

ボルト締めストップホール法の補修効果に対する母板厚の影響

三井造船(株) 正会員 内田 大介
法政大学 正会員 森 猛

1. 目的

ガセット溶接継手部に生じた疲労亀裂の補修方法にストップホール法がある。これは亀裂の先端に円孔を設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。筆者らはストップホールを高力ボルトで締め付けることにより、応力集中が更に緩和され、疲労強度が改善されることを確認している。また、面外ガセット溶接継手部に生じた疲労亀裂を対象とし、ストップホールをボルトで締め付けた場合の円孔壁での応力緩和について応力測定試験、FEM 解析により検討し、円孔径、母材厚、板幅、亀裂長さをパラメータとした疲労強度評価式を示している。本研究で母板厚を変えた供試体を対象として応力測定試験、FEM 解析、および、疲労試験を行い、筆者らが提案した疲労強度評価式の妥当性について検討する。

2. 試験方法

供試鋼材は板厚が 12mm と 25mm の SM490YA である。試験体の形状と寸法を図 1 に示す。試験体は板厚 12mm あるいは 25mm で、鋸引きにより面外ガセット溶接継手部に生じた亀裂を模擬し、 $\phi=18$ mm のストップホールで補修した WG-2H 試験体 2 種、そして、WG-2H のストップホールを F10T-M16 の高力ボルトに所定の軸力(54.0kgf/mm²)を導入した WG-2B 試験体 2 種の計 4 種類である。なお、試験体の表裏面の中央長手方向には TIG-dressing を行い、溶接継手部に生じる引張残留応力を模擬した。応力測定は動的能力 ± 500 kN の電気油圧サーボ式材料試験機を用い、WG-2H、WG-2B 試験体のストップホール壁板厚中央に歪ゲージを貼付して行った。疲労試験は下限荷重を 10kN とした片振り繰返し荷重下で行った。荷重波形は正弦波、繰返し速度は 5 ~ 20Hz である。

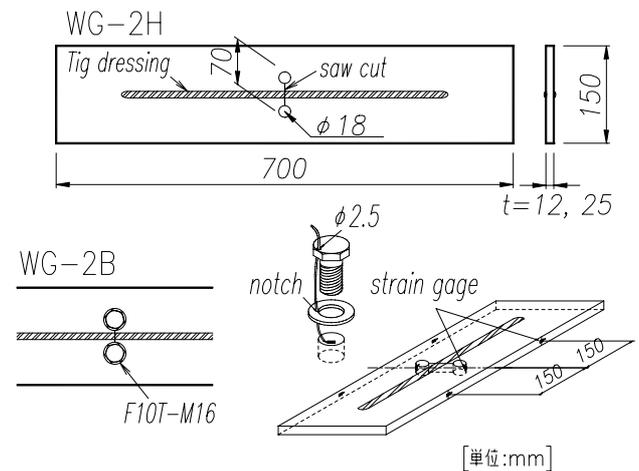


図 1 試験体およびゲージ添附位置

3. 応力測定試験結果

測定結果を表 1 に示す。WG-2H、WG-2B の応力集中係数 S_s 、 S_B は各試験体の円孔壁のひずみを一般部のひずみで除することにより求めた。応力緩和係数 $(= (S_B - 1) / (S_s - 1))$ はボルト締めによる応力集中の緩和を表す係数である。

各試験体ともボルト締めにより応力集中が緩和されていることが分かる。また、WG-2H 試験体の応力集中係数は板厚による影響をさほど受けないが、ボルト締めによる応力緩和効果は板厚が厚くなると低くなっている。なお、これまでに提案している (1) 式を用いて算出した応力緩和係数は板厚 12mm、25mm に対してそれぞれ 0.55、0.78 であり、提案式の妥当性が確認された。

表 1 応力測定試験結果

試験体名	板厚(mm)	応力集中係数		応力緩和係数
		範囲	平均	
WB-2H	12	S_s 6.15 ~ 6.99	6.41	-
	25	S_s 5.72 ~ 6.61	6.06	
WB-2B	12	S_B 3.94 ~ 4.03	3.98	0.551
	25	S_B 4.87 ~ 5.43	5.12	0.814

キーワード 疲労亀裂, ボルト締めストップホール法, 母板厚, 疲労強度

連絡先 〒104-8439 東京都中央区築地 5-6-4 三井造船(株)鉄構・物流事業本部 技術部 TEL03-3544-3687 E-mail:duchida@mes.co.jp

$$=1-0.30(M/t) \quad (1)$$

ここに、 β :応力緩和係数, M:円孔径, t:母板厚

4. 疲労試験結果

筆者らはストップホール法, および, ボルト締めストップホール法により補修したガセット継手の疲労強度が円孔壁の応力範囲で精度良く整理できることを確認している. 図2に円孔壁の応力範囲で整理した疲労試験結果を示す. 円孔壁の応力範囲は筆者らがこれまでに提案する方法により算出したものである. 疲労試験結果のばらつきは小さく, 円孔壁での応力範囲を用いた疲労強度評価が妥当であることがわかる.

公称応力範囲で整理した疲労試験結果を図3に示す. WG-2H 試験体の疲労強度は板厚によらないが, WG-2B 試験体はt=25mmの試験体で疲労強度が低くなっている. これは応力緩和効果が小さいためである. 図3中の直線は筆者らが提案しているによる式(2)より求めた疲労寿命の推定線である. WG-2H, WG2Bともに推定線は実験結果とよく一致しており, 厚板の結果についても提案する疲労強度評価式が妥当であることが確認された.

$$\sigma_n^{5.89} \cdot N = 3.24 \times 10^{21} / [(\beta - 1) + 1]^{5.89} \quad (2)$$

σ_n :公称応力範囲 (N/mm²)

N:疲労寿命 (cycles)

ストップホールのみの場合 $\beta = 1.0$

5. 応力解析

応力解析は3次元有限要素解析を用いた線形弾性条件で行った. ここで用いた試験体を対称とした板厚t=12, 25mmのモデルのほかにt=9, 18, 36mmについても解析を行った. ボルトとワッシャーは剛結とし, 母板とワッシャーの間には摩擦と微小なすべりを表す要素を挿入した. 図4に円孔壁における応力集中係数の分布を示す. 図の縦軸の板表面からの深さは板厚の1/2で除すことにより無次元化をしている. 解析により得られた応力緩和係数は板厚9mmで0.37, 12mmで0.47, 18mmで0.61, 25mmで0.70, 36mmで0.80であった. これらの値は(1)式から計算されたものとほぼ一致する.

6. まとめ

- (1) ストップホールをボルト締めすることによる円孔壁の応力緩和効果は母板が厚くなると希薄となる.
- (2) ストップホール法により補修された面外ガセット溶接継手の疲労強度は母板厚に依存せず, ボルト締めストップホール法により補修した場合の疲労強度は母板が厚いほど小さい.
- (3) 筆者らが提案した疲労強度評価式の妥当性を確かめた.

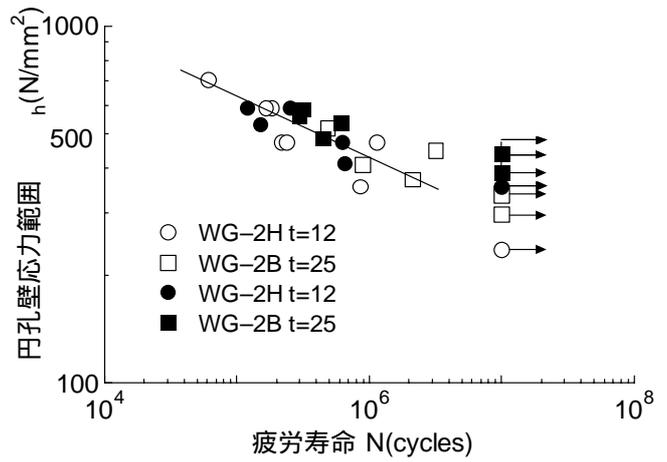


図2 円孔壁応力範囲で整理した疲労試験結果

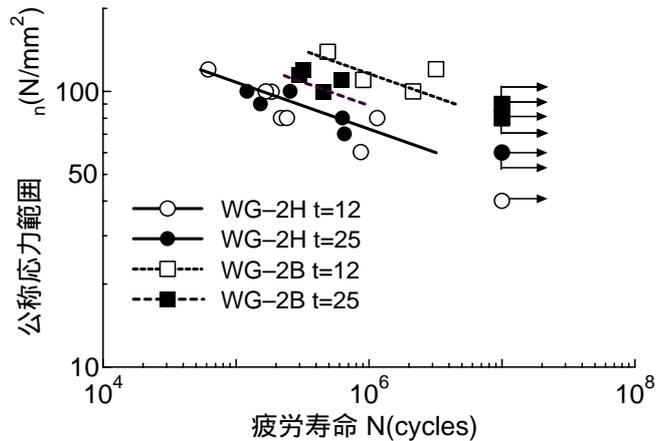


図3 疲労寿命の推定結果と実験結果の比較

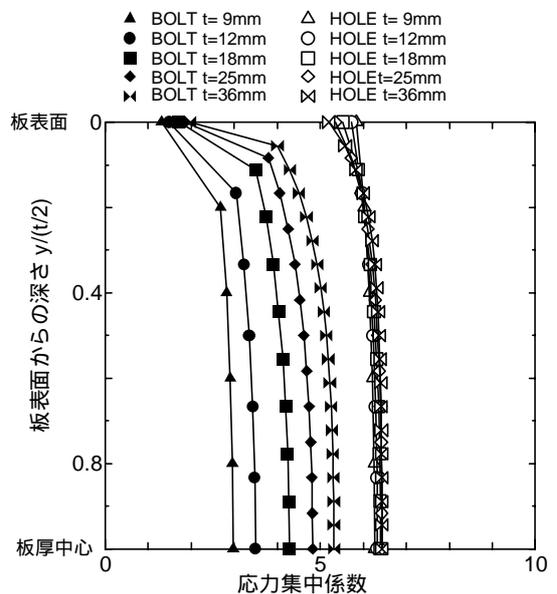


図4 円孔壁での応力分布の解析結果