

CS 1-25〔I〕

レーザーホログラフィーによるクラックの計測

建設省 ○正員 池田 裕二
 東京大学 正員 堀井 秀之

1 はじめに

破壊力学においてモデル化・解析手法の妥当性を検証するためには解析結果と実験結果の比較が不可欠であるが、そのためにはクラックの存在の有無やその位置、進展状況、開口変位などを正確に測定することが必要となる。しかし、例えばコンクリートにおける発生直後のクラックの開口変位は、数 μm のオーダーであり、肉眼で観察するのは不可能である。また、クラックの進展位置が予測できない場合には変位計による計測が困難である。

クラックの進展を計測するためには、供試体表面に変位場を高精度で測定することが必要であるが、そのような計測法としてレーザーホログラフィー干渉法があげられる。この方法をでは、変形にともなう変位に対応した干渉縞を作成する。この干渉縞は、一種の等変位線を表しているの、干渉縞を画像解析することにより変位場が計測され、クラックの位置・長さを測定することができる。また、この一本の縞に対応する変位の大きさは数 μm ～十数 μm であり、発生したばかりの微細なクラックまで観測できる。

2 レーザーホログラフィーの概要

ホログラフィーの撮影・再生の手順は次の通りである。

まず物体にレーザー光をあて、その散乱光（物体光）の届くところにフィルムをおく。このフィルムに、物体光と同時に物体光と位相及び周波数の等しいレーザー光（参照光）を照射する。

このフィルムを現像すると物体光と参照光との干渉縞写真ができる。

この干渉縞写真（ホログラム）に参照光を照射すると、参照光が縞によって回折現象をおこす。最も強い回折光は、もとの物体光と等しいため、物体が再生されて見える。（図1）

ホログラフィーの撮影時に、変形前後で二重露光させることにより、再生像上に変位に対応した干渉縞を作り出すことができる。これがホログラフィー干渉法である。図2の配置において、物体上の点 $M(x, y, z)$ が、 $M'(x + \delta x, y + \delta y, z + \delta z)$ に移動したとき、点 M を通る光には、変形にともない、

$$\delta l = \frac{\partial l}{\partial x} \delta x + \frac{\partial l}{\partial y} \delta y + \frac{\partial l}{\partial z} \delta z \quad (1)$$

の光路差が発生する。

この光路差によるふたつの光の位相差により、二重露光前後の干渉縞が強め合ったり弱め合ったりする。干渉縞が強め合った場合は、参照光を照射した際にこの干渉縞によって回折現象が起こり、像が再生されるが、干渉縞が弱め合った場合には、参照光を照射しても回折現象が起こらず、像が再生されない。このため、変位が一樣でない物体をホログラフィー干渉法を用いて撮影すると、変位に対応して再生される部分と再生されない部分ができ、明暗の縞ができる。変形前後の光の位相差がレーザー光の半波長の偶数倍である点は縞の明るい部分、奇数倍である点は縞の暗い部分となる。

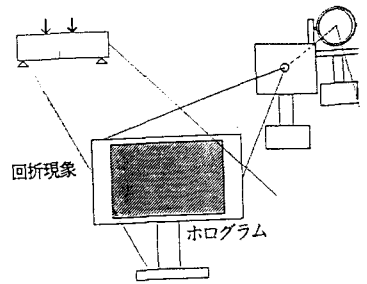


図1

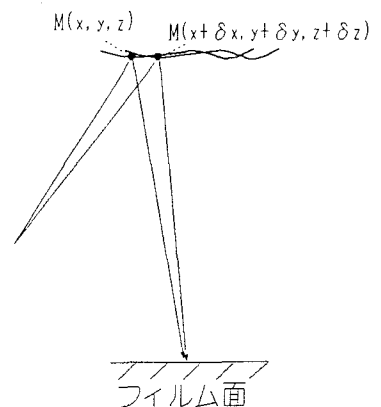


図2

3 変位測定への応用

このような二重露光によるホログラフィー干渉法を用いて、回転変位を与えた物体(図3)を撮影した。このときの縞は、

$$a\delta x + b\delta y = k\lambda (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (2)$$

で表される、一種の等変位線である。(式(1)に $\delta z = 0$ を代入)

つまり、このホログラフィーに現れているしまの数は、ベクトル $(\frac{a}{\lambda}, \frac{b}{\lambda})$ とベクトル $(\delta x, \delta y)$ との内積の大きさを示しており、供試体の (a, b) 方向への変位量に比例している。

ここで、 a, b は、式(1)でわかるとおり、実験装置の配置によって決まる定数なので、この値を変えることによって任意の方向への変位量を知ることができるのである。

このとき、 $(a, b) = (0.17, 0.26)$ であり、これによると図4のような縞が現れることが期待できる。実際に得られたホログラフィーは図5であるが、ダイヤルゲージの読みや、光路長の測定がさほど精密でなかったことを考えると妥当な結果だと思われる。

4 クラック計測への応用

このホログラフィー干渉法を用いて、鋼繊維補強コンクリートはりのクラックの観察を行った。そのホログラフィー再生像を写真撮影したものが写真をスキャナーでコンピューターに取り込み、濃度変換を施したものが図6である。

二点荷重を受けるはりの場合、通常両荷重点の中間に縦方向にクラックが発生する。クラック上の左・右面における変位は、鉛直変位が等しく、また、 x 方向の変位の和はクラックの開口変位を表している。つまり、変位ベクトル $(\delta x, \delta y)$ の δy は0、 δx が開口変位となる。これを $a\delta x + b\delta y = k\lambda$ (式2)に当てはめれば、 $\frac{a}{\lambda}\delta x = k$ となり、これはクラックでの縞の不連続量が開口変位を表していることを意味する。

5 結論

本研究ではレーザーホログラフィー干渉法によるクラックの進展計測のための基礎的研究として剛体回転変位による精度の検証と、鋼繊維補強コンクリートにおけるクラック進展状態の干渉縞を作成した。今後の課題は、その干渉縞の画像解析を行い、変位場を精度良く求め、クラックの位置と開口変位の分布を特定することである。

参考文献

- [1] 飯塚啓吾：光工学：共立出版株式会社：1985年
- [2] 龍岡静夫：レーザと画像：共立出版1984年
- [3] J.Ch.Vienot：ホログラフィ入門：共立出版：1975年
- [4] 秋田宏：ホログラフィー干渉法による微小変位の測定：土木学会第46回年次学術講演会講演集

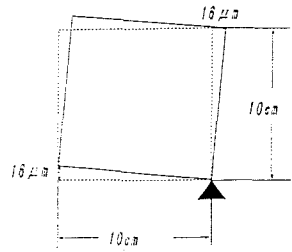


図3

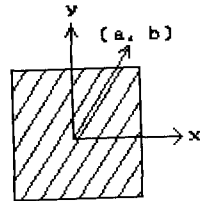


図4



図5

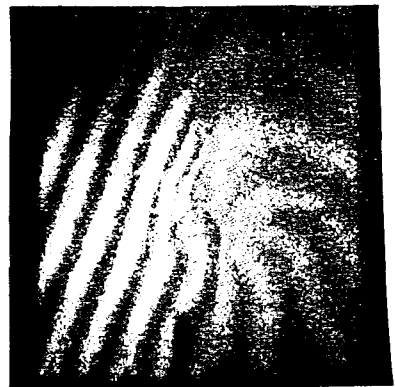


図6