

論文 全数重ね継手を用いた梁部材の変形および付着性状

田畑 卓*1・西原 寛*1・松本智夫*2・鈴木英之*2

要旨：本研究では、下端主筋を材端で全数重ね継手した梁部材を対象に曲げせん断実験を行い、梁端に曲げヒンジ部を想定した場合の変形性状、並びにあばら筋比および中子筋の有無による付着割裂強度への影響について検討した。その結果、重ね継手を有する場合は、通し配筋に比べて重ね継手端に変形が集中し、主筋降伏域が短くなる傾向を示した。また、付着割裂強度は中子筋の有無による顕著な違いが認められず、いずれも藤井・森田式を上回った。

キーワード：全数重ね継手／梁部材／横補強筋比／付着割裂強度／変形性状

1. はじめに

重ね継手は、鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(以下、RC規準)において、部材応力の小さい箇所に設けることを原則とされている。これは重ね継手を梁端に設けた場合、重ね継手端の鉄筋応力が大きくなることや、梁端のヒンジ領域によって有効な重ね継手長さが減少することなどから、重ね継手部が付着に対してかなり厳しい状況となるためであると考えられるが、先組鉄筋等の施工性の観点からは、梁端での全数重ね継手が合理的であり、その利用が望まれている。また、通常よく用いられる重ね継手は、主筋を梁幅方向に重ねたものであるが、設計および施工上、主筋を梁せい方向に重ねる場合も想定される。

そこで、本研究では下端主筋を梁端での全数重ね継手とした梁部材で、且つ重ね継手が主筋を梁せい方向に重ねた場合を対象に、片持ち梁型の曲げせん断実験を行い、梁端に曲げヒンジ部を想定した場合の変形性状、および横補強筋の付着割裂強度への寄与について検討した。

2. 試験体および使用材料

図1に試験体形状および配筋例を、表1に試験体一覧を示す。試験体は中央のスタブを挟む左右

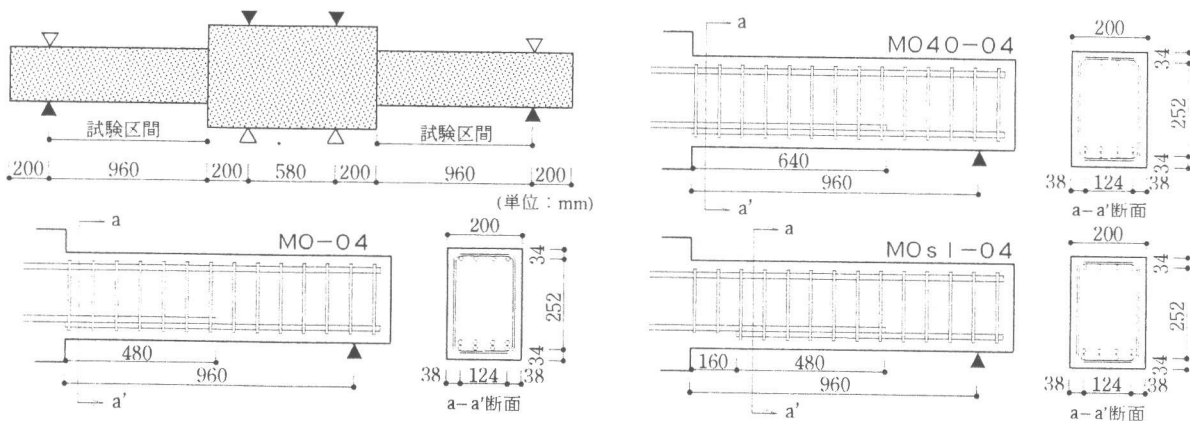


図1 試験体形状および配筋例

*1 安藤建設(株)技術研究所(正会員)

*2 安藤建設(株)技術研究所、工修(正会員)

の試験区間で変動因子が異なるよう計画しており、試験区間の断面寸法を $b \times D = 20 \times 32$ (cm)、せん断スパン比 $a/D = 3$ で共通とした。また、主筋は全試験体で上端、下端ともに 4-D16 とし、上端主筋は通し配筋とした。試験体は大別して 2 シリーズより構成され、主筋に普通鉄筋 (SD345) を用い、梁端での曲げ降伏を想定した M シリーズ 6 体と、主筋を焼き入れにより高強度化し、曲げ降伏に先行する付着破壊を想定した S シリーズ 8 体の計 14 体を設定した。M シリーズでは、下端主筋を梁端での全数重ね継手 (重ね継手長さ $L_b = 30d_b$, d_b : 主筋径)、且つ横補強筋比 $p_w = 0.43\%$ とした MO-04 を基準に、重ね継手の有無、重ね継手位置、重ね継手長さ、および横補強筋比を変化させた。また、S シリーズでは、各試験体とも梁端 (下端) に全数重ね継手 ($L_b = 30d_b$) を設け、横補強筋比および中子筋の有無を変動因子とした。なお、これらの重ね継手は、梁内に定着された主筋が、スタブ内に定着された主筋の下側となるよう梁せい方向に主筋を重ねたものである。

表 2 に使用材料の力学的性質を示す。横補強筋は D6 (SD295) の溶接閉鎖型、コンクリートは早強セメントによる設計基準強度 $F_c = 270$ (kgf/cm²)、最大骨材寸法 13mm のものを用い、コンクリートの打設は梁断面上方向から行った。

3. 加力および計測方法

加力は中央のスタブに貫通させた 2 本の PC 鋼棒 (32φ) により、試験体を加力フレームに固定するとともに、左右の試験区間において、片持ち梁形式の正負交番繰り返し載荷とした。なお、加力の手順は、一方の試験区間の加力を終了した後に、他方の試験区間を加力するものとした。また、加力の制御は M シリーズにおいて加力点位置での相対変形角 R による変位制御、S シリーズにおいてジャッキに取り付けられたロードセルの荷重 P ($P=Q$: せん断力) による荷重制御とし、表 3 の加力履歴に従った。

計測は、加力点位置における相対変位のほか、鉄筋の主要な箇所の歪みについて行った。

4. 実験結果

4.1 破壊経過

表 4 に各試験体の諸耐力一覧を、図 2 にせん断力 Q と相対変形角 R の関係を示す。また、図 3 に代表的な試験体の最終ひび割れ状況をそれぞれ示す。

M シリーズでは、いずれにおいても $R = 1/150$ rad. 付

表 1 試験体一覧

試験体名	主筋	重ね継手		横補強筋	
		始点	長さ L_b	配筋	p_w (%)
MOst-04		通し配筋			0.43
MO-04			30 d_b		0.43
MO-08	4-D16 (SD345)	梁端	d_b 主筋径	2-D6	0.80
MO-12					1.28
MO40-04			40 d_b		0.43
MOSl-04		0.5D*			0.43
SO-00					0
SO-02					0.21
SO-04				2-D6	0.43
SO-08	4-D16 (焼入加工)	梁端	30 d_b		0.80
SO-12					1.28
SI-04					0.42
SI-08				4-D6	0.85
SI-12					1.28

* 梁端から 0.5D ずらし (D: 梁せい)

表 2 使用材料の力学的特性

a) 鉄筋

径	種別	σ_y	ϵ_y	E_s	使用箇所
D16	SD345	3806	2214	1.93	M シリーズ 主筋
D16	焼入加工	5980*	5472*	1.73	S シリーズ 主筋
D6	SD295	4177	2207	1.96	横補強筋

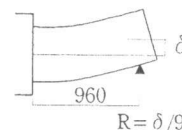
σ_y : 降伏応力 (kgf/cm²), ϵ_y : 降伏ひずみ (kgf/cm²)
 E_s : ヤング係数 ($\times 10^6$ kgf/cm²) * 0.2% オフセット

b) コンクリート

	圧縮強度 (kgf/cm ²)	ヤング係数 ($\times 10^6$ kgf/cm ²)	割裂引張強度 (kgf/cm ²)
S シリーズ*	294	2.61	32
M シリーズ*	322	2.62	32

表 3 加力履歴

M シリーズ		S シリーズ		
相対変形角 R (rad.)	回数 n	荷重 P (tf)	応力 σ (kgf/cm ²)	回数 n
1/400	=1	2.1	1000	=1
1/200	=1	4.3	2000	=1
1/100	=2	6.4	3000	=1
1/67	=2	8.5	4000	=1
1/50	=2	10.7	5000	=1
1/33	=1			
1/25	=1	(SO-12, SI-12 のみ ↓)		
		4.3	2000	=1
		8.5	4000	=1
		12.8	6000	=1
		2 δ_y	-	=2
		3 δ_y	-	=2



正加力: 下端引張り, σ : 梁端主筋応力, δ_y : $P = 12.8$ tf 時の変位

表4 諸耐力一覧

試験体名	曲げひび割れ			せん断ひび割れ			曲げ降伏			最大耐力						破壊形式
	実験値	変形角	実/計	実験値	変形角	実/計	実験値	変形角	実/計(1)	実験値	変形角	実/計(1)	実/計(2)	実/計(3)	実/計(4)	
MOst-04	2.05	0.61	1.79	5.03	3.39	0.87	7.90	7.30	1.03	9.20	40.16	1.20	0.83	—	—	MY
MO-04	2.72	0.71	2.37	5.62	3.14	0.97	8.14	6.27	1.06	9.94	40.13	1.30	0.89	1.34	1.03	MY
MO-08	2.13	0.44	1.85	6.00	3.66	1.04	7.70	5.79	1.01	10.18	40.11	1.33	0.75	1.12	1.06	MY
MO-12	2.19	0.51	1.91	6.37	4.18	1.10	7.64	6.78	1.00	10.12	40.14	1.32	0.65	0.94	1.05	MY
MO40-04	2.08	0.56	1.81	6.98	5.22	1.21	7.73	6.25	1.01	10.03	40.13	1.31	0.90	1.02	0.78	MY
MOsl-04	2.05	0.53	1.79	5.65	3.91	0.98	7.62	6.78	1.00	9.57	40.10	1.25	0.86	1.08	0.83	MY
SO-00	1.80	0.38	1.64	6.40	4.42	1.15	—	—	—	7.95	8.22	—	1.54	1.45	0.86	S
SO-02	1.87	0.39	1.70	6.39	4.17	1.14	—	—	—	10.54	13.73	—	1.11	1.65	1.14	S
SO-04	1.83	0.47	1.67	6.63	4.83	1.19	—	—	—	13.83	21.03	—	1.22	1.91	1.50	S
SO-08	1.82	0.40	1.66	6.00	3.76	1.07	—	—	—	16.06	53.26	—	1.18	1.82	1.74	MS
SO-12	2.10	0.53	1.91	7.25	4.99	1.30	—	—	—	16.30	36.53	—	1.03	1.51	1.77	MY
SI-04	0.87	0.18	0.79	5.37	4.70	0.96	—	—	—	12.99	18.12	—	1.15	1.79	1.41	S
SI-08	1.85	0.49	1.69	6.18	4.32	1.11	—	—	—	15.83	30.33	—	1.14	1.75	1.72	MS
SI-12	1.85	0.36	1.69	7.14	4.95	1.28	—	—	—	16.19	38.63	—	1.02	1.50	1.76	MY

実験値：せん断力(tf)、変形角($\times 10^{-3}$ rad.)、破壊形式[S：付着破壊、MS：曲げ降伏後の付着破壊、MY：曲げ降伏]
 計(1)：曲げ終局強度略算式(RC規準)、計(2)：荒川mean式、計(3)：藤井・森田式、計(4)：短期許容付着応力度(RC規準)

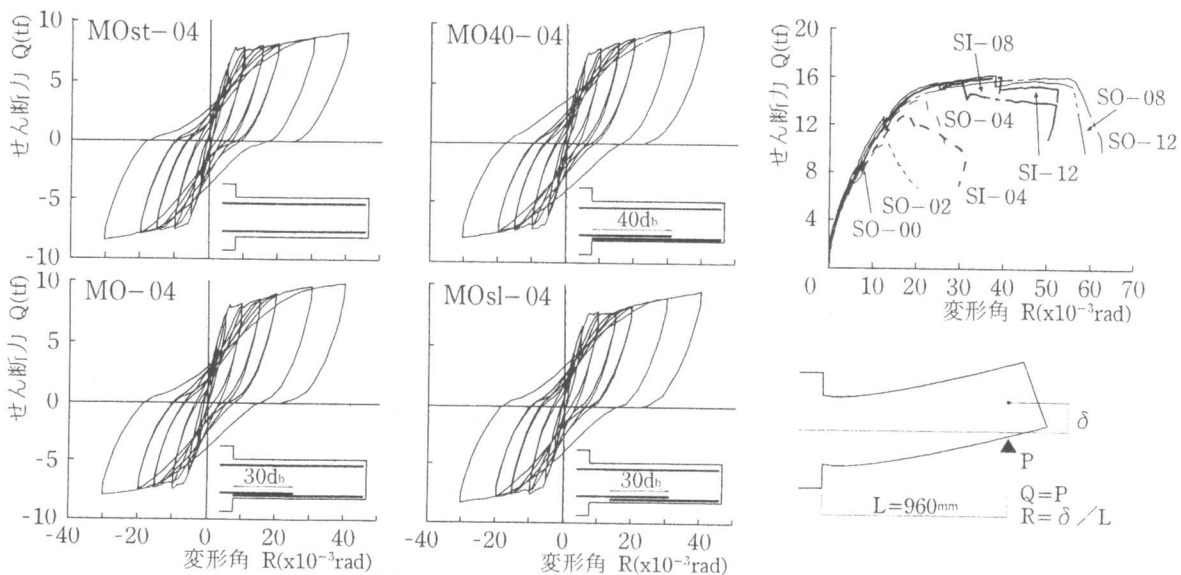


図2 せん断力Q-相対変形角R関係

近に下端主筋が降伏した。それ以降、荷重が増加するに従い、重ね継手を設けた試験体では、重ね継手始点に発生した曲げひび割れが顕著となり、横補強筋比 $p_w=0.43\%$ とした試験体では、下端主筋に沿う付着割裂ひび割れが僅かに発生したが、各試験体とも $R=1/25$ rad.まで耐力低下も認められず、安定した履歴性状を示した。最終破壊形式は、Mシリーズの全試験体において曲げ降伏破壊である。また、最大耐力は下端主筋を通し配筋としたもの($Q_{max}/Q_{My}=1.20$ Q_{max} :最大耐力, Q_{My} :曲げ略算式計算値)、重ね継手を梁端から0.5Dずらしたもの($Q_{max}/Q_{My}=1.25$)、重ね継手を梁端に設けたもの($Q_{max}/Q_{My}=1.30\sim 1.33$)の順に高くなる傾向を示しており、重ね継手長さに

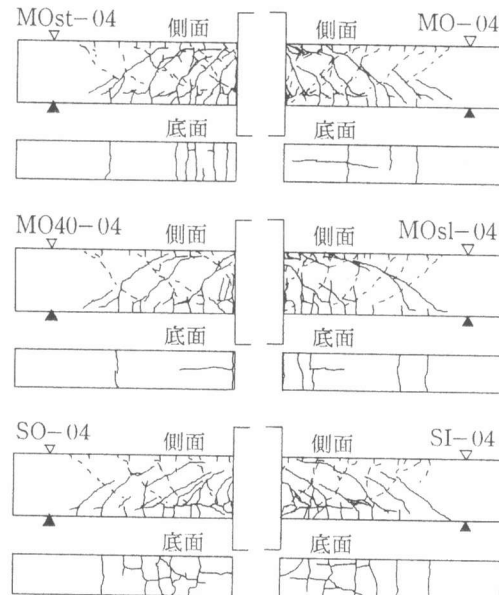


図3 最終ひび割れ状況

よる影響は特に認められなかった。

Sシリーズでは、横補強筋比 $p_w=0.43\%$ 以下の試験体において、主筋の降伏以前で重ね継手部に発生した付着割裂ひび割れの拡大、伸展によって急激な耐力低下を呈している。なお、最大耐力以降の耐力低下は、横補強筋比を増すほど緩やかになる傾向であった。横補強筋比 $p_w=0.80\%$ のS0-08,SI-08では、 $Q=4.0\text{tf}$ で重ね継手部に付着割裂ひび割れが発生した後、下端主筋が降伏し、最終的にはS0-08で $R=1/19\text{rad.}$ 、SI-08で $R=1/33\text{rad.}$ に重ね継手部の付着割裂ひび割れの拡大とともに最大耐力に至っている。横補強筋比 $p_w=1.28\%$ のS0-12,SI-12では、荷重の上昇に伴い下端主筋が降伏し、大変形時に圧縮縁で圧壊するとともにS0-12では主筋が破断した。なお、重ね継手部の付着割裂ひび割れは、最終加力時においても軽微であった。また、全試験体で中子筋の有無による顕著な差異は認められなかった。

4.2 下端主筋の歪み

図4にMシリーズ、図5にSシリーズの下端主筋の歪み分布を示す。Mシリーズについては、下端主筋を通し配筋としたM0st-04では、 $R=1/50\text{rad.}$ 時の主筋の降伏域が梁端から $1.25D(40\text{cm})$ まで伸展している。これに対し、重ね継手を設けた試験体では、スタブ内に定着された主筋の降伏域が、梁端に $30d_b$ の重ね継手を設けたM0-04,08,12において $0.75D(24\text{cm})$ 、同じく $40d_b$ の重ね継手を設けたM040-04において $0.50D(16\text{cm})$ 、梁端から $0.5D$ の位置に重ね継手を設けたM0s1-04において $1.0D(32\text{cm})$ まで伸展しており、通し配筋の場合より主筋降伏域が短くなる傾向を示した。これは重ね継手を設けた試験体が、剛性の小さい重ね継手始点で局所的に変形し、通し配筋の場合ほど変形が分散しないためであり、これによってスタブ内定着主筋が梁端で歪み

硬化域に達し、最大耐力が向上したものと思われる。一方、Sシリーズでは、中子筋の有無による顕著な差異は認められず、中子筋のない場合についても隅主筋と中主筋とでほぼ等しい歪み値を示した。ただし、主筋降伏以前に付着割裂破壊した試験体が、横補強筋比 $p_w=0\sim 0.43\%$ と付着割裂強度の低いレベルであるので、今後、高いレベルを踏まえた検討が必要であると思われる。

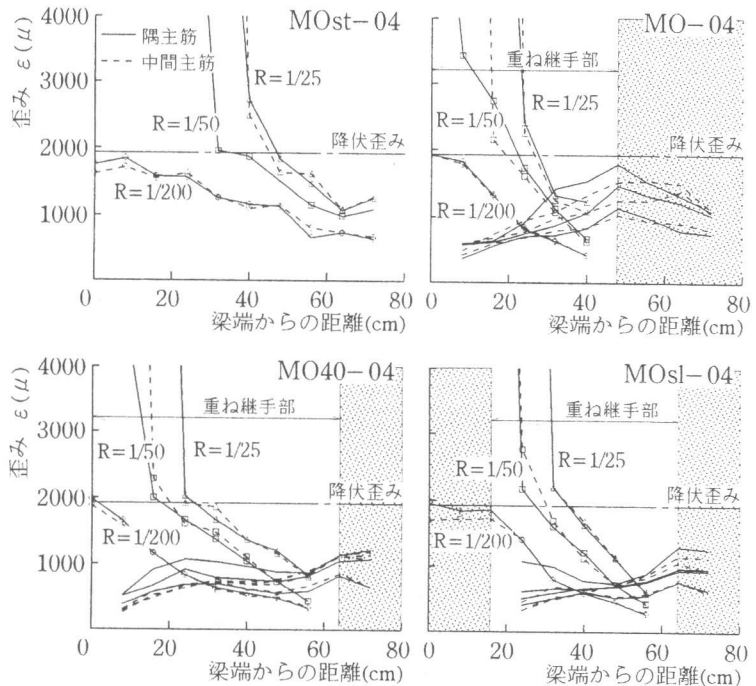


図4 主筋歪み分布(Mシリーズ)

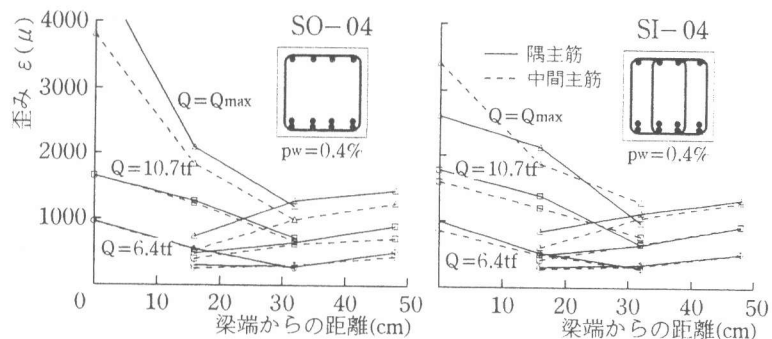


図5 主筋歪み分布(Sシリーズ)

表5 Sシリーズの付着割裂強度に関する一覧

試験体名	Le (cm)	付着割裂強度実験値(kgf/cm ²)			藤井・森田式		短期許容付着応力度		L _e : 有効定着長さ(=L _b -L _P) L _b : 重ね継手長さ(=48cm) L _P : スタブ内定着主筋降伏域(cm) 1) 荷重から求めた付着割裂強度(kgf/cm ²) =M/(Σφ・L _b ・0.9d) 2) 歪みから求めた付着割裂強度(kgf/cm ²) =ar・E _s ・ε _t /(φ・L _e) 3) 実験値は隅主筋と中間主筋の平均値
		荷重 ¹⁾	隅主筋 ²⁾	中間主筋 ²⁾	計算値	実/計 ³⁾	計算値	実/計 ³⁾	
SO-00	48	32.72	32.79	33.32	22.58	1.46	37.89	0.87	
SO-02	48	43.37	42.75	43.34	26.00	1.66	37.89	1.14	
SO-04	48	56.91	54.23	55.37	29.58	1.85	37.89	1.45	
SO-08	32	66.09	83.39	82.87	35.60	2.34	37.89	2.19	
SO-12	32	67.08	72.39	76.08	43.41	1.71	37.89	1.96	
SI-04	48	53.46	57.90	48.46	29.42	1.81	37.89	1.40	
SI-08	32	65.14	66.51	69.79	36.41	1.87	37.89	1.80	
SI-12	32	66.63	81.04	78.14	43.41	1.83	37.89	2.10	

藤井・森田式[1]

$$\tau_{Bu} = \{(0.375b_{si} + 0.521) + 30.4q_{st}\} \sqrt{\sigma_B}$$

$$b_{si} = b/N \cdot d_b - 1 \quad q_{st} = b \cdot p_w / (N \cdot d_b)$$

ここで、b: 部材幅(cm)、N: 全継ぎ手組数(組)、d_b: 主筋径(cm)、p_w: 横補強筋比(%)、

σ_B: コンクリート強度(kgf/cm²)、n: 横補強筋が直接掛かっている重ね継手組数(組)

桜田式[3]

$$\tau_{Bu} = \{(0.375b_{si} + 0.521) + (1 + 2.51n/N) \cdot 4.91q_{st}\} \sqrt{\sigma_B}$$

$$b_{si} = b/N \cdot d_b - 2 \quad q_{st} = b \cdot p_w / (N \cdot d_b)$$

4.5 付着割裂強度の検討

表5にSシリーズの付着割裂強度に関する一覧を、図7に付着割裂強度τ_{Bu}と横補強筋比p_wの関係を示す。なお、隅主筋と中間主筋のτ_{Bu}は、主筋に貼付した歪みゲージから求めており、主筋が降伏した試験体については、歪み分布において主筋が弾性範囲内であると判断した区間の平均付着応力度(図6参照)とした。また、表中の計算値との比にはこれらの平均値を用いた。隅主筋、中間主筋のτ_{Bu}は中子筋の有無に関わらずほぼ同等であり、主筋が降伏したものを除き、荷重から求めたτ_{Bu}とほぼ一致している。図7によれば、τ_{Bu}は横補強筋比p_wの増加とともに直線的に上昇する傾向を示しており、いずれも藤井・森田式[1]による計算値を上回っている(実/計=1.46~2.33)。藤井・森田式はコンクリート負担分τ_{c0}と横補強筋負担分τ_{st}の累加により構成されるが、本実験値に対して横補強筋比p_w=0%におけるτ_{Bu}(=τ_{c0})、および横補強筋比p_wの増加に伴うτ_{Bu}の増加率(=

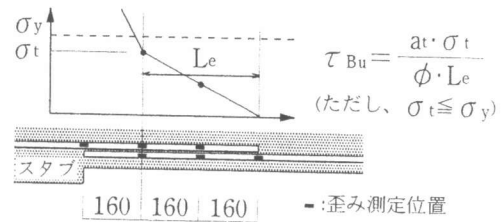


図6 付着割裂強度τ_{Bu}の算定

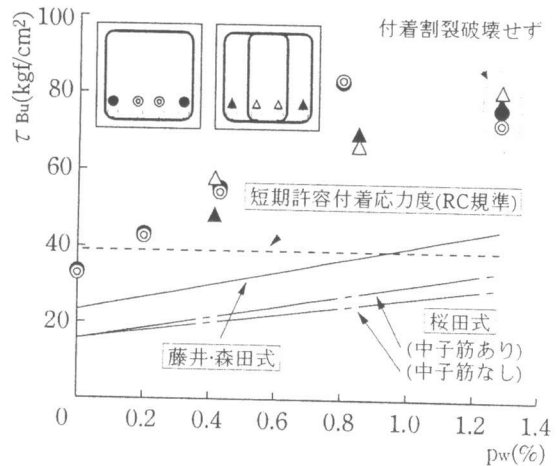


図7 付着割裂強度τ_{Bu}—横補強筋比p_w

とも安全側の評価である。古川等[2]の研究によれば、スタブ内に定着された主筋を、梁内に定着された主筋の下に配した重ね継手、即ち、本実験の場合と逆に主筋を重ねた場合(L_b=25~45d_b, p_w=0.2~0.88%)の付着割裂強度は、桜田等[3]の提案式とよい対応を示すと報告されている。従って本実験では、スタブ内に定着された主筋の、コンクリートを梁せい方向に割り裂く力を、梁内に定着された主筋が下から拘束し、このとき付着に対して不利となるであろう梁内に定着された主筋は、付着応力度自体が小さいため、結果としてτ_{Bu}が上昇したものと考えられる。また、横補強筋比p_w=0.2%以上の試験体は、RC規準の短期許容付着応力度により安全側に評価されている。

図8は曲げ降伏以前に付着割裂破壊となったS0-04を例に各区間の付着応力度τ_Bの推移を示し

たものである。 τ_B は荷重の増加に伴って主筋応力の大きい方から順次低下しており、既往の研究[4]のように、付着割裂強度時の τ_B は重ね継手区間で一定とはなっていない。この傾向は曲げ降伏以前の付着割裂破壊を呈した他の試験体

についても同様である。つまり、部材としての τ_{Bu} の上昇には主筋応力の小さい区間（図中C区間）の τ_{Bu} が大きく影響したと思われる。

図9に曲げ降伏以前に付着割裂破壊した試験体について、付着応力度 τ_B と横補強筋の歪みより求めた主筋拘束応力度 σ_c の関係を示す。 σ_c は横補強筋の主筋1本に対する拘束応力度であり、中子筋のない場合には外周の横補強筋が4本の主筋を平均的に、中子筋のある場合には外周の横補強筋が隅主筋を、中子筋が中間主筋を拘束するものとして、凡例のように算定した。 σ_c は τ_B が τ_{co} （藤井・森田式）に達するのとほぼ同時に増加する傾向を示しており、主筋の付着力は τ_{co} までコンクリートで、それ以降は横補強筋で保持されていることがわかる。しかしながら、 τ_{co} は $p_w=0\%$ であるS0-00の τ_{Bu} に対して過小評価であり、別途検討の必要があるものと思われる。

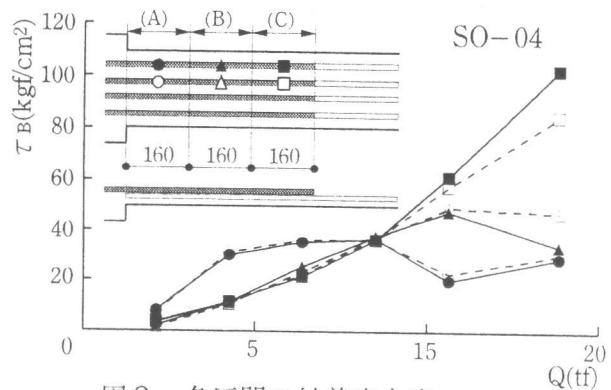


図9 各区間の付着応力度 τ_B

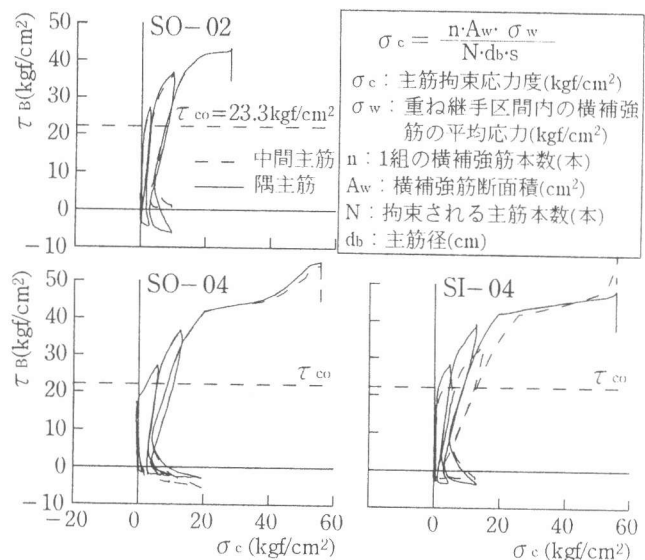


図8 付着応力度 τ_B —主筋拘束応力度 σ_c

5. 結論

本研究により得られた知見を以下に示す。

- 1) 梁端にヒンジ領域を想定した場合、重ね継手を設けたものは、主筋を通し配筋と

したものと同等以上の履歴性状を示し、最終加力($R=1/25$ rad.)まで耐力低下はみられなかった。

- 2) 主筋降伏域は、重ね継手を設けることにより短くなる傾向を示した。

- 3) 付着割裂強度は、横補強筋比に比例して上昇し、藤井・森田式による計算値を上回った。また、 $p_w=0.2\%$ 以上においてはRC規準の短期許容付着応力度によって安全側に評価できた。

- 4) 付着応力度は、重ね継手区間において一様ではなく、主筋応力の大きい方から順次低下した。

[参考文献]

- [1] 藤井栄、森田司郎: 異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究、日本建築学会論文報告集、第324号、pp.45~53、1982.2
- [2] 古川淳、市川昌和: 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、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17, No.2、pp.1167~1172、1995
- [3] 桜田智之、師橋憲貴: 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] 角陸純一: 高強度太径壁筋重ね継手の付着割裂強度に関する研究、日本建築学会構造系論文報告集、第456号、pp.51~57、1994.2