

ハビタブル天体表面を模擬した 含水砂標的への斜め衝突実験

○豊嶋遥名¹, 荒川政彦¹, 保井みなみ¹, 笹井遥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 宇宙航空研究開発機構

1. はじめに

ハビタブル天体上での衝突現象を理解する上で、液体の水を含む地表面での衝突現象の理解は重要である。含水砂におけるクレーター形成は、乾燥砂とは異なり重力支配域で整理しきれないことが分かっている^[1]。標的の含水率を変化させた系統的な実験からは、弾丸の貫入深さが含水砂の剪断降伏強度のべき乗で表せることが示されている^[2]。

しかし先行研究では、実天体に応用し易いクレーター直径についての評価が不十分であったこと、さらに高速度での系統的实验データが不足していることをふまえ、本研究では高速度における含水率を変化させた系統的なクレーター形成実験を行い、含水率に伴うクレーターサイズ変化を評価する。

また、SCI（搭載型小型衝突装置、小惑星探査機はやぶさ2）が地上にて行った湿った砂への高速度衝突実験では、直径約 1.6m のクレーター形成に加え、水蒸気雲とみられるプルームが観測された^[3]。このように、高速度衝突では低速度では見られない現象が起きる場合がある。本研究ではクレーターサイズの評価に加え水蒸気放出の観測も行うために、標的を傾斜させて弾丸運動方向のジェットと標的内から発生するプルームを区別した。

2. 手法

試料は粒径 500 μ m の石英砂に水を混合した含水石英砂標的で、充填率は 0.45 程度、含水率範囲は質量含水率 0-13wt.% である。

衝突実験には神戸大及び宇宙研の横型二段式軽ガス銃を使用し、直径 2mm のアルミ球を速度 2km/s または 4km/s で衝突させた。標的は 30° 傾斜させて設置し、標的内部の水が液体状態である三重点近傍条件下で実験を行った。なお全ての実験は高速度カメラで観察し、宇宙研での実験はそれに加えて高速赤外線カメラによる温度観測も行った。

3. 結果

水蒸気プルーム 衝突直後 (<~100 μ s), 弾丸運動方向に放出されるジェットとは異なる方向へ、白いもや状のプルームが標的内から放出されるのを確認した(図 1a)。また衝突後 ~15ms まで、可視光でははっきりと視認できない標的上方に 100°C を超える領域が濃集することが分かった(図 1b)。このことから、斜め衝突の影響で高温のエジェクタが特定の方向に放出されている、もしくは標的内の水が水蒸気化して噴出している可能性が挙げられる。

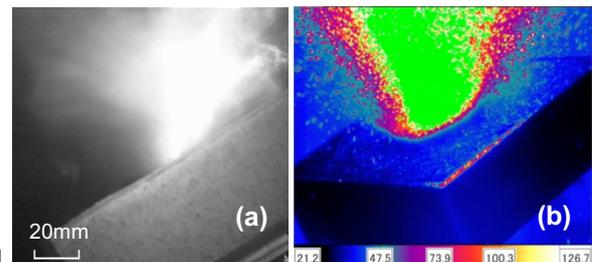


図 1 観測された水蒸気プルームのスナップショット
(a)可視光, 衝突後 40 μ s
(b)赤外線, 衝突後 12ms. カラーバーは温度[°C]

「クレーターサイズ」 標的含水率の増加に伴って、クレーター深さは増大、クレーター直径は減少した(図2)。しかしながら含水率~5wt.%を超えると、どちらもほぼ一定となる傾向を示した。ここで含水砂の剪断降伏強度が含水率~5wt.%まで含水率とともに増大し、それ以降ほぼ一定となる傾向をふまえると、含水砂におけるクレーターサイズは標的剪断強度に依存する可能性がわかった。剪断降伏強度を用いてスケリングを行うと、含水砂におけるクレーターは強度支配域の π スケリングで整理できることが示唆された(図3)。

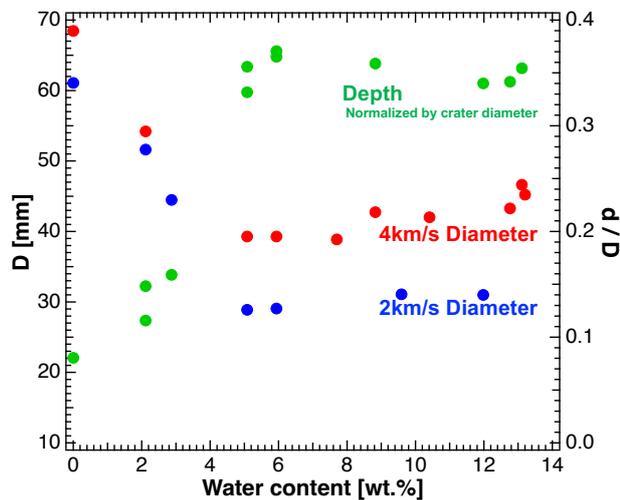


図2 含水率に伴うクレーターサイズ変化
Dはクレーター直径, dはクレーター深さで, d/Dは深さ直径比。

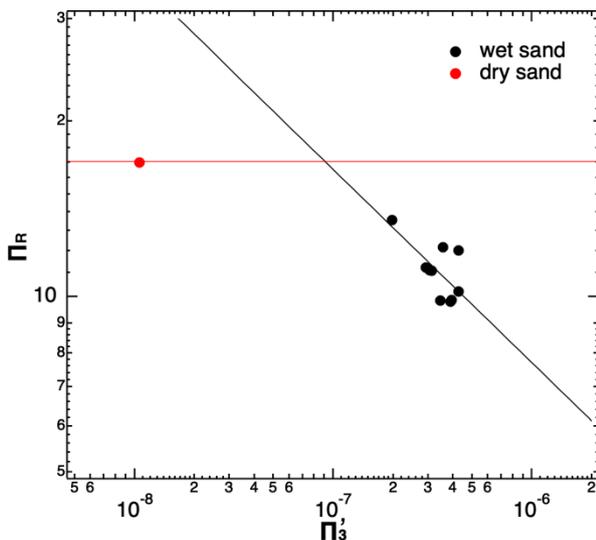


図3 クレーター直径の強度支配域 π スケール
 Π_3^* は標的強度に関する無次元量, Π_R はクレーター直径に関する無次元量。
黒線は含水砂データのべき乗フィット, 赤線は乾燥砂が重力支配域であることを示す。

「エジェクタカーテン」 ほとんどの実験においてエジェクタカーテン角度に変化は見られず(図4ab), 斜面下側カーテン角度(●Downside)が斜面上側角度(Δ Upperside)より大きい結果となった。この非対称性は先行研究と整合的で、弾丸の潜り込みによってクレーター中心と爆破中心がずれることに起因する可能性がある^[4]。しかし、速度4km/sでは標的含水率が~5wt.%を超えると非対称性が解消され始め、~9wt.%以上ではほぼ対称になる傾向を示した(図4b)。以上の結果から、速度4km/sの高い衝撃圧と、含水率~5wt.%以上で最大となる標的剪断降伏強度の影響で、弾丸の潜り込みが浅くなった可能性がある。

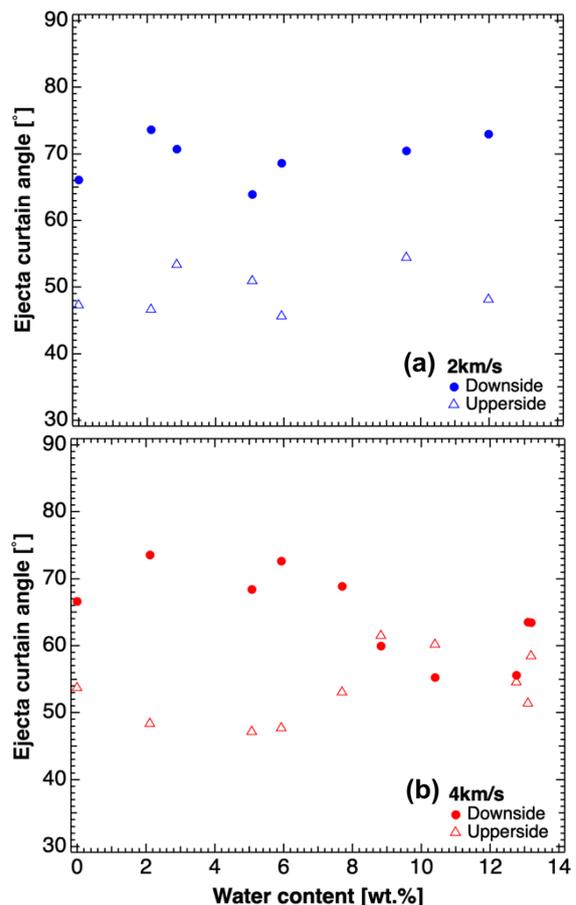


図4 含水率に伴うエジェクタカーテン角度変化
角度は標的表面からの立ち上がり角。(a)速度2km/s, (b)速度4km/s

REFERENCES [1]Schmidt & Housen,1987
[2]Takita & Sumita,2007 [3]Wada,et.al,2014
[4]Anderson & Schultz,2003