

論文 円形ケーシング筋を用いた鉄筋継手の単調引張荷重下における基礎的性能

林 芳尚*1・中塚 信*2・見分 一郎*3

要旨：材軸方向の引張力を伝達する添筋とそれらを拘束するスパイラル筋を後打ちコンクリートによって接合鉄筋と一体化した継手の基礎的な性能が、接合鉄筋の定着長やコンクリート強度等の諸要因によって、どのような影響を受けるかを調べた。さらに、モデル化した接合鉄筋局部の付着応力度—すべり特性を用いて、本継手強度の推定を試みた。その結果、定着長、コンクリート強度、添筋本数およびスパイラル筋径の増大によって継手性能は向上すること、ならびに、鉄筋未降伏および既降伏部分に対してそれぞれ一定の大きさの付着応力度を仮定することによって、本継手の強度が破壊タイプも含めて推定できることを示した。

キーワード：鉄筋継手、円形ケーシング筋、力学性能、継手強度、付着応力度

1. まえがき

鉄筋コンクリート構造物の施工においては、現場の省人化、作業の単純化、作業環境の改善、地球環境への配慮等から部材のプレキャスト化がますます採用されると考えられる^{1), 2), 3)}。

本研究は、プレキャスト部材間の後打ちコンクリート部分に利用する、新しい鉄筋継手に関するものである。具体的には、材軸方向の引張力を伝達する添筋とそれらを拘束するスパイラル筋（以下両者を合わせて「円形ケーシング筋」と称す）を図-1に示すように配置し、後打ちコンクリートによって接合鉄筋と一体化した継手の基礎的性能に関するものである。すなわち、継手単体としての強度、剛性などの性能ならびに接合鉄筋局部の付着応力度—すべり（以下 τ - s と略記する）特性が、本継手の定着長さ、コンクリート強度、添筋本数およびスパイラル筋径などの諸要因によってどのような影響を受けるか、一方向単調引張荷重試験から調べたものである。

すように、引張力を伝達する4および6本の添筋とコンクリートを拘束するスパイラル筋とで構成される円形ケーシング筋を、180×180 mmの断面を有するコンクリートで一体化した鉄筋継手である。

実験は、実験Ⅰおよび実験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。実験Ⅰは、一方向単調引張荷重試験による本継手の基礎的な力学的性能におよぼす諸要因の影響、ならびに継手強度と破壊タイプを推定するために必要な鉄筋局部の τ - s 関係を調べるものである。実験Ⅱは、実験Ⅰで得た知見に基づいて誘導した、後述する継手強度および破壊タイプ推定法の妥当性を検証するためのものである。

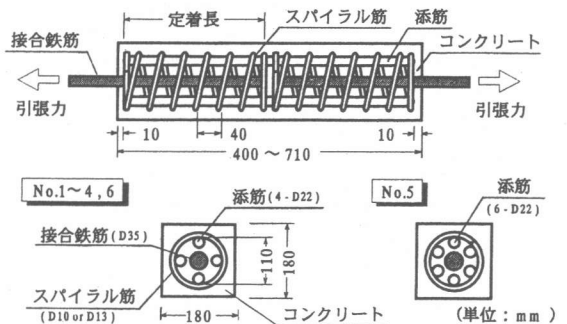


図-1 試験体概要

2. 実験概要

2.1 実験計画

本実験で対象とした試験体は、図-1に示

*1 ㈱奥村組 本社建築部 博士(工学) (正会員)

*2 大阪大学助教授・工博 (正会員)

*3 清水建設㈱ 設計本部 (正会員)

表-1 試験体一覧

実験	試験体	実験要因	接合鉄筋 定着長	コンクリート 強度	添筋 本数	スパイラル 筋径
I	No. 1	標準	6D ^{*1}	Fc70 ^{*2}	4本	D10
	No. 2	接合鉄筋	4D	Fc70	4本	D10
	No. 3	定着長	9D			
	No. 4	コンクリート強度		Fc100	6本	D13
	No. 5	添筋本数	6D	Fc70		
	No. 6	スパイラル筋径			4本	
II	No. 7	接合鉄筋 定着長	4.5D	Fc60	4本	D10
	No. 8		6D			
	No. 9		9D			

* 1 D : 接合鉄筋公称径

* 2 Fc70 の 70 は計画圧縮強度 (N/mm²) を示す

2.2 使用材料および試験体製作

実験に用いた鉄筋の力学的性状を表-2に示す。接合鉄筋はSD390のD35太径鉄筋を用いた。接合鉄筋には縦リブ位置にひずみゲージ貼付け用の溝加工(断面は 5×6 mm)を施している。

添え筋としては接合鉄筋の引張耐力時に、4本の鉄筋の応力度が規格降伏応力度以下になる条件からSD390のD22 鉄筋 4本とした。同様に、内径110 mm、ピッチ40 mmのスパイラル筋も、接合鉄筋の引張耐力時に、規格降伏応力度以下になる条件からSD295AのD10鉄筋とした。

コンクリートの調合および各種特性値を表-3

表-2 鉄筋の力学的性質

種 類		配筋箇所	降伏応力 度(N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (×10 ⁴ N/mm ²)
D 35	SD390	接合鉄筋	443	643	1.99
D 22		添筋	417	622	2.03
D 13	SD 295A	スパイラ ル筋	317	482	2.01
D 10			356	479	1.98

表-3 コンクリートの調合

実験	種類	水結合 材比(%)	単位量(kg/m ³)			
			水	結合材	粗骨材 ^{*3}	その他
I	Fc 70	32	236	737 ^{*1}	590	737 ^{*4}
	Fc100	23	241	752 ^{*2}	602	752 ^{*5}
II	Fc 60	32	211	659 ^{*1}	790	659 ^{*4}

* 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 : 粒径は10mm未満

* 4 : 珪砂 (4mm未満)

* 5 : 硬質骨材粉 (2.4mm未満)

表-4 コンクリートの各種特性値

実験	種類	スラン プ値(cm)	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (×10 ⁴ N/mm ²)
I	Fc 70	26.0	68.2	3.8	2.89
	Fc100	28.0	95.8	5.0	3.82
II	Fc 60	25.0	56.8	4.7	3.24

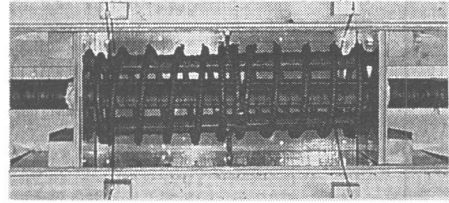


写真-1 型枠内への円形ケーシング筋セット状況

および表-4に示す。コンクリートは、接合鉄筋、添筋およびスパイラル筋の間に確実に充填できる、流動性に富む無収縮性のものである。

試験体の製作は、写真-1に示すように型枠内に円形ケーシング筋を横向きにセットし、上方よりコンクリートを打設することによって行った。その後、所要のコンクリート強度が得られるまで、実験室内でそのまま養生した。

2.3 測定装置および載荷方法

載荷方法は、100 tf万能試験機による一方向単調引張載荷を行った。

継手部分の伸び変形量の測定は、図-2に示すように、試験体の上下の端部からそれぞれ約20mm離れた位置でナイフエッジによって接合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試験体中央位置との間(それぞれ、全検長および1/2検長と略記する)の変形量をダイヤルゲージ式変位変換器を用いて行った^{1), 2), 3)}。

さらに、実験Iの試験体では接合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、接合鉄筋の溝内ならびに添筋とスパイラル筋の表面に、材軸方向にそって検長2mmの箔ひずみゲージを

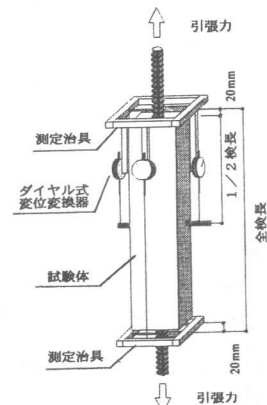


図-2 測定装置

貼付した。ゲージの貼付は原則として、接合鉄筋では一節ピッチで、添筋に対しては接合鉄筋の二節ピッチに相当する間隔で、さらに、スパイラル筋においては試験体軸方向に接合鉄筋の一節ピッチに相当する間隔で行った。

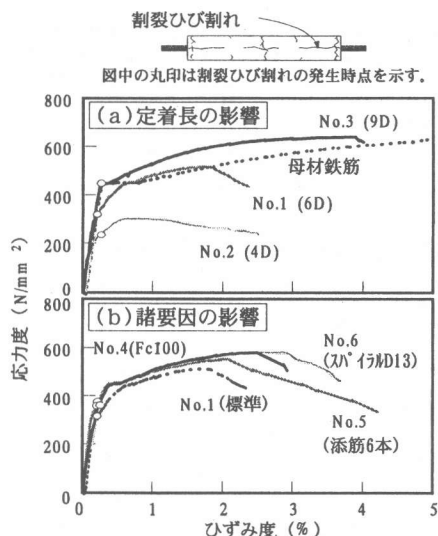
3. 実験結果および考察

3.1 継手の力学性能

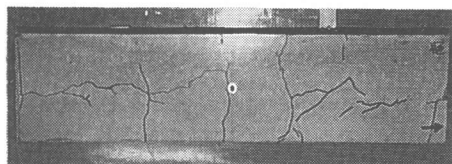
(1) 応力度－ひずみ度関係および破壊性状

本項では、実験で取り上げた要因のみが異なる試験体間の比較から、各種の要因が継手部の応力度－ひずみ度（以下 $\sigma - \epsilon$ と略記する）関係および破壊性状におよぼす影響を調べた結果について述べる。図－3にその結果を示す。ここでの応力度は、試験体に作用する荷重を鉄筋断面積（公称断面積から溝断面積を引いた値）で除したもので、ひずみ度は1/2 検長区間で測定した変形量を同検長で除したものである。

同図(a)は、Fc70級のコンクリートおよび4本のD22添筋を用い、接合鉄筋の定着長のみが変化する試験体の $\sigma - \epsilon$ 関係を比較して、定着長の影響を調べた一例である。同図によれば定着長の増大は、継手の強度および剛性を顕著に増大させる。本例では、定着長4Dの継手強度は母材鉄筋の降伏点強度より小さいが、定着長6D以上の継手強度は母材鉄筋の降伏点強度を上回り、定着長9Dのそれは母材鉄筋の引張り耐力と同等であった。また、定着長6D以下の試験体の剛性は、接合鉄筋降伏以前では母材鉄筋のそれに比べて小さくなったが、この現象は割裂ひび割れの発生に伴う付着性能の低下によって、接合鉄筋のすべりが生じたことに起因すると考えられる。これに対し、9Dの試験体では、割裂ひび割れは接合鉄筋降伏直後に生じ、鉄筋の降伏前および降伏後から引張強度までの剛性は母材鉄筋のそれより大きい。破壊性状は、定着長が4Dの試験体が接合鉄筋の抜け出し破壊を示した。一方、6Dの試験体では鉄筋降伏に起因すると考えられる付着性能の低下によって、鉄筋の引張強度に到る以前に抜け出し破壊し、定着長が9Dの試験体は接合鉄



図－3 応力度－ひずみ度関係



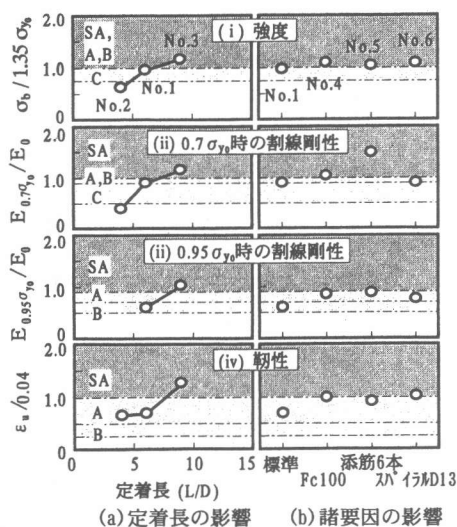
写真－2 試験体(No.9)の破壊状況

筋の母材部破断によって破壊した(写真－2参照)。

同図(b)は、コンクリート強度など諸要因の影響を調べた結果を示した図である。グラウト強度、添筋本数およびスパイラル筋径の増大した試験体それぞれの強度および剛性に、顕著な差は見られなかったが、これらの継手強度および同強度に到るまでの剛性は標準試験体No.1に比べて大きいものであった。

(2) 本継手の性能

図－4に継手性能判定基準⁴⁾におけるSA級の性能下限値を1として表した各試験体の強度、剛性および靱性などの力学性能を、定着長およびコンクリート強度などの要因毎に分けて示す。同図によれば、定着長、コンクリート強度、添筋本数およびスパイラル筋径が大きくなるに従って、いずれの力学性能も向上した。特に、定着長および添筋本数の増大は、本継手の性能向上に有効であると考えられる。なお、本実験において継手性能全体でSA級を示したのは試験体No.3(9D, Fc70)のものであった。



σ_{y0} : 母材の規格降伏点(または耐力)
 σ_b : 接合鉄筋の引張り強度
 E_0 : 母材の規格降伏点の70%の応力における母材の割線剛性
 ϵ : 接合鉄筋の終局ひずみ

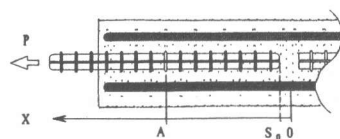
図-4 継手性能におよぼす諸要因の影響

3.2 鉄筋局所の付着応力度-すべり特性

本継手の接合鉄筋の各局部での τ - s 関係は、接合鉄筋および添筋に貼付したひずみゲージから得られた測定ひずみから図-5に示す方法を用いて求めた。すなわち、接合鉄筋の付着応力度 τ は、試験体と全く同じに溝切り加工とゲージ貼付を行なった接合鉄筋素材の σ - ϵ 関係と、測定ひずみを用いて推定される鉄筋応力度から算出した。なお、付着応力度の算出は溝加工した縦リブ部分の接合鉄筋表面積を減じて行った。また、本報告でのすべり量は、接合鉄筋と添筋の相対的なずれ量と定義し、接合鉄筋と添筋の測定ひずみ値ならびに1/2検長での変形量を用いて算出した。

(1) 同一試験体での τ - s 関係³⁾

図-6(a)は接合鉄筋が降伏せずに抜け出しで破壊した試験体No.2における、接合鉄筋の各節区間($i \sim i+1$)における τ - s 関係を重ね合わせて示したものである。同図によれば、2~3区間以降の τ - s 関係はほぼ同様なもので、1~2区間での τ が他の区間より小さい。この現象は、全ての試験体に共通するもので、試験体コンクリートの加力端面に発生するひびわれによって



$$\tau = \Delta P / (\pi \cdot D \cdot \Delta L)$$

$$S_A = S_0 + \int_0^A \epsilon_r dx - \int_0^A \epsilon_s dx$$

ΔP : 任意区間における荷重差
 ΔL : 任意区間長さ D : 接合鉄筋公称径
 S_0 : 接合鉄筋抜け出し量
 (=1/2検長区間伸び量-接合鉄筋伸び量)
 ϵ_r : 任意断面における接合鉄筋ひずみ度
 ϵ_s : 任意断面における添筋ひずみ度

図-5 付着応力度およびすべり量の算定方法

コンクリートを介した応力伝達ができなくなることに起因するものと思われる。

図-6(b)は、接合鉄筋が降伏した後に破壊した試験体No.1で得られた τ - s 関係であるが、接合鉄筋降伏時のパルスのなピーク、ならびにその後の比較的小さな一定な τ (図6破線長円部)などが特徴的である。

(2) 異なる試験体での τ - s 関係

諸要因が τ - s 関係におよぼす影響を調べるために、接合鉄筋の定着長のみが変化する試験体の鉄筋未降伏位置の接合鉄筋局所の τ - s 関係を図-7(a)に、標準試験体No.1およびそれと定着長以外の各種要因のみがそれぞれ異なる

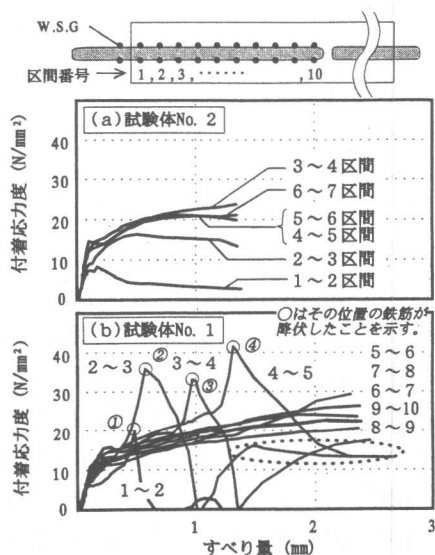


図-6 同一試験体における接合鉄筋の異なる区間での τ - s 関係

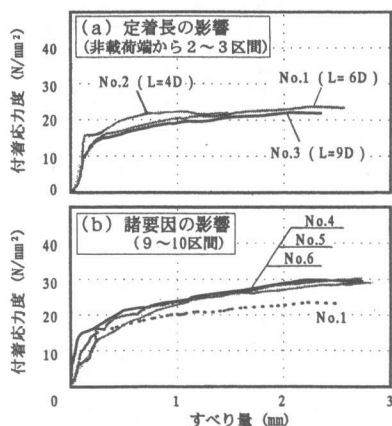


図-7 諸要因が τ - s 関係におよぼす影響

試験体の τ - s 関係を同図(b)に示す。同図(a)によれば、局所の τ - s 関係は定着長にかかわらずほぼ同様のものになっており、この傾向は他の区間にも見られた。また、同図(b)によれば、コンクリート強度、添筋本数、スパイラル筋径それぞれが大きくなるにつれて、付着強度は大きな値を示した。

4. 継手強度の推定

4.1 付着特性値とコンクリート強度の関係

接合鉄筋の未降伏および既降伏部分における最大付着応力度の材軸方向の平均値をそれぞれ τ_{bm} 、 τ_{by} と定義する。図-8は、 τ_{bm} と τ_{by} を縦軸に、コンクリート強度(F_c)を横軸にとって、試験体No.1~4から得られた結果を示したものである。同図によると、コンクリート強度にほぼ比例して、 τ_{bm} および τ_{by} は増加する傾向が見られた。この関係を一次式で近似すると、それぞれ式(1)および(2)を得た。

$$\tau_{bm} = 0.30 \cdot F_c \quad \dots\dots (1)$$

$$\tau_{by} = 0.20 \cdot F_c \quad \dots\dots (2)$$

4.2 継手強度および破壊タイプの推定

本項では、前節までの実験結果を参考にした次のような τ - s 特性の仮定から本継手の継手強度および破壊タイプの推定を試みる。具体的には、図-9に示すように、継手強度時の接合鉄筋の未降伏および既降伏部分の付着応力度 τ_{bm} 、 τ_{by} が軸方向に一様に分布し、試験体端部から

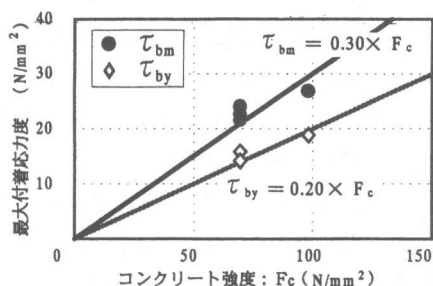


図-8 コンクリート強度と最大付着応力度の関係

最初の一節間は3.2(1)より付着応力を負担しないものと仮定した。仮定に従えば、接合鉄筋が降伏せずに抜け出し破壊する時の継手強度(P_{sb})、および接合鉄筋が降伏した後に抜け出し破壊する時の継手強度(P_{sy})は、付着応力度を接合鉄筋周長および軸方向に積分した式(3)および(4)によって得られる。

$$P_{sb} = \tau_{bm} \cdot \pi \cdot D \cdot (L - l') \quad \dots\dots (3)$$

$$P_{sy} = \tau_{by} \cdot \pi \cdot D \cdot (L - L_y - l') + \tau_{bm} \cdot \pi \cdot D \cdot L_y \quad \dots\dots (4)$$

ここで、 D : 接合鉄筋公称径

L : 定着長

l' : 付着力無効区間、すなわち
接合鉄筋の一節長さ

L_y : 接合鉄筋の降伏耐力を
支持できる定着長

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

継手の破壊タイプは、式(3)および(4)、ならびに接合鉄筋の降伏強度($P_y = \pi \cdot D^2 \cdot \sigma_y / 4$)と引張強度($P_u = \pi \cdot D^2 \cdot \sigma_u / 4$)の比較から次の3種に分けられる。すなわち式(5)で示される接合鉄筋が降伏せずに抜け出し破壊するタイプ、式(6)で示される接合鉄筋の降伏が生じた後に抜け出し破壊するタイプ、ならびに接合鉄筋が引張破断する破壊タイプ(式(7))に分類される^{1), 2)}。

$$P_{sb} < P_y \quad \dots\dots (5)$$

$$P_y \leq P_{sy} < P_u \quad \dots\dots (6)$$

$$P_u \leq P_{sy} \quad \dots\dots (7)$$

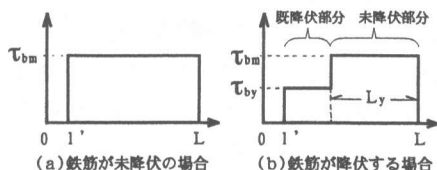


図-9 継手強度時の材軸方向の仮定 τ 分布

図-10は、継手強度の計算値と実験値を比較したものである。なお、試験体No.1より添筋本数、スパイラル筋径が大きい試験体No.5, No.6の場合は、図-7(b)に示すように同じコンクリート強度であるが試験体No.1に比べて約1.25倍の付着応力度を示したことから、 τ_{bm} および τ_{by} をそれぞれ試験体No.1の1.25倍として計算した。同図によれば、式(5)および(6)は、実験Ⅰおよび実験Ⅱの試験体のいずれの破壊タイプの強度も $\pm 20\%$ の範囲で推定している。なお、式(5)~(7)に基づく破壊タイプの推定結果と実験での結果は、表-5に示すように全て一致した。

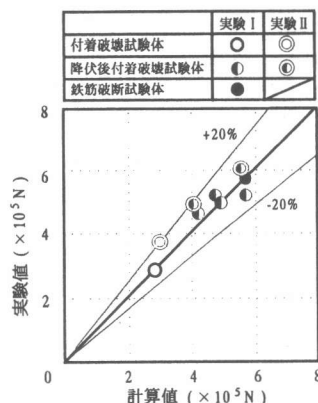


図-10 継手強度の比較

表-5 破壊タイプの比較

試験体番号		実験結果	推定結果
実験Ⅰ	No. 1	降伏後付着破壊	降伏後付着破壊
	No. 2	付着破壊	付着破壊
	No. 3	接合鉄筋破断	接合鉄筋破断
	No. 4	降伏後付着破壊	降伏後付着破壊
	No. 5	降伏後付着破壊	降伏後付着破壊
	No. 6	降伏後付着破壊	降伏後付着破壊
実験Ⅱ	No. 7	付着破壊	付着破壊
	No. 8	降伏後付着破壊	降伏後付着破壊
	No. 9	降伏後付着破壊	降伏後付着破壊

5. まとめ

円形ケーシング筋を用いた鉄筋継手単体の一方単調引張荷重試験を行い、基礎的な性能および接合鉄筋局所の τ - s 特性について調べた。限られた範囲の実験結果であるが、以下のよう

- (1) 継手の強度、剛性および靱性は、定着長、コンクリート強度、添筋本数およびスパイラル筋径が大きくなるにつれて向上した(図-4参照)。
- (2) 鉄筋の未降伏部分における τ - s 関係は、なめらかな曲線で示されたるものであった。鉄筋の降伏が生ずる位置での τ - s 関係は、未降伏状態ではなめらかな曲線、当該位置の接合鉄筋降伏時にはパルス的なピーク、ならびに降伏後では比較的小さな、ほぼ一定の付着応力度を示すものであった(図-6参照)。また、いずれの部分においても τ - s 関係は、コンクリート強度が同じであれば、鉄筋の材軸方向の位置、定着長にかかわらず、ほぼ同様のものとなった(図-7参照)。
- (3) 鉄筋未降伏部分での τ - s 関係における τ の最大値(τ_{bm})および鉄筋既降伏部分での τ の最大値(τ_{by})は、それぞれコンクリート強度に比例して増加した。その推定式として、それぞれ式(1)および式(2)を得た(図-8参照)。
- (4) 継手強度時の付着応力度分布を仮定するこ

とにより、継手の強度および破壊タイプを良好に推定できる継手強度算定式(3)、(4)を導いた(図-10、表-5参照)。

[参考文献]

- 1) 林 芳尚, 清水良平, 中塚 佑, 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
- 2) 林 芳尚, 清水良平, 中塚 佑, 鈴木計夫: 鋼管スリーブを用いたグラウト充填式継手の内部のひび割れおよび変形状況, コンクリート工学論文集 第8巻第1号, pp.179-187, 1997.1
- 3) 林 芳尚, 清水良平, 中塚 佑, 鈴木計夫: 鋼管スリーブを用いたグラウト充填式継手における鉄筋の付着応力度-すべり特性, 建築学会構造系論文集 第462号, pp.131-139, 1994.8
- 4) (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, pp.29~33, 1991.3