

# 19. 地中レーダによるシールド掘進機の前方探査

大阪市役所： 高崎 肇  
 熊谷・鉄建・不動共同企業体： 富永 克己  
 コマツ：\*桑原 壽朗・新保 哲也

## 【はじめに】

シールド掘進機ではその構造上、掘進中に切羽前方を直接見ることは不可能である。

都市部でのシールド工事では計画線上に地中埋設物や地上建造物の基礎、遺構といった様々な障害物があり、時としてそれらを避けられない場合も出てくる。その際、事前にそれらを発見することが出来れば最適な手当を講ずることでシールドマシンへのダメージを少なくでき、施工の効率、安全性が大きく向上する。そこで従来から様々な方法で切羽前面の情報を得る装置の開発が試みられてきたが電磁波式小型地中レーダ技術を応用し、切羽前面を探索し事前の異物・障害物発見に効果のある切羽探査装置「フロントシーカ」を開発し地下鉄施工に採用、実用化したので以下に紹介する。

## 【構造・機能】

カッタヘッド前面に取り付けられた2つのアンテナより電磁パルス波を放射し、シールドマシン前方に杭などが存在した場合にはそこからの反射波を受信することによって、シールドマシン前方の障害物を検知する(図1)。受信された電磁波の波形情報は、カッタヘッド内のコントロールユニット

から地上のオペレータ室におかれたパーソナルコンピュータまで伝送される。地上のコンピュータでは、他にカッタヘッドの回転角度信号、ジャッキストローク長信号、掘進開始信号、回転方向信号を受け取るにより探索結果を表示させる。また、それらの信号を処理した結果、シールドマシン前方に障害物が検知されたと判断した場合には、警報を発生しオペレータに知らせる。さらに、その検知した物の形状を判断し、シールド断面を上下に貫通した形状であれば「杭」の画像、そうでなければ「？」の画像を画面に表示し、その位置と距離を示す事が出来る。

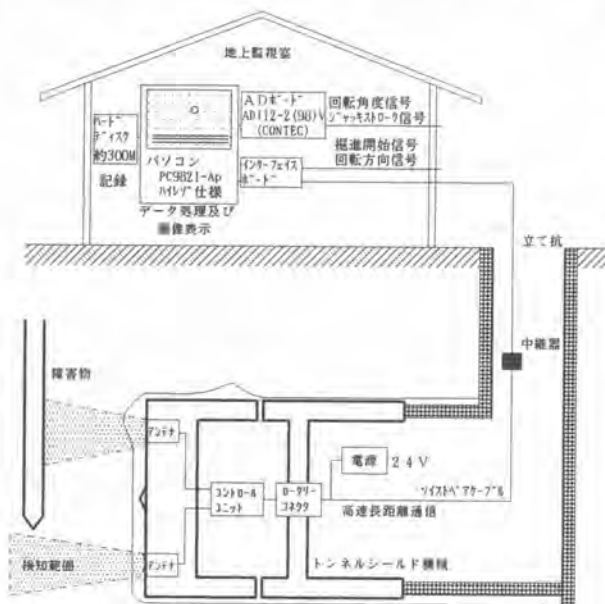


図1. フロントシーカシステム図



〔シールド掘進機の装着例〕



受信した波形のデータは1波形毎に高速サンプリングされて波形の強弱を14段階に分けてそれぞれの段階に白黒のグラデーション処理を施してカッタの回転角1度につき1ライン(1波形分)のドット集合を生成してゆく(図4)。

これを360ライン並べて表示画像の1面が構成される(図5)。

この画像はリアルタイムで地上コンピュータの画面に表示され、異物を検出した画像は地上のハードディスクに自動記録される。記録データは異物を検出した画像は全データ、異物を検知しない場所は1リングにつき1画像を保存する。

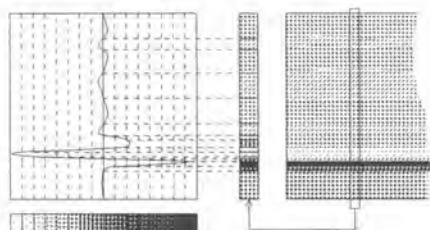


図4 受信波形から表示画像の生成

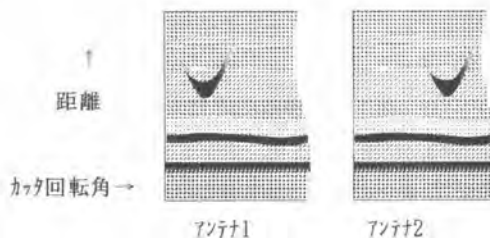


図5 各アンテナの受信画像

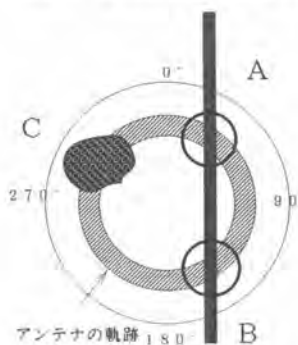


図6 杭と異物の検知

検知した物体の「杭」「異物」の判別は検知した角度による。カッタヘッドの回転により描かれるアンテナの軌跡中に反射を検知したポイントが2カ所あってそのポイントを結んだ線がほぼ鉛直になる場合(図6A~B)「杭」として判断するが、

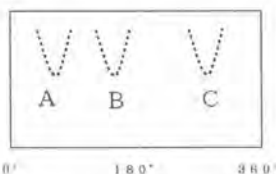


図7 図6の場合の画像例

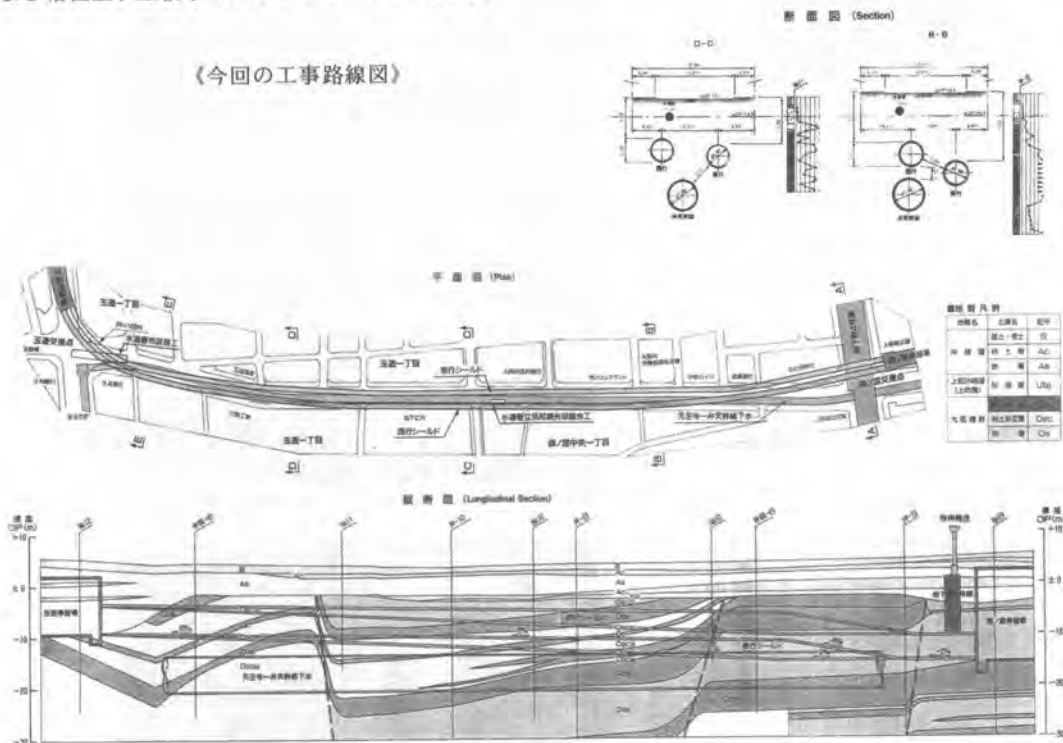
1点のみの検知(図6C)や2点が鉛直でない場合(図6A~Cなど)では「異物」として判断する。

【現場実証試験例】

実際の工事現場で適用したときの例を以下に示す。

施工箇所は大阪市高速電気軌道7号線地下線路工事第10工区（地下鉄7号線森ノ宮～玉造・西行）である。シールド機はφ5430、泥土圧式（前頁写真参照）、掘進延長845m、土質は砂質土および粘性土、土被り9.0～15.8mである。

《今回の工事路線図》



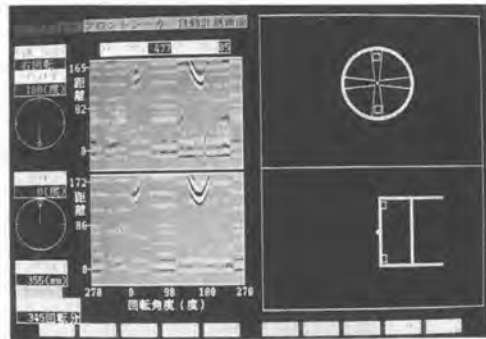
（「フロントシーカ」は「西行」シールドに搭載した。）

本現場では既設の下水道幹線（φ7100）及びφ1500水道管が近接して平行しており埋設物等に関して細心の注意を払って施工する必要があることから地中レーダ（フロントシーカ）にて障害物を早めに検知してトラブルを未然に防ぐ方法が採られた。実際には掘進に支障の出る障害物はなかったがレーダでは上記下水道幹線と交差する区間を中心にφ40～60の鋼管（ロッド）を検出している。検知されたロッドはカッタチャンバに取り込まれた後、スクリュコンベヤ後方の捕捉装置により回収されているが、カッタによるロッドの細かい切断や掘削径外への排出などから回収物と検知画像との相関が完全にとれたとは言い難い。画面からの推定ロッド長の合計と回収ロッドの合計長を比較すると、約50%がシールド機後方で回収された計算になった。ロッドの反射波形の推移と掘進ストロークの比較を行って測定したことにより距離表示の精度は±10%以内であった。

《同一リング内で検出の様子を時系列的に捉えたデータ》

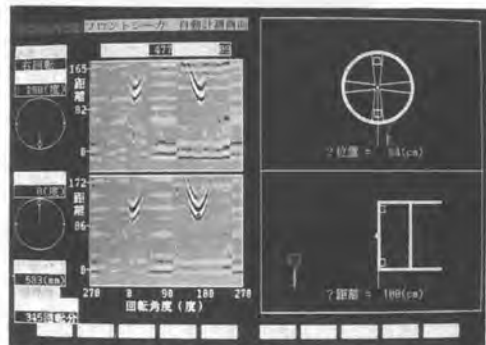
1) ストローク355mm

画面にロッドの  
反射波形が現れ  
始める。



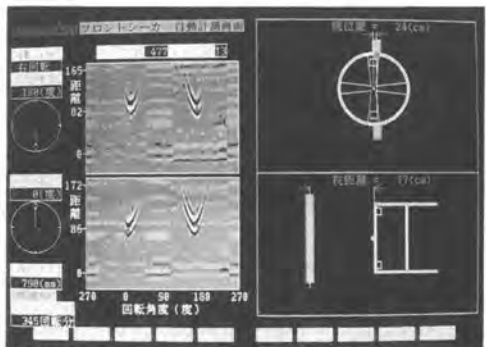
2) ストローク583mm

180度位置の  
反射波ピークを  
検知して異物「？」  
として表示。



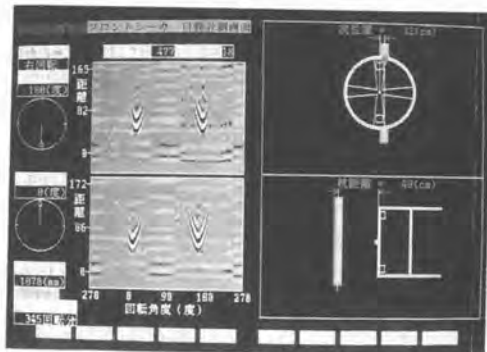
3) ストローク798mm

0度と180度の  
ピークを両方検知  
したので「杭」と  
して表示。



4) ストローク1078mm

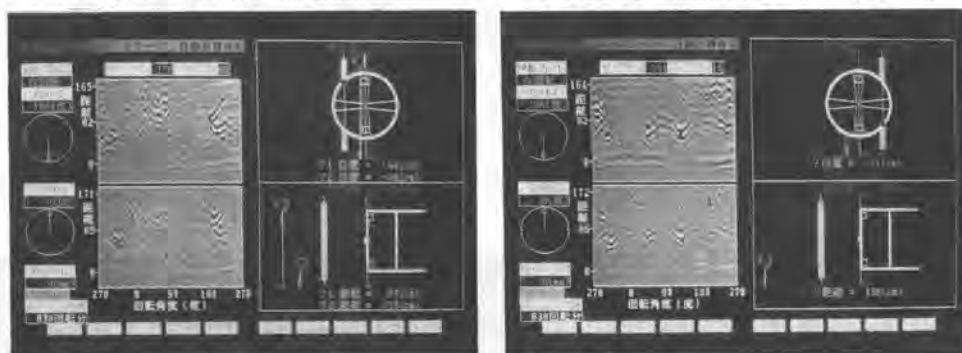
「杭」の表示が  
近づいてくるのが  
わかる。



### 《「異物」と「杭」が複合的に検出された画面》

リングNo.150 データNo.1 (H7年1月26日)

リングNo.151 データNo.11 (H7年1月27日)



画面向かって左半分の画像が反射電磁波によるデータ画像でカッタヘッド1回転毎に1画面が構成される。右側は「杭」や「異物」を検知したときにその位置と距離を表示するための警報画面である。検知時は障害物シンボルの表示と共にブザーにより警報を発する。この画面の中で表されている「?」マークは「異物」、「|」マークは「杭」をそれぞれ表している。各位置はアンテナの機械的取付位置と反射を検出した角度、反射時間、マシンの掘進ストロークなどから算出して表示している。

#### 【あとがき】

シールド掘進機による施工技術は年々向上しているが、切羽前方が見えない事による不安感が残されている。障害物に遭遇（それが予測されているにないに関わらず）したときの前方の障害物をリアルタイムで確認しながら掘削できるということはマシンの損傷やそれに伴う施工の中断が最小限に押さえられ、有意義なことである。今回の現場では幸い工事を中断せざるを得ない障害には遭遇しなかったが安定した施工の一助として地中レーダ（フロントシーカ）が貢献できたことを確認した。

特に、障害物等を検出したときに、検出された位置によって障害物を掘削径の外に排除する方向へとカッタの回転方向を事前を選択するといった予防的措置をとったことで掘削の安全性が大きく増した。現在、このような探査装置に求められる機能としては装着の容易化につながる小型化と、より速くを検知することの出来る長距離化であろうと思う。今回は1リング手前で検出し、必要な手当の出来るよう探査距離を1メートル（障害物を検知・判別して「杭」または「異物」の警報を発することのできる距離）としたが探査距離を長くするとアンテナの大きさが大きくなってしまいう宿命を持っているので長距離化のためにはまずこの課題を解決しなければならない。

次に、この長距離化以上に求められる機能としては障害物の性状判別であろう。今回の方式では電磁波の偏波特性の利用と検出ポイントの鉛直度を判断して検知対象が杭やシートパイルなどの棒状の物か転石などの塊状の物かの判別にはベンチテストレベルでは成功しているがその物質まで特定することは出来ない。電磁波の反射係数の違いにより木と金属の区別はある程度可能であるがあらかじめ一定条件でセットされた実験室では可能であっても実際の施工現場では様々な物体が予想されるので特定するのは容易ではない。以上、紙面の都合で一部のデータしか紹介できなかったが実施工に於ける前方探査の有効性についてはこれからの様々な土質において施工事例を積み重ねていくことによりより一層確かな物として認識されていくことと思われる。今回は初めての事例であったが、地中レーダによる前方探査の実用性について今後のシールド施工のご参考になれば幸いである。