

第II部門

被圧海底地盤内の間隙水圧分布に対する飽和度の影響

京都大学工学部 正会員 酒井哲郎

京都大学工学部 正会員 後藤仁志

ニュージェック 正会員 川崎順二

京都大学工学部 学生員 ○高尾和宏

1. まえがき 被圧海底地盤内の間隙水圧分布は、波浪による海底地盤内の液化化の発生機構を解明する上で重要な鍵である。本研究では、地盤の飽和度が間隙水圧の分布特性に与える影響を実験的に検討する。

2. 実験の概要と実験条件 本研究に用いた実験装置は、図-1に示す閉管路型の同時加減圧可能振動流発生装置である。間隙水圧の計測は、砂層中央部のセンサーにより深さ $z = 0.0, 2.0, 4.0, 7.0, 10.0$ cm の5点で実施した。外力となる変動水圧波形は正弦波とし、周期は $3.0, 6.0, 9.0, 12.0$ sec と変化させ、振幅は $0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0$ m と設定した。地盤条件は間隙比 $e = 0.85, 0.80, 0.75$ の3種類とし、地盤材料には粒径 0.025 cm、比重 2.65 の自然砂を用いた。また、飽和度の影

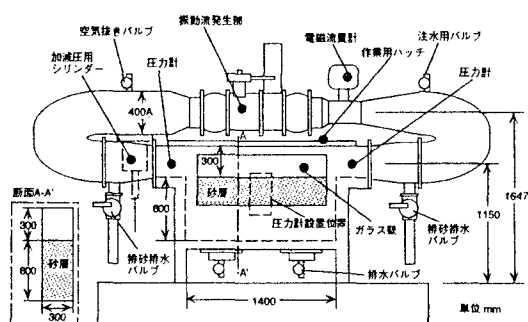


図-1 実験装置

響を見るために、砂層のボーリングを入念にして気泡の排除を行う場合と行わない場合の2種の条件を設定し、飽和度の異なる地盤を対象とした計測を行った。

3. 実験結果 ボーリングを充分に施した地盤に対して間隙比 $e = 0.80$ 、周期 $T = 3$ 秒に固定して、水圧振幅 ΔP を変化させた際の間隙水圧の応答振幅の地盤表面作用水圧に対する比 A_R と位相遅れ θ_R の分布を図-2に示す。なお、図中の実線は酒井ら(1993)が求めた有限厚さの砂層の表面に正弦波水圧変動が作用する場合の間隙水圧変動の近似解、

$$\frac{p_m}{p_0} = \left(1 - \frac{1}{\alpha}\right) \exp\left(-\sqrt{\frac{\pi\alpha}{C}} \frac{z}{l}\right) \cos\left(-\sqrt{\frac{\pi\alpha}{C}} \frac{z}{l} + \omega t\right) + \frac{1}{\alpha} \cos \omega t = A_R \cos(\omega t + \theta_R) \quad (1)$$

$$A_R = \sqrt{\left(1 - \frac{1}{\alpha}\right)^2 e^{2\theta} + \frac{2}{\alpha} \left(1 - \frac{1}{\alpha}\right) e^{\theta} \cos \theta + \frac{1}{\alpha^2}}, \quad \theta_R = \tan^{-1} \left\{ \frac{-\left(1 - \frac{1}{\alpha}\right) e^{\theta} \sin \theta}{\left(1 - \frac{1}{\alpha}\right) e^{\theta} \cos \theta + \frac{1}{\alpha}} \right\} \quad (2)$$

である。ここに、 p_0 ：地盤表面での水圧変動の振幅、 p_m ：深さ z における過剰間隙水圧、 z ：地盤表面を原点とした鉛直下向きの座標、 l ：地盤層厚、 w ：水圧変動の角周波数、 t ：時間軸、 α ：地盤の水圧の伝達のし難さを表すパラメータ、 C ：地盤の排水のし易さを表すパラメータである。2つの無次元パラメータ α 、 C の変化に対する解析解の特性の変化については、 α は大きくなるほど地盤深くの間隙水圧変動の減衰が大きくなり、 C は大きくなるほど間隙水圧変動の減衰は小さくなる。解析解の前提である地盤の連続性が得られていると思われる $\Delta P = 0.5$ m の場合について、実験結果と最もよく適合するように α と C を調整し、善ら(1987)の推奨値を参考に $k/m_v = 20.00 \text{ kgf/s} \cdot \text{cm}$ として地盤の飽和度を逆算すると、 $S_r = 99.97\%$ となる。また、この解析解は地盤表面の圧力で規格化されているので、地盤表面の作用圧力の振幅の変化に依らず一定である。間隙水圧振幅に関しては、地盤表面の作用水圧の変化に対する変化があまり顕著でないが、位相遅れについては作用水圧の振幅が増大するほど、解析解からの乖離が明確となる。このことは地盤の液化化の発生を示唆

Tetsuo SAKAI, Hitoshi GOTOH, Junji KAWASAKI & Kazuhiro TAKAO

しているとも考えられるので、善ら(1987)の液状化判定基準すなわち、変動間隙水圧と有効土被り圧の大小関係により計測点での液状化の発生・非発生を検討した。実験ケースの各測点について液状化判定を行うと、水圧振幅 $\Delta P=0.5\text{m}$ のときには全測点で液状化発生には至らず、水圧振幅 $\Delta P=1.0\text{m}$ のときには深さ $z=4.0\text{cm}$ まで液状化が発生し、水圧振幅 $\Delta P=2.0\text{m}$ のときには深さ $z=7.0\text{cm}$ まで、水圧振幅 $\Delta P=3.0$ 、 4.0m のときには少なくとも深さ $z=10.0\text{cm}$ まで液状化が発生していた。すなわち、水圧振幅が増加すると他の条件が同じならより深い層まで液状化し、液状化が発生した領域では水圧分布が一様化する。これにより、砂層と水との境界線が見かけ上液状化した層の下端まで下がり、解析解の座標原点を液状化した層の下端まで下げたような位相差

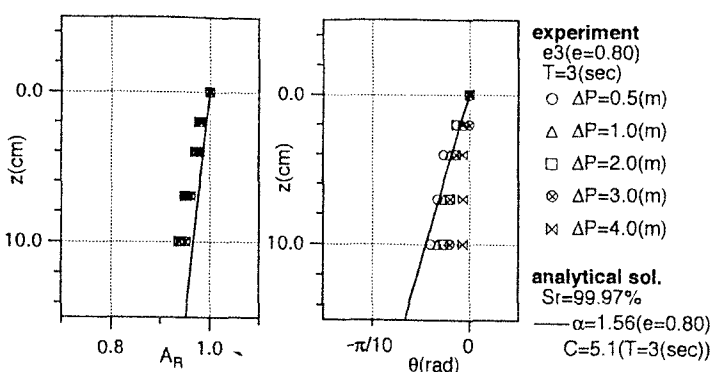


図-2 地盤表面作用水圧の変化に対する間隙水圧分布の変化 ($Sr=99.97\%$)

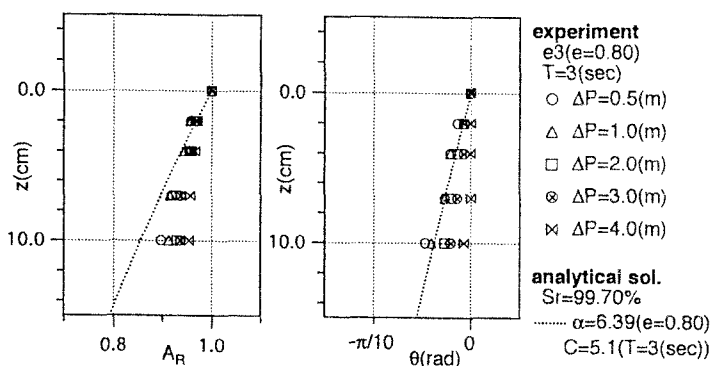


図-3 地盤表面作用水圧の変化に対する間隙水圧分布の変化 ($Sr=99.70\%$)

の分布傾向が見られる。一方、同一の間隙比・周期に対して、ボーリングを施さない場合の間隙水圧の応答振幅の地盤表面作用水圧に対する比 A_R と位相遅れ θ_R の分布を図-3に示す。同様に、図中の点線は酒井ら(1993)の解析解であり、飽和度を逆算すると、 $Sr=99.70\%$ となる。間隙水圧振幅の図を見ると、地盤表面の作用水圧の振幅が大きいものほど減衰し難くなり、解析解から乖離する傾向にある。飽和度の高い先のケースでは間隙水圧振幅の分布は ΔP にそれほど顕著に応答しなかったが、このケースでは ΔP に対する依存性が明確であり、これが飽和度によって大きく異なる点である。その理由として、水圧振幅が増加すると飽和度が低い場合には地盤内残留気泡により地盤の圧縮性が増大して、解析解の前提である砂地盤の非圧縮性が成立しなくなることが、間隙水圧振幅の減衰傾向の変化と関係していると思われる。位相遅れに関して飽和度の影響が顕著でないのは、残留気泡の地盤の透水性に及ぼす影響がそれほど大きくないためだと推測される。

4.あとがき 本研究では、被圧海底地盤内の間隙水圧分布に対する飽和度の影響を、実験結果と解析解を比較しながら議論し、飽和の大小に関わりなく、地盤表面の作用水圧と地盤内間隙水圧には応答遅れが存在し、これが地盤の液状化の駆動力となっていることがわかった。また、間隙水圧振幅の減衰は飽和度が低い場合に顕著で、間隙内の微小気泡が地盤の圧縮性に影響を及ぼしていることがわかった。

参考文献 酒井・間瀬・山本(1993): 水圧変動による地盤表面付近の間隙水圧変動, 第40回海岸工学講演会論文集, pp.586-590. ; 善・山崎・渡辺(1987): 海底地盤の波浪による液状化および高密度化, 運輸省港湾技術研究所報告, 第26巻, 第4号, pp.125-180.