

プロジェクト1

偏心を有する鋼管構造接合部の疲労寿命

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に示すように偏心無しを内偏心に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はあるが、しかし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年度には偏心接合を用いた鋼管構造の疲労実験¹⁾を行い、疲労寿命に関して内偏心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、実験範囲の拡大および载荷治具の改良等による疲労実験を行い、主管の応力分布性状、破壊性状ならびに疲労寿命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、機械的性質および試験体一覧を表-1, 2に示す。主管は $\phi 139.8 \times 3.5$ (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、偏心無しおよび内偏心0.5, 1.0の3種類とした。ガセットプレート(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。

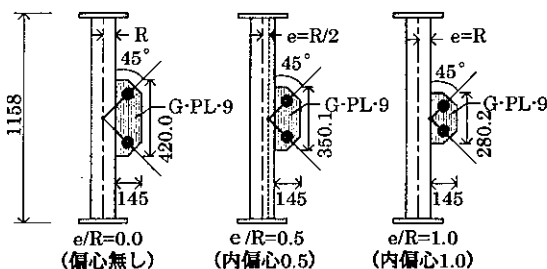


図-1 試験体詳細

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°である。载荷は固定荷重

表-1 機械的性質

鋼管	降伏応力度 [N/mm ²]	引張強さ [N/mm ²]	伸び率 [%]
$\phi 139.8 \times 3.5$ (STK400)	361.0	445.6	35.3

表-2 試験体一覧

試験体名	e/R	β	支管軸力 [kN]	主管軸力 [kN]
00_05_1	0.0	0.5	35.29	249.51
00_05_2		0.6	42.34	299.41
00_06_1		0(0.6)	42.34	0
00_06_2		0(0.6)	42.34	0
00_06_00_1		0(0.6)	42.34	0
00_06_00_2		0(0.6)	42.34	0
05_06_1	0.5	0.6	42.34	299.41
05_07_1		0.7	49.40	349.31
05_06_00_1		0(0.6)	42.34	0
05_07_00_1		0(0.7)	49.40	0
05_07_00_2	0(0.7)	49.40	0	
10_06_1	1.0	0.6	42.34	299.41
10_06_2		0(0.6)	42.34	0
10_06_00_1		0(0.6)	42.34	0
10_06_00_2		0(0.6)	42.34	0

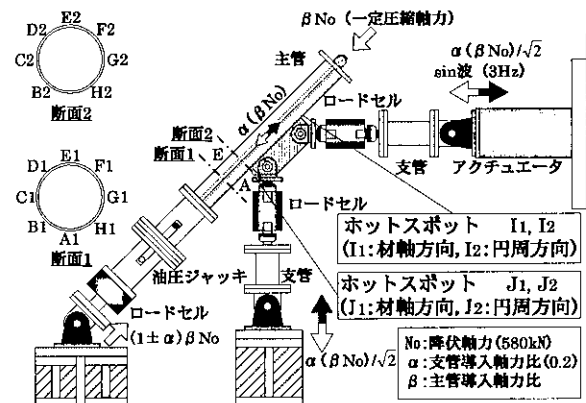


図-2 実験装置

を想定した一定圧縮軸力(βN_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 鋼棒を介して载荷した状態で、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载荷を、 $N=50$ 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 β は主管導入軸力比で主管降伏軸力に対する値であり、 α は支管導入軸力比で主管導入軸力(βN_0)に対する支管導入軸力の主管管軸方向合力との比で、構造物の水平荷重を考慮し $\alpha=0.2$ とした。なお、破壊に至った試験体は実験要因を変えずにさらに 1 体行った。

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、载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 に示す通りである。

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、2 分

間隔で 6 秒間の測定を実験終了まで行った。

3. ひずみ性状

3.1 導入応力・応力振幅性状

図-3 に $\beta=0.6$ における導入応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を、偏心無しおよび内偏心 0.5・1.0 について示す。(a) および(c)は実験初期段階($n=1000$ 回)における断面 1 の A1・C1・E1 点ならびに I1・2, J1・2 点のひずみ波形で、(b)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 のひずみ分布性状である。なお、偏心率の違いによる初期段階のひずみの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。

主管材軸方向のひずみ波形(a)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 でほぼ一定のひずみ振幅となり、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(b)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

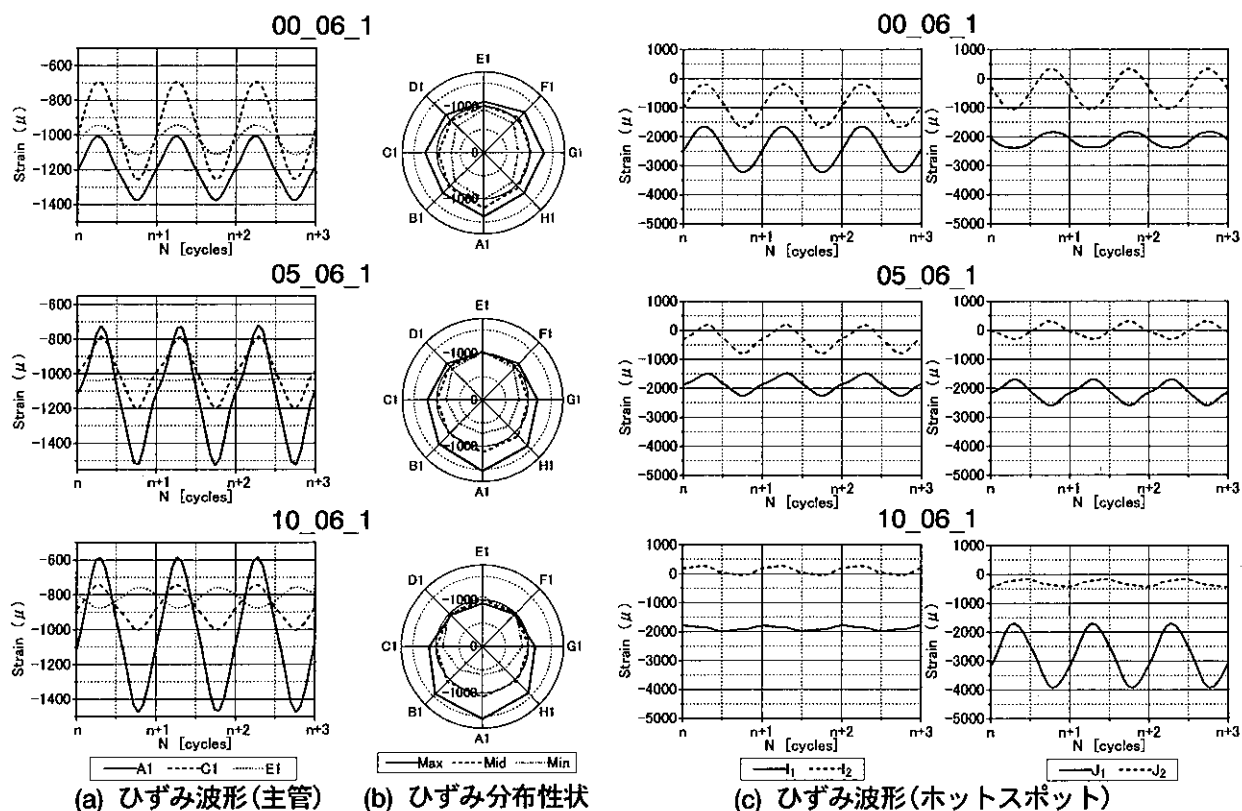


図-3 初期ひずみ性状 ($n=1000$ cycles)

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。

導入応力に対するホットスポットの波形(c)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、I1, I2 および J2 ではひずみ振幅が減少し、J1 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寿命に関与する。

3.2 全ひずみ波形

図-4 に载荷開始から終了までのホットスポットのひずみ波形を示す。ここに各偏心率で破断およびその後の亀裂の進展が初めに起こっている側のひずみ波形とした。ひずみの変化により①および②段階をそれぞれ初期亀裂および破断段階とし、図-5 には各段階におけるひずみ波形を示す。

初期亀裂の発生により材軸方向の応力が解放され、管周方向のひずみ振幅が増加する。また破断により材軸方向において主管管壁上の引張応力を伝達しなくなることやひずみ振幅の位相が逆転することなどの現象が起こり、同一試験体でも破断箇所の若干の違いによりひずみの変化は異なる。なお破断は目視による繰返し数とほぼ一致している。破断に至らなかった 05_06 は载荷終了まで安定したひずみ波形を示し、05_06_00 および 10_06 は初期亀裂によるひずみの変化が現れたが、破断には至っていない。

破断によるひずみ振幅の位相の逆転は、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よりも主管管厚を考慮した亀裂の開閉による応力状態の影響を受けるためであると推察できる。

4.破壊性状および疲労寿命

4.1 破壊性状

図-6 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が、内偏心 0.5 では主管材軸方向への進展はなかった。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

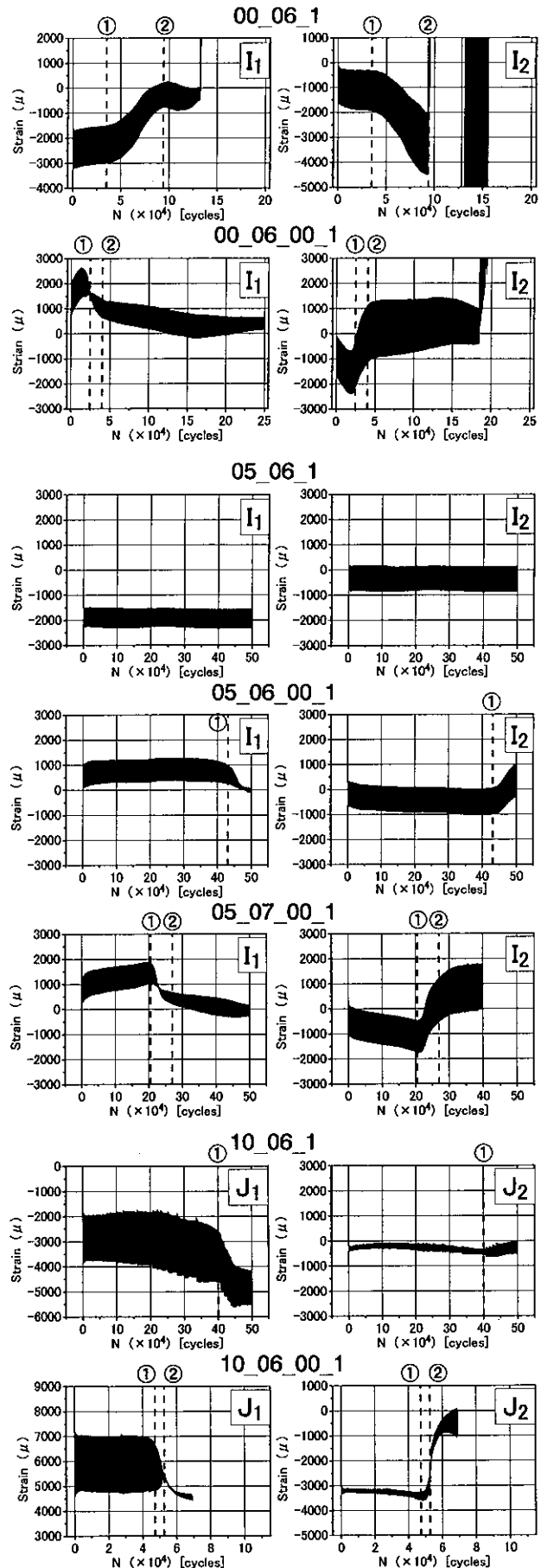


図-4 ホットスポット全ひずみ波形

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。

4.2 疲労寿命

本研究では破断が確認された繰返し数をもって疲労寿命とし、初期亀裂発生繰返し数と共に表-3 に示す。これより偏心無しおよび内偏心 1.0 よりも内偏心 0.5 とすることが疲労寿命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寿命

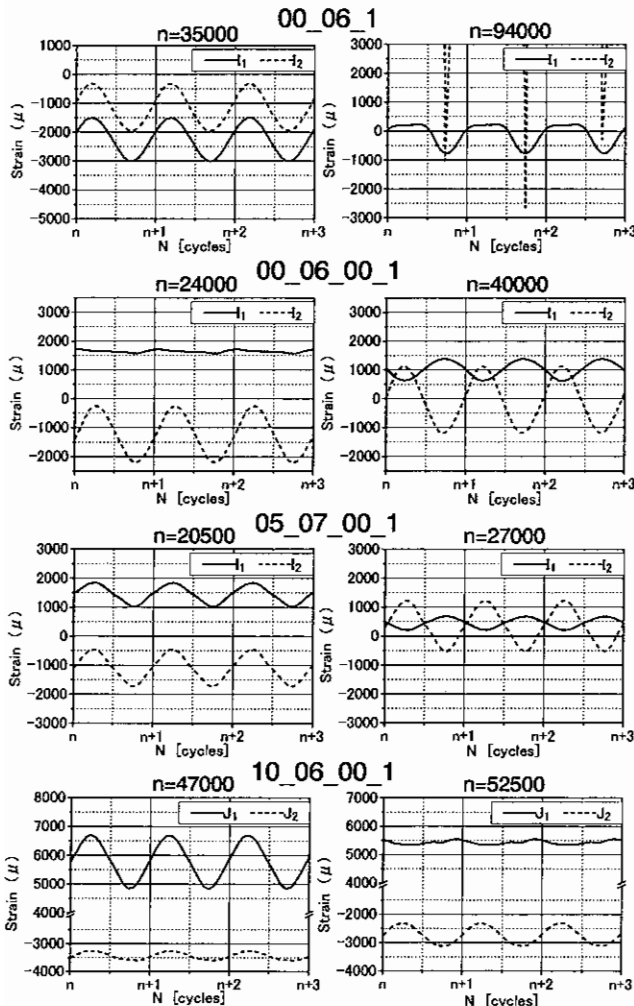
が長くなることが確認された。

5.まとめ

以上のことからガセットプレートを有する鋼管構造接合部の疲労特性を把握することができた。今後は設計疲労式の提案のため、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。

【参考文献】

- 1) 畔見達也, 小松 博, 福島暁男, 「鋼管構造の偏心接合に関する研究(10.低サイクル疲労実験)」, 日本建築学会大会学術講演概要集, C-1 (2002) 967~968



①段階(初期亀裂) ②段階(破断)
図-5 段階別ひずみ波形



(a) $e/R=0.0$ (I)



(b) $e/R=1.0$ (J)

図-6 破壊性状

表-3 初期亀裂数および疲労寿命

試験体名	e/R	β	初期亀裂 [cycles]	破断 [cycles]
00_05_1	0.0	0.5	-	-
00_05_2				
00_06_1		35000	94000	
00_06_2		45000	95000	
00_06_00_1	0(0.6)	-	24000	40000
00_06_00_2			20000	30000
05_06_1	0.5	0.6	-	-
05_07_1		0.7	-	-
05_06_00_1		0(0.6)	430000	-
05_07_00_1		0(0.7)	205000	270000
05_07_00_2	-	-	120000	165000
10_06_1	1.0	0.6	400000	-
10_06_2				
10_06_00_1		0(0.6)	47000	52500
10_06_00_2			79000	88000