

粉流体を伝播する衝突励起地震に関する実験的研究 Experimental study on impact-induced seismic wave propagating in granular materials

松本 恵里¹; 保井 みなみ^{2*}; 荒川 政彦¹
MATSUMOTO, Eri¹; YASUI, Minami^{2*}; ARAKAWA, Masahiko¹

¹ 神戸大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻, ² 神戸大学自然科学系先端融合研究環

¹Graduate school of Science, Kobe University, ²Organization of Advanced Science and Technology, Kobe University

はじめに：固体天体の表層及び内部構造を調べる直接的な方法として、地震波（弾性波）の伝播を測定、解析する地震波探査がある。現在まで地震波探査が実際に行われたのは地球と月のみであるが、今後は他の固体表層を持つ惑星や小惑星での探査も検討されている。その上で、限られた期間で地震波探査を行うには人工体を標的天体に衝突させて地震波を発生させる能動的な方法が望ましく、そのためには人工震源が必要不可欠である。しかし、実際に人工震源を用いるには、衝突エネルギーとそれによって励起される地震波の励起・伝播特性の関係を明らかにすることが重要である。この関係は探査に必要な地震計の感度や、地震波が測定可能な震源からの距離（範囲）の推定に用いることができ、さらに将来、地震波形から衝突エネルギーを推測することで、その天体の衝突フラックスの推定にも応用できると期待される。そこで、我々は室内クレーター形成実験を行い、発生する地震波を加速度計で観測し、励起される地震波の励起・伝播特性の弾丸物性依存性を明らかにした。

実験方法：衝突実験は神戸大学の縦型一段式軽ガス銃を用いて行った。弾丸は、直径 10mm、高さ 10mm のポリカーボネート円柱と、直径 3mm のステンレス球とアルミナ球を用いた。ステンレス球とアルミナ球は、ポリエチレンのサバに入れて衝突させた。衝突速度は約 100m/s とした。標的は 200 ミクロンのガラスビーズを用いた。それを直径 300mm、高さ 100mm の容器に深さ 80mm になるように入れ、標的の表面に 3つの加速度計（応答周波数<10kHz）を衝突点から距離を変えて設置した。また観測された地震波は、データロガー（A/D 変換効率 100kHz）で電圧として記録した。

結果：弾丸が標的に衝突した瞬間から地震波が加速度計に到達する時間と衝突速度を用いて、標的を伝播する地震波の伝播速度を計算した結果、 $105 \pm 15 \text{ m/s}$ となった。また、3種類の弾丸の最高加速度 g_{max} と規格化距離 x/R (x : 衝突点からの距離, R : クレーター半径) の関係は $g_{max} = 268(x/R)^{-2.8}$ となった。伝播速度と最高加速度の経験式から、標的が同じであれば弾丸種類に依らず地震波は同じような波形をもって減衰することがわかった。また、最高加速度を保つ地震波の継続時間は約 0.3ms となり、これは Niimi *et al.* (2011) の弾丸貫入モデルから求めた弾丸貫入時間と桁で一致した。McGarr *et al.* (1969) は、弾丸の貫入時の運動量の力積 I と弾丸の持つ運動エネルギー E_k の比を、衝突エネルギーから地震波エネルギーへのエネルギー変換効率と定義している。本研究でエネルギー変換効率を計算した結果、 $1.6 \times 10^{-2} \pm 1.0 \times 10^{-2}$ となった。一方、レキサン弾丸を 2~8km で砂標的に衝突させた McGarr の実験では、 $6 \times 10^{-6} \pm 4 \times 10^{-6}$ であった。このことから、エネルギー変換効率に弾丸の速度依存性があることが示唆された。

キーワード: 衝突励起地震, 粉流体, 減衰過程, 惑星探査, クレーター形成, 加速度計

Keywords: impact-induced seismic wave, granular materials, decay process, planetary exploration, crater formation, accelerometer