

音響トモグラフィによる噴砂にともなうトンネル周辺地山の緩み領域の可視化

京都大学大学院 フェロー会員 小山幸則
 (株)地域地盤環境研究所 正会員 粥川幸司, 山内淑人, 菅茜様
 JFE シビル(株) 正会員 榊原淳一

1. はじめに

供用中の一部のトンネルでは, 中央排水溝などに噴砂跡が見られることがある。この場合, トンネル周辺の地山の細粒分が流出し, 地山そのものの密度や強度, 剛性の変化(低下)が発生している可能性がある。さらに, 実際に地山の強度低下があった場合, トンネル覆工にも悪影響を及ぼすことが懸念される。しかしながら, このような地山状況を定性的, 定量的に表現した研究事例はほとんどないのが実状である。一方, 近年では「地盤の可視化」に関する技術開発が各方面で進められており, 音響トモグラフィ¹⁾もその一つ技術である。

本研究では, まず, 噴砂にともなうトンネル周辺地山の状態の変化を音響トモグラフィにて計測し, その緩み領域の可視化を試みることにした。

2. 試験の概要

ここでは, トンネルを模擬した塩ビ管を埋設した砂地盤を作成し, トンネル内の下部に設けた噴砂孔のバルブを開閉することで噴砂を発生させ, その際にトンネル横断面での音響トモグラフィ計測を行うこととした(図-1)。土槽の内寸法は幅400mm×長さ500mm×高さ700mmで, 幅方向の中心に外径114mm, 内径100mmの塩ビ管を設置した(写真-1)。噴砂孔は塩ビ管の長手方向の中心でかつ下端より15度傾けた位置に設けた(写真-2)。

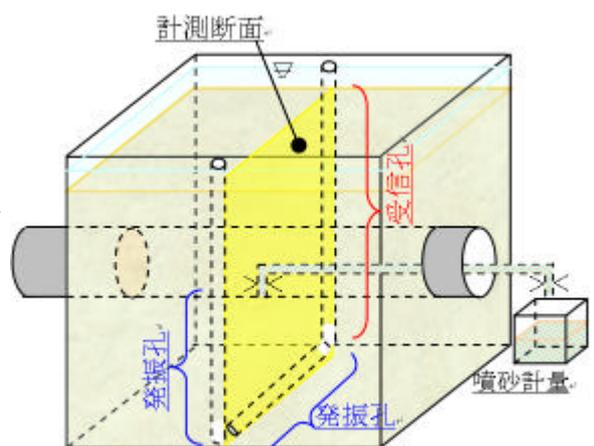


図-1 試験の概要

土層作成に用いた砂は, 珪砂4号, 6号(相馬砂)で, これらを乾燥重量で1:1の割合で混合して使用した。砂の平均比重は2.643であった。砂の投入後, 飽和度を高めるために水中攪拌するとともに壁面より振動を与えながら, 数日間の静置養生を行った。

試験では, 写真-2で示したバルブを開閉し噴砂の量を調整することで, トンネル周辺地山の状態の変化を模擬した。音響トモグラフィ計測は, 初期状態と各噴砂後の状態で実施した。なお, 計測においては噴砂孔近傍の地山状態の変化に着目するため, 計測断面の底辺部分と一方の縦辺のトンネル天端より下側部分を発振孔, 他方の縦辺を受信孔とすることとした(図-1)。

3. 試験結果と考察

試験の結果として, 噴砂量の記録を表-1に示す。3回の噴砂で128cm³の噴砂量を発生させた結果となった。また, 噴砂1回目, 2回目では地表面の陥没などは見られなかったが, 噴砂3回目において, 写真-3に示した地表面の陥没を確認した。陥没の位置はトンネル中心より約70mm離れた箇所であり, これは, 写真-2で示した噴砂孔側で, ほぼトンネル横の位置に相当する。また陥没の大きさは30mm程度の円形で, ほぼ落とし戸の状態であると考えられる。このことより, 少なくとも初期と3回目の噴砂後で地盤の状態が変化したと考えてよいと思われる。

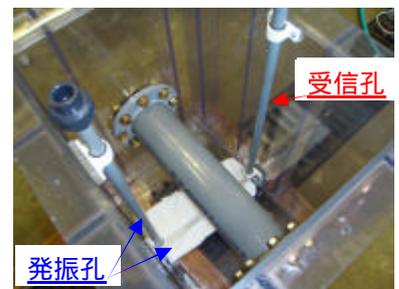


写真-1 土槽の概要

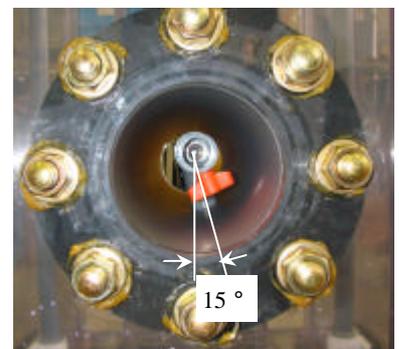


写真-2 噴砂位置

キーワード：トンネル, 噴砂, 緩み領域, 音響トモグラフィ, 可視化, 減衰率

連絡先：〒113-0034 東京都文京区湯島1-8-4 山川ビル2階, TEL03-3812-4792, FAX03-3812-4793

次に音響トモグラフィの計測結果を図-2 に示す。図は、発振波と受信波の振幅に関する減衰の程度を表す減衰率を用いて、式(1)にしたがって噴砂前後の状態の変化を比率で表現したものである。ここでは、暖色系は減衰が大きく音響波が伝播し難くなったことを、寒色系は逆に音響波が伝播し易くなったことを示す。すなわち、前者は地盤の密度が小さくなり緩んだことを、後者は密度が大きくなり締まったことを示す。

表-1 噴砂回数と噴砂量

噴砂回数	噴砂計量結果		砂の平均密度	噴砂体積
	体積	重量		
	$V = V_s + V_w$	$W = W_s + W_w$	d	V_s
	cm^3	g		
1	230	280.84	2.643	30.9
2	215	312.79		59.5
3	148	209.44		37.4
合計	593	803.07	-	127.9

$$\text{変化率} = \frac{\text{当該の減衰率} - \text{前状態の減衰率}}{\text{前状態の減衰率}} \times 100\% \quad (1)$$

まず、(a)に示した1回目の噴砂後では、トンネル下部の領域において寒色系となっており初期と比べて締まった状態となっている。これは、初期の状態に関し、地盤作成時に振動締固めを行ったが、トンネル下部の領域についてはその周りの領域と比べて、トンネルの存在により締固めの程度が少なく、密度が小さい緩めめの状態であったことが考えられる。この状態で噴砂を行ったことにより、トンネル下部付近が締固まったものと想定される。

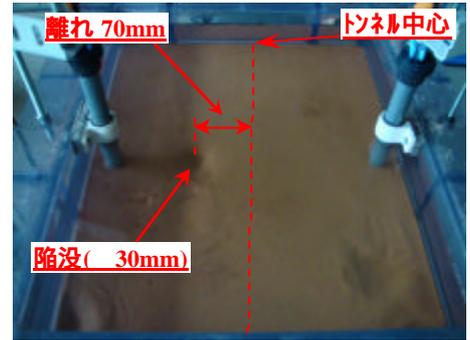


写真-3 地表面の陥没状況

(b)2回目の噴砂では、全般的には状態の変化はあまりない結果であった。(c)3回目の噴砂後では特に、トンネル下の噴砂孔近傍やその左右の領域では変化率が+側に増加している。すなわち、トンネル下部の領域について、噴砂孔近傍の局所的な領域で土粒子の移動によって密度が小さくなり、緩み領域が発生したものと考えられる。

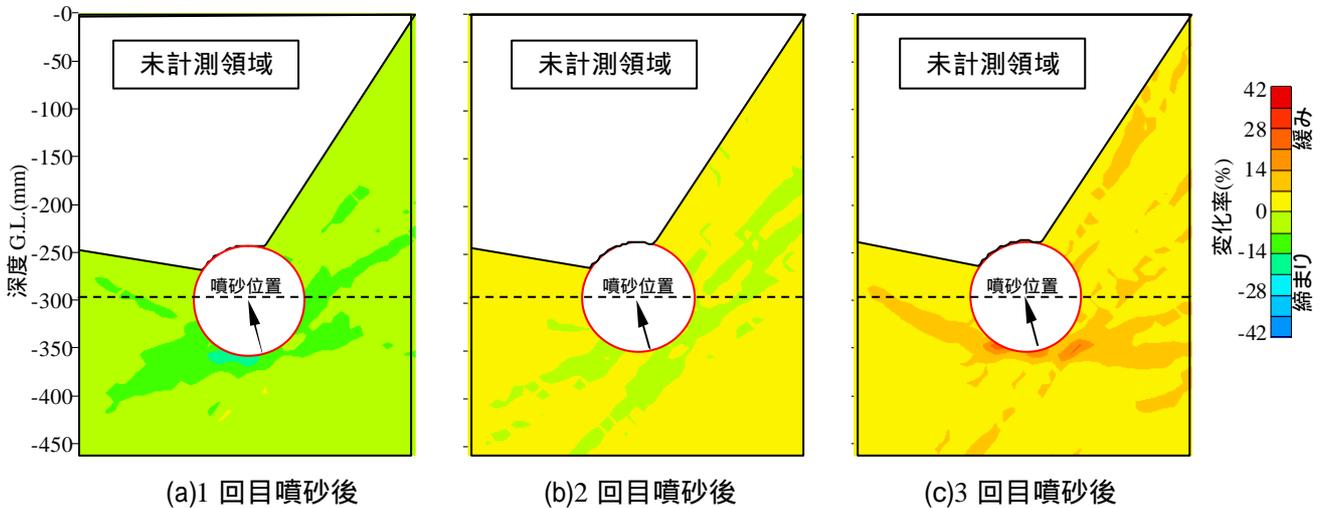


図-2 減衰率の変化率

4. おわりに

今回、しばしば実トンネルで課題となっている噴砂現象について、地山の状態の変化を、音響トモグラフィを用いて可視化することを試みた。試験の結果、特にトンネルの下部の噴砂位置近傍で地山の状態の変化が顕著であり、音響トモグラフィの計測結果はこれを表現しているものと想定される。今後は、減衰率の変化と密度や変形係数などの地盤物性の変化の関連づけについて検討を行っていきたいと考えている。

参考文献

1) 榊原淳一「音響トモグラフィによる“地盤の見える化”」,第42回地盤工学研究発表会C-02,pp.51~52,2007年7月