

柱状型トランス・ポールトップ型鋼管柱の疲労性能評価に向けた風応答特性の把握

(財) 電力中央研究所 正会員 ○佐藤 雄亮 (財) 電力中央研究所 正会員 石川 智巳
 中部電力 (株) 中島 浩一 (株) 日本ネットワークサポート 笹岡 毅志
 愛知電機 (株) 栗田 省吾

1. 目的

配電地中化の取り組みの中で、景観に配慮した構造形式の1つとして、柱状型トランス・ポールトップ型鋼管柱（以下、柱状型トランス）が開発された。同設備は、全質量の3分の1を占める変圧器が頂部に配置されているため、振動が生じやすい構造である。しかし、設計上は風圧荷重による設計が一般的で、疲労に対する設計はされていない。このため、風に起因するき裂の発生やその進展などの疲労性能を明らかにすることが重要である。そこで、本検討では、疲労性能を評価する際に必要となる風による発生応力を、実機による観測と有限要素解析に基づき評価した。

2. 実機による観測

本観測では、実機を当研究所の赤城試験センター内に設置し、約7ヶ月間にわたり観測した。柱状型トランスの外観と寸法を図1、図2にそれぞれ示す。図2のとおり、柱状型トランスは、基部に2ヶ所の点検用開口部を有している。計測項目は、頂部の加速度、鋼管柱における曲げひずみ、変圧器固定用ボルトの軸ひずみ、基礎固定用ボルトの軸ひずみ、柱状型トランスから10m離れた地点での風向・風速と気温である。なお、鋼管柱の曲げひずみは、応力集中箇所での計測が困難であると考え、開口部付近を避けて、形状変化の少ない2断面を選んで、東西方向と南北方向の2方向で計測した。

観測結果のうち、平均風速が最大となった10分間における、鋼管柱の曲げひずみのパワースペクトル密度を図3に示す。同図のとおり、1次のピークが南北方向では1.05Hz、東西方向では0.97Hzとなった。また、2次のピークは、南北方向では9.99Hz、東西方向では9.45Hzとなった。さらに、同図から、1次のピークが卓越しており、柱状型トランスは1次モードが支配的な応答を示すことがわかる。

次に、10分間での鋼管柱の曲げひずみの平均値と標準偏差の日変動を、平均風速とともに図4、5にそれぞれ示す。同図から、平均値は平均風速との相関が低く、逆に、標準偏差は平均風速との相関が高いことがわかる。次に、平均値と気温の日変動を図6に示す。同図から、平均値は気温と相関が高く、曲げひずみの時刻歴から応答を評価するためには、温度の影響を除去する必要があることがわかる。そこで、本検討では、曲げひずみの応答評価に、以下に示すレーリー分布を用いて、標準偏差から応答振幅を評価した。

$$f(x) = \frac{1}{2} \frac{x}{\sigma_x^2} \exp\left\{-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right\} \quad \dots (1)$$

ここで、 x : ひずみ振幅、 $f(x)$: 振幅の確率密度関数、 σ_x : ひずみの標準偏差



図1 柱状型トランスの外観

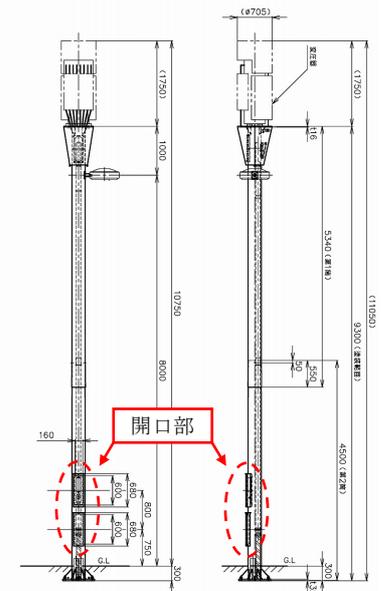


図2 柱状型トランスの寸法諸元

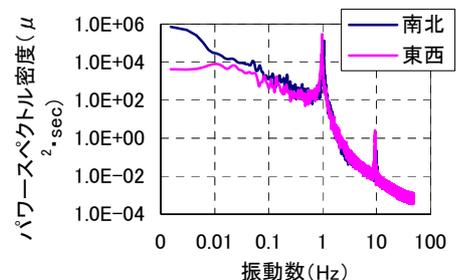


図3 曲げひずみのパワースペクトル密度

キーワード 柱状型トランス、ポールトップ型鋼管柱、疲労評価、風応答観測、有限要素解析

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

さらに、南北方向の曲げひずみと各ボルトの軸ひずみの標準偏差について、北方向の平均風速との関係を図7に示す。同図から、平均風速の増加に伴い、曲げひずみの標準偏差が増加していることがわかる。この結果から、累乗の式として近似式を求めると、以下の式となった。

$$\sigma_{x1} = 0.62u^{1.79} \quad \dots (2)$$

ここで、 u : 平均風速、 σ_{x1} : 主流方向のひずみ応答の標準偏差

式(2)は、主流方向の応答に対する近似式となり、主流直交方向の応答についても同様に近似式を求めた結果、以下の式となった。

$$\sigma_{x2} = 1.53u^{1.38} \quad \dots (3)$$

ここで、 σ_{x2} : 主流直交方向のひずみ応答の標準偏差

式(2)と式(3)により、主流方向と主流直交方向のそれぞれで、同一風向の平均風速から計測した曲げひずみの標準偏差が算出可能となる。なお、変圧器固定用ボルトと基礎固定用ボルトは、標準偏差が曲げひずみに比べて小さく、疲労損傷が生じにくいと判断した。

3. 有限要素解析による応力集中箇所の評価

観測では応力集中箇所での計測をしなかったことから、計測した曲げひずみと応力集中箇所の応力の関係を明らかにするため、有限要素解析を実施した。解析では、鋼管柱をシェル要素でモデル化し、ヤング係数を205.8GPa、ポアソン比を0.3とした。変圧器は質量のみを考慮した。また、頂部に水平変位を与え、鋼管柱の応力状態を検討した。ただし、荷重方向と開口部の位置関係、ならびに構造の対象性を考慮して、開口部方向を基準として22.5度ピッチの9方向で解析した。

解析結果として、開口部方向の荷重したケースでのMises応力によるコンター図を図8に示す。同図から、開口部の隅角部周辺とリブ先端部で応力集中が生じていることがわかる。他方向への荷重をした解析でも同様の傾向が見られた。このため、本検討では、2ヶ所の開口部の隅角部と8ヶ所のリブ先端部の、合計で16ヶ所を応力集中箇所と考えることにした。なお、局所応力はMises応力で代表させた。応力集中部のMises応力は、鋼構造物の疲労設計指針・同解説に記載されたホットスポット応力の考え方を参考にして、計測した曲げひずみとの対応関係を求めた。例えば、図8に示した点では、計測した曲げひずみとMises応力との関係は以下の式となる。

$$\sigma_{Mises} = 1.42x_1 \quad \dots (4)$$

ここで、 σ_{Mises} : 応力集中箇所でのMises応力、 x_1 : 曲げひずみ

式(2)～(4)により、平均風速から局所応力が算出可能となった。なお、主流方向と主流直交方向のそれぞれの応答から算出されたMises応力は、実験結果に基づき無相関として評価した。

4. まとめ

本検討では、柱状型トランスの風に起因する疲労性能評価を行うため、実機観測と有限要素解析に基づき、平均風速と応力集中箇所での発生応力との対応関係を明らかにした。今後、この関係を基に、柱状型トランスの疲労性能評価を実施する。

参考文献 ・日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説、技報堂出版、1993.4

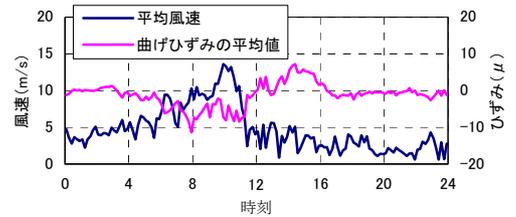


図4 平均風速とひずみの平均値の日変動

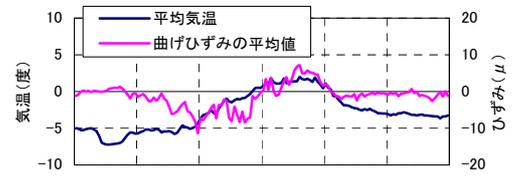


図5 平均気温とひずみの平均値の日変動

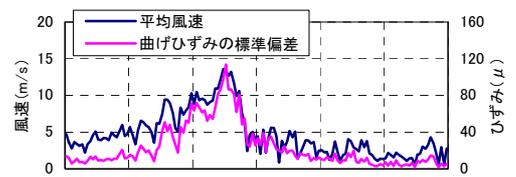


図6 平均風速とひずみの標準偏差の日変動

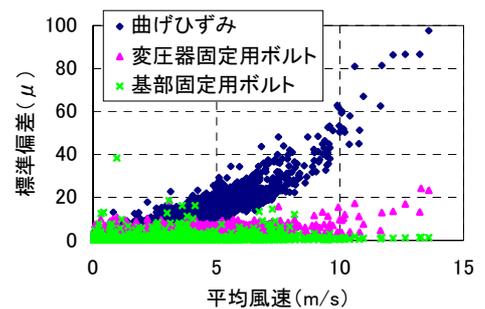


図7 平均風速とひずみの標準偏差の関係

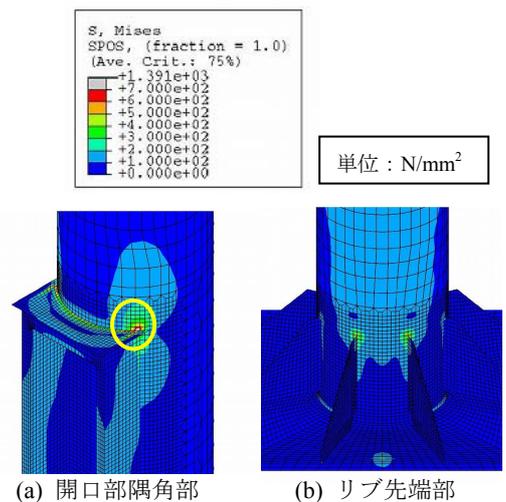


図8 頂部変位最大時のMises応力コンター図