



はじめに

本研究では砂の安息角を計測し、どのような傾向があるのか調べた。粒径や形、含水量によって安息角が変化するという仮説をたてた。

安息角の計測方法

砂をトレイに入れ、表面が水平になるようにすりきる。それを傾斜台に置いて傾け、砂の表面が動き出した時の傾角を計測した。使用した器具は、スマートフォンのセンサ、傾斜台、金属製トレイである。



粒径の計測方法

双眼実体顕微鏡で一粒ずつ長軸の長さを測った。右のグラフは粒径の分布である。観察した粒の個数は以下のとおりである。

採取場所	ピロティ	千里浜	サッカー場	幅跳び場	川
粒の数(個)	30	45	60	40	19

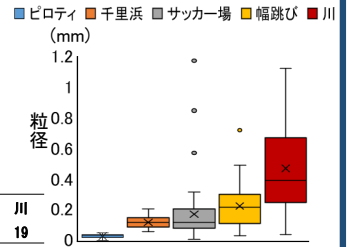


図1 粒径の分布

実験1

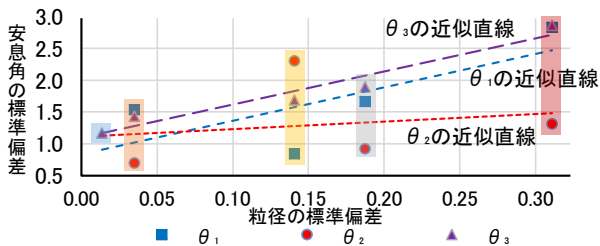
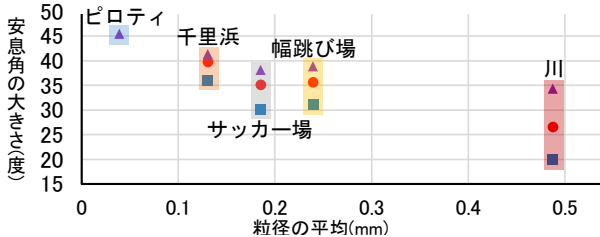
砂の表面が動き出す角度が三段階に分かれていた。そのため以下のよう θ_1 、 θ_2 、 θ_3 を定義した。

θ_1 …トレイ上部から砂が初めて流れる角度

θ_2 …トレイ中部から砂が初めて流れる角度

θ_3 …トレイ下部から砂が流れ落ちる角度

<結果>



<考察>

- ・砂の粒径が小さいほど、砂の安息角が大きくなる。
- 粒径が小さいほど、トレイに充填され、砂同士の接触面が大きくなる(図2、3)。
- 砂粒同士の摩擦により、砂が滑りにくくなる。
- ・ θ_1 、 θ_3 では粒径のばらつき(標準偏差)と安息角の実験値のばらつき(標準偏差)に正の相関がみられたが θ_2 には見られなかった。

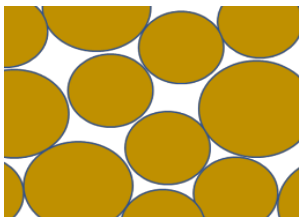


図2 粒径の大きい砂

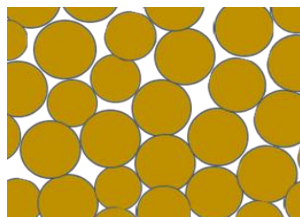


図3 粒径の小さい砂

実験2

1400mLの砂と150mLの水をよく混ぜ、実験1と同じ方法で計った。砂が水によって固まり、塊としてトレイから落ちていくため結果は θ_3 だけ取った。

<結果>

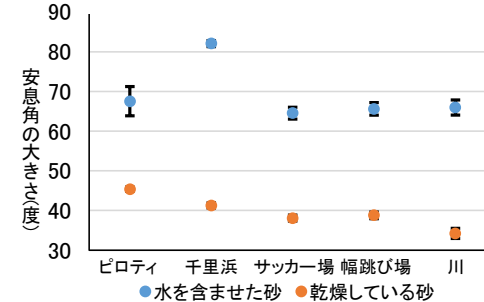


表1 安息角の標準偏差

採取場所	標準偏差 θ_3
ピロティ	8.2
千里浜	1.7
サッカー場	3.5
幅跳び場	3.3
川	4.3

<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。
- ・千里浜の砂は、粒径が小さく、形が角ばっており、トレイへより充填された。さらに、水がしみこみ固体のようになったため、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(図4)。
- ・ピロティの砂は崩れ方が毎回異なり、測定のために安息角(標準偏差)が大きくばらついた。
- 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滑る2パターンがあったからなのではないか(図5)。

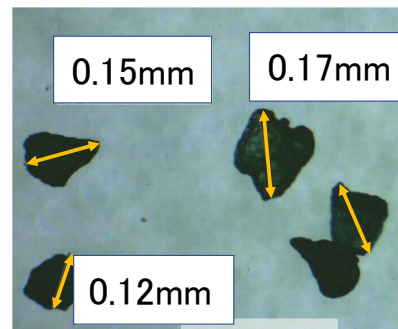


図4 千里浜の砂の粒

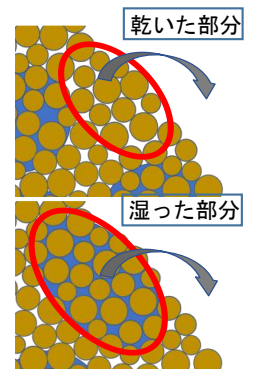


図5 ピロティの砂の滑り方の違い

今後の課題

- ・他の種類の砂で同様の測定を行い、データを比較する。
- ・異なる種類の砂が混ざった場合の安息角がどうなるか測定する。
- ・砂の安息角を数式で表現可能か模索したい。

参考文献

粉体の安息角および内部摩擦角の測定法 青木隆一

謝辞

JAMSTECの谷川亘様には粒径の測定法をご指導いただいた。

斜面上の砂が流れ出す角度を決める要因について

抄録

安息角とは、砂を傾けた時に初めて砂が滑り落ちる角度である。本研究では安息角を計測し、粒形のばらつきと水分量によって安息角が変化することが分かった。

1. 研究の背景と目的

本研究では砂の安息角の測定の手法を確立するとともに、砂の粒径や、湿り具合で安息角がどれくらい変化するか調べることを目的とした。

2. 方法

実験 1: 砂をトレーに入れ、表面を水平にならし、傾斜台に置きゆっくりとトレーを傾け、砂が動き出す角度を計測した(傾斜測定はスマートフォンのセンサを使用)。

実験 2 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。

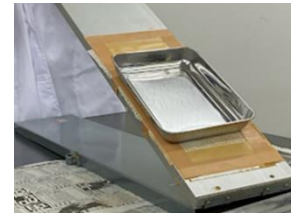


図 1 実験装置

3. 結果

実験中に砂の動きが三段階に分かれることに気づいたため、以下の θ_1 、 θ_2 、 θ_3 について記録した。 θ_1 はトレー上部から砂が初めて流れた角度、 θ_2 はトレー中部から初めて砂が流れた角度、 θ_3 はトレーから砂が流れ落ちる角度と定義した。

粒径の小さい千里浜、ピロティの安息角は大きく、粒径の大きい川や幅跳び場、サッカー場の安息角は小さくなった(表 1, 図 2)。湿った場合には、どの砂も安息角が大きくなった(表 2)。特に千里浜の砂で、約 80 度と大きくなった。

表 1 乾いた状態の砂の安息角

採取場所	角度(平均値)		
	θ_1	θ_2	θ_3
ピロティ	—	—	45.38
千里浜	36.00	39.80	41.28
幅跳び場	31.18	35.66	38.78
サッカー場	30.12	35.12	38.10
川	20.12	26.58	34.24

表 2 湿った状態の砂の安息角

採取場所	θ_3 (平均±標準誤差)
ピロティ	67.54±3.68
千里浜	82.04±0.76
幅跳び場	65.60±1.49
サッカー場	64.52±1.59
川	65.94±1.90

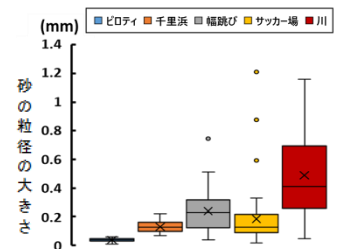


図 2 各場所の砂の粒径

4. 考察・結論

粒径が小さい砂ほど、安息角が大きくなる傾向がみられたが、これは粒径が小さいと砂間の隙間がなくなり、砂同士が密接に接触し、摩擦が強く働くためと考えられる。また、砂の粒径のばらつきが小さい時、安息角の実験値のばらつきは小さいと考えられる。

砂に水を含ませると、すべての場合で安息角が大きくなった。水が砂同士を引き寄せあう役割をしたと考えられる。ピロティの砂は実験値のばらつきが大きくなった。その理由は、水と砂が均一に混ざらなかったので、湿った部分が滑ったパターンだけでなく、乾いた部分が滑ったパターンがあったためと考えられる。

5. 今後の展望

対象の砂を増やす。砂の安息角を粒径や含水量などから導く数理モデルを構築したい。

6. 参考文献

青木隆一. 粉体の安息角および内部摩擦角の測定法. 1969. 粉体工学研究会誌. 6(1). 3-8

7. キーワード

安息角 粒径 傾斜法