

地中における電磁波の3次元到来方位測定装置の開発

中谷 太環 [1]; 神谷 宗利 [2]; 筒井 稔 [3]

[1] 京産大大学院・工研科; [2] 京産大大学院・工研科; [3] 京産大・コンピュータ理工

Development of sensor system for obtaining Poynting vector of electromagnetic pulses in the earth

Taka Nakatani[1]; Munetoshi Kamitani[2]; Minoru Tsutsui[3]

[1] Graduate School of Engineering, Kyoto Sangyo Univ; [2] Graduate School of Engineering, Kyoto Sangyo Univ; [3] Computer sciences, Kyoto Sangyo Univ

We have been observing electromagnetic (EM) pulses on the ground and at the bottom of deep (100 m) boreholes by EM sensor systems composed of three directional magnetic search coils and vertical electric dipole antenna. In order to find earth-origin EM pulses, we first tried to examine propagation directions of EM pulses from measurements of amplitude and phase differences in two waveforms of magnetic pulses detected at the vertical two points. However, we often could not measure their differences between their waveforms, because EM fields of many pulses in the earth have shown ellipsoidal polarizations. Thus, under such electromagnetic condition, we could not determine propagation directions of EM pulses in the earth by this method. Thus we have developed a system for measuring propagation direction of EM pulses in the earth by means of obtaining Poynting vectors. Poynting vector S is given by the vector product $E \times H$, where E and H are electric and magnetic field vectors of each EM pulse. The effective energy flow of an EM pulse is given by the real part S_r of the Poynting vector, as $S_r = (1/2)(E \times H^{\wedge} + E^{\wedge} \times H)$, where E^{\wedge} and H^{\wedge} are the complex conjugate of E and H , respectively.

For realizing the measurement of S_r , we needed to obtain values of three directional components of E and H fields. Although we have already obtained those of H field by tri-axial magnetic search coils, we had not obtained those of E field, because it had been hard to detect horizontal component of E field in a narrow borehole. However, we have tried to develop a new method for detecting horizontal electric field sensitively. The horizontal antenna system is composed of multiple short cross dipole antennas which are arrayed in the vertical direction, and a long vertical dipole antenna whose length is equivalent to the sum total of that of the short horizontal dipole antennas. Therefore, we have made up a tri-axial electric dipole antenna system. Combining the tri-axial magnetic search coil system with the electric dipole antenna system, we have accomplished a tri-axial electromagnetic fields sensor system.

We also developed a computer program for the calculation of S_r as a function of the frequency derived from signals detected by the developed sensor system. Since the detected signals are first transformed to the values as a function of frequency by FFT, the complex values of the three axial components of E and H fields can be applied to the equation of S_r . Therefore, we are able to obtain frequency dependent arrival directions of the detected EM pulse, which is the similar method previously developed in our laboratory.

We started to observe EM pulses in the earth using the developed sensor system in July 2011, and we will report the observed result.

地震に関連していると考えられる地中励起電磁波パルスの検出のために、深さ 100m のボアホールを確保し、そこに電磁波到来方位測定用のセンサーを挿入して観測研究を続けてきた。内陸部における観測では、地中で検出される電磁波パルスの殆どが雷放電と送電線から放射される不要電磁波であることが明らかとなった。このことから、不要な電磁波の少ない地点での観測が必要であると考え、電磁波環境の静穏な京都大学瀬戸臨海実験所構内にボアホールを構築した。そこは海岸であったため、地上からの電磁波の減衰が極めて大きいことが確認できたものの、それでも多くの雷放電の地中への浸透が確認された。

このような状況下で、地中励起の電磁波パルスを見つけ出すためには、検出した電磁波パルスの中から上方伝搬状況を見つけ出す必要があった。そのため、地上とボアホール底部の両地点で電磁波パルスを検出し、両地点での波形同士の位相と振幅関係から判断することを試みたが、地上及び地中での波形によっては位相比較ができないものが現れた。これは、媒質が異なる地中に入射する電磁波が楕円偏波をしているためであり、それを検出していた。

この状況を検討した結果、電磁波の伝搬方向を決定する方法としては、電磁界のエネルギーの流れを表す電磁波のポインティングベクトル S を厳密に求める以外に方法がないと判断した。ポインティングベクトル S は電磁波の持つ電界ベクトル E と磁界ベクトル H を用いて、 $S = E \times H$ で表される。 E と H は複素数で表されるので、実エネルギーの流れ S_r は $S_r = (1/2)(E \times H^{\wedge} + E^{\wedge} \times H)$ で表される。ここに E^{\wedge} 、 H^{\wedge} は複素共役を表している。本研究ではこれを求めることにした。

この測定を行うためには、地中ボアホール内で電界及び磁界の3次元方向成分計6成分を検出しなければならない。磁界については既に実現していたが、電界についてはボアホールの内径が十数 cm であり、水平ダイポールアンテナ素子を長く伸展できないため、水平電界成分の感度を十分に得ることができないという問題があった。そこで、本研究室ではこの問題を解決するために、ボアホール内径に制約があっても水平電界を感度良く検出できるアンテナシステムを開発した。そのアンテナシステムの構成としては、水平アンテナ部は短尺の直線状ダイポールアンテナを深さ方向に複数本並べたアレイとしている。そのアンテナ出力電圧は短尺のダイポールアンテナの出力電圧にアレイ数を掛けた値に等し

くなるようにしているので、垂直成分検出については、一本の長尺ダイポールアンテナとしている。これら水平直交アレイアンテナと垂直アンテナとの組み合わせによりボアホールに挿入可能な3次元電界成分検出用アンテナシステムを実現させた。これに3軸サーチコイルシステムを組み合わせると3軸電磁界センサーシステムを完成させた。

このセンサーシステムを用いる3次元到来方位解析用コンピュータプログラムをも開発し、3次元到来方位測定システムとして完成させた。これを新たに構築した紀伊大島観測点に設置し、観測を開始した。この解析プログラムでは上方伝搬パルスのみを選択的に抽出するようにしており、地中起源の電磁波パルスの発見を目指している。現在、試験観測を行っており、検出データの定量的解析はこれからという段階ではあるが、それらに関して報告する。