

論文の内容の要旨

氏名：吉野 涼 二

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：スリット状接続部で構成された電磁シールド室の遮へい性能設計技術に関する研究

本論文は、電磁シールド室の構造、施工法として用いられるスリット状接続構造（図1参照、詳細は後述）の遮へい性能の定式化と、当該構造による電磁シールド室の遮へい性能設計技術の研究についてまとめたものである。

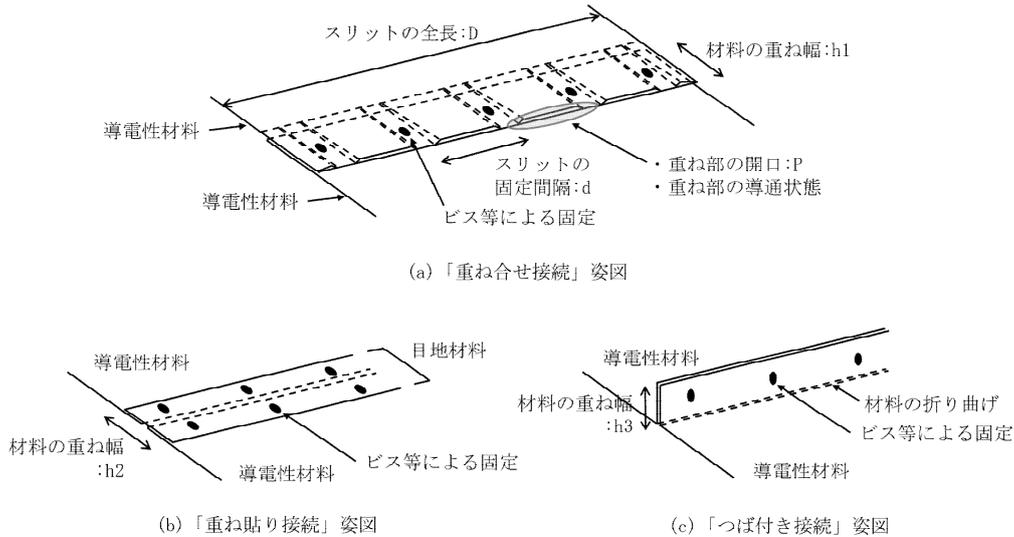


図1 代表的なスリット状接続構造とその性能において留意すべき点

研究開発や実験用の高性能電磁シールド室では、1～数 mm 程度の厚さの鉄板を全溶接工法等で接合する仕様、或いは工場生産による鉄板製パネルを特殊な専用目地金物で連結する構法が主流である。しかし、ノイズ対策、通信環境や情報セキュリティの確保を目的とする一般的な施設における EMC 対策では、コストや施工性の良さを重視した比較的性能の低い電磁シールド室が多い。これらの電磁シールド室の場合、用いられる電磁シールド材（主に長方形の鉄板や金属箔）は「点」あるいは「線」的に簡易に接合されることが多く、施工の容易性や簡便性から「ビス・釘・ステープル止め」「導電性テープによる接合」が適用される事が多い。ここで、導電性テープでは粘着層の導電性が低いこと、そして粘着層の劣化による剥離が懸念されるので、長期的な品質確保の観点からは積極的に適用される方法ではなく、ここを重視する場合、機械的な固定による接合方法が多く用いられる。

機械的な固定とは、隣接する電磁シールド材料を一定の幅で重ね代をとり、ネジ、釘、ステープル等の導電材により留め付ける方法（「スリット状接続」と呼称）であり、そこが電磁シールド室の性能を維持するうえでの弱点となりやすいが、建築工学的にこれらを系統的に研究した事例は存在しない。本研究はこの点に着目し、「スリット状接続」を対象とした性能把握と性能設計方法の検討、およびこれらの施工方法を用いた電磁シールド室の性能予測技術、そして性能向上を目指した施工技術の検討を対象としたものである。

本論文は、全体で5章から構成されている。

第1章では、建築物での電波利用環境の実態、電磁シールド室の目的、必要性と構法等について解説し、電磁シールド室の性能設計技術における現状の問題点を明らかにした。この検討結果から、「スリット状接続構造電磁シールド室の遮へい性能設計技術」を研究課題として設定したうえで、本研究の位置付けと構成を示した。

第2章では、スリット状接続構造電磁シールド性能の定式化を進めるにあたり、その基礎検討として、

先ずスリット状接続構造構成要素の性能値への影響度を把握するため、当該構造を単純化した、「スリット状開口構造」に対する検討を行った。これは、開口幅数 mm、全長数 cm～数 m 程度の長方形開口が長手方向に約 1mm の間隔（導電材で短絡している）で複数連なった構造を指し、導電材の短絡部分は、ネジ、釘、ステーブル等を等間隔に配置することを想定している。検討では、構造の全長、導電材による短絡の間隔、開口幅を可変条件とし、各構造条件と電磁シールド性能 (SE) の関係を把握した。また、FDTD 法によるスリット状開口に対する数値解析を行い、実験結果の有効性を検討した。これらの検討により、主に、「得られる透過特性はスロットアンテナからの電波放射を基本とした考え方で説明し得る」、「スリット状開口構造の SE に影響する要因として、接続の全長 D、導体の短絡による個々のスリット長 d、開口幅 h（スリット状接続構造における開口部の存在）が影響する」、「これらの構造の性能値設計法提案のための測定結果の整理方法として、「 d/λ （波長）」による基準化が有効である」ことが示された。

上記の結果に基づき、スリット状接続構造モデルを対象に、その性能に影響すると思われるパラメータとして「全長」「個々のスリット長」「スリット状接続構造を構成する両材料間の導通状態」「個々のスリットにおける開口（隙間）の状態」を設定し、それぞれの SE への影響度を把握した。その結果、主に、「スリット状接続時の両材料間の導通状態が、「 $d/\lambda \leq 0.5$ 」の領域において SE に影響する」、「スリット状接続時の両材料間の隙間の有無およびその程度が「 $d/\lambda \leq 0.5$ 」および「 $d/\lambda > 0.5$ 」の領域において SE に影響する」、「SE に対するスリット状接続時の両材料の重ね幅 h の違いは、 $h=25\sim 100\text{mm}$ の範囲において認められない」、「全長 D の違いにより「 $d/\lambda \leq 0.5$ 」の領域において SE の差異として把握される」ことが示された。これらの結果を基に、SE の予測方法について提案（定式化）し、予測結果と実測値との良好な相関を得た。

引き続き「スリット状接続部により構成された電磁シールド室の空間的な遮へい性能の予測」に必要なとなる、スリット状接続構造の透過による位相の変化について検討した結果、「スリット状接続を透過する電波の位相変化量は、スリット固定間隔、材料の重ね幅、周波数（波長）の変化による影響を受ける」、「その回転量には部位に入射し透過する際の伝搬方向の変化等も影響している」ことが推測された。

第 3 章では、「スリット状接続部により構成された電磁シールド室の空間的な遮へい性能の予測」を目的とした数値シミュレーションシステムの開発（以下、新システム）について示した。新システムはレイを光線的に扱う虚像法を基本とし、面状のシールド材料からの透過波と共に、各スリット状接続構造からの透過波の影響を加味した予測方法であり、主な対象領域を UHF 帯以上とすることで、予測精度が確保できると同時に、作業環境として制約のある PC でも十分に実用に耐えうるものとした。研究では、その予測精度を検証するために、スリット状接続部モデルに対する新システムによる予測値と実験値の比較、加えて従来の虚像法（スリットからの透過影響を把握できないもの）による予測値との検証を行った。これらの検討により、新システム予測値と実測値とは良好な整合性がみられ、新システムと従来の虚像法との比較においても、新システムが高い予測精度と実用性を有していることが示された。さらに、当該構造による電磁シールド室モデルを対象に、スリット状接続部からの電波透過追跡の有無による、外来波によるシールド空間内への透過波の分布性状予測計算を新旧両システムにより行い、スリット状接続からの影響を加味できる新システムの有効性を検証した。

第 4 章では、電磁シールド性能の向上化を目指した、複数のスリット状接続構造改良仕様に対する性能の検証実験を行い、そのうちの最も性能の向上化が見込める構造を対象として、その実用化に関する検討を行った。これらの検討により、以下の結果を得た。ビス材へのワッシャーの挿入、鉄板の内側折り曲げ、同折り返し、溝加工、スリットに平行する方向に打ち込んだステーブル材の各構造において性能の向上が認められ、特に、鉄板の折り返しが最も高い性能を示した。この結果を受けて、折り返し構造を実際の施工現場に展開するための手段として、長方形の板状材料の適切な事前加工、施工方法、手順および施工管理上の注意点について検討した。

第 5 章では、各検討で得られた結果や知見を総括した。

本研究では、多くの低～中程度の電磁シールド性能が必要とされる施設において現実的に用いられつつも明確にされていない「材料間のスリット状接続構造」の遮へい性能の把握に基づいて、その性能予測のための定式化を行い、さらに当該構造にて構成される電磁シールド室空間の遮へい性能設計技術を開発した。さらに、当該構造の遮へい性能の向上化技術について検討し、効果的かつ実用的な改良構造を提案した。本研究で得られた成果は、対象となる施設の計画、設計、施工技術の発展のみならず、経済性（費用対効果）をも加味した有効な技術である。