

音響トモグラフィ探査による薬液注入改良効果の検証

物理探査 音響トモグラフィ 薬液注入

西日本旅客鉄道(株) 正会員 ○坂本 寛章, 古藤 賢, 正会員 近藤 政弘
(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 仲山 貴司, 正会員 澤田 亮
立命館大学総合科学技術研究機構 正会員 小山 幸則
(株)地域地盤環境研究所 正会員 白川 和靖

1. はじめに

ボックスカルバート等の地中構造物を構築する際には、周辺地盤の間隙に、強度増加や止水性向上を目的とした薬液注入を実施する事例が多い。鉄道等の重要構造物に近接する工事の場合、高い改良品質が求められるため、より信頼性のある改良効果の確認方法の開発が望まれている。そこで、本研究では、音響トモグラフィ探査を薬液注入の施工前後に実施して比較する方法を検証したので、その結果を報告する。

2. 音響トモグラフィ探査¹⁾²⁾

薬液注入前後の地盤の物理的性質の変化を把握するため、これらを比較的高精度で可視化することができる音響トモグラフィ探査を適用した。

図1に音響トモグラフィ探査の概要を示す。地盤には、地下水を介して音響波を土中に伝播させるピエゾ震源(圧電セラミックス・スピーカー)と、これを受信する多チャンネル受信器を計測孔内に設置して、双方の孔管を伝播する音響波を多点で同時に観測するものである。

3. 適用現場

音響トモグラフィ探査を適用したのは、4線が走行する鉄道の直下にボックスカルバートを構築する工事現場であり、周辺地盤には、地盤掘削時の止水を目的として、2重管ダブルパッカー工法でロングゲルの溶液型注入材を注入した。注入対象地盤の土質柱状図を図2に示す。注入深度はG.L.-1.5m~G.L.-14.3mであり、上部に沖積砂質土層(As)が存在し、沖積粘性土層(Ac2)、洪積礫質土層(Dg)、シルトが主体の洪積粘性土層(Dc1)と続いている。

4. P波速度の測定結果

音響トモグラフィ探査結果の一例として、図3に薬液注入前後のP波速度の分布を示す。薬液注入前においては、発進側の上層T.P.-2m~5m付近に、Ac2層(軟弱な粘性土層)に対応する1.4~1.5km/sの低速度域が存在している。T.P.-5m以下の部分には、1.5~1.6km/sの中速度域が一樣に広がっている。薬液注入後においては、TP-8.0m付近のDg層に対応する1.7~1.8km/sの高速度域が帯状に広がっている。

図4に薬液注入前後のP波速度の差分を示す。注入範囲全体において、注入後のP波速度は大きくなったが、その増加量には違いがみられる。特に、Dg層付近にあたるTP-8.0m付近で0.15km/sを超える増加量を示す箇所が帯状に存在している。一般に、粘性土層の間隙比、透水係数は小さく、間隙への注入材のてん充率は低く設計する。一方、砂礫層は間隙比、透水係数が大きく、間隙への注入材のてん充率は大きく設計する。したがって、砂礫層のほうが注入量や透水係数の低下量が大きくなるため、P波速度の増加量は大きくなる。測定結果はこの傾向と整合するものであった。

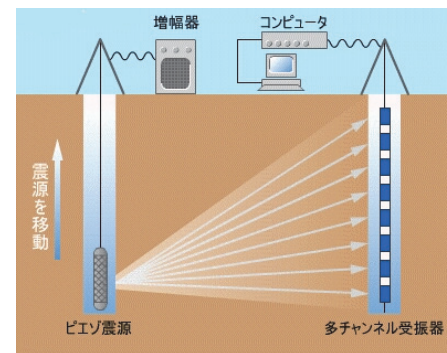


図1 音響トモグラフィ探査の概要

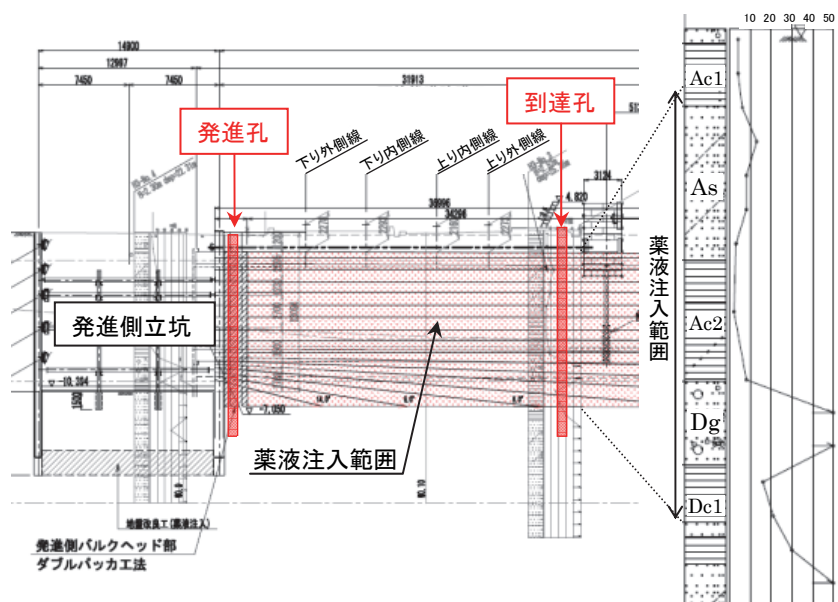


図2 測定箇所断面図及び地質柱状図

Verification of the effect of chemical grouting by an acoustic tomography investigation: Hiroaki Sakamoto, Masahiro Kondo, Ken Koto(West Japan Railway Company), Takashi Nakayama, Ryo Sawada(Railway Technology Research Institute), Yukinori Koyama(Ritsumeikan University), Kazuyasu Shirakawa(Geo-Research Institute)

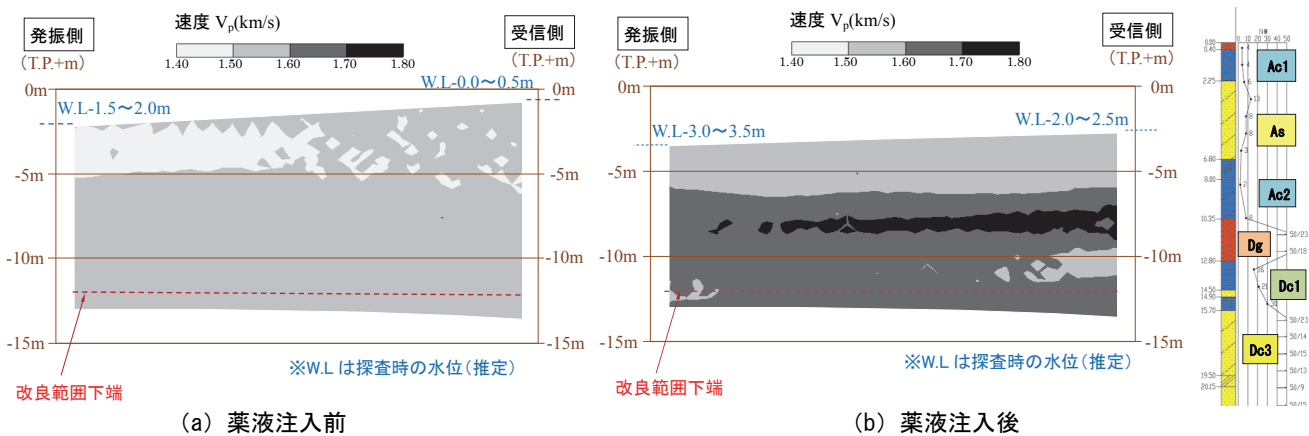


図3 P波速度の分布

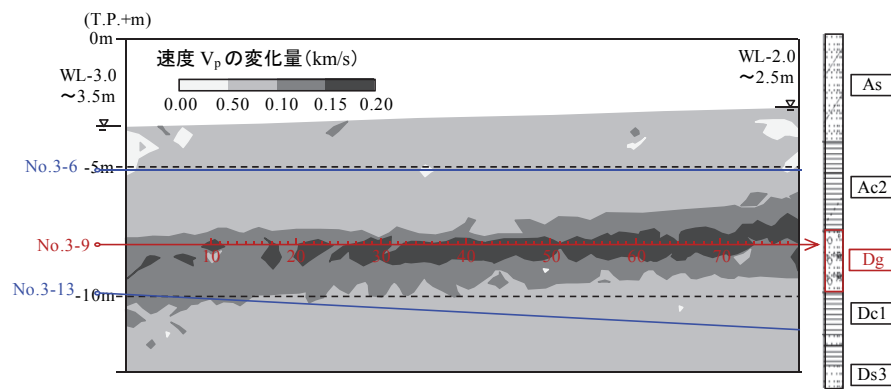


図4 注入前後のP波速度の差分

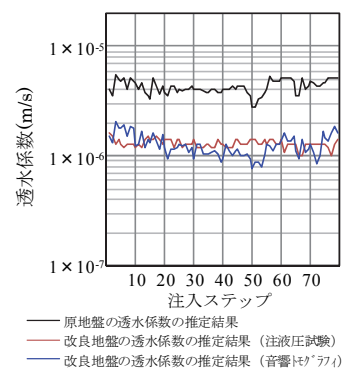


図5 透水係数の推定結果

5. 改良効果の確認

音響トモグラフィ探査の結果から Ac2 層, Dg 層, Dc1 層それぞれの改良効果を確認した. その一例として, P 波速度の増加量が多い Dg 層にあたる注入孔 No.3-9 (図 4) の薬液注入前後の透水係数を推定した結果を図 5 に示す. なお, 図 4 の赤線に付した番号は注入ステップを表している.

まず, 薬液注入時の各注入ステップの最大注入圧力および施工条件を Magg の式³⁾に代入して, 原地盤の透水係数を推定した. 次に, 図 4 の P 波速度差をもとに薬液注入後の透水係数を推定した. 既往文献³⁾の薬液固結砂の測定結果では, P 波速度が 300m/s 程度増加すると透水係数が 1 オーダー低下することが確認されている. 地盤種別により違いはあると考えられるが, 本稿では原地盤の透水係数をこの比率で除して薬液注入後の透水係数とした. さらに, 比較のため, 薬液注入後の注液圧試験の注入圧力についても Magg の式を用いて透水係数を推定した. なお, この試験は注入外管を用いて再注入し, 実施工の注入圧力と比較することで改良効果を確認するものである.

図 5 から, 音響トモグラフィ探査, 注液圧試験ともに薬液注入後の透水係数が低下し, $1 \times 10^{-6} \text{m/s}$ となった. 同様に Ac2 層 (図 4 No.3-6), Dc1 層 (図 4 No.3-13) についても検証しており, $1 \times 10^{-6} \text{m/s}$ に透水係数が低下していることを確認した. 一般に, 薬液注入後の透水係数は, $1 \times 10^{-6} \text{m/s}$ 程度に低下すれば目的を満足するとされ³⁾, 上記の結果から, 注入範囲全体においてこれを満足する結果となった. なお, 注液圧試験は本注入と同じ作業を行い, 作業時間を要するため, 今回適用した音響トモグラフィ探査を用いるほうが, 作業時間の短縮等の効果が期待できるものと考えられる.

6. おわりに

本稿では, 薬液注入の改良効果の定量的な把握を目指し, 音響トモグラフィ探査を用いた方法を検証した. 今後は, 速度減衰率や P 波速度からの透水係数への変換精度向上を図るとともに, 地盤掘削時に試料採取等による検証を行い, 安全な地下構造物の構築に努めていきたい.

なお, 現地での計測や解析作業にあたり, JFE シビル(株)の榎原氏にご協力いただいた. 末筆ながら謝意を表する.

<参考文献>

- 1)(財)災害技術研究所トンネル調査研究会:地盤の可視化技術と評価法,2009.12
- 2)澤田,後藤,粥川,山内,早川,榎原:音響トモグラフィを用いた薬液注入による地盤改良の効果確認,第 64 回土木学会年次学術講演会,pp.371-372,2009.9
- 3)(公財)鉄道総合技術研究所:注入の設計施工マニュアル, H23.10