

ローカルアプローチに基づく 高力ボルト摩擦接合継手のすべり限界予測の試み

横浜国立大学 学生会員 ○和 暢
横浜国立大学 正会員 田村 洋

1. はじめに

高力ボルト摩擦接合継手（以下、ボルト継手）のすべり係数は、接触面の仕上りの他、荷重の偏心[1]，導入ボルト軸力[2]，ボルト列数[3]等の差異によりばらつきを有している．実験で精密に制御することが困難な因子それぞれがすべり係数に及ぼす影響を把握するためには、力学モデルに基づく解析的検討が有用であると考えられる．すべり係数を決定づけるボルト継手の主すべりは局所的すべりが接触面全体に急激に伝搬する場合多いと考えられるため、本研究では最初の局所的すべりの発生条件に着目した力学モデルの構築と適用（ローカルアプローチ）を試み、実験結果をどの程度予測し得るか検証することを目的とする．

2. 解析モデルと解析条件

本研究では図1に示すように、すべり耐力試験結果が報告されている、偏心量（1面せん断継手/2面せん断継手）とボルト列数（1～5列）、接触面仕様（無機ジンクリッチペイント塗布/ブラスト仕上げされた粗面）の異なるボルト継手の試験体[2, 3]を対象とした．各試験体の諸元を表1に示す．

解析では対称性を考慮し1面継手試験体の1/2と2面継手試験体と多列継手試験体の1/8領域を有限要素で再現した．それぞれの試験体の解析モデルを図2に示す．全体にソリッド要素を使用し、ボルト孔の円周上は要素分割サイズを3.5mmとした．母板、連結板、留め具（ボルト、ナット、座金を一体化）を材料特性が

同様（ヤング係数 200 GPa, ポアソン比 0.3）の独立の弾性体としてモデル化し、母板と連結板の界面（継手の接合面）と連結板と座金部分の界面に接触条件を付与した．接触計算としては、ペナルティー法と拡張ラグランジュ法に基づく接触判定と接触圧力の算定をした．すべり荷重の実験値に基づきすべり判定を行ったため、要素間のすべりは許容しない設定とした．固定側の母板の掴み部側の端部では変位を固定し、すべり側の母板の掴み部側の端部に継手軸方向引張強制変位を付与することで載荷を再現した．接触条件を付与した境界非線形問題であるため、静的逐次解析として最大強制変位増分を1.2mmとした．以上の条件の下でAbaqus2020を用いてすべり荷重到達時点における接触面の局部応力分布を解いた．

3. 予測方法と結果

本研究では、界面せん断応力と接触圧の比（以下、応力比）を局所的すべりの発生に関する基本力学パラメータとし、ボルト孔周辺における最大の応力比（以下、最大応力比）および最弱リンク仮説に基づき限界値の空間的ばらつきを考慮した応力比（以下、ワイブル応力比）の2つのパラメータによって局所すべりを予測しうるかを検証

キーワード 高力ボルト摩擦接合継手, 接触面, すべり係数

連絡先 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 (S7-⑤環境情報1号棟 617号室) 横浜国立大学 TEL045-339-4041

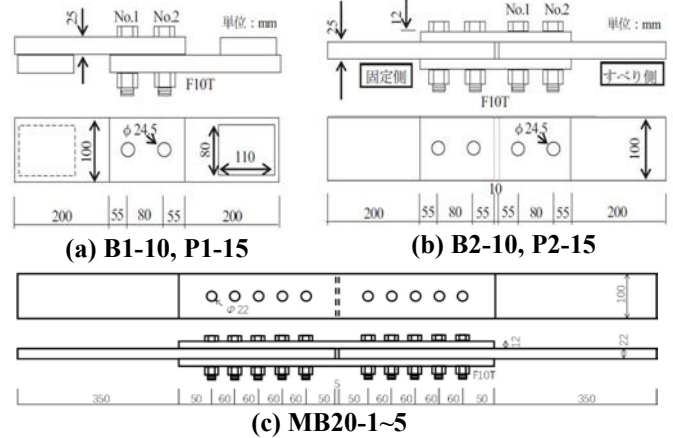


図1 対象試験体

表1 対象試験体のすべり試験結果[2, 3]

試験体名	接合面数	ボルト列数	接触面仕様	すべり係数	
				個体値	平均値
P1-15	1	2	無機ジンク	-1	0.561
				-2	0.530
				-3	0.538
P2-15	2			-1	0.532
				-2	0.512
				-3	0.503
B1-10	1	ブラスト	-1	0.712	
			-2	0.598	
			-3	0.665	
B2-10	2		-1	0.639	
			-2	0.584	
			-3	0.584	
MB20-1-12	1	ブラスト	-1	0.648	
MB20-2-12	2		-2	0.642	
			-1	0.718	
MB20-3-12	3		-2	0.622	
			-1	0.516	
MB20-4-12	4		-2	0.519	
			-1	0.432	
MB20-5-12	5		-2	0.431	
			-1	0.363	
				-2	0.370

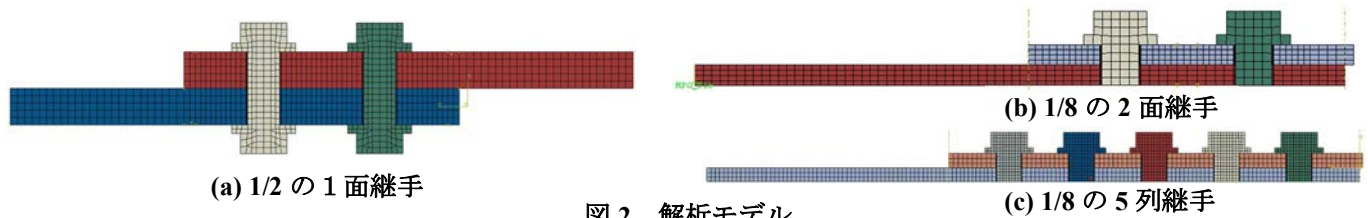


図2 解析モデル

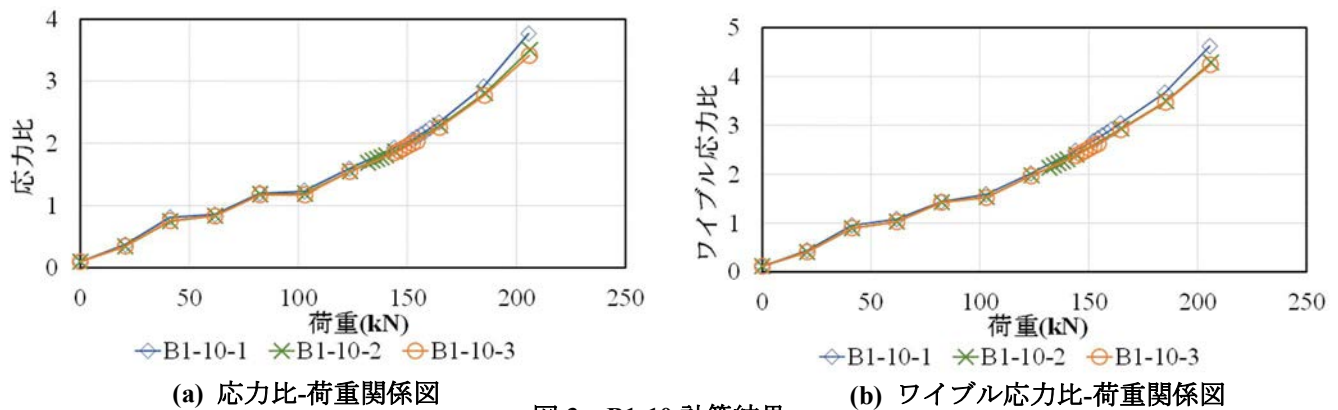


図3 B1-10 計算結果

した。ワイブル応力比は次式により定義される。[4]

$$\sigma_w = (\sum_{i=1}^n \rho_i^m S_i)^{1/m} \quad (1)$$

ここに、 n はボルト孔周辺の表層有限要素数とする。 ρ_i と S_i はそれぞれ有限要素 i の応力比と接合面側の面積とする。 m はワイブル母数である。

図3に算定された最大応力比とワイブル応力比の荷重増加に伴う変化の一例を示す。両者には単調増加性があり、最大応力比とワイブル応力比によりすべり耐力ならびにすべり係数の推定が可能であることを示している。2面継手試験体3体に関するすべり耐力点における平均値から、無機ジンク、ブラストの試験体の主すべりに関する限界最大応力比をそれぞれ1.468、1.829とした。同様に限界ワイブル応力比をそれぞれ1.721、2.285とした。これらの限界値に基づいて1面継手試験体のすべり耐力点を推定し、1面継手のすべり係数を推定したところ、無機ジンクではやや過大評価、ブラストではやや過小評価となったが(表2,3)、偏心量の異なる継手のすべり係数をある程度推定し得ることがわかった。ボルト列数の異なる継手についてもすべり係数を概ね推定できる範囲が明らかとなった。

4. おわりに

本研究ではボルト継手の力学モデルによって局所的なすべりから全体のすべりを予測する方法を提案し、ローカルアプローチ法の有効性が示された。今後は、偏心量をパラメータとした検討を充実させローカルアプローチ法の適用範囲を模索する。

参考文献

[1]高井俊和, 山口隆司, 山階清永: 高力ボルト摩擦接合継手の目違いがすべり耐力に与える影響に関する解析的研究, 構造工学論文集, Vol. 61A, 605-613, 2015. [2]南邦明, 田村洋, 吉岡夏樹, 内田大介, 茂呂充, 安藤光希: 高力ボルト継手における摩擦面の数に応じた導入ボルト軸力に関する検討, 土木学会論文集 A1, Vol. 75, No. 1, pp. 46-57, 2019. [3]辻岡静雄, 脇山広三: 多列高力ボルト摩擦接合部のすべり耐力に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.40B, 1994.3. [4]和暢, 田村洋, 山田均, 勝地弘: 高力ボルト継手のすべり係数に関する解析的簡易推定の試み, 鋼構造年次論文報告集, Vol.28, pp.146-157, 2020.11.

表2 応力比の限界値で予測結果

試験体	応力比 限界値	すべり耐 力推定値	すべり係 数推定値	推定誤差	
				個体値	平均値
P1-15-1	1.468	124	0.545	-2.87%	6.38%
P1-15-2		132	0.595	12.17%	
P1-15-3		132	0.591	9.84%	
B1-10-1	1.829	133	0.606	-14.90%	-4.82%
B1-10-2		142	0.628	5.00%	
B1-10-3		144	0.635	-4.56%	

表3 ワイブル応力比の限界値で予測結果

試験体	ワイブル応 力比限界値	すべり耐 力推定値	すべり係 数推定値	推定誤差	
				個体値	平均値
P1-15-1	1.721	125	0.549	-2.14%	6.92%
P1-15-2		133	0.6	13.05%	
P1-15-3		132	0.591	9.84%	
B1-10-1	2.285	133	0.606	-14.90%	-6.24%
B1-10-2		140	0.619	3.48%	
B1-10-3		140	0.617	-7.29%	