

## 三次元非線形 FEM 解析による偏心 RC 造骨組のねじれ応答評価

### (その 2) FEM 解析結果

#### Evaluation of Torsional Responses of RC Frame with Eccentricity Using Nonlinear 3D FE Analysis (Part2 Results of FE Analysis)

○加藤舜也<sup>1</sup>, 河野圭一郎<sup>2</sup>, 田嶋和樹<sup>3</sup>, 長沼一洋<sup>3</sup>

Shunya Kato, Keiichiro Kono, Kazuki Tajima, Kazuhiro Naganuma

Abstract: In Part-2, the nonlinear 3D FE analysis were conducted the torsional loading tests on R/C framed specimens by Shiga et al. As a result, it was confirmed the validity of analytical models since FE analysis results generally corresponded with the test results. Furthermore, it seems that the torsional response of R/C frames was affect torsional responses of each column through the detailed analyses on behaviors of columns inner R/C framed specimens.

### 1. はじめに

本報(その 2)では, 前報(その 1)で示した志賀らのねじれ振動実験を対象として 3 次元非線形 FEM 解析を実施する。さらに, 実験では把握することが難しい各柱のねじれ挙動の分析を通じて, RC 造骨組試験体全体のねじれ応答の把握を試みる。

### 2. FEM 解析モデルの構築

Fig.1 に要素分割図を示す。骨組を 3 次元でモデル化し, コンクリートは六面体要素で, 鉄筋は分散鉄筋でモデル化した。なお, 床版, 基礎版は弾性体としている。また, 今回の骨組試験体では鉄筋が全て丸鋼であることから, 特に柱頭・柱脚における主筋の抜け出し挙動が顕著であると推測され, それが解析結果に大きな影響を及ぼすと考えられる。したがって, 柱頭・柱脚には主筋の抜け出し挙動を考慮するため, 離散ひび割れを表現する接合要素を挿入した。

Fig.2 にコンクリートと鉄筋の応力度( $\sigma$ )—ひずみ度関係( $\epsilon$ )および付着応力度( $\tau$ )—すべり( $s$ )関係を示す。コンクリートの圧縮側には修正 Ahmad モデル<sup>1)</sup>, テンションスティフニングモデルに  $C=1.0$  とした出雲らのモデル<sup>2)</sup>, 引張軟化域には破壊エネルギー  $G_F$  を考慮した土木学会標準示方書の式<sup>3)</sup>を採用した。鉄筋は Bilinear 型とし, 降伏後の二次勾配は初期剛性の  $1/100$  としている。 $\tau$ - $s$  関係には, 付着強度に到達した後の付着強度の低下を表現した松岡らの提案式<sup>4)</sup>を採用した。また, 主筋の抜け出し挙動を表現する履歴モデルも併せて示す。

加力は志賀らの実験と同様に床版上でを行い, 重心  $S$  と重心より回転半径  $i$  となる地点を  $i_1, i_1'$  を介して載荷した。また, 境界条件は, スタブ底面を全方向に固定している。

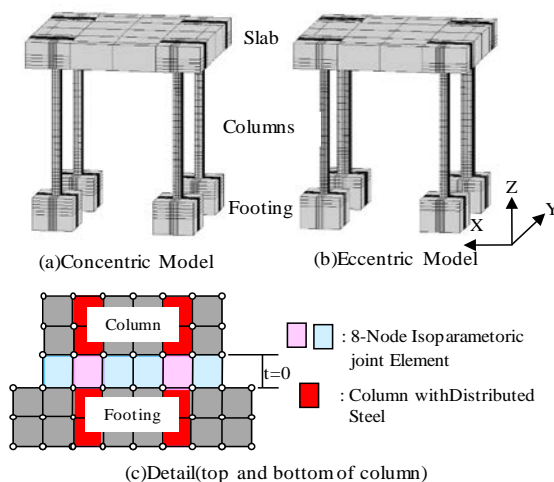


Fig.1 Mesh Division of Framed Specimen

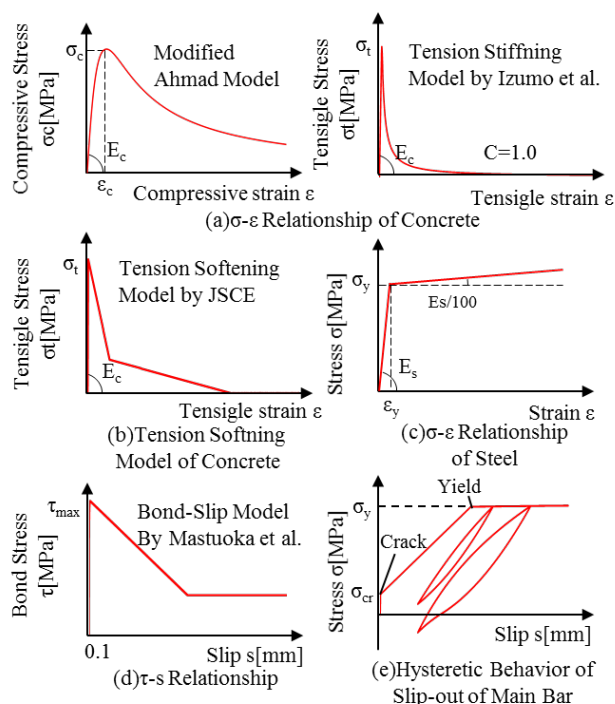


Fig.2  $\sigma$ - $\epsilon$  and  $\tau$ - $s$  Relationships

### 3. FEM 解析結果

Fig.3(a)に無偏心骨組の加力目標 3mm および 13mm 時における各方向加力時の層せん断力(Q)ー層間変位( $\delta$ )関係およびねじれモーメント(m)ーねじれ角( $\theta$ )関係を示す. 3mm 時においては各方向とも解析結果が実験の剛性を過大評価した. 一方, 13mm 時においては, X 方向の剛性をやや若干過大評価したものの, 解析結果は実験結果と良好な対応を示した. Fig.3(b)に偏心骨組の加力目標 3mm および 30mm 時における各方向加力時の Q- $\delta$  関係および m- $\theta$  関係を示す. 3mm 時においては, 無偏心モデルと同様, 解析結果は実験の剛性を過大評価した. また, 30mm 時においては, X 方向の正側のみ剛性・耐力をやや過大評価したが, 全体的に解析結果は実験結果と良好に模擬している.

### 4. 骨組中の各柱のねじれ挙動

Fig.4 に偏心モデルの Z 方向加力時(目標 15mm) および X 方向加力時(目標 30mm) における柱 1 および柱 3 の Q- $\delta$  関係を示す. Z 方向加力時における各柱の動きは, 柱 1 と 2 および柱 3 と 4 がそれぞれ対となっている. しかし, 続く X 方向加力に移行する段階では, 4 本の柱が同じ方向に動く. Q- $\delta$  関係では, 柱 1 は Z 方向加力時の履歴と連続的に接続するが, 柱 3 は履歴が反転する. この時, 各柱は前段階の残留荷重を引き継ぐが, 断面が大きい柱 3, 4 の残留荷重は柱 1, 2 に比べて大きい. そのため, 骨組全体の Q- $\delta$  関係は, 柱 3,4 の残留荷重の影響により, X 方向加力は負側に荷重が残留した状態からのスタートとなる. しかし, 今回の解析結果は, 実験結果の記載に対応するように, 各段階の加力開始地点が原点となるように整理している. そのため, 残留荷重の分だけ履歴が全体的に正側に移動する結果となった. 実験結果の整理方法の詳細は不明であるが, これが X 方向加力時に正側において剛性を過大評価した原因であると考えられる. なお, Y 方向加力から Z 方向加力に移行する場合にも同様の挙動が見られるが, 解析結果には同様の傾向は見られない. これは, Y 方向加力時の残留荷重を柱 1,2 および柱 3,4 で互いに相殺するためである.

### 5. まとめ

志賀らのねじれ振動実験を対象として, 三次元非線形 FEM 解析を実施し, 実験結果との比較を通じて解析モデルの妥当性を確認した. また, 各柱のねじれ挙動を詳細に分析することにより, 各柱の挙動が骨組全体の応答に及ぼす影響について考察した.

### 6. 参考文献

[1] 長沼一洋:三軸圧縮下のコンクリートの応力~ひずみ関係,日本建築学会構造系論文集,第 474 号,pp.163-170,1995.8

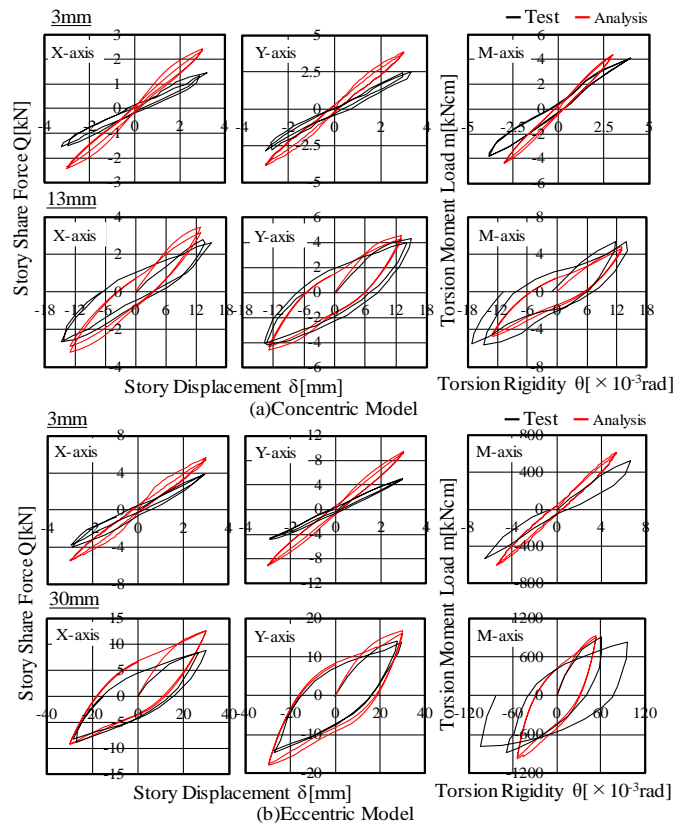


Fig.3 Q- $\delta$  and m- $\theta$  Relationships

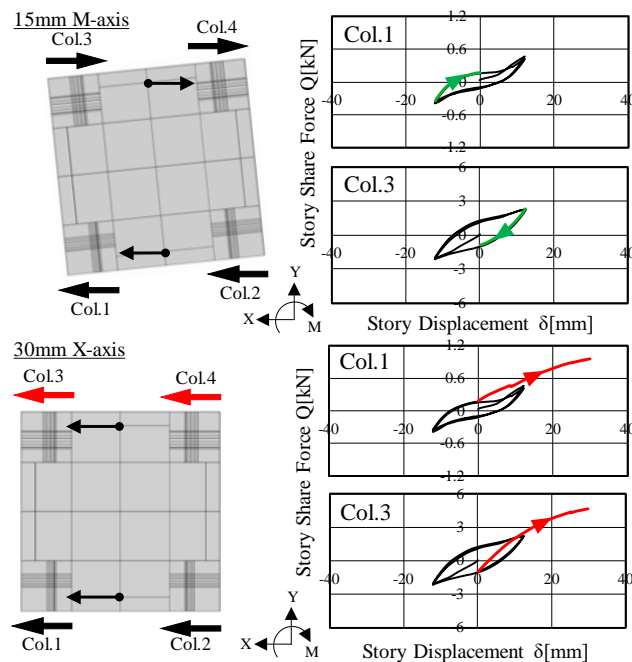


Fig.4 Behavior of each column

[2] 出雲純一,他:面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル,コンクリート工学論文,No.87.9-1,pp.107-120,1987.9

[3] コンクリート標準示方書「構造性能照査編」,土木学会,2002 制定

[4] 松岡由高,他:有限要素解析による主筋に丸鋼を用いた RC 部材の力学挙動評価,コンクリート工学年次論文集,Vol.33,No.2,2011