

B-68

鉄骨ブレース補強後 RC 造骨組の解析モデルの構築
(その 3) 全体曲げ破壊の影響に関する検討

Establishing of analytical model for RC frame retrofitted with steel braces
(Part3) Effect of Flexure Failure in Frame

○山根康孝², 内野卓¹, 藤田有希子¹, 伊東大地³, 田嶋和樹⁴, 白井伸明⁴
*Yasutaka Yamane², Suguru Uchino¹, Yukiko Fujita¹, Daichi Ito³, Kazuki Tajima⁴, Nobuaki Shirai⁴

Abstract: In Part 3, analytical model for RC frame retrofitted with steel braces failing in flexure was constructed. The model consists of the fiber model and the discrete model; that is, sub-element, for representing flexure failure. Restoring force characteristics of the sub-element is presented in this paper. As a result, the discrete model gave a better prediction than the fiber model. A slightly poor prediction by the discrete model may be due to occurrence of a different failure mode.

1. はじめに

前報(その 1,2)では, ブレース座屈, パンチングシア破壊が生じる補強後 RC 造骨組を対象とした解析モデルを構築した. 本報(その 3)では全体曲げ破壊が生じる補強後 RC 造骨組を対象とした解析モデルを構築する.

2. 標準解析モデルの構築

2.1. 対象実験概要

多層 RC 骨組の破壊モードについて調べた北山らの実験^[1]において, 全体曲げ破壊した試験体を解析対象とした(Fig.1). 鉄骨ブレースと RC 躯体の接合には間接接合部は設けず, アンカー筋を溶接した鉄骨ブレースを型枠に組み込み, コンクリートを打設一体化させている. 基礎は反力床に直接スタブを固定している. 加力は独立柱に 40kN, 連層ブレースに 160kN の一定圧縮軸力を導入し, 中央スパン上部に取り付けた加力治具を介して正負交番荷重が行われた. なお, 本検討では鉄筋が破断した 8 サイクル目(頂部変形角 0.02 rad)以降は対象外とする.

2.2. 解析モデル概要

解析モデルを Fig.2 に示す. 解析には, 数値解析コード OpenSees^[2] を用いた. 柱および梁はファイバーモデル, 基礎は剛体によってモデル化した. 柱断面は 6×6, 梁断面は 4×6 のファイバーに分割し, 柱梁接合部は剛域として扱った. ただし, 補強スパンにおいては柱梁接合部に加え, モルタルが充填された間接接合部までとした.

Fig.3 にコンクリートならびに鉄筋の $\sigma - \epsilon$ 関係を示す. コンクリートと鉄筋には, OpenSees に組み込まれている Concrete01 および Steel02 Material を適用した. コアコンクリートに対しては Mander^[3] の拘束効果を

適用した. また, 鉄筋の降伏後の二次勾配は初期剛性の 1/1000 とした. 鉄骨ブレースは, 鉄筋と同様の $\sigma - \epsilon$ 関係を用いた.

2.3. 解析結果

実験および解析におけるせん断力-頂部変形角関係を Fig.4 に示す. 解析結果は実験結果の最大耐力を過大評価した. 解析では, 鉄骨ブレースが既存 RC 柱に先

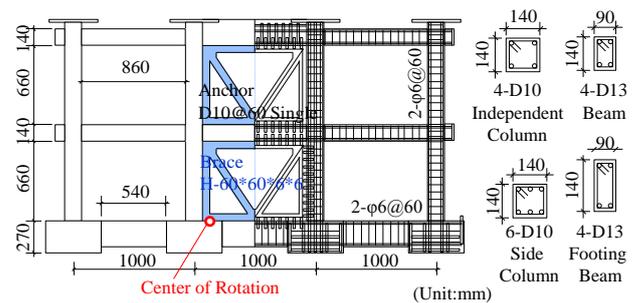


Fig.1 Geometry of Specimen

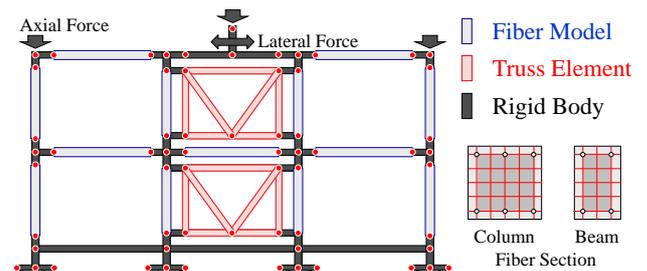


Fig.2 Modeling of Frame by Fiber Model

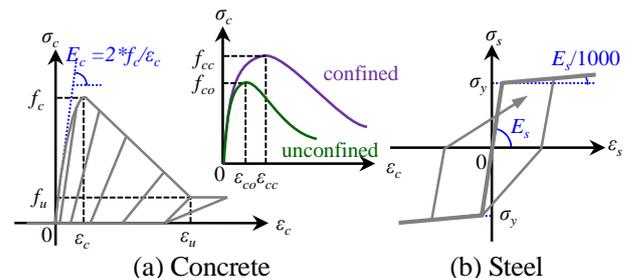


Fig.3 Stress-Strain Relationships of Concrete and Steel

行して降伏しており，全体曲げ破壊とは異なる破壊モードとなったことが原因と考えられる．標準解析モデルにおいては，補強後の耐震性能を過大評価する可能性が高く，危険側の評価となる恐れがある．そこで，鉄骨ブレースによって補強した中央スパンの柱脚に全体曲げサブ要素を導入した改良解析モデルの構築を試みる．

3. 改良解析モデルの構築

3.1. 解析モデル概要

標準解析モデルをベースとし，鉄骨ブレース補強された中央スパンの柱脚に全体曲げサブ要素を導入した解析モデルを改良解析モデルと呼ぶ．全体曲げサブ要素の復元力特性は，軸力(N)－軸変形(δ_a)関係を Bi-Linear 型にモデル化して付与する(Fig.5)．圧縮側は剛とし，引張側は全体曲げ破壊する骨組の耐力略算式^[4]に基づいた以下の略算式を用いて全体曲げ破壊時の軸力 N_{su} を決定した．これは，鉄骨棒鉛直材の内面を回転の中心点(Fig.1)として算出した抵抗モーメントを柱間距離 l_w で除すことで軸力としている．全体曲げ破壊をするまでサブ要素には剛な状態を設定し，全体曲げ破壊後も耐力を保持するモデルとした．

$$N_{su} = M_{su} / l_w = \{ N_t \cdot (l_w - l_c) + \sum(N_{ta} \cdot l_a) \} / l_w \quad (1)$$

ここで， N_{su} ：全体曲げ破壊時の軸力， M_{su} ：全体曲げ破壊時の抵抗モーメント， l_w ：両側柱中心間距離， l_c ：中心点から柱の中心までの距離， N_{ta} ：アンカー筋の引張力， l_a ：中心点からアンカー筋までの距離である．

3.2. 解析結果

実験および解析におけるせん断力－頂部変形角関係を Fig.6 に示す．解析結果は実験結果と良好な対応を示しており，初期剛性および最大耐力が概ね一致している．また，履歴挙動においても実験結果を概ね模擬する解析結果となったため，修正モデルによって全体曲げ破壊を生じるブレース補強後 RC 造骨組の挙動を模擬可能な解析モデルが構築できた．

4. まとめ

- (1) 全体曲げ破壊を伴う鉄骨ブレース補強後 RC 造骨組の解析モデルの構築を行った．
- (2) 柱，梁をファイバーモデルによってモデル化した標準解析モデルは実験結果の最大耐力を過大評価した．
- (3) 鉄骨ブレース補強された中央スパンの柱脚に全体曲げサブ要素を導入した改良解析モデルは，実験結果を概ね模擬した．

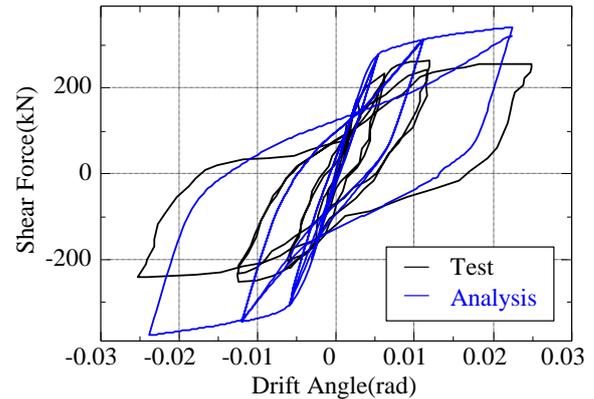


Fig.4 Cyclic Analysis Result (Standard Model)

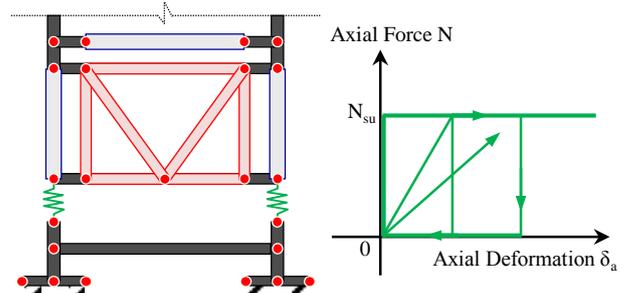


Fig.5 Restoring Force Characteristics for Sub-Elements

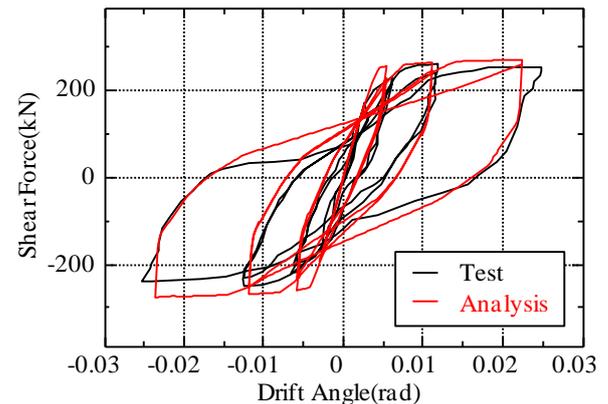


Fig.6 Cyclic Analysis Result (Modified Model)

5. 参考文献

- [1] 北山和宏，佐藤照祥，岸田慎司ほか：「鉄骨ブレースで補強された RC 骨組の耐力と変形性能に関する研究」，コンクリート工学年次論文集，pp.1339-1344，2004.
- [2] Open System for Earthquake Engineering Simulation - HomePage, <http://opensees.berkeley.edu/>
- [3] J.B.Mander: “Teoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete”, Journal of Structural Engineering, Vol.114, No.8, pp.1804-1826, 1988.8
- [4] 伊東大地，白井伸明ほか：「FEM に基づく全体曲げ降伏する補強後 RC 骨組の耐力略算法の構築 (その 2)」，日本建築学会学術梗概集，pp.265-266，2011.8

【謝辞】

本研究の一部は科学研究費補助金(基盤研究(C)，代表者：白井伸明)の助成を受けて行われたものである．