

高速レーザスペックル干渉動画によるコンクリート構造物の動的超微小挙動把握

日本電気(株) 正会員 ○今井 浩 池谷 彰彦
鹿島建設(株) 正会員 今井 道男 露木 健一郎

1. はじめに

遠隔・非接触で広範囲に構造物の挙動を把握する方法として、光学的計測法は、建設現場における施工管理・維持管理などで、その有用性が期待されている。これまでに筆者らは、デジタル画像相関法を用いて、車輛通過時の橋梁床版のたわみ量やひび割れ開口量の面内変位計測を行った。その結果、5 μ m 程度の変位分解能でその動的挙動を把握できることを確認した¹⁾。ただし、同法では、可視光波長の解像限界(1 μ m 程度)により、マイクロクラックの発生時等に生じる 0.1 μ m 程度の超微小な面内変位を捉えることが困難であった。そこで、1 μ m 以下の変位検出分解能を達成可能な、レーザスペックル干渉法²⁾(以下スペックル干渉法)を用いて、コンクリート構造物の超微小挙動の把握を試みたので報告する。

2. スペックル干渉法

スペックル干渉法による面内変位計測の原理を図-1に示す。図-1(a)に示すように、1つの光源から分岐された2つのレーザ光で構造物を照明すると、構造物の面内変位 Δx によって生じる光路差(位相差)により光の干渉パターンが時間的に変化する。この干渉パターンの変化は、カメラによりデジタル動画像として取得でき、変形前後の画像同士の差分画像に絶対値演算を施すことで、図-1(b)に示すような面内変位分布を干渉縞として取得できる。ここで面内変位 Δx によって生じる位相差は(1)式で示されるため、観測される干渉縞の周期間隔 T ($\Delta\phi=2\pi$ における面内変位 Δx)は(2)式と通りとなる。

$$\Delta\phi=(4\pi\cdot\Delta x\cdot\sin\theta)/\lambda \quad (1)$$

$$T=\lambda/(2\cdot\sin\theta) \quad (2)$$

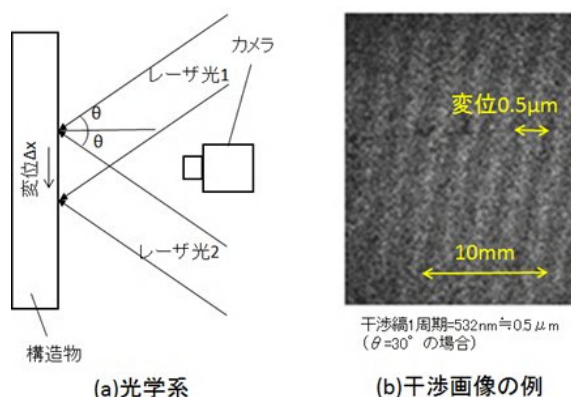


図-1 スペックル干渉法の原理

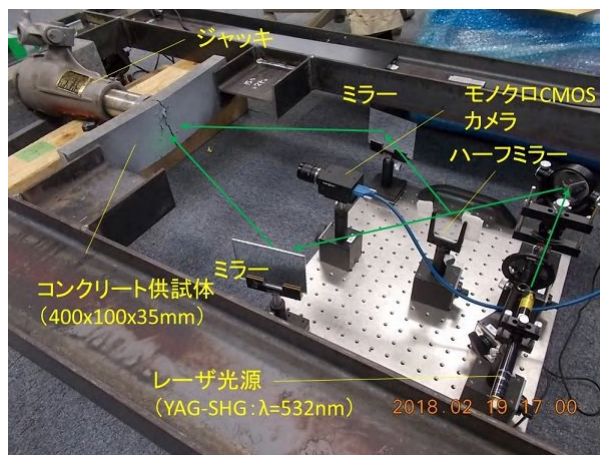


写真-1 実験セットアップ

表-1 計測パラメータ

撮像距離	400mm
焦点距離	25mm
画素数	2048x1536pixel
センサ画素ピッチ	3.45 μ m
撮像領域	113x84.8mm
フレームレート	120fps
レーザ波長	532nm
照射角	30°

仮にレーザ光の波長 λ を 532nm とし、2つのレーザ光の照射角 θ を 30° とすると、干渉縞の間隔は 532nm (約 0.5 μ m) となる。これは一般的な画像計測の位置分解能などと比べると極めて高精度であり、数マイクロひずみ(100mm の撮像領域に干渉縞が1周期程度現れる条件)のような微小変形も捉えることが可能な計測技術である。

キーワード レーザ, スペックル干渉法, 変位測定

連絡先 〒211-8666 川崎市中原区下沼部 1753 日本電気(株) 中央研究所 TEL044-431-7659

3．実験方法

H 鋼で実験架台を構成し，支間長 300mm で鋼繊維補強コンクリート供試体(400x100x35mm , 圧縮強度 126MPa)の三点曲げ試験を実施した . 実験の様子を写真-1 に示す . レーザ光(YAG-SHG: 波長 532nm)をハーフミラーで分岐し，それぞれの光をミラーで反射して供試体表面に ± 30 度で照射，その照射領域をモノクロ CMOS センサカメラで撮影した . 本実験の光学系の計測パラメータを表-1 に示す . ジャッキで供試体に曲げを加え，破壊するまでの過程を高速動画 (120fps) で撮影し，基準画像との絶対値差分画像から干渉縞の様子を確認した .

4．実験結果

マイクロクラック発生直後の撮影原画像を図-2 に，発生前後の干渉画像を図-3 にそれぞれ示す . マイクロクラック発生直前では図-3(a)に示すように，供試体長手方向にせん断ひずみが発生し，発生直後では図-3(b)に示すように，干渉縞の間隔が狭くなる(この時のせん断ひずみ量は $20 \sim 50 \times 10^{-6}$ に相当する) . 図-2 の撮影原画像にひび割れ等は確認できないが，図-3(b) の干渉画像の左下部ではマイクロクラックの開口に相当する干渉縞の段差が現れている . 図-4 は干渉縞の位相から求めた，図-3(b)における線分 AB 上の面内変位分布を示すグラフである . 図-4 に示すようにマイクロクラックの開口変位は 200nm と計測された . 実際に，最終破壊時においては当該位置に目視可能なひび割れが生じていることが確認された (図-5) .

5．おわりに

高速動画取得によるレーザスペックル干渉法でコンクリートのマイクロクラックの発生過程をとらえた . 干渉縞の間隔から発生前のひずみの変化を把握するだけでなく，干渉縞のずれから，早期の段階においてひび割れ発生位置の特定が可能であることを実験的に確認した . 同方法の変位分解能は非常に高く，遠隔からの動的超微小挙動把握に有効と考えられる . 今後，被検対象表面性状や外乱などの影響などについても検討し，建設現場における実際の利用に即した計測法の確立を目指す .

参考文献

- 1) 今井道男，太田雅彦，露木健一郎，今井浩，三浦悟，村田一仁，高田巡，“高速撮影動画を用いたデジタル画像相関法によるコンクリート構造物の動的挙動把握”，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，72(1)，279-289 (2016) .
- 2) 浜岡広，松田浩，山下務，中島朋史，“光学的全視野計測法による RC はりのひび割れ発生・進展の可視化 (せん断・ねじり) ”，コンクリート工学年次論文集，28(2)，781-786 (2006) .

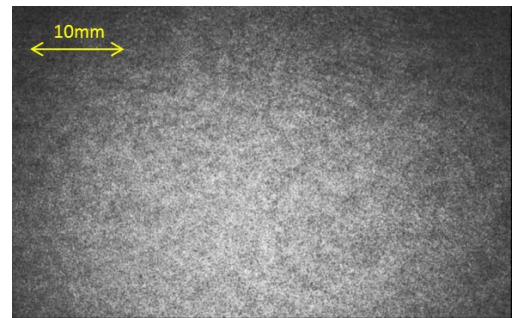
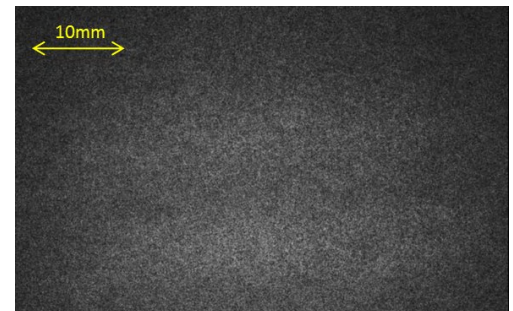
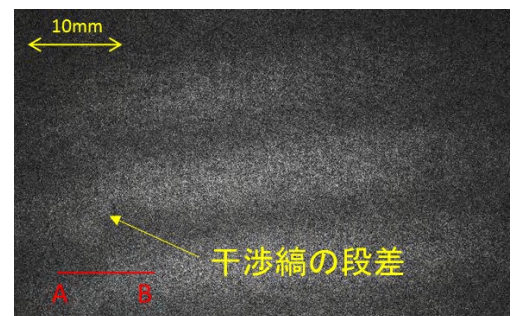


図-2 撮影原画像



(a) マイクロクラック発生直前



(b) マイクロクラック発生直後

図-3 干渉画像

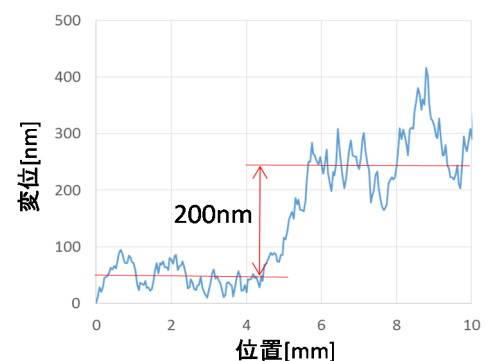


図-4 面内変位分布



図-5 最終破壊画像