

ボルトの呼び径が異なる高力ボルト摩擦接合継手の引張挙動の違いに関する基礎的研究

九州工業大学 学生会員○山本 秀平

九州工業大学 正会員 高井 俊和

1. はじめに

鋼橋の高力ボルト摩擦接合継手には M22 の高力ボルトがよく用いられるが、一般的な高力ボルト継手では異なる呼び径のボルトが用いられる場合もある。ボルトの呼び径が異なる継手の力学挙動の違いは不明である。また、すべりを判定するとき母板と連結板の相対変位に着目する場合があるが、ボルトの呼び径が異なる場合の望ましい取り扱いとは明らかではない。そこで本研究ではボルトの呼び径が異なる高力ボルト摩擦接合継手の FEM 解析を実施し、変位に着目した挙動の違いについて確認した。

2. 解析ケース

解析対象とした継手の諸元を表 1 に示す。片側に高力ボルトを 1 行 3 列配置した。実際の鋼材の降伏点と引張強さは JIS の下限値より高めであり、文献[1]を参考にそれぞれ 1.2187 と 1.1153 を乗じた値とした。解析ケースを表 2 に示す。着目パラメータは、高力ボルトの呼び径の違いとし、M16, M22, M30 のケースを設定した。3 ケースともすべり/降伏耐力比 β が 0.65 になるように設計した。

3. 解析方法

解析プログラムは Abaqus Standard v6.13 を用いた。解析モデルの概要を図 1 に示す。対称性を考慮し 1/8 モデルとした。材料特性は、ヤング率 E を 200,000 N/mm²、ポアソン比を 0.3、降伏から引張強さまでの勾配を $E/100$ 、引張強さ以降を 0 のトリニア型とした。真応力-塑性ひずみ関係を用い、材料非線形性のほかに、幾何学的非線形性も考慮した。接触はペナルティ法、摩擦はクーロン摩擦を用いた。添接板とワッシャー間の摩擦係数は 0.57 (0.5 の 1.1309 倍[1]) とし、添接板とワッシャー間の摩擦係数は 100 分の 1 倍した 0.0057 とした。

解析の計算ステップは、3 ケースとも始めにボルト軸力を導入し、次に、母板端に 40mm の強制変位を与えて継手に引張荷重を作用させて、すべり、降伏等を発生させた。

すべり荷重は母板、添接板間の相対変位が 0.2mm 時の荷重、降伏荷重は降伏断面全体が 1 要素以上の幅で

表 1 継手の諸元

設計条件	ボルト配置	1行3列
ボルト	降伏点 (N/mm ²)	1097
	引張強さ (N/mm ²)	1115
	接合面数 (面)	2
	ボルト本数 (本)	3
	設計ボルト軸力 (kN)	106
	摩擦係数	0.57
母板・添接板	鋼種	SM490Y
	降伏点 (N/mm ²)	432.6
	引張強さ (N/mm ²)	546.5

表 2 解析ケース

	ケース名		
	M16	M22	M30
ボルト軸力 (kN)	106	205	379
ボルト孔径 (mm)	18	24.5	33.5
母板厚 (mm)	16	22	32
連結板厚 (mm)	9	12	19
板幅 (mm)	95	135	175
すべり荷重 (kN)	360	696	1286
降伏荷重 (kN)	542	1052	1959
終局最大荷重 (kN)	673	1330	2475
すべり・降伏耐力比 β	0.675	0.661	0.656

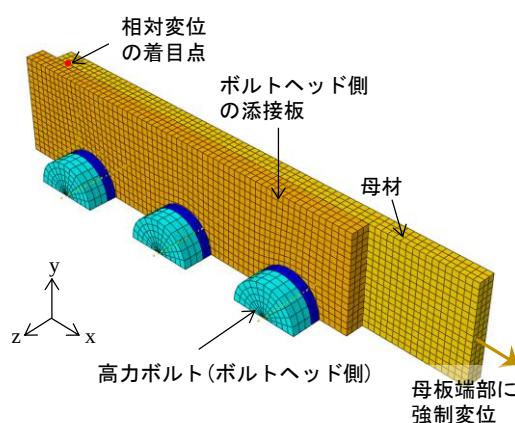


図 1 解析モデルの概要

降伏した時点の荷重、終局最大荷重は降伏以降の荷重のピーク値とした。相対変位の着目点は、図 1 に示したように母板端から 15mm に最も近い点とした。

4. 解析結果および考察

図2に M22 ケースの降伏時の応力分布を示す。M16 と M30 のケースも M22 と同様に母板純断面の降伏モードが最も早く生じた。

解析で得られた各種荷重とその荷重を設計値で割って求めた比率を表3にまとめる。解析結果と設計値の比率は、すべり荷重、降伏荷重、終局最大荷重とも0.95～1.13 の範囲に収まっており、解析で得られた各種荷重は設計値に近いものとなった。

図3に荷重－母板端変位関係を示す。縦軸は荷重を設計すべり荷重で割り、横軸は変位をボルトの呼び径で割り無次元化している。すべりが生じるまでの初期勾配はよく一致し、縦軸が1～1.5の間は、ボルト軸部と孔のクリアランスの違いで多少の差がみられるものの、全体的には荷重－変位関係はおおむね一致した。

表4にすべり、降伏、終局最大荷重時の相対変位と変位、表5にボルトの呼びによる倍率（M16 が 16/22 倍、M30 が 30/22 倍）を乗じた値を示す。降伏、終局最大荷重時の相対変位、変位とも倍率をかけた表5の方がボルトの呼び径の違いによる差が小さくなった。

以上の結果より、引張荷重作用時の継手の母板端変位や相対変位にボルトの呼び径に応じた相似性があることが確認された。このことは、すべり判定を母板と連結板の相対変位で行う際、基準の値を呼び径に応じた値とする方が良いことを示唆している。

図4に相対変位着目位置が異なる場合の荷重－相対変位関係を示す。着目位置は、母板端から 15mm のほかに、M30 は 30/22 倍した 20mm、M16 は 16/22 倍した 11mm とした。相対変位着目位置が異なっても荷重－相対変位に違いは見られなかった。この結果から、相対変位ですべりを判定するとき、ボルト径に応じた着目位置にする必要はなく、また着目位置の 5mm 程度のずれはすべりの判定に影響しないと考えられる。

本研究は解析で検討したものであり、実験により確認する必要もある。また、 β が 0.65 のすべり先行型を対象としたが、降伏先行型でも確認する必要がある。

謝辞 本研究は上田記念財団の助成を受けて行いました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 土木学会：補修・補強のための高力ボルト摩擦接合技術－当て板補修・補強の最新技術－，鋼構造シリーズ 37，2021.11

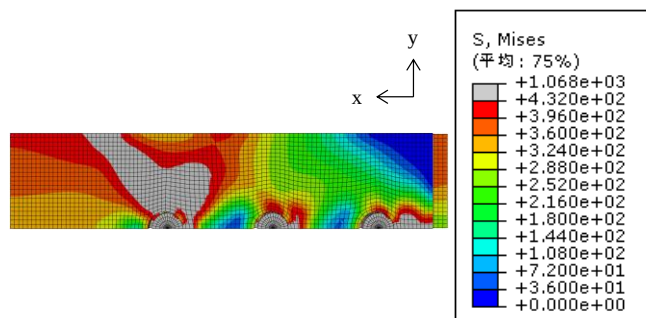


図2 降伏時のミーゼス応力分布 (M22)

表3 設計値と解析値の比較 (単位: kN)

	すべり荷重		降伏荷重		終局最大荷重	
ケース名	解析値	比率	解析値	比率	解析値	比率
M16	362	1.01	569	1.05	690	1.03
M22	674	0.97	1088	1.03	1356	1.02
M30	1222	0.95	2208	1.13	2530	1.02

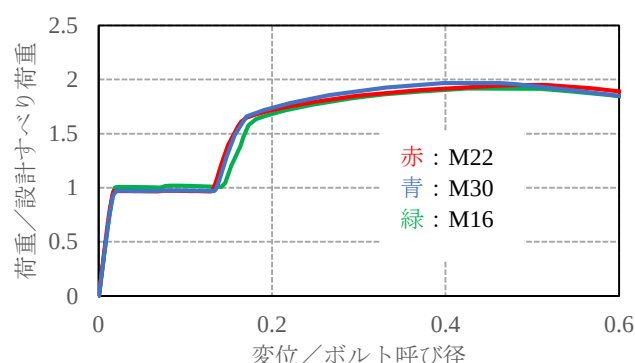


図3 荷重－母板端変位

表4 各荷重の変位・相対変位(単位: mm)

	すべり荷重		降伏荷重		終局最大荷重	
ケース名	相対変位	変位	相対変位	変位	相対変位	変位
M16	0.2	0.40	2.40	2.77	3.08	6.80
M22	0.2	0.44	3.14	3.62	4.61	10.62
M30	0.2	0.57	4.35	5.11	4.86	11.92

表5 変位・相対変位－M22 との比較(単位 mm)

	すべり荷重		降伏荷重		終局最大荷重	
ケース名	相対変位	変位	相対変位	変位	相対変位	変位
M16	0.15	0.55	3.27	3.81	4.23	9.35
M22	0.2	0.44	3.14	3.62	4.61	10.62
M30	0.27	0.42	3.19	3.75	3.56	8.74

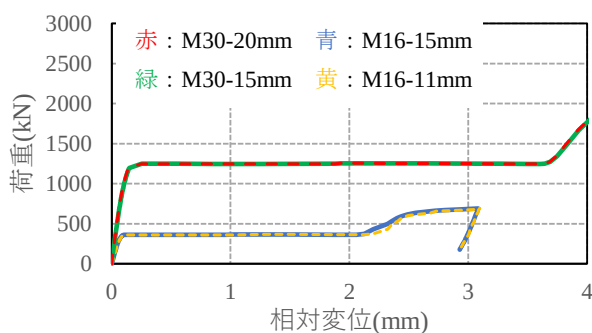


図4 荷重－相対変位