

野島断層近傍の高周波電磁界の特異伝搬検出実験結果

Experimental results of high frequency electric field transmission in the Nojima borehole site

福本貴臣[1]; 冨澤一郎[2]; 大志万直人[3]

[1]電気通信大学電気通信研究科電子工学専攻; [2]電気通信大学菅平宇宙電波観測所; [3]京都大学防災研究所
Takashi Fukumoto[1]; Ichiro Tomizawa[2]; Naoto Oshiman[3]

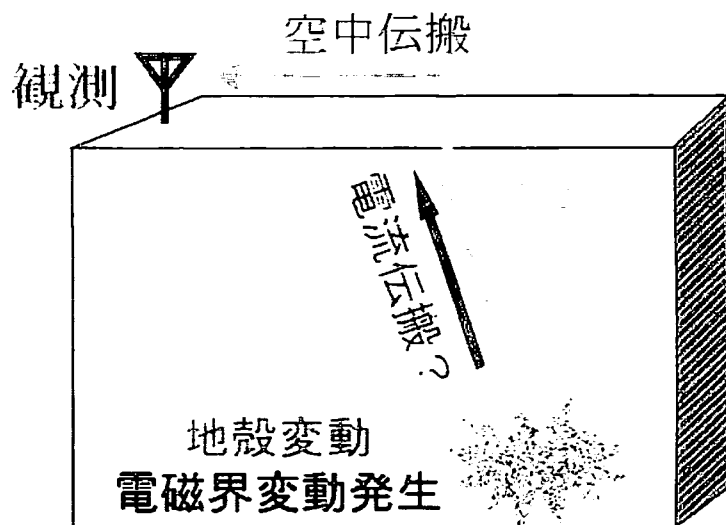
[1]Department of Electronic Engineering, University of Electro-Communications [2]Sugadaira Space Radio Observatory, University of Electro-Communications [3]Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

要約

地震に伴う高周波異常電磁放射現象の発生モデルとして、岩石破碎などに伴い地中で発生した電磁気的変動が断層に沿って電流的に伝わっていくモデルが想定される。本研究では、野島断層 500m ボーリング孔を用いた伝搬実験を実施した。ボーリング孔内に設置された地下電極間に地上からケーブルを介して電力供給し、地中に電磁気的変動を発生させ地表面電界強度分布を調べた。地下電極間に発生させた電磁気的変動が断層に沿って電流的に伝わってゆくなれば、断層の付近では強度の増加が観測できるはずである。調査の結果、断層付近では推定背景値からの強度増加が見られた。推定背景値は、断層が存在しない地点での強度分布より導出した。断層付近での背景値からの強度増加は、電磁気的変動が断層に沿って電流的に伝わり観測されたと考えられる。

1. 背景

地震に伴う高周波異常電磁放射現象は多数報告されている。兵庫県南部地震の震源とされている野島断層に関しても報告例がある。地殻変動による岩石破碎前後に圧電効果などで生じる電磁気的変動が原因と考えられる。しかしながら、地中で生じた電磁気的変動が極めて減衰の大きい地中を伝搬し、その後、空中に放射され観測されたとは考えにくい。そこで、断層により地中で低減衰な伝搬がなされている可能性が考えられる。一般に、断層は周囲の地層に比べ低比抵抗であることから、地中で発生した電磁気的変動が断層に沿って電流的に伝わっていくモデルが考えられる。



第1図 高周波異常電磁放射現象観測モデル

2. 野島断層 500m ボーリング孔概要

本研究で調査を行った野島断層 500m ボーリング孔について説明する。野島断層には、京都大学防災研究所によって 500m 孔、800m 孔、1500m 孔の 3 本のボーリング孔が掘られ、比抵抗変化の長期観測に使用されている。本研究で用いたのは 500m 孔である。

500m ボーリング孔は N30° W の方向へ地表面に約 60° の傾斜で掘削され、地表から深さ 389.4m の位置で野島断層と交差している。周辺の地質構造は、地表から深さ 190m までと野島断層と交差する深さ 390m から 495m までは導電率の比較的高い砂礫層、深さ 190m ~ 390m、490m ~ 550m は砂礫層と比較すると導電率の低い花崗岩層となっている。ボーリング孔内にはケーブル及び電極が設置されている。ケーブルは 5 芯構造となっており、4 芯は地下電極に接続されているが、残りの 1 芯はどこにも接続されておらず、ボーリング孔内に挿入されているだけである。ケーブルは高周波伝送を目的として作られたものではなく、一般的な電力ケーブルである。電極は、ボーリング孔に沿って地表から 360m、420m、480m、540m の 4 箇所に設置され、ボーリング孔内に挿入されたケーブル外側に巻きつけた構造となっている。この電極が地表からの深さ 360m、420m、480m、540m の 4 箇所に設置されている。地表面から深さ 400m までは金属パイプによってケーブル全体が覆われている。

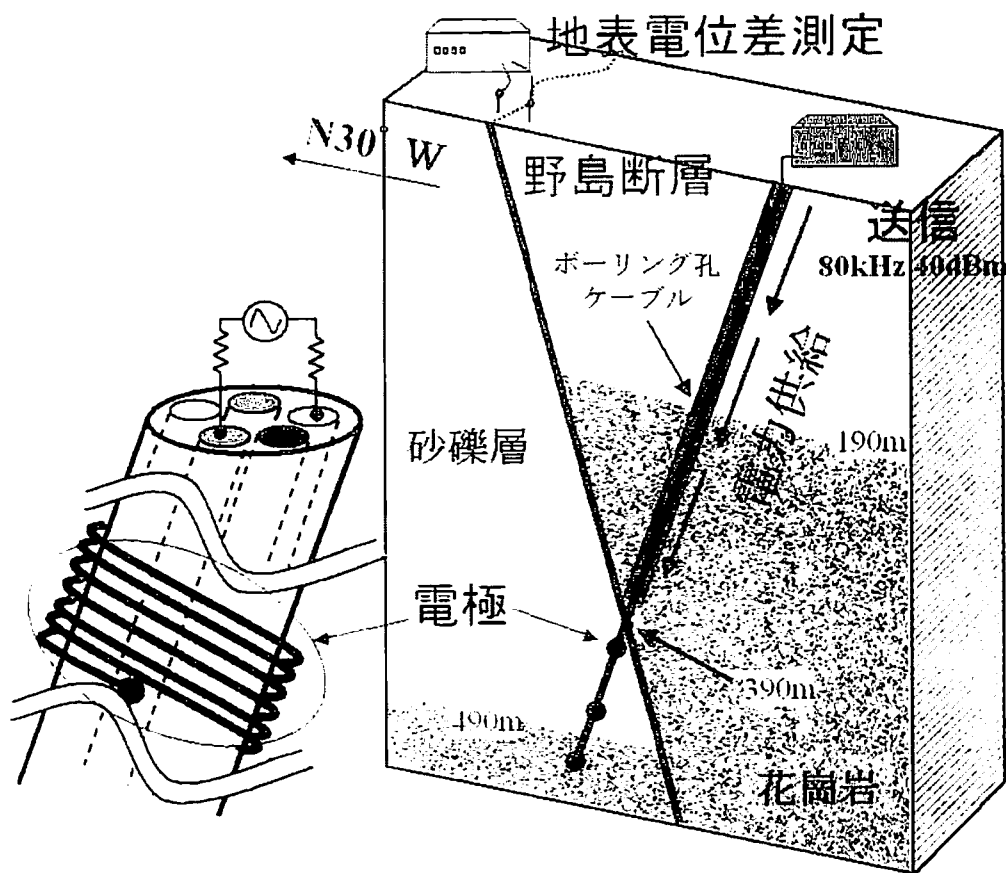
3. 地中電磁界伝搬実験概要

実験の概要を第 2 図に示す。ボーリング孔内に設置された地下電極間に地上からケーブルを介して電力供給し、地中に電磁気的変動を発生させる。地面に 2 本の電極を刺し、地電位差を測定し、地表電界強度分布を調査する。送信周波数は 80kHz、送信電力は 40dBm である。これまでに行われたケーブル及び地下電極間インピーダンス構造の調査の結果、80kHz 付近及び 200kHz 以上周波数で伝送効率が良いことが分かっていたため、今回の実験では 80kHz に周波数を用いた。

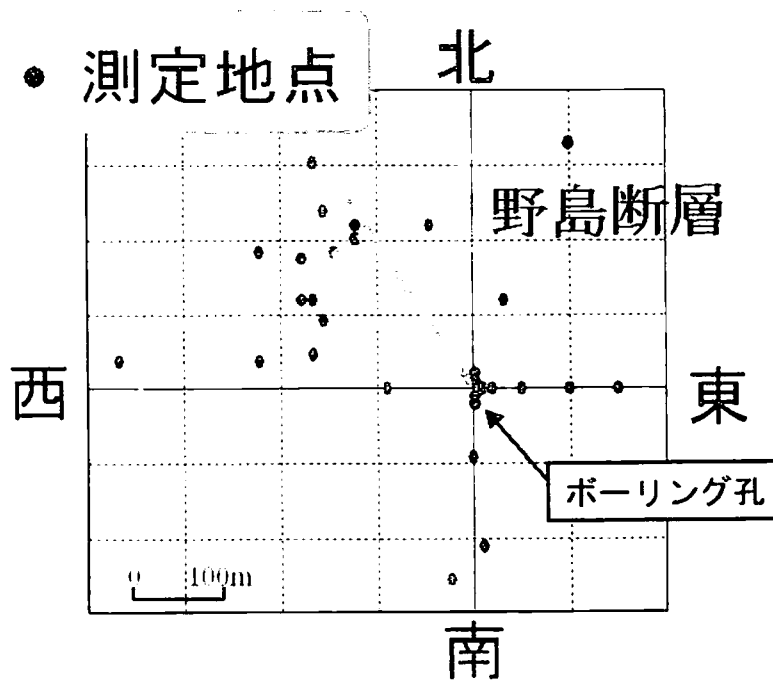
測定は第 3 図に示した地点で行った。測定を断層付近だけでなく、断層の存在しないボーリング孔東側及び南側の地点でも行ったのは、背景値を推定する必要があったからである。実験に用いたケーブルは高周波伝送用でないため、電磁界の漏洩により背景値が形成されてしまう。地下電極間からの信号を検出するには、背景値からの強度増加として検出しなくてはならない、そのため背景値を推定する必要があったからである。背景値の形成については詳しくは後述する。

4. 背景値と電極間起因信号の強度見積もり

背景値と地下電極間起因信号の強度を見積もった。その結果、地下電極間起因信号は背景値に埋もれてしまい観測できないと分かった。ただし、地下電極間起因信号が地中を通常伝搬したと考えた場合である。断層に沿って電流的に伝わるような特異な伝搬をしたなら地下電極間起因信号を観測できる可能性がある。つまり、背景値からの強度増加が観測できれば、電磁気的変動が断層に沿って電流的に伝わり強度増加として観測されたと考えられる。



第2図 実験概要



第3図 測定実施地点

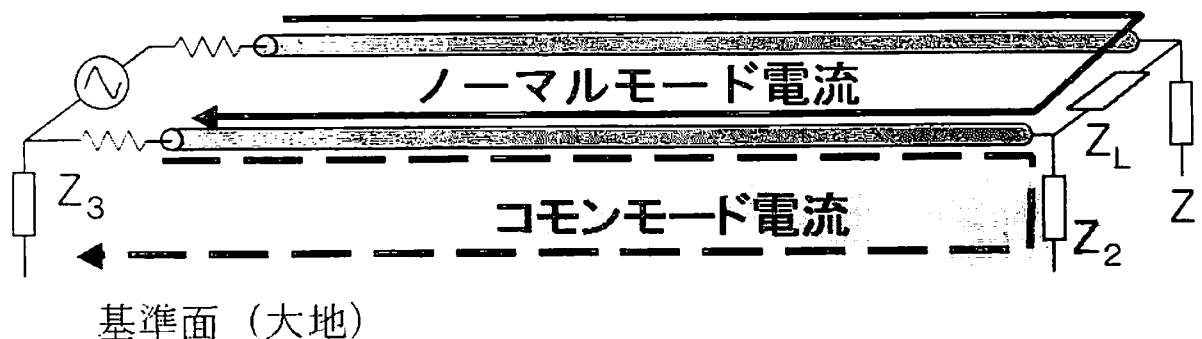
5. コモンモード電流による背景値の形成

3 節ですでに述べたように、実験に用いたケーブルは高周波伝送用でないためケーブルなどからの漏れ出る電磁界により背景値が形成される。ここでは、背景値の形成要因として考えられるコモンモード電流について述べる。

一般に、伝送路においてはノーマルモード電流とコモンモード電流の 2 種類の電流が流れる。ノーマルモード電流とは、行き線戻り線ともに伝送線上を流れる電流である（第 4 図実線）。通常はノーマルモード電流を信号の伝送に用いる。一方、コモンモード電流とは、伝送路を行き線として基準面（大地）を戻り線として流れる電流である（第 4 図点線）。高周波になると伝送線と基準面とのキャパシタンス結合を無視できなくなるため基準面を戻り線として流れるコモンモード電流が発生しやすくなる。通常コモンモード電流は雑音の源となる不要な電流である。

また伝送路には、平衡型と不平衡型の 2 種類が存在する。平衡型とは行き線と戻り線の形状が同じ伝送路を呼び平行二線路などがある、不平衡型とは行き線と戻り線の形状が異なる伝送路を呼び同軸ケーブルなどがある。平衡型伝送路を流れるノーマル電流では、行き線と戻り線が流れる電流が作る電磁界が互いに打ち消しあうため外部への電磁界の漏れは少ない、電磁界が打ち消しあうのは行き線と戻り線の形状が同じだからである。一方、コモンモード電流の場合、平衡型伝送を流れていたとしても、電磁界は打ち消しあわず外部に電磁界が漏れ出る。平衡型と不平衡型の回路を接続した場合、平衡型と不平衡型のそれぞれ基準面に対するインピーダンスが異なるためコモンモード電流が発生しやすくなる。

今回の実験では、第 2 図左に示すように 5 芯ケーブルの 5 本のケーブルから 2 本を選択し、二つのケーブル間に平行二線路として電力供給している。これは、平衡型伝送路と見なせるため、信号を伝送しているノーマルモード電流による外部への漏れは少ないと考えられる。送信に用いた発振器が不平衡型、ケーブルが平衡型であり、平衡型と不平衡型の回路を接続している。さらに周波数が 80kHz と高周波のためコモンモード電流が発生していると考えられる。以上のことから、今回の実験では背景値がコモンモード電流により形成された可能性が高い。



第 4 図 ノーマルモード電流とコモンモード電流

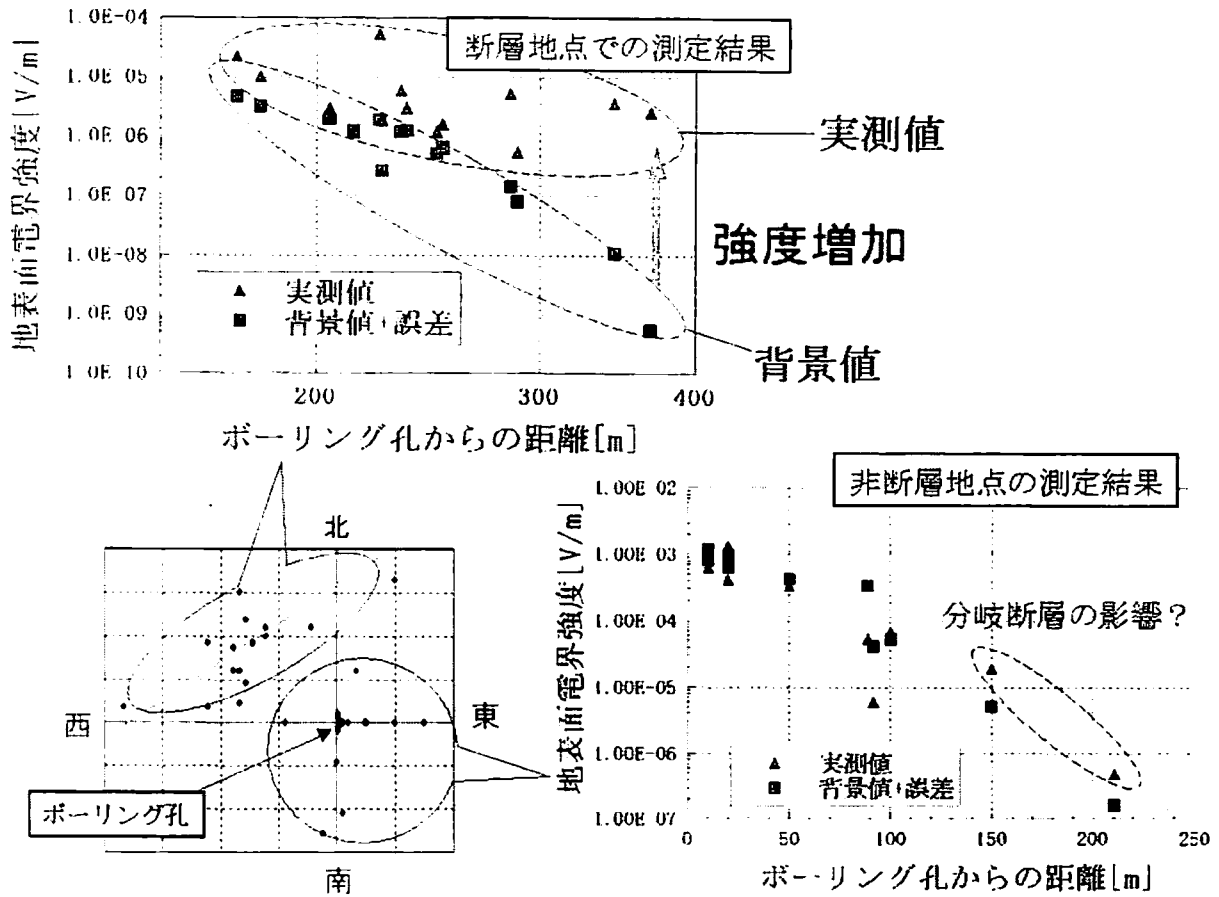
6. 電気双極子モデルによる背景値の導出

すでに述べたように、今回の実験ではコモンモード電流により背景値が形成された可能性が高い。コモンモード電流の作る電磁界は形状的に電気双極子で近似するのが適切と考えられるため、電気双極子モデルを用いた解析を行った。背景値をポーリング孔沿いに置かれた電気双極子の作る電磁界で近似し推定を行った。電気双極子が単一であると仮定し、距離に対する変化量から位置を決定する。次に、各地点での実測値から最小二乗法で双極子モーメントを定めた。背景値を深さ 90 [m]に存在し双極子モーメント $15 \pm 4[A \cdot m]$ の電気双極子で近似し推定した。導出には非断層地点（ポーリング孔南側及び東側）の測定地点の結果のみを用いた。非断層地点では、断層の影響がないため背景値のみが検出されていると考えられるからである。厳密には、ポーリング孔に沿って存在し伝搬定数に従って大きさや位相の変化する電気双極子の作る電磁界の重ね合わせとして背景値を考えるべきだが、現段階では、調査が不十分のためコモンモード電流の伝搬定数が明確に求められていない、今回は前段階として単一だと仮定して解析を行った。

7. 断層付近での強度増加

実測値と推定背景値の比較を行った。推定背景値は 6 節でのべたように電気双極子モデルによる解析から導出した、結果を第 5 図に示した。右上は断層付近での実測値と推定背景値の比較結果、左下は非断層地点での結果である。横軸にポーリング孔からの距離、縦軸に推定背景値及び実測値の電界強度を示した。推定背景値はプラスの誤差を加えた背景値の上限を示した。縦軸の単位は電界強度として示してあるが、これは測定した地電位差を地上電極間距離で割った値、いわば見かけの電界強度である。厳密には単位長さあたりの地電位差つまり電位傾度を示している。

断層付近では実測値は推定背景値の上限より 10 倍程度大きくなることが分かった。4 節で述べた通り、地下電極間から信号が地中を通常の伝搬をした場合は背景値に埋もれてしまう。背景値からの強度増加が観測できれば、電磁的変動が断層に沿って電流的に伝わり強度増加として観測された可能性が考えられる。非断層地帯においては、断層付近と異なり実測値は推定背景値上限より大きくなるはずである。しかしながら、150m 以上の遠方いくつかの地点において推定背景値上限からの強度増加がみられる。今のところ明確な説明はできないが、単一放射源と仮定したことや分岐断層の影響、地形効果などが原因と考えられる。今後、測定地点を増やし解析してゆく必要がある。



第5図 実測値と推定背景値の比較 (断層・非断層地点)

6. まとめ

コモンモード電流により形成された背景値を電気双極子で近似し推定を行った。断層付近では背景値からの強度増加が観測された。これは、地中で発生させた電磁界変動が断層に沿って電流的に伝わる可能性が高いと考えることができる。また、非断層地帯の遠方においても強度増加が見られるが、今のところ理由が明確にはできてはいない。今後、測定地点の増加やコモンモード電流の伝搬定数の導出などで背景値の明確化を進めてゆく必要がある。さらに今回求めた強度増加量が断層沿いに電流として伝搬したモデルとして妥当かどうかをFDTD法による解析など行ってゆく予定である。

7. 参考文献

- 石井直人・富澤一郎・大志万直人:野島断層地下埋設電極を用いた電磁放射実験の可能性,地球惑星科学関連合同学会 2000年合同大会,Ag004,2000
 福本貴臣・富澤一郎・大志万直人:野島断層ボーリング孔接続ケーブル起源の近傍電磁界,地球惑星科学関連合同学会 2002年合同大会,My029,2002