



道路面下の空洞を見つけるには、どのような調査方法が最も適しているでしょうか。
また、深度についてはどの程度まで分かるのですか？



深さ 2m 程度までの空洞については、「地中レーダ探査」が適しており、広く用いられています。ただし 4m 程度より深いところにある空洞となると、簡単には見つけれられません。
見つけたい空洞の深度が 4m 程度を超える可能性がある場合は、複数の物理探査を組み合わせたり、ボーリングなどの直接的な調査を併用したりすることをお勧めします。

(1) どんな探査方法があるか？

近年は維持管理分野の需要が増えるにつれて、道路面下の空洞のような比較的浅所の空洞を探す技術が求められるようになりました。物理探査には表-1 のように様々な方法がありますが、空洞調査には表面波探査、地中レーダ探査、重力探査が主な対象とされ、このうち地中レーダ探査が最も普及しています¹⁾。

表-1 物理探査の種類と対応深さ¹⁾

探査名	測定する物理量	着目する物理量	調査される情報	対応深さ			探査効率	主な対象	備考
				～10 m	～100 m	100 m～			
弾性波探査	伝播時間	弾性波速度	断面層構造	○	◎	○	○	トンネル、ダム、法面等 主な構造物基礎調査	岩盤分類等の力学的特性の評価
浅層反射法	弾性波動	音響インピーダンス	断面地層境界	—	△	○	△	構造物周辺の基盤・断層 調査と地盤性状調査	S 波の利用で耐震性評価
表面波探査	表面波	表面波速度	断面層構造	◎	○	—	○	構造物地盤、液状化予測、 堤防診断、 空洞調査	起振器利用と多チャンネルの2方式
微動アレイ探査	地盤振動	表面波速度	断面層構造	○	◎	△	◎	構造物周辺地盤構造	地盤振動を利用した表面波探査
常時微動測定	地盤振動	振動特性 地盤構造	面的	○	○	△	◎	地盤の振動特性評価	構造物の振動特性評価にも応用
電気探査	人工電場	比抵抗	断面	○	◎	○	○	地下水、地すべり、トンネル 路線調査	比抵抗以外に IP、自然電位に着目する手法あり
地中レーダ	電磁波	電磁波形	断面異常抽出	◎	△	—	◎	空洞 、埋設管、埋設物および 遺跡調査	一般的に深さ 2～3 m を対象
電磁探査	誘導電磁場	比抵抗 電気伝導率	面的異常抽出	△	△	●	○	地下水、地すべり、断層 調査の概査	空中探査等の多くの手法が開発
音波探査	音波	音響インピーダンス	断面層境界	—	○	△	△	堆積物、断層等の水底地盤 構造	海上（水上）のみ
磁気探査	磁場	磁気異常	面的異常抽出	○	△	●	○	爆弾等の金属埋設物調査	火山岩、蛇紋岩の分布調査にも適用
重力探査	重力加速度	密度	面的異常抽出	△	△	●	○	空洞調査 、構造物周辺の 基盤・断層調査	補正に用いる水準測量や数値標高図が重要
地温探査	地温	地温異常	面的異常抽出	△	△	—	◎	温泉、地下水調査 法面裏の地盤性状	ボーリング孔を利用する孔内温度検層もある
放射能探査	ガンマ線	ガンマ線強度	面的異常抽出	△	△	—	◎	地下水脈、断層等	空中探査、自動車探査も可
トモグラフィ	弾性波伝播 人工電場	弾性波速度 比抵抗	断面	—	○	○	△	近接施工目的をはじめとする 地盤の精査	医療用 X 線 CT の応用 複数のボーリング孔が必要

注 1) 対応深さ ◎：最適、○：適、△：適用可、●：主として資源探査で適用

注 2) 探査効率 ◎：手軽に測定、○：普通、△：大がかりに測定

注 3) 対応深さや探査効率は目安である

(2) 地中レーダ探査とは

写真-1 は探査の実施状況例で、手押しタイプや車載型があります。車載型は道路面を迅速に広く探査するのに適しています。

図-1 は地中レーダ探査波形の例です。ここでは、埋設管と空洞及び著しく緩んでいる区間が検知されています。地中レーダは、送信アンテナから電磁波を発して埋設管や空洞で起きた反射を受信アンテナで検知します。その反射波形はしばしば上に凸型を示すので、埋設管や空洞が検知できます。

このように、2m 程度より浅い深度の埋設管や空洞については、高い精度で検出することが可能です。



写真-1 探査状況（左：手押し型、右：車載型）

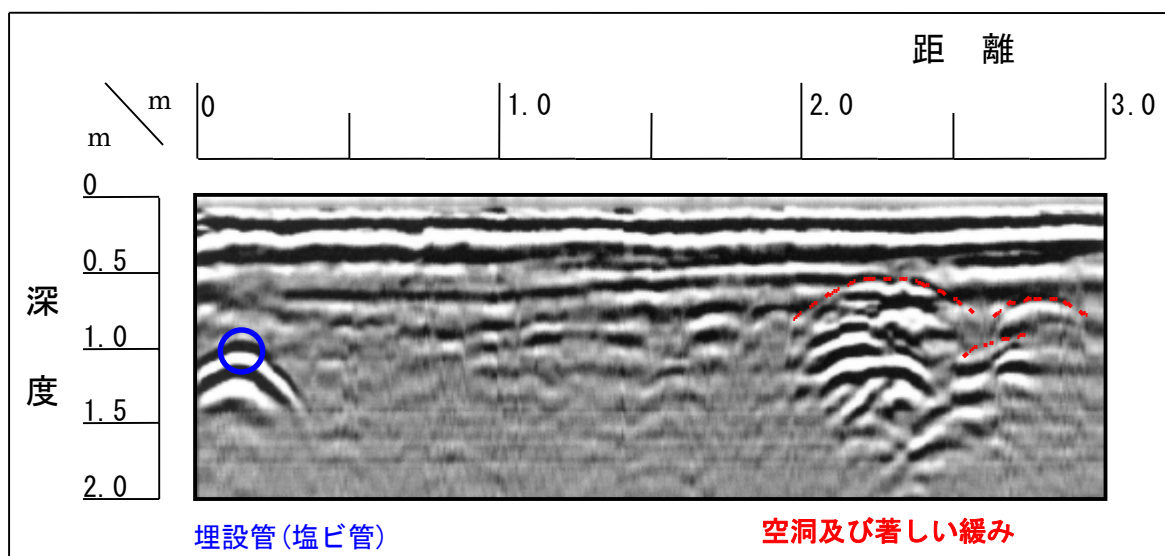


図-1 地中レーダ探査波形の例

(3) 地中レーダ探査の長所と短所

地中レーダ探査は浅所での埋設管や空洞検知に優れていますが、長所も短所もあります。次に長所と短所を列挙します。

(長所)

- ・調査が簡便：センサーの設置といった準備が必要なし。
- ・調査が迅速：手押し型では歩く速度、車載型では 60km/h 程度で探査可能。
- ・結果が早い：反射波形がその場で得られるので、簡易判断がその場で可能。
- ・連続的に実施できる：道路や護岸といった連続した構造物を連続的に探査可能。
- ・比較的安価：簡便・迅速であるため、費用が比較的安価。
- ・金属に強い：金属の埋設管や電気ケーブルは特に強く検知可能。

(短所)

- ・埋設管や空洞の明確な形状が分かる訳ではないので、技術者判断が必要となる。
- ・空洞でないものも検知するので、誤検知を伴う。
- ・水に弱い（地下水位より下はほぼ見えない）。

(4) 総合的な調査の実施

地中レーダ探査の短所を補うためには、探査で異常反射が得られた地点で簡易ボーリングなどを行うことで、探査の精度が格段に向上します。

以下は、地中レーダ探査で見つかった異常反射地点で簡易ボーリングと孔内カメラ撮影を行い、実際の空洞状況を確認した事例です。探査の時点では「深さ 0.1m 付近に $0.6 \times 1.4\text{m}$ 程度の空洞がありそう」程度の情報しか分かりません。それを、簡易ボーリングと孔内カメラ観察によって実際に確認し、「深さ 0.12m から 1.05m 間が空洞、サイズは $1.0 \times 4.7\text{m}$ 、空洞下端が土砂吸い出しにより軟質化」などの詳細が分かり、変状原因の把握や対策検討に役立ちました。

このように、地中レーダ探査にボーリングや孔内観察を組み合わせることで、探査の精度が高まります。これは地中レーダ探査に限らず物理探査一般に言えることで、むしろ物理探査を「やみくもに無駄なボーリングを掘らないようにするための、調査地点選定ツール」とでも位置づけていただければ、良いと思います。



写真-2 地中レーダ探査での異常反射地点とボーリング孔内カメラの映像の例

(5) 深いところの探査はあるのか

近年では、昔の防空壕や石炭坑道を探したいといった、2m 以深の地中レーダが届きにくい深度の埋設管や空洞調査の要望もあります。これは地中レーダでは検知することが難しく、表面波探査や電気探査など他の物理探査が必要になります。それらを駆使し、8m 下にある石炭坑道を見つけることができた調査事例もあるにはあります。ただし、空洞があっても探査で見つけられない可能性もあることを認識しておく必要があります。

これは私が今までこなしてきた現場での経験でもあります。埋設管や空洞は「深さの 5 分の 1 程度のサイズ」、つまり 2m 下にある 40cm 大の埋設管や空洞ならば何とか検知できますが、「2m 下にある 20cm の水道管を見つけろ」となると検知が難しいようです²⁾。近年、機器の発達により反射が得られる例もありますが、たとえば「10m 下の 50cm の埋設管の位置を探査で見つけてくれ」との依頼には、探査の限界を説明しております。

“4m より深いところにある小規模な空洞は、探査でそう簡単に見つけられるものではない”、ということは認識していただければと思います。

【引用文献】

- 1) 地盤工学会 (2013) : 地盤調査の方法と解説, p. 95.
- 2) 物理探査学会 (2008) : 新版物理探査適用の手引き, p. 6.

(回答者 小笠原 洋)