

II-357

水中砂層の構造骨格の体積弾性係数の特性に関する考察

岡山大学大学院	学生員	曾根 照人
岡山大学工学部	正 員	名合 宏之
岡山大学工学部	正 員	前野 詩朗

1. はじめに 著者らは、砂地盤の液状化現象が洪水時や波浪時に発生する変動水圧の作用により発生することを明らかにしてきている¹⁾。また、この液状化に影響する最も重要な因子として、地盤内に存在するごくわずかの空気量を挙げている。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、未だに現地地盤内における空気含有量の測定方法は確立されていない。本研究は、音波を用いて現地の水中砂地盤内の空気含有量を計測する方法を確立するための基礎として、音波の伝播速度に大きな影響を与える構造骨格の弾性係数の特性を検討するものである。

2. 音響伝播の理論式および実験方法 解析に用いる多孔質弾性体中を伝わる音波の速度 V は次式で与えられる²⁾。

$$V^2 = \text{Re} \left[\frac{(Hm' + Mp - 2C\rho_f)}{(\rho m' - \rho_f^2)} \right] \quad \dots\dots (1)$$

$$\begin{aligned} \text{ここに、} \quad H &= (K_r - K_s)^2 / (D_r - K_s) + 4/3\mu, \quad M = K_r^2 / (D_r - K_s), \\ C &= K_r(K_r - K_s) / (D_r - K_s), \quad D_r = K_r [1 + \lambda(K_r / K_f - 1)] \end{aligned}$$

K_r : 土粒子の体積弾性係数, K_s : 構造骨格の体積弾性係数, K_f : 間隙流体の見かけの体積弾性係数, μ : せん断弾性係数, ν : ポアッソン比, λ : 間隙率, m' : 仮想質量密度, p および ρ_f 土水混合体および水の密度である。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、 K_f は、地盤内に含まれる微量な空気を考慮すると、水の圧縮率 β , 空気含有率 λ_a , 絶対圧 P および飽和度 S を用いて次式のように表される。

$$1/K_f = S\beta + (1-S)/P, \quad 1-S = \lambda_a/\lambda \quad \dots\dots (2)$$

実験は、図1に示すような内径10cmの鉄管に豊浦標準砂を詰めた実験装置を用いて行った。音源と受信機2台を設置し、音源より周波数2, 4, 5, 8 kHzの正弦波を一波発生させ受信機により音波を受信し、デジタルレコーダにサンプリング周波数100kHzで記録した。また、コンプレッサーにより、空気タンク内の圧力を約9気圧まで上昇させ、圧力調整用のトランスフォーマーにより水タンクの水面上に1～6気圧の空気圧を作らせ砂層内の空気含有率を変化させた実験を行った。空気含有率は、それぞれの実験における加圧量と空気の圧縮量からボイル・ヘンリーの法則を用いて算出した。砂層中を伝播する音波の伝播速度は、データ列をスペクトル解析することにより得られる2台の受信機間の相互相関の最大値が発生する時間を時間遅れ τ とすることにより求めた。実験より求めた音波の伝播速度と空気含有率を、上の理論式(1)に代入することにより、構造骨格の体積弾性係数 K_s を求める。

3. 結果および考察 図2は、計測したデータ列(50セット)の平均をプロットした音響伝播図の代表的な例である。この図より鉄管を伝わる小さくて早い音波の後に砂層中を伝わる大きな音波が伝わることをわかる。図3は実験における砂層中の伝播速度と空気含有率との関係を周波数をパラメータとして示したものである。この図より、いずれの周波数を用いた実験においても、空気含有率が小さくなるにつれて、伝播速度は速くなることをわかる。つぎに、この実験値

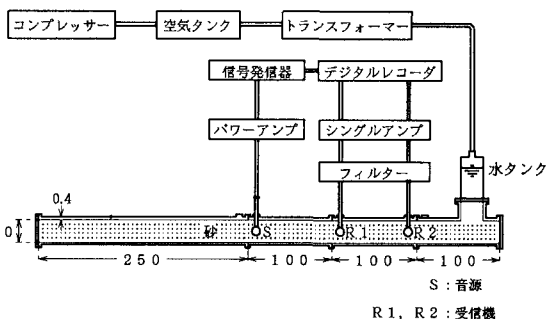


図1 実験装置 単位 (cm)

を用いて構造骨格の体積弾性係数 K_s を式 (1) により算出した結果が図4に示されている。 K_s の値は圧力が1気圧から2気圧にかけて増大しそれ以後はほぼ一定の値を示している。圧力によって K_s が変化すること、空気含有量が変化することによる骨格の変形条件の変化が考えられる。図5は、圧力に対する空気含有率 λ_a の変化を示している。この図では、1気圧から2気圧までは急激に空気含有率が減少しその後ほぼ一定の値を保っている。この状況は図4の K_s の変化とよく対応している。すなわち、1気圧から2気圧の間の K_s の値は λ_a の減少に伴って増大し、2気圧より大きな圧力状態でのほぼ一定の K_s の値(約 $1.50 \times 10^9 \text{ N/m}^2$)は、間隙が水で満たされた状態に対応している。

以上のことより、水中での構造骨格の体積弾性係数 K_s の値は、空気が含まれていると一定値ではなく、 λ_a によって変化する性質があるようである。図6は、 K_s を λ_a の関数として示したものである。ここに得られた K_s の値は空気の存在する水中での見かけの体積弾性係数の特性を表していると考えられるが、Yamamotoら³⁾が示している値 $1.08 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ よりもかなり大きい値であり、数値自体については、今後さらに様々な条件下での詳細な検討が必要である。

謝辞 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、砂層内水压変動と液状化、水工学シリーズ82-A-9、1982
- 2) Altan Turgut and Tokuo Yamamoto : Measurements of acoustic wave velocities and attenuation in marine sediments, J. Acoust. Soc. Am, 87, pp.2376-2383, 1990.
- 3) 名合宏之、前野詩朗;高飽和砂層中の音響伝播特性に関する基礎的研究、土木学会第48回年講、1993

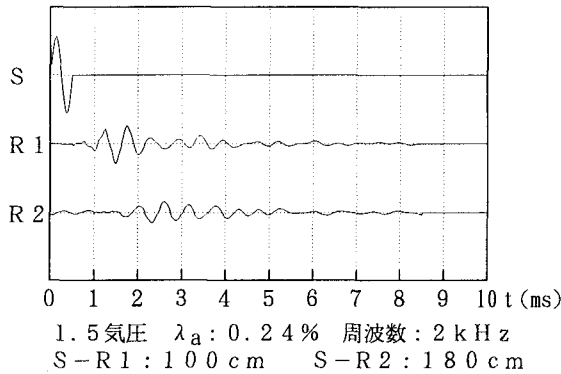


図2 音響伝播図

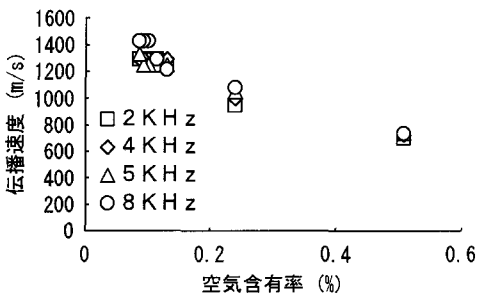


図3 空気含有率と伝播速度

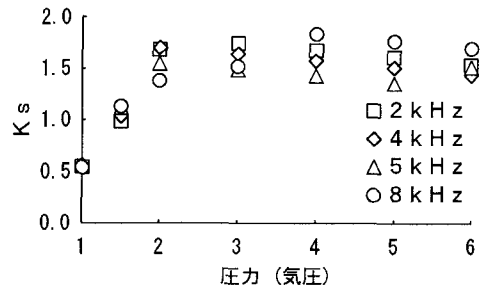


図4 圧力と $K_s (\times 10^9 \text{ N/m}^2)$

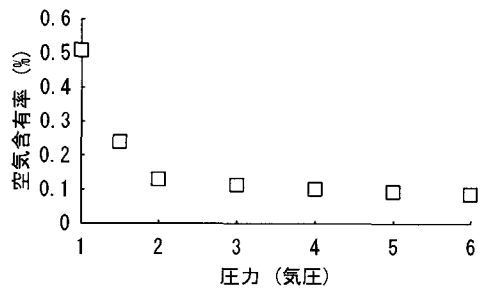


図5 圧力と空気含有率

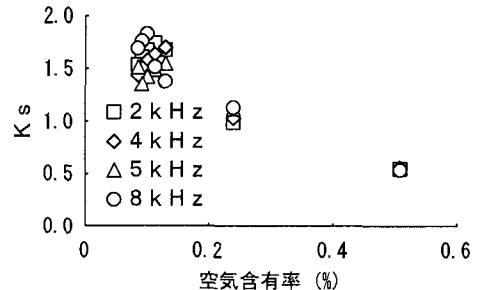


図6 空気含有率と $K_s (\times 10^9 \text{ N/m}^2)$