

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1) 座屈および補強接合部破壊のモデル化

Elasto-plastic Behavior of RC Frame Retrofitted with Steel Brace Failing in Buckling
 (Part1) Modeling for Brace Buckling and Failure of Retrofitted Joint

○内野卓¹, 山根康孝¹, 田嶋和樹², 白井伸明²

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

Abstract: An analytical model for the RC frame retrofitted with steel brace failing in buckling was developed. In Part 1, the numerical models for brace buckling and tensile fracture of the retrofitted joint were developed for simulating strength degradation process with the brace buckling. The geometrically nonlinear model based on the corotational theory for the brace buckling was applied, and best parameters for the brace were identified. The backbone curve for representing tensile fracture behavior of the retrofitted joint was determined by the FE analysis.

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、鉄筋コンクリート（以下、RC）造建物の耐震補強に対する関心が高まり、様々な補強工法が提案されてきた。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いが、ポストピーク挙動を含めた終局状態に関する評価は十分であるとはいえない。また、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^[1]は鉄骨ブレース補強工法において想定される座屈破壊に着目し、FEM 解析による抵抗機構の解明を行った。本報では、その知見に基づいたファイバーモデルを用いた解析モデルの構築を試みる。なお、解析には、数値解析コード OpenSees^[2]を用いた。

2. 座屈が生じる補強後 RC 造骨組の抵抗機構

2.1. 解析対象実験概要

低強度コンクリート学校校舎の耐震補強効果を調べた石村ら^[3]の実験における 1/1.75 縮小試験体 3 体のうち、ブレース座屈が生じた F2 試験体を解析対象とする (Fig.1)。F2 試験体は既存 RC 造骨組にあと施工アンカー工法により枠付き鉄骨ブレースを組み込んだものである。一定軸力下で正負繰返し水平載荷が行われた。

2.2. 座屈に伴う耐力低下機構

本論文において提案する補強後骨組の解析モデルの概要を Fig.2 に示す。提案解析モデルでは、FEM 解析の知見に基づき、座屈が生じる鉄骨ブレース補強後 RC 造骨組において推測される耐力低下機構 (Fig.3) を反

映させている。座屈前 (状態 i) の鉄骨ブレースは、圧縮側と引張側の負担軸力が同じであるが、座屈後 (状態 ii) においては負担軸力の差が生じる。そのため、補強接合部にはこの力に釣り合う下向きの引張力が作用し、補強接合部の圧入モルタルの引張破壊を生じさせる。この破壊により補強接合部の鉛直方向の抵抗が消失すると、鉛直方向の力の釣合いが成立しないため、引張側ブレースの軸力が圧縮側ブレースの軸力と等しくなる (状態 iii)。そこで、本報では、耐力低下機構において特に重要なブレース座屈および補強接合部破壊のモデル化について検討を行う。

2.3. 座屈および補強接合部破壊のモデル化

座屈が生じる鉄骨ブレースのモデル化について、解

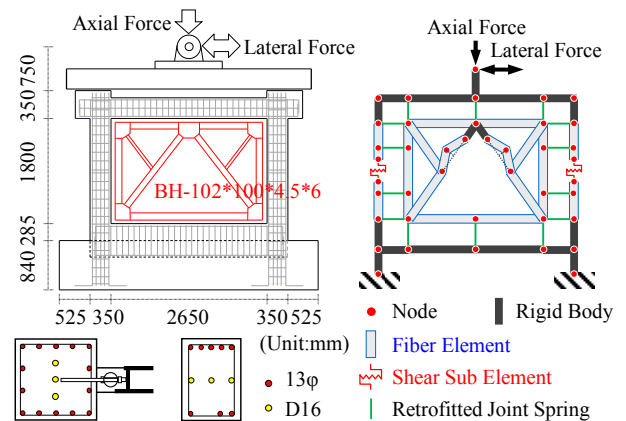


Fig.1 Geometry of Specimen Fig.2 Modeling of Frame

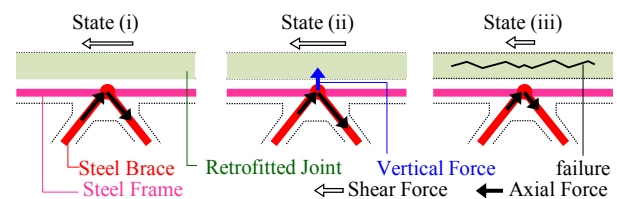


Fig3. Strength Degradation Process with Brace Buckling

析対象試験体の H 形鋼を対象として検討を行う。

解析モデルの概要を Fig.4 に示す。鉄骨ブレースを複数のファイバー要素でモデル化し、中央の鉛直方向に初期不整(δ_i)を与えている。本手法は、共回転理論^[4]を用いることで座屈挙動を模擬する Uriz ら^[5]により提案された手法である。なお、鉄骨の構成則には Menegotto-Pinto の σ - ϵ 関係を用いる。Uriz らは鋼管ブレースを対象に、要素数、初期不整、積分点数、ファイバー分割数をパラメータとした検討を行っている。その結果、要素数は 4 以上、初期不整はブレース長さに対して 0.005-0.1%、積分点数は最小で 3、ファイバー分割数は 10-15 を推奨している。本論ではこれらの推奨値が H 形鋼に対しても有効であるか検討を行う。Fig.5 に各パラメータについて検討した荷重(P)-変形(δ)関係を示す。要素数による大きな違いは見られなかったが、積分点数およびファイバー分割数においては、推奨値以上と推奨値未満に明確な違いが見られた。初期不整は、値が小さくなると共に初期座屈耐力が上昇する傾向が見られた。これらの結果より推奨値は H 形鋼に対しても有効であると考えられ、本論文では要素数 2、初期不整 0.1%、積分点数 5、ファイバー分割数 15 を採用する。

補強接合部の引張破壊に対しては、Fig.2 に示すように既存 RC 骨組と枠付き鉄骨ブレースを接合するバネ要素（以下、補強接合部バネ）において RC 梁とブレース交差部の鉛直方向に考慮する。補強接合部の引張破壊を考慮した垂直力-垂直変位関係は、同試験体を対象とした FEM 解析モデル^[1]において、補強接合部を部分的に抽出した要素解析モデル（Fig.6(a)）を用いて検討する。圧入モルタルは平面応力要素、スタッドおよび施工アンカーは梁要素によってモデル化し、鉄骨枠と補強接合部の間には界面要素を設けている。Fig.6(b)に示した要素解析結果より、垂直力-垂直変位関係を多直線近似して、補強接合部バネに付与する。

3. まとめ

- (1) 共回転理論を用いた座屈ブレースのモデル化を行い、提案されているモデル化パラメータが H 形鋼に対しても適用可能であることを確認した。
- (2) 補強接合部の引張破壊を考慮した垂直力-垂直変位関係を FEM 解析より決定した。

4. 参考文献

- [1] 山根康孝, 田嶋和樹, 白井伸明: 「座屈またはパンチングシア破壊が生じる枠付き鉄骨ブレース補強後

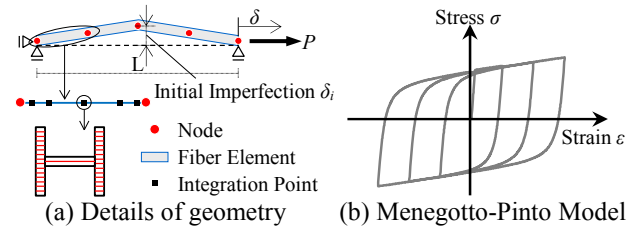


Fig.4 Modeling of Steel Brace Buckling

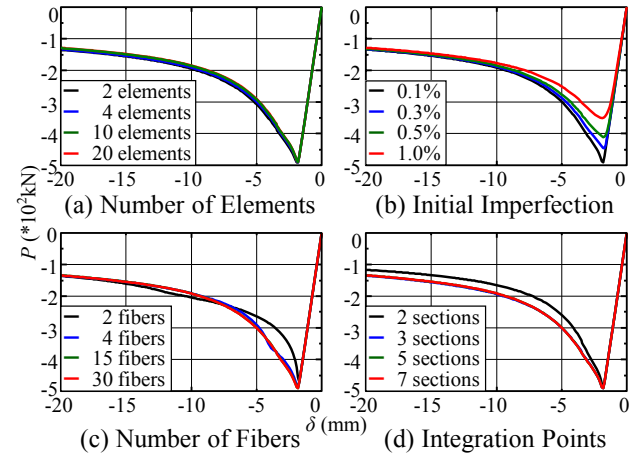


Fig.5 Analysis Results

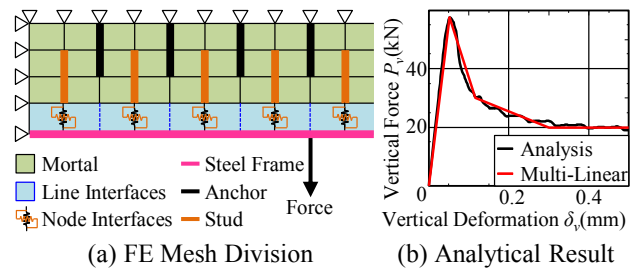


Fig.6. Modeling of Retrofitted Joint Spring

- RC 造骨組の抵抗機構に関する解析的検討」, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.2, pp.1075-1080, 2013.
- [2] Open System for Earthquake Engineering Simulation - HomePage, <http://opensees.berkeley.edu/>
 - [3] 藤井徳己, 石村光由, 眞木正経, 南宏一: 「低強度コンクリート学校校舎の耐震補強効果」, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp.1195-2000, 2008.
 - [4] Filippou, F.C., and Fenves, G.L.: "Earthquake Engineering From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering." Chapter 6: Methods of Analysis for Earthquake-Resistant Structures, CRC Press, 2004.
 - [5] Patxi Uriz, Stephen A. Mahin: "Toward Earthquake-Resistant Design of Concentrically Braced Steel-Frame Structures", PACIFIC EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH CENTER, 2008.8

【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。