

# プロジェクト1

## 偏心を有する鋼管構造接合部の疲労特性 — 導入軸力の変化による影響 —

福島 暁 男 (建築工学科)

小松 博 (建築工学科)

### 1.はじめに

送電鉄塔などの大型鋼管トラス構造物では、構造物の自重および送電線の重量等の固定荷重が作用した状態で、風などの動的な水平力が比較的頻繁に作用するため、疲労蓄積による耐力劣化が問題となる。またこのようなトラス構造物において節点をガセットプレート接合とした場合、図-1に示すように設計規準等の接合標準である偏心無しの状態を内偏心とすることで重量軽減や設計の自由度の拡大等に繋がる利点を派生するが、この手法は接合部に付加曲げモーメントが作用するため接合部の耐力が問題となる。

これらを考慮して、平成13・14年度には偏心接合を用いた鋼管構造の疲労実験<sup>1),2)</sup>を行い、疲労強度に関して内偏心0.5が偏心無しよりも有効であることが一部示された。本研究はこの既往の研究を更に発展させ、支管への導入軸力を既往の実験範囲から拡大した疲労実験を行い、導入応力の変化による主管の応力分布性状、破壊性状ならびに疲労強度を把握することが目的である。

### 2.試験体および実験方法

#### 2.1 試験体

試験体形状を図-1に、機械的性質を表-1に、試験体一覧を表-2に示す。主管はφ139.8×3.5(STK400)を使用し、偏心率( $e/R$ )は偏心距離( $e$ )を鋼管半径( $R$ )で除したもので、偏心無しと内偏心0.5, 1.0の3種類とした。ガセットプレート

表-1 機械的性質

鋼管	降伏応力度 [N/mm <sup>2</sup> ]	引張強さ [N/mm <sup>2</sup> ]	伸び率 [%]
φ139.8×3.5 (STK400)	361.0	445.6	35.3

(SM490)は厚さ9mmで高さ145mmとし、長さは図-1のように各偏心率で設定している。

#### 2-2.実験方法

実験装置を図-2に示す。主管端部は一方を自由端、他方は治具を介してピン支持、支管の端部

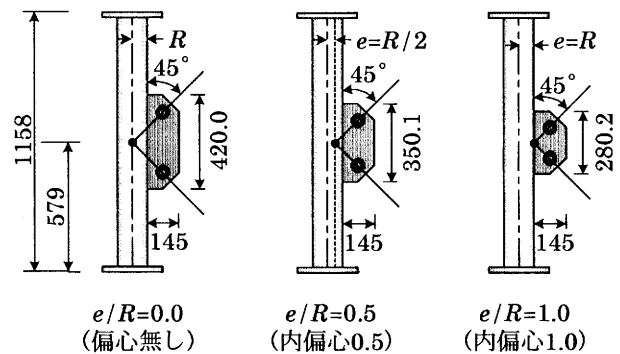


図-1 試験体詳細

表-2 試験体一覧

$e/R$	試験体名	$\alpha$	$\beta$	支管軸力 [kN]	主管軸力 [kN]	試験体数
0.0	00_02_05	0.2	0.5	35.29	249.51	2
	00_02_06		0.6	42.34	299.41	2
	00_02_00(06)	0.25	0(0.6)	42.34	0	2
	00_025_06		0.6	42.34	299.41	2
	00_025_07		0.7	61.75	349.31	2
	00_025_00(07)	0.30	0(0.7)	61.75	0	1
	00_03_00(07)		0(0.7)	74.10	0	1
0.5	05_02_06	0.2	0.6	42.34	299.41	1
	05_02_07		0.7	49.40	349.31	1
	05_02_00(06)	0.25	0(0.6)	42.34	0	1
	05_02_00(07)		0(0.7)	49.40	0	2
	05_025_06		0.6	52.93	299.41	1
	05_025_07	0.3	0.7	61.75	349.31	2
	05_025_00(07)		0(0.7)	61.75	0	2
	05_03_07	0.3	0.7	74.10	349.31	1
1.0	10_02_06	0.2	0.6	42.34	299.41	2
	10_02_00(06)		0(0.6)	42.34	0	2
	10_025_05	0.3	0.5	44.11	249.51	1
	10_025_06		0.6	52.93	299.41	1
	10_025_00(06)		0(0.6)	52.93	0	1
	10_03_05	0.3	0.5	52.93	249.51	1
	10_03_06		0.6	63.51	299.41	1
	10_03_00(06)		0(0.6)	63.61	0	1
	10_035_05		0.4	61.75	249.51	1
	10_04_05	0.4	0.5	70.57	249.51	1

はピン支持とし、主管と支管はガセットプレート継手を用いてピン接合としている。また、主管と支管の交角はすべて  $45^\circ$  である。荷重は固定荷重を想定した一定圧縮軸力 ( $\beta N_0$ ) を構造物複合負荷システムに接続した 500kN 油圧ジャッキにより主管内部の PC 鋼棒を介して載荷した状態で、300kN サーボパルス式アクチュエータにより一方の支管に正負交番の低サイクル繰返し載荷を、 $N=50$  万回を限度として荷重振幅  $\pm \alpha \beta N_0 \sqrt{2}$  で 3Hz の sin 波を与えた。なお  $\beta$  は主管導入軸力比で主管降伏軸力に対する値であり、 $\alpha$  は支管導入軸力比で主管導入軸力 ( $\beta N_0$ ) に対する支管導入軸力の主管管軸方向合力との比である。各試験体の  $\alpha$  と  $\beta$  の値は表-2 に示すとおりである。

各部位における荷重の検出は、反力側主管端部において 500kN ロードセルにより、載荷側および反力側支管では 200kN ロードセルにより測定した。また、応力分布性状および破壊性状を把握するため、主管管周の 2 断面 (A1~H1, B2~H2) に単軸ゲージを、ガセットプレート端部主管管壁のホットスポット (I, J) に 2 軸ゲージを貼付してひずみの測定を行った。なお、荷重およびひずみの測定位置は図-2 に示す。

荷重およびひずみの計測は、50Hz で全測定点の同時収録が可能な高速データロガにより、実験開始から 10000 回までは 15~30 秒間隔で、それ以降は 1 分あるいは 2 分間隔で 1 測定あたり 6 秒

間のインターバル測定を実験終了まで行った。

### 3. ひずみ性状

図-3 に各導入軸力に対する主管材軸方向およびホットスポットのひずみ性状の一例を、偏心無しおよび内偏心 0.5・1.0 の実験初期段階 ( $n=1000$  回) について示す。主管およびホットスポットのひずみ波形は、断面 1 の A1・C1・E1 点ならびに  $I_1$ ・ $I_2$ 、 $J_1$ ・ $J_2$  点のものである。また主管のひずみ分布は荷重振幅の最大値、最小値および中央値における主管断面 1 の材軸方向ひずみである。

主管材軸方向のひずみ波形は、偏心率が偏心無しから内偏心 0.5, 1.0 へと移行することにより、ガセットプレート取付け側の A1 点におけるひずみ振幅は増大している。またガセットプレートと逆側の E1 点においては内偏心 0.5 で振幅はほぼ 0 となり、偏心無しと内偏心 1.0 ではひずみ振幅は同等であるが、位相が逆転している。この状況は、主管断面ひずみ分布性状においても確認することができ、付加モーメントが発生しない偏心無しでは、ほぼ同心円状にひずみが発生しているのに対し、内偏心ではガセットプレート取付け側の A1 点のひずみ振幅が増大している。なお、断面 2 においても同様の性状を示した。このように偏心率の違いによりひずみ波形の変化が起こるのは、偏心接合により主管断面内に発生する付加モーメントの影響によるものである。

ホットスポットのひずみ波形は、同一導入軸力において偏心率が偏心無しから内偏心 0.5, 1.0 へと移行することにより、 $I_1$ 、 $I_2$  および  $J_2$  ではひずみ振幅が減少し、 $J_1$  では内偏心 0.5 で位相が逆転し内偏心 1.0 でひずみ振幅が増加している。これは偏心接合による付加モーメントとガセットプレートから主管管壁に伝達されるせん断力の影響によるものであり、この応力性状が破壊および疲労強度に関与する。

主管および支管導入軸力の違いにおける各ひずみ性状への影響は、主管導入軸力比 ( $\beta$ ) の増大はひずみの絶対量の増加に繋がり、支管導入軸力比 ( $\alpha$ ) の増大はひず

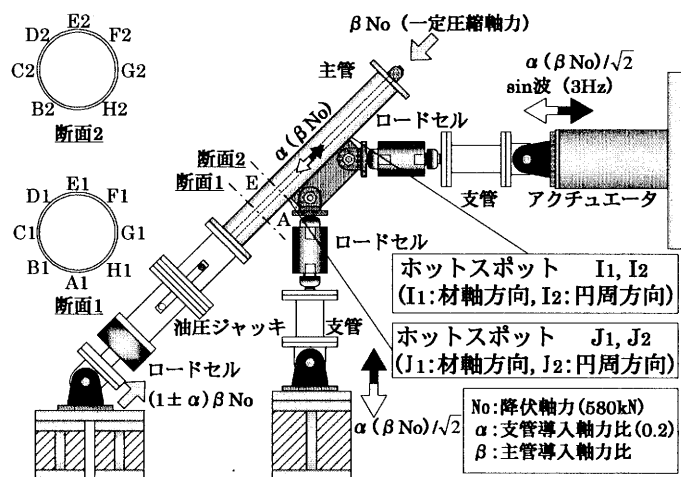


図-2 実験装置

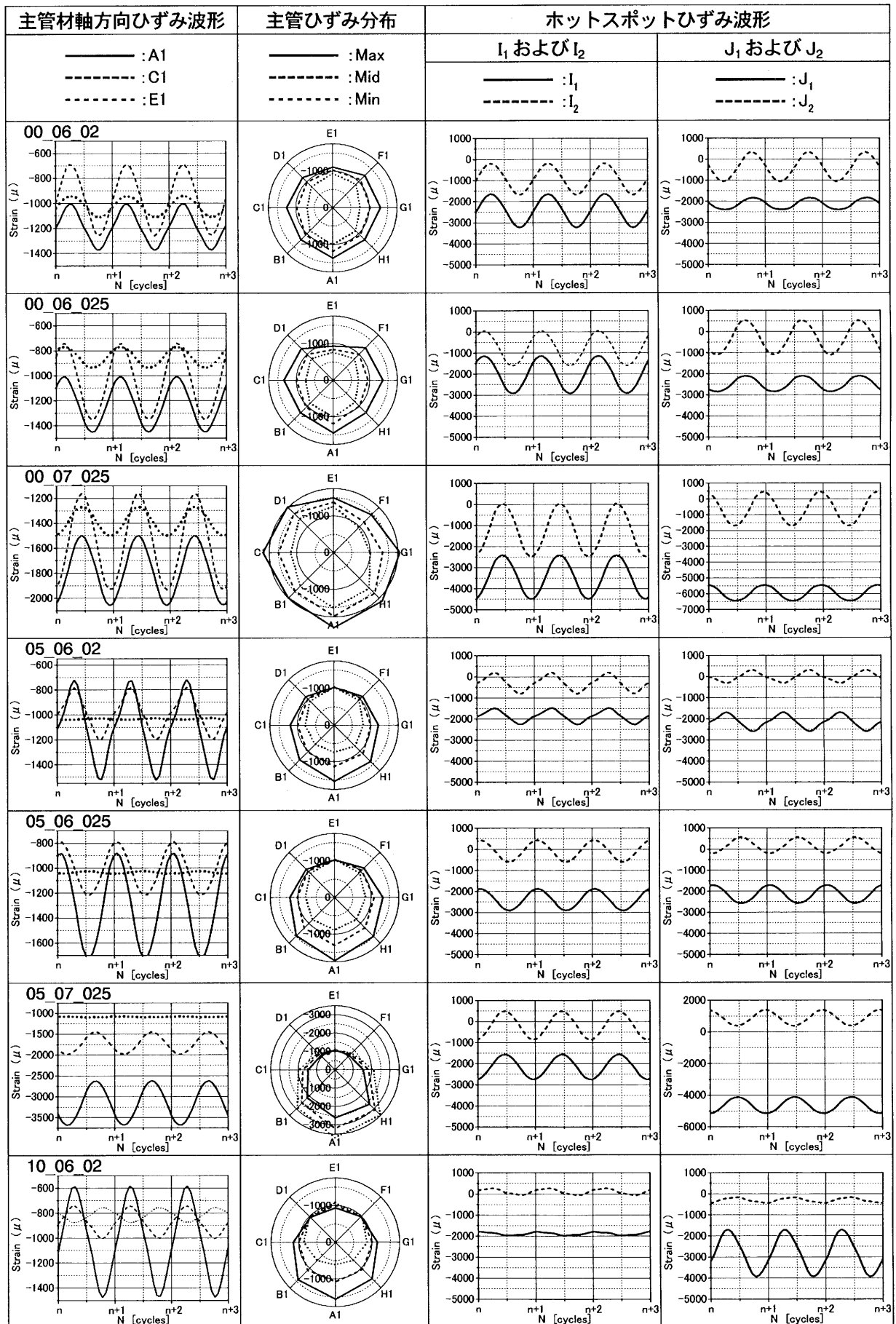
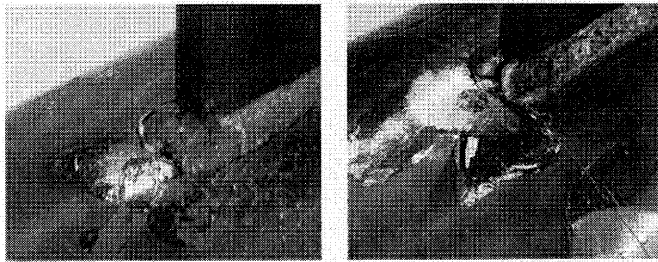


図-3 初期ひずみ性状 (n=1000cycles)



(a)  $e/R=0.0$  (b)  $e/R=1.0$

写真-1 破壊性状

み振幅の増大となって現れている。なお、図には主管に軸力を導入したもののみとしたが、各偏心率においてひずみ振幅および位相は主管軸力を導入しない場合も同様の性状を示している。

#### 4. 破壊性状

写真-1 に破壊性状を示す。亀裂はガセットプレート端部から発生し、偏心無しおよび内偏心 0.5 では主管材軸方向ならびに HAZ 部に沿って試験体中央部へと進展していった。これに対し内偏心 1.0 では主管管周方向へ亀裂が進展していった。これは内偏心 1.0 ではガセットプレートが短く、支管軸力の交点が主管管壁上にあるため、せん断力が卓越した状態となり、管壁が材軸方向に引張力を受けたためであると推察できる。

#### 5. 疲労強度

応力振幅 ( $\alpha \cdot \beta$ ) と破断時繰返し数 ( $N_C$ ) の関係を図-4 に示す。 $N_C$  は、破断が確認された繰返し回数である。また図には (1) 式で求められる回帰直線を、主管導入軸力が有る場合と無い

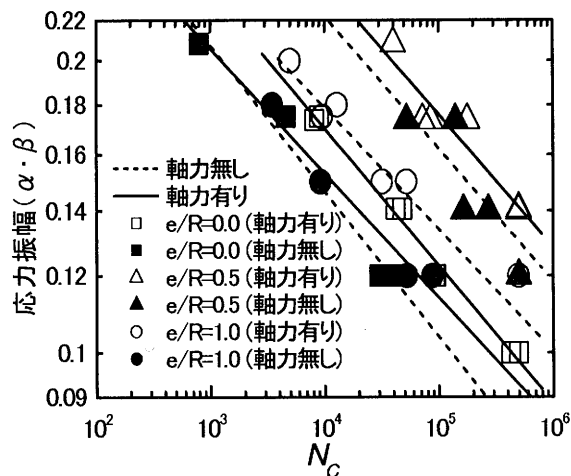


図-4 応力振幅-破断時繰返し数関係

表-3 回帰直線の各係数

$e/R$	主管導入軸力	A	B
0.0	有	1.264	6.861
	無	1.543	6.652
0.5	有	0.529	7.327
	無	0.776	7.315
1.0	有	1.722	7.699
	無	2.348	7.790

場合にわけて実線と破線で示した。式中の係数  $A \cdot B$  は表-3 の値である。

$$\log_{10}(N_C) = -A - B \log_{10}(\alpha \cdot \beta) \quad (1)$$

これより偏心無しおよび内偏心 1.0 よりも内偏心 0.5 が疲労強度に関して有効であるとの結果を得た。これは内偏心 0.5 では偏心無しよりもガセットプレートが短いため、管壁に作用する曲げ応力が小さく、曲げおよびせん断の応力状態が破壊に至りにくい状態であり、更に内偏心 1.0 の破壊性状が示すように、内偏心 1.0 では内偏心 0.5 よりも管壁に作用する曲げ応力は小さいものの、せん断力が卓越した状態であったためであると推察できる。また主管軸力を導入した場合、管壁に作用する圧縮応力により疲労強度が高くなることが確認された。

回帰直線は、偏心率および主管導入軸力の有無に影響されることなく、その傾き ( $B$ ) は偏心無しで平均すると 6.75、内偏心 0.5 では 7.3、内偏心 1.0 では 7.75 程度となり、曲げモーメントにより疲労強度が決定する偏心無しが低く、せん断力により決定する内偏心 1.0 が高い値となった。またこの傾きは、主管軸力比 ( $\beta$ ) あるいは支管軸力比 ( $\alpha$ ) の各々の値よりも、その積で与えられる応力振幅 ( $\alpha \cdot \beta$ ) が影響することが明らかとなった。

#### 6. まとめ

以上のことから偏心を有する鋼管構造接合部の疲労特性ならびに偏心接合によるひずみ性状を把握することができた。今後は本研究で求めた回帰式から疲労設計式の提案のため、より多くの実験を行うと共に、静的載荷実験により経年構造物としての残存強度の評価を行う必要があると考える。