

## 48kHzサンプリング距離200m以内で観測された $-3 < M < 0$ の地震の応力降下量

### The measurement of stress drops for $-3 < M < 0$ earthquakes recorded within 200 meters from the sources with 48 kHz sampling

和田 直也<sup>1\*</sup>, 小笠原 宏<sup>1</sup>, 川方 裕則<sup>1</sup>, 中谷 正生<sup>2</sup>, 矢部 康男<sup>3</sup>, 直井 誠<sup>2</sup>, 宮川 幸治<sup>2</sup>, 安武 剛太<sup>1</sup>, 吉光 奈奈<sup>1</sup>, 三宅 弘恵<sup>2</sup>, 井出 哲<sup>2</sup>, 五十嵐 俊博<sup>2</sup>, Gilbert Morema<sup>4</sup>, Eugene Pinder<sup>5</sup>

Naoya Wada<sup>1\*</sup>, Hiroshi Ogasawara<sup>1</sup>, Hironori Kawakata<sup>1</sup>, Masao Nakatani<sup>2</sup>, Yasuo Yabe<sup>3</sup>, Makoto Naoi<sup>2</sup>, Kouji Miyakawa<sup>2</sup>, Gouta Yasutake<sup>1</sup>, Nana Yoshimitsu<sup>1</sup>, Hiroe Miyake<sup>2</sup>, Satoshi Ide<sup>2</sup>, Toshihiro Igarashi<sup>2</sup>, Gilbert Morema<sup>4</sup>, Eugene Pinder<sup>5</sup>

<sup>1</sup>立命館大学, <sup>2</sup>東京大学, <sup>3</sup>東北大学, <sup>4</sup>Seismogen CC., <sup>5</sup>ISSI

<sup>1</sup>Ritsumeikan U., <sup>2</sup>U.Tokyo, <sup>3</sup>Tohoku U., <sup>4</sup>Seismogen CC., <sup>5</sup>ISSI

応力降下量は $M=0\sim7$ の範囲では地震の規模によらず0.1MPaから数十MPaの範囲に分布していることが知られている。Stork and Ito (2004)は広帯域で収録された800mボアホールのデータを解析し、 $0.6 < M < 3.0$ の微小地震の応力降下量が上記と矛盾しないことを示した。Yamada et al. (2007)では南アフリカの金鉱山(地下約2650m)で発生した $0.0 < M < 1.3$ の地震についての応力降下量が推定され、 $3.2\sim 88$  MPaとやや高めの値が求められている。しかしそれよりも小さな鉱山地震( $-3.6 < M < -1.9$ )に対してはGibowicz et al. (1991)は応力降下量がやや小さくなると報告しているが、5kHzまでしか計器の応答がフラットではなく、必ずしもコーナー周波数を適切に読み取られていなかった可能性がある。そこで本研究では、25kHzまで応答がフラットな加速度計で得られた48kHzサンプリングの地震波形のうち、震源距離200m以内で起きた $-3 < M < 0$ の地震の波形を解析し、応力降下量を推定した。過去の同じ鉱山における地震の解析として、例えば、Richardson and Jordan(2002)があるが、それは、数百Hzまでしか応答しないGeophoneの2kHzサンプリングのデータの解析が主であった。2~3 kHzまで応答する加速度計の15kHzサンプリング記録を解析した例(Ogasawara et al. 2002, Yamada et al. 2007)もあるが、今回我々が解析したものは、センサーの応答周波数も収録サンプリング周波数もこれよりも十分に高く、 $M0$ 以下の地震の応力降下量推定に適したものである。

採掘によって誘発地震が多発する南アフリカ金鉱山では、地震活動が活発になる時期と場所が採掘計画から予測できるため、地震発生前に計器を震源域付近に埋設することにより、地表の観測からは実現不可能な、震源ごく近傍での観測波形を得ることができる。南アフリカMponeng金鉱山の地下約3300m(109L)では、厚さ約20mのダイクが南東に $20\sim 25^\circ$ で傾斜する薄板状の鉱脈に対して垂直に入っている。そこでダイクが掘り残されるとダイクに応力が集中して地震が発生すると思われる。そこで、従来の鉱山の地震観測よりもさらに予想震源に近づけるために、坑道からの深さ20~90m、ダイクと母岩の境界(東西の境界)に沿って、堅固な岩盤内に10m~30mの間隔で計器を7台設置しダイクを3次元的に囲むようにした。加速度計は25kHzまでの応答がフラットなものとし、48kHzサンプリングで収録されている。加速度計は4台が3成分加速度計で3台が1成分加速度計である。

データ収録期間は2008/10/14~2008/10/30の17日間で、その期間に20957個の地震が観測されていた。今回は予備解析として48kHzサンプリングで収録された地震波形から震源距離が200m以内の地震を中心に40個の地震を選び、震源に近接する観測点で得られたデータを用いて応力降下量を推定した。応力降下量はS波実体波変位スペクトルにBoatwrightモデル(Boatwright et al. 1

978) を用いてフラットレベル、コーナー周波数を推定し算出した。  
コーナー周波数は0.5kHz~8kHzであり、その結果M-3~0の地震の応力降下量はおよそ1MPaから数十MPaであった。これは $0 < M < 7$ の自然地震で得られている値と矛盾しないものであった。

キーワード: 応力降下量, 高周波サンプリング, 規模依存性, 南アフリカ, 微小地震, 至近距離観測

Keywords: Stress drop, High frequency sampling, Size dependency, South Africa, Micro earthquake, Near field observation