

光弾性効果を応用した水位計の開発

(株)レーザック
神戸大学

○正会員 藤井 宏和, 海老原 悠馬
正会員 芥川 真一

1. はじめに

近年, 局地的豪雨などに起因する斜面災害が日本各地で多発している. 斜面災害の大きな誘因の一つに地下水位の変動が挙げられ, これをモニタリングすることは防災上大きな意義をもつ. しかし, 常設のモニタリングシステムを構築するには, 大きなコストがかかり, また, 屋外に設置されたセンサ類は, 落雷などの影響で電気回路が破壊され使用不能となってしまうことが少なくない. このような課題に対処するため, センサ部に電気回路を用いず, かつ安価な材料を使用した水位計の開発を試みた.

2. 光弾性効果

透明な樹脂などの材料に外力が加わると, 材料内部に働く主応力差に応じて, その材料に複屈折が生じることがある. この現象は光弾性効果と呼ばれている. 複屈折が生じた材料内では, 透過光は速度の異なる二つの偏光に別れて進み, その結果, 二つの偏光の間にはレターデーションと呼ばれる位相差が発生する. このため, 複屈折をもつ材料に単色光あるいは白色光を透過させ, 直交ニコルで観察すると干渉縞や干渉色が変われる. 光弾性効果によるレターデーション (R) は次式で表される.

$$R = C \cdot t \cdot (\sigma_1 - \sigma_2) \cdots \cdots (1)$$

ここで, C: 光弾性係数, t: 材料の厚さ, σ_1 および σ_2 : 主応力である. すなわち, 光弾性効果によるレターデーションを調べれば, 材料に働く応力の状態を知ることができる. これを利用した応力解析手法の研究や解析例が 40~50 年ほど過去に多くなされている. たとえば, 村山ほか¹⁾は砂質土中の応力を光弾性材料の干渉縞を用いて測定している. 今回, 筆者らは応力を干渉色によって測定することを考えた. 数値計算²⁾によると, 干渉色は, レターデーションに応じて図 1 のように変化することが示される. 実験的に, 高い光弾性係数をもつポリカーボネート (t=5mm, 光弾性係数=75×10⁻¹²/Pa) を一軸載荷し, これを直交ニコルで観察したのが図 2

である. 0MPa 付近では橙色であるのが, 0.5MPa 付近で青緑色, 0.86MPa では紫色に変わることが確認できた. これを図 1 に照し合せてみると, レターデーションは 900nm から 500nm までの約 400nm の範囲を変化したことがわかり, 式(1)から得られるレターデーション変化幅ともほぼ整合する.

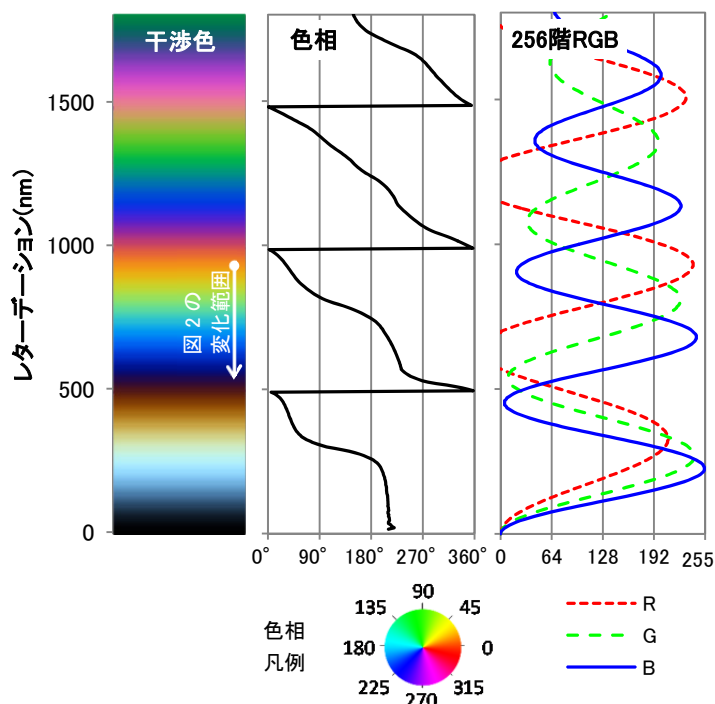


図1 レターデーションと干渉色の関係

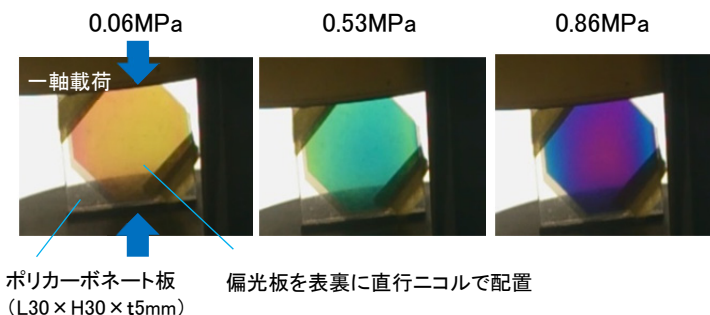


図2 光弾性効果による干渉色の変化

キーワード: モニタリング, 地下水位, 斜面災害, 光ファイバー, 光弾性効果

連絡先: 〒124-0002 東京都葛飾区西亀有 1-5-3 TEL03-6662-7270

3. 光弾性水位計の試作・性能評価

前述のように、光弾性効果を用いれば応力の状態を色で表現することが可能である。これを応用した水圧式水位計を設計した。光弾性材料はポリカーボネート（以下 PC と略称する）を採用した。PC 円盤に長円形の孔を設けた感圧板を作成し、内部を大気圧に保ったセンサ管体に組み込んだ（図 3）。このセンサを水に沈めれば、感圧板の円周に水圧がかかることで長円孔の周辺に偏圧が発生し、レターデーションが変化する。つまり、センサが受ける水圧（=水位）は、直交ニコルによって色として表されることになる。この色を、光ファイバーなどを介して読み取ってやればよい。光ファイバー先端で周辺環境の様々な変化を読み取る方法³⁾は、すでに開発されており、OSV 研究会により LS³(Light State Sensor System の略)として提案されている⁴⁾。そのカラーバージョンには、光の色を定量化できるシステムとして LS³/digital（図 4）がある。この機器は、内蔵されたカラーセンサで光の色を RGB や色相値に変換する。

10 台の光弾性水位計を試作して圧力試験を行った。試作水位計の測定レンジは 0-0.2MPa であるが、この範囲における色 (G/B 比) の出力は図 5 のようになり、これから感度校正曲線を求めた。このようにして構築した光弾性水位計の出力と、実際の水圧とを比較すると、図 6 に示すように良好な結果を示している。なお、製作した 8 台の計測精度は 3%F.S.程度となった（10 台のうち 2 台は初期不良のため評価より除外した）。

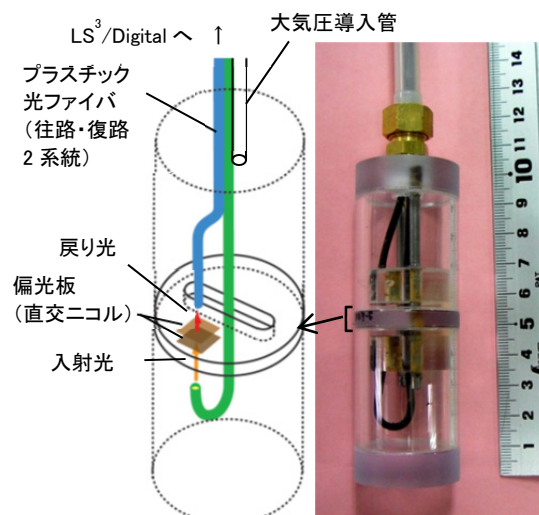


図3 光弾性水位計の構造



図4 LS³/digital

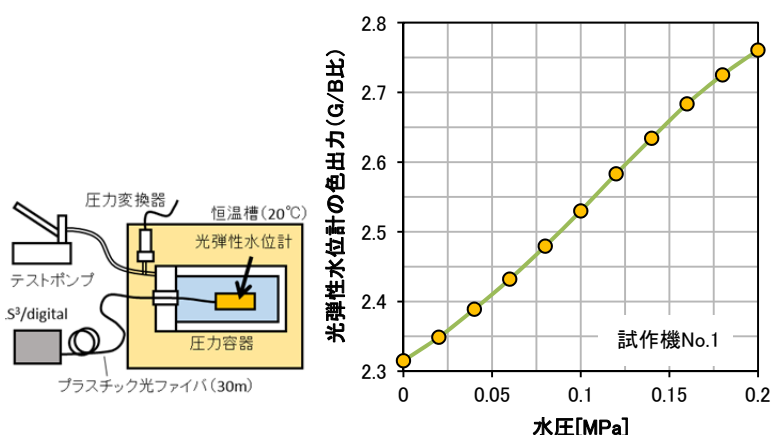


図5 光弾性水位計の感度校正曲線

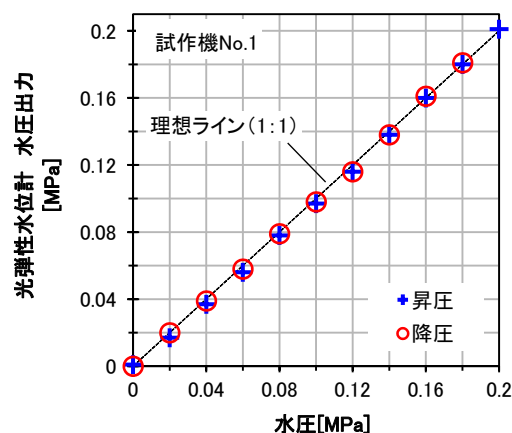


図6 光弾性水位計出力値と実際の水圧との比較

4. おわりに

今日では安価なカラーセンサが普及しており、色を簡単に定量化することが可能である。このような背景を受けて開発された LS³/digital と、古くから土木分野でも利用がなされてきた光弾性効果を組み合わせることによって、低コストな水位計測システムを構築することが出来たと考えている。今後は、さらなるコストダウンを目指すとともに、原位置測定を行って計測データを蓄積し、改良・性能向上へフィードバックさせたい。

参考文献

- 1) 村山朔郎, 丹羽義次, 川本眺万, 光弾性学的方法による砂中応力の測定について, 土木学会論文集第 63 号, pp.66-73, 1959.
- 2) Kato T., A method to synthesize interference color chart with personal computer, 地質学雑誌 Vol.107, No.1, pp.64-67, 2001.
- 3) Akutagawa, S., Nishio, A. and Matsumoto, Y. and Machijima, Y. A new method for reading local deformation of granular material by using light, Proceedings of the 48th US Rock Mechanics and Geomechanics Symposium, Minneapolis, June, 2014.
- 4) OSV 研究会ホームページ, <http://www.osv.sakura.ne.jp/>