

電磁波シミュレーション解析を用いた薄層の物性値の違いによる
地中レーダ反射波形の評価（その2）

鹿島建設(株) 正会員 ○升元一彦

1. はじめに

割れ目を有する岩盤構造物においては、岩盤の割れ目内の地下水流動特性を評価することは重要であり、その調査手法として、地中レーダは「面的」で「非破壊」な評価が可能という点で有効な手段の一つである。これまでは割れ目の幾何学的な分布が主な調査対象であったが、最近では反射波形の変化に着目することによる割れ目内の水分量やトレーサ濃度変化の評価方法の可能性についての検討が行われている¹⁾。

前報²⁾では、割れ目内に水分や電磁気的特性の異なる流体が存在することによる電磁波の反射波形に与える影響について数値シミュレーション解析に基づき検討を行った。その結果、初動の反射波形の変化を捉えられれば、割れ目内の媒質の変化の定量的指標になりうることを示した。一方、割れ目の幅がレーダ探査の分解能程度と小さい場合、評価対象である上面からの反射波に下面からの反射が影響を与える可能性がある。本報では、前報と同様に数値シミュレーション解析を行うことで、割れ目の幅がレーダの分解能程度と小さい場合における本評価方法の適用性について検討を行ったので報告する。

2. 反射波形変化の数値シミュレーションの検討方法

前回の検討では、地中レーダの中心周波数が 800MHz の場合、分解能は比誘電率が 81 (水) の場合、Reyleigh の 1/4 波長則により 10mm になることから、対象とする割れ目幅を分解能以上の 50mm としたが、本検討では分解能付近の 20mm、10mm、5mm として反射波形の評価を行った。

本検討においては、前回同様、中心周波数 800MHz のリッカー波の垂直入射を想定した検討を行うこととし、三層モデルにおいて、FDTD 法による電磁界解析プログラム GPRMax2D/3D を用いた波形数値シミュレーション³⁾による評価を行った。シミュレーションのモデルや境界条件は、前回同様、図-1(1)に示すモデルで、薄層の幅やその導電率を変化させた。解析ケースを表-1に示す。CASE1、2、3 では、薄層の幅を 20mm、10mm、5mm と変化させ、各々で薄層内の導電率を 0.01 S/m から最大 10.0 S/m まで変化させた。また、図-1(2)に示す下面のない二層モデルによるシミュレーション (CASE0) を同時に行い、この結果との差分を取ることで下面からの反射波の影響を評価することとした。

3. 数値シミュレーション解析結果

各ケースの反射波形のシミュレーション結果を図-2に示す。25cm 深度の薄層上面からの反射波の初動は往復走時 5.8ns に見られ、この初動の振幅は薄層内の導電率により変化していることがわかる。導電率に対する初動の反射振幅の大きさを、波形の正負のピーク間の値と設定してプロットしたものを図-3に示す。導電率が 1.0 S/m 以上の場合には、前報²⁾で示したように、いずれの割れ目幅でも導電率の増加に伴い振幅値は増加し、振幅値が媒質の濃度変化の指標となりうることをわかる。一方、導電

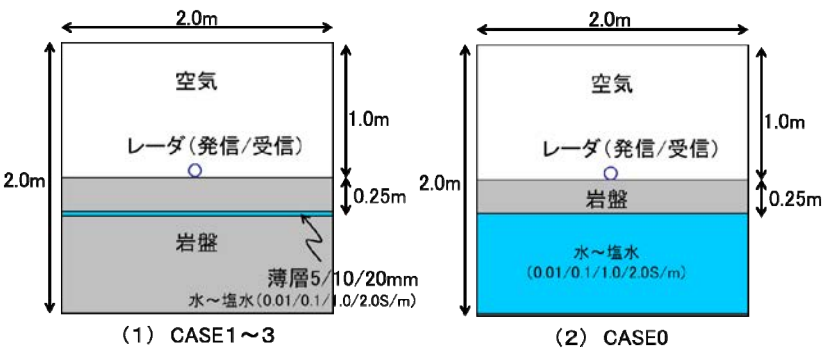


図-1 シミュレーションに用いたモデル

表-1 解析ケース

CASE	薄層物性値			岩盤物性値	
	幅 (mm)	比誘 電率	導電率 (S/m)	比誘 電率	導電率 (S/m)
CASE 1-1/-2/-3/-4	20	81	0.01/0.1/1.0/2.0	12	0
CASE 2-1/-2/-3/-4/-5	10		0.01/0.1/1.0/2.0/10.0		
CASE 3-1/-2/-3/-4/-5	5		0.01/0.1/1.0/2.0/10.0		
CASE 0-1/-2/-3/-4/-5	-		0.01/0.1/1.0/2.0/10.0		

キーワード：地中レーダ、電磁波シミュレーション、割れ目、物理探査

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 090-2524-4478

率が 1.0 S/m 以下の場合には、割れ目幅が幅 10mm 以下の時、導電率の増加に対し振幅値が逆に減少している。これは薄層上面からの反射波と下面からの反射波が逆極性を持つため、分解能以下の幅を持つ割れ目においては両者の波形が重なることにより初動の見かけ上の振幅値が増加することを示している。

次に、各ケースで二層モデルの解析結果との差分を計算した。図-4 に幅 20mm の場合の差分計算結果を示す。下面からの反射波の初動は往復走時 7.0ns に見られ、 13ns 付近に見られる波は、一度薄層上面で反射した波が地表面で反射し、上面を透過した後下面で反射した波に相当する。このように上面からの反射波の初動が除去され、下面に関連する反射波が抽出できていることがわかる。この下面に関連する反射波の内、上面からの反射の初動に影響を与えるものとして、最も到達が早い下面からの反射波の初動に着目すると、媒質の導電率が大きいほど減少していることがわかる。この導電率に対する振幅の変化について、導電率が 0.01 S/m の時の下面からの反射波形の振幅値を基準とした相対値を示したものを図-5 に示す。導電率が増加するに伴い振幅は減少するが、低下の程度は薄層の幅にも依存することがわかる。例えば、幅が 5mm の場合、導電率が 10.0 S/m 以上の媒質を浸透させないと、下面からの反射波の振幅は 20% 以下に減少しないことになる。

以上の結果から、反射振幅により媒質の導電率を評価する際に、分解能より大きい幅の割れ目群においては、反射波の初動の振幅値の変化が媒質の導電率の変化に相当すると考えて良いといえる。一方、分解能以下の幅の割れ目においては、割れ目内の媒質の導電率が小さい時に、反射波の振幅値は下面からの反射波の影響を受け、影響が表れる導電率の値は割れ目幅で異なる。逆に、割れ目内の媒質の導電率が大きい時は下面からの反射波の振幅は減少し、その影響が小さくなるため、反射振幅により媒質の導電率を評価できるといえる。

4. おわりに

割れ目群を模擬したモデルで電磁波の数値シミュレーション解析を行った結果、分解能付近の薄層における反射波形評価における着目点が抽出できた。今後、実際のフィールドにおける解釈に展開していく予定である。

参考文献

- 1) 尾西・六川: 地中レーダ観測記録の周波数変調による高導電率領域の判定, 物理探査学会第 111 回学術講演会論文集, P9, pp.233-236, 2004.
- 2) 升元: 電磁波シミュレーション解析を用いた薄層の物性値の違いによる地中レーダ反射波形の評価, 土木学会第 75 回年次講演会, III-56, 2020..
- 3) Giannopoulos, A: Modelling ground penetrating radar by GprMax, Construction and Building Materials, Vol.19, pp.755-762, 2005.

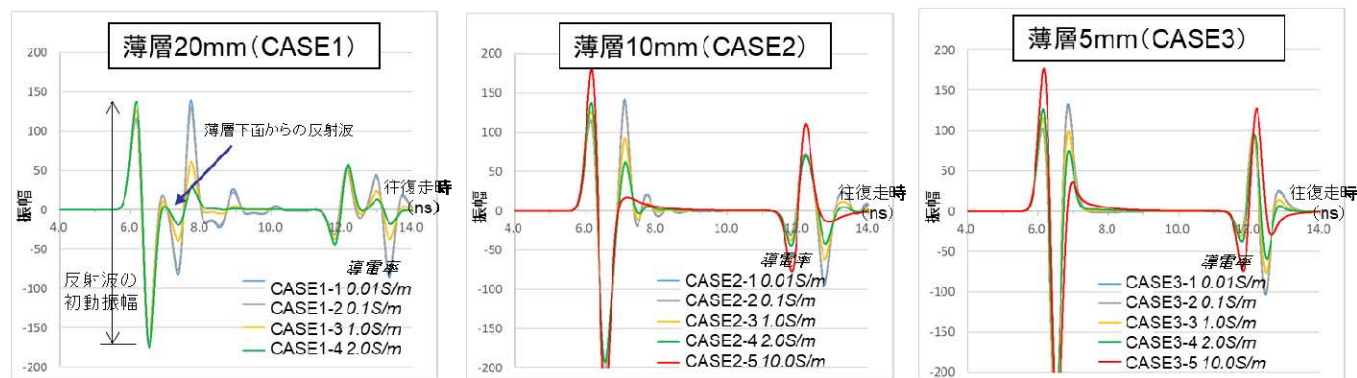


図-2 解析結果

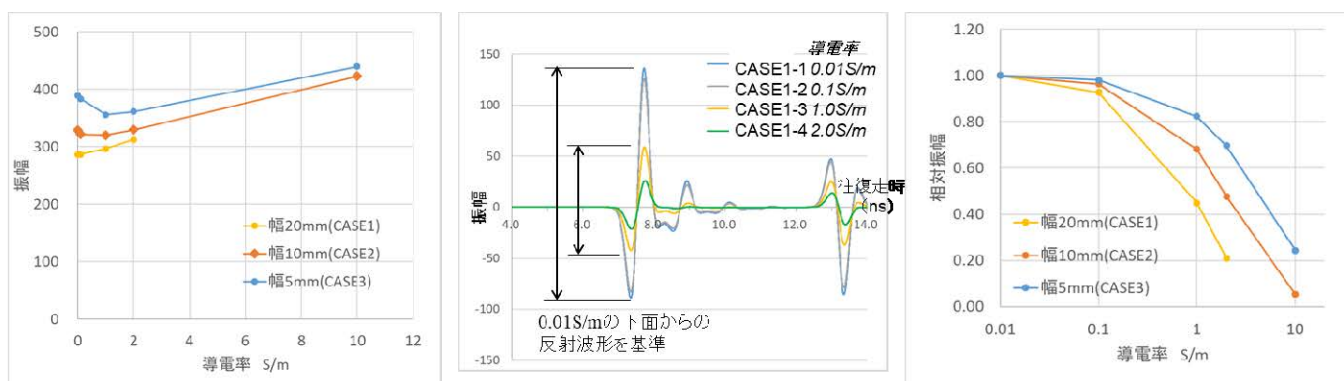


図-3 導電率に対する
初動の反射振幅の関係

図-4 差分計算結果
(薄層 20mm)

図-5 導電率に対する下面からの
反射振幅の相対変化