

3.2.6 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 16 年度業務目的

(2) 平成 16 年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
 - 1) はじめに
 - 2) 解析手法
 - 3) シミュレーション解析
 - 4) 歪速度による部材中の材料強度の上昇
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表
- (f) 特許出願・ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成 14 ～ 16 年度業務のまとめ

(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（株）技術研究所 建築構造グループ	グループリーダー	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（株） 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力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、既往の水平二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解析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：既往研究の調査を行った結果、柱を対象とする研究が少ないこと、破壊形式や変形能力に対する歪速度の影響が不明であること、繰り返し載荷に対応する解析モデルがないことが分かった。これより、柱を対象とする構造実験の実施と繰り返し載荷に対する弾塑性解析モデルの開発を目標として定め、実験計画を立案した。
- 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を実施し、歪速度効果によって曲げおよびせん断強度は上昇するが、破壊形式や変形能力は変わらないことが分かった。
- 3) 平成16年度：歪速度を考慮できる解析モデルを構築し、プログラミングする。これを用いて平成15年度の実験結果のシミュレーション解析を行い、解析モデルの検証を行う。

(e) 平成16年度業務目的

歪速度効果を考慮した鉄筋コンクリート造柱部材の弾塑性解析モデルを構築し、コンピュータプログラミングを行う。さらに、開発したプログラムを用いて平成15年度に行った構造実験のシミュレーション解析を行い、解析法の妥当性を検証する。

(2) 平成 16 年度の成果

(a) 業務の要約

鉄筋コンクリート造柱部材の弾塑性解析モデルとして用いられている「ファイバーモデル」の材料構成則に歪速度の影響を取り入れることにより、任意の動的荷重を受ける柱部材の荷重 - 変形関係や応力度、歪を計算できる解析モデルを開発し、コンピュータプログラミングした。

この解析プログラムを用いて、平成 15 年度に行った、載荷速度と軸力比を実験変数とした実験のシミュレーション解析を行ったところ、部材角が 0.02rad. の繰返しまで、実験結果を再現する解析結果が得られた。

(b) 業務の成果

1) はじめに

鉄筋コンクリート造柱部材では、歪速度の影響により、曲げ降伏強度や最大強度が上昇することが既往の研究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、共通認識を得るにいたっていない。また、歪速度効果を考慮した解析はいくつか行われているものの、単調載荷を対象としたものばかりであり、地震時に部材が経験するような繰返し載荷に対応できる解析手法は開発されていない。

そこで、平成 15 年度に、鉄筋コンクリート造柱部材を対象とした動的および静的載荷実験を行い、破壊形式や変形能力およびエネルギー吸収能力に対する歪速度の影響を把握した。今期は、繰返し載荷に対応できる歪速度効果を考慮した弾塑性解析モデルを開発し、上記実験のシミュレーション解析によって妥当性を検証した。

2) 解析手法

a) 概要

ここで開発するモデルは、いわゆる「ファイバーモデル」である。このモデルでは、断面を複数の要素に分割し、断面の曲率と軸方向歪から断面の平面保持を仮定して個々の要素の歪を求める。材料の一軸応力度 - 歪関係を用いてその歪に対応する要素の応力度を求め、これを積分して断面の軸力および曲げモーメントを計算する。部材の変形は、長さ方向に曲率を積分する方法で算定する。

b) 断面の要素分割

断面は図 1 のような長方形とする。コンクリートは長方形の小要素に分割し、主筋は実際の位置に配置する。材料の応力 - 歪関係に横補強筋による拘束効果を取り入れるために、コンクリートは

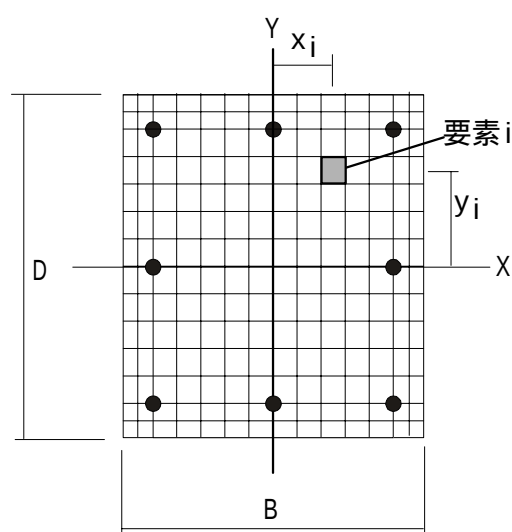


図 1 断面の要素分割

横補強筋に囲まれたコア部分と、その外側の被り部分に区分けする。

c) 材料の応力度 - 歪関係

) コンクリート

コンクリートの応力度 - 歪関係は図 2 に示すものとする。

圧縮領域

圧縮強度まで

$$\sigma = \sigma_B \left\{ 1 - \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^\alpha \right\} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{E_C}{\sigma_B / \varepsilon_0} \quad (2)$$

圧縮強度以降

$$\sigma = \sigma_B \frac{A \cdot X + (D-1) \cdot X^2}{1 + (A-2) \cdot X + D \cdot X^2} \quad (3)$$

$$X = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \quad (4)$$

$$A = \frac{E_C \varepsilon_0}{\sigma_B} \quad (5)$$

$$D = 1.5 - 0.00168 \sigma_B + 0.5 \sqrt{\frac{(K-1) \sigma_B}{23}} \quad (6)$$

(単位は kgf/cm²)

コア部分のコンクリートの圧縮強度および圧縮強度時の歪には、横補強筋による拘束効果を考慮する。拘束コンクリートの圧縮強度とそのときの歪は崎野の提案¹⁾により計算する。 K は拘束コンクリートとプレーンコンクリートの強度比。その他の記号の意味は、図 2 を参照。

引張り領域については、引張り強度まで弾性で、それ以後、応力度がゼロになるまで直線で応力度が低下するものとする。

) 鉄筋

鉄筋の応力度 - 歪関係は、図 3 に示す Fillipou のモデル²⁾とする。繰返しに対しては、次式を用いている。

$$\sigma^* = \frac{1 - \exp(-\lambda \varepsilon^*)}{1 - \exp(-\lambda)} \quad (7)$$

$$\sigma^* = \sigma - \sigma_S \quad (8)$$

$$\varepsilon^* = \varepsilon - \varepsilon_S \quad (9)$$

$$\frac{\lambda}{1 - \exp(-\lambda)} = E_S \frac{\varepsilon_E - \varepsilon_S}{\sigma_E - \sigma_S} \quad (10)$$

記号の意味は、図 3 を参照。

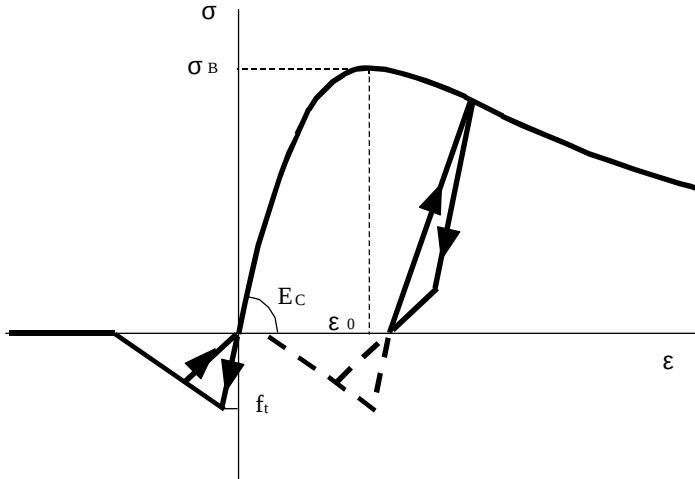


図 2 コンクリートの応力度 - 歪関係

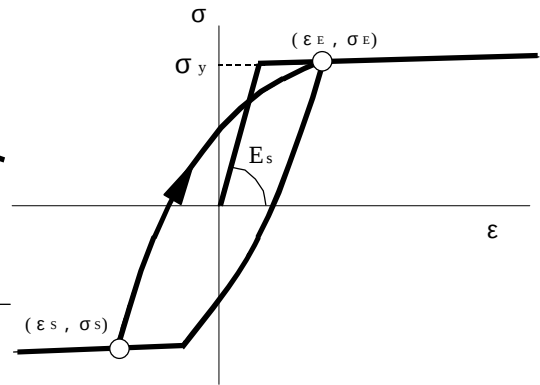


図 3 鉄筋の応力度 - 歪関係

d) 断面の曲率・軸方向歪と軸力・曲げモーメントの関係

断面 j の曲率・軸方向歪と軸力・曲げモーメントの関係は、次のように増分形式で表現できる。

$$\begin{Bmatrix} \Delta N_j \\ \Delta M_{Xj} \\ \Delta M_{Yj} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum E_i A_i & \sum E_i y_i A_i & \sum E_i x_i A_i \\ \sum E_i y_i^2 A_i & \sum E_i x_i y_i A_i & \sum E_i x_i^2 A_i \\ \text{sym} & & \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta \varepsilon_0 \\ \Delta \phi_X \\ \Delta \phi_Y \end{Bmatrix} \quad (11)$$

ここで、 N_j ：断面 j の軸力、 M_{Xj} ：断面 j の X 軸周りの曲げモーメント、 M_{Yj} ：断面 j の Y 軸周りの曲げモーメント、 E_i ：要素 i の応力度 - 歪関係の接線剛性、 A_i ：要素 i の面積、 ε_0 ：断面中心の軸方向歪、 ϕ_X ：断面の X 軸周りの曲率、 ϕ_Y ：断面の Y 軸周りの曲率、 Δ は増分を表す。

これを、次式で表す。

$$\{\Delta M_j\} = [D_j] \{\Delta \phi_j\} \quad (12)$$

e) 変形の計算

図 4 のように、断面の曲率・軸方向歪を 4 つの断面で算定する。両端の断面 1 と 4 は、後述するスタブからの主筋の抜け出し変形を計算するためのものである。内側の断面 2 と 3 は、部材の危険断面位置に設定する。

これらの断面における曲率を用いて、図 4 のように部材軸方向の曲率を設定する。断面 2 および 3 の内側には、ヒンジ領域を想定した曲率一定の領域を設定する。ヒンジ領域の長さは塑性化の程度によって異なることから、次式で設定する。

$$l_h = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} D \leq D \quad (13)$$

ここで、 ε ：危険断面における主筋の引張り歪、 ε_y ：主筋の降伏歪、 D ：部材せい

図 4 の曲率を材軸方向に 2 回積分することにより、曲げ変形と抜け出し変形を計算する

ことができ、部材端 A の変形角 τ_{XA}, τ_{YA} 、部材端 B の変形角 τ_{XB}, τ_{YB} 、伸び δ と、各断面の曲率との関係を求めることができる。これを、次式で表現する。

$$[\tau_{XA} \ \tau_{YA} \ \tau_{XB} \ \tau_{YB} \ \delta] = [K][\{\phi_1\} \cdots \{\phi_4\}] \quad (14)$$

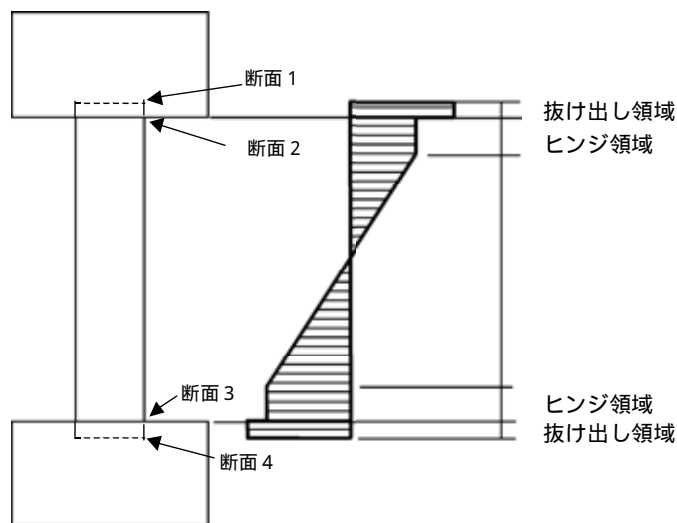


図4 材軸方向の曲率分布の仮定

f) 部材の荷重と変形の関係

危険断面における荷重と、部材端 A に作用するモーメント M_{XA}, M_{YA} 、部材端 B に作用するモーメント M_{XB}, M_{YB} 、軸力 N との関係は次式で表現できる。

$$[\{M_1\} \cdots \{M_4\}] = [T][M_{XA} \ M_{YA} \ M_{XB} \ M_{YB} \ N] \quad (15)$$

したがって、部材端の荷重と曲げ変形および抜け出し変形の関係は、次式で表すことができる。

$$[\Delta\tau_{XA} \ \Delta\tau_{YA} \ \Delta\tau_{XB} \ \Delta\tau_{YB} \ \Delta\delta] = [K][D]^{-1}[T][\Delta M_{XA} \ \Delta M_{YA} \ \Delta M_{XB} \ \Delta M_{YB} \ \Delta N] \quad (16)$$

$$[D] = \begin{bmatrix} [D_1] & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & [D_4] \end{bmatrix} \quad (17)$$

g) 抜け出し変形

主筋の荷重とスタブからの抜け出し量の関係を図5のように設定する。本モデルでは、計算の便宜上、この抜け出しが図4に示した領域 および で生じると仮定する。このため、図5の横軸を領域 あるいは の長さで、縦軸を主筋の断面積でそれぞれ除したものを断面1および4の主筋の応力度 - 歪関係として用いる。

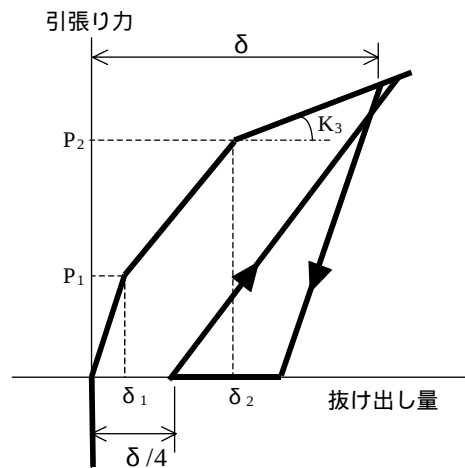


図5 鉄筋の引張り力 - 抜け出し量関係

h) セン断変形

曲げ変形と抜け出し変形にせん断変形を加える。せん断力とせん断変形の関係は、図 6 のように仮定する。

$$\text{弾性剛性} \quad K_1 = \kappa GA \quad (18)$$

$$\text{第一折れ点強度（ひび割れ発生）} \quad Q_1 = A \cdot \sqrt{f_t(f_t + \sigma_0)} \quad (19)$$

ここで、 κ ：形状係数、 G ：コンクリートのせん断弾性係数、 A ：断面積、 f_t ：コンクリートの引張り強度、 σ_0 ：軸方向応力度。

ひび割れ発生後は、図 7 のように、トラス機構が形成されてせん断力に抵抗すると仮定する。変形は、横補強筋は伸びずコンクリートストラットが縮むモードの変形と、コンクリートストラットは変形せず横補強筋が伸びるモードによる変形との和とする。

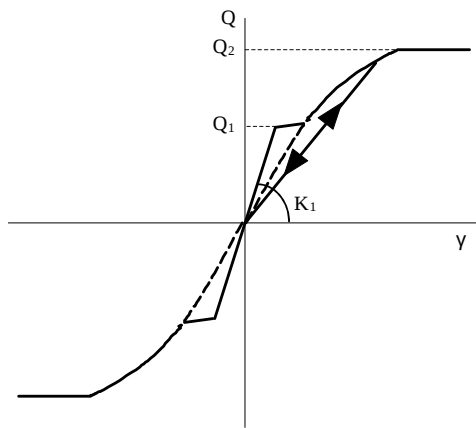


図 6 セン断力 - セン断変形関係

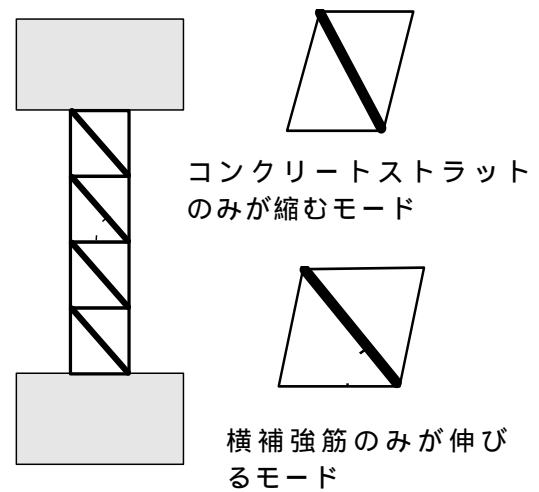


図 7 セン断変形のモード

i) 歪速度効果の導入

増分解析において、(i) ステップでの断面の曲率および図心の軸方向歪と (i - 1) ステップでの断面の曲率および軸方向歪の差を、それぞれ曲率増分 $\Delta \varphi_x$ 、 $\Delta \varphi_y$ および軸方向歪増分 $\Delta \varepsilon_0$ とする。

これらからファイバー要素の歪増分を求め、それを時間刻みで除したものをその要素の歪速度 $\dot{\varepsilon}$ とする。

コンクリートの圧縮強度、ヤング係数、鉄筋の降伏強度に歪速度効果を取り入れる。歪速度を考慮した値は、細矢の提案式³⁾によって求める。

$${}_d\sigma_B = {}_s\sigma_B \cdot (0.06 \cdot \log|\dot{\varepsilon}| + 0.94) \geq {}_s\sigma_B \quad (20)$$

$${}_dE_C = {}_sE_C \cdot (0.02 \cdot \log|\dot{\varepsilon}| + 0.98) \geq {}_sE_C \quad (21)$$

$${}_d\sigma_y = {}_s\sigma_y \cdot (0.05 \cdot \log|\dot{\varepsilon}| + 0.90) \geq {}_s\sigma_y \quad (22)$$

ここで、 σ_B ：コンクリートの圧縮強度、 E_C ：コンクリートのヤング係数、 σ_y ：鉄筋の降伏強度、 $\dot{\varepsilon}$ ：歪速度 (μ/sec) で、添え字“d”と“s”はそれぞれ動的載荷時と静的載荷時を表す。

現ステップでの歪はそのままとし、コンクリートの圧縮強度とヤング係数、鉄筋の降伏

強度に上記で求めた値を用いた応力度 - 歪関係から応力度を求める。

j) 不釣り合い力の解除

本解析法では、以下の二つの原因による不釣り合い力が発生する。

材料の応力度 - 歪関係は曲線であるが、計算では接線剛性を用いているため。

歪速度に応じて、材料の応力度 - 歪関係を変動させるため。

これらの不釣り合い力は、次ステップに進む時に次のように解除する。

接線剛性を用いた増分解析により求めた断面力の増分を $(i - 1)$ ステップで求めた断面力に加えた値を求める。これを $\{_1M\}$ とする。

増分解析より求めた断面の曲率と図心の歪より断面要素の歪を求める。これに対応する応力を、歪速度を考慮した応力度 - 歪関係から算定し、これを積分して断面力を求める。これを $\{_2M\}$ とする。

$\{_2M\} - \{_1M\}$ が不釣り合い力に相当するので、次ステップでこれを各断面に外力として加える。

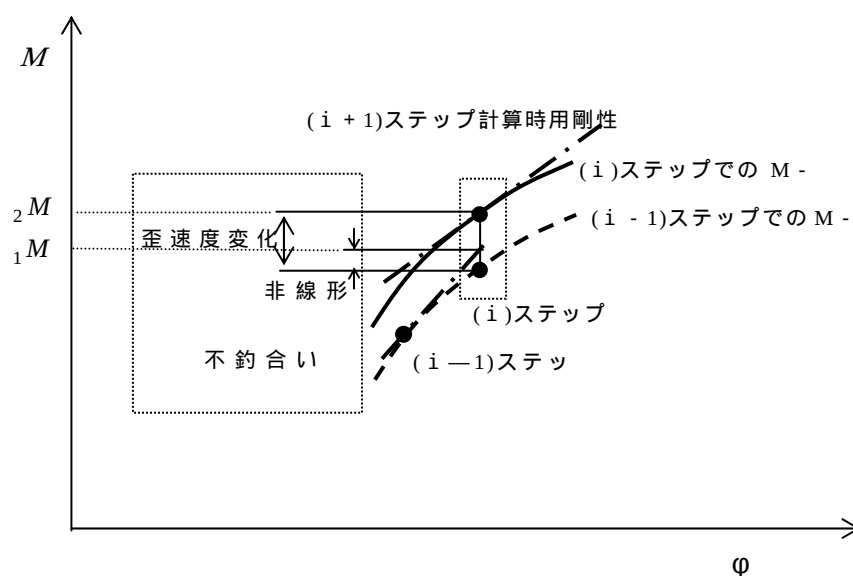
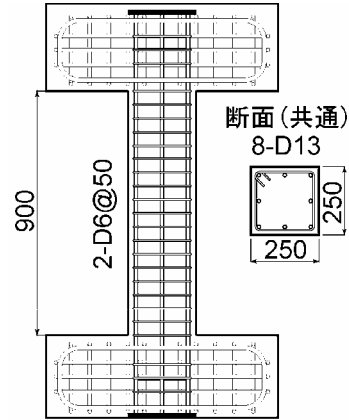


図 8 不釣り合い力

3) シミュレーション解析

a) 対象

平成 15 年度に行った実験試験体 8 体の内、曲げ破壊型を想定した 6 体を解析対象とする。試験体は、表 1 および図 9 に示すように試験区間の両端に加力用スタブを持つ縮尺 1/3 の模型である。試験体の断面は 250mm × 250mm、主筋は 8-D13 である。2 体を一組として一体に動的加力、もう一体に静的加力を行った。組間の違いは軸力の大きさであり、



せん断スパン比=1.8
図 9 解析対象試験体

表 1 解析対象試験体一覧

試験体名	軸力比	水平力
D-1	0.1	動的
S-1		静的
D-2	0.3	動的
S-2		静的
D-4	0.3 ± 0.2	動的
S-4		静的

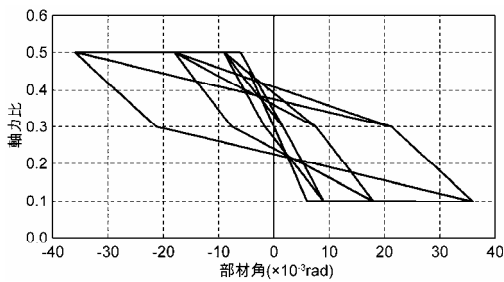


図 10 D-4、S-4 の変動軸力

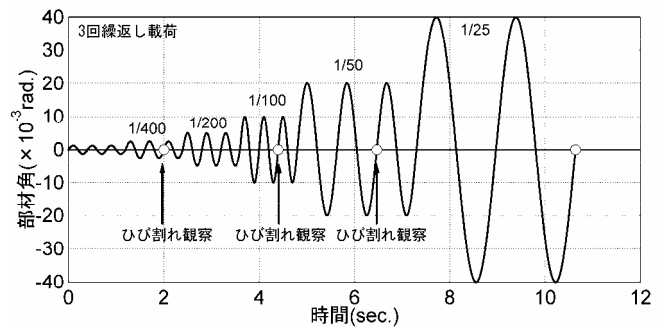


図 11 部材角の履歴

(D-1、S-1) と (D-2、S-2) にはそれぞれ軸方向応力度が $0.1F_c$ および $0.3F_c$ ($F_c=27.2\text{N/mm}^2$) の一定軸力を、(D-4、S-4) には図 10 のような部材角に連動する変動軸力を加えた。与えた部材角の履歴は図 11 のようなものである。動的载荷波形は、部材角 0.01rad までは振動数 (2.5Hz) 一定で、部材角 0.01rad 以上では速度 (0.1rad/sec) 一定とした。この速度は、6 層建物が 150cm/s 程度で振動した状況を想定している。

b) 解析モデルの断面分割および定数

断面は、図 1 のように分割した。ただし、図 1 で $B=D$ としている。

コンクリートと鉄筋の機械的特性は、実験時の材料試験結果を基に、次のように設定した。記号は、図 2、図 3 を参照。

かぶりコンクリート	$\sigma_B = 30\text{N/mm}^2$	$\varepsilon_0 = 0.0025$	$E_C = 27\text{kN/mm}^2$	$f_t = 3\text{N/mm}^2$
コアコンクリート	$\sigma_B = 33\text{N/mm}^2$	$\varepsilon_0 = 0.0030$	$E_C = 27\text{kN/mm}^2$	$f_t = 3\text{N/mm}^2$
鉄筋	$\sigma_y = 390\text{N/mm}^2$	$E_S = 210\text{kN/mm}^2$		

主筋の引張り力 - 抜け出し量関係は、次のように設定した。 F_{c48} コンクリートに埋め込んだ D41 鉄筋を引張る FEM 解析⁴⁾より得られた引張り力 - 抜け出し量関係を模式化して、図 5 のような引張り力 - 抜け出し変形関係が得られている。これを今回の試験体で用いた F_{c30} のコンクリートと D13 鉄筋に用いるために、縦軸を D13 と D41 の周長の比で低減し、さらに $\sqrt{F_c}$ の比で低減した。図 5 の特性値は以下の通りである。

$$P_1 = 53\text{kN} \quad P_2 = 123\text{kN} \quad \delta_1 = 0.15\text{mm} \quad \delta_2 = 0.64\text{mm} \quad K_3 = 11.3\text{kN/mm}$$

c) 載荷方法

実験で得られた軸力と水平変位履歴波形をそのまま入力した。動的載荷では、時間刻みは 0.002sec である。

d) 解析結果と実験結果の比較

）降伏強度と最大強度

図 12 に、降伏強度と最大強度の実験値に対する計算値の比を示す。比は 0.945 ~ 1.17 の範囲にあり、解析結果は実験結果と良好に対応している。

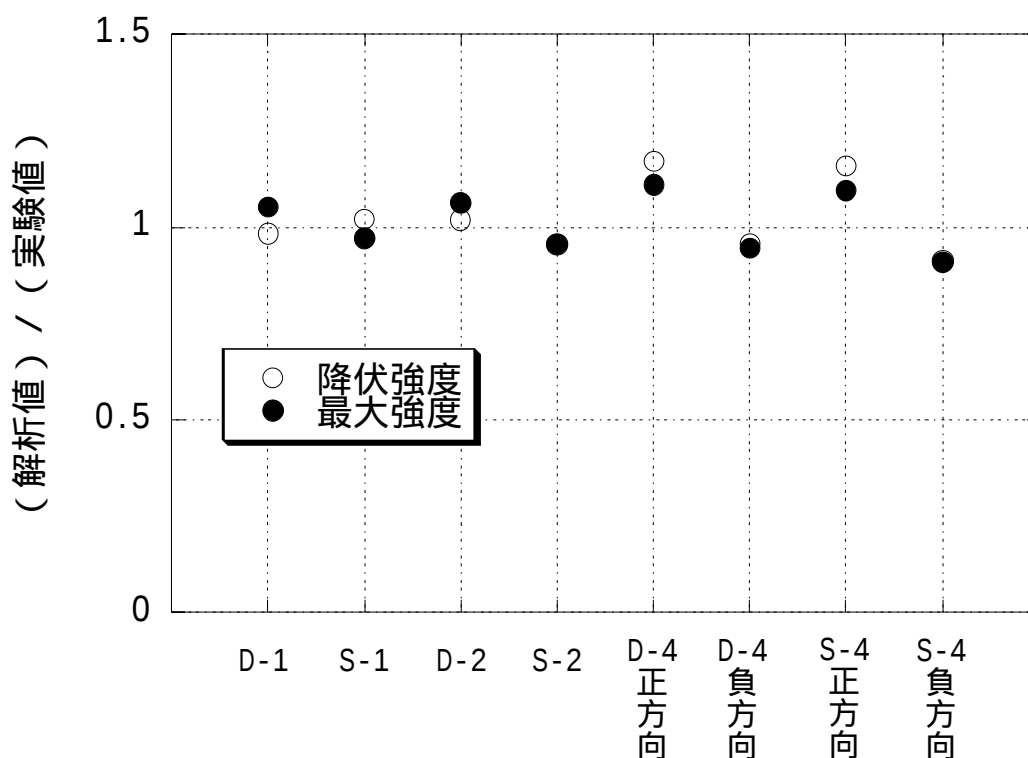


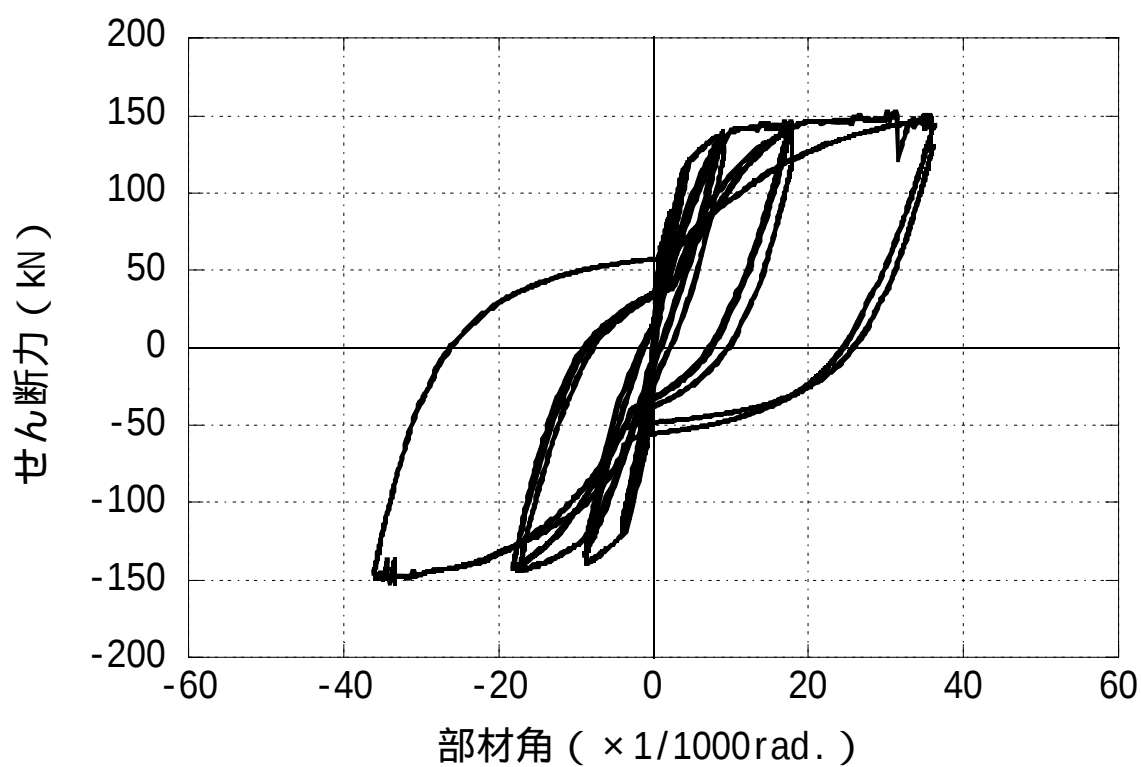
図 12 降伏強度と最大強度（実験値と解析値の比較）

）水平力 - 水平変形関係

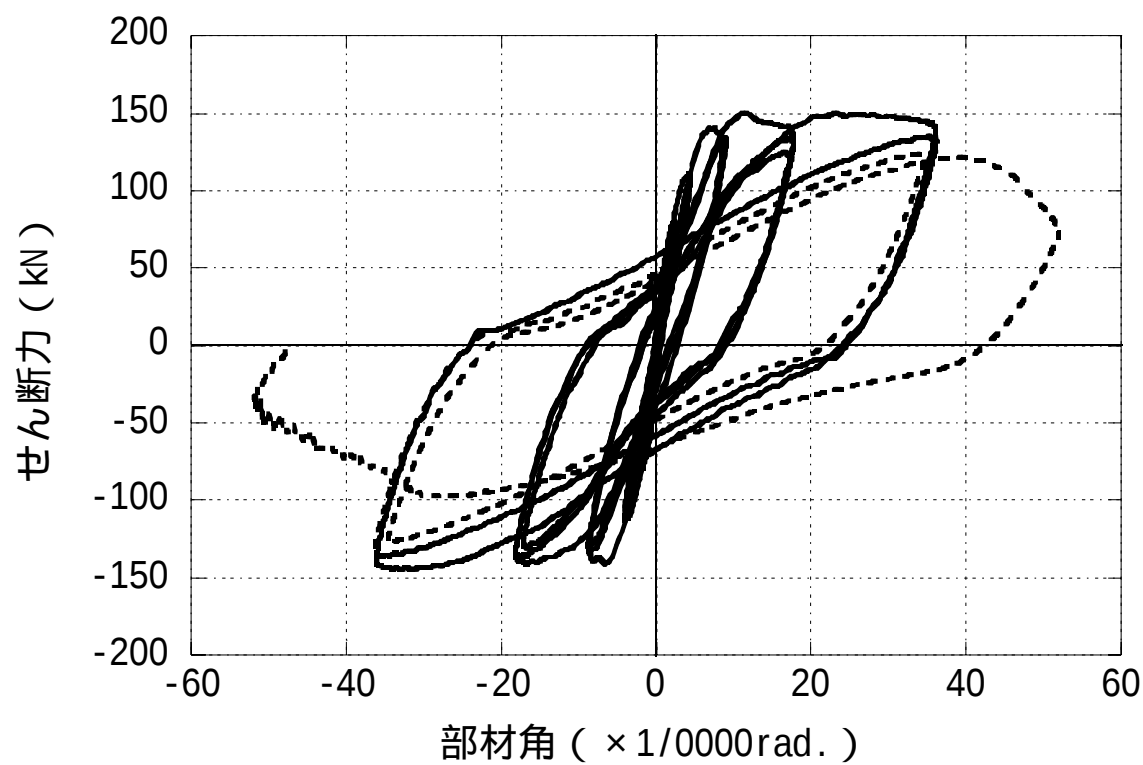
水平力 - 水平変形関係の実験結果と解析結果を比較して図 13 ~ 図 18 に示す。

解析では、部材角が 0.04rad. 以降のループ面積が実験より大きめであり、繰返しによる耐力低下を再現できていない。また、試験体 S-2 を除く 5 体の解析は途中で終了しているなど、大変形時の解析精度には課題が残る。なお、解析が途中で終了したのは不釣り合い力の解除がうまくいかなかったためであり、破壊を意味しているわけではない。

一方、0.02rad. までの包絡線や繰返しループ形状は、解析結果と実験結果で良く一致している。

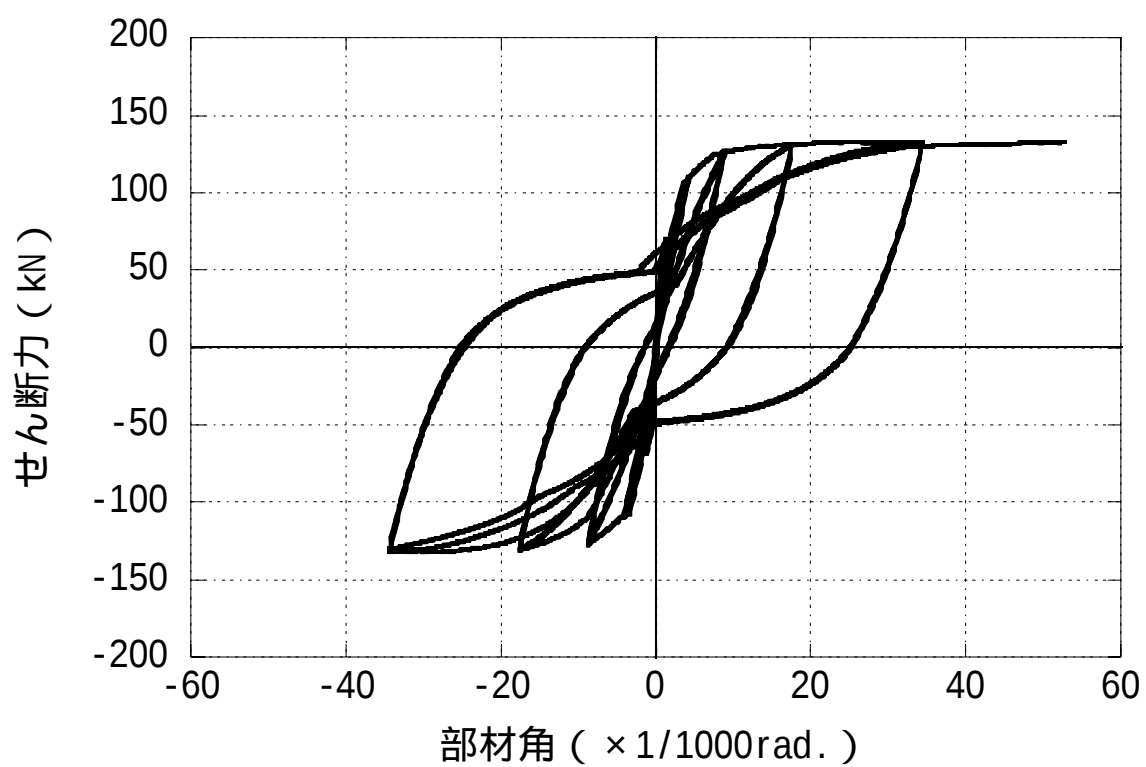


(a) 解析

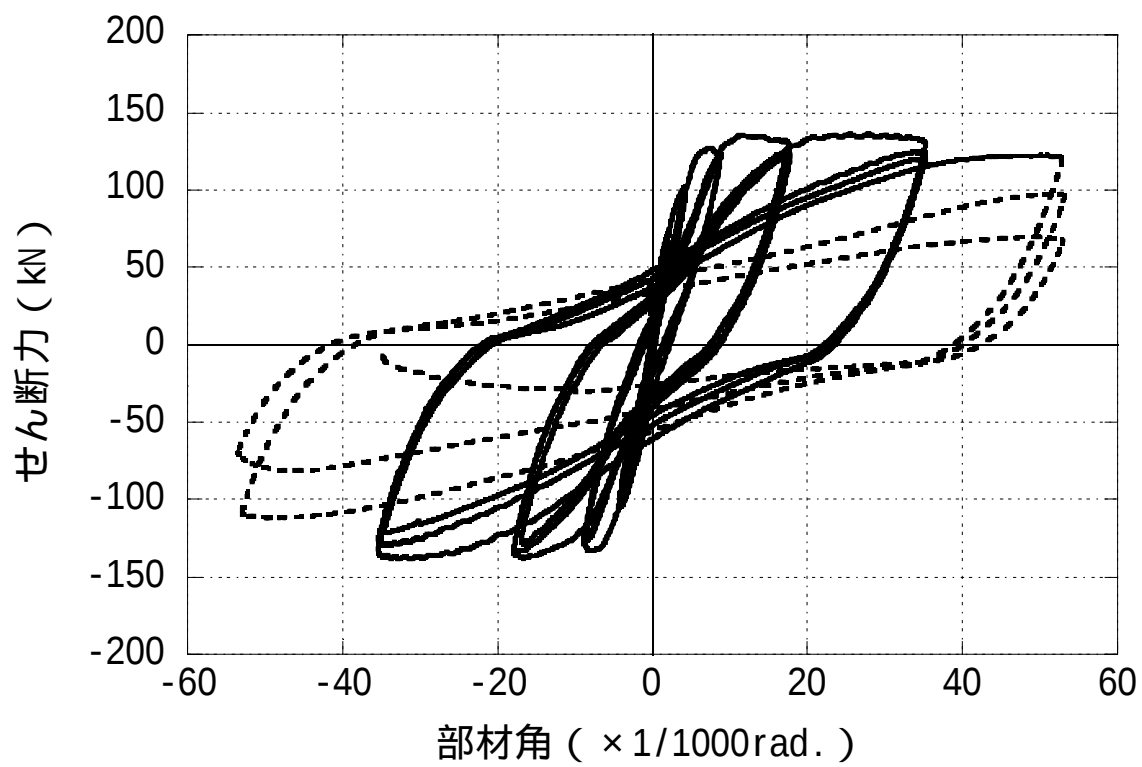


(b) 実験

図 13 試験体 D-1 の荷重 - 変形関係 (解析と実験の比較)

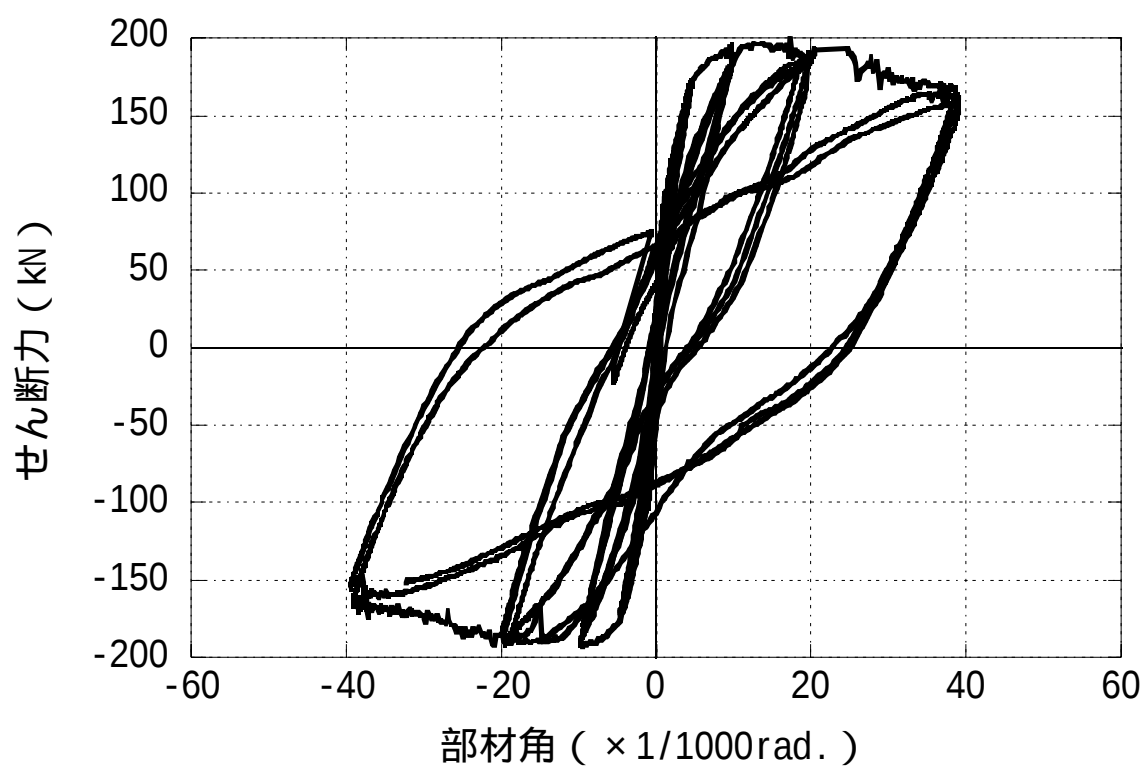


(a) 解析

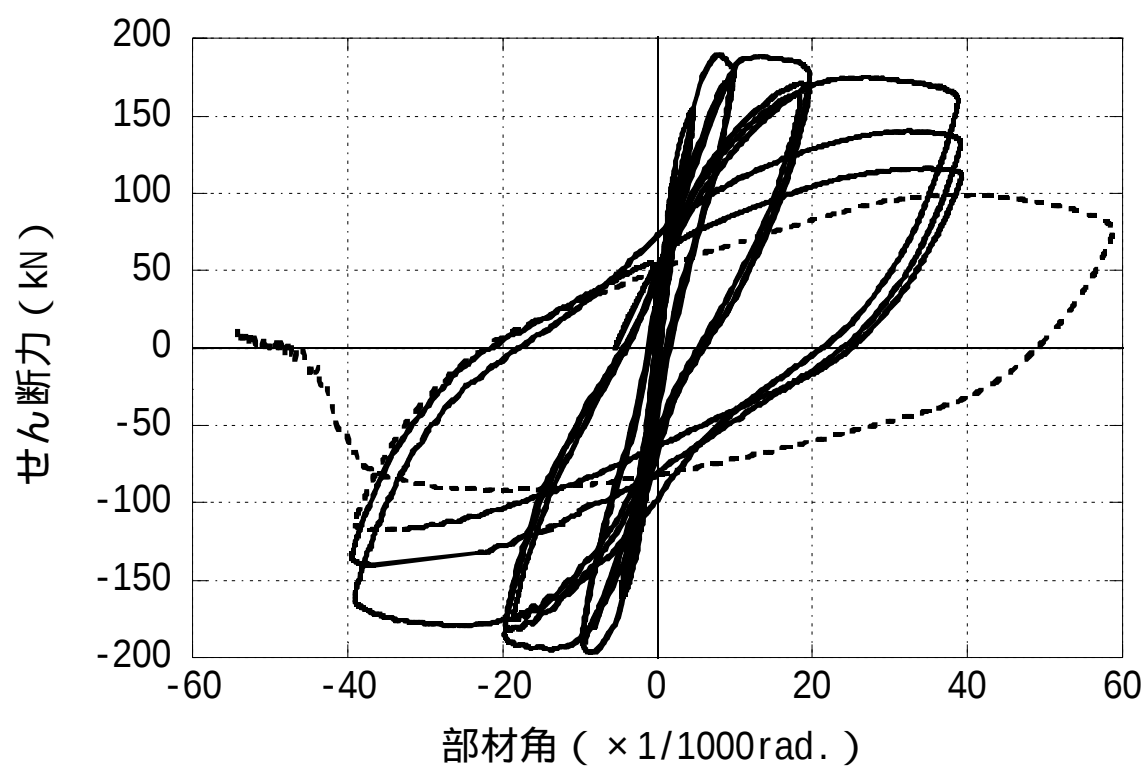


(b) 実験

図 14 試験体 S-1 の荷重 - 変形関係 (解析と実験の比較)

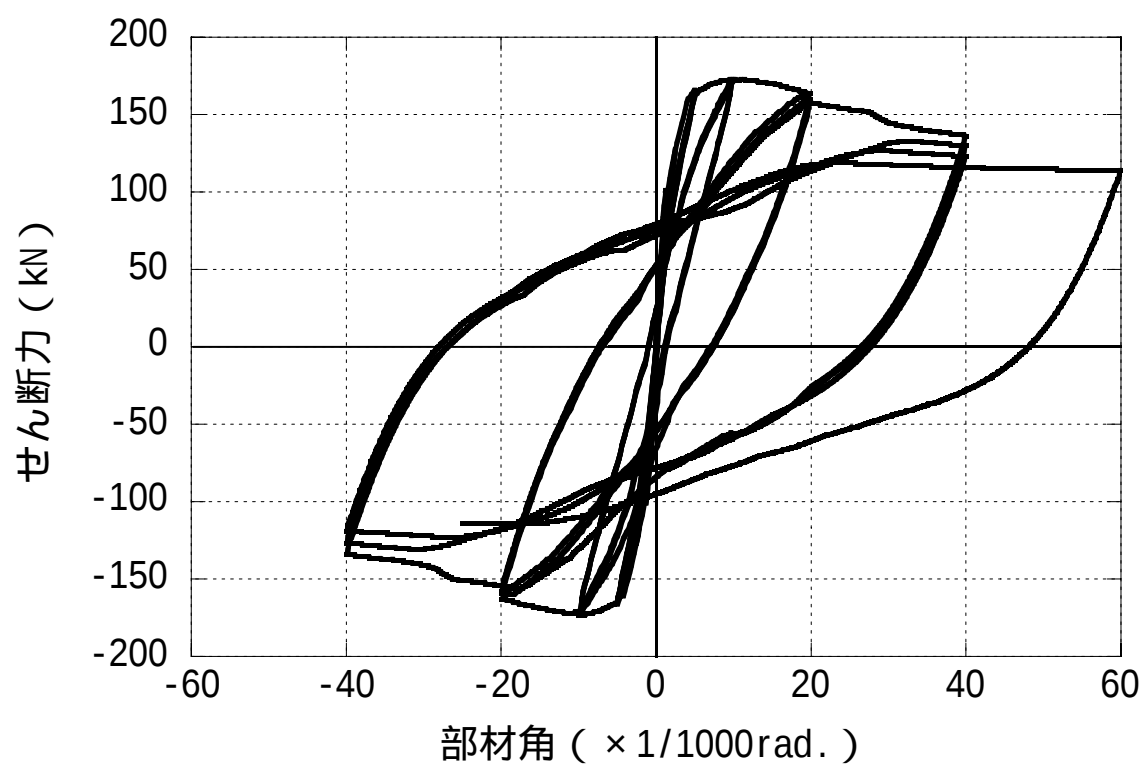


(a) 解析

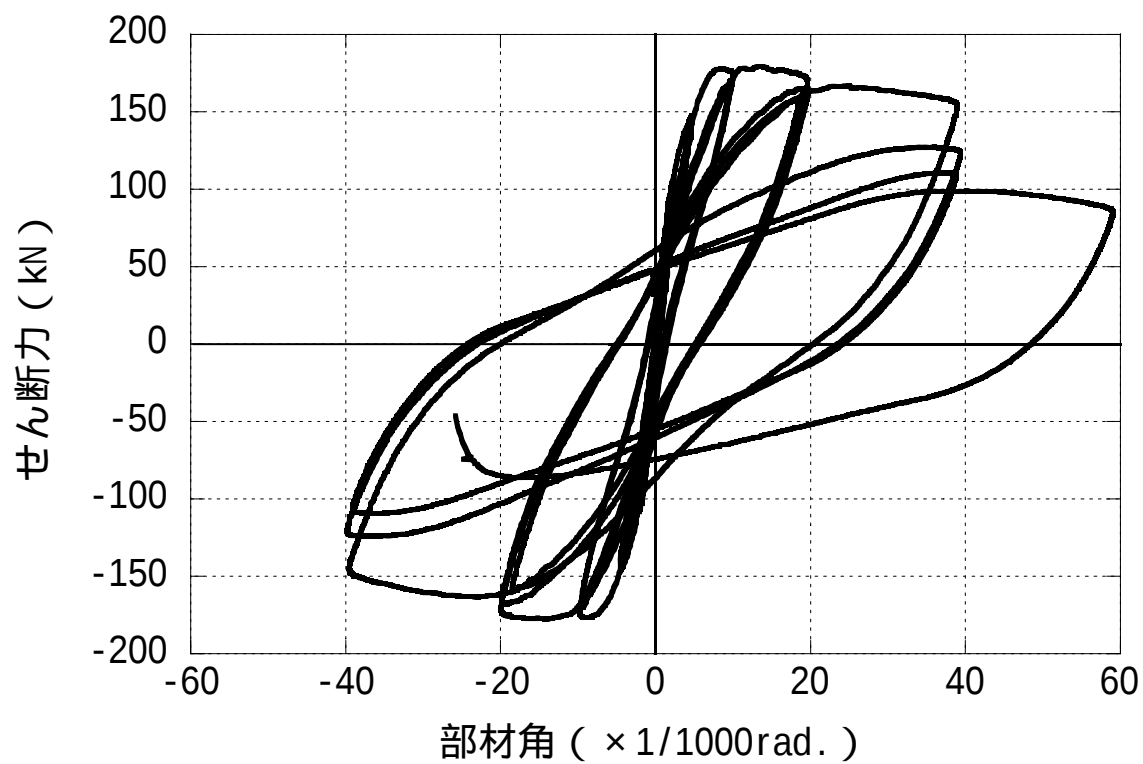


(b) 実験

図 15 試験体 D-2 の荷重 - 変形関係 (解析と実験の比較)

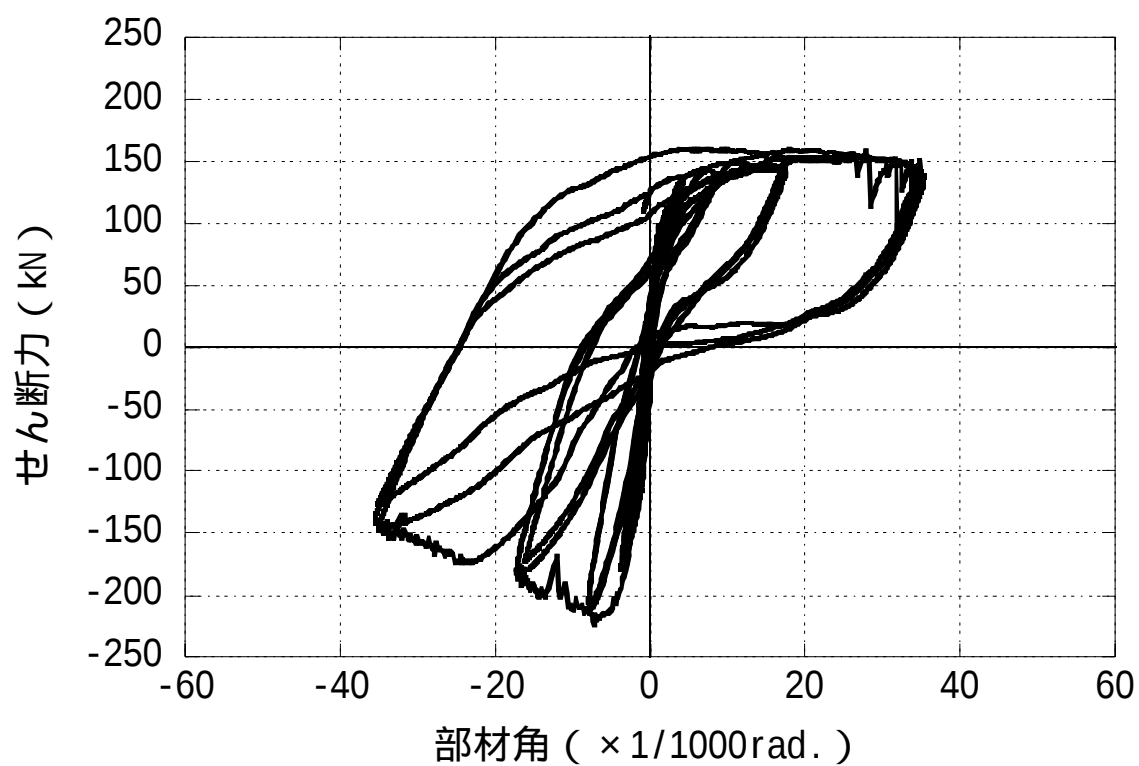


(a) 解析

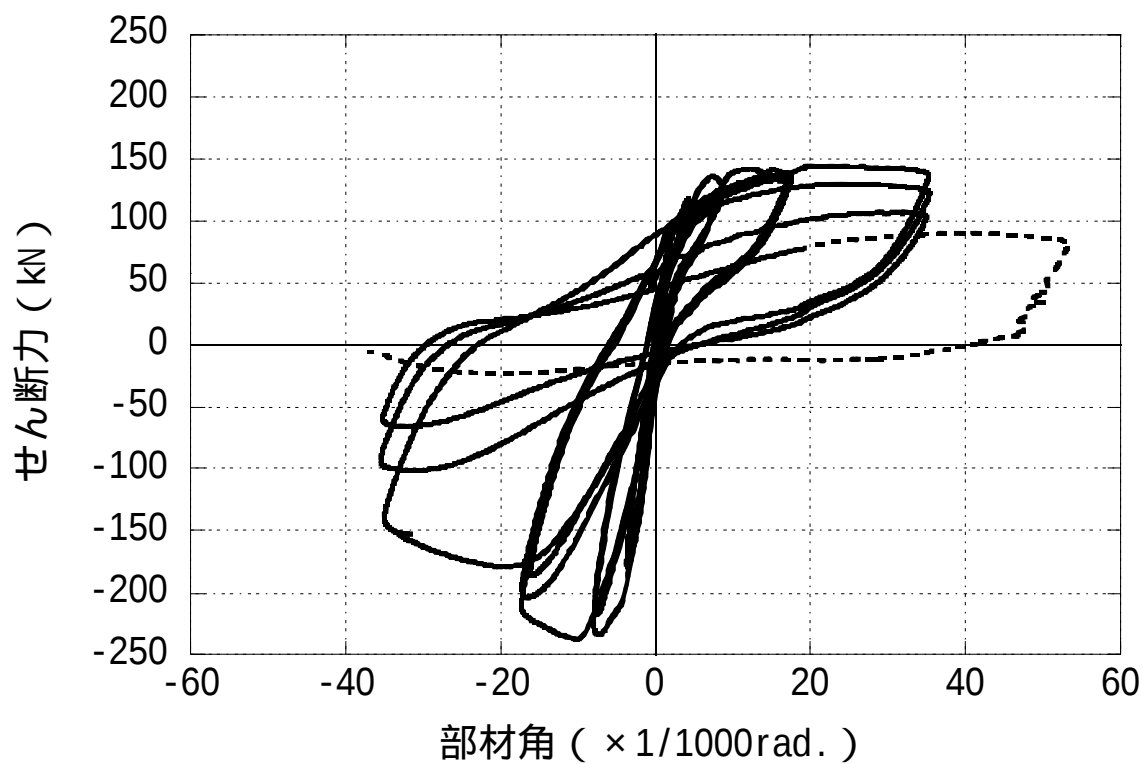


(b) 実験

図 16 試験体 S-2 の荷重 - 変形関係 (解析と実験の比較)

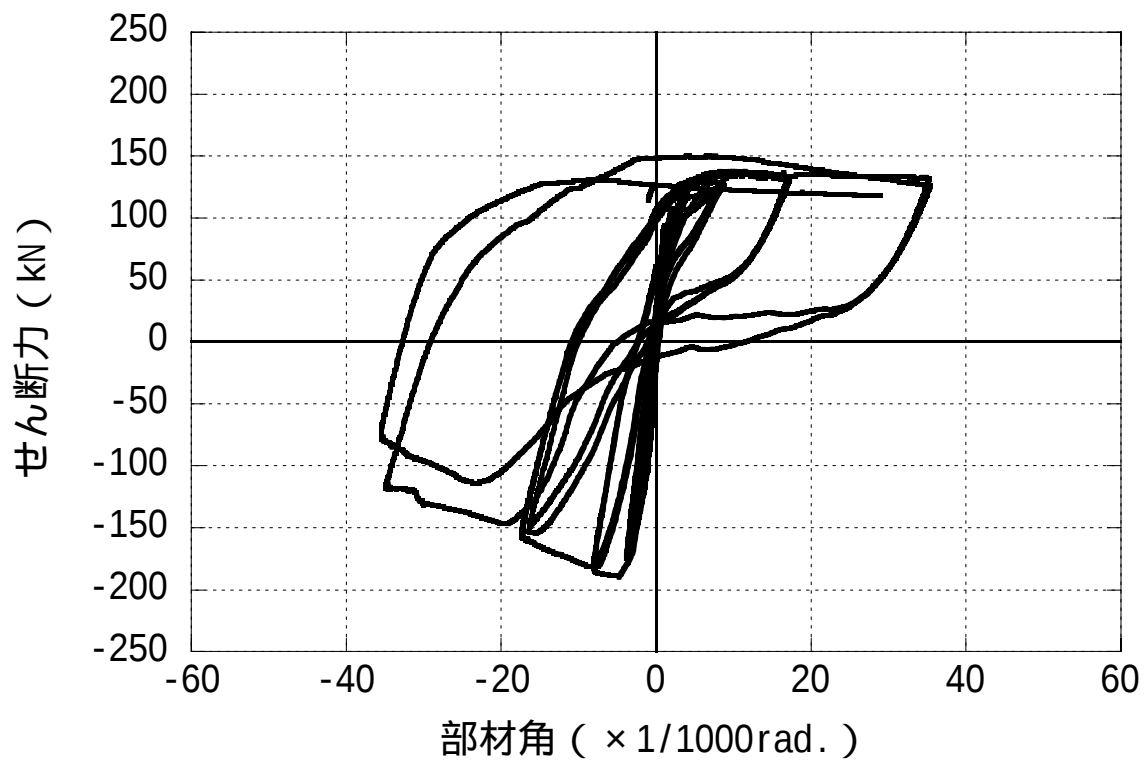


(a) 解析

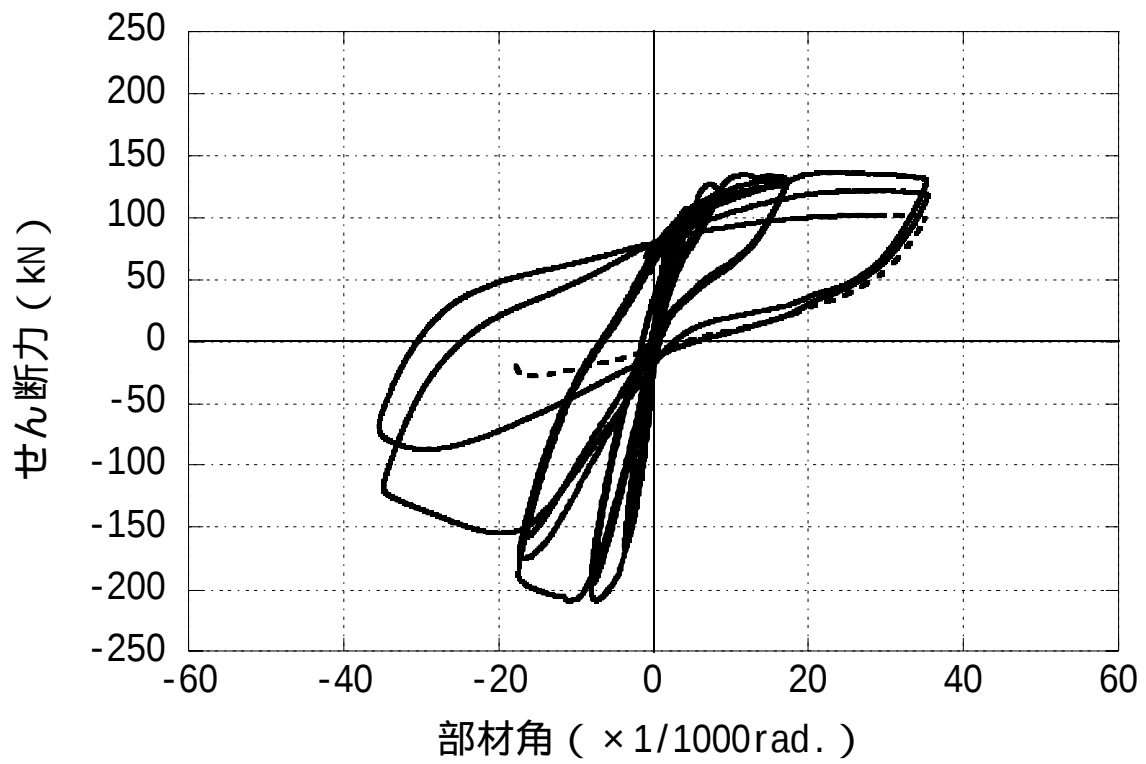


(b) 実験

図 17 試験体 D-4 の荷重 - 変形関係 (解析と実験の比較)



(a) 解析



(b) 実験

図 18 試験体 S-4 の荷重 - 変形関係 (解析と実験の比較)

）軸力 - 軸方向変形関係

図 19 に、試験体 D-2 の部材角 - 軸方向変形の関係を示す。

実験結果では、曲線形状はほぼ左右対称で、部材角が 0.02rad までは同一振幅の繰返しによる軸方向変形の増減はほとんどないが、部材角が 0.04rad の繰返し時には軸方向への縮みが増大し、最終的には破壊に伴って、急激に縮み量が増大する。解析結果は、部材角 0.02rad の繰返しまでは実験結果とほぼ一致しているが、部材角が 0.04rad の繰返し時には、実験ほど軸方向変形が増大していない。

この結果は、)で述べたように、 0.02rad の繰返しまで、水平力 - 水平変形関係の実験結果と解析結果が一致していることに対応している。

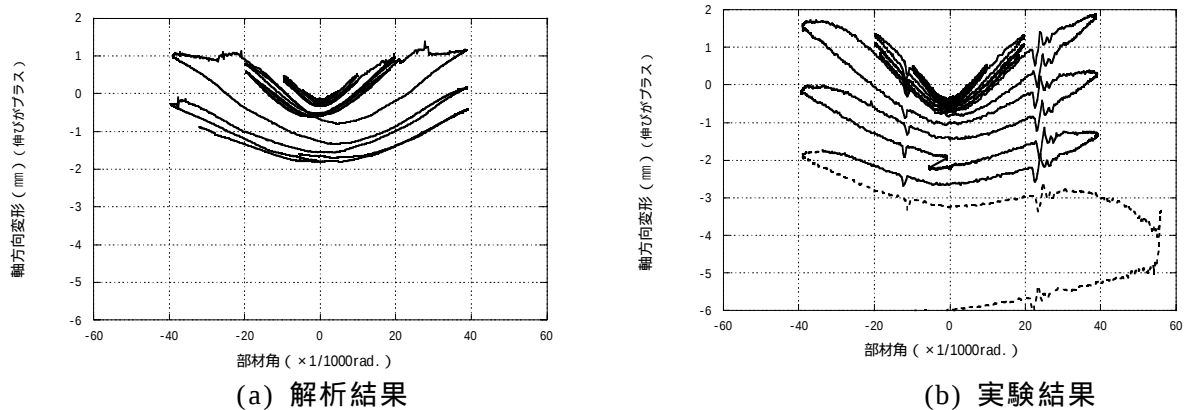


図 19 試験体 D-2 の軸力 - 軸方向変形関係 (実験と解析の比較)

4) 歪速度による部材中の材料強度の上昇

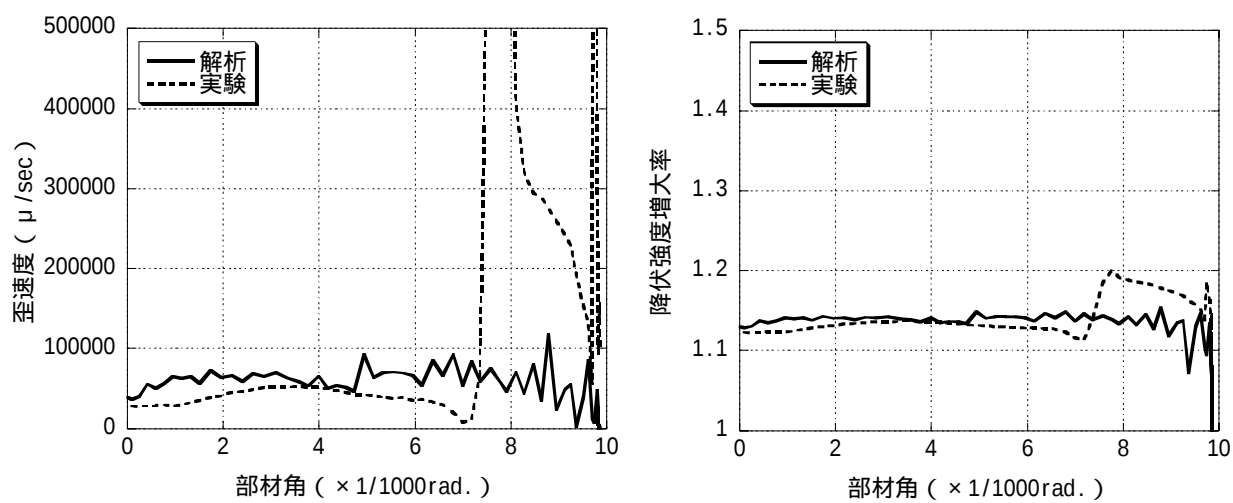
標準試験体と位置づけた D-2 の解析結果から、歪速度や強度の増大率を推定する。

a) 主筋

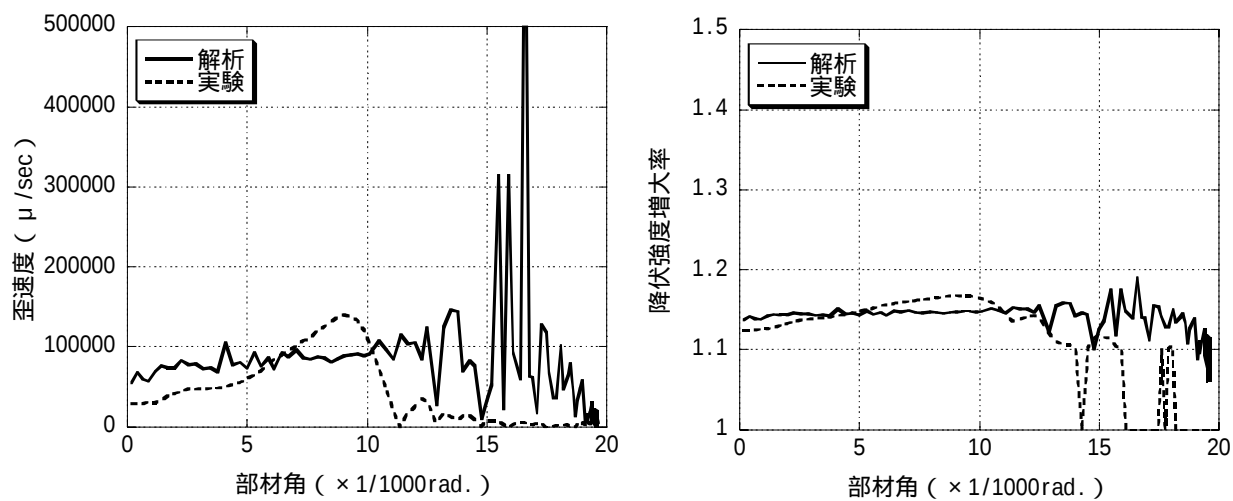
それまでに経験していない部材角に至る変形増加過程における、部材角と主筋の歪速度および速度効果による主筋降伏強度の増大率を図 20 に示す。歪速度の実験値と解析値は $10^4 \sim 10^5 \mu/\text{sec}$ のオーダーである。歪速度は解析と実験で一致しない部分もあるが、降伏強度は実験も解析も静的強度の 1.15 倍程度で同じである。これは、降伏強度が歪速度の対数関数であるため、歪速度に比較的鈍感なためと考えられる。

b) コンクリート

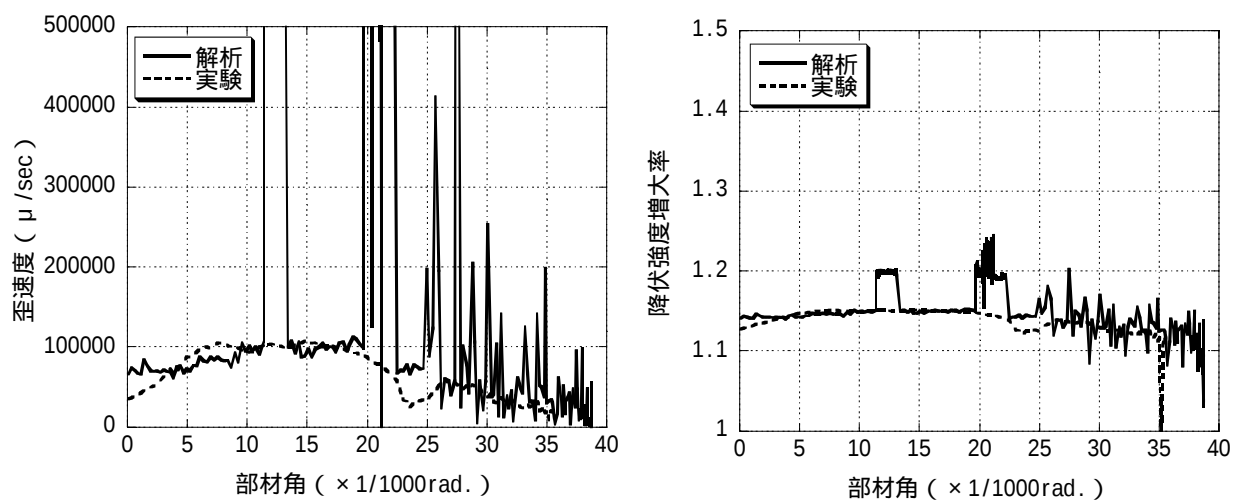
それまでに経験していない部材角に至る変形増加過程における、部材角とコンクリート (圧縮縁) の歪速度および速度効果による圧縮強度の増大率を図 21 に示す。歪速度は $10^3 \sim 10^4 \mu/\text{sec}$ のオーダーであり、圧縮強度は静的強度の 1.2 ~ 1.25 倍程度となっている。主筋の歪速度と同じように、圧縮強度が歪速度の対数関数であるため、歪速度の変動ほどは圧縮強度の変動は大きくない。



(a) 部材角 0 ~ 0.01rad.

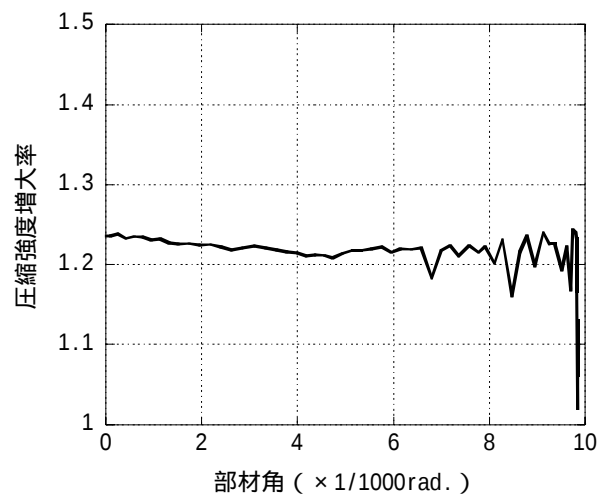
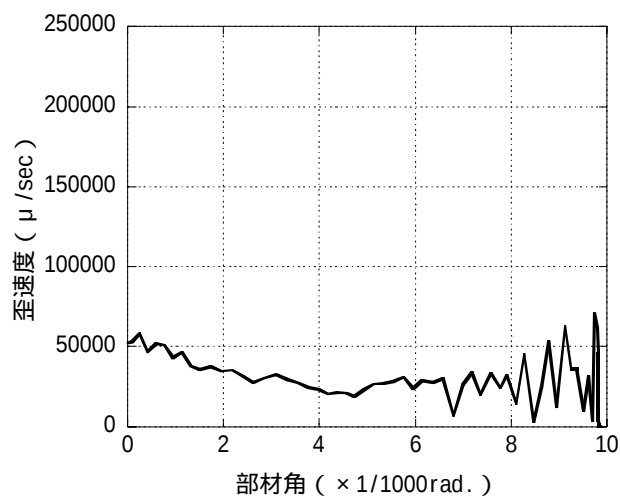


(b) 部材角 0 ~ 0.02rad.

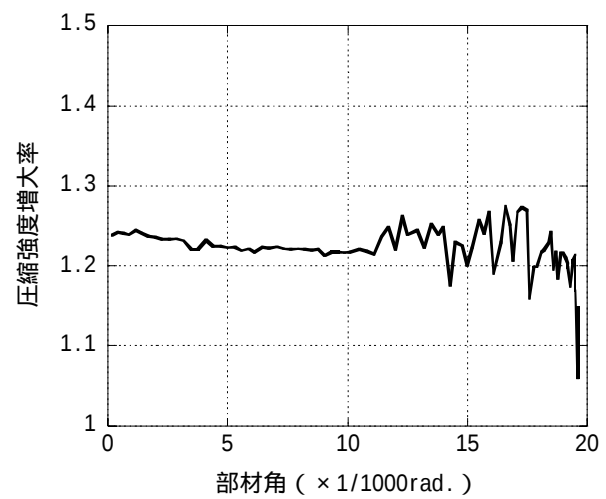
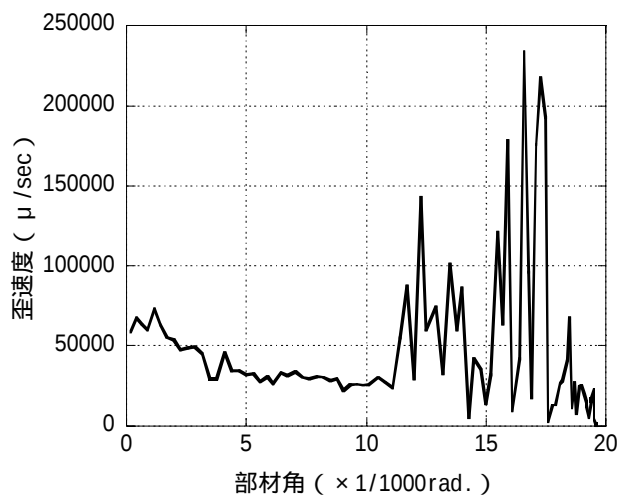


(c) 部材角 0 ~ 0.04rad.

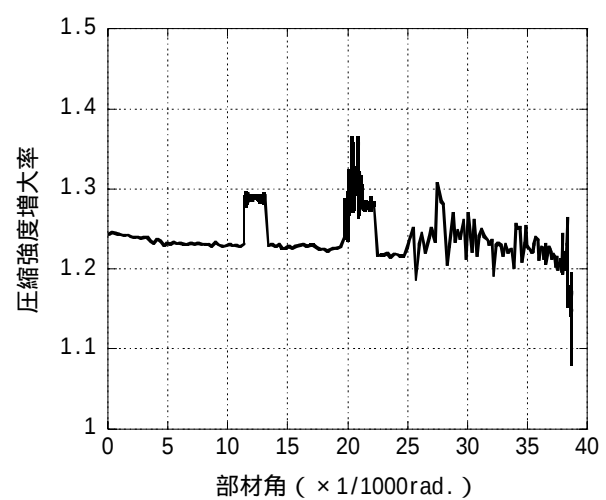
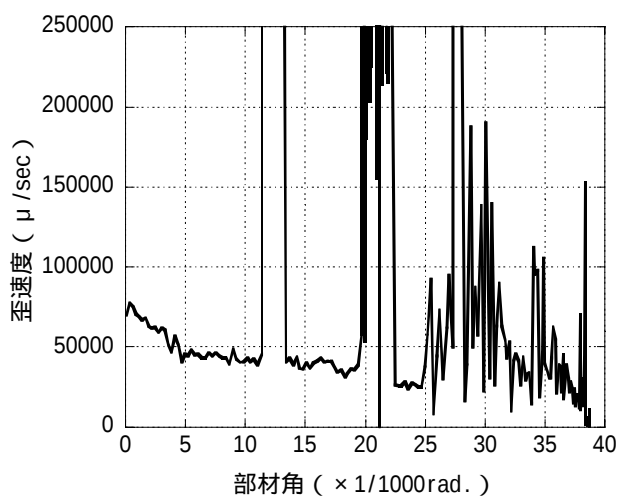
図 20 試験体 D-2 の主筋の歪速度と降伏強度増大率



(a) 部材角 0 ~ 0.01rad.



(b) 部材角 0 ~ 0.02rad.



(c) 部材角 0 ~ 0.04rad.

図 21 試験体 D-2 のコンクリートの歪速度と圧縮強度増大率

(c) 結論ならびに今後の課題

鉄筋コンクリート造柱部材の弾塑性解析モデルとして用いられている「ファイバーモデル」の材料構成則に歪速度の影響を取り入れることにより、任意の動的荷重を受ける柱部材の荷重 - 変形関係や応力度、歪を計算できる解析モデルを開発し、コンピュータプログラミングした。

この解析プログラムを用いて、平成 15 年度に行った、載荷速度と軸力比を実験変数とした実験のシミュレーション解析を行ったところ、部材角が 0.02rad.の繰返しまで、実験結果を再現できる解析結果が得られた。それ以上の大変形領域における解析精度の向上は今後の課題であるが、実業務ではこの範囲の解析ができれば十分であると考えられる。

(d) 引用文献

- 1) 崎野健治、孫玉平：直線型補強筋により拘束されたコンクリートの応力 - ひずみ関係、日本建築学会構造系論文集、No.461、pp.95-104、1994.7
- 2) Fillippou, F.C. : Effects of Bond Deterioration on Hysteretic Behavior of Reinforced Concrete Joints, EERC Rep., UCB/EERC-83/19, pp.64-79, Aug., 1983
- 3) 細矢博：鉄筋コンクリート柱部材の耐力と破壊性状に及ぼすひずみ速度の影響に関する研究、奥村組特定研究報告 No.8、1996.4
- 4) 宮下丘、高橋元美：ファイバーモデルによる RC 骨組みの弾塑性解析（その 2）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.503-504、1991

(e) 成果の論文発表・口頭発表

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協会 年次論文集	平成 16 年 7 月 7 日

(f) 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
歪速度効果を考慮した鉄筋コンクリート柱梁部材の弾塑性解析モデル	鉄筋コンクリート柱梁部材の寸法と材料特性を与えれば、任意の変位履歴あるいは荷重履歴に対する弾塑性挙動を計算する

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 14 ～ 16 年度の成果のまとめ

- 1) 平成 14 年度：既往の研究に関する文献調査を行った。その結果、柱を対象とする研究が少ないこと、強度に関する知見はあるが、破壊形式や変形能力に対する歪速度の影響が不明であること、繰り返し載荷に対応する解析モデルがないことが分かった。これより、柱を対象とする構造実験を実施して、強度のみならず破壊形式や変形能力に対する歪速度の影響を把握すること、地震応答時のような繰り返し載荷に対する弾塑性解析モデルを開発することを目標として定め、平成 15 年度に行う実験計画を立案した。
- 2) 平成 15 年度：鉄筋コンクリート造柱部材に対する実験を実施した。試験体は縮尺 1/2.5 の普通材料を使った柱部材である。シアスパン比が 1.8 の同一形状の試験体 6 体を 2 体ずつ 3 組に分け、同一組の 1 体には動的載荷を、もう 1 体には同じ変位履歴の静的載荷を行った。組間の違いは軸力の大きさである。また、シアスパン比が 1.2 の同一形状の試験体 2 体にも、片方に動的載荷、もう片方に静的載荷を行った。動的載荷の速度は、最大速度が 50cm/s 程度の地震に対する 6 階建物の応答を想定し設定した。実験の結果、歪速度効果によって曲げおよびせん断強度は上昇するが、破壊形式や変形能力は静的載荷時と動的載荷時で変わらないことが分かった。
- 3) 平成 16 年度：解析モデルを構築してプログラミングし、これを用いて平成 15 年度の実験結果のシミュレーション解析を行った。解析モデルは、断面の平面保持を仮定し、コンクリートと鉄筋の応力 - 歪速度関係に基づいて曲げモーメント - 曲率関係を計算する「ファイバーモデル」を基本とし、せん断変形と主筋の抜け出しに拠る変形を付加したものである。コンクリートの圧縮強度とヤング率、鉄筋の降伏強度を歪速度の関数として与え、時々刻々の部材内における歪速度に対応させて材料の応力 - 歪関係を変動させる手法を開発した。平成 15 年度に実施したシアスパン比 1.8 の試験体 6 体の実験をシミュレーション解析したところ、部材角が 0.02rad.までは実験結果と良好に一致する計算結果が得られた。

