送電鉄塔の片継脚設計の合理化

新たな設計手法の確立

Design rationalization for uneven legs that compose a transmission steel tower

Establishment of the new design technique

（基幹系統建設センター　技術G）

送電鉄塔の片継脚に対する新たな設計手法を確立した。
この手法は、現状では把握しきれていなかった長さの異なる各脚の荷重分担比を、簡便な手法で精度良く算定でき、かつ脚形状等による応力伝達の変化についても子細に把握できる。今後、この手法を設計に反映することで、鉄塔重量の軽減が図れ、より合理的な片継脚設計が可能となる。

(Technical Section, Transmission & Substation Construction office)

We established a new design methodology for supporting angle lattice structures of transmission steel towers. This simple methodology enables precise determination of conventionally incalculable weight distribution characteristics for every supporting structure of the tower (including uneven supports), provide full details of stress transfer in angle lattice towers. Applying this methodology should enable to reduce the tower weight, delivering more rational design of the supporting mesh structures.

1 研究の背景・目的

傾斜地に建設される鉄塔は、斜面に合わせた長さの異なる4脚（以下片継脚という）を有している（第1図）。従来この片継脚の設計は、静的トラス解析から求めた応力を基に、細長い脚については脚全体が大きく撓むことにより生じる付加応力によって脚全体が一斉に壊れる現象（全体座屈　第2図）を回避するよう主柱材と腹材の強度検討を行っている。

しかし実際の鉄塔は各脚の長さや部材剛性の組合せなどが複雑であるため、荷重分担比の不明確さなどに配慮し、裕度を割り増した部材設計となっている。そこで本研究では、鉄塔片継脚の各脚に生ずる応力を精度良く算定できる新たな設計手法を確立し、片継脚設計の合理化を図る。

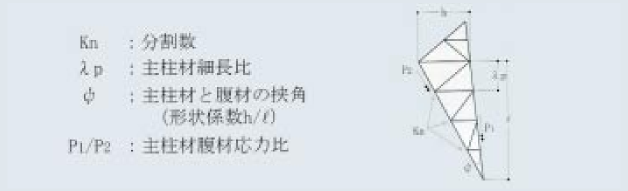
第1図　片継脚

第2図　全体座屈

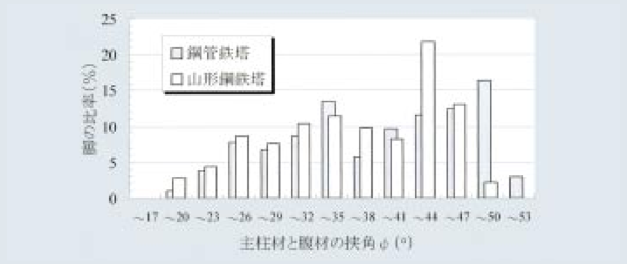
2 研究の概要

（1）片継脚の実態調査

現行の片継脚構造を基に、片継脚の変位挙動および耐力に影響をおよぼす因子を抽出し、後述する解析の検討範囲設定を目的として、実鉄塔に適用される片継脚因子の範囲について調査を行った。その因子は第3図に示す4因子である。調査は500kV佐久幹線の鋼管鉄塔46基、山形鋼鉄塔27基を対象に実施した。一例として主柱材と腹材の挟角φの調査結果を第4図に示す。



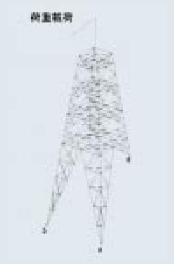
第3図　調査を行った片継脚の因子



第4図　挟角φの調査結果

（2）各脚の荷重分担比

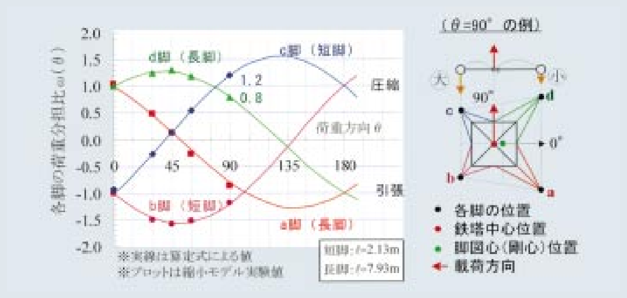
前項で調査した片継脚の実態を踏まえ、脚の長さおよび4脚の組合せを変化させた8モデル（第5図はその1例）の立体構造解析結果を基に、これまで簡易な手法では把握しきれなかった片継脚の荷重分担比について、精度良く算定できる設計手法を考案した。この設計手法の概要は以下の通りである。



第5図　モデル例

- 各脚地際部の平面座標から図心を求め、鉄塔の剛心と仮定し、各脚の反力をモーメントの釣合から算定する。（第6図右参照）
- 初期値となるθ=0°（線路方向）90°（線路直角方向）の荷重分担比から、荷重方向θを変数とした荷重分担式が作成でき、任意方向の荷重分担比を算定できる。
- 脚の長さの組合せから求めた上記荷重分担比は、立体構造解析結果と良く一致する。
- この手法は山形鋼鉄塔、鋼管鉄塔ともに適用できる。

上述の荷重分担式は$\omega(\theta)=\pm A\cdot\sin(\theta\pm\phi)$で表され、式中のA、φはθ=0°、90°の荷重分担比から求



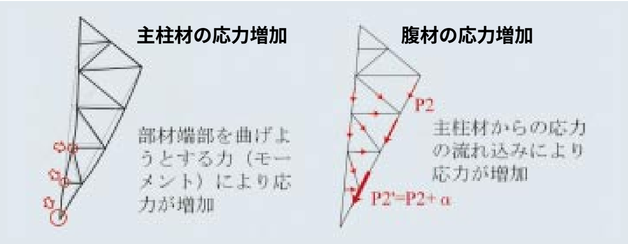
第6図　荷重分担算定値と実験結果の比較

まる値である。

第6図左に本研究で考案した手法による算定値と後述する縮小モデル試験（鋼管鉄塔）で測定した荷重分担比を示す。試験で得られた荷重分担比の最大値ωmaxならびに荷重方向毎の分担比ω(θ)は算定値と良く一致する。

(3) 脚形状等による応力増加の把握

片継脚の主柱材と腹材は、主に第7図に示す要因で静定トラス解析値に比べ部材応力が増加する。



第7図　各部材の応力増加の主要因

応力増加の把握に当たっては（1）で実施した調査結果を基に、実在する片継脚を包含したモデルケース（第1表）を設定し立体構造解析にて検討を行った。

第1表　モデルケース（鋼管鉄塔の例）

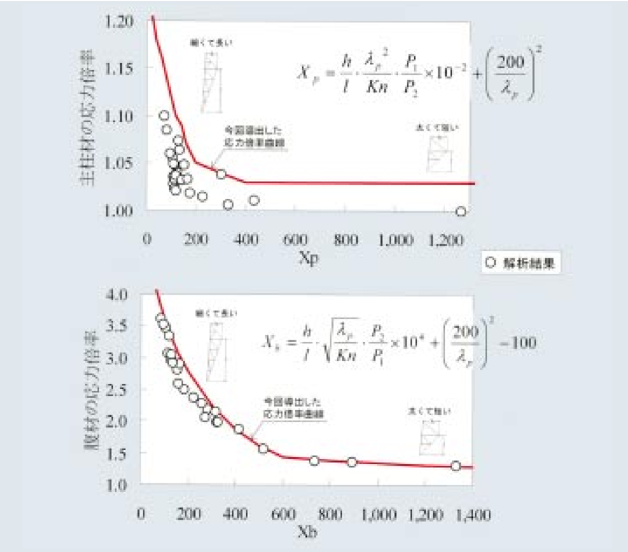
λp	h/ℓ → / P1/P2 ↓ Kn	0.25		0.3		0.5			1.0	
		3	4	3	4	2	3	4	1	3
20	20	○	○							
	35	○	○							
	50	○	○	○	○	○	○	○	○	○
30	50	○	○							
50	50	○	○	○	○	○	○	○	○	○

応力増加の検討に用いた片継脚因子は4種類と多く（第3図）、それらが相互に関わってくることから、評価指標Xp（主柱材）、Xb（腹材）を第8図の通り設定し、静的トラス解析値に対する応力倍率として求めるようにした。鋼管鉄塔を例に解析結果と今回導出した応力倍率曲線との比較を第8図に示す。

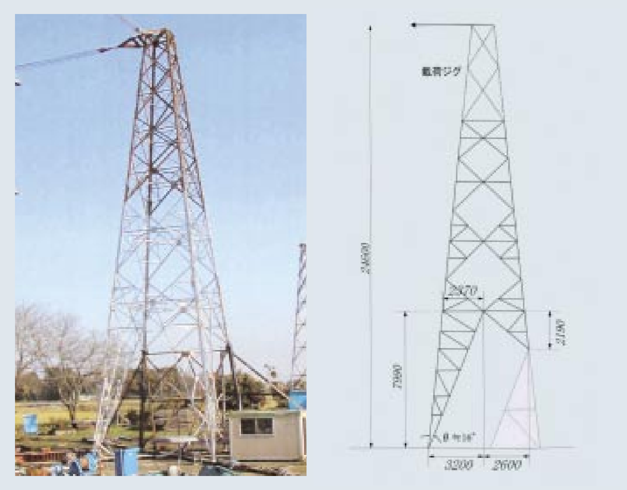
なお山形鋼鉄塔についても同評価指標Xp、Xbで同様に整理している。また、この応力倍率曲線で設計した片継脚は全体座屈を起こさないことを解析により確認している。

(4) 縮小モデル試験

上述の荷重分担算定手法および応力倍率曲線の妥当性検証を目的に1/3縮小モデル試験を実施した。試験体は鋼管鉄塔、山形鋼鉄塔、各1体である。山形鋼鉄塔の試験体写真と概要図を第9図に、また破壊試験結果を第2表に示す。



第8図　解析結果と応力倍率曲線の比較（鋼管鉄塔）



第9図　縮小モデル試験の概要図

第2表　破壊試験結果の比較

項　　目	鋼管鉄塔	山形鋼鉄塔
①試　験　結　果（最大耐力）	1.54P	1.56P
②新 設 計 手 法（慣　　用）	1.50P	1.50P
①／②	1.02	1.04

※1P：電技設計相当の荷重　※必要耐力は1.5P（突風時荷重を想定）

第2表に示す通り、新設計手法（慣用的手法）による設計値は、試験耐力値と誤差4%であり、この手法で片継脚を精度良く設計できることが検証できた。

3 研究成果

本設計手法の採用により、部材に生じる応力を精度良く把握できることから、より無駄のない部材設計が可能となる。本設計手法を用いた試設計結果では従来設計に比べ主柱材応力が4脚平均で約10%程度低減できる。これは500kV規模の鉄塔では鋼材重量約1t／基の軽減に相当する。また、この手法を用いることにより基礎に加わる荷重となる各脚地際部の鉛直・水平反力も精度良く算定できることから、基礎のコンパクト化も期待できる。

4 今後の展開

新たな設計法を実施設計に反映するため、合理的で簡便な片継脚設計仕様を作成しコストダウンを図る。また今回考案した新たな設計法は他の塔状構造物にも応用できることから、設計手法に関して現在特許を出願中である。

執筆者／山本哲弘
Yamamoto.Tetsuhiro@chuden.co.jp