

水平成層構造中のコントロールソースから放射される電磁波の計算について

Computation of the electromagnetic waves excited by a dipole source in the layered medium

中島 崇裕[1]; 熊澤 峰夫[1]; 長尾 大道[1]

Takahiro Nakajima[1]; Mineo Kumazawa[1]; Hiromichi Nagao[1]

[1] JNC 東濃

[1] JNC Tono

電磁アクロスの人工送信源からの電磁場を平面波で取り扱える場合に、周波数領域でデータを取得し、伝播経路の情報を取り出す問題の扱いについては、横山(2001)にまとめられている。この解析方法は、電磁波を弾性波のように、周波数依存性が少ない高周波数領域(レーダ領域)においては特に有効である。しかし、現実のコントロールソースの問題では伝播する信号を平面波として扱うことはできないし、地下深くまでの探査を目的とした低周波数領域での探査においては、周波数依存性を考慮する必要がある。そのため本研究では、より現実問題への適用を考えた水平成層構造中のダイポール送信源から放射される電磁波計算のための周波数領域順問題計算コードについて検討した。

ダイポール放射を考えることにより Near / Far Field が存在し、それぞれ平面波と異なった周波数依存性を示す。このうち Near Field の領域は CSEM などでは通常使わないが、その効果も含めた計算を行う。水平成層構造中のダイポール放射の問題は、地下構造としては一次元であるが、水平ダイポールで励起した場合には、放射パターンも考えると三次元での電磁波伝播を考えることになる。ダイポール放射による電磁波の定式化は Chave and Cox (1982) で示されている方法に従った。解くべき式としては、円筒座標系を用いた Hankel 積分変換の形で与えられる。この Hankel 変換にはかなり厄介な数値計算が必要で、Linear Filter を用いる近似など様々な工夫もある。本研究では、TM / TE モードの応答を両方とも、Hankel 変換の数値積分を厳密に行うアプローチをとっている。無限遠までの数値積分の部分は、積分区間として Bessel 関数の零点をとり、積分値が収束したと判断できるところまで打ち切った。

まず、この計算コードの結果と均質大地での解析解や他の計算結果との比較を行い、正しい解が求まることを確認した。次に、これまで東濃地域で行われている電磁アクロスの観測結果と比較した。この地域の電気伝導度は不均質であると予想されるにもかかわらず、0.001S/m の均質大地という単純な構造における磁場振幅の計算結果が、観測結果と合った。この理由として、ここで比較した観測データの周波数(1~100Hz)と距離(3.5 以内)の範囲は、near field が卓越する領域であることと、広い領域の電流の積分効果を反映する磁場は、地表面近傍の細かい不均質性の影響に敏感でないためであると考えられる。

今後さらにより現実的な観測への適用として、有限長ダイポールへの拡張をすることにより、ソースのタイプ(電流ダイポール/磁気ダイポール)、観測機器の選定(磁場/電場観測)、および送受信点の配置決定といった、観測計画の事前評価に役立たせることができる。さらに、Near Field と Far Field の区別なくアクロスで得られる高い信頼度の観測データの解析において、第1次近似としての解の見積もりや、波動の Ray と Mode (特に送信点近傍において)の相互関係の理解にも適用できると考えている。