

3.2.3 実大実験の計画と予備解析

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ヵ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
- (e) 平成17年度業務目的

(2) 平成17年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
 - 1) 試験体概要
 - 2) 入力計画
 - 3) 解析モデル
- (c) 業務の成果
 - 1) Pushover 解析結果
 - 2) 動的解析結果
 - 3) 振れ応答性状
 - 4) 短柱の剛域長さによる影響
- (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18年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 実大実験の計画と予備解析

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京大学地震研究所	教授	壁谷澤 寿海	kabe@eri.u-tokyo.ac.jp
防災科学技術研究所	研究員	松森 泰造	taizo@bosai.go.jp
東京大学地震研究所	助手	真田 靖士	ysanada@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	研究員	金 裕錫	yskim@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	大学院生	ウサレム ハッサン	oushas@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	大学院生	ホセイモスタファエイ	mhossein@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	大学院生	壁谷澤 寿一	tosikazu@eri.u-tokyo.ac.jp

(c) 業務の目的

耐力劣化型モデルおよび既往の部材モデルを用いた予備解析結果から実大試験体の破壊過程を予測する。

- 1) 部材モデルにおける耐力劣化性状の有無が実大試験体の破壊過程に及ぼす影響の検討を行う。
- 2) 振れ応答が試験体の破壊過程に及ぼす影響に関する検討を行う。

(d) 5 ヶ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成14年度：

平成14年度は、(a) 水平外力の等価高さを変化させた壁単体モデルの実験、(b) 耐力劣化型壁部材モデルの開発、(c) 耐力劣化型柱部材モデルの開発と既往の震動実験の解析、の実施を計画し、ほぼ計画通り実施して以下の成果を得た。

動的試験により耐震壁は、静的な試験、既往の評価式よりも歪速度により強度は上昇するが、やや小さい変形能力になることを明らかにした。これは入力に依存する多数回の繰り返しによる耐力劣化の影響であると考えられる。耐力劣化の影響を反映した耐震壁のモデルを解析コード化して、実験結果により検証した。解析モデルは概ね実験を再現しうることを確認した。また、柱の耐力劣化型モデルも開発して、既往の震動実験により検証した。解析に関しては15年度から16年度まで精度向上、検証を継続した。

2) 平成15年度：

平成15年度は、(a) 異なる入力地震動を受ける偏心壁フレーム構造の震動実験、(b) 震動実験の予備解析、(c) 震動実験の結果の整理と解析、(d) 耐震壁を含む立体フレーム構造の解析プログラムの開発、(e) 三次元震動実験実大試験体の設計と予備解析、の実施を計画し、ほぼ計画通り実施して以下の成果を得た。

異なる入力地震動を受ける偏心壁フレーム構造の震動実験により、構造物の崩壊には総入力（履歴消費）エネルギーよりも最大応答変形が支配的であることを明らかにした。安定領域に関しては予備解析でほぼ予測したとおりの応答が得られて、既往の解析手法で応

答挙動は再現可能であることを検証した。柱の応力測定手法を試み、非対称応力を受ける 3 軸ロードセルの問題点を明らかにし、変位測定による応急対処法と検定結果も示した。

3) 平成 16 年度 :

平成 16 年度は、(a) 壁フレーム構造実大実験縮小モデルの震動実験(防災科研)、(b) 偏心壁フレーム構造の震動実験の詳細解析、(c) 耐力劣化型柱・耐震壁モデルの汎用解析プログラム化、(d) 三次元震動実験実大試験体の設計と予備解析、(e) 偏心構造物の応答推定、(f) 柱部材の終局限界変形の推定、の実施を計画し、ほぼ計画通り実施して以下の成果を得た。

偏心構造物試験体の解析を基本にして、特性の異なる偏心構造物の解析を行い、塑性化による振れ応答のモード形に関する一般的な推移過程を明らかにした。この性質を利用した等価線形化手法を提案して、応答推定法があらゆる場合に有効であることを検証した。

耐力劣化型モデルを用いて耐震壁を含む構造物（壁フレーム構造）の解析を行い、耐力劣化に起因する耐震壁への変形集中により、層降伏に至る壁フレーム構造の応答特性、それを反映した耐震性能評価手法（耐震診断の評価式）を検討した。

柱の耐力劣化型モデルを震動実験、柱の静的実験結果に適用し、他のモデルによる解析結果と比較した。耐力劣化に伴う現象はこのモデルによってのみ再現可能であることを示した。

実大試験体の計画は詳細が未定であったので、試験体の解析は準備段階にある。試験体の詳細計画、詳細設計、入力計画の準備と進行状況に応じて詳細解析を適宜試行しうる手法を完成させた。

4) 平成 17 年度 :

耐力劣化型モデルおよび既往の部材モデルを用いた予備解析結果から実大試験体の破壊過程を予測する。

- 1) 部材モデルにおける耐力劣化性状の有無が実大試験体の破壊過程に及ぼす影響の検討を行う。
- 2) 振れ応答が試験体の破壊過程に及ぼす影響に関する検討を行う。

5) 平成 18 年度 :

学校校舎の耐震補強と SR (Sway-Rocking) 基礎に関する実大振動実験の予備解析を行う。

(e) 平成 17 年度業務目的

耐力劣化型モデルおよび既往の部材モデルを用いた予備解析結果から実大試験体の破壊過程を予測する。

- 1) 部材モデルにおける耐力劣化性状の有無が実大試験体の破壊過程に及ぼす影響の検討を行う。
- 2) 振れ応答が試験体の破壊過程に及ぼす影響に関する検討を行う。

(2) 平成 17 年度の成果

(a) 業務の要約

地震に対する鉄筋コンクリート構造物の破壊過程解明を目的とする数多くの実験的、解析的研究が行われて来たが、その破壊メカニズムの複雑さおよび実験環境の制約により実際の建物の破壊過程を再現するにはまだ不十分であり、解析モデルにおいても不明なところが多い。そこで、実際により近い構造物の破壊過程を再現する目的で、実大 3 次元震動破壊実験施設である E-ディフェンスでは鉄筋コンクリート造実大壁フレーム構造震動実験を計画し、実大構造物の破壊過程の解明および構造解析手法の検証を目的としている。実大試験体を構成している部材のうち特に耐震壁および腰壁構面の短柱はせん断破壊が予測され、これらの部材に対するモデル化手法がポストピックおよび破壊過程予測の精度に大きな影響を与えると考えられる。

そこで、鉄筋コンクリート構造物の破壊過程に伴う耐力劣化現象を再現する目的で開発された耐力劣化型柱モデルおよび耐震壁モデルを用い、部材の耐力劣化が構造物の破壊過程に及ぼす影響およびその予測を目的として予備解析を行った。その解析手法として、耐震壁および腰壁構面の短柱に対しては耐力劣化型モデルを用いてモデル化し、部材の最大耐力到達後、耐力劣化を伴うポストピック (Post-Peak) 挙動の再現できない既往部材モデル (Three Vertical Line Element Model、Fiber Model、One-Component Model) による結果との比較からその差を明らかにする。また、柱、壁の不整形な配置によって生じる揺れ応答が構造物各構面のせん断力の負担率に及ぼす影響と構造物全体の崩壊メカニズム形成との関係を示す。

昨年度までに開発した脆性破壊する立体フレーム構造の動的実験を対象とする解析システムにより、E-Defense で実施される実大三次元震動実験の予備解析を行い、試験体および地震動入力計画案を策定し、妥当性を確認した。

(b) 業務の実施方法

本実大試験体の 3 次元地震動入力に対する地震応答および破壊過程を精度よく予測するために要求される部材モデルの条件としては、構造部材の偏在によって生じる揺れ挙動や 3 次元地震動入力による 3 軸カップリング効果、そして耐震壁および短柱における軸一曲げ-せん断の相互作用および耐力劣化性状の考慮などが上げられる。しかしながら、上記すべての条件を同時に満たすマクロ部材モデルを適用するにはまだ不十分であるので本解析では耐力劣化型モデルを中心とした地震応答解析を行い、短柱および耐震壁の耐力劣化性状が実大試験体の破壊過程に及ぼす影響の検討を試みる。

1) 試験体概要

解析対象である実大試験体を図1に示す。Y方向構面は、X1構面が腰壁付き短柱構面、X2構面が耐震壁構面、そしてX3構面が純フレーム構面で構成されている。また、X方向構面は、Y1及びY4構面が袖壁構面、Y2及びY3構面が純フレームである。したがって、Y方向にはX1構面とX3構面による剛性および耐力偏心が生じ、捩れ応答が予想される。試験体の立面に関しては、各層の高さが2.5mで6層建物であり、基礎を除いた上部構造の重量が750tonfである。

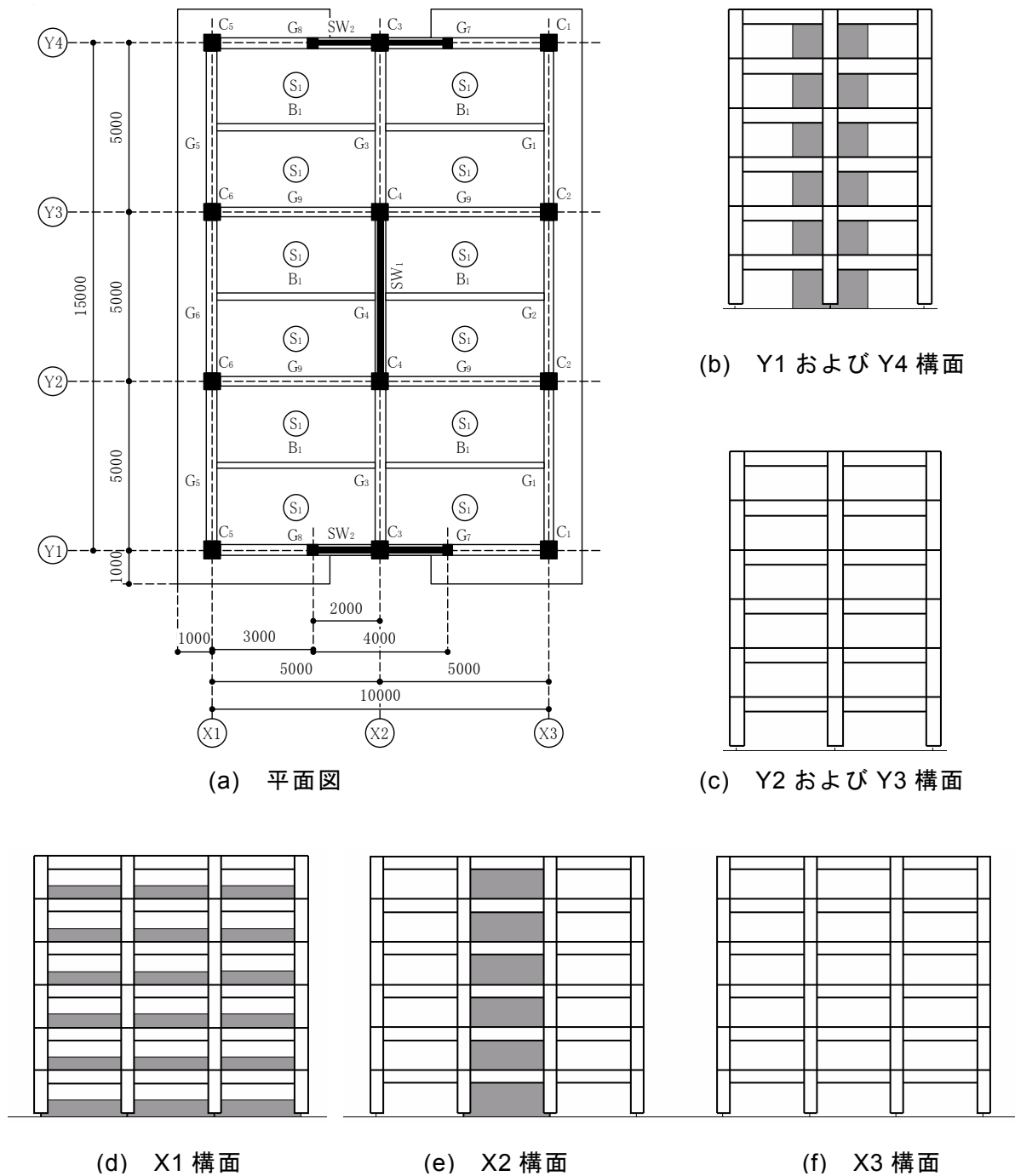


図1 試験体の平面図および立面図

2) 入力計画

実大震動実験で用いる地震動は 1995 年兵庫県南部地震、神戸海洋気象台の記録 (JMA Kobe) の NS, EW, UD の 3 成分であり、試験体に対する水平成分の入力方向は、NS 成分が試験体の X 軸から 45° 、-EW 成分が Y 軸から 45° 方向に入力することを計画している (図 2)。図 2 の矢印は NS、EW 成分による試験体に実際入力される地震動の方向およびその大きさを表しており、特に太い矢印は、NS 成分最大時 (.....➡ ①)、EW 成分最大時 (- ➡ ②)、そして NS 成分と EW 成分による加速度振幅が最大時 (➡ ③) をそれぞれ表している。図からわかるように 2 つの成分による地震動の入力が Y 方向に集中しているのが分かる。

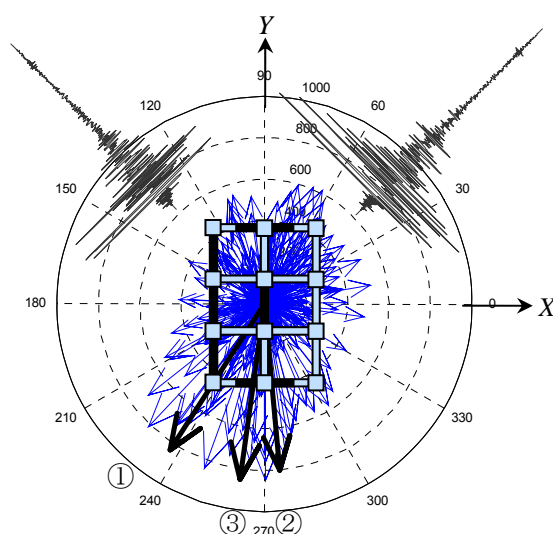


図 2 入力計画

3) 試験体のモデル化

部材モデルの種類による実大試験体の破壊過程に及ぼす影響を調べる目的で耐震壁の部材モデルとして TVLE (Three Vertical Line Element) モデルと IPE (Iso-Parametric Element) モデル¹⁾の 2 つのモデルを用い、また短柱に対しては OC (One-Component) モデル、FB (Fiber) モデルそして耐力劣化の考慮できる提案モデル²⁾、(PM, Proposed Model) を用いて表に示す 6 つのケース (表-1) に対する Pushover 解析および動的解析を行った。

また、すべてのはりに関しては材端ばねモデル (OC, One-Component Model) を用いて両端部に曲げばねのみでモデル化した。ここで、スラブによる有効幅を考慮し、その曲げ耐力を算出した³⁾。特に腰壁構面のはりには腰壁の高さをはりの断面に加え剛性および耐力を算出し⁴⁾、スラブは剛床とした。

表-1 柱および耐震壁モデルの組み合わせ

耐震壁 \ 柱	One-Component model	Fiber model	Proposed model
	TVLE Model	TVLE-OC	TVLE-FB
IPE Model	IPE-OC	IPE-FB	IPE-PM

a) TVLE(Three Vertical Line Element)モデル

耐震壁の壁板を図3に示すように曲げばね、せん断ばねおよび軸ばねでモデル化し、側柱に対しては面内変形に対する曲げおよびせん断成分を無視し軸ばねまたはファイバーモデルでモデル化した。そして、壁板上下の境界張りに関しては剛ばりとしてモデル化した。壁板の曲げおよびせん断ばねには原点指向型モデル(図4(a))を用い、壁板および側柱の軸ばねには Axial stiffness モデル(図4(b))を用いた。また、耐震壁の直交方向に対しては側柱に曲げばねを設けることとし、曲げばねの復元力特性モデルとしては Takeda モデル(図4(c))を用いた。耐震壁および側柱の復元力特性モデルに用いられる折れ線の境界点(ひび割れ、降伏)に相当する耐力および剛性低下は文献³⁾にしたがって算出した。

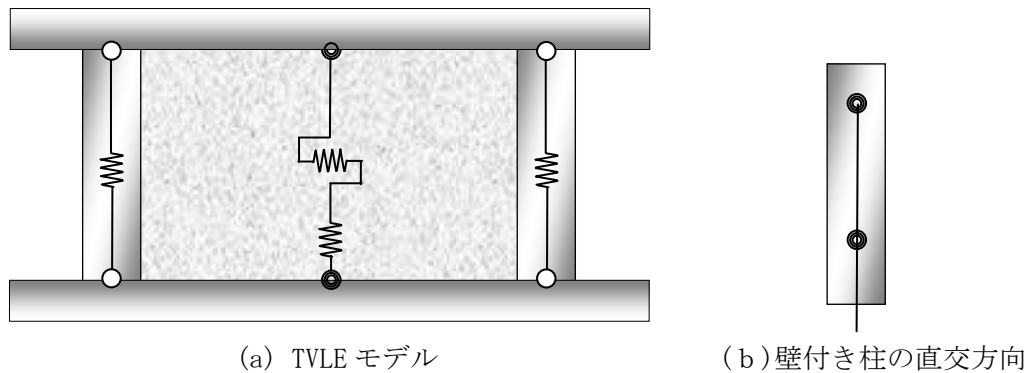


図3 耐震壁構面のモデル化

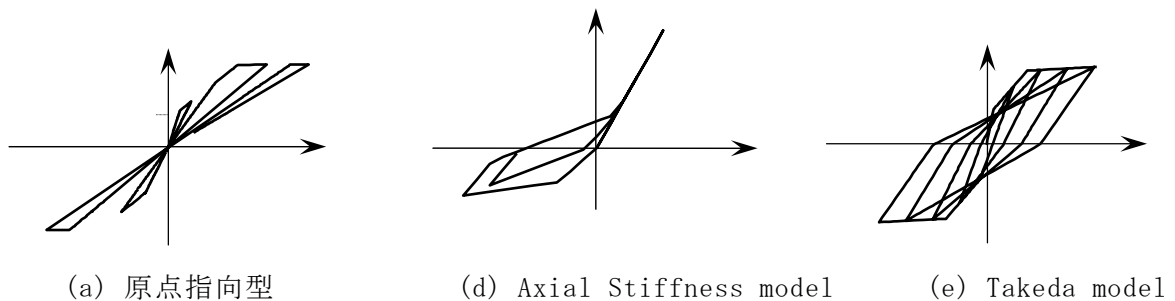


図4 復元力特性モデル

b) IPE(Iso-Parametric Element Model) モデル

耐震壁の耐力劣化型モデルは図5に示すように、境界部材である側柱を軸ばねで、境界

ばりの曲げ剛性を剛としてモデル化し、壁板には1つの Iso-parametric 平面要素を用いてモデル化した (IPE, Iso-Parametric Element Model)。さらに、壁板要素にはガウス積分点を設け、コンクリートおよび鉄筋の構成則によって求められる応力-ひずみ関係から耐震壁の応答を求める。側柱の直交方向には TVLE モデルと同様に曲げばねのみでモデル化した。

図6にはコンクリートの圧縮および引張モデルを示している。コンクリートの圧縮モデルは主引張ひずみとの関係からコンクリート圧縮強度の軟化効果を考慮しており、引張モデルでは鉄筋によるコンクリートのひび割れ後の Tension stiffening 効果を考慮している。耐力劣化型耐震壁モデルおよびコンクリート構成則の詳細は文献¹⁾を参照されたい。

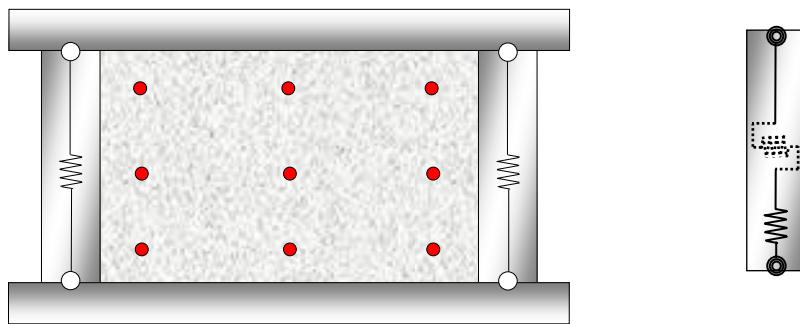


図5 IPE モデル

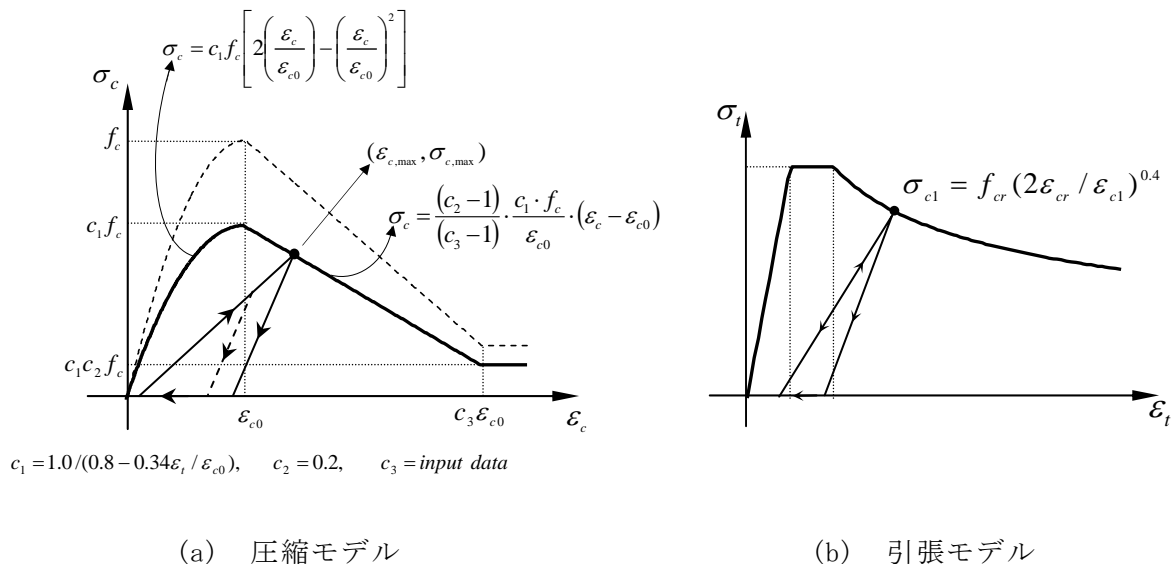


図6 コンクリート構成則

c) One-Component Model

図7(a)に示すように柱の両端に曲げばねと軸ばねを設けることによって柱をモデル化

し、はりに関しては図 7(b)のように曲げばねのみでモデル化した。せん断成分に関してはせん断ばねを直接設けることではなく、曲げ柔性比例型でせん断の影響を間接的に考慮した(文献⁵⁾)。曲げばねには Takeda モデル(図 4(e))を、軸ばねには Axial Stiffness(図 4(d))モデルを用い、そのスケルトンカーブのひび割れ強度、降伏強度および剛性低下率は文献³⁾に従い算出した結果を用いた。

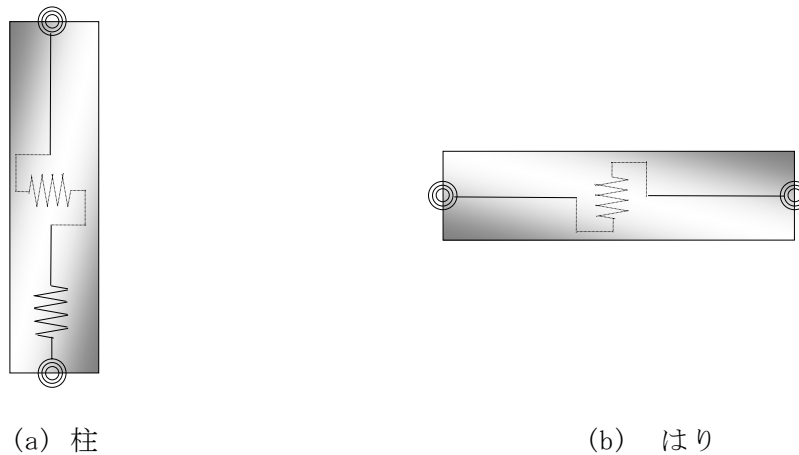


図 7 One-Component Model

d) Fiber model

本解析で用いたファイバーモデルは柔性法に基づいており、柱の両端部をコンクリートおよび主筋を表すファイバーで分割し、その断面の柔性マトリックスの関係を線形と仮定した(図 8(a), 式 1)。

柱の断面分割方法としては、独立柱を図 8(b)のようにかぶりコンクリート、コアコンクリートおよび鉄筋ファイバーに分けてモデル化し、壁付き柱(図 8(c))に対しては壁板の面内変形に対する曲げ応答が生じないようにモデル化した。

また、袖壁付き柱に関しては図 8(d)のように断面を分割してモデル化した。

コンクリートおよび鉄筋の構成則を図 9 に示す。耐力劣化劣化型モデルに用いた構成則とは異なり圧縮および引張においてそれぞれ軟化効果や tension stiffening 効果は無視した。ここで、コンクリートのファイバーはかぶりコンクリートおよびコアコンクリートと分離し、コアコンクリートに対してはせん断補強筋の拘束効果によるコンクリートの性能向上を修正 Kent-Park モデル⁶⁾から評価したスケルトンカーブを用いた。

$$f(z) = (1 - z/L_0) \cdot [f_1] + z/L_0 \cdot [f_2] \quad \text{式 1}$$

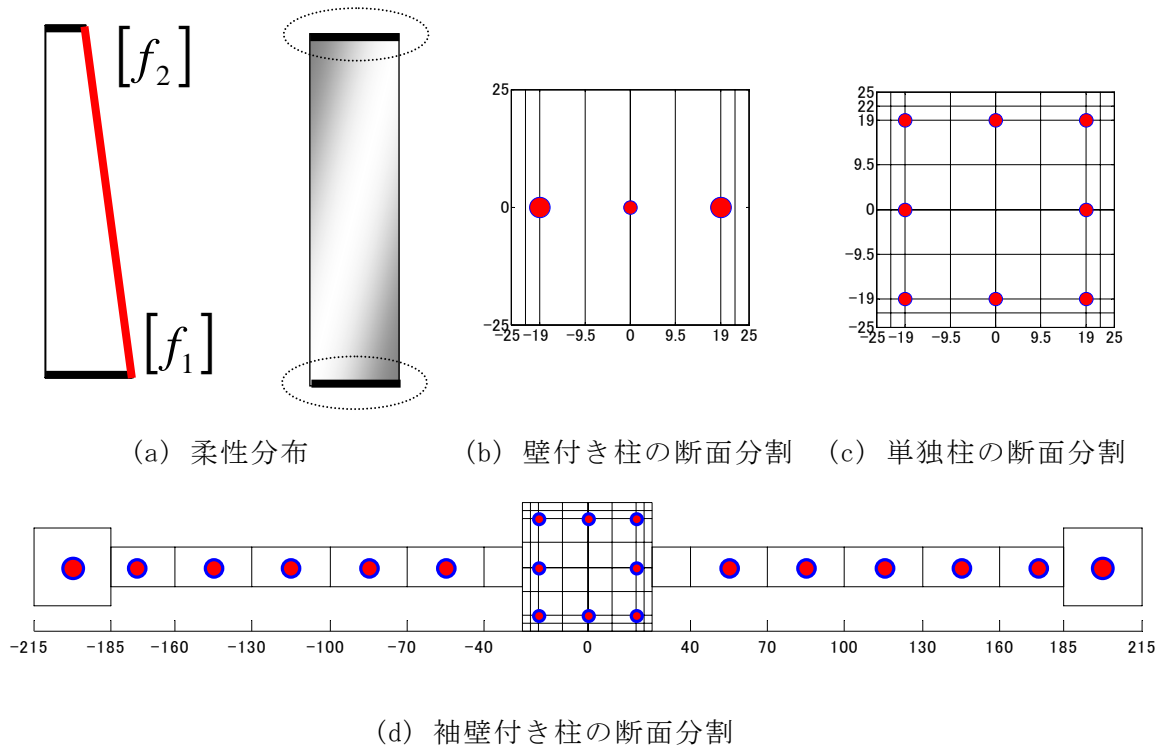


図8 Fiber Model

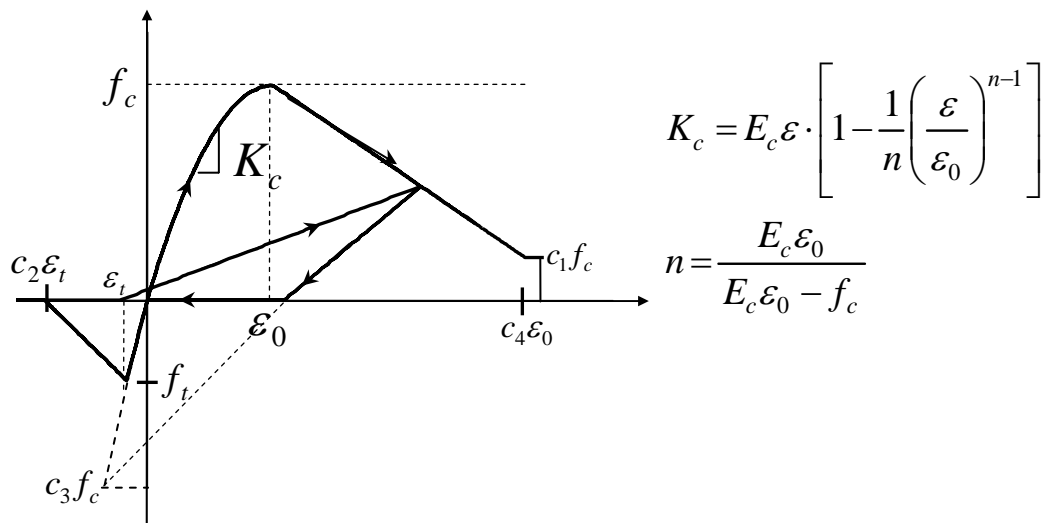


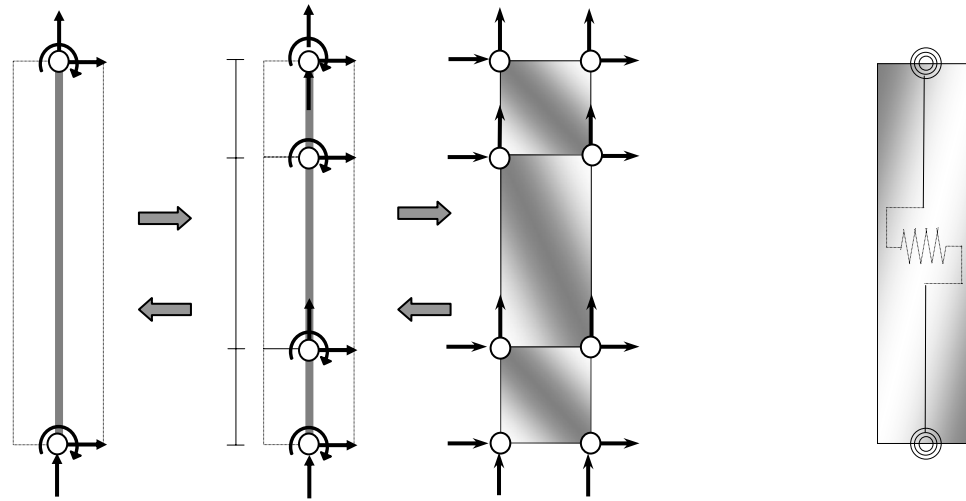
図9 コンクリート構成則 (Fiber model)

e) 耐力劣化型柱モデル (PM)

図10に耐力劣化型提案モデル (PM) を示す. 本モデルは2軸応力状態による曲げ-軸-せん断力の相互作用およびコンクリートの引張ひずみによるコンクリート圧縮強度の軟化効果を考慮していることと、図10(a)に示しているように、2つの節点を持つ1本の線材を3つの面材に変換し、線材では考慮できない平面応力-平面ひずみ関係に基づいているのが特徴として挙げられる. 耐力劣化型柱モデルは平面要素の応力-ひずみ関係に基づいて

いることから 3次元入力および振れ挙動によって本試験体に生じる直交方向挙動（X-Z 平面）に関しては曲げばねを用いてモデル化した（図 10(b)）。

コンクリートの構成則は IPE モデルと同様に圧縮モデルでは softening effect を、引張モデルでは stiffening effect を考慮した。



(a) 概念図

(b) 直行方向

図 10 PM Model

表-2 柱モデルの特徴

	Plasticity distribution	X-Y-Z axis coupling	N-M-V coupling
One-Component Model		$\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ N_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [K_{xx}] & [0] & [0] \\ & [K_{yy}] & [0] \\ sym. & & [K_{zz}] \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \theta_x \\ \theta_y \\ d_z \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} M \\ N \\ V \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [K_{MM}] & [0] & [0] \\ & [K_{NN}] & [0] \\ sym. & & [K_{VV}] \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \theta \\ u \\ v \end{Bmatrix}$
Fiber Model		$\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ N_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [K_{xx}] & [K_{xy}] & [K_{xz}] \\ & [K_{yy}] & [K_{yz}] \\ sym. & & [K_{zz}] \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \theta_x \\ \theta_y \\ d_z \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} M \\ N \\ V \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [K_{MM}] & [K_{MN}] & [0] \\ & [K_{NN}] & [0] \\ sym. & & [K_{VV}] \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \theta \\ u \\ v \end{Bmatrix}$
Proposed Model		$\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ N_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [K_{xx}] & [0] & [0] \\ & [K_{yy}] & [K_{yz}] \\ sym. & & [K_{zz}] \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \theta_x \\ \theta_y \\ d_z \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} M \\ N \\ V \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [K_{MM}] & [K_{MN}] & [K_{MV}] \\ & [K_{NN}] & [K_{NV}] \\ sym. & & [K_{VV}] \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \theta \\ u \\ v \end{Bmatrix}$

表-2 では線材モデルとして用いた 3つの部材モデル (OC, FB, PM) の特徴を塑性分布、X-Y-Z 軸の相互作用関係、軸-曲げ-せん断の相互作用関をマトリックスの coupling 関係を用いて比較している。3つのモデルともに 3次元入力により生じる実大試験体の応答を精度よく再現するため必要な条件を満たしてないのがわかる。

(c) 業務の成果

1) Pushover 解析結果



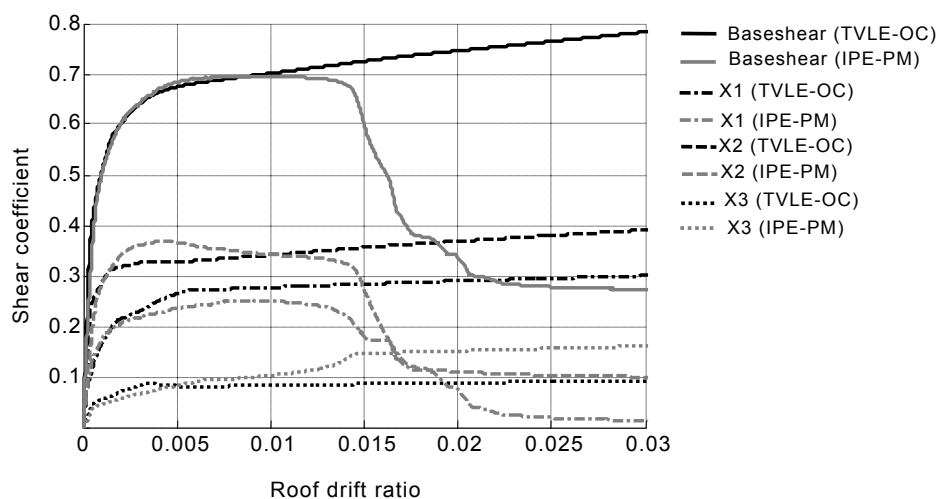
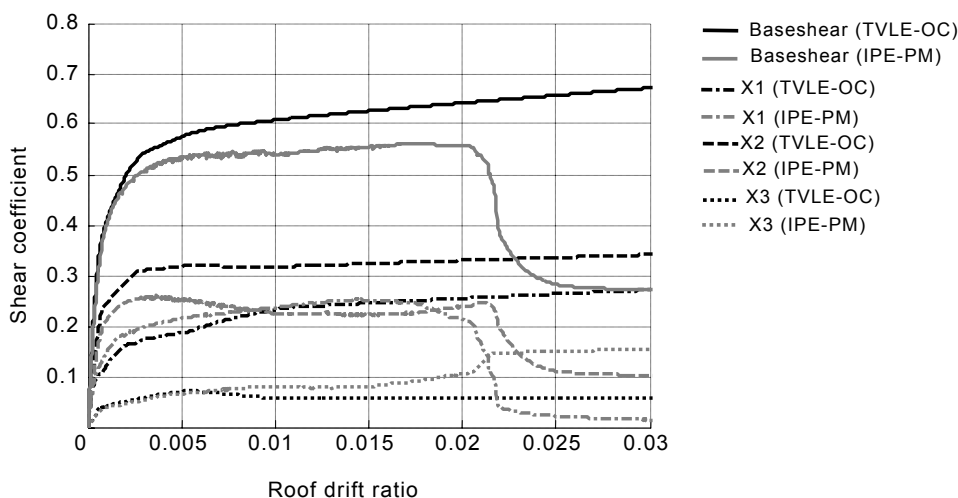
矩形および逆三角形の外力分布を用いて Y 方向への pushover 解析を行った。6 つの解析ケース（表-1）のうち耐力劣化性状の有無による影響を比較するため IPE-PM および TVLE-OC の解析結果を図 11 に示す。ここで、 11(a)が矩形外力、 11(b)が逆三角形外力分布を与えた時の結果である。

図 11 からわかるようにモデルの種類および外力分布にかかわらず耐震壁構面が全体ベースシヤアのほぼ半部を負担しているのがわかり、腰壁構面の負担せん断力は耐震壁構面よりは小さいものの純フレームの負担せん断力を大きく上回っているのが確認できる。

外力分布による両モデルのベースシヤアは矩形外力時にはその差がほぼ見られないものの逆三角形分布の時は IPE-PM ケースが TVLE-OC ケースを下回っているのがわかる。この差は主に耐震壁構面で生じており、IPE モデルは外力分布による影響が大きいことを表している。また、矩形外力分布を与えた時が逆三角形外力分布を与えた時より早い段階で耐力劣化が始まっているのが確認できる。



(a) 矩形外力分布による結果



(b) 逆三角形外力分布による結果

図 11 Pushover 解析結果

図 12 には IPE-OC, IPE-FB, IPE-PM ケースに対する耐震壁構面 (X2 構面) と腰壁構面 (X1 構面) の最上階の変形角が 0.015 時の 1 階の層間変形角とせん断力の関係を表している。この図から腰壁構面短柱の耐力劣化により 1 階への変形が集中しているのがわかる。

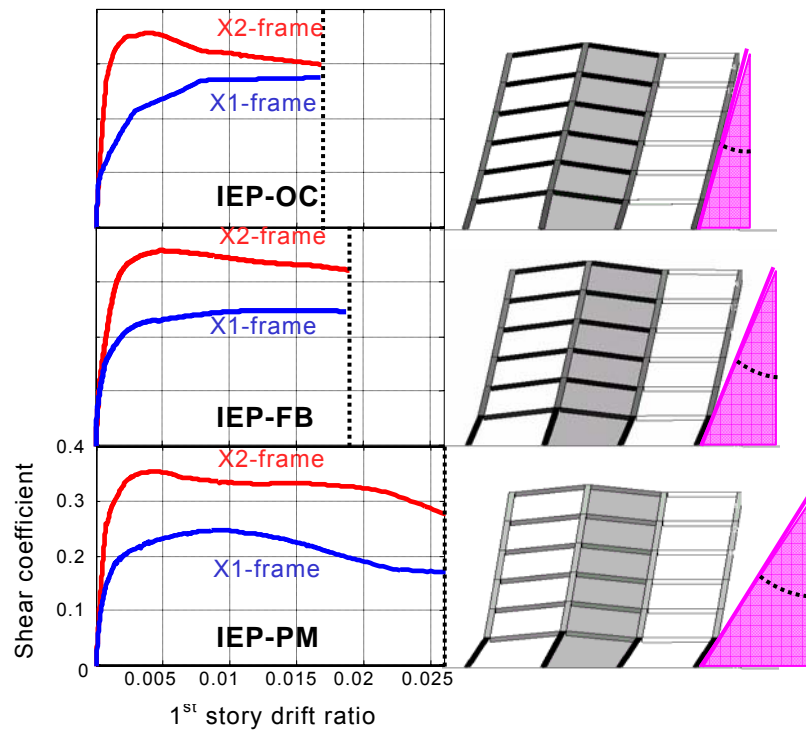


図 12 柱モデルによる変形分布

2) 動的解析結果

Pushover 解析と同様に 6 つのモデルケースに対し、KOBE 地震動 (JMA) の 3 成分 (NS, EW, UD) を図 2 に示す方向から入力して地震応答解析を行った。数値解析方法は Newmark- β 法 ($\beta=0.25$)、数値積分の時間刻み (Δt) が 0.01 秒であり、減衰係数 h を 0.03 とし、瞬間剛性比例型を用いて解析を行った。図 13 に IPE-OC, IPE-FB, IPE-PM ケースの Y 方向および X 方向に対するせん断力係数と最上階変形角の関係を表している。まず、X 方向に関しては図 2 からわかるように 2 つの水平成分によって試験体に入力される地震動が Y 方向に集中していることから Y 方向の応答に比べ X 方向の応答が小さいのが図 13(a) から確認できる。

一方、Y 方向に関しては 3 つのケースにおける最大ベースシヤーと各構面の最大せん断力そのものはほぼ同じであるものの、最上階変形角および 1 階の変形角においては差が生じているのが分かる。つまり、図 12 と同様に IPE-PM ケースの場合は 1 階に変形が集中しているのが確認できる。

また、1 階と 2 階の変形分布にも柱モデルによって差が生じているのがわかる。IPE-OC ケースでは 1 階と 2 階の変形はほぼおなじであるが、IPE-FB では 2 階の変形が 1 階の変形を上回っており、IPE-PM ではその大きさに反対の結果になっているのが図 13(b) と図 13(c) から確認できる。これは、IPE-PM では短柱の耐力劣化によって 1 階に変形が集中しているのに対し、IPE-FB では柱の耐力劣化が考慮できないことにその原因があると考えられる。特に、IPE-FB ケースで 2 階に変形が集中している結果に対しては本解析で用いた耐震壁モデルの特徴にその原因があると考えられる。つまり、本耐震壁モデルではコンクリート圧縮強度の主引張ひずみによる軟化効果を考慮している。ここで、引張ひずみは耐震壁をあらわす 4 節点変位から Isoparametric 公式および回転ひび割れ法から求めることになるが、本解析では剛床仮定に基づいているので耐震壁の境界ばりの軸変形が考慮できず、側柱の軸変形が壁板のひずみに大きな影響を与えることになる。したがって、3 次元入力および捩れ応答による耐震壁の側柱に 2 軸曲げによる影響が fiber モデルのみで考慮され、その影響で軸変形がほかのモデルより大きくなった結果だと考えられる。図 13 に IPE-FB および IPE-PM において最大変位を記録した時の層崩壊様子を表している。

3) ねじれ応答

弾性および塑性領域における Y 方向の剛性および耐力偏心によって生じる捩れ応答の変化を、応答中心点距離⁷⁾、 r (図 15) を用いて調べて見た。応答中心点距離、 r は試験体重心における回転角 (θ) と Y 方向併進成分 (d) の関係を線形近似して得られる直線の傾きであり、 r が小さいほど捩れ応答が卓越しているのを意味する。図 16 では KOBE (JMA) 地震動 NS 成分の最大加速度レベルを徐々に変化して Y 方向へ入力して得られた応答重心点距離、 r の変化を示している。■印の変化から試験体が塑性化することによって捩れ応答の傾向がだんだん鈍くなるのがわかる。これは、腰壁構面 (X1 構面) の早い段階でのひび割れ発生および降伏によって剛性が低下し、弾性領域での捩れ応答を支配する剛性偏心率がだんだん小さくなったのがその原因であると考えられる。また、比較的の高い剛性および耐力をもつ直交方向 (X 方向) における袖壁構面の捩れ応答に対する抵抗がもう 1 つの原因として挙げられる。そこで、袖壁構面の捩れ応答に対する影響を調べる目的で Y1 および Y4 の両構面に袖壁のない試験体に対する応答中心点距離を算出したのが図 16 の●印である。図からわかるように袖壁のある試験体に比べ捩れ応答が顕著かつ試験体の損傷によらずほぼ一定であることが確認できる。

袖壁構面の捩れ応答に及ぼす影響による耐震壁構面 (X2 構面) と腰壁構面 (X1 構面) のせん断力負担率の変化を同じく袖壁 (Y1 と Y4 構面) の有無による Y 方向への pushover 解析結果を図 17 に示す。ベースシャーは両試験体において同じであるものの、袖壁のない試験体、すなわち捩れ応答が卓越する試験体の方が腰壁構面の負担率が減少することによって耐震壁の負担率が増加し、その影響で耐震壁の耐力低下が早い段階で始まるのが確認できる。これは、本試験体において、直交方向部材が主方向 (Y 方向) の捩れ応答に及ぼす影響を表しており、主方向構面の破壊過程とも関係があることを示している。

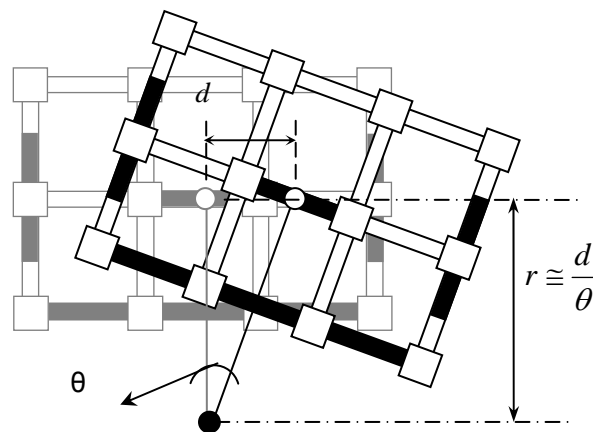


図 15 応答中心点距離、 r の定義

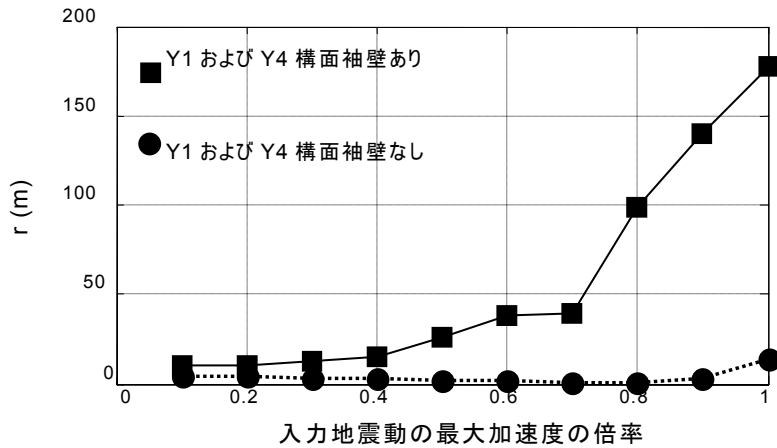


図 16 応答中心点距離の変化

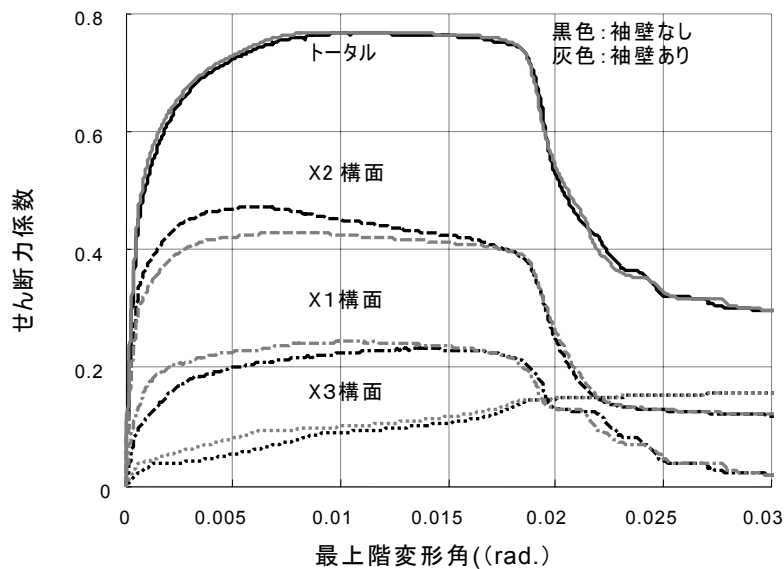


図 17 袖壁有無による影響

4) 短柱の剛域長さによる影響

本解析では腰壁の影響をはりの断面に加えて考えるとともに、腰壁付き柱に関しては腰壁を剛域としてモデル化している。したがって、短柱の高さ方向における剛域長さの評価方法が解析結果に大きい影響を与えると考えられる。そこで、短柱の剛域長さの影響を調べる目的で図 18 に示す距離、 L_r が 0 (柱のシャースパン比 : 1) の場合と、柱のせい (D) の場合 (柱のシャースパン比 : 1.5)、2つのケースに対する Y 方向への pushover 解析を行った。図 19 に X1 構面の各短柱のせん断力と 1 層層間変形角関係を耐震壁の結果とともに示す。ここで、短柱のせん断力係数と変形角を表す黒い線の凡例は右側図の柱の輪郭の柄に対応している。両ケースともに圧縮側柱 (Y4) のせん断力が大きく、また耐力低下が引張側柱 (Y1) に比べ顕著であることが確認でき、シャースパン比が 1 の場合がその傾向が著しいのがわかる。また、短柱のせん断力負担率の変化が耐震壁のせん断力負担率およびその耐力劣化傾向に影響を与えているのが確認できる。

以上の結果から、剛域長さの設定による短柱のシヤースパン比の変化は、短柱そのものの挙動はもとより試験体全体として捩れ応答にも影響を与え、耐震壁とのせん断力分担率に変化をもたらしているのが確認できる。

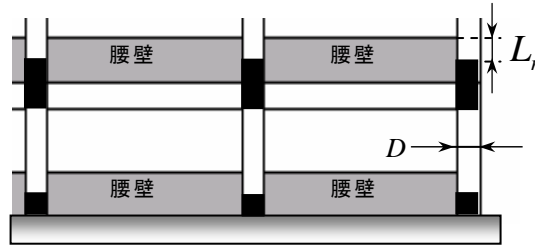


図 18 腰壁による剛域長さ

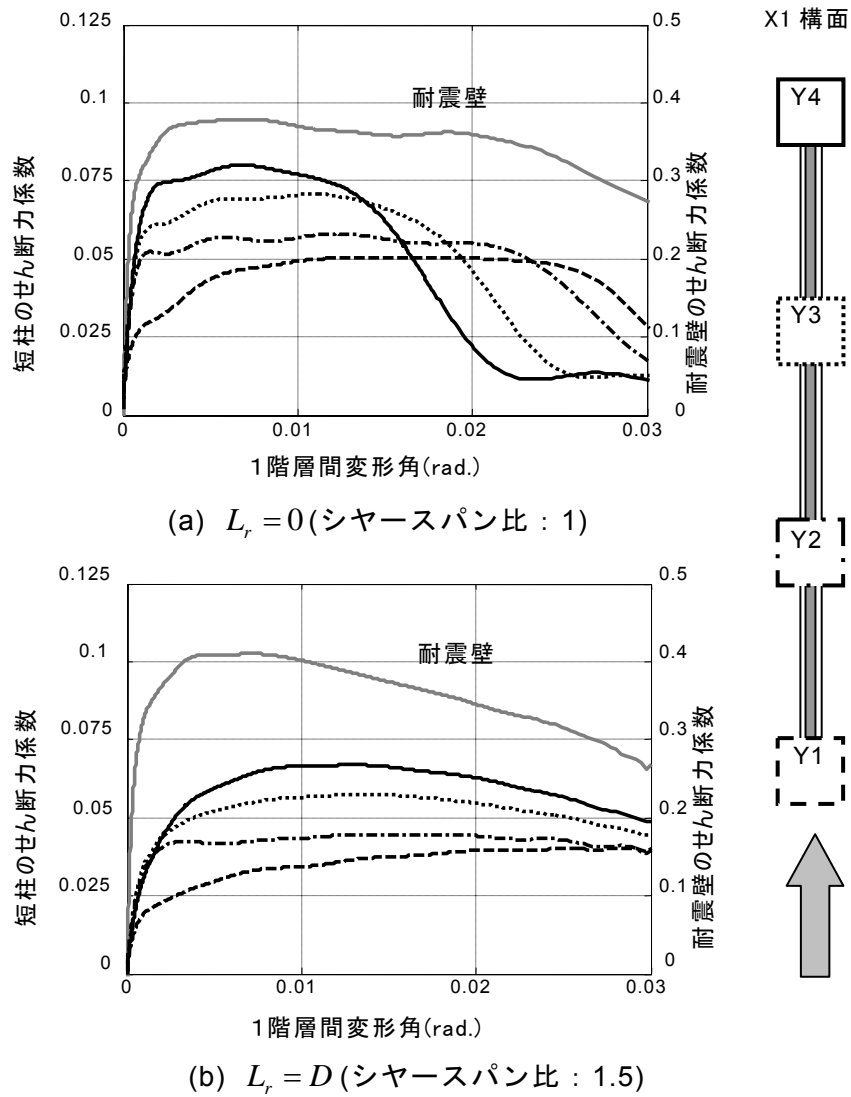


図 19 短柱の剛域長さの影響

(d) 結論ならびに今後の課題

鉄筋コンクリート造実大壁フレーム構造震動実験の破壊過程予測および構造解析手法の検証を目的として行った予備解析結果から得られた内容を以下にまとめる。

- 1) せん断破壊が予測される耐震壁および短柱に対し、部材モデルの耐力劣化性状の有無による解析結果の比較から、破壊過程を精度よく再現するにはポストピック挙動の特徴である耐力低下の考慮できる部材モデルを用いるべきであることを明らかにした。
- 2) 腰壁を境界柱の剛域として扱う際、その長さの定め方によって柱そのものの挙動の変化はもとより、試験体の振れ性状および隣接構面とのせん断力負担率に変化をもたらすことが試験体の破壊過程にも大きい影響を与えることを示した。
- 3) 弾性および塑性域での本試験体の振れ応答性状の変化を、応答中心点距離を用いて表し、試験体の損傷に伴い振れ応答がだんだん鈍くなることを示すとともに、直交方向袖壁構面の振れ応答に及ぼす影響を明らかにした。

以上の結果から実大試験体の破壊過程を精度よく予測するためには耐力劣化型モデルによるモデル化とともに、振れ応答性状に影響を及ぼす構造的因子に対する適切な判断が重要だと考えられる。

(e) 引用文献

- 1) 陳少華、壁谷澤寿海：非線形解析における鉄筋コンクリート耐震壁モデル、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 21、 No. 3、 pp. 763-768, 1999
- 2) 金裕錫、壁谷澤寿海：鉄筋コンクリート柱のモデル化に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集 Vol. 26, No. 2, pp. 43-48, 2004
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，1999
- 4) 日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説，2001
- 5) 青山博之，上村智彦：マトリックス法による構造解析，培風館，pp.104-108，2002
- 6) Kent, D. C., Park, R.: Flexural members with confined concrete, Journal of the structural Division, ASCE, Vol. 97, ST7, pp.99-110, 1971
- 7) 金裕錫，壁谷澤寿海ほか：鉄筋コンクリート偏心ピロティ壁フレーム構造の震動破壊実験，(その1) 鉄筋コンクリート造試験体の応答性状，第11回日本地震工学シンポジウム講演論文集，pp. 1421-1426，2002

(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
Toshimi Kabeyasawa, Taizo Matsumori, Hideo Katsumata, and Kazutaka Shirai	Design of the Full-Scale Six-Story Reinforced Concrete Wall-Frame Building for Testing at E-Defense	The First NEES/E-Defense Workshop on Collapse Simulation of Reinforced Concrete Building Structure, Berkeley, July 6-8, NIED and PEER, 23--46, 2005.	July 6-8, 2005

Hossein Mostafei and Toshimi Kabeyasawa	A Simple Approach for Displacement-Based Assessment of Reinforced Concrete Columns	The First NEES/E-Defense Workshop on Collapse Simulation of Reinforced Concrete Building Structure, Berkeley, July 6-8, NIED and PEER, 47--64, 2005.	July 6-8, 2005
Taizo Matsumori, Jingon Kim, and Toshimi Kabeyasawa	Shaking Table Test of a One-third-Scale Model of a Six-Story Wall-Frame R/C Structure	The First NEES/E-Defense Workshop on Collapse Simulation of Reinforced Concrete Building Structure, Berkeley, July 6-8, NIED and PEER, 65--78, 2005.	July 6-8, 2005
Shaohua Chen, Tomoya Matsui, Taizo Matsumori, and Toshimi Kabeyasawa	Collapse Analysis of Reinforced Concrete Structure under Earthquakes	The First NEES/E-Defense Workshop on Collapse Simulation of Reinforced Concrete Building Structure, Berkeley, July 6-8, NIED and PEER, 79--100, 2005.	July 6-8, 2005
Toshikazu Kabeyasawa and Toshimi Kabeyasawa	Nonlinear Deformation Mode in Earthquake Responses of Asymmetric Reinforced Concrete Structures	The First NEES/E-Defense Workshop on Collapse Simulation of Reinforced Concrete Building Structure, Berkeley, July 6-8, NIED and PEER, 149--166, 2005.	July 6-8, 2005
Tomoya Matsui, Toshimi Kabeyasawa, and Hiroshi Kuramoto	Dynamic Analysis and Performance Evaluation of Reinforced Concrete Wall-Frames with Strength Deterioration	The First NEES/E-Defense Workshop on Collapse Simulation of Reinforced Concrete Building Structure, Berkeley, July 6-8, NIED and PEER, 167--180, 2005.	July 6-8, 2005
Yasushi Sanada and Toshimi Kabeyasawa	Preliminary Analysis of Full-Scale Reinforced Concrete Wall-Frame Specimen in DaiDaiToku Project	The First NEES/E-Defense Workshop on Collapse Simulation of Reinforced Concrete Building Structure, Berkeley, July 6-8, NIED and PEER, 197--204, 2005.	July 6-8, 2005
Yousok Kim and Toshimi Kabeyasawa	Dynamic Analysis of Reinforced Concrete Wall-Frames to Collapse	The First NEES/E-Defense Workshop on Collapse Simulation of Reinforced Concrete Building Structure, Berkeley, July 6-8, NIED and PEER, 181--196, 2005.	July 6-8, 2005
Kim, Y. and Kabeyasawa,	Post-Peak Analysis of Reinforced Concrete	The 3rd Korea-Japan Workshop on New Direction	Oct. 27-29, 2005.

T.	Structure Using Strength Deteriorating Model	for Enhancement of Structural Performance, Seoul, Korea	
松森泰造・壁谷澤寿海・金鎮坤	鉄筋コンクリート造6層耐震壁フレーム構造の1/3縮小モデルの振動台実験	コンクリート工学年次論文集, 名古屋, JCI, 955--960	June 22-24, 2005.
壁谷澤寿一・壁谷澤寿海	偏心鉄筋コンクリート構造物の動的外力分布による応答推定手法	コンクリート工学年次論文集, 名古屋, JCI, 439--444	June 22-24, 2005.
金裕錫・壁谷澤 寿海	RC柱の耐力劣化型モデルを用いた非線形地震応答解析	日本建築学会学術講演梗概集 B-1, pp. 407-408	2005
壁谷澤寿一・壁谷澤寿海	偏心構造物の非線形応答性状に関する研究	日本建築学会大会学術講演梗概集, 大阪, AIJ, 423--424	Sep. 1-3, 2005.
松井智哉・壁谷澤寿海	耐力低下が生じる鉄筋コンクリート造壁フレーム構造の耐震性能に関する検討	日本建築学会大会学術講演梗概集, 大阪, AIJ, 425--426	Sep. 1-3, 2005.
松森泰造, 金鎮坤, 壁谷澤寿海	6層RC造耐震壁フレーム構造の振動破壊実験 その1. 実験の概要	2005年度日本建築学会学術講演会	2005年9月
金鎮坤, 松森泰造, 壁谷澤寿海	6層RC造耐震壁フレーム構造の振動破壊実験 その2. 耐震壁の負担せん断力	2005年度日本建築学会学術講演会	2005年9月
Hossein Mostafaei Toshimi Kabeyasawa	Axial-Shear-Flexure Interaction (ASFI) Approach for Displacement-Based Analysis of Reinforced Concrete Columns	Proceedings of the 100th Anniversary Earthquake Conference	April 18-21, 2006
Yousok Kim Toshimi Kabeyasawa Toshikazu Kabeyasawa	Preliminary Response Analysis of a Full-Scale RC Structure for 3-D Shaking Table Test to Collapse	Proceedings of the 100th Anniversary Earthquake Conference	April 18-21, 2006
Shaohua CHEN Taizo Matsumori Toshimi Kabeyasawa	Analytical Research of Full-Scale Reinforced Concrete Structure Test on E-Defense	Proceedings of the 100th Anniversary Earthquake Conference	April 18-21, 2006
Tomoya Matsui Toshimi Kabeyasawa Hiroshi Kuramoto	Testing and Simulation of RC Building Collapse Oral Presentation Response Analysis of Reinforced Concrete Wall-Frame Structure Considering strength deterioration	Proceedings of the 100th Anniversary Earthquake Conference	April 18-21, 2006
金裕錫・壁谷澤寿海・松森泰造	鉄筋コンクリート造実大壁フレーム構造の予備解析-短柱の耐力劣化性状	コンクリート工学年次論文集	2006年7月

(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

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 18 年度業務計画案

業務の目的

(1) 学校校舎の耐震補強に関する実大震動実験の計画と予備解析

Eーディフェンスで平成 18 年度に実施される鉄筋コンクリート学校校舎の三次元震動破壊実験計画における試験体及び地震動入力 of 最終的な計画の妥当性を確認する。