

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22360177

研究課題名（和文）

疲労き裂が発生した鋼橋部材の残存寿命評価技術の開発

研究課題名（英文）

Estimation of Residual Life of Fatigue Cracked Steel Bridge Members

研究代表者

館石 和雄 (TATEISHI KAZUO)

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：80227107

研究成果の概要（和文）：

鋼橋に生じる比較的長い疲労き裂を対象として、その進展挙動から残存寿命を予測する手法について検討した。実部材に見られる疲労き裂は面外曲げの繰返しによるものが多いが、面外曲げを受ける板厚貫通き裂に対する進展予測技術が不十分であったことから、本研究において解析的、実験的に検討を行い、疲労き裂進展を支配するパラメータである応力拡大係数を簡易に推定する手法を提案した。

複雑な応力場を進展する板厚貫通き裂として、鋼床版デッキプレートと縦リブ溶接部に発生するビード貫通き裂をとりあげ、面外曲げの影響も含めた上で、その進展挙動を予測することを試みた。その結果、破壊力学的なアプローチにより、き裂の進展特性や、き裂の進展方向の変化を予測できることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：

Stress intensity factor (SIF), an essential parameter to identify the crack propagation behavior, under out-of-plane bending condition was obtained analytically, and verified with fatigue tests. The SIF at crack front of through-thickness crack varies in plate thickness direction under out-of-plane bending, and the SIF distribution along crack front is influenced by the crack length and the crack thickness. Based on the results, a simple equation for estimating the SIF of through-thickness fatigue crack subjected to out-of-plane bending was proposed.

As an actual fatigue damage experience caused by out-of-plane bending, propagation behavior of through-thickness fatigue crack detected in orthotropic steel deck was investigated. Fatigue crack originated by out-of-plane bending sometimes suddenly changes its propagation direction into trough rib. By using FEA, the SIF of the through-thickness crack was estimated, and the propagation direction of the fatigue crack was predicted by the maximum energy release rate criterion. Based on the analysis results, crack growth mechanism and reason of the directional change were explained.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2011年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2012年度	1,900,000	570,000	2,470,000
総計	7,200,000	2,160,000	9,360,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：鋼橋，疲労，溶接継手，面外曲げ，応力拡大係数

## 1. 研究開始当初の背景

将来的に、経年橋梁の増加により損傷は増える一方、橋梁の維持管理にあてることのできる人材や予算は減少していくことが確実視され、このままでは維持管理体制そのものが破綻する恐れさえある。橋梁の安全・安心を継続的に確保していくためには、維持管理の合理化、効率化をはかった上で、必要な箇所に必要な最小限の予算と人材を配置していく体制づくりが必要不可欠である。

本研究では社会基盤施設の一つである鋼橋を対象とした。一般に供用後の鋼橋の劣化要因は疲労と腐食である。特に疲労は、基幹路線の重交通を支える橋梁ほど生じやすいといった特徴があり、それが機能を失った場合の人的、経済的損失は莫大なものとなる恐れがある。

従来の高サイクル疲労に関する研究においては、数十ミリ程度の疲労き裂の発生までを疲労寿命とみなすことが一般的であり、ほとんどの研究成果はそれに基づいて整理されている。このような考え方は、新設構造物の疲労設計においては適切であろう。しかし、既に鋼橋に発生した多種多様な疲労損傷の全てに対してこのような寿命の定義を適用することは適切とはいえない。既設の鋼橋部材に生じた疲労損傷に対しては、その特性を慎重に見極めた上で対策を考えることが、維持管理の合理化と効率化のために重要である。

## 2. 研究の目的

本研究では、疲労き裂が生じた鋼橋部材の残存寿命を、力学的根拠に基づいて定量的に評価する手法を開発することを目的とした。そのために、実橋梁部材に生じた疲労き裂に対し、その後の加速、減速、停留などの進展挙動を精度よく再現することのできる技術を開発した。

疲労き裂が桁の曲げ応力や引張部材の軸力などの一次応力で発生した場合、一般にそのき裂の進展は極めて早く、危険な疲労き裂であることは容易に推定できる。そのような場合の残存寿命を求めることも本研究の範疇ではあるが、ここではそれに加えて、変位誘起型疲労によって生じた疲労き裂も対象とした。

鋼床版のデッキプレートに発生するき裂のように、疲労き裂を引き起こす応力が面外曲げ応力（板曲げ応力）である例は非常に多い。従来は板厚貫通時点を疲労限界とみなしていたため、その後のき裂の進展挙動についてはあまり注意が払われてこなかった。しかし本研究の目的のためには、板厚貫通後の面外曲げ応力下におけるき裂進展特性を詳細に把握しておくことが必要不可欠である。

疲労き裂進展速度は応力拡大係数によって推定できる。しかし、貫通き裂に面外曲げが作用した場合、応力拡大係数は板厚方向に大きく異なる。また、条件によってはモード III（面外せん断）の寄与が生じることも考えられる。そこで、どの位置での応力拡大係数が疲労き裂進展速度との相関が高いのか、また、モード III の影響がどの程度なのかについて明らかにした。

## 3. 研究の方法

本研究は、実鋼橋部材に生じた疲労き裂の進展性を破壊力学的にシミュレートする。そのために必要となる要素技術として、疲労き裂の進展方向を支配するクライテリアの明確化と、板曲げを受ける貫通き裂のき裂進展速度の解明を行った。実橋に生じている典型的な疲労き裂を対象に、脆性破壊に至るまでの時間的余裕を定量的に評価するとともに、き裂の停留条件や他部材への影響などについて明らかにした。解析結果の妥当性は疲労試験によって検証した。

## 4. 研究成果

(1) 疲労き裂進展速度を支配する破壊力学パラメータである応力拡大係数に着目し、さまざまな板厚、き裂長、载荷モードの基での応力拡大係数を有限要素解析によって求め、その一般的性質について明らかにした。解析の結果、面外曲げを受けるき裂の板表面における応力拡大係数は、板表面において同じ大きさの応力を受ける単純引張時のそれと比較して小さくなることや、図-1 に示すように、圧縮域ではき裂の閉口現象によって応力拡大係数が小さくなることなどを示し、面外曲げを受ける疲労き裂の進展を論じるには、これらの影響を十分に考慮する必要があることを明らかにした。また、板厚方向の応力拡大係数の分布

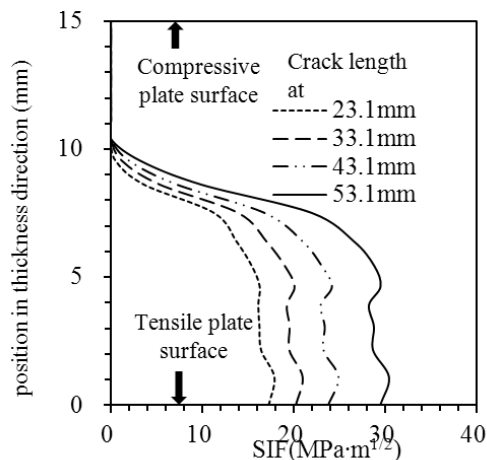


図-1 面外曲げをうける板厚貫通き裂の応力拡大係数の板厚方向分布

大係数の分布を定量的に求めることにより、実際のき裂は、き裂前縁が曲線的に変化するようにより進展していくことを、疲労き裂進展解析によって確認した。

(2)平板に疲労き裂を導入した試験体に対して様々な応力比でき裂進展試験を実施し、き裂前縁形状とき裂進展速度を実験的に明らかにした。さらに、試験体を対象とした有限要素解析により、応力拡大係数の板厚方向分布を求め、破壊力学の観点から、実験により得られたき裂進展挙動を説明することに成功した。特に、応力比を-1、すなわち完全正負交番载荷とした際には、き裂は写真-1に示すように上下対称にV字型の前縁形状となって進展すること、その場合においても、図-2に示すように、板厚方向の応力拡大係数範囲はほぼ一定となることを明らかにした。さらに、面外曲げを受けるき裂の応力拡大係数範囲を簡易に推定する手法を提案し、き裂進展速度を比較することで、その妥当性を実験的に検証した。



写真-1 面外曲げを受ける貫通き裂の進展形状

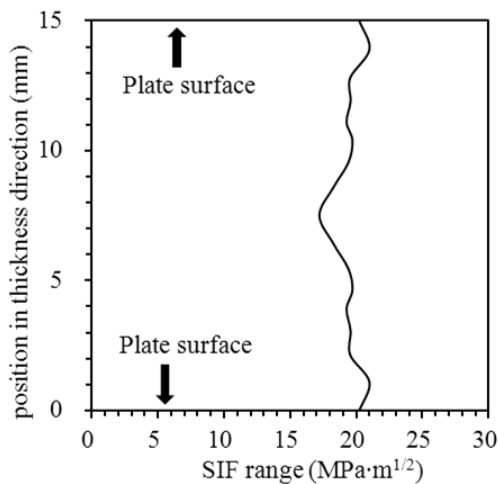


図-2 面外曲げをうける板厚貫通き裂の応力拡大係数範囲の板厚方向分布

(3)鋼床版に生じる典型的な疲労き裂であるUリブデッキプレート溶接部に生じるビード貫通き裂を取りあげ、その進展挙動について破壊力学の観点から考察した。このき裂は溶接線に沿ってしばらく進展した後に、急激に進展方向が変わるなど、複雑な挙動をとる。溶接ビードまでを忠実にモデル化した3次元有限要素解析を実施した結果、このき裂の応力拡大係数は载荷点とき裂先端の位置関係

によって複雑に変化するが、図-3に示すように、き裂長がある程度長くなると、き裂進展方向が変化する可能性が高くなることを示した。これは実際に生じているき裂の進展挙動と定性的に一致する結果であり、本研究でのアプローチにより、実橋梁に生じるき裂の複雑な進展挙動を予測できる可能性が示された。

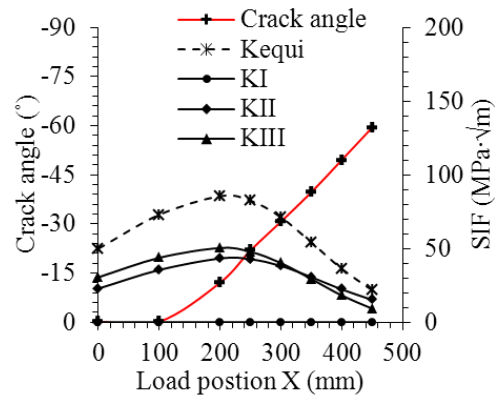


図-3 応力拡大係数とき裂進展角度の予測結果

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

- ① Xiaochen Ju and Kazuo Tateishi: Study on Fatigue Propagation of a Through-thickness Crack subjected to Out-of-Plane Bending, International Journal of Steel Structures, Vol.12, No.1, pp.85-92, 2012.3. (査読有)
- ② Xiaochen Ju, Sung-Min Choi, and Kazuo Tateishi: Analytical Study on Crack Propagation at Rib-to-Deck Welded Joints in Orthotropic Steel Decks, JSSC Journal of Constructional Steel, Vol.19, pp.361-369, 2012.3. (査読有)
- ③ Xiaochen Ju and Kazuo Tateishi: Fatigue Behavior of Through-thickness Cracked Plate Subjected to Out-of-plane Bending, Proceedings of Constructional Steel, vol.19, pp.361-369, 2011.11. (査読有)

[学会発表] (計4件)

- ① Xiaochen Ju, Sung-Min Choi, and Kazuo Tateishi: Evaluation of Crack Propagation at Rib-to-Deck Welded Bead in Orthotropic Steel Bridge Decks, 9th German-Japanese Symposium on Steel, Composite and Concrete Bridges, 2012.9.10-11, Kyoto University.
- ② Xiaochen Ju, Kazuo Tateishi, and Sung-Min Choi: Fatigue Cracking Behavior of a Through-thickness Crack under Out-of-plane bending, JSCE 14th International Summer Symposium in

conjunction with JSCE 67th Annual Conference, 2012.9.5-6, Nagoya University.

- ③ Xiaochen Ju and Kazuo Tateishi: Experimental Study on Fatigue Crack Propagation of Through-thickness Crack under Out-of-plane Bending, 2nd International Conference on Civil Engineering, Architecture and Building Materials, pp.166-169, 2012.5.25-27, Yantai, Shandong, China.
- ④ Xiaochen Ju and Kazuo Tateishi: Crack Propagation of a Through-thickness Crack under Out-of-plane bending, Proc. 11th Japan-Korea Joint Seminar on Steel Bridges, pp.259-269, 2011.8.25-27, Jeju, Korea.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

なし.

6. 研究組織

(1)研究代表者

舘石 和雄 (TATEISHI KAZUO)  
名古屋大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：80227107

(2)研究分担者

判治 剛 (HANJI TAKESHI)  
名古屋大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：80452209

(3)連携研究者 なし