

自由振動試験に基づく送電用鉄塔の減衰特性に関する考察

(一財) 電力中央研究所 正会員 ○佐藤 雄亮

1. 目的

送電用鉄塔は既往地震において地震動そのもので倒壊した事例がなく、その耐震性能については1995年兵庫県南部地震での神戸海洋気象台観測波形で弾性範囲内であったことが解析的に確認されている。送電用鉄塔のうち、山形鋼鉄塔では支圧方式のボルト接合で部材同士が接合されており、地震時に接合部で滑りが生じ、減衰特性に影響していると考えられている。しかし、ボルト滑りを伴う鉄塔の動的応答については検討事例が少なく、未解明な部分が多い。そこで、本研究では、実規模山形鋼鉄塔を対象とした自由振動試験に基づき、部材接合部でのボルト滑りの発生が鉄塔全体の減衰特性に及ぼす影響を分析する。

2. 対象鉄塔と試験方法

試験に使用した鉄塔の構造図を図1に示す。試験鉄塔は高さ28.5mで66kVクラスの実規模鉄塔である。支柱材同士や支柱材と腹材の接合方法は、実機と同じ寸法になっている。なお、実際の鉄塔では架渉線が設置されるが、本試験では電線張力や重量は考慮していない。

試験は引綱法による自由振動試験とし、図1に示したとおりC1腕金に載荷する形で1次モードの動的応答特性に着目した。載荷荷重は有限要素解析による事前検討に基づき、1次モード変形時の発生軸力とボルト接合部の摩擦荷重を算出し、①ボルト滑りの発生しないケース、②ボルト滑りが局所的に発生するケース、③複数箇所ボルト滑りが発生するケース、の3段階の荷重レベルを設定した。表1に試験ケース一覧を示す。なお、ケース2において、部材軸力が摩擦力を越えると判断された部材は、C3腕金の支柱材接合部である。試験では1つの荷重レベルに対して、3回の加振試験を実施した。計測はC3腕金部分を中心として、加速度、部材軸力、部材接合部の相対変位などを計測した。なお、本報告で使用したデータの計測箇所は図1に示すとおりである。

3. 試験結果

鉄塔頂部の加速度時刻歴波形のパワースペクトル密度関数を図2に示す。同図の1次の固有振動数は4.059 Hzとなっており、事前検討時の4.095 Hzとおおむね一致する結果となった。次に、8 Hzでローパスフィルター処理をした頂部の加速度波形を用いて、正側の極値から固有振動数と減衰定数を推定した。図3に推定結果を示す。なお、評価にあたっては、荷重解除後、1波形経過後の極値から使用した。また、同図の「 $x_1 \sim x_2$ 」とは、1つ目の極値 x_1 と2つ

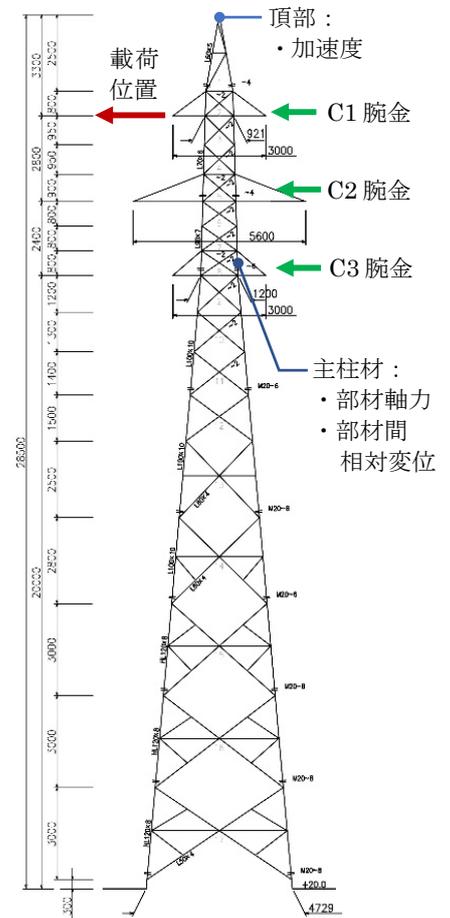


図1 対象鉄塔

表1 試験ケース一覧

ケース	載荷荷重
ケース 1	15kN
ケース 2	25kN
ケース 3	40kN

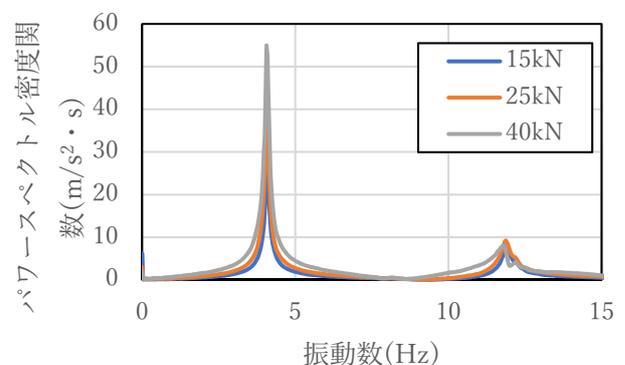


図2 鉄塔頂部加速度のパワースペクトル密度関数

キーワード 送電用鉄塔、自由振動試験、減衰、ボルト接合部滑り

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 TEL:04-7182-1181 E-mail: satoy@criepi.denken.or.jp

目の極値 x_2 を用いて算出した結果であることを示している。同図の結果より、載荷荷重の小さなケース1では時間の経過によらず、固有振動数や減衰定数がほぼ一定なのに対して、荷重レベルの一番大きなケース3では時間の経過とともに、固有振動数は大きくなり、逆に減衰定数は小さくなった。

次に、ケース1とケース3の試験結果のうち、主柱材軸力の時刻歴波形を図4に示す。主柱材はM20のボルト6本で接合されており、ボルトは170 N・mのトルクで締結している。摩擦係数を0.2~0.3程度と仮定すると、接合部での摩擦力は51~76.5 kN程度と推定される。図4に示した結果から、ケース1では40 kN以下の軸力しか発生していないのに対して、ケース3では振動開始直後の数個の極値では摩擦力以上の軸力が発生しており、主柱材の接合部でズレが生じていたことが推定される。ここで、主柱材接合部に設置した π 型変位計の時刻歴波形を図5に示す。同図から、ケース1ではほぼ部材間の相対変位は生じていないのに対して、ケース3では自由振動開始直後に部材間に相対変位が生じていることがわかる。図では最初の2波程度までは相対変位が生じているが、それ以降はほぼ相対変位が生じておらず、部材軸力が初期の応答のみで摩擦力を上回っていたことと整合していることが確認できる。

以上の結果から、ケース3の応答開始直後において固有振動数や減衰定数に振幅依存性が見られた要因として、主柱材接合での滑り現象の寄与を計測結果から確認できた。

4. おわりに

今回、実規模の送電用鉄塔を対象とした自由振動試験に基づき1次モードの減衰特性について分析した。その結果、固有振動数と減衰定数が振幅依存性を有していることが明らかになった。また、これらの振幅依存性には、主柱材のボルト接合部における滑りが影響していることを確認した。今後は、当所で開発したボルト滑りモデルを適用した有限要素解析に基づき、本試験の再現と減衰特性評価手法の提案を進めていく。

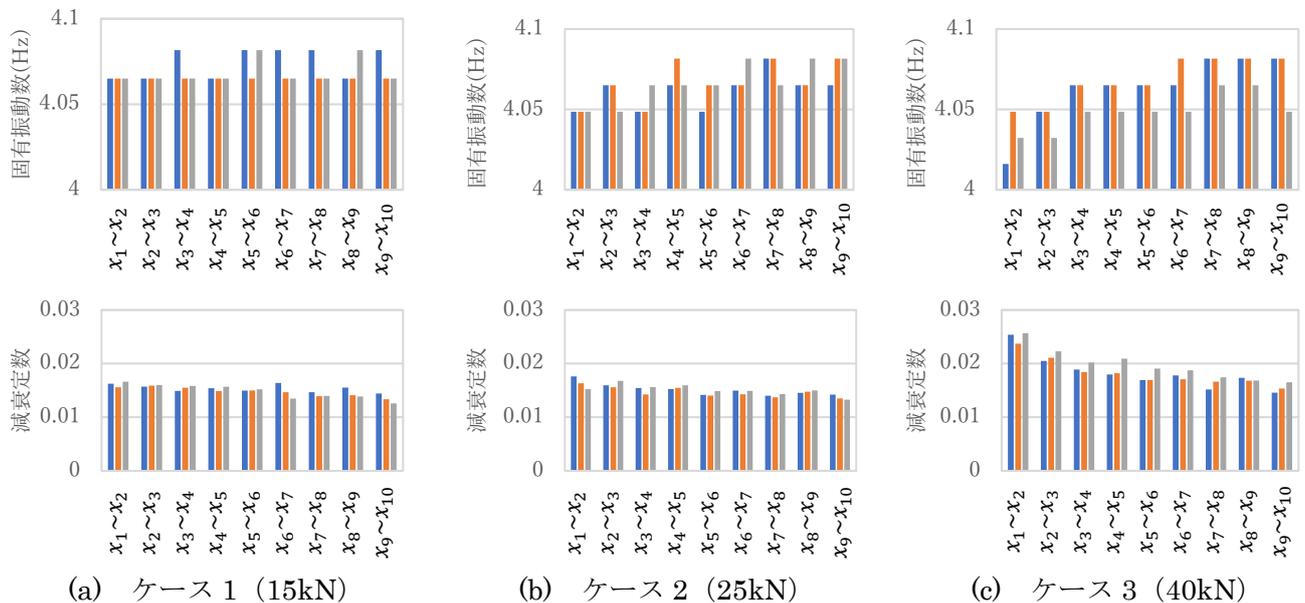


図3 頂部加速度波形から推定された固有振動数と減衰定数 (青: 1回目、橙: 2回目、灰: 3回目)

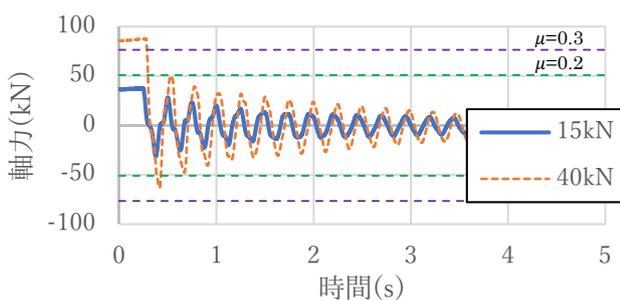


図4 主柱材軸力の時刻歴波形

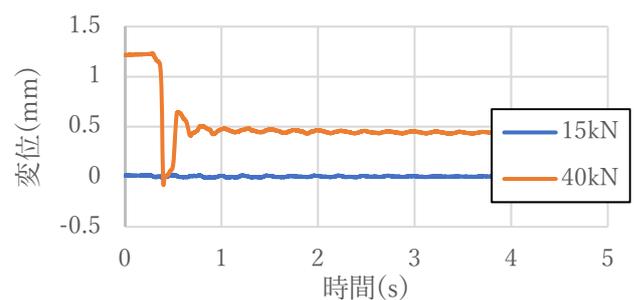


図5 主柱材接合部相対変位の時刻歴波形