

高力スタッドボルトを用いた一面当て板補強の応力性状に関する解析的検討

日本ファブテック 正会員 ○彭 雪
 大阪市立大学 学生会員 山本 佑大

日本ファブテック 正会員 奥村 学
 大阪市立大学 正会員 山口 隆司

1. はじめに

高力スタッドボルトを用いて摩擦接合した一面当て板補強の引張試験¹⁾では、母板欠損部の補強効果を確認できたが、一面当て板に起因する付加曲げによる影響が大きいことがわかった。そこで、一面当て板補強のFEM解析を実施し、付加曲げによる母板と当て板の応力性状を解明し、摩擦係数とボルト軸力が断面欠損した母板の補強効果に及ぼす影響について検討した。

2. 解析方法

解析モデルと境界条件を図-1に示す。対象とした引張試験体は、母板の幅を100mm、厚さを19mmとし、中央部に片側深さ4mmの欠損(中央欠損部)を設けた。当て板は厚さを12mmとし、高力スタッドボルト3本(片側)により摩擦接合した。解析モデルは、構造の対称性を考慮した1/4領域とし、母板と当て板をソリッド要素、これらの摩擦接合面には接触境界を導入した。解析コードはAbaqus2016である。解析ステップは、所定のボルト軸力をスタッドボルトに導入した後、引張荷重 P を載荷した。

解析ケースを表-1に示す。解析ケースは、摩擦係数 $\mu=0.4$ (標準)、 0.7 (高摩擦)、ボルト軸力 $N=133\text{kN}$ (標準)、 85kN (低軸力)、欠損側縁端 $e=50\text{mm}, 70\text{mm}$ をパラメータとした全4ケースである。

3. 解析結果

解析ケースFE- $\mu 04$ の引張荷重 $P=0.5P_y$ 時のMises応力コンター図および変形図を図-2に示す。なお、 P_y は母板総断面の降伏荷重である。引張荷重 P によって、母板と当て板には軸引張応力に加え、付加曲げ応力(母板：引張、当て板：圧縮)が作用するため、引張試験体には面外変形が生じている。中央欠損部に着目すると、母板の面外変形が非常に小さく、欠損端部と内側ボルト間で付加曲げに抵抗するため、母板裏面で断面1(中央)の約1.3倍の引張応力が発生している。

母板表裏面の軸方向応力差 $\Delta\sigma$ (=表面-裏面)を図-3に示す。付加曲げモーメントは、中央欠損部が正曲げ、母板端部が負曲げとなる。当て板を摩擦接合したことで、引張荷重が母板から当て板へ荷重伝達され、補強

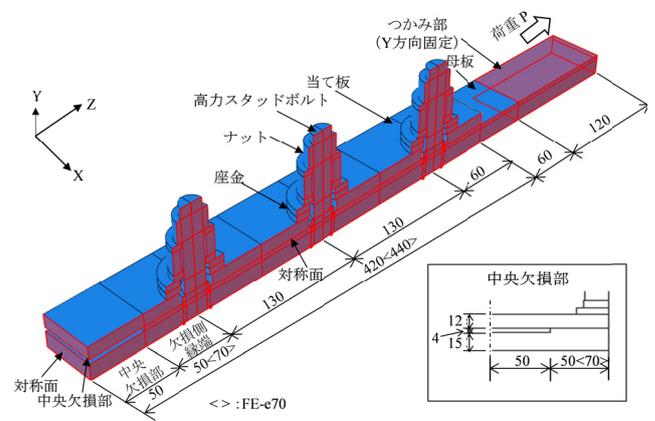


図-1 解析モデルと境界条件 (1/4モデル) (寸法単位: mm)

表-1 解析ケース

解析ケース	母板厚 (mm)		当て板厚 t_p (mm)	摩擦係数 μ	軸力 N (kN)	μN 値	欠損側縁端 (mm)
	健全部 t_s	欠損部 t_{sd}					
FE-N85	19	15	12	0.4	85.0	0.64	50
FE- $\mu 04$							
FE- $\mu 07$							
FE-e70							

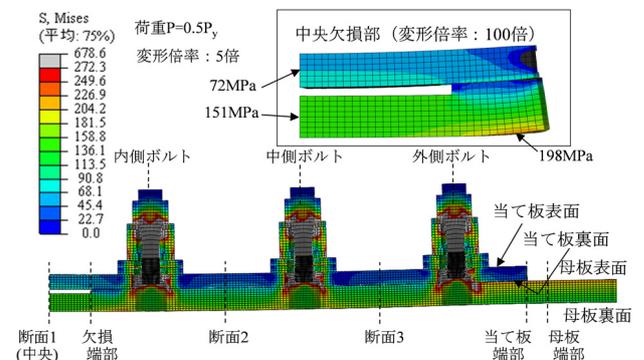


図-2 Mises 応力コンター図および変形図 (FE- $\mu 04$)

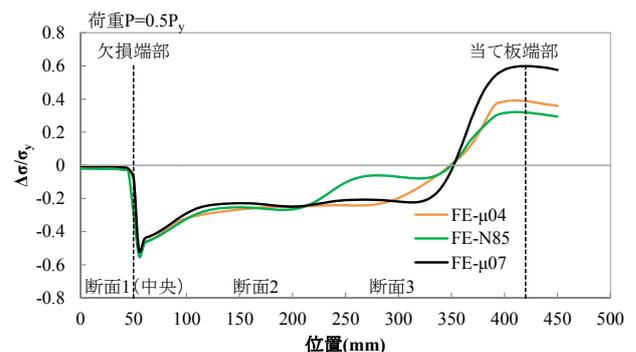


図-3 母板表裏面の軸方向応力差

キーワード 高力スタッドボルト, 一面当て板補強, 付加曲げ, FEM解析, 応力性状, 荷重伝達

連絡先 〒550-0001 大阪市西区土佐堀 1-3-7 肥後橋シミズビル 11階 TEL:06-7730-9120

断面の中立軸との関係から付加曲げモーメントが発生する。よって、引張荷重が増加すると、当て板への荷重伝達が期待できない母板端部の $\Delta\sigma$ が大きくなり、軸引張力と付加曲げで引張応力を受ける母板表面で局部降伏の発生が懸念される。この傾向は、別途実施した通常の六角高力ボルト（抵抗断面：母板純断面）の解析結果で顕在化する。高力スタッドボルトを用いた当て板補強では、抵抗断面が母板総断面となるため、六角高力ボルトを用いたものに比べて補強効果が向上する。また、母板端部の $\Delta\sigma$ は、 μN 値に依存するため、外側ボルト位置のボルト軸力（ N 値）や偏心量（当て板厚）を低減することで、母板端部の表面応力の局部降伏を遅らせ、補強効果がさらに向上すると考えられる。

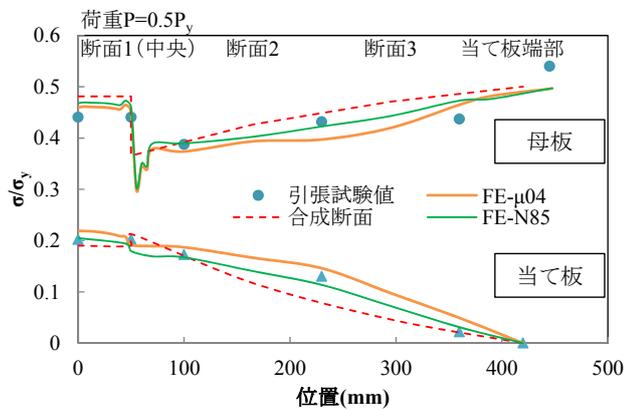


図-4 母板と当て板の軸方向平均応力分布

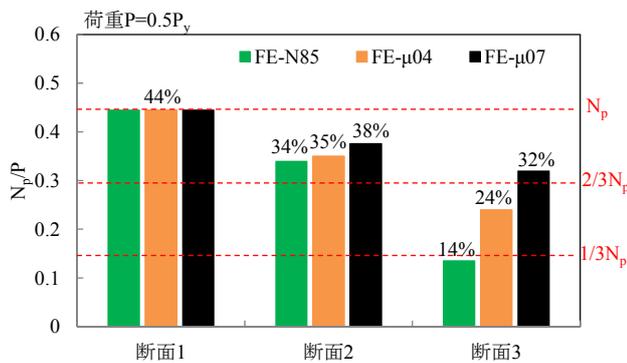


図-5 断面1～3の当て板の荷重伝達率

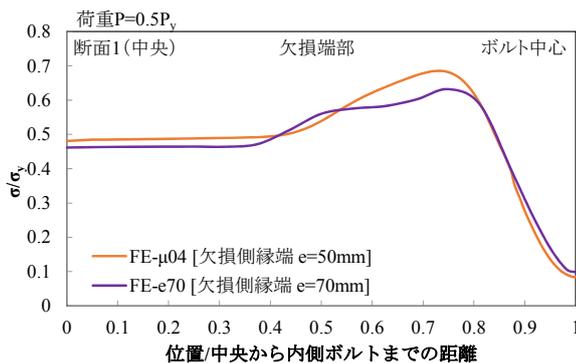


図-6 母板裏面の軸方向応力分布（中央欠損部）

母板と当て板の軸方向平均応力分布を図-4 に示す。なお、図中の合成断面は、引張荷重を母板と当て板の断面積比でそれぞれ荷重分担し、摩擦力が各ボルトで均等に作用すると仮定して算出した。母板と当て板の応力分布は、合成断面および引張試験値に概ね一致しているが、断面1（中央）やボルト間では差異が認められる。ボルト間では、摩擦係数とボルト軸力の積 μN 値が小さくなるほど、合成断面に近づく傾向が見られた。

断面1～3の当て板の荷重伝達率を図-5 に示す。各断面の当て板軸力 N_p は、母板と当て板を合成断面とした場合の中立軸から付加曲げ応力を控除して算出した。各ケースとも、断面1（中央）の荷重伝達率は、中央欠損部の当て板と母板の断面積比（44%）と同じ値となった。摩擦係数とボルト軸力の積 $\mu N=0.64$ では、断面1～3の荷重伝達がほぼ均等（ $=1/3N_p$ ）となっている。一方、 μN 値が高く1.00、1.75では断面3の荷重伝達が非常に高くなっている（ $1/2N_p$ 以上）。よって、 μN 値が大きくなると、外側ボルトの荷重伝達率が増加し、中側と内側ボルトの荷重伝達率が低下するため、図-4の解析結果と合成断面におけるボルト間の応力分布に差異が生じたものと考えられる。

中央欠損部の母板裏面の軸方向応力分布を図-6 に示す。欠損側縁端 e が50、70mmに対して、無次元引張応力の最大値がそれぞれ0.68、0.63であった。欠損側縁端が20mm増加すると、母板の付加曲げに抵抗する欠損端部と内側ボルト間の最大引張応力が約8%低下することがわかった。

5. まとめ

本研究は、高力スタッドボルトを用いた一面当て板補強のFEM解析を実施した。得られた主な結果を以下に示す。

- 1) 付加曲げモーメントは、中央欠損部が正曲げ、母板端部が負曲げとなる。母板端部の負曲げは外側ボルトの導入軸力や当て板の偏心量が影響する。
- 2) 解析結果の母板と当て板の応力分布は、合成断面に概ね一致しているが、ボルト間では多少の差異が認められる。これは、ボルト間の荷重伝達の違いによるものと考えられる。

参考文献

- 1) 山本、山口、彭、奥村：高力スタッドボルトを用いた一面摩擦接合の当て板補修に関する実験的研究，土木学会第72回年次学術講演会，I-624，pp.1247-1248，2017.9