偏心接合される塔状鋼管トラス骨組の構造特性に関する研究

STUDY ON STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF TUBULAR STEEL TRUSSED TOWERS
WITH ECCENTRIC CONNECTIONS

本郷 榮次郎*, 深沢 隆**, 松尾康博***, 田沼良一***, 岡田 創***

Eijiro HONGO, Takashi FUKASAWA, Yasuhiro MATSUO,

Yoshikazu TANUMA and Hajime OKADA

The present paper discusses structural characteristics of the tubular steel trussed tower with gusset plate typed connections, specially having an eccentric joint applied to the crossing between column and braced members. Firstly, it is clarified effects of eccentric bending moment to the column buckling strength by horizontal loading tests and non-linear analyses for the model planned to make its column member buckle at first. Secondary, it is discussed effects of local deformation of the column tube at the eccentric joint to static and fatigue bearing strength of its connection. Lastly, based on results of the present study, it has been authorized fundamental data for the practical design in case of application of the eccentric joint to such the steel tower.

Keywords: tubular steel trussed tower, eccentric connection, structural characteristics

塔状鋼管トラス骨組, 偏心接合, 構造特性

1. 緒言

送電用鋼管トラス鉄塔の柱材-腹材接合部には, Fig.1 に示すように, 柱材に隅肉溶接されるガセットプレートと腹材端部に隅肉溶接される管ガセットプレートをせん断ボルト接合する方式が用いられている。この接合部は, 特に腹材傾斜角度 θ_b が大きい場合, ガセットプレート長さの柱材節点間長さに対する比が大きくなり, 製作しにくい等の問題点が生ずる。これを改善する方法の一つとして, 腹材を内側に偏心接合させる方法が考えられる。

この偏心接合を, 主に送電用鋼管トラス鉄塔に適用する際には, ①偏心曲げモーメントの柱材座屈耐力に及ぼす影響の把握, ②柱材-腹材偏心接合部の局部変形耐力評価(以下, 接合部耐力と呼ぶ), ③柱材-腹材偏心接合部まわりの疲労耐力評価, 等の諸課題が挙げられる。

偏心接合される部材は, 各節点をピンとして算定した軸力と, 節点に作用する偏心曲げモーメントを節点に集まる部材の剛性に比例する形で分配することにより算定した曲げモーメントを考慮して設計されるのが一般的であり, 送電用鉄塔のように強度設計されるトラス骨組構成部材の座屈耐力については, 偏心の有無に関わらず研究的余地はほとんど残されていないものと考えられている。したがって, トラス骨組に関しては, 重層骨組を対象とした塑性変形能力に着目した研究が主流となっており, 本研究対象の偏心接合を有する骨組の座屈耐力に関する実験的研究例は極めて少ないのが実状である。

しかしながら, 偏心曲げモーメントの柱材の座屈耐力に及ぼす影

響を定量的に把握しておくことは, 骨組を設計するにあたって不可欠であると考えられる。

鋼管トラスの接合部耐力については, 分岐継手を対象とした多くの研究が行われている。本研究対象のガセットプレート接合タイプについても分岐継手に比べて研究例は少ないものの, 日本建築学会鋼管構造設計施工指針・同解説 1), 2) に単位作用力ごとの設計式が明示されており, これを組合せることにより設計することができる。しかしながら, 偏心曲げモーメントを実際のディテールで作用させた研究はほとんど行われておらず, 上設計式の適合性を確認する必要がある。

また, 鋼管トラス接合部の疲労特性については, 分岐継手を対象

Fig.1 偏心接合部適用概念図

本論文の概要については, 文献6)に発表済

* 東京電力㈱

** ㈱巴コーポレーション 工博

*** ㈱巴コーポレーション

Tokyo Electric Power Company
TOMOE Corporation, Dr. Eng.
TOMOE Corporation

に多くの研究が行われ、文献 1),2)に溶接部止端形状に起因する応力集中以外に管壁の局部曲げによる応力集中も考慮した設計方法が提案されている。しかしながら、本研究対象のガセットプレート接合タイプについての研究報告は筆者らの知る限りにおいてはなされておらず、特に送電鉄塔のように風荷重が支配的な外力となる場合には避けては通れない問題であることから、この疲労特性の定量的な把握が必要と考える。

以上、ガセットプレート接合タイプの送電用鉄塔に代表される塔状鋼管トラス骨組に偏心接合を適用するにあたっては、これらの諸課題を解決する必要がある。本研究は、以上三つの課題を実験的に明らかにし、設計基礎データの整備を図ることを目的とするものである。

2. 偏心接合の柱材座屈耐力に及ぼす影響

2. 1 柱材座屈耐力試験概要

試験体は、Fig.2の構造図に示すように、塔高 6.75m、根開き 2.4m、柱材傾斜角度 $\theta_p=3.5$ 度と形状寸法を共通とし、座屈予想パネル柱材の腹材に対する軸力比 N_p/N_b が 10 程度(送電用鉄塔における下限相当値であり、 N_p/N_b が小さい程偏心曲げモーメントは大きい)となるように試験体上部に高さ 4.0m の載荷用骨組を取付ける。

座屈耐力に影響を及ぼすファクターは、①骨組形式として DW(ダブルワーレン)骨組(腹材傾斜角度 $\theta_b=40^\circ$)、さらに柱材を 2 分割した DW2 骨組($\theta_b=50^\circ$)、4 分割した DW4 骨組($\theta_b=50,60^\circ$)の 4 種類、②柱材-腹材接合部の偏心の有無(偏心無し、内側 D/2 偏心)とし、試験体総数はこれを組み合わせた Table 1 に示す 7 体とする。このとき、座屈予想柱材細長比 λ_p は DW 骨組では 45、DW2 骨組では 24、DW4 骨組では 14、22 となる。

Fig.2 骨組試験体構造図、偏心率分布図

Table 1 骨組試験体諸元

試験体 名 称	座 屈 柱 材			座 屈 パ ネ ル 腹 材				接合部	実施事項				
	サ イ ズ	細長比	座屈部位	結 構	サ イ ズ	細長比	傾斜角度	偏心量	実験	解析			
H-1	φ114.3×3.5	45	2 中央部	DW	φ42.7×2.4	82	40°	0	○				
H-1E								D/2		○			
H-2		24	2下 中央部	DW2	φ48.6×2.4	79	40°	0	○				
H-2E			2下 上端部					D/2	○				
H-3E		14	4上 上端部	DW4	φ42.7×2.3	39	50°	D/2	○				
H-4		22	2下 上端部					φ60.5×2.3	43	60°	0	○	
H-4E			2上 上端部								D/2	○	

1) 座屈部位は圧縮側局部座屈発生箇所を示す。また、数字はパネル番号(Fig.2参照)を示す。

2) 骨組結構における記号は本文中の記述に倣う。 3) 腹材細長比は座屈長さ係数 0.9 として算定。

4) 偏心量は柱材-腹材接合部の値を示す。このとき、+符号は内側引き付けを、Dは柱材鋼管径を示す。

使用鋼材は、柱材には JIS G 3474 鉄塔用高張力鋼管 STKT590 鋼管、腹材、補助材には STK400 鋼管、腹材に取付く鋼板には JIS G 3129 鉄塔用高張力鋼材 SH590P、それ以外の鋼板には SS400 を用いる。なお、試験体の全ての構成要素には溶融亜鉛めっき処理が施される。Table 2 に座屈部材の材料引張試験結果および短柱圧縮試験結果を示す。

Fig.3 に H-2 試験体の詳細図を示す。なお、柱材に取り付くガセットプレート端部は半円リングスチフナで補強される。ディテールは文献 3) に詳説される。

載荷は、Fig.4 に示すように、試験骨組を反力壁に横に取り付け、試験骨組頭部載荷用骨組頂部に油圧ジャッキを用いて、骨組に対する正対方向(載荷方向 0°)に水平力 P を作用させる方法で行う。

2. 2 柱材の偏心率分布

一般にトラス部材に生じる応力は、節点をピン接合として扱って応力を算定することから、ローカル曲げモーメントを除けば軸力 N のみとなるが、本研究では、文献 3)をはじめとした塔状トラス骨組を対象とする研究において、実験結果との比較により既に有効性が確認されている、Fig.5 に示す、柱材両端部、左下がり腹材中央交点

Table 2 材料引張、短柱圧縮試験結果

鋼管サイズ (材質)	試験 種別	降伏 応力 σ_y (t/cm^2)	強さ σ_u (t/cm^2)	降伏比 応力 上昇率	伸び (%) ϵ_u (%)
$\phi 114.3 \times 3.5$ (STKT590)	T	6.34	6.81	0.93	22.0
	C	6.83	6.83	1.00	0.5

1) ϵ_u : σ_u に対応するひずみ

2) 材料引張試験は JIS Z 2241 に規定される試験方法による。

3) 短柱圧縮試験における試験体長さは 3D とする。

端部は通材として扱うことにより剛，その他の部材端はピン，柱脚剛，偏心接合部は偏心量に相当する長さの剛体置換の，実態に即した境界条件を用いた立体応力解析結果に基づく応力を基本とする。したがって，偏心がない場合においても，柱材には曲げモーメントが生じることとなる。なお，曲げモーメント M は2方向の自乗和とする。

Fig.2に上記立体応力解析に基づく柱材偏心率分布を示す。ここに，偏心率 m は(1)式より与えられる。

$$m = \frac{e_0 D}{2i^2} \quad \text{-----(1)}$$

e_0 : 偏心距離(= M/N)，この値は偏心量 e とは異なる。

N, M : 軸力，曲げモーメント

D : 鋼管外径， i : 断面2次半径

これより，図中○印で示す座屈部材の弾性領域($0.5P_y$)におけるゲージ貼付位置での実験結果は，実線で示す解析結果と良い対応を示していることがわかる。

Fig.6に各パネルにおける柱材最大偏心率 m_{max} と腹材傾斜角 θ_b の関係を示す。これより，偏心接合の有無に関わらず，腹材傾斜角度が大きいくほど水平力に対する腹材剛性が低下し，相対的に柱材の曲げ抵抗負担が大きくなるため，偏心率 m も大きくなる傾向にある。また，Fig.7に示すように，節点片側では部材が連続材であることによって生ずる値に偏心の影響が重畳されることから，偏心のない場合に比べて偏心率は大きくなる傾向にあるが，その程度は小さいと判断される。

Fig.3 骨組試験体詳細図(H-2)

Fig.4 骨組試験装置図

2. 3 骨組の座屈変形挙動

Fig.8に荷重 P —試験骨組頂部荷重方向変形 δ 関係曲線を示す。ここに，実験結果を図中実線および点線で，短柱圧縮試験における応力度—ひずみ度関係曲線を用いた非線形解析の結果をプロット点で示す。また，縦軸は弾性応力解析において座屈部材が降伏軸力 N_y に達する時の荷重 P_y で，横軸は P_y に対応する弾性変形量 δ_y でそれぞれ無次元化している。

これより，いずれの試験体も，ほぼ線形挙動領域とみなせる図中▼▽印(黒塗り:実験結果,白抜き:解析結果)で示す荷重レベルでは $0.83 \sim 0.95 P_y$ ，変形レベルでは $1.0 \delta_y$ 近傍において座屈屈伏し，耐力低下を来す。座屈箇所はFig.2図中の骨組結構図において●■印で示す箇所であり，DW(H-1, H-1 E)，偏心無しのDW2骨組(H-2)では部材の全体的な曲げ座屈，偏心有りのDW2(H-2 E)，DW4骨組(H-3 E, H-4, H-4 E)では，曲げモーメントの影響によりガセットプレート，スチフナ等で補強された接合部外側で局部座屈を呈する。

DW4骨組においては，座屈発生箇所での偏心率(ここでは，スチフナフェイス位置での解析値とする。なお，実験値との対応は確認している)が $0.3 \sim 0.5$ と大きく，かつ柱材細長比が22と小さいことから，Fig.9に模式的に示すように，圧縮部材の全体的な曲げ座屈ではなく，曲げモーメントの影響による端部圧縮側降伏で耐力が決定される。ちなみに，H-4 EはH-4に比べて，座屈発生箇所に

Fig.5 解析に用いる境界条件概念図

Fig.6 偏心率—腹材傾斜角度関係

Fig.7 偏心曲げモーメント概念図

Fig.8 荷重－試験体頂部変形関係

おける曲げモーメントは概ね50%程度大きく、耐力は3%程度小さくなる結果となる。

DW 2 骨組において、H-2 と H-2 E は座屈モードが異なるが、耐力面での大きな差異は認められない。これは、座屈発生箇所での偏心率が0.15～0.2 と小さく、座屈耐力に及ぼす影響が小さいことによる。

DW 骨組では、柱材細長比が45 と比較的大きいことから全体的な曲げ座屈で屈伏し、部材単位でみた場合、逆対称で端部で大きくなる分布となる曲げモーメントの影響を受けない結果となる。

これより、本研究の範囲においては、DW 骨組で3%程度の耐力低下はあったものの、総じて、偏心接合による著しい耐力低下は認められないこと、また荷重－変形関係、特に座屈耐力時の変形量あるいは劣化勾配に及ぼす影響は、座屈柱材の細長比の影響が支配的であり、偏心の有無あるいは座屈部位、モードの影響はほとんど見受けられないことが確認される。

2. 4 柱材座屈耐力の定量的評価

局部座屈した部材の耐力算定位置は実験結果との対応より、ガセットプレート、スチフナ等で補強される領域を剛域とみなしたスチフナフェイス位置とする。このとき、既往の研究結果³⁾より曲げモーメントによる耐力低下率 α_1 は(2)式を用い算定する。また、細長比の影響は考慮しない。

$$\alpha_1 = \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left(\frac{M}{M_p} \right) \quad \text{-----(2)}$$

M_p : 全塑性曲げモーメント

一方、曲げ座屈する場合の細長比による耐力低下率 α_2 は(3)式を用い、また曲げモーメントによる耐力低下は、(2)式に部材

Fig.9 有効細長比－偏心率関係

中央部の局部座屈発生箇所における値を代入することにより算定する。

$$\alpha_2 = \frac{\pi^2 E}{\lambda_e^2 \sigma_y} \left[1 - \left\{ \frac{(\alpha_2 - \beta)}{(1 - \beta)} \right\} \right] \quad \text{-----(3)}$$

β : めっき鋼管の場合=0.8

σ_y : 降伏応力度

λ_e : 有効細長比(=0.5 λ)

このとき、各部の耐力を同一荷重 P_0 時の軸力で除した値(=座屈安全率)が最も小さい部位で座屈が生ずる。

Table 3 に座屈耐力に関する上記評価による算定結果と実験結果との比較表を示す。これより、両者は概ね良い一致をみており、算定方法の有効性が確認される。

3. 偏心接合の接合部耐力に及ぼす影響

3. 1 接合部耐力試験概要

鋼管接合部の耐力に影響を及ぼすファクターとしては、①偏心量 e として外側偏心 $-D/2$, $-D/4$, 偏心無し, 内側偏心 $D/4$, $D/2$ の 5 種類, ②ガセットプレート端部補強方法として補強無し(G シリーズ), サドル型スチフナ(SA シリーズ), 半円スチフナ(SB シリーズ)の 3 種類とし, 試験体総数はこれらを組合わせた Table 4 に示す 12 体とする。

柱材は, $\phi 139.8 \times 3.5$ (STKT590)一定値, 柱材に隅肉溶接されるガセットプレートは PL-9 (SH590P), 補強プレートは PL-6 (SH590P),

また腹材は加力ロッド扱いとする。Fig.10 に接合部の詳細図を, Table 5 に材料引張試験結果を示す。

Fig.11 に示すように, 柱材は下端は移動固定, 上端は材軸方向に移動自由とし, それぞれ構面内に回転自由の境界条件とする。載荷は, 水平方向 $\pm 45^\circ$ 方向に配された 2 台のアクチュエーター・加力ロッド(腹材に相当)により, 絶対値が等しく水平方向成分が相殺される方向の軸力 P を作用させる。なお, アクチュエーターと加力ロッドおよび加力ロッドとガセットプレート取合部は構面内に回転自由とし, 接合部の回転変形を拘束しない形とする。

Table 3 骨組試験結果一覧表

試験体 名称	α_2 の算定			α_1 の算定		① α_1, α_2	② P_{cr}/P_y	③ $\frac{②}{①}$
	λ	λ_e	α_2	m	α_1			
H-1	45	22	0.980	0.063	0.970	0.94	0.93	0.99
H-1 E				0.002	0.995	0.97	0.95	0.98
H-2	24	12	0.995	0.171	0.925	0.92	0.92	1.00
H-2 E	(24)	0	1.000	0.180	0.920	0.92	0.94	1.02
H-3 E	(14)	0	1.000	0.368 [0.173]	0.845 [0.925]	0.85 [0.93]	0.86	1.01
H-4	(22)	0	1.000	0.336	0.860	0.86	0.86	1.01
H-4 E				0.484	0.805	0.81	0.83	1.04

- 1) λ は座屈柱材の細長比であり, 中央部全体座屈の場合は無印, 端部局部座屈の場合は () 付で示す。
- 2) λ_e は有効細長比であり, 全体座屈の場合は $1/2\lambda$, 局部座屈の場合は 0 とする。
- 3) P_{cr} は実験あるいは解析における座屈耐力を示す。
- 4) H-3 E の [] 内の値は偏心のない場合の値を示す。

Table 4 接合部耐力試験体諸元

試験体 名称	ガセット 端部補強	偏心量 e	B (mm)	P_{max} (t)	pP_{cr} (t)	gP_y (t)
G 3	補強なし (C=0)	0	350	32.5	68.1	79.2
G 5		D/2	210	44.7	46.6	47.5
SA 1	サドル スチフナ (C=40)	-D/2	490	24.0	49.2	110.8
SA 2		-D/4	420	27.4	56.9	95.0
SA 3		0	350	35.6	68.1	79.2
SA 4		D/4	280	52.3	56.1	63.3
SA 5		D/2	210	46.1	46.6	47.5
SB 1	半円 スチフナ (C=99)	-D/2	490	43.2	49.2	110.8
SB 2		-D/4	420	51.0	56.9	95.0
SB 3		0	350	59.2	68.1	79.2
SB 4		D/4	280	56.4	56.1	63.3
SB 5		D/2	210	49.3	46.6	47.5

- 1) P_{max} : 実験における最大耐力
 pP_{cr} : 柱材ガセットプレート端部位置の座屈耐力算定値
 gP_y : ガセットプレートせん断降伏耐力

Table 5 材料引張試験結果

試験体	降伏 応力度 σ_y (t/cm ²)	引張 強さ σ_u (t/cm ²)	降伏比 Y.R.	伸び ϵ_{max} (%)
$\phi 139.8 \times 3.5$	6.43	7.04	0.93	23.0
Gusset PL-9	5.54	6.00	0.92	18.0
Stiffner PL-6	6.00	6.39	0.94	15.0

- 1) 材料引張試験は JIS Z 2241 に規定される試験方法による。

Fig.10 接合部耐力試験体部分詳細図

Fig.11 接合部耐力試験装置図

Fig.12 記号説明図

Fig.13 荷重－柱材鋼管局部変形関係

3. 2 荷重－変形関係

Fig.13 に荷重 P －柱材管壁のガセットプレート端部位置における平均面外変形量 δ の関係を示す。記号は Fig.12 の説明図に倣う。

これより、いずれの試験体も、図中▼印で示す最大耐力点まではほぼ線形的な挙動を示し、ガセットプレートが付いた接合部内において、圧縮端部側補強プレート位置を凹型局部変形の中央、引張側補強プレート位置を凸型局部変形の中央とした局部変形モードの顕在化により耐力が低下する。最大耐力は、偏心量が+ (内側引付け) になるほど、また補強度が大きいほど大きくなる傾向を示す。

ただし、+ 偏心量が大きくかつガセットプレート端部補強度の大きい試験体は、柱材に作用する偏心曲げモーメントの影響により、ガセットプレート下端直下柱材における局部座屈で屈伏し、接合部耐力を下回る結果となり、耐力傾向が逆転する。なお、この座屈モードは、補強プレート位置が凹型局部変形の上端となり、柱材管壁局部変形モードとは異なる。

なお、劣化勾配は最大耐力が小さいほど緩やかな傾向を示す。

3. 3 接合部最大耐力の定量的評価

柱材管壁への作用曲げモーメント jM 、ガセットプレートに生ずるせん断力 gQ は、それぞれ(4),(5)式で表される。

$$jM = \sqrt{2}P \cdot |e| \quad \text{-----(4)}$$

$$gQ = \sqrt{2}P \quad \text{-----(5)}$$

また、下部補強プレート位置柱材に作用する軸力 pN および曲げモーメント pM は(6)式で表される。

$$pN = \sqrt{2}P \quad \text{-----(6-1)}$$

$$pM = \sqrt{2}P \cdot \left| e - \frac{D}{2} \right| \cdot \frac{L-B}{L} \quad \text{-----(6-2)}$$

L : 試験体長さ

B : ガセットプレート長さ

G シリーズの接合部局部変形最大耐力評価方法として、作用曲げモーメントに対し(7-1)¹⁾, (7-2)²⁾式が提案されている。

$$jM_{\max} = 4.88B \left(1 + \frac{B}{4D} \right) T^2 \sigma_y \quad \text{-----(7-1)}$$

$$jM_{\max} = 1.20B \left\{ \left(\frac{D}{2T} \right)^{0.2} + \frac{15B}{2D} \cdot \left(\frac{D}{2T} \right)^{-0.1} \right\} T^2 \sigma_y \quad \text{-----(7-2)}$$

Fig.14 接合部耐力整理図

D, T : 柱材鋼管外径, 板厚

σ_y : 柱材鋼管降伏応力度

また、 SA, SB シリーズについては、(8-1)¹⁾, (8-2)²⁾式が提案されている。

$$jM_{\max} = 6.43B \left\{ 1 + 4.60 \left(\frac{C}{D} \right)^2 \right\} T^2 \sigma_y \quad \text{-----(8-1)}$$

$$jM_{\max} = 1.60B \left\{ 1 + 4.90 \left(\frac{C}{D} \right)^2 \right\} \cdot \left(\frac{D}{2T} \right)^{0.2} T^2 \sigma_y \quad \text{---(8-2)}$$

C : スチフナプレート幅

また、ガセットプレートのせん断降伏耐力は(9)式で与えられる。

$$gQ_y = B \cdot t \cdot g \sigma_y / \sqrt{3} \quad \text{-----(9)}$$

t : ガセットプレート板厚

$g \sigma_y$: ガセットプレート降伏応力度

なお、偏心曲げモーメントが作用する接合部耐力は(2)式より与えられる。

Fig.14 に最大耐力(腹材荷重 P に換算)に関する実験結果と上記設計式に基づく算定結果との比較図を示す。ここに、縦軸は腹材荷重 P を、横軸は偏心量の鋼管外径に対する比 e/D とする。

(5),(9)式より算定される $p_{Py}-e/D$ 関係線より上側の灰色ハッチングした部分は、ガセットプレートのせん断降伏領域を、(2),(6)式より算定される $p_{Py}-e/D$ 関係曲線より上側の黒色ハッチングした部分は偏心曲げを考慮した柱材鋼管局部座屈領域を示す。また、(4),(7)式、(4),(8)式より算定される図中実線および点線は、G および SA,SB 各シリーズの接合部局部変形最大耐力評価線を示す。

これより、設計式は統計手法を用いばらつきを考慮している安全側の評価を与える傾向にあるが、偏心曲げモーメントを実態に即したディテールにより作用させた場合においても、評価式は有効であることが確認される。

また、内側偏心、すなわち+偏心で端部補強度が大きい場合には、柱材鋼管の局部座屈あるいはガセットプレートのせん断降伏で耐力が決定される傾向にあり、3. 2の崩壊モードの結果が裏付けされる形となる。

4. 偏心接合の接合部疲労耐力に及ぼす影響

4. 1 接合部疲労耐力試験概要

鋼管接合部の疲労耐力に影響を及ぼすファクターとして、①偏心量 e は5種類、②ガセットプレート端部補強方法は3種類、③応力比 R は $R=0$ (完全片振り)、 $R=-1$ (完全両振り)の2種類とし、試験体総数はこれらの組合せ、さらに応力振幅を変化させたTable 6に示す26体とする。なお、試験体の形状寸法等の諸元および試験装置は接合部耐力試験に倣う。また、溶接部について、応力集中の緩和あるいは、所定の形状に仕上げるなどの特別な配慮はしないものとする。

なお、送電用鉄塔は風荷重が支配的であることから、本研究では支配荷重が地震となる構造物に対して検討される領域の低サイクル疲労は対象外とし、繰返し数が1,000回以上となる比較的高サイクルの領域を対象とする。

4. 2 接合部疲労耐力の定量的評価

亀裂発生箇所(hot spot)は、Fig.10に示すように、Gシリーズはガセットプレート外側、SA,SBシリーズはスチフナ端部の隅肉溶接部となる。

この接合部疲労耐力を評価するにあたって、亀裂発生箇所の応力振幅を評価する必要があるが、試験体種別が多種であり、応力振幅の画一的評価が困難である。したがって、本研究では、接合部耐力試験において柱材が局部座屈した試験体については、局部座屈箇所

と亀裂発生箇所とは部位が異なるものの、文献1)の支管同士が相関しないK型分岐継手の疲労曲線関係の整理手法に倣って、荷重振幅 P_r を接合部耐力試験における最大耐力 P_{max} で除すことにより無次元化した無次元化応力振幅 P_r/P_{max} を用いて整理することにする。

Table 6, Fig.15に P_r/P_{max} と亀裂発生により载荷不能(疲労寿命)となるまでの繰返し数 N_f の関係を示す。

ガセットプレート端部補強強度、接合部耐力試験における崩壊モードによる大きな差異は認められない。これは、無次元化応力振幅の分母である P_{max} によってその差異が既に評価されているためと考えられる。これより、 $R=-1$ (完全両振り)の方が $R=0$ (完全片振り)に比べて高い疲労性能を有する評価となるなど応力比による差異は認められるものの、本研究における応力振幅評価は概ね適当であると判断できる。また、併せて図中実線で示す(10)式に示す回帰直線が求まる。ちなみに、この直線は図中点線で示すK型分岐継手の回帰直線に比べて約60%程度の耐力評価となる。

$$\text{Log}_{10}\left(\frac{N_f}{10^6}\right) = -3.25 - 3.94 \text{Log}_{10}\left(\frac{P_r}{P_{max}}\right) \quad \text{-----}(10)$$

Table 6 接合部疲労耐力試験結果一覧

試験体名称	P_r/P_{max}	R	N_f ($\times 10^2$)	P_r/P_{max}	R	N_f ($\times 10^2$)
G 3	0.76	-1	6	0.30	-1	974
G 5	0.70	-1	12	0.28	-1	2000
SA 1	0.43	0	65	0.38	0	137
SA 2	0.43 0.32	0 0	80 194	0.37	0	114
SA 3	0.84 0.46 0.42	-1 -1 0	12 247 110	0.66 0.48 0	-1 0	40 50
SA 4	0.54 0.40	0 0	97 265	0.47	0	132
SA 5	0.54 0.40	0 0	19 265	0.47	0	132
SB 1	0.47	0	49	0.41	0	66
SB 2	0.47 0.35	0 0	71 185	0.41	0	103
SB 3	0.92 0.50 0.46	-1 -1 0	14 404 170	0.72 0.52 0	-1 0	94 120
SB 4	0.29 0.23	0 0	292 613	0.24	0	703
SB 5	0.57 0.42	0 0	21 226	0.50	0	57

Fig.15 無次元化応力振幅-疲労寿命関係

5. 結言

柱材と腹材を偏心接合させたガセットプレート接合タイプ塔状鋼管トラス骨組の柱材座屈耐力、接合部耐力および接合部疲労耐力に関する本研究において得られた知見を以下に列挙する。

- (1) 腹材傾斜角度が大きく、かつ細長比が小さい試験体では、部材端部の局部座屈で屈伏し、偏心曲げモーメントの影響により若干の耐力低下が認められる。一方、それ以外の試験体では、部材中央部で曲げ座屈を呈し、偏心曲げモーメントによる耐力低下は認められない。以上より、総じて、本研究の範囲では偏心接合によって生じる曲げモーメントによる著しい耐力低下は認められない。
- (2) 偏心接合の柱材座屈耐力に及ぼす影響は、文献 3) の曲げモーメントを考慮した座屈耐力算定方法を適用することにより定量的に評価できる。
- (3) 偏心接合の接合部局部変形耐力に及ぼす影響は、既往の耐力評価式により安全側に評価できる。
- (4) 偏心接合の疲労特性に及ぼす影響は、本研究の範囲においては、接合部耐力試験における最大耐力で除した無次元化応力振幅を適用することにより、偏心量、ガセットプレート端部補強強度に関わらず、ばらつきの少ない形で一律に評価できる。

これらにより、偏心接合を採用する場合の基礎データが概ね整備されたと考える。

謝 辞

本研究は、東京電力株式会社における UHV 送電用鉄塔の総合開発研究として行われたものであります。ここに、関係各位に深謝の意を表します。

【参考文献】

- 1), 2) 日本建築学会：鋼管構造設計施工指針・同解説(第 1 版), 1980, 同(第 2 版), 1990
- 3) 鈴木敏郎, 佐藤亘宏, 深沢隆：塔状鋼管トラス骨組の座屈耐力に関する研究(細長比の小さい柱材で座屈する場合), 日本建築学会構造系論文報告集第 425 号, 1991
- 4) 牧野雄二, 黒羽啓明, 三井宜之：鋼管継手の局部変形耐力の推定(支管が圧縮力を受ける場合), 日本建築学会構造系論文報告集第 251 号, 1977
- 5) M.Fujimoto, H.Yamagishi, N.Sato and K.Izawa: Experimental Study on Ultimate Strength and Low-Cycle Fatigue Resistance of Tube to Gusset Plate K-Joints, International Meeting on Safety Criteria in Design of Tubular Structures, 1986
- 6) 山岸啓利, 伊沢健, 深沢隆, 松尾康博, 田沼良一：偏心接合される塔状鋼管トラス骨組の構造特性に関する研究, 日本鋼構造協会 鋼構造年次論文報告集第 1 巻, 1993.7

(1996年10月9日原稿受理, 1997年3月17日採用決定)