

正会員 松崎 育弘（東京理科大学工学部）
正会員 吉野 次彦（フジタ工業技術研究所）
正会員 山本 俊彦（東急建設技術研究所）
正会員 ○寺尾 文孝（東京理科大学大学院）

鉄筋コンクリート構造物の高層化・大型化・プレキャスト化に伴う、太径異形鉄筋の需要の高まり、大きな変形能力が期待される部材端で鉄筋を接合することの要求等により、現在、各種の機械式鉄筋継手工法が開発・実用化されている。

ところで、継手の性能を判定するに当っては、昭和57年に、日本建築センターにおいて作成された「鉄筋継手性能判定基準」があり、各種継手を、その強度・剛性・靱性・すべり量により、SA・A・B・C級に分類し、部材における使用箇所の可否を定めている。しかし、継手の性能は、主に鉄筋継手単体試験結果を参考に定められたもので、継手が部材内に配された場合の部材の挙動に及ぼす影響は、まだ、定量的には明らかにされていない。

そこで、本研究では、ねじ式継手を部材端に有するはり部材実験を行うことにより、継手単体に見られる性能、特に、鉄筋の降伏後、継手部に生ずるすべりが部材の挙動に及ぼす影響を定量的に把握することを目的とした。

2. 1 継手

2. 1 継手 継手及び鉄筋詳細図を図-1に示す。使用した継手は、ねじ式継手で、カブラナット及びロックナット間の締付量により、継手性能を変化させることのできる継手である。

試験体一覧を表-3に、試験体の配筋を

図-2に示す。各試験体は、中央に柱型スタブを持つはり型の試験体で、継手のあるものは、曲げ降伏ヒンジを形成するはり部材端に、ねじ式継手を設けた。実験は、3シリーズに分かれており、

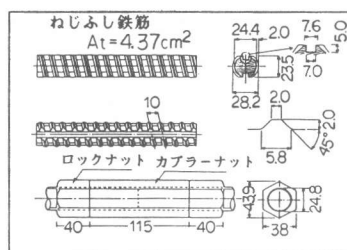


図-1 継手及び鉄筋詳細図

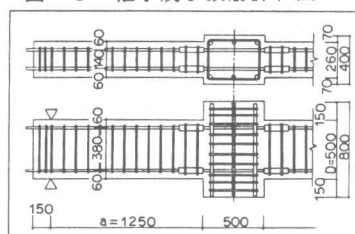


图-2 配筋图 (T1)

表-1 コンクリート材料試験結果

CONCRETE	A	B	C
c_{0c} (kg/cm^2)	204	208	225
c_{0t} (kg/cm^2)	18.2	18.1	19.4
E ($\times 10^4 \text{ kg}/\text{cm}^2$)	2.12	2.15	1.96

表-2 鉄筋材料試験結果

STEEL	D25		D10		D6	
	a	b	c	d	e	f
$s_0 y$ (kg/cm ²)	3760	3720	3870	3940	3970	3070
$s_0 x$ (kg/cm ²)	5550	5560	5620	5730	5660	4920
$E \times 10^6$ (kg/cm ²)	1.84	1.86	1.87	1.85	1.88	1.71

表-3 試験体一覧

シリーズ	試験体名	はり断面形状 (柱型形状) (cm)	セ ス ン パ 断 比	鉄 筋						継 手			※1 コン クリ ート 材 質	
				主 筋			補強筋			継 手 級	締 付 kg/cm ²	集 中 度		
				種類	鉄筋比 Pt(%)	※1 材質	種類	ピッチ (mm)	鉄筋比 Pw(%)					※1 材質
L	LN		2.5	2-D25	0.76	a	D10	250	0.22	c	—	—	—	A
	L1										SA	180	全数	
	L2										A	120		
	L3										C	60		
F	FN		3.5	4-D25	1.10	b	D10	75	0.49	e	—	—	—	C
	FH										A	120	半数	
	FA										—	—	全数	
T	TN		2.5	2-D25	0.76	b	D6	100	0.25	f	—	—	—	B
	T1		A								120	全数		
	T2													
	T3													
			3.5				D10	250	0.22	d				

※1 鉄筋及びコンクリートの材質は、表1・表2を参照のこと。

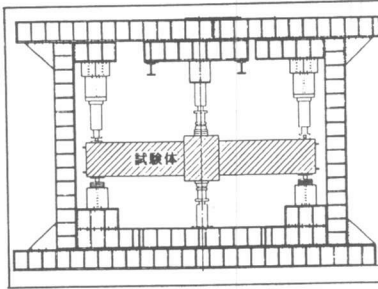


図-3 加力フレーム図

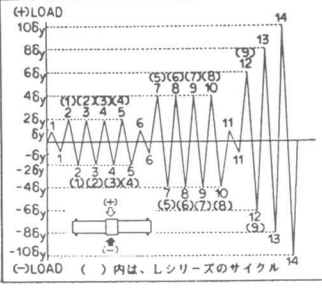


図-4 加力サイクル図

Lシリーズでは、継手の有無・締付量を要因とした。F・Tシリーズでは、全て、L2試験体に用いたのと同じ締付量を与えた継手を使用し、Fシリーズでは、継手の集中度を、またTシリーズでは、せん断スパン比(a/D)・せん断補強筋間隔を要因とした。

2.3 加力方法 加力フレームを図-3に、加力サイクルを図-4に示す。加力は単純ばり形式で、正負交番繰返し载荷した。

2.4 測定項目 支点間相対変位、及び、継手部の挙動を把握するために、継手部の変形量・抜け出し量を測定した。また、溝加工を施した主筋にゲージを貼付し、ひずみ度を測定した。

3. 継手単体実験・部分実験

3.1 継手単体実験及び結果 本実験に使用する継手が、「鉄筋継手性能判定基準」の定めるいずれの級に相当するかを確認する目的で、一方向引張試験・塑性域正負繰返し試験を行った。但し、塑性域正負繰返し試験では、継手のすべり性状を把握するために、0.95 σ_{yo} 及び8 ϵ_y で4回の繰返しを加えて行った。

繰返し試験における締付量ごとの $\sigma-\epsilon$ 曲線を図-5に示す。性能判定の結果、180kgf/cm²で締付けたものはSA級、120kgf/cm²のものはA級、60kgf/cm²のものはC級と判定された。

3.2 部分実験 部材試験体の、はり付根位置におけるはり部からの、継手部のガタつきによる抜け出し量を把握する為に、図-6に示すようなコンクリートブロックに継手単体を埋め込んだ試験体を用い、部材試験体のはり付根位置に生じた主筋のひずみ度と同量のひずみ度を与えるように加力し、抜け出し量を測定した。

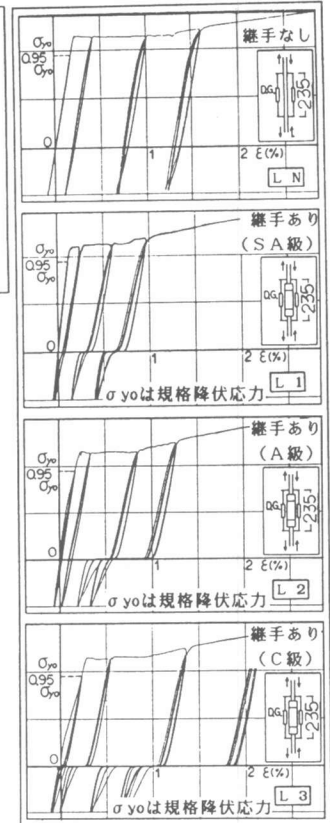


図-5 単体繰返し試験 $\sigma-\epsilon$ 曲線

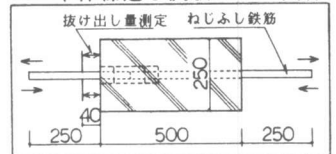


図-6 部分実験試験体形状図

表-4 実験結果一覧

シリーズ	試験体名	初期剛性 (t/mm)	曲げひび割れ発生荷重 (t)		曲げせん断ひび割れ発生荷重 (t)		主筋降伏荷重 (t)		曲げ終局荷重		荷重	
			+	-	+	-	+	-	実験値 (t)	×1計算値 (t)	実験値	計算値
			+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
L	LN	14.8	3.8	-5.0	11.0	-14.2	21.0	-21.3	22.7	-24.6	1.05	1.13
	L1	17.4	6.1	-4.0	15.0	-16.0	22.0	-20.5	23.9	-25.0	1.10	1.15
	L2	15.4	4.0	-6.0	17.0	-14.0	21.0	-20.0	23.8	-24.9	1.10	1.15
	L3	15.4	6.0	-4.0	16.2	-13.0	22.1	-20.0	24.2	-24.7	1.11	1.14
F	FN	8.1	9.0	-8.0	33.0	-32.0	33.3	-33.6	40.1	-41.6	1.24	1.29
	FH	8.0	9.0	-8.0	28.0	-24.0	32.3	-32.7	39.7	-41.9	1.23	1.30
	FA	8.8	8.0	-7.0	22.0	-28.0	32.2	-32.8	40.3	-41.2	1.25	1.28
T	TN	15.9	5.5	-5.5	13.0	-16.0	21.5	-20.0	25.8	-25.1	1.22	1.18
	T1	16.7	6.0	-6.5	13.0	-14.0	20.0	-21.0	24.2	-26.3	1.14	1.24
	T2	5.7	3.5	-5.0	8.0	-9.0	14.5	-15.0	19.3	-19.6	1.27	1.29
	T3	5.9	4.0	-6.0	16.0	-13.0	14.0	-14.5	19.6	-18.4	1.29	1.21

*1 計算値は、コンクリート繰ひずみ度0.35%時を仮定して、e関数法により求めた。

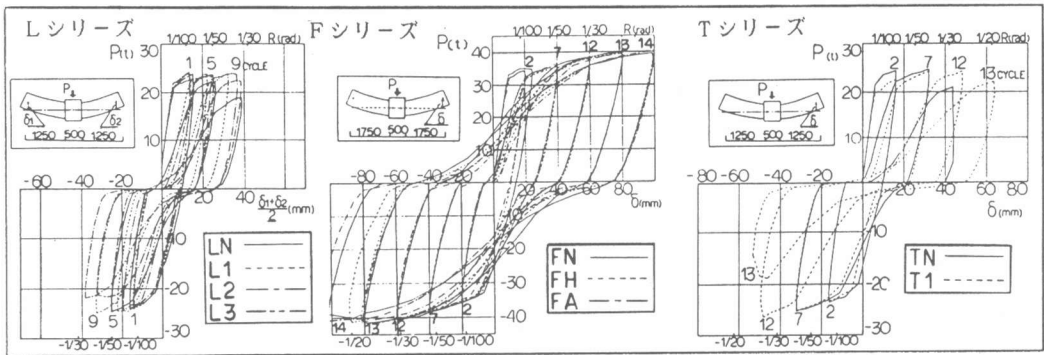


図-7 荷重 (P) - 変形 (δ) 曲線

4. 実験結果・検討

4. 1 耐力及び変形性状 実験結果一覧を表-4に、荷重 (P) - 変形 (δ) 曲線を図-7に示す。初期剛性・各ひび割れ発生荷重・主筋降伏荷重とも各要因ごとに差は見られなかった。また各試験体とも靱性に富んだ性状を示し、最大荷重にも継手による差は見られず、計算値と比較し10~30%上回っていたが、 $a/D=2.5$ のLN・TNは、継手のあるものと比べ、+6 δ_y 時に大きな耐力低下が見られた。更に、継手のある試験体には荷重の反転する際に、継手単体の繰り返し試験に見られたすべり性状が生じていた。この性状は、締付量の小さいものほど、また半数継手のものより全数継手のものに、より大きく現われていた。

4. 2 破壊性状 最終破壊状況を図-8に示す。Lシリーズは、各試験体ともはり付根に初ひび割れが発生し、その後、曲げひび割れ・付着ひび割れ・曲げせん断ひび割れの順に発生し、曲げせん断ひび割れが上下端に突き抜けて曲げ降伏後のせん断破壊をした。Fシリーズでは、継手の無いFNは、はり付根より10cm、継手のあるものは20cmの位置に各々初ひび割れが発生し、その後、曲げせん断ひび割れへと進展したが、3体とも10 δ_y においても最大耐力を保持していた。Tシリーズでは、 $a/D=2.5$ のTN・T1はLシリーズと同様な経過をたどり、曲げ降伏後のせん断破壊をしたが、 $a/D=3.5$ のT2・T3はLシリーズと同様の経過をたどったものの、曲げせん断ひび割れは上下端に突き抜けずに、補強筋間隔の狭いT2は部材全体に細かいひび割れが多数発生し、補強筋間隔の広いT3は継手位置周辺のかぶりコンクリートが大きく剝落し、ともに曲げ破壊をした。全シリーズにおいて、継手のあるものは、継手のある位置に曲げひび割れが発生しにくい性状を示したが、破壊性状全般に、継手の有無と思われる顕著な差は見られなかった。

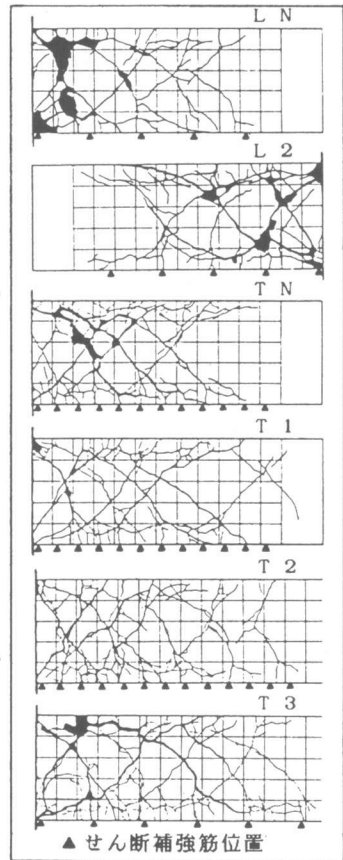


図-8 最終破壊状況図

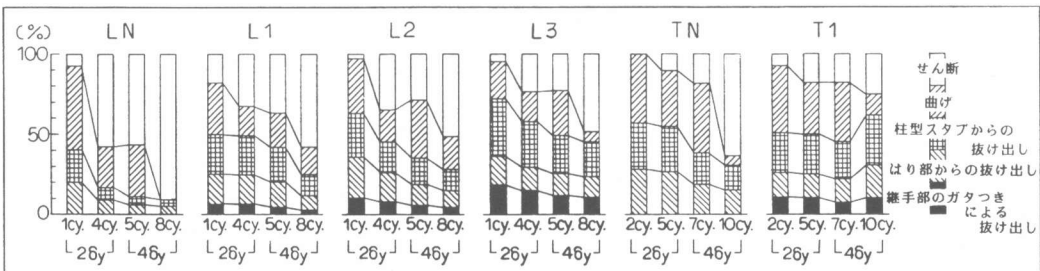


図-9 変形分担率

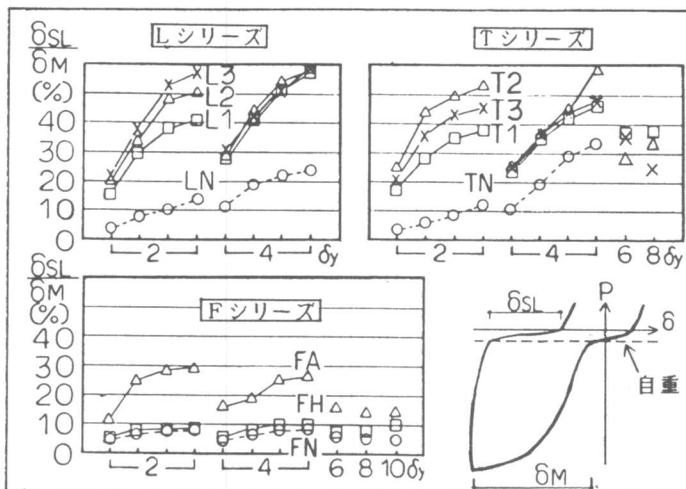


図-10 全変形 (δM) - 全すべり量 (δSL) 関係

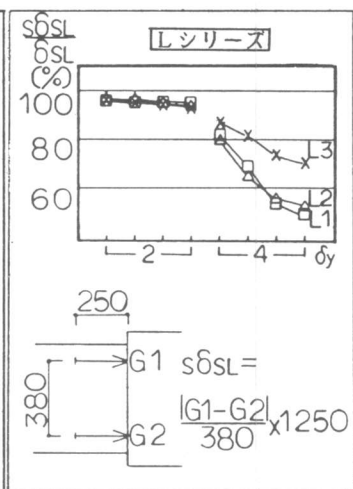


図-11 継手部すべり量 ($s\delta SL$) - 全すべり量 (δSL) 関係

4.3 変形分担 全変形における変形の分担率を図-9に示す。全変形をはり付根上下主筋位置の水平方向変位計より求めた回転角から算出した口開き変形・コンタクトゲージもしくは水平方向の変位計より求めた曲率から算出した曲げ変形・全体変形より曲げ及び口開き変形を差し引いたせん断変形の3つに大きく分離し、更に、口開き変形を部分実験を用いて柱型スタブからの抜け出し・はり部からの抜け出し・部手部のガタつきによる抜け出しの3つに分離した。各試験体とも変形が進むにつれてせん断変形の分担率が卓越してくる傾向が見られ、特に $a/D=2.5$ のようなせん断型の破壊が進展するもので、継手の無い $LN \cdot TN$ は $4\delta y$ の4サイクル目においては70~80%もせん断変形が負担し、 $P-\delta$ 曲線における大変形時の耐力低下の原因となっているのがわかる。一方、継手を有するものは、全変形の50%以上を口開きによる変形が負担しており、はり部での変形を軽減しているのがわかる。締付量の違いを比べると、締付量の小さいものほどガタつきによる抜け出しの分担率が大きく、 $L3$ では常に10%以上も負担している。また補強筋間隔の違いを比べてみると、継手の有無にかかわらず、間隔の広い方がせん断変形が急増する傾向が見られた。

4.4 すべり性状 全変形 (δM) - 全すべり量 (δSL) 関係を図-10に示す。各シリーズとも繰返しを行うに伴い、すべり量は増加する傾向にあり、継手のあるものは無いものに比べ2倍以上のすべり量となった。これに対し、半数継手の FH は継手の無い FN と同程度のすべり量であり、継手の集中度に関しては、半数継手にすることによりすべり量を大幅に軽減できる事がわかった。補強筋間隔の違いを比較してみると、同一変形での繰返しにおいて、 $a/D=2.5$ のもので、間隔の広い $L2$ は、間隔の狭い $T1$ と比べやや大きくすべる性状が見られたが、 $a/D=3.5$ の $T2 \cdot T3$ では、ほとんど差は見られなかった。また a/D の違いを比較してみると、 a/D の大きい $T2 \cdot T3$ は、小さい $L2 \cdot T1$ よりもやや大きくすべる性状を示した。締付量の違いを比較してみると、 $2\delta y$ 時には締付量の違いによりやや差が見られたものの $4\delta y$ 時には差が見られなくなった。そこで図-11に示す様に、はり付根上下主筋位置の変位計より求めた継手部におけるすべり量 ($s\delta SL$) と全すべり量 (δSL) とを比較してみると大変形時になるに従って締付量による差が生じ、単体と同様に締付量の小さいものほど継手部においてすべる割合が大きくなる傾向を示した。

5. まとめ

耐力・変形性状全般においては、継手による影響は見られなかったが、荷重-変形曲線の荷重零点付近には、単体の繰返し実験に見られたすべり性状が顕著に現われた。そのすべり量は、締付量や部材形状の違いによる影響はあまり見られないが、継手を半数継手にすると、すべり量を大きく軽減できることがわかった。また、継手の有るものは、口開きによる変形が大きく、はり部での変形が小さい為、特に a/D の小さいものにおいては、継手の無いものに比べ、やや靱性に富んだ性状を示した。

【謝辞】 本研究は、(財)日本建築センター内に設けた「鉄筋継手研究委員会(中野清司委員長)」の研究の一環として行われたものである。委員及び協賛者各位に対し、感謝の意を表します。

【参考文献】 1. 松崎育弘・山本泰宏「RCはりの復元力特性に及ぼす機械式継手の影響に関する実験的研究」

日本建築学会大会梗概集 2883 昭和60年10月

2. 日本建築センター「鉄筋継手性能判定基準 1982」ビルディングレター 1983年3月