

# 地中レーダー探査と表面波探査を併用した空洞および陥没調査

榎日さく ○堺田 佳人, 石川 恵司, 小野 篤, 鮎 沁

## 1. はじめに

地中レーダー探査は、空洞や埋設物、地盤構造等を電磁波の反射波画像で可視化できる手法<sup>1)</sup>である。一方、表面波探査はS波速度構造から地盤の構造や強度を把握できる手法<sup>2)</sup>である。

本事例は、豪雨に伴い地盤の陥没が発生したサイト内において、地中レーダー探査により空洞の有無を、2次元表面波探査により地中レーダー探査で捉えられない地盤構造と緩みの有無を把握し、両者を統合した解釈により地盤状況や変状の原因について検討したものである。

## 2. 地盤条件と変状発生状況

### (1) 調査地周辺の地盤条件

調査地は河川左岸側の氾濫原上に位置する。背後には段丘があり、河川により両岸が深く浸食された崖には更新世前期の基盤層が露出している。調査地の表層に深には礫質土層が分布すると推定される。上記地盤条件から、調査地周辺には河川の伏流水や段丘からの地下水流動の影響が懸念される。

### (2) 変状発生状況

調査地周辺は、2017年7月の梅雨前線豪雨と2019年10月の台風19号により地表面が冠水し、これらの豪雨の後に陥没の発生が確認された（写真-1）。

陥没箇所は大部分が既設構造物の近傍に分布する。また地表面は砂利敷きで、水路や暗渠等は設置されておらず、降雨時には構造物や上方からの雨滴が滴下し、地盤に浸透しやすい状態である。なお、これら陥没箇所は砂利による埋戻しが行われている。



写真-1 陥没発生状況

## 3. 課題と調査方針

サイト内で発生した陥没はいずれも小規模であるが、既設構造物の各所に点在しており、広い範囲を限なく効率的に把握する必要があった。また、ボーリングやサウンディングといった直接的な確認手法は、既設構造物に影響を与える可能性があり採用できなかった。

上記課題を踏まえ、地盤条件を面的かつ効率的に把握する方法として非破壊手法の地中レーダー探査と2次元表面波探査を併用し、間接的ながら、サイト内を効率的

かつ多面的に検討することで、調査精度の向上を図った（図-1）。

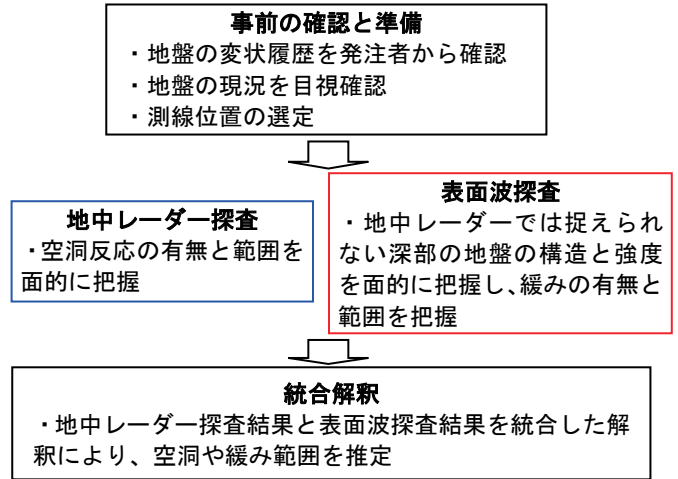


図-1 調査方針

探査測線は図-2のように、長辺最大125m×短辺最大65mの格子状に配置した。その他、陥没発生箇所付近は測線を密に配置する等、現地状況に合わせて配置した。調査作業は2017年12月（2017年豪雨後）と、2020年11月（2019年台風19号後）に実施したが、陥没箇所はいずれも埋め戻しされた状態であった。

なお、既設構造物の位置や形状等の情報について本報告では記載しない。

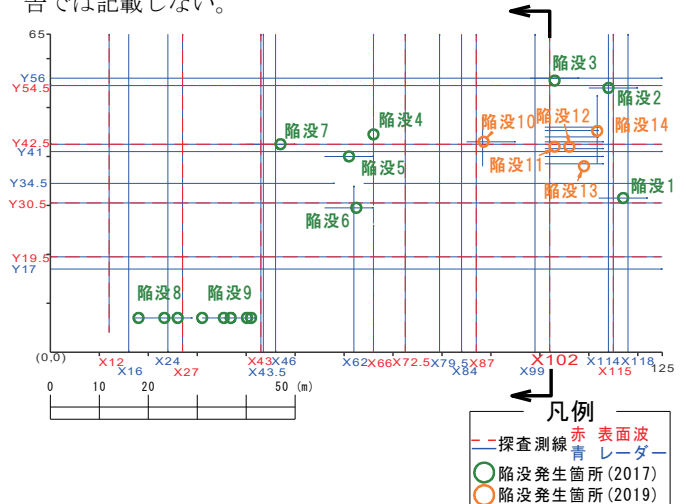


図-2 測線配置状況図

## 4. 調査結果

本報告では陥没が多く発生した X102断面（図-2中の黒太矢印の位置）を代表的な結果として示す。

X102測線周辺には、陥没3、11、12、13が分布する。

### (1) 地中レーダー探査結果

図-3の地中レーダー探査結果によると、いずれの陥没箇所も埋め戻されたためか、地中レーダー画像に空洞反

応などの変化は見られなかった。しかし、深度約2m 以浅で散乱波が卓越する箇所は、不飽和帯において空隙が増加して不均質化している可能性がある。

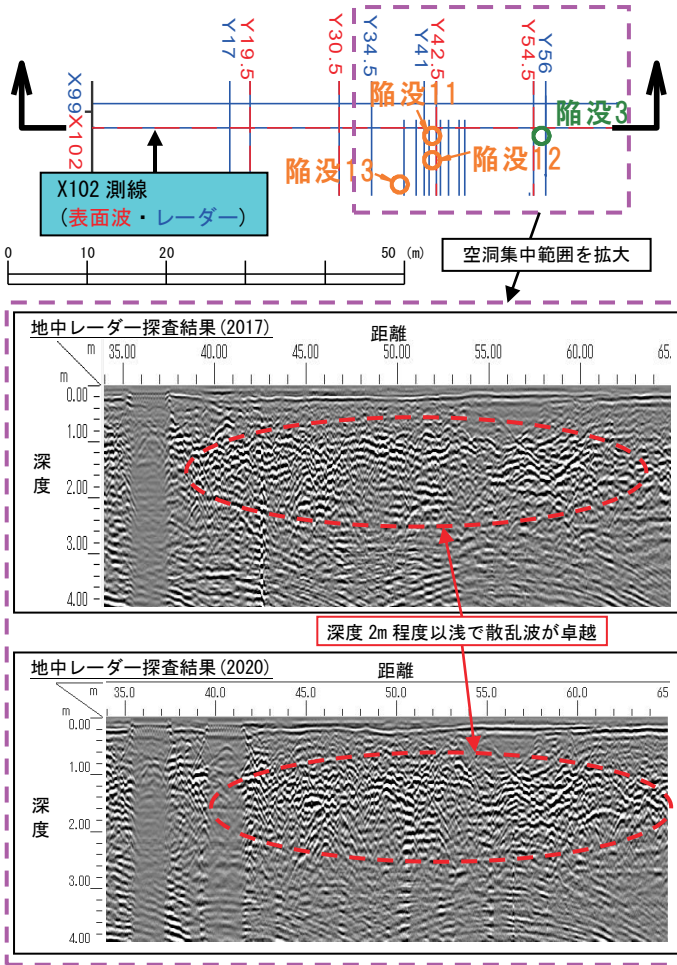


図-3 地中レーダー探査結果(X102測線)

## (2) 表面波探査結果

図-4には、表面波探査によるS波速度断面図を示す。加えて、2時期(2017年および2020年)の間のS波速度の変化率も断面図として示した。なお、地下水面は、隣接する水路の水位から推定したものである。

陥没集中箇所では、陥没地直下から深部へ連続的に速度が低下する部分が見られ、雨食によるパイピングなど、緩みの進行を反映した可能性がある。

また、表層部以深のS波速度変化率は、地下水面を境に上位でマイナス側に大きく、下位で低い。これは、豪雨時での河川水位や地下水面の変動に起因した地盤強度の変化を反映した可能性がある。

## (3) 統合解釈

2時期のS波速度構造と地中レーダー画像に、それぞれ大きな変化はないことから、地盤条件がともによく再現されていると考えられる。

上記の探査原理の異なる2つの結果を統合的に解釈すると、深度約2mまでの浅層部では散乱波が卓越し、かつS波速度変化率がマイナス側に大きい。これは構造物基礎に沿って雨滴の浸透によるパイピングが発生し空隙増

加している可能性が考えられる。

一方、地下水位以浅の不飽和帯においてもS波速度低下がみられ、地下水面までの空隙増加や緩みは、基礎直下の地下水流動部に沿う水位変動による吸出しに伴う細粒分の移動が考えられる。

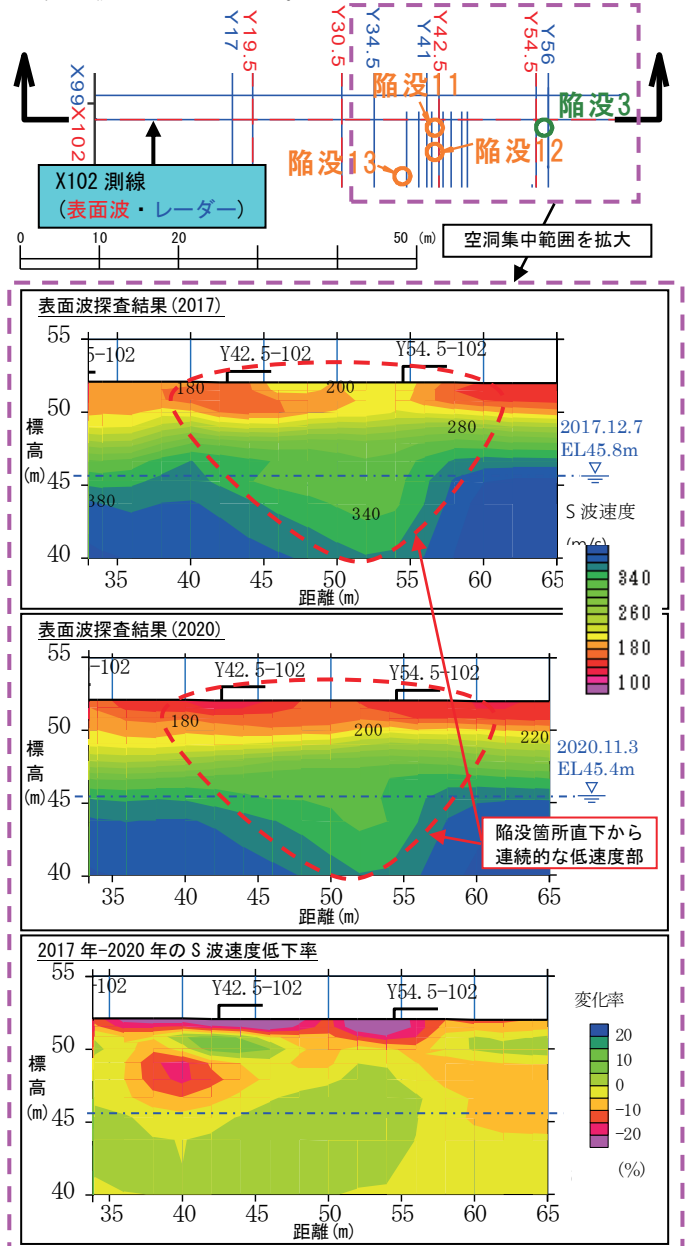


図-4 表面波探査結果(X102測線)

## 5. まとめ

本報告では、複数の物理探査手法を組み合わせることにより、地盤状況を間接的ながら広範囲に把握し、陥没の素因となる箇所を把握することができた。

各種の土構造物への応用や、物理探査と調査ボーリングやサウンディング等との組み合わせにより、調査コストの縮減や精度の向上に寄与できるものとする。

## 《引用・参考文献》

- 1) 地盤工学会編:地盤調査の方法と解説, p.127, 2013.3.
- 2) 地盤工学会編:地盤調査の方法と解説, p.146, 2013.3.