

I-183

実働荷重下における疲労寿命の
破壊力学的解析

三菱重工業(株) 正員 ○篠田 泰藏

名古屋大学工学部 正員 山田健太郎

1. はじめに

近年、道路橋における疲労損傷が報告されるようになった。これは、高度経済成長に伴う交通量の増加、交通荷重の大型化及び、橋梁自重の軽量等が主な要因であると考えられる。橋梁では、同様な継手形状が数多く使われ、同じ様な応力を受けることが多い。従って1カ所亀裂が発生すると、それ以外の継手にも早晚亀裂が発生することが考えられる。このような状況下で次々に発生する疲労亀裂がどの様に進むかを掌握することは、維持管理計画に非常に重要である。本研究では、I桁橋における応力範囲の実測値を基に、I型断面プレートガーダー橋の主桁まわりの溶接継手について疲労亀裂進展状況を数値解析し考察を加えた。

2. 数値シミュレーションによる疲労亀裂進展状況解析

2.1 破壊力学を用いた疲労亀裂進展状況解析の概要

本研究では、疲労亀裂進展状況解析を、(1)式に示す亀裂進展速度式を積分することによって行った。

$$da/dN = C(\Delta K^m - \Delta K_{th}^m) \quad (1)$$

(1)式において m, C ;材料定数、 ΔK ;応力拡大係数範囲($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$)、 ΔK_{th} ;応力拡大係数範囲のしきい値($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$)、 σ_r ;応力範囲(MPa)、 a ;亀裂長(mm)である。本解析では $m, C, \Delta K_{th}$ は科学技術庁金属材料技術研究所によって求められた $C=9.69 \times 10^{-9}$ 、 $m=2.9$ 、 $\Delta K_{th}=2.5 \text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ を用いた。

2.2 数値シミュレーションに用いる溶接継手モデル及び実働応力範囲

本研究では、Fig.1に示すI型断面プレートガーダー橋の主桁における(A),(B),(C)の3種類の溶接継手を取りあげて解析した。また、各々の継手に作用させた応力範囲は、実際に供用中のI桁橋における実測値のうち、疲労にとって危険と考えられる応力範囲の大きい領域での発生回数が大きい頻度分布形状を用いた。

(A)主桁ウェブと垂直補剛材との溶接継手

この溶接継手ではFig.1に示すような溶接止端部のアンダーカット等の溶接欠陥からの半楕円形状亀裂を仮定した。亀裂進展の影響因子として初期亀裂長 a_0 、止端角 θ 、止端半径 ρ は対数正規分布で以下のように仮定し、亀裂形状 a/b は0.36とした。

(a)初期亀裂長 $a_0(\text{mm})$: 平均 $=-2.143(0.12\text{mm})$ 、標準偏差 $=0.356$ 、 $0.07\text{mm} \leq a_0 \leq 0.40\text{mm}$

(b)止端角 $\theta(^{\circ})$: 平均 $=3.62(37^{\circ})$ 、標準偏差 $=0.29$ 、 $20^{\circ} < \theta < 65^{\circ}$

(c)止端半径 $\rho(\text{mm})$: 平均 $=-1.10(0.33\text{mm})$ 、標準偏差 $=0.86$ 、 $\rho < 3.0\text{mm}$

以上はEngesvik、田垣らにより実測されたデータを基に与えられた分布である¹⁾。作用応力範囲はFig.2(a)に太線で示す頻度分布形状に、最大応力範囲50MPa、繰返し数 $1.2 \cdot 10^4$ 回/日(実測値)を乗じたものを用いた²⁾。

(B)主桁上フランジと垂直補剛材との溶接継手

この溶接継手では溶接止端部からと溶接ルート部からの亀裂が考えられるが、本研究では溶接の十分な溶け込みを考え溶接止端部からの半楕円亀裂を仮定し、亀裂進展の影響因子は(A)と同じにした。作用させた応力範囲をFig.2(b)に太線で示す。最大応力範囲は150MPa、繰返し数は $1.0 \cdot 10^4$ 回/日とした²⁾。

(C)主桁下フランジとウェブとの溶接継手

この溶接継手ではブローホールからの円形亀裂を仮定した。初期亀裂長さとして等価亀裂長さ r_{e0} を平均 0.84mm 、標準偏差 0.22 、 $0.30\text{mm} \leq r_{e0} \leq 1.36\text{mm}$ で示す正規分布で与えた¹⁾。作用応力範囲は(A)と同じである。

(A),(B),(C)各々の溶接継手に対し橋梁全体で1000個ずつの溶接欠陥が存在したとして数値シミュレーションを行った。

3. 数値シミュレーション結果及び考察

(A),(B)の溶接継手における亀裂進展状況の解析結果をFig.3,4 に示す。尚、(C)では ΔK の最大値が $2.1\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ となり亀裂進展は起こらなかった。

Fig.3は(A)における解析結果を縦軸に亀裂長さ、横軸に橋梁の供用年数とし、亀裂長さのばらつきをヒストグラムで示したものである。図中 a_d, a_f はそれぞれ目視により発見できる亀裂長さ(1.5mm)、最終亀裂長さ(板厚の90%)である。溶接欠陥として与えた初期亀裂の分布形状は、橋梁の供用開始後70年経ってもほとんど変化がないため、(A)は疲労に関して比較的安全な溶接継手と言える。

Fig.4はFig.3同様に(B)における解析結果を示す。経年とともに亀裂が進展し、橋梁の設計寿命を50年と考えると溶接欠陥として与えた初期亀裂のうち約90%が設計寿命中に最終亀裂に達している。このため(B)は疲労に関して危険な溶接継手であるといえる。

4. まとめ

以上の結果より実働応力範囲を考慮したI型断面プレートガーダー橋の疲労亀裂進展状況が把握できた。実際の亀裂発見の見地からは、亀裂の検査における亀裂の発見個数の推定が可能であることを示し、点検・補修・補強の計画に数値的なバックグラウンドを与え得るものと思われる。

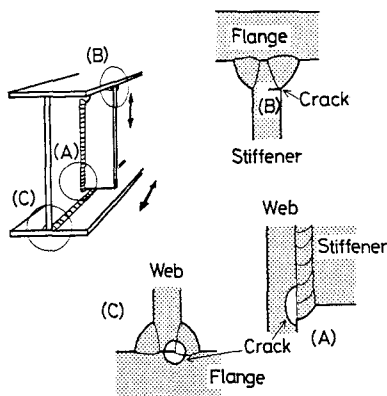


Fig.1 Three details in plate girder for simulation

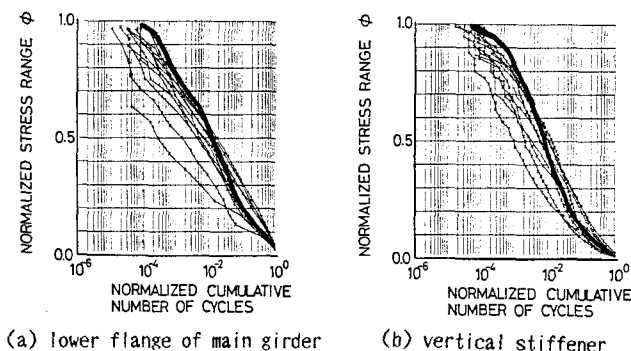


Fig.2 Load distribution used for simulation

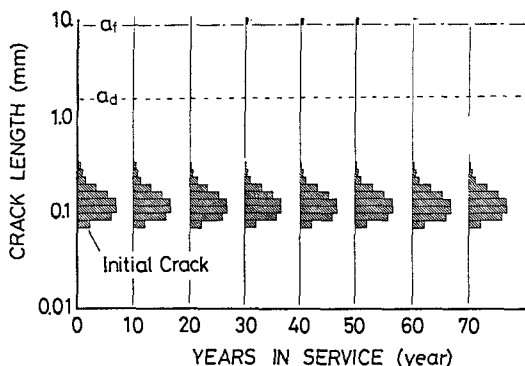


Fig.3 Scatter of fatigue crack at joint (A) with time

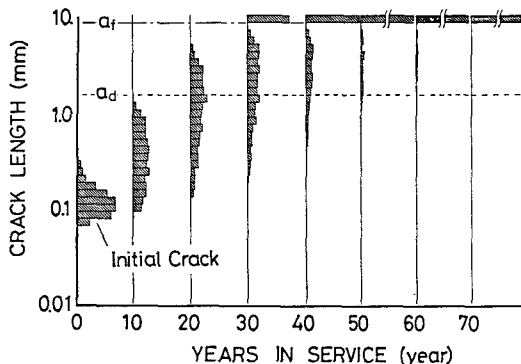


Fig.4 Scatter of fatigue crack at joint (B) with time

参考文献

- 1) 永津省吾, 他: 破壊力学による溶接継手の疲れ寿命のばらつきの評価, 構造工学論文集, Vol. 34A (1988年3月)
- 2) 建設省土木研究所: 既設橋梁の耐久性評価, 向上技術に関する調査研究, 土木研究所資料, No. 2420 (1986), pp. 57-100