

弾性波の振幅減衰トモグラフィによる地中に注入したマイクロバブル水のモニタリング実験

液状化 マイクロバブル 弾性波探査

JFE シビル 正会員 ○榊原淳一
 JFE シビル 田子彰大
 JOGMEC 中村悠希, 国司洋介, 高梨将
 佐藤工業 正会員 永尾浩一

1.はじめに

飽和度低下による液状化対策工法は経済的であり環境負荷が小さいという利点がある。飽和度を低下させる手法の一つとして地中にマイクロバブル水を注入するマイクロバブル(以降, MB と言う)水液状化対策工法があげられる。同工法は狭隘な場所でも施工が可能であるという利点があるが, 地中で拡散する MB 水のモニタリングが難しく, 施工効果の確認が難しいという課題があった。地盤をモニタリングする技術の一つとして弾性波探査があげられるが, 弾性波速度は MB 水の影響をほとんど受けなため弾性波を用いたモニタリングは難しいと考えられてきた。榊原, 山本(2009)が開発した音響トモグラフィ地盤探査法¹⁾は弾性波探査の一つに分類されるが, 従来技術よりも計測精度と計測再現性が高いこと, また, 弾性波速度よりも鋭敏に地盤の状態変化に反応する振幅の変化を正確に計測できる²⁾という特長がある。そこで, この MB 水のモニタリングに対する弾性波の振幅減衰トモグラフィの適用性を検討するため現場実験を実施した。結果を検証するため目視観測孔に設置した孔内カメラによる結果と比較したところ, MB 水の存在する範囲で振幅減衰比が増加しており, 振幅減衰トモグラフィが地中に注入した MB 水のモニタリングに適用できることがわかった。

2.実験方法

実験は千葉市内の実験場で行った。計測レイアウトと注入前計測の結果(速度分布図)を重ねて図2に示す。計測範囲には粘土~シルト~細砂の沖積層が存在しており, ボーリング柱状図と P 波速度分布図から GL.-20m ~ GL.-26m に上下をシルト・粘土層に挟まれた細砂層が存在することがわかっていた。計測に用いた2本の計測孔(孔間距離 64m, 深度 50m)の間に MB 水の注入孔を設置し, この細砂層を狙って GL.-26m から MB 水を注入した。MB 水の注入量は毎分 3l ~ 6l で, 最終的な累積注入量は 6m³であった。トモグラフィ計測は注入開始前および注入開始後 1 時間から 74 時間の間に 15 回実施した。MB 水の注入量とトモグラフィ計測のタイミングを図3に示す。また, トモグラフィ計測に使用した機材の仕様を表1に示す。発振点は GL.-13m ~ GL.-50m, 受信点は GL.-13m ~ GL.-36m, 発振点と受信点の深度方向の間隔は 1m, 発振周波数は 2kHz であった。計測終了後, 注入孔からそれぞれ 0.5m, 10m 離

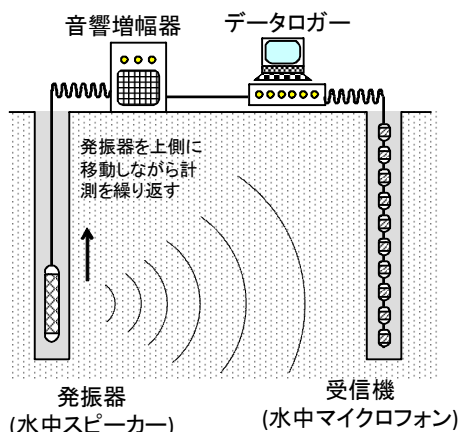


図1 音響トモグラフィ地盤探査法の概要

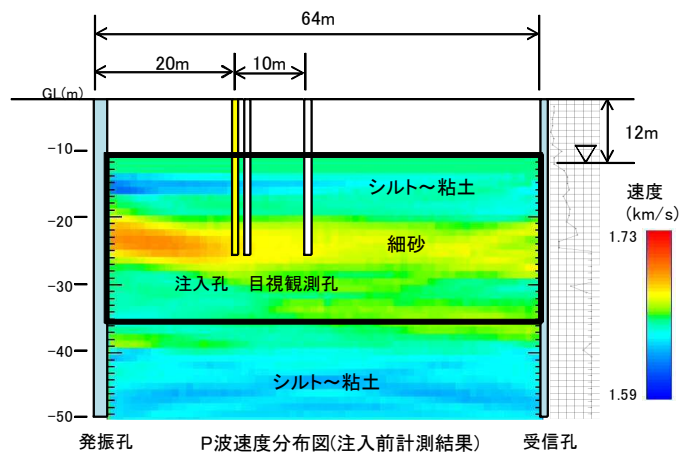


図2 現場実験の計測レイアウトと速度分布図

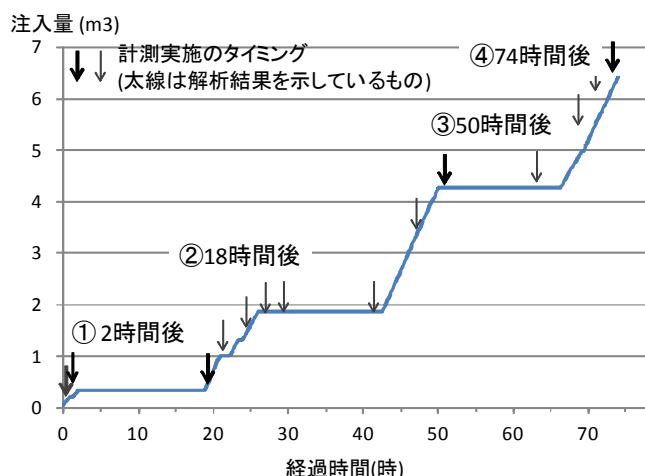


図3 MB 水の注入量とトモグラフィ計測の実施タイミング

れた位置に観測孔を掘削し目視観測を行ったところ、何れも GL.-20m ~GL.-25mの範囲において MB 水が存在することを確認した。

3. 実験結果

実験結果として注入前後における振幅減衰比と速度の変化率を時系列で並べて図4と図5に示す。なお、これらの結果は図2の太枠で示す範囲のみを示している。図4から、振幅減衰比は注入2時間後から計測孔を中心に左右に広がるように増加し始め、注入50時間後に大きく変化したこと、高減衰比を示す範囲はGL.-20mのシルト層の下端に沿うように広がったこと、変化率は最大30%まで増加したことがわかる。④74時間後の図中に目視観測による結果を合わせて示したが、高減衰比を示す部分と目視による結果がよく整合していることがわかる。これらのことから、MB水の注入範囲は高減衰比を示す部分としてモニタリング可能であること、この実験ではMB水はシルト層に遮られるように水平に広がっていったであろうことがわかった。次に、図5を見ると速度はほとんど変化しておらず、速度変化からMB水のモニタリングを行うことは難しいことがわかる。

4. まとめ

地中に圧入したMB水のモニタリングに対する弾性波の振幅減衰の適用性を検討するために現場実験を実施した。実験結果から、MB水の注入範囲では振幅減衰が増加することを確認し、地中に注入したMB水のモニタリングに弾性波の振幅減衰トモグラフィが適用可能であることがわかった。本研究はJOGMECの“平成26年度「技術ソリューション事業(フェーズ1案件)」に関する委託技術開発”の一部として行われた。

参考文献

- 1) 榑原淳一, 山本督夫(2009): 高周波数の弾性波を用いた高精度地盤調査手法の開発, 土木学会論文集 C, Vol.65, No.1, 97-106.
- 2) 榑原淳一, 毛利栄征, 山本督夫: 高周波数の弾性波の速度と減衰率を用いた模型土槽内部の可視化手法の開発, 土木学会論文集 C Vol. 67, No.3, 310-318, (2011).

表1 使用した機材の主な仕様

名称	仕様
発振器	寸法: $\phi 44\text{mm} \times \text{L}600\text{mm}$, 3kg 出力: 122dB (6kHz), 発振周波数: 0.2kHz~40kHz
受信器	センサー数: 24 個 寸法: $\phi 30\text{mm} \times \text{L}250\text{mm}$ (1 センサー), 感度: -202dB re 1V/1 μ Pa, 使用周波数: 10Hz~40kHz
発振器用 増幅器	出力: ~100Vrms 使用周波数: DC~40kHz
受振器用 ノイズフイ ルター	入力: 24CH 周波数帯域: 100Hz~100kHz 倍率: 1 倍~1000 倍
データ ロガー	入力: 24CH サンプリング周波数: 100kHz/ch 分解能: 14 bit

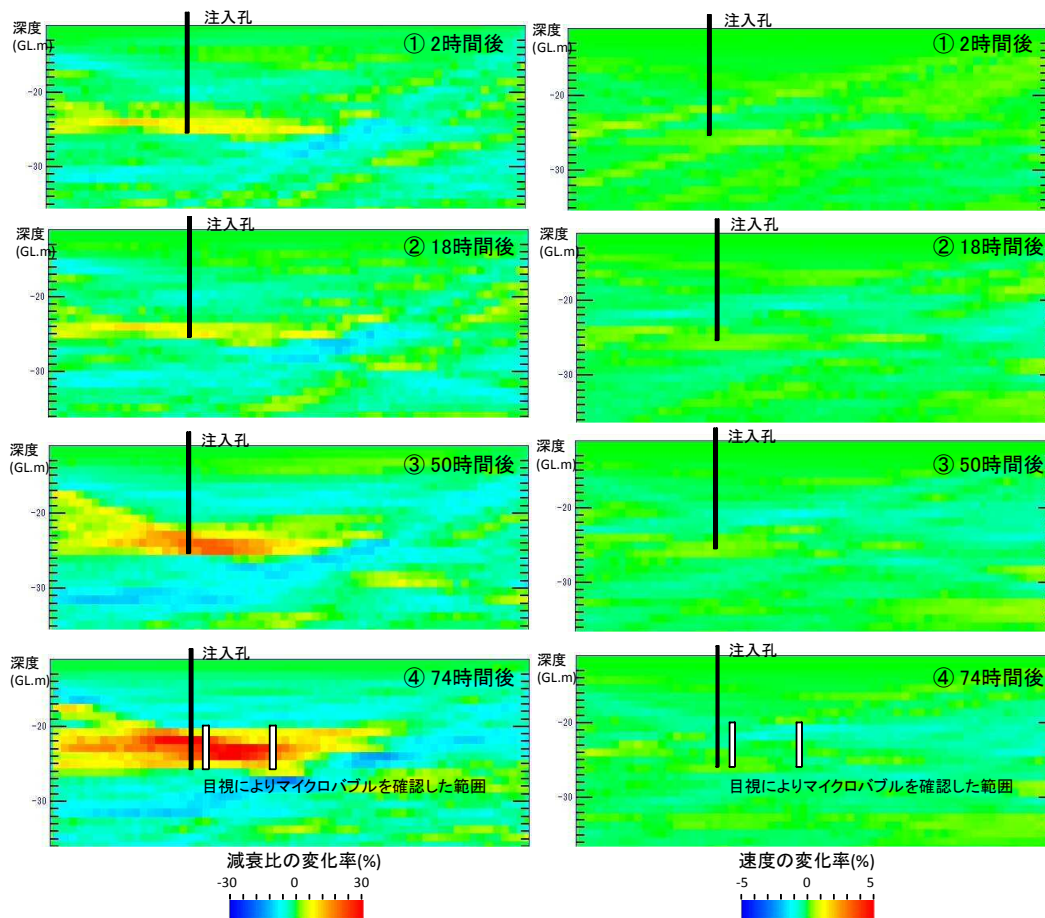


図4 振幅減衰比の変化率

図5 速度の変化率