

岩石破壊実験 — 地質情報展 2015 ながの —

佐藤隆司¹⁾・高橋美紀²⁾・高橋 誠¹⁾

1. はじめに

私たちは2015年9月11～13日に長野市で開催された「地質情報展 2015 ながの」の体験コーナーのひとつとして、岩石破壊実験を行いました。地質情報展に参加するのは2001年金沢、2008年秋田以来7年ぶり3回目ですが、2011年からは産総研つくばセンターの一般公開に毎年参加してきました。また、2003年国立科学博物館「THE地震展」や2012年つくばエキスポセンター「地震展」などに実験機材の貸出も行いました。2015年8月1～2日には、立山カルデラ砂防博物館で開催された「真夏のサイエンスショー 2015」に参加させていただき、出前実験を行いました。これらの経験をおして我々の実験も少しずつ進化してきました。金沢と秋田の地質情報展についてはそれぞれ佐藤ほか(2002)および佐藤・白井(2009)に報告されているので、ここでは秋田以降の進歩を中心に報告します。

2. 実験の目的と準備

実験装置の全体像を写真1に示します。実験装置は2008年秋田の時とほぼ同じです。写真手前の床に置かれている小型の圧縮試験装置の中央に岩石試料をセットし、上から下がってくる油圧ピストンで圧縮力を加えます。ピストンの駆動にはハンドポンプ(写真には写っていません)を使用します。岩石試料に加える力を少しずつ増やしてゆくと、最終的に試料はばらばらに壊れてしまいますが(最終破壊)、その前から試料内部に小さな亀裂(微小破壊)が多数発生します。微小破壊の発生数は最終破壊が近づくにつれ急激に増加します。微小破壊が発生すると高周波振動が励起され、周囲に伝播します。この高周波振動はアコースティック・エミッション(AE)とよばれています。実験では試料の上下に置かれた円柱形の鉄の固まり(エンドピース)の中に取り付けられた高周波センサでAEを捉え、AEが発生するたびに後ろの機の左側のスクリーンに

AE波形が映し出されます。また、AEが発生するとスピーカーからビーブ音が出るようにしました。真ん中のスクリーンには試料に加えられている圧縮力とAE発生数の時間変化が映しだされます。実験の様子を示す漫画が、ハンドポンプも含めて、第1図左側に描かれています。

地震は地下深部で発生する岩石の破壊現象です。実際、地震発生メカニズムを解明するための室内岩石破壊実験が数多く行われています。上で紹介したAEは、微小破壊が最終破壊の準備過程に関わる現象であることや、自然地震と類似の統計的性質を有することから、地震現象を実験的に調べる上で有力な手段のひとつと考えられています。しかし、実際に岩石の破壊現象を体験する機会はありません。今回の実験の目的のひとつは、自分でハンドポ

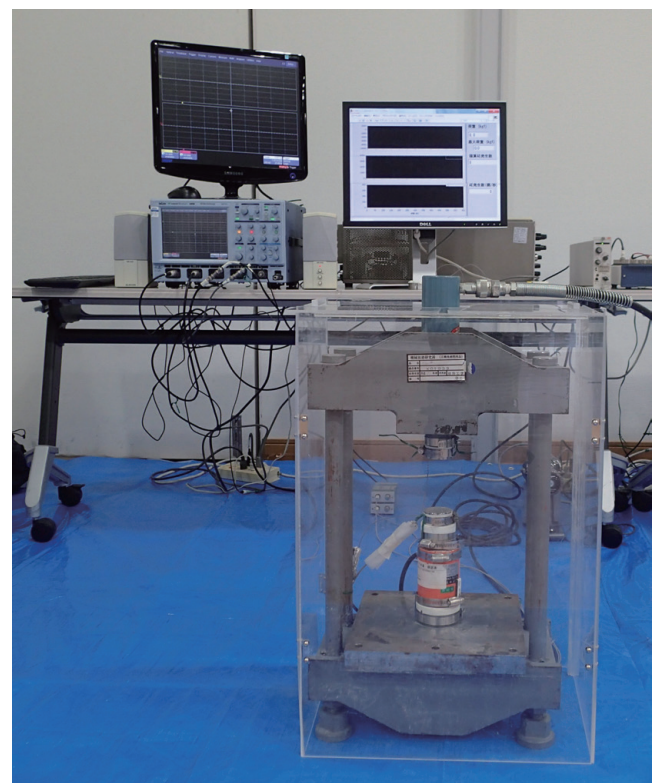


写真1 実験装置の全体像。手前が圧縮試験装置、後ろが計測装置とデータ表示のためのディスプレイ。

1) 産総研 地質調査総合センター地質情報基盤センター

2) 産総研 地質調査総合センター活断層・火山研究部門

キーワード：岩石破壊実験、微小破壊、アコースティック・エミッション(AE)、地震

ンプを操作して岩石試料を壊すことにより、力を加える時のポンプの重さ、壊れる時の音や力が急に抜ける感覚を実感し、また壊れた後の岩石試料を観察することにより、ほとんど見ることもない岩石の破壊現象を体験してもらうことです。また、次々に発生するAEの波形を見ることにより、外見では何の変化もない岩石試料の中で多数の微小破壊が発生し、最終破壊に向けた準備をしていることを実感してもらうことがもうひとつの目的です。

実験でいつも苦労するのが岩石試料の準備です。2008年秋田の頃までは機械で精密に成形した試料を使っていました。また、岩石試料としては比較的軟らかい凝灰岩や砂岩を使っていました。花崗岩などの硬い石を使うと、AEがたくさん発生し、壊れ方も激しくて見ていて面白いのですが、壊れた時の衝撃が大きくて子供には少し危険ではないかとの心配があったためです。機械成形には費用と時間がかかるため、多くの試料を準備することができず、1時間程度の間隔で我々が実験の意義を説明しながらデモ実験を行い、その後で希望者に自分で壊してもらうという方法をとっていました。試料の数に限りがあったので、希望者全員に実験してもらうことができない場合もありました。2011年に一般公開に参加するようになってからは、なるべく多くの人に体験してもらうために、ホームセンターなどで安く購入できる一辺の長さが3～5cm程度のコンクリートブロックを使ってみました。2014年には岩石やコンクリートブロックを岩石切断機で切っただけで、機械成形しない試料を試してみました。その結果、機械成形しなくても十分実験が可能なが分かりました。また、花崗岩などの硬い岩石でも、小指の先ほどの大きさに切断すれば、実験の面白さを損なうことなく、十分安全に破壊できることが確認できました。

今回は、従来から使っていた花崗岩(愛媛県産)、砂岩(和歌山県産、島根県産)、コンクリートブロックに加えて、花崗岩(長野県産)、玄武岩(山梨県産)、はんれい岩(福島県産)、ろう石(産地不明)などいろいろな種類の岩石試料を用意しました。個数は、余裕を持って、全部で約300個準備しました。

3. 地質情報展の会場にて

実験は1日目15回、2日目25回、3日目50回で、3日間で合計90回行いました。はじめは従来どおり1時間に1回デモ実験を行った後で希望者に実験してもらっていましたが、タイミングがあわずに帰ってしまう人もいました。そこで2日目の途中からは、近くを通りかかっ

た人に声をかけて随時実験をしてもらうことにし、実験回数も増えました。岩石試料を多数準備することで、残りを気にせずに、希望者には全員実験してもらうことができました。中には2回実験する人もいました。

花崗岩、玄武岩、はんれい岩などの火成岩試料はどれも、最終破壊の前にAEが多数発生し、2～2.5トン程度の荷重で大きな破壊音とともに激しく壊れ、見ていて面白い実験ができました。砂岩やコンクリートブロック試料は火成岩試料の半分程度の荷重で壊れ、AEの発生数も少なめでした。同じ砂岩でも壊れ方に違いがあり、和歌山産は比較的シャープな破壊面と急激な荷重降下を伴って壊れるのに対し、島根県産は壊れてもなかなか荷重が下がらず、グズグズといった感じの壊れ方でした。ろう石試料は、AEがほとんど発生しないうちに(最大10個くらい)、荷重500kg以下であっけなく壊れました。はじめてろう石試料で実験した時には「これは使えない」と思いました。しかし、いろいろな種類の岩石試料を準備したことで、単独ではあまり面白くない試料も、他の石と比較することにより、石の種類による壊れ方の違いが実感できるのではないかと思ひ直し、もう1回やりたいという人やグループで来られた人達にはろう石を含めたいろいろな石を試してみようことを勧めました。

小学生以下の子供達には、実験を始める前に、第1図のようなちらしを配って、実験の簡単な説明をした後、石がどのように壊れるかを予想してもらい、ちらしに書いてもらいました。この予想ではいつも我々の常識を越えたユニークな壊れ方(水平な割れ目、爆発したように試料全体に縦横無尽に割れ目が走る、等)を考える子供がいて、この公開実験の楽しみのひとつです。実験後には壊れた試料の観察、スケッチをして、実験前の予想との比較をしてもらいました。中学・高校生以上の人には、実験前に、実験装置の説明や第2図のような絵の描かれたパネルを使って微小破壊の発生に関する即席の講義を聴いてもらい、実験の目的を理解してもらうように努めました。希望者には壊れた岩石試料をお土産に持って帰ってもらいました。

はんれい岩試料には2～2.5トン程度で壊れるものと、3.5トンを超えてもなかなか壊れないものがありました。荷重が3.5トンを越えた場合は、壊れた時の衝撃の大きさを考慮して実験を中止したこともありました。何回か実験するうちに、前者の場合は岩石試料に力を加え始めるとすぐにAEが発生し始めるのに対し、後者の場合は力を加えてもしばらくAEがほとんど発生しないという違いがあることが分かりました。前者の場合は岩石試料中にもともと小さな亀裂(既存クラック)があって、力を加えたとすぐ

チャレンジコーナー 地震の起こる様子を目の前で見てみよう！

地震とは

地震とは、大地にかかる力に岩石が耐えられなくなって壊れ、すべったときの衝撃が、波となって伝わる現象です。この実験では、岩石やそれと似た性質を持つコンクリートを、使って、地震がおきるまさにその瞬間を体感しましょう。

ポンプをこぐと、ピストンが動いてブロックを押しつける力がはたらくよ

チャレンジ!

① 予想してみよう
岩石やコンクリートブロックはどんなふうに見えるかな？予想して書いてみよう。自分のブロックに直接書いてもいいね。

② 壊してみよう。観察してみよう。
どんなふうに見えるかな？気がついたことを何でも書いてみよう。

観察のポイント

- ・ポンプをこぐ、力やブザー音はどんなふうに変わった？
- ・ほかの人の実験を見た人は、石とコンクリートの壊れ方の違いを探してみよう！

今日見つけたことをお家の人にお話してみよう。

第1図 小学生以下の子供達に配った説明用のちらし。左側は実験の簡単な説明。右側にどのように壊れるかの予想と実際にどう壊れたかを描いてもらう。

○岩石ってどんな風にこわれるの？

岩石に上から力を加えていくと、

① 岩石が押しつぶされて小さくなります。

② それ以上小さくなるのが大変になって横の方にふくらみはじめます。

小さな割れ目が岩石の中でできていき、つながっていきます。

③ はたらいっている力がささえきれなくなって力が抜けながら一気にこわれます。

増える ← 体積 → 減る

←第2図 最終破壊前に微小破壊が発生し、AEが励起されることを説明するための漫画。①(ネズミが乗ったくらいの)小さな荷重では、石は少し縮むだけ、②荷重が(犬が乗ったくらいに)増えると、石の中で微小破壊が発生しAE(ミニチュア地震)が励起され、石は横方向に少し膨らむ。ただし、ここまでの変化は肉眼では分からない。③さらに荷重が(ゾウが乗ったくらいまで)増えると、岩石は荷重を支えられなくなってばらばらに壊れる。

に既存クラックを種にして微小破壊が発生し、その結果破壊強度が下がったと考えられます。もっとも、このことはずっと実験に立ち会っていなければできない発見で、今回の地質情報展を一番楽しんでいたのはどうやら実験スタッフのようでした。

文 献

佐藤隆司・白井信正 (2009) 地質情報展 2008 あきた 岩石破壊実験—実験室でミニチュア地震を作る—。地質ニュース, no.658, 47-48.

佐藤隆司・雷 興林・川方裕則・長 秋雄 (2002) 岩石破壊実験 —岩石を壊してミニチュア地震をつくる—。地質ニュース, no.570, 12-13.

SATOH Takashi, TAKAHASHI Miki and TAKAHASHI Makoto (2016) Rock fracture experiment -Geoscience Exhibition in Nagano 2015-

(受付:2016年1月14日)