

鋳鉄母板を用いた高力ボルト摩擦接合継手の作用力方向とすべり挙動に関する解析的検討

大阪市立大学大学院 学生員 ○白井 悠吾
 ヒノデホールディングス (株) 正会員 山下 良
 日之出水道機器 (株) 非会員 村山 稔

大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司
 ヒノデホールディングス (株) 正会員 飛永 浩伸
 大阪市立大学大学院 学生員 松井 駿

1. 研究背景および研究目的

図 - 1 に示す鋳鉄床版-主桁間は、副リブを介して高力ボルト摩擦接合継手により接合され、摩擦力によって橋軸方向のせん断力に抵抗する。これまでの研究は、短冊状継手を部材軸方向に載荷した検討¹⁾²⁾のみであるが、鋳鉄床版と主桁に作用するせん断力の作用軸の違いにより、付加曲げが発生するため、多軸的な摩擦抵抗力を評価する必要がある。また、鋳鉄床版は、製作上、副リブに抜き勾配 (以下、テーパ) を設ける場合もあるため、このテーパがすべり挙動に及ぼす影響も検討する必要がある。

本研究では、1行1列の高力ボルト摩擦接合継手を対象に、母板のテーパの有無および作用力方向が部材軸方向に対して角度を有する場合におけるすべり挙動を解析的に検討した。

2. 解析条件

解析モデルの概要および寸法を図 - 2、解析ケースを表 - 1、材料特性を表 - 2 に示す。解析はAbaqus2020を使用し、弾塑性有限変位解析を実施した。解析パラメータは、すべり側母板のテーパの有無および部材軸に対する引張角度 ϕ とした。

解析モデルのすべり/降伏耐力比 β は、鋳鉄床版 - 主桁間の接合部設計を参考に、全てすべり先行型 ($\beta=0.55$) とした。応力 - ひずみ関係はバイリニアで与え、SM490A および F10T の二次勾配は $E/100$ 、FCD500 のそれは材料試験結果を参考に $E/50$ とした。使用要素は一辺約 3mm の低減積分ソリッド要素とし、摩擦係数は母板 - 連結板間で 0.60、それ以外の接触面で 0.01 とした。

解析ステップは、各ボルトに F10T (M22) の設計軸力 205kN を導入後、図 - 2 (b) に示すように固定側母板を拘束した状態で、すべり側母板の x 軸からの引張角度 ϕ を変化させた方向に強制変位を与えた。すべり係数は、縁端 10mm 位置の相対変位計測位置より x 軸方

向相対変位と、y 軸方向相対変位を算出し、それぞれの二乗和に平方根をとった値が 0.2mm に達した時の荷重をすべり荷重とし、これを接合面数および設計ボルト軸力で除して算出した。

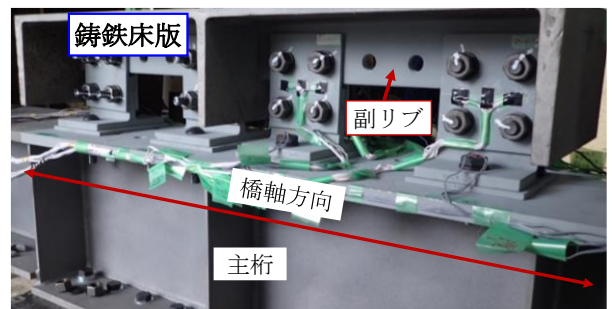
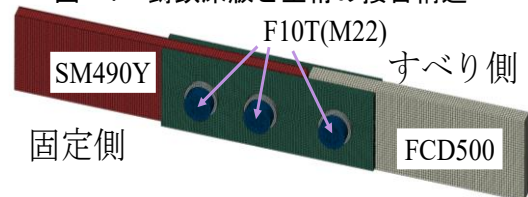
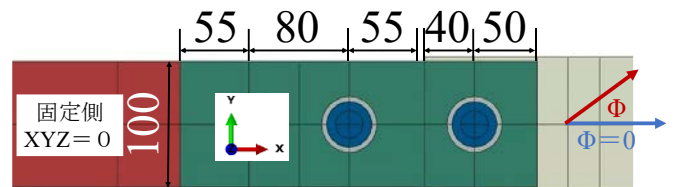


図 - 1 鋳鉄床版と主桁の接合構造



(a) 解析モデル概要



(b) 解析モデル上面図



●: 相対変位計測位置

(c) 解析モデル側面図 (テーパ有)

図-2 解析モデルおよび寸法 (単位: mm)

表 - 1 解析ケース

ケース名	すべり側母板		鋼種	適用場所	材料特性	
	テーパ	引張角度 ϕ			ヤング係数 E(MPa)	降伏応力 σ_y (MPa)
flat	無し	0	FCD500	すべり側母板	170000	320
flat-phi15		15				
flat-phi30		30				
flat-phi45		45				
flat-phi60		60				
taper	有り (1°)	0	SM490Y	固定側母板、連結板	200000	355
taper-phi15		15				
taper-phi30		30				
taper-phi45		45				
taper-phi60		60				

表 - 2 材料特性

キーワード 球状黒鉛鋳鉄, 高力ボルト摩擦接合継手, テーパ, 引張角度

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院 工学研究科 都市系専攻 Tel&Fax06-6605-2735

3. 解析結果および考察

各解析モデルのすべり荷重およびすべり係数を表 -

3, 荷重 - 相対変位関係を図 - 4 に示す。

まず, 継手の剛性は, flat ケースと taper ケースともに, 引張角度の増加にしたがって, 低下していることがわかる。また, すべり荷重は, テーパーの有無の影響を受けており, 同じ引張角度の場合は taper の方がすべり荷重が低下する。

図 - 5 に示すボルト締付時のすべり側母板 - 連結板間の合計接触力より, taper の全ケースにおいて合計接触力はボルト導入軸力から約 25%小さい。これは, 図 - 2 (c) に示すように taper ケースでは母板 - 連結板間に肌すきを有しており, 導入ボルト導入の一部が, 連結板の変形に使用されるためである。また, 表 - 3 より taper-phi0 の基本ケース (flat-phi0) に対するすべり係数の低下率と, 合計接触力の低下率はおおよそ一致しており, taper ケースのすべり荷重が低下した原因として, すべり側母板 - 連結板間の合計接触力による影響が大きいと考えられる。

flat における引張角度 ϕ の影響は, 引張角度 ϕ が増加すると, 継手剛性は低下するが, すべり荷重は flat-phi0 と比べて最大で 3%しか低下していない。一方, taper のすべり荷重は, 引張角度 ϕ の増加に伴って低下し, 最大で 24%低下した (phi0 VS phi60)。

taper ケースについては引張角度 ϕ が 30°を超えると, すべり荷重の低下量は大きくなる。これは, すべり側母板の板厚が継手遊間部に近づくほど薄くなるため, ボルト孔周辺の接触力が図 - 6 (b) に示すようにボルト孔中心から板厚が厚い側に集中的に分布しているためである。そのため, 図 - 7 に示すようにすべり荷重時のボルト軸力が低下した。また, 部材軸方向 (X 軸方向) の接触力が部材軸直角方向 (Y 軸方向) のそれより大きくなり, 部材軸直角方向への抵抗が小さくなった。よって, ボルト軸力の低下に加え, 引張角度の増加による剛性の低下および部材軸直角方向における相対変位量の増加が生じ, すべり荷重が低下したと考えられる。

4. まとめ

テーパー無しのすべり荷重は, 引張角度が 60°までであればほとんど低下しない。一方, テーパー有りのすべり荷重は, 引張角度が 30°以上になると低下し, 最大 24%低下した。

<参考文献>

表 - 3 すべり荷重とすべり係数

ケース名	すべり荷重 P(kN)	すべり係数	基本ケースに対する低下率
flat-phi0	239.4	0.584	-
flat-phi15	239.5	0.584	1.000
flat-phi30	239.3	0.584	0.999
flat-phi45	238.5	0.582	0.996
flat-phi60	232.3	0.567	0.970
taper-phi0	180.1	0.439	0.752
taper-phi15	180.4	0.440	0.753
taper-phi30	176.2	0.430	0.736
taper-phi45	172.4	0.420	0.720
taper-phi60	136.4	0.333	0.570

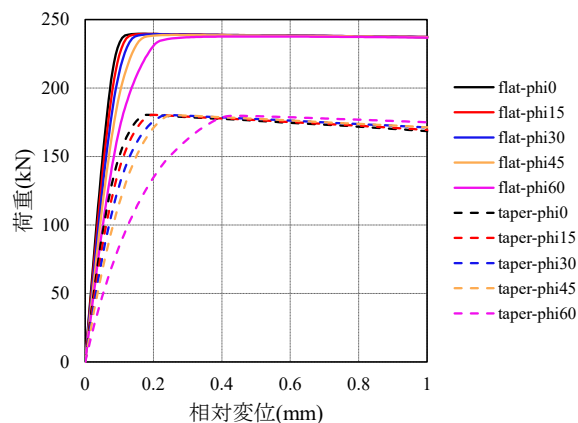


図 - 4 荷重 - 相対変位関係

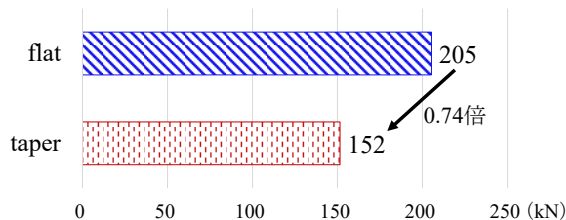


図 - 5 締付け完了時におけるすべり側母板 - 連結板間の合計接触力 (単位: kN)

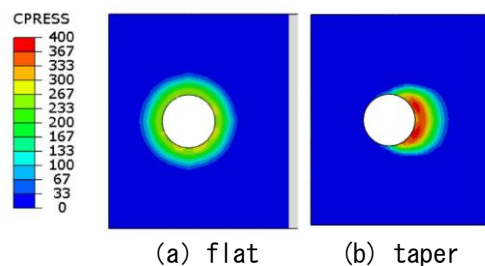


図 - 6 締付け完了時の接触圧分布 (単位: N/mm²)

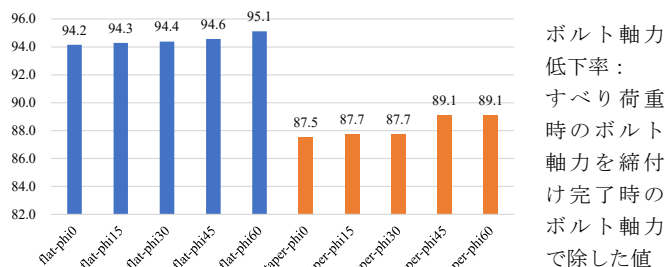


図 - 7 すべり荷重時のボルト軸力低下率 (単位: %)

- 1) 白井悠吾ら: 鋳鉄床版モジュール-主桁間の接合部におけるテーパーつき高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数および荷重分担率の検討, 土木学会, 第 75 回年次学術講演会, I-81, 2020.
- 2) 白井悠吾ら: 鋳鉄床版モジュール-主桁間の高力ボルト摩擦接合継手における長孔の適用性に関する研究, 土木学会, 第 76 回年次学術講演会, I-187, 2021.9.