

汎用型のオリジナル地中レーダ用信号処理システムの開発と有効性の実証

JR 東日本コンサルタンツ (株) 正会員 ○青山 貴洋, 野上 雄太, 趙 帥, 井谷 優介

1. はじめに

路面下空洞や埋設管, 鉄筋探査などのレーダ探査技術によって非破壊で対象物の状況を把握することができれば, 効率的な計画・施工・メンテナンスを行うことができ, コストダウンにつながることは明らかである. このことから, 著者らは知識の内製化と汎用的で高精度なシステムの開発を目的としてハード・ソフトを含めたシステムすべての自社開発を行っている. 本稿では, 開発したシステムの検証によって得られた知見のうち, 地中探査を例にハードやソフトを変化させた場合の基礎的な影響について報告する.

2. 検証概要

検証は図1に示すヤードで行った. 埋設物は管路や空洞を想定し鋼管 $\phi 300$ ・EPS $\square 500$ ・VP $\phi 300$, 長さ $L=1000\text{mm}$ を図のように配置した. この地盤は粘性土まじりの砂で, 平均比誘電率は $\epsilon_r=20$ 程度である.

次に使用したシステム例を図2に示す. システムは大きく分けて制御用PC・送受信機・アンテナの3つからなり, 送受信機とアンテナは目的に応じて使い分ける. 送受信機は Vector Network Analyzer(VNA)と開発したプロトタイプモデルの2種類を使用しており計測方式はどちらも SFCW 方式である. また, アンテナについても周波数帯域の異なる2タイプを使用した.

3. ハードによる影響 (アンテナ)

ハードによる影響の一例として, 鋼管ラインを対象にアンテナを変更して計測した結果について示す. 送受信機は VNA を使用し, アンテナは表1に示す2タイプを用いた. 計測によって得られた画像を図3に示す.

図3は同様の信号処理を行っているがアンテナによって探査深度や見え方が大きく変化することが分かる. たとえば, マイグレーションなどの処理を行っていない場合, 双曲線状の反応の端部が信号の到達限界であると考えられる. 両者を比較するとより低周波に対応している(a)の方が深くまで探査可能であることが分かる. ただし, 対応する周波数を低くするほどアンテナ自体のサイズは大きくなるため, 3次元探査などの複数断面同時計測は難しくなる. これより, レーダ探査では目的に応じたアンテナ選択が重要であることが分かる.

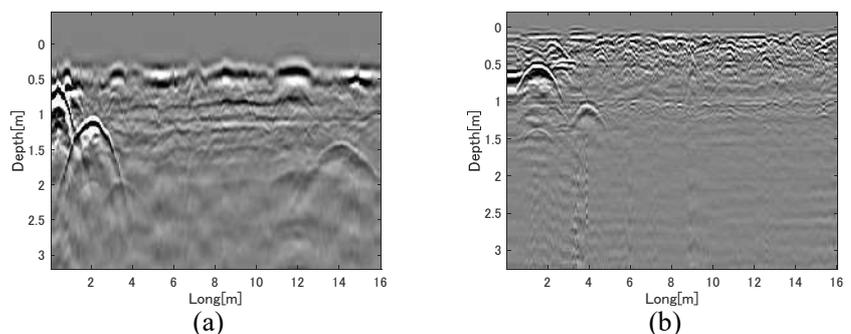


図3 アンテナによる影響

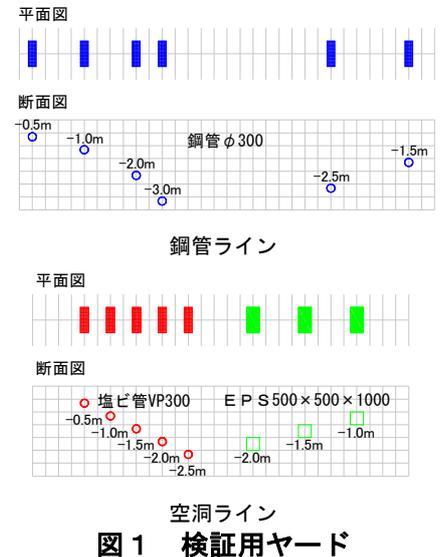


図1 検証用ヤード



図2 システム概要

表1 アンテナタイプ

Type	種別	周波数帯[MHz]	サイズ[mm] (1 アンテナ)
(a)	ボウタイ	50-1000	500×1800
(b)	ボウタイ	200-1000	400×700

キーワード 信号処理, レーダ, 探査, 非破壊検査

連絡先 〒141-0033 東京都品川区西品川 1-1-1 技術本部 特殊解析室 TEL:03-5435-7625

4. ソフトによる影響

ソフトによる影響の一例として、プロトタイプを送受信機を使用し空洞ラインを対象に計測した同一のデータに対して信号処理を変更した結果を示す。信号処理の内容を表2に、それぞれの処理によって得られた画像を図4に示す。

図4(a)と(b)は窓関数の違いであり、窓関数を変更することによってサイドローブの大幅な低減が見られ確定的反応が明確になっている。次に、図4(b)と(c)は Back Ground Removal (BGR) と減衰補正の有無の違いである。BGRは走行方向の平均値成分を取り除く処理であり、減衰補正は深度方向に減衰する信号を増幅させる処理であるため、これらを組み合わせることによって、小さな反応も捉えることができる。このように、信号処理を加えることによって確定的な反応をよりクリアにすることが可能である。図4(d)はバンドパスフィルタによって低周波側の周波数帯域を制限したものである。帯域制限前の(c)と比較すると低周波を使用できないため深くまでは探査できないことが分かる。これは、3. ハードによる影響(アンテナ)で確認できた傾向や理論¹⁾とも整合的である。

また、図5に図4(c)の画像と理論上の双曲線の重ね描きを示す。図からも明らかなように、実フィールドに近い条件で計測した場合であっても、反応は理論上の双曲線との相関が高いことが確認できた。このことから、AIやルールベースを用いた自動判別の機能を自由に追加することも可能と考えられる。

5. まとめ

本稿では、地中探査を例にハードやソフトを変化させた場合の基礎的な影響について報告した。信号処理によって確定的な反応を得ることができること、実フィールドに近い条件での計測でも理論上の反応との相関が高いことなど得られた知見は地中探査だけでなく空洞探査や鉄筋探査などのレーダ探査全般に適用できるため、今後は得られた知見を活用し、目的別に最適化されたハードの開発や自動判別の導入などのソフトの改良を進めることで、更に高性能なシステムの開発を進めてきたい。

参考文献

1) たとえば 電子情報通信学会編, アンテナ工学ハンドブック(第2版), オーム社, 2008.

表2 信号処理タイプ

Type	窓関数	BGR	減衰補正	バンドパス[MHz]
(a)	Rectangle	無	無	50-1000
(b)	Blackman	無	無	50-1000
(c)	Blackman	有	有	50-1000
(d)	Blackman	有	有	200-1000

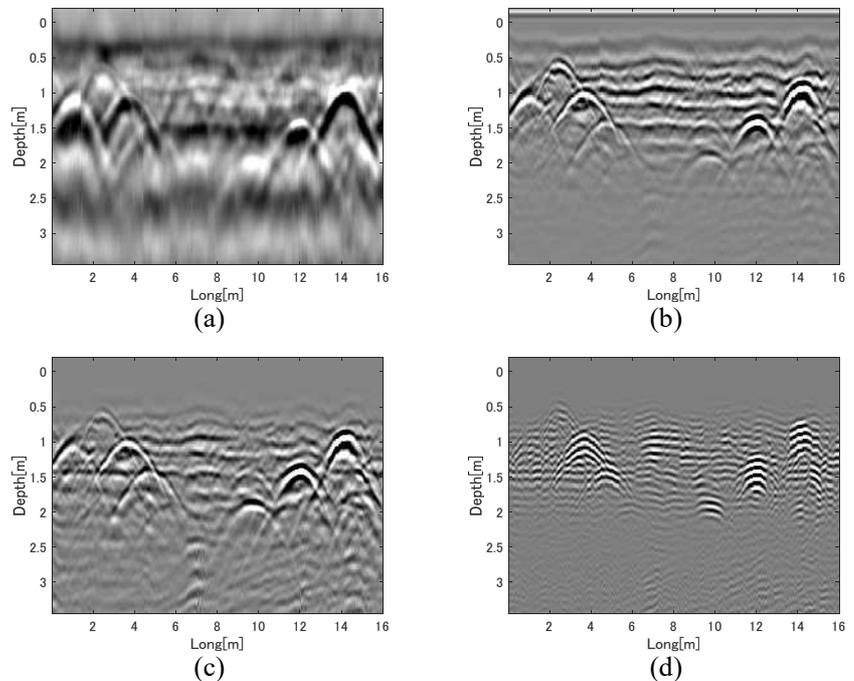


図4 信号処理による影響

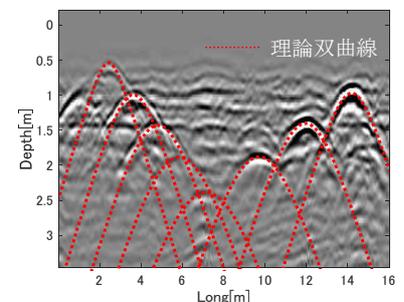


図5 理論双曲線重ね描き