

## 偏心接合を用いた鋼管構造の疲労寿命

福島 暁 男 (建築工学科)  
小松 博 (建築工学科)

### 1. まえがき

送電鉄塔などの大型鋼管トラス構造物では、固定荷重として構造物の自重および送電線の自重等が、短期荷重として風などの動的な水平力が常時作用するため、疲労蓄積による耐力劣化が問題となる。また、鋼管構造物のガセットプレート継手は図-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。しかし、この手法の接合部ではガセットプレートの取付けにより主管の剛性が高くなる反面、構造偏心が生じ、接合部には付加曲げモーメントが作用するため主管耐力が問題となる。

よって本研究では、平成12年度研究報告書において行った実験計画を基に、疲労蓄積による耐力劣化と偏心接合による付加モーメントの影響について着目し、疲労実験を行う。本実験は、固定荷重を仮想した一定軸方向力を主管に導入した状況下で、風等の水平力が支管に動的繰返し荷重として作用する場合の偏心無しおよび内偏心時における鋼管トラス構造の疲労寿命を把握することが目的である。

### 2. 実験方法

実験は、固定荷重として主管導入軸力を自己釣合いにて载荷した状態で、一方の支管に低サイクルの水平力を作用させるもので、破壊に至るか、破壊に至らない場合には10万回を限度としている。

図-1 に試験体形状を、表-1 に機械的性質を示す。主管および支管はφ139.8×3.5 (STK400) を使用し、接合部での偏心率( $e/R$ )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。ガセットプレートは厚さ9mmで高さを145mmとし、それぞれの偏心率でガセットプレート長さを設定している。

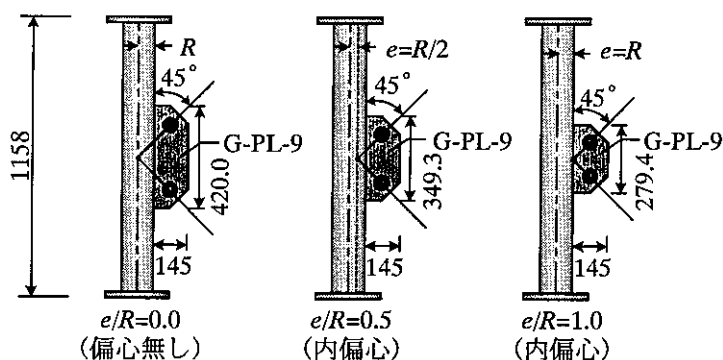


図-1 試験体詳細

表-1 機械的性質

|            | $\sigma_y$<br>( $N/mm^2$ ) | $\sigma_u$<br>( $N/mm^2$ ) | $e_b$<br>(%) |
|------------|----------------------------|----------------------------|--------------|
| φ139.8×3.5 | 413                        | 466                        | 27.4         |

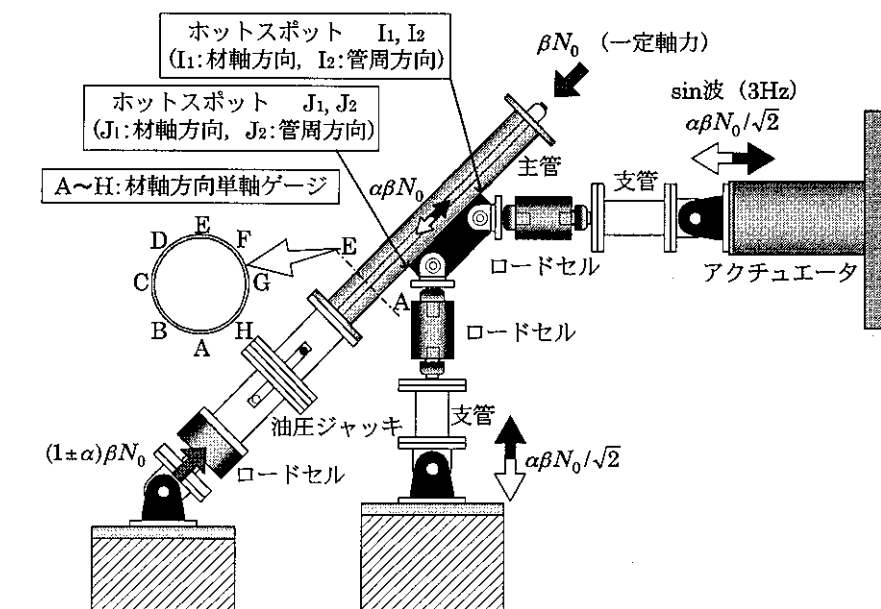


図-2 実験装置

実験装置を図-2に示す。主管端部は一方を自由端、他方をピン支持とし、主管と支管はガセットプレート継ぎ手を用いてピン接合とし、反力側支管の端部はピン支持としている。また、主管と支管の交角( $\theta$ )はすべて $45^\circ$ である。荷重は主管に一定圧縮軸力( $\beta N_0$ )を構造物複合付加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サーボバルサ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、荷重振幅が $\pm \alpha \beta N_0 / \sqrt{2}$ で3Hzのsin波として与えた。なお $\beta$ は主管導入軸力比で、主管の降伏軸力( $N_0$ )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 $\alpha = 0.2$ とした。本実験における試験体一覧を表-2に示す。ここに $\beta = 0$ の場合は $\beta = 0.6$ とした $\pm 0.6 \alpha N_0 / \sqrt{2}$ の荷重振幅を用いている。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ロードセルによって行った。

表-2 試験体一覧

| $e/R$   | 0.0                | 0.5                | 1.0           |
|---------|--------------------|--------------------|---------------|
| $\beta$ | 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 | 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 | 0.4, 0.5, 0.6 |
|         | 0 (支管導入軸力のみ)       | 0 (支管導入軸力のみ)       | 0 (支管導入軸力のみ)  |

破壊状況および応力分布性状を把握するため、ガセットプレート端部主管のホットスポット(I, J)に2軸ひずみゲージを、主管管周(A~H)に単軸ゲージを貼付して垂直ひずみの測定を行った。

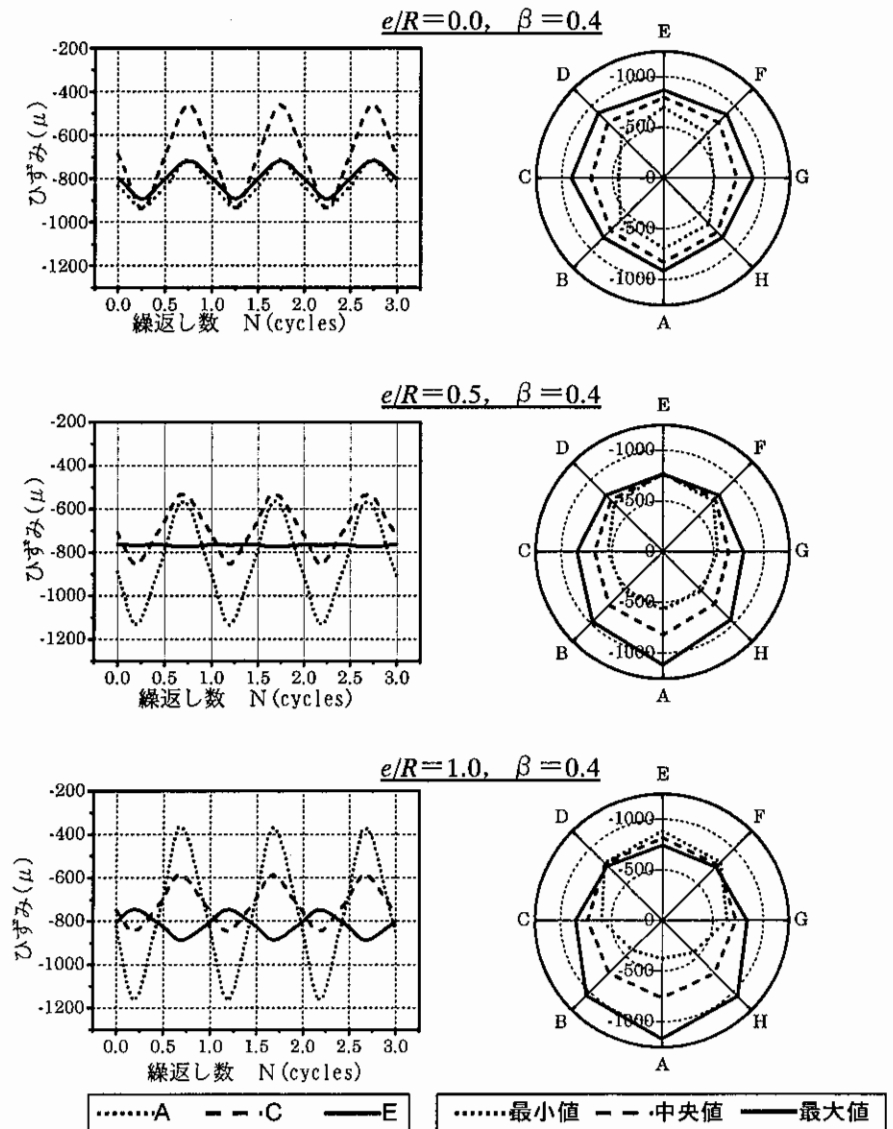
荷重および垂直ひずみの計測は、50Hzで全測定データ同時収録が可能な高速データロガーにより、1分ごとに9秒間の測定を実験終了まで行った。

### 3. 実験結果

#### 3.1 主管材軸方向ひずみ性状

図-3に $\beta = 0.4$ における主管材軸方向ひずみ状況を、偏心無し、内偏心0.5・1.0について示す。これは初期段階(1000回時)におけるA・C・E点のひずみ波形と荷重振幅の最大値・最小値および中央値における主管断面ひずみ分布性状である。

ひずみ波形は、偏心率が偏心無しから内偏心1.0へと増すことにより、ガセットプレート取付け側のひずみであるA点においてひずみ量の増大が見られる。またガセットプレートと逆側のE点においては、内偏心0.5でほぼ一定のひずみとなり、偏心無しと内偏心1.0ではひずみの変動量は同等であるが、位相が逆転している。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



(a) ひずみ波形

(b) 垂直ひずみ分布性状

図-3 主管材軸方向初期ひずみ状況

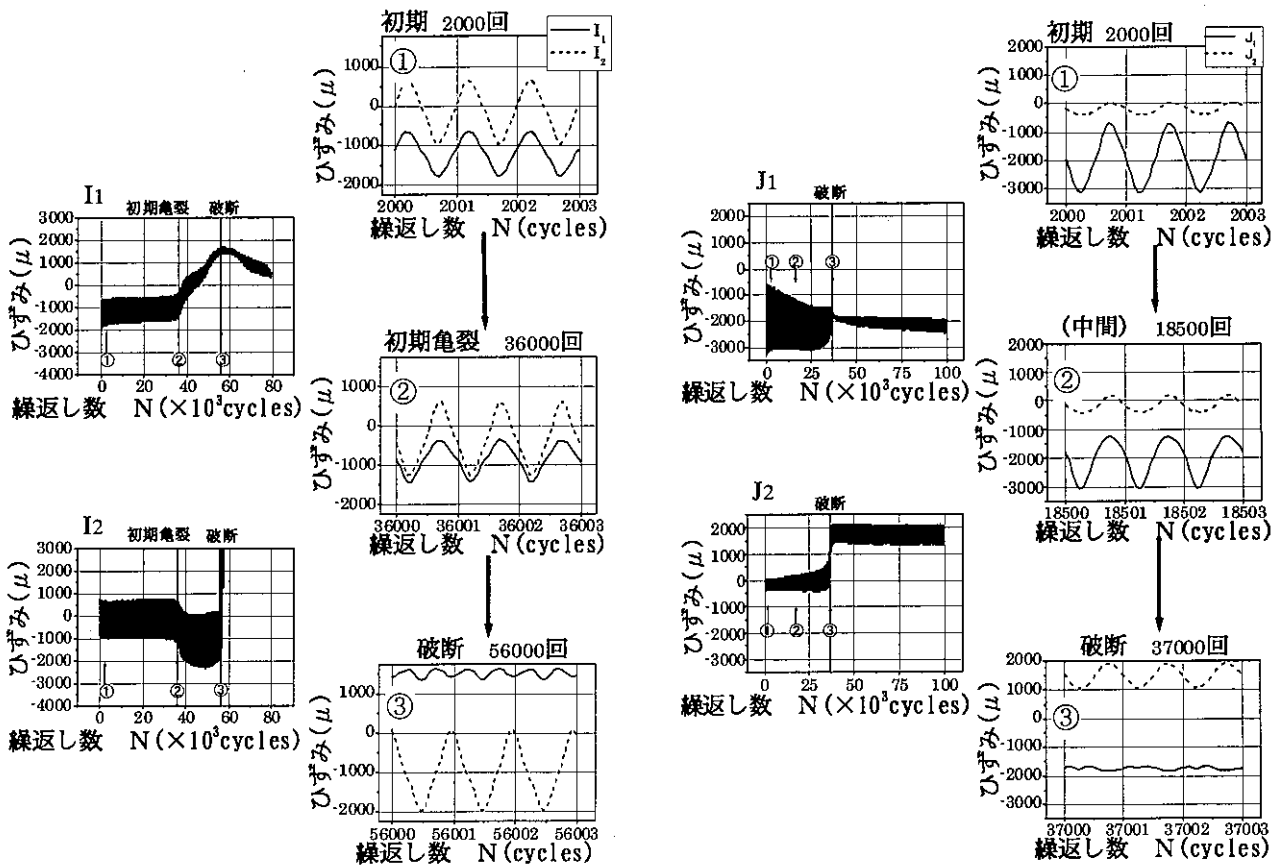
合を用いることで主管断面内に発生する付加モーメントの影響によるものである。この影響は、主管断面ひずみ分布性状においても確認することができ、付加モーメントが発生しない偏心無しでは、ほぼ同心円状にひずみ分布が発生しているのに対し、内偏心ではガセットプレート取付け側のひずみの変動が大きく、逆側のひずみの変動は偏心無しより小さくなっている。なお上記の傾向は  $\beta = 0.5$  および  $0.6$  においても同様となっている。

### 3.2 ホットスポットひずみ

図-4(a)・(b)に、ホットスポットひずみと繰返し回数の関係を試験体が破壊した  $\beta = 0.5$  の偏心無しと内偏心 1.0 について示す。各図において左側のグラフがホットスポットにおける載荷開始から終了までの全ひずみ波形で、右側に示すグラフは全波形中の①～③の部分における拡大のひずみ波形である。また、図-2にあるように、I 点は主管自由端側の、J 点は反力側のガセットプレート近傍主管における測定点を示し、添え字の 1 は材軸方向を、2 は管周方向の垂直ひずみを示す。ここに偏心無しでは、I 点側において、内偏心 1.0 では J 点側において破断およびその後の亀裂の進展が始めに起こっているため、その部位におけるひずみ波形を示している。

図中③で示す破断時は、偏心無しおよび内偏心 1.0 共に、ホットスポットひずみの変化により明確で、これは目視による繰返し数とほぼ一致している。また破断が起こることにより、ホットスポットの応力が解放されるため、特に材軸方向ひずみの振幅が著しく小さくなっている。

初期亀裂の発生は、偏心無しにおいては材軸方向および管周方向ひずみの変化により判断ができるが、内偏心 1.0 では、明確な変化が見られないため断定はすることはできなかった。しかし、偏心無しでは初期亀裂発生までは安定した波形を示すのに対し、内偏心 1.0 では初期段階より材軸方向ひずみの振幅が減少していることから、早期に亀裂が発生したものと思われる。また偏心無しと内偏心 1.0 における初期のひずみ振幅は、材軸方向は内偏心が、管周方向は偏心無しが大きくなっている。このことから初



(a)  $e/R=0.0, \beta=0.5$

(b)  $e/R=1.0, \beta=0.5$

図-4 ホットスポットひずみ-繰返し回数関係

期亀裂および破断の発生に関しては、材軸方向ひずみの変動が影響しているものと考えられる。

### 3.3 破壊性状および疲労寿命

試験体の破壊は、偏心無しおよび内偏心 1.0 で  $\beta$  が 0.5 以上で起こり、内偏心 0.5 では何れの場合においても亀裂の発生は見られなかった。

破壊性状は写真-1 に示す偏心無しでは、ガセットプレート端部から亀裂が発生し、ガセットプレート取付けのための溶接 HAZ 部に沿って、試験体中央へと進展していった。写真-2 の内偏心 1.0 ではガセットプレート端部で亀裂が発生したことは同様であるが、その後亀裂は管周方向へと進展していった。これはガセットプレートが取り付けられている管壁に作用する応力が、偏心無しでは曲げおよびせん断力が作用するのに対し、内偏心 1.0 では、図-1 に示すようにガセットプレート長さも短く、支管軸力の作用点が管壁上にあるため、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に管周方向に亀裂が進展したものと考えられる。これらに対して、何れの場合においても亀裂の発生が見られなかった内偏心 0.5 は、ガセットプレート長さが偏心無しよりも短いため、管壁に作用する曲げ応力が小さく、また曲げとせん断のバランスが取れていたと思われる。

本報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回数と共に表-3 に示す。疲労寿命は、 $\beta$  の増加に伴い低下している。また偏心率による疲労寿命への影響は、内偏心 1.0 が最も短くなっている。また支管導入軸力のみを載荷した場合には、偏心無しでは主管導入軸力を載荷した場合より疲労寿命が長くなっているが、内偏心 1.0 では逆転している。これらは内偏心 1.0 における破壊性状の項で述べた卓越したせん断力の影響によるものと思われる。

#### 4.まとめ

本低サイクル疲労実験より、偏心接合による主管の応力分布性状ならびに破壊性状を明らかにすることができた。また内偏心 0.5 において、10 万回の繰返し載荷では破壊が起こらなかったことから、疲労寿命に関して最も有効な手法であると考えられる。

今後は疲労設計式の提案のため、より多くの実験を行うと共に、経年構造物としての残存強度の評価にあたり、疲労実験を行った試験体を用いて、静的載荷実験により破壊時の耐力についてバーজন材との比較検討を行っていく予定である。

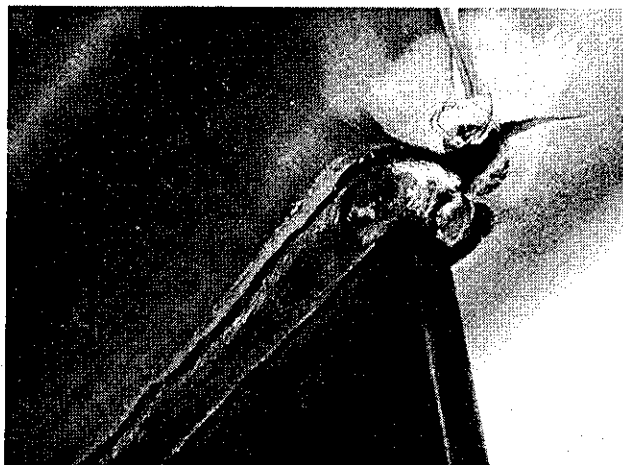


写真-1 偏心無しにおける破壊性状

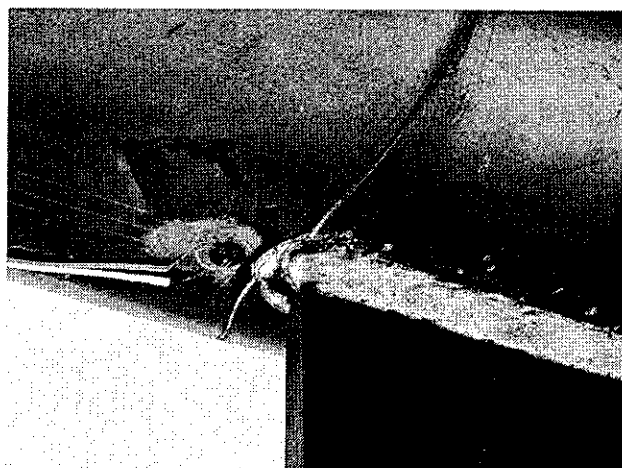


写真-2 内偏心 1.0 における破壊性状

表-3 初期亀裂回数および疲労寿命

| $e/R$ | $\beta$   | 初期亀裂(回) | 疲労寿命(回) |
|-------|-----------|---------|---------|
| 0.0   | 0.3, 0.4  | 未破壊     |         |
|       | 0.5       | 36000   | 55980   |
|       | 0.6       | 9500    | 13000   |
|       | 0 (主管軸力無) | 21500   | 27500   |
| 0.5   | 0.3~0.6   | 未破壊     |         |
|       | 0 (主管軸力無) | 未破壊     |         |
| 1.0   | 0.4       | 未破壊     |         |
|       | 0.5       | —       | 36500   |
|       | 0.6       | —       | 7000    |
|       | 0 (主管軸力無) | —       | 3100    |