

静電容量式センサーによる空洞評価の模型実験

徳島大学 学生会員 ○石川翔太, 松井雄揮
徳島大学 正会員 上野勝利, 渦岡良介, 鈴木壽

1. 研究の背景と目的

現在、道路などの路面下には上下水道管やガス管など多くの管路が埋設され、大都市では地下鉄や地下街などの地下空間の利用が進んでいる。しかし1980年代頃から埋設管周辺で路面陥没が多く発生し、社会的に大きな問題となった¹⁾。そこで本研究では、路面陥没を未然に防ぐため、安価で広範囲に地盤内をモニタリングでき、空洞が発生した場合にその寸法を推定できるような静電容量式センサーの開発を目的とした。

2. 静電容量式センサー

静電容量式センサーは測定原理に静電容量を用いている。静電容量 C は $C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d}$ で求められる。ここで ϵ_r は電極に挟まれた物体の比誘電率で、真空の誘電率に対するある物質の誘電率の比であり、物質によって異なる。この比誘電率は、乾燥空気は1、乾燥土は3、水は20℃で約80である。本研究では、この比誘電率の差を利用して地盤内の空洞寸法の検討を行った。本研究で用いたセンサーはフィーダー型(写真1)、UTP型(写真2)の2種類である。またそれぞれセンサアンプに直接繋いだもの(キャンセル機能なし)と、電極とセンサアンプの間に同軸ケーブルを接続し、センサアンプに浮遊容量のキャンセル機能を付けたもの(キャンセル機能あり)の2種類、計4つのセンサーを用意した。各センサーを接続した概略図を図1に示す。

3. 模型実験

模型地盤内に空洞を設け、水位の上昇・下降を繰り返し計測することで、センサーによる空洞の探知および空洞寸法の推定することが可能であるか検証した。

3.1 実験器具

実験は底面を密封した1mの塩ビパイプを2本用意し、その下部をウレタンチューブで繋いで行った。以下これをカラム試験器と呼ぶ。実験の際には、片方のパイプには土とセンサーを設置して、もう一方のパイプに注水を行い、ウレタンチューブを通して水を浸透させた。空洞は目の細かいスポンジと、ポーラスストーンを用いて作製した。また、設置する際にスポンジに切込みを入れ、空洞内部の水位変化を外から確認でき

るようにした。

3.2 実験方法

まず、カラム試験器にセンサーを設置し、豊浦砂を入れる。途中、空洞を設置し、その後再び豊浦砂をパイプのメモリで90cmの位置まで入れた。もう一つのパイプと接続した後、空のパイプより水を浸透させ、豊浦砂を飽和させた。飽和後、マイコンを起動し、カウント値を測定した後、水位を10cmずつ下げカウント値の変化をみた。水位が10cmまで下がれば再び10cmずつ上げ、これを2、3往復繰り返して試験を終了した。空洞の大きさを空洞なし、10cm、20cm、30cmと変化させ同様の実験を行なった(写真3)。

3.3 実験結果

図2に水位変化とカウント値の関係を示す。空洞がない場合は水位を変化させてもカウント値の変化が比較的小さかった。それに対し、空洞がある場合は空洞部分で水位を変化させるとカウント値が著しく増加・減少した。またフィーダー型センサーの感度は、キャンセル機能の有無であまり違いがなかった。これはキャンセル機能ありのセンサーにおいて、同軸ケーブルの接続により計測値に上乗せされる浮遊容量のキャンセルが正常に働いていることをあらわしている。これによりキャンセル機能なしのセンサーと同等に扱うことができる。センサアンプを埋設する必要がないため、センサーの長寿命化に有利である。

相対静電容量(式(1))を用いることで、静電容量の変化を飽和度の観点からみれば、カウント値などのセンサーの個体差に影響されることなく空洞寸法を評価できるようになった。また空洞前後の相対静電容量の差 δC_r から評価される空洞寸法と、実際の空洞寸法の関係を(図4)に示す。この2つには線形の関係が示され、1:1.41の比で表わせる。これにより簡易的な空洞寸法 h の推定(式(2))が行えるようになった。

$$C_r = \frac{C - C_0}{C_{100} - C_0} \times 100(\%) \quad (1)$$

$$h = 1.41 \times \frac{\delta C_r}{100} \times l(\text{cm}) \quad (2)$$

(ここで C_r は相対静電容量、 C は土中でのカウント値、 C_0 は空気中でのカウント値、 C_{100} は水中でのカウント値、 h_e は推定寸法、 l はセンサー長である。)

UTP 型センサーでは図 3 のような結果が得られた。原因として空洞設置の際に用いたポーラスストーンなどによりセンサーの電極部分に傷が付き、そこに水が触れることでショートしカウント値の急激な変動を招いたと考えられる。よって実験を行った範囲では実地盤に設置する際はフィーダー型が適していると考えられる。

謝辞

本研究においてご指導いただいた上野准教授、工作センターの皆様にご心より感謝申し上げます。

参考文献

- 国土交通省 下水道:
計画的な改築・維持管理
http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000135.html



写真 1 フィーダー型

写真 2 UTP 型

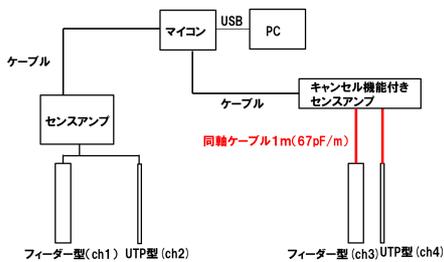


図 1 各センサー接続の概略図



写真 3 実験の様子 (空洞 20cm)

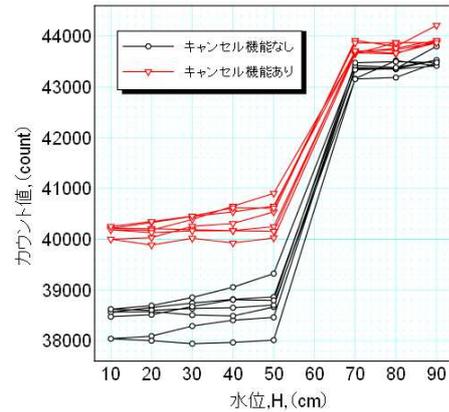


図 2 空洞 20cm (フィーダー型センサー)

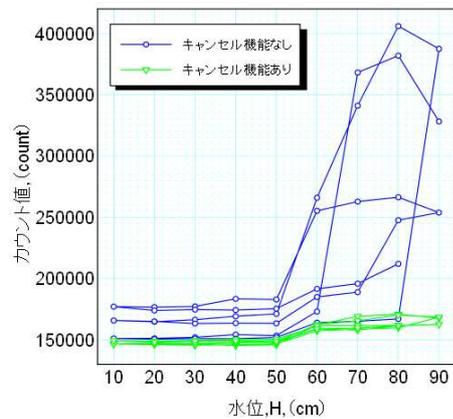


図 3 空洞 10cm (UTP 型センサー)

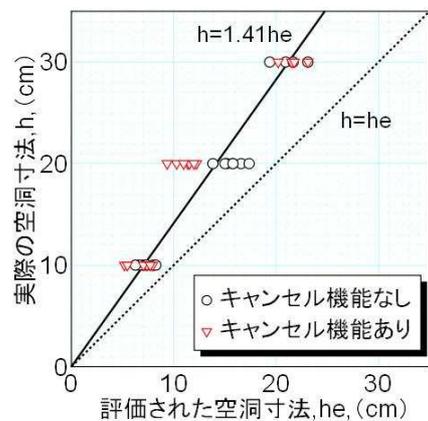


図 4 計測値から評価された空洞寸法と、実際の空洞寸法の関係 (フィーダー型)