

高飽和砂層中の音響伝播特性に与える地盤定数の影響

岡山大学環境理工学部
岡山大学環境理工学部
(株) ニュージェック
岡山大学大学院

正 員 名合 宏之
正 員 前野 詩朗
正 員 曾根 照人
学生員 ○平井 康隆

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たてるうえで重要な課題である。しかし、現地地盤内における空気含有量の測定方法は未だ確立されていない。本研究は、音響伝播実験による高飽和砂層中の空気含有率測定のための基礎として、音波の伝播速度および固有減衰に影響を与える地盤定数等について理論的に検討するものである。

2. 音響伝播の理論式および解析方法

多孔質弾性体中を伝わる音波の伝播速度 V および固有減衰 Q^{-1} は次式のように与えられる²⁾。

$$V^2 = (2\pi f)^2 / \text{Re}(l^2), \quad Q^{-1} = -\text{Im}(l^2) / \text{Re}(l^2) \quad (1)$$

式(1)の l は音波の波数であり、次式のように与えられる。

$$l^2 = (2\pi f)^2 (\rho m' - \rho_f^2) / (Hm' + Mp - 2C\rho_f) \quad (2)$$

ここに、 $m' = m - i(\rho_f g / 2\pi f k)$, $m = (1 + \alpha)\rho_f / \lambda$, $\rho = (1 - \lambda)\rho_r + \lambda\rho_f$

$$H = (K_r - K_s)^2 / (D_r - K_s) + K_s + \frac{4}{3}\mu, \quad C = K_r(K_r - K_s) / (D_r - K_s)$$

$$M = K_r^2 / (D_r - K_s), \quad D_r = K_r [1 + \lambda(K_r / K_f - 1)]$$

である。ここで、 K_r :土粒子の体積弾性係数、 K_s :骨格構造の体積弾性係数、 K_f :間隙流体の体積弾性係数、 μ :せん断弾性係数、 λ :間隙率、 m' :仮想質量、 ρ :土水混合体の密度、 ρ_r :土粒子の密度、 ρ_f :水の密度、 f :周波数、 k :透水係数、 g :重力加速度、 α :骨格構造の付加質量係数である。非線形性を考慮しているため、 K_s と μ は複素数となり、それぞれの虚数部は粒子間摩擦などのエネルギー減衰を表す。また、地盤内に含まれる微量な空気を考慮すると、 K_f は水の圧縮率 β 、空気含有率 λ_a 、飽和度 S および間隙圧 P を用いて次式のように表される。

$$1/K_f = S\beta + (1 - S)/P, \quad 1 - S = \lambda_a / \lambda \quad (3)$$

さらに、 μ は K_s とポアソン比 n を用いて、 $\mu = K_s / \left(\frac{2}{3} \cdot \frac{1+n}{1-2n} \right)$ と表される。

これらの式を用いて、周波数、間隙率、空気含有率、透水係数および骨格構造の体積弾性係数を変化させ、それらが伝播速度および固有減衰に与える影響について検討した。その他のパラメータは常に一定とし、 $P = 1$ (気圧)、 $K_r = 3.6 \times 10^{10}$ (N/m²)、 $\rho_r = 2.629 \times 10^3$ (kg/m³)、 $\rho_f = 1.0 \times 10^3$ (kg/m³)、 $\beta = 4.54 \times 10^{-10}$ (m²/N)、 $n = 0.3$ 、 $\alpha = 0.25$ および $g = 9.8$ (m/s²)とした。

3. 結果および考察

解析の結果、伝播速度に大きな影響を与える因子として、空気含有率および骨格構造の体積弾性係数が挙げられる(図1および図2参照)。空気含有率については、空気含有率0%~0.1%にかけて伝播速度は急激に減少し、空気含有率がさらに大きくなるとほぼ一定になる。骨格構造の体積弾性係数(K_s)については、 K_s の増加とともに伝播速度は著しく増加する。紙面の都合上掲載していないが、その他にも透水係数が伝播速度に与える影響が次いで大きかった。また、固有減衰に影響を与える因子として、間隙率および透水係数が挙げられる(図3および図4参照)。間隙率については、間隙に空気が存在しない場合にはほとんど影響しないが、微量な空気が存在すると間隙率の増加とともに固有減衰は増加する。透水係数については、0.015cm/s

付近にピークがあり、それより大きくなると固有減衰は徐々に小さくなっている。その他にも、周波数(図6参照)および空気含有率の影響が挙げられる。以上のことより、透水係数および周波数が固有減衰に大きな影響を与えていることがわかった。そこで、透水係数をパラメータとして、伝播速度および固有減衰と周波数との関係を示したのが図5と図6である。この図より、周波数の増加により固有減衰はある値まで増加し、それをピークに以後は徐々に減少し、そのピークにおいて伝播速度は大きな変化を示すことがわかる。また、透水係数が小さいほど固有減衰のピークは周波数の大きい値で現れることがわかる。

以上のことより、高飽和砂層中のごくわずかな空気が伝播速度および固有減衰に大きな影響を与えていることが明らかにされた。さらに、伝播速度には骨格構造の体積弾性係数、固有減衰には透水係数および周波数が大きな影響を与えていることが明らかにされた。

辞謝 本研究は、文部省科学研究費国際学術研究(共同研究)No. 04044121(代表者:名合宏之)の一環として行われたことを付記する。

【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、1982
- 2) A. Turgut and T. Yamamoto : Measurements of acoustic wave velocities and attenuation in marine sediments, J. Acous. Soc. Am. 87, pp. 2376-2383, 1990.

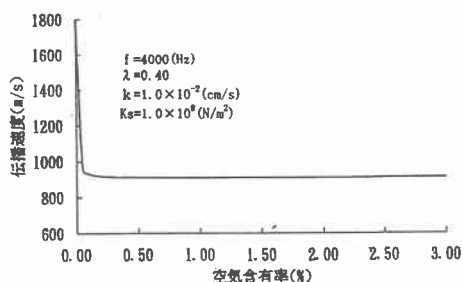


図1 伝播速度と空気含有率

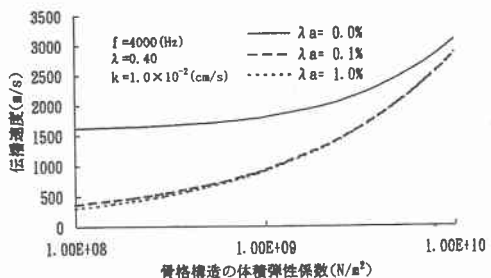


図2 伝播速度と骨格構造の体積弾性係数

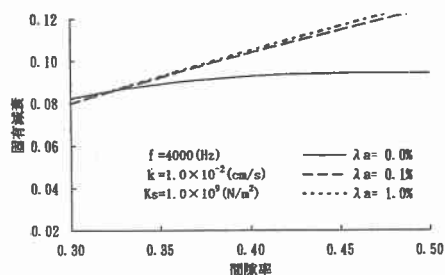


図3 固有減衰と間隙率

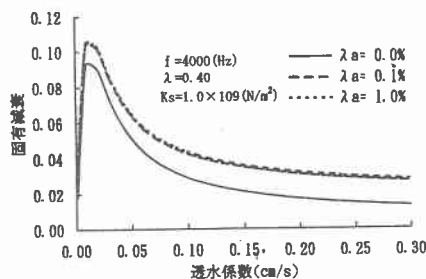


図4 固有減衰と透水係数

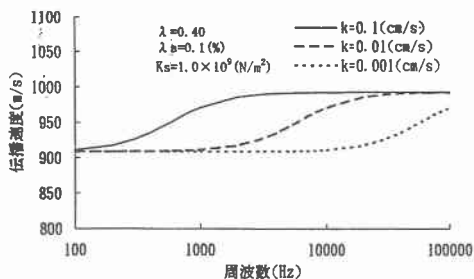


図5 伝播速度と周波数

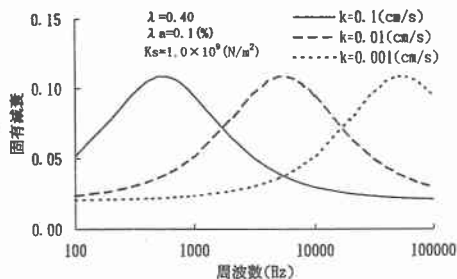


図6 固有減衰と周波数