

## 温度・含水比変化計測型シート状センサーの精度の把握と模型盛土への適用

九州大学 学 ○荒木亮太

九州大学大学院 正 石藏良平 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 非 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計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。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、深さ方向・横断方向に連続的に温度・含水比の経時変化を計測できるセンサーの開発を目指す。今回は、深さ方向に連続的に温度・含水比変化を計測出来るシート状センサーを試作した。一つの装置で地盤内の様々な特性が計測出来ること、土構造物の形状に柔軟に対応出来ることがセンサーを開発する上で重要であると考え、本研究で開発したセンサーはシート状の形状とした。シート状センサーの概要を図-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、ワイヤーセンサーと温度センサー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。また、開発したシート状センサーの土構造物への適用性の検討として、河川堤防を対象とした模型盛土に対して浸透実験を行った。ここでは、既製の土壤水分計とシート状センサーとの堤体内の飽和度の経時変化の比較から、シート状センサーの土構造物への適用性を検証した。

## 2. 実験概要

水分センサーの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は珪砂4号、7号と豊浦砂を用いた。また、相対密度は締固め管理基準値の $D_r=90\%$ <sup>1)</sup>と基準値以下の $D_r=80\%$ の場合で試験を行った。試験方法は、特定の飽和度( $S_r=0,20,40,60,80,95\%$ )に調整した土試料を直径10cmで高さ10cmの容器に詰め、センサーを設置し、値を読み取る実験方法にて行った。これにより、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。温度センサーのキャリブレーション試験は、オープンによって空気温度を変化させ、それに対応する試料の温度をワイヤーセンサーと温度センサーで読み取る方法にて行った。これにより、ワイヤーセンサーと温度センサーとの相関関係について検討した。模型試験では堤体材料としては豊浦砂を用いた。乾燥密度 $1.5\text{ g/cm}^3$ 、初期含水比5%で豊浦砂を5層に分け締固め、基礎地盤・模型盛土を作製した。また、模型盛土の寸法と各センサーの設置位置を図-3に示す。奥行は15cmとした。浸透破堤実験により、土壤水分計と開発センサーの飽和度の経時変化の比較を行い、開発センサーの土構造物への適用を検討した。土層に供給する流量は初期流量を $Q_0 = 1186(\text{ml/min})$ とし、水頭差を利用した装置により流量の調整を行った。

キーワード：センサー，キャリブレーション，河川堤防，浸透破壊

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744番地 WEST2号館1108-2 TEL 092-802-3378

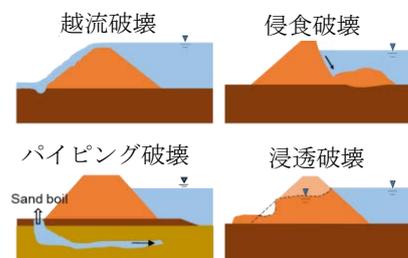


図-1 河川堤防の破壊パターン

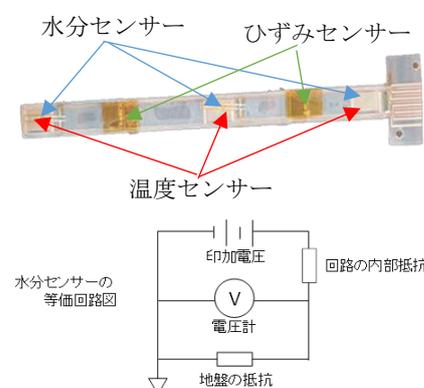


図-2 シート状センサーの概要

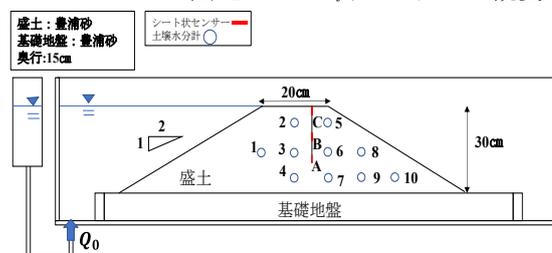


図-3 模型装置の概要

### 3. 結果の比較と考察

#### 3.1 水分センサーのキャリブレーション試験結果

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-4 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  $R^2 = 0.918$  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。センサーは表面から 3~4 cm の位置に設定して試験を行った。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、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、砂質土に関する体積含水率の推定式として  $\theta = 0.4725V(\%) + 7.5315$  を与えた。

#### 3.2 温度センサーのキャリブレーション試験結果

ワイヤーセンサーと温度センサーとの関係結果を図-5 に示す。試験結果よりワイヤーセンサーと温度センサーとの関係は相関係数が  $R^2 = 0.973$  であることから、ワイヤーセンサーと温度センサーは概ね直線関係にあることが分かった。

#### 3.3 土壌水分計との比較によるシート型センサーの評価

模型実験において、天端高から深さが約 20 cm 地点での各センサーの飽和度の経時変化を図-6 に示す。試験結果より、堤体の浸透は測点 A から測点 3、測点 6 と、盛土深部から浅部、堤外側から堤内側の順に起こっていた。開発したシート状センサーは、盛土内の飽和度の経時変化を従来型センサーと同程度の精度で捉えることが出来ている。図-7 に堤内法尻付近の土壌水分計による飽和度の経時変化を示している。図中には、図-8 に示される浸透に伴い移動した盛土すべり体積の経時変化も併記している。土壌水分計は 60 分付近から、飽和度が上昇している。盛土がすべり出す直前に、浸透に伴う法尻付近の飽和度の上昇を概ね捉えることが出来ている。

### 4. まとめ

開発したシート状センサーの飽和度(体積含水率)に対するキャリブレーション試験を実施した。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。また浸透模型実験により、開発したシート状センサーは、模型盛土内の飽和度を連続的に計測でき、従来の土壌水分計と同程度の精度で飽和度の経時変化を捉えることができることを確認した。今後は浸透に伴う、盛土の崩壊を予測するためシート状センサーの設置方法など更なる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。

また、本研究の実施にあたり、科研費 20H0026 の助成によって行われた。ここに記して謝意を表する。

【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

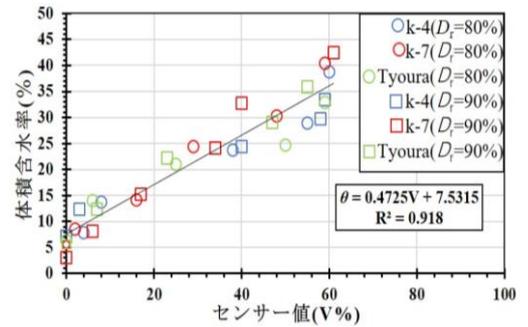


図-4 水分センサーの試験結果

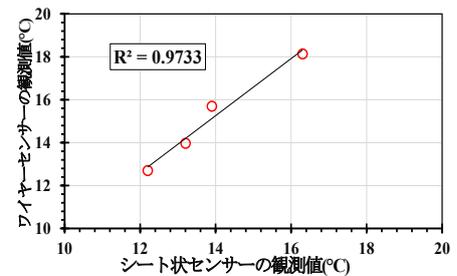


図-5 温度センサーの試験結果

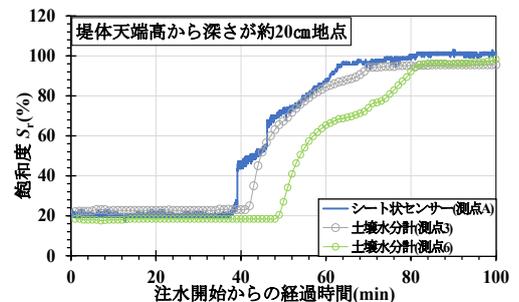


図-6 センサーの飽和変化の比較

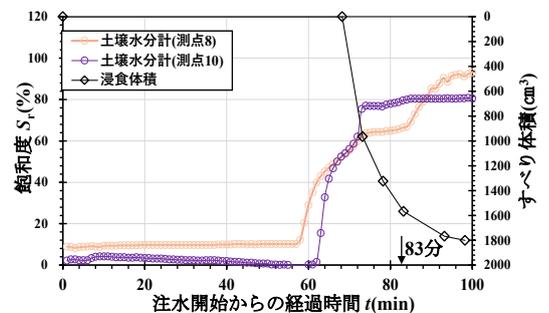


図-7 堤内法尻付近の飽和度の経時変化

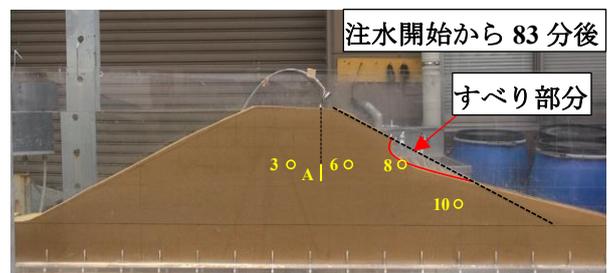


図-8 法面に発生したすべり状況