

Ⅲ-33

電磁レーダを用いた土槽模擬実験

大成建設（株）技術研究所 正会員 今井 博
正会員 川上 純

1. はじめに

ここ数年、電磁波による探査技術が、地中レーダによる反射法探査やボアホールレーダによる孔間トモグラフィ探査などで実用化されてきた。しかし、電磁レーダにより、地盤の性状をより詳細に把握するためには、既知の地盤構造を用いた検証を通して、この技術の適用性をより明確にして行く必要がある。

本研究では、土槽内に模擬的に作成した空洞や破碎帯を用い、導波管や電磁レーダによる探査実験を行い、収録データの解析においては、弾性波の反射法で用いる種々の波形信号処理を行った。反射パターンの特徴、波形処理の効果など、本実験で得られた解析結果を報告し、電磁波の探査技術への適用性について論ずる。

2. 電磁波の伝播

電磁波の速度は、伝播する媒質の比誘電率および透磁率によって決定されるが、本実験では、模擬地盤を4号珪砂を用いて作成したため透磁率=1と仮定してよい。したがって、電磁波の速度 V および反射係数 R は、

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_G}} \quad , \quad R = \frac{\sqrt{\epsilon_G} - \sqrt{\epsilon_R}}{\sqrt{\epsilon_G} + \sqrt{\epsilon_R}} \quad (1)$$

で表される。ここで、 ϵ_R および ϵ_G はそれぞれ反射対象物および岩盤の比誘電率である。 ϵ_R は空気の場合は1、水の場合 ϵ_R は81であり、 ϵ_G はこの中間である。式（1）によれば、反射対象物が空気の場合あるいはそれに近い状態では、 R はプラスで位相は変化しない。一方、反射対象物が水の場合、 R はマイナスで位相が逆転する。

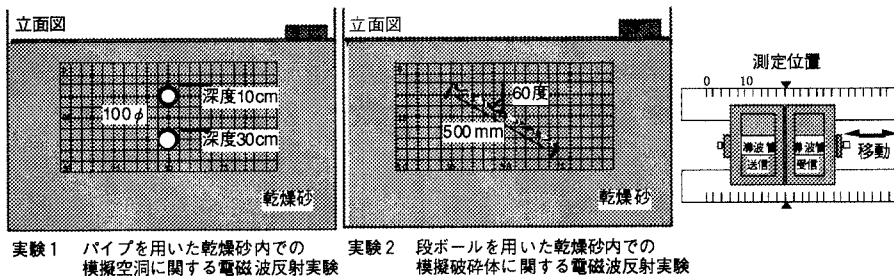


図1 小型土槽内埋設物設置状況およびアンテナ測定位置

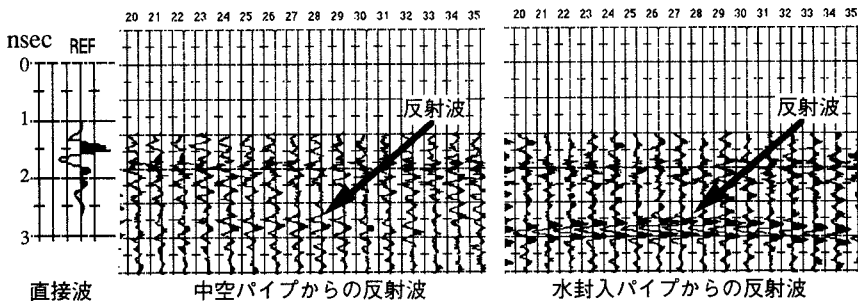


図2 直接波および反射波

3. 土槽実験

模擬地盤は図1に示すような小型土槽内に4号硅砂を用いて作成した。図1にはパイプの埋設（実験1）、段ボールの埋設（実験2）および送・受信アンテナとして用いた3GHzの導波管による測定概要を示す。反射データはパルスジェネレータから発信され、オシロスコープで受信した直接波および反射波を表示し、トリガーをかけてデータを収録した。表1に小型土槽内に埋設した反射対象物とその状況を示す。実験において、4号硅砂は、比誘電率2.6（速度18.6cm/nsec）であった。

中空（実験1）および水封入（実験2）の直径10cmの亚克力パイプを砂表面から40cmの深度に埋設して電磁波の反射波データを取得した。測定波形トレースは2cm毎、サンプリングは0.1 nsecである。また、振幅の大きな直接波、2次波およびその他の反射対象物以外からの反射波を除去する為に、小型土槽内に何も埋設せずに反射データを収録した。ここでは、このデータをバイアスデータと呼ぶ。

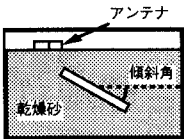
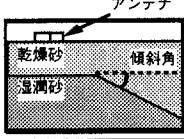
4. 処理

本研究では以下のような処理を行った。まず、全トレースを個々のトレースの最大振幅の最大値で規格化し、直接波の初動を時間軸1.0nsecの位置（図2左参照）に整列した。処理の最初は、観測データからバイアスデータを差し引くことである。しかし、これだけでは、直接波および2次波等を完全に除去することはできない。ここでは、さらに、0～3nsecをミュートした。図2（中央および右）は、中空パイプおよび水封入パイプからの反射波の部分を一部拡大した波形トレースである。中空のパイプからの反射波は直接波と位相が同じだが、水を封入したパイプからの反射波は直接波と比べ位相が逆転している。これは、式（1）と一致する。したがって、岩盤内にある水の存在は反射波の位相の逆転により評価できる。さらに、低周波および高周波のノイズを除去するためにバンドパス・フィルタ処理を行い、その結果に対し、マイグレーション処理を行うと、図2で示した反射対象物の位置がより明確に強調された。

5. まとめ

表1で示した実験の処理結果から、電磁波の反射波の持つ性質が確認された。式(1)で示したように、反射対象物および岩盤の比誘電率の差に起因する位相変化から反射対象物が空洞や空の亀裂帯であるのか、水が充填された破砕帯なのかが判断できることが確認できた。また、前処理やバンドパス・フィルタ、マイグレーション処理などの波形処理により、反射対象物の位置決定における解像度を上げることが可能であることが確認できた。このように、電磁波を用いた反射法探査は、従来の地中埋設物探査だけでなく、例えば、TBM（Tunnel Boring Machine）による岩盤掘削における切羽前方地質探査にもその有効性が十分期待できる。表1に示したデータの他に、市販の電磁レーダを用いた大型土槽における実験、造成地における反射実験、採石所における反射実験等、現場実験を多数行っているため、今後は、本研究の結果も加えて、さらに検討を行う。

表1 模擬地盤における埋設物と埋設状況

埋設物	サイズ	設置状況	備考
亚克力パイプ	直径3cm	深度20,40,60cm	封入／なし、水
	直径5cm	深度20,40,60cm	封入／なし、水
	直径10cm	深度20,40,60cm	封入／なし、水
段ボール		傾斜0° 深度30,50 cm 厚さ5.15 cm	ビニール袋に水でぬらした段ボールを封入
		傾斜30° 深度30,50 cm 厚さ5.15 cm	ビニール袋に水でぬらした段ボールを封入
		傾斜60° 深度30,50 cm 厚さ5.15 cm	ビニール袋に水でぬらした段ボールを封入
傾斜地盤 乾燥砂／湿潤砂		傾斜0° 深度50 cm	傾斜を付けた湿潤砂の上に乾燥砂を積載
		傾斜30° 深度50 cm	傾斜を付けた湿潤砂の上に乾燥砂を積載
		傾斜60° 深度50 cm	傾斜を付けた湿潤砂の上に乾燥砂を積載