

## 環境配慮型高力ボルトの開発に関する解析的研究

宮地エンジニアリング株式会社 正会員 ○吉元 大介  
 大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司  
 宮地エンジニアリング株式会社 正会員 飯野 元

### 1. 研究の背景および目的

鋼橋建設工事における高力ボルト摩擦接合継手には、トルシア形高力ボルトが多く使用されている。トルシア形高力ボルトは、JIS規格化されている高力六角ボルトに対して施工管理の簡略化と施工精度の向上を目的として開発され、そのボルト締結機構による多くの特長を有している。その一方で、その構造的特徴であるピンテールの落下防止および回収作業、破断部の研磨処理および鉄粉飛散防止ならびに清掃作業等を要するなど、塗装工程まで含めると必ずしも作業効率性に優れているとは言えないとの指摘がある<sup>1)</sup>。また、トルシア形高力ボルトは頭部にボルト締緩用の平面がないため、取外しが困難で頭締めが不可能など適用上の制約もある。トルシア形高力ボルトのピンテールを省略し、頭部にボルト締緩機能を付加した新型の高力ボルト製品は、現場作業の軽減・効率化、材料・現場廃棄物の削減、製品コスト低減など社会環境や自然環境への影響にも配慮したものとなることが考えられる。ここでは、このような環境配慮型高力ボルトの開発を目的として、その頭部形状に着目したFEM解析による検討を実施する。

### 2. ボルトの頭部形状

環境配慮型高力ボルトの製造は、基本的にトルシア形高力ボルトと同様にボルトフォーマによる冷間成形で棒鋼を圧造して頭部成形し、高力六角ボルトと同じくボルト締緩用の平面をトリミングした後に転造機によるねじ加工を行うものとする<sup>2)</sup>。検討する環境配慮型高力ボルト頭部の平面形状は、トルシア形高力ボルトと同様の円形と、円形から四角形、六角形、八角形にトリミングしたものを比較・検討する(図-1)。

### 3. 解析モデルと解析条件

解析モデルの形状・板厚構成は、標準すべり試験体(材質: SM490Y)<sup>3)</sup>からボルト1本分に相当する範囲を図-2に示す寸法で取り出した。

有限要素解析コードはSimcenter Femap with Nastran Version 2020.2、要素タイプはソリッドで弾性係数 $E=200$  GPa、ポアソン比 $\nu=0.3$ である。鋼板およびボルト・ナット等の各部材間はそれぞれマスター・スレーブ型接触(固着)とし、ボルト軸力はNastranがサポートしている初期ボルト荷重オプションを用いて $F=225.5$  kN(設計軸力205 kNの10%増)を導入する。なお、解析タイプは静解析である。

### 4. 解析結果および考察

#### (1) ボルト軸力導入解析

ボルト軸力導入による鋼板部の代表的な応力分布を図-3に示す。ここで用いる応力度は、材料の降伏と塑性化の範囲を確認することを目的とし、ミーゼス応力を選定した。

上連結板のボルト孔縁部は、ボルト頭部の変形に伴う応力集中により、降伏応力度を超える応力が生じている。水平方向分布を見ると過大な応力の発生は孔縁部のみで、ボルト頭部の範囲内で急激に低下する様子が見られる。

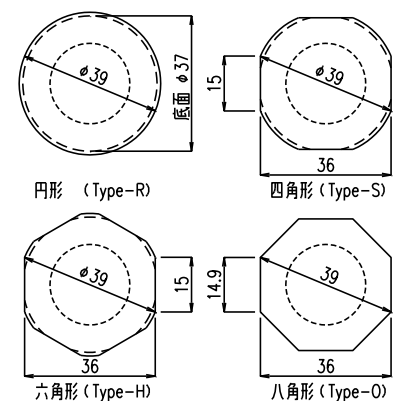


図-1 ボルト平面形状(単位: mm)

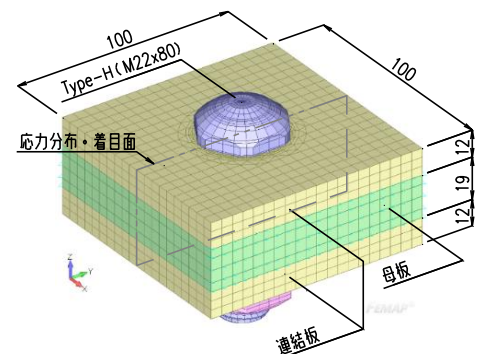


図-2 解析モデルの例(単位: mm)

キーワード 高力ボルト, 環境配慮, 頭部形状, FEM解析

連絡先 〒290-8580 千葉県市原市八幡海岸通3番地 宮地エンジニアリング(株)千葉工場 TEL: 0436-43-8111

ボルト孔面の鉛直方向分布も同様に、上連結板の孔縁部の過大な応力は締付厚中心方向に向かって低下し、下面（母板境界位置）において上面での応力度のほぼ40%に低下する。水平方向分布および鉛直方向分布とも、ボルト頭部の平面形状による差異はほとんどなく、トリミング部には多少の応力度の増加は生じるものの、その形状による影響は非常に小さいものと考えられる。

ボルトの平面形状に関しては、応力性状とともに製造コストおよび施工性等の観点も併せて考慮する必要がある。四角形にトリミングする場合が最も製造時の加工が少ないがスパナ等をセットする際の回転角が大きくなる。八角形は軽量化には有効である一方で、防食上はトリミング縁の角に丸みがなく塗膜厚の確保が難しい。六角形は両者の中間的位置づけであり、現状使用されている締結工具を用いることができることが優位と思われるため、総合的に最も妥当な形状であると判断した。

## (2) 締緩トルク導入解析

ボルト頭部の締緩作業に際し、レンチ/スパナと接触するトリミング面の高さの影響を確認するために、ボルト頭部に締緩時のトルクを導入する解析を実施した。ボルト頭締め時のトルク係数は不明のため、過去の実験結果<sup>4)</sup>を参考に、安全側としてトルク係数値0.160相当のトルク値をボルト軸力とともに導入した。

解析は六角形のみを対象とし、六面のうち相対する二面をレンチで固定する方法でレンチにトルクを導入している。トリミング面の最小高さ $h_{\min}$ 位置における水平方向の応力分布を図-4に示す。なお、ナット側において同様のトルクを導入した場合の解析結果も参考として示した。

トリミング面の高さ $h$ の増加とともに面端部の応力度は低下する傾向が表れており、 $h_{\min} = 6 \text{ mm}$ の場合でボルトの降伏応力以下となった。

## 5. まとめ

環境配慮型高力ボルトの開発を目的として、締緩機能を付加したボルト頭部形状を決定するために、FEM解析による検討を行った。

ここで検討した半円頭型のボルト頭部を六角形にトリミングするタイプの高力ボルトは、力学的性状にトルシア形高力ボルトの頭部と比較して大きな差異がないことを確認できた。今後は本検討の頭部形状をプロトタイプとして製造し、ボルト部品に求められる要求性能・材料規格に関する試験を実施するとともに、すべり試験による継手性能の確認、実構造物の継手部に適用した場合の載荷試験等を計画・実施していく予定である。

## 参考文献

- 1) 南, 遠藤, 小峰, 藤野, 吉岡, 宮井: 架設現場での高力ボルト締付け作業の実態と作業効率向上に向けた方策案, 橋梁と基礎, 令和元年9月, pp. 27~33, 建設図書
- 2) 日本鋼構造協会: JSSCテクニカルレポート No. 96 高力ボルト接合技術の現状と課題, pp. 33~37, 平成25年3月
- 3) 土木学会: 高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案), pp. 44~46, 平成18年12月
- 4) 加藤, 小野, 若菜, 城岡, 平: 高力ボルトの頭部を回して締付ける場合の軸力管理方法, 土木学会第56回年次学術講演会, I-B058, pp. 116~117, 平成13年10月

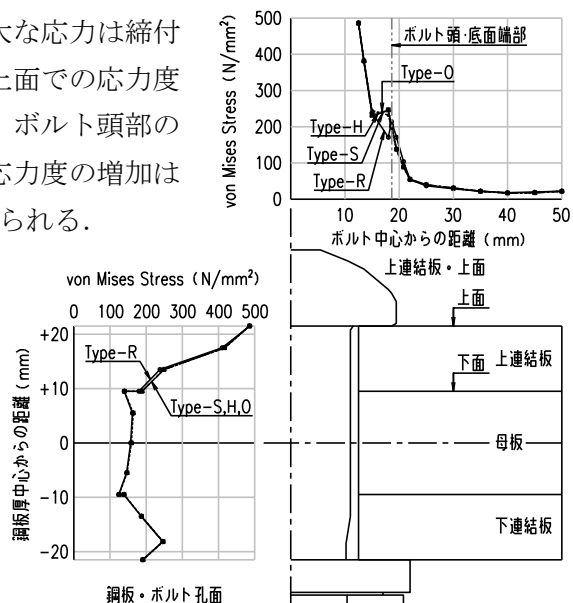


図-3 ボルト軸力導入時の鋼板応力分布  
(寸法単位: mm)

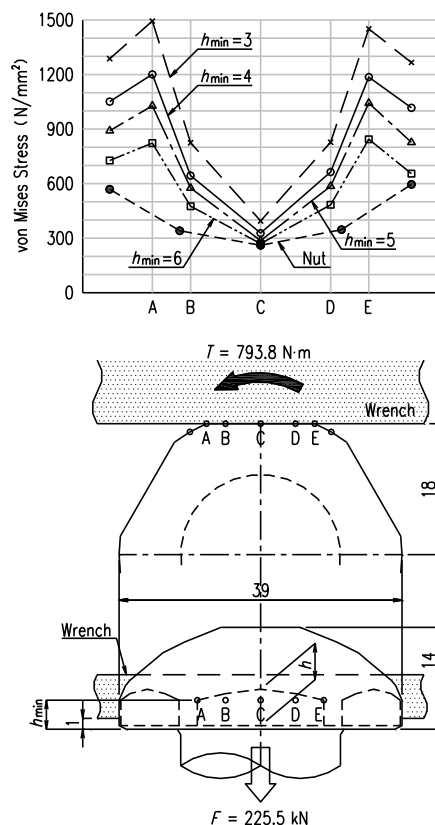


図-4 トルク導入時のボルト応力分布  
(寸法単位: mm)