

音響トモグラフィを用いた浸透破壊現象における内部三相系構造の把握

音響トモグラフィ 気泡 浸透破壊

名古屋工業大学 学生会員 ○柴田 賢  
JFE シビル株式会社 正会員 楠原 淳一  
名古屋工業大学 学生会員 坂井 宏隆  
名古屋工業大学 正会員 前田 健一

1. はじめに

都市型集中豪雨により河川堤防が決壊し、都市部に甚大な被害を及ぼす事例が相次いでいる。特に、2000年の東海豪雨時には、一般的な堤防の決壊現象とは異なり、気泡を伴った現象であったことが報告され、気泡の影響を十分に考慮した河川堤防の設計が切望されている。堤体内部から発生する気泡には2つのソース(源)がある。一方は、堤体内の間隙にもともと取り込まれていた空気が降雨による浸潤と河川の水位上昇による浸潤線の発達によって、堤体内に気泡として捕捉されるものである。他方は、間隙水中に飽和量を超えて溶解している空気が気泡として溶出する現象である。本研究では、後者の現象に着目し、基礎的実験として矢板周りの浸透破壊試験を行い、高精度な計測が可能である音響トモグラフィ法を用いて地盤内における気泡の発生および発達現象を可視化することを試みた。

2. 音響トモグラフィ地盤調査手法の概要

本手法は楠原・山本<sup>1)</sup>によって開発された高周波数の弾性波を用いた高精度な地盤調査手法である。音響トモグラフィ地盤調査手法は、弾性波孔間トモグラフィに分類され、孔間における地盤断面の構造や特性を可視化することができる手法である。孔の一方から発振波として周波数を制御した疑似ランダム波を送信することに特徴がある。疑似ランダム波とはパルス圧縮と呼ばれる信号増幅方法の一種である。送信波として連続波を用いることで時間軸上にエネルギーを分散させ、送信信号全体としてエネルギーを大きくすることができる。疑似ランダム波の例を図-1に示すと、発振波(a)と実際の受信波(b)の相関関数計算後の波形(c)からピーク値となる波の到達時間および到達波の受信エネルギーを得ることができる。これにより、従来の弾性波探査とは異なり、速度分布図および減衰率分布図の2つの観点から地盤断面を可視化することができる。従来の弾性波探査では、速度分布のみの表現であったため、困難であった地盤の締め固め合いやガスの有無等の判別が難しかった。しかし、本手法のように減衰率を扱うことで、その判別が容易となった。

3. 実験概要

地盤内部において気泡が発生・発達する様子を観察するために図-2に示すように土槽の矢板から50mm離れた場所の縦断面を対象とする。前面に発振孔、背面に受信孔となる円筒管を設置し、そのうえで小高・浅岡<sup>2)</sup>の方法に従い、模型実験を実施した。豊浦砂を用いて密状態(Dr=80%)の地盤を作製後、図-2の黄枠部を撮影するとともに、DO(水中溶存酸素量)、音響トモグラフィ

の計測を実施した。通常、浸透破壊現象は限界水位差に達すれば一気に崩壊する現象として知られている。しかし、実際には小中<sup>3)</sup>が述べているように、限界水位差以下の水位差を保持し続けるだけで、地盤内に気泡が発生・発達し、破壊する。このような気泡の発生とDOの関係や気泡が地盤に与える影響については、土槽壁面で発生する気泡に着目してきた。そこで本研究では、限界水位差の約8割を保持して、地盤内部に発生する気泡が及ぼす影響を捉えるために、音響トモグラフィの技術を用いて、地盤内部での気泡の発生・発達現象を捉えることを試みた。

4. 実験結果および考察

土槽側面で目視によって気泡が初めて観察された時(8時間後)

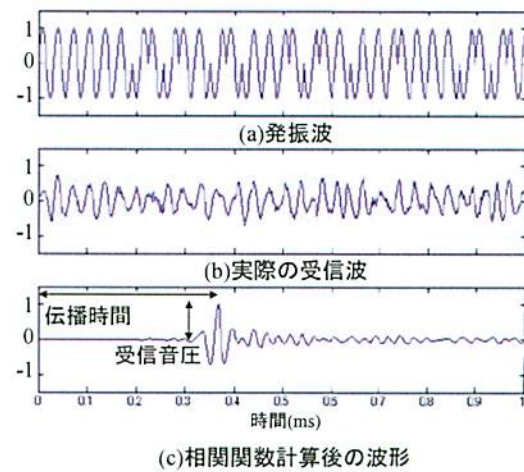


図-1 疑似ランダム波の例

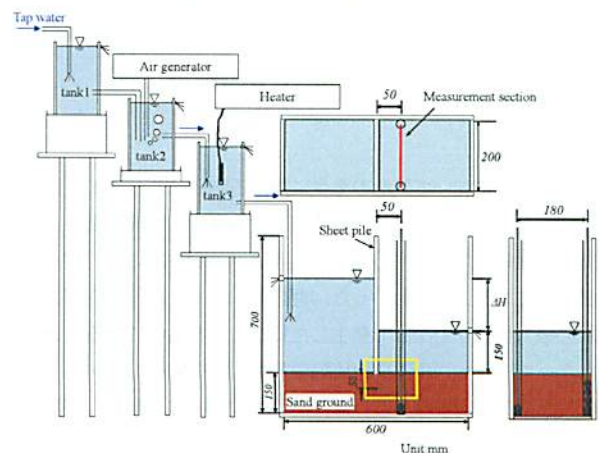


図-2 実験装置概要

Applying acoustic tomography to grasp of the three phases ground in seepage failure phenomenon

Satoshi SHIBATA, Hirotaka SAKAI, Kenichi MAEDA, (Nagoya Institute of Technology), Junichi SAKAKIBARA, (JFE civil Corporation)

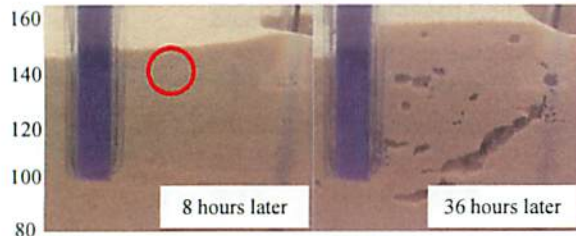


図-3 気泡発生時および1回目の気泡噴出時

の様子および1回目の気泡噴出直前(36時間後)の様子を図-3に示す。また、トモグラフィ計測断面における気泡発生の様子を図-4に示し、図-5には、トモグラフィ計測断面における気泡発達の様子を示す。なお、減衰率の高い部分が気泡の存在を表わしている。土槽壁面では実験開始8時間経過後に地表面から矢板先端部にかけて確認された。ところが、図-4に示すように、地盤内部では12時間経過後に矢板先端部よりも下層の地盤で気泡の発生が認められた。これは土槽壁面の影響によって、気泡の発生が早く生じたためと考えられる。

土槽側面では矢板の根入長の範囲が主要な気泡の発生・発達箇所であったが、図-5に示すように、地盤内部においてその発生箇所は矢板の根入長よりも下層の地盤で生じていることがわかった。また地盤内部で発達する気泡は、矢板の根入長よりも下層の地盤で発生した気泡が地盤内を移動・発達していくことがわかった。また、減衰率の経時変化に着目すると、矢板の根入長の範囲だけでなく、さらに下層の地盤内においても減衰率が経時的に低下していることがわかる(図-6)。つまり、気泡の発生箇所は矢板の根入長範囲だけでなく、広範囲にわたって気泡が発生していることが定量的にも言える。また、減衰率の急激な低下が認められる時間は土槽壁面で確認された時間よりも4時間程度遅いことがわかった。

図-6の1回目の気泡噴出前後の36時間後の受信エネルギーの変化に着目すると、気泡噴出直前において、一時的に受信エネルギーの回復が認められる。これは、気泡の浮力によって、気泡上部の地盤が押し上げられたためであると考えられる。また、その後の噴出によって、噴出前と比べて、受信エネルギーが低下している。つまり、土槽壁面だけでなく、地盤内部においても気泡の噴出によって地盤が劣化していると言える。

## 5. 結論

地盤内部において気泡の発生に掛かる時間はこれまで観察を行ってきた土槽壁面での発生時間よりも多くの時間を要し、土槽壁面と比較して発生する気泡の範囲は、矢板の根入長よりも広い範囲で生じることがわかった。地盤内における気泡の発達は、矢板の根入長よりも深部で発生した気泡によるものであることがわかった。また、気泡の噴出直前では気泡の浮力によって、一時的に気泡上部の地盤を持ち上げることで密になるものの、気泡の噴出によって、地盤が劣化することが地盤の内部でも生じることがわかった。また、従来の弾性波探査のように速度分布図のみでは解釈の難しかった気泡が音響トモグラフィ法の特徴である減衰率による可視化により、容易に地盤内の気泡を捉えることができた。

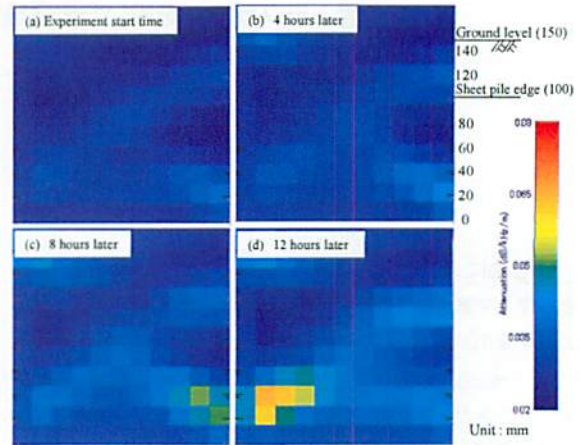


図-4 計測断面での気泡発生までの減衰率の経時変化

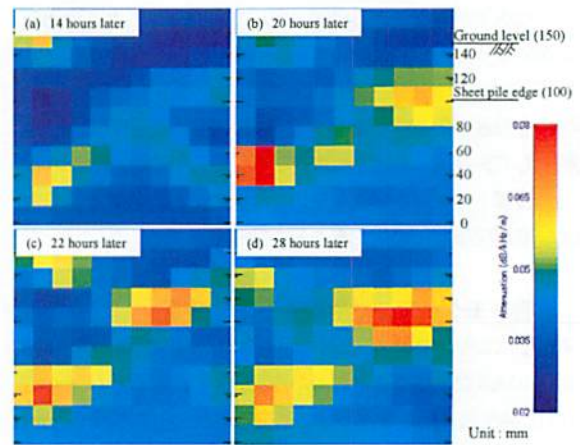


図-5 減衰率の経時変化で見る気泡発達の様子

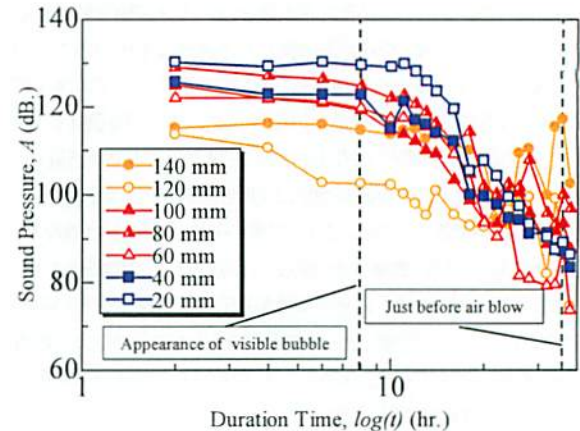


図-6 1回目の気泡噴出時までの地中の減衰率変化

## 参考文献

- 1) 楠原卓一, 山本督夫: 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 Vol.65, No.1, pp.97-106, 2009.
- 2) 小高猛司, 浅岡顕: 砂質地盤の浸透過程での気泡の発生・発達現象, 土木学会論文集 No.487/I-26, pp.129-138, 1994.
- 3) 小中智博, 坂井宏隆, 前田健一: 気泡のダイナミクスに着目した三相系浸透現象の解明, 第44回地盤工学研究発表会講演集, pp.871-872, 2009.