

I - 48

複合非線形解析による送電用鉄塔の最大耐力算定に関する一考察

岩手大学工学部 正員 ○岩崎 正二, 出戸 秀明, 宮本 裕
 岩手大学工学部 鈴木 洋司, 熊澤千果生
 日本電炉(株) 鈴木 慎一

1. まえがき

近年の台風時の風荷重による送電用鉄塔の倒壊など、設計時に想定した以上の荷重が作用して崩壊に至る例が報告されている。送電用鉄塔のようなトラス構造の主応力材には、主に引張応力と圧縮応力が生じるが、トラス構造の耐力は、主応力材の座屈強度によって決まる場合が多い。このような座屈現象は、一般的には圧縮応力が作用したときの釣り合い状態に材料の降伏現象が加わった不安定現象によって生ずる。従って、送電用鉄塔の不安定現象による崩壊挙動を解析的に把握するため、材料の非線形性と有限な変位を考慮した複合非線形解析が必要である。このような、弾塑性大変形を考慮した複合非線形解析は、優れた汎用有限要素解析コードを利用するのが一般的であるが、増分計算の適切な条件設定等、経験者でも新しい解析ケースに対して数多くの試行錯誤が必要であり、実物大の解析を行うことが大変困難である。

本論文の目的は、実大鉄塔 2 次元モデルの静的複合非線形解析を行い、鉄塔の崩壊までの挙動や最大耐力を求めるとともに、著者等の提案した簡易型解析法の結果¹⁾と比較検討することにより、簡易法の適用限界を明らかにすることである。より簡易的な手法で最大耐力を予測できれば、設計上極めて有益である。

2. 解析手法

本論文で用いる簡易型平面骨組弾塑性解析プログラムは、弾性解析、弾性限界荷重の算出、弾塑性解析の 3 つの過程から成り立っており最終的には崩壊荷重を算出する。弾塑性解析では荷重増分法を用いて繰り返し計算を行い、降伏応力度や座屈応力度を越えた部材については、それぞれ弾性時の剛性マトリックスを、塑性時や座屈時の剛性マトリックスに変えて計算を行っている。

複合非線形解析の手法として、汎用有限要素法解析プログラム COSMOS による方法（解法(1)）と増分摂動法を適用した一般硬化塑性ヒンジ法（解法(2)）²⁾を採用した。また、鉄塔の崩壊挙動では、荷重が極大点を越えた後荷重が減少すると同時に変位も減少するような挙動を示す場合がある。COSMOS の増分解析法の中から、極大点を越えて安定に解析を進めるために、弧長増分法を使用した。

3. 解析結果と考察

図-1 に示すような形状と寸法を有する 12 部材 8 節点のダブルワーレン形式の 2 パネル平面フレームモデルの複合非線形解析を行った。使用鋼材は主柱材が $\phi 60.5 \times 2.3$ 、斜材が $\phi 27.2 \times 2.3$ STK41 鋼管とする。また計算に際して用いる歪硬化係数は 0.03 とした。増分摂動法を適用した一般化塑性ヒンジ法（解法(2)）における解析モデルは構造物に作用する荷重に対して圧縮材となる部材に中間節点を設けた。2 種類の複合非線形解析法を比較するために、

同様の载荷条件のもと解析を行った。図-2 は、汎用プログラム COSMOS（解法(1)）により得られた節点 7、8 の X 方向、Y 方向の荷重-変位図である。縦軸の荷重比は、作用荷重を簡易法において求めた弾性限界荷重の値で割って無次元化したものである。図-2 の節点 8 の X 方

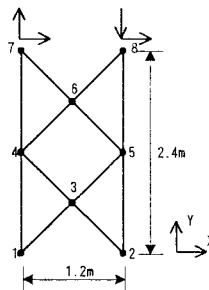


図-1 解析モデル図

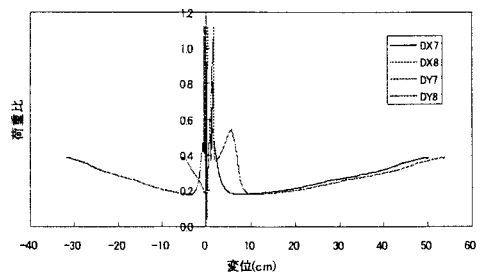


図-2 COSMOSの解析結果

向の荷重－変位曲線は、最初直線的に最大耐力まで上昇し、以下斜材の座屈により急激に低下した後再び耐力は上昇と下降を繰り返し崩壊した。図は省略するが解法(2)による荷重－変位曲線も、同様な傾向を示したが終局耐力は異なる値となった。すなわち、図-3は崩壊時の変形図を示すが、解法(1)では下部斜材の座屈で、解法(2)では中間斜材の座屈により崩壊しているようである。

実大鉄塔解析モデルは高さ75.4mで図-4に示すような形状を有する121部材59節点の平面骨組構造である。鉄塔斜材部を剛接合とした場合を考え、COSMOSと簡易法の2種類の解析を行った。この解析モデルの初期荷重として風速50m/s時の風荷重とし、計算に際して用いる歪硬化係数は0.03とした。中間節点①と鉄塔頂上部である節点②のX方向、Y方向の荷重－変位図をそれぞれ図-5、6に示す。横軸は変位、縦軸は作用している風荷重を示している。

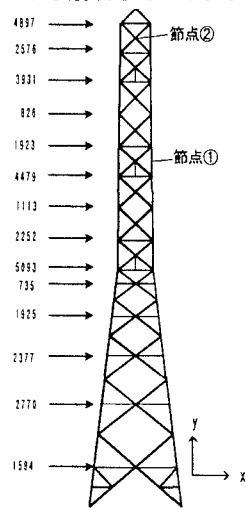


図-4 解析モデルと初期荷重(kgf)

また、構造物全体のCOSMOSと簡易法による崩壊までの変形図をそれぞれ図-7、8に示す。図-7、8から実大鉄塔モデルでは鉄塔上部にあるダブルワーレン部分の中央部が局部座屈を起こし、構造物の剛性は急激に低下し構造物が崩壊に至った。

図-6より簡易法における弾性限界荷重とCOSMOSにおける最大荷重は近い値となっており、そのときの節点変位もほぼ等しい値が求まった。本論文で取り上げた実大鉄塔モデルについては、簡易法における弾性限界荷重を最大耐力とみなしてもよいことが分かった。また、図-7、8から分かるように、弾性限界荷重後あるいは最大荷重後の構造物の荷重変形挙動については、簡易法と複合非線形解析法では、若干異なる変形挙動を示した。図-6に示すように実大鉄塔の座屈後の荷重－変形挙動については簡易法では適切に評価できないことが分かった。しかし、簡易法は、ある程度大まかではあっても実大鉄塔の最大耐力とそのときの変位を予測する上では、極めて有益な手法であることが分かった。

【参考文献】

- 1) 荒畑 智志, 岩崎 正二, 宮本 裕, 鈴木 慎一: 局部座屈を考慮した送電用鉄塔の簡易型弾塑性解析, 平成10年度土木学会東北支部技術研究会講演概要, 1999
- 2) 金多 潔, 脇山 広三, 甲津 功夫, 多田 元英, 藤村 和男, 安富 正住: ボルト接合部を考慮した複合非線形解析に関する研究, デンロ技法, No.14, JANUARY, 1986

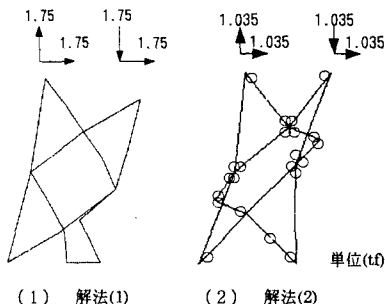


図-3 崩壊時の構造全体の変形図(塑性ヒンジ:○)

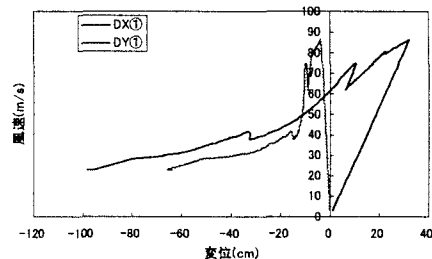


図-5 COSMOS 解析結果(節点①)

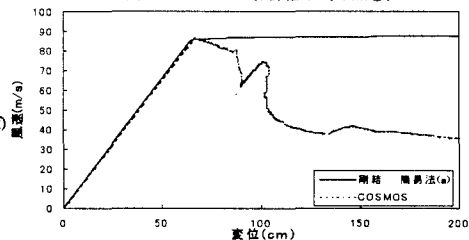


図-6 鉄塔頂上部の荷重－変位図(節点②、X方向)

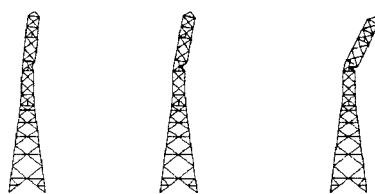


図-7 COSMOS の場合の構造物全体の崩壊過程

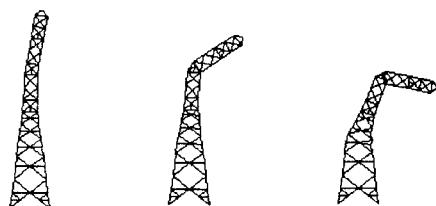


図-8 簡易法の場合の構造物全体の崩壊過程