

砂礫による金属材料の摩耗特性について

京都大学工学部 正員 畠 昭治郎
 京都大学工学部 正員 室 達朗
 京都大学大学院 学生員 ○ 西田 行宏

まえがき 土砂粒子の締め固め度が小さく、粒子の移動が比較的自由な状態について、砂・礫(碎石)と金属材料との摩耗特性を追求し、さらに、水中における場合についても若干の実験的考察を行ない、主として、掘削刃の材料的適正化および交換時期推定のための基礎資料とするものである。

試料 および 実験方法 試料土は、琵琶湖砂(粒度分布は、 $m=0.70^{mm}$, $\phi=0.244$ の正規分布をなす)および玄武岩の碎石を用いた。碎石の大きさは、0~5 mm, 5~10 mm および 10~20 mm の3種類である。まず、砂礫による金属材料の摩耗が主としてその材料に作用する摩擦力の大きさに左右され、その摩耗の機構を分析するためには材料間の摩擦係数と材料相互に作用する接触面圧に分離して実測する必要がある。そのために、金属材料としてビッカース硬度 120 の軟鋼を供試体とし、図1(a)に示す支持具にとりつけ進行方向となす角度および掘削深さを自由に変えうる様にし、種々の摩擦係数および接触面圧に対して金属材料の摩耗量を実測しうるようにした。供試体の摩耗面積は 4.0 cm^2 であり、供試体に作用する接触面圧および摩擦力はそれぞれ供試体と支持具とを直結する測定棒に貼ったストレインゲージによって分離測定する。摩耗量測定にあたっては、供試体を支持具にとりつけ、直径 6.00 m の回転台車とともに深さ 70 cm の大型円形土槽上を一定時間、一定速度で走行させた後、供試体を取りはずしエーテル、ベンゼンなどで清浄乾燥した後その重量を秤量し、摩耗減量を実測する。つぎに、各種金属材料の摩耗特性として金属の硬度による摩耗量の変化および摩耗履歴現象について実験を行なうために、図1(b)に示す直径 30 mm、長さ 300 mm の円柱供試体を作成し、支持具を通して直径 800 mm の回転円板にとりつけ、上記円形土槽上を走行させる装置を製作した。供試体は、軟鋼およびそれぞれ硬度の異なる熱処理炭素鋼を使用し、試験に先立って被摩耗面の表面粗さを 6-S とした。なお、水中における摩耗試験は乾燥時と同じ方法で、砂礫を完全に水浸させた状態で行なった。

実験結果とその考察 琵琶湖砂による金属材料の摩耗面に作用する垂直面圧を $p(\text{kg/cm}^2)$ 、摩擦力を $f(\text{kg/cm}^2)$ 、さらに両者の比 f/p の値を摩擦係数 μ とする。垂直面圧 p と金属板が進行方向となす角度 α との関係は、掘削深さによってその大きさは異なるが、半対数紙上においては p は $\log \alpha$ に比例して増加することが判明した。また、垂直面圧はすべての角度 α について掘削深さの増加とともに直線的に増加する。一方、同時に測定された摩擦力 f については、掘削深さの増加とともにほぼ直線的に増加するが、角度 α については 30 度近傍を頂点として 0 度から

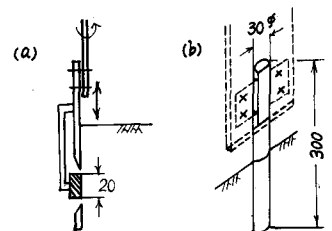


図1 供試体およびその支持具

30度まで急激に立ち上がり、30度をこえると次第に減少し90度で0となる。摩擦係数および摩擦量と角度 α との関係を整理すると摩擦力の場合と全く同様に30度を頂点とする曲線をえがくのである。これは、砂粒子と金属材料との間の拘束状態および砂粒子の流動状態に依存するのであり、30度において砂粒子による金属のひきかき効果が最も顕著にあらわれたものと考えられる。

図2に示したのは、摩擦係数 μ をパラメータとして、摩擦量 M と接触面圧 p との関係である。また、図3に接触面圧 p をパラメータとして摩擦量 M と摩擦係数 μ との関係を示した。図2および図3より摩擦量 M と接触面圧 p および摩擦係数 μ との間に、一般に次式が成立する。

$$M = k(\mu - \mu_0)^x \cdot p^y \quad (\text{この場合 } x \approx 1.1, y \approx 1.0)$$

つぎに、摩擦が進行するとともに金属表面に加工硬化層が発達し、摩擦減量が一定値に落ち付く。この状態を定常摩擦とし、それ以前を初期摩擦とする。図4および図5は琵琶湖砂に対する各種金属材料の摩擦履歴特性を示したものである。ビッカース硬度の小さい材料ほど早く定常摩擦状態に達し、初期摩擦から定常摩擦に移行する点も明白である。また、加工硬化率も非常に大きくなっている。一方、ビッカース硬度が600をこえると、初期摩擦と定常摩擦の区別が不明確となり、加工硬化率も著しく減少してくる。また、軟鋼が定常摩擦に達した場合の耐摩擦性は、ビッカース硬度600前後の熱処理鋼に相当しており、ほぼ同程度の表面エネルギーを得た結果となっている。図6は琵琶湖細砂を含め玄武岩碎石による各種金属材料の定常摩擦量を比較したものであり、主として砂礫の粒径、金属材料のビッカース硬度について乾燥時と水中における摩擦変化を示したものである。粒径の大きさに大きく依存しているが、さらに水中においては乾燥時の数倍の摩擦量をえているのは特記すべきことである。

あとがき 以上の実験結果を理論的に裏付けるために、砂礫による金属材料の摩擦機構については、個々の砂粒子の運動および拘束状態の解析が必須であり、また、金属組織を含め摩擦に大きな影響をおよぼすと考えられる表面エネルギーを中心として考察を進め講演時発表する。

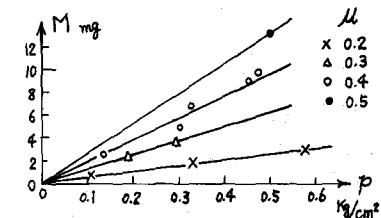


図2 摩擦量と接触面圧との関係

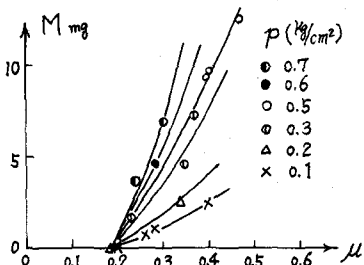


図3 摩擦量と摩擦係数との関係

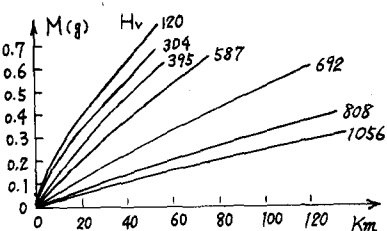


図4 摩擦履歴曲線

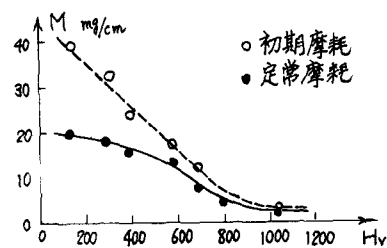


図5 初期摩擦と定常摩擦の比較

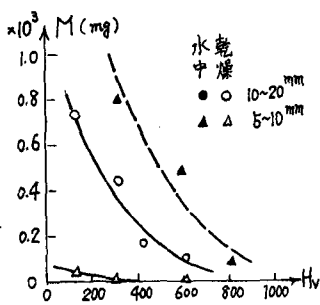


図6 碎石による摩擦特性