

小惑星上でのボルダーの衝突破壊

○櫻井哲志, 中村昭子

神戸大学大学院理学研究科

背景

ラブルパイル小惑星はその母天体の衝突破壊、および破片の再集積により形成される。小惑星母天体は熱進化後の微惑星である。したがって、母天体の破片であるボルダーは微惑星の性質を理解する手がかりの一つと考えられる。探査機 Hayabusa2 による小惑星リュウグウ表面の観測によって、リュウグウ表面に空隙率が非常に高い可能性のあるボルダーが発見された(空隙率 71–92%; [1])。この超高空隙率のボルダーは、圧密度合いの小さい母天体表層付近を起源とし、ダスト集積時過程の痕跡を残したものと考えられている。また、超高空隙率ボルダーの発見数は少なく、これは超高空隙率で脆いボルダーが、一般的なボルダーと比べて、小惑星表面で熱疲労・衝突現象によって破壊されやすいからだとされている[1]。しかし、超高空隙率ボルダーの小惑星表層での衝突破壊は明らかではない。

小惑星表層でのボルダーの衝突破壊の結果は周囲のレゴリスの影響を受ける[2, 3, 4]。Durda et al. [3]は、岩石ブロックと珪砂を用いて、レゴリスへの埋め込み度合いがボルダーの衝突破壊に及ぼす影響を調査した。その結果、深く埋めた岩石標的ほど破壊されにくくなることを示した。また、岡本ら[4]は、ガラス球とガラスビーズを用いた衝突実験を行い、周囲レゴリスのサイズによって標的の破壊されにくさが変化することを示した。ただし、依然として、ボルダーの衝突破壊における周囲物質の影響に関してはデータが少なく、実験条件も限られている。

そこで本研究では、(1) 高空隙率ガラス焼結体標的(空隙率~80%)を用いた衝突実験を行い、高空隙率ボルダーの衝突破壊に周囲レゴリスが及ぼす影響を調査した。また、(2) ガラス球標的を用いて様々な条件で衝突実験を行った。

実験内容

メジアン径が 5 μm のガラス微粒子で構成される高空隙率ガラス焼結体を作成し、標的として用いた。実験は、自由空間、および直径 1 mm のガラスビーズに埋めた場合の 2 ケースで実施した。弾丸には焼結体標的とバルク密度の近い木製弾丸を使用し、自由標的に 120–310 m/s、埋め込んだ標的に 270–290 m/s の速度で衝突させた。

直径 12.3–12.6 mm のガラス球を標的として用いた実験では、自由空間、レゴリス模擬物質表面、および半分埋め込んだ場合の 3 ケースで衝突破壊を調査した。レゴリス模擬物質には、直径が 3 mm, 1 mm, 0.1 mm のガラスビーズ(GB-3, GB-1, GB-0.1)、桃の種(PS)、およびスチールビーズ(SB)の 5 種類を使用した。PS の密度は GB よりも低く、SB の密度

は GB よりも高い。PS と SB に関しては、現時点で、表面にガラス球標的を置いた場合のみでしか実験を行っていない。弾丸は直径 3.1 mm のガラス球で、衝突速度は 200–220 m/s である。

結果・議論

高空隙率標的を用いた実験から、ガラスビーズに埋めた標的が自由標的よりも破壊されにくいことがわかった。また、標的周囲にクレーターのような窪みが形成されることも確認できた。これらの結果は、空隙率~80%の高空隙率物質の衝突破壊も、緻密な標的と同様に、周囲レゴリスの影響を受けることを示している。

ガラス球標的を用いた実験から、GB-0.1 表層にある標的が、より粒径の大きい GB-3, GB-1 表層にある場合よりも破壊されやすいことがわかった。これは、岡本ら[4]と同様の結果である。また、PS 表面に置いた標的は、GB-0.1 表面の場合よりさらに破壊された。一方、SB 表面の標的の破壊度合いは、GB-3, GB-1 の場合と同程度であった。

インピーダンス(密度と音速の積)が大きい物質から小さい物質に圧縮応力波が入射する場合、境界面では引張り応力波が反射し、この応力はインピーダンス比が小さいほど大きくなる。ここで、本研究におけるインピーダンス比は、ボルダー模擬標的のインピーダンスに対するレゴリス模擬物質のインピーダンスの大きさに相当する。ガラスビーズの縦波速度は、粒径が小さいほど小さくなる[5]。つまり、GB-0.1 のインピーダンスは GB-3, GB-1 よりも小さい。また、低密度の PS のインピーダンスは GB よりも小さく、高密度の SB のインピーダンスは GB よりも大きいと考えられる。したがって、ガラス球を用いた実験では SB, GB-3, GB-1, GB-0.1, PS の順に標的内部へ反射する応力は大きくなり、標的がより破壊されやすくなると予想される。本研究の結果は、このモデルと矛盾しない。GB-1, GB-3, SB の結果に違いが見られないのは、本研究の条件下では標的の破壊されにくさが飽和するためだと考えられる。焼結体標的とガラスビーズレゴリスのインピーダンスは同程度であり、その比は大きくなる。これは、高空隙率標的の衝突破壊に対する周囲レゴリスの影響が、緻密な標の場合より強くなることを示唆する。

参考文献

- [1] Sakatani, N. et al., 2021, Nat. Astron. 5, 766–774.
- [2] Lee, P. et al., 1996, Icarus 120, 87–105.
- [3] Durda, D. D. et al., 2011, Meteorit. Planet. Sci. 46, 149–155.
- [4] 岡本ら, 2011, 衝突研究会ポスター
- [5] Teramoto, K., Yano, H., 2005, Lunar Planet. Sci. 36. Abstract 1856.