

岩石の破壊に伴う電磁氣的現象

名古屋大学理学部 山田 功夫
増田 幸治

1. はじめに

古くから大地震に伴って発光現象がみられたという報告がある〔例えば Derr (1973)〕。最近になってこれらの現象のメカニズムについての研究結果がいくつか報告され、この現象はなんらかの電氣的現象の結果とするものが多い〔例えば Lockner et al. (1983)〕。また Gokhberg et al. (1982)は関東地方の内陸に震源を持つ有感地震の直前(20~30分前)に電磁波の放射が観測されたことを報告し、地震予知への有用性を示唆している。山田 他(1982, 1983)は砕石爆破や人工地震に伴って顕著な地電位の変化が観測されたことを報告している。我々はこれら岩石の破壊に伴って発生していると思われる電磁氣的現象のメカニズムを解明するために、室内での岩石破壊実験を行った。ここで用いた岩石は、インド産の細粒の花崗岩で、直径 2.5 cm, 長さ 6.25 cm の円柱状のものである。資料は真空乾燥を十分行って使用した。

2. 実 験

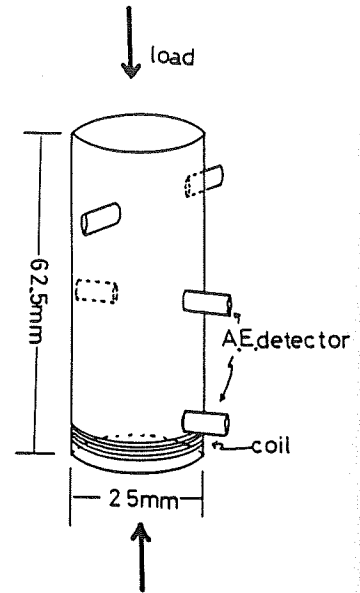
この実験には地震予知研究のために導入された岩石破壊装置(最大軸圧 200 トンの 1 軸圧縮)と、そのデータ集録システムを使用した。このデータ集録装置には高速デジタルメモリー 6 チャンネルと、A.D. 変換器 8 チャンネルが用意されており、これから取り込まれたデータはマイクロコンピュータを介してフロッピーディスクに集録される。高速デジタルメモリーの分解能は 8 ビットで 1 チャンネル当り 1024 サンプルのメモリー容量を持っている。一旦メモリーに貯えられた 1024 個のデータは、6 チャンネル分を約 3 秒かかってフロッピーディスクに転送される。記録は 1 回の実験が終了後フロッピーディスクから読み出し、X-Y プロッターに出力した。

電磁波の観測には、サンプルに直径 0.2 mm のエナメル線を 20~60 回巻いて作ったコイルをセンサーとして、これを高入力抵抗の増幅器で増幅した。このためコイルのインダクタンスと増幅器の入力容量によって共振し、全体としては第 2 図に示すような狭帯域の記録となった。一方弾性波の観測では共振周波数 1 MHz の A.E. センサーを 1~5 個サンプルに直接はり、これを約 40 db 増幅した。第 1 図にサンプルと各センサーの配置の様子を示す。図のようにセッ

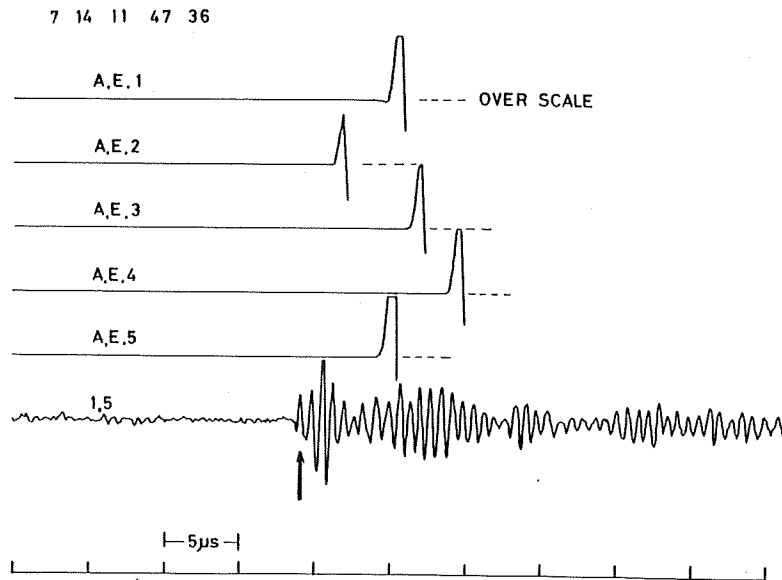
トしたサンプルは、外部からの電磁気的なノイズをさけるため、内径10cm、肉厚約10cmの円筒型の鉄製のケース(封圧実験のための耐圧容器)の中に入れ、これを1軸圧縮で破壊させた。

破壊強度付近まで加圧されたサンプル内では次々に微小破壊が発生し、これに伴って発生する弾性波や電磁波の信号は増幅された後、サンプリング間隔50nsで高速デジタルメモリーに取り込んだ。デジタルメモリーからフロッピーディスクにデータを転送するのに約3秒かかるので、発生した微小破壊のうちのごく一部のもののみ記録される。それでもこの実験の場合1回の実験で200~300個のデータが取れた。このうち、微小破壊に伴って電磁波が観測されていたのは40~60%の割合であった。第2図にその記録の例を示す。

図中、上部5本の記録はAEセンサーによる弾性波の記録であり、下の1本が40回巻のコイルにより観測された電磁波の波形である。図中に示されている上向きの矢印は5ヶ所のAEセンサーへの弾性波の初動から求められ



第1図 岩石資料とセンサーの配置



第2図 弾性波と電磁波の記録の例。
上の5本が弾性波、下の1本が電磁波の記録。

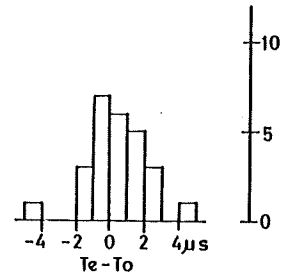
た微小破壊の発生時刻（以下発震時という）を示す。電磁波の記録のはじまりはこの発震時によく一致し、どの場所の弾性波の初動よりはよい。第3図に弾性波の初動から計算された発震時と電磁波の初動との時間差の分布を示す。ほとんどの場合その差は $\pm 2\mu\text{s}$ 以内であり、計算誤差を考慮すると非常に良く一致している。このことは、観測された電磁波が微小破壊の発生と同時に起り、ほぼ無限大の速度で伝播したものであることを意味する。

しかし、これらの電磁波はすべての微小破壊に伴って観測されるわけではない。感度（特にS.N.比）を上げて観測しても、電磁波の放射が認められるのはせいぜい60%程度である。電磁波の放射が認められ、弾性波の初動から微小破壊の震源が決られたものを第4図に示す。震源の分布はコイル付近に特に集中していることはないが、サンプルの側面側に多いようでもある。しかし、現段階では震源決定にもかなりの誤差が含まれるのであまり詳しいことはいえない。

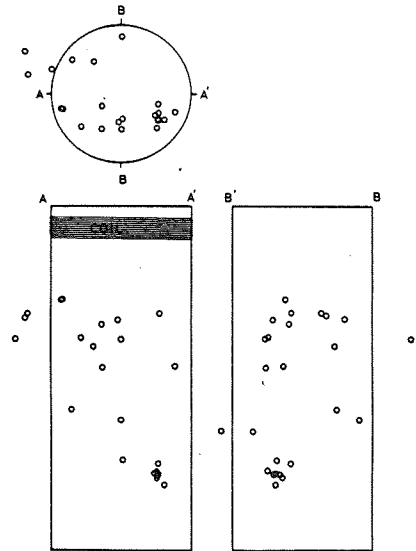
上記の観測では電磁波は1.5 MHz 付近のごく狭い帯域だけを観測しているのので、微小破壊に伴って放射されている電磁波がどのような周波数成分を含む波であるのかはわからない。そこで第5図に示すような5ヶ所の帯域が観測できるようにコイルを用意し、電磁波5チャンネル、弾性波1チャンネルの観測を行った。第6図にその記録の例を示す。これか

らもわかるように、岩石の破壊に伴って放射されている電磁波は300 KHz 以下の帯域ではほとんど観測されていない。また、これとは別に3 MHz 以上の帯域についても観測を行ったが、そのような高周波成分はほとんど観測されなかった。しかしこのような高周波成分は、デジタルメモリのサンプリング間隔が50 ns であることや、信号線や増幅器の特性などにも問題が出てくるのでまだ十分な結果を得ていない。

これまでに述べて来た岩石の微小破壊に伴う電氣的現象が本当に磁場の変化として観測され



第3図 弾性波から計算された微小破壊の発震時と、電磁波の初動との時間差の分布。

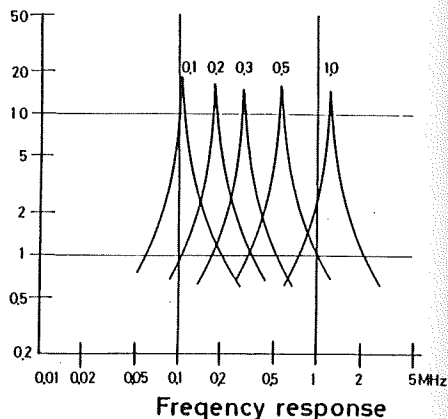


第4図 電磁波が観測された微小破壊の震源の分布

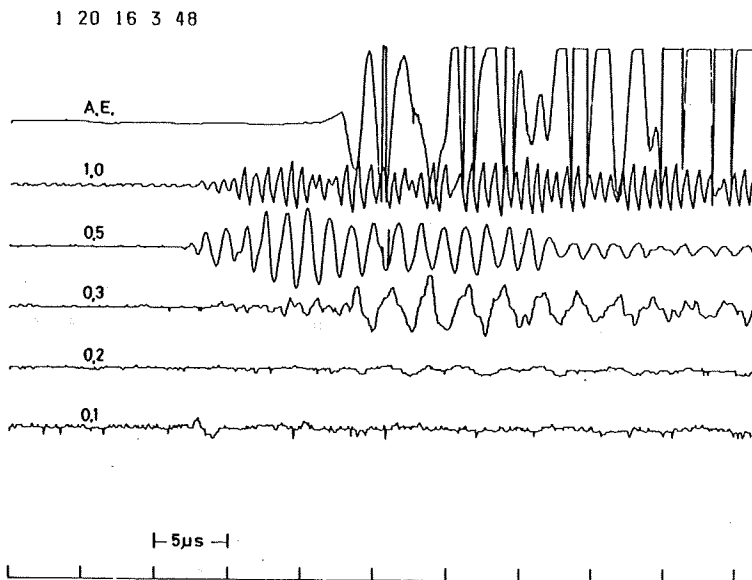
ているかどうかは問題がある。もし微小破壊によって電場が発生しても、電流がまったく流れないか、ほとんど流れなければ電磁波は発生しない。しかし、これまでの観測方法では電場の変化をも含めて観測している。これを分離するために、同じ巻き数のコイルを2本同じサンプルに巻き、一方のコイルはこれまでと同様で、もう一方をアルミホイルで静電シールドし観測を行った。その結果、静電シールドを行った側では、微小破壊に伴う電磁場が観測される割合は、静電シールドのない側に比較して $\frac{1}{5}$ 以下であった。多くの場合は第7図aに示すように、静電シールドを行っていない側では大きな振巾で観測されているが、シールドされている側にはまったく観測されていなかった。しかし、第7図bのように、ごく一部の場合は静電シールドされた側の方が大きな振巾で観測された。

3. 考 察

我々のこれまでの実験の結果、岩石の破壊に伴って数100 KHz から数MHzの帯域の電磁波が放射されていることは確かである。しかしこの現象

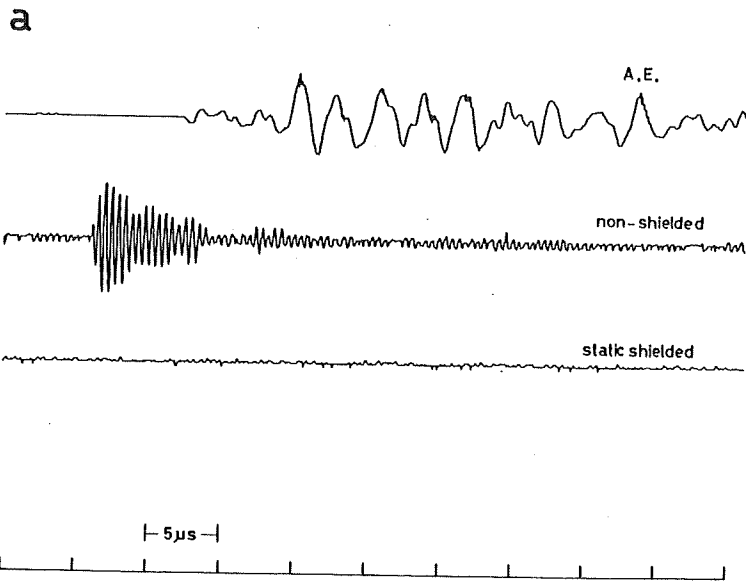


第5図 電磁波を同時に5ヶ所の周波数帯域で観測した時の感度特性。

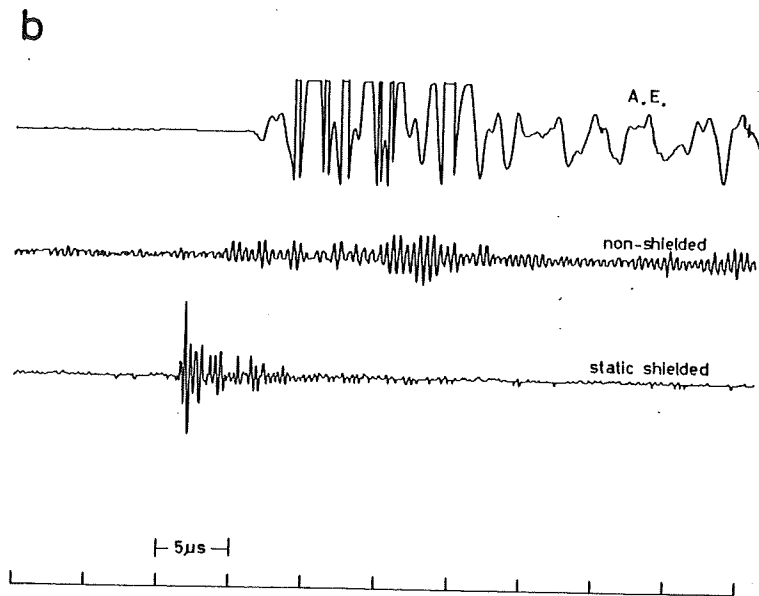


第6図 電磁波を同時に5ヶ所の周波数帯域で観測した記録の例。
 図中最上段は弾性波の記録、以下5本の記録は第5図の各帯域に対応する。

1 11 18 31 57



1 11 18 25 35



第7図 電磁波のセンサーに静電シールドをして観測した記録の例。

- a : 静電シールドを行ったセンサーでは微小破壊に伴う電磁波が観測されなかった例。
- b : 静電シールドを行っても観測された例。

は磁場の変化としては観測されにくく電場の変化としてよく観測される。これは、微小破壊に伴って電場は発生するが、電流はほとんど流れないことを意味する。これはサンプルが電氣的にはほぼ絶縁体であることによる場合と、発生源の電氣的容量がごく小さい場合が考えられるが、これまでの実験ではそれを確定することはできない。

ここで示したような電氣的現象はすべての微小破壊に伴って観測されるわけではない。この理由を解明することは、この現象の発生のメカニズムを解明するための大きな手がかりとなる。ほぼ半数の微小破壊ではこのような現象が観測されなかった理由として、(1)サンプルの表面付近に発生した場合でのみ観測される。(2)微小破壊の起った場所の鉱物の種類による。(3)その微小破壊が結晶内に起ったのか粒界に起ったかによる場合などが考えられる。(1)については前述のように、電氣的現象が観測された微小破壊の震源が中心部より表面付近に多い傾向があることから、その可能性はある。これが事実ならば、この波動はサンプル内での減衰が非常に大きいことになる。しかし第4図ではまだ震源の決定精度が悪く確定できない。(2)については我々のこの研究のための予備的な実験〔山田他(1981)〕によれば砂岩、石灰岩、大理石、チャートなどにおいても破壊に伴う電氣的現象は観測され、岩石の種類や鉱物による可能性は少ない。(3)についてこれまでの実験ではまったくわかっていない。

我々のこれまでの実験ではこれらの現象の発生メカニズムを解明するには至っていない。しかしこの電氣的現象が、岩石の破壊に伴う諸現象を解明するのに重要な手がかりとなる可能性がある。今後は特にこの現象の発生メカニズムについての研究が必要であろう。

この研究において、電気通信大学の富沢一郎氏には観測方法について多大な御援助を頂きました。ここに感謝します。

参 考 文 献

- Derr J., (1973), Earthquake lights—A review of observations and present theories, Bull. Seism. Soc. Am., 63, 2177—2187
- Gokhberg M. B., V. A. Morgonov, T. Yoshino, I. Tomizawa, (1982), Experimental measurements of electromagnetic emissions possibly related to earthquakes in Japan, J. Geophys. Res., 87, 7824—7828
- Lockner, D., A., M. J. S. Johnston, J. D. Byerlee, (1983), A mechanism to explain the generation of earthquake lights, Nature, 302, 28—33

山田 功夫, 村上英記, (1981), 岩石の破壊に伴う電位の変化, 地震学会予稿集 No. 2

山田 功夫, 村上英記, (1982), 砕石爆破に伴う地電位の変化, 地震, 2, 35, 393-400

山田 功夫, 村上英記, 増田幸治, (1983), 人工地震に伴う地電位の変化, 地震学会予稿集 No. 1