

III-A 395

地下430mの岩盤内の弾性波速度変化と降雨量の相関に関する考察

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

地下空間周辺の長期間にわたる安定性や遮蔽性のモニタリングの一手段として弾性波伝播現象の測定が考えられる。室内や岩盤の通常の測定で得られる速度の精度は高々1%であるが、極めて長い期間の安定性や遮蔽性の予測に用いるにはさらに高い分解能が必要であろう。筆者等はこのような観点から10~100mの距離を対象とした岩盤の弾性波速度の高精度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。モニタリングで期待される最も重要な情報はき裂の消長であるが、弾性波速度はき裂内の水の増減によっても大きな影響を受ける。測定結果は同時に電源電圧変動や温度変化に伴うクロックの変動の影響も受ける。したがって弾性波速度モニタリング結果の解釈にあたり、速度変化をもたらす要因に関する的確な情報が必要である。本報告ではパルス透過法により観測された弾性波伝播時間と地表部の降雨量との相関解析を行うことにより、430m地下の岩盤の弾性波伝播現象に降水量がおよぼす影響を検討する。

2. 弾性波速度測定結果

測定システムの基本は既報¹⁾に示すとおりである。手法はパルス透過法で、波形記録はトランジェントレコーダ(TER)を用いた。1時間毎に記録された加速度波形から速度波形を求め、初動の立ち上がり部の変極点近傍を3次曲線で近似し最大勾配を求め、その勾配を傾きとした直線と基線の交点を求め、トリガ時からの時間を計算することにより弾性波伝播時間を算出した。'94年11月から'95年5月の間の伝播時間の経時変化を図1に示す。伝播時間から測定岩盤の弾性波速度を求めるとほぼ5.1km/sである。図中、数週間程度の長期間で500ppm程度の変化が認められる。また三陸はるか沖地震に伴う速度変化²⁾や、遠野で発生したM5.0の地震と関連した20ppmの速度ジャンプとその後のゆっくりとした回復現象も捉えられている。

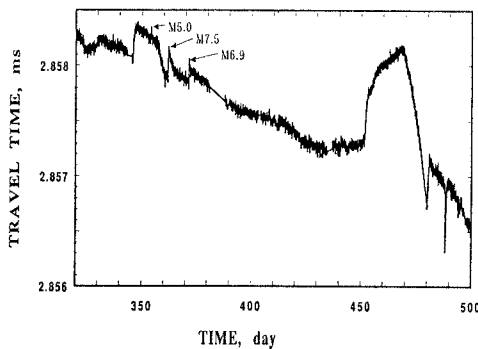


図1. 弾性波到達時間の経時変化。横軸の原点は'94年1月1日0時である。M5, M7.5およびM6.9はそれぞれ、遠野地震、三陸はるか沖地震およびその最大余震に伴う速度変化を示す。

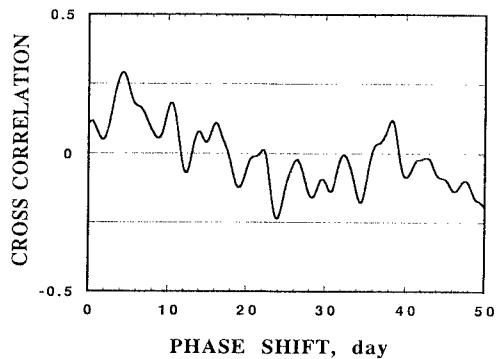


図2. 冬季に観測された弾性波伝播時間と日本気象協会のアメダス記録による釜石測候所の気温の相互相関係数。位相遅れは気温変化後の速度変化を意味する。

3. 測定結果におよぼす擾乱

伝播時間の分解能はTERのA/Dコンバータのタイミング(50ns)で決定され、精度はクロックの精度およびトリガタイミングにより決まる。TERのクロックの精度および安定性の保証値はそれぞれ200ppmおよび10ppm/°Cである。32.768kHz±5ppm, 0.035ppm/°Cのクロックを同時に記録する方法、および20MHz±0.8ppm, 0.01ppm/°Cの外周クロックを用いることにより検定した結果、TERのクロックの精度は保証値よりほぼ一桁高いことが分かった。また同時に計測された実験サイトの気温の変動は0.1°C程度と極めて小さいので、温度変化による擾乱はほとんどない。ただし停電復帰後、計測システム全体の安定に数時間要する。一方、トリガタイミングは

TERのトリガに用いた発振器からのTTLレベルの発振信号と、実際にPZT発振子に負荷されるパルスの間のずれ、およびトリガ信号とTERのクロックのタイミングずれである。前者は実際に高電圧パルスが発振されるさいに波形記録に重畳されるノイズ、および高電圧の1/1000出力を記録することにより検定し、補正した。補正値は通常10ppm以下である。後者は4000～5000回のスタッキング処理の際に平均化されたと考えられる。

4. 相関解析方法とその結果

弾性波伝播時間の一時間毎の経時変化と日本気象協会のアメダス記録にもとづく降雨量および気温変化の相互相関解析を行った。速度測定岩盤の地表部は1300mの山上であるのに対し、アメダス記録は約20km離れた釜石市の測候所の記録である。430m地下まで降雨等の影響が伝達される過程で発生すると予想される遅延量が変動すると考えられるので、移動平均処理により±1日より短周期の変動をカットするフィルタ処理を行った。また降雨量および気温は、解析範囲の平均値からのずれを求め、弾性波伝播時間については、その時間に関する差分を求め解析に用いた。冬季（'94年11月～'95年3月）に得られた結果をもとに気温との相互相関係数を求めた結果を図2に示す。図中、2日と24日に相対的に大きな正および負の相関が認められる。また図3および図4に冬季および夏季（'95年5月～10月）に得られた弾性波伝播時間と降雨量の相互相関係数を示す。冬季には降雨量と伝播時間の間に顕著な関係が認められないが、夏季には24日に相対的に大きな負の相関が認められる。

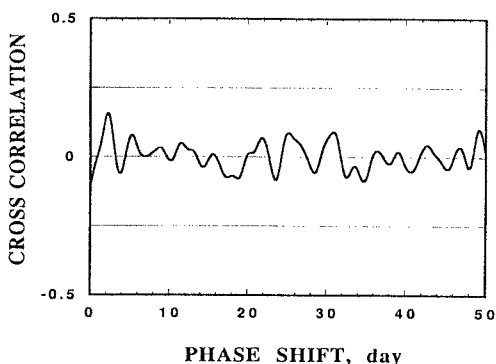


図3. 冬季に観測された弾性波伝播時間と日本気象協会のアメダス記録による釜石測候所の降雨量の相互相関係数。ほとんど顕著な相関が認められない。

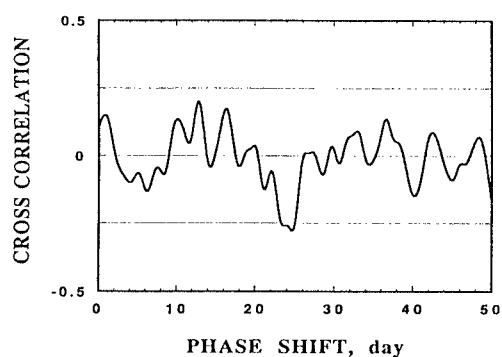


図4. 夏季に観測された弾性波伝播時間とアメダス記録による釜石測候所の降雨量の相互相関係数。24日の相対的に大きな負の相関は降雨後24日に速度が増加する傾向を意味する。

5. 考察および結論

岩盤の含水比の増減は弾性率の増減と密度の増減を同時にもたすので、弾性波速度は岩盤内の空間形状の影響を受ける。花崗岩岩盤のようにきれつ系が発達している岩盤に特定した場合でも、含水状態によりその影響が異なる。室内実験および理論解析によると、比較的含水比の大きな状態では、含水比の増加は弾性波速度の増加、すなわち弾性波伝播時間の減少をもたらす。図4に示された結果は降雨後24日後に430m地下の岩盤の含水比が増加することを示唆している。冬季においては1300mの山上の気温がほとんど零下であり、降雪後直ちに岩盤内に水が浸透することがないため相関がないと考えられる。冬季においても気温の上昇後24日後に負の相関が認められるが、これは気温の上昇により雪や凍結した氷が融け、岩盤内に浸透した可能性を示唆している。また融けた雪や氷のかなりの部分は地表面沿いに流出するため被り圧が減少するので、温度増加直後は弾性波伝播時間と正の相関があるものと思われる。図1に示された'95年3月末に認められる弾性波伝播時間の急激な増加とその後の減少は、このような雪解けとその後の岩盤内の含水比増加と関係している可能性があるが、被り圧のみの変化では定量的に説明困難な部分もある。430m地下のテストサイトで湧水量を直接測定することが今後の課題の一つである。

謝辞：本研究遂行にあたり釜石鉱山様のお世話になった。また本研究の一部は山口大学工学部Liao君の卒業論文である。

参考文献

- 1) 田中義晴, 平田篤夫, 石田一成, 佐野修: 第26回岩盤力学シンポジウム講演論文集, pp. 539-543, 1995.
- 2) 田中義晴, 今村正孝, 村上忠輔, 佐野修: 土木学会第51回年次学術講演会(本報告集), 1996.