

名古屋大学 学生員 近藤 俊行

名古屋大学 正 員 山田健太郎

名古屋大学 正 員 菊池 洋一

1. まえがき 応力集中部や、欠陥を有する継手の疲労寿命 N_f は、その大半が疲れ亀裂進展寿命 N_p によるものであるため、破壊力学の手法を用いて疲労寿命解析を行うことができる。本報文では、ガセットを有する引張部材の N_p を計算し、ガセットの大きさや、すみ肉溶接部が N_p におよぼす影響を検討する。

2. 解析手法 一般に疲労寿命解析では、(1)式の疲れ亀裂進展速度 da/dN (mm/cycle)を基礎式とし、 N_p の計算を行う。

$$da/dN = C(\Delta K)^m \quad (1)$$

ここに、 C と m は材料定数であり、 $C=48 \times 10^{-10}$ 、 $m=3$ を用いる。また ΔK ($\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)は応力拡大係数範囲で、応力振幅 σ_r の関数として次のように表わされる。

$$\Delta K = F(\alpha) \cdot \sigma_r \sqrt{\pi a} \quad (2)$$

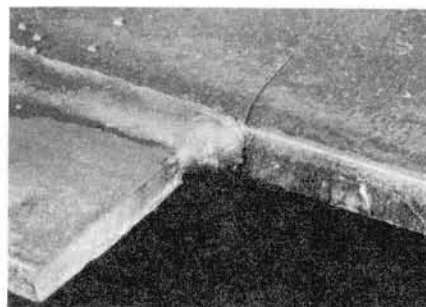


図1. 亀裂発生箇所

ここに $F(\alpha)$ は補正項で、亀裂形状や亀裂の存在する部材の形状を考慮するものである。すみ肉溶接止端部から発生する亀裂に対して、次のように補正係数の組合せて表現できる。

$$F(\alpha) = F_s \cdot F_E \cdot F_w \cdot F_g \quad (3)$$

ここに、 F_s は亀裂が表面にあることの自由表面補正係数、 F_E は亀裂が楕円であることの亀裂形状補正係数、 F_w は亀裂進展方向に板幅または板厚が有限であることの補正係数、 F_g は応力集中などの影響を考慮した形状補正係数である。 N_p は(1)式を変形し、任意の亀裂区間で積分して求める。

$$N_p = \frac{1}{C} \int_{a_0}^{a_f} \frac{1}{(\Delta K)^m} da \quad (4)$$

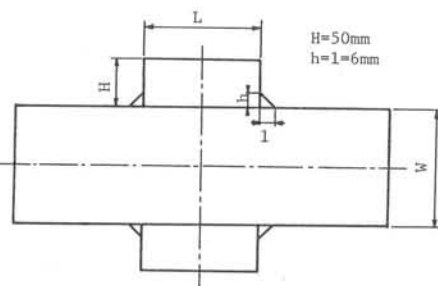
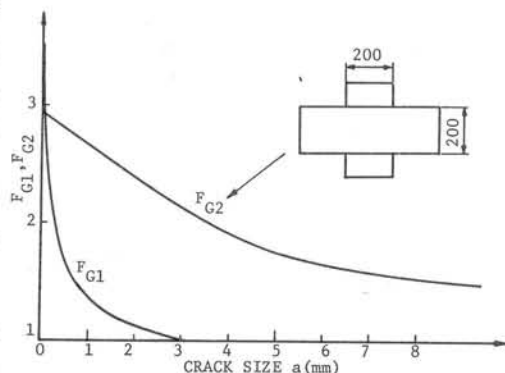


図2. 解析モデル

ここで N_p は、一定応力振幅下での初期亀裂長 a_0 から、最終的に破断に至る亀裂長 a_f までの繰返し数である。なお a_0 の値は、従来の研究より、すみ肉溶接止端部で検出された最小亀裂長が約0.2mmであることから、 $a_0=0.2\text{mm}$ とし、また $a_f=50\text{mm}$ とする。

3. ガセットを有する引張部材の解析モデル 図1に示すように、部材端にガセットが溶接されると、応力の一部がガセットに伝達され、ガセット端のすみ肉溶接止端に応力集中が生じる。疲れ亀裂は一般にすみ肉溶接止端に発生し、主応力方向と直角に進展する。ここでは、亀裂進展が図4に示す2つのモデルで仮定できるものとする。モデル1では、片側に自由端をもつGriffith亀裂と同様に、 $F_s=1.12$ が使われる。モデル2は、半楕円状の表面亀裂であり、亀裂が板厚に達するまで $F_s=1.12-0.12\eta/b$ 、 $F_E=1/E_K$ を用い、以後モデル1と同様とする。また、亀裂が板幅に対して十

図3. 解析で用いる形状補正係数 F_g

分小さいことから、 F_w はすべてのモデルにおいて、 $F_w = 1$ とする。また、ガセツを有するモデルの場合、 F_g は次のように置くと便利である。

$$F_g = F_{g1} \cdot F_{g2} \quad (5)$$

F_{g1} は、すみ肉溶接による局部的な応力集中の影響を考慮したものであり、 F_{g2} は、ガセツによる影響だけを考慮した補正係数である。また F_{g2} は、図2に示すモデルで、亀裂が進展すると予想される部分の応力分布 K_t から、文献(1)に示す方法で求めた。 F_{g1} は、すみ肉溶接(板厚 $t=10\text{mm}$, 脚長 $\lambda=6\text{mm}$)について計算されたものを用いる。 F_g を F_{g1} , F_{g2} の二つの要因で評価する理由として、(1)すみ肉溶接止端部の応力集中の影響は、せいぜい $Q=1\text{mm}$ 程度である(図3)、(2)すみ肉溶接止端形状のばらつきを、 F_{g1} のみ変えることで評価できる、(3)同様にガセツの大きさの影響を独立に評価できる、が挙げられる。

4. 解析結果 以上より求めた $F(a)$ を用いて $S-N_p$ 線図を計算し、検討を行った。図4は母材幅 $W=200\text{mm}$ ガセツ長 $L=200\text{mm}$ の例で、亀裂形状モデルの影響を示したものである。ガセツ端部の応力集中が大きくて、この部分での亀裂進展が速い結果、亀裂形状の影響は、リブ十字すみ肉溶接継手の場合に比べて小さい。そこで以下の解析では、亀裂進展モデルは、モデル2(亀裂形状 $b=2a$)を想定し、ガセツ長 L 、母材幅 W の影響をパラメトリックに検討した。まず $W=200\text{mm}$ として、 L を50, 100, 200, 400mmと変えた場合を図5に示す。 L の増加に伴い、 N_p は減少する。例えば、 $L=50\text{mm}$ に対する 2×10^6 回時間強度の比は、 $L=100, 200, 400\text{mm}$ で、それぞれ0.875, 0.778, 0.736である。また、ガセツ長が400mm以上でも、疲労強度はそれほど低くならないと思われる。また、図6では、 $L=200\text{mm}$ として、 W を変えた場合を示す。 $W=170\text{mm}$ に対する 2×10^6 回時間強度の比は、 $W=200, 320\text{mm}$ で、それぞれ0.982, 0.956となり、この程度の母材幅の差は、疲労強度にはほとんど影響をおよぼさないことがわかる。

5. まとめ ガセツを有する引張部材の疲労寿命に影響をおよぼす要因(ガセツ長、溶接形状など)について、パラメトリックな解析を行い、疲労亀裂進展寿命の観点から要因の影響を評価した。一般に小型試験片による疲労試験結果によって、大型構造物の疲労寿命を推定することが多い。そこで、疲労試験片の亀裂進展挙動を把握し、その結果を用いて、各種大型構造物の疲労寿命を、破壊力学を用いて解析することは、今後より重要になってくるとと思われる。

参考文献 (1) Albrecht, P. and K. Yamada: Rapid Calculation of Stress Intensity Factors, Proc. of ASCE, Vol. 103, No. ST2, pp377~389, Feb., 1977

(2) 山田・牧野・菊池: 横リブ十字すみ肉溶接止端部に発生する疲労亀裂の解析, 土木学会論文報告集 第292号, pp.1~11, 1979年2月

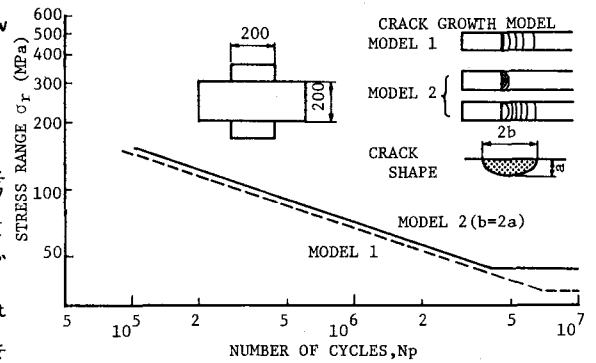


図4. 亀裂進展モデルおよび N_p の比較

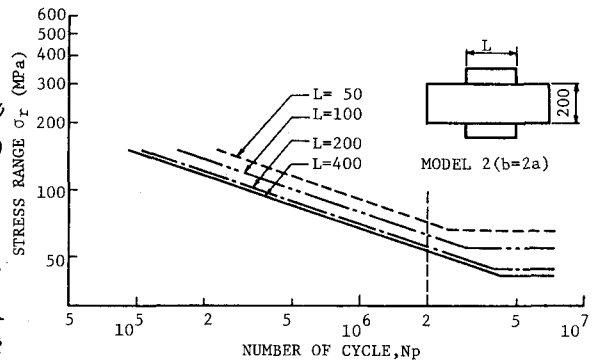


図5. ガセツ長による N_p の比較

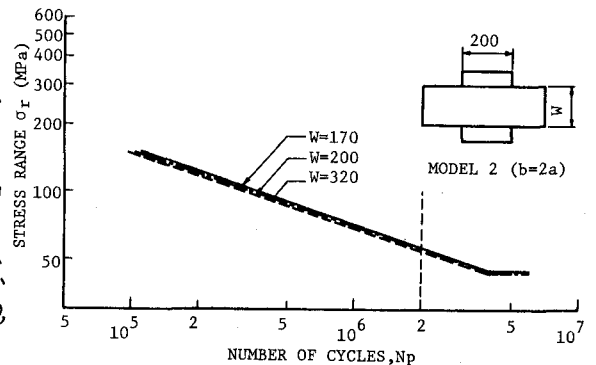


図6. 母材幅による N_p の比較