

論文 機械式継手を用いた高強度コンクリート造十字型柱梁接合部の力学性状に関する研究

増田 安彦*1・杉本 訓祥*1・江戸 宏彰*1

要旨：本研究は、梁プレキャスト相互の主筋継手を機械式継手として柱梁接合部内に設けた場合の接合部の力学性状を調べることを目的に実施したものである。機械式継手には、長さが柱せいの約 60%に達するグラウト充填式スリーブ継手を用いた。実験はコンクリート強度と継手の有無と位置，ならびに継手の形状を主なパラメータとし，十字型部分架構を対象に実施した。主な結果として，機械式継手を有する試験体の耐力および変形性状は，コンクリート強度に関わらず継手を有しない試験体と同等であったことがあげられる。

キーワード：柱梁接合部，高強度コンクリート，機械式継手，付着

1. はじめに

梁プレキャスト相互の主筋継手を機械式継手として柱梁接合部内に設ける場合，接合部における梁主筋の付着設計においては，機械式継手の付着・定着に関する研究^{1)~4)}が少なく，効果が明確でないため，一般には継手部分の長さを無視して行なわれている。一方，梁プレキャストの製作誤差や施工誤差を吸収できる施工性の高い機械式継手として，グラウト充填式スリーブ継手(以後スリーブ継手と省略する)等があるが，継手長さが柱せいの約 60%に達する場合もあり，梁主筋の付着設計が困難となる。

本研究は，スリーブ継手を有する柱梁接合部の力学性状を調べることを目的に実施した，十字型部分架構の実験の概要と結果について述べたものである。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

試験体の一覧を表-1に示す。試験体数は 9 体で，主なパラメータはコンクリート強度，スリーブ継手の有無と位置，スリーブ継手の付着の有無である。コンクリート強度は柱および接合部の強度を約 150,60,42(N/mm²)の 3 レベルに

表-1 試験体概要

試験体	柱 (b×D=400×400, h=2700mm)			梁 (b×D=350×400, L=3450mm)			接合部	
	主筋	帯筋	σ_B	主筋	あばら筋	σ_B	帯筋	σ_B
150-DJ	18-D19 (SD685)	4-U9@100 (pw=0.64%)	150	上下 6-D19 (SD490)	2-U7.1@50 (pw=0.45%)	60	4-U9@200 (pw=0.32%)	150
150-N								
60-DJ	18-D19 (SD490)	4-U9@100 (0.64%)	60	上下 4-D19 (SD490)	2-U7.1@50 (0.45%)	60	4-U9@200 (0.32%)	60
60-RJ								
60-N								
42-DJ	18-D19 (SD490)	4-D10@100 (pw=0.72%)	42	上下 4-D19 (SD490)	2-D10@75 (0.54%)	42	4-D10@200 (0.36%)	42
42-DJ2								
42-RJ								
42-N								

試験体記号：60-DJ

(σ_B の単位はN/mm²)

┌ 柱および接合部のコンクリート強度
├ スリーブ継手の有無と形状・位置
└ DJ: リブ付きスリーブ継手中央配置, RJ: リブなしスリーブ継手中央配置, N: 継手なし
 DJ2: リブ付きスリーブ継手端部配置

*1 (株)大林組 技術研究所 (正会員)

変化させた。以後、強度レベルごとにそれぞれ150シリーズ、60シリーズ、および42シリーズと呼ぶ。スリーブ継手を有する試験体の継手位置は、試験体42-DJ2を除いて接合部の中央とし、試験体42-DJ2は接合部の端部に配置した。図-1に試験体の配筋例を、図-2に接合部の配筋詳細例を、表-2に使用材料を示す。スリーブの付着の有無に関しては、通常のスリーブ継手は写真-1に示すように、表面は平滑であるが、写真-2に示すような異形鉄筋と同様なリブを有するスリーブを製作して用いた⁵⁾。

試験体150-DJは、図-3に示す施工方法を対



全長 241mm
外径 44mm

写真-1 リブなしスリーブ継手



全長 241mm
外形 48mm(リブ部分)
44mm(リブ除く)

写真-2 リブ付きスリーブ継手

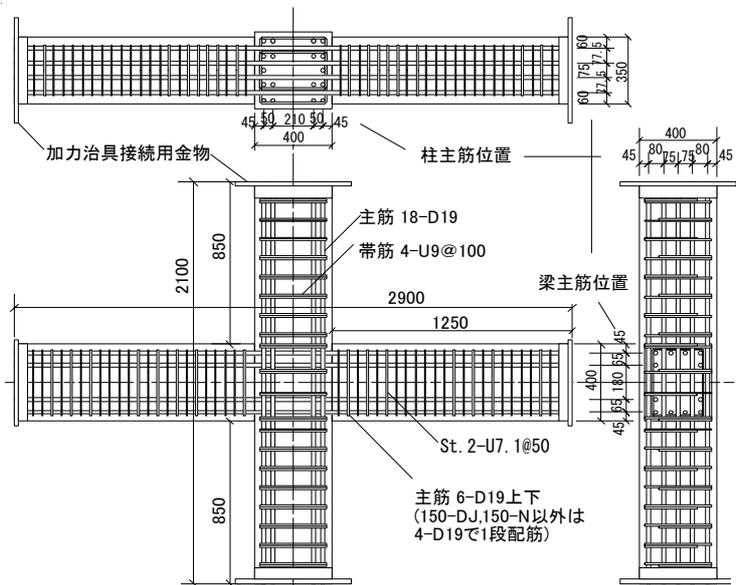


図-1 配筋例(150-N) 単位 mm

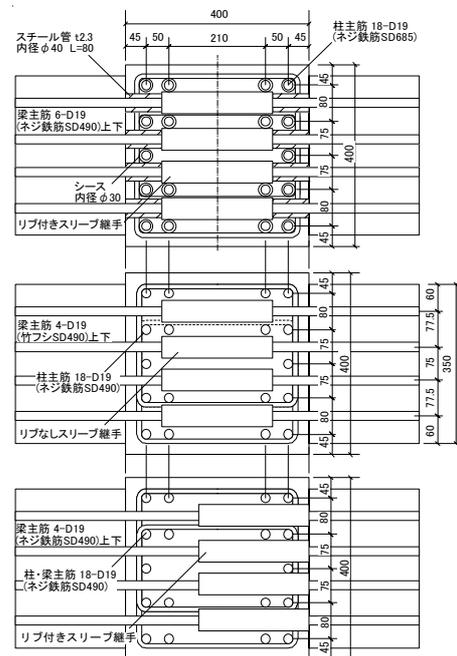


図-2 接合部詳細例 単位 mm
(上から 150-DJ, 60-RJ, 42-DJ2)

表-2 使用材料

・コンクリート

試験体	柱・接合部			梁		
	σ_B	E_c	σ_t	σ_B	E_c	σ_t
150-DJ	150.6	4.67	4.27	60.9	3.28	3.37
150-N	150.0	4.74	5.39	71.5	3.48	4.81
60-DJ	62.5	3.15	3.82	73.6	3.73	4.25
60-RJ	62.3	3.09	4.49	70.9	3.61	4.45
60-N	61.8	2.85	4.31	71.4	3.63	4.28
42-DJ	43.3	2.8	3.64	43.3	2.8	3.64
42-DJ2	42.7	2.83	3.66	42.7	2.83	3.66
42-RJ	43.4	2.85	3.51	43.4	2.85	3.51
42-N	43.2	2.85	3.39	43.2	2.85	3.39

(単位: σ_B, σ_t は N/mm^2 , E_c は $\times 10^4 N/mm^2$,
 σ_y, σ_u は N/mm^2 , E_s は $\times 10^5 N/mm^2$)

(*:0.2%オフセット値)

・鋼材

材質	径	用途	σ_y	σ_u	E_s
SD490	D19	梁主筋(60-DJ, 60-RJ, 60-N)	507	680	1.92
	D19	柱主筋(150-DJ, 150-N以外), 梁主筋(60-DJ, 60-RJ, 60-N以外)	538	684	1.95
SD685	D19	柱主筋(150-DJ, 150-N)	710	903	1.95
高強度せん断補筋	U9	帯筋(42-DJ~42-N以外)	1381	1490	—
	U7.1	あばら筋(42-DJ~42-N以外)	1437	1482	—
SD295A	D10	帯筋・あばら筋(42-DJ~42-N)	352	526	1.86

・グラウト

部位	圧縮強度(N/mm^2)
スリーブ継手内(150-DJ, 60-DJ, 60-RJ)	127.6
スリーブ継手内(42-DJ, 42-DJ2, 42-RJ)	108.4
シーす・柱-接合部 PCa 目地	101.7

象として、図-2中にも示すように、接合部をプレキャスト化するとともに、リップ付きスリーブ継手の両端に継手とほぼ同径の鋼管を配置し、この部分の付着とスリーブ小口面の支圧効果を除去した。

なお試験体の梁曲げ降伏時耐力に対する接合部せん断耐力の比(せん断余裕度)を求めると、150 シリーズで 2.57, 60 シリーズで 2.33, および 42 シリーズで 1.59 となり、接合部せん断破壊が先行しないよう計画している。

2.2 荷重方法

荷重方法を図-4に示す。上下の反力梁を平行に維持しながら一定軸力を作用させ、上部反力梁を水平移動させて柱にせん断力を入力した。軸力は試験時接合部コンクリート強度に応じて軸力比 $\eta=0.1$ となるよう定めた。加力スケジュールは層間変形角 1/400, 1/200, 1/100, 1/50, 1/33, 1/25 で各 2 回ずつ正負交番繰返し荷重の後、約 1/10 まで変形させた。

3. 実験結果および考察

3.1 耐力性状

実験結果の一覧を表-3に、各試験体の層せ

ん断力-層間変形角関係を図-5に、試験体破壊状況例を写真-3に示す。いずれの試験体も層間変形角 $R=1/100$ 前後で梁の曲げ降伏が生じ、

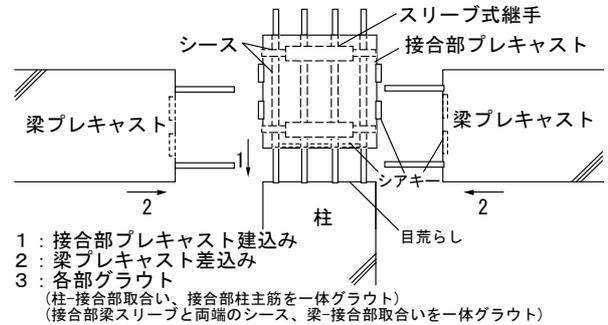


図-3 対象とする工法(試験体 150-DJ)

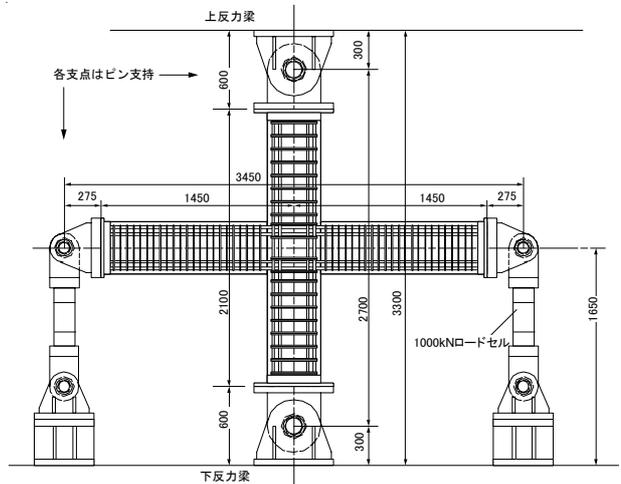


図-4 荷重方法

表-3 実験結果一覧

試験体	bQcr	pQcr	bQy(実)	bQy(計)	Qu(実)	Qu(計)	実/計	τ_j	τ_u	τ_u/τ_j	破壊モード
150-DJ	17	123	241	222	269	270	1.00	12.78	21.77	1.70	F
150-N	35	142	253		267		0.99				F
60-DJ	21	99	167	161	181	183	0.99	12.04	12.08	1.00	F
60-RJ	29	97	171		182		0.99				F
60-N	13	89	169		181		0.99				F
42-DJ	31	88	148		174		0.93				YJ
42-DJ2	38	72	-131	167	172	188	0.91	12.78	9.17	0.72	YJ
42-RJ	30	81	165		173		0.92				YJ
42-N	43	88	-144		170		0.90				YJ

bQcr:梁ひび割れ荷重, pQcr:接合部ひび割れ荷重, bQy:梁主筋降伏荷重, Qu(実):最大荷重実験値, (いずれも単位は kN で層せん断力)

Qu(計):梁曲げによる最大層せん断力計算値 $= (Mu(計)/1525)(3450/2700)$,

Mu(計):ファイバーモデルを用いた断面解析による梁曲げ終局耐力

実/計 = Qu(実) / Qu(計)

τ_j : 引張・圧縮側梁主筋が梁端とともに引張・圧縮降伏した時の接合部内主筋付着応力度計算値(N/mm²)

$= 2\sigma_y \times d_b / (4D)$ (σ_y :材料試験による降伏強度, d_b :主筋径(=19), $D=400$, スリーブ継手無視)

τ_u : 通し配筋の場合の接合部内梁主筋付着強度計算値(N/mm²) $= 0.7 \times (1 + \sigma_0 / \sigma_B) \sigma_B^{2/3}$

σ_B :各シリーズの試験時強度の平均値(N/mm²), $\sigma_0 / \sigma_B = 0.1$

破壊モード F:梁曲げ破壊, YJ:梁曲げ降伏後接合部せん断破壊

R=1/50 以降徐々に耐力が低下した。試験体 150-DJ のみが最終ループで R=1/50 時の荷重を上回ったが、他の試験体は R=1/50 時の荷重が最大となった。

150 シリーズでは、いずれの試験体も梁の曲げ圧壊が進展し、最終変形では梁端で主筋の座屈が生じる曲げ破壊となった。図-5 より、150 シリーズの試験体は他の試験体に比べ履歴ループ形状は紡錘形で、接合部内での付着劣化や主筋の抜け出しが少ないことが分かる。試験体 150-N は、R=1/25 の 2 回目および最終変形時の荷重が試験体 150-DJ に比べやや小さくなっているが、この時点で付着劣化による主筋の抜け出しが発生し、剛性が低下したものと推定される。

60 シリーズでは、図-5 よりスリーブ継手を用いた試験体 60-DJ と 60-RJ の耐力性状に明確な違いはなく、終始紡錘形の履歴であるのに対して、試験体 60-N は R=1/25 以降、接合部内主筋

の付着破壊が原因と推定される逆 S 型の履歴に推移している。60 シリーズの柱梁接合部の損傷状況は、R=1/100 前後に多数の斜めひび割れが発生し、その後、試験体 60-DJ と 60-RJ では R=1/25 のループ以降の加力で、継手小口面の支圧破壊による割裂が原因と推定される接合部かぶりコンクリートの剥落が生じた。一方、試験体 60-N では、接合部かぶりコンクリートの剥落は少なく、写真-3 に示すように梁の曲げ圧壊を伴う破壊を生じた。これらの試験体の破壊モードは、大変形領域でかぶりコンクリートの剥落や主筋の抜け出しが生じたが、耐力低下の少ない安定した履歴を示したことから表-3 では梁曲げ破壊と判定した。

42 シリーズでは、最大耐力後の耐力低下や各載荷階における繰り返しの耐力低下が他のシリーズの試験体より顕著であった。図-5 より 42 シリーズの試験体は、最大耐力以降徐々に

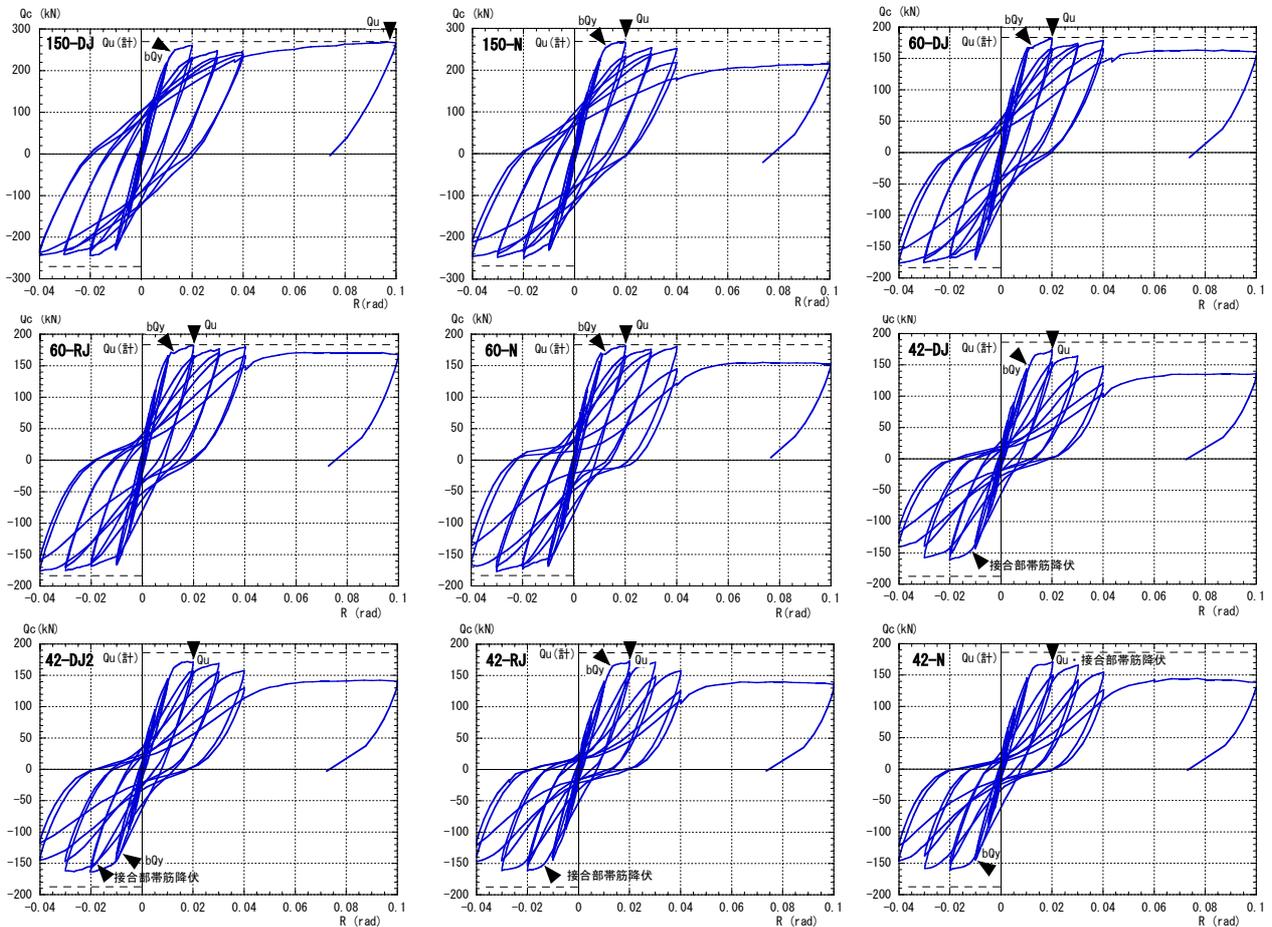


図-5 層せん断力-層間変形角関係

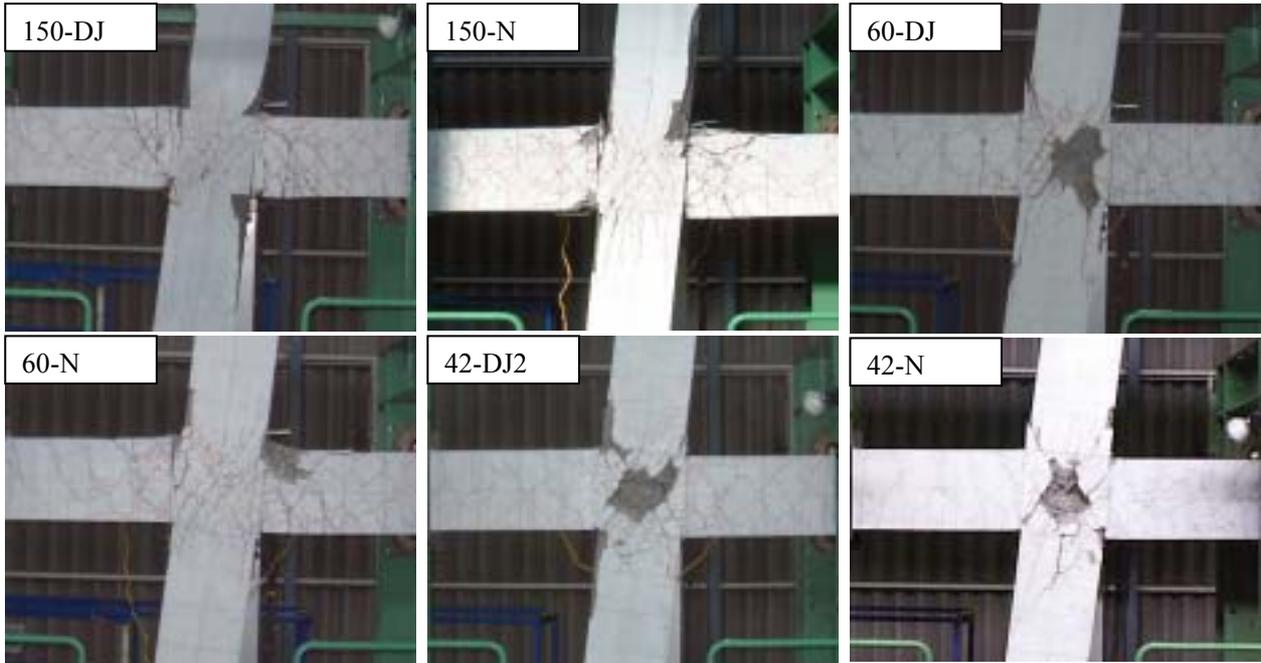


写真-3 載荷終了時試験体状況

逆S型の履歴に推移している傾向が分かる。損傷面では、 $R=1/100$ 前後で柱梁接合部に多数のひび割れが発生し(特に42-DJ, 42-DJ2), その後徐々に拡大するとともに $R=1/25$ のループで接合部かぶりコンクリートの剥落が開始した。これらの試験体の破壊は、最大耐力以降の耐力低下傾向や接合部帯筋が降伏していることから、接合部内梁主筋の付着破壊を伴う接合部せん断破壊と判定した。

3.2 継手の種類が力学性状に及ぼす影響

(1) 主筋付着性状

150 シリーズでは継手の有無にかかわらず耐力性状にほとんど差が生じなかった。これは継手の外径が 44mm(周長 138mm), 全長 241mm なので表面積は継手のない主筋(D19・周長 60mm, 長さ 400mm)の約 1.4 倍と大きくなること、リブの高さとピッチがほぼ同径の異形鉄筋(D35,D38)と同程度であることによる。また 42 シリーズの

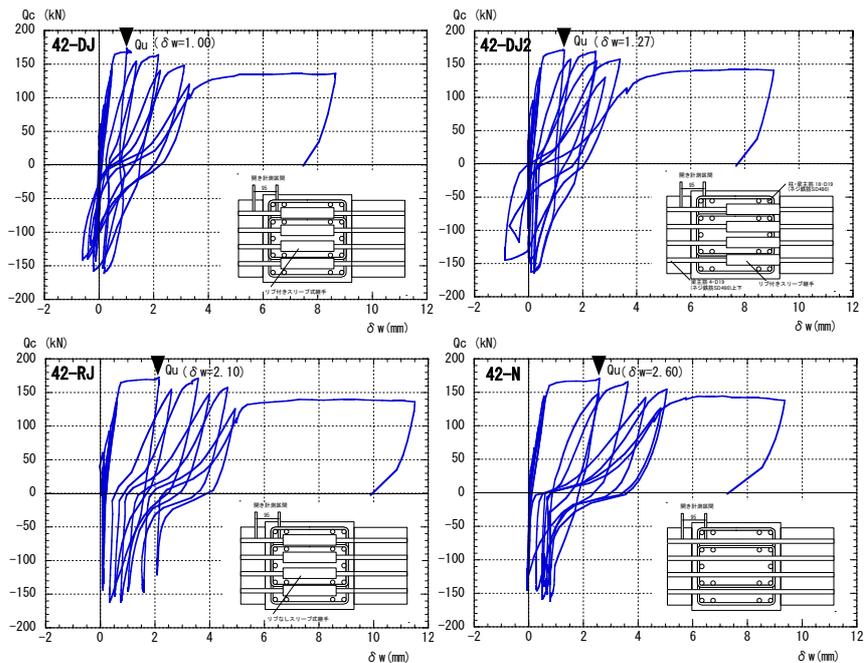


図-6 梁と接合部の目開き量の推移

試験体 42-DJ2 においても、接合部端部に継手を配置したため一方は支圧効果が期待できないが、接合部中央に継手を配置した試験体と同様の耐力性状を示した。これらの試験体の主筋付着性状を調べるために、図-6に梁端部(接合部フェイス)位置における梁と接合部の目開き量(δw)の測定結果のうち、継手による差異がもっとも顕著であった 42 シリーズの結果を、縦軸に層せん断力をとって示す。 δw は、梁主筋の曲

げ降伏により急増する傾向は同じであるが、最大荷重時の値およびその後の荷重による増分が継手により異なる。また、荷重ゼロ付近の付着すべりにおいても継手により異なる傾向がみられる。すなわち、リブ付きスリーブ継手を

用いた試験体 42-DJ あるいは 42-DJ2 の最大荷重時 δw は他の試験体より小さく、付着性状に優れることが分かる。一方、リブなしスリーブ継手をを用いた試験体 42-RJ と通し配筋の試験体 42-N は、ほぼ同様な $Q_c - \delta w$ 関係を示しており、継手小口部分の支圧による付着効果は通し主筋の付着性状とほぼ同程度であると推定できる。

(2) 等価粘性減衰定数

図-7 に 42 シリーズの 4 試験体に対して、正載荷繰返し 1 回目と 2 回目における各試験体の等価粘性減衰定数 (heq) を、横軸に層間変形角をとって比較した結果を示す。同図より、試験体 42-RJ の繰返し 2 回目を除いて、継手の有無、形状により heq に差が生じるのは、最大耐力 ($R=1/50$) 以降の変形領域であること、リブ付きスリーブ継手の heq は総じてリブなしや通し配筋の試験体よりも高い傾向にあることが分かる。また、リブなしの場合も通し配筋とほぼ同等の heq を示している。

4. まとめ

柱梁接合部に機械式継手を有する十字型部分架構実験に関する主な結果を以下にまとめる。

- (1) スリーブ継手をを用いた試験体は、継手小口面の支圧効果により、スリーブを用いない試験体と同等以上の耐力性状を示した。
- (2) スリーブ継手を有する主筋の付着破壊時には、スリーブ小口面の支圧破壊に伴うコンクリートの割裂が生じ、かぶりコンクリートが剥落する現象が観察された。
- (3) スリーブ継手に異形鉄筋と同様のリブを付

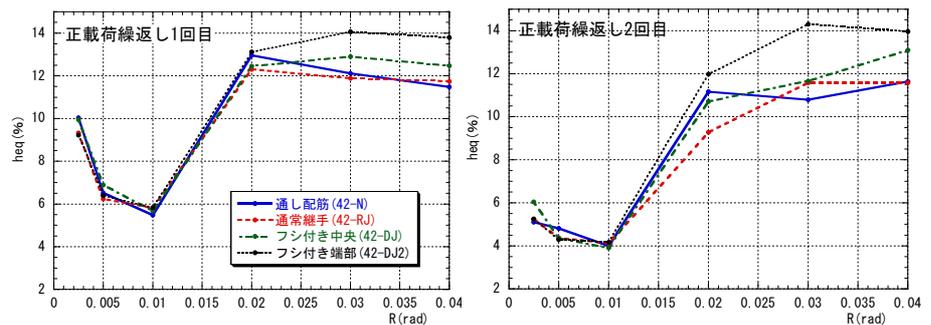


図-7 等価粘性減衰定数の比較

- けることで主筋の付着性状が向上し、架構はよりエネルギー吸収に優れた履歴となった。
- (4) スリーブ継手にリブを付けることで、接合部内継手位置の計画において自由度が高くなる。

参考文献

- 1) 蒲原裕一, 又刈克英ほか: スプライススリーブ継手を含んだ鉄筋の付着性状に関する実験的研究(その2, その3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.39-42, 2002.8
- 2) 山元雄亮ほか: 鉄筋コンクリート部材に定着されたモルタル充填式継手金物の定着性能に関する研究(その1, その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.35-38, 2004.8
- 3) 越路正人ほか: フリージョイント機械式継手を柱梁接合部内に用いた骨組の構造性能に関する実験的研究(その1, その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.567-570, 2003.9
- 4) 新藤健太ほか: ねじ節鉄筋用機械式継手の付着特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.25-26, 2004.8
- 5) 杉本浩一ほか: 施工信頼性と品質向上を目指した超高層集合住宅の PCaRC 造新仕口構工法, コンクリート工学, Vol.42, No.9, pp.32-39, 2004.9

<謝辞>

リブ付きグラウト充填式スリーブ継手の製作にあたっては、東京鐵鋼株式会社に多大なご協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。