭彦, 佐々木仁: プレキャスト鉄筋コンクリート柱の力学的挙動に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.521-522, 1990.10
- 2) 横谷栄次, 望月重, 松崎育弘, 小椋克也: ネジスリーブ継手を有するプレキャスト部材の力学的挙動に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.13.NO.2, pp.175-180, 1991

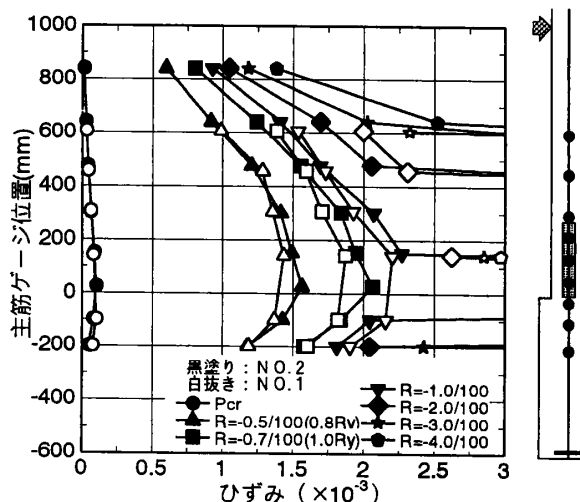


図-10 補正後の主筋のひずみ分布

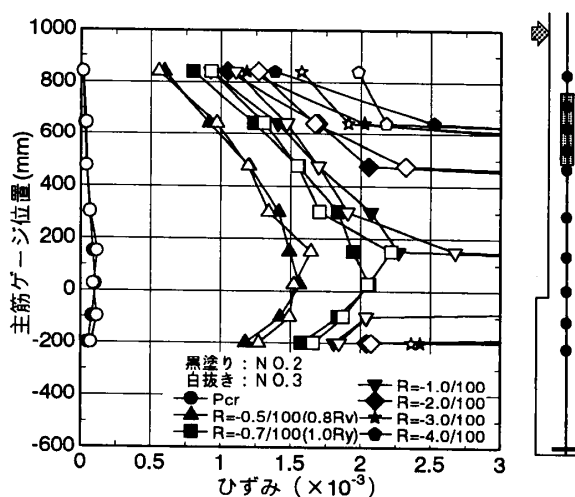


図-11 補正後の主筋のひずみ分布

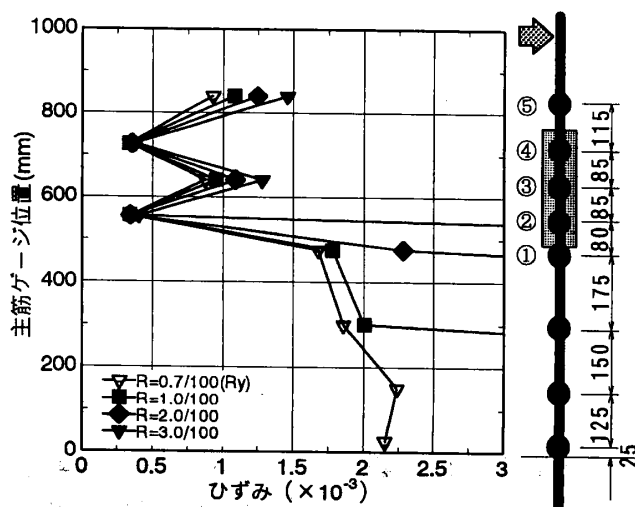


図-12 スリーブ近傍のひずみ分布