

円形定着板で梁主筋を定着した幅広梁付きRC造L形接合部の構造性能

STRUCTURAL PERFORMANCE OF R/C L-SHAPED BEAM-COLUMN JOINTS CONNECTED WITH WIDE WIDTH BEAM USING CIRCULAR ANCHOR PLATE FOR DEFORMED REBAR

益尾 潔 *1 申 範昊 *2

Kiyoshi MASUO *1 Fanhao SHEN *2

キーワード:

円形定着板, 梁主筋, 幅広梁, L形接合部, 終局耐力, 変形性能

Keywords:

Circular anchor plate, Deformed rebar, Wide width beam, L-shaped beam-column joint, Ultimate strength, Ductility

The authors proposed new reinforcement detailing for R/C L-shaped joint connected with wide width beam using a typical mechanical anchorage for deformed rebar. In this study, 4 L-shaped joint specimens using circular anchor plate for deformed rebar are tested. Consequently, it is clarified that circular anchor plate is similarly effective to the new reinforcement detailing for L-shaped joint specimens using a typical mechanical anchorage. Also, the authors clarify the behavior of the number of beam reinforcements of L-shaped joint specimens for ultimate strength and ductility.

1. はじめに

特に太径鉄筋の場合, 最上階および最下階L形接合部内の柱, 梁主筋定着部の納まりは, その他の階の柱, 梁主筋定着部の納まりにも影響し, 接合部配筋詳細設計施工の点で重要であるので, 筆者らは, 新考案の幅広梁付きL形接合部配筋詳細について実験を行い, その終局耐力および変形性能を明らかにした¹⁾。

幅広梁付きL形接合部の場合, 加力方向の幅広梁外周筋を柱梁接合部先端まで延長配置し, 加力方向と直交方向の幅広梁同士の交差部を柱梁接合部とみなした。また, 柱主筋定着部は, 梁上端筋または下端筋の外側まで延長する柱主筋外定着方式²⁾とした。

しかし, 実験に供した接合部配筋詳細については, 柱断面外に配置される幅広梁主筋本数が増えた場合の補強効果が未解明であり, 実用上, その補強効果の解明は不可欠である。

上記の既往実験では, ねじ節鉄筋用の定着板・ナット一体型の機械式定着金物(以下, ネジ節型定着金物と略記)が用いられていた。本論文では, ネジ節型定着金物を用いた既往実験¹⁾との対比を意図し, 円形定着板で梁主筋を定着した幅広梁付きL形接合部の実験を行い, 前述の課題の解消を試みる。

実験対象の円形定着板は, 図1に示すように, 鉄筋先端面に摩擦圧接⁴⁾したねじと嵌合したものであり, 円形定着板の外径は, ネジ節型定着金物の定着板直径と同様, 鉄筋直径の2.5倍程度(支圧面積比5前後)⁵⁾とし, 円形定着板内面で支圧力を受ける。

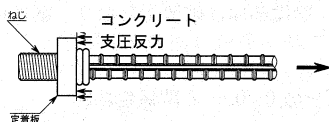


図1 実験対象の円形定着板

2. 実験

2.1 実験計画

実験系列は, 文献1)と同様, 表1に示すように, 幅広梁付き最上階および最下階L形接合部であり, 試験体数は4体である。

梁幅550mmのGWL4-550-T, Bは, 文献1)の実験と同じ柱, 梁断面寸法, 梁, 柱主筋本数および定着長さとし, コンクリートの目標圧縮強度 F_c および梁, 柱主筋鋼種を同じとしている。

柱, 梁断面詳細を図2, 接合部配筋詳細を図3, 柱, 梁および接合部横補強筋リストを表2に示す。同図に示すように, GWL4-550(680)-Tは, 直交梁なしの幅広梁付きL形接合部であり, 加力梁主筋定着長さ l_{ag} は柱せいと同じ400mmとした。

表1 実験計画

系列	試験体	梁断面		梁主筋		柱主筋						
		B _g (mm)	D _g (mm)	配筋	鋼種	l _{ag} (mm)	l _{ag} / db	配筋	鋼種	l _{ac} (mm)	l _{ac} / db	
1	GWL4-550-T	550	245	6-D19	SD	400	21.1	12	SD	345	265	12.0
	GWL4-680-T	680		8-D19								
2	GWL4-550-B	550	400	6-D19	490	475	25.0	-D22	SD490	420	19.1	
	GWL4-680-B	680		8-D19								

【記号】B_g: 梁幅, D_g: 梁せい, l_{ag}: 梁主筋定着長さ

l_{ac}: 柱主筋定着長さ, db: 梁, 柱主筋直径

(注) コンクリートの目標圧縮強度 F_c 45N/mm², 柱断面=400×400mm

表2 柱, 梁および接合部横補強筋リスト

系列	試験体	柱		梁		柱梁接合部	
		配筋	p _w	配筋	p _w	配筋	p _{jwh}
1	GWL4-550-T	2-D10@75	0.47%	4-D10@100	0.52%	2-D10-4組	0.29%
	GWL4-680-T					0.42%	2-D10-5組
2	GWL4-550-B	4-D10@85	0.84%	4-D10@100	0.52%	2-D10-5組	0.30%
	GWL4-680-B	4-D10@65	1.09%	4-D10@70	0.60%	2-D10-7組	0.30%

(注) 接合部内まで延長配置した梁横補強筋を接合部横補強筋とした。

p_w: 柱, 梁横補強筋比, p_{jwh}=n_j·a_w/(B_g·X): 接合部横補強筋比

X=l_{ag}-dt: 接合部横補強筋区間, n_j: X区間内の接合部横補強筋組数

a_w: 1組の接合部横補強筋の断面積, B_g: 梁幅

l_{ag}: 梁主筋定着長さ, dt: 梁主筋中心かぶり厚さ

(柱, 梁, 柱梁接合部横補強筋鋼種) SD345

¹⁾ (一社) 建築構造技術支援機構 代表理事・工博
(〒564-0052 大阪府吹田市広芝町3-29)

²⁾ 合同製鉄(株)技術総括部 担当部長・工博

¹⁾ Supporting Association for Building Structural Technology, Dr. Eng.

²⁾ GODO STEEL, Ltd., Dr. Eng.

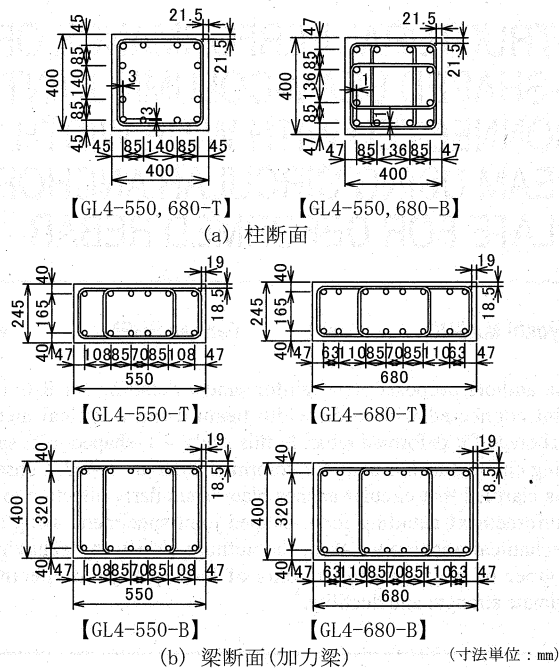


図2 柱、梁断面詳細

表3 材料試験結果

(a) コンクリート

目標強度	σ_B (N/mm^2)	ϵ_{co} ($\times 10^{-3}$)	E_c (kN/mm^2)	σ_t (N/mm^2)
	45.8	2.57	28.7	3.31
	43.6	2.46	27.7	3.46

σ_B : 実圧縮強度、 ϵ_{co} : σ_B 時ひずみ
 E_c : ヤング係数、 σ_t : 割裂強度

(b) 鉄筋

使用部位	鋼種	呼び名	σ_y (N/mm^2)	σ_u (N/mm^2)	伸び (%)
梁主筋	SD490	D19	558	714	19
		D22	380	565	25
柱主筋	SD490	D22	537	682	20
		590級	D22	624	773
横補強筋	SD345	D10	363	525	23
定着部拘束筋	SD295	D6	465	559	20

σ_y : 降伏点、 σ_u : 引張強度

GLW4-550(680)-BはXY方向ともに幅広梁とした片側直交梁付きL形接合部であり、加力梁主筋定着長さ l_{ag} は475mmと540mmとし、直交梁の出寸法は400mmとした。

梁幅680mmのGLW4-680-T,Bの柱断面外の幅広梁主筋本数は、梁幅550mmのGLW4-550-T,Bよりも増やした。また、各試験体ともに、柱梁接合部先端まで延長配置した幅広梁外周筋の拘束効果を期待し、柱主筋外定着方式²⁾では、通常、柱梁接合部の上部から挿入するかんざし筋を配置せず、直交梁が接続しない側の柱梁接合部先端の最外縁直交梁主筋定着部にコ形ひび割れ防止筋(D6)を配置した。

材料試験結果を表3に示す。また、実験は、図4に示すように、文献1)と同様に行った。

2.2 系列1, 系列2 試験体の荷重-変形状および破壊形式

表1記載の系列1, 系列2 試験体の柱せん断力 Q_c -層間変形角 R 関係を図5, 代表的試験体のひび割れ状況を写真1に示す。図5中には、最大耐力 Q_{max} , 限界層間変形角 R_{80} および主な発生現象を示し、写真1中には、最大ひび割れ幅を併記した。 R_{80} は、 Q_{max} の80%耐力低下時の限界層間変形角実験値である。図5に示すように、

系列1 試験体では、 $R=7 \times 10^{-3}$ rad.時に接合部せん断ひび割れ(MJC)が発生し、 $R=13 \sim 15 \times 10^{-3}$ rad.時に梁主筋(BTY)および定着部拘束筋(CATY)が引張降伏した。梁幅550mmのGLW4-550-Tでは $R=60 \times 10^{-3}$ rad.時、梁幅680mmのGLW4-680-Tでは $R=20 \times 10^{-3}$ rad.時に接合部横補強筋(JHY)が引張降伏(図10参照)、GLW4-550-Tでは $R=60 \times 10^{-3}$ rad.

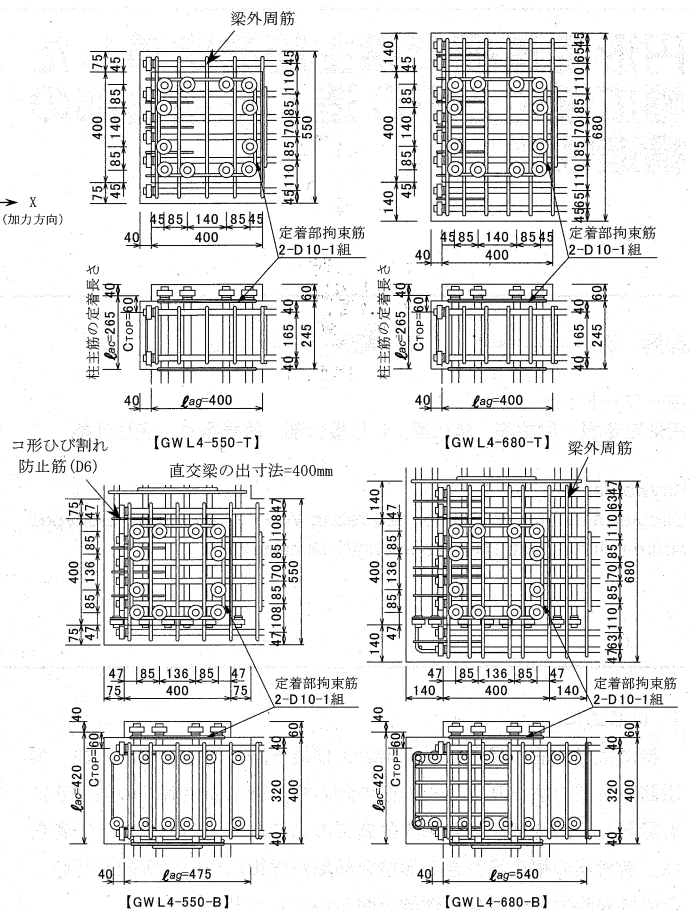


図3 接合部配筋詳細

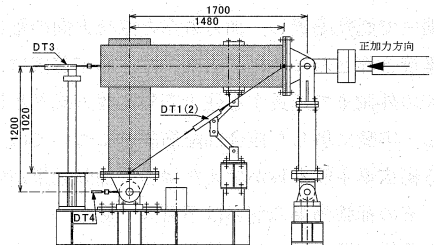


図4 実験装置

時、GLW4-680-Tでは $R=30 \times 10^{-3}$ rad.時に最大耐力 Q_{max} に達した。

系列2 試験体では、 $R=5 \sim 6 \times 10^{-3}$ rad.時に接合部せん断ひび割れ(MJC)が直交梁なし側で発生し、 $R=10 \sim 13 \times 10^{-3}$ rad.時に定着部拘束筋(CATY), 梁主筋(BTY), $R=23 \sim 29 \times 10^{-3}$ rad.時に接合部横補強筋(JHY)が引張降伏後、GLW4-550-Bでは $R=38 \times 10^{-3}$ rad.時、GLW4-680-Bでは $R=28 \times 10^{-3}$ rad.時に最大耐力 Q_{max} に達した。

上記のように、系列1, 系列2 試験体ともに、柱断面外の梁主筋本数に依らず、梁端部曲げ破壊型となり、靱性に富む変形性能を有した。

2.3 実験因子ごとの Q_c/Q_{cu} - R 関係包絡線

実験因子ごとの基準化柱せん断力 Q_c/Q_{cu} -層間変形角 R 関係正加力時包絡線を図6に示す。同図の正加力時包絡線は文献1), 2)と同様に定義し、同図中には、接合部耐力余裕度 $\lambda_p (=Q_{ju}/Q_{cu})$ を併記した。 Q_{ju} は接合部終局耐力時梁せん断力、 Q_{cu} は梁または柱曲げ終局耐力時柱せん断力を示す(3.1節参照)。なお、文献3)によると、L形接合部の場合、適切な接合部配筋詳細であれば、負加力時の限界

層間変形角実験値は正加力時よりも大きい。

同図によると、梁幅 680mm の GWL4-680-T, GWL4-680-B の梁曲げ降伏後の変形性能は、梁幅 550mm の GWL4-550-T, GWL4-550-B よりもそれぞれ減少した。ただし、梁幅 680mm の GWL4-680-T, GWL4-680-B も十分な変形性能を有した。

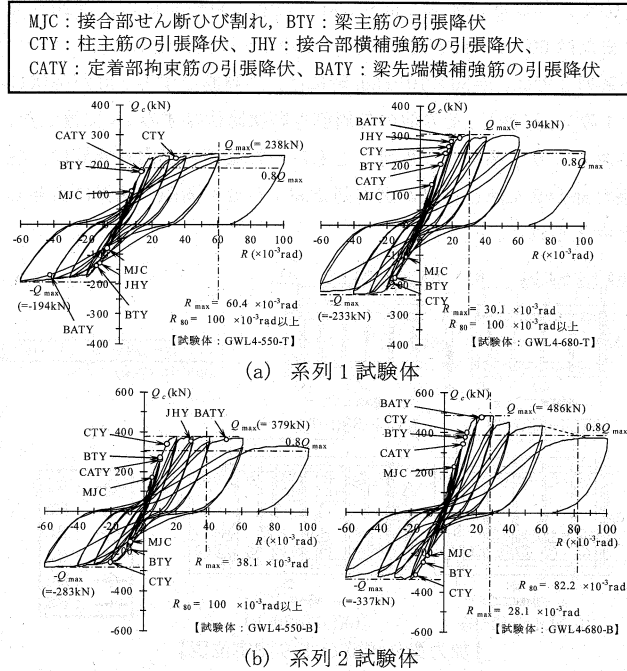


図5 系列1, 系列2 試験体の Q_c-R 関係

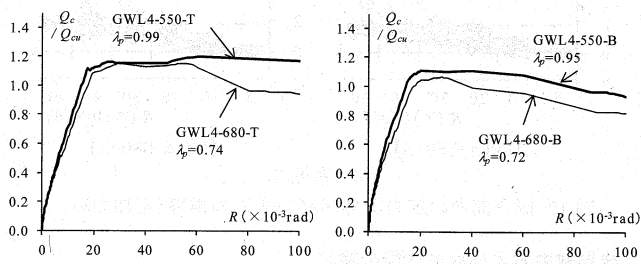
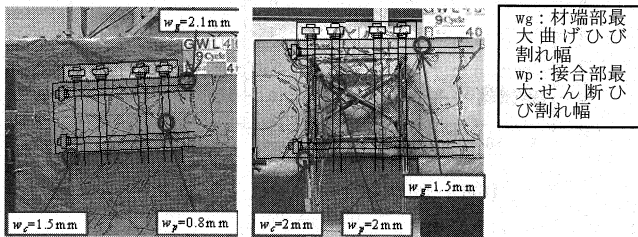


図6 実験因子ごとの $Q_c/Q_{cu}-R$ 関係包絡線

2.4 円形定着板とネジ節型定着金物の $Q_c/Q_{cu}-R$ 関係包絡線

円形定着板の本実験とネジ節型定着金物の既往実験 (WL4-6-245, WL4-400-P1)¹⁾ の基準化柱せん断力 Q_c/Q_{cu} - 層間変形角 R 関係正加力時包絡線を図7に示す。同図中には、接合部耐力余裕度 λ_p を併記した。

同図によると、円形定着板試験体 GWL4-550-T, GWL4-550-B の梁曲げ降伏後の変形性能は、ネジ節型定着金物試験体¹⁾ WL4-6-245, WL4-6-400-P1 と遜色ない。ただし、円形定着板を用いた GWL4-550-T,

GWL4-550-B の最大耐力 Q_{max} は、それぞれネジ節型定着金物を用いた既往実験の WL4-6-245, WL4-6-400-P1 よりもやや低い。

これは、本実験と既往実験の定着部拘束筋量およびせん断余裕度の違いに起因すると考えられる。定着部拘束筋は、本実験では 2-D10-1 組, 既往実験では 4-D10-1 組としている。

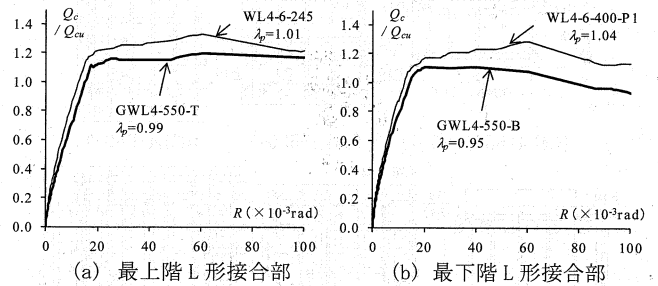


図7 円形定着板とネジ節型定着金物の $Q_c/Q_{cu}-R$ 関係包絡線

2.5 最大ひび割れ幅の推移

正加力所定(ピーク)時の梁端最大曲げひび割れ幅 w_g , 接合部最大せん断ひび割れ幅 w_p の推移を図8に示す。 w_g は梁端仕口面近傍の曲げひび割れ幅, w_p は接合部中央近傍のせん断ひび割れ幅であり、それぞれクラックスケールで測定した直交梁なし側接合部面の最大値である(写真1参照)。同図によると、梁端仕口面近傍の曲げひび割れ幅 w_g の進展度合いは、

- 1) 系列1では、接合部せん断ひび割れ幅 w_p よりも大きい。
- 2) 系列2では、層間変形角 $R=30 \times 10^{-3}$ rad. 程度まで、接合部せん断ひび割れ幅 w_p と同程度である。

上記のひび割れ幅の発現は、系列2, 系列3ともに、柱梁接合部先端まで延長配置した加力方向梁外周筋の拘束効果に支配されると考えられる(図10参照)。

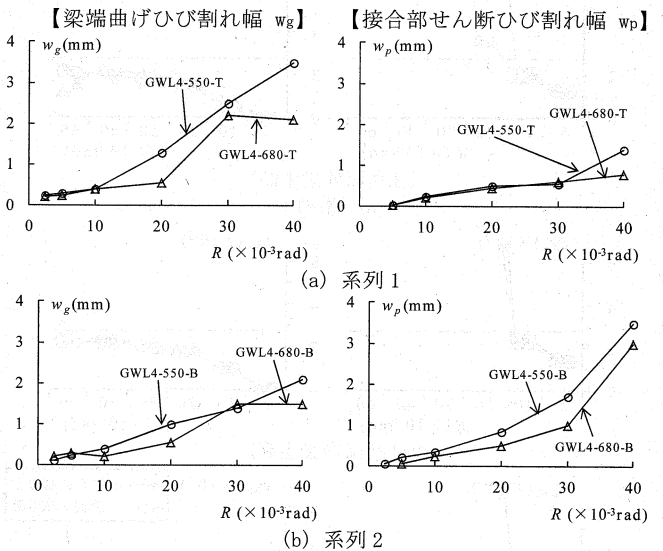


図8 実験因子ごとの最大ひび割れ幅の推移

2.6 梁主筋ひずみの推移

梁主筋ひずみ(柱断面内 ϵ_{B1} , ϵ_{B2} , 柱断面外 ϵ_{B9} , ϵ_{B10})の推移を図9に示す。同図中には、降伏ひずみ ϵ_y を併記した。

同図によると、系列1, 系列2ともに、柱断面内および柱断面外の梁端仕口面近傍の梁主筋ひずみ ϵ_{B2} , ϵ_{B10} は、層間変形角 $R=10 \times 10^{-3}$ rad. 程度で降伏ひずみ ϵ_y に達し、定着金物近傍の梁主筋ひずみ ϵ_{B1} , ϵ_{B9} は、 $R=60 \times 10^{-3}$ rad. 時に $1.7 \sim 2.5 \times 10^{-3}$ 程度に達した。

上記のように、柱断面内と柱断面外の梁端仕口面近傍の梁主筋が著しい塑性ひずみを発現したのは、柱梁接合部先端まで延長配置した加力方向梁外周筋の拘束効果に起因すると考えられる。

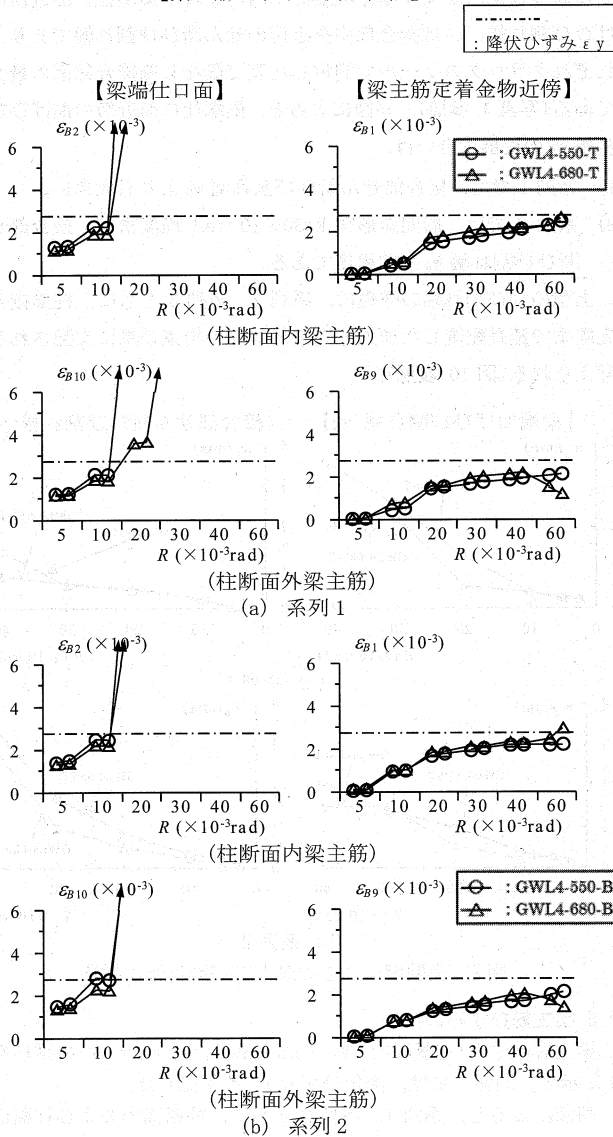
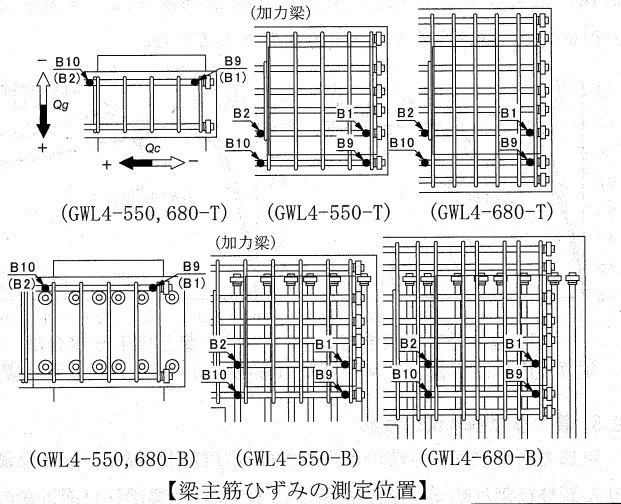


図9 梁主筋ひずみの推移(正加力時)

2.7 接合部内の加力梁外周筋ひずみの推移

接合部内の加力梁外周筋の正加力所定時ひずみ ϵ_{Hi} -R 関係を図10に示す。ここで、片側直交梁付きの系列2試験体では、加力梁外周筋ひずみは、直交梁あり側の梁外周筋で測定した。同図によると、

- 1) 系列1では、梁端仕口面近傍の外周筋ひずみ ϵ_{H5} または ϵ_{H6} を除く、外周筋ひずみ $\epsilon_{H1} \sim \epsilon_{H4}$ または $\epsilon_{H1} \sim \epsilon_{H5}$ は、 $R=20 \sim 40$ または $60 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時に降伏ひずみ ϵ_y 程度に達した。
- 2) 系列2では、 $R=30 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時には、外周筋ひずみ ϵ_{H4} が降伏ひずみ ϵ_y に達し、その他の外周筋も順次降伏ひずみ ϵ_y に達した。

これらより、系列1、系列2ともに、柱梁接合部内外周筋は、柱梁接合部のせん断ひび割れ進展防止およびせん断耐力確保に寄与したと考えられる。

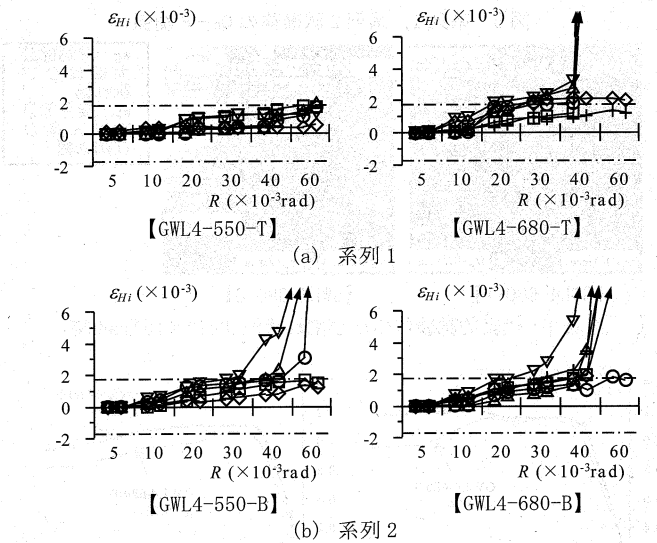
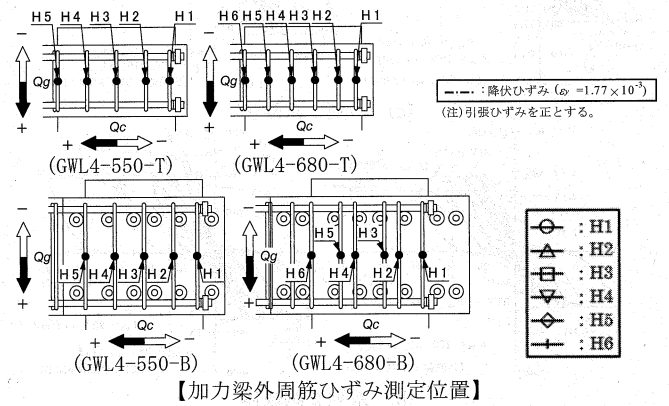


図10 接合部内の加力梁外周筋ひずみの推移(正加力時)

3. 終局耐力および変形性能の検討

3.1 終局耐力

本節では、文献1)と同様、文献3)の提案式で求めた梁または柱の曲げ終局耐力時柱せん断力 Q_{cu} および接合部終局耐力時柱せん断力 Q_{ju} の妥当性を確認する。本実験の場合、各試験体ともに、 Q_{cu} は梁曲げ終局耐力時柱せん断力で決定した。

本実験および既往実験の耐力安全率 Q_{max}/Q_{cu} —接合部耐力余裕度 Q_{ju}/Q_{cu} 関係を図11に示す。 Q_{max} は最大耐力実験値、 Q_{cu} は梁または柱曲げ終局耐力時柱せん断力、 Q_{ju} は接合部終局耐力時柱せん断力を示し、計算耐力は鉄筋の実降伏点およびコンクリートの実圧縮強度を用いて求めた。また、接合部

せん断耐力の算定では、接合部有効幅は柱幅と同じとした。

同図中には、直交梁なしの柱主筋内定着(○: 31 体)と柱主筋外定着(●: 14 体)の既往実験値²⁾、ならびに既往実験¹⁾による X 方向幅広型梁(▲)、本実験と既往実験¹⁾による XY 方向幅広型梁(◆, ■)の実験値をプロットした。また、同図中では、梁主筋本数またはコンクリート強度のみ(接合部耐力余裕度 Q_{ju}/Q_{cu})が異なる試験体同士を実線で結んだ。

同図によると、正負加力時ともに、本実験の系列 1, 系列 2 の耐力安全率 Q_{max}/Q_{cu} は、柱主筋内定着, 柱主筋外定着, 幅広型梁の既往実験値の範囲に入った。

これらより、正負加力時ともに、柱主筋外定着の終局耐力 Q_{cu} および Q_{ju} は、ネジ節型定着金物, 円形定着板に係わらず、適切な接合部配筋詳細とすれば、柱主筋内定着と同様、最大耐力実験値 Q_{max} に対して安全側に評価される。

幅広梁実験 ¹⁾	
系列 I II	系列 III
◆	▲
円形定着板実験	
■	
既往実験 ²⁾	
外定着	内定着
●	○

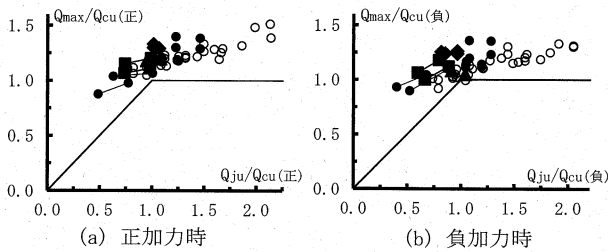


図 11 Q_{max}/Q_{cu} - Q_{ju}/Q_{cu} 関係

3.2 変形性能

図 11 と同様、本実験および既往実験の正負加力時 R_{80} - Q_{ju}/Q_{cu} 関係を図 12 に示す。 R_{80} は最大耐力 Q_{max} の 80% 耐力低下時の限界層間変形角実験値であり、同図中には、接合部耐力余裕度で決まる限界層間変形角 R_{80a} を示した¹⁾。

同図によると、系列 1, 系列 2 の正加力時の R_{80} は、ネジ節型定着金物の既往実験と同様、接合部耐力余裕度 $Q_{ju}/Q_{cu} < 1$ でも 100×10^{-3} rad. 程度となった。また、系列 1, 系列 2 の負加力時の R_{80} は、ネジ節型定着金物と同様、接合部耐力余裕度 Q_{ju}/Q_{cu} に係わらず 60×10^{-3} 以上となった。

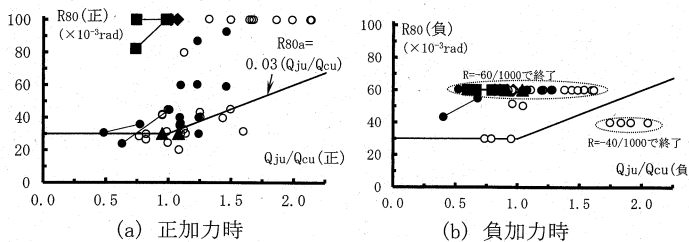


図 12 R_{80} - Q_{ju}/Q_{cu} 関係

4. まとめ

本論文では、円形定着板で梁主筋を定着した幅広梁付き L 形接合部の実験を行い、以下の知見を得た。

- 1) 系列 1, 系列 2 ともに、柱断面外の梁主筋本数に係わらず、梁端部曲げ破壊型となり、靱性に富む変形性能を有した。
- 2) 柱断面内, 柱断面外ともに、梁端仕口面近傍の梁主筋ひずみは、

層間変形角 $R=10 \times 10^{-3}$ rad. 程度で降伏ひずみ ϵ_y に達し、その後著しく塑性化した。この点は、柱梁接合部先端まで延長配置した加力方向梁外周筋の拘束効果によって発現したと考えられる。

- 3) 接合部内の加力梁外周筋ひずみは、層間変形角 $R=20 \times 10^{-3}$ rad. 以降、順次降伏ひずみ ϵ_y に達した。これらより、接合部内の加力梁外周筋は、柱梁接合部のせん断ひび割れ進展防止およびせん断耐力確保に寄与したと考えられる。
- 4) 正負加力時ともに、本実験の耐力安全率 Q_{max}/Q_{cu} および限界層間変形角実験値 R_{80} は、それぞれ柱主筋内定着, 柱主筋外定着, ならびに幅広型梁の既往実験値の範囲に入った。
- 5) これらより、正負加力時ともに、幅広梁付きの場合、終局耐力 (Q_{cu}, Q_{ju}) は、ネジ節型定着金物, 円形定着板に係わらず、適切な接合部配筋詳細とすれば、柱主筋内定着と同様、最大耐力実験値 Q_{max} に対して安全側に評価される。また、正負加力時ともに、接合部耐力余裕度 $Q_{ju}/Q_{cu} < 1$ でも、 $R_{80} \geq 40 \times 10^{-3}$ rad. の変形性能が確保された。

謝辞

本実験は、(一財)日本建築総合試験所で行われたものであり、関係者の皆様に謝意を表する。

参考文献

- 1) 益尾潔、堂下航、足立将人：機械式定着による幅広梁付き RC 造 L 形柱梁接合部の構造性能、日本建築学会技術報告集、第 20 巻、第 46 号、pp. 951-956, 2014. 10
- 2) 益尾潔、堂下航、足立将人、田川浩之：機械式柱主筋外定着方式による最上階 RC 造 L 形接合部の構造性能、日本建築学会構造系論文集、第 697 号、pp. 411-418, 2014. 3
- 3) 益尾潔、井上寿也、岡村信也：機械式定着工法による RC 造 T 形および L 形柱梁接合部の終局耐力に関する設計条件、日本建築学会構造系論文集、第 590 号、pp. 95-102, 2005. 4
- 4) 日刊工業新聞社：摩擦接合技術、2006
- 5) (一社)建築構造技術支援機構：SABTEC 機械式定着工法設計指針(2014 年)

[2015 年 10 月 2 日原稿受理 2015 年 12 月 11 日採用決定]