

油圧ショベルのバケットに作用する掘削抵抗に対する掘削深さの影響

広島大学 非会員 掛水 雅也
 広島大学 正会員 ○橋本 涼太 土田 孝
 コベルコ建機(株) 非会員 島津 泰彦 沖本 翔
 コベルコ建機(株) 非会員 山口 拓則

1. 研究の背景と目的

近年、日本の建設業界ではバブル崩壊後の労働力過剰時代から一転し、生産性の低迷が問題視されており、国土交通省は2016年より i-Construction の推進を行っている¹⁾。それに伴い、油圧ショベルをはじめ建設機械の高効率化や自動化・省人化を目標とした研究が増えてきた。しかし、機械の制御システムの構築に関する研究が多く存在する一方で、機械の作業性に大きく影響する地盤との相互作用、例えば掘削中の土の抵抗特性とその発現メカニズムを対象とする研究はまだ少ない。本研究では、曲面形状を有する油圧ショベルのバケットの掘削深さが掘削抵抗および地盤の破壊モードに及ぼす影響を明らかにするための模型掘削実験と土圧理論による評価を行った。

2. バケット模型掘削実験の概要

本研究ではアルミ棒積層体²⁾を用いた模型掘削実験を行った。図1に模型の構成を示す。模型は直径1.6と3.0mm、長さ50mmの2種類のアルミ棒を質量比3:2で混合・積層して構築した地盤と、同じく奥行き50mmのアルミ製のバケット模型からなる。バケット模型の形状は実機を参考に平面部(図中橙色線)と曲面部(図中緑色線)で構成し、上下に対称な形状とした。また、バケット模型の内壁には摩擦特性を一定にするためにテフロンシートを貼付した。

アルミ棒積層体は前面・背面を壁等で支えず自立するため、平面ひずみ条件での粒状体の挙動を模擬できる²⁾。実機のバケットの力学挙動には三次元的な効果があるが、ここではバケットの曲面が掘削特性に及ぼす影響を検討する

ため、バケットのある断面を取り出し、完全な二次元条件となる本手法を採用した。掘削深さはバケット下端から①下部の変曲点(直線部と曲線部の境界)まで(深さ34.2mm)、②中心まで(深さ100.0mm)、③上部の変曲点まで(深さ165.8mm)、④上端まで(深さ200.0mm)土が充填された4ケースを設定した(図1)。アルミ棒は間隙比0.26で積層しており、本実験に先立ち実施した擁壁模型の受働土圧実験で得られた物性値は表1の通りである。

以上の条件でバケット模型を水平右向きに変位させ(ケース①と②は4mm、③と④は12mm)、水平および鉛直方向の抵抗力をロードセルで計測した。さらに粒子画像流速測定法(PIV)により地盤内部の変位分布を観察した。実験はケース①、②、③は各2回、④は3回実施した。本稿では紙面の制約上ケース①、②、④の結果のみを示す。

3. 実験結果および土圧理論による掘削抵抗推定

図2に各ケースの掘削抵抗-変位関係を示す。掘削深さが浅いケース①は抵抗値が小さいためばらつきが大きい。いずれのケースも各回概ね同様の挙動を示し再現性が確認できた。収束後の掘削抵抗値はそれぞれ①:1~2N、②:約13N、④:約68Nであった。つづいて、PIVで得られた掘削深さ別の変位ベクトル分布図を図3に示す。バケットの直線部にのみ地盤が接するケース①では地盤中の三角形の楔領域に変位が生じており、古典的な土圧理論にしたがうと推察される破壊モードを示した。ケース②ではバケット内壁とバケット先端から伸びる直線で囲

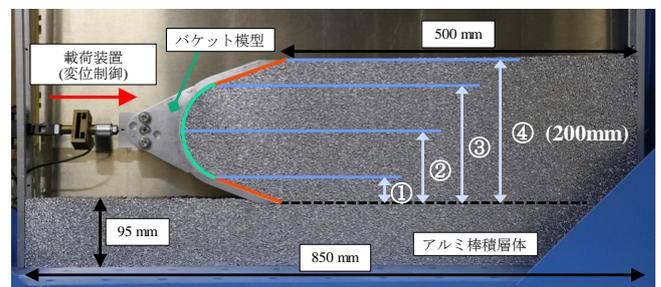


図1 アルミ棒積層体を用いたバケット-地盤模型の構成

表1 アルミ棒積層体の物性値

単位体積重量 γ [kN/m ³]	21.0
静止土圧係数 K_0	0.90
内部摩擦角 ϕ [°]	21.6
粘着力 c [kPa]	0.0
アルミ棒-バケット間の摩擦角 ϕ_s [°]	9.3

キーワード 油圧ショベル, バケット, 掘削抵抗, 掘削深さ, 模型実験

連絡先 〒732-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1 広島大学 TEL082-424-7785

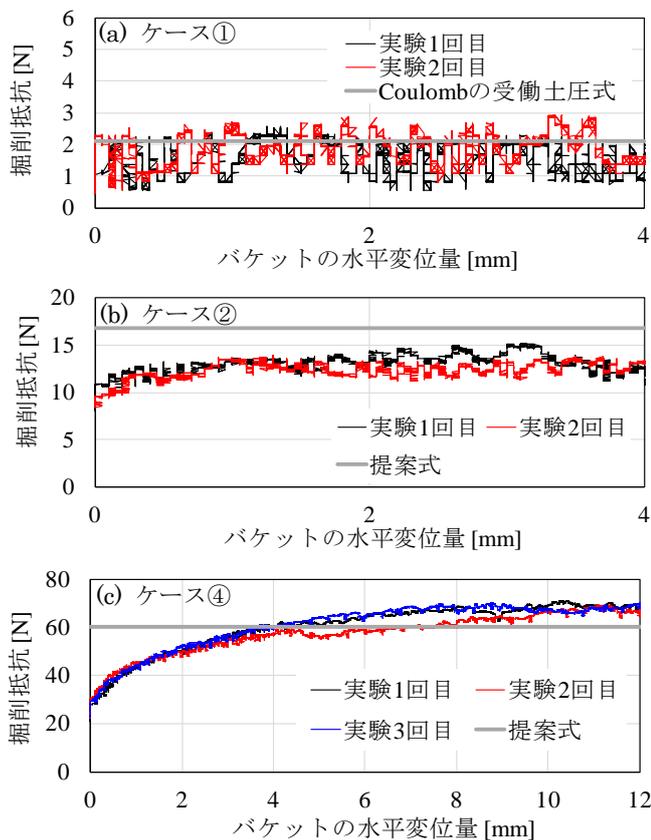


図2 掘削抵抗-変位関係

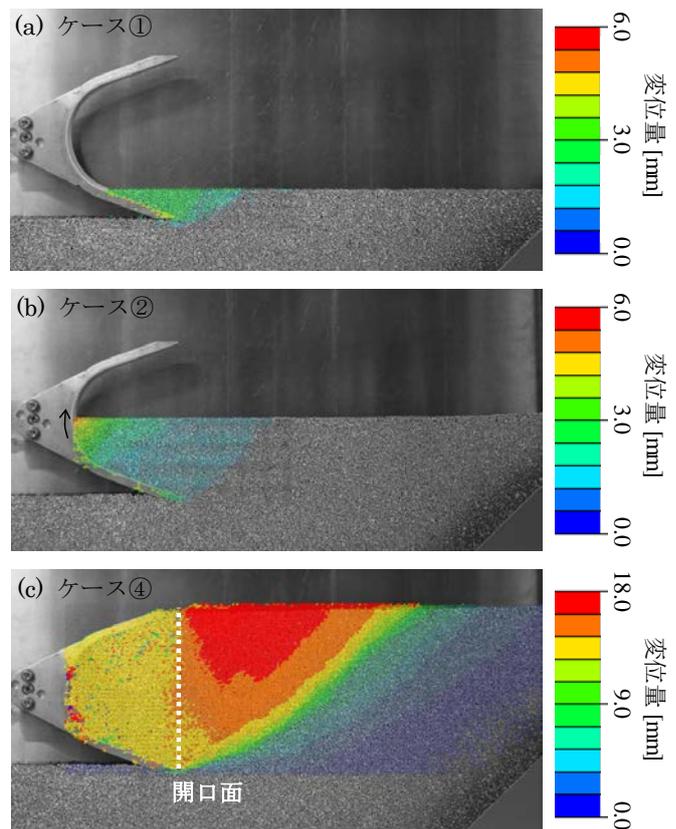
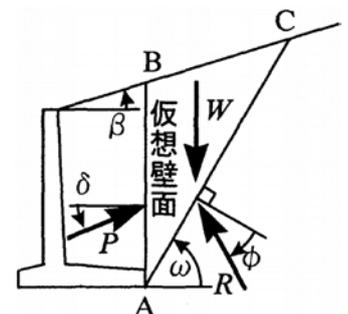


図3 PIVで得られた変位ベクトル図

まれた領域で変位が生じたのに加え、内壁と接する地表面付近の地盤が曲面に沿って掘り返される挙動を示した。ケース④ではバケットと中の土砂が一体となって変位し、バケットの開口面の外の地盤との間にずれを生じながら押し上げる受働破壊のモードを示した。これはかかと版付き擁壁のように構造物に土砂の動きが拘束される場合に従来仮定されてきた破壊モード（図4）に近く、バケット内の地盤が上部の壁面で拘束され生じたと考えられる。以上、本実験ではバケットによる地盤掘削時には掘削深さによりバケットの曲面形状に起因する異なる破壊モードを示すことがわかった。

最後に実験で得た掘削抵抗値の土圧理論による推定を試みる。ケース①はバケット平面部を壁としたCoulombの受働土圧式で、ケース④はかかと版付き擁壁の主働土圧算定法を参考にバケット開口面を仮想壁面、その面上の摩擦角を $\phi/2$ と仮定し新たに導出した受働土圧式で、表1の物性値を用いて掘削抵抗を算定した。参考としてケース②もケース④と同様に算定した。算定結果を図2中に灰色線で示す。ケース①は約2.1Nとなり実験値と概ね一致した。ケース④は60.4Nと算定され概ね一致するが、実験値より小さくなった（誤差約11%）。これはアルミ棒の積層体としての剛性が低いため破壊に要する変位量が大きく、変形が進み地盤が押し上げられるに伴い掘削深さが増加するのが原因と推察され、さらなる検討を要する。一方、ケース②は約16.8Nと実験値に対し約29%の過大評価となり、図3(b)の破壊モードの掘削抵抗を推定するには別途算定式の導出が必要である。

図4 かかと版付き擁壁の主働土圧問題³⁾

4. まとめ

本研究ではバケットによる地盤の掘削特性をアルミ棒積層体による二次元模型実験で検討し、掘削深さによる異なる破壊モードが生じることを明らかにした。また、土圧理論を用いて掘削抵抗の推定を試みた。今後は数値解析も援用しながら様々な地盤物性、バケット形状、掘り方での抵抗特性を検討し、バケットの掘削抵抗の総合的な評価手法の確立とより効率的なバケット形状や掘削動作を検討する方法論の構築を目指す。

参考文献

- 1) 国土交通省：http://www.mlit.go.jp/common/001118343.pdf, 2020年3月15日参照。
- 2) 菊本ら，地盤工学会誌，Vol. 56, No. 10, pp. 12-15, 2008。
- 3) 右城ら：土木学会論文集，No. 567, pp. 189-198, 1997。