

フォトサーマルカメラを用いた表面検査技術の評価

Evaluation of surface inspection technique by PhotoThermal Camera

三菱重工業株式会社	浅田 義浩	Yoshihiro ASADA	Member
三菱重工業株式会社	須田 洋介	Yosuke SUDA	Non-Member
三菱重工業株式会社	東 正剛	Masayoshi HIGASHI	Non-Member
AREVA NP	Marc Piriou		Non-Member

An innovative surface inspection technique by PhotoThermal camera was evaluated in this study. Experimental results showed PhotoThermal camera has enough detectability of SCCs.

Keywords: PhotoThermal Camera, Surface inspection, Non contact inspection

1. 緒言

構造物の表面検査には、検査対象の材質や形状にあわせて浸透検査 (PT) や磁粉探傷 (MT)、渦電流探傷 (ECT) 等が用いられている。検査対象が特殊な形状の場合や、アクセス性が悪い部位の場合、専用の検査装置を用いて検査する場合もある。また、原子力プラントにおいては、検査対象部位が高線量である場合もあり、アクセスに制約がある場合もある。これらの部位に対して、非接触・遠隔で簡易に表面検査が可能な技術が要求されている。

従来から赤外線を用いた非接触検査技術は開発されており、機器の異常検知やコンクリート構造物への適用例が報告されている。[1],[2] しかしながら、ステンレス鋼の応力腐食割れ (以下 SCC) のような微細な欠陥への適用事例は少ない。SCC のような微細な欠陥を検出するには高分解能の赤外線カメラと、欠陥検出性を向上させるような加熱方法が要求される。本報では高分解能赤外線カメラとスキヤニング可能なレーザーを用いた欠陥検出装置であるフォトサーマルカメラを用いた SCC の検出性等について報告する。

2. 欠陥検出性評価

2.1 フォトサーマルカメラの原理

赤外線カメラを用いた検査方法の原理は、検査対象物の表面温度を計測し、欠陥に起因して生じる温度差を計測するものである。欠陥部に温度差を生じさせるには欠陥が検査表面の熱流速を妨げるような方向に熱流速を与える必要がある。熱流速を与える方法としては、電熱ヒーターを用いたものや、フラッシュランプ、レーザーを用いたものなどが報告されている。レーザ

ーの場合、加熱領域を小さく出来ること、及び、ビームの走査が容易である点で、微細な領域を加熱することが容易である。

仏 AREVA 社にて開発されたフォトサーマルカメラは、赤外線カメラとレーザービームをスキヤニングする機構を 1 体化した装置であり、ステンレス鋼の検査に最適化されている。[3] フォトサーマルカメラから発せられたレーザービームは試験体表面を加熱しながら内蔵のミラーを用いてスキヤンされる。レーザービームと同じ光軸上に配置された赤外線カメラにより、レーザーによる加熱領域の温度が同時に計測される。レーザーのスキヤン方向に、熱流速を妨げるような欠陥があった場合、欠陥の手前は温度が上昇し、欠陥の後ろは手前に比べ温度上昇が小さい状態となり、欠陥前後の温度差より欠陥を検知することが可能となる。フォトサーマルカメラ概要と動作原理を Fig. 1 に示す。動作原理より、レーザースキヤン方向と平行な方向の欠陥の検出性は低下するため、直交する 2 方向にレーザースキヤンする必要がある。

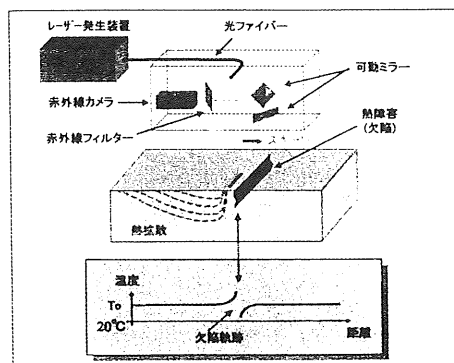


Fig. 1 The principle of PhotoThermal Camera

赤外線カメラにより計測された温度分布を 2 次元マップ上に表示することで、欠陥の形状や大きさを把握することができる。疲労割れ欠陥の検出例を Fig. 2 に示す。

フォトサーマルカメラの外観を Fig. 3 に示す。カメラ部と試験対象は最大 2m 離すことが可能であり、遠隔非接触で検査することが可能である。

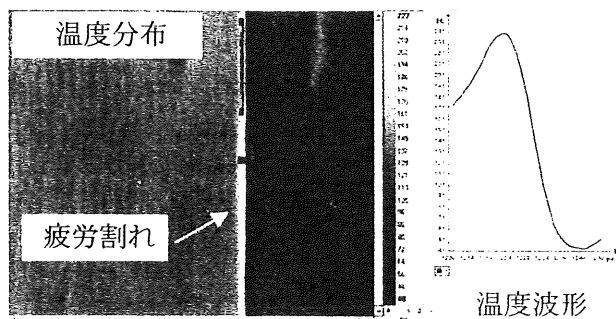


Fig. 2 Inspection result of Photothermal Camera

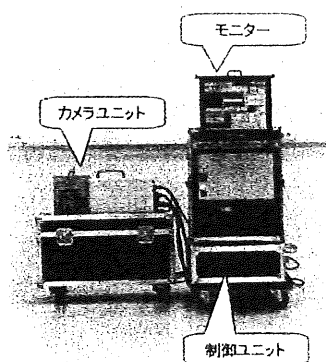


Fig. 3 Photothermal Camera

2.2 SCC 検出性試験

フォトサーマルカメラを用いて応力腐食割れ（以下、SCC）の検出性試験を実施した。Fig. 4、5 に SCC 試験体の PT 試験結果及びフォトサーマルカメラを用いた検査結果を示す。全ての SCC をフォトサーマルカメラで検出可能であることを確認した。

フォトサーマルカメラによる検出信号には再現性があり、検査条件が同一であれば検査員の技量の影響を受けない点が PT と比べ優位であると考えられる。また、試験体の前処理、後処理が不要であるため、非接触で遠隔検査が可能であり、検査時間の短縮も可能である。

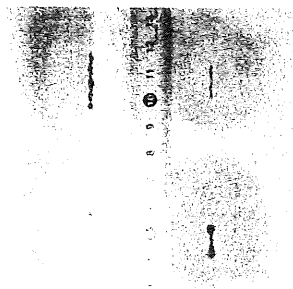


Fig. 4 PT result

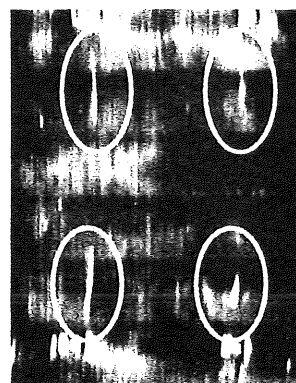


Fig. 5 Photothermal result

3. 結言

本報ではフォトサーマルカメラの基本原理について述べ、SCC 検出性試験結果を示した。フォトサーマルカメラを用いた検査手法は、PT と比べ検査時間の短縮や、再現性の向上に加え、PT では検出しにくいような開口幅の狭い欠陥に対しても有効であると考えられる。また、MT（磁気探傷）の適用が困難な磁性体や、複雑な形状部位にも適用可能である。また、遠隔非接触での検査が可能であり、原子力プラント等の高線量区域での検査員被曝量低減にも有効であると考えられる。

参考文献

- [1] 島田宏樹、“赤外線サーモグラフィによる状態監視技術の原子力発電所への適用結果について”、日本保全学会第 4 回学術講演会要旨集、福井、2007、pp.51-54.
- [2] 阪上隆英、“赤外線サーモグラフィによる非破壊評価に関する最近の話題”、非破壊検査機関誌、2002 Vol.51 pp.320-327.
- [3] Pierre-Yves Joubert, Sebastien Hermosilla-Lara, Dominizue Placko, Francois Lepoutre, Marc Piriou, [Enhancement of open-crack detection in flying-spot photothermal non-destructive testing using physical effect identification] QIRT Journal, 3,1, pp. 53-70

Sonic-IR 法による平板 SCC の検出性評価

Evaluation of Detectability of Stress Corrosion Cracking by Sonic-IR Technique

(株)原子力エンジニアリング	勝又 陵介	Ryosuke KATSUMATA	
(株)原子力エンジニアリング	松本 善博	Yoshihiro MATSUMOTO	Member
(株)原子力エンジニアリング	原田 豊	Yutaka HARADA	Member
大阪大学工学部	阪上 隆英	Takahide SAKAGAMI	Member
大阪大学工学部	久保 司郎	Shiro KUBO	Member

Sonic-IR which is based on the thermographic detection of the temperature rise due to frictional heating at the crack faces under ultrasonic excitation, has an advantage in the detection of closed cracks. In this study, feasibility of the Sonic-IR technique for the detection of stress corrosion cracking is experimentally investigated by using plate specimens.

Keywords: Nondestructive Evaluation, Infrared Imaging, Thermography, Active Heating, Sonic IR, SCC

1. 緒言

アクティブ赤外線サーモグラフィ法の1つに、試験対象物を超音波で加振させた場合の発熱検知に基づく手法があり、Sonic-IR などと呼ばれている[1]-[4]。手法の提案は1970年代まで遡るが、近年の赤外線サーモグラフィの高精度化により、微小な温度上昇が検出できるようになり、最近再び注目を集めている。Sonic-IR 法の特長の1つとして、閉じたき裂を高感度に検出できる可能性があることが挙げられる。これまでの研究では、閉じたき裂を形成するため、他の非破壊検査では検出困難な場合が生じる、応力腐食割れ (SCC) に対す適用性の基礎的検討を行い、大型の冷却型赤外線サーモグラフィを用いて、平板試験片に付与した SCC が検出可能であることを確認している[5]。本研究では、小型でハンディタイプの非冷却型赤外線サーモグラフィを用いて、Sonic-IR 法による SCC の検出性について評価を行なった。

面同士を振動させるため、き裂面が接触していれば、その部分で摩擦熱が発生する。赤外線サーモグラフィにより試験体表面温度を測定することで、摩擦熱の発生を検知できるため、き裂の検出が可能である。き裂が表面に到達していれば、摩擦熱の発生による顕著な温度変化を検知できるため、高感度に検出することができる。また、摩擦熱の発生が表面下に埋没している場合にも、熱伝導により表面に温度変化が現れれば、き裂の検出はある程度可能であると考えられる。

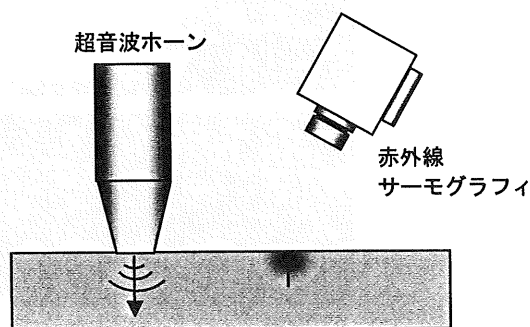


図1 Sonic-IR の原理

2. Sonic-IR 法

Sonic-IR 法の原理を図1に示す。超音波加振器で発生した超音波は、試験体に接触させたホーンを介して試験体に入射され、試験体内を伝播する。き裂面では、

3. 実験装置

本実験では、現場で作業者がハンドヘルドで試験することを想定し、超音波発振器として、比較的低出力のハンディタイプ (超音波工業 USWP-200Z28S-U、周波数 28kHz、出力 200W) を選定した。また、ハンドヘルドによる加振時の接触性を考慮し、先端形状を

連絡先: 勝又 陵介、〒550-0001 大阪市西区土佐堀 1-3-7 肥後橋シミズビル 12F、(株)原子力エンジニアリング、電話: 06-6446-9363、e-mail: rkatumata@neltld.co.jp

R30mmの球面形状とした超音波ホーンを製作した。

赤外線サーモグラフィとしては、検出波長帯 8~14 μ m の 2次元アレイセンサを搭載したハンディタイプの非冷却型赤外線サーモグラフィ (NEC/Avio 赤外線テクノロジー TH9260) を用いた。図 2 には、測定試験の状況を示す。

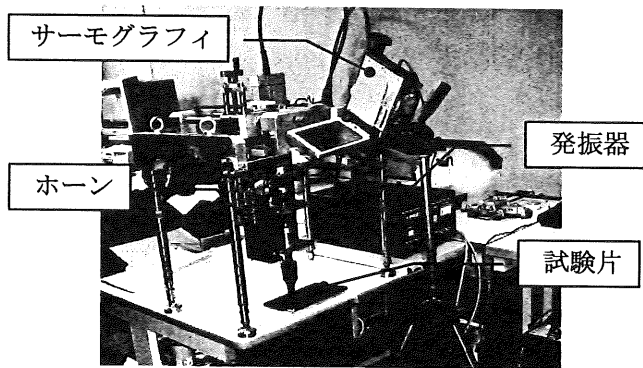




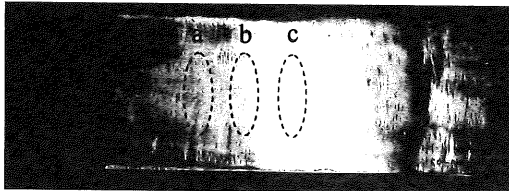
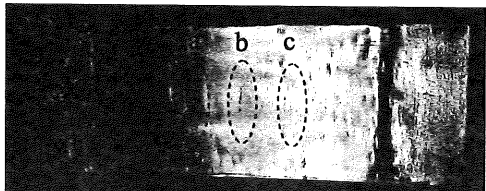
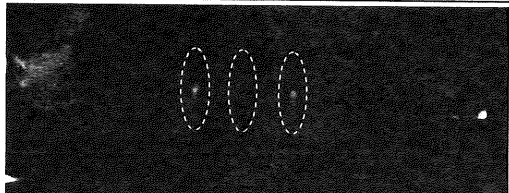
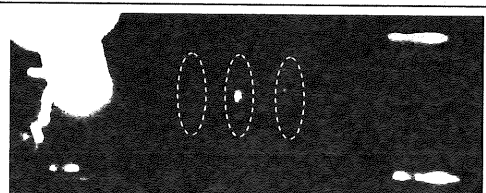
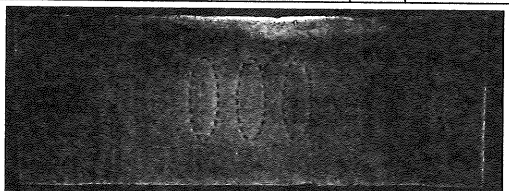
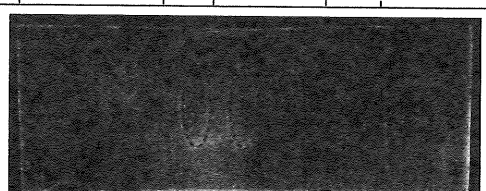
図 2 測定試験状況

4. 測定試験結果

SCC を付与した平板試験片 2 体 (A, B) に対して試験を実施した。試験片は、ステンレス平板に Alloy 600 系溶材の肉盛溶接を施した試験片を、曲げによる引張応力を負荷した状態で腐食液に浸漬し、SCC を付与したものである。各試験片には 3 個の SCC が付与されている。各試験片の写真、加振時の赤外線画像、PT 探傷結果の写真を表 1 に示す。

試験片 A, B 共に、3 箇所 SCC 付与位置において、超音波加振時には発熱を確認でき、SCC の検出が可能であることがわかる。また、PT では検出困難であったケース (試験片 A の中央の SCC) に対して、検出可能であった。

表 1 Sonic-IR 法による SCC 検出結果

	試験片 A	試験片 B
	10mm  ○ : SCC 付与位置 ⊗ : 加振位置	10mm  ○ : SCC 付与位置 ⊗ : 加振位置
外観写真		
赤外線画像		
検出結果	a ○ b ○ c ○	a ○ b ○ c ○
PT 写真		
検出結果	a △ b × c ○	a ○ b ○ c ○

(注) ○ : 検出、△ : 微小指示により検出、× : 未検出

5. 破壊観察

SCC の性状を確認するため、測定した SCC に対して破壊観察を行なった。SCC の長さ方向の中心で、直交方向に SCC を切断し、切断面を両側へ 0.5mm 間隔ですり込みを実施しながら、最大深さを測定した。

各 SCC の深さ分布と、赤外線サーモグラフィによる温度分布を比較した結果、深さと発熱量の間には、一定の比例関係があることが確認された。

6. まとめ

平板に付与された SCC に対して、ハンディタイプの赤外線サーモグラフィを用いた Sonic-IR 法を適用し、SCC が検出可能であることを確認した。さらに、SCC の破壊観察を行なった結果、深さと発熱量に一定の比例関係があることが確認された。

き裂によって発熱状態が異なっており、この原因については、詳細な検討が必要であるが、き裂の閉口度や試験片内での超音波挙動の違いが発熱に影響しているものと推測される。

今後、以下について、検討する予定である。

- き裂の検出限界寸法及び定量評価性
- き裂の閉口状態に対する検出感度
- 内部き裂検出への適用可能性
- シミュレーションによる超音波挙動の解析

参考文献

- [1] L.D. Favro et.al., “Sonic IR Imaging of Cracks and Delaminations”, Analytical Sciences, Vol.17, April 2001, pp.s451-s453.
- [2] M.W. Burke and W.O. Miller, “Status of VibroIR at Lawrence Livermore National Laboratory”, Proc. of SPIE, Vol.5405, 2004, pp.313-321.
- [3] D. Mayton and F. Spencer, “A Design of Experiments Approach to Characterizing the Effects of Sonic IR Variables”, Proc. of SPIE, Vol.5405, 2004, pp.322-331.
- [4] S.M. Shepard, T. Ahmed and J.R. Lhota, “Experimental Considerations in Vibrothermography”, Proc. of SPIE, Vol.5405, 2004, pp.332-335.
- [5] 松本善博、阪上隆英他、“Sonic-IR 法による応力腐食割れ検出技術”、日本保全学会第 4 回学術講演要旨集、2007、pp.305-306