

玄武岩標的に作られたクレーターの三次元計測

高木 靖彦 (愛知東邦大学)、長谷川 直, 鈴木絢子 (ISAS/JAXA)

衝突クレーター形成のスケール則が強度項と重力項により成り立っていることは良く知られている。この内、重力項に関しては、石英砂やガラスビーズを標的に用いた多くの実験により検証が行われている。一方、強度項の検証のための実験は意外に少なく、岩石標的に用いた系統的实验はほとんど行われてこなかった。クラックの無い均質な岩石資料を一定量入手することが難しいことが、その理由の一つと考えられる。

今回、クラックが無い良質の玄武岩を入手することができたので、系統的なクレーター形成実験を行い、強度スケール則の検証を目指した。実験に用いた標的は、柱状摂理の玄武岩より切り出した $200 \times 200 \times 90$ mm の大きさの直方体である。切り出した方向は、柱の軸に垂直な方向に長辺が向いており、衝突の方向は、短辺の向き、すなわち柱状摂理に平行な方向である。質量は $10.55 \sim 10.73$ kg で、密度は 2920 ± 10 kg/m³ であった。

実験は、JAXA 相模原キャンパスにある二段式軽ガス (水素) 銃を用いて行った。弾丸には、直径 3.2mm のアルミニウム球 (47 mg)、ステンレス鋼球 (135 mg)、および、直径 7.1 mm のナイロン球 (218 mg) を用い、衝突速度は $2400 \sim 5300$ m/sec、衝突角度は 90° であった。

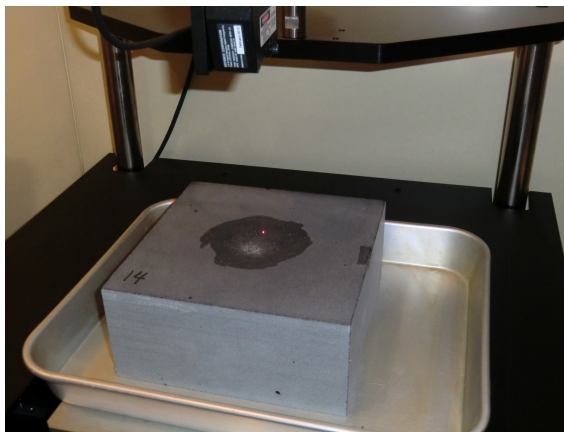


図 1. 三次元形状計測の様子

形成されたクレーターの 3 次元形状は、Keyence レーザー変位計を付けた X-Y ステージにより測定した。測定の様子を図 1 に、測定された形状の一例を図 2 に示す。測定された三次元形状データより開口部の断面積、最大深さ、容積を求めた。開口部の断面積から等しい面積となる円の直径を求め、それをクレーター直径とした。

これらの結果を今までの研究結果と比較するため、よく使われている無次元 π パラメータ [1] を用いて整理してみる。使用した π パラメータは以下の 5 つである：

$$\pi_D = \left(\frac{\rho_t}{m} \right)^{1/3} D, \quad \pi_d = \left(\frac{\rho_t}{m} \right)^{1/3} d, \quad \pi_V = \frac{\rho_t V}{m},$$
$$\pi_3 = \frac{Y}{\rho_p v_i^2}, \quad \pi_4 = \frac{\rho_t}{\rho_p}$$

ここで、 D 、 d 、 V が形成されたクレーターの直径、深さ、容積、 m が弾丸質量、 v_i が衝突速度、 ρ_p と ρ_t が弾丸と標的の密度、 Y が標的強度である。ただし、標的強度の測定ができていないので 20 MPa と仮定して計算した。

図 3 に無次元化された直径 π_D および容積 π_V と強度スケール則のパラメータ π_3 の関係を示す。ここでは示していない無次元化された深さ π_d と π_3 の関係を含め、いずれの図においても弾丸 (密度) への依存性が顕著にみられる。

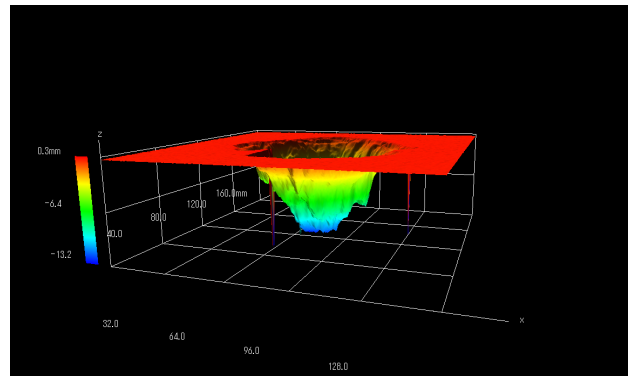


図 2. 計測された三次元形状の一例

そこで、 π_3 と密度のパラメータ π_4 を独立変数とした多重回帰分析を行い、 π_D 、 π_d および π_V への π_3 と π_4 の依存指数を求めた。結果は、深成岩と堆積岩を用いた他の研究の結果 [2, 3] と合わせて表 1 にまとめた。

今回の結果は、Gault (1973) の"dense crystalline rock" を用いた実験結果に近く Suzuki et al. (2012) の堆積岩を用いた実験結果とは明確な違いを示している。堆積岩中の衝撃波の減衰が大きい事が原因ではないかと考えられるが、最終的な結論を得るためには減衰率の測定や異なった岩石を用いたクレーター形成実験が必要である。

引用文献

- [1] Holsapple, K. (1993), The scaling of impact processes in planetary sciences, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* **21**, 333-373
- [2] Suzuki, A. et al. (2011), Laboratory experiments on crater scaling-law for sedimentary rocks in the strength regime, *J. Geophys. Res.* **117**, E08012
- [3] Gault, D. E. (1973), Displaced mass, depth, diameter, and effects of oblique trajectories for impact craters formed in dense crystalline rocks, *Moon* **6**, 32-44

謝辞

実験は、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所スペースプラズマ共同利用設備を利用して行いました。玄武岩資料は愛知県岡崎市のファニチャーストーン株式会社 (<http://www.f-stone.com/>) より購入しました。

表 1.

	標的	$\pi_D \propto \pi_3^a \pi_4^b$		$\pi_d \propto \pi_3^c \pi_4^d$		$\pi_V \propto \pi_3^e \pi_4^f$	
		a	b	c	d	e	f
今回	玄武岩	-0.40±0.07	0.13±0.08	-0.29±0.03	0.10±0.04	-1.10±0.16	0.51±0.20
Gault (1973)	深成岩	-0.370	0.203	-0.357	0.190	-1.133	0.633
Suzuki et al. (2012)	堆積岩	-0.22±0.02	0.11±0.07	-0.25±0.02	0.01±0.05	-0.71±0.05	0.23±0.17

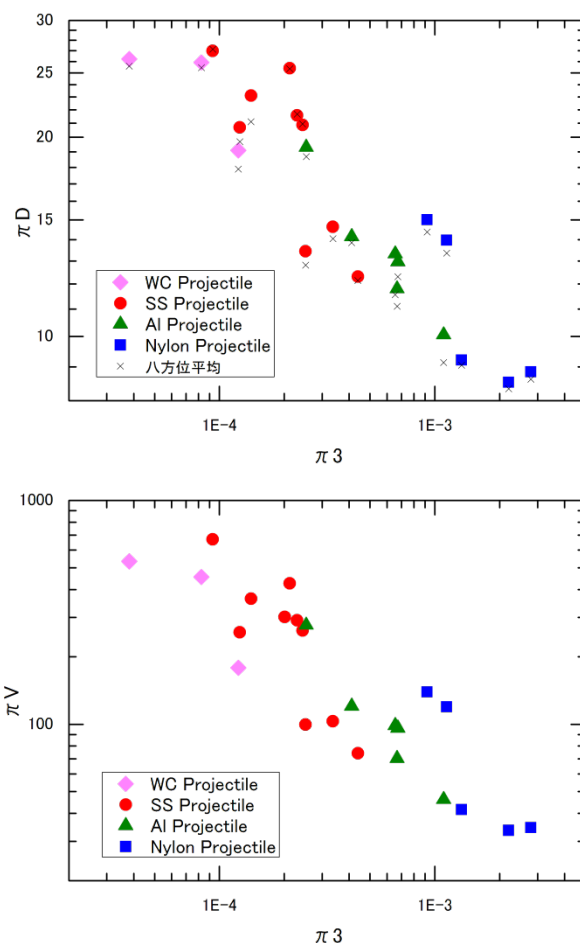


図 3. π_D および π_V と π_3 の関係。 π_D 図の×印は、衝突点から 8 方向の半径を測定し、その平均値から計算した π_D を示している。