

火薬銃による岩石破壊クレーター実験

池田卓矢¹、岡本尚也²、楠野葉瑠香³

¹京都大学大学院工学研究科、²神戸大学大学院理学研究科、³立正大学大学院地球環境科学研究科

1. はじめに

スケール則は物理現象を説明する無次元量であり、惑星表面に形成されるクレーターの規模を推定するためにも用いられる。1960年頃から50年間にわたって岩石や金属を使ったクレーター形成実験に基づいたスケール則が求められている。惑星表面の大部分を占める堆積岩を対象にしたクレーター形成実験はほとんど行われていなかったが、門野ほか(2009)によって弾丸速度2–4km/sの領域について実験値が得られている。しかしながら、スケール則を求めるにはデータ数が少なく、弾丸速度の領域も狭い。本実験では、低速領域(1 km/s以下)におけるクレーター形成実験を行い、門野ほか(2009)の実験結果と組み合わせることで、堆積岩を対象としたスケール則の精度向上を試みた。

2. 実験

パキスタン砂岩(幅150 mm、奥行き150 mm、高さ150 mm、密度2.5 g/cm³、平目と柾目を平均した圧縮強度 7.5×10^3 N/cm³、ファニチャーストーン株式会社)4試料(1号~4号)について火薬銃を用いて低真空(5000 Pa)下でクレーターを形成させた。実験は神戸大学理学部で行った。弾丸は磁石が埋め込まれたポリカーボネート製の円柱型弾丸(直径14.8 mm、高さ20.0 mm、質量4.35 g、密度1.3 g/cm³)を用い、火薬はNY500(日本油脂株式会社製)を利用した。

弾丸の速度は次の手順で測定した；

- 1) 弾丸の磁石が銃口に組み込まれた2点のコイルを通過する際に誘起電力が発生、
- 2) 2点の誘起電力をオシロスコープで測定、
- 3) 各点で生じた信号の時間差から速度を算出。

弾丸の衝撃によって形成されたクレーターの体積 V は、 D_a (最大長径)、 D_b (D_a に垂直な方向での最大になる直径)、 d (最大深さ)から楕円錐として見積もった。

3. 結果と考察

パキスタン砂岩1~4号に形成されたクレーターの形状を図1a~dに示した。2号は衝突の衝撃に耐えられず、割れてしまったので、修復してからクレーターの形状を測定した。

表1に測定結果から得られたパラメーターをまとめた。パキスタン砂岩の引っ張り強度 Y は圧縮強度との比(引っ張り強度) : (圧縮強度) = 0.15 : 1 (Hiraoka et al., 2008) から算出した。表1のパラメーターに基づき、クレーター形成の条件を無次元化した $\pi_1(\rho_t V/m_p)$ 、

π_3 ($Y/\rho_p U^2$)、 π_4 (ρ_t/ρ_p) の関係を図2に示した。比較のために、本実験から得られた値に門野 (2009) の値を同じグラフにプロットした。

高速衝突域 2~4km/s の砂岩のデータ (門野ほか, 2009) と、本実験のデータを組み合わせてスケーリング則を推定すると式1で表される。

$$y = 10.6 x^{-0.438} \quad (\text{式 1})$$

式1が金属のスケーリング則に比べて π_1 の値が上向にシフトしていることが確認された (図2)。これは通常岩石を標的にした場合に生じるクレーターの断面が金属の場合のような単純なおわん型ではなく、周辺が剥がれた (スポレーション、図3) 形状を示すためである。したがって実在の天体へ適用するためには堆積岩の実験結果に基づいたスケーリング則が必要であることがわかった。

岩石の種類、すなわち物質の密度・強度の範囲と、衝突速度の範囲を広げることでより正確なスケーリング則の推定が可能であると考えられる。また、堆積岩のスケーリング則が正しく求められることで、金属のスケーリング則との比較、実在の天体へのクレーター形成条件の推定に応用することが期待できる。

表 1. 1~4号に与えられた各パラメーター

パラメーター	1号	2号	3号	4号
ρ_t g/cm ³	2.5	2.5	2.5	2.5
Y N/cm ³	1100	1100	1100	1100
Da cm	5.80	11.7	7.35	8.75
Db cm	5.5	9.0	7.4	7.2
d cm	1.35	2.45	0.94	1.10
V cm ³ *1	11.3	67.5	13.4	18.1
ρ_p g/cm ³	0.34	0.03	0.80	0.42
Δ_t μ sec	61.0	48.3	60.1	50.2
U cm/sec	81967	103520	83195	99602
π_1 *2	6.5	38.8	7.7	10.4
π_3 *3	1.3E+00	8.2E-01	1.3E+00	8.9E-01
π_4 *4	2.0	2.0	2.0	2.0

*1 Vは円錐と仮定し、 $V=(\pi DaDb)d/12$ として求めた。

*2 $\pi_1 = \rho_t V / m_p$

*3 $\pi_3 = Y / \rho_p U^2$

*4 $\pi_4 = \rho_t / \rho_p$

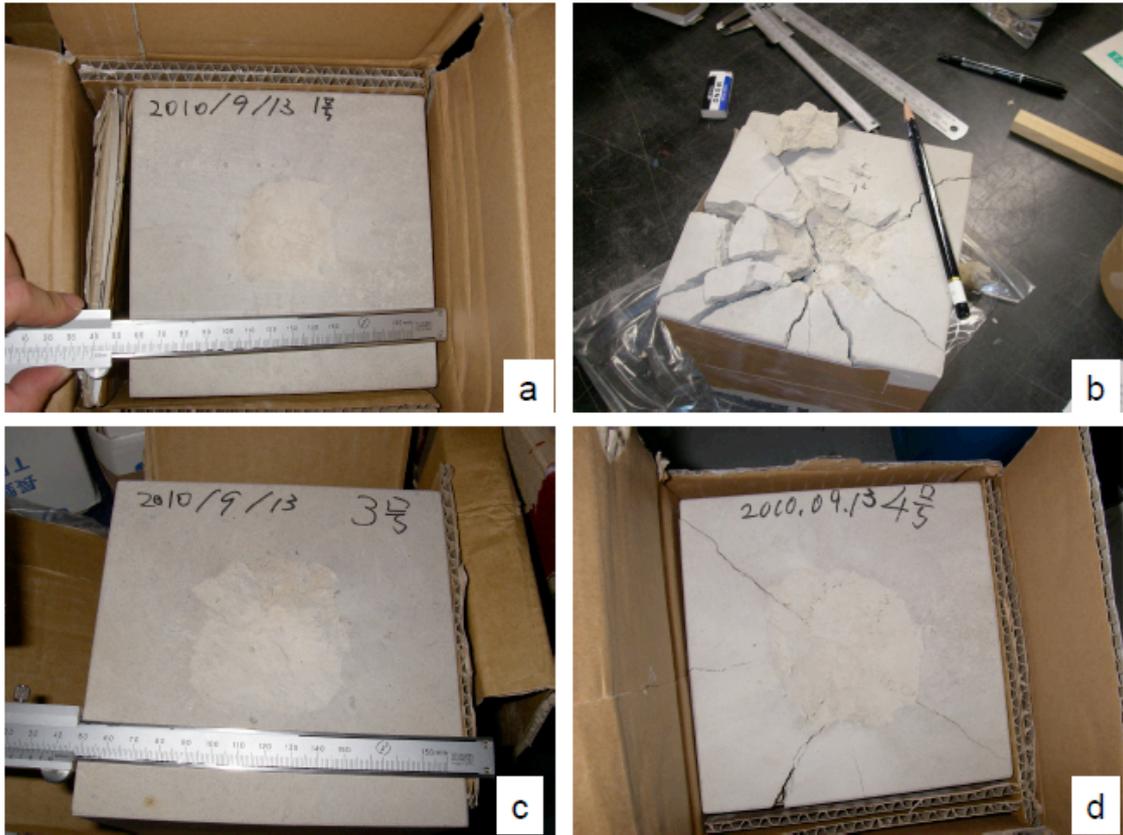


図1 砂岩にできたクレーター a:1号、b:2号、c:3号、d:4号

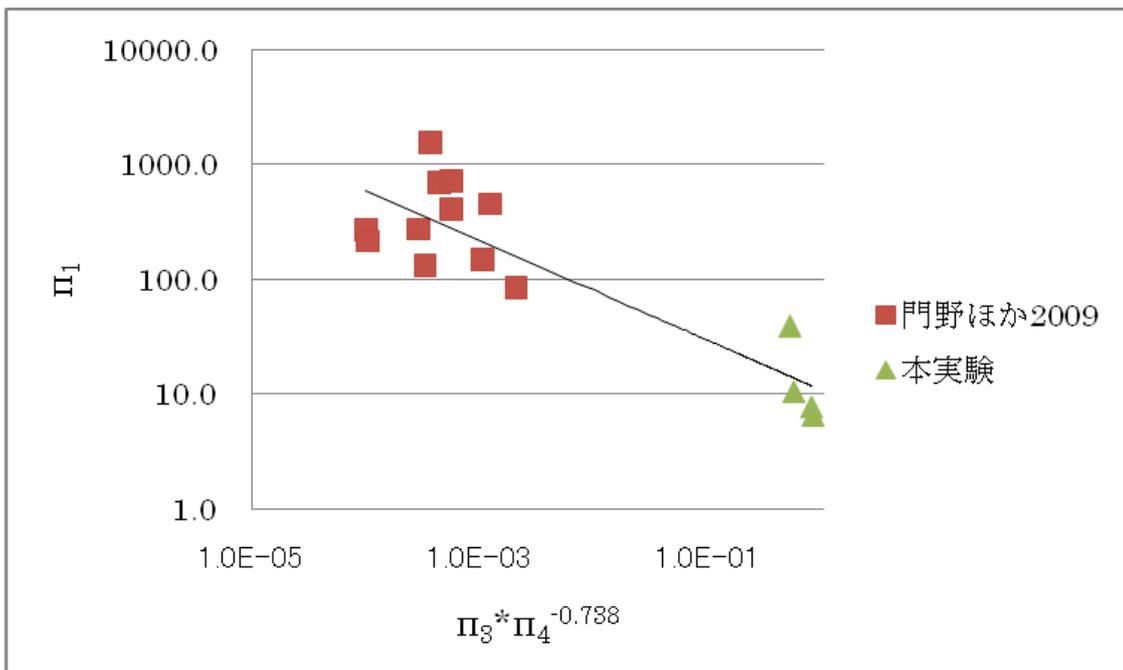


図2 クレーター体積と堆積岩におけるスケーリング則

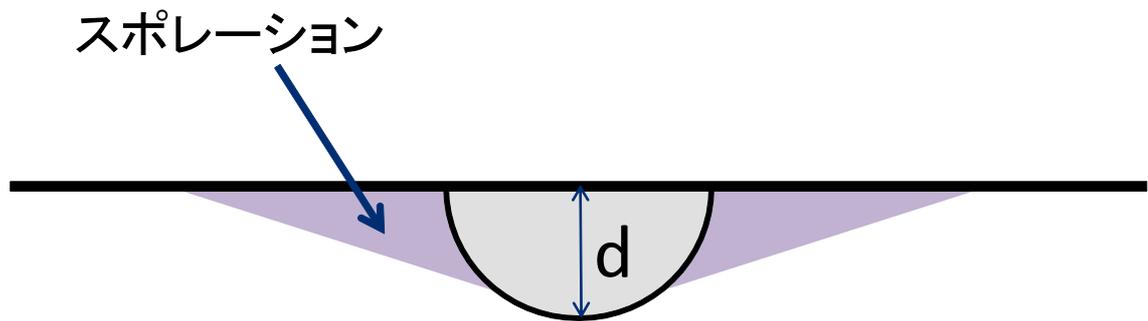


図3 クレーター断面の模式図

4. まとめ

低速域 (800 – 1000 m/s) の結果が 2 - 4 km/s のスケーリング則に適合することが明らかになった。また、スポレーションにより形成されるクレーターの体積が、金属よりも大きくなることで金属を標的にした場合とは異なるスケーリング則が成り立つことが示された。また、スポレーションの効果が衝突に影響を与えるため、どのような衝突でスポレーションがどの程度できるかについて、今後実験を行いたい。精度の高いスケーリング則推定のために今後の実験データの蓄積が期待される。

今回の反省として、岩石には平目と柱目によって強度に差があるが、それらを考慮せず、どの方向でターゲットを設置したかを確認しなかったことが挙げられる。今後堆積岩を用いて実験するときは、堆積方向に気をつけて行う必要がある。

引用文献

Hiraoka et al. (2008)

門野ほか (2009) 2009 年度惑星科学研究センター実験応用実習宇宙科学研究所部門報告書

謝辞

神戸大学理学部高温高圧実験準備室の火薬銃を利用させていただきました。火薬銃の実験では門野さん、三軒さん、桂さんにご指導いただきました。写真撮影、岩石の入手では鈴木さんにお世話になりました。以上の皆様に対してこの場を借りてお礼申し上げます。