

# 高力ボルトの腐食減肉による軸応力の評価についての解析的研究

鋼構造研究室 CHRISTIAN ALEJANDRO MENDOZA IBARRA

指導教員 岩崎英治

## 1. はじめに

鋼構造物において、特に腐食劣化が問題となっており、鋼橋の腐食部位の中でも、高力ボルト継手部は他の構造物部位に比べて、早期に著しく腐食減肉している場合が多い。その理由としては、ナット部および六角ボルト頭部は複雑な形状で、塗装被膜が均一になりにくいことや、腐食の原因となる飛来塩分が付着しやすいので、腐食が発生しやすい。腐食減肉した高力六角ボルトは、その軸力の低下は懸念されて、残存軸力特性の解明が重要である。

しかしながら、既往研究では、ネジ部を正確に考慮していないが、ネジ部を正確に考慮すると、軸応力低下に影響を与える可能性がある。例えば、ネジ部の影響でナットを押し広げる力が作用し、その押し広げる力の影響で軸応力が変わる可能性がある。そこで、本研究では、ネジ部に正確を考慮すると、腐食による軸応力低下量がどれぐらいの大きさになるのか検討する。

## 2. 解析概要

### 2. 1. 解析モデル

本研究では、ナット部における腐食は大きな偏りを持たずに全方向から進展する傾向があるため、腐食に伴う応力変化についても同心円状に発生するものと仮定することで、軸対称の問題とした。図-1のような解析モデルを作成した。既往研究で用いたモデルと本研究のモデルの違いは今回にナットとボルトの接触面でネジ部を詳細的に作成した。図-2にネジ部の特性が詳細的に見ることができる。また、ナットと座金、座金と添接板、添接板と母材、座金とボルトの境界を接触面とすると、接触判定を行うこととした。ボルトの締付けにあたっては、降伏耐力に基づき締付けを行っており、部分的に降伏が発生している可能性がある。これを考慮し、本研究で弾塑性解析を行うこととした。

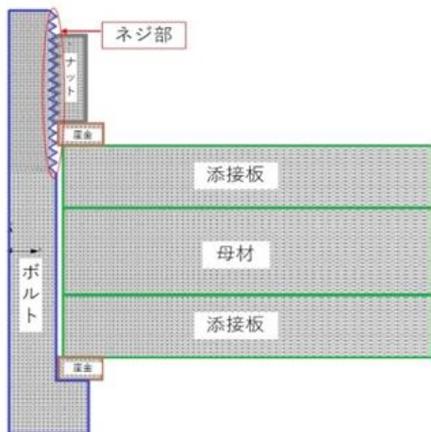


図-1 本研究の解析モデル

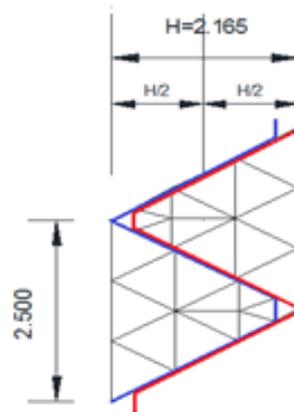


図-2 ネジ部の特徴

## 2. 2. 解析における各種条件と解析手順

実橋において使用される鋼材を考慮し、解析を行うこととした。ボルト、ナット、座金については F10T M22 に準拠し、母材及び添接板については表-1 に示す条件とした。

表-1:使用鋼材の各種条件

Steel Type	Principal Plate (thickness)	Principal Plate (Yield Stress)	Connection Plate (thickness)	Connection Plate (Yield Stress)	Total Thickness
SS400	12 mm	245 N/mm <sup>2</sup>	9 mm	245 N/mm <sup>2</sup>	30 mm
	22 mm	235 N/mm <sup>2</sup>	16 mm	245 N/mm <sup>2</sup>	54 mm
	40 mm	235 N/mm <sup>2</sup>	32 mm	235 N/mm <sup>2</sup>	104 mm
SM490Y	12 mm	365 N/mm <sup>2</sup>	9 mm	365 N/mm <sup>2</sup>	30 mm
	22 mm	355 N/mm <sup>2</sup>	16 mm	365 N/mm <sup>2</sup>	54 mm
	40 mm	355 N/mm <sup>2</sup>	32 mm	355 N/mm <sup>2</sup>	104 mm
SM570	12 mm	460 N/mm <sup>2</sup>	9 mm	460 N/mm <sup>2</sup>	30 mm
	22 mm	450 N/mm <sup>2</sup>	16 mm	460 N/mm <sup>2</sup>	54 mm
	40 mm	450 N/mm <sup>2</sup>	32 mm	450 N/mm <sup>2</sup>	104 mm

解析手順は、まず、ボルト中英部の平均引張応力がボルト締付けときの所定の値になるように、ボルトとナットの接触面に対して強制変位を与える。次に腐食減肉を再現するため、1 mm四方に区切られたナットの有限要素を取り除いていく。有限要素はナット外縁の列から、ナット上部より順に取り除く。これによりモデル内で生じる軸力等の変化から、腐食減肉と軸力の関係性を検討する。

## 2. 3. 解析モデルの検証

ネジ部の影響と解析結果の妥当性の検討するために、本研究で作成したモデルは既往研究の解析条件に基づいて、解析を行った。図-3 に、既往研究と本研究の関係を示す。図-3 より、FEM 解析を行った既往研究と比べ、顕著な違いがあった。違いの要因としては、モデル化の影響(例えば要素分割、境界条件の影響)などが考えられる。しかしながら、実験結果の傾向と比べると、似ている傾向が得られた。したがって、ネジ部の影響とモデルの妥当性を確認した。

腐食量は 5 mm までネジ部を考慮したモデルの結果と実験結果の差異は 7% である。

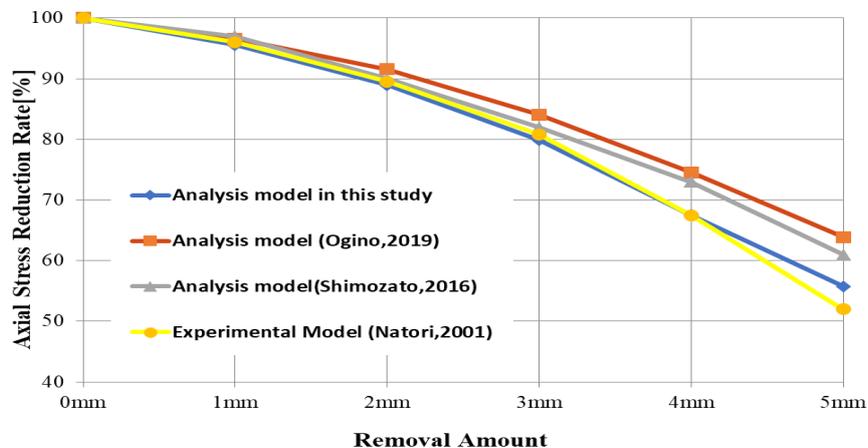


図-3 既往研究と本研究との比較

### 3. 軸応力低下の検討

使用鋼材を変更し、ナットの全要素を除去した際の軸応力低下量について検討する。一例として、部材厚 54mm での結果を図-4 に示す。図-4 より、減肉によりナットと座金との接触面が減少することで、応力が増大し、塑性ひずみが発生する。更なる減肉により応力が増大すると、添接板においても塑性ひずみが進展していくということになる。このとき、使用部材が高強度であるほど、残存軸応力は大きくなるため、ナットの塑性ひずみの進展が急速になり、6 mmまで要素を除去した際の軸応力がほぼ同等の値を示したということが考えられる。

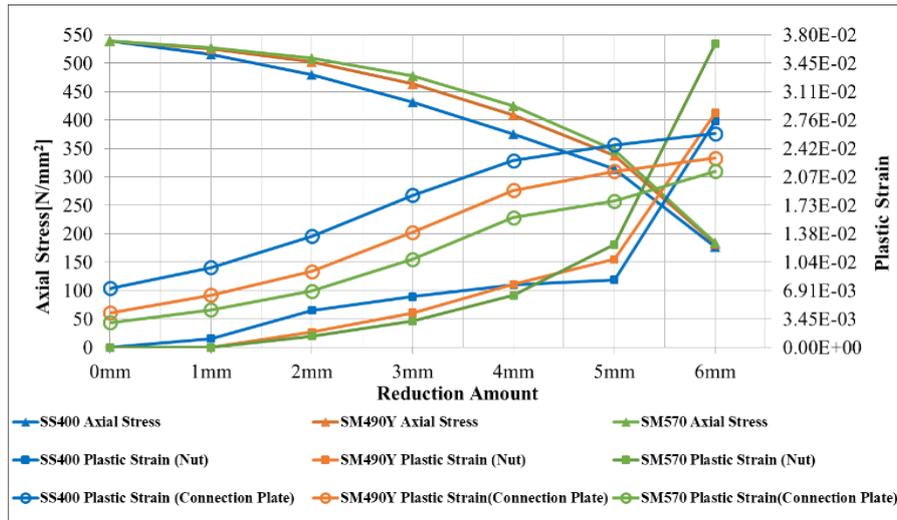


図-4:部材厚 54mm における解析結果

### 4. 実腐食を考慮した解析

実橋における腐食を考慮しての解析を行いました。実橋のボルト継手部におきましては、塗装被膜が薄くなりやすい自由面角部と、滞水等が発生しやすい座金近傍面付近に腐食が発生しやすいため、これらの位置について図-5 及び図-6 のように要素除去を行い、解析を行いました。これらの箇所からの腐食を考慮した解析結果を図-7 に示す。

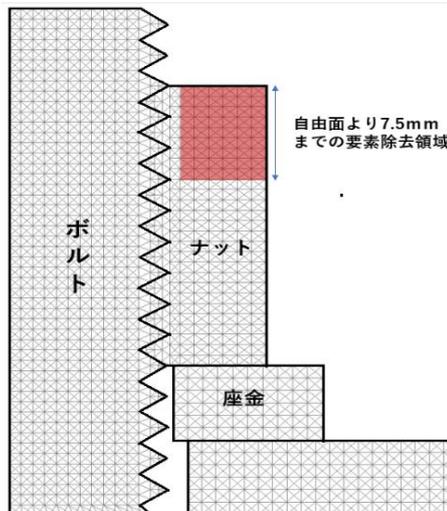


図-5:角部からの腐食

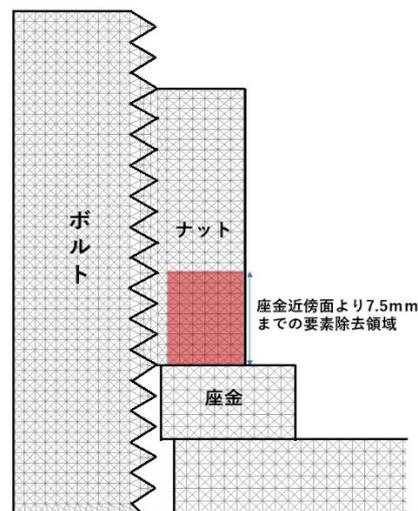


図-6:座金との接触部からの腐食

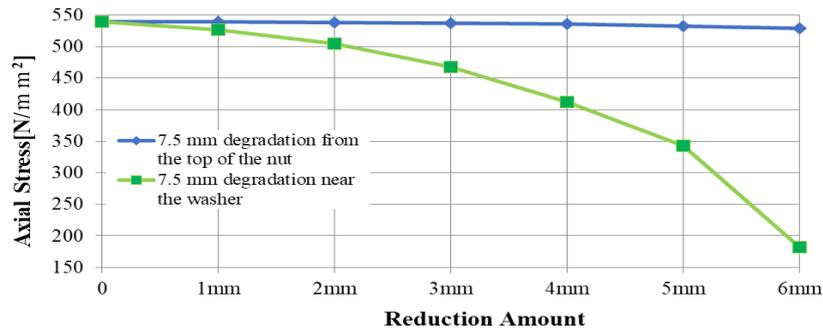


図-7:実腐食を考慮した解析結果の比較

結果により、自由面角部から腐食では軸応力低下はほとんど発生せず、それに対して座金近傍面付近での腐食では大きな軸応力低下が発生することがわかった。

## 5. 結論

本研究より得られた結果を以下に示す

- 1) 解析結果と既往実験結果と比較より、FEM モデルでネジ部を正確に考慮すると、腐食による軸応力低下の影響を正確に再現できることが確認した。
- 2) 鋼材の降伏応力が小さいと腐食による、ボルト残存軸応力も小さくなる。塑性ひずみの発生の影響でボルト残存軸応力が変わることがわかる。
- 3) ナットの上部からの腐食では軸応力低下量はほとんど発生しない。一方、座金接触面からの腐食では軸応力低下量が非常に大きくなる。点検するときは座金接触部分の腐食量を正確に測る必要がある。

## 参考文献

- 1) 橋本国太郎, 築地貴裕, 杉浦邦征: 腐食劣化した高力ボルト摩擦接合継ぎ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.
- 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, 土木学会構造工学論文集, Vol. 59A, pp. 725-735, 2013.
- 3) 荻野尋紀: 高力ボルトの腐食減肉による締付け軸応力低下についての解析的検討, 長岡技術科学大学大学院, pp. 8-32, 2019.