

地震発生制御実験 - 南アフリカ金鉱山における - (20) S波スプリッティングの観察による切り羽周辺のクラック構造の推定

Semi-controlled experiment in a gold mine in South Africa (20) Estimation of the orientations of cracks by shear wave splitting

永井 直子 [1], 西井 聡 [2], 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
Naoko Nagai [1], Satoshi Nishii [2], Sumitomo Norihiko International Research Group for Semi-controlled Earthquake Generation Experiment at South African Gold Mine

[1] 京大防災研, [2] 立命館大学・理工

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

南アフリカのヨハネスブルグ郊外の金鉱山では、地下約3 kmの深い場所で金鉱石の採掘が行なわれている。鉱山の地下深い場所での採掘は急激な応力場の変化を伴う。そのため切り羽周辺では微小地震が誘発され、無数のクラックが生じている。それらのクラックの向きは応力場に支配されて同じ方向を向く。そのような領域をS波が通過するとスプリッティングをおこす。今回は、応力場を知る手がかりとするためにクラックの向きをS波スプリッティングを利用して推測しようと考えた。空間的、時間的な変化を追い、鉱物の選択配向や観測点近傍の破砕帯によるスプリッティングの可能性を取り除き、切り羽周辺の影響が見えるかどうかを検討する。

南アフリカのヨハネスブルグ郊外の金鉱山では、地下約3 kmの深い場所で金鉱石の採掘が行なわれている。地下3 kmにおける垂直圧縮力は、80MPaにもなる。そのような大きい圧力場で採掘によって地中に空洞を空けると、採掘坑の回りに応力集中が起こり、周辺の岩盤の応力場は急激に変化し、不安定な状態になる。そして再び安定した応力場を獲得するため、無数の微小地震が発生する。また、採掘作業をする際に発破が行なわれるが、微小地震は発破に誘発されても発生している。

本研究では、鉱山の微小地震におけるS波スプリッティングの観察から、岩盤中にクラックがどのように入っているのかを探ろうと試みた。鉱山の地下深い場所での採掘は急激な応力場の変化を伴う。そのため切り羽周辺では微小地震が誘発され、無数のクラックが生じている。それらのクラックの向きは応力場に支配されているので、クラックの向きを知ることが出来れば、その場所での応力場を推測することができる。今回は、クラックの向きをS波スプリッティングを利用して推測しようと考えた。簡単には、クラックに平行な方向に振動するS波は速く伝わり、クラックに直交する方向に振動するS波の速度は遅くなる。よって、S波がクラックによってスプリッティングをおこしているとき、S波の振動方向がわかればS波が通過した領域に存在するクラックの向きを推測することが出来る。

金鉱山での地震観測は深さ約2650mの観測坑で行なわれている。この観測坑の上方約50mのところには金鉱石の鉱脈があり、採掘作業が行なわれている。設置されているのは9個の3成分加速度計で、約15kHzという高速サンプリングで波形を記録している。今回使用するデータは1996年2月から10月までに記録されたものである。この観測期間は観測坑の真上約50mの場所で採掘作業が行なわれ、切り羽が進行していた時期を含む。そのためこの採掘作業に伴って採掘場所周辺で多数発生した微小地震の記録が得られている。それらのイベントのうち、震源決定精度が比較的良好と考えられるものの中からP波のパルスが単純な形を持つものを選び出して解析に用いた。解析するデータは、観測期間中センサーが正常に動いていたかつノイズレベルの低い4観測点を選び、そこで記録された波形を用いた。

S波形の解析を行ない、速く伝わるS波と遅いS波との間の到着時間差と、先行するS波の振動方向、という2つをパラメータとして調査を行なった。スプリッ

ディングの強さは到着時間差を走時で割って正規化した値で表した。
鉾山誘発地震には明らかにS波スプリッティングをおこしているものが多い。
スプリッティングの原因として考えられることとしては主に、岩石を構成する
鉱物の結晶の選択配向、応力場に応じて発生するクラック、観測機器を設置し
たトンネルやボアホールの近傍のクラックや破砕帯、の3つが挙げられる。観
測機器の近傍の破砕帯によるスプリッティングであるかどうかは、速く伝わる
S波と遅いS波との間の到着時間差に注目することでわかる。観測点近傍の破砕
帯の影響が強い場合は震源距離の大小に関わらず一定の時間差で2つのS波が到
着するものと考えられる。震源距離に伴って到着時間差の変化が見られれば、
S波スプリッティングの原因を鉱物の選択配向か応力場び応じて生じたクラッ
クのどちらかと考えることが出来る。しかし、この2つのうちのどちらが原因
かを識別するにはさらに慎重な解析が必要である。記録されているデータの大部分が採掘作業に伴って発生する微小地震であり、震源分布が作業の行なわれている切り羽の周辺に偏っているために、様々な方向からのパスを検討することが出来ないのである。2つのS波の時間差やスプリッティングの強さの時間分布、空間分布をより慎重に調査、検討する必要がある。値のばらつき方や空間変化、時間変化などに注目して解析を行ない、観測期間中、一定の値をとるようなら鉱物の選択配向が、ある一定の傾向をもって変化するようだったらその変化の仕方次第では鉱物の選択配向の可能性を消去して応力場によるクラックが、S波スプリッティングの原因だと判断することが出来る。