

令和 2 年 7 月 14 日現在

機関番号：24201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14561

研究課題名（和文）共振現象を利用した液浸式Sonic-IR法による革新的欠陥検出技術の開発

研究課題名（英文）Development of innovative defect detection technique based on Sonic-IR immersion method using resonance

研究代表者

和泉 遊以 (Izumi, Yui)

滋賀県立大学・工学部・准教授

研究者番号：60610954

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：液体を介して検査対象に超音波を入力する液浸式Sonic-IR法による検査法確立のための基礎研究を行った。まず、液体中の音圧分布の因子について検討した。また、き裂部の相対振動と発熱の相関関係を確認し、き裂部の発熱に特に影響を及ぼす固有振動モードが存在することが分かった。得られた結果から、液中の音圧分布と検査対象の固有振動を考慮した効率的な検査法を提案することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

他の検査手法では検出が容易ではない閉口欠陥の検出を得意とするSonic-IR法に着目し、これまでの直接加振によるSonic-IR法では困難であった耐熱性、硬さ、剛性の劣る材料に対して検査が可能な液浸式手法の高精度化を実現し、鋼材の疲労き裂検出への実用化事例を示した。開発した検査方法は、幅広い材料へ容易に応用することができるものであり、非破壊検査分野において価値のある成果が得られた。

研究成果の概要（英文）：Basic research to establish an inspection method using the immersion Sonic-IR method, in which ultrasonic waves are input to the test object through a liquid was conducted. First, the factors of the sound pressure distribution in the liquid were investigated. In addition, we confirmed the correlation between the relative vibration and heat generation at the crack. It was found that there are some natural vibration modes that particularly affect the heat generation at the cracks. From the results, an efficient inspection method that takes into account the sound pressure distribution in the liquid and the natural vibration of the test object is proposed.

研究分野：機械材料・材料力学

キーワード：赤外線サーモグラフィ法 Sonic-IR法 液浸式 非破壊検査 疲労き裂 固有振動

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

現状の非破壊検査技術が克服すべき重要な課題の一つが、“閉口欠陥”の検出である。一般に、従来の非破壊検査技術は、閉口欠陥の検出を苦手とするものが多い。検査対象中の閉口欠陥の検出漏れを可能な限り少なくし、さらに、欠陥の成長過程におけるより早い段階での検出を可能とするためには、閉口欠陥を精度良く、簡便かつ効率的に検出可能な手法が必要である。このような背景の下、研究代表者が着目したのが“Sonic-IR法”である。本手法は、超音波の共鳴体を用いて検査対象に超音波を入力し、その振動によって欠陥部に生じた摩擦発熱を赤外線サーモグラフィ装置により検出し、欠陥を検出する方法である。摩擦発熱の生じやすい閉口欠陥の検出をむしろ得意とし、この点が本手法の大きな特徴である。しかし、検査対象に対して共鳴体を押付けて強烈に加振する従来法では、検査対象の材質や形状によっては、加振部での熱的・機械的な損傷や押付けによる変形が生じ、本手法が適用できない場合があった。

上記の問題点を解決するため、研究代表者は液体を介して検査対象に超音波を入力する液浸式 Sonic-IR 法を新たに提案した。しかし、従来の直接加振法で発熱が確認された欠陥でも、液浸式による方法では発熱が確認できない場合があった。

### 2. 研究の目的

液浸式 Sonic-IR 法の欠陥検出性を向上させ、検査方法として確立させることを最終目標とし、本研究課題ではそのための基礎研究を行う。研究目的は、以下の3項目である。(1) 液体中の音圧分布の影響因子を明らかにする。(2) 液浸式による検査対象の振動状態を把握し、振動状態と欠陥部での発熱の関係を明らかにする。(3) 液中の音圧分布と検査対象の振動状態を考慮した効率的な検査法を提案する。

### 3. 研究の方法

液中の振動強度分布に影響を及ぼす因子を明らかにすることを目的として、試験条件を種々に変化させて液中の音圧測定を行う。次に液浸式による振動入力時の検査対象の振動状態を加速度計による測定および粘弾性発熱計測によって調べ、有限要素法による固有振動解析の結果と併せて、試験片の固有振動モードを特定する。続いて、検査対象の振動状態と欠陥部（鋼材の疲労き裂で検証）での発熱の関係を調べる。最後に、液中の音圧分布と検査対象の固有振動を考慮した効率的な検査法の提案を試みる。

### 4. 研究成果

超音波振動の媒体となる液中の振動強度分布に及ぼす超音波の周波数、液温および液体の溶解酸素量の影響を明らかにした。次に、液体を介して超音波を入力した場合の検査対象の振動状態を、加速度センサによる振動計測、粘弾性体の発熱計測に基づく振動評価実験および有限要素法による固有振動解析により調べ、検査対象には固有振動による定在波（図1）が生じていることが確認された。

提案する液浸式 Sonic-IR 法をき裂試験片に適用した結果、検査対象の超音波入力面積が増加すると、き裂部の発熱（図2）も上昇する傾向が認められた（図3）。また、試験片の浸水深さを変えると試験片の振動レベルやき裂部での発熱が大きく変化することが分かり（図4）、欠陥部の発熱は、液中の音圧分布と検査対象物の固有振動の腹・節の位置関係によって大きく変化することが明らかになった。さらに、検査対象物の振動状態とき裂部の発熱の関係を調べた結果、き裂面同士の相対加速度とき裂部の発熱に相関関係が認められた（図3）。また、検査対象物には複数の固有振動モード（例：図1）が発生する可能性があるが、き裂部の発熱に特に影響を及ぼす固有振動モードが存在することを明らかにした。

上述で得られた知見から、検査対象物の浸水深さと超音波の発振周波数を変化させることにより、欠陥部での摩擦熱を生じさせるのに有効な固有振動モードを効率的に励起させる方法を提案した。

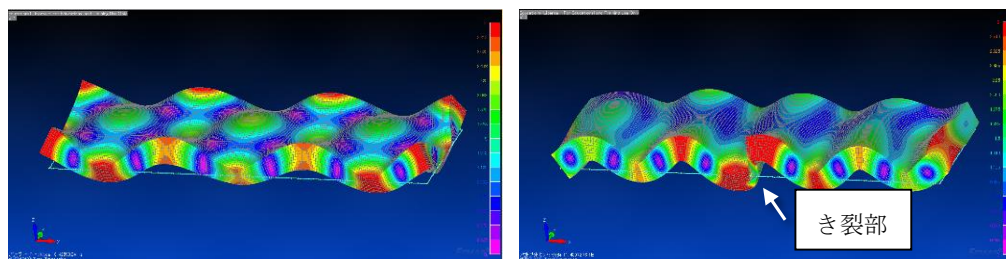


図1 検証した疲労き裂試験片に支配的に生じていた固有振動モード  
(有限要素解析結果、左図：曲げ振動（42.6kHz）、右図：ねじり振動（44.0kHz））

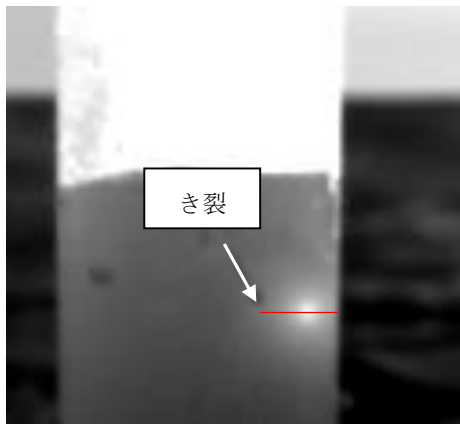


図2 き裂部での発熱画像の一例（き裂部の白い部分が発熱箇所）

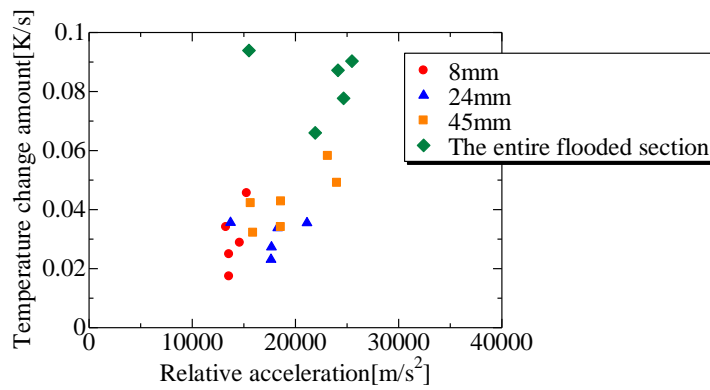


図3 き裂面同士の相対加速度と欠陥部での温度変化の関係（凡例は試験片の超音波入力面の試験片長手方向の長さを示し、超音波入力面積が大きいほど欠陥部での発熱が大きくなることを示している。ただし、試験片の浸水深さは固定）

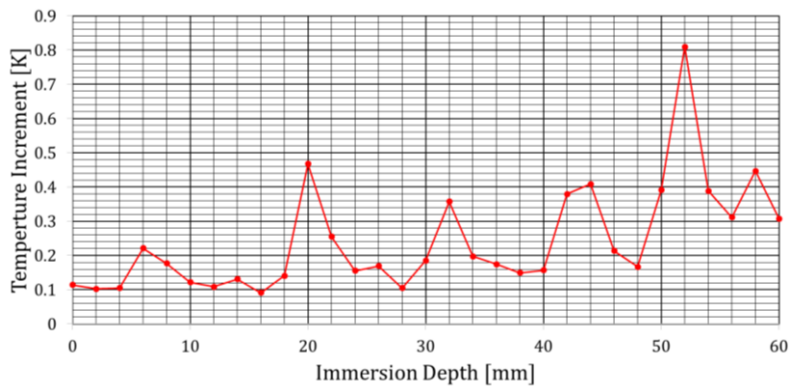


図4 試験片の浸水深さとき裂部での発熱の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yui Izumi, Hirotaka Tanabe, Yuto Iguchi, Takahide Sakagami
2. 発表標題 Development of new sonic-IR method by immersion excitation and its accuracy improvement
3. 学会等名 The 6th Japan-US Symposium Emerging NDE Capabilities for a Safer World (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----