

音波による水中砂地盤内の空気量の測定

岡山大学工学部
岡山大学工学部
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 ○與田 敏昭
学生員 曾根 照人

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が砂地盤上に作用することにより、地盤内の間隙水圧が時間的に変化し、地盤の有効応力が減少するのみならず、変動水圧や地盤の条件によっては、液状化が発生することを明らかにしている。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含まれる微量の空気存在があることを示した。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設定する上で重要な課題である。ところが、現地での地盤内における空気含有率の測定方法は確立されていないのが現状である。本研究は、音波を用いて現地の水中砂地盤内の空気含有率を求めるための基礎として、1次元円筒砂層模型を用いて音波の伝播計測を行い、音波の伝播速度と空気含有率との関係を明らかにしようとするものである。

2. 実験方法およびデータ処理方法

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音響伝播実験を行った。音源と受信機2台設置し、音源より周波数1kHz～3kHzの正弦波を一波から数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20kHzで記録した。初期状態の砂層の間隙率および空気含有率を変化させるために表1に示す3通りの方法で砂層を作成した。表中の空気含有率は、大気圧での値であり、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の法則を用いるとにより算出した。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気圧の空気圧を作用させ砂層内の空気含有率を変化させた実験を行った。

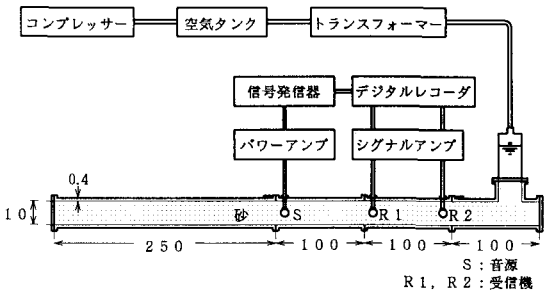


図1 実験装置 単位 (cm)

砂層中の2台の受信機間を伝わる時間を求めることにより音波の伝播速度を求めるが、その方法として以下に示す3つの方法を採用した。

- I 2台の受信機に現れる音波のピークからピークまでの時間を測定し、これを時間遅れとする。
- II データ列をスペクトル解析することにより得られる相互相関の最大値が発生する時間を時間遅れとする。
- III スペクトル解析により得られるコヒーレンス、フェイズアングルより次式により時間遅れ τ を求める。

$$\tau = (\theta + n\pi) / 2\pi f \quad (1)$$

ここに、 f : 周波数、 θ : フェイズアングルである。

この場合、実験を行った振動数付近で最もコヒーレンスが高い振動数を最適振動数とする。この最適振動

表1 砂層の作製方法

作製方法	間隙率	空気含有率
① 試料容器を水平から約50度傾け半分ぐらいまで水を入れた後、乾燥した砂をパイプに直接バイブレーターをかけながら水中落下了せた。この方法が、最も締め固まった。	0.409	0.42 %
② 試料容器を地面から約50度傾け、乾燥した砂をバイブレーターをかけながら落下了せて砂層を作製した後、試料容器を傾けた状態のまま約10時間かけて水を試料容器の下部から透水させた。	0.425	4.50 %
③ ②の砂層から、水を抜き再度試料容器の下部から水を透水させた。	0.425	9.04 %

数におけるフェイズアングルを求める。このフェイズアングルは $-\pi \leq \theta \leq \pi$ で与えられる。つぎに、レシーバ間の位相角が何回転ずれているかを示す n を求めることにより時間遅れ τ を求めることができる。

3. 実験結果および考察

図2および図3はそれぞれ空気含有率が小さい場合および大きい場合について、計測したデータ列(50セット)の平均値をプロットした音響伝播図の代表的な例である。空気含有率の小さい場合は図2に示されるように鉄管を伝わる小さくて早い音波が伝わり、その後砂層中を伝わる大きくて遅い音が伝わるのがわかる。この場合、受信機における音のピークがはっきりしており伝播速度は前述のいずれの方法を用いても計算可能であった。しかし、空気含有率が大きい場合には音波は伝播し難くなり、音のレベルを大きくするために音源の発信波数を図3に示すように多くする必要がある。その場合、図2にみられるようなはっきりとしたピークの遅れはみられず、前述のⅠおよびⅡの方法では伝播速度を特定できなくて、Ⅲによる方法によってのみ受信機間の音波の伝播速度が計算可能であった。図4は式(1)により求めた、砂層中の伝播速度と空気含有率との関係を示したものである。この図より、空気含有率が大きくなるほど伝播速度が遅くなることがわかる。空気含有率が5%以上の空気量の場合には、空気中の音波の速度(約330m/s)にほぼ等しい値が得られた。また、空気含有率が大きい場合には振動数が大きくなるほど伝播速度は速くなることがわかる。しかし、空気量が少ない場合には、今回の実験では周波数による変化は計測していなかったため伝播速度の違いは明確でない。空気含有率が1%前後の間において伝播速度が著しく変化しているようである。

以上のように、砂層中の音波の速度は砂層内の空気含有率に大きく依存することが明らかにされた。今後は、今回の実験で明らかにされなかった、現地地盤で問題となる空気含有率1%前後の伝播特性を明らかにする必要がある。

【参考文献】 Altan Turgut and Tokuo Yamamoto : Measurements of acoustic wave velocities and attenuation in marine sediments, J. Acoust. Soc. Am. 87, pp.2376-2383, 1990.

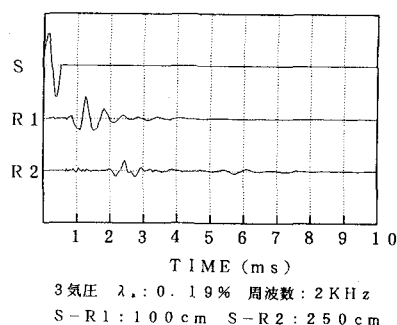


図2 音響伝播図

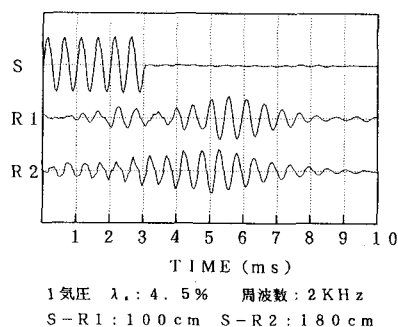


図3 音響伝播図

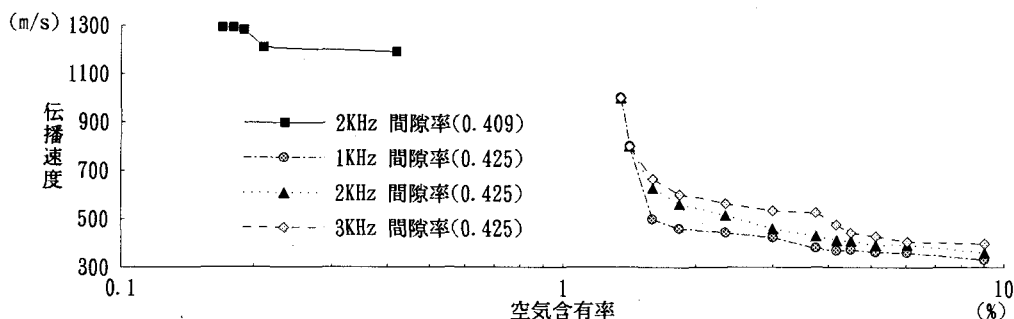


図4 空気含有率と伝播速度