

### 3.2.7 実大鉄筋コンクリート建物の三次元動的解析システムの開発

#### 目 次

##### (1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5 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) 汎用的な解析プログラムのフレームワークの作成
  - 2) 鉄筋コンクリートの平板の構成則にもとづいた耐震壁部材のモデル
  - 3) 耐震壁単体の実験による検証
- (c) 業務の成果
  - 1) 汎用的な解析プログラムのフレームワークの作成
  - 2) 鉄筋コンクリートの平板の構成則にもとづいた耐震壁部材のモデル
  - 3) 耐震壁単体の実験による検証
- (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) 柱、はり部材の解析モデルの開発
- (b) 耐力劣化型の部材モデルを用いた三次元解析プログラムの開発
- (c) 立体フレーム構造解析プログラムの精度の検証

## (1) 業務の内容

(a) 業務題目 実大鉄筋コンクリート建物の三次元動的解析システムの開発

(b) 担当者

所 属	役 職	氏 名
独立行政法人 防災科学技術研究所	特別研究員	陳 少華
総合防災研究部門	主任研究員	梶原 浩一

(c) 業務の目的

実大三次元鉄筋コンクリート建物の震動破壊実験の予備解析研究および実験破壊シミュレーションを行うため、三次元地震動による鉄筋コンクリートフレーム構造解析プログラムのフレームワークを作成し、建物の崩壊まで追跡できる柱、はり、耐震壁などの部材モデルを開発し、鉄筋コンクリートフレーム構造の三次元非線形動的解析プログラムを開発する。なお、建物の耐震性能を評価するため、解析プログラムは、ひび割れ幅、ひび割れ本数や部材端部の塑性率などを用いて、入力地震動レベルに対応する部材の損傷レベルを評価できるものとする。

(d) 5 ヶ年の年次実施計画

1) 平成14年度：

汎用的な解析プログラムのフレームワークを作成する。  
鉄筋コンクリートの平板の構成則にもとづいた耐震壁部材のモデルを組み込む。  
耐震壁単体の実験データにより、部材モデルの精度を検証する。

2) 平成15年度：

柱、はり部材の解析モデルを開発する。  
耐力劣化型の柱、はり、耐震壁の部材モデルを用いて、フレーム構造が崩壊に至るまで解析を可能にした三次元解析プログラムを開発する。  
耐震壁を含む立体フレーム構造の縮小モデルの1方向入力による震動台実験の実験データにより、立体フレーム構造の解析モデルの精度を検証する。

3) 平成16年度：

節点変位による部材の損傷レベル評価手法を開発する。  
既往の実験結果を用いて部材損傷レベル評価手法を検証する。  
2方向に配置された耐震壁を含む立体フレーム構造の斜め1方向入力による震動台実験の実験データにより、立体フレーム構造の解析モデルの精度を検証する。  
実大試験体の設計を行い、予備解析に関する研究を行う。

4) 平成17年度：

実大試験体の予備解析を実施する。

構造物および耐震壁部材の破壊形式に及ぼす三次元同時入力の効果、高次モードの影響に関する研究を行う。

繰返し荷重による耐力劣化および動的な挙動(外力分布の変動など)を考察する。  
実大三次元震動台 E - ディフェンスによる実大鉄筋コンクリート建物の三次元震動破壊実験結果を用いて三次元動的解析システムの精度を検証する。

5) 平成 18 年度 :

地盤構造物系を対象にして、解析精度を実験結果により検証する。

基礎近傍の(非線形)拘束条件が構造物の応答に与える影響を解析結果に基づいて定量化する。

(e) 平成 14 年度業務目的

汎用的な解析プログラムのフレームワークを作成する。

鉄筋コンクリートの平板の構成則にもとづく耐震壁部材のモデルを組み込む。

耐震壁単体の実験データにより、部材モデルの精度を検証する。

(2) 平成 14 年度の成果

(a) 業務の要約

平成 14 年度は次の各項目を実施した。

- 1) 変位増分解析による静的解析と直接積分法による動的解析を可能にした解析プログラムのフレームワークを作成した。
- 2) 鉄筋コンクリートの平板の構成則にもとづいた耐震壁部材のモデルを組み込んだ。
- 3) 耐震壁単体の震動台実験結果により、耐震壁部材モデルの精度を検証した。

(b) 業務の実施方法

1) 汎用的な解析プログラムのフレームワークの作成

a) 解析プログラム概要

解析プログラムは、立体フレーム構造を解析対象とし、柱とはりの軸交点に 6 自由度の節点を置き、節点における力の釣り合いにより節点変位を求め、構造全部材の力、変形、損傷レベルを解析することとした。はりに作用する初期荷重(床からの重量など)によるモーメント分布および鉛直地震動による影響を考慮するため、耐震壁の上下はり以外のはりは、8 分割して中間節点を設けることを可能とした。

b) 荷重について

解析プログラムでは、初期載荷、静的繰返し載荷、動的の水平 2 方向および鉛直方向地震動入力を解析の対象荷重とした。

c) 解析手法

解析プログラムでは、初期載荷、静的繰り返し載荷による解析については変位増分法を用い、地震動による動的解析については直接積分法を採用した。

2) 鉄筋コンクリ - トの平板の構成則にもとづいた耐震壁部材のモデル

a) 耐震壁のモデル化

本研究では、側柱と上下はりで構成される連層構造を有する鉄筋コンクリート耐震壁（図1）を研究対象とする。その力伝達と変形の特徴から図2に示す力学モデルとした。

力伝達の特徴は、両側の側柱が大きな圧縮軸力及び引張り軸力を負担し、曲げモーメントに抵抗すること、壁部分がせん断力の大部分とモーメントの一部を負担すること、および、上下はりが壁の圧縮ストラットによる引張り力を負担することにある。耐震壁の変形の特徴より、連層壁の縦方向を部材軸とした一つの曲げ部材と見なし、断面の平面保持が成立するものと仮定する。

最も一般的な構造形式を有する耐震壁では、側柱の剛性が壁パネル部より高く、壁剛性と別に考慮することが必要であり、壁の膨らみに対する側柱の拘束効果、及びはり軸剛性に対する床スラブの拘束効果は上下はりの軸バネによって評価することとした。このようなことから、本研究では、側柱では軸剛性のみを考慮し、壁パネル部を一つの平面応力状態下のパネル要素とし、上下はりでは曲げ剛性を無限大とし、軸剛性を考慮する方法とする。また、耐震壁の上下はりの断面幅が一般的に耐震壁の壁より厚いことから、耐震壁のパネル要素の上下に剛性域を考慮することとした。

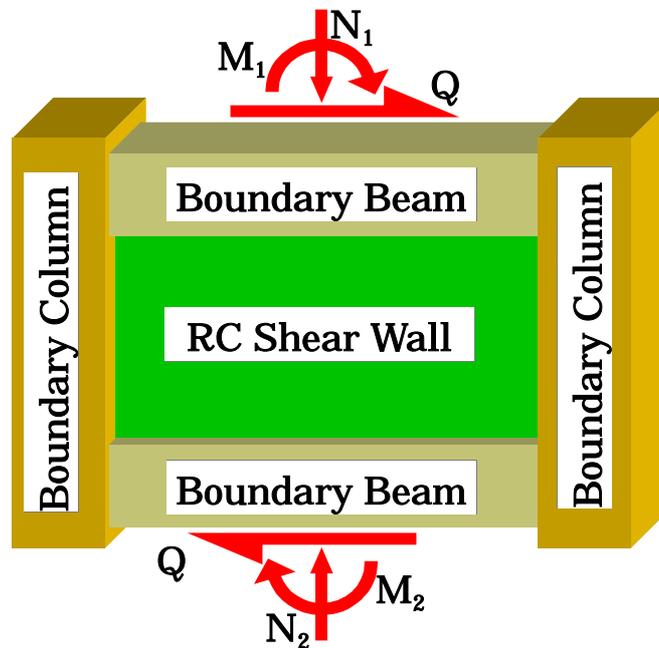


図1 側柱と上下はりで構成される鉄筋コンクリート耐震壁

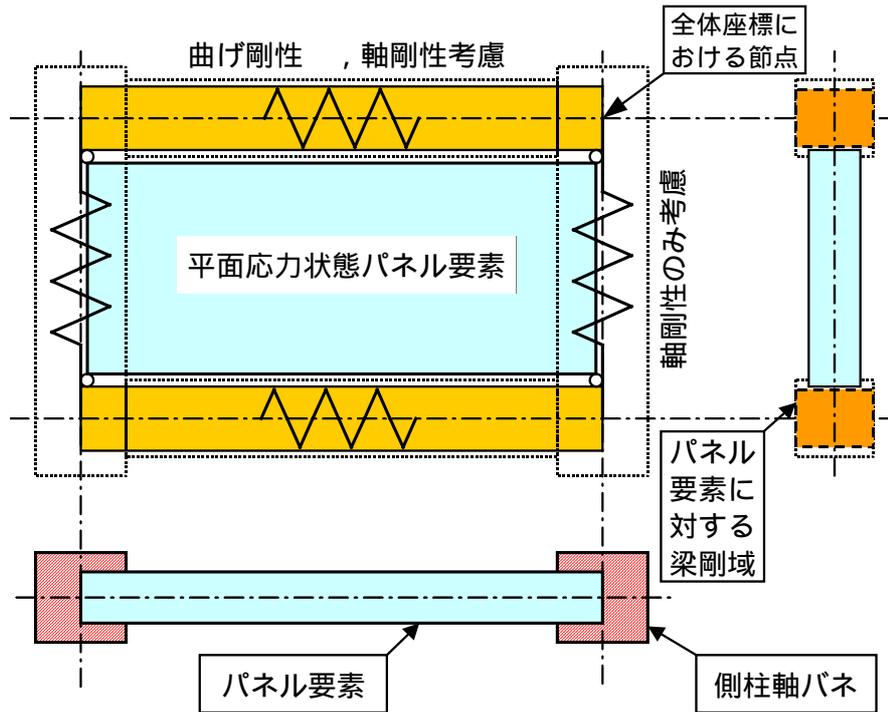


図2 側柱と上下はりで構成される鉄筋コンクリート耐震壁のモデル化

b) パネル要素の解析手法

耐震壁の曲げ変形を考慮するため、パネル要素に非適合四辺形要素を採用する。要素内の変位分布は、節点の変位 ( $u_i, v_i, i=1 \sim 4$ ) と要素内の曲げ変位 ( $u_5, v_5$ ) を用いて次の式で表されることとする。

$$\begin{cases} u = \sum_i^4 N_i u_i + N_5 u_5 \\ v = \sum_i^4 N_i v_i + N_5 v_5 \end{cases}$$

ここに、

$$N_i = \frac{1}{4}(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta)$$

$$N_5 = 1 - \eta^2$$

要素内のひずみは、次の式で計算できる。

$$\begin{aligned} \{\varepsilon\} &= \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial[N]/\partial x & 0 \\ 0 & \partial[N]/\partial y \\ \partial[N]/\partial y & \partial[N]/\partial x \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{u\} \\ \{v\} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \partial N_5 / \partial x & 0 \\ 0 & \partial N_5 / \partial y \\ \partial N_5 / \partial y & \partial N_5 / \partial x \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_5 \\ v_5 \end{Bmatrix} \\ &= [B]\{\delta\} + [\bar{B}]\{\bar{\delta}\} = \begin{bmatrix} [B] & [\bar{B}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\delta\} \\ \{\bar{\delta}\} \end{Bmatrix} \end{aligned}$$

マトリックス  $[B]$  は、変位 - ひずみマトリックスと呼ばれる。

仮想仕事の原理により、節点の力と変位の関係は、次の式で表される。

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} \{P\} \\ 0 \end{Bmatrix} &= \iint [B] \quad [\bar{B}]^T [D] [B] \quad [\bar{B}] \cdot t dx dy \begin{Bmatrix} \{\delta\} \\ \{\bar{\delta}\} \end{Bmatrix} \\ &= \begin{Bmatrix} [K_{uu}] & [K_{u\bar{u}}] \\ [K_{\bar{u}u}] & [K_{\bar{u}\bar{u}}] \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\delta\} \\ \{\bar{\delta}\} \end{Bmatrix} \end{aligned}$$

ここに、

$$\begin{aligned} [K_{uu}] &= \iint [B]^T [D] [B] t dx dy & [K_{u\bar{u}}] &= \iint [B]^T [D] [\bar{B}] t dx dy \\ [K_{\bar{u}u}] &= \iint [\bar{B}]^T [D] [B] t dx dy & [K_{\bar{u}\bar{u}}] &= \iint [\bar{B}]^T [D] [\bar{B}] t dx dy \end{aligned}$$

節点の力と変位の関係式から、要素の内部変位 ( $u_5, v_5$ ) を消去できる。

$$\begin{Bmatrix} \bar{\delta} \\ \{\delta\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_5 \\ v_5 \end{Bmatrix} = -[K_{\bar{u}\bar{u}}]^{-1} [K_{\bar{u}u}] \{\delta\}$$

最終的に節点の力と変位の関係は、次の方程式にまとめられる。

$$\{P\} = [K] \{\delta\}$$

ここに、節点力と節点変位関係における要素剛性マトリックス  $[K]$  は、次の式で与えられる。

$$[K] = [K_{uu}] - [K_{u\bar{u}}] [K_{\bar{u}\bar{u}}]^{-1} [K_{\bar{u}u}]$$

非線形解析においても、力、変形の増分、および瞬間接線剛性を用いれば、以上の式が成り立つことになる。

### c) 鉄筋コンクリートの構成則

鉄筋コンクリート部材の有限要素解析法では、ひび割れを微視的に取り扱う離散ひび割れモデルと巨視的に取り扱う分散ひび割れモデルが最もよく使われている。本解析システムでは、鉄筋コンクリートフレーム構造の解析を目的としているので、耐震壁のパネル要素に分散ひび割れモデルを用いることとした。

分散ひび割れモデルを採用するため、コンクリート及び鉄筋の構成則は、要素内の平均ひずみ - 平均応力関係で与えることになる。鉄筋コンクリート耐震壁のパネル要素は、以下の仮定によって、鉄筋要素とコンクリート要素の重ね合わせとして表現される (図 3)。

**仮定** : 構成則は要素内の平均応力と平均ひずみとの関係で与えられる (分散ひび割れモデル)。

**仮定** : パネル要素の鉄筋は、コンクリート要素内に直交配筋され、かつ一様に分布し、鉄筋とコンクリートのひずみは等しいと仮定する。

**仮定** : 鉄筋は軸方向剛性のみを考慮する。

**仮定** : コンクリートのひび割れ方向は、平均主引張りひずみ方向と直交する (回転ひび割れモデル)。

**仮定** : コンクリートの平均主引張りひずみ方向は、平均主引張り応力方向と一致する (共軸性)。

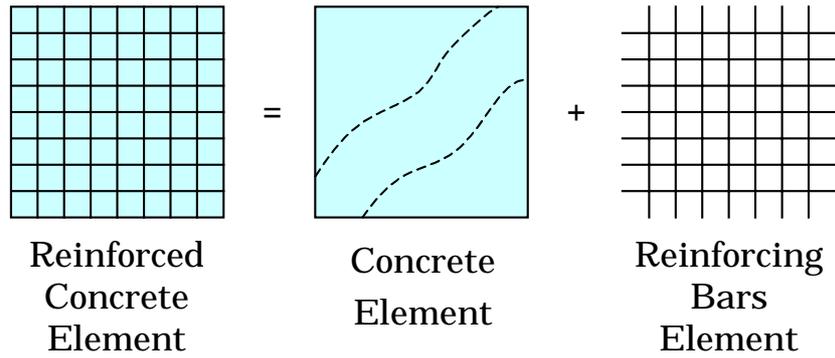


図3 鉄筋コンクリートパネル要素の構築

耐震壁のパネル要素の剛性は、コンクリートと鉄筋の剛性を並列結合することによって表わすことができる。なお、次式は、鉄筋の配置方向が全体座標と一致する場合を示している。

$$\{\sigma\} = \{[T_c][D_c][T_c]^T + [D_s]\}\{\varepsilon\} = [D]\{\varepsilon\}$$

ここに、

$\{\sigma\}$  : 全体座標における鉄筋コンクリート要素の平均応力

$\{\varepsilon\}$  : 全体座標における鉄筋コンクリート要素の平均ひずみ

$[D_c]$  : コンクリートの主ひずみ方向の剛性マトリックス

ひび割れ前 :

$$[D_c] = \frac{E_c}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ & 1 & 0 \\ sym & & (1-\nu)/2 \end{bmatrix}$$

ひび割れ後<sup>1)</sup> :

$$[D_c] = \begin{bmatrix} E_1 & 0 & 0 \\ & E_2 & 0 \\ sym & & G \end{bmatrix}$$

$E_1, E_2$  : 第1, 第2主応力方向の弾性係数

: ポアソン比,  $\nu = 1/6$

$[D_s]$  : 鉄筋の配筋方向の剛性マトリックス

$$[D_s] = \begin{bmatrix} \rho_{sx}E_{sx} & 0 & 0 \\ & \rho_{sy}E_{sy} & 0 \\ sym & & 0 \end{bmatrix}$$

$\rho_{sx}, \rho_{sy}$  :  $x, y$ 方向の配筋率

$E_{sx}, E_{sy}$  :  $x, y$ 方向鉄筋の弾性係数

$[T_c]$  : コンクリートの座標変換マトリックス

$$[T_c] = \begin{bmatrix} \cos^2 \alpha & \sin^2 \alpha & -\sin 2\alpha \\ \sin^2 \alpha & \cos^2 \alpha & \sin 2\alpha \\ \sin \alpha \cos \alpha & -\sin \alpha \cos \alpha & \cos 2\alpha \end{bmatrix}$$

：第1主ひずみ方向と全体座標のなす角

コンクリート要素の構成則は、Kent-Parkの圧縮応力 - ひずみモデル<sup>2)</sup>と前川・岡村らの引張り応力 - ひずみモデル<sup>3)</sup>を組み合わせたものである。コンクリートのせん断剛性  $G$  は、仮定の応力とひずみの共軸性により、応力円とひずみ円から求められる。

$$G = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}$$

ここに、

1, 2 : ひび割れたコンクリートの主応力

1, 2 : ひび割れたコンクリートの主ひずみ

#### d) コンクリートの応力度 - ひずみ関係

2軸問題におけるコンクリートの圧縮応力 - ひずみ関係は、直交方向の引張りひずみによってコンクリートの強度  $f'_c$  が低減される。Collinsらは鉄筋コンクリート平板のせん断実験から次の式にまとめられている<sup>4)</sup>。

$$\sigma_c = \zeta f'_c \left[ 2 \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c0}} \right) - \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c0}} \right)^2 \right]$$

ここに、

$$\zeta = 1.0 / (0.8 - 0.34 \varepsilon_t / \varepsilon_{c0})$$

：直交方向の引張りひずみによるコンクリートシリンダー強度  $f'_c$  の低減係数

$\varepsilon_t$  : 直交方向の引張りひずみ

Collinsらの提案式の適用範囲は、コンクリート圧縮ひずみ 1.75  $\varepsilon_{c0}$  未満である。

コンクリートシリンダー強度  $f'_c$  を超えた後の応力 - ひずみ関係については、Kent と Parkの直線で低下するモデルをもとに図4に示すモデルを採用した。

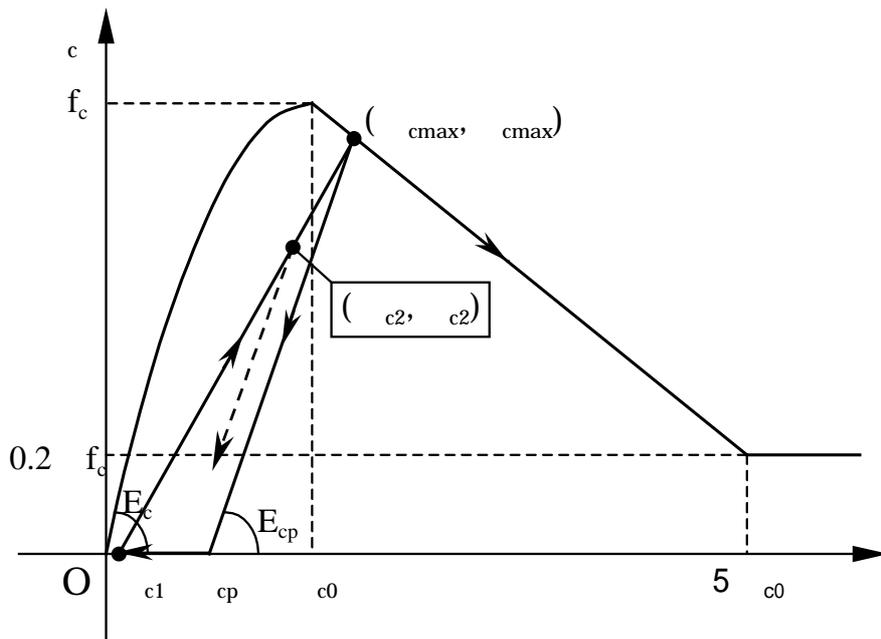


図4 コンクリートの圧縮モデル

e) 鉄筋の応力度 - ひずみ関係

コンクリートに埋め込まれた鉄筋の応力度 - ひずみ関係は、鉄筋とコンクリートの付着作用によるコンクリートの引張り応力負担を考慮してモデル化する必要がある。

鉄筋単体の応力 - ひずみ関係 (図5のOABC) は、降伏応力に達する前は線形弾性であり (O - A)、降伏後は応力上昇を伴わずにひずみのみが増大する降伏棚に入り (A - B)、ひずみ硬化域を経て (A - C)、破断に至ると理想化される。

鉄筋とコンクリートの付着作用により、ひび割れ間のコンクリートが引張り力を負担するため、ひび割れ面で鉄筋の応力が降伏応力に達しても、ひび割れ近傍以外の鉄筋の応力は降伏応力に達していない。従って、コンクリートに埋め込まれた鉄筋の平均応力 - 平均ひずみ関係 (図5のOA'C') は、ひび割れ面で鉄筋が降伏して応力 - ひずみの弾性比例関係を失っても (降伏強度 A'点)、単体鉄筋のような降伏棚はなく、降伏後直ちに硬化域に入る (曲線 A' - C')。コンクリートに埋め込まれた鉄筋の平均応力 - 平均ひずみ関係は、図5に示すバイリニアモデル (OA'C') となる。

Hsu<sup>5)</sup>は、ひび割れ面における鉄筋の引張り応力とひび割れ間の任意断面でのコンクリート引張り応力及び鉄筋応力の釣り合いから降伏強度  $f_y^*$  を導き、見かけ降伏強度  $f_y'$ 、ひずみ硬化剛性  $E_{sp}'$ 、単体鉄筋の降伏強度  $f_y$ 、ひずみ硬化剛性  $E_{sp}$  及び降伏強度  $f_y^*$  の相関関係からコンクリートに埋め込まれた鉄筋のバイリニアモデルを提案している。岡村・前川らは、鉄筋コンクリート棒要素の両引き試験結果から、鉄筋の応力分布を余弦関数に仮定することによって、鉄筋の構成則を導いた。さらに、岡村・前川らは、140体の実験解析結果から、鉄筋の平均応力 - 平均ひずみ関係はバイリニアで表現できることを示している。

本研究では、Hsu が提案したモデルを参考にすが、コンクリートの引張りモデルに違いがあるため、著者が提案した鉄筋の応力度 - ひずみ関係を採用した。

$$\begin{cases} \frac{f_y^*}{f_y} = 1 - 1.5 \frac{\sqrt{2n}}{p_s} \left( \frac{f_{cr}}{f_y} \right)^{1.5} \\ \frac{f_y'}{f_y} = 0.51 + 0.42 \frac{f_y^*}{f_y} \\ \frac{E_{sp}'}{E_{sp}} = 0.45 + 0.26 \frac{f_y}{1000} + \left( 0.23 - 0.25 \frac{f_y}{1000} \right) \cdot \left( \frac{f_y^*}{f_y} \right) \end{cases}$$

鉄筋の数値解析モデルは、次のように表わされる。

$$\begin{cases} \sigma = E_s \varepsilon & \varepsilon \leq \varepsilon_y' = f_y' / E_s \\ \sigma = f_y' + (\varepsilon - \varepsilon_y') E_{sp}' & \varepsilon > \varepsilon_y' \end{cases}$$

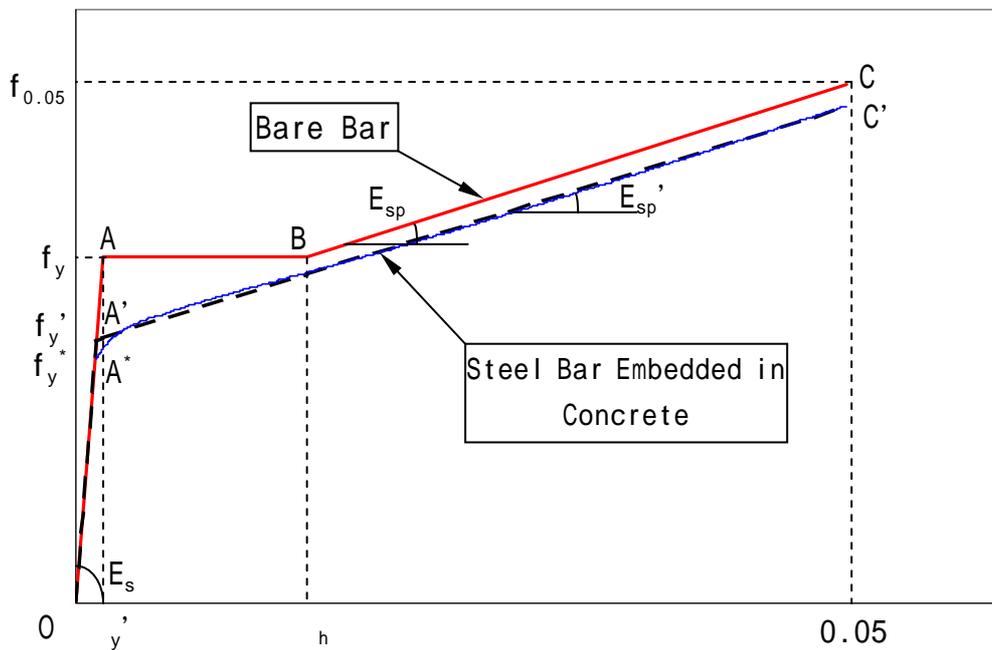


図5 鉄筋の応力 - ひずみ関係

### 3) 耐震壁単体の実験による検証

#### a) 耐震壁単体試験体の解析モデル

防災科学技術研究所大型耐震実験施設で実施された耐震壁単体の振動台実験<sup>6,7)</sup>の試験体を図6に示す。実験では、地震動による慣性力の作用位置（荷重の重心位置）の異なる試験体Aと試験体Bの2体を実施した。試験体Aと試験体Bの形状および配筋は全く同様である。試験体の形状を図7に示す。

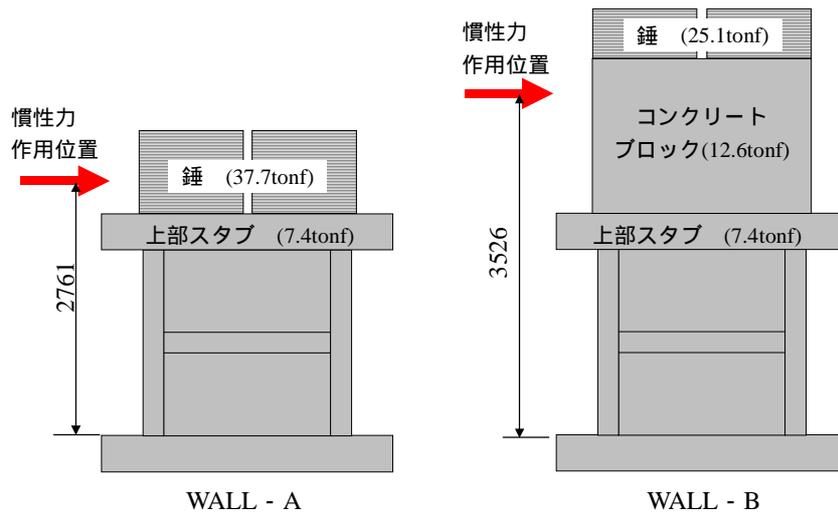


図 6 耐震壁単体の動的実験の試験体

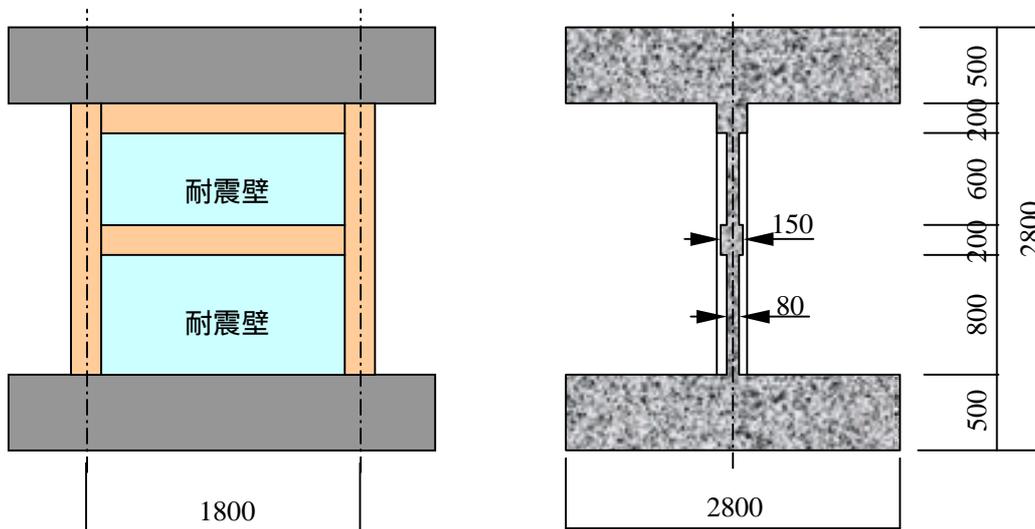


図 7 試験体の寸法

解析では、上部スタブおよび上部の錘を仮定の剛耐震壁とし、3層フレームの全高を荷重の重心位置に合わせて、図8に示す解析モデルを用いて静的繰り返し解析を行った。図8の解析モデルに示す寸法は試験体Aのものであり、括弧内の寸法は試験体Bのものである。

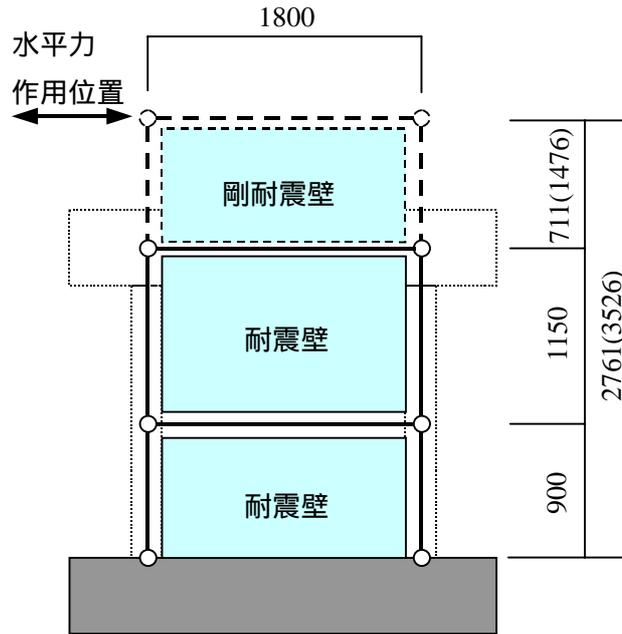


図8 耐震壁単体の解析モデル

入力地震動は、TOH（1978年宮城県沖地震、東北大学の記録、NS成分）、ELC（1940年Imperial Valley地震、El Centroの記録、NS成分）、JMA（1995年兵庫県南部地震、神戸海洋気象台の記録、NS成分）、CHI（1985年Chile地震）、TAK（1995年兵庫県南部地震、JR鷹取駅の記録、NS成分）の5種類が使用された（表1）。

表1 入力地震波

目標最大 入力速度 (kine)	地震波	原波形に対 する倍率	原波形 最大加速度 (gal)	原波形 最大速度 (kine)	試験体入力 最大加速度 (gal)	試験体入力 最大速度 (kine)
25	TOH	0.6	258.2	40.9	154.9	14.4
37	ELC	1.1	341.7	34.8	375.9	21.4
50	JMA	0.6	820.6	85.4	492.4	28.9
75	JMA	0.9	820.6	85.4	738.5	43.3
60	CHI	0.9	884.4	70.6	796.0	34.6
100	JMA	1.2	820.6	85.4	984.7	57.7
50	CHI	0.7	884.4	70.6	619.1	28.9
125	TAK	1.0	605.5	124.2	605.5	72.2
70	CHI	1.0	884.4	70.6	884.4	40.4

b) 解析結果と実験結果の比較

解析では、耐震壁上部スタブの中心軸位置の水平変位を制御パラメータとし、微小変

位増分による繰り返し静的载荷を行った。水平変位の制御履歴を図9に示す。

なお、錘や上部スタブなどの鉛直荷重は、柱や耐震壁の初期軸力として作用する。また、はりや上部スタブの厚さは、耐震壁の上下剛域として考慮した。

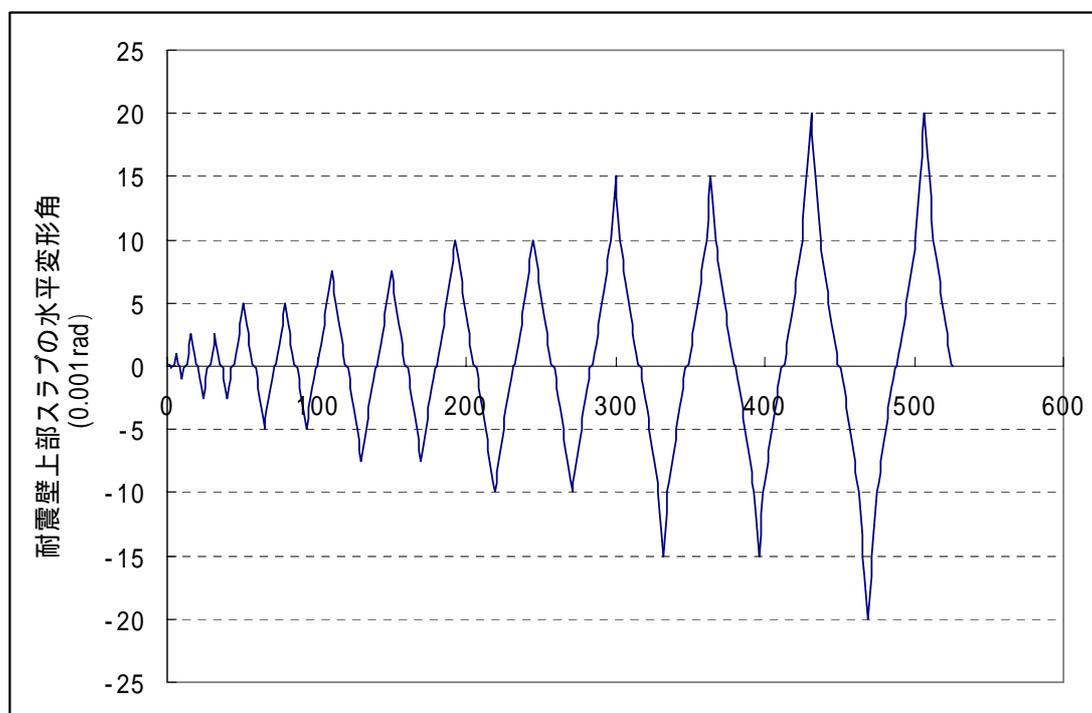


図9 解析における静的繰り返し载荷履歴

試験体にひび割れが発生し、降伏に至る程度の入力地震動について、震動台実験結果と静的繰り返し载荷解析結果を比較して図10および図11に示す。図10は、入力地震動を JMA75、CHI60 および JMA100 とした時の試験体 A の実験結果との比較であり、図11は、JMA50 および JMA75 を入力地震動とした時の試験体 B の実験結果との比較である。

提案した耐震壁の解析モデルによる解析結果は、初期剛性、ひび割れ発生点、ひび割れ後の剛性低下、および、降伏せん断力について、両試験体とも精度良く実験結果を再現している。

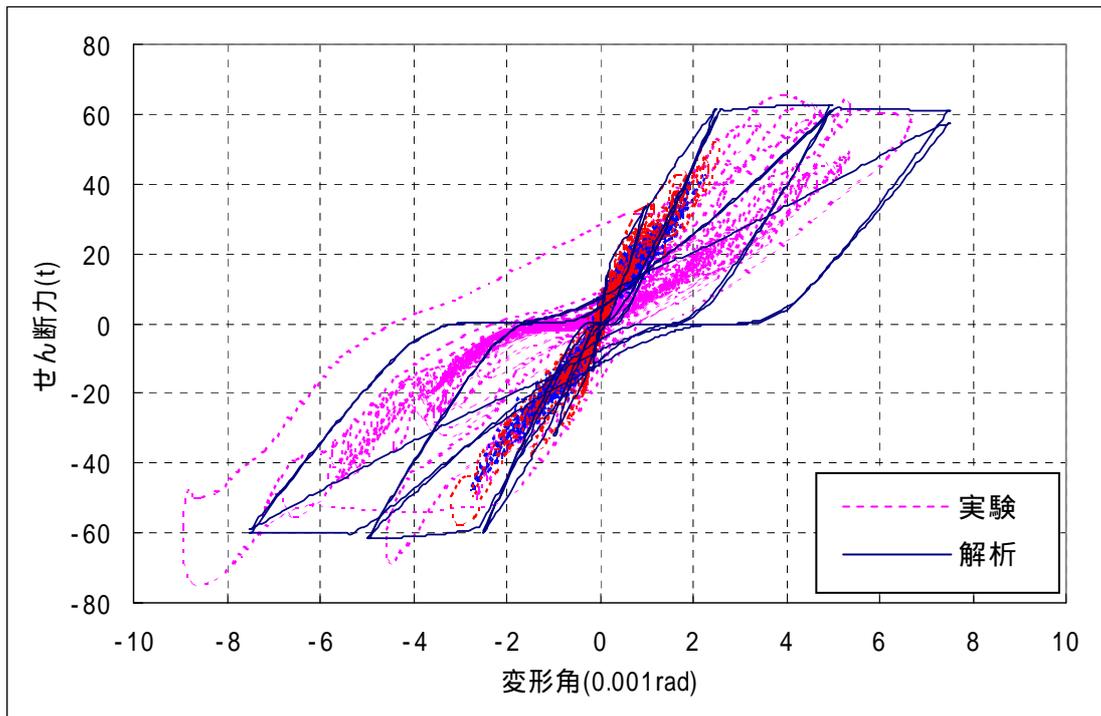


図 1 0 試験体 A の実験結果と解析結果の比較（降伏まで）

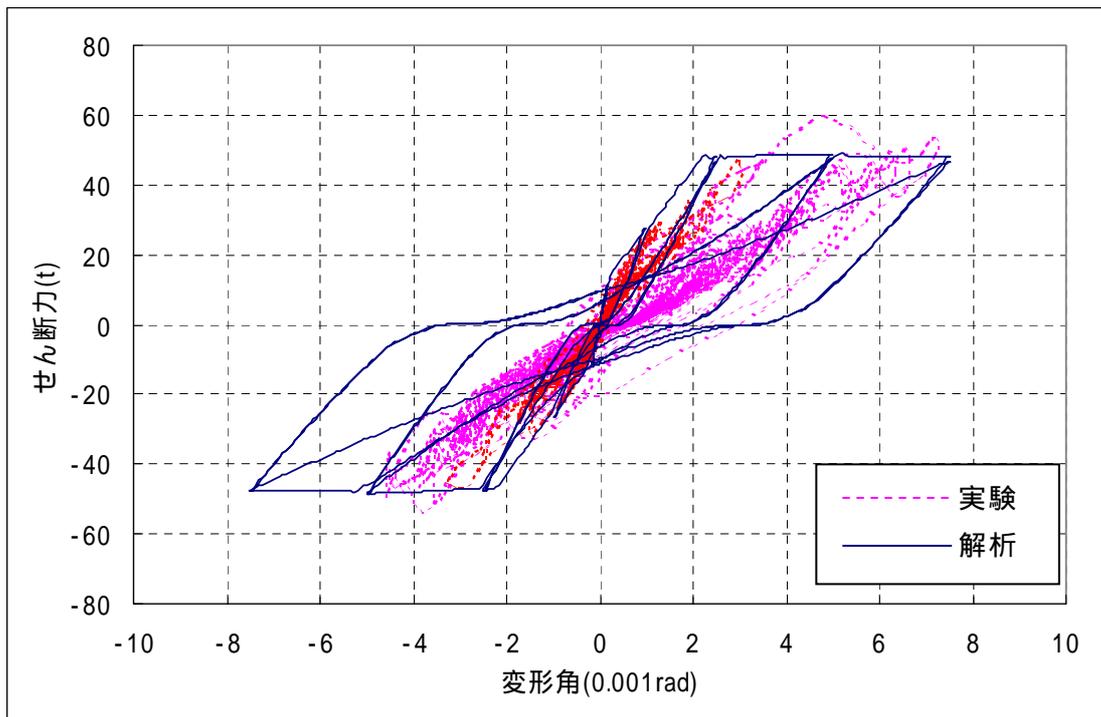


図 1 1 試験体 B の実験結果と解析結果の比較（降伏まで）

試験体が崩壊に至るまでの全入力地震動について、震動台実験結果と静的繰り返し載荷解析結果の比較を図 1 2 および図 1 3 に示す。図 1 2 では試験体 A を示し、図 1 3 では試験体 B を示している。

提案した耐震壁の解析モデルは、耐震壁崩壊時の変位角、除荷剛性、残留変形につい

て、両試験体も精度良く実験結果を再現できている。

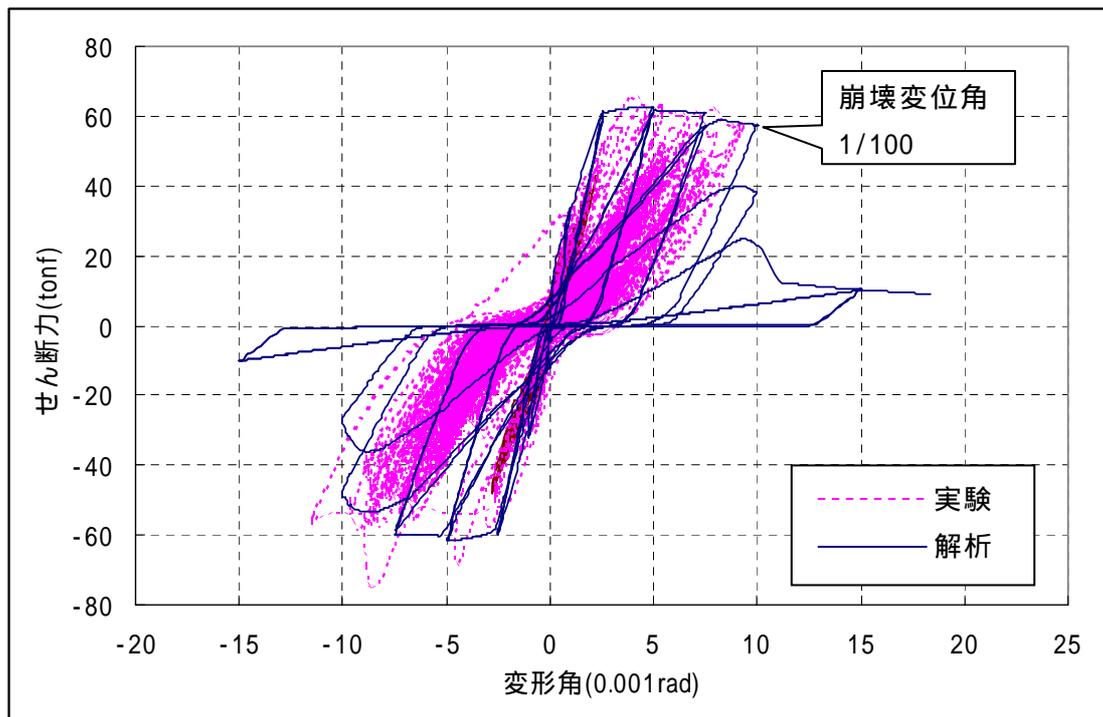


図 1 2 試験体 A の実験結果と解析結果の比較 (全履歴)

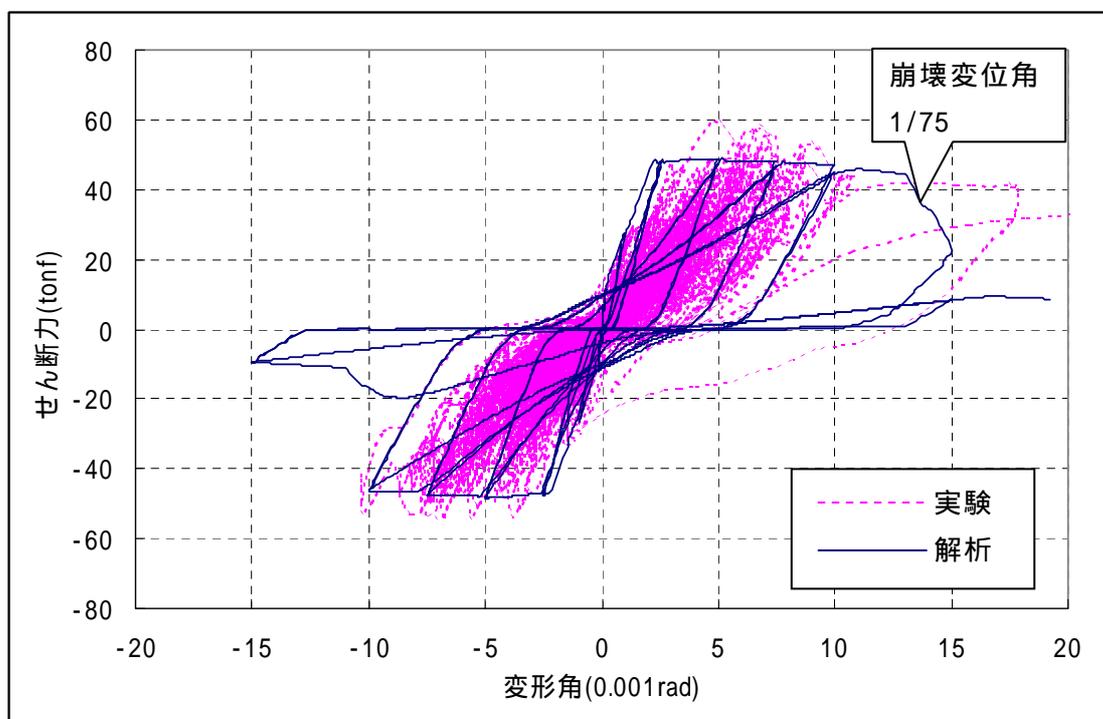


図 1 3 試験体 B の実験結果と解析結果の比較 (全履歴)

(c) 業務の成果

1) 汎用的な解析プログラムのフレームワークの作成

鉄筋コンクリートフレーム構造を解析対象とし、水平2方向地震動および鉛直方向地震動の応答解析を可能にする汎用的な解析プログラムのフレームワークを作成した。

2) 鉄筋コンクリートの平板の構成則にもとづいた耐震壁部材のモデル

側柱および上下はりで構成される鉄筋コンクリート耐震壁のフレーム構造地震応答解析用の部材モデルを提案した。

鉄筋コンクリート平板の構成則に基づく耐震壁のパネル要素モデルを提案した。

3) 耐震壁単体の実験による検証

提案した耐震壁の解析モデルによる解析結果は、初期剛性、ひび割れ発生点、ひび割れ後の剛性低下、降伏せん断力などについて、精度良く実験結果を再現できた。

提案した耐震壁の解析モデルは、耐震壁崩壊時の変位角、除荷剛性、残留変形について、精度良く実験結果を再現できた。すなわち、提案した耐震壁のモデルは、崩壊に至るまでの破壊シミュレーションを行うことが可能である。

(d) 結論ならびに今後の課題

1) 提案した耐震壁のパネル要素モデルは、静的繰返し載荷解析よれば、初期剛性、ひび割れ発生点、ひび割れ後の剛性低下、降伏せん断力など、崩壊に至るまでの過程を精度良く再現できたが、地震動を用いた動的応答解析による検証を実施する必要がある。

2) 平面フレーム解析では、耐震壁の側柱モデルは、フレーム面内に軸バネを直交方向フレームとの連成作用を考慮していない。立体フレームを解析するためには、直交方向の曲げ変形との連成作用を考慮すべきであり、その実験検証を行う必要がある。

(e) 引用文献

1) 小島貴人，白井伸明，森泉和人，水井啓介：“面内繰返し応力を受けるRC要素の構成則（その1）RC要素の構成則の提案”，日本建築大会講演梗概集，構造，C-2，pp.487-488，1996.

2) Kent, D. C., and Park, R., “Flexural Member with Confined Concrete”, Journal, Structure Division, ASCE, Vol.97, ST-7, pp.1969-1990, 1971.

3) 岡村 甫，前川宏一：“鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則”，技報堂出版，1991年。

4) Vecchio, F.J. and Collins, M.P.: “Response of Reinforced Concrete to In-Plane Shear and Normal Stress”, Department of Civil Engineering, Publication 82-03, University of Toronto, 1982.

5) Hsu, T.T.C.: “Unified Theory of Reinforced Concrete”, CRC Press, USA, 1993.

6) 松井智哉・壁谷澤寿海・加藤敦・梶原浩一・倉本洋・長島一郎：動的破壊実験による鉄筋コンクリート造耐震壁の変形性能の検討，第4回構造物の破壊過程解明に基づく

地震防災性向上に関するシンポジウム論文集，pp.203-208，2003.

- 7) 松井智哉・壁谷澤寿海・加藤敦・梶原浩一・倉本洋・長島一郎：鉄筋コンクリート造耐震壁の動的実験，構造工学論文集，Vol.49B，pp.459-464，2003.

(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
建物破壊解析システム	鉄筋コンクリート建物を対象とする変位増分解析による静的解析と直接積分法による動的解析を行う。

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成15年度業務計画案

(a) 柱、はり部材の解析モデルの開発

- 1) 耐震壁を含む鉄筋コンクリート造立体フレームの構造解析を行うため、大変形(崩壊)まで解析できる柱部材の解析モデルを開発する。単独柱には、2方向曲げ、せん断と軸力の相互作用を考慮できるモデルとし、耐震壁の側柱モデルには、耐震壁所在する面の軸力と直交方向の曲げおよびせん断の相互作用を考慮する。柱の部材モデルには、ファイバーモデルを用いることとする。
- 2) はり部材は、床スラブから伝達される静的荷重による軸方向のモーメント分布は線形的ではないため、一般的なフレーム解析では材端の力と変位の関係しか着目しないこと(部材内の力分布は直線とされる)は不十分と思われる。また、鉛直地震動を考慮する場合、建物の地震荷重(固定荷重と積載荷重の一部によるもの)は、はりの軸方向に沿って分布するため、フレームの節点に集中地震荷重を仮定する従来の解析手法

は適切とは言えない。上記のようなことから、静的荷重によるはり軸方向のモーメント分布や地震荷重の分布を考慮するため、はりの部材には、8分割はりモデルを開発する。なお、分割されたはりには、ファイバーモデルを用いて、柔度分布は直線分布とする。

(b) 耐力劣化型の部材モデルを用いた三次元解析プログラムの開発

耐力劣化型の柱、はり、耐震壁の部材モデルを用いて、フレーム構造が崩壊に至るまでの解析を可能にした三次元解析プログラムを開発する。ファイバーモデル(柱、はり)、パネル要素モデル(耐震壁)を採用することにより、繰り返し荷重によるコンクリートの耐力の低下を考慮すれば、地震などの繰り返し荷重による部材ないし建物の耐力劣化が再現可能である。

(c) 立体フレーム構造解析プログラムの精度の検証

耐震壁を含む立体フレーム構造の縮尺モデルの1方向地震動入力による震動実験や擬似動の実験の実験データを用いて、開発した解析プログラムの解析精度を検証する。なお、柱、はりの部材モデルの検証は、既往の実験結果を用いて行うことを基本とするが、必要に応じて部材実験を行う。