

大谷採石地下空間の残柱に対する構造安全性と安心感について

前田道路

九州大学大学院

宇都宮大学大学院

学生会員

正会員

Bui Huy Thanh

T.K.M. Dintwe

○ 清木 隆文

1. はじめに

大谷石は栃木県宇都宮市の北西方向に約 8km 離れている大谷町の中心に、東西約 4km、南北約 6km の範囲から採石される軽石凝灰岩である。大谷石の地下採石跡に広大な地下空間(以下、大谷採石地下空間)が生まれ、貴重な素掘り地下空間として有効利用が検討されて来た。しかしながら、平成元年頃に発生した陥没事故以降はその検討も縮小され、今でも有効活用が課題となって居る。本研究では、大谷採石地下空間の安全性を確認することを第一の目的として、柱房式の大谷採石地下空間を構造的に支える残柱をモデル化して行われた室内試験¹⁾を数値解析で再現を試み、残柱の安全性を考察した。これに加えて残柱にあるキズの補強について利用者が安心できる方策について、アンケート調査を通して考察する。

2. 大谷採石地下空間内の残柱モデル化について

本研究では、柱房式の大谷採石地下空間を対象として、この残柱構造を室内試験で再現し、高さが 100 mm で、幅の 50 mm の矩形断面の残柱供試体に、キズと呼ばれる節理が入った状態を想定し、その角度を変化させた供試体の一軸圧縮試験の結果を数値解析で再現した。構造的には大谷石地下空間の残柱が対称構造であることを反映させて、1/4 の断面のモデルを解析した。数値解析は、FLAC3D を用いて行った。残柱の天端と底版を壊れない部分として琉球石灰岩を用い、柱部を大谷石で再現した。この構造を数値解析で表現し、節理の角度をそれぞれ 45°、60°、75°と 90°に変化させて解析した。なお解析に用いた材料定数は、実験値¹⁾を用い、節理は薄層モデルで再現した。図-1 は節理の角度がそれぞれ 45°、60°、75°の残柱の強度を整理した結果である。なお、応力は、無傷の残柱モデルの圧縮強さで正規化した。節理は、残柱の力学的挙動に大きく影響を及ぼしている。特に節理の角度が 60°の時に、残柱の一軸圧縮強さが約 90%低下し、実験結果の 92.3%¹⁾と同様の結果を得た。残柱の強度は最大に達した後、最大強度に近い残留状態となった。この点は実験結果と異なる挙動である。残柱の一軸圧縮強さと節理の角度の関係は、U字型曲線の一部を示す(図-2)。

3. 残柱の節理補強鉄筋の安全性確認について

本研究では、残柱モデル再現の結果によって節理の影響で残柱の強度が低下し、地下空間の安全性に深刻な影響を与える懸念を示す。このために、節理が入った残柱の安全性を向上させるには、補強することが望まれるが、その方法の一つが鉄筋を差し込むことである。実際に、大谷採石地下空間では、キズの入っている残柱や壁面に鉄筋を差し込んで補強しているが、その効果は十分確認されていない。本章ではキズ(節理)の角度を 60°として、残柱を鉄筋で補強する効果を確認した。図-3 は節理が入った無支保の場合と節理を鉄筋で補強した場合の応力-ひずみ関係を示している。鉄筋で支保した場合の残柱の強度が無支保に比べて低い傾向を示す。これは、比較的軟らかい大谷石岩体に硬い鉄筋を差し込む場合によっては、残柱の降伏強度を高める意味で逆効果となる可能性を示す。また、節理を鉄筋で支保した場合、土被り圧程度が作用した残柱では、鉄筋周辺の水平ひずみが 0.9×10^{-8} 小さくなった。鉄筋は水平方向のひずみを拘束することに対して、ある程度の効果を示す。

4. 残柱の構造安全性改善効果に関する検討について

本研究では、宇都宮大学地域デザイン科学部社会基盤デザイン学科の 1 年生(42 名)及び土木技術者を対象(8 名)として残柱の

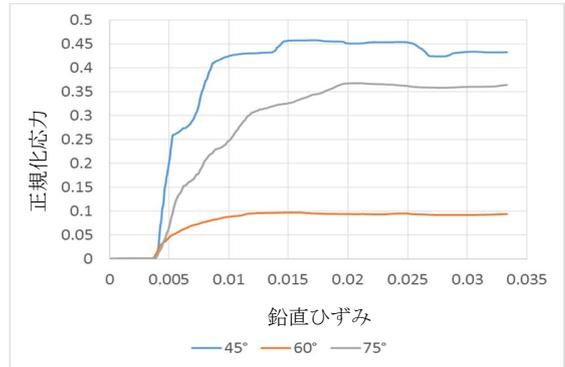


図-1 異なる角度の節理を持つ残柱の応力-ひずみ関係

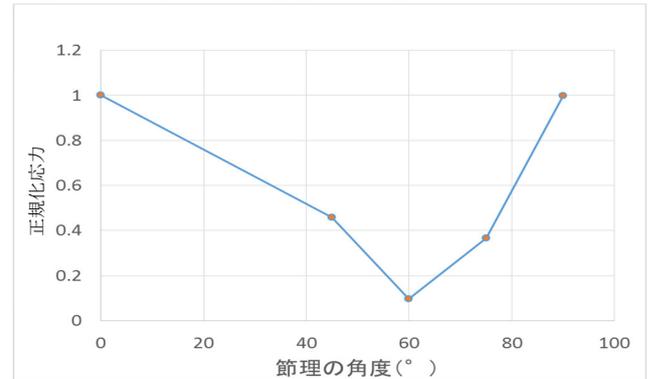


図-2 節理の角度と正規化した一軸圧縮強さの関係

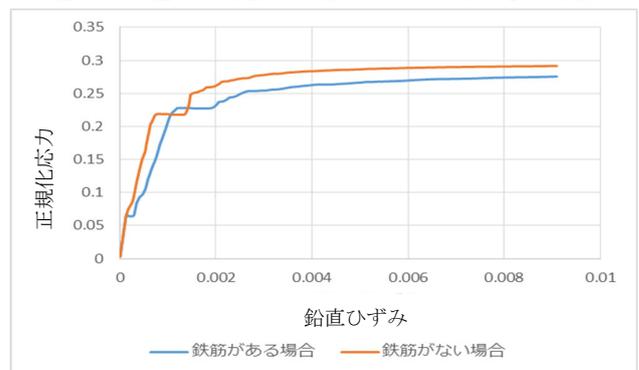


図-3 鉄筋がある場合とない場合の正規化強度

安心に関するアンケート調査を実施した。既往の研究²⁾では、大谷採石地下空間の安全性に対する不安要素を推定するために、事業者と土木に関する知識の少ない被験者らを対象としてアンケート調査を実施し、土木に対する知識の少ない被験者が補強に対する視覚的な不安を抱く結果を得た。そこで本研究のアンケートは、大谷採石地下空間を空間資源として有効利用するために、使用者及び利用者に構造的な安全だけでなく、精神的にも安心をして頂く要素を明らかにするために、節理を補強する観点から検討した。そこで、アンケートの被験者に大谷採石地下空間を訪れる観光客の立場を想像して頂き、大谷石地下空間の残柱を改善の程度による安心感の程度を 1 点～5 点で確認し

キーワード 大谷石採石地下空間, 残柱, 安全性, 安心感

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学大学院 地域創生科学研究科 TEL028-689-6216

た. ここに, 点数が大きい方がより安全, 安心とした. 各対策は, (場合 1)鉄筋だけで補強する場合は(対策 1.1) 残柱の節理を黒い布や大谷石の色合いを持った布などで完全にカバー, (対策 1.2)周りの環境と同化する様にペンキなどで着色, (対策 1.3)節理に沿ってビニール製の葉っぱなどで装飾, (対策 1.4)節理がある周辺の明度を落とす, (対策 1.5) そのままで何もしないことを候補とした. 一方で, (場合 2)節理に鉄筋を差し込んで支保する場合は(対策 2.1) キズを補強する鉄筋をコンクリートでカバー, (対策 2.2)大谷石や大谷石採掘の歴史など紹介するポスターや写真などで鉄筋の頭を隠す, (対策 2.3)鉄筋の頭をきれいな形に装飾して, 灯りをつける, (対策 2.4)鉄筋の頭が壁面から出たままである. 学生を対象としたアンケートの結果を図-4~図-8 に示す. 図-4 は, 大谷石地下空間に入った経験がない被験者は, 経験のある場合の約 2 倍となっていることを示す. そして, 場合 1, 2 の対策の平均点の差を整理したものを図-5~図-8 に示す. (場合 1)では, (対策 1.2)が安全及び安心感に対する点数の評価が高い. (対策 1)の(対策 1.4)は安全に対する評価がもっとも低い. 安心感(対策 1.5)が一番悪く, 対策が必要である. (場合 2, 図-7 と図-8)では, 安全・安心感が(場合 1)に比べて評価が高い. (対策 2.1)と(対策 2.3)の評価は安全・安心感ともに高い. 当然ながら, 鉄筋に対して何も対策しない(対策 2.5)は, 評価が低い.

調査の結果を対象に, 多重比較検定及び分散分析を実施し, それぞれの対策の評価値の差は概ね有意である結果を示した. 節理だけが存在している場合の安全に対する各対策の平均値を比較は定性的である. 節理だけが存在している場合の安心感に対する各対策では, (対策 1.2)の(対策 1.4)および(対策 1.2)と(対策 1.5)は比較が可能である. また, 節理を鉄筋で支保している場合の安全に対する各対策では, (対策 2.1)と(対策 2.4), (対策 2.2)と(対策 2.4), (対策 2.3)と(対策 2.4)は安全性を改善するとして比較が可能である. そして, (対策 2.1)と(対策 2.3)は(対策 2.4)と, 安心感を改善すると比較が可能である. 一方で, 土木技術者の回答結果は残柱にある節理を必ずしも安全を損なうと見ていない傾向を示した. アンケート調査の結果を分散解析した結果, 無支保の場合と鉄筋で支保している場合において, 節理や節理を支保している鉄筋の頭をカバーする各対策の平均値に間に有意差があると見なせるので, 安全と安心感に対する各対策を比較することは有効である.

5. まとめ

本研究は, 栃木県宇都宮市にある大谷地下採石場の安定性を評価するために数値解析とアンケートを実施した. 節理の存在は残柱の強度を低下させることが分かってきた. 節理の角度の中では 60°の場合に残柱の最大強度が約 90%低下し, 深刻である. 節理を鉄筋で支保する残柱の強度は, 節理無支保の場合と比べて少し低い値を示した. 一方, 鉄筋はある程度水平方向のひずみ拘束に有効である. 鉄筋による支保は現場で使われている簡便な方法なので, さらなる検討が必要である. この鉄筋があることで, 利用者の安全と考える感覚は高くなるが, 安心に感じるには, 鉄筋の頭をコンクリートでカバーすることや灯りで飾ることが効果的である. 今後, 残柱の支保は簡易で安価な方法が期待されるために, 大谷石に有効な支保について検討が望まれる. アンケートの結果によって得られた評価が高い対策を参考にして, 実際の大谷採石地下空間を安心して利用するための方策の継続的な検討が期待される.

参考文献

- 1) T.K.M. Dintwe, A Fundamental study on the Static and Dynamic Stability of a Room and Pillar underground quarry in Oya, 宇都宮大学地球環境デザイン学専攻修士論文, 2018.
- 2) 岩城笙, 大谷採石地下空間への利用者安全意識と構造安定性に関する研究, 平成 28 年度宇都宮大学建設工学コース卒業論文, 2017.

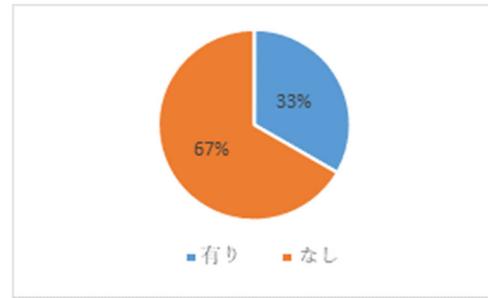


図-4 大谷石地下空間に入った経験の集計結果(学生分)

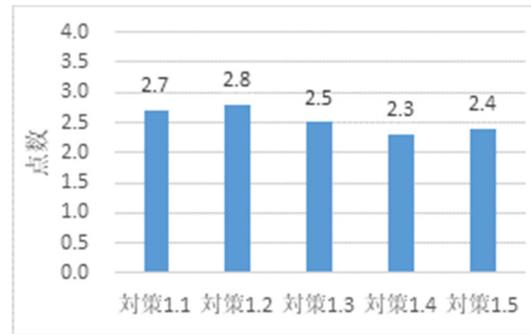


図-5 場合 1 の安全性に関する平均点(学生分)

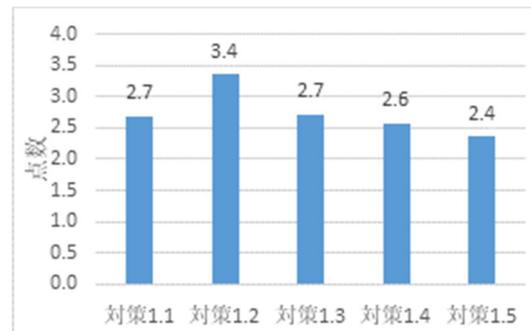


図-6 場合 1 の安心感に関する平均点(学生分)

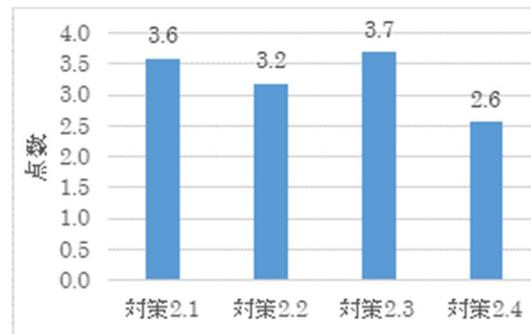


図-7 場合 2 の安全性に関する平均点(学生分)

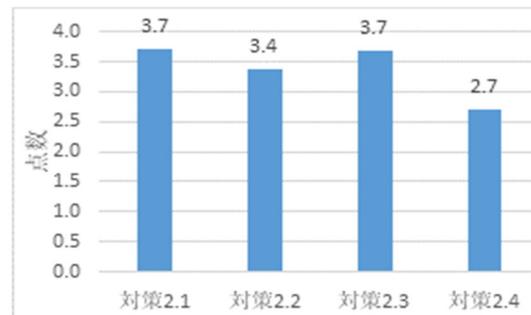


図-8 場合 2 の安心感に関する平均点(学生分)