

機械学習を用いたアースオーガの掘削音による粒度推定に関する基礎的研究

立命館大学大学院 学生会員 ○遠藤 慧人
立命館大学 正会員 小林 泰三

1. はじめに

近年、建設業においても ICT を取り入れた業務効率化が進んできている。著者らは、アースオーガ等のスクリーードリルを用いた地盤掘削技術に着目し、ビット先端で発生する音から土質や地層区分を AI によってリアルタイムで判定しながら掘削が行える技術の開発に取り組んでいる。本研究では、その基礎的研究として、粒径の異なるアルミ製ビーズを模擬地盤とする室内模型実験を行い、機械学習を用いた掘削音による粒度推定の実現可能性について検討した。

2. アルミナ製ビーズを用いた模型実験

本研究では、粒径が明確な人工ビーズ(アルミナ製ビーズ)を模擬土質試料とした掘削実験を行った。ビーズは粒径の異なる3種類($D=1, 3, 5\text{ mm}$)を用い、これを円筒容器に充填してモデル地盤とした。モデル地盤の寸法は直径120mm、高さ100mmである(図-1(a))。オーガは3Dプリンタで作製した樹脂製(材質:PLA)のものを用いた(軸直径20mm、刃幅20mm)。先端に小型マイクを内蔵しており、掘削中にオーガ先端付近で発生する音を拾う(図-1(b))。掘削は、掘進速5mm/s、回転速度0.5 rps (30 rpm)で行い、オーガ先端が深さ80mmに到達した時点から録音を開始した(集録時間は10秒間)。

図-2にそれぞれの粒径のビーズを掘削したときの入力信号とFFT解析で得られた振幅スペクトル図を示す。粒径が大きくなると、掘削音の信号が大きくなり、かつ卓越する周波数にも変化が現れることが分かる。

3. 機械学習を用いたビーズの質量配合率の推定

第2章では単一粒径のモデル地盤を掘削したが、ここでは $D=1, 3, 5\text{ mm}$ のビーズを混ぜた混合モデル地盤を掘削し、その掘削音から機械学習を用いて各粒径ビーズの質量配合比を推定する。ここでは、 $D=1, 3, 5\text{ mm}$ のビーズ質量比(%)が(100:0:0), (75:25:0), (75:0:25), (50:25:25), ..., (0:0:100)となるように、合計15パターンの混合モデル地盤を作製した。掘削の条件は、第1章と同様である。

本研究では、混合モデル地盤を掘削し、集録された1次元時刻歴数値データを入力すると、その地盤を構成している各ビーズ($D=1, 3, 5\text{ mm}$)の質量配合比を回帰推定する深層学習モデルを構築した。機械学習における時系

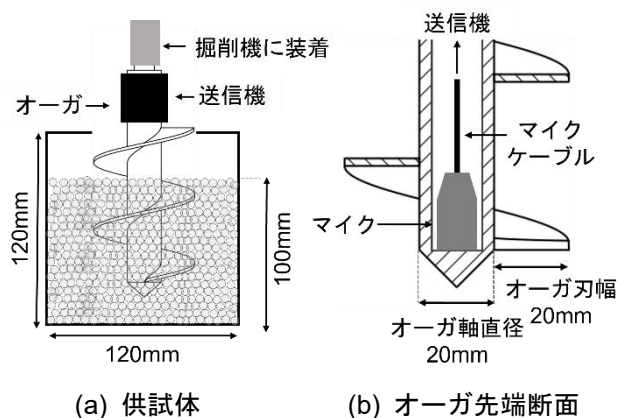


図-1 模型実験の概要

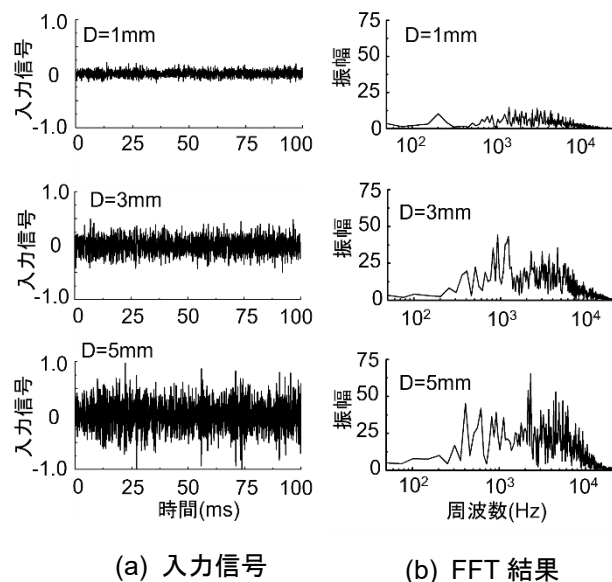


図-2 波形データ

キーワード ICT, AI, 機械学習, 粒度, 掘削

連絡先 〒525-0058 滋賀県草津市野路東 1-1-1 理工学研究科環境都市専攻 TEL: 077-599-4183

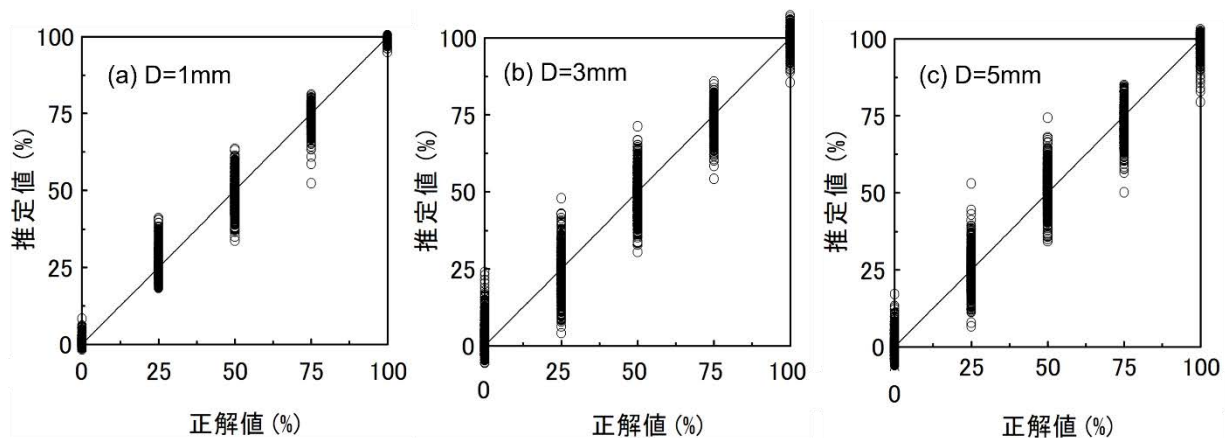


図-3 配合比の正解値と推定値の関係

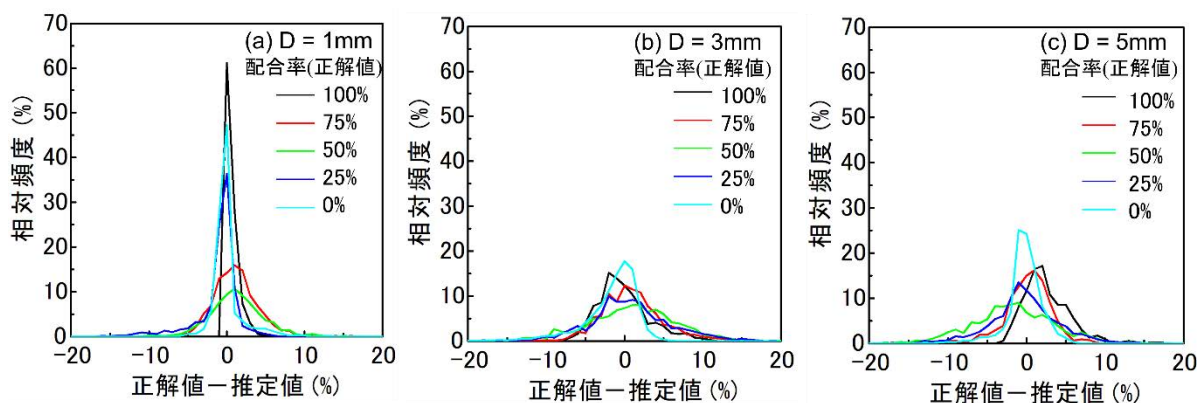


図-4 誤差の頻度分布

列データ処理には RNN や LSTM などが多く用いられるが、ここでは1次元畳み込みニューラルネットワーク (1次元 CNN) を用いた。教師データには、単一粒径のモデル地盤、すなわち (100 : 0 : 0)、(0 : 100 : 0)、(0 : 0 : 100) の3種類のモデル地盤の掘削音を用いた。1回の掘削で得られる10秒間の時刻歴データを25ms毎にずらしながら100msで区切り、396個の教師データを作成した(全教師データ数:396データ×3種類のモデル地盤=1188データ)。テスト用の混合モデル地盤に対してもそれぞれ1回の掘削を行い、教師データと同様、1種類のモデル地盤につき396個のデータを準備した(テストデータ数:396データ×15種類のモデル地盤=5940データ)。

構築した学習モデルにテストデータを入力すると、 $D=1, 3, 5\text{mm}$ のそれぞれのビーズ配合比が出力される。5940個のテストデータについて出力された各粒径に対する配合比の推定値と正解値の関係を図-3、推定値と正解値の誤差の頻度分布を図-4に示す。図-3からは、推定値にはばらつきは見られるものの、 $D=1, 3, 5\text{mm}$ のいずれについても正解値との相関性が確認できる。また、図-4からは、粒径や粒径の配合比によって推定精度が多少変化するが、殆どの推定値が誤差 $\pm 10\%$ 以内に収まっていることが分かる(95%信頼区間に相当する 2σ は最大で6.0%)。単一粒径モデル地盤の掘削音を学習することによって、混合モデル地盤の各粒径ビーズの配合比(粒度)が推定できることが示された点は興味深い。

4. おわりに

模擬地盤として球形アルミナビーズを用いた模型実験ではあるが、機械学習を用いることでオーガ掘削音から粒径毎の配合比が推定できる可能性を示すことができた。最終的にはアースオーガなどを用いた掘削施工現場でのリアルタイム土質区分判定を目標とするものであるが、室内における簡便な粒度試験法として応用できる可能性があると考えている。今後は、掘削音だけでなく、掘削のスラストやトルクなどの力学的な情報も加味した学習モデルを構築して、精度向上や実際の土粒子への適用に向けた検討を進めていく予定である。