

Bambanani 鉱山石井式歪計で至近距離観測されたM 2 以下地震前後の歪変化 - 南アフリカ金鉱山における半制御地震発生実験(28)

Strain transients before and after earthquakes smaller than 2 monitored with Ishii's strain meter at distances within 200 m

小笠原 宏[1], 石井 紘[2], 森山 慎也[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

Hiroshi Ogasawara[1], Hiroshi Ishii[2], Shinya Moriyama[3], International Research Group for Semi-controlled Earthquake Generation Experiment at South African Gold Mine Sumitomo Norihiko

[1] 立命大・理工, [2] 東濃地震科学研究所, [3] 立命大・理工・物理

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

地表下 2-3 km において、既存断層付近の薄板状金鉱脈が採掘されると、最大でM 5 級の地震が誘発される。採掘前に各種機器を既存断層周辺に埋設すれば、地震の一生をモニターできる（例えば飯尾 1995 岩波科学）。これまでに、我々は、3 つの鉱山の 3 つのフィールドにおいて、3 成分ボアホール加速度計と石井式多成分ボアホール歪計を埋設し、ISS International 社の Broad-band, Wide dynamic-range データ収録システムによって、地震準備発生過程における岩盤の挙動をモニターし続けて来た（例えば Ogasawara et al. 2001 国際山はねシンポジウム, 2002 Seismogenic Process Monitoring, Balkema）。

3 つ目のフィールド、南アフリカ Welkom 市の Bambanani 鉱山（昨年 11 月以後 Harmony 鉱山）の断層を地下約 2400m で貫通する水平坑道から、断層走向にほぼ平行にボアホールを掘削し、石井式 4 成分歪計を 1999 年 3 月に埋設した（石井・他 2000 秋地震学会）。石井式歪計は、 10^{-4} を超える歪でも振りきれない仕様のもので、断層面に垂直な鉛直断面内の歪 3 成分と断層走向の伸縮がモニターできる。データは、ISS International 社の 25 Hz 24 bit 収録システムによって収録され、地球潮汐も明瞭に記録できる。この試みは 1970 年代に McGarr らの Pioneer 的研究よりも飛躍的に Broad-band, wide dynamic range, 高サンプリング・レートの観測であり、McGarr らが検出できなかった地震に先立つ地震発生準備過程が観測できる可能性がある。また、南アフリカ金鉱山では隣接地点で、明瞭な遅れを伴いながら大きな地震が連発することもしばしばあり、隣接地震の強震動による断層の transient な挙動も観測することが可能である。そして、Remote triggering を考える際の重要なデータを提供できると期待される。また、地球潮汐も明瞭に観測することができるため、歪計の動作チェックのみならず、潮汐応答の時間変化を調べることによって、実効的な弾性領域の形状変化やそれに伴う応力分布変化を間接的に知ることができると期待されている。地震観測は、鉱山の既存観測網（3 成分 Geophone ; 2 kHz サンプリング）に、3 成分加速度計（15kHz）を 5 地点に我々が加設し、平均観測点間隔 500m 前後で歪計の埋設された断層をカバーしている。坑内火災による中断の後、2001 年から地震と歪データの収録が始まり、これまでに 2001 年 1 月 9 日までのデータが約 50 枚の CD-ROM に収録され日本に送られて来ている。これまでに、歪計を中心とした 400m 四方の領域で、M2 級以下の地震 27,000 個が収録されている。

歪計のデータは、2 分毎に地表のワークステーションに転送されるが、発破とその後の時間帯は地震データで転送ケーブルのトラフィックが混雑するため、若干の欠測があるが、2001 年 3 月から 9 月までの 9 割の期間は欠測率 3 % 以下である。2001 年 11 月の鉱山売却前後は、混乱に乗じたケーブル盗難等も重なり、欠測率が増えたが、2001 年 1 月以降回復しつつある。

2001 年 4 月から 12 月までの長期的な歪変化は、大きい成分で、 3×10^{-5} に及び、震源距離 200m 以下のいくつかの地震の際の歪ステップや余効変動などが記録されている。現在までに最も大きな歪ステップが記録されたのは、震源距離 20m で発生した M=0 の地震である。この地震では、 1×10^{-5} のコサイスミックな歪ステップに引き続き、 10^{-5} /month の余効変動が明瞭に観測された。地震前後の 2 分間を見ると、歪ステップに 1 秒弱先だって 10Hz 前後の振動が複数の成分に見られる。また、歪ステップ開始の約 5 秒前から周期が 10 秒程度で振幅が 10^{-8} 以下、しかも全成分でコヒーレントな歪変化が先行しているようにも見える。石井式歪計の周波数特性・指向性や時計の精度のチェック等を現在慎重に行っている。

歪計から距離数十 m 以下の鉱脈の本格的な採掘は、2002 年 1 月から 2002 年 3 月までという予定であり、歪計から至近距離における激しい誘発地震活動は、これから収録される予定である。

この計画の地震モニタリングシステムは科研費（代表：安藤雅孝）による。歪モニタリングシステムは石井と立命館大学による。いずれのドリリング・ケーブリングコストは Bambanani 鉱山による。この計画では、南ア側の研究メンバーとして、ISS International 社の Gerrie van Aswegen, Peter Mountfort, Paul Hewlett, Alexander Mendecki, Artur Cichowicz, Marie Gerenger, Patrick Lenegan の貢献が大きい。