

4. 測定

模型の破壊・変形状況を把握するためには、その表面及び内部の挙動を連続的に調べねばならない。このため図-1に示したように模型内部及び振動面に加速度計・水圧計を設置し、現象を電磁オシログラフ及びデータレコーダに記録した。その他、断面変化・内部の変化はVTRに記録した。模型の密度は断面積の変化から推算した。

5. 実験

実験には運輸省港湾技術研究所の動電型振動台(最大出力12ton・G、振動数範囲0.5~100Hz)を使用した。主な実験としては小名浜砂飽和斜面に3.5、7.1及び35Hzの正弦振動を連続的に加えた。その他、飽和模型に地震波、乾燥模型に7.1Hzの正弦波を各1ケース実施した。高萩砂斜面では、乾燥状態で7.1Hzの正弦波、飽和状態で7.1Hzの正弦波と地震波を作用させた。地震波は、1968年十勝沖地震「八戸」S252N-Sを基盤での波形に直し、さらに時間の縮尺を考慮し継続時間を0.141倍に縮小したものである。加振方法は正弦波の場合、まず約50galの一定加速度で加振し、模型に明らかな変化(変形・沈下・崩壊・間げき水圧の上昇等)が認められなければ再び加速度を増大し加振を繰返す。間げき水圧が上昇した場合には、再び逸散するまで一定加速度振動を継続する。地震波の場合も同様に加速度レベルを除々に増大し実験を繰返した。

6. 実験結果

i) 乾燥砂斜面の安定性 — 飽和斜面と比較するため両砂模型に7.1Hzの正弦振動を加えた。小名浜砂では台加速度 A_0 が約200galまでほとんど変化が見られなかったが、それ以上の A_0 では全体が沈下し法肩がわずかに崩れた。 A_0 が390galまで加振したが、オバリのよ様な全体にわたる破壊は生じなかった。高萩砂でもほぼ同様の結果を示した。7.1Hzの振動で天端の加速度応答は1.0~1.2で、模型内部の加速度はほぼ一様に分布しており、斜面と水平部で著しい相違は見られない。

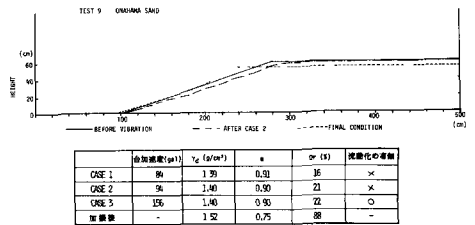


図-2 正弦波に対する斜面の変形

ii) 飽和斜面の崩壊 — 正弦振動に対する飽和斜面の結果をTest 9(小名浜砂、 $\gamma_d=1.40$ g/cm³、7.1Hz)を例に述べる。斜面の変化は図-2に示した。ここで A_0 が100gal以下のCase 1, 2ではほとんど断面変化は見られなかったが、Case 3で A_0 に120galを与えると急激に間げき水圧が上昇し、斜面は完全に液状になって法肩が前方に流れようように崩壊すると共に天端が著しく低下する。この様子は他の全ケースで観察され、飽和砂斜面の典型的な崩壊のパターンと言える。

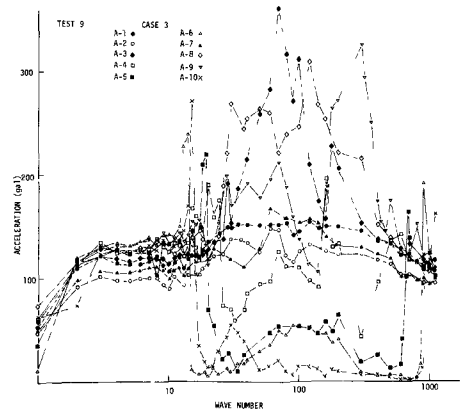


図-3 加速度と振動波数

iii) 加速度・間げき水圧の挙動 — 模型内の加速度と平均間げき水圧 U_m (動の間げき水圧の山と谷の平均値)を図-3, 4に示す。 A_0 の小さい時、乾燥砂と同様各部の

加速度はほぼ等しい。A₀の増大と共にU_mが増し、波形がひずむようになる。図-3では他のケース同様に数波以内で振動は定常状態になり2波目ぐらいから加速度が急激に変化する。これは図-4のU_mの変化と対応し、有効応力の低下による流動化の発生を意味する。図-5は動的向けき水圧の最大・最小値の深さ方向分布を示す。左側の実線は静水圧分布、右側は砂粒子が水中に完全に懸濁した時の水圧U₀(= $\gamma_s(1+e)/(1+e) \times \gamma_w$)を示す。鎖線は斜面上の点(Ps-5)を含む鉛直面でのU₀を示す。Case 1, 2ではどの点も静水圧にほぼ等しいが、Case 3では向けき水圧がU₀と等しくなり模型全体が完全に流動化していることを示している。

iv) 相対密度と流動化 —— 模型表面から向けき水が排出されるので、場合によっては発生した向けき水圧が振動中に消散し、模型が流動化したか否か判定が難しい時がある。図-6には向けき水圧がU₀に近い値と与った時のA₀とその前後の相対密度をプロットし、流動化の発生に対する相対密度とA₀の関係を示した。

v) 地震波に対する飽和斜面の安定性 —— 地震波に対する小名浜砂斜面の挙動を図-7, 8に示す。正弦加振では台加速度が100 galを越すと堤体の変形が著しくなったが、図-7に見るようにCase 1でA₀が113 galでU_mも幾分発生したとはいえ模型に変形が生じなかった。Case 2, 3で最大212, 343 galのA₀により斜面は変形したが、すべり破壊は発生しなかった。

vi) 斜面と水平部の比較 —— 同一高さにおいて斜面付近と水平部での加速度をみると、流動化以前ではほとんど等しく、特に斜面の影響は出ていない。流動化してからは波形が著しくひずみ、比較が困難であった。向けき水圧に關して+30 cmの位置でみると、壁面での値が既して水平部より大きい。斜面での向けき水圧振中(山と谷の差)は他と比較して大きい。これは前面の水の影響であろう。U_mは他より小さいが砂粒子間の有効応力に關しては他の部分と同様に減少消失していることがわかる。正弦振動のみならず地震動のように主要な波数が僅かな時には、斜面でのU_mは排水距離が短いこともあって早く消散すると考えられるが、小名浜砂では地震の主要部が過ぎてしまうと向けき水圧は残留した。高萩砂では斜面・水平部双方でU_mが急速に減少し比較出来なかった。

vii) 透水係数の影響 —— 小名浜砂・高萩砂模型に地震波を作用させた結果、前者は台加速度の最大値が343 galで完全に流動化し斜面が崩壊しており、後者は388 galで幾分変形した程度であった。小名浜砂に対する

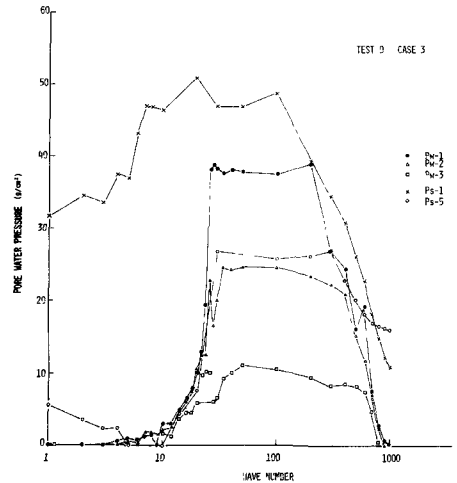


図-4 向けき水圧と振動波数

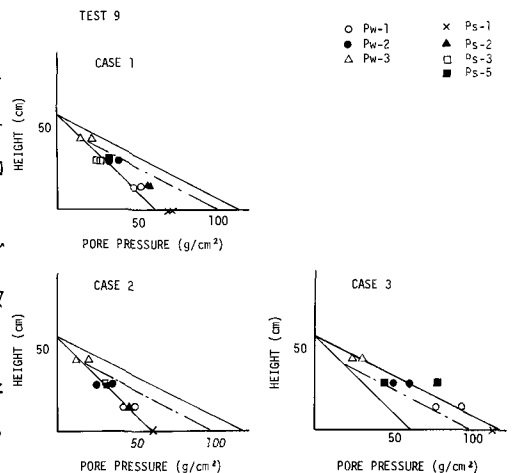


図-5 高さ方向の向けき水圧分布

実物の透水係数は $1.42 \times 10^{-1} \text{ cm/sec}$ でありかなり粗い砂に対応するものであるが、それでも発生した間げき水圧は地震の主要動が終ってもしばらく残留する。他方、非常に透水係数の大きい高液砂では間げき水圧は即座に消散し、大きな加速度に対しても安定であった。

viii) 振動数の影響 —— 加振々動数を3種類変化させ実験を行ったので、流動化に対する振動数の相違による影響をみると、データ数が少ないのでそれほど明確ではないが、振動数が高いほど大加速度でも流動化が発生しない傾向が見られた。

7. 結語

海中に建設される飽和斜面の地震時安定性を検討するために、模型を用いた振動実験を行った。これより以下の事が言える。

i) 飽和斜面は乾燥斜面と同様に大規模なすべり破壊は発生せず、斜面が前方に流出し水平部が沈下する。この状態が生ずる台加速度は乾燥状態よりずっと小さい。

ii) 崩壊の主因は間げき水圧の上昇による流動化である。間げき水圧は透水係数、排水距離に影響され消散の程度が異なるが、消散にはかなりの時間がかかる。

iii) 流動化が発生する時の砂の相対密度と台加速度の両にはかなりはっきりした関係がある。

iv) 地震波に対する飽和斜面の安定性は最大加速度の等しい正弦波に対するよりかなり高い。

v) 斜面付近では動的間げき水圧の振巾が水平部より大きかったが、それ以外に加速度、平均間げき水圧には著しい相違はない。

これらの事柄は既に明らかにされているものも多いが、今後実験を進めてゆくための下一阶段としてここに掲げた。さらに実験ケースを追加し定量的な議論にまで進めたいと思う。

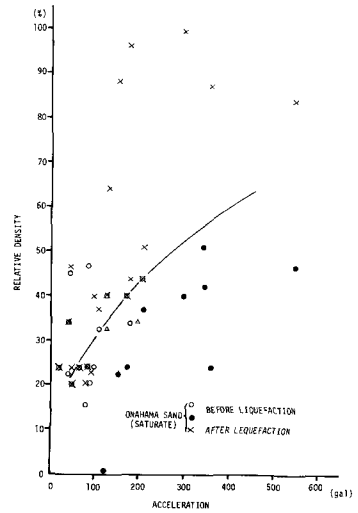


図-6 相対密度と台加速度

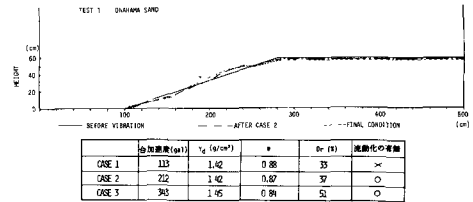


図7 地震波に対する斜面の変形

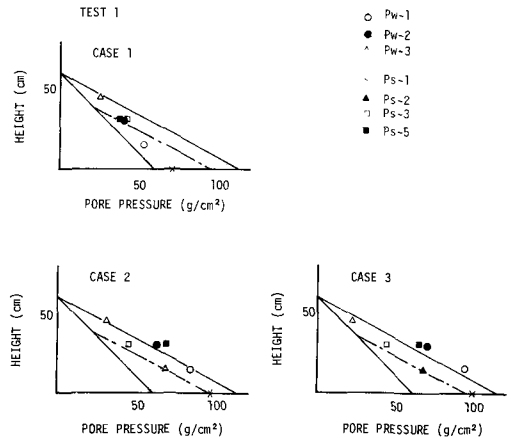


図-8 高さ方向の間げき水圧分布