

部材の消失が送電鉄塔の耐荷力特性に及ぼす影響に関する研究

日立造船(株) (研究当時大阪市立大学)正会員
九州電技開発株式会社

○畠中 彬
尾崎利行

大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 松村政秀
大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 山口隆司
大阪市立大学名誉教授 正会員 北田俊行

1. 背景および目的

送電鉄塔は、複数の山形鋼部材が組み合わされたトラス構造であり、軸方向圧縮力が常時作用する主部材には、比較的大きな断面の山型鋼が用いられている。一方、風荷重やケーブル張力による水平力作用時に軸方向力が作用する腹材は断面が小さく、軸方向力が偏心して作用する。そのため、これら山型鋼部材の座屈や腐食・損傷による部材耐力の低下が、鉄塔全体の耐荷力低下の要因となり得る。

本研究では、別途載荷実験が実施されている山形鋼部材を用いた送電鉄塔を対象として、1つの部材の荷重分担が全く期待できない状態、すなわち、部材の消失が送電鉄塔の耐荷力に及ぼす影響を部材感度 $S.I.$ ¹⁾により評価し、部材重要度の算定を試みている。

2. 対象鉄塔および解析モデル

対象とする送電鉄塔は、ASCE 10/97 for Design/Calculationに基づいて設計された、高さ 11 m の小型鉄塔である (図-2.1)。構成部材には、L40×40×3.0 mmからL90×90×6.0 mmまでの等辺山形鋼部材が用いられている。解析では、これらの山形鋼部材を、ファイバー要素の一種である箱型断面はり-柱要素³⁾を用いてモデル化し、格点部は剛結合としている。このモデル化の妥当性は、文献2)で実施されている載荷実験結果と比較し、検証する。なお、山形鋼部材単体の圧縮解析結果から、i)板の座屈の影響は最大荷重以降に現れること、ii)軸方向力の偏心作用が最大荷重に及ぼす影響が大きいことを確認している。



図-2.1 対象鉄塔

3. 部材感度を用いた送電鉄塔の耐荷力解析

3.1 解析手順

まず、非線形解析により、構造物(元の状態)の最大荷重 λ_0 を算出する。つぎに、ある部材が消失した構造物の最大荷重 λ_{damage} を算出する。おわりに部材消失に伴う最大荷重の低下率、すなわち、部材感度 $S.I.$ を算出する。したがって、 $S.I.$ の大きい部材ほど、部材消失が耐荷力に及ぼす影響が大きく、構造物の中で重要度が高い部材である。

$$\text{Sensitivity Index: } S.I. = \frac{\lambda_0 - \lambda_{damage}}{\lambda_0} \quad (3.1)$$

3.2 載荷方法

図-3.1に載荷方法²⁾を示す。Case1は両腕金先端の x , y , z 軸方向に、Case2は片方の腕金のみ、Case3は両腕金とも同じ方向に、Case4は両腕金で逆方向に、それぞれ荷重 P (=5000kgf)載荷する。

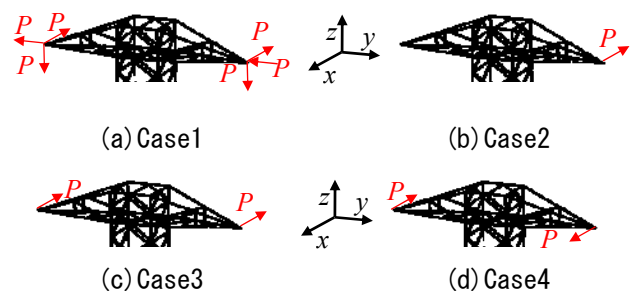


図-3.1 載荷方法 ($P=5,000\text{kgf}$)

図-3.2に載荷方法Case1の実験結果²⁾と解析結果の一例を示す。同図に示すように、解析により実験結果を精度よく再現できていることが確認できる。

3.3 消失部材の選定

以下の手順に従って、図-3.3に示す19個の部材を選定した。

- 1) 主部材 (F2B, F4), 斜材 (TT11, LT11, T12T, T12L, T13L, B11T, B11L), 脚部斜材 (P3L) に着目する。
- 2) 図-3.1に示した各載荷ケースで非線形解析を行い、最大荷重時における $N_{c\max}/N_y$, $N_{t\max}/N_y$ ($N_{c\max}$: 最大軸方向圧縮力, $N_{t\max}$: 最大軸方向引張力, N_y : 降伏軸力) が最大となる部材を抽出

キーワード 山形鋼部材, トラス構造, 耐荷力, 送電鉄塔

連絡先

〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻橋梁工学分野 TEL&FAX 06-6605-2765

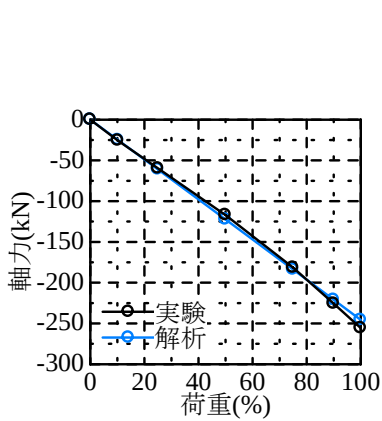


図-3.2 実験結果と解析結果との比較(Case1, F4(1))

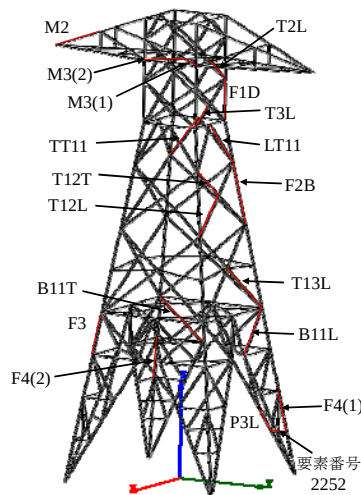


図-3.3 部材の選定

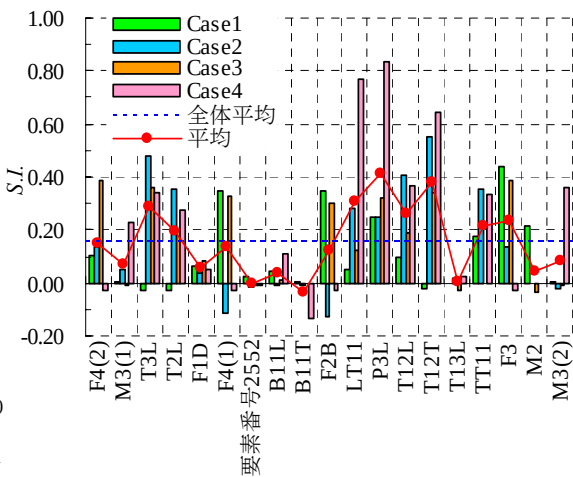


図-3.4 部材感度の一覧

する。

- 3) 2) で抽出した部材が圧縮力を受ける主部材である場合は、腹材への作用軸力の偏心作用を考慮して、 N_{cmax}/N_y が最大となる腹材を抽出する。
- 4) さらに、 M_{max}/M_y (M_{max} :最大曲げモーメント、 M_y :降伏曲げモーメント) が最大となる部材を抽出する。

3.4 解析結果

図-3.4に部材感度の一覧を示す。表-3.1に荷重ケースと $S.I.$ の最大値の関係を、表-3.2に消失部材の断面寸法と各荷重方法における $S.I.$ の最大値の関係を示す。

脚部主部材 P3L が消失する場合に最大値 0.42 となった。部材感度の全部材の平均値は 0.16 であり、荷重が各部材に分担されるため 1 部材の消失が必ずしも鉄塔全体の崩壊に直結するわけではない。また、 $S.I.$ は消失部材、荷重方法によって大きく変動するが、腕金に荷重が作用する荷重ケース (Case4)、すなわち、ケーブルの引張力によって塔体にねじりが作用する場合が最も不利であり、このときの部材消失に伴う耐荷力の低下率が最大約 84%である。一方、部材感度が負の値となる場合もある。これは、部材を消失させることにより荷重の伝達経路が変化し、結果的に耐荷力が上昇したためである。

また、消失させる部材断面の大きさと部材感度には明確な相関は認められなかったが、部材断面の大きい脚部主部材の消失により鉄塔全体が崩壊に至るモードよりは、鉄塔上部の斜材の消失により鉄塔上部で崩壊に至るモードが早期に発生しやすく、耐荷力の低下を招くことがわかった。例えば、 $S.I.$ の最大値が最も小さい部材 L45×45×3.0 mmでも荷重方法によっては部材消

失に伴う耐荷力の低下率が約 36%と大きく、部材断面の小さい腹材においても、十分な耐力を有している必要があると考えられる。

表-3.1 荷重方法と $S.I.$ (最大値) との関係

荷重方法	Case1	Case2	Case3	Case4
$S.I.(\text{Max})$	0.44	0.55	0.39	0.84

表-3.2 消失部材の断面と $S.I.$ (最大値) との関係

消失部材(mm)	90×90×6.0	65×65×5.0	50×50×5.0	45×45×5.0	45×45×3.0
$S.I.(\text{Max})$	0.44	0.77	0.84	0.48	0.36

4. 結論および今後の課題

実物大の送電鉄塔を対象にして、部材消失に伴う耐荷力低下率に基づき、送電鉄塔の耐荷力特性を評価した。その結果、ある一部材が消失した時の耐荷力の低下率は、着目部材や荷重方法によって大きく変動するが、部材感度 $S.I.$ により部材重要度の評価が可能であり、塔体にねじりが作用する場合が最も不利であることがわかった。また、本研究で対象とした送電鉄塔は、鉄塔高さが低く風荷重を考慮していないが、より大型の鉄塔を対象とする場合には、風向きなどを考慮したより現実的な荷重で検討する必要がある。

参考文献

- 1) 伊藤拓海, 大井謙一, 李正林: 鉛直荷重を受ける骨組構造物の冗長性に関わる感度解析, 日本建築学会構造系論文集, 第 593 号, pp.145-151, 2005.7.
- 2) CIGRÉ SC B2 Working Group WG-08: Influence of the Hyperstatic Modeling on Behavior of Transmission Line Lattice Structures, 2008.12.
- 3) 大阪市立大学大学院 工学研究科 都市系専攻 橋梁工学分野 JIP テクノサイエンス株式会社 システム技術研究所: EPASS/USSP version2.0 ユーザーズ・マニュアル, 2008.2.