

地中障害物探査のための電磁波レーダ性能確認試験

JR 東日本 東京工事事務所 正会員○関塚 貴一
JR 東日本 東京工事事務所 正会員 加藤 精亮
鉄建建設 建設技術総合センター 正会員 竹田 茂嗣
KEYTEC 藤枝 繁

1. はじめに

狭隘箇所での基礎杭構築時に想定外の地中障害物が出現することがある。その場合、一般には機械施工から深礎工等への変更が必要となる。事前に地中障害物の有無が探査できれば、工法変更に伴う工期やコストの増大に対して有効である。電磁波レーダは、送信アンテナから電磁波を輻射し、物体から反射して戻ってきた反射波を受信アンテナで受信する装置である。電磁波レーダ法は、伝搬媒質と反射物の比誘電率の違いによる反射波の位相逆転現象を利用して地中内の金属管や非金属管、空洞などを判別できるため、地中障害物探査法としての利用が期待できる。本稿では、障害物を配置した試験ヤードを造成し、3種類の電磁波レーダを対象とした性能確認試験を実施した。

2. 性能確認試験

2.1 対象とする電磁波レーダ

本試験で対象とするレーダを表 1 に示す。地中障害物の正確な位置、材質等を鮮明に探査するには、高周波を利用して分解能を高くする必要がある。一方、探査深度を深くするためには低周波を利用する必要があるが、アンテナサイズも増大するためレーダの運用性は低下する。対象とした 3 種類のアンテナはいずれも指向性を有するが、周波数や輻射方式の仕様は異なる。A 機は 2 つの周波数帯、B 機は複数の周波数帯の電磁波を輻射する。C 機は広帯域の符号化された電磁波を輻射し、自身が輻射した電磁波のみを受信することによりノイズを低減させる機能を持つ。

表 1 試験の対象機器

対象機器	A 機	B 機	C 機
周波数	300MHz+800MHz	50-1050MHz	200-4000MHz
中心周波数	300MHz+800MHz	300, 400, 500, 600, 700MHz	1200MHz
輻射方式	デュアル周波数方式	マルチ周波数方式	符号化方式
最大探査深度	約 3m	約 10m	約 2m

2.2 試験項目

電磁波レーダは土壌含水量の増加により、ノイズの影響を受けることが知られている。そこで、以下の 2 項目を試験で確認する。

試験 1 性能確認試験

：土中に埋設された障害物の探査精度を確認する。

試験 2 土壌含水量影響確認試験

：遮水シートで防水されている試験ヤードに、表面から水を浸透させることで飽和度 S_r を適宜変化($S_r=67\%$, 70% , 88% , 100%) させ、探査影響を確認する。

2.3 試験ヤード

試験ヤードの平面図と縦断図を図 1、図 2 に示す。想定した地中障害物は H 鋼、PC 鋼より線、まつ杭、ぐり石、PC まくらぎであり、図中に示す所定の位置に埋設した。地上からレーダを走査し、これらを探査する。

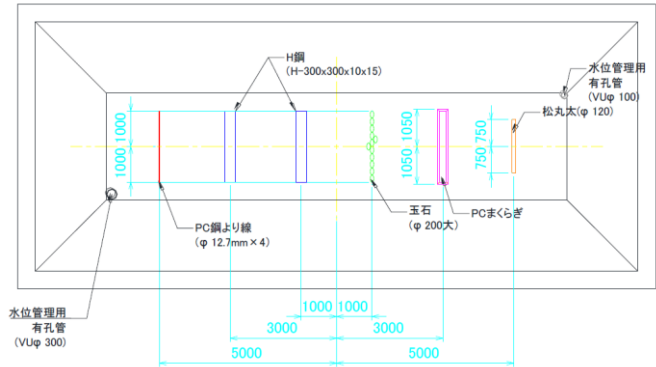


図 1 試験ヤード（平面図）

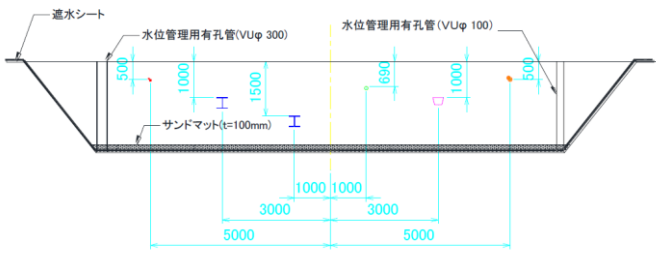


図 2 試験ヤード（縦断図）

3. 試験結果

性能確認試験の結果を表 2、土壌含水量影響確認試験の結果を表 3 に示す。また、解析画像を図 3 (A 機)、図 4 (B 機)、図 5 (C 機) に示す。試験 1 では各レーダで 1m 以浅の金属 (PC 鋼より線、H 鋼) が判別可能であることが分かる。A 機では 1.5m の深度も明瞭に判別できた。また、PC まくらぎは鋼材が含まれるため、2 機種 (A、C 機) で探査できた。一方、ぐり石はサイズの小さいものや測線上にないものは判別が難しい。まつ杭は伝搬媒質との比誘電率差が小さく、判別することができなかった。また、B 機の周波数別の探査結果を図 6 に示す。これよりアンテナ性能に関して言えば、深深度の障害物 (金属) 探査には低周波であることが優位であることが確認できた。

土壌含水量影響確認試験では、土壌含水量の増加に伴い信号の弱いものは判別困難となることが確認できた。ただし、まつ杭は含水量が増加するにつれ、確認できるようになった。これはまつ杭が土中の水分を吸水したことにより比誘電率が増加したために探査できたと考えられる。また低周波を利用する A 機では、高い含水率でも強い反射信号を得ることができたが、高周波を利用する C 機でも、深度 1.0m の H 鋼を判別することができた。これは C 機の符号化信号処理が、地下水によるノイズを低減しているためと考えられる。

4. おわりに

本稿では、3 種類の電磁波レーダを対象に機器の性能

表 2 試験 1 結果一覧

埋設物	まつ杭	RC	ぐり石	H 鋼	H 鋼	鋼より線
深度 (m)	0.5	1.0	0.7	1.5	1.0	0.5
A 機	×	◎	△	○	◎	◎
B 機	×	×	×	×	◎	◎
C 機	×	△	×	△	◎	◎

表 3 試験 2 結果一覧

埋設物	飽和度	まつ杭	RC	ぐり石	H 鋼	H 鋼	鋼より線
深度 (m)		0.5	1.0	0.7	1.5	1.0	0.5
A 機	67%	×	◎	△	○	◎	◎
	70%	×	◎	△	△	◎	◎
	88%	△	◎	△	△	◎	◎
	100%	△	◎	◎	△	◎	◎
B 機	67%	×	×	×	×	◎	◎
	70%	×	×	○	×	◎	◎
	88%	×	△	△	×	◎	◎
	100%	×	△	△	×	◎	◎
C 機	67%	×	△	×	△	◎	◎
	70%	×	×	×	×	◎	◎
	88%	△	×	×	×	◎	◎
	100%	△	×	×	×	◎	◎

◎：信号強、○：信号弱、△：信号不明瞭、×：信号なし

確認試験、土壌含水量影響確認試験を行った。性能確認試験では、深度 1.0m 以浅の金属 (PC 鋼より線、H 鋼) はいずれのアンテナでも探査できたが、特に低周波を利用したアンテナの探査精度が良好であることが確認された。土壌含水量影響確認試験では、含水量の増加に伴い、信号が小さくなるものの、符号化方式により、その影響を緩和できることが示唆された。これより、低周波数化による探査深度の向上や、符号化方式によるノイズの低減などのレーダやアンテナの能力向上が、電磁波レーダを用いた地中障害物の探査に有効であることが示された。

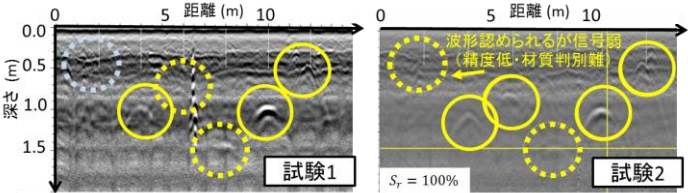


図 3 試験結果 (A 機)

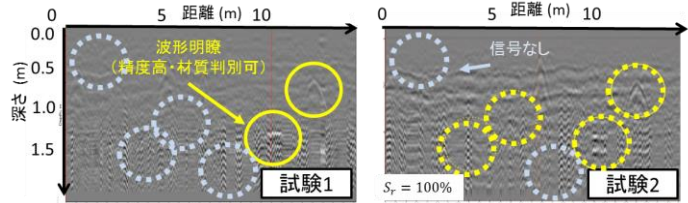


図 4 試験結果 (B 機)

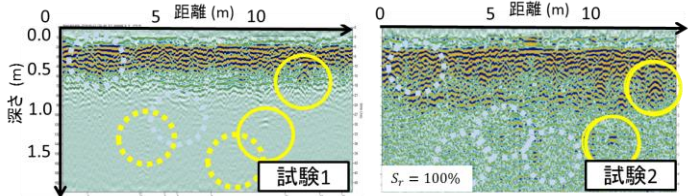


図 5 試験結果 (C 機)

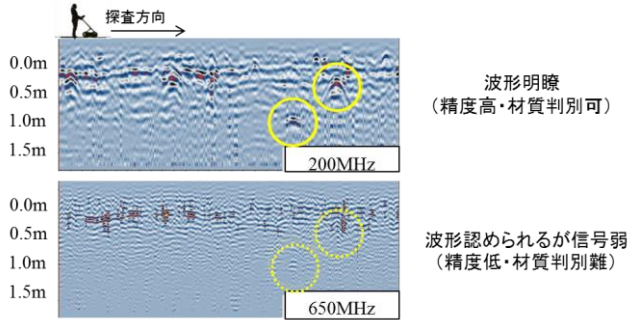


図 6 周波数別探査結果 (B 機)