

論文 集合鉄筋の重ね継手の性状に関する実験的研究

渡辺達也*¹ 廣田祐史*² 細川洋治*³ 前田匡樹*⁴

要旨：本研究では、主筋を断面の四隅に集合配筋した鉄筋コンクリート造柱部材を対象に、主筋（集合鉄筋）の重ね継手に関する実験を行った。重ね継手部分のみを切り出した供試体について、重ね継手長さ及び継手部を拘束するスパイラル筋の量を変数とした引き抜き試験を行い、継手の性状及び必要継手長さについて検討した。

キーワード：集合鉄筋、重ね継手、添え筋、滑り量、平均付着応力度、拘束応力度

1. はじめに

鉄筋コンクリート造柱部材では、主筋は断面外周部にほぼ均等な間隔で配筋されるのが一般的である。ところが、柱RC造+梁S造、あるいは、鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の場合、柱主筋を均等に配筋しようとする、柱・梁接合部において柱主筋が梁鉄骨フランジを貫通することになる。この問題を避けるための方法の一つとして、柱部材の主筋を断面の四隅の隅角部に集中して配筋する配筋方法（集合鉄筋）がある。

本研究では、主筋に集合鉄筋を用いた柱部材を対象として、主筋の継手方法について検討した。一般に、主筋の継手方法として、ガス圧接、機械式継手などの方法も用いられるが、本研究では、施工の省力化のため、先組みした主筋及び横補強筋を現場で添え筋を用いて継ぐ構法を開発することを目的とし、継手の引き抜き試験を行った。実験では、継手長さ及び継手部分のスパイラル筋による拘束量を変数とし、継手の破壊性状に及ぼす拘束筋の影響、必要重ね継手長さについて検討を行った。

表－1 試験体一覧

2 実験の概要

2.1 試験体の概要

試験体の一覧を表1に示す。試験体は、図1に示すように主筋を集合鉄筋とした柱部材の継手部をモデル化しており、継手部の引き抜き力に対する挙動を調べるために、一方の主筋と添え筋からなる継手部の片側半分を取り出したものとした。代表的な試験体の形状、および、配筋図をそれぞれ図2に示す。

試験体名	主筋	添え筋	L_b (cm)	s (cm)	材令(日)
20D05	4-D19	D41	40	5.0	38
20D10			(20db)	10.0	41
25D05			50	5.0	53
25D10			(25db)	10.0	55
30D05			60	5.0	61
30D10			(30db)	10.0	62
35D05			70	5.0	66
35D10			(35db)	10.0	67
40D05			80	5.0	70
40D10			(40db)	10.0	73

ただし、 L_b :重ね継手長さ、s:スパイラル筋間隔

*1 横浜国立大学大学院 工学研究科 計画建設学専攻 (正会員)

*2 前田建設工業(株) プロジェクト推進部

*3 前田建設工業(株) プロジェクト推進部部長、工博 (正会員)

*4 横浜国立大学 助手 工学部 建設学科、工博 (正会員)

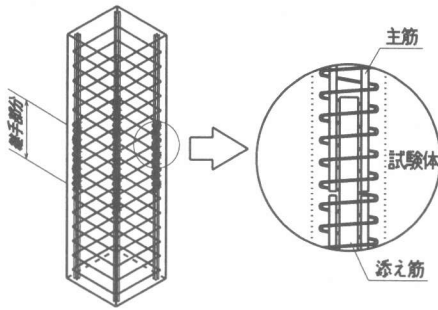


図-1 継手部のモデル化

集合鉄筋は4本の主筋からなり、添え筋1本を用いて継手とした。通常の重ね継手では主筋1本に対して1本の添え筋を用いるが、集合鉄筋の場合、継手部を出来るだけ小さくすることを目的に、集合鉄筋の中央の隙間に主筋4-D19の総断面積(11.48cm²)と同等以上の断面積を有する添え筋D41(13.40cm²)を配することとした。継手部の拘束筋にはD6のスパイラル筋を使用した。ここで、平均付着応力度は添え筋D41が主筋D19の2倍近くなるが、添え筋は主筋及びスパイラルに囲まれるため、かなりの拘束効果を有するものと期待し、敢えてこのような配筋とした。試験体の断面は12cm×12cmとし、重ね継手長さの両側にそれぞれ余長を10cm設けた。実験変数は重ね継手長さ L_b および拘束筋間隔 s とした。

コンクリートは、設計基準強度 $F_c=210\text{kgf/cm}^2$ 、最大骨材寸法10mmの普通コンクリートである。コンクリートの材料特性を表2に示す。また、鉄筋の材料特性を表3に示す。

2.2 加力方法および計測方法

加力は、図3に示すように、主筋及び添え筋それぞれに連結用の治具を介してP C鋼棒を取り付け、P C鋼棒を上下の球座を介して200tアムスラー試験機のクロスヘッドに取付け、一方向単調引張力を作用させた。加力装置は、さらにP C鋼棒を上下の球座を介して試験機のクロスヘッドに接続した。

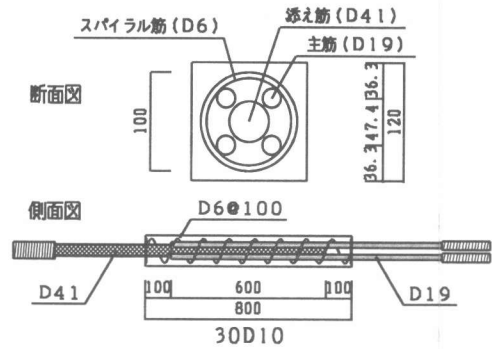


図-2 代表的な試験体形状

表-2 コンクリート供試体の力学的性質

試験体	圧縮強度 (kgf/cm ²)	割裂強度 (kgf/cm ²)	ヤング率 (kgf/cm ²)
20D05	268.2	32.3	2.27×10^6
20D10	273.0	32.2	2.28×10^6
25D05,25D10	279.8	32.4	2.04×10^6
30D05,30D10	276.9	32.2	2.30×10^6
35D05,35D10	288.1	32.3	2.34×10^6
40D05,40D10	303.8	32.3	2.39×10^6

表-3 鉄筋の力学的性質

種類	降伏強度 (kgf/cm ²)	降伏歪 (μ)	引張強度 (kgf/cm ²)	初期剛性 (kgf/cm ²)	破断歪 (%)
D6	4298	2302	5547	1.87×10^6	13.0
D19	3919	2003	5714	1.96×10^6	17.0
D19 (溶接あり)	3931	1959	5703	2.01×10^6	17.7
D41 (溶接あり)	4300	2165	6189	1.99×10^6	22.4

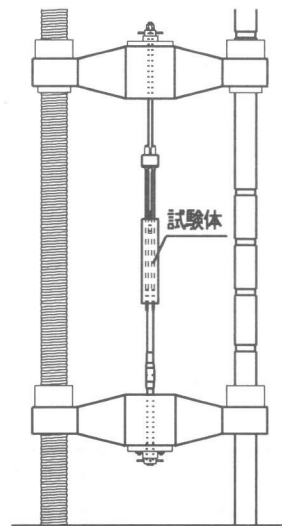
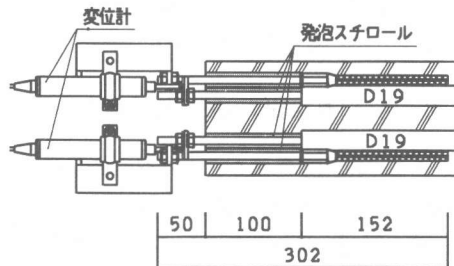


図-3 加力装置

鉄筋の応力状態を調べるため、主筋、添え筋には図4に示す位置に、また、スパイラル筋には図5に示す位置に至ゲージを貼り、各点の歪度を測定した。また、主筋および添え筋の自由端すべり量を測定するため、図6のように鉄筋の継手端部にM8ネジ棒を固定し、コンクリートに定着したネジ棒との相対変位を測定した。すべり測定用のネジ棒は、継手の余長部分では発泡スチロールを被せコンクリートとの付着を切った。

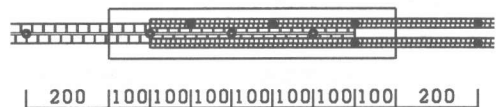


図－6 すべり量の測定

3 実験の結果および検討

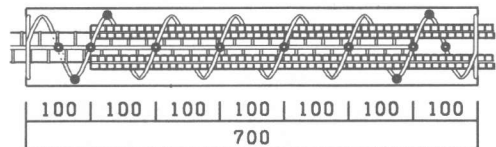
3.1 破壊に至る挙動

実験結果を表4に、また代表的な試験体のひび割れ図を図7に示す。すべての試験体で、主筋（D19）の継手引張側端部の応力が1000 kgf/cm²程度で、継手端部に引張りひび割れが発生し、1500 kgf/cm²程度から主筋に沿って割裂ひび割れが生じ始めた。その後、試験体25D05、30D05、35D05は主筋が、また試験体40D05は主筋および添え筋が降伏したが、その他の試験体では主筋の降伏は生じなかった。すべての試験体で割裂ひび割れが重ね継手部分全長にわたり繋がるとスパイラル筋が降伏を始め、その後割裂主筋に沿った割裂ひび割れが大きく開いて添え筋の抜け出し量が増大し、最大耐力に至った。添え筋は、主筋と断面積がほぼ同程度で周長が主筋の周長の合計の半分程度であるため、周囲の主筋とスパイラルによる拘束があるものの、拔出し破壊した。最大耐力時の主筋の自由端すべりは0.37mm程度であり、ほとんど拔出しは生じなかった。



25D05, 25D10

図－4 歪みゲージ位置-1

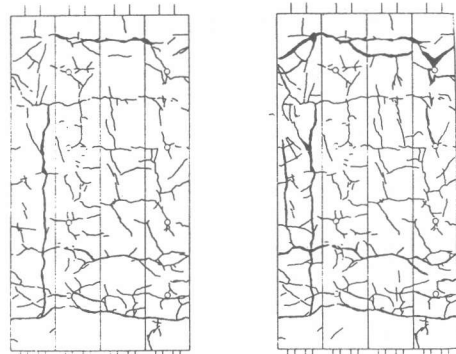


25D10

図－5 歪みゲージ位置-2

表－4 実験結果

試験体名	主筋降伏時平均付着応力度(計算値) (kgf/cm ²)		最大平均付着応力度 (実験値) (kgf/cm ²)		最大耐力 (tf)
	主筋	添え筋	主筋	添え筋	
20D05	46.9	101.1	41.1	75.9	39.5
20D10			47.9	88.4	22.2
25D05	37.5	80.9	51.1	94.4	46.4
25D10			56.2	103.8	28.3
30D05	31.3	67.4	61.6	113.8	49.2
30D10			23.1	42.7	33.7
35D05	26.8	57.8	29.5	54.4	54.0
35D10			35.1	64.8	37.4
40D05	23.4	50.5	39.0	71.9	59.2
40D10			44.3	81.7	42.5



P = 54.0 t

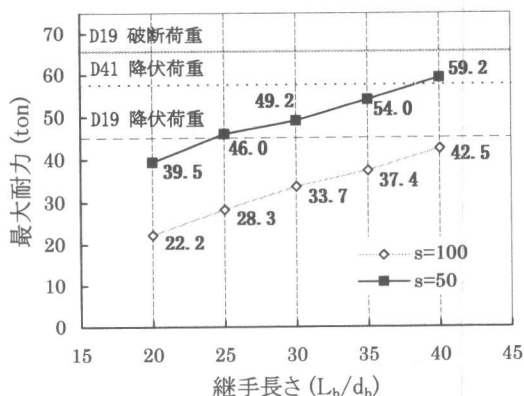
〔最大耐力〕

〔加力終了時〕

図－7 試験体のひび割れ状況(35D05)

3.2 継手長さ-最大耐力関係

各試験体の最大耐力と継手長さの関係を図8に示す。拘束筋の間隔 S が10cmと拘束量が少ない場合には、最大耐力はほぼ継手長さ L_d に比例して増加する。一方、拘束筋の間隔 S が5cmと拘束量を2倍にした場合、 $L_d=20d_b$ (d_b は主筋D19の直径)では最大耐力が $S=10$ cmの2倍程度まで上昇したが、継手長さ L_d が長くなる程、 $S=10$ cmに対する耐力の増加率は低下し、 $L_d=40d_b$ では、耐力は約1.4倍であった。すべての試験体で添え筋が拔出し破壊しており、主筋の破断荷重まで耐力を維持することはできなかったことから、本実験の重ね継手は継手として必要な性能を十分満たしているとはいえない。今後、添え筋を細径とする、あるいは拘束筋量をさらに増やすなどの対応が必要であると考えられる。しかしながら、拘束筋間隔 $S=5$ cmで、継手長さ L_d が30 d_b 以上の場合、最大耐力は主筋の降伏荷重を上回っており、主筋の降伏が生じない部分に限定して用いることとすれば、柱の集合主筋の継手として使用できる可能性はある。



図－8 最大耐力-継手長さ関係

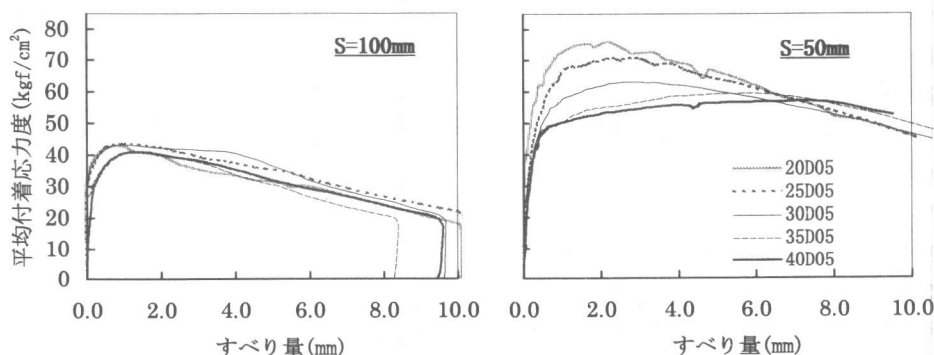
3.3 平均付着応力度-拔出し量関係

添え筋の平均付着応力度と自由端すべりの関係を図9に示す。ここで、平均付着応力度 τ_f は式(1)により求めた。

$$\tau_f = \frac{\sigma_s \times A_s}{L_d \times \phi} \quad (1)$$

ただし、 τ_f : 平均付着応力度、 σ_s : 鉄筋の引張応力度、 A_s : 鉄筋の断面積、 L_d : 継手長さ、 ϕ : 鉄筋の周長。

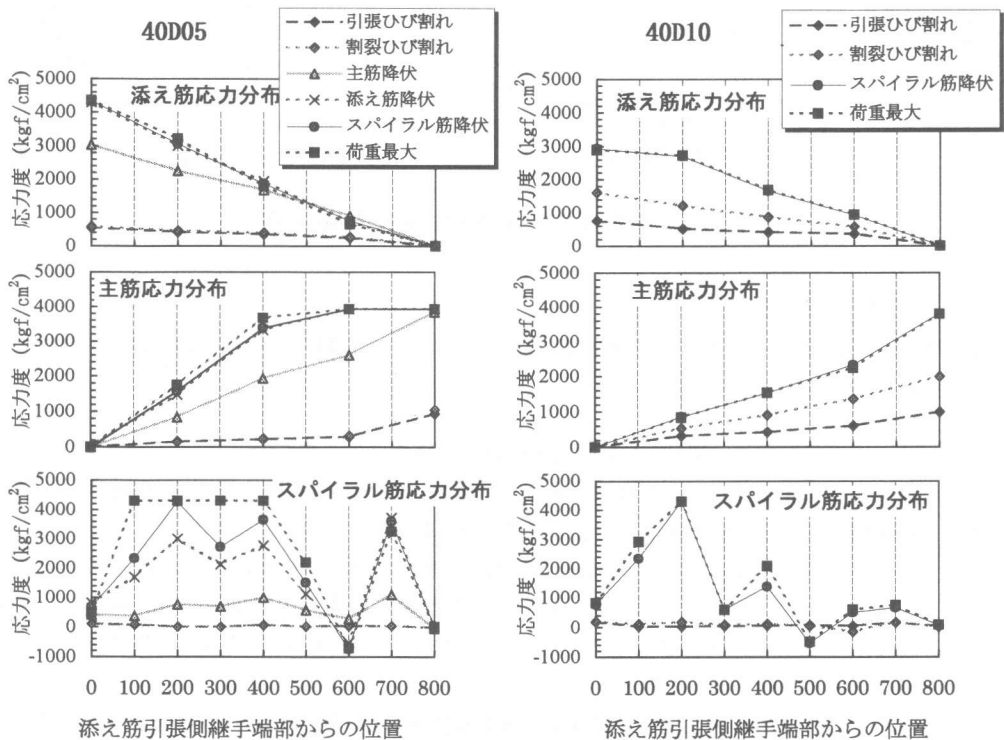
拘束筋間隔 $S=10$ cmの場合は、継手長さによらず添え筋の最大付着応力度は約40kgf/cm²とほぼ同程度であるのに対し、拘束筋間隔 $S=5$ cmの場合、継手長さ L_d が長くなるに伴い、最大付着応力度が低下した。



図－9 平均付着応力-自由端すべり関係(添え筋)

3.4 主筋、添え筋、拘束筋の応力度分布

試験体40D10および40D05の重ね継手部の主筋、添え筋および拘束筋の応力度分布を図10に示す。試験体40D10では、添え筋の応力勾配が大きい部分（付着応力を伝達する部分）は、荷重が増加するに従って添え筋引張側端部から内側へと移行し、最大荷重時には引張側端部では付着応力をほとんど負担していない。一方、試験体40D05では、主筋降伏時まではほぼ一定の応力勾配であり、主筋降伏後は主筋の降伏領域が重ね継手内部に進展し、添え筋の自由端側では付着応力の伝達が減少し、試験体40D10とは逆に添え筋引張側で付着応力を負担し最大耐力に達している。主筋が降伏した拘束筋間隔 $S=5\text{cm}$ の試験体で、最大耐力が重ね継手長さに比例的には増加しなかったのは、主筋の降伏域の進展により有効な継手長さが減少したことも影響していると考えられる。拘束筋の応力度は、40D10、40D05とも最大荷重時には、抜出し破壊した添え筋の引張側部分では降伏強度に達しているが、自由端側は比較的低い。



図－１０ 各鉄筋の応力分布

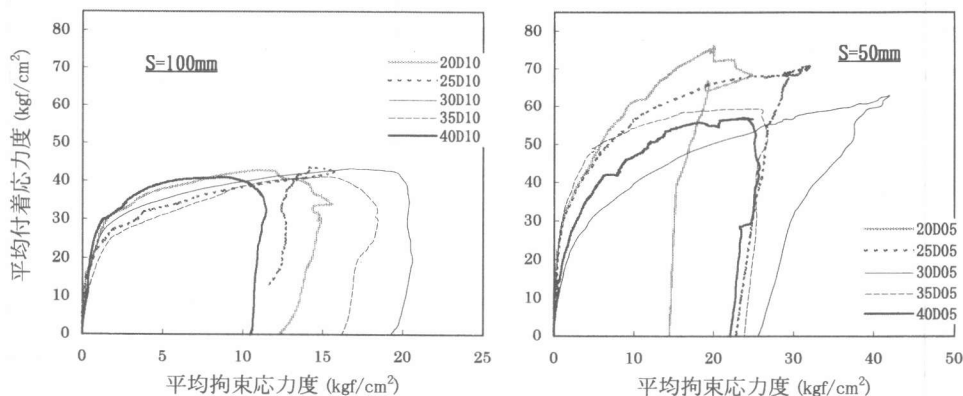
3.5 拘束筋による継手鉄筋の拘束効果

スパイラル筋の拘束効果を式(2)による拘束応力度 σ_c により評価する。拘束応力度 σ_c と添え筋の平均付着応力度との比較を図11に示す。

$$\sigma_c = \frac{\sigma_w \times 2A_w}{D_c \times S} \quad (2)$$

ただし、 σ_w ：拘束筋の平均応力度実験値、 A_w ：拘束筋の断面積、 D_c ：コア部コンクリートの直径、 S ：拘束筋間隔。

総べての拘束筋が降伏するときの拘束応力度 σ_{cy} は $S=5\text{cm}$ および 10cm の試験体でそれぞれ 55.0kgf/cm^2 および 27.5kgf/cm^2 であり、実験結果で最大付着応力度時の拘束応力度 σ_c はばらつきはあるが、概ね σ_{cy} の 0.5 倍程度であった。



図－１１ 平均付着応力-拘束応力関係(添え筋)

４ まとめ

集合鉄筋（4-D19）について、1本の添え筋（D41）を用いた重ね継手の引張実験を行い次のような結果が得られた。

- ① すべての試験体で、周長が短い添え筋の拔出し破壊が生じた。
- ② 継手を拘束するスパイラル筋（拘束筋）の間隔が 10cm で拘束量が少ない試験体は、主筋の降伏以前に拔出し破壊が生じ、最大耐力は重ね継手長さにほぼ比例した。
- ③ 拘束筋の間隔を 5cm と密に配した試験体は、重ね継手長さ $L_b=50\text{cm}$ 以上あれば、主筋が降伏するまで拔出し破壊は生じなかった。主筋降伏時の添え筋及び主筋の自由端すべり量は 1mm 以下程度であり、柱部材で主筋の降伏が生じない部分に限定すれば、集合主筋の重ね継手として使用できる可能性がある。
- ④ 主筋が降伏する場合、主筋の降伏領域が重ね継手内部に進展し、その結果、付着応力を伝達する有効な継手長さが減少し、重ね継手長さが増加しても比例的に最大耐力は増加しなかった。
- ⑤ 主筋の破断が生じるまで拔出し破壊が生じないようにするためには、拘束筋量を増加する、あるいは、添え筋を細径のものをを用いるなどの対応を検討する必要があると考えられる。