

鋼鉄床版モジュール—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検討

大阪市立大学大学院 学 生 員 〇白井 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

著者らは鋼鉄床版 (図-1) と主桁間の合理的な接合構造の開発を行っている。鋼鉄床版副リブと主桁間の接合は高力ボルト摩擦接合にて連結されており、施工性の観点から鋼鉄床版の副リブに長孔を設けることが望まれている。長孔については、AASHTO²⁾等の海外基準ではすべり係数に低減係数を規定し、使用が認められている。道路橋示方書³⁾では長孔の使用は認められておらず、長孔を適用した鋼鉄床版と主桁の接合構造の検討はされていない。本研究では、鋼鉄床版—主桁間の接合構造の要素試験体を作成し、長孔を有する鋼鉄母板がすべり係数に与える影響を明らかにするため、すべり試験と FEM 解析を実施した。

2. すべり試験

試験体の形状および寸法を図-2、試験体の諸元を表-1 に示す。母板を拡大孔とした試験体、母板を長孔とした試験体を各 3 体 (計 6 体) 用意した。鋼鉄床版は副リブのボルト孔も鋳造により作成され、製作精度の関係からボルト孔は拡大孔としており、本試験でも拡大孔と長孔で比較を行った。母板は両側ともすべり側とし、接合面はブラスト処理を行った無機ジンク塗装面とした。鋼鉄床版-主桁間の接合部設計を参考に、本試験体は全てすべり先行型 (すべり/降伏耐力比 $\beta=0.51$) とした。ボルトの締付けはひずみ管理にて行い、F10T (M22) の標準ボルト軸力 (225.5kN) まで締付けを行い、締付け完了から 1 週間後にすべり試験を行った。

各試験体のすべり係数を表-2 に示す。すべり係数を算出するにあたり、縁端 10mm 位置 (図-3) の相対変位が 0.2mm に達した時の荷重をすべり荷重とし、式(1)より算出した。

$$\mu = \frac{P}{m \cdot n \cdot N} \tag{1}$$

ここに、 μ : すべり係数、 P : すべり荷重(kN)、 m : 接合面数(=2)、 n : ボルト本数(=1)、 N : 試験前ボルト軸力(kN)

拡大孔のすべり係数の平均値は 0.627、長孔のすべり係数の平均値は 0.632 であり、すべり係数は拡大孔と長孔で同程度であった。

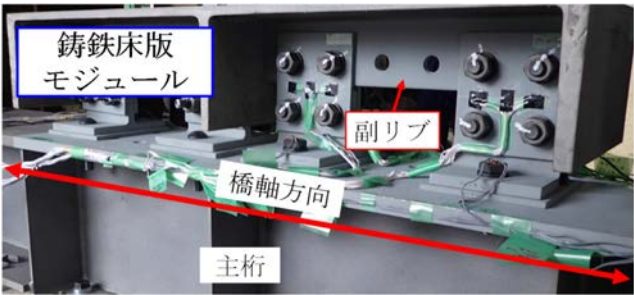


図-1 鋼鉄床版と主桁の接合構造

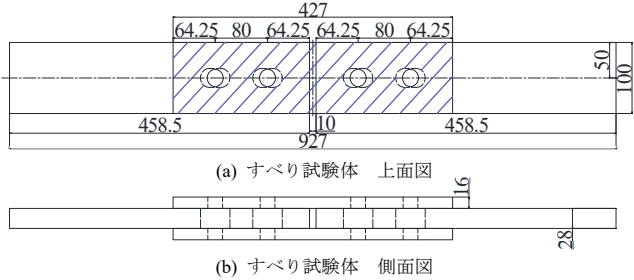


図-2 試験体寸法 (母板 : 長孔)

表-1 試験体諸元

ケース名	鋼種		孔寸法(mm)		板厚(mm)		板幅 (mm)	すべり/降伏 耐力比 β
	母板	連結板	母板	連結板	母板	連結板		
拡大孔-1	FCD	SM	拡大孔	標準孔	28	16	100	0.51
拡大孔-2	500	490A	$\Phi 26.5$	$\Phi 24.5$				
拡大孔-3								
長孔-1	FCD	SM	長孔	標準孔	28	16	100	0.51
長孔-2	500	490A	26.5×45	$\Phi 24.5$				
長孔-3								

表-2 すべり試験の結果

試験 ケース	計測場所	すべり 荷重 (kN)	すべり 係数 μ	すべり 係数 平均	
拡大孔-1	UB-3,4-H	482.4	0.594	0.595	0.627
	UB-3,4-N	484.0	0.596		
拡大孔-2	UB-1,2-H	506.8	0.622	0.626	
	UB-1,2-N	513.3	0.630		
拡大孔-3	UB-3,4-H	531.1	0.660	0.660	
	UB-3,4-N	531.1	0.660		
長孔-1	UB-3,4-H	531.7	0.634	0.632	0.632
	UB-3,4-N	528.0	0.630		
長孔-2	UB-3,4-H	501.6	0.627	0.627	
	UB-3,4-N	※	※		
長孔-3	UB-3,4-H	527.1	0.635	0.637	
	UB-3,4-N	530.0	0.639		

※長孔-2 UB-3,4-N : 計測ミスのため除外

3. FEM 解析

AASHTO²⁾にて、長孔の低減係数は拡大孔の低減係数よりも大きな値が規定されているが、実験結果にて長孔と拡大孔ですべり係数の変化が見られなかった。これは β が0.51と小さいためと考えられる。長孔を有する鋳鉄母板の適用性を確認するため、孔径および鋼種をパラメータに解析を行った。解析ケースおよび材料特性を表-3に示す。解析はボルト孔および母板の材料特性をパラメータとし、球場黒鉛鋳鉄（以下 FCD500）と鋼材（以下 SM490）の降伏耐力は同程度とし、応力ひずみ関係はバイリニアで与え、FCD500の二次勾配は材料試験結果を参考に決定した。解析は図-4のようにAbaqus2018により継手の1/8領域をモデル化し、弾塑性有限変位解析を実施した。使用要素は一辺約3mmの低減積分ソリッド要素を用い、板厚方向に5分割している。荷重は母板外側縁端面に強制変位を与えて行なった。摩擦係数は母板-連結板間で0.45、それ以外の接触面で0.01とした。

解析結果を表-4に示す。解析でも β が小さい場合は母板のボルト孔によらず、すべり係数の変化は小さかった。鋼種の違いによらず、標準孔と拡大孔は同程度のすべり係数であった。また、拡大孔と長孔のすべり係数を比較すると、長孔のすべり係数は約1%ほど低下したが、ほとんど影響は無いと考えられる。また、FCD500とSM490ですべり係数を比較した結果、SM490の方がわずかにすべり係数が高かったが、同程度の結果であった。SM490の方がすべり係数が高い理由として、FCD500は鋼材よりも剛性が低いため、母板の変形がわずかに大きく、母板外側ボルト孔がわずかに鋼材よりも変形し、すべり係数が低下したと考えられる。長孔におけるすべり荷重時の母板の鉛直変位（図-4Y方向）コンター図を図-5に示す。これらの結果より、すべり先行型の板厚構成の場合、拡大孔と長孔ではすべり係数の差異は小さく、FCD500とSM490で剛性が異なっても、降伏耐力が同程度であれば、すべり係数はほとんど変わらないと考えられる。

4. まとめ

長孔を有する鋳鉄母板がすべり係数に与える影響を明らかにするため、すべり試験を実施した。その結果、拡大孔と長孔のすべり係数は同程度であった。また、FEM解析によりボルト孔と鋼種の違いについて検討した結果、球場黒鉛鋳鉄と鋼材の剛性の違いによるすべ

り係数への影響はほとんど無いと考えられる。また、拡大孔と長孔のすべり係数は同程度であった。これらの結果より、 β がすべり先行型であれば拡大孔と長孔のすべり係数は同程度と考えられる。

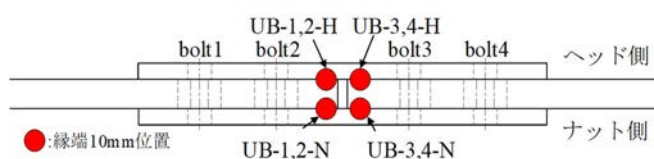


図-3 ボルト位置および相対変位計測位置

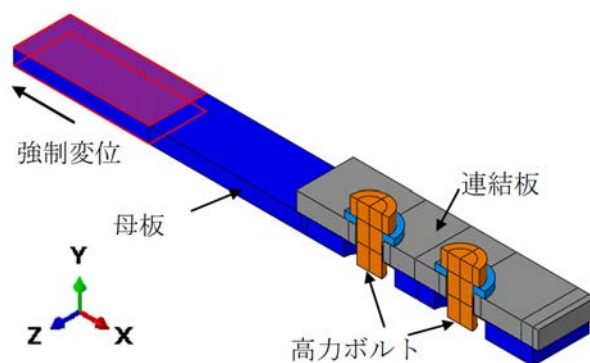


図-4 解析モデル

表-3 解析ケースおよび材料特性

解析ケース	ボルト孔	降伏耐力 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	二次勾配	ポアソン比	β
FCD500-NH	標準孔	320	170000	E/50	0.28	0.54
FCD500-OH	拡大孔					0.55
FCD500-SH	長孔					
SM490a-NH	標準孔	325	200000	E/100	0.30	0.55
SM490a-OH	拡大孔					0.56
SM490a-SH	長孔					

表-4 すべり係数およびすべり係数比

	標準孔	拡大孔	長孔	拡大孔と長孔の すべり係数比
FCD500	0.450	0.449	0.445	1.010
SM490a	0.451	0.450	0.446	1.011
鋼種の違いによる すべり係数比	1.002	1.002	1.002	

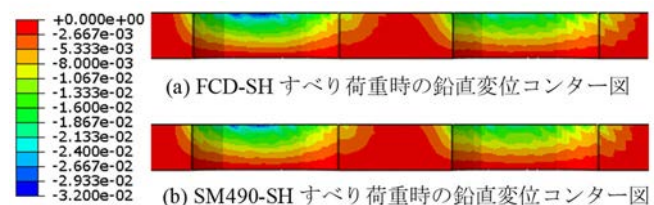


図-5 長孔の鉛直変位コンター図（変形倍率1倍）

<参考文献>

- 1) 白井悠吾, 山口隆司, 飛永浩伸, 村山稔: 鋳鉄床版モジュール-主桁間の接合部におけるテーパ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) AASHTO LRFD: Bridge Design Specifications, Ninth Edition, 2020.
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋・鋼部材編, 2017.