

## 油圧ショベルによる掘削中のバケットの進行方向が掘削抵抗に与える影響

広島大学 正会員 ○橋本 涼太  
 コベルコ建機（株） 非会員 島津 泰彦  
 コベルコ建機（株） 非会員 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、i-Construction の推進に伴い、建設機械の作業効率の向上や無人化および自動化に向けた研究開発が活発化している。筆者らは油圧ショベルの作業性に大きく影響する掘削抵抗に着目し、アルミ棒積層体を用いたバケット模型掘削実験により、地表面からバケット先端までの深さ（以降、掘削深さ）<sup>2)</sup>や、バケットの姿勢<sup>3)</sup>が、掘削中の地盤の破壊形態や掘削抵抗を大きく変化させることを示した。これらの研究では、バケットが水平方向に進行すると仮定したが、実際の掘削動作には貫入や地切りといった鉛直方向の動きも含まれる。そこで、本研究では鉛直方向の動きも考慮したバケット模型掘削実験を実施し、掘削中のバケットの進行方向の影響を検討した。

### 2. バケット模型掘削実験の概要

図1にアルミ棒積層体を用いた模型掘削実験<sup>2), 3)</sup>の構成を示す。模型は直径 1.6 と 3.0 mm、長さ 50 mm の 2 種類のアルミ棒を質量比 3:2 で混合・積層した地盤と、同じく奥行き 50 mm 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テフロンシートを貼付した。

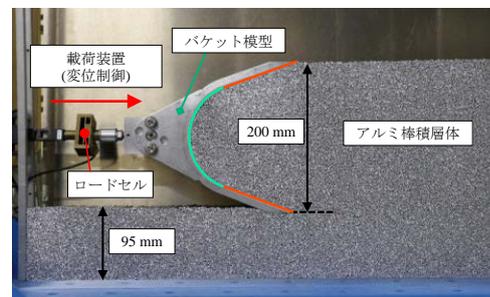


図1 バケットー地盤模型の構成<sup>2)</sup>

実験は進行方向角と、既往の研究で掘削抵抗特性に影響することがわかっている掘削深さをパラメータとして実施した（図2）。なお、本研究ではバケットの姿勢は開口面の水平面からの角度を 90°に固定した。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、②バケット壁面の接線の向きが鉛直となる点まで、③上部の変曲点まで、④上端まで土が充填された 4 パターンを設定した（図2）。

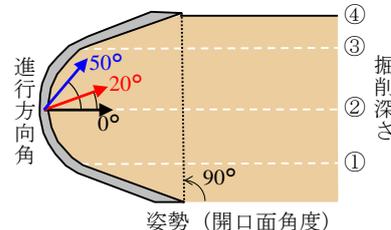


図2 実験パラメータの定義

最後にバケットの進行方向だが、バケット模型には電動ジャッキによる载荷装置が接続されており、バケットは回転することなく並進する。本研究ではバケットが並進する方向の水平面からの角度（上向きを正）を進行方向角と定義し（図2）、载荷装置を载荷フレームに固定する際、楔状の治具を設けて 0°、20°、50°の 3 ケースを実施した。

以上の条件でバケット模型を変位させ（全変位量は掘削深さ①と②で 4 mm、③と④で 12 mm）、掘削抵抗は载荷軸方向と軸直角方向の 2 成分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。本稿では紙面の都合上、掘削深さが②と④のケースのみについて示す。以降、実験ケースは掘削深さと進行方向角の組み合わせで表し、掘削深さ②で進行方向角 20°のケースは②-20 と記載する。

### 3. 実験結果

図3に各掘削深さについて進行方向角ごとの掘削抵抗ー変位関係を示す。ここで、掘削抵抗は载荷軸方向と軸直角方向の合力である。いずれのケースにおいてもバケットの進行に伴い掘削抵抗が上昇し、概ね一定値に収束した。各ケースにおける掘削抵抗が概ね一定となって以降の平均値は②-0 : 13.6 N, ②-20 : 15.8 N, ②-50 : 16.9 N, ④-0 : 68.3 N, ④-20 : 61.1 N, ④-50 : 45.8 N であり、掘削深さ②では進行方向角が大きくなる、つまり変位の鉛直成分の増加に伴い若干掘削抵抗が増加し、④では逆に進行方向角の増加に伴い掘削抵抗が大きく低下する結果となった。

キーワード 油圧ショベル, バケット, 掘削抵抗, 進行方向, 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

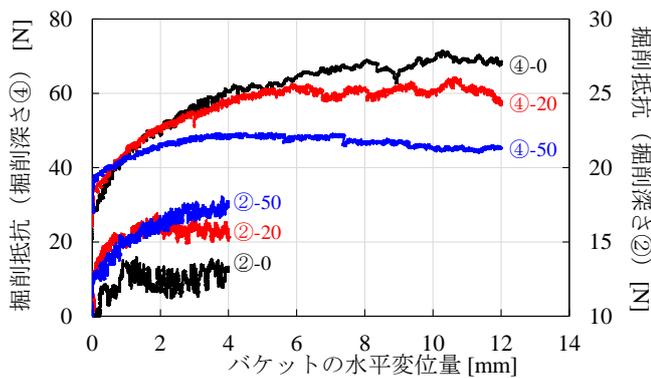


図3 進行方向角による掘削抵抗-変位関係の変化

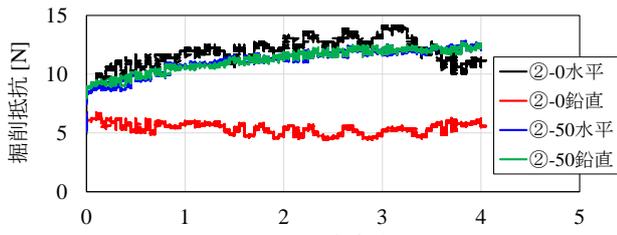
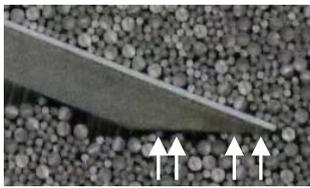


図4 ②-0と②-50での掘削抵抗の水平・鉛直成分の推移



底面で接する地盤に支持される

図5 ②-0のバケット先端の状況

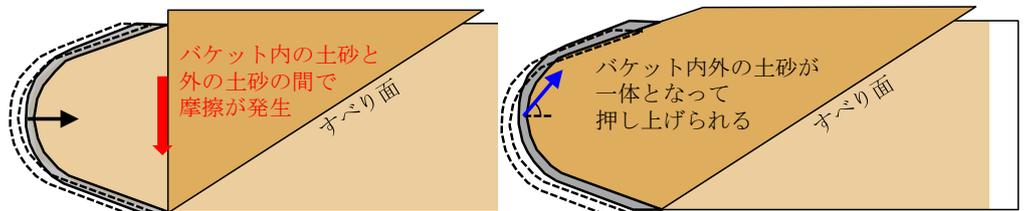


図7 進行方向による破壊形態の変化の模式図 (左: ④-0, 右: ④-50)

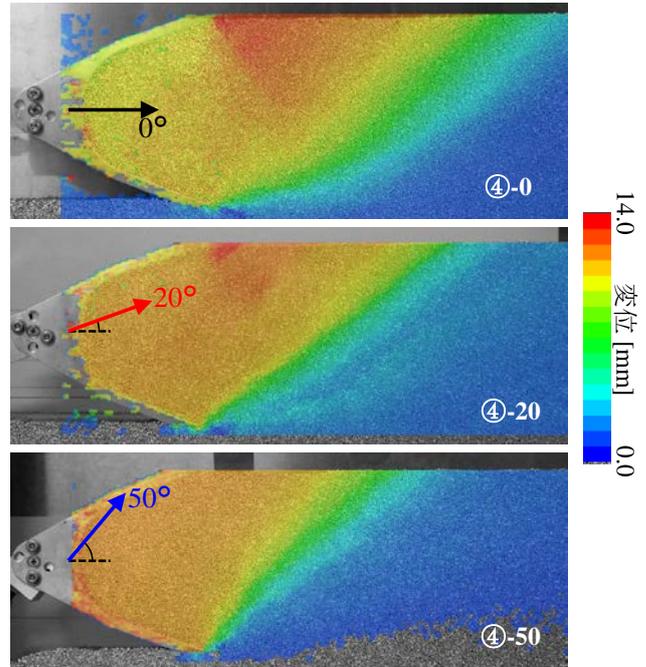


図6 PIVで得られた変位ベクトル図 (掘削深さ④)

#### 4. 考察とまとめ

図4にケース②-0と②-50での掘削抵抗の水平・鉛直成分の推移を示す。水平成分は両ケースでほぼ一致したが、②-0の鉛直成分が②-50に比べて小さい。本実験では荷重ジャッキはバケット内のアルミ棒の重量でたわむため、②-0では掘削過程でバケット先端が地盤内に貫入し、バケット底面が下の地盤と接しながら進行する(図5)。その場合、バケットが下の地盤から支えられロードセルで荷重の計測値が小さくなる。②-50ではバケットが持ち上げられて底面が下の地盤から離れるため、全鉛直荷重がロードセルで計測され掘削抵抗が増加したと推察される。なお、PIVで得られた変位分布からは掘削深さ④の各ケースで地盤の挙動に顕著な違いは見られず、掘削深さが比較的浅い場合、進行方向の地盤の破壊形態の変化やそれによる掘削抵抗への影響への寄与は小さいことがわかった。

次に図6にPIVで得られた掘削深さ④の進行方向角ごとの全変位分布図を示す。いずれもバケット先端から滑り面を生じて破壊しているが、開口面周辺の挙動に違いがある。④-0では開口面内より外の地盤の変位が大きくコントラストが存在するのに対し、進行方向角が大きくなるにつれ変位の不連続性は低減され、④-50ではバケット内外の土砂が一樣に変位している。これを模式的に表すと図7となる。バケット外の土砂は滑り面に沿って持ち上げられようとするが、バケットが水平に移動する場合(④-0)バケット内の土砂はバケットとともに変位するため、開口面でせん断が生じる。そしてこのとき、開口面では土塊を滑り面に対して押し付けるような摩擦が作用する。一方、バケットを持ち上げる場合はバケット内外の土砂は一体となって押し上げられるため開口面付近での摩擦が小さくなり、図3のように掘削抵抗も大きく低減されたと考えられる。

以上のことから特に掘削深さが深い場合に、バケットの進行方向により地盤の破壊形態と掘削抵抗が大きく変化することがわかった。本研究の知見は今後、より効率的な掘削動作の検討に寄与すると期待される。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省: <http://www.mlit.go.jp/common/001118343.pdf>, 2021年3月22日参照。
- 2) 掛水ら: 土木学会第75回年次学術講演会, No. III-439, 2020。
- 3) 橋本ら: 第56回地盤工学研究発表会, 2021(投稿中)。