

粉粒体を伝播する衝突励起地震に関する実験的研究

○松榮 一真¹, 荒川 政彦¹, 保井 みなみ¹, 高野 翔太¹, 長谷川 直²
¹神戸大学大学院理学研究科, ²宇宙科学研究所

はじめに

小惑星表面はボルダーなどのレゴリス層で覆われていることがこれまでの探査によって明らかとなった。数値シミュレーションによってレゴリス層で覆われた小惑星の表層地形は天体衝突によって発生する振動(衝突励起振動)による変化が支配的だと考えられている(e.g. Thomas and Robinson, 2005, Richardson et al., 2005)が、衝突励起振動に着目した実験的研究は少ないのが現状である。我々はこれまで石英砂標的に高速度衝突実験を行い衝突励起振動の減衰過程や励起特性について調べてきた(松榮 他, 衝突研究会 2014)。今年に入り高速銃のサポ分離技術が確立したため、宇宙科学研究所の新型縦型二段式軽ガス銃で銃身径より小さな弾丸を発射できるようになった。そこで、密度の異なる直径 2mm の弾丸を用いて高速度クレーター形成実験を行いクレーター形成過程の観測とともに衝突励起振動を計測した。これまでの実験結果を基に、衝突励起振動の伝播過程に重要となる“振動強度の距離減衰率”と“弾丸の運動エネルギーが振動エネルギーに変換される割合”について調べた。

実験方法

宇宙科学研究所の新型縦型二段式軽ガス銃を用いてクレーター形成実験を行った。弾丸に直径 4.7mm のポリカーボネート球、直径 2mm の密度の異なる 7 種類の球(ガラス・アルミ・チタン・ジルコニア・SUS・銅・タングステンカーバイト)を用いた。衝突速度は、ポリカーボネート球を 0.2-6.9km/s、2mm 球を 2, 4, 5km/s で実験を行った。標的試料には直径 500 μ m (バルク密度は 1.48g/cm³, 安息角は 32°) の石英砂を用いた。標的表面に加速度計(日本アビオニクス製 SV1113:電荷感度 5.47pC/sm⁻², 応答周波数:0.5Hz-10kHz)を、衝突点からの位置を変化させて 2.5cm 埋めて複数個設置した。加速度計の信号はチャージアンプを通した後、A/D 変換速度 100kHz のデータロガーで記録した。なおチャンバー内は 10Pa 以下まで真空引きしている。実験後にレーザー変位計(LJ-V7300, KEYENCE Co.)でクレータープロファイルを取得しクレーター形状を調べた。

実験結果

図 1a は異なる弾丸物質を衝突速度 \sim 4km/s で衝突させた際に形成されたクレーターのプロファイルを示している。弾丸の運動エネルギーが大きくなるにつれてクレーター直径と深さが大きくなることわかった。形状を比較するためにクレー

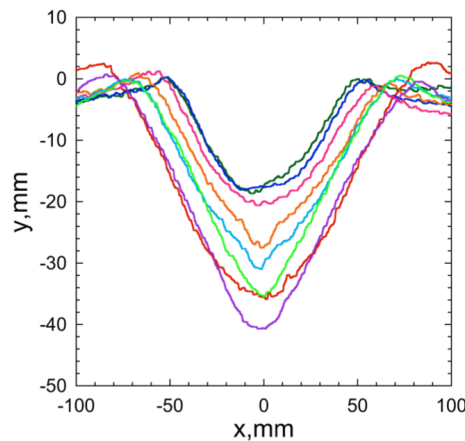


図 1a.クレータープロファイル

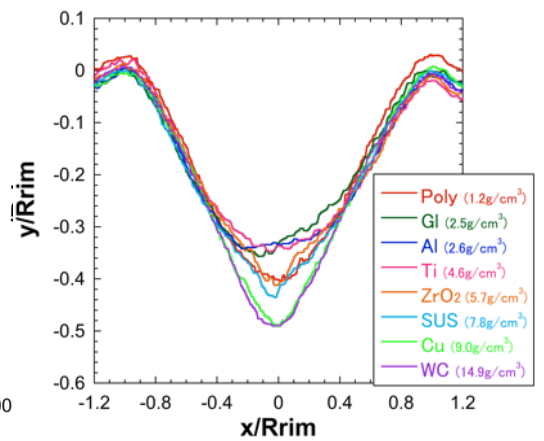


図 1b.規格化したクレータープロファイル

ターリム半径で規格化した図 1b より、密度の大きな弾丸の衝突で形成されるクレーターの直径に対する深さが大きくなることがわかった。このことから、異なる弾丸が衝突した際のクレータ形状が異なることがわかった。

図 2 は、SUS 球を 4km/s で衝突させたときに励起された振動波形の時間変化を示している。衝突後に加速度のピークを示す単発波形で、振動しながら強度が減衰している波形が観測された。加速度の最大値 g_{max} を計測し、振動伝播距離 x によって振動強度がどのように減衰するのかを調べた。伝播距離 x が同じ時、弾丸密度が大きくなるにつれて最大加速度が大きくなることがわかり、距離のべき乗で強度が減衰することがわかった。Yasui et al., 2015 で、異なる弾丸物質における振動加速度はクレーター半径 R で規格化した距離 x/R で表せると報告されているため、高速度衝突でも成立するかどうか確認した(図 3)。データのばらつきは大きいですが、弾丸密度の違いによる最大加速度の違いが小さくなり、規格化距離 x/R でスケーリングできることを示唆する。本研究で得られた経験式は、 $g_{max} = 124 \pm 30(x/R)^{-2.80 \pm 0.15}$ となり規格化距離の 2.8 乗で減衰する。

観測した加速度波形を基に弾丸の運動エネルギーが振動エネルギーに分配される割合 k を見積もった。Yasui et al., 2015 での見積もり方と同様、sin 波にモデル化した振動波形 1 周期分が通過した領域の球殻の運動エネルギーを振動エネルギーとして算出した。データの比較のためにクレーターリムの位置 ($x/R=1$) での振動エネルギー E_s を計算し、弾丸の運動エネルギー E_k で割ることでエネルギー変換効率 k を算出した。ポリカーボネート弾丸における計算結果が図 4 であり、本研究で得た値の平均値は 8.1×10^{-5} となった。ガラスビーズ標的で得られた値 ($k=5.7 \times 10^{-4}$) より一桁小さな値となった。高速度衝突で弾丸物質の破碎や熱エネルギーに変換される中で、運動エネルギー E_k の約 0.01% が標的粒子の振動エネルギーに分配されたことがわかった。

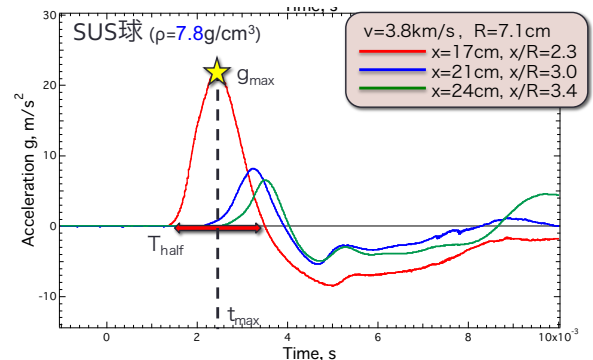


図 2. 観測された加速度波形

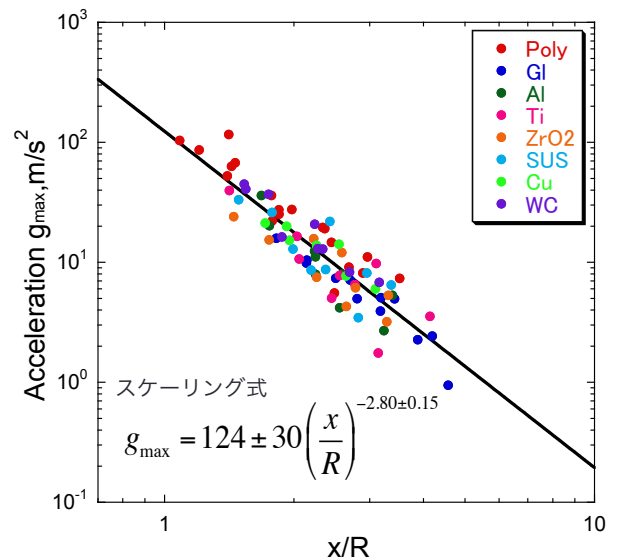


図 3. 振動強度の距離減衰の弾丸密度依存性

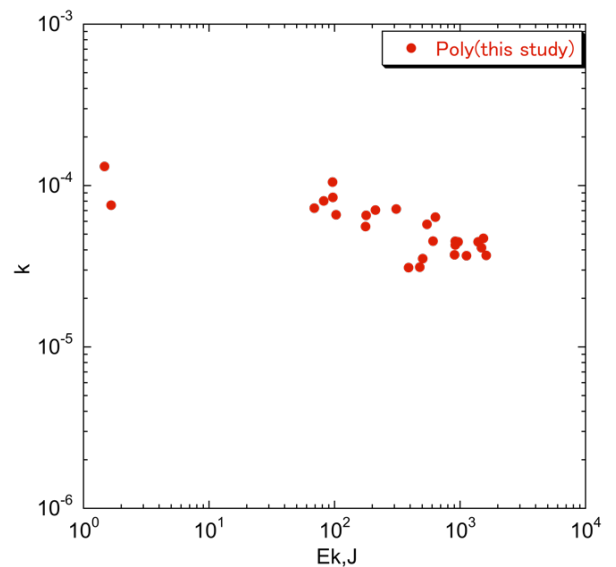


図 4. エネルギー変換効率 k