減肉したトルシア形高力ボルトの残存軸力特性に関する解析的検討

琉球大学　○田井政行，長崎大学大学院　川添優人
金秀鉄工　長嶺由智，琉球大学　下里哲弘

１．はじめに

鋼橋の摩擦接合継手の高力ボルトは，腐食減肉が著しい部位の一つである．腐食減肉した高力ボルトは，軸力低下を引き起こすため，残存軸力評価は橋梁の安全性を確保するために重要である．腐食した高力ボルトの残存軸力評価については，高力六角ボルトについての検討事例[1),2)]はあるが，写真 1 に示すようなトルシア形高力ボルトに関する検討はほとんど行われていない．

そこで本研究では，減肉が生じたトルシア形高力ボルトの残存軸力特性を明らかにすることを目的とする．まず，残存軸力に及ぼすボルト頭部とナット部の減肉の影響の相違について FE 解析により検討を行い，トルシア形高力ボルトの残存軸力評価法について提案した．

２．解析モデル

解析モデルを図 1 に示す.全てソリッド要素を用い，S10TM22 のトルシア形高力ボルト，連結板及び母材について，対称性を考慮して 1/6 モデルで作成した．

境界条件は，母材及び連結板の側面の鉛直方向に支持し，母材，連結板，座金，ナット，ボルト軸の対称面を円周方向に，ボルト軸中心については半径方向を固定した．なお，各部材間には接触条件を与えている．ボルト軸力は設計軸力の 10%割増である 226kN となるようボルト軸部に強制変位を与えている．材料定数は，弾性係数を 206GPa，ポアソン比を 0.3 とし，降伏応力を高力ボルトでは 900MPa，母材・連結板では 250MPa とし，完全弾塑性体でモデル化している．

解析パラメータを図 2 に示す．ボルト頭部では側面減肉量Δ_{HS}を 0-8mm まで 2mm 間隔，高さ減肉量Δ_{HH}を 0-4mm まで 1mm 間隔，ナット部では側面減肉量Δ_{NS}を 0-8mm まで 2mm 間隔とし，それらを組み合わせた合計 125 ケースを用いて，トルシア形高力ボルトの腐食減肉と残存軸力の関係について検討を行った．

３．減肉したトルシア形高力ボルトの残存軸力特性

３．１減肉量と残存軸力の関係

ナット部のみ, ボルト頭部のみの減肉量をパラメータとした解析結果を図 3 に示す. 図の横軸は側面及び頭部高さの減肉量Δ, 縦軸は減肉なし時の導入軸力 226kN に対する減肉後の軸力との比より算出した残存軸力割合Nである．図より，ボルト側面の減肉量だけでなく, 頭部高さの減肉量が増大するに従い，残存軸力が低下するといえる．なお，ボルト頭部では側面減肉量と比べて高さ減肉量の方が残存軸力低下に支配的であった．また，ボルト頭部とナット部の側面減肉のケースを比較すると, ボルト頭部と比べてナット部の方が残存軸力の低下量が大きくなる傾向が得られた. この各部位の減肉量と残存軸力割合の低下に違いについて, 次節にて軸力低下メカニズムの違いより検討を行った.

３．２減肉に伴う残存軸力低下メカニズム

ボルト頭部及びナット部の減肉に伴う残存軸力の低下メカニズムを解明するために，減肉に伴うボルト頭部及びナット部の近傍の変形挙動に着目して検討を行

写真 1　トルシア形高力ボルトの減肉例

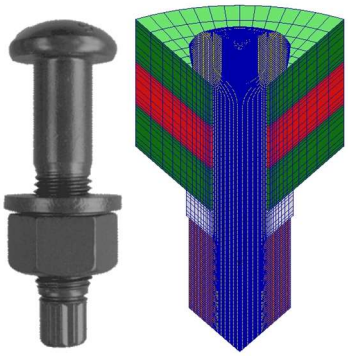
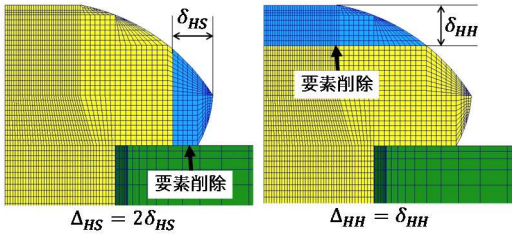
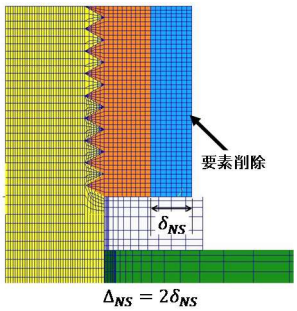


図 1 解析モデル



(a) ボルト頭部側面減肉　(b) ボルト頭部高さ減肉



(c) ナット部側面減肉

図 2 解析パラメータ

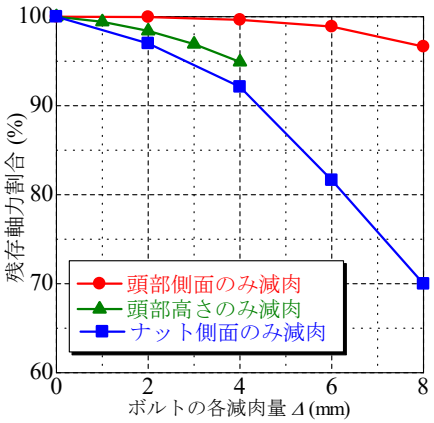


図 3 頭部高さ・側面減肉，ナット部側面減肉の解析結果

キーワード　トルシア形高力ボルト，残存軸力，腐食減肉

連絡先　琉球大学工学部工学科社会基盤デザインコース（〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原1番地）

© Japan Society of Civil Engineers

った．図 4 に減肉前後の変形挙動の比較を示す．図中のコンターは変位量を示している．ボルト頭部の減肉に着目すると，側面の減肉によって連結板とボルト頭部との接触面積が減少することで，連結板の孔近傍で局所変形が生じていることがわかる．一方，ボルト頭部高さが減肉した場合，ボルト頭部の剛性が低下するため，ボルト頭部の変形が増大しているといえる．このような変形が，ボルト軸部が伸びることで導入されたボルト軸力を低下させたと考えられる．

一方，ナット部では側面が減肉することで，ボルト頭部と同様に孔近傍の連結板で局所変形が生じることに加えて，ナットと連結板に挟まれる座金において回転変形が生じていることがわかる．ボルト頭部側には座金が使用されていないため，この座金の回転変形がボルト頭部とナット部の残存軸力低下量の差異の要因であると考えられる．

３．３減肉したトルシア形ボルトの残存軸力評価法の検討

減肉したトルシア形ボルトの残存軸力評価法を検討するために，図 3 の結果を減肉量の 2 乗値で再整理した結果を図 5 に示す．図中には各ケースの回帰直線も併せて示す．図より，減肉量の二乗値と残存軸力の関係は線形関係にあるといえる．そこで，ナット部の減肉量の回帰直線の勾配に対する各ケースの勾配の比を式(1)より算出し，式(2)に示すそれぞれの減肉量の二乗値より算出したΔ_{mod}を用いて評価を行った．

・ボルト頭部側面減肉量の 2 乗値の補正

$$(\Delta_{HSmod})^2 = 0.0460/0.4802 \cdot (\Delta_{HS})^2 = 0.096(\Delta_{HS})^2 \quad (1a)$$

・ボルト頭部高さ減肉量の 2 乗値の補正

$$(\Delta_{HHmod})^2 = 0.3274/0.4802 \cdot (\Delta_{HH})^2 = 0.682(\Delta_{HH})^2 \quad (1b)$$

・各減肉量の合計Δ_{mod}

$$\Delta_{mod} = \sqrt{(\Delta_{NS})^2 + (\Delta_{HSmod})^2 + (\Delta_{HHmod})^2} \quad (2)$$

各減肉量を組み合わせた 125 ケースについて評価した結果を図 6 に示す．図中には回帰曲線と回帰曲線の±5%とした領域についても併せて示す．図より全ての結果が±5%の領域にプロットされており，提案した手法により概ね減肉したトルシア形高力ボルトの残存軸力を高い精度で評価できる可能性が示された．

４．まとめ

1) トルシア形高力ボルトにおいて，ナット部と比較してボルト頭部の減肉が残存軸力の低下に及ぼす影響は小さい．
2) ボルト頭部では頭部高さが減少した場合，頭部の剛性低下により，側面が減肉した場合，連結板の孔近傍の局所変形により残存軸力が低下する．一方，ナット部の側面が減肉した場合，連結板の孔近傍の局所変形に加え，座金の回転変形により残存軸力が低下する．
3) 減肉量の二乗値に基づき算出した減肉量Δ_{mod}を用いることで，減肉したトルシア形高力ボルトの残存軸力を高い精度で評価できる可能性を示した．

謝辞：本研究は，日本鋼構造協会の鋼構造研究助成(研究代表者：田井政行)を受けて行った．ここに記して深謝いたします．

参考文献

1) 名取ら：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.
2) 下里ら：実腐食減肉形状を有する摩擦接合用高力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.

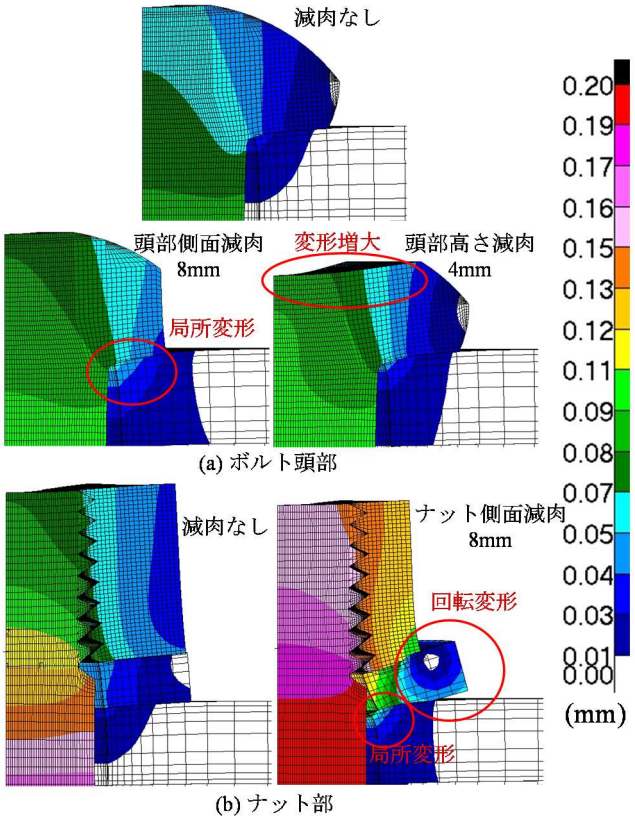


図 4 減肉前後の変形図の比較

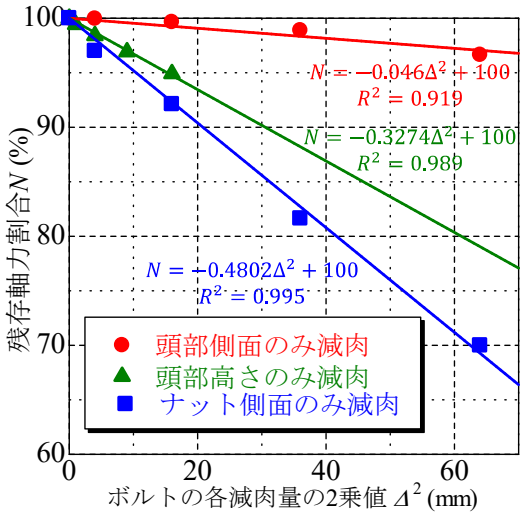


図 5 減肉量の 2 乗値による図 3 の再評価

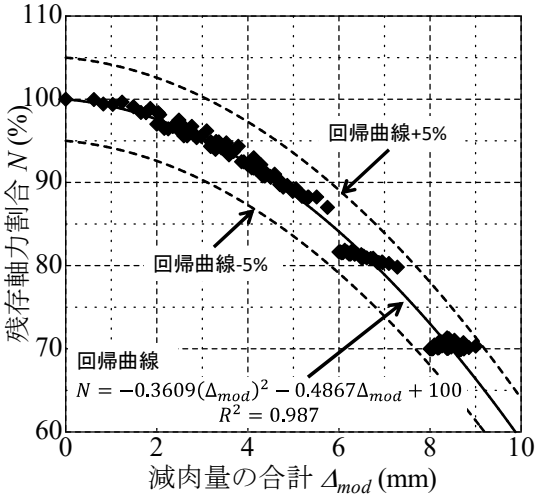


図 6 減肉量の合計による評価結果

© Japan Society of Civil Engineers