

コンクリートの微小変形に対するレーザースペckル法の適用に関する研究

名古屋工業大学大学院 学生員 ○ 加藤 覚
 名古屋工業大学工学部 正 員 上原 匠
 名古屋工業大学工学部 正 員 梅原 秀哲

1. はじめに

コンクリート構造物は部材内に微細な初期欠陥を生ずることがあるが、このような場合、構造物に外力が作用すると、欠陥が大きな損傷に発展する可能性がある。したがって、初期欠陥の有無、ならびに構造物に外力が作用する場合のひびわれ進展状態の解明が、コンクリート構造物の耐力および耐久性を検討する上で、非常に重要なものとなる。そこで本研究では、対象物の表面の微小変形を任意の領域にわたって測定可能なレーザースペckル法¹⁾のコンクリートの微小変形測定に対する適用性について実験を行い、ひびわれ先端周辺のフラクチャプロセスゾーンの存在を視覚的に明らかにすることを目的とする。

2. レーザースペckル法

レーザー光線のような干渉性の高い光を粗面に照射すると、物体表面にスペckル模様という斑点状の模様が現れる。スペckル模様には物体表面の変位量に比例して移動する性質があり、この性質を利用して変位や速度を計測する方法をレーザースペckル法という。レーザースペckル法は、大きくスペckル写真法と電子相関法に分けることができるが、今回はスペckル写真法の中のヤング縞法を用いて表面微小変形量を検出した。これは図1に示すように、表面の微小変形前後の互いにずれたスペckル模様を二重露光撮影したネガであるスペckルグラムにレーザー光線を照射して、レーザー光の干渉性によりすりガラス上に出現するヤング干渉縞の本数から変位量を求める方法である。出現する干渉縞の一例を図2に示す。この場合、実際の変位量は干渉縞に垂直な方向となるが、変位の正負を判別することはできない。なお、カメラのレンズ径、絞り等の光学装置の設定に起因して、測定可能変位量および測定可能領域に幅がある。

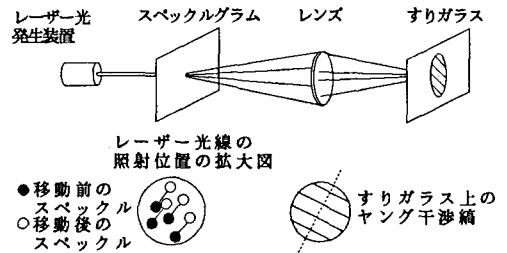


図1 再成像系の光学配置

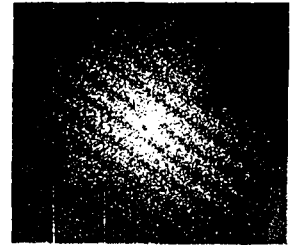


図2 出現する干渉縞の一例

3. レーザースペckル法による変位量測定の精度

レーザースペckル法をコンクリート表面の微小変位測定に用いた研究は少なく、測定結果の精度についてのデータもほとんどないため、測定精度を得る目的で精度試験を行った。精度試験は500tf耐圧試験機を用いた。この耐圧試験機は上部載荷板が移動せず下部載荷板が上方に移動するため、電気抵抗式変位計を用いて下部載荷板および供試体の移動を確認し、供試体に力が作用しない状態での表面移動量の測定を行った。図3に、この試験から得られた干渉縞の本数と、コンクリート供試体の

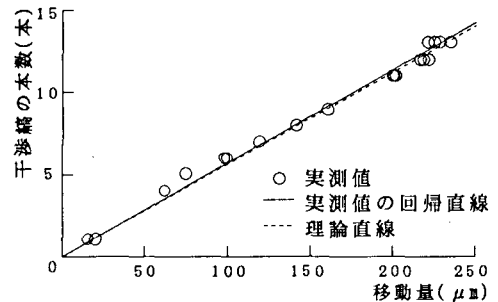


図3 精度試験結果

移動量の関係を示す。理論直線と実測値の回帰直線はほとんど一致しており、相関係数は0.9910である。図から理論直線と実測値との差は、最大でも約10μmであることがわかる。したがって、レーザースペckル法による測定精度は、10μm程度であると思われる。また同様の方法で、移動量の測定可能範囲について調

べた結果、理論上の測定可能範囲と言われている $20\sim 200\mu\text{m}$ に近い $16\sim 240\mu\text{m}$ で測定可能であることが確認できた。ただし、上限値および下限値付近では干渉縞の出現頻度が少なく、出現しても判別しづらいものが多いことから測定に際しては変位量の制御に注意することが必要と思われる。

4. コンクリートの曲げ試験

4.1 試験方法

曲げ試験は同じ500tf耐圧試験機を用いて、断面 $15\times 15\text{cm}$ 、長さ53cmのコンクリートはり供試体を荷重スパン45cmの3等分点荷重で行った。コンクリートの圧縮強度は $\sigma_{ck}=300\text{kgf/cm}^2$ である。なお、光学装置は精度試験

と同様の設定で行った。ひびわれ発生箇所を特定するために、供試体のスパン中央に深さ1cm、幅0.5mmの切欠きを設けた。荷重時の様子を図4に示す。各荷重段階でまず、供試体上のスペckル模様を撮影して荷重を加え変形後のスペckル模様を同じフィルムに二重露光撮影した。その際、供試体側方に電気抵抗式変位計を設置し、供試体全体の移動がないことを確認しながら荷重を行った。試験終了後、フィルムを現像して得るスペckルグラムに再度レーザー光を照射し、出現する干渉縞から表面の変位量および変形の生じている領域を観察した。なお、試験時の荷重速度はスペckル模様の撮影のために一定で行うことができないので、開口部の変位制御による断続的な荷重となった。

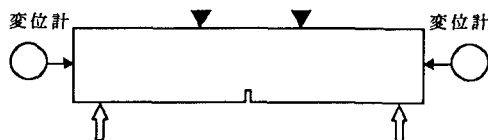


図4 荷重時の様子

4.2 試験結果および考察

曲げ試験の結果、ひびわれの先端周辺での微小変位量および変形の生じている領域を確認することができた。その一例として荷重段階1.5~1.55tfの間の結果を図5に示す。なお、この間の開口変位量は $0.054\sim 0.088\text{mm}$ であった。図中の斜線部は変位量を確認した領域であり、最下部はひびわれ先端である。領域の大きさはこの荷重段階においては最大幅33.5mm、最大長さ38.0mm程度である。図においてこの領域は右上方に伸びていることがわかるが、この後ひびわれがこの方向に進展していく結果が得られたので、この領域がフラクチャプロセスゾーンを表しているものと思われる。また図中に各点での変位量および方向を示す干渉縞のモデルを示す。ひびわれ先端近傍では干渉縞の本数は変わらないが傾きが変わっていることから、傾きが変わる点上をひびわれが進展したものと考えられる。このようにレーザースペckル法を用いることで任意の領域で変位量およびその方向を測定することが可能となり、この方法はフラクチャプロセスゾーンを視覚的に測定する一手段として有効であると言える。

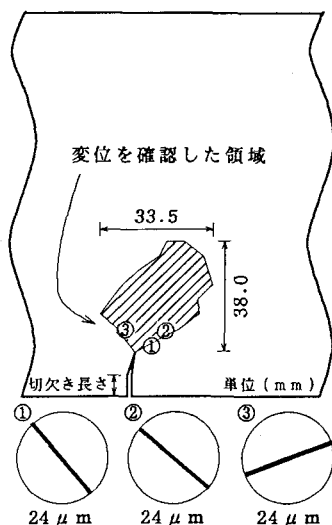


図5 表面変形領域および変位量

5. まとめ

本研究で明らかになったことをまとめると次の通りである。

- 1) レーザースペckル法による微小変位測定の精度は精度試験結果から、本試験で用いた光学設定では、 $10\mu\text{m}$ 程度であることが確認された。
- 2) レーザースペckル法を用いることによりコンクリート表面の任意の箇所の微小変位量およびその方向の測定が可能であり、フラクチャプロセスゾーンを視覚的に把握できる見通しが得られた。

なお、測定において以下の点に関して注意を要することが明らかとなった。

- ① 供試体の全体的な移動がないように測定を行う必要がある。
- ② 必要とされる精度と領域に対して光学装置の設定を決める必要がある。

<参考文献> 1) 山口一郎；スペckル法の原理，第一回手法別講習会「スペckル法」