

高力スタッドボルトを用いる当て板補強の引張疲労に関する解析的研究

日本ファブテック 正会員 ○彭 雪
 関西大学 学生会員 上田 宗

日本ファブテック 正会員 奥村 学
 関西大学 正会員 石川 敏之

1. はじめに

高力スタッドボルト(以下, 高力スタッド)を用いる当て板補強工法のスタッド溶植部の疲労寿命は, 既往研究の疲労試験により, スタッドままに比べ1~2等級程度改善した^{1), 2)}. これは, 当て板に荷重分担させることで, 溶植部の応力範囲が低下するためである. 曲げ疲労試験体を対象とした FEM 解析では, 当て板補強の効果により溶植止端部の応力範囲が3割程度低減した²⁾. 本稿では, 引張疲労試験体を対象とし, FEM 解析で当て板補強による応力範囲の低減効果を検証した.

2. 解析方法

引張疲労試験体の解析モデルを図-1 に示す. 解析モデルはソリッド要素によってモデル化し, 構造の対称性を考慮した1/4領域とした. 高力スタッド(M20)は3本を設定し, 母材と当て板は板幅を100mm, 板厚を19mmとした.

解析コードは MSC.Marc である. 母材と当て板の接合面に摩擦係数を0.4で設定した. 当て板補強の解析ステップは所定のボルト軸力を導入した後, $\sigma_N=155\text{MPa}$ で引張载荷した. 溶植部の局部応力は, 止端半径 $\rho=1\text{mm}$ としたエフェクティブノッチストレスで評価する. 図-2 に溶植止端部のモデル化を示す. 止端角度は, 余盛り部を除外して $\theta=45^\circ$ で設定した. 解析ケースは, スタッドままだをケース1, 当て板補強の標準軸力(F8T)をケース2, 低軸力(F6T)をケース3および高軸力(F10T)をケース4とした. 溶植止端部の応力集中係数は, スタッドまま(ケース1)を式(1), 当て板有り(ケース2~4)を式(2)により算出した. 応力集中係数 K_{SP} は, 荷重载荷時の主応力範囲からボルト軸力導入時の主応力を差し引いた値とした.

$$K_S = \sigma_t / \sigma_N \quad ; \text{スタッドまま} \quad (1)$$

$$K_{SP} = (\sigma_t - \sigma_B) / \sigma_N \quad ; \text{当て板有り} \quad (2)$$

σ_t : 主応力範囲, σ_N : 公称応力,

σ_B : ボルト軸力導入時の主応力

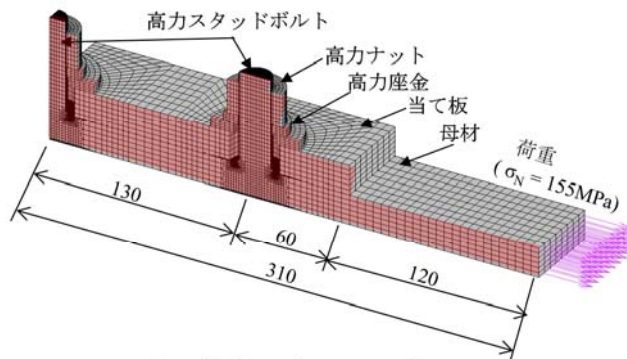


図-1 解析モデル(1/4 モデル)

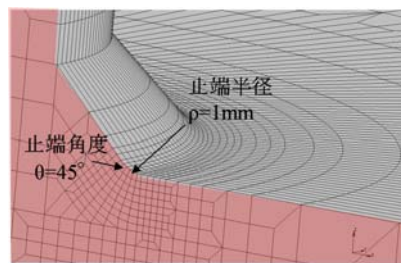


図-2 溶植止端部のモデル化

3. 解析結果

スタッドまま(ケース1)の軸方向応力コンター図および変形図を図-3 に, 母材表裏面の軸方向応力分布を図-4 にそれぞれ示す. スタッドままでは面外変形が見られず, 高力スタッドの溶植止端部(As, Bs, Cs)で応力集中が発生している. 主応力から算出した応力集中係数 K_S は3箇所の溶植止端部(As, Bs, Cs)で同じ値であった.

当て板有りの標準軸力(ケース2)の軸方向応力コンター図および変形図を図-5 に示す. 当て板有りでは, 母材断面と当て板断面(母材+当て板)の中立軸位置が異なるため, 引張载荷による面外変形が見られた. なお, 当て板有りでも, 高力スタッドの溶植止端部(Asp, Bsp, Csp)で応力集中が発生している.

図-6 に母材・当て板の軸方向応力分布を示す. 高力スタッド間の断面内(母材+当て板)の応力分布に着目すると, 接合面位置で78MPa(公称応力 σ_N の1/2), 当て板表面位置で-39MPa, 母材裏面位置で185MPaで

キーワード 高力スタッドボルト, 当て板補強, 引張疲労, スタッド溶植部, 応力集中係数

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

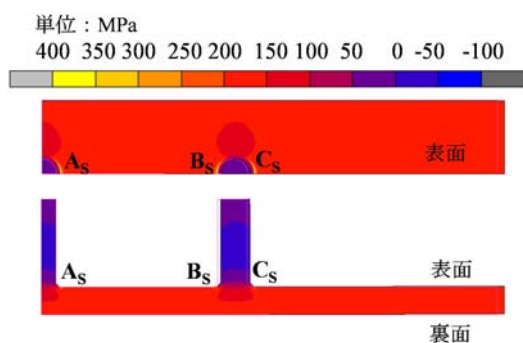


図-3 スタッドままのコンター図及び変形図

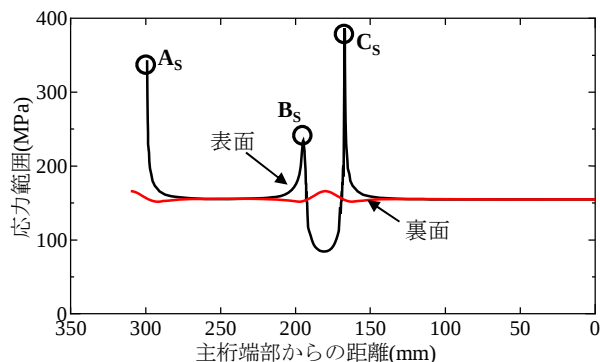


図-4 スタッドままの母材表裏面の軸方向応力分布

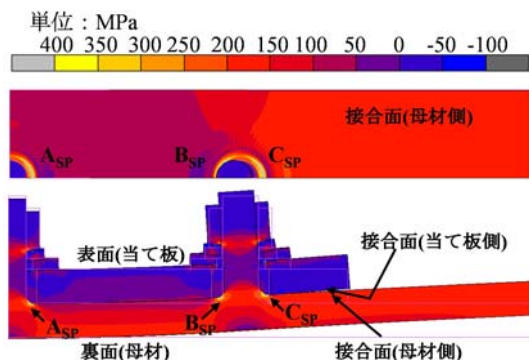


図-5 当て板有りのコンター図及び変形図

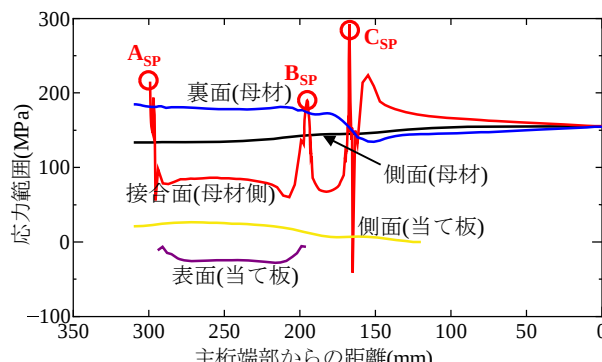


図-6 当て板有りの母材・当て板軸方向応力分布

あった。これは、全断面有効（母材+当て板）とした場合の断面計算値と一致しており、高力スタッドにより母材と当て板が一体化したと言える。

スタッドままと当て板有りの溶植止端部の応力集中係数を表-1 に示す。当て板有りの応力集中係数は、内側高力スタッド位置（ A_{sp} ）で 1.63，外側高力スタッド位置（ B_{sp} ， C_{sp} ）で 2.04 となった。外側高力スタッド位置では、当て板への荷重分担が小さいため、応力集中係数が内側高力スタッド位置に比べて大きくなったと考えられる。よって、当て板有りの応力集中係数は、外側高力スタッド位置で評価すると、スタッドままと比べて 24%低減したことがわかった。既往研究の曲げ疲労試験体を対象とした解析では、当て板による応力低減効果が約 3 割であったのに対し、引張疲労では低減効果が若干小さくなる傾向が見られた。また、応力集中係数のボルト軸力による影響に着目すると、高軸力（ケース 4；F10T）では標準軸力（ケース 2；F8T）と同等であったが、低軸力（ケース 3；F6T）では標準軸力に比べて 7%大きくなった。よって、F6T 以下の低軸力タイプでは、当て板による応力低減効果が小さくなる傾向が見られた。

4. まとめ

本研究では、FEM 解析より引張載荷時の高力スタッ

表-1 応力集中係数

ケース名	応力集中係数	低減率 ($1-K_{sp}/K_s$)	備考
1	$K_s=2.69$	—	スタッドまま
2	$K_{sp}=2.04$	0.24	当て板有り:F8T
3	$K_{sp}=2.18$	0.19	低軸力:F6T
4	$K_{sp}=2.02$	0.25	高軸力:F10T

ドによる当て板補強の溶植止端部の局部応力を評価した。得られた主な結果を以下に示す。

- 1)引張載荷時の当て板有りの応力集中係数は、スタッドままと比べて 2.4 割低減した。曲げ載荷時（3 割低減）に比べると、当て板による低減効果が若干小さくなる傾向が見られた。
- 2)ボルト軸力 F8T，F10T では当て板補強による溶植止端部の局部応力の低減効果が同等であるが，F6T 以下の低軸力タイプになると応力低減効果が小さくなる。

参考文献

- 1)田畑ら：ねじ付きスタッドによりあて板した鋼板の繰返し引張挙動に関する基礎的研究，土木学会論文集，Vol.73，No.1，2017。
- 2)儀賀大己ら：高力スタッドボルトによって当て板補強した鋼板の直上曲げ載荷に対する疲労強度，土木学会第 72 回年次学術講演会，I-266，2017.9。