

高力ボルトの腐食減肉による締付け軸力低下についての解析的検討

鋼構造研究室 荻野尋紀

指導教員 岩崎英治

1. はじめに

昨今、高度経済成長期に建設された構造物の老朽化により、こうした構造物に対する維持管理は喫緊の課題となっている。鋼橋においては、特に腐食劣化が問題となっており、中でもボルト継手部は、その複雑な形状から、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や水分が滞留しやすいなどの理由で、腐食が発生しやすい。また、腐食によるボルトの減肉に起因する、継手部のすべり耐力の低下も指摘されている。故に、鋼構造物の維持管理において、ボルト接合部の腐食は大きな課題となっている。

こうしたボルト継手部の腐食減肉と、ボルト軸応力低下について、実環境に基づいた再現実験¹⁾や、実橋の腐食ボルトを用いた残存応力測定試験²⁾などがなされているが、その具体的なメカニズム等は未解明で、実橋の維持管理において、腐食減肉が発生したボルトに対する評価指標として適用するに至っていない。また、非破壊での残存応力測定法として、超音波を用いてボルト軸力を測定する技術³⁾も開発されているが、これはボルト表面の研磨を必要としており、腐食したボルトに対し、現地で測定を行うことには適していない。

そこで本研究においては、FEM解析を用いて腐食による軸応力低下のメカニズムを検討し、ボルト継手部における腐食減肉の発生とボルト軸応力低下量の関連性についての検討を行うとともに、腐食減肉の発生位置による影響についても検討を行った。

2. 解析概要

2. 1. 解析モデル

本研究では、ナットおよびボルト頭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。

解析にあたり、図-1のような解析モデルを作成した。ボルトの締付けにあたっては、降伏応力の75%程度の強い力で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ため、本研究では弾塑性解析を行うこととした。

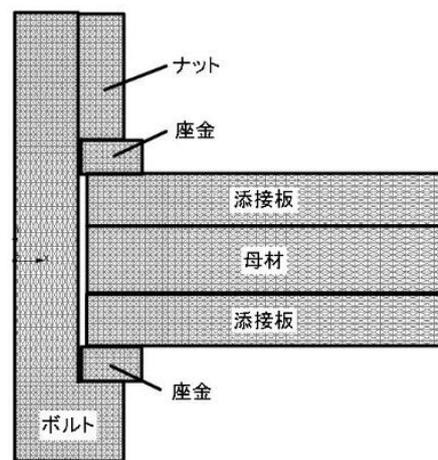


図-1: 解析モデル

2. 2. 解析における各種条件と解析手順

本研究では、実橋において使用例の多い材料を採用した。ボルトおよびナット、座金についてはF10T M22を使用し、その降伏応力を与えた。鋼材については、表-1に示す条件とした。

表-1:使用鋼材の各種条件

鋼材	母材厚 [mm]	母材降伏応力 [N/mm ²]	添接板厚 [mm]	添接板降伏応力 [N/mm ²]	合計部材厚 [mm]
SS400	12	245	9	245	30
	22	235	16	245	54
	40	235	32	235	104
SM490Y	12	365	9	365	30
	22	355	16	365	54
	40	355	32	355	104
SM570	12	460	9	460	30
	22	450	16	460	54
	40	450	32	450	104

解析においては、ボルト軸中心部における引張応力の平均値が、ボルトの初期導入応力である 675N/mm² となるように、ボルトとナットの境界部に、強制変位を与え、有限要素を除去し腐食を再現する。要素除去後、ボルト軸中心部における引張応力の平均値の変化量を、ボルト軸応力の変化量と考え、腐食減肉と軸応力低下の関係性を検討する。

2. 3. 解析モデルの検証

既往の研究において、同様に高力ボルトでの軸力減少についての解析的検討において用いられている、解析モデルとの比較を行った。

図-2 の比較結果より、既往研究の結果と概ね良好な一致傾向を示しているといえ、作成した解析モデルにより、腐食減肉発生に伴うボルト軸応力減少の検討を行うことができると考えられる。

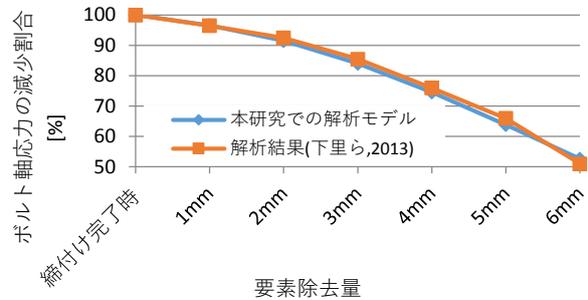


図-2:既往研究との比較結果

3. 腐食減肉による軸応力低下メカニズム

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-3 に示す。

図-3 より、塑性ひずみが発生、進展するに従い、ボルトの軸応力が低下している傾向が見て取れる。このうち、ナット外縁面から 5mm までの要素を除去した際には、それぞれ添接板での塑性ひずみが先行して発生、および進展している。それ以降は添接板における塑性ひずみの大きな進展は生じていない一方で、ナットにおける塑性ひずみが急速に進展していることがわかる。

この結果より、ナットの腐食減肉による軸

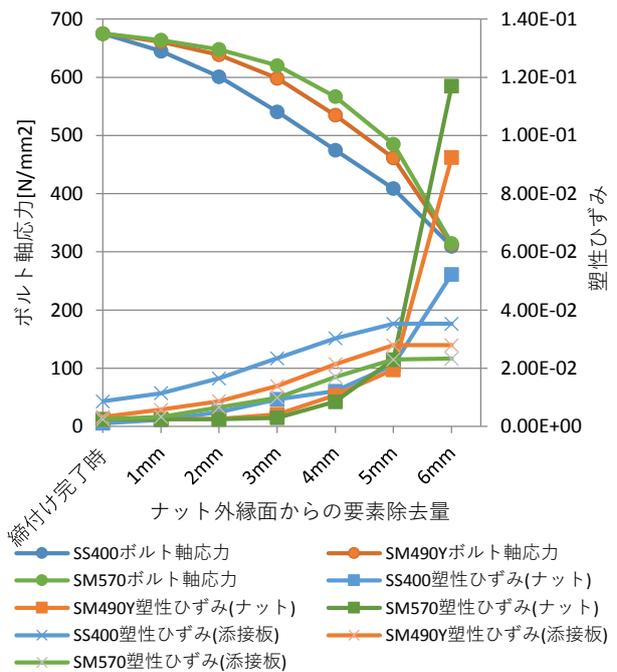


図-3:部材厚 54mm における解析結果

応力低下の発生メカニズムは、減肉によりナットと座金との接触面が減少し、増大した応力がナットおよび添接板に加わり、塑性ひずみが発生および進展することにより、ボルト軸応力低下が発生する、ということとなる。またこのとき、ナットよりも降伏応力の低い添接板から塑性ひずみは発生、および進展していき、さらに要素を除去し、応力が増大すると、ナットにも局所的に塑性ひずみが発生することとなる。

4. 実橋における腐食を考慮した解析

ナットおよびボルト頭部において、特に腐食が発生しやすいのは、塗装被膜が確保しにくい角部と、滞水等の発生が考えられる座金との接触部付近である。これらの箇所からの腐食を考慮し、図-4および図-5に示す箇所の要素を除去しての解析を行った。その結果を図-6に示す。

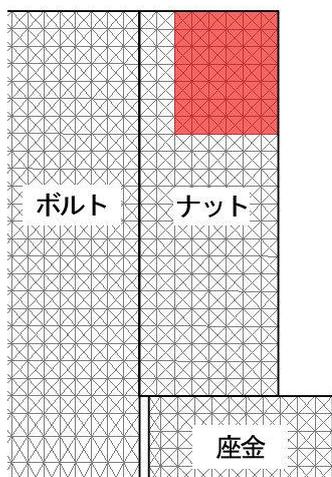


図-4:角部からの腐食を考慮した要素除去位置

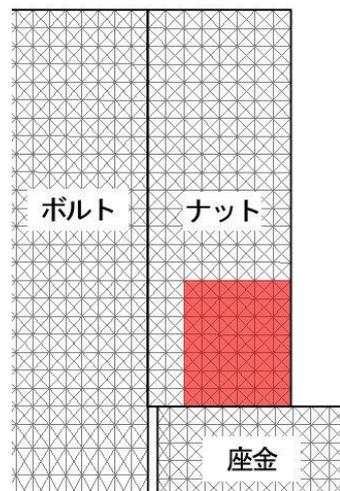


図-5:座金との接触部からの腐食を考慮した要素除去位置

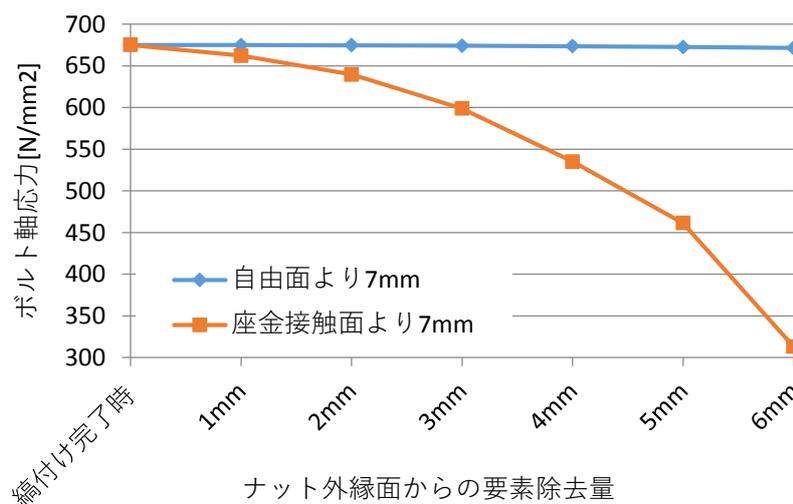


図-6:実腐食を考慮した解析結果の比較

図-6より、角部からの腐食減肉については、ボルト軸応力低下に対しほとんど影響を与えておらず、ボルト軸応力低下について大きな懸念は生じないといえる。その一方で、座金との接触部からの腐食では、大幅なボルト軸応力低下が発生している可能性がある。

5. 維持管理適用へ向けての提言

前項で述べた結果に基づき、実橋での維持管理適用へ向けての指針提言として、ボルト実腐食状況に照らし合わせ、具体例を述べる。

写真-1に示すような腐食状況では、全体に腐食が進行していることが見て取れるが、座金との接触部付近においては比較的残存量が多いことから、ある程度のボルト軸応力低下は発生しているものの、初期導入応力から半減している、などといった状態であるとは考えにくい。



写真-1:実橋におけるボルト腐食状況

このように、ボルト軸応力低下量は、全体の腐食減肉量ではなく、座金接触面付近における腐食減肉量によって判断することができる、という検討結果を、ボルト継手部における維持管理への指針として提言する。

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) ダコタ・ジャパン「超音波ボルト軸力計」<https://www.dakotajapan.com/maxseries.html>