

実規模送電用鉄塔の地震観測

電力中央研究所 正会員 ○高島 大輔

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震を契機に、大規模地震に対する送電用鉄塔の安全性や対策・設備投資の合理性が国や社会から求められている。そのため、これらに資するための耐震性評価法や地震応答解析手法の高度化が喫緊の課題となっている。それに向けた取組みの一つとして、送電用鉄塔の地震時挙動を把握するための地震観測を実施している。

本稿では実規模送電用鉄塔の地震観測システム（以下、地震観測システム）の概要を示すとともに、同システムにて取得した観測記録の一例について報告する。

2. 地震観測システムの概要

地震観測は実規模送電線雪害試験設備[1]を用いて実施している。図1に試験設備と計測機器配置図を示す。試験設備は塔高 42.5m の主鉄塔 2 基（1 号鉄塔、2 号鉄塔）、塔高 16.0m の中間鉄塔 1 基（3 号鉄塔）と送電線から構成される。送電線は上から 4 導体 2 相（以下、上相電線）、単導体 4 相（以下、中相電線）、単導体 5 相（以下、下相電線）であり、上相と中相は 1 号-2 号鉄塔間（径間長 400m）に架線され、下相は 1 号-3 号鉄塔間（径間長 300m）に架線される。各相の 1 号鉄塔における設置高さは、上相 40.0m、中相 31.0m、下相 25.0m である。

地震観測システムでは、地震動、塔体加速度、部材軸力、電線張力、杭基礎ひずみを計測している。地震動の計測位置は、1 号および 2 号鉄塔近傍の地表面と 2 号鉄塔の基礎上面であり、計測には過減衰型動コイル型加速度計を用いている。塔体加速度は 1 号および 2 号鉄塔で計測しており、それぞれ 2 地点（上相、下相の架線高さ）でサーボ型加速度計を用いて計測している。部材軸力は 2 号鉄塔のみで計測しており、地上高 8m の位置で支柱材 4 本、腹材 8 本のひずみを計測し、軸力へ換算している。電線張力は各相の 1 号および 2 号鉄塔の電線支持部において、張力計を用いて計測している。これらの計測データは 100Hz サンプルングで収録している。

3. 地震観測記録

2021 年 02 月 13 日 23 時 08 分頃に福島県沖を震源（深さ 55km, M7.1）とする地震が発生し、地震観測システムにおいても最大 7.6gal（三成分合成値）の加速度を計測した。図2に 2 号鉄塔近傍の地表面加速度 KSR01X（以下、地表面加速度）、2 号鉄塔上相高さの塔体加速度 ACC201（以下、塔体加速度）、2 号鉄塔支柱材の部材軸力の変動成分 AXI201（以下、部材軸力）および上相の 2 号鉄塔支持部における張力 TEN201（以下、電線張力）の時刻歴波形を示す。ここで、加速度は線路直交方向成分のみを示している。地表面加速度、塔体加速度は 90~100 秒付近で応答が増幅しているが、部材軸力、電線張力は、地表面加速度や塔体加速度が減少した 100 秒以降、特に 150~300 秒で応答が増幅している。

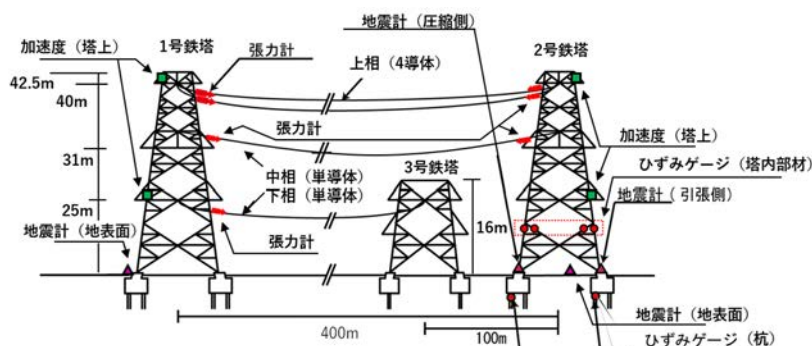


図1 試験設備と計測機器配置図

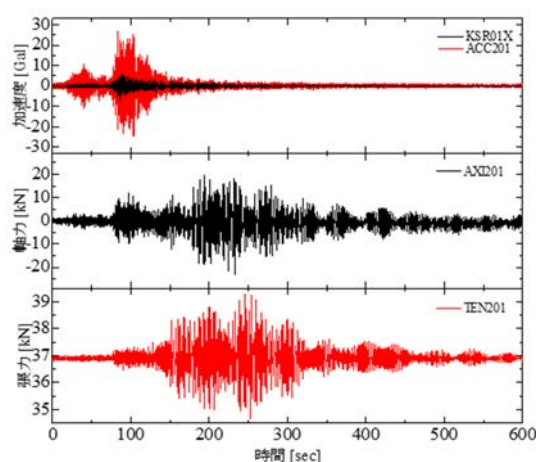


図2 加速度・部材軸力・電線張力の時刻歴波形

キーワード 送電用鉄塔、地震観測、送電線

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 地球工学研究所 TEL 04-7182-1181

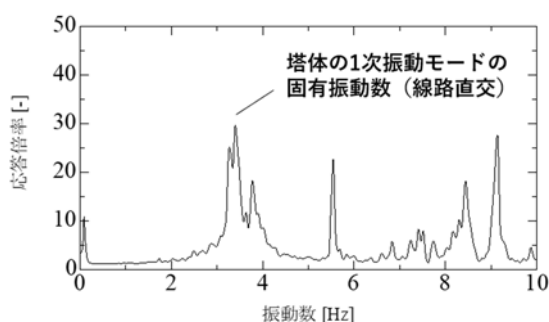


図3 塔体加速度の応答倍率

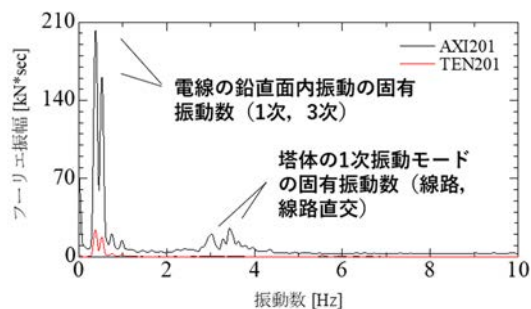


図4 部材軸力・電線張力のフーリエ振幅

次に周波数特性に着目する．図3に塔体加速度と地表面加速度のフーリエ振幅比（応答倍率）を示す．同図から 3.4Hz 付近に明瞭なピークが確認され，これが 2 号鉄塔の線路直交方向の 1 次固有振動数であると推測される．図4に部材軸力および電線張力のフーリエ振幅を示す．

電線張力のフーリエ振幅には 0.38Hz, 0.52Hz にピークが存在している．上相電線の加振試験により上相電線の鉛直面内の 1 次, 3 次固有振動数が 0.378Hz, 0.550Hz と示されていることから[2], 0.38Hz, 0.52Hz のピークは上相電線の固有振動モードによるものと推測される．また，部材軸力のフーリエ振幅には，0.38Hz, 0.52Hz および 3.4Hz にピークを確認できる．これは，塔体の振動に加え，電線の振動によっても軸力変動が生じうること示唆しており，この地震では，塔体に比べて電線の振動による軸力変動の方が大きい．なお，3.0Hz にもピークが存在しているが，このピークは線路方向加速度の計測結果から 2 号鉄塔の線路方向の 1 次固有振動数であることがわかっている．しかし，紙面の都合上，本稿ではその詳細を割愛する．

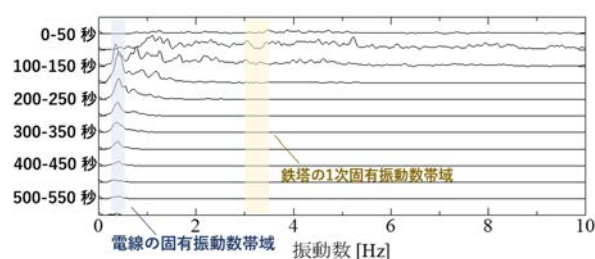
最後に部材軸力，電線張力が 100 秒以降に増幅した原因を分析する．図5に 50 秒間毎の計測データより算出した地表面加速度，部材軸力，電線張力のフーリエ振幅を示す．地表面加速度に着目すると，100 秒までは鉄塔の 1 次固有振動数帯域を含む 1Hz 以上の広い範囲の周波数成分が含まれているが，100 秒以降では 1Hz 以上の成分が減衰し，電線の固有振動数帯域の成分が卓越していることがわかる．これにともなって 100 秒以降では電線振動が卓越し，電線張力さらには部材軸力が増幅したものと考えられる．

4. まとめ

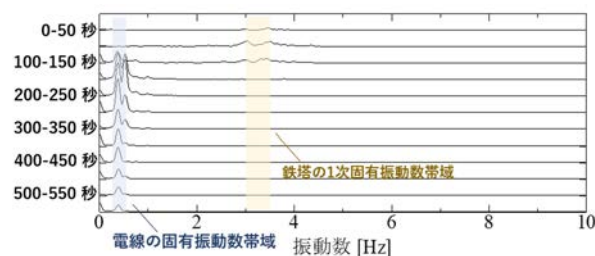
本稿では実規模送電用鉄塔の地震観測記録の一例を報告した．本稿では，鉄塔の振動よりも電線の振動による軸力変動の方が大きくなった例を取り上げたが，このように送電用鉄塔の地震挙動や耐震性評価においては，送電線の影響を適切に考慮する必要性が示唆される．今後も観測を継続し，データの蓄積により送電線を含めた鉄塔の地震挙動を解明していくとともに，地震応答解析手法の検証，高度化を進め，耐震性能評価法の構築を目指す．

参考文献

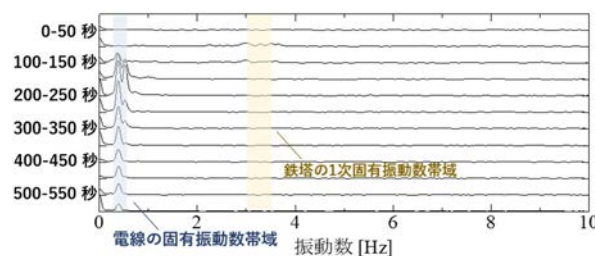
- [1] 西原他: 鉋路試験線における送電設備の雪害現地観測, 電力中央研究所, 研究報告, N16003, 2017
- [2] 垂石他: 加振試験による 4 導体送電線の振動特性とその再現解析による解析モデルの精度検証, 電力中央研究所, 研究報告, N19007, 2020



(a) 地表面加速度



(b) 部材軸力



(c) 電線張力

図5 50 秒毎のフーリエ振幅