

3.2.8 鉄筋コンクリート建物の三次元動的破壊実験に関わる予備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ヵ年の年次実施計画
- (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) 既存部材モデルを用いた解析システムの開発および実験結果の再現
- (c) 業務の成果
 - 1) 既存部材モデルを用いた解析システムの開発および実験結果の再現
- (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

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 鉄筋コンクリート建物の三次元動的破壊実験に関わる予備解析システムの開発

(b) 担当者

所 属	役 職	氏 名
東京大学 地震研究所 (独立行政法人防災科学技術研究所)	教 授 (客員研究員)	壁谷澤 寿海
東京大学大学院 工学系研究科	大学院生	金 裕錫

(c) 業務の目的

震動実験の前に行われる予備解析は、入力地震動の計画を決めるための実験結果の予測として必須であるばかりでなく、予備解析に用いられた解析手法は震動実験と同時に検証されるので新たな解析手法の開発、改良の出発点としても重要である。ここでは、実大実験の予備実験として行われる鉄筋コンクリート建物の三次元動的破壊実験を対象にして実験結果の予測および解析手法の検証を目的とした予備解析システムの開発を行う。主に既存の解析モデルおよび手法によって既往の実験結果に基づいて検証し、また、新たな解析モデルの開発の必要性なども検討する。

(d) 5 ヶ年の年次実施計画

1) 平成14年度：

- ① 関連分野の既存の解析技術に関する文献および計算プログラム等の調査・収集を行う。
- ② 入力データの内容、範囲、形式を検討する。
- ③ 大まかなフロー図を作成する。
- ④ 既存解析モデルを解析システムに取り込む。
- ⑤ 解析結果と実験結果の比較からシステムの検証を行う。

2) 平成15年度：

- ① 前年度に続いて既存解析モデルのシステムへの実装と検討を行う。
- ② 既存モデルの問題点を検討し、改善方法および新たなモデルの研究を行う。
- ③ 材料モデル、部材モデル、解析手法を開発し、適宜 module 化する。
- ④ 既往の実験または新たな予備実験の解析に適用して精度を検証する。
- ⑤ 異なる部材モデルの解析結果を比較、検討し、各モデルの特徴および限界を明らかにする。

3) 平成16年度：

- ① 実験の予備解析を行う。
- ② 解析システムの機能拡張、更新を行う。

③ モデル化、入力出力システムを改善する。

4) 平成17年度：

- ① 解析システムの機能拡張、更新を行う。
- ② GUI (Graphical User Interface) を用い、前処理、後処理の機能を整備する。
- ③ 実大実験の予備解析に適用する。

5) 平成18年度：

- ① 総合評価・改良を行う。
- ② マニュアルを整備する。
- ③ 全体のまとめを行う。

(e) 平成14年度業務目的

- ① 分野の既存の解析技術に関する文献および計算プログラム等の調査・収集を行う。
- ② 入力データの内容、範囲、形式を検討する。
- ③ 大まかなフロー図を作成する。
- ④ 既存解析モデルを解析システムに取り込む。
- ⑤ 解析結果と実験結果の比較からシステムの検証を行う。

(2)平成14年度の成果

(a) 業務の要約

平成14年度は次の項目を実施した。

- 1) 既存部材モデルを用いた解析システムを開発し、検証例として、平成13年11月に実施された偏心ピロティ構造の震動実験結果（引用文献1)2)）を再現する。

(b) 業務の実施方法

- 1) 既存部材モデルを用いた解析システムの開発および実験結果の再現

a) 研究の目的

研究の目的は、以下の項目である。

- ・大地震における鉄筋コンクリート建物の崩壊過程を再現する解析システムを開発すること
- ・既存部材モデルを用いた解析システムを開発し、実験結果の再現結果から解析システムを検証すること
- ・異なる部材モデルを用いた解析結果から対象構造物の動特性による部材モデルの適合性を検討すること
- ・3次元解析を通じて振れ震動性状を把握すること
- ・実験と解析結果の比較から既存解析手法の問題点および限界を検討し、取り込むべき新しい部材モデルおよびミュレーション手法を検討すること

b) 解析方法

図1に試験体の平面図および立面図を示す。試験体の詳細および実験方法については既報¹⁾で発表されている。試験体の解析に用いた部材モデルとして1階と2階の耐震壁を3本柱モデル(図2(a))、1階の独立柱は材端ばねモデル(以後 Model OC と呼ぶ、図2(b))とファイバモデル(以後 Model FB と呼ぶ)、2つのモデルを用いてそれぞれ解析を行った。本実験で入力した地震波は TOH12.5, TOH25, ELC37.5, JMA50, CHI50 の5つであり、そのうち試験体が破壊した CHI50 を除いた4つの地震波を試験体の残留変形および剛性の低下を実験時と同様に考慮するため連続に入力して解析を行った。

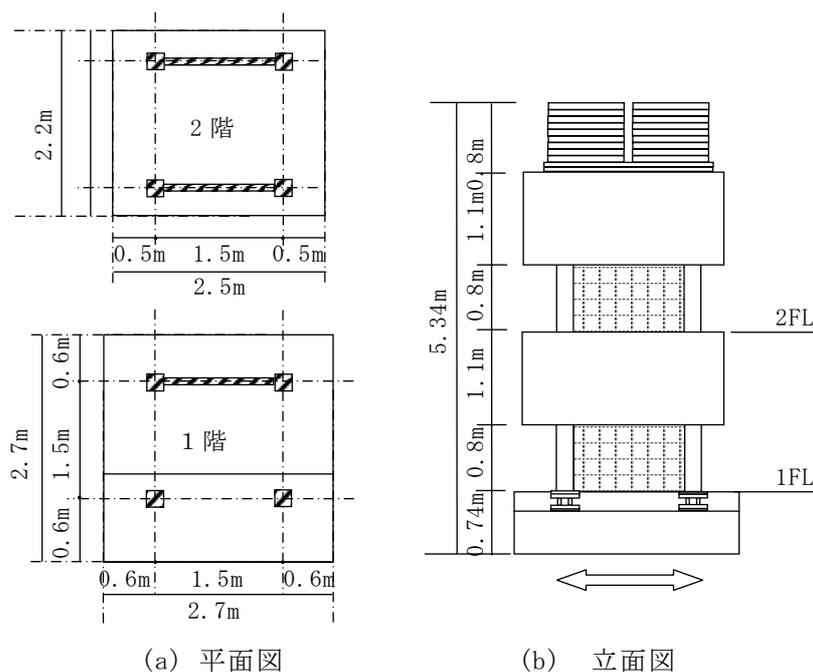


図1 試験体

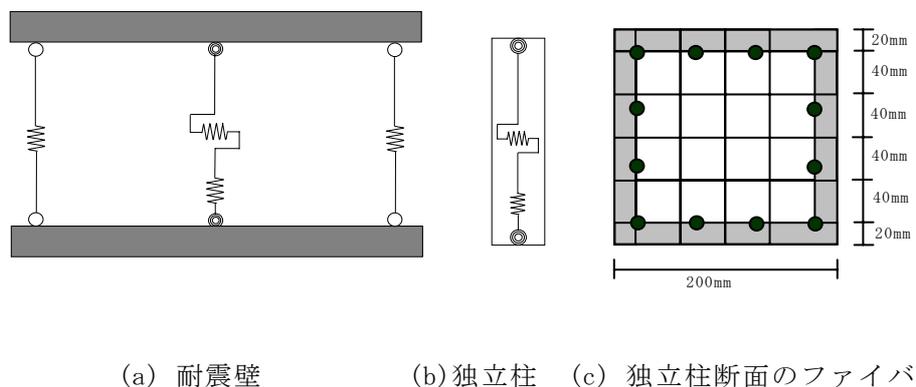


図2 部材モデル

• Model 0C の概要 :

耐震壁の曲げ、せん断ばねには Origin Oriented model (図 3 (b)) を、軸ばねには図 3 (c) の履歴モデルを適用して解析を行った。一方 Model A の独立柱の曲げばねには Takeda model、せん断ばねは linear elastic model を用い、軸ばねは独立柱および壁つき柱ともに図 3 (c) の履歴モデルを用いた。独立柱および壁つき柱の加震直交方向に対しても加震方向と同様にモデル化した。各履歴モデルのスケルトンカーブ折れ線の境界点であるひび割れおよび最大耐力と第 2 剛性低下率は文献(2)にしたがって算出した結果を用いた。

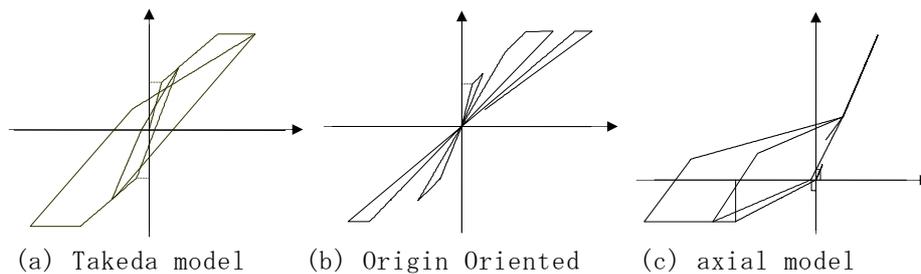
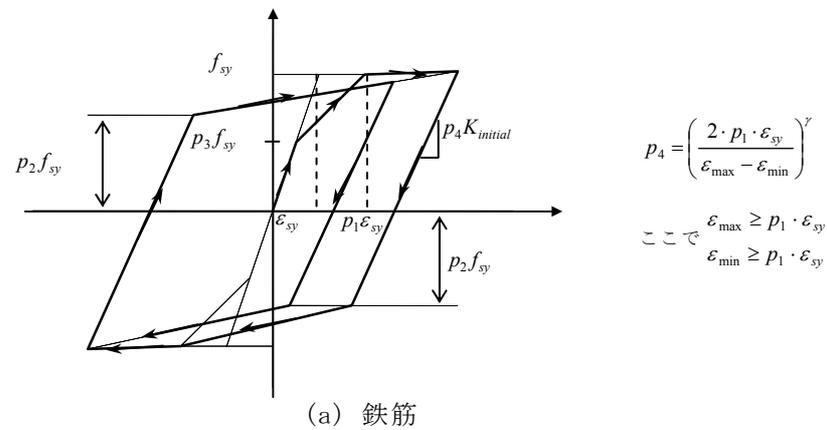
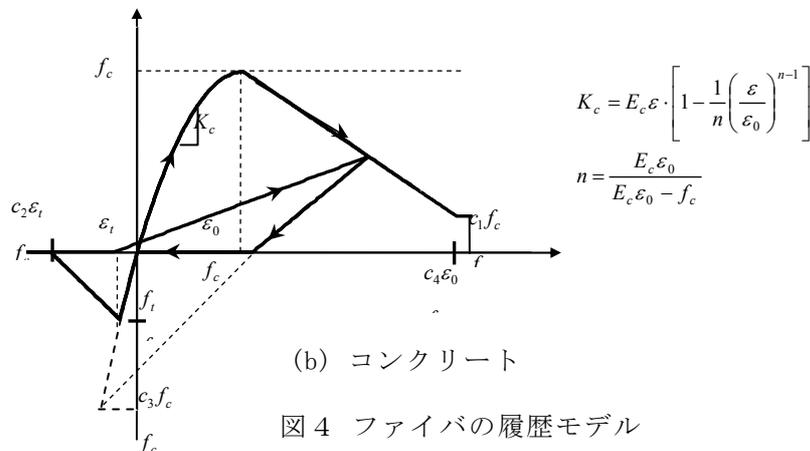


図 3 履歴モデル



(a) 鉄筋



(b) コンクリート

図 4 ファイバの履歴モデル

• Model FB の概要 :

独立柱の断面を図 2 (c) のようにかぶりコンクリートファイバ 16 個、コアコンクリート 16 個および鉄筋ファイバ 12 個に分割して解析を行った。コンクリートおよび鉄筋の応力-歪履歴モデル³⁾を図 4 に示す。コンクリートの拘束効果を考慮するため図中の係数 c_4 をコアコンクリートの場合 5、かぶりコンクリートでは 3 にして解析を行った。コンクリートと鉄筋の物性値は材料試験の結果¹⁾を用いた。独立柱以外の部材に対しては Model OC と同様にモデル化した。

(c) 業務の成果

1) 既存部材モデルを用いた解析システムの開発および実験結果の再現

Model OC, Model FB の解析結果、2 階の耐震壁の変位レベルは JMA50 の入力まで弾性範囲であり、実験結果 (最大値 : 0.35mm) と同様に小さいレベルであったのでここでは 1 階の独立柱の解析結果を中心に試験体の損傷レベルが明確である入力段階ごとに検討を行う。

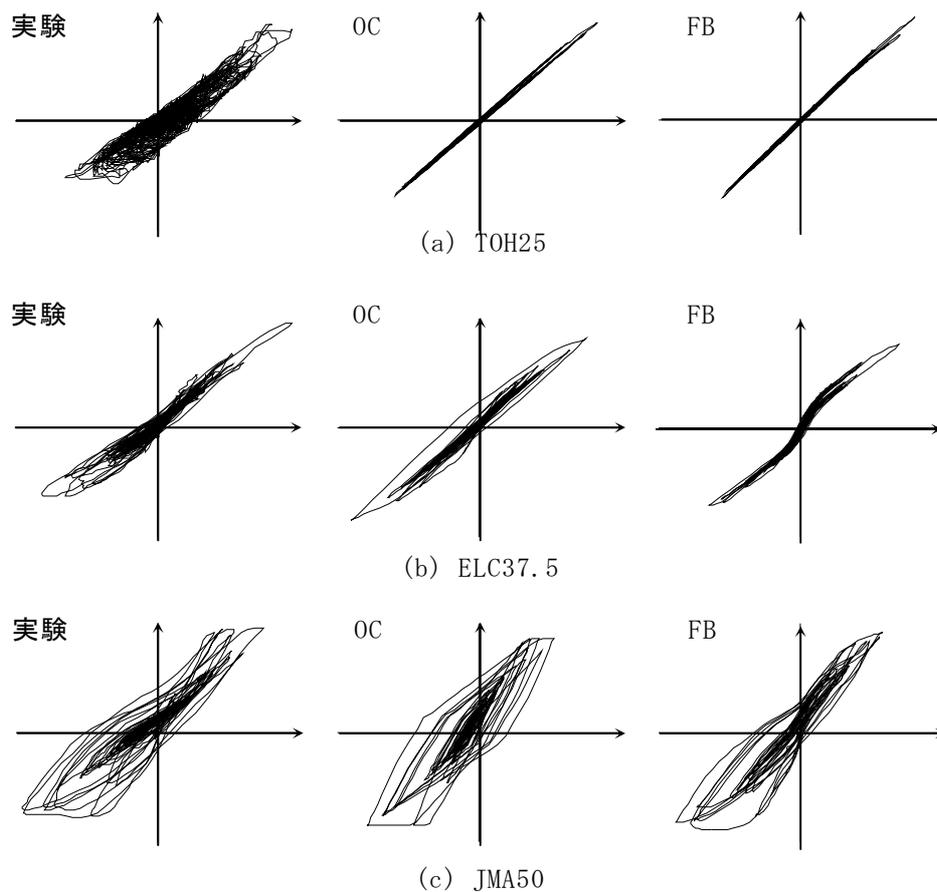


図 5 ピロティ構面のせん断力と水平変位関係

・ TOH12.5, TOH25 に対する応答 :

両モデルともに応答のレベルがほとんど弾性の範囲で留まっており、解析の方が実験結果より独立柱の剛性を高く評価していた。独立柱の初期剛性を 1/2 倍することによって実験結果と対応するようになった(図 5 (a))。これは実験前から現場作業および試験体の搬入時比較的に弱い部材である独立柱に損傷が集中した可能性と高い偏心率を持つ構造物の剛性評価法の検討が必要だと考えられる。

・ ELC37.5 に対する応答 :

独立柱のひび割れ発生後から降伏するまでの応答を表す現段階の実験結果を再現するために Model OC の場合柱の曲げばねのスケルトンカーブを図 6 のように修正する必要がある。これは独立柱に対する変動軸力の影響が大きいことを意味し、実際に引っ張り側と圧縮側の独立柱のせん断力と水平変位関係の実験結果からもこの傾向が確認された。一方、曲げと軸力の相互作用が考慮できる Model FB の解析結果では変動軸力の影響による引っ張り側と圧縮側の応答の相違を実験結果のように再現した。なお、高い偏心率を持つ試験体の場合捩れによる 2 軸曲げの影響が Model FB では含まれているのが図 7 の独立柱断面のコンクリートおよび鉄筋ファイバの応力-歪関係から確認できた。

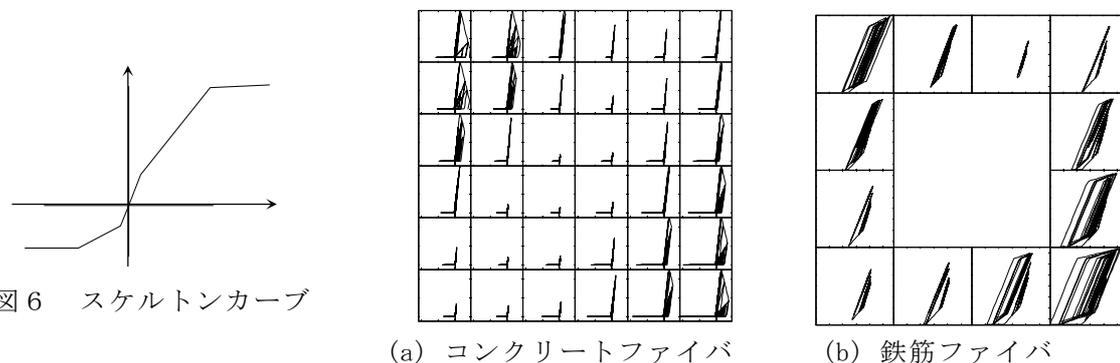


図 6 スケルトンカーブ

(a) コンクリートファイバ

(b) 鉄筋ファイバ

図 7 ファイバの応力-歪関係

・ JMA50 に対する応答 :

両モデルともに降伏後塑性化が進んでいるのを表しているが実験結果のほうが剛性の低下が解析結果より進んでおり、実験の変位応答が解析より大きい結果となった。両モデルともに実験結果で見られる耐力の低下は再現できなかったが、Model FB のほうが Model OC にくらべ実験結果と類似な履歴形状を示しているのがわかる。これは前述したように Model FB では変動軸力と 2 軸曲げの影響が考慮されているからだと考えられる。各入力段階での試験体の捩れ性状を検討する目的で図 8 に実験結果と両モデルの解析結果から応答回転重心と試験体重心間の距離, R^4 を算出した結果を表した。ここで R は、その値が小さいほど捩れが卓越することを意味する。実験結果と解析結果同様に塑性化が進行することにつれ捩れ現象が発達したが、解析では両モデルともに実験の捩れ性状を過小評価しているのがわかった。

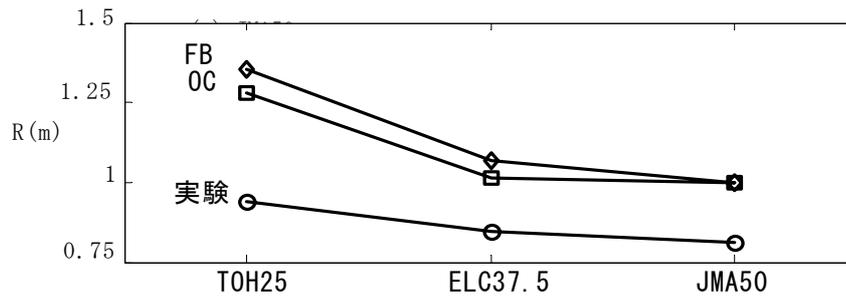


図8 応答回転重心と試験体重心間の距離

(d) 結論ならびに今後の課題

- 1) 高い偏心率を持つ試験体の震動実験結果を対象に2つの既存部材モデル(材端ばねモデル, ファイバモデル)を用いた解析過程および結果から捩れ震動によって変動軸力の影響が増加することが分かった
- 2) 捩れ震動による2軸曲げ効果を考慮するためには材料特性に依存するファイバモデルが明確な解析手法であることを示した。
- 3) 本研究で用いた既存部材モデルおよび解析手法では弾性から降伏直後までの応答は再現できたものの鉄筋コンクリート建物の破壊過程を再現するためにはせん断、曲げ、軸力の相互作用が考慮できる新たな部材モデルの開発およびそれに伴う動的解析手法の開発が今後の課題である。

(e) 引用文献

- 1) 壁谷澤寿海、金裕錫他：偏心ピロティ構造の震動実験その1, その2, 日本建築学会 学術講演梗概集(C-2, 構造 IV), pp. 815-818, 2002
- 2) 金裕錫、壁谷澤寿海他：鉄筋コンクリート偏心ピロティ壁フレーム構造の振動破壊実験その1, 第11回日本地震工学シンポジウム論文集、pp. 1421-1426, 2002
- 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
- 4) Kangning LI: CANNY Technical Manual

(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
金裕錫 壁谷澤寿海	鉄筋コンクリート偏心ピロティ造の非線形地震応答解析	日本建築学会大会、 日本建築学会、東海	平成15年9月 (発表予定)

(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) 既の開発された鉄筋コンクリート構造に用いられる部材モデルおよび履歴モデルの検討を続け、開発中の解析システムへ取り込みを完了する。

(b) 鉄筋コンクリート構造物の破壊過程を再現できる部材モデルおよび解析手法を開発し、解析システムに取り込む。具体的には

- 1) せん断、曲げ、軸力の相互作用が考慮でき、コンクリートおよび鉄筋の材料特性に依存する部材モデル（柱、耐震壁）を有限要素法に基づいて開発する。
- 2) 鉄筋コンクリート構造物の破壊に至る過程に伴う構造部材の耐力低下が考慮できるコンクリートおよび鉄筋の応力-歪関係モデルを実験に基づいて開発する。
- 3) 繰り返し荷重および動的荷重に対する解析過程で生じる安定性の問題に関する既存解決手法の検討とともに新しいモデルに適用可能な手法を開発する。

(c) 15年度の予備実験の解析に適用する。