

実規模送電用鉄塔のギャロッピング発生時の部材軸力・疲労への影響評価

電力中央研究所 正会員 ○高畠 大輔 正会員 早田 直広 正会員 松宮 央登

1. はじめに

電力中央研究所では、台風、地震、大雪などに対する送電設備の挙動解明や、設計、対策手法の開発などを目的として、実規模送電用鉄塔における動態観測を実施している。本稿では2012年1月11日～12日にかけて発生した送電線のギャロッピング^[1]について、主に鉄塔での観測記録について報告する。

2. 観測システムの概要

動態観測は実規模送電線雪害試験設備（以下、釧路試験線）^[2]を用いて実施している．図 1 に釧路試験線の概要図と計測機器配置図を示す．釧路試験線は 3 基の鉄塔で構成されており，上段に 4 導体電線 2 相，中段に単導体電線 4 相，下段に単導体電線 7 相が架線されている．各相の電線張力に加え，1 号，2 号鉄塔近傍の地表面加速度や塔体加速度を計測し，2 号鉄塔では最下節パネルで部材軸力を計測している．図 2 に軸力の計測対象部材の位置とその名称を示す．

3. ギャロッピング時の部材軸力の観測記録

2022年1月11日～12日にかけて発生したギャロッピングにおいて、2号鉄塔上段で計測された電線張力の10分間統計値（最大・最小）の推移を図3に示す。12日1:00頃より張力が増加しており、4:00から6:00にかけて張力が大きく変動していることがわかる。また、2Lにはギャロッピング対策品としてルーズスペーサが設置されており、これにより2Lの張力は1Lの張力よりも小さくなっている¹⁾。

図4に12日4:30からの10分間における張力、軸力のパワースペクトル密度(PSD)を示す。張力のPSDによると0.6Hzとその倍の1.2Hzに明瞭なピークが存在している。当該電線の鉛直方向の最も低次の固有振動数は0.3Hzであり、この固有モードは2ループモード(逆対象モード)である^[1]。逆対象モードでは、固有振動数の2倍の振動数で張力が変動が卓越するため、0.6Hzのピークはこの振動モードによるものと考えられる。

軸力の PSD に着目すると、全部材において張力と同じ振動数にピークを確認できる。また、側面腹材の部材間の PSD の差は、支柱材や正面腹材のそれに比べて顕著で、特に、d-a 面の部材 da, ad の PSD は、b-c 面の部材 bc, cb に比べて小さい。これは d-a 面は 2L 側にあり、2L の張力変動は 1L の張力変動に比べて小さいためと考えられる。

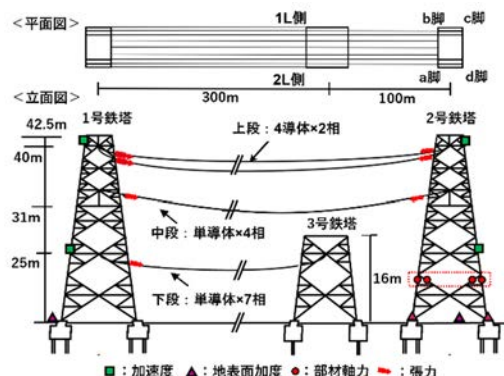


図1 釧路試験線の概要図と機器配置

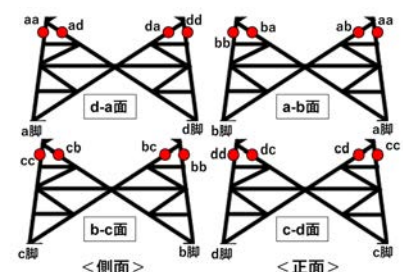


図 2 軸力計測対象部材とその名称

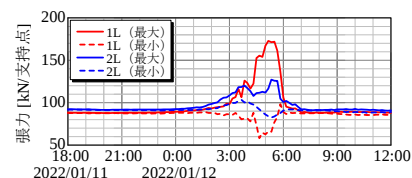


図 3 張力統計値の推移

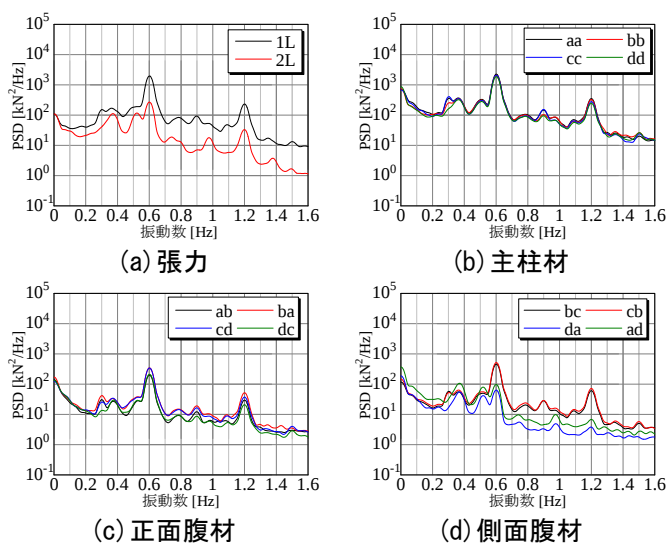


図4 張力・軸力のパワースペクトル密度

キーワード 送電用鉄塔，動態観測，ギャロッピング，疲労評価

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (一財)電力中央研究所 SS 研究本部 TEL04-7182-1181

4. 有限要素解析による疲労損傷比の算定

ギャロッピングが鉄塔に及ぼす影響評価として、部材の疲労評価を実施した。疲労評価に必要な軸力は、2号鉄塔最下節パネルのみで計測している。そのため、有限要素解析で他の部材の軸力を算定した。

解析対象は2号鉄塔のみとし、基部を完全固定とした上、観測された張力変動(12日4:00~5:00の1時間)に対する動的応答解析を実施した。張力変動は電線支持部に与えた。ただし、2号鉄塔電線支持部での振れ角は計測しておらず、張力の作用方向は再現できない。本稿では、張力変動のみを再現し、作用方向は不変とした。その方向は、無風時の釣合い状態における、電線支持点に作用する張力の方向とした。また、鉄塔に作用する風荷重の変動も考慮していない。なお、解析には汎用構造解析コード Abaqus を用いた。

2号鉄塔最下節パネルにおける軸力のPSDを比較する。図5に各脚周りにおける主柱材、正面および側面腹材のPSDの比較を示す。0.3Hz以下では、全ての部材で観測に比べて解析のPSDが小さくなっている。これは風荷重による変動を無視したためと考えられる。一方、0.3Hz以上では観測と解析のPSDが概ね一致しており、これはこの振動数の範囲では風荷重に比べてギャロッピングによる影響が支配的であるためと推察される。

ただし、a脚周り、d脚周りの腹材では解析のPSDが小さくなっており、これは2L(d-a面側)ではギャロッピングによる張力変動が小さく、1Lに比べて風荷重の影響が大きくなったためと考えられる。

各パネルの主柱材、腹材の疲労損傷比(12日4:00~5:00の1時間)を算定し、図6にその結果を示す。疲労損傷比は、軸力を応力に変換した時刻歴波形にレインフロー法を適用して応力範囲とその頻度を集計し、修正マイナー則を用いて算定した。なお、本鉄塔は山形鋼部材で構成されているが、断面積が同じ鋼管部材に置換え、疲労が問題となり得る溶接継手を対象に評価し、主柱材の疲労強度はリブ溶接継手を想定してG等級、腹材は鋼管割込み溶接継手を想定してH等級とした。また、正面腹材は電線と直交方向の荷重に対する影響が支配的となるが、本解析では直交方向の荷重を入力していないため、正面腹材の疲労評価は省略した。側面腹材の上段電線(高さ40m)付近に着目すると、d-a面の部材da、adに比べてb-c面の部材bc、cbの疲労損傷比が大きく、ギャロッピングによる1L、2Lの張力変動の差が疲労損傷比でも生じることが確認できる。

5. まとめ

本稿では、釧路試験線におけるギャロッピング発生時の鉄塔の観測記録とそれに基づく疲労評価結果について示すとともに、ギャロッピング対策が部材の疲労損傷比にも影響を及ぼすことを示した。今後も観測を継続し、様々な自然現象に対する鉄塔挙動の解明、対策法の開発・検証等を実施していく。

参考文献

- [1] 松宮他:釧路試験線における4導体電線の湿型着雪時のギャロッピング観測,風工学研究論文集, No.27, 2022
- [2] 西原他:釧路試験線における送電設備の雪害現地観測,電力中央研究所,研究報告, N16003, 2017

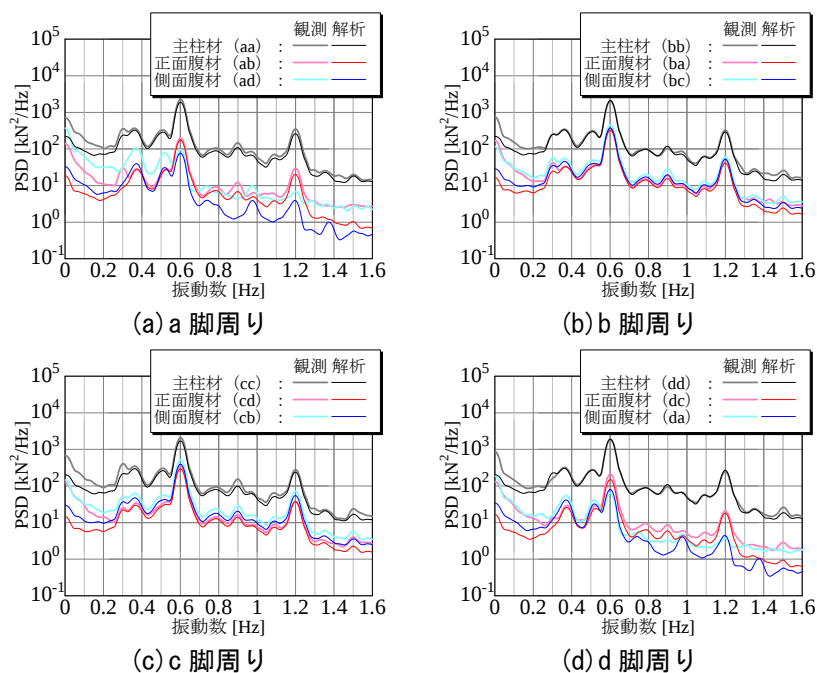


図5 パワースペクトル密度の比較

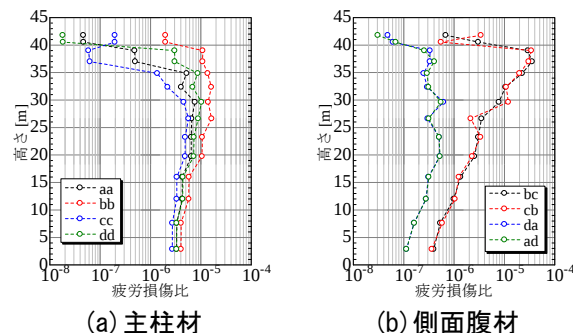


図6 疲労評価結果