

## ボルト接合部滑りを考慮した送電用鉄塔の地震時部材軸力評価

電力中央研究所 正会員 ○高島 大輔

## 1. はじめに

送電用鉄塔の部材接合部は、せん断接合のボルト継手が多用されており、大規模地震に対してはボルト接合部滑りによる減衰効果が期待でき、その効果を付加的な減衰（等価減衰定数）により評価する方法が提案されている<sup>[1][2]</sup>。この方法では、接合部滑りを無視した解析で接合部滑りの影響を考慮でき、簡易的な方法である一方、鉄塔全体で一律の減衰を与えるため、パネル毎に異なる減衰効果<sup>[2]</sup>の影響を無視することになる。

本研究ではパネル毎に減衰効果を考慮することを念頭に、接合部滑りが部材軸力に及ぼす影響に着目している。本稿では、山形鋼鉄塔の地震応答解析により、接合部滑りが及ぼす影響をパネル毎に評価した。

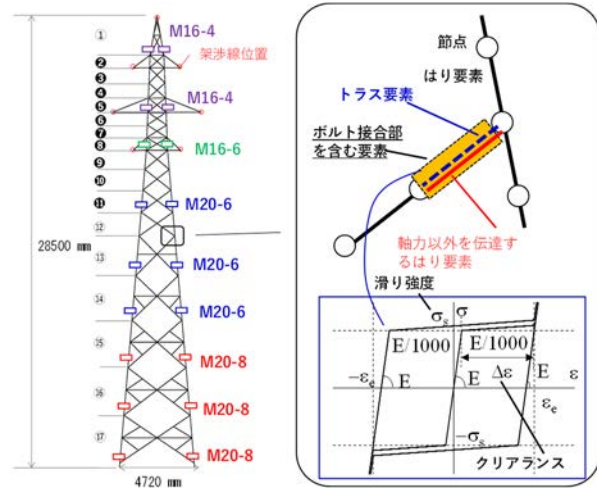
## 2. 地震応答解析の方法

解析モデルは、図1に示す標準的な66kV山形鋼鉄塔（塔高28.5m、根開き4.72m、パネル数17）で、部材は3次元はり要素でモデル化した。架渉線は質量のみを考慮し、架渉線支持部に質量要素でモデル化した。接合部を含む要素は、(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の二要素でモデル化し、トラス要素に接合部滑りの構成則を与えた<sup>[3]</sup>。接合部滑りを考慮する接合部は、支柱材同士の継手部（支柱材継手部）と支柱材-腹材の継手部である。図1に支柱材継手の位置と使用されるボルト、本数を示す。なお、支柱材-腹材の継手部で使用されるボルトは全てM16で、その本数は2本（2-11パネル）または1本（それ以外のパネル）である。

接合部滑りの構成則は滑り強度やボルトクリアランスにより定められる。滑り強度 $N_s$ は、締付けトルク $T$ 、トルク係数 $K$ 、ボルト径 $D$ 、ボルト本数 $n$ や接合部の摩擦係数 $\mu$ （鉄塔部材やボルトは溶融亜鉛めっき処理が施されている）を用いて、 $N_s = n \frac{T}{KD} \mu$ で計算される。本稿では表1の値を用いて滑り強度（M16: 12.6kN, M20: 24.0kN）を設定し、クリアランスは公称値（1.5mm）とした。なお、減衰は剛性比例型とし、1次固有振動数に対して1%とした。また、解析には汎用有限要素解析コ

表1 滑り強度算定に用いた係数

ボルト	$T$ [N*m] <sup>[4]</sup>	$K$ <sup>[5]</sup>	$D$ [mm]	$\mu$ <sup>[6]</sup>
M16	75.0	0.146	16	0.4
M20	170.0	0.138	20	0.4



□は支柱材継手部を示し、『Mxx-y』は、ボルト径(x)および本数(y)を示す  
●丸数字はパネル番号、白抜きは支柱材-腹材継手のボルト本数2本、それ以外は1本。

図1 解析モデル

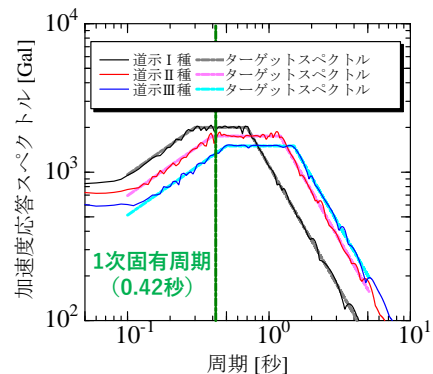


図2 道示波形の加速度応答スペクトル（減衰5%）

ードAbaqusを用いた。

地震応答解析では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。加速度波形は人工地震波とし、道路橋示方書のレベル2地震動（タイプII）におけるI種、II種、III種地盤の標準波形<sup>[7]</sup>（以下、道示波形）を用いた。図2に加速度応答スペクトル（減衰5%）と、対象鉄塔の1次固有周期を示す。なお、地盤種別毎に3つの標準波形があり、同図には各地盤につき1波形のみ示している。地震応答解析では、各標準波形について加速度振幅を元波形の0.25~2.0倍（0.25倍刻み）に調整した波形を用いており、合計3

キーワード 送電用鉄塔, ボルト接合部滑り, 地震応答解析, 軸力比, 減衰効果

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 サステナブルシステム研究本部 TEL 04-7182-1181

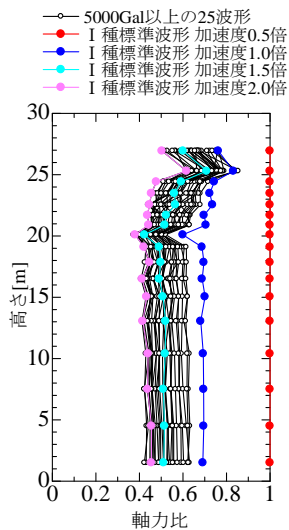


図3 軸力比の鉛直分布

1 波形について接合部滑りを無視した条件と考慮した条件で時刻歴応答解析を実施した。解析ではいずれの条件においてもパネル毎に支柱材の軸力の最大値を計算し、接合部滑りを考慮した条件での軸力の最大値  $N_{1\_max\_i}$  ( $i$  はパネル番号) を、無視した条件での軸力の最大値  $N_{0\_max\_i}$  で割った値として軸力比  $N_{ratio\_i}$  ( $=N_{1\_max\_i} / N_{0\_max\_i}$ ) を定義した。軸力比は 1 波形に対して、パネル数 (17) だけ算出されることになる。なお、 $N_{1\_max\_i}$  になる時刻と  $N_{0\_max\_i}$  になる時刻は、必ずしも等しくならない。

本稿で入力波形の指標として応答加速度を用いた。具体的には、接合部滑りを無視した条件での解析で、鉄塔頂部の応答加速度を計算し、その最大値 (以下、頂部加速度) を入力波形の指標とした。

### 3. 地震応答解析結果

波形毎に各パネルの軸力比を算出し、軸力比の高さ方向分布に着目する。図3に頂部加速度が 5000Gal 以上となる波形 (72 波形中 25 波形, 黒線) における分布を示す。波形毎に軸力比は異なるが、分布形状は類似している。また、既往研究<sup>[2]</sup>と同様に軸力比はパネル毎に異なっているが、9 番パネル以下 (最下段腕金より下) では、軸力比は概ね一定となる。また、2 番パネル (最上段腕金を含むパネル) で軸力比が最大となる。

次に図3に I 種地盤の標準波形を代表して、その入力波形の加速度倍率が 0.5 (赤), 1.0 (青), 1.5 (水色), 2.0 倍 (ピンク) の分布を併記する。頂部加速度が小さい波形では、接合部滑りが発生せず、全体にわたり軸力比が 1.0 となる。接合部滑りが発生する波形 (加速度

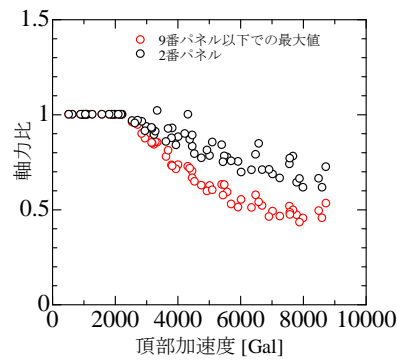


図4 頂部加速度と軸力比の関係

$\times 3 \times 8 = 72$  波形に対する解析を実施した。

接合部滑りが及ぼす影響を評価するため、1

倍率 1.0 倍以上) では、頂部加速度が大きい波形ほど軸力比は小さくなるが、分布形状は頂部加速度の大きさによらず類似している。

最後に頂部加速度と軸力比の関係を図4で比較する。同図では各波形に対し、2 番パネルの軸力比 ( $N_{ratio\_2}$ ) と、9 番パネル以下での最大軸力比 ( $\text{Max}(N_{ratio\_i}), i=9-17$ ) を計算し、頂部加速度との関係をプロットした。いずれの軸力比も頂部加速度の増加にともない減少し、さらに 2 番パネルの軸力比と 9 番パネル以下での最大軸力比の差が大きくなる。

### 4. まとめ

本稿ではボルト接合部滑りによる影響を評価するため軸力比を定義し、地震応答解析によりパネル毎の軸力比の違いを分析した。対象とした 66kV 山形鋼鉄塔では、最下段腕金より下側では軸力比がほぼ一定となるが、それより上側では一定とならず、最上段腕金で極大となることが示された。また、軸力比のパネル毎の差異は、入力波形の加速度の増加にともない大きくなることから、今後、軸力比を用いて接合部滑りを考慮した部材軸力を評価するにあたっては、パネル毎の軸力比を適切に評価する必要があると考えられる。

### 参考文献

- [1] 大野木ら：レベル 2 地震動に対する送電用鋼管鉄塔の耐震性評価に用いる減衰定数について，構造工学論文集，Vol.60A，pp.249-260，2014
- [2] 本郷ら：超狭根開き山形鋼鉄塔の動的応答解析に用いる減衰定数の検討，鉄塔，112 号，pp.8-15，2004
- [3] 高島：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
- [4] 送電線建設技術研究会 技術委員会 TLS-2：鉄塔工事施工技術解説書，一般社団法人 送電線建設技術研究会，2012
- [5] 技術委員会 ボルト部会：溶融亜鉛めっき鉄塔用ボルト (ポイント方式) の締付けトルクの実験報告，鉄塔，86 号，1993
- [6] 高島ら：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 1) 電力中央研究所，研究報告，N17002，2017
- [7] 公益社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，丸善出版，2017