

薬液注入孔を用いた弾性波トモグラフィ探査の試み

五洋建設
五洋建設
港湾空港技術研究所
JFE シビル

正会員 ○坂元 宏司
正会員 山本 敦
正会員 高野 大樹
正会員 榊原 淳一

正会員 堤 彩人
正会員 高橋 英紀

1. はじめに

薬液注入による改良地盤を非破壊で面的に可視化する有望な手法の一つに、弾性波の振幅減衰に着目したトモグラフィ探査（振幅減衰トモグラフィ）がある¹⁾²⁾。しかし、振幅減衰トモグラフィを適用するには、改良範囲の近傍に探査孔を掘削する必要があるため、これにより探査孔から薬液がリークし、施工品質が低下することが懸念された（図-1）。一方、薬液注入工事では、注入範囲全域に約 2m の間隔で注入のためのボーリング孔（注入孔）を削孔する。本研究では、この注入孔を使った合理的な調査方法について検討した。

2. 調査サイト

仙台塩釜港仙台区向洋地区岸壁（-14m）耐震改良工事において合理的な調査方法を検討した（図-2）。当該工事は、老朽化対策として、控え組杭式矢板岸壁の背後地盤を高圧噴射攪拌工と薬液注入工により地盤改良するものである。図-2 に調査対象位置を示す。海側から 2 列目と 5 列目の注入孔を用いて振幅減衰トモグラフィ探査を実施した。探査方法には、音響トモグラフィを採用し、薬液が注入される前（事前調査）と薬液が注入され、十分に養生された後（事後調査）の 2 回調査を実施した。

3. 調査方法

当該工事の薬液注入工は、浸透固化処理工法³⁾により施工された。図-3 に注入孔の構造を示す。注入孔は、注入外管と呼ばれる注入用の塩ビ管（内径 40mm）、および注入外管の外側からの薬液逸走を防止するためのスリーブパッカーから構成される。本調査を成立させるうえで重要なポイントは次の 2 点である。1 点目は、注入外管に挿入可能な計測器を用いることである。表-1 に音響トモグラフィの発振器と受信器の仕様を示す。従来法で用いられる発振器の外径は 44mm のため、注入外管へ挿入することができなかった。このため、性能を低下させることなく発振器を小型化（外径 38mm）し調査に臨んだ。2 点目は、事後調査の前に注入外管内を洗浄しゲル化した薬液を取り除くことで、計測器の挿入性を向上させることである。

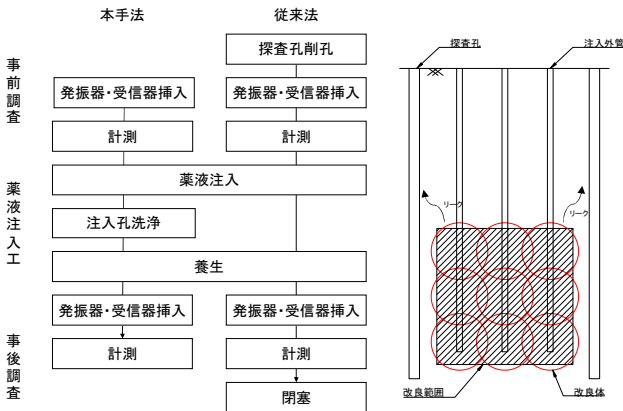


図-1 調査フロー比較

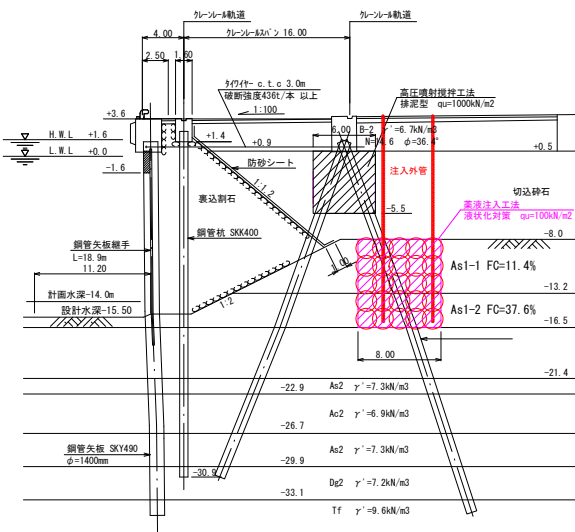


図-2 調査対象位置

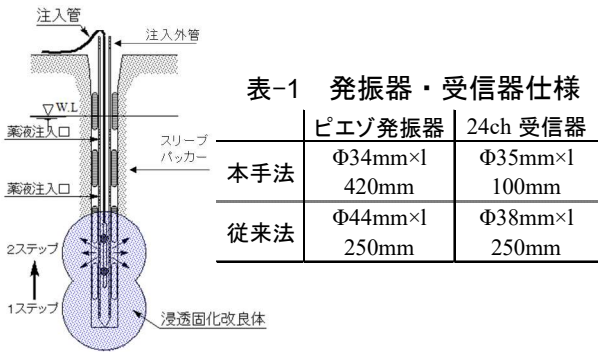


図-3 注入孔模式図³⁾

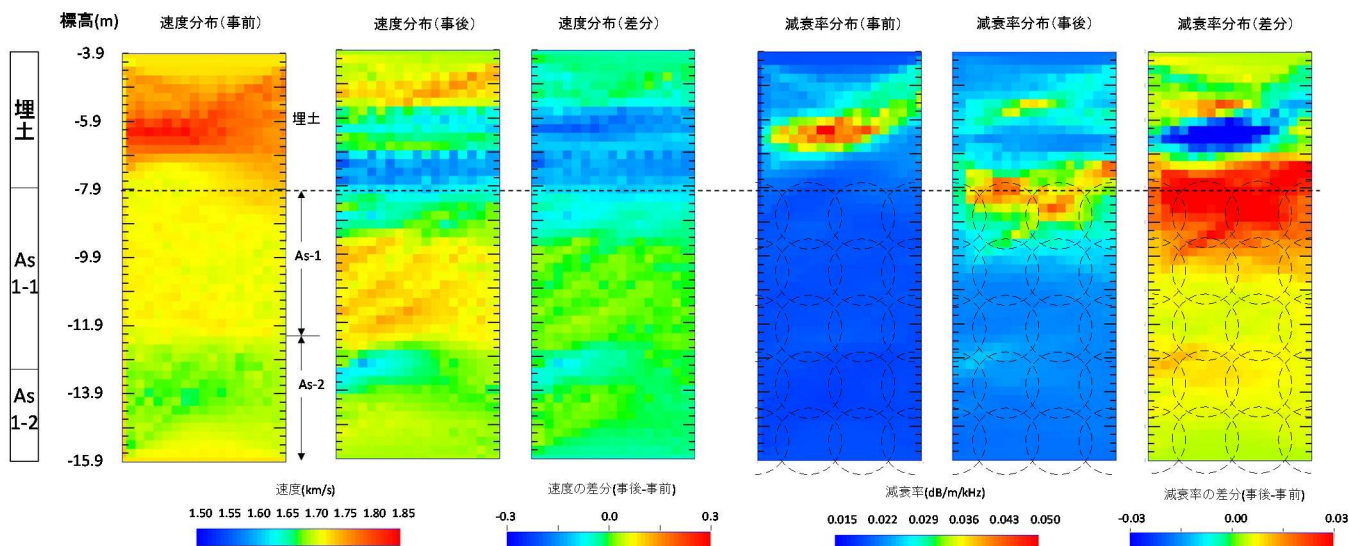


図-4 音響トモグラフィ探索結果

(図-1 参照)．以上2点の新しい試みに加え，センサーピッチ 25cm，発振周波数 6kHz の計測条件で調査を実施した．調査方法および調査原理，解析手法については，榊原ら²⁾の手法を参照されたい．

4. 探索結果

音響トモグラフィ探索の解析結果および注入前後の差分計算結果を図-4 に示す．事前調査は原地盤の弾性波伝播特性，事後調査結果は改良地盤の弾性波伝播特性を表すものである．差分計算結果は，薬液注入による地盤の状態変化を定性的に捉えるための指標である．特徴的な結果を以下に整理する．

・土層境界の特定 事前の速度分布に着目すると，標高-8m 付近と-12m 付近に速度の境界が存在することがわかる．これらの境界は図-2 における「埋土と As1-1」，「As1-1 と As1-2」の土層境界と大方一致しており，この結果から弾性波の伝播速度によって原地盤の土質特性の違いを把握することができると考えられる．

・薬液注入範囲の特定 減衰率の差分に着目すると，改良範囲全深度（-8m から-16m）にわたり，減衰率差分は正の値を示すことから，改良範囲全体に薬液が注入されていると推察される．薬液注入により減衰率の差分が増加する傾向は，既往の研究^{1),2)}と整合する．また，減衰率の差分の値が負から正に変化する標高（-7m 付近）は，改良範囲上端の標高と一致しており，本手法により改良範囲の境界を可視化することができるといえる．ところで，標高-7m から-10m の範囲では減衰率の差分はそれ以深に比べて大きな値を示すが，これは土層構成の違いによるものと考えられる．上層の As1-1 の F_c は 11.4% であるのに対し，As1-2 の F_c は 37.6% と大きな値を示すため，As1-1 における薬液の浸透性は良好であったのに対し，As1-2 では薬液は浸透されにくい状態であったと推測される．

5. まとめ

薬液注入用の注入外管を用いて振幅減衰トモグラフィ探索を実施した結果，弾性波の速度の違いから土層境界を推定することが可能であること，弾性波の振幅減衰から改良範囲を可視化できることを確認した．なお，別途実施された事後調査により，探索箇所周辺の改良地盤は設計基準強度 100 kN/m² 以上を満足することを確認している．

謝辞：実験の実施にあたっては国土交通省東北地方整備局塩釜港湾・空港整備事務所および国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所にご協力頂きました．ここに記して謝意を表します．

参考文献

- 1) 堤彩人・山本敦・榊原淳一・田子彰大・高野大樹・高橋英紀：薬液注入が弾性波の速度と振幅減衰に与える影響—シリカ濃度に関する検討—，第 73 回土木学会全国大会，Ⅲ-29，2018．
- 2) 榊原淳一・田子彰大・堤彩人・山本敦・増田雄太郎・高野大樹・高橋英紀：弾性波の振幅減衰を用いた薬液注入範囲の把握，基礎工，Vol.46，No.11，pp.54-57，2018．
- 3) 財団法人 沿岸技術研究センター：浸透固化処理工法技術マニュアル（2010 年版），2010．