L-29

水分比の異なる分散性媒質によるパルス応答

The Pulse Response by the Dispersion Media with Different Moisture Ratio

○谷仲智大[1]，　尾崎亮介[2]，　山﨑恆樹[2]

Tomohiro Yanaka[1], Ryosuke Ozaki[2], Tsuneki Yamasaki[2]

Abstract: In this paper we analyzed the pulse responses from dispersion media with different moisture ratio by using the Fast Inversion of Laplace Transform method (FILT).The reflection response of the model was embedded in a perfect conductor plate in dispersive medium with different moisture ratio.We also investigated the influence of the pulse response with different moisture ratio.

１．はじめに

近年，遺跡調査や地雷探査技術の研究が活発に行われている．しかし，対象物体を非破壊で探査することが必要となるので，比較的浅い場所の探査法として地中レーダが知られている[1]．現在では，分解能等を向上する研究と共に埋設物を精度良く可視化(イメージング技術)出来るレーダが注目を集めるようになってきた[2]．

著者らは，先に分散性媒質におけるパルス応答を検討するため，複素誘電率を行列として表現し，文献[3]で与えられる実験値に一致するように反復演算する手法を提案し媒質定数を決定した[5,6]．

本文では，d_1 と d_2 の厚みをもつ水分比の異なる分散性媒質中に完全導体板を埋設した構造の反射応答を FILT（Fast Inversion of Laplace Transform）法[4]を用いて解析し，水分比の違いによるパルス応答の影響を比較検討した．

２．解析法

本文で検討する構造を Fig.1 に示す.Fig1 では領域Ｉを真空，領域Ⅱ，Ⅲが分散性媒質である.また $x = d_2$ の最下層に完全導体を埋設した構造である．分散性媒質の誘電率 $\varepsilon(s)\left[=\varepsilon(j\omega)\right]$ は一般に周波数の関数になるので，電子分極と配向分極を考慮し Selmeier の三項式と水分項の式で表し，式中に現れるパラメータ $(\Omega_i, g_i, \omega_i)_{i=1,3}$，$(\tau, \tau_0)$ を文献[5,6]の手法によって求めた．以下に複素誘電率を次式に示す．

$$\frac{\varepsilon(s)}{\varepsilon_0} = 1 + \sum_{i=1}^{3} \frac{\Omega_i^2}{s^2 + g_i s + \omega_i} + \frac{\tau_0}{1 + s\tau} \tag{1}$$

式(1)において実数部と虚数部に分けると次式で定義できる．

$$\varepsilon_r'(\omega) = \sum_{i=1}^{3} \frac{\Omega_i^2(\omega_i - \omega^2)}{(\omega_i - \omega^2)^2 + \omega^2 g_i^2} + \frac{\tau_0}{1 + (\omega\tau)^2} \tag{2}$$

$$\sigma(\omega)[=\omega\varepsilon_0\varepsilon_r''(\omega)] = \sum_{i=1}^{3} \frac{\Omega_i^2(-\omega g_i)}{(\omega_i - \omega^2)^2 + \omega^2 g_i^2} + \frac{\tau_0(-\omega\tau)}{1 + (\omega\tau)^2} \tag{3}$$

入射する電界は z 成分のみをもつ平面パルスを垂直に入射し，$x = 0$ での入射パルスは直流成分を含まない次式とした．

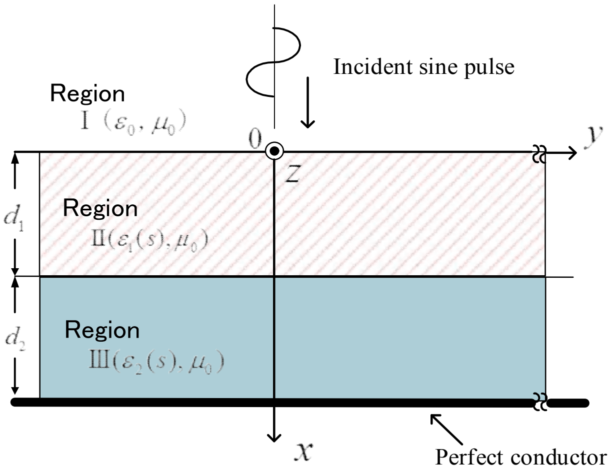


Fig.1 Structure and coordinate system

$$e_0^{(i)}(t) = \left[u(t) - u(t - t_w)\right]\sin(2\pi t/t_w) \tag{4}$$

但し，t_w は入射パルスのパルス幅である．

本文では，分散性媒質を扱うため式(4)を Laplace 変換し像関数 $E_0^{(i)}(s)$ は

$$E_0^{(i)}(s) = \frac{2\pi/t_w}{s^2 + (2\pi/t_w)^2}(1 - e^{-st_w}) \tag{5}$$

となる．

次に，各領域の電磁界での境界条件より未知係数を決定し反射係数を導出する．

$x = 0$ の境界条件：

$$\begin{cases} T_1 e^{-k_2 d_1 \cos\theta_2} + R_2 e^{k_2 d_1 \cos\theta_2} = T_2 e^{-k_3 d_1 \cos\theta_3} + R_3 e^{k_3 d_1 \cos\theta_3} \\ -\dfrac{k_2}{\mu_2}\left[T_1 e^{-k_2 d_1 \cos\theta_2} - R_2 e^{k_2 d_1 \cos\theta_2}\right] = -\dfrac{k_3}{\mu_3}\left[T_2 e^{-k_3 d_1 \cos\theta_3} - R_3 e^{k_3 d_1 \cos\theta_3}\right] \end{cases} \tag{6}$$

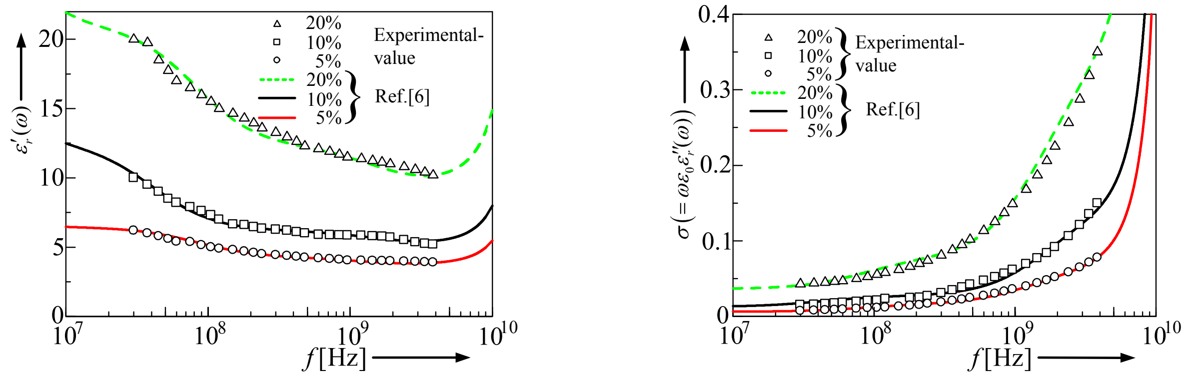
$x = d_1$ の境界条件：

$$\begin{cases} T_1 e^{-k_2 d_1 \cos\theta_2} + R_2 e^{k_2 d_1 \cos\theta_2} = T_2 e^{-k_3 d_1 \cos\theta_3} + R_3 e^{k_3 d_1 \cos\theta_3} \\ -\dfrac{k_2}{\mu_2}\left[T_1 e^{-k_2 d_1 \cos\theta_2} - R_2 e^{k_2 d_1 \cos\theta_2}\right] = -\dfrac{k_3}{\mu_3}\left[T_2 e^{-k_3 d_1 \cos\theta_3} - R_3 e^{k_3 d_1 \cos\theta_3}\right] \end{cases} \tag{7}$$

$x = d_1 + d_2$ の境界条件：

$$T_2 e^{-k_3 d_2 \cos\theta_3} + R_3 e^{k_3 d_2 \cos\theta_3} = 0 \tag{8}$$

１：日大理工・院（前）・電気　　２：日大理工・教員・電気



(a)Real Part　　　(b)Imaginary Part

Fig.2 Complex dielectric constants

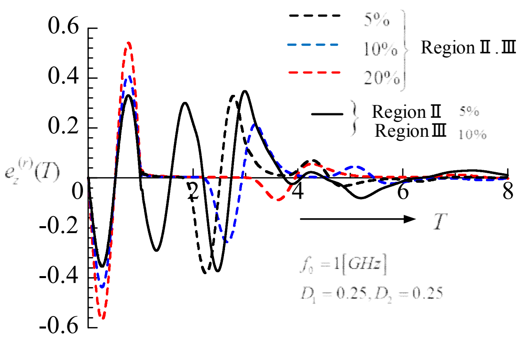


Fig.3 Pulse responses

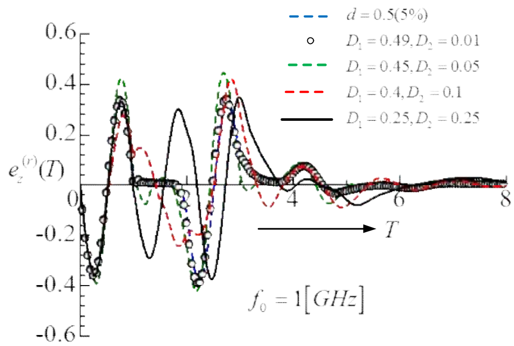


Fig.4 Pulse responses

となる．式(6)～(8)を整理して $x=0$ における反射波は次式となる．

$$E_z^{(r)} = R(S)E_{(z)}^{(i)} \tag{9}$$
$$= \frac{Ae^{S(D_1\Gamma_1+D_2\Gamma_2)} + (B-AB-1)e^{-S(D_1\Gamma_1+D_2\Gamma_2)}}{e^{S(D_1\Gamma_1+D_2\Gamma_2)} + (A-B+AB)e^{-S(D_1\Gamma_1+D_2\Gamma_2)}} E_{(z)}^{(i)}$$

但し，

$k_0 \triangleq s\sqrt{\varepsilon_0\mu_0} = s/c$，$\Gamma_1 = \sqrt{\varepsilon_2(S)/\varepsilon_0}$，$\Gamma_2 = \sqrt{\varepsilon_3(S)/\varepsilon_0}$，
$D_1 = d_1/ct_w$，$D_2 = d_2/ct_w$，$A = (1-\Gamma_1)/(1+\Gamma_1)$，
$B = (1-\Gamma_2)/(1+\Gamma_2)$，

k_0 と c は自由空間中の波数と光速である．

3．数値解析

本文で扱う分散性媒質を Fig.2 に示した.Fig.2(a)が式(2)の結果，Fig.2(b)が式(3)の結果である．Fig.2 の媒質定数を用いて反射応答を計算した結果を Fig.3 に示した．なお，Fig.2 のパルス応答を解析した条件は中心周波数 $f_0 = 1[GHz]$ $D_1 = 0.25$ $D_2 = 0.25$ である．図中の黒の実線は,領域Ⅱを 5%の媒質,領域Ⅲを 10%とした結果である.なお,比較として,破線(---)の結果は，領域Ⅱ,領域Ⅲは同じ分散性媒質の結果である．

Fig.3 から次のことがわかる．

(1) $0<T<1$ の応答は媒質表面からの反射であるがその振幅は，領域Ⅱ,Ⅲが 5%の場合と一致している．

(2) 規格化導体板の厚さが $D_1 = 0.25$ $D_2 = 0.25$ の時,5%,10%は $T=2$ では反射応答がないが，領域Ⅱを5%の媒質,領域Ⅲを 10%の媒質は反射応答がみられる．

(3) $2<T<4$ のときは等価的な 5%と 10%で合わせたパルス応答が原因でそれ以降は減衰していると考えられる．

次に Fig.4 は，D_1 の影響を調べるため導体板までの距離を固定した場合での厚みを変化させた時の結果である．なお，解析条件は Fig.3 の条件と同様である．

Fig.4 より次のことがわかる．

(1) D_1 を大きくすると，分散性媒質境界面からのパルス応答に影響(振幅は小さくなり，波形は青破線の結果に丸プロットが結果に近づいていることがわかる．

4．まとめ

本文では,水分比の異なる分散性媒質中に完全導体板を埋設した時のパルス応答を FILT 法を用いて解析し,その影響を比較検討した．

今後は,他の解法を用いて詳細に検討していく予定である．

5.参考文献

[1]西本，上野，永吉：電学研資，EMT-05-17, 2005.
[2]佐藤：信学論 C，vol.J85-C, pp.520-530, 2002.
[3]J.E.Hipp：*Proc.* of IEEE,Vol.62, No.1, pp.98-103, 1974.
[4]細野敏夫：BASIC による高速ラプラス変換，共 1984.
[5]杉崎，尾崎，山崎 :日大理工学術講演会，L-36, pp.1037-1038, 2012.
[6]杉崎，尾崎，山崎：電学全大，1-018, 2013.
[7]細野敏夫：メタ電磁気学，森北出版，1999.