

多列厚板高力ボルト摩擦接合継手のボルト前面での荷重伝達に関する解析的研究

大阪市立大学大学院工学研究科 学生会員 ○彭 雪 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 山口 隆司
 大阪市立大学大学院工学研究科 学生会員 高井 俊和 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 松村 政秀

1. 研究背景および目的

近年、部材の合理化を図った鋼橋の普及により、高力ボルト摩擦継手は、従来の継手に比べ大型化し、ボルトが多列化する傾向にある。しかし、このような厚板かつ多列となる大型継手において、ボルト孔を控除した純断面応力の評価について、必ずしも明確となっていない。このような背景から、本研究は、厚板多列の大型継手における母板の最外縁ボルト（外側ボルト）の前面で伝わる荷重を評価することを目的にFEM解析を行い、これらの結果と設計指針との比較について議論した。

2. 解析モデル

解析モデルは、図-1 に示すように対称性を考慮し、継手の 1/8 モデルとした。材料特性についても、文献 1) と同様に設定し、摩擦係数は 0.5 としている。解析には FEM 解析コード Abaqus を用いた。母板、連結板、ボルト、座金は 6 節点および 8 節点のソリッド要素を用い、要素長を 5.5 mm として要素分割している。解析では、ボルト軸部対称面に設計ボルト軸力を強制変位によって与えた後に、引張荷重を母板の外側の面に強制変位によって与えている。表-1 に解析ケースの内訳を示す。ここでは、すべり耐力試験の試験体の構造諸元¹⁾を参考し、多列となる 8 列と 12 列のケースを設定した。なお、母板厚は 32mm, 50mm, 75mm と変化させ、すべり/降伏耐力比 β (=0.57) は一定とした。

3. 解析結果と考察

解析におけるすべり定義は、文献 1) を参考に、「解析における最大荷重発生時、もしくは母板と連結板の接触面の内側相対変位が 0.2mm に達した時のうち、内側相対変位が小さい方の時点」とした。

表-2 に解析結果のまとめを、図-2 に外側ボルトの前面での荷重伝達をそれぞれ示す。表-2 に示すように、 γ_f は外側ボルトに対する荷重伝達率、 γ_{fa} は全体の引張荷重に対する荷重伝達率としている。表-3 に道路橋示方書²⁾（以下、道示という）および建築分野の鋼構造接合部設計指針³⁾（以下、指針という）に基づく試算結果のまとめを示す。道示では、母板の純断面応力度を照査する場合に用いる純断面積の規定により計算される値の 1.1 倍まで割増してよいとしている。その結果、純断面積が割増しない場合の応力 σ と比べ、純断面積の 1.1 倍で割増した純断面応力 σ' は、9.1%程度低下した。なお、その低下値は、ボルト列数に関係なく、一定となる。一方、指針では、外側ボルトの前面での荷重伝達率をボルト 1 本の分担摩擦力の 3 分の 1 としている。その結果、荷重伝達率 γ_f は一定値 (=33.3%) となるが、全体の引張荷重に対する荷重伝達率 γ_{fa} は、ボルト列数が 2 列から 12 列までの増加によるすべり耐力の増加に伴い、16%~3%程度低下している。

表-1 解析ケースの内訳

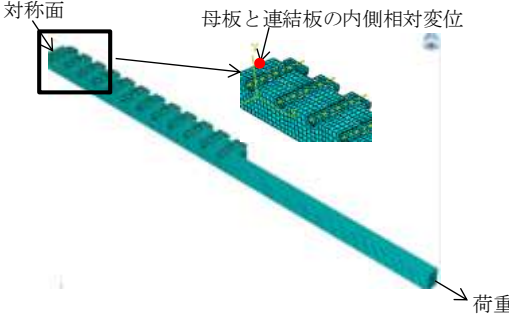
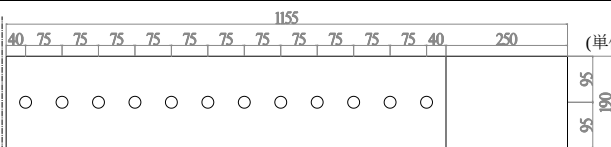
解析ケース		32mm -8列	50mm -8列	75mm -8列	32mm -12列	50mm -12列	75mm -12列
ボルト M22 (F10T) 孔径 24.5mm	ボルト本数	8			12		
	導入軸力 (kN/本)	209	205	204	209	206	206
母材 SM490Y	板厚 (mm)	32	50	75	32	50	75
連結板 SM490Y	板厚 (mm)	19	26	38	19	26	38
試験体幅 (mm)		272	183	130	396	262	190
すべり/降伏耐力比 β		0.57					
摩擦係数		0.50					
							
		(単位: mm)					
		75mm-12列					

図-1 解析モデル

キーワード 高力ボルト摩擦接合, FEM 解析, 荷重伝達率, γ_f , γ_{fa}

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 橋梁工学分野 TEL&FAX 06-6605-2765

表-2 解析結果のまとめ

解析ケース	32mm -8列	50mm -8列	75mm -8列	32mm -12列	50mm -12列	75mm -12列
すべり荷重 (kN)	1606	1578	1575	1974	2119	2268
すべり係数	0.48	0.481	0.482	0.393	0.431	0.459
γ_f (%)	40.6	40.9	39.1	41.4	40.10	38.2
γ_{fa} (%)	4.6	4.5	4.2	3.7	3.5	3.1
$\gamma_f = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_3}$ (1)	γ_f : 外側ボルトに対する荷重伝達率, γ_{fa} : 全体の引張荷重に対する荷重伝達率, $P_1 \sim P_3$: 断面1~3に作用した荷重, $P_1 \sim P_2$: 母板に作用した荷重が最も外側ボルトの前面で連結板に伝達された荷重, $P_1 \sim P_3$: 外側ボルトの分担摩擦力					
$\gamma_{fa} = \frac{P_1 - P_2}{P_1}$ (2)						

表-3 道示と指針の計算結果のまとめ

ボルト列数		2	4	8	12
道路示方書	γ_{fa} (%)	9.1%			
	計算式	減少率 = $\frac{\sigma - \sigma'}{\sigma} = \frac{\frac{P}{A} - \frac{1.1A}{P}}{\frac{P}{A}} = 9.1\%$ (3) σ : 純断面積が割増しない場合の純断面応力 ($=P/A$), σ' : 純断面積の1.1倍で割増した純断面応力 ($=P/1.1A$), P : 引張荷重, A : 純断面積			
鋼構造接合部設計指針	γ_{fa} (%)	16.7%	8.3%	4.1%	2.8%
	計算式	$\gamma_{fa} = \frac{33.3\%}{n}$ (4) n : ボルト列数			

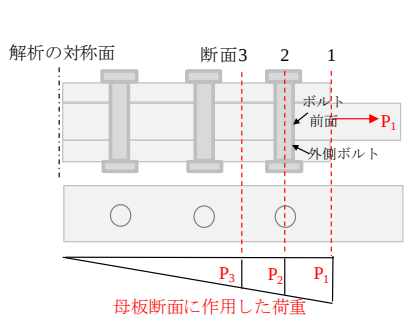


図-2 外側ボルトの前面での荷重伝達

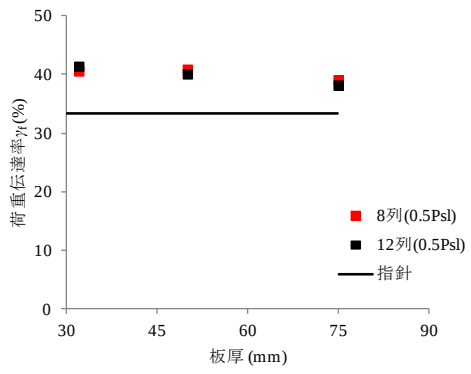


図-3 γ_f と板厚の関係

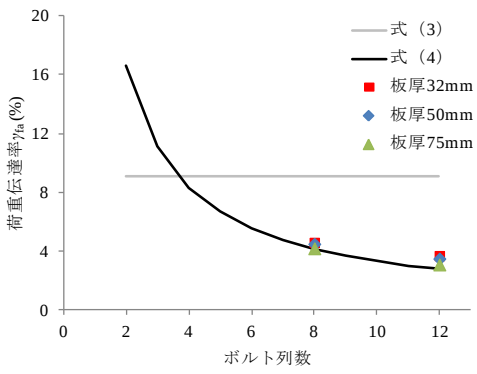


図-4 γ_{fa} と列数の関係

図-3 にすべり発生前（すべり荷重の 50%の荷重が作用した時、0.5Psl）の外側ボルトに対する荷重伝達率 γ_f と板厚の関係を、図-4 にすべり発生前の全体の引張荷重に対する荷重伝達率 γ_{fa} とボルト列数の関係をそれぞれ示す。図-3 より、厚板多列の場合においても、 γ_f が 40%程度となることが確認できる。また、板厚の増加に伴い、 γ_f が僅かに小さくなっていることがわかる。これは、板厚の増加に伴って、連結板と母板の偏心距離が大きくなり、これによるボルトに作用する曲げモーメントが大きくなった結果、ボルト前面の接触力が減少するためと考えられる。列数の違いについてほとんどその影響はないと判断できる。一方、図-4 の解析結果により、 γ_{fa} はボルト列数の増加に伴い、低下し、その低下傾向は指針に基づく試算結果式（4）と一致していることがわかる。また、道示に基づく純断面応力の減少率の試算結果は、指針に基づく試算結果の 4 列に対する値とほぼ同じであり、多列の場合では、指針に基づく試算結果と解析結果との差が大きくなっている。

4. まとめ

本稿では、すべり/降伏耐力比 β を一定のもと、多列厚板高力ボルト摩擦接合継手におけるボルト前面での荷重伝達を解明するため有限要素解析を行ない、以下のことを明らかにした。

- 1) 厚板多列の場合において、外側ボルトの前面での荷重伝達率 γ_f が 40%程度となっており、鋼構造接合部設計指針の値とほぼ一致している。また、板厚の増加に伴い、 γ_f がわずかに小さくなっている。その原因は、板厚の増加に伴い、連結板と母板の偏心距離が大きくなり、ボルトに作用する曲げモーメントが大きくなり、ボルト孔前面の接触力が減少することと考えられる。
- 2) 全体の引張荷重に対する荷重伝達率 γ_{fa} を評価する場合、解析結果は、指針に基づく試算結果と一致しているが、道示に基づく試算結果より小さくなっており、両者に差異が認められた。特に、その差異は、8 列以上で大きくなった。

参考文献 1) 独立行政法人土木研究所：高力ボルト摩擦接合継手の設計法の合理化に関する共同研究報告書，No. 428，2012.1.
2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅱ鋼橋編，2012.3. 3) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針，第 2 版，2006.3.