

# 論文 鋼管スリーブを用いたグラウト充填式継手の繰返し荷重下での強度特性

見分一郎\*<sup>1</sup>・林 芳尚\*<sup>2</sup>・中塚 侑\*<sup>3</sup>・鈴木 計夫\*<sup>4</sup>

**要旨：**鋼管スリーブを用いたグラウト充填式鉄筋継手の弾性域正負交番繰返し荷重時の継手強度特性について調べた。すなわち、繰返し荷重時およびそれに続く単調引張荷重時における鉄筋局所の付着応力度 $\tau$ - $s$ 特性が、繰返し荷重レベルおよびグラウト強度等の要因によりどのような影響を受けるかを明らかにし、モデル化した $\tau$ - $s$ 特性を用いて本継手の強度推定を試みた。

その結果、繰返し荷重後の単調引張荷重時に強度が増加するための条件、ならびに鉄筋の未降伏および既降伏部分にそれぞれ一定な付着応力度を仮定することによって、本継手強度が推定できること、などを示した。

**キーワード：**鉄筋継手、スリーブ、グラウト、繰返し荷重、強度、付着応力度

## 1. まえがき

近年、施工の合理化等の理由でプレキャスト工法が多く採用される。同工法では、施工の容易さおよび太径鉄筋への良好な適用性からグラウト充填式鉄筋継手が用いられることが多い。

グラウト充填式鉄筋継手は、特殊な継手として継手性能判定基準<sup>[1]</sup>における各種の性能を満足する必要がある。筆者等は既報において、入手が容易で比較的廉価な鋼管スリーブを用いたグラウト充填式鉄筋継手の一方向単調引張荷重下における基礎的な性能および鉄筋局所での付着応力度 $\tau$ - $s$ 特性(以下、 $\tau$ - $s$ と略記する)特性等を調べ、また、モデル化した $\tau$ - $s$ 特性を用いて本継手の強度と破壊モードの推定方法を示した<sup>[2]</sup>。

本研究では、継手性能判定基準に規定される弾性域正負交番繰返し荷重下における同継手の強度特性を調べるためのものである。すなわち、繰返し荷重時およびそれに続く単調引張荷重時における鉄筋局所の $\tau$ - $s$ 特性に及ぼす繰返し荷重レベルおよびグラウト強度などの影響を明らかにし、モデル化した $\tau$ - $s$ 特性を用いて本継手の強度推定を試みた。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験計画の概要

本実験で対象とした鉄筋継手は、チェッカー状の内面突起を持つ電縫鋼管をスリーブとして用いたグラウト充填式鉄筋継手である<sup>[2]</sup>。

実験は、シリーズIおよびIIで構成されており、それぞれの実験で取り上げた要因と水準を表-1に示す。シリーズIは、継手性能判定基準の弾性域正負交番繰返し荷重試験で規定されている繰返し荷重後の継手強度を推定するために不可欠な鉄筋局所の付着応力度 $\tau$ - $s$ 関係を調べるものである。すなわち、継手強度と関係が深いと考えられる、繰返し荷重、グラウト強度および鉄筋の定着長等の要因が、繰返し荷重時および繰返し荷重後の $\tau$ - $s$ 関係にどのような影響を及ぼすかを調べるものである。なお、本シリーズIでは、各グラウト強度毎に基準となる一方向単調引張荷重の試験を行った。シリーズIIは、シリーズIで得た知見に基づいて誘導した、後

\*1 大阪大学大学院 工学研究科 建築工学専攻 (正会員)

\*2 (株)奥村組 本社建築部係長 (正会員)

\*3 大阪大学講師 工学部建築工学科, 工博 (正会員)

\*4 大阪大学教授 工学部建築工学科, 工博 (正会員)

述する4. 2項の継手強度推定式の妥当性を検証するためのもので、シリーズIと異なる繰返し荷重レベルおよび定着長を実験要因としている。試験体の定着長は3D(D=鉄筋径)から6Dの間で変化させ、グラウトは700kgf/cm<sup>2</sup>級を中心に、1100kgf/cm<sup>2</sup>級のものも使用した。

荷重は、継手性能判定基準と同様に、20回の弾性域正負交番繰返し荷重に引き続いて単調引張荷重を行った。なお、本実験では繰返し荷重レベルを変化させているため、継手性能判定基準の繰返し荷重範囲( $0.95\sigma_{y0} \leftrightarrow -0.5\sigma_{y0}$ ),  $\sigma_{y0}$  = 母材の規格降伏応力度)に準拠して、繰返し荷重範囲は( $0.95 \cdot P \leftrightarrow -0.5 \cdot P$ ), P = 設定荷重レベル)とした。

### 2.2 使用材料および試験体製作

充填グラウト材はモルタルで、それらの調合と各種の特性値を表-2(a)に示す。鉄筋は、原則としてSD390(以下、SD400級と記す)のD35太径鉄筋を用い、補足的にSD400級のを焼き入れして製作したSD800級およびSD1000級のD35鉄筋も使用した。なお、シリーズIの鉄筋には、縦リブ位置においてひずみゲージ貼付用の溝加工(断面は幅5×深さ6mm)を施している。スリーブ鋼管の品質はSM520級で、鉄筋および鋼管の力学的性質を表-2(b)に示す。

試験体の製作は、架台にセットされた鉄筋と鋼管のクリアランスに下方よりグラウトを圧入することによって行った。その後、所要のグラウト強度が得られるまで、実験室内で放置した。

### 2.3 荷重および測定方法

荷重は、図-1に示すように、200tf復動オイルジャッキ、荷重変換器および試験体が同軸線上になるように反力

表-1 試験体一覧

シリーズ	試験体番号	グラウト強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	鉄筋		繰返し時の載荷荷重 <sup>1)</sup>	強度 <sup>3)</sup> (t)	$\tau_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
			定着長	品質			
I	No. 1	700	3.7	SD400級	0→(+34.1t ↔ -18.0t)→	38.2 (20) <sup>4)</sup>	215
	No. 2				0→ <sup>2)</sup>	52.6	なし
	No. 3				0→(+21.5t ↔ -11.3t)→	54.0	101
	No. 4				0→(+27.0t ↔ -14.2t)→	54.8	118
	No. 5				0→(+34.1t ↔ -18.0t)→	51.6	154
	No. 6				0→(+38.0t ↔ -20.0t)→	40.3	186
	No. 7				0→(+42.0t ↔ -22.1t)→	(15)	237
	No. 8				0→(+45.0t ↔ -23.7t)→	(3)	264
	No. 9	1100	5	SD400級	0→ <sup>2)</sup>	63.1	なし
	No. 10				0→(+34.1t ↔ -18.0t)→	63.3	160
II	No. 11	700	6	SD400級	0→(+34.1t ↔ -18.0t)→	63.3	—
	No. 12		5		0→(+36.7t ↔ -19.3t)→	51.7以上	—
	No. 13	1100	3	SD800級	0→(+34.1t ↔ -18.0t)→	51.5	—
	No. 14				0→(+50.0t ↔ -26.3t)→	(10)	—

1): 正負交番繰返し載荷時の引張側荷重と圧縮側荷重の比は常に+0.95:-0.50 2): 単調引張載荷試験  
3): かつこ内の数値は10回未満で破壊したときの繰返し回数 4): 繰返し載荷終了直後に耐力低下

表-2(a) グラウトの調合と各種特性値

グラウトの種類	水結合材比(%)	調合			流動性(秒) <sup>5)</sup>	圧縮試験(kgf/cm <sup>2</sup> )	静弾性係数( $\times 10^2$ t/cm <sup>2</sup> )
		水	結合材	その他			
F <sub>g</sub> 700	34	319	938 <sup>1)</sup>	938 <sup>3)</sup>	8.3	740	2.2
F <sub>g</sub> 1100	29.5	302	1025 <sup>2)</sup>	1025 <sup>4)</sup>	6.2	1120	3.8

1): 普通セメント+カルシウム・サルフォ・アルミネート系膨張材  
2): 普通セメント+シリカフラワー+カルシウム・サルフォ・アルミネート系膨張材  
3): 珪砂(4mm未満) 4): 硬質骨材(2.4mm未満) 5): J14ロート落下時間

表-2(b) 鉄筋および鋼管の力学特性

種類	降伏強度(t/cm <sup>2</sup> )	引張強度(t/cm <sup>2</sup> )	静弾性係数( $\times 10^2$ t/cm <sup>2</sup> )	
鉄筋	SD400級	4.79	6.69	2.09
	SD800級	8.09 <sup>1)</sup>	8.87	2.14
	SD1000級	10.02 <sup>1)</sup>	10.87	2.05
鋼管	SD520	5.46 <sup>1)</sup>	5.89	2.10

1) 材軸方向から切り出した試験片の応力度-ひずみ度関係における0.2%オフセット値

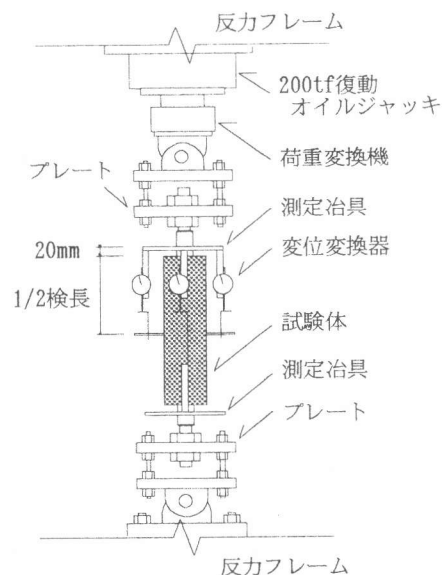


図-1 載荷装置

フレーム中に配置した荷重装置で行った。試験体は、接合鉄筋の端部に摩擦圧接したネジを用いてプレートに固定し、ピン接合でフレーム間に取り付けた。

継手部分の伸び変形量は、鋼管の両端部からそれぞれ約20mm離れた位置で鉄筋に取り付けた測定治具の間、および上部の測定治具と鋼管中央位置との間でダイヤルゲージ式変位変換器を用いて測定した<sup>[2]</sup>。さらに、シリーズIの試験体では鉄筋局部の付着応力状態およびすべり量を測定するため、鉄筋の溝内および鋼管外面に、材軸方向にそって検長2mmの箔ひずみゲージを貼付した。ゲージの貼付は原則として、鉄筋に対しては一節ピッチで節間中央に、また、鋼管に対しては鉄筋の2節ピッチに相当する間隔で行った。

### 3. 実験結果

#### 3.1 荷重-変形関係

繰返し荷重、グラウト強度および定着長の各要因が継手部の荷重-変形( $P-\delta$ )関係におよぼす影響について述べる。なお表-1には、繰返し荷重時に耐力が低下した試験体では耐力が低下する直前の繰返し回数を、20回繰返し荷重後の単調引張荷重時に耐力が低下した試験体では継手強度を示す。

図-2(a)は、定着長およびグラウト強度が同じで、繰返し荷重が異なる試験体の $P-\delta$ 関係を比較した図である。同図によると、繰返し荷重が45.0tfのNo. 8試験体では4回目の繰返し荷重中に、繰返し荷重が42.0tfのNo. 7試験体では16回目の荷重中に耐力が低下し、繰返し荷重レベルが低い程、耐力低下時の繰返し回数は多くなった。さらに、繰返し荷重が34.1tfのNo. 5試験体は20回繰の繰返し荷重を受けた後に、一方向単調引張荷重の試験体(No. 2)と同様の耐力増加を示した。

同じ定着長をもちグラウト強度が異なる試験体の $P-\delta$ 関係を比較した図-2(b)によると、繰返し荷重後の継手強度は、グラウト強度が大きい場合の方が大きい。図-2(c)は、定着長のみが異なる試験体についての比較を示しているが、定着長が長い試験体の継手強度は、定着長が短い試験体の強度よりも大きいものであった。

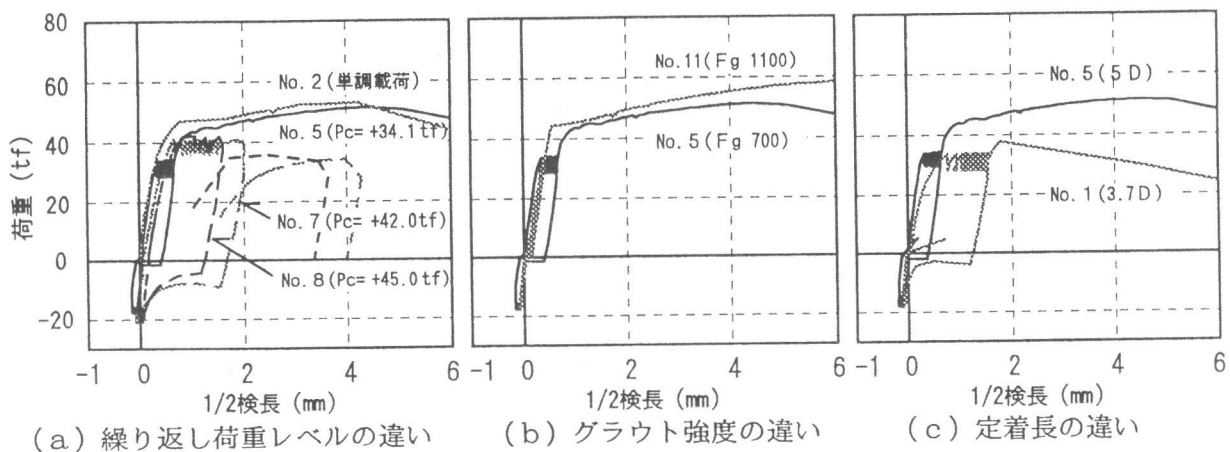


図-2 荷重-変形関係

#### 3.2 鉄筋局部の $\tau-s$ 関係

##### (1) 繰返し荷重時の $\tau-s$ 関係

a) 同一試験体の各位置での $\tau-s$ 関係: 20回繰返し荷重後の単調引張荷重時に耐力が増加し、鉄筋が降伏した以降に耐力が低下したNo. 5試験体で得られた各( $i \sim i+1$ )区間における $\tau-s$ 関係を図-3(a)に示す。また同試験体の繰返し荷重時における各繰返し回で得られた各節区間の

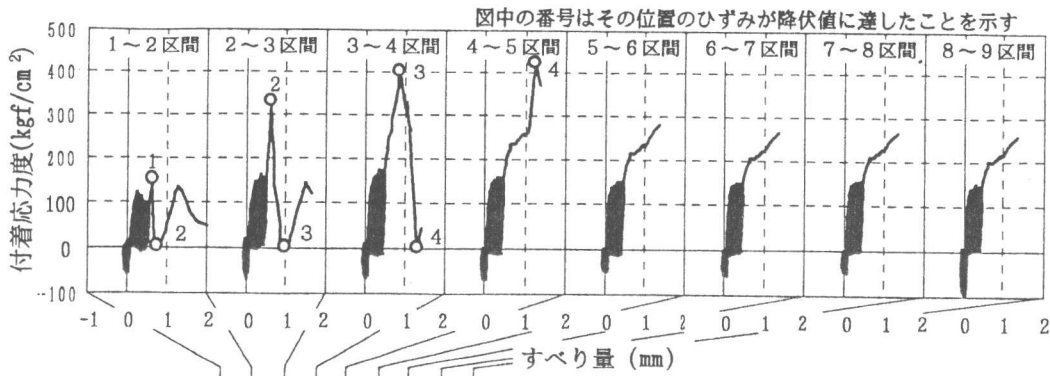


図-3(a) No. 5 試験体の各鉄筋局部での  $\tau-s$  関係

最大付着応力度を図-3(b)に示す。両図によると、1~2節区間の付着応力度は、それに続く2~3区間から継手中央側の付着応力度に比べ小さい。さらに、2~3区間から継手中央側の付着応力度は繰返し回数および各区間に関わらずほぼ一様な値を示していることが分かる。

b) 異なる試験体での  $\tau-s$  関係：図-4は、繰返し荷重、グラウト強度および定着長が異なる試験体における各区間位置での繰返し載荷時の最大付着応力度の平均値を示している。同図によると、繰返し荷重の大きい程、定着長が短い程、付着応力度は大きい程、グラウト強度による差は小さい。また、同じ試験体の各区間の付着応力度には若干ばらつきが見られるものの、繰返し荷重、グラウト強度および定着長が異なるいずれの場合でも、1~2節区間を除けば、付着応力度はほぼ一様と考えられる。

c) 繰返し載荷時の付着応力度と繰返し回数との関係：図-5に、繰返し載荷中に耐力が低下した試験体の繰返し回数(N)と各区間位置での最大付着応力度の平均値( $\tau_c$ )との関係を示す。なお、一方向単調引張載荷時の鉄筋局部の最大付着応力度( $\tau_{bm}$ )はグラウト強度と比例関係にある<sup>[2]</sup>ことから、 $\tau_{bm}$ に対する割合( $\tau_c/\tau_{bm}$ )を指標とすることによってグラウト強度の異なる試験体の結果も同時に比較した。同図によると、 $\tau_c/\tau_{bm}$ が大きくなるに従って繰返し回数は減少する傾向を示し、本実験の範囲内で両者の関係を一次式で表わすと図中の式が得られた。

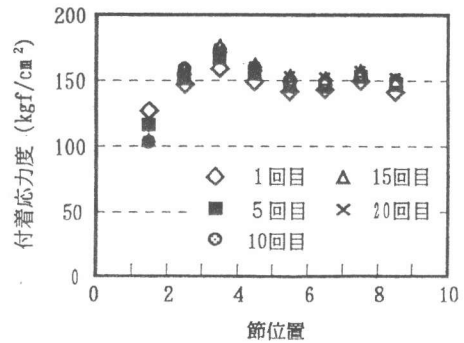


図-3(b) No. 5 試験体の各節区間におけるの最大付着応力度分布

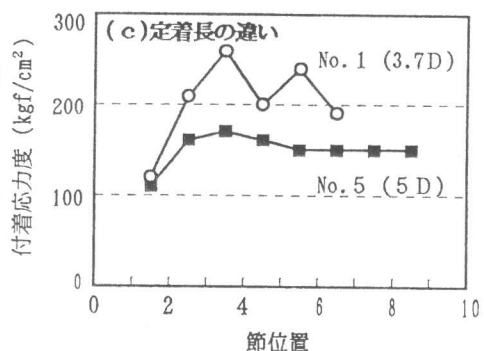
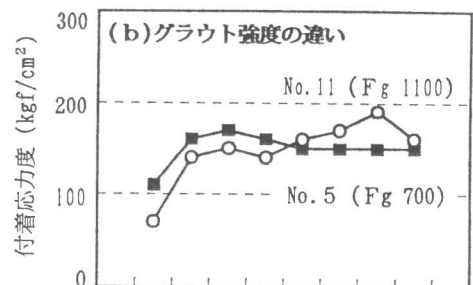
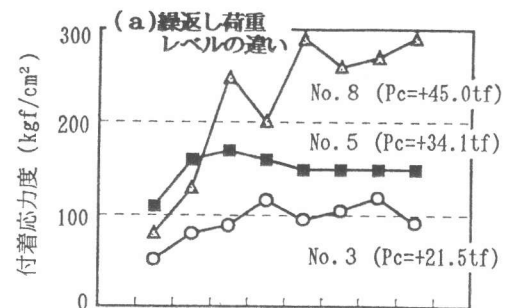


図-4 試験体間の比較

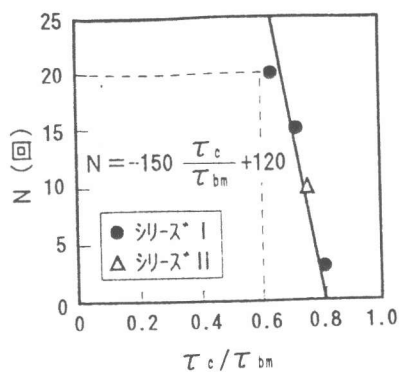
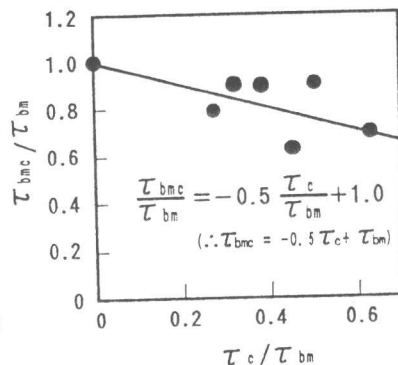
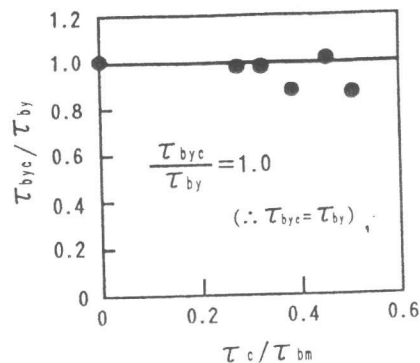


図-5 Nに及ぼす $\tau_c$ の影響



(a)鉄筋未降伏部



(b)鉄筋既降伏部

図-6 最大付着応力度に及ぼす $\tau_c$ の影響

## (2) 繰返し载荷後の単調引張载荷時の $\tau-s$ 関係

20回の繰返し载荷後の単調引張载荷時の $\tau-s$ 関係には、図-3(a)に例示したように、鉄筋が降伏した1~4節区間において、鉄筋降伏時にパルス的なピークおよびその後の比較的小さな付着応力度を示す等、既報<sup>[2]</sup>での一方向単調引張载荷時の $\tau-s$ 関係と同様な特徴が見られた。

前述したように、繰返し载荷後の継手強度は、繰返し载荷のない一方向単調引張载荷での継手強度より小さかった。また、継手強度は、既報<sup>[2]</sup>に示したように鉄筋各位置での最大付着応力度と密接な関係がある。それ故、20回繰返し载荷後の単調引張载荷時の、鉄筋未降伏部分における最大付着応力度( $\tau_{bmc}$ )および既降伏部分における最大付着応力度( $\tau_{byc}$ )は、繰返し载荷により影響を受けたと考えられる。この影響を調べるために、図-6(a)に、 $\tau_{bmc}/\tau_{bm}$ と $\tau_c/\tau_{bm}$ の関係を示す。同図によると、 $\tau_c/\tau_{bm}$ が大きくなるに従って $\tau_{bmc}/\tau_{bm}$ は小さくなり、両者の関係を一次式で表わすと図中の式が得られた。一方、 $\tau_{byc}/\tau_{bm}$ と $\tau_c/\tau_{bm}$ の関係を示した図-6(b)によると、 $\tau_{byc}$ は、繰返し载荷による影響をほとんど受けず、一方向単調引張载荷時の $\tau_{by}$ とほぼ同じ値を示した。

## 4. 弾性域正負交番繰返し载荷における継手強度の推定

### 4.1 繰返し载荷後も耐力が増加するための条件

継手性能判定基準でのB級以上の継手性能では、20回の弾性域正負交番繰返し载荷以後も耐力の増加が必要とされる。前節に示した図-5によると、 $\tau_c/\tau_{bm}$ が0.6以下となる継手は、ほぼ20回以上の繰返しが可能であると推察できる。

各試験体の $\tau_{bm}$ は既報<sup>[2]</sup>より $\tau_{bm} = 0.5 F_g$  ( $F_g$ : グラウト強度)で与えられ、一方、 $\tau_c$ は繰返し荷重( $P_c$ )、グラウト強度、定着長( $L$ )、繰返し回数および各鉄筋節区間に関わらずほぼ一定値であることから、 $\tau_c = P_c / \{\pi \cdot D \cdot (L - l')\}$ で与えることができる。同式では、载荷端部の1節間 ( $l'$ : 節間隔)は付着応力を負担しないものと仮定した。なお、実験値から求めた $\tau_c$ (表-1参照)と同式で求めた $\tau_c$ を比較した図-7によると、両者は良好に一致している。

### 4.2 繰返し载荷における継手強度の推定

本項では、継手性能判定基準に規定されている弾性域正負交番繰返し载荷試験での継手強度の推定を試みる。繰返し载荷時および繰返し载荷後の単調引張载荷時の $\tau-s$ 関係は、繰返し荷重およびグラウト強度等の要因に関わらず、材軸方向の各鉄筋節区間で一様の $\tau$ を持つこと等、一

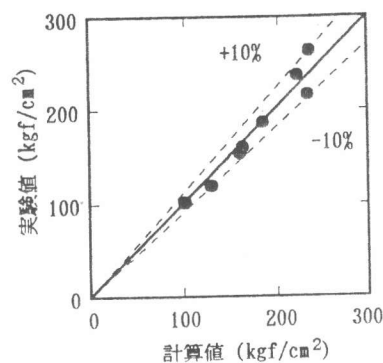


図-7  $\tau_c$ の比較

方向単調引張荷重時での $\tau-s$ 関係と同様の特徴を持つことから、本継手内での材軸方向の仮定 $\tau$ 分布は、既報<sup>[2]</sup>で示した一方向単調引張荷重時の仮定に準拠して、図-8に示すように、鉄筋の未降伏

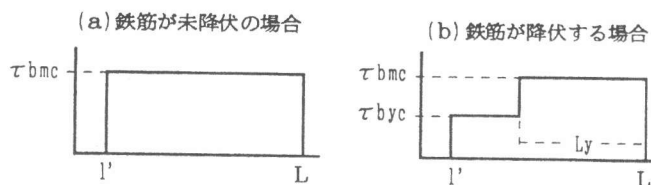


図-8 継手強度時の材軸方向の仮定 $\tau$ 分布

および既降伏部分で、それぞれ $\tau_{bmc}$ および $\tau_{byc}$ の一樣な付着応力を仮定した。また、鋼管端部からの最初の1節間は付着応力を負担しないものとした。継手強度は、 $\tau$ を鉄筋周長および軸方向に積分することによって得られるので、鉄筋が降伏せずに抜け出し破壊する時の継手強度( $P_{sbc}$ )は(1)式で、鉄筋の降伏する時の継手強度( $P_{syc}$ )は(2)式で与えられる。

$$P_{sbc} = \tau_{bmc} \cdot \pi \cdot D \cdot (L - l') \quad (1)$$

$$P_{syc} = \tau_{byc} \cdot \pi \cdot D \cdot (L - L_y - l') + \tau_{bmc} \cdot \pi \cdot D \cdot L_y \quad (2)$$

$$\text{ここに } \tau_{bmc} = -0.5 \tau_c + \tau_{bm} (= -0.5 \tau_c + 0.5 F_g) \quad [2]$$

$$\tau_{byc} = \tau_{by} (= 0.3 F_g) \quad [2]$$

$$L_y = P_y / (\tau_{bmc} \cdot \pi \cdot D)$$

$F_g$ : グラウト強度

$P_y$ : 鉄筋の降伏強度 ( $= \pi \cdot D^2 \cdot \sigma_y / 4$ )

図-9は、継手強度の計算値と実測値を比較したものである。同図によれば、式(1)および(2)は、シリーズIおよびIIの試験体の強度を実用的な精度で推定できていると考えられる。

## 5. まとめ

- (1) 繰返し荷重時の材軸方向の $\tau$ 分布は、継手端部の1節区間を除けば、繰返し荷重、グラウト強度、定着長および繰返し回数に関わらずほぼ一樣な分布となる。
- (2) 繰返し荷重に続く単調引張荷重時における鉄筋の未降伏部分での最大付着応力度( $\tau_{bmc}$ )と繰返し荷重時の付着応力度( $\tau_c$ )との間には比例関係が認められた。一方、既降伏部分における最大付着応力度( $\tau_{byc}$ )は繰返し荷重時の付着応力度の影響を受けずグラウト強度によって決定される。
- (3)  $\tau_c / \tau_{bm}$ が0.6以下程度となる継手では、20回の繰返し荷重後も強度が増加した。
- (4) 鉄筋の未降伏および既降伏部分における付着応力度として、それぞれ $\tau_{bmc}$ および $\tau_{byc}$ の一樣な付着応力を仮定すると、鉄筋が降伏せずに抜け出し破壊する場合および降伏後抜けだし破壊する場合の継手強度算定式(1)および(2)を得た。また、算定結果は、実験結果と良好に対応した。

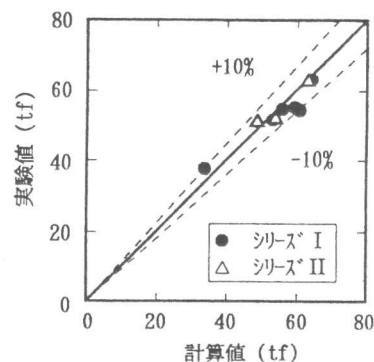


図-9 継手強度の比較

[謝辞] 本実験に際し、日本鋼管(株)および電気化学工業(株)より種々の御協力を頂きました。

ここに記して謝意を表します。

[参考文献]

[1] (社)日本建築センター: 建設省住指発第31号「特殊な鉄筋継手の取扱いについて」, ビルディングレター, 1991.3

[2] 林 芳尚、清水良平、中塚 信、鈴木計夫: 電縫鋼管スリーブを用いたグラウト充填式鉄筋継手の基礎的性能, コンクリート工学論文集 第5巻 第2号, pp.65~75, 1994.7