

## 40. シールド掘進機に装着した小型レーダからの地山情報

KOMATSU：\*桑原 壽朗・坂西 昇一

### 1. はじめに

シールドトンネル工事の切羽付近に生じやすい崩壊やゆるみを早期に発見することは、地上での地盤沈下を防ぐためにも、シールド掘進機の安定制御のためにも、重要なことである。

小型レーダによる切羽監視装置（商品名ボイドシーカ）は昭和62年の導入以来すでに4つの現場で使用された。従来、このような装置なしで掘削できていたため、当初その効果を疑問視する声もあったが、実際の施工に用いたあとの評価は高い。これは、装置のもたらす情報が単に探查棒の代替として以外にも、多くの情報を伝えてくれることが明らかになったこと、こういった情報が、ベテランオペレータの高い技術を裏づけること、そして複雑な地山への対応を科学的なデータをもとに検討できることなど、その広い用途に対応できる性能によるものといえる。

ここでは、現場における画像と解析例を紹介し、あわせてこの装置のもつ可能性についても考察してみたい。

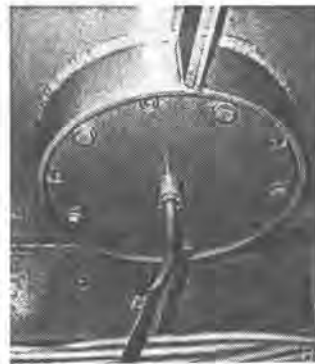


図-1 送受信アンテナ（シールド機内より）

### 2. 装置の概要

図-1に示す丸型アンテナケースには、送信用、受信用として2つのアンテナが納められている。このアンテナケースをシールド掘進機本体上部スキンプレートに設置する。送信用アンテナからウルトラポリエチレンのカバーを透過して放射された電磁波は泥水を透過し、一部は地山内に侵入し、一部は反射して受信アンテナに戻る（図-3）。この波形をコンピュータで画像に変換する。オペレータ室または地上の事務所に置かれたCRTでこの画像を観測する。

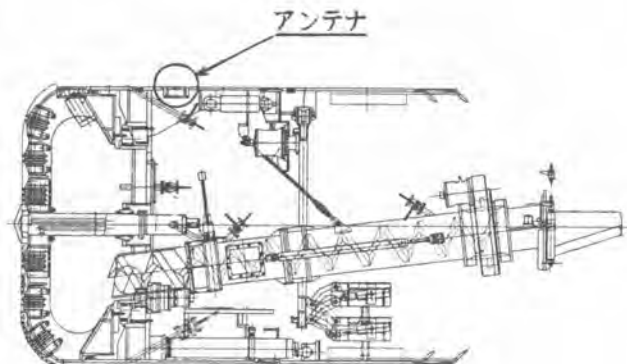


図-2 シールド掘進機装着例

### 3. CRT上の画像

送信アンテナから放射された電磁波を受信アンテナで受信すると、図-4左のような波形が得られる。短い時間に観測される大きな振幅は、送信波が直接受信アンテナに到達したものであるが、周辺の土質の影響を受けている。もし、土中に誘電率の異なる境界（例えば、泥水と地山、地山と礫など）があると送信波はここで反射し、その反射波形が観測される。これを図-4右のように反射波形を256点に分割し、各点の強度に応じて濃淡をつけて、シールド掘進機の掘進距離に合わせて表示することで、シールド掘進機天端近傍付近の2次元断面が表示される。図-5は表示画面の例で、左は探査画像、右は反射波形を表示している。左画面の横軸は、掘進距離（レンジ1m）、縦軸は地山の深さ方向の情報（レンジ45cm）を表している。

画像はカラー表示も可能である。強調処理や相関演算処理を用いた場合などには、カラー表示のほうがイメージ的に捉らえやすい。

本装置は、オペレータの作業負担を増やさないようにカット回転指令、推進ジャッキ伸び指令、ジャッキストローク長から、計測の開始、終了信号を検出して、自動計測が行えるようにした。

CRT画面には、レーダ画像の他、掘進リングのナンバー、日付け、掘進開始時刻等の情報も併せて表示され、全情報をハードディスクなどの外部記憶装置にリングナンバー毎に自動的に記録されてゆく。

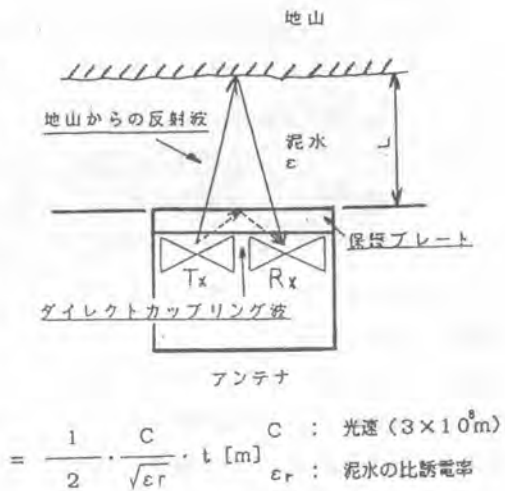


図-3 地中掘進機用レーダの原理図

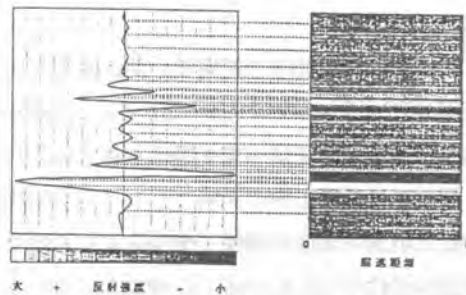


図-4 受信信号の2次元変換原理図

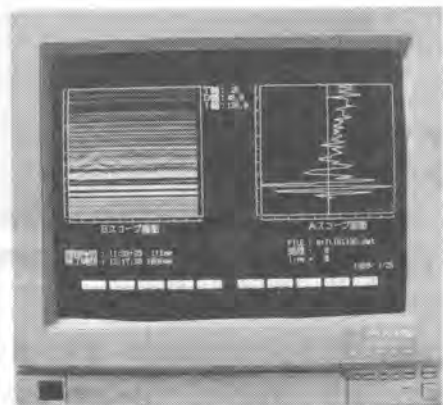


図-5 表示画面 (CRT)

#### 4. 施工例

本装置をシールド掘進機に装着した時の画像例を説明する。

図-6は安定掘削時に得られる画像の例である。掘進機のスキムプレートと地山との間隔が安定しているため、掘進による画像の変化がほとんどみられない。この画像から、地山までの距離は、3cm以下である事がわかる。この値は、探査棒による計測結果と一致している。

図-7は地山に小規模な崩壊が生じた場合の画像である。本画像から、空洞の幅は約20cm、深さ約15cmと読める。この前後で、排泥管から礫が排出されたことから考えて、礫が抜け落ちた後であろうと推定される。このような崩壊の規模が大きい場合には、後で裏込め注入を行う際の有効な情報となる。

図-8は東京都内の現場で、曲線掘削のために、一部コピーカッタでオーバーカットした例で、この様子は、本装置でははっきり捉えられている。

図-9は札幌市内の現場で、シールド掘進機が中間立坑から発進する様子を捉らえたもので、反射波形の変化がよくわかる。このように、地山の状態の変化に敏感に反応するため、あらかじめ変化することが予想される付近ではその場所を確定することが可能となる。

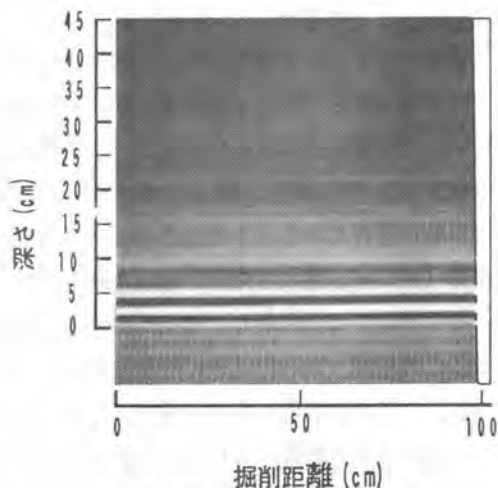


図-6 正常掘削時の計測画面

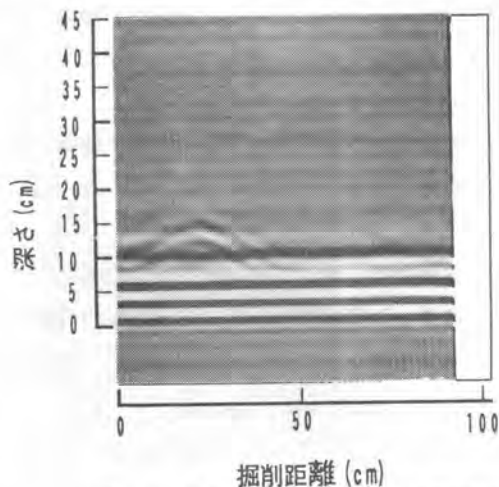


図-7 空洞が生じた場合の計測画面

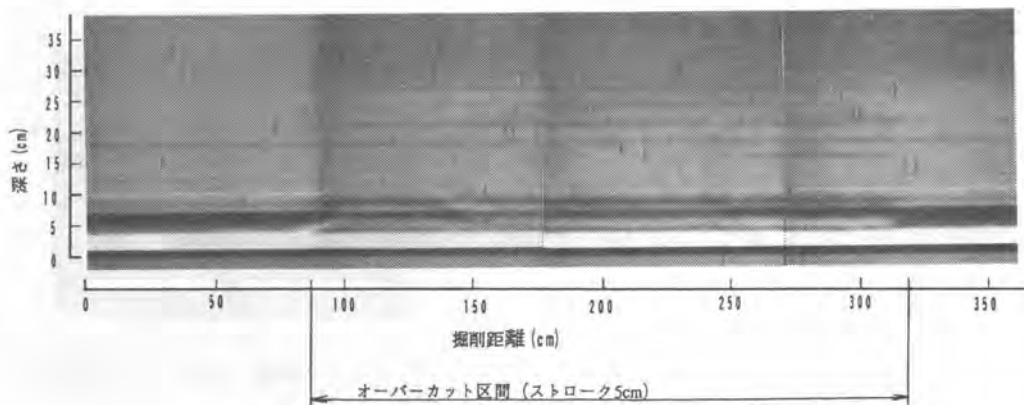


図-8 コピーカッタによるオーバーカット時の計測画面

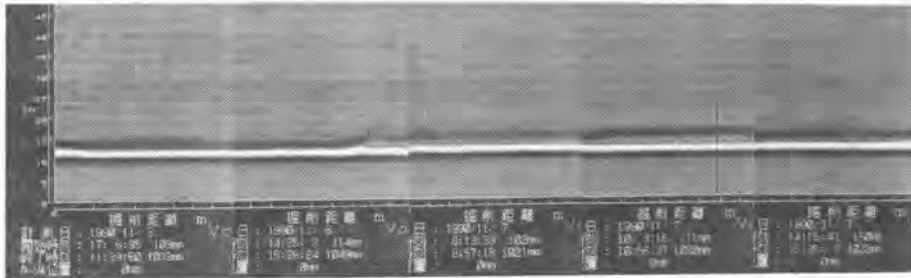


図-9 中間立坑より発進した様子

## 5. 今後の展開

掘進の停止時に1点を探査する探査棒での探査に対し、レーダ式は掘進中でもリアルタイムで連続的に地山状況を計測できる。また、地山面すなわち空隙の間隔だけでなく地山内部の状況も推定できる。刻々と変化する画像を観測していることは、シールド機が確かに掘進しているという実感ももてる。複雑な画像であればあるほど対応のむずかしい土質であるといえるし、単純な画像なら安定掘削が続いていると判断できる。とはいえオペレータは常時座ってCRT画面を観測している訳にはいかないので、情報を選択し、重要な判断結果だけを表示するシステムや、自動的に運転制御にフィードバックするシステムを開発し、トータル管理システムとしてドッキングすることが今後の方向となるであろう。更に発展し、スキンプレート側面や、カッタヘッド外周部にアンテナを取り付ける事により正確な余掘り位置や範囲の把握、裏込量のリアルタイムな演算予測が可能となり、管理者の負担も軽減できる。また、カッタ面板に取り付ける事で前方障害物等の予知にも役立つ。

これらのためには、多くの現場データを掘進管理データとのペアで蓄積し、画像情報と地山の状態、更には掘進制御との関係を整理してゆくことが重要である。難しい判断を迫られる現場でこれら過去のデータを参照して経験を生かすようになることが当面の課題である。基準を定めて、現場ごとの比較ができるようなデータの収集をできるだけ多くの現場で実施したい。

## 6. あとがき

崩壊を検知する装置は、崩壊が起こった時に性能を発揮する。しかし、崩壊の起こらないこと、起こさないことが理想である。この装置を装着した4つの現場はどこも、装置にとって「おもしろい」画像は少ない。これは、掘削の質がよかったことを証明する結果といえよう。このことはそれ自体、大変有効な情報だといえる。一方、苦労した情報は、管理者にとってもそれなりに、関係部門への説得力ある情報である。いずれにしても、画像データは、数値や、ことばの情報以上に多くのことを物語ってくれる。今後は、「ボイドを探す」装置としての位置づけより、もっと積極的に「安定掘削を確保する」装置としての位置づけを明確にしてゆきたい。

今回の発表にあたり、データを提供して頂いた鹿島・飛島・大豊・東亜建設共同企業体、日本コムス㈱、協和エクシオ㈱の工事関係者の皆様に感謝すると同時に今後ともデータの解析、蓄積にご協力をお願いしたい。