

変動水圧伝播計測による地盤定数の推定法

|                |    |        |
|----------------|----|--------|
| 岡山大学環境理工学部     | 正員 | 名合 宏之  |
| 岡山大学環境理工学部     | 正員 | 前野 詩朗  |
| (株)建設技術研究所     | 正員 | 平井 康隆  |
| (株)日建技術コンサルタント | 正員 | ○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<sup>1)</sup>。また、この液状化に影響する最も重要な因子として砂地盤内にごく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。そこで本研究は、鉛直1次元砂層模型を用いて変動水圧実験を行い、得られた変動水圧伝播特性から未知な地盤定数である空気含有率および砂層の圧縮率を推定し、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

実験には、豊浦標準砂を用いた。砂層は、あらかじめ図1に示す鉛直1次元の試料容器に水を入れておき、上部から乾燥砂を自由落下させ、試料容器側部からハンマーで振動を与えることにより均質な砂層を形成した。ここで、砂層は間隙率0.41と0.45の2通りとした。砂層形成後、変動水圧(振幅30cm、周波数1Hz)を約2分間作用させ、その時の水圧変動をPt.1～Pt.6に取り付けた圧力変換器により測定する。

図2は変動水圧開始後2波目での変動間隙水圧をプロットしたものの1例(間隙率0.41)である。この図より、変動間隙水圧は位相の遅れを伴いながら振幅減衰していることがわかる。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曲線を示す。これらの図より、振幅は深さ方向に対して指数関数的に減衰し、位相の遅れは深さ方向に対して比例的に増加していることがわかる。そこで本研究では、振幅減衰比および位相の遅れを以下のように近似した。

$$a/a_0 = \exp(-a_*y/D) \quad \cdots(1)$$

$$\tau f = \tau_* y/D \quad \cdots(2)$$

ここに、 $a_0$ は水中部(Pt.1)での振幅、 $y$ は砂層表面からの深さ、 $D$ は砂層厚、 $f$ は変動周波数、 $a_*, \tau_*$ は無次元定数であり最小2乗法により算出した。ただし、境界の影響を受けるPt.6での実験データは用いていない。さらに、変動水圧実験終了後、水タンク上部から1～5kgf/cm<sup>2</sup>の空気圧を段階的に作用させ、この時の水位の低下量を計測することより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する。この実験値は解析値との比較に用いる。

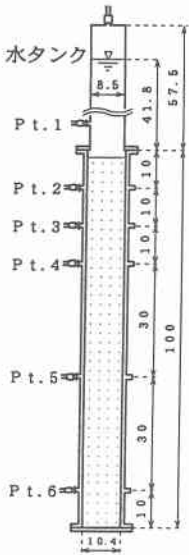


図1 実験装置図

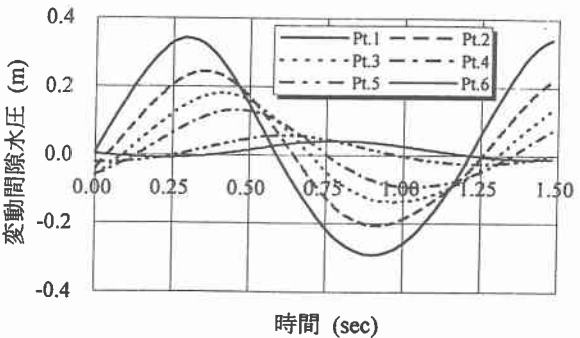


図2 変動間隙水圧図

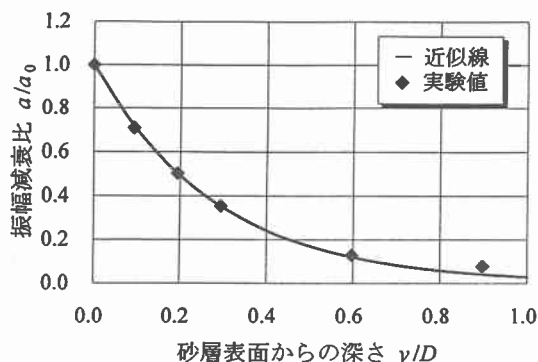


図3 振幅減衰比の実験値

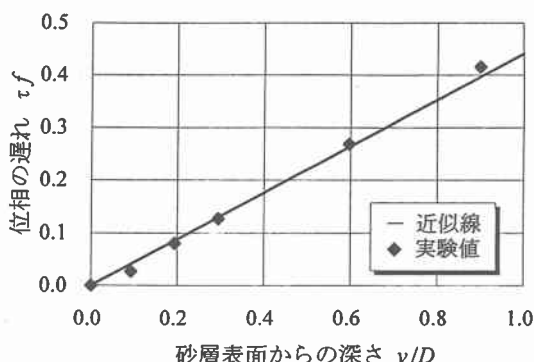


図4 位相の遅れの実験値

### 3. 解析方法

変動水圧実験における実験結果から変動間隙水圧分布を次式のように仮定できる。

$$H(y, t) = a_0 e^{-a_* y/D} \sin 2\pi f(t - \tau_* y/Df) + \delta H \quad \cdots(3)$$

ただし、 $\delta H$ は基準補正值である。砂層内の間隙水圧  $h$  は  $\delta H$  を考慮して次式のように表される。

$$h(y, t) = h_0 + a_0 \sin 2\pi f t + y + h'(y, t) + \delta H \quad \cdots(4)$$

ここに、 $h_0$ は平均水圧水頭、 $h'$ は過剰間隙水圧である。よって変動間隙水圧  $H$  は次のように表される。

$$H(y, t) = a_0 \sin 2\pi f t + h'(y, t) + \delta H \quad \cdots(5)$$

式(3)および式(5)が等しいことより過剰間隙水圧分布  $h'$  は式(6)のようになる。

$$h'(y, t) = a_0 \{ e^{-a_* y/D} \sin 2\pi f(t - \tau_* y/Df) - \sin 2\pi f t \} \quad \cdots(6)$$

砂層内水圧伝播基礎式を式(7)に示す。

$$\left\{ \beta \lambda + \left( \frac{1}{\rho g h + P_0} - \beta \right) \frac{\rho g h_0 + P_0}{\rho g h + P_0} \bar{\lambda}_a + \alpha \right\} \frac{\partial h'}{\partial t} + 2\pi f a_0 \left\{ \beta \lambda + \left( \frac{1}{\rho g h + P_0} - \beta \right) \frac{\rho g h_0 + P_0}{\rho g h + P_0} \bar{\lambda}_a \right\} \cos 2\pi f t = \frac{k}{\rho g} \frac{\partial^2 h'}{\partial y^2} \quad \cdots(7)$$

ここに、 $k$ は透水係数、 $P_0$ は大気圧、 $\lambda$ は間隙率、 $\rho$ は水の密度、 $\beta$ は水の圧縮率、 $g$ は重力加速度である。これらの式を用いて、未知地盤定数である空気含有率  $\bar{\lambda}_a$  および砂層の圧縮率  $\alpha$  について整理し、最小2乗法により各測定点(Pt.2～Pt.5)について連立線形方程式を立てる。それらの式を重ね合わせ、連立1次方程式を解くことにより地盤定数の推定を行った。

### 4. 結果および考察

表1には、変動水圧伝播特性を用いて得られる地盤定数の解析値および空気含有率の実験値を示す。これより、空気含有率および砂層の圧縮率の解析値は従来から用いられている推定値に近い値を示した。また、空気含有率の解析値と実験値は比較的一致することがわかり、解析方法の妥当性がいえる。しかし、本解析では透水係数を既知 ( $1.5 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ ) としたが、透水係数も空気含有率および砂層の圧縮率と同様に変動水圧伝播に大きな影響を与える地盤定数である。そのため、透水係数によって解析値は大きく左右される可能性もあり、今後、透水係数も未知数として解析を行う必要がある。

【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。

表1 解析値および実験値の比較

|        | 間隙率  | 解析値      |                                  | 実験値      |
|--------|------|----------|----------------------------------|----------|
|        |      | 空気含有率(%) | 砂層の圧縮率 ( $\text{m}^2/\text{N}$ ) | 空気含有率(%) |
| Case-1 | 0.41 | 0.676    | $6.160 \times 10^{-9}$           | 0.886    |
| Case-2 | 0.45 | 0.591    | $4.529 \times 10^{-9}$           | 0.730    |