

正会員 矢代秀雄 (日本大学)
正会員 ○桜田智之 (日本大学)

1. 目的

建築構造物のように比較的小さく限られた部材断面における付着の性状は時としてきわめてぜい性的な破壊をもたらすことが多く知られている。本研究は止め筋 (Cut-off-bar) をはりスパン内の引張側で定着させた場合、止め筋に対するあら筋 (スターラップ) による補強が部材のじん性、ひび割れのパターンなどに与える影響を明らかにし、あわせて止め筋のはね出しによる割り裂きひび割れの進展を防止し、定着を維持させるための効果的なあら筋配筋方法について検討したものである。

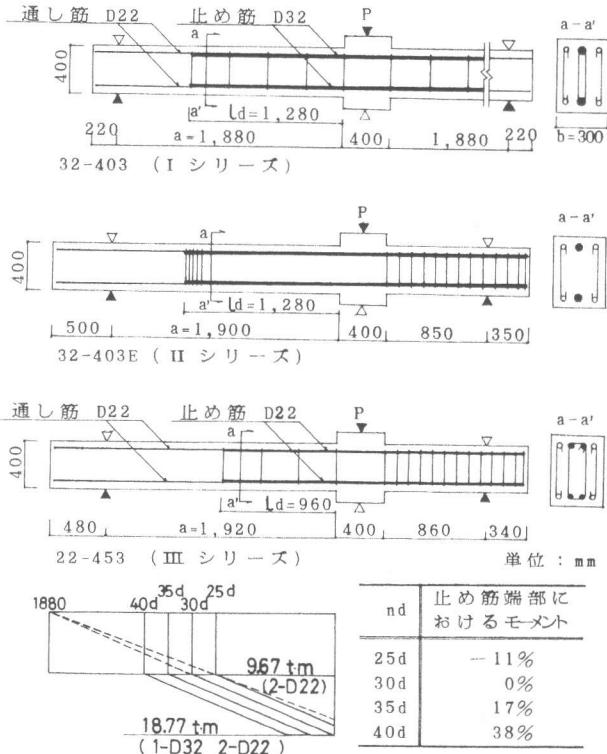
また止め筋の引張側定着は、引張側での重ね継手と同様の考え方であり、太径を重ね継手した場合、十分な定着性能を得るために重ね継手部分を直接あら筋補強すると有効であることが確かめられている。¹⁾

2. 実験計画および試験体形状

付着破壊機構に関連する要因となるべく少なくするため、せん断スパン比、かぶり厚さ、コンクリート強度などをそろえ、止め筋にかけるあら筋の量とそのかけ方が本実験の基本的要因となるよう計画した。

試験体形状、寸法および延長長さとモーメントの関係を図・1に示す。

実験は表・1に示すように3つのシリーズに分けられる。表・2は延長長さとあら筋補強量(方法)との関係を示したものである。Iシリーズでは止め筋の延長長さと補強量の関係を見たもので、はり端部と支点間のモーメントを三角形分布と仮定し、止め筋径(d)に対し $30d$ を基本延長長さとし、この時止め筋端部とはり端部においてモーメントが釣合う(同時に降伏する)ようせん断スパンを決定した。よって延長長さが $25d$ のものは止め筋端部においてモーメントが不足する場合(-11%)であり、 $35d$ および $40d$ のものは余裕のある場合(+17%および+38%)である。IIシリーズは止め筋に対しあら筋をかける位置および方法を変化させたものでそれぞれIシリーズに対応した試験体をもつ、IIIシリーズは止め筋径



図・1 試験体形状、寸法およびモーメントの関係

表・1 実験計画および使用材料

シリ ー ズ	試験体名	エクリト テストピース 平均強度 (kg/cm ²)	使用 鉄 筋			せん 断 ス パン 比 a/d
			使 用 箇 所	径 (mm)	σ_y (kg/cm ²)	
I	32-251.301.303	338	止め筋	D32	3750	5.5
	30E.30F.353		通し筋	D22	4080	
	35E.403.40E 40F		あら筋	D10	3760	
II	32-301E.30FS 403E.40FS	319	止め筋	D32	3740	5.6
			通し筋	D22	3730	
			あら筋	D10	3960	
III	22-351.453.45E 45F.60F	348	止め筋	D22	4080	5.6
			通し筋	D22	4080	
			あら筋	D10	3960	

d: 有効せい

表・2 延長長さと補強量の関係

止め筋	延長長さ		あら筋補強量			
	nd	(ld cm)	I (1E)	3 (3E)	E	F (FS)
1-D32	25	25d	80	○		
	30	30d	96	○ (●)	○	○ (●)
	35	35d	112	○	○	
	40	40d	128	○ (●)	○	○ (●)
2-D22	35	36.4d	80	○		
	45	43.6d	96	○	○	○
	60	58.2d	128			○

(周長)の変化による性状を調べたものでD 3 2の代りに2-D 2 2を用い、断面積はほぼ同一で、周長を40%増加させた場合で、延長長さ35dの試験体はIシリーズの25dに、45dは30dに、60dは40dの試験体に大むね対応している。

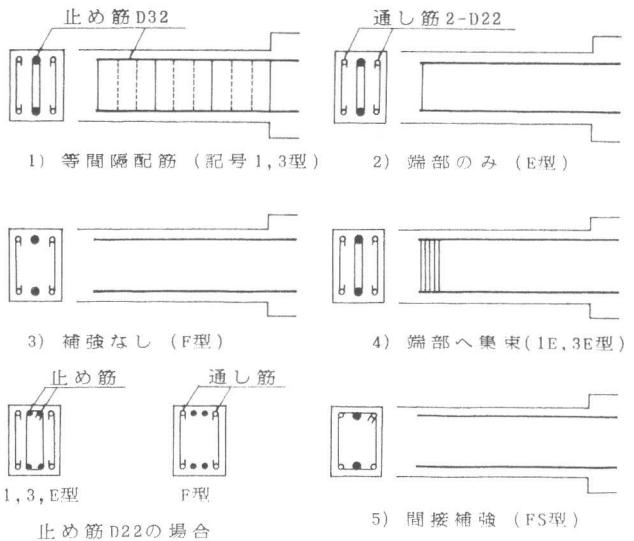
各試験体ともはり幅方向の中央に止め筋を配置し、両側に2-D 2 2を通し筋として用いた。I、IIシリーズでは止め筋にD 3 2を使用し、IIIシリーズでは2-D 2 2を使用している。各シリーズ共Cut-off率は約50%、せん断スパン比約5.6、はり端部における鉄筋比はI、IIシリーズで $P_t=1.52\%$ 、IIIシリーズで $P_t=1.54\%$ である。また測定スパンのせん断補強は2-D 1 0、@15cm、 $P_w=0.32\%$ を通し筋2-D 2 2にかけ、測定外スパンは4-D 1 0、@10cm、 $P_w=0.96\%$ とし十分補強した。

止め筋に対するあら筋のかけ方は2-D 1 0を止め筋に直接かけることにより(図・2)、割り裂き破壊に対する効果が明瞭となるようにし、通し筋のあら筋と分離することによりその影響を受けないように考慮した。またIIシリーズにおけるF S型は通常の配筋方法によるもので、止め筋に間接的にあら筋がかかっている場合でありその補強量はIシリーズのF型に対応している。1Eおよび3E型は極端な例ではあるがあら筋を止め筋端部に寄せて配筋した場合である。図・3に断面の詳細を示す。

試験に使用した鉄筋はD 3 2、D 2 2、D 1 0とともにSD 3 5の横ふし型であり、その降伏点を表・1に示す。コンクリートは普通ボルトランドセメントを用いたレディミクストコンクリートを使用し、細骨材2.5mm以下、粗骨材10mm以下、スランプ18cmである。実験時のコンクリート強度は表・1に示す。

3. 加力および測定方法

加力は変位制御方式で1点集中正負繰り返しとし、順序は1/200、1/100、1/50radまで正負各2回、1/30、1/20radは正加力のみとした。正加力には50t構造物試験機を使用し、負加力には50tオイルジャッキを用い、荷重の検出は50tロードセルによった。変位の測定は柱部分と測定位置間の相対変位を電気式変位計により行ない、また、止め筋、通し筋の軸方向分布および補強筋ひずみ分布を調べるために鉄筋表面にひずみゲージを30cm間隔に貼付し測定した。

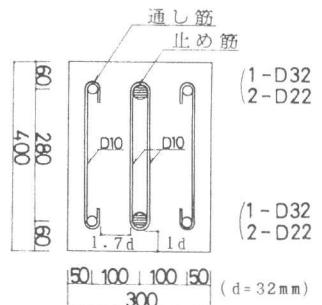


図・2 止め筋に対するあら筋のかけ方

試験体記号の説明

32-403
① ②③

- ① 止め筋径 D32またはD22
- ② 止め筋長さ 25d~60d
- ③ 補強方法
 - 3(1) : あら筋間隔 @30cm(@10cm)
 - E : 止め筋端部のみ補強
 - F : 止め筋に補強なし
 - 3E : 3型(1型)に相当する量を端部に集束
 - FS : 間接補強



図・3 断面詳細
(I, II シリーズ)

4. 実験結果

実験結果の一覧を表・3に示す。

4・1 あら筋補強量と変位の関係

止め筋端部とはり端部が同時に降伏するよう計画した試験体(I、IIシリーズの30dタイプ)では補強が十分であるほど降伏耐力は上昇し、じん性も大きくなるが40dタイプに比べ降伏耐力は低くモーメントに対する余長の差がうかがえる。じん性の面では30dが良好であるのにに対し30FSの耐力低下が著しい。間接補強とした30FSは30Fに比べその性状は改善されているが十分ではない。止め筋端部においてモーメントに余裕がある場合(40dタイプ)は止め筋端部のみの補強(40E)でもかなりのじん性を示すのに対し、無補強(40F)および間接補強(40FS)では割り裂きひび割れの発展と同時に急激な耐力低下を示し最終的には通し筋(2-D 2 2)のもつ耐力に近づいている。Iシリーズの35dタイプは両試験体とも1/50rad時に急激な低下を示しており、モーメントに対する余裕が5d程度では余長による効果

は期待できないようである。Ⅲシリーズにおいて止め筋の付着面積を増加(2-D22)させたことによる耐力への影響はわずかであり(図・4)、通常径を使用した場合でも最大荷重以後のじん性がそこなわれることがある。また止め筋端部においてモーメントが不足する場合(32-251, 22-351)でも補強が十分であれば止め筋延長長さに応じた耐力を確保できる。図・5はわずかな余長の差がじん性および補強量に影響を与えていることを示している。

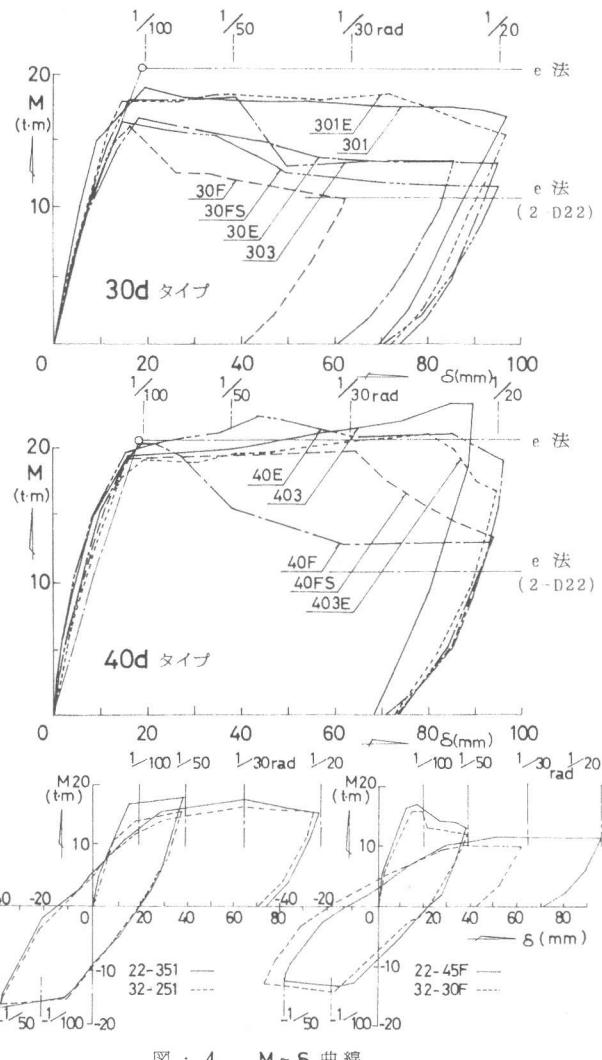
図・6は間接補強の影響をみたもので40FSにその効果はみられるが、直接補強型に比べじん性の確保は難しい。図・7は1/20rad時における有効定着長さ(L_o)と補強量の関係をみたものであり、止め筋端部におけるモーメントの余裕の割合による必要補強量との関係がわかるが、止め筋に補強がない場合は余裕の大小にかかわらず定着は期待できない。

4・2 鉄筋ひずみ分布

Iシリーズ30dタイプで補強量の大きい301は止め筋端部とはり端部が同時に降伏しているが、不足している30E, 30Fでは止め筋端部の通し筋に応力集中を生じ、止め筋の定着劣化がうかがえる。止め筋端部に余裕のある40dタイプでも補強のない40Fは止め筋端部の通し筋が部材降伏と同時に降伏ひずみに達しており、モーメント上かなりの余裕があっても無補強ではね出しによる定着長さの減少を防止できない。止め筋にかかるあら筋のひずみはどの試験体でも止め筋先端に向うほど増加するが延長長さが短かいほど止め筋端部での増加が急である。(図・8)

4・3 破壊形状

Iシリーズ30dタイプでは補強量の少ないものほど早期にはり底面の止め筋に沿う割り裂きひび割れが発生している。割り裂きひび割れの発生は止め筋端部より始まり、補強のない30Fでは止め筋部分のかぶりコンクリートが全面的に剥落しておりはね出し作用が顕著である。間接補強としたⅡシリーズの30FSは30Fに比べはね出し作用を多少おさえてはいるがはり端部におけるコンクリートは剥落している。(図・9)止め筋端部においてモーメントに余裕のある4



図・4 M~δ曲線

表・3 実験結果一覧表

シリ ーズ	試験 体名	止め筋 に対する 補強 量 Pr %	降伏 モーメ ント My t·m	M_u / My	最大付 着応力 T_{max} kg/cm ²	L_o / L_x	じん性 率 μ δ_u / δ_y		
							%	t·m	μ
I	32-251	0.53	14.5	1.08	34.9	0.86	5.88		
	32-301	0.50	18.7	0.91	33.2	0.84	5.08		
	32-303	0.20	18.3	0.68	32.5	0.55	2.88		
	32-30E	0.05	16.7	0.79	29.6	0.51	2.22		
	32-30F	0	15.9	0.67	28.2	0.11	1.74		
	32-353	0.21	19.2	0.79	29.5	0.72	3.25		
	32-35E	0.04	18.6	0.69	29.0	0.51	3.00		
	32-403	0.18	19.7	1.18	31.0	1.14	6.48		
II	32-40E	0.04	19.7	1.00	29.7	1.00	5.88		
	32-40F	0	19.7	0.66	27.4	0.49	2.00		
	32-301E	0.50	17.7	0.87	33.5	0.73	5.81		
	32-30FS	0	16.5	0.70	29.3	0.31	2.47		
III	32-403E	0.18	18.8	0.88	27.7	0.84	5.26		
	32-40FS	0	19.0	0.72	26.9	0.58	4.56		
	22-351	0.53	16.6	1.01	27.7	1.01	6.19		
	22-453	0.20	17.9	0.92	25.1	0.79	6.00		
	22-45E	0.05	19.8	0.67	25.1	0.54	1.85		
	22-45F	0	17.3	0.69	21.9	0.35	1.72		
	22-60F	0	19.2	0.58	18.2	0.25	1.26		

L_o (有効定着長さ): 1/20rad時における M_u により算定。
 L_x (モーメント上必要な延長長さ): 余裕のある場合は止め筋端部でモーメントが釣合う長さとし、不足の場合は計算上の長さとした。
 M_u : 1/20rad時におけるモーメント。

$$Pr: \text{止め筋のあら筋補強量} = \frac{\pi a r}{b \cdot L_d} (\%)$$

$$T_{max}: M_{max} \text{時の計算鉄筋応力} = \frac{\sigma t \cdot a t}{L_d \cdot \phi} (\text{kg/cm}^2)$$

0 d タイプでは補強量によるひび割れパターンが明確である。あら筋を 30 C とした 403 の止め筋端部には側面、底面とも目立ったひび割れは生ぜずはり端部における曲げ破壊であるのに對し、端部のみを補強した 40E では止め筋中間部におけるはね出しがみられ、補強のない 40F では止め筋全長にわたる割り裂きひび割れが顕著である。

I シリーズの 35d タイプはモーメント上止め筋長さに余裕のない 30d タイプと同型の破壊パターンを示しており、5d の余長は底面割り裂きひび割れの発生を多少おさえられる効果しかみせていない。III シリーズでは I シリーズの対応する試験体との差は明瞭ではないが、終局時におけるかぶりコンクリートの剝落が目立ち、主筋間隔の影響が感じられる。

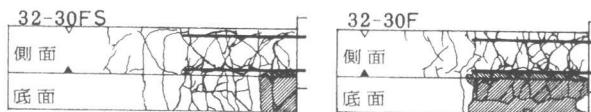
5. まとめ

止め筋に対するあら筋のかけ方および補強量は、はり降伏後の耐力に大きく影響し、塑性域におけるあら筋の効果として次のようなことがいえる。

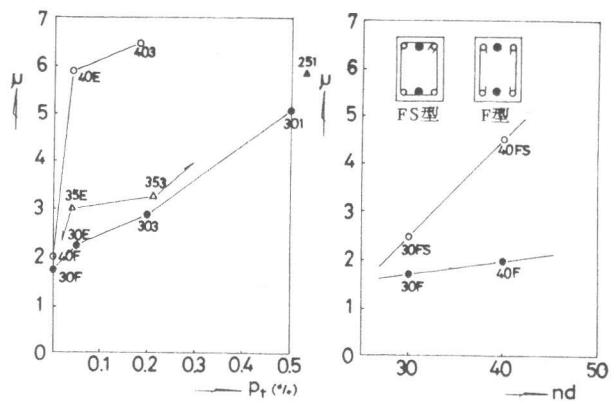
- 1) 間接補強型では割り裂きひび割れの進展を防止することは困難であり、最大耐力後のじん性を確保するには直接補強型とする必要がある。
- 2) 端部のみの補強では図・9に見られるよう、止め筋中間部でのはね出しを防止出来ず、等間隔に直接補強することが必要である。
- 3) 通常径を使用した場合でも補強が不十分では定着力の低下をきたすことがある。
- 4) 直接補強による塑性域でのじん性向上の要因は割り裂きひび割れの発生によりかぶりコンクリート部（止め筋の下半周部）の付着抵抗が減少した後も、止め筋に対する直接拘束効果により、止め筋上半周部での付着抵抗が維持できる点にあると思われる。

参考文献

- 1) 矢代・桜田、他「重ね縫手部分のあら筋の効果に関する実験的研究」(第4報)
建築学会大会概要集、昭和49年 北陸 P 2510
- 2) 矢代・桜田、他「スパン内における鉄筋端部の補強に関する実験的研究」
建築学会大会概要集、昭和50年 関東 P 2341
- 3) 矢代・桜田、他「スパン内における鉄筋端部の補強に関する実験的研究」(その2)
建築学会大会概要集、昭和51年 東海 P 2611
- 4) 森田・角、「太径異形鉄筋 D 5 の付着剥離強度」
コンクリート工学 Vol.16, No.10, 1978, P107~118

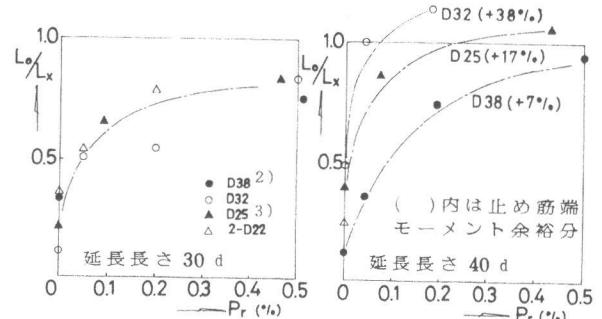


* 教授・工博・生産工学部 **同・講師・生産工学部

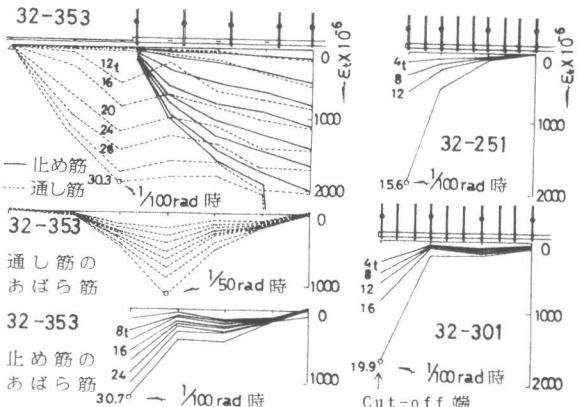


図・5 μ ~ Pr 関係
(I シリーズ)

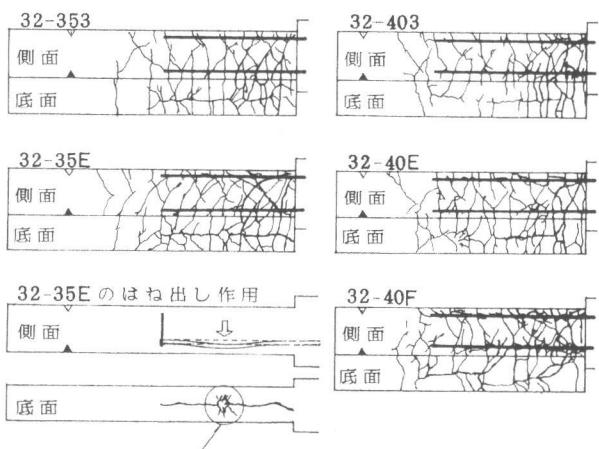
図・6 μ ~ nd 関係
(間接補強の効果)



図・7 L_o / L_x ~ Pr 関係



図・8 止め筋、通し筋、あら筋ひずみ分布



図・9 最終破壊形状