

軽ガス銃を用いた衝突励起地震に関する実験的研究

○松本 恵里¹, 荒川政彦¹, 保井みなみ², 小林直樹³

¹神戸大学大学院理学研究科, ²神戸大学自然科学系先端融合研究環, ³宇宙科学研究所

はじめに

天体の衝突現象を直接観測することは難しい。一方、月面に設置した地震計には隕石衝突によって励起したと考えられる地震波形が記録されており、今後 InSight により火星に設置される地震計にも同様な隕石衝突が記録されることが期待されている。また小惑星の探査においては、人工衝突体を用いた能動的な地震波探査の導入が検討されており、高速度衝突により励起される地震波の基礎研究が必要不可欠である。衝突励起地震は、(1) 衝突体の物理的性質と、(2) 標的天体の表層構造に依存すると考えられている。この地震を研究することにより、天体衝突を惑星表層の地震波探査を行うための震源として利用し、衝突体の物性を推測するための1つの手段となりうる可能性がある。McGarr et al. 1969 では、月震計のデータから、月における隕石フラックスや月の表層特性を明らかにするために月表層を模擬した試料への衝突実験を行っている。我々は McGarr らの手法を踏襲して比較的低速度での衝突実験を行うことで、衝突励起地震の観測システムを構築し、衝突励起地震の素過程を明らかにしていく。

実験方法

衝突実験は神戸大に設置した縦型一段式軽ガス銃を用いて行った。弾丸は、直径 3mm の SUS 球、アルミナ球と直径 10mm・高さ 10mm のポリカーボネート円柱を用い、衝突速度約 100m/s で発射する。標的は直径 200 μ m のガラスビーズを直径約 30cm の容器に高さ約 8cm まで満たしたものをを用いた。その表面に 3 個の加速度計(日本アビオニクス製 SV1111[電荷感度 0.295pC/ms⁻²], SV1113[電荷感度 5.47pC/ms⁻²], 応答周波数 0.5Hz~7kHz)を衝突点からの距離を変え、また表面から 2.5cm だけ埋めて設置した。加速度計のデータは A/D 変換速度 100kHz のデータロガーで収録した。研究会では、大気圧のチャンバー内で行った実験結果を報告したが、ここではチャンバー内を真空(1000Pa)に引き実験した結果を報告する。

解析・結果

図 1 は、ポリカーボネート円柱を 116m/s で衝突させた時に励起された地震波の加速度の時間変化が示してある。衝突点からの距離 x が増加するほど最大加速度は小さくなっていくことがわかる。 $t=0$ は弾丸が標的に衝突した瞬間であり、波形が立ち上がる点は地震波が加速度計に到達した時間に等しい。この 2 つから標的中を伝播する地震波の速度が計算でき、図 2 のとおり本研究では約

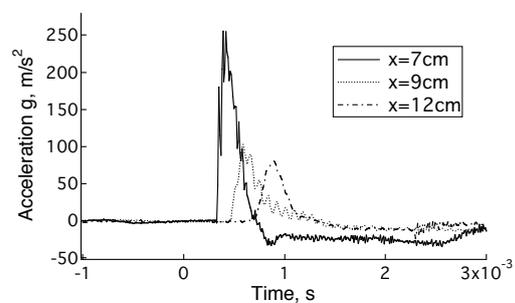


図 1 衝突励起地震の加速度の時間変化

105m/s となった。解析では、この加速度波形から、加速度の最大値 g_{max} とその加速度の持続時間である半値幅 h を読み取る。図 3 は、クレーター半径 R で規格化した距離 x の関係を示したものである。弾丸の種類が異なっても、最大加速度は規格化距離 x/R の-2.8 乗で減衰していくことがわかった。加速度の継続時間は約 0.3ms となっており、これは弾丸の貫入時間とオーダーで一致することがわかった[Yasui et al. 2012]。McGarr らは弾丸から標的に受け渡された力積 I を弾丸の持つ運動エネルギー E_k で割った値を、衝突エネルギーから地震波エネルギーへの変換効率とした。そこで、今回の実験におけるエネルギー変換効率を各弾丸で求め、弾丸密度との関係を図 4 に示す。力積の式 $I=ma\Delta t$ で、加速度 a に最大加速度 g_{max} を代入し、 Δt には加速度の持続時間 h を代入する。また質量 m は、地震波が球面状に伝播すると考え、震源近傍では震源を中心とする半径 x の半球の質量で近似できるとすると、 $m=(4\pi x^3 \rho_t/3)/2$ となる。この式と図 3 より得られた最大加速度と規格化距離の関係式 $g_{max}=268(x/R)^{-2.8}$ より、地震波の力積は以下のように書ける。 $I=561\rho_t R^3 h$ 。これより地震波の力積 I は、震源からの距離 x によらず、形成されたクレーターの半径 R によって与えられると推定できる。この I と弾丸の運動エネルギー比より、今回の実験ではエネルギー変換効率 $I/E_k=1.6\times 10^{-5}\pm 1.0\times 10^{-5}$ となった。MacGarr らの砂標的に lexan を高速度 (>7 km) で衝突させた実験でのエネルギー変換効率 $I/E_k=0.6\times 10^{-5}\pm 0.4\times 10^{-5}$ とは若干異なる。同じ弾丸 (ポリカーボネート円柱) で速度を変えた実験から、エネルギー変換効率が衝突速度の増加とともに減少することがわかった。従って、MacGarr らの結果も考慮するとエネルギー変換効率は衝突速度依存性をもつ可能性がある。

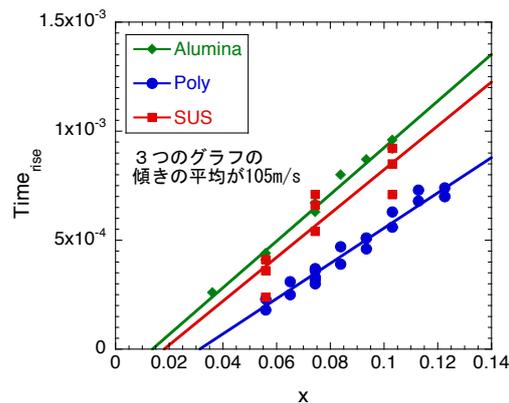


図 2 衝突点からの距離に応じた地震波到達時間

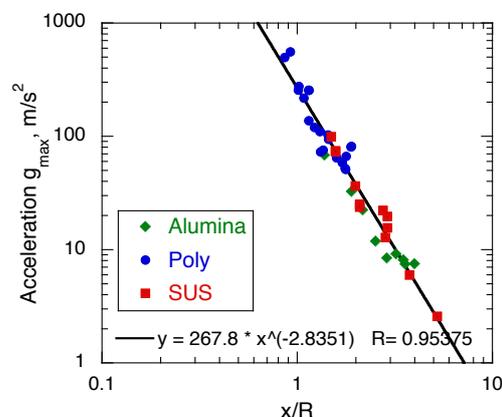


図 3 最大加速度と規格化距離の関係

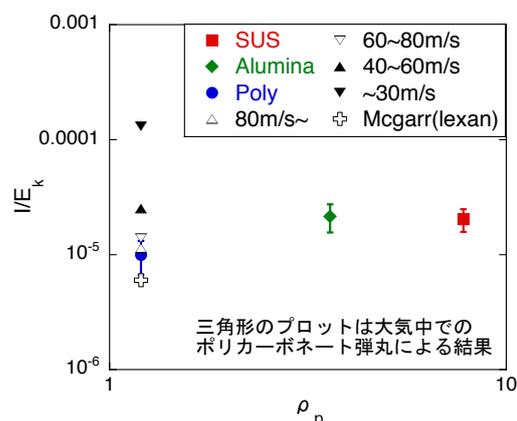


図 4 エネルギー変換効率の比較