

腐食により偏って減肉が生じた高力ボルトの残存軸力評価法の検討

木更津工業高等専門学校 ○田井政行 琉球大学 下里哲弘, 有住康則
宮地エンジニアリング(株) 山下修平, 大塚恵

1. はじめに

鋼橋の摩擦接合継手の高力ボルトには、写真 1 に示すように腐食劣化が著しく進行しているものが見られる。腐食減肉が生じた高力ボルトは、その減肉に伴い軸力の低下が懸念されている。橋梁の適切な維持管理を行うためにも、腐食レベルに応じた高力ボルトの残存軸力の評価が急務である。著者らは、これまでの研究によって腐食減肉形状によって高力ボルトの残存軸力が低下することを示してきた^{1),2)}。本研究では、減肉の偏りに着目し、これが腐食減肉した高力ボルトの残存軸力に及ぼす影響の検討を行った。



写真 1 摩擦接合継手の高力ボルトの腐食減肉例

2. 解析モデルの概要

解析モデルを図 1 に示す。対象は M22 の高力ボルトとナット、座金、添接板及び母材とし、全てソリッド要素を用い、対称性を考慮して 1/2 モデルとした。ただし、添接板と母材のモデル化領域は、ボルト軸部より約 40mm までとした。ナットとボルト軸部の間には、輪状の簡易なネジ部を設けた。弾性係数は 210GPa、ポアソン比は 0.3 とした。降伏応力は、高力ボルト、ナット及び座金は 900MPa、添接板及び母材は 325MPa とし、構成則は完全弾塑性体とした。なお、解析には MSC.Nastran2012 を用いた。

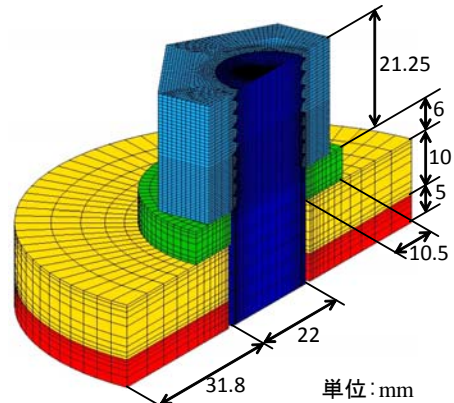


図 1 解析モデル

境界条件は対称面を拘束すると共に、各部材の境界を接触面として定義し、ボルトの軸力は、ボルト軸部に強制変位を与えることで導入した。なお、本解析モデルを用いることで、減肉に伴う残存軸力の変化を概ね評価できることは予備解析により確認している。

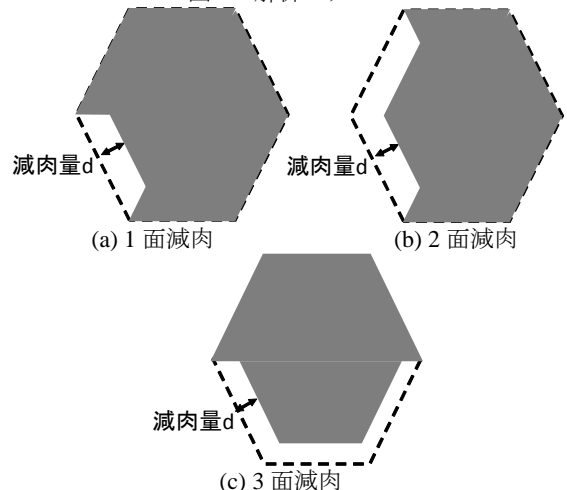


図 2 解析パラメータ

3. 偏心を伴う減肉が残存軸力に及ぼす影響

写真 1 に示すように、高力ボルトの腐食減肉は、各面が一樣に減肉する場合もあれば、特定の面の減肉が顕著になり、減肉後のナット部の形状が偏心を伴う場合もある。この偏心減肉が残存軸力に及ぼす影響を考慮するために、FEM 解析を行った。解析パラメータは、図 2 に示すように、ナット部の側面の減肉面数(1~3 面)及び減肉量(0~5mm まで、0.5mm ピッチ)とした。総解析ケース数は 30 である。

3.1 対面減肉量や平均減肉量による残存軸力の評価

解析より得られた残存軸力を評価するパラメータとして、ナット部の対面減肉量を用いて評価を行った。評価結果を図 3 に示す。縦軸は残存軸力の割合、横軸はナット部の対面減肉量である。なお、対面減肉量は図 3 中に示すように、ナット部の各対面距離の中で、最小距離 M と健全時の対面距離 A との差としている。図には全ての面を一樣に減肉させた全面減肉モデルの結果も併せて示す。図より、対面減肉量が等しくとも、減肉面数が増えるほど軸力の低下が大きくなり、結果として大きなばらつきが生じていることがわかる。

また、評価パラメータとしてナット部の平均減肉量を用いた結果を図 4 に示す。これより、1 面、2 面及び 3 面が偏って減肉したケースの解析結果はほぼ等しく評価できている

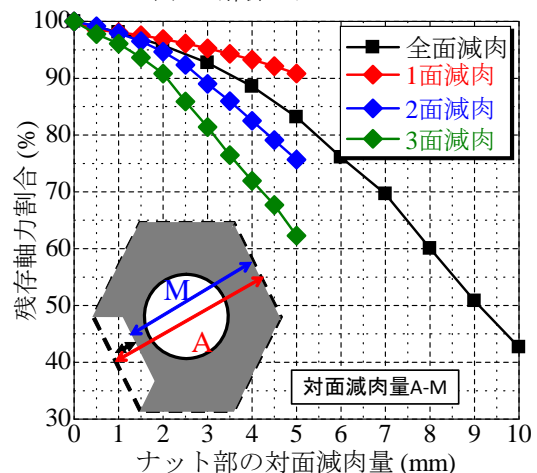


図 3 対面減肉量による解析結果の評価

キーワード 腐食減肉, 偏心, 高力ボルト, 残存軸力, 弾塑性 FEM 解析

連絡先 木更津工業高等専門学校環境都市工学科 (〒292-0041 千葉県木更津市清見台東2-11-1)

といえるが、全面減肉モデルの結果との差異が大きい結果となった。以上の結果より、対面減肉量や平均減肉量による残存軸力評価は適切な評価を与えないといえる。

3.2 重み係数を用いたパラメータによる残存軸力の評価

図4に示すように、全面減肉モデルでは、減肉量が0mmから1mmでは、残存軸力割合の低下はほとんど見られないが、9mmから10mmでは残存軸力割合は大きく低下する、すなわち、減肉量が大きくなるほど残存軸力割合の低下に及ぼす影響が大きくなっているといえる。そこで、この平均減肉量と残存軸力割合の関係から表1に示すような重み係数を求め、これを用いて以下のように減肉パラメータの算出を行った。

例1：6面全てが3mm減肉した場合

$$3\text{mm}=0.25+0.5+0.5+0.5+0.5+0.5+0.25$$

$$(0.25*1+0.5*2+0.5*3+0.5*4+0.5*5+0.5*6+0.25*7)*6=72$$

例2：2面が4mm減肉した場合

$$4\text{mm}=0.25+0.5+0.5+0.5+0.5+0.5+0.5+0.25$$

$$(0.25*1+0.5*2+0.5*3+0.5*4+0.5*5+0.5*6+0.5*7+0.5*8+0.5*9+0.25*10)*2=49.5$$

重み係数を用いて解析結果を再評価した結果を図5に示す。図より、多少のばらつきは見られるものの、上述のパラメータと比べて、偏心して減肉させたモデルと全面減肉モデルの差異が小さいといえる。これより、本節で提案した重み係数を用いたパラメータを算出することで、腐食減肉した高力ボルトの残存軸力を概ね評価できると考えられる。

4. 実腐食高力ボルトの残存軸力に対する重み係数を用いた評価パラメータの適用性の検討

前章で提案した重み係数を用いた評価パラメータの適用性を検討するために、著者らがこれまでに行った、実橋において腐食減肉が生じた高力ボルトの残存軸力の計測結果^{2),3)}を用いて検討を行った。

重み係数を用いた評価パラメータによる実腐食高力ボルトの残存軸力割合の評価結果を図6に示す。図中には指数関数を用いて算出した回帰曲線とその回帰曲線より±10%とした曲線も併せて示す。図より、重み係数を用いた評価パラメータが増加するに従い、残存軸力割合も低下していることがわかる。また、評価結果には、バラつきが見られ、この要因としては、座金などのナット部やボルト頭部以外の腐食減肉の影響やナット部やボルト頭部の腐食減肉形状の影響であると考えられる。しかしながら、多くのプロットが回帰曲線の±10%の範囲内に入っているため、重み係数により算出した評価パラメータを用いることで、減肉に伴う残存軸力を概ね±10%程度の範囲で推定できるといえる。今後は減肉形状や他の部位の腐食減肉の影響を考慮できる評価パラメータを検討し、推定精度を高める必要があるといえる。

5. 結論

- 1) 平均減肉量や対面減肉量では偏った減肉形状を持つ高力ボルトの残存軸力を適切に評価できない。
- 2) 重み係数を用いた評価パラメータにより、腐食高力ボルトの残存軸力を概ね±10%程度の精度で評価できることを示した。

参考文献

- 1) 下里哲弘, 田井政行, 有住康則, 矢吹哲哉, 長嶺由智: 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.
- 2) 田井政行, 下里哲弘, 有住康則, 大城進太郎, 長嶺由智: 腐食高力ボルトの残存軸力評価法に関する実験的研究, 土木学会第

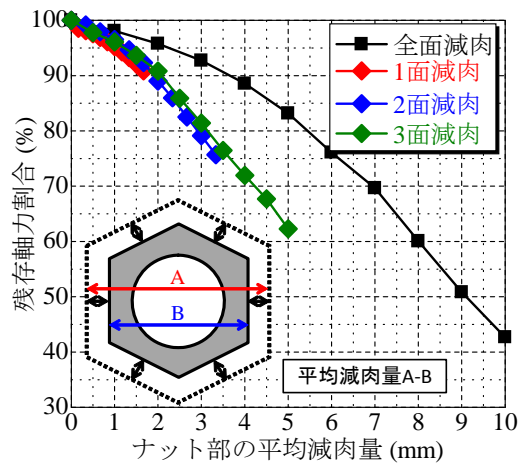


図4 平均減肉量による解析結果の評価

表1 重み係数

片面での減肉量(mm)	重み係数	片面での減肉量(mm)	重み係数
0-0.25	1	2.75-3.25	7
0.25-0.75	2	3.25-3.75	8
0.75-1.25	3	3.75-4.25	9
1.25-1.75	4	4.25-4.75	10
1.75-2.25	5	4.75-5	11
2.25-2.75	6		

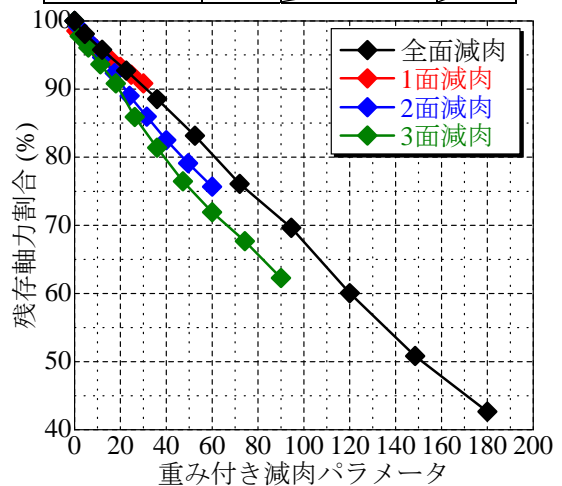


図5 重み係数を用いた解析結果の評価

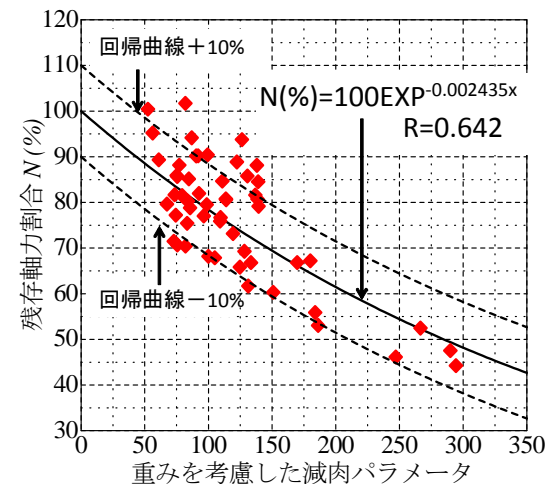


図6 重み係数を用いた実腐食高力ボルトの残存軸力評価結果(実験)

- 68 回年次学術講演会, I-360, 2013.
- 3) 田井政行, 小間貴紀, 下里哲弘, 有住康則, 矢吹哲哉: 腐食劣化した高力ボルトの減肉量に基づく残存軸力評価法の解析的研究, 土木学会第 69 回年次学術講演会, I-608, 2014.