

# レゴリスに覆われた基盤岩標的への衝突実験 ：クレーター形態と衝突励起震動の層厚依存性

○柿木玲亜<sup>1</sup>，荒川政彦<sup>1</sup>，保井みなみ<sup>1</sup>，長谷川直<sup>2</sup>

<sup>1</sup>神戸大学大学院理学研究科，<sup>2</sup>宇宙科学研究所

## 1. 研究背景

小惑星の表層や内部構造はその起源や進化の理解に必要な情報であり、その推定のために2つの特徴が注目されている。1つは衝突クレーターの中央に存在するピットの存在である。例えば、小惑星リュウグウ上に形成されたSCIクレーターでは、中央ピットが確認された。この観測結果より、リュウグウ表層には、結合強度を持たないレゴリス層の下に比較的強度の大きいレゴリス層及び基盤層があると考えられている。このようにクレーター形態は小惑星の内部構造の推定において重要な手がかりとなる。2つ目は衝突励起震動である。この振動は天体内部や表面を伝播し、レゴリスを流動化させ、表面地形を緩和する。これは小惑星上の地形を変化させる最も重要な効果の一つである。層構造を持つ小惑星で起こる衝突励起振動の数値モデルの結果から、基盤岩上のレゴリスは流動化しやすいことがわかっている。したがって、小惑星表層の流動化による地形緩和の程度は、層構造等の内部構造に依存することが示唆される。

以上より本研究ではクレーター形態の特徴や衝突励起振動による緩和地形の有無から内部構造を推定する手法を開発することを最終目標と定める。しかし、クレーターサイズや衝突励起振動に対する層構造の影響を調べた研究は少なく、特に層厚と各層の強度の影響は未解明である。そこで本研究では、レゴリスで覆われた基盤を持つ小惑星のクレーター形成過程と、衝突励起振動による地形緩和を調べるため、層構造を持つ小惑星表層を模擬した標的へのクレーター形成実験を行い、基盤がクレーター形成過程に与える影響や、標的表面や基盤を伝播する衝突励起振動を計測して震動波形の距離減衰に対する基盤の影響を調べた。

## 2. 実験手法

本実験では、(A)自由落下による低速度実験（衝突速度 3m/s）、(B)神戸大の縦型一段式軽ガス銃による中速度実験(100-200m/s)、(C)宇宙科学研究所の縦型二段式軽ガス銃による高速度実験(2km/s)を行った。(A)では石膏・砂混合物(以下では砂：石膏=f：1とする。f=10、引張強度 130kPa)、(B)では閃緑岩(引張強度 6.7MPa)、(C)では石膏・砂混合物(f=4, 10, 20、引張強度 10.5 kPa ~ 243 kPa)を基盤に用い、この上に石英砂またはガラスビーズを 0-50mm の厚みで敷いた。弾丸は、(A)と(B)では鉄球、(C)ではアルミ球を用いた。この際、基盤表面の複数箇所に加速度計を設置し、加速度を測定した。また、(A)では1次元レーザー変位計を標的表面上に設置し、粒子の変位を波形として計測した。

## 3. 結果と議論

層構造標的では粒子層の厚みの減少に伴い、クレーター形状がお椀型から平底型、同心円型へと変化した。(C)の結果より、粒子層に形成されるクレーターのリム半径は、クレーターが平底型または同心円型の場合、粒子層の厚みの減少に伴って減少した。また、基盤上の平底クレータ

一半径と基盤に形成されるピット半径は、粒子層の厚みの減少に伴って増加した。基盤強度を変えて同様の実験を行った場合、リム半径・平底半径は基盤強度に依存せず、ピット半径のみが基盤強度の増加に伴い減少した(図 1)。基盤に形成されるピットのサイズは、弾丸直径で規格化した粒子層の厚みの増加に伴い、減少した。この体積の減少率は、モルタル層に覆われた玄武岩に形成されるクレーターの体積減少率 (Dohi et al., 2012) より小さい。しかし、本実験で得られた体積減少率は異なる強度の基盤を用いても変わらず、その減少率は粒子層の物性によって決定する可能性が示唆された(図 2)。

衝突励起振動に関しては、基盤が存在する場合、均質砂と比較して高周波数の加速度波形が励起された(図 3)。また、(C)の実験より、最大加速度とリム半径で規格化した衝突点からの距離の関係から、最大加速度は均質砂より 5~1000 倍大きくなった。そして、粒子層の厚みの増加に伴って最大加速度は小さくなった(図 4)。(A)の実験で得られた鉛直方向の変位波形の結果より、衝突直後に基盤や粒子層は下向きに変位し、その後粒子層は基盤の振動より高周波数で振動することがわかった。また基盤の加速度波形は 10ms ほどで減衰するのに対し、粒子層の変位波形は 200ms 以上振動が継続した(図 5)。これは基盤の振動が粒子層の振動を励起し、その粒子の振動が継続していると解釈できる。

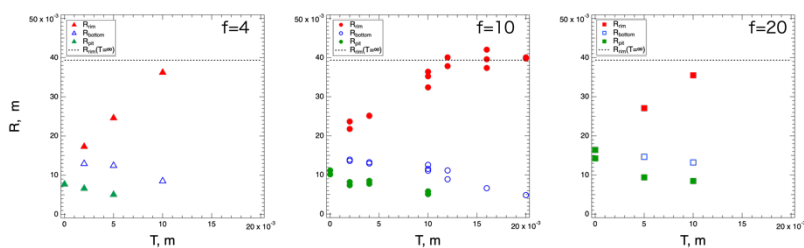


図 1 粒子層の厚みの変化に伴うクレーターサイズの変化(C)。本実験では直径 2mm のアルミ球を弾丸に使用し、衝突速度は 2km/s である。

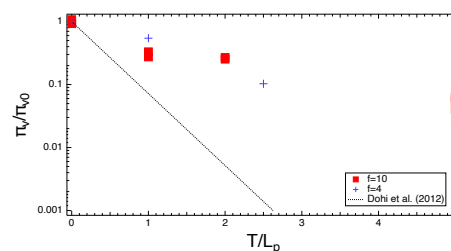


図 2 弾丸直径で規格化した粒子層の厚みの変化に伴う、無次元化したクレーター体積の変化。

$\pi_{v0}$  は、粒子層 0mm の場合の基盤層上のクレーターの  $\pi_v$  である。

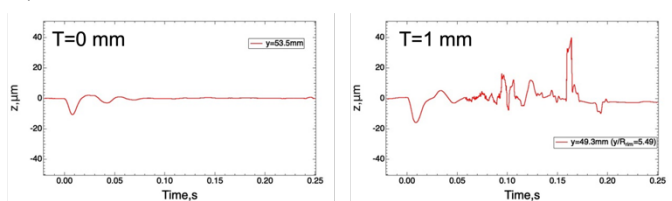


図 3(A)における変位波形の例。(左：粒子層 0mm(基盤のみ)、右：粒子層 1mm)

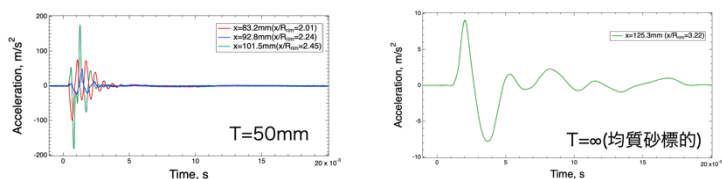


図 4(C)における加速度波形の例。(左：粒子層の厚み 50mm, 右：均質砂標的)

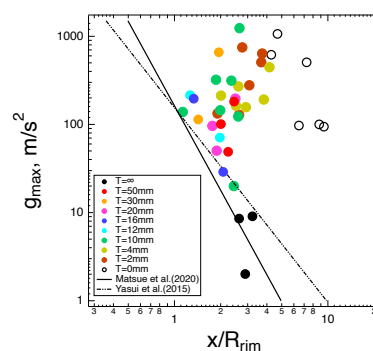


図 5 規格化距離と最大加速度の関係