

# 模型実験による磁気シールド材周辺磁場分布の研究

川瀬 隆治\*

**要約：** 本稿は、磁気シールド材周辺の磁場低減効果を実験的に調べるために、磁場発生源の模型を製作し、周辺の磁場分布を測定できるようにしたこと、また実際に方向性けい素鋼板周辺の磁場低減効果分布を計測した結果例などについて示す。磁場発生源の模型は、長手方向に連続したケーブル配置をした電力施設を対象にしている。また、極力不要磁場の影響を排除するために、磁性体を一切使わずに製作した。さらに模型を設置する建物も、鉄筋ではなく非磁性のアラミド筋を使ったコンクリート構造物とし、計測の信頼性を高めるように配慮した。さらに計測値を理論値と比較し、両者がよく一致していることから計測方法の妥当性を確認した。平板磁気シールド材周辺の磁場低減効果は、シールド材の中央付近を中心に効果が高く、また端部付近では磁場が増大する部分もあることが確認された。今後、今回の実験方法を用いて、さまざまな磁気シールド方法の効果を調べていく予定である。

**キーワード：** 磁気シールド材 環境磁場 磁場測定 模型実験

|            |              |           |
|------------|--------------|-----------|
| <b>目次：</b> | 1. はじめに      | 4. 測定結果の例 |
|            | 2. 磁場の発生源    | 5. まとめ    |
|            | 3. 磁場分布の測定方法 |           |

## 1. はじめに

環境磁場の発生源としては、電車線路などの交通施設、送電線・発電所などの電力施設などがあるほか、建物の鉄筋が着磁して磁石になり室内に不要な磁場を発生させる例や、エレベーターの昇降による磁場の擾乱などがある。

環境磁場の変動は、発生源から離れた場所にまで及ぶ場合がある。その場所に磁場の影響を受けやすい機器があると、機器本来の性能が十分に発揮されなくなるといった問題が発生する。

磁場の影響を受けやすい機器としては、主に電子銃を使った機器が多い。例えば、テレビやパソコンモニターなどに使われているブラウン管、電子顕微鏡、EB描画装置などがある。電子銃から発生する電子線の向きは、磁場によって制御されている。電子線の向きを制御する磁場は、機器固有の制御コイルから発生しているが、これに環境磁場が加わると、電子線が本来進むべき方向が乱されて、機器が十分に機能しなくなるといった磁場障害が発生する場合がある。

磁気シールド材の低減効果の予測には、さまざまな磁場シミュレーション方法が試みられているが、実際の磁場低減効果はシミュレーションで予測し得ない部分があるのが現状である。その理由の一つとして、例えば磁気シールド材のシールド性能を表す透磁率といった物理量が周辺の磁場強度によって変化し、その変化が決して線形ではないことがある。磁場シミュレーションの最大の困難は、周辺の磁場強度に対して変化する、いわゆる透磁率曲線が非線形

となることにある。また、この透磁率曲線は、送電線磁場や電車線路磁場などの磁場に対しては、材料メーカーによっても調べられていない。その理由は、磁場強度が小さすぎて透磁率曲線の誤差が大きくなり、メーカーとして保証できる数値を確定することができないためとされている。従来、電磁鋼板はトランスコイルの軸心などに用いられてきた経緯があり、環境磁場に比べて1桁も2桁も大きな磁場に対してその性能が保証されてきた。そのため、環境磁場のように、トランスコイルから発生する磁場に比べて極端に小さな磁場に対しては、メーカーも性能を保証しづらいのが現状といえる。

さらに、仮に環境磁場に対して透磁率曲線が確定されたとしても、磁気シールド材の配置形状によって性能が変化する性質があり、最終的には模型実験のような直接的な方法で確認する必要があるとてくるものと考えられる。

建物の室内で磁場障害を防ぐには、室内の環境磁場の大きさを低減する必要がある。その方法には、大きく分けてアクティブ（能動的）シールドとパッシブ（受動的）シールドの2つがある。前者は、環境磁場を打ち消すような磁場をコイルから発生させて磁場を低減する方法であり、原理はアクティブ消音と似ている。ただし消音と異なる点は、発生源が点にできず、ある程度の大きさをもったコイルであるため、配置によっては思わぬ場所の磁場が増大することなどがある。また突発的な磁場変動に対して制御が難しいなどの難点があり、適用範囲が制限される。後者は、磁気シールド材を適当な場所に配置し、必要な場所の磁場を

低減する方法である。磁気シールド材とは、周辺で磁場を打ち消す向きに磁場を発生する材料であり、けい素鋼板、パーマロイ、アモルファスなどがあるが、けい素鋼板と呼ばれる材料が一般には使われる。

今回、磁気シールド材を用いた磁場の低減効果を予測する方法の一つとして、磁場発生源の模型を製作し、模型の近傍に設置した磁気シールド材周辺の磁場低減効果を実測で確認できるようにした。模型を設置する建物は、鉄筋ではなく非磁性のアラミド筋を使ったコンクリート構造物<sup>2)</sup>とし、計測の信頼性を高めるように配慮した。本稿は、磁気シールド材周辺の磁場低減効果を実験的に調べるために、磁場発生源の模型を製作し、周辺の磁場分布を測定できるようにしたこと、また実際に方向性けい素鋼板周辺の磁場低減効果分布を計測した例などについて紹介する。

## 2. 磁場の発生源

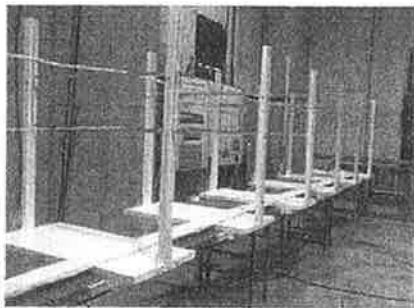


写真1 磁場発生源の模型

今回製作した磁場発生源の模型を、写真1に示す。磁場発生源の模型は、長手方向に連続したケーブル配置をした電力施設を対象にしている。そのため模型は、長手方向に7.2mあり、長手方向を横切る鉛直断面ではどこでも同一のケーブル配置をとるようになっている。今回の測定では4本の電流ケーブルを断面上に配置し、導線の断面積比に応じて、それぞれのケーブルに電流が流れるようにした。またケーブルに流す電流量は、ケーブルの許容最大電流値の30%を超えない大きさとした。

磁場の発生源模型は、極力不要磁場の影響を排除するために、磁性体を一切使わずに製作した。また模型を設置する建物も、鉄筋ではなく非磁性のアラミド筋を使ったコンクリート構造物とし、計測磁場が建物の影響を受けないようにした。

## 3. 磁場分布の測定方法

磁場の分布は、模型の中央付近で長手方向と直交する鉛直断面（写真2参照）上で調べた。

写真2に測定面の例を示す。測定面は磁場発生源となる模型の長手方向に直行する断面とした。測定は、測定面上の格子点に磁力計センサーを設置し、各点での磁束密度を記録した。

測定に用いたセンサー架台と磁力計を、写真3に示す。センサー架台は、架台部分とセンサーを載せる横渡しの棒

とからなり、横渡しの棒の高さを10cmピッチで順次変えることができる。センサーを横渡し棒の適当な位置に設置することにより、磁力計センサーを各測定点の位置に効率よく移動・設置できるようになっている。

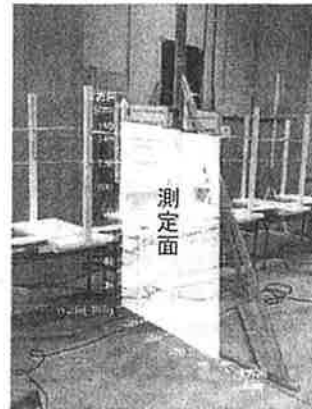


写真2 磁場分布の測定面

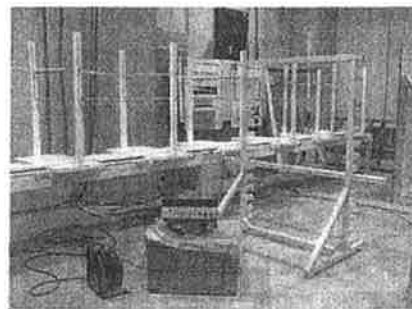


写真3 測定に用いたセンサー架台と磁力計

測定において特筆すべきことに、電流源を直流とするか交流とするかの検討がある。対象とする実際の磁場発生源が交流であれば、交流電流を採用し、交流磁場を測定すればよいことになる。しかし対象が直流の磁場発生源である場合、交流電流で測定した場合には、交流周波数の誘導電流による効果も含めて調べることになり、直流磁場発生源を対象とした検討とはやや異なる結果になることが懸念された。今回は、直流磁場の発生源を対象とした場合にも対応できる測定方法を検討することにした。

直流電流から発生する直流磁場を測定する場合には、発生源からの磁場に加えて地磁気成分も測定値に重畳される。そのため、正しい測定結果を得るには、地磁気成分を差し引く必要がある。

地磁気成分は、基本的にはほとんど変動しない直流磁場として扱われるのが一般的であるが、都市部での測定においては工場や様々な電力施設からの漏洩電流により、わずかながら変動する直流磁場も発生している。今回の実験では、地磁気と合わせてこうした都市部での変動磁場も計測値から差し引く必要がある。

上の問題を解決するために、今回は磁場発生源の電流方向を+方向と-方向の2方向とし、それぞれの場合の磁場ベ

クトル成分を測定した。+方向電流時の発生磁場を B(+電流時)、-方向電流時のそれを B(-電流時)とすると、両者は反対方向の磁場ベクトルになるため、

$$B(+電流時) + B(-電流時) = 0 \quad (1)$$

となる。また+方向電流時の生の計測値を(計測値①)、-方向電流時のそれを(計測値②)とすると、地磁気成分や不要な変動磁場成分である B(不要磁場)を用いて、それぞれ次のように表される。

$$\text{計測値①} = B(+電流時) + B(\text{不要磁場}) \quad (2)$$

$$\text{計測値②} = B(-電流時) + B(\text{不要磁場}) \quad (3)$$

真の計測値を B(真) = B(+電流時)とすると、

$$B(\text{真}) = (\text{計測値①}) - (\text{計測値②}) / 2 \quad (4)$$

となり、(2)式-(3)式を半分にすることによって真の計測磁場が得られることになる。

#### 4. 測定結果の例

##### 4.1 模型磁場の分布

図1に、磁場発生源の模型から発生した磁場の分布を計測した結果を示す。分布図の左側に磁場発生源があり、横軸は測定面に最も近い電流ケーブルからの水平位置を示す。座標軸方向の都合上、負の座標で示してある。

分布図では、線路模型から発生した磁場の磁束密度を全磁力で示してある。図より、磁場発生源に近い場所ほど計測値が大きくなっていることがわかる。また磁場発生源から離れた位置では、同心円に近い分布で磁場が減衰している様子がわかる。

図2に、図1と同じ場所の測定面で発生する磁場の分布を計算から求めた結果を示す。

計算においては、磁場発生源の電流ケーブルの配置を3次元の直交座標空間の座標で表し、ケーブルを流れる電流から発生する磁束密度ベクトルをビオ・サバルの法則から求め、電流ケーブル毎に重ね合わせた。模型の長手方向に配置されている電流ケーブルには、わずかな弛みが見られるが、線分状のケーブルとして近似した。

実測値(図1)と理論値(図2)を比較すると、両者はほぼ一致しており、計測方法が妥当であることを確認することができる。磁場発生源の電流ケーブルから10~20cm程度の範囲では、実測値と理論値との間にわずかな差異が見られるが、これらはケーブルの弛みを考慮せずに線分状のケーブルで近似しているためであると考えられる。この点は、磁気シールド材の効果分布を調べる上では、大きな支障とはならないと判断した。

##### 4.2 磁気シールド材の効果分布

磁気シールド材の磁場低減効果を調べるために、磁場発生源の脇に磁気シールド材を設置した。設置状況を写真4に示す。

磁気シールド材は方向性けい素鋼板(900mm×700mm×0.35mm)を用い、圧延方向は上下の鉛直方向とした。シールド材の水平位置は、磁場発生源の模型中央部の、最も外側の電流ケーブルから300mm離れた鉛直面とした。高さは最

下端が床面から400mm、最上端が1100mmとなるようにした。

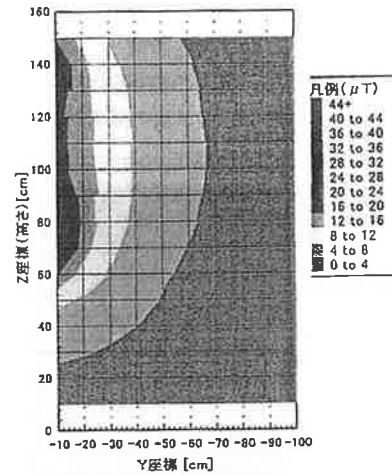


図1 計測結果(実測値)

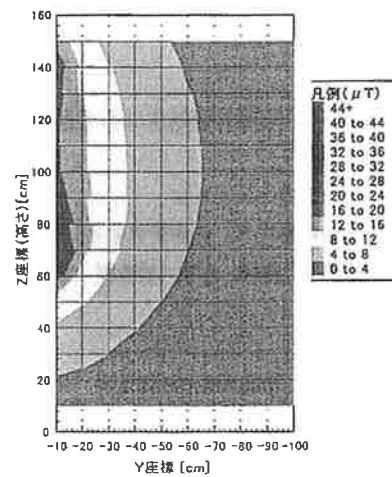


図2 計算結果(理論値)



写真4 磁気シールド材設置状況

磁気シールド材の効果分布を調べるために、磁気シールド材の効果を次の式で定義した。

$$\text{(磁気シールド材の効果)} = \frac{\text{(磁気シールド材を設置した際の磁束密度)}}{\text{(磁気シールド材がない場合の磁束密度)}}$$

すなわち、磁気シールド材を設置した場合の磁場分布から磁気シールド材がない場合の磁場分布をベクトル成分ごとに差し引いて、磁気シールド材の効果分布とした。

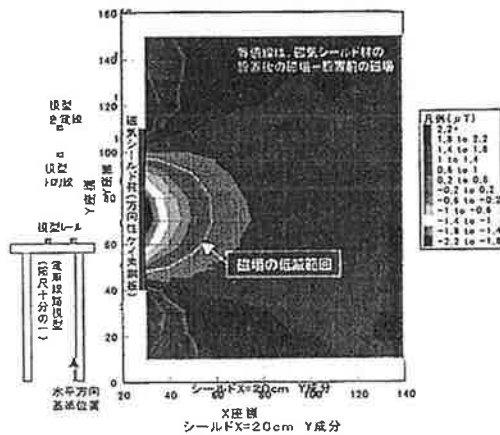


図3 磁気シールド材の磁場低減効果分布例

磁気シールド材の磁場低減効果分布の結果例を図3に示

#### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、共同研究者として貴重な助言をいただいた武蔵工業大学電子通信工学科、安部 寛 教授、東京農工大学工学部電気電子工学科、高橋 応明 助教授、その他協力いただいた学生の方々に、感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) (財)日本建築学会：環境磁場の計測技術－現場における計測の事例－，(財)日本建築学会、1998年
- 2) 川瀬隆治：電磁環境実験施設実験棟の磁場特性，東急建設（株）技術研究所報，No.25,1999年

## STUDY ON THE MAGNETIC FIELD DISTRIBUTION GENERATED FROM A MINIATURE MODEL OF ELECTRIC FACILITIES. AROUND A MAGNETIC SHIELDING MATERIAL

T.Kawase

This paper states about a technology to measure magnetic field, which is generated from a miniature model of electric facilities composed of some electric current lines, and about some measured results of magnetic field including around magnetic shielding materials. The miniature is composed of non-magnetic material and some electric lines arranged in parallel to generate magnetic field. Specially mentioning, the measurements are carried out in a non-magnetic structure that is made of concrete and Aramid rods to eliminate magnetic noise caused by steel rods used in general concrete structures. It was also confirmed that the measurements are carried out in a proper way by comparing between the measured results and the calculated one based on Biot-Savart's law in a condition without any magnetic shield material. Also this paper shows a result that the magnetic field is effectively reduced around a center of shielding plate and increases around some edges.