

プロジェクト 1

偏心接合を有する鋼管構造の構造特性 —有限要素解析と静的繰返し載荷実験—

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 15 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示された。本研究はこれら既往の研究の検証として、有限要素解析により主管および接合部周辺のひずみ分布性状と応力伝達機構を解明するとともに、静的な正負交番繰返し載荷実験を行い、弾塑性挙動の把握および耐力評価の検討を目的とした。

2.有限要素解析

2.1 解析モデル

有限要素解析は、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、疲労実験¹⁾に用いた試験体と同様とし、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、主管およびガセットプレートに 4 節点四辺形厚肉シェル要素を用い、要素分割は図-1 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 節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。

2.2 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 20500kN/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。また降伏応力度は疲労実験¹⁾の引張試験の結果を用いている。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-1 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-1 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

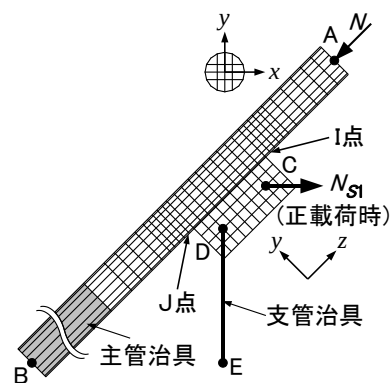


図-1 解析モデル形状および要素分割

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} の载荷方向は、 N_{S1} が引張力となる正方向(正载荷時)とする。なお、 β は主管降伏軸力に対する値であり、 α は主管導入軸力(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ある。

2.3 接合部近傍の応力分布性状

図-2 に接合部近傍の正载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-1 に示すように、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、疲

表-1 正载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

労実験 ①におけるホットスポットと対応させる。

表-1 に実験におけるホットスポットの垂直ひずみを正载荷時について示す。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。

主管導入軸力無しの場合では、有限要素解析において正载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、疲労実験 ①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、疲労実験 ①の結果と解析結果は対応している。

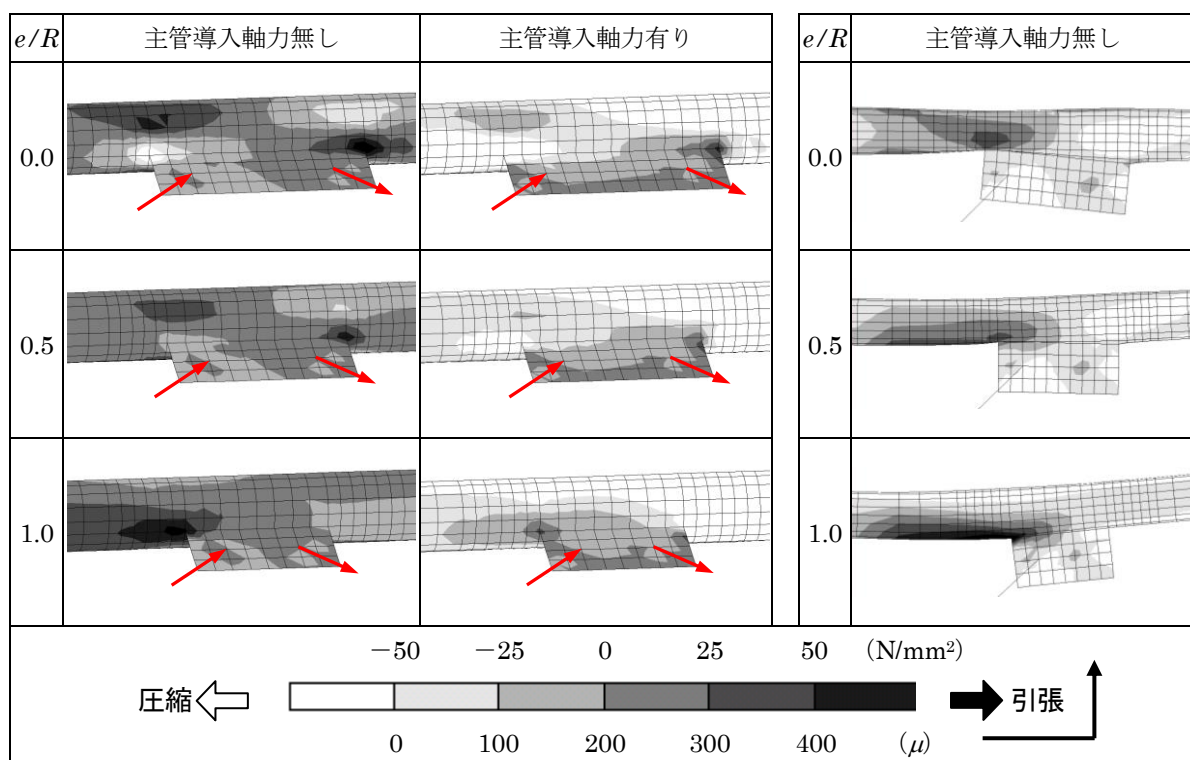


図-2 接合部近傍の応力分布性状

図-3 ひずみ分布と変形状

主管導入軸力無し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。また偏心無しおよび内偏心 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、破断が I 点側から発生したことが検証された。内偏心 1.0 では、I 点では応力がほぼ 0 となっているが、J 点では応力集中が見られ、その範囲も偏心無しよりも広範囲にわたっている。

主管導入軸力有りの場合には軸力無しの場合に比べ、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、前報の破断時繰り返し数が増加したのはこのためである。

2.4 主管のひずみ分布と変形状

図-3 に、主管導入軸力無しの有限要素解析による管軸方向垂直ひずみの分布状況と変形状を正載荷時について示す。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。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ひずみが最大となっている。内偏心 1.0 ではガセットプレート取り付け側と逆側において引張ひずみが現れ、ガセットプレート取り付け側に移動するに従い引張ひずみが増大している。この J 点側の引張ひずみが、疲労実験¹⁾で示した管周方向への亀裂進展の原因である。

主管の曲げ変形は、偏心無しはほとんど現れず、内偏心 0.5・1.0 では反時計回りとなり、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、偏心無しでは I 点側で主管が伸ばされ、J 点側でつぶれている。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。

3. 静的繰返し載荷実験

3.1 試験体および実験方法

静的繰返し載荷実験の試験体形状および実験装置は疲労実験¹⁾で用いたものと同一とした。なお使用鋼管のロットが違うため表-2 に主管の機械的性質を示す。実験因子は偏心率を偏心無し、内偏心 0.5, 1.0 の 3 種類とし、主管導入軸力の有無とした。

載荷は、500kN 油圧ジャッキにより主管に一定圧縮軸力(βN_0)を載荷した後、300kN サーボパルサ式アクチュエータで主管への静的な正負交番繰返し載荷を行った。なお支管への加力は、正載荷時を引張、負載荷時を圧縮とし、コンピューター制御にて支管導入軸力 ($\alpha\beta N_0/\sqrt{2}$) の α を同一荷重で 2 回載荷した後、0.1 ずつ荷重増分させた。

3.2 実験結果

主管導入軸力有りの場合の偏心無しおよび内偏心 0.5, 1.0 について、図-4 に主管耐力と載荷側支管変位量の履歴特性を示す。図より初期剛性は偏心率による影響はないが、変形能力は内偏心とすることにより低下する。これは主管導入軸力無しについても同様の傾向である。

写真-1 に破壊性状を示す。主管導入軸力が無い場合の偏心無しと内偏心 0.5 では、ガセットブ

表-2 静的繰返し載荷実験の機械的性質

主 管	降伏応力度 [N/mm ²]	引張強さ [N/mm ²]	伸び率 [%]
12B 号試験片	356.2	416.0	36.9

レート両端部近傍の主管管壁の破断あるいは局部座屈となったことから支管導入軸力がガセットプレートを通じて曲げ応力が作用するためだと考えられる。これに対し主管導入軸力が有る場合の偏心無し、内偏心 0.5 ではガセットプレート端部主管 (J 点側) での局部座屈となったことから、支管導入軸力によって作用する曲げ応力よりも圧縮力の方が支配的に作用するためであると考えられる。内偏心 1.0 は主管導入軸力の有無に関わらず、せん断力が卓越しているため、ガセットプレート端部 (J 点側) に局部座屈が生じた。また、破壊時の α は偏心率に関わらず、主管導入軸力無しでは 1.0 前後であり、主管導入軸力有りでは 0.5 前後であった。

図-5 に最大耐力-偏心率関係を示す。主管導入軸力無しでは内偏心 0.5 > 偏心無し > 内偏心 1.0 となり、主管導入軸力有りでは偏心無し > 内偏心 0.5 > 内偏心 1.0 となった。また、主管導入軸力の有無によって最大耐力に差が生じるのは、主管が曲げ応力に比べ、圧縮力に対する耐力が大きいためである。

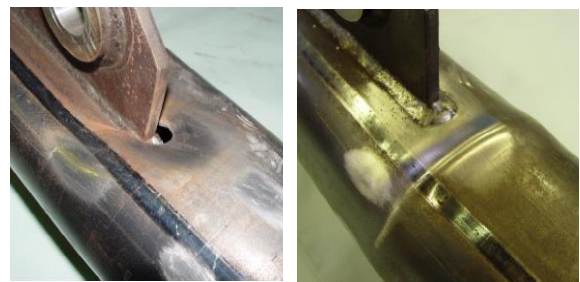
4.まとめ

有限要素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、実験結果をよく追跡していることから、有限要素解析を用いることにより、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。また疲労実験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となった。

静的繰返し载荷による実験結果では、主管軸力を導入することにより、主管に作用する圧縮力によって最大耐力は大きくなることが確認された。これは疲労実験¹⁾の結果と同様となっている。

5.参考文献

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 —, 日本大学生産工学部ハイテク・リサーチ・センター 平成 15 年度研究報告書, (2004), pp.1-25~1-28



$e/R=0.0$ (主管導入軸力無し) $e/R=1.0$ (主管導入軸力有り)
写真-1 静的繰返し载荷実験の破壊性状

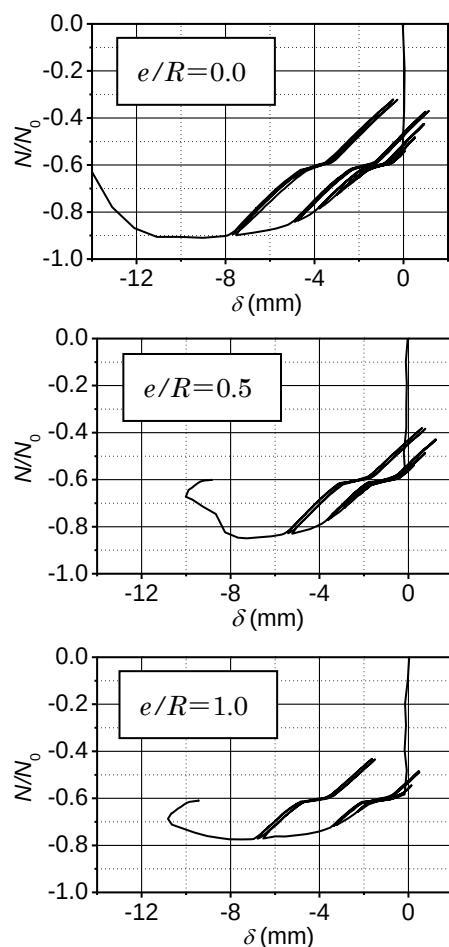


図-4 履歴特性 ($\beta=0.6$)

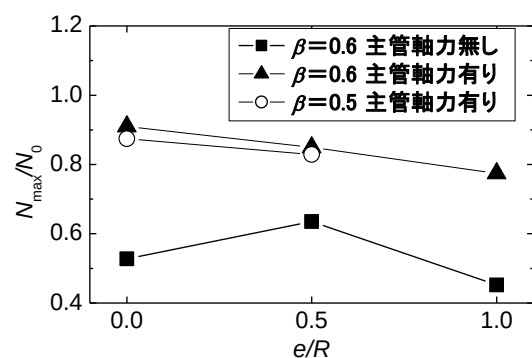


図-5 主管最大耐力-偏心率関係