# 球体衝突による砂質土の間隙比変化

秋田大学 学生会員 〇小林光司郎 非会員 米谷健汰

#### 非会員 高橋貴之

#### 1. はじめに

月面はレゴリスと呼ばれる砂質土で覆われて おり、表層部のレゴリスの相対密度は、地表面 付近では小さいが深度とともに急激に増加する ことが知られている.このような密度分布は月 重過百分率(%) 表面への隕石の衝突と月震が主な要因であり<sup>1)</sup>, 月震はその加速度によって地盤の密度を増大さ せ, 隕石衝突は地表面付近では地盤を攪乱し, それ以深の層では衝撃により締固めると考えら れている.しかしこのような相反する作用を含 んだ二つの要因が月地盤の密度分布にそれぞれ どの程度寄与しているかはわかっていない.本 研究では、このうち隕石衝突の影響を評価する ための基礎研究として,モールド内の月面模擬 土層に小球を落下させる模型実験を行い、土層の各深 度の間隙比変化を評価した.



### 2. 実験概要

実験に用いた試料は、月面を覆う表層土の科学的組 織や物性を再現するよう国内で製造された FJS-1(レゴ リスシミュラント)である. FJS-1 の物性値は土粒子密 度ρ<sub>s</sub>=2.95g/cm<sup>3</sup>,最大間隙比 e<sub>max</sub>=0.98,最小間隙比 e min=0.46, 均等係数 Uc=11.43 である. また FJS-1 の比較

対象として,豊浦砂および粒度分布が FJS-1 に比較的近い稲城砂を使用し, 試料はいずれも乾燥状態で用いた. 図−1 は, FJS-1, 豊浦砂, 稲城砂の粒 径加積曲線を示している.豊浦砂は勾配が急であるが,FJS-1と稲城砂は, 曲線の勾配が緩やかで粒度分布がよい.実験には図-2に示す内径 60mm, 高さ 20mm のリング 11 層からなるモールドを使用した.モールド内に作 成した土層(高さ220mm)に対し,所定の落下高さhから自由落下させた鋼 鉄製の小球を鉛直に衝突させ, 衝突前後の各層の間隙比の変化を観測した. 初期状態の土層は堆積直後の締固められていない月面地盤を想定し,相対 密度 D<sub>r</sub>=0%付近となるよう、緩詰め状態で作成した.小球衝突前の各層 の間隙比は、あらかじめ初期状態の土層を数回作成して得られた各層の初 期間隙比を平均して求めた. なお,実験ごとの初期間隙比の差は小球衝突 による間隙比変化に比べて十分小さいことをあらかじめ確認している.

実験に使用した小球は, 質量 m=5.47g, 体積 V=0.697cm<sup>3</sup>の小球 A と m=16.27g, V=2.145cm<sup>3</sup>の小球 Bの2種類である. 実験条件は表-1に示す通 りである.小球衝突後,一層ずつリングを取り除き,測定した土質量から各 層の間隙比を算出した.しかし、1層目に関しては、小球衝突時に試料が飛 散し正確な間隙比を測定することが困難であったため,実験結果は2層目以 降について示している. なお、今回の実験で使用した FJS-1 は、 試料が希 少であることから当初, 試料を繰返し使用したが, 実験を繰返すうち, 土粒 子の摩耗などによって粒度分布の変化し, 土層の初期間隙比が徐々に減少し ていることがわかった.そのため、一部の実験では以下のように間隙比を補 正した. すなわち,各層の初期間隙比と最大間隙比 emax=0.98 との差 Ae を算 出し,各層の間隙比にAeを加算することで補正データとした.なお,補正 後の間隙比は新しい試料を用いた実験結果とおおむね整合することを確か めている.

キーワード 月面模擬土 隕石衝突模擬実験 間隙比変化 FJS-1 連絡先 〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1 TEL 018-889-2364

表-1 実験条件

試料	小球	小球落下数	落下高さ <i>h</i> (cm)
FJS-1	А	1, 3, 5, 8, 10	50, 100
	В	1	10, 50, 100, 150
稲城砂	А	1, 3, 5	100
豊浦砂	В	1	50, 100, 150, 200



図-3 小球衝突による各層の間隙 比の変化(FJS-1 小球 A)





正会員 正会員

荻野俊寛 鈴木翔太

#### 3. 実験結果および考察

図-3は、FJS-1 土層に小球 A を衝突させた場合の各層の間隙比変化を示してい る. 各層の衝突前の間隙比はおおむね emax 近傍であるが,表層付近では emax より も大きな値を示しており、土の自重による圧密のため、深度が大きくなるにつれ やや減少している.小球の衝突によって土層の間隙比は全ての層で減少している. 小球の数が増加し、土層に与えるエネルギー量が増加すると、間隙比の減少量は 増加し、上層のみならず下層へ与える影響も大きくなることがわかる.一方、図 -4の稲城砂土層に小球 A を衝突させた場合の各層の間隙比変化を見ると,落下 した小球は 3~4 層目に止まっており,6 層目以降の間隙比変化はみられなかった. 次に、図-5は、FJS-1 土層に小球 B を衝突させた場合の各層の間隙比変化を示し ている. h が大きくなるにつれ、小球が下層部にまで到達している. 小球が到達 した層は間隙比が衝突前に比べ大きく減少しているが、それより下部の層では深 くなるにつれ間隙比変化は小さくなっている. 到達層よりも浅い部分では h によ らず一様に間隙比が減少している.図-3および図-5では表層付近の間隙比は emax に近く非常に緩い状態にあるものの、いずれも小球衝突によって減少しており、 衝突による攪乱によって表層部の間隙比の増加するような挙動は見られない. 一 方,図-5と同様の条件の実験を豊浦砂土層で行った場合(図-6),小球は稲城砂と 同様に上層部に止まりそれよりも下層の間隙比変化はみられなかった.

図-7,図-8は,FJS-1 土層の各層の小球衝突による間隙比変化量 *Ae* と,式(1) で求めた小球の力学的エネルギーの総和 *E* の関係を示している.

E = mgh n

ここに、n は落下させた小球の数である.本実験条件においては $\Delta e$  の最大値は、約 0.27 であり、hによる変化は見られない.また、図-7(h=50cm)では、3 層のみ

が最大間隙比変化量約 0.27 を達していたが,図-8(*h*=100cm)では, 3,4,5層で最大間隙比変化量約 0.27 に達していた.図-9 は,小 球衝突による2層目から最下層までの間隙比変化量の総和Σ*Ae*と*E*の関係を示している.FJS-1,稲城砂,豊浦砂のいずれも間隙比変 化量の総和Σ*Ae*は*E*とよい相関関係を示していることがわかる. 特に,FJS-1においては小球の種類,落下数,落下高さによらず一 義的な関係を示している.これまで,月面の実地盤は隕石によっ て表層は乱され緩く,深層は締め固められ密になるといわれてい たが,今回の模型実験では供試体 2層から最下層すべての層で密 実化することがわかった.小球の衝突によって間隙比が増加する 現象は本実験土層における1層目のごく限られた表層部分に現わ れているのではないかと考えられる.

(1)

## 4. 結論

本報告から得られる知見は以下の通りである.

- ・各層の間隙比変化量 ∠eには限界があり、本試験条件では最大変化量は約0.27であった。
- ・土層に与えるエネルギー量が大きくなると、間隙比変化を及 ぼす深度、最大変化量に達する層数に影響がある。
- ・ 土層の間隙比は小球の衝突によって2層から影響の及ぶ全ての深度で減少し、密実化した。
- ・月面模擬土層への小球の貫入深度は一般的な砂質土の場合よりも大きく、小球の持つ力学的エネルギーによって決まった.
- ・供試体表層において小球衝突時の攪乱の影響による間隙比の増加は 見られなかった.
- ・FJS-1の小球衝突による2層目から最下層までの間隙比変化量の総和 ΣΔe は小球の種類,落下数,落下高さによらず一義的な関係となった.
  【参考文献】
- W. David Carrier III, Gary R. Olhoeft, and Wendell Mendell: LUNAR sourcebook a user's guide to the moon, Chapter9: Physical Properties of the Lunar surface, pp.518



図-5小球衝突による各層の間 隙比の変化(FJS-1小球 B)



図-6 小球衝突による各層の間 隙比の変化(豊浦砂 小球 B)

