

# 花崗岩に衝撃を加えた時の電磁界放射実験

平成 24 年 4 月 30 日受付

筒 井 稔  
京都産業大学 コンピュータ理工学部  
柳 谷 俊、 加 納 靖 之  
京都大学防災研究所 地震予知研究センター

## 要 約

地震に伴って地殻岩盤に生じる圧電効果により、電磁波パルスが励起されるとの仮説の下、京都産業大学では地中に深さ 100m のボアホールを構築し、その中に電磁波センサーを挿入して地中励起の電磁波を検出する事を目指して観測を続けている。一方、この岩盤からの電磁波励起を確認検証するために、地上の実験室で岩石に衝撃応力を印加する基礎実験を行っている。最初は効果の強い水晶における衝撃印加実験を行い、円柱状の水晶の周方向に沿った磁界が発生している事を確かめた。今回は、花崗岩への衝撃応力印加による電磁界の励起を確認するための実験を行った。一辺が 10 cm で長さが 50 cm の四角柱の花崗岩を用いて、その四角柱の側面の軸方向に沿った 4 か所に電界・磁界のセンサーを配置し、花崗岩の上端で軸方向に衝撃応力を印加した時の、各位置での電界・磁界の検出測定実験を行った。この実験により、電界・磁界成分ともに検出された。検出された電界・磁界波形の立ち上がり時刻は上部から下部へと少しずつ時間の遅れが認められた。この時間差から、花崗岩中の衝撃波の速度が計算でき、それは地震波の P 波の速度と同等である事が明らかとなった。この事から岩盤に加わる衝撃応力によって、電界・磁界が十分に励起される事を確認した。

地中電磁波パルス、室内実験、花崗岩への圧力衝撃印加実験、励起電磁界検出、地震波速度

## Abstract

In order to confirm radiations of electromagnetic (EM) fields from the earth crust when impulsive stress impact occurred in the crusts, we have conducted a laboratory experiment on detections of EM fields from a granite pillar of 10 cm x 10 cm x 50 cm to which an impulsive stress impact was imposed. For detecting electric and magnetic fields radiated from the granite, four sets of electric and magnetic sensors were installed along the axis of the granite pillar by keeping a space between

sensors and the granite surface. When an impulsive stress impact was imposed to the top of the granite pillar, electric and magnetic pulses were detected at each sensor position. The rising time of waveforms of the detected fields was delayed at far positions from the stress impact point. From the time delays, the propagation velocity of the shock wave in the granite was calculated as a speed of the P-wave in the granite. The present experimental result has clearly shown that the granite can excite electromagnetic field by the stress impact.

Electro-magnetic (EM) pulses in the earth, laboratory experiment, impulsive stress impact to granite, detection of EM fields, P-wave

## 1、はじめに

京都産業大学では地中に深さ 100m のボアホールを構築し、その中に電磁波センサーを挿入して地中励起の電磁波を検出確認する事を目指して観測を続けている [1]。本研究者はこの地中で発生する電磁波の励起機構としては、岩盤同士に衝撃圧力が加わった時の圧電効果を考えている。岩石からの電磁波放射に関する実験は複数の研究者により報告されている [2,3,4,]。彼らの実験では岩石の破壊を伴っており、また検出しているのは電界成分が主流であり、磁界成分の測定は行われていない。本研究者は破壊を伴わなくても、衝撃的圧力印加により電磁波が励起されると考えている。そこで本研究では、岩石破壊が伴わなくても電界及び磁界が十分に励起される事を明らかにするための実験を行った。これが確認できれば、地震の発生に至る以前に電磁波が発生し、その場所に極めて強い圧力衝撃が加わった事を示唆する情報として捉える事ができる。これが実現すると地震発生予測の研究が大いに進展すると考えられる。そこで本研究では、岩石で破壊を伴わない衝撃圧力印加でも電磁界が検出できる事を確認するための実験において、前年には典型的な圧電効果を持っている水晶における電磁界放出の基礎実験を行い、そこでは十分な電界および磁界の放出を確認した [5]。その結果をふまえてここでは、花崗岩に衝撃的応力を加えた時の電磁界が放出確認実験をおこなった。

## 2. 花崗岩への衝撃圧力印加による電磁界励起の測定実験

### 2.1 被測定物質としての花崗岩

地球内部の岩石の代表として花崗岩があるが、それには圧電効果の強い水晶を多く含んでいる。そこで、今回の実験ではその花崗岩を用いる事にした。写真1は測定に使われた一辺が10cmで長さが約 50 cm の四角柱状の花崗岩を応力印加装置に据え付けた様子を示している。花崗岩はまだら模様が見られるが、その灰色部分が水晶成分であり、その部分が圧電効果を強く発生すると考えている。この花崗岩の上部に衝撃圧力を印加し、その周辺の各部にセンサーを配置

し、発生する電磁界を調べようとするものである。

## 2.2 電磁界検出用センサー

電磁波は電界と磁界が結合しながら伝搬するもので、電界と磁界とを同時に検出する事によって電磁波が励起されたと見なす事ができる。

そこでそれらを計測するために写真1に示す花崗岩の表面近くに（花崗岩に直接接させるのではなく、その表面から5mm程度離して）配置するための電界及び磁界センサーを製作した。

写真2は電界センサーを示している。電界センサーは素子長が2.5cmの直交イポールアンテナの形を取っている。これは発生した電界成分の偏波方向を知るためのものである。花崗岩の表面上での偏波の分布状況を明確にするには、アンテナ素子長を短くする必要あるが、SN比を確保するためにはこれより短くすることは出来なかった。これらクロスダイポールアンテナを花崗岩柱の軸方向にそって、花崗岩の表面から5mm浮かせて、7cm間隔に配置した。

写真3は磁界計測用のサーチコイルの軸を平行にして7cm間隔で4つ並べた様子を示している。各軸からはパーマロイコアを出しているが、この部分を花崗岩表面近くに配置する事により、その突出コア近辺での磁界成分を検出しようと考えた。この部分を花崗岩の軸方向に、電界用直交ダイポールアンテナの各中心と同じ位置になるように配置している。これにより花崗岩表面での同一点で7cm間隔で4か所の電磁界成分を同時に検出する事ができようになっている。

## 2.3 検出信号取得システム（プリアンプおよびデジタル・オシロスコープ）

角柱の花崗岩の軸方向に沿って7cm間隔の4か所に配置した電界・磁界センサーにより合計12の

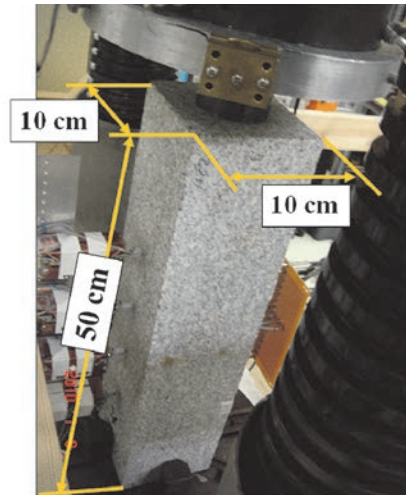


写真1. 応力印加装置に据え付けられた花崗岩。

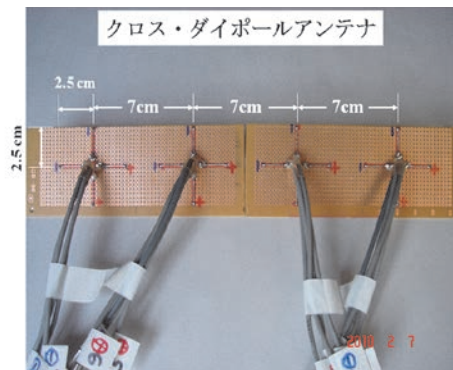


写真2. 電界検出用の素子長2.5cmの直交ダイポールアンテナ4組

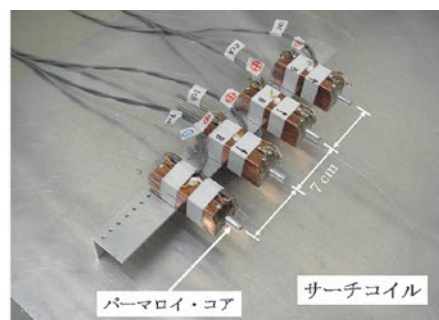


写真3. 磁界検出用サーチコイル4個。

信号を検出できるようになったので、それらの信号の時間関係を明らかにする為に、同時記録のためのデジタル・オシロスコープ4台を用いる事にした。そのためにセンサーに接続する12チャンネルのプリアンプを準備した。電磁界データ記録用のトリガー信号としては花崗岩最上部の電界信号を使う事にし、花崗岩に加わる圧力変化をも記録するようにした。これらにより準備ができた計測装置の全体像を写真4に示す。

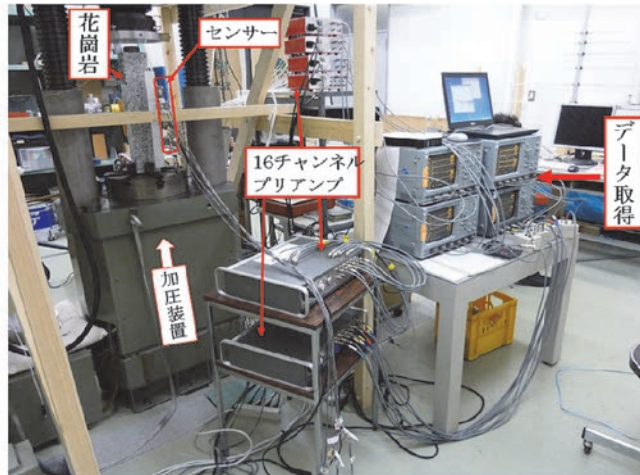


写真4. 検出電磁界信号データの取得システム（16チャンネルプリアンプ、4台のデジタル・オシロスコープ）。左に加圧装置がみえる。

## 2.4 花崗岩への衝撃応力印加法

花崗岩に衝撃的応力を印加する方法としては、負の応力印加の方法を採る。写真5に示すように花崗岩上部表面に応力が均一に印加できるように円盤を置き、その上部に直径20mm長さ20mmのガラス円柱を横たえておく。これに徐々に圧力を加えて行くと、ガラス円柱と花崗岩にはその圧力が加わる。更に圧力を増加すると或る値でガラス円柱が破壊を起こす。この時、花崗岩に加わっていた圧力が急激に無くなる。これが負の応力印加法である。この方法により、花崗岩に瞬間応力変化を与える事になる。



写真5. 花崗岩に負の衝撃圧力を印加する方法。

### 3. 測定結果

上記実験装置により、花崗岩に負の衝撃応力を印加した時に検出した電界および磁界信号の時間変化を図1に示している。同図左側の波形は花崗岩柱に沿って7 cm 間隔に配置した直交ダイポールアンテナで測定した電界成分で、各波形対の上側は花崗岩軸に平方向成分、下側はそれに直角成分を表わしている。右側の波形は電界測定点と同様4か所の同一点での磁界成分を表わしている。

同図で負の衝撃印加は赤の矢印で示してあり、その衝撃波は花崗岩内を下方に伝搬している。その衝撃波により電界・磁界成分の立ち上がり時刻は黒の点線で示したような遅れを示しながら各点で見られている。グラフの時間目盛 (100  $\mu$ 秒) から判るように、距離 21 cm 間に示された時間差からこの伝搬速度は 5.25 km/sec である事が判る。この速度は地震波の P 波に相当するもので、妥当な値を示している。

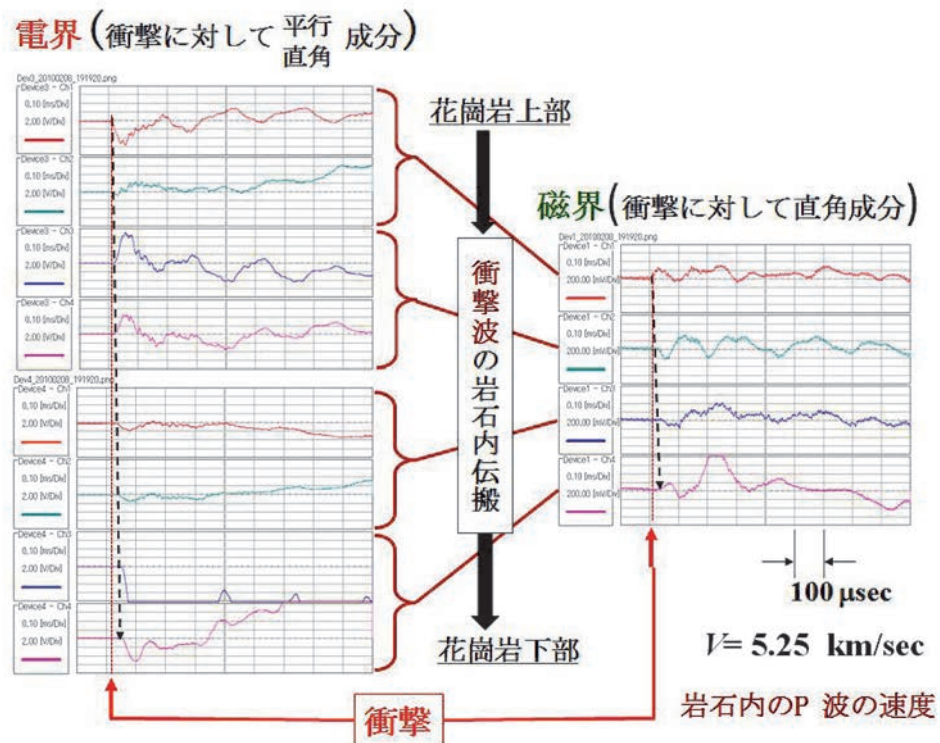


図1. 四角柱の花崗岩上部軸方向に衝撃応力を印加した時、柱側面に沿って7cm 間隔で測定した電界の水平・垂直成分対 (左波形) と同箇所測定した磁界成分 (右波形) の時間変化。赤矢印が衝撃応力印加時点。黒点線は電界・磁界が立ち上がる時間の推移を示している。この時間的勾配から衝撃波 (P 波) の伝搬速度 5.25 km/sec が得られた。

#### 4. 検討および結論

測定結果（図1）において、衝撃が加わった方向（上下方向）成分の電界強度の振幅は衝撃方向に対して直角方向成分よりも大きくなっている。これは花崗岩内で衝撃方向に電荷分離が強く現れている事を示唆している。また、花崗岩上部で検出された電界成分の振幅はに対して、下部での振幅は小さくなっている。これは衝撃の強さが距離と共に減衰している事を表わしている。一方、磁界の振幅をみると、花崗岩の位置に関係なく同程度の振幅を示している。この事は、衝撃の瞬間に発生した電荷分離の変動により生じた変位電流により、その周囲の広い空間に生じた磁界を示している可能性がある。

直径 2cm のガラス円柱が破壊されたという極めて狭い領域であり、それ程強くない圧力衝撃印加であっても、花崗岩から離れた位置で、その衝撃に起因した磁界が検出された。実際の地殻岩盤では、大規模なスケールでの岩盤同士の衝撃が起こっていると考えられるので、電磁波は大規模な領域で励起されると考えられるので、それにより極めて強い電磁界を発生させる事になる。今回の実験では電磁波伝搬の証拠は得られなかったが、今後は規模の大きな衝撃印加実験を行い、或る程度の空間距離を伝搬する電磁波を確認する必要がある。

#### 謝辞

本研究は京都大学防災研究所の共同研究（20G-6）の研究費の配分を受けて実施した。本研究の実験データ取得時のコンピュータ上でのデータ表示とデジタルデータ保存に関する処理プログラムの製作に関して、京都産業大学の研究室の学生に謝意を表します。

#### 参考文献

- [1] 筒井稔、地殻岩盤での衝撃応力に伴って励起する電磁波パルスの確認に向けて、「地震予知研究の最前線」、日本専門図書出版、pp 364-387、2012.
- [2] U. Nitsan, electromagnetic emission accompanying fracture of quartz-bearing rocks, *Geophys. Res. Lett.*, 4, 33-36, 1977.
- [3] T. Ogawa, K. Oike and T. Miuram, Electromagnetic radiation from rocks, *J. Geophys. Res.*, 90, 6245-6249, 1985.
- [4] S. Yoshida and T. Ogawa, Electromagnetic emissions from dry and wet granite associated with acoustic emissions, *J. Geophys. Res.*, 109, B09204, doi:10.1029/2004JB003092, 2004.
- [5] 筒井稔、柳谷俊、加納靖之、岩盤からの電磁波放射確認に向けての基礎実験京都産業大学先端科学技術研究所所報、第10号、1-14、2012.