

減肉の生じた高力ボルトの残存軸力に関する基礎研究

(株)ネクスコ・エンジニアリング新潟 土木保全部 保全調査課 ○ 岩持成郁
 長岡技術科学大学 環境社会基盤工学専攻 正会員 岩崎英治
 (株)横河ブリッジホールディングス 結城洋一

1. はじめに

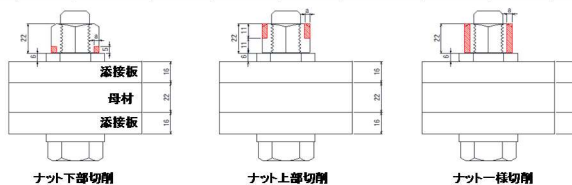
新潟支社管内における鋼橋において、高力ボルトのナット部の腐食による減肉が多数発生している。ナット部に図1のような減肉が生じると、ボルトの締付け力が低下し、ボルト接合部に必要なすべり耐力を確保できなくなる懸念がある¹⁾²⁾³⁾。また、腐食したナットの形状は、頭部が腐食した台形型や底部が腐食した逆台形型等様々であり、定量的な判断が困難であることが点検時の課題となっている。そのため、ナットの腐食形態と残存軸力の相関について把握し、減肉した高力ボルトの評価基準の整備が必要である。そこで、ナットを機械切削することで様々な腐食形状に対応した試験体を作成し、減肉量と軸力の低下率を測定する実験と、有限要素解析 (FEA) による再現及び解析的検討を行うことで、ナットの減肉量と残存軸力の相関傾向について定量的な把握を試みた。本稿は、H30～H31 年度に実施した試験体の作成方法と FEA による再現性について注目した基礎研究の報告を行うものである。



ケレン前 ケレン後
 図1 ナットの腐食減肉状況

表1 試験体の仕様

No.	鋼板材質	板形状	板厚 (mm)			ナット切削部位	切削量a (mm)	試験体数	実施年度
			添接板	母材	総板厚				
1	SS400	外形 φ100mm 孔 φ24.5mm	16	22	54	上部 (幅11mm)	4	2	H31
2	SS400					ナット 一枚 (幅22mm)	4	2	H31
3	SS400					2	2	H31	
4	SM570					2	2	H31	
5	SS400					4	2	H31	
6	SM490					4	2	H31	
7	SM570					4	2	H31	
8	SS400					3.6	3	H30	
9	SM570					3.6	3	H30	



2. 減肉による軸力低下率の測定

(1) 試験体の作成と軸力測定

表1 に試験体の仕様を示す。試験体は高力ボルト (M22) を用いて鋼板3枚をトルクレンチによって1次締め、本締めの順に締結した。腐食と類似した環境となるよう締結後にナット部分を機械切削した。図2に切削



図2 ナット切削後 (下部)

後ナットの状況を示す。なお、ナットの切削量は規格値ではなく実測値を基準とした量とした。また、ナット部の減肉による軸力低下に着目するため、座金は切削しないこととした。軸力測定には軸力計とひずみゲージを使用した。ボルト頭に2軸ひずみゲージを取り付け、軸力計を使用して軸力を与えたボルトのひずみを計測することで、ひずみ値からボルト軸力を算出する係数を求めた。図3のように計測は、①ボルト締結前、②ボルト締結時（板のなじみ等によるリラクゼーションの影響を除くため、締結の翌日とする）、③ナット切削後の3回実施した。

(2) 測定結果

表2に切削前後の軸力低下率を示す。測定実験により、以下の結果が得られた。

- ① 一様に4mm切削した場合の軸力低下率が43%なのに対し、下部を4mm切削した場合の軸力低下率が約40%であり、差が小さいことが分かる。また、上部を4mm切削した場合の軸力低下率が4.2%であることから、ナット上部の減肉が軸力低下に与える影響は小さいことが分かり、軸力低下には、ナット下部の減肉が支配的であることが明らかとなった。

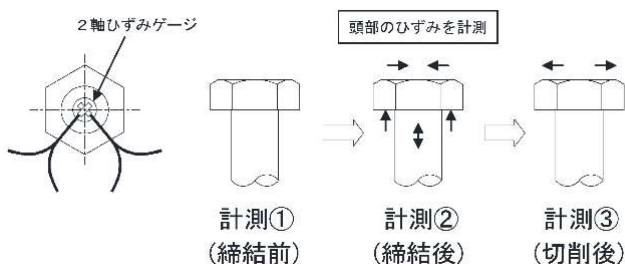


図3 2軸ひずみゲージの貼付と計測

- ② 鋼板の材質が異なる場合において、下部を4mm切削した場合の軸力低下率は、SS400が40.6%、SM490が37.6%、SM570が39.8%となり、鋼種による軸力低下の有意な差は確認されなかった。また、クリープによる軸力低下は1~4%（中央値2%程度）であった。

- ③ ボルト締付軸力が適切に設計軸力の10%割増されている場合、ナット下部の2面幅が32mm程度であれば、軸力低下は10%を下回り、クリープを考慮してもボルトの設計軸力を満足している可能性が高いと考えられる。

表2 ボルト軸力の変化

No.	鋼板材質	切削状況	①締結前	②締結後	③締結後	軸力変化		軸力低下平均(%)
			切削前 軸力 kN	切削前 軸力 kN	切削後 軸力 kN	比率 ③/②	軸力 低下率 (%)	
1	SS400	上部 4mm	0	226	216	0.96	4.3	4.2
			0	229	220	0.96	4.2	
2	SS400	一様 4mm	0	234	133	0.57	43.0	43.0
			0	229	130	0.57	43.0	
3	SS400	下部 2mm	0	240	227	0.94	5.5	5.2
			0	233	222	0.95	4.9	
4	SM570	下部 2mm	0	260	249	0.96	4.3	3.9
			0	230	222	0.96	3.5	
5	SS400	下部 4mm	0	222	137	0.62	38.3	40.6
			0	237	135	0.57	42.9	
6	SM490	下部 4mm	0	229	139	0.61	39.2	37.6
			0	237	152	0.64	36.1	
7	SM570	下部 4mm	0	236	140	0.59	40.5	39.8
			0	233	142	0.61	39.1	
8	SS400	(H30) 下部 3.6mm	0	213	163	0.76	23.5	23.5
			0	192	146	0.76	24.0	
			0	191	147	0.76	23.0	
9	SM570	(H30) 下部 3.6mm	0	199	152	0.76	23.6	24.3
			0	203	153	0.75	24.6	
			0	206	155	0.75	24.8	

3. FEAによる検討

(1) 解析モデルの作成

測定実験に用いた試験体の諸元を参考にして、FEAを行った。モデルは3種類作成した。

モデル1：ボルト軸部とナットのネジ部は省略し、ナットの外径は断面積が等価な円の半径を使用（図4）。

モデル2：ボルト軸部とナットのネジ部を再現し、ナットの外径は断面積が等価な円の半径を使用。

モデル3：ボルト軸部とナットのネジ部を再現し、ナットの外径は外辺までの距離を使用（図5）。

モデル3'：モデル3を基本に、鋼板とボルトの降伏応力にミルシートの値を使用。

ナットによりボルトを締付けると、ネジ部に勾配があるためボルトのネジ山部がナットのネジ谷部を外側に押し広げるような力が作用するが、モデル1ではその作用を考慮しない。ナット部に厚みがある場合には、この力による影響は小さいと考えられるが、ナットが減肉して残存部分が薄くなってくると、ネジ部の外側に押し広げる力により、残存ナット部には大きな円周方向応力が作用すると予想された。そこで、モデル2ではボルト軸部とナットのネジ部を忠実に再現したモデル化を行った。また、解析結果より、内圧を受ける六角ナットと力学的に等価なリングの外半径には、六角ナットの外辺までの距離18mmを用いると良いことから、モデル3では、モデル2までのナット外半径18.9mmに変えて、18mmを用いた。

(2) 解析結果

モデル3'による解析結果を図6に示す。解析では、母材と添接板として使用した鋼材の強度（SM570>SM490>SS400）が増すほど、切削量を大きくしたときの残存軸力の低下は抑えられる傾向にあるが、切削量が4mmを超えるとナット部に塑性変形（図7）が集中するため、鋼材の強度による違いはなくなった。また、ナット上部を切削しても残存軸力の低下は僅かであり、一様に切削した場合や下部を切削した場合には、残存軸力の低下が大きくなるが、解析と実験ともに確認できた。したがって、

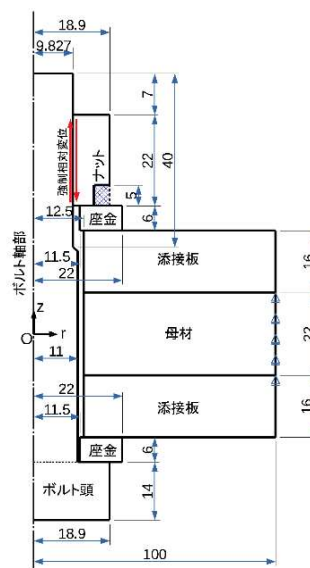


図4 モデル1

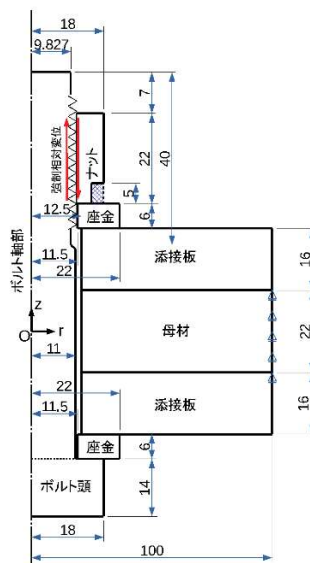


図5 モデル3 (モデル3')

腐食減肉の生じた高力ボルトの健全性評価を行う際には、ナット下部の腐食減肉の大小に留意する必要があることが明らかとなった。

4. まとめ

基礎研究として、人工的に減肉させたナットの軸力低下率の測定実験と有限要素解析 (FEA) によるモデルの構築および解析を行い、双方の結果からナットの減肉量と残存軸力の間には相関傾向があることが確認できた。しかし、本研究ではボルト一本に注目して軸力低下の基礎研究を実施しており、点検時はボルト群として変状判定を付けていることから、ボルト群を想定した実験、解析が必要である。基礎研究を継続し、今後の展望として、これまでの成果を受けて、添接部に着目し試設計、解析、実験、実橋を使った検証を実施し、点検や詳細調査、補修設計といった実務の場で活用できる成果を得ることを目標とする。

謝辞：本実験・解析にあたり多大なご協力をいただきました株式会社ワイ・シー・イー 重森裕文氏に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 名取暢, 西川和廣, 村越潤, 大野崇: 鋼橋の腐食事例調査とその分析, 土木学会論文集, No.668/I-54, pp.299-311, 2001.1
- 2) 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, 2013.3
- 3) 下里哲弘, 田井政行, 長嶺由智, 有住康則, 矢吹哲哉: 実腐食減肉形状を有する摩擦接合用六角ボルトの残存軸力特性, 構造工学論文集, Vol.62A, pp.503-513, 2016.3

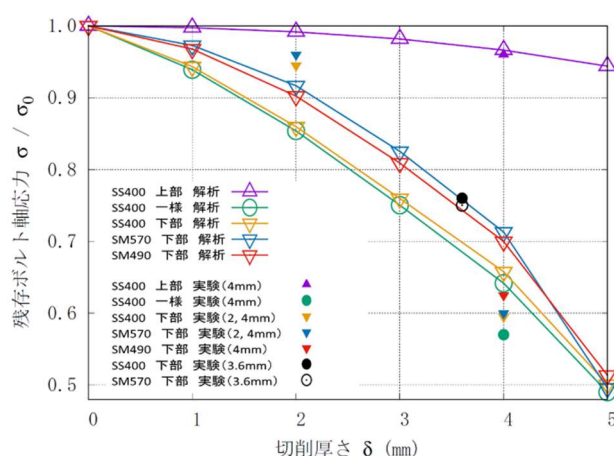


図6 モデル3'による FEA 結果

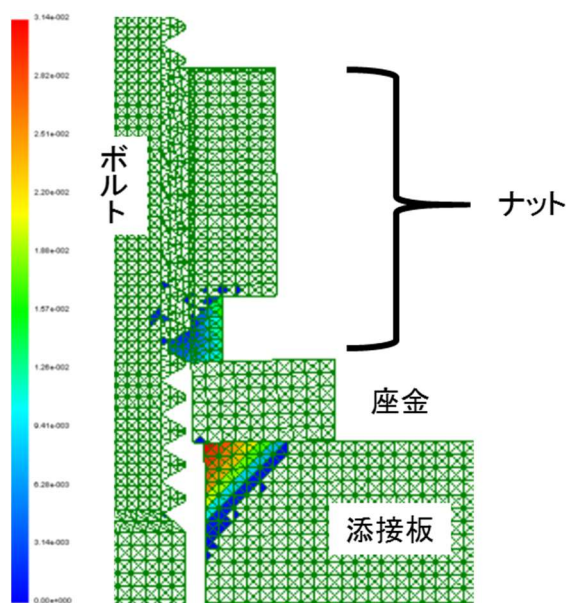


図7 4mm 切削時の相当塑性ひずみ分布 (SS400)