

金属 摩擦 に対する 砂の 粒度の影響

京都大学工学部 正員 畠 昭治郎
同 正員 〇室 達朗

1. まえがき 前報において、金属板が固結した砂質土に対して滑動する場合、土砂による金属の摩擦量は摩擦係数と接触面圧の α 乗とに比例して増加することを報告した。本文ではさらに、土砂の粒度分布に主眼をおき、これが金属と土砂間の摩擦係数および金属の摩擦量におよぼす影響について二、三の実験を行なうとともに理論的な解析を試みた。

2. 実験およびその結果 試料土は、琵琶湖底から採集した砂を使用した。この砂の粒径分布は正規分布 ($m=0.70\text{ mm}$, $\sigma=0.244$) をなすので、その平均粒径より大なる部分を粗砂、小なる部分を細砂としフルイによって分離した。それぞれの砂試料を既報の鋼製回転テーブル上にソイルセメントとして打設し、固結した後乾燥状態でその上に鋼板(ビッカース硬度175)製の摩擦試験片をおき、種々の載荷重に対して摩擦および摩擦試験を行なった。試験方法および測定法は既報の通りである。図-1, 図-2は、 10 kg/cm^2 までの接触面圧に対する摩擦抵抗および摩擦量の変化を示したものである。摩擦抵抗については面圧の増加とともに直線的に増加するが、その摩擦係数は粗砂の方が細砂より大きい。また、摩擦量についてはいずれも接触面圧の 0.4 乗に比例して増加するが、その絶対量は粗砂の方が大きい。以下、粒度が摩擦係数および摩擦量におよぼす影響について理論的に考察する。

3. 考察 いま仮に土粒子の形状を八面体であるとし、対面角を θ とする。この四角錐の一辺の長さはそれぞれの粒径に応じて $a_1, a_2, \dots, a_s$ とし、それぞれ粒度分布曲線を S 等分する粒径として求める。粒子の八面体の重心は同一平面上にあり、かつ、粒子の軸はすべてその面に垂直であるとする、金属板が接触するのはまず最も粒径の大きな粒子であり、載荷重の増加とともに粒子は金属板中にめり込んで次第に接点数は増加する。こゝで、 S 等分した各粒径について、同じ粒径をもつ粒子の個数をそれぞれ $n_1, n_2, \dots, n_s$ とし、その粒径をもつ粒子1個に作用する外力を $N_1, N_2, \dots, N_s$, その増加分を $dN_1, dN_2, \dots, dN_s$ とする。 $a_1 > a_2 > \dots > a_s$ とし、それぞれ S 等分した土粒子の総重量は等しいから一般に次式が成立する。

$$a_s^3 n_s = a_i^3 n_i \quad \text{--- (1)}$$

ソイルセメントと鉄板との面圧を p とすると、 p の増分 dp によって

$$\begin{aligned} & n_1 dN_1 + n_2 dN_2 + \dots + n_s dN_s \\ &= (n_1 a_1^2 + n_2 a_2^2 + \dots + n_s a_s^2) (1+e) dp \end{aligned} \quad \text{--- (2)}$$

となる。こゝに、 e は四角錐を平面に投影した場合の投影部分の間げき比である。まず、金属板が粒径 a_1 の粒子からつぎの大きさの粒径 a_2 の粒子に達するまでの接触面圧に対しては、 $dN_1 > 0$,

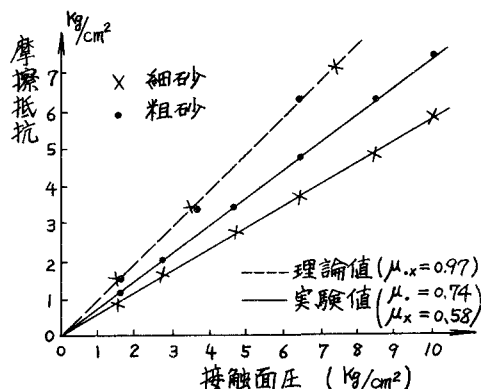


図-1 摩擦抵抗と接触面圧との関係

$dN_2 = dN_3 = \dots = dN_5 = 0$ であり、(2)式から

$$n_i dN_i = (n_1 a_1^2 + n_2 a_2^2 + \dots + n_s a_s^2)(1+e) dp$$

$$P_i = \frac{n_i N_i}{(n_1 a_1^2 + n_2 a_2^2 + \dots + n_s a_s^2)(1+e)} \quad (3)$$

粒径 a_i の頂点から各粒子の頂点までの鉛直距離を α とし、順次 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_s$ とする。土粒子が N なる力を受けて、金属板が走行する場合に金属と土粒子の接触面積は静止時の $1/2$ となり、金属面内に α だけ喰い込むものとする。

$$\alpha^2 = \frac{N \sin^2 \theta/2}{2 H_v \tan^2 \theta/2} \quad (H_v: \text{ビッカース硬度}) \quad (4)$$

となる。したがって、 p_1 は $\alpha_1 = (a_1 - a_2)/2 \tan \theta/2$ に対して (4), (3) 式から計算することができる。

つぎに、金属板が粒径 a_1, a_2 の粒子に同時に接し、つぎの大きさの粒径 a_3 の粒子に達するまでの接触面圧に対しては、 $dN_1 > 0, dN_2 > 0, dN_3 = dN_4 = \dots = dN_5 = 0$ であり、(2)式から

$$n_1 dN_1 + n_2 dN_2 = (n_1 a_1^2 + n_2 a_2^2 + \dots + n_s a_s^2)(1+e) dp$$

また (4) 式から

$$d\alpha = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{N \sin^2 \theta/2}{2 H_v \tan^2 \theta/2}} \left(\frac{dN}{N} \right) \left(1 - \frac{1}{4} \frac{dN}{N} \right) \quad (5)$$

(5)式から $N_2 = 0$ のとき

$$dN_2 = \left[\frac{1}{2} \frac{dN_1}{N_1} \left(1 - \frac{1}{4} \frac{dN_1}{N_1} \right) \right]^2 N_1 \quad (6)$$

$$N_2 \neq 0 \text{ のとき } dN_1 = 2 \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 d\alpha}{N_1 \sin^2 \theta/2}} \right] N_1, \quad dN_2 = 2 \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 d\alpha}{N_2 \sin^2 \theta/2}} \right] N_2$$

上式から逐次計算によって求めた N_1, N_2 に対して p_2 を計算することができる。さらに荷重が増加する場合にも、これらの計算をくりかえし行なうことができる。

摩擦抵抗については、金属の表面あらさが $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_s$ を最大高さとし、それぞれの数の割合で分布した定常状態について解析する。平均全摩擦抵抗は土粒子による金属の切削抵抗として次式で計算できる。

$$R_m = K \cdot \sum_i n_i \cdot \alpha_i^{1.75} \cdot \alpha_i \sum_j \frac{1}{\alpha_j} \cdot \frac{n_j \alpha_j}{\sum_k n_k \alpha_k} \quad (7)$$

また、摩擦量の計算は最大粒径の粒子による後続切削の原理を適用し、摩擦の殆んどものは最大粒径粒子によって発生し、他の粒径粒子による摩擦は、その粒子の数に対して α_1 に対する α の比だけ、摩擦痕跡を切削するとして加算する。

$$M = K \sum_i (p \tan \theta/2) (n_i \alpha_i^2 + \sum_j n_j \frac{\alpha_j^3}{\alpha_i}) \quad (8)$$

4. あとがき 前図に示したように、土粒子の

粒度によって摩擦係数は変化しない。しかし、実験値において顕著な差が認められるが、これは目づまりによる荷重分担率の差によって発生したものと考えられる。また、摩擦量については、粗砂および細砂について実験値と全く同じ傾向があることがわかる。その絶対量については目づまりによる荷重分担率の影響、土粒子の破砕およびボンドの破壊によるものおよび摩擦痕からの金属の遊離を計算することにより実験値と一致した。

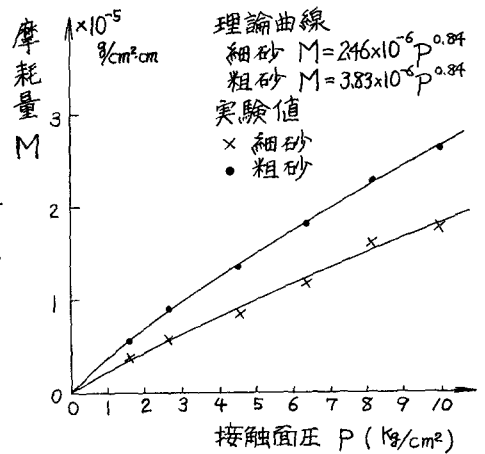


図-2 摩耗量と接触面圧との関係