

3.2.5 歪速度効果を考慮した鉄筋コンクリート造柱部材の三次元解析モデルの開発

目 次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 3カ年の年次実施計画
- (e) 平成15年度業務目的

(2) 平成15年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
- (c) 業務の成果
 - 1) はじめに
 - 2) 実験概要
 - 3) 実験結果
 - 4) 考察
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
- (g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成16年度業務計画案

- (a) 平成16年度業務目的
- (b) 実施方法
- (c) 目標とする成果

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 歪速度効果を考慮した鉄筋コンクリート造柱部材の三次元解析モデルの開発

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
鹿島建設技術研究所 建築構造グループ	上席研究員	鈴木紀雄	suzukin@kajima.com
	上席研究員	丸田誠	maruta@kajima.com
	上席研究員	田上淳	tagamijun@kajima.com
	主任研究員	永井和彦	nagaikaz@kajima.com
	研究員	金子貴司	kaneko-takashi@kajima.com
鹿島建設 ITソリューション部	グループ長	高橋元美	motomi@kajima.com

(c) 業務の目的

水平方向の曲げせん断を受ける鉄筋コンクリート造柱部材の弾塑性挙動に対する歪速度効果を実験的に明らかにする。また、既往の水平2方向荷重に対する柱部材の弾塑性解析モデルを基に歪速度効果を考慮した解析モデルを構築し、前記構造実験のシミュレーションを通じて有効性を検証する。

(d) 3カ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成14年度：(実施業務の要約)

既往研究の調査および開発目標の明確化。

解析モデル検証のための動的載荷実験の計画策定。

2) 平成15年度：

鉄筋コンクリート造柱部材に対する動的載荷実験の実施。

実験結果の概略分析および解析モデル構築に向けての課題整理。

3) 平成16年度：

実験データの詳細分析および基本モデルの構築。

解析モデルの構築およびプログラミング。

実験結果のシミュレーション解析。

(e) 平成15年度業務目的

軸力と水平方向の曲げせん断を同時に受ける鉄筋コンクリート造柱部材の弾塑性挙動に及ぼす歪速度効果を実験的に明らかにするために、大型動的アクチュエータを利用した鉄筋コンクリート造柱試験体の動的および静的載荷実験を実施する。また、解析モデルの構築に向けて、実験結果を整理・分析する。

(2) 平成15年度の成果

(a) 業務の要約

鉄筋コンクリート柱部材の地震時水平復元力特性に及ぼす歪速度の影響を把握するために、載荷速度（動的、静的）、せん断スパン比（1.2、1.8）及び軸力比（0.1、0.3、 0.3 ± 0.2 ）を実験変数とした逆対称載荷実験を行なった。動的載荷波形は、最大部材角速度0.1rad/secの漸増正弦波とし、静的載荷では時間軸を1、000倍にして入力した。

実験の結果、曲げ降伏した試験体では曲げ降伏強度が6.9~9.5%、せん断破壊した試験体では最大強度が11.3%上昇することが確認された。また、等価粘性減衰定数は小振幅領域において動的載荷の方が静的載荷より大きな値となった。なお、破壊形式に関しては静的載荷と動的載荷試験体で明瞭な差異は認められなかった。

(b) 業務の実施方法

鹿島建設西調布実験場大型構造実験棟において、鉄筋コンクリート造柱試験体8体に対し、動的アクチュエータを利用した動的および静的2軸載荷実験を行ない、主として載荷速度が試験体の弾塑性力学特性に及ぼす影響を調べた。

(c) 業務の成果

1) はじめに

鉄筋コンクリート柱部材に及ぼすひずみ歪速度の影響に関しては、曲げ降伏強度や最大強度が上昇することが既往の研究^{例えば1)}で明らかになっている。しかし、破壊形式や変形能力およびエネルギー吸収能力に及ぼす影響等については、既往研究間で評価が分かれる部分があり、共通認識を得るに至っていない。

そこで、上記諸特性に及ぼす歪速度の影響を把握するために、鉄筋コンクリート柱部材を対象とした逆対称載荷による動的及び静的載荷実験を行なった。

2) 実験概要

a) 試験体

試験体の諸元、使用材料の力学的性質を表1に、試験体の形状及び配筋を図1~図3に示す。試験体は、試験区間の両端に加力スタブを有する縮尺1/3の柱モデルである。試験体の断面(250×250mm)及び配筋(8-D13、2-D6@50)は全試験体で共通である。全8体の試験体のうちD-1、D-2、D-3、D-4試験体(Dシリーズ)は動的載荷とし、S-1、S-2、S-3、S-4試験体(Sシリーズ)は静的載荷である。実験変数は、載荷速度(動的、静的)、せん断スパン比(1.2、1.8)及び軸力比(0.1、0.3、 0.3 ± 0.2)であり、動的載荷と静的載荷を一对として他の条件を設定した。

表 1 試験体諸元及び材料特性

	D-1	S-1	D-2	S-2	D-3	S-3	D-4	S-4
断面 (mm×mm)	共通 250×250 (幅×せい)							
主筋 (f_y :N/mm ²)	共通 8-D13、SD345 ($f_y=391$) ($P_g = 1.63\%$)							
横補強筋 (f_{wy} :N/mm ²)	共通 2-D6@50、SD295 ($f_{wy}=400$) ($P_w = 0.51\%$)							
せん断スパン比	1.8		1.8		1.2		1.8	
軸力比 N/bDF_c * ¹	0.1		0.3		0.3		0.3±0.2	
コンクリート強度(N/mm ²)	29.6	29.4	29.7	29.9	30.7	31.3	30.9	31.4
ヤング係数(×10 ³ N/mm ²)	26.2	27.4	27.2	27.6	27.5	26.7	27.0	27.8
曲げ降伏強度計算値(kN)* ²	123		159		239		167	
せん断強度計算値(kN)* ³	158		158		158		158	
せん断余裕度* ⁴	1.27		1.00		0.67		0.95	

*1 $F_c = 27.2 \text{ N/mm}^2$ として計算。軸力比 0.1 では 170kN、軸力比 0.3 では 510kN とした。

*2 ファイバー解析結果 (水平せん断力換算)。

*3 文献 2 によるせん断強度 ($R_p=0.01$)。

*4 せん断余裕度 = (せん断強度計算値) / (曲げ降伏強度計算値)。

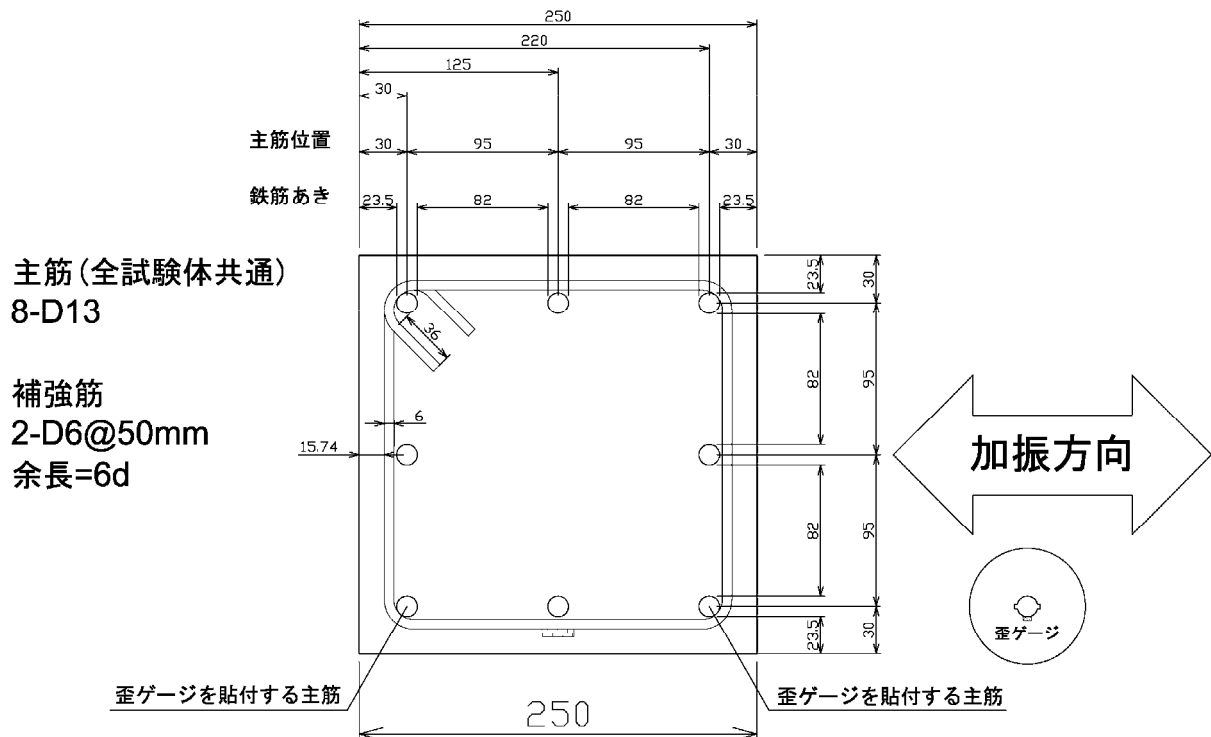


図 1 試験区間断面図

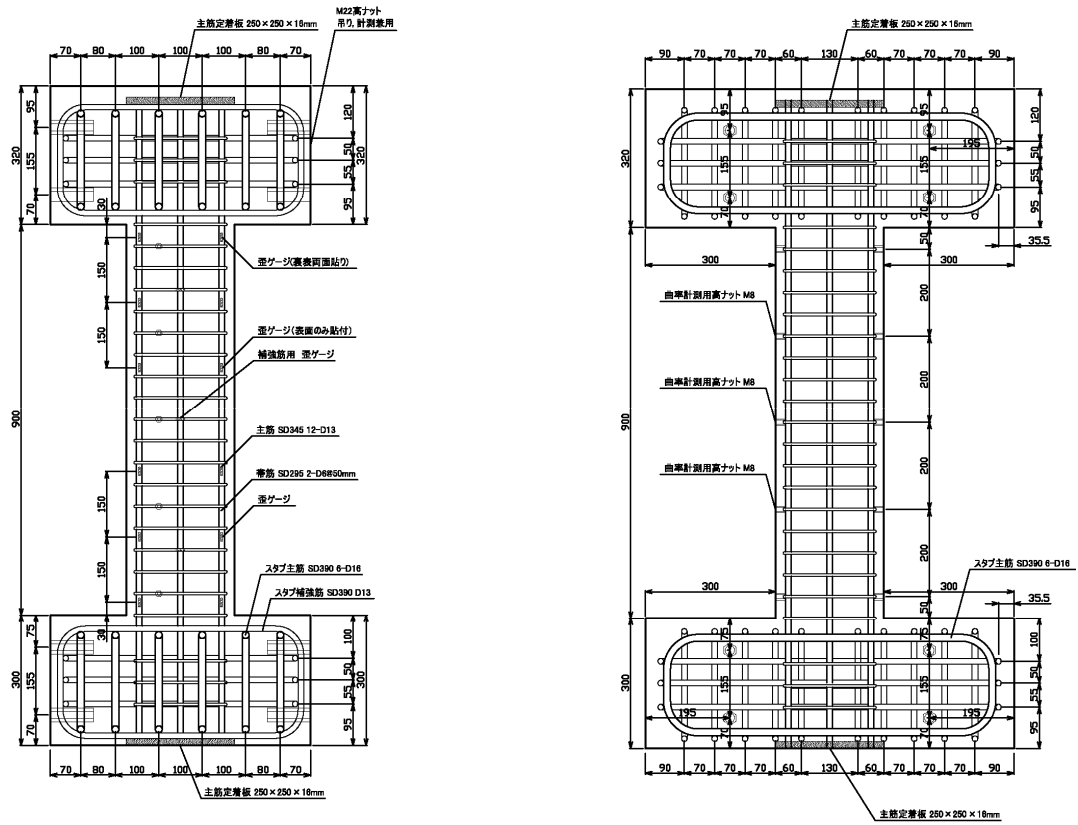


図 2 基準試験体(D-1、D-2、D-4、S-1、S-2、S-4)詳細図

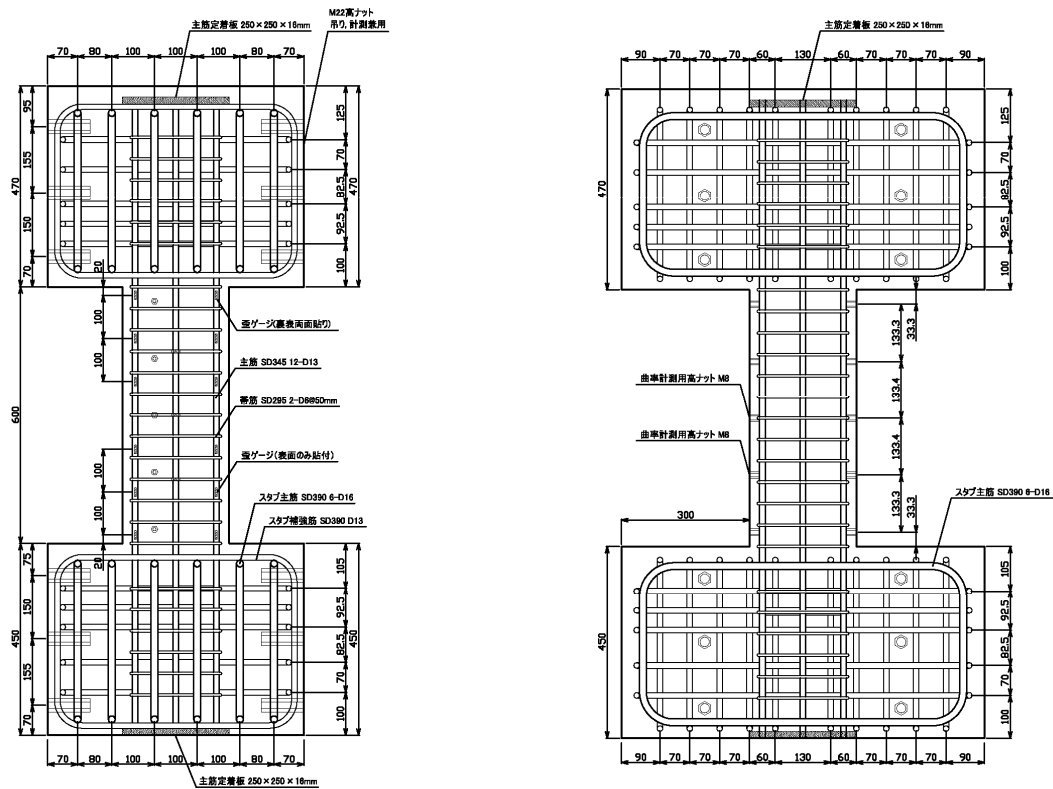


図 3 短柱型試験体(D-3、S-3)詳細図

b) 加力および計測方法

載荷装置を図 4 に示す。加力フレームの内側に設置したスライド装置に試験体を固定し、所定の軸力を導入した後、動的水平アクチュエータにより繰返し水平変位を加えた。水平アクチュエータの制御は、水平スライド装置と試験体上部の加力ブロック間の相対水平変位により行なった。また、鉛直方向にも動的アクチュエータを用い、軸力を動的に制御した。

載荷プログラムは、小振幅領域（部材角 $R=1/800 \sim 1/100$ ）で振動数一定、大振幅領域（ $R=1/100$ 以降）で平均部材角速度一定の漸増振幅正弦波とした（図 5）。振動数及び部材角速度は、各層の質量が等しいせん断系 6 層建物（高さ $H=20$ m）を想定し、以下の方法より設定した。

振動数 F ：設計 1 次固有周期 $T_1=0.02H=0.4$ 秒相当で振動する状況を想定し、 $F=1/T_1=2.5$ Hz とした。

平均部材角速度 V ：既往地震波の 50cm/s 入力時の応答レベルとして、梅村スペクトル³⁾等を参考に速度応答値として $S_v=150$ cm/s を想定した。想定建物が逆三角形 1 次モードで振動している状態を考えれば、(1)～(3)式により層間変形速度を推定できる。また、(4)式により柱の部材角速度が求まる。ただし、(1)～(4)式には実現象の簡略化に伴う誤差が含まれることを考慮し、この水準を平均速度（時刻歴上で隣接する正負の変位ピークを結んだ傾き）で与えるものとした。以上により、平均部材角速度 $V=0.1$ rad/s を設定し、各振幅に応じた振動数（ $R=1/50$ で 1.2Hz、 $R=1/25$ で 0.6Hz、 $R=1/16$ で 0.4Hz）で載荷した。

一次刺激関数：

$${}_1\beta \cdot {}_1u_i = \sum m_i \cdot {}_1u_i / \sum m_i \cdot {}_1u_i^2 = 3 \cdot i / (2n+1) \dots (1)$$

各層の速度：

$$Sv_i = {}_1\beta \cdot {}_1u_i \cdot Sv \dots (2)$$

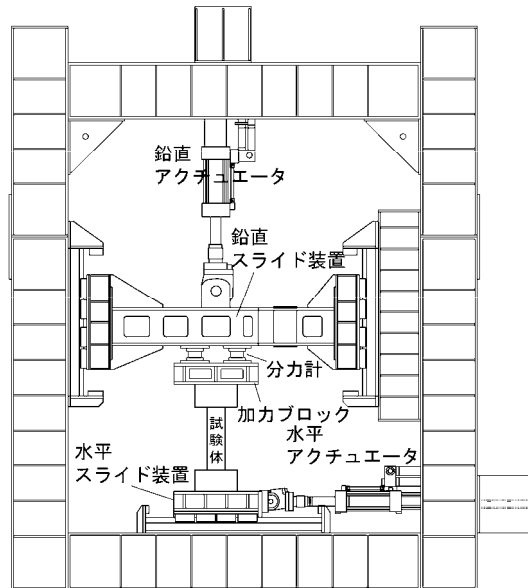


図 4 載荷装置

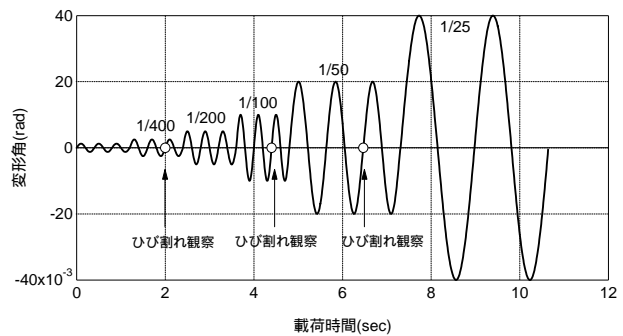


図 5 水平変位の時刻歴

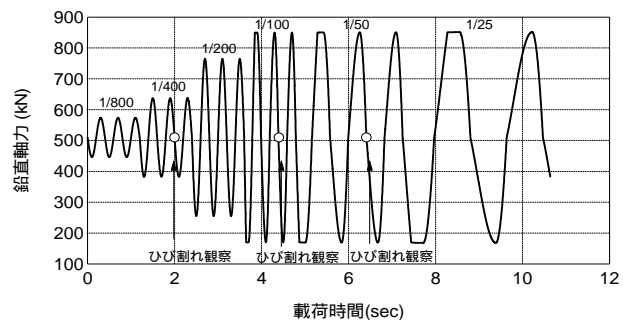


図 6 鉛直荷重の時刻歴

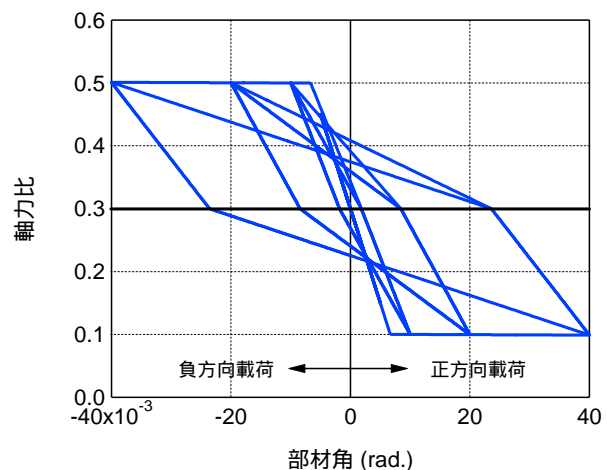


図 7 水平変位 - 鉛直荷重関係

層間変形速度：

$$\Delta S v_i = S v_i - S v_{(i-1)} = 3 \cdot S v / (2n + 1) \dots \dots \dots (3)$$

部材角速度：

$$V = \Delta S v_i / h \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 ${}_1\beta$:一次刺激係数、 m_i :各層の質量、 ${}_1u_i$:i 層の一次固有関数、 n :階数、 h :階高である。

ひび割れ観察等を行なうために、載荷波形を4~6区間に分割して載荷した。なお、各載荷の開始直後はアクチュエータの載荷速度が安定しないため、未経験振幅の載荷を行なう直前には、過去に経験した最大振幅による補助載荷を1サイクル追加した。補助載荷を含めると、同一振幅の繰返し回数は3サイクルとなる。

D-4 と S-4 試験体では、以下に示す計算法により、図 6 に示す変動軸力の時刻歴を作成し、変動軸力実験を行なった。梁降伏先行型の骨組では、層の復元力特性に梁の復元力特性が反映される。外柱の軸力変動は梁のせん断力に起因するので、柱軸力の変動成分と水平変形の関係は層の復元力特性と相似となる。これを図 7 の様な Clough モデル⁴⁾で表されるものと仮定し、軸力比 0.3 を中心として ± 0.2 の変動幅を設定した。なお、変動の方向については、水平正方向載荷時に軸力を減少させ、水平負方向載荷時に軸力を増加させる方向とした。

動的載荷と静的載荷の載荷履歴を可能な限り一致させるために、まず動的載荷を先に実施し、得られた水平変位および軸力の計測データの時間軸のみを 1,000 倍に拡大した波形を作成して、対となる静的載荷用の入力波とした。

計測項目は、試験体の水平せん断力および軸力、試験体変位および鉄筋歪である。試験体に作用する水平力及び軸力は、試験体上部に取付けた 4 基の分力計により検出した。試験体各部の変位は作動トランス型変位計にて、鉄筋の歪はワイヤーストレインゲージ (WSG) によりそれぞれ計測した。また、2 台の動的アクチュエータの荷重・変位 (ストローク) を、内蔵センサによってそれぞれ計測した。データの取込みには、A/D 変換器付き PC 及び動歪測定器を用い、サンプリング周波数は、動的載荷で 500Hz、静的載荷で 1.0Hz とした。

3) 実験結果

a) 実験の精度

i) 載荷変位の制御精度

実験では、試験体下部スタブ側のスライド装置と試験体上部スラブ側の加力ブロック間の相対変位を用いてアクチュエータの変位制御を行なった。

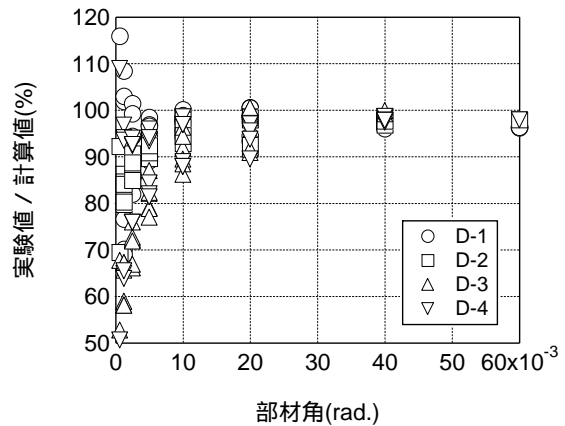


図 8 変位振幅 - 部材角関係

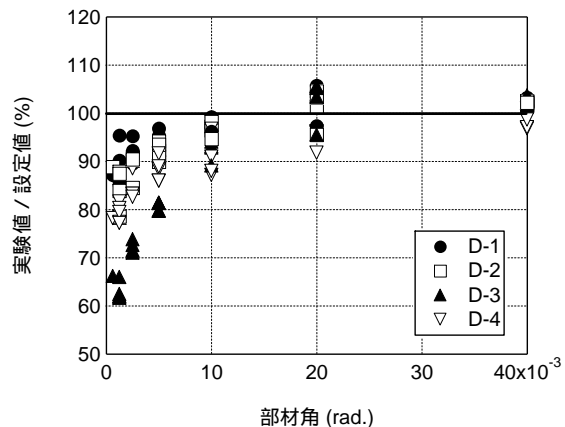


図 9 載荷速度 - 部材角関係

動的載荷実験の場合の、載荷変位振幅の実績値と設定値の比較を図 8 に示す。部材角 $R=1/800$ では、設定変位の 58~108%とややばらつきが大きい。 $R=1/400$ では、66~101%、 $R=1/200$ では、77~98%となっており、載荷振幅の増加とともに変位振幅のばらつきは低減傾向となる。 $R=1/100$ 以降の載荷では、実績値は設定値の 86~100%と安定している。

ii) 載荷速度の制御精度

動的載荷時の載荷速度の実験値と設定値の比を図 9 に示す。載荷は正弦波であるので、各載荷の連続する正負の振幅値のピークを結んだ傾きを載荷速度と定義した。部材角振幅 $R=1/800$ 又は $1/400$ の載荷時には設定した載荷速度の 62~95%であるが、 $R=1/100$ 以降の載荷では設定値の 87~106%であり、ほぼ設定通りの載荷速度が得られている。

iii) 鉛直軸力の制御精度

一定軸力試験体 D-1、D-2、D-3 では、動的アクチュエータで軸力を動的に制御することにより、軸力変動を $\pm 30\text{kN}$ 程度(軸力比換算で $\pm 1.8\%$ の変動)に留めることができた。また、変動軸力試験体 D-4 でも軸力の設定値と実験値は良く一致した。今回、軸力の制御に動的アクチュエータを使用することで、高精度な軸力制御を実現できた。

b) 破壊形式









全試験体の $R=1/25\text{rad}$ 載荷後の状況を表 2 に示す。

D-3、S-3 以外の試験体では、いずれも上下端の曲げ破壊が観察されており、動的載荷と静的載荷で破壊性状に顕著な差は認められなかった。

以下、代表的な曲げ破壊を生じた D-2 試験体の破壊経過を述べる。まず、部材角 $R=1/400$ の載荷で試験体危険断面部分に曲げひび割れが発生した。 $R=1/100$ では主筋の降伏が確認されるとともに、せん断ひび割れの発生も確認された。 $R=1/50$ では試験体隅角部のコンクリートが剥落し、試験体の主筋に沿って付着割裂ひび割れが発生した。 $R=1/25$ では試験体隅角部において大規模なコンクリート剥落が見られた。 $R=1/16$ で、横補強筋の 135 度フックが開き、軸力を保持できなくなり最終的に軸崩壊に至った。

一方、せん断スパンの小さい D-3 及び S-3 試験体では、いずれも $R=1/100$ 近傍においてせん断ひび割れの発生とともに急激な耐力低下が見られ、 $R=1/50$ では試験区間の中央部分でコンクリートの剥落が見られた。さらに、 $R=1/25$ では横補強筋の 135 度フックが開き、軸力を保持できなくなり軸崩壊に至った。この場合も、動的載荷と静的載荷で破壊状況に顕著な差は認められなかった。

表 2 破壞狀況 (R=1/25 載荷後)

	S-1、D-1	S-2、D-2	S-3、D-3	S-4、D-4
靜的	 <p>S-1</p>	 <p>S-2</p>	 <p>S-3 CASE : S - 3</p>	 <p>S-4</p>
動的	 <p>D-1</p>	 <p>D-2</p>	 <p>D-3 CASE : D - 3</p>	 <p>D-4</p>

c) 荷重 - 変形関係

実験結果の一覧を表 3 に、各試験体の荷重 - 変形関係を図 10 ~ 図 17 に示す。

動的載荷試験体について、正負の曲げ降伏強度を平均して対応する静的載荷試験体との比を求めると、D-1 試験体では 6.9%、D-2 試験体では 8.8%、D-4 試験体では 9.5%それぞれ静的試験体 (S-1、S-2、S-4) よりも上昇した。また、せん断破壊した D-3 試験体では、最大強度の正負の平均値を比較すると対応する静的試験体 S-3 より 11.3%上昇した。

また、静的載荷試験体において、軸力比が 0.1 から 0.3 に増加すると曲げ降伏強度が 30.0%上昇している。これに対し、動的載荷試験体でも、軸力比が 0.1 から 0.3 に増加した場合に曲げ降伏強度が 30.8%上昇しており、軸力の増加に伴う曲げ降伏強度の上昇の程度は、静的載荷と動的載荷でほぼ同等であることがわかった。

次に、曲げ降伏先行型試験体の履歴ループに着目すると、 $R=1/25$ 程度の大振幅に至るまで概ね紡錘形であり、動的載荷と静的載荷でループ形状に大きな差は見られない。また、せん断破壊した D-3 と S-3 試験体でも、ループ形状には明瞭な差異は認められない。

最後に、各試験体の水平荷重が最大強度の 80%に低下した時の部材角を最大変形角と定義し、表 3 に一覧として示す。これによると、動的載荷と静的載荷で最大変形角に明瞭な差は認められない。図 10 ~ 図 17 中の は、試験体の軸崩壊点 (軸力保持能力の喪失点) を示している。大半の試験体では、静的と動的で同一加力サイクルにおいて軸崩壊しており、軸崩壊限界変位に及ぼす載荷速度の影響は顕著ではない。なお、軸崩壊時の圧縮軸変形は、材長の 0.87~1.1%程度であった。

表 3 実験結果の一覧

項目	D-1	S-1	D-2	S-2	D-3	S-3	D-4	S-4
初期剛性(kN/mm) ^{*1}	77.9	75.1	87.7	84.1	212.6	205.3	84.1	80.0
曲げ降伏強度(kN) ^{*2}	145	136	193	177	-	-	187	170
曲げ降伏変形(rad)	1/68	1/68	1/128	1/109	-	-	1/105	1/89
最大強度(kN) ^{*2}	148	137	193	179	271	244	191	173
最大強度時変形(rad)	1/43	1/30	1/123	1/74	1/119	1/108	1/56	1/54
最大変形角(rad.) ^{*3}	1/24	1/17	1/26	1/25	1/50	1/56	1/34	1/34
破壊モード ^{*4}	F	F	F	F	S	S	F	F

*1 曲げひび割れ強度計算値の 1/2 以下における荷重 - 変形関係の近似直線。

*2 水平せん断力換算荷重。

*3 最大耐力の 80%に低下した点。

*4 F：曲げ破壊、S：せん断破壊。

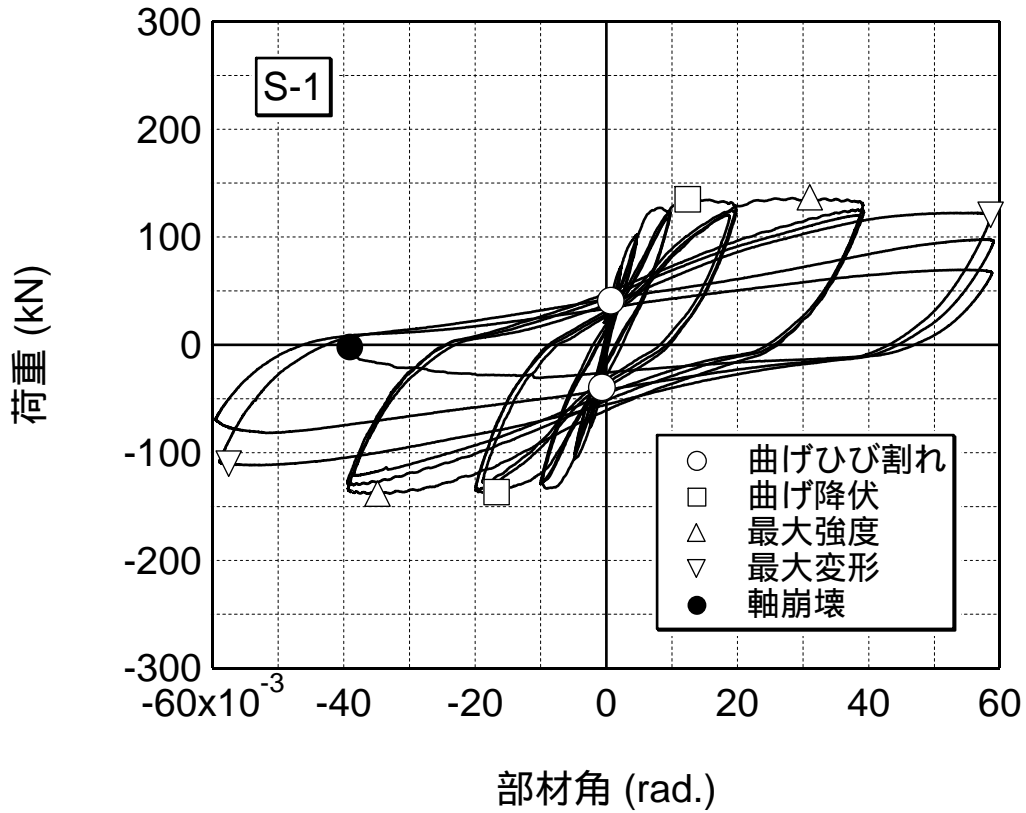


図 10 S-1 試験体の荷重 - 変形関係

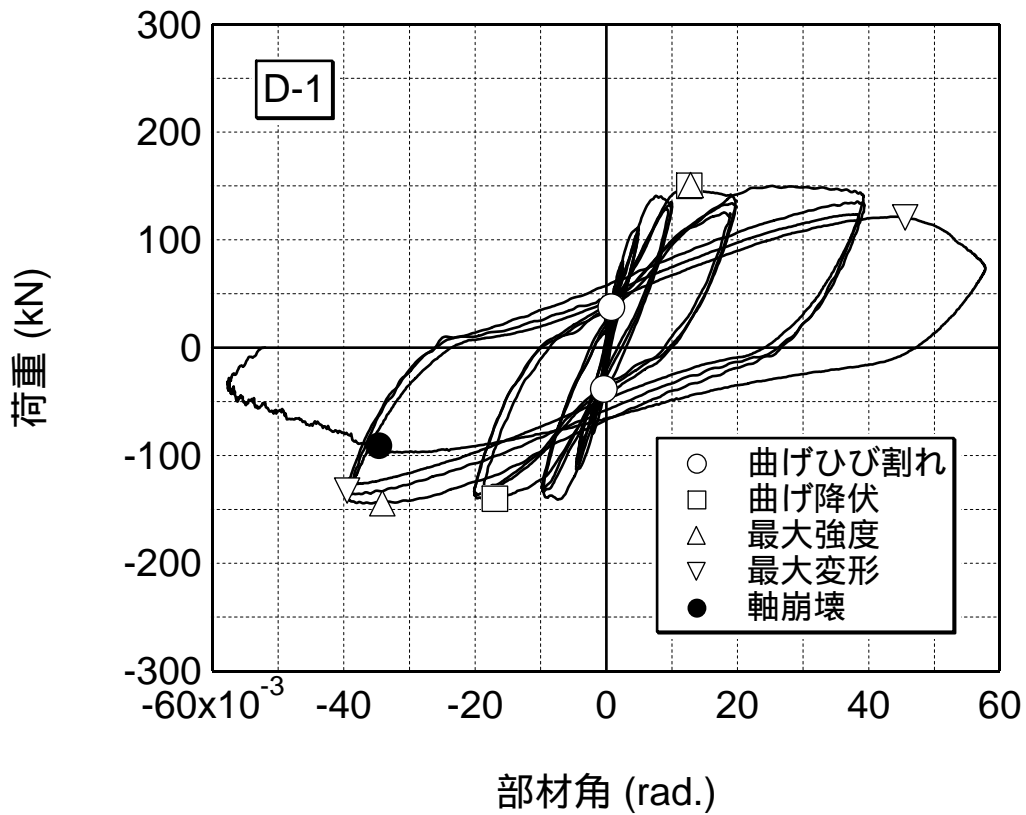


図 11 D-1 試験体の荷重 - 変形関係

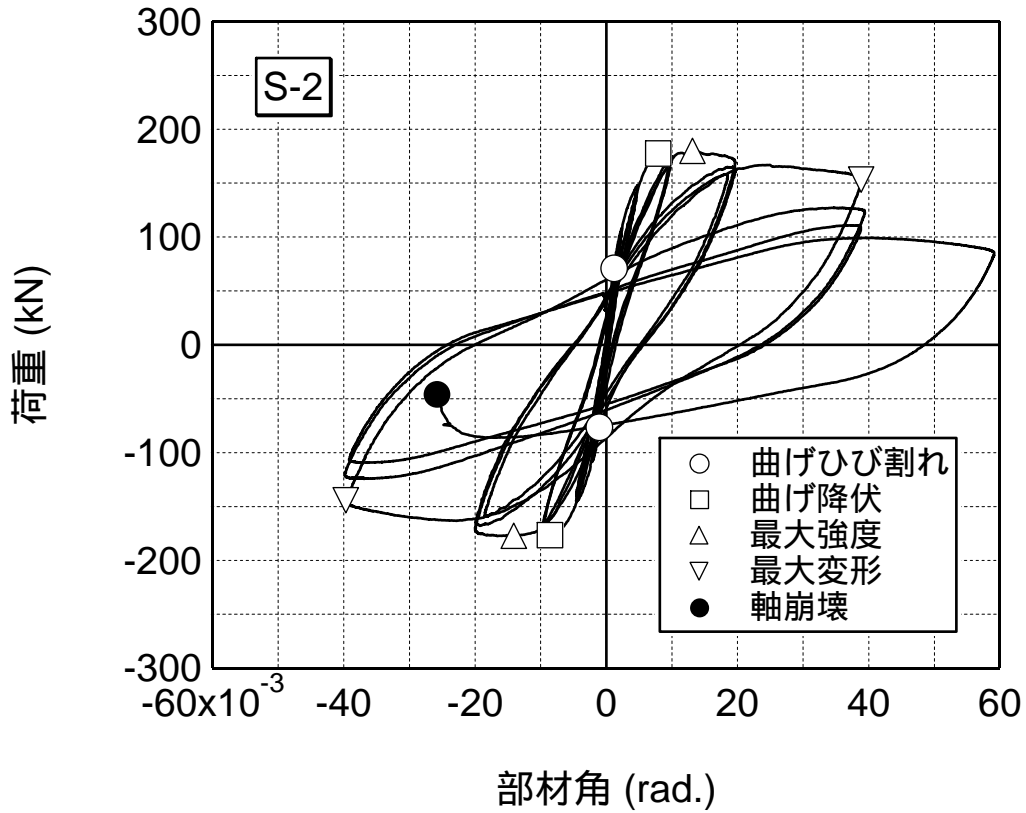


図 12 S-2 試験体の荷重 - 変形関係

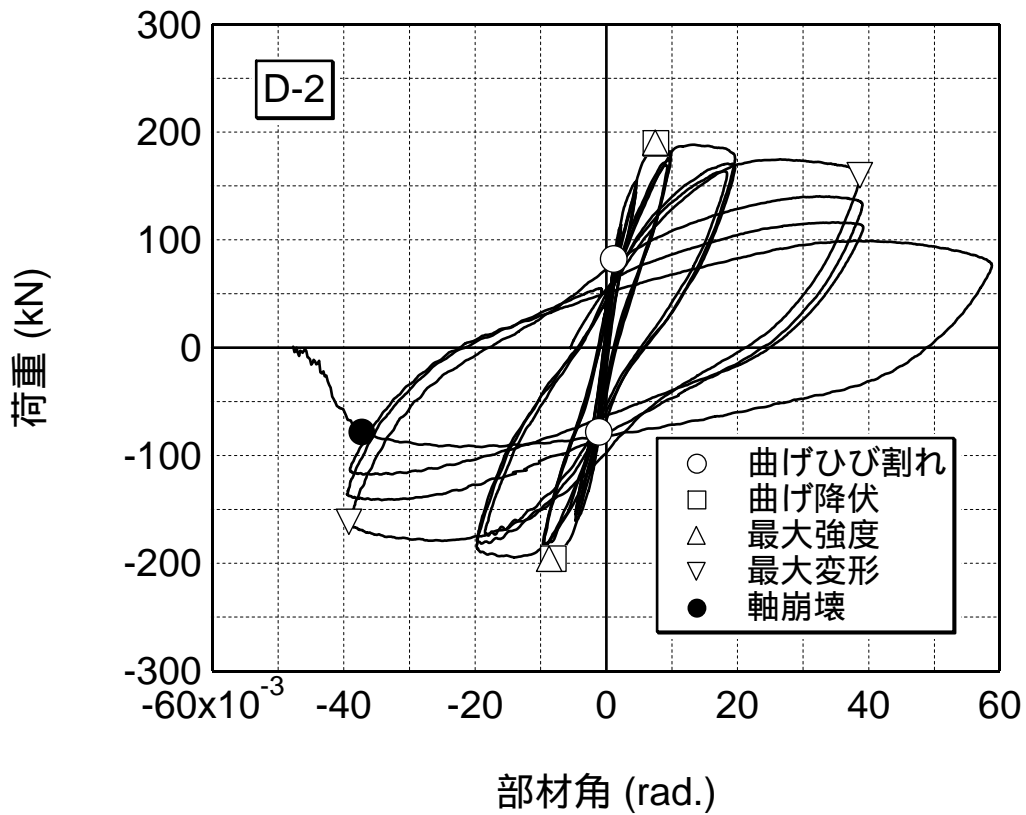


図 13 D-2 試験体の荷重 - 変形関係

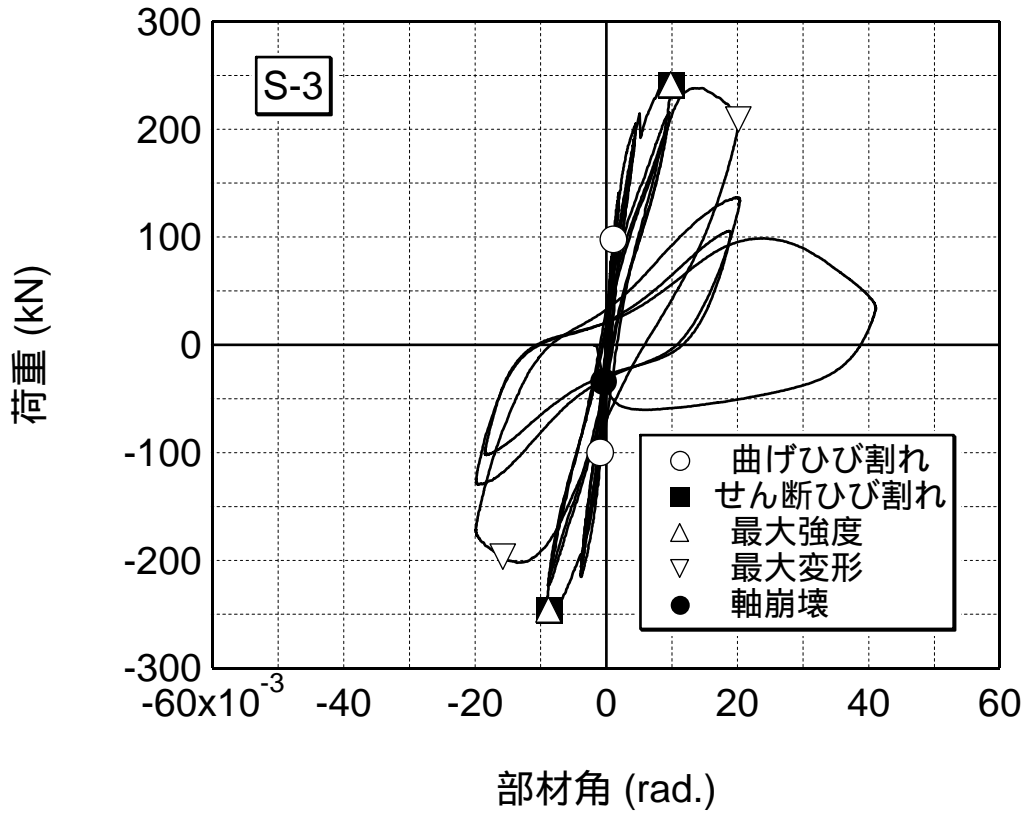


図 14 S-3 試験体の荷重 - 変形関係

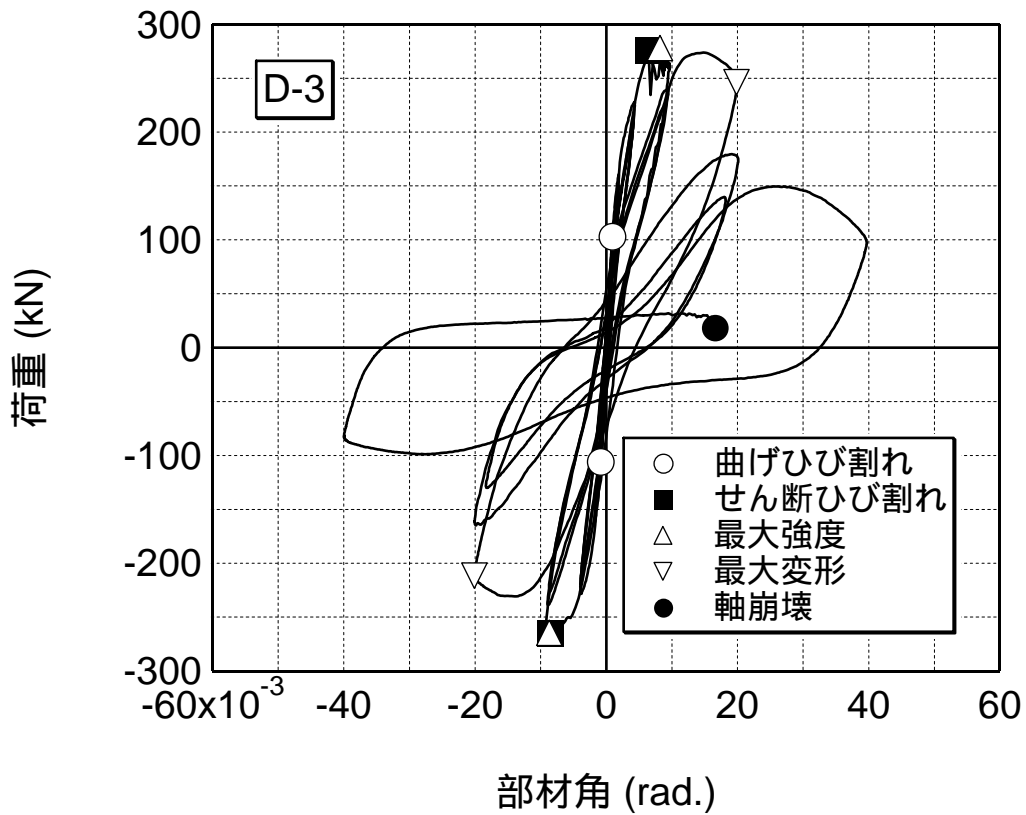


図 15 D-3 試験体の荷重 - 変形関係

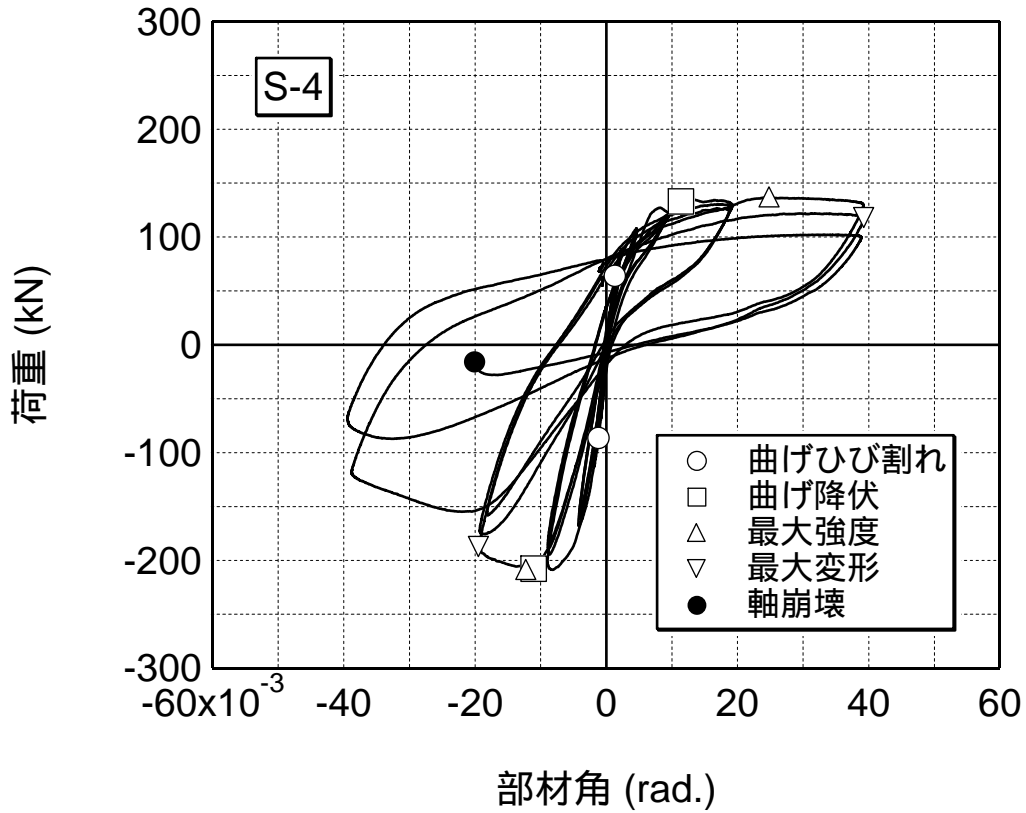


図 16 S-4 試験体の荷重 - 変形関係

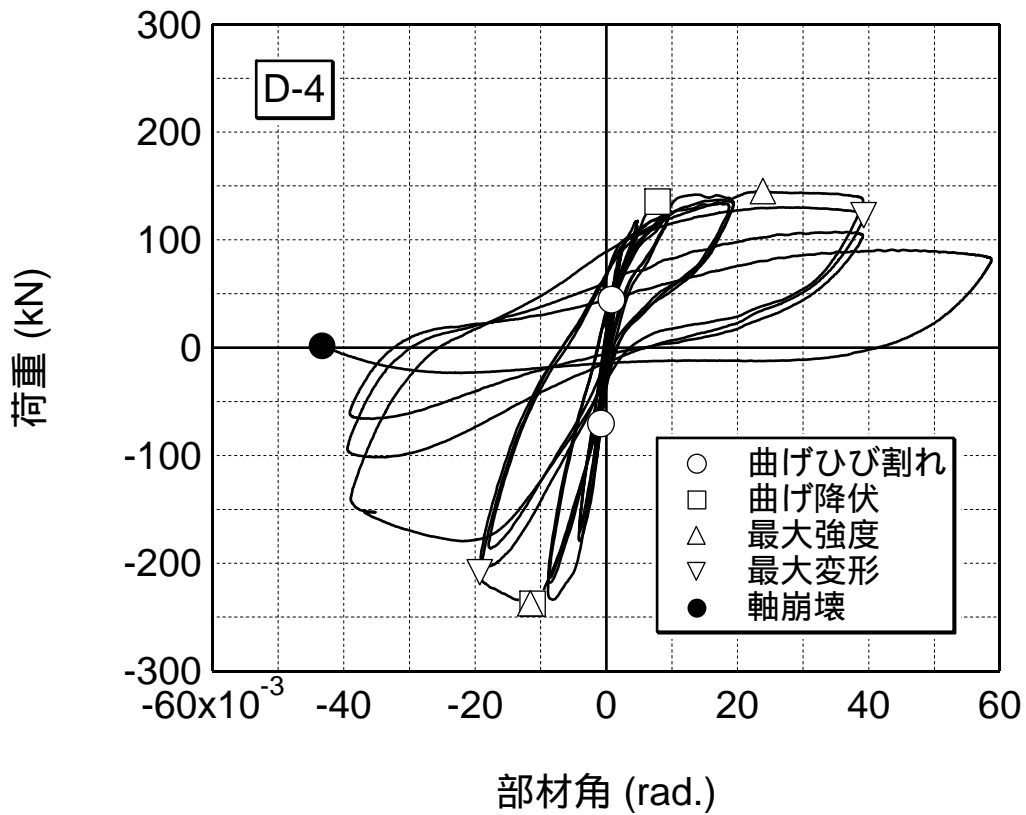


図 17 D-4 試験体の荷重 - 変形関係

4) 考察

a) 曲げ降伏強度の上昇率

曲げ降伏した試験体の降伏強度に及ぼす歪速度の影響を評価するために、試験体危険断面位置（試験区間端部）での主筋の歪速度を実験結果から求めた。この結果、主筋が降伏する加力サイクルの荷重ゼロから鉄筋が降伏するまでの平均歪速度は、 $3.91\sim 4.29 \times 10^4 \mu / \text{sec}$ であった。

次に、既往の定歪速度実験における歪速度と降伏点強度の関係式⁵⁾である(5)式を用いて、実験で得られた主筋の歪速度から、動的載荷における主筋の降伏強度を求めた。

$$d_y \sigma_y = \left(0.9 + 0.05 \cdot \log \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\epsilon} \right) \right) s_y \sigma_y \dots \dots \dots (5)$$

ここに、 d_y ：動的な降伏点応力度、 s_y ：静的な降伏点応力度、 $\dot{\epsilon}$ ：歪速度(μ / sec)である。この結果、動的載荷による主筋の降伏点強度の上昇率は、13.0~13.2%と算定された。

次に、(5)式より得られた降伏点強度を用いて危険断面のファイバー解析を行ない、曲げ降伏強度を算定し、計算結果を表4に示す。なお、ここでは曲げ降伏型試験体を対象としたため、主筋の降伏強度上昇についてのみ歪速度の影響を考慮し、ヤング係数、横補強筋降伏強度およびコンクリート強度等は、静的載荷時の特性を用いている。表より、歪速度の影響を考慮した曲げ降伏強度の計算値を実験値と比較すると、実験値が計算値の108、113%となった。静的載荷時の実験値は計算値の110、111%であるから、歪速度の影響を考慮することで、静的実験と同等の精度で降伏強度を推定できるものと考えられる。

表 4 歪速度の影響を考慮した曲げ降伏強度計算値

項目	S-1 試験体	S-2 試験体	D-1 試験体	D-2 試験体
計算値(kN)	123	159	135	170
実験値(kN)	136	177	145	193
実験値/計算値(%)	110	111	108	113

b) せん断破壊強度の上昇率

せん断破壊した試験体のせん断強度に及ぼす歪速度の影響を評価するために、動的載荷時の主筋、横補強筋、コンクリートの材料強度を求める。まず、せん断破壊した 1/100 の載荷において、荷重ゼロから最大強度時までの横補強筋の平均歪速度は、 $8 \times 10^3 \mu / \text{sec}$ であるから、(5)式よりせん断破壊時の横補強筋の降伏点上昇率は 9.6%となる。また、動的載荷時のコンクリートに作用する歪速度は、文献 1 を参考にして、主筋と同等と仮定すると、 $1.24 \times 10^4 \mu / \text{sec}$ である。既往のコンクリート強度と歪速度の関係⁴⁾(6)式からコンクリート強度を求めた。

$$d \sigma_B = \left(0.94 + 0.06 \cdot \log \left(\dot{\varepsilon} \right) \right) \cdot s_B \sigma_B \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 $d \sigma_B$: 動的圧縮強度、 s_B : 静的圧縮強度、 $\dot{\varepsilon}$: 歪速度(μ / sec)である。
 (6)式より、せん断破壊時のコンクリート強度の上昇は 18.6%である。上昇した材料強度を用いて文献 2 (ヒンジ部材) によりせん断強度を求める。その結果、計算値は 211kN となり、実験値 271kN の 78%であった (表 5)。静的載荷時の計算値 188kN は実験値 244kN (表 5) の 77%であるから、歪速度を考慮することにより静的載荷と同等の精度でせん断破壊強度を推測できている。

表 5 ひずみ速度を考慮したせん断強度

	S-3 試験体	D-3 試験体
計算値(kN)	188	212
実験値(kN)	244	271
実験値 / 計算値	77	78

c) 等価剛性

各部材角振幅における2サイクル目の履歴ループから等価剛性 K_{eq} を求め、図 18~図 22 に示す。また、静的载荷試験体に対する動的载荷試験体の等価剛性の比を図 23 に示す。いずれのケースも、動的载荷試験体の等価剛性の方が静的载荷試験体よりも大きくなっている。曲げ降伏以降の $R=1/25$ でも動的载荷試験体の方が 6.1~16.7% 大きくなっている。

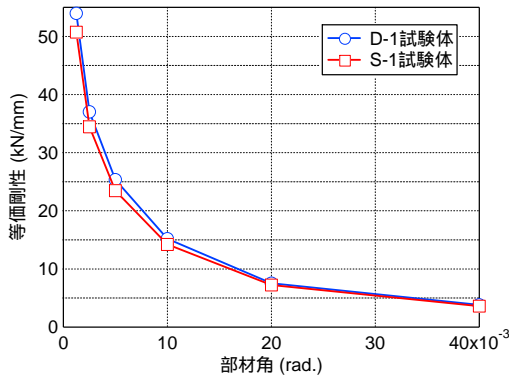


図 18 等価剛性 - 部材角関係
(D-1、S-1)

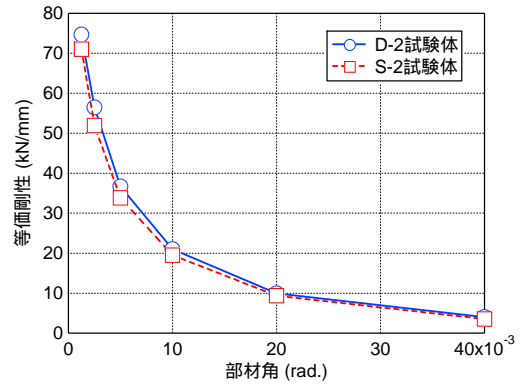


図 19 等価剛性 - 部材角関係
(D-2、S-2)

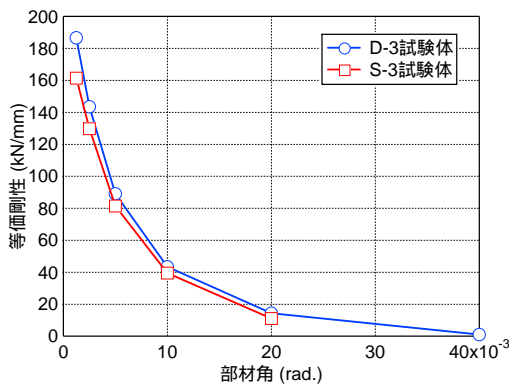


図 20 等価剛性 - 部材角関係
(D-3、S-3)

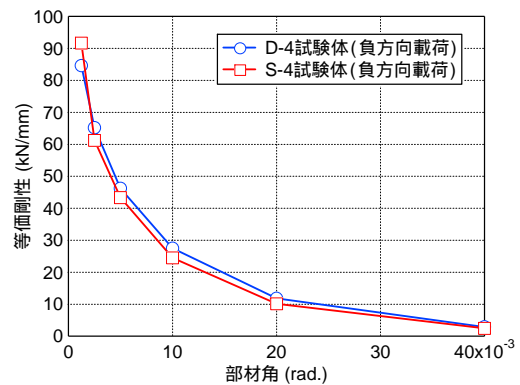


図 21 等価剛性 - 部材角関係
(D-4、S-4 負方向)

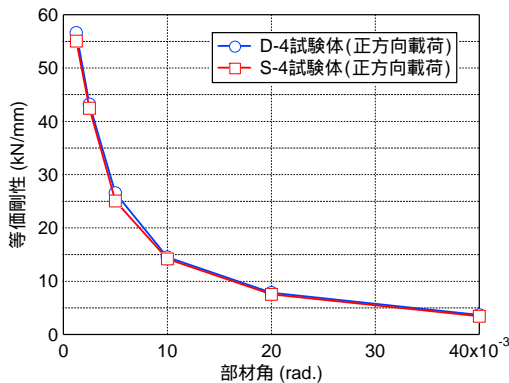


図 22 等価剛性 - 部材角関係
(D-4、S-4 正方向)

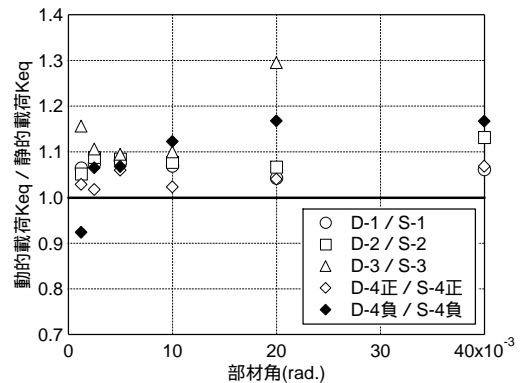


図 23 動的载荷時と静的载荷時の
等価剛性の比較

d) エネルギー吸収量

各試験体の軸崩壊するまでの累積エネルギー吸収量 W を表 6 に示す。D-1 試験体では、S-1 試験体よりも 1 サイクル早く軸崩壊したので、D-1 動的載荷試験体の吸収エネルギーが S-1 試験体よりも小さくなっている。しかし、動的載荷試験体と静的載荷試験体と同じサイクルで軸崩壊した場合には、動的載荷試験体の吸収エネルギーの方が静的載荷試験体の吸収エネルギーよりも大きくなっている。

各部材角の 2 サイクル目におけるエネルギー吸収量 W と部材角の関係を図 24 ~ 図 27 に示す。動的載荷試験体のエネルギー吸収量の方が対応する静的試験体より上昇している。また、その上昇率は前節で述べた強度上昇率をも上回っている。

表 6 軸崩壊までの累積エネルギー吸収量

	D-1	S-1	D-2	S-2	D-3	S-3	D-4	S-4
累積エネルギー吸収量 W ($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{mm}$)	4.56	5.14	4.86	4.20	1.49	1.12	3.44	2.45

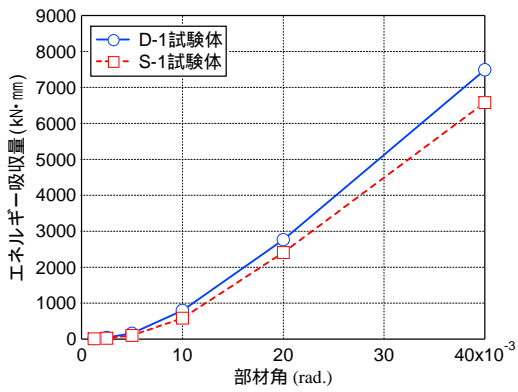


図 24 1 サイクル当りのエネルギー吸収量 (D-1、S-1)

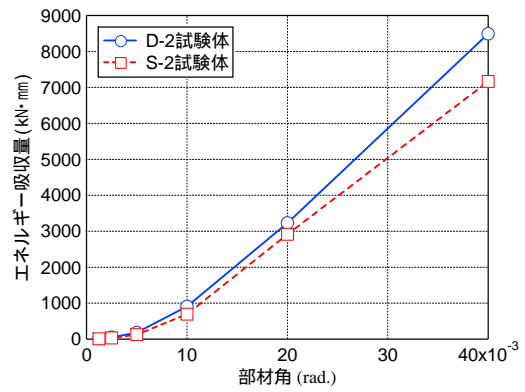


図 26 1 サイクル当りのエネルギー吸収量 (D-2、S-2)

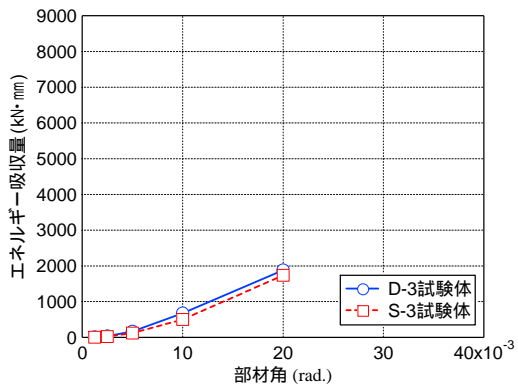


図 25 1 サイクル当りのエネルギー吸収量 (D-3、S-3)

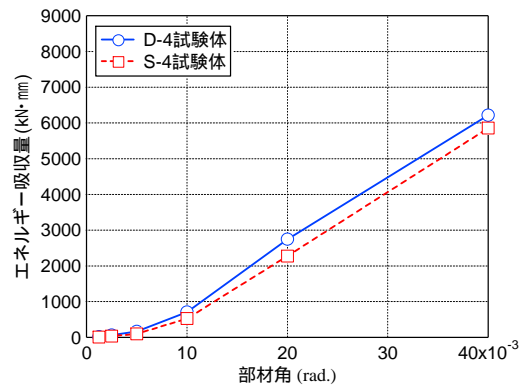


図 27 1 サイクル当りのエネルギー吸収量 (D-4、S-4)

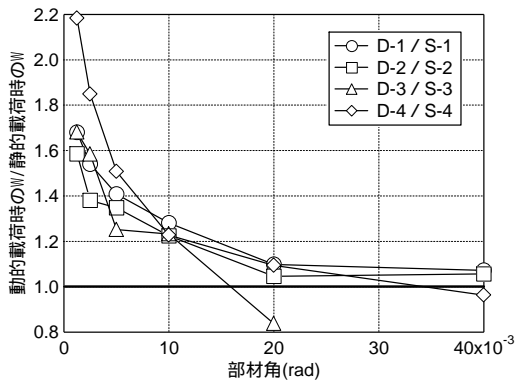


図 28 動的载荷時と静的载荷時のエネルギー吸収量の比較

e) 等価粘性減衰定数

各部材角における 2 サイクル目の等価粘性減衰定数 Heq と部材角の関係を図 29 ~ 図 32 に示す。各試験体の等価粘性減衰定数は部材角 $R=1/200$ までは 5% 程度以下の値を示し、その後、部材角の増大に伴って上昇し、 $R=1/25$ では約 20% に達している。

対となる動的载荷試験体と静的载荷試験体の等価粘性減衰定数 (同一振幅での 2 サイクル目) の比と部材角の関係を図 33 に示す。 $R=1/400 \sim 1/200$ の小振幅では動的载荷の方が静的载荷よりはるかに大きな値を示している。しかし、動的载荷と静的载荷の差は部材角の増加とともに減少し、 $R=1/50$ 以降では両者の差はほとんどなくなっている。

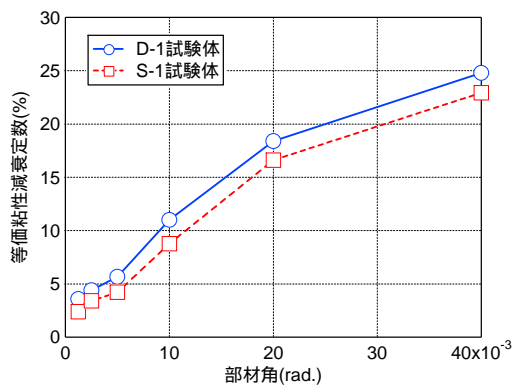


図 29 等価粘性減衰定数 - 部材角 (D-1、S-1)

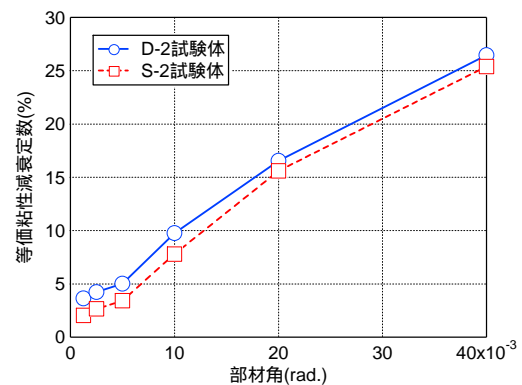


図 30 等価粘性減衰定数 - 部材角 (D-2、S-2)

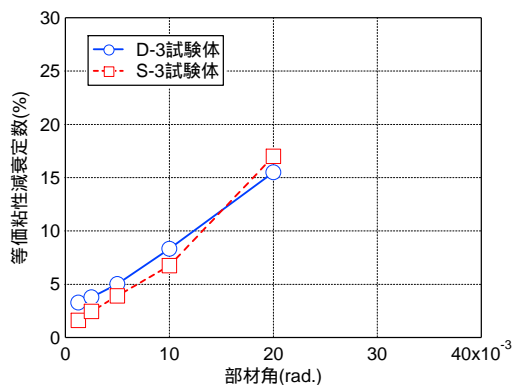


図 31 等価粘性減衰定数 - 部材角 (D-3、S-3)

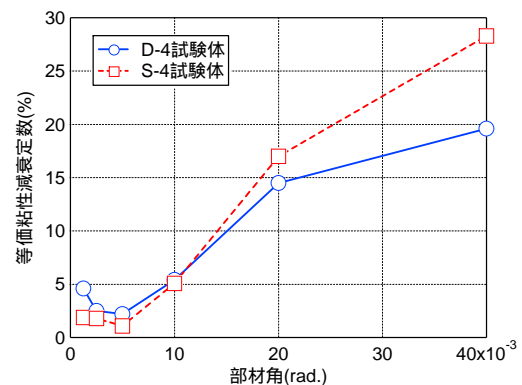


図 32 等価粘性減衰定数 - 部材角 (D-4、S-4)

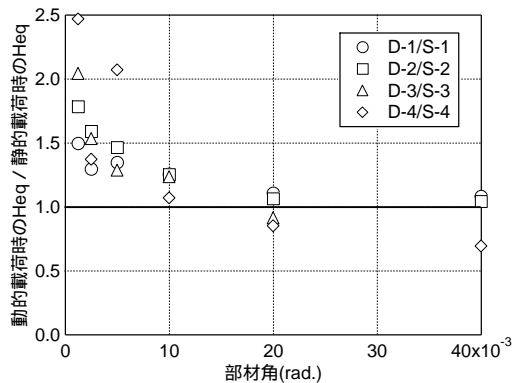


図 33 動的载荷時と静的载荷時の等価粘性減衰定数の比較

(d) 結論ならびに今後の課題

軸力と逆対称曲げを受ける鉄筋コンクリート造柱部材に対する動的載荷実験（平均載荷速度 0.1rad/sec 程度）並びに静的載荷実験（動的載荷速度の 1/1000）を行ない、以下の結論を得た。

本実験で行なった範囲では、同一せん断スパン比・同一軸力条件下では、動的載荷と静的載荷で破壊形式に大きな差は生じなかった。

動的載荷試験体の曲げ降伏強度は、対応する静的載荷試験体よりも 6.9~9.5%上昇した。また、動的載荷試験体のせん断破壊強度は対応する静的載荷試験体よりも 11.3%上昇した。

最大変形角の定義を試験体の水平荷重が最大強度の 80%に低下した時の部材角とすると、動的載荷と静的載荷で最大変形角に明瞭な差異は見られなかった。また、軸崩壊限界変形に関しても、明瞭な差異は見られなかった。

各振幅の 2 サイクル目の履歴ループから求めた動的載荷試験体の等価剛性は、小振幅領域から大振幅領域に渡ってほぼ一様に静的載荷試験体よりも 1 割前後上回る値を示した。一方、同様に 2 サイクル目の履歴ループから求めた等価粘性減衰定数に関しては、小振幅領域において動的載荷試験体の値が静的載荷試験体を大きく上回る傾向が見られたが、大振幅領域では両者に顕著な差が見られなくなった。

動的載荷時の曲げ降伏強度及びせん断強度は、歪速度に関する既往の式により推測した材料の力学的性質を用いることによって、概略推定することができた。

次年度も上記実験結果の詳細分析を継続し、解析モデルの検証に役立てる予定である。

(e) 引用文献

- 1) 細矢博、岡田恒男、北川良和、中埜良昭、隈澤文俊：地震時の歪速度の影響による鉄筋コンクリート部材の耐力の増大と破壊モードとの関係に関する研究、日本建築学会構造系論文集、Vol.492、pp.69-77、1997.2
- 2) 日本建築学会編：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型設計指針・同解説、1999.
- 3) 梅村魁：鉄筋コンクリート建物の動的設計法、技法堂、1982.12.
- 4) 青山博之：鉄筋コンクリート建物の終局強度型耐震設計法、技法堂、1990.8
- 5) 細矢博、岡田恒男、北川良和、中埜良昭、隈澤文俊：歪速度の影響を考慮したファイバーモデルによる鉄筋コンクリート部材の断面解析、日本建築学会構造系論文集 NO.482 P.83-92 1996 年 4 月.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
金子貴司 田上淳 丸田誠 鈴木紀雄	鉄筋コンクリート柱部材の挙動に及ぼす歪速度の影響に関する実験的研究	日本コンクリート工学 年次論文集	平成 16 年 7 月 7 日

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

名称	機能
なし	

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成16年度業務計画案

(a) 平成16年度業務目的

平成15年度に行った実験を対象として、歪速度効果を取り入れたファイバーモデルとより簡易な線材モデルを開発する。また、過去に行われた同様の実験も利用して、モデルの有効性を多面的に検証する。

(b) 実施方法

1) 歪速度効果を考慮した鉄筋コンクリート造柱部材の解析モデル構築

歪速度効果を取り入れたファイバーモデルと線材モデルを開発するとともに、その有効性を本研究で実施した実験により検証する。3次元解析に対応するため、線材モデルとしては、金属塑性論のアナロジーモデルを想定する。なお、より有効なキャリブレーションを実施するために、本研究で行った実験結果に加え既往の研究成果についても可能な限り活用する。

2) 実施工程

平成16年度業務の実施工程を下表に示す。

表 平成16年度業務の実施工程

年	2004年									2005年		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
モデル開発準備	■	■										
モデル開発			■	■	■	■	■	■	■			
モデル検証								■	■			
報告書作成										■	■	■

(c) 目標とする成果

鉄筋コンクリート造柱部材に関し、歪速度効果を考慮したファイバーモデルおよび簡易な線材モデルを開発する。これにより、鉄筋コンクリート造建物の地震時挙動の予測・評価精度の向上が期待でき、鉄筋コンクリート構造物の耐震性の向上研究に貢献できるものと期待される。