

岩盤分類と深部地下空間の合理的設計

九州大学 学生会員 北條 裕之
正会員 江崎 哲郎
正会員 木村 強

はじめに 近年、岩盤分類法によって最適な支保設計を行おうとする試みがなされており、代表的な分類法としてBieniawskiによるRMR法¹⁾、BartonらによるQシステム²⁾、Johnによる岩盤分類³⁾などがある。しかし、これらの分類法は比較的脆弱な日本の岩盤にはあまりよく適合しないといわれている。これに対し、金属鉱山は、ある程度同一と見なせる岩盤の区域が広いことやボーリングのデータが豊富なことなどから、上記岩盤分類法の適合性を確認するのに適していると思われる。そこで、今回、合理的な坑内空洞の設計を目的としてこれらの方法を適用してみた。

調査地点の概要 今回調査した 菱刈鉱山は、日本の産金地帯のひとつである北薩地方に位置する。この鉱山の鉱床は、一般走向N50° E、傾斜70°~90° Nの主要鉱脈と無数の細脈からなる。主要鉱脈は、脈幅1~3m (最大8m)、走向長800m、標高80~120MLから-20~-30MLの間にある。母岩は、四万十累層群、安山岩、凝灰岩の三つに分類され、主要鉱脈の2/3が四万十累層群で、1/3が安山岩類である。四万十累層群は南九州の基盤をなす堆積岩層で、頁岩、砂質頁岩、砂岩およびそれらの互層からなる。

岩盤分類の概要及び適用結果 Qシステムは、節理、湧水、地圧の状態のパラメーターを使用して、Q値を求め、それに対応する支保工基準を提案するものであり、Q値は次式で求められる。

$$Q = (RQD/J_n) (J_r/J_a) (J_w/SRF)$$

ここに、RQD;岩質評価、J_n;節理系の数、J_r;節理系の粗度、J_a;節理系の変質度、J_w;節理系の水による低減係数、SRF;応力低減係数、で、(RQD/J_n);岩塊の寸法 (J_r/J_a); ジョイント面のせん断強さ (J_w/SRF); ジョイント面に作用する応力を表している。また、BartonらはQ値と支保設計を関連付けるため等価寸法Deを定義しており、Deは次式で与えられる。

$$De = (\text{坑道のスパン、直径または高さ}) / (ESR)$$

ESRは安全率の逆数に相当しており、採鉱切羽のような一時的な空洞の場合3~5、その他の主要な坑道の場合1.6とされている。

菱刈鉱山においては、Q値は観測場所により0.5~120と大きく変化する。鉱山全体の岩盤状態を考慮し、これらをさらに安全側に評価すると、母岩である安山岩、凝灰岩、四万十累層群のQ値はそれぞれ、1.25, 2.5, 1.25となる。得られたQ値と等価寸法(当鉱山ではDe=4.8/1.6=3)の関係より、推奨される支保工基準はカテゴリ-21 (ショットクリート厚さ5cm; Fig-1) となる。この支保工を凝灰岩中の坑道でテストし、コンバージェンスメーターで内空変位を計測した (Fig-2)。その結果、支保はショットクリートのみで十分であると分かったが作業能率の点に問題が残った。

RMRは、岩盤の一軸圧縮強度、RQD、不連続面の間隔、不連続面の状況、地下水の5つのパラメーターによって評点をつけ、補正評点を加算した後、5段階に分類する。RMRは、自立時間の予測や、岩盤の変形係数を知るのに有用である。しかし、RMR法では坑道の交差部、分岐部を評点に考慮することができず、また、推奨される支保が安全側になることが指摘されている。ここで、RMRでは壁面における平均的な岩盤状態を評点の対象とし、Qシステムではその壁面上で最も悪いと判断される岩盤状態を対象にすると、両者の関係はFig-3のようになる。Bieniawskiは、各地での岩盤分類結果に基づいて、両者には次の関係があることを指摘している。

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

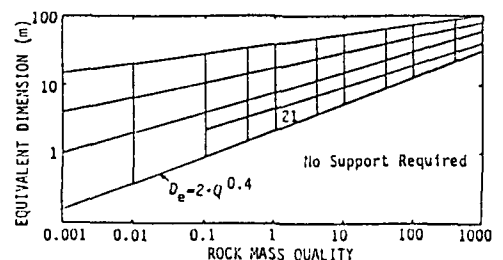


Fig.1 Support chart of Q-system

今回の評点は、この線上にほぼ位置するので菱刈鉱山でも本関係が適用可能であることが示された。

Johnによる岩盤分類は従来の方法に比べて、実際の工事上の問題点を重視しており、より現実的な支保工基準作成に適していると思われる。これは、SWS,RCT,LF,TPCなる新しい基準を取り入れることによって現支保工基準の適合性を判断するものである。ここで、SWS (Safe Width of Span)とは、切羽とすでに設置した支保の端との距離をさし、支保をするまでに大きな変形をせず自立する距離を表す。RCT(Rock Condition Types)とは、節理の存在と、そのトンネルに対する方向、間隔、せん断特性を主な基準として岩盤の状態を分けたものであり、RCT1からRCT6 まである。LF(Load Factor)とは、支保で支えられるべき応力の割合である。TPC(Tunneling Procedure Classes)とは、自然条件による岩盤状況と、施工状況を併せて考え、最終的に支保工と岩盤の適合性を判断するものである。TPCには7段階あり、その値が小さい程、岩盤の状況がよく、また、施工条件もよいと言える。Table-1に評価の結果を示す。立入坑道及び水平坑道では、完全に自立し、非常に良好な状態にある。ひ押坑道の場合、LFが約0.1となる。これらの評点は、地質条件の変化によって再評価されるべきであり、それに応じて最適の設計施工がなされる。

まとめ 菱刈鉱山の主要な坑道及び採鉱坑道において3種の岩盤分類を行い、実際の支保との適合性を検討した。RMRの場合には安全側の設計になってしまうが、QシステムとJohnの方法は、実際の支保との適合性がよく、現場に即した支保設計ができる。この結果として、主要な坑道の支保は、NATM工法（ロックボルト+ショットクリート）から、数量を大幅に減らしたロックボルトと金網からなる簡素な支保に変更された。変更後約1年経過するが、問題は生じていない。なお、本研究をまとめるにあたって、データを提供していただいた住友金属鉱山（株）菱刈鉱山の方々に謝意を表します。

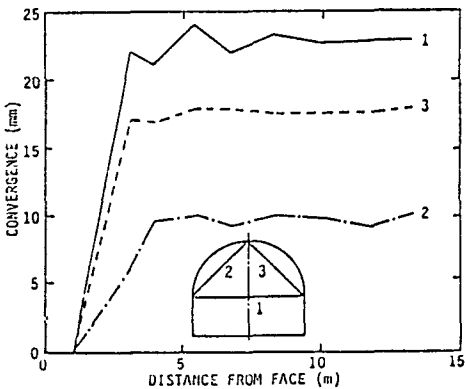


Fig.2 Convergences of the opening supported based on the Q-system

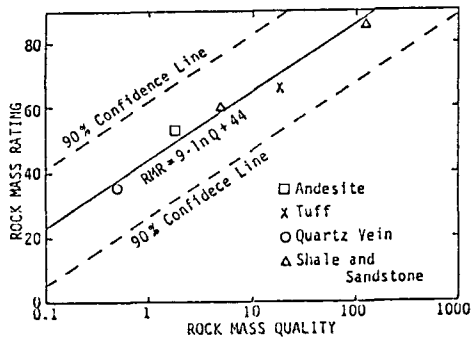


Fig.3 The Q-values and the RMR evaluated for rock masses in the Hishikari mine

Table-1

Place	Geotechnical Condition /110	Tunnel Design /90	Tunnel Construction /190	Sum of individual rating in percent(%)	TPC
Cross cut, Level	110	83	138	84.9	2
Drift	65	76	90	59.2	3

参考文献

1 Bieniawski,Z.T.:Rock mechanics design in mining and tunneling, A.A.Balkema,(1984)
2 Barton,N.,et al:Rock Mechanics,6,189-236(1974)
3 John,K.W.:A compromise approach to tunnel design,Proc.22nd U.S.Symp.on Rock Mechanics p.313-321. (1981)