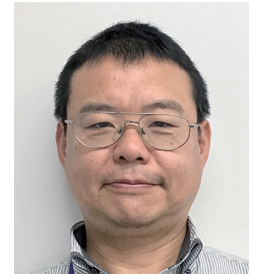


# 地下探査技術概論

**キーワード**

地下探査, 地中レーダ法, 電磁誘導法, 埋設管探査, 空洞探査



**鈴木 敬一**

SUZUKI Keichi

川崎地質㈱  
(本誌編集委員)

## 1. 特集号のねらい

(一社)日本非開削技術協会(以下、JSTT)では道路面の掘削を最小限にして路面下の各種ライフライン用地下管路設備の新設・管理・更新を行う非開削技術を推進している。非開削技術の一分野に地下探査技術がある。下水道管やガス管などの埋設管あるいは電力や通信ケーブルなど埋設管の位置を非開削で探査する技術である。埋設物の位置を探査するだけでなく、それらの敷設や老朽化に伴う地盤の変状、特に空洞の発生が陥没事故を引き起こすなど、近年社会問題化している。地盤の空洞化に伴う空洞による陥没事故を未然に防ぐためにも非開削による地下探査技術は重要な役割を担っている。

これらの非開削地下探査技術は、40～50年程度の歴史を有していると考えられるが、未だに万能な探査手法は存在しない。さらに探査深さや分解能、あるいは探査の誤差といった課題があり、現在も最先端技術を取り入れて技術開発が行われている。

本特集号では、より深く、より細かく、より正確に、を求めた会員企業の最先端技術を紹介する。さらに非開削地下探査技術だけでなく、周辺技術としてコンクリート内部の非開削探査や、老朽化した埋設管のマッピング技術、あるいは劣化が進む可能性のある地盤を非開削で効率良く見つける技術も紹介する。これらの周辺技術は、従来の非開削地下探査技術と併用して、埋設管のメンテナンスなどの効率化を図ることができると考えられる。

地下探査技術は対象物や様々な条件により、適用できる探査手法が異なる。本稿では、特集号本文の理解を助けるために、これらの地下探査技術の概要を示す。

## 2. 地下探査技術概論

地下を探査する技術は「物理探査」と呼ばれ、利用する物理現象によってさまざまな方法があり、探査対象によって使い分けられている。非開削技術を支援するための探査対象は、地下埋設物や路面下空洞であり、利用される探査方法としては、地中レーダ法と電磁誘導法に限られると良い。ここではこの二つの探査手法の概要を解説する。

第8クールの特集内容	<input checked="" type="checkbox"/>	No.109 2019.10	特集／極小口径・小口径管路の非開削建設技術 内径800mm未満の管路(管内作業禁止)の建設技術
	<input checked="" type="checkbox"/>	No.110 2020.1	特集／大口径管路の非開削建設技術 内径800mm以上の管路(管内作業可能)の建設技術
	<input checked="" type="checkbox"/>	No.111 2020.4	特集／特殊条件下での発進と到達技術 既設構造物からの発進または既設構造物への到達技術
	<input checked="" type="checkbox"/>	No.112 2020.7	特集／管内からの調査・探査・診断技術 地下埋設物内部から調査、探査、診断する技術
	<input checked="" type="checkbox"/>	No.113 2020.10	特集／地上からの調査・探査・診断技術 地下埋設物や空洞などを調査、探査、診断する技術
	<input type="checkbox"/>	No.114 2021.1	特集／大口径管路の非開削修繕・更生技術 内径800mm以上の管路(管内作業可能)の修繕、更生技術
	<input type="checkbox"/>	No.115 2021.4	特集／小口径管路の非開削修繕・更生技術 内径800mm未満の管路(管内作業禁止)の修繕、更生技術
	<input type="checkbox"/>	No.116 2021.7	特集／管路の非開削改築技術 劣化または損傷が顕著な既設管路の敷設替え技術

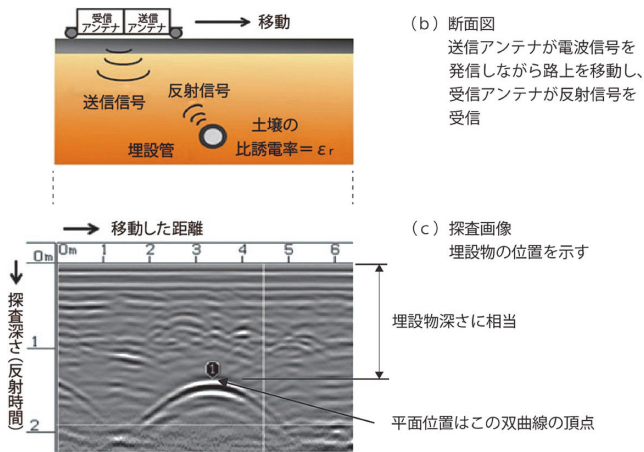


図-1 地中レーダ法の探査原理

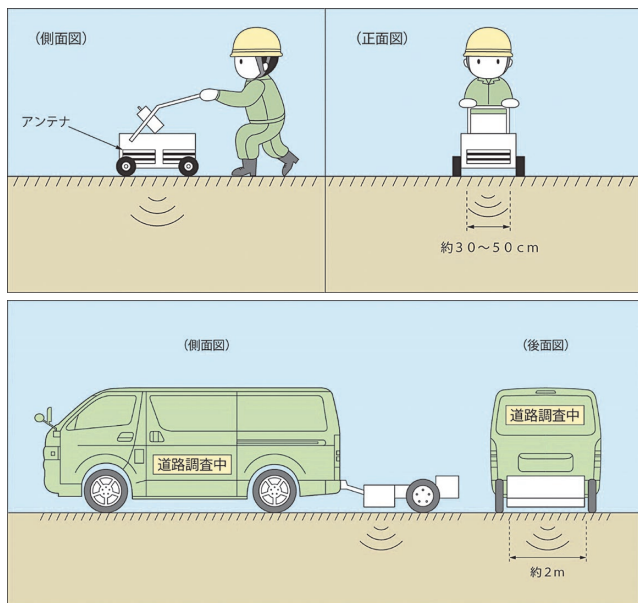
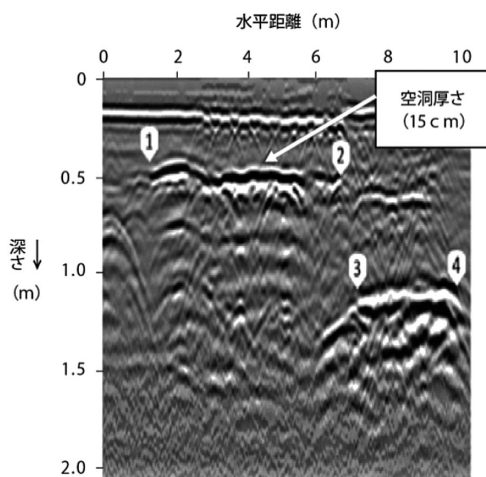


図-2 手押し型と車両牽引型地中レーダ法



図中の①②③④は推定される空洞の位置

図-3 地中レーダ法の探査結果例

## 2-1 地下探査技術の手法

### (1) 地中レーダ法

地上を移動しながら送信アンテナから地中に向けて電磁波を放射すると、電磁波は地中の配管や構造物、空洞など、地盤とは電気的特性の異なる物質の境界で反射し、反射した電磁波は地上に戻ってくる。この反射電磁波信号を地上の受信アンテナで受信することにより、構造物や空洞の位置・深さなどを探査する(図-1)。

地盤の電気特性は場所により様々であり、特に電磁波の伝搬速度に影響する誘電率と、減衰に影響する導電率により分解能や探査可能深さが異なる。さらに使用する地中レーダの探査装置の特性、特に使用するアンテナの周波数によっても探査可能深さが異なる。これらの条件が複雑に重なり合って、探査能力が制限されるため、適用にあたっては注意が必要である。

地中レーダ装置には人間が手で操作する手押し型と車両で牽引する車両牽引型、車両に搭載した車載型がある。手押し型と車両牽引型の例を図-2に示す。手押し型と車両を使用するタイプとは使用する目的に応じて使い分ける。車両を使用するタイプは路面下空洞探査の概略調査で用いられ、手押し型は空洞探査の詳細調査と埋設管探査で用いられる。

図-3は地中レーダ法で得られた探査結果の例である。横軸が距離、縦軸が深さとなっている。この画像では、反射波の強弱に応じて、グレースケールの濃度が異なるように表示されている。この例では4つの空洞が検出されている。この位置を平面図にプロットすれば空洞の位置を特定することができる。

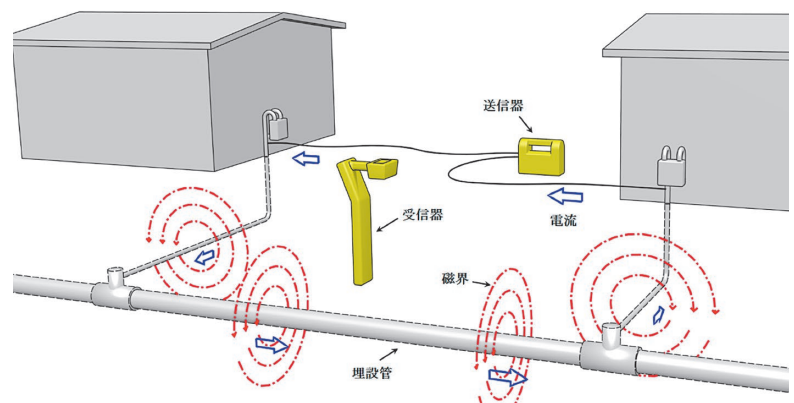


図-4 電磁誘導法の原理

## (2) 電磁誘導法

埋設管などの探査対象物に微弱な交流電流を流すと、電流によって埋設管周辺に磁界が発生する。この物理現象を電磁誘導という。電磁誘導で生じた磁界を地上で検出し、磁界の向きと強度から位置と深さを推定するのが電磁誘導法である(図-4)。

電磁誘導法では平面位置と深さの探査を行うことができる。平面位置の探査方法を図-5に示す。埋設管の周囲に生じた磁界を横切るようにコイルを移動させ、コイルに生じた電圧を測定する。このとき、コイルの向きを90度変えて測定を行う。コイルを地面に対して水平にした場合には埋設管の直上で最大値を示す。これを最大法という。コイルを地面に対して垂直にした場合は、埋設管の直上ではゼロとなり、最小値を示す。これを最小法という。

電磁誘導法には様々な種類の測定器があり、主に磁界の発生方法に特徴がある。埋設管の材質や種類(管種)により、適用が可能な磁界発生方法が異なるため、適切な方法を選択する必要がある(表-1, 図-6)。

## (3) その他の探査技術

地中レーダ法と電磁誘導法のほかには金属探知機や水道ガス判別器、同一管判別器(ループチェッカー)、漏水探知器なども補助的に使われることがある。

## 2-2 地下探査技術の対象

### (1) 地下埋設物探査

地下埋設物探査には①線的埋設物探査、②面的埋設物探査、③特定個所埋設物探査がある。以下にその方法を概説する。

#### ①線的埋設物探査

探査対象となる埋設管やケーブル

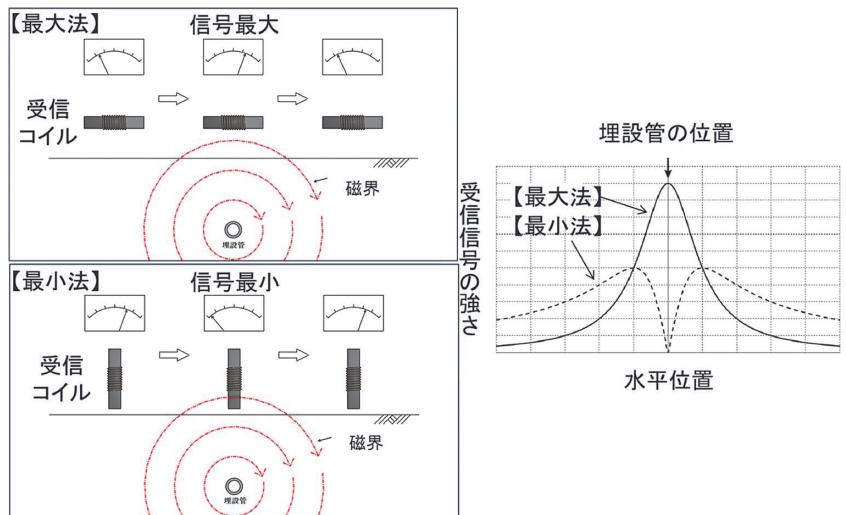


図-5 電磁誘導法の最大法と最小法

表-1 磁界発生方法の違いによる電磁誘導法の特徴

用途	管種	ループ法 (2点法)	直接法 (1点法)	外磁 コイル法	誘導法	通線法	小型発信器 挿入法
電力 通信	金属管	○	○	○	△	×	×
	非金属管 (ケーブル有)	×	×	○	△	×	×
	非金属管 (空き管)	×	×	×	×	○	○
ガス	金属管	○	○	○	△	×	×
	非金属管	△※	△※	△※	△※	×	×
水道	金属管	○	○	○	△	×	×
	非金属管	△※	△※	△※	△※	×	×
下水	金属管	○	○	○	△	×	×
	非金属管	×	×	×	×	○	○

○ 精度高い、△ データ不安定で精度期待できない、× 計測不能

※ 非金属管に探査用のロケータインワイヤー(導線)が並走されている場合

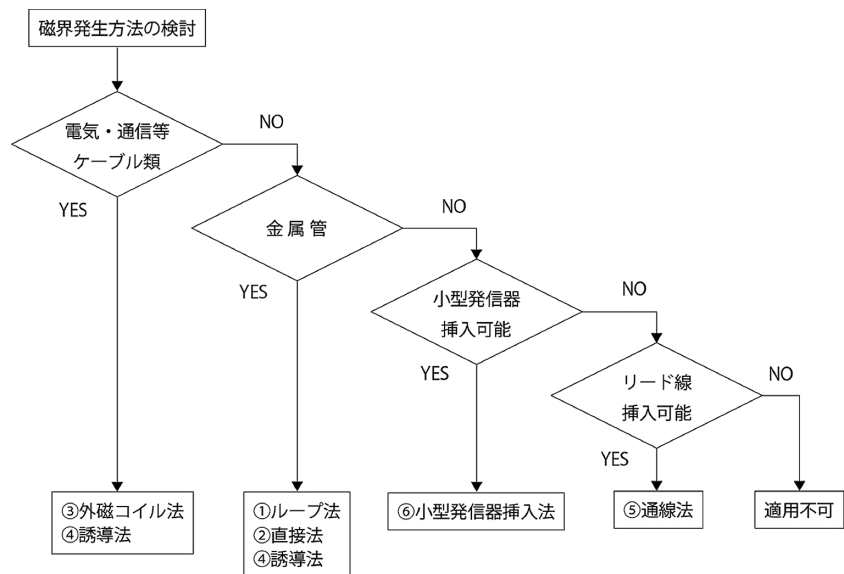
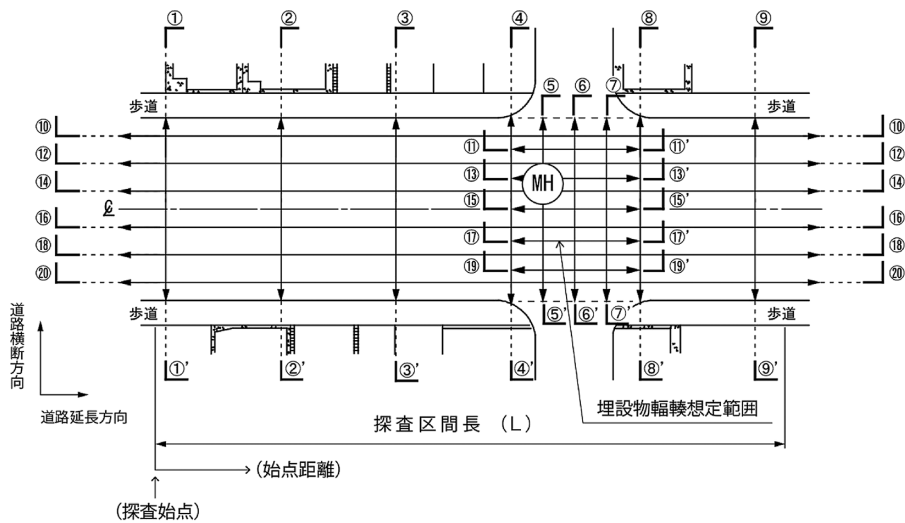


図-6 磁界発生方法による各探査方法の選択





図一七 面的埋設物探査の測線配置例

などの埋設物を予め特定し、その埋設位置を線的・連続的に追跡探査する方法である。探査手法としては、地中レーダ法または電磁誘導法を用いる。探査結果は、埋設物企業者の台帳整備や設備管理図面の陳腐化の解消、埋設物管理情報の欠落解消などに用いられる。埋設物を横断するように平行な測線を複数設けて探査を行う。

### ②面的埋設物探査

ある程度の広がりを持った面的な探査範囲を設定し、その中に存在する埋設物の埋設位置を探査する方法である。探査手法としては、地中レーダ法が適用される。探査結果は、道路の維持管理や地下設備の新設スペース有無の確認などに用いられる。図一七は面的埋設物探査の測線配置の例である。測線は埋設物を横断するように配置し、平行測線を多く設ける。埋設物の屈曲などが想定される場合は測線の配置を密にする。

### ③特定個所埋設物探査

探査範囲を限定して、その中の埋設物の埋設位置を探査するものである。探査手法は、地中レーダ法を用いる。探査結果は、推進工法の立坑位置の選定や新設管渠設備の敷設位置選定などに用いられる。測線配置は平行だけでなく、直交する測線なども設ける。

上記①～③に示した地下埋設物探査の結果は、図一八及び図一九に示すように、平面図と断面図で示す必要がある。

### (2) 路面下空洞探査

路面下空洞探査は文字通り路面の下に発生した空洞を探査するものである。路面下空洞探査には地中レー

ダ法が適用され、実施のタイミングには以下の3つのパターンがある。

#### ①道路の掘削工事に関するもの

例えばシールド工事の実施前などに探査を行い、工事前のデータを取得する。これにより、もし空洞が見つかっていても工事によって生じた空洞ではないことがわかる。さらにモニタリングとして工事中と工事後に探査することで、工事による空洞などの変状が生じていないことが示される。

#### ②道路の維持管理に関するもの(定期探査)

国道や地方道などの維持管理の一環として、定期検査のような位置づけで行われる。車両牽引型または車載型の地中レーダ装置を用いて、概略探査を行う。空洞の可能性のある場合には、手押型を用いて詳細探査を行う必要がある。

#### ③道路の維持管理に関するもの(緊急探査)

空洞発生が発生し、路面に陥没などの変状が生じた場合や大地震の後などに、緊急的に行うこともある。この場合は、空洞探査を行い、スコープ調査などにより空洞を確認し、補修工事を行う。場合によっては補修後の探査(モニタリング)を行う場合がある。

## 3. 非開削地下探査技術適用の手引き

非開削地下探査技術を有効に活用するためには、探査方法や適用方法を正しく理解することが必要である。そのため、JSTT地下探査技術委員会では、平成28年3月に「非開削地下探査技術適用の手引き(案)」

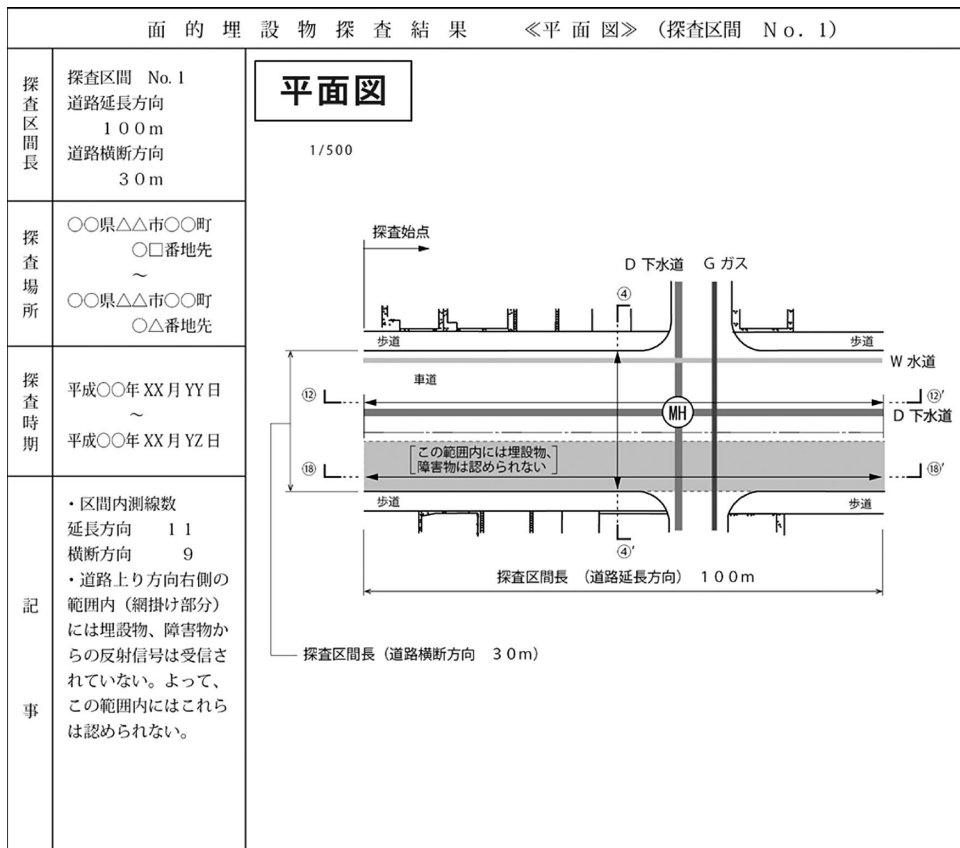


図-8 面的埋設物探査平面図の結果表示例

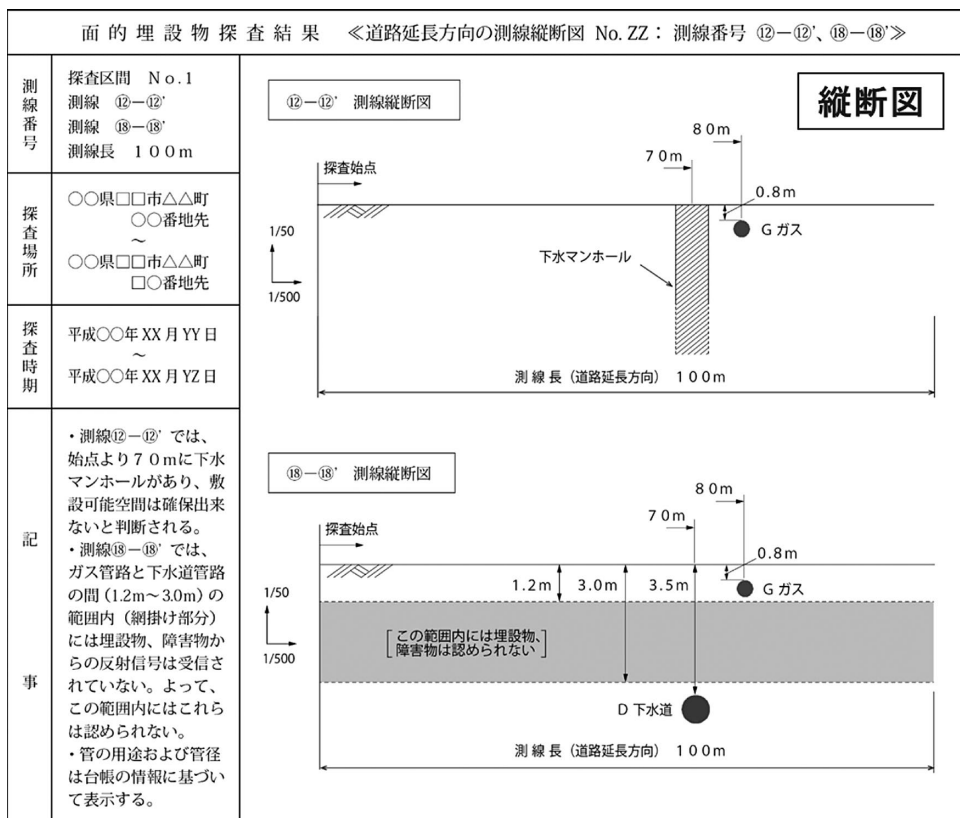


図-9 面的埋設物探査断面図の結果表示例

を発行し、毎年講習会を行って地下探査技術の正しい使い方についての普及を図ってきた。この書籍はA4判84ページであり、以下の目次で構成されている。

#### 【目次】

- 第1章 地下探査技術について
  - 1.1.地下探査技術総論
  - 1.2.地下探査技術の概要
- 第2章 地下探査技術適用の手引き (案)
  - 2.1.地下埋設物探査技術適用の手引き
  - 2.2.路面下空洞探査技術適用の手引き
- 巻末資料 (参考文献・付属資料)

前章で解説した地下探査技術の概論は第1章でもう少し詳しく説明されている。第2章では正しい地下探査技術の使い方について埋設物探査と路面下空洞探査に分けて、計画の仕方や測線の配置、探査結果の示し方など、具体的な図面を用いて解説している。本稿では紹介しきれなかった具体的な地下探査技術の利用方法が示されている。巻末の付属資料では、参考となる会員企業の地下探査機器類、あるいは導電性媒質中の電磁波伝搬速度などの技術的なバックグラウンド、さらに路面下空洞探査業務の費用体系や見積書、仕様書の例など実務の参考になる資料も豊富に添付されている。

## 4. 結語

地下探査技術は今後も地下インフラ施設の維持管理において重要な役割を担うと考えられる。しかし、未だ認知度が高いとはいえない状況であり、JSTT 地下

探査技術委員会では「非開削地下探査技術適用の手引き」に基づく講習会を実施している。地下探査技術は正しく使えば有効な技術である。しかし、探査技術への誤解や曲解もあるのが現状である。

本特集号と「非開削地下探査技術適用の手引き(案)」が正しい地下探査技術の普及と発展に寄与するものと期待する。参考文献に示した資料も非開削地下探査技術の理解の助けになるため、より詳しいことを知りたい読者は参照していただきたい。

#### 【参考文献】

- 1) 日本非開削技術協会地下探査技術委員会：非開削地下探査技術適用の手引き (案), 2016.
- 2) 鈴木敬一：路面下空洞探査の実施例とその課題, 基礎工, 2019年12月号, pp.91-94, 2019.
- 3) 鈴木敬一：埋設管に対する地下探査技術の現状と課題, 検査技術, 2020年7月号, pp.27-32, 2020.
- 4) 物理探査学会：地中レーダ, 新版物理探査適用の手引き, pp.281-299, 2008.
- 5) 地盤工学会：地中レーダ, 地盤調査の方向と解説 (第3編第6章), pp.127-131, 2013.
- 6) 物理探査学会：新版物理探査用語辞典, 愛智出版, 2005.
- 7) 物理探査学会：物理探査ハンドブック増補改訂版, 第9章地中レーダ, pp.557-584, 2016.
- 8) 全国地質調査業協会連合会：地中レーダ探査, 全国標準積算資料 (土質調査・地質調査) 平成30年度歩掛版, pp.IV-35-41, 2018.
- 9) エスパー探査協会：エスパー探査標準積算資料, 2013.

