繰り返し載荷を受けるトップ & シートアングル接合の 履歴挙動に及ぼすゲージ長の影響

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

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

1. はじめに

我が国における鋼構造物の柱-梁接合形式には,接合 部剛性確保のため,溶接接合が主に用いられている.一 方,欧米諸国では,アングル材と高力ボルトを用いて接 合する形式(アングル系接合)が広く利用されている. アングル系接合の利点としては,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)地震時のエ ネルギー吸収効果が期待できる¹⁾こと,等が既往の研究 により明らかになっている.このようなアングル系接合 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^{2,3)},単調載荷時に対する剛性評価モデルが提案されて いる.

一方,繰り返し載荷を受ける場合のアングル系接合の 接合部モーメントー相対回転角 $(M - \theta_r)$ 関係は,逆S字 型の履歴ループ形状となることが既往の研究⁴⁾から明ら かになっている.しかしながら,この接合部剛性特性を 適切に評価可能な剛性評価モデルは確立されていない.

このような背景の下,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剛性を適切に評価可能な剛 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, 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,アングル材のかかと部から柱側 ボルト中心位置までの距離(以下,ゲージ長 g_t)が接合部 $M - \theta_r$ 関係に及ぼす影響を検討するために,ゲージ長 g_t を3種類に変化させた全3体について実験を実施した.

2. 実験概要

2.1 試験体

本研究で用いた試験体は,図-1に示す全3体であ

る. トップおよびシートアングルの柱側ボルトゲージ 長が接合部 $M - \theta_r$ 関係に及ぼす影響を検討するために, ゲージ長 $g_t \ e \ g_t = 60$, 105, 150 mm と変化させている. 試験体名はゲージ長 $g_t \ e \ 用いて表している$. なお,全 ての試験体における梁材および高力ボルトは,それぞれ H400×200×8×13, F10T (M20) を用いている.

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15 mm とした.ボルト孔のクリアランスは2 mm とした.なお,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5 mm 程度切削し製作した.

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⁵⁾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(H形鋼) の上に接合部を設置し、梁材上部に載荷治具を取り付 け、スクリュージャッキを用いて変位制御方式により水

		鋼種	弾性係数	ポアソン	降伏応力	引張強さ	
			E_s (GPa)	比 vs	f_y (MPa)	f_u (MPa)	
web web	0.0	205		308	440		
Ucalli	flange	55	202	0.2	288	426	
top / seat angle		400	209	0.3	285	480	
bolt		F10T	206		1,019	1,086	

表-1 使用鋼材の力学的特性

ſ	¢	¢ bolt : F10T (M20)					
H400x200x8x13	H400x200x8x13	H400x200x8x13 (mm)					
	x200x15	<200x15					
15	\$22	φ22					
• • • • • • • • • • • • • • • • • • •							
φ π -φ-	· → -						
140_60 60_140	95 105 105 95	50 150 50					
800 200	800 200	800 200					
(a) G60 試験体	(b) G105 試験体	(c) G150 試験体					
図-1 試験体形状寸法							



図-3 接合部曲げモーメントと相対回転角の関係

平荷重を載荷している.なお、載荷点にスイベルを設置 し回転を拘束しない構造とし、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.**写真-1**には、実験状況を示している.

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 δ_H ,および水平荷重 P_H ,2) 相対回転角 θ_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 δ_i),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.

相対回転角 θ_r は、**図**-2に示すように梁端フランジ部 4 隅点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(δ_1 , δ_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.

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

なお,接合部曲げモーメントMは,水平荷重 P_H 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,別途実施した静的単調 載荷実験結果を踏まえ相対回転角 θ_r が 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160 mrad (振幅は各1回) となるように設定した. なお,実験は高力ボルトの破断,あるいはジャッキのストローク限界まで行った.

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-3には、接合部 $M - \theta_r$ 関係を別途実施した単調載 荷実験と比較する形で示している.図より、履歴ループ 形状はゲージ長 g_t により異なることが分かる.すなわ ち、ゲージ長の短いG60試験体ではサイクル数の増加に 伴いモーメント零近傍で剛性勾配が低下し、その後、剛 性勾配が緩やかに増加する逆S字型の履歴ループ形状と なる傾向にある.また、G105試験体では、比較的変形の 小さい時点($\theta_r \leq 50$ mrad)では、紡錘型の履歴ループ形 状を示しているものの、サイクル数の増加に伴い、剛性 が横ばいから急激に増加する様子が確認できる.特に最 終サイクルに着目すると、約120 mradまで剛性勾配は小 さく、その後急激に増加している.一方、G150試験体 では、剛性勾配低下後に急激に剛性が増加する様子は見 られず、その履歴ループ形状は滑らかな紡錘型を示して いる.

これより,接合部 $M - \theta_r$ 履歴ループ形状はゲージ長 g_t によって影響を受け,短い場合には逆S字型,長い場合

平成18年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第63号



には紡錘型となる傾向にあることが分かる.

図-4には、各試験体における接合部 $M-\theta_r$ 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 目では、各試験体とも線形的な分布となっており、G60 試験体の剛性勾配は、他の試験体と比較して大きくなっ ている.また、5サイクル目におけるG105、G150 試験体 は安定した履歴ループ形状を示しているものの、G60 試 験体の場合には、曲げモーメント値が変動している様子 が伺える.これは、ゲージ長gtが短いG60 試験体では、 他の試験体と比較して大きな曲げモーメントが作用する ために、アングル材のすべりが発生することによるもの と考えられる.また、変位振幅(サイクル数)が増大す ると、後述するように、ゲージ長gtが短い場合には高力 ボルトヘッド部やアングル材の塑性変形等に起因して、 逆S字型の履歴ループが顕著になるものと推察される. 3.2 アングル材ひずみ分布

図-5には、トップアングルの梁側長さ方向に対応す るひずみ分布性状に着目し、縦軸にアングル長h、横軸 にひずみ ε_z を取って各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 ε_{ya} により無次元化している.ま た、図には単調載荷実験により得られた結果も併せて示 している.

図より,+2サイクル目 ($\theta_r = 2 \text{ mrad}$) におけるひずみ 分布に着目すると,h = 30 mmにおいて G60 試験体では $\varepsilon_z / \varepsilon_{ya} \ge 1$, G105 試験体では $\varepsilon_z / \varepsilon_{ya} \simeq 1$, G150 試験体で は $\varepsilon_z / \varepsilon_{ya} \le 1$ となっている.また,+6サイクル目 ($\theta_r = 20 \text{ mrad}$) の $h \le 40 \text{ mm}$ におけるひずみ値は,G60 試験体 で $\varepsilon_z / \varepsilon_{ya} \ge 10$,G105 試験体で $\varepsilon_z / \varepsilon_{ya} \ge 8$,G150 試験体で $\varepsilon_z / \varepsilon_{ya} \ge 4$ となっていることより,ゲージ長 gt が短いほ ど,梁側下段ボルトとかかと部間が大きく塑性化する傾向にあることが分かる.さらに,+8サイクル目 ($\theta_r = 40 \text{ mrad}$) では各試験体とも, $h \le 40 \text{ mm}$ におけるひずみ値 は増加していることが分かる.また,ゲージ長 gt にかか わらず,繰り返し載荷時のひずみ分布は単調載荷時のそ れと類似の分布性状を示していることが分かる.



図-5 トップアングルの梁側方向のひずみ分布

3.3 トップアングル変形性状

写真-2には、アングルの変形が大きくなっている± 10 サイクル目における各試験体のトップアングル近傍 の変形状況を示している。写真より,履歴ループ形状が 逆S字型となっているG60試験体(図-4参照)では, +10 サイクル時において、アングル材が大きく変形し、 それに伴い柱側高力ボルトのヘッド部が塑性変形してい る様子が確認できる.また、-10サイクル時では、柱側 高力ボルトヘッド部とアングル材表面間に隙が生じて いることが分かる.また、アングル材つま先側が大きく 浮き上がっている様子が確認できる.一方,履歴ループ 形状が紡錘型を示すG105,G150試験体では、+10サイ クル時において,アングル材の変形は大きいものの,柱 側高力ボルトヘッド部の塑性変形は確認できない。ま た、-10サイクル時を見ると、高力ボルトヘッド部の塑 性変形は確認されず,また,アングル材つま先部の浮き 上がり量は小さくなっている.これより, 逆S字型の履 歴ループ形状となる場合における剛性勾配の増加は, 塑 性変形したボルトヘッド部とアングル材の接触, ボルト 軸部とアングル材の接触に起因するものと考えられる.

写真-3には、G105 試験体において剛性勾配が横ばい から急激に増加する傾向が見られた最終サイクル(±14 サイクル目)におけるトップアングル近傍の変形状況 を示している.写真より、G60 試験体の+10 サイクル目 (写真-2)と同様、柱側高力ボルトヘッド部に塑性変 形が生じていることが確認できる.このことからG60 試 験体と同様に、剛性勾配の急激な増加は、塑性変形した ボルトヘッド部とアングル材の接触、ボルト軸部とアン グル材の接触に起因するものと考えられる.

4. まとめ

- ゲージ長gtが短い場合には,接合部M-θr履歴ルー プ形状が逆S字型となる傾向がある.
- 2) 繰り返し載荷を受ける場合のアングル材ひずみ分布 は、単調載荷時のそれと類似の性状となり、ゲージ 長gtが短いほど、梁側下段ボルトとかかと部間が大 きく塑性化する。
- 3) ゲージ長gt が短い場合には、アングル材の変形に伴い柱側高力ボルトヘッド部が大きく塑性変形する.
- 4) 逆S字型の履歴ループ形状となる場合における剛性 勾配の増加は、塑性変形したボルトヘッド部とアン グル材の接触、ボルト軸部とアングル材の接触に起 因するものと考えられる。

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,Vol. 49B, pp.549-560, 2003
- B.Mander, S.Chen, Gokhan Pekcan : Low-Cycle Fatigue Behavior of Semi-Rigid Top-and-Seat Angle Connections, Engineering Journal Article Third Quarter, pp.111-122, 1994
- 3) Kukreti, A.R., Abolmaali, A. : Moment-rotation hysteresis behavior of top and seat angle steel frame connections,



(a) G60 試験体





(b) G105 試験体



(c) G150 試験体

写真-2 ±10サイクル目におけるトップアング ル近傍の変形状況



G105 試験体

写真-3 ± 14 サイクル目におけるトップアング ル近傍の変形状況(G105 試験体)

Journal of Struct. Engrg., ASCE, Vol. 125, No. 8, pp.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_r関係に関する静載荷実験,鋼構造年次論文報告集,Vol. 10, pp. 57-64, 2002
- 5) 高力ボルト接合設計施工ガイドブック, 日本建築学 会, 2003