

バケット掘削による土の破壊形状とコーン指数との関係に及ぼす細粒分の影響

東北大学 正会員 ○里見 知昭, 高橋 弘
東北大学 非会員 谷口 直哉

1. はじめに

施工生産性の向上, 災害復旧作業や平時の土木工事での安全性確保の観点から, 無人化施工のニーズが高まっている. しかし, 視覚ツールとして不可欠な車載カメラは現場の状況認識にとどまり地盤の強度評価までには至っていないため, 有人施工と比べて効率が悪い. そこで筆者らは力覚に着目し, どの現場でも必ず導入されている油圧ショベルのバケットに作用する掘削抵抗力を応用して地盤強度を推定する研究を行ってきた^{例え 1), 2)}. しかし, 掘削抵抗力の平均値や掘削エネルギーなど様々組み合わせて地盤強度を推定しても, 推定精度を大幅に向上させる難しさを実感してきた. そこで, 掘削時の土の破壊そのものに着目し, 掘削抵抗力和土の破壊形状との相互作用の解明が推定精度の向上に貢献すると考えた. 筆者らは先行して, 砂質土を対象にバケット掘削実験とコーン貫入試験を行い, 掘削時の土の破壊形状がコーン指数 (建設機械のトラフィカビリティの評価指標) と調和的であることを確認している³⁾. 本研究では, 粘土を含む一般的な土を対象に掘削時の土の破壊形状とコーン指数との関係に及ぼす細粒分の影響を明らかにすることを目的とする.

2. 実験概要および地盤条件

掘削実験装置 (図-1) は, モータ, 力覚センサ, 角度センサ, バケット (L54 mm×W58 mm×H54 mm), 土槽 (L346 mm×W126 mm×H48 mm), 飽和用水槽, ビデオカメラで構成される. バケットの軌道は円弧であり (図-2), 回転半径 R は 206 mm, 掘削速度 ω は 8.5 deg./s, 最大掘削深さ d_{max} は 15 mm である. 掘削抵抗力 F の方向はアームに対して垂直である. コーン貫入試験は, 締固めた土のコーン指数試験方法 (JIS A 1228) に準拠した. 掘削実験およびコーン貫入試験は同じ地盤条件で 3 回行い, 3 回の測定結果の平均値で整理した.

本研究では, 砂と粘土 ($\rho_s = 2.71 \text{ Mg/m}^3$, 塑性限界=25.3%, 液性限界=55.5%) を乾燥質量比 1:0, 3:1, 2:1 で混合した土 (以降, Soil A, Soil B, Soil C と記述) を用いた. 表-1 に土試料の基本物性値を, 表-2 に地盤条件を示す. 不飽和地盤は, はじめに所定の含水比になるように加水調整し, 所定の乾燥密度になるよう土を締め固めた. 飽和地盤は, 含水比 5%の土を所定の乾燥密度で供試地盤を作製したのち, 土槽底部から注水して供試地盤を飽和させた.

3. 結果および考察

図-3 に飽和度に対する平均掘削抵抗力およびコーン指数の変化を示す. 平均掘削抵抗力は, バケット刃先が地面に入ってから出るまでの掘削抵抗力の平均値である. 図-3 より, 飽和度の増加とともに平均掘削抵抗力およびコーン指数が増加し, 飽和地盤での実測値は乾燥地盤の場合と似た値を示した. これは, 土粒子間に作用するサクションの効果が土の強度の変動に影響を及ぼしたためと推察される. 細粒分が多くなるにつれて (Soil A, B, C の順), 平均掘削抵抗力およびコーン指数が大きくなった. これは, 土の粒径が小さいほどサクションの効果による土のせん断抵抗の増分が大きくなるためと考えられる.

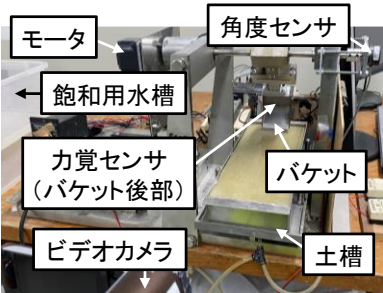


図-1 バケット掘削実験装置

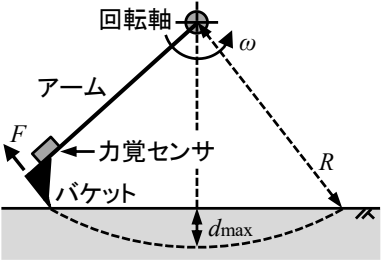


図-2 バケットの軌道

表-1 土試料の基本物性値

	Soil A	Soil B	Soil C
土粒子密度 ρ_s (Mg/m ³)	2.63	2.65	2.66
50%粒径 D_{50} (mm)	0.36	0.34	0.33
細粒分含有率 F_c (%)	0	23.1	30.8
粘土分含有率 C_c (%)	0	3.9	5.1

表-2 地盤条件

土試料	含水比 w (%)	乾燥密度 ρ_d (Mg/m ³)
Soil A	0	1.5
	5, 10, 15, 20, 飽和	1.4
Soil B	0	1.5
	5, 7.5, 10, 15, 飽和	1.4
Soil C	0	1.5
	5, 10, 15, 飽和	1.4

キーワード バケット掘削, 掘削抵抗力, 土の破壊形状, コーン指数, 細粒分含有率

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-20 東北大学大学院環境科学研究科

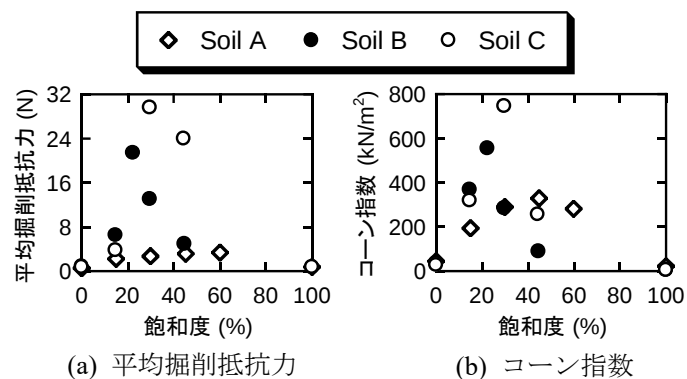


図-3 飽和度に対する平均掘削抵抗力およびコーン指数の変化

図-4 にバケット刃先が回転軸の真下に到達した時点での土の変形の様子を示す。紙面の都合上、一部の結果の掲載は省略する。平刃による定常掘削の土の破壊パターン⁴⁾を参考にする、乾燥および飽和地盤は「流れ型（せん断破壊線が不明瞭）」で、その他の地盤は「せん断型」に分類される。せん断破壊線に注目すると、細粒分が多くなるにつれて（Soil A, B, C の順）せん断破壊線は明瞭で多方向に現れ（土塊がうろこ状）、含水比が高くなると不明瞭になった。これは、細粒分の増加にともない土粒子間の強度が不均一になり、土の強度がバケット掘削時の土の破壊形状の変化に影響を及ぼしたためと推察される。

以上の結果を用いて、図-5 にコーン指数と平均掘削抵抗力および土の破壊形状（代表的な結果のみ）との関係を示す。図-5 より、コーン指数と平均掘削抵抗力の関係は正の相関関係を示すものの、その傾向は土の種類によって異なる。一方の土の破壊形状（せん断破壊線の発生状況）は、コーン指数の大きさと調和していることが示唆される。したがって、掘削時の土の破壊形状を定量化できれば、コーン指数推定の精度向上につながる可能性がある。

4. むすび

本研究では、バケット掘削模型実験およびコーン貫入試験を行い、土の破壊形状とコーン指数との関係における細粒分の影響を考察した。その結果、細粒分が多くなるとせん断破壊線が明瞭で多方向に現れ、土の破壊形状はコーン指数と調和的であることが示唆された。今後は、土の破壊形状を定量化し、バケット掘削による地盤強度推定法を開発する予定である。

謝辞: 本研究は JSPS 科研費（基盤(C), JP22K04303）の助成を受けたものです。

参考文献: 1) Satomi T., Takahashi Y., Takahashi H.: Proc. 7th Asian-Pacific Symposium on Structural Reliability and Its Applications, pp.329-334, 2020. 2) 里見知昭, 塩田浩平, 高橋弘: 土木学会第 77 回年次学術講演会, 2022. 3) 里見知昭, 谷口直哉, 高橋弘: 第 58 回地盤工学研究発表会, 2023. (投稿中) 4) Hatamura Y. and Chijiwa K.: Bulletin of JSME, 18(120), pp.619-626, 1975. 5) 室達朗: テラメカニクスー走行力学ー, p.16, 1993.

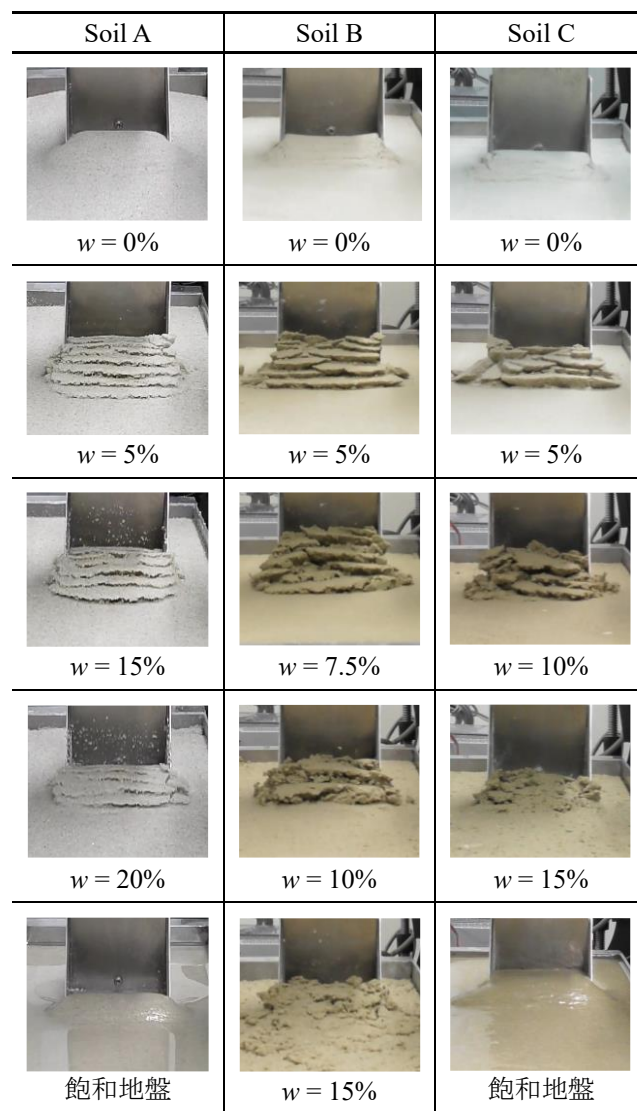


図-4 バケット掘削による土の変形

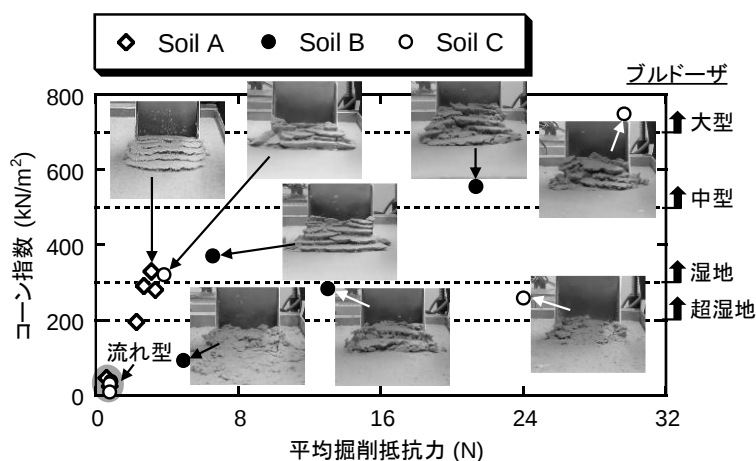


図-5 コーン指数と平均掘削抵抗力および土の破壊形状との関係（建設機械の走行に必要なコーン指数⁵⁾を掲載）