

モルタル水分センサを用いた水分量推定の省電力化に関する検討

金沢大学 正会員 ○小黒 拓郎 学生会員 Geneva G. Villamor
 金沢大学 正会員 久保 善司 正会員 深田 幸史

1. はじめに

コンクリート構造物は、適切に設計・施工された場合、高い耐久性を有する。しかし、国土が海に囲まれ、平野部が海に隣接している日本では、コンクリート構造物が沿岸近くに建設されていることも多い。沿岸部における水や塩化物イオンが過剰に供給される厳しい環境では、コンクリート構造物の早期劣化は重大な問題の1つになっている。塩害に限らず、コンクリート構造物の劣化の発生と進行は、塩化物イオンなどの有害物質の浸透と移動に依存している。さらに、コンクリート中の物質の浸透・移動は、水分の存在あるいは移動に大きく左右される。塩害における鉄筋腐食反応においては水分の供給が不可欠となっている。コンクリート構造物を長期にわたって維持するためには、外部環境からコンクリート構造物への水の供給を把握・制御することが重要な課題の一つであり、コンクリート中に埋設するタイプのセンサは開発されているものの、コンクリートに特化し、水分の供給・逸散に着目した環境センサは開発されていないのが現状である。

2. 研究の経緯

著者らは、コンクリート構造物の劣化に焦点を当てて環境作用の一つである水の作用を評価するため、新しいモルタル水分センサとそれを使った環境モニタリングシステムを開発中である¹⁾。ここでは、モルタル水分センサの含水状態の変化と AC インピーダンス特性との関係を把握する検討を行うとともに、実環境にモルタル水分センサを設置し、LCR メータと自動計測システムによる長期モニタリングを継続している。さらに、磁歪材料を用いた振動発電装置である「V-GENERATOR」²⁾とモルタル水分センサを組み合わせることによって、電池交換不要でメンテナンスフリーの自立式モニタリングシステム（図-1 参照）を開発することを最終目標としている。

コンクリート構造物のモニタリングにおいては、電源を確保することが困難なケース、あるいは電池交換、メンテナンスに多額のコストを要するケースもある。さらに、電源供給なしの自立式センサーは省エネルギーの観点からも期待されている技術の一つである。

本研究では、モルタル水分センサの自立式化に向けての要素技術として、単純かつ小電力で実現可能な方法として、瞬間的な電圧の変化に対するモルタル水分センサの応答から含水量を推定する方法に関する検討を行なった。

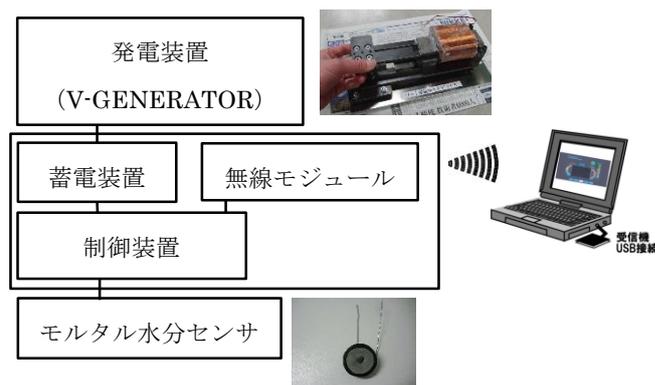


図-1 自立式水分モニタリングシステムのイメージ

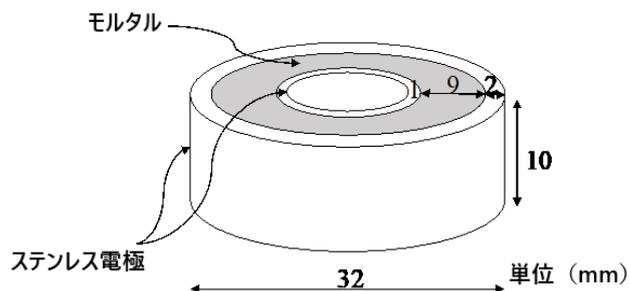


図-2 モルタル水分センサの概要

表-1 モルタルの配合

W/C (%)	単位量 (kg/m ³)			
	W	C	S	空気量
54.5	274	457	914	4

C: 普通ポルトランドセメント S: セラミック砂

2. 実験概要

(1) **モルタル水分センサ** モルタル水分センサの概要を図-2に示す。同心の2つのステンレス製円筒の間にモルタル材料を充填した。モルタル材の配合を表-1に示す。外側と内側のステンレス材それぞれにケーブルをはんだ付けし、ケーブル間における電気特性を計測した。

(2) **測定方法** 瞬間的な電圧の変化として、振幅約0.5Vの矩形波を与えた。すなわち、センサには瞬時に1Vの電圧変化が生じる。矩形波の周期は、モルタル水分センサの充電、放電が十分に行われるよう、1Hzとした。モルタル水分センサと1k Ω の抵抗を直列に接続したものに矩形波を印加し、電圧上昇後のモルタル水分センサの端子間の電圧変化をオシロスコープで測定した。サンプリング間隔を20ps, 800p, 40ns, 2 μ s, および80 μ sと変えて5回測定し、そのデータを重ね合わせることで、印加電圧上昇後1nsから0.32sまでのモルタル水分センサの電圧変化とし、それを1回の測定とした。

3. 結果と考察

異なる含水状態で測定したモルタル水分センサの応答を図-3に示す。室内環境で質量変化を示さなくなるまで乾燥させた時点をも0gとし、そこから浸水した後の質量の変化、すなわち含水量の変化を凡例に示した。モルタル水分センサの端子間の電圧変化 ΔV を測定された印加電圧の変化 $E \cong 1$ Vで除した値を縦軸に取り、横軸は時刻 t を対数軸で表した。

モルタル水分センサが乾燥しているほど電気抵抗が大きく、数字が小さいものほど、応答値 $\Delta V/E$ は大きくなった。これらの結果から、質量変化 m の推定式を導き出すため、 $t = 20$ ns および $t = 200$ ns のときの $\Delta V/E$ の値、 $\Delta V_{20n}/E$ および $\Delta V_{200n}/E$ を用いて回帰分析を行い (図-4)、次の式を得た。

$$m = \left(\frac{0.178 E}{\Delta V_{200n} - \Delta V_{20n}} - 0.5068 \right) [\text{g}]$$

これにより $t = 20$ ns および $t = 200$ ns のときの2回、電圧を測定することで、モルタル水分センサの質量変化を推定が可能である。今後はさらなるデータの蓄積を行い、推定式の精度の検証および向上に関する検討を行う予定である。

4. まとめ

モルタル水分センサの含水状態に、端子間の電圧変化が大きく影響を受けており、そのことを利用して少数回の測定でも含水状態の違いを把握することは可能である。しかし、今回測定した3つの含水状態以外においても回帰直線上に乗ってくることの検証は必要である。さらに、モルタル水分センサごとの電気特性のばらつきを取り除き、より正確な推定をするためにも、理論的な裏付けがされることが望まれる。

謝辞 この研究は、文部科学省が推進する、地域イノベーションエコシステム形成プログラムの研究プロジェクト (金沢大学および石川県) の一環として実施されました。

文献 1) 江里口 玲ら, 第74回土木学会年次学術講演概要集, CS9-08, 2019.9

2) <http://vibpower.w3.kanazawa-u.ac.jp/>

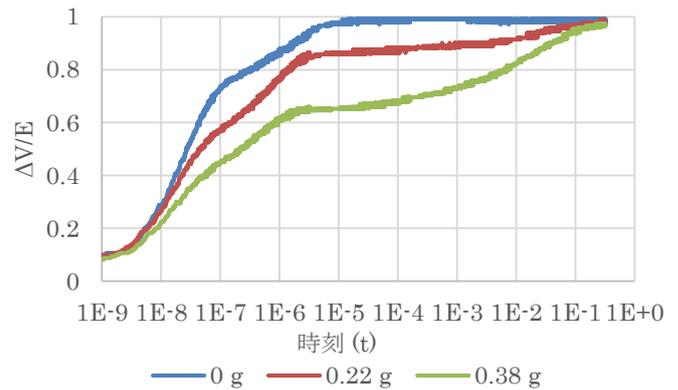


図-3 モルタル水分センサの応答

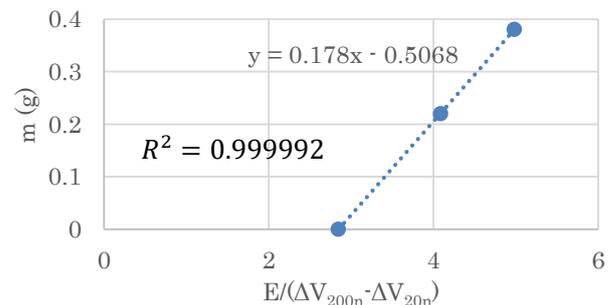


図-4 質量変化 m の推定