

ボルト締めストップホール法で補修した面内曲げを受ける面外ガセット溶接継手の疲労強度評価

法政大学 学生 ○杉山規子
法政大学 正会員 森 猛
三井造船 正会員 内田大介

1. はじめに

疲労亀裂の補修方法の一つにボルト締めストップホール法がある。この方法は、疲労亀裂の先端にストップホールと呼ばれる円孔をあけ、高力ボルトで締め付けることにより亀裂先端の応力集中を緩和し、疲労強度の向上を図るものである。軸方向力や面外曲げを受ける場合の補修効果については、これまでの研究により既に明らかとされている。本研究では、面内曲げを受ける疲労損傷面外ガセット溶接継手部にボルト締めストップホール法を適用した場合の補修効果を明らかにすることを目的とし、面外ガセットを有する桁試験体を対象とした FEM 解析と応力測定試験、疲労試験を行う。さらに、ここで得られた結果と既往の検討結果を用いて疲労強度評価式を構築し、その妥当性を確認する。

2. 既に提案されている疲労強度評価式

ボルト締めストップホール法で補修した面外ガセット溶接継手を有する有限板が軸方向力を受ける場合の疲労強度は以下の式で評価できるとされている。

$$\Delta\sigma_n^m \cdot N = C / \{\gamma_t(\alpha_{ts} - 1) + 1\}^m \quad \cdots \textcircled{1}$$

$\Delta\sigma_n$: 公称応力範囲 (N/mm²)

N : 疲労寿命

C, m : 材料定数 ($C = 3.24 \times 10^{21}$ 、 $m = 5.89$)

α_{ts} : 円孔のみの場合の円孔壁板厚中心での応力集中係数

$$\alpha_{ts} = \beta \times \{0.166(c/M) + 1.64\sqrt{c/M} + 1.19\} \cdots \textcircled{2}$$

$\beta = \sqrt{\sec\{(\pi \cdot c/2)/w\}}$: 有限幅の影響、

c : 切り欠き長さ、 w : 板幅、 M : 円孔径

γ_t : 応力緩和係数 $\gamma_t = 1.0 - 0.297(M/t) \cdots \textcircled{3}$ 、

ここでは FEM 解析を用いたパラメータ解析により、面内曲げを受ける場合の②、③式について検討する。

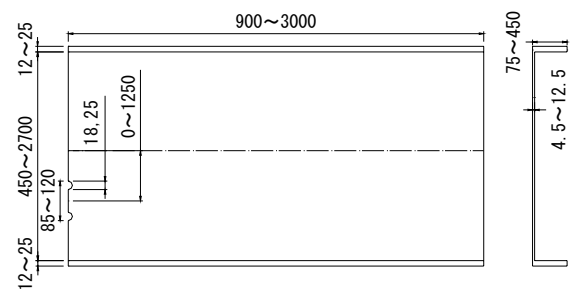


図1: 解析対象概要図

3. 解析方法

解析対象を図1に示す。解析はモデルの対称性を考慮し1/4モデルを用いて行い、着目する円孔壁板厚中心近傍での要素寸法は1mmとした。なお、鋼材のヤング率は 2.06×10^5 N/mm²、ポアソン比は0.3とした。

4. 応力集中係数算出式の構築

解析結果より、I断面桁では軸方向力下において有限幅、ウェブ厚、切り欠き位置が応力集中係数に及ぼす影響は小さいことが明らかとなった。面内曲げを対象とした解析より得られた応力集中係数 α_s を、軸方向力を受ける場合の応力集中係数 α_{ts} (②式) で無次元化した値と、切り欠き両端の公称応力値の割合 σ_u/σ_l (σ_u : 上端の応力、 σ_l : 下端の応力) の関係は、線形となることが明らかとなった (図2)。

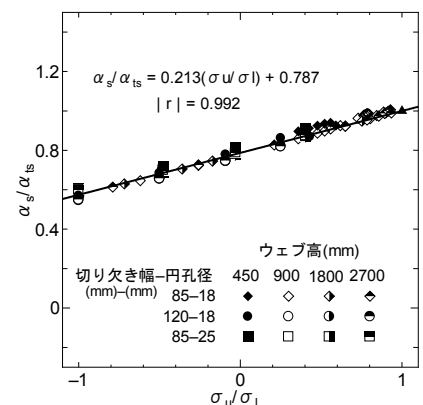


図2: 応力集中係数算出式

5. 応力緩和係数算出式の構築

解析パラメータはウェブ高・ウェブ厚・円孔径・切り欠き幅・切り欠き位置である。解析結果を整理することにより、応力緩和係数 γ を整理するパラメータとしては α_s と同様に、 σ_u/σ_1 が適切なパラメータとなることが明らかとなった（図3）。

6. 疲労強度評価式の構築

面内曲げを受ける面外ガセット溶接継手に適用したボルト締めストップホール法の疲労強度は、以下に示す応力集中係数と応力緩和係数を用い、①式を用いて評価することを提案する。

$$\alpha_s = \{0.166(c/M) + 1.64\sqrt{c/M} + 1.19\} \times \{0.213(\sigma_u/\sigma_1) + 0.787\} \quad \cdots ④$$

$$\gamma = \{1.0 - 0.297(M/t)\} + \{0.015(\sigma_u/\sigma_1)^2 - 0.055(\sigma_u/\sigma_1) + 0.040\} \quad \cdots ⑤$$

7. 疲労試験結果との比較

提案する疲労強度評価式の妥当性を確認するために桁試験体の疲労試験を行った。载荷は、荷重点間距離1000mm、支点間距離3600mmの4点曲げとし、繰返し速度1.8Hz、下限荷重10kN、上限荷重271kNの繰返し载荷を与える。桁試験体には、ガセット部にあらかじめ眼鏡型の切り欠きを設け高力ボルトを締め付けることにより補修を模擬した。なお、切り欠きにおける円孔径、切り欠き幅と使用した高力ボルトの組合せは $\phi 18\text{mm}-c85\text{mm}-F10T-M16$ 、 $\phi 18\text{mm}-c100\text{mm}-F10T-M16$ 、 $\phi 25\text{mm}-c100\text{mm}-F10T-M22$ の3種類とした。提案する疲労強度評価式より得られた推定線と、疲労試験結果の比較を図5に、既往の試験結果²⁾との比較を図6に示す。提案する疲労強度評価式は等モーメント区間を対象としたものである。ここではせん断区間の試験結果も合わせて示している。全ての試験結果に対して推定線は上に位置しており、補修部から疲労亀裂が発生しなかったことと対応している。

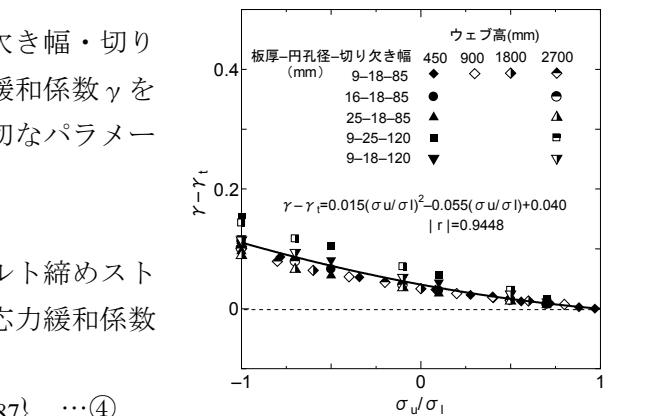


図3：応力緩和係数算出式

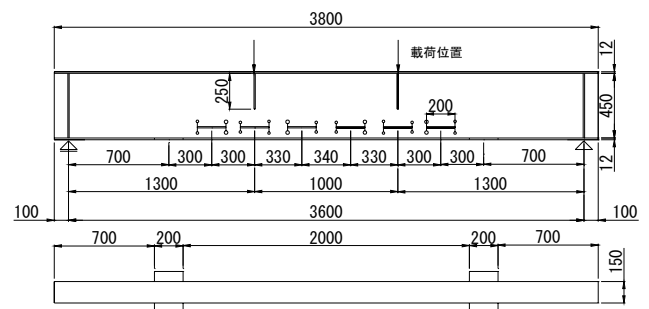


図4：桁試験体概要図

欠き幅と使用した高力ボルトの組合せは $\phi 18\text{mm}-c85\text{mm}-F10T-M16$ 、 $\phi 18\text{mm}-c100\text{mm}-F10T-M16$ 、 $\phi 25\text{mm}-c100\text{mm}-F10T-M22$ の3種類とした。提案する疲労強度評価式より得られた推定線と、疲労試験結果の比較を図5に、既往の試験結果²⁾との比較を図6に示す。提案する疲労強度評価式は等モーメント区間を対象としたものである。ここではせん断区間の試験結果も合わせて示している。全ての試験結果に対して推定線は上に位置しており、補修部から疲労亀裂が発生しなかったことと対応している。

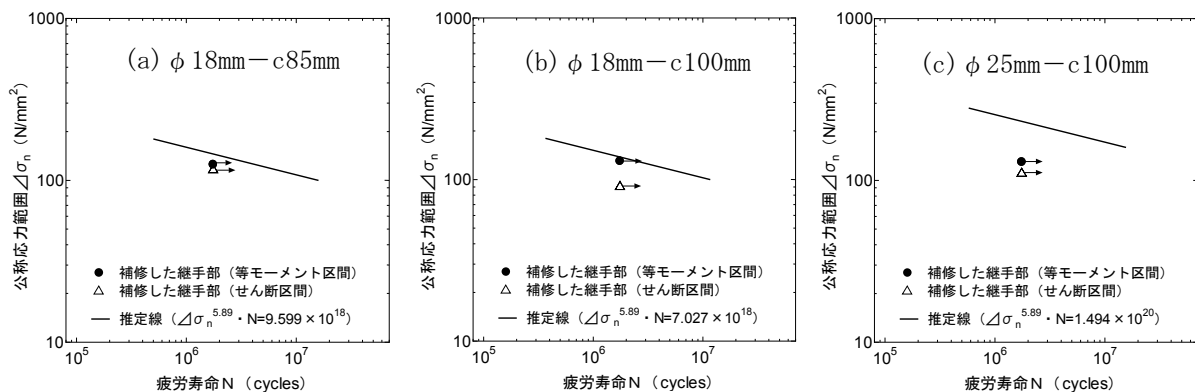


図5：推定線と疲労試験結果の比較

[参考文献]

- 1) 内田大介，森猛：打込み式高力ボルトを用いたストップホール法による面外ガセット溶接継手の疲労亀裂補修効果，鋼構造論文集，第11巻第44号，pp.27-34，2004.12.
- 2) 森猛，田中雅人，木幡善人，三木千寿：塗装鋼板溶接桁の疲労強度，構造工学論文集，Vol.40A，pp.1233-1242，1994.3.

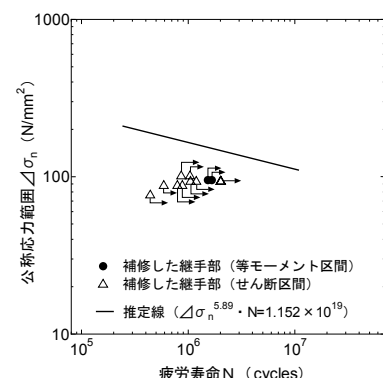


図6：既往試験結果との比較