

## 大谷採石地下空間の弱面を考慮した維持管理点検手法の検討

宇都宮大学 学生会員 ○水田 瑛伸  
宇都宮大学大学院 正会員 清木 隆文

## 1. はじめに

栃木県宇都宮市大谷町では、地域に存在する廃坑となった採石場（以下、大谷採石地下空間）を活用した事業が実施されているものの、大谷採石地下空間の維持管理に関する規定はない。定量的な点検が行えれば、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<sup>1)</sup>。したがって、大谷採石地下空間の有効利用の可能性を定量的に評価し、維持管理する点検手法の構築を目指す。また、大谷採石地下空間において、掘削されずに柱状になっている残柱が、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、ダテと呼ばれる残柱と天盤との交差部で表面の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。加えて、点検を行う上で、このような事象を工学的に説明できるようにするために、解析ソフト（FLAC3D, Itasca 社）を用いて大谷採石地下空間をモデル化し、上記の事象が起こる状況の再現を試みた。

## 2. 解析概要

FLAC3D によってモデル化した大谷採石地下空間 A 空洞（図-1）について、A 空洞での現地調査から図-1の赤○囲みの2本の残柱に節理と呼ばれるキズが生じていた。

節理は残柱内に弱面が存在する（図-2）ことで生じる。弱面の存在が構造に影響を及ぼし、上述のダテにおいて表面からの剥落を生じる状況につながると考えた。

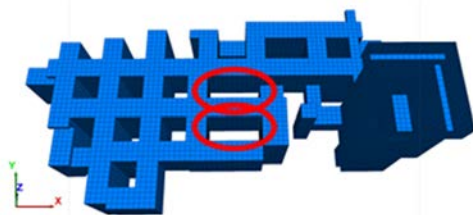


図-1 大谷採石地下空間 A 空洞の再現モデル

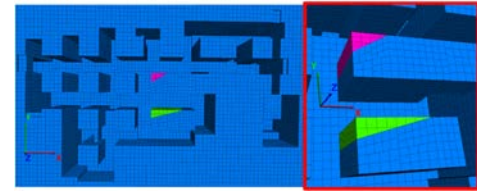


図-2 A 空洞の天盤部分を取り除いた図、対象残柱について着色部分とそうでない範囲との境界面が弱面となる、右は拡大図

A 空洞を構成する大谷石岩盤と弱面の物性値を表-1のように設定した。なお、弱面の垂直剛性、せん断剛性は二つの弱面の断面積に応じて設定した。

## 3. 解析結果

弱面を付与した残柱について、降伏箇所を図-3に、z 軸（鉛直）方向に作用する応力の分布を圧縮が負値として図-4にそれぞれ示す。

また、図-2の着色部分は荷重を負担しないと仮定し、その範囲を除去したモデルの z 軸方向に作用する応力の分布を圧縮が負値として図-5に示す。

図-3の2つの降伏箇所（A1, B1）について、弱面が存在しないモデル（①）、弱面を付与したモデル（②）、図-2の荷重を負担しないと考えられる範囲（着色部分）を除去したモデル（③）、それぞれの z 軸方向に作用する応力を表-2に示す。

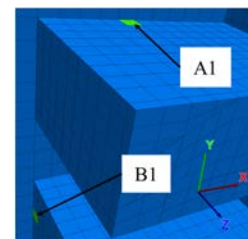


図-3 降伏箇所（黄緑：せん断応力で降伏）

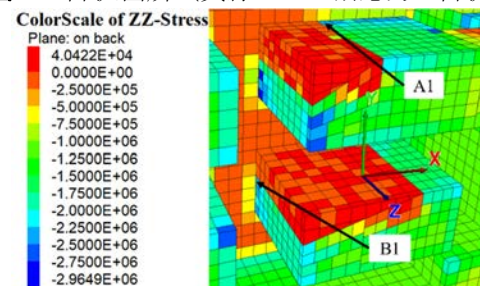


図-4 z 軸方向に作用する応力の分布①（単位：Pa）

キーワード 大谷採石地下空間, 残柱, 弱面, 維持管理, 点検

連絡先 〒321-0904 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学陽東キャンパス TEL : 028-689-7042 E-mail : r199335@cc.utsunomiya-u.ac.jp

表-1 大谷石岩盤と弱面の物性値<sup>2),3)</sup> (\*左が図-2の奥側の残柱弱面, 右が同図の手前側の残柱弱面)

	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	$1.38 \times 10^9$	$9.10 \times 10^8$	$2.1 \times 10^6$	30	$1.08 \times 10^6$	-	-
弱面	-	-	$3.0 \times 10^4$	25	$1.00 \times 10^4$	6.25   4.31	1.90   1.55

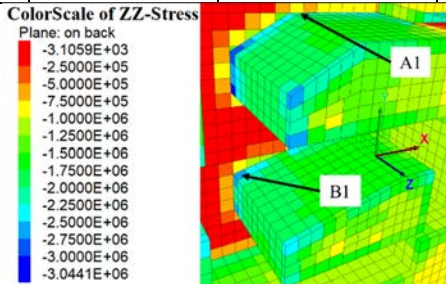


図-5 z 軸方向に作用する応力の分布② (単位: Pa)

表-2 降伏箇所における

z 軸方向に作用する応力 (単位: MPa)

	①	②	③
A1	-1.98	-2.15	-2.49
B1	-2.01	-2.63	-2.50

①, ②いずれにおいても③と比較して z 軸方向に作用する圧縮応力が増大した. A1 における z 軸方向に作用する圧縮応力は①より②が大きい. しかし, ①ではせん断応力が降伏点に達していたが, ②では対象残柱に圧縮応力のみ作用するため, 降伏が確認されなかった.

#### 4. 考察

残柱に弱面が存在することで, 荷重を負担する残柱の断面積が減少する. 加えて, A1, B1 は残柱断面における荷重を負担する範囲では下側の隅角部にあたるため, 負荷が集中するようになり, A1, B1 の z 軸方向に作用する圧縮応力が増大した. A1 において, ①の場合は荷重を負担しないと考えられる範囲では z 軸方向の圧縮応力が小さく, 弱面の両側で圧縮応力に相対的な差が生じることで弱面を閉じる拘束力が弱まり, 相対的なずれを引き起こすようなせん断応力が発生し, 降伏点に達したと考えられる.

特に今回降伏が確認された箇所に注目すると残柱下部であり, ダテではなかった. ただし, 弱面の存在によりせん断応力が生じ, 弱面付近で降伏することが示唆され, 弱面が大谷採石地下空間の構造に影響を及ぼす要因の一つになる可能性がある.

#### 5. まとめおよび解析結果と維持管理点検の検討

##### 5.1 まとめ

大谷採石地下空間の残柱内部に存在する弱面を考

慮した解析を行った.

弱面が存在しないモデル (③), 残柱に弱面を付与したモデル (①), 荷重を負担しない範囲を除去したモデル (②), それぞれを解析, 比較した結果, ①のみせん断応力が降伏点に達した箇所が確認され, その箇所では①, ②いずれにおいても③と比較して z 軸方向に作用する圧縮応力が増大した. これは荷重を負担する残柱の断面積の減少と断面形状の変化により隅角部となることが要因だと推察される.

弱面の存在により弱面に沿う方向に作用するせん断応力が増大し, 降伏する可能性があり, 弱面を考慮した解析において, 弱面付近の降伏を確認できる①のモデルを用いることが適当だと判断される.

#### 5.2 解析結果と点検手法との関係

大谷採石地下空間の点検において, 打音検査により弱面の存在を把握できる. せん断応力の増加による降伏を未然に防ぐためにボルトを打設することで弱面の接合性を高めることに加え, 弱面付近に生じたキズの開口幅や走向, 打音検査で鈍い音が響く範囲が定量的にどの程度であるかということを確認し, 構造安定性を評価する必要がある.

今後は点検指標を策定し, 既存の大谷採石地下空間の構造安定性についての定量的な評価を試みる. 大谷採石地下空間を複数のエリアに分割し, エリアごとの有効利用の可否を検討する. 特に今回扱った内部に弱面のある残柱に関し, 打音検査の結果やキズの状態について点検指標を用いて評価する.

#### 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 2<sup>nd</sup> 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.