

I-22

送電用鉄塔の3次元支点沈下解析

岩手大学工学部 学生員 ○伊藤真喜央
 岩手大学工学部 正 員 岩崎 正二
 岩手大学工学部 正 員 宮本 裕
 日本電炉（株） 藤村 和男

1. まえがき

昨年1月に発生した兵庫県南部地震では、建物ばかりでなく送電鉄塔や無線鉄塔のような塔状鋼構造物にも損壊をもたらした。鉄塔本体の被害の一例として地震動による直接的な損壊ではなく、軟弱地盤の斜面崩壊により生じた基礎の支点沈下（不同沈下）によるものが報告⁽¹⁾されている。そこで支点沈下が鉄塔に及ぼす影響を知るために、送電用鉄塔の支点沈下による2次元及び3次元骨組構造解析を行った。また、鉄塔部材接合部の半剛結特性をバネ要素を用いて表し、その半剛結特性が支点沈下による送電用鉄塔の応力挙動にどのような影響を与えるかを明らかにしようと試みた。

2. 解析方法

本解析に際しては接合部の剛性を考慮するためのバネ要素を組み込んだ立体ラーメンプログラムを用いた。また、鉄塔の接合部は半剛結接合であると考えられるので、以下に示す方法で接合部の剛性を考慮した。

2-1. 鉄塔斜材接合部のバネ要素によるモデル化

実際の鉄塔の接合部は支圧せん断型ボルト接合が用いられており、その接合部の状態は剛接合でもピン接合でもなく半剛結接合であると考えられる。本論文ではこのような状態を接合部の軸方向にバネ要素を導入することで考慮した。両端にバネ要素を有する要素の剛性方程式は、図-1に示すようなトラス要素の場合次のように求めることができる。

接合部をバネ要素で仮定したトラス要素の場合、節点の変位 u_i, u_j と部材端の変位 u_i', u_j' の間にはギャップが生じてつり合うことにより次式が成立する。

$$\begin{Bmatrix} X_i \\ X_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_i & 0 \\ 0 & K_j \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i - u_i' \\ u_j - u_j' \end{Bmatrix}$$

$$\text{すなわち } \{X\} = [K_s] (\{u\} - \{u'\}) \quad (1)$$

また、部材端力 X_i, X_j と部材端変位 u_i', u_j' の間の関係は次式で与えられる。

$$\begin{Bmatrix} X_i \\ X_j \end{Bmatrix} = \frac{EA}{l} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i' \\ u_j' \end{Bmatrix} \quad \text{あるいは} \quad \{X\} = [K_0] \{u'\} \quad (2)$$

式(1)より

$$\{u'\} = \{u\} - [K_s]^{-1} \{X\} \quad (3)$$

式(3)を式(2)に代入すると

$$\{X\} = ([E] + [K_0][K_s]^{-1})^{-1} [K_0] \{u\} \quad (4)$$

ここで、 $[E]$ は単位マトリックスを表す。

実際に計算を行整理すると、式(4)は最終的に次式のようにになる。なお、軸方向の他に回転バネ及びせん断バネを有する梁要素の場合も同様の定式化を行うことができ、式(4)で表すことが可能である。

$$\begin{Bmatrix} X_i \\ X_j \end{Bmatrix} = a \begin{bmatrix} \frac{EA}{l} & -\frac{EA}{l} \\ -\frac{EA}{l} & \frac{EA}{l} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ u_j \end{Bmatrix}, \quad a = \frac{l}{l + \frac{EA}{K_i} + \frac{EA}{K_j}} \quad (5)$$

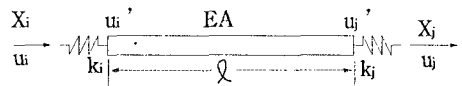


図-1 バネ要素を含むトラス要素

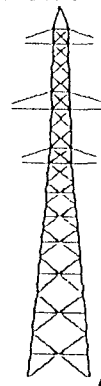


図-2 解析モデル

また、接合部は母材、ボルト、ガセット・プレート及びスプライス・プレートで構成されており、さらにこれらを組み合わせた多くの接合が使われているため、接合部のバネ定数を決めることは大変難しい。そこで、藤村⁽²⁾は母材と接合の剛性の比より式(6)で表される”半剛係数” k を提案し、実験と弾性理論式よりその値を求めた。それによると溶融亜鉛メッキが施された1面せん断型の接合部の半剛係数は約0.12であり、母材の剛性の12%程度しかないことがわかった。本報告の数値計算例ではバネ定数にこの値を採用した。

$$k = K_j / K_o \quad (6) \quad K_o: \text{母材の剛性}, K_j: \text{接合部の剛性}$$

2-2. 剛性マトリックス法によるラーメンの支点沈下解析

一般に剛性マトリックス法において、支点沈下のように与えられた変位による応力を求めるには以下のようにして計算する。要素剛性マトリックスを重ね合わせて全体剛性マトリックスを作った際、未知変位を u 、与えられた既知変位を a とし、外力が作用しない場合は式(7)により未知変位が求められる。

$$\begin{bmatrix} K_{AA} & K_{AB} \\ K_{BA} & K_{BB} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ a \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ X \end{Bmatrix} \quad \text{これより} \quad u = -K_{AA}^{-1} K_{AB} a \quad (7)$$

未知変位を求めた後は従来の剛性マトリックス法の計算によればよい。

3. 数値計算例と考察

本研究の3次元解析モデルとして578部材190節点の鉄塔を用いた。また、接合部の剛性を考慮した場合は1443部材1055節点でモデル化した。今回の報告では紙面の都合上2次元解析の結果のみ載せる。2次元解析モデルは116部材57節点、接合部の剛性を考慮した場合は200部材141節点でモデル化した。図-2は鉄塔の平面図でA点を支点変位させて解析を行った。

鉄塔の脚部支点変位による変位図を図-3に示す。また、図-3に示す3点で接合部の剛性を考慮しない場合と考慮した場合の軸方向応力について比較した結果を表-1に示す。

表-1より支点変位による応力は最下部材が最大で、上部になるに従って発生応力は小さくなっている。また、接合部の剛性を考慮した方が考慮しない場合よりも発生応力が小さい。この結果から支点変位の解析を行う場合は接合部の剛性の影響が大きいため、これを的確に考慮することが必要であると考えられる。

4. まとめ

鉄塔の接合部はボルト接合を用いており、その接合部は半剛結接合と考えられる。本解析ではそれらの接合条件を接合部にバネ要素を導入することで考慮した。

今後、本研究を架渉線の幾何学的非線形性を考慮した鉄塔-架渉線からなる連成系の支点沈下解析に拡張し、鉄塔単独での解析と比較し、支点沈下の際、鉄塔への架渉線の幾何学的非線形性の影響を明らかにしたい。

表-1 軸方向応力の比較

	接合部の剛性を考慮しない場合	接合部の剛性を考慮した場合
①	0.3091E+02	0.1511E+04
②	0.1524E+02	0.1217E+01
③	-0.1018E-04	-0.2060E-05

(単位 t o n)

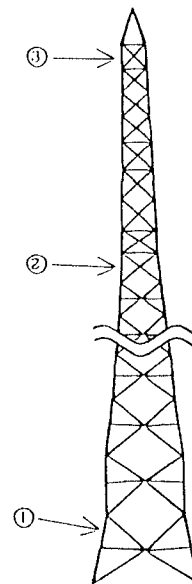


図-3 支点変位による変形図

【参考文献】

- (1) 藤村和男：阪神大震災を踏まえた送電鉄塔及び無線鉄塔の耐震診断に関する報告，デンロ技報，NO.21 July 1995
- (2) 金多深、藤村和男：ボルト接合部の剛性に関する実験的研究，デンロ技報，NO.2, January 1986