

誘発地震の b 値と応力の関係; 地震発生 of 制御実験 - 南アフリカ金鉱山における - (21)

Relationship between b-value and stress parameter; Semi-controlled experiment in a gold mine in South Africa (21)

西井 聡[1], 小笠原 宏[2], 見野 和夫[3], 南アフリカ金鉱山における半制御地震発生実験国際共同グループ 住友則彦

Satoshi Nishii[1], Hiroshi Ogasawara[2], Kazuo Mino[3], International Research Group for Semi-controlled Earthquake Generation Experiment at South African Gold Mine Sumitomo Norihiko

[1] 立命館大学・理工, [2] 立命大・理工, [3] 立命館大・理工

[1] Fac. Sci. & Engr., Ritsumeikan Univ., [2] Fac.Sci. Engr., Ritsumeikan Univ., [3] Fac. Sci. Engr., Ritsumeikan Univ.

我々は南アフリカ金鉱山深部における誘発地震のデータを用いて b 値と応力の関係を調べた。矩形に掘り残された領域で高応力(10^6 [Pa])、低 b 値($b=0.75$)が、採掘中の領域で低応力(10^4 [Pa])、高 b 値($b=1.42$)が得られた。次に $b=0.75$ の領域で前震と余震を伴い発生した M2.0 前後で、b 値と応力降下量の時間変化を求めた結果、M2.0 以前で高応力降下量(10^6 [Pa])と低 b 値(0.8)が、M2.0 以後で低応力降下量(10^5 [Pa])と高 b 値(1.3)が得られた。二つの結果から b 値と応力の間に負の相関があるという室内実験の結果が鉱山地震スケールにおいても成り立つ事が分かった。

はじめに

ある領域の地震活動の特徴を示す基本的なパラメータとして、グーテンベルグ・リヒター式の b 値がよく知られている。b 値は、地震の発生する領域によって、また、同じ領域でも時期によって変化する。b 値変化に関する室内実験の結果を自然地震の結果に外挿すると、自然地震において b 値を主に決めるのは震源域における不均質性ないし応力であるという事になる。しかし、実際には岩石実験と自然地震ではスケールの違いが大きいので、岩石実験のスケールから自然地震のスケールに至るまで現象に整合性があるかどうかを確かめた上でなければ、岩石実験の結果が自然地震に適用できるとはいえない。南アフリカの金鉱山においては、高感度、広帯域の地震計を用いて、震源域の至近で観測する環境が整っており、自然地震においては観測する事の難しい $-2 < M < 3$ の微小地震を震源域の至近距離で観測できる。我々は、南アフリカ金鉱山で観測した自然地震と実験室の中間スケールの地震について、b 値と応力の関係を調べた。

方法

我々は、1996年2月から、南アフリカ共和国にある Western Deep Levels 鉱山において、採掘に伴う誘発地震の観測を行った。筆者らはコの字型に掘り残された狭い領域 A とアクティブな切り羽付近の領域 B において、b 値と、非弾性歪みによって損なわれるエネルギーがすべて地震波として放出されると仮定して地震エネルギーと断層長さから推定される応力の次元を持つパラメータを求め、両者の比較を行った。

また、前者の領域においては前震、本震(M2.0)、余震系列が観測されている。我々は M2.0 周辺領域における b 値の時間変化を、累積頻度分布と、最小二乗法によってフィッティングした直線について調べた。ある時刻に発生した地震を含んで、それ以前 50 個について累積頻度分布を求め、グーテンベルグ・リヒター式を最小二乗法によってフィッティングして b 値の時間変化を求めた。応力に関しては、領域 A は、人為的な擾乱が少ない地域であるものの、イベント数が少なく、空間分布の項で行った解析と同じ手法で応力の時間変化を求める事は出来ない。そこで、地震波形から直接求まるパラメータである応力降下量が、震源域における応力に比例すると仮定して、b 値を求めるのに用いる 50 個ごとの地震と同じ地震を用いて、応力降下量の中央値の時間変化を求め b 値と比較した。また、得られた b 値がランダムな現象のゆらぎ幅に収まるようなものでないことを確かめるために、累積頻度分布のばらつきの大さを、コンピュータシミュレーションを行い見積もった。

なお、今回の研究で用いた地震パラメータは、ISSI 社の解析ソフト(XMTS Ver.7.2)によって自動決定されたものを用いている。

結果

推定された応力を比較すると、領域 A における鉛直方向の応力(3.29×10^6 [Pa])は、領域 B の鉛直方向の応力(7.78×10^4 [Pa])に比べて一桁大きい。また、かぶりの厚さから推定される、領域の上面にかかる応力(領域の上端の深さに、南アフリカ金鉱山における岩石密度 3500 キログラム毎立方メートルをかけたもの)は 2 つの領域でほぼ等しい(10^7 [Pa]のオーダー)ことから、応力の違いは領域間の採掘状況の違いによるものといえる。

また、アクティブな切り羽の存在する領域Bでb値を計算した値($b=1.42$)は、領域A($b=0.75$)より高く、推定された応力とb値とを比較すると、今回行った解析の範囲では応力とb値の間に負の相関が見られる。この結果は室内実験で知られているb値と応力の関係と調和的である。

次に、領域Aにおいてb値と応力降下量の時間変化の対応を調べた結果を見ると、M2.0を契機に両者ははっきりと変化しており。本震前ではb値が低く($b=0.8$)応力降下量が高く(10^6 [Pa])、本震後ではb値が高く($b=1.3$)応力降下量が低い(10^5 [Pa])という結果が得られた。この結果も、室内実験で知られているb値と応力との関係と調和的である。

これら二つの結果から、実験室よりも大きなスケールでb値と応力に負の相関がある事がわかった。