

高空隙率シリカ層への衝突実験と 空隙率を考慮したクレーターサイズスケール則の構築

○石黒琢也¹, 荒川政彦¹

¹神戸大学大学院理学研究科

はじめに

太陽系には高い空隙率を持つ小天体が多く存在する。そのような天体上におけるクレーター形成現象については、従来考えられてきた天体の岩盤強度もしくは天体の重力がその形成過程を支配するようなメカニズムに加え、天体内部の空隙が潰れることによってクレーターができる「圧縮型」とも言うべきメカニズムを考えることができる。しかし空隙率の影響を考慮したクレーター形成モデルはまだ十分に研究がなされていない。そこで本研究では「はやぶさ2」搭載の小型衝突装置を用いた宇宙衝突実験が予定されている小惑星 Ryugu の表層モデルのうちの一つである「高い空隙率を持つ微粒子層」を模擬した標的に対して高速度クレーター形成実験を行い、空隙率を考慮したクレーター形成モデルの構築を目指した。

実験・解析方法

クレーター形成における空隙率の効果を調べるため、標的試料の空隙率を系統的に変化させて実験を行った。標的試料は平均粒径 $0.5\mu\text{m}$ のアモルファスシリカを用い、これを直方体容器に詰める質量を変えることにより空隙率 ϕ (膨張率 $\alpha: \alpha=1/(1-\phi)$) を 50~78% ($\alpha=2.00\sim4.49$) の間で 11 種類変化させた。

衝突実験は神戸大学の横型二段式軽ガス銃を用い標的試料は真空チャンバー内に横倒し

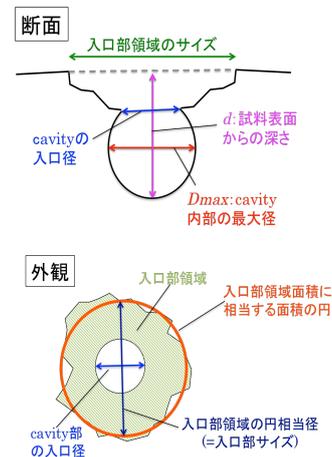


図1. クレーターサイズの定義

にして設置した。弾丸は直径 1mm および 2mm のガラス球を用い、0.8~6.5km/s で衝突させた。チャンバー内は~20Pa まで真空引きし、撮像は撮影速度: $10^4\sim10^5\text{fps}$ の高速ビデオカメラで行った。形成したクレーターはエポキシ樹脂で硬化させ、岩石カッターで切断することにより断面を観察した。これにより、図1のように試料内部に形成した cavity のサイズを計測した。

また、標的強度の空隙率依存性を一軸変形試験機を用いて調べた。試料は直方体試料および円柱試料を用意し、空隙率は 50~75% で変化させた。測定方法は以下の3種類で行っている。一つ目は直方体試料 ($5.8 \times 5.8 \times 5.5\text{cm}$) の表面を丸棒 (直径 1cm) で押す (圧縮強度①)、二つ目は円柱試料 (直径 3cm) の平面を試料平面より大きな圧盤で圧縮する (圧縮強度②)、三つ目は円柱試料を横倒しにし Brazilian disk test を行った (引張強度)。

実験結果

図2は衝突速度と弾丸径を一定にして標的の空隙率のみを変化させ実験を行った際に形成されたクレーターの外観と断面の写真である。衝突速度は3.6km/sで弾丸径は2mmである。形成されるクレーターは図1の定義のように、「入口部領域」と「cavity部」からなり、標的の空隙率の増加に伴ってクレーターの形状が非常に浅い皿型からカブのような形のcavityへと変化する事がわかった。また、空隙率70%の試料について衝突速度を0.8km/sから6.5km/sまで変化させると、速度の増加に伴ってクレーターの形状はニンジン型の貫入孔からカブ型のcavityへと変化した。

形成したクレーターのサイズについて、図1で定義しているような深さ d 、最大径 D_{max} の膨張率依存性は図3のような結果となった。膨張率 α が増加するに伴ってクレーターサイズスケール則[Housen and Holsapple, 2003]における規格化最大径および規格化深さ(以下 $\pi_{D_{max}}$ および π_d)は以下のように増加するという結果となった。

$$\pi_{D_{max}} = 3.8\alpha^{0.70}$$

$$\pi_d = 3.0\alpha^{1.0}$$

これに対し、入口部領域のサイズ(以下 π_{D_s})については膨張率が増加しても殆ど変化しないという結果となった。

標的強度(圧縮強度①: Y_{comp1} および②: Y_{comp2} , 引張強度: Y)の膨張率依存性を調べたところ、図4のような結果となり空隙率の増加に伴って標的強度が大きく低下することがわかった。ここで得た強度の空隙率依存性の結果と空隙率70%試料における速度依存性の実験結果を

もとにサイズスケール則を整理すると、以下のようになった。

$$\pi_{D_{max}} = 0.117 \left(\frac{Y_{comp2}}{\delta U^2} \right)^{-0.28}$$

$$\pi_{D_s} = 0.174 \left(\frac{Y}{\delta U^2} \right)^{-0.27}$$

これより、 $\mu = 0.55 \pm 0.01$ となった。 μ 自体が空隙率依存性を持つ可能性があるため、今後は空隙率を変化させた試料それぞれについて速度依存性を調査する必要がある。

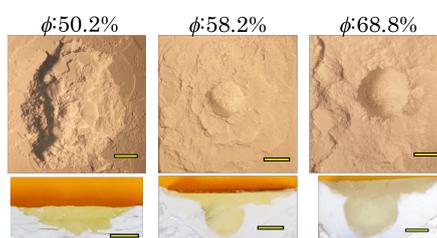


図2.クレーター形状の空隙率依存性

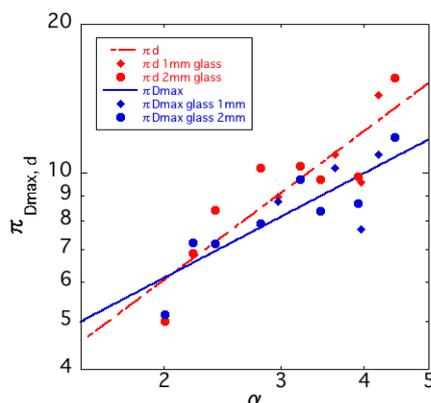


図3.クレーターサイズの空隙率依存性

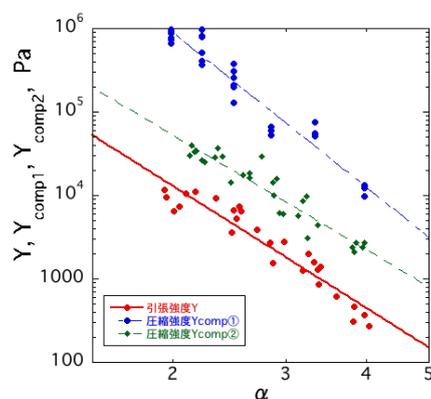


図4.標的強度の空隙率依存性