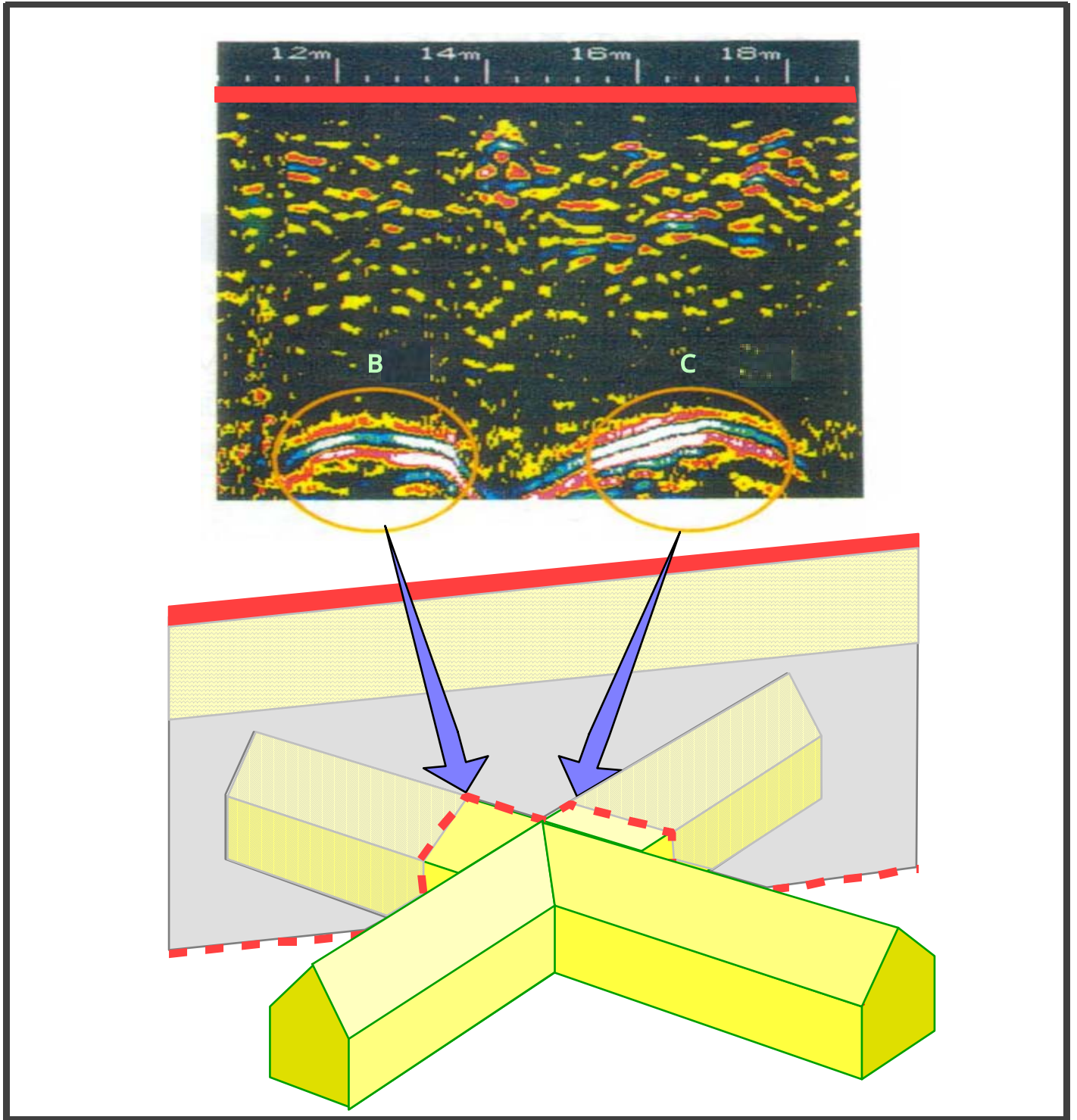


NGP

空洞調査 (レーダ探査)

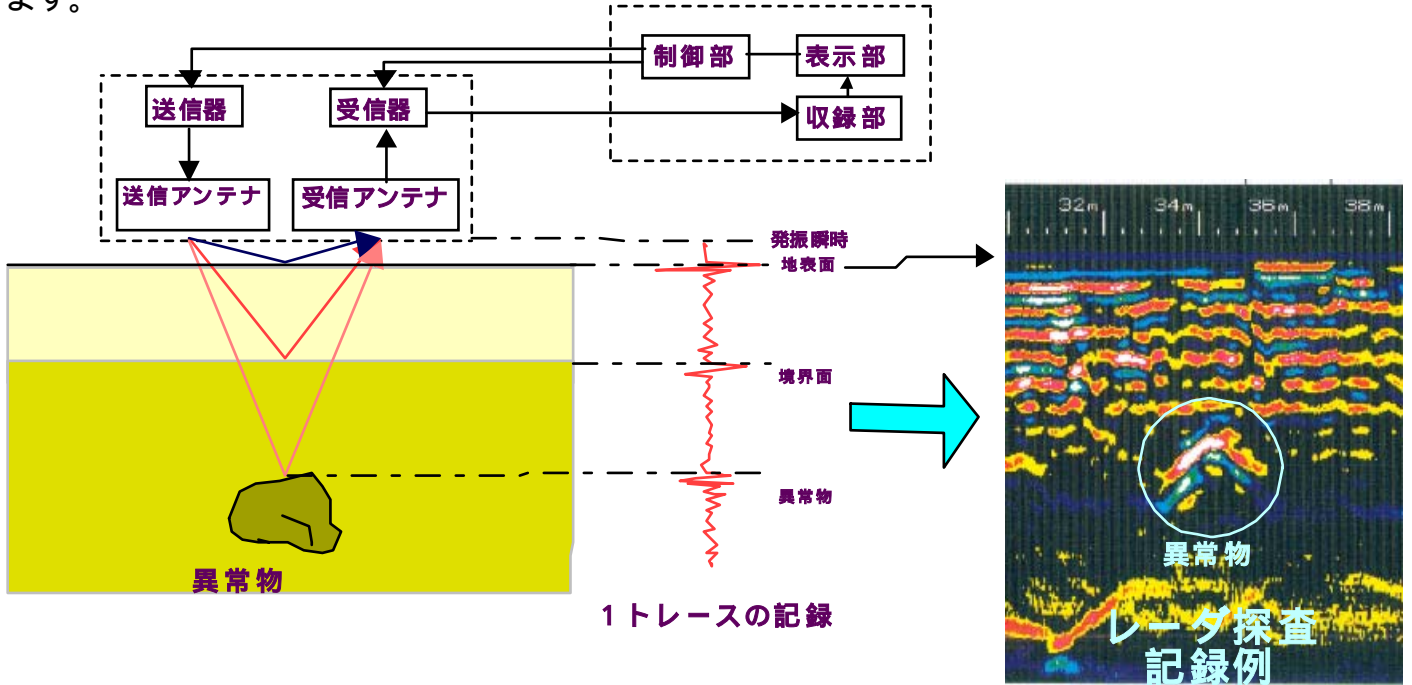


日本物理探鑛株式会社

レーダ探査とは

レーダ探査は、電磁波の反射・屈折・透過現象を利用して地下構造をイメージングする手法です。レーダ探査の計測は、地表の送信アンテナから電磁波を地中に放射し、地中の電磁氣的性質の異なる境界面等で反射し戻ってくる電磁波を地表の受信アンテナで測定します。電磁波の放射瞬時から反射波が戻ってくるまでの一つの記録を、移動しながら連続的に並べると反射波地下断面ができあがります。連続した反射波の深さや広がりを解釈することによって地下構造を解釈します。

電磁波の反射は、周辺の地盤と電磁氣的性質の異なる物質であれば、金属でも、非金属でも気体（空洞）でもよいので、レーダ探査の対象は、地下構造物、埋設管、空洞、遺跡など広範囲におよびます。



レーダ探査適用深度

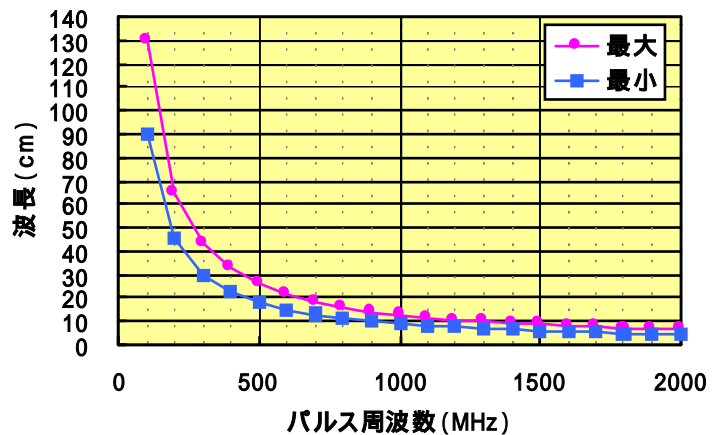
レーダ波は地中での減衰が大きいので深部からの反射波はたいへん微弱になります。浅部から深部までの反射波を一様に見るためには、強い浅部からの反射波を小さくし、深部からの反射波を大きくするように振幅を調整させます。パルス周波数400MHzのアンテナでは可探深度は通常地盤で2～3m程度ですが、条件がよければ5m程度までの情報が得られる場合もあります。周波数の低いレーダ波ほど深部まで透過しますが分解能が落ちます。高周波になるとこの逆になります。探査対象物は深部になるほど、また小さいものほど見つけにくくなります。レーダ探査が適用可能かどうかは対象物の大きさ・材質・深度、地盤構成、地下水位などの情報により判断します。

レーダ探査適用の難易条件の例

条件	容易	困難
対象物の深度	浅い	深い
対象物の大きさ	大きい	小さい
地下水位	深い	浅い
路面舗装	薄い	厚い
コンクリート中の鉄筋	無い	有る

コンクリート背面構造を調べるとき鉄筋の間隔が200～300mm以上で1条ならば、アンテナのパルス周波数によっては探査可能

レーダ波パルス周波数とコンクリート構造物中の波長

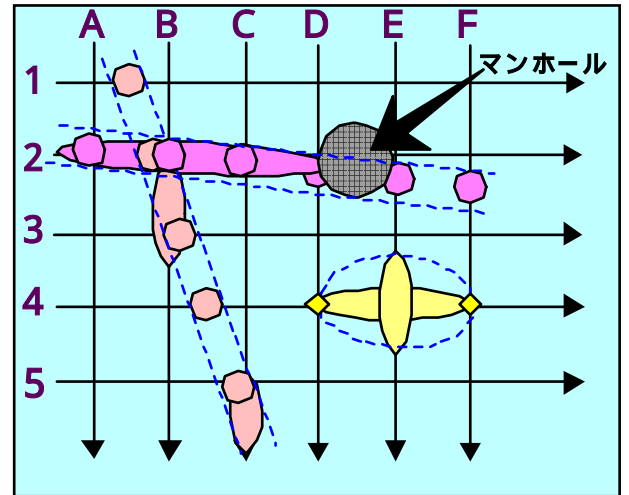
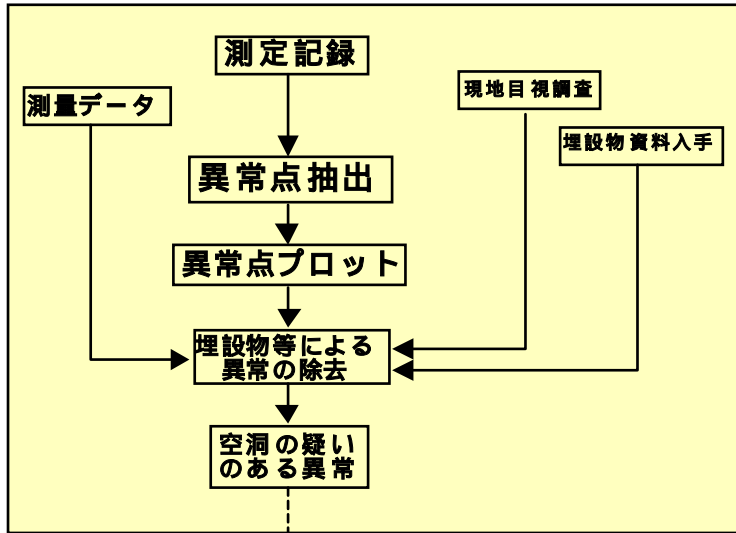


コンクリート中の電磁波速度として以下の値を用いて計算した。
最小値 9×10^9 cm/s 最大値 13×10^9 cm/s

周波数依存性と湿潤状態は考慮していない。

レーダ探査による空洞調

レーダ探査は空洞調査によく利用されています。しかし、電磁波は空洞以外でも反射を起こすので測定記録から直接的に空洞による反射波群とその他の反射波群（異常とよぶ）を判別することはできません。まず測定記録から異常箇所をすべて読み取り、異常点をプロットします。調査地域に地下埋設物の存在が疑われる場合には、事前に埋設物資料を入手しておき、位置と形状で埋設物を選び分けます。埋設物資料に載っていない場合や、埋設位置・深度が資料と異なる場合もあるので注意が必要です。埋設物はプロットした位置が規則的な並びになるので、そのような判断から埋設物と断定できる場合もあります。調査時に現地をよく目視観察しておき、地下埋設物に関する情報（例えばマンホールや排水弁などの位置）を記録しておくことで判別作業に役立ちます。



異常点プロット図による推定

格子状の測線1～5、A～Fに見出された異常点の範囲を平面図にプロットしました。異常の深度と反射パターンで共通するものをグルーピングすると3つになりました。は埋設管か細長い構造物と推定できます。特に、はマンホールに関係がありそうです。は空洞の疑いがあります。

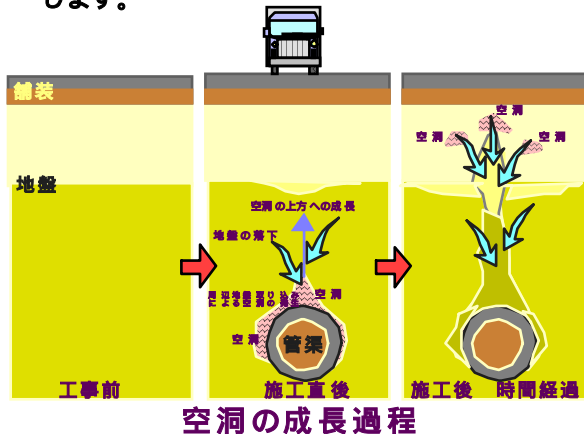
異常点抽出作業（解析）

解析によって空洞の疑いがあるとして残った異常については、必要に応じて開削やサウンディングによって確認を行います。

繰り返し測定の効果

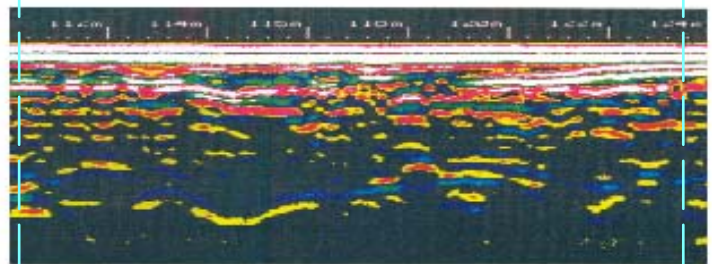
何らかの原因により、いつかは空洞が発生する恐れのある場所で、繰り返してレーダ探査を行えば空洞を発見することが容易になります。測定条件を一定に、前後の記録を比較すれば新しく発現した異常は空洞の可能性大です。

右図は、下水シールド工事直後と、半年後に実施したレーダ探査の記録の比較です。工事直後には見えなかった凸型の異常が、工事直後は多数発現しています。シールド工事の際に、周辺の土砂を取り込み過ぎがあつて、やがて空洞が上方に成長したためレーダ探査記録にとらえられたものと考えられます。記録下端の深度は約2mです。舗装路盤の直下まで空洞の頭頂部が成長しており、路盤強度が荷重に耐えられなくなると、陥没が発生します。

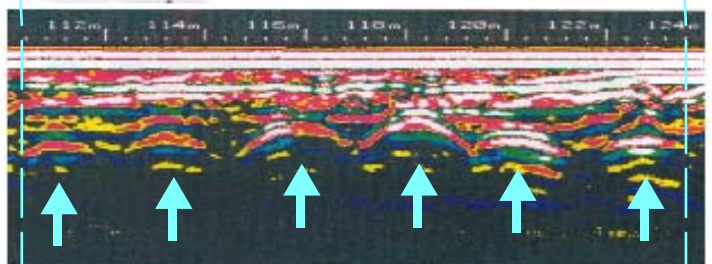


空洞の成長過程

工事直後の記録



半年後の同一箇所の記録

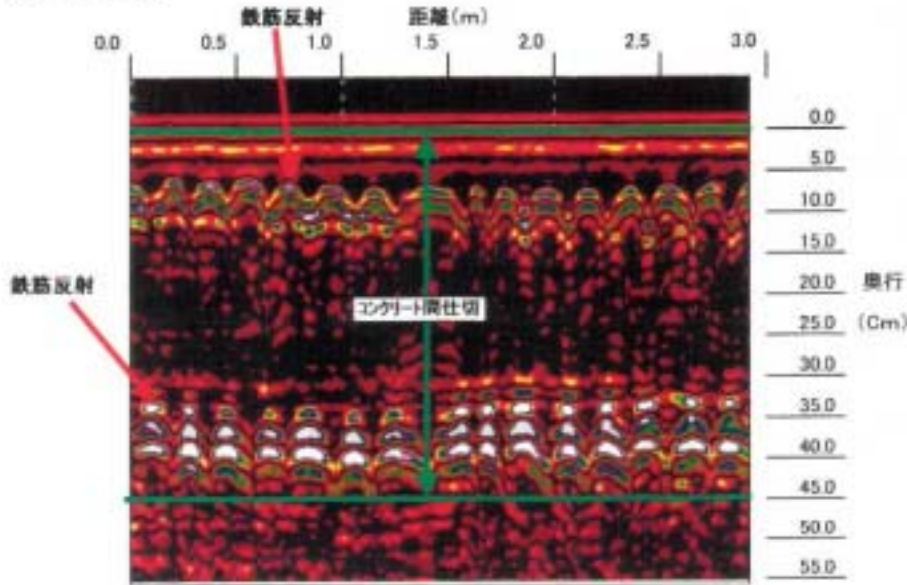


時間おいて測定した記録の比較例

パルス周波数による記録の違

調査対象によって、目的にあったパルス周波数のアンテナを選択すると効果的です。基本的には周波数の高いアンテナは分解能が優れていますが、減衰が大きく深部までの情報を得ることができません。低い周波数のアンテナではその逆になります。もっとも利用度の多いのは中間的な400~500MHz程度の周波数のアンテナです。32MHz~1.5GHzまでの4種類のアンテナで記録の例を示します。

測定場所 : 事務所駐車場コンクリート間仕切壁(GL+0.8m)
Range : 12 nS
比誘電率 : 9.0



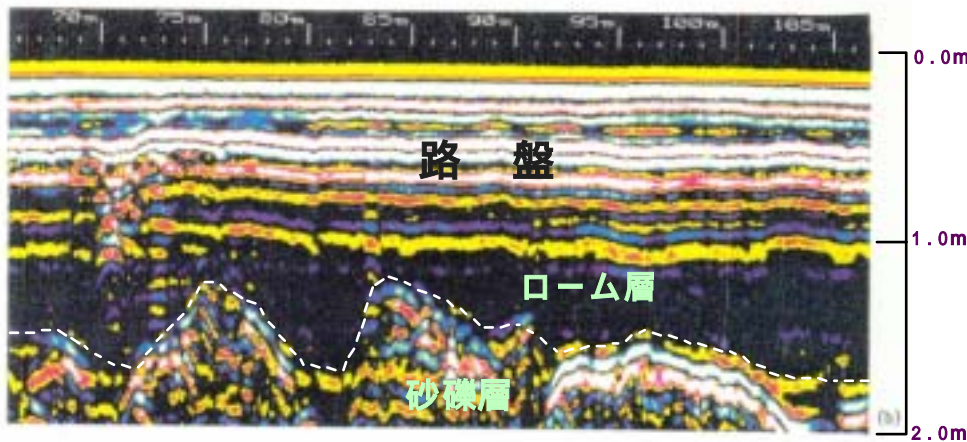
1.5GHzアンテナの記録例

鉄筋コンクリート
厚さ 45 cm
比誘電率 9を仮定

鉄筋は両面から深さ約7 cmに1条ずつ。鉄筋間隔は20 cm。鉄筋径は不明。

調査面側の鉄筋間を透過したレーダ波により、裏側の鉄筋も見えている。

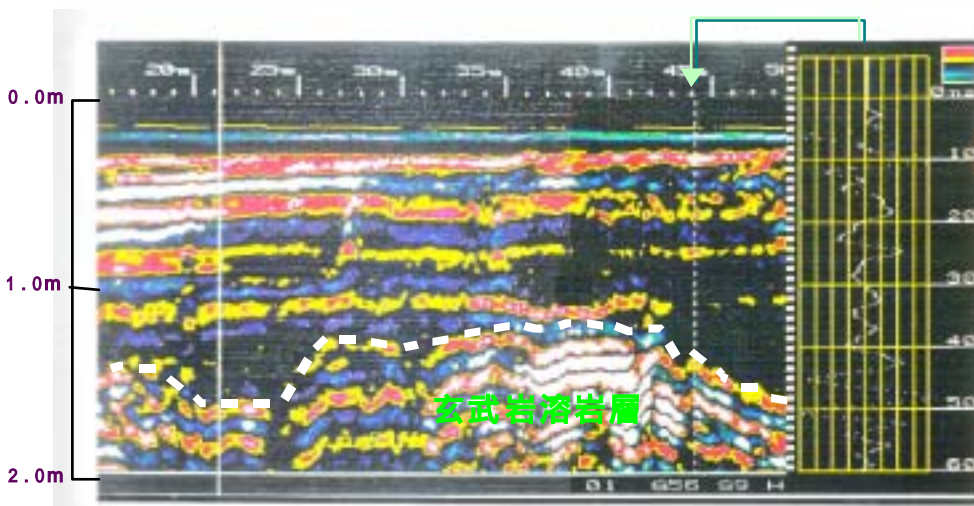
コンクリート面は乾いており測定条件は良好。



400MHzアンテナの記録例

コンクリート舗装路面下
舗装厚50cm
路盤下の地山はローム層

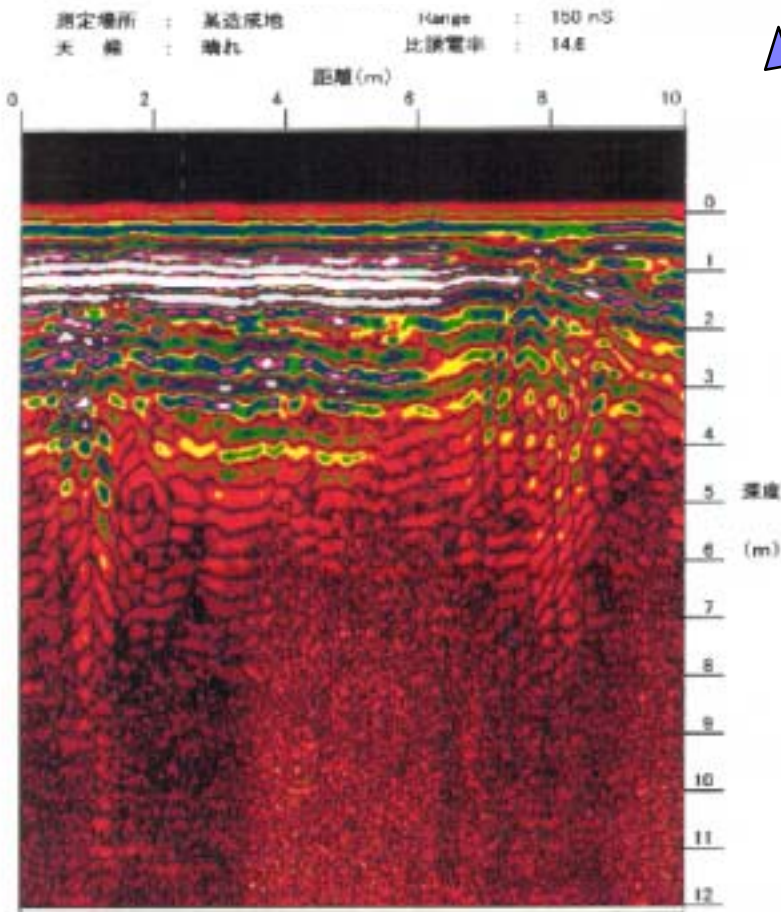
深度1.5m付近に波打つ境界面が見える。境界面付近のボーリング柱状図から砂礫層の上面であることが判明。境界面の起伏が大きいように錯覚するが、記録の縦横比が大きく異なるため(約7倍縦軸を強調)



アスファルト舗装路面下
路盤下の地山はローム層

深度1.2m付近に境界面が波打って見える。ボーリング柱状図から溶岩層の上面をとらえていることが分かった。

この2つの記録は条件が良い方で、1m以深の記録がほとんど不明のこともある。



200MHzアンテナの記録例

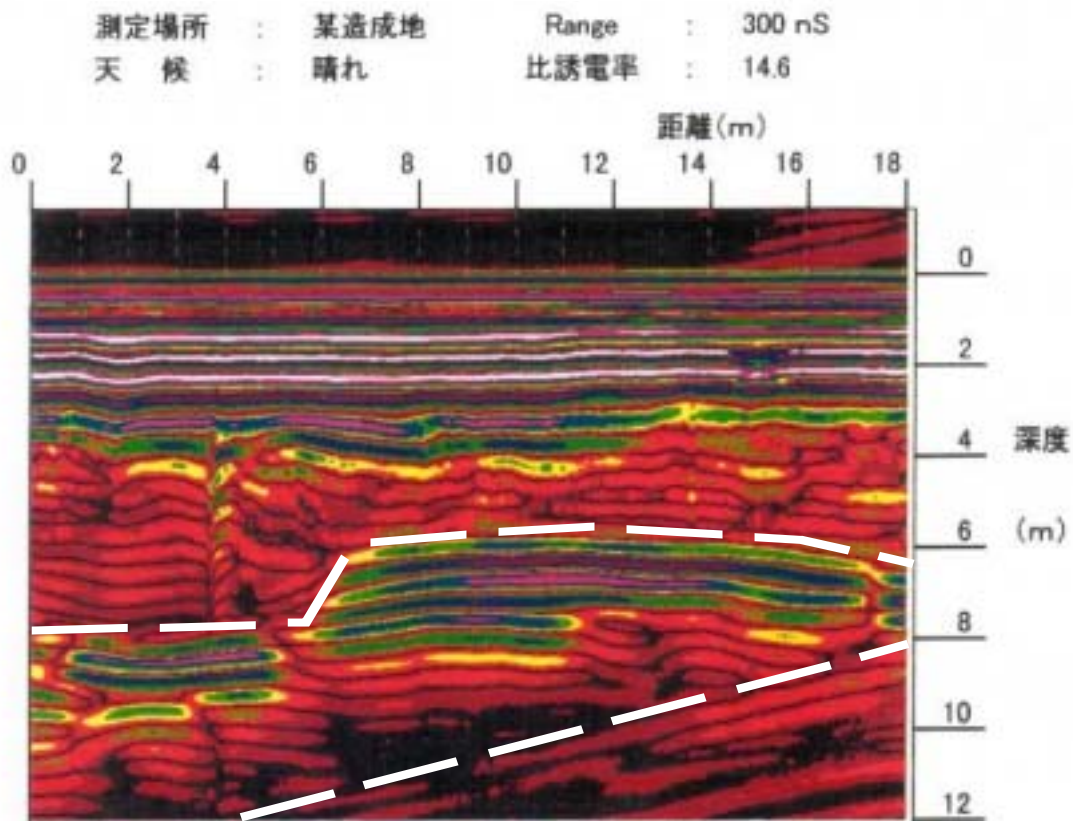
宅地造成地の地盤
 比誘電率 14.6を仮定

記録下端深度は12mであるが、
 5m以深からの反射は弱い。
 距離6m前後で反射パターン
 が変化している。

35MHzアンテナの記録例

宅地造成地の地盤
 比誘電率 14.6を仮定

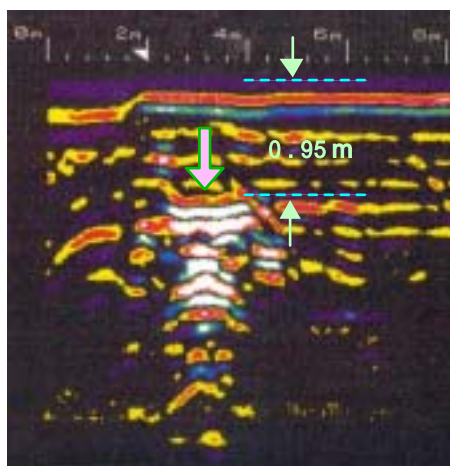
深度は12mまで反射が見られる。
 白破線で示した地層境界の判別
 が容易。



空洞の記録例

空洞記録例（パルス周波数400MHzアンテナによる）を示します。埋設管などの異常を選別した後、空洞の疑いありとなったものです。いずれも異常点位置を開削し、空洞であることを確認しています。

例

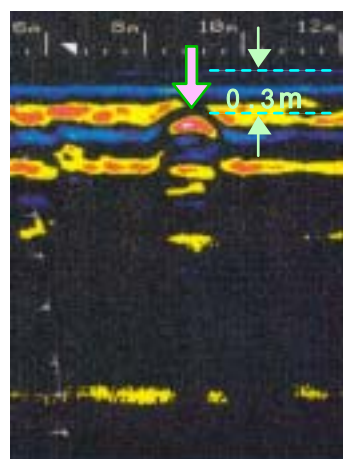


開削



結果：空洞 深度1.0m 直径約2.5m 厚さ1.2m

例

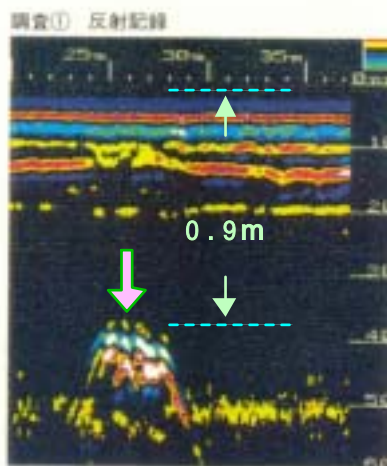
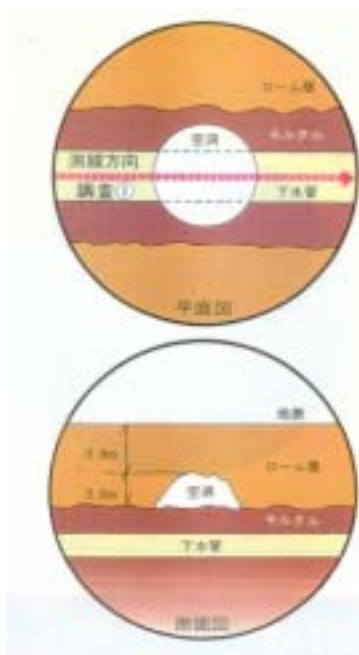


開削



結果：空洞 深度0.3m 直径約1.5m 厚さ1.0m
路肩路盤直下の空洞

例



開削の結果：空洞 深度0.9m 直径約2m 厚さ0.6m
数ヶ所で道路陥没が発生している路線。下水管の
回りにはモルタル注入工がされていたが、その直上
のローム層内の空洞であった。

いろいろな場所で・・・

構造物の強度・安全性を確保するためには空洞は大敵です。いろいろな場所で空洞調査が必要になってきます。そこで、活躍するのがレーダ探査です。路面下で、トンネル覆工背面で、埋め立て地護岸などでレーダ探査による空洞調査は実績を上げています。その他忘れられた、かつての防空壕、地下室、室穴、砂利穴、遺跡などを空洞として調査することもあります。



道路で



道路で（夜間）



トンネルで



道路で（夜間）



トンネルで



護岸岸壁で

【表紙の説明】

平面図

断面図

写真
室穴：立坑

写真
室穴：横坑

測線
A

レダ探の記に表れ、異常は、かつて野菜
の貯蔵に使用した平らな面（線B、C）が判別でき、測線
の中心に異常（A）が認められ、深さ約1.9mの深さの室穴の上部の形は尖っ
たりと側つした。記録には、この室穴の上部の形は尖つてい

NGP 日本物理探査株式会社



本 社 東京都大田区中馬込2丁目2番12号 (〒143-0027)

TEL 03(3774)3211 FAX 03(3774)3180
URL <http://www.n-buturi.co.jp>

- 東北支店 仙台市青葉区五橋2丁目6番16号 第二ショーケービル02 (〒980-0022)
- 北陸支店 新潟市神直寺3丁目10番37号 (〒950-0983)
- 東関東支店 水戸市白梅3丁目10番5号 コーラルトップ106号 (〒310-0804)
- 関東支店 東京都大田区中馬込2丁目2番12号 (〒143-0027)
- 中部支店 名古屋市中村区並木2丁目245番 (〒453-0856)
- 関西支店 大阪市西区堀川2丁目5番27号 谷野ビル5F (〒550-0024)
- 九州支店 北九州市小倉北区大手町7番38号 大手町ビル3F (〒803-0814)
- 札幌営業所 札幌市中央区南1条22丁目5番地 南1条Kビル8F (〒060-0061)
- 盛岡営業所 盛岡市中屋敷9番80号 (〒020-0141)
- 千葉営業所 船橋市浜町1丁目2番10号棟302号 (〒273-0012)
- 横浜営業所 横浜市神奈川区白楽16番地6 (〒221-0065)
- 静岡営業所 清水市白尾772-4 (〒424-0009)
- 滋賀営業所 大津市仰木の里4丁目13番 グランドメゾン2-204号 (〒520-0246)
- 堺営業所 堺市菱木2丁目2218番地3 (〒593-8315)
- 神戸営業所 神戸市中央区元町通5丁目2番3号 (〒650-0022)
- 福岡営業所 福岡市博多区博多駅前1丁目13番15号 三栄機工(株)内 (〒812-0016)
- 長野事務所 長野市稲田町中氷鉋1085-7 氷鉋ビル4F (〒381-2215)
- 沖縄事務所 沖縄県浦添市字安波茶2丁目14番2号 (〒901-2114)

- TEL 022(224)8184 FAX 022(262)7170
- TEL 025(241)2960 FAX 025(241)2959
- TEL 029(231)7315 FAX 029(231)7316
- TEL 03(3774)3161 FAX 03(3774)9353
- TEL 052(414)2260 FAX 052(414)2265
- TEL 06(6582)8541 FAX 06(6582)8543
- TEL 093(581)8281 FAX 093(581)8267
- TEL 011(222)3040 FAX 011(222)3097
- TEL 0196(43)8226 FAX 022(262)7170
- TEL 043(243)3816 FAX 043(243)6218
- TEL 045(432)9898 FAX 045(432)9899
- TEL 0543(49)1250 FAX 0543(49)1251
- TEL 077(574)2261 FAX 06(6582)8543
- TEL 0722(72)5402 FAX 06(6582)8543
- TEL 078(361)2377 FAX 078(361)3933
- TEL 092(474)3087 FAX 092(474)3107
- TEL 026(286)3920 FAX 026(284)0567
- TEL 098(879)0402 FAX 098(879)4721