

高力ボルト摩擦接合により当て板補修した引張部材の耐荷性能に関する解析的研究

熊本大学大学院自然科学教育部 学生会員 ○山根克稔

熊本大学大学院 先端科学研究部 正会員 森山仁志

熊本大学大学院 自然科学教育部 正会員 松村政秀

1. 研究背景および目的

腐食により断面欠損した鋼部材は、**図-1**に示すように、高力ボルトにより当て板補修されるのが一般的である。しかし、補修設計には実際の荷重伝達機構とは異なる継手の設計基準が準用されており、当て板による荷重分担が不十分なため欠損部の降伏が先行することや、作用力に対して十分安全側となることが考えられる。そこで、本研究では、静的引張解析により当て板補修部の荷重伝達機構を調査し、健全状態の部材耐力まで回復し補修効果が認められる補修部の構造諸元について検討した。

2. 解析モデルおよび着目パラメータ

本研究では、一様な断面欠損部を有する引張部材に両面から当て板補修する場合を考える。対象とする当て板補修部の構造諸元と着目パラメータを**表-1**に、当て板総厚の決定方針を**表-2**にそれぞれ示す。着目パラメータは、母板幅 w 、欠損率 α_1 、ボルト列数 n 、当て板総厚 t_p である。当て板総厚 t_p は**表-2**の着目条件を満たすように変化させている。軸剛性比 η_1, η_2 はボルト位置および欠損位置における母板に対する当て板の軸剛性の比率である。

解析モデルと境界条件を**図-2**に、鋼材とボルトの σ - ϵ 関係を**図-3**にそれぞれ示す。解析モデルは対称性を考慮して 1/4 モデルとし、ソリッド要素でモデル化した。ボルト軸力導入後、母板端面に一樣強制変位を与えた。解析ソルバーには Abaqus 2017 を用いた。

3. 解析結果

各シリーズの荷重 P と母板端面の強制変位 u の関係を**図-4**に示す。図中には降伏・すべり限界状態をプロットしている。**図-4**より、欠損率 $\alpha_1=0\sim 30\%$ の場合と $\alpha_1=50, 70\%$ の場合では降伏に至る過程が異なり、前者は母板純断面降伏が先行し健全状態の耐力まで回復するのに対して、後者は欠損部降伏が先行し健全状態の耐力まで回復しないことがわかる。とりわけ、欠損率が大きい場合に当て板総厚 t_p が補修効果に影響を及ぼし、



図-1 当て板補修の例

表-1 対象とする構造諸元と着目パラメータ

一定の構造諸元				着目パラメータ				
ボルト孔径 d_0 (mm)	軸平行部径 d (mm)	端しあき距離 e_1 (mm)	ボルトピッチ p (mm)	母板厚 t_m (mm)	母板幅 w (mm)	欠損率 α_1 (%)	ボルト列数 n	当て板総厚 t_p (mm)
24.5	22	40	75	22	150 200 250 300	0,10, 30,50,70	2 (1,3,4) *	表-2

*ボルト列数 $n=1, 3, 4$ は母板幅 $w=150$ mm で欠損率 $\alpha_1=30, 50\%$ のケースのみ実施

表-2 解析シリーズと当て板総厚の決定方針

シリーズ	着目条件
当て板総厚 $t_p =$ 母板厚 t_m	ボルト位置の軸剛性比 $\eta_1=1.0$
当て板総厚 $t_p =$ 残存厚 t_c	欠損位置の軸剛性比 $\eta_2=1.0$
当て板総厚 $t_p =$ 欠損板厚 t_{red}	軸剛性比 η_1, η_2 はともにケース毎に変化

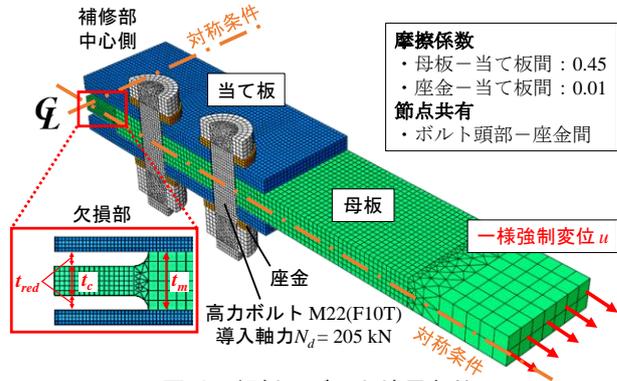


図-2 解析モデルと境界条件

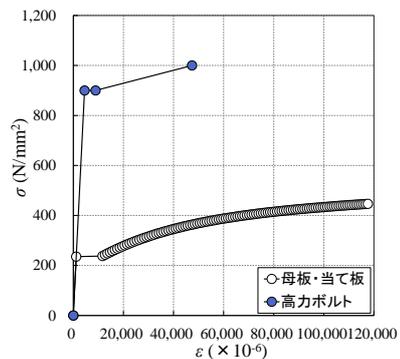


図-3 鋼材とボルトの σ - ϵ 関係 (公称値)

キーワード：高力ボルト摩擦接合、当て板補修、荷重伝達機構、腐食欠損部

連絡先 〒860-8555 熊本市中央区黒髪2-39-1 熊本大学大学院 自然科学教育部 TEL: 096-342-3532 FAX: 096-342-3507

$\alpha_1 = 50\%$ のとき、 $t_p = t_m$ シリーズのみで健全状態の耐力までの回復が期待できる。これは、当て板総厚 t_p 、すなわち欠損位置の軸剛性比 η_2 を大きくすることで当て板の荷重分担量が増加したためであり、軸剛性比が降伏限界の発生順序に及ぼす影響が大きいといえる。

一方、欠損部降伏荷重 P_{yc} と純断面降伏荷重 P_{yn} の比 P_{yc}/P_{yn} 、当て板補修後の最大荷重 P_{max} とボルト孔を有した健全時母板の最大荷重 P_{max-h} の比 P_{max}/P_{max-h} の関係を整理すると、図-5 に示すとおりまとめられる。 $P_{max}/P_{max-h} - P_{yc}/P_{yn}$ 関係は、 $P_{yc}/P_{yn} < 1.0$ では線形性を示し、 $P_{yc}/P_{yn} > 1.0$ では母板の純断面破断により最大耐力が決定されるため、 P_{max}/P_{max-h} は一定値となり、補修効果が降伏限界の発生順序に関連することがわかった。

P_{yc}/P_{yn} と当て板補修部の構造諸元である欠損率 α_1 (式(1))、回復率 α_2 (式(2))、およびすべり/降伏耐力比 β_1 (式(3)) の関係を図-6 にまとめた。 P_{yc}/P_{yn} はコンターカラーで図に示している。 $\alpha_2 \geq 2.3$ の場合は、 α_1 と β_1 によらず $P_{yc}/P_{yn} > 1.0$ となり、補修効果が確認された。 $0 < \alpha_2 < 2.3$ の場合は、 α_1 と β_1 の大きさにより補修効果が変わり、 $P_{yc}/P_{yn} > 1.0$ を満たす条件は式(4)のとおりまとめられる。

$$\alpha_1 = \frac{t_{red}}{t_m} = \frac{t_m - t_c}{t_m} \quad (1), \quad \alpha_2 = \frac{t_p}{t_{red}} \quad (2)$$

$$\beta_1 = \frac{P_{sd}}{P_{ynd}} = \frac{nm\mu N_d}{(w-d_0)t_m \times \sigma_{ym}} \quad (3)$$

$$\beta_1 \geq \begin{cases} 0 & (0\% \leq \alpha_1 < 40\%) \\ 0.01 \times \alpha_1 + 0.1 & (40\% \leq \alpha_1 < 60\%) \\ 0.7 & (60\% \leq \alpha_1 < 100\%) \end{cases} \quad (4)$$

ここに、 t_{red} : 欠損板厚 (= $t_m - t_c$)、 t_m : 母板厚、 t_c : 残存板厚、 t_p : 当て板総厚、 P_{sd} : すべり耐力、 P_{ynd} : 母板の純断面降伏耐力、 n : ボルト列数、 m : 接合面数、 μ : 摩擦係数、 N_d : 設計ボルト軸力、 w : 母板幅、 d_0 : ボルト孔径、 σ_{ym} : 母板の降伏応力である。

4. まとめ

本研究では、当て板補修部の荷重伝達機構、および健全状態の部材耐力まで回復し補修効果が認められる補修部構造諸元を数値解析的に検討した。その結果、以下の知見を得た。

- 1) $P-u$ 関係より、補修効果が認められた場合は純断面降伏、そうでない場合は欠損部降伏が先行した。 $P_{max}/P_{max-h} - P_{yc}/P_{yn}$ 関係は線形性を示すことから、補修効果が降伏限界の発生順序に関連することを明らかにした。
- 2) $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1$ の三つの構造パラメータに着目すると、 $\alpha_2 \geq 2.3$ の場合は α_1 と β_1 によらず、 $0 < \alpha_2 < 2.3$ の場合は式(4)の条件式を満たす場合に補修効果が認められることを示した。

謝辞

本研究は、JSPS科研費JP19K15076の助成を受けて実施しました。ここに記して感謝の意を表します。

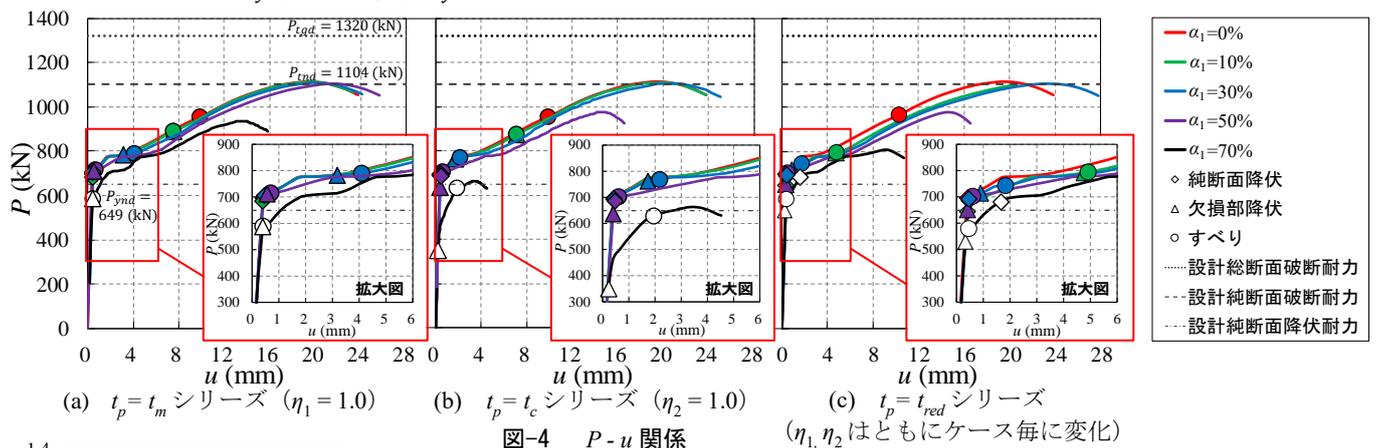


図-4 P-u 関係

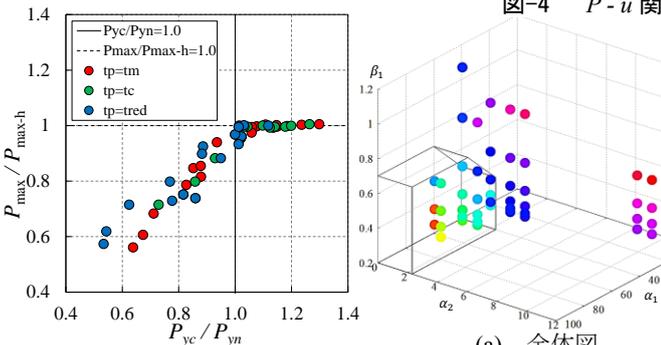


図-5 $P_{max}/P_{max-h} - P_{yc}/P_{yn}$ 関係

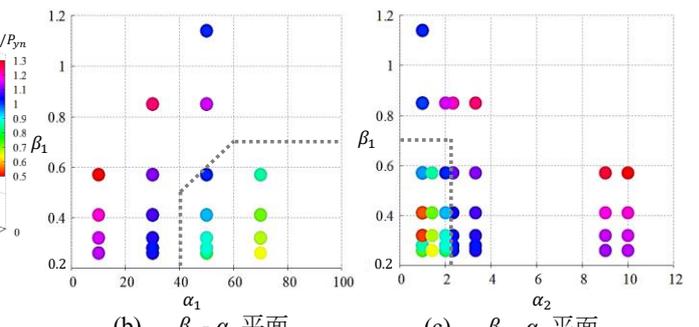


図-6 $P_{yc}/P_{yn} - \beta_1 - \alpha_1 - \alpha_2$ 関係