

送電線下の単板構造の磁気遮蔽の研究

梶原 暁

(技術研究所)

Research Concerning Magnetic Shielding Consisting of a Localized Flat Plate under power lines

by Gyo Kajiwara

Abstract

The issue of magnetic shielding in buildings was examined through the analysis of a practical problem. Power lines running above a room where many CRTs were in operation seemed to cause interference on the CRT screens. A ferromagnetic plate placed under the roof slab was an effective solution. A model was constructed based on such situation, experiments were carried out, and the differences in the magnetic field distribution depending on the shielding material were clarified. Calculations were done to estimate the shielding effect and, to determine the accuracy of the estimate, the results were compared with the results of the actual experiments.

概要

建築物における磁気シールドを実際の問題に沿って検討した。代表的な問題として、送電ケーブル下の建物が磁気の影響を受けて室内のCRTに画面の揺れが生じる場合をとりあげた。その対策としては遮蔽板を天井に入れる方法を採用した。実情を考察してモデルを作り、各種の遮蔽用材料を選んで実験による遮蔽性能の違いを求め、次いで予測計算をおこない精度を検証した。

§ 1. はじめに

磁気遮蔽は日常生活においてたとえば変電機器の外装、メータのコイル部のカバーあるいはTVのブラウン管の周囲のカバーなど、いたるところで見ることができる。このような遮蔽は機器に標準的に装備されて誤作動の防止、正確な指示・計測などの役割をはたしている。

磁気の発生が標準的なレベルを越えている場合には磁気を低減する付加的な対策が必要になる。広範囲に亘る磁気が発生し、影響の及ぶ機器が多い場合には機器単位でなく部屋あるいはフロア等の空間的な対策が考慮されて、効果を予測しこれを元にして実現性を検討する。

遮蔽は磁気を低減する実用的な対策である。遮蔽の効果の予測を行う方法の中で汎用性があり実用性が高いのはコンピュータによるシミュレーション計算である。電気機器などの産業分野での使われ方に比べると建築分野では未だそれほど使われていない。

磁気の遮蔽が建築の中で必要となる状況は屢々発生しており、実際の問題を通して遮蔽材の特徴を把握して予測の精度を確認するのが本研究開発の主旨である。

現状の磁気の問題として送電線下の建物の問題を取り上げ、その問題の特徴を抽出してモデルの形を決めた。遮蔽材料を選んでモデルの形に合わせて遮蔽性能を計測・比較して各材料の特性を求めた。次に遮蔽予測計算を行い計測の結果と比較した。結果として、材料の違いによる遮蔽性能の特徴を得るとともに、予測計算の精度を確認した。

§ 2. 送電線下の遮蔽の問題

建築物に関わる磁気の問題としては送電ケーブルの下に建築物がありその内部でCRTが使われる例が代表的である。¹⁾ 至るところにみられる送電鉄塔と送電線及び少ない空地事情により送電線直下に建物の建つことはめずらしくなく、土地有効利用の観点からは寧ろ望ましい。

送電線の周囲には電流に比例した大きさの磁界が発生し、近くの建物は常時かなりの大きさの磁場にさらされている。この磁場は電子機器に障害を発生することがあり、コンピュータ用CRTディスプレイ画面に変動を伴う揺れが生じる。これはCRTディスプレイの電子ビームが磁場により変動する現

象で、目障りであるだけでなくオペレータの疲労や生体系への影響も懸念される。したがって、送電線の近傍の建物は内部の磁場を低減する対策が要求される。

磁場の低減対策として最も単純な方法は、距離減衰を利用して離れることである。建築計画の時点で建物あるいは部屋の配置を変えて送電線から十分に離れれば、磁界強度は発生源から離れるほど減少するから必要な磁場強度以下になる可能性がある。ただしこの場合にも実測あるいは数値計算による効果の予測は必要である。

磁気遮蔽を利用する方法も内部の磁場を低減する方法として考えられる。この場合にも磁場の計測および数値解析等による予測が必要になるが、遮蔽方法、遮蔽材料の選定により効率の良い遮へいが要求されるために予測の役割は高くなる。

§ 3. 磁気遮蔽の予測

磁気遮蔽の方法は数種類あるが、実用性の点から最も汎用されるのは高透磁性材料を使う方法と導電性材料を使い交流磁界の遮蔽を行う所謂電磁シールドである。

高透磁性材料による遮蔽について概説すれば、高透磁性材料では磁気の挙動について以下の式が成立する。

$$B = \mu H = \mu_0 \mu_r H \quad (1)$$

B : 磁束密度

H : 磁界

μ_0 : 真空の透磁率 μ : 透磁率 μ_r : 比透磁率

透磁率の高い材料で箱を作ればその中の磁力線はこの周囲に集中して流れて内部の磁界は薄くなる。これが簡単な磁気遮蔽の原理であり、透磁率が高いほど効果が高くなる。

一方導電性の材料で箱を作ればその周囲の磁界が変化すれば箱の外板には電磁誘導作用により電流が誘起されて逆方向の磁界を発生し、結果的に内部の磁界を低くする。これが電磁シールドであり、交流磁場に対してのみ効果がある。周波数は高いほうが効果が高い。

これらの遮蔽能力の算定に関しては、一様磁界中に置かれた球等の幾何学的に整った外形の遮蔽に関して鏡像を用いて遮蔽率の公式が求められる。²⁾ ただ幾何学的に整った形の磁気遮蔽はあまり使用されないこと。発生される磁界が一様磁界ではないこと、また材料の透磁率が一定でなく磁界の強さに応じて変化することなどから対応しきれない場合が多い。

大雑把な予測を行っておき施工しながら調整することが現実に行われている方法である。

予測の他の方法としては模型により判断することやコンピュータによりシミュレーション計算することが行われている。

コンピュータによりシミュレーション計算する方法としては、有限要素法が有名であるが、今回使用したのは遮蔽材料を仮想的に離散化して各要素ごとに磁気のクーロンの法則の式

$$F = m_1 \cdot m_2 / (4 \pi \mu_0 r^2) \quad (2)$$

F : 力

μ_0 : 透磁率

m_1, m_2 : 磁荷

r : 距離

を当てはめ、磁気発生源については電流であればビオサバルの式から磁界を求めて当てはめる方法³⁾で所謂モーメント法の範疇に入る磁気計算プログラムである。有限要素法のように場の方程式を解くのではなく要素間の相互作用を計算するのであるから、磁性体に関連するところだけを計算の対象にすればよいことが特徴となる。まず磁性体だけの関係を解いてしまい、空間の磁界を求めるのは後のステップなので条件を変える度に全体の領域に亘る離散化の入力を行わずにすむ。

これらのシミュレーション計算は任意の形の磁性体の計算ができることや任意の位置の磁場を求められることなどの長所があるが、入力に手間が掛かることや、結果の検証がほとんど行えないことなどの要因から信頼感が今一つかける場合もある。現実に即した形の磁気遮蔽の効果の予測を迅速に簡易に行うことが要請される。

§ 4. 実験

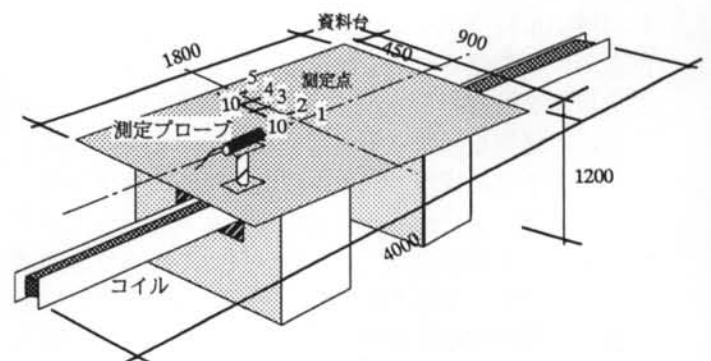


図-1 実験装置 単位 : mm

No.	名称	JIS	厚さ [mm]	固有抵抗 [$\mu\Omega\cdot\text{cm}$]	最大比透磁率 (直流磁場)	寸法 [m]
1	方向性硅素鋼板	C2553/35P135	0.35	47	40,000	0.9×1.8* 2)
2	無方向性硅素鋼板	C2552/35A440	0.35	60	7000	0.9×1.8* 2)
3	パーマロイ	C2531	1.00	16	≥ 100000	0.9×1.8
4	アモルファス (鉄)	H7004	0.03	130	*1) 45000	0.9×1.8* 3)
5	アモリックシート (コバルト)	H7004	7 μm	130	50000	0.9×1.8
6	亜鉛鍍鉄板	G3302	0.50	12	≤ 3000	0.9×1.8* 2)
7	デッキプレート	G3352	1.60	10	≤ 3000	1×.65
8	キーストンプレート	G3552	1.20	10	≤ 3000	1×.65
9	鉄筋	G3110	13 ϕ	10	≤ 3000	0.9
10	アルミニウム	H4000A5052P	15.00	0.595		1×2
11	アルミニウム	H4000A1050P	1.50	1.02		1×2

- * 1) アニールしない値
- * 2) 600mm幅と300mm幅を組み合わせ
- * 3) 217mm幅を重ねた

表-1 材料表

4.1 モデルの設定

ここで問題としたのは送電線下の部屋であり、送電ケーブルの各回線はケーブルを中心に平行な磁場を発生している。建物の屋根スラブが最も強い磁場にさらされる。室内を遮蔽するためには理想的には天井・壁・床全周を遮蔽してしまえば良いが、窓開口のためにこれを避けて遮蔽をせねばならず、天井スラブで遮蔽することが実際的である。

上記の特質を抽出して細長いコイルを巻いて閉口な磁場を発生してその上に遮蔽材を置いて遮蔽材のあるときとないときで違う磁場の強さを測定した。

モデルは全て木で作製した。形状をは図-1に示す。磁気の測定はBartinton社のMAG-03MCを用いた。電源供給装置はNF回路社の電源環境試験装置4591+4520を用いた。

4.2 遮蔽材料

遮蔽材料は通常使用される硅素鋼板等の高透磁率性の材料と、特に遮蔽材料とはされないありふれた構造材料を中心に選んだ。各材料を一覧表にしたものを表-1に示す。実験は電流、周波数、板厚(枚数)の各因子を変えて行い、図-1に示すように測定位置を5箇所、高さを台上で低:10cm、中:50cm、高:1mの3段階に変えて行った。加えた磁界の大きさはほぼ $30\sim 400\text{mG}(3\times 10^{-6}\sim 4\times 10^{-5}\text{T})$ である。

4.3 結果

図-2~図-4に、電流(磁界)および周波数一定の条件のもとで遮蔽板の材質の違いによる磁界強度(遮蔽率)の違いを各高さごとに表した。以下の傾向がある。

4.3.1 材料による違い

図-2は実験装置において測定プローブをコイル

の中心から45cm(測定台上10cm)のところにおいて測定した磁界を左軸に、遮蔽率を右軸に表して各材料の違いを見たものだが、傾向として上部に構造用鋼材(図に斜め線で覆ったもの)が集まり、硅素鋼板と他の磁性材料(アモルファス、パーマロイ)がその下に位置して遮蔽効果を示している。またアルミ

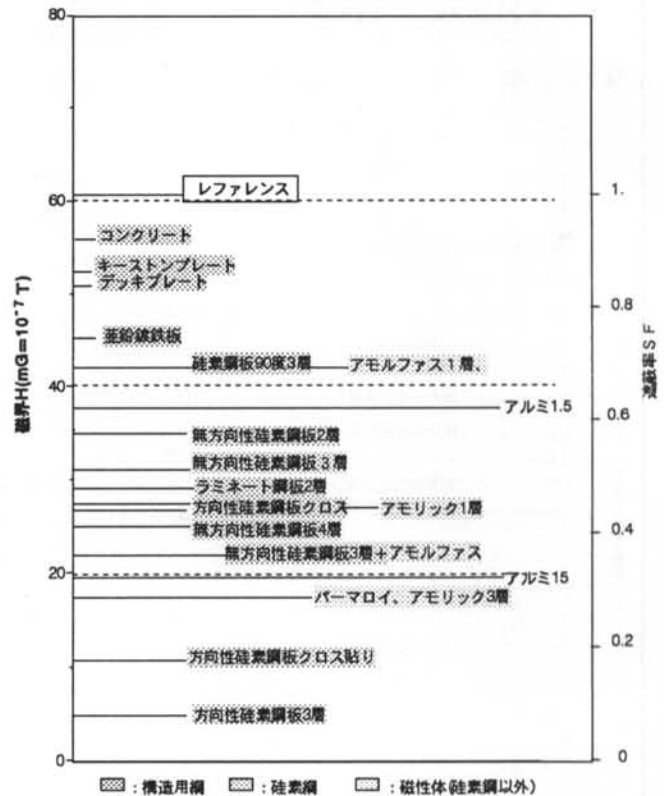


図-2 磁性材料による遮蔽率の比較(1)

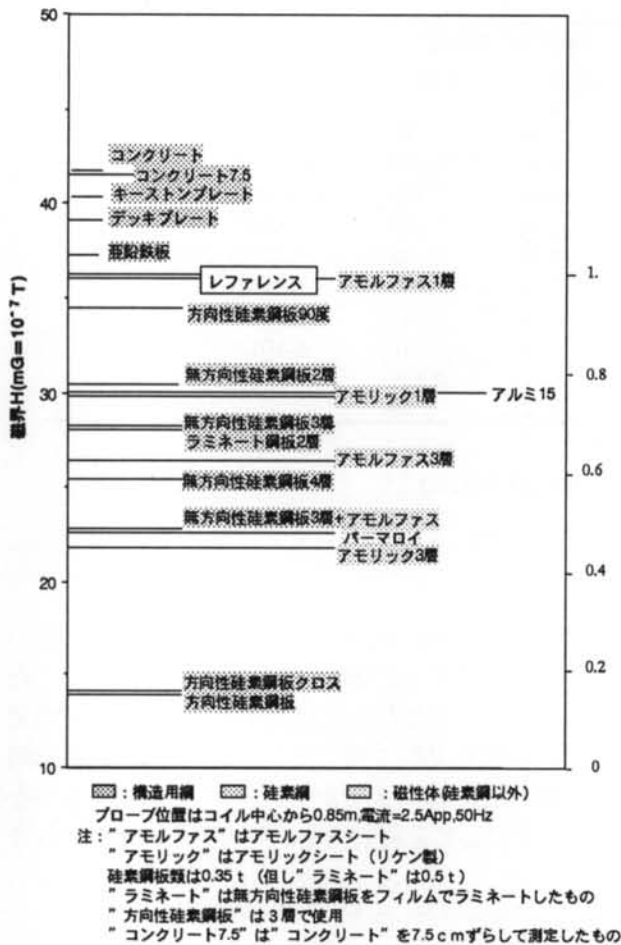


図-3 磁性材料による遮蔽率の比較(2)

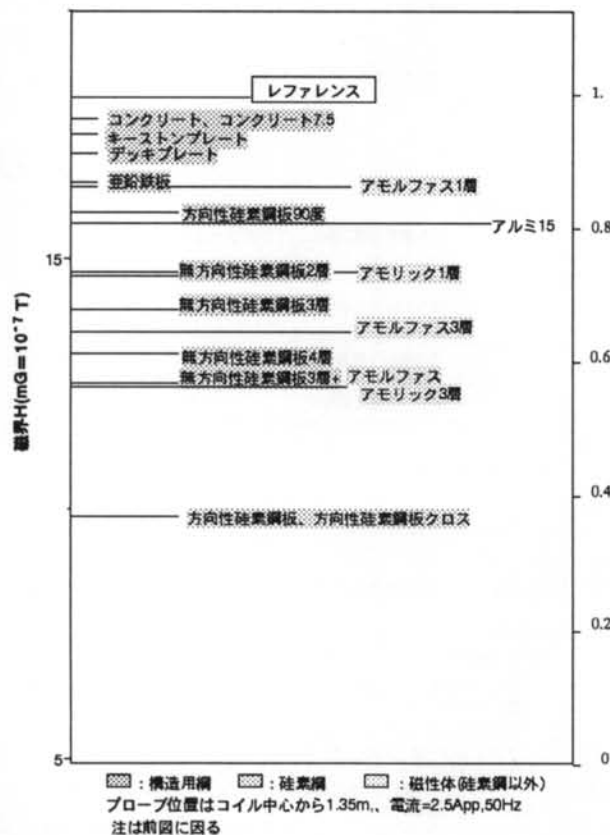


図-4 磁性材料による遮蔽率の比較(3)

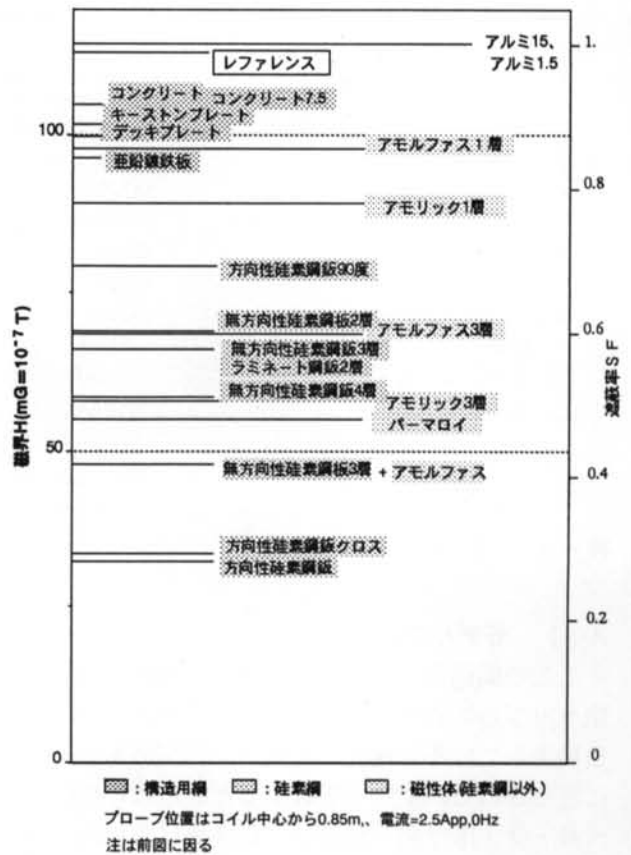


図-5 磁性材料による遮蔽率の比較(4)

ニウムは磁性材料と交じって効果があらわれている。プローブの高さを、コイルから85cm(台上50cm)と1.35m(台上1m)にして測定した図-3と図-4でも材料ごとの遮蔽性能の順は同じようである。ただ図-3の85cmの距離の結果でみえるように、構造用材料がレファレンスよりも磁界強度が高くなっており遮蔽性能がなくなっていることが分かる。

4.3.2 高さによる違い

板から離れるほど遮蔽率が小さくなる傾向がある。これは離れるほど回り込みが多くなるためと考えられる。

4.3.3 方向による違い

方向性鉄素鋼板は板を磁気方向においたときとその方向から90度回転しておいたとき(方向性鉄素鋼板90度と表示)では遮蔽性能が違うことが分かる。

4.3.4 厚みによる違い

鉄素鋼板やアモルファスのように層数を変え測定した結果は厚いほど遮蔽性能が良い。この傾向は磁性材においても導電性の材料においてもみられる。

4.3.5 周波数による違い

図-5は図-3と同じ測定を直流で行った結果を示す。アルミニウムは直流では遮蔽率が0になっており、構造用鋼材は遮蔽の効果を表している。磁性材では順序が多少変わって直流での遮蔽性能が交流

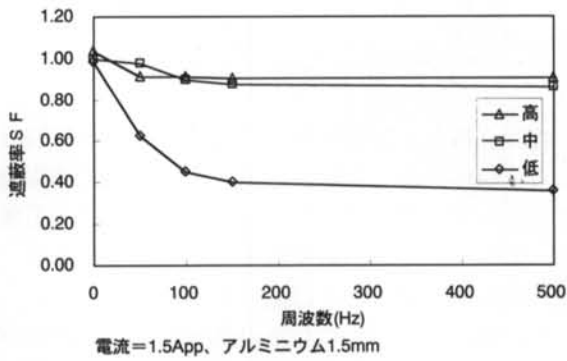


図-6 遮蔽率の周波数変化 (1)

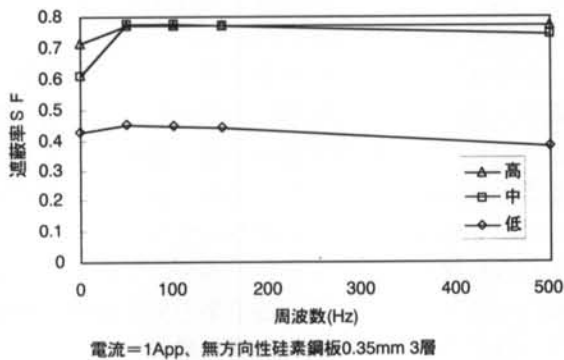


図-7 遮蔽率の周波数変化 (2)

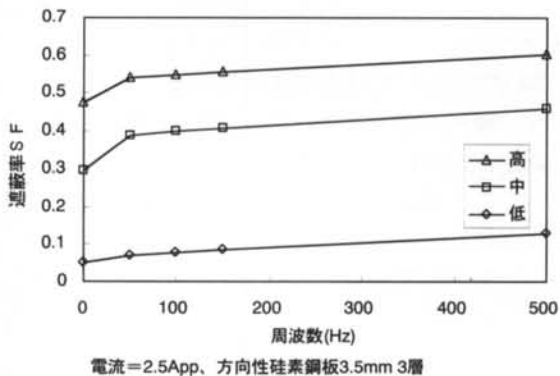


図-8 遮蔽率の周波数変化 (3)

とは違っていることを示している。

図-6は1.5mm厚のアルミニウムの周波数-遮蔽性能変化を表している。磁性材においては周波数が上がると遮蔽性がよくなるものと悪くなるものがあることが図-7と図-8の硅素鋼板の例で見られる。これは透磁率の周波数変化と導電率の兼ね合いによるものと思われる。

§ 5. 数値計算

5.1 解析モデル

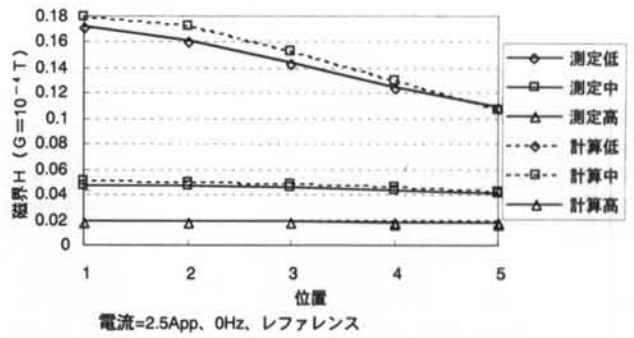


図-9 測定と計算の検証 (1)

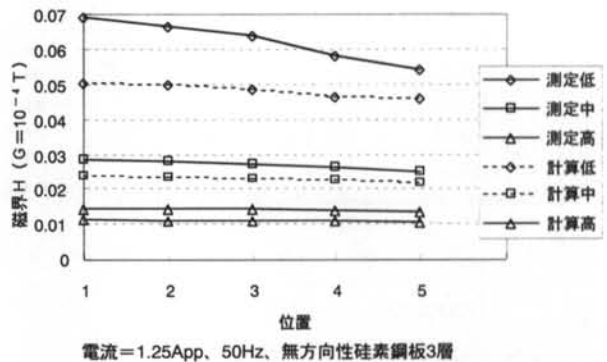


図-10 測定と計算の検証 (2)

解析モデルはモデルと同じ形であるが、対称性を考慮して1/4の部分で作られている。磁性体などの資料は仮想的に小さな要素に分割してある。要素のサイズは50mm×50mmとしたので900mm×1800mmの板では162要素になる。

透磁率は基本的にはカタログ値を用い、必要な場合には実測値を用いた。BHカーブを用いた非線形計算である。

5.2 検証

シミュレーションを行ったうちの代表的な例を次に示す。

5.2.1 レファレンス

磁性体のない状態での測定台での測定値と予測値を比較した図-9では両者はよく一致している。

5.2.2 硅素鋼板 (無方向性)

厳密には板の圧延方向とその直角方向で透磁率が違うので図-10は実測した透磁率の圧延と直角方向の透磁率を使って計算したものである。また透磁率を測定できないほどに小さな範囲の値は近似曲線を用いた。方向性硅素鋼板は透磁率が方向により違う性質がありシミュレーションは更に工夫を要する。

5.2.3 アモルファス (鉄系)

実測したBHカーブの値を用いて計算したが図-

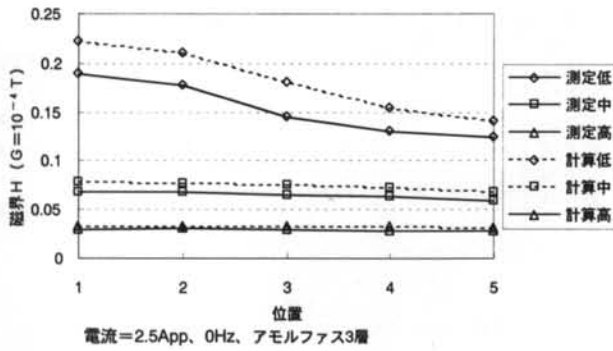


図-1 1 測定と計算の検証 (3)

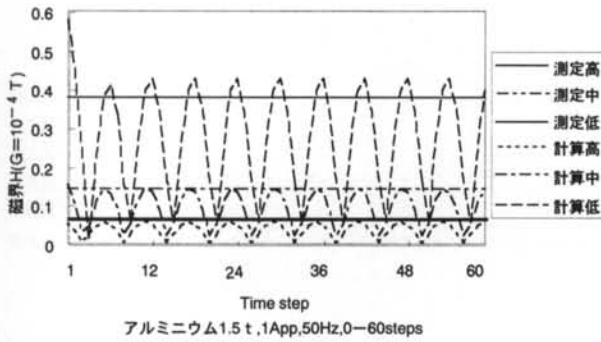


図-1 2 測定と計算の検証 (4)

1 1 に示すように測定値とよく一致した。

5.2.4 アルミ板

電磁誘導の作用だけであるがよくあっている。図-1 2 は 1.5 mm 厚で 1/12 秒を 1 ステップとして 60 ステップ計算させているが収束も速く良くあっている。抵抗値はカタログ値を用いた。

§ 6. まとめ

遮蔽材料として磁性材は有用であるが、構造材は、あまり性能が高くない。構造材はその近くの磁場があまり小さくならないことと板からの離れの距離によっては逆に磁場が高くなることもあるからで、安易に構造材を使うことは避けたい。

アルミニウムのような電磁誘導による遮蔽は 50Hz のように低い周波数では通常は使わないが、厚い場合にはかなりの効果があり薄い場合でも板の近傍では効果があるので、用途を良く見極めて使い分けることで有効に活用できよう。

シミュレーションによる予測は材料の物性値 (透磁率、場合により導電率) を使い磁性体相互の関係を表現しているわけであるから、物性値の合っていることが必要であり、そのためには物性が材料全体に亘り一様である必要があり、そうでない材料はあまり合わなくなる。導電体では合うが磁性体では合わなくなるのは磁性体の透磁率の周波数特性が絡んでいるようであり今後の課題と思われる。

現実の使用には常にそのような材料の性質を考慮しながら判断していくことが必要である。

謝辞

本研究においては電磁環境開発室 石川 登主査、渋谷 紳一主査、設計本部 石川 敏行主査、多井 慶史の方々の実験において多大な協力をいただいた。ここに感謝の意を表したい。特に石川 登主査には実験計画において様々なアドバイスをいただいたことを記して謝意としたい。

<参考文献>

- 1) 山田 直平 “電気磁気学”, 電気学会大学講座, 1979, p230
- 2) 新納 敏文, 加川 幸雄: “送電線近傍建物における磁場低減対策について”, 日本建築学会計画系論文集 494 号 85-90, 1997 年 4 月
- 3) 矢野 博幸: “EWS/PC による電磁場解析の手法と留意点”, 精密工学会誌 Vol.62, No10, 1996