

ボルト系半剛結接合の弾塑性挙動に及ぼす柱材の拘束効果に関する数値解析的検討

室蘭工業大学大学院 正会員 ○小室 雅人
室蘭工業大学大学院 学生会員 桑原 知也

室蘭工業大学大学院 フェロー 岸 徳光

1. はじめに

近年のコンピュータ性能の飛躍的向上によって、ボルト系半剛結接合を対象とした有限要素法による三次元弾塑性解析が可能な状況となってきた。その結果、アングル材や高力ボルト等を詳細にモデル化することにより、実挙動をほぼ正確に再現できることが明らかになっている¹⁾。しかしながら、実骨組構造にボルト系半剛結接合を適用した場合の接合部挙動は、柱材の拘束効果によって、接合部単体のそれとは異なる特性を有するとの報告もある²⁾。

このような背景より、本研究では、柱梁接合部を構成するアングル材や高力ボルトの他、柱や梁材を詳細にモデル化した場合の実半剛結門型骨組を対象に、有限要素法による三次元弾塑性解析を実施した。また、併せて接合部のみをモデル化する場合の解析も実施し、両者を比較することにより、柱材の拘束効果について数値解析的に検討を試みた。なお、本解析には、構造解析用汎用プログラム ABAQUS (Ver. 6.8) を使用した。

2. 数値解析仮定

2.1 解析対象骨組

本解析に用いた鋼骨組は、文献3に示されている半剛結門型鋼骨組を基本として、各部材の寸法を我が国の基準に準拠するように若干修正をしたものである。柱および梁材は、H200×200×8×12、H300×200×8×12(ともにSS400)である。図1には、解析対象骨組の形状寸法および各部材の諸元を示している。

柱梁接合部は、図2に示すように、L150×100×12のアングル材2枚と高力ボルト(F10T, M20)6本を用いて、両者を接合している。接合部近傍の柱材には、柱フランジの局所変形を防ぐために、板厚12mmの補剛材を2本設置している。柱フランジ表面と梁材端部とのクリアランスは、アングル材厚と等しく12mmとしている。

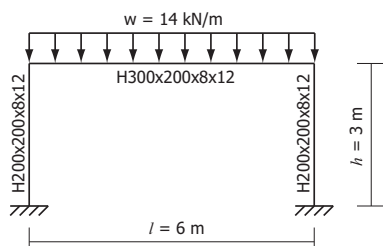


図1 解析骨組

また、ボルト孔径は22mmである。

2.2 数値解析モデル

解析モデルは、半剛結接合を有する骨組全体を対象とする場合(骨組モデル)および半剛結接合部のみを対象とする場合(接合部モデル)の2種類である。図3には、本解析で用いた解析モデルの概略および要素分割状況を示している。解析では、モデル化を可能な限り正確に行うことを前提に、梁材、柱材、アングル材および高力ボルトは全て8節点固体要素を用いてモデル化している。なお、解析モデルは対称性を考慮して1/2モデルとしている。

高力ボルトは、図3(c)に示すようにボルト頭部とナットを一体化してモデル化している。また、隣接する各部材間には、接触・剥離が考慮可能な接触面を定義している。接触面には摩擦を考慮し、梁および柱材とアングル間の摩擦係数は0.4と設定した。

2.3 数値解析方法

本解析では、所定のボルト張力(182 kN)を導入後、骨組モデルでは死荷重を含む自重を作用させ、その後図3(a)および(b)に示す強制変位作用位置に水平変位 δ を与えた。また、死荷重を作用させない解析も実施している。解析は荷重載荷点の変位が層間変形角 δ/h の1/10程度($\delta = 300$ mm)となるまで実施した。なお、本解析では、幾何学的非線形性は考慮しているものの、残留応力や初期不正については無視することとした。

3. 数値解析結果および考察

図4には、柱材の拘束効果を確認するために、接合部モデルと骨組モデルにおける接合部モーメント M と相対回転角 θ_r 関係を比較して示している。なお、接合部モーメント M について、接合部モデルの場合には、載荷点荷重 H_c に柱フランジ表面までの距離(2.9 m)を乗じることにより算出している。一方、骨組モデルの場合

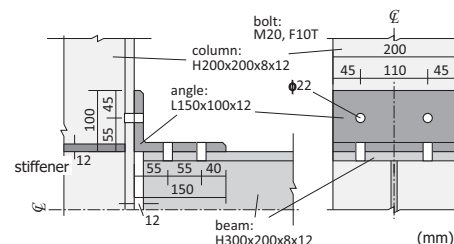


図2 柱梁接合部の詳細

キーワード：半剛結接合，ボルト接合，モーメント－相対回転角関係，柱材の拘束効果，弾塑性解析
連絡先：〒050-8585 室蘭工業大学大学院 くらし環境系領域 社会基盤ユニット TEL/FAX:0143-46-5228

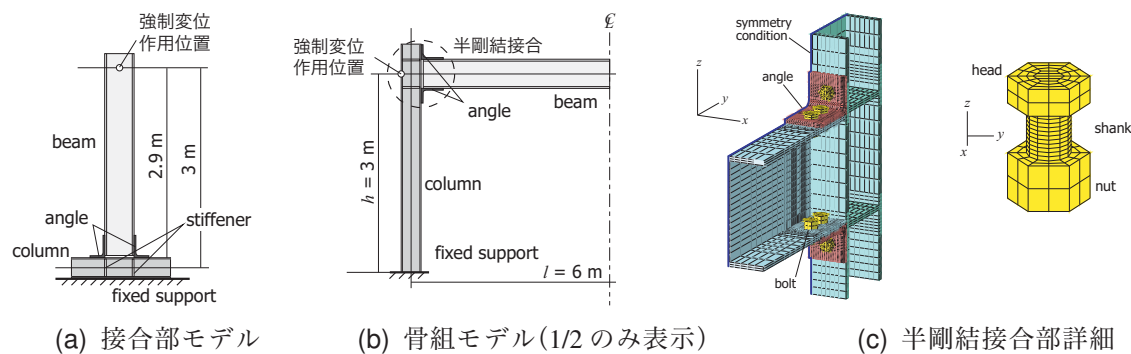
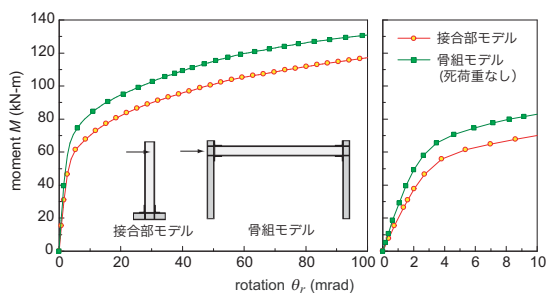


図3 要素分割状況

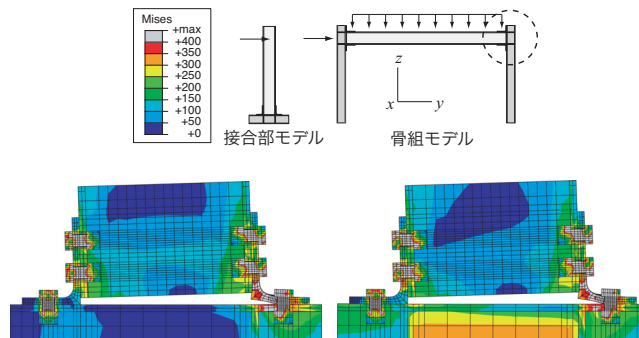
図4 解析モデルによる $M-\theta_r$ 関係の比較

合には、梁材のスパン中央部から左右に2断面を取り、その断面内のひずみ分布を用いて、梁材端の曲げモーメントを算出している。また、相対回転角 θ_r については、梁材のフランジ端部の回転角 θ_{bf} と柱フランジ表面の回転角 θ_{cf} の差を用いて算出している。なお、骨組モデルにおける結果は、死荷重を無視したものである。

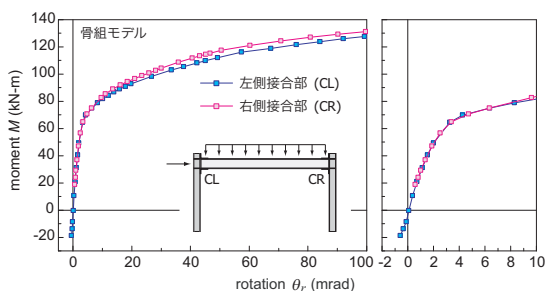
図より、初期剛性および最大耐力等を比較すると、骨組モデルが接合部モデルよりも大きく示されていることが分かる。これは、実骨組構造において柱材の拘束効果による影響が存在することを意味している。すなわち、一般に実施されている接合部のみの実験結果は、半剛結接合を実骨組構造に適用した場合と比較して、剛性を過小に評価する傾向にあり、設計的には安全側の評価を与えることを示唆している。

図5には、相対回転角 $\theta_r \approx 30$ mrad における接合部および骨組モデルの変形状況と Mises 応力分布を示している。図はボルト中央断面で切断して表示したものである。図より、同一相対回転角 θ_r における両モデルを比較すると、曲げ圧縮を受けるアングル材(左側)の応力分布に若干の違いが見られることが分かる。これは、骨組モデルにおいて、柱材の拘束効果によって、梁材に軸圧縮力が作用していることを示唆している。

図6には、死荷重を考慮した場合の半剛結骨組モデルにおいて、左右接合部の $M-\theta_r$ 関係を示している。なお、相対回転角 θ_r は反時計回りを正としている。図より、死荷重の影響により、左右接合部における初期値が異なることが確認される。また、水平荷重作用後は、



(a) 接合部モデル (b) 骨組モデル

図5 柱梁接合部の変形状況 ($\theta_r \approx 30$ mrad)図6 接合部位置による $M-\theta_r$ 関係の比較

$\theta_r = 10$ mrad 程度までは、両接合部ともに同じ経路を示しているものの、それ以降は右側接合部が左側接合部に比較して若干大きな剛性を示している。

4. まとめ

- (1) 実骨組構造における柱の拘束効果を数値解析的に確認した。
- (2) 接合部のみを考慮する場合は、半剛結接合を実骨組構造に適用する場合と比較して、剛性を過小に評価する傾向にあり、設計的には安全側の評価を与える。

参考文献

- 1) 小室雅人, 岸 徳光, 佐藤陽介: アングル系接合の接合部履歴挙動特性に関する実験的・解析的研究, 鋼構造年次論文報告集, **16**, 245-252, 2008.11.
- 2) 久保直志, 吉田智典, 橋本健一, 田沼吉伸: 半剛接合部が受ける柱の拘束効果に関する実験的研究, 鋼構造年次論文報告集, **7**, 427-434, 1999.11.
- 3) Chen, W.F., Goto, Y., and Liew, J.Y.R., *Stability Design of Semi-Rigid Frames*, John Wiley & Sons, 1995.