

## 23. シールド地中探査システムの開発

飛島建設(株)：板場 通夫・堀崎 敏嗣  
\* 稲田 義和

### 1. はじめに

大深度・大断面・長距離化など、ますます多様化するシールド工事では、泥水式・土圧式などの密閉型シールド掘進機が多用されている。一方、密閉型シールド掘進機はその構造的制約から、切羽状況を直接目視することが不可能なため、土圧計をはじめ各種計測器の測定値により間接的に切羽の状態を管理して掘進を行っている。

電磁波レーダーを用いた『シールド地中探査システム』は、シールド機の面盤に取り付けたレーダー装置により、切羽の状態を直接リアルタイムに探査して、切羽安定管理の信頼性向上を図るものである。

本報告は、『シールド地中探査システム』の概要と実施工における実証結果について報告する。

### 2. 開発の目的

シールド工法における地中の探査対象は、巨礫、杭などの障害物、ゆるみ・崩壊など周辺地山の性状、切羽の地質変化の3種類に大別することができる。これらのニーズに応える探査技術として、電磁波法、音波・レーラー波法、四電極法などの手法が試みられているが、探査距離や探査精度などすべての要素を満足する確立された方法が無いのが現状である。

本システムは、シールド機周辺地山のゆるみ・崩壊発生状況をリアルタイムに探査して施工にフィードバックすることを主な目的とし、障害物や切羽面の地質変化の検知も可能なシステムを目指して開発を行ったものである。このため、探査方式は、探査距離がやや短いが高精度に地中の状況を探査でき、かつリアルタイムな探査が可能である『電磁波レーダー方式』を採用した。

### 3. システムの概要

#### 3.1 電磁波探査法の測定原理

電磁波レーダーの探査原理を図-1に示す。送信アンテナから地山に向けて放射された電磁波パルスは、シールド機周辺の泥水・泥漿材の層やゆるみ・崩壊により発生する空洞や密度の低い領域を通過して、これらと比誘電率の異なる地山との境界面で反射する。この反射波を捉えることにより地山境界面までの距離が求まり、その

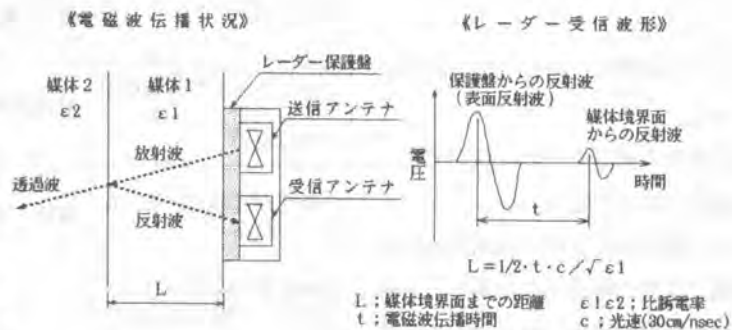


図-1 電磁波レーダーの探査原理

変化によりゆるみや崩壊の発生を検知する事ができる。同様にして、地山中の玉石や杭などの障害物も、

地山と比誘電率が異なるため反射波が生じ、それを受信することによりその存在を知ることができる。

### 3.2 システムの構成

本システムは以下の各部より構成される。

(図-2 参照)

- ①回転するカッターフェースに取り付けられ、電磁波を送受信するレーダーアンテナ部
- ②アンテナからの信号をA/D（アナログ/デジタル）変換して地上に伝送する機内制御部
- ③回転するレーダーアンテナと機内制御部を連結するスリップリング

- ④レーダー信号の解析表示・記録とシステムの制御を行う地上制御部

尚、レーダーアンテナは、切羽を多角的に探査するためにカッターフェース前面と周面に設置する。

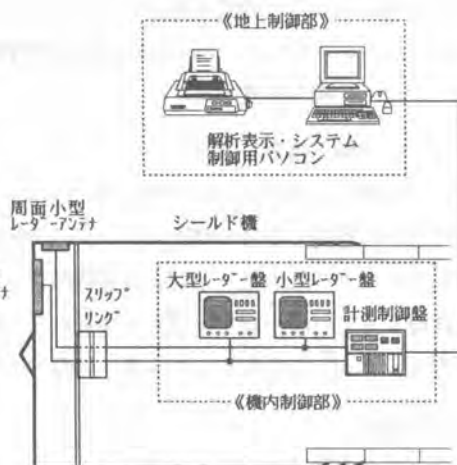


図-2 システム構成

### 3.3 システムの特長

システムの特長を以下に示す。

- ①シールド機カッターフェースと共にレーダーアンテナが回転して、連続的に切羽全断面の探査が可能であり、掘進に伴う地山状態の変化も把握できる。
- ②掘進中のシールド切羽面をリアルタイムに探査表示・記録ができ、速やかに適切な対処が可能となるため、施工の安全性が向上する。
- ③前面大型レーダーと周面小型レーダーの組み合わせにより、障害物探査からシールド機周辺のボイド発生状況まで、広範囲な探査が可能である。
- ④掘進中の切羽天端部のゆるみ領域やコピーカッターの余掘量・範囲などが探査でき、シールド機周辺地山の安定状態が常に監視できる。
- ⑤埋設管などの切羽障害物を事前に探査できる。
- ⑥切羽面の地層境界とその変動を探査でき、切羽地質の変化が把握できる。

## 4. 実施工での実証結果

本システムを実施工に適用して、システム性能の実証を行った。以下にその概要を示す。

### 4.1 工事概要

工事件名；新宿御苑共同溝関連管路新設工事

工 法；泥土圧式シールド工法



写真-1 システム搭載シールド機

施工延長；シールド区間延長116m

切羽土質；東京第一砂質土層。到達立坑付近では渋谷粘土層に変化する。

線形；前半部にR=150mの曲線区間、後半部はR=150mの縦断曲線を経て、到達立坑まで125‰の登り勾配が存在する。

#### 4.2 シールド機と搭載システム

シールド機は、外径4,370mm機長6,860mmの泥土圧式であり（写真-1）、カッターフェース前面及び周面に以下の目的で3台の電磁波レーダーを装備した。

遠距離レーダー（大型）；前方障害物探査、地質判別

近距離レーダー（小型）；前方のゆるみなど地山性状の探査

周面レーダー（小型）；カッター周面の地山性状の探査

#### 4.3 実証結果

##### (1) シールド機周辺地山の性状探査

R=150mの曲線区間で実施した余掘りの周面レーダーによる探査結果を図-3に示す。図中の模様は、受信電磁波の電圧レベルを濃淡で表している。縦軸は反射波走時を地山の比誘電率の実測値（ $\epsilon = 27$ ）を用いて距離に換算したもので（図-1参照）、原点は表面反射波第1波のピークとした。また、横軸はレーダーの回転角度を表し、天端を原点（0°）として切羽に向かって時計廻りの角度を示す。

図-3より、余掘り範囲が明確に判別できる。余掘りを示す帯状の模様は、コピーカッターによる地山切削面からの反射波を捉えたものである。また、余掘り量は縦軸の値より推定が可能である。

図-4は、掘進中に掘削土砂の取り込みすぎによりシールド機天端部に発生した小規模なゆるみを探査した例である。地山がゆるみ空隙が発生したため反射波が生じ、それが図中の模様の乱れとなって現れている。また、この図よりゆるみの発生領域も判別できる。

##### (2) 障害物探査

図-5は、東京第一砂質土層内を掘進中に、遠距離レーダーにより探査された残留管（鉄製、 $\phi 60$ mm厚さ約2.3mm）の探査結果であり、図-6は図-5のデータに差分フィルターを掛けて円形表示したものである。差分フィルターとは各角度におけるレーダーの受信波形より、表面反射波など他の波形にも

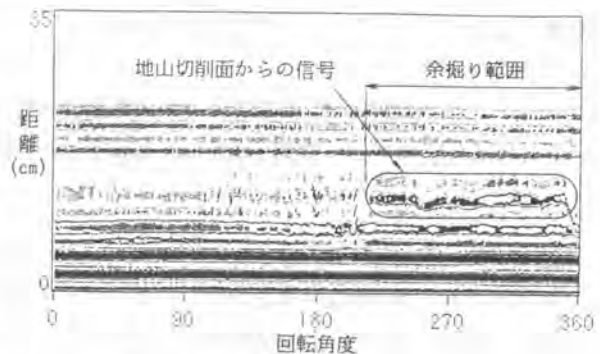


図-3 余掘り範囲の探査例

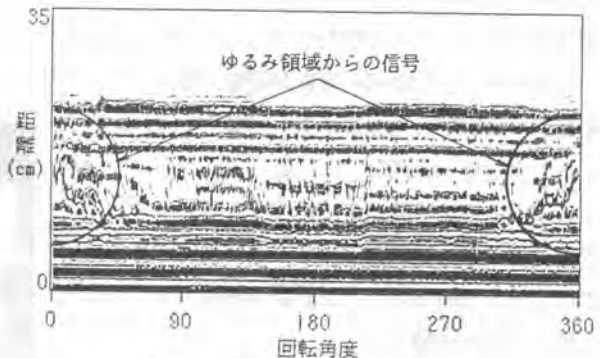


図-4 ゆるみの探査例

共通して含まれる成分を除去することにより、障害物などによる波形の変化を強調するデータ処理方法である。図-6よりシールド機掘削面に対する残留管の位置が特定できる。

本事例における遠距離レーダーの探査可能距離は80cmであった。探査可能距離は探査対象物の大きさ、地盤の種類などの探査条件により、電磁波の反射係数や地中での減衰の程度が大きく変わるため、概ね20cm~1.5mの範囲で変化する。

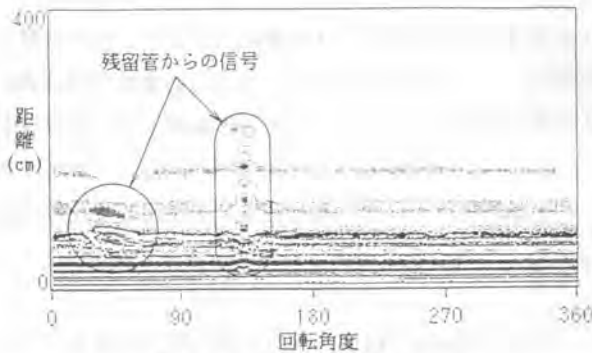


図-5 残留埋設管の探査例

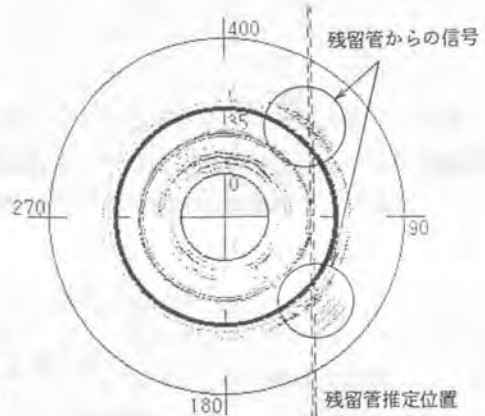


図-6 残留埋設管の探査例(円形表示)

### (3) 地質の判別

本共同溝は、後半部が125%の登り勾配となっており、切羽の地質は東京第一砂質土層から渋谷粘土層に変化する。図-7、8は、遠距離レーダーにより東京第一砂質土層と渋谷粘土層の境界を探査したものであり、シールド機の進行にともない、東京第一砂質土層から渋谷粘土層へと切羽地質が変化している様子が分かる。

### 6. おわりに

本システムを実施工に適用した結果、システムの基本性能を実証することが出来た。

今後は、他の実施工によりさまざまな土質への適用性を検証するとともに、データ解析手法を研究して探査結果の判別を容易にし、実用性の高いシステムとしたいと考えている。さらに、本システムを応用した切羽安定の自動化システム構築を目指す所存である。

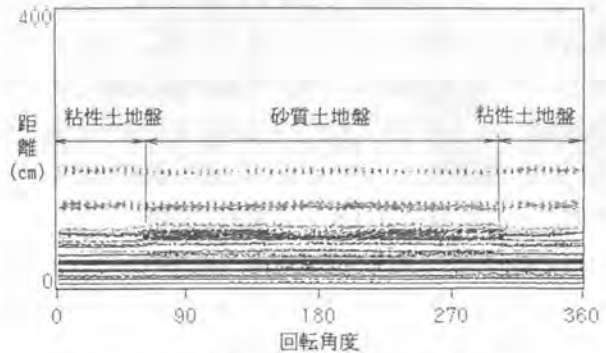


図-7 地層境界の探査例(74リング掘削時)

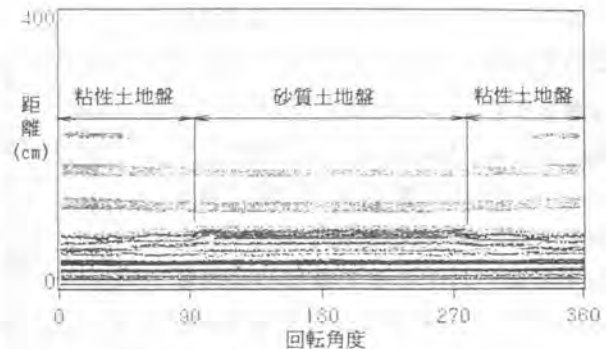


図-8 地層境界の探査例(79リング掘削時)