

[151] 機械式鉄筋継手を有するはり・柱接合部の実験的研究

正会員○石橋 一彦(千葉工業大学)
 正会員 武井 一夫(飛鳥建設技術本部)
 正会員 戸田 哲雄(間組技術研究所)

1. はじめに

鉄筋の機械式継手として、筒形のスリーブ鉄骨に鉄筋を挿入して無収縮モルタルをその間隙に充填するスリーブ継手は、一般に鉄筋径の2倍以上の外径と13倍近くの長さを有し、また軸鉄筋にねじふし鉄筋を用いたり鉄筋端に機械加工のねじを溶着したりして、カプラおよびナットで締付けるねじ継手は、一般に鉄筋径の1.5倍以上の外径と5倍以上の長さがある。

このような機械式継手を鉄筋コンクリート部材の曲げ補強筋に使用した場合には、スリーブやカプラなどの継手鉄骨による剛性の増大あるいは継手鉄骨端のコンクリートとの支圧効果などが、部材の性能に一見有利に作用したと思われる実験報告¹⁾があり、また大きなせん断応力度の作用するはり・柱接合部内の柱軸筋にスリーブ継手を用いて、その部分の破壊が激しかった実験結果²⁾があり、継手の功罪は不明解である。

本研究は、継手位置と接合部パネルのせん断応力度を主な実験変数とする3シリーズ13体の試験体を用いて、機械式鉄筋継手を有するはり・柱接合部の破壊機構を実験的に一部確認したものである。

2. 各シリーズの目的と試験体

5-1シリーズは、柱はり交差部またはその近傍にはり主筋の継手を有する骨組において、主筋の軸方向剛性が継手によって不連続に増大することの影響を詳細に検討するために計画された。

5-2シリーズは、はり主筋を実際のスリーブ継手で接合し、その継手鉄骨部がはりの両端またはパネル内にある場合または継手のない場合の骨組の力学的特性を比較して検討するために計画された。

5-3シリーズは、接合部パネルに大きなせん断力を作用させ激しい破壊を生じさせる場合に、継手位置と柱軸力がはり・柱接合部の力学的性状に与える影響を検討することを目的として計画された。

図-1~図-3に示すように、各シリーズの試験体は30cm×50cmのはりと50cm×50cmの柱を有し、それぞれの主筋のかぶり厚は鉄筋心で部材せいの0.12倍(6cm)に統一された。

5-1および5-3シリーズのはり主筋には同一のD29のねじふし鉄筋を用いた。5-2シリーズの主筋は普通の異形鉄筋D22である。

5-1シリーズでは、継手部の不連続な剛性変化を模擬するために、鉄筋に溝切加工を施した。この溝部は点対称に2列配置し、1列の溝の巾は約11mm、深さは約6mmで、5-2で使用したスリーブ継手の性能判定試験³⁾における特定検長のみかけのヤング係数に対する母材のそれはおよそ0.8倍であったのに対応させて、溝のある断面積は公称断面積の約0.8倍とした。

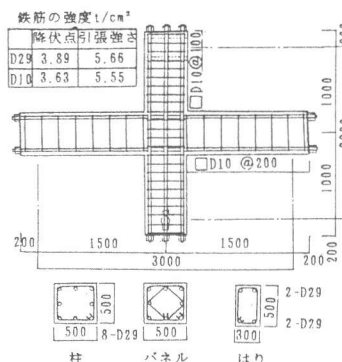


図-1 5-1シリーズ試験体形状

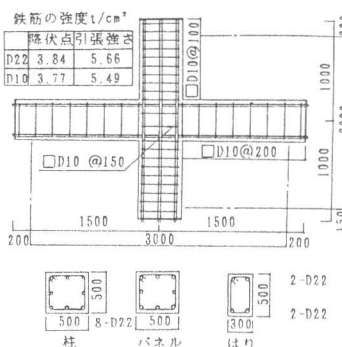


図-2 5-2シリーズ試験体形状

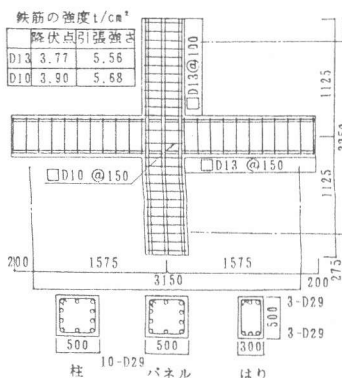


図-3 5-3シリーズ試験体形状

5-2シリーズで使用したスリーブ継手は最大外径72mm、長さ310mmのものである。

5-3シリーズでは、連続したねじふし鉄筋に、300mmの長さにナットを連ねて締付けることによって、スリーブ継手程度の継手長さとねじ継手程度の外径を与えた。

表-1に各試験体のはり主筋の継手形状および位置を示した。KSK試験体は、はり主筋の柱面位置に外径72mm厚さ4.4mmのワッシャ3枚をナットで締め付け、前述の継手鉄骨端部の支圧効果を発揮させた。

コンクリートは碎石粗骨材を用いた普通コンクリートで $F_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ で調合設計された。

3. 実験方法

5-1シリーズの加力方法は、図-4に示すような実験装置を用いて、十形はり・柱接合部の逆対称応力正負交番繰返し加力形式とし、5-2および5-3シリーズでは、ほぼ、同形式の加力に加えて試験体頂部の水平変位によってモーメントを生じるような一定軸力が加えられた。この軸力による水平力相当の効果は、図-5に示す P' で現せる。

図-5に示す部材角 R を制御し、一定振巾で1~3サイクルの水平荷重を与えた。一定振巾は $R_y = 1/150$ を降伏変位と定義し、その整数倍にとった。これらの加力ルールを表-1に示す。

それぞれのシリーズにおいて鉄筋のひずみは測定点をシリーズどうしの比較ができるように選び、はり端の回転およびパネルの変形なども比較のために測定された。

5-1シリーズでは、接合部パネル内のはり主筋のすべりが図-6に示す方法で測定された。

4. 実験結果概要

表-2に耐力と変形の実験結果を示し、図-7~図-9に荷重(P) - 変形(R)の関係を示し、図-10に代表的な接合部の破壊パターンを示す。

5-1シリーズの試験体は $4R_y$ の第1正荷重で最大荷重に達し、その後の負荷重および繰返し荷重によって耐力を漸減させた。最も激しい破壊ははりの端部の目開きと圧壊であったが、KSK試験体では圧壊が比較的軽微であった。

5-2シリーズの試験体は $2R_y$ の第1正荷重で最大荷重に達し、その後耐力は漸減するが継手のあるSJPおよびSJB試験体では水平変位と軸力による効果を考慮するとはりの曲げ耐力は $10R_y$ まで維持された。SJBの圧壊は比較的軽微であり、SJPの接合部パネルにはせん断ひびわれが多数生じた。

5-3シリーズの試験体は $2R_y$ または $4R_y$ の第1

表-1 各試験体の諸因子

シリーズ	試験体	継手位置			材料			柱軸力 σ_c kg/cm ²	加力ルール $1 \times 2 \times 4 \times 6 \times 8 \times 10$ の加力回数	
		はり	柱	はり	コンクリート $c \sigma_n$ kg/cm ²	鉄筋 $c \sigma_t$ kg/cm ²	柱軸力 sf kg/cm ²			
5-1	SLS	↑	●	↑	191	21.8	219	0	3 3 2 2 5	
	LSSL	●	↑	●	213	20.3	194	-	同上	
	KSK	●	↑	●	195	20.1	235	-	同上	
5-2	SJS	↑	↑	↑	198	22.4	240	2177	1 3 3 2 2 5	
	LSSL	●	●	●	198	22.4	240	2232	同上	
	LSS	●	↑	↑	220	23.7	227	-	3 3 2 2 5	
5-3	SJP	↑	↑	↑	236	23.9	242	2610	30	3 3 3 1 1
	SJB	↑	↑	↑	245	24.9	242	-	同上	
	SJN	↑	↑	↑	272	25.7	261	2100	-	同上
5-3	PJ-N	↑	↑	↑	251	21.4	227	2732	42	3 3 2 2 -
	BJ-N	↑	↑	↑	235	19.7	183	-	-	同上
	PJ-0	↑	↑	↑	251	21.4	227	-	0	同上
5-3	BJ-0	↑	↑	↑	235	19.7	183	-	-	同上

注: 5-1シリーズで継手位置とは断面変化のある場合に断面積の大きい部分を言う。

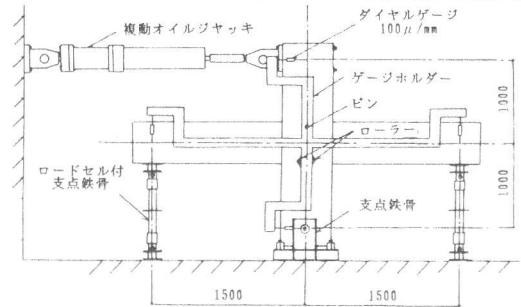


図-4 5-1シリーズ実験装置

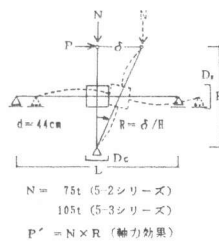


図-5 軸力効果の説明

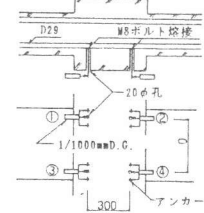


図-6 すべり測定方法

表-2 耐力・変形の実験結果

シリーズ	試験体	実験結果				備 考
		最大荷重時(正荷重)		最大変形時(正荷重)		
		P_{max} (実/計)	R/R_y	P_u (実/計)	R/R_y	
5-1	SLS	23.5 (1.24)	3.8	50.8	15.4 (.81)	9.4
	LSSL	24.6 (1.29)	4.0	53.2	15.4 (.81)	10.2
	KSK	24.8 (1.31)	"	53.6	18.2 (.96)	10.0
5-2	SJS	22.0 (1.16)	"	47.6	13.6 (.72)	"
	LSSL	28.8 (1.19)	4.4	61.2	15.9 (.77)	11.2
	LSS	24.2 (1.27)	4.0	52.3	16.3 (.86)	10.0
5-3	SJP	16.3 (1.23)	2.0	37.4	12.7 (1.26)	"
	SJB	18.1 (1.35)	"	41.2	15.2 (1.43)	"
	SJN	16.7 (1.26)	"	38.3	8.9 (.91)	8.0
5-3	PJ-N	27.6 (.93)	2.0	73.8	11.6 (.55)	"
	BJ-N	28.5 (.96)	"	76.0	9.7 (.50)	"
	PJ-0	27.9 (.89)	4.0	71.0	19.8 (.63)	"
5-3	BJ-0	28.8 (.92)	"	73.2	19.0 (.61)	"

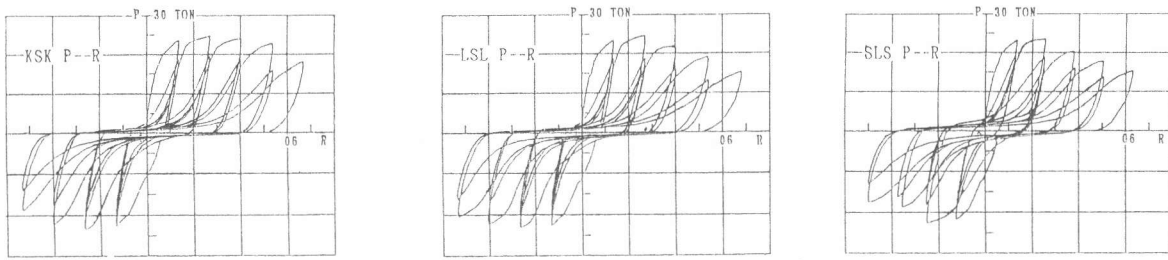
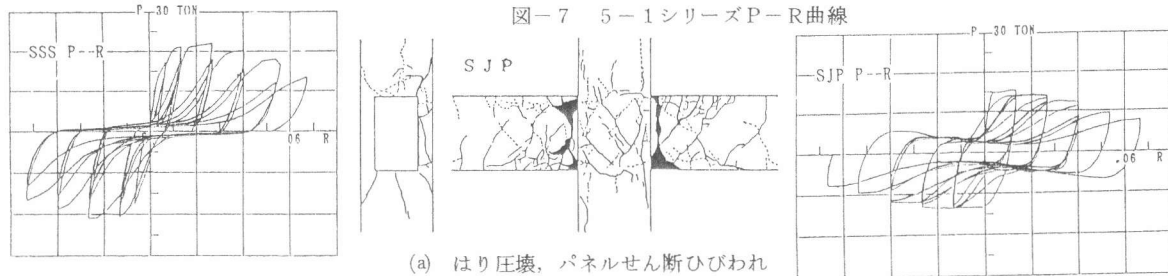


図-7 5-1シリーズP-R曲線



(a) はり圧壊, パネルせん断ひびわれ

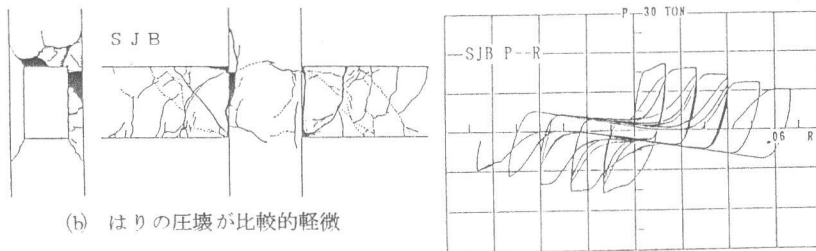
正荷重で最大荷重に達し、パネルの面外膨張をとまなうせん断破壊によって急激に耐力を失い、はりの目開きと圧壊が生じた。

5. 破壊機構

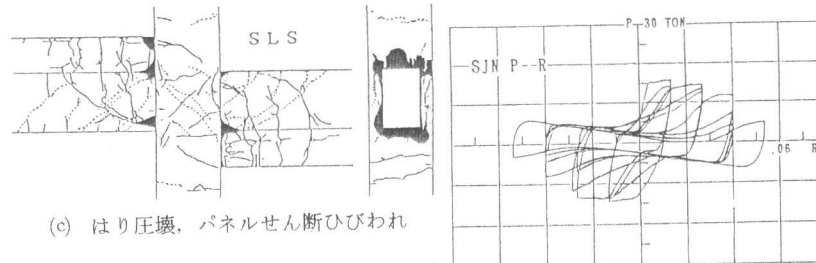
はり主筋のすべりと降伏ひずみに着目して、パネル内の付着劣化の機構を分析してみる。

図-11に示すように、 $2R_y$ の第1正荷重でパネル内のはり主筋が降伏しないSLS試験体のすべりは、図(a)および(b)のA点で示されるように、1mm以下であるが、次の負荷重では、図(a)および(b)のB点で示されるように、逆方向へ1mm程度のすべりを生じるようになる。

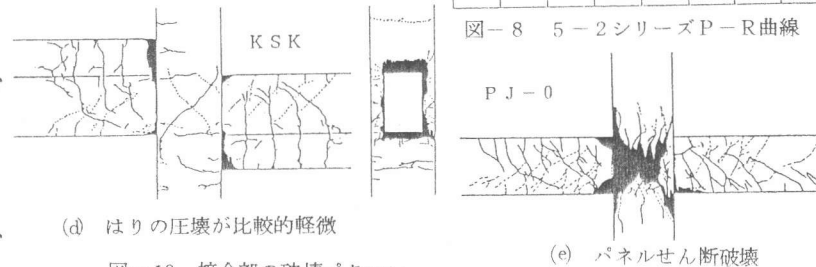
LSLおよびKSK試験体では、パネル内の降伏伸びが図(c)および(e)に示すC点からD点へと、すべりを増加させている。接合部パネル内での降伏伸びは、後述するように、SLS試験体では小さくLSL、KSK試験体では大きい傾向にあるが、いずれにしてもはり端の目開きが閉じるときに、そこのはり主筋に大きな圧縮軸力が加わり、付着応力が強大に作用して付着破壊が進行すると考えられる。



(b) はりの圧壊が比較的軽微



(c) はり圧壊, パネルせん断ひびわれ



(d) はりの圧壊が比較的軽微

図-10 接合部の破壊パターン

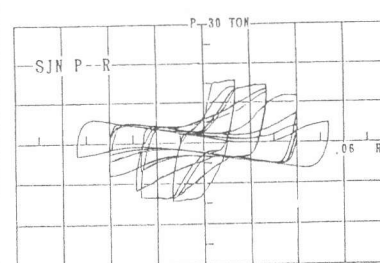
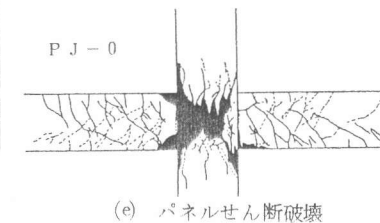


図-8 5-2シリーズP-R曲線



(e) パネルせん断破壊

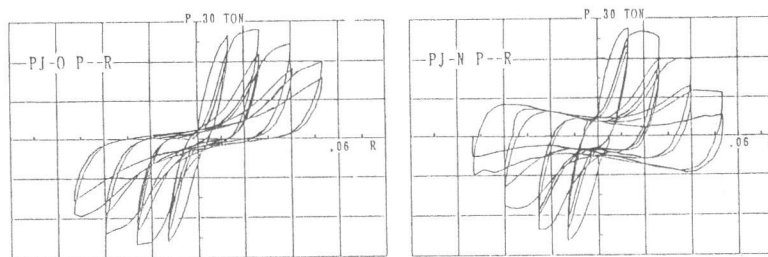


図-9 5-3シリーズP-R曲線

図-12ははりの上側の主筋の2R_y第1正荷重までのひずみ度分布の進行状況を示している。はり端およびその近傍の主筋の降伏ひずみ度は、5-1シリーズでは非常に大きく、5-2シリーズでは最大0.4%、5-3シリーズでは0.2%前後である。一方、本報ではデータを省略したが、はり端の回転は全体変形に占める割合が非常に大きく、スリップ形のP-R曲線を生じる第一原因となっている。従って、はり主筋の降伏伸びが5-1シリーズに比して小さい5-2シリーズでは、スリーブ継手からの抜け出しもあったと考えられる。パネルがせん断破壊した5-3シリーズでは、はり端の回転は破壊の後に生じたと思われる。

以上によって、接合部の破壊機構を分類してみると、図-13に示すように、3つのパターンがみとめられる。パネル内継手型とはり両端継手型とは破壊機構上大差はないかにみえるが、前回の逆方向荷重による目開き分だけ主筋のすべりが生じた後では、継手鉄骨の端部で主筋のすべりが1方向だけ抑制され、コンクリートの圧縮力を軽減する効果は顕著に存在した。

なお文献2)の場合にはパネルせん断応力度は110kg/cm²に達したと計算される。

6. 結 論

+型はり・柱接合部ではパネル内のはり主筋の定着は一般的に悪条件下であり、塑性変形が繰り返されると前回の荷重で生じたはり主筋の抜け出しが逆荷重により押し込まれるため、有効な定着長が激減するなど一層の性能低下が生じる。このような状態ではり主筋に機械式継手が接合部に接して施されるとはりの曲げ圧壊に対しては有効で、架構のじん性能を向上させることができる。継手位置がパネル内の場合には、パネルのせん断応力度が37kg/cm²程度まではパネルの破壊にあまり影響しなかった。

7. 謝 辞

本研究は(財)日本建築センター内に設けられた『鉄筋継手研究委員会(中野清司委員長)』の研究の一環として行なわれたものである。委員および協賛者各位に対し感謝の意を表します。

- 参考文献：1) 森、岩崎、戸田、城内、「鉄筋継手を有する柱・はり接合部の加力実験」日本建築学会大会梗概集 2710 S 59.10
 2) 高木、新藤、末永 「鉄筋コンクリート造ラーメンプレハブの接合部に関する基礎的研究」日本建築学会梗概集 2717 S 52.10
 3) 日本建築センター「鉄筋継手性能判定基準 1982」ビルディングレター 83.8

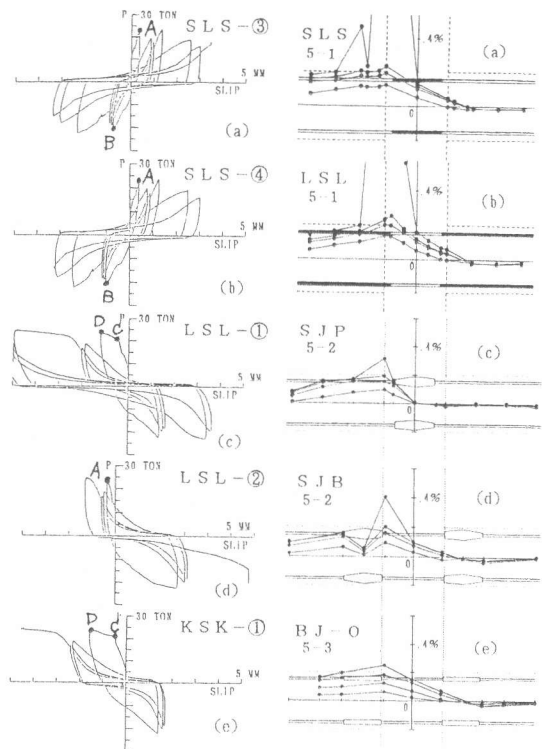


図-11 荷重-すべり曲線 図-12 2R_y時のひずみ分布

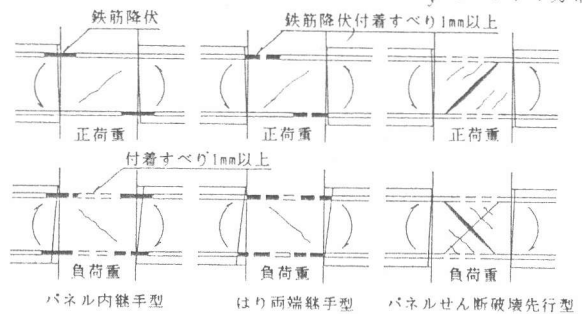


図-13 接合部パネルの破壊機構(変形振巾2R_yでの第1正・負荷重)