

高力ボルトの腐食に関する解析的検討

ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) 二宮 僚

1. はじめに

近年、多くの鋼構造物の老朽化が進んでおり、主な損傷事例の中で、高力ボルトの損傷は、疲労き裂、鋼桁の腐食に次ぐ比重を占めている。また、高力ボルト継手部は角部が多く塗膜厚が確保しづらいことから腐食の弱点となりやすく、腐食減肉したボルトは軸力の低下が懸念される。腐食があまり進行していない高力ボルト継手においても軸力が抜けている場合があり、緩みやペイントのリラクゼーションが原因として考えられるが未だ解明されていない。本研究では、腐食による軸力変化と、繰り返し荷重による軸力変化の2つについて検討するが、本紙では腐食による軸力変化についてのみまとめている。簡易な腐食形状のモデル化を行い、腐食形状が軸力に与える影響や、軸力抜けのメカニズムについて考察する。

2. 解析モデル

有限要素解析コード ABAQUS を用いて図-1 のような継手のモデル化を行った。F10T-M22 のボルト中央部に軸力205kNに相当するボルト荷重を変位固定で導入した。ボルトヘッドおよびナットの腐食減肉形状について、それぞれ幅方向に関しては図-2 に一例を示すように平均減肉量0mm~3mmにおける、一様型、砂時計型、台形型、逆台形型の4パターンで比較している。高さ方向に関しては一様型でのみ解析を行っている。ボルトのねじ部は本来の螺旋状ではなく簡易な輪状としている。解析条件としては、部材同士が接触している箇所接触条件を導入し、塑性域を考慮して解析を行っている。

3. 解析結果

図-3 には、ヘッドおよびナットの高さ方向に一様に減肉させたときの残存軸力率の関係を示している。両者にほとんど差異はなく、腐食高50%程度であっても軸力が90%近く残っていることから、高さ方向の減肉が軸力に与える影響は小さいことが考えられる。

図-4 にはヘッドとナットをそれぞれ一様に幅方向に減肉させた際の残存軸力率を示している。ナットの減肉の方が軸力への影響が大きいことが分かる。

続いて図-5 ではナットを4パターン形状で幅方向に減肉させた際の残存軸力率を比較している。平均腐食量は同じでも、残存軸力に差異が生じていることが分かる。

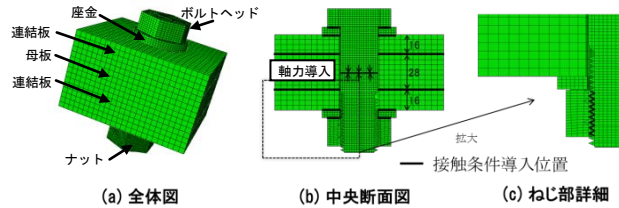


図-1 解析モデル

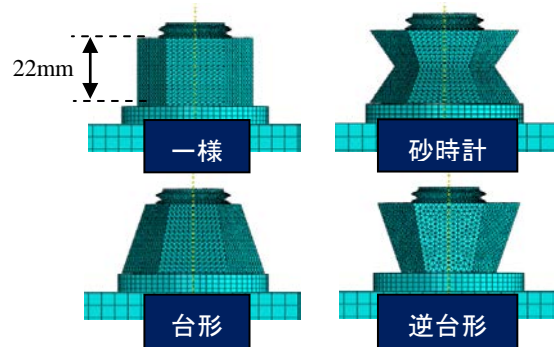


図-2 切削モデルの一例

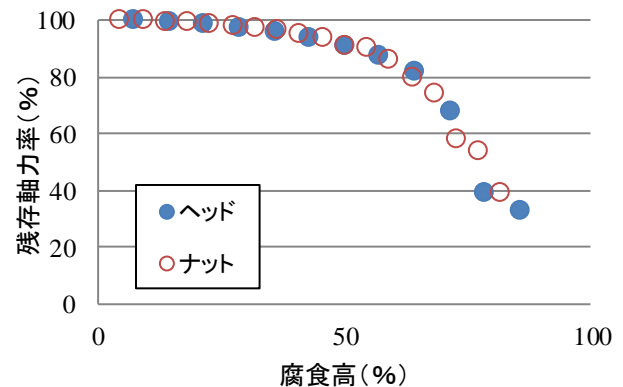


図-3 高さ方向減肉量と残存軸力率の関係

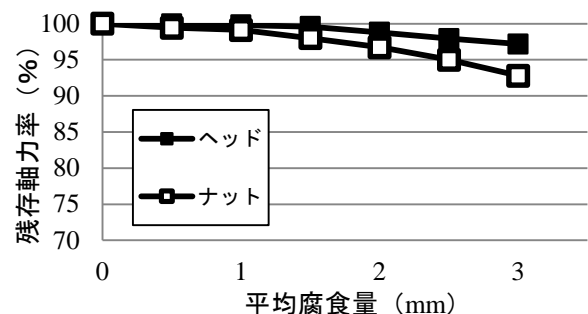


図-4 ヘッドおよびナットの幅方向減肉時の比較 (一様型)

図-6 では、腐食位置の違いによる応力分布の違い等を考慮し、以下の式(*)を用い腐食量に重みをつけて残存軸力率を比較している。

$$\delta = \frac{\sum_{n=1}^h n^\alpha \cdot \delta_n}{\sum_{n=1}^h n^\alpha} \dots \dots (*)$$

δ : ナットの平均腐食量に補正をかけた値

h : 健全時ナット高さ (本モデルでは 22mm)

n : 減肉位置から座金部までの距離 (mm)

δ_n : n における腐食幅 (mm)

α : 座金近傍の腐食減肉量の重み係数 ($\alpha=1,2,3 \dots$)

図-5 と比較すると、腐食形状の違いによる残存軸力率の差異が小さくなっていることが分かる。

図-7 には軸力残存率約 85% 時の塑性ひずみのコンター図を示す。変形倍率は 30 倍としている。図より、軸力抜けは同程度であるにも関わらず、塑性ひずみ分布は大きく異なっている。高さ方向に減肉した場合はボルトねじ部でひずみが大きくなっており、ナットの座金近傍部およびねじ山 2 列目付近でもひずみが生じている。幅方向に減肉した場合は座金近傍部および連結板が塑性化していることが分かる。これにより、高さ方向に減肉した場合と、幅方向に減肉した場合では軸力抜けのメカニズムが違うことが推測できる。高さ方向に減肉した場合は減肉したヘッドやナットが曲げにより変形し、ねじ部に応力が集中し塑性化することで軸力が抜けると考えられる。幅方向に減肉した場合はヘッドやナットの接触面が小さくなり、連結板と座金との支圧部で応力が集中し、連結板が降伏し、座金が回転変形することで軸力が抜けたと考えられる。

4. まとめ

- 1) 高さ方向に腐食減肉した場合は、曲げ応力によりヘッドやナットが変形し、ねじ部の応力集中によりねじ部が塑性化することで軸力が抜けることがわかった。
- 2) 幅方向に減肉した場合は、ナットの接触面が小さくなり、座金との支圧部で応力が集中し、応力伝達により連結板が降伏し、座金が回転変形することで軸力が抜けることがわかった。
- 3) ナットの幅方向の腐食に関して、腐食高さ位置と腐食量を考慮した補正式を用いることで、様々な減肉形状の残存軸力率を一定の精度で評価できる。

参考文献：

橋本国太郎ら：腐食劣化した高力ボルト摩擦接合継手の残存耐力に関する研究, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.69, No.2, pp.159-173, 2013.5.

下里哲弘ら：腐食劣化した高力ボルトの残存軸力評価に関する研究, 構造工学論文集, Vol.59A, pp.725-735, 2013.3.

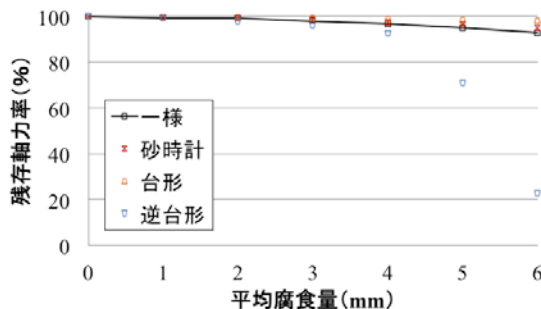


図-5 ナット幅方向減肉の 4 パターンの残存軸力率

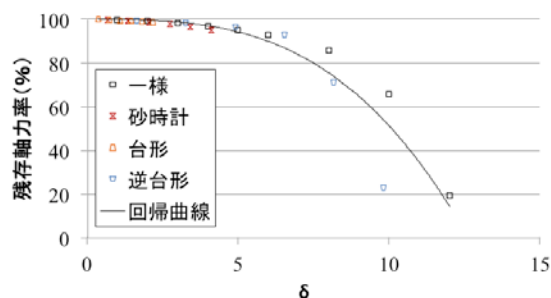
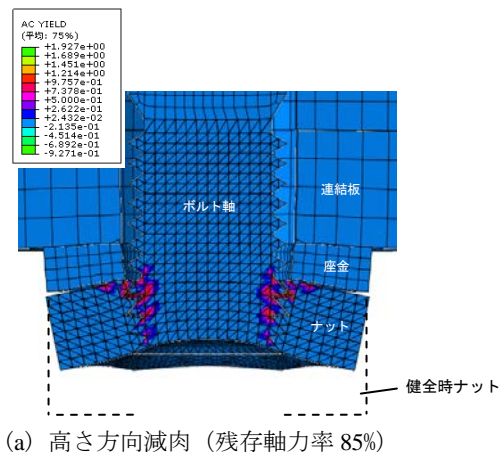
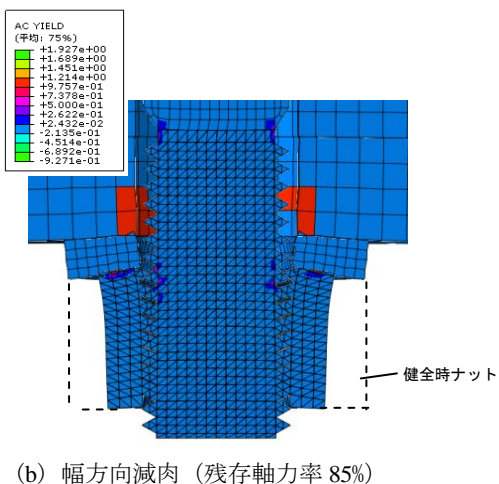


図-6 補正をかけた各形状の残存軸力率 ($\alpha=3$)



(a) 高さ方向減肉 (残存軸力率 85%)



(b) 幅方向減肉 (残存軸力率 85%)

図-7 軸力導入時の塑性ひずみコンター図