

第 I 部門

皿型高力ボルト一面摩擦接合継手を適用した鋼床版縦継手に関する解析的検討

大阪公立大学大学院 学生員 ○瀬川 大翔 大阪公立大学大学院 正会員 山口 隆司

1. 研究背景と目的

鋼床版デッキプレート（以下、デッキ）接合部への皿型高力ボルト一面摩擦接合継手（以下、皿型ボルト一面継手）の適用性について、輪荷重載荷時の変形性能および応力性状について検討が行われている<sup>1)2)</sup>。

本研究では、鋼床版縦継手（橋軸方向の継手）を対象に、皿型ボルト一面継手を適用した場合に、設計計算と同様の条件で解析を行い、耐荷性能および応力性状について検討した。

2. 解析対象と解析モデル

表-1 にデッキ継手の構造諸元および横リブ継手の設計耐力、図-1 に解析モデルを示す。解析には、弾塑性有限要素解析ソフト Abaqus/Standard2023 を用いた。解析モデルは横リブ間隔から計算した有効幅で作成し、対称性を考慮した 1/2 モデルとした。横リブ設計時の断面力は、等価格子法による影響線解析を実施した際の死荷重および T 荷重載荷時における最大曲げモーメントに割増係数等を換算したものである。

必要ボルト本数は、図-2 に示すように、横リブの下フランジに許容引張応力度  $\sigma_{ta}$  の 75% が作用した場合に、デッキの有効幅に生じる圧縮力を許容摩擦力  $\rho_a$  で除することで算出し、図-3 に示すようにボルトを配置した。

使用要素は 8 節点低減積分ソリッド要素を用いた。メッシュサイズは、ボルトセットは 2mm, その他は 5mm とし、板厚方向に 4 分割した。接触条件は、ボルト-ボルト孔間、母板-連結板間、連結板-座金間、ボルト-座金間にそれぞれクーロン摩擦（摩擦係数 0.01, 0.4, 0.01, 1.0）を与え、境界条件は中立軸位置をピン支持した。

材料構成則はひずみ硬化を  $E/100$  ( $E$ : ヤング率) で考慮したバイリニア型とし、ヤング率  $E$ , ポアソン比  $\mu$  はそれぞれ 200,000 N/mm<sup>2</sup>, 0.3 を与えた。また、降伏点  $\sigma_y$  は鋼床版および連結板に 235N/mm<sup>2</sup>, ボルトセットに 900N/mm<sup>2</sup> を与えている。

解析ステップは、図-1 で示すように、全てのボルトに設計軸力 (205 kN) を導入した後、理論上、デッキ継手の設計すべり耐力の 5 倍に相当する荷重となるように、中立軸まわりの回転 (0.005 rad) を与えることで載荷した。

3. 解析結果と考察

図-4 にデッキ継手における荷重-相対変位関係を示す。荷重は強制回転による反モーメントからデッキに作用する力を算出したものである。相対変位は、横リブから 1, 3 行目におけるデッキと連結板の接合面における水平変位差を示す。また、図-5 にはデッキ継手における軸力低下率-相対変位関係を示す。軸力は横リブからの行数別に分類した。

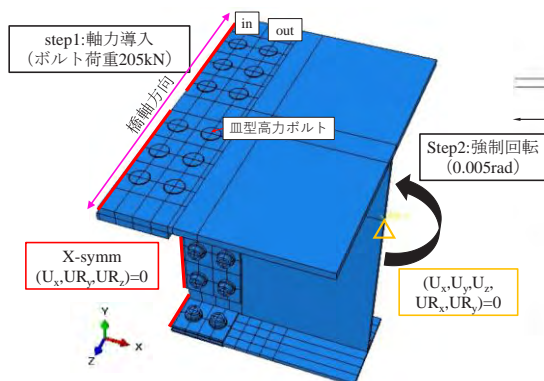


図-1 解析モデル

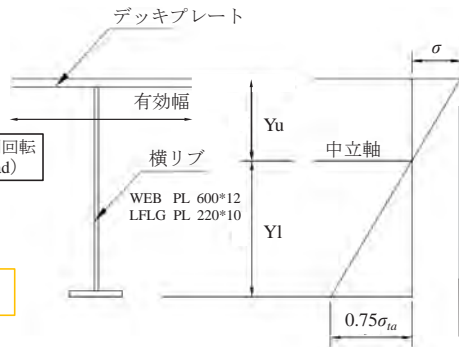


図-2 設計での応力状態

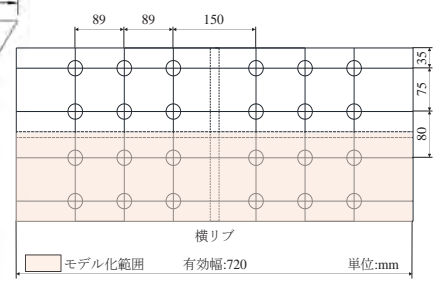


図-3 ボルト配置

表-1 構造諸元

ボルトの種類	鋼材の種類	$t_m$	$t_s$	$t_d$	$d$	$\mu$	$N_d$	$P_{sd-DECK}$	$P_{sd-LFLG}$	$P_{y-LFLG}$	$L$	$B$	$\lambda$	$M$
皿型高力ボルト M22C10T	SM400	16	16	8.2	26.5	0.4	205	984	656	402	4000	2019	720	145.9

$t_m$ : デッキ厚(mm),  $t_s$ : 連結板厚(mm),  $t_d$ : 皿型加工深さ(mm),  $d$ : 孔径(mm),  $\mu$ : 設計すべり係数,  $N_d$ : 設計軸力(kN),  $P_{sd}$ : 設計すべり耐力(kN),  $P_y$ : 純断面降伏耐力(kN),  $L$ : 固定点間距離(mm),  $B$ : 横リブ間隔(mm),  $\lambda$ : 有効幅(mm),  $M$ : 設計荷重作用時断面力(kN・m)

図-4より、横リブから離れるほど相対変位は大きくなっている。これは、デッキ端部は拘束がなく変形が大きくなることに加えて、デッキ継手は一面継手であり、接合部で偏心曲げの影響を受けたためと考えられる。本解析では、すべりによって荷重が増加しなくなる時点より、デッキと連結板の相対変位が0.2mmに達する方が早かったため、相対変位0.2mmに達した時点ですべり荷重とした<sup>3)</sup>。このときのすべり荷重は約1013kNであり、設計すべり耐力を約3%上回った。一般的に継手に偏心曲げが作用するとすべり耐力は低下するが、図-5に示すように、圧縮力が作用したことで、ポアソン効果による板厚増加によりボルト軸力が増加し、すべり耐力が上昇したためと考えられる。

図-6に相対変位0.2mm時点の鉛直変位コンターを示す。横リブ近傍では、デッキと横リブの鉛直変位に大きな差は見られず、一体的に変形していることが確認できる。一方、デッキ端部では横リブ近傍と比較して鉛直変位が大きくなっている。

図-7に曲げモーメント-回転角関係を示す。解析により得られた初期剛性は、理論値と比較して低い値を示した。これは、デッキ継手における偏心の影響により付加曲げが生じたためと考えられる。

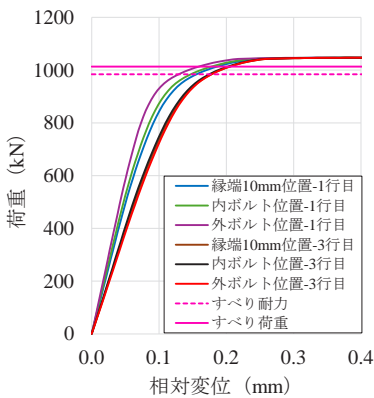


図-4 荷重-相対変位

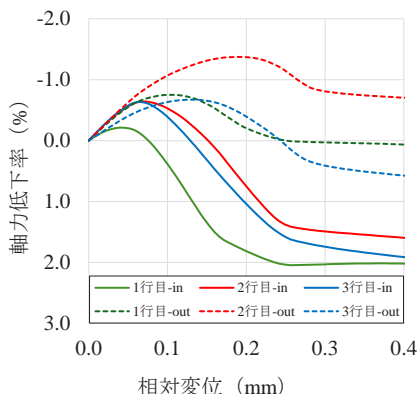


図-5 軸力低下率-相対変位

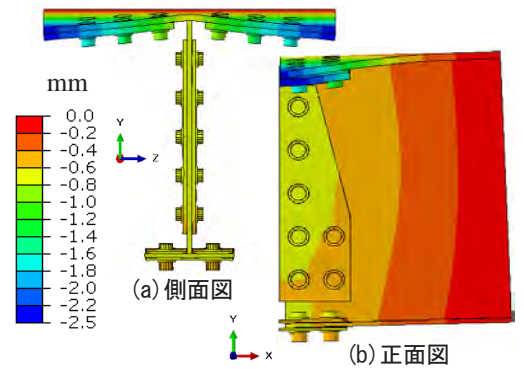


図-6 相対変位0.2mm時の鉛直変位コンター (変形倍率: 20倍)

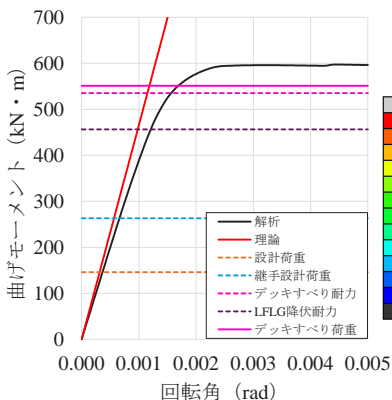


図-7 曲げモーメント-回転角

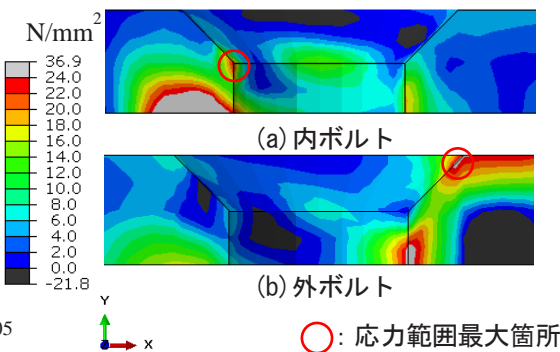


図-8 皿型加工部最大主応力範囲コンター

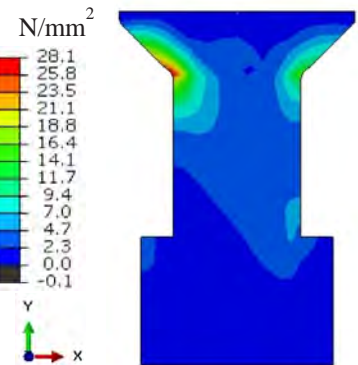


図-9 皿型高力ボルト最大主応力範囲コンター

図-8, 9に設計断面力作用時における皿型加工部および皿型ボルトの最大主応力範囲コンターを示す。ここでは、設計断面力作用時に生じた最大主応力から、軸力導入時に生じた最大主応力を差し引いた応力範囲を示している。応力範囲は、皿型加工部では横リブから1行目で最大となり、皿型ボルトでは横リブから2行目に位置する内側ボルトで最大となった。皿型加工部ではボルト孔の断面変化点で応力範囲が最大となり、その値は約25 N/mm<sup>2</sup>であった。また、皿型ボルトでは首下r部で応力範囲が最大となり、その値は約28 N/mm<sup>2</sup>であった。

#### 4. まとめ

- 1) デッキ継手の荷重-相対変位関係において、すべり荷重は設計すべり耐力より約3%上回った。
- 2) 設計断面力作用時の皿型加工部および皿型ボルトに発生する最大主応力範囲の最大値はそれぞれ約25 N/mm<sup>2</sup>、28 N/mm<sup>2</sup>であった。

<参考文献>

- 1) 小西美里, 山口隆司, 林敏, 吉見正頼: 面外荷重載荷時の鋼床版皿型高力ボルト1面摩擦接合継手の変形・応力性状, 令和6年度土木学会第79回年次学術講演会, 1-312, 2024.
- 2) 瀬川大翔, 山口隆司, 林敏, 吉見正頼: 鋼床版縦継手における皿型高力ボルト1面摩擦接合継手の性能検討, 土木学会全国大会第80回年次学術講演会, 2025.
- 3) 小西美里, 山口隆司, 林敏, 吉見正頼: 母板に皿型加工を有する皿型高力ボルト1面摩擦接合継手の力学的挙動, 鋼構造論文集, Vol.30, No120, pp.87-99, 2024.