

VI-177 シールド前方探査における電磁波利用の基礎的実験

清水建設（株） 正会員 ○尾之内 和久 同 了 戒 公利
同 児 島 彰
三井造船（株） 上牟田 千尋

1. 電磁波探査法の現状と問題点

シールド工事における前方探査技術では、レーダ理論にもとづいた電磁波探査法が有効な手段として注目されている。本技術は、シールド機のカッターヘッドから前方の地山に向けて電磁波パルスを発信させ、地山と電気的特性が異なる物体があると、その物体と地山との境界面で電磁波が反射され、その反射波を受信することにより、掘進前方に存在する物体を認識することを原理としたものである（図-1）。しかし、電磁波は、周辺地山の性状（土質・含水比など）や埋設物の性状（材質・誘電率など）により、伝播速度や減衰の程度、反射波の強度が大きく左右されるため、探査可能距離や物体までの正確な距離の把握、物体の材質・形状の判別が難しいのが現状である。

そこで筆者らは、本技術の探査能力を向上させ、信頼性の高い探査技術への展開を行うために各種実験やデータ収集・解析を行っている。本論では、この技術の実施工への導入を前に実施した事前実験（地上実証試験）の結果を報告する。

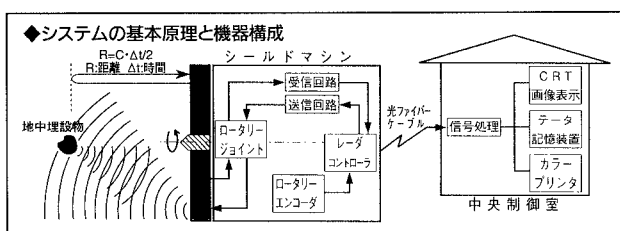


図-1 電磁波探査技術 概念図

2. 電磁波探査技術の原理

電磁波を利用した探査では、反射波の受信時の電力の強弱が物体の探査の可否を決定する。現在、土中放射の理論解は得られていないため、一般的な空中放射の理論解をベースにすると、反射波の電力(P_r)は、式(2.1)で決定される¹⁾。ここに、反射率(γ)は、式(2.2)となる。

$$P_r = \frac{(P_t \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \gamma \cdot \sigma)}{(4\pi)^3 \cdot R^4} \quad (2.1)$$

$$|\gamma| = \frac{\sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)} - \sqrt{(\epsilon_2)}}{\sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)} + \sqrt{(\epsilon_2)}} \quad (2.2)$$

P_t : 送信尖頭電力
 G : アンテナ利得
 λ : 自由空間波長
 σ : ターゲットの有効反射面積
 R : アンテナとターゲット間の距離
 γ : ターゲットの反射率
 ϵ_1 : 空中の比誘電率
 ϵ_2 : ターゲットの比誘電率

このように、電磁波で物体を検知するためには、電磁波の反射強度（反射波の電力）が大きいくほど検知しやすい。以下に電磁波による探査での一般的な性質を示す。

- ① 反射波の強弱は、物体の有効面積に比例する。
- ② 反射波の強弱は、物体とアンテナとの距離の4乗に反比例する。
- ③ 土質と物体の比誘電率の差が大きいくほど、反射強度が大きい。

3. 実験概要（目的と方法）

I 実験目的：本実験は、前方監視レーダのシールド機の搭載に先立ち、その性能を確認し、実施工で得られたデータの良好な判定のために以下の目的で行うものである。

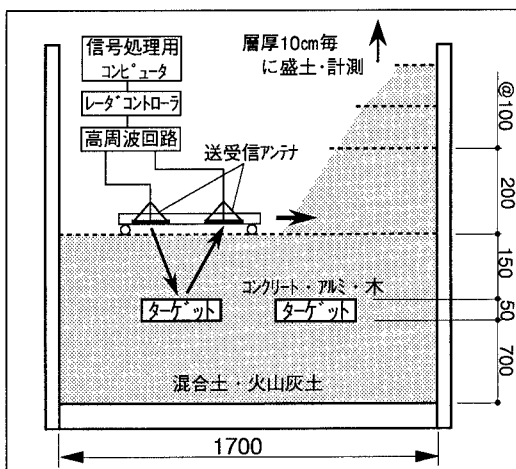


図-2 土槽実験 概念図

① 土質による探査可能深度の把握

② 探査対象物性別による、反射強度の違い確認（物性確認の可否把握）

Ⅱ 実験方法：実験方法は、土槽に埋設したターゲットを、レーダシステムを使用して地表面から検知するものとした。実施工で搭載予定の送受信アンテナを 60cmの間隔でキャスター付きの合板に取付け、ターゲットを埋め込んだ土の上を人力で走査してデータを収集した。また、探査可能深度を調査するため、層厚10cmごとに土を追加し、転圧機で転圧後に各深度ごとのデータを収集した。データの収集時のアンテナ走査と土槽の状況を図-2に示す。表-1に土質とターゲット埋設との組合せを示す。

表-1 土槽実験 ターゲット・土質 一覧表

土槽	土 質	ターゲット（寸法）
A槽	混合土 含水比 21%	コンクリート板・アルミ板 (20×60cm)
B槽	混合土 含水比 25%	コンクリート板・アルミ板 (20×20cm)
C槽	混合土 含水比 29%	木製平板 (20×60cm)
D槽	火山灰土 含水比 24%	コンクリート板・アルミ板 (20×60cm)

4. 実験結果

本土槽実験では、各深度毎に収集した反射波の強度を測定し、Bモード表示（15階調色トーン表示）した。図-3にBモードの抜粋を示す。収集したデータより求めた反射強度と埋設深度の相関を図-4に示す。図の縦軸は、D槽のアルミ板（20×60cm）での最大反射強度（深度15cm）を1として表示し、横軸を埋設深度とした。図-4から判明した項目のうち、主な項目3点を以下に示す。

① 図-4の反射強度比（縦軸）の0.07付近が、Bモード表示での反射パターンによりターゲットを認識可能な下限であった。これにより、本システムでの探査可能深度は、火山灰土内のアルミ板(20×60cm)で約135cm、同土中のコンクリート板(20×60cm)で約55cm、混合土内のアルミ板・コンクリート板は大きさに関係なく40cm以下であった。

② 同じ土（同土質・同含水比）中で、有効反射面積が同等の場合では、Bモード表示の認識可能範囲内（反射強度比0.07以上）において、コンクリートの反射強度はアルミ（金属）の反射強度の約50%以下である。

5. 今後の課題

本実験の実施により、土質の違いやターゲットの物性・大きさの違いが、電磁波の反射強度に差異を生じさせ、探査可能深度に大きな影響を及ぼすことが判明した。今後は、実験で使用したターゲットと土質の比誘電率の推定、及び理論式（2.1、2.2）と実験データとの照査と検討を行い、土中での理論モデルを構築し、本システムの信頼性（探査可能距離、埋設物の判断基準等）や土質毎の電磁波の伝播特性などを把握する予定である。また、実施工においての地中埋設物の検知データの解析や、現場でのターゲット試験の実施、収集データの解析等を行う所存である。

参考文献：1) 地中探索レーダシステム、鈴木 他、信学技法（電子通信学会）SANE79-40

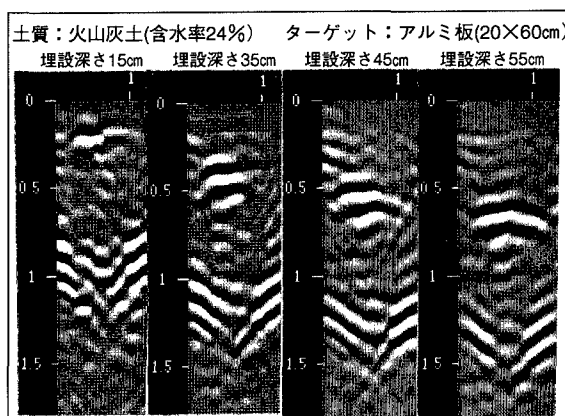


図-3 Bモード分析結果（抜粋）

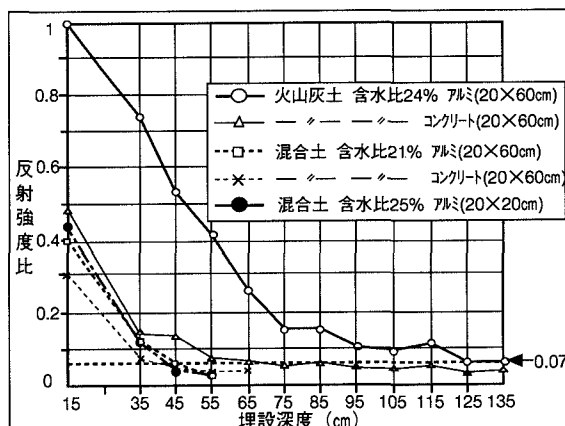


図-4 埋設深度と反射強度の関係