

## 連結板を当て板補修した高力ボルト摩擦接合継手の力学挙動

九州工業大学 正会員○高井 俊和  
山口大学 本間 小百合

九州工業大学 学生会員 山本 秀平

### 1. 目的

高力ボルト摩擦接合継手は、腐食等により部材の交換が必要になる場合がある。文献[1]では、連結板が腐食した継手を対象に当て板補修をした事例が報告されている。一方で、既存の腐食した連結板と当て板の接合面において高いすべり係数が期待できない場合も考えられる。本研究では、連結板を当て板補修した継手を対象に当て板のすべり係数の力学挙動への影響をFEM解析により確認した。

### 2. 解析ケース

解析対象の継手の諸元と解析ケースを表1に示す。連結板の板厚減少の影響と補修効果が現れるよう母板より連結板の耐力をあえて低く設定した。設計降伏モードは連結板純断面の引張降伏である。連結板厚は16 mm、板厚減少後は9 mmとした。通常は、板厚が大きく減少する前に補修されると思われるが、影響を把握しやすくするために減少量を大きくした。縁端距離は40 mm、ボルトピッチは75 mmとした。

解析ケースについて、ケース a は基本ケースで板厚が減少する前、ケース b, c は板厚が減少した後、ケース d, e, f は連結板の当て板部のすべり係数が異なった場合で、d が低いケース、f が不陸調整の樹脂の接着により高くなったケースを想定している。

### 3. 解析方法

解析プログラムはAbaqus standard 6.13を用い、既往の研究[2]を参考に各種非線形性を考慮した弾塑性FEM解析を実施した。解析モデルの概要を図1に示す。対称性を考慮して4分の1をモデル化した。要素は8節点低減積分要素を用い、要素の大きさは3 mm程度とした。母板端部の強制変位により引張荷重を単調に増加させた。応力-ひずみ関係を図2に示す。JIS規格の下限値を参考にモデル化し、真応力-真ひずみ関係に変換して用いた。ヤング係数 $E$ は $200,000 \text{ N/mm}^2$ 、ポアソン比は0.3、降伏点から引張強さまでの2次勾配は $E/100$ とした。

表1 継手の諸元と解析ケース

連結板の設定		両側とも板厚減少なし	片側が板厚減少	両側が板厚減少	片側が板厚減少し、当て板補修		
解析ケース		a	b	c	d	e	f
ボルト	等級・呼び	F10TM22					
	すべり係数	0.5					
	摩擦面数	2					
	すべり耐力 kN	820					
母板・連結板	鋼種	SM490Y					
	母板厚 mm	40					
	連結板厚 mm	ヘッド側	16		9	16	
		ナット側	16	9			
	当て板厚 mm	-			9		
	当て板摩擦係数	-			0.2	0.5	0.8
	板幅 mm	150					
	ボルト孔 mm	24.5					
	純断面 mm	125.5					
	降伏荷重 kN	母板	1,782				
連結板		1,426	1,114	802	1,515		
すべり/降伏耐力比 $\beta$	母板	0.460					
	連結板	0.575	0.736	1.023	0.541		

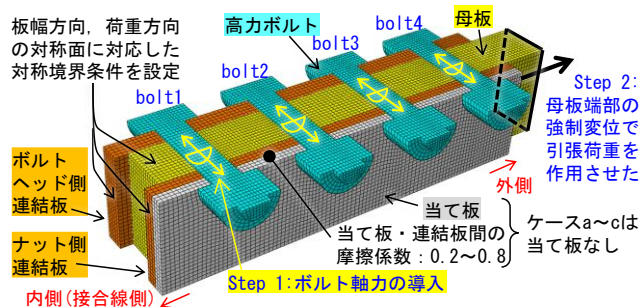


図1 解析モデルの概要

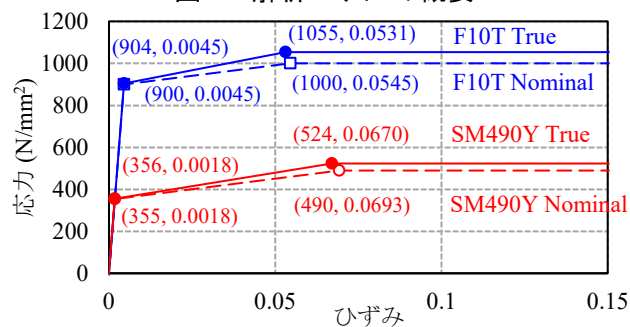


図2 応力-ひずみ関係

すべり荷重は母板内側の端部から15 mm位置の母板と連結板の相対変位が0.2 mmに達するまでの最大荷重とした。降伏荷重は、連結板の純断面全体が降伏応力を超過した時点の荷重とした。最大荷重は降伏荷重以降の荷重のピーク値とした。

キーワード 高力ボルト摩擦接合継手, 当て板補修, 連結板, 降伏挙動, 終局挙動, FEM解析

連絡先 〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1 九州工業大学 大学院工学研究院 建設社会工学研究系 TEL083-884-3123

#### 4. 解析結果

図3に引張荷重-継手伸び関係を示す。継手伸びとは連結板対称面と母板端部間の伸びである。グラフ内の直線は降伏、最大荷重を示している。継手伸びが3 mm程度までは各ケースとも挙動が一致し、ボルト軸部の支圧による荷重上昇以降で差が生じた。基本ケースaに対しケースb, cは連結板の板厚減少に応じて降伏、最大荷重とその時点の継手伸びが減少した。ケースd, e, fは当て板の摩擦係数が異なるがほぼ一致した。

図4に解析で得られた各種荷重を示す。すべり荷重はケースaに対しケースbは3%、ケースcは6%低下した。これらは連結板の板厚が薄く、すべり時の連結板の応力が高く、ボルト軸力の低下が大きくなったためである。当て板補修をしたケースd, e, fでは、ボルト軸力の低下が抑制され、ケースaと同等のすべり荷重となった。当て板の摩擦係数の低いdでも当て板のみ先行してすべることにはなかった。

当て板補修したケースd, e, fの降伏荷重はケースaより7~8%高くなった。ケースd, e, fの連結板・当て板合計厚はケースaより6%大きい降伏荷重はそれ以上上昇した。その原因として図5に降伏時のミーゼス応力分布を示すように、両側の連結板で降伏の進展度合いが異なり、当て板と、当て板側連結板が降伏した時点で反対側の降伏範囲が広がり、加工硬化により荷重が上昇したためと考えられる。当て板の摩擦係数が小さいほど降伏荷重は高くなったが、その差は1%程度と顕著な違いはなかった。

ケースd, e, fの最大荷重は、最大荷重時にボルト軸部のせん断モードが生じたため、純断面引張モードのケースaに対し3%程度の上昇にとどまった。当て板の摩擦係数の違いの影響は見られなかった。図6のボルト軸力-継手伸び関係のように、支圧開始以降ボルト軸力が大きく低下したことから当て板の摩擦係数の違いの影響が小さくなったと考えられる。

#### 5. まとめ

継手の連結板が板厚減少した場合に当て板補修することにより各種荷重が板厚減少前と同等以上になる結果が得られた。また、当て板の摩擦係数は各種荷重に顕著に影響しない結果が得られた。

謝辞 本研究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。

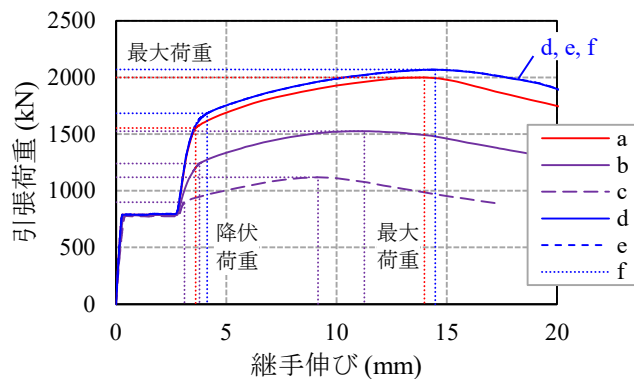


図3 引張荷重-継手伸び関係

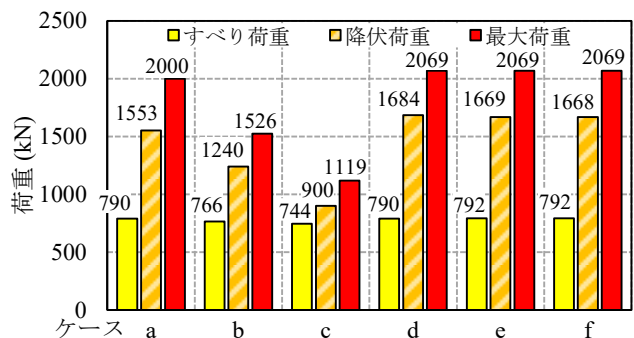


図4 各種荷重

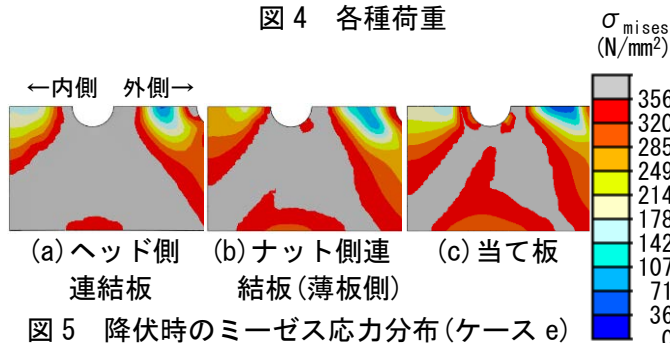


図5 降伏時のミーゼス応力分布(ケースe)

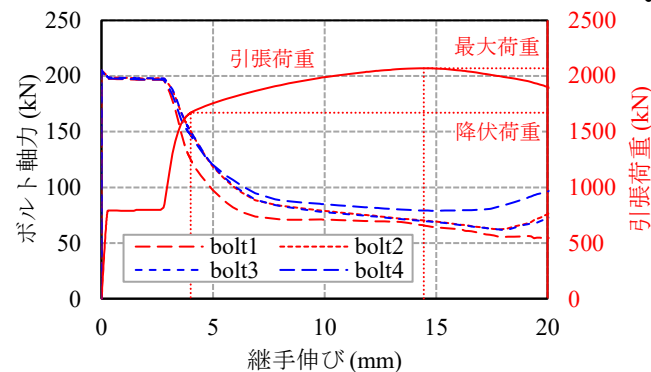


図6 ボルト軸力-継手伸び関係(ケースe)

#### 参考文献

- [1] 横山 健司, 松本 茂, 田畑 晶子: トラス橋の腐食による継手部の補修方法と確認実験, 阪神高速道路公団技報, 第16号, pp. 118-128, 1998
- [2] 高井 俊和: アンボトニング現象に着目した高力ボルト摩擦接合継手のすべり後のボルト軸部のせん断挙動, 構造工学論文集A, Vol. 67A, pp. 282-295, 土木学会, 2021.3