

Ⅲ-A341 月表層模擬土壌の作製 および サンプルング法の研究

芝浦工業大学 ○(正) 足立格一郎

(学) 福田辰紀(現 大蔵省) (学) 坂本充央

(学) 堀井智典(現 建設省) (学) 児玉 潤

1. はじめに

人類を月に到達させたアポロ計画が終了し 25 年が経過した昨年(1998 年)、米航空宇宙局(NASA)は月探査機「ルナ・プロスペクター」を打ち上げ、本格的な月面探査を再開した。この探査によって月の両極に 2300 万トンもの大量の水が氷として存在することが分かった。また、月の表面には「ヘリウム 3」と呼ばれる物質が存在し、理想的な核融合エネルギーとして 1900 年間にわたって世界の需要を満たすことができるエネルギー源であることが分かっている。

このような状況をふまえ、日本では宇宙開発事業団(NASDA)を中心に、月土壌を採取し地球に持ち帰るプロジェクトを検討・研究している。本研究室では一昨年からの研究により粒径分布および力学的特性が月土壌に近い模擬土壌を作製することができた。しかし各種ふるい分けを必要とする作製方法のため、大量の模擬土壌作製は不可能であった。そこで本研究では配合する試料とその配合比を再検討し、大量に作製できるようにふるい分けを極力避けて模擬土壌を作製する。そして、作製した模擬土壌を用いてサンプルング試験を行ない、採取率の高いサンプラーを究明し、月土壌の採取の可能性について検討することを目的とする。

2. 月の模擬土壌の作製

このような目的のもとに月の模擬土壌を作製するにあたり、粒度分布及び内部摩擦角(ϕ')を一致させる事は非常に重要となる。前述のとおりふるい分けを極力行なわない模擬土壌の配合の検討を行なった結果、安山岩シルト：利根川砂：安山岩粗砂=24：8：3 が最適と判断された。この計算をもとに配合した模擬土壌の性質を確認するため、粒度試験、一面せん断試験、三軸圧縮試験を行なった。その結果、図 1、表 1 に示した通り粒度分布・内部摩擦角(ϕ')の 2 点において、月表層模擬土壌としてサンプルング試験に充分使用できるものと判断できる(表 2 参照)。よって、安山岩シルト：利根川砂：安山岩粗砂=24：8：3 の配合の模擬土壌を用いて、月表層模擬土壌の採取法の検討を行なうことにする。

3. サンプラーの設計

月土壌採取用のサンプラーは、図 2 のようにサンプラー内面に適当な素材のネットを装着するものを基本として考える。これは、試料を可能な限り乱さずに採取するため、また、サンプラー内面と内部に進入した試料との摩擦抵抗を軽減させるため、さらにはサンプラー打ち込み後の地球への帰還に向けての処理も考慮しコンテナーとして使用可能にするためである。本研究ではサンプラーの基本的なサイズが及ぼす影響を検討するために、サンプラー刃先部の内径及び内部形状を変化させてサンプルング試験を行なった。

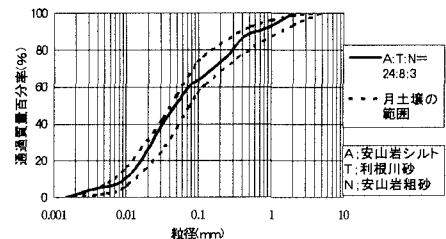


図 1 粒度試験結果

表 1 模擬土壌の強度試験結果

	内部摩擦角(ϕ')	
	一面せん断試験	三軸圧縮試験
Dr=74%	39°	41.3°
Dr=83%	45°	43.2°

[注:c'=0]

表 2 月の深度区間別の力学特性

深度 (cm)	相対密度 (%)	粘着力 (kPa)	内部摩擦角 ϕ' (°)
0~30	74±3	0.9	46
0~60	83±3	1.6	49

キーワード：月土壌、サンプルング、月模擬土壌、サンプラー

連絡先：〒108-8548 東京都港区芝浦 3-9-14 芝浦工業大学土木工学科地盤工学研究室

TEL 03-5476-3048 FAX 03-5476-3166

4. サンプルング試験

サンプルング試験で使用するサンプラーは、刃先をステンレススチールで、サンプルングチューブを透明なアクリルで作製した。刃先を6種類、サンプルングチューブを3種類用意した。刃先各部の諸元を、 D_1 ：刃先部分の内径、 D_2 ：刃先部分の外径、 D_3 ：取り付けるチューブの内径、 L ：刃先先端の長さ、と定める（図3参照）。なお、図2に示す概念をもとに D_1 は10mmに、 D_2 は22mmに固定し、その他の各部分は表3に示すように定めて作製した。

試験ではアクリル製の箱に60kgの模擬土壌を詰めてサンプルング試験用の地盤とした。そして検討する条件に合わせて、相対密度： $Dr=96$ 、83、74%で動的貫入によりサンプルング試験を行なった。これらの3つの地盤状態で6種類の刃先に対し、それぞれの採取質量を測定し、最も効率的に模擬土壌を採取できるサンプラーの検討を行なった。

5. 試験結果および考察

サンプラー性能の判定には以下の計算式から算出される採取率を利用する。表4に刃先ごとの採取率および平均採取率を示す。

$$\text{採取率 (\%)} = \frac{\text{採取質量}}{\text{刃先先端の断面積} \times \text{押し込み長さ} \times \text{模擬土壌の密度}} \times 100$$

サンプルングチューブの内径が11、12、13mmのいずれの場合においても、L型はS型よりも平均採取率が低い。これは最も内径の狭い刃先先端部分の長さ(L)が、S型よりも8mm長いことから、進入した模擬土壌と刃先内面に生じる摩擦抵抗がS型よりも大きくなるためと考えられる。

では、総合的にどのタイプのサンプラーが、実際のサンプルングに適しているのかを考える。表2に示すように、月土壌の相対密度(Dr)は深度が深くなるにつれ大きくなる。そこで、各刃先ごとに $Dr=74$ 、83、96%での採取率の平均を算出し、その値から月面での採取性能を判断することが有効であると考えられる。よって、表4に示すように、最も効果の期待できるサンプラーは「D12-S」と判断される。ただし、土壌をいずれの深度でどの程度まで乱れを許して採取するかによって、サンプラーのタイプを選定する必要がある。

6. まとめ

本研究により、今回使用したタイプのサンプラーによって月表層土壌を採取率 70～80%で採取することは可能であることが立証された。また月の環境を考慮すると、サンプルングの貫入方法は今回のような動的貫入を採用するのが良い。今後は月表面の特殊な環境（重力が地球の約 1/6、高真空状態、-170～+120℃の温度変化、など）のもとでの自動操作によるサンプルングに向けて、より具体的な手法の検討・開発が必要である。

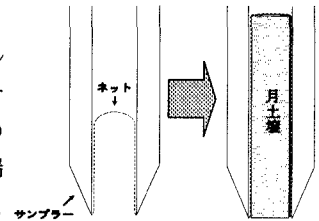


図2 月土壌採取用サンプラー概念図

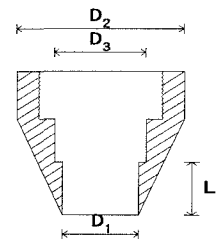


図3 サンプラーの刃先

表3 刃先の種類

刃先角度	チューブの内径： D_3	刃先先端の長さ： L	
		19mm	11mm
16°	11mm	D11-L	D11-S
	12mm	D12-L	D12-S
	13mm	D13-L	D13-S

表4 採取率および各刃先の平均採取率

	D11-L	D11-S	D12-L	D12-S	D13-L	D13-S
$Dr=74\%$	71.1	78.1	70.0	77.1	73.0	70.9
$Dr=83\%$	78.2	78.7	80.2	82.5	78.6	81.4
$Dr=96\%$	79.1	77.2	75.8	80.2	79.0	83.4
平均採取率	76.1	78.0	75.3	79.9	76.9	78.6

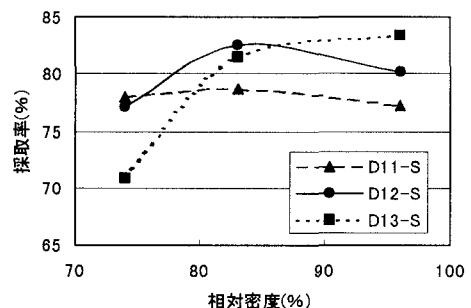


図4 相対密度別のS型サンプラー採取率