

リュウグウ表層を模擬した低強度粗粒レゴリスに対するクレーター形成実験

山本裕也^{*1}, 荒川政彦¹, 保井みなみ¹, 長谷川直², 杉村瞭¹, 横田優作¹

1 神戸大学大学院理学研究科, 2 宇宙科学研究所

小惑星リュウグウのようなラブルパイル天体は、100 m~1 cm オーダーの様々なサイズのボルダーで覆われていることがわかってきた。ボルダーの力学的強度は、熱慣性による推定から数百 kPa 程度であることが示唆されているため、このようなボルダーで覆われた天体におけるクレーター形成過程を考えるためには、クレーター形成過程における表層粒子の破壊強度が重要となる。本研究では、強度の小さい粒状標的に対してクレーター形成実験を行い、粒子の破壊強度がクレーターサイズにどのように影響するかを調べた。また、粒子の破壊強度が、衝突に伴って発生し標的内部を伝播する振動に与える影響についても調べた。

実験は、神戸大学の縦型一段式軽ガス銃と、宇宙科学研究所の縦型二段式軽ガス銃を用いて行った。標的には直径 1~4 mm と直径 1~4 cm の鹿沼土を用いたが、粒子 1 個の空隙率はそれぞれ、0.60 g/cm³, 0.38 g/cm³ で、圧壊強度は 60 kPa, 13 kPa であった。弾丸には直径 2 mm のアルミ球と、直径 3 mm の 9 種類の球(ナイロン, ガラス, アルミナ, チタン, ジルコニア, SUS, 鉄, 銅, タングステンカーバイド)を用いた。それらの弾丸を速度 40~200 m/s, 1.2~4.3 km/s まで加速し標的表面に垂直衝突させた。実験後の標的は回収して、形成されたクレーターリムの直径を計測した。また、衝突励起振動は標的内部の衝突点から距離の異なる 3 地点に加速度計(型番: SV1111, SV1112, SV1113、固有振動数: 30 kHz)を設置することで計測した。加速度データはチャージアンプを通して、データロガー(取り込み速度: 100 kHz)で記録した。

クレーターサイズと運動エネルギーの関係を調べた結果、運動エネルギーの増加とともにクレーターサイズも増加したが、運動エネルギー 0.14 J~0.63 J の領域ではクレーターサイズが運動エネルギーと共に変化せず、ほぼ一定となった。大玉標的に関しては、低速度ではクレーターが形成されず、高速度では、同程度の運動エネルギーで形成された細粒標的のクレーターサイズと比較して、小さくなった。クレーター直径は、規格化クレーター半径 $\pi_R (= R(\rho/m)^{1/3})$ で R はクレーター半径, ρ は標的密度, m は弾丸質量) と規格化重力 $\pi_2 (= ga/U^2)$ で g は重力加速度, a は弾丸半径, U は衝突速度) に関するクレータースケール則 $\pi_R = a \cdot \pi_2^{-b}$ を用いて説明することができる(Holsapple & Schmidt, 1987)。このスケール則を細粒標的に関して求めると、クレーターサイズがほぼ一定となった領域を境にして 2 つのスケール則が得られた。

$$\pi_R \pi_4^{-0.199} = 10^{-0.41} \pi_2^{-0.21}, \pi_2 < 10^{-9}, \pi_2 > 10^{-5}$$

$$\pi_R \pi_4^{-0.199} = 10^{-0.56} \pi_2^{-0.21}, 10^{-9} < \pi_2 < 2 \times 10^{-6}$$

衝突励起振動に関しては、加速度データから最大加速度とクレーター半径で規格化した衝突点からの距離の関係を求めた。その結果、弾丸の種類、衝突速度に依らず同程度の最大加速度を受けていることがわかり、以下のスケール則が得られた。

$$g_{max} = 10^{1.68} \left(\frac{x}{R}\right)^{-2.003}$$

先行研究のガラスビーズ標的に対する結果と比較すると、加速度の減衰率は同程度であるが、絶対値が小さいことがわかった。

図は左上から、運動エネルギーとクレーター半径の関係、 π_R と π_4 の関係、最大加速度と規格化衝突点距離の関係

