

母板に拡大孔・長孔を有する高力ボルト摩擦接合継手に関する解析的検討

法政大学 正会員○内田 大介 フェロー 森 猛 非会員 加藤 宏隆
 (株)三井 E&S 鉄構エンジニアリング 濱 達矢

1. はじめに

国内における高力ボルト摩擦接合継手のボルト孔の標準ボルト孔径は、ボルトの呼び M20,22,24 に対しては呼び径+2.5mm が一般的である。しかし、部材の取合いや製作精度の関係で標準ボルト孔径では施工が困難な場合がある。このため、道路橋示方書では施工上止むを得ない事例については呼び径+4.5mm までの拡大孔を許容しているが、さらに余裕が必要な場合には、母板のボルト孔を長孔に変更する等の処置が選択される場合もある。一方で、欧米では、連結板は標準孔とし、すべり耐力を求めるためのすべり係数を低減することにより、母板に拡大孔・長孔を使用することを認めている。本研究では、摩擦面の処理を昨今の鋼橋で一般的な厚膜型無機ジンクリッチペイントの塗装とした高力ボルト摩擦接合継手に対し、連結板を呼び径+4.5mm の拡大孔、母板に連結板よりも大きな拡大孔あるいは長孔を使用した場合のすべり係数について、非線形 FEM 解析を行うことにより検討する。

2. 解析対象

解析基本モデルを図-1に示す。基本モデル NH は M22 の標準孔 ($\phi 24.5\text{mm}$) を有するモデルであり、拡大孔、長孔モデルでは連結板のボルト孔径を $\phi 26.5\text{mm}$ とし、母板のボルト孔の形状を変化させた。拡大孔モデル EH1,2,3 は母板のボルト孔径を $\phi 26.5, 28.5, 32.5\text{mm}$ としたモデルである。長孔モデルは $\phi 26.5 \times 28.5\text{mm}$ の短い長孔 SSH と $\phi 26.5 \times 55\text{mm}$ の長い長孔モデル LSH の2種類である。長孔モデルは基本モデルよりも連結板の長さで連結板の中央のボルトピッチを 20mm 大きくし、連結母板間の隙間の大きさを変えてボルト締付け位置を SSH で3ケース、LSH で5ケース、変化させた。図-2 に各モデルのボルト孔形状とボルト締付け位置を示す。なお、これらのうち、NH, EH2, EH3, LSH1, LSH3, LSH5 モデルでは別途、すべり耐力試験を実施している¹⁾。

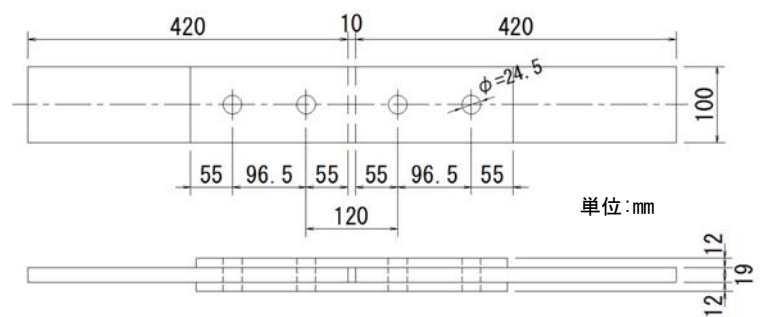


図-1 基本モデル NH

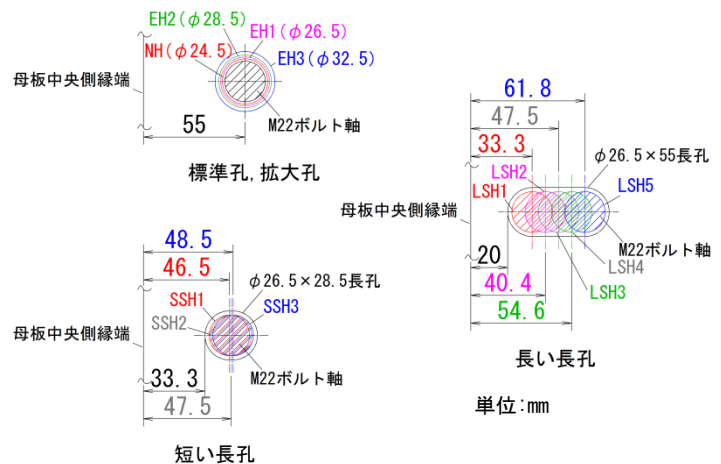


図-2 解析パラメータ

3. 解析モデル

FEM 解析には ABAQUSver.6.11 を用い、材料非線形性と幾何学的非線形性を考慮した。解析モデルは対称性を考慮した 1/8 モデルで、6 節点、あるいは 8 節点ソリッド要素を用いた。ボルト孔近傍の要素寸法は約 1mm × 1mm × 1mm である。引張荷重は母板端部に強制変位で与えた。解析モデルの一例を図-3 に示す。鋼材のヤング率 E は $2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、ポアソン比は 0.3 とし、降伏点は、鋼材では別途実施した引張試験の結果より 395 N/mm^2 、高力ボルトはミルシート値の 1043 N/mm^2 を用いた。応力-ひずみ曲線はバイリニアとし、降伏後の応力-ひずみ関係の傾きは $E/10000$ とした。ボルトセットは、頭部は F10T の六角形と面積の等しい円形でモデル化し、ボルト頭部、ワッシャ、母板は簡単のため一体としている。ボルト軸力は M22 の標準軸力 (205kN)

キーワード 高力ボルト摩擦接合接手, 拡大孔, 長孔, すべり係数

連絡先 ☎162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33 TEL 03-5228-1453

を試験体厚さ方向の対称面に強制変位で与えた．母板と連結板の接触面は初期隙間を 0.0mm とし面接触を考慮した．摩擦係数は便宜上，文献 2)に示されたアルミ溶射面の接触圧 σ と摩擦係数 μ の関係を基本とし，文献 1)のすべり試験結果とキャリブレーションすることにより補正した次式の関係要素毎に考慮した．

$$\mu = (4.54 \times 10^{-6} \cdot \sigma^2 - 3.38 \times 10^{-3} \cdot \sigma + 1.16) / 1.4$$

4. 解析結果

基本モデルにおけるボルト間中央部側面における荷重と母板-連結板間の相対変位の関係を図-4 に示す．すべり荷重は最大荷重とした．図-5 はすべりが生じた際の標準孔モデル NH， $\phi 32.5$ 拡大孔モデル EH3， $\phi 26.5 \times 55$ 長孔モデル LSH3(中央部締付け)モデルの接触面の圧力分布である．拡大孔モデルでは，接触圧分布の面積が減少し，全体的に接触圧が高くなっている．長い長孔では，接触圧分布の面積がさらに減少し，高い接触圧が確認できる．解析より得られたすべり係数と標準孔モデル NH からのすべり係数の低減率（低減係数）の一覧を表 1 に示す．表中には実験で得られたすべり係数も示しているが，今回の解析により実験を概ね再現できている．低減係数は AASHTO と Eurocode の M22 のボルトに対する同じようなボルト孔に対するものも示しているが，本研究で得られた低減係数と比較してかなり安全側の設定となっている．今後は鋼材の材質や板厚等についても検討する必要があるが，欧米よりも小さな低減係数を設定できる可能性がある．

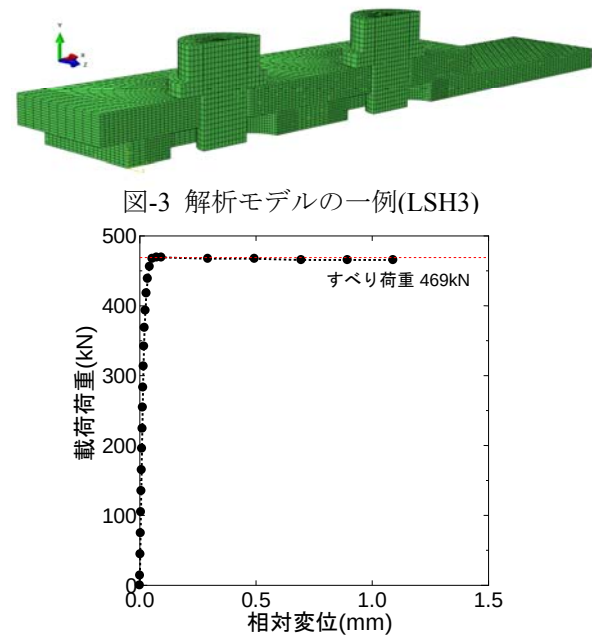


図-3 解析モデルの一例(LSH3)

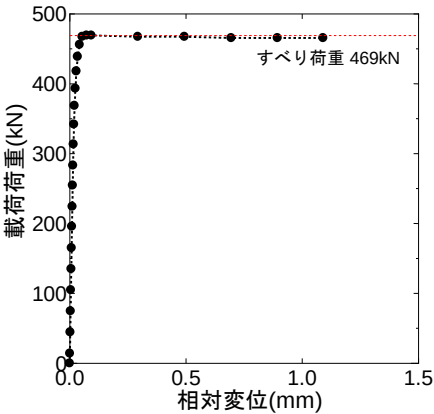


図-4 荷重-相対変位関係(NH)

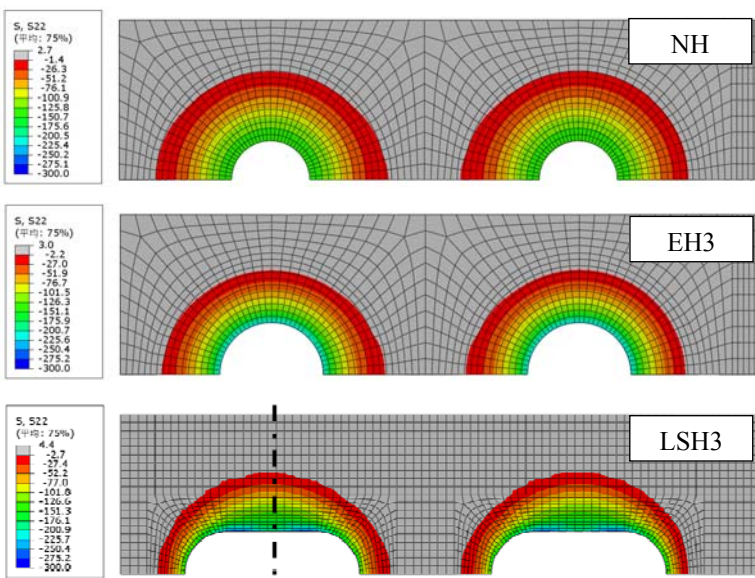


図-5 接触圧のコンター図

表-1 すべり係数と低減係数の一覧

モデル名	ボルト孔形状	すべり 荷重(kN)	すべり係数		低減係数		AASHTO		Eurocode	
			解析結果	実験結果	解析結果	実験結果	ボルト孔形状	低減係数	ボルト孔形状	低減係数
NH	$\phi 24.5$	469	0.572	0.573	-	-	$\phi 23.6$	-	$\phi 24.0$	-
EH1	$\phi 26.5$	460	0.561	-	0.98	-	$\phi 26.8$	0.85	$\phi 26.0$	0.85
EH2	$\phi 28.5$	456	0.556	0.526	0.97	0.92				
EH3	$\phi 32.5$	433	0.528	0.534	0.92	0.93				
SSH1	$\phi 26.5 \times 28.5$	458	0.558	-	0.98	-	$\phi 23.6 \times 28.5$	0.85	$\phi 24.0 \times 28.0$	0.76
SSH2		460	0.561	-	0.98	-				
SSH3		461	0.562	-	0.98	-				
LSH1	$\phi 26.5 \times 55$	421	0.513	0.533	0.90	0.93	$\phi 23.6 \times 55$	0.6	$\phi 24.0 \times 55$	0.63
LSH2		411	0.501	-	0.88	-				
LSH3		413	0.503	0.524	0.88	0.91				
LSH4		421	0.513	-	0.90	-				
LSH5		421	0.513	0.508	0.90	0.89				

参考文献：1)濱，内田，森，加藤：母板に拡大孔・長孔を有する高力ボルト摩擦接合接手に関する実験的検討，土木学会第 73 回年次学術講演会，2018.8. 2) 東，熊井：添板摩擦面にアルミ溶射を施した高力ボルト摩擦接合部の平均接触圧と摩擦係数に関する研究，鋼構造論文集，第 23 巻第 90 号，2016.6.