

新形状高力ボルト開発のための解析的研究

名城大学 正会員 渡辺 孝一

○名城大学 学生会員 杉野 喬弘

KS コンサルタント(株) 正会員 北岡 茂樹

(有)アートスクリー 非会員 松林 興

1. はじめに

少数主桁橋梁などの合理化構造形式の橋梁の普及により、ボルト継手断面の大型化やボルトの多列配置が避けられない傾向にある。このため、平成 29 年 11 月に改訂された道路橋示方書においては、すべり係数が 0.4 から 0.45 と変更され、ボルト継手の許容力の見直しが行われた。他方で、ボルト本体の許容力に着目すると、S14T などの高強度ボルトの適用によりボルト軸力を増加させることでボルト本数を軽減し、その結果、継手の小型化による施工性向上や建設費用の低減が見込まれるとの報告がある¹⁾。しかし、高強度ボルトは屋内環境などの限られた条件下で使用が認められており、橋梁に適用するための知見は不十分である。

そこで、高強度ボルトに代わる選択肢として、モーショントイトボルト（以後、「M-HTB」（仮称））の研究を行っている。M-HTB は、強度等級 F10T（S10T）の高力ボルト（HTB）と同じ軸径であるが図-1 に示すように、ボルト雄ねじの形状に円弧状の応力集中緩和部（矢印指示部）を設け、独自のねじ山角度を持たせた新形状ボルトであり、ボルト雄ねじの谷部に生じる応力集中を緩和し、高い軸力導入性能を目指したボルトである。外観や重量は HTB とほぼ同じで、HTB 用ナットが利用でき締付方法も従来と同様である。本研究では試行的に HTB ボルト軸径 M20 に相当する軸径 20mm（首下長さ 80mm）の M-HTB を製作し、クーボン継手試験によるすべり耐力試験等²⁾を実施してデータを蓄積している。実験と平行して、FEM 解析によるボルト細部の応力性状の分析を進めている。本稿では FEM 解析による M-HTB の特性を報告する。

2. 解析条件と解析モデル

本解析では、ボルトねじ山の接触によって発生する荷重分担率および雄ねじの応力分布に着目するため、図-2 に示すようにボルトとナットの部分断面を 4 節点平面応力要素で簡易的にモデル化した。解析に用いたソフトは、Abaqus ver. 6.13 である。図-3 に M-HTB の解析モデルを例示する。ボルトおよびナットには、ヤング率 $E=206\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ の材料特性を与え、ボルト $\sigma_y=900\text{MPa}$ 、ナット $1,100\text{MPa}$ の降伏応力を与えた。ボルトねじ山部分の変形性状に着目するため、ナット雌ねじ側は断面を増厚して剛な断面とした。材料構成則は 2 次勾配を $E/100$ とするバイリニア型の非線形特性を考慮した。同図内には 着目するねじ山

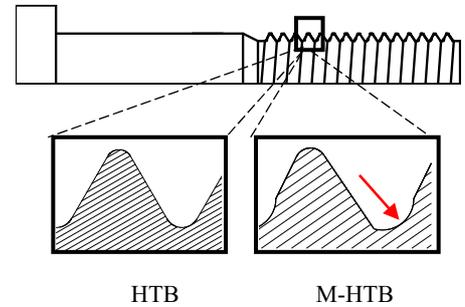


図-1 雄ネジ形状の違い

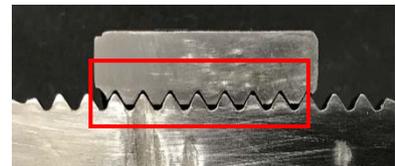


図-2 モデル化の範囲

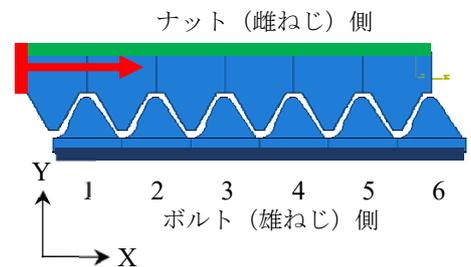


図-3 解析モデル (M-HTB の例)

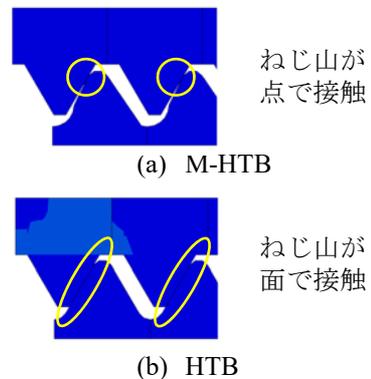


図-4 ボルト締め付け初期の挙動 (解析での Case1 状態)

キーワード 高力ボルト, 解析, 応力集中, 応力分担

連絡先 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部社会基盤デザイン工学科 TEL 052-838-1151

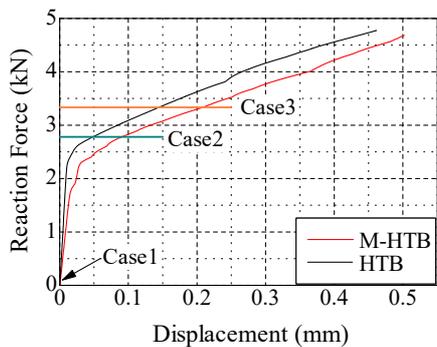


図-5 荷重-ナットの移動量

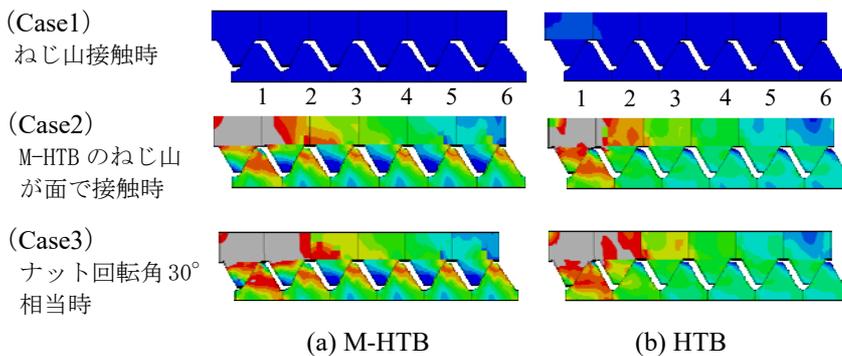


図-6 接触段階毎のミーゼスコンター

ボルトヘッド側の第1ねじ山からナンバリング(1~6)を示した。

3. 解析内容と結果

図-3に示すように、ボルト雄ねじ側は完全固定とし、ナットをボルト締付方向(X軸方向)に強制変位を与えるプッシュオーバー解析を行った。接触初期 Case1 では図-4の通り、M-HTB はねじ山形状の特徴によりナットねじ山と点で接触する。このようなボルトねじ山とナットねじ山の接触初期の干渉は、摩擦係数を0として自動収縮嵌合法を用いて解消させ、その後のステップでは摩擦係数³⁾を0から0.1に変更して強制変位を与えた。Case3は、M20ボルトの設計軸力をナット回転法によって導入する場合の計算上のナット回転量に相当する変位量である。解析結果を図-5に示す。強制変位を3つの段階で解析した結果を図-6に示す。コンターは暖色が応力集中部位を表す。

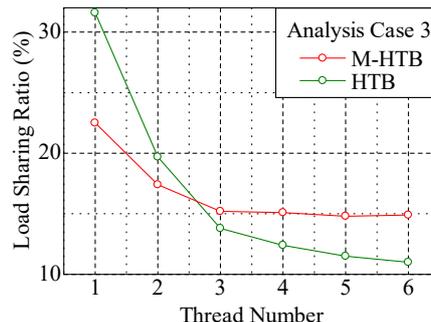


図-7 ねじ山の応力分担率

図-5から、M-HTBはHTBと比較してボルトねじ山の変形が大きめである。M-HTBは図-6(a)において、Case1からCase2の過程でねじ山が点の接触から面の接触に移行しており、その変形は第1ねじ山で顕著である。また、図-6(b)においてHTBは第1ねじ山に応力が集中しているが、M-HTBは、1~6のすべてのねじ山に応力が分散されていることがわかる。また、M-HTBのCase3時点の反力と同等のHTBについて、ねじ山の応力分担率を示したものを図-7に示す。HTBは第1ねじ山に全体の33%が集中しており、第6ねじ山では僅か11%である。しかしM-HTBは、第1ねじ山で23%、その他のボルトも15%から18%の割合で概ね均等となっていることがわかった。

表-1 ねじ山の応力集中 (Case3)

ねじ山番号	M-HTB			HTB		
	σ_n	σ_{max}	α	σ_n	σ_{max}	α
1	841	1,090	1.30	854	3,999	4.68
2	650	623	0.96	534	3,097	5.80
3	570	631	1.11	372	2,147	5.77
4	563	619	1.10	335	1,973	5.89
5	555	601	1.08	312	448	1.44
6	557	600	1.08	296	433	1.46
平均	623	694	1.10	450	2,016	4.17

表-1に、ねじ山毎のメッシュ領域から抽出した平均応力 σ_n (MPa)と、最大応力 σ_{max} (MPa)をまとめたものを示す。応力集中係数 $\alpha = \sigma_{max} / \sigma_n$ とすれば、表からHTBは平均で4.17倍であるのに対して、M-HTBでは1.10倍であり、特にねじの谷部位の応力集中が顕著に軽減されることがわかった。

4. まとめ

本報告ではM-HTBの応力特性に関する解析的検討の一部を報告した。簡易解析であるが、ねじ山形状の違いによってM-HTBがねじ山応力集中の効果的な分散など優位な特性が確認できた。従来よりも高い軸力を導入可能なボルトとして、応力状態やリラクゼーション特性について、厳密な解析検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 太田雅夫, 山口隆司: 太径・高強度高力ボルトを用いた摩擦接合の有効性に関する検討, 土木学会第57回年次学術講演会, I-132, pp.263-264, 2002.
- 2) 浅井駿也, 渡辺孝一, 山田健人, 則次代智: 新形状高力ボルト開発の基礎的研究, 土木学会中部支部研究発表会, I-005, pp.9-10, 2018.3.
- 3) 吉本勇: ねじ締結体設計のポイント改訂版, 日本規格協会, 2002.