

論文

[2044] ヒンジゾーン内外に設けた重ね継手の付着割裂強度に関する実験的研究

桜田智之\*<sup>1</sup>・師橋憲貴\*<sup>2</sup>・田中礼治\*<sup>3</sup>

1. まえがき

重ね継手に関する既往の実験研究は多数あるが、実験の方式は純曲げあるいは両引きの場合が多い [1]。これは曲げモーメントが勾配を持つ場合よりも応力状態が簡明であり重ね継手の基本的力学性状を把握するのに適した試験法であることが理由の一つに挙げられる。しかし、実際の重ね継手は曲げせん断などの複合応力を受けるので、このような応力状態を想定した検討が必要である。

そこで本研究では、曲げせん断を受ける重ね継手の付着割裂強度について、重ね継手がヒンジゾーン内にある場合とヒンジゾーン外にある場合の実験を行った。また既往の純曲げ実験で提案した付着割裂強度算定式 [2]の曲げせん断応力下での適応性について検討した。

なお本研究では、継手は全数重ね継手で、割裂のパターンはサイドスプリット型を対象としている。

2. 実験の概要

2.1 試験体の計画および形状

図-1、図-2 に試験体の形状および断面を示す。

試験体は中央にスタブを有する単純ばり形式で、下端に重ね継手を設け、継手長さは $30d$  ( $d$ は公称径)とした。重ね継手はスタブの両側に対称に配置した。主筋は上端、下端とも4-D19とし( $\rho_t = \rho_c = 0.68\%$ )、底面および側面に対する主筋表面からのかぶり厚さは $3\text{cm}$  ( $1.6d$ )でサイドスプリット型の付着割裂破壊を指向している。主筋径、かぶり厚さなどの断面内での配置は前報 [2]の純曲げ実験と同様にし、比較が容易になるよう計画した。重ね継手長さ(付着長さ)を一定にしたのは、付着割裂強度に与える影響因子を横補強筋に限定し、基本的性状の把握を目的としたためであり、重ね長さを $30d$ と比較的長くしたのは、継手破壊時の継手の平均付着応力は継手長さの短いもの程大きくなる傾向にあるが、 $30d$ 程度以上では比較的平均付着応力の変動が少なくなる [1]ためである。また、曲げ降伏に対して継手部の破壊が先行するよう、主筋には高強度鉄筋(SD685)を使用し、せん断耐力との関係で

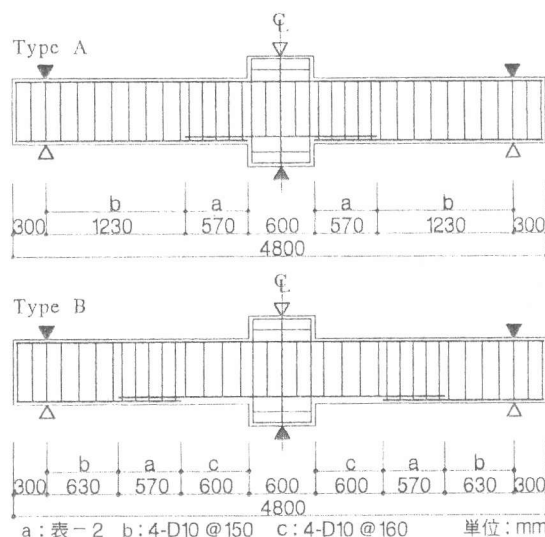


図-1 試験体形状

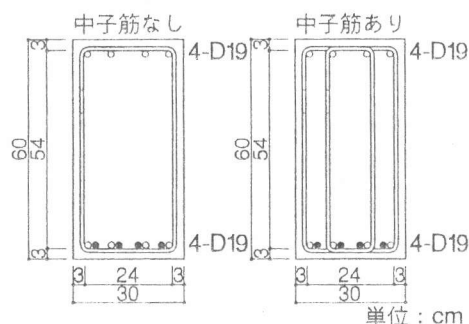


図-2 断面形状

\*1 日本大学助教授 生産工学部建築工学科、工修(正会員)  
 \*2 日本大学助手 生産工学部建築工学科、工修(正会員)  
 \*3 東北工業大学教授 工学部建築学科、工博(正会員)

も継手部の破壊が先行するように計画した。

試験体はヒンジゾーン内(スタブ端)に継手を設けたタイプAとはり全せい分継手をスタブ端よりずらしヒンジゾーン外に継手を設けたタイプBの計13体を計画した。またタイプAおよびタイプBには重ね継手部に対し外周補強筋のみを配筋したものと、外周補強筋に中子筋を組合せて配筋したものがあり(図-2 参照)、付着割裂強度に対する中子筋の効果をあわせて検討した。横補強筋にはD10(SD345)を使用し、形状は重ね溶接の閉鎖型とした。

### 2.2 使用材料の特性

表-1 に鉄筋およびコンクリートの材料特性を示す。降伏強度および弾性剛性は材料試験により公称断面積を用いて算定した。実験時のコンクリート強度はタイプAが294kgf/cm<sup>2</sup>で、タイプBが292kgf/cm<sup>2</sup>である。

### 2.3 加力および測定方法

加力は正負繰り返し載荷を行い、継手部の付着割裂破壊が発生するまでは荷重制御とし、付着割裂発生後は変位により制御した。変位の測定はスタブの両側に別々に取付けたたわみ測定ホルダーにより行い、破壊が先行した継手部の変位により制御した。加力荷重ははり主筋の応力度が 1000 kgf/cm<sup>2</sup> ずつ増加するよう曲げ強度略算式により算定し、正負各 1回の繰り返しを行った。ひび割れ幅はマイクロスコープ(最小目盛り0.02mm)により、継手部の主筋重心線上にて測定した。また、主筋および横補強筋のひずみをストレインゲージで測定した。

## 3. 実験結果

### 3.1 破壊性状

試験体記号の説明

$\frac{A}{①} \frac{I}{②} - \frac{0.2}{③}$		
①継手位置		
A: ヒンジゾーン内		
B: ヒンジゾーン外		
②重ね継手部の横補強筋		
I: 中子筋なし		
II: 中子筋あり		
③横補強筋比 $\rho_w$ (%)		
0.2: 0.2%		

表-1 材料特性

#### a) 鉄筋

使用鉄筋	使用箇所	$\sigma_y$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon_y$ (%)	$\sigma_{max}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$E$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
D19(SD685)	主筋	7030	0.38	9280	$1.86 \times 10^6$
D10(SD345)	横補強筋	4000	0.18	5870	$2.04 \times 10^6$

#### b) コンクリート

タイプ	粗骨材 最大寸法 (mm)	スタブ (cm)	W/C (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				圧縮強度 $\sigma_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	割裂強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
				水	セメント	砂	砂利		
A	20.0	17.3	66.5	176	265	877	975	294	26.40
B		19.6						292	26.34

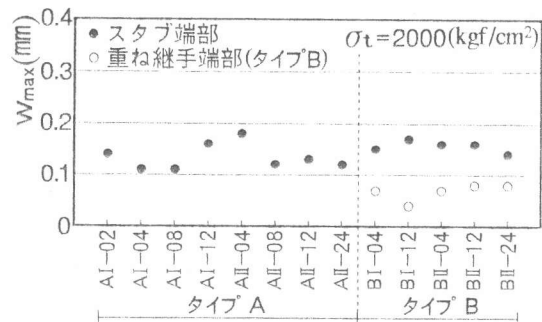


図-3 最大ひび割れ幅

表-2 試験体詳細および実験結果一覧

タイプ 種別	試験 体名	横補強 筋形状	横補強 筋比 $\rho_w$ (%)	横補強 筋間隔 S (cm)	ひび割れ幅 ( $\sigma_t=2000$ kgf/cm <sup>2</sup> )		最大 荷重 $P_{max}$ (tf)	付着割裂強度			破壊 種別
					スタブ端 $W_{max}$ (mm)	継手始点 W (mm)		$\tau_{u, exp.}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\tau_{u, cal.}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\tau_{u, exp.}$ / $\tau_{u, cal.}$	
タイプ A	AI-02	2-D10	0.2	24.0	0.14	0.14	23.12	31.04	24.01	1.29	S
	AI-04		0.4	12.0	0.11	0.11	22.56	30.29	26.58	1.14	S
	AI-08		0.8	6.0	0.11	0.11	26.14	35.10	31.70	1.11	S
	AI-12		1.2	4.0	0.16	0.16	30.16	40.49	36.78	1.10	S
	AI-04	4-D10	0.4	24.0	0.18	0.18	24.50	32.89	26.58	1.24	S
	AI-08		0.8	12.0	0.12	0.12	28.98	38.91	31.70	1.23	S
	AI-12		1.2	8.0	0.13	0.13	32.10	43.10	36.78	1.17	S
	AI-24		2.4	4.0	0.12	0.12	44.42	59.64	52.03	1.15	FS
タイプ B	BI-04	2-D10	0.4	12.0	0.15	0.07	35.92	32.31	26.50	1.22	S
	BI-12		1.2	4.0	0.17	0.04	43.82	39.42	36.66	1.08	S
	BI-04	4-D10	0.4	24.0	0.16	0.07	37.20	33.46	26.50	1.26	S
	BI-12		1.2	8.0	0.16	0.08	44.94	40.43	36.66	1.10	S
	BI-12		1.2	8.0	0.16	0.08	44.94	40.43	36.66	1.10	S
	BI-24		2.4	4.0	0.14	0.08	52.98	—	51.85	—	FY

$W_{max}$ : 最大ひび割れ幅  $\tau_{u, exp.}$ : 実験値, 式(1)による  $\tau_{u, cal.}$ : 計算値, 式(4)~(7)による  
S: 付着割裂破壊(サイドスプリット) FS: 曲げ降伏後の付着割裂破壊 FY: 曲げ降伏

### 3.1.1 長期荷重時のひび割れ性状

表-2 に長期荷重時（スタブ端部主筋応力度が  $\sigma_t=2000 \text{ kgf/cm}^2$ ）のひび割れ幅を示す。図-3 は各試験体の長期荷重時最大ひび割れ幅（●印）である。最大ひび割れ幅は全試験体共、スタブの端部に発生した。重ね継手はスタブ両側に配置したので図-3 には大きい方のひび割れについて図示した。最大ひび割れ幅はタイプAが0.11mm~0.18mm、タイプBが0.14mm~0.17mmの範囲であり、重ね継手の位置による相違はみられない。タイプBの重ね継手はスタブ端からはりせい分（60cm）ずらして配置してあるが、○印はずらして配置した重ね継手始点のひび割れ幅である。○印の範囲は 0.04mm~0.08mmでタイプBのスタブ端ひび割れ幅に対し、かなり小さなひび割れ幅になっている。また、タイプAおよびタイプB共、ほぼ同程度のひび割れ幅で横補強筋比あるいは中子筋の有無による影響はみられなかった。

図-4 は最大ひび割れを生ずるスタブ端（タイプAでは継手の始点になる）でのひび割れ幅と鉄筋応力度の関係の1例である。実線と鎖線はスタブ両側のそれぞれのひび割れである。初期ひび割れ発生後  $\sigma_t=1200 \text{ kgf/cm}^2$  程度までひび割れ幅の進展はゆるやかで、以後、鉄筋応力の増加とともにひび割れ幅はほぼ比例して進展している。

以上本実験の範囲内では長期荷重時の最大ひび割れ幅は 0.25mm以内であり、日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準に示されている許容範囲内であった。また、0.25mmのひび割れ幅に相当する鉄筋応力度は図-4 からみると  $\sigma_t=2500 \text{ kgf/cm}^2$  であり、他の試験体もほぼ同程度であった。

### 3.1.2 最終破壊状況

図-5 に最終破壊状況の例を示す。点線によるひび割れは負加力時のひび割れである。付着割裂破壊を生じた試験体は曲げひび割れが進展した後、継手端部に発生した付着ひび

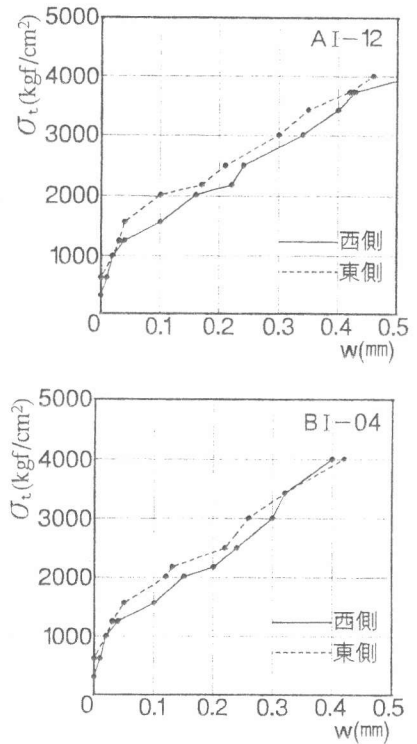


図-4 ひび割れ幅と鉄筋応力度の関係

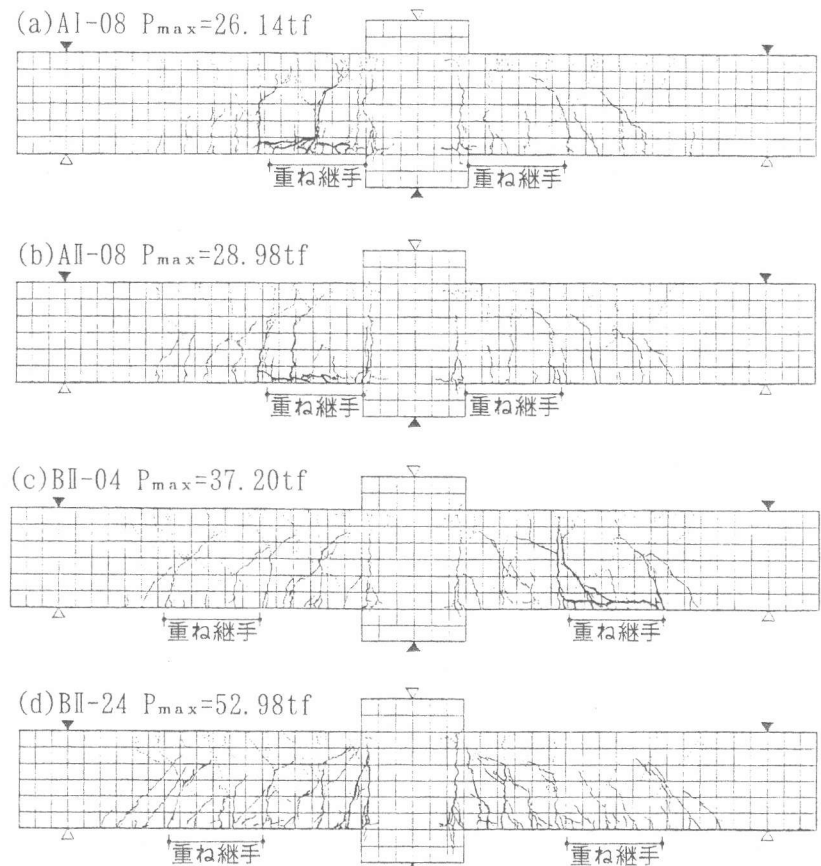


図-5 最終破壊時のきれつ図

割れが順次継手内部に進展し、急激な付着破壊へと至っている。図-5(a),(b)はヒンジゾーン内継手で中子筋のない場合 (AI-08)と中子筋がある場合 (AII-08)である。両者共重ね継手部でサイドスプリット型の付着破壊を生じている。破壊性状に相違はないが、最大荷重は中子筋を用いた AII-08が上回っている。図-5(c)の BII-04はヒンジゾーンの外側に継手を有する試験体であるが、 $P=37.20\text{tf}$ 時に重ね継手が付着破壊している。しかし、 $pw=2.4\%$ 、@ $4.0\text{cm}$ で重ね継手を密に補強し、かつ中子筋を有する BII-24は最終加力時 ( $1/45\text{rad}$ )においても継手破壊は生じなかった。

### 3.1.3 荷重-たわみ関係

図-6 に荷重-たわみ曲線の 1例を示す。たわみは試験体の中央変位を示した。 $pw=0.4\%$ の AI-04 (中子筋無)は  $P=22.56\text{tf}$ 時に継手破壊を生じ、耐力低下しているのに対し、BII-24 は加力最終時においても安定した性状を示し、継手部の付着ひび割れも生じておらず、横補強筋による拘束効果が認められる。図-7 は同一横補強筋比の試験体について中子筋の有無による比較を正加力時の包絡線で示したものである。タイプA, タイプBの両者共、最大耐力は中子筋のある試験体 (鎖線)の方が若干上回っている。 $pw$ が同じ場合、中子筋ありの方がなしのものよりタイプAでは6~11%、タイプBでは  $pw=0.4\%$ の場合に4%の耐力増加が認められた。

### 3.2 継手主筋の付着応力度

図-8 は、継手破壊を生じた重ね継手の危険断面側での継手始点のひずみ測定値より求めた各継手主筋の最大荷重時の平均付着応力度の 1例を示した。棒グラフは個々の継手筋について示してある。鎖線は4.1 節に示す式(1)より求めた付着割裂強度 (全鉄筋の最大荷重時平均付着応力度  $\tau_{u, \text{exp.}}$ )である。図-8 は  $pw=1.2\%$ で、中子筋のある場合とない場合および継手位置がヒンジゾーンにある場合 (タイプA)とヒンジゾーン外にある場合 (タイプB)について示し、中子筋の有無と継手位置の影響を調べた。図-8(a)は外周補強筋のみを配筋したタイプAの 1例であるが、横補強筋による拘束が間接的な中間筋に比べ、横補強筋のコーナー部にあり補強がより直接的な隅筋の付着応力度が大きくなっている。図-8(b)は中子筋を組合わせて配筋した場合であるが、中間筋の付着応力が (a)の中間筋より平均で 16%増大し、隅筋と同程度の付着応力を示しており、中子筋による付着応力向上の効果が認められる。また、ヒンジゾーン外に継手を設けたタイプBの (c)および (d)の中間筋はタイプA とほぼ同等の付着応力を示しており、継手の位置をずらしても中子筋による拘束の効果が差はみられない。以上のように、中子筋のある中間筋の付着応力は隅筋の付着応力と同程度であり、個々の鉄筋の付着力の負担性状は横補強

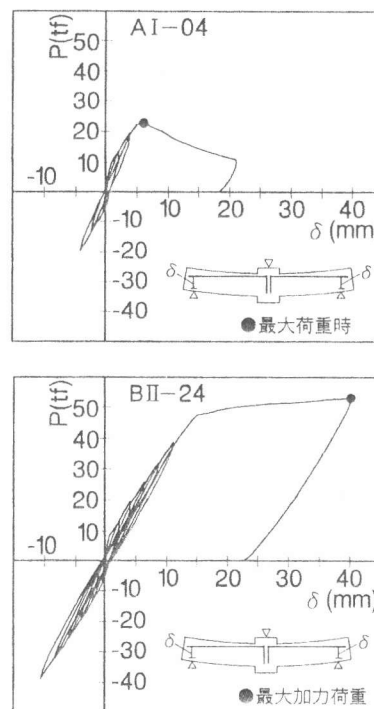


図-6 荷重-たわみ曲線

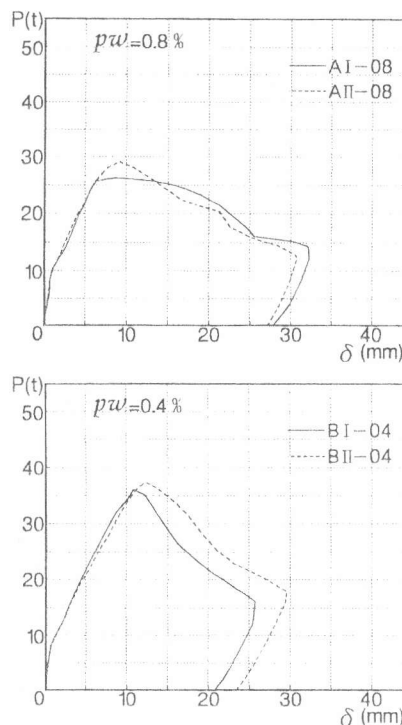


図-7 荷重-たわみ曲線 (包絡線)

筋（外周補強筋あるいは中子筋）により直接的に補強される場合と、補強が間接的な場合に大別可能であった。

#### 4. 重ね継手の付着割裂強度

##### 4.1 付着割裂強度と横補強筋比の関係

図-9 に付着割裂強度  $\tau_{u \text{ exp.}}$  と横補強筋比  $pw$  の関係を示す。図-9 には筆者らが行った純曲げ実験 [2]での実験値(□, ●印)も同時に示した。 $\tau_{u \text{ exp.}}$  は式(1)により求めた。なお、図-9 には主筋降伏以前に継手破壊を生じた試験体について示し、曲げ降伏後に継手破壊した AII-24と継手破壊を生じていない BII-24 は除いてある。

$$\tau_{u \text{ exp.}} = \frac{M_u}{j \cdot \phi \ell} \quad \dots\dots (1)$$

$M_u$  : 継手始点断面の最大曲げモーメント  
 $j$  :  $7/8d$  ( $d$  : はり有効せい)  
 $\phi, \ell$  : 鉄筋の周長, 継手長さ

付着割裂強度は  $pw$  の増加とともに、ほぼ比例して増加している。図-9 の実験値から最小 2乗法により  $\tau_{u \text{ exp.}}$  と  $pw$  の関係を式化すると式(2)のようになる。ヒンジゾーン内継手のタイプAでは同一  $pw$  の場合、中子筋を用いると(●印)、外周補強筋のみ(○印)の場合に比し、付着割裂強度は向上している。ヒンジゾーン外継手(タイプB)の付着割裂強度(△: 中子筋無, ▲: 中子筋有)は同一  $pw$  でみるとタイプAとほぼ近似しており、継手位置の曲げ応力レベルの大きさの影響はみられない。これは重ね継手の継手位置に関する文献 [3]と同様の性状である。なお、タイプBの付着割裂強度は重ね継手始点の曲げモーメントをスタブ端からの距離を考慮し、 $0.67M_u$ として算定した。

曲げせん断を受ける本実験値はいずれの試験体も純曲げの場合の付着割裂強度を上回っている。また、式(2)と式(3)の勾配はほぼ同等であり、横補強筋が付着割裂強度に及ぼす影響は曲げせん断の場合も近似していることを示している。

##### 4.2 曲げせん断を受ける重ね継手の付着割裂強度

筆者らは先に、重ね継手の付着割裂強度について純曲げ型式による実験を行い、付着割裂強度式を提案し、前報 [2]で報告した。図-10は前報 [2]での実験値( $\tau_{u \text{ exp.}}$ )と提案式による計算値( $\tau_{u \text{ cal.}}$ )との関係であり、 $pw=0.2\%$ から $2.4\%$ の範囲で良い対応を示した。そこで本節では、曲げせん断を受ける場合の付着割裂強度について検討を行った。図-11は本実験値と計算値の関

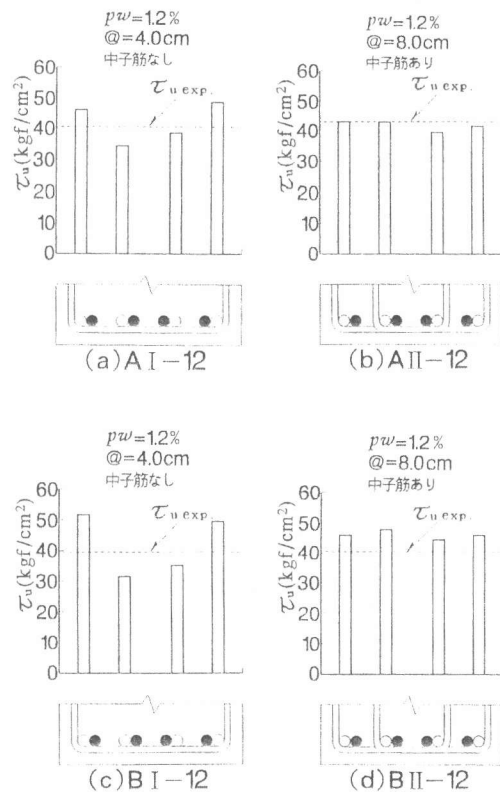


図-8 主筋の平均付着応力度の1例

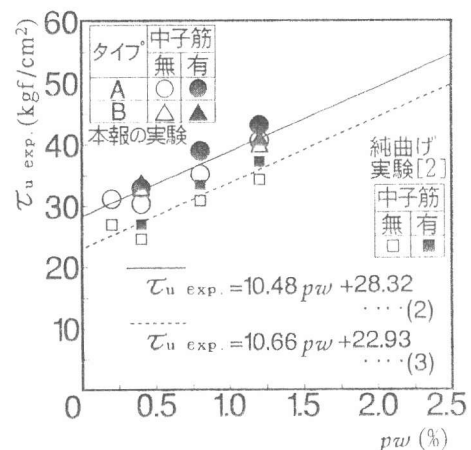


図-9  $\tau_{u \text{ exp.}}$  -  $pw$  の関係

係である。計算値は純曲げ実験による提案式で算定した。提案式は下端筋を対象にしており、式(4)~(7)に示す。図-11では、計算値に対し実験値はヒンジゾーン内継手のAタイプは1.10~1.29、ヒンジゾーン外継手のBタイプは1.08~1.26の範囲で、Aタイプ、Bタイプの全平均では1.18となる。即ち、曲げせん断を受ける重ね継手の付着割裂強度は純曲げ実験により得られた提案式で安全側に評価できると考えられる。

なお、安全側となる理由としては、純曲げの場合、重ね継手の両端から同時に付着割裂が進展するのに対し、曲げせん断応力場ではモーメント勾配により、付着割裂の進展が危険断面側からの一方向であることが考えられるが、せん断スパン比がより小さい場合を含め、今後更に検討する必要がある。

### 5. 結論

本実験の範囲内で次のことが認められた。

- 1) 長期荷重時における最大ひび割れ幅は0.18mm以内であった。
- 2) 中間筋に中子筋を組合せた場合、中子筋のない場合に比較し、中間筋の付着応力は向上し、隅筋と同等の付着性状を示した。
- 3) ヒンジゾーン内継手とヒンジゾーン外継手の付着割裂強度に変化はなかった。
- 4) 曲げせん断を受ける重ね継手の付着割裂強度は純曲げ実験より得られた強度式で安全側に評価できた。

### 参考文献

- [1] 角陸純一, 田中礼治: 異形鉄筋重ね継手に関する既往実験データの分析, 日本建築学会構造系論文報告集, 第435号, pp. 131~139, 1992.5
- [2] 桜田智之, 師橋憲貴, 田中礼治: 重ね継手部の付着割裂強度に及ぼす横補強筋の効果, コンクリート工学年次論文報告集, 第15巻, 第2号, pp. 223~228, 1993
- [3] 田中礼治, 大芳賀義喜: 鉄筋コンクリートはり主筋の重ね継手の継手位置に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第396号, pp. 69~81, 1989.2

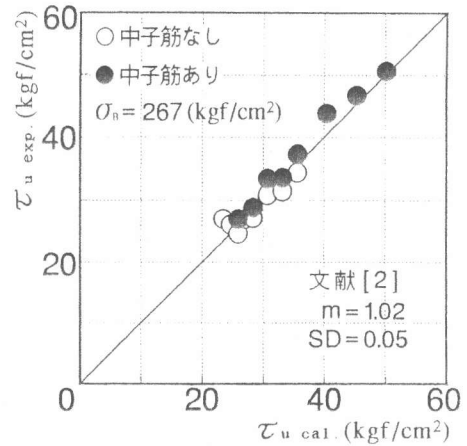


図-10 実験値と計算値の関係 (純曲げ実験の場合)

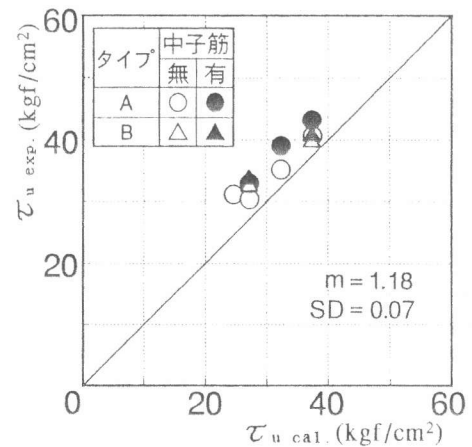


図-11 実験値と計算値の関係 (本報の実験の場合)

付着割裂強度提案式  
(純曲げ実験の場合[2])

$$\tau_u = \tau_{co} + \tau_{st} \quad \dots (4)$$

$$\tau_{co} = (0.4b_i + 0.5)\sqrt{\sigma_B} \quad \dots (5)$$

$$\tau_{st} = (19.0A_{st}/sNd_b)\sqrt{\sigma_B} \quad \dots (6)$$

$$b_{si} = \frac{b - \sum d_b}{\sum d'_b} \quad \dots (7)$$

ここで

$d_b$ : 主筋径     $s$ : 横補強筋間隔  
 $b$ : はり幅     $N$ : 重ね継手組数  
 $A_{st}$ : 1組の横補強筋断面積  
 $\sigma_B$ : コンクリート強度  
 $\sum d_b$ : 1列に並んだ主筋の直径の総和 (重ね継手の主筋1組は2本と数える)  
 $\sum d'_b$ : 1列に並んだ主筋の直径の総和 (重ね継手の主筋1組は1本と数える)