

top- and seat-angle 接合の履歴挙動特性に関する実験的研究

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

本研究は、欧米諸国で広く利用されているアングル材と高力ボルトを併用する接合形式（アングル系接合）の繰り返し載荷時における履歴挙動特性の把握を目的として、top- and seat-angle 接合を対象に2種類の静載荷実験（単調および繰り返し載荷実験）を実施した。ここでは、特に web angle の有無およびその大きさの影響に着目し検討を行うこととした。

2. 実験概要

図1には各試験体の概要および試験体名を示している。試験体名の第1項目は、web angle の長さを、第2項目は載荷方法（-m：単調載荷，-c：繰り返し載荷）を示している。本実験では、梁材、top/seat angle および web angle の形状寸法を固定し、web angle の長さのみを変化させている。また、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 Nm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、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、柱部フランジ表面から1.5 mの高さに水平荷重を与えることにより行っている。水平荷重載荷点部にはスイベルを設置し回転を拘束しないようにしている。また、載荷方向と直角方向への変位は、ガイドレールを用いることにより拘束することとした。

実験における測定項目は、荷重載荷点における水平変位および水平荷重、接合部の相対回転角 θ_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）の他、

アングル材に発生するひずみ成分である。

単調載荷実験では、ボルト破断が生じた W00-m 試験体を除き、安全性を考慮して水平変位が145 mm程度に達した時点で終了している。従って、W18/W29-m 試験体では、最大耐力に至る前に実験を終了していることが推察される。また、繰り返し載荷実験では、単調載荷実験結果を踏まえ、各ステップの載荷点変位を相対回転角 θ_r が1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80 mrad となるように設定している。なお、同一振幅における載荷回数は1回とした。また、計測はアンプ内蔵のデジタルレコーダを用いて一括収録している。

3. 実験結果および考察

図3には、単調載荷実験結果より得られた接合部曲げモーメント M と相対回転角 θ_r の関係を示している。また、図中には、岸とChenによって定式化された簡易な力学モデルに基づく限界曲げ耐力算定式¹⁾から得られる値 M_u も併せて示している。なお、接合部曲げモーメント

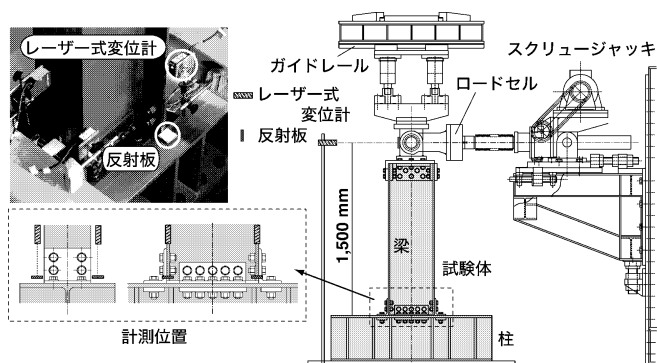


図2 実験装置および計測方法

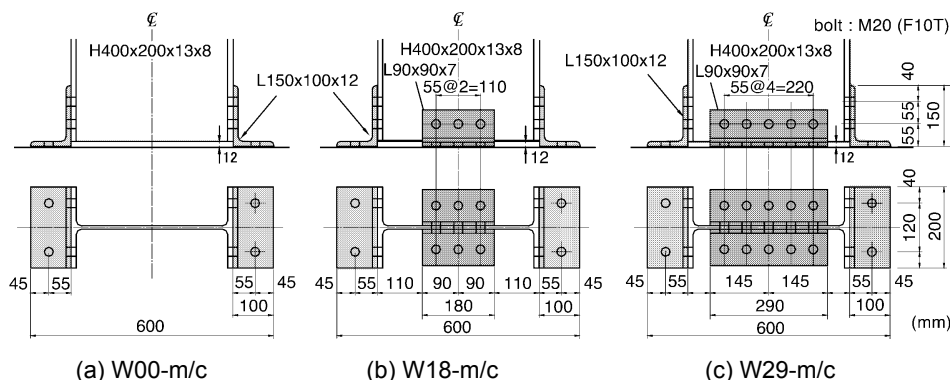
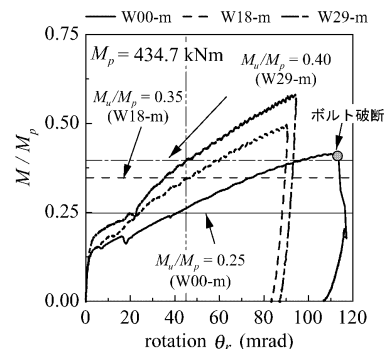
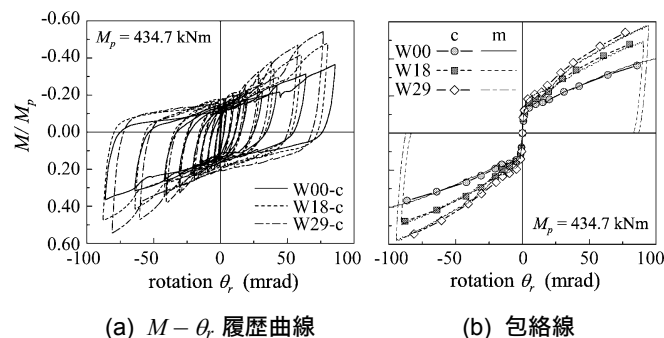


図1 接合部の概要、形状寸法および試験体名

図3 接合部 $M-\theta_r$ 曲線
(単調載荷実験)

キーワード：半剛結接合，履歴挙動，静載荷実験，pinching 現象

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 0143-46-5226 FAX 0143-46-5227

図4 接合部 $M-\theta_r$ 履歴曲線の比較

M は、梁材の全塑性曲げモーメント M_p を用いて無次元化している。図より、web angle の長さが長いほど、曲げ耐力が増大していることが分かる。また、計算曲げ耐力 M_u はいずれの場合においても実験結果の相対回転角 $\theta_r \approx 45$ mrad における曲げモーメントと良く対応している。

図4には、繰り返し載荷実験より得られる各試験体の $M-\theta_r$ 履歴曲線とその包絡線を示している。なお、(b) 図の包絡線には、単調載荷実験結果も併せて示している。図より、単調載荷実験の場合と同様に、web angle の長さが長いほど曲げ耐力も増加している。また、いずれの場合も履歴曲線の包絡線は、単調載荷実験結果とほぼ一致していることが分かる。

図5には、代表的なサイクルにおける接合部 $M-\theta_r$ 曲線を1サイクル毎に比較して示している。図より、1サイクル目 ($\theta_r \approx 1$ mrad) の場合には、ほぼ線形な分布となっており、弾性的な挙動を示している。また、変位振幅の増大とともに非線形な履歴曲線となり、4サイクル目 ($\theta_r \approx 10$ mrad) の正載荷時において、接合部剛性が一時的に著しく低下し、その後再び増加する現象、いわゆる pinching 現象が確認できる。この現象の大きな要因は、アングル材と梁側フランジ間のすべりに起因しているものと考えられる。すなわち、ボルト孔のクリアランス分のすべりによって接合部剛性が零程度に低下し、その後ボルトがボルト孔に接触して支圧状態となり再度増加するためと考えられる。また、この現象は相対回転角の増大とともに顕著となり、逆S字状の複雑な分布特性を示している。なお、pinching による接合部剛性の増加は、web angle の長さが長いほど大きいことが分かる。

これより、繰り返し荷重を受ける場合の $M-\theta_r$ 履歴曲線には pinching 現象が確認されることより、精度の高い解析を行うためには、これらの現象を適切に表現できる構成則モデルの構築が重要であるものと考えられる。

図6には、図5に示した各サイクルの履歴ループ面積から算出されるエネルギー吸収量と相対回転角の関係を示している。なお、横軸の相対回転角は、各サイクルにおける正負の相対回転角の平均値である。図より、各試

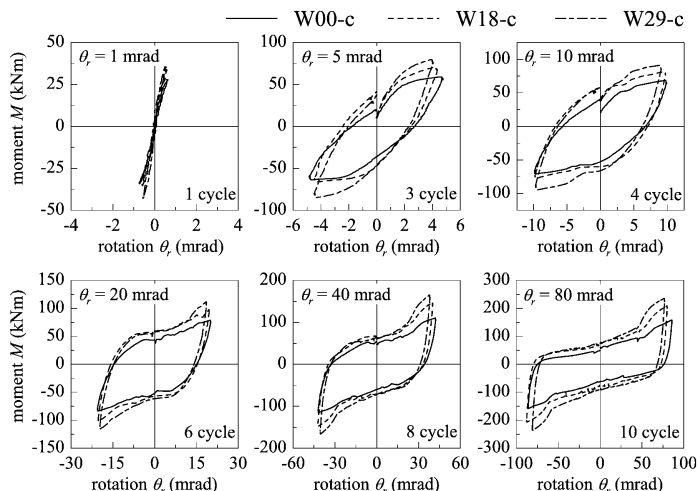
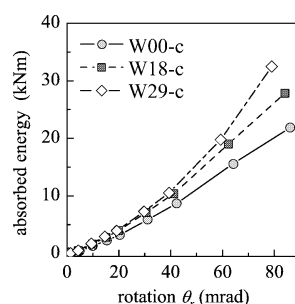
図5 代表的なサイクルにおける $M-\theta_r$ 履歴曲線

図6 エネルギー吸収量

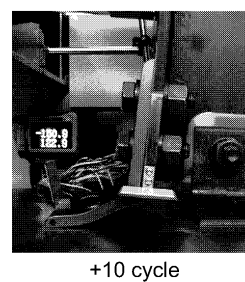


写真1 変形状況

験体におけるエネルギー吸収量は、いずれの場合も相対回転角（変位振幅）の増大とともに、ほぼ線形的に増加していることが分かる。また、web angle の長さが長いほどエネルギー吸収量が多い。なお、W29-c 試験体における最終サイクルのエネルギー吸収量は約 32 kNm であり、W00-c 試験体の約 1.5 倍となっている。

写真1には、W29-c 試験体の +10 サイクル（最終サイクル）時における top angle の変形状況を示している。写真より、アングル材が大きく塑性変形し、接合部が終局に近い状態となっていることが確認できる。

4. まとめ

- 1) web angle の長さが長いほど、曲げ耐力およびエネルギー吸収量は増大する。
- 2) 繰り返し載荷実験結果から得られる $M-\theta_r$ 履歴曲線の包絡線は単調載荷実験のそれとほぼ等しい。
- 3) 繰り返し荷重を受ける場合の $M-\theta_r$ 履歴曲線には pinching 現象が確認されることより、精度の高い解析を行うためには、これらの現象を考慮した構成則を構築することが必要である。

参考文献

- 1) Kishi, N. and Chen, W.F. : Moment-rotation relations of semi-rigid connections with angles, *Journal of Struct. Engrg.*, Vol. 116, No. 7, pp. 1813-1834, 1990.