

## 実大構造物震動破壊実験シミュレーションシステムの開発及び材料構成モデルの検証

(株) CRCソリューションズ 正会員 ○三井雅一, 酒井新吉, 金伝栄, 秋山伸一  
(独) 防災科学技術研究所 佐藤一雄

### 1. はじめに

防災科学技術研究所では、実大 3 次元震動破壊実験施設を建設し今年度より稼働を開始する。この施設の実験は実大規模の構造物を対象としたものであり、これまでの模型実験に比べより詳細な実験結果が得られるものと期待されている。こうした実験結果を有効に活用するためには実験を高精度にシミュレートできる解析システムの構築が望まれる。本研究では巨大地震による RC 構造物の損傷から崩壊に至るまでを高精度に予測するシミュレーションシステムを開発する。ここでは、そのシミュレーションシステムの概要と RC 構造物を終局まで再現するための材料構成モデルの検証について述べる。

### 2. 解析システムの概要

本システムの仕様を次のように設定した。

- ① 陰解法により損傷開始から進展する過程を解析する損傷評価サブシステムと陽解法により崩壊開始時の短時間の挙動を解析する崩壊評価サブシステムから構成され、解析途中でサブシステムを切り替えることにより強い非線形性にも対応する。
- ② 新たな知見に基づく材料構成モデルを容易に組み込み可能なデータベースプラットフォームとする。
- ③ 高度な非線形挙動の解析を安定して行うため、解析の実行中にその収束状況を監視し必要に応じて解析を中断しパラメータを変更し計算を再開するような動的な制御に対応する。

以上三点の要求を満たすため、オブジェクト指向型のフレームワークを採用した開発を行った。解析システムを構成するオブジェクトの抽出を行い、有限要素、要素形状、節点、材料、荷重、境界条件、解析の7つを基本クラスとして採用した。材料クラスを継承した新しい材料サブクラスを追加することにより、システムの他の部分に変更を加えることなく新しい材料モデルを組み込むことを可能にしている。

### 3. RC材料構成モデル

RC 構造の繰返し載荷時の力学的挙動を正確に再現できる材料構成モデルとして、前川、福浦らによる RC 構成材料モデル<sup>1),2)</sup>を採用する。コンクリートは、ひび割れ前は弾塑性破壊モデル、ひび割れ後については分散ひび割れモデルを用いている。なお、繰返し載荷時のひび割れに対しては、現状、擬似直交の 2 方向までを考慮している。

### 4. シミュレーションシステムの検証

本システムの損傷評価サブフレーム及び RC 構成材料モデルの検証を行う。検証は、まず①要素レベルにて均一応力下の力学的挙動の確認を行い、さらに、②部材レベルの検証として正負交番載荷における耐震壁の力学的挙動の確認を行い、シミュレーションシステムの精度と適用性を評価する。

#### 4. 1 基本構成則の検証（要素レベル）

RC 要素に導入した前川、福浦らモデルの基本構成則の検証として、様々な平板によるせん断試験の再現を試みた。ここでは、表 1 に示すせん断試験の検証結果を示す。両者とも純せん断状態の平板試験である。PV12 は、Collins 及び Vecchio の単調載荷によるせん断試験<sup>3)</sup>で、SR10 は大森らの繰返し載荷によるせん断試

表-1 基本構成則の検証

検証No.	鉄筋			コンクリート	
	配筋	p (%)	fy (MPa)	f'c (MPa)	ft (MPa)
PV12	X	1.79	469	16.0	1.6
	Y	0.45	269		
SR10	X/Y	1.02	414	38.1	2.0

キーワード オブジェクト指向フレームワーク, 実大実験, FEM 非線形解析, RC 材料構成モデル

連絡先 〒136-8581 東京都江東区南砂 2-7-5 (株) CRCソリューションズ TEL03-5634-5793, FAX 03-5634-7340

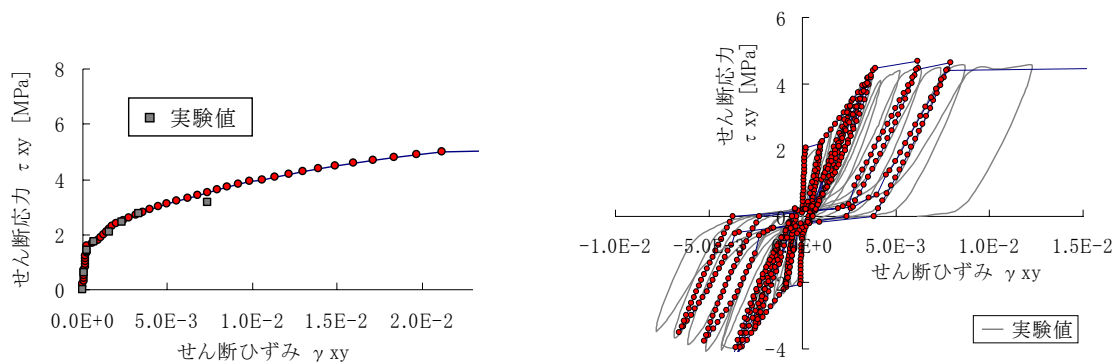


図-1 せん断応力-せん断ひずみ関係（左：PV27，右：SR10）

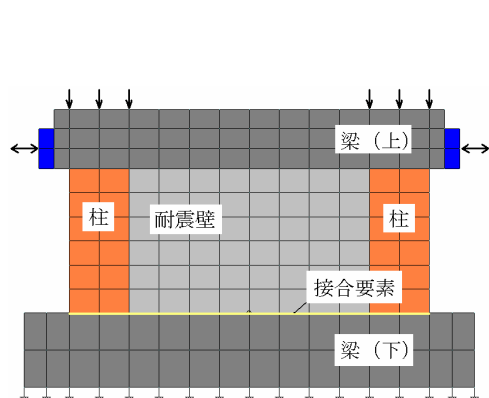


図-2 解析モデル

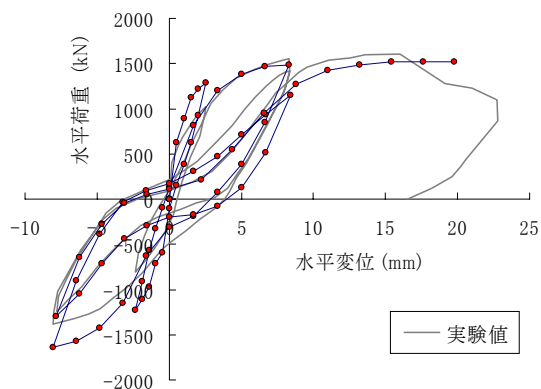


図-3 水平荷重-水平変位の関係

験 4)である。図-1 にせん断応力-せん断ひずみ関係を示す。図に示すように、両者とも実験値を精度良く再現していることが確認できる。なお、実験では PV27 はコンクリートの圧壊により終局に至っており、解析においてもひび割れにより低減された圧縮強度とコンクリートに発生する応力との比較により圧壊挙動が再現された。また、SR10 は実験と同じく解析においても鉄筋の降伏が確認された。

#### 4. 2 正負交番荷重を受ける耐震壁の検証（部材レベル）

ここでは、部材レベルの検証として JCI の耐震壁選定試験体（#1）を検証対象とする。図-2 に解析モデルを示し、図-3 に水平荷重-水平変位の関係を示す。図に示すように繰返における除荷・再載荷を含む内部曲線を再現できることが確認できる。なお、今回の解析では、梁及び耐震壁と下部梁との接合部の非連続的な挙動が全体の挙動に影響することが考察されたため接合要素を配置している。その接合要素の特性としてせん断方向に対して剛の設定としているため最終荷重ステップの荷重低下が生じなかったことが考えられる。今後、そのせん断特性を含めた接合要素の改良を行い、精度の良いシミュレーションシステムの完成を目指している。

#### 5. まとめ

本研究の知見をまとめると以下の通りである。(1)オブジェクト指向フレームワークの採用により柔軟な拡張性に富んだシステムとなった。(2)要素レベルの検証にて精度の良いシミュレーション結果を得た。(3)部材レベルの検証の結果、全体として実験結果を再現することが可能である。今後、多方向ひび割れへの対応、接合要素の劣化効果等の改良、RC材料構成モデルの拡張を行い動的解析による検証を進める予定である。なお、本研究は、文部科学省、ITBL(Information Technology Based Laboratory)プロジェクトの一環として実施している。

#### 参考文献

- 1)Maekawa, K., Pimanmas, A. and Okamura, H. : Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, 2003.
- 2)福浦尚之：4 方向ひび割れを有する鉄筋コンクリート要素の履歴依存型構成モデル，東京大学博士論文，1999.
- 3)Collins, M.P. and Vecchio, F. : The Response of Reinforced Concrete to In-plane Shear and Normal Stresses, University of Toronto, 1982.
- 4)大森信次,他：繰返し面内せん断力を受ける鉄筋コンクリート平板の弾塑性挙動に関する実験的研究，建築学会論文集，No.403, pp105-118, 1989.