

連結板の板幅が異なる高力ボルト摩擦接合継手の力学挙動に関する基礎的研究

九州工業大学 学生会員○末田 麻海

九州工業大学 正会員 高井 俊和

1. はじめに

高力ボルト摩擦接合継手は、鋼橋で腐食の生じやすい箇所の1つに挙げられる。継手部の腐食により高力ボルトや連結板が取替えられる場合がある。継手部の全体を分解せずに連結板を交換するには、図1に示すように、連結板を短冊状に交換する方法が考えられる。例えば腐食が片側で、その連結板のみを交換する場合は、母板と交換しない連結板が板幅方向に対して連続である一方、交換した短冊状の連結板は板幅方向に不連続となる。このような連結板の条件が異なることによる継手の力学的挙動への影響が不明であるため、FEM解析を実施し確認した。

2. 解析ケース

継手の諸元を表1にまとめる。片側に高力ボルトを1行2列配置した継手である。解析ケースを表2に示す。ケースaはすべり試験体に相当する高力ボルトが1行配置されたケースである。ケースbは複数行配置に相当する。ケースcは片側の連結板を取替え短冊状にしたケース、ケースdは片側の連結板を取替え板幅が5mm狭い短冊状としたケースである。

3. 解析方法

解析プログラムはAbaqus Standard v6.13を用いてFEM解析を実施した。図2のように対称性を考慮した1/4モデルとした。複数行配置のケースは、コバ面にも対称境界条件を設定[1]し周期対称性を再現した。要素長が3mm程度の均一とした8節点低減積分ソリッド要素を用いた。材料特性は、JISで規定される降伏点(耐力)、引張強さの下限值を用いた。ヤング係数 E は200,000 N/mm²、降伏から引張強さまでの接線勾配が $E/100$ 、引張強さ以降の勾配が0のトリリニアとした。ポアソン比は0.3とした。母板と連結板間の摩擦係数はすべり発生までを0.5、ボルト孔とボルト軸部が接触した以降を0.25、その間を線形変化させた。

すべり荷重は、母板と連結板の相対変位に着目し、母断端から15mm位置の内側相対変位が0.2mmに達した時点の母板の引張作用荷重とした。降伏荷重は、母板と連結板のコバ面のMises応力が1要素幅で降伏点に達した時点の荷重とした。終局荷重は、母板と連

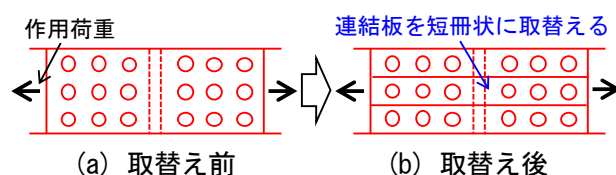


図1 連結板の取替えイメージ

表1 継手の諸元

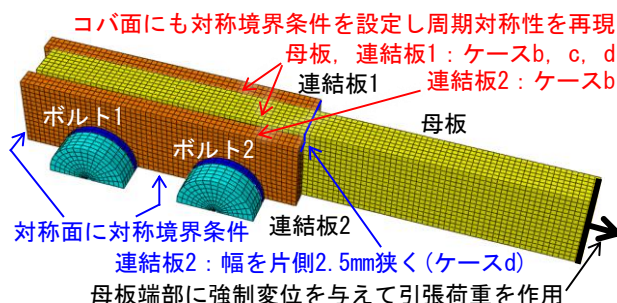
目標すべり／降伏耐力比 β		0.6	0.9	1.2
ボルト	等級・呼び	F10T M22		
	耐力 (N/mm ²)	900		
	引張強さ (N/mm ²)	1,000		
	片側本数	2		
	設計ボルト軸力 (kN)	205		
	設計すべり係数	0.5		
	すべり耐力	410		
母板／連結板	鋼種	SM490Y		
	降伏点 (N/mm ²)	355		
	引張強さ (N/mm ²)	490		
	母板厚 (mm)	20		
	連結板厚 (mm)	10		
	板幅 (mm)	120	88	72
	ボルト孔径 (mm)	24.5		
	純幅 (mm)	95.5	63.5	47.5
	母板降伏耐力 (kN)	678	451	337
設計すべり／降伏耐力比 β		0.605	0.909	1.216

表2 解析ケース

ケース	コバ面の拘束条件			板幅 (mm)	
	母板	連結板		母板	連結板
		1	2		
a	自由	自由	自由	$\beta=0.6: 120$ $\beta=0.9: 88$ $\beta=1.2: 72$	左に同じ
b	対称	対称	対称		
c	対称	対称	自由		
d	対称	対称	自由		※

対称：コバ面に板幅方向の対称境界条件を設定した

※：板幅を母板の板幅-5mmとした

図2 解析モデルの概要 ($\beta=0.9$, ケースd)

結板のボルト孔壁またはボルト軸部の相当塑性ひずみが1要素幅で、JISに規定される破断伸びである19% (SM490Y)、14% (F10T) に達した時点の荷重[2]とした。いずれの荷重とも、それぞれ着目した各部位でタイミングが異なる場合は最も早い時点とした。

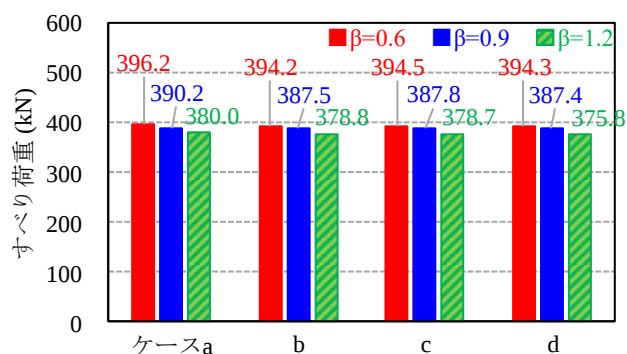


図3 すべり荷重

4. 解析結果および考察

解析で得られたすべり荷重を図3に示す。すべり荷重は、1行配置のケースaが複数行配置のケースbより高くなったが、その差は0.5%程度と小さかった。片側の連結板を短冊状にしたケースcとdのすべり荷重もケースaより低くなったが、その差は最大でも1%程度であり、連結板を短冊状にしたことによるすべり耐力への影響は見られなかった。

降伏荷重を図4に示す。すべり/降伏耐力比 β が大きなケースほど降伏荷重が低くなったのは、 β を母板の降伏耐力で調整して継手を設計したためである。ケースaよりもケースbが10%程度高くなった。これはコバ面の拘束条件の違いにより図5のように降伏線(図中の灰色が降伏領域)が異なったためである。ケースaではボルト孔からコバ面へ斜めに、ケースbでは最短経路で降伏が進展した。ケースcはケースaよりも3%前後高く、ケースbよりケースaに近い結果となった。これは、短冊側の連結板2のコバ面が拘束されておらず、ケースaと同様に斜めの降伏線となり、図6に示すように短冊状の連結板2が先行して降伏に達するためである。ケースdでは短冊状の連結板2の幅が狭く設計降伏耐力が低いため、ケースaの降伏荷重より7%前後低くなった。板幅を狭くしたことによる設計降伏耐力の低下が8%であり低下量はほぼ同等となった。

終局荷重を図7に示す。ケースaに対して、ケースbが10%前後高く、ケースcが5%前後、ケースdは2%前後高くなった。降伏荷重ではケースdの板幅を狭くした影響が出た一方で、降伏後の連結板の荷重分担の変化により、板幅を狭くした影響が小さくなったと考えられる。

以上の結果から、ボルトが複数行配置された高力ボルト摩擦接合継手で片側の連結板を短冊状にした場合

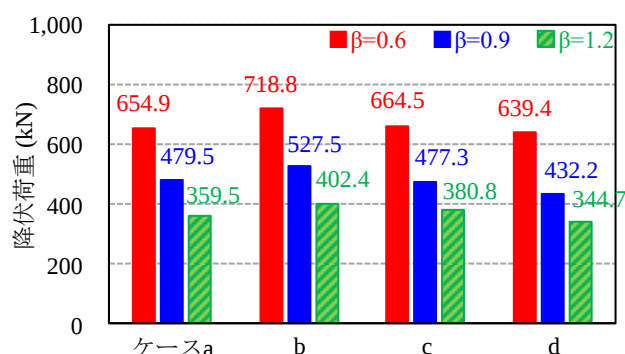


図4 降伏荷重

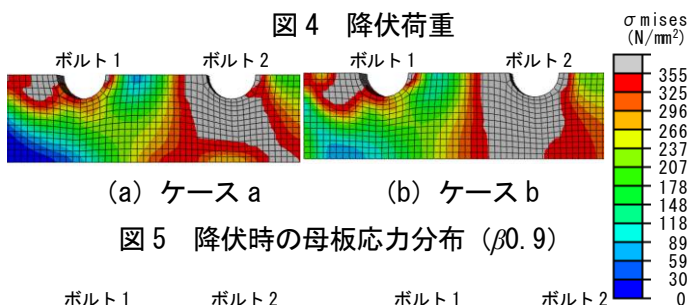
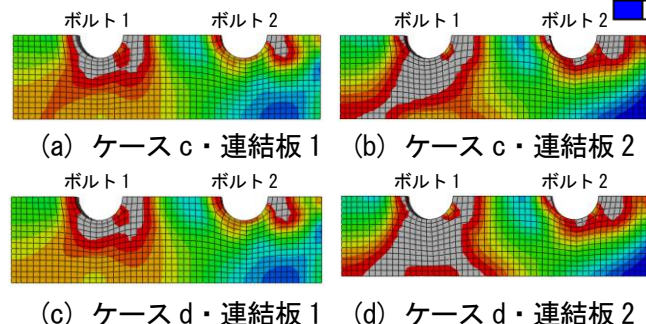
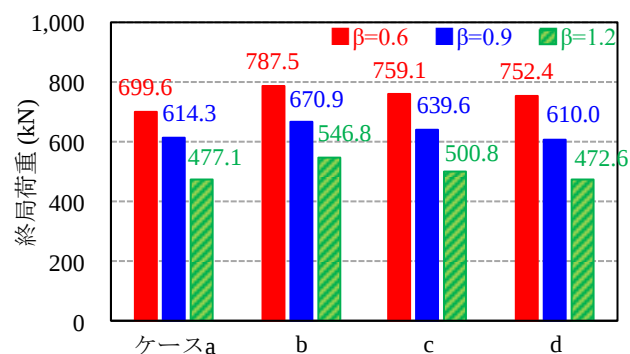
図5 降伏時の母板応力分布 ($\beta=0.9$)図6 降伏時の連結板の応力分布 ($\beta=0.9$)

図7 終局荷重

でも、すべり耐力およびすべり後耐力への影響はほとんどないといえる。

参考文献

- [1] 高井 俊和, 森山 仁志, 山口 隆司, 山本 佑大: 高力ボルト摩擦接合継手の横拘束のすべり挙動に与える影響, 平成 29 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, I-20, pp. 39-40, 2018.3
- [2] 松本 結実, 高井 俊和: 降伏点の低いフィラーを用いた高力ボルト摩擦接合継手のすべり後挙動に関する解析的検討, 2019 年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, I-1, 2 ページ, 2019.5