

岩盤分類に基づく大谷石採石地下空間の健全性評価に関する研究

宇都宮大学 ○ 鈴木 知洋
宇都宮大学大学院 清木 隆文

1. 研究の目的と背景

これまでに大谷町で起きた大谷石採石地下空間の大規模な陥没事故により、大谷の採石地下空間の危険性が表面化し、採掘後の採石地下空間の埋め戻しが強く主張されてきた。しかし、事故後の調査の結果や既往の研究により、採石地下空間が陥没した主な原因は安全性を軽視した採掘方法にあるという事実が示され、全ての採石地下空間が危険なわけではなく、結果として陥没する可能性が高い空間が陥没したに過ぎないということがわかった。つまり、安全な採掘方法に従って採掘した採石地下空間は、その健全性が証明されれば、周辺住民の生活の保障、地下空間の有効利用をも検討できる。現在、大谷町では少ないながらも大谷石の採石を進めている箇所があり、その健全性を評価することが望まれている。しかし、各種ライフライン、各種トンネル等の地下構造物に対する健全性評価の確立や維持管理の提案はなされつつあるが、地下構造物と深く関わりのある無支保の地下空間の健全性に関する研究は大きく進んでいないのが現状である¹⁾。

そこで本研究では、栃木県宇都宮市にある大谷石採石地下空間を対象に、構造を構成している残柱と天盤に着目²⁾し、負荷としての応力、岩盤分類で評価し、この結果をもとに大谷石採石地下空間全体の健全性との関連を検証することを目的としている。

2. 現場試験および岩盤分類

本研究では、2箇所の大谷石採石場に研究への協力をお願いした。これらの採石場を以下それぞれ採石地下空間 A, B とする。この2箇所で現場調査を行い、各種試験、節理の観察等を行った。また、2.2節で用いる記号 i, ii はそれぞれ節理の状態・地下水の評点を考える際、高く見積もった場合と低く見積もった場合であり、記号①, ②は破壊した空間の節理の傾斜方向に対する掘削方向をそれぞれで逆に考えた場合をしめす。記号 I, II は観察した節理が直線にのびているとし、それにあたる残柱には全て節理があると考えた場合とない場合を示す。

2.1 シュミット式ハンマー試験および含水比試験

本研究では、採石地下空間 A, B においてそれぞれ採石年代（採石後の経過期間）が新しく最も新鮮と考えられる現在採石している付近と採石年代が最も古いと考えられる立坑付近における残柱および壁面の下端から 1.0m の位置に任意の測定面（約 15cm 四方）を設け、測定面内を 25 回シュミットハンマーによって打撃した。ここで、測定値にばらつきが生じることを考慮して、各測定面で得られた反発度の大小 3 個を除いた 19 個の反発度を平均した³⁾。この結果より、その残柱および壁面の換算一軸圧縮強さを求めた⁴⁾。また、シュミット式ハンマー試験と同一箇所において試料を採取し含水比試験も行った（表-1）。

表-1 反発度と一軸圧縮強さおよび含水比の測定結果

物性値	現場		採石地下空間B	
	新鮮	立坑付近	新鮮	立坑付近
反発度	26.16	31.11	31.05	34
一軸圧縮強さ(MPa)	12.74	17.75	17.68	21.54
含水比(%)	30.49	18.62	24.39	12.5

この結果より、採石年代の新しい残柱および壁面のほうが含水比は高く、換算一軸圧縮強さが低いことがわかる。これは採石年代の古い残柱および壁面は立坑付近にあり、表面の含水量が低いためと考えられる。

2.2 岩盤分類に基づく天盤の評価

土木、岩盤構造物の建設においては、適切な設計や施工を行うために、土木、岩盤構造物の基礎岩盤の耐荷重や遮水性などの岩盤の工学的性状を把握する必要がある。岩盤分類はこの目的に対応して実施されるものであり、岩盤の強度や変形性、透水性などの工学的性状を左右すると考えられる岩石それ自体の風化変質の程度、岩盤の不均質性、不連続性などに関する諸要因を現場で観察、計測し、一定の基準に従って岩盤をグルーピング（岩盤区分）し、か

キーワード 採石地下空間, 健全性, 岩盤分類, 大谷石
連絡先 〒321-8585 宇都宮市陽東7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科建設工学コース,
岩盤工学研究室 Tel : 028-689-6218

つランク（岩盤等級）付けすることである⁵⁾。本研究では岩盤分類法の1つであるRMR法（Rock Mass Rating）を用いて評価する。このRMR法とは、①インタクトロック（無傷の岩石）の強さ、②岩盤良好度、③節理間隔、④節理の状態、⑤地下水の条件、の5個の基本パラメーターを組み込んでいて、各パラメーターの評点の合計を求める⁶⁾。また、本研究では100m²を1つの要素として評点を算出し、崩壊した空間、採石地下空間A、採石地下空間Bで整理した（図-1）。そして、それぞれの空間における全体の要素数に対する評点区分に占める要素数の割合によって整理した（図-2、図-3）。

この結果より、同じ条件下において現在稼働中である採石地下空間A、Bは崩壊した地下空間のものより高い評点分布をしている。この点からは採石地下空間A、Bの天盤は共に健全であると考えられる。

2.3 残柱が負担する換算応力による評価

残柱が負担する応力値の評価は(1)式を用いる⁷⁾。

$$S = AH_1 \left(\frac{\text{天盤の面積}}{\text{柱の面積}} \right) + BH_2 \left(\frac{\text{天盤の面積}}{\text{柱の面積}} \right) \quad (1)$$

S; 応力[kN/m²]

A; 土被り（関東ローム）の単位体積重量[kN/m³]

B; 大谷石の単位体積重量[kN/m³]

H₁; H₂; 天盤までの土かぶり・大谷石のそれぞれの高さ[m]

ここで、関東ロームの単位体積重量⁸⁾は14.0kN/m³、大谷石の単位体積重量⁹⁾は17.0kN/m³とした。また、本研究では残柱に節理が存在する場合は、節理ごとに区切りその各部分に対して評価を行い、全部分の平均をその残柱にかかる応力値とした。このように観察可能な全ての残柱を対象に評価を行い整理した。そして、それぞれの採石地下空間における全観察可能残柱数に対する応力値区分に占める残柱数の割合によって整理した（図-4）。

この結果より、それぞれの採石地下空間の分布はIとIIの分布の間にはあると考えられる。しかし、節理があると仮定したIの場合は崩壊した採石地下空間より低い応力分布になるため、節理の有無については注意が必要となる。

3. まとめと今後の課題

天盤の評価により現在稼働中の採石地下空間が健全であると推定された。しかし、残柱の評価では直接観察不可能な範囲があり節理が空間の端から端までのびているという仮定をもって評価を行ったため、残柱にかかる応力はおおよそ大谷石の一軸圧縮強さ（10~20MPa）の範囲にあるが、崩壊した採石地下空間より低い分布になった。よって、天盤と残柱の健全性を総合的に取り扱う手法を検討することが今後の課題である。

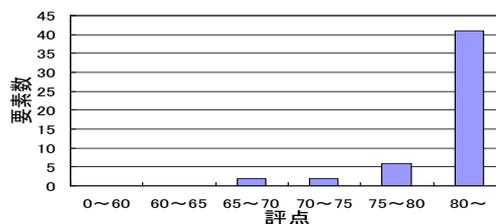


図-1 天盤ヒストグラム (採石 B)

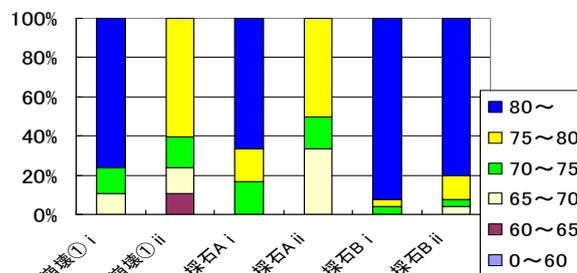


図-2 天盤評価結果 1

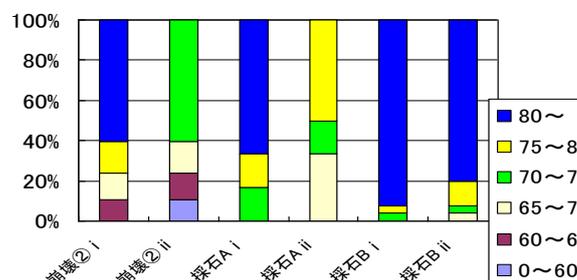


図-3 天盤評価結果 2

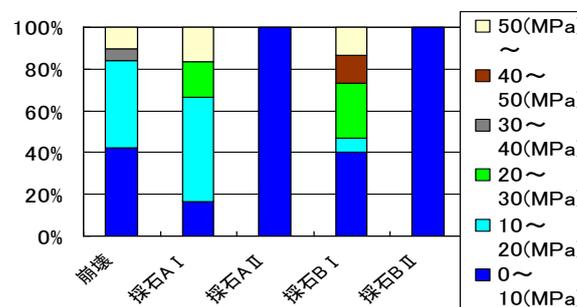


図-4 残柱評価結果

参考文献

- 1) 江守太郎, 清木隆文: 現場調査による採石地下空間の構造安定性に関する考察, 地下シンポジウム 論文・報告集, 土木学会, pp.79-88, 2005.1.
- 2) C.Gonzalez Nicies, M.I. Alvarez Fernandez, A. Menendez Diaz A.E. Alvarez Vigil: Modification of rock failure criteria considering the RMR caused by joints, Computer and Geotechnics, pp.419-431, 2006.
- 3) 片寄友康, 清木隆文: 簡易現場試験による大谷石採石地下空間の構造健全度調査の試み, 第37回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, CD-ROM, 2008.
- 4) 社団法人地盤工学会: 岩の試験・調査方法の基準. 解説書 平成18年度版, pp.65-85.
- 5) 菊池 宏吉: 地盤工学概論, 土木工学社, pp.99.
- 6) Evert Hoek, Edwin T. Brown: 岩盤地下空洞の設計と施工 pp.7-24, 1985.2.
- 7) Z.T. Bieniawski: Improved Design of Room-and-Pillar Coal Mines for U.S. Condition, pp.35-36, 1983.
- 8) 日本港湾協会: 港湾構造物設計基準 単位体積重量.
- 9) 青木 久・佐々木 智也・松倉 公憲: 大谷石からなる風化岩盤の表面の強度に関する非破壊測定法, 筑波大学陸域研究センター報告, No.6, 33-38, 2005.