

Top- & seat-angle 接合のてこ作用に及ぼすゲージ長の影響に関する弾塑性解析

室蘭工業大学 学 生 員 ○鈴木 優哉 室蘭工業大学 正 員 小室 雅人
 室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光 室蘭工業大学 学 生 員 佐藤 陽介

1. はじめに

本研究では、アングル系接合の $M-\theta_r$ 特性およびてこ作用のメカニズムを明らかにすることを目的として、top- & seat-angle 接合を対象にゲージ長（アングル材かかと部から柱側ボルト中心位置までの距離）を変化させた全3試験体について三次元有限要素弾塑性解析を実施した。解析結果の妥当性は、別途実施した実験結果と比較することにより行った。なお、解析には構造解析用汎用プログラム ABAQUS を使用した。

2. 実験概要

図-1には、本研究で対象とした試験体の概要を示している。ここでは、アングル材のゲージ長のみを 60, 105, 150 mm と変化させた全3体について検討を行った。高力ボルトは、全て F10T (M20) とし、導入張力は設計規準に基づき 182 kN を目標値として、それに対応するトルクをトルクレンチを用いて導入した。

実験は、剛基礎に固定した柱材上に接合部を設置し、梁材上部に荷重治具を取り付け、スクリージャッキを用いて変位制御方式により水平荷重を載荷した。なお、実験は高力ボルトの破断あるいは、スクリージャッキのストローク限界まで行った。

3. 数値解析概要

本解析では、試験体のモデル化を可能な限り正確に行うため、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。図-2には、要素分割状況の一例として G60 試験体の例を示している。解析モデルは対称性を考慮して 1/2 モデルとした。

高力ボルトは、ボルトヘッド部とナットを一体化してモデル化している。また、1) 梁および柱材とアングル間、2) ボルトヘッド部およびナットと各部材間、3) ボルト軸部とボルト孔間には、接触・剥離が考慮可能な接触面を

定義した。接触面には摩擦を考慮し、アングル材および梁・柱間の摩擦係数は 0.4 と設定した。また、本解析では高力ボルトの初期張力として、実測値を与えた。

鋼材の応力-ひずみ関係は、材料試験結果を参考にし、多直線近似によって与えている。また、境界条件は、柱底部を完全固定とし、対称切断面には、連続性を満たすように設定した。解析は、実験時の載荷点に相当する位置に強制変位を与えることにより行った。

4. 実験解析結果および考察

図-3には、各試験体の接合部 $M-\theta_r$ 関係について解析結果と実験結果を比較して示している。図より、いずれの試験体についても、初期剛性および剛性勾配低下時の曲げモーメント値など、本解析結果は実験結果を精度よく再現していることが分かる。また、G60, G105 試験体に着目すると、数値解析結果はボルト破断に至るまでの実験結果を精度よく再現している。

図-4には、解析結果から得られる各試験体の top angle 柱側ボルト軸力 T およびアングル材-柱フランジ間の接触面における接触圧 C と相対回転角 θ_r との関係を、 $M-\theta_r$ 関係と併せて示している。また、図中の P_b はボルト初期導入張力である。なお、ここでは、最大曲げモーメント値までの範囲に着目して検討を行う。

図より、top angle 柱側ボルト軸力（黒線）に着目すると、ボルト最大軸力発生時の回転角 θ_{bmax} は、ゲージ長が長くなるとともに、大きくなる傾向にあることが分かる。

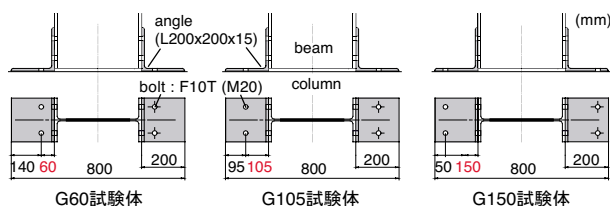


図-1 試験体概要図

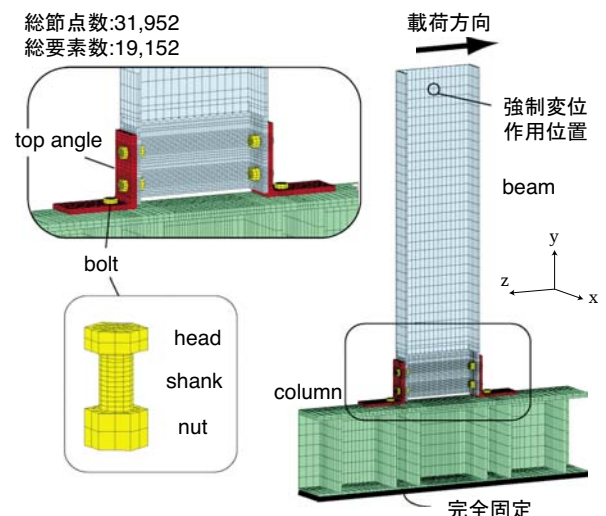


図-2 要素分割状況の一例 (G60 試験体)

キーワード：アングル系接合，てこ作用，有限要素法，三次元弾塑性解析， $M-\theta_r$ 特性

連絡先：〒050-8585 室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学 建設システム工学科 TEL 0143-46-5230 FAX 0143-46-5227

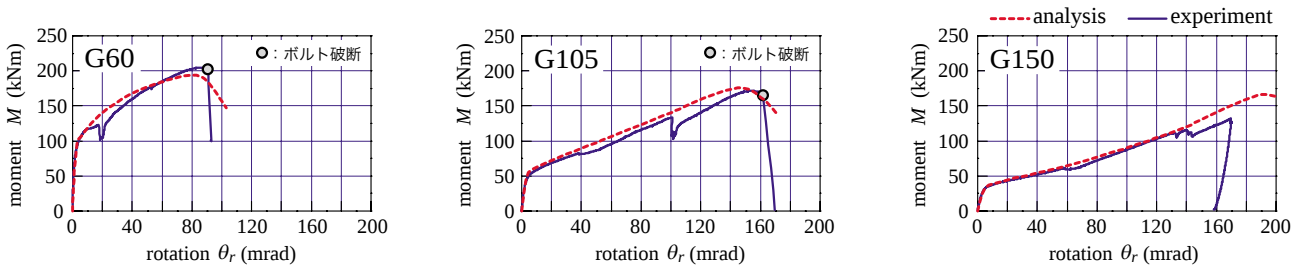


図-3 接合部曲げモーメント-相対回転角関係

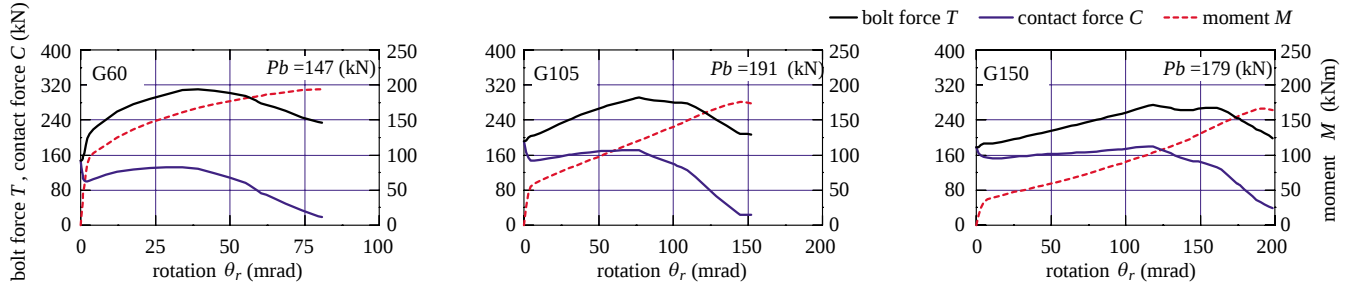


図-4 top angle 柱側ボルト軸力およびアングル材-柱フランジ間接触圧の関係

次に、ボルト軸力（黒線）と曲げモーメント（赤点線）の関係を見ると、ボルト軸力低下後も曲げモーメントが増加している。これは、ボルト軸力最大値時点までは高力ボルトに引張力が作用しているものの、その後はアングル材の滑りに伴い、ボルト軸部とアングル材が接触し、支圧接合状態に移行するためボルト軸力が低下するものと推察される。

接触圧（青線）に着目すると、ゲージ長が短いほど载荷初期に急激な低下が見られる。また、接触圧と $M-\theta_r$ 曲線を比較すると、 $M-\theta_r$ 曲線における弾性範囲までは接触圧が低下し、その後の緩やかな曲げモーメントの増大に伴い、接触圧も緩やかに増加している。これは、アングル材の変形に伴うてこ作用によって、てこ反力が大きくなることに起因している。

以上より、トップアングルに作用する曲げ引張力が小さく、アングル材にすべりが生じるまでは、高力ボルトによる引張接合成分が卓越しているのに対し、すべり発生後は、ボルト軸部とアングル材の接触による支圧接合成分が卓越するものと推察される。

図-5には、ボルト軸力が最大となる時点での top angle と柱フランジ面間の接触圧分布および top angle 近傍の Mises 応力分布を示している。なお、Mises 応力分布図は、ボルト中央断面で切断したものである。図より、接触圧分布図に着目すると、ゲージ長にかかわらず、接触圧（てこ反力）は柱側ボルト近傍のつま先側において大きな値を示している。

次に、Mises 応力分布図に着目すると、各試験体ともアングルが大きく変形し、梁フランジ側のボルト孔部まで分離している様子が確認できる。また、てこ作用によ

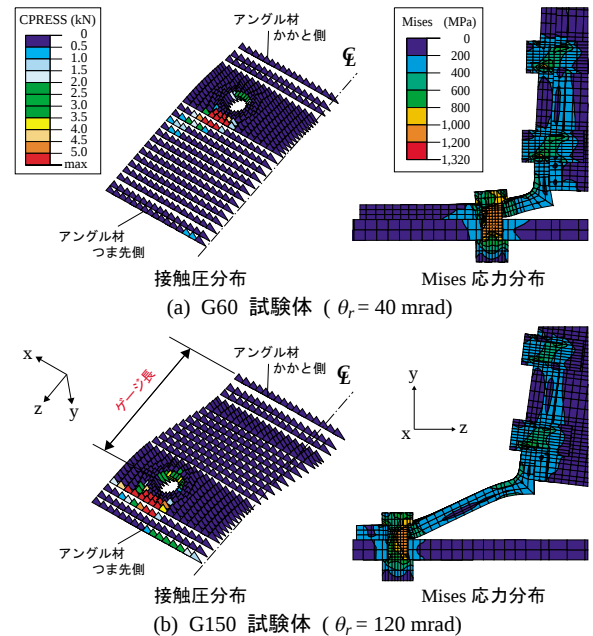


図-5 top angle と柱フランジ面間の接触圧分布およびアングル材の Mises 応力分布

てボルト軸部に 1,000 MPa 以上の応力が発生している。2 試験体を比較すると、ゲージ長が短い場合ほど、ボルト軸部全体に引張応力が生じる傾向にあることが分かる。

5. まとめ

- (1) ゲージ長にかかわらず、解析結果は実験結果の $M-\theta_r$ 関係を精度よく再現可能である。
- (2) 柱側ボルト軸力はアングル材のすべりが生じるまで増加するものの、すべりの発生とともに減少する。
- (3) すなわち、トップアングルに作用する曲げ引張力が小さく、アングル材にすべりが生じるまでは、高力ボルトによる引張接合成分が卓越するのに対し、すべり発生後は、ボルト軸部とアングル材の接触による支圧接合成分が卓越するものと考えられる。