

論文 鉄筋D32を重ね継手とした外殻プレキャストコンクリート梁に関する実験研究

古川 淳^{*1}・市川昌和^{*1}・森本 仁^{*1}・松崎育弘^{*2}

要旨：現行の鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説によると、梁主筋に重ね継手を用いる場合、継手位置や主筋径に制限があり、さらに、全数継手とすることができない。そこで、本研究では、予め肋筋を内蔵させた外殻PCa部材（U型）とD32の太径鉄筋を用い、梁端部の下端主筋に重ね継手（全数継手）とした試験体について載荷実験を行い、継手筋の位置（上下）、肋筋量および重ね継手長等の因子が梁の変形能に及ぼす影響について検討した。

キーワード：太径鉄筋、重ね継手、全数継手、プレキャスト、付着強度

1. はじめに

近年、建築業における熟練工不足はますます深刻となっている。特に、鉄筋コンクリート造（以下、RC造とする）建物は作業工数が多く、熟練工不足の影響を受けやすい。その解決方法の一つとして、建築物のプレキャスト（以下、PCaとする）が挙げられる。筆者らは、外殻PCa部材（柱はロ型PCa、梁はU型PCa）を用いた柱、梁の構造性能について研究を行ってきた[1]。本工法では、図-1に示すように予め肋筋を内蔵させたU型PCa部材の内底面に梁主筋を置き、梁端部で下端主筋を重ね継手（全数継手）としている。その場合、桁行方向と梁間方向では、継手筋位置を上下方向に入れ替えることとしている。一方、現行のRC構造計算規準・同解説[2]では、「鉄筋の継手は応力の小さい箇所に設けること、かつ、継手は相互ずらして設ける」、および「D29以上の鉄筋は重ね継手に用いない」と規定されている。

本研究では、予め肋筋を内蔵させたU型PCa部材と太径鉄筋のD32を用い、地震時に最も応力の厳しい梁端部に重ね継手（全数継手）を設けた梁の変形能について検討することを目的としている。

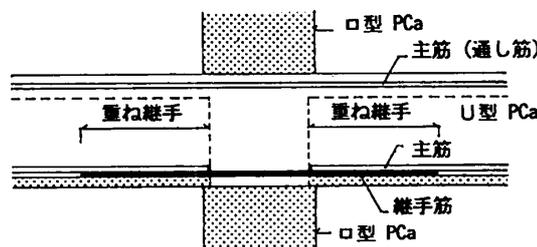


図-1 工法概念図

表-1 試験体一覧

No	肋筋	pw (%)	継手開始位置	継手筋の位置	重ね継手長 (cm)
1	D13 @ 100	0.56	FACE	下	45d _b =144
2	D13 @ 100	0.56	FACE	下	40d _b =128
3	D13 @ 200	0.28	FACE	下	45d _b =144
4	D16 @ 100	0.88	FACE	下	45d _b =144
5	D13 @ 100	0.56	20d _b	下	25d _b = 80
6	D13 @ 100	0.56	FACE	上	40d _b =128

【共通事項】

- bxD =45x70(cm)
- a =175(cm)
- a/D =2.5
- 上端・下端主筋 4-D32
- pt =1.11 (%)
- pt =1.17 (%) (No.6 下端主筋)

2. 実験概要

2.1 試験体

表-1に試験体一覧を、図-2に配筋図を、図-3にPCa詳細図を示す。試験体には全てU型PCa部材を用い、実大のスケールの6体とした。U型PCa部材には予め肋筋を内蔵させ、その内側には円錐台形状のシアコ

*1：鉄建建設(株)技術研究所 (正会員)

*2：東京理科大学教授 工学部第1部建築学科 工博 (正会員)

ッターを設けている。各試験体とも、断面寸法 $b \times D = 45 \times 70$ (cm)、内法スパン $a = 175$ (cm)、 $a/D = 2.5$ は共通とし、上端主筋は通し配筋としたが、No. 5を除いて下端主筋は梁端部で重ね継手（全数継手）とした。主な実験因子は、継手筋の位置、筋筋量、重ね継手長および継手開始位置である。No. 1~No. 5は継手筋の位置を下としている。No. 1、No. 2は筋筋 $D13@100$ とし、継手長を $45d_b$ (d_b は主筋径)、 $40d_b$ と変えている。No. 3とNo. 4はNo. 1 に対して筋筋量を増減し、筋筋量の影響をみるための試験体である。No. 5については継手開始位置を端部より $20d_b$ ずらし、重ね継手長を $25d_b$ としているが、これは曲げ降伏域が繰り返し荷重により拡がり、端部から梁の有効成の範囲の区間が付着喪失すると考えたためである。No. 6については、No. 2に対して継手筋の位置を上に入れ替えたものである。

主筋にはSD 345のD 32を、筋筋には溶接閉鎖型のSD 295 のD 13とD 16を用いた。コンクリートには粗骨材の最大寸法が20mmの砕石による普通コンクリートを用いた。U型PC a部材および後打ちコンクリートの設計基準強度は、各々 $F_c 360 \text{ kgf/cm}^2$ 、 240 kgf/cm^2 とした。表-2と表-3に使用した材料の試験結果を示す。

2.2 荷重および測定方法

荷重は単純梁方式により、正負交番繰り返し荷重を行った。荷重履歴は、計算により求めた曲げ降伏時の荷重の0.8倍 ($0.8cQ_y$)を1回繰り返し、その後変形を制御して部材角 $R = \pm 1/200$ 、 $\pm 1/100$ 、 $\pm 1/50$ 、 $\pm 1/25$ を2回繰り返すことを標準とした。ただし、 $R = \pm 1/100$ については3回繰り返した。測定は、柱型に固定したゲージホルダーに取り付けた変位計により梁の変形を、PC a部材と後打ちコンクリートのずれ変形等を測定した。また、主な主筋、筋筋の歪度を歪ゲージで測定した。

3. 実験結果

図-4に各試験体のせん断力と変形の関係（以下、 $Q-\delta$ 関係とする）を、図-5にNo. 1、No. 3および

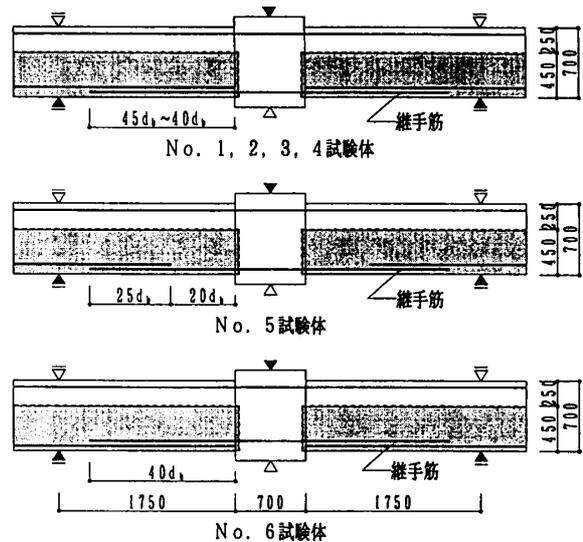


図-2 配筋図

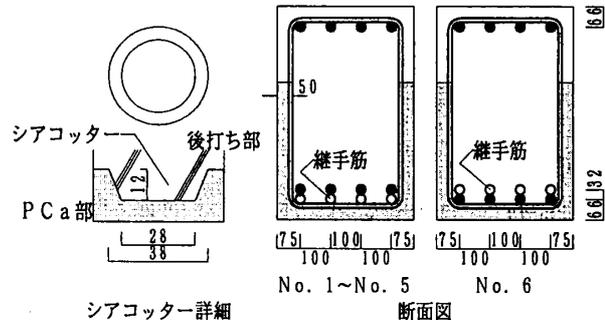


図-3 PC a 詳細図

表-2 鉄筋試験結果

径	降伏強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	ヤング係数 (kgf/cm ²)	伸び (%)
D13	3490	5020	2.00×10^5	22.1
D16	3430	5190	1.93×10^5	18.8
D32	3910	5600	1.87×10^5	21.0

表-3 コンクリート試験結果

No	圧縮強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	ヤング係数 (kgf/cm ²)
1	266	20.8	2.72×10^5
	273	24.9	2.35×10^5
2	405	23.7	3.81×10^5
	280	—	2.34×10^5
3	409	29.0	—
	306	26.4	2.72×10^5
4	431	30.2	3.84×10^5
	290	—	2.29×10^5
5	423	23.8	3.69×10^5
	304	24.8	2.57×10^5
6	360	27.9	3.53×10^5
	308	24.7	2.39×10^5

注) 上段: PC a、下段: 後打ちコンクリート

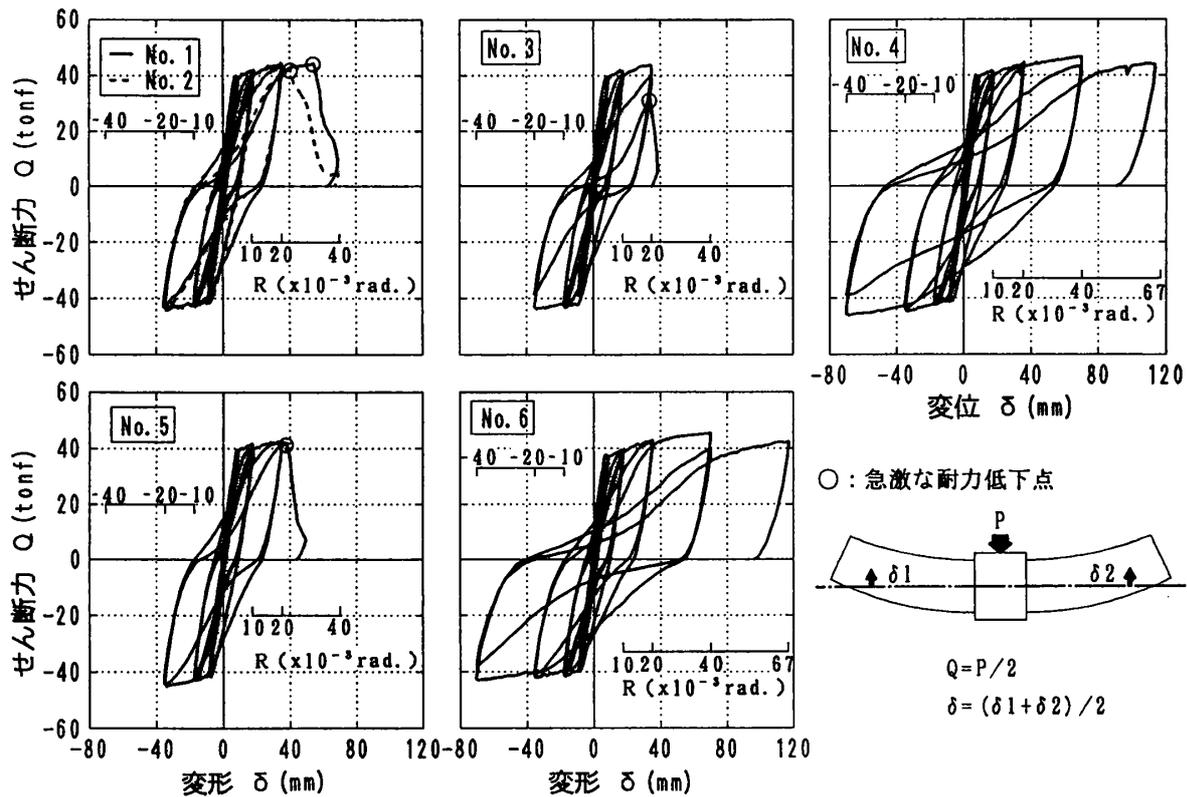


図-4 Q-δ関係の比較

No. 5の最終ひび割れ状況を、表-4に実験結果一覧を示す。以下、各試験体の実験経過について述べる。なお、計算にあたり、コンクリート強度は後打ちコンクリートの試験結果を用いた。

3.1 破壊状況

各試験体とも曲げひび割れ、せん断ひび割れの順に生じ、 $R = 1/200$ のサイクルで上端・下端主筋とも降伏した。その後変形が進展するにつれ、曲げひび割れ、せん断ひび割れの本数が増加し、荷重が上昇した。重ね継手長を $45d_b$ とし、継手筋位置が下側のNo. 1とNo. 3、および重ね継手長が $40d_b$ のNo. 2のひび割れ状況を比較すると、各試験体とも $R = 1/50$ の繰

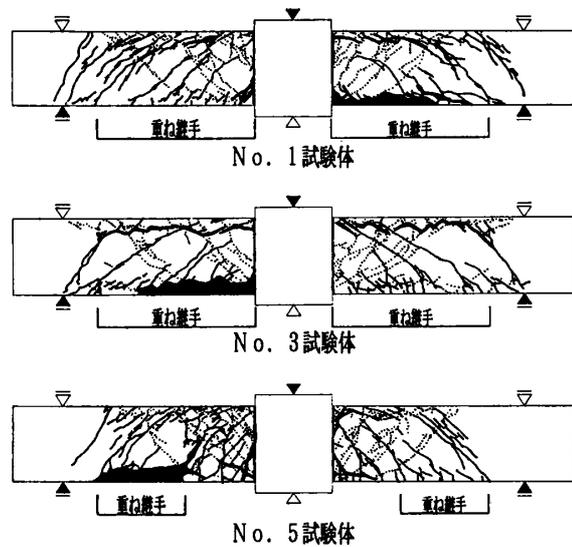


図-5 最終ひび割れ状況

り返し時に重ね継手部に付着ひび割れが急激に生じ、急激な耐力低下を起こした。ただし、No. 1~No. 3およびNo. 5では上端主筋に沿っても、 $R = 1/50$ 時の繰り返し時に付着ひび割れが生じ、特に筋筋量の少ないNo. 3では上端主筋に沿って生じた付着ひび割れの幅が拡大したが、最終的には各試験体とも下端の重ね継手部が付着割裂破壊した。継手開始位置を $20d_b$ ずらしたNo. 5では $R = +1/50$ の3回目の繰り返し時に重ね継手部に顕著な付着ひび割れが生じ、急激な耐力低下を起こした。その時、継手開始位置付近から生じたせん断ひび割れ幅の拡大も顕著にみられた。また、筋筋量を増したNo. 4および継手筋を上側に配筋したNo. 6では顕著な耐力低下はみられず、最終的

表-4 実験結果一覧

No	せん断ひびわれ発生時			梁降伏時			最大耐力時			せん断強度			破壊
	eQsc (tf)	Rsc (rad.)	eQsc/cQsc	eQy (tf)	Ry (rad.)	eQy/cQmu	eQmax (tf)	Rmax (rad.)	eQmax/cQmu	cQsu① (tf)	cQsu② (tf)	cQsu①/cQmu	
1	+27.0 -17.0	+1/459 -1/806	+1.01 -0.63	+40.4 -40.9	+1/226 -1/231	+1.00 -1.01	+44.1 -43.6	+1/32 -1/51	+1.09 -1.08	51.1	60.7	1.26	BB
2	+23.1 -19.0	+1/606 -1/720	+0.85 -0.70	+40.5 -40.1	+1/233 -1/279	+1.00 -0.99	+44.3 -44.5	+1/51 -1/50	+1.09 -1.10	51.4	61.0	1.27	BB
3	+22.9 -17.9	+1/593 -1/792	+0.82 -0.64	+39.6 -42.5	+1/224 -1/186	+0.98 -1.05	+43.6 -43.5	+1/50 -1/50	+1.08 -1.07	43.9	40.2	1.08	UB BB
4	+19.9 -25.9	+1/754 -1/414	+0.73 -0.94	+40.2 -41.1	+1/243 -1/259	+0.99 -1.02	+46.6 -45.9	+1/25 -1/26	+1.15 -1.13	59.1	85.3	1.46	F
5	+22.9 -17.1	+1/490 -1/888	+0.82 -0.61	+40.9 -42.1	+1/219 -1/221	+1.01 -1.04	+42.7 -45.1	+1/55 -1/51	+1.05 -1.11	52.6	62.0	1.30	BB
6	+23.0 -15.0	+1/565 -1/1182	+0.82 -0.58	+38.0 -39.9	+1/235 -1/220	+0.99 -0.99	+45.7 -42.9	+1/25 -1/26	+1.19 -1.06	上 52.7 下 49.3	59.4	1.30 1.28	F

注) ・e は実験値を、c は計算値を示す。 ・+は正荷重を、-は負荷重を示す。
 $cQsc = \left\{ \frac{0.085Kc(\sigma_b+500)}{a/d+1.7} \right\} \cdot b \cdot j$ $cQmu = \Sigma 0.9 \cdot at \cdot \sigma_y \cdot d/a$
 $cQsu① = \left\{ \frac{0.053pl^{0.23}(\sigma_b+180)}{a/d+0.12} + 2.7\sqrt{pw \cdot \sigma_wy} \right\} \cdot b \cdot j$
 $cQsu② = b \cdot jt \cdot pw \cdot \sigma_wy \cdot \cot \phi + \tan \theta (1-\beta) \cdot b \cdot D \cdot \nu \cdot \sigma_b / 2$ ただし、 $Rp=1/50rad.$ で算出。
 ・破壊モード UB: 上端付着部割壊破壊 BB: 重ね継手部付着部割壊 F: 曲げ破壊

には曲げ破壊であった。なお、各試験体ともPCa部と後打ちコンクリートのずれは特にみられなかった。

3.2 Q-δ関係の比較

重ね継手長を変えたNo.1とNo.2を比較すると、重ね継手長を長くしたNo.1の変形能がやや改善されているが、それほど大きな効果がみられない。ただし、重ね継手長25d_bのNo.5は継手開始位置をずらしたことにより、重ね継手長40d_bのNo.2程度の変形能を示した。筋筋量の影響をみるため、No.1、No.3およびNo.4を比較する。筋筋量を増やしたことによるQ-δ関係に及ぼす影響は大きく、cQsu①/cQmu=1.46のNo.4では優れた変形能を示している。また、No.2とNo.6を比較すると、継手筋の位置が及ぼす影響は大きく継手筋を上側に配筋したNo.6では優れた変形能を示している。

4. 鉄筋の歪分布

4.1 継手筋および下端主筋の歪分布

図-6に継手筋の位置を上下方向に入れ替えたNo.2およびNo.6の継手筋と下端主筋について、各変形第1サイクル目正方向ピーク時の歪分布を示す。

No.2とNo.6の歪分布を比較すると、全般的に顕著な

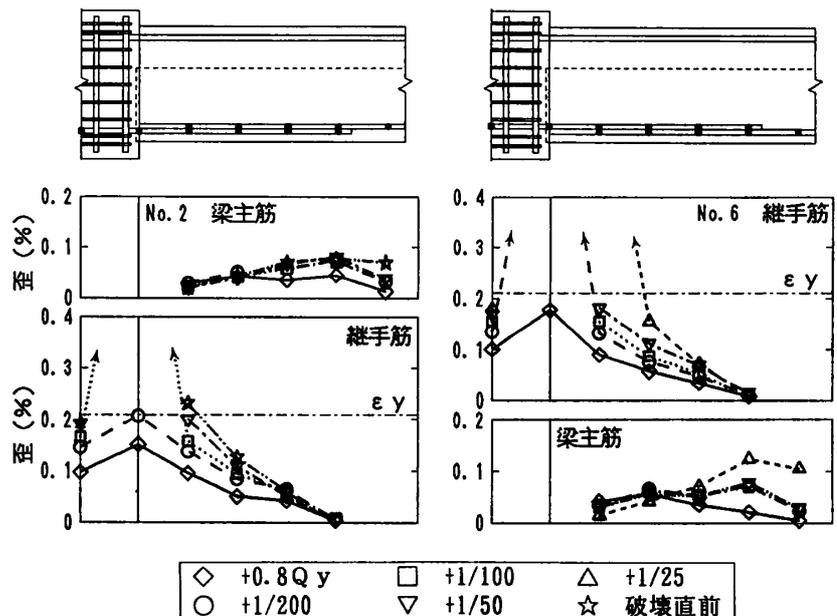


図-6 継手筋および
下端主筋の歪分布

差はみられなかったが、 $Q - \delta$ 関係は大きな差を示している。なお、重ね継手部が付着割裂破壊した他の試験体と比較しても、継手筋の歪分布に明確な差はみられなかった。また、継手筋の降伏域はNo. 2では $R = 1/50$ で $0.5d$ (d は有効成)の範囲、No. 6では $R = 1/25$ で d の範囲に広がった。

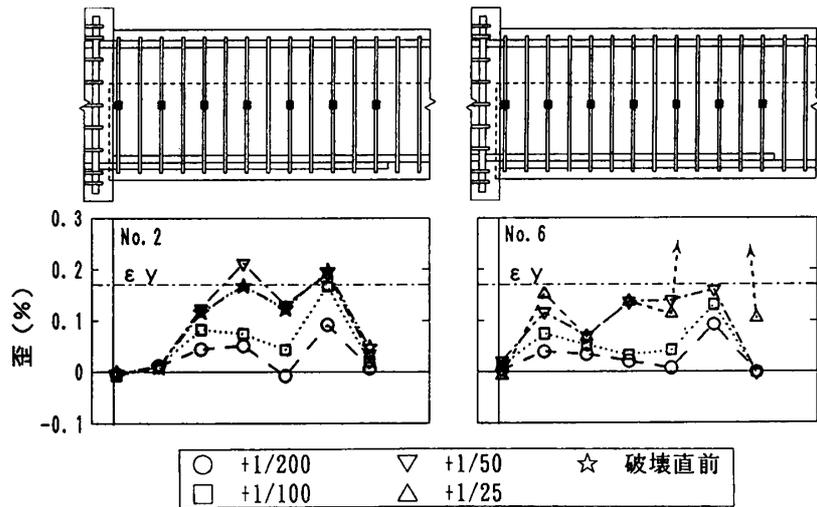


図-7 筋筋の歪分布

4.2 筋筋の歪分布

図-7にNo. 2とNo. 6の各変形の第1サイクル目正方向ピーク時の筋筋の歪分布を示す。両試験体とも、実験結果にバラツキがみられるが、重ね継手部全域にわたり比較的大きな歪を示している。なお、筋筋の歪については、他の試験体と比較しても明確な差はみられなかった。

5. 実験結果の検討

5.1 継手筋の平均付着応力度

図-8に各試験体の継手筋について、実験時から得られた平均付着応力度 τ と部材角の関係を示す。 τ は正載荷時の各サイクルピーク時の歪を応力度に置換して求め、後打ちコンクリート強度の平方根で除し、基準化している。また、鉄筋の降伏後は降伏応力度とした。なお、各試験体とも付着割裂破壊した側の継手筋の τ を示し、図中で黒く塗りつぶしたものは破壊直前時の τ である。

全試験体とも変形の進展および同一変形の繰り返して $\tau / \sqrt{\sigma_B}$ が漸増している。重ね継手長 $45d_b$ のNo. 1、No. 3およびNo. 4を比較すると、 $p_w = 0.28\%$ のNo. 3が一般的に小さな $\tau / \sqrt{\sigma_B}$ を示し、 $R = 1/50$ 以降低下している。それに対し、 $p_w = 0.88\%$ のNo. 4はNo. 3と比較して、 $R = 1/25 \sim 1/15$ での上昇が著しい。重ね継手長 $40d_b$ のNo. 2とNo. 6を比較すると、 $Q - \delta$ 関係に大きな差がみられたが、継手筋の $\tau / \sqrt{\sigma_B}$ を比較する限りではNo. 2の方がやや大きい値を示しているが、顕著な差はみられない。また、重ね継手長 $25d_b$ のNo. 5では、

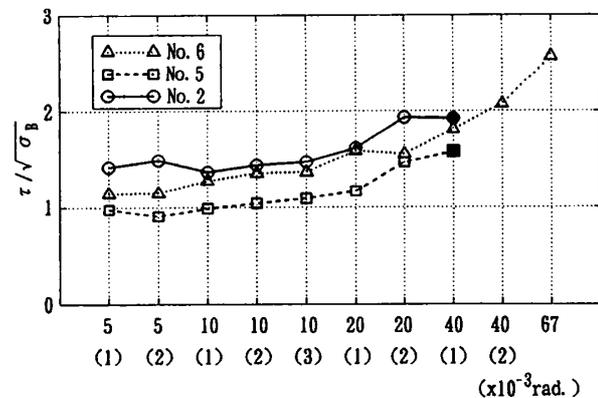
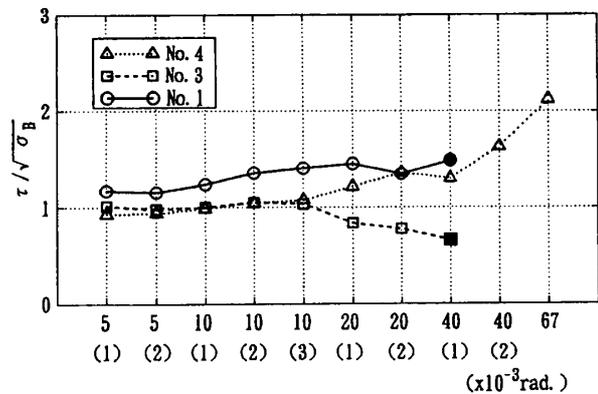


図-8 継手筋の平均付着応力度の比較

全般的に小さな値を示したが、破壊直前 (R=1/50の3サイクル目)ではNo. 6と同程度の $\tau/\sqrt{\sigma_B}$ を示した。

5.2 重ね継手部の付着強度の検討

表-5に、重ね継手部の付着強度の計算結果を一覧にして示す。ただし、ここではNo.5を除いて検討した。設計用付着応力度 τ_f については4.1の結果より、有効成dの0.5倍を付着喪失区間として、重ね継手長より0.5dを差

し引いて算出した。また、付着強度は、注)・ $\tau_f = d_b \cdot \sigma_v / 4(L_s - 0.5d)$
・ $\tau_{SA} = \{(0.375b_{s1} + 0.521) + (1 + 2.51n/N) \cdot 4.91q_{s1}\} \cdot \sqrt{\sigma_B}$
・ $\tau_{ORA} = (1.2 + \frac{3C}{d_b} + \frac{50d_b}{L_s} + \frac{A_{st} \cdot f_{yt}}{35.2s \cdot d_b}) \cdot 0.265 \sqrt{\sigma_B}$
桜田ら[3]、Orangunら[4]の式により求めた。同表より、桜田らの提案式による τ_{SA}/τ_f が1.0以下のNo.1、No.2

およびNo.3が重ね継手部で付着割裂破壊し、1.0を超えているNo.4が曲げ破壊となっており、実験結果とよい対応を示している。それに対し、Orangunらの式では、 τ_{ORA} が全般的に大きな計算結果となっており、実験結果との対応は必ずしも明確でない。

表-5 重ね継手部の付着強度の検討

No	設計用	付着強度		付着余裕度	
	τ_f (kgf/cm ²)	τ_{SA} (kgf/cm ²)	τ_{ORA} (kgf/cm ²)	$\frac{\tau_{SA}}{\tau_f}$	$\frac{\tau_{ORA}}{\tau_f}$
1	27.9	27.8	32.7	1.00	1.17
2	32.5	28.1	33.7	0.86	1.04
3	27.9	27.5	30.1	0.99	1.08
4	27.9	30.7	38.5	1.10	1.38
6	32.0	29.4	33.7	0.92	1.05

6. まとめ

外殻P C a部材とD32の太径鉄筋を用い、梁下端部のみ重ね継手(全数継手)とした梁について載荷実験を行った結果、以下のことが判明した。

- (1) 同じ重ね継手長でも継手筋の位置の違い(上・下)により大きく構造性能が異なる。しかし、継手筋と筋筋の歪分布等に明確な差がみられなかった。
- (2) 梁端部で重ね継手としても筋筋量を増すことにより、重ね継手部の付着割裂破壊を防止でき、変形能を改善することができる。重ね継手長が $45d_b$ で $cQsu$ ①/ $cQmu$ が1.46の試験体はR=1/25の繰り返しでも顕著な耐力低下がみられなかった。
- (3) 継手筋が下のタイプの試験体について、既往の付着強度式を用い、設計用付着応力度を有効成の0.5倍の範囲を付着喪失区間として求め比較した結果、実験結果とよい対応を示した。

謝辞：試験体を製作する際、ご協力下さった大木建設、岡部エンジニアリングに、また、実験を行う際、ご協力下さった東京理科大学工学部の中野克彦氏、星野恒明君に感謝の意を表します。

【参考文献】

- [1] 市川、森本、松崎：プレキャスト十字型柱・はり接合部の変形能と強度に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文報告集、第453号、pp.131~140、1993.11
- [2] 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、日本建築学会、pp.192~194、593、1991
- [3] 桜田、師橋、田中：重ね継手の付着割裂強度に及ぼす横補強筋および中子筋の効果に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文報告集、第465号、pp.119~128、1994.11
- [4] Orangun, C.O., Jirsa, J.O. and Breen, J.E.: A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices, ACI Journal, Vol.74, pp.114~122, 1977.3