

偏心を有する鋼管構造の応力分布性状

日大生産工（院）○市川武良

日大生産工

小松 博

日大生産工

福島暁男

1. はじめに

送電鉄塔などの大型鋼管トラス構造物を対象とした鋼管構造の偏心接合において、前報¹⁾ではその疲労特性を検証するため、疲労実験を行った。この結果、疲労強度は内偏心 0.5 が偏心のない場合よりも高いことが明らかとなった。これは接合部近傍および主管に作用する応力性状に起因するもので、実験¹⁾より得られたひずみ分布性状により確認された。しかし実験¹⁾におけるひずみ分布性状は局所的なものであるため、構造物全体における応力性状の把握が必要となる。

よって本報告では有限要素法解析により、連続体としてのひずみ分布性状と応力伝達機構を解明するとともに、実験¹⁾との対比により、その妥当性を検証する。

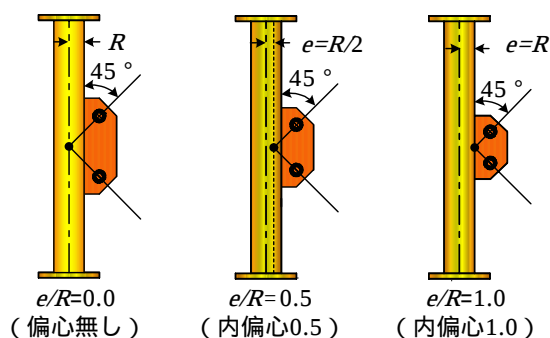


図 - 1 接合部詳細

2. 解析モデル

有限要素法解析は、汎用非線形構造解析プログラム MARC を使用する。解析モデルの形状は、実験¹⁾に用いた試験体（ $\phi 139.8 \times 3.5$ （STK400））と同様とし、ガセットプレートは長方形として置換している。使用する要素は、

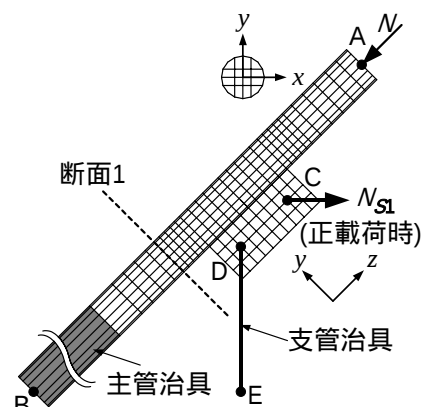


図 - 2 解析モデル形状および要素分割

主管およびガセットプレートに 4 接点四辺形厚肉シェル要素を用い、要素分割は図 - 2 に示すように、主管の円周方向を 16 等分に、管軸方向については接合部近傍を細かく分割している。また主管および支管端部に設けた治具のモデル化は、主管端部では、主管を延長した形で 4 接点四辺形厚肉シェル要素を、反力側支管は、3 次元薄肉閉断面はり要素を用い、共に剛体としている。

3. 解析条件

解析条件は von Mises の降伏条件を使用し、応力 - ひずみ関係は Bi - Linear、弾性係数を 20500 kN/cm^2 、ひずみ硬化域の接線係数は弾性係数の $1/100$ 、ポアソン比を 0.3 とした。また降伏応力度は文献¹⁾の引張試験の結果を用い 361.0 N/mm^2 とした。構成則は、初期の硬化に等方硬化を使用し、塑性ひずみの発生とともに移動硬化となる混合硬化則を用いた。境界条件を設定した節点ならびに加力を行う節点を図 - 2 に●として示す。境界条件は、主管の端部 B 点ならびに支管治具端部の E 点を x 軸周りの回

Stress Distribution Properties of Tubular Steel Structure with Eccentric Joints

Takeyoshi ICHIKAWA, Hiroshi KOMATSU and Akio FUKUSHIMA

転のみ自由としたピン支持、ガセットプレート上の D 点を $y \cdot z$ 軸方向の移動および x 軸周りの回転のみ自由としたピン節点とする。解析モデルへの加力は、図 - 2 に示すような載荷状況で、主管自由端側端部 A 点の z 軸上に主管導入軸力として集中荷重 N を、ガセットプレート内の C 点に支管導入軸力として集中荷重 N_{s1} を作用させる。なお、各軸力の大きさは、支管軸力比(α)を 0.2、主管軸力比(β)を 0.6 とした場合について取り扱うものとし、 $N = 299.4\text{kN}$ 、 $N_{s1} = 42.34\text{kN}$ とした。また N_{s1} の載荷方向は、 N_{s1} が引張力の時を正方向(正載荷時)、圧縮力の時を負方向(負載荷時)とする。

4. 接合部近傍の応力性状

図 - 3 に接合部近傍の正載荷時における平均垂直応力分布性状を、主管に軸力を導入しない場合と導入した場合について示す。ここで図中、ガセットプレート左側のホットスポットを J 点、右側のホットスポットを I 点とし、実験¹⁾におけるホットスポットと対応させる。

表 - 1 に実験¹⁾におけるホットスポットの垂直ひずみを正載荷時について示す。なお「0」

と記したものは、そのひずみ量が非常に小さいと判断されたものである。

主管に軸力が導入されない場合では、有限要素法解析において正載荷時には偏心無しおよび内偏心 0.5 では、I 点で引張応力、J 点で圧縮応力が作用している。ただし内偏心 0.5 における J 点での圧縮応力は 0 に近いものである。これに対し、内偏心 1.0 では J 点で逆の引張応力が作用し I 点はほぼ 0 となっている。偏心無しおよび内偏心 1.0 では、実験におけるホットスポットのひずみ性状と対応させると、I 点・J 点共に一致している。内偏心 0.5 では、I 点是对应しているが、J 点における実験結果の垂直ひずみが、管軸方向で引張、管周方向で圧縮となっている。また管軸方向・管周方向共にそのひず

表 - 1 正載荷時ホットスポットひずみの実験結果

e/R	I 点		J 点	
	管軸方向	管周方向	管軸方向	管周方向
0.0	引張	引張	圧縮	圧縮
0.5	引張	引張	引張	圧縮
1.0	0	0	引張	0

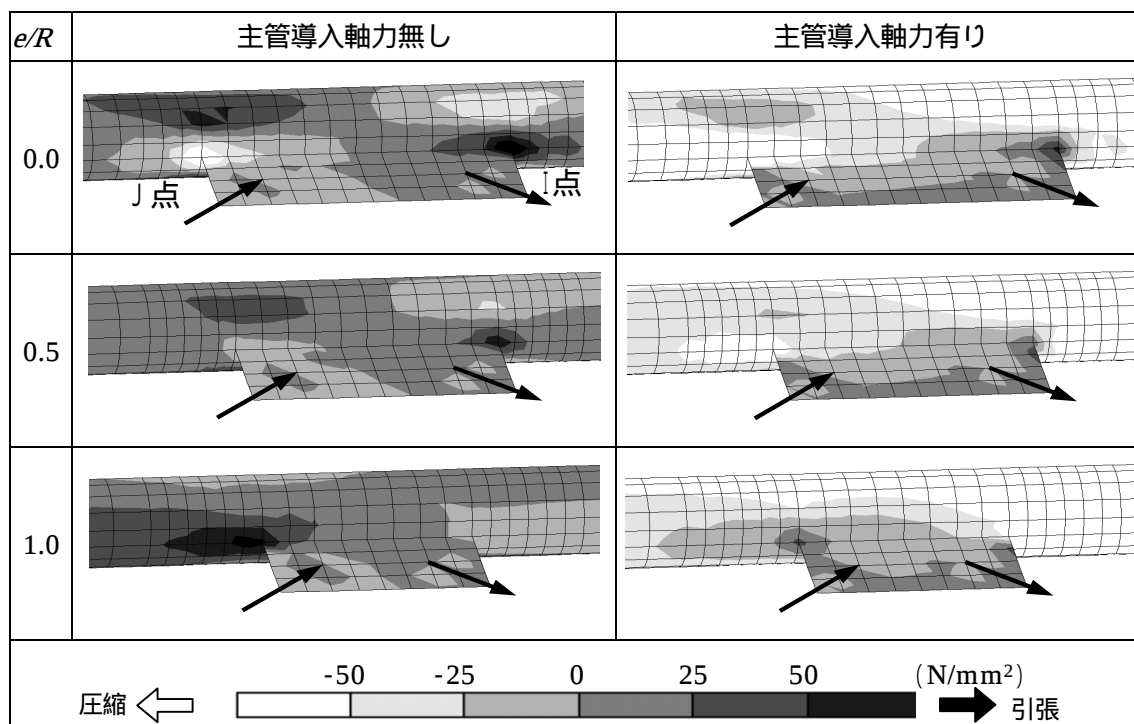


図 - 3 接合部近傍の応力分布性状

み量はほぼ同等であることから、有限要素法の平均垂直応力に換算すると 0 に近い値となる。よって有限要素法においても 0 に近い引張応力が作用することから、実験結果と解析結果は対応している。

主管に軸力を導入しない場合の各偏心率における有限要素法の平均垂直応力の大きさは、偏心無しではガセットプレート両端部の主管において応力集中が起こっている。これに対し内偏心 0.5 では、前述のように J 点においては応力が 0 に近く、I 点では多少応力集中が見られるが、偏心無しよりもその範囲は小さくなっている。また偏心無し・内偏心 0.5 共に、応力集中は J 点よりも I 点の方が大きいことから、実験¹⁾において破断が I 点側から発生したことが検証された。

主管に軸力を導入した場合には導入していない場合に比べ、当然圧縮応力を受ける範囲が広が

り、ホットスポットにおいては引張応力が減少している。破断は部材が引っ張られることにより発生するため、引張応力の減少により主管軸力を導入した場合に、実験¹⁾における破断時繰返し数が増加したのはこのためである。

5. 主管ひずみ分布と変形状

実験結果と有限要素法解析結果の比較のため、図 - 4 に主管断面 1 における管軸方向垂直ひずみ分布性状を、主管に導入軸力がある場合とない場合について示す。図中、実線は N_{s1} が最大負荷荷時における垂直ひずみで、点線は最大正載荷時の垂直ひずみである。図より有限要素解析による結果は、実験結果¹⁾とひずみ分布性状が酷似し、ひずみ量も非常に近似したものとなっている。このことから有限要素解析による妥当性が示された。

図 - 5 に、主管に軸力を導入しない場合の有限要素法解析による管軸方向垂直ひずみの分布

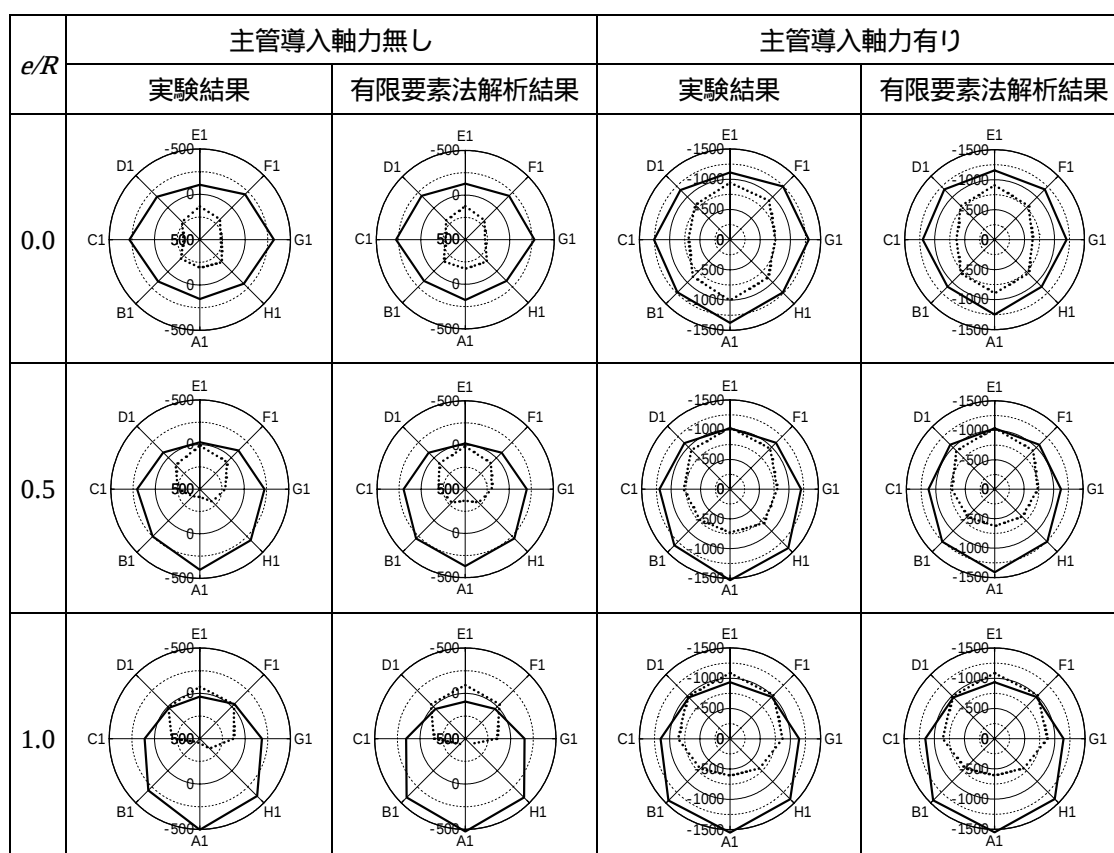


図 - 4 主管断面における管軸方向垂直ひずみ分布の有限要素法解析と実験結果

状況と変形状を示す。なお変形量は、解析結果を 50 倍に増幅し変形を誇張して示してある。正載・負荷荷重時ともに垂直ひずみは、主管断面において偏心無しでは全断面ほぼ均一なひずみ量となっている。内偏心 0.5 ではガセットプレート取り付け側と逆側の主管管壁においてひずみ量はほぼ 0 となり、ガセットプレート取り付け側の主管管壁で引張りひずみが最大となっている。内偏心 1.0 では正載荷重時においてガセットプレート取り付け側と逆側において圧縮ひずみが現れ、ガセットプレート取り付け側に移動するに従い引張りひずみが増大している。

主管の曲げ変形は、負荷荷重時において偏心無しはほとんど現れず、内偏心 0.5・1.0 では時計回りとなり変形量は内偏心 1.0 が最も大きくなっている。これは偏心接合により主管に作用する付加モーメントの影響によるものである。この付加モーメントは支管導入軸力の主管管軸方向合力が主管の図心に対し偏心した位置に作用するため発生するもので、偏心量に比例する。

主管断面の変形は、負荷荷重時において偏心無しでは I 点側で主管がつぶされ、J 点側で伸ば

されている。これに対し内偏心 0.5 の変形はより小さく、内偏心 1.0 ではほとんど見られない。この主管断面の変形は、ガセットプレート両端部主管管壁に作用する曲げモーメントの影響によるもので、偏心無しが最も大きくなるためである。

6. まとめ

有限要素法解析により弾性時における静的挙動の把握を行ったが、主管断面ならびにホットスポット近傍の応力分布性状は、実験結果¹⁾をよく追跡していることから、有限要素法解析を用いることにより、連続体としての接合部近傍の挙動ならびに主管断面の応力分布を把握することができた。また実験¹⁾では確認できなかった主管および接合部での変形状が明らかになった。

【参考文献】

- 1) 福島 暁男、小松 博、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 -、第 36 回日本大学生産工学部学術講演会 建築部会講演概要 (2003) pp.35 ~ 38.

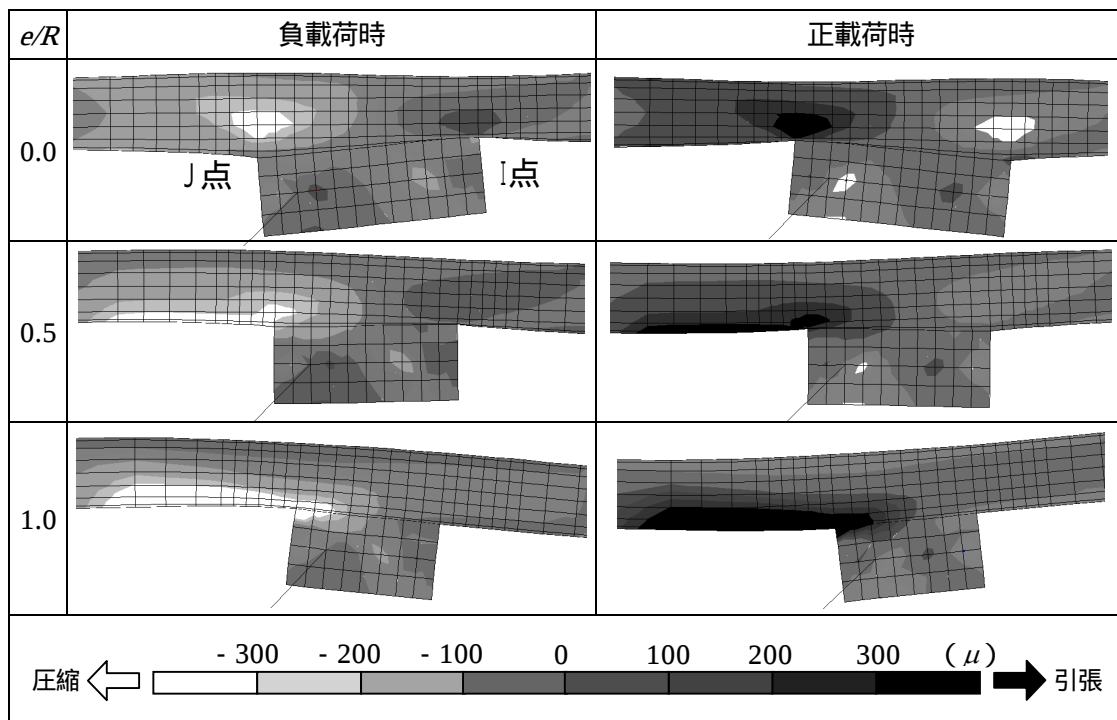


図 - 5 ひずみ分布と変形状