令和元年台風15号による送電鉄塔倒壊被害に関する検討

1. はじめに 台風 15 号(FAXAI)が通過中の 2019 年 9 月 9 日の午前 2 時 55分,千葉県君津市長石において 66kV の木内線 78号鉄塔(高さ 45m), 79 号鉄塔(高さ 57m)が倒壊した. この送電鉄塔は, 1972 年に建設された 山形鋼を部材とするアングル鉄塔であり、断面積 610mm²の TACSR 単導体 電力線 18 本と断面積 70mm²の AC 架空地線 2 本の計 20 本の電線を支え る, 腕金において電線の張力を支える耐張鉄塔と呼ばれる形式である¹⁾. 図1に倒壊した送電鉄塔周辺の様子を示すが,北北西~南南東を軸とす る谷を跨ぐ長さ357mの送電線を支える78号鉄塔と79号鉄塔の2基が, ほぼ北北西方向(図中矢印方向)に倒壊する被害を受けた.著者は台風 15 号の被害調査の一環として、ドローンを使って本被害の現地調査を行っ たこともあり、風工学の見地からこの被害がどのように発生したのかに ついて検討する機会を得た.

鉄塔の倒壊方向や周辺の樹木の折損方向から、被害当時の風向は概ね 南南東であったものと推定され、送電線は尾根筋近くに建てられていた ことも考えると、周辺地形による増速効果が発生した可能性が高い. そこ で、本研究では、周辺地形の気流に対する影響を数値流体解析によって検 討し、さらに、その風速分布に基づいて風荷重を算定し、線形骨組構造解 図2 本解析に用いた地形モデル 析を実施した. ここでは, 一連の解析について紹介し, その結果得られた 鉄塔倒壊被害の発生プロセスについて述べる.

2. 気流に対する地形効果の検討 本研究では、地形の影響による現場 付近の風速分布を知ることを目的とするため,現場を中心とした半径 5km の範囲の地形を、国土地理院が提供する 10m 標高メッシュ²⁾により再現 し、地形の再現範囲の外周1kmの範囲において標高0mへと地表面を擦り

付けるようにした地形モデル(図2)を囲むように、東西12km×南北12km 図3 送電線鉛直面内風速比分布 ×高さ2kmの計算領域を設定し、これを水平方向に15mの等間隔メッシュ、鉛直方向は最小12mの等比級数メ ッシュにより 800×800×40 に分割した.解析は OpenFOAM³⁾により実施し、標準k-e乱流モデルを用いて定常 場を求めた.風向は風上側の流入境界によって変化させ、粗度長 0.1mの対数則に沿った風速分布を与えた. 解析した風向は、 倒壊方向に沿った南南東を基準に11.25°(32 方位) 間隔で、 南東(風向角θ = 135°) から南(θ = 180°)の5風向である.数値流体解析結果の一例として,図3に78号鉄塔位置の地上40mの高さにおける合 成風速に対する風速比の送電線鉛直面内の分布を示す. 図中のS = 0 m とS = 350 m 付近に描かれている黒線 は 78 号鉄塔および 79 号鉄塔を表している.紙面の都合上,他の風向の結果は省略するが,風速比分布は風向 によって大きく変化する結果が得られた.

3. 送電線の変形解析による腕金支持力の算出 送電線は風荷重を受けると風下方向へ吹き流される.しか し、図3に示した結果を見ても分かるが、送電線に沿って、風速比は分布を持っているため、風速も場所によ って異なることとなる.その結果,懸垂曲線は非対称となり,腕金に作用する送電線ケーブルの張力は風速分 布の影響を受けることが予想される.そこで、本研究では、ケーブル張力と重力、ケーブルに対する風向角を

キーワード 耐張鉄塔, 風災害, 地形効果, OpenFOAM, Frame3DD

連絡先 〒780-8520 高知市曙町 2-5-1 高知大学理工学部地球環境防災学科 TEL 088-844-8324

© Japan Society of Civil Engineers

高知大学 正会員 〇野田 稔



考慮した風荷重の3力のつり合いを考慮した運動解析をケーブルに適 用した.ケーブルの抗力係数は0.81とし、基準風速(ここでは78号鉄 塔位置の地上高40mにおける風速)を無風状態から風速80m/sまで10m/s 間隔で変化させ、図3に示した風速比を使ってケーブル位置の風速を求 め、各風速におけるケーブルの変形状態を決定した.図4に、 θ = 146.25°における架空地線,最上段および最下段の送電線ケーブルの変 形解析結果を示す.この結果より風速の増加に合わせてケーブルの水平 変位が増加し、懸垂曲線の対称性もわずかに崩れていることが分かる.

4. 送電鉄塔の構造解析 構造解析モデルは, 現地調査などで得られた 情報に基づき、図5に示すように可能な限り再現した. 前節で実施した ケーブルの変形解析によって求めた 78 号鉄塔, 79 号鉄塔の腕金に作用 する各ケーブルの張力と作用角に加え,部材に対する風向角を考慮して 抗力係数を1.9として求めた鉄塔の各部材に作用する風荷重,自重に対 する構造解析を実施した.構造解析には、3次元線形骨組構造解析コー ドの Frame3DD⁴⁾を用いた.ここでは、オイラー座屈応力度または降伏応 力度より求めた耐力に対する発生軸力の比(対耐力軸力比)を主材につ いて求め、その発現頻度により破壊の可能性について検討した.図6に、 θ = 146.25°の条件下で 78 号鉄塔, 79 号鉄塔それぞれについて得られた 対耐力軸力比の発現頻度を示す. 各図の上段の風速は 78 号鉄塔位置の 地上高 40m 位置の風速としている.この結果より,78 号鉄塔では風速 60m/s で対耐力軸力比が1に達する部材が発生するのに対して,79 号鉄 塔では風速 40m/s で対耐力軸力比が1に達する部材が発生している.こ の結果から判断すると、79号鉄塔が先に破壊条件を満たし、倒壊したも のと考えられる.また,他の風向においても,同様の傾向が認められた.

5. まとめ 送電鉄塔の倒壊プロセスを明らかにすることを目的とし て,静的な風荷重に基づく構造解析を実施し,同一風速に対する各鉄塔 の破壊の可能性を調べた結果,79 号鉄塔の方が破壊する可能性が高か ったという結論を得た. ここでは, 気流の乱れや遮風効果による風荷重 の低減、動的効果などが無視されており、絶対的な風速値には意味はな いが、送電鉄塔倒壊時の状態を把握できたものと考えられる。

6. 謝辞 本研究は、日本風工学会突発災害調査費、科学研究費特別研 究促進費(19K24677, 代表者 丸山喜久)による助成を受けて実施され た.現地調査などにおいては、東京電力パワーグリッド株式会社の協力 を賜った.また,構造解析作業の一部において,高知大学理工学部地球 環境防災学科3年の尾田春雄君,伊藤修一君,同2年の井田直宏君,中 村里菜君の協力を得た.ここに記し,感謝の意を表する.

200 195 190 (m) Z 180 175 170 165 -335 -330 (a) Y-Z 面投影図 210 205 200 195 190 Z (m) 185 180 175 170 500 550 600 400 450 650 X (m) (b) X-Z 面投影図 図4 ケーブルの変形解析結果 (θ = 146.25°, 78~79 号鉄塔間) 10 25000 10 2000





1000



参考文献

- 1) 令和元年台風 15 号における鉄塔及び電柱の損壊事故調査検討ワーキンググループ,令和元年台風 15 号に おける鉄塔及び電柱の損壊事故調査検討ワーキンググループ<中間報告書>, 2020年1月21日.
- 2) 国土地理院, 基盤地図情報 10m メッシュ, https://fgd.gsi.go.jp /download/mapGis.php?tab=dem, 2020.
- 3) The OpenFOAM Foundation, OpenFOAM, https://openfoam.org/, 2020.
- 4) Henri P. Gavin, Frame3DD. Static and Dynamic Structural Analysis of 2D and 3D Frames, http:// frame3dd.sourceforge.net/, 2015.