

焼結体への衝突クレーター実験結果の小惑星クレーターへの適用

羽倉祥雄, 中村昭子, 鈴木絢子, 三軒一義
神戸大学・理

はじめに

衝突クレーターの直径や深さなどを測定し、スケーリング則にあてはめることによって、衝突時の衝突速度やインパクターの大きさ、母天体の性質などが明らかになり得る。そのため、スケーリング則を確立することは非常に重要である。

母天体側においてクレーターの直径や深さを決定付ける要因は大きく2つある。その2つとは強度と重力加速度であり、その2つの項目を含めた統合スケーリング則が考案された(e.g., Holsapple 1993)。しかしこのスケーリング則は Dry / Wet soil, Soft / Hard rock など空隙のない物質については明らかにされているが、実際の小惑星のような空隙のある物質についてはよくわかっていない。

そこで本研究では、空隙を持った標的についてのパラメータを実験的に求めることを目的として、空隙率40(±2)%の粉体及び焼結体標的に対して衝突クレーター形成実験を行った。

実験

神戸大学の小型ガス銃を用いて、速度は一律240(±17) m/s で実験を行った。弾丸は直径1/8 inch、質量0.042 gのソーダガラス球を用い、標的は、粒径50 μm ガラスビーズ粉体 + 焼結温度を変えることによって強度を変えた同粉体の焼結体を4種類、計5種類—空隙率はどれも40(±2)%—用意した。なお、焼結体は直径10 cm、高さ6 cmの円柱形である。それぞれの強度を表1に示す。

表1 標的の種類と強度

焼結温度 / 焼結時間	630°C/4h	600°C/4h	580°C/4h	560°C/4h	粒径50μm 粉体
剪断強度 [kPa]	841±240	102±13	66±5.6	11.3 (上限値)	0.89±0.08

結果

実験で得られたクレーターのサイズを用いて、Holsapple(1993)のスケーリング則に fitting させる(Fig.1)ことによって同スケーリング則は以下のように書き換えられる。

$$\pi_v = 0.0011 \left\{ \pi_2 \left(\frac{\rho}{\delta} \right)^{-1.26} + \left[0.032 \pi_3 \left(\frac{\rho}{\delta} \right)^{-0.92} \right]^{1.43} \right\}^{-0.89}$$

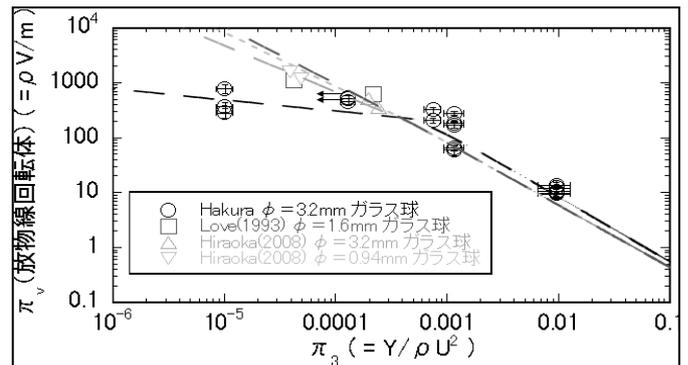


Fig.1 クレーター体積スケーリング則の fitting 結果

ここで π_v はクレーターと弾丸の質量比—クレーター体積 V と標的密度 ρ の積を弾丸質量 m で無次元化したもの—、 π_2 は重力加速度 g と弾丸半径 a の積を衝突速度 U の2乗で無次元化したもの、 π_3 は標的強度 Y を標的密度と衝突速度 U の2乗の積で無次元化したものである。なお、式中の標的と弾丸の密度比 ρ/δ は式を見易くするためにそのまま表記したが、本研究及び同載の先行研究では全て0.6の値を取る。

同載の先行研究は本研究のものと衝突速度(U)と弾丸半径(a)のみが異なるものであるが、本研究で得られたパラメータを先行研究のものに適用しても矛盾はなかった。

小惑星クレーターへの適用

得られたスケーリング則を用いることにより、小惑星上で観測されているクレーターを形成したインパクターのサイズを推測する。今回は 253Mathilde 上のクレーター (O'Brien et al. 2005) を形成したインパクターのサイズを見積もった。その際、母天体の重力加速度(g) は 0.0096 m/s^2 、母天体の密度(ρ) は 1300 kg/m^3 (Davis 1998)、母天体の強度(Y) は $0.3\sim 30 \text{ MPa}$ (Tsuchiyama et al. 2009) —今回は $0.3, 3, 30 \text{ MPa}$ の 3 点で適用—、インパクターの密度(δ) は ρ と等しく 1300 kg/m^3 、衝突速度(U) は 6.07 km/s (Davis 1998) と仮定して計算した。

Fig.2 は、クレーターサイズの個数分布から、本研究で得られたスケーリング則を用いてインパクターのサイズ分布を求めたものである。その結果、母天体の強度が大きいほど、べきの絶対値が大きくなることがわかった。そのべきの値を計算すると以下のようなになる。

引張強度 [MPa]	0.3	3	30
べきの値	-1.22 ± 0.09	-1.42 ± 0.12	-1.65 ± 0.12

なお、 $0.5\sim 2 \text{ km}$ のメインベルト小惑星のサイズ分布のべきは -1.30 ± 0.05 であり (Terai et al. 2007)、今回得られたべきの値はその範囲を含んでいる。

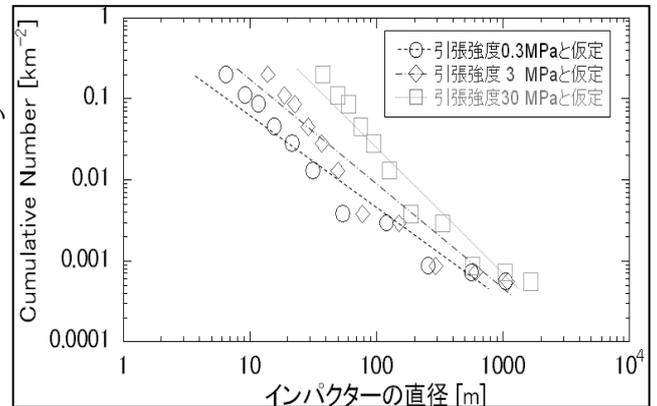


Fig.2 253Mathilde のクレーターを形成したインパクターのサイズ分布

まとめ

本研究では、空隙を持った標的に対して衝突実験を行い、統合スケーリング則 (Holsapple 1993) への fitting を行った。その fitting 結果より 253Mathilde のクレーターを形成したインパクターのサイズを推測すると、強度に依るが、インパクターの直径は概ね $10\sim 1000 \text{ m}$ の範囲と考えられる。

他方、253Mathilde のクレーターを形成したインパクターのサイズ分布のべきは、強度を $0.3\sim 3 \text{ MPa}$ の間とすると、メインベルト小惑星のサイズ分布のべきに一致する。

参考文献

- Holsapple, K. 1993, Ann.Rev.Earth Planet.Sci 21, 333-373.
- O'Brien, D.P. and Greenberg, R. 2005, Icarus 178, 179-212.
- Davis, D.R. 1998, Icarus 140, 49-52.
- Tsuchiyama, A., Mashio, E., Imai, Y., et al. 2009, M&PSA, p.5189.
- Terai, T., Itoh, Y., and Mukai, T. 2007, PASJ 59, 1175-1183.