

静電容量型センサを用いた沈下量計測方法の開発

徳島大学大学院 学生会員 ○林あかね
 徳島大学大学院 正会員 上野勝利
 金沢大学理工学研究域 正会員 高原利幸

1. 研究の背景と目的

我が国は建物や河川堤防、道路等構造物の整備により安全な生活ができている。しかし、それら構造物を支える地盤は沈下する可能性があり、それによる事故や被害が発生する恐れがある。事故や被害を未然に防ぐには常時計測が重要となってくるが、従来の計測方法では常時計測が困難であった。そのため現在開発されている様々なシステムでは常時計測が可能となっている。本研究では、静電容量型センサによる常時計測可能な沈下量計測方法の開発を目的としている。3本のセンサにより沈下量及び計測点の傾きが計測可能か検証した。静電容量型センサを用いた常時沈下・傾斜を計測できる新たなシステムがあることで、計測する際の選択の幅が広がるのではないかと考える。

2. 実験概要

絶縁され平行に向かい合う電極に電圧を加えると、電荷を蓄えられる。このような機能をもったものをコンデンサという。コンデンサが電荷を蓄えることのできる能力を静電容量 C といい、式 (1) で表される。

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{a}{d} \quad (1)$$

ここで、 ε_0 は真空中の誘電率、 ε_r は電極間の物体の比誘電率、 a は電極間の向かい合った部分の面積、 d は電極の間隔である。比誘電率 ε_r は空気中で約 1、水中で約 80 であるため、その違いを利用して静電容量型センサを製作した。真鍮丸棒の + 電極は、アースと - 電極を兼ねたステンレスパイプの中に存在する。逆サイフォンの原理により貯水タンクとパイプ内の水位が等しくなることを利用し、沈下量計測器を作成した。完成図を写真 1 に示す。

上記計測器を用いて、以下の実験を行った。実験をするにあたり、3本のセンサを A、B、C と呼称する。

【係数検定】パイプ内の水位変化計測のため、カウント値から水位を判断する数式が必要となる。1cm 間隔で 0～13cm まで水位を上げ、計測されたカウント値と水位を使用しグラフを作成する。このグラフの近似曲線の数式が水位算出の際に使用される。3本の電極それぞれ感度が異なるため 3 つグラフを作成する必要がある。

【沈下計測】実際の沈下量とセンサが計測した沈下量を比較し、計測器の精度を検証した。沈下は均一とし、5 分間隔で 1cm ずつ沈下させ最大沈下 6, 8cm で計測を行った。

【傾き検証】8 パターンの不同沈下を再現し、実際の傾きとセンサが計測した沈下量を用いて、計測点の傾き計測の精度を検証した。 x 軸と y 軸の単軸を回転する角度は式 (2) で求め、 x 軸と y 軸 2 軸を回転する角度は式 (3) の回転行列と式 (4) のベクトルの内積を用いて求める。式 (2) の高さの差は計算に用いる沈下量の差、距離は計算に用いるセンサ間の距離を表す。式 (3)、式 (4) の α , β , γ は x 軸周りの回転角度、 y 軸周りの回転角度、 z 軸の角度を表し、 x , y , z は図 1 の A, B, C の座標を用いる。 $\vec{n}$ は傾斜面の法線ベクトルで要素を a , b , c とし、回転行列により求められた座標を用いて求める。

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{\text{高さの差}}{\text{距離}} \right) \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\gamma = \cos^{-1} \left(\frac{\vec{z} \cdot \vec{n}}{|\vec{z}| |\vec{n}|} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \right) \quad (4)$$



写真 1 沈下量計測器 完成図

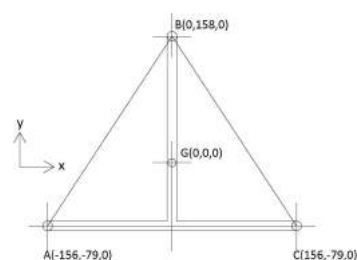


図 1 座標図

3. 実験結果

【係数検定】検定により得られた近似曲線の数式を式 (5), 式 (6), 式 (7) に示す.

$$A: y = 334.25x^2 + 11496x + 16752 \quad (5)$$

$$B: y = 367.26x^2 + 18711x + 8134.6 \quad (6)$$

$$C: y = 20384x + 10271 \quad (7)$$

今回作成したセンサ A と B はグラフが下に凸となり二次関数となった. C にはその傾向が無いため一次関数である. 数式の違いについて電極絶縁時におけるマスキング材の塗り斑が原因と考えられる.

【沈下計測】測定 1 回目での実際の沈下量とセンサの測定沈下量との誤差を図 2 に, 測定 2 回目での誤差を図 3 に示す. 測定 1 回目, 2 回目共に誤差に規則性は無く, ばらつきが大きい. 誤差の範囲は約 $-0.3 \sim +0.5$ cm となった. 計測 2 回目での沈下後 5 分間の沈下量を図 4 に示す. 誤差は発生しているがブレは ± 0.01 cm であり, 一定の計測は可能である.

【傾き検証】測定 1 回目と 2 回目の傾きを表 1 と表 2 に示す. 誤差の許容範囲を $0^{\circ}20'0''$ とする. パターン 1~4 までは計測 1 回目, 2 回目共に許容範囲内となったが, パターン 5~6 では許容範囲外となった. すべてのパターン誤差にばらつきが見られる. 許容範囲外の傾きに使用した高さの差を 0.1 cm ずつ高くしていくと, 0.2 cm 高くした際に許容範囲内となった. 沈下計測で見られた誤差が傾き計算に影響していると言える.

4. 結論

静電容量型センサによる沈下計測の実用化を目的とし, センサによる計測器の作成沈下・傾きが計測可能か検証した.

【係数検定】一次関数, 二次関数の違いはあるが実水位に比例してカウント値が上昇・下降の挙動を見せた.

【沈下計測】沈下計測において ± 0.5 cm の誤差は目標誤差が ± 0.1 cm のため大きな誤差となったが, cm オーダーでの計測には問題ない.

【傾き検証】傾きの誤差は, 片側沈下の場合許容範囲 $0^{\circ}20'0''$ 内となったが, 対角線上の沈下では $0^{\circ}20'0''$ 以上となったため不同沈下における傾きは判断できない.

したがって, 現段階では目標精度での計測に沈下量・傾き共に達していないため, 実用化するには今後改良が必要である. 改良点として, センサ電極部の改良, 計測器本体の小型化・単純化が挙げられる.

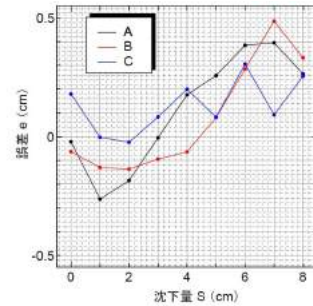


図 2 1 回目誤差

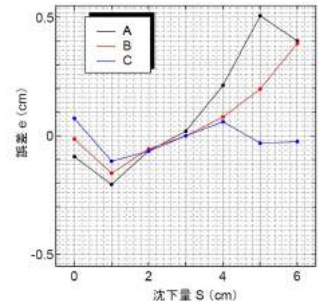


図 3 2 回目誤差

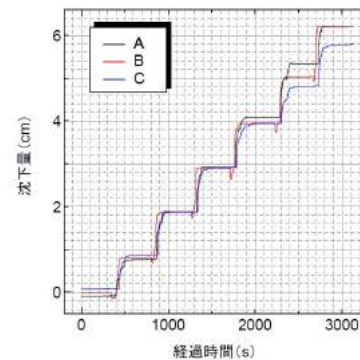


図 4 沈下量 5 分間

表 1 計測 1 回目 傾き

パターン	レーザー傾き	センサ傾き	傾き誤差
1	$8^{\circ}58'53.94''$	$8^{\circ}40'47.09''$	$0^{\circ}18'6.85''$
2	$8^{\circ}29'32.87''$	$8^{\circ}33'25.2''$	$0^{\circ}3'52.33''$
3	$6^{\circ}4'17.35''$	$6^{\circ}14'7.15''$	$0^{\circ}9'49.8''$
4	$5^{\circ}19'59.76''$	$5^{\circ}37'9.84''$	$0^{\circ}17'10.08''$
5	$7^{\circ}11'27.91''$	$8^{\circ}0'24.28''$	$0^{\circ}48'56.37''$
6	$7^{\circ}7'55.26''$	$7^{\circ}55'34.2''$	$0^{\circ}47'38.94''$
7	$4^{\circ}25'24.85''$	$4^{\circ}0'6.07''$	$0^{\circ}25'18.78''$
8	$3^{\circ}21'27.09''$	$4^{\circ}6'35.91''$	$0^{\circ}45'8.82''$

表 2 計測 2 回目 傾き

パターン	レーザー傾き	センサ傾き	傾き誤差
1	$9^{\circ}13'35.36''$	$9^{\circ}8'45.31''$	$0^{\circ}4'50.05''$
2	$8^{\circ}44'13.12''$	$9^{\circ}4'10.3''$	$0^{\circ}19'57.19''$
3	$6^{\circ}4'17.35''$	$6^{\circ}23'40.5''$	$0^{\circ}19'23.15''$
4	$5^{\circ}47'40.35''$	$5^{\circ}50'29.81''$	$0^{\circ}2'49.45''$
5	$7^{\circ}14'45.85''$	$7^{\circ}47'4.49''$	$0^{\circ}32'18.64''$
6	$5^{\circ}54'47.03''$	$6^{\circ}25'16.54''$	$0^{\circ}30'29.51''$
7	$6^{\circ}51'11.1''$	$7^{\circ}9'16.15''$	$0^{\circ}18'5.05''$
8	$7^{\circ}19'14.84''$	$8^{\circ}11'35.73''$	$0^{\circ}52'20.89''$