

X線CTを用いた砂質土壌水分計測における空間分解能の検討

東洋技研コンサルタント株式会社 元木 遼平

1. はじめに

建設材料の変形、破壊挙動や内部への物質浸透などを検討するために様々な非破壊検査が試みられているが、その手法の一つとしてX線CTが挙げられる。X線CTを用いれば測定物の内部構造を非破壊で撮影することができる。また、X線CTは材料内部の密度の違いを元に内部構造を調べるものであり、土壌もまた水分量の違いにより、その密度分布が異なることから、X線CTにより土壌内の水分量の分布を三次元的に測定することが可能である。

本研究では、X線CTを用いたより精度の高い水分計測を目的とする。本研究室ではこれまで、CT値の頻度分布と体積含水率の関係からX線CTを用いた土壌水分計測の検討¹⁾および最適撮影条件の検討²⁾を試みてきた。昨年度の研究結果から、砂の充填状態と水分量の違いによる頻度分布の違いも検討する必要があると推察された。そこで本年度は、砂の鉛直方向における水分量の変化に着目し、砂の試験体を複数に分解することにより、狭小範囲におけるCT値の頻度分布と体積含水率の関係を調べ、空間分解能を検討する。

2. X線CTの概要

X線CT装置は、一般にX線管、フラットパネルセンサおよび試験体を設置するテーブルから構成される。本研究で使用するX線CT装置は、近畿大学34号館コンクリート実験室に設置されている。X線管とフラットパネルセンサを回転させ、試験体に360度からX線を放射し、試験体を透過したX線をフラットパネルセンサで受信、さらに回転させることで得られた複数の結果を解析することで三次元的に撮影ができる。また、撮影した透過画像を再構成による三次元画像としての保存や、それを解析することで試験体内部の密度の違いをCT値の頻度分布から推定が可能である。

CT値とは、式(1)で表される測定物のX線吸収係数の値を、水のそれを基準値として表したものであり、水のCT値は0、空気のCT値は-1000となる。つまり、物質の密度が高くなるほどCT値も増加するため、CT画像上では空気は黒く写し出され、CT値が高くなるに伴い白く写し出される。

$$CT値 = \frac{\mu_t - \mu_w}{\mu_w} \times 1000 \quad \dots \dots (1)$$

ここに、 μ_t : 物体のX線吸収係数、 μ_w : 水のX線吸収係数、である。

頻度分布とは、CT値の頻度の分布を示し、頻度は解析範囲内の各CT値に対応するボクセル(CT画像を構成する微小な立方体)数を解析範囲内の全ボクセル数で除した値である。

3. 実験方法

内径59mm、高さがそれぞれ10mmと20mmの亚克力製樹脂のリングと厚さ3mmの板を用い、リングを図-1のように積み重ね、高さ93mmの分割可能なカラムを作成する(図-1中の①および⑦のリングの高さが20mm、②~⑥のリングの高さがそれぞれ10mm)。なお、リング同士の接触部分は、分解の容易性を考慮しカラムの外側からテープで固定し、必要に応じてテープの外側からシリコンを薄く塗り、水漏れを防ぐ。

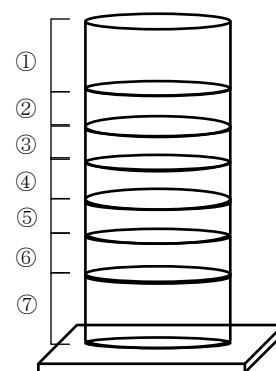


図-1 分割カラム

図-1のカラムに、豊浦硅砂と蒸留水を混ぜたものを詰め、X線CT装置を用いて撮影を行う。その後、炉乾燥法により砂の重量含水率を測定し、各リングの体積および各リング内の砂と水の重量から、リング内の砂の体積含水率を求める。さらに、撮影した透過画像から②~⑥全体と②~⑥の6種類のCT値の頻度分布をそれぞれ作成し、頻度分布における平均値、平均値の頻度、分散から体積含水率との関係性を調べる。なお、今回の実験でのX線CT装置の撮影条件は電流100 μ A、電圧160kV、プロジェクション3000枚、画像積算レート2.0フレーム/秒とし、X線放出口を覆う銅板の厚さは3mmとする。また1ボクセルの一辺の長さは、0.123051mmとなる。

4. 結果

表-1に、今回の実験で用いた試験体の各体積含水率を示す。なお、体積含水率は図-1中の②~⑥の範囲における各体積含水率の平均である。さらに図-2に、caseAの②~⑥全体におけるCT値の頻度分布を示す。図-2に示すように、CT値の頻度分布はガウス分布と相似の形状となる。そのた

め、CT 値の頻度分布から式(2)に示すガウス分布の式を推定し、CT 値の平均値、平均値の頻度および分散を求めた。

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \dots \dots (2)$$

ここに、y:頻度、x:CT 値、 σ^2 :分散、 μ :CT 値の平均値、である。

図-3~図-5 に、体積含水率と CT 値の平均値の関係、体積含水率と平均値の頻度の関係および体積含水率と分散の関係をそれぞれ示す。図-4 および図-5 中の直線および式は各試験体における②~⑥

表-1 試験体の体積含水率

| 試験体 | 体積含水率 |
|-------|--------|
| caseA | 0.0019 |
| caseB | 0.0440 |
| caseC | 0.0983 |
| caseD | 0.1708 |
| caseE | 0.2400 |
| caseF | 0.2810 |

それぞれの平均値の頻度および分散を対象とした近似曲線および近似式である。また、R は相関係数を示す。図-4 および図-5 より、体積含水率の増加に従って、平均値の頻度および分散はそれぞれほぼ線形的に減少および増加することがわかる。一方図-3 より、平均値は体積含水率が約 0.1 まではほぼ一定であり、それ以降は体積含水率の増加に従って大きくなることが知れる。以上より、厚さ 1cm 程度の土壌においても、CT 値の平均値の頻度と分散から、体積含水率の推定が可能であると推察される。また、体積含水率が約 0.1 まで平均値がほぼ一定であることや、caseC や caseF で平均値の頻度と分散にやや大きなばらつきが観られる原因は、試験体の範囲ごとの空隙量の違いによるものと考えられる。

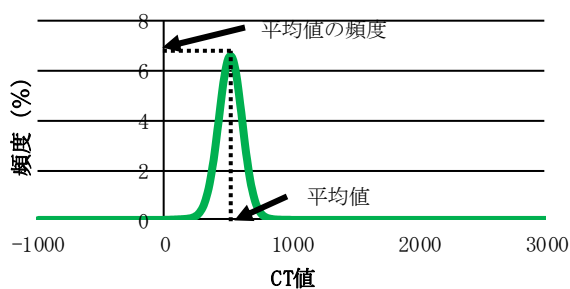


図-2 caseA の②~⑥全体における CT 値の頻度分布

5. おわりに

X 線 CT を用いた土壌水分計測の空間分解能を検討するために、土壌厚 1cm 毎の CT 値の頻度分布を作成し、体積含水率との関係を検討した。その結果、体積含水率の増加に伴

い、CT 値の平均値の頻度および分散はほぼ線形的に変化した。従って、最大でも 1cm 程度の厚さの土壌の体積含水率計測は可能であると考えられる。しかしながら、土壌の空隙量の変化も考慮する必要があると推察される。

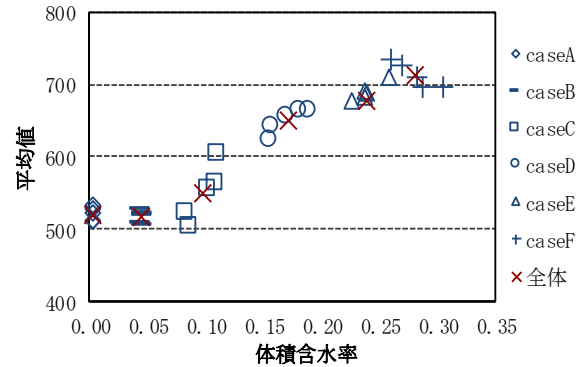


図-3 体積含水率と CT 値の平均値の関係

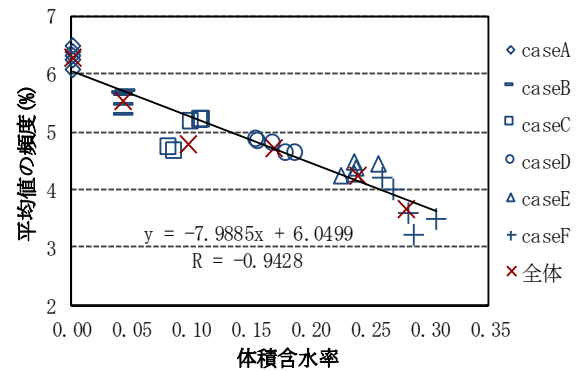


図-4 体積含水率と平均値の頻度の関係

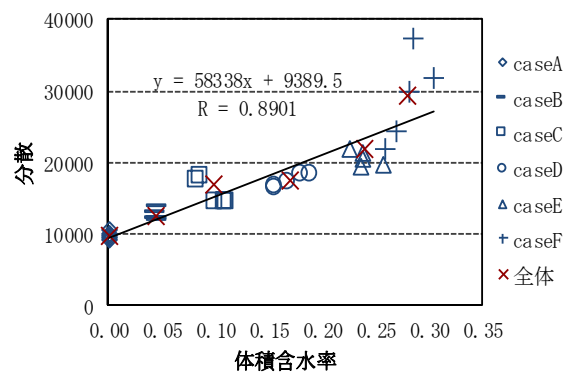


図-5 体積含水率と分散の関係

参考文献

- 1) 西川智也, 小西徹: X 線 CT を用いた砂質土壌水分計測の試み, 近畿大学卒業論文, 2015
- 2) 黒島翼: X 線 CT を用いた土壌水分測定における最適撮影条件の検討, 近畿大学卒業論文, 2016