

直応力とせん断応力を受けるボルト締めストップホール補修部の疲労強度評価方法

三井造船(株) 正会員 ○内田 大介

法政大学 正会員 森 猛

法政大学（現在 (株)ピー・アイ・ティー） 学生会員 杉山 規子

1. 目的

ウェブガセット溶接継手部に生じた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、疲労損傷部材の延命化を図る方法である。筆者らはボルト締めストップホール法の補修効果が高いこと、疲労寿命が円孔壁の応力範囲で整理できることを明らかにし、直応力を受ける場合の疲労強度評価式を提案している。しかし、提案する評価方法を実橋梁に適用するためにはせん断応力の影響も考慮する必要がある。

本研究では、直応力とせん断応力を同時に受ける I 断面桁のウェブガセット継手部に生じた疲労亀裂をボルト締めストップホール法で補修した場合の疲労強度評価式について検討する。

2. 直応力を受ける場合の疲労強度評価方法

著者ら¹⁾は、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幅の板が直応力を受ける場合の疲労強度評価式を伊かのように提案している。

$$\Delta\sigma_n^m \cdot N = C / \{\gamma_t(\alpha_s + 1) + 1\}^m \quad \dots \quad ①$$

$\Delta\sigma_n$: 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_s : 円孔のみの場合の円孔壁板厚中心での応力集中係数

$$\alpha_s = \beta \times \left\{ 0.166(c/M) + 1.64\sqrt{c/M} + 1.19 \right\} \quad \dots \quad ②$$

$\beta = \sqrt{\sec\{(\pi \cdot c/2)/w\}}$: 有限幅の影響, c : 切欠き長さ, w : 板幅, M : 円孔径

$$\gamma_t: \text{応力緩和係数 } \gamma_t = (\alpha_B - 1)/(\alpha_s - 1) = 1.0 - 0.297(M/t) \quad \dots \quad ③$$

α_B : ボルト締めした場合の円孔壁板厚中心での応力集中係数, t : 板厚

3. 解析対象

解析対象を図1に示す。円孔径 M , 切欠き長さ c , ウェブの板厚 t を変化させた4種類のモデルについて、ボルト締め前後のFEM解析を行った。これらのモデルに一定の直応力 σ を与え、それに対するせん断応力 τ を変化させることにより τ/σ と円孔壁の応力集中の関係を調べた。解析ソフト MSC NASTRAN2004 を用い、SOLID 要素で要素分割を行った。解析モデルの円孔壁板厚中心近傍での要素寸法は1mmである。鋼材のヤング率は $2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$, ポアソン比は0.3とした。

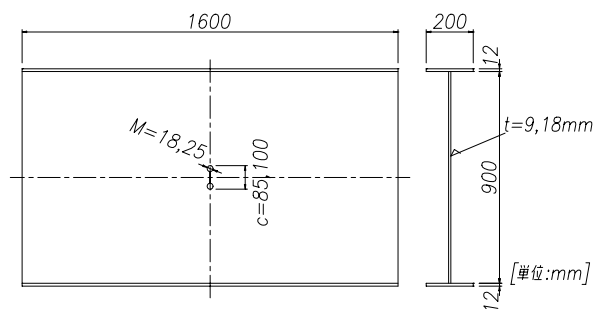


図1. 解析対象

4. ストップホールのみの場合の円孔壁の最大主応力

図2は、解析より求めた最大主応力の応力集中係数 α_{s1} (円孔壁に生じた最大主応力を切欠きがない場合の公称最大主応力で除した値) を τ/σ で整理した結果である。なお、図中の曲線は大倉ら²⁾によって提案されるキーワード ボルト締めストップホール法, せん断応力, 疲労強度評価

連絡先 〒104-8439 東京都中央区築地 5-6-4 三井造船(株) 技術本部 技術総括部 TEL03-3544-3246

ている最大応力の算定式（④式）を用いて算出した関係である。

$$\sigma_m = \frac{1}{3} \left(1 + 2\sqrt{c/M} \right) \cdot \left(\sigma_n + 2\sqrt{\sigma_n^2 + 4\tau_n^2} \right) \cdots \textcircled{4}$$

④式は若干ではあるが、円孔内の最大応力の τ/σ による変化を過大に評価している。

図3に円孔壁に生じた最大主応力の方向と切欠きがない場合の最大主応力の方向を τ/σ で整理した結果を示す。本検討に用いた解析モデルのメッシュ分割数では角度に対する厳密な評価は難しいと考えられるが、 τ/σ の値が大きくなると円孔壁に生じる最大主応力の方向と切欠きがない場合の公称最大主応力の方向の差は大きくなる傾向が認められる。

5. 応力集中係数

筆者らがこれまでに行ってきた検討に τ/σ による影響を組み込む方法を考えた。一連の検討結果に直接組み込むため、②式と解析結果に基づいて新たに応力集中係数の算定式を構築することとした。図4は、図2に示した最大主応力の応力集中係数 α_{s1} を $\tau/\sigma=0$ 、即ち②式より算出される直応力を受ける場合の応力集中係数 α_s で除し、再整理した結果である。解析結果はほぼ一つの曲線上にあり、次式により τ/σ を考慮した応力集中係数が算出可能となる。なお、フランジを付けた断面では有限幅の影響が小さくなることが確認されたため、②式中の $\beta=1$ とした。

$$\alpha_{s1} = \left\{ 0.166(c/M) + 1.64\sqrt{c/M} + 1.19 \right\} \cdot \left\{ 0.009(\tau/\sigma)^2 + 0.027(\tau/\sigma) + 1 \right\} \cdots \textcircled{5}$$

6. 応力緩和係数

円孔径 18mm、切欠き長さ 85mm、WEB 厚さ 18mm のモデルでボルト締め有無の解析結果より算出した応力緩和係数を、 τ/σ で整理した結果を図5に示す。図中の直線は③式より算出した値である。 τ/σ が変化しても応力緩和係数はほぼ一定であり、③式が適用可能であることが分かる。なお、他のモデルについても τ/σ が変化した場合の応力緩和係数の変化は 0.02～0.04 と小さかった。

7. 疲労強度評価式

以上の検討結果より、疲労損傷ウェブガセット上に適用したボルト締めストップホール部が直応力とせん断応力を同時に受ける場合の疲労強度は①式中の α_s に⑤式より算出した α_{s1} を代入して評価することを提案する。

参考文献

- 1) 内田大介, 森猛: 打込み式高力ボルトを用いたボルト締めストップホール法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) 大倉一郎, 石川敏之: ストップホールから疲労亀裂の発生を防止する条件, 鋼構造年次論文報告集 第7巻, pp.181-188, 1999.11

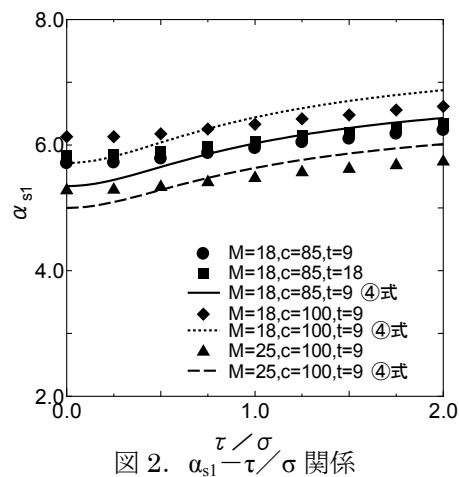


図2. $\alpha_{s1}-\tau/\sigma$ 関係

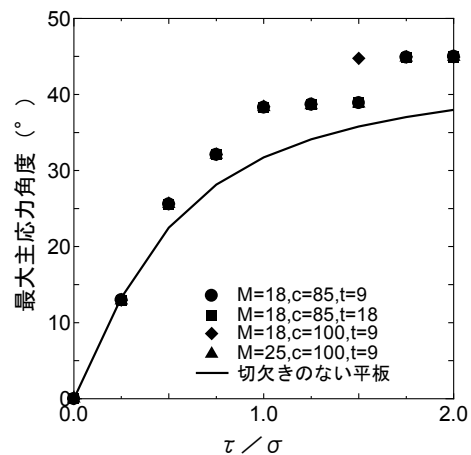


図3. 最大主応力角度

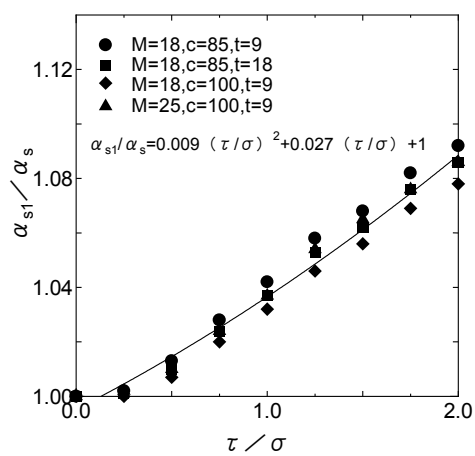


図4. $\alpha_{s1}/\alpha_s - \tau/\sigma$ 関係

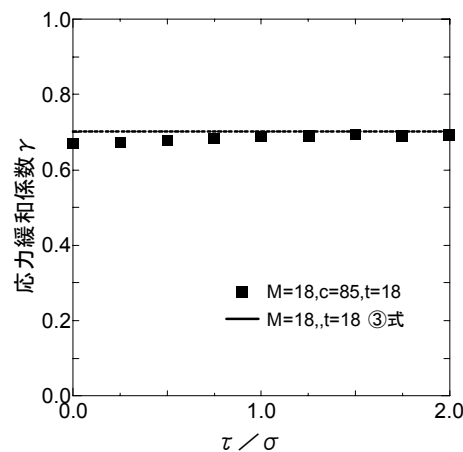


図5. $\gamma - \tau/\sigma$ 関係