

座屈を伴う鉄骨ブレース補強後 RC 造骨組の弾塑性挙動に対する解析的検討
(その 2) ファイバー解析モデルの構築

Elasto-plastic Behavior of RC Frame Retrofitted with Steel Brace Failing in Buckling
(Part2) Development of Analytical Model with Fiber Elements

○山根康孝¹, 内野卓¹, 田嶋和樹², 白井伸明²

*Yasutaka Yamane¹, Suguru Uchino¹, Kazuki Tajima², Nobuaki Shirai²

Abstract: In Part 2, the present models were incorporated into the analytical model for the retrofitted RC Frame. It was confirmed from the pushover analyses that the strength degradation process with brace buckling and joint fracture could be pursued. Also, static cyclic behavior of the RC frame was simulated by the proposed model. As a conclusion, proposed model was able to pursue behavior of the retrofitted RC frame, including the post-peak behavior.

1. はじめに

前報(その 1)では、座屈ブレースおよび補強接合部の引張破壊を模擬する補強接合部バネのモデル化を行った。本報(その 2)では、これらを用いてブレース座屈が生じる補強後 RC 造骨組を対象とした解析モデルの構築を試みる。

2. 座屈が生じる補強後 RC 造骨組のモデル化

2.1. 解析モデル概要

解析モデルの詳細を Fig.1 に示す。各柱はファイバーモデルでモデル化し、実験において確認されたせん断破壊を再現するためせん断サブ要素を付与した。梁および基礎は剛体とした。補強接合部が取り付けることによる柱断面積の増加と内法スパンの減少を考慮するため、柱の断面に補強接合部の圧入モルタル部分を含めてモデル化し、剛域は柱梁接合部の中心から補強接合部までとした。鉄骨枠は梁要素でモデル化した。鉄骨ブレースは前報と同様の方法を用いることで座屈を考慮し、ガセットプレート部分は剛体とした。RC 造骨組と枠付き鉄骨ブレースは、バネ要素(補強接合部バネ)によって接合した。

2.2. 材料構成則

Fig.2 にコンクリート、Fig.3 に鉄筋の応力度(σ)–ひずみ度(ϵ)関係を示す。コアコンクリートに対しては Mander^[1]の拘束効果を適用した。なお、鉄筋の降伏後の二次勾配は初期剛性の 1/100 とした。せん断サブ要素は、せん断破壊領域に生じるせん断力(Q)–せん断変形(δ_s)関係を模した Tri-Linear 型の復元力特性^[2]を用いた (Fig.4)。

補強接合部バネの垂直方向および水平方向は、弾性とし、負担断面における圧入モルタル部分の剛性を持

たせた。すべての補強接合部バネを弾性としたモデルを Case1、ブレース交差部上部の補強接合部バネに前報で示した補強接合部の引張破壊を考慮した垂直力–垂直変形を用いたモデルを Case2 とする。

3. 解析結果

3.1. 静的単調解析

解析より得られた補強後 RC 造骨組のせん断力(Q)–

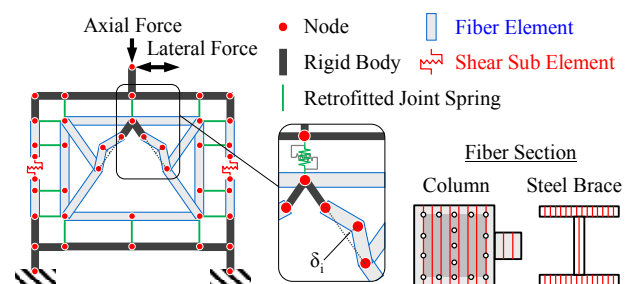


Fig.1 Modeling of Frame by Fiber Element

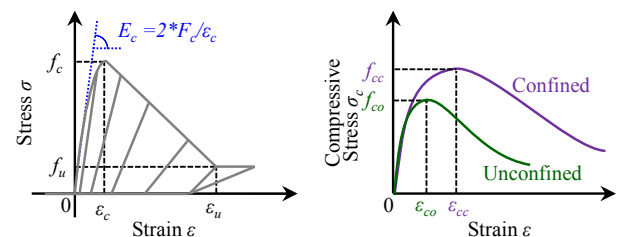


Fig.2 Stress-Strain Relationships of Concrete

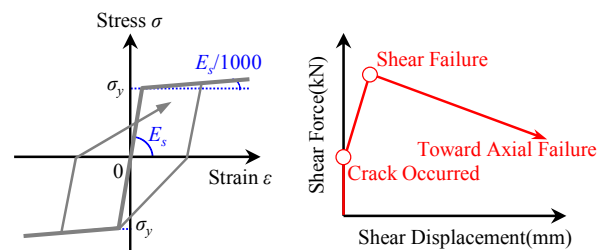


Fig.3 Stress-Strain Relationships of Steel

Fig.4 Restoring Force Characteristics for Sub-Elements

層間変形角(R)関係および鉄骨ブレースの $\sigma-\epsilon$ 関係を Fig.5 に示す. 両 Case 共に実験における最大耐力と良好な対応を示した. 層間変形角 0.80×10^{-2} rad 以降の挙動において両 Case に明確な違いが表れ, Case2 では急激な耐力低下が生じている. これは, 補強接合部バネの引張破壊によるものであり, これ以前の層間変形角 0.29×10^{-2} rad において鉄骨ブレース引張側の降伏と共に圧縮側の座屈が生じていることから, 各ブレースの軸力差によって補強接合部バネの引張破壊が引き起こされたと考えられる. Case2 の引張側ブレースにおいては, 補強接合部バネの引張破壊以降のステップで除荷が生じており, 前報で示した耐力低下機構における状態 ii から状態 iii に移行していることが確認出来る. これより, 本解析モデルにおいて座屈を考慮した補強後骨組のモデル化が可能であると共に, 補強接合部バネを設けることで座屈に伴う耐力低下機構を模擬できたと考えられる. ただし, 剛性を早期に過大評価している点や座屈発生時層間変形角を過小評価している点, 耐力低下挙動に実験との相違点が見られる. 剛性の過大評価の原因は, 本解析モデルにおける補強接合部バネがブレース交差部の垂直方向を除いて弾性であり, 圧入モルタルのひび割れ発生による剛性低下やせん断破壊を考慮していないためと考えられる. その他, RC 柱のコンクリートと主筋の付着すべり挙動を考慮していないことも原因の一つといえる. 座屈発生時層間変形角の過小評価の原因は, 実験では圧縮降伏後の座屈であるのに対し本解析モデルの座屈ブレースが圧縮降伏以前に座屈を生じるモデルであるためと考えられる. 耐力低下挙動が異なる原因は, 鉄骨ブレースの引張破断および RC 柱の芯鉄筋に沿う付着割裂破壊をモデル化していないためと考えられる. 以上に示した事象のモデル化は今後の課題である.

3.2. 静的繰返し解析

座屈および補強接合部の引張破壊を考慮した解析モデル Case2 を用いて, 静的繰返し解析を実施した. Fig.6 に $Q-R$ 関係を示す. 解析結果の履歴形状は実験結果を概ね良好に模擬した. 解析の正側載荷において層間変形角 0.2×10^{-2} rad サイクル時に圧縮側柱および引張側柱のせん断ひび割れが生じた. 圧縮側柱は層間変形角 0.6×10^{-2} rad, 引張側柱は 0.8×10^{-2} rad サイクル時にせん断破壊した. 鉄骨ブレースは層間変形角 0.4×10^{-2} rad サイクル時に引張側の降伏, 圧縮側の座屈が生じた. 層間変形角 0.8×10^{-2} rad の 1 サイクル時に補強接合部バネが引張破壊し, 急激な耐力低下が生じた. これより, 本解析モデルは, 履歴形状も含めて座屈が生じる

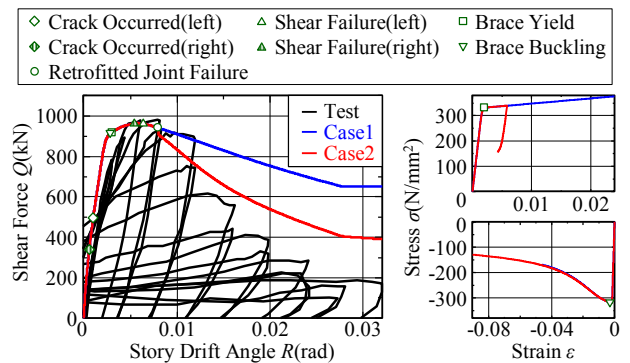


Fig.5 Pushover Analysis Result

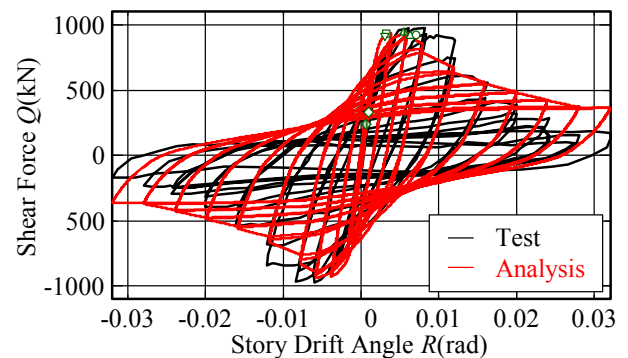


Fig.6 Cyclic $Q-R$ Curves

補強後 RC 造骨組の挙動を十分に追従可能であると考えられる.

4. まとめ

ブレース座屈および補強接合部の引張破壊を考慮した RC 造補強後骨組モデルの静的単調および繰返し解析を行うことで以下の知見を得た.

- (1) 補強接合部バネにおいて補強接合部破壊をモデル化することで, 耐力低下機構を模擬できた.
- (2) 本解析モデルは, 履歴形状も含めてブレース座屈が生じる補強後 RC 造骨組の弾塑性挙動を追従可能である.

5. 参考文献

- [1] J.B.Mander: “Teoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete”, Journal of Structural Engineering, Vol.114, No.8, pp.1804-1826, 1988.8
- [2] 田嶋和樹, 河井慎太郎, 今井究, 白井伸明: 「脆性部材の破壊が RC 造骨組の耐震性能に及ぼす影響」, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.2, pp.337-342, 2012.

【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.