

平成 21 年 5 月 30 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19360403

研究課題名（和文） 岩盤災害直前の空白期間

研究課題名（英文） Blank period of precursors preceded by rock failure or earthquakes

研究代表者

福井 勝則（FUKUI KATSUNORI）

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号：70251361

研究成果の概要： AM 帯域に混在する電磁波の観測を行い，地震発生の 1 ヶ月前から電磁ノイズが増加し始め，10 日前にピークに達し，その後低下し（空白期間といえる部分が存在），地震に至るといえる例が多数見られることを示した．岩石破壊試験を実施した結果，電磁ノイズなどの予兆現象が地震のかなり前にピークを迎えることは解釈が難しく，破壊の集中あるいは水の移動により，空白期間が発生した可能性が高いことを示した．

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	6,900,000	2,070,000	8,970,000
2008 年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
年度			
年度			
年度			
総計	10,400,000	3,120,000	13,520,000

研究分野：地球システム工学

科研費の分科・細目：総合工学・地球・資源システム工学

キーワード：岩盤災害，電磁波，クリープ，間隙水

1. 研究開始当初の背景

地震や岩盤崩壊などの事例でわかるように，岩盤の予期せぬ破壊は多大な被害が生じる．そのため，岩盤の破壊予測に関する研究は非常に重要であり，様々な手法に関する研究が行われている．岩石の破壊過程において，アコースティック・エミッションと同期して，電磁波が放出されることが知られており，電磁波観測によって岩盤崩壊や地震の予知を行おうとする研究が近年，盛んになってきた．著者らもこの研究に励んでおり，室内試験による岩石の圧電性や電磁波の発生の検討，原位置観測による地すべりの予測の検討を行い，岩石や岩盤の破壊にともなう電磁波の発生を確認した．

2. 研究の目的

著者らは，地震前後に発生する電磁波の観測を NPO 団体と共同で行っており，電磁ノイズ観測装置を日本各地 33 個所に配置し，地震前後の電磁ノイズを調べている．予備的検討の結果，地震発生の 1 ヶ月前から電磁ノイズのイベント数が増加し始め，地震発生の 10 日前にイベント数がピークに達し，その後低下し（空白期間といえる部分が存在），地震に至るといえる可能性があることがわかった．電磁ノイズのイベント数が増加し始めてからピークに至るまでの日数と地震のマグニチュードの関係を調べた結果，両者には相関が見られ，イベント数が増加し始めてからピークに至るまでの日数より，地震の規模が

予測できる可能性が示唆された．これを利用することにより，電磁ノイズのイベント数が変化するような地震であれば，地震の時期および大きさに関する予想が可能となる．著者らは長年，岩盤工学に関する実験的研究を行った経験からして，岩盤が破壊する際には加速的に亀裂の進展がみられることから，電磁ノイズのイベント数が地震のかなり前（1週間～2週間）にピークを迎えることは解釈が難しく，これまでは見逃されてきた何か重要な事項が隠されているのではないと考えた．本研究の成果は，岩盤斜面など岩盤災害にも適用できる可能性があるのではないかと考えた．

3. 研究の方法

(1) 電磁波ノイズの観測

AM ラジオの放送波は，音声波形を包絡線とする周波数 500 ~ 1600 kHz の電波であり，受信機では共振回路によって包絡線検波等の復調（AM 復調）を行い，音声波形を再現する．放送波に高周波ノイズが混入しても復調の段階でノイズは減衰するため，図-1に示すように復調した波形と受信した波形の差を取ると，高周波ノイズが比較的明瞭に観察できる．本研究で使用した電磁ノイズ観測装置では，この原理を利用し，850 kHz の AM 波を対象とし，電界強度 52.2 dB μ V/m（低閾値）及び 58.3 dB μ V/m（高閾値）の2つの閾値を設け，この閾値を超える高周波ノイズをイベント数として計数した．アンテナと一体化した電磁ノイズ観測装置は，イベント数をインターフェース経由でパソコンに送信する．そのデータを図-2(a)のように，高閾値のイベント数を赤色で，低閾値のイベント数を緑色でモニターに表示する他，電子メールで逐次データを送信し，東京の集中管理センターで一括管理するシステムとなっている．観測装置全体の概略図を図-2(b)に示す．電磁波ノイズ観測装置は図-3に示すように日本各地 33ヶ所に設置されており，常時，電磁ノイズのイベント数を観測している．本研究では，房総から東北にかけての太平洋岸を震源とする地震を対象とした．この地域を震源とする地震は，プレート型地震が主である．

(2) 植物生体電位の観測

電磁ノイズ以外に関連する事項により，信頼性を高めることを目的として，相模原市に生育している樹木の生体電位を測定することとした．図-4に樹木（キンモクセイ）の生体電位の観測システムを示す．キンモクセイの表皮をはぎ，銀電極を設置した上で表面に防水加工を施し，地面に設置したアース電極との電位差（生体電位）を計測した．樹木とアース電極との間の距離は 1.5 m で，樹木に電極を刺した高さは地面から 1.5 m である．生体電位は A/D 変換器により 20 s 間隔でサ

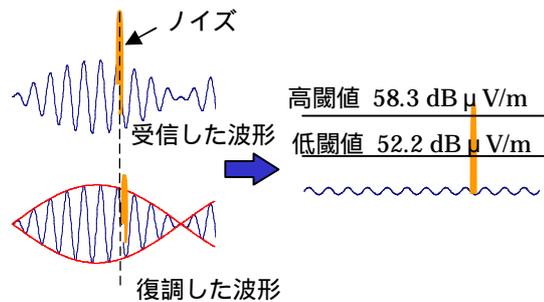
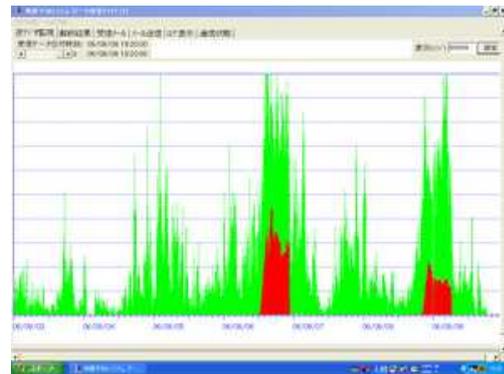
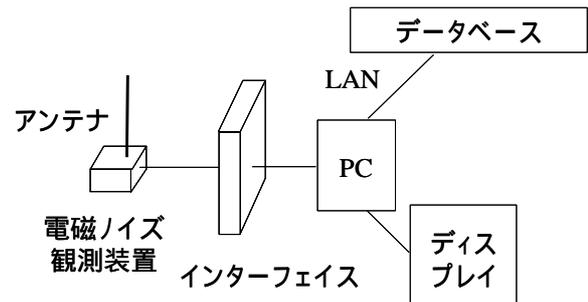


図-1 電磁ノイズの観測方法の概念図



(a) ディスプレイ



(b) 観測装置の概略図

図-2 電磁ノイズ観測装置

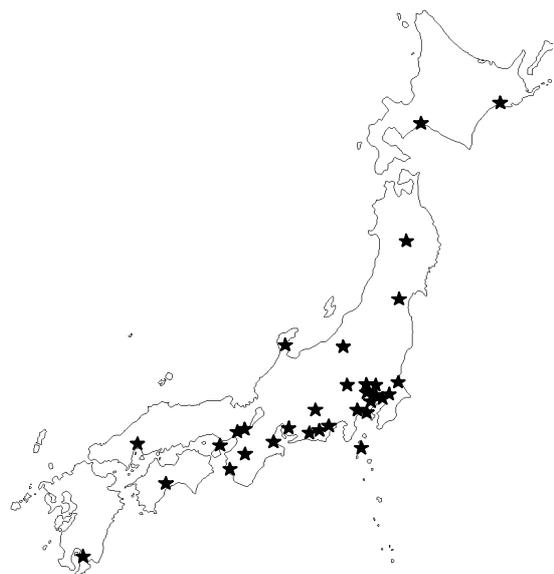


図-3 観測地点の位置

ンプリングし、コンピュータに記憶した。通常、生体電位の日変化は 50 mV 以内で大きな変動はないことを確認した。

(3) 室内岩石試験

地震では地球潮汐による応力変動の影響が考えられる。現実の岩盤や地層はクリープ（応力が一定）に近い状態であるが、地球潮汐の影響で応力に周期的な変動が生じ、地球潮汐が地震のトリガーとして働く可能性がある。このような条件下では、潮汐力が大きくなる時に破壊が進行し、潮汐力が小さくなる時に破壊の進行がいったん停止し、最終的な破壊の直前に空白期間が現れる可能性が考えられる。そこで、わずかに応力が変動させた場合の長期クリープ試験において破壊の進行がどのようになるのかを検討した。

4. 研究成果

(1) 電磁波ノイズの観測結果

2005年8月16日宮城県沖地震（北緯 38.2°、東経 142.3°、マグニチュード 7.2）の際の盛岡観測地点における、1日ごとの総イベント数の経時変化を図-5に示す。低閾値の観測結果では、7/17までイベントはほとんど観測されていなかったが、図-5(a)に示すように、7/18から8/1にかけてイベント数は微小な増減を繰り返しながら徐々に増加し、8/3からイベント数は急激に増大した。8/7に8,000万回/日（観測では1msのデッドタイムを設けているため、原理的な最大値である8,640万回/日に近い状態）の最大値をとった後、8/10までイベント数は減少し、その後、3,000万回/日前後のイベント数を観測しながら、8/16に至って地震が発生した。図-5(b)に示した高閾値の場合でも低閾値に比べ、イベント数は1/50程度であるが、低閾値とほぼ同様の傾向が見られた。すなわち、地震の約1ヶ月前からイベント数の増加がみられ、10日前にピークを迎えてその後収束傾向となった後に地震が発生した。地震が発生した前後の電磁ノイズのイベント数を調べたところ、図以外にも地震の前にイベント数が増加し、ピークをとった後に減少し、やがて地震を迎えるといった傾向（山型）が多く事例でみられた。また、地震の前にイベント数の増加は見られるが、イベント数の経時変化は明確なピークを持たないものもいくつか見られた。仙台および市川の2観測地点から半径200km以内で、マグニチュード5.0以上を対象とし、地震によって電磁ノイズに異常が生じていたかの判定を行った。判定は三段階とし地震に先行して電磁ノイズが反応を示した地震は、わずかに示した地震（に比べ、イベント数の絶対値は小さいが、反応を示したと判読できた場合）は、示さなかった地震は×で示すこととした。図-6に仙台観測地点の観測結果で判定した、×を地震の震

源位置に示す。図では震源までの距離は大きく変わらないが、南東方向の地震に対してとなる傾向が高く、牡鹿半島北側や福島県いわき市の海岸付近の地震では×となっていることがわかる。図-7に震源の深さと地震の大きさの関係に判定結果を入れた。図では、震源が浅いうちはやがみられ、震源が深くなってもマグニチュードが大きければ、となる場合が見られるが、震源が50kmより深い地震ではほとんど×の判定となった。このように震源が深くなると電磁ノイズへの

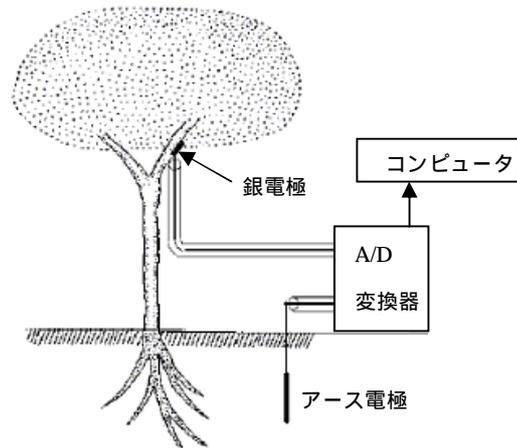
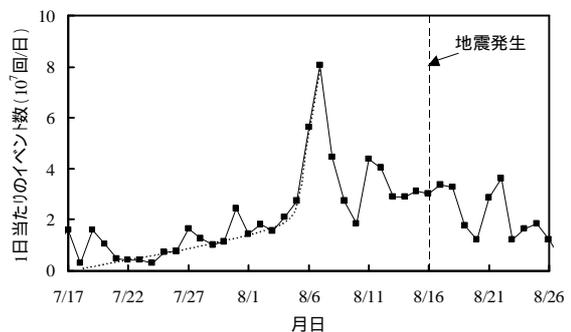
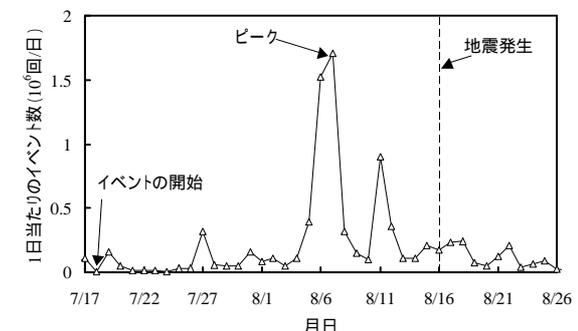


図4 樹木の生体電位観測システムの概略



(a) 低閾値



(b) 高閾値

図5 盛岡観測地点におけるイベント数の日変化（2005年8月16日宮城県沖地震の前後）

反応が小さくなる傾向がみられた。仙台沖では、日本列島を形成している北米プレートに太平洋プレートが潜り込む形となっており、そのプレート境界付近が震源となることが多い。図 6 に示した南東方向の地震は図 7 に示したように、震源が浅い地震となっているために、電磁ノイズが観測されやすかったものと推定される。川崎は国土地理院の GPS 連続観測システム (GEONET) によって得られた東北地方の水平変位速度の地表分布をもとに、弾性論に基づく逆解析を行い、プレート境界面直上(上盤側の下端)の変位速度(バックスリップ)を求め、牡鹿半島沖でバックスリップが大きく、このあたりで北米プレートと太平洋プレートが硬く固着していると述べている。図 6 でとした領域とこれはほぼ一致しており、プレートが硬く固着したところを震源とする地震において、地震に先行して電磁ノイズが多く発生していることがわかる。

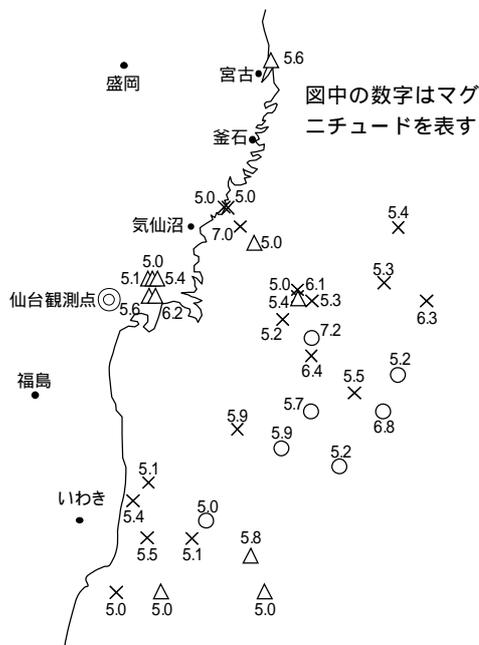


図 6 仙台観測地点での判定結果

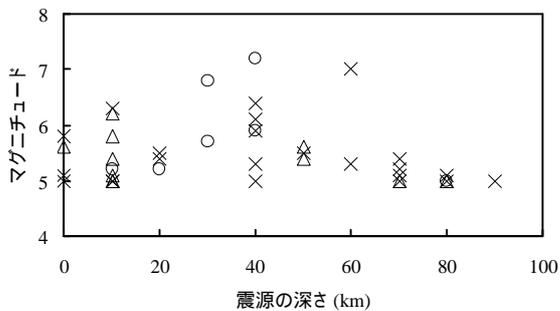


図 7 震源の深さとマグニチュードによる判定結果

(2) 植物生体電位の観測結果

表 1 に太平洋側で千葉から東北地方にかけて発生した M5 以上の地震の諸元を示す。表には電磁ノイズが増加し始めた日時を示したが、すべての地震で発生前に電磁ノイズのイベント数の増加がみられた。植物生体電位が短期的に 50 mV 以上変化した時を異常とみなした場合、観測期間中に生体電位の異常は 8 回観測された。このうち、7 月 11 日の観測結果では別途計測している地電位などで計測上の問題と考えられる異常が認められたので、7 月 11 日のデータは削除することとし、都合 7 回の生体電位の異常が観測された。図 8 に 8 月 3 日における生体電位の経時変化の事例を示すが、15 時付近で 150 mV の正弦波状の電位が 10 分間程度観測された。生体電位に異常がみられた 7 回の日付を表 1 に示したが、7 月 23 日の千葉県北西部地震以外は、ほぼ電磁ノイズが増加し始めた時点付近で、生体電位は異常な変化を示していることがわかる。観測期間中に M5 以上の地震は表 1 の他、新潟中越 (6 月 20 日, M5.0 : 8 月 21 日, M5.0) 八丈島東方沖 (7 月 27 日, M5.5 : 7 月 29 日, M5.2 : 7 月 30 日, M5.4 : 8 月 10 日, M5.0) で起きた。しかしながら、これらの場合には生体電位の異常は観測されなかったことから、相模原観測地点の生体電位は、太平洋側で千葉から東北にかけて起きた M5 以上の地震に反応していることがわかる。

表-1 地震の諸元及び生体電位・電磁ノイズの異常発生日

地震発生	場所	地震の規模 (M)	異常日	
			電磁ノイズ	生体電位
6/20	千葉県北東	5.6	6/14	6/15
7/2	三陸沖	5.5	6/19	6/20
7/6	三陸沖	5.2	6/28	6/28
7/23	千葉県北西	5.7	7/12	×
8/8	茨城県沖	5.5	8/1	7/31
8/16	宮城県沖	7.2	8/4	8/3
8/24	宮城県沖	6.3	8/15	8/17
8/26	福島県沖	5.4	8/20	8/20

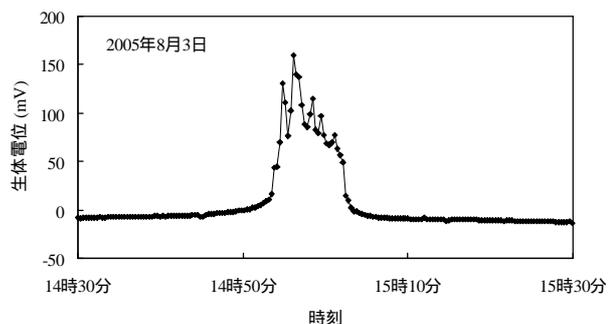


図 8 生体電位の異常(2005 年 8 月 3 日)

(3) 室内岩石試験の結果

わずかに応力を変動させたクリープ試験結果を図9に示す。図ではクリープ応力の変化によりクリープ歪も変動している様子がわかる。横堀の確率過程論に基づく研究結果でも大久保の非線形粘弾性論に基づく研究結果でも、岩石の変形や破壊の進む速度が応力の関数 $g(\sigma)$ に比例するとしている。そこで、本研究でも、ある時点での変形や破壊の進み具合（ある時点までの応力履歴の影響）が次式の (1) によって決まるとして議論を進めることにする。ただし、 σ は強度で正規化した応力（応力レベル）である。

$$\dot{\epsilon} = g(\sigma) dt \quad (1)$$

$g(\sigma)$ の関数形として σ^n を採用し、 σ の変化を計算した結果を図-10 に実線で示した。図-10 では σ は変動しているにもかかわらず、破壊現象自体の変化は見られていないことから、応力のべき指数に比例した変形挙動を示している。また、岩盤が破壊する際には加速的に亀裂の進展がみられることから、電磁ノイズなどの予兆現象が地震のかなり前（1～2週間）にピークを迎えることは解釈が難しいことがわかった。そのため、破壊が亀裂部に集中することによるイベント数の減少あるいはイオンを含んだ間隙水の移動によりそれが打ち消され、電磁現象として観測されにくくなる可能性が大であることが判明した。

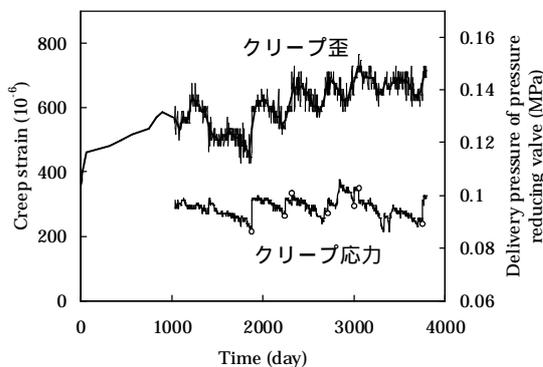


図9 クリープ試験結果

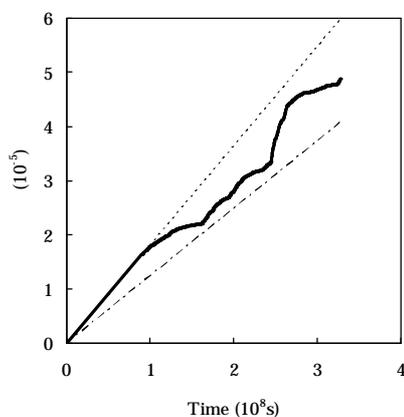


図10 クリープ試験における σ の経時変化

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計2件)

福井勝則，辻本知範，大久保誠介，松永昌太，地震前の AM 波に混在する電磁ノイズに関する検討，土木学会論文集 C, Vol. 65, 19-28, 2009, 査読有

羽柴公博，大久保誠介，福井勝則，田下凝灰岩の10年クリープ試験，Journal of MMIJ, Vol. 124, 741-747, 2008, 査読有

〔学会発表〕(計4件)

羽柴公博，種々の載荷条件下での岩石の時間依存性挙動，平成20年資源・素材学会秋季大会，2008.10.8，仙台国際センター

神崎共哉，辻本知範，松永昌太，福井勝則，大久保誠介，地震に先行する電磁ノイズに関する検討，平成20年資源・素材学会春季大会，2008.3.29，東京大学

福井勝則，斉藤好晴，松永昌太，大久保誠介，地震に先行する植物生体電位と電磁波ノイズとの関連，平成19年資源・素材学会秋季大会，2007.9.26，名古屋大学

福井勝則，大久保誠介，露天掘鉱山における発破時の電磁波観測，平成19年資源・素材学会秋季大会，2007.9.25，名古屋大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福井 勝則 (FUKUI KATSUNORI)
東京大学・大学院工学系研究科・准教授
研究者番号：70251361

(2) 研究分担者

大久保 誠介 (OKUBO SEISUKE)
東京大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号：90092155
羽柴 公博 (HASHIBA KIMIHIRO)
東京大学・大学院工学系研究科・助教
研究者番号：60456142

(3) 連携研究者