

立命館大学大学院理工学研究科 学生員 ○渡邊 一慶 関西国際空港(株) 片木 聖樹
立命館大学総合理工学研究科 学生員 小林 泰三 立命館大学理工学部 正員 深川 良一
宇宙開発事業団 金森 洋史 宇宙開発事業団 佐々木 健

1はじめに 我が国でも月面ローバー(探査車)による月面での掘削作業が現実のものと成りつつある。ローバーは車重をできるだけ軽くしなければならないので、掘削作業を検討する段階で月面を覆う砂(レゴリス)の掘削特性や力学的特性の解明は必要不可欠である。しかし、レゴリスの掘削特性は、重力の違いや真空(つまり完全な乾燥状態)など特殊な条件の影響を受けるため、十分解明されているとは言い難い。そこで本研究では、レゴリスの模擬材であるレゴリスシミュラントを用いて基本的な定常掘削実験を行い、結果に及ぼす掘削深さ、相対密度などに関して検討を加えた。比較のために豊浦標準砂でも実験を行った。また、掘削の進行に伴う刃物前面の堆積砂は水平掘削力に大きな影響を及ぼすため、堆積砂の体積に関して定量的な評価を行なった。

2 掘削実験 今回の実験では、相対密度、掘削深さと水平掘削力との関係を調べるために、各々3種類の相対密度、掘削深さを変化させ、乾燥レゴリスシミュラント、豊浦砂に対して合計18通りの実験を行なった。掘削が進むにつれ掘削刃の前面には掘削された砂が堆積する。それをここでは前方堆積砂と呼ぶことにする。掘削が進むにつれ、前方堆積砂の体積は定常状態となりある一定の値に収束すると仮定した。そして、前方堆積砂を評価するために、その定常状態での体積を非線形回帰分析によって求めた。

3 砂試料の物理的特性 今回の定常掘削実験で用いたレゴリスシミュラントの内部摩擦角、粘着力は一面せん断試験によって求めた。表1に豊浦標準砂とともにその物理特性について示す。

4 モデル地盤の作製方法

まず土槽の底部に2mmメッシュの網を設置し、その上から一定量の砂試料を土槽内に入れる。次に網を水平に静かに持ち上げ、網目から砂を落下させ非常にゆるい状態の砂地盤を作製する。最後に所定の体積になるようにモデル地盤上の板へおもりを落下させ所定の地盤高さになるまで締め固め、目標の相対密度の地盤を作製した。

5 実験方法と測定方法 実験装置は図1に示すように、エアシリンダー、掘削刃、台車、油圧シリンダー、歪みゲージ、巻き込み式変位計より構成される。実験はシャフトの先端部に掘削刃を取り付け、台車の上に土槽を設置し、その中に砂試料を入れモデル地盤を作製する。次に掘削深さが変化しないように掘削刃の高さをエアシリンダーで調整し、掘削刃を砂に貫入させ、台車の後部で連結している油圧シリンダーで台車を一定の速度で掘削刃方向に動かし、掘削深さ一定で掘削刃が砂を掘削する定常掘削実験を行った。また、シャフト部に取り付けた歪みゲージにより水平掘削力を測定する。定常状態での体積を求めるために掘削距離が3cm進むごとに台車を止め、体積を求めるために必要な要素をノギスによって測定した。

表1 実験試料の物理的性質

	$\rho_s(g/cm^3)$	Dr(%)	$\phi(deg)$	$c(kN/m^2)$	e_{max}	e_{min}	Uc	Uc
豊浦標準砂(乾燥)	2.61	3	31.9	0	0.95	0.58	1.88	0.79
		51	35.7					
		74	37.0					
レゴリスシミュラント(乾燥)	2.9	15	34.4	4.12	1.09	0.47	9.6	0.93
		51	37.7	7.64				
		74	46.2	9.90				

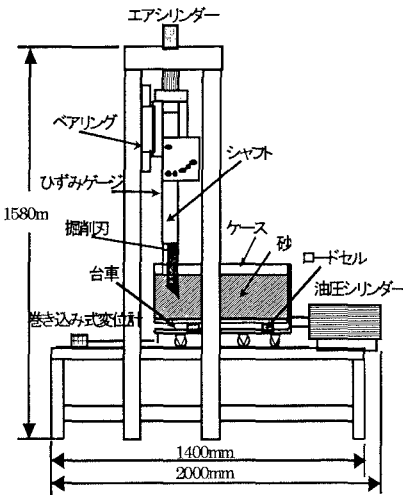


図1 実験装置概略図

6 結果と考察

1) 水平掘削力について 掘削深さと水平掘削力の関係を図 2 に、相対密度と水平掘削力の関係を図 3 に示した。砂の掘削では掘削された砂が掘削刃前面に堆積し、水平掘削力に影響を与えると考えられるため、水平掘削力の実験結果を整理する際は全測定値の最大値を採用した。豊浦砂は相対密度が増加するにつれ水平掘削力も大きくなり直線的に増加する傾向がみられた。レゴリスシミュラントも同様であるが、特に相対密度 51→74% で急激な水平掘削力の増加が見られた。これは、レゴリスシミュラントの c , ϕ の傾向と軌を一にしているものと判断できる。

2) 堆積砂について 掘削距離と堆積砂の体積の関係を図 4(豊浦砂)に示した。掘削距離が進むにつれ、一定の値に収束していく傾向を示す。そして、堆積砂の体積 V が収束すると仮定し、非線形回帰分析により収束値をそれぞれ求め、その収束値と掘削深さの関係を図 5 に示した。図より、いずれの相対密度でも豊浦砂よりレゴリスシミュラントの方が大きい数値を示していることがわかる。これはレゴリスシミュラントの粒子特性(細かいが、形状が複雑)に起因するダイランシーの反映であると考えられる。

7 結論

- 1) 豊浦砂は、掘削深さ、相対密度の増加に伴い、水平掘削力も比例的に大きくなる。
- 2) レゴリスシミュラントは、掘削深さの増加に伴い水平掘削力も比例的な増加が見られる。一方、相対密度に関しては、51～74%の間で特に水平掘削力の増分が大きくなる。
- 3) 掘削距離がある程度進むと、堆積砂の体積は収束する傾向にあり、いずれの相対密度でも豊浦砂よりレゴリスシミュラントの方が堆積砂の体積が大きい傾向を示した

参考文献

- 1) 広瀬誠：第 12 回土質工学研究発表会発表講演集、pp.165-168, 1977. (この論文中の福本らの方法)

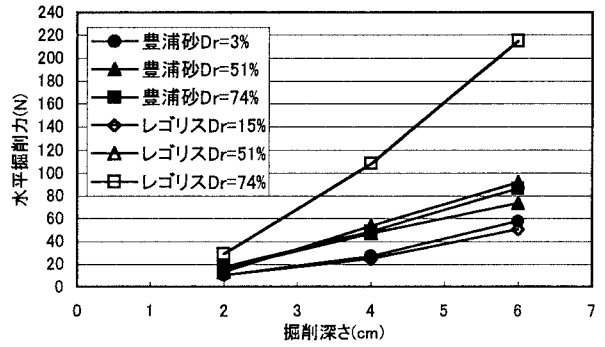


図 2 掘削深さと水平掘削力の関係

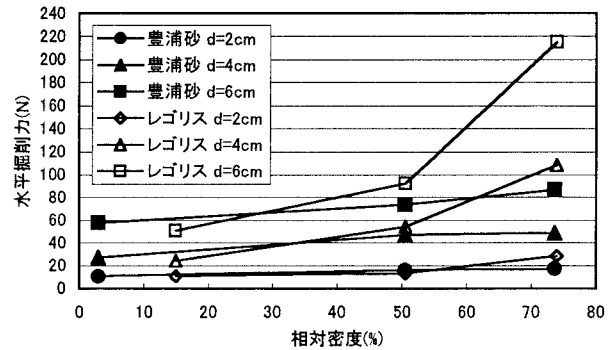


図 3 相対密度と水平掘削力の関係

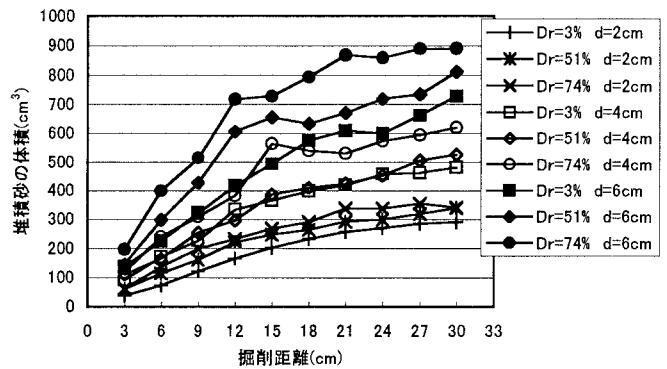


図 4 掘削距離と堆積砂の体積の関係(豊浦砂)

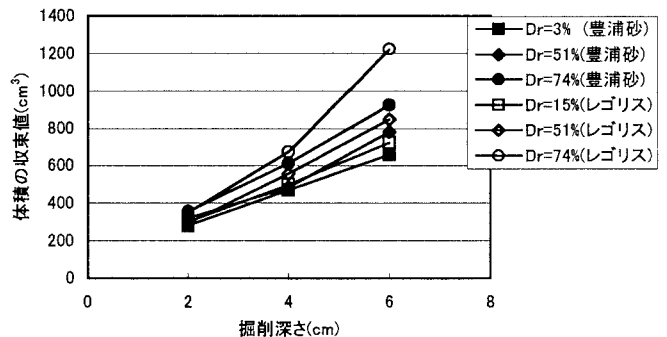


図 5 掘削深さと体積の収束値の関係