

小断面鋼管内からの前方探査手法の基礎的研究

板谷 創平¹・仲山 貴司²

¹正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)
E-mail: itaya.sohsei.48@rtri.or.jp

²正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)
E-mail: nakayama.takashi.61@rtri.or.jp

本研究では、エレメント推進けん引工法を対象とし、側壁または下床版エレメント推進時の前方探査を掘進済エレメントから行う方法を検討している。この方法によれば軌道内作業やボーリング削孔を伴わないことから、本体工事との競合やコスト削減が期待できる。ただし、鋼管内からの探査で反射波を特定できるか否かについて明らかになっておらず、適用されていないのが現状である。本報告では、この可能性を探るため、鋼管内からの実施を想定した小型探査装置を製作し、土槽内に設置した 1/4 スケールの鋼管で試行した結果を報告する。

Key Words: underpass, ground exploration, modeltest

1. はじめに

現在、交通渋滞緩和を目的とした踏切解消や豪雨災害低減を目的とした河川改修などのため、軌道直下を低土被りで横断するトンネル工事が数多く実施されている¹⁾。

図-1 はこの工事で採用される施工法の一つである「エレメント推進けん引工法」の施工手順図であり、トンネル内空断面の掘削に先立ち、小断面の鋼管等を連続掘進して軌道を防護するという特徴がある。

著者らは、この工事を対象として地中探査の活用方法を検討してきた。従来は地表面近傍の支障物検知に地中レーダー探査を利用するのみであったのに対して、地表面波探査を活用した地盤の緩み状況の把握方法²⁾や、ボーリング孔間の弾性波トモグラフィ探査を活用した薬液改良地盤の物性値の推定方法³⁾などを提案している。

これらの既往の研究では、探査結果を施工管理に利用する情報(強度や透水係数等)に変換する方法の開発に主眼を置いていたが、測定時の軌道内作業や軌道近傍におけるボーリング削孔において、位置や作業時間に制約があるという課題も明らかになった。

そこで本研究では、この課題解決のため、鋼管内からの前方探査手法について検討している。トンネル坑内からの前方探査は古くから数多くの実績があり、山岳トンネルの施工では地質状況の把握のための弾性波探査⁴⁾、シールドトンネルや小口径推進工法の施工ではカッターフェイスに配備した装置で支障物検知のための電磁波探査⁵⁾などが実施されている。ただし、エレメント推進けん

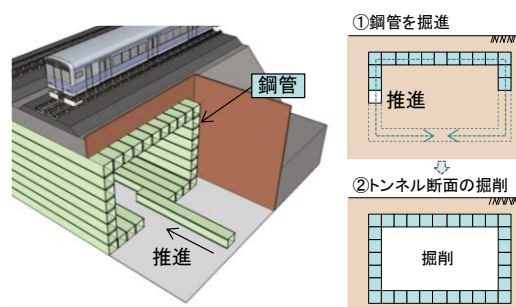


図-1 エレメント推進けん引工法の掘削手順

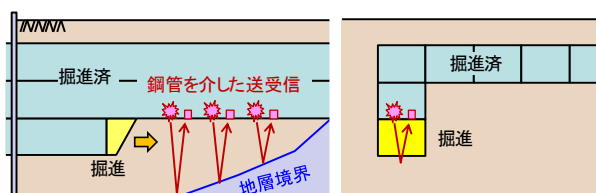


図-2 本研究で提案する前方探査方法

引工法では、鋼管の断面が 1m^2 以下と狭隘で、人力掘削する場合が多く、計測作業が掘進作業と競合するという問題があった。

本研究では、これらの問題を解決する方法として図-2 に示す方法が有用と考えた。測定・補正原理自体は反射波法を利用したものであるが、鋼管を連続掘進するという特徴を生かし、先行した掘進済鋼管から次の鋼管掘削位置の探査を繰り返す手順としている点に特徴がある。

本稿では、制作した測定器の仕様、1/4 スケールの鋼管を土槽に設置して探査を試行した結果を示す。

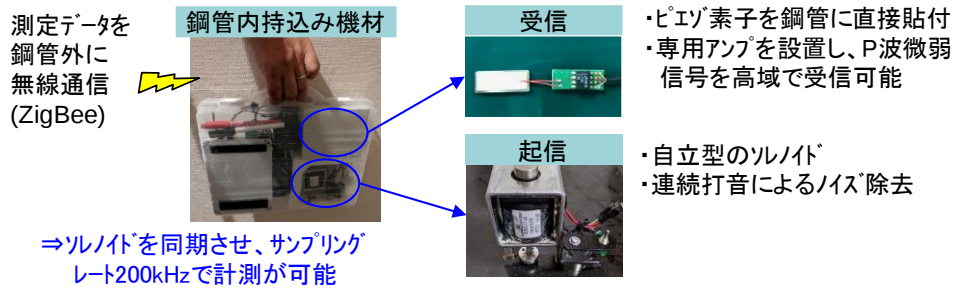


図-3 本研究で製作した測定器

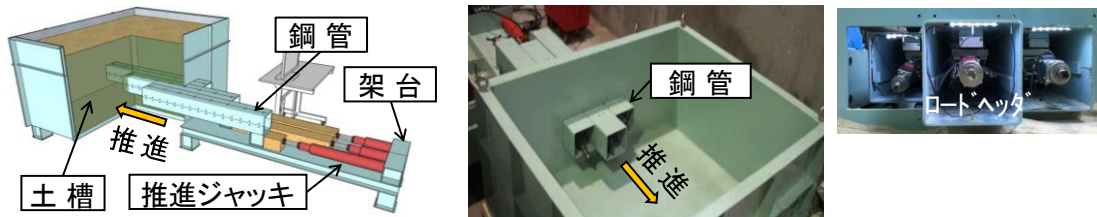


図-4 使用した実験装置

2. 計測器の特徴

本研究で制作した計測器は、起信部、受信部、制御モジュールおよび操作・描画ソフト（動作OS：Windows）からなる（図-3）。鋼管外の作業ヤードで逐次測定結果を分析できるように、制御モジュールと操作ソフト間の通信は、鋼管内での利用実績のある ZigBee 規格の通信モジュールで無線化した。

①起信部

起信部はソレノイドと固定用電磁石（いずれも駆動電圧 12V）で構成される。探査範囲は図-2 に示したように、鋼管 1 本分の距離（約 1m）と短い。鋼管を介して地盤に信号を入力するため打撃方式を採用した。打撃にはノイズ低減を目的に 1 地点で連続打撃してスタッキング処理を行うため、ソレノイドを使用した。

②受信部

受信部はピエゾ素子（bimorph series 型）と直近の増幅アンプ（ゲインは受信信号の状況により調整）で構成される。鋼管が受信する微弱な信号を捉えるため、絶縁したピエゾ素子を鋼管に直接貼付ける仕様とした。なお、この受信部は、低拘束圧下の土中でも弾性波トモグラフィ探査が可能なベンダーエレメント²⁾を改良したものである。

③制御モジュール

制御モジュールはソレノイドのスイッチング、アンプの駆動および収録・無線通信回路で構成される。ソレノイドの駆動時間、サンプリングの制御には Arduino を使用し、最大 200kHz のサンプリングを可能とした。

④操作・描画ソフト

Arduino との通信と収録データの図化のほか、反射波の簡易補正処理を行う仕様とした。通常、反射波法では

複数点で同時収録し、振幅減衰回復や静補正、デジタル周波数フィルター、デコンボリューションフィルター、共通反射点重合などの補正処理を施し、マイグレーション処理による傾斜補正を行う。

本報告では、測定方法を勘案し、デジタル周波数フィルター、前述した同一点の重合、マイグレーション処理（Stolt の方法⁶⁾）を自動で施す仕様とした。

3. 1/4 スケール鋼管を用いた検証

反射波法を用いる場合、起信元から受信位置に反射波に加えて表面波が伝わる。探査する深度が深い場合には、これらは独立して到達するため、理論走時に基づく到達時間の違いから反射波を特定することができる。一方、探査する深度が浅い場合、周波数によるものの表面波と反射波が重なった波形が到達する。特に、起信に打撃方式を用いる場合、信号の周波数は低くなるため、この影響が大きい。理論的には重合処理により分離することが可能であるが、表面波も表面形状等の影響を受け受信位置で完全に同一とならないため、その影響が残り判別を困難にする。本研究で対象として鋼管内の探査は、後者の深度が浅い場合に相当する。そこで、実機よりも小型の 1/4 スケール鋼管を用いて近傍の信号から特定の反射波を特定できるかを検証した。

(1) 使用した実験装置

実験装置を図-4 に示す。刃口先端にロードヘッドを装備した鋼管、架台、推進ジャッキおよび土槽で構成されるもので、鋼管の連続掘進による周辺地盤への影響評価等の実験で利用しているものであり²⁾、実挙動に近い地盤挙動を再現できるものである。

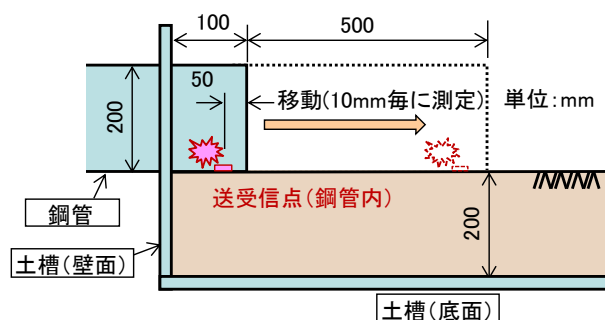


図-5 測定方法の概要

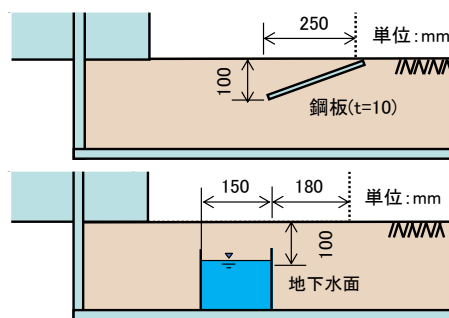
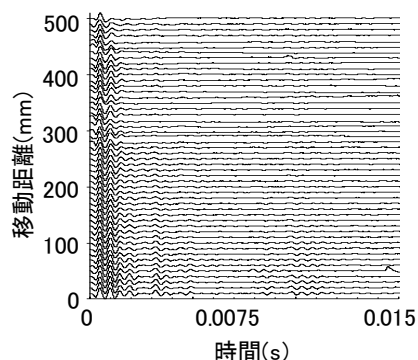
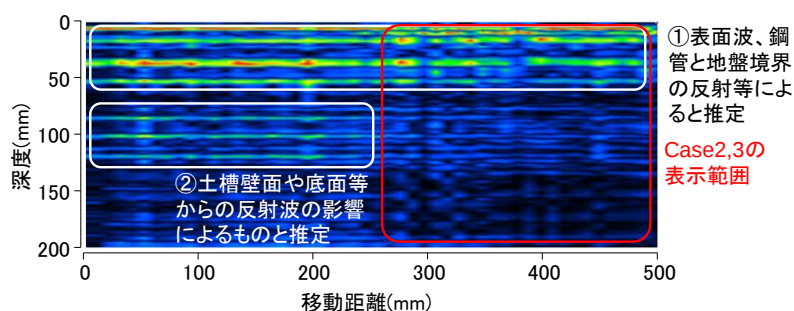


図-6 埋設物の設置方法（上：Case2, 下：Case3）



(a) 収録波形



(b) 補正処理後のコンター図

図-7 計測結果（Case1）

(2) 測定方法

測定方法を図-5に示す。本研究では鋼管の刃口先端から50mmの位置に起信・受信部を10mm間隔で配置した。鋼管下方には深さ200mmの模型地盤を作成しており、含水させた珪砂7号を目標相対密度80%で締め固めた。図-2に示すように、実際には掘進済鋼管内で起信・受信部を移動させながら測定することを想定しているが、本検証では鋼管自体を移動することで起信・受信位置の移動を表現しており、10mm毎に計500mmの範囲を測定した。

(3) 実験ケース

本報告では3ケースの測定結果を示す。土中に埋設物を配置しない場合（Case1）のほか、図-6に示すように、土中に鋼板を斜め配置した場合（Case2）、プラスチックの仕切り板（厚さ1mm）設置して、その中を飽和状態にして地下水面を設けた場合（Case3）を実施した。

(4) 実験結果

a) Case1

土中に埋設物の無いCase1の計測結果を図-7に示す。図-7(a)は収録し、スタッキング処理された波形であり、図-7(b)は、マイグレーション処理を行い深度方向の距離に換算したコンター図である。なお、スタッキング処理によりノイズが低減されたため、周波数フィルターは使用していない。

この図から、表面から深度50mm程度までは一様な反応が見られる（図中①）。発生している傾向から、これは従来の反射波探査でも見られる表面波および鋼管と地盤境界の反射によるものと考えられる。また、これ以深でも反応は見られ、特に移動距離250mm程度までは反応が断続的に分布している（図中②）。これは土槽壁面や底面等からの反射波の影響によるものと推定される。

この結果から、用いた試験装置では、深度50mmおよび移動距離250mm程度までは埋設物を設置した場合に反射波を特定することが困難であることがうかがえる。

b) Case2, Case3

斜め配置した鋼板、地下水面を設けたCase2, Case3の結果を図-8, 図-9に示す。なお、コンター図では、Case1の結果を踏まえて移動距離250mm以降を示した。

これらのケースにおいても、表面から深度50mm程度までは、Case1と同様に表面波による影響と想定される反応が見られている。加えて、これ以深において、それぞれの形状は特定できないものの、斜め配置した鋼板、地下水面を設けた位置で反応を見ることができる。これらはCase1では見られない反応であり、埋設物からの反応と推定される。このことから、本研究で制作した小型の計測器および1/4スケールの鋼管を用いた場合、鋼管を介した反射波を捉えることができていくことがわかる。

ただし、これらの結果の判読はCase1のように埋設物

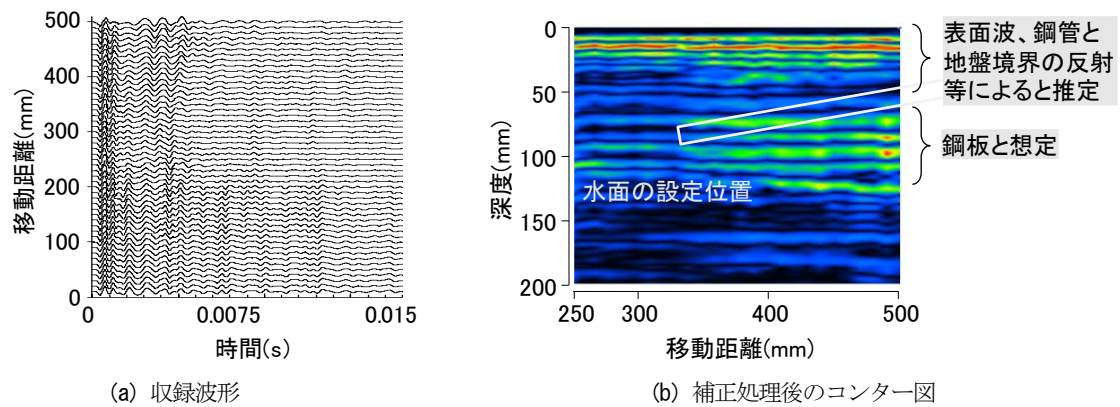


図-8 計測結果 (Case2)

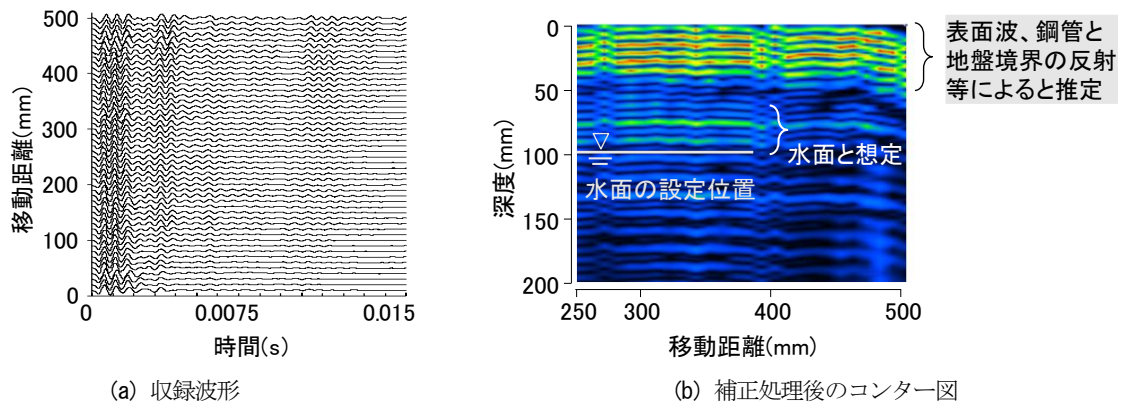


図-9 計測結果 (Case3)

が無い場合の結果との比較がなければ困難である。このような傾向は、前述した既往研究の地表面波探査やボーリング孔間の弾性波トモグラフィー探査でも見られており、これらにおいては施工前後の2回の測定を行い、その差分で評価することで対応している。

今回の試験装置を用いた探査に比べて実際の探査深度は深くなることから影響は小さくなることも推定されるが、単独の探査結果からの判読ではなく、相対比較できる測定方法を検討することが今後の課題と考えられる。

4. おわりに

本研究では、線路下横断工法の特徴を生かし、先行した掘進済鋼管から次の鋼管掘削位置の探査を繰り返していく探査法（反射波法）を提案した。今後は実鋼管を用いた探査を試行していく計画である。

参考文献

- 1) 公益社団法人土木学会 トンネル工学委員会技術小委員会：特殊トンネル工法 - 道路や鉄道との立体交差トンネル - トンネル・ライブラリー 31, 2019.
- 2) 石原匠, 仲山貴司：低土被り条件における角型鋼管推進中の切羽影響評価方法の検討, 第 25 回地下空間シンポジウム論文集, No.B2-4, 2019.
- 3) 福井義弘, 仲山貴司, 澤田亮, 赤木寛一：線路下横断トンネル工事に伴う薬液注入の評価, 第 25 回地下空間シンポジウム論文集, No.B1-1, 2019.
- 4) 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構：山岳トンネル設計施工標準・同解説, 2008.
- 5) 公益社団法人土木学会 トンネル工学委員会：トンネル標準示方書【共通編】・同解説／【シールド工法編】・同解説 2016 制定, 2016.
- 6) Stolt, R.H ; Migration by Fourier transform, Geophysics, Vol.43, pp.23-48, 1978.

Study on Ground Exploration from Rectangular Steel Pipes

Sohei ITAYA, Takashi NAKAYAMA

In this study, the ground exploration method is modified to use in under pass construction site, we consider new procedure of exploration without boring holes, we report the results of examining the transmission and reception method and correction processing method using 1/4 scale steel pipe.