

論文 ねじ節鉄筋継手用スリーブの付着性状に関する研究

徳田 貴寛^{*1}・榎谷 榮次^{*2}・吉野 次彦^{*3}・大橋 茂信^{*4}

要旨：鉄筋コンクリートまたはプレキャスト鉄筋コンクリート部材において使用される機械式鉄筋継手スリーブの付着性状は今迄明らかにされていないため、その付着力は評価されていないのが現状である。本研究では、ねじ節鉄筋継手用スリーブの付着性状を明らかにするために引抜実験を行なった。これより、スリーブの付着に対する抵抗機構は、界面付着力とスリーブ小口部の支圧力の累加によって形成されることが検証された。

キーワード：機械式継手，付着，支圧，引抜実験，スリーブ

1. はじめに

最近、鉄筋継手として、ねじ節鉄筋継手の使用が多くなっている。ねじ節鉄筋継手は施工が簡単であるが、相対する鉄筋同士のねじ山が所定の位置にないと接合できないため、プレキャスト部材から突出した鉄筋の継手などには使用が困難などの欠点もある。これらの欠点を解決する目的から、ネジ山の位置に関係なく接合できるスリーブも開発されているが、このスリーブは通常のねじ節継手のスリーブよりもストレート部分の長さが長いため、コンクリートとの付着力が問題となっていた。

本論文は比較的スリーブの長い継手工法を対象とし、付着性能を設計上取り込むための基礎資料を得るために、鉄筋素材と継手部の引き抜き試験を行った。この実験から継手部の付着性状に関して得られた研究成果を以下に述べる。

2. 試験体概要

現在、市販されている一般的なねじ節鉄筋継手のスリーブはおおよそ、鉄筋径の6倍程度の物が多い。本実験で用いた工法は、ねじ山の位置に関係なく接合できる新しいスリーブで、スリーブの長さがおおよそ鉄筋径の10倍の継手である。

試験体一覧を表 - 1 に、試験体概要を図 - 1 に示す。試験体の種類は、鉄筋素材の付着性能を測定する試験体(以下「鉄筋素材」と云う)、継手(スリーブタイプ機械式継手)部分トータルの付

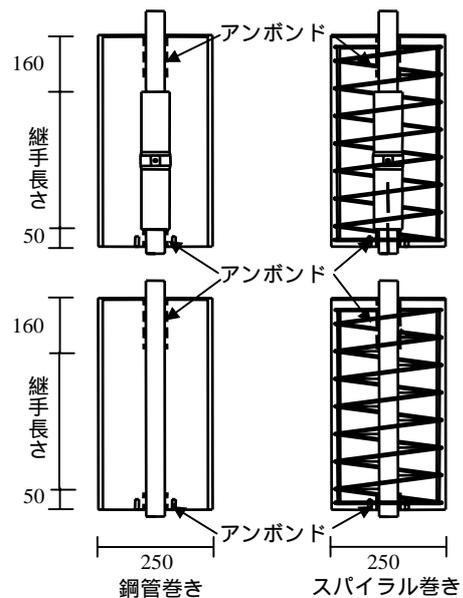


図 - 1 試験体詳細図

表 - 1 試験体一覧

シリーズ	種類	サイズ	付着長さ	試験体記号	
				鋼管巻き	スパイラル筋
	鉄筋素材	D25	275	ST25	SP25
		D32	352	ST32	SP32
		D41	441	ST41	SP41
	鉄筋継手	D25	275	STJ25	SPJ25
		D32	352	STJ32	SPJ32
		D41	441	STJ41	SPJ41
	スリーブ継手部	D25	-	STC25	-
		D32	-	STC32	-
		D41	-	STC41	-

*1 関東学院大学大学院工学研究科 建築学専攻 (正会員)

*2 関東学院大学工学部建築学科教授 工博 (正会員)

*3 株式会社ムサン設計 (正会員)

*4 東京鉄鋼株式会社 ネジ・加工部事業部 企画部 (正会員)

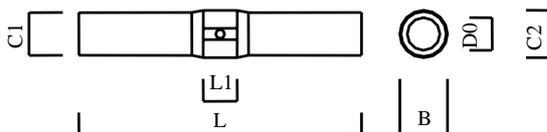
着性能を測定する試験体(以下「継手試験体」と云う)の2種類とし、それぞれD25, D32, D41の3サイズ各1体とした。図-2に各継手の形状および寸法を示した。なお割裂破壊に対する補強方法は、鋼管によって補強した試験体(以下「鋼管巻き」と云う)とJCIの引抜試験方法案に準じ、スパイラル筋によって補強した試験体(以下「スパイラル筋補強」と云う)、その他にスリーブ小口部に作用する支圧効果を調べるために、鋼管巻きによってスリーブ表面の付着を無くした試験体の3種類とした。

表-2 コンクリートの材料性状

試験体名	コンクリート		
	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)	ヤング係数 ($\times 10^5$ N/mm ²)
ST25	27.9	4.17	23.8
STJ25			
ST32	29.9	3.11	24.4
STJ32			
ST41	34.4	3.74	25.6
STJ41			
SP25	30.5	4.26	24.5
SPJ25			
SP32	32.4	3.49	25.1
SPJ32			
SP41	30.9	4.29	24.6
SPJ41			
STC25	28.1	3.07	23.9
STC32			
STC41			

表-3 使用した鉄筋の焼き入れ後の引張強度

鉄筋 サイズ	降伏点 N/mm ²	引張強度 N/mm ²
D25	836	875
D32	795	849
D41	808	868



継手 サイズ	内径(D0)	外径(C1)	全長(L)
D25	29	38	250
D32	36.6	48	320
D41	47.3	62	400

図-2 継手形状および寸法

試験体の付着性能を測定する長さは、スリーブ表面の付着力とスリーブ小口部の支圧力をトータルに測定するため、鉄筋継手の長さ+1d (d:鉄筋径)とした。また、鉄筋素材シリーズの試験長さも、鉄筋トータルの付着力と、直接比較できるように、継手試験体と同一の付着長さとした。なお、埋め込み長さが大きいため、SD490の鉄筋では抜け出し以前に母材の降伏が予想される。このため、本実験に用いた鉄筋はSD490の鉄筋に対して、降伏強度が800N/mm²以上となるように焼き入れ加工したものをを用いた。また使用した鋼管は、一般構造用炭素鋼管STK290(引張強度290N/mm²以上)で、スパイラル筋(D6)は、0.2%オフセット強度410N/mm²、引張強度498.8N/mm²の機械的性質を持つものをを用いた。

試験体の打設は、図-1に示すように、鉄筋の引抜方向を上、自由端を下にセットし、上側から縦方向にコンクリートを打設した。使用するコンクリートは粗骨材20mmの生コンクリートとした。試験体のコンクリート強度は、設計基準強度30N/mm²を目標としたが、試験日が異なるため、試験体毎に、コンクリート強度が若干異なっている。各試験日毎のコンクリートの材料特性を表-2に示す。使用したコンクリートおよび鉄筋の材料特性をそれぞれ表-2および表-3に示す。なお、鋼管巻き試験体は加力時に支圧板が外周鋼管に接触しないように、外周鋼管よりも内部コンクリートを5mmほど高くなるように製作した。また、引抜き側表面は平滑になるようにキャッピングを施した。

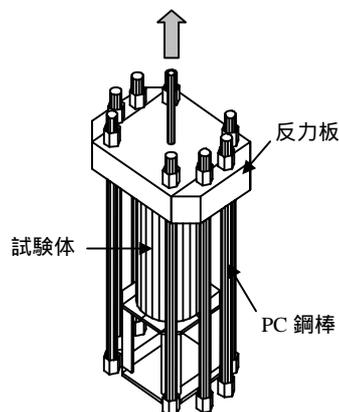


図-3 試験体設置図

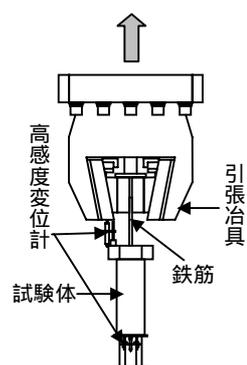


図-4 測定方法

3. 加力方法および測定方法

図 - 3 に示すように PC 鋼棒によって固定された反力板(中央部に直径 50mm の孔を有する厚さ 100mm の鋼板)の下端に試験体を取り付け、1500kN の容量を持つ大型構造物試験機によって鉄筋素材および継手試験体の引抜き試験を行った。

加力方法は鉄筋の自由端(荷重端でない下端)における変位(抜け出し変位)制御によって加力を行った。

測定方法は、図 - 4 に示すように、鉄筋の自由端に生じる引抜け変位として、試験体下端コンクリート面と鉄筋自由端の小口部の相対変位を高感度変位計によって測定した。

4. 試験結果と考察

4.1 ひび割れ性状および破壊性状

鋼管巻き試験体はいずれも鉄筋の引抜けによってコンクリート上部において鉄筋周辺に沿ってリング状に割裂破壊を生じている。

スパイラル筋補強試験体では、写真 - 1 に示すように D25 の鉄筋素材を除き、鉛直方向にリング応力による割裂ひび割れを生じている。このひび割れは、鉄筋素材では試験体のほぼ全長に亘って発生しているが、継手を持つ試験体では継手の中央部から上部の領域において発生している。また、上部の近傍に鉛



鉄筋素材 継手試験体
写真 - 1 破壊性状

直方向ひび割れをまたぐ横方向ひび割れも発生している。これはスリーブ継手の小口部に作用する支圧反力によって、コンクリート内において鉛直方向に引張応力が発生したためと考えられる。

4.2 荷重と変位の関係

本引抜き試験から得られた引抜荷重と鉄筋の自由端におけるすべり変位の関係を図 - 5 ~ 図 - 7 に示す。図は、終局変位までの荷重-変位曲線を示した。これより、鉄筋素材の場合、鋼管巻き試験体では、最大荷重時の変位は、鉄筋径が大きくなるに従って増加する傾向を示しているが、スパイラルフープ筋補強では、減少する傾向を示している。また、継手試験体は、変形の増加

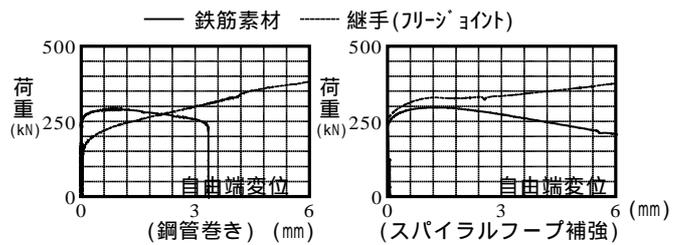


図 - 5 荷重-変位曲線 (D25)

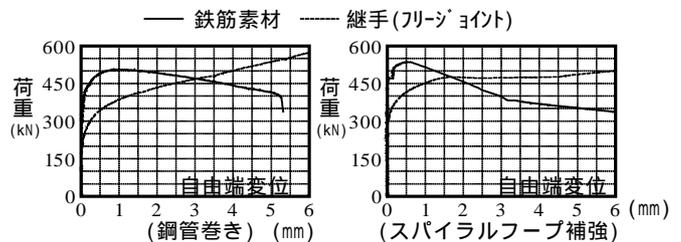


図 - 6 荷重-変位曲線 (D32)

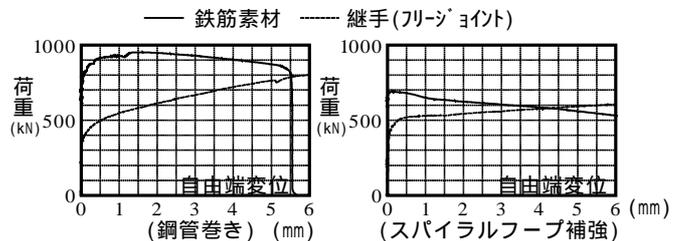


図 - 7 荷重-変位曲線 (D41)

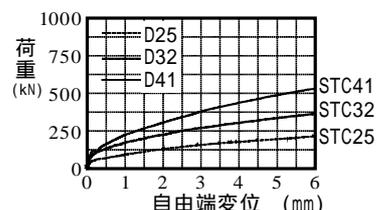


図 - 8 支圧荷重-変位曲線

と共に荷重が増大する傾向を示すが、スパイラルループ筋補強の場合、変位が増加しても荷重の増加は小さい。これは、鋼管巻きはスパイラルループ筋に比して、鉄筋素材または継手部に与える横方向拘束が大きいことを示している。

スパイラルループ筋補強試験体においては、継手試験体は、自由端にすべり変位を生じ始めるまでの初期荷重が高く、またすべり変位を生じた後も荷重が増加する靱性に優れた構造性能を示している。これはスリーブ小口部の支圧抵抗によって荷重が増大していると考えられる。

4.3 支圧作用による荷重とすべり変位の関係

スリーブ継手の小口部に生じる支圧応力度が引抜抵抗に寄与する局所的な圧縮挙動を調べるために行った引抜実験(鋼管巻き)から得られた荷重と自由端すべり変位に関する曲線を図-9に示す。これより変位の増加と共に荷重も増加する傾向を示し、変位が6mmに増加しても荷重は低下しないことが認められる。この支圧効果は、鋼管巻きの継手試験体における荷重の増加に大きく寄与していることを裏付けている。

5. 付着強度特性

引抜実験から得られた自由端すべり変位が0.2mm時¹⁾、素材の最大荷重とその時の同一自

表-4 実験結果一覧

試験体	0.2mm変位時			素材			継手		
	荷重 T (kN)	付着応力度 σ_{bc} (N/mm ²) (b_s/b)	変位 s (mm)	最大荷重時			最大荷重		
				荷重 Ts (kN)	付着応力度 σ_{bc} (N/mm ²) (b_{bc}/b)	変位 s (mm)	荷重 Ts (kN)	付着応力度 σ_{bc} (N/mm ²) (b_{bc}/b)	変位 s (mm)
ST25	277	12.6 (0.45)	0.9	289	13.1 (0.47)	0.9	237	10.8 (0.39)	(3.3)
STJ25	163	5.5 (0.20)	0.9	208	7.0 (0.25)	0.9	359	12.0 (0.43)	6.0
ST32	442	12.6 (0.42)	1.1	505	14.3 (0.48)	1.1	401	11.4 (0.38)	(5.2)
STJ32	252	5.2 (0.17)	1.1	346	7.2 (0.24)	1.1	553	11.5 (0.38)	6.5
ST41	865	15.2 (0.44)	1.6	950	16.7 (0.49)	1.6	817	14.4 (0.42)	(5.5)
STJ41	357	4.6 (0.13)	1.6	498	6.4 (0.19)	1.6	732	9.4 (0.27)	6.3
SP25	273	12.4 (0.41)	1.3	295	13.4 (0.44)	1.3	193	8.8 (0.29)	6.6
SPJ25	263	8.8 (0.29)	1.3	301	10.1 (0.33)	1.3	362	12.1 (0.40)	6.6
SP32	502	14.3 (0.44)	0.7	535	15.2 (0.47)	0.7	195	5.5 (0.17)	10.3
SPJ32	324	6.7 (0.21)	0.7	380	7.9 (0.24)	0.7	526	10.9 (0.34)	10.3
SP41	667	11.7 (0.34)	0.3	687	12.1 (0.35)	0.3	429	7.6 (0.22)	10.3
SPJ41	414	5.3 (0.15)	0.3	443	5.7 (0.17)	0.3	581	7.5 (0.22)	10.3

由端変位に対応する継手試験体の荷重，継手試験体の最大荷重とその時の同一自由端変位時の荷重を鋼管巻きおよびスパイラル筋補強について表-4に示す。この表において継手をもつ試験体の最大荷重とその同一変位に対応する素材試験体の荷重が計測されていないため、ここでは

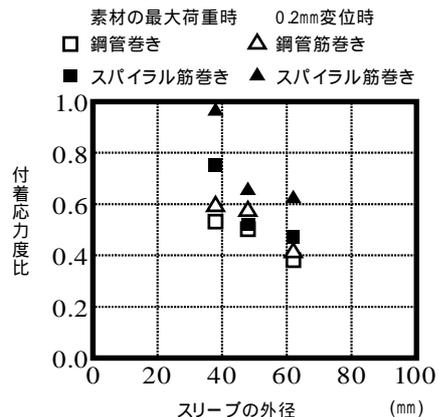


図-9 素材の0.2mm変位時および付着強度時のスリーブの付着強度比とスリーブの外径の関係

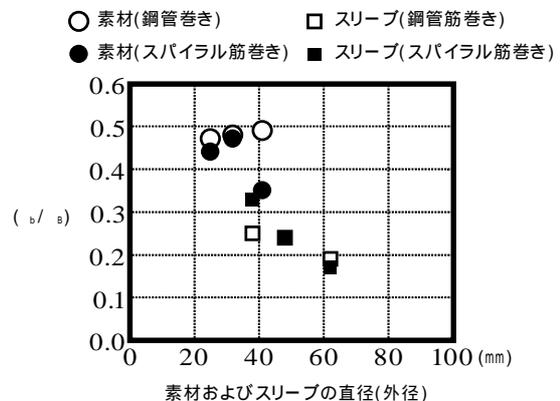


図-10 素材の最大荷重時の付着応力度と素材およびスリーブの直径(外径)との関係

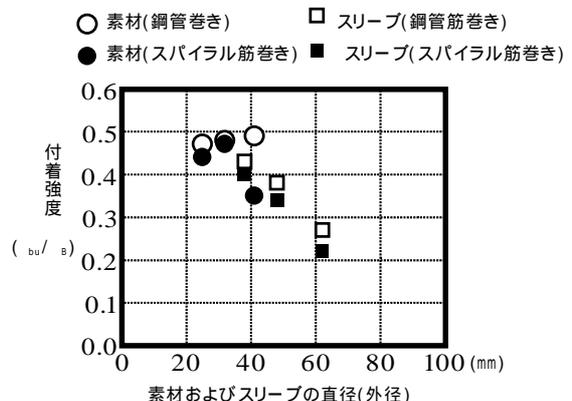


図-11 付着強度と素材およびスリーブの直径(外径)の関係

参考までに終局時荷重とそのときの変位を括弧内に示した。なお、継手試験体では、素材の1d(直径)分の付着力が含まれているので、その負担分を除くため、鉄筋素材試験の同一変位に対応する1d分の荷重を求め、補正して表-4に示した。また、実験から得られた荷重を鉄筋素材および継手部の、それぞれの表面積で除した値を平均付着応力度とし、最大荷重に対応する平均付着応力度を付着強度と定義する。ここで、継手部の付着強度は、スリーブ表面積に対する付着抵抗にスリーブ小口部の支圧抵抗が付加された、見かけの付着強度と言える。自由端すべり変位0.2mm時¹⁾の鉄筋素材の付着応力度は、鋼管巻きおよびスパイラル筋巻きのいずれにおいても、付着強度に対して90%以上の強度発現が見られるが、継手試験体は50%程度であり、継手試験体は変位の増加によって荷重が増大していることが判る。また、0.2mm時の素材の付着応力度に対する継手部の付着応力度比と各径の関係を図-9にプロットした。これより、鋼管巻きの場合、付着応力度比は0.38~0.75、またスパイラル筋補強の場合、付着応力度比は0.41~0.96の範囲に存在し、後者の方が高く発現していることが認められる。また、鉄筋素材の付着強度に対する同一変位時の継手部の付着応力度比は、鋼管巻きの場合0.38~0.53、またはスパイラル筋補強の場合0.47~0.75の範囲に存在し、0.2mm時と同じ傾向であった。

また、素材が最大荷重に達したときの平均付着応力度および同一変位に対応する継手部の平均付着応力度と各径の関係を図-10にプロットした。ここで、縦軸は、コンクリートの圧縮強度のばらつきの影響を削除するために付着応力度をコンクリートの圧縮強度で除した無次元値で表した。

これより、コンクリート強度に対する素材の付着応力度比(f_{bs}/f_B)は、素材の場合D41のスパイラル筋を除き、0.44~0.49に存在し、ばらつきは小さく、平均値0.47に近い値を示しているが、継手部のコンクリート強度比(f_{bs}/f_B)は、

0.17~0.33の間に存在し、径が大きくなると、減少する傾向を示している。

素材および継手部がそれぞれ最大荷重に達したときの付着強度と径との関係を図-11にプロットした。鉄筋素材の付着強度は図-9と重複しており前述した通りであるが、継手部のコンクリート強度比(f_{bs}/f_B)は、0.22~0.43の間に存在し、鉄筋素材の最大荷重時レベルより増大している。これは、継手スリーブの小口部に大きく作用した支圧効果に起因している。

6. 支圧効果

スリーブにねじ込まれた鋼棒(素材)が引抜力を受けると、スリーブにも同時に引張力が作用し、その小口部のコンクリートには局部的な接触圧力(以降支圧と呼ぶ)が生じる。この小口部に一様に分布する支圧は、ポンチのすべり線場理論を用いると、コンクリートの一軸圧縮強度 f_B の約2.6倍として得られる。²⁾小口部の表面が粗面の場合コンクリート界面にはクーロン摩擦が生じ、支圧はさらに増大することがJ.F.W.Bishop.²⁾によって検証されている。またコンクリート中において鉄筋がダウエル作用を受けるとき、鉄筋のダウエル変形によって、鉄筋直下のコンクリートには局所的に支圧応力が生じ、その支圧応力 f_{cc} は $5f_B$ になることがT.P.Tassiosによって検証されている。³⁾継手小口部に生じる支圧作用も、局所的な圧縮強度に対応し、力学的現象として、ダウエル作用による支圧と類似していると考えられる。

これらの支圧応力に関する既往の事実を基に、支圧応力の最大値にダウエル作用から得られた $5f_B$ を採用した。これよりスリーブの支圧実験において変位が急激に増加しない0.2mm時の支圧応力を用いて支圧係数 C_c を次式のように導いた。

$$C_c = 5.0 - A_c / 500 \quad (1)$$

ここで、 A_c はスリーブの小口部の支圧面積(mm²)。

7. 評価式の実験結果に対する適応性

スリーブに作用する鉄筋からの引抜力は、図 - 12 に示すようにスリーブの外周面に作用する付着力とスリーブの小口部に作用する支圧力 P_c の累加によって与えられる。これより、引抜抵抗(付着強度) P_u は、次式によって表される。

$$P_u = P_b + P_c = (C_b + C_c \cdot A_c / A_b) A_b \cdot \sigma_B \quad (2)$$

ここで A_b はスリーブの付着面積(mm²)、 C_b は付着係数で、継手部を持つ試験体(ST および SP シリーズ)の最大荷重の結果と(1)式による支圧効果から次式のように導かれた。

$$C_b = 0.60 - Dj/150 \quad (3)$$

ここで D_j はスリーブの外径(mm)

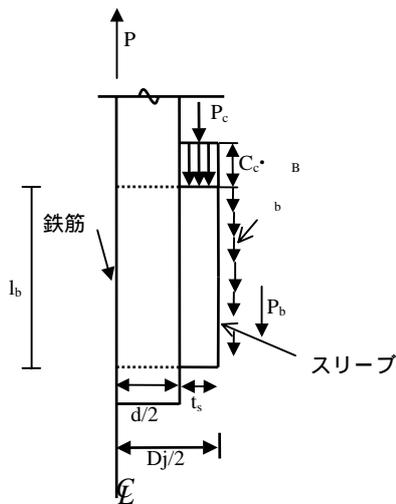


図 - 12 引抜力を受けたスリーブの付着および支圧抵抗機構

表 - 5 実験結果と計算結果の比較

試験体	最大荷重 P_{max} (kN)	付着強度			実験値と 計算値の比 P_{max}/P_u
		付着力 P_b (kN)	支圧力 P_c (kN)	合計 P_u (kN)	
STJ25	354	288.8	52.8 (15.5%)	341.6	1.05
STJ32	553	403.8	79.2 (16.4%)	483.0	1.14
STJ41	732	500.9	108.4 (17.8%)	609.3	1.20
SPJ25	362	315.7	57.8 (15.4%)	373.5	0.97
SPJ32	526	437.5	85.9 (16.4%)	523.4	1.00
SPJ41	581	500.9	108.4 (17.8%)	609.3	0.95

(2)式を用いて算出されたスリーブの付着強度と実験結果を表 - 5 に示す。これより、付着強度に占める支圧力の割合は、15.5 ~ 17.8%で、径に関係なくほぼ一律に評価されていることが認められる。また、計算結果は、実験結果に対して、0.95 ~ 1.20 の範囲にあり、実験結果を良く推定していると判断される。

8. まとめ

長さが鉄筋径の10倍程度と比較的長いスリーブを有する機械式鉄筋継手および素材の付着特性を調べるために引抜実験を行った。これより以下の事柄が示唆される。

- (1) . 鉄筋素材の最大付着応力度に対する同一自由端すべり変位時の継手部平均付着応力度の比は、径が大きくなるに従って減少する傾向を示し、0.38 ~ 0.75 の範囲に存在する。
- (2) . 継手部の見掛けの付着強度は径の増加と共に減少する傾向を示し、コンクリート圧縮強度に対する比は、0.17 ~ 0.43 の間に存在する。見掛けの付着強度が高く発現するのは、スリーブの小口部に生じる支圧効果に起因していると考えられる。
- (3) . 継手部の見掛けの付着強度をスリーブ表面の付着強度と小口部の支圧強度の累加として評価すると、実験結果を適切に推定できると判断される。

なお、支圧強度の評価に対しては実験資料も少なく、今後の検証が肝要であると思われる。

参考文献

- (1) . 梅村魁他 編; 異形鉄筋コンクリート設計法,
- (2) . 山田嘉昭; 塑性力学, 日刊工学新聞社, 1977.
- (3) . E.N.Vintzeleou and T.P.Tassios; Mathematical models for dowel action under monotonic and cyclic conditions, magazine of concrete Research, vol38, No.134, March 1986.
- (4) . 高谷真次, 丸太誠; 柱梁接合部の無い機械式継手の付着性状に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, 2003.7