

高力ボルト摩擦接合継手の各種ばらつきがすべり耐力に与える影響に関する解析的検討

大阪市立大学大学院 学生員○高井 俊和  
 大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司  
 大阪市立大学大学院 正会員 松村 政秀

大阪市立大学大学院 学生員 彭 雪  
 大阪市立大学大学院 学生員 山階 清永

1. 背景と目的

高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力は、ばらつきがあり、その接合面の状態、ボルト軸力をはじめさまざまな要因が影響すると考えられている。既往の研究では、すべり耐力の統計学的検討や信頼性評価が行われているが、近年採用が増加しつつある厚板の継手を対象とした検討はあまり見られない。

本検討では、厚板の継手を対象に、構成する鋼板や、組み立てに関係する各種ばらつきに着目して、それらのばらつきが継手のすべり耐力に与える影響について感度解析を行ない検討した。

2. ばらつき量の調査

ばらつき量は、継手のすべり耐力に影響があると考えられるものにしぼり、文献を調査し集計した。その結果を表1に示す。測定値が示されている文献<sup>1)</sup>ではその値から統計量を算出し、統計量が示されている文献<sup>2)3)4)</sup>では標本数の重みを考慮して平均値、変動係数を統合し統計量を求めた。

鋼材の降伏点、ポアソン比の標準偏差は0.1前後、ヤング係数、すべり係数、ボルト軸力は0.05前後と、

表1 ばらつき量の調査結果

ばらつきパラメータ	文献	標本数	統計量		
			平均値 $m_s$	標準偏差 $\sigma_s$	
降伏点 $\sigma_y$	測定値/降伏点下限	2)3)4)	13,442	1.1592	0.1078
ヤング係数 $E$	測定値/設計値(*1)	2)3)	943	1.0009	0.0475
ポアソン比 $\nu$	測定値/設計値(*2)	2)3)	459	0.9293	0.0895
板厚 $t$	測定値/設計値	1)	2,520	1.0085	0.0056
板幅 $W$	測定値/設計値	1)	1,260	1.0104	0.0048
板そり	そり量/そり計測区間長	1)	222	-0.0002	0.0011
すべり係数 $\mu$	測定値/設計値(*3)	1)	27	1.5901	0.0751
ボルト軸力 $N$	測定値/設計値(*4)	1)	303	0.9560	0.0190

(\*1) 200,000 MPa (\*2) 0.3 (\*3) 0.45 (\*4) 205 kN

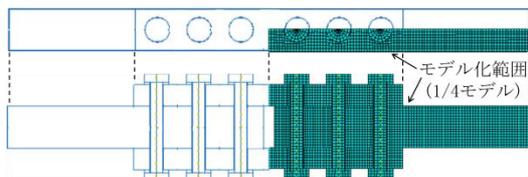


図1 解析モデル

板厚、板幅の0.005程度と比較してばらつきが大きめとなっている。

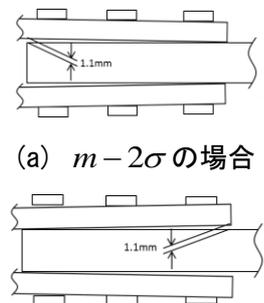
3. 解析モデル

解析はAbaqus Standard v6.9を使用し、モデルは既往の研究<sup>1)</sup>を参考に、メッシュサイズを5mm、節点数は25,000程度とした。モデルの形状を図1に示す。

まず、ばらつきを与えない平均値モデルを表2の諸元に基づき作成した。このモデルをもとに、各種ばらつき量を与えたケースを設定した。ばらつき量は、平均値を $m$ 、標準偏差を $\sigma$ とするとき、平均値寄りの約95%で最大のばらつきとなる $m \pm 2\sigma$ とした。与えたばらつき量を表3に示す。板そりは図2のように設定し、連結板のみに与えた。本検討は各種ばらつき量の影響度を比較する基礎的な検討のため、3本あるボルトの締め付け軸力のばらつき量は

表2 平均値モデルの諸元

高力ボルト	ボルト列数	3列
	等級	M22(F10T)
	導入軸力	205 kN/本
母板/連結板	降伏点	900 MPa
	鋼種	SM490Y
	板幅	75 mm
	母板厚	75 mm
	連結板厚	38 mm
	ボルト孔径	24.5 mm
継手形状	降伏点	355 MPa
	摩擦面数	2面
	摩擦係数	0.72
	ボルトピッチ	75 mm
設計すべり荷重	886 kN	
設計母板降伏荷重	1,345 kN	
すべり/降伏耐力比 $\beta$	0.66	



(a)  $m - 2\sigma$  の場合

(b)  $m + 2\sigma$  の場合

図2 板そりの形状

表3 解析に与えたばらつき量

ばらつきパラメータ	設定値			変化の割合	
	$m - 2\sigma$	$m$	$m + 2\sigma$	$m - 2\sigma$	$m + 2\sigma$
降伏点 $\sigma_y$ (MPa)	278	355	432	-21.6%	21.6%
ヤング係数 $E$ (MPa)	181,341	200,000	218,659	-9.3%	9.3%
ポアソン比 $\nu$	—	0.246	0.3	—	—
板厚・母板 $t$ (mm)	74.2	75	75.8	-1.1%	1.1%
連結板	37.6	38	38.4	-1.1%	1.1%
板幅 $W$ (mm)	74.3	75	75.7	-0.9%	0.9%
板そり (mm)	-1.1	0	1.1	—	—
すべり係数 $\mu$	—	0.652	0.72	—	—
ボルト軸力 $N$ (kN)	197	205	213	-3.9%	3.9%

キーワード 高力ボルト摩擦接合継手, すべり耐力, ばらつき

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 橋梁工学分野 Tel 06-6605-2765

変化させず同じ値を設定した。また、降伏点とヤング係数が同時に、ばらついたときのような組み合わせの検討は省いた。

4. 解析結果

解析で得られたすべり荷重を表 4 に示す。直線近似は、図 2 に例を示すように、ばらつきパラメータごとに、 $m \pm 2\sigma$ 、および平均値  $m$  の 3 ケースの結果に対し、最小 2 乗法で直線を当てはめた場合の係数を示している。すべり耐力に対するばらつき  $2\sigma$  当たりの影響の割合を図 3 に示す。

降伏点、ヤング係数、ポアソン比、板厚、板幅のばらつきの影響は、すべり耐力に対して最大でも 0.3 % 程度であり、小さいと考えられる。

また、板そりのばらつきによる影響は、0.51%と小さい。この理由は、初期形状で板そりがあるもののボルトの締付けによって接合面が密着したため、すべり耐力に大きく影響しなかったものと考えられる。ただし、ボルト本数や板そりの形状、大きさなどの条件によっては影響が大きくなることも予想される。

すべり係数、ボルト軸力のばらつきによるすべり耐力の影響の割合は、9 %、4 % 程度となり、小さくはない。これは、表 3 に示した与えたばらつきが大きく、かつ与えたばらつき量がすべり耐力に直接影響しているためといえる。与えたばらつき量がすべり耐力のばらつきにほぼ等しいのは、クーロン摩擦で説明できると考えられる。

5. まとめ

ボルト列数 3 列の厚板高力ボルト摩擦接合継手を対象に、感度解析により各種ばらつきがすべり耐力に与える影響を評価した。得られた結果をまとめる。

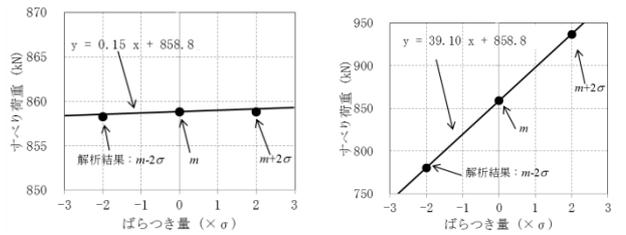
- 1) すべり係数、ボルト軸力のばらつきの影響はすべり耐力に対し大きい。降伏点、ヤング係数、ポアソン比、板厚、板幅、板そりのばらつきの影響は小さい結果となった。
- 2) 板そりの影響が小さい理由は、今回検討した条件では、板そりが接合面の密着に大きく影響しなかったためと考えられる。
- 3) すべり係数、ボルト軸力のばらつきの割合が、すべり耐力に直接影響する結果が得られた。

今後、本検討では省いた各種ばらつきの組み合わせを検討する必要がある。また、複数あるボルト軸力がそれぞればらついた場合も検討する必要がある。

表 4 すべり荷重

ばらつきパラメータ	すべり荷重 (kN)			直線近似	
	$m-2\sigma$	$m$	$m+2\sigma$	勾配※	切片
降伏点 $\sigma_y$	858.2	858.8	858.8	0.15	858.8
ヤング係数 $E$	855.9		861.3	1.36	858.8
ポアソン比 $\nu$	861.9		856.3	-1.39	858.8
板厚 $t$	858.4		858.9	0.12	858.8
板幅 $W$	858.4		859.1	0.18	858.8
板そり $—$	866.4		857.7	-2.2	858.8
すべり係数 $\mu$	780.4		936.7	39.1	858.8
ボルト軸力 $N$	825.4		892.3	16.7	858.8

※ばらつき量  $\sigma$  当たりのすべり荷重への影響を表す。



(a) 降伏点の場合 (b) すべり係数の場合

図 2 直線近似の当てはめ

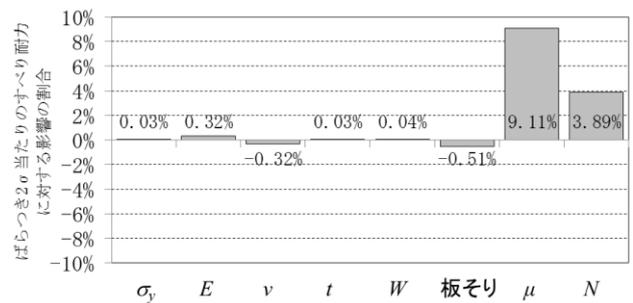


図 3 すべり耐力への影響の割合

参考文献

- 1) 土木研究所, 大阪市立大学: 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, 共同研究報告書, 第 428 号, 2012.1
- 2) 東海鋼構造研究グループ: 鋼構造部材の抵抗強度の評価と信頼性設計への適用 (上), 橋梁と基礎, pp.33-41, 1980.11
- 3) 青木 博文, 能沢 正樹: 構造用鋼材における機械的性質の平均値と変動係数 (その 1. 文献調査), 2336, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1123-1124, 1980.9
- 4) 青木 博文, 能沢 正樹: 構造用鋼材における機械的性質の平均値と変動係数 (その 2. 平均値と変動係数の評価), 2337, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1125-1126, 1980.9