

振動による土と異種材料間の摩擦低減に関する基礎的研究

九州大学工学部 学○浦塚 靖

九州大学大学院 正 安福規之 正 大嶺 聖 正 小林泰三

1. はじめに

昨今、土木構造物が大規模化し、土工作業の機械化が進む一方で、土-異種材料間の摩擦が原因で作業効率が低下するような問題が土工現場で発生している。土と異種材料間の摩擦を低減することのできる技術が開発されれば、土を対象とする様々な施工技術において、コスト削減や作業の効率化に繋がる広範な応用を見込むことができる。これまでにも企業を中心に、さまざまな摩擦低減のための技術開発が進められているが、従来の装置の模倣や経験、思いつきによるものが多く、摩擦低減のメカニズムについては解明されていない。

既往の研究として、固体同士間の振動による摩擦低減に関する研究があり、固体同士間の振動による摩擦低減の理論が紹介されている。一方、土には粒状体ゆえの特有の性質があるので、固体同士間の摩擦低減とは違った挙動を示すものの、摩擦低減のメカニズムの基本的な考え方は通じていると考えられる。本研究では、固体同士間の摩擦低減の理論を参考にして、土と異種材料間の摩擦低減のモデルを提案するとともに、メカニズムの解明を目指す。

2. 摩擦低減のメカニズム

振動による固体同士間の摩擦低減の理論を要約する。¹⁾

重量 m の物体が角 θ だけ傾いた平面上に置かれているとする。また、重力加速度を g とする。傾き角 θ が θ_0 のとき、 m が滑り始めるとすると、

$$mg \sin \theta_0 = \mu mg \cos \theta_0, \quad \mu = \tan \theta_0 \quad (\text{静摩擦係数}) \quad (1)$$

また、振幅 A 、角速度 ω の振動を平面に垂直な方向で事象に与えたとき、 $\theta = \theta'$ のとき滑り始めるとすると、

$$mg \sin \theta' = \mu (mg \cos \theta' - mA\omega^2) \quad (0 \leq \theta' \leq \theta_0) \quad (2)$$

みかけの静摩擦係数を $\mu' = \tan \theta'$ 、振動加速度 a と重力加速度 g の比を $\Lambda (= a/g)$ とおいて、 μ' について整理すると、

$$\mu' = \frac{\mu - \Lambda \sqrt{1 + \mu^2 - \mu^2 \Lambda^2}}{1 - \mu^2 \Lambda^2} \quad (3)$$

よって、 $\mu' = 0$ となるのは、 $\Lambda = 1$ のとき、つまり $a = g$ のとき。

みかけの静摩擦係数 μ' が0となるときの、物体は傾斜板の角度の関係なく滑り始める。つまり、摩擦低減は与える振動のパラメータの内振動加速度の最大値のみに依存する。固体の代わりに重量 m の粒状体を用いた場合を考えてみる。粒状体と異種材料の接触部分から振動を与えられ、接触部分から離れていく程伝わる振動が減衰し、その結果、式(2)の右辺第2項が固体の場合に比べ相対的に小さくなると予想される。そのため、粒状体と異種材料間では固体同士間に比べ、摩擦低減度合が小さくなると思われる。

3. 静摩擦係数測定試験

本研究では、振動によって、土のみかけの静摩擦係数がどのような変化を示すのかを調べるために、図1のような装置を製作した。実験装置は鉄板を吊っているワイヤーをモーターによって一定速度で巻き取ることで傾斜角が大きくなっていくというものである。これにより、計測時間から傾斜角を割り出すことができる。また、モーターで巻き取るワイヤーと同じ経路を通るように変位計を設置している。これは、第一に試料が滑り始める時点を正確に知ること、第二に試料の滑り方（滑る速度）を知ることが目的としている。傾斜版の滑り方向を x 方向、傾斜板に垂直な方向を z 方向、 x, z 両方向に垂直な方向を y 方向として軸を設定した。傾斜板の裏にエアバンプレータと加速度計を取り付け、エアバンプレータの振動による x, y, z 軸方向それぞれの加速度の変化を記録できるようにした。エアバンプレータはFAL18, FPLF18-s, FPLF12-sの3種類があり、それぞれエアーの

出力は0.2, 0.4, 0.6(mPa)で使用する。

試料は豊浦標準砂を用い, 5kgで相対密度60になるように体積を定めた。試料をボックスに入れ, 上からふたをして叩き締めることで密度を一定にした。

どのような振動によってどれくらいの摩擦低減が起きているのかを知るために, 振動のパラメータを調べる。固体同士の場合は, 振動による摩擦低減は振動加速度にのみ依存するが, 粒状体でも振動加速度にのみ依存するのかを明らかにするために, 振動加速度の他に周波数, 振幅と摩擦低減の関係も検討する。加速度計の測定結果から, 振動加速度, 周波数を求め, 振動加速度と周波数から振幅を求めた。

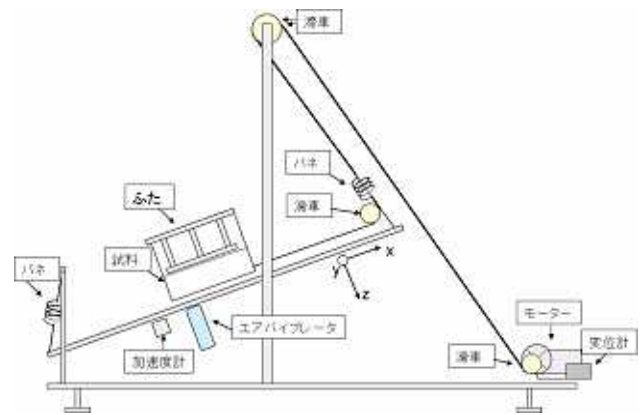


図1 静摩擦係数測定装置

4. 実験結果と考察

変位計の測定結果から, 試料の滑り始めた瞬間の傾斜板の角度を割り出す。振動による加速度を加速度計で測定し, 振動の各パラメータを求める。これらの条件によって測定したみかけの静摩擦係数と, 振動させないときに測定した試料の静摩擦係数を比較し, みかけの静摩擦係数の推移としてグラフにした。周波数 λ , 振幅 A , 加速度比 $A(=振動加速度a/重力加速度g)$ それぞれとみかけの静摩擦係数との関係を図2, 図3, 図4に示す。図2, 図3では3つのパイプレータがそれぞれ全く異なる挙動を示しており1つの曲線にはならないが, 図4では各プロットから1つの近似曲線がかけることから, 粒状体においても振動による摩擦低減は振動加速度にのみ依存すると言える。また図4について, 固体の理論値と粒状体の場合の実験結果の近似曲線を比較してみると, 粒状体の方が摩擦が低減しにくいことが見て取れる。固体の場合は加速度比が1(振動加速度=重力加速度)のときみかけの静摩擦係数は0になるが, 粒状体の場合は加速度比が10程度(振動加速度が重力加速度の約10倍)でみかけの静摩擦係数は0になると思われる。

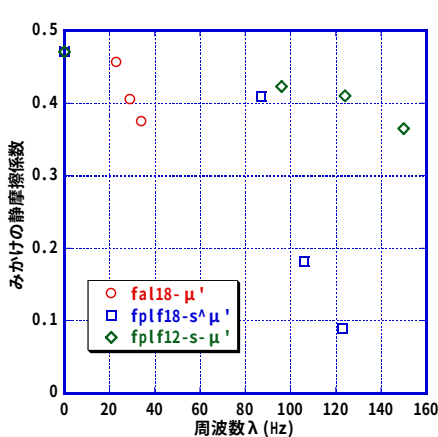


図2 周波数—みかけの静摩擦係数

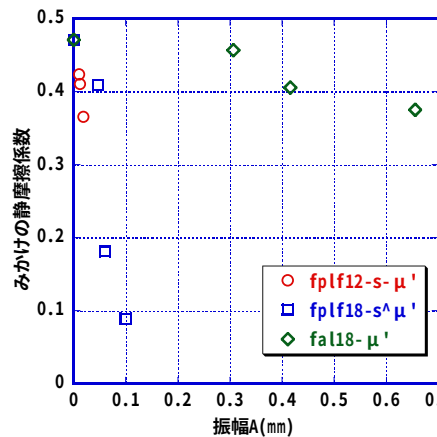


図3 振幅—みかけの静摩擦係数

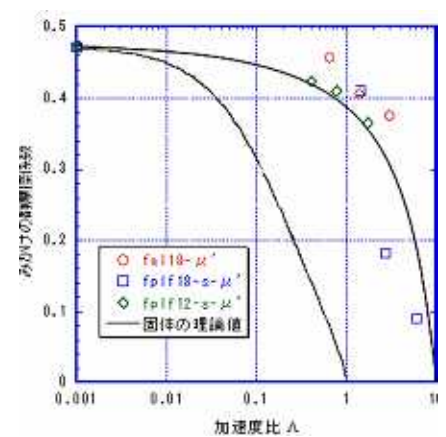


図4 加速度比—みかけの静摩擦係数

5. 今後の展開

土と異種材料間の摩擦低減のメカニズムについて, “基本的な理論は固体同士間のもと同じであるが, 粒状体中を振動が伝わる間に振動が減衰し, その結果, 式(2)の右辺第2項は固体の場合に比べ相対的に小さくなることで, 粒状体と異種材料間では固体同士間に比べ摩擦低減度合が小さくなる”と予想している。今後はこの予想を実験から検証していく。特に, 粒状体中で振動が減衰していることを確認し, それが摩擦低減にどのような影響を与えているのかを調べたい。

【参考文献】1) 横山恭男: 静摩擦係数に及ぼす振動の影響(第1報) — 3軸方向の振動の影響 —