

B-61

主筋に丸鋼を用いた RC 造骨組の鉄骨ブレース補強効果に関する非線形 FEM 解析 (その 1) 雑壁付き無補強試験体の解析結果と考察

Nonlinear FE Analysis on Retrofitting Effect of Steel Brace on Capacity of RC Frame Using Round Bars (Part1) Analytical Results and Discussion for Specimen RCW

○河野慎司¹, 佐藤亮介², 田嶋和樹³, 長沼一洋³, 白井伸明³*Shinji Kawano¹, Ryosuke Sato², Kazuki Tajima³, Kazuhiro Naganuma³, Nobuaki Shirai³

Abstract: The objective of this series of study is to investigate the strengthening effect and failure mechanism of RC frames with or without retrofitting by the numerical method. In Part-1, 2-D FE analysis model was constructed for the non-retrofitted specimen, RCW, with spandrel and hanging walls. It is noted that the bond-slip behavior between concrete and round bar was included in the FE analysis. Furthermore, the discrete joint element was introduced to represent local behaviors along the boundary joints between columns and non-structural walls. As a result, the analytical model could simulate the observed lateral load-displacement response; especially, the cyclic behavior.

1. はじめに

耐震補強の中でも、比較的軽量で適度な大きさの開口を設けられる鉄骨ブレース補強工法が数多く採用されている。この工法の補強効果は、単層単スパン骨組を対象として実験的に確認される場合が多く、骨組中の部分架構に施される鉄骨ブレース補強が骨組全体の耐震性能に及ぼす影響については未解明な部分が多い。

筆者らは、これらの問題に取り組むに際して、1層2スパン鉄筋コンクリート（以下、RC）造骨組に対して鉄骨ブレース補強した耐震補強効果の検証実験を実施した。これにより、鉄骨ブレースの補強効果に関する知見が得られた一方で、柱がせん断破壊した後の応力の再分配や補強接合部の破壊メカニズムの解明については課題が残されている。そこで、実験データの分析を進めるとともに、数値解析に基づく分析を併用し、そのメカニズムについて解明する。本報(その1)では、FEM 解析を用いて雑壁付き無補強試験体（以下、RCW 試験体）を対象に解析モデルの適用性を検証する。

2. 解析対象試験体

筆者らは 1960 年代に建てられた既存の学校建築を想定し、1/3 スケールに縮尺した 1 層 2 スパン骨組 3 体の実験を行った。このうち、RCW 試験体を解析対象とする。Fig.1 に試験体概要を示す。本試験体の柱は、雑壁が取り付けすることで極脆性柱となっている。また、主筋および帯筋には丸鋼が使用されているなどの特徴が挙げられる。载荷は、一定軸力下 (540kN) での正負交番繰り返し载荷である。Fig.2 に層せん断力(Q)ー層間変形角(R)関係を示す。また、Fig.3 に実験の最終破壊状況を示す。実験では、3/1000rad において左柱にせん断

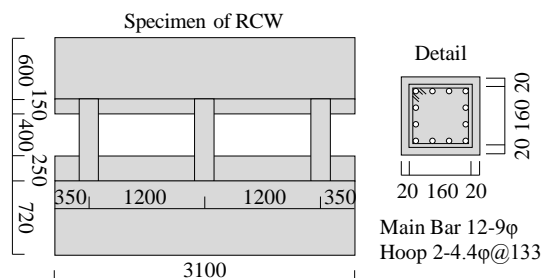


Fig.1 Geometry and Detail of Specimen RCW

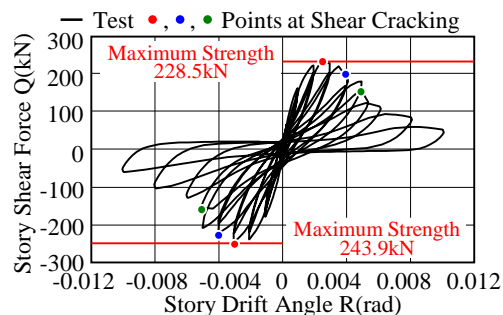


Fig.2 Observed Q-R Response of Specimen RCW

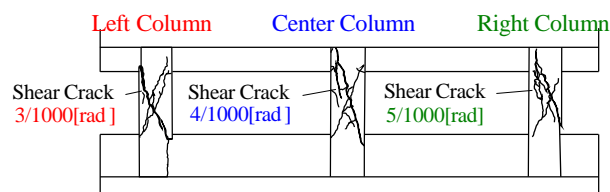


Fig.3 Final Failure Pattern of Specimen RCW

ひび割れが発生し、最大耐力を迎えた。その後は、中央柱 (4/1000rad) →右柱 (5/1000rad) の順にせん断ひび割れが発生し、顕著な耐力低下に至っている。

3. 解析概要

Fig.4 に試験体の要素分割図を示す。本検討では、2次元解析を実施した。コンクリートは 1 辺 25mm 程度

の 4 節点平面応力要素でモデル化し、非直交分散ひび割れモデル²⁾を採用した。鉄筋は、柱主筋および帯筋をトラス要素とし、その他の鉄筋を分散型の埋め込み鉄筋としてモデル化した。なお、丸鋼を用いた柱主筋の付着すべり挙動の影響が考えられることから、4 節点接合要素を設けてコンクリート-鉄筋間の付着すべりを考慮した。また、実験において早期に観察された柱と雑壁の境界部分の離間を表現すべく、柱-雑壁間に離散ひび割れモデルを採用した。

Fig.5 にコンクリートと鉄筋の応力度(σ)-ひずみ度(ϵ)関係および付着応力度(τ)-すべり量(S)関係を示す。コンクリートは圧縮強度到達後、圧縮破壊エネルギー G_{fc} を考慮した軟化モデルとした。要素代表長さは、要素面積 A の平方根を仮定した。引張側の上昇域は引張強度 f_t までを線形弾性と仮定し、下降域は長沼ら⁴⁾のテンションステイフニングモデルを採用した。鉄筋には Ciampi らの提案⁵⁾による修正 Menegotto-Pinto モデルを用いた。なお、降伏後の二次勾配は初期剛性の $1/100$ とした。また、 τ - S 関係は、最大付着強度点および下降域に松岡ら⁷⁾の提案式を採用した。

4. 解析結果

Fig.6 に層せん断力(Q)-層間変形角(R)関係を示す。また、Fig.7 に最大耐力時のひび割れパターンを示す。解析結果の除荷および再載荷を含めた履歴形状は実験結果を概ね良好に模擬した。また、解析では $3/1000rad$ において全ての柱にせん断ひび割れが発生しており、それと同時に顕著な耐力低下に至った。解析において、各柱にせん断ひび割れが生じるタイミングのずれは見られなかったものの、柱の破壊形式に関しても実験結果と良好な対応を示した。

5. まとめ

RCW 試験体に対して、2次元 FEM 解析を行った結果、丸鋼を用いた柱主筋の付着すべり挙動および柱と雑壁の境界部分の離間を表現することにより、実験の履歴形状ならびに破壊形式を概ね良好に模擬した。

6. 参考文献

[1] 内野卓, 佐藤亮介, 田嶋和樹, 白井伸明:「主筋に丸鋼を用いた腰壁・垂壁付き連スパン RC 造骨組に対する鉄骨ブレース補強効果」, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.2, pp.841-846, 2015

[2] 米澤健次・長沼一洋・江戸宏彰: RC 構造部材の三次元繰返し FEM 解析手法, コンクリート工学年次報告集, Vol.23, No.3, pp.13-18, 2001

[3] 長沼一洋, 山口恒雄: 面内せん断応力下におけるテンションステイフニング特性のモデル化, 日本建

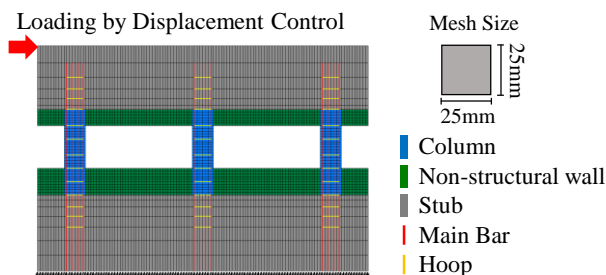


Fig.4 FE Mesh Division of Specimen RCW

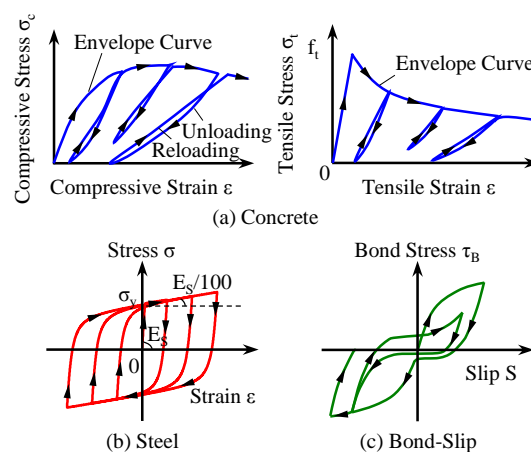


Fig.5 σ - ϵ and τ - S Relationships

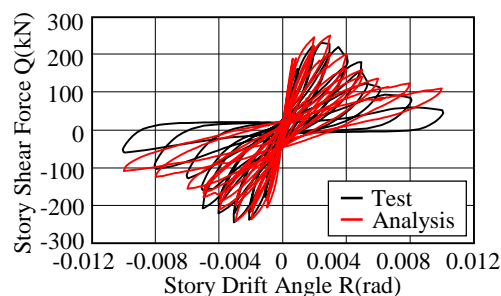


Fig.6 Cyclic Q - R Curves

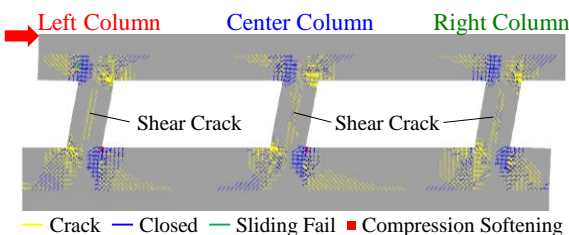


Fig.7 Calculated Crack Pattern at Maximum Load

築学会大会梗概集 (中国), pp.649-650, 1990.10

[4] Ciampi, V, et al.: Analytical Model for Concrete Anchorages of Reinforcing Bars Under Generalized Excitations, Report No. UCB/EERC-82/23, Univ. of California, Berkeley, Nov., 1982

[5] 松岡由高, 中村光, 国枝稔, 河村精一: 有限要素解析による主筋に丸鋼を用いた RC 部材の力学挙動値, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, pp.595-600, 2011