

溶接構造部材の疲労強度解析のための 初期き裂設定法に関する研究

学生員 王 業 宏* 正員 富 田 康 光*
正員 橋 本 聖 史* 正員 大 沢 直 樹*
学生員 寺 井 幸 司*

Study on Setting the Conditions of Initial Cracks for Fatigue Strength Evaluation of Welded Structures

by Yehong Wang, *Student Member* Yasumitsu Tomita, *Member*
Kiyoshi Hashimoto, *Member* Naoki Osawa, *Member*
Koji Terai, *Student Member*

Summary

When the fatigue strength of welded structures is evaluated based on fatigue crack growth analysis, it is needed to set up the initial conditions of surface crack occurrence along weld toe.

Based on the investigation of interaction effect and coalescence behavior between adjacent surface cracks during their propagation, numerical simulation of fatigue growth life are performed for various situations of initial surface crack shape, size, number, occurrence region and distribution of initial cracks. The results agree well with experimental ones. Referring to above results, authors propose a procedure to set up the condition of multiple surface crack occurrence along weld toe, other than single initial crack for fatigue crack growth analysis.

1. 緒 言

溶接構造部材の疲労損傷はそのほとんどが溶接止端部に発生した複数の表面き裂が成長・合体することにより生じる。現在、溶接構造部材の疲労強度評価には従来の線形累積被害則（例えば、Miner 則）に基づく方法に代わって、線形破壊力学に基づく疲労き裂伝播解析法を用いた研究が多く行われている。き裂伝播解析を用いる場合には、溶接構造部材に生じる応力の評価方法はもちろんのこと、疲労き裂の伝播則を予め定めるほかに、溶接止端部に発生する表面き裂の形状、大きさ、数、発生

範囲および分布の設定なくしては解析が行えない。現行のき裂伝播解析による溶接構造部材の疲労強度解析では、一般に単一の表面き裂を初期き裂としている。一方、疲労試験の破面観察から、溶接止端部に沿って発生した多数の小さな表面き裂が成長・合体している現象が確認されている¹⁾。単一初期き裂の仮定はこのような溶接構造部材の実損傷状況とは明らかに異なっている。それゆえ、その寿命評価も複数表面き裂が発生・成長した場合とは相異なる。

本研究では、溶接構造部材の疲労強度を精度良く評価するために、初期き裂を複数表面き裂として設定した。溶接止端部に存在する初期き裂の形状・寸法を一定とし、種々の初期き裂の数、発生範囲に関して溶接構造部材の疲労強度評価を行った。単一または複数の初期き裂の設定による解析結果と疲労試験結果との比較によって初期き裂の設定方法について提案する。

* 大阪大学大学院工学研究科

原稿受理 平成 14 年 7 月 10 日

秋季講演会において講演 平成 14 年 11 月 14, 15 日

2. 複数初期き裂の設定

繰返し荷重を受ける溶接構造部材では、き裂は通常溶接止端部から発生する。部材の疲労強度を検討する際、初期き裂の形状、大きさ、数、発生範囲および分布を実構造部材の表面き裂発生状況に対応させるべきであるが、現状ではその情報はほとんど無い。本研究ではSR245¹⁾研究部会で実施された大型構造模型を用いた疲労試験の結果を参考に検討を行った。

2.1 溶接止端部

溶接構造部材における溶接止端部は止端形状の不揃いの他に溶接欠陥が存在する場合もある。本研究における溶接構造部材の疲労強度解析では、き裂が繰返しの初期に溶接止端部に複数個発生することを前提とし、初期き裂の種々の発生状況を想定し、それぞれに対する解析結果と実構造モデルの疲労試験結果との対応から初期き裂の設定法を提案する。

2.2 初期き裂の形状

本研究では溶接止端部に発生する初期き裂は同一平面に複数個ある表面き裂とし、すべての初期き裂について同寸法の半円形（長さ 0.2mm、深さ 0.1mm）であると仮定した。

2.3 初期き裂の位置及び分布

溶接構造では、構造の不連続による構造的応力集中および溶接止端部の局部的応力集中により、溶接止端部にあるき裂の進展は比較的速くなる²⁾。SR245¹⁾研究部会による疲労試験の部材破面では（Fig.1 参照）、応力集

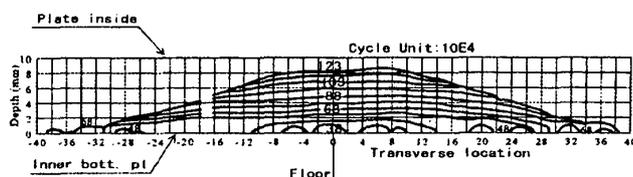


Fig.1 Surface crack growth behavior at weld toe (SR245¹⁾)

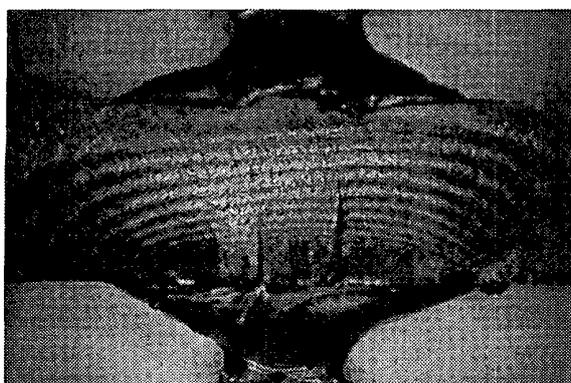


Fig.2 Picture of fracture surface at weld toe

中の大きな場所でき裂が板を貫通した。それゆえ、疲労強度を評価するために初期き裂の場所を設定する時、大きな応力集中が存在する溶接止端部に沿って設定する必要がある。しかし、実溶接構造では、溶接条件、作業者の技量などによる変動を除けば初期き裂は溶接止端部に沿ってランダムに分布していると考えられる。さらに、疲労試験後の部材破面の観察においても初期の小さな表面き裂が応力集中の大きな場所に集まっていると見ることは困難である（例えば、Fig.1, Fig.2）。そこで本研究では、初期き裂は溶接止端部に沿って一様分布ランダムであると想定した。

3. 複数の表面き裂の相互干渉および合体挙動

隣接した複数の表面き裂が存在する場合、き裂の相互干渉および合体挙動は部材の疲労強度に影響を及ぼす³⁾。

3.1 複数の表面き裂の相互干渉

同一平面に表面き裂が隣接して存在する場合において、き裂間に相互干渉影響があることはすでに、多くの研究者らによる数値解析法を用いた定量評価によって明らかにされている。き裂間の干渉効果はき裂の形状、大きさ、間隔などによって変化する。Fig.3 に示すような二つの表面き裂を対象とした有限要素法などによる数値解析結果も多数発表されている。本研究では、こうした数値解析結果^{4) 5) 6)}をもとに、軸力荷重を受ける二つの表面き裂について、文献²⁾と同様に、アスペクト比、長さの比、長さの和と中心間距離の比をパラメータとし、相互干渉係数 F_i を(1)式のように定式化した。

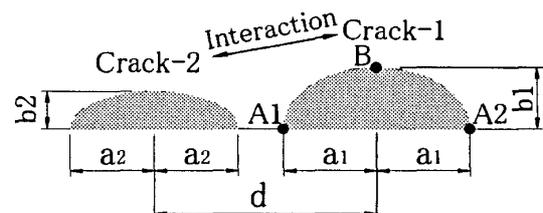


Fig. 3 Interaction between two surface cracks

$$F_i(\alpha, \beta, s) = \frac{c1 \times \alpha^{c2} \times \beta^{c3}}{(s-1)^{c4} \times \sinh(c5 \times s)} + 1.0 \quad (1)$$

ここで

- $c1, c2, c3, c4, c5$: Table 1 に示す近似係数
- $\alpha = b1/a1$: 評価するき裂のアスペクト比
- $\beta = a2/a1$: き裂の長さの比
- $s = d/(a1+a2)$: き裂の相対位置を表す因子
- $a1, b1, a2, b2, d$: 各き裂の寸法および間隔

Table 1 Coefficient of c_1, c_2, c_3, c_4, c_5

Position	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5
Position A1	0.75	0.45	0.50	0.14	1.90
Position A2	0.35	0.45	0.65	0.0	1.90
Position B	0.35	0.45	0.65	0.0	1.90

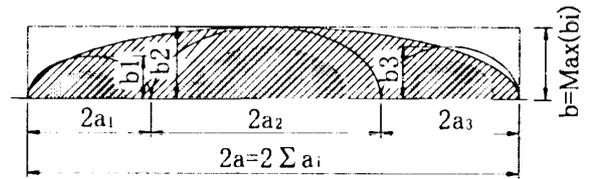


Fig. 5 Coalescence of multiple surface cracks

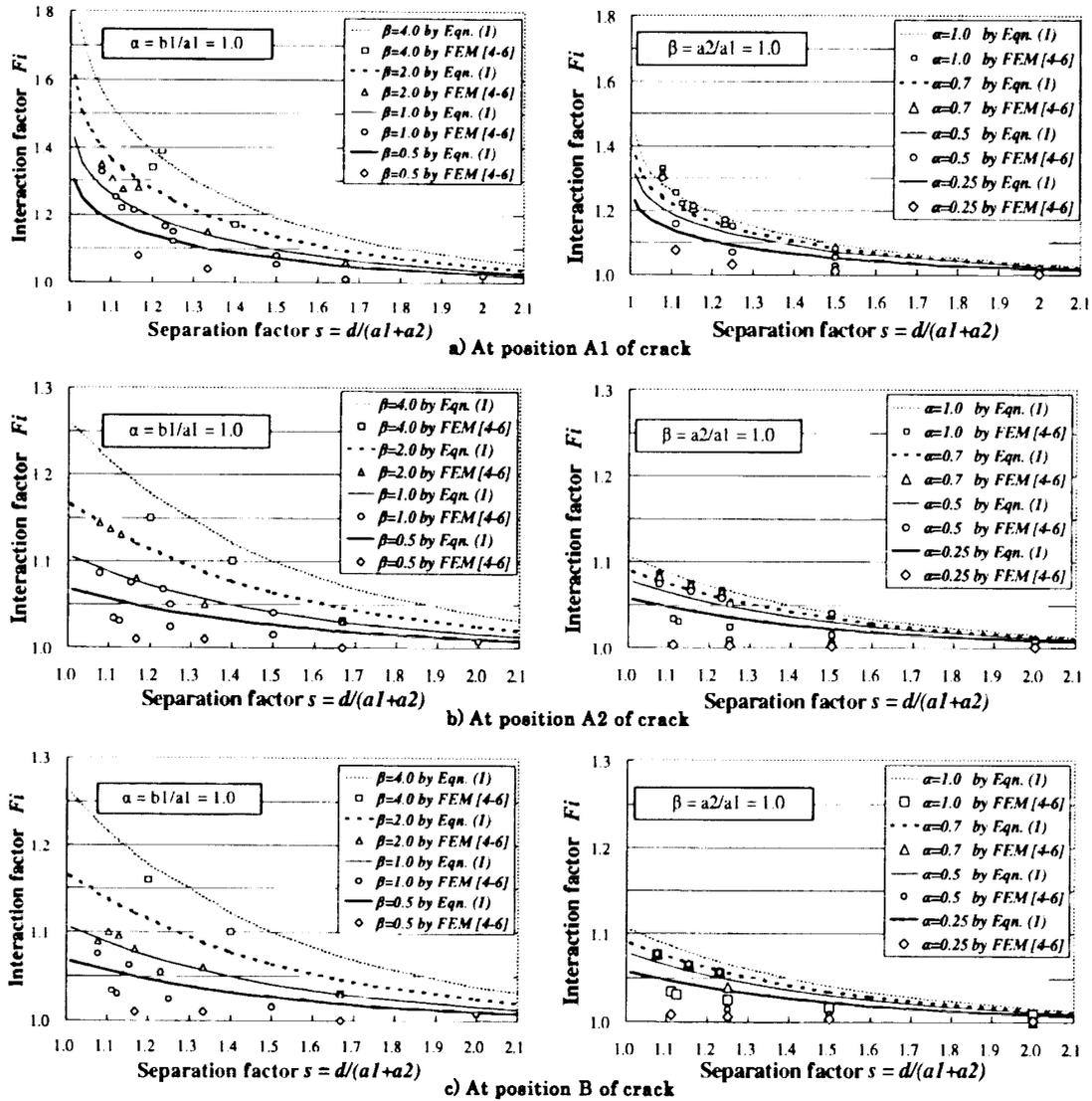


Fig.4 Comparison between $F_i(\alpha, \beta, s)$ calculated with Eqn.(1) and FEM analysis⁽⁵⁾⁽⁶⁾

Fig.4 は位置 A1,A2 及び B (Fig.3 参照) において(1)式により求めた相互干渉係数と数値解析で求められた値を示したものであり、その誤差は±10%以内である。

(1)式は2つのき裂における相互干渉係数であり、多数の表面き裂が存在する場合には直接適用できない。そこで、本研究では評価するき裂の各位置 (A1,A2,B) について周辺のすべてのき裂に対して各々干渉係数を求めその最大値を用いた。

3.2 複数の表面き裂の合体

表面き裂が合体しながら進展する現象は例えば

SR245⁽¹⁾の疲労試験で観察されている(Fig.1 参照)。そのため、疲労強度評価の際、き裂の合体挙動をモデル化する必要がある。これまで、表面き裂の合体に関して様々なモデルが提案されているが、本研究では、Leek らが提案したモデル³⁾を用いた。すなわち、隣接した複数の表面き裂は影響しあいながら成長し、き裂の外縁が接触したとき、合体するものとする。合体直前の各き裂の表面半長 a_i および深さ b_i と合体直後のき裂の寸法 a 及び b には、き裂半長 $a = \sum a_i$ 、き裂深さ $b = \text{Max}(b_i)$ の関係があるものとする (Fig.5 参照)。

4. 疲労き裂伝播解析

4.1 表面き裂の応力拡大係数の簡易計算法

Raju-Newman⁷⁾によれば、引張りまたは曲げ荷重を受ける平板にある表面き裂の先端における応力拡大係数は次式で求められる。

$$K_I = \sigma \times \sqrt{\frac{\pi b}{Q}} \times F\left(\frac{b}{a}, \frac{b}{t}, \phi\right) \quad (2)$$

ここで σ : 公称応力
 a, b : 表面き裂の半長と深さ
 t : 板厚
 Q : 第二種楕円積分
 F : 有限板表面き裂の修正係数
 ϕ : 楕円のパラメトリック角度

溶接構造部材の溶接止端部にある表面き裂の応力拡大係数は、様々な応力集中に影響される。応力集中源としては、主に次の3つが挙げられる。

- 1) 構造の不連続性による構造的応力集中
- 2) 溶接継手における構造形状の変化による局部的応力集中
- 3) 隣接した他のき裂の影響による応力集中

そこで、本研究では、溶接止端部の表面き裂の応力拡大係数を算出するために、(2)式に上記1),2),3)に相当する修正係数を付加した形の(3)式を提案する。なお、き裂の干渉係数 Fi は前述の通り軸力荷重におけるものであるため、本研究では軸力荷重を前提とする。

$$K_I = \sigma \times \sqrt{\frac{\pi b_1}{Q}} \times F \times K_S \times M_k \times \text{Max}\{Fi(\alpha, \beta, s)\} \quad (3)$$

ここで a_1, b_1 : 評価する表面き裂の半長と深さ
 a_i, b_i : 隣接した表面き裂の半長と深さ
 d_i : き裂の中心間の距離
 K_S : 構造的応力集中係数
 M_k : 溶接ビードによる修正係数
 $\text{Max}\{Fi(\alpha, \beta, s)\}$: 周辺のき裂による干渉係数の最大値、(1)式参照

構造的応力集中係数 K_S は次式によって求められる。

$$K_S = \sigma_{hss} / \sigma_{nom} \quad (4)$$

ここで、 σ_{hss} : ホットスポット応力、 σ_{nom} : 公称応力。

溶接止端部では、き裂の存在する場所によって構造的

応力集中係数 K_S は大きく変化することも考慮する必要があり、本研究では後述の Fig.8 に示す値を用いた。

溶接ビードによる修正係数 M_k は(5)式に示す Pang⁸⁾ による溶接止端部の表面き裂の K 値修正式を用いた。

$$\begin{aligned} M_{k_A} &= M_{k_B} + M_{k_{A-B}} \\ M_{k_B} &= \alpha(b/t)^\beta, \quad M_{k_B} \geq 1 \\ M_{k_{A-B}} &= 1.15 \cdot \exp(-9.74 \times b/t) \end{aligned} \quad (5)$$

ここで

M_{k_A} : き裂表面部 K 値の修正係数
 M_{k_B} : き裂最深部 K 値の修正係数
 α, β : Table 2 に示す近似係数
 b/t : 表面き裂の深さと板厚の比
 L : 隅肉溶接止端間の距離

Table 2 Coefficient of α and β

L/t	b/t	α	β
≤ 2	$\leq 0.05(L/t)^{0.55}$	$0.51(L/t)^{0.27}$	-0.31
	$> 0.05(L/t)^{0.55}$	0.83	$-0.15(L/t)^{0.46}$
≥ 2	≤ 0.073	0.615	-0.31
	> 0.073	0.83	-0.20

4.2 疲労き裂伝播則

疲労き裂の伝播挙動の評価には、修正 Paris-Elber 則を用いた。き裂の伝播速度は(6)式で求められる。

$$da/dN = C \left\{ (\Delta K_{eff})^m - (\Delta K_{eff, th})^m \right\} \quad (6)$$

ここで

da/dN : 表面き裂の表面部または最深部の伝播速度
 C, m : 材料定数, $C=1.45 \times 10^{-11}$, $m=2.75$ (SI 単位)¹⁾
 ΔK_{eff} : 有効応力拡大係数, $\Delta K_{eff}=K_{max}-K_{op}$
 $\Delta K_{eff, th}$: 有効応力拡大係数の下限界値
 $\Delta K_{eff, th}=2.45 \text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ ¹⁾
 K_{max} : 荷重サイクル毎での応力拡大係数の最大値
 K_{op} : き裂開口応力拡大係数

K_{op} は嵐モデル荷重下の疲労試験によって提案された(7)式⁹⁾により求めた。

$$K_{op} = \begin{cases} -30.6 & (K_{max} \leq -31.5 \text{MPa}\sqrt{\text{m}}) \\ 0.75 \times K_{max} - 7.0 & (-31.5 < K_{max} < 38.5 \text{MPa}\sqrt{\text{m}}) \\ 21.9 & (K_{max} \geq 38.5 \text{MPa}\sqrt{\text{m}}) \end{cases} \quad (7)$$

4.3 疲労寿命の定義

一般に構造部材の疲労寿命はき裂の発生寿命と伝播寿

寿命からなる。しかし、溶接構造部材においては繰返し初期に溶接止端部にき裂が発生するため、伝播寿命が疲労寿命の大部分を占める。そこで、本研究では、溶接構造部材の疲労寿命は、き裂発生寿命を無視し、き裂伝播寿命と等しいものと見なした。なお、表面き裂が板厚を貫通した時点での荷重負荷回数を疲労寿命とした。

5. 数値解析

5.1 構造部材モデル

Fig.6に示すような二重殻VLCCのビルジホッパー斜板と内底板、縦・横桁材の交差部であるビルジホッパーナックル部は、大きな応力集中が発生するため、疲労強度上注目すべき部材の一つである。本研究では、Fig.7に示す交差部を解析対象とし、同図に示したとおりに複数の初期き裂が溶接止端に沿った内底板表面に発生すると想定する。

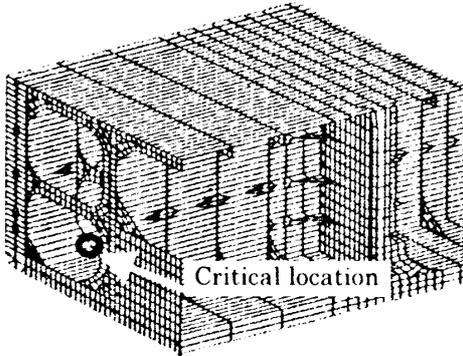


Fig. 6 Analyzed location at VLCC tanker

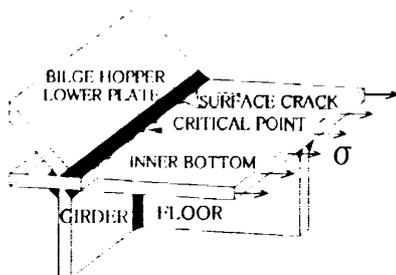


Fig.7 Structural model for fatigue strength analysis

構造的応力集中係数 K_s は、Fig.9に示した荷重に対する有限要素法を用いた応力解析結果¹⁰⁾に(4)式を適用し、き裂を含む平面上における値を求めた。得られた K_s を Fig.8に示す。図より応力集中は場所によって大きく異なり、最も大きい応力集中は内底板と縦・横桁材の交差部（以下、Critical Pointと称す）で発生することがわかる。本研究において、き裂の存在場所ごとの K_s は同図に示した値を用いている。

5.2 負荷荷重条件

本研究では、SR245で実施された疲労試験と同じ荷重条件を用いた。荷重パターンを Fig.9に示す。1セットに10の繰返し荷重ブロックがあり、各ブロックの荷重繰返し数はすべて1万サイクルである。1セットの荷重はそれぞれ引張り平均応力の5ブロックと圧縮平均応力の5ブロックからなり、計10万サイクルとなっている。

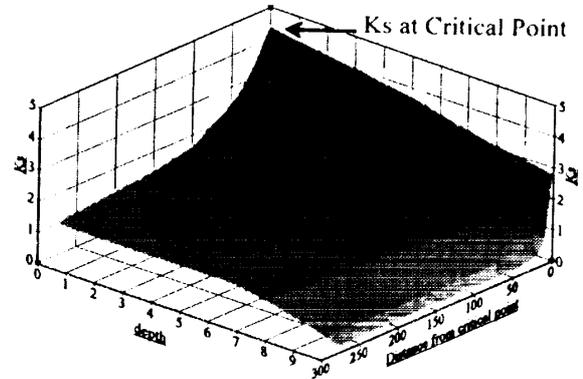


Fig. 8 Structural stress concentration at weld toe

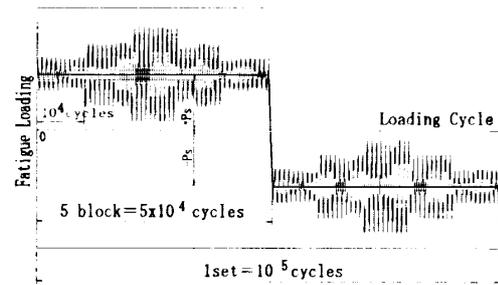


Fig. 9 Loading pattern for fatigue tests¹⁾

5.3 単一初期き裂の設定

5.3.1 き裂位置の影響

単一または複数の初期き裂の設定による部材の疲労き裂伝播挙動へ及ぼす影響を比較するために、先ず単一初期き裂で疲労強度解析を行った。長さ 0.2mm、深さ 0.1mm の単一初期き裂は溶接止端に沿って Critical Point (Fig.7 参照) より 50mm までの範囲でランダムな位置にあるとし、厚さ 10mm の内底板を貫通するまで解析を行い疲労寿命を求めた。初期き裂の位置による疲労寿命の変化を Fig.10に示す。ここで、横軸は Critical Point から初期き裂の中心位置までの距離を表し、縦軸はそれぞれの疲労寿命の解析結果を初期き裂が Critical Point にある時の疲労寿命の解析結果を用いて正規化した値である。図中の 0.73 の位置にある水平な破線は SR245 の疲労試験により得られた寿命を同様に正規化して示したものであり、この条件における解析結果は実験結果に比べ、すべて長寿命となっている。初期き裂の

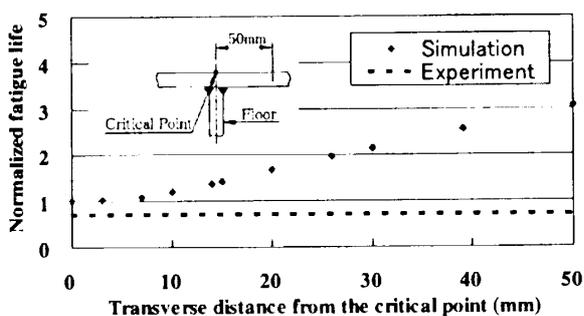


Fig. 10 Fatigue life of single initial crack at different positions

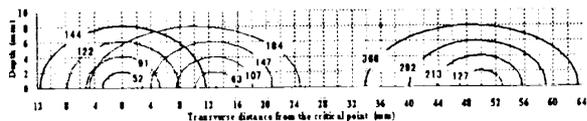


Fig. 11 Growth behavior of single initial crack at different positions

位置が異なる場合のき裂進展形状の変化を Fig.11 に示す。Fig.10 および Fig.11 より、初期き裂の位置が異なると、部材の疲労寿命およびき裂の進展形状は顕著に変化することがわかる。その原因の一つは、溶接止端部における応力分布あるいは応力集中の度合いにあると考えられる。溶接構造部材の疲労強度評価にあたって、長さ 0.2mm、深さ 0.1mm の単一初期き裂を想定した場合には、初期き裂は応力集中が最も大きい場所に設定すべきであろう。

5.3.2 初期き裂形状の影響

単一初期き裂の形状が疲労寿命に及ぼす影響を見るために Critical Point に設定した深さ 0.1mm の単一初期き裂について、き裂の長さを種々変えて解析を行った結果を Fig.12 に示す。図より初期き裂形状は疲労寿命に大きな影響を及ぼし、き裂長さ 10mm (アスペクト比 $b/a=0.02$) では半円の初期き裂に比べ寿命は 76% に低下していることがわかる。図中の破線は Fig.10 と同様 SR245 の疲労試験結果 (Fig.1 参照) を表しており、長さ 14mm、深さ 0.1mm の単一初期き裂を設定すれば実験と同一の疲労寿命 (図中の×印) が得られることがわかる。しかし、Fig.13 より明らかなように、き裂の初期長さにかかわらず、板厚貫通時の表面長さは 30~35mm であり、破線で示した試験結果 (71mm) と大きく異なっている。これは単一初期き裂により溶接構造部材の疲労き裂伝播挙動を解析することが困難であることを示唆している。

5.4 複数初期き裂の設定

本研究では、複数初期き裂が存在する溶接構造部材の疲労強度解析のための解析プログラムを開発した。初期

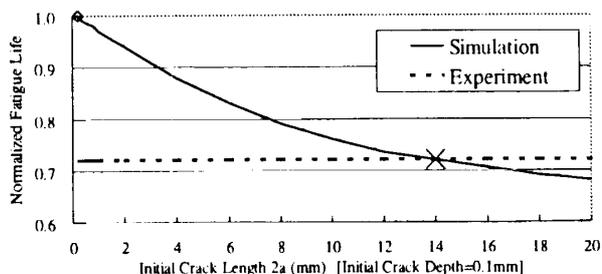


Fig. 12 Fatigue life of single initial crack with different shapes

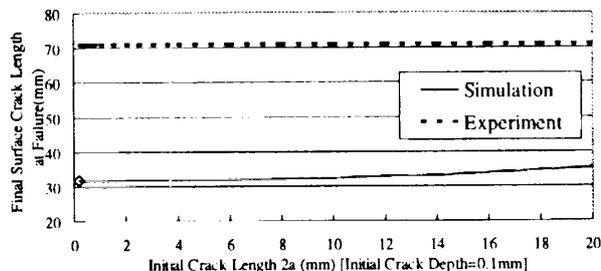


Fig. 13 Final surface length of single initial crack with different shapes

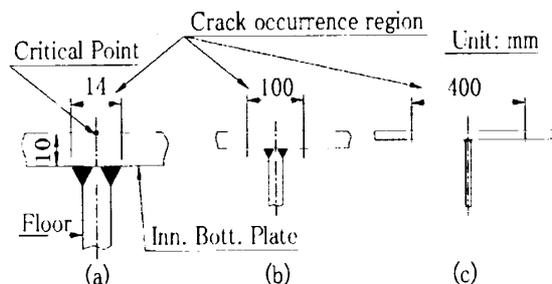


Fig. 14 Occurrence region of initial cracks

き裂は同一平面に一様分布ランダムである半円形の表面き裂とし、その大きさはすべて長さ 0.2mm、深さ 0.1mm であるとした。初期き裂の存在範囲およびき裂の数を変えて、疲労寿命の変化を評価するための解析を行った。

Fig.7 に示す構造の溶接継手止端部における初期き裂の発生範囲を Critical Point を中心にフロア板厚に溶接脚長を加えた 14mm、Fig.8 より溶接止端部の応力集中が Critical Point の約 60% となる 100mm、および応力集中がほぼ 1 となる 400mm の 3 種類を想定した (Fig.14 (a)~(c)参照)。それぞれの設定範囲ごとに、き裂の数を変化させて疲労強度解析を行った。初期き裂の位置はランダムに与えたため、各条件に対してそれぞれ 20 例の解析を行った。

解析結果のうち、疲労寿命について Fig.15(a)~(c)に示す。縦軸は Fig.10 と同様 Critical Point に単一き裂が存在する場合の疲労寿命を用いて正規化したものであり、横軸は単位長さに存在するき裂の数の平均値、すな

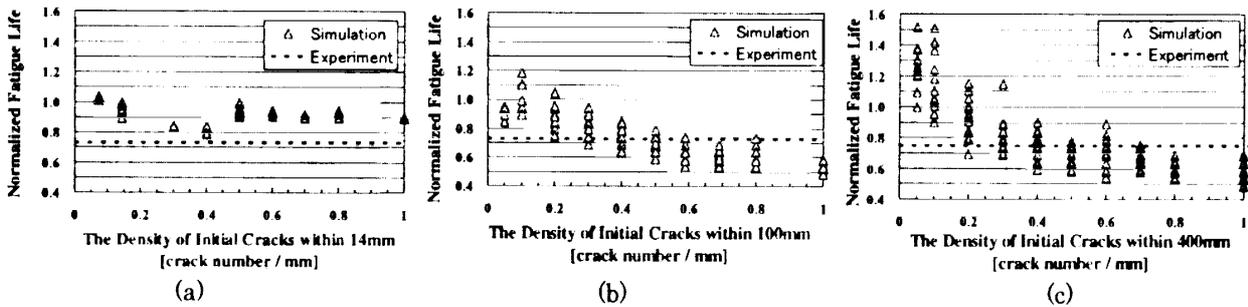


Fig. 15 Comparison of fatigue life between simulation and experiment

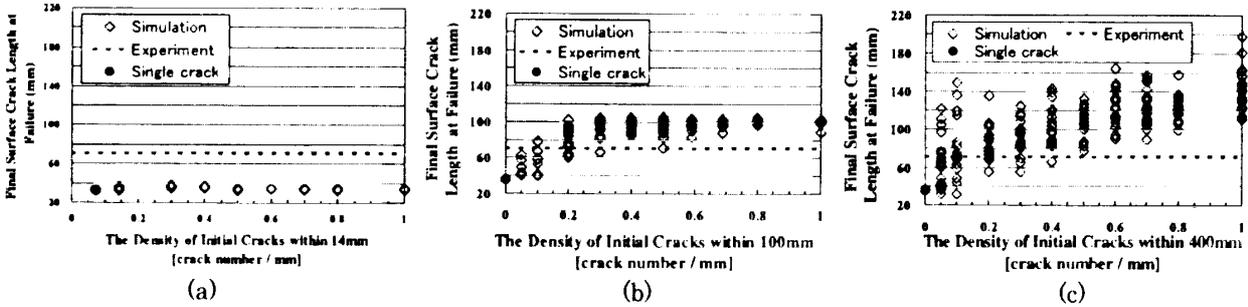


Fig. 16 Comparison of final crack length between simulation and experiment

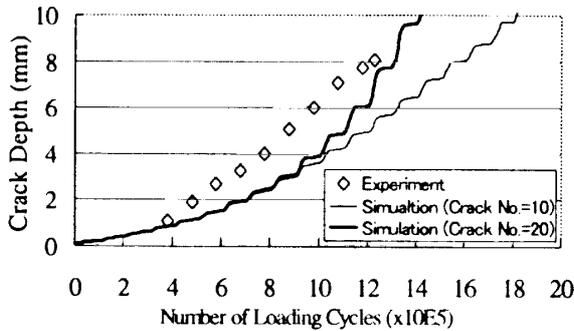


Fig. 17 Comparison of crack depth between simulation and experiment

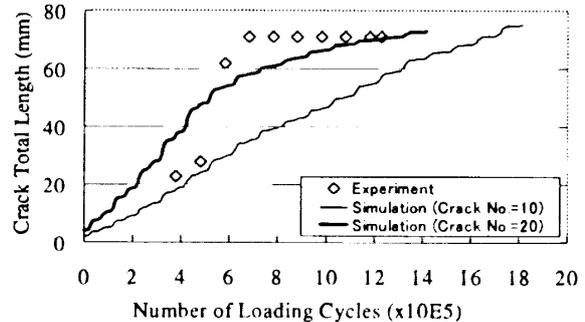


Fig. 18 Comparison of crack total length between simulation and experiment

わち初期き裂の密度を表している。き裂が板厚を貫通した時の表面長さは Fig.16(a)~(c)に示す。なお、図中の破線はSR245の疲労試験結果を表したものである。

5.5 実損傷のシミュレーション

試験条件等が詳細に記録されているSR245研究部会で実施された大型構造模型疲労試験を実損傷例と見なし、破面観察結果より10個の初期き裂をその発生位置に設定した場合と、き裂が発見された表面部65mmの範囲に20個の初期き裂をランダムに配置した場合の2種類の解析を行った。解析結果のうち負荷回数に対する、最大のき裂深さを Fig.17に、全てのき裂についてその表面部長さを加算したものを Fig.18に示し、き裂形状の変化を Fig.19にそれぞれ試験結果と共に示す。Fig.17~Fig.19より、観察結果をもとに初期き裂を設定した場合に比べランダムに配置した場合の方がき裂伝播挙動を良く推定できている。特に実験値では変化が見られな

くなる負荷回数70万回以降の表面長さの推定についてその差が顕著である。このことは破面観察によつてき裂が発見されなかった場所についても微小き裂が存在していたことを示唆している。

5.6 考察

Fig.10~13に示す解析結果より、単一初期き裂を設定した場合、き裂の場所及び形状によって疲労寿命が変化するとともに、き裂の進展形状が変わることがわかった。疲労寿命は浅い扁平な単一初期き裂を設定することによって推定可能であるものの、き裂の進展形状は疲労試験結果と一致しない。

Fig.15に示した半円形状の複数初期き裂による疲労寿命を見るとCritical Pointに近い位置にのみ初期き裂が存在する場合 (Fig.15(a))にはCritical Pointに単一き裂が存在する場合の疲労寿命と近い値を示しており、初期き裂の密度(数)によつても疲労寿命はほとんど変化しない。一方、初期き裂が広い範囲に分布する場合

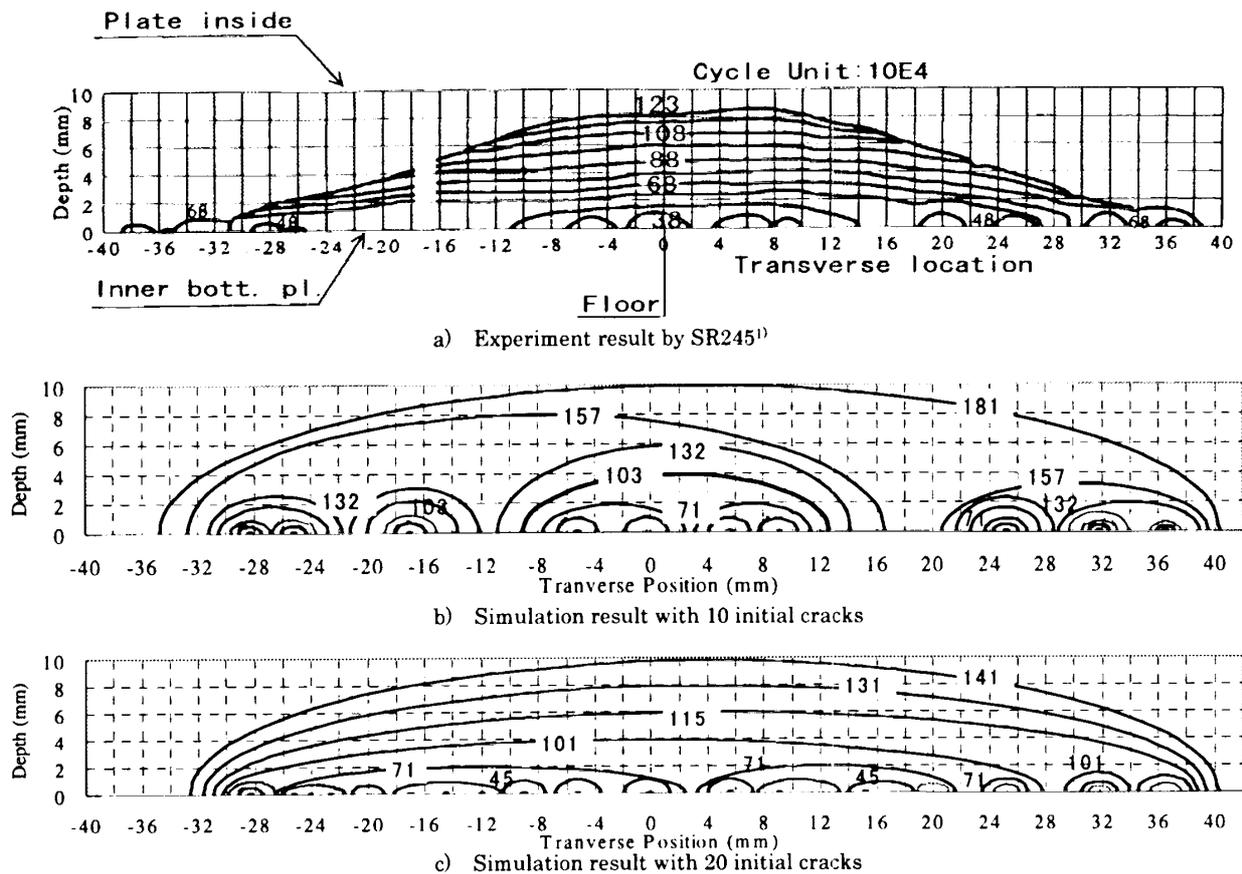


Fig. 19 Comparison of crack propagation shape between simulation and experiment

(Fig. 15(b),(c))には初期き裂の密度(数)が増えるに従って疲労寿命は低下し、ある一定値に近づく傾向がある。また、Fig. 15(b),(c)を比較すると初期き裂の密度が同じ場合に、ほぼ同じ疲労強度を示しており、初期き裂の密度を0.3~0.4とした場合に疲労寿命は実験値とほぼ一致している。なお、同図(c)において初期き裂の密度が小さい場合に単一き裂に比べ長寿命となっているがこれは、初期き裂がCritical Pointより離れた応力集中の小さな場所のみ存在したためである。

板厚貫通時の表面長さを示したFig. 16より、Critical Pointに近い位置にのみ初期き裂が存在するFig. 16(a)では単一き裂とほぼ同じ長さとなっている。初期き裂が広い範囲に分布する場合(Fig. 15(b),(c))には表面長さは初期き裂の密度が増えるに従って増大し、ある一定値に近づく傾向がある。また、板厚貫通時の表面長さは疲労寿命と異なり初期き裂の存在範囲が広がるに従ってその平均値、ばらつき共に大きくなるようであるが、初期き裂密度を0.2~0.4とした場合に板厚貫通時の表面長さは実験値とほぼ一致している。さらに、Fig. 17~Fig. 19より、疲労寿命の解析結果は疲労試験結果と完全には一致していないものの、き裂の進展形状はほぼ一致していると見ることができる。

こうしたことは複数初期き裂の設定によって溶接構

造部材の疲労き裂伝播挙動を推定できる可能性を示しているものと考えられる。

なお、疲労寿命が一致しない原因としては、本解析が軸力荷重を対象としたものであり、荷重状態が試験条件と若干異なる事や、き裂が大きくなったときの荷重再配分を考慮していない事などが考えられる。

以上より、溶接構造部材の疲労き裂伝播挙動を精度よく推定するためには、初期き裂においては単一初期き裂ではなく、複数初期き裂を用いるべきであると考えられる。この場合、初期き裂の形状、大きさ、数、発生範囲および分布を設定しなければならないが、本研究で対象としたビルジホッパー斜板と内底板、縦・横桁材の交差部において、長さ0.2mm、深さ0.1mmの半円形表面き裂を初期き裂とする場合は、

1. 初期き裂の数：10mmあたり3~4個
2. 初期き裂の発生範囲：Critical Pointにおける応力集中の60%を超える範囲
3. き裂の分布：発生範囲内で一様分布ランダムとして解析を行うべきである。

6. 結 言

本研究では、溶接構造部材の疲労強度解析のための初期き裂の設定においては単一初期き裂の代わりに複数初期き裂の設定を提案した。初期き裂の形状、大きさ、数、発生範囲および分布などによる疲労強度に及ぼす影響は自作の解析プログラムを用いて検討を行った。結論は以下の通りである。

- (1) 溶接構造部材の疲労強度解析のための初期き裂の設定においては、単一初期き裂でなく、複数初期き裂の設定が必要である。
- (2) 溶接止端部の応力集中は疲労き裂伝播挙動、即ち、き裂の進展形状、疲労寿命に強く影響する。単一または複数のき裂の疲労き裂伝播解析を行う際、き裂の存在場所における構造的および局部的応力集中を考慮する必要がある。
- (3) 本研究で対象としたビルジホッパー斜板と内底板、縦・横桁材の交差部において、長さ 0.2mm、深さ 0.1mm の半円形表面き裂を初期き裂とする場合には、初期き裂の数は 10mm あたり 3~4 個とし、初期き裂の発生範囲は応力集中の最大値の 60% を超える範囲で、き裂の分布は発生範囲内で一様分布ランダムとすることを提案した。
- (4) 疲労強度解析を行い、疲労試験結果との比較により提案した設定方法の有効性を示した。

7. 今後の課題

今後、溶接構造部材の疲労強度解析の精度を向上させるために、複数初期き裂の設定にあたって、下記の問題点について検討する必要がある。

- (1) 本研究では、初期き裂はすべて同形状、同一サイズとしたが、実際の初期き裂の大きさおよび形状は種々様々であると考えられ、今後考慮する必要がある。
- (2) 本研究では、初期き裂は一様分布ランダムとした。現実のき裂に関する資料が乏しく、その分布は明らかになっていない。今後、疲労試験や非破壊検査などの手段を用いて溶接継手の詳細部を調べ、き裂の統計的分布を見いだすことが必要である。
- (3) き裂の伝播挙動は構造的及び局部的応力集中の度合いに強く影響されるため、き裂周辺の応力分布を詳しく調べる必要がある。
- (4) 他の構造部材についても同様の検討を行う必要がある。

参 考 文 献

- 1) 第 245 研究部会：二重殻タンカーの船体構造寿命に関する研究社団法人日本造船研究協会、平成 12 年度報告書、(2001)
- 2) Y. H. Wang, Y. Tomita, K. Hashimoto, N. Osawa, and K. Terai: "A Study on Fatigue Crack Growth under Considering Coalescence of Multiple Surface Cracks," Proc. of 15th TEAM, Jochiwon, (2001), p.319
- 3) T.H. Leek, I.C. Howard : An examination of methods of assessing interacting surface cracks by comparison with experimental data, Int. J. Pre. Ves. & Piping, vol.68, (1996), p.181
- 4) T.H. Leek, I.C. Howard : Estimating the elastic interaction factors of two coplanar surface cracks under model I load, Int. J. Pre. Ves. & Piping, vol.60, (1994), p.307
- 5) Y. Murakami, H. Nisitani : Stress intensity factors for interacting two equal semi-elliptical surface cracks in tension, Trans. Japan Soc. Mech. Engrs, Ser A, Vol.47, (1981), p.295
- 6) Y. Murakami, S. Nemart-nasser : Interacting dissimilar semi-elliptical surface flaws under tension and bending, Engineering Fracture Mechanics, Vol.16, No.3, (1982), p.373
- 7) J. C. Newman, I. S. Raju : An empirical stress intensity factor equation for the surface cracks, Engineering Fracture Mechanics, Vol.15, (1981), p.185
- 8) H.J.Pang : A Review of Stress Intensity Factors for Semi-elliptical Surface Crack in a Plate and Fillet Weld Joint, Weld. Inst. Rpt. 426, (1990)
- 9) T. Yasumitsu, H. Kiyoshi, O. Naoki, T. Koji, Y.H. Wang: Experimental Study of Mean Stress Effect on Fatigue Crack growth under Variable Amplitude Loading, Symposium on Fatigue Testing and Analysis under Variable Amplitude loading Conditions Extended abstracts, SF2M, (2002), p.63(1)
- 10) 土橋宏嗣: 船体構造部材での疲労き裂伝播解析に関する研究、一ダブルハルトンカービルジナックル部の疲労き裂伝播解析一、大阪大学卒業論文、(2000)