

論文 横補強筋を配置しないカプラー方式主筋継手を用いた RC 梁の付着性能

市岡 有香子*1・田川 浩之*2・足立 将人*3・益尾 潔*4

要旨：カプラー方式の機械式継手を用い、継手部以外に横補強筋を均等に配置した RC 梁の、主筋の付着性能を明らかにするため、片持ち梁試験体の付着破壊実験を行った。実験因子は、継手の有無、コンクリート強度、横補強筋鋼種、横補強筋比である。実験の結果、梁主筋のひずみ分布は継手の有無に係わらなかった。すなわち、継手部以外に横補強筋を均等に配置した本工法では、継手表面の付着応力の低下分が継手小口の支圧応力と相殺されるため、梁主筋の付着性能に及ぼす継手の影響は小さいことがわかった。

キーワード：機械式継手、カプラー方式、RC 梁、付着性能、支圧応力、継手小口

1. はじめに

機械式継手(以下、継手)を有する梁主筋では、継手表面の付着力は小さいが、継手小口の支圧力を期待できる。従来、継手を含めた鉄筋の引抜き試験¹⁾、主筋継手を配置した梁部材の実験²⁾により、継手付き梁主筋の付着性能が検討されている。本研究では、継手部分で設計かぶり厚さの不足を避けるために、横補強筋を継手には配置せず、継手部以外に均等に配置した梁主筋を有する、片持ち RC 梁試験体の曲げせん断加力を行い、継手の有無が梁主筋の付着性状に及ぼす影響を明らかにする。

2. 実験計画

2.1 試験体

主な試験体の形状寸法、配筋を図-1 に、梁断面を図-2 に示す。本試験体では、AIJ 靱性指針³⁾付着強度式の基になっている前田らの研究⁴⁾と同様、加力点および固定端で、鋼管を用いて梁主筋の付着を切った。付着切り

鋼管の詳細を図-3 に示す。試験体一覧を表-1 に、継手の詳細を図-4 に示す。試験体は計 8 体で、実験因子は、継手の有無、コンクリート目標圧縮強度、横補強筋鋼種、横補強筋比である。梁主筋の鋼種、本数、位置は共通で、せん断スパン比は 2 である。ただし、試験体 No.1 ~No.4 と No.5~No.8 では、梁主筋に別ロットの鉄筋を用いた。

継手あり試験体は、継手位置を試験区間のほぼ中央とし、継手カプラーには横補強筋を配置せず、継手部以外に、継手なし試験体と同数の横補強筋を均等配置した。

また、全試験体とも、付着破壊以前の曲げまたはせん断破壊を防止するため、中段筋(4-D22)を配置するとともに、梁断面中央はせん断補強筋を密に配置した。中段筋は、梁固定端側では危険断面直上に機械式定着金物を配置し、梁自由端側では端部鋼板にロックナットで固定した。更に、3 章で加力方法を示すように、下端筋・引張加

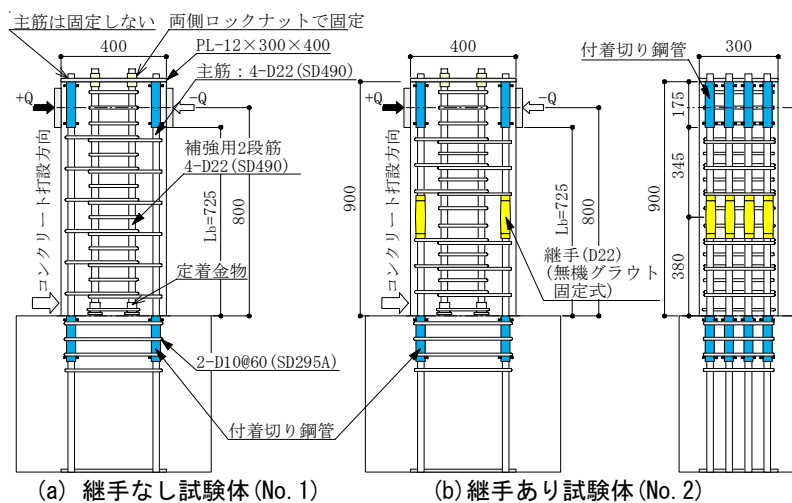


図-1 主な試験体の形状寸法, 配筋

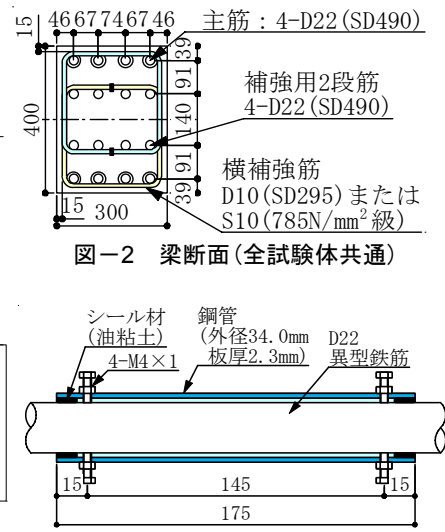


図-3 付着切り鋼管

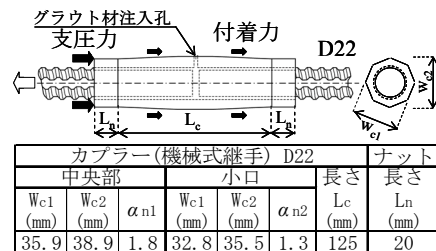
*1 日本建築総合試験所 構造部 構造物試験室 博士(工学) (正会員)
 *2 日本建築総合試験所 構造部 構造物試験室 Ph.D. (正会員)
 *3 日本建築総合試験所 構造部 構造物試験室・主査 博士(工学) (正会員)
 *4 建築構造技術支援機構 工博 (正会員)

表-1 実験計画

試験体	F _c (N/mm ²)	主筋		継手の有無	横補強筋				
		配筋 (p _t %)	鋼種		鋼種	配筋	p _w	p _w ・σ _{wy} (N/mm ²)	p _w ・σ _{wy} F _c
No. 1	27	4-D22 (1.29%)	SD 490	なし	SD 295	2-D10 @120	0.40%	1.46	0.05
No. 2				あり		2-D10 @70			
No. 3				なし		2-D10 @70			
No. 4	60	4-D22 (1.29%)	SD 490	なし	785 N/mm ² 級	2-S10 @120	0.40%	3.80	0.07
No. 5				あり		2-S10 @70			
No. 6				なし		2-S10 @70			
No. 7				あり		2-S10 @70			
No. 8							0.68%	6.51	0.12

【記号】L: 片側スパン長, B: 梁幅, D: 梁せい, F_c: コンクリートの目標圧縮強度
p_t: 引張鉄筋比, p_w: 横補強筋比, σ_{wy}: 横補強筋の降伏強度

【部材寸法】L=800mm, B×D=300mm×400mm 【横補強筋の加工形式】SD295: 135° フック閉鎖型, 785N/mm²級: 溶接閉鎖型



Wc1, Wc2: カプラーの対辺距離と対角距離
αn1, αn2: カプラー中央部, 小口部の支圧面積比で,
αn=(Ap-at)/at
Ap: 継手の見付け面積, at: 鉄筋の断面積

図-4 本実験に用いた機械式継手

力時において、先に行った上端筋・引張加力時に横補強筋が降伏する影響を除くために、上端筋と下端筋の横補強筋は、それぞれ反対側の中段筋にかけた(図-2)。

一方、本実験に用いた機械式継手は、図-4 に示すように、カプラー中央部の寸法は小口よりも大きく、両側にテーパ部を有し、小口の支圧面積比 α_{n2} は 1.3 で中央部の支圧面積比 α_{n1} の 0.7 倍程度である。

2.2 使用材料

コンクリートと鉄筋の材料特性を表-2 に示す。

表-2 使用材料特性
(a) コンクリート

試験体	σ _B (N/mm ²)	ε _{co} (×10 ⁻³)	σ _t (N/mm ²)
No. 1~No. 4	31.8	1.87	2.74
No. 5~No. 8	53.5	2.29	4.30

注) σ_B: 圧縮強度, ε_{co}: 圧縮強度時ひずみ, σ_t: 引張強度

(b) 鉄筋

使用箇所	試験体	呼び名	鋼種	σ _v (N/mm ²)	σ _u (N/mm ²)	伸び(%)
主筋	No. 1~	D22	SD490	613	834	16
横補強筋	No. 4	D10	SD295A	369	512	29
主筋	No. 5~	D22	SD490	543	769	18
横補強筋	No. 8	D10	KSS785	963	1125	11

注) σ_v: 降伏点, σ_u: 引張強さ

3. 実験方法

実験は、図-5 に示すように、試験体スタブ部を固定し、押し引き型油圧ジャッキを用いて、試験体に水平力を加えて行った。まず上端筋が引張側となる正加力方向に単調荷重を行って上端筋の付着破壊を生じさせ、次に下端筋が引張側となる負加力方向に単調荷重を行って行った。主な測定項目は、片持ち梁の全体水平変形量、梁主筋端部のすべり量、梁主筋および横補強筋のひずみである。

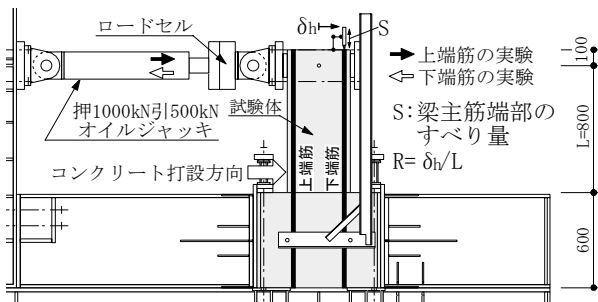


図-5 荷重装置

梁主筋端部のすべり量 S は、梁自由端側の端部鋼板に取り付けた変位計のスピンドル先を、梁主筋の端面に押し当てて測定した。

4. 実験結果

4.1 荷重-変形関係および破壊状況

横補強筋比 p_w が同じ試験体の、継手の有無による Q-R 関係の比較を図-6、図-7 に示す。Q は水平荷重、R は加力点高さの水平変位 δ_h を加力点高さ L で除した変形角である。同図中に、後述の式(1)による AIJ 靱性指数³⁾の付着信頼強度 τ_{bu} に基づく付着耐力 Q_{buo}、コンクリートの応力-ひずみ関係に e 関数^{5), 6)}を用いた平面保持仮定による曲げ終局耐力時せん断力 Q_{tu} を併示する。

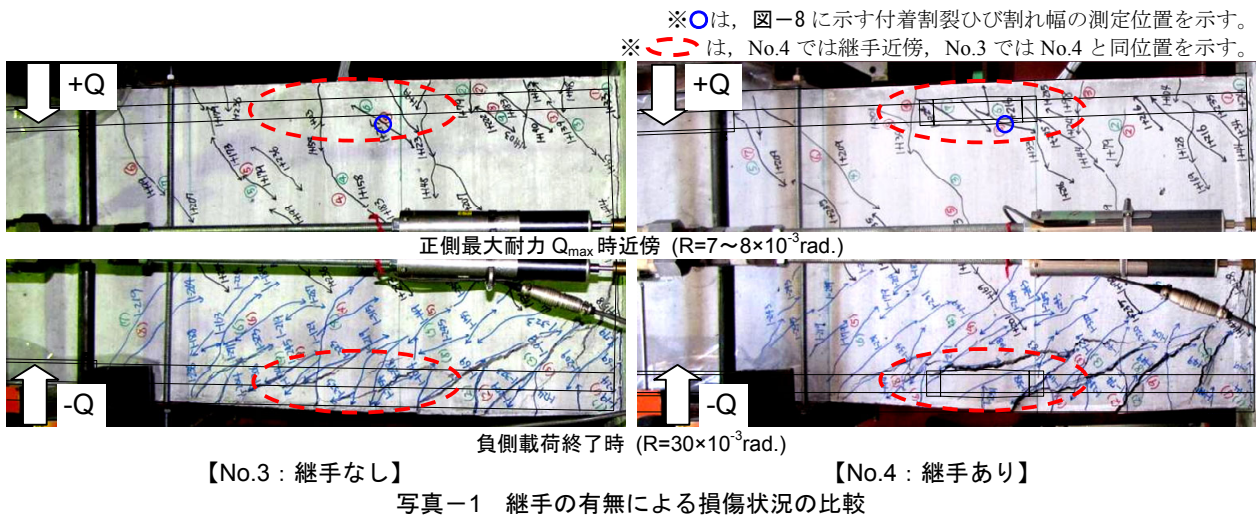
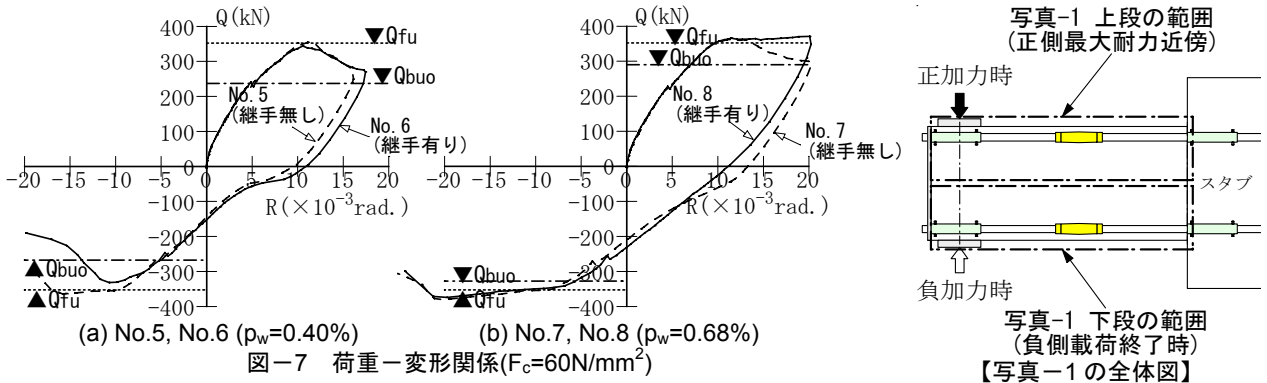
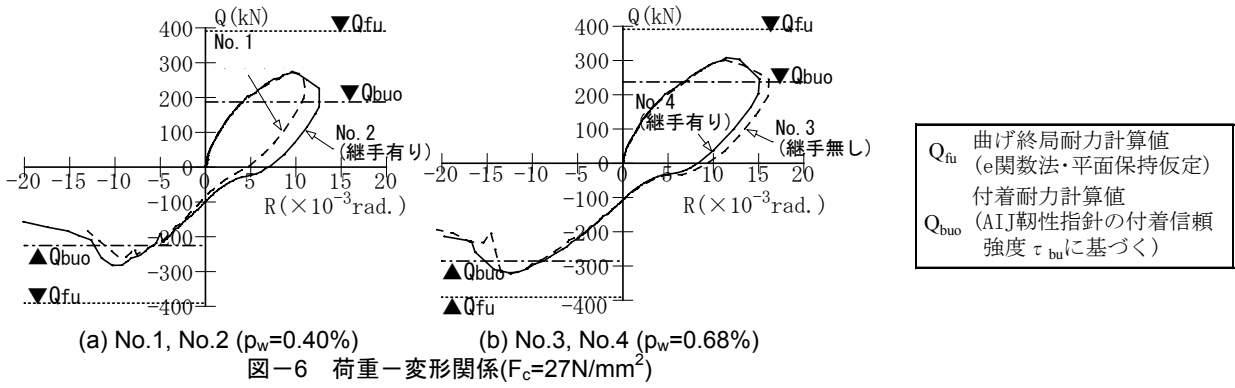
(1) F_c=27N/mm² の試験体

正、負加力時ともに、曲げひび割れ、せん断ひび割れが順に生じた後に、継手なし試験体は試験体中央高さ付近、継手あり試験体は継手小口近傍を起点とする付着割裂ひび割れが発生した。図-6 に示すように、正加力時は R=10×10³rad.程度、負加力時は R=-10×10³rad.程度で最大耐力±Q_{max} に到達後、付着割裂ひび割れが著しく進展し、梁主筋の滑りを伴って耐力が低下した。継手あり試験体 No.2, No.4 の最大耐力は、正、負加力時ともに、継手なし試験体 No.1, No.3 と同程度となった。

各試験体の破壊形式は、正、負加力時ともに、梁主筋の付着割裂破壊型と判断される。

(2) F_c=60N/mm² の試験体

ひび割れ発生順序は F_c=27N/mm² と同様であったが、継手あり試験体の付着割裂ひび割れの起点は継手小口近傍に限らなかった。各試験体とも R=8~9×10³rad.程度で梁主筋が降伏し、試験体 No.8 を除く各試験体は、図-7 に示すように、正加力時は R=11×10³rad.程度で Q_{max} に到達後、付着割裂ひび割れが進展し、梁主筋の滑りを伴って耐力が低下した。試験体 No.8 では付着破壊を生じず耐力が低下しなかったが、R=20×10³rad.で荷重を反転した。負加力時では、正加力時に下端筋近くまで進展したひび割れの影響により、-Q_{max} 到達時が R=-10~-20×



10^{-3}rad. 程度とばらついた。継手あり試験体 No.6, No.8 の最大耐力は、正、負加力時ともに、継手なし試験体 No.5, No.7 と同程度以上となった。

正、負加力時ともに、梁主筋降伏後の付着割裂破壊型であると判断される。ただし、試験体 No.8 の正加力時では、梁主筋の付着割裂破壊は見られなかった。

(3) 梁主筋に沿う付着割裂ひび割れ

F_c27 , $p_w=0.7\%$ の試験体 No.3, No.4 について、正側最大耐力 Q_{\max} 時近傍および負側載荷終了時での損傷状況を写真-1に示す。正側 Q_{\max} 時に、No.4 の継手近傍では、No.3 の継手なし試験体よりもひび割れ本数が多かった。ただし、次段落で述べるように、付着耐力 Q_{buo} 時 (R_{bu} 時) には、No.4 のひび割れ幅は 0.2mm 程度以下であり、No.3 と同大差はなく、継手小口にひび割れが集中することは

なかった。 $R=30\times 10^{-3}\text{rad.}$ の負側載荷終了時には、No.4 で継手近傍に大きな付着割裂ひび割れが生じたが、負側最大耐力- Q_{\max} 時までは、両試験体の損傷に差異は見られなかった。

継手位置近傍に発生した付着割裂ひび割れ幅 w_{BC} の推移を図-8に示す。 w_{BC} の測定位置を写真-1中に示す。同図中には、付着耐力 Q_{buo} 時の変形角 R_{bu} と短期許容付着耐力 Q_{fa} 時の変形角 R_{fa} を併示する。 Q_{buo} は、後述の式(1)による AIJ 靱性指針³⁾ の付着信頼強度 τ_{bu} に基づく付着耐力である。 Q_{fa} は、後述の式(2)中の τ_{bu} を短期許容付着応力度 τ_{fa} ⁷⁾ に置き換え、式(1)に代入して求めた短期許容付着耐力である。

図-8によると、継手の有無に関わらず、 Q_{fa} 時 (R_{fa} 時) では、継手位置近傍に付着割裂ひび割れは発生していな

い。Q_{buo}時(R_{bu}時)では、継手あり試験体のw_{BC}は、継手なし試験体よりも大きな値になる傾向がある。ただし、いずれも耐震性能評価指針案⁸⁾による使用限界状態(部材が継続使用に耐えうる状態)の残留ひび割れ幅0.2mm程度に留まる。部材寸法によるひび割れ幅の増大率を2.0程度、残留ひび割れ幅は最大ひび割れ幅の1/2程度となると考えると、Q_{buo}時であっても残留ひび割れ幅は0.2mm程度に留まると推察される。Q_{buo}時以降、継手あり試験体のw_{BC}は、継手なし試験体よりも増加した。

4.2 梁主筋ひずみと付着応力

正側最大耐力Q_{max}時の梁主筋ひずみε_{Mi}分布を図-9に示す。F_c27の試験体No.1~No.4のε_{Mi}は、降伏ひずみε_yに達していないが、F_c60の試験体No.5~No.8では、

ε_{M4}がε_yに達している。コンクリート強度と横補強筋比p_wが同じ試験体同士では、ε_{Mi}分布に梁主筋継手の有無による有意差は見られない。すなわち、継手部以外に横補強筋を均等に配置したRC梁の主筋は、継手なしの場合と同程度の付着性能を有する。これは、図-10に示すように、継手表面の付着応力が異形鉄筋と比べて小さくなる一方、継手小口における支圧応力が増大し、両者が相殺されるからであると推察される¹⁾。継手小口に支圧応力が発現するのは、図-4に示すように、支圧面積比α_{n1,2}が1.3~1.8確保されていることに起因する⁹⁾。

4.3 横補強筋ひずみ

正側最大耐力Q_{max}時の各試験体の横補強筋ひずみε_{Hi}分布を図-11に示す。継手あり試験体の継手部近傍の横

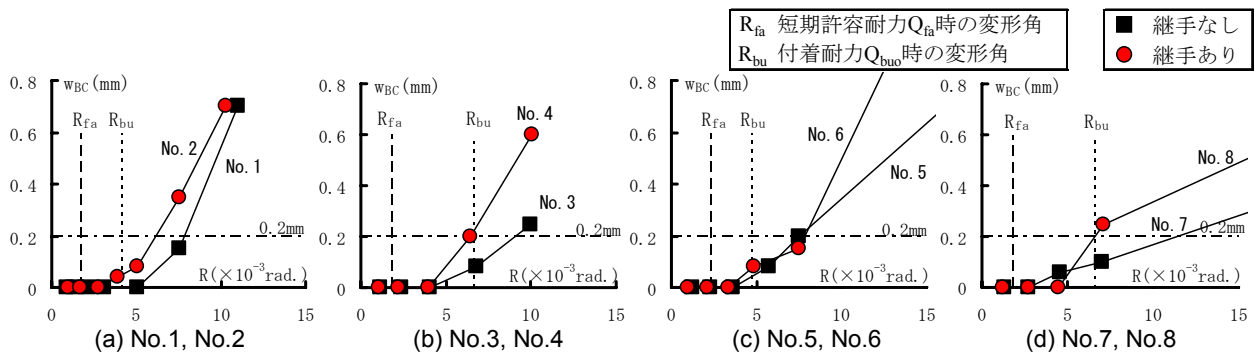


図-8 継手位置近傍の付着割裂ひび割れ幅の推移

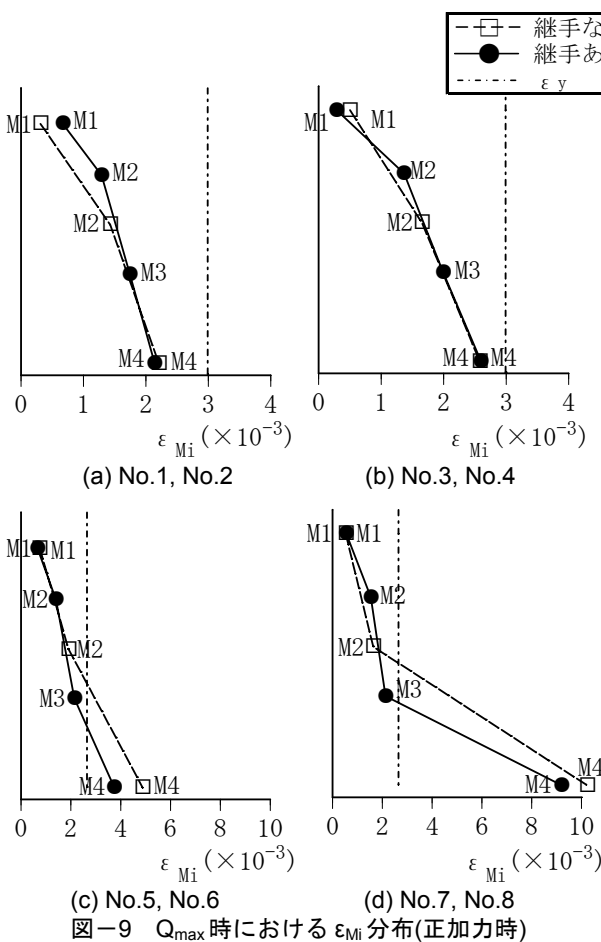
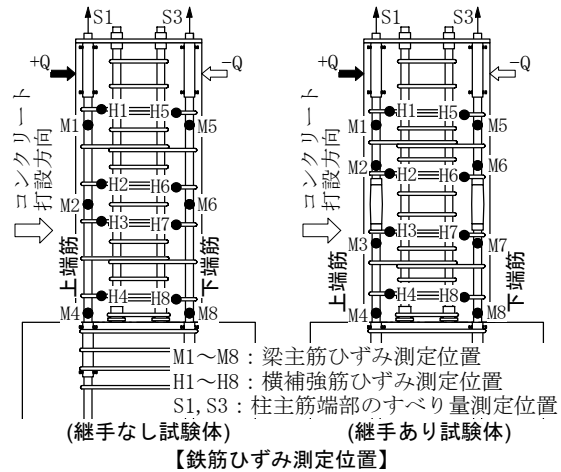


図-9 Q_{max}時におけるε_{Mi}分布(正加力時)



【鉄筋ひずみ測定位置】

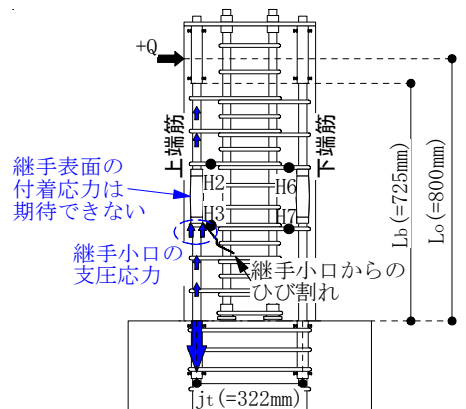


図-10 継手小口の支圧応力

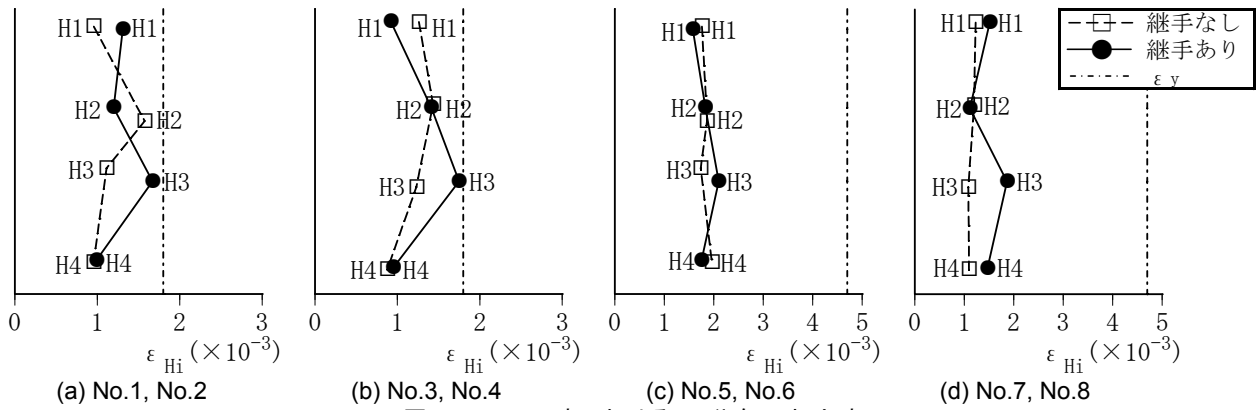


図-11 Q_{max} 時における ϵ_{Hi} 分布(正加力時)

補強筋ひずみ ϵ_{H3} は、継手なし試験体と比較して大きくなった。すなわち、継手あり試験体では、図-10に示すように、引張側梁主筋の継手小口に支圧応力が作用することに伴い、その近傍の横補強筋のひずみが増加したと考えられる。

5. 最大耐力の検討

5.1 検討方針

本論文で検討対象とする計算耐力は、(1)梁主筋付着耐力時梁せん断力 Q_{buo} 、(2)曲げ終局耐力時せん断力 Q_{fu} 、ならびに(3)せん断終局耐力 Q_{suo} である。

(1) 付着耐力 Q_{buo}

付着耐力 Q_{buo} は、梁主筋の有効付着区間 L_b について、継手の有無に係わらず、継手がないとして求めた平均付着応力 τ_b が AIJ 靱性指針³⁾による付着信頼強度 τ_{bu} に到達した時の水平力 Q と定義する。すなわち、付着耐力 Q_{buo} は下式で算定される。

$$Q_{buo} = \sigma_s \times \Sigma a_t \times j_t / L_o \quad (1)$$

$$\text{ここで、} \sigma_s = \tau_{bu} \times \phi \times L_b / a_t \quad (2)$$

Σa_t : 梁主筋の全断面積

j_t : 上、下端主筋の重心間距離

L_o : 加力点高さ(=800mm)

L_b : 有効付着長さ(=725mm)

τ_{bu} : 梁主筋付着応力で、AIJ 靱性指針³⁾による付着信頼強度とする。

ϕ : 梁主筋の周長

有効付着長さ L_b は、梁主筋継手の有無に係わらず、梁主筋両端に配置した付着切り鋼管の内法寸法として、 $L_b = 725\text{mm}$ とした。付着耐力の算定に用いた寸法諸元を図-10中に示す。

(2) 曲げ終局耐力時せん断力 Q_{fu}

曲げ終局耐力時せん断力 Q_{fu} は、e 関数^{5),6)}によるコンクリートの応力-ひずみ関係を用いて平面保持仮定により算定する。ここで、中段筋は、梁端部に機械式定着金物を配置しているが、危険断面を貫通してないため、曲げ終局耐力に寄与しないとする。

(3) せん断終局耐力 Q_{suo}

せん断終局耐力 Q_{suo} は、下式で算定される。

$$Q_{suo} = \min(Q_{su}, Q_{bu}) \quad (3)$$

ここで、 Q_{su} は AIJ 靱性指針式³⁾によるせん断終局耐力、 Q_{bu} は AIJ 靱性指針式³⁾による付着破壊の影響を考慮したせん断終局耐力である。各耐力算定に際し、本試験体では、上端筋と下端筋の横補強筋をそれぞれ反対側の中段筋にかけているため、横補強筋比 p_w には、上端、下端1段筋にそれぞれかけた横補強筋のみの値を用いる。また、継手あり試験体の p_w は、横補強筋の組数を同じとした継手なし試験体の値を用いる。

5.2 検討結果

実験値および計算耐力の一覧を表-3に、各試験体の $Q_{max}/Q_{fu} - Q_{buo}/Q_{fu}$ 関係を図-12に示す。計算耐力の算定には、表-2に示すコンクリートの実圧縮強度 σ_B 、鉄筋の実降伏強度 σ_y を用いた。

F_c27 の試験体 No.1~No.4 では、最大耐力実験値 $\pm Q_{max}$ は Q_{buo} に達したが、 Q_{fu} および Q_{suo} に達していない。 F_c60 の試験体 No.5~No.8 の $\pm Q_{max}$ 実験値は、 Q_{buo} に達し、 Q_{fu} にも概ね達した。 F_c27 、 F_c60 の各試験体ともに、上端主筋が引張力を受ける正加力時において、図-12(a)に示すように、各試験体の最大耐力 Q_{max} は、 Q_{buo} の 1.38 倍程度となった。横補強筋比 p_w が同じ試験体を比較すると、継手の有無は Q_{max} にほとんど影響を及ぼさない。下端主筋が引張力を受ける負加力時では、図-12(b)に示すように、各試験体の Q_{max} は Q_{buo} の 1.17 倍程度となった。

6. 結論

本研究で得られた主な知見は、以下である。

- 1) 本研究で対象とする、継手部以外に横補強筋を均等に配置した RC 梁では、継手の有無が付着破壊時の梁せん断力 $\pm Q_{max}$ に及ぼす影響は小さかった。
- 2) 梁主筋のひずみ分布は、継手の有無による有意な差を示さず、継手部以外に横補強筋を均等に配置した RC 梁の主筋は、継手なしの場合と同程度の付着性能を有することが明らかになった。

表-3 実験値および計算耐力の一覧

	試験体	実験値					付着耐力			曲げ耐力		せん断耐力		
		Q_{max} (kN)	τ_{bu} (N/mm ²)	Q_{buo} (kN)	Q_{max}/Q_{buo}	Q_{buo}/Q_{fu}	Q_{fu} (kN)	Q_{max}/Q_{fu}	Q_{su} (kN)	Q_{bu} (kN)	Q_{suo} (kN)	Q_{suo}/Q_{fu}		
F _c 27	正加力時	No. 1	274	2.29	187	1.46	0.48	391	0.70	309	365	309	0.79	
		No. 2	272	2.29	187	1.45	0.48	391	0.70	309	365	309	0.79	
		No. 3	301	2.90	237	1.27	0.61	391	0.77	394	412	394	1.01	
		No. 4	308	2.90	237	1.30	0.61	391	0.79	394	412	394	1.01	
	負加力時	No. 1	260	2.76	226	1.15	0.58	391	0.67	309	401	309	0.79	
		No. 2	282	2.76	226	1.25	0.58	391	0.72	309	401	309	0.79	
		No. 3	323	3.49	286	1.13	0.73	391	0.83	394	457	394	1.01	
		No. 4	320	3.49	286	1.12	0.73	391	0.82	394	457	394	1.01	
F _c 60	正加力時	No. 5	356	2.90	237	1.50	0.67	352	1.01	595	490	490	1.39	
		No. 6	344	2.90	237	1.45	0.67	352	0.98	595	490	490	1.39	
		No. 7	362	3.55	290	1.25	0.82	352	1.03	767	540	540	1.53	
		No. 8	371	3.55	290	1.28	0.82	352	1.05	767	540	540	1.53	
	負加力時	No. 5	365	3.27	268	1.36	0.76	352	1.03	595	518	518	1.47	
		No. 6	332	3.27	268	1.24	0.76	352	0.94	595	518	518	1.47	
		No. 7	380	4.01	328	1.16	0.93	352	1.08	767	575	575	1.63	
		No. 8	374	4.01	328	1.14	0.93	352	1.06	767	575	575	1.63	

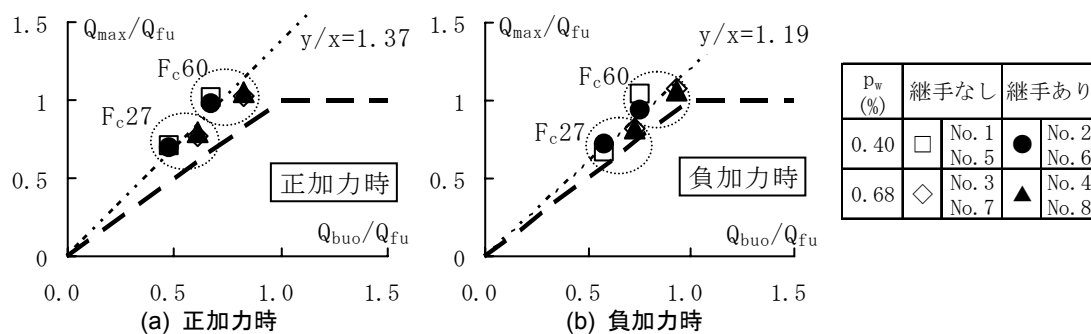


図-12 $Q_{max}/Q_{fu}-Q_{buo}/Q_{fu}$ 関係

- 3) 1), 2)の理由として、継手表面の付着応力が異形鉄筋と比べて小さくなる一方、継手小口における支圧応力が増大し、両者が相殺されることが考えられる。継手小口に支圧応力が発現するのは、本工法で用いる継手では支圧面積比が 1.3~1.8 確保されていることに起因する。
- 4) 上端主筋が引張力を受ける時の Q_{max} は、AIJ 靱性指針³⁾による付着信頼強度に基づく付着耐力 Q_{buo} の 1.3~1.5 倍程度となった。下端主筋が引張力を受ける場合は 1.1~1.3 倍程度であった。

謝辞

本実験は、ダイワスチール(株)による開発の一環として行なったものである。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 又刈克英, 阿瀬正明, 末永保美, 南宏一: スプラインスリーブ継手を含んだ異形鉄筋の付着性状に関する一実験, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第25巻, pp.273-276, 2002.3
- 2) 高津比呂人, 木村秀樹: 柱梁接合部内にスリーブ継手を有する梁主筋の付着性状に関する実験的研究,

コンクリート工学年次論文報告集, Vol.29, No.3, pp.631-636, 2007

- 3) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建築物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 6章 柱および梁のせん断と付着に対する設計, pp.138-207, 1999
- 4) 前田匡樹, 小谷俊介, 青山博之: RC 部材の付着割裂強度に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.13, No.2, pp.145-150, 1991.6
- 5) 梅村魁: 鋼筋コンクリート梁の塑性変形および終局強度, 日本建築学会論文集, 第42号, pp.59-70, 1951.2
- 6) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料, 1.コンクリートの1軸応力状態における力学的性状, pp.1-4, 1987
- 7) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 2010
- 8) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建築物の耐震性能評価指針(案)・同解説, 実用的評価手法, 5.梁部材の性能評価法, pp.129-168, 2004
- 9) 村上雅英, 藤達也, 窪田敏行: 引き抜き試験によるはり主筋の機械式定着耐力の評価, コンクリート工学論文集, 第8巻, 第2号, pp.1-10, 1997.7