

シート型マルチセンサーを用いた浸透に伴う飽和度変化の測定精度の把握

九州大学 学 ○荒木亮太

九州大学大学院 正 石蔵良平 F 安福規之 正 アデル・アロウイシー

東洋アルミニウム株式会社 左近貴浩 上松正和 田中聡一郎

1. はじめに

近年、台風や豪雨といった外力の発生頻度が増加しており、それに伴い、河川堤防等の土構造物に甚大な被害が発生している。今後もこのような気候変動の影響を受け、被害は増加することが予測されるため堤防の補強の重要性が増している。河川堤防が破壊に至る原因の一つに河川堤防の浸透が挙げられる(図-1)。浸透による破壊は飽和度の変化に起因すると考えられ、堤体内の飽和度の変化を観測することが出来れば適切な補強が可能となり、被害の減少に繋がる。一般的に使用されている土壌水分計は測定方式としては TDR (時間領域反射法) により測定されている。これは堤体内への埋設時や堤体内で応力を受けた場合に電極の金属棒が容易に折れたり曲がったりしてしまい、正常な観測ができなくなる。そのため、河川堤防のような土構造物内の特性の経時変化を観測する装置として必ずしも適するとは限らない。そこで本研究では、浸透に対して粘り強い堤体の提案を行うための地盤内飽和度を把握するため、深さ方向・横断方向に連続的に飽和度の経時変化を観測できる水分センサーの開発を目指す。今回は、深さ方向に連続的に飽和度を観測出来るシート型マルチセンサーを試作した。本研究で使用したセンサーを図-2 に示す。このセンサーの実用化に向けて、体積含水率とセンサーの出力値との相関性を把握するためキャリブレーション試験を行った。

2. 実験概要

キャリブレーション試験では土質試料や相対密度の違いがセンサーの出力値に与える影響を把握するため試料には珪砂 4 号, 7 号と豊浦砂を用いることとした。また、相対密度は締固め管理基準値が $Dr=90\%$ とされていることから、 $Dr=90\%$ と基準値以下の $Dr=80\%$ の場合で試験を行うこととした。使用した試料の粒度分布を図-3 に示す。試験方法は、特定の飽和度 ($S_r=0, 20, 40, 60, 80, 95\%$) に調整した土試料にセンサーを設置し、値を読み取る実験方法 1 とモールド底部から水を供給し特定の時間 (0, 20, 40, 60s...) で値を読み取る実験方法 2 の 2 種類から体積含水率とセンサーの出力値との相関関係について検討を行った。また、実験方法 1 は、図-4 に示すように、厚さ 1 mm のプラスチック板で土試料に下穴を開けてセンサーを挿入した。センサーは表面から 3~4 cm の位置に設定した。また、キャリブレーションに使うセンサーの出力値は、実験により得られた出力値の安定した時の値を用いることとした。結果の整理には、間隙中に占める水の量が試料により異なることから、飽和度でなく体積含水率を用いて行った。

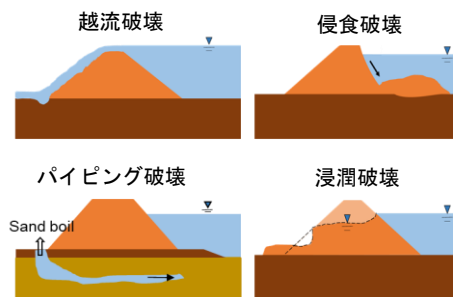


図-1 河川堤防の破壊パターン

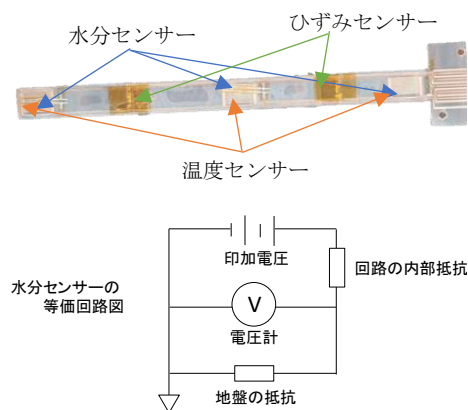


図-2 シート型センサー概要

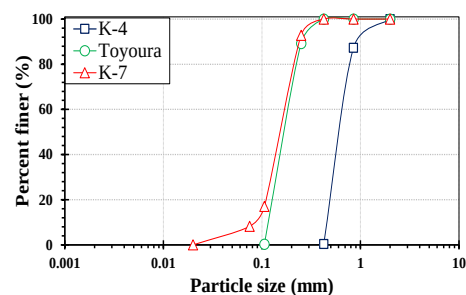


図-3 用いた試料の粒度分布

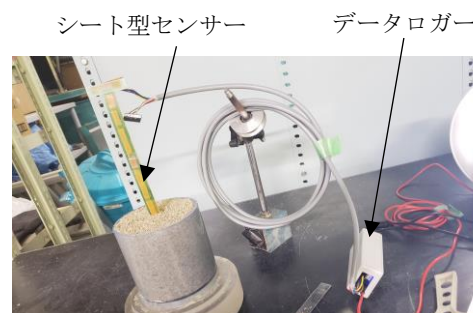


図-4 キャリブレーション試験の様子

3. 実験結果と考察

測定時のセンサー出力値の経時変化の一例を図-5 に示す。測定時に安定していた 200s~1800s 間のセンサーの出力値の平均値を $\bar{V}$ とし、試料の種類と測定時の出力値のばらつきを比較する。この結果、珪砂 4 号が $\bar{V} \pm 24V$ であるのに対し、珪砂 7 号は $\bar{V} \pm 7V$ であった。このことから、粒径が小さい試料の方が測定時にセンサーと密接に接触し、出力値が安定したと考えられる。また、キャリブレーション試験時、想定より著しく低い値を示す場合があった。その際は、著しく低い値を示した飽和度と前後の飽和度でのセンサーの出力値との関係から、再度試験を行い、その際の値を特定の飽和度に対するセンサーの出力値として扱うこととした。上記に示す手順と取った例として珪砂 7 号の飽和度 60%の際の試験結果を図-6 に示す。この要因としては、モールド内に開けた下穴がセンサーの厚さに比べて大きく、水分センサーと土壤水が接触しなかったことが考えられる。センサーの挿入方法については、今後より詳細に検討する必要がある。

土質試料の体積含水率とセンサーの出力値の関係結果を図-7 に示す。試験結果より体積含水率とセンサーの出力値との関係は相関係数が $R^2 = 0.924$ であり、土質試料の種類と相対密度に関係なく直線関係にあることが分かった。また、体積含水率が高くなるにつれて相関関係は弱くなる傾向を示した。図-8 に示すのは珪砂 4 号での飽和度 $Sr=80\%$ の試験時の様子である。粒径が大きな試料では飽和度が高くなると、モールド表層に水が溜まる状況が多く見られた。このことから、水分センサーはモールド表層部に溜まった水に対応した値を出力し、この影響により、体積含水率と出力値の相関関係が弱くなったと考えられる。以上のキャリブレーション試験の結果から、珪砂に関する体積含水率の推定式として概ね $\theta = 0.4951V(\%) + 7.0521$ で定義することが出来た。今回のキャリブレーション試験は砂質土に対して行ったことから、センサーの実用化に向けて粘性土や礫質を含んだ砂を用いた試料についてもキャリブレーション試験を同様に行い、土質ごとのセンサーの精度を検討する必要がある。

4. まとめ

キャリブレーション試験によりシート型マルチセンサーの飽和度変化に対する精度の検証を行った。その結果、砂質系の試料では種類に関係なく体積含水率とセンサーの出力値が概ね直線関係にあることが分かった。今後は、センサーの実用化に向け、粘性土など様々な土試料で同様の試験を行うと共に、ひずみセンサーによる堤体内試料の変形挙動の把握ならびに温度センサーによる土試料温度の把握についても検討を行う予定である。

【謝辞】

今回、研究に用いたシート型センサーは東洋アルミニウム株式会社により提供頂きました。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】

1)河川堤防の構造検討の手引き(改訂版)-財団法人国土技術研究センター P31 平成 24 年 2 月

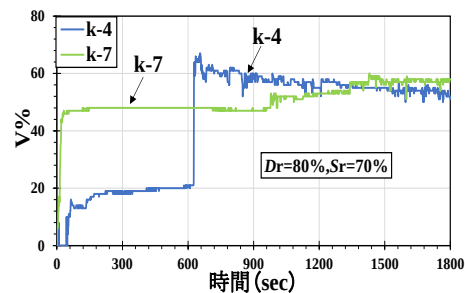


図-5 測定時の値の変化(土質試料)

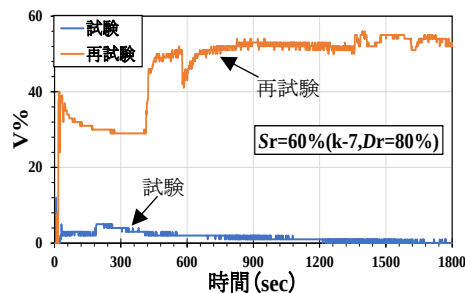


図-6 測定時の値の変化(接触感度)

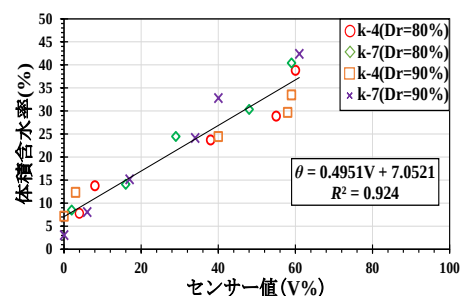


図-7 キャリブレーション結果

センサー周りに溜まった水

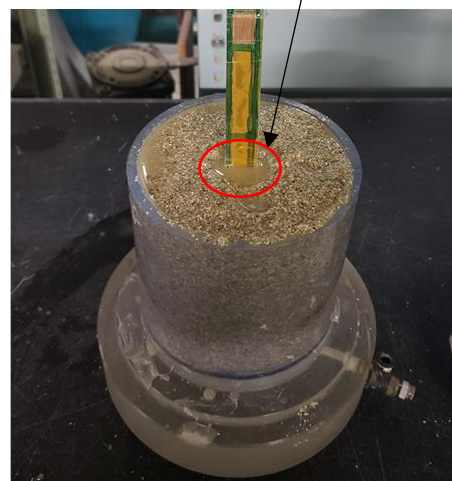


図-8 飽和度 80%の試験時の様子(k-4)