

岡山大学環境理工学部 正会員 名合 宏之
 岡山大学環境理工学部 正会員 前野 詩朗
 建設技術研究所 正会員 ○平井 康隆
 日建技術コンサルタント 正会員 佐澤 昌丈

1. はじめに 著者らは、洪水時や波浪時に発生する変動水圧の作用により砂地盤の液状化現象が発生することを明らかにしている¹⁾。また、この液状化に影響する最も重要な因子として地盤間隙内にわずかに存在する空気を挙げている。したがって、現地地盤における空気含有量を知ることは液状化予測あるいはその防止対策を立てるうえで重要な課題である。本研究は、その地盤内の空気量を推定するために、鉛直1次元砂層モデルを用いた同一砂層条件下で、変動水圧実験および音響伝播実験を行い、それにより得られる変動水圧伝播特性および音響伝播特性から砂地盤内の空気含有率を2通りの方法で推定し、空気含有率の実験値と比較・検討するものである。

2. 実験方法および伝播特性 実験は、図1に示すようなスチールパイプに豊浦標準砂を詰めた高飽和状態の砂層モデル(間隙率0.42)を用いて行った。まず変動水圧実験を行い、その後同一砂層条件下で音響伝播実験を行った。

(a) 変動水圧実験は、水タンク上部から変動空気圧を発生させ、砂層表面に振幅30cm、周波数1Hzの変動水圧を約2分間作用させる。その水圧変動分をPt.1～Pt.6に取り付けた圧力変換器により測定する。図2はその変動水圧開始第2波目をプロットしたものである。これより、変動間隙水圧は深さ方向に対して位相

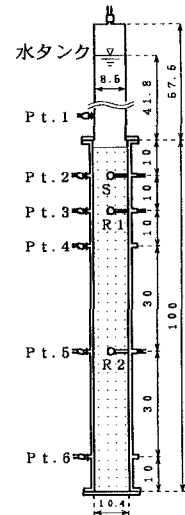


図1 実験装置図 単位:cm

の遅れを伴いながら減衰することがわかる。図3には振幅減衰比、図4には位相の遅れの実験値および近似式を示す。近似式に含まれる D は砂層の高さ、 f は周波数、 a_0, τ は無次元定数であり最小2乗法により算出した。ただし、Pt.6での値は含めていない。これらより、深さ方向に対して振幅減衰比は指数関数的に減少し、位相の遅れは比例的に増加していることがわかる。

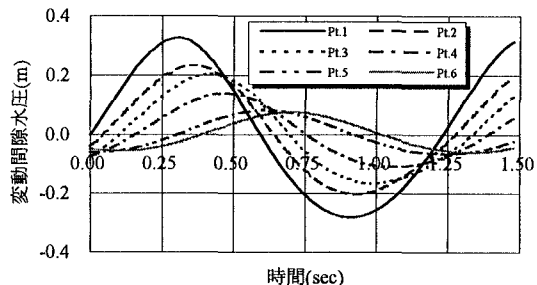


図2 変動間隙水圧図(第2波目)

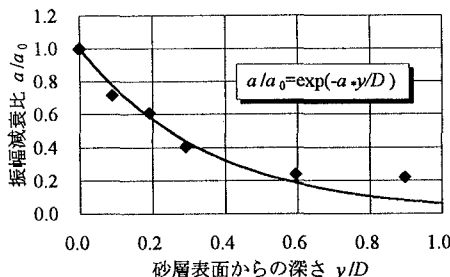


図3 振幅減衰比

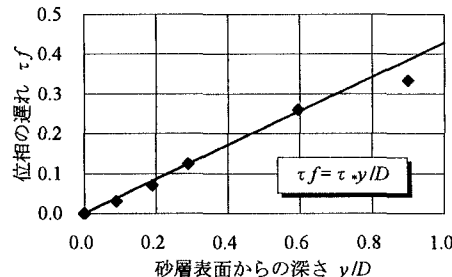


図4 位相の遅れ

海底地盤、液状化、変動間隙水圧、音響伝播、空気含有率

〒700 岡山市津島中2-1-1 岡山大学環境理工学部環境デザイン工学科 TEL 086-251-8151

(b) 音響伝播実験は、音波の伝播性を良くするために水タンク上部から空気圧を作用させることにより砂層内の空気量を変化させた状態で、ハイドロフォン(S:発信器, R1,R2:受信器)により音波の発信および受信を行った。音波は、周波数 2, 4, 6, 8kHz の正弦波を 1 波発信させた。図 5 はその結果得られた音響伝播図の 1 例である。そのデータを用い、音波の伝播速度の実験値を $V_e = (R_2 - R_1) / \tau$ により算出した。ここに、 $(R_2 - R_1)$ はレシーバー 1, 2 間の距離である。 τ はレシーバー 1 と 2 の相互相関の最大となる時間遅れとした。図 6 は伝播速度の実験値である。これより、周波数が大きくなるにつれて、加圧量が大きくなる(空気量が小さくなる)につれて伝播速度は速くなる傾向にあることがわかる。さらに、音響伝播実験では加圧量と水位低下量の関係からボイルの法則が成立するものとして、砂層内の空気含有率の実験値を算出した。この実験値は次に述べる解析値との比較に用いる。

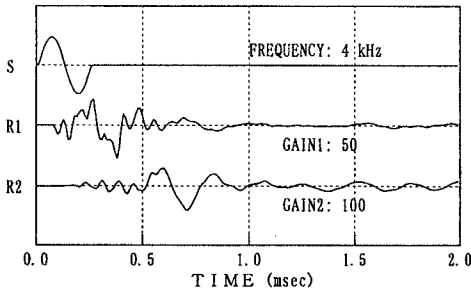


図5 音響伝播図(加圧量 5.0atm)

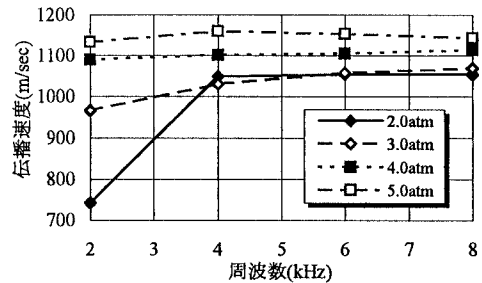


図6 伝播速度の実験値

3. 地盤定数の推定法 (a) 変動間隙水圧 H は、変動水圧伝播特性である振幅減衰および位相の遅れを用いて、 $H(y, t) = a_0 \exp(-a_y y / D) \sin 2\pi f(t - \tau_y y / Df) + \delta H$ のように表される。ここに、 δH は基線補正值である。したがって、過剰間隙水圧 h' は、 $h'(y, t) = a_0 \{ \exp(-a_y y / D) \sin 2\pi f(t - \tau_y y / Df) - \sin 2\pi f t \}$ となる。これらの式と次に示す砂層内水圧分布基礎式¹⁾を用い、最小 2 乗法により正規方程式を立て、空気含有率 λ_a および砂層の圧縮率 α を推定した。

$$\left\{ \beta \lambda + \left(\frac{1}{\rho_f g h + P_0} - \beta \right) \frac{\rho_f g h_0 + P_0}{\rho_f g h + P_0} \lambda_a + \alpha \right\} \frac{\partial h'}{\partial t} + 2\pi f a_0 \left\{ \beta \lambda + \left(\frac{1}{\rho_f g h + P_0} - \beta \right) \frac{\rho_f g h_0 + P_0}{\rho_f g h + P_0} \lambda_a \right\} \cos 2\pi f t = \frac{k}{\rho_f g} \frac{\partial^2 h'}{\partial y^2}$$

ここに、 k は透水係数、 P_0 は大気圧、 λ は間隙率、 ρ_f は水の密度、 β は水の圧縮率、 g は重力加速度である。

(b) Biot の理論に基づいた音波の伝播速度の近似解²⁾ $V = \sqrt{(2\pi f)^2 / \text{Re}(l^2)}$ と実験値が等しいとおくことにより、空気含有率 λ_a の推定を行った。ただし、砂層の圧縮率は変動水圧による解析値を用いた。ここに、 l は音波の角波数であり様々な地盤定数により表される。空気含有率は見かけの水の圧縮率 β を飽和度 S で表現することにより考慮した。ここで、見かけの水の圧縮率は間隙圧 P を用いて $\beta = S\beta + (1-S)/P$ となる。

4. 結果および考察 表 1 に変動水圧、表 2 に音響伝播による解析値と空気含有率の実験値を示す。変動水圧による空気含有率の解析値は実験値と一致し、解析の妥当性が示された。しかし、音響伝播による空気含有率の解析値は実験値よりも小さな値となった。紙面の都合上掲載していないが、伝播速度の近似解の特性を数値解析的に検討した結果、微量な空気量の範囲で急激に変化することがわかり、音響伝播による地盤定数の推定には適さないと思われる。

【参考文献】 1) 名合宏之: 砂層内水圧変動と液状化, 水工学シリーズ 82-A-9, 土木学会水理委員会, 1982.

2) A.Turgut, T.Yamamoto: Measurements of acoustic wave velocities and attenuation in marine sediments, J.Acoust.Soc. Am., Vol.87, No.6, pp.2376-2383, 1990.

表 1 変動水圧による解析値

解析値		実験値
空気含有率(%)	砂層の圧縮率(m ² /N)	空気含有率(%)
0.506	1.070×10^{-9}	0.508

表 2 音響伝播による解析値(周波数 4kHz)

	解析値	実験値
加圧量(atm)	空気含有率(%)	空気含有率(%)
2.0	0.061	0.173
3.0	0.097	0.130
4.0	0.065	0.104
5.0	0.054	0.087