

(48) 岩盤空洞の長期安定性評価

清水建設㈱ 石井 卓 福田和寛 泉谷泰志
動力炉核燃料開発事業団 新谷貞夫 三島 毅

岩盤空洞の長期安定性を損う要因としては、岩盤のクリープ破壊や風化など種々の因子があげられるが、これらが複合して作用する実際の岩盤空洞の長期安定性を評価するためには、掘さく後長期間経過した既存空洞の現地調査が有力な手がかりを与えるものとする。鉱山には、土木分野の構造物に比べると覆工などの支保工がなくとも長期間安定な空洞が数多く存在する。そこで、国内の7鉱山の掘さく後100年以上経過した空洞を含む84地点で、岩盤空洞の長期安定性評価に関する現地調査を実施した。

掘さく直後の空洞の安定性や支保工種の選択に関する問題では、力学モデルを用いた応力解析の他に、BartonやBieniawskiなどの提案した岩盤分類に基づく平易な評価法が実用面から注目されている。ところが、長期の安定性を予測できる実際の評価法や、掘さく後長期間経過した空洞の安定性を判定する実用的な手法は、いまだ確立されていない。そこで、今回は坑内観察のみで簡易に既存空洞の安定性を数値化するマークシートを試作し、安定性評価を試みた。同時に、掘さく後の経過年数や岩盤の一軸圧縮強度など長期安定性に関係する因子や、Barton, Bieniawskiらの岩盤分類について調査し、得られた結果相互の相関を調べることで、岩盤空洞の長期安定性の評価因子の割り出しを試みた。

1. 既存空洞の長期安定性調査項目

現地調査は、次の13項目について実施した。

・岩種、・掘さく後の経過年数、・空洞の寸法、・空洞の深度、・構成岩石の単位体積重量、・一軸圧縮強度、・地山強度比、・き裂面のせん断強度、・RMR法岩盤評価、・Q値法岩盤評価、・電研式岩盤分級、・建設省式岩盤分級、・空洞の安定度

一軸圧縮強度は、Millerの研究成果に基づきシュミットハンマー反発値から求め、き裂面のせん断強度はBartonとChoubeyの提案した経験式に従って算出した。また、RMR法、Q値法は、それぞれBieniawski, Bartonの提案した岩盤評価法で、電研式、建設省式岩盤分級とは、菊地・斎藤の提案によるものおよび建設省土木工事積算基準中に示されている岩盤分類を指す。

空洞の安定度とは、今回独自に試作したマークシートにより求めた評価法である。表1にマークシートを示す。評価項目は、空洞の安定性を損うであろう因子ないしは安定性をわずかも損なった痕跡を示す因子

表1 空洞の安定度マークシート

評価項目		悪い								良い	得点
安定感の程度		全く安心 (野郎心すら 起こらない) (地上と同じ 行動)	30	安心 (安心を確認し ている) (一服する気にな る)	20	少し不安 (周囲を注視しな がら歩く)	10	不安 (足早に歩いて しまう)	5	恐怖 (こわくて入れ ない)	0
空洞の ゆるみ	浮石の有無	なし	15	掘りこぼし大 が少し	10	掘りこぼし大 ～人頭大	5	人頭大が多数	2	人頭大を越え るものがある	0
	石の落ちた跡	なし	8	掘りこぼし～ 人頭大が少し	5	人頭大が多数	2	人頭大を越え るものを含む	1	人頭大を越え るものが多数	0
	落ちて いる石	なし	7	掘りこぼし～ 人頭大が少し	4	人頭大が多数	2	人頭大を越え るものを含む	1	人頭大を越え るものが多数	0
	ハンマー の打撃音	金属音 (キンキン)	15	(カンカン)	10	木質音 (コンコン)	5	(ボンボン)	2	粉体音 (ボンソソ)	0
表面風化度		新鮮	15	黄変している	10	表面がボロボロ である	2	表面が乾上化 している	1	湿潤している	0
支保工状況		なし	10	支保工区間に 腐食している	7	ボルトなどの支 保工が少しある	4			あり	0

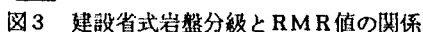
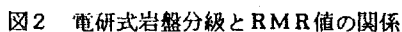
2. 調査地点

3. 調查結果

図1にQ値とRMR値の関係を示す。Q値は対数目盛でとっている。両者の間には、正の相関関係が認められる。ただし、Q値法、RMR法とも評価因子として、岩盤の強さ、き裂状況、湧水状態に着目している。明確な相関の現れることを期待したが、図を見ると領域幅が広く必ずしも強い相関関係とは言えない。また、兩分類の評価点に対応する支保工種によると、無支保ないしは若干のボルトしか必要としないのは、Q値で10以上、RMR値で81以上とされている。ところが、今回の調査地点はすべて無支保に近い状況であり、Q値法、RMR法が共に妥当な評価をしているとは言いがたい。したがって、長期安定性を評価する上では、Q値法、RMR法をそのまま適用することには無理があるだろう。なお、Bieniawskiは、スカンジナビア・南ア・ヨーロッパ・オーストラリア・アメリカの111例についてQ値とRMR値の比較を行い、次式に90%以上の例が含まれることを示している。

図1中にこの領域を破線で示した。今回の84例では、Bieniafskiの指摘に比べ、Q値の方がRMR値よりも大きく評価された傾向が見られる。

図2, 3に、電研式および建設省式の岩盤分級結果とRMR値の関係を示す。両岩盤分級方式では分級基



準が粗いので、各級をさらに3段階に細分して用いた。図2、3共に正の相関が見られるが、細分した分級によってもまだランク分けが粗く、本調査で対象とした一般的に見れば十分に安定な岩盤を、さらに分類しようとする場合には、電研式や建設省式のようなランク分け方式の岩盤分類は適していないものと考えられる。

(3) 空洞の安定度とRMR値の関係

本調査では、独自に試作したマークシートにより空洞の安定度と各付けた評価点を求めた。現時点では、空洞の長期安定性という概念自体必ずしも明確でなく、物理的な裏づけをもった定量的な安定性の基準がない。そこで、便宜的に、この安定度を持って空洞の長期安定性の指標とし、安定度と各調査項目の関係を見ることにする。

図4に安定度とRMR値の関係を示す。RMR値の増加に伴う安定度上昇の下限値を直線で明確に規定できる。今、仮に安定度40以上で空洞の長期安定性が満足されるとするならば、RMR値が50以上で安定性が確保できるわけで、RMR値を用いて長期安定性を判定することができる。したがって、RMR法の地山分類に対応する支保工選択基準を、掘さく後長期間経過した空洞にそのまま利用することには無理があるが、安定度における長期安定性の基準値が明確になれば、これにRMR値を対応させることでRMR法を空洞の長期安定性評価に利用できる可能性がある。

(4) 安定度とQ値の関係 (図5)

Q値は対数表示してある。両者には正の相関が見られるが、RMR値に比べると領域幅が広く、安定度との対応は明確でない。したがって、空洞の長期安定性を評価するにはRMR法の方が適していると言えよう。

(5) 安定度と一軸圧縮強度の関係 (図6)

両者の間には明瞭な相関は見られないが、いくつかの例外的な点を除けば、一軸圧縮強度の増加に対応する安定度の下限直線を引くことができる。すなわち、岩盤の強度が高くなれば確実に安定性も増すわけで、安定度の下限値が規定されれば、この安定度を満す強度範囲の下限値も同時に規定できる。このことは、長期に安定な岩盤を選択する際の指標として一軸圧縮強度が使える可能性のあることを示している。

(6) 安定度と掘さく後経過年数の関係

今回の結果では、掘さく後の経過年数は3~102年と広い範囲にわたっており、経過年数の増大に伴う安定度の低下が予測されたが、図7に示す安定度と経過年数の関係を見ると、そのような傾向は全

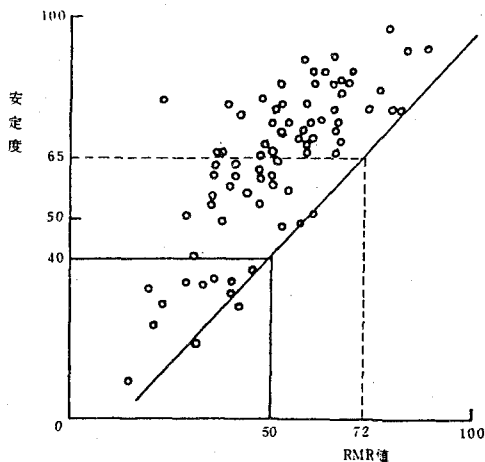


図4 安定度とRMR値の関係

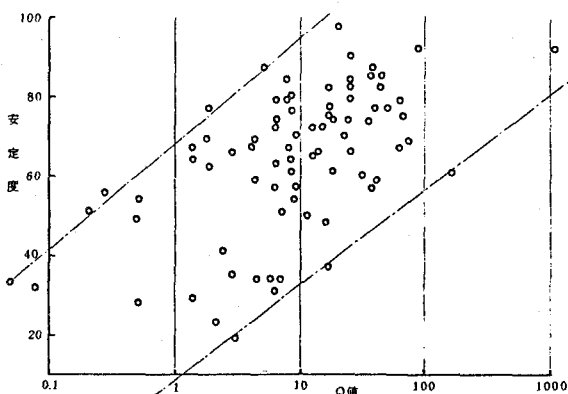


図5 安定度とQ値の関係

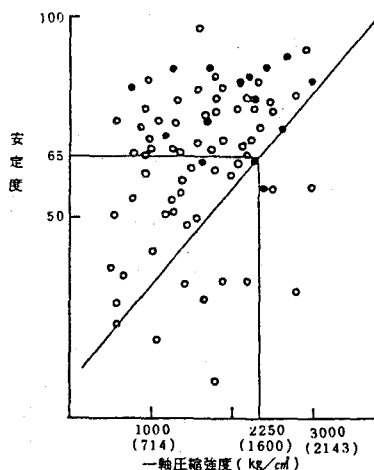


図6 安定度と一軸圧縮強度の関係

く現れていない。時間経過に伴う風化などによる岩盤の劣化は、岩盤や環境等により程度の差はあれ当然生じるだろう。それにもかかわらず、経過時間の増大に伴う安定性の低下傾向が現われなかった理由として、次のことが考えられる。すなわち、空洞を掘さくした時点で十分に安定な岩盤では、時間経過に伴う岩盤劣化が少なく、長期間経過した後でも高い安定度を示している。これに対し、掘さく直後の安定性がそれほど高くない岩盤では、時間と共に急速に岩盤が劣化し支保が必要となるため、今回の調査では対象とならず、その結果、経過時間が長くなるにつれ安定度の低いデータが得られなかった。この推論が正しいとすれば、掘さく直後に十分安定な岩盤は、相当長期にわたりその安定性は損われることがないものと考えられる。今回の調査では、最長で 102 年経過したデータがあるのみでその数も少ないため、さらに長期間経過した後の安定度を外挿するには無理があるが、得られている結果から推定するならば、掘さく時の安定度が 65 以上程度であれば、かなり長期にわたり空洞は無支保で安定を保つことができるものと考ええる。

(7) 安定度と地山強度比の関係 (図 8)

グラフ上で、地山強度比が 30 よりも小さい領域では、安定度は 8.4~356 と広い範囲に分布するが、地山強度比が 30 を越えると、安定度は地山強度比に関係なくほぼ一定値を示すようになる。これは、十分な強度をもった岩盤が地下の比較的浅い領域に分布する場合、岩盤の安定性に地圧の大きさが影響を与えていないことを示すものであろう。

4. まとめ

既存空洞の現地調査の結果、空洞掘さく後の経過時間との関係から、独自に試作したマークシートより求めた安定度が 65 以上で、空洞は 100 年以上の長期にわたり安定であることが、また、RMR 法の岩盤評価値と一軸圧縮強度では、長期安定な安定度の下限値が規定されるとこの安定度を満す下限値も決まることから、両者が空洞の長期安定性評価に有望であることが明らかになった。

今回の一連の調査を通じ、岩盤空洞の長期安定性を考える上では、掘さく後長期間経過した空洞周辺岩盤の、強度やき裂状況・劣化状態といったいわゆるゆるみをいかに定量化するかが重要であるとの印象を強めている。そこで、現在、空洞壁の弾性波伝播速度とき裂分布の関係を調査しており、これによってより定量的な長期安定性評価への手がかりが得られるものと期待している。

- 1) Miller, R.P. : Ph.D. Thesis, Univ. Ill., 1965.
- 2) Barton, N., V. Choubey : Rock Mechanics, 10, 1977.
- 3) Bieniawski, Z.T. : Trans. S. Afr. Inst. Civil Engineers, Vol. 15, NO. 12, 1973.
- 4) Barton, N. et al. : Norwegian Geotech. Inst., Nr. 106, 1974.
- 5) 菊地宏吉, 斎藤和雄 : 第 9 回岩盤力学に関するシンポジウム講演要旨集, 1975.
- 6) Bieniawski, Z.T. : Proc. Sympo. on Exploration for Rock Engineering, 1976.

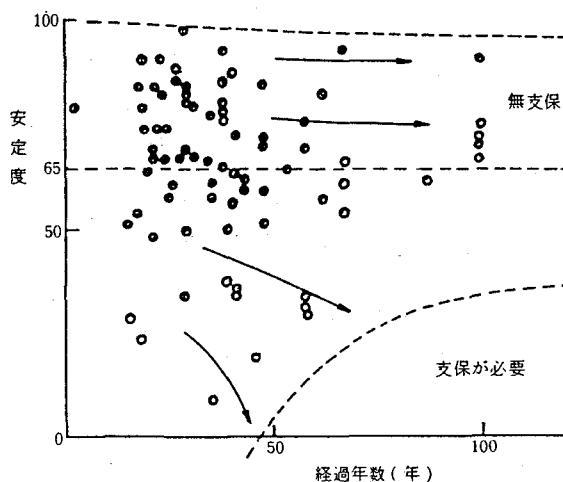


図 7 安定度と経過年数の関係

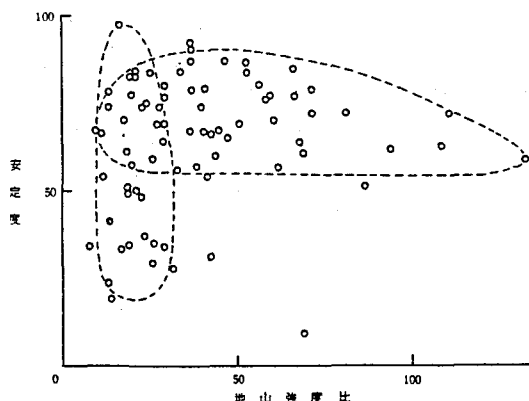


図 8 安定度と地山強度比の関係

(48) EVALUATION OF LONG TERM STABILITY OF ROCK CAVERN

Takashi ISHII, Kazuhiro FUKUDA, Yasushi IZUMIYA

Shimizu Construction Co., Ltd

Sadao ARAYA, Takeshi MISHIMA

Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

Abstract

For the purpose to clarify the methods for evaluating a long term stability of rock cavern, an in-situ investigation was conducted utilizing roadways in existing old mines where factors injuring the long term stability acted in a complex manner. In-situ investigation was carried out in the total of 84 site including roadways of more than 100 years old after excavation in 7 mines. Main research items include uniaxial compressive strength, rock pressure strength ratio, Bieniawski's RMR, Q-value by Barton and stability index which was devised on trial bases for the present investigation.

From the relation between the stability index value and the elapsed time after the excavation, it was shown that the cavern would be maintained for more than 100 years when the stability index value was over 65. Because the lower limit of RMR value and compressive strength which satisfying the stability condition is settled as the stability index value indicating the long term stability condition is provided, RMR value and uniaxial compressive strength is promising to evaluate the long term stability of rock cavern.