

変動水圧場における水中堆積砂層の変形に関する実験的研究

中国地方整備局境港湾空港工事事務所 正会員 ○山口 慎介
岡山大学環境理工学部 正会員 里本 公明
岡山大学環境理工学部 正会員 名合 宏之

1. はじめに

本研究は、河川や沿岸域の変動水圧場における水中斜面の安定性を明らかにするための基礎として、静水中に三角形形状に堆積した砂層が変動水圧の影響を受けて変形していく過程を、砂粒子特性および変動水圧特性との関連で実験的に検討したものである。

2. 実験の概要

実験では、幅 100cm 深さ 70cm 奥行き 38cm の水槽を用い、その中に図 1 に示されるような 2 次元堆積砂層を形成した。水中での実験に先立って空中における堆積砂層について、その斜面傾斜角（空中安息角 ϕ_0 ）を測定しておく。水中での砂層は水深 20cm の静水中において、底面より 30cm の高さより開口幅 0.4cm のスリットを用いて自由落下させて形成した。砂層の初期高さ h_0 は 18cm としている。砂試料としては中央粒径が 0.24mm（試料 1）、0.55mm（試料 2）および 1.25mm（試料 3）の 3 種類を用いた。変動水圧は空気圧変化を水压変化に変換する装置を用いて発生させた。変動水圧の振幅は、試料 1 の実験では 20cm、30cm および 40cm の 3 種類を、また試料 2 および試料 3 については 30cm を用いている。変動水圧周期はいずれの場合も 1.0 秒としている。

水中および砂層中では、図 2 に示されるような点において圧力変換器によって水压および間隙水压の測定を行っている。砂層形状の変形を表わすために、図 3 に示すような砂層高さの減少量 Δh 、砂層上部の斜面傾斜角 ϕ_u および底面近傍の傾斜角 ϕ_b の変化を測定している。

3. 実験結果

表 1 は、空中の安息角および静水中での安息角測定結果を示したものである。この表より、空中安息角は粒径が大きくなるほど大きくなり、また水中での安息角はどの試料も空中より約 3° 程度小さくなっていることがわかる。

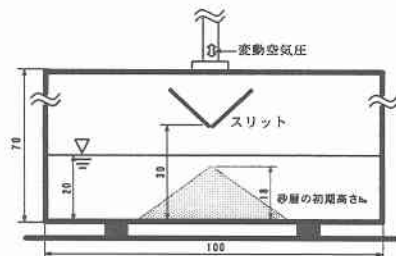


図 1 実験装置概略図 単位 (cm)

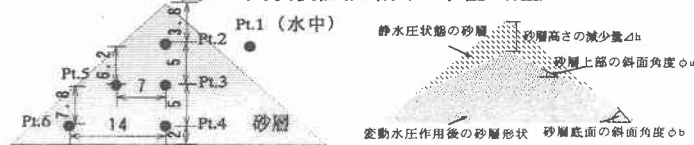


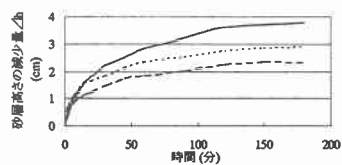
図 2 間隙水压測点 単位 (cm)



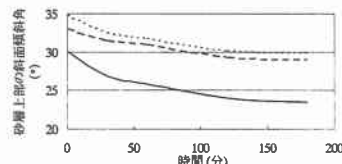
図 3 砂層形状測定概略図

表 1 安息角測定結果

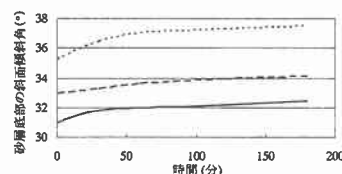
	試料1	試料2	試料3
空中安息角 $\phi_0(^{\circ})$	33.4	36.1	37.7
水中安息角 $(^{\circ})$	30.1	33.0	34.8



(1) 砂層高さの減少量変化

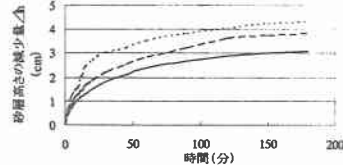


(2) 砂層上部の斜面傾斜角変化

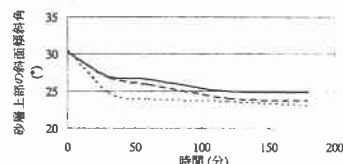


(3) 砂層底部の斜面傾斜角

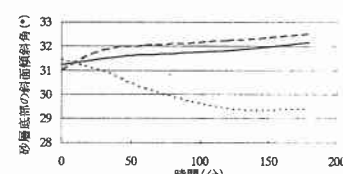
図 4 砂層形状の時間変化 振幅 30cm



(1) 砂層高さの減少量変化



(2) 砂層上部の斜面傾斜角変化



(3) 砂層底部の斜面傾斜角

図 5 砂層形状の時間変化 試料 1 (粒径 0.24mm)

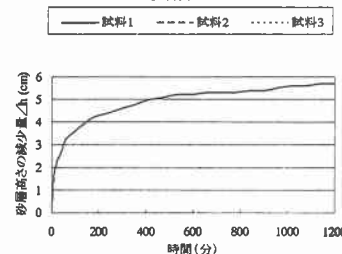


図 6(1) 砂層高さの減少量変化

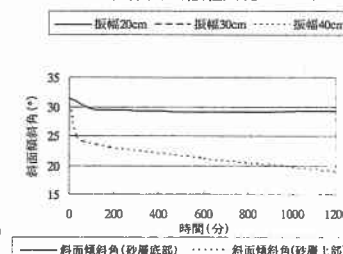


図 6(2) 斜面傾斜角の変化

図 4 および図 5 は変動水圧を作用させた場合の砂層形状の時間変化を示したものである。まず、図 4 は変動水圧の振幅を 30cm と一定にし、粒径をパラメータとして、上段より砂層高さの減少量、砂層上部の斜面傾斜角および砂層底部の斜面傾斜角の時間変化を示している。この図より、変動水圧場における砂層の斜面傾斜角は、砂層上部において静水圧状態での角度より小さくなっているのに対し、砂層底部近傍では大きくなっているのが分かる。

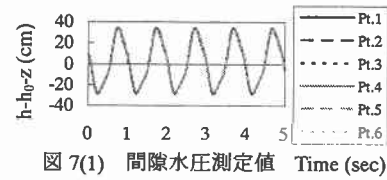


図 7(1) 間隙水圧測定値 Time (sec)

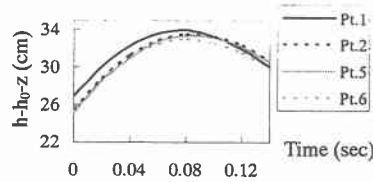


図 7(2)間隙水圧測定値(斜面部分)

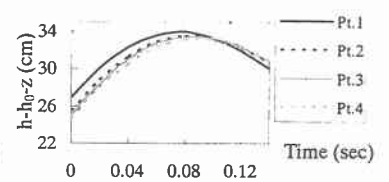


図 7(3)間隙水圧測定値(鉛直方向)

この理由として、変動水圧により砂層上部においては砂の粒子間の構造破壊が引き起こされ斜面傾斜角が減少し、砂層底面付近においては砂層の締め固め効果により斜面傾斜角が増加したと考えられる。粒径による変化特性としては粒径が小さい場合 (0.24mm) には変化量が大きい傾向がみられる。しかし、粒径の増大に伴う変化は、今回の実験のみでは定量的な判断は困難である。

つぎに、図 5 は、試料 1 を用い、変動水圧の振幅を 20cm, 30cm, 40cm に変化させ、振幅をパラメータとして図 4 と同様に砂層形状の時間変化を示したものである。図 5(1), (2)より、振幅が大きくなると砂層高さの減少量および砂層上部の斜面傾斜角の減少量が大きくなっていることが分かる。また、図 5(3)では振幅 20cm, 30cm の場合の砂層底面近傍の斜面傾斜角は大きくなっているのに対し、振幅 40cm の場合は小さくなっている。変動水圧場において斜面傾斜角が大きくなるのは、砂層下部において砂層が締め固められたためと考えられる。振幅 40cm の場合に斜面傾斜角が小さくなったのは、変動水圧がある程度以上大きくなると、その初期においては砂層の粒子間の構造破壊が砂層下部においても発生したためと考えられる。

つぎに、変動水圧が長時間作用したときの形状変化を調べるため、試料 1 を用い、周期 1.0Hz・振幅 40cm の変動水圧場で 1200 分間の実験を行った。実験結果は図 6 に示すとおりである。図 6 をみると、砂層高さの減少量変化および砂層上部の斜面傾斜角は時間が経過してもわずかなではあるが、増大を続ける。一方砂層底面近傍の斜面傾斜角は、長時間が経過するとある一定値に収束していくことが分かる。

以上のような砂層形状の変化には、変動水圧による砂層内の応力状態の変化が影響していると考えられる。このことを明らかにするための基礎として砂層内の間隙水圧測定をおこなった。すなわち、試料 1 を用い、振幅 30cm・周期 1.0Hz の変動水圧場において、図 2 に示すような Pt.1~Pt.6 の計 6 点で間隙水圧の計測を行った。変動水圧作用 30 分後の間隙水圧測定値は図 7 に示すとおりである。測定点全体の圧力変化は図 7(1) のようである。この図では各点における圧力の差違は明確ではない。そこで、図 7(2)および図 7(3)に図 7(1)の頂部付近の拡大図を示す。

これらの図においては、砂層内の間隙水圧は水中 (Pt.1) の変動水圧に対して振幅の減衰および位相の遅れを示していることがわかる。しかし、斜面に沿った測定点 (Pt.2, 5, 6) における変化と、鉛直方向の測定点 (Pt.2, 3, 4) における変化を較べると、両者には砂層表面からの距離の影響を読み取ることが出来るほどには明確な差を認めることはできない。砂層形状の変化を内部の応力状態の変化の観点から検討していくためには、今後さらに詳細な実験をおこない砂層内の間隙水圧分布を明らかにしていく必要がある。

4. まとめ

静水中で斜面傾斜角が水中安息角で堆積した砂層に変動水圧が作用すると、砂層が緩まり、斜面は水中安息角を維持することができず、砂層上部はより緩やかな傾斜角をもつ斜面へと変形していく。また、下層部に新たに堆積した斜面は初期の水中安息角に近い傾斜面を形成する。

このような堆積砂層の変形現象の解明は、水中斜面の安定性を考えるうえで重要であり、今後、変動水圧特性および堆積砂層の材料特性の面からさらに詳細に検討していく必要がある。