

○ 名古屋大学 学生員 馬場 千尋  
 名古屋大学 正員 山田健太郎  
 名古屋大学 正員 菊池 洋一

1. 緒言 — 鋼構造物材の疲労に関する最近の研究では、疲労き裂の発生・進展に注目し、さらには破壊力学的手法を用いた解析・考察が進み多大の成果をあげている。溶接継手では避け難い応力集中、あるいは溶接欠陥を完全に除去するのは経済的に困難であり、疲労設計法にもこの点を考慮する必要がある。一般に、継手の疲労寿命 $N_f$ は、疲労き裂の発生寿命 $N_c$ と、そのき裂が進展して破断に至るまでの進展寿命 $N_p$ とに分けられる。このうち $N_p$ は理論的解析あるいは実験により定量的に取り扱うことができるが、 $N_c$ は定性的な解析にとどまり明確な理論解析がなされていない。これは、き裂発生機構の理論が確立されておらず、その上 $N_c$ と $N_p$ との境界が概念的であり、初期き裂長の測定が実験的に困難なためである。

本報告では、名古屋大学で行われてきた横リブ十字すみ肉溶接継手の疲労試験結果をまとめ、それより得られたS-N<sub>f</sub>線図と、さらにマーキングによって得られた初期き裂長 $a_0$ について整理したS-N<sub>p</sub>線図を示した。また各種示方書の疲労設計法について、このS-N<sub>p</sub>線図との比較を行い、若干の考察をつけ加えている。

2. 疲労試験 — 表-1に各種横リブ十字すみ肉溶接継手の材料、寸法、試験片数などを示す。溶接は手溶接で行い、溶接止端部は未仕上げのままである。疲労試験は、溶接変形矯正後、幅80mmの試験片は前川100t万能疲労試験機(540c.p.m.)、幅22mmの試験片はMTS社製25tサーボ式疲労試験機(600c.p.m.)で、荷重条件を定振幅片振引張として行った。試験中、あるくり返し数を経過した時、溶接止端部に浸透性のよい速乾性塗料を塗布し、その時発生している疲労き裂をマークした。写真-1にその代表例を示す。

3. 試験結果と考察 — 疲労試験の結果、各種の横リブ十字すみ肉溶接継手の疲労強度に差がないことが確認された。それらのS-N<sub>f</sub>図および95%信頼区間を図-1に示す。また、マーキングにより得られた初期き裂長さ( $a_0$ )別のS-N<sub>p</sub>線図を $a_0=0.2\sim 0.5, 0.5\sim 1.0, 1.0\sim 5.0$ mmの場合に分けて図2, 3, 4に示す。 $a_0=0.5, 1.0, 5.0$ mmより最終破断長 $a_f$ までのき裂進展寿命を次式によって数値解析を行い、その結果を図中に実線で示した。

$$N_p = \int_{a_0}^{a_f} \frac{da}{C(\Delta K)^m} = \int_{a_0}^{a_f} \frac{da}{C \{ \sigma_r \cdot \sqrt{\pi a} \cdot F(a) \}^m}$$

表-1 横リブ十字すみ肉溶接継手試験片の種類

| 試験片 | 材 料    | 板厚 | 板幅 | 試験片数 | 備 考      |
|-----|--------|----|----|------|----------|
| A   | SMA 50 | 10 | 80 | 11   |          |
| B   | SM 50  | 10 | 80 | 9    |          |
| X   | SMA 50 | 9  | 80 | 9    |          |
| S0  | SMA 50 | 10 | 22 | 8    |          |
| S5  | SMA 50 | 10 | 22 | 4    | 5%引張塑性加工 |
| SX  | SMA 50 | 9  | 22 | 4    | 10% "    |

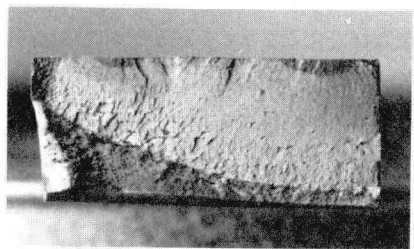


写真-1 破断面にマークされた疲労き裂

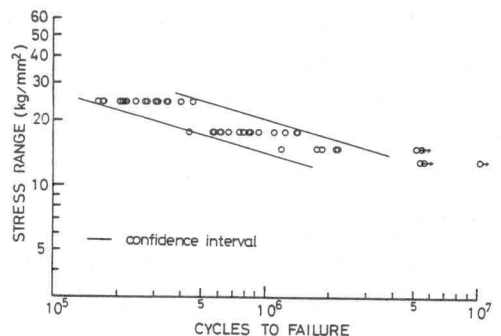


図-1 各種の横リブ十字すみ肉溶接継手の疲労試験結果 (S-N<sub>f</sub>図)

$m, C$ は材料定数であり、ここでは $m=3$ ,  $C=1.43 \times 10^{-10}$ とした。また、 $F(a)$ は応力拡大係数範囲 $\Delta K$ の補正係数であり、 $\sigma_r$ は応力振幅である。なお $F(a)$ の計算において表面楕円き裂の短軸と長軸の比 $a/b$ を $1/6$ とした。これは、マーキングされた疲労き裂の形状の測定値 $a/b=1/6 \sim 1/5$ の下限值であり、理論 $S-N_p$ 線図の下限線を与えるものである。

図-5に、<sup>2)</sup>AASHTO示方書、<sup>3)</sup>JSSC疲労設計指針、<sup>4)</sup>鋼鉄道橋設計標準の横リブ十字すみ肉継手に関する規定を抜粋、あるいはそれを $S-N$ 線図に修正し、理論 $S-N_p$ 線図の下限線と共に示した。いずれの示方書でも、各種の継手の疲労試験より得られた疲労強度を基本に、設計許容応力を規定しているが、基本概念が多少異なっている。すなわち、AASHTOでは $S-N_f$ 線図を基本とし、JSSCでは疲労き裂が発生しないことを基本理念としており、鋼鉄道橋においては疲労限あるいは200万回疲労強度を対象としている。このような示方書と $S-N_p$ 線の比較を行うと、たとえば $N_p$ で規定されたAASHTO示方書では、redundant structure (代替部材を有する構造物)の規定は、 $a_0=0.5$  mmの $S-N_p$ 線に相当し、また non-redundant structure (代替部材を有しない構造物)の規定は、 $a_0=1$  mmの $S-N_p$ 線より安全側の値に相当することになる。すなわち後者では $a_0=1$  mm相当の微小欠陥を有してもなお安全な許容応力を与えていることになる。なお、ここでは $S-N_p$ 線図との比較を示したが、JSSCの規定については、 $N_c=N_f-N_p$ より求めた $S-N_c$ 線図と比較することもできる。

**4. まとめ**— ここで示した $S-N_p$ 線図は、実験で得られた $N_p$ 、あるいは破壊力学的手法により解析して求めたものである。この手法は、現場溶接などで避けられない初期欠陥(初期き裂)が存在する場合に、 $a_0$ あるいは $a_{0,eq}$ (換算初期き裂長; き裂長とき裂形状の関数)などを設定することにより、疲労き裂の発生・進展を考慮した疲労設計法に应用できると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 山田, 牧野, 馬場, 菊池 破壊力学を用いた鋼構造物の疲労強度解析 第25回 構造工学シンポジウム
- 2) AASHTO, Standard Specification for Highway Bridges, 1977.
- 3) JSSC, 疲労設計指針・同解説(第), vol. 10, No. 101, 1974. 5.
- 4) 土木学会, 鋼鉄道橋設計標準解説, 1964.

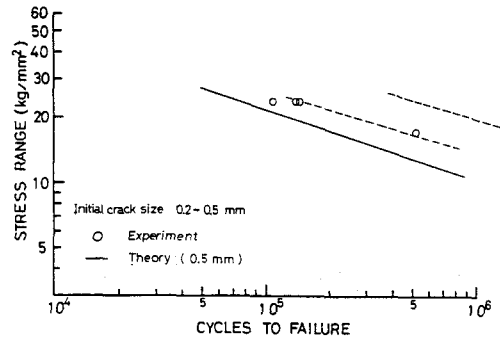


図-2  $a_0 = 0.2 \sim 0.5$  mm の  $S-N_p$  図

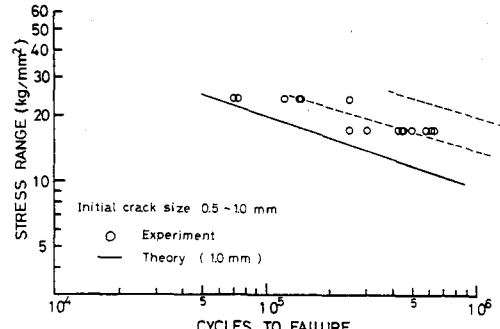


図-3  $a_0 = 0.5 \sim 1.0$  mm の  $S-N_p$  図

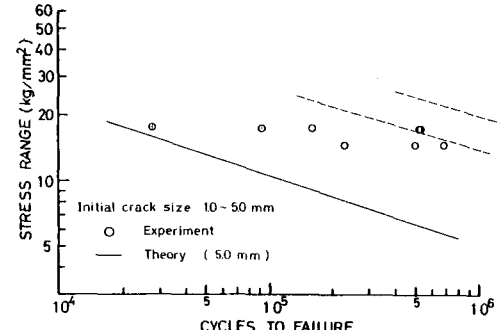


図-4  $a_0 = 1.0 \sim 5.0$  mm の  $S-N_p$  図

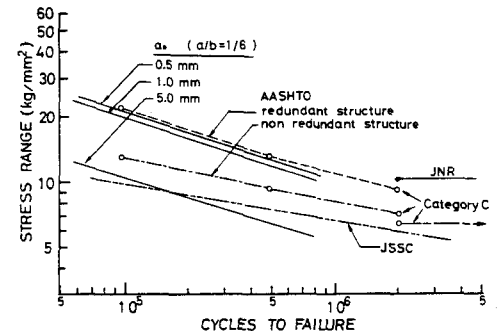


図-5 各種示方書と  $S-N_p$  線