

送電用鉄塔におけるせん断接合ボルトの緩み解析について

東電設計(株) フェロー会員 ○中村 秀治

東電設計(株) 正会員 山崎 智之 東電設計(株) 正会員 本郷榮次郎

東京電力(株) 久保田邦裕

1. はじめに

送電用鉄塔の維持管理において、基礎変位鉄塔の耐荷性能およびレベル2地震動に対する耐震性能が重要であり、評価精度上、せん断ボルト接合部の滑りの考慮が重要である。ボルト緩みの原因究明と防止対策は維持管理上重要であるが、塗装された状態で緩みの生じている例が認められている(図-1)。本報告では、送電用鉄塔のボルト緩みを解析するためのモデルおよび手順について検討し、並行して実施したボルト接合部材の繰返し載荷試験結果と対比して、適用可能性および課題について考察している¹⁾。

2. 解析モデルと解析手順

ボルトの緩み解析は摩擦を伴う接触問題であり、解析コードの機能に依存する部分が多い。以下の検討には鉄塔解析に実績のあるADINAを用いている。ボルトの緩み解析については機械工学分野で既に多くの検討例があり^{2),3)}、ネジ山の螺旋形状まで詳細にモデル化して緩み開始挙動に関する解析例等が示されている⁴⁾。ここでは送電用鉄塔のせん断接合ボルトを対象とし、緩み開始からボルト軸力が抜ける過程の再現が主目的である。従って、緩み始めのボルト内部の詳細な応力分布よりも、ボルト全体の運動学的な挙動に着目した解析モデルを目指すものとし、ネジ山の螺旋形状の溝は省略して円筒形状のままとしている。使用した要素は8節点ソリッド要素であり、図-2、図-3に示すモデルを作成した。ナットにかかるボルト部分には螺旋溝に対応する局所座標系を設定している。更に、ボルト頭と鋼材の接触面にはクーロン摩擦(摩擦係数:0.3)を導入し、ボルト滑りにより鋼材と相対変位を生じる際は、摩擦力が生じるように設定している。ボルトと鋼材の孔壁面のクリアランスは食込みが生じないようにしている。

解析モデルのボルトはM16、径16mm、トルク係数0.146、ボルト孔のクリアランス2mm(ボルト孔径18mm)とし、試験条件に従い締付けトルク73.5N-m、ボルト軸力31kNとする(表-1、図-4)。なお、ボルト軸力はボルトのみに温度変化-121℃を与え、熱収縮(線膨張係数:0.00001/℃)により導入している。ガセットプレートと山形鋼の相対変位は±1.5mmとしている。

キーワード 塗装鉄塔、せん断接合、繰返し荷重、ボルト緩み、非線形FEM解析

連絡先 〒135-0062 東京都江東区東雲1-7-12 東電設計株式会社電気本部

TEL: 03-6372-5720 E-mail: h.nakamura@tepsco.co.jp



図-1 ボルト緩みの例

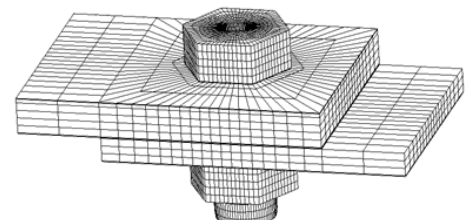
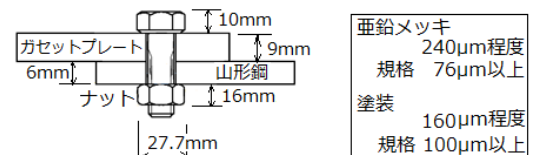


図-2 ボルト緩みの解析モデル

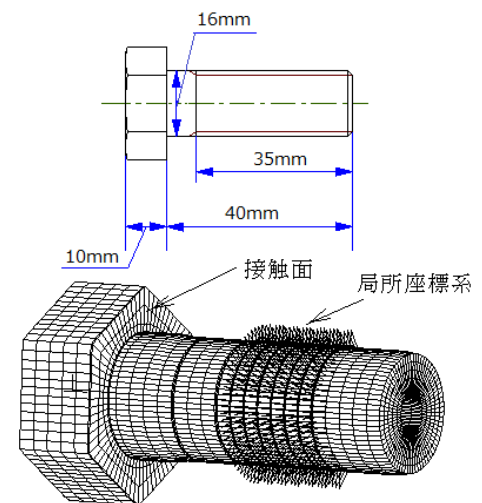


図-3 接触面と局所座標系の位置

3. ボルト接合部材の繰返し载荷時挙動の実験的確認

表-1 試験ケース

試験ケース	Case1	Case2	Case3	Case4
締付けトルク	45.1N・m		73.5N・m	
ボルト軸力	19kN		31kN	
山形鋼表面	亜鉛メッキ	塗膜	亜鉛メッキ	塗膜

文献1), 5)等の結果から, せん断ボルト接合された山形鋼に生じる荷重-変位関係は, 図-5 のような挙動が実験的に確認されている. 特徴的な事実は, 鋼材表面が亜鉛メッキの場合, 载荷後に接触面を観察すると, 図-6 に示すように両面の全く同じ位置にメッキ層の剥離が見られることである. 一方, 表面が塗装の場合は両面広い範囲に塗膜の剥離が見られ, 少ない繰返し载荷回数で“へたり”が大きく表れる. 塗装鉄塔でボルト緩みが生じやすい一つの理由が, メッキ層に比べて, 塗膜の強度が低いことにあるのは明らかである. 更にボルトに僅かな引張軸力を入れながら鋼材に繰返し相対変位を与え続けることで, 脱落に至ることを実験的に確認している(図-7, 図-8).

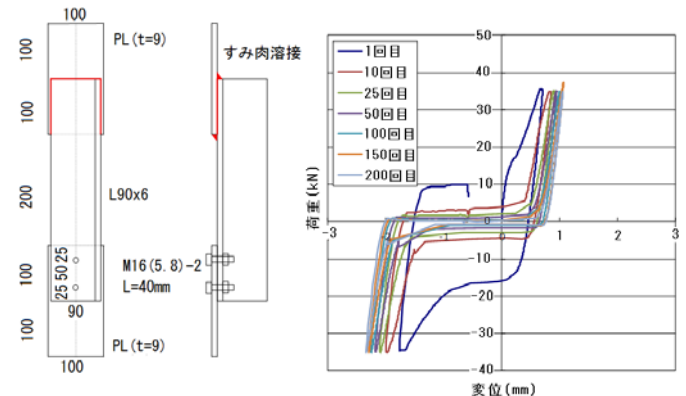


図-4 試験体形状

図-5 荷重-変位関係の例

4. ボルト緩みの再現解析結果

図-2 のモデルを用い, 2. で述べた解析手順で繰返し载荷をシミュレーションした結果, 図-9 に示すようにボルト緩みの生じることを確認した. 相対回転角度とボルト軸力減少の関係は, 実験と一致することを確認した.



図-6 試験後のメッキ層の状況

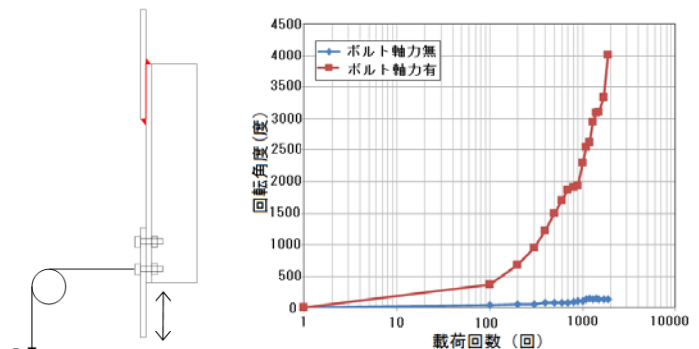


図-7 ボルト脱落試験方法

図-8 繰返し回数とボルト・ナットの相対回転角度

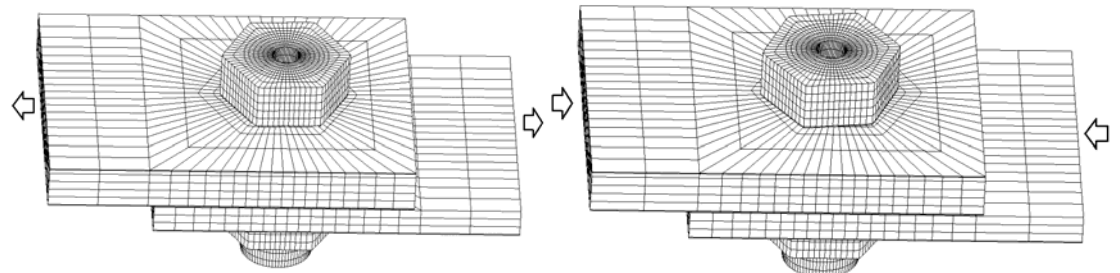


図-9 ガセットプレートと山形鋼の繰返し相対変位によるボルト・ナットの相対回転変位

5. まとめ

鉄塔部材間およびボルト・ナットの座面に塗膜が存在する場合, せん断接合ボルトに緩みの発生し易いことが確認されている. 原因はメッキ層や塗膜などの“へたり”, および载荷時の摩擦力によるボルト・ナットの相対回転変位である. 緩み開始からボルト軸力が抜ける過程の再現は可能なことを確認したが, さらに緩んで, 脱落に至る過程の再現には僅かなボルト軸力(引張)が必要で, ボルト・ナットの運動により相対回転変位が進行するので, 解析モデルの更なる検討が必要である. なお, 繰返し回数とボルト緩みの関係は, 鋼材とボルト・ナットの表面状態や僅かな形状の違いにより大きく変わる. 従って, 繰返し回数とボルト緩みの関係を解析的に明らかにするのは困難である. 本解析結果の詳細については発表当日に示す予定である.

参考文献 1) 山崎智之, 久保田邦裕, 本郷榮次郎: 塗装鉄塔におけるせん断接合ボルトの緩み現象と再現試験結果について, 土木学会第 69 回年次学術講演会概要集, 2014. 2) 山本 晃: ねじ締結の原理と設計, 4 章, 養賢堂, 2011. 3) 酒井智次: ねじ締結概論, 養賢堂, 2003.4. 4) 泉聡志, 横山喬, 岩崎篤, 酒井信介: ボルト締結体の締付けおよびゆるみ機構の三次元有限要素解析, 日本機械学会論文集 A 編 71-702, 2005. 5) 日本鉄塔協会: 溶融亜鉛メッキ鉄塔用ボルトの締め付けトルクの実験報告, 鉄塔, No.86, 1993.10.