

# スプライススリーブ継手を含んだ異形鉄筋の 付着性状に関する実験的研究

又刈 克英\* 南 宏一\*\*

Experimental Study on Adhesion Strength of Main Reinforcement with Splice Sleeve

Katsuhide MATAGARI\* Koichi MIYANAMI\*\*

## ABSTRACT

The splice sleeve is parts to connect main reinforcements of reinforced concrete by a precast method. However, The indicator show to treat that at present, there is no adhesion on the splice sleeve. In this research, 10 specimens were produced, they were examined to pulling out load testing of main reinforcement to investigate of adhesion of reinforcements with splice sleeve. And the adhesion yield strength was calculation to divide each element. As the result, enough adhesion was generated when main reinforcements include splice sleeve, and it turned out to be able to calculate the adhesion by the adhesion yield strength computing method of this thesis.

キーワード: スリーブ, 継手, 付着, 支圧, 引抜き, プレキャスト

## 1. はじめに

スプライススリーブ継手(図-1)は, プレキャスト工法時に柱・梁内の鉄筋同士を接合する為に用いる継手である。スリーブに接合する2本の鉄筋を挿入し, スリーブ内にモルタルを注入し硬化させることで, 鉄筋を接合している(図-2)。通常の溶接接合と比べると, 施工誤差の吸収・溶接検査等の省略・接合作業の簡素化等の利点がある。しかし, スリーブ継手を用いた場合の付着耐力の評価では, 継手部には付着力が期待できないものとして扱われている。そのような扱いを受ける主な原因は, スリーブの表面形状が異形鉄筋のような付

着力を発生させる形状ではないこと, 実際にスリーブ継手を用いた場合の付着実験がほとんど行われていなく, その性状が明らかになっていないことなどにある。一方で, 継手部端部で発生する支圧耐力や, 継手の表面形状から, 丸鋼と同様な摩擦力による付着力が期待できることが考えられる。

そこで, 本研究では実際に, スリーブ継手を含んだ実寸大梁を製作し, 主筋の引張載荷実験を行うことで, スリーブ継手採用時の付着力の有無を調べ, その計算方法を確立することを目的とする。

\*大学院工学研究科建築学専攻

\*\*建築学科教授 工博

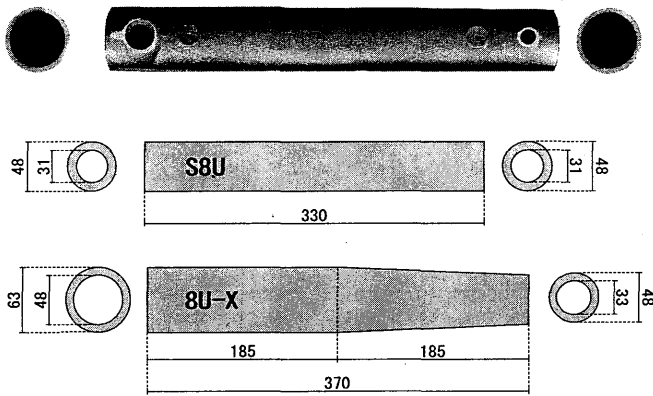


図-1 スプライススリーブ継手

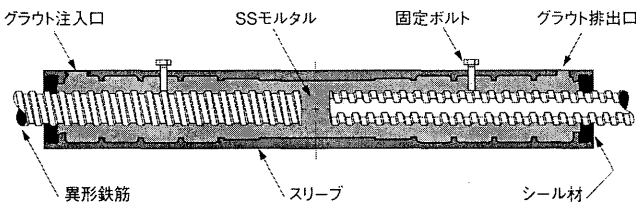


図-2 スリーブ継手内部

使用材料は、主筋D25 (SD785級), 補強筋D10 (SD295), コンクリート設計強度 36 N/mm<sup>2</sup> 及び 48 N/mm<sup>2</sup>, スリーブ継手S8U及び8U-Xを用いた(図-1参照). 主筋は実際の施工時と同様の状態にする為、あらかじめ、2本の主筋をスリーブ継手を用い、図-2の様にモルタル充填工法で継ぎ一体化したものを使用した. 主筋と補強筋の材料試験結果及び、コンクリートの材令を表-2示す.

表-1 試験体計画

試験体名	試験体形状	継手形状	コンクリート強度 (N/mm <sup>2</sup> )	補強筋間隔 (mm)	補強筋比 (%)	中子筋
A-SL-36-100-0.4	梁	S8U	36	100	0.4	無
A-SL-36-100-0.8		S8U		100	0.8	有
A-SL-36-50-0.8		S8U		50	0.8	無
A-SL-36-100-0.4		8U-X		100	0.4	
B-SL-36-100-0.4	柱梁接合部	S8U		100	0.4	
A-SL-48-100-0.4	梁	S8U	48	100	0.4	無
A-SL-48-100-0.8		S8U		100	0.8	有
A-SL-48-50-0.8		S8U		50	0.8	無
A-SP-48-100-0.4		8U-X		100	0.4	
B-SL-48-100-0.4	柱梁接合部	S8U		100	0.4	

A-SL-36-100-0.4

① ② ③ ④ ⑤

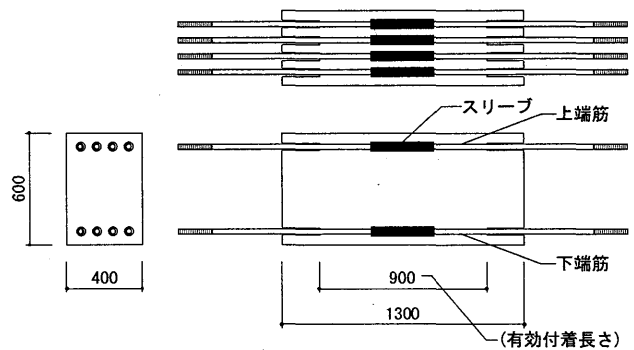
- ① 試験体形状 (梁形状…A 柱梁接合部…B)
- ② スリーブタイプ (S-8U…SL 8U-X…SP)
- ③ コンクリート設計強度
- ④ せん断補強筋間隔
- ⑤ せん断補強筋比

2. 実験計画

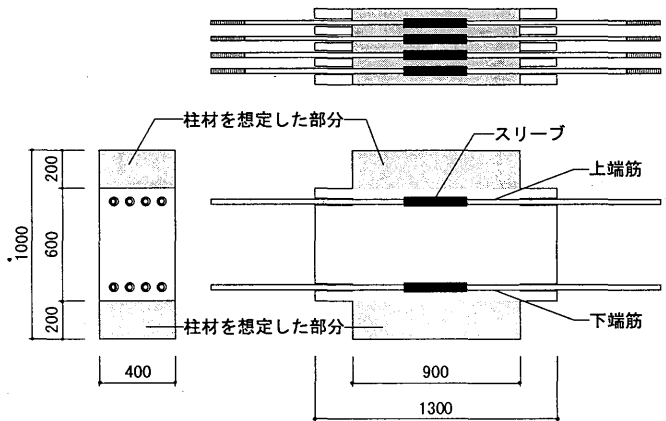
2-1. 試験体計画

実験計画を表-1に示す. 実験変数は既往の研究(文献2)より付着耐力に影響を与えることを考慮し、継手対象部位(梁部材, 柱梁接合部), スリーブ継手形状(S8U, 8U-X), コンクリート強度(36N/mm<sup>2</sup>, 48N/mm<sup>2</sup>), せん断補強筋量(0.4%, 0.8%), 中子筋の有無および継手の位置関係(上端筋, 下端筋)とした. なお, 上端筋および下端筋については、各試験体において、それぞれ上端筋・下端筋を設けて、まず、上端筋について載荷実験を行い、その後、試験体を反転させ下端筋について同様の載荷実験を行った. よって、1体の試験体で、上端筋, 下端筋の2回の実験を行った. したがって、実験個数は10体×2=20体である.

試験体寸法は実大梁を想定し、梁幅400・梁高600・梁長1300(有効付着長900)(図-3(b))及び、柱梁接合部を想定し、梁幅400・全高1000・梁長1300(有効付着長900)(図-3(a))の2タイプとした. 継手対象部位の柱梁接合部の試験体では、柱部材を想定した高さ200mmの鉄筋コンクリート部分を、梁材の上下面部分に取り付けて、柱材からの拘束を考慮する試験体とした. 基本の試験体となる試験体名A-SL-36-100-0.4についての配筋状況を図-4に示す.



(a) 梁を想定した試験体



(b) 柱梁接合部を想定した試験体

図-3 試験体形状

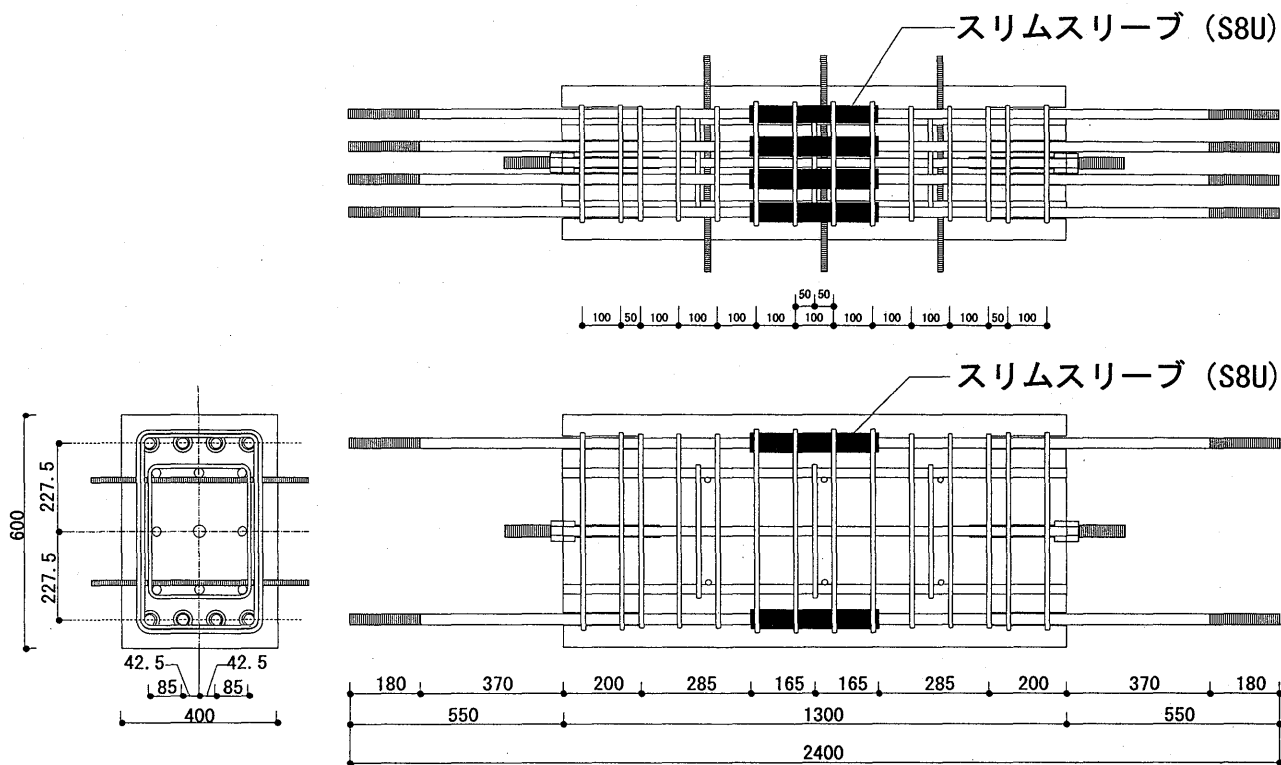


図-4 試験体配筋状況

表-2 材料特性

呼び名	種類	公称断面積 (mm <sup>2</sup> )	引張強度 (KN)	引張応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏点 (KN)	降伏応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )
D10	SD295	71.3	34.4	482.5	25.7	360.4	1.87 × 10 <sup>5</sup>
D25	SD785級	506.7	526.8	1039.7	401.9	793.2	2.0 × 10 <sup>5</sup>

コンクリート設計強度 (N/mm <sup>2</sup> )	発生強度 (N/mm <sup>2</sup> )					
	28日目	実験開始時	実験中時	実験終了時	平均	
36	圧縮強度	35.1	35.7	38.2	43.2	39.0
	割裂強度	5.2	6.4	5.4	5.5	5.8
48	圧縮強度	41.7	48.1	51.1	46.1	48.4
	割裂強度	5.1	6.1	5.1	5.4	5.5

## 2-2. 荷重装置

荷重は、L型反力フレームと、正負移動式の2MN油圧ジャッキを用いて4本の主筋を同時に引張荷重し、荷重を引張、圧縮両用の2MNのロードセルで測定する。なお、試験体の正面から向かって左側(ジャッキ側)を荷重端側・正方向、右側(反ジャッキ側)を自由端側・負方向とする。ジャッキが正方向に伸びると正方向の荷重端側に荷重し、負方向に縮むと負方向の自由端側に荷重できるようになっている。荷重装置を図-5に、試験体への荷重位置を図-6に示す。

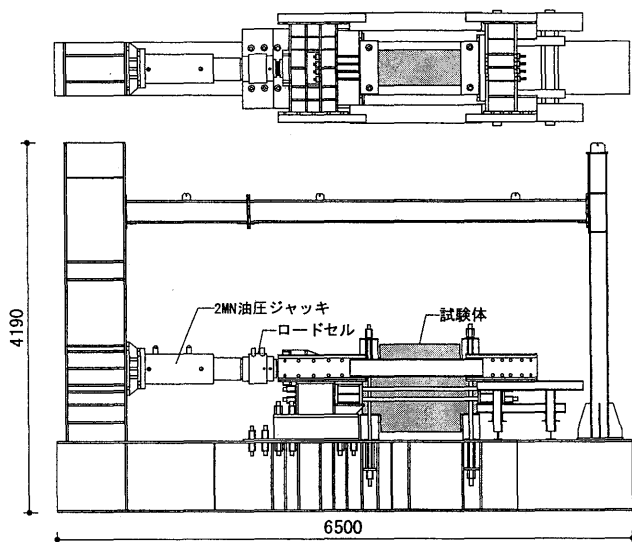


図-5 荷重装置

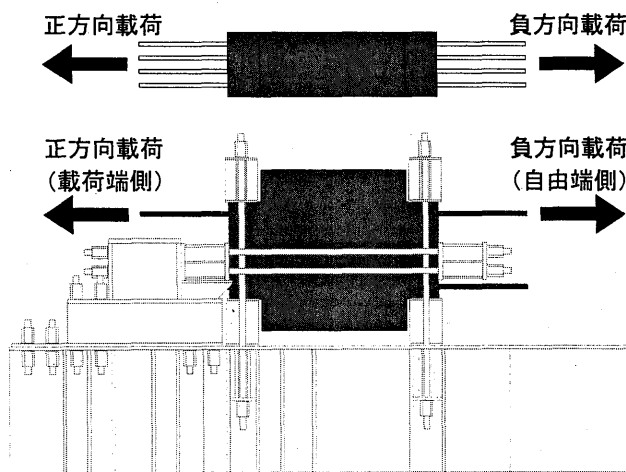


図-6 試験体への荷重状況

### 2-3. 荷重プログラム

既往の付着性状の研究(文献2など)では、一方向単純荷重で行われることがほとんどであったが、本実験では、荷重端側、自由端側、交互の繰返し荷重を行う。

荷重プログラムとして、荷重方向の鉄筋引抜き量0.5mm単位を制御値とし、正荷重における荷重端側に0.5mm、次に負荷重における荷重端側に0.5mm、正荷重の荷重端側に1.0mm、負荷重の荷重端側に1.0mmのように、正負荷重のいずれにおいても、荷重側となる位置の鉄筋引抜き量を制御して荷重を行う。荷重荷重の低下が確認できるまで荷重サイクルを続け、実験で記録した最大荷重を、その試験体の付着耐力とした。

### 3. 実験結果

各試験体の初期ひび割れ発生時及び最大耐力発生時の変位と荷重を表-3に示す。また、一例として、A-SL-36-100-0.8上端筋についての荷重-変位関係を図-7、試験体破壊状況を図-8、および鉄筋とスリーブの荷重-歪み関係を図-9にそれぞれ示す。

各試験体共通のひび割れについては、初期段階で荷重方向のスリーブ端部付近において、主筋と垂直方向に梁幅を横断する形で、ひび割れが発生した。その後、梁上面で主筋の真上において、主筋に沿ってひび割れが生じ、ひび割れ幅が1mm程度に広がり、梁側面でも同様に、主筋に沿ってひび割れが多数生じ、ひび割れ幅が広がり、かぶりコンクリートが浮いた状態になると、付着耐力の減少が見られた。

図-7の荷重-変位関係より、実験初期段階では、荷重は変位に比例して順調に増加しているが、最大耐力付近では、荷重の増加はなくなり、最大耐力後は、変位増加の一方、耐力は低下している。また、最大耐力以前は、荷重側の変位が進んでも反対側の変位はほとんど影響がなく、除荷時には、両側共に変位はほぼ0に戻っているが、最大耐力以後は、荷重側の変位に伴い反対側の変位も荷重端側に進んでおり、除荷時には両側共に同じ変位を示している。

図-9について、異形鉄筋部での歪みは、荷重側に最も近い位置の歪みが最大、最も離れた位置の歪みが最小となっており、荷重側からの距離に伴い、徐々に歪みが減少している。一方、スリーブ継手部については、スリーブ中央では、多少の歪みが発生しているものの、スリーブ端部では、荷重方向側端部、反対側端部共に歪みはほとんど発生していない。

表-3 実験結果

試験体名	鉄筋位置	初期ひび割れ発生時		最大耐力発生時	
		変位(mm)	荷重(KN)	変位(mm)	荷重(KN)
A-SL-36-100-0.4	上端筋	0.263	263.7	2.0	1177.8
	下端筋	0.417	453.5	2.5	1409.6
A-SL-36-100-0.8	上端筋	0.538	514.5	3.0	1556.4
	下端筋	0.330	374.6	3.0	1722.3
A-SL-36-50-0.8	上端筋	0.432	395.6	2.5	1314.7
	下端筋	0.311	386.6	2.5	1521.5
A-SP-36-100-0.4	上端筋	0.066	64.9	2.0	1077.9
	下端筋	0.322	506.5	2.0	1172.8
B-SL-36-100-0.4	上端筋	0.032	268.7	3.0	1662.3
	下端筋	0.358	786.2	4.5	1788.2
A-SL-36-100-0.4	上端筋	0.517	466.5	2.0	1352.6
	下端筋	0.500	416.6	2.5	1469.5
A-SL-36-100-0.8	上端筋	0.616	770.2	4.0	1696.3
	下端筋	0.325	290.7	4.0	1901.1
A-SL-36-50-0.8	上端筋	0.427	413.6	3.0	1561.4
	下端筋	0.165	380.6	4.5	1794.2
A-SP-36-100-0.4	上端筋	0.613	522.5	2.5	1231.8
	下端筋	0.387	517.5	3.0	1581.4
B-SL-36-100-0.4	上端筋	0.502	514.5	5.0	1854.2
	下端筋	0.644	529.5	5.0	1880.1

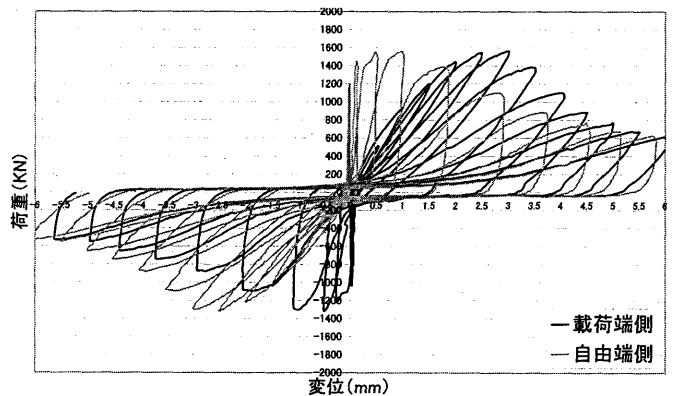


図-7 荷重-変位曲線

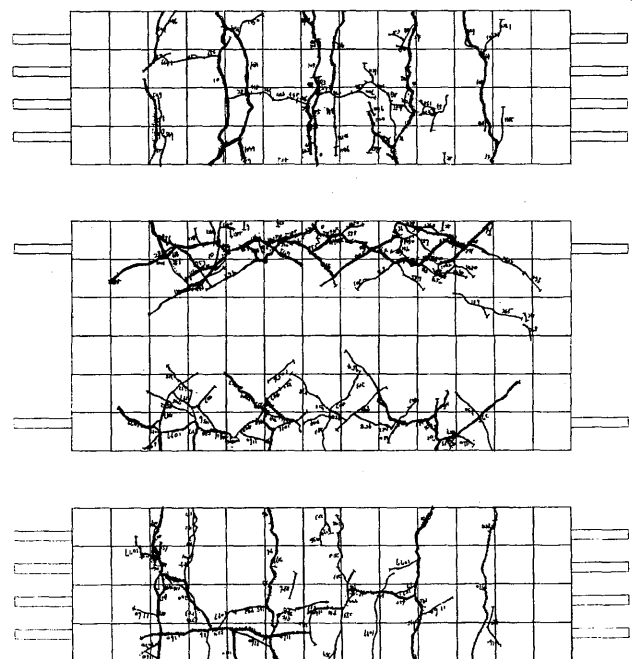


図-8 試験体破壊状況

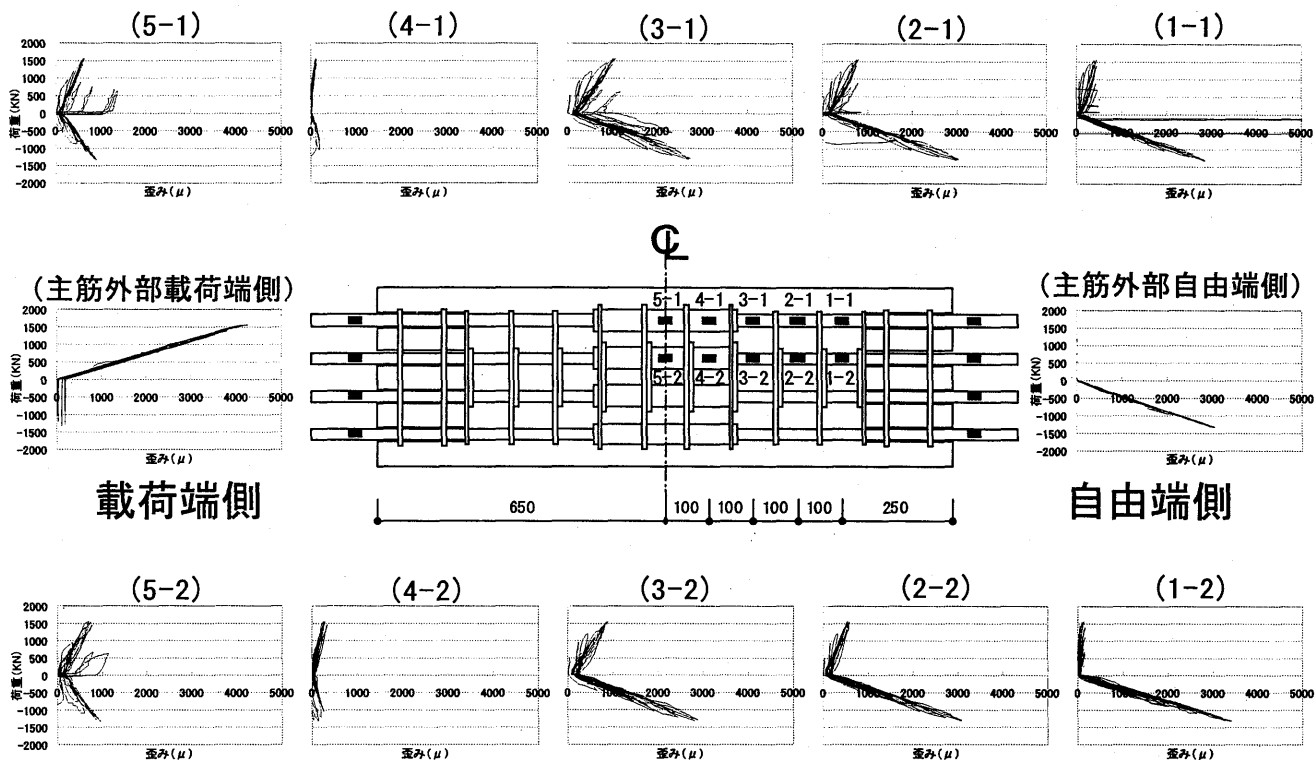


図-9 主筋歪状況

#### 4. 付着耐力に関する解析

図-10に示すように、スリーブ継手を用いた場合の付着耐力の要素として、スリーブ継手端部による支圧力、スリーブ継手表面における付着力、異形鉄筋主筋部付着力の3つが考えられる。

スリーブ継手端部による支圧力を $F_1$ 、スリーブ継手表面における付着力を $F_2$ 、異形鉄筋主筋部付着力を $F_3$ として、スリーブ継手を含んだ主筋の総付着力 $F$ は、

$$F = F_1 + F_2 + F_3 \dots \dots \dots (1)$$

で与えられると仮定し、この3つの付着要素の合計値 $F$ を、スリーブを用いた場合の付着耐力とし、以下「付着耐力計算値」とする。各付着要素の計算方法について以下に述べる。

##### (1) スリーブ端部による支圧力 $F_1$

支圧効果とは、コンクリートに力を与える面積を支圧面積、支圧面積からの力が及ぶ範囲のコンクリートの面積を支承面積、支圧面積を支承面積で除した値を支圧面積比と称し、支圧面積が支承面積より小さく、コンクリートが局部圧縮を受ける場合、周りのコンクリートからの拘束効果により支圧面積から直接力を受けるコンクリートに、本来の数倍のコンクリート強度が発生することである。このときのコンクリート強度の倍率を支圧係数と呼ぶ。既往の研究より、支圧係数は支圧面積比により決定することが分かっている。スリーブ継手を用いた場合には、スリーブ継手端部により、コンクリートが局部圧縮を受け、支圧効果が発生するこ

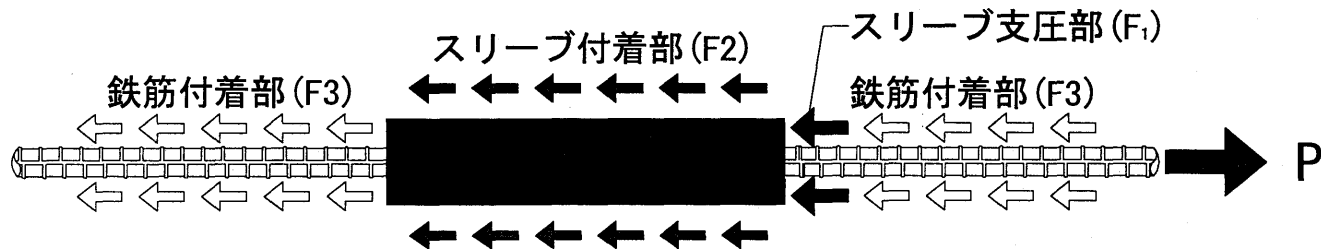


図-10 スリーブ継手を含んだ場合の付着要素

とが考えられる。スリーブ継手による支圧効果について、支圧面積はスリーブ断面積から主筋の断面積を引いた面積とし、支圧係数は文献3の式を用いて算出した(図-11)。閤試験体の支圧面積、支承面積、支圧面積比および支圧係数について表-4に示す。F<sub>1</sub>は(2)式で与える。

$$F_1 = \sigma_B \cdot \text{支圧面積} \cdot \text{支圧係数} \cdots \cdots (2)$$

(σ<sub>B</sub>…コンクリート強度)

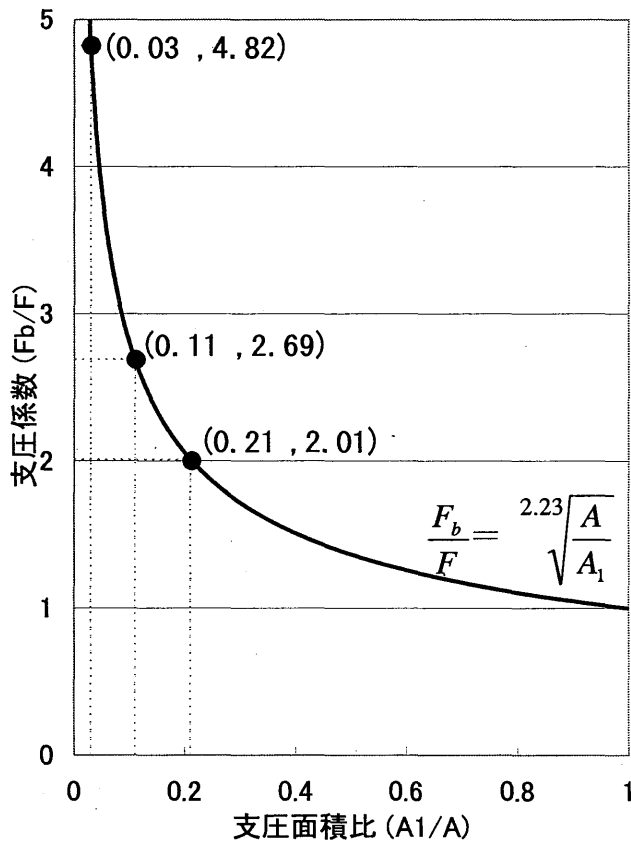


図-11 支圧面積比と支圧係数の関係

表-4 支圧力F<sub>1</sub>計算所諸量

試験体名	支圧面積(mm <sup>2</sup> )	支承面積(mm <sup>2</sup> )	支圧面積比 (支圧面積/支承面積)	支圧係数
A-SL-36-100-0.4	1302	12325	0.11	2.69
A-SL-48-100-0.4				
A-SL-36-100-0.8	1302	12325	0.11	2.69
A-SL-48-100-0.8				
A-SL-36-50-0.8	1302	12325	0.11	2.69
A-SL-48-50-0.8				
A-SP-36-100-0.4	2609	12325	0.21	2.01
A-SP-48-100-0.4				
B-SL-36-100-0.4	1302	46325	0.03	4.82
B-SL-48-100-0.4				

(2) スリーブ表面における付着力F<sub>2</sub>

図-1に示している様に、スリーブ継手表面には突起物等が無く滑らかな形状をしている為、その付着性状は丸鋼と同様に摩擦力により得られるものとして扱うことが出来ると考える。RC規準<sup>5)</sup>の丸鋼の付着耐力計算式より、F<sub>2</sub>は(3)式で与える。諸量については図-1に示す。

$$F_2 = \lambda_1 \cdot \text{周長} \cdot \text{付着長さ} \cdots \cdots (3)$$

$$\text{ただし } \lambda_1 = \begin{cases} \text{上端筋} : 1.05 \\ \text{下端筋} : 1.35 \end{cases}$$

(3) 鉄筋部付着力F<sub>3</sub>

鉄筋部付着力については、主筋に異形鉄筋を用いている為、RC規準に基づき、表-5に示す付着割裂強度算定式を用いる。F<sub>3</sub>は(4)式で与える。

$$F_3 = \tau_{bu} \cdot \lambda_2 \cdot \text{周長} \cdot \text{付着長さ} \cdots \cdots (4)$$

$$\text{ただし } \lambda_2 = \begin{cases} \text{上端筋} : 1.00 \\ \text{下端筋} : 1.22 \end{cases}$$

表-5 付着割裂強度算定式 (RC規準)

$\tau_{bu} = \tau_{co} + \tau_x$	$\tau_{co}$ : 付着割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )
$\tau_{co} = (0.307b_1 + 0.427)\sqrt{\sigma_B}$	$\tau_{co}$ : 横補筋のない場合の付着強度 (N/mm <sup>2</sup> )
$\tau_x = 24.9 \frac{kA_x}{sNd_s} \sqrt{\sigma_B} (\leq 0.87\sqrt{\sigma_B})$	$\tau_x$ : 横補筋による付着強度増分 (N/mm <sup>2</sup> )
$b_1 = \min[b_n, b_{ci}, b_{cl}]$	$b_1$ : 鉄筋配置、かぶりの効果を表す係数
$b_{ci} = \sqrt{3} \left( \frac{2C_{min}}{d_s} + 1 \right)$	$C_{min}$ : 側面かぶり厚さ (mm)
$b_{cl} = \sqrt{2} \left( \frac{C_s + C_b}{d_s} + 1 \right) - 1$	$C_b$ : 底面かぶり厚さ (mm)
$b_n = \frac{b}{Nd_s} - 1$	$b$ : 主筋径 (mm)
$k: b_1 = b_n$ の時 $k=0$	$s$ : 横補筋間隔 (mm)
$b_1 = b_{ci}$ の時 $k=\sqrt{2}$ (ただしN≠2)	$C_{min}$ : 最小かぶり厚さ (mm)
$b_1 = b_{cl}$ の時 $k=1$	$A_x$ : 1組の横補筋全断面積 (mm <sup>2</sup> )
	$N$ : 割裂面に配された主筋本数
	$\sigma_B$ : コンクリート圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
	$k$ : 横補筋拘束効果の違いを表す係数

以上のF<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>及びFの計算結果と実験値との比較を表-6及び図-12に示す。

表-5 計算結果と実験値の比較

試験体名	鉄筋位置	実験値 (KN)	$F_1$ (KN)	$F_2$ (KN)	$F_3$ (KN)	$F=F_1+F_2+F_3$	実験値/計算値F	計算値 $F_a$	実験値/計算値 $F_a$
A-SL-36-100-0.4	上端筋	1177.8	544.3	208.9	477.9	1231.1	0.96	754.6	1.56
	下端筋	1409.6	544.3	268.6	583.0	1395.9	1.01	920.5	1.53
A-SL-36-100-0.8	上端筋	1556.4	544.3	208.9	577.8	1331.0	1.17	912.3	1.71
	下端筋	1722.3	544.3	268.6	704.9	1517.8	1.13	1113.0	1.55
A-SL-36-50-0.8	上端筋	1314.7	544.3	208.9	577.8	1331.0	0.99	912.3	1.44
	下端筋	1521.5	544.3	268.6	704.9	1517.8	1.00	1113.0	1.37
A-SP-36-100-0.4	上端筋	1077.9	818.1	307.4	444.4	1569.9	0.69	701.7	1.54
	下端筋	1172.8	818.1	395.2	542.0	1755.3	0.67	855.8	1.37
B-SL-36-100-0.4	上端筋	1662.3	964.7	208.9	477.9	1651.5	1.01	754.6	2.20
	下端筋	1788.2	964.7	268.6	583.0	1816.3	0.98	920.5	1.94
A-SL-60-100-0.4	上端筋	1352.6	670.0	208.9	530.3	1409.2	0.96	837.3	1.62
	下端筋	1469.5	670.0	268.6	647.0	1585.6	0.93	1021.5	1.44
A-SL-60-100-0.8	上端筋	1696.3	670.0	208.9	640.7	1519.6	1.12	1011.6	1.68
	下端筋	1901.1	670.0	268.6	781.6	1720.2	1.11	1234.4	1.54
A-SL-60-50-0.8	上端筋	1561.4	670.0	208.9	640.7	1519.6	1.03	1011.6	1.54
	下端筋	1794.2	670.0	268.6	781.6	1720.2	1.04	1234.1	1.45
A-SP-60-100-0.4	上端筋	1231.8	1006.9	307.4	493.1	1807.4	0.68	778.6	1.58
	下端筋	1581.4	1006.9	395.2	601.6	2003.7	0.79	949.9	1.66
B-SL-60-100-0.4	上端筋	1854.2	1187.4	208.9	530.3	1926.6	0.96	837.3	2.21
	下端筋	1880.1	1187.4	268.6	647.0	2103.0	0.89	1021.5	1.84

実験値  
計算値

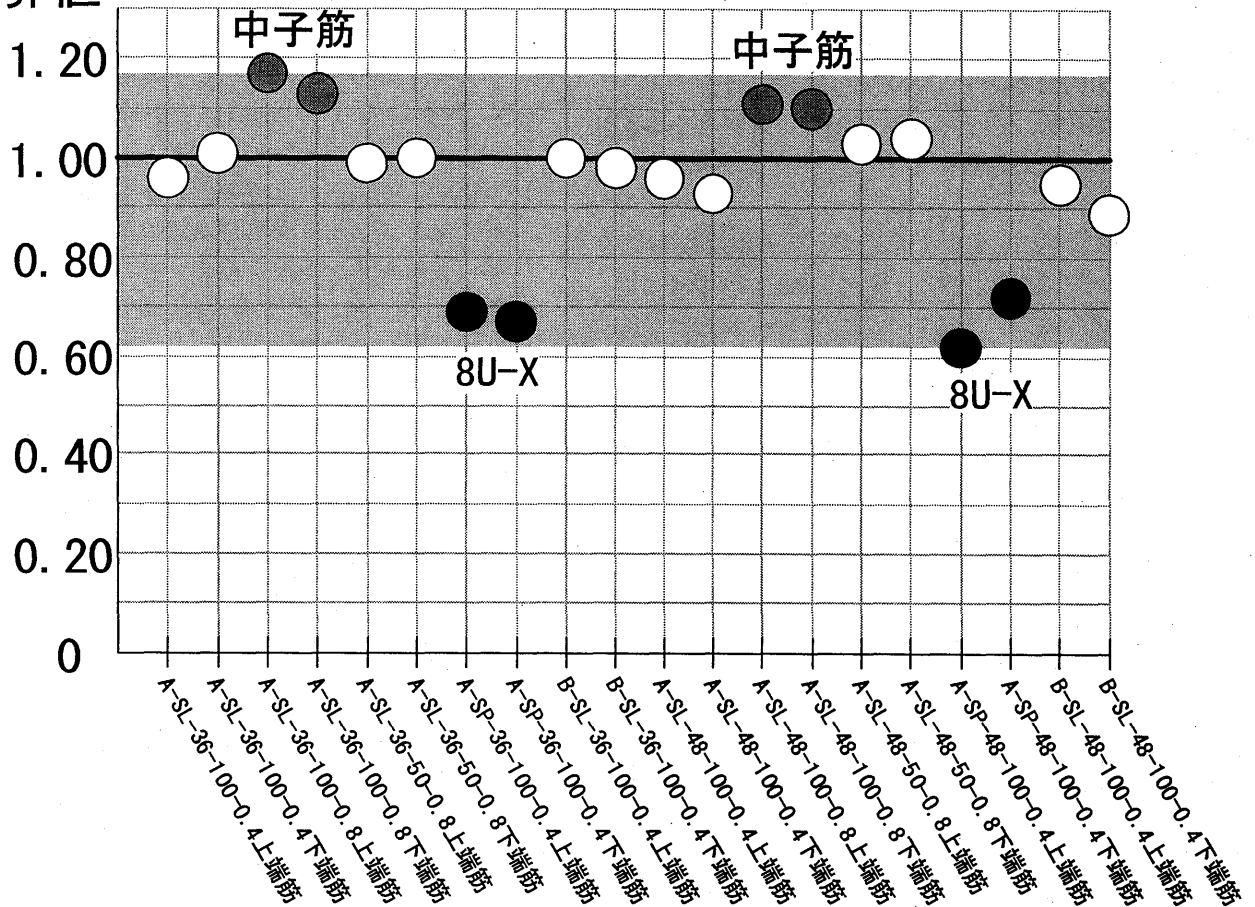


図-12 計算値と実験値の比較

## 5. 考察

4章で示した付着耐力計算値と実験値との比較では、最大誤差±20%程度、平均誤差は11%であった。

補強筋に中子筋を有しているA-SL-36-100-0.8とA-SL-48-100-0.8の試験体について、実験値は計算値の110%~117%を示している。これは、中子筋の補強効果の影響であると思われる。4章に記した付着耐力計算値には中子筋の補強効果を考慮せず補強筋量のみで計算を行っている。中子筋に関する既往の研究には、中子筋を有する場合に補強効果を含んだ計算方法を提案している論文もある。よって、中子筋を補強筋に用いる場合には、付着耐力計算式に中子筋の補強効果を取り入れる必要があると思われる。

スリーブ継手に8U-Xタイプを用いたA-SP-36-100-0.4とA-SP-48-100-0.4の試験体について、実験値は計算値の62%~72%しか発生していない。8U-Xタイプのスリーブ継手は、スリーブ径が63mmとS-8Uタイプの48mmに比べ大きくなっている。その為、付着耐力の計算上では、スリーブ径が大きい為、支圧面積が大きくなり支圧力 $F_1$ の値が大きくなっており、スリーブ形状以外の諸量(試験体形状・補強筋間隔・補強筋量)が同じ試験体と比較すると、計算値はコンクリート強度 $36\text{N/mm}^2$ では25%増、 $48\text{N/mm}^2$ では15%増となっている。しかし実際には、スリーブ径が大きい為、コンクリートのかぶり厚の減少を招き(図-13)、コンクリートが早期に破壊し、耐力を発揮できなかったものと思われる。

図-9に示した主筋に貼付した歪ゲージの歪において、スリーブ継手端部は他の部分と比べて極端に歪が小さいが、これは、継手端部に支圧による大きな付着力が発生している為と思われる。

表-6に計算値 $F_a$ として主筋にスリーブ継手を用いていない場合、つまり、通常の1本の通し鉄筋の場合の付着耐力の計算値を示しているが、この値 $F_a$ と実験値を比

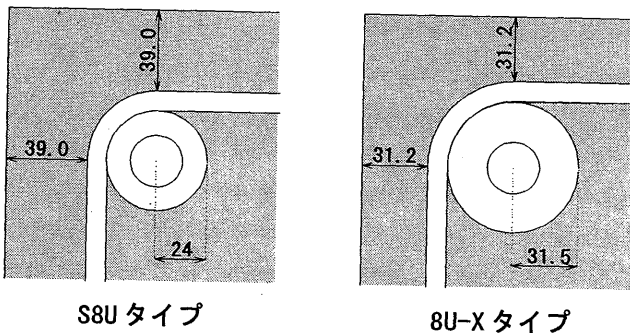


図-13 スリーブ形状によるかぶり厚さの違い

較すると、実験値が計算値 $F$ に及ばなかった試験体を含めて、全ての試験体において実験値のほうが計算値 $F_a$ を大きく上回っている。

## 6. まとめ

実験結果・考察より、スリーブ継手を用いた場合の主筋は、4章で述べた支圧力などの効果を考慮した付着耐力を有していることが分かった。また、計算値 $F_a$ との比較から分かる様に、スリーブ継手を用いた場合の方が通常よりも付着耐力が大きく、スリーブ継手を主筋に含んでいても付着耐力は十分確保できている事が明確になった。

## 参考文献

- (1) 日本スプライススリーブ株式会社:スリムスリーブ鉄筋継手設計指針, 平成12年3月
- (2) 藤井栄、森田司郎:異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究第1報, 日本建築学会論文報告集第319号 pp47-54, 昭和57年9月及び、藤井栄、森田司郎, 異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究第2報, 日本建築学会論文報告集第324号 pp45-52, 昭和58年2月
- (3) 今村重信 他:コンクリートの支圧強度に関する研究, Memoirs of Osaka Institute of Technology, Series A Vol. 33, No. 1(1988) pp31-63
- (4) 伊藤茂富:コンクリートの支圧強度に関する実験的研究(コンクリート支承が局部的に荷重を受ける場合), 日本セメント技術協会, セメントコンクリート, No123, 1957年5月, pp. 9~15
- (5) 日本建築学会:鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 1999年11月
- (6) 又刈克英:スプライススリーブ継手を含んだ異形鉄筋の付着性状に関する実験的研究(その1), 日本建築学会学術講演梗概集(関東), 構造IV, pp133~134, 2001年9月
- (7) 蒲原裕一:スプライススリーブ継手を含んだ異形鉄筋の付着性状に関する実験的研究(その2), 日本建築学会学術講演梗概集(北陸), 構造IV, pp39~40, 2002年8月
- (8) 又刈克英:スプライススリーブ継手を含んだ異形鉄筋の付着性状に関する実験的研究(その3), 日本建築学会学術講演梗概集(北陸), 構造IV, pp41~42, 2002年8月