

振動を受けた飽和砂の安定に関する基礎的研究

東北大学 虎瀬允昭

§1 まえがき

砂地盤は静的な支持力が大きいので 基礎地盤として 優れていると考えられて来た。しかし 砂は振動によって 流動化されやすく、地震時などには、飽和砂層の地盤が 不安定になり、上部構造物が破壊することがある。

このような現象は、新潟地震においても見られた。

振動中の間隙水圧の上昇が 砂の流動化や 噴砂現象の原因と考えられており、この様な間隙水圧の発生に関する理論的実験的研究が、Maslov, Florin, 大原らによって、進められてきた。

著者は、さらに間隙水圧の挙動を総合的に考察するために、図-1 に示す装置を用いて実験を行い、砂層の条件、いろいろ変った場合の間隙水圧や砂粒子の挙動を観察した。

その結果をとりまとめて報告する。

§2 実験装置及び方法

図-1 に示す電気的加振方式を使って、実験水槽中の飽和砂層に鉛直振動を加えた。すなわち 唸周波数発振器内で、所要の振動数の振動電流を作り、これを主増幅器で増やし、加振器に送って、加振器振動部を振動させた。

振動数、加速度は 唸周波数発振器のつまみを回すことによって 簡単に変えられる。

試料は、細砂(粒径 1.2 mm 以下、比重 2.70 、

$D_{10} = 0.26\text{ mm}$ 、 $D_{60} = 0.63\text{ mm}$ 、均等係数 2.4 、透水係数 $1.5 \sim 2.4 \times 10^{-1}\text{ cm/sec}$)を使い、水槽内に深さ 40 cm の飽和砂層を作り、水圧測定には、水圧計を埋設し、電磁オシロに記録させ、砂粒子の動きは 写真撮影で測定した。

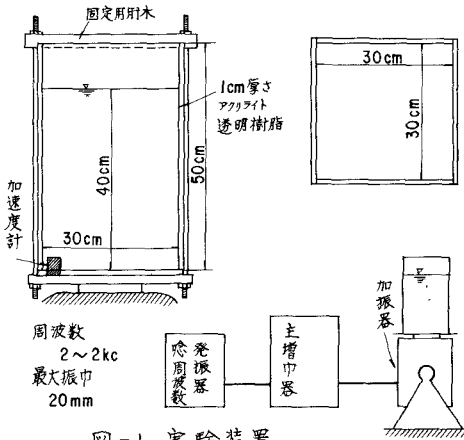


図-1 実験装置

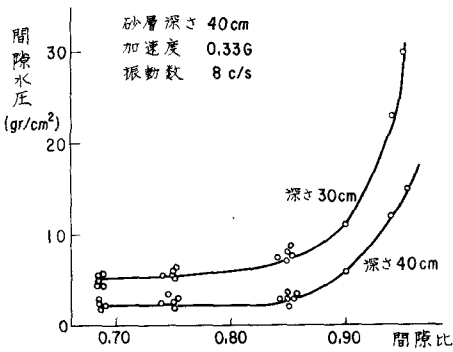


図-2 間隙比と間隙水圧の関係

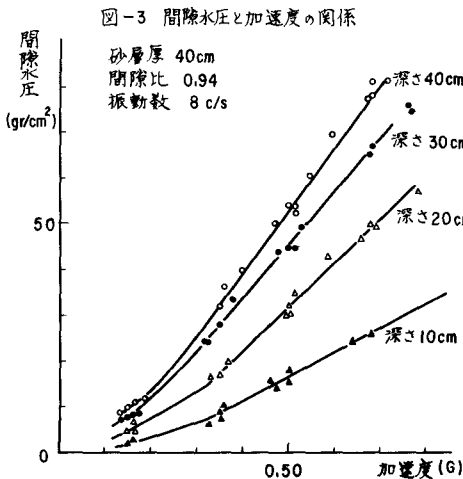


図-3 間隙水圧と加速度の関係

図-4 加速度の増加割合の影響

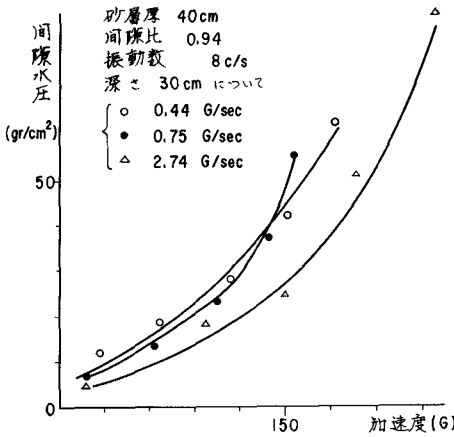


図-5 定常振動時 発生する最大間隙水圧と振動数の関係

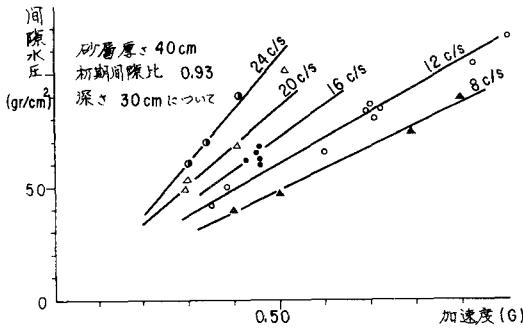


図-6 理論値と実測値 (間隙比の小さい時)

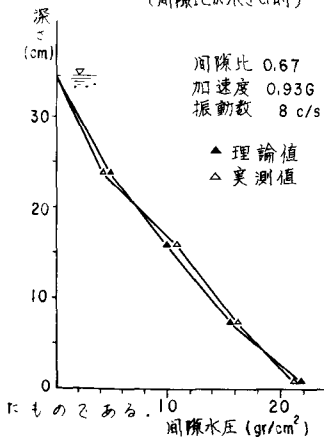


図-7 理論値と実測値 (間隙比の大きい時)

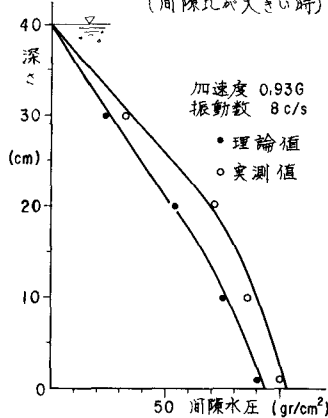


図-8 は この方法で計算した水圧と実測値の時間的変化の様子であり ほぼ一致している。

k_{dyn} は時間的に変化しているらしく、実験によると、振動数、加速度、間隙比の影響をうけると思われる。

§3 実験結果と考察

3-1 振動を受ける飽和砂中の間隙水圧

図-2, 3, 4 は、間隙水圧に、間隙比、加速度、加速度の増加の割合が及ぼす影響を示している。

間隙比が大きいと 間隙水圧が大きいのは、砂粒子間の結合力が小さく、圧密速度も大きいためであり (図-2) 加速度が大きい時には、砂層を圧密しようとする力が大きいため、間隙水圧は大きくなり、(図-3) さらに 加速度の増加の割合が小さい時は、砂層の攪乱が充分進むため、間隙水圧が大きい。(図-4)

図-5 によると、定常振動時に発生する間隙水圧の最大値は 振動数につれて大きくなることが判るが、これは 振

動数の大きい時には 砂粒子のまわりの間隙水が、粒子の近辺で、乱流状態になり、潤滑の効果をなし、圧密速度が高く、砂層の攪乱が深く進むためと思われる。このため、振動時の透水係数は、静止時より、小さくなることの方がかわれる。

図-6 は 定常振動時、間隙比の変化しない場合に 間隙水を圧縮性流体として、間隙水の運

動方程式を作り 解いた理論値と実測値である。この場合に k_{dyn} (振動時の透水係数) と k (静止時の透水係数) の比、 $k_{dyn}/k = 0.5$ とすると、よく一致する。

図-7 は、定常振動時、間隙比の変化する場合、沈下量と時間の関係から、Maslov⁽³⁾ の理論を用いて計算した水圧に、間隙比が変化しない場合の水圧を加えた値を、実測値と比較し

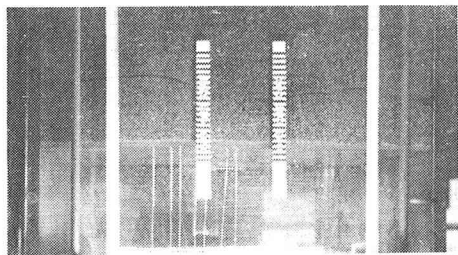
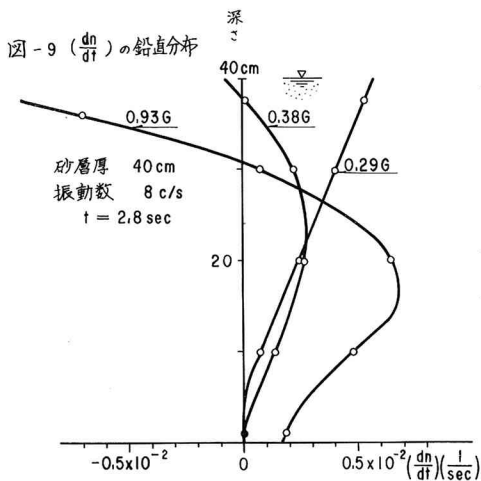
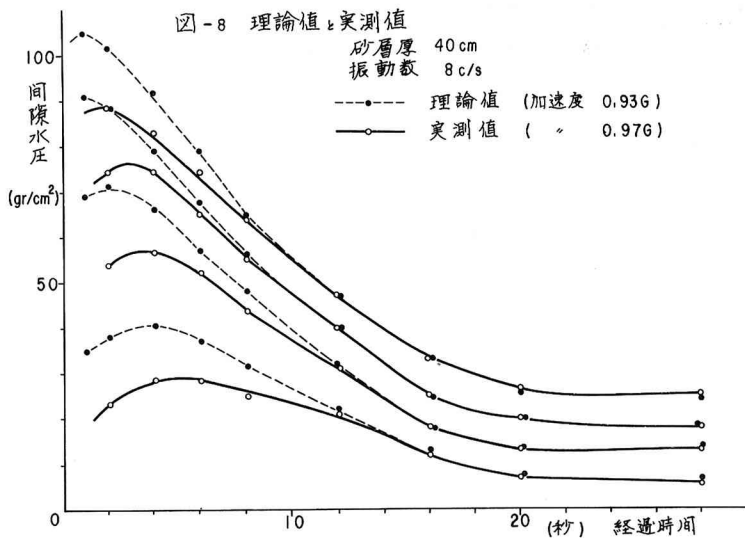


写真-1

造をゆるめられずに、速かに圧密されるので、大きい間隙水圧が発生し、その減衰も急である。
吸水能力を持つものは、もっと速かに圧密させるため、より大きい間隙水圧を発生させると考えられる。

3-2 定常振動をうける飽和

砂中の間隙水圧と粒子の挙動

図-9 は、定常振動をうけてから 2.8 sec 後の ($\frac{dn}{dt}$) の砂層内の鉛直分布である。

加速度が大きい場合、($\frac{dn}{dt}$) は、砂層底部より上に進むに随って増加し、やがて減少して真の値を示す。

($\frac{dn}{dt}$) が最大時から減少し始めるのは、下層からの上昇流の影響が及び始めたのであって、この深さのところに、写真-1 に

示す ground break が生じる傾向がある。

Florin⁽²⁾ は、流動化は表面から下へ進み、やがて回復すると云っているが、この現象は、実験により確かめられた。

(図-10)

図-11, 12 は、振動数、加速度が流動化層の深さに及ぼす影響である。

振動数が大きくなるほど、加速度が大きくなる程、流動化は、深く、長く続く傾向が見られた。

3-3 飽和砂層表面に載荷した場合の間隙水圧

図-13 は、飽和砂層表面に高さ 10 cm の砂利層、粗砂の層を載せた場合と、無載荷の場合との間隙水圧の比較である。

載荷重がある場合の方が、間隙水圧は大きい。

載荷重による粒子間応力の増分が、粒子間応力にくらべて無視できるぐらい小さくなると、間隙水圧は、小さくなり、無載荷の場合と変らなくなる。

載荷重のため、下層からの上昇流によって、粒子構

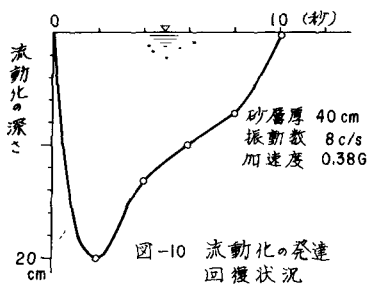


図-10 流動化の発達回復状況

§4 まとめ

1) 間隙比, 加速度, 加速度の増加の割合は, 発生する間隙水圧の大きさに影響する。

2) 振動数が増すにつれて, 定常振動を受けた時に発生する, 間隙水圧の最大値が大きくなるのは, 砂粒子のまわりの間隙水が, 乱流状態になり, 潤滑の役目をするためと思われる。

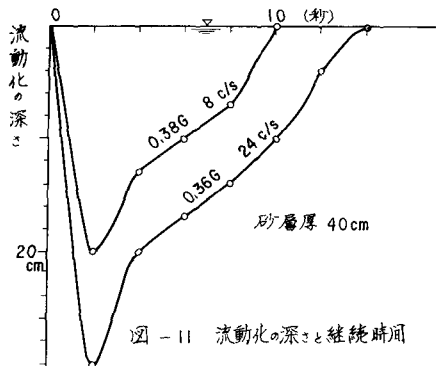


図-11 流動化の深さと継続時間

3) 振動時の透水係数は, 静止時より小さい。

振動を受けて間隙比が変化する場合, 透水係数は, 間隙比, 加速度, 時間によって変化するらしく, 振動を受けても, 砂層の間隙比が変化しない場合は, k_{dyn}/k は約 0.5 であることが, 理論解と実測値の一致からわかる。

4) 流動化する深さ, 及び, その継続時間には 加速度, 振動数が影響する。

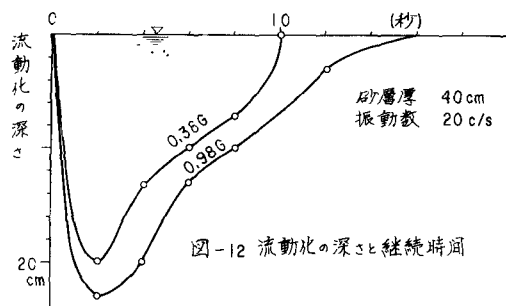


図-12 流動化の深さと継続時間

5) 飽和砂層表面に載荷すると, 無載荷時より, 大きな間隙水圧を発生する帯域が生じるが, 間隙水圧の減衰が急激なことから見ると, 流動化の継続している時間は, 短かく, 吸水能力がある場合は, さらに短くなる。

参考文献

1) 大原資生 “岸壁裏込間隙水による動水圧について” 土木学会論文集 87号 昭和 37. 11.

2) V A Florin and P L Ivanov, U.S.S.R.; “Liquefaction of saturated sandy soil” 5th I C S M.

3) N N Maslov, U.S.S.R.; “Problem of high earth dams density in condition of seismic activity” 第 6 回大ダム会議

図-13 載荷重の影響

