

高空隙ターゲットに形成されるキャビティ形状・衝突破壊のスケーリング解析 Scaling analysis of cavity morphology and disruption threshold for highly porous targets

岡本 尚也^{1*}; 中村 昭子¹; 長谷川 直²

OKAMOTO, Takaya^{1*}; NAKAMURA, Akiko¹; HASEGAWA, Sunao²

¹ 神戸大学大学院理学研究科, ² 宇宙科学研究所

¹Graduate School of Science, Kobe University, ²Institute of Space and Astronautical Science

小天体表面に衝突体が衝突してつくるクレーターの形状は、その天体の空隙率や密度、強度、そして衝突体の大きさ、密度、強度、速度によって変わることが考えられる。これまで<60%の大きな空隙率を持つターゲット（石膏、ガラスビーズ焼結体、雪）を用いた衝突実験が行われており、クレーターの深さや直径が調べられてきた。しかし、近年の探査計画や地上観測によりこれらの天体は非常に空隙率が高い(<86%)ものまでであることが分かってきた。それら小天体の形成期における衝突進化を理解するためにはさらに大きな空隙率を用いた実験が必要となってくる。我々はこれまでよりさらに高い空隙率を持つターゲットに形成されるキャビティ形状について調べた。そしてこれまでの研究データを合わせることで幅広い範囲の空隙率を持つターゲットにできるキャビティ形状について整理した。また、衝突進化史において重要となる衝突破壊強度と空隙率の関係についても整理した。

これまで我々は空隙率 80, 87, 94%を持つターゲットを作成し、衝突速度が毎秒数キロメートルの衝突実験を行ってきた (Okamoto et al., 2013)。弾丸にはチタン、アルミニウム、玄武岩、ステンレスを用いてきたが、これらに比べて低密度のナイロン弾丸も新たに用いた。トラックの形状は、弾丸破壊の程度が小さい場合は細長いニンジン型、破壊の程度が大きい場合は太短いカブ型が観察された。本発表ではこのカブ型のキャビティ形状について報告する。

カブ型のキャビティをクレーターとみなし、この最大径と入口径を従来の強度支配域のクレータースケーリング則を用いて整理したところ、キャビティの最大径と入口径は程よくスケールリングされ、半経験式をそれぞれ得た。衝突点から最大径までの距離は、弾丸の運動エネルギーが初期の運動エネルギーの $1/e$ となる特徴的長さで相関が見られた。特徴的長さは抵抗係数の関数となっており、抵抗係数は弾丸の破壊の程度に依存することから、弾丸の破壊が最大径までの距離に関与していることが示唆された。

成長中のキャビティの体積、最大径、深さと衝突からの時間との関係を調べた。横軸に (衝突速度) × (時間) / (弾丸半径) で表される規格化時間を、縦軸に (キャビティ体積) × (ターゲット密度) / (弾丸質量) のキャビティ規格化体積を用いて整理した (Schmidt and Housen., 1987)。成長中のキャビティの規格化体積は衝突速度の違いに依らず規格化時間に対してべき乗の関係が見られた。(ターゲット密度) / (弾丸密度) の比が大きい方がべき指数はわずかに大きな値をとった。一方、弾丸直径で規格化したキャビティ最大径と深さはどちらも形成初期段階では無次元時間とべき乗の関係が見られた。これらのべき指数は、規格化体積について得られたべき指数と矛盾しなかった。すなわち、キャビティは楕円体の一部として成長していることがわかった。

衝突破壊されたターゲットの質量が元の質量の半分になるときのエネルギー密度を衝突破壊強度という。衝突破壊強度は空隙率が大きいターゲットほど衝突破壊強度はやや大きくなる傾向になった。またターゲットの直径/高さの比が0.5のときよりも1.0の時の方が衝突破壊強度は大きくなった。本発表では、様々な先行研究の衝突破壊強度を無次元化して整理したものについて議論する。

キーワード: 衝突実験, 小天体, クレーター, カタストロフィック破壊

Keywords: impact experiment, small body, crater, catastrophic disruption