

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

鴻池組 森川 淳

京都大学工学部 学生員 ○川崎順二

1. まえがき 海洋構造物の沈下・埋没についての基礎的なメカニズムの解明を目的として、著者らはこれまで水圧の変動に対する地盤内間隙水圧の変動特性についての実験を続けてきたが、ここでは地盤表面付近の間隙水圧分布特性に関して著者らの解析解の適用性を種々の条件下での実験結果について検討し、解の誘導の際の仮定と解の適用範囲について考察を加える。

2. 実験の概要と実験条件

実験装置は図-1に示すような砂層水槽の両端にプロペラと加減圧シリンダーを取り付けた閉管路で結んだもので、コンピュータ制御による振動流と水圧変動作用下の海底地盤を模擬することが可能である。加減圧シリンダーは油圧制御され、砂層水槽の側方に取り付けられた水圧計により検出された作用圧力に基づくフィードバック制御により、任意の水圧変動波形が再現可能である。間隙水圧の計測は3個1組のセンサーで深さ $z=0.0, 5.0, 8.0\text{cm}$ の3点で実施した。水圧変動は外力の変動波形を単純化して議論の焦点を明確なものとするため正弦波形の圧力変動を対象とした。正弦波の周期は3.0, 6.0, 9.0, 12.0secと変化させ、水圧変動の振幅は0.5mから4.0mまで0.5m毎に設定した。地盤条件は間隙比 $e=0.85, 0.80, 0.75$ の3種類で行った。砂地盤には粒径 $d=0.025\text{cm}$ 、比重2.65の自然砂を用いた。また、実験の前後で地盤試料を採取して間隙比を測定し、実験の反復過程で砂地盤の締め固めが進行した場合には適度なボイリングを施して、各ケースにおける地盤の質の保持に努めた。

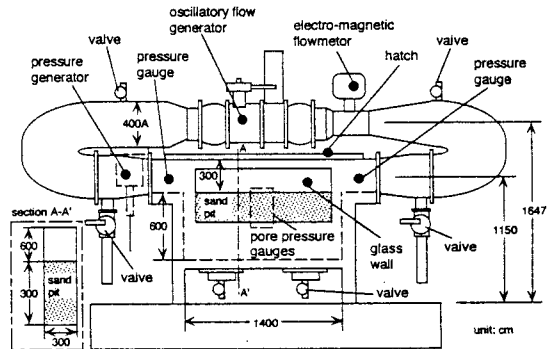


図-1 実験装置

変動を対象とした。正弦波の周期は3.0, 6.0, 9.0, 12.0secと変化させ、水圧変動の振幅は0.5mから4.0mまで0.5m毎に設定した。地盤条件は間隙比 $e=0.85, 0.80, 0.75$ の3種類で行った。砂地盤には粒径 $d=0.025\text{cm}$ 、比重2.65の自然砂を用いた。また、実験の前後で地盤試料を採取して間隙比を測定し、実験の反復過程で砂地盤の締め固めが進行した場合には適度なボイリングを施して、各ケースにおける地盤の質の保持に努めた。

3. 解析解 著者ら(1993)が求めた有限厚さの砂層の表面に正弦波型水圧変動が作用する場合の間隙水圧変動の近似解は次式の通りである。

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

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にくさを表すパラメータ、 C ：地盤の排水のしやすさを表すパラメータであり、諸量との関係は、

$$\alpha = 1 + \frac{nm_w}{m_v} \left[m_w = m_{w0} S_r + \frac{(1-S_r)}{p_{ng}} \right], \quad C = \frac{C_v T}{l^2} = \frac{k}{\gamma_w m_v l^2} \quad (2)$$

である。ここに、 n ：地盤の間隙率、 m_v ：土粒子骨格の体積圧縮係数、 m_w ：間隙水の圧縮率、 m_{w0} ：水温 15°C

Tetsuo SAKAI, Hitoshi GOTOH, Jun MORIKAWA & Junji KAWASAKI

での水の圧縮率, S_r : 地盤の飽和度, P_{mg} : 静水圧, $C_v(k/\gamma_w m_v)$: 圧密係数, k : 地盤の透水係数, γ_w : 水の単位体積重量, T : 水圧変動の周期である。本研究では, α を支配する物理量のうち, 測定の難しい S_r と m_v のみを実験結果と解析解との適合性を考慮して定めることとした。具体的には, S_r と m_v を調整して間隙比 $e=0.85$, 周期 3sec , 水圧変動振幅 0.5m の条件の実験結果と解析解のフィッティングを行い, $S_r=99.7\%$, $k/m_v=20$ を得た。

4.実験結果 間隙比 $e=0.80$ において水圧変動の振幅を 0.5m に固定して周期を変化させた際の間隙水圧の応答振幅を, 解析解と共に図-2に示す。周期の減少に伴い圧力振幅の減衰が増加する様子が認められ, 解析解は実験結果を良好に説明している。図-3は異なる地盤条件において周期 $T=3\text{sec}$, 水圧変動振幅 0.5m で実験を行った際の間隙水圧の応答振幅を示したものである。実験結果より地盤が密になれば圧力振幅の減衰は大きくなる様子が認められ, この傾向も解析解により良好に説明される。以上のいずれの場合にも解析解との一致は良好であり, 水圧振幅 0.5m においては, 解析解の導出の前提条件である地盤の均質性が成立していることが分かる。次に, 図-4は間隙比 $e=0.80$, 周期 $T=3\text{s}$ として, 水圧変動振幅を変化させた際の地盤内間隙水圧分布を示したものである。解析解では地盤表面の作用水圧に関して線形であるので, 間隙水圧振幅と位相差の分布は水圧振幅に依存しないが, 実験結果は水圧振幅の増加と共に解析解との明確な乖離を示すようになる。地盤条件と周期が同一であれば, 水圧振幅の増加に伴って地盤の液状化が生じやすくなり, 液状化の発生により土粒子間の結合が切断されることにより地盤骨格構造が変化して解析解導出の前提が成立しなくなる。実験結果と解析解の乖離はこのことと関係すると考えられる。

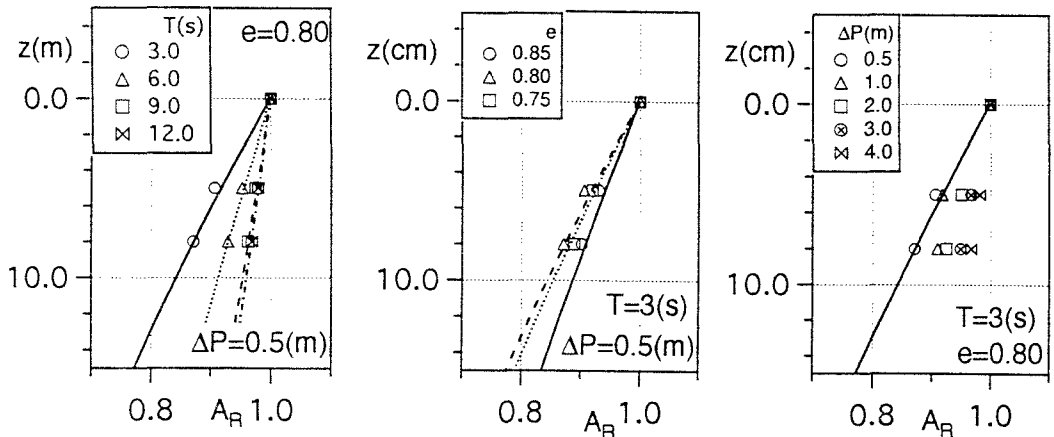


図-2 間隙水圧振幅(周期変化) 図-3 間隙水圧振幅(間隙比変化) 図-4 解析解からの乖離

5.あとがき 本研究では, 計測結果に基づき既存の地盤内間隙水圧分布の解析解との比較を行い, 圧力変動振幅と著者らの解析解の適用限界の関係について議論を行った。その結果, 著者ら(1993)の解析解は, 水圧変動周期および間隙比を変化させた際の地盤内間隙水圧の振幅の実験結果とともに良好に説明した。また, 著者らの解析解は水圧振幅の増加と共に実験結果との明確な乖離を示したが, これは地盤の液状化により地盤の均質性保持の仮定が成立しなくなったことと関係すると考えられる。今後はさらに計測を進めて, 解析解の適用範囲を明確にし, 解析解と実験値とが不一致を示す条件下での地盤の挙動に関して詳細な検討を行いたい。

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