

高強度鉄筋コンクリート部材の重ね継手に関する実験研究

角 陸 純 一
(技術研究所)

§ 1. はじめに

近年、設計・施工能力の進歩および種々の社会的要求から、鉄筋コンクリート構造物が大型化・高層化しつつあり、配筋施工の品質向上と建物重量の軽減を目的に、使用される鉄筋およびコンクリートも高強度化する傾向にある。一方、施工の合理化等の要求から配筋施工において、先組みした鉄筋部材を現場で組み立てる鉄筋プレハブ工法が採用されつつある。鉄筋の継手としては、従来より重ね継手・ガス圧接継手・種々の機械継手等が使用されているが、中でも重ね継手は経済的・施工的に最も優れ、鉄筋プレハブ工法に適した継手工法といえる。

引張り力を受ける鉄筋コンクリートの重ね継手は、コンクリートと鉄筋との間の付着により、一方の鉄筋から他方の鉄筋へと引張り力を伝達するメカニズムであり、その破壊は継手筋に沿ってかぶりコンクリートが割裂する付着割裂破壊となる場合が多い。つまり、継手を有する部材の性状は継手部周囲のコンクリートの状態に支配されており、継手強度には重ね長さ、かぶり厚さ、鉄筋ピッチ、横拘束筋、コンクリート強度等多くの要因が影響していると既往の研究で報告されている。しかしながら、これらの要因の影響に関する定性的、定量的解明はいまだ不十分であるといえる。

本研究は、高強度の鉄筋およびコンクリートを使用した鉄筋コンクリート部材の重ね継手を対象とし、引張り力を受ける場合の重ね継手の継手性能に及ぼす種々の要因の影響を明確にすべく、実験を行ない検討したものである。

§ 2. 実験概要

継手性能への数多くの要因の影響を検討するには、できるだけ実際の応力状態を再現した数多くの実験が必要である。本研究では、曲げモーメントにより引張り力を

受ける場合の重ね継手の性能を検討するため、はり部材を対象とした純曲げ実験を行なうとともに、引張り力のみを受ける場合の重ね継手性能の検討を行なえる両引実験を行ない、併せて評価検討を行なった。

2.1 純曲げ実験

本実験は、はり部材を対象に引張り力を受ける鉄筋重ね継手の性能を評価すべく行なったものである。試験体は、図-1に示すように2組の引張り主筋の中央に重ね継手を有する矩形断面のはりとし、鉄筋強度(σ_y)・コンクリート強度(f_c)・重ね長さ(L_s)・あばら筋比(ρ_w)・はり幅(b)を検討パラメータとした。コンクリートは、継手筋が下端筋となるように平打ちした。

加力は、継手部が純曲げ応力場にあり、かつ継手筋が引張り応力を受けるように、図-2に示すように2点集中載荷により、鉄筋降伏までは荷重制御、降伏後は変形制御とし繰り返し加力を行なった。

2.2 両引実験

本実験は、引張り力のみを受ける鉄筋重ね継手の性能を評価すべく行なったものである。試験体は、図-3に

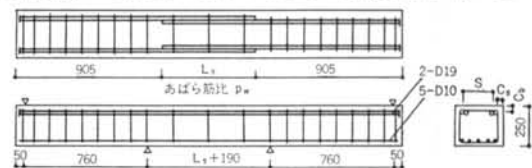


図-1 はり試験体

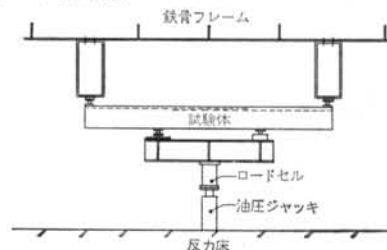


図-2 はり曲げ実験加力装置

示すように2組の主筋のみを配筋した矩形断面の壁板であり、コンクリートはかぶり厚側が下になるよう平打ちで打設した。検討したパラメータは、鉄筋強度・コンクリート強度・重ね長さ・かぶり厚さ (C_b)・鉄筋ピッチ (S)・継手のあき間隔 (S_d) である。

加力は、試験体より突き出た主筋とPC鋼棒を連結することにより、センターホールジャッキを用いて図-4に示すような漸増繰返し引張り加力を行なった。

§ 3. 実験結果

3.1 純曲げ実験

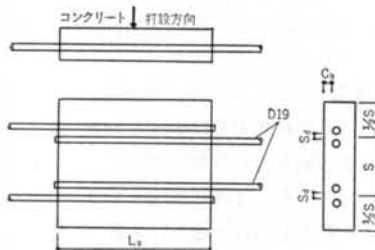


図-3 両引実験試験体

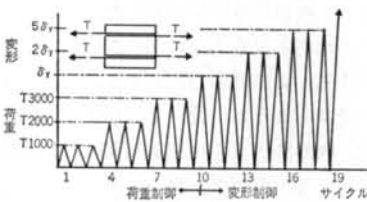


図-4 両引実験加力サイクル

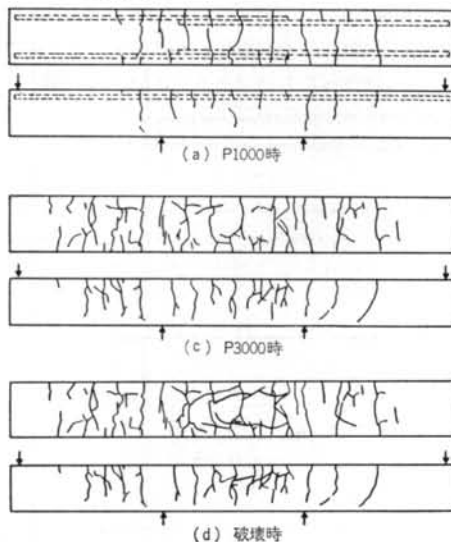


図-5 はり試験体 (PB-04) ひびわれパターン

表-1に実験結果一覧を、図-5にひびわれパターンの一例を示す。

全試験体とも、曲げひびわれが発生した後、剛性が低下し、さらに加力すると付着ひびわれが継手端より発生し、徐々に継手中央部へ進展する破壊経過であった。破壊は、継手無し試験体を除いて継手部のコンクリートが割裂するか、または鉄筋降伏後の大変形によりかぶりコンクリートが割裂する付着割裂破壊であった。破壊パターンは、はり上面のかぶりコンクリートが主筋に沿って

試験体 記号	パラメータ					実験結果*2 曲げモーメント(tm)			
	σ (kg/cm ²)	f_c (kg/cm ²)	L_s	p_w *1 (%)	b (cm)	M_c	M_f	M_y	M_u
PB-01	7224	628	20d	0.2	30	1.49	4.49	—	6.52
PB-02	7224	628	30d	0.2	30	1.33	3.01	7.63	7.83
PB-03	7224	628	40d	0.2	30	1.27	3.01	6.84	7.57
PB-04	7224	228	30d	0.2	30	0.76	4.17	—	4.74
PB-05	7224	228	40d	0.2	30	1.15	3.01	—	6.07
PB-06	7224	228	50d	0.2	30	1.14	4.51	7.93	7.93
PB-07	7224	628	無し	0.2	30	1.31	2.64	7.37	8.30
PB-08	7224	228	無し	0.2	30	0.95	2.28	7.58	8.24
PB-09	7398	621	30d	0	30	1.94	2.64	—	6.07
PB-10	7398	621	30d	(0.2)	30	1.48	3.01	7.99	7.99
PB-11	7398	621	30d	0.4	30	1.37	2.99	7.98	8.25
PB-12	7398	216	30d	0	30	0.94	2.65	—	3.94
PB-13	7398	216	30d	(0.2)	30	0.99	2.46	—	4.65
PB-14	7398	216	30d	0.4	30	0.95	3.24	—	5.23
PB-15	7398	772	30d	0.2	30	1.32	3.00	8.05	8.46
PB-16	6690	621	30d	0.2	30	1.89	2.66	7.14	7.14
PB-17	5413	621	30d	0.2	30	1.48	3.22	6.12	6.56
PB-18	4512	621	30d	0.2	30	1.48	2.62	4.93	5.56
PB-19	7398	287	30d	0.2	30	1.13	3.23	—	6.53
PB-20	5413	287	30d	0.2	30	1.33	3.80	—	6.00
PB-21	5413	287	20d	0.2	30	1.48	3.38	—	4.48
PB-22	5413	287	40d	0.2	30	0.95	3.81	6.16	6.35
PB-23	5413	216	30d	0.2	30	1.15	2.47	—	4.18
PB-24	4512	216	30d	0.2	30	1.07	3.23	—	4.48
PB-25	4512	216	20d	0.2	30	—	2.77	—	3.31
PB-26	4512	216	無し	0.2	30	0.95	4.47	4.86	5.08
PB-27	6690	621	30d	0.2	26	1.47	3.00	—	7.18
PB-28	5413	621	30d	0.2	22	0.97	3.43	5.90	6.19
PB-29	4512	621	30d	0.2	16	0.56	3.43	4.70	5.09
PB-30	5413	287	無し	0.2	30	—	—	6.08	6.18
PB-31	5413	621	20d	0.2	30	1.35	3.56	—	5.69
PB-32	5413	621	40d	0.2	30	1.49	3.00	5.77	6.55

*1) () は D6 鉄筋使用, 他は D10 鉄筋使用

*2) M_c : 曲げひびわれ発生時モーメント

M_f : 付着割裂ひびわれ発生時モーメント

M_y : 引張り鉄筋降伏時モーメント

M_u : 終局荷重時モーメント

表-1 はり曲げ実験パラメータおよび実験結果一覧

割裂するとともに、側面のコンクリートが割裂する形式であった。

3.2 両引実験

表一2に実験結果一覧を、図一6にひびわれパターンの一例を示す。

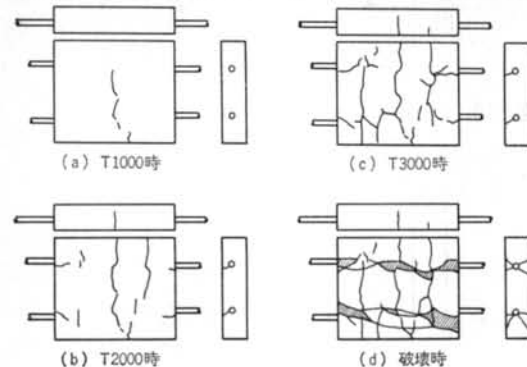
全試験体とも、最初主筋に直交するひびわれが壁板中央に生じた後、試験体端部より主筋に平行する付着ひびわれが生じ、徐々に試験体中央へ進展した後、継手のある試験体は主筋に沿ってかぶりコンクリートが割裂する破壊経過であった。破壊パターンは、鉄筋ピッチの大きい試験体では表面のかぶりコンクリートが割裂する付着割裂破壊であったが、鉄筋ピッチの小さい場合は側面かぶりコンクリートも同時に割裂する付着割裂破壊であった。

§ 4. 検討

4.1 継手有無の比較

はりの曲げ実験において、継手の有無による構造特性の差異を検討するため、普通コンクリートと高度強コンクリートの場合についてあばら筋比を0.2%とした試験体を用いて実験を行なった。図一7に荷重-変形関係包絡線を、図一8に変形モードを、図一9に曲げひびわれ幅を比較して示す。

初期剛性は継手有無にかかわらずほぼ等しいもの、曲げひびわれ発生後の剛性は継手有り試験体の方が大きくなっている。これは、継手部では鉄筋量が2倍になっているため継手の曲げ変形が小さくなったことによるものと考えられ、変形モード図の比較からもこれが見られる。また、継手有り試験体では曲げひびわれが継手端に集中するため、最大ひびわれ幅は継手無し試験体の場合



図一6 両引試験体 (HT-16) ひびわれパターン

試験体 記号	パラメータ ^{*1}						実験結果 ^{*2} 鉄筋応力 (kg/cm ²)			
	σ (kg/cm ²)	f_c (kg/cm ²)	L_s × d	C_d × d	S × d	S_d × d	σ_c	σ_l	σ_r	σ_a
HT-01	3960	228	25	1.5	10.5	0	1007	2272	—	3007
HT-02	5413	228	25	1.5	10.5	0	997	2014	—	3017
HT-03	6690	228	25	1.5	10.5	0	882	2003	—	2913
HT-04	7224	228	25	1.5	10.5	0	530	1411	—	2620
HT-05	9950	228	25	1.5	10.5	0	1362	1749	—	3296
HT-06	3960	594	25	1.5	10.5	0	1418	3003	3797	4244
HT-07	5413	594	25	1.5	10.5	0	1369	3010	—	3986
HT-08	6690	594	25	1.5	10.5	0	683	2610	—	4327
HT-09	7224	594	25	1.5	10.5	0	857	3007	—	4150
HT-10	9950	594	25	1.5	10.5	0	1383	3003	—	3997
HT-11	3960	437	25	1.5	10.5	0	1003	2007	—	3519
HT-12	3960	628	25	1.5	10.5	0	1261	2617	3812	4010
HT-13	5413	437	25	1.5	10.5	0	1213	2770	—	3460
HT-14	5413	628	25	1.5	10.5	0	993	1972	—	3571
HT-15	6690	437	25	1.5	10.5	0	1014	2815	—	3582
HT-16	6690	628	25	1.5	10.5	0	1000	2003	—	3512
HT-17	3960	228	無し	1.5	10.5	0	554	4648	3986	5286
HT-18	3960	594	無し	1.5	10.5	0	1223	3038	3516	5209
HT-19	5413	228	無し	1.5	10.5	0	693	3007	5561	6157
HT-20	5413	594	無し	1.5	10.5	0	1551	3481	5254	6254
HT-21	7224	628	30	1.5	10.5	0	1003	2484	—	4307
HT-22	7224	628	40	1.5	10.5	0	1213	2017	—	5631
HT-23	7398	216	30	1.5	10.5	0	801	1411	—	3007
HT-24	7398	216	40	1.5	10.5	0	1226	2000	—	4307
HT-25	7398	287	30	1.5	10.5	0	1387	2007	—	4041
HT-26	7398	287	40	1.5	10.5	0	1585	2265	—	4990
HT-27	7398	772	25	1.5	10.5	0	1571	1742	—	4401
HT-28	7398	772	30	1.5	10.5	0	1390	1885	—	4603
HT-29	7398	772	40	1.5	10.5	0	1220	1220	—	5812
HT-30	7398	216	25	1.5	5.2	0	721	1909	—	2906
HT-31	7398	216	30	1.5	5.2	0	857	1997	—	3411
HT-32	7398	216	40	1.5	5.2	0	693	1063	—	4073
HT-33	7398	287	25	1.5	5.2	0	1216	1997	—	2767
HT-34	7398	287	30	1.5	5.2	0	1000	3003	—	4181
HT-35	7398	287	40	1.5	5.2	0	1220	2613	—	4129
HT-36	7398	621	25	1.5	5.2	0	847	2286	—	3554
HT-37	7398	621	30	1.5	5.2	0	1000	2617	—	4178
HT-38	7398	621	40	1.5	5.2	0	993	2000	—	4951
HT-39	7398	287	25	1.5	7.4	0	1094	2892	—	3551
HT-40	7398	287	30	1.5	7.4	0	1031	2895	—	3868
HT-41	7398	287	40	1.5	7.4	0	840	2003	—	4530
HT-42	7398	216	25	1.5	7.4	0	1003	1997	—	3376
HT-43	7398	621	25	1.5	7.4	0	1390	2613	—	4077
HT-44	7398	216	25	2.5	5.2	0	889	2620	—	3564
HT-45	7398	216	25	2.5	7.4	0	1728	3000	—	4185
HT-46	7398	216	25	2.5	10.5	0	2557	2474	—	3488
HT-47	7398	621	25	2.5	5.2	0	1746	3620	—	4387
HT-48	7398	621	25	2.5	7.4	0	2770	3906	—	4401
HT-49	7398	621	25	2.5	10.5	0	3829	3829	—	4805
HT-50	7398	216	25	2.5	10.5	1	2794	3310	—	4021
HT-51	7398	216	25	1.5	10.5	2	1394	1847	—	2334
HT-52	7398	216	25	1.5	10.5	3	1568	1568	—	2000
HT-53	7398	287	25	2.5	10.5	1	3488	3488	—	4537
HT-54	7398	287	25	1.5	10.5	2	2000	2000	—	2808
HT-55	7398	287	25	1.5	10.5	3	1746	1885	—	2226

*1) dは鉄筋径
 *2) σ_c : 初ひびわれ発生時の鉄筋応力
 σ_l : 付着ひびわれ発生時の鉄筋応力
 σ_r : 鉄筋降伏時の鉄筋応力
 σ_a : 最大荷重時の鉄筋応力

表一2 両引実験パラメータおよび実験結果一覧

より大きく、逆に継手部内の平均ひびわれ幅は小さくなっている。

4.2 附着強度

重ね継手を有する部材が曲げあるいは引張り力を受ける場合、その破壊は主筋材軸に沿ってかぶりコンクリートが割れ裂け、急激に耐力が低下する附着割裂破壊である場合が多い。本実験でも、大変形下においても破壊せず実験を終了した1体を除いて、継手有り試験体の破壊はすべて附着割裂破壊であった。鉄筋降伏後に附着割裂破壊した試験体は、降伏後耐力の増加はほとんどなく、その破壊は大変形によるものと考えられるので、ここでは鉄筋降伏前に附着割裂破壊した試験体のみを対象に、下式により終局時の附着強度を算定した。

$$\tau_a = a \cdot f_s / (\Psi \cdot L_s) \quad \dots\dots(1)$$

a : 鉄筋断面積, f_s : 鉄筋応力
 Ψ : 鉄筋周長, L_s : 重ね長さ

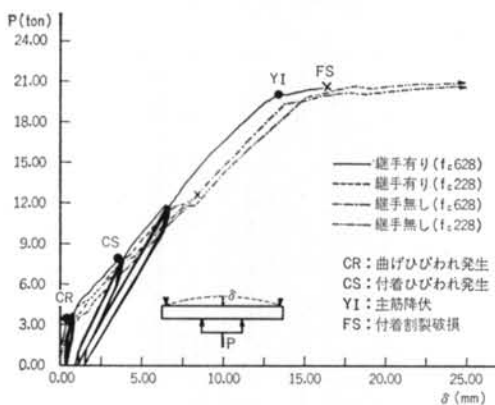


図-7 荷重—変形関係の比較

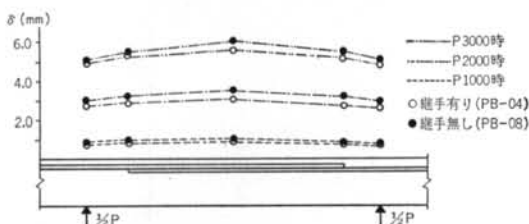


図-8 変形モードの比較

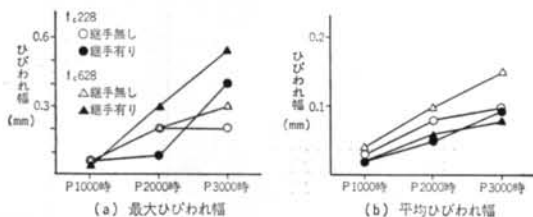


図-9 ひびわれ幅の比較

鉄筋応力は次式により算定した値を用いたが、この値は鉄筋のひずみ測定値より算定した値とほぼ等しい。

$$f_s = M_u / (a \cdot j) \quad \dots\dots(2)$$

$$j = 7d/8$$

M_u : 破壊時モーメント, d : 有効せい

図-10, 11に、実験で得られた附着強度値をコンクリート強度との関係で示す。これより、附着強度はコンクリート強度が大きくなるにつれ増加するが、その増加率は小さくなること、重ね長さが長いほど附着強度は小さくなること、横筋がないとコンクリート強度に対する増加率が小さくなること等が分かる。

附着割裂破壊に対する既往の算定式として、森田・藤井式および Orangun・Jirsa・Breen 式がある。

○森田式

$$m\tau_a = (0.307 b_t + 0.427 + 24.9 \cdot k \cdot A_s / (S_t \cdot N \cdot d_b)) \sqrt{f_c} \quad \dots\dots(3)$$

b_t は下式の値のうち小さいものを採用

$$b_b = \sqrt{3} (2 C_b / d_b + 1)$$

$$b_c = \sqrt{2} ((C_s + C_b) / d_b + 1) - 1$$

$$b_s = b / (N \cdot d_b) - 1$$

ただし, $24.9 \cdot k \cdot A_s / (S_t \cdot N \cdot d_b) \sqrt{f_c} < 0.87 \sqrt{f_c}$

ここで, C_b : 表面かぶり厚さ, C_s : 側面かぶり厚さ

d_b : 主筋径, f_c : コンクリート強度

N : 主筋本数, A_s : 一組のあばら筋全断面積

S_t : あばら筋間隔

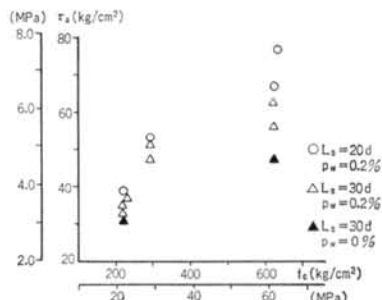


図-10 附着強度の比較 (曲げ実験)

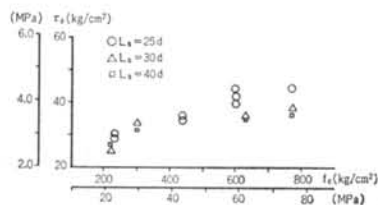


図-11 附着強度の比較 (両引実験)

○Orangun 式

$$\sigma_{\sigma} = (1.2 + 3 C_m/d_b + 50 d_b/L_s) + A_s \cdot f_t / (35.2 \cdot S_t \cdot d_b) \cdot 0.265 \sqrt{f_c} \quad \dots\dots(4)$$

ただし、 $A_s \cdot f_t / (35.2 \cdot S_t \cdot d_b) \cdot 0.265 \sqrt{f_c} < 0.8 \sqrt{f_c}$

ここで、 C_m : かぶり厚さと鉄筋ピッチの半分のうち小さい方、 f_t : あばら筋降伏点

はりの曲げ実験結果について、上式により算定した値と実験値との比を図-12に示すが、Orangun式に比べ森田式は、若干実験値との差が大きいこと、重ね長さが長いと計算値の方が高めになること、 f_c が200 kg/cm²と600 kg/cm²近くで計算値の方が高めになること等が分かる。

4.3 継手性能に及ぼす各要因の影響

本研究では、特に重ね長さ・かぶり厚さ・鉄筋ピッチ

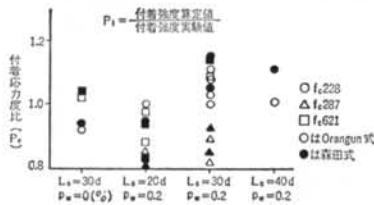


図-12 付着強度算定値の比較

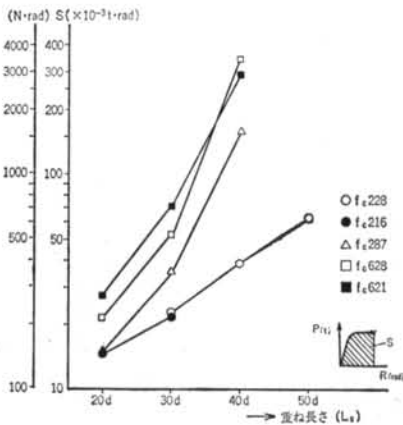


図-13 重ね長さと履歴面積

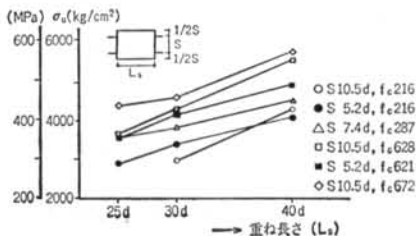


図-14 重ね長さと最大鉄筋応力

・継手部のあき間隔・あばら筋(横筋)・コンクリート強度をパラメータとして実験を行ない、これらの重ね継手性能への影響を検討した。検討に当たっては、主に継手耐力(破壊時の鉄筋応力または曲げモーメント)と変形性能を中心に継手性能の評価を行なった。しかしながら、はりの曲げ実験では鉄筋降伏した試験体も多く、これらの試験体では鉄筋降伏後耐力が増大しないで変形が増大するため、耐力だけでなく変形性能も合わせた評価が必要となる。そこで、本研究では破壊点までの荷重(P)-変形部材角(R)関係から得られる履歴面積を用いて検討を行なった。なお、履歴面積は対数値で図に示す。

(1)重ね長さ

図-13にはりの曲げ実験結果を、図-14に両引実験の結果を示す。これらの結果より、両引実験で若干ばらつきが見られるものの、重ね長さにほぼ比例して履歴面積および継手耐力が増加しており、その増加率はコンクリート強度が高いほど、鉄筋ピッチが大きいほど大きくなっていることが分かる。

(2)かぶり厚さ

ひびわれ発生、付着ひびわれ発生および最大荷重時の鉄筋応力について、かぶり厚さ1.5dと2.5dの場合の結果を比較して図-15に示す。これより、かぶり厚さが大きいほど、ひびわれ荷重、付着ひびわれ荷重および破壊荷重が大きくなるが、ひびわれ荷重では1.2~2.6倍、付着ひびわれ荷重では1.2~1.6倍、終局荷重では1.1~1.2倍とその比が若干小さくなっていることが分かる。

(3)鉄筋ピッチ

かぶり厚さと鉄筋ピッチとの関係により、重ね継手の付着割裂破壊は図-16のように3パターンの破壊形式になると、既往の研究で報告されている。

本実験では、同図(a)のような鉄筋を連なる割裂は見ら

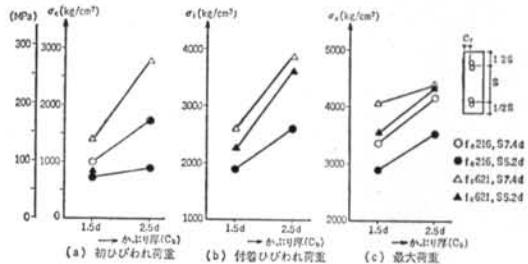


図-15 かぶり厚さと鉄筋応力

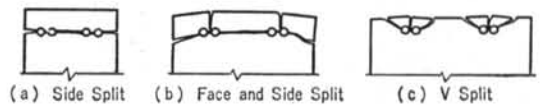


図-16 重ね継手の付着割裂破壊モード

れなかったが、鉄筋ピッチの小さい両引実験試験体およびはり試験体において、同図(b)のような表面かぶり厚さの割裂とともに側面の割裂が見られた。両引試験体では鉄筋ピッチの小さいものほど側面の縁間隔も小さくなっており、図-17に示すように鉄筋ピッチが小さい試験体では側面のかぶりコンクリートが早めに割裂するため、重ね長さやコンクリート強度に関係なく鉄筋ピッチが小さくなるほど継手耐力が小さくなる結果となっている。しかしながら、本実験の場合鉄筋ピッチ7.4d以上では継手耐力の増大があまり見られない。図-18に、はり幅30cmの試験体を基準として同じ強度の鉄筋を有するはり幅の異なる試験体の破壊モーメント比を示すが、はり幅が小さい試験体では鉄筋ピッチが小さくなっており、はり幅が小さいほど終局モーメント比が小さくなっているといえる。

(4) 継手筋のあき

図-19に、継手筋のあき間隔と継手耐力との関係を示す。図より、あき間隔が大きくなるほど継手耐力が低下していることが分かる。しかしながら、かぶり厚さ2.5dの場合ではあるが、あき間隔が1dでは継手が密着し

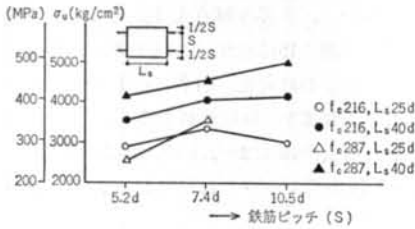


図-17 鉄筋ピッチと最大鉄筋応力

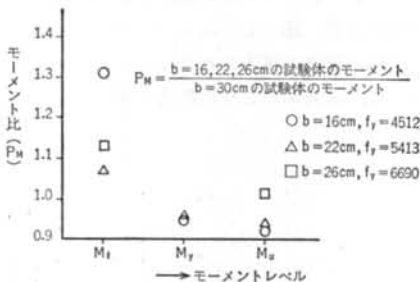


図-18 はり幅とモーメント比

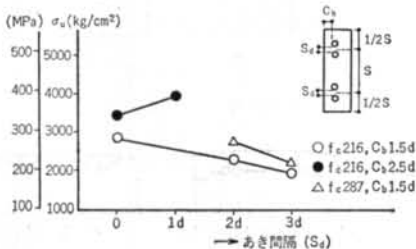


図-19 継手筋のあき間隔と最大鉄筋応力

た場合と比べ逆に継手耐力が大きくなっている。これは、あき間隔が大きくなるほど継手筋間のコンクリートへの鉄筋の偏心力が増し、継手部の付着性能が低下するものの、本試験体のようにコンクリートを平打ちした場合、継手を密着させたものより1d程度離れたものの方がコンクリートの充填度がよくなり、付着強度が向上したのではないかと考えられる。

(5) あばら筋

図-20に、あばら筋比と履歴面積との関係を示す。図

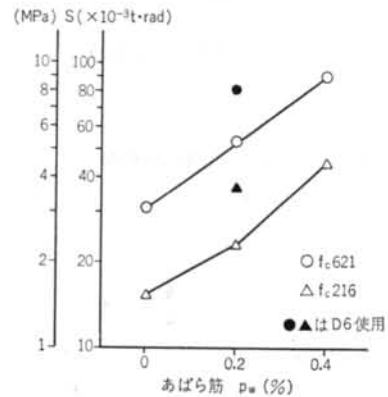


図-20 あばら筋比と履歴面積

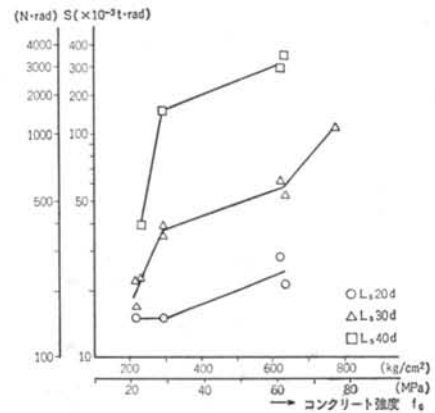


図-21 コンクリート強度と履歴面積

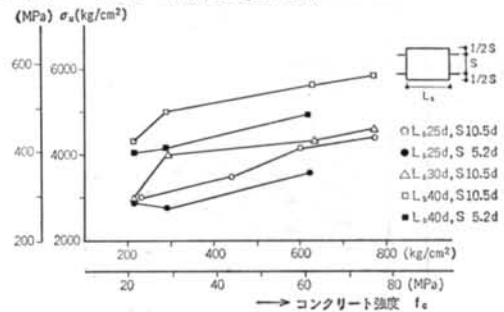


図-22 コンクリート強度と最大鉄筋応力

より、あばら筋比が大きくなるほど、履歴面積がほぼ比例的に増大していることが分かる。また、あばら筋比が0.2%の場合、同一鉄筋比でのあばら筋間隔の影響を検討したが、D6鉄筋を使用しあばら筋間隔を小さくすると、D10鉄筋使用の場合に比べ履歴面積が大きくなっていく。また、継手部中央と端部でのあばら筋のひずみ実測値を比較すると、端部のあばら筋のひずみの方が大きくなっており、これよりあばら筋量が多いほど、あばら筋間隔が小さいほど、また継手端部でのあばら筋量を増すほど継手性能がよくなるものといえる。

(6)コンクリート強度

図-21にはり曲げ実験の結果を、図-22に両引実験の結果を示す。これより、コンクリート強度が高いほど履歴面積と継手耐力が大きくなるものの、その増加率は小さくなること、重ね長さが長いほど増加率が大きくなること等が分かる。

§ 5. まとめ

引張り力を受ける重ね継手の継手性能に関して、種々の要因の影響を検討すべく、はり部材の純曲げ実験および両引実験を行なったが、得られた結果を要約すると以下のようになる。

(1)継手を有する部材の曲げひびわれ発生後の剛性は、継手の無い部材より高めであり、最大ひびわれ幅は大きくなる。

(2) 付着強度は、普通コンクリートの場合既往の提案式で十分算定できるが、高強度になると計算値の方が高めになる。

(3)重ね長さにほぼ比例して、継手耐力および変形性能が増大する。

(4)かぶり厚さが大きいほど、継手耐力が大きくなる。

(5)鉄筋ピッチが大きいほど継手耐力が大きくなるが、ある限度以上では継手耐力の増加が見られなくなる。

(6)あばら筋比が大きいほど継手耐力および変形性能が増大するが、あばら筋の効果は細径で密な間隔のものほど、また継手端に集中するほど有効である。

(7)コンクリート強度が高くなるほど継手耐力が大きくなるが、高強度コンクリートの場合その増加率は小さくなる。

以上のように、本研究により引張り力を受ける重ね継手に関し、継手性能への各種要因の影響を定性的に評価することができた。しかしながら、定量的評価はまだ不十分であり、今後既往の数多くの実験データと合わせてさらに詳細に検討を行なうことにより、継手性能への各種要因の影響を定量的に評価し、引張り重ね継手に対する適切な設計式を提案する必要があるものといえる。

謝辞 本研究の計画・実施に当たっては、東北工科大学田中礼治教授のご指導、ご助言を頂きました。また、高強度コンクリートの製作に当たっては、技術研究所の鈴木忠彦氏と安斉俊哉氏の協力を頂きました。ここに、感謝の意を表します。

