

構造弱面を考慮した大谷採石地下空間の維持管理点検手法に関する検討

大船渡市役所

水田瑛伸

宇都宮大学大学院 正会員 ○清木隆文

1. はじめに

大谷石採掘場跡地(大谷採石地下空間)の有効利用する際の維持管理に関する十分な規定はない。一方で事業者は、維持管理のためのコスト増を不安視するという見方もある。点検過程を簡略化できれば、専門的知識と経験を持たない事業者でも点検が可能となり、経済的な維持管理につながるため¹⁾、大谷採石地下空間の健全性を定量的に評価し、維持管理する点検指標の作成を目指す。本研究では、ヒアリング、地下空間内部の調査、解析ソフト(FLAC3D ver5.0, Itasca 社)による地下空間の構造安定性の検討、作成した点検指標の提案及び試用を行った。

2. 管理経験者へのヒアリング実施について

大谷採石地下空間は掘削されずに柱状になっている残柱または柱が、天井部分の天盤が崩落しないように構造を支えている。これまで大谷採石地下空間の安全点検の経験がある人々にヒアリングを行った結果、「もめる」すなわち、ダテと呼ばれる残柱・壁と天盤との交差部の表面で剥落が生じることは崩落の前兆であることが明らかになった。また、専門技術者は地下空間の点検において、キズの進展や新たに生じたキズのスケッチに加え、打音検査や漏水量の把握を行っているというお話であった。

3. 現地調査について

地下空間内部では採石業者の間でキズと呼ばれる節理が確認された。キズには、残柱や壁の側面に対して交差する角度が平行に近いものと垂直に近いものがある。キズの異なる交差角により、打音異常がみら

れる範囲が異なり、平行に近いものはキズから水平に1~2m程度の範囲であったが、垂直に近いものは手のひらの幅程度であった。

4. 数値解析によるキズの影響検討

現地調査で確認されたキズは弱面の存在が影響していると考えられる。FLAC3D を用いて、キズが現れている箇所から推定された弱面の構造を2本の残柱に図-1のように取り込み、モデル化した地下空間の自重解析及び掘削解析を実施した。対象地下空間の大谷石岩盤と弱面の物性値をそれぞれ表-1のように設定した。解析の結果、2本の残柱それぞれの弱面の下部でせん断応力が降伏点に達した(図-2)。本研究では、比較のために三つのモデルを用意した。弱面のないモデル(α , 図-3)、弱面を付与したモデル(β , 図-4)、図-1の着色部分は荷重を負担しないと仮定し、これを除去したモデル(γ , 図-5)について、図-2の二つの降伏箇所(A1, B1)に作用するz軸(鉛直)方向の圧縮を負値とした鉛直応力を表-2に示す。

z軸方向に作用する圧縮応力は、 β , γ いずれのモデルにおいても α のモデルに比べて増大した。これは、荷重を負担する残柱の断面積の減少と残柱の断面形状の変化によりA1, B1が角部となることが要因である推察される。しかしながら、降伏箇所が確認されたのは β のモデルのみであった。これは、このモデルに示された弱面の両側での圧縮応力の相対的な差により、弱面を閉じる拘束力が弱まることで相対的なずれを引き起こすようなせん断応力が発生し、これが降伏点に達したと考えられる。以上より、弱面が

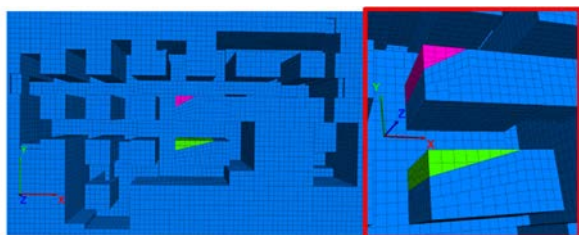


図-1 対象地下空間の天盤部分を取り除いた俯瞰図、着色部分との境界面が弱面、右は拡大図

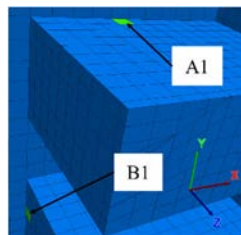


図-2 降伏箇所(黄緑:せん断応力で降伏)

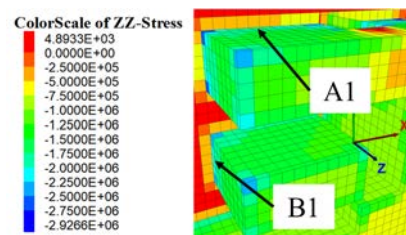


図-3 z軸方向に作用する応力の分布(モデル α , 単位: Pa)

キーワード 大谷採石地下空間, 弱面, 残柱, 維持管理, 点検

連絡先 〒321-0904 栃木県宇都宮市陽東7丁目1-2 宇都宮大学陽東キャンパス TEL028-689-6216

表-1 大谷石岩盤と弱面の物性値^{2),3)} (*左が図-1の上側の残柱弱面, 右が同図の下側の残柱弱面)

定数 材質	体積弾性係数 (Pa)	せん断弾性係数 (Pa)	粘着力 (Pa)	内部摩擦角 (°)	引張強度 (Pa)	垂直剛性* (MPa/m)		せん断剛性* (GPa/m)	
大谷石	1.38×10^9	9.10×10^8	2.1×10^6	30	1.08×10^6	-		-	
弱面	-	-	3.0×10^4	25	1.00×10^4	6.25	4.31	1.90	1.55

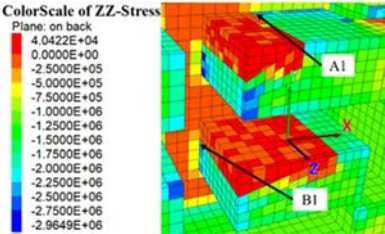


図-4 z 軸方向に作用する応力の分布(モデル β , 単位: Pa)

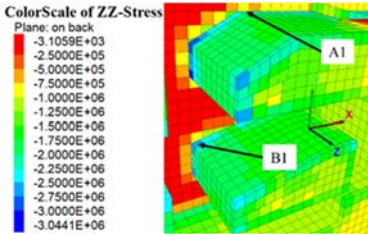


図-5 z 軸方向に作用する応力の分布(モデル γ , 単位: Pa)

表-2 降伏箇所における z 軸方向に作用する応力 (単位: MPa)

モデル 地点	α	β	γ
A1	-1.98	-2.15	-2.49
B1	-2.01	-2.63	-2.50

存在することは地下空間の構造安定性に影響を与える要因の一つになると考えられる。また、弱面を考慮した解析において、弱面付近の降伏を安全側で確認できる β のモデルを用いることが適切である。

5. 対象地下空間の点検方針および試行について

点検では、事前に対象地下空間を複数のエリアに分割し、エリアごとの立入可否を判断した後にヒアリングで得られた「もめる」ことの有無を確認することで、エリアごとの利用可否を判断する。作成した点検指標⁴⁾では、「地下空間の構造安定性に関する検討」、「訪問者の安全性に関する検討」、「地下空間内の美観に関する検討」の三つの大項目を設定した。それぞれの検討項目の評点を集計し、各エリアの健全度評価を「要対策」、「経過観察」、「対応不要」のうちいずれかに区分する。「地下空間の構造安定性に関する検討」では、解析の結果を踏まえ、弱面による影響を検討するために、「キズの開口幅」、「キズの角度」、「打音異常」の有無を点検項目とした。点検指標に加え、第三者が点検結果を理解できるように平面図や内部の展開図を示し、キズの箇所や本数を把握することを前提とした。なお、数値解析ではキズを閉じているとしてモデル化しているが、現地の採石地下空間では開口状態は異なり、点検結果に大きく影響を与える。そのために採石地下空間内の現場では「キズの開口幅」は「3 mm」を減点の閾値とした。作成した点検指標を用いて、著者等 2 名で 2 か所の採石地下空間で目視点検を実施した結果概ね判断は一致した。相違点として減点対象となる「キズの開口幅」の判断が分かれた。この項目の判断要素の改善が望ましい。

6. まとめおよび今後の課題

(1) まとめ

解析の結果から、残柱に弱面を付与した再現モデルにおいて弱面の下部で降伏箇所が確認されたため、弱面は大谷採石地下空間の構造安定性に影響を与える要因の一つであると判断される。点検実施の前に対象地下空間を複数のエリアに分割し、ヒアリングで得られた「もめる」ことの有無を確認することで、エリアごとの利用可否を判断する。本研究で作成した点検指標では、解析の結果を踏まえ、「キズの開口幅」、「キズの角度」、「打音異常」の有無から弱面による影響を検討する。

(2) 今後の課題

本研究で作成した点検指標について、より簡易に点検ができる様に改善を重ねる。また、本点検指標は初回の点検を想定しているが、点検結果を基に調査を積み重ね、継続的に大谷採石地下空間を改善していくことが課題となる。加えて、本研究で着目した弱面の他に注目すべき事項を考慮した解析を行い、それが地下空間の構造安定性に影響を及ぼす要因であると判断されれば、新たに点検項目を定める。

参考文献

1) 土木学会：岩盤構造物の建設と維持管理におけるマネジメント、2009。
2) Dintwe, T. K. M, Seiki, T. and Noguchi, S. : *Stability Evaluation of an Underground Quarry in Oya*, The 2nd Joint Conf. of Utsunomiya University and Universitas Padjadjaran, p.145-150, 2017。
3) 吉中龍之進, 吉田淳, 佐々木猛, 佐々木勝司：寸法効果を考慮した岩盤不連続面の設計用物性値の設定, 土木学会論文集 C, Vol.62, No.2, 457-470, 2006。
4) 水田瑛伸, 大谷採石地下空間の有効利用のための維持管理点検手法の策定に関する研究, 宇都宮大学地域デザイン科学部卒業論文, 2022。