

## 地震により損傷を受けた鉄筋コンクリート造耐震壁の残存耐震性能に関する研究 その7 繰り返し劣化を考慮したFEM解析

正会員 ○二村 有則<sup>\*1</sup> 同 前田 匡樹<sup>\*2</sup>  
同 尾形 芳博<sup>\*3</sup> 同 田所 麻衣<sup>\*4</sup>

鉄筋コンクリート 耐震壁 せん断破壊  
FEM 剛性低下 繰り返し劣化

### 1. はじめに

既報その3<sup>1)</sup>では、事前に変形を受けたせん断破壊先行型鉄筋コンクリート(RC)造耐震壁実験のシミュレーション解析を行い、実験結果を良好に捉えることができることを確認した。しかしながら、事前を受けた変形が大きい場合には、事前加力の繰り返しによって生じた耐力・剛性低下を追跡しきれていないことが課題として残った。この原因は、コンクリートの応力-ひずみ関係を最大点指向としていたためと考えられた。そこで、繰り返しによる剛性低下を考慮したコンクリートモデルを採用し、実験結果を良好に捉えることを確認した。また、本報その4~6で行った実験についても解析を実施した。

### 2. コンクリートの繰り返し劣化モデル

圧縮応力下の繰り返し劣化を考慮したコンクリートの応力-ひずみ関係は、森川らのモデル<sup>2)</sup>を元に小阪らのモデル<sup>3)</sup>を取り入れたモデルとした。図1に繰り返し劣化モデルの概念を示す。繰り返しにより剛性低下し、単調載荷時の応力-ひずみ曲線に達するとその曲線上に復帰するモデルである。

圧縮強度以前では、一定応力繰り返し時に繰り返し回数 $N_f$ となる破壊回数 $N_f$ に達すると圧縮軟化曲線に復帰する。

$$S=1.0-\lambda \cdot \log_{10} N_f \quad \text{式1}$$

ここで、 $\lambda$ ：劣化係数(森川らのモデルに基づき0.08)、 $S$ ：応力振幅 $\sigma_m$ /圧縮強度 $f_c$ である。1回目の繰り返しは除荷時の応力が $0.9\sigma_m$ となる点を目指し、それ以後は圧縮軟化曲線上の破壊点までを $(N_f-1)$ 回の等分割で指向点のひずみを大きくさせた。

圧縮強度以後についても応力が繰り返し劣化するとし、一定ひずみ繰り返し時に小阪らのモデルを参考に式2で応力を低下させた。

$$\sigma/\sigma_m=0.9-\lambda \cdot \log_{10} N \quad \text{式2}$$

ここで $N$ ：繰り返し回数である。図2に最大点指向モデルと繰り返し劣化モデルの応力ひずみ関係の例を示す。

### 3. 解析概要

解析には自社開発プログラム<sup>4)5)</sup>を使用し、2次元でモデル化した。図3に解析モデルを示す。コンクリートは4節点平面要素で、柱主筋はロッド要素で、壁筋及び柱補強筋は積層鉄筋要素でモデル化した。コンクリートと

鉄筋の付着は、柱主筋は付着滑り関係を考慮したボンド要素で結合した。詳細は既報その3を参照されたい。

### 4. 解析結果

#### 4.1 2015年度実験

最大点指向モデルと繰り返し劣化モデルの解析結果の比較を図4に示す。試験体は、無損傷試験体S-13-D0、事前に2/1000radの変形を受け6/1000radで5回の繰り返しを行ったS-13-DII試験体、及び、事前に6/1000radの変形を受けたS-13-DIV試験体である。

最大点指向モデルの結果では、最大耐力やせん断力-せん断変形角関係の包絡線は捉えられている。しかしながら、繰り返しによる剛性低下を捉えることができていない。一方、繰り返し劣化モデルの結果では、S-13-DIIの6/1000radの繰り返しの剛性低下を捉えることができおり、S-13-DIIの後に実施されたS-13-DIVの初期の剛性低下を評価できている。

#### 4.2 2016年度実験

繰り返し劣化モデルを用いて、本報その4~6で示した壁筋が少ないS06-D0, S06-DII, S06-DIVについても解析を行った。解析結果を図5に示す。2015年度の試験体よりも壁筋量が少ないが、これらの試験体に対しても良好に捉えることができています。

### 5. まとめ

コンクリートの応力-ひずみ関係に繰り返し劣化モデルを採用しRC造耐震壁のせん断実験のシミュレーション解析を行った。その結果、実験結果をより良好に捉えることができた。

#### 【参考文献】

- 1) 細谷典弘ほか：地震により損傷を受けた鉄筋コンクリート造耐震壁の残存耐震性能に関する研究 その1~3, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.157-162, 2016
- 2) 森川博司ほか：多数回繰り返し荷重を受ける鉄筋コンクリート梁部材の3次元FEM解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.23-24, 2010
- 3) 小阪義夫ほか：高圧縮ひずみ領域におけるコンクリートの履歴特性, 日本建築学会大会講演梗概集, 構造系, pp.449-450, 昭和53年
- 4) 森川博司ほか：繰り返し荷重を受ける鉄筋コンクリート構造物の非線形解析, 鹿島技術研究所年報, Vol.54, pp.57-62, 2006
- 5) 森川博司：超高強度コンクリートを用いた柱梁接合部の3次元FEM解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.603-604, 2007

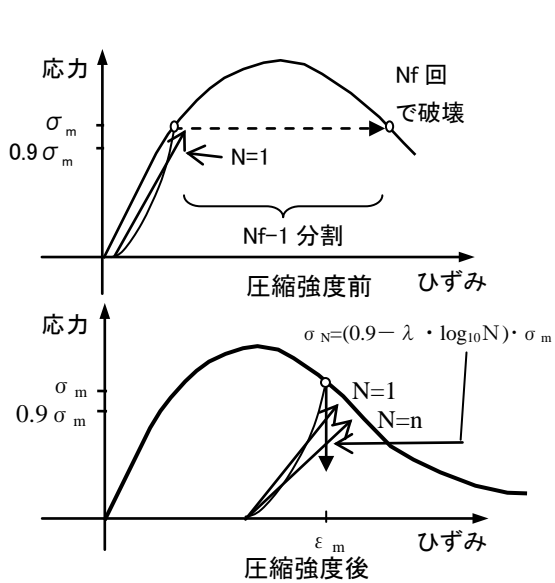
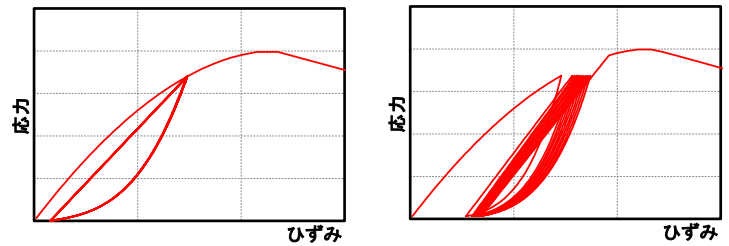


図1 繰り返し劣化モデルの概念(圧縮を正)



最大点指向モデル 繰り返し劣化モデル  
図2 コンクリートの応力ひずみ関係の例(圧縮を正)

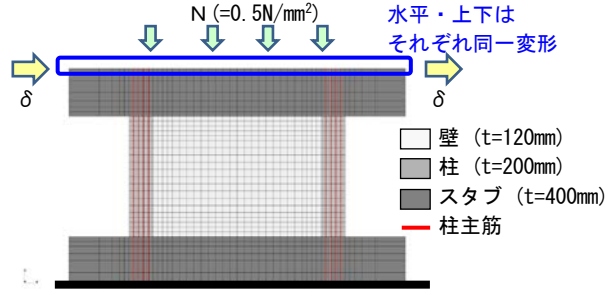


図3 解析モデル

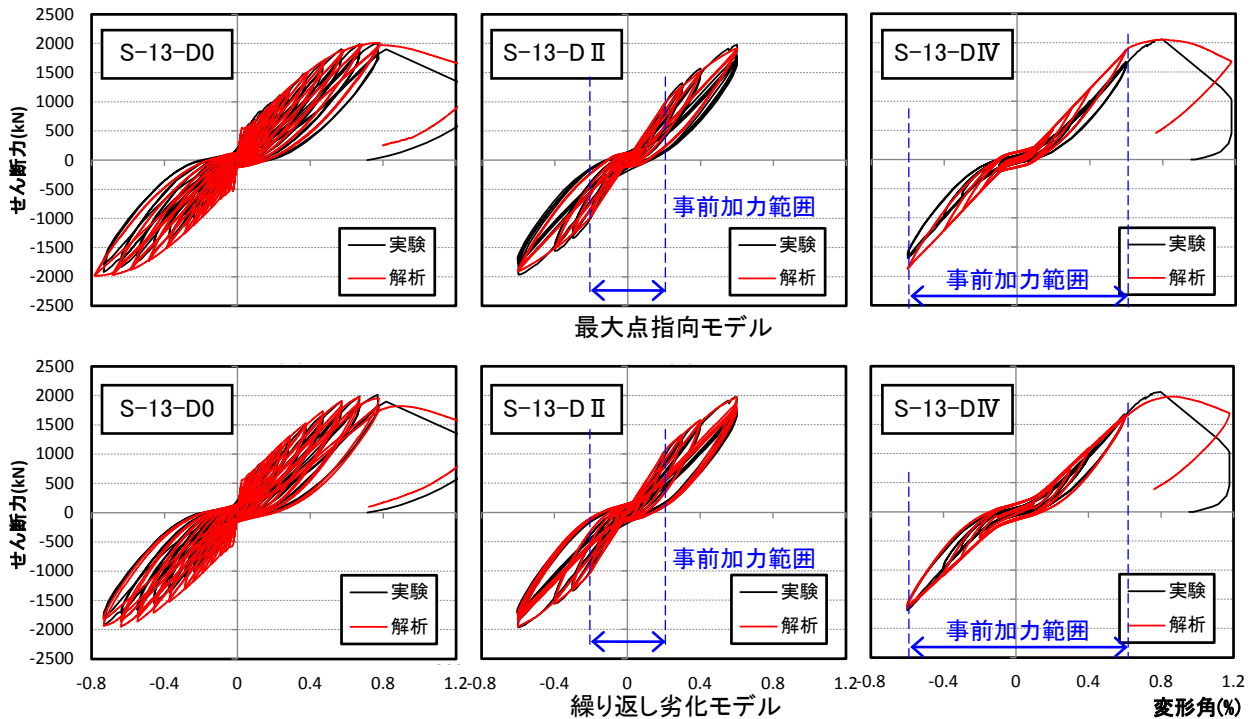


図4 2015年度実験の比較(壁筋比1.32%)

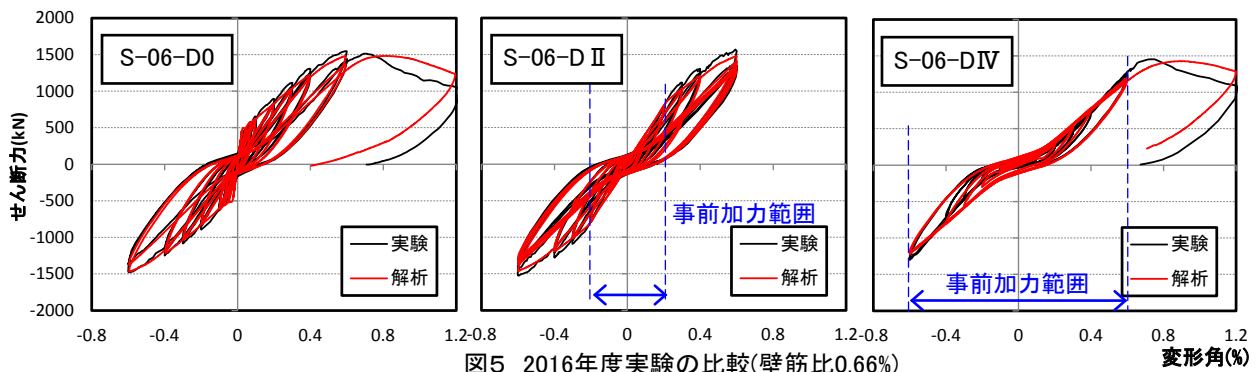


図5 2016年度実験の比較(壁筋比0.66%)

\*1 鹿島建設(株)  
\*2 東北大学大学院研究科 教授・博士(工学)  
\*3 東北電力(株), 博士(工学)  
\*4 東北電力(株)

\*1 Kajima Corporation  
\*2 Professor, Graduate School of Eng., Tohoku University., Dr. Eng.  
\*3 Tohoku Electric Power Co., Inc., Dr.Eng.  
\*4 Tohoku Electric Power Co., Inc.