

高速断層運動時におけるハンレイ岩と砂岩の経験的磨耗則

An empirical wear law for gabbro and sandstone during high-velocity fault motion

廣瀬 文洋[1]

Takehiro Hirose[1]

[1] 京大・理・地鋳

[1] Graduate School of Science, Kyoto University

断層破砕物の形成過程を把握するために、リング式高速摩擦試験機を使って岩石の磨耗実験を行い磨耗法則の確立を試みた。その結果、垂直応力の増加に伴い磨耗速度（破砕物の厚さ/変位量）が指数関数的に増加すること、および磨耗速度が変位速度にも依存することが確認された。磨耗速度の増大は、変位速度の増加に伴い摩擦面の温度が上昇することによって誘発される熱破壊が直接の原因であると考えられる。高速摩擦運動時の岩石の磨耗挙動は摩擦発熱による温度の影響を強く受けることが明らかになった。

断層破砕帯は断層の力学的性質と、透水性に関する性質に大きな影響を与えるが、破砕帯の形成プロセスについては体系的な研究がなされてこなかった。破砕帯は断層変位に伴って破砕物が形成することによって成長する。したがって破砕帯の形成は、断層に沿った母岩の磨耗速度によって規定されているはずである。一般に磨耗速度と垂直応力の関係を示した関係式は磨耗則と呼ばれている。これまで報告されている磨耗則は、低速摩擦実験の結果を基に提唱された線形則（Scholz, 1987）や、次元解析と実験結果を組み合わせ提唱された累乗則（Nagahama & Nakamura, 1994）などがある。一方、大変位・高速摩擦試験が可能なリング式高速摩擦試験機を用いた研究からは、指数則（榎原, 1999）や、より高速領域で累乗則（久田、私信）に移行する研究結果が報告されている。本研究では、天然の断層運動に近い条件を再現できる、このリング式高速摩擦試験機を用いて、さらに詳細な岩石の磨耗実験と、ハンレイ岩と多孔質砂岩との磨耗挙動の比較をおこなった。

実験は、室温・無水条件下で変位速度を 0.03~0.30 m/s、垂直応力を 0.3~4.2 MPa の間で変化させ、溶融物が形成された時点で実験を止めた。試料は、インド産の中粒斑レイ岩およびオーストラリア産の石灰質砂岩を、外径 25 mm、内径 15 mm、長さ約 27 mm の円筒状に整形し、端面を 400 メッシュの円筒研削盤で研磨したものをを用いた。この実験の場合、磨耗速度は試料の安定短縮速度を等価変位速度（嶋本・堤, 1994）で割ることによって求められる。安定短縮速度とは試料の磨耗が定常状態にあるときの短縮速度である。

斑レイ岩の実験からは、垂直応力の増加と共に磨耗速度が指数的に増加すること、また磨耗速度は変位速度にも依存することが確認された。この結果は、榎原(1999)が提唱した指数則とよい一致を見せる。

$$w/d = A(v) \exp\{B(v)s\}$$

$$A(v) = a_1 \exp(-a_2v), \quad B(v) = b_1 \exp(b_2v)$$

w: 破砕物の厚さ、d: すべり変位量、w/d: 磨耗速度、s: 垂直応力、v: 変位速度、a、b: 係数

$$a_1=3.23, a_2=11.8, b_1=0.37, b_2=8.62$$

榎原(1999)の実験結果

$$\text{ハンレイ岩: } a_1=1.51, a_2=7.41, b_1=0.47, b_2=8.54$$

$$\text{ドレライト: } a_1=1.66, a_2=5.56, b_1=0.48, b_2=6.23$$

垂直応力の増加に伴う磨耗速度の急激な増加は、摩擦面上の摩擦発熱と熱放散を考えるとうまく説明ができる。低速低応力下では、摩擦による仕事率が小さいため熱の放散が有効に働く。高速高応力へ実験を移行させるにつれ仕事率が大きくなり摩擦発熱が熱放散を上回る。その結果、摩擦面の温度が上昇し、それに伴って磨耗速度が上昇する。つまり磨耗速度の増大は、変位速度の増加の影響というより、むしろ摩擦面の温度上昇に伴う微小な熱破壊が直接の原因であると考えられる。現在のところまだ摩擦面の正確な温度測定ができていないため、温度と磨耗速度の定量的な解析はこれからの課題である。

砂岩は、低速・低荷重下ではハンレイ岩とよく似た磨耗挙動をするが、変位速度もしくは垂直応力の上昇に伴い磨耗量が減少し、変位速度が 0.16 m/s、垂直応力が 0.94 MPa の条件に達すると、40 m滑らせても磨耗しないことがわかった。摩擦面は褐色に変色し明らかに熱の影響を受けているが溶融物は形成されていない。発熱効率がこの実験条件以下であると粉末状の破砕物が、発熱効率が上昇すると溶融物が形成される。砂岩が多孔質であるためこのような磨耗挙動をされると考えられる。このことは断層破砕帯を構成する多孔質な岩石が、断層運動時に破砕物を形成しない場合があることを示唆する。

本研究から、高速摩擦運動時の岩石の磨耗挙動は摩擦発熱に伴う温度上昇の影響を強く受けること、条件によっては磨耗しない岩石が存在することが明らかとなった。