

# top & seat-angle 系接合の繰り返し履歴挙動に関する解析的研究

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 フェロー 松岡 健一

## 1. はじめに

本研究では、繰り返し荷重を受ける top- and seat-angle 系接合の  $M-\theta_r$  特性を適切に評価可能な解析手法の確立を目的として、web angle の長さが異なる 3 種類の試験体を対象に 3 次元弾塑性有限要素解析を実施した。ここでは、モーメント-相対回転角関係の他、アングル材のひずみ分布等について、別途実施した静的繰り返し荷重実験結果<sup>1)</sup>と比較することにより、その妥当性を検討している。なお、解析には構造解析用汎用プログラム ABAQUS を使用している。

## 2. 実験概要

図 1 には各試験体の概略図を示している。梁材, top/seat angle および web angle の形状寸法は、それぞれ H400×200×13×8, L150×100×12 および L90×90×7 と固定し、web angle 長のみを変化させている。使用した高力ボルトは F10T (M20) であり、導入張力を 178 kN とし、それに対応する 480 N-m のトルクをトルクレンチを用いて導入している。なお、ボルトのクリアランスは 2 mm である。図 2 には、引張試験により得られた使用鋼材の真応力-真ひずみ関係を示している。

図 3 には、実験装置および計測方法を示している。実験は、電動スクリージャッキを用いて、柱部から 1.5 m の高さの位置に水平荷重を与えることにより行っている。測定項目は、荷重載荷点の水平変位および水平荷重、接合部相対回転角  $\theta_r$  を評価するための梁端フランジの浮き上がり量（鉛直方向変位）、アングル材に発生するひずみ成分である。なお、変位測定にはレーザー式変位計を使用している。

実験は、別途実施した単調載荷実験結果<sup>1)</sup>を踏まえ、相対回転角  $\theta_r$  が 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80 mrad となるように変位振幅（振幅は各 1 回）を設定している。荷重は変位制御方式で載荷し、計測はアンプ内蔵のデジタルレコーダを用いて連続的に一括収録している。

## 3. 数値解析仮定

図 4 には要素分割状況の一例として W29 試験体の場合について示している。解析モデルは対称性を考慮して構造全体の 1/2 とした。高力ボルトは、図 4 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、実構造を正確に再現するために、1) 梁および柱材とアングル材間、2) ボルト頭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ている。なお、高力ボルトには、実験条件と同様に 178 kN の初期張力を導入した。

解析では、実験条件と同様に図 4 に示すように、柱の定着側フランジ部を完全固定とし、対称切断面には連続性が満足するように境界条件を設定した。鋼材の応

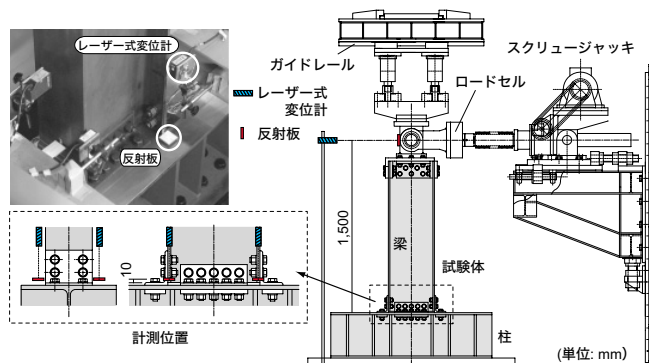


図 3 実験装置および計測方法

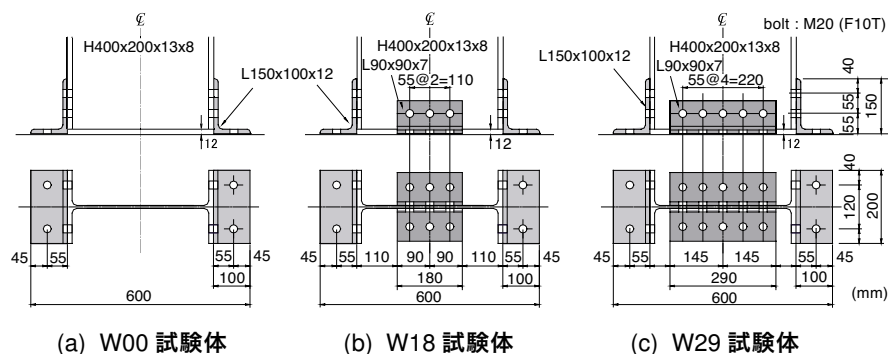


図 1 接合部の概略、形状寸法および試験体名

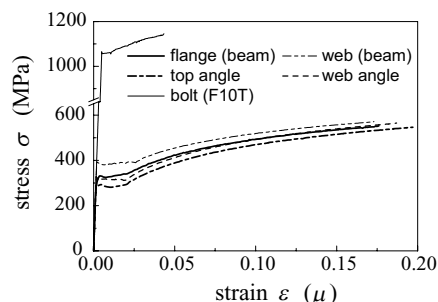


図 2 真応力-真ひずみ関係

キーワード：半剛結接合、履歴挙動、数値解析、有限要素法

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 0143-46-5228 FAX 0143-46-5227

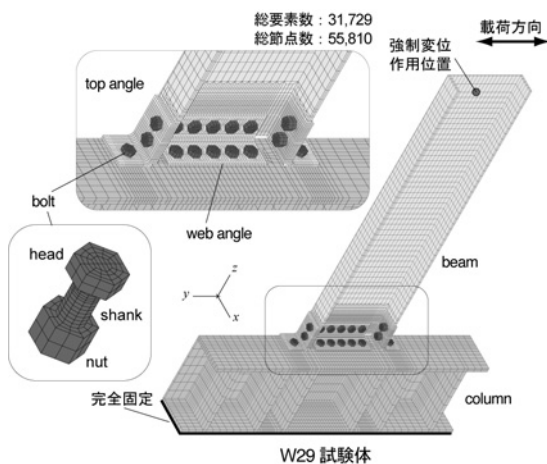
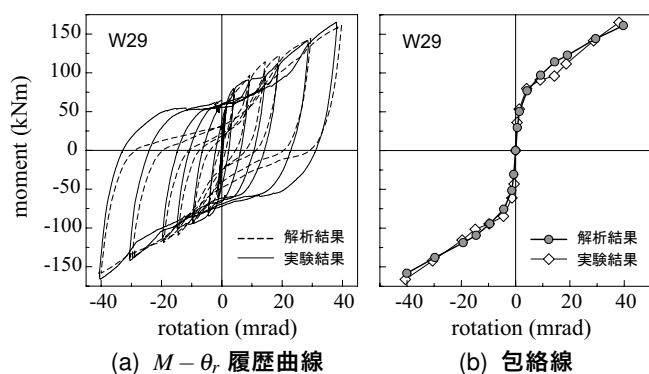


図4 要素分割状況（W29 試験体）

図5 接合部  $M-\theta_r$  履歴曲線の比較

力-ひずみ関係は、前述の材料試験結果（図2）を参考にして、降伏応力と最大応力点を直線で結ぶバイリニア型に近似している。なお、鋼材の構成則として等方硬化則、降伏条件として von Mises の降伏条件を仮定した。解析は、実験条件と同様に荷重点に相当する位置を変位制御させることにより実施している。なお、本数値解析では相対回転角  $\theta_r$  が  $\pm 40$  mrad となる8サイクル目までを対象としている。また、解析には幾何学的非線形を考慮している。

#### 4. 解析結果および考察

図5には、 $M-\theta_r$  履歴曲線とその包絡線の一例として、W29 試験体について解析結果と実験結果を比較して示している。(b)図に示す包絡線分布より、各サイクルの最大振幅時における曲げモーメントについては、解析結果と実験結果が概ね一致していることが分かる。しかしながら、(a)図の履歴曲線において除荷から再荷荷に至る分布性状に着目すると、解析結果の除荷勾配は実験結果と一致しているものの、その後の分布性状に関しては、解析結果が実験結果よりも小さなモーメントレベルで剛性勾配が低下しており、履歴ループの形状を適切に再現するまでには至っていないことが分かる。

図6には、W00 試験体を対象に top angle に貼付した

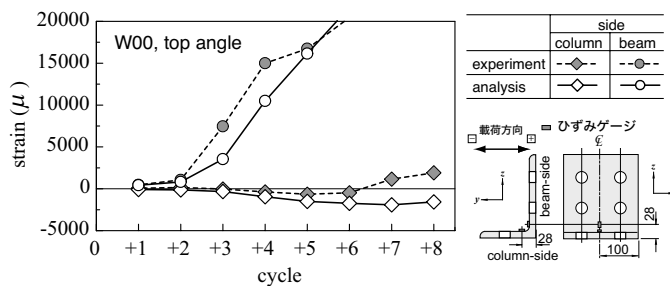


図6 top angle のひずみ分布（W00 試験体）

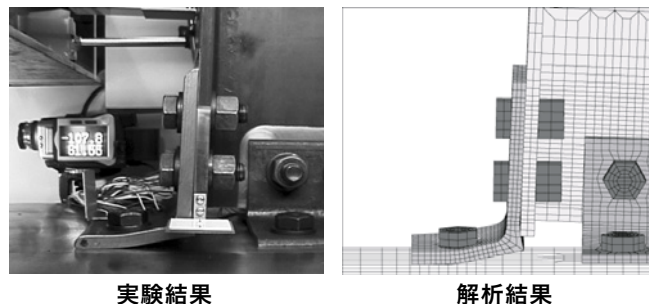


図7 top angle の変形状態の比較（W29 試験体）

2枚のひずみゲージ出力とサイクル数の関係について、解析結果と実験結果を比較して示している。なお、図の横軸は top angle が曲げ引張を受ける場合のサイクル数で整理している。図より、実験結果はサイクル数の増大とともに、梁側では引張ひずみが、柱側では圧縮ひずみが発生していることが分かる。特に梁側のひずみは+2サイクル目以降、ほぼ線形的に増大している。一方、解析結果は実験結果に見られる梁側の引張ひずみや柱側の圧縮ひずみ分布と対応してしており、定性的には実験結果をほぼ再現可能であることが分かる。

図7には、top angle の変形状況の一例として、W29 試験体の +8 サイクル目における解析結果を実験結果と比較して示している。図より、曲げ引張時における top angle かかと部の浮き上がり状況など、解析結果は実験結果の変形状態をほぼ再現していることが分かる。

#### 5. まとめ

- 1) 弾塑性有限要素法による数値解析結果は、高力ボルトの初期張力を考慮し、梁および柱材とアングル材間に接触面を定義することによって、実験結果のモーメント-相対回転角関係に関する包絡線を概ね再現可能である。
- 2) アングル材のひずみ分布に関しては、実験結果を定性的に概ね再現可能である。
- 3) また、繰り返し荷重を受ける場合の接合部の変形状態をほぼ適切に再現できることが明らかになった。

参考文献：1) 小室雅人，岸 徳光，松岡健一：トップ & シートアングル接合の  $M-\theta_r$  関係に関する静荷重実験，鋼構造年次論文報告集，Vol. 10, pp. 57-64, 2002.11.