

## HHRC構造に関する研究（その3） （高強度コンクリートと高強度鉄筋SD70級からなる1層1スパン骨組の水平加力実験）

### Experimental and Analytical Study on HHRC Structure (Part 3) (Seismic Loading Test of One Span One Story Frame with High Strength Concrete and Reinforcement)

笠松 照親*	塩川 真**
Teruchika Kasamatsu	Shin Shiokawa
飯塚 信一**	西浦 範昭**
Shin-ichi Iizuka	Noriaki Nishiura

#### 要 約

本研究では、既存の高層RC造で使用されている強度のものよりも一段高いコンクリート ( $F_c=300\sim 600\text{kgf/cm}^2$  (29.4~58.8MPa)) と鉄筋 (SD40~SD70級) を用い、50階建ての高層鉄筋コンクリート造集合住宅の開発の可能性について研究することを目的としている。

本報は、本研究の一環として昨年度<sup>1), 2)</sup>に引き続き、高強度コンクリートおよび高強度鉄筋を用いた1層1スパン骨組の水平加力実験を行ったので報告する。

今回の実験より、全試験体ともQ-R曲線は逆S字型の履歴性状を示し、コンクリート強度が大きくなると主筋降伏時までの剛性は高くなるが、最大荷重以後、荷重の低下が大きく、粘りのない履歴性状を示すことが認められた。また、既往の部材強度算定式を用い、骨組のメカニズムを仮定した骨組強度の計算値と実験値は、比較的良好に合致した。

#### 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 実験概要
- § 3. 実験結果および検討
- § 4. 結論
- § 5. おわりに

#### § 1. はじめに

近年、住宅地の地価が高騰し、土地の有効利用のため都市部に建つ集合住宅を高層化しようとする社会的背景の中、高強度かつ高品質の材料を用いた鉄筋コンクリート造建築物の開発が要請されるようになってきている。本報では、昨年度<sup>1), 2)</sup>に引き続き、SD70級の高強度鉄筋と高強度コンクリートを用いた1層1スパン骨組の水平加力実験を行い、その力学的性状について究明することを目的としている。また、本実験では比較のためにSD345のものも1体実験を行っている。

\* 技術研究所原子力課長

\*\* 技術研究所原子力課

§ 2. 実験概要

2-1 試験体種別

試験体は全部で5体であり、試験体種別の詳細を表-1に示す。

表-1 試験体種別

試験体名	はり主筋	柱主筋	$F_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	柱軸 応力度	共通事項
F70-250-1	SD70 $P_f=0.27\%$ 2-D10	SD70 $P_f=0.23\%$ 2-D10	250 (321)	Fc/8	はり幅 =25cm はりせい=25cm 有効せい=21.5cm  柱幅 =25cm 柱せい=25cm $a/D=2.0$  せん断補強筋 はり、柱とも 2-D6@50 $P_w=0.51\%$  加力方法 正負繰返し 水平加力
F70-250-2	SD70 $P_f=0.95\%$ 4-D13	SD70 $P_f=0.23\%$ 2-D13	250 (321)		
F70-500	SD70 $P_f=0.27\%$ 2-D10	SD70 $P_f=0.23\%$ 2-D10	250 (509)		
F70-800	SD70 $P_f=0.27\%$ 2-D10	SD70 $P_f=0.23\%$ 2-D10	800 (793)		
F35-250	SD345 $P_f=0.53\%$ 4-D10	SD345 $P_f=0.46\%$ 4-D10	250 (321)		

カッコ内は実験時コンクリート強度

表-2 使用鉄筋の機械的性質

鉄筋径	降伏強度 (10kgf/cm <sup>2</sup> )	降伏時ひずみ (%)	引張強度 (10kgf/cm <sup>2</sup> )	弾性係数 ( $\times 10^4$ kgf/cm <sup>2</sup> )
D10	7315	0.407	8873	1.83
D13	7554	0.410	9278	1.86
D10*1	3832	0.212	5355	1.80
D6	6970*2	0.584*2	9150	1.81

\*1:SD345を示す \*2:0.2% set off

試験体の変動要因は、

- ①コンクリート強度の違い(コンクリート設計基準強度  $F_c=250, 500, 800\text{kgf/cm}^2$  (24.5, 49.0, 78.5MPa))
  - ②降伏型の違い (柱降伏型: F70-250-2)
  - ③鉄筋強度の違い(使用主筋SD70級とSD345)
- の3種類である。また、全試験体共に形状、断面寸法は同一である。

はりの引張鉄筋比( $p_f$ )は、はり降伏型が0.27%(2-D10)、柱降伏型が0.95%(4-D13)、主筋SD345のものが0.53%(4-D10)である。柱の引張鉄筋比は、はり・柱降伏型共0.23%(2-D10)、主筋SD345のものが0.46%(4-D10)である。はり、柱のせん断補強筋は全試験体共通で2-D6@50(SD70級異形鉄筋、 $p_w=0.51\%$ , 135°フック形)である。

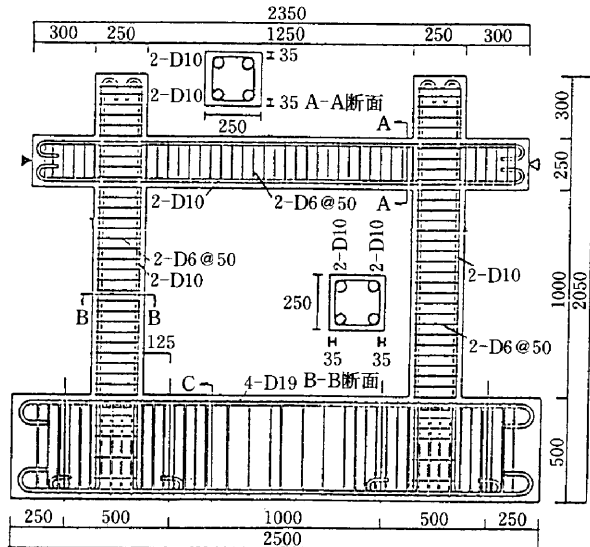


図-1 試験体の形状、寸法、配筋の一例

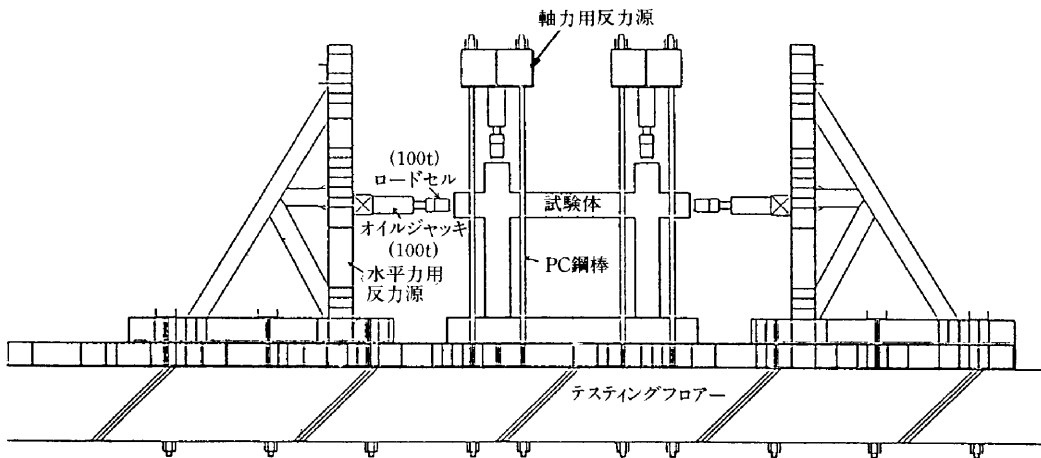


図-2 加力装置図

## 2-2 試験体形状、寸法、配筋

試験体の形状、寸法、配筋の一例を図-1に示す。試験体は、形状、断面寸法とも全試験体同一の1層1スパン骨組である。断面ははり、柱とも $B \times D = 25 \times 25 \text{cm}$ であり、せん断スパン比 ( $a/D$ ) は、はりが2.5、柱を2.0とした。

## 2-3 使用材料

### (1) コンクリート

実験時のコンクリート強度を表-1に示す。コンクリートは普通コンクリートであり、各シリーズごとに同一バッチのレディーミクストコンクリートである。打込み方向は全試験体とも横打で行なった。

### (2) 鉄筋

実験に使用した鉄筋は、SD70級の高強度鉄筋およびSD345の普通強度鉄筋である。せん断補強筋にはSD70級のD6を使用した。鉄筋の機械的性質を表-2に示す。

## 2-4 加力方法

加力装置を図-2に示す。水平加力および軸力は手動式オイルジャッキ（100tf(981kN)）を用い、まず、軸力を載荷し、次いで水平力を載荷した。柱軸応力度 $\sigma_c$ は $F_c/8$ とし、実験中は軸力を一定に保ちながら水平力を載荷した。荷重の計測はオイルジャッキと試験体の間にセットしたロードセル（100tf(981kN)）により検出した。正面左側より加力したものを正荷重とし、その逆を負荷重として、部材角 $R = 1.0 \times 10^{-2} \text{rad}$ .毎に正負3回の繰り返し載荷を行った。

## 2-5 変形測定方法

試験体の層間変形およびパネルゾーンのせん断変形を電気式変位計で測定した。また、はり、柱部材の主筋およびせん断補強筋のひずみをひずみゲージで測定した。

## § 3 実験結果および検討

### 3-1 各試験体の破壊経過

各試験体の最大荷重時のひび割れ図を図-3に示す。曲げ初ひび割れの発生状況は、はり降伏型、柱降伏型とも類似しており、はり右材端および左柱脚部に発生している。また、降伏時付近では、はり材端および柱脚部に部材のせい程度まで、曲げひび割れおよび曲げせん断ひび割れの発生がみられた。はり降伏型では最大荷重後、はり両端および柱脚部(柱降伏型では柱頭も)のかぶりコンクリートの圧壊の進展により、荷重の低下がみられた。最終サイクル後( $R = 4.0 \sim 5.0 \times 10^{-2} \text{rad}$ .)に主筋が座屈または破断した本数は、柱部材に関しては、コンクリート強度の高いものの方が少ない。

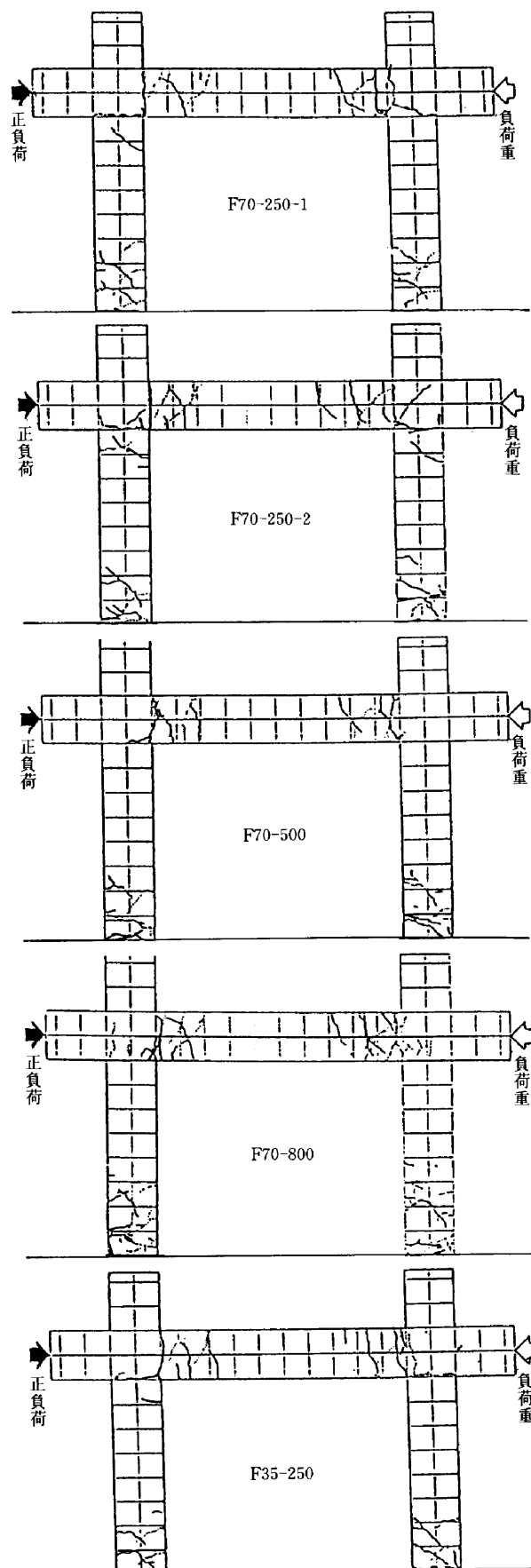


図-3 最大荷重時ひび割れ図

3-2 最大荷重および最大荷重時層間部材角

最大荷重、最大荷重時の層間部材角および限界部材角 ( $R_c$ : 最大荷重以降、最大荷重の80%に荷重がおちた時点の部材角, 全て正負平均) を表-3に示す。また、各試験体の最大荷重との関係を図-4に示し、最大荷重時の層間部材角および限界部材角の関係を図-5に示す。

図-4より、コンクリート強度の違いによる、最大荷重への影響についてみると、コンクリート強度が上昇するに従って最大荷重も増加する傾向にある。これは、柱軸応力度を  $F_c/8$  と一定としたことにより、高強度コンクリートのもの程存在軸応力度が大きくなり、柱の曲げ終局強度が上昇したためである。次に、降伏型の違いでみると、はり降伏型の試験体よりも柱降伏型の試験体の方が最大荷重は上回る結果となっている。これは、柱の曲げ終局強度がはりのそれを上回るためである。使用主筋の鉄筋強度の違いに関してみると、最大荷重においてはほぼ同程度の値であった。これは引張鉄筋補強量がSD345のものが  $a_t \cdot \sigma_y = 10.92 \text{tf}$  (107.2kN), SD70級のものが  $a_t \cdot \sigma_y = 10.46 \text{tf}$  (102.6kN) とほぼ同程度の曲げ耐力になるように設計されているためである。

図-5より、最大荷重時層間部材角および限界部材角についてみると、コンクリート強度の違いでは、 $F_c=250, 500 \text{kgf/cm}^2$  (24.5, 49.0MPa) とともに最大荷重時層間部材角は  $R = 2.0 \times 10^{-2} \text{ rad}$ . であるが、限界部材角は  $F_c=250 \text{kgf/cm}^2$  (24.5MPa) の方が  $R_c = 5.0 \times 10^{-2} \text{ rad}$ . 以上と粘りのある性状を示した。  $F_c=800 \text{kgf/cm}^2$  (78.5MPa) になると、最大荷重時層間部材角および限界部材角とも他のコンクリート強度のものより小さく、コンクリート強度の増加にしたがって、それら部材角が小さくなる傾向を示した。これは、柱軸応力度をコンクリート強度と関連づけて、例えば本実験のように  $\sigma_c = F_c/8$  と一定にした場合、存在軸応力度が高強度コンクリート程大きくなることになり、靱性が小さくなることが考えられる。即ち骨組の靱性が、柱軸応力度と密接な関係にあることが分かった。次に、降伏型の違いでみると、最大荷重時層間部材角および限界部材角とも顕著な違いはみられなかった。また、使用主筋の鉄筋強度の違いに関しても、SD345使用のものは最大荷重時層間部材角および限界部材角は、SD70級使用とほぼ同程度の値を示した。

3-3 Q-R曲線

全試験体の層せん断力-層間部材角曲線(Q-R曲線)を図-6に示す。本実験では、層間部材角  $R = 4.0 \sim 5.0 \times 10^{-2} \text{ rad}$ . で実験を終了しているが、図中の▽印はこの範囲での最大荷重を示している。図からわかるように、全試験体とも逆S字型のループ形状を示した。コンクリ

表-3 最大荷重、最大荷重時部材角および限界部材角

試験体名	最大荷重 (tf)	最大荷重時部材角 ( $\times 10^{-2} \text{ rad}$ .)	限界部材角 ( $\times 10^{-2} \text{ rad}$ .)
F70-250-1	16.0	2.01	>5.00
F70-250-2	19.0	2.00	>5.00
F70-500	19.3	2.00	4.08
F70-800	22.5	1.40	3.53
F25-250	16.4	2.43	4.79

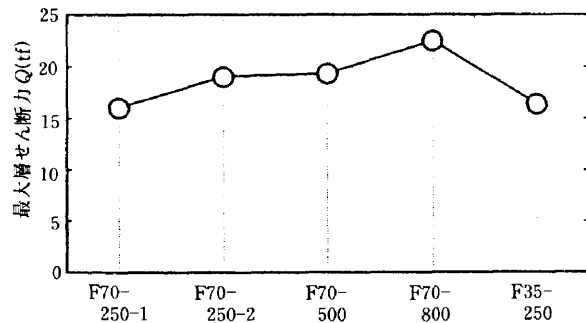


図-5 最大荷重時層間部材角および限界部材角

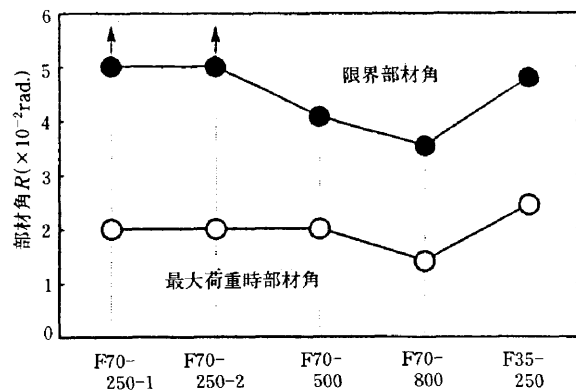


図-4 最大荷重

ート強度の違いでは、コンクリート強度が上昇するほど主筋が降伏するまでの剛性が高くなるが、最大荷重以後は、コンクリート強度が大きいものほど荷重の低下が急激になり、粘りがみられない。次に、降伏型の違いでみると、柱降伏型の方が、剛性および最大荷重ともに高い履歴性状を示しており、使用主筋の鉄筋強度の違いでは、SD345を用いた試験体は、SD70級のものより剛性が高く、ループ面積の大きな履歴性状であった。

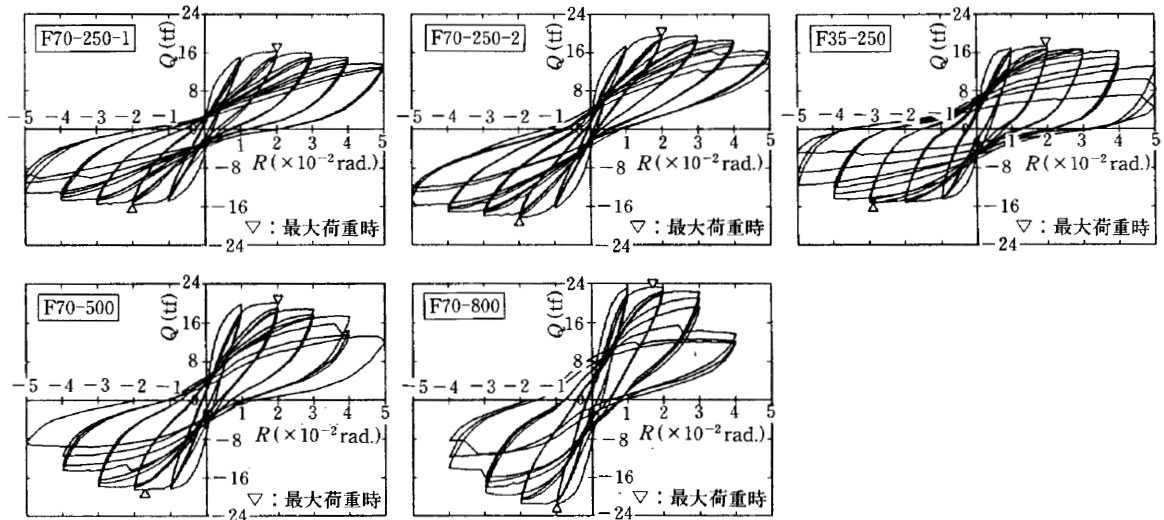


図-6 Q-R曲線

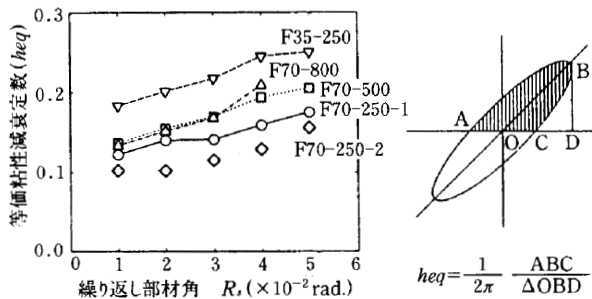


図-7 等価粘性減衰定数

表-4 最大荷重と計算値の比較

試験体名	最大荷重 (tf)	最大荷重 (tf)	最大荷重 計算値
F70-250-1	16.0	12.9	1.24
F70-250-2	19.0	17.2	1.10
F70-500	19.3	15.8	1.22
F70-800	22.5	19.5	1.15
F25-250	16.4	13.2	1.24

3-4 等価粘性減衰定数

図-6をもとに、各試験体の等価粘性減衰定数(heq)を、層間部材角(各部材角の正負2サイクル目の平均)ごとに図-7に示す。図からわかるように、全試験体とも層間部材角が増えるごとに、等価粘性減衰定数も増加する右上がりの傾向で、層間部材角 $R=2.0 \times 10^{-2}$ rad.時の等価粘性減衰定数は、0.066~0.185の範囲に分布している。各試験体の等価粘性減衰定数は、コンクリート強度が増加する程その値も増加する傾向にあるが、 $F_c=500\text{kgf/cm}^2$  (49.0MPa) と  $F_c=800\text{kgf/cm}^2$  (78.5MPa) の試験体では顕著な差はみられない。降伏型の違いによる試験体では1.12~1.37倍高い値では降伏型の方が大きい値を示している。また、鉄筋強度の違いでは、SD345使用のものがSD70級のF70-250-1との比で1.44~1.54倍高い値を示している。

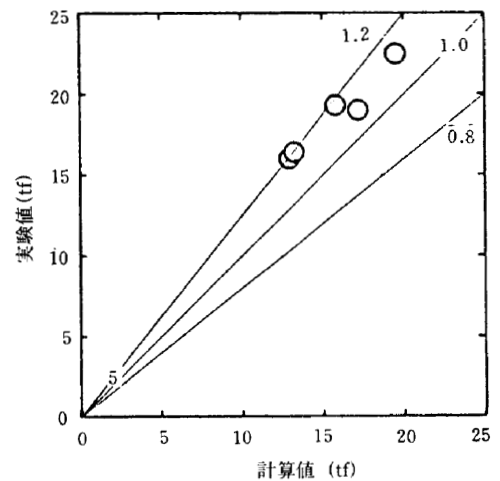


図-8 最大荷重と計算値の比較

### 3-5 既往の算定式との比較

最大荷重(正負平均)と、各試験体の骨組のはり降伏型および柱降伏型のメカニズムを仮定し、既往の算定式<sup>3)</sup>(式(1):はり部材, 式(2):柱部材)から求めた計算値を表-4に示す。また、それらをまとめて図-8に示す。

$$M_u = 0.9a_t \sigma_y d \quad \text{式(1)}$$

$$M_u = 0.8a_t \sigma_y D + 0.5ND(1-N/bDF_c) \quad \text{式(2)}$$

ただし、 $M_u$  : 曲げ終局強度 (kgf·cm)

$a_t$  : 引張鉄筋断面積 (cm<sup>2</sup>)

$\sigma_y$  : 降伏強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$d$  : 有効せい (cm)

$D$  : 柱せい (cm)

$N$  : 軸力 (tf)

$b$  : 柱幅 (cm)

$F_c$  : コンクリート強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

実験値は計算値を全て上回っており、実験値と計算値を比較すると、実験値/計算値で1.10~1.24の範囲に分布し、全試験体とも比較的よく適応している。

## § 4 結論

今回の実験より次のことが認められた。

- (1) 全試験体のQ-R曲線は逆S字型の履歴性状であった。
- (2) コンクリート強度が大きくなると主筋降伏時までの剛性は高くなるが、最大荷重以後、荷重の低下が大きく、粘りのない履歴性状を示した。

(3) 柱降伏型の方が、はり降伏型より剛性および最大荷重は大きい値を示した。

(4) SD345を用いた試験体はSD70級のものより剛性が高く、ループ面積の大きな履歴性状であった。

(5) 等価粘性減衰定数は、コンクリート強度が増加するとその値も増加する傾向にあり、鉄筋強度の違いでは、SD345使用のものが同一条件のSD70級使用のものに比べ、1.44~1.54倍高い値を示した。

(6) 既往の部材強度算定式を用い、骨組のメカニズムを仮定した骨組強度の計算値と実験値は、比較的よく合致する。

## § 5. おわりに

本研究は、東北工業大学田中研究室と当社技術研究所の共同研究であり、田中礼治教授のご指導で行ったものである。ここに謹んで感謝の意を表します。また、実験に際し、大芳賀義喜助手、田中研究室卒論生には、多大なご助力を賜ったことに感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 田中・笠松 他：H H R C 構造に関する研究(その1)~(その4) 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.303~310, 1991.
- 2) 田中・笠松 他：H H R C 構造に関する研究(その5)~(その9) 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.439~448, 1992.
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 611p., 1988.