

III-A 365

釜石鉱山における高精度弾性波測定システムを用いた測定とその考察

西松建設 技術研究所 正会員 田中 義晴 今村 正孝  
 山口大学 大学院 学生会員 村上 忠輔  
 山口大学 工学部 正会員 佐野 修

1. はじめに

様々な利用目的で計画されている大規模地下空洞の施工後、数十年以上にわたる長期的な安定性や遮蔽性のモニタリングを議論する場合、岩盤内の亀裂の発生や開・閉合および水の移動の微小変化を検出する技術の開発は重要である。これらの視点にたち、著者等は、原位置において高精度に弾性波速度を測定できるシステムを開発した。さらに、このシステムを釜石鉱山の坑内実験場に持ち込み、長期間の岩盤の弾性波測定を行ない、十分な測定精度が得られたことはすでに報告した<sup>1)</sup>。本報告は、これらの測定結果をもとに、弾性波速度の微小な変動に影響を及ぼす原因について考察する。

2. 原位置における測定概要

本測定システムは、岩盤を傷めずに、適切な周波数の同一発振パルスを繰り返して発振し、伝播してきた波を高分解能でサンプリングし、スタッキングを行ない、S/N比を向上させるものである。なお、詳細は参考文献<sup>1)</sup>に記載している。

測定現場は、Fig. 1 に示す釜石鉱山内の実験場で、土被りは約430mである。岩盤は細粒花崗岩で、室内岩石試験によりTable 1 に示す結果を得た。また、亀裂は存在するが密着しており、岩盤は非常に硬質である。発振子および受振子と取り付けは、Fig. 1 に示す方法で行なった。

3. 測定結果および考察

スタッキング回数を4000回とした測定を、1時間ごとに、1994年11月2日から現在に至るまで継続して行なっている。得られた波形データから初動の到達時間を求め、この時間的変化（1994年12月26日午前0時～1995年1月11日午前0時）を解析した結果をFig. 2 に示す。なお、図中のデータは、ch. 1 で得られたものであり、横軸は1994年1月1日00:00:00を0日としている。図に示すように、12月28日21:19にM7.5の三陸はるか沖地震（震源は八戸市の東方沖約200kmの日本海溝付近で深さは10～30km）が、翌年1月7日07:37にM6.9の最大の余震が発生し、初動到達時間がこれらの前後で急変している。初動到達時間は、地震直後に瞬間的に遅くなり（三陸はるか沖地震で約0.010%、測線長を14.4mとすると速度変化で0.51m/sの変動量）、その後徐々に早くなる傾向にある。

まず、この初動到達時間の変動を岩盤の応力変化の視点から考える。測定現場は、土被りが約430mで岩石密度が2700kg/m<sup>3</sup>であることから、約10MPaの被り圧を受けていると仮定する。佐野等が大島花崗岩を用いて

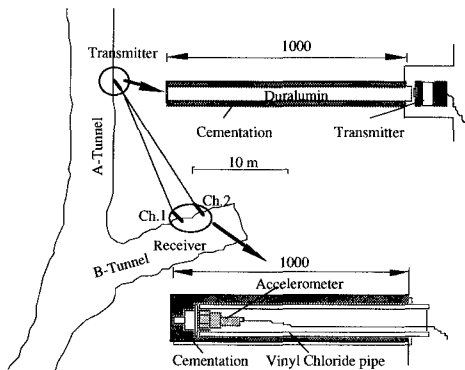


Table 1 岩石試験結果

岩石密度 (kg/m <sup>3</sup> )	2660
一軸圧縮強度 (MPa)	300
圧裂引張強度 (MPa)	12
ヤング率 (GPa)	73
ポアソン比	0.24
超音波速度 (m/s)	5800

Fig. 1 測定現場平面図および発振子、受振子の設置方法

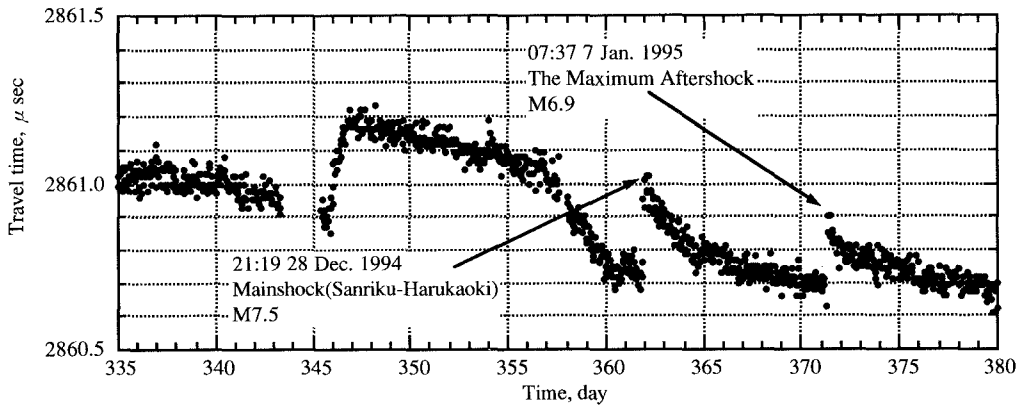


Fig. 2 初動到達時間の経時変化

行なった静水圧と縦波速度変化の関係<sup>2)</sup>をもとに解析すると、圧力が $0.015\text{MPa}$ 変化すると弾性波速度が $0.010\%$ 変化することが推定される。また、三陸はるか沖地震のようなプレート境界型の比較的浅い地震の震源域の応力降下を $10\sim 15\text{MPa}$ 程度と仮定し、釜石鉱山と震源域の距離を約 $100\text{km}$ とすると、実験現場の応力降下量は概算で $0.1\text{MPa}$ のオーダーと考えてよいと思われる。すなわち、地震直後の瞬間的な弾性波速度の $0.010\%$ の低下量は、 $0.1\text{MPa}$ のオーダーの岩盤の応力降下が、空隙体積の増加（閉合亀裂の開口や開口亀裂の広がりなど）を引き起こしたためと考えることが可能である。

次に、佐野等が大島花崗岩を用いて行なった岩石内の含水率の変化と弾性波速度の関係<sup>3)</sup>をもとにして、亀裂中の水の移動による初動到達時間の変動を考える。実験現場周辺は水が豊富にあり、年間通じて湿度が $85\%$ と一定なので、含水率が高いデータを対象にすると、弾性波速度の $0.010\%$ の低下（地震直後の瞬間的な変化）は弾性波の伝播方向の違いにより差はあるが、 $0.02\sim 0.05\%$ の含水率の低下に相当すると言える。

以上の2つの視点を組み合わせると、地震直後に初動到達時間が瞬間的に増加し、その後の緩やかに減少する傾向は、地震により岩盤中の応力が瞬間的に減少し、亀裂が広がり空隙体積が増加したが亀裂内への水の流入が追いつかず、その後、ゆっくりと水が流入したためであると考えられる。これは、Yukutake et al.<sup>4)</sup>の議論と概ね一致している。

#### 4. おわりに

高精度弾性波測定システムを用いて弾性波速度の原位置測定を行なった。その結果、弾性波速度の微小変化は、岩盤内の応力変化による空隙（亀裂）の体積変化とそれによる空隙内の水の移動が引き起こしたものであると考えられる。すなわち、 $0.1\text{MPa}$ のオーダーの応力変化（実際にはもっと小さいと考えられる）に伴う、空隙内の水の移動（含水比で $0.01\%$ のオーダー）を検出できたと考えられる。従って、この手法は長期的な岩盤の安定性や遮蔽性のモニタリングには充分適用できると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 田中義晴, 平田篤夫, 石田一成, 佐野修: 釜石鉱山における弾性波速度の高精度測定手法の開発とその応用, 第26回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp539~543(1995)
- 2) 佐野修, 工藤洋三, 河島智, 水田義明: 異方性体としての花崗岩の弾性率に関する実験的研究, 材料, Vol. 37-418, pp818-824(1988)
- 3) 佐野修, 工藤洋三, 溝田忠人, 水田義明: 花崗岩の脆性破壊挙動におよぼす間隙水の影響, 水曜会誌, 第21巻第6号, pp390-396(1991)
- 4) Y. Yukutake, T. Nakajima, K. Doi, In situ measurement of elastic wave velocity in a mine and the effects of water and stress on their variation, Tectonophysics 149, 165~175, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam(1988)