

変動振幅応力を受ける鋼部材の疲労強度評価 方法の提案

MORI, Takeshi / HAYASHI, Nobuhiko / 林, 暢彦 / 森, 猛

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Bulletin of the Faculty of Engineering, Hosei University / 法政大学工学部
研究集報

(巻 / Volume)

29

(開始ページ / Start Page)

159

(終了ページ / End Page)

173

(発行年 / Year)

1993-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003856>

変動振幅応力を受ける鋼部材の疲労強度評価方法の提案

森 猛*・林 暢彦**

Proposal of New Fatigue Life Evaluation Procedure for Steel Structural Details under Variable-Amplitude Stresses

By Takeshi MORI and Nobuhiko HAYASHI

Abstract

Fatigue crack propagation analyses for typical steel structural details are performed under various types of variable-amplitude stresses which may approximately express the stresses in various steel structures. On the basis of the analytical results, the relationship between threshold stress range to give the fatigue damage and the degree of fatigue damage is verified. By combining the relationship with the linear damage conception, a new procedure is proposed to predict the fatigue life under variable-amplitude stresses. Fatigue life estimated by the new procedure is compared with that predicted by previous procedures such as Miner's law, modified Miner's law, Haibach's procedure and so on.

1. はじめに

繰り返し荷重を受ける橋梁などの鋼構造物の疲労照査に不可欠な構造部材や継手部の疲労強度は、一定振幅応力試験により求められることが多い。しかし、構造物に作用する荷重の大きさは様々であり、载荷位置も変化する。そのため、各構造部材に生じる応力も複雑に変動する。このような変動振幅応力下の疲労強度を評価するためにいくつかの方法が提案されており、鋼構造物を対象とした疲労設計基準類においてもそれらの方法が用いられている。例えば、我が国の国鉄建造物設計標準¹⁾では修正 Miner の方法、英国の橋梁設計標準(BS5400)²⁾では Haibach の方法、欧州鋼構造連合の疲労設計指針³⁾では Haibach の方法に応力範囲の打切り限界を加えて変動応

*工学部土木工学科

**大学院工学研究科修士課程

力下での疲労強度評価を行なうこととしている。また、最近改定された日本鋼構造協会疲労設計指針(案)¹⁾では打ち切り限界付き修正 Miner の方法が用いられている。しかし、いずれの方法も物理的根拠に乏しく、新しい疲労強度評価方法の確立が望まれている。

著者の一人は、疲労損傷の進行を疲労亀裂の進展としてとらえ、種々の変動振幅応力下において疲労亀裂進展解析を行なうことにより、変動振幅応力下の疲労強度・寿命の評価方法について検討した⁵⁾。そして、変動振幅応力下において疲労損傷に寄与する応力範囲の限界値(限界応力範囲)は疲労損傷の進行(疲労損傷度)にしたがって低下することを明らかにするとともに、疲労損傷度と限界応力範囲の関係を線形累積被害則に組みこんだ新しい疲労強度評価方法を提案した。しかし、そこでは板厚25mmで標準的な溶接形状の荷重非伝達型十字すみ肉接継手のみを対象としていた。本研究では、より一般的な疲労損傷度と限界応力範囲の関係を明らかにすることおよびその関係を整理するためのパラメータを明らかにすることを目的とし、種々の板厚、溶接形状の十字すみ肉溶接継手および様々な形式の継手を対象として疲労亀裂進展解析を行なう。

2. 従来の疲労強度評価方法

従来、変動振幅応力下での疲労強度評価を目的とした様々な方法が提案されてきたが、その多くは以下に示す線形累積被害則に基づくものである。

変動振幅応力の応力範囲成分を $\Delta\sigma_i$ ($i=1,2,\dots$)、その頻度(繰返し数)を n_i とおき、 $\Delta\sigma_i$ が一定振幅応力下で繰返されたときの疲労寿命を N_i とする。 $\Delta\sigma_i$ が n_i 回繰返された時の疲労損傷度 D_i を (n_i/N_i) とし、損傷度の合計 D が

$$D = \sum D_i = \sum (n_i / N_i) = 1 \quad (1)$$

となったときに疲労破壊が生じるとする。この時、 $\Delta\sigma_i$ が一定振幅応力下での疲労限度以下であれば、 $N_i = \infty$ とする。これが Palmgren-Miner の方法⁶⁾(以後 Miner の方法と呼ぶ)と呼ばれる変動振幅応力下での疲労寿命予測方法である(図1参照)。

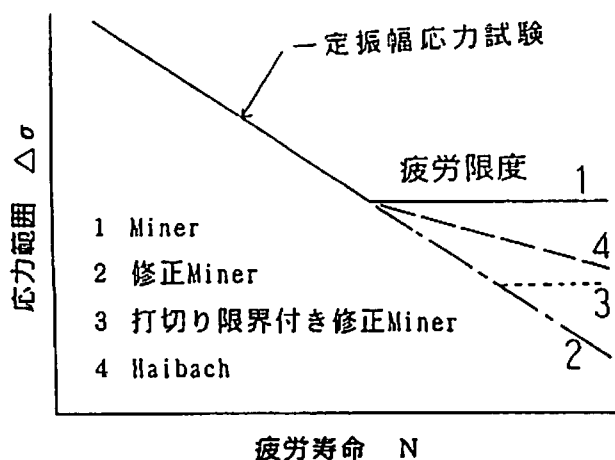


図1 疲労寿命予測方法

しかし、疲労損傷度が大きくなれば、疲労限度以下の応力範囲成分によっても疲労損傷は進行する。このことは、疲労損傷が進行するにしたがって疲労亀裂は大きくなり、疲労限度以下の小さい応力範囲まで疲労亀裂の進展に寄与するようになることから明らかである。したがって、Minerの方法では危険側の評価を与えることになる。このような疲労限度以下の $\Delta\sigma_i$ の影響を考慮する方法に修正 Minerの方法⁷⁾や Haibachの方法⁷⁾がある。修正 Minerの方法では、疲労限度以下の $\Delta\sigma_i$ に対する N_i を ∞ とするのではなく、疲労限度以上の $\Delta\sigma-N$ 関係を疲労限度以下の応力範囲に対してもそのままの傾きで延ばして N_i を求め、それを(1)式に代入することにより疲労寿命を計算する。しかし、修正 Minerの方法のように疲労限度以下の応力範囲成分を疲労限度以上の応力範囲成分と同様に扱うと一般に安全側すぎる評価となる。そのため、変動振幅応力下においても疲労損傷に寄与しない応力範囲の限界値（以後、打ち切り限界と呼ぶ）を設定することもある⁸⁾。ここではこのような疲労寿命の評価方法を打ち切り限界付き修正 Minerの方法と呼ぶ。Haibachの方法では、疲労限度以上の領域での $\Delta\sigma-N$ 関係の傾きが $-1/m$ で与えられるとき、疲労限度以下の領域での $\Delta\sigma-N$ 関係の傾きを $-1/(2m-1)$ と緩やかにし、 $\Delta\sigma_i$ に対する N_i を求める。この方法では、疲労損傷に寄与する限界応力範囲 $\Delta\sigma_w$ が疲労損傷が大きくなるにしたがって(2)式の関係で低下する、

$$\Delta\sigma_w = \Delta\sigma_{w0} (1-D)^{1/(m-1)} \quad (2)$$

$\Delta\sigma_{w0}$ ：損傷を受けていない継手の疲労限度

D：疲労損傷度

m：疲労限度以上の領域での $\Delta\sigma-N$ 関係の傾きを表す定数

また、疲労損傷度は、すべての応力範囲の繰返し数に比例する、

$$D = \sum n_i / N_i \quad (3)$$

n_i ：応力繰返し数（すべての応力範囲成分を含む）

N_i ：疲労寿命（すべての応力範囲成分を含む）

といった仮定に基づいている。しかし、これらの仮定の妥当性については、明らかとされていない。Reppermundは、(3)式の仮定が不適切であるとして、(2)式の仮定のみで疲労寿命を求めるための手法を示している。⁹⁾

著者らは、(2)式の仮定も不適切と考え、板厚25mmの標準的な形状の荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手を対象として疲労亀裂進展解析を行ない、図2に示すような疲労損傷度と限界応力範囲の関係を求め、その関係が次式で近似できることを示した。⁵⁾

$$\Delta\sigma_w = \Delta\sigma_{w0} (1-D) \quad (4)$$

そして、この関係を線形累積被害則に組込んだ疲労強度評価方法を提案するとともに、その有効性を疲労試験結果との比較から明らかとした。しかし、疲労損傷の進行、すなわち疲労亀裂の進展を支配する応力拡大係数が応力分布の影響を強く受けること、および応力分布は継手の形状や形式により変化することを考慮すれば、継手の形式や溶接部の形状によって限界応力範囲と疲労損傷度の関係も変化するものと考えられる。

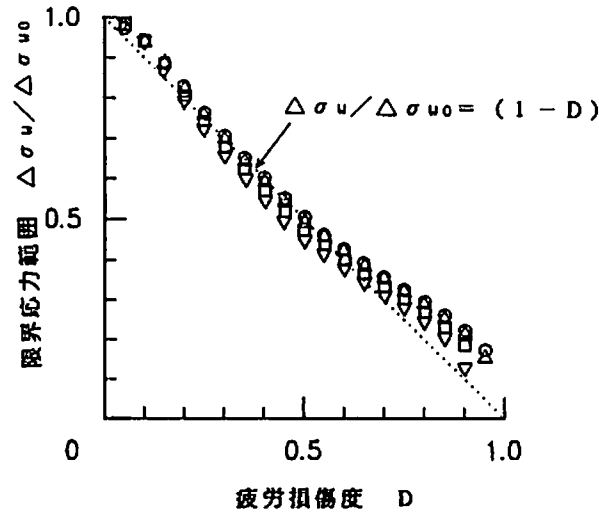


図2 荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手の疲労損傷度と限界応力範囲の関係

3. 疲労亀裂進展解析

3.1 解析対象

ここでは、継手の板厚、溶接止端の形状、継手の形式をパラメータとした3種類のモデルを対象とした。

表1 板厚を変化させたモデル

モデル名	T1	T2	S
A T	9	9	4.5
B T	16	16	8
C T	25	25	12.5
D T	35	35	17.5
E T	45	45	22.5
F T	75	75	37.5
G T	9	16	8
I T	25	16	8
J T	35	16	8
K T	45	16	8
L T	75	16	8

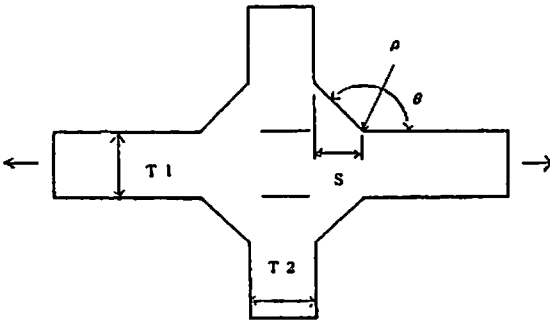


図3 荷重非伝達十字すみ肉溶接継手の模式図

$$\theta = 135 \left\{ \frac{\text{mm}}{\text{度}} \right\}$$
$$\rho = 0.5 \left\{ \frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right\}$$

継手の板厚を変化させたモデルでは、図3に示す荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手の主板の厚さを表1に示すように9～75mmと変化させている。その際、付加板の厚さは主板の厚さと同じとしたものに加え、主板の厚さによらず16mmで一定としたモデルも用いている。これらのモデルでは、いずれも溶接止端の曲率半径 ρ を0.5mm、開き角 θ を135度としている。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、その位置は板厚方向の中央とした。限界亀裂寸法は板厚の80%とした。

溶接止端形状を変化させたモデルでは、図3に示す荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手の溶接止端の曲率半径 ρ を表2に示すように0.25～1.0mm、開き角 θ を100～150°と変化させている。主板の厚さ T_1 と付加板の厚さ T_2 は16mm、板幅は110mmとしている。初期亀裂および限界亀裂寸法は板厚を変化させたモデルと同じである。

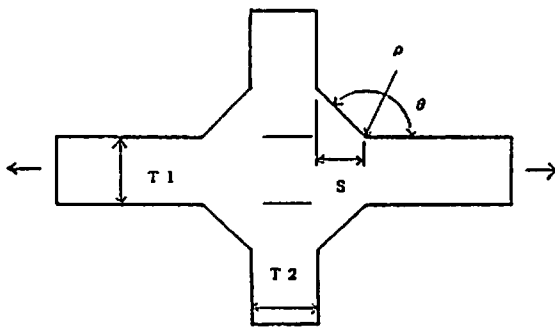


図3 荷重非伝達十字すみ肉溶接継手の模式図

表2 溶接止端形状を変化させたモデル

継手名	ρ (mm)	θ (度)
F100	0.5	100
F120	0.5	120
F135	0.5	135
R25	0.25	150
R50	0.5	150
R100	1.0	150

$T_1 = T_2 = 16$ (mm)

継手の形式を変化させたモデルでは、図4に示すように、①帯板、②突合せ溶接継手、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、すなわち疲労強度の異なる5種類の継手を対象としている。これらの継手の疲労強度等級は日本鋼構造協会疲労設計指針（案）⁴⁾で①B ②D ③E ④G ⑤Hと定義されている。いずれの継手においても、板厚は25mm、板幅は320mmとした。面内ガセット溶接継手では、深さ0.1mm表面での長さ0.4mmの半楕円形の表面亀裂を初期亀裂として板厚中央に、その他の継手では同じ寸法・形状の初期亀裂を板幅方向の中央に設置した。限界亀裂寸法は、荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手では板厚の80%とし、他の継手では板幅の80%とした。

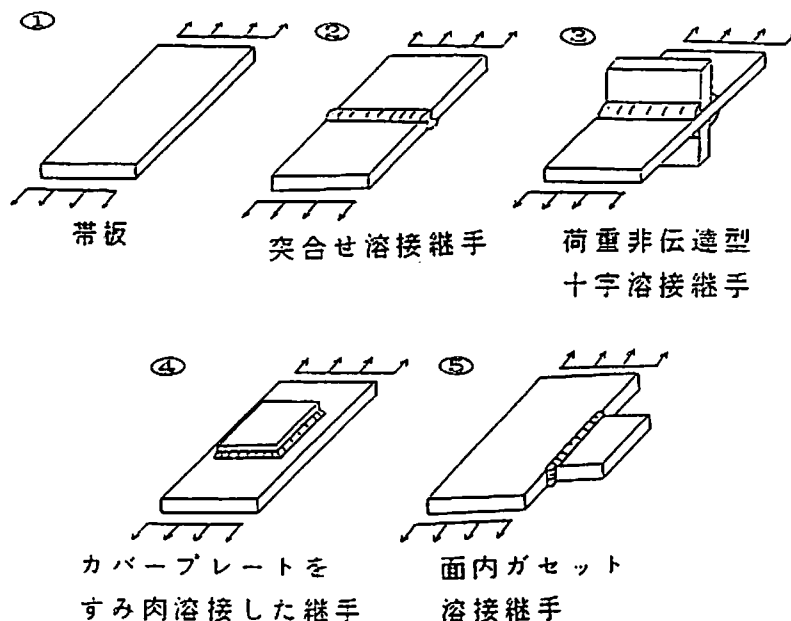


図4 疲労強度の異なる継手の模式図

3.2 応力範囲頻度分布

応力範囲の頻度分布は、構造物に作用する荷重の大きさ、位置、頻度及び着目部の断面力の影響線に支配される。そのため、応力範囲頻度分布は、構造物の種類や構造部材が限定され、またその使用状況が想定できれば、ある程度推定することが可能である。本研究では、構造部材の応力範囲累積頻度分布をよく表すことが確かめられている(5)式に示す2母数 Weibul 分布を用いて疲労寿命解析を行った。

$$Q(\Delta\sigma/\Delta\sigma_{max}) = \exp[-(\Delta\sigma/\Delta\sigma_{max})^h \cdot \ln N_0] \quad (5)$$

h : 累積頻度分布の形状を表すためのパラメータ

N_0 : 想定する寿命での応力繰り返し数

この分布における2つのパラメータ h 、 N_0 の値は、 $h=0.5, 0.7, 1.0, 1.5, 2.0, N_0=10^4, 2 \times 10^4, 5 \times 10^4, 10^5, 2 \times 10^5, 5 \times 10^5, 10^6, 10^8$ とした。このように、ここでは計40種類の応力範囲頻度分布を対象としている。

3.3 解析方法

疲労亀裂進展解析の流れを図5に示す

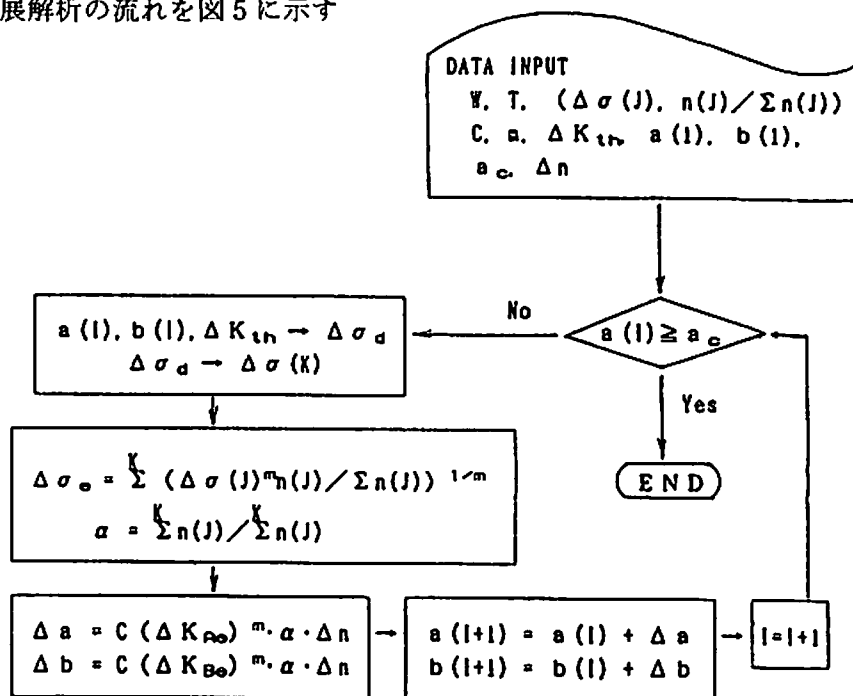


図5 疲労亀裂進展解析の手順

- ①初期亀裂、限界亀裂、疲労亀裂進展速度表示式、応力範囲の累積頻度分布の入力
- ②下限界応力拡大係数範囲 ΔK_{th} を基に与えられた亀裂に対応する限界応力範囲を求める。
- ③限界応力範囲以上の応力範囲の分布に基づき、等価応力範囲を求める。また、限界応力範囲以上の応力範囲が占める繰返し数の割合を求める。
- ④疲労亀裂進展表示式を用いて亀裂進展増分(Δa , Δb)を計算する。

⑤進展後の亀裂を定義する。

疲労亀裂進展速度 da/dN の表示式は、応力拡大係数範囲 ΔK の関数として次式で表すこととした。

$$\begin{aligned} da/dN &= 5.4 \times 10^{-12} (\Delta K)^3 & \Delta K > \Delta K_{th} \\ da/dN &= 0 & \Delta K \leq \Delta K_{th} \end{aligned} \quad (6)$$

$da/dN: \text{m/cycle}$ 、 $\Delta K: \text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ 、 $\Delta K_{th} = 2 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$

(6)式は数多くの構造用鋼材およびそれを母材とした溶接継手での疲労亀裂進展試験結果を統計解析することにより得られた関係である¹⁰⁾。また、疲労亀裂進展に対する下限界応力拡大係数範囲 ΔK_{th} ($2 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$) は高い溶接引張残留応力場を疲労亀裂が進展する場合の疲労亀裂進展試験結果に基づいて設定した¹¹⁾。

溶接止端部に仮定した半楕円形の表面亀裂の深さ方向前縁（図6のA点）での応力拡大係数範囲 ΔK_A および幅方向前縁（図6のB点）での応力拡大係数範囲 ΔK_B は次式より求めた。

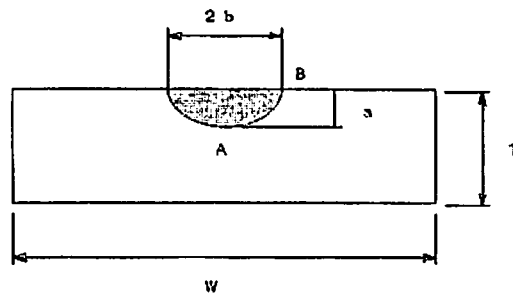


図6 初期亀裂略図

$$\begin{aligned} \Delta K_A &= F_{cA} \cdot F_{sA} \cdot F_{tA} \cdot F_{sA} \cdot \Delta \sigma \sqrt{\pi a} \\ \Delta K_B &= F_{cB} \cdot F_{tB} \cdot F_{sB} \cdot \Delta \sigma \sqrt{\pi a} \end{aligned} \quad (7)$$

F_{cA} , F_{cB} : 亀裂形状に対する補正係数

F_{sA} : 表面亀裂に対する補正係数

F_{tA} , F_{tB} : 継手の板厚・板幅が有限であることに対する補正係数

F_{sA} , F_{sB} : 継手に生じる応力集中に対する補正係数

等価応力範囲の求め方は以下の通りである。全ての応力範囲レベルに対して、応力範囲 $\Delta \sigma$ と疲労寿命 N の関係が

$$\Delta \sigma^m \cdot N = C \quad (C: \text{定数}) \quad (8)$$

で与えられるとすれば、疲労損傷度の和は、

$$\sum n_i / N_i = \sum \Delta \sigma_i^m \cdot n_i / C \quad (9)$$

となる。ある応力範囲 $\Delta \sigma_e$ を考え、それが $\sum n_i$ 回作用したときの疲労損傷度 ($\Delta \sigma_e^m \cdot \sum n_i / C$) が(1)式と等しい場合に、 $\Delta \sigma_e$ は等価応力範囲と呼ばれている。

$$\Delta \sigma_e = (\sum \Delta \sigma_i^m \cdot n_i / \sum n_i)^{1/m} \quad (10)$$

すなわち、等価応力範囲 $\Delta \sigma_e$ は応力範囲の m 乗平均値の m 乗根として与えられる。

4. 疲労損傷度と限界応力範囲の関係

4.1 応力範囲頻度分布の影響

図7に突合せ溶接継手に対して疲労亀裂進展解析を行うことにより求めた疲労損傷度と限界応力範囲の関係を示す。図の縦軸の応力範囲は一定振幅応力下での疲労限で無次元化している。応力範囲頻度分布が変化しても疲労損傷度と限界応力範囲の関係は変化していない。このことは、他の継手に対しても同じであった。

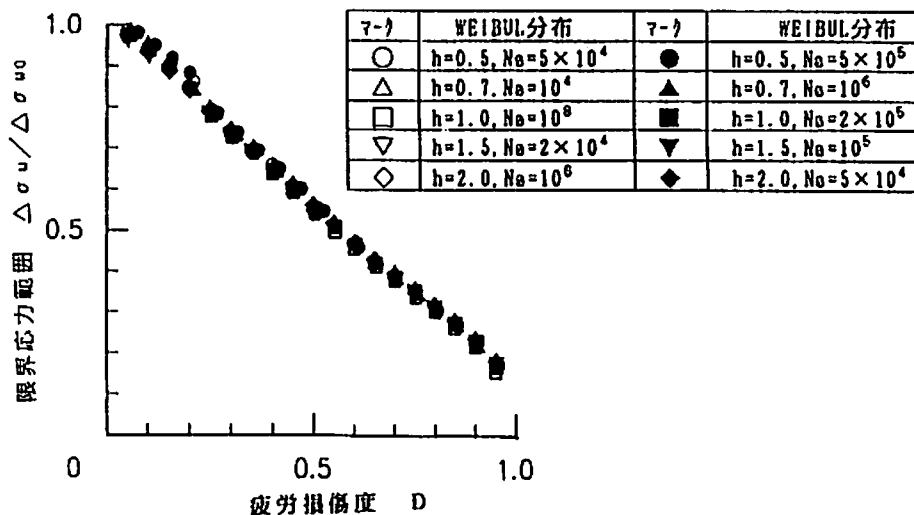


図7 突合せ継手の疲労損傷度と限界応力範囲の関係

4.2 板厚の影響

荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手の板厚を9mmから75mmと変化させたモデルに対して有限要素応力解析より求めた応力集中係数および一定振幅応力下の疲労亀裂進展解析より求めた200万回疲労強度を表3に示す。板厚が増すにしたがって応力集中係数が高くなり、疲労強度は低下して

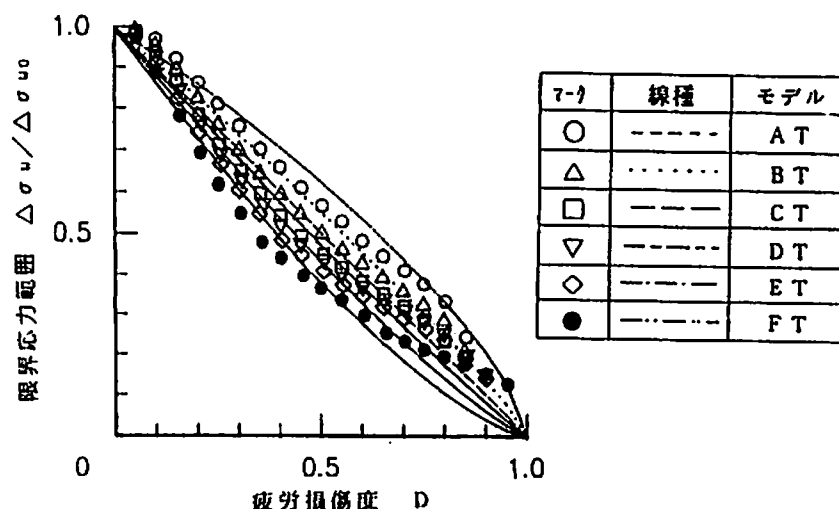


図8 荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手の板厚を変化させた時の疲労損傷度と限界応力範囲の関係

表3 板厚を変化させたモデルに対する200万回疲労強度

モデル	応力集中係数	200万回疲労強度(MPa)	指数 c
A T	2.48	113.96	0.679
B T	2.82	105.01	0.856
C T	3.25	95.68	0.993
D T	3.61	89.26	1.081
E T	3.98	84.81	1.211
F T	4.61	75.94	1.398
G T	2.49	113.70	0.709
I T	2.83	105.01	0.856
J T	3.03	100.79	0.939
K T	3.10	100.13	1.007
L T	3.11	100.66	1.055
N T	3.16	101.19	1.115

いる。図8は変動振幅応力下での疲労亀裂進展解析より求めた疲労損傷度と限界応力範囲の関係である。疲労損傷度と限界応力範囲の関係は板が厚くなるにしたがって、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。

4.3 溶接形状の影響

溶接止端の曲率半径 ρ および開き角 θ を変化させたモデルに対して得られた応力集中係数および200万回疲労強度を表4に示す。図9は限界応力範囲と疲労損傷度の関係を示したものである。板厚を変化させた場合と同様に、200万回疲労強度が低くなるにしたがって限界応力範囲と疲労損傷度の関係は下に凸となる傾向が認められる。

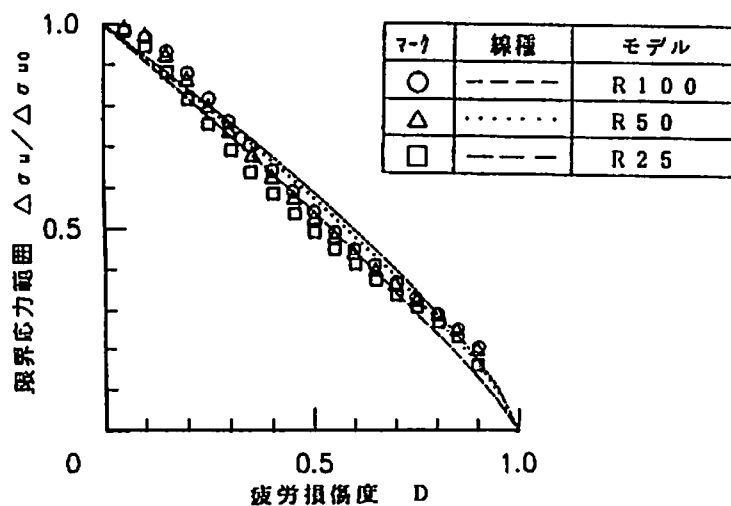


図9 荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手の溶接止端半径を変化させた時の疲労損傷度と限界応力範囲の関係

表4 溶接止端の形状を変化させたモデルに対する200万回疲労強度

モデル	応力集中係数	200万回疲労強度(MPa)	指数 c
F135	2.76	107.55	0.864
F120	3.17	100.92	0.950
F100	3.26	96.98	0.924
R100	2.18	120.83	0.756
R50	2.42	115.08	0.794
R25	2.75	110.36	0.880

4.4 継手形式の影響

表5に各種継手について得られた応力集中係数と一定振幅応力下の200万回疲労強度、図10に変動振幅応力下の疲労亀裂進展解析より求めた限界応力範囲と疲労損傷度の関係を示す。先の2種のモデルと同様に、200万回疲労強度が低くなるにしたがって限界応力範囲と疲労損傷度の関係は下に凸となっている。

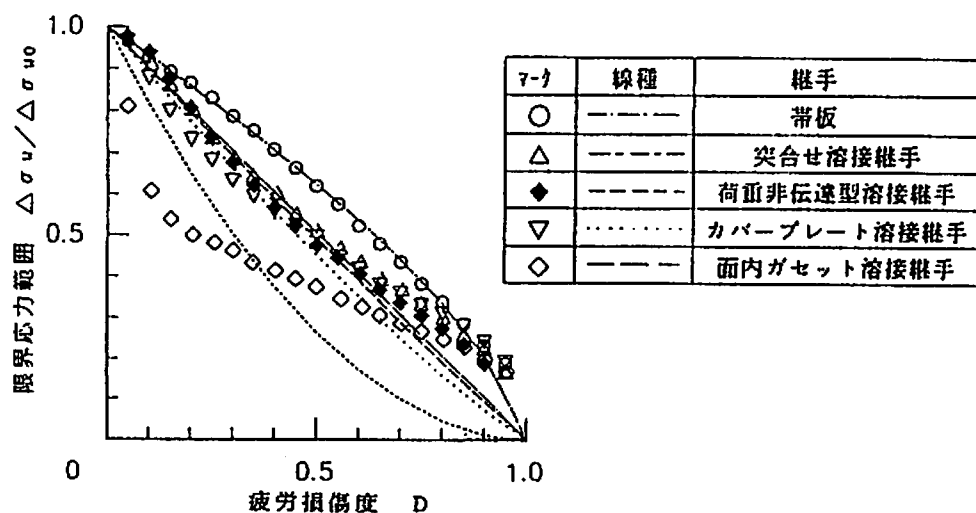


図10 疲労強度の異なる継手の疲労損傷度と限界応力範囲の関係

表5 各種継手の200万回疲労強度

モデル	応力集中係数	200万回疲労強度(MPa)	指数 c
帯板	1	212.16	0.550
突合せ溶接継手	2.32	130.22	0.863
荷重非伝達型溶接継手	3.02	105.52	1.001
カバープレート溶接継手	3.86	92.09	1.287
面内ガセット溶接継手	10.95	56.65	1.956

4.5 限界応力範囲と疲労損傷度の関係の関数近似

図8、9、10に示す限界応力範囲と疲労損傷度の関係より、それを次式で近似することとした。

$$\Delta \sigma_w / \Delta \sigma_{w0} = (1 - D)^c \quad (11)$$

ここで、指数 c は限界応力範囲と疲労損傷度の関係を表わすパラメータであり、 $c = 1$ とすれば線形関係、 $c > 1$ で下に凸、 $c < 1$ で上に凸な関係となる。各モデルに対して c の値を最小2乗法により求めた結果を表3、4、5の右欄に、またその値を(11)式に代入した関係を図8、9、10に示す。ただし、最小2乗法では疲労損傷度 D が0.5以下のデータを対象とした。これは、図11に示すように $D \leq 0.5$ の領域で寿命の大半が費やされるためである。なお、図11はカバープレート溶接継手についての結果であるが、 $D \leq 0.5$ の領域で寿命の大半が費やされる傾向は他の継手においても同じであった。

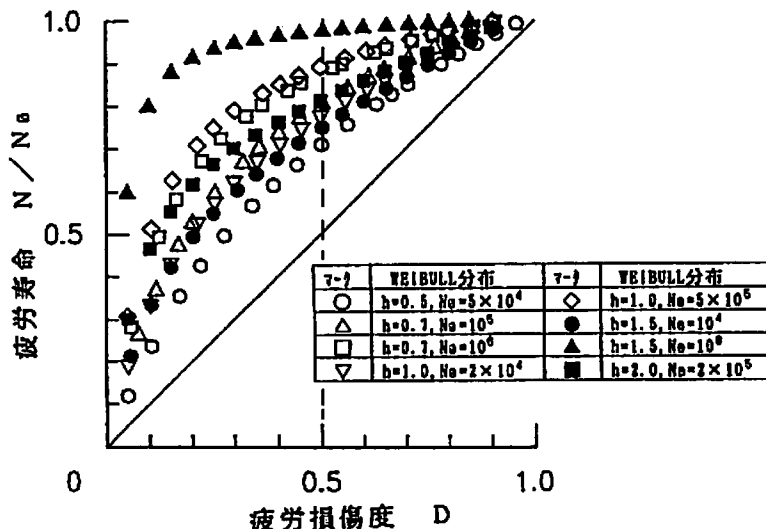


図11 疲労損傷度と疲労寿命の関係

4.6 指数 c と200万回疲労強度の関係

4.2, 4.3, 4.4節で示したように、200万回疲労強度が低くなるにしたがって、限界応力範囲と疲労損傷度の関係が下に凸な関係、すなわち指数 c の値が大きくなる。図12に指数 c と200万回疲労強度の関係を示す。指数 c と200万回疲労強度は両対数紙上ではほぼ直線関係にあり、次式で近似できる。

$$\begin{aligned} c &= 306.9 \times \Delta \sigma_{200}^{-1.248} & (\Delta \sigma_{200} \leq 160 \text{ MPa}) \\ c &= 0.55 & (\Delta \sigma_{200} > 160 \text{ MPa}) \end{aligned} \quad (12)$$

本研究では、(12)式より指数 c の値を求め、それを線形累積被害則に組込んだ変動振幅応力下の疲労強度評価方法を提案する。

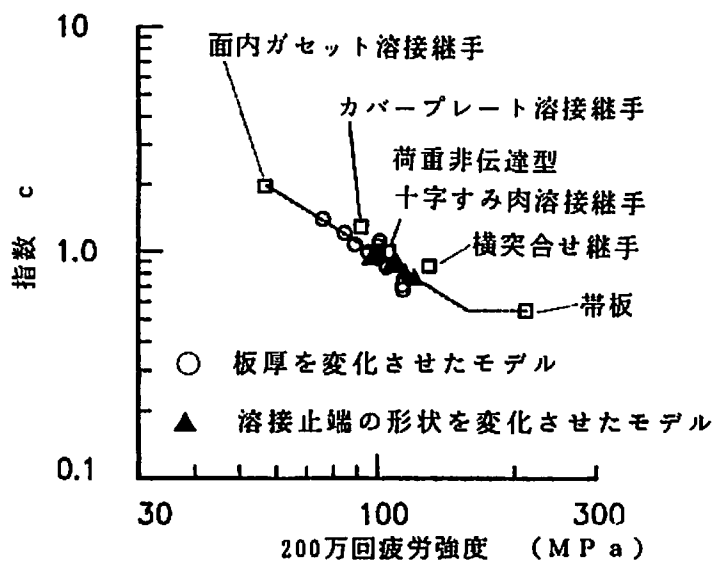


図12 200万回疲労強度と指数cの関係

4.7 各方法による寿命予測値の比較

図13は突合せ溶接継手、また図14はカバープレート溶接継手を対象として疲労亀裂進展解析より求めた等価応力範囲 $\Delta\sigma$ と疲労寿命Nの関係を各方法により推定した $\Delta\sigma$ -N関係を比較したものである。これらの計算に用いた応力範囲頻度分布は、突合せ溶接継手でWeibull分布のパラメータを $h=1.0$ 、 $N_0=5 \times 10^5$ 、カバープレート溶接継手で $h=0.7$ 、 $N_0=2 \times 10^5$ とすることにより与えている。突合せ溶接継手、カバープレート溶接継手とも、等価応力範囲が比較的大きい領域では、いずれの方法とも疲労寿命予測値は疲労亀裂進展解析結果とよく一致している。

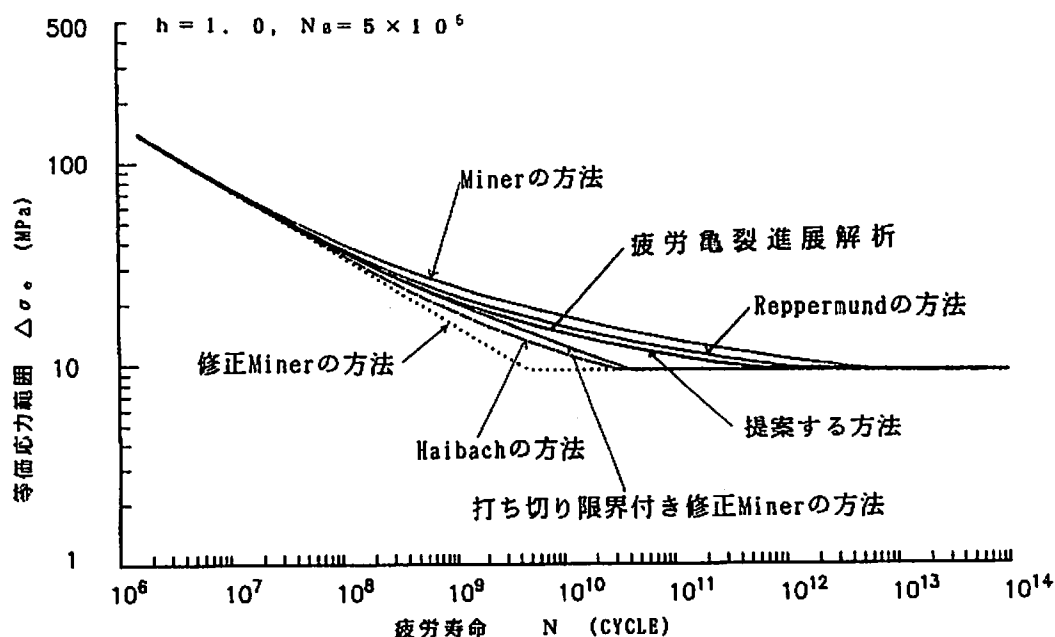


図13 突合せ溶接継手の疲労寿命予測結果

しかし、等価応力範囲が低くなると、Minerの方法ではかなり長寿命側、また修正 Minerの方法では短寿命側すぎる寿命予測となっている。また、Haibachの方法、Reppermundの方法では若干長寿命側の予測となっている。打ち切り限界付き修正 Minerの方法では、突合せ溶接継手に対してかなり短寿命側、カバープレート溶接継手に対しても若干短寿命側の予測となっている。それらに比べて、本研究で提案する方法の寿命予測値は、すべての等価応力範囲レベルで疲労亀裂進展解析結果とよく一致している。

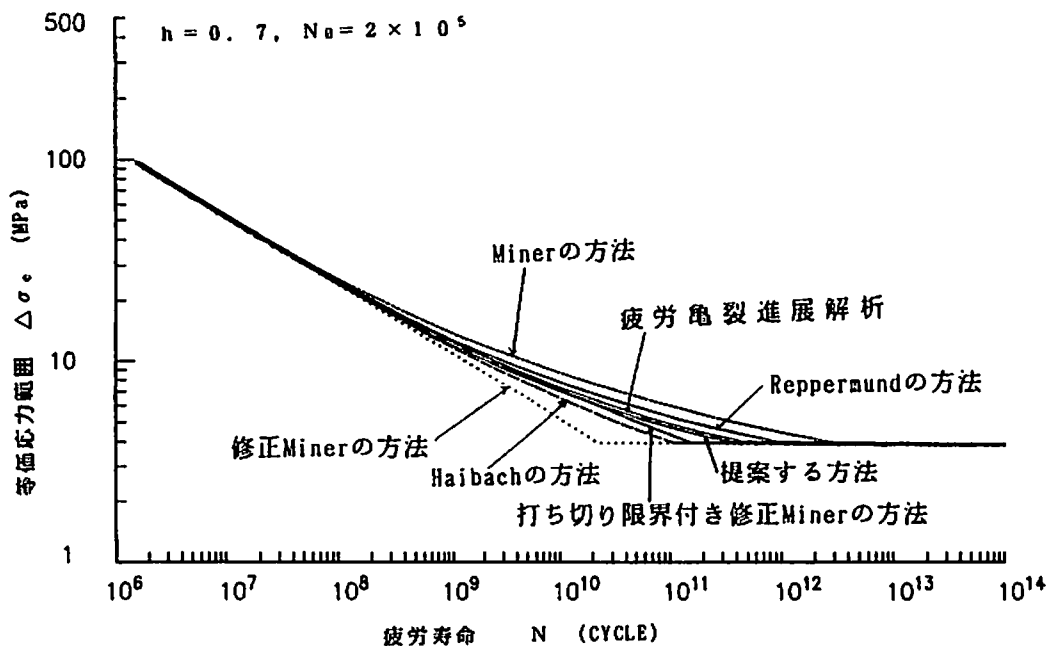


図14 カバープレート溶接継手の疲労寿命予測結果

低い等価応力範囲応力レベルにおける各方法での寿命予測値の相違を明らかにするために、応力範囲頻度分布の最大応力範囲が一定振幅応力下での疲労限度の1.5倍となる条件で3.2節に示したすべての応力範囲頻度分布形状（40種類）に対して疲労寿命を予測した結果を図15および図16に示す。図15は突合せ溶接継手、図16はカバープレート溶接継手に対する結果を示している。図の縦軸は、それぞれの方法で予測した寿命を疲労亀裂進展解析から求めた寿命で無次元化している。図中の○は無次元化した寿命の平均値、縦線は無次元化した寿命の範囲を示している。提案する方法による無次元化寿命は、いつれの継手に対してもほぼ1であり、寿命予測値は疲労亀裂進展解析結果とよく一致している。また、そのばらつきも非常に小さい。それに比べて、Minerの方法ではかなり長寿命側の予測となっており、最大で10～20倍の予測結果となっている。また、修正 Minerの方法、打ち切り限界付き修正 Minerの方法、Haibachの方法、Reppermundの方法を用いても、無次元化した寿命はその平均値が1から離れることも多く、また予測寿命のばらつきも大きい。

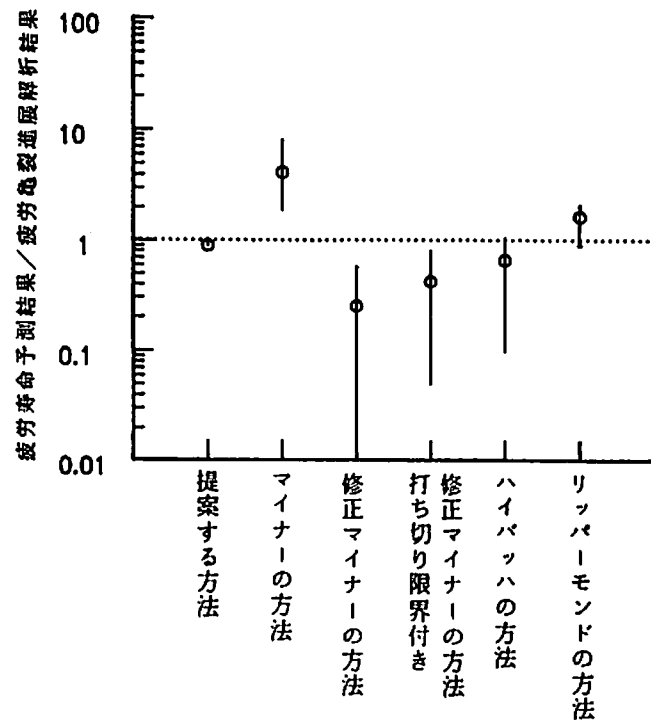


図15 各疲労寿命予測方法の比較(突合せ溶接継手)

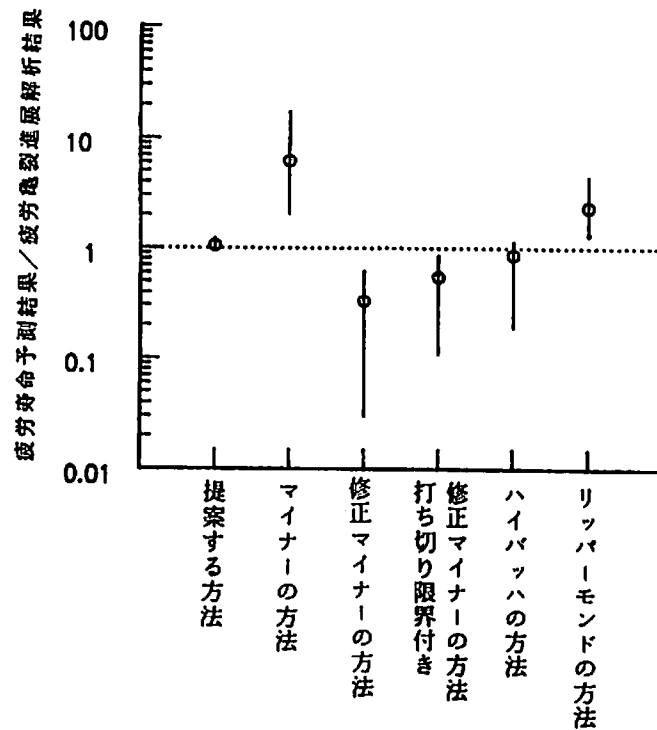


図16 各疲労寿命予測方法の比較(カバープレート溶接継手)

5. 結論

様々な応力範囲頻度分布形状を有する変動振幅応力下で、鋼構造物に用いられる代表的な継手を対象とした疲労亀裂進展解析を行なうことにより、疲労損傷度の進行にともなう限界応力範囲の変化について検討し、以下の結果を得た。

- (1) 疲労損傷度と限界応力範囲の関係は、継手の板厚、溶接止端の形状、継手の形式により変化する。
- (2) 各継手の疲労損傷度と限界応力範囲の関係は、200万回疲労強度との相関が高く、次式で表すことができる。

$$c = 306.9 \times \Delta \sigma_{200}^{-1.248} \quad (\Delta \sigma_{200} \leq 160 \text{ MPa})$$

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

- (3) 結論(2)の式を線形被害則に組込んだ変動振幅応力下の疲労寿命評価方法を提案した。提案する方法は、従来の方法に比べて高い精度で疲労寿命を予測することができる。

本研究は、文部省科学研究費補助金（一般研究C、代表：森 猛）の補助を受けて実施したものである。

参考文献

- 1) 土木学会：国鉄建造物設計標準（鋼鉄道橋）、1983
- 2) BS5400, Part 10, Code of Practice for Fatigue, 1980.
- 3) ECCS : Recommendations for Fatigue Design of Steel Structures, 1985.
- 4) 日本鋼構造協会：疲労設計指針（案）、1989.
- 5) 森猛：変動振幅応力下の疲労寿命評価方法の検討、構造工学論文集 Vol137A, pp.1199~1209,1991.
- 6) 伊藤文人：実働荷重による疲労寿命設計（岡本舜三編、鋼構造の研究、第五章）、技報堂、pp.159~165,1987.
- 7) 城野政弘：疲労強度学（西谷弘信 編） 第5章、オーム社、1985.
- 8) 三木千尋、坂野昌弘：疲労亀裂進展解析による疲労設計曲線の検討、構造工学論文集、Vol136A, p p. 409~416,1990.
- 9) Reppermund,K. : Ein Konzept zur Berechnung der Zuverlässigkeit bei Ermüdungsbeanspruchung, Stahlbau, 1984.
- 10) Okumura, T.,Nishimura, T.,Miki, C. and Hasegawa,K. : Fatigue Crack Growth in Structural Steel, Proc. of JSCE, No. 322,pp.175~178,1982.
- 11) Miki, C., Mori, T., and Tajima,J. : Effect of Stress Ration and Tensile Residual Stress on near Threshold Fatigue Crack Growth, Proc. of JSCE,No. 386,pp.383~392,1986.