

# 音響透水トモグラフィによる 大型模型地盤の均一性の可視化

Physical variabilities of model foundation measured by acoustic tomography

○毛利栄征<sup>1</sup>・榊原淳一<sup>2</sup>・山本督夫<sup>3</sup>

Yoshiyuki Mohri, Jyunichi Sakakibara, Tokuo Yamamoto

## 1. はじめに

大型模型地盤を用いた液状化実験などの地盤振動実験において地盤の均一性を評価する手法としてトモグラフィ等の可視化技術は非常に有効である。このトモグラフィ技術の一つである音響透水トモグラフィは疑似ランダムコード(PRBS コード)を用いた高周波弾性波探査により地盤の透水係数と間隙率を直接計測可能な手法である。これは周波数と出力音量を正確に制御することで弾性波速度および減衰率を計測し、多孔質媒体内の弾性波伝播理論(Biot 理論)を用いて地盤の透水係数や間隙率を解析する。

本報では同手法を用いた模型土槽内の不均一性、特に透水係数と間隙率の可視化を目的とした実験結果と大型実験土槽への適用性について考察を行った。

## 2. 実験概要

### (1) 弾性波を用いた透水係数の把握

弾性波を用いた地盤の透水係数の把握については Biot(1956)などにより報告されているが、Yamamoto(1989)はこれらを基に砂地盤において弾性波速度と減衰率における周波数分散から透水係数が計算できることを示した。

$$f_r = \frac{\rho\eta}{2\pi(\rho m - \rho_f^2)k_s} \frac{V_0}{V_\infty} \quad (1)$$

式(1)は分散周波数  $f_r$  から透水係数  $k_s$  が求まることを示しており、 $\rho$ 、 $\rho_f$  は水および土の密度、 $\eta$  は水の粘性係数、 $m$  は Biot の付加質量、 $V_0$ 、 $V_\infty$  は遅い弾性波と速い弾性波の速度を示す。

図-1 は砂(粒径 0.3mm)、シルト(粒径 0.03mm)における計算例であり、砂では 5kHz、シルトでは 50kHz で分散が起こっていることがわかる。Yamamoto は砂およびシルトの透水係数をそれぞれ  $10^{-2}$ cm/sec、 $10^{-3}$ cm/sec と計算しており、砂については実験でこれを検証した。

### (2) 実験方法

図-2 に模型地盤および計測レイアウト図を示す。模型地盤の内部に 2 断面として 4 本の塩ビケーシングを建て込み、この内部に発震器と受振器を設置した。計測孔間距離は 2.4m および 2.7m である。発震点と受振点の間隔は発震器の振動部分の長さ 20cm を考慮して 20cm 間隔とした。模型地盤は霞ヶ浦砂を用いた。地盤は振動ふるいを用いた自然落下方式により作成し、ゆるい状態の砂地盤である。

周波数と弾性波速度

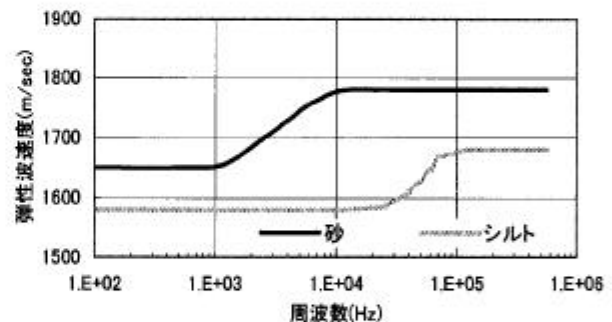


図-1 周波数分散の計算例(Yamamoto1990)

<sup>1</sup> 農業工学研究所(NIRE) <sup>2</sup> 川鉄シビル株式会社 <sup>3</sup> マイアミ大学(Miami Univ)

### 3. 実験結果

#### (1) 速度・減衰率と地盤の均一性

図-4は逆解析により求めた第2断面の速度・減衰率分布である。速度については水平構造を示しており、高さ2.5mと1.5m付近に低速度部分が認められる。減衰率については速度よりも水平構造が弱く、高さ1.8m付近に高減衰部分があることが読みとれる。

#### (2) 透水係数分布の計算

図-5に本実験で得られた透水係数と間隙率分布の計算結果を示す。高さ2m付近で透水係数、間隙率とも大きくなっている部分があり、これは地盤がゆるくなっていることを示しているのではないかと考えられる。地盤全体では透水係数は $10^{-2} \sim 10^{-3}$ 、間隙率は0.30~0.40の間を示している。試験材料である霞ヶ浦砂の物理的性質と比較すると、透水係数の差は1オーダー以内の値であるが、間隙率は小さめであるといえる。

### 4. まとめ

地盤の均一性評価を可視化することを目的として、大型模型地盤で実施した音響透水トモグラフィの結果は、地盤の状態を精度良く2次元的に把握できることがわかった。特に透水係数を計測値から直接得られることを他の実験との比較により検証することができた。このことは、地盤定数の一つである透水係数や間隙率をパラメーターとすることで、地盤の状態を直接的にわかりやすい形で出力することが可能であることを示している。

今後、さらに大型の実験設備で地盤のモニタリングを行うためには、①計測、解析時間を短縮すること、②計測機器を壁面に固定するなどして計測作業を簡略化すること、③得られた計測値を直接物理量に変換するための地盤のデータベースを構築することなどが必要であると考えられる。

#### [謝辞]

本実験は科学技術進行調整費「構造物の破壊過程解明に基づく生活基盤の地震防災性向上に関する研究」の一環として実施されたものであることを付記し、関係者の方々に感謝の意を表します。

#### 参考文献)

1. Yamamoto, T., Nye T., and Kuru, M.: Imaging the permeability of a limestone aquifer by crosswell acoustic tomography, Geophysics, Vol.60, No.6, pp.1634-1645, 1995
2. 毛利栄征, 榊原淳一, 吉村公孝, 山本督男: せん断土槽地盤の作成方法と均一性, 第2回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集, p83-88, 2001.3

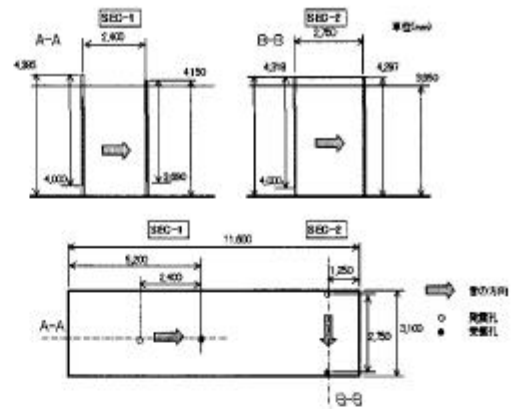


図-2 計測レイアウト

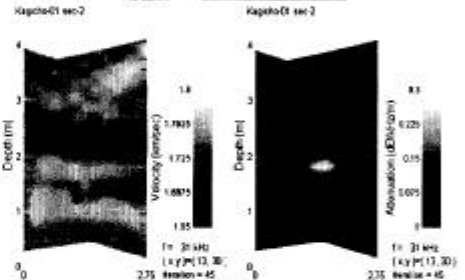
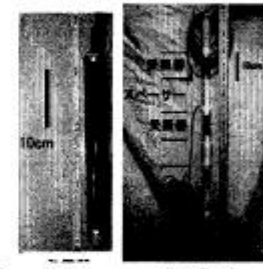


図-4 第2断面の速度・減衰率分布 (31kHz)

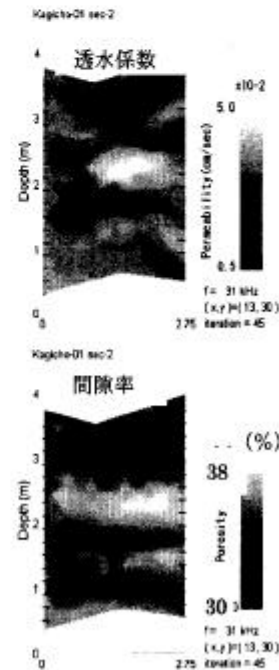


図-5 透水係数と間隙率