

空洞調査に関する実験的検討その1 一低周波地中レーダによる空洞探査一

(株) 田中地質コンサルタント 正会員 ○野村 成宏
 戸田建設株式会社 正会員 吉野 尚人
 // 正会員 蟹井 猛宏

1. はじめに

空洞調査は、地盤内部に存在する空洞（例えば、自然由来の地下空洞、人工的なトンネル、埋設管周囲の空隙、陥没の前兆となる空洞など）を探るために実施されている。特に近年は維持管理分野の需要が増えるにつれて、比較的浅所の空洞を検出する技術が求められるようになっている。空洞調査では非破壊で実施できる物理探査が有効な調査方法と考えられ、様々な方法（表-1 参照）のうち、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る。地中レーダ探査は送信アンテナから電磁波を発して埋設管や空洞などの異なる物質の境界で発生した反射波を受信アンテナで検出する調査手法である。

現在、一般的に実施されている地中レーダ探査による空洞調査は深度 2m 程度までの非常に浅い深度を対象としており、深部の空洞を対象とした調査実績は殆ど見られない。そこで、今回、低周波地中レーダを用いた空洞検出を目的とした実験的検討を行った。

2. 実験概要

図-1 には今回の模擬空洞実験の平面図ならびに断面図を示す。模擬空洞として 3 つの異なる径の VP 管 ($\phi 20\text{cm}$, $\phi 40\text{cm}$, $\phi 60\text{cm}$; 長さ 1m) を深度 3.3m および 1.7m 付近に埋設した。探査測線は、VP 管を縦断する測線ならびに横断する方向として計 5 測線を設定した。実験は、Sensors & Software 社製の pulsEKOPRO の中心周波数 25MHz, 50MHz ならびに 100MHz の 3 種類のアンテナを使用した。

空洞試験造成平面図

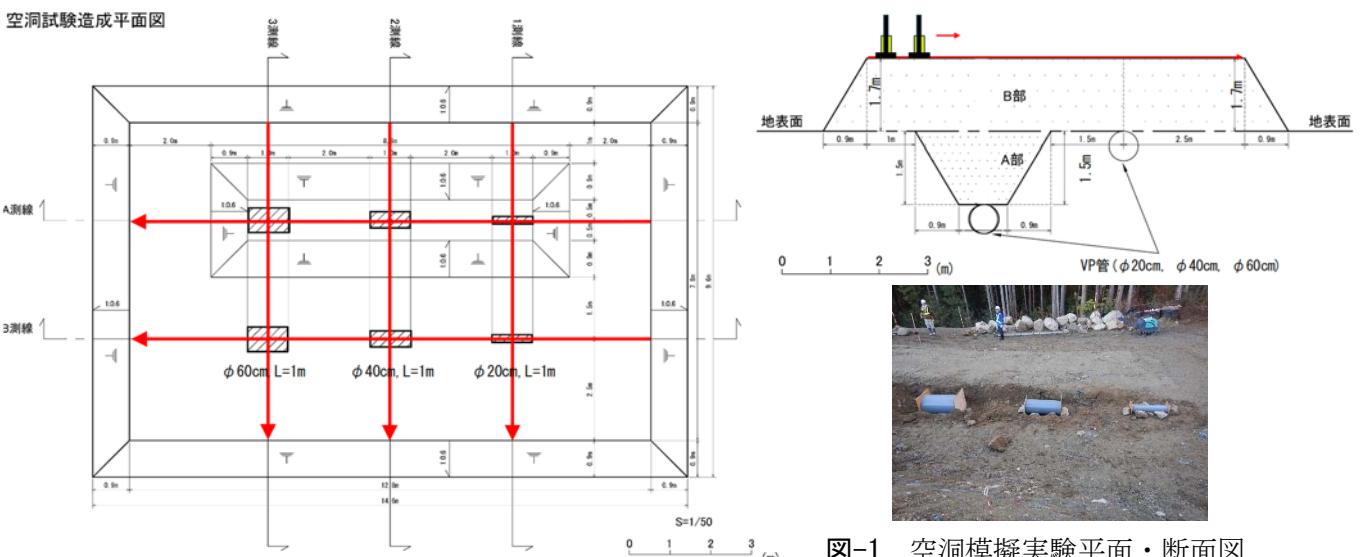


図-1 空洞模擬実験平面・断面図

キーワード 空洞調査、地中レーダ、非破壊調査

連絡先 〒915-0082 福井県越前市国高2丁目324-7 株式会社田中地質コンサルタント TEL:0778-25-7000

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	弹性波速度	断面 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 構造	○	○	-	○	構造物地盤、液状化予測、 堤防診断、空洞調査	構造物周辺地盤構造 の把握
微動アレイ 探査	地盤振動	表面波速度	断面 構造	○	○	△	○	構造物周辺地盤構造	地盤の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、塗すべり、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	高周波	電磁波形	断面 異常抽出	○	△	-	○	空洞、埋設管、権設物等 一般的に深さ 2~3 m を 対象	地中探査
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、塗すべり、断層 調査の概要	空中探査等の多くの手法が 併用
音波探査	音波	音響イン ピーダンス	断面 地盤境界	-	○	△	△	堆積物、断層等の水滲 地盤	海上（水下）のみ
磁気探査	磁場	磁気異常	異常抽出	○	△	●	○	火山岩、蛇紋岩の分布調査 爆弾の金属類調査等	火山岩、蛇紋岩の分布調査 等にも適用
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 値化基図の必要
地温探査	地温	地温異常	面的 異常抽出	△	△	-	○	温泉、地下水調査 地温異常の地盤性状	ギリヤー法を利用する孔 内温度検査もある
放射能探査	ガンマ線	ガンマ線強度	面的 異常抽出	△	△	-	○	地下水、温泉等	空洞探査、自動車探査も可
トモグラ フィ	渦流伝送 人工電場	弹性波速度 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、○: 次第、△: 适用可、●: 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日安である

3. 野外実験結果

今回の探査結果のうち縦断測線の結果を図-2に示す。対象物が $\phi 20\text{cm}$ の模擬空洞では対象物が小さく、全ての周波数のアンテナで検出することが困難であった。 $\phi 40\text{cm}$ では深度1.7mのものは検出可能であったが、深度3.3mでは不明瞭であった。 $\phi 60\text{cm}$ では両深度で検出することが出来たが、深度3.3mのものは反応がやや弱い結果となった。表-2には各測定での模擬空洞検出状況をとりまとめものをとりまとめて示す。周波数

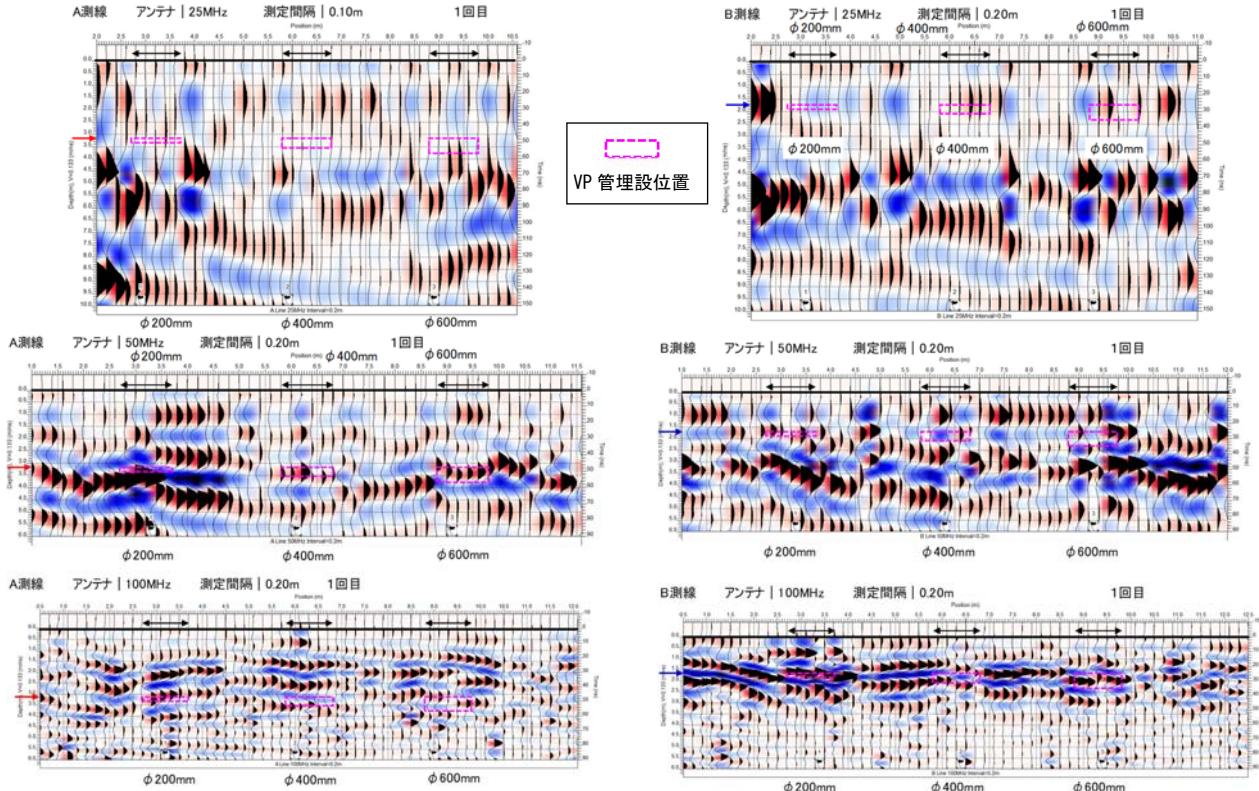


図-2 地中レーダ探査結果（左図A測線、右図B測線：縦断測線）

25MHz アンテナでは、今回の実験で最大模擬空洞 $\phi 60\text{cm}$ (長さ1m)でも検出することが困難な結果を示した。また、最小模擬空洞 $\phi 20\text{cm}$ (長さ1m)では、今回使用した全ての周波数のアンテナで検出することが出来なかつた。これらは、分解能の問題で空洞を捉えることが出来なかつたと考える。周波数50MHzアンテナで $\phi 40\text{cm}$ (長さ1m)の規模で深度3.3mまでのものが検出できた。

4. まとめ

本稿では、模擬空洞を作成して地中レーダによる空洞の検出の適否事例の報告であった。用いるアンテナの周波数による検出可能な空洞の規模やその分布深度の違いを実験的に把握することが出来た。ただし、空洞からの反射は明瞭とは言い難いものがあり、より複雑な実際の地盤内から空洞の検出を抽出することはさらに困難となることが予想される。そのため、今後さらに探査を実施してデータを蓄積していきたいと考える。

参考文献

- 1) 地盤調査の方法と解説：(公社)地盤工学会, 2013, p. 95.
- 2) 物理探査ハンドブック 増補改訂版 手法編 第7章地中レーダ：(公社)物理探査学会, 2016
- 3) 地盤工学・実務シリーズ14 地盤工学への物理探査技術の適用と事例：(公社)地盤工学会, 2001

表-2 模擬空洞検出結果一覧表

測線名	アンテナ (MHz)	$\phi 20\text{cm}$		$\phi 40\text{cm}$		$\phi 60\text{cm}$		備考
		埋設深度 (GL-m)	3.30	1.70	3.30	1.70	3.30	1.70
1測線	25	x	x	—	—	—	—	横断測線
	50	x	x	—	—	—	—	
	100	x	x	—	—	—	—	
2測線	25	—	—	x	x	—	—	横断測線
	50	—	—	x	x	—	—	
	100	—	—	△	○	—	—	
3測線	25	—	—	—	—	x	x	横断測線
	50	—	—	—	—	○	△	
	100	—	—	—	—	△	○	
A測線	25	x	—	x	—	x	—	縦断測線
	50	x	—	△	—	△	—	
	100	x	—	x	—	○	—	
B測線	25	—	x	—	x	—	x	縦断測線
	50	—	x	—	△	—	○	
	100	—	x	—	△	—	○	

凡例 検出可 ○ 不明瞭 △ 検出不可 ×