ボルト接合部滑りを考慮した 66kV 山形鋼鉄塔の地震応答解析

電力中央研究所　正会員　○高畠　大輔

1．はじめに

送電用鉄塔は，地震動そのものによる倒壊実績がなく，風圧荷重で設計された送電用鉄塔は相応の耐震性を確保していることが明らかになっている [1]．しかし，耐震設計手法は確立されておらず，今後発生の可能性がある南海トラフ巨大地震などの高レベル地震動も含めて，耐震設計手法に関する検討が進められている．本研究では，非線形応答による減衰効果が見込まれるボルト接合部滑りに着目し，巨大地震時の応答評価法の確立を目的としている．これまでに，要素実験や部分鉄塔模型を用いた振動台実験により，接合部滑りを考慮した数値解析モデルを開発した [2]．本稿では，66kV 山形鋼鉄塔を対象にした地震応答解析を実施し，接合部滑りが地震時挙動への影響を分析した．

2．地震応答解析の方法

地震応答解析の対象は，図 1 に示す標準的な 66kV 山形鋼鉄塔（塔高 28.5m，根開き 4.72m）とし，鉄塔部材は 3 次元はり要素を用いてモデル化した．架渉線はその質量のみを考慮し，腕金の先端に質量要素を用いてモデル化した．ボルト接合部を含む要素に対しては，図 1 に示すように(1)接合部滑りを考慮するためのトラス要素，(2)軸力以外を伝達するはり要素（補助要素）の二重要素でモデル化し，トラス要素に接合部滑りの構成則を与えた [2]．なお，トラス要素の構成則は滑り荷重やボルトクリアランスにより定まり，接合部毎にボルト種別（M16, M20）および本数を考慮して設定した．

境界条件は，4 脚基礎部を完全固定とし，4 脚基礎部に同一の加速度波形を与えた．図 2 に地震応答解析に用いた加速度時刻歴波形を，図 3 にそのフーリエスペクトルを示す．加速度波形は，兵庫県南部地震における神戸海洋気象台記録波の 3 成分で，x 成分を線路方向，y 成分を線路直交方向，z 成分を鉛直方向に入力した．

図 4 に 1 次および 2 次の固有振動モードと固有振動数を示す．線路，線路直交方向のいずれにおいても，1 次モードは鉄塔頂部が，2 次モードは腕金下の鉄塔中間部の変位が大きくなる固有モードであることがわかる．

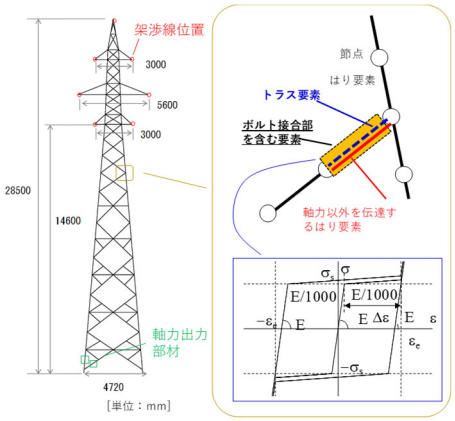

図 1 解析モデル

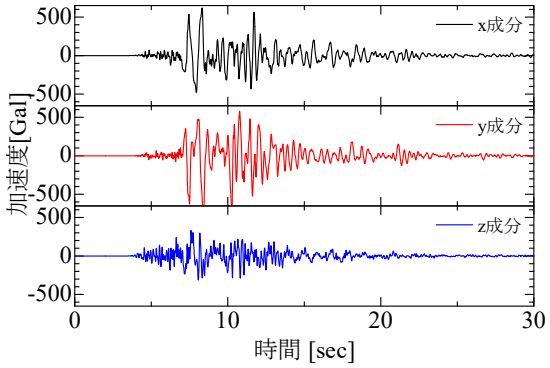

図 2 入力加速度の時刻歴波形

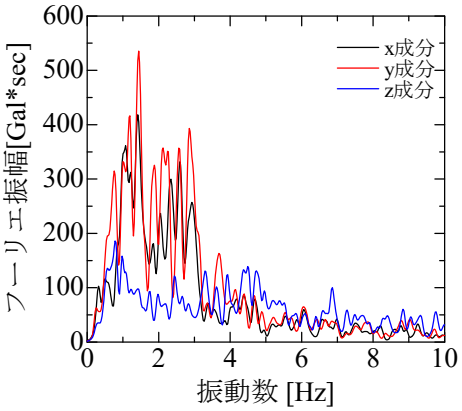

図 3 入力波形のフーリエスペクトル

接合部滑りの有無が地震時挙動へ及ぼす影響を分析するため，応答解析では，接合部滑りが生じない条件についても実施した．また，粘性減衰については，剛性比例型の減衰を設定し，1 次固有振動数に対して 1%となるように減衰定数を設定した。なお，解析には汎

キーワード　送電用鉄塔，ボルト接合部滑り，地震応答解析
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　ＴＥＬ04-7182-1181

© Japan Society of Civil Engineers

表 1 変位・加速度・軸力変動の最大値の比較

接合部滑り	変位 [cm]	加速度 [Gal]	主柱材 [kN]	腹材 [kN]
あり	12	2314	162	7
なし	22	4910	414	12

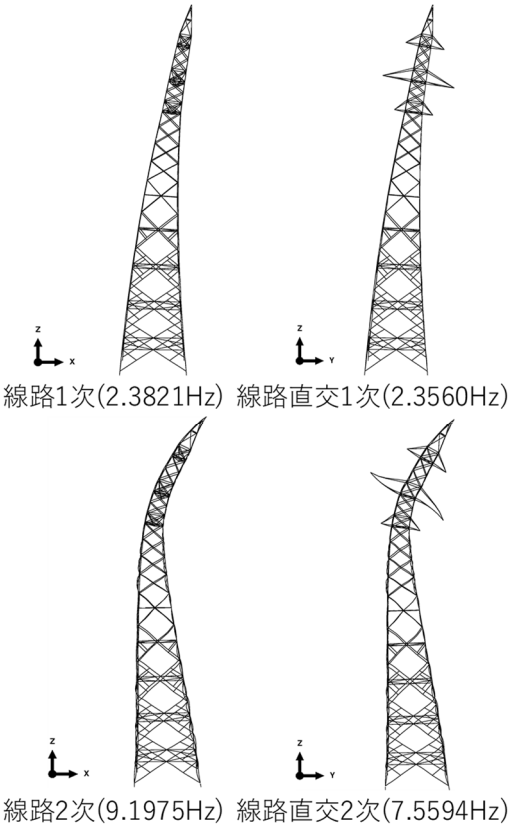

図 4 固有モードと固有振動数

用有限要素解析コード Abaqus を用いた．

3．地震応答解析結果

地震応答解析結果を用いて，接合部滑りの有無による地震時挙動を比較する．まず，変位および加速度に着目し，ここでは，線路方向のみを対象に比較する．表 1 で鉄塔頂部の変位および加速度の変動分の最大値について，図 5 で加速度のフーリエ振幅について，図 6 で伝達関数について比較する．なお，伝達関数は鉄塔頂部および基部における加速度のフーリエ振幅の比である．表 1 によると，変位，加速度のいずれにおいても接合部滑りにより半分程度まで減少していることが確認できる．次にフーリエ振幅を比較すると，接合部滑りありのケースでは，1 次固有振動数におけるピークが，接合部滑りなしのケースに比べて小さくなっていることがわかる．さらに，伝達関数を比較すると，接合部滑りありのケースでは，2Hz よりも高い振動数範囲に細かなピークが多く存在していることが確認できる．

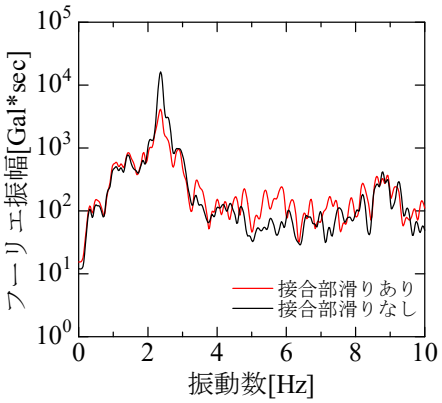

図 5 頂部加速度のフーリエスペクトル

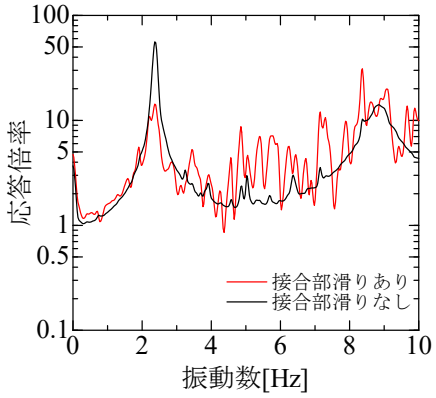

図 6 伝達関数

また，1 次固有振動数では，接合部滑りなしのケースに比べて応答倍率が小さくなっており，1 次モードに対して，見かけ上，減衰が大きくなっていると考えられる．

次に部材の軸力に着目する．表 1 に最下節パネルにおける主柱材および腹材（図 1 参照）の部材軸力の変動分の最大値を示す．主柱材，腹材いずれにおいても，接合部滑りを考慮した場合の方が，軸力が小さくなっていることが確認できる．

4．まとめ

標準的な 66kV 山形鋼鉄塔を対象として，接合部滑りを考量した地震応答解析を実施した．その結果，本稿で用いた地震波形および 66kV 鉄塔では，接合部滑りにより，1 次モードの減衰が小さくなり，変位や加速度，部材軸力が低減されることが確認された．今後は，様々な地震波や鉄塔型についても影響を分析する．

参考文献

1) 日本電気協会：架空送電規程，JEAC6001-2018，2019
2) 高畠大輔：ボルト接合部滑りを考慮した送電用鉄塔の地震応答解析手法の開発（その 2），電力中央研究所，研究報告，N18009，2019

© Japan Society of Civil Engineers