

電力線通信における建築物による電磁界減衰効果の数値解析

1. はじめに

本報告は、電力線通信(PLC)信号が送受されている電力線からのコモンモード放射が、建築物によってどの程度減衰するのかを Finite Integration (FI) 法によって数値解析する。その際、建築物の例として鉄筋コンクリートと木造家屋の双方について検討する。

2. 計算モデル

本報告の計算モデルとして、平行二線の電源線が六畳間相当の構造体(建築物)に壁面に沿って配線され、電源線の片側端子に PLC 送信機、もう一方の端子をあるインピーダンスで終端している状態を考える。構造物の寸法は図 1~4 の通りである。ただし同図は、鉄筋コンクリート構造物の例である。木造構造物については、図 5 に示す。

構造物は幅 130mm の金属(完全導体)角柱で外枠が組まれており、また壁面 4 面と上面はコンクリートで構成されている。コンクリートの複素比誘電率は $\epsilon_r = 6.0 - j40$ (30MHz のとき)、また誘電正接 $\tan \delta = 0.0462$ とする。この複素比誘電率は、資料[1]にあるマイクロ波における比誘電率の虚部について、30MHz においても導電率が変化しないと仮定して算出した。

コンクリート内部には格子状に鉄筋(完全導体を仮定)が入り、その間隔は 455mm である。これらの鉄筋は外枠の金属角柱とは電氣的に接続されていない。床と天井は厚さ 50mm の木材であり、また床は構造体より 455mm 高い場所に取り付けられている。木材の比誘電率及び導電率は、資料[2]より比誘電率 4.0、導電率は約 10^{-3} S/m と決定した[2]。

窓は金属枠にガラスがはめ込まれているものとし、ガラスの比誘電率は 4.0 を仮定した。ドアは木材製で、窓と同様に金属枠の内側にドアが取り付けられている。なお、同図において、x 軸方向は上面から見て構造体の短辺方向、z 軸は構造体の長辺方向、y 軸は高さ方向である。

電源線は、ドアから遠いほうの壁面に平行二線の 2 つの導体が這うように設置され(図 2 参照)、z 方向の長さが 3m、y 方向の長さが 1.5m である。電源線は、ポリ塩化ビニール(比誘電率 2.95, $\tan \delta = 0.014$) のシースを持つ 2 芯 VVF ケーブルである(図 6 参照)。平行二線の窓に近い方の端子の双方の線に特性インピーダンス 150Ω の電源を接続し、さらにケーブルの平衡度を下げるために、一方の線にのみ LCR 並列回路を電源と線との間に挿入している。LCR 回路の回路定数は、夫々 $L=1\text{mH}$, $R=10\Omega$, $C=11\text{nF}$ である。電源線のもう一方の端子の 2 線は夫々 150Ω で終端され、さらに LCR 並列回路が終端と線間(線は窓に近い方の端子の場合と同じ線)に接続されている。

信号が流れている電力線からのコモンモード放射の電

界計算には FI 法を用いる。FI 法により計算においては、市販のソフトウェア[3]を用いた。計算における周波数範囲は 1MHz~100MHz とする。入力端子に印加する波形は 100MHz 帯域相当の立ち上がり時間を有し、1MHz 以下の周波数成分にフィルタを掛けたガウシアンパルスとした。ただしこの波形は PLC の信号強度及び波形を模擬したものではない。またセルサイズは構造物の部位によって異なり、ケーブル等の構造の細かい箇所では最小セル寸法(約 0.8mm)を取り、構造物の容積部分では最大セル寸法(305mm)となる。

境界条件は、上方および各側面の方向の境界では、4 層の PML[4]による吸収境界条件、 $y=0$ となる面では完全導体の境界条件を夫々適用する。

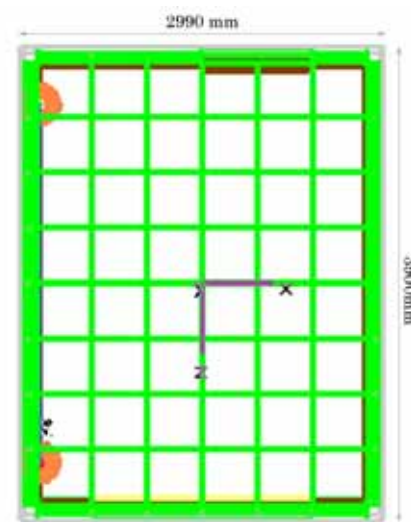


図 1 構造物上面図

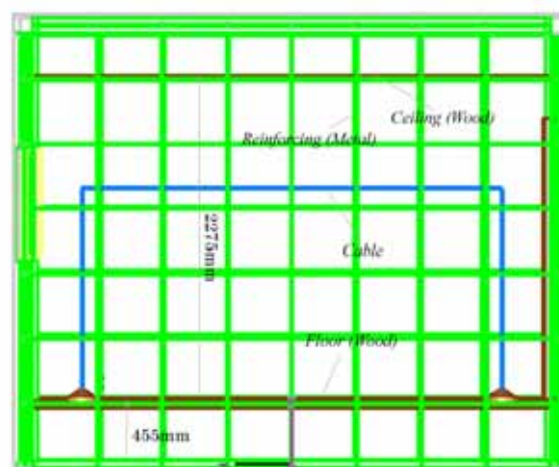


図 2 構造物側面図

FI 法による計算は、構造物がなく、電源線の場合についても行う。この電界計算結果と構造物がある場合

のとの結果を比較し、構造物によってどの程度の電磁界減衰効果があるかを見積もる。

3. 数値解析結果（鉄筋コンクリート）

構造物のある場合とない場合とで比較し電磁界減衰効果について考える。構造物がある場合と無い場合とで放射指向パターンが異なるので、ここでは構造物がある場合における放射電界強度の最大値と無い場合における電界強度の最大値の比をもって減衰量と定義する。

表 1 に周波数が 2MHz, 5MHz, 10MHz, 20MHz, 30MHz のときの減衰特性を示す。同表より、減衰量の最小値は、10MHz のときの 23dB で、逆に減衰量の大きいのは 30MHz のときの 31dB であることが判った。

表 1 減衰特性（鉄筋コンクリート構造物）

周波数	2MHz	5MHz	10MHz	20MHz	30MHz
減衰量	29dB	28dB	23dB	27dB	31dB

4. 数値解析結果（木造）

構造物が木材の場合の電界強度減衰効果を計算した。構造物の寸法及び窓、ドア等の配置は鉄筋コンクリートの場合と同様である。構造物の屋根部分（図 5 の”Roof (Kawara)”）は、木造建築の多くが瓦であることを考え、長石質磁器（瓦）の誘電率および誘電正接の値を用いた。それぞれ 5~6.5, 0.007~0.012（1MHz のとき）であるので、中間値をとり、誘電率 5.75, 誘電正接 0.01 とした。

鉄筋コンクリートの場合と同様、周波数が 2MHz, 5MHz, 10MHz, 20MHz, 30MHz のときの減衰特性を表 2 に示す。同表より、まずコンクリート構造物と比較して木造構造物は 7~24dB 減衰量が小さいことがわかる。また減衰量は周波数が上がるに連れ小さくなる傾向がある。減衰量の最大値は 2MHz のときで 22dB、減衰量の最小値は 30MHz のときで 6.8dB である。

なお本報告の詳細は、2005 年 9 月開催の電気学会電子・情報・システム部門大会にて発表予定である[5]。

表 2 減衰特性（木造構造物）

周波数	2MHz	5MHz	10MHz	20MHz	30MHz
減衰量	22dB	16dB	12dB	10dB	6.8dB

参考文献

- [1] http://www.ap.tu.chiba-u.jp/ito_lab/members/takahashi/files/concrete.pdf.
- [2] 岡野:木材のおはなし, 日本規格協会, 1988.
- [3] CST Microwave Studio Version 5, CST GmbH, Germany, 2004.
- [4] J-P. Berenger, "A Perfectly Matched Layer for the Absorption of Electromagnetic Waves", Journal of Computational Physics, vol. 114, pp.185-200, 1994.
- [5] 石上, 後藤, 松本, “電力線通信における建築物による電磁界減衰効果の数値解析”, 電気学会電子・情報・システム部門大会, OS1-4, 2005.

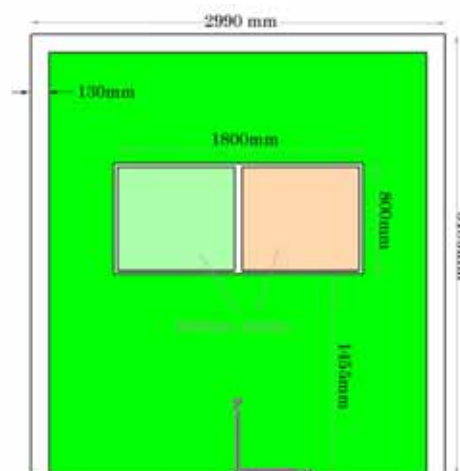


図 3 構造物前面図

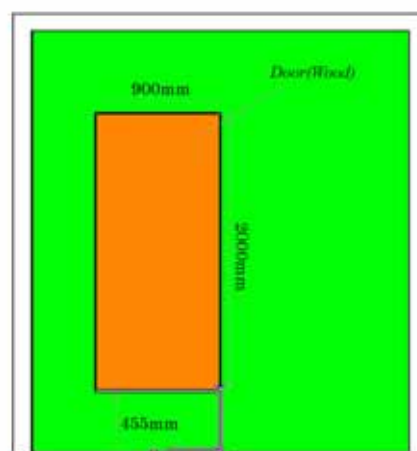


図 4 構造物背面図

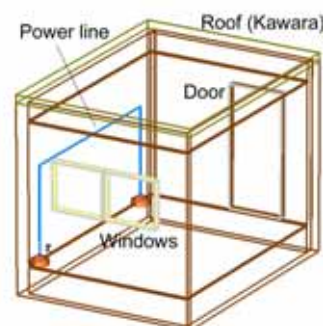


図 5 木造構造物の概観

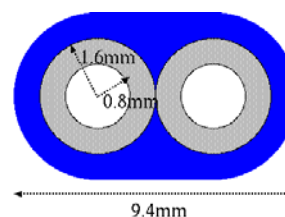


図 6 電源線の断面寸法