

岩盤の風蝕速度に関する室内実験

中央大学・理工学部・地学研究室 ○ 鈴木隆介 高橋健一

1. 目的

風蝕は、日本のような湿潤気候下では、一般に他の陸上侵蝕営力（雨蝕、河川侵蝕、氷蝕、雪蝕など）にくらべて相対的に小さな役割をもつにすぎないと考えられている。しかし、土木構造物、建築物、遺跡、風化した裸岩盤などの侵蝕においては、風蝕が最も重要と思われる例も少なくない。しかるに、風蝕に関する定量的研究は皆無に近い。そこで、諸種の岩質・強度・物性をもつ岩盤が、種々の風速・飛砂量をもつ風によって、どの程度の速度で侵蝕されるかを推測するために、簡単な実験を行ない、実験公式を得たので報告する。

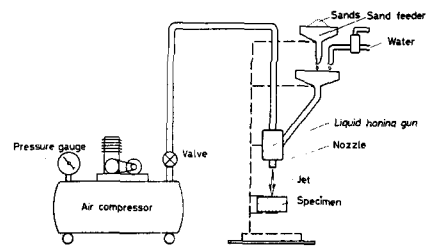


図1 実験装置

2. 方法

液体ホーニング用ガン（ジェット内径=3.17mm、ノズル内径=6.35mm）に一定の供給速度で供給された豊浦標準砂を、コンプレッサーで加圧された空気によって、平滑な岩石試験面（7×7cm以上）に吹きつけた（図1）。

ノズル先端と試験面の距離は5cmで一定とし、給砂量（Q）は10~350cm³/min、試験面での風速（V）は10~110m/secの範囲で変えられるようにした。供試体は、成因・年代・岩質の異なる36種の岩石で、それらの一軸圧縮強度（ S_c ）は $6 \times 10^1 \sim 2.5 \times 10^3$ kg/cm²の範囲にある。これらの岩石については、別に ρ_{app} , γ_d , n , V_p , S_c , S_d , S_s を測定し、若干数については、Los Angeles Testをした。実験数は、供試体、風速、給砂量を変えて、総計で101 RUNである。この実験では、逆ドーム形の摩耗孔が供試体にうがたれるので（図2）、その断面形を1~5分ごとに、針グシで計測し、摩耗孔の口径、最大深（D）、容積（V）の時間的変化を求めた。

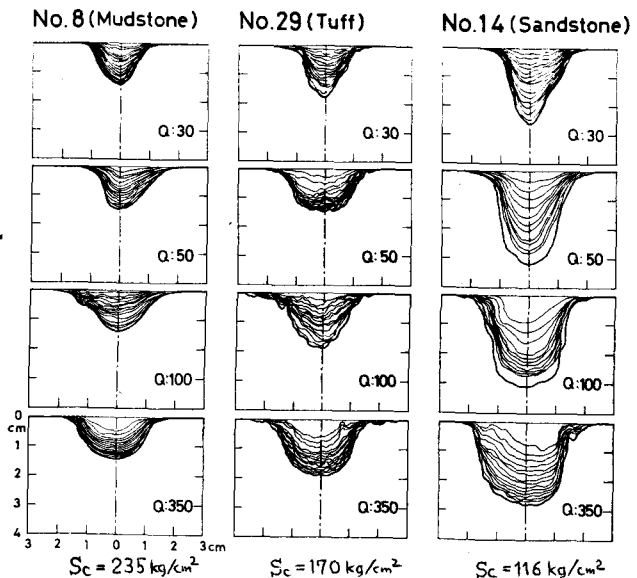


図2 摩耗孔断面形の変化

噴砂時間1分ごとと15分までの形状を示す。

$v = 92 \text{ m/sec}$, $Q = 50 \sim 350 \text{ cm}^3/\text{min}$ 。

No. 14の $Q = 50, 100$ のときの13分および14分の断面形は欠測

3. 結果

3.1 摩耗孔の一般的特徴

摩耗孔の断面形は噴砂軸に対してつねに対称的とは限らない(図2)。これは岩石組織の不均質性および受方性による。たとえば、肉眼的には全く均質にみえる泥岩の場合でも、鏡下で観察しうる程度の微細組織の不均質性を反映して摩耗孔表面に微細な波状起伏が生じる。一般に岩石構成粒子および鉱物が粗粒なほど摩耗孔表面は粗面となる。たとえば、粗粒のスコリア質凝灰岩ではスコリア粒子間を結ぶ細粒火山灰の部分だけが摩耗されてスコリア粒が突出し、そのためオーバーハングした断面を生じることもある。このような摩耗孔の断面形およびその表面の特徴は、海岸地方などにみられる、いわゆる風蝕蜂巢孔の特徴に類似している。

摩耗孔の口径・最大深・容積は噴砂継続時間とともに増加するが(図3)、その増加の速さは、供試体の岩種・物性、給砂量、風速および噴砂継続時間によって明らかに異なる。摩耗口径(d_0)は噴砂開始後の数分間つまり2cm程度までは急速に増加するが、その後、増分は減小し、しだいに0に近ずいて一定となる。摩耗孔の最大深(D)は最初の20分間程度つまり1cm程度まではほぼ直線的に急速に立ちあがるが、その後しだいに増分が減小する。しかし、その増分は噴砂時間が480分を越えても0になることはなかった。摩耗孔容積(V)と噴砂継続時間との関係は、折れ曲った2つの直線と示され、最初の80分程度つまり7.5cm程度までにくらべて、その後の直線勾配が小さくなる。このような噴砂継続時間の増加に伴う d_0 、 D 、 V の変化はすべての実験についてみられる。これは2つの効果すなわち1)摩耗孔が深くなるとノズルからの距離が増すので孔底での風速(砂粒の衝突速度)が減小する、2)摩耗孔が深くなるにつれて、先行した砂粒がはねかえったとき後続の砂粒と衝突する機会が多くなり、孔底へ直接に衝突する砂粒の数が減少する(buffer effect)、といった効果のためであろう。

そこで、噴砂開始後最初の5分間における最大深の立ちあがり速さ($\dot{D}$)を求めた。なお、これと容積増加速さ($\dot{V}$)とは、最初の20分間程度では図4のような関係にあり、互換しうる。

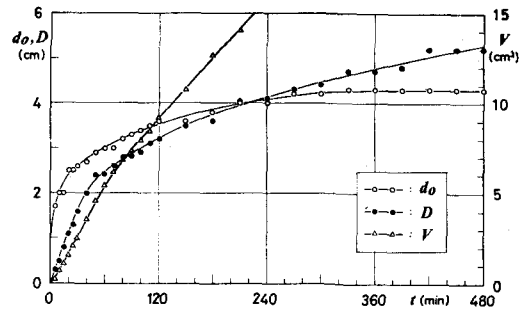


図3 摩耗孔の口径(d_0)、最大深(D)、および容積(V)の噴砂継続時間(t)による変化 ($v=92\text{ m/sec}$, $Q=50\text{ cm}^3/\text{min}$)

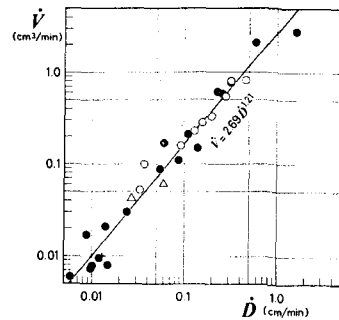


図4 $\dot{V}$ と $\dot{D}$ の関係 ($v=92\text{ m/sec}$, $Q=50\text{ cm}^3/\text{min}$)

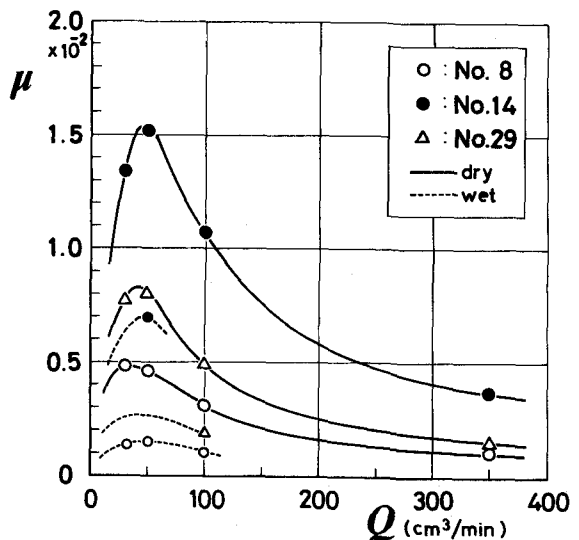


図5 摩耗能率($\mu = \dot{V}/Q$)と Q との関係 ($v=92\text{ m/sec}$)

3.2 給砂量の影響

実験を能率的に進めるため、まず最も能率よく摩耗しうる給砂量をしらべた。給砂量がゼロのときには、92 m/secのジェットを30分間噴射しても、 $S_c > 100 \text{ kg/cm}^2$ の硬岩は全く摩耗されなかった。また、 $S_c < 100 \text{ kg/cm}^2$ の軟岩は、平滑にみがかれた試験面がわずかに粗面になったけれども、針グシを用いて測定しようほどには摩耗されなかった。したがって、飛砂をともなわない風の岩盤に対する摩耗能力はゼロとみなしてよいであろう。摩耗孔容積の増加速さ($\dot{D}$)と給砂量(Q)の比(μ)は、単位給砂量あたりの摩耗能率の指標となるが、 Q が30~50 cm^3/min のとき最大となり、それ以上になると μ はかえって減小する(図5)。これは、 Q の増加にともなって、前述のbuffer effectも増加するためであろう。そこで、 Q を一定とした他種の実験では、実験を能率的に進めるために $Q = 50 \text{ cm}^3/\text{min}$ とした。

3.3 噴砂速度の影響

噴砂速度(砂粒の衝突速度)を直接に計測することができなかったため、ここではそれが風速に等しいと仮定した。風速はアランドル型のピトー管を用いて測定した。圧縮強さの異なる5種の岩石について、風速(V)と摩耗速さ($\dot{D}$)との関係をしらべると、摩耗速さは風速の2乗に比例するようである(図6)。

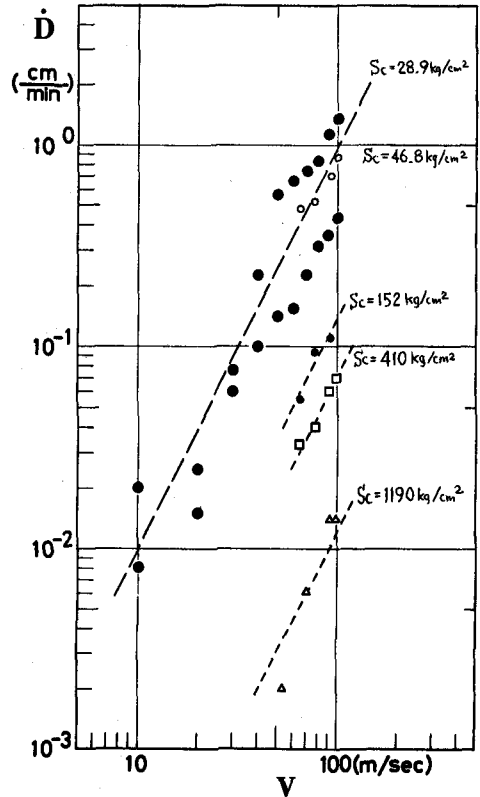


図6 V と $\dot{D}$ の関係

3.4 供試体の強さの影響

風速 $V = 92 \text{ m/sec}$ 、 $Q = 50 \text{ cm}^3/\text{min}$ で一定とし、各種の強さをもつ供試体の摩耗速さ($\dot{D}$)を求めると、図7のようである。たとえば、一軸圧縮強さ(S_c)と $\dot{D}$ との関係は、実験結果を最小2乗法で整理すれば $\dot{D} = 126 S_c^{-1.28}$

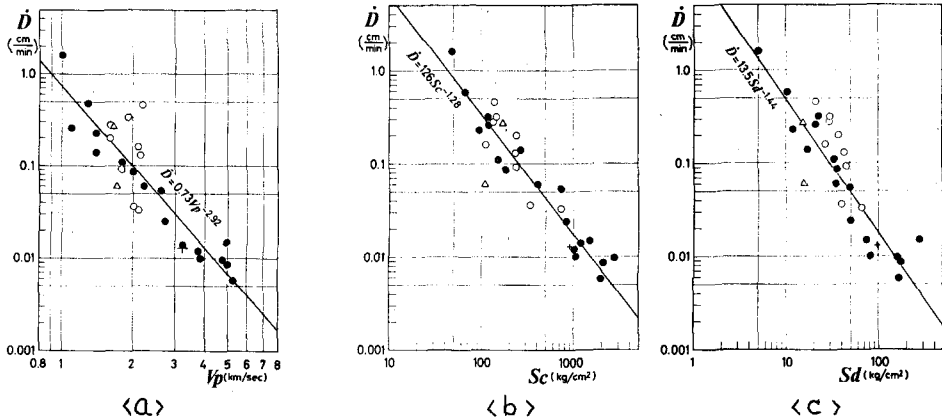


図7 $\dot{D}$ と V_p , S_c , および S_d との関係

となるが(図7-b), 指数-1.28は, 圧縮試験結果のバラツキを考慮すると, -1とみてもよいであろう。 S_c が1桁ちがえば, $\dot{D}$ も1桁ちがうので, 岩石の風蝕に対する抵抗性は, 岩石の強さによって著しく異なるわけである。なお, 図7における点のバラツキ状態をみると, 岩石の成因および組織のちがいは, 風蝕速度にはあまり影響せず, 個々の岩石の強さが重要であることがわかる。

3.5 風蝕速度の実験公式

101RUNの全実験データを, 無次元化した $\dot{D} \cdot A / Q$ と $\rho \cdot v^2 / g \cdot S_c$ について $\log$ プロットすると, 図8のようであり,

$$\frac{\dot{D} \cdot A}{Q} = 4.24 \times 10^{-2} \frac{\rho \cdot v^2}{g \cdot S_c}$$

である。ここに,

$\dot{D}$: 風蝕速度(岩石表面の後退速度, cm/min)

A : 砂粒衝突面積 (cm²)

Q : 供給砂量 (cm³/min), ただし $Q < 60$

ρ : 供給砂の乾燥単位体積重量 (gr/cm³)

v : 風速 $\div$ 砂粒子の衝突速度 (m/sec)

g : 重力加速度 (980 cm/sec²)

S_c : 岩石の一軸圧縮強さ (kg/cm²)

である。

上式は, 風蝕速度($\dot{D}$)が衝突砂粒の運動エネルギーに比例し, 岩盤の強さに反比例することと示している。

3.6 ロスアンゼルス試験との比較

図9は, 6種の岩石について, $\dot{D}$ と, ロスアンゼルス試験機によるすりハリ減量との関係と比較したものである。ただし, JIS A 1121では500回転または1000回転後のすりハリ減量を規定しているが, この実験に用いた岩石は200回転以前に100%に達するものがあつたので, ここでは100回転後のすりハリ減量(W_{100})と $\dot{D}$ とを比較した。

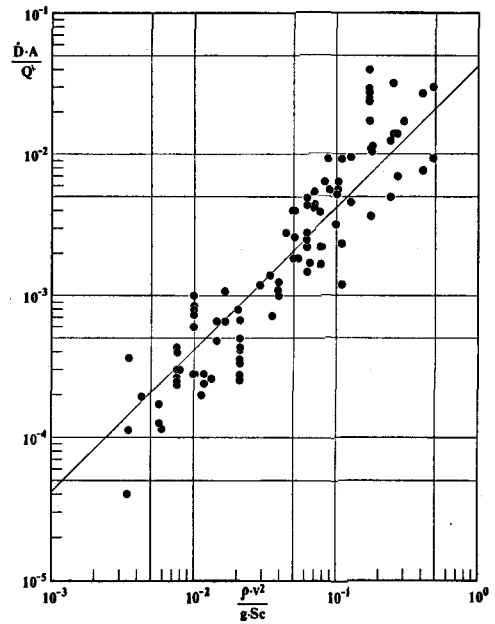


図8 岩石の風蝕速度

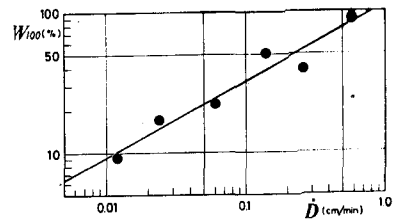


図9 $\dot{D}$ と W_{100} との関係

Laboratory Experiment on the Rock Abrasion due to Sand Impact

Takasuke SUZUKI and Ken'ichi TAKAHASHI

Institute of Geosciences, Chuo University, Tokyo

Abstract

Rock abrasion due to wind action is examined by a laboratory experiment. The apparatus used consists of an air compressor, a liquid horning gun with rubber nozzle, a sand feeder, and an upholder of rock specimen. Sand particles are projected with an air jet perpendicularly to a flat target surface of various rock specimens. The sands fed are well-sorted, and mean diameter is 0.2 mm and Trask's sorting coefficient is 1.1. The rock specimens tested are of 36 varieties different in origin, age, grain size, and physical and mechanical properties, in which the uniaxial compressive strength ranges from 6×10^1 to 2.5×10^3 kg/cm². Experimental runs are 101 in total under different conditions in 1) velocity of sand projectiles ranging from 10 to 110 m/sec, and 2) supply rate of sand from 10 to 350 cm³/min.

An inverted dome-shaped crater is excavated in the rock specimen; the finer the rock-forming grains are, the smoother the crater surface becomes. The crater depth increases with the duration of sand projection at a uniform rate for the first about 20 minutes, and thereafter its increment decreases gradually. This decrease may depend on two factors; firstly the impact points of sand projectiles recede from the nozzle because of the crater deepening, hence the projectile velocity is decelerated, and secondly the oncoming sand projectiles collide with the spent sand particles rebounding from the impact points. Therefore, the rate of crater deepening, which is defined as the uniform rate for the first 5 minutes from the beginning of the experiment, is here taken as the rate of rock abrasion due to wind action.

Experimental result is expressed by the following nondimensional equation:

$$\frac{\dot{D} A}{Q} = k \frac{\rho v^2}{g S_C} \quad \text{for } Q < 60 \text{ cm}^3/\text{min},$$

where $\dot{D}$ = abrasion rate (cm/min), A = impact area (cm²), Q = sand supply rate (cm³/min), ρ = bulk weight of sand supplied (gr/cm³), v = projectile velocity (m/sec), g = 980 cm/sec², S_C = compressive strength of rock specimen (kg/cm²), and $k = 4.2 \times 10^{-2}$.