

厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）  
分担研究報告書

ねじ部品の減肉許容基準の提案と締結性能の評価

研究代表者 辻 裕一 東京電機大学工学部教授

研究要旨 ナット及びボルト頭部の減肉に対して、実際の締付け力を負荷できることという新たな定義に基づき減肉許容基準を示した。ナットが円錐台状に減肉する現実的な場合について減肉許容基準を示した。減肉の進行に伴うボルト・ナット系の剛性低下が締結性能の低下を招く恐れがあるが、ボルト締付け力の低下を締付け線図を用いて容易に求める方法を示し、締結性能に及ぼす影響を定量的に評価した。

#### A. 研究目的

ボルト、ナット等のねじ部品は、機械、構造物の締結に広く用いられている。ねじ部品が長期間の使用によって腐食し減肉を生じると、ねじの締結機能が失われ、事故、災害につながる恐れがある。規格ナットの高さは、はめ合いねじ部においてねじ山がストリッピングを起こさないように、破断はボルト軸部において生じるように決められている。従って、減肉によってナット高さが不足すれば、ストリッピングが生じ、ねじ締結体の負荷能力は減少する。

本研究では、ナット及びボルト頭部の減肉に着目し、非線形有限要素解析により現実的な減肉形状に対する許容基準を明らかにする。さらに、減肉の進行に伴うボルト・ナット系の剛性低下が締結性能に及ぼす影響を定量的に評価することを目的とする。

#### B. 研究方法

非線形有限要素解析のためのモデル化は、以下による。JPI フランジに用いられるユニファイ並目めじを対象とし、ねじの呼び 5/8-11 UNC であり、ボルトは材質 SNB7 である。ナットは高さ 10 割、二面幅 26mm、材質は S45C である。ナットはφ26mm の円筒にモデル化する。解析コードとして Abaqus R2018 を用い、軸対称要素による弾塑性解析を行った。

解析により、ボルト又はナットが塑性崩壊せずに、減肉のないボルト・ナットの降伏応力の 50%の軸力を負荷できる減肉形状を許容限界と新たに定義する。降伏応力の 50%の軸力は、実際の締付け力のレベルに合わせて設定した。ナットの減肉のモデル化は、前年度の 2 通り（高さ、あるいは外径の減肉）に加え、高さとお径が同時に減肉する場合、円錐台形状に減肉する場合を加える。減肉許容限界を求めるとともに、ボルト・ナット系の荷重-変位関係を求め、締付け線図へ適用することにより締結性能の評価を試みる。

#### （倫理面への配慮）

本研究の実施によって、生体及び環境へ影響を及ぼすことは無いので、倫理面への問題は無いと考える。

#### C. 研究結果

昨年度は、ナット高さ及びナット外径の減肉により、破壊モードが変化する条件をそれぞれ求め、減肉の許容限界とした。本年度は、ボルトの降伏応力の 50%の軸力を負荷できる減肉形状を許容限界と定義した。

表 1 に減肉の許容限界を示す。ナット高さの単独減肉では 28.75%、ナット二面幅の単独減肉では 82.92%、そして高さとお径の同時減肉ではナット高さ 43.12%、ナツ

表1 ナット減肉の許容限界

Nut Height	Nut Width	Length of Tightening	Elongation	Stiffness
		mm	mm	kN/ $\mu$ m
28.75%	100%	24.4823	0.2823	0.173 (75.8%)*
100%	82.92%	24.3895	0.1895	0.258 (64.0%)*
43.12%	82.92%	24.4088	0.2088	0.234 (67.3%)*

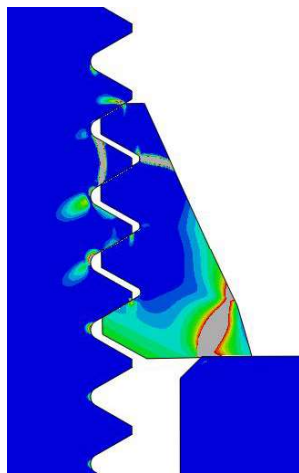


図1 ナットの円錐台減肉の場合

ト二面幅 **82.92%** がそれぞれ許容限界である。ボルト頭部についても同様の方法により、減肉の許容限界を求めた。ボルト頭部の減肉許容基準はナットとほぼ同じ結果となり、詳細に見るとわずかだけ大きな減肉が許容される。従って、ボルト頭部とナットでそれぞれ許容基準を与えるのではなく、保守的なナットの許容基準に一本化することとした。

次に、ナットが円錐台状に減肉する場合について許容限界を求める。図1は、ボルトの降伏応力の50%の軸力を負荷できるという定義により得られた許容限界の減肉形状である。ナット高さは55%、ナット底面外径**91.4%**である。コンターは相当塑性ひずみ分布を示す。

剛性低下に伴い生じる締付け力の低下を締付け線図に基づき求める方法を提案する。図2は、本提案方法の原理を示す。減肉によりボルト・ナット系の剛性が低下すると

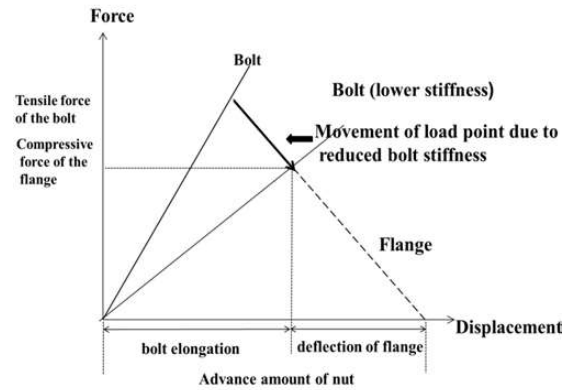


図2 締付け線図による締付け力低下の予測方法

荷重-変位直線の傾きが減少する。ここで、ボルトの伸びと被締結体の圧縮量の和は、初期締付けのナット回転に対応した進み量に等しく、締付け後は不変である。従って、剛性低下によってボルトの伸びが増大すると、被締結体の圧縮量は減少する。以上より、ボルト・ナット系の荷重-変位直線と被締結体の荷重-変位（圧縮量）直線の交点として表示されるボルト荷重（締付け力）は、被締結体の荷重-たわみ直線に沿って新たな交点まで移動する。ボルト・ナット系の剛性低下は締結体に締付け力の低下をもたらすが、ボルト・ナット系の剛性低下率は締付け力の低下率と等しくはならない。

表1のナット高さと同二面幅の同時減肉（ナット高さ**43.12%**、ナット二面幅**82.92%**）における許容限界減肉の場合を評価する。この場合、ナットには無視できない塑性変形が生じるため、ボルト・ナット系の剛性低下は大きく、剛性低下率**67.3%**となる。なお、ボルト・ナット系の荷重-変位関係が塑性変形により非線形となるが、ボルトの伸びと被締結体の圧縮量の和は不変なので、同様の扱いが可能である。図3に、ボルト・ナットがJPI 80A, Class 150フランジ継手において使用されることを想定し作成した締付け線を示す。ナット高さと同二面幅の同時減肉における許容限界の場合の剛性低下による締付け力低下は**22.3%**となる。

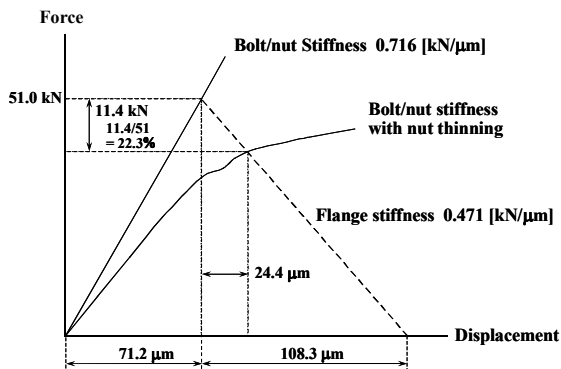


図3 フランジ継手における締付け力低下の予測

#### D. 考察

減肉の許容限界は、昨年度は減肉により破壊モードが変化する場合としたのに対して、本年度はボルトの降伏応力の50%の軸力を負荷できる場合と定義した。これにより、より大きな減肉を許容できることが示された。なお、表1では、ナット高さの単独減肉、またはナット二面幅の単独減肉についての許容限界が示されているが、実際の減肉で高さ、または二面幅だけが減肉することはないので、結論として、ナット高さが43.12%、ナット二面幅が82.92%まで減肉した場合を許容限界とするのがよい。ボルト頭部についても同一の許容限界とする。

実地調査で見られるナットの減肉形状に即して円錐台状減肉の許容限界を求めることができた。ここでは、ボルトの降伏応力の70%の軸力を負荷できる場合を許容限界と定義した。円錐台状減肉の場合、初期形状のナットを基準にして体積比で75.3%の減肉(24.7%残存)まで許容できることを示した。

ナット高さと同二面幅の同時減肉に対する許容限界の場合について、ボルト・ナット系の剛性率低下67.3%に対する締付け力低下が22.3%となることを締付け線図に基づき示すことができた。塑性変形を伴う非線形問題に対しても本方法の有用性をしめすことができた。締付け力の22.3%低下は、締付け時の締付け力のばらつきと同程度以

下である。フランジ継手の場合に当てはめると、締付け力低下に伴い密封性能が初期組立状態より若干低下するとしても、いわゆる漏洩につながることは無い。一般的にも締結性能に及ぼす影響は小さいと予想される。

今後は、減肉許容基準を3D計測装置の計測ソフトウェアに減肉の評価機能を組み込むことを検討する。並行して、日常点検で容易に適用可能な汎用性のある減肉評価方法の検討を進める予定である。

#### E. 結論

ねじ部品の減肉の許容限界を明らかにすることを目的に、ナット減肉に対する非線形有限要素解析を行った。以下に得られた成果を示す。

- (1) 実際の締付け力レベルに対応した減肉許容限界を提案した。
- (2) ナット、及びボルト頭部の減肉に対し、高さ43.12%、外径82.92%までの範囲が減肉の許容範囲である。
- (3) 締付け線図を用いて、ナット減肉によるボルト・ナット系の剛性低下に伴う締付け力低下を評価する方法を提案した。塑性変形を伴う大きな減肉を有する場合にも適用できることを示した。
- (4) 減肉許容限界におけるボルト・ナット系の剛性率低下率67.3%に対する締付け力低下は22.3%となる。この低下量は、締付け時の締付け力のばらつきと同程度以下であり、締結性能は維持されると考えられる。

#### F. 研究発表

1. 論文発表  
なし
2. 学会発表

T. Kikuchi, H. Tsuji, D. Tsurumi: Effect of Nut thinning due to Corrosion on the Sealing Performance in Bolted Flange Joints under Internal Pressure, ASME PVP 2018

Conference, PVP2018-85064, 2018.

齊藤翔太, 辻裕一, 菊池務:ねじ部品の減肉許容基準の検討 —ボルト頭部減肉の場合—, 山梨講演会講演論文集, No.180-3, YC2019-088, 2018.

G. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む)

1. 特許取得  
無し
2. 実用新案登録  
無し
3. その他  
無し