

アースドリルの掘削刃の数と回転速度による力学特性への影響に関する一考察

立命館大学大学院 学生会員 ○台蔵 憲  
 西尾レントオール 非会員 村上沙紀  
 立命館大学 正会員 Bui H. Ha  
 立命館大学 フェロー 深川良一

1. はじめに

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) では月周回衛星かぐやの成功により、2010年代半ばには月面に着陸機の降下し、無人探査車を利用したその場観測が予定されている。1960年代のアポロ計画では宇宙飛行士によるコアサンプリングが実施されたが、日本の次期計画においては無人探査が見込まれているため機構の多くを自動制御にする必要がある。そのため優れた掘削・制御技術とともに、掘削時の力学特性を事前に予測することが求められる。本研究では、施工速度が早く、構造が単純なため設置・機械の軽量化が容易であるアースドリル工法を月面で作業に適した工法の1つと考え、アースドリル工法の模型実験を実施し、その力学特性について考察している。

2. 回転掘削試験

本研究では、月面地盤における回転掘削時の力学特性を調べるため、アースドリルの模型実験を実施する。試験装置の概略図を図-1、ドリリングバケットの写真を図-2に示す。模型土槽には内径250mm、高さ250mmの円筒形カラムを用いた。実際に月面へ導入できる質量やサイズの制約を考慮し、バケットの寸法は外径50.4mm、高さ50mmとした。バケット底面には掘削刃を2~4箇所設置し、それと共に掘削土を取り込むための開口部を設けている。掘削刃はすくい角が30°で、刃物角が25°、バケット底面から刃先までの長さは5mmである。また開口部は15°の円弧状となっている。バケットの降下速度は1.5mm/secで一定である。本試験には月面模擬土 FJS-1<sup>1)</sup>を用いた。その物理特性を表-1に示す。供試体は高さ15cm、相対密度90%で作製した。

開口部数の違いによる影響を調べるため、回転速度を20rpmで一定とし、開口部数を変えて試験を実施した。試験結果を図-3に示す。図-3(a)は掘削に伴う推進力、図-3(b)は掘削トルクである。推進力・掘削トルクともに開口部数が3, 2, 4の順に値が大きくなり、特に開口部数4における抵抗が他と比べて非常に大きい結果となった。また、推進力と掘削トルクの値を用いて、次式で掘削に使用したエネルギーを求める。

$$E = \sum (F_z \times \Delta l + M_z \times \Delta \theta) \tag{1}$$

ここで、 $F_z$ は推進力(N)、 $M_z$ は掘削トルク(Nm)、 $\Delta l$ は測定間隔における鉛直方向変位(m)、 $\Delta \theta$ は測定間隔における回転角度(rad)である。図-3の値を用いた計算結果を図-4に示す。図から、推進力・掘削トルクと同様に開口部数3のときに最も小さいエネルギーで掘削できていることがわかる。以上から、開口部数が3のとき、最も効率の良い掘削ができるといえる。次に、試験終了後に測定した掘削土量の比較を図-5に示す。図から、開口部数が4のとき、他に比べて掘削土量が多いことがわかる。このことから、掘削刃(開口部数)が多くなると図-6に示すように切削される土量が過剰になり、バケット底面に土が詰まるなど、切削以外による

表-1 砂試料の物理特性

	月面模擬土(FJS-1)
土粒子密度, $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.91
乾燥密度, $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.58-2.07
最大間隙比, $e_{max}$	0.84
最小間隙比, $e_{min}$	0.40

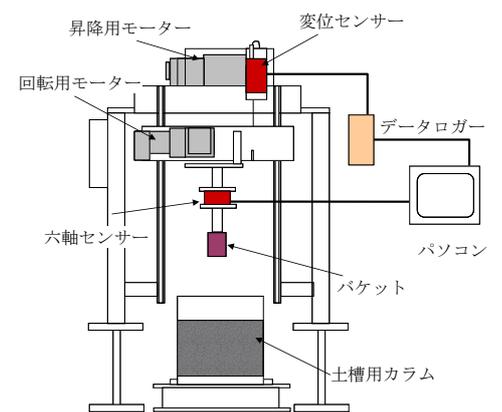


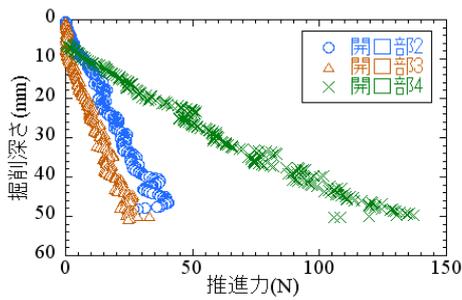
図-1 掘削装置の概略図



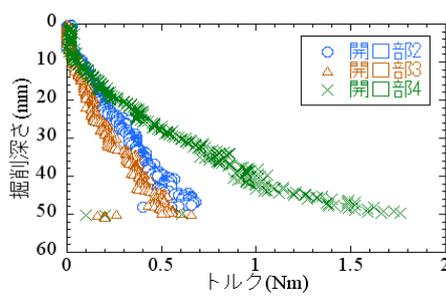
(a) 側面 (b) 底面 (開口部3)

図-2 ドリリングバケット

キーワード 月面模擬土 アースドリル 回転掘削  
 連絡先 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 立命館大学 環境都市系 TEL : 077-561-1111(6874)



(a) 掘削深さ-推進力関係



(b) 掘削深さ-掘削トルク関係

図-3 試験結果に及ぼす開口部数の影

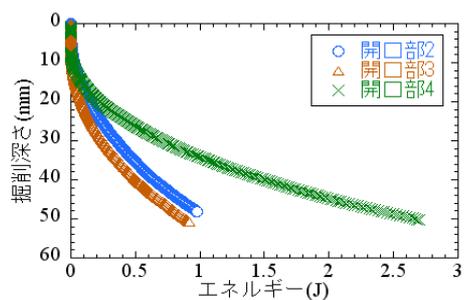
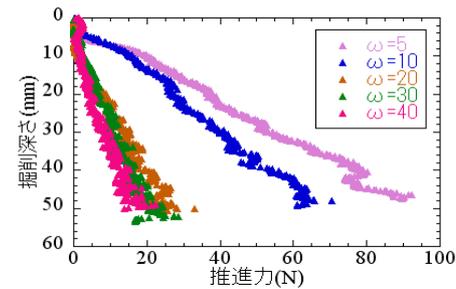
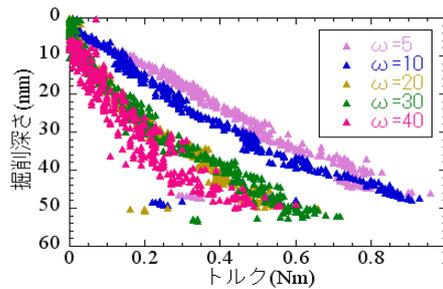


図-4 掘削深さ-エネルギー関係に及ぼす開口部数の影響



(a) 掘削深さ-推進力関係



(b) 掘削深さ-掘削トルク関係

図-7 試験結果に及ぼす回転速度の影響

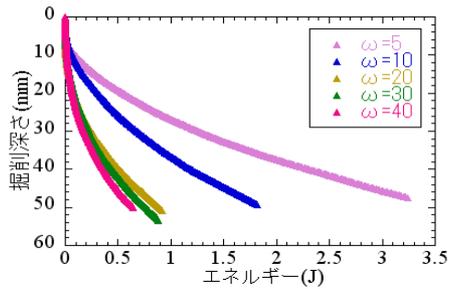


図-8 掘削深さ-エネルギー関係に及ぼす回転速度の影響

抵抗力が卓越することが考えられる。また、平刃による定常掘削<sup>2)</sup>では刃の進行方向に放射状にすべり面が生じることが確認されており、アースドリルのような回転掘削では、他の刃がすべり面が発生する際に影響している可能性がある。

次に、回転速度の違いによる影響を調べるため、開口部数3のドリリングバケットを使用し、5、10、20、30、40rpmの5種類の回転速度を用いて試験を実施した。試験結果を図-7に示す。図-7(a)は掘削に伴う推進力、図-7(b)は掘削トルクの値である。図から、回転速度が増すとともに掘削抵抗が小さくなっており、その結果、今回最も速い回転速度である40rpmでの試験で推進力・掘削トルクともに最も小さな値となった。また、図-8に示す掘削エネルギーでも同様の傾向が見られた。しかしながら、回転速度が30rpm以上では推進力・掘削トルク・エネルギーの全てが減少しつつも収束傾向にあることから、一定以上の回転速度であれば掘削抵抗は変わらないと考えられる。あるいは、最適な回転速度が存在する可能性もあるため、今後はさらに速い回転速度での試験を実施し、速度による影響について再度検証する必要がある。

3. おわりに

本研究では、月面地盤における回転掘削時の力学特性について検証するため、アースドリルの模型実験を実施した。その結果、開口部数が3の時に最も効率よく削孔できること、そして回転速度が増すとともに削孔の効率が良くなるが、30rpm以上ではあまり変わらないことが確認できた。今後はアースドリルによる回転掘削の理論式を提案し、効率の良い回転掘削手法の開発へと役立てていきたいと考えている。

参考文献：1) Kanamori, H. et al., Proceedings of 6th International Conference on Engineering, Construction and, Operations in Space, American Society of Civil Engineers, pp.462-268, 1998. 2) 小林泰三, 立命館大学大学院博士論文, 2003.

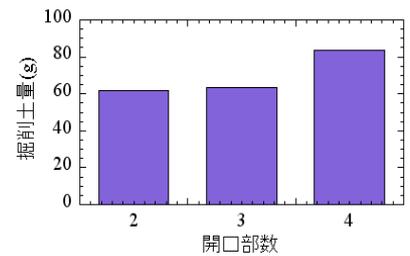


図-5 開口部数-掘削土量関係

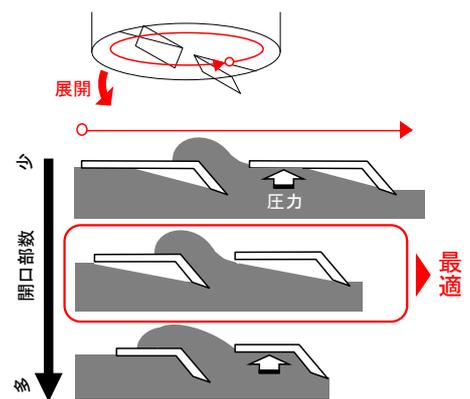


図-6 開口部の変化による掘削抵抗の変化のイメージ