

変動軸力を受ける鋼コンクリート合成構造部材の  
変形性能とエネルギー吸収性能

Deformation Capacity and Energy Absorption Capacity of Steel Concrete Composite Beam-Column  
under Varying Axial Force

○稲田 輝巳\*<sup>1</sup> 土井 希祐\*<sup>2</sup>

○Terumi INADA\*<sup>1</sup> Mareyasu DOI\*<sup>2</sup>

鋼コンクリート合成構造部材の変動軸力下での変形性能とエネルギー吸収性能について考察することを目的とし、既往研究[3]のSRC試験体との比較のためのRC柱試験体を製作し、既往研究[3]と同様の静加力実験を行った。その結果、水平力-部材角関係・等価粘性減衰定数などの値から、変形性能・エネルギー吸収性能共に、RC造と比較してSRC造の方が優れており、鋼材断面積が等しい場合でも変形性能・エネルギー吸収性能に大きな差があることを確認した。

SRC 部材 RC 部材 変動軸力 変形性能 エネルギー吸収性能

SRC beam-column, RC beam-column, varying axial force, deformation capacity, energy absorption capacity

1. 研究目的

中高層建物の低層階の柱部分、特に外柱においては大きな変動軸力を受けることが知られている。また、これらの中高層建物の柱部材には鉄骨鉄筋コンクリート（以下SRCと表記）構造、鉄筋コンクリート（以下RCと表記）構造が多く用いられている。既往の実験研究により、一定軸力を受ける場合の、各々の部材の特性は明らかにされてきているが、変動軸力を受ける場合のSRC部材・RC部材の比較実験は数が少ない。

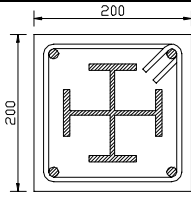
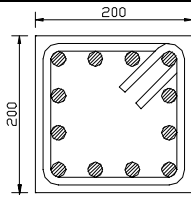
既往研究[1]~[3]によりSRC柱部材の変動軸力と水平力を受ける場合の基礎的データは得られている。本研究では、既往実験との比較を目的としたRC柱試験体を製作し、既往研究[3]と同条件の静加力実験を行った。表-1に既往研究[3]と本研究の試験体断面を示す。さらに得られた実験データと既往研究[3]の実験データを比較し、鋼コンクリート合成構造部材の変動軸力下での変形性能・エネルギー吸収性能について考察することを目的とする。

2. 実験方法

2. 1 試験体

試験体形状を図-1に示す。試験体No.7(以下No.7と表記)の寸法は既往研究[3]の試験体No.5(以下No.5と表記)を基準にしており、比較のため柱部分の鋼材部分断面積がなるべく等しくなるように設計した。使用材料の力学的性状を表-2、3に示す。

表-1 試験体断面

試験体名	No.5	No.7
断面形状	 2H・125×60×6×8 4-D13 Hoop-D6@50	 12-D19 hoopD10@50
構造	SRC造	RC造
鋼材部断面積	3698mm <sup>2</sup>	3438mm <sup>2</sup>
備考	既往研究[3]	本研究

\*<sup>1</sup>新潟大学大学院自然科学研究科

\*<sup>2</sup>新潟大学工学部建設学科 教授・博(工)

Graduate School of Science and Technology, Niigata. Univ.

Prof., Dept. of Arch. And Civil Eng., Niigata. Univ., Dr. Eng.

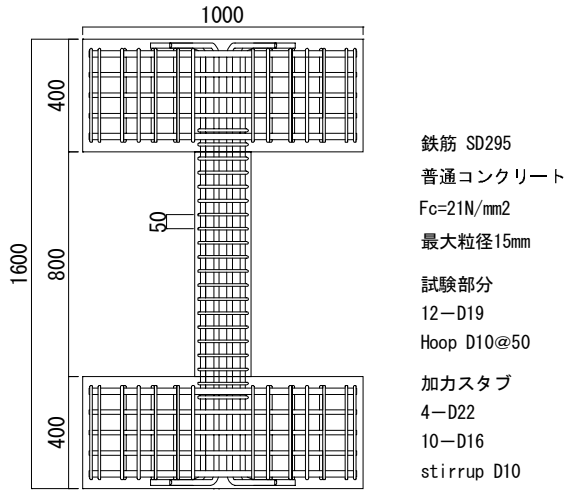


図-1 試験体形状

## 2.2 荷重方法

図-2に加力装置を示す。本実験では試験体左右のジャッキ②により試験体上部の加カスタブを水平に保ち、ジャッキ①および②により試験体に所定軸力を作用させ、ジャッキ③により漸増振幅交番繰り返し水平力を作用させた。

試験体には、地震時を想定し、(1)式および図-3に示すような軸力比 $+0.5 \sim -0.2N_y$ の変動軸力を作用させるように計画した。すなわち累加圧縮耐力の10%の長期軸力に相当する圧縮軸力209kNに加えて、圧縮側の最大耐力時<sup>2)</sup>においては累加圧縮耐力の50%の圧縮軸力1046kN、引っ張り側の最大耐力時には、累加圧縮耐力の24%の引張軸力503kNとなるような、水平力に比例した変動軸力を作用させた。

$$N = 209.2 + 6.041 \times H \quad (\text{kN}) \quad \dots (1)$$

ここに、N：軸力、H：水平力である。

水平力の荷重履歴を表-4に示す。部材角 $R=5, 10, 15, 20, 40 \times 10^{-3} \text{rad}$ で正負繰り返し荷重を各々2回行った後、正方向に加力装置の限界まで荷重した。

注) 本研究の試験体は、No.5との比較を目的とするため、No.5と同じ寸法・鋼材部断面積という条件設計をした。そのため、曲げ破壊を起こさせるためにせん断補強筋量が、RC構造計算基準で定められた帯筋比の上限1.2%を超えている。しかし本研究では、配した帯筋がすべて有効に作用するとの前提のもと、帯筋比1.48%としてせん断耐力の計算を行い、その結果から試験体に作用させる変動軸力の設定を行った。

表-4 荷重履歴

表-2 コンクリート試験結果

圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)	材齢
23.4	2.39	18.6	31

表-3 鋼材試験結果

種類	降伏点 (MPa)	引張強さ (MPa)	ヤング係数 (GPa)	備考
D19	334.7	488.5	181.3	主筋
D10	327.0	500.6	189.8	帯筋

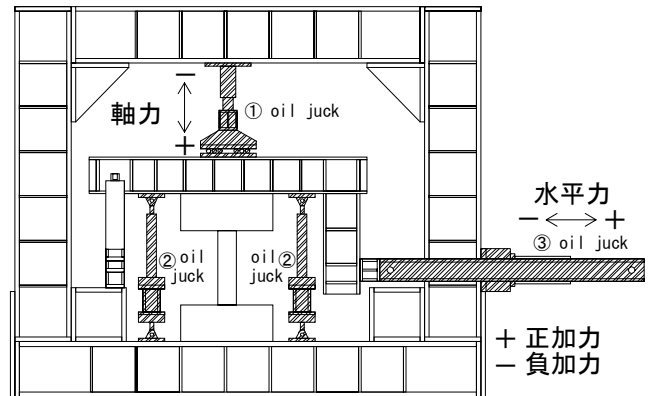


図-2 加力装置

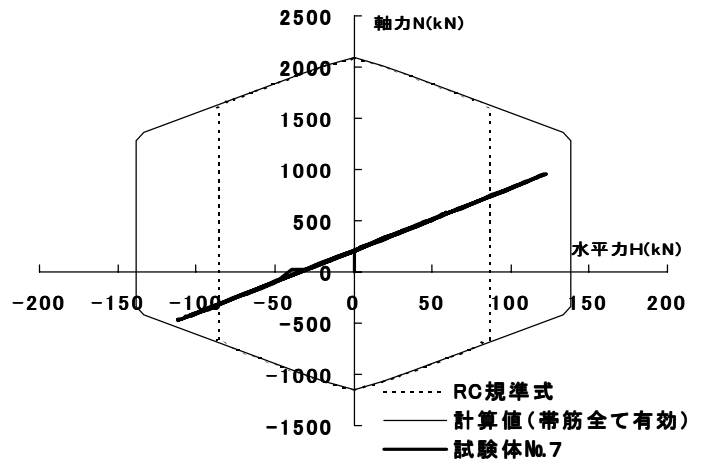
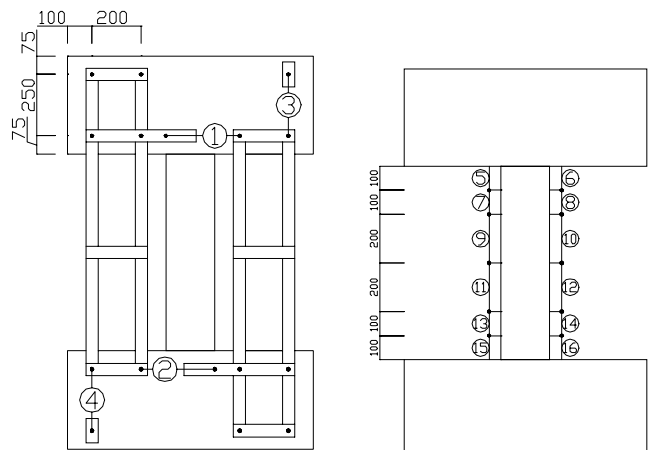


図-3 水平力-軸力関係



サイクル(回)	±1	±2	±3	±4	±5	±6	±7	±8	±9	±10
全体変形 $\delta v$ (mm)	4	4	8	8	12	12	16	16	32	32
部材角 ( $\times 10^{-3}$ rad)	5	5	10	10	15	15	20	20	40	40

図-4 変形測定位置

### 2. 3 測定方法

試験体柱部の変形を、図-4に示す位置に取り付けた変位計により測定した。上下加力スタブに取り付けた測定器具を介して、変位計1、2により全体水平変形を、変位計3、4により軸変形を求め、それぞれを柱部の内法高さで除し、部材角、および軸歪を求めた。また変位計5~16により求めた軸方向変形から柱部の曲げ変形を求めた。さらに鉄筋に貼付した歪ゲージにより鋼材の歪を測定した。

## 3. 実験結果および考察

### 3. 1 破壊性状

実験により得られたひび割れ発生荷重、最大耐力および終局耐力計算値を表-5に示す。No.7の最大耐力は終局耐力計算値を、正加力側で15kN、負加力側で7kNほど下回った。

図-5に±9、±10サイクル終了時におけるひび割れ状況を示す。試験体は正加力時、負加力時ともにせん断ひび割れが支配的で、柱部分の右下部において大きな剥落が認められる。

### 3. 2 荷重-変形性能

図-6に水平力-部材角関係を示す。No.7は正加力側、負加力側共に逆S字形の履歴ループを示し、正加力側の履歴ループ面積は負加力側に比べ小さくなっている。

No.7は最大耐力以後、+9サイクル( $R=2 \times 10^{-2} \text{rad}$ )で最大耐力の80%に達し、その後徐々に低下し最終状態で最大耐力の30%になった。No.5が最大耐力以後、最大耐力の70%以上を維持しているのに対して、耐力低下が著しいことがわかる。またNo.7の履歴ループは試験体No.5に比べ、スリップ型の挙動を示している。

図-7に、水平力-曲げ変形角関係を示す。曲げ変形角とは、試験体柱部の曲げ変形により生じる部材角のことである。No.7の曲げ変形は全体変形の約50%を占めている。一方、No.5は全体変形の約60%を占めており、No.7の方が曲げ変形の割合が小さいことがわかる。

図-8に各変位振幅における2回目の繰り返しループに対する等価粘性減衰定数  $heq$  (以下  $heq$  と表記)を示す。No.7の  $heq$  は部材角  $R$  に比例して直線的に増加している。また正加力側、負加力側の  $heq$  の値は、ほぼ同程度であった。No.5の値と比較すると、No.7の値は正加力

表-5 実験結果と終局耐力計算値 (No.7)

	水平力 (kN)		変形 ( $\times 10^{-2} \text{rad}$ )	
	正	負	正	負
初期曲げひび割れ	110	-64	0.50	0.50
初期せん断ひび割れ	98	-64	0.50	0.50
コンクリート圧縮破壊	121	-121	1.50	1.50
終局耐力計算値	138.5	-119.4	-	-
最大耐力	123	-112	0.94	-4.00
限界変形点	99	-	3.88	-

注) 限界変形点: 最大耐力の80%に強度低下した時の変形

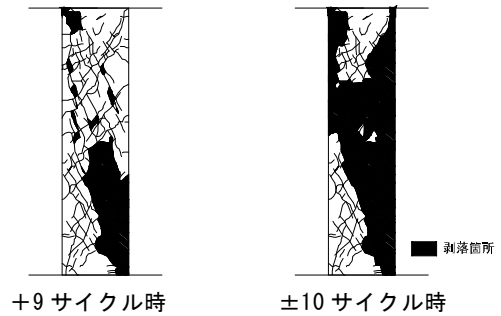


図-5 ひび割れ状況

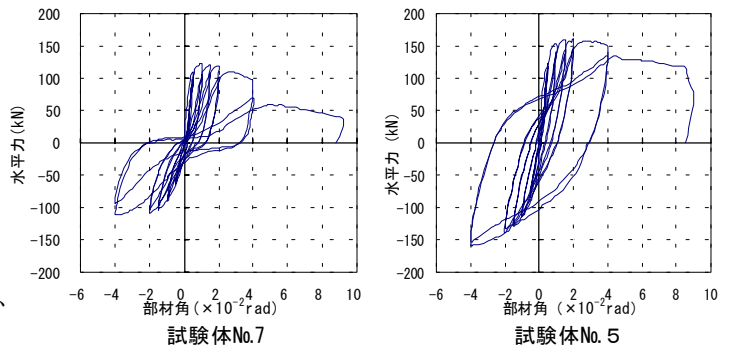


図-6 水平力-部材角関係

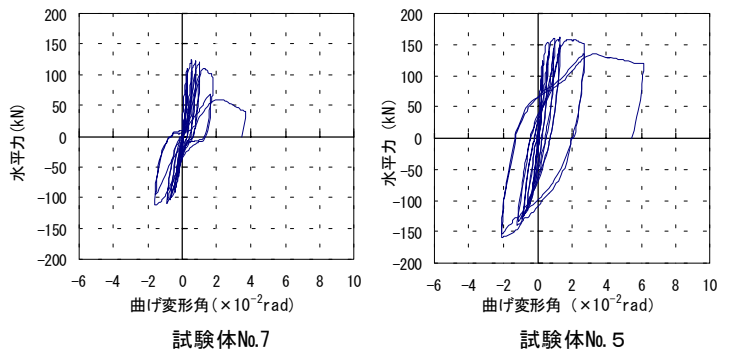


図-7 水平力-曲げ変形角関係

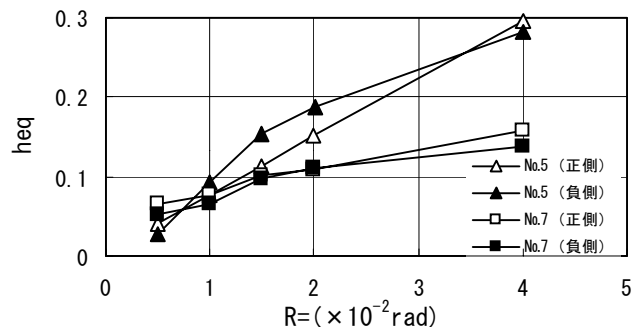


図-8 等価粘性減衰  $heq$

(各変位振幅の2回目のループに対する値)

側で  $R=2 \times 10^{-2} \text{rad}$  以上、負加力側で  $R=1.5 \times 10^{-2} \text{rad}$  以上で小さくなっており、特に  $R=4 \times 10^{-2} \text{rad}$  では約半分の値となっている。

図-9 に軸歪一部材角関係を示す。No.7 は±8 サイクル ( $R=2 \times 10^{-2} \text{rad}$ ) までは弾性的挙動を示し、軸変形の累積は見られない。9~10 サイクル ( $R=4 \times 10^{-2} \text{rad}$ ) において No.5 と異なる挙動を示し、引張側での軸歪の増大傾向は見られない。一方、No.5 においては、軸変形が引張側へと変化しているのが認められる。

### 3.3 歪性状

図-10 に主筋の、図-11 に帯筋の歪分布、図-12 に各々の歪測定位置を示す。No.7 は試験部の主筋が、±3 サイクル ( $R=1.0 \times 10^{-2} \text{rad}$ ) ~ ±5 サイクル ( $R=1.5 \times 10^{-2} \text{rad}$ ) で降伏している。特に柱中央部から下部における歪が大きい。これは柱の破壊性状とも一致している。また帯筋については、柱端部において降伏に至っていないが、柱中部の B 点および C 点では、±5 および ±9 サイクル ( $R=1.5, 4.0 \times 10^{-2} \text{rad}$ ) での降伏が認められる。特に B 点の歪が大きくなっている。

### 4. 結論

地震時の中高層建物の外柱を想定した、変動軸力を受ける RC 柱試験体の静加力実験を行い、既往研究[3]の SRC 柱試験体の実験結果との比較を行った。

水平力一部材角関係から見て、SRC 試験体は最大耐力以後の耐力低下が RC 試験体よりも小さく、変形性能が比較的高いと言える。

エネルギー吸収性能の指標である等価粘性減衰定数  $h_{eq}$  においても、SRC 柱試験体が正側、負側ともに大きな値をとっており、エネルギー吸収性能においても比較的優れていることが確認された。軸方向の鋼材量が同等であっても、SRC と RC には変形性能とエネルギー吸収性能に大きな差があるといえる。

ただし本実験の RC 柱試験体はせん断力が不足している。従って SRC 柱試験体と同等に比較できないが、SRC は多量の鋼材を無理なくコンクリート断面に収めることができ、性能上有利であると言える。

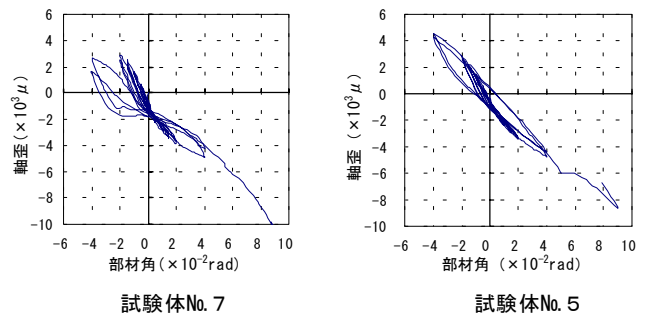


図-9 軸歪一部材角関係

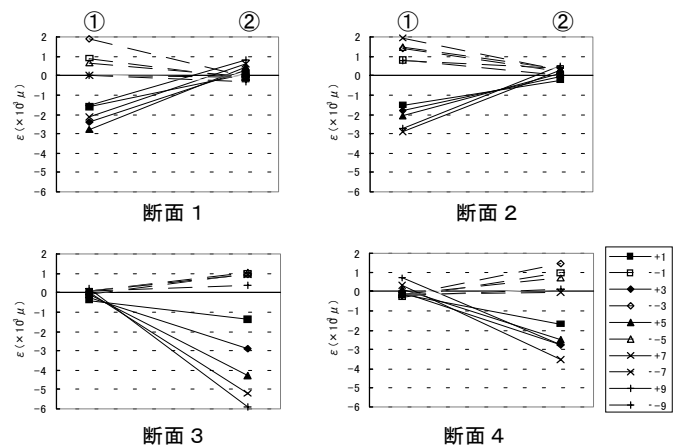


図-10 主筋の歪

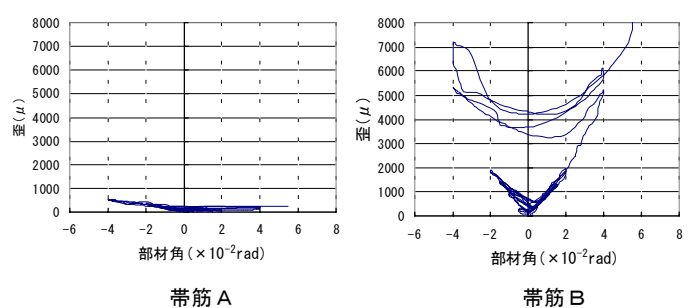


図-11 帯筋の歪

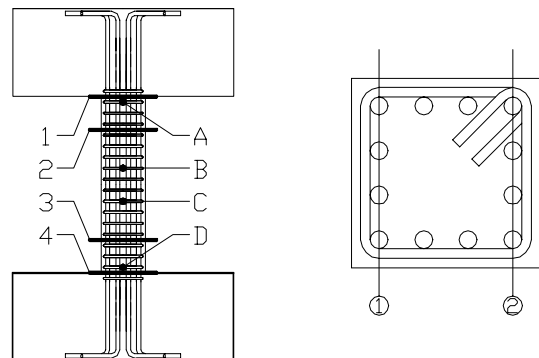


図-12 歪測定位置

克彦、南部正樹両技官、院生の田中里子氏、卒研生の新井陽介氏他の協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

謝辞: 本研究は2002年度新潟大学工学部建設学科卒業研究として、卒研生の高橋喜之氏と共同で行ったものである。実験の際、多田

参考文献: [1] 土井希祐、片寄哲務. 変動軸力を受ける SRC 柱部材

の静加力実験，日本建築学会大会，C-1，p1089-1090，2000年

[2]片寄哲務、土井希祐．変動軸力と斜め応力を受けるSRC柱部材  
の静加力実験，日本建築学会大会，C-1，p1041-1042，2001年

[3] 土井希祐．大変動軸力を受けるSRC柱部材の静加力実験，日  
本建築学会大会，C-1，p1003-1004，2002年