

大谷採石地下空間の安定性検討に関する研究

宇都宮大学 学生会員 〇江守 太郎
宇都宮大学 正会員 清木 隆文

1. はじめに

栃木県宇都宮市の大谷地区では、古くから土木・建設材料として利用される流紋岩質緑色凝灰岩、通称「大谷石」が採掘され続けており、その採掘後の地下空洞は、現在 250 箇所以上あるといわれている。これまでも採石地下空間に関する研究は数多くなされてきたが、その安全性に関して明確な判断基準が未だなされておらず、安全性が低いと思われる部分の埋め戻しも思うように進んでいない。そこで、本研究において、掘削地下空間における変位の測定・解析などに基づき、大谷石採石地下空間の安全性を検証する手法の提言を試みる。

2. 現地調査

2.1 坑内変位測定

安全性の検討を行うため、大谷町で大谷石の採掘を行っている採石現場に協力をお願いし、大谷石の採石箇所において、現地調査を行った。

(1) 目的

実際に掘削が行われている空洞が、採石に伴ってどの程度変位するのかを確認するため、内空変位の測定を実施した。

(2) 測定方法

空洞の距離を測定するために、レーザー距離測定器 (DISTO pro4a hand-held laser meter) を用いた。これは、レーザー光の反射によって器械と対象物間の距離を測定する器材であり、その測定精度は $\pm 1.5\text{mm}$ である。また、測定する点を固定するため、図 - 1 のような測定器固定具を字型鋼を

溶接して作成し、各測定始点に設置した。なお、設置の際には、ドリルで壁面に直接 3cm ほどの穴をあけ、その穴に固定具の先端部を差し込み、水準器で水平を確認した



図 - 1 測定器固定の様子

うえ、モルタルを打設し固定した。このようにして、測定点を下の図 - 2 の平面図における A～F の 6 点に設定し空洞間隔の測定を行った。例えば、測線 A-A' の測定方向は、A から A' へ測定を実施することとした。他の測線も同様である。さらに掘削部の測点 E、F においては、図 - 1 の固定具に硬いゴム製の固定具を設置することにより傾斜をつけ、水平距離と壁面中央までの距離との 2 測線を測定した。測定の際には複数回 (3～5 回) 測定を行うことで誤差の最小化を図った。

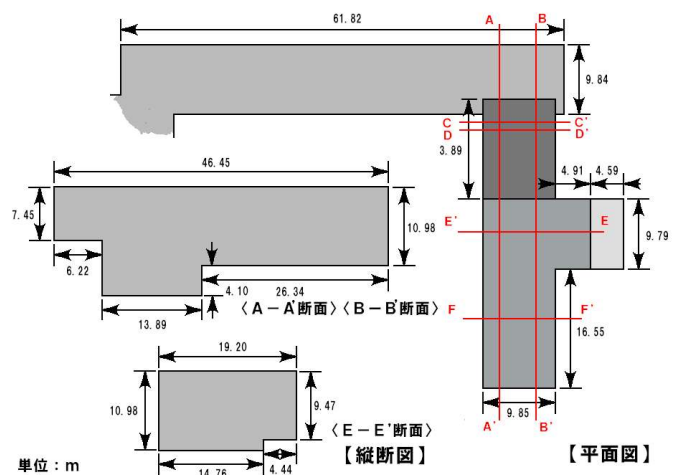


図 - 2 大谷石採石場測定地点の平面図・断面図

(3) 変位測定結果

図 - 3 に、A-A' 間において横軸に時間、縦軸に変位 (初期値 0) をとったグラフを示す。なお、表内の曲線は、周囲 3 つの点の平均をとった点を結び平滑化した曲線である。これを見る限りでは、A-A' 間において測定開始後約 2mm の変位が内向きに生じている。この結果は、壁面が内側に膨らんだことを示している。他の測線においても A-A' 間と同様に 1～2mm の内向きの変位が見られる。しかし、測線 F-F' 間は空洞外向きの変位が確認された。波長、温度、気圧による補正値は、測定値に影響を与えるほど大きくなかったため、この原因として大谷石の収縮によるものを考え、その重量と大きさを表乾状態と絶乾状態において計測したが、実測されたほどの収

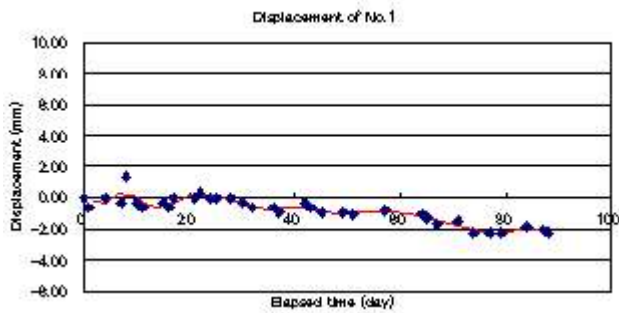


図 - 3 A-A'間の変位傾向

縮は起こらなかった。この測線においては、引き続き計測データの検証が必要である。

2.2 簡易弾性波探査

(1) 目的

この試験は、弾性波の発信源から受信点までの距離をあらかじめ設定しておき、伝播時間（走時）を測定することによりその岩石の弾性波速度を求める試験¹⁾である。ただし、ここでは、簡易弾性波探査を実施し、大谷採石地下空間の所々に存在する節理深さとその採石に伴う変化を相対的に評価するために、健全部分と節理をまたいだ部分とで節理を迂回して伝わる弾性波にどれだけのタイムラグが生じるかを測定した。

(2) 測定方法

測定対象となる壁面に節理をまたぐ任意の2点（約5cm 間隔）をとり、その点をコンクリートボンドにより平滑化する。さらに、発信・受信端末にグリスを塗り、壁面との隙間がないようにして測定を行った。なお、節理部の近くの節理のない健全部分においても同様の測定を行い、比較対象とした。

(3) 測定結果

表 - 1 に計測結果を示す。表中の C は節理部分、R は健全部分を示す。表 - 1 の結果より、節理部分の伝播時間が明らかに大きな値を示すことが確認された。

3. 岩盤分類に基づく空洞の安定度評価

CSIR の岩盤分類²⁾を行うと、非常に良好な岩という評価になる。また、自立時間と CSIR の地盤分類との関

表 - 1 簡易弾性波探査試験結果（単位：μ sec）

	11月17日	11月19日	11月25日	12月2日	12月3日	12月5日
1C	52.7	53.6	51.2	49.9	47.5	47.6
1R	33.6	31.1	31.1	31.7	31.5	30.8
2C	58.0	54.3	55.5	54.8	54.3	57.1
2R	37.6	34.9	33.7	33.7	33.6	33.5
3C	42.4	43.0	42.8	44.4	45.7	46.6
3R	38.0	32.1	33.2	30.0	27.8	33.3
4C	39.6	42.7	41.0	41.8	41.5	41.1
4R	35.5	35.4	35.5	35.0	34.3	32.6
5C	43.0	42.4	42.7	41.1	40.2	44.5
5R	37.6	37.7	37.0	36.6	35.6	34.9

係図において、それぞれの断面における評価点を選定すると、A、B 断面は、優良規格範囲外、他の断面は、良好な岩寄りの非常に良好な岩とされる範囲にプロットされ、2 年間以上自立させるには何らかの支保が必要と評価された。しかし、実際には同現場の近接空洞で 30 年以上無支保で自立している箇所もあるので、岩石強度の CSIR 岩盤分類への影響度の再検討が望まれる。

4. 安定解析

A-A'から F-F'断面における掘削箇所を図 - 4 のように有限要素法によってモデル化し、確率有限要素法³⁾のプログラムメッシュを用いて掘削解析を行った。ここで、破壊確率の検討を行うと、せん断破壊確率が空洞隅角部において比較的大きな値を示しているため、隅角部において何らかの補強を施すことで、より高い安全性が得られると思われる。また、引張破壊に対しては十分安全であることが示された。しかし、F-F'断面においては実際の変位と解析結果との間に変位方向の相違が生じているので、さらなる考察が必要である。

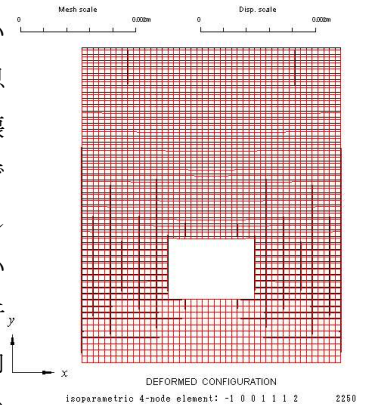


図 - 4 掘削断面のモデル図

5. 結論と今後の課題

現場の変位の測定と安定解析により、おおよそそれらが似通った挙動を示していることが実証でき、現時点で対象とした大谷採石地下空間において、十分な安全性が保たれていることが裏付けられた。しかし、一部の計測データにおいては前述のように解析結果との間に相違がある。この原因を確認するためにも、現場計測を継続することが今後の課題である。

参考文献

- 1) 岩の調査と試験，地盤工学会，1998.
- 2) 小野寺透・吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆共訳，岩盤地下空洞の設計と施工，1985.
- 3) 松枝真吾，大谷石の内部構造不確定性が力学的挙動に与える影響に関する研究，平成 14 年度宇都宮大学修士論文，2002.