

送電用鉄塔における山形鋼支柱材の補強工法に関する研究
その2 数値解析による検証

正会員 ○神谷 勇成*1 同 高木 峻一*2
同 佐藤 篤司*3 同 薩川 恵一*4
同 中條 貴之*5

送電用鉄塔 支柱材 補強工法
有限要素法解析 補強効果

1. はじめに

本報では、載荷実験で実施した試験体を主な対象として有限要素法を用いた数値解析を行い、補強効果について検証することを目的とする。

2. 解析概要

図1に本研究で対象とする解析モデルを示す。(a)は無補強モデル(以下:Aモデル)、(b)は接合プレート付無補強モデル(以下:Bモデル)、(c)は山形鋼補強モデル(以下:Cモデル)である。Aモデルは、主材両端部にエンドプレートを添付してモデル化している。Bモデルは、ガセットプレート、接合プレート、支柱材となる山形鋼、ボルトの4種類のパートをそれぞれモデル化して配置する。Cモデルは、Bのモデルの4種類のパートに補強材となる山形鋼のパートを加えて、支柱材のフィレット部側に補強材を支柱材と同じ向きに重ね合わせて配置している。

解析で使用した要素は3次元ソリッド要素として、各パート間の相互作用は接触面法線方向の接触についてペナルティー法に従い、接触接線方向についてクーロンモデルを使用してペナルティー法によりすべり耐力を導入する。ボルト張力は pretention 機能¹⁾を利用して予張力を与えており、ボルトの導入軸力は95kNとしている。すべり係数は実験結果から逆算出して0.27としている。

解析モデルの寸法は、載荷実験と同一としている。解析パラメータは、支柱材の長さ1078mmから3454mmの範囲として、Cモデルの補強材のサイズは、載荷実験と同様に2種類としている。

荷重方法は、エンドプレート端平面を多点拘束して、支柱材の図心位置と同じ箇所に代表節点を設けて多点拘束した面を制御することとして、代表節点到鉛直方向に強制変形を与える。境界条件は山形鋼の弱軸方向の代表節点の回転を自由とし、その他の変位・回転は拘束している。

数値解析は、座屈固有値解析を実施して第1次モードの波形及び座屈荷重を算出し、弾塑性解析では弾性座屈解析にて曲げ座屈モードまたは曲げねじれ座屈モードの場合には部材長の1/1000、ねじれ座屈の場合には、ねじり角1/100の初期たわみを与えている。

図2に数値解析で使用した材料特性を示す。載荷実験で使用した材料試験結果から得られた応力度ひずみ

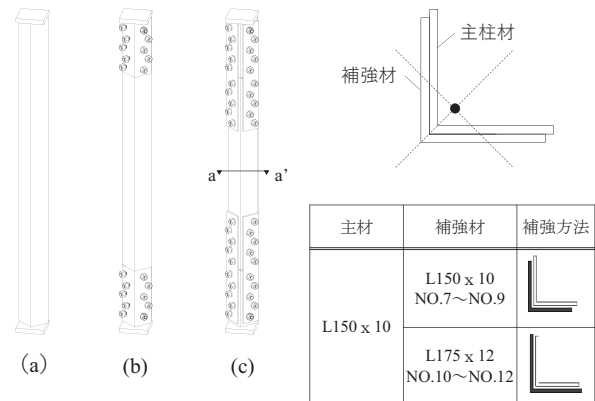


図1 解析モデル

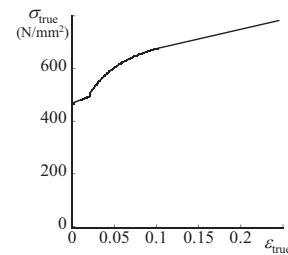


図2 材料モデル

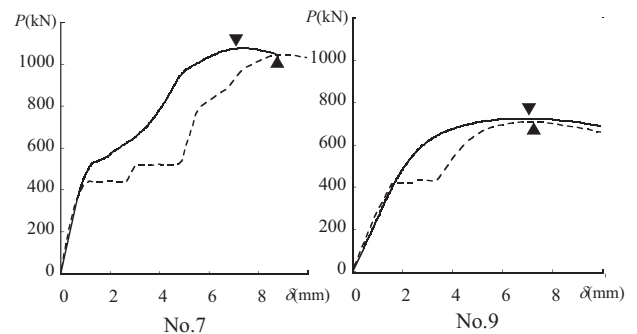


図3 解析結果と実験結果の比較

度関係を真応力度対数ひずみ度関係に変換して材料データとして入力している。

図3に数値解析から得られた荷重変形関係を示す。載荷実験では、明確なボルトのすべり現象が見られず、緩やかに荷重が増える一方で、数値解析は明確なすべり現象が見られる。初期剛性及び最大耐力について載荷結果と数値解析結果は良い対応を示している。

3. 解析結果

図4に座屈応力度-細長比関係を示す。縦軸は部材の座屈応力度、横軸は部材長から算出した細長比である。図中の点線は、Aモデルの座屈固有値解析結果による第1次モードの座屈応力度を示し、●印はAモデル、■印はBモデルの弾塑性解析結果による座屈応力度を示す。なお○、□印は載荷実験結果の座屈応力度を示す。座屈固有値解析にてAモデルの座屈モードを図4下に拡大して示す。同座屈モード図の実線は山形鋼のフィレット部、破線はフランジ端辺の変形状態を表している。 $\lambda=20\sim40$ の座屈モードはねじれ座屈、 $\lambda=40\sim65$ はねじれ座屈と曲げ座屈の複合形状、 $\lambda=65$ 以上は曲げ座屈が確認された。Bモデルの座屈応力度は、偏心の影響によりAモデルより低くなっている。

図5にCモデルのうち主柱材と補強材の断面が同一とした解析モデルを対象として、モデル全体に作用する軸力に対して主柱材及び補強材の負担荷重を軸変形の推移とともに示す。左図が $\lambda=40$ 、右図 $\lambda=120$ の解析結果を示す。同図中には、同一部材長さのBモデルの荷重状況も合わせて示す。主柱材及び補強材の負担荷重は、各部材がガセットプレートと接合するボルトの支圧力及び摩擦力を合計して算出している。 $\lambda=120$ では、Cモデルの主柱材の負担荷重はBモデルによりも大きく、主柱材と補強材の負担荷重はほぼ一緒である。一方、 $\lambda=40$ では、Cモデルの主柱材の負担荷重がBモデルのものに比べて低くなっている。これは、最終崩壊状態の違いによるものである。Bモデルの最終崩壊状態が曲げ座屈で決定されているのに対して、Cモデルは、主柱材中央部の上下ボルト間で柱材板要素に局部座屈が発生して主材の耐力が低下する。主材の耐力が低下した後、補強材が耐力を負担し始め、モデル全体の耐力は上昇するが、主材の最大耐力時以降の著しい耐力低下により、部材全体荷重は低下する。

図6に図5に加えてCモデルの主柱材の座屈応力度を示す。左図は補強材がL150×10、右図は補強材がL175×12である。 $\lambda=80,120$ のCモデルの座屈応力度は、補強材断面の違いによらず、Bモデルとほぼ同じ値となった。 $\lambda=40$ のものは、Bモデルとの最終崩壊状態が異なることにより、主柱材の局部座屈で耐力が決定されるため、Cモデルの座屈応力度はBモデルと比較して低い値となった。

4. まとめ

本報では、山形鋼の細長比の違いによる座屈形状と座屈耐力について明らかにした。また本補強方法による主柱材の負担荷重について検証した。

参考文献

1)ABAQUS6.19 Abaqus Analysis User's Manual

- *1 愛知工業大学 大学院生
- *2 株式会社巴コーポレーション
- *3 名古屋工業大学 准教授 博士(工学)
- *4 愛知工業大学 教授 博士(工学)
- *5 愛知工業大学 元学生

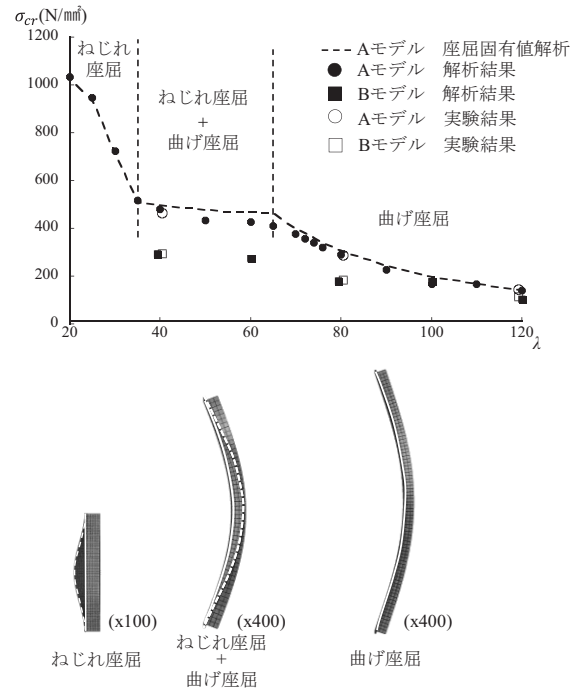


図4 座屈耐力-細長比関係

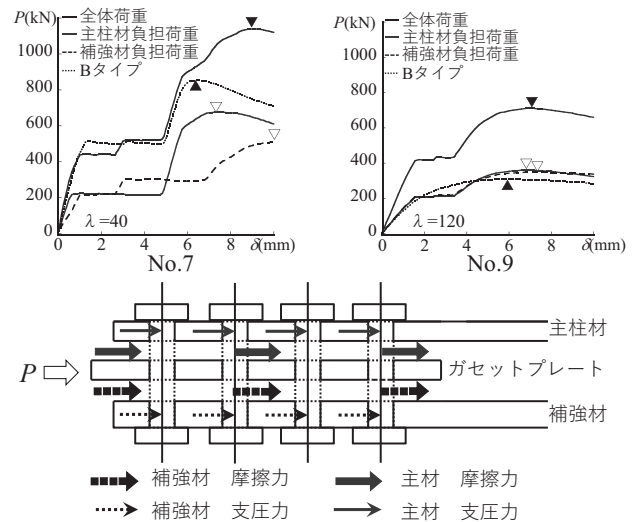


図5 各部材における荷重分布

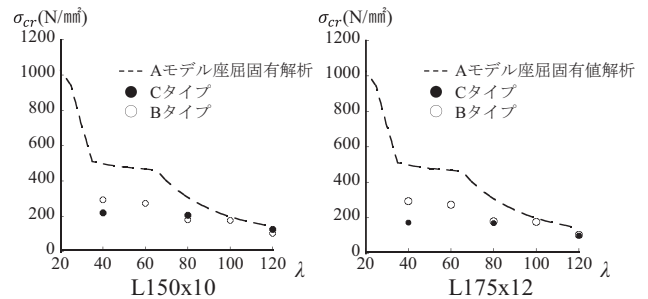


図6 主材の座屈耐力

- *1 Graduate Student, Aichi Institute of Technology
- *2 TOMOE Corporation
- *3 Associate Prof., Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.
- *4 Prof., Aichi Institute of Technology Dr. Eng
- *5 Former Student, Aichi Institute of Technology