

製品の破損等に対する非接触ナノメータ計測装置の開発

白石 知久* 新井 尚機* 齋藤 隆行**¹
松田 信一**¹ 木村 壮作**² 村田 靖**²

Development of the Non-contacting Nanometer Measurement Equipment for Breakage of a Product

SHIRAISHI Tomohisa*, ARAI Naoki*, SAITO Takayuki**¹,
MATSUDA Shinichi**¹, KIMURA Sousaku**², MURATA Yasushi**²

抄録

スペckル干渉法を利用した非接触測定装置の開発において、その実用可能性を探るため、アルミニウム合金、ポリカーボネートなど様々な材料に対する疲労試験を行い、干渉縞の検出・観察を行った。また、溶接を施した材料、溶接欠陥を含む材料などについても測定を試みた。その結果、金属と高分子の疲労の進行の差、残留応力や欠陥の存在、欠陥による疲労の進行の様子が観察でき、装置の有用性が確認された。

キーワード：動的電子スペckル干渉法、電子スペckル干渉法、疲労、干渉縞

1. はじめに

物体が変形から破損に至る過程についての研究では、歪みの分布や変化を測定し、定量的に解析することが必要である。

スペckル干渉法は歪みの二次元的な分布を光波長をものさしにして全視野的に高精度で測定できる有効な方法である。安全性に対する社会の要望や責任追及の意識の高まりが見られる中、スペckル干渉法による高精度計測手法の有効性が認識され、海外の企業でもこの手法を基本原理とした装置が商品化されている。しかしながら、それらの装置は時間経過と共に動的に変形する対象物について高速に測定し、定量的に解析するまでに

は至っていない。

したがって、本研究では、動的電子スペckル干渉法¹⁾(DESPI)を用いたリアルタイム計測装置の開発ならびにその有効性の検証を行っている。

本年度は、より小型化した高機能な装置を試作するとともに、高分子材料や溶接を施した金属材料などについての疲労過程の計測に適用した。

2. 開発装置の原理・概要

昨年度より、共同研究先の富士写真光機株式会社において装置の設計・試作が行われている。開発装置の概要を図1に示す。

図1の概要図の様に計測対象物にレーザー光を2方向から照射するとレーザー光の干渉が起こり、スペckルパターンと呼ばれる斑点模様が形成される。時間の進行とともに変形する対象物を計測するとき、変形に伴って変化するスペckル

* 電子情報技術部

**¹ 富士写真光機株式会社

**² ヒーハイト精工株式会社

パターンを撮像する。撮像したスペックルパターン同士の差画像をとることで干渉縞が検出される。

この干渉縞は変形量を等高線で示したようなものである。本年度は新たに、この干渉縞を位相解析²⁾することで、10ナノメートルレベルの変形量を数値化し表示することが可能になった。

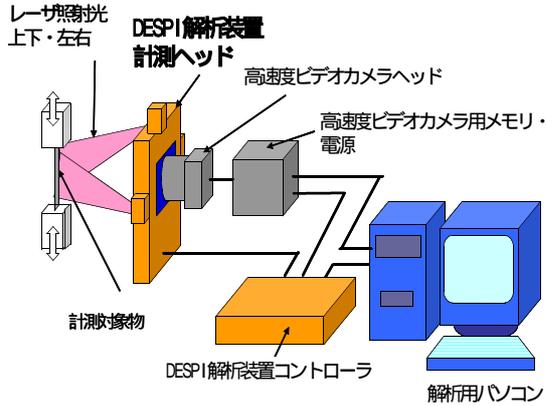


図1 開発装置の概要

3. 実験内容

試作された診断装置を用い、動的な変形を伴う物体について、スペックル干渉縞の挙動からその変形の様子について観察、解析することを試みた。

図2のように試作装置を疲労試験機に設置し、対象物の疲労過程を計測した。

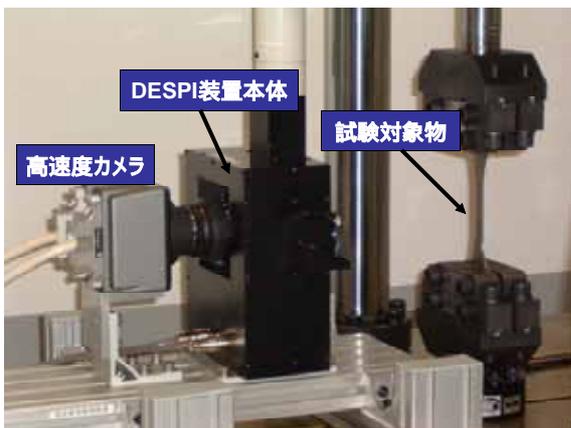


図2 開発装置を疲労試験機に設置した様子

3.1 ステンレス鋼 SUS304の疲労試験

昨年度はステンレス鋼 SUS304の疲労試験時における干渉縞の挙動について、観察を行った³⁾。本年度は、応力の条件を変えながら疲労試験を行い、データの蓄積を行った。

3.1.1 試験片形状

試験片については、ASTM の規格に準拠した試験片を使用した。試験片形状を図3に示す。スペックル干渉縞を検出しやすいように現像液を塗布し、試験部を白色にしてから実験を行った。

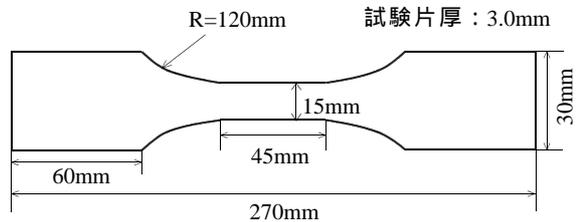
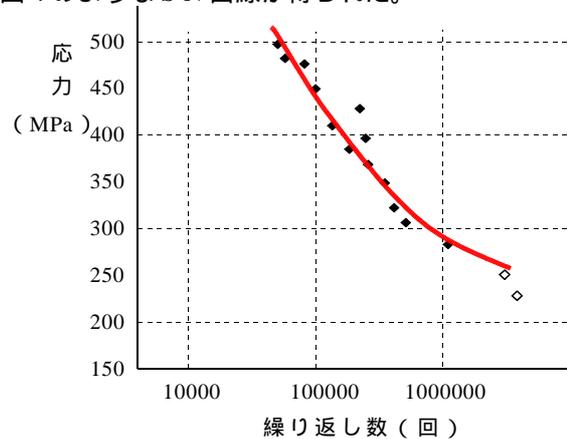


図3 ステンレス鋼SUS304試験片

3.1.2 S-N 曲線

様々な応力条件を変え、疲労試験を行うことで、図4のようなS-N 曲線が得られた。



(● は破断、◇ は未破断のデータである)

図4 ステンレス鋼SUS304のS-N曲線

3.2 アルミニウム合金 A2017の疲労試験

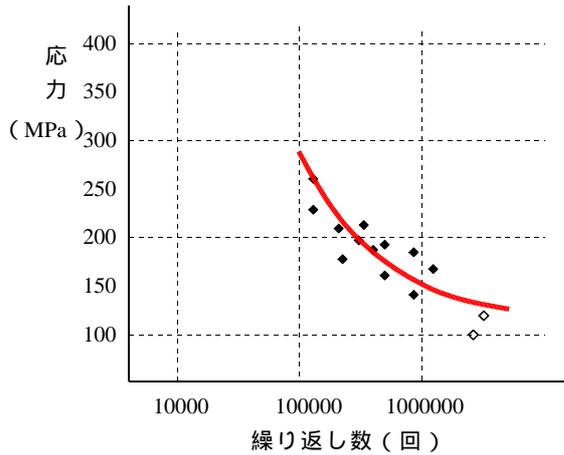
アルミニウム合金 A2017についても同様に、応力の条件を変えながら疲労試験を行い、干渉縞の挙動を観察、データの蓄積を行った。

3.2.1 試験片形状

ステンレス鋼による疲労試験を行ったときと同型の試験片を作成した。

3.2.2 S-N 曲線

応力条件を変えながら疲労試験を行ったところ、図5のようなS-N 曲線が得られた。



(\blacklozenge は破断、 \blacklozenge は未破断のデータである)

図5 アルミニウム合金 S - N 曲線

3.2.3 干渉縞の挙動

アルミニウム合金 A2017の疲労試験を行ったところ、破断の前に図6に示すような干渉縞が現れた。ステンレス鋼のときと同様 V 字型の干渉縞が現れ、その V 字縞を中心に、縞が集中してゆく。破断の起こる5000回程前から、このような縞の集中が見られたが、応力が疲労限界応力に近いほど、縞の集中が起こってから破壊に至るまでの時間は長かった。

体心立方構造のステンレス鋼と、面心立方構造のアルミニウム合金との差は特に見られなかった。

3.3 高分子材料(ポリカーボネート)に対する疲労試験

高分子材料ポリカーボネートの試験片を作成し、疲労試験による繰返し荷重を加える過程で得られた干渉縞の挙動を観察した。

3.3.1 試験片

図7のようなポリカーボネート製の試験片を作成した。厚さは3.7mmである。

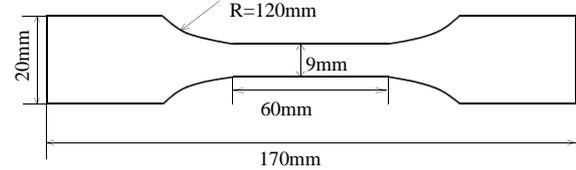


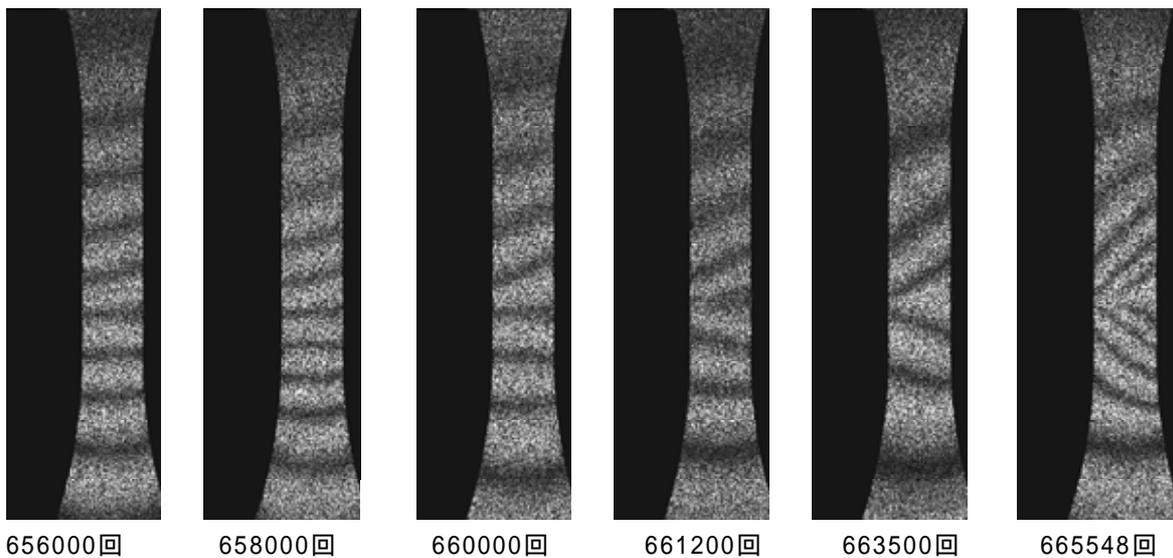
図7 ポリカーボネート試験片

3.3.2 干渉縞の挙動

ポリカーボネート試験片に対し、疲労試験による繰返し荷重を加えたとき、図8のような干渉縞が観察された。破断の約100回前まで平行な横縞が観察され、V字型の縞が表れてから破断に至るまでは、金属と比べて非常に短かった。疲労の進行の違いが計測できたものと考えられる。なお、V字縞が現れてから、破断に至るまでの時間が短く、装置で記録することはできなかった。

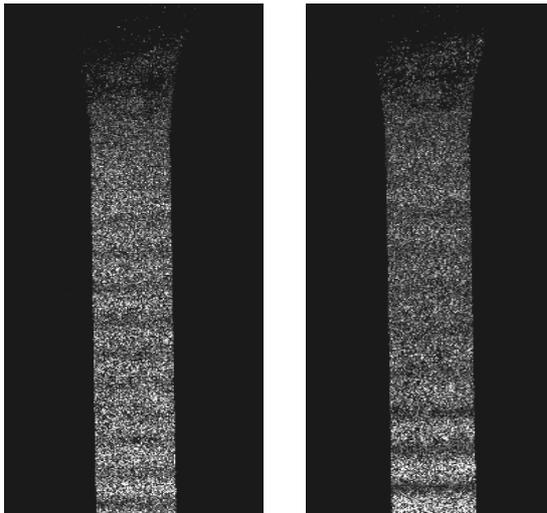
3.4 溶接を施したステンレス鋼 SUS304の疲労試験

試験片中央部にて溶接を施した試験片を作成し、疲労試験による繰返し荷重を加える過程で得られた干渉縞の挙動を観察した。



(図の下の数字は繰返し荷重の回数を示す。繰返し荷重665790回で疲労破壊)

図6 アルミニウム合金(A2017)の疲労過程における干渉縞



繰り返し数2000回 繰り返し数52570回

(この試験片は、繰り返し数53324回で破断)

図8 ポリカーボネート疲労過程の干渉縞

3.4.1 試験片

試験片内に溶接による欠陥が含まれないようにするため、2枚のステンレス鋼板をアルゴン溶接してのち、欠陥のない溶接がなされている部分を選び(X線検査実施)、鋼板から切り出して加工した。

図9のような形状の試験片を作成した。試験片の厚さは3.0mmである。

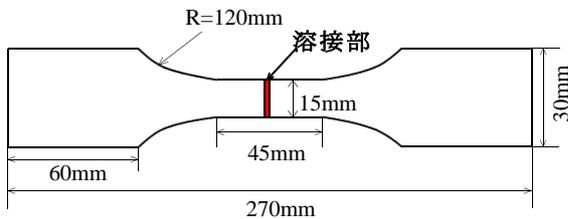


図9 溶接を施した試験片

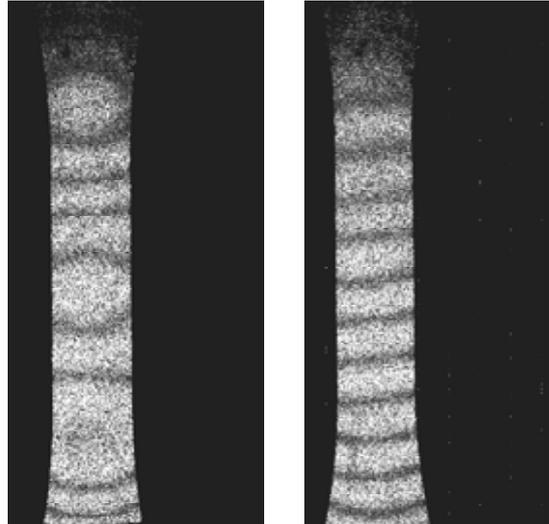
3.4.2 干渉縞の挙動

溶接を施した試験片に対し、疲労試験による繰り返し荷重を加えたとき、繰り返し数200回の時点で図10に示すように、試験片中央の溶接部分を中心に、溶接時に熱影響を受けたと考えられる部分で図のような歪みを持った縞が得られた。

さらに繰り返し荷重を加えてゆくと、溶接部分周辺での歪み縞は見えなくなり、一様に平行な縞が観察された。その後は通常の試験片同様、V字型の縞が現れ、最終的に破断に至った。溶接を施した試験片の場合、破断した位置は、決まって実験の最初の段階で特徴的な歪み縞が観察された溶

接の周辺部(溶接位置を中心に両側5mm程度の範囲)であった。また、溶接を施した試験片を作成した後、熱処理を行った場合、このような歪みを持った干渉縞は見られなかった。

疲労試験の最初の段階で観察された歪みは、溶接の熱影響による残留応力によるものであり、疲労破壊は溶接による熱影響を受けた部分において発生するものと考えられる。



繰り返し数200回 繰り返し数10000回

図10 溶接を施したステンレス鋼SUS304の疲労過程における干渉縞

3.5 欠陥溶接を施したステンレス鋼 SUS304の疲労試験

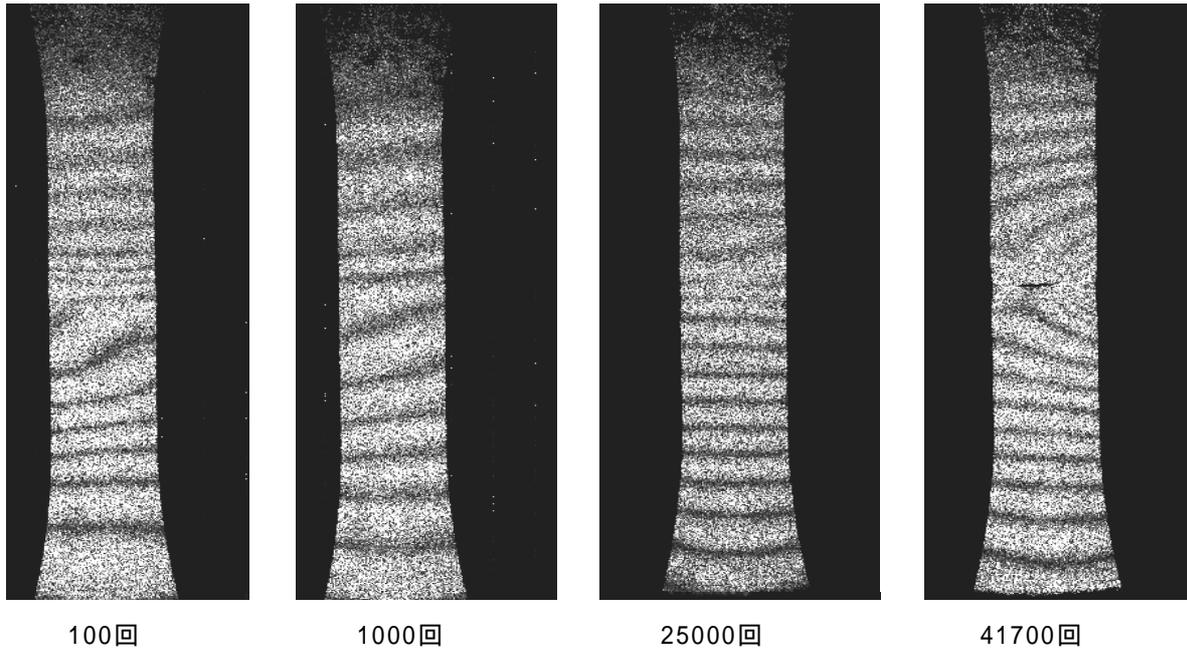
欠陥を含む溶接を施した試験片を作成し、疲労試験による繰り返し荷重を加える過程で得られた干渉縞の挙動を観察した。

3.5.1 試験片

溶接時に直径0.3mm程度の球状の欠陥を生じさせ、図9と同様の試験片の中央に欠陥が位置するように作成した。

3.5.2 干渉縞の挙動

欠陥溶接を施した試験片に対し、繰り返し荷重を加えたとき、図11に示すような干渉縞が観察された。初期段階では、欠陥のない場合に比べて上下に非対称に大きく歪んだ縞が現れ、その後、この歪みはなくなった。更に、25000回の図に示すように、欠陥のある場合は、比較的早くから縞の集中が見られ、欠陥を中心に、局所的に疲労が進む様子を示しているものと考えられる。



100回

1000回

25000回

41700回

(図の下の数字は繰り返し荷重の回数を示す。繰り返し荷重41790回で破断)

図 1 1 欠陥を含む溶接試験片の疲労過程

4. まとめ

スペックル干渉法を利用した非接触測定装置の開発において、その実用可能性を探るため、疲労試験に適用した結果、装置の有用性が確認された。

(1) 体心立方構造のステンレス鋼と、面心立方構造のアルミニウム合金とでは、スペックル干渉縞の現れ方に差は特に見られなかった。

(2) 高分子材料では、破断の前兆を示す V 字型の縞が現れてから破断に至るまでの時間が、金属と比べて非常に短かった。疲労の進行の違いが観察できたと言える。

(3) 溶接を施した試験片においては疲労試験の初期において、溶接による熱影響を受けた部分で歪みをもった縞が見られた。

(4) 溶接欠陥を含む試験片においては、疲労試験の比較的早い段階から縞の集中が見られ、欠陥を中心に、局所的に疲労が進む様子が見られた。

参考文献

- 1) 豊岡了, V. Madjarova, 門野博史: 電子スペックルパターン干渉法による全視野計測, 日本実験力学会論文集(2001)
- 2) V. Madjarova, H. Kadono: Dynamic electronic speckle pattern interferometry (DESPI) phase analyses with temporal Hilbert transform, OPTICS EXPRESS, 617
- 3) 白石知久, 新井尚機, 齋藤隆行, 松田信一他: 「構造物の動的診断のための非接触ナノメータ変形解析装置の開発」, 埼玉県産業技術総合センター研究報告 1 (2003), 91

謝辞

本研究を進めるにあたり、動的電子スペックル干渉法について埼玉大学大学院理工学研究科の豊岡了教授、門野博史助教授より御指導いただきました。この場を借りて御礼申し上げます。