

マルチチャープによる深層空洞探査車の開発

川崎地質株式会社 首都圏事業本部 正会員 ○丸山 祐司
 川崎地質株式会社 首都圏事業本部 非会員 山田 茂治
 川崎地質株式会社 首都圏事業本部 非会員 今井 利宗

1. はじめに

老朽化が進む我が国のインフラに対して、SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)や B-DASH プロジェクト(下水道革新的技術実証事業)等において、インフラの損傷度等を効率的かつ効果的に点検・モニタリングする技術の実証研究が進められている。

ここで紹介する「マルチチャープによる深層空洞探査車」(以下「車両牽引式マルチチャープレーダ」, 図1)は、SIP及びB-DASHプロジェクトで実証研究を進めた新技術である。地中レーダによる探査可能深度を大きく向上できるチャープレーダシステムを複数組み合わせ、港湾岸壁や下水道の損傷に起因して発生する空洞をより深くかつ効率的に探知して、未然の陥没防止に寄与する目的で車両牽引式マルチチャープレーダを開発した。

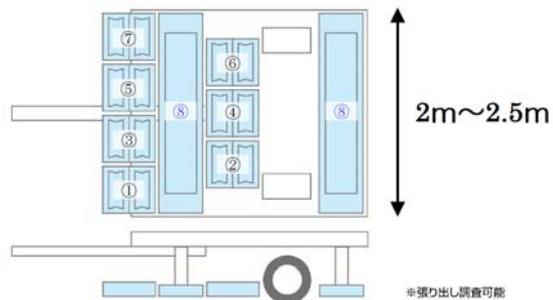


図1 車両牽引式マルチチャープレーダ装置外観・アンテナ構成

2. 従来型地中レーダ装置について

従来の地中レーダ装置の多くは、インパルス波を送信信号とするインパルス方式が使われている。この方式は、図2に示すように送信波形電圧を瞬時に立ち上げて送信する。しかし、現状のデバイスでは瞬時電圧の立ち上げ時間に限界があり、現状より電圧を高めようとした場合、必要なパルス幅が広がり、分解能が劣化する。この問題解決は、デバイス性能の大幅改善がない限り困難である。

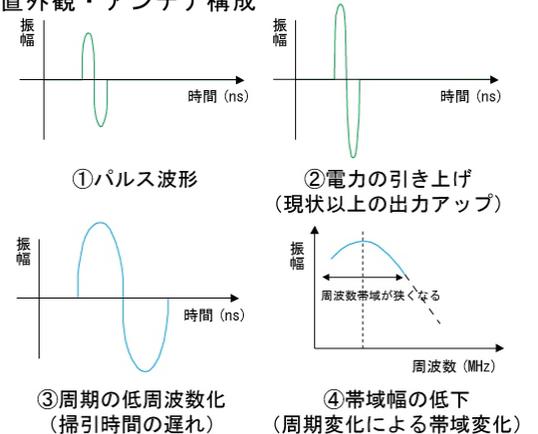


図2 送信出力上げ時のインパルス波形の変遷

3. チャープレーダについて

3.1 チャープ方式の特徴

チャープ方式は、図3に示すように、信号の送信時には正弦波を使い、受信時にパルス波形に圧縮変換する方式である。

正弦波の周波数は、確保したい帯域幅に応じて変化させながら送信する。この場合、送信出力は送信時間に依存し、分解能は送信周波数帯域幅に依存するため、原理的には分解能を損ねることなく送信出力を高められる。

3.2 車両牽引式マルチチャープレーダ装置の特徴

本装置の主な特徴は、チャープ方式や広帯域大型アンテナの採用により、従来の地中レーダ装置の空洞探知能力を確保したまま地下3m以上まで探査できることである。また時速40~50kmで車両牽引走査が可能であり、マルチ化により探査効率を向上させたため、従来の地中レーダの作業性や経済性を損ねることがない。

地中レーダは送信する周波数帯域幅が広いほど分解能が高く、狭いほど探査可能深度が大きくなる。本装置は、2種類の周波数帯域を同時もしくは別々に送信できる方式を採用している。表1に示すように、最も分解能が高くなるのは、送信周波数帯域幅が広い50~800MHz帯で測定を行う場合であり、インパルスレーダと

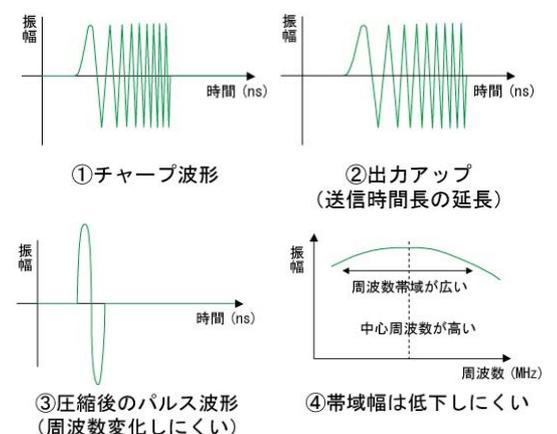


図3 送信出力上げ時のチャープ波形の変遷

キーワード 物理探査 空洞調査 地下構造物

連絡先 〒108-8337 東京都港区三田2丁目11-15 川崎地質株式会社 首都圏事業本部 保全部 TEL:03-5445-2080

同等の分解能である 25cm 程度を確保できる。送信周波数 50～300MHz の場合でも、分解能 50cm 程度を確保できるため、他の物理探査に比べて高分解能である。

その他では、レーダデータと同期して前方や側方の外景を撮影するドライブレコーダや、VRS 方式の RTK-GPS と IMU (慣性計測装置) を組み合わせた位置測位システムを搭載しており、高精度で空洞反応等の検出位置を特定できる。

4. 性能検証事例

図 4 に送信周波数 50～300MHz の場合の能力検証結果を示す。探知対象物は、地中に埋設したφ100mm 鉄管であり、地盤材料は関東ロームである。地下 1m, 2m, 3m, 4m, 5m に埋設した全ての埋設管を探知できている。

5. B-DASH プロジェクトにおける実証事例

B-DASH プロジェクト(下水道革新的技術実証事業)において、老朽化下水道が敷設されている実道路上で車両牽引走査による実証試験を実施した事例を紹介する。

図 5 に示す成果は、本技術(実証技術)と、道路分野の直轄事業にこれまで用いられてきた従来のインパルス方式の路面下空洞探査装置による探査結果を比較した事例である。このうち図 5(左)は、極浅層部を探知した事例であり、両者共に探知精度に大きな違いは認められない。しかし、図 5(右)に示した事例のように、地下 1.5m 以深の空洞は本技術でしか探知できないことが実証された。

また、図 6 に示す成果は、地下 2.2m の空洞を探知した結果であり、かつ、1 年後の再探査でその成長性を確認した事例である。当初、地下 2.5m 付近に埋設された下水管直上(GL-2.2m)で空洞が認められていたが、1 年後の調査では、GL-1.8m 付近で異常信号が認められた。当該箇所では簡易貫入試験を実施した結果、空洞(Nd=0)は消滅したものの、空隙を伴う緩み領域(Nd≤4)に変化し、その領域が 40cm 程度浅部へ移動していることが判明した。

こうした事例は、チャープ方式の空洞探査が、開発目的である「埋設インフラに起因して発生する空洞をより深い深度で探知し、未然の陥没防止に寄与する」ことに有効であることを実証している。

表 1 送信周波数と探査可能深度の関係

送信周波数	最大探査可能深度	分解能
50～300MHz	5m程度	低
50～800MHz	3m程度	高

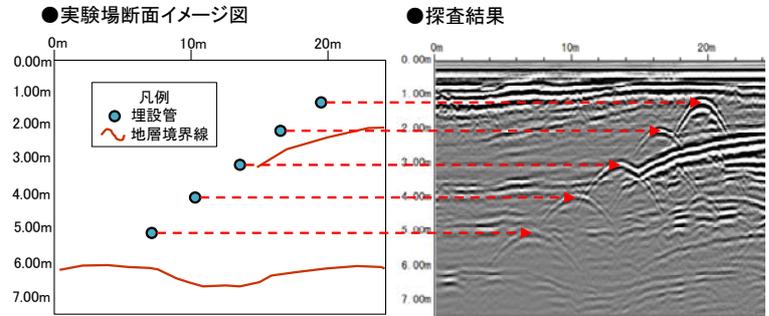


図 4 探査能力実証結果

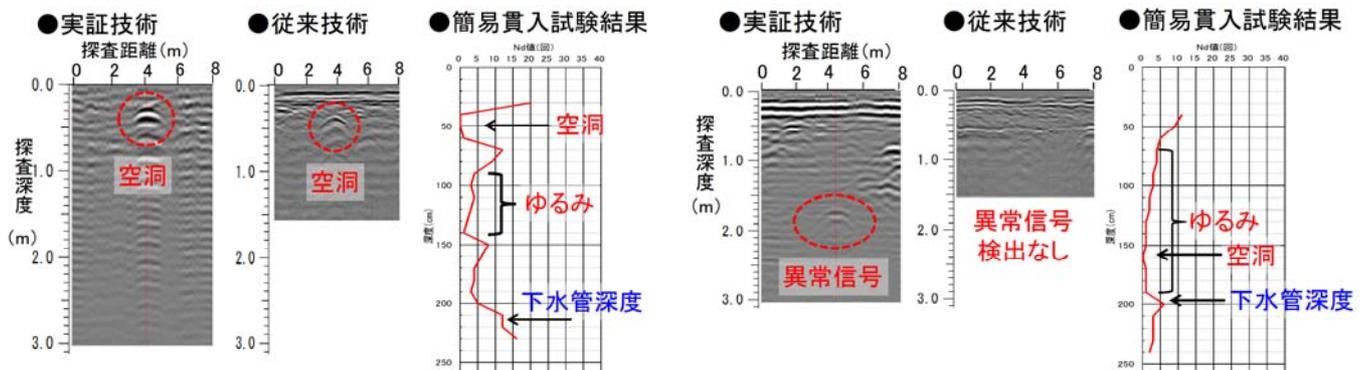


図 5 従来技術(インパルス方式)とチャープ方式との路面下空洞探査比較結果
左：極浅層部での空洞探査比較 右：深部(GL- 1.5m 付近)での空洞探査比較

6. まとめ

SIP や B-DASH プロジェクトにおいて、従来精度の空洞探知能力の実証と並んで最大探査可能深度の大深度化を実証することができた。今後は更なる基本能力の向上を図って行くと共に、IoT 活用を視野に入れて研究開発を行うことを考えており、空洞画像の AI 判定システムの開発や探査システムの小型化及び普及を行った上で、今後ビッグデータとなるマルチチャープレーダの活用を進めて行く方針である。

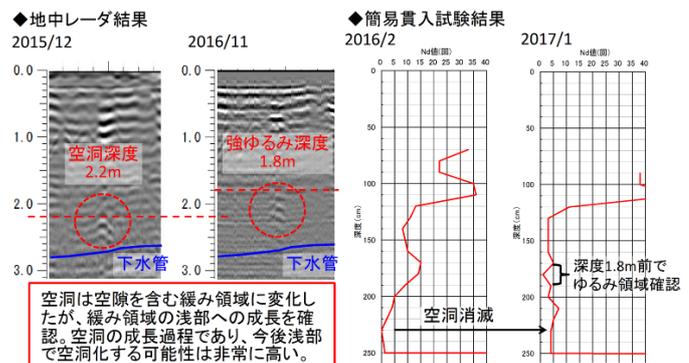


図 6 空洞の成長性確認事例