

シールド外周の地山状態計測システムについて実用化研究・検証（その1）

鉄建建設(株) 正会員 ○山田 宣彦
 鉄建建設(株) 橋本 崇俊
 (株)アーク・ジオ・サポート 村越 誠
 東京大学名誉教授 浅田 昭

1. はじめに

切羽での掘削土の状態を直接確認できない密閉型シールドでは、切羽圧力、排土量、シールド負荷等をモニタリングして施工中の状態を間接的に確認する。切羽の安定については上下限圧力の間でチャンバー内圧力を管理することが一般的である。その他、チャンバー内の閉塞を起こさないように塑性流動性の維持や排土量の監視等の様々な対策を行うが、上下限圧力の管理値と適正值について、地表面変状が現れてからその乖離を認識することも多い。地表面の変状は掘削土の過剰な取り込みを伴うこともあり、取り込み過多による地山の緩みや空洞を探索できる技術の開発が望まれていた。本研究は、超音波を用いて行うシールド外周の地山状態の計測を可能とする装置の開発に伴い実施したものである。

2. 研究・開発概要

カッターヘッドにより切削された泥土または泥水が充満する領域とその外側の地山では、音響インピーダンスに差がある。シールド本体のスキンプレート内側にソナーを取り付け、外側に向け超音波を発信するとそれらの境界で反射する。発信からその反射波受信までに要する時間と泥土中の音速度から余掘り範囲の深さ推定は可能である。過年度は、模擬地盤を用いた試験を行い掘削土砂と模擬地盤との境界面からの反射波を抽出した。また、装置を稼働中のシールド（以下、実機）に取り付け計測環境の機器への影響を確認、得られた課題を報告した¹⁾。本研究では、計測条件について基礎実験を行うとともに、解析手法の深度化で課題解決を図った。併せてソナーを多チャンネルにして実機に取り付け約1年間の連続計測を行った。

図-1 にシールド内側にソナーを取り付けた計測概要図を示す。

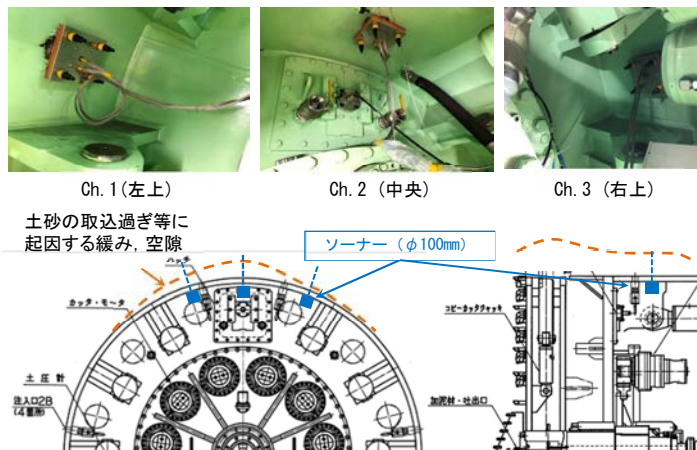


図-1 ソナーを取り付けたシールドの概要

3. 多重反射の減衰

3. 1 ダンピング材の検討

過年度の試験で課題となった「鋼板内多重反射波の影響」を減ずるために、多重反射減衰の効果が期待できるシート状素材の音響特性試験を行った。試験例として図-2 に厚さ 1mm のシリコンシートの音波伝搬計測の状況と特性試験結果を示す。ダンピングの効果は相対的に、シリコンシート>ビニルシート>ゴムシート>アクリル板の順に期待できた。シリコンシート、ビニルシートの厚さ 2 mm または 3 mm のものは音波減衰が大きく、反射波透過への影響も予想された。材質の耐久性も考慮し、4 章では厚さ 1mm のシリコンシートを用いることにした。

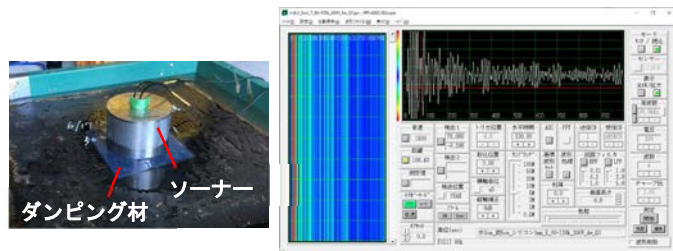


図-2 音波伝搬特性試験

キーワード シールドトンネル、余掘り、ソナー、計測、解析

連絡先 〒101-8366 東京都千代田区神田三崎町 2-5-3 鉄建建設(株)土木本部地下・基礎技術部 TEL03-3221-2165

3. 2 計測条件の検討

厚さ 50mm の鋼板において鋼板内多重反射の低減効果がある発信時 90kHz の音波が生成される波数を求めた。60~100 kHz について 1kHz 毎に波数 1, 波数 3, 波数 4, 波数 5 と変えて計測, 波数 3 以上でピーク周波数が 90kHz となった。図-3 に波数 1 と波数 3 における受信信号の計測結果と高速フーリエ変換の解析結果を並べた図を示す。ここで, 5 波目では受信する反射波との干渉も考えられ, ここでは波数 4 が適当と判断した。80~100 kHz について 1kHz 毎に波数 3 および波数 4 で計測して 1 回の計測とした。

4. 実機搭載試験

4. 1 実機へのソーナー取り付けについて検討

音波伝搬においてソーナーは, 取り付けるシールドの円筒形からなるスキンプレートの内面に十分に接触する必要があり, 長期の計測中も変質しない接触触媒を検討した。材料が「容易に手に入る, 化学変化が起きにくく変質しない, 粘性・弾性がありソーナーと壁面の間に馴染む, 音波伝搬に優れる」ものとして, ドライカップリングシートとシリコンオイルの組み合わせにおいて, 鋼板内多重反射を抑えられる効果を確認した。

4. 2 データ通信システムの構築

実機に取り付けての長期連続計測を行うにあたり, リモートデスクトップによる遠隔操作が可能なシステムとした。高圧幹線延長等による停電およびその電源復旧にもリモートによるオペレーションが可能である。

4. 3 実機での計測

2020 年 3 月から約 1 年間, 実機に取り付けて計測した。シールドの稼働中は 1 回/3 分, 停止中は 1 回/20 分間隔で計測し合計 25,553 レコードのデータを取得した。停電にも対応でき, 計測は順調であった。

5. 解析について検討

ソーナーが発信する連続波は 1 波目より 2 波目, 2 波目より 3 波目と後の波ほど応答がよい。また, 多重反射は周波数に対応, 位相の反転した波は打ち消しあう。多周波数の音響信号を使うことで鋼板内部に生じる多重反射の自己減衰特性が利用でき多重反射は除去できる。

ある計測回とその 1 回前の計測で得た波形の差をとる。図-4 に 4 波の差分をとった例を示す。計測した連続パルス波について, 3 波目までの信号を用いて 4 波目の信号を抽出して分解能を向上, 80~100kHz の合成波を生成した。図-5 に解析例と解析概要を示す。

6. まとめ

約 1 年間の連続計測を実施, 継続してデータを取得することができた。掘削泥土と地盤の境界面からの反射波を抽出する解析において反射波は, 掘削機の作動時に明瞭だが停止中は不明瞭であった。今後は得られた解析結果の正確度の確認と掘削機停止中のデータの解析手法の確立が課題である。

参考文献

- 1) 岩瀬ら：シールド機外周の地山状態計測へのソーナーの適用検討, 土木学会第 74 回年次学術講演会, VI-486, 2019

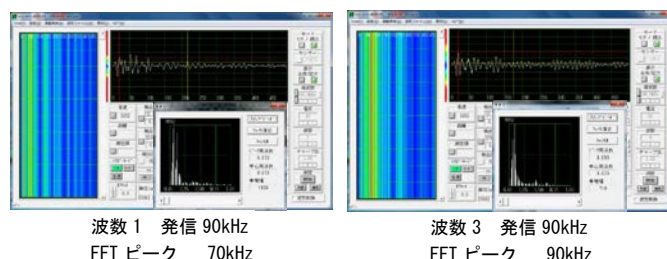
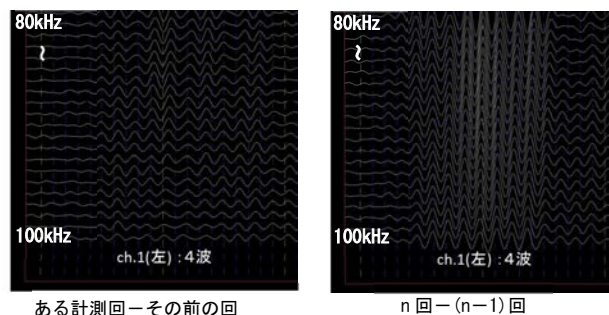
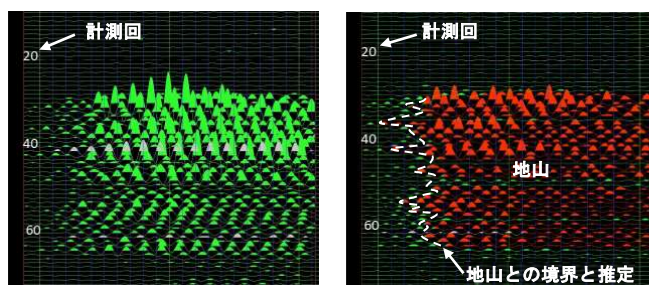


図-3 特定周波数を生成する波数の決定



- ・各回, 波数 3 で 80kHz~100kHz, 波数 4 で 80kHz~100kHz まで 1kHz 毎に計測
- ・当該回のデータとその 1 回前に計測したデータの差分をとる。

図-4 解析 (その 1)



- ・生成した 80~100kHz の合成波を計測回ごとに並べた。
- ・「4 波目の信号のみを抽出」= 「4 波で計測したデータ」- 「3 波で計測したデータ」。4 波目のデータを 3 波分前にスライドして発信位置を調整した。
- ・赤は, 波形 (振幅の絶対値) の最大値に対して 0.3 以上となるものを示し, その立ち上がりが地山との境界と推定される。
- ・ここでは 0.3 を閾値とした。

図-5 解析 (その 2)