

含水砂へのクレーター形成実験：SCI 衝突解析に向けて

○松榮 一真¹, 荒川 政彦¹, 保井 みなみ¹, はやぶさ 2 SCI グループ

¹神戸大学大学院理学研究科

はじめに

はやぶさ 2 搭載の小型搭載型衝突装置(SCI)により形成される人工クレーターは、サンプル採取や小惑星 Ryugu 内部の観測に利用される予定である。本研究では、2013 年に実施された実物大の SCI を用いた地上実験[1]の結果を解析した。衝突点の斜め下から観測したクレーター形成過程の動画(図 1)から、個別粒子追跡法[2]を用いてエジェクタ速度分布を計測した。また、Wada's Method[3](エジェクタカーテンの成長速度からエジェクタ速度分布を推定する方法。以下 W.M.)で解析を行い、個別粒子追跡法の結果と比較した。さらに、実物大実験は野外で行われたため砂標的に降雨による水が含まれている状態であった。そのため、SCI 衝突の結果への含水の影響を評価したするために、室内実験を実施した。最後に、SCI 地上実験の結果について現地点で得られている成果をまとめる。

実験・解析方法

クレーター形成過程を撮影したビデオを用いて、エジェクタ破片の軌跡を追跡し、個々の破片が弾道軌道を描いていると仮定して、それぞれの放出位置と放出速度、そして放出角度を求めた。解析後、W.M.で求めた速度分布、放出角度を、個別粒子計測法により得られた結果と比較した。また、クレーターサイズを乾燥石英砂で得たクレーターサイズスケール則[4]と比較した。

次に、SCI 解析結果への含水の影響を調べる



図 1. SCI 衝突のスナップショット

ために、含水砂へのクレーター形成実験を行った。標的試料は、粒径 $500\mu\text{m}$ の石英砂に含水率が 6wt%になるように水を混合し、アクリル容器に空隙率が 38~41%となるように詰めた。衝突実験は、神戸大学の縦型一段式軽ガス銃を用い、直径 3mm のアルミナ球(Al_2O_3)を弾丸として衝突速度 80~220m/s で衝突させた。標的を設置する真空チャンバー内の圧力は、水が凍結しない程度に($\sim 10^4\text{Pa}$)真空引きし、撮影速度 2000fps の高速度ビデオカメラによりクレーター形成の様子を観察した。

実験結果

SCI 衝突によって形成されたクレーターサイズを、乾燥石英砂標的で得たクレーターサイズスケール則[4]と比較した。標的が砂斜面であるため、衝突速度と重力加速度は斜面の法線成分を用いた。弾丸は、質量 2kg で直径が 7.5cm の銅球(密度 $9.0\text{g}/\text{cm}^3$)と直径が 13cm の中空銅球(密度 $2.3\text{g}/\text{cm}^3$)の 2 種類を用いた。どちらの弾丸でも、乾燥砂のスケール則と大きな違いはないが、中空銅球を仮定した弾丸の方がより乾燥砂のスケール則に近い値を示すことがわ

かった。

エジェクタ速度分布を求めるために、約 50 個のエジェクタ破片の軌跡を追跡した。乾燥砂標的への室内実験結果(PC;1.6km/s、GI;2.3km/s、AI;2.0km/s)[5]と比較したところ、これらとデータが大きく異なることはなかった。このことから、重力支配域におけるエジェクタ速度分布と大きく矛盾しない結果であることがわかった。しかし、計測誤差が大きいため μ の値を正確に決定することはできなかった。次に、高さ $0.5R \sim R$ (R :クレーター半径)で W.M.を利用すると、個別粒子追跡法で得た速度分布と整合的であることがわかり、W.M.を用いてエジェクタ速度分布を計測することができた。

図 2 は、空隙率 39%の含水砂標的へアルミナ球弾丸を 200m/s で衝突させた時のスナップショットである。エジェクタは、衝突直後では石英砂 1 粒子で放出されているが、時間が経つにつれて大きな塊として放出していることがわかった。形成されたクレーターは、ピットとスポール領域があることや、ネックの成長が止まり不連続なエジェクタカーテンになるなど、強度支配域での特徴を示した。しかし、クレーターサイズは重力支配域の特徴も示したため、含水砂は重力・強度支配域両方の振る舞いを示す標的だと考えられる。この含水砂のクレーター形成実験は、今回のような速度領域ではあまり行われていないため、今後、さらに衝突条件や含水率を変化させた実験を行う予定である。

図 2 のような動画を用いてエジェクタ速度分布を求め、結果を図 3 に示す。初期に放出されるエジェクタ粒子は、乾燥砂で得た速度分布とほぼ同じになるが、後半に放出されるエジェクタ破片は速度が遅くなることがわかった。さらに、エジェクタ破片の放出角度が $>50^\circ$ と高い角

度で放出されていることがわかった。これは、荒川他[6]で提唱している、境界条件を考慮した制限 Z モデルで説明出来る可能性がある。これについては、さらなる研究が必要となるだろう。

以上のことから、現地点での SCI 実験結果についての成果は以下の通りである。

- クレーターサイズは、石英砂で得たスケール則と整合的である
- エジェクタ速度分布は、重力支配域で考えられているスケール則と矛盾しない
- μ は正確に決定することは難しい
- W.M.を用いてエジェクタ速度分布を見積もることができる
- 含水の影響は、観測可能範囲では小さい

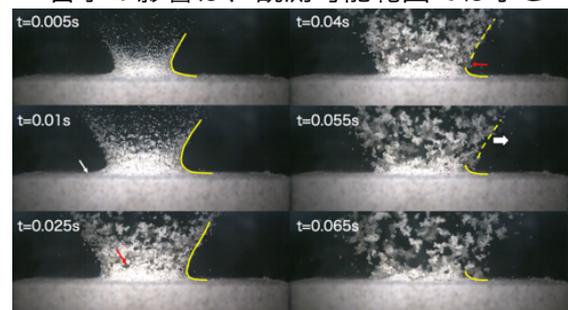


図 2. 含水砂へのクレーター形成の様子

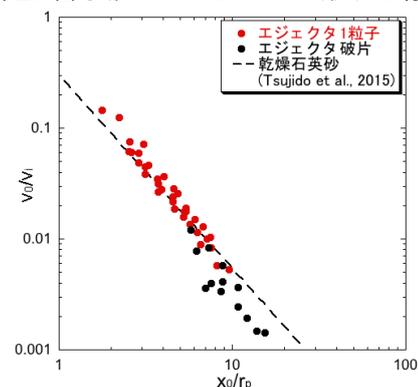


図 3. 含水砂標的でのエジェクタ速度分布

参考文献

- [1] Wada et al. (2014) 45th LPSC, abstract
- [2] Tsujido et al. (2015) Icarus
- [3] Arakawa et al. (2016) Space Sci Rev.
- [4] 松榮 他 (2015) 第 11 回 衝突研究会
- [5] 松榮 他 (2016) 日本惑星科学会
- [6] 荒川 他 (2016) 第 12 回 衝突研究会