

Ⅲ - A307

高分解能弾性波速度測定結果を用いた岩盤状態評価

山口大学大学院	学生会員	村上忠輔
西松建設(株)技術研究所	正会員	田中義晴
西松建設(株)技術研究所	正会員	稲葉 力
山口大学工学部	正会員	佐野 修

1.はじめに

地下空間周辺の岩盤の安定性や遮蔽性は、空洞周辺の岩盤の性質の変化、特に亀裂系の変化に大きく支配される。したがって亀裂系の影響を強く受ける弾性波伝播現象の測定は有効な岩盤のモニタリングの手法の一つと考えられる。長期間の岩盤のモニタリングを行うためには、岩盤の微小な変動をとらえることが求められるため、高分解能の測定を行う必要がある。本研究では、10～100mの規模の岩盤を対象とした、高精度の弾性波速度の測定システムを開発し、釜石鉱山の花崗閃緑岩岩盤をテストサイトとして連続測定を行ってきた。測定された弾性波の初動の立ち上がりの部分は30ppm程度のばらつきが、ピーク位置で数ppm程度のばらつきがある。本報告では、とらえられた弾性波速度の比較的長期間の変動の定量的評価を試みる。

2. 測定方法および結果

岩手県釜石鉱山の550mレベル坑口より約2km入ったところに実験サイトを設け、現在まで約2年半連続計測を行っている。測定を行っている場所は被り約430mで岩盤は花崗閃緑岩である。発振子を1ヶ所、受信子を2ヶ所に設置した。測定距離は15.6mおよび16.0mである。

図2および図3は1995年および1996年の2月から5月までに得られた弾性波到達時間と初動振幅の変化である。この2つの結果を比較すると、変動幅に違いはあるが同時期に同じような変化が起きている。すなわち3月末まで速度が増加した後、反転し4月から5月にかけて速度が低下した後、再び増加した。実験サイトでは弾性波速度のほかに周辺環境をチェックするため、坑内温度、湿度、気圧そして岩盤温度を測定している。温度測定の結果から、実験サイトの温度変化は $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 程度であることがわかっているため、測定系の変動は非常に小さく押さえられていると考えられる。したがって弾性波速度の測定で得られる変化は岩盤の挙動を捉えていると考えてよい。

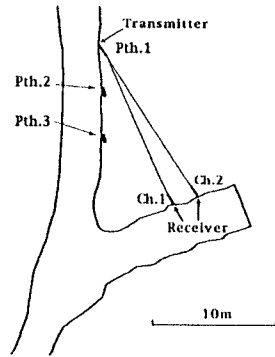


図1 坑道図

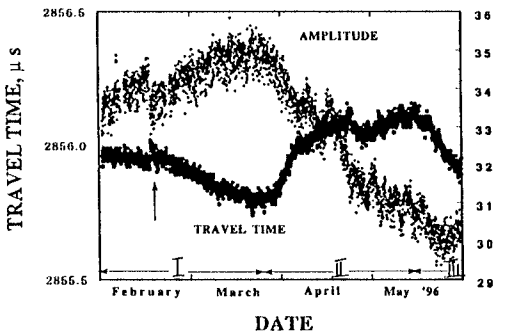


図2 1995年における弾性波到達時間と振幅の変化

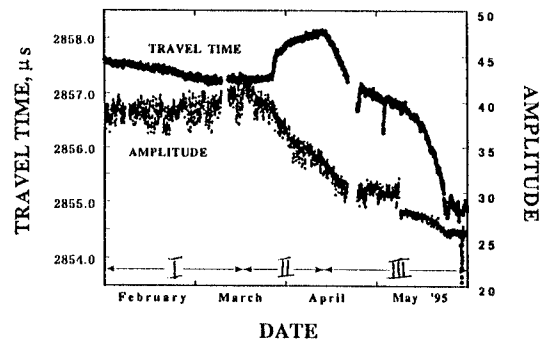


図3 1996年における弾性波到達時間と振幅の変化

キーワード 高分解能 弾性波速度 岩盤モニタリング

連絡先 山口県宇部市常盤台 2557 山口大学工学部 Tel(0836)35-9447 Fax(0836)35-9429

3. 考察

速度および振幅変化の観点から、図2および図3に示すように、3つの領域に分類することができる。すなわち(I)は速度が速くなり、振幅が大きくなる領域、(II)は速度が遅くなり、振幅が小さくなる領域、(III)は、速度が速くなり、振幅が小さくなる領域である。

圧縮応力が増加すると、岩盤内のきれつが閉じるため弾性率が増加し、速度は速くなる。同時にQ値が増加するため振幅は大きくなる。圧縮応力の低下は逆の結果をもたらす。したがって(I)の領域は圧縮応力の増加によってきれつが閉じ、(II)の領域では圧縮応力の減少によりきれつが開いたと考えると定性的に説明することができる。

ここで弾性波速度の変化から応力変化を求めるためには現場の岩盤の応力状態と岩盤の縦波速度の応力依存性を知る必要がある。そこでまず室内実験により得られた大島花崗岩の静水圧試験の結果を用いて現場の被り圧近傍の花崗岩岩盤の slowness の圧力依存性を推定した。次に境界要素法を用いて、上下に被り圧が作用し水平方向が無制限で拘束された条件で空洞周辺の応力分布を求めた。次に20分割した弾性波伝播経路の応力状態を求め、その結果を用いて slowness を求め、さらに距離を乗じた結果を積算した。次に slowness を圧力で微分した結果について同様な計算を行った。以上に述べた結果を用いて求めた弾性波到達時間の感度は被り圧の変動に対して、おおよそ30ns/kPaであった。

4月上旬の速度低下は1995年では最初の4日間、1996では8日間が顕著であった。そこでその間の速度変化に対応する応力変化を推定すると、それぞれ25kPaおよび5kPa程度であった。この値は水量に換算するとそれぞれ2.5mおよび0.5mとなる。この値は冬期間の地表の氷結による被り圧の増加と3月末の雪解けというシナリオを裏付けると思われる。しかし実際には弾性波速度の変化は伝播経路に垂直なきれつの影響を強く受けるので、slowness の計算に用いる応力値に伝播経路に平行な直応力成分を用いる必要があるとも考えられる。その場合には鉛直方向の応力変化は、それぞれ120kPaおよび25kPa必要となるので、なんらかの感度増幅システムを考える必要がでてくる。

(III)の領域については応力の変化では解釈することができない。そこで図5、図6に示す、Westerly 花崗岩の室内実験から得た速度(bar velocity)とQ値の変化を用いて検討した。岩盤の含水比を0.6から1まで変化させ、速度増加をもたらした含水比変化を推定し、その結果を用いてQ値の変化を求めて振幅変化を計算した。その結果、含水比がほぼ0.97から0.974に変化すれば1995年の振幅低下を説明することができることがわかった。また1996年では、含水比が0.97から0.9707に変化したものと推定できる。したがって測定を行っている岩盤は、かなり飽和状態に近い含水状態であると考えられる。

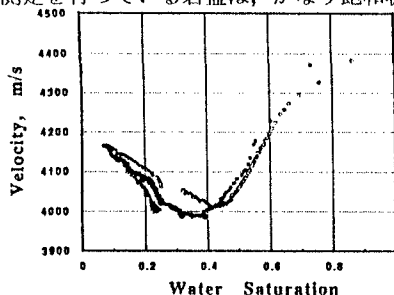


図4 Westerly 花崗岩の Bar Velocity と含水比の関係

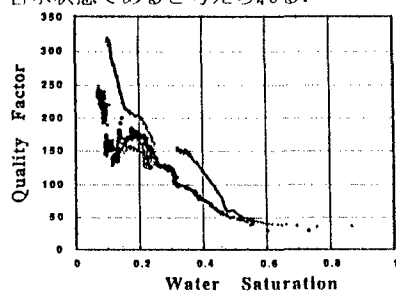


図5 Westerly 花崗岩の Q 値と含水比の関係

4. まとめ

1996年の領域(II)での変動は雪解けにより地表から流出した水が50cm程度あれば説明できる。1995年の変動は流出水換算で2.5mもあり、直接説明するには大き過ぎるように思われる。したがってなんらかの感度増幅システムがない限り雪解けによる地表からの水の流下のみにより説明するのは困難である。実際には応力変化に伴う亀裂の開閉による見かけの含水比の変化が同時に関与している可能性もある。(III)の領域は含水比の変動で十分説明可能な量である。