# 繰り返し載荷を受けるトップ & シートアングル接合の 履歴挙動に及ぼすつま先長の影響

Effect of toe distance of angle on hysteretic  $M - \theta_r$  behavior of top- and seat-angle connections under cyclic loading

室蘭工業大学	〇正 員	小室	雅人	(Masato Komuro)
室蘭工業大学	フェロー	岸	徳光	(Norimitsu Kishi)
室蘭工業大学	学生員	佐藤	陽介	(Yosuke Sato)

#### 1. はじめに

欧米諸国では, 従来よりアングル材と高力ボルトを利 用する接合形式 (アングル系接合)が広く利用されてい る.この接合形式は、1)溶接作業が不要であることから 経済性・施工性に優れること、2) アングル材と高力ボル トの組み合わせや配置によって剛性や最大耐力を容易に 変化させることができること、および3) 接合部が非線形 な剛性特性を有することより地震時のエネルギー吸収効 果が期待できること<sup>1)</sup>,等の特徴を有している.このよ うなアングル系接合のモーメントー相対回転角  $(M - \theta_r)$ 関係に関する実験的研究は,世界各国で数多く実施され ており<sup>2)~4)</sup>,単調載荷時に対する接合部剛性評価モデル が提案されている5,6.しかしながら、地震時等に重要 となる繰り返し載荷の場合には,接合部 $M - \theta_r$ 関係が逆 S字状の履歴ループとなることが実験的に確認されてい る<sup>4)</sup>ものの、この履歴挙動を精度よく再現可能な汎用性 の高い剛性評価モデルは未だ確立されていない.

このような背景より、本研究では、繰り返し載荷を受 けるアングル系接合の接合部履歴挙動を適切に表現可能 な接合部剛性評価モデルの確立に向けた基礎資料の収 集を目的として、代表的なアングル系接合の1つである top-& seat-angle 接合を対象に,静的繰り返し載荷実験を 実施した. ここでは、アングル材の柱側ボルトの中心位 置からアングル材先端までの距離(以下,つま先長a) を3種類に変化させた試験体について実験を行い, 接合 部履歴挙動特性に及ぼすつま先長 a の影響について検討 を行っている.

## 2. 実験概要

#### 2.1 試験体

図1には、本研究で用いた試験体の形状寸法を示してい

る.ここでは、アングル材のつま先長aが接合部 $M-\theta_r$ 特性に及ぼす影響を検討するために、トップおよびシー トアングルのつま先長 a を a = 40, 90, 140 mm と 3 種類に 変化させている。アングル材はL200×200×20の既製等 辺山形鋼を所定の厚さになるように5mm 程度切削し製 作した. さらに, A40, A90 試験体に関しては, 切削後, アングル材を所定の長さで切断することにより製作し た. 梁材および高力ボルトはそれぞれ H400×200×8×13, M20 (F10T) と固定している. なお, 試験体名は, つま 先長aを用いて定義している.

柱フランジ表面と梁材端部とのクリアランスは,全て の試験体で同一とし、アングル材板厚と等しい15mmと した. ボルト孔のクリアランスは2mmとした.

アングル材と梁・柱材フランジとの摩擦面にはショッ トブラスト処理を施している.また,高力ボルトの導入 張力は設計規準<sup>7)</sup>に基づき182 kN とし、それに対応する トルクをトルクレンチを用いて導入している.

表1には、引張試験により得られた使用鋼材の力学的 特性値を示している.

#### 2.2 実験装置および実験方法

図2には、本研究で用いた実験装置および計測方法を 示している.実験は、剛基礎に固定した柱材の上に接 合部を設置し,梁材上部に載荷治具を取り付け,スク

表 1 使用鋼材の刀字的特性									
			弾性	ポアソ	降伏	引張			
		鋼種	係数 $E_s$	ン比	応力 <i>f</i> y	強さ $f_u$			
			(GPa)	$v_s$	(MPa)	(MPa)			
beam	web	SS400	205		308	440			
	flange		202		288	426			
top / seat angle			209	0.3	285	480			
bolt		F10T	206		1,019	1,086			



平成18年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第63号



図 2 実験装置および計測方法

リュージャッキを用いて変位制御方式により水平荷重を 載荷している.なお,載荷点にはスイベルを設置し回転 を拘束しない構造とした.その位置は柱側フランジ表面 から1.5mの高さとしている.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、1)荷重作用点における水平 変位 $\delta_H$ 、および水平荷重 $P_H$ 、2)相対回転角 $\theta_r$ 算出のた めの梁端フランジの浮き上がり量(鉛直方向変位)、3) アングル材表面に貼付されたひずみゲージ出力である. なお、変位の測定にはレーザ式変位計を使用している. 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.

相対回転角  $\theta_r$  は、図3 に示すように梁端フランジ部 に固定された反射板 (梁端より約 10 mm の位置)を用い て、その浮き上がり量 ( $\delta_1$ ,  $\delta_2$ )をレーザ式変位計で計測 し、2つのレーザ式変位計の焦点間距離  $d_l$ を用いて次式 で算出している.

$$\theta_r = \frac{\delta_1 - \delta_2}{d_l} \tag{1}$$

一方,接合部曲げモーメント*M*は,水平荷重*P<sub>H</sub>*に載荷点高さ*h*(=1.5 m)を乗じて次式により算定している.

$$M = P_H \cdot h \tag{2}$$

繰り返し載荷時の入力変位は,単調載荷実験結果を踏



図 3 相対回転角の計測方法

まえ接合部相対回転角 θ<sub>r</sub> が 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 mrad (振幅は各 1 回)となるように設定した.実験は,高力ボルトあるいはアングル材が破断するまで行った.

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 曲げモーメントー相対回転角関係

図4には,接合部*M*-θ<sub>r</sub>関係を別途実施した単調載荷 実験結果と比較する形で示している.

図より,いずれの試験体においても,正載荷あるいは 負載荷時においてサイクル数(変位振幅)の増加ととも に,モーメントが零近傍において剛性勾配が低下し始 め,その後剛性勾配が一時的にほぼ横ばいの状態を保持 したまま変形が進行し,その後再び剛性が増加する,い わゆる pinching 現象を伴う逆S字型の複雑な履歴ループ 形状となる傾向にあることが分かる.また,剛性勾配が ほぼ横ばい状態となる範囲は,サイクル数の増大ととも に拡大する傾向が見られる.

一方,各試験体の破壊形式に着目すると,単調載荷の 場合にはいずれの試験体もボルト破断となっているの に対し,繰り返し載荷の場合にはA40,A140試験体がボ ルト破断,A90試験体がアングル破断となっている.ま た,破壊時の相対回転角に着目すると,単調載荷の場合 と比較して,繰り返し載荷の場合が若干大きくなってい ることが分かる.

なお, A90 試験体の破壊形式が他の試験体と異なる理 由としては,高力ボルトあるいはアングル材の品質や, 載荷履歴などの実験誤差によるものと推察される. 図5には,図4から得られる接合部 *M* - θ<sub>r</sub> 包絡線を単



図 4 接合部曲げモーメントと相対回転角の関係

平成18年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第63号



図 5 接合部  $M - \theta_r$  包絡線(正側のみ)



図 6 アングル梁側長さ方向のひずみ分布

調載荷実験結果と比較して示している.図より,繰り返し載荷実験と単調載荷実験の $M - \theta_r$ 曲線を比較すると,いずれの場合も,後者が前者よりも大きく示されていることが分かる.また,繰り返し載荷の場合には,いずれの試験体においても $\theta_r = 20 \text{ mrad}$ 付近で接合部剛性が一時的に低下する傾向が見られるものの,ほぼ類似の包絡線分布を示していることが分かる.なお,この $\theta_r = 20 \text{ mrad}$ 付近の剛性低下は,アングル材のすべりによるものと推察される.

以上より,接合部 $M - \theta_r$ 履歴曲線に及ぼすつま先長aの影響は小さいものと考えられる.

## 3.2 アングル材ひずみ分布

図6には、代表的なサイクルにおけるトップアングル



(b) 負サイクル

写真1 A90 試験体における top angle の変形性状

梁側長さ方向に対応するひずみ分布性状を,縦軸にアン グル長h, 横軸にひずみ $\epsilon_z$ を取って正負サイクル毎に示 している.なお,各ひずみはアングル材幅方向中心線上 の値であり,アングル材の降伏ひずみ $\epsilon_{ya}$ により無次元 化している.また,写真1には,図6に対応するトップ アングルの変形性状の一例として A90 試験体における 結果を示している.

図より,各試験体のひずみ分布性状を比較すると,いずれの試験体においてもほぼ類似の分布特性を示していることが分かる.次に,各サイクルにおけるひずみ分布に着目すると,+2サイクル目( $\theta_r = +2 \text{ mrad}$ )において, $h \leq 30 \text{ mm}$ の領域が $\varepsilon_z/\varepsilon_{ya} \geq 1 \text{ となり, 塑性化が生じていることが分かる.} -方, -2 サイクル目(<math>\theta_r = -2 \text{ mrad}$ )では全て圧縮側ひずみを示し,h = 40 mm近傍で最大値を示しているものの,その値は $\varepsilon_z/\varepsilon_{ya} \leq 1 \text{ と弾性$ 範囲であることが分かる.

変位振幅が増大した +6 サイクル目 ( $\theta_r = +20 \text{ mrad}$ ) では、 $h \le 40 \text{ mm}$ において、 $\varepsilon_z/\varepsilon_{ya} \ge 10 \text{ と大きく塑性化}$ している. 一方、-6サイクル目 ( $\theta_r = -20 \text{ mrad}$ ) では、 h = 50 mmにおいて $\varepsilon_z/\varepsilon_{ya} \le -8 \text{ となり}$ ,大きな圧縮ひず みが発生している.また、8 サイクル目に着目すると、 正サイクル時には +6 サイクル目とほぼ類似の分布を示 しているものの、負サイクル時では梁側下段ボルト位置 近傍の圧縮側ひずみが増大する傾向にあることが分か る.これより、梁側のアングル材の変形特性としては、 曲げ引張を受ける正サイクル時には、梁側下段ボルトと かかと部間に大きな引張ひずみが生じるのに対し、曲げ 圧縮を受ける負載荷時には、梁側下段ボルト付近に大き な圧縮ひずみが発生し、かかと部に向かって引張側のひ ずみとなることが分かる.なお、これらのひずみ分布性 状は、**写真1**の変形性状とよく対応している.

図7には、図6と同様の条件で、トップアングル柱側 長さ方向に対応するひずみ分布性状を、縦軸にひずみ ε<sub>x</sub>,横軸にアングル長*l*を取って整理している.

## 平成18年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第63号



図 7 アングル柱側長さ方向のひずみ分布

図より、2サイクル目まではいずれの試験体もほぼ類 似の分布性状を示していることが分かる.また,+2サ イクルでは、ボルト位置(l=60mm)近傍において降伏 ひずみ程度の圧縮ひずみが発生しているのに対し、-2 サイクルでは,ひずみはほぼ零となっている.また,サ イクル数 (変位振幅)の増大とともに,正負サイクル時 においてボルト位置近傍の圧縮ひずみが大きくなる傾向 にあることが分かる. なお, 各サイクルにおけるボルト 位置近傍のひずみの絶対値に着目すると、A140 > A90 > A40 試験体となっており、つま先長 a が短いほどボル ト位置におけるひずみの絶対値は小さくなる傾向があ ることが分かる.これは、つま先長がa=40mmと短い 場合には、(1)他の試験体と比較してアングル材による prying 作用の効果が小さいこと、および (2) アングル材 全体が曲げ引張力によって柱フランジ表面から離れよう とするためと考えられる.

## 3.3 top angle 変形性状

**写真2**には、+10サイクル目および終局時における各 試験体の top angle 近傍の変形状況を示している. (a) 図 より、各試験体の+10サイクル目の変形状況に着目する と、全ての試験体で柱側ボルトヘッド部が塑性変形して いる様子が確認できる.また、トップアングルの変形性 状は、つま先長aにかかわらずアングル材と柱フランジ 間の離間領域が、柱側ボルトのつま先側まで拡大してい る状況など、ほぼ類似の性状となっていることが分かる.

なお,(b)図に示す終局時における各試験体の変形状況に着目すると,A40およびA140試験体の場合には,柱側ボルトの破断によって,A90試験体の場合にはアング



(a) +10 サイクル ( $\theta_r = 80$  mrad)



(b) 終局時

#### 写真2 top angle 近傍の変形性状および破壊性状

ル材の梁側下段ボルトと梁側かかと部間における破断に よって終局に至っていることが確認される.

以上より,接合部 $M - \theta_r$ 履歴曲線がほぼ同様な性状を 示す試験体の場合には、アングル材や高力ボルトの変形 性状もほぼ類似の性状を示すことが分かる.

## 4. まとめ

- 接合部 M θ<sub>r</sub> 関係およびその履歴ループ形状に及 ぼすつま先長 a の影響は非常に小さい.
- 2) つま先長 a が短いほど,アングル材柱側ボルト位置 におけるひずみの絶対値は小さくなる傾向がある.
- 類似の接合部 M θ<sub>r</sub> 関係および履歴ループ形状を 示す試験体では、アングル材および高力ボルトの変 形性状も類似の性状を示す。

今後は、本実験結果を参考に数値解析的研究を実施し、 繰り返し載荷を受ける場合の接合部*M*-θ<sub>r</sub>関係を適切に 評価可能な剛性評価モデルの構築を目指す予定である.

#### 参考文献

- 小室雅人,岸 徳光,松岡健一,菅野昌生:接合部の非線 形な剛性特性を考慮した半剛接鋼骨組の地震応答解析, 構造工学論文集,49B,549-560,2003.3
- 田沼吉伸,橋本健一:アングルを接合金物として用いた半 剛柱はり接合部の挙動,日本建築学会論文集,515,123-130, 1999
- Kukreti, A.R., Abolmaali, A.: Moment-rotation hysteresis behavior of top and seat angle steel frame connections, *Journal of Struct. Engrg.*, ASCE, 125(8), 810-820, 1999
- 4) 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-θ<sub>r</sub>関係に関する静載荷実験,鋼構造年次論文 報告集,10,57-64,2002.11
- N.Kishi, and W.F.Chen: Moment-rotation relations of semi-rigid connections with angles, Journal of the Structural Division, ASCE, 116(7), 1813-1834, 1990
- 6) C. Fealla, V.Piluse, and G.Rizzano: *Structural steel semirigid con*nections, -thoery, design and software-, CRC press, 2000
- 7) 高力ボルト接合設計施工ガイドブック,日本建築学会,2003