

クレーターサイズスケール則における空隙率の効果

○石黒琢也¹, 荒川政彦¹, 保井みなみ

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。しかし空隙率がクレータリングに具体的にどう影響するかはまだよくわかっていない。また、これまで行われてきた多孔質標的に関する研究では取り扱う試料の強度が MPa オーダーであったのに対し、実際の小天体の強度はそれよりも小さい可能性がある。そこで本研究は先行研究よりも弱い強度を持つ標的試料において空隙率を連続的に変化させてクレーター形成実験を行い、空隙率がクレーターの形状とスケール則にどのような影響を与えるのかを調べた。

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 μm 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 を 50, 60, 70%を作成した。

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

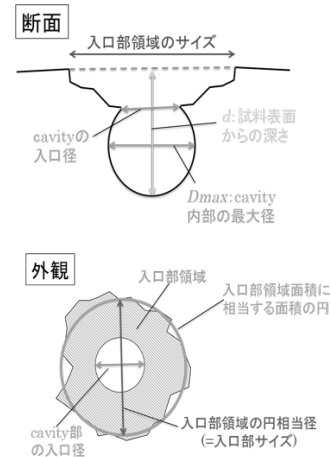


図 1. クレーターサイズの定義

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、各空隙率(50%, 60%, 70%)の標的に対し 0.8~6.5km/s で衝突させることにより、各空隙率における衝突速度の依存性を調べた。チャンバー内は~20Pa まで真空引きし、撮像は撮影速度:10⁴~10⁵fps 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 2 種類で行っている。一つ目は円柱試料(直径 3cm)の平面を試料平面より圧盤で圧縮する(圧縮強度)、二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(ガラス球)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 へと変化することがわかった。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。一方で空隙率 50% 試料においては衝突速度によらずクレーターの形状は浅い皿形であった。

標的強度(圧縮強度: Y_{comp} , 引張強度: Y_{tens})の空隙率依存性を調べたところ、図 3 のようになり、先行研究よりも小さく推定されている小天体の強度に近い kPa オーダーの大きさであった。

ここで得た強度の空隙率依存性の結果と空隙率 50%~70% 試料における衝突速度依存性の実験結果をもとに図 1 で定義した cavity 最大径 $R_{max}(=D_{max}/2)$ と入口部サイズ R_s についてサイズスケール則 [Housen and Holsapple, 2003] を整理すると、図 4 のようになった。ここで、縦軸は上記スケール則における規格化半径、横軸は強度の項である。よって入口部については空隙率の依存性がある一方で cavity 最大径については空隙率によらず一本の近似線で整理できることがわかった。また、入口部に

ついてはべきと切片について空隙率で整理することで以下のような空隙率を考慮したサイズスケール則を得ることができた。

$$R \left(\frac{\rho}{m} \right)^{1/3} = A(\phi) \left(\frac{Y_{tens}}{\rho U^2} \right)^{\frac{-\mu}{2}}$$

$$A(\phi) = 7.6 \times 10^{-3} \phi^{-7.4}$$

$$\mu(\phi) = 0.90\phi - 0.08$$

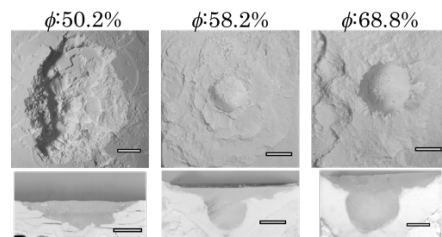


図 2.クレーター形状の空隙率依存性

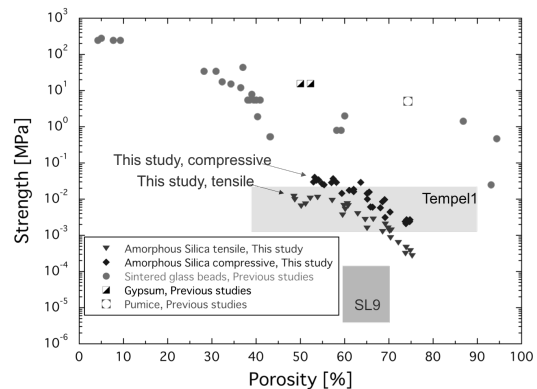


図 3.標的強度の空隙率依存性

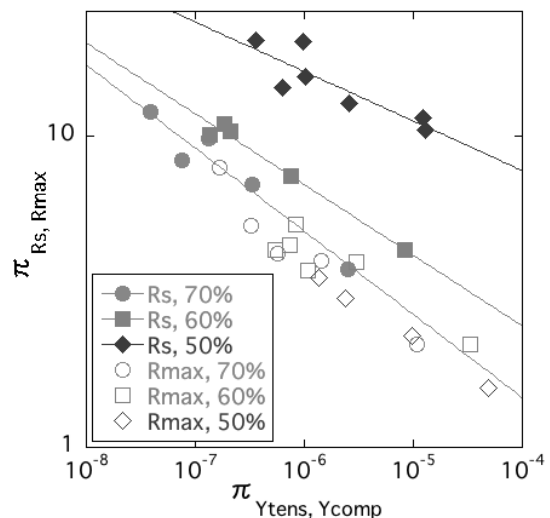


図 4.各空隙率におけるスケール則