

### 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 ヶ年の年次実施計画
- (e) 平成 14 年度業務目的

### (2) 平成 14 年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
  - 1) 鉄筋コンクリート造柱部材の動的載荷実験に関する既往研究の調査・分析
  - 2) 鉄筋コンクリート部材の弾塑性解析モデルに関する既往研究の調査・分析
  - 3) R C 柱部材の動的載荷実験計画の策定
- (c) 業務の成果
  - 1) 鉄筋コンクリート造柱部材の動的載荷実験に関する既往研究の調査・分析
  - 2) 鉄筋コンクリート部材の弾塑性解析モデルに関する既往研究の調査・分析
  - 3) R C 柱部材の動的載荷実験計画の策定
- (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 15 年度業務計画案

- (a) 平成 15 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柱部材の三次元解析モデルの開発

(b) 担当者

所 属	役 職	氏 名
鹿島建設株式会社 技術研究所 建築構造グループ	上席研究員	鈴木紀雄
	上席研究員	丸田 誠
	上席研究員	田上 淳
	主任研究員	永井和彦
	研 究 員	金子貴司
鹿島建設株式会社 ITソリューション部 エンジニアリングシステムグループ	グループ長	高橋元美

(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ヵ年の年次実施計画

1) 平成14年度：

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：

動的載荷実験の実施（解析モデル検証のための基礎データの取得）。  
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及び留意点の抽出・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14年度業務目的

RC柱部材の弾塑性挙動に及ぼす歪速度効果に関する既往の実験および水平方向荷重に対する柱部材の弾塑性解析モデルに関する既往の研究を調査・分析し、当業務における開発目標を明確化する。また、次年度以降に実施する予定の構造実験（動的載荷実験）の計画を具体化する。

## (2) 平成14年度の成果

### (a) 業務の要約

R C造柱部材の動的挙動研究分野における既往の知見を総括する目的で、過去に行われた「鉄筋コンクリート部材（主として柱）の動的載荷実験」および「鉄筋コンクリート部材の弾塑性解析モデル」に関する研究資料・論文を収集・分析した。この結果、100編余の文献を国内外から収集した。また、特に重要と思われる文献については内容を精査し、別途抄録集としてとりまとめを行った。

次に、収集した文献の中から、載荷速度を主パラメータにした鉄筋コンクリート造柱部材の実験に関する諸情報（試験体諸元、載荷条件、破壊モード、各種耐力値など）を抽出し、実験情報データベース（サンプル数202）を構築し、統計分析を行った。これにより、過去に実施されたR C造柱部材に間する動的載荷実験の動向を定量的に把握することができた。また、これらの分析結果を参考にしながら、次年度以降実施予定の動的載荷実験の計画を具体化した。

### (b) 業務の実施方法

#### 1) 鉄筋コンクリート造柱部材の動的載荷実験に関する既往研究の調査・分析

##### a) 既往文献調査

鉄筋コンクリート造柱部材の動的載荷実験に関する既往研究の動向を把握するために、表1に示した範囲で文献を収集・調査した。また、特に重要と考えられる文献については別途抄録集として取りまとめをおこなった。

表1 文献調査の範囲

日本建築学会大会学術講演梗概集	1978年以降
コンクリート工学年次講演会論文集	1983年以降
日本建築学会構造系論文集	1985年以降
土木学会論文集	1985年のみ
日本地震工学シンポジウム	1982年のみ
ACI Structural Journal	1990年以降

##### b) 実験情報データベースによる研究動向把握

収集した文献から、R C造柱部材に関する動的載荷実験の情報（試験体諸元、載荷方法、実験パラメータ、主要実験結果など）を読み取り、実験情報データベースを構築した。このデータベースを統計分析することで、既往実験の動向を可能な限り定量的に把握した。

#### 2) 鉄筋コンクリート部材の弾塑性解析モデルに関する既往研究の調査・分析

##### a) 既往文献調査

鉄筋コンクリート部材の弾塑性解析モデルに関する既往研究の動向を把握するために、前節と同様、表1に示した範囲で文献を収集・調査した。また、特に重要と考えられる文献については別途抄録集として取りまとめをおこなった。

##### b) 解析モデルの基本仕様策定

文献調査により得られた既往解析モデルを形式別に分類・整理した上で、当業務で開発すべき解析モデルの形式（基本仕様）の候補を抽出した。

3) R C 柱部材の動的載荷実験計画の策定

前項 1)および 2)で得られた既往研究の動向および使用予定実験機器の載荷能力等を考慮に入れながら、R C 柱部材の動的載荷実験の計画を策定した。

(c) 業務の成果

1) 鉄筋コンクリート造柱部材の動的載荷実験に関する既往研究の調査・分析

a) 既往文献調査結果（主な研究グループの研究動向）

・安達(日大)らの研究(AIJ構造系論文集：2編、JCI：1編、AIJ大会：10編)

安達らは、鉄筋コンクリート造柱部材の動的載荷実験及び振動台実験を行なっている。また、柱梁接合部についての動的載荷実験も行なっている。載荷速度が最大強度に及ぼす影響は、主筋の歪速度効果で説明できるとしている。また、軸力変動の大きな試験体では、歪速度による鉄筋の降伏強度上昇だけでなく、コンクリートの圧縮強度上昇についても考慮すべきであると指摘している。また、コンクリートのヤング係数が歪速度とともに上昇し、静的実験値より10～40%程度上昇すること、動的載荷により柱梁接合部のせん断余裕度が上昇し、接合部せん断破壊型から梁曲げ降伏型へ破壊モードが変化することなどを報告している。

・遠藤(電力中央研究所)らの研究(JCI：2編)

遠藤らは、補強筋比を実験変数とした柱部材の動的載荷実験を行なっている。最大強度の上昇率は、補強筋比が小さくせん断破壊型の試験体の方が顕著であること、歪速度が試験体のひび割れや破壊モードに及ぼす影響は少ないことを報告している。

・小谷(東京大学)らの研究(JCI：2編、AIJ大会：4編)

小谷らは、引張鉄筋比及び補強筋比を実験変数とした梁部材の動的載荷実験を行なっている。動的載荷時には全般に塑性率が低下するが、せん断補強筋を上昇させた試験体では塑性率が上昇したケースを報告している。

・最相(熊本大学)らの研究(AIJ構造系論文集：2編、JCI：1編、AIJ大会：3編)

最相らは、引張鉄筋比、載荷履歴、コンクリート強度、軸力を実験変数とした柱部材の動的載荷実験を行なっている。部材におよぼす載荷速度の影響は、載荷速度の値よりも累積塑性変形の値により支配されること、せん断補強した超高強度コンクリート(100N)柱は、普通コンクリート柱より良好な復元力を示すことなどを報告している。

・白都(東急建設)の研究(AIJ構造系論文集：1編、JCI：1編)

白都らは帯筋の端部を90度フックとした鉄筋コンクリート柱部材の動的載荷実験を行なっている。主筋に丸鋼を用いると、主筋の拔出しが卓越し、せん断破壊しないこと、端部を90度フックとした丸鋼帯筋では、大変形時においてせん断補強筋の効果が発揮されないことなどを報告している。

・藤本(神奈川大学)らの研究(AIJ構造系論文集：1編、AIJ大会：12編)

藤本(神奈川大学)らは、引張鉄筋比、せん断補強筋比、軸力比を実験変数とした鉄筋コンクリート柱部材の動的載荷実験を行なっている。動的載荷時の試験体の最大強度および最大強度時の変形は、静的載荷時よりも大きくなることなどを報告している。

・細矢(奥村組)らの研究(AIJ構造系論文集：3編)

細谷らは、引張鉄筋比、せん断補強筋比、軸力比を実験変数とした実験を行なっている。モーメント-曲率関係の初期剛性は、歪速度が大きいほど増大すること、歪速度によるせん断耐力と曲げ耐力の上昇率は異なるため、静的載荷時の関係から変化する可能性があることなどを述べている。

b) 実験情報データベースを利用した研究動向の把握

1) 分析対象

表 1 に示した調査範囲から選定した 19 の論文から実験情報を読み取り、実験情報データベースを構築した。サンプル数は、静的載荷試験体 95 体、動的載荷試験体 107 体で、合計 202 体である。1 ケースの静的載荷試験に対して複数ケースの動的載荷試験が対応する場合があるので、動的載荷試験体のほうがサンプル数が多い。

表 2 動的載荷試験体形式

片持ち加力試験体	50 体
単純支持加力試験体	35 体
逆対称加力試験体	22 体

2) 試験体仕様に関する調査結果

断面寸法

試験断面の「幅」および「せい」に関する頻度分布を図 1、図 2 にそれぞれ示す。いずれも 100~250mm 程度のサイズが多く、縮小試験体による実験が主体となっていることがわかる。

せん断スパン比

せん断スパンは 1 から 6 まで広範囲に分布しているが、最も多いのはせん断スパン比 2 の試験体である。

鉄筋量

主筋比は 1% 前後が最も多く (図 4)、せん断補強筋比は 0.6% 以下の範囲で多くの実験が行われている (図 5)。

3) 載荷条件に関する調査結果

試験体形式

試験体の形式別数量を表 2 に示す。片持

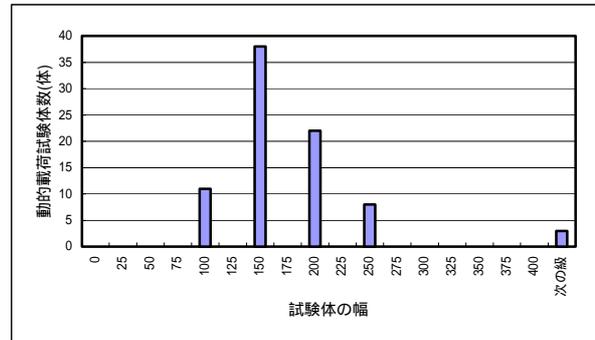


図 1 断面の幅

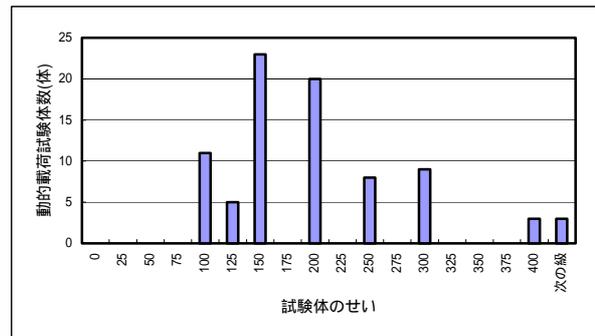


図 2 断面のせい

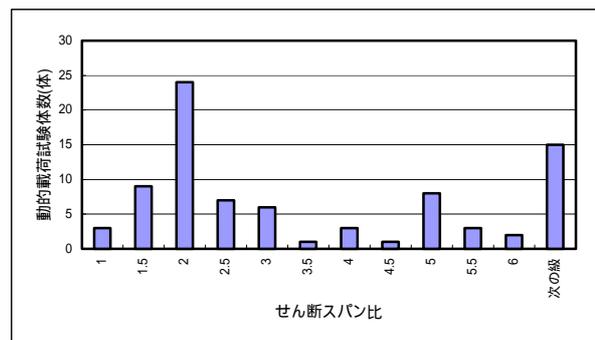


図 3 せん断スパン比

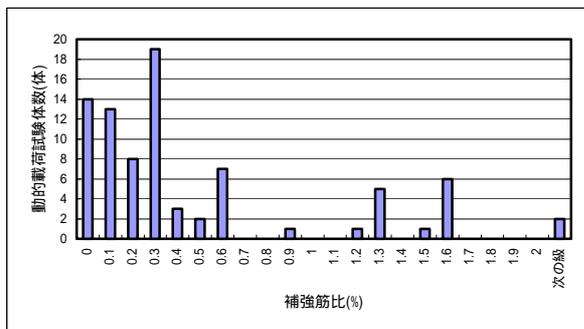


図 5 せん断補強筋比

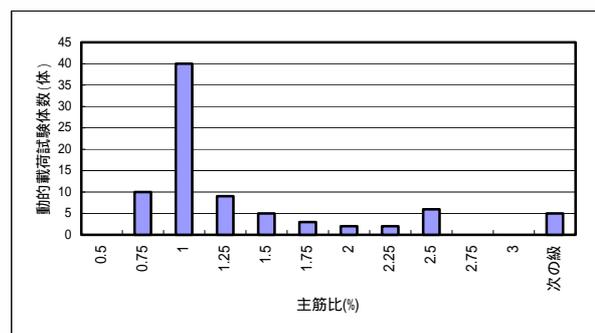


図 4 主筋比

ち加力試験体 50 体 (11 文献)、単純支持加

力試験体 35 体(4 文献)、逆対称加力試験体 22 体(4 文献)となっている。

#### 荷速度 (部材角速度)

荷点速度を部材高さで除したものを部材角速度とする。既往の実験では、ほとんどが 0.5rad/sec 程度以下である。なお、1rad/sec を超える実験も数例あるが、これらは橋脚を対象とした実験で、軸力は加えられていない。

#### 軸力比

既往の研究では、軸力比で 0~0.35 であり、分布は図 7 に示すとおりである。既往の実験では、梁 (軸力ゼロ) を対象とした試験体が圧倒的に多く、軸力を加えているものは合計しても 32 体と非常に少ない。軸力を加えた実験データの蓄積が望まれる。

### 二) 最大耐力に関する分析結果

#### 動的荷時と静的荷時の最大耐力の比較

動的荷では歪速度の影響を受けて鉄筋の降伏強度やコンクリート強度が上昇し、それに伴って部材の耐力も上昇するとされる。

荷速度、軸力の有無、せん断スパン比など最大耐力に及ぼす影響を無視し、単に曲げ降伏とせん断破壊及び破壊モードが変化した試験体の最大耐力について考察する。

文献調査により得られた静的荷時の最大耐力と動的荷時の最大耐力の関係を図 8 に示す。

動的荷により最大耐力が低下した試験体は、曲げ降伏した試験体 6 体、せん断破壊した試験体 1 体とごく少数であった。

曲げ破壊した試験体では平均 16.8%、せん断破壊した試験体では平均 22.9%、曲げ降伏からせん断破壊に破壊モードが変化した試験体では平均 24.9%、せん断破壊か

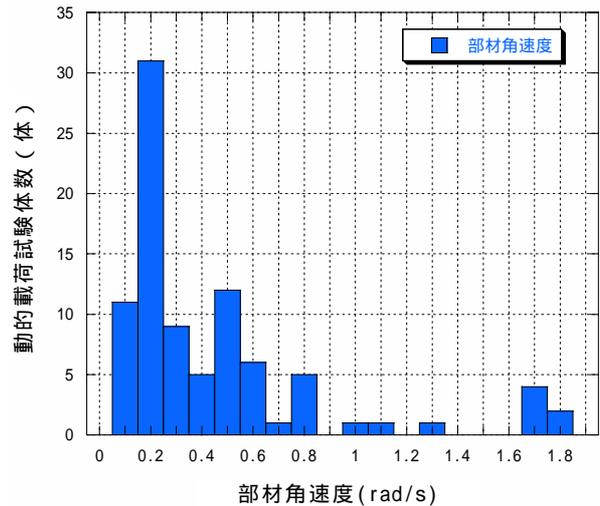


図 6 荷速度 (部材角速度)

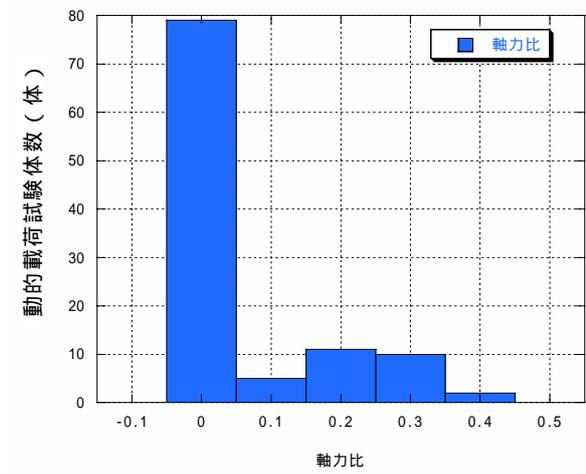


図 7 静的荷時の最大耐力

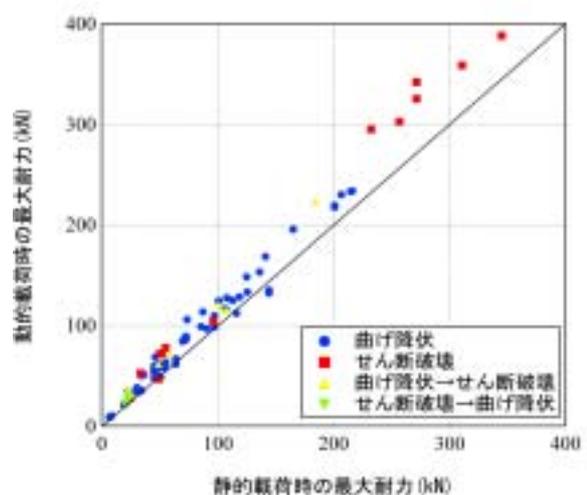


図 8 静的荷時と動的荷時の最大耐力の比較

ら曲げ降伏した試験体では平均 19.5%、それぞれ最大耐力が上昇していることがわかった。

#### 歪速度と最大耐力上昇率との関係

歪速度と耐力上昇率の関係を図 9 に示す。ここで、最大耐力上昇率とは動的載荷時の最大耐力を静的載荷時の最大耐力で除した値（百分率表示）である。図より、歪速度が大きくなるほど耐力上昇率が大きくなる傾向にあることがわかる。また、せん断破壊の場合の上昇率のほうが曲げ降伏の場合よりも高くなる傾向にあることがわかる。

動的載荷時に曲げ降伏したにもかかわらず、最大耐力が低下した（耐力上昇率が 1 以下となった）試験体については、危険断面の歪速度に間する報告が無く、詳細は不明である。

一方、部材角速度と最大耐力上昇率の関係を示したものが図 10 である。部材角速度 0.2rad/sec 程度でも最大約 140% 程度の明瞭な耐力上昇が確認されている。なお、最大耐力上昇率との相関は、歪速度のほうが強いようである。

#### せん断余裕度と耐力上昇率の関係

せん断余裕度と最大耐力上昇割合の関係を図 11 に示す。せん断余裕度が大きくなると、最大耐力の上昇率が小さくなる傾向が見られる。

なお、せん断余裕度は曲げ降伏耐力計算値に対するせん断耐力計算値の比である。ここで、曲げ降伏耐力計算値は、材料の実強度を用いてファイバーモデルを用いて計算した値であり、せん断耐力計算値は日本建築学会「靱性保証型耐震設計指針」のせん断耐力式より算定した値である。

#### 引張鉄筋比と耐力上昇率

引張鉄筋比と耐力上昇率の関係を図 12 に示す。引張鉄筋比が上昇すると、動的載荷による最大耐力の上昇率が低下する傾向があることがわかる。

#### せん断補強筋比と最大耐力上昇率の関係

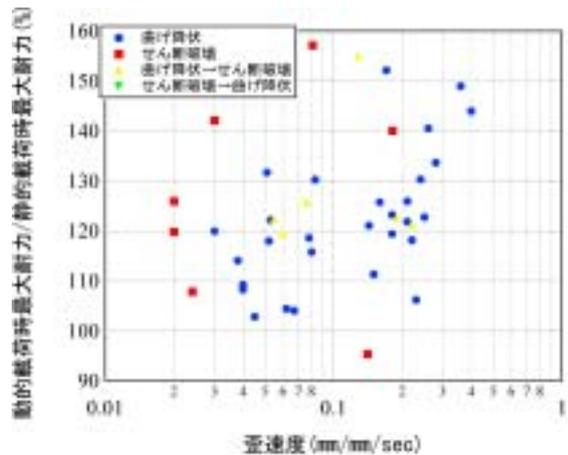


図 9 歪速度と最大耐力上昇率の関係

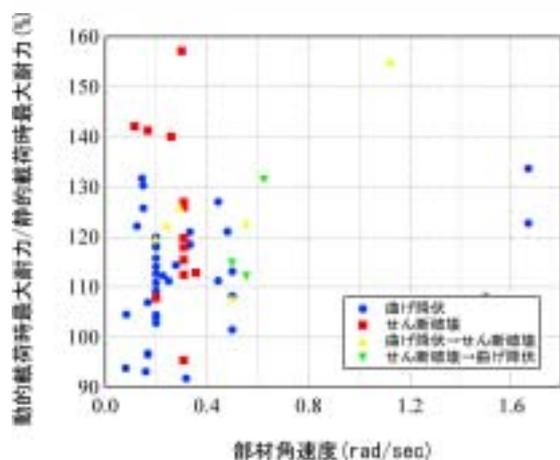


図 10 部材角速度と最大耐力上昇率の関係

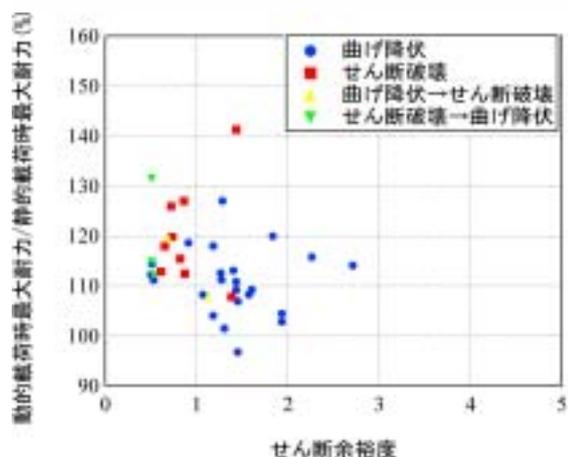


図 11 せん断余裕度と最大耐力上昇率の関係

せん断補強筋比と最大耐力上昇率の関係を図 1 3 に示す。せん断補強筋比が増加すると、最大耐力上昇率が低下していることがわかる。

せん断スパン比と最大耐力上昇率の関係

せん断スパン比と最大耐力上昇率の関係を図 1 4 に示す。動的な影響に関する明瞭な傾向は認められないようである。

#### ホ) 塑性率に関する分析結果

塑性率に関しては、一般に動的載荷のほうが静的載荷よりも低下する傾向があるとされている。ここでは、RC 部材の変形能力と関係が深いと考えられるいくつかの因子と塑性率低下の関係を分析する。

引張鉄筋比と塑性率低下の関係

引張鉄筋比と塑性率低下の関係を図 1 5 に示す。一体を除く全ての試験体で動的載荷のほうが塑性率が低下している。ただし、引張鉄筋比と塑性率低下の関係には強い相関は見られない。

せん断補強筋比と塑性率低下の関係

せん断補強筋比が小さくなるほど塑性率の低下が著しい。動的載荷時に塑性率が上昇している試験体を除いても、せん断補強筋比の上昇に伴って、塑性率の低下度合は小さくなっている。

せん断余裕度と塑性率低下の関係

せん断余裕度が小さくなるほど、動的載荷による塑性率の低下度合が大きくなるようである。

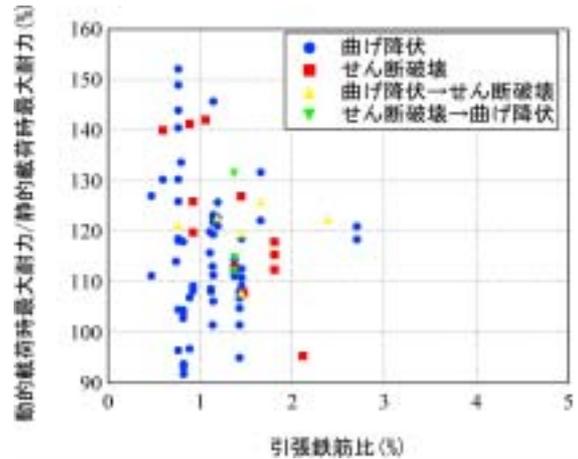


図 1 2 引張鉄筋比と最大耐力上昇率の関係

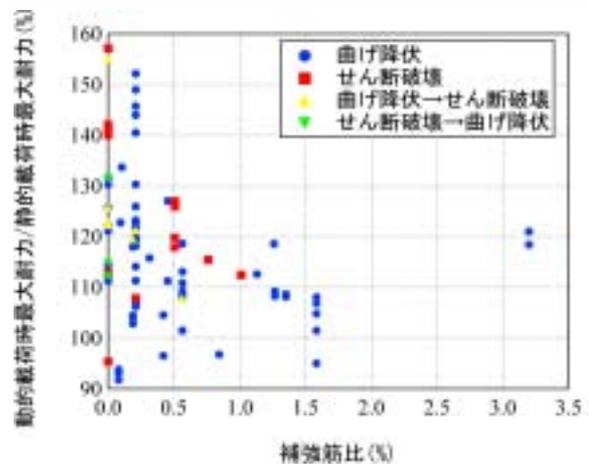


図 1 3 せん断補強筋比と最大耐力上昇率の関係

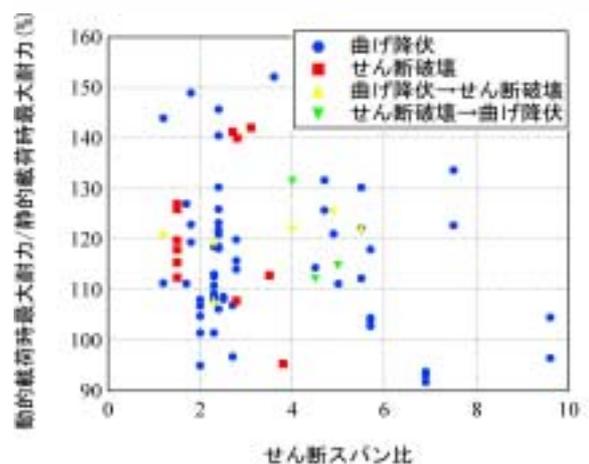


図 1 4 せん断スパン比と最大耐力上昇率の関係

#### ハ) まとめ

当分析の結果を、以下に総括する。

R C 柱部材を対象とした動的載荷実験は、これまで 100 組（静的載荷実験 + 1 以上の動的載荷実験の組み合わせ）近い実施例がある。このうち、建築構造を対象とした実験では、小規模な試験体での実験が多く、載荷速度は部材角速度換算で 0.5rad/sec 程度以下である。また、軸力を載荷しない実験が多く、軸力を加えながら行った実験は全体の 3 分の 1 程度と、サンプル数が非常に少ない。軸力を加えた実験データの蓄積が強く望まれる。

動的載荷により曲げ降伏した試験体の最大耐力上昇率は平均 16.8%、せん断破壊した試験体では平均 22.9%、破壊モードが曲げ（静的）からせん断（動的）に変化した試験体では平均 24.9%であった。全般的には、せん断破壊モードのほうが曲げ降伏モードより最大耐力上昇率が大きくなる傾向にある。

歪速度が大きいほど、最大耐力の上昇率も大きくなる。なお、歪速度と破壊モードの関係は明確ではない。

静的なせん断余裕度が大きい試験体ほど、動的載荷時の最大耐力上昇率は小さくなる。

引張鉄筋比及びせん断補強筋比が小さい試験体ほど、（動的載荷時の）最大耐力上昇率が大きくなる。

せん断補強筋比が大きい試験体ほど、動的載荷に伴う塑性率の低下は小さくなる。

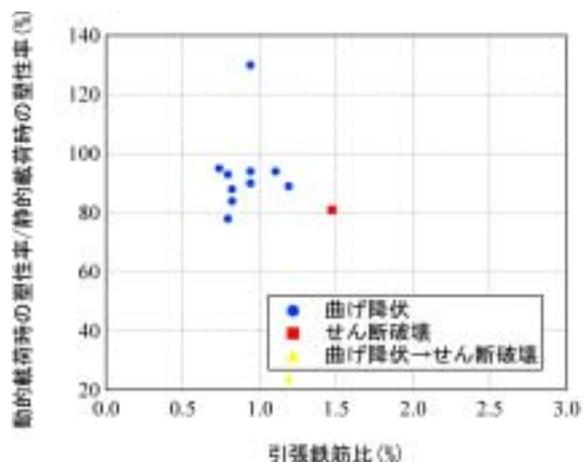


図 1 5 引張鉄筋比と塑性率低下の関係

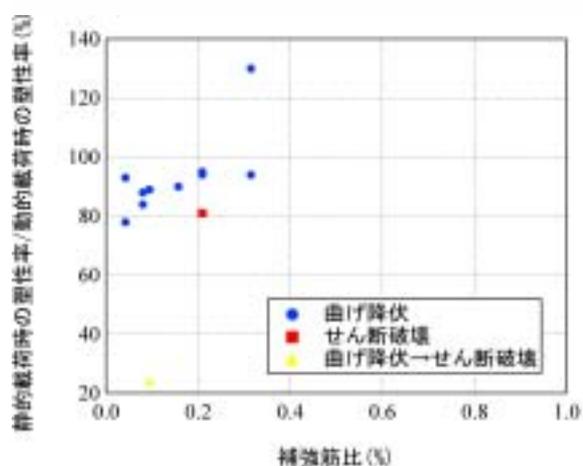


図 1 6 せん断補強筋比と塑性率低下の関係

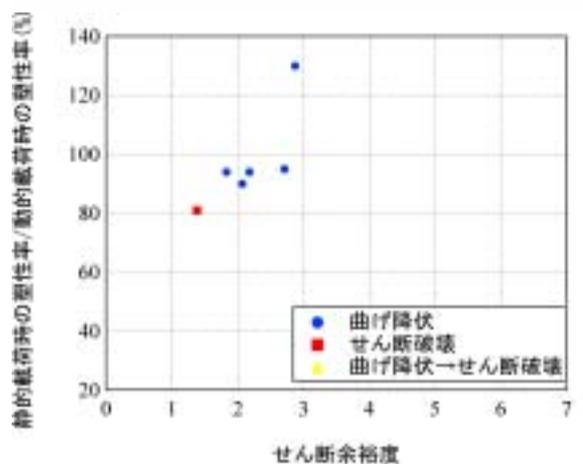


図 1 7 せん断余裕度と塑性率低下の関係

2) 鉄筋コンクリート部材の弾塑性解析モデルに関する既往研究の調査・分析

a) 既往文献調査結果

速度効果を考慮した解析を扱った論文は、17編と数が限定されている。報告されている解析法には、以下の3種類がある。

速度効果を考慮した材料構成則を用いた非線形有限要素解析

速度効果を考慮した材料の一軸応力 - ひずみ関係を用いた断面解析

部材の荷重 - 変形関係に速度効果を考慮した線材モデル解析

は、野口ら（文献 20）が行っている解析が唯一の例である。一軸応力下でのコンクリートの圧縮強度、弾性係数、引張強度と鉄筋の降伏強度を、歪速度の関数として表現し、これらを構成則に取り入れることで、速度効果を考慮した有限要素解析法を構築している。

の例として、細矢ら（文献 21）によるファイバーモデル解析と藤本ら（文献 22）による部材端ばねモデルがあげられる。細矢の解析では、曲率速度を各ファイバーのひずみ速度に換算し、コンクリートファイバーの圧縮強度と弾性係数、および鉄筋ファイバーの降伏強度をひずみ速度の関数として変動させる手法をとっている。藤本らは、部材端を複数の軸ばねで表現し、それぞれの軸ばねを2つのばねとダッシュポットから成る Maxwell モデルとすることで、速度効果を考慮した部材モデルを構築している。

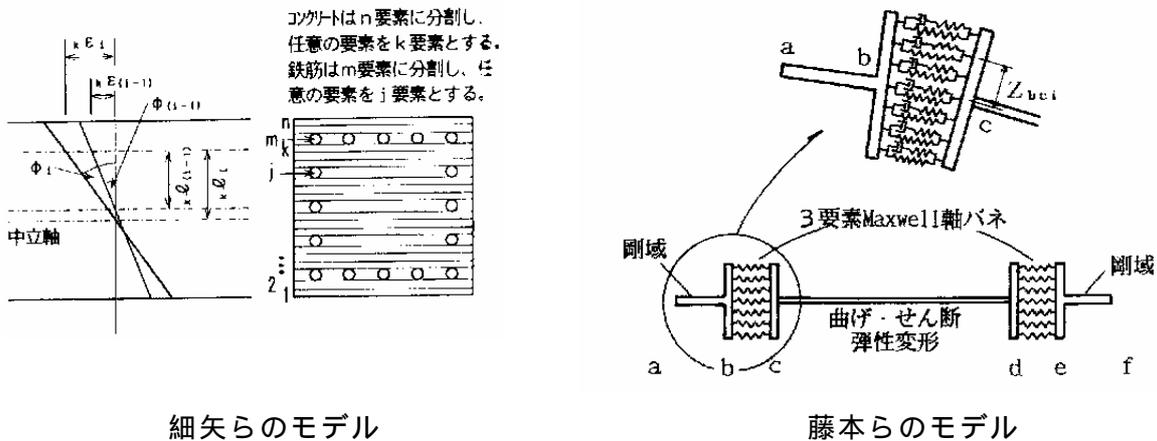


図 1 8 既往の解析モデル

に属するものとしては、睦好ら（文献 23）による曲げ降伏型の柱のモデル、兼近ら（文献 24）が提案したせん断破壊型の原子炉建屋耐震壁のモデル、最相ら（文献 25）が提案した曲げ降伏型の柱のモデルがある。睦好と兼近のモデルは、復元力特性を歪速度に応じて修正していくという手法を取り、最相の手法では、静的モデルと速度効果を考慮したモデルの関係を、塑性率と累積塑性率の関数として表現している。

## b) 解析モデルの基本仕様

フレーム架構の地震応答解析に適用するという観点から、前項で述べた既往の解析手法は、下記のように評価できる。

有限要素解析では、単にコンクリートの一軸モデルだけではなく、多軸応力下の構成モデルや、鉄筋とコンクリート間の付着モデルなどが必要であるが、これらに対する速度効果は全く判っていないので、有限要素解析による精度の高い速度効果を考慮した解析は容易ではないと思われる。また、有限要素解析は解析時間や要素数が多くなるため、計算機の機能が高度化した今日においても、建物全体の解析に使用することは現実的ではない。

ファイバーモデルや部材端ばねモデルは、線材モデルに比べれば計算時間がかかるが、建物規模が大きくなければ、地震応答解析に適用できる。また、速度効果が比較的よく分かっているコンクリートや鉄筋の一軸応力 - ひずみ関係を用いるので、部材実験に頼らないで手法を開発できるという利点がある。

部材レベルの荷重 - 変形関係を与える線材モデルは、建築構造物全体の解析に適しており、現在の建物の実設計における地震応答解析でも、この種のモデルが使用されている。ただし、速度効果を取り入れるには、静的モデルを修正する方法を考案し、実験結果に基づいてキャリブレーションすることが必要となる。

本研究では、これらの評価をふまえ、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ことを目標とする。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(文献26)を想定する。また、キャリブレーションのためには、本研究で行う実験だけでは十分でないため、既往の研究成果も可能な限り活用する。

### 3) R C 柱部材の動的載荷実験計画の策定

#### a) 目的

当実験は、歪速度効果を考慮した R C 造柱部材の三次元解析モデル（平成 16 年度に作成予定）の精度を検証するための基礎データを蓄積することを主目的に実施する。今回予定している実験は小規模で実験条件も限定的なものであり、R C 造柱部材の力学特性に及ぼす歪速度効果を網羅的に把握することは不可能である。そこで、ここでは「解析モデル検証のための高精度な実験データの蓄積」を主眼とした実験を行うものとする。

なお、この種の動的載荷実験に関しては、慣性力の発生に伴う荷重のあばれや、加力誤差拡大に伴う結果のばらつき、加力治具の粘性や摩擦抵抗に伴う計測荷重の誤差拡大など実験技術的にも課題が多く、過去の実験例との比較を通して実験方法や実験データの信頼性・精度を検証しておくことは非常に重要である。そこで、今回の実験では、既往の実験例の範囲を大きく逸脱しない範囲で実験の諸条件を設定し、過去の実験結果との比較・検討ができる余地を残すこととした。

#### b) 試験体および実験パラメータ

試験体(案)を図 19 に、実験パラメータを表 3 にそれぞれ示す。試験体数量は 6 体であり、実験パラメータは載荷速度と破壊モード(せん断スパン比の変化で実現)および軸力比である。載荷速度については、使用予定機器の載荷能力限界を考慮しながら水準を決定している。なお、柱断面寸法 ( $b \times D = 250 \times 250\text{mm}$ )、コンクリート強度 ( $F_c = 30\text{Mpa}$ )、主筋 (8 - D13、SD345) およびせん断補強筋 (2 - D6@50、SD295) に関しては全試験体共通とした。

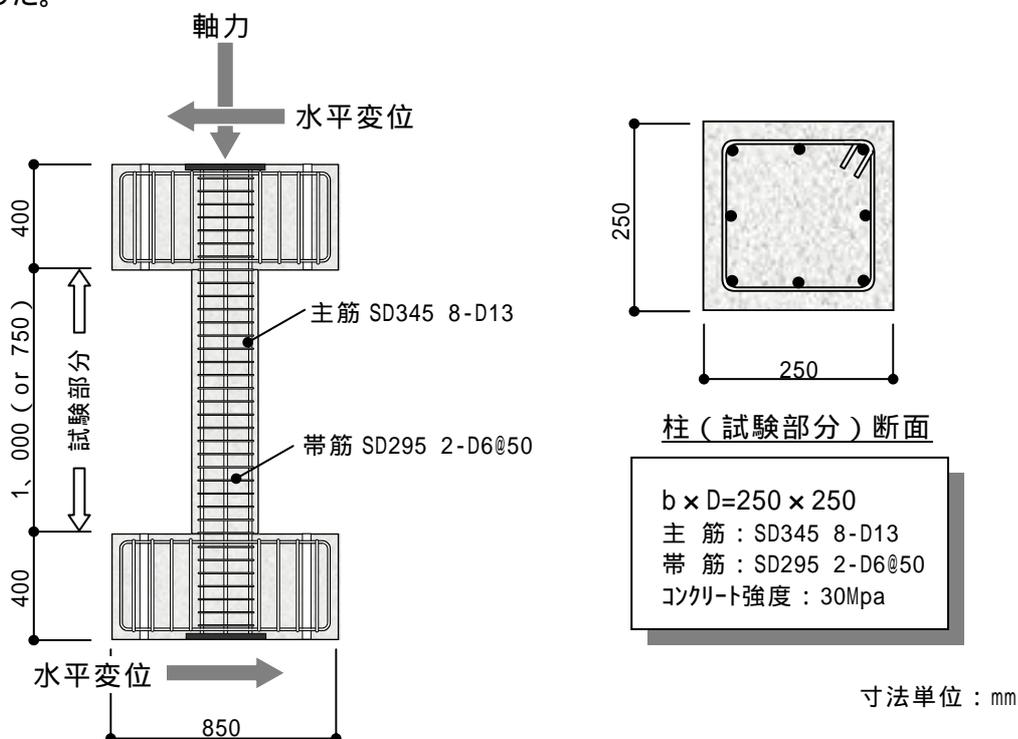


図 19 試験体

表3 試験体一覧

試験体名称	载荷速度 (rad/sec)	想定 破壊モード	せん断 スパン比	軸力比	断面
D 0 1	0.4	曲 げ	2	0	b × D = 250 × 250mm ・主筋：8-D13 ( $P_g=1.62\%$ ) ・帯筋：2-D6@50 ( $P_w=0.51\%$ ) ・Fc：30Mpa
D 0 2		曲 げ	2	0.3	
D 0 3		せん断	1.5	0.3	
S 0 1	0.004	曲 げ	2	0	
S 0 2		曲 げ	2	0.3	
S 0 3		せん断	1.5	0.3	

表4 試験体静的耐力計算結果

試験体名称	曲げ降伏耐力 ( A ) * 1	せん断耐力 ( B ) * 2	せん断余裕度 ( B / A )	破壊モード
D 0 1 S 0 1	70.3 kN	165.1 kN	2.35	曲 げ
D 0 2 S 0 2	143.0 kN	165.1 kN	1.15	曲 げ
D 0 3 S 0 3	190.6 kN	168.0 kN	0.88	せん断

\* 1 ファイバーモデルの断面解析結果による（平面保持仮定）。

\* 2 日本建築学会「靱性保証型耐震設計指針」のせん断耐力式による。

c) 加力方法

加力方法の概念図を図20に示す。今回の実験では、実架構での境界条件により近い形式として「逆対称加力形式」を採用する。具体的には、500kN動的アクチュエータ1基により水平スライド装置を介して動的な水平変位を試験体に与えると同時に、鉛直方向スライド装置を介して、000kN動的アクチュエータ2基（並列設置）により軸力を载荷する計画とした。

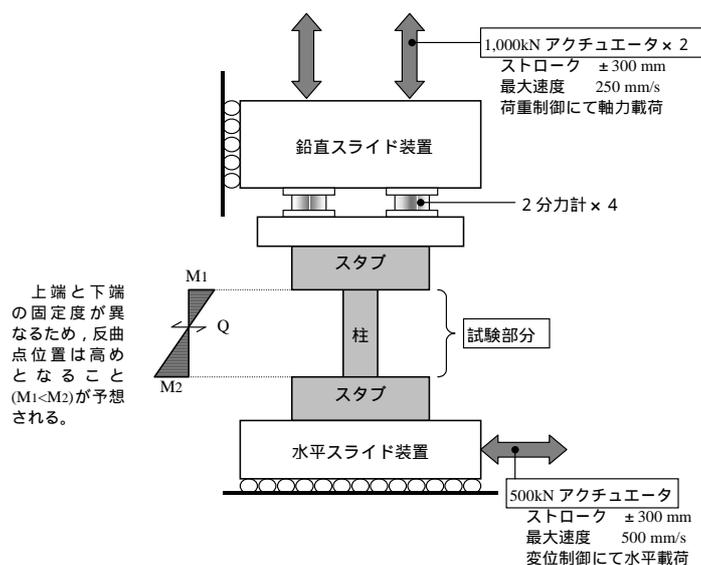


図20 加力概念図

#### d) 計測方法

計測項目は、試験体反力（不静定反力）、試験体変位および鉄筋歪である。今回、両端固定形式の載荷方法を採用している関係から、試験体端部には不静定反力が生じる。この不静定反力を正確に同定するために、試験体柱頭側に剛ブロックを介して2分力計を4基設置するものとした。これにより、柱頭側固定端に生じる曲げ・せん断力および軸力を正確に同定することが可能となる。試験体各部の動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する。また、3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する。これらを、図2-1に示す計測ブロックに従って、全点同時計測を行う。

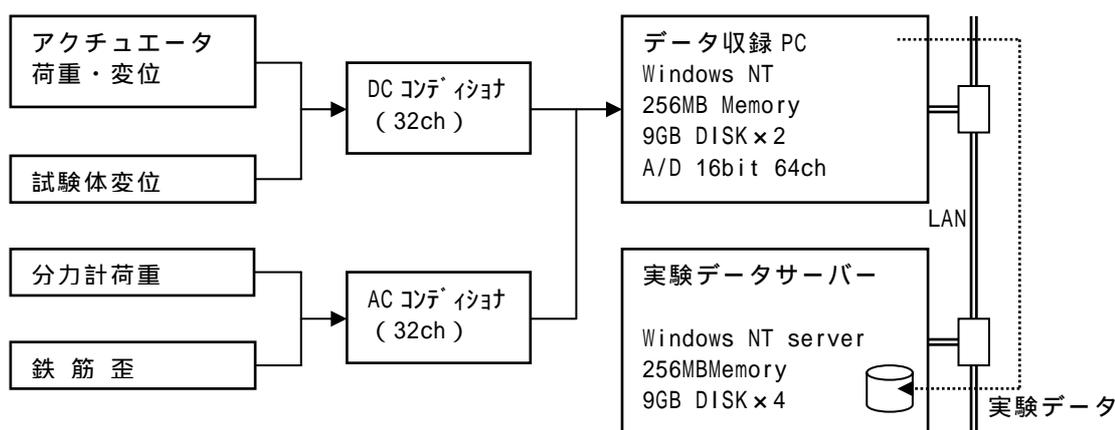


図 2-1 計測ブロック図

#### (d) 結論ならびに今後の課題

R C造柱部材の動的挙動研究分野における既往の知見を総括する目的で、過去に行われた「鉄筋コンクリート部材（主として柱）の動的載荷実験」および「鉄筋コンクリート部材の弾塑性解析モデル」に関する研究資料・論文を収集・分析した。この結果、100編余の文献を国内外から収集した。また、特に重要と思われる文献については内容を精査し、別途抄録集としてとりまとめを行った。

次に、収集した文献の中から、載荷速度を主パラメータにした鉄筋コンクリート造柱部材の実験に関する諸情報（試験体諸元、載荷条件、破壊モード、各種耐力値など）を抽出し、実験情報データベース（サンプル数 202）を構築し、統計分析を行った。これにより、過去に実施された R C 造柱部材に関する動的載荷実験の動向を定量的に把握することができた。また、これらの分析結果を参考にしながら、次年度以降実施予定の動的載荷実験の計画の具体化を進め、「逆対称加力試験体」を用いて「載荷速度」「破壊モード」「軸力比」の3因子を実験パラメータとすることを決定した。

さらに、当業務で開発すべき歪速度効果を表現できる三次元解析モデルの形式としては、「ファイバーモデル」と「線材モデル」の2形式を基本とすることを決定した。

以上により、今年度の業務目的は達成されたものとする。なお、今回計画した実験ケース数は限りがあり、多様な条件下での R C 柱部材の動的挙動を網羅的に把握するには到底至らない。当研究分野の発展のためにも、良質な動的載荷実験データの継続的な蓄積が強く望まれる。

(e) 引用文献

< 実験情報データベース構築に際して引用した文献リスト >

- 1) 金子貴司、小谷俊介、塩原等、「曲げ降伏後せん断破壊する鉄筋コンクリート梁部材の破壊性状におよぼす動的載荷の影響」、コンクリート工学年次講演論文、2001
- 2) 最上達雄、小林淳、「高速荷重を受ける鉄筋コンクリート梁の耐力と変形に関する実験的研究」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1579-1582、1978
- 3) 最上達雄、小林淳、「高速荷重を受ける鉄筋コンクリート梁の耐力と変形に関する実験的研究」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1293-1294、1979
- 4) 遠藤孝夫、加藤治、田辺忠顕、「動的な外力を受ける鉄筋コンクリート柱部材のせん断性状に関する研究」、コンクリート工学年次講演論文、pp.689-692、1984
- 5) 睦好宏史、町田篤彦、「動的荷重を受ける鉄筋コンクリート部材の力学的特性及び破壊性状」、コンクリート工学年次講演論文、pp.693-696、1984
- 6) 野村祥一、藤井栄、大上実、森田司郎、「鉄筋コンクリート柱の挙動に及ぼす載荷速度の影響」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.411-414、1986
- 7) 大上実、野村祥一、森本久雄、藤井栄、森田司郎、「動的水平荷重をうけるRC短柱の挙動」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.395-396、1985
- 8) 細谷博、岡田恒男、北川良和、中埜良昭、隈澤文俊、「地震時のひずみ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、1997.2
- 9) 前川健児、亀川隆史、望月洵、「高速・繰返し荷重を受けるRCフレームの劣化性状」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.785-786、1999
- 10) 金子洋、金子貴司、小谷俊介、塩原等、「せん断余裕度と載荷速度が鉄筋コンクリート部材の靱性に及ぼす影響」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.301-304、2002
- 11) 遠藤孝夫、加藤治、田辺忠顕、「鉄筋コンクリート柱部材の動的特性に関する研究」、コンクリート工学年次講演論文、pp.481-484、1983
- 12) 睦好宏史、町田篤彦、「動的な外力を受ける鉄筋コンクリート部材の力学的特性に関する研究」、土木学会論文集、pp.81-90、1985.2
- 13) 岩崎敏男、萩原良二、小山達彦、「鉄筋コンクリート橋脚の動的耐力に関する実験的研究」、地震工学シンポジウム梗概集、pp.785-791、1982
- 14) 睦好宏史、町田篤彦、「鉄筋コンクリート橋脚モデルの動的特性に関する研究」、地震工学シンポジウム梗概集、pp.793-799、1982
- 15) Shrikrishna M.Kulkarni、 Surendra p. Shah、「Response of Reinforced Concrete Beams at High Strain」、ACI Structural journal、pp.705-715、1998
- 16) 藤本盛久、市橋重勝、和田章、島崎和司、坂田弘安、「地震時に生じる層間変位速度を考慮した水平力を受ける鉄筋コンクリート柱に関する実験研究」、日本建築学会構造系論文集、pp.111-121、1992.12
- 17) 最相元雄、須田量哉、「超高強度コンクリート柱の動的復元力特性に関する実験的研究」、コンクリート工学年次講演論文、pp.975-980

- 18)最相元雄、早道大、後藤勝彦、「鉄筋コンクリート部材の復元力特性に及ぼす載荷速度効果に関する研究」、日本建築学会構造系論文集、pp.103-110、2002.12
- 19)門河直実、「動的荷重を受ける鉄筋コンクリート部材の復元力特性に関する実験的研究」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.685-686、1987

< 解析モデル関連の文献リスト >

- 20)田崎遼子、鈴木晶子、野口博、ひずみ速度が RC 柱の曲げせん断挙動に与える影響に関する解析的研究(その 1)材料特性のモデル化および RC 柱部材の FEM 解析の概要、日本建築学会学術講演梗概集、pp.787-788、1999
- 21)細矢 博、岡田恒男、北川良和、中埜良昭、隈澤文俊、ひずみ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、第 482 号、pp.83-92、1996.4
- 22)藤本盛久、和田章、木村雄一、3 要素 Maxwell モデルを用いた鉄筋コンクリート骨組みの地震応答解析、日本建築学会構造系論文集、第 399 号、pp.9-18、1989.5
- 23)睦好宏史、町田篤彦、鶴田和久、動的正負繰返し外力を受ける RC 部材の復元力特性と動的復元力モデル、第 7 回コンクリート工学年次講演会論文集、pp.345-348、1985
- 24)兼近稔、五十嵐克也、室井一夫、秋野金次、スケルトンカーブにひずみ速度の影響を考慮した原子炉建屋耐震壁の弾塑性地震応答解析法、日本建築学会構造系論文集第 495 号、pp.107-114、1997
- 25)最相元雄、須田量哉、杉本崇、古金俊郎、小早川昭生、変動軸力を受ける鉄筋コンクリート柱の復元力特性モデルに関する実験的研究(その 1)鉄筋コンクリート柱の動的載荷実験と復元力モデル、日本建築学会学術講演梗概集、pp.421-422、1998
- 26)磯崎浩、福澤英治、高橋元美、柱の変動軸力と 2 軸曲げを考慮した RC 造立体骨組の弾塑性地震応答解析(その 1. 解析法)、日本建築学会構造系論文報告集、441 号、1992.11

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 論文発表

著者	題名	発表先	発表年月日
なし			

2) 口頭発表、その他

発表者	題名	発表先、主催、発表場所	発表年月日
なし			

(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15年度業務計画案

#### (a) 平成15年度業務目的

大型動的アクチュエータを利用して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行い、軸力と動的水平力を同時に受ける鉄筋コンクリート造柱部材の弾塑性力学挙動に及ぼす歪速度効果解明に向けての基礎データを取得・分析する。また、解析モデル構築に向けての課題及び留意点を抽出・整理する。

#### (b) 実施方法

##### 1) RC造柱部材を対象とした動的載荷実験の実施

(計画詳細については平成14年度の成果(c)の3)参照)

##### a) 試験体および実験パラメータ

断面形状 250×250mmのRC造柱試験体を6体製作し実験を行う。実験パラメータは「載荷速度(動的・静的)」、「破壊モード(曲げ・せん断)」および「軸力比(0.0.3)」とする。

##### b) 加力方法

500kN動的アクチュエータ1基により水平方向にスライド可能な加力治具を介して動的な水平変位を試験体に与える。同時に、鉛直方向にスライド可能な加力治具を介して1,000kN動的アクチュエータ2基により試験体に軸力を載荷する。これにより、動的逆対称加力を行う。

##### c) 計測方法

主な計測項目は、試験体反力(不静定反力)、試験体変位および鉄筋歪である。試験体端部の不静定反力に関しては、2分力計4基を試験体柱頭側に剛ブロックを介して設置することにより、柱頭側固定端に生じる曲げ・せん断力および軸力を同定する。試験体各部の動的変位は作動トランス型変位計にて、鉄筋の歪は一般的なワイヤーストレインゲージ(WSG)によりそれぞれ計測する。この他に、3基の動的アクチュエータの荷重と変位(ストローク)を、内蔵センサによって計測する。

#### 2) 解析モデル構築に向けての課題及び留意点の抽出・整理

動的載荷実験で得られた実験データの分析を通して、解析モデル構築に際しての課題及び留意点を抽出・整理する。

### 3) 実施工程

表 5 平成 15 年度業務の実施工程

年 月	2003 年								2004 年			
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
実験準備	■											
実験実施						■						
実験結果の分析と 課題の整理								■				
報告書作成										■		

#### (c) 目標とする成果

R C 造柱部材の三次元弾塑性解析モデル（平成 16 年度開発予定）の有効性を定量的に検証するための、高精度な動的載荷実験データの蓄積が期待される。また、実験データの分析を通して解析モデル構築に向けての課題及び留意点が抽出・整理される。

なお、今回計画した実験のケース数には限りがあるため、多様な条件下での R C 柱部材の動的挙動を網羅的に把握するには到底至らない。当研究分野の発展のためにも、良質な動的載荷実験データの継続的な蓄積が強く望まれる。