

主筋の付着すべりが全体曲げ破壊するブレース補強 RC 骨組の挙動に及ぼす影響の解析的検討

Analytical Study on Effect of Bond-Slip of Longitudinal Bars on Inelastic Behavior of RC Framed Structure

Retrofitted with Steel Braces Failing in Flexure

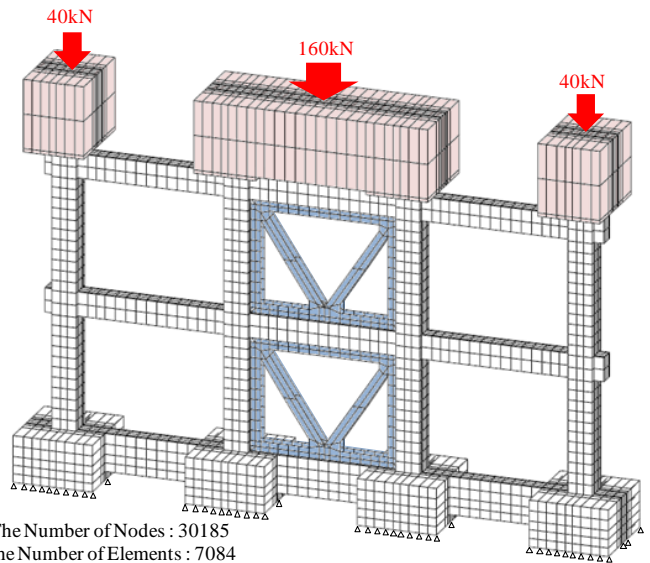
○伊東大地¹, 山根康孝², 小林仁³, 田嶋和樹⁴, 白井伸明⁴

*Daichi Ito¹, Yasutaka Yamane², Hitoshi Kobayashi³, Kazuki Tajima⁴, Nobuaki Shirai⁴

Abstract: RC framed structure retrofitted with the brace failing in flexure was simulated by 3-D FE analyses with different bond-slip relations for longitudinal bars. Consequently, the initial stiffness and the ultimate strength were reduced by inclusion of the bond-slip model. When the bond-slip was included, contribution of shear in the independent columns to total shear was reduced. Thus, it may be concluded that the stiffness reduction of the independent columns due to the bond-slip leads to the reduction in ultimate strength of RC frame.

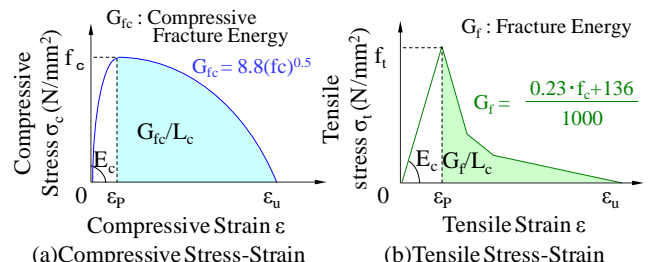
1. はじめに

兵庫県南部地震以降、鉄筋コンクリート（以下、RC）構造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いる^[1]。中でも比較的軽量で適度な大きさの開口を設けられる枠付き鉄骨ブレース工法が最も普及している。筆者らの既往の研究^[2]では補強後骨組の耐震性能評価に関する解析的検討は行ったが、多層骨組の耐震性能に関する検討は十分であるとは言い難い。枠付き鉄骨ブレース補強が連層配置される場合、ブレースが十分に性能を発揮しない恐れがある全体曲げ破壊が生じ、想定した耐力を下回る可能性がある。既往の研究^[3]では2次元 FEM 解析を通じて全体曲げ破壊する RC 骨組の耐力略算式が提案されているものの、鉄筋-コンクリート間に完全付着を仮定しているため、剛性を過大評価する結果が示されている。本研究では、付着すべり挙動が RC 骨組の全体挙動に及ぼす影響を把握するため、北山らが実施した枠付き鉄骨ブレースが連層配置された RC 骨組の正負交番載荷実験^[4]において全体曲げ破壊した試験体を対象とし、付着すべり挙動を考慮した3次元 FEM 解析を実施する。



The Number of Nodes : 30185
The Number of Elements : 7084

Figure 1 Finite Element Mesh Division



(a) Compressive Stress-Strain (b) Tensile Stress-Strain
Figure 2 Constitutive Law of Concrete

2. 解析概要

Fig 1.に要素分割図を示す。中央スパンおよび独立柱の上部にそれぞれ 40kN, 160kN を加えた後、中央スパンに水平方向の変形を与えた。なお、解析には汎用コード DIANA9.4 を用いた。

2. 1. コンクリートのモデル化

コンクリートはソリッド要素によりモデル化した。Fig 2.にコンクリートの応力-ひずみ関係を示す。破壊エネルギーは、 G_{fc} (N/mm)は中村ら^[5]、 G_f (N/mm)は大岡ら^[6]の提案式から求め、要素代表長さ L_c は要素体積 V と等価な体積を持つ球の直径とした。

2. 2. 鉄筋のモデル化

鉄筋は埋め込み鉄筋要素によりモデル化した。一般的には完全付着が仮定されるが、DIANA では付着すべり挙動を考慮できるモデルが用意されている。Fig 3.に鉄筋の応力-ひずみ関係を示す。鉄筋は bi-linear モデルとし、降伏後の 2 次剛性は初期剛性の 1/100 とした。実験で座屈した柱の主筋には、Monti & Nuti の実験結果^[7]を参考にして、座屈を考慮した応力-ひずみ関係を用いた。なお、座屈長さはあばら筋間隔とし、両端ピン支持として算出した。付着すべり挙動に関しては、CASE1 は完全付着、CASE2 は付着すべり挙動を

考慮し, Fig 4.に示す CEB モデルコード^[8]より決定したせん断応力-すべり量関係を用いてモデル化した. なお, 付着すべり挙動は主筋のみ考慮した.

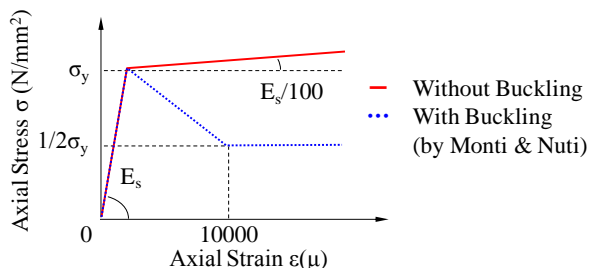


Figure 3 Constitutive Law of Steel

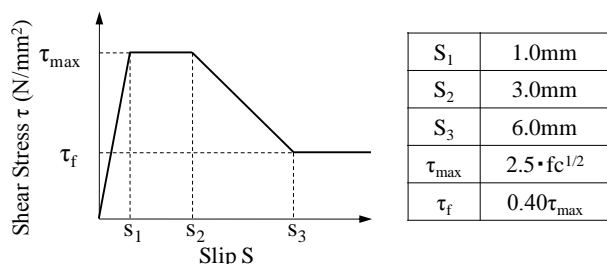


Figure 4 Modeling of Bond-Slip

2. 3. 鉄骨ブレースおよび接合部のモデル化

鉄骨ブレースはシェル要素によりモデル化し, 応力-ひずみ関係は鉄筋と同様とした. Fig 5.に1層目鉄骨ブレース下枠の補強接合部詳細図を示す. コンクリートと鉄骨を離散化し, その間を平面界面要素でモデル化した. 界面要素には, コンクリートが引張強度に達すると引張およびせん断抵抗がゼロになる脆性ひび割れモデルを採用した. アンカー筋はダボ抵抗を考慮するため梁要素でモデル化し, 応力-ひずみ関係は鉄筋と同様とした. アンカー筋と鉄骨は一体化させ, アンカー筋-コンクリート間の付着すべり挙動はボンドリンク要素によりモデル化し, 付着すべりモデルは主筋と同様に決定した. なお, その他の箇所の補強接合部は実験において損傷が認められなかったため, 完全付着を仮定した.

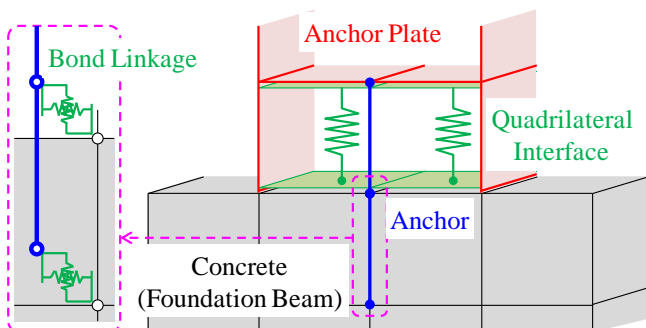


Figure 5 Cohesion of Anchor Plate and Pullout of Anchor

3. 解析結果

実験結果および解析結果を Fig 6.に示す. CASE1 に比べ, CASE2 は初期剛性および最大耐力が低下している. 最大耐力時の独立柱の負担せん断力が CASE1 は

58.3kN, CASE2 は 44.1kN であることから, 付着すべりを考慮することにより独立柱の剛性が中央スパンに比べ大きく低下し, 独立柱の負担せん断力が低下したと考えられる. これが, 架構の最大耐力が低下した要因である.

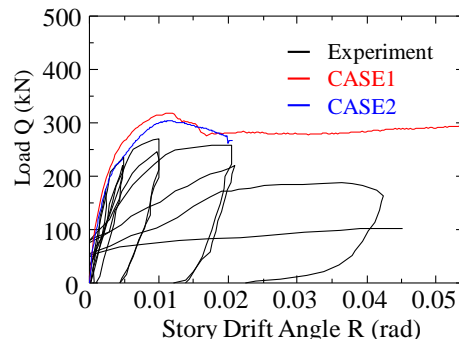


Figure 6 Load (Q) - Story Drift Angle (R) Relationship

4. まとめ

- (1) 連層鉄骨ブレース補強された全体曲げ破壊する RC 骨組の鉄筋の付着すべり挙動のモデル化の有無をパラメータとした 3 次元 FEM 解析を行った.
- (2) 付着すべり挙動を考慮することにより, 骨組全体の最大耐力が低下した. これは剛性の変化が部材ごとに異なることで, 最大耐力時に各部材が発揮する耐力が変化したためと考えられる.

5. 参考文献

- [1] 財団法人, 日本建築防災協会, 建設省住宅局建築指導課監修: 既存コンクリート造建築物の耐震改修設計指針同解説, 2001
- [2] 國本拓也, 伊東大地, 北野由樹, 田嶋和樹, 白井伸明: 鉄骨ブレース補強後 RC 骨組の耐震性能評価及び復元力特性のモデル化: 日本建築学会学術梗概集, C-2, 2010.
- [3] 伊東大地, 小林仁, 田嶋和樹, 白井伸明: 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: 日本建築学会学術梗概集, C-2, 2011.
- [4] 北山和宏ほか: 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, 1339-1344, 2004
- [5] Nakamura, H., and Higai, T.: Compressive Fracture Energy and Fracture Zone Length of Concrete, Modeling of Inelastic Behavior of RC Structures under Seismic Loads, ASCE, pp.471-487, 1999.10
- [6] 大岡督尚ほか: コンクリートの破壊パラメータに及ぼす短繊維混入および材齢の影響, 日本建築学会構造系論文集, 第 529 号, pp.1-6, 2000.3
- [7] Giorgio Monti, Camillo Nuti: Nonlinear Cyclic Behavior of Reinforcing Bars Including Buckling, Journal of Structural Engineering, Vol.118, No.12, December, 1992, ASCE, pp.3268-3284
- [8] CEB: CEB-FIP MODEL CODE 1990 DESIGN CODE, Tomas Telford Service Ltd., 1993