

法政大学 学生員 林 暢彦

法政大学 正 員 森 猛

1. はじめに

著者らは、種々の形式の継手を対象とし、疲労損傷の進行（疲労損傷度 D ）にともなう疲労損傷に寄与する応力範囲の限界値（限界応力範囲 $\Delta\sigma_w$ ）の変化を一定振幅及び変動振幅応力下での疲労亀裂進展解析により明らかにし、その関係を表す指数 c が、200万回疲労強度と相関が高いことを示した。そして、その関係を線形累積被害則に組み込んだ疲労寿命予測方法について検討してきた。

本研究では、継手の形式を増やすとともに、継手の板厚と溶接形状を変化させたモデルについても疲労亀裂進展解析から疲労損傷度と限界応力範囲の関係を求め、それと200万回疲労強度の関係について検討する。

2. 解析方法

解析対象を図1、図2に示す。図1は荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手の模式図であり、ここでは板厚（表1）および溶接止端形状（表2）をパラメータとしている。図2では継手形式をパラメータとしており、①帯板、②横突き合わせ継手、③荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手、④カバープレート溶接継手、⑤面内ガセット溶接継手の

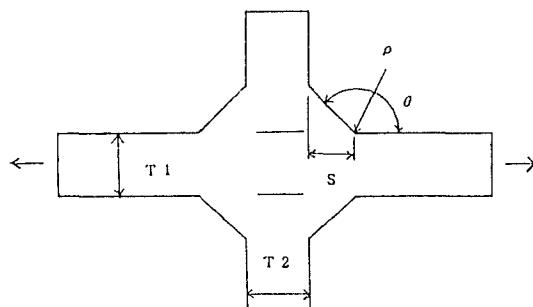


図1 荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手の模式図

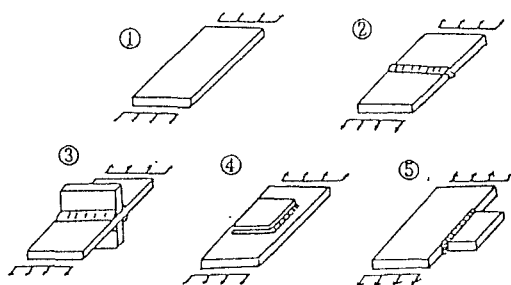


図2 形式の異なる継手の模式図

5種類の継手を対象としている。疲労亀裂進展解析は、疲労亀裂進展速度と応力拡大係数範囲の関係を初期亀裂から限界亀裂まで積分することにより行った。初期亀裂は、深さ0.1mm、表面での長さ0.4mmの半楕円形の表面亀裂とし、板幅方向あるいは板厚方向の中央に設置した。限界亀裂寸法は板厚あるいは板幅の80%とした。応力範囲累積頻度分布としては、各種構造部材に生ずる変動応力の特性をよく表現することが確かめられている2母数Weibull分布を使用した。

表1 板厚を変化させたモデル

T 1	T 2	S
9	9	4.5
16	16	8
25	25	12.5
35	35	17.5
45	45	22.5
75	75	37.5

$$\theta = 135 \begin{matrix} \text{mm} \\ \text{度} \end{matrix}$$

$$\rho = 0.5 \begin{matrix} \text{mm} \\ \text{mm} \end{matrix}$$

$$Q(\Delta\sigma/\Delta\sigma_{\max}) = \exp [- (\Delta\sigma/\Delta\sigma_{\max})^h \cdot 1/n - N_0] \quad (1)$$

表2 溶接止端形状を変化させたモデル

ρ (mm)	θ (度)
0.5	100
0.5	120
0.5	135
0.5	150
0.25	150
1.0	150

$$T1 = T2 = 16 \text{ (mm)}$$

2つのパラメータ h （累積頻度分布の形状を表すためのパラメータ、0.5, 0.7, 1.0, 1.5, 2.0）、 N_0 （想定する寿命での応力繰返し数、 10^4 , 2×10^4 , 5×10^4 , 10^5 , 2×10^5 , 5×10^5 , 10^6 , 10^7 ）の値を変えることにより計40種類の応力範囲頻度分布を対象とした。

3. 解析結果

図3は荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手の板厚を変えたモデルに対して得られた限界応力範囲 $\Delta\sigma_w$ と疲労損傷度Dの関係である。図の縦軸は、 $D=0$ の時の限界応力範囲 $\Delta\sigma_{w0}$ （一定振幅応力下での疲労限）で無次元化している。疲労損傷度Dは次式で定義される。

$$D = \sum n_i / N_i \quad (\Delta\sigma_i \geq \Delta\sigma_w) \quad (2)$$

n_i は変動振幅応力の応力範囲成分 $\Delta\sigma_i$ ($i=1, 2, \dots$)の頻度、 N_i は $\Delta\sigma_i$ に対する一定振幅応力下での疲労寿命である。図中の曲線群は $\Delta\sigma_w / \Delta\sigma_{w0}$ とDの関係を、次式で近似したものである。

$$\Delta\sigma_w / \Delta\sigma_{w0} = (1 - D)^c \quad (3)$$

c は $\Delta\sigma_w / \Delta\sigma_{w0} - D$ 関係の形状を表す指数であり、この関係は $c < 1$ で上に凸、 $c > 1$ で下に凸の形状となる。表3は同モデルに対して有限要素解析より求めた応力集中係数と一定振幅応力下の疲労亀裂進展解析から求めた200万回疲労強度 $\Delta\sigma_{200}$ である。9mm～75mmと板厚が増加するにしたがい、応力集中係数は高くなり、疲労強度は低下している。図3に示した $\Delta\sigma_w / \Delta\sigma_{w0} - D$ 関係は、表3に示すように板が厚くなるにしたがい、すなわち疲労強度が低くなるにしたがって、下に凸な形状となっている。図4は溶接止端の開き角を変えて解析した $\Delta\sigma_w / \Delta\sigma_{w0} - D$ 関係を示している。開き角が小さくなるにしたがい、表4に示すように $\Delta\sigma_{200}$ も若干低くなり、 $\Delta\sigma_w / \Delta\sigma_{w0} - D$ 関係も、若干下に凸な形状となる傾向がある。ここで求めた指数 c の値と $\Delta\sigma_{200}$ の関係を図5に示す。各モデルごとの c と $\Delta\sigma_{200}$ の関係を直線回帰すると次式が得られる。

$$c = (5.65 \times 10^{-2})^{(\log(\Delta\sigma_{200}) - 1.99)} \quad (\Delta\sigma_{200} \leq 160 \text{ (MPa)}) \quad (4)$$

$$c = 0.55 \quad (\Delta\sigma_{200} > 160 \text{ (MPa)})$$

4. まとめ

限界応力範囲と疲労損傷度の関係を表す指数 c は(4)式で $\Delta\sigma_{200}$ から近似することができる。この関係を線形累積被害則に組み込むことにより、全ての継手に対して精度の高い変動振幅応力下の疲労強度評価が可能となる。

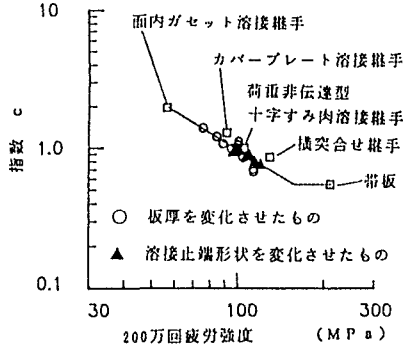


図5 200万回疲労強度と指数 c の関係

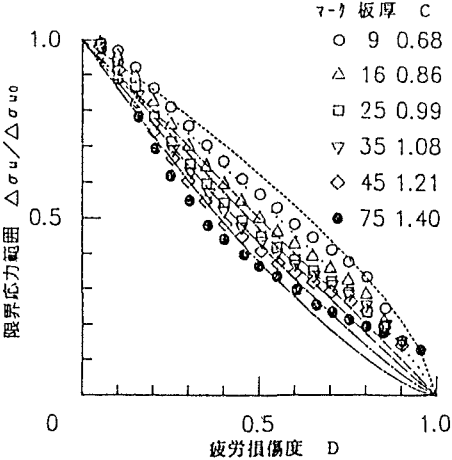


図3 板厚変化に対する $\Delta\sigma_w / \Delta\sigma_{w0} - D$ 関係

表3 板厚変化に対する応力集中係数と200万回疲労強度

T-1	T (mm)	応力集中係数	200万回疲労強度 (MPa)
○	9	2.48	113.96
△	16	2.82	105.01
□	25	3.25	95.68
▽	35	3.61	89.26
◇	45	3.98	84.81
●	75	4.61	75.94

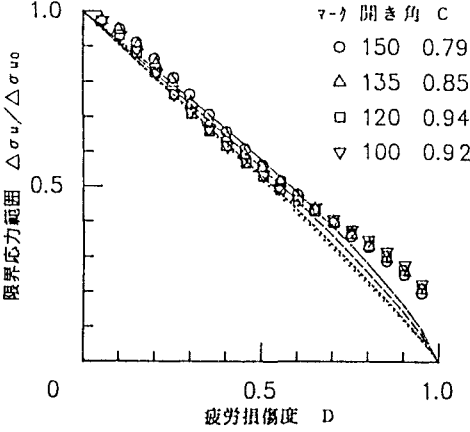


図4 溶接形状に対する $\Delta\sigma_w / \Delta\sigma_{w0} - D$ 関係

表4 溶接形状の変化に対する応力集中係数と200万回疲労強度

T-1	θ (度)	応力集中係数	200万回疲労強度 (MPa)
○	150	2.42	115.08
△	135	2.76	107.55
□	120	3.17	100.92
▽	100	3.26	96.98