

論文 RC 柱鉄骨梁簡易接合工法に関する研究

河野 州峰*1・江崎 文也*2・李 文聰*3・田中 照久*4

要旨:プレキャスト化されたRC柱と鉄骨梁をできるだけ簡単な方法で接合した十字形骨組の一定軸力下の正負繰り返し載荷実験を行い、履歴性状について検討した。ダイヤフラムを通しボルト締付けした場合や埋込みボルトによる締付けの場合は、部材角が大きくなるにつれてスリップ傾向が見られたが、高ナット埋込による接合の場合は、柱をSRC構造とした場合と類似したエネルギー吸収の大きい紡錘形の履歴性状を示すことができた。

キーワード: RC柱, 鉄骨梁, 接合, 外ダイヤフラム

1. 序

最近、性能設計の必要性がさげられるようになり、自己復元性のあるRC構造が提案されるようになってきている¹⁾。そのような構造では連層壁脚部に残留変形の少ない回転性能を有する機構を付与すると同時に、地震エネルギー吸収後に塑性化した梁を容易に取り外すことができる工法を提案する必要がある。そのためにはRC造の鉛直部材に鉄骨梁を剛接できるとともに容易に取り外せる簡易接合工法を提案することが必要となる。これまでに圧縮性能に優れたRC構造を柱に使用し、曲げやせん断性能に優れ、かつ軽量である鉄骨を梁に用いる混合構造に関する設計と施工の研究成果²⁾がまとめられ、この構造が最近多く採用されるようになってきている。この構造で解決しなければならない問題は、異種材料間の力の伝達を明らかにし、剛接合と見なされる接合法を提案することにある。柱と梁の接合方法は種々提案されているが、最も望まれるのはプレキャスト化されたRC柱と鉄骨梁をできるだけ簡単な方法で確実に力を伝達できる接合方法を提案することである。そこで、外ダイヤフラム形式で鉄骨梁の応力を伝達させる方法を考案した。この工法は、外ダイヤフラムを簡単な方法でRC柱に接合する方法である。

本論は、上述の工法によりRC柱と鉄骨梁を接合した

十字形骨組³⁾について一定軸力下の正負繰り返し水平力載荷実験により、従来のSRC柱に鉄骨梁を接合した骨組の履歴性状との比較検討を行い、その接合性能について検討したものである。

2. 実験概要

2.1 試験体

表-1に試験体一覧を示す。試験体形状を図-1に示す。表-2に使用した材料の力学的性質を示す。試験体は、一般の事務所建築物を想定した実物のおよそ1/2.5の縮尺モデルで、SRC柱・鉄骨梁の基準試験体2体とRC柱・鉄骨梁簡易接合試験体3体の合計5体である。鉄骨梁のスパン長は、2006年度では $l=4,000\text{mm}$ で、2007年度及び2008年度では $l=2,500\text{mm}$ である。柱のせん断スパン比 $M/(QD)$ (M : 部材の最大曲げモーメント, Q : 部材の最大せん断力, D : 部材のせい) の値は、いずれの試験体とも2である。試験体名は、イ-ロの2つの識別記号で示した。イは、RC:柱がRCで鉄骨梁を簡易接合した試験体, SRC:柱がSRCで梁が鉄骨の試験体を示す。いずれの試験体とも柱の軸方向力 N は、柱軸方向応力度比($=N/(bD\sigma_b)$, b : 柱幅, D : 柱せい, σ_b : コンクリート圧縮強度)で0.15となる大きさとした。ロは、06:2006年度の試験体, 07:2007年度の試験体, 08:2008年度の試験体を示す。試験体は横

表-1 試験体一覧

試験体名	柱						梁		柱・梁接合部	
	断面積	スパン	主筋	主筋比	帯筋	帯筋比	鉄骨	断面	スパン	接合部
	mm×mm	mm	本数	%	本数	%				
SRC-06	300×300	740	12-D13	1.69	D6@50	0.43	H-100×100×5×8	H-200×100×5.5×8	1950	[-200×70×70×10]
RC-06										
SRC-07							H-100×100×5×8			
RC-07										
RC-08										

*1 福岡大学大学院 工学研究科建設工学専攻 (正会員)
 *2 福岡大学 工学部建築学科教授 工博 (正会員)
 *3 福岡大学 工学部建築学科助教 博士(工学) (正会員)
 *4 福岡大学 工学部建築学科助手 (正会員)

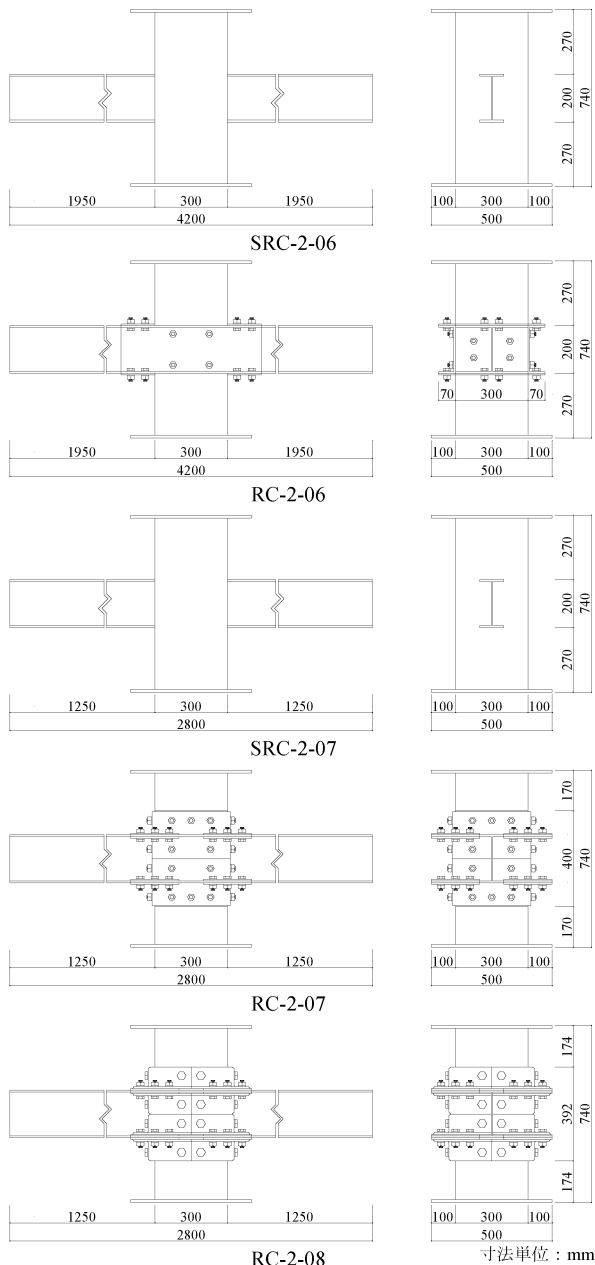


図-1 試験体形状

表-2 材料の力学的性質

鉄筋							
種別	年度	α (cm ²)	σ_y (MPa)	σ_u (MPa)	E_s (GPa)	ϵ_u (%)	試験片
D6	2006	0.32	378	535	185	14.1	JIS Z 2201の2号
	2007		378	535	185	14.1	
	2008		378	535	185	14.1	
D13	2006	1.27	360	533	190	18.6	JIS Z 2201の2号
	2007		353	521	182	26.7	
	2008		353	521	182	26.7	

α : 断面積 σ_y : 降伏点強度 σ_u : 引張強度 E_s : ヤング係数 ϵ_u : 伸び

鉄骨					
鋼材	年度	σ_y (MPa)	σ_u (MPa)	E_s (GPa)	試験片
H-200×100×5.5×8 SS400	2006	369	570	205	JIS Z 2201の5号
	2007	296	325	184	
	2008	296	325	184	

σ_y : 降伏点強度 σ_u : 引張強度 E_s : ヤング係数

コンクリート				
年度	σ_B (MPa)	E_c (GPa)	ϵ_c (%)	材齢
2006	32.2	27.0	0.239	120日
2007	25.2	24.0	0.224	94日
2008	24.6	25.4	0.228	106日

σ_B : シリンダー圧縮強度 E_c : ヤング係数 ϵ_c : 強度時のひずみ

打ちし、脱型後は室内に放置した。図-2にRC柱と鉄骨梁の接合詳細を示す。RC-06は、加力面と直交方向の両面に外ダイヤフラムに相当する溝形鋼を、RC柱に埋め込んだシース管に貫通させたPC鋼棒を緊張させて取り付けた。その後、溝形鋼と鉄骨梁のフランジとを添え板により高力ボルト(F10T)にて摩擦接合させた。RC-07は、鋼管でRC柱のまわりを覆い、コンクリート打設前に鋼管に取り付けた高力ボルトにて、その全面に外ダイヤフラムに相当するCTをRC柱と接合した。その後、各面の

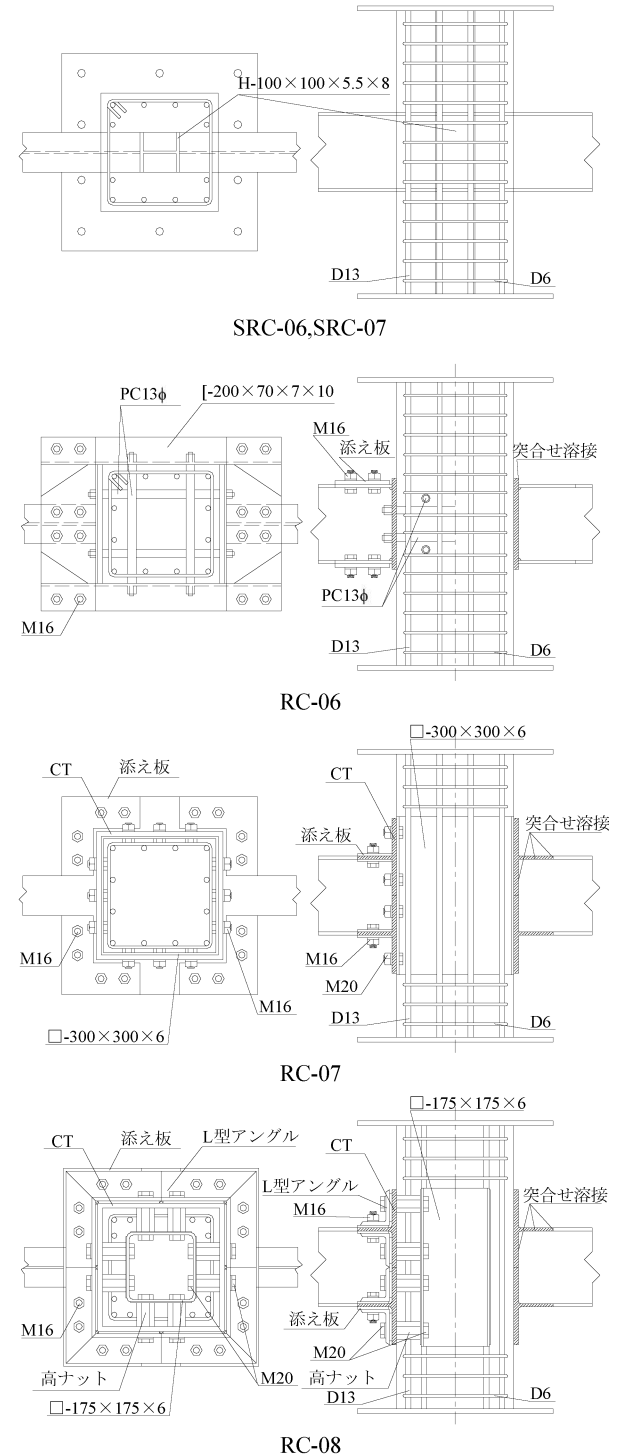


図-2 接合詳細図

CTを添え板と高力ボルトにて接合した。なお、鉄骨梁はCTと溶接で接合している。RC-08は、埋込高ナットを利用して、高力ボルトにて全周に外ダイヤフラムに相当するCTをRC柱と接合した。その後、各面のCTを添え板とL型アングルにより、高力ボルトにてRC柱と接合した。鉄骨梁はCTと溶接で接合している。いずれの試験体とも鋼材とRC柱との間にグラフトは用いずに直接ボルト締めで接合した。

2.2 載荷方法および載荷プログラム

図-3に示す加力装置を用いて、部材角 R を0.5%ずつ増加させ、限界耐力設計の安全限界変形角 $1/75$ の2倍程度まで3回ずつ一定軸力下の漸増変位振幅正負交番繰り返し載荷を行った。制御部材角 R は、図-3に示すように梁の左右加力位置間の相対鉛直変位 δ を、加力間の距離 l で除した値 $R=\delta/l$ である。

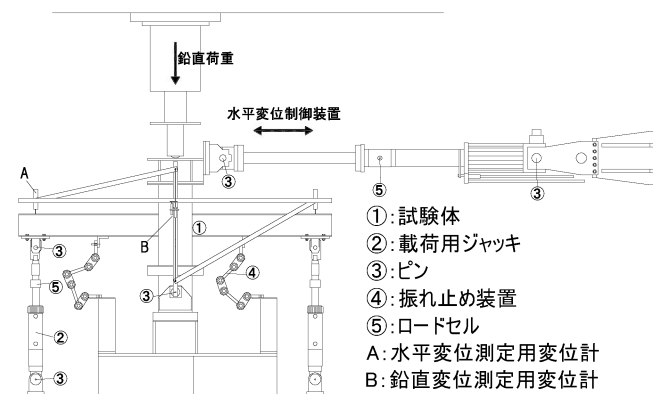


図-3 加力装置

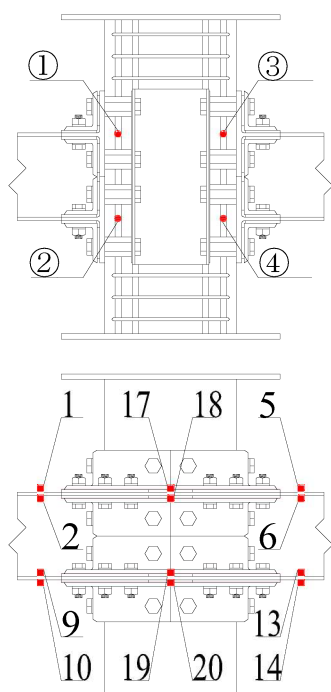


図-4 ゲージ位置

2.3 測定方法

図-3に示すような柱上下のピン位置のボルトに取り付けた測定フレームに定着した変位計にて、梁の加力位置鉛直変位を測定した。また、RC柱の伸びを測定するために、柱上下の定着鋼板に取り付けたボルト間の相対変位を測定した。鉄骨のひずみおよび鉄筋のひずみについては、図-4に示す位置にゲージを貼付してひずみを測定した。RC柱のひび割れおよび破壊状況は、制御変位で目視によるスケッチにより記録した。

3. 実験結果

3.1 履歴性状

表-3に実験結果を示す。図-5に水平荷重 Q と部材角 R の関係を示す。基準試験体となるSRC-06及びSRC-07はいずれも紡錘形の履歴性状を示している。2006年度の試験体は梁のスパン長が2007年度と2008年度の試験体より長いため、 $R=2.57\%$ 以上の変形の測定ができなかった。そのため、鉄骨梁が全塑性モーメントに達するまで載荷できなかったことから、最大耐力は計算値まで達していない。SRC-07に関しては鉄骨梁の全塑性モーメントによる水平せん断力計算値と水平せん断力実験値はほぼ同等の値を示している。RC-06では R が0に近づくにつれてスリップ現象が現れた。実験終了後に外ダイヤフラムを取り除いてみると、外ダイヤフラムとコンクリート接触面に滑りを生じた痕跡が観察された。これは、外ダイヤフラムとして用いた溝形鋼を4-13φのPC鋼棒で締付けを行なったが、鉄骨の曲げ耐力が発揮できるまでのすべり抵抗がなかったことが原因と考えられる。一方、RC-07では、 R が-1%時に鋼管の面外曲げが生じたためうまくダイヤフラムに伝達されず、逆S字形の履歴性状となるスリップ現象が現れた。これは、鉄骨フランジの引張力が外ダイヤフラムに伝達されるよりも鋼管に取付けた高力ボルトに引張力が伝達され、それが原因で被覆鋼管の面外曲げが生じたことによるものと思われる。しかし、実験終了後に接合を取り除いた後、鋼管を取り外すとコンクリートとボルトの接触面には滑りが無いことが観測された。RC-08では、 R が+2.5%時までは紡錘形の履歴性状を示している。 R が-2.5%時に梁接合溶接部分が

表-3 実験結果

試験体名	Q_u (kN)		R_u (%)		Q_{fu} (kN)
	+	-	+	-	
SRC-06	93.1	-96.1	2.49	-2.47	122
RC-06	100	-104	2.3	-2.27	133
SRC-07	113	-112	3.0	-2.98	111
RC-07	94.1	-94.8	2.97	-2.98	123
RC-08	137.7	-131	2.46	-1.98	123

Q_u : 水平せん断力実験値

R_u : Q_u 時の部材角

Q_{fu} : 鉄骨梁の曲げ耐力による水平せん断力計算値

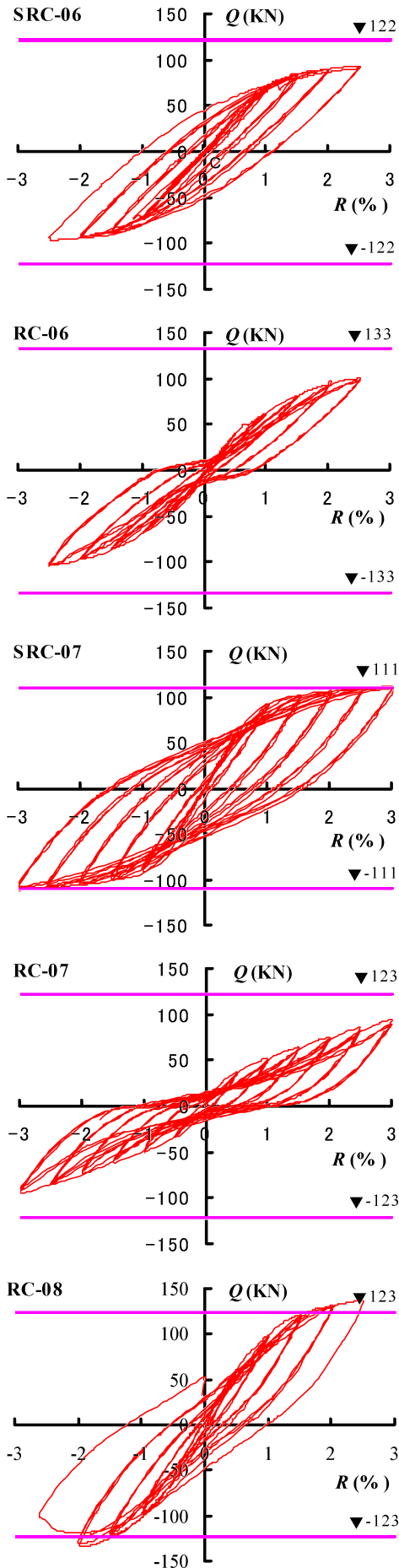


図-5 水平荷重 Q と部材角 R の関係

切れたため実験を終了した。実験終了後に接合を取り除いた後、コンクリートとボルトの接触面には滑りが無いことが観測された。

図-6に2006年度および2007年度と2008年度の制御変位時の固有ループの比較を示す。2006年度では、 $R=1.5\%$ まではほぼ同程度のエネルギー吸収力を示したが、 $R=2.0\%$ になると約半分ぐらいのエネルギー吸収力しかないことがわかった。2007年度と2008年度とでは、SRC-07とRC-08を比較すると同程度のエネルギー吸収力を示したが、RC-07は、SRC-07と比較すると約1/3程度のエネルギー吸収力しかないことがわかった。図-7にそれぞれの年度の接合を取り除いた時の写真、図-8に2008年度の実験中に接合部が破断した写真を示す。RC-07試験体では、鋼管端部近傍のコンクリート剥離などの損傷がみられた。

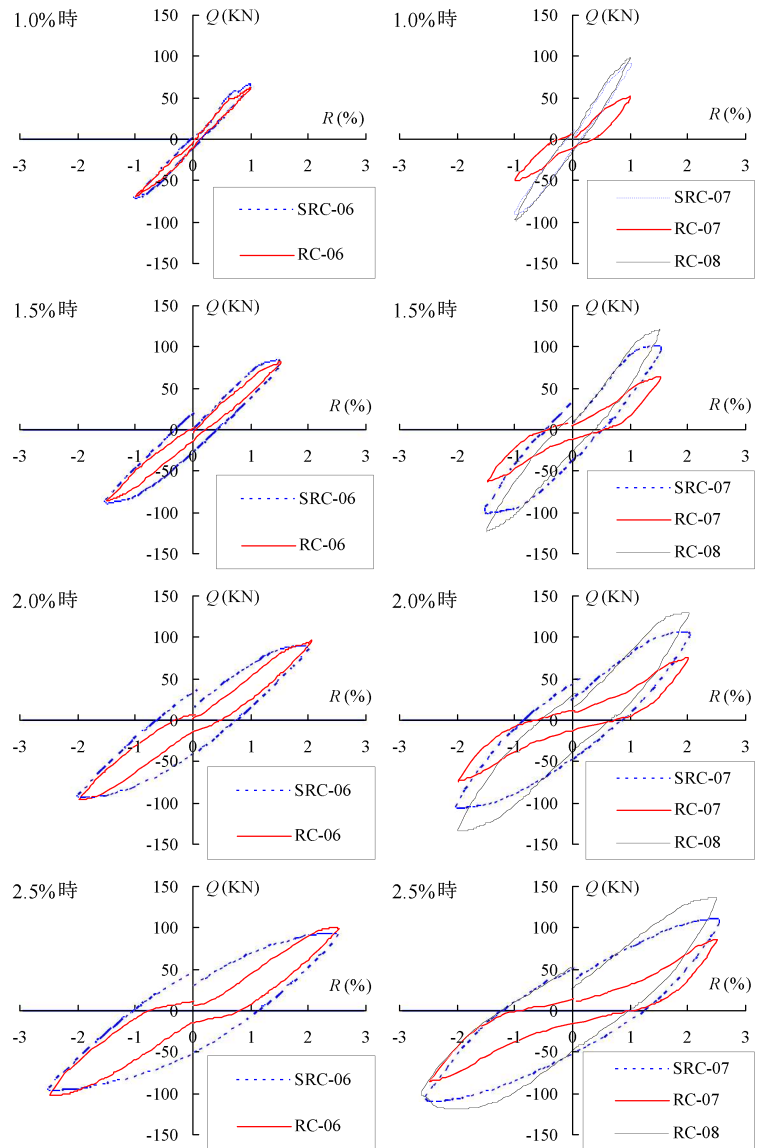


図-6 2006年度(左)および2007年度と2008年度(右)の制御変位時の固有ループの比較

3.2 水平耐力

安全限界変形量1/75の2倍程度までの範囲での最大水平荷重として水平耐力を検討すると、RC-06の水平耐力はSRC-06とほぼ同程度となったが、RC-07の水平耐力はSRC-07のそれより低い値を示しているため、この接合法では梁の全塑性モーメントの耐力までは発揮できていないことがわかった。SRC-07の水平耐力は計算値とほぼ同

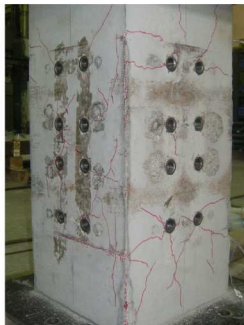
程度となったが、RC-08の水平耐力は、SRC-07のそれより少し高い値を示している。これは、鉄骨梁の塑性ヒンジが生じる位置が柱面より100mm離れているためであるが、計算値より大きくなっていることから全塑性モーメントの耐力近傍まで本接合法で力が伝達されたものと思われる。



RC-06



RC-07



RC-08

図-7 接合を取り除いた時の写真

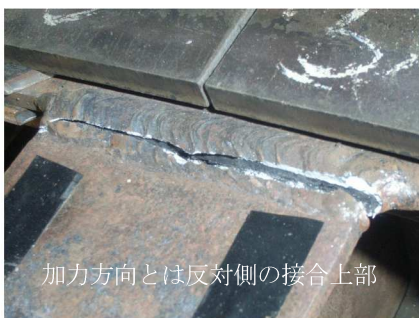


図-8 2008年度の実験中に接合部が破断した写真

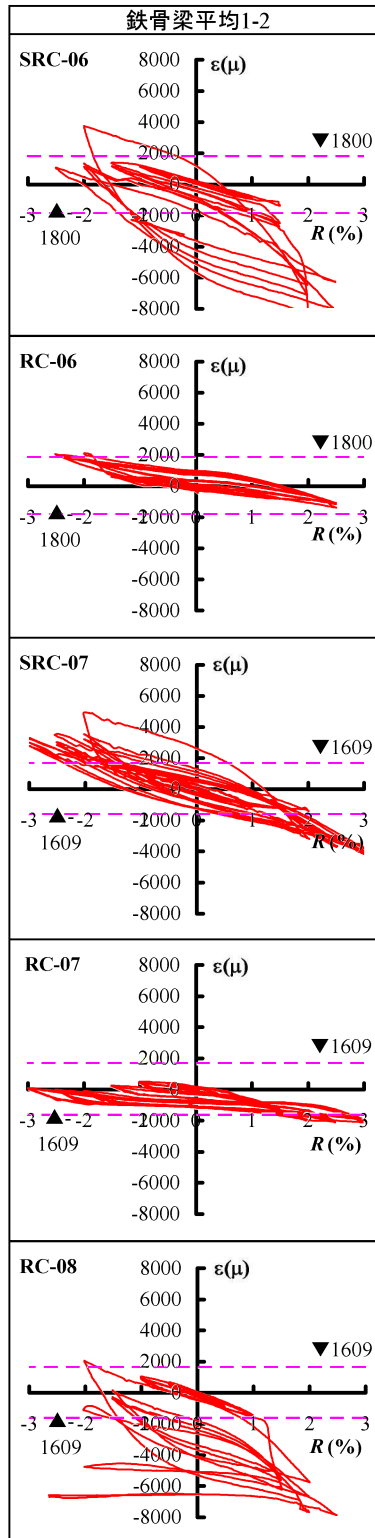


図-9 鉄骨梁端部のひずみ履歴

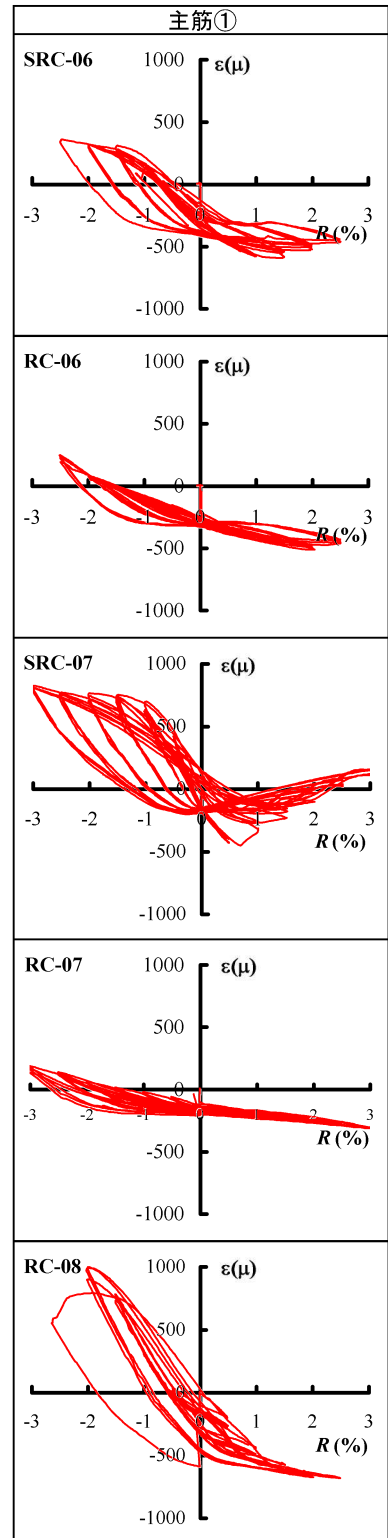


図-10 柱主筋の鉄筋ひずみ履歴

3.3 鉄骨ひずみ履歴

図-9に鉄骨梁端部のひずみ履歴を示す。鉄骨梁端部のひずみ平均1-2によれば全ての試験体で鋼材の降伏ひずみを超え、鉄骨梁は降伏曲げモーメント近傍または、それ以上に達していることがわかる。

3.4 鉄筋ひずみ履歴

図-10に柱主筋の鉄筋ひずみ履歴を示す。全試験体の鉄筋ひずみ履歴によれば、鉄筋降伏ひずみ $\epsilon_y=1940(\mu)$ には達していないので、全試験体の主筋は降伏していないことがわかる。

3.5 ダイヤフラムのひずみ履歴

図-11にダイヤフラムのひずみ履歴を示す。RC-06、RC-07ともに ϵ の値が低くなっていることから、ダイヤフラムに応力があまり作用しておらず、梁から柱に応力が円滑に伝達されていないようである。RC-08の ϵ の値が増

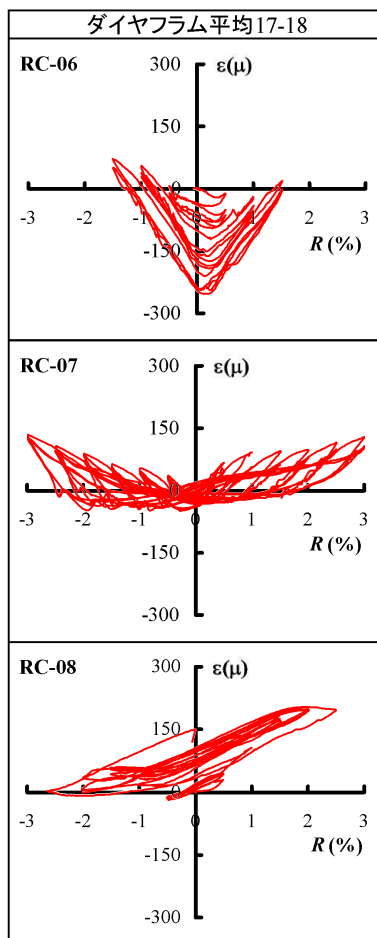


図-11 ダイヤフラムのひずみ履歴

えていることから、ダイヤフラムを介して鉄骨梁の力が伝達されていることがわかる。

4. 結論

RC柱・鉄骨梁簡易接合法による十字形骨組の一定軸力下の正負交番繰り返し水平力載荷実験を行い、SRC柱・鉄骨梁接合の基準試験体との比較を行った結果、以下のことがわかった。

- 1) SRC柱に鉄骨梁を接合した基準試験体の場合は、紡錘形の履歴性状を示した。
- 2) 外ダイヤフラムを通しボルトで締付けて、外ダイヤフラムに鉄骨梁を高力ボルトで接合した場合や埋込みボルトにて外ダイヤフラムを取り付けた場合は、すべり現象やボルト取付用鋼管の面外曲げによりスリップ現象を伴う履歴性状を示し、この接合法ではエネルギー吸収の大きい紡錘形の履歴性状を得ることができなかった。
- 3) 埋込み高ナットに鉄骨梁を接合した場合は、基準試験体と同様な鉄骨曲げ降伏先行の履歴性状を示し、RC柱へボルトを介して力を伝達させるとエネルギー吸収の大きい履歴性状となった。

今後は、外フランジ取付けに使用したPC鋼棒の締付力とすべりの関係やダイヤフラム間の高力ボルトによる摩擦接合法の改良等について検討する予定である。

謝辞

試験体製作にあたっては、福岡大学の研究室の卒業生に協力を得た。加力装置の製作および組み立てにあたっては、福岡大学工学部建築学科技術職員平國久雄氏にお世話になった。ここに、関係者各位に感謝します。

参考文献

- 1) 田中 睦, 江崎文也, 小野正行, 河本裕行: 高強度アンボンド主筋を用いたRC柱の履歴性状, コンリート工学年次論文集, Vo.1. 26, No.2, pp.181-186, 2004
- 2) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート柱・鉄骨梁混合構造の設計と施工, 日本建築学会, 2001.
- 3) 河野州峰, 李文聰, 江崎文也: RC柱鉄骨梁簡易接合法に関する研究, その2 接合法の相違が架構の履歴性状に及ぼす影響, 日本建築学会九州支部研究報告第47号1, 構造系, pp.609-612, 2008.3