

局部座屈を考慮した送電用鉄塔の簡易型弾塑性解析

岩手大学工学部 学生員 ○荒畑 智志
 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) 鈴木 慎一

1. まえがき

台風時の風荷重による送電用鉄塔の倒壊例が報告されている。送電用鉄塔の崩壊までの変形挙動を把握するためには、複雑な降伏条件式を用いた材料非線形解析と、大変形などの幾何学的非線形解析を同時に考慮した複合非線形解析が必要である。このような複合非線形解析は有限要素法を用いて行うのが一般的であるが、理論も複雑で計算に膨大な時間と容量をとるため、実物大の解析を行うことが大変困難である。

そこで本研究では鉄塔モデルの最大耐力とその時の変位を簡単に求める方法として、平面骨組構造物の部材の局部座屈を考慮した剛性マトリックス法による簡易型弾塑性解析プログラムを作成した。送電用鉄塔の1部である簡単な平面骨組モデルを対象に厳密な複合非線形解析¹⁾結果と提案した簡易法の解析結果を比較検討したので報告する。

2. 送電用鉄塔の簡易型平面骨組弾塑性解析

本研究で作成した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。

先に弾性解析を行ない、結果からすべての部材に対して降伏応力度に対する軸方向応力度の比を計算する。ただし圧縮部材に対しては、送電用設計基準（JEC-127）²⁾を参考に座屈応力度が降伏応力度より小さい場合には座屈応力度に対する圧縮応力度の比を計算した。全ての部材の中で最も小さい応力比を最小応力比とし、初期荷重に最小応力比をかけたものを弾性限界荷重とした。

弾塑性解析では荷重増分法を用いて繰り返し計算を行う。1回の荷重増分に伴う増分変位の計算に際しては、変形後の位置での釣り合いを取り扱う有限変位理論を用いた。繰り返し計算をしていくうちに、降伏応力度や座屈応力度を超えてしまった部材については、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なった。その際座屈部材の剛性評価法として、座屈部材は全く力を受け持たないとする簡易法(a)と、軸力に対してのみ抵抗しないとする簡易法(b)を採用し、比較検討した。

3. 解析モデル

2パネル立体モデルを図-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にモデル化し非線形解析を行った。表-1、表-2にそれぞれ節点座標と要素データを示す。また計算に際して用いる歪硬化係数は0.03とした。厳密解法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。

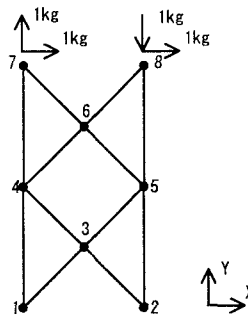


図-1 解析モデル図

表-1 節点座標 (cm)

	X座標	Y座標
1	-60.0	0.0
2	60.0	0.0
3	0.0	60.0
4	-60.0	120.0
5	60.0	120.0
6	0.0	180.0
7	-60.0	240.0
8	60.0	240.0

表-2 要素データ

部材	A (cm ²)	I (cm ⁴)	降伏応力 (kg/cm ²)
主柱材	4.847	20.453	4299
斜材	1.586	1.448	4166

4. 解析結果

簡易法と厳密解法ともに、同様の荷重条件のもと解析を行い、荷重節点である節点7、8のX方向、Y方向の荷重－変位図を図-2から図-4に示す。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。また、構造物全体の荷重を少しずつ増やしていった時の変形図について図-5に簡易法(a)、簡易法(b)の結果を表し、図-6に厳密解法の結果を示す。

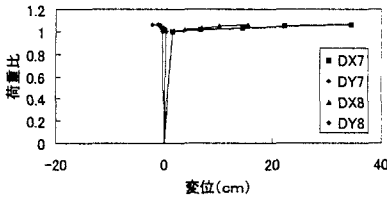


図-2 簡易法(a)の荷重－変位図

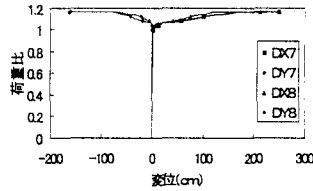


図-3 簡易法(b)の荷重－変位図

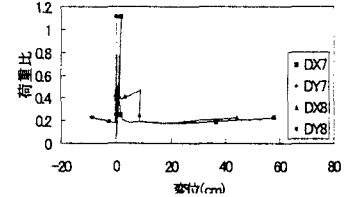


図-4 厳密解法の荷重－変位図

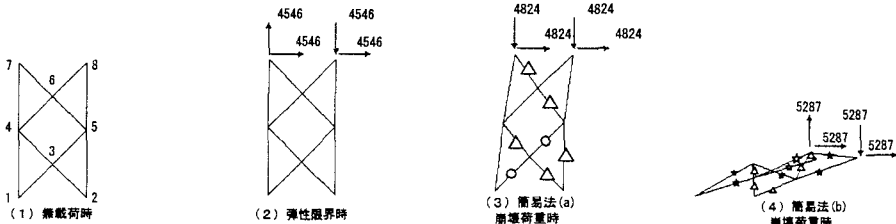


図-5 簡易法(a)、簡易法(b)の構造全体の変形図 (座屈:△ 塑性:○ 破断:☆)

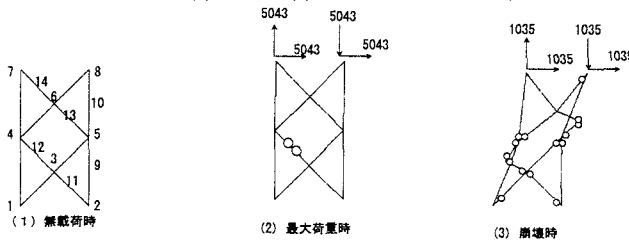


図-6 厳密解法の構造全体の変形図 (塑性ヒンジ:○)

図-2、3及び図-5から簡易法(a)と簡易法(b)は、最下節の斜材が局部座屈を起こすと構造物の剛性は急激に低下し構造物が崩壊した。それに対して図-4の厳密解法の荷重－変位曲線は、簡易法と同様に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て崩壊した。

図-2から図-4より簡易法における弾性限界荷重と厳密解法におけるの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めた。本研究で取り上げた解析モデルについては、簡易法における弾性限界荷重を最大耐力と見なしでもよいことがわかった。また図-5、6からわかるように、弾性限界荷重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、簡易法と厳密解法である複合非線形解析法では、異なる変形挙動を示した。骨組構造物の座屈後の荷重－変形挙動については簡易法では適切に評価することができなかった。

最後に実際の鉄塔は立体骨組構造物であることから、今後は本解析手法を平面骨組解析プログラムから立体骨組解析プログラムに拡張し、架渉線と送電用鉄塔からなる連成系のプログラムに拡張していきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 多田 元英：応力制限機構を挿入した2層立体トラスの載荷能力に関する研究，日本建築学会構造系論文報告集，No.433，March，1992
- 2) 電気学会電気規格調査会，天野 良男 編著：JEC-127 送電用支持物設計基準，株式会社 電気書院