

1. はじめに

ホログラフィーの干渉縞を用いた変位計測は光の干渉を利用するため、可視光の波長（数百 nm）オーダーでの変位計測が可能な高精度変位画像計測手法である。き裂の不安定成長挙動の解明や非破壊検査手法への適用を考えた場合、変位の画像計測には空間分解能のみでなく μ 秒オーダーの高い時間分解能が望まれる。しかしながら既往の研究において、時間分解能の高いホログラフィーを用いた変位計測の報告例は少なく、デジタル・ホログラフィーを利用した毎秒 2 万枚（時間分解能：50 μ 秒）での計測¹⁾等、数例に留まる。

そこで本研究では、ホログラフィー実時間干渉計測手法と毎秒 100 万枚の撮影が可能な超高速ビデオカメラ²⁾を組み合わせ、時間分解能 1 μ s での微小変位の画像計測手法の確立を試みる。

2. 実験手法

ホログラフィー干渉計測の光路図を図-1 に示す。光源として波長 532nm の Yag レーザーを使用する。レーザーはビームスプリッターで二分される。分割されたレーザーのうち一方は、スペイシャルフィルターを介して平行光に拡張され、参照光として写真乾板に直接入射する。他方のレーザーは平行光に拡張された後、物体光として供試体を照射する。供試体からの反射光はハーフミラーを介して平行光と同様に写真乾板に入射する。乾板上では平行光と物体光の干渉による干渉縞が形成され、これを現像処理により固定することによりホログラムが記録される。

ホログラフィー同時計測手法では、物体の変形前のホログラムが記録された乾板上に、変形後の供試体像を重ねて写し込む。乾板上では変形前後の供試体のホログラムが重なり、変形に伴う供試体表面の変位によって干渉縞が形成される。これを乾板後方から観測することにより、供試体の変位が画像計測される。図-1 に示された光路図では、物体光は供試体に垂直に入射し、また供試体垂直方向の反射

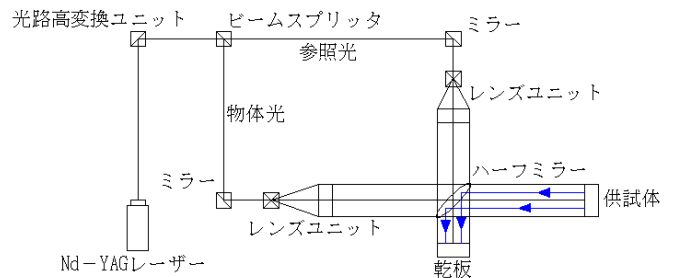


図-1 実験に用いた光路図

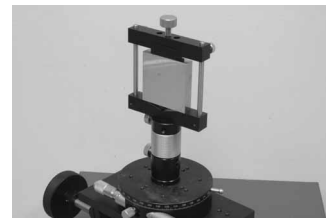


図-2 静的実験に用いた供試体

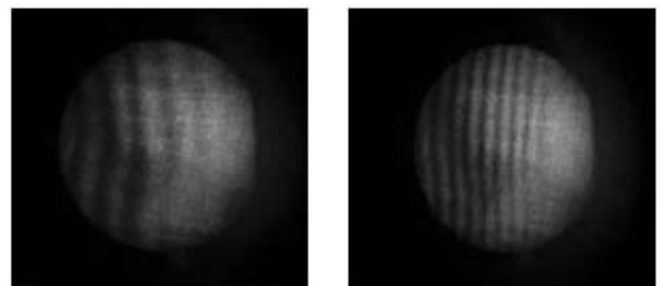
光を観測している。このため、計測される変位は供試体の面外変位となる。

また、ホログラムの記録には乾板の現像・乾燥処理が必要であるが、本研究では乾板の位置ずれを防ぐために撮影位置から乾板を動かさず、その場現像・乾燥処理を行った。

3. 変位検出精度の検証

本研究の実験装置による変位の検出精度を検証する目的で、静的試験を行った。実験に使用した供試体を図-2 に示す。回転ステージ上に固定した供試体を回転させることにより、供試体表面の面外変位を発生させた。面外変位量 d は回転角 θ 、回転軸からの距離 r を用いて $d=r\theta$ として求められる。

撮影されたホログラフィーを図-3 に示す。図中



(a) 7.62×10^{-5} rad

(b) 1.32×10^{-4} rad

図-3 静的実験で得られた干渉縞分布

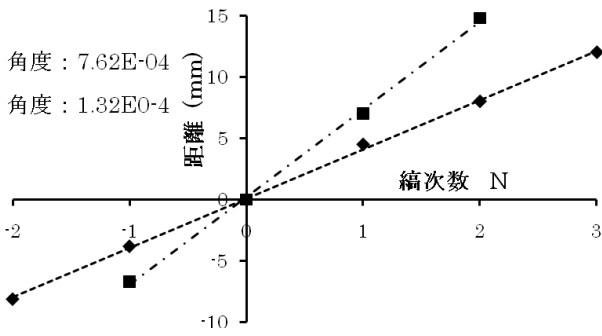


図-4 縞次数と0次縞からの距離



図-5 動的実験に用いた供試体

の円形領域 ($\phi 10\text{mm}$) が供試体のホログラムであり、円形領域中の縦縞が変位によって生じた干渉縞である。供試体中央部分の縞を0次とし、画像から計測された干渉縞間隔と縞次数関係を図-4に示す。図中に示された直線は最小二乗近似直線である。近似直線の傾きに供試体の回転角を乗じた Δd が縞を一次増加させるために要する変位量であり、変位の検出精度に相当する。供試体の回転角 $7.62 \times 10^{-5}(\text{rad})$ と $1.32 \times 10^{-4}(\text{rad})$ で検出精度は各々 544nm と 529nm であった。本実験で用いた光路系での変位検出精度の理論値はレーザーの波長 532nm であるため、実験結果は理論値と良い一致を示しているといえる。

4. 超高速・高精度な変位画像計測実験

超高速・高精度な変位の画像計測手法を検証する目的で、動的な計測を行った。実験に使用した

供試体を図-5に示す。 μ 秒の時間スケールで微小変位を生じる撮影対象として、周波数 42kHz で振動する超音波洗浄器を採用している。振動面である洗浄器底面を撮影対象とし、先ず静止状態でホログラムを撮影した。次に洗浄器を起動し、静止状態との相対変位により生じる干渉縞の変動を、超高速ビデオカメラにより撮影した。撮影速度は毎秒百万枚とし、 1μ 秒間隔での変位の変化を計測した。

撮影結果を図-6に示す。図中には 1μ 秒の時間間隔で撮影された103枚の画像中、 7μ 秒毎に4枚の画像を抜き出して示している。

記録された画像中で干渉縞分布は28コマ周期で元に戻っており、このことから周期 28μ 秒となることが分かる。使用された超音波洗浄機は周期 24μ 秒であり、両者はよい一致を示しているといえる。また、干渉縞の縞次数の増加が4次であることから、振幅は約 $2.1\mu\text{m}$ であることが分かる。

5. まとめ

本研究ではホログラフィー実時間干渉計測手法を超高速ビデオカメラを組み合わせることにより、超高速・高精度な変位の画像計測手法を開発した。開発された計測手法は、 1μ 秒の時間解像度で $0.532\mu\text{m}$ 程度の変位を検出できる超高速・高精度な計測手法となった。

[参考文献]

- 1) 伊藤謙一, 田原樹等, "高速カメラを用いた位相シフトデジタルホログラフィ", 高速度イメージングとフォトニクスに関する総合シンポジウム2009論文集, pp.217-222, 2009
- 2) 江藤剛治, 武藤秀樹等, "斜行直線 CCD 型画素周辺記録領域をもつ100万枚/秒の撮像素子", 映像情報学会誌, Vol.56, pp.483-486, 2002

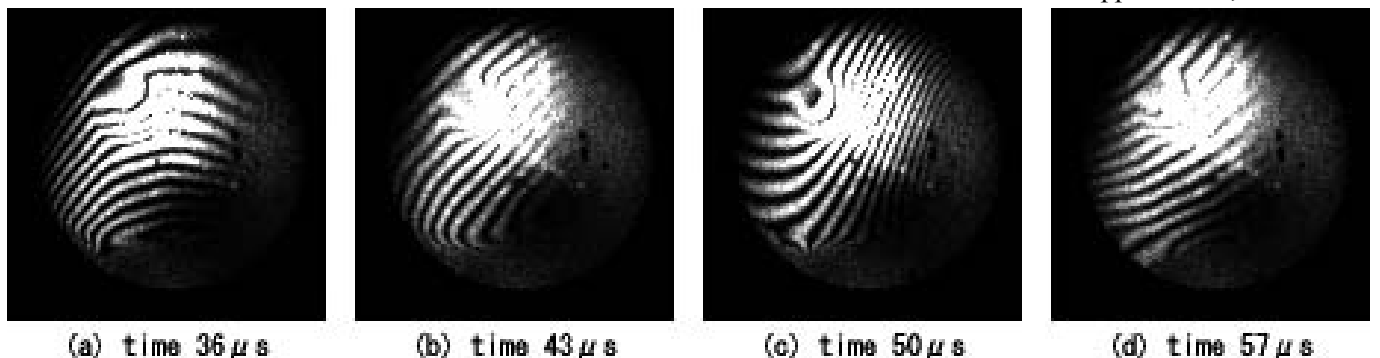


図-6 動的試験により撮影された干渉縞分布