

M-4

電磁シールド材料間接合部性能に関する研究
-重ね合わせ接合部透過後の電界位相変化の解析及び定式化-
A Study on Electromagnetic Shielding Effectiveness of Wrapped Joint Model
-Analysis and Formulation of the Transmitting Electric Field Phase Shift-

○窪田亮¹, 三枝健二², 吉野涼二³

*Ryo Kubota¹, Kenji Saegusa², Ryoji Yoshino³

Abstract: In order to estimate the electromagnetic shielding effectiveness of wrapped joint model, a transmitting electric field phase shift is analyzed. In this paper the phase shift is formulated.

1. まえがき

建屋規模での電磁シールドには比較的簡易な施工法が用いられるが、その際電磁シールド材のつなぎ目である材料間接合部からの漏れ電磁波が問題になる。本研究は、電磁シールド材料間の接合部が電磁シールド性能に及ぼす影響について検討を行っている^[1]。

本報告では、電磁シールド透過後の電界位相変化の定式化を目的とする。電磁シールドへの入射波は斜入射を含めて検討を行っているが、ここでは 0 度入射の結果について述べる。

2. 重ね合わせ構造

解析の対象となる電磁シールドの構造を図 1 に示す。これは有限の大きさの電磁シールド材（銅箔等）を重ね、釘打ち等により接合を行った「重ね合わせ構造」である。

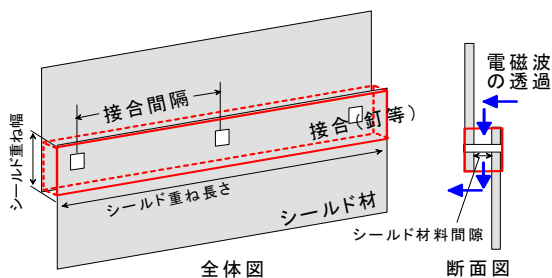


図1 重ね合わせ構造

3. シールド重ね合わせ構造内の電波伝搬特性

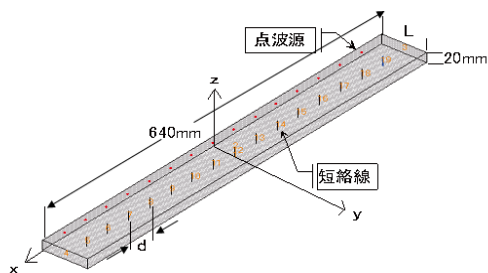


図2 解析モデル

解析のために、図 1 の赤線で囲まれた重ね合わせ部分をモデル化したものが図 2 である。重ね幅を L とし、 $y=L$ と $y=0$ における xz 平面は開口面とした。 $y=L/2$ の位置において上下の導体板を導体線を用いて、間隔 d で短絡している。入射波を模擬して、 $y=0$ の面に点波源を等間隔に 15 個設置した。斜入射の場合、点波源に入射角に対応した位相変化を与えている。

周波数 3GHz、 $L=40\text{mm}$ 、 50mm 、 60mm とした。接合間隔 d を変化させ、電磁シールド透過後の電界位相の変化を FDTD 法により求めた。解析結果を図 3 に示す。この解析した電磁シールド透過後の電界位相の変化を定式化する。

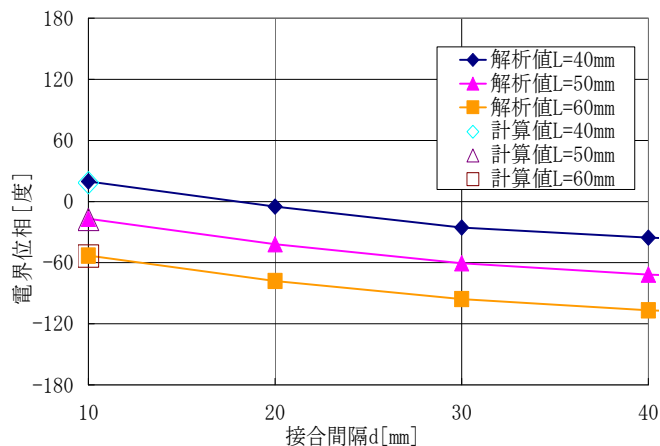


図 3 シールド透過後の電界位相変化 (0 度)

4. 重ね合わせ構造透過後の電界位相変化の定式化

接合間隔 $d=10\text{mm}$ のように短絡線が密であると、定在波の様子から $y=L/2$ の位置は短絡状態に近いといえる。まず、この $d=10\text{mm}$ のときの位相値について検討する。これより、図 2 の解析モデルを図 4 の伝送線路のように近似することができる。

1 : 日大理工・学部・子情 2 : 日大理工・教員・子情 3 : 大成建設株式会社

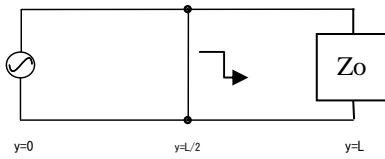


図4 伝送線路近似

ここでは $y=0 \sim L/2$ において定在波がたち、その位相を有する波が一部漏れて $y=L/2$ から先に伝搬すると考えた。その位相変化 Dg の式を次に示す。

$$Dg_{10mm}[\text{deg}] = 90 + 73.2 - 360 \times \frac{L}{\lambda} \cos \theta \quad (1)$$

式中 λ は波長、 θ は入射角である。図 2 と図 4 は励振状況が異なるため、初期位相の補正值 73.2° を加えている。(1)式の結果を図 3 に記号で示している。その結果は、解析値と良好に一致していることが分かる。

次に、接合間隔 $d > 10\text{mm}$ の特性の定式化について述べる。ここで、接合間隔 $d > 10\text{mm}$ の状態の短絡線をコイル素子で近似することを考えた。この集中定数素子近似を図 5 に示す。

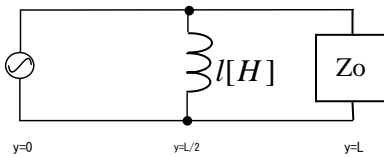


図5 集中定数素子近似

図 5 を用いて、図 3 の接合間隔 $d > 10\text{mm}$ における位相変化の定式化をする。図 5 より、 $y=L$ の位置の電圧は、 $y=L/2$ における透過係数を $|T|e^{j\theta_T}$ とすると次式のように求められる。

$$V(L)[V] = |T|e^{jk(\theta_T - kL \cos \theta)} \quad (2)$$

ただし、 k は波数である。透過係数の位相 θ_T は、角周波数 ω とすると次のように求められる。

$$\theta_T[\text{rad}] = \tan^{-1} \left(\frac{Z_0}{2Z_0} \right) \quad (3)$$

よって、周波数を f とすると(2)式の電圧の位相 θ_v は次のように得られる。

$$\begin{aligned} \theta_v(L)[\text{rad}] &= \theta_T - kL \cos \theta \\ &= \tan^{-1} \left(\frac{Z_0}{4\pi f l} \right) - \frac{2\pi}{\lambda} L \cos \theta \end{aligned} \quad (4)$$

以上をまとめると、図 3 の位相変化 Dg は次のよう

に定式化される。

$$\begin{aligned} Dg[\text{deg}] &= Dg_{10mm} + \theta_v(L) \\ &= 163.2 - 360 \times \frac{L}{\lambda} \cos \theta + \left(\tan^{-1} \left(\frac{Z_0}{4\pi f l} \right) - \frac{2\pi}{\lambda} L \cos \theta \right) \times \frac{180}{\pi} \end{aligned} \quad (5)$$

図 5 のコイルのインダクタンス l は短絡線の密度すなわち、接合間隔 d によって変化する。(5)式の値が図 3 の位相変化と一致するように l と d の関係を求めた結果を(6)式に示す。

$$l[H] = 6.6 \times 10^{-10} + 5.4 \times 10^{-7} (d - 10 \times 10^{-3}) \quad (6)$$

(6)式を(5)式に代入して、電界位相変化を計算した。その結果を図 6 の点線に示す。図 6 には、図 3 の結果を再掲している。(5)式の計算結果と FDTD 法による解析結果は良好に一致し、これより(5)式の有効性が確認された。

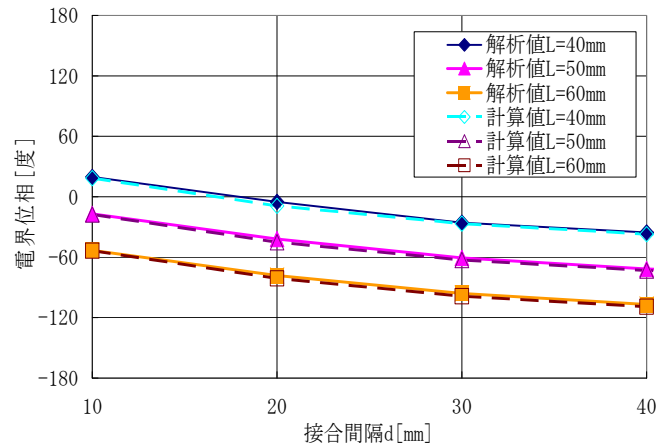


図6 位相変化の定式化

上記より、周波数 f 、重ね幅 L 、入射角 θ をパラメータとし、接合間隔 $10\text{mm} \sim 40\text{mm}$ 範囲内、入射角 0 度において電磁シールド透過後の電界位相の変化の定式化をすることができた。

5. まとめ

電磁シールド材料間の接合部が電磁シールド性能に及ぼす影響について検討を行うために、本報告では電磁シールド透過後の電界位相変化を定式化することを目標とした。その結果、入射角 0 度において電磁シールド透過後の電界位相変化を定式化することができた。今後は、周波数を変えて検討を行う予定である。

参考文献

- [1] 杉山卓也, 三枝健二, “電磁シールド材料間の重ね合わせ接続部性能に関する検討”, 日本大学理工学部学術講演会, M-45, 2008