

斜面上の砂が流れ出す角度を決める要因について

班員 田中 正剛、辻口 雄一朗、松原 智哉、綿谷 結太
担当教諭 山本 一博

キーワード：安息角 粒径 傾斜法

The angle of repose is the angle at which a singular material slides down for the first time when it is piled. In this study, we measured the angle of repose and investigated what tendencies exist. It was found that the angle of repose changes depending on the variation in grain shape and the moisture content.

1 はじめに

近年、日本各地にて土砂災害が多発している。私たちは砂の斜面が安定した状態で水平面に対してなす角のうち、最も急な角度である安息角を用いることにより土砂災害を防ぐことができないかと考えた。自然環境にできるだけ近づいた状況で安息角を計測するため、傾斜法を用いた。

2 研究方法

◎安息角の計測方法

砂を金属製トレイ(図1)に入れ、表面が水平になるようにすりきる。それを傾斜台の上に置いて傾けスマートフォンのセンサである水平器(図2)を用いて、砂の表面が流れ出した時の傾角を計測した。



図1 金属製トレイ

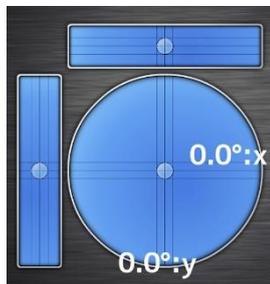


図2 水平器

◎粒径の計測方法

砂の長軸の長さを粒径として定義した。双眼実体顕微鏡(図3)を用いて、各砂を一粒ずつ計測した。計測の際は、それぞれの砂の粒の写真

を撮り、長軸を基準として計測を行った(図4)。結果は下のグラフ(図5)である。



図3 双眼実体顕微鏡

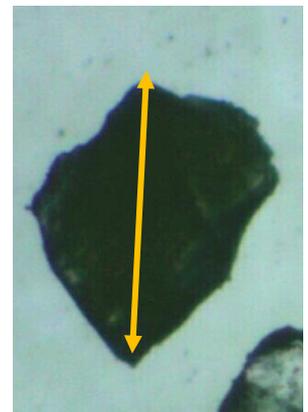


図4 長軸を基にした粒径

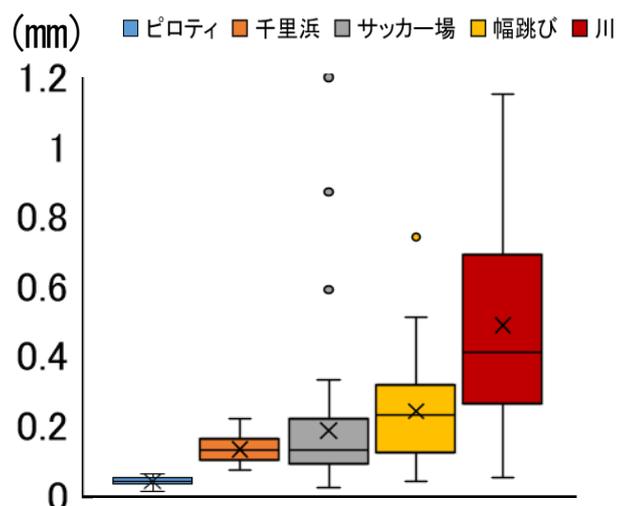


図5 粒径の分布図

◎実験に用いた砂

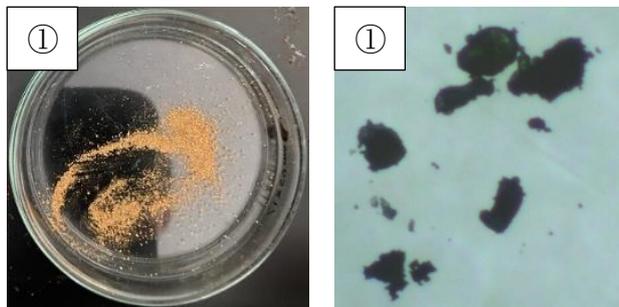
以下の場所から採取した砂を用いて実験を行った。

- ①ピロティ(体育館1階の練習場)の砂
- ②千里浜(石川県羽咋市)の砂
- ③サッカー場の砂
- ④幅跳び場の砂
- ⑤川の砂

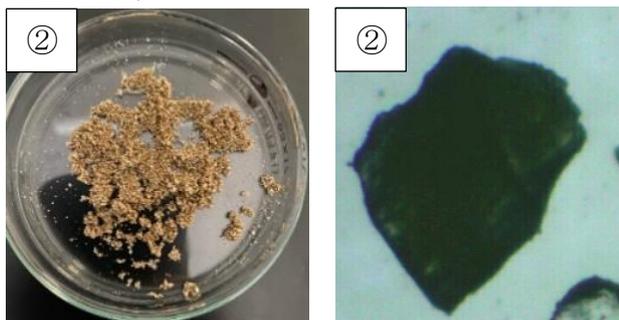
注) ①、③、④は本校敷地内にて採取したものである。

以下の画像は左が砂の全体像、右が砂の顕微鏡写真である。

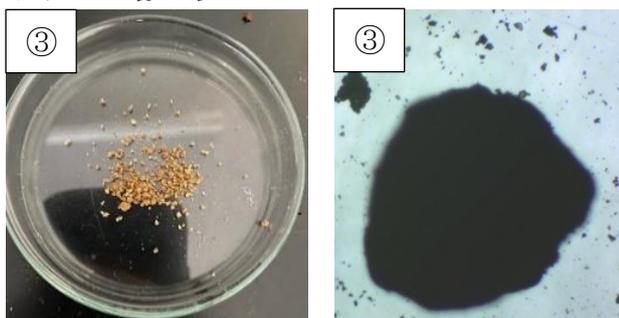
ピロティの砂



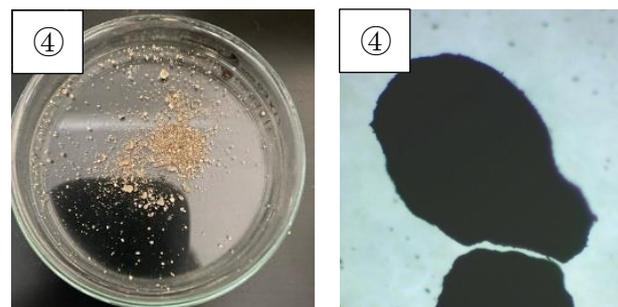
千里浜の砂



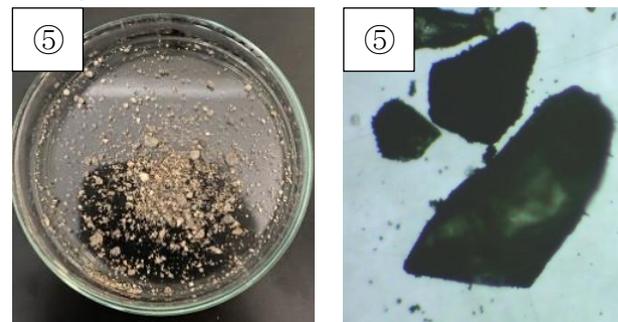
サッカー場の砂



幅跳び場の砂



川の砂



◎実験1 乾いた砂の安息角の計測

上記の5つの砂を傾斜法にて計測した。

実験の最中に傾けていくと、砂の表面が3段階で流れ出すことに気づいたので、安息角をそれぞれ下のように設定した。

- ・ θ_1 : トレイの上部から砂が流れ出す角度
- ・ θ_2 : トレイの中部から砂が流れ出す角度
- ・ θ_3 : トレイの下部から砂が流れ出す角度

トレイ上部・中部・下部は下図(図6)において橙色線で区分した部分である。

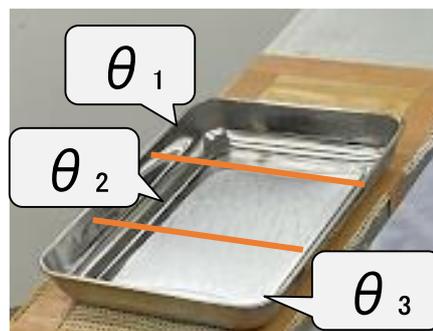


図6 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 の図

〈結果〉

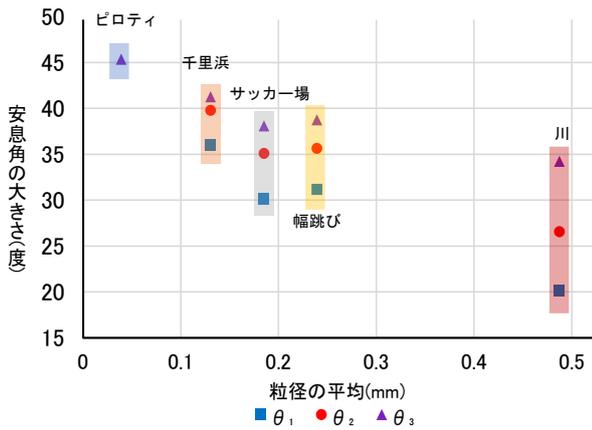


図7 乾いた砂の安息角と粒径の平均の相関

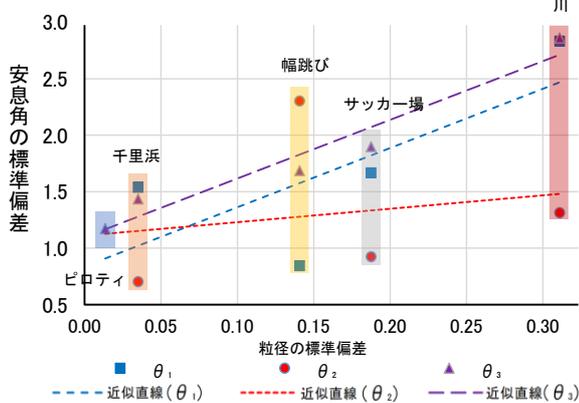


図8 乾いた砂の安息角と粒径の標準偏差の相関

〈考察〉

粒径が小さいほど、砂がトレイに充填され、砂同士の接触面が大きくなることで、摩擦が強くなる。その強い摩擦力が表面の砂に働くことで、表面の砂が流れにくくなる。そのため、砂の粒径が小さいほど、砂の安息角が大きくなると考えられる(図7)。また、 $0 < R^2 < 1$ の範囲にあり、1に近づくほど相関が強いことを示す決定係数の考え方をを用いると $\theta_1 = 0.530$ 、 $\theta_2 = 0.0370$ 、 $\theta_3 = 0.942$ (有効数字3桁)となり、粒径のばらつき(標準偏差)と安息角の実験値のばらつき(標準偏差)に θ_3 では非常に強い相関、 θ_1 では強い相関、 θ_2 では相関がみられなかった(図8)。

◎実験2 湿った砂の安息角の計測

砂の体積を計り、砂と水がよく混ざり合ったと考えられる。体積比(砂:水=28:3)で混ぜ、実験1と同じ方法で計った。

〈結果〉

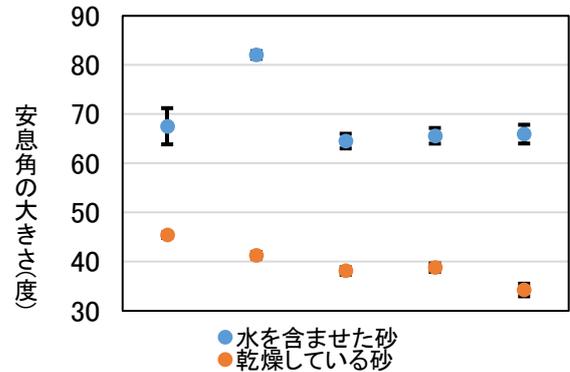


図9 湿った砂と乾いた砂の安息角の違い

図9の凡例は左から①、②、③、④、⑤の順。

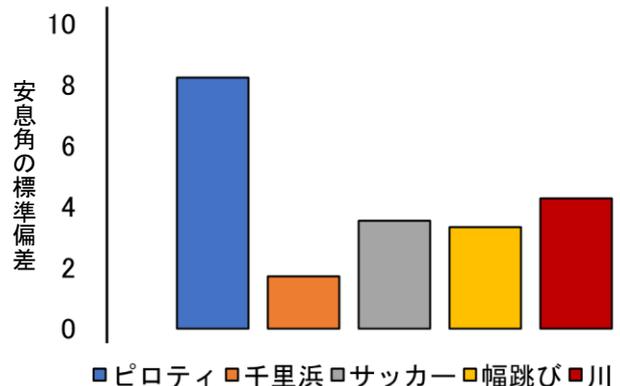


図10 水を含んだ砂の安息角の標準偏差

〈考察〉

水が砂同士を引き寄せるため、どの砂も安息角が大きくなる。また千里浜の砂は、特に安息角が大きくなり、実験値のばらつき(標準偏差)も小さくなった。これは粒径が小さく、形が角ばっているため、トレイへより充填され、さらに砂間の隙間に水がよく染み込み固体のようになったからなのではないかと考えられる。

ピロティの砂は崩れ方が毎回異なり、測定の際に安息角(標準偏差)が大きくばらついた。

これはほかの砂と違いピロティの砂が水と均一に混ざらず、乾いた部分からと湿った部分から流れる2パターンがあったからなのではないか(図11)。

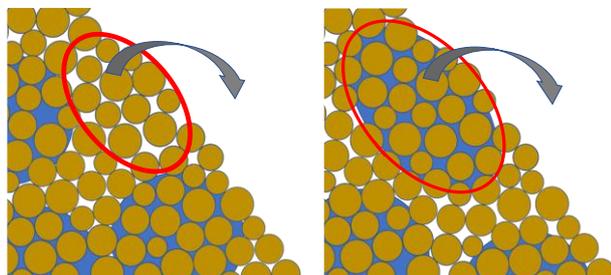


図 1 1 水を含むピロティの砂の流れ方の違

3 結果と考察

粒径の違いや含水量の変化による安息角の傾向を調べた結果、粒が小さく均一な砂は崩れにくいことと、水を含むと崩れの予測が困難になることが分かった。これらのことは土砂災害の予測に役立つと考えられる。

4 今後の展望

砂・土の安息角をさらに計測し、土砂災害の予測への活用を模索したい。また、 θ_1 と θ_3 の粒径と安息角の標準偏差の相関がみられたのに、 θ_2 ではみられなかった理由を調べたい。形、粒径、水分量以外にもの安息角に与える影響についても考察していきたい。

5 謝辞

粒径の測定法を指導して下さった JAMSTEC の谷川亘様に感謝申し上げます。

6 参考文献

- (1) 青木隆一. 粉体の安息角および内部摩擦角の測定法. 粉体工学会. 1964. Vol 6, No. 1, P. 3-8
- (2) 松倉公憲, 恩田裕一. 安息角: 定義と測定法にまつわる諸問題. 筑波大学水理実験センター報告. 1989. No. 13, P. 27-35