

母材を皿型加工した皿型高力ボルト1面摩擦接合継手の板厚構成がすべり耐力に与える影響

大阪公立大学大学院 学生員 ○小西 美里
 大阪公立大学大学院 正会員 山口 隆司
 川田工業(株) 正会員 吉田 賢二

大阪公立大学大学院 正会員 林 巖
 宮地エンジニアリング(株) 正会員 郎 宇
 NEXCO 西日本コンサルタンツ(株) 正会員 加藤 大樹

1. 研究背景および目的

鋼床版デッキプレート現場継手部の舗装耐久性、舗装打ち替え時の施工性をさらに向上させるために、鋼床版デッキプレートのフルフラット化が望ましく¹⁾、皿型高力ボルト(以下、皿型ボルト)を用いた1面摩擦接合継手(以下、1面継手)の使用が望まれている。しかし、1面継手は板厚方向に非対称であることから面内荷重によって偏心曲げが生じること、摩擦面数が1枚になることで、すべり耐力が2面摩擦接合継手の半分以下となること²⁾など課題も多い。したがって、構成部材の板厚が皿型ボルトの1面継手のすべり耐力に及ぼす影響を解明し、すべり耐力設計式を確立する必要がある。

ここでは、FEM解析により、母材を皿型加工した皿型ボルト1面継手を対象に連結板厚が面外変位やすべり耐力に及ぼす影響を検討する。

2. 解析手法

表-1、図-1に解析ケース、解析モデルをそれぞれ示す。解析ソルバーにはAbaqus/Standard2020を用い、継手長を790mm、板幅を100mmとした1面継手を、遊間部中央、板幅方向で対称性を考慮してモデル化した。使用要素は、8節点低減積分6面体1次要素を基本とし、メッシュサイズの遷移箇所には10節点4面体2次要素を用いた。接触条件には、母材-連結板間、ボルト軸部-ボルト孔壁間、ボルト-座金間、連結板-座金間にクーロン摩擦モデルを付与した。部材間ごとの摩擦係数は図-1に示すとおりである。

ボルト軸力は、M22F10Tの設計軸力(=205kN)である。引張荷重は締付完了後、母材端面に様な強制変位として与えた。材料特性は、表-2に示すように、母材および連結板はSM490、ボルトセットはC10Tとし、ひずみ硬化を $E/100$ で考慮したバイリニア型で再現した。

解析パラメータは、すべり/降伏耐力比 β 、連結板/母材降伏耐力比 γ とした。解析の最大荷重をすべり荷重としている。

表-1 解析ケース

ケース名	孔径(mm)	板厚(mm)		すべり/降伏耐力比 β	連結板/母材降伏耐力比 γ
		母材	連結板		
C-16O-22O	26.5	16	22	0.46	1.48
C-16O-16O		16	16		
C-12O-16O	12	16	16	0.92	1.47
C-12O-12O		12	12		

表-2 材料特性

使用部材	鋼種	弾性係数 E (N/mm ²)	ポアソン比	真応力(N/mm ²)	対数ひずみ
母材	SM	200,000	0.3	325.5	0.000
連結板	490			423.3	0.048
ボルト	C10T			904.1	0.000
座金				996.0	0.046

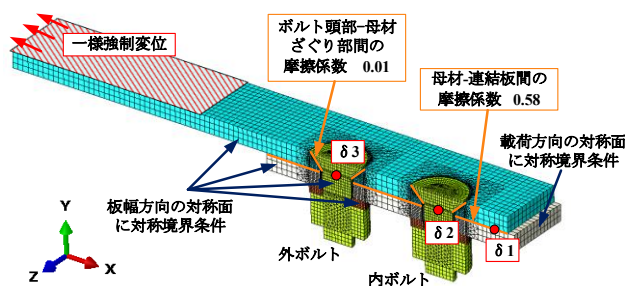
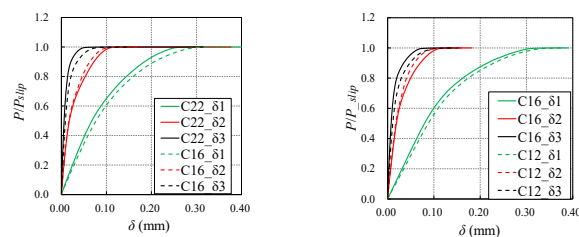


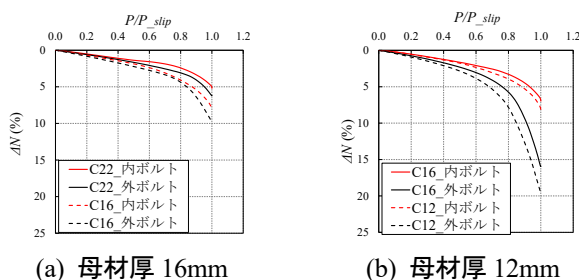
図-1 解析モデル



(a) 母材厚 16mm

(b) 母材厚 12mm

図-2 相対変位



(a) 母材厚 16mm

(b) 母材厚 12mm

図-3 ボルト軸力低下率

3. 解析結果と考察

図-2に荷重と相対変位の関係を、図-3に荷重とボルト軸力低下率の関係をそれぞれ示す。相対変位(δ_1 , δ_2 , δ_3)の測定位置は図-1に示すように、 δ_1 は母材縁端部から10mm、 δ_2 は内ボルト位置、 δ_3 は外ボルト位置である。縦軸は荷重をすべり時荷重 P_{slip} で無次元化している。

図-2より、連結板厚の薄い方が、内ボルト位置の相対変位 δ_2 は小さく、一方、外ボルト位置の相対変位 δ_3 と

10mm 位置の相対変位 δ_1 は大きくなった。また、図-3 に示すようにボルト軸力低下率においても、相対変位が大きい方が軸力低下率は大きい。

図-4 にすべり時荷重時の偏心曲げによる面外変位を、図-5 に継手一般部を基準とした母材遊間部の板厚方向面外変位の最大値とすべり係数の関係を、図-6 にすべり/降伏耐力比 β とすべり係数の関係をそれぞれ示す。図中の赤線は解析結果の近似曲線、黒線は2面摩擦接合継手のすべり/降伏耐力比 β とすべり係数の関係式³⁾である。すべり係数 μ はすべり時荷重と導入軸力から求めた。

図-4、図-5 より、すべり荷重時の面外変形は母材厚や連結板厚が薄くなると大きくなり、すべり係数は低下した。これは連結板厚が薄いほど、曲げ剛性が小さく高い応力が発生することにより、ボルトの軸力低下が大きくなったからと考えられる。図-6 に示すように、すべり/降伏耐力比 β が 0.45~0.65 の範囲で、 β が大きくなるとすべり係数が小さくなっており、1面継手における偏心の影響によりすべり係数の低下が、2面摩擦接合継手より β が小さい範囲において発生していることがわかる。

皿型ボルト摩擦接合継手では、皿型加工および導入軸力から、母材、連結板の降伏性状がすべり耐力に影響を及ぼすと考えられる。そこで、すべり荷重時のボルト孔位置断面の Mises 応力コンターを図-7 に示す。

図-7 より、内ボルト位置では、母材厚が等しい場合、連結板/母材降伏耐力比 γ の減少に伴って、連結板の断面積に対する降伏範囲は大きくなっている。連結板/母材降伏耐力比 γ が同程度である C-160-220 と C-120-160、C-160-160 と C-120-120 をそれぞれ比較すると、 β が大きくなると、母材の降伏範囲は板幅方向に大きくなっているが、板厚方向は大きく変化していない。これは、面外変形による引張応力が母材の内ボルト位置で大きくなるためと考えられる。断面積に対する降伏範囲は増加しているが、ボルト軸力低下率は大きく変化していない。

外ボルト位置では、すべり/降伏耐力比 β の増加に伴い、母材の降伏範囲が増加している。また、連結板厚が低下すると、母材板幅方向に降伏範囲が増加している。これは、面外変形の増加に伴って、母材下側に引張応力が大きくなるからと考える。

4. まとめ

- 1) 1面継手では、2面継手に比べ、すべり/降伏耐力比 β が 0.45~0.65 の範囲においても、 β が大きくなるとすべり係数が小さくなる。

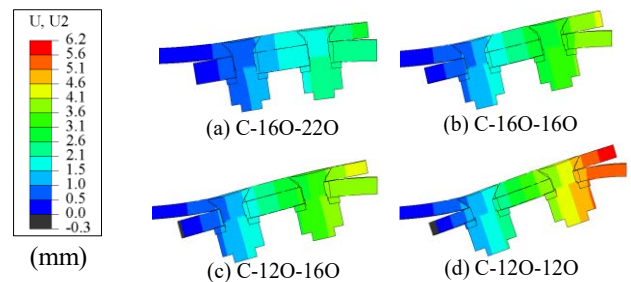


図-4 すべり時の板厚方向面外変位（変形倍率 10 倍）

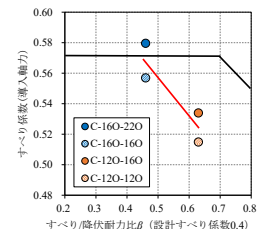
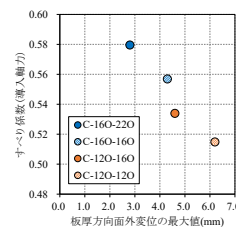


図-5 板厚方向面外変位の最大値とすべり係数

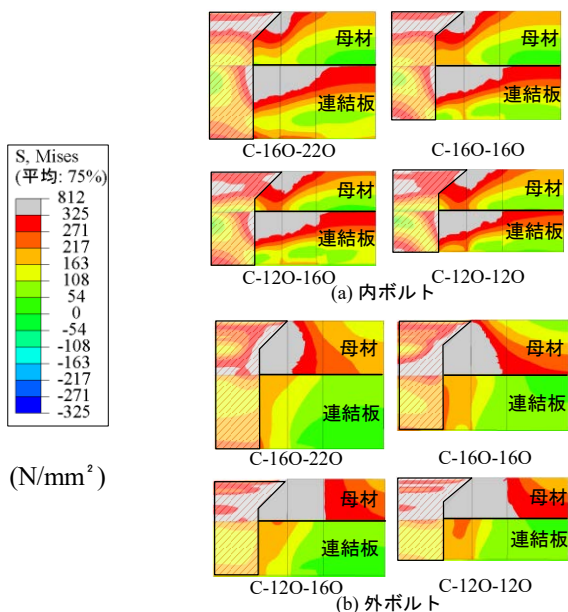


図-7 すべり時のボルト孔位置断面の Mises 応力

- 2) 母材に皿型加工されており、面外変形による引張応力が母材の外ボルト位置で大きくなるため、板厚構成が薄くなるほど外ボルトの軸力低下は大きく、皿型加工の影響が見られる。
- 3) すべり/降伏耐力比 β が同程度の場合、連結板厚を大きくすることで、偏心による面外変形を抑制でき、断面積に対する降伏範囲が小さくなるため、すべり耐力を改善することができる。

参考文献

- 1) 郎宇, 山口隆司, 森山仁志, 藤林美早, 吉見正頼: 皿型高力ボルト摩擦接合継手に用いる皿型高力ボルトの頭部開き角度がすべり挙動に与える影響, 鋼構造論文集, Vol.28, No.110, pp.11-25, 2021.
- 2) 高井俊和, 森山仁志, 山口隆司, 山本佑大: 1面摩擦高力ボルト摩擦接合継手の荷重作用時の面外変形に注目した力学的挙動に関する解析的研究, 構造工学論文集, Vol.64A, 2018.
- 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), 鋼構造シリーズ 15, 2006.