

## 油圧ショベルのドーザブレードを用いた地盤切削挙動に関する実験的研究

広島大学	学生会員	○河野 拓未
広島大学	正会員	橋本 涼太
コベルコ建機(株)	正会員	島津 泰彦
コベルコ建機(株)	非会員	関塚 良太
コベルコ建機(株)	非会員	小岩井 一茂

## 1. 背景と目的

近年、日本の建設業界は需要が高まり工事件数は増加している一方で、建設従事者は減少の一途をたどっており、人材不足が問題視されている。こうした背景から情報化施工やi-Constructionが推進されている。また、建設機械の自動化・自律化を実現するための研究も進められており、シミュレーションをもとに制御システム構築の研究が進められている<sup>1)</sup>。一方で、機械と地盤の相互作用下での力学挙動には検討が十分でない点も多い。例えば、橋本ら<sup>2)</sup>はアルミ棒積層体を用いたバケット模型掘削実験を行っているが、これは乾燥した砂などの摩擦性地盤に相当し、かつ準静的とみなせる非常にゆっくりとした条件で荷重が行われている。しかしながら、実現場では作業対象となる地盤は土質や含水条件によって多様な力学特性を示すと考えられ、また、機械による掘削や切削は概して動的条件であると言える。

そこで本研究では、実際の建設機械による作業速度に近く、一方でバケットによる掘削よりも力学的に単純な現象として、油圧ショベルに付属するドーザブレードを用いた地盤切削実験を行い、土質条件や切削条件による地盤挙動、切削抵抗値の違いを比較する。

度0.9 m/sを基本ケースとして、貫入量と切削速度を変化させた4ケース(表1)を設定し、3 m×6 mの区間を水平に切削した。切削中の土砂の動きはドーザの側方および上方に取り付けたビデオカメラと走行区間の外に設置したビデオカメラで撮影した。切削中はブレードのフレームにひずみゲージを貼り付けてひずみを計測するとともに、油圧シリンダの圧力、油圧ショベルの走行速度、姿勢角を記録しておき、ドーザブレードに作用する抵抗力の水平鉛直各成分を推定した。また、切削前の地盤から採取した試料の乾燥密度と含水比を計測した。粒度構成は平均粒径が0.20 mmの細粒分まじり砂に分類された。表1には実験ケースごとの土質条件も示している。乾燥密度は全ケースで概ね同様であり、ケース1, 3, 4は比較的湿潤しており、ケース2は乾燥した条件である。

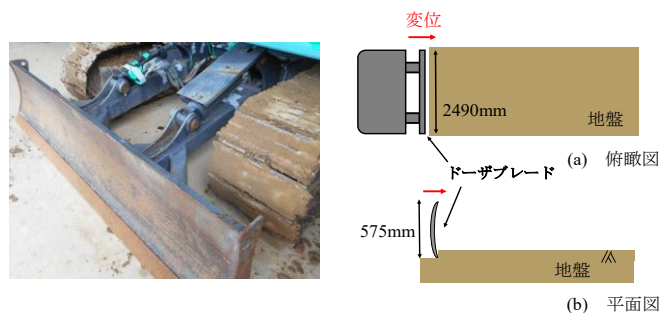


図1 実験概略図

## 2. 実機ドーザによる地盤切削実験条件

本実験では図1に示す13 t級油圧ショベルの前方に付属する幅2490 mm、高さ575 mmの円弧状のドーザブレードと呼ばれる切削部を使用して地盤切削実験を行った。これはバケットによる掘削に比べ土砂が二次元条件に近い挙動を示し、挙動の観察が容易であると考えたためである。屋外の実験フィールドにて事前にショベルで走行して地盤を締固めた後、先端を所定の深さ50 mm貫入した状態でドーザ姿勢を一定に保ち、平均速

表1 実験ケース

ケース	切削条件		土質条件	
	貫入量	速度	含水比	乾燥密度
1	50 mm	0.9 m/s	11.3 %	1.87 g/cm <sup>3</sup>
2	50 mm	0.9 m/s	8.2 %	1.84 g/cm <sup>3</sup>
3	25 mm	0.9 m/s	13.4 %	1.91 g/cm <sup>3</sup>
4	50 mm	0.45 m/s	11.3 %	1.87 g/cm <sup>3</sup>

キーワード 油圧ショベル, ドーザブレード, 切削, 粘着力

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院先進理工系科学研究科 TEL082-424-7785

### 3. ドーザ切削実験結果

まず、基本ケースであるケース1の結果について述べる。本ケースでは、地盤切削中にドーザブレード形状に沿って土がせりあがった後、前方に巻いていくような変形挙動が見られた(図2)。これは乾燥した摩擦性地盤を模擬したアルミ棒積層体を用いた模型掘削実験<sup>1)</sup>では見られなかった特徴的な挙動である。本ケースでの土の飽和度は約71.8%であった。水分保持特性試験は行っていないが、サクシオンによる見かけの粘着力に起因して土が自立することで図のような変形挙動を示したと考えられる。図3にドーザシリンダ推力と応力から求めたドーザアーム部の軸力を使って算出した切削抵抗値の時刻歴を、地面に対して水平方向の力として示している。変動が大きい<sup>2)</sup>が、2~5 sの間では100 kN程度で一定の値を示した後、200 kN程度に上昇して再度7 sまで概ね一定の値を示した。荷重が上昇した5 s前後では局所的に土の強度が高い箇所に差しかかりショベルの進行が難しくなったため、ドーザ姿勢を調整して走行を続けた。すなわち、切削条件が変化していることに留意されたい。

次に、水分量が比較的少ない地盤状態(含水比約8.2%)のケース2の結果を示す。図2に示したように切削された土砂が切削途中で随時前方に崩れて斜面を形成しながら堆積していき、最終的にはドーザブレードの上端よりも高い位置にまで土砂が到達した。本ケースでの土の飽和度は約49.4%であった。村上ら<sup>3)</sup>は、まさ土を対象として、含水比が土の引張強度に与える影響を検討しており、含水比または飽和度の低下に伴いサクシオンが大きくなり引張強度が増加する傾向がある一方で、サクシオンが一定以上になると引張強度が低下することを実験的に示しており、含水比が約10%のときに引張強度は最大となった。これを踏まえると、ケース2(含水比8.2%)ではケース1(含水比11.3%)よりも土の引張強度が低下したことによって、切削中にブレード面に沿ってせり上がった土が前方に倒れて曲げ変形する際に引張り裂を生じて崩れやすくなり、先述のような変形挙動の違いを示したと推察される。

切削抵抗値をケース1と比較すると(図3)、走行中のブレードに作用する抵抗値は100 kNから200 kNの間で推移している点では同様の傾向を確認したが、含水比による抵抗値の変化挙動の違いが見られた。含水比が高いケース1では変動はあるものの切削開始2 s後以降、



(a) ケース1 (含水比 11.3%)



(b) ケース2 (含水比 8.2%)

図2 切削後の土の堆積状況

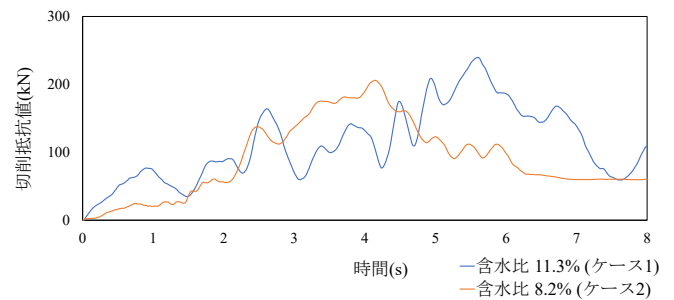


図3 切削抵抗値の時間変化(含水比の影響)

概ね一定値に収束するのに対して、含水比が低いケース2では切削が進むにつれ増加する傾向を示した。その原因としてドーザ前方での土砂の堆積状況の違いが挙げられる。ケース1では土砂が転がりながら移動するのに対し、ケース2では前方に土砂が斜面を形成し、地表面の上載圧が増加しながら切削が進むためであると考えられる。このように、地盤切削時の変形挙動は土の状態によって大きく異なり、かつそれが抵抗値の特性にも影響する。一方で従来、掘削あるいは切削抵抗のモデルとしては土質力学における受働土圧、特にCoulombの

受働土圧に基づくモデルが多く検討されている。これは乾燥した摩擦性地盤の場合には合理的だが、今回の実験によって見られた土がロール状に巻いていくような挙動ではクーロン土圧での評価が難しく、多様な土質条件に対応可能な切削・掘削抵抗の評価モデルを構築していく上で課題になると言える。

次に切削深さが異なるケース1とケース3を比較する。ケース3でもケース1と同様に掘削深さ相当の土の層がドーザに沿って巻き上げられ、土砂が前方へとロール状に堆積した(図4)。切削抵抗値(図5)については、貫入量が25 mmのケース3では切削開始後1 sに一度ピーク値を示し、その後3 sまでの間は緩やかな低下を示した。その後、3 sごろから急激に230 kN付近まで上昇した。これはケース1と同様に局部的に土の強度が高い箇所にドーザが引っかかり、進行不可能になったことによる。したがって、ケース1の2~5 sとケース3の1~3 sの区間に限って比較すると、走行開始後に抵抗値が降伏し定常的な状態に至る点は共通し、抵抗値はドーザ先端の貫入深さが大きいケース1の方が高くなった。

最後に走行速度の違いによる地盤切削の影響評価について述べる。ここではケース1とケース4の比較をする。低速走行の方が、切削後の土塊がすぐに前方に崩れる傾向にあった(図6)。これは走行速度が低下したことにより、切削後に土がドーザブレードに沿ってせり上がった後、曲げ応力を受ける時間が長くなり、崩れてしまうことにあると考えられる。切削抵抗値は、低速走行の方が小さくなっている(図7)。この原因としては土砂の堆積形態の違いの他、土への载荷速度の違いによる慣性や粘性の影響が考えられるが、完全に地盤の状態を揃えられてはいないため今後の検討課題である。

#### 4. 結論

本研究では、含水比の違いによって土砂の変形挙動が大きく変化することが分かった。特に、含水比が11%程度の地盤では切削の際にドーザブレード形状に沿って前方に巻いていく既往の摩擦性地盤を模擬した室内模型実験では見られなかった特徴的な挙動を確認した。また、切削抵抗値に関しては、およそ100 kNから200 kNの間で推移したが、含水比による挙動の違いが見られた。先端の貫入量や走行速度については土質条件が正確に揃えられていないため明瞭な差は確認することはできなかった。

#### 参考文献

- 1) 浜本:計測と制御, Vol.60, No. 7, pp. 504-508, 2021.
- 2) 橋本ら:令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会, No.III-418, 2022.
- 3) 村上ら:地盤と建設, Vol. 32, pp. 157-162, 2014.



図4 切削後の土の堆積状況 (ケース3)

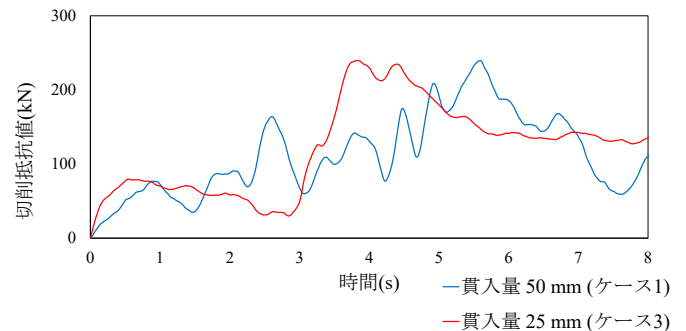


図5 切削抵抗値の時間変化 (貫入量)



図6 切削後の土の堆積状況 (ケース4)

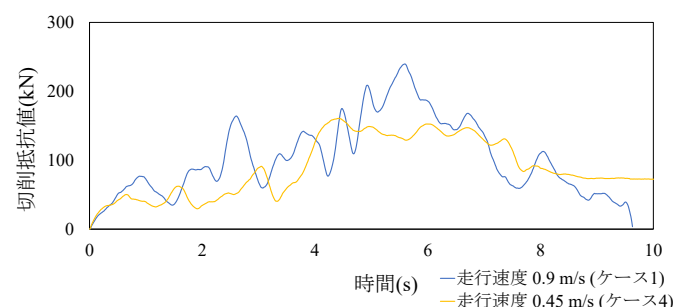


図7 切削抵抗値の時間変化 (走行速度)