

(97) 弾性波速度計測による鉱柱の二次元調査

資源環境技術総合研究所	正会員	○ 緒方雄二
同 上	正会員	勝山邦久
神岡鉱業株式会社		斎藤修二
同 上		茂住洋史
三井金属資源開発株式会社		新宮和喜
同 上		堀之口賢治

Investigation of Pillars using Seismic Velocity and Tomography

Yuji OGATA, National Institute for Resources and Environment
Kunihisa KATSUYAMA, National Institute for Resources and Environment
Shuji SAITO, Kamioka Mining & Smelting Co., LTD
Hiroshi MOZUMI, Kamioka Mining & Smelting Co., LTD
Kazuki SHINGU, Mitsui Mineral Development Engineering Co., LTD
Kenji HORINOKUCHI, Mitsui Mineral Development Engineering Co., LTD

Abstract

It is necessary to foresee the geological conditions of pillars in order to excavate safely and efficiently. Four pillars in the No.9 ore body and one virgin ground near the pillars in KAMIOKA TOCHIBORA mine were investigated using seismic velocity and tomography.

Results of seismic velocity in the pillars, No.11 pillar is the lowest seismic velocity in the four pillars and No.22 is the highest seismic velocity. Results of seismic tomography, No.11 pillar consists of some low velocity elements under 4,000m/s and No.22 and No.28 pillars almost consist of high velocity elements of 4,500~5,500m/s but partly low velocity areas. No.17 pillar consists of high velocity element of 4,500~5,000m/s. Virgin ground consists high velocity element of 5,000~5,500m/s.

As the results of seismic velocity and tomography, No.11 pillar is assumed to be in the worst geological condition in the four pillars of No.9 ore body in KAMIOKA TOCHIBORA mine.

1. はじめに

岩盤を安全にかつ効率的に有効利用するには開発前に原位置での岩盤内の状態を的確に把握することが重要である。現在、岩盤を調査する方法として弾性波を利用する弾性波探査、電磁波を利用する電磁波探査、岩盤の電気抵抗による比抵抗探査等が利用されている。¹⁾ これらの方法で弾性波を用いて弾性波速度解析から岩盤の状態を調査する方法が最も一般的に用いられる探査方法である。近年、解析手法と計算機の進歩から医学の分野で実用化されていたトモグラフィーを岩盤に応用する研究がさかんに行われ、岩盤内を非破壊で調査する弾性波トモグラフィーが実用化されている。

本研究では神岡鉱山栃洞坑の9番鉱床に残留する4本の大型鉱柱と地山の合計5断面で穿孔した2本のボアホールを利用して二次元での弾性波速度の現場計測を実施した。また、計測した走時データから弾性波トモグラフィ解析を実施した。

2. 栃洞坑9番鉱床

栃洞坑の9番鉱床は複雑にしゅう曲した石灰岩が交代されて形成されたスカルン鉱床の大規模塊状鉱体である。栃洞坑で最大である9番鉱床は300m(L)×500(H)×80(W)の規模を有し、埋蔵鉱量は約3,000万トン以上あったと言われる。主要部分は既に昭和50年代始めに採掘が完了しており、現在大型の鉱柱が4本(VP11号, VP17号, VP22号, VP28号)残留している。採掘跡の大型切羽空洞は、選鉱からの廃さいスライムと起砕ズリにより充填してある。また、残留鉱柱の可採粗鉱量は約240万トンと推定される。図1に9番鉱床模式断面図を示す。

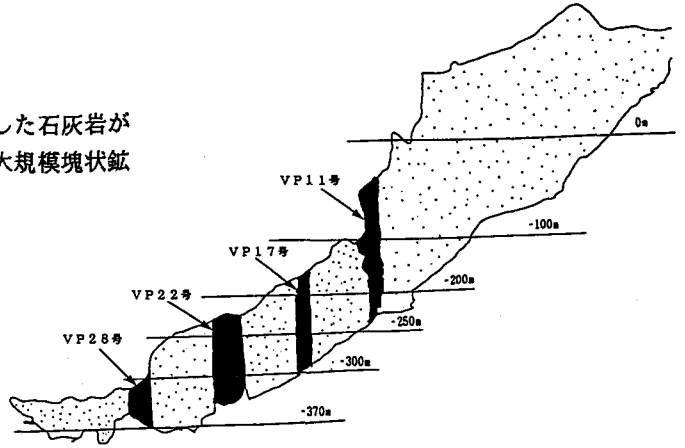


図1 9番鉱床模式断面図

3. 計測方法

3.1 鉱柱内の弾性波速度計測方法

鉱柱内の弾性波速度を計測するために鉱柱内の中段坑道から同一断面上に3本のボアホールを約8m穿孔した。鉱柱の上段坑道に発破孔と計測用A孔の2本のボアホールを穿孔し、下段坑道に計測用B孔の1本のボアホールを穿孔した。計測用A孔とB孔の計測距離は鉱柱により約8mから約40mあり、弾性波速度は計測用A孔とB孔間で計測した。発破孔と計測用A孔は発破による発振点にできるだけ近くなるように約40cmとした。計測では計測用A孔に応用地質製のジオフォン(GS-20DH)1個を発破孔の爆薬起爆点の直下に置きトリガー用とし、計測用B孔に8個のジオフォンを1m間隔で設置し受振点とした。B孔のジオフォンはそれぞれ計測点に横置き状態で設置した。また、計測用B孔の孔口付近にテック製の加速度計(707型)を1個設置し、合計9箇所の受振点で計測した。地山では計測用A孔とB孔が水平方向に大きくずれていたため測定用B孔の反対側の壁面に加速度計を設置した。

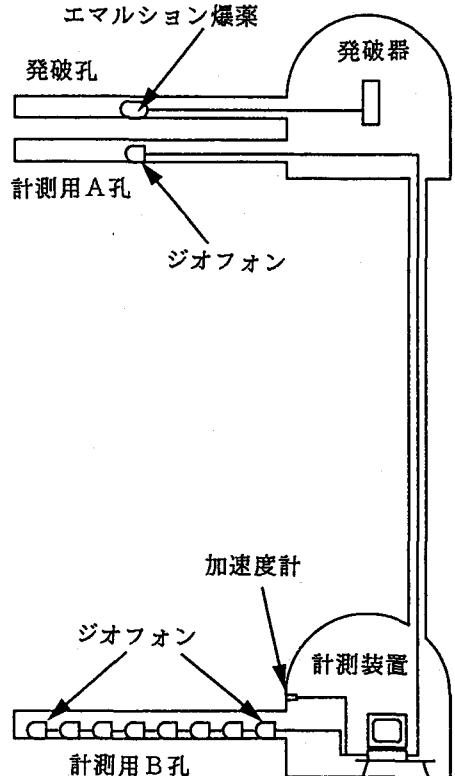


図2 計測の概略図

発破孔では50~200gのエマルジョン爆薬を爆発させ、発破は発破孔内で1m間隔に行い、発破点の移動に伴い計測用A孔では発破点の真下にトリガー用のジオフォンを移動し、発破点のトリガー信号として計測した。なお、弾性波トモグラフィー解析ではこのトリガー用ジオフォンを発振点とみなした。

3.2 計測条件と計測機器

計測用A孔に設置したジオフォンの振動波形の立ち上がりをトリガーとし、計測用B孔中の8個のジオフォンとB孔口付近に設置した加速度計により計測した。なお、ジオフォンは設置感度をよくするためにボアホール内に拘束のない状態で設置した。計測で使用したデータレコーダーはテアック社製のコンピューター・データレコーダーDRX1(16チャンネル、最大サンプリングレート200KHz)で、計測と同時にA/D変換されデジタルのデータとして記録される。実験では一回の発破で9個の振動波形を記録した。振動波形データは50KHz(20μs)でサンプリングし、同時にフロッピーディスクに保存した。保存されたデータは研究室で解析処理した。現場計測の概略図を図2に示す。

3.3 計測結果の検討

状態が良好でない鉱柱では振幅の減衰が大きいため、起爆点で使用したエマルジョン爆薬の薬量を多くした。また、地下水等の条件の良い鉱柱ではノイズの影響の大きいデータが得られたが、計測したデータから振動の初動を読み取り、走時差を計測するには十分であった。

4. 解析方法

4.1 解析方法

鉱柱の弾性波速度は、爆薬と計測用A孔、計測用B孔のジオフォンが直線上になるデータから計算した。弾性波トモグラフィーの解析では、計測用A孔の初動を発振点の初動として解析した。解析方法は波線追跡によって得られた計算走時と観測走時の誤差をこの波線に關与するすべての要素に分配することで要素の速度分布を更新し、この誤差が小さくなった時点で解析を終了するSIRT法を用いた。²⁾各解析断面による波線総数は最大で81(VP22号)、最小で45(VP17号)であった。

4.2 解析範囲

解析は計測用A孔とB孔の間と加速度計を設置した箇所を範囲として実施した。弾性波トモグラフィー解析では解析区間を1×1mの要素に分割し、各要素の弾性波速度を計算した。図3にVP11号の弾性波トモグラフィーの計測波線を示す。

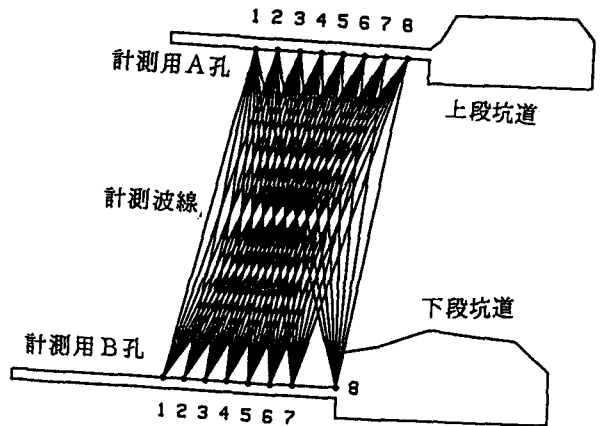


図3 VP11号の計測波線

表1 鉱柱の平均弾性波速度

鉱柱番号	平均弾性波速度
VP11号	4,300m/s
VP17号	4,600m/s
VP22号	5,200m/s
VP28号	4,900m/s
地山	5,100m/s

5. 解析結果

5.1 弾性波速度からの検討

各鉦柱の波線の弾性波速度の平均を比較すると地山の弾性波速度が5,100m/sにして、VP11号で4,300、VP17号で4,600m/s、VP22号で5,200m/s、VP28号で4,900m/sになった。単純に鉦柱の弾性波速度の平均から比較すると、VP11号、VP17号、VP28号、VP22号の順序で鉦柱の状態が変化しているものと思われる。また、VP11号は奥部の波線の弾性波速度がかなり遅く4,000m/s以下の波線があり変化が進行している。これに対してVP22号とVP28号は、局部的に遅い波線があるものの全体としては健全であると思われる。

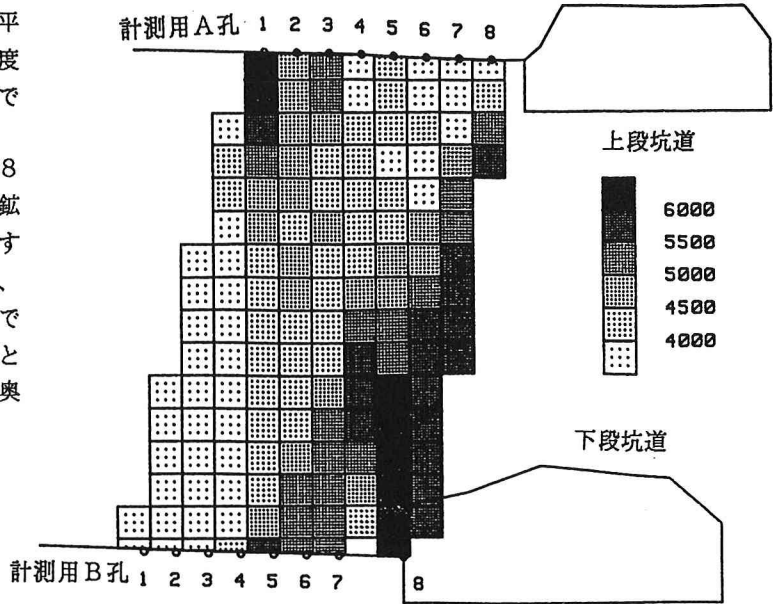


図4 VP11号の弾性波トモグラフィー解析結果

5.2 弾性波トモグラフィー解析結果

弾性波トモグラフィーの解析結果からVP11号はかなり弾性波速度の遅い部分が多く、特に奥部はかなり遅く4,000m/s以下の部分が多い。これは鉦柱両面の影響と計測断面とほぼ平行にある断層のためVP11

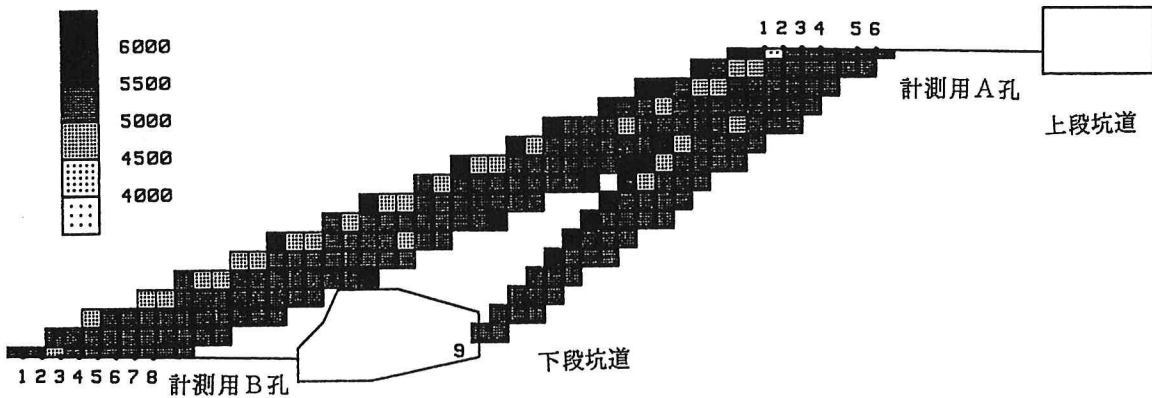


図5 地山の弾性波トモグラフィー解析結果

号の奥部がかなり変化しており、き裂等が発達しているものと思われる。また、発破孔及び測定孔の穿孔で採集したコアのRQD値にも一致する。図4にVP11号の弾性波トモグラフィーの解析結果を示す。

VP17号は4,500~5,000m/sの部分が大部分を占めており、局所的な弾性波速度の遅い領域が少なく一様である。VP22号とVP28号は全体的に4,500~5,500m/sの比較的弾性波速度の速い領域が多いが、局所的に弾性波速度の遅い領域がある。また、地山は弾性波速度の速い領域がほとんどで、かなり安定していることが推定できる。図5に地山の弾性波トモグラフィーの解析結果を示す。

6. まとめ

鉋柱の平均の弾性波速度と弾性波トモグラフィーの解析結果から4本の残留鉋柱と地山の状態から以下のことが推定できる。

1. 地山に比較して平均弾性波速度が遅いVP11号にき裂が発達し最も状態が変化している。また、弾性波トモグラフィーの解析結果から鉋柱の奥部がかなり変化していることが判明した。また、ボアホールから採取したコアのRQD値にもよく一致している。
2. VP22号とVP28号は弾性波速度の速い部分が多いが、局所的に遅い部分があることから鉋柱全体でなく部分的に状態の変化があるものと思われる。また、VP17号は比較的弾性波速度が遅い領域がほとんどを占めることから、鉋柱全体の状態が変化していると思われる。
3. 地山は弾性波速度が各要素で速い値を示し、比較的安定した状態にある。

謝辞

最後に現場計測で御協力頂いた神岡鉋業株式会社の坂井、岡田、中川各氏をはじめ関係各氏に感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 山下、北村、西田、中川、蓮井：弾性波・電磁波・比抵抗トモグラフィーによる地盤状況の推定について、第23回岩盤力学シンポジウム講演論文集、PP1~5、1991
- 2) 六川、弾性波トモグラフィーとその応用、物理探査第42巻第6号PP428~441、1989