

接触圧に応じて摩擦係数が変化する解析モデルの検討

九州工業大学 学生会員 ○肘井 俊介

九州工業大学 正会員 高井俊和

1. はじめに

物体の摩擦係数は、接触圧により異なることが知られ、高力ボルト摩擦接合継手のすべりに対しても検討されている[1]. 高力ボルト摩擦接合継手を想定した表面処理を行った鋼板の試験片を用いた小型すべり試験が行われ、接触圧と摩擦係数の関係がまとめられている[2]. 本検討では、接触圧に応じた摩擦係数のモデル化を行い、小型すべり試験の再現解析に適用して、結果の整合性から摩擦係数のモデルの妥当性を確認した.

2. すべり試験の概要と摩擦モデル

試験片の諸元を表1に示す. 文献[3], [4]より導出された摩擦係数と接触圧の関係(式(1)), 文献[2]で得られた摩擦係数と接触圧の関係(式(2))を図1に示す. なお, 接触圧はすべり時の接触圧 p_{slip} としている. また, 式(2)は近似曲線の精度の向上のため, グラフ読み取りソフトで摩擦係数と接触圧の関係[2]を読み取り, Excelで近似曲線の係数の有効数字を3桁とした.

$$\mu = \frac{4.54 \times 10^{-6} p_{slip}^2 - 3.38 \times 10^{-3} p_{slip} + 1.16}{1.4} \quad (1)$$

$$\mu = 2.62 \times 10^{-5} p_{slip}^2 - 9.16 \times 10^{-3} p_{slip} + 1.28 \quad (2)$$

3. 解析ケースと解析方法

解析ケースを表2に示す. 式(1), 式(2)それぞれの摩擦係数分布において, 水平荷重を変化させることで接触圧を変化させ, 荷重-変位関係を得た. そこから摩擦係数を式(3)より導出し, 図1と比較することで整合性を検討する. ここで, P_{Vslip} はすべり時の鉛直荷重, P_{Hslip} はすべり時の水平荷重である.

$$\mu = \frac{P_{Vslip}}{P_{Hslip}} \quad (3)$$

解析プログラムはAbaqus Standard v6.14を用いた. 解析モデルの概要を図2に示す. 対称性を考慮し1/2モデルとした. 材料特性は, ヤング率 E を206,000 N/mm², ポアソン比を0.3, 降伏点, 引張強さをJISの下限值をもとに, 過去の材料特性の調査[5]をもとに補正した. 降伏から引張強さまでの勾配は $E/100$, 引張強さ以降は0としトリリニア型とした. 真応力-真ひずみ関係に変換して用いた. 接触はペナルティー法, 摩擦は式(1), 式(2)の値を接触圧依存モデルとした.

表1 試験片の諸元

		内試験片	外試験片
鋼種		SS400	
接触面鉛直辺長	mm	24	49
接触面水平辺長	mm	24	34
奥行	mm	25	16
R半径	mm	2	2
降伏点	N/mm ²	235	
引張強さ	N/mm ²	400	

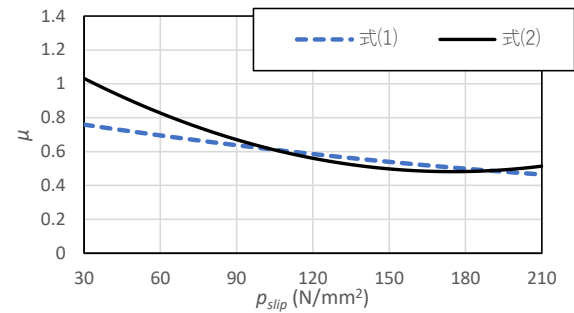


図1 摩擦係数と接触圧の関係

表2 解析ケースの概要

解析ケース	鋼種	内試験片辺長 a(mm)	接合面断面積 A(mm ²)	接触圧 p(N/mm ²)	水平荷重 P _H (kN)
式(1)	SS400	20	400	60	24
				120	48
				180	72
式(2)	SS400	20	400	60	24
				90	36
				120	48
				150	60
				180	72

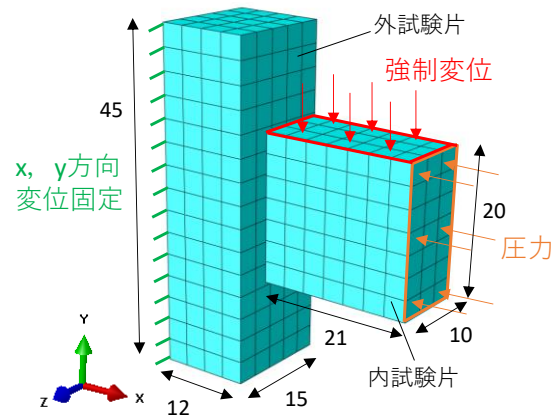


図2 解析モデルの概要

解析の計算ステップは, まず, 水平の圧力により所定の接触圧を内試験片に与え, その後は内試験片を鉛直方向の強制変位で変位させ, すべりを発生させた. すべり荷重は内試験片と外試験片の相対変位が0.2mmに達するまでの最大値とした.

4. 解析結果および考察

表3に解析で得られたすべり時の鉛直荷重, すべり時の水平荷重および摩擦係数, およびモデルの摩擦係数とそれらの相対誤差をまとめる. 図3に式(1)のモデルと解析結果の摩擦係数の比較を, 図4に式(2)の場合の比較を示す.

式(1)の解析では, 相対誤差が5%以内に収まっており, モデルに近い解析値が得られた. 一方で, 式(2)では, 最大で7.48%の相対誤差が生じた. これは, 図5に内試験片の接触圧分布を示すように, 試験片の接触圧が一定ではなかったことが影響していると考えられる.

高力ボルト継手の解析に式(2)による摩擦係数モデルを適用した例として, 図6に連結板厚が12mmと薄い継手における母板表面のすべり時接触圧分布を示す. ボルト孔周辺の接触圧は150N/mm²程度である. また, 連結板厚が32mmと厚い場合の接触圧は80N/mm²程度となった. これらは検討した接触圧の範囲内であり, 本検討における摩擦係数モデルは継手の解析にも適用可能であることが確認できた.

今後の予定として, 本検討の摩擦係数モデルを高力ボルト継手の解析に適用し, すべり時のボルト孔縁の接触圧とすべり挙動の関係をj確認する予定である.

謝辞

本検討は上田記念財団の研究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] 内田大介, 関根英人, 網谷岳夫, 森猛: 太径の高力ボルトを用いた摩擦接合継手のすべり係数に関する解析的検討, 鋼構造年次論文報告集, Vol. 28, pp. 158-166, 2020
- [2] 森山仁志, 高井俊和, 山口隆司: 小型鋼板すべり試験による高力ボルト摩擦接合継手のすべり挙動に対する接触圧の影響と検討, 土木学会全国大会第75回年次学術講演会講演概要集, I-79, 2p, 2020
- [3] 東正三郎, 熊井隆: 添板摩擦面にアルミ溶射を施した高力ボルト摩擦接合部の平均接触圧と摩擦係数に関する研究, 鋼構造論文集, Vol. 23, No. 90, pp. 117-131, 2016
- [4] 森猛, 網谷岳夫, 内田大介: 高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数に対するボルト軸力の影響, 土木学会論文集A1, Vol. 75, No. 1, pp. 58-66, 2019
- [5] 土木学会: 補修・補強のための高力ボルト摩擦接

表3 解析結果

		すべり時の鉛直荷重	すべり時の水平荷重	摩擦係数 [解析値]	摩擦係数 [理論値]	相対誤差 (%)
		(kN)	(kN)			
式(1)	a	15.90	24.01	0.662	0.695	-4.77
	b	27.85	48.02	0.580	0.586	-0.96
	c	36.92	72.05	0.512	0.499	2.68
式(2)	d	19.02	24.01	0.792	0.827	-4.21
	e	24.48	36.01	0.680	0.670	1.40
	f	28.42	48.02	0.592	0.560	5.62
	g	32.11	60.04	0.535	0.498	7.48
	h	36.71	72.05	0.509	0.482	5.67

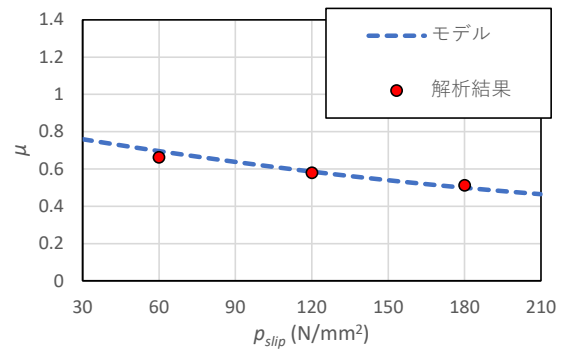


図3 式(1)の摩擦係数モデルと解析結果

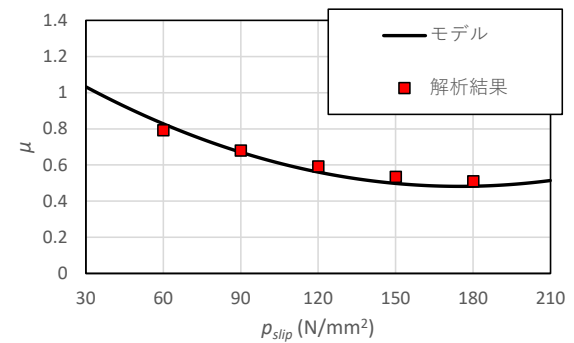


図4 式(2)の摩擦係数モデルと解析結果

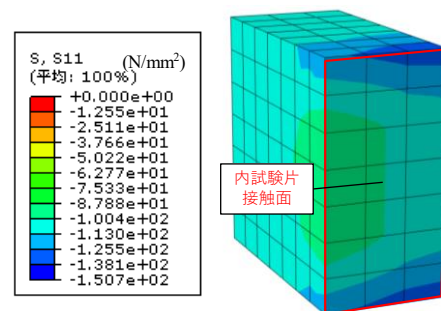


図5 内試験片の接触圧分布 (N/mm²)

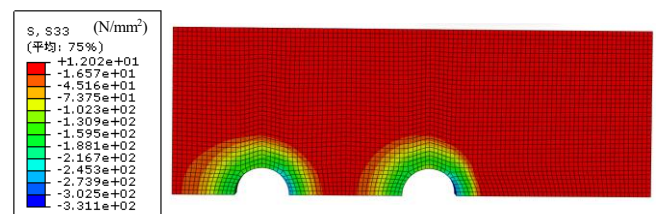


図6 継手母板表面のすべり時接触圧分布 (N/mm²)
合技術—当て板補修・補強の最新技術—, 鋼構造シリーズ37, 第1版, 2021