

論文

[2066] 高強度鉄筋を用いた柱・はり接合部のせん断破壊に関する
実験的研究

正会員○三輪 渡 (JR東日本 東北工事事務所)
 正会員 石橋 忠良 (JR東日本 東京工事事務所)
 正会員 齊藤 啓一 (JR東日本 東北工事事務所)
 正会員 大槻 茂雄 (JR東日本 東北工事事務所)

1. はじめに

鉄道ラーメン高架橋において、高強度鉄筋 (SD390) を使用すれば部材断面の縮小を図ることができる。しかしながら、部材断面の縮小により柱・はり接合部 (以下、接合部) も小さくなるので接合部以外の部分より先に接合部がせん断破壊し、部材のじん性能が十分発揮されない恐れがある。そこで、高強度鉄筋を用いた場合の接合部の設計法、接合部帯鉄筋の配置方法等に関する基礎データを得ることを目的に、高強度鉄筋 (SD390) を柱・はり部材の主鉄筋とした試験体を作成し部材の降伏変位をもとに正負交番繰り返し載荷実験を行ってきた。昨年度までは、はり主鉄筋の定着方法、部材の断面形状等を実験因子とした試験体NO. 1~16の実験を行ってきた。今年度は、接合部帯鉄筋の配置方法と接合部帯鉄筋量に主に注目して試験体NO. 17~25の実験を行った。以下に、試験体NO. 17~25の結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 試験体

実験は、ラーメン高架橋の柱・はり接合部をモデル化したNO. 17~NO. 25の9体の試験体を作成して行った。試験体の諸元を図-1及び表-1に示す。はり部材主鉄筋の定着方法は、直角折り曲げ定着とした。試験体の接合部帯鉄筋の配置方法を図-2に示す。実験に用いた鉄筋の強度を表-2に示す。また、今回の実験では、はり主筋降伏時に柱部材に作用する曲げモーメントと断面耐力から求まる柱部材の降伏曲げモーメントを基に、はり降伏先行型の試験体とした。

2.2 載荷方法

今回の実験では、載荷装置の都合上図-1に示すように柱を水平に位置させて載荷した。試験体の載荷は、まず、はり部材に0.5 (t) ずつ水平に静的一方向に載荷し、はり部材付け根位置の鉄筋のひずみを測定し、応力-ひずみ曲線を描いて降伏点を求め、その時の荷重とはり部材頂部の変位 (降伏変位) を記録した。次に反対方向の降伏変位を求めて両

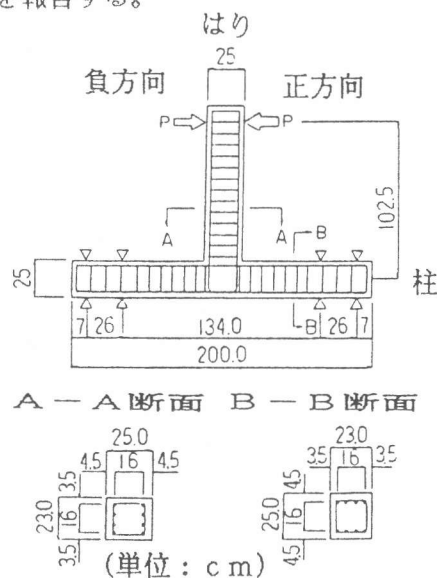


図-1 試験体の形状寸法

※NO. 17は無補強

NO. 18	NO. 19	NO. 20	NO. 21
NO. 22	NO. 23	NO. 24	NO. 25

図-2 接合部帯鉄筋の配置方法

者の平均値を以後の正負交番繰り返し載荷の基準となる降伏変位とした。正負交番繰り返し載荷は、降伏変位の整数倍ごとに、各々10回ずつ変位制御で行った。

2. 3 測定項目

主な測定項目は、荷重、はり部材の水平変位、はり部材主鉄筋のひずみ、接合部帯鉄筋のひずみの4項目である。

3. 実験結果ならびに考察

3. 1 接合部のせん断ひびわれ

NO. 17~25の何れの試験体においても、静的載荷中に接合部のせん断ひびわれが発生した。表一3に接合部のせん断ひびわれ発生荷重を示す。図一3に接合部のせん断ひびわれ発生荷重をコンクリート圧縮強度で除した値 (P/σ_B) と、接合部帯鉄筋比とその降伏強度の積 ($p_{jh} \cdot \sigma_y$) の関係を示す[1]。これより接合部帯鉄筋は、接合部のせん断ひびわれ発生荷重に影響を及ぼさないようである。なお、接合部帯鉄筋比は $p_{jh} = A_j / j_b \cdot b_j$ (A_j : 接合部帯鉄筋断面積、 j_b : はり部材主筋中心間距離、 b_j : 接合部有効幅) で求めた。今回の実験においては、接合部有効幅は梁幅とした。

表一1 試験体の諸元一覧

NO	柱・はり部材				接合部帯鉄筋			コンクリート 圧縮強度 σ_B
	B	H	A_s	A_w	補強方法	p_{jh}	σ_y	
17	23.0	25.0	1.03	0.79 0.79	無補強	0	3753	250
18	23.0	25.0	1.03	0.79 0.79	D6-2組 線中央	0.33	3753	212
19	23.0	25.0	1.03	0.79 0.79	D6-2組 線端部	0.33	3753	219
20	23.0	25.0	1.03	0.79 0.79	D6-4組 線中央	0.65	3753	261
21	23.0	25.0	1.03	0.79 0.79	D6-4組 線均等	0.65	3753	196
22	23.0	25.0	1.03	0.79 0.79	D6-6組 線均等	0.98	3753	214
23	23.0	25.0	1.03	0.79 0.79	D6-8組 線均等	1.30	3753	272
24	23.0	25.0	1.03	0.79 1.19	D6-8組 線均等	1.30	3753	242
25	23.0	25.0	1.03	0.79 1.19	D10-5組 線均等	1.86	3694	222

柱軸力=0
 B: 部材幅 (cm)、H: 部材高さ (cm)、 A_s : 引張鉄筋比 (%)
 A_w : 帯鉄筋比 (%) (上段: 柱部材、下段: はり部材)
 柱主筋: 8-D13 (9.74 cm²)
 はり主筋: 8-D13 (9.74 cm²)
 接合部帯鉄筋: D6 (0.60 cm²/1組)、D10 (1.37 cm²/1組)
 p_{jh} : 接合部帯鉄筋比 (%), σ_y : 接合部帯鉄筋降伏応力度 (kg/cm²)
 定着方法: 曲げ内半径=39mm (3d)、水平投影長さ=212mm (16d)
 余長部の長さ=150mm (12d)
 σ_B : コンクリート圧縮強度 (kg/cm²)

表一2 鉄筋の強度

鉄筋径	名称	降伏強度	引張強度
D6	SD345	3753	6010
D10	SD345	3694	6095
D13	SD390	4307	6464

(kgf/cm²)

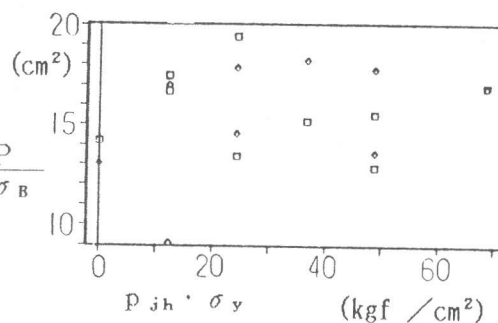
表一3 実験概要

NO.	接合部パネルせん断ひび割れ発生荷重 (t)		破壊状況
	正方向載荷時	負方向載荷時	
17	3.55	3.25	JS
18	3.70	3.60	BY⇒JS
19	3.65	2.00	BY⇒JS
20	3.50	3.80	BY⇒JS
21	3.80	3.50	BY⇒JS
22	3.25	3.90	BY⇒JS
23	3.50	3.70	BY⇒BF
24	3.75	4.30	BY⇒BF
25	3.75	3.75	BY⇒BF

JS: 接合部せん断破壊

BY⇒JS: はり主筋降伏後、接合部せん断破壊

BY⇒BF: はり主筋降伏後、はりの曲げ破壊



□: 正方向載荷時 ◇: 負方向載荷時

図一3 接合部せん断ひびわれ発生荷重

3. 2 ひびわれ状況

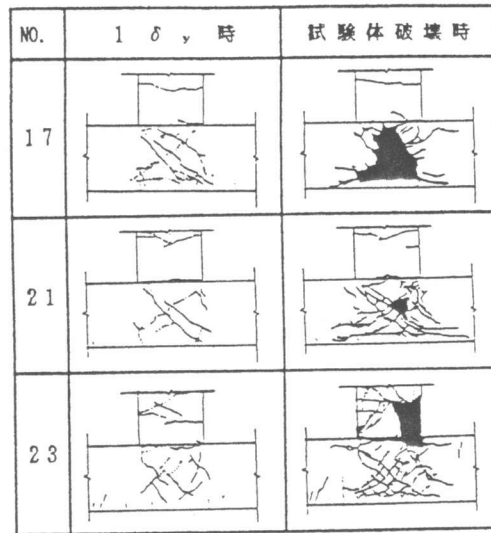
今回の実験では、荷重—変位曲線の包絡線が降伏荷重を下回る時を試験体の破壊とした。図—4に1 δ_y 時 (δ_y :降伏変位)と試験体破壊時のひびわれ状況の例を示す。各試験体の1 δ_y 時のひびわれ状況を比較すると、それほど大きな相違は見られなかった。試験体破壊時のひびわれ状況をみるとNO. 17 (接合部無補強)は接合部全体がせん断破壊し、大きくコンクリートが剥落した。NO. 21 (接合部帯鉄筋比 0.65%)は最終的には接合部のせん断破壊となったものの、NO. 17と比較するとかぶりの一部が剥落しただけであった。NO. 23 (接合部帯鉄筋比 1.3%)は最終的にははりの曲げ破壊となったが、はり部材の付け根付近にひびわれが集中し、はり部材付け根付近のかぶりに大きな剥落もみられた。また、NO. 24 (接合部帯鉄筋比 1.3%)とNO. 25 (接合部帯鉄筋比 1.86%)の試験体破壊時のひびわれ状況を比較するとNO. 24では、はり部材の付け根部が集中的に破壊しているのに対し、NO. 25では、はり部材全体に曲げひびわれが発生し破壊した。

3. 3 破壊状況

最終的な破壊状況を表—3に示す。NO. 17は静的荷重中に接合部のせん断破壊が起こった。NO. 18~22では静的荷重によりはり主筋が降伏し、正負交番繰り返し荷重をうけることにより最終的に接合部のせん断破壊が生じた。NO. 23、24、25は静的荷重により、はり主筋が降伏し正負交番繰り返し荷重により最終的には、はりの曲げ破壊となった。

3. 4 最大荷重と接合部せん断耐力

表—4に各試験体の正方向荷重時、負方向荷重時の降伏荷重と降伏荷重時の変位及び最大荷重と最大荷重時の変位を示す。図—5に試験体NO. 22の荷重—変位曲線を示す。各試験体において正方向荷重、負方向荷重に

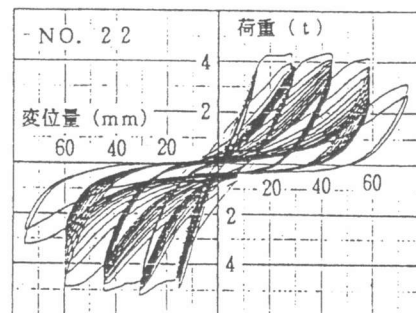


図—4 ひびわれ状況の例

表—4 実験結果

NO.		P_y	δ_y	P_{max}	δ_{max}	変位	μ
17	+	4.80	14.8	4.80	14.8	1 δ_y	1.0
	-	4.70	15.0	4.70	15.0	-1 δ_y	1.0
18	+	4.96	14.5	5.13	27.5	2 δ_y	2.2
	-	4.60	12.4	4.60	39.9	-3 δ_y	3.0
19	+	4.80	15.8	4.95	29.6	2 δ_y	2.0
	-	4.50	14.7	4.60	28.9	-2 δ_y	2.7
20	+	4.60	17.9	4.77	34.9	2 δ_y	2.6
	-	4.50	16.8	4.61	34.5	-2 δ_y	3.7
21	+	5.00	15.6	5.31	45.7	3 δ_y	3.5
	-	4.00	15.9	4.03	45.5	-3 δ_y	3.6
22	+	4.07	15.4	4.59	29.2	2 δ_y	4.0
	-	4.40	13.2	5.25	28.5	-2 δ_y	5.1
23	+	4.60	15.8	5.16	30.5	2 δ_y	(4.1)
	-	4.30	14.9	4.62	59.8	-5 δ_y	(5.3)
24	+	4.50	15.8	5.10	30.0	2 δ_y	(4.1)
	-	4.50	14.7	4.84	45.1	-3 δ_y	(4.4)
25	+	4.70	15.5	5.19	33.0	2 δ_y	(5.2)
	-	4.10	14.2	4.60	47.9	-3 δ_y	(5.8)

P_y :降伏荷重 (t)、 P_{max} :最大荷重 (t)
 δ_y :降伏荷重時の変位 (mm)、 δ_{max} :最大荷重時の変位 (mm)
 μ :接合部のじん性率 () ははりの曲げ破壊となった試験体
(注) 各試験体の上段の値は正方向荷重時の値、下段は負方向荷重時の値を示す。



図—5 荷重—変位曲線の例

関わらず最大荷重を与えるものを、各試験体の最大荷重 (P_{max}) とした。接合部帯鉄筋比と、その降伏強度の積を $p_{jh} \cdot \sigma_y$ とした。今回の実験では、表-1 に示すように全試験体の柱・はり部材の断面形状、部材主鉄筋の配置方法が同一である。さらに、図-1 に示すように全試験体の載荷方法も同一である。しかし、参考文献 [2] 等で述べられている載荷方法とは異なる。そこで、各試験体の最大荷重 (P_{max}) をコンクリート圧縮強度 (σ_B) で除した値 (P_{max} / σ_B) を用いて、最終的に接合部でせん断破壊した試験体について接合部のせん断耐力を評価することとした。

(1) 接合部帯鉄筋を接合部中央に配置した試験体について

図-6 に接合部帯鉄筋を接合部中央に配置し、接合部帯鉄筋比を順次増加させた試験体 NO. 17、18、20 の P_{max} / σ_B と $p_{jh} \cdot \sigma_y$ との関係を示す。NO. 17 と比較して、NO. 18 は接合部のせん断耐力が増加する傾向がみられたが、NO. 20 は接合部のせん断耐力が増加する傾向は見られなかった。

(2) 接合部帯鉄筋を接合部端部に配置した試験体について

図-7 に接合部帯鉄筋を接合部端部に配置し接合部帯鉄筋比を順次増加させた試験体 NO. 17、19 の P_{max} / σ_B と $p_{jh} \cdot \sigma_y$ との関係を示す。NO. 17 と比較して、NO. 19 は接合部のせん断耐力が増加する傾向がみられた。

(3) 接合部帯鉄筋を接合部に均等に配置した試験体について

図-8 に接合部帯鉄筋を接合部に均等に配置し接合部帯鉄筋比を順次増加させた試験体 NO. 17、21、22、23、24、25 の P_{max} / σ_B と $p_{jh} \cdot \sigma_y$ との関係を示す。

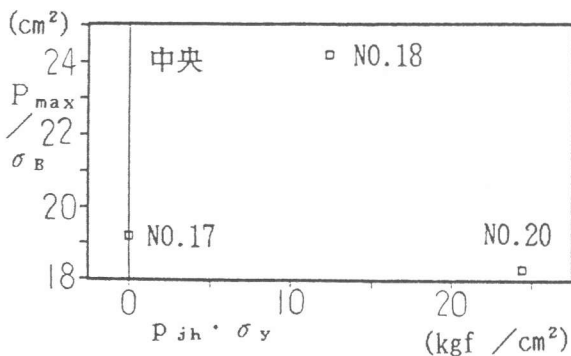


図-6 最大荷重と接合部帯鉄筋との関係

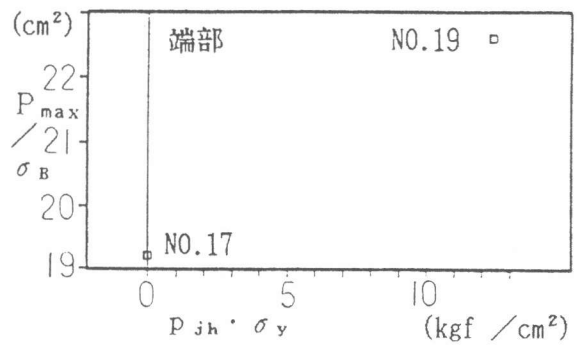


図-7 最大荷重と接合部帯鉄筋との関係

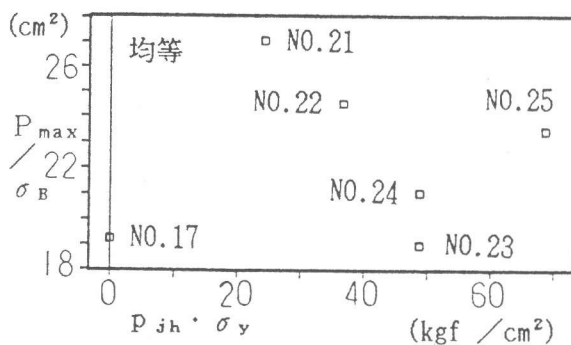


図-8 最大荷重と接合部帯鉄筋との関係

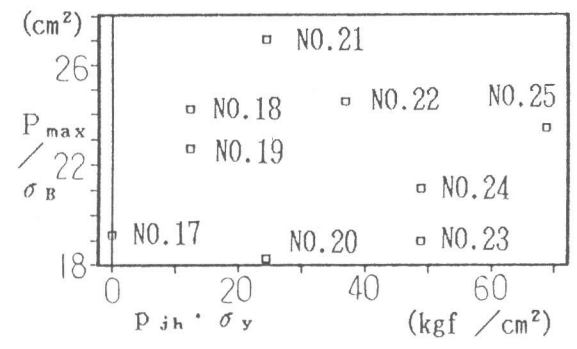


図-9 最大荷重と接合部帯鉄筋との関係

NO. 23、24、25は最終的に、はりの曲げ破壊となったため接合部のせん断耐力を間接的に評価することはできない。NO. 17と比較すると、NO. 21、22とも接合部のせん断耐力が増加する傾向がみられた。

(4) 接合部帯鉄筋が接合部のせん断耐力に及ぼす影響

図-9に全試験体の P_{max} / σ_B と $p_{jh} \cdot \sigma_y$ との関係を示す。幾つかの試験体については、 $p_{jh} \cdot \sigma_y$ の値が増加するに従って P_{max} / σ_B の値も増加したが、今回の実験からでは接合部のせん断耐力と接合部帯鉄筋量の間には明確な傾向は認められなかった。

3.5 接合部のじん性率

接合部のじん性率を降伏荷重を保持する限界変位と降伏変位の比として求めた[3]。なお、変位ははり部材頂部の変位としているため接合部のせん断変形の影響、はり部材主鉄筋の抜け出しの影響、はり部材の変形の影響、柱部材の変形の影響を含んでいる[2]。表-4に、はり主筋降伏後、接合部せん断破壊した試験体の接合部のじん性率を示す。

(1) 接合部帯鉄筋を接合部中央に配置した試験体について

図-10に接合部帯鉄筋を接合部中央に配置し接合部帯鉄筋比を順次増加させた試験体NO. 17、18、20の接合部のじん性率（正方向載荷時）と $p_{jh} \cdot \sigma_y$ との関係を示す。 $p_{jh} \cdot \sigma_y$ の値が増加するに従って、接合部のじん性率も増加する傾向がみられた。

(2) 接合部帯鉄筋を接合部端部に配置した試験体について

図-11に接合部帯鉄筋を接合部端部に配置し接合部帯鉄筋比を順次増加させた試験体NO. 17、19の接合部のじん性率（正方向載荷時）と $p_{jh} \cdot \sigma_y$ との関係を示す。 $p_{jh} \cdot \sigma_y$ の値が増加するに従って接合部のじん性率も増加する傾向がみられた。

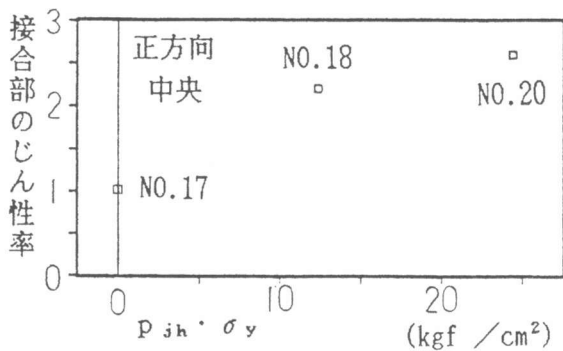


図-10 接合部のじん性率

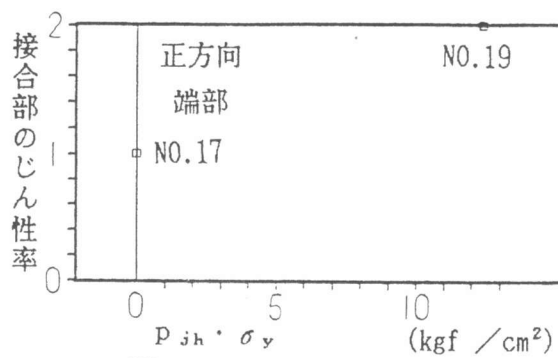


図-11 接合部のじん性率

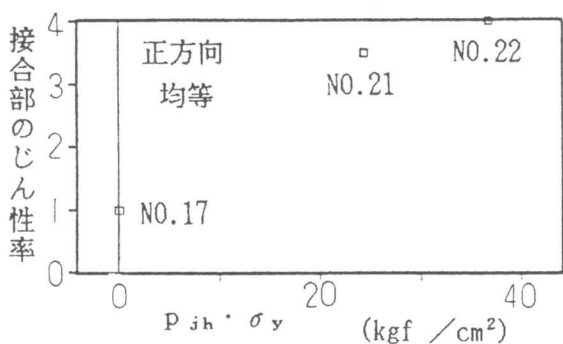


図-12 接合部のじん性率

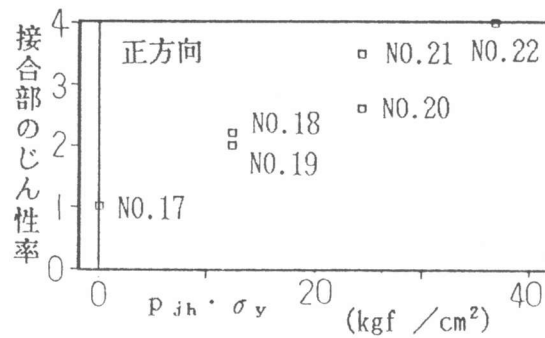
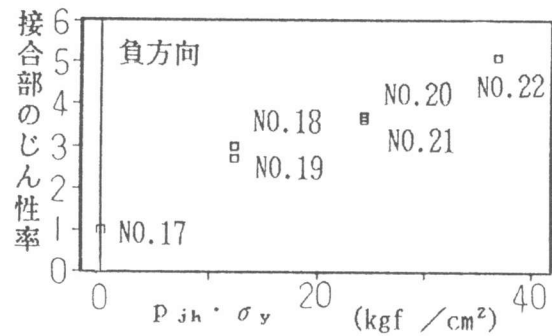


図-13 接合部のじん性率

(3) 接合部帯鉄筋を接合部に均等に配置した試験体について

図一12に接合部帯鉄筋を接合部に均等に配置し接合部帯鉄筋比を順次増加させた試験体NO. 17、21、22の接合部のじん性率（正方向載荷時）と $p_{jh} \cdot \sigma_y$ との関係を示す。 $p_{jh} \cdot \sigma_y$ の値が増加するに従って接合部のじん性率も増加する傾向がみられた。



図一14 接合部のじん性率

(4) 接合部帯鉄筋が接合部のじん性率に及ぼす影響

図一13に接合部がせん断破壊した試験体NO. 17～22の接合部のじん性率（正方向載荷時）と $p_{jh} \cdot \sigma_y$ との関係を示す。柱部材帯鉄筋と同方向に接合部帯鉄筋を配置すれば接合部内での配置方法に関わらず、 $p_{jh} \cdot \sigma_y$ が増加するに従って接合部のじん性率（正方向載荷時）も増大するようである。

図一14にNO. 17～22の負方向載荷時の接合部のじん性率と $p_{jh} \cdot \sigma_y$ の関係を示す。この結果から正方向載荷時と同様に、接合部帯鉄筋の配置方法に関わらず $p_{jh} \cdot \sigma_y$ が増加するに従って接合部のじん性率も増大するようである。

4. 結論

- 1) 今回の試験の範囲内では、はり主筋降伏後、接合部せん断破壊した試験体は、正負交番繰返し載荷を受けることによって、接合部のせん断ひびわれ幅が大きくなる傾向がみられた。また、はり主筋降伏後、はりの曲げ破壊となった試験体は、接合部にせん断ひびわれが発生するものの、正負交番繰返し載荷をうけても接合部のせん断ひびわれ幅はそれほど大きくなりなない傾向がみられた。
- 2) 接合部のせん断ひびわれ発生荷重に及ぼす、接合部帯鉄筋量の影響は今回の実験においてもそれほど明確ではなかった。
- 3) 今回の試験の範囲内では、接合部帯鉄筋が接合部のせん断耐力に与える影響について明確な傾向は認められなかった。
- 4) 接合部のじん性率は接合部帯鉄筋量が増加するに従って、増大する傾向を示すことが分かった。

〔謝辞〕

本実験は、東北学院大学の太塚浩司先生及び太塚研究室の方々に協力して頂きました。ここに深くお礼申し上げます。

〔参考文献〕

- [1] 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針（案）・同解説 1988.10
- [2] 角 徹三、浅草 肇：鉄筋コンクリート柱・はり接合部の研究の動向、コンクリート工学、Vol.26, No.10, pp.14-22, 1988.10
- [3] 石橋忠良、吉野伸一：鉄筋コンクリート橋脚の地震時変形能力に関する研究、土木学会論文集、第390号、V-8, pp.57-66, 1988.2