

## 南アフリカ金鉱山の断層近傍における 雑微動記録から求めた相互相関関数と透過弾性波記録の比較

#吉光奈奈<sup>1</sup>, 川方裕則<sup>1</sup>, 中谷正生<sup>2</sup>, J. Philipp<sup>3</sup>, 直井誠<sup>2</sup>, 土井一生<sup>1</sup>, A. K. Ward<sup>4</sup>, V. Visser<sup>5</sup>, G. Morema<sup>4</sup>, S. Khambule<sup>5</sup>, T. Masakale<sup>5</sup>, A. Milev<sup>6</sup>, R.J. Durrheim<sup>6</sup>, L. Ribeiro<sup>7</sup>, M. Ward<sup>4</sup>, 小笠原宏<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>立命館大学, <sup>2</sup>東京大学, <sup>3</sup>GMuG, Germany. <sup>4</sup>Seismogen CC., South Africa. <sup>5</sup>OHMS, South Africa. <sup>6</sup>the CSIR, South Africa. <sup>7</sup>First Uranium, South Africa.

### 〇はじめに

近年、雑微動の連続記録の相互・自己相関関数から観測点間のグリーン関数を抽出するという地震波干渉法が提唱され、地震が発生しなくてもグリーン関数を取り出すことができる簡便さから、さかんに解析が試みられている。この手法の有効性は理論研究によって示されているが、制御された震源を用いた能動観測による透過弾性波の観測記録と、雑微動記録から求めたグリーン関数とを直接比較した事例は数少ない。

また、干渉解析で用いられる波形記録は、地表もしくは地下浅部に設置された地震計によって集録されることが多い。そのため、得られたグリーン関数に見られる特徴的なフェーズは、表面波に相当するものとして、既存の速度構造との比較や速度の時間変化の推定が行われてきた。地震に伴う破碎や断層近傍の構造変化を反映した反射や散乱の様子をモニターするには、実体波成分に着目することが必要である。

南アフリカ金鉱山では、これまでに地下数 km の観測サイトに地震計を埋設し、採掘によって発生する地震の観測が行われてきた。川方・他(2011, 本研究集会)は、南アフリカの Ezulwini 金鉱山において、地震の発生が危惧される断層をはさんで制御震源と加速度計を埋設し、透過弾性波のモニタリングを始めた。このような硬い母岩を通ってきた kHz オーダーの高周波には表面波が卓越しにくく、実体波の解析が行いやすい。本研究では、透過波記録と雑微動の相互相関から得られるグリーン関数の比較を目的として、本サイトで記録された雑微動の干渉解析を実施する。

### 〇観測

南アフリカ Ezulwini 金鉱山の地下 1 km に、採掘の進行に伴い Mw ~2 程度の地震を起こすと予想されている断層があり、この断層をターゲットとして観測網が展開された。透過弾性波観測の概要は、川方・他(2011, 本研究集会)に示されている。透過弾性波の集録にも用いられている 3 成分加速度計(感度 1 Hz - 10 kHz)は、断層の上盤側に断層から 7 m(TR0209)、下盤側に断層から 7 m(TRxc01)と 13 m(TRxc02)の 3 点で、ボアホール内にインストールされており、全て同じ PC によって集録が行われている。透過波記録から得られた、断層をはさまない母岩での P 波速度はおよそ 5850 m/s、S 波速度はおよそ 3550 m/s(川方・他, 本研究集会)であった。雑微動の連続集録は、サンプリング 200 kHz で、発破の影響のない時間帯に毎日 50 分間行った。集録は、欠測をはさみながらも 2011 年 4 月 19 日より現在まで継続して行われている。

### 〇解析と結果

解析に先立ち、Radial, Transverse, 準 Vertical (Radial, Transverse 両方向に対して直角となる方

向)に波形を回転させた。

得られた雑微動波形には、0.01 秒間隔で各チャンネルに共通する電気ノイズと思われる高周波ノイズが見られたため、まずその除去を試みた。波形解析において、信号の主成分を取り出す手法として、特異値分解が用いられることがある。我々は電気ノイズが各成分に共通して記録されていることに注目し、この手法を信号抽出ではなく電気ノイズの抽出・除去のために利用した。その結果、最大特異値成分に電気ノイズと思われる信号が抽出された。そこで、生の集録波形から最大特異値成分を減じたものを、解析に用いる雑微動波形データとして扱うことにする。但し、最大特異値成分には、特異値分解時に用いた全チャンネルの信号が少しづつ混入する恐れがある。これを減算に用いるため、処理後の雑微動波形データには各チャンネルの信号成分が(わずかずつではあるが)含まれている可能性に留意する必要がある。

上述の方法によって電気ノイズを除去した雑微動波形データを 1bit 化し、波形の 0.005 秒分ずつを切り出した。断層からもっとも離れた加速度計(TRxc02)の Radial 成分について雑微動波形の自己相関を計算し、得られた値をスタックすることでグリーン関数を得た。TRxc01 の 3 成分と、TRxc02 の 3 成分、計 6 成分を用いて得た最大特異値成分を減じた雑微動波形から計算したグリーン関数には、0.0023 秒付近に特徴的なフェーズが見られた(図 1)。しかしながら、遠い距離にある(> ~ 32m)加速度計のデータを用いて得た最大特異値成分を減じた雑微動波形から計算したグリーン関数には、同様のフェーズは確認できなかった。つまり、前述の断層を挟まない下盤側にある 2 点の加速度計(TRxc01, TRxc02)を使って得られたフェーズは、この 2 点の相互相関を取ったようなものを見ている可能性がある。特徴的なフェーズは、2 点間を伝播した S 波を反映したものと考えて矛盾がない位置であった。ただし、この 2 点の雑微動波形データを用いて相互相関を計算した際には、3 成分全てについて、特徴的なフェーズは見られなかった。また、TRxc02 の Radial 成分以外には、自己相関波形に特徴的なフェーズは見られなかった。電気ノイズ等の微動以外のノイズを含む波形を使用する場合の処理方法について、今後さらに検討を進める必要がある。

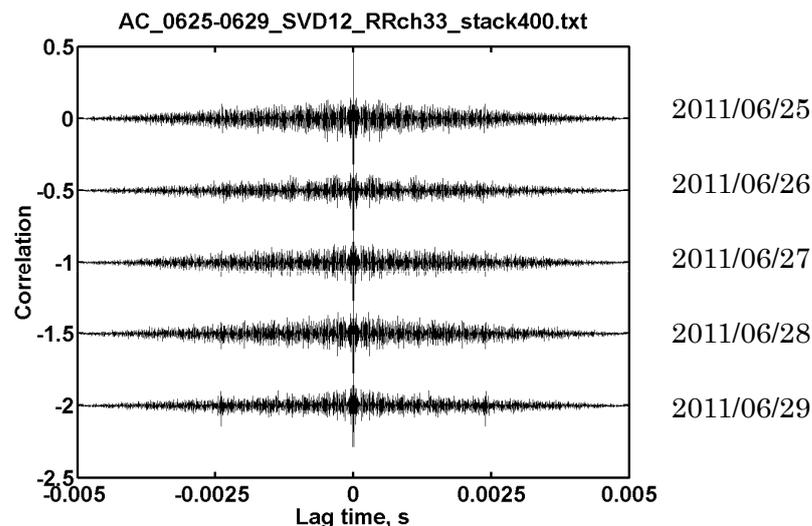


図 1. TRxc01 と TRxc02 の 5 日分の自己相関波形 (400 回スタック)。

謝辞:本研究は科研費基盤研究 S(21224012), JST-JICA による地球規模課題対応国際科学技術協力事業 (SATREPS), 文部科学省による「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」の助成により行われた。