

砂を伝播する衝突励起応力の減衰過程に関する実験的研究 Experimental study on the decay process of impact-induced stress propagating through granular materials

松榮 一真^{1*}; 荒川 政彦¹; 保井 みなみ²
MATSUE, Kazuma^{1*}; ARAKAWA, Masahiko¹; YASUI, Minami²

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

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

はじめに: 衝突現象は惑星形成において最も重要な物理過程の一つであり, 太陽系内の固体天体にはその証拠として衝突クレーターが数多く存在する. 衝突クレーターのサイズは, 衝突天体のサイズ・物性・衝突条件, それに天体表面の構造や物性により変化する. 従って, クレーターの調査から衝突天体の物性や衝突条件に関する情報が得られる. km サイズを超えるクレーターでは, その形成過程は重力により支配されていると言われており, そのため粉粒体へのクレーター形成実験が今までに多く行われている. その結果, 重力支配域でも粉粒体の種類によってクレーターサイズが異なることが知られている. 一方, 最近の惑星探査では微小惑星の表面もレゴリス層で覆われていることがわかってきた. はやぶさ2の小型搭載型衝突装置(SCI)による衝突のような重力の小さな微小惑星のレゴリス層へのクレーター形成過程を予測するには, 粉粒体の物性がクレーター形成過程にどのように影響を与えているのかを解明する必要がある. 特に重力支配域においてはクレーターの掘削流がクレーターサイズを決める物理過程と考えられているので, 粉粒体の物性と掘削流の関係を明らかにする必要がある. そこで本研究では, 衝突時の掘削流の特徴を定量化するため, 粉粒体中を伝播する応力波を計測することにした. そして, この応力波の伝播・減衰が, クレーターサイズや粉粒体の物性とのような関係にあるかを調べることにした.

実験方法: クレーター形成時の応力波を測定できるように試料容器を準備した. 容器は, 大きさが10cm×10cm×10cmのアルミ製で, 粉粒体の厚みを1-10cmと変化させた. 計測に用いた圧力計は, 定格容量20kPa, 固有振動数約2kHzの歪ゲージ式センサーで, このセンサーを衝突点直下の底面に取り付けた. 実験は自由落下・神戸大学の縦型一段式軽ガス銃を用いて行った. それぞれ実験では, 応力波形状とクレーターサイズの弾丸サイズ依存性・衝突速度依存性を調べた. 縦型銃の実験は大気圧下で行ったが, 加速用のガスが試料に直接当たらないようにサボと風除けを用いた. 標的試料には形状や表面荒さが異なる4種類の試料を準備した. それらは, ガラスビーズと石英砂であり, それぞれ粒径100,500 μ mを実験に用いた. 弾丸は自由落下の実験ではガラス球(直径7.75,10,15mm), ガス銃の実験はナイロン・アルミナ(直径3mm)を用いた. 衝突速度は自由落下では2-5.5m/s, ガス銃では60-70m/sと変化させた. それぞれの衝突実験において, クレーターサイズと圧力波形を観測した.

結果: クレーターサイズと弾丸運動エネルギーの関係は標的の種類により異なることがわかった. 特に, 100 μ mの石英砂では, 相対的に小さなクレーターしかできなかった. この理由を調べるため圧力波形の特徴を調べた. 自由落下実験による圧力波形は, 急激に圧力が増加し, 最大圧力に達した後に減少するが, ガラスビーズでは緩やかに減少し, 石英砂の場合は急激に減少した. 特に, 100 μ m石英砂では圧力計の固有振動が見られ, その圧力波形の持続時間が0.5ms以下であることを示唆している.

縦型銃の実験による圧力波形は, 石英砂の場合は自由落下の場合とほぼ同じ波形であったが, ガラスビーズの場合は砂の深さによって波形が異なった. 深さが深い場合は(5-10cm), 自由落下の場合と同じ形状だが, 浅くなると(-5cm)石英砂の波形の様に固有振動を示す波形となった. また, 速度が大きくなるとすべての波形に圧力計の固有振動が見られた. これらの圧力波形を最大圧力に達して以降 $P(t)-P(\infty)=A \exp(-t/\tau)$ (τ :緩和時間, A :定数)と指数関数的に減衰すると仮定して緩和時間を求めた. その結果, τ はガラスビーズでは 10^{-3} s, 石英砂では 10^{-4} sとなり, τ は砂の種類毎に変化する値であることがわかった. また, 圧力 P と伝播距離 r の関係は次のような式で表すことができる: $P(r)=P_0(r/L)^{-b}$ (P_0 :初期発生圧力, L :弾丸半径, b :減衰パラメータ). 減衰率 b は, 自由落下の実験では, -0.79(ガラスビーズ), -0.94(石英砂), ガス銃の実験では, -1.61(ガラスビーズ), -1.71(石英砂)となり衝突速度によって距離の減衰率が異なる結果となった.

自由落下の実験におけるクレーターサイズと深さ4cmで計測した最大圧力 P の関係を調べると砂の種類毎に大きく関係が異なることがわかった. 一方, この圧力とその緩和時間 τ の積から算出した力積 I との関係を調べると, 砂の種類によらず一つの直線でフィッティングすることができた. これは, 緩和時間 τ がクレーター形成効率の物性依存性を表す物理量であることを示唆している. 今後, この緩和時間が砂のどのような物性値と関係し, 物理状態により変化するか調べたい.

キーワード: 掘削流, 粉粒体, クレーター形成過程

PPS21-P15

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 29 日 18:15-19:30

Keywords: Excavation flow, Granular material, Cratering process