

III-224 大規模地下空間の安全性評価

宇都宮大学 学生員 岡田 宏樹
 “ 正員 横山 幸満
 “ 正員 日下部 治

1. 研究の目的

栃木県宇都宮市大谷町一帯では、古くから建築材料として用いられてきた流紋岩質緑色凝灰岩（通称：大谷石）を採掘してきた。その採掘跡地の地下空洞は今日まで廃坑として放置され、これまでに度々、崩壊・陥没等の災害を起こしてきた。最近、採掘跡地の地下空間を含めた大規模地下空間に工場・ホール・倉庫等の施設を建設する動きも見られ、地下空間の安全性の確認が重要な問題となってきた。モデルとして着目する大谷石について言えば、力学的な挙動は研究報告¹⁾されているが、地下空間の安定性に関する研究はあまり行われていないのが現状である。そこで本研究では高拘束圧下での大谷石の挙動を調べ、その結果を利用して地下空洞の破壊の様子をシュミレートすることを目的とし、ここでは基礎的性質についての実験結果のみを報告する。

2. 物理試験及び力学試験

(1)試料：本研究で試料に利用した大谷石は、一般に「細目石」と呼ばれるものである。採掘深さは地表下約100mのものを使用した。また、原位置での大谷石は飽和度が100%近いことが分かっていることから、乾燥により試料の力学挙動に変化が及ばないよう、採掘時から試験直前まで終始浸水状態で保存した。

(2)物理試験：粒子比重試験・見掛け比重試験・吸水率試験の3種類を行った。

(3)一軸圧縮試験：10×10×20cmの直方体形、及びφ10×20cmの円柱形供試体の2種類である。直方体形供試体は、見掛け比重試験及び吸水率試験に用いたものと同一の供試体を使用した。円柱形供試体は、合計10本のうち8本はW/C=30%の早強ポルトランドセメントを用いてキャッピングをし、残りの2本については端面を水平にして加工を行った。載荷方法はひずみ制御(0.2%/min)で行った。

(4)三軸圧縮試験(CD)：水で飽和した軟岩を試料として用

表-1 CD試験条件

有効側圧	2.0	4.0	7.0	15.0	30.0	45.0
	S-1	S-4	S-5	S-6	S-7	S-2
	S-9	S-11	S-8	S-10	S-13	S-12

単位：kgf/cm²

いる場合、排水条件によりその変形特性に差異が出てくる。本研究では原位置の力学挙動を出来るだけ再現するため、水で飽和した試料を用いることから圧密排水試験を行った。また深度の違いによる大谷石の力学挙動を調べるため、低拘束

圧の2.0kgf/cm²から高拘束圧の45.0kgf/cm²まで側圧を変化させ試験を行った。供試体寸法はφ10×h20cmの円柱形のものを用いた。試料端面でのキャッピングによる排水量の変化を防止するために、ガイドリングを使用した砥石による研磨で水平かつ平坦になるように注意して加工を行った。バックプレッシャーは5.0kgf/cm²である。拘束圧の条件は表-1に示した6ケースである。

表-2 物理試験結果

湿潤密度 γ (t/m ³)	1.87
乾燥密度 γ_d (t/m ³)	1.51
含水比 w (%)	27.17
粒子比重 G_s	2.40
間隙比 e	0.63
間隙率 n (%)	38.65
見掛け比重 (t/m ³)	1.51
吸水率 (%)	82.87

3. 試験結果及び考察

(1)物理試験の結果を表-2に示す。大内²⁾と比較すると物理諸量は非常に近い値を示し、採掘深さの違い（大内は、-80m）による物理諸量の変化はないものと考えられる。

(2)一軸圧縮試験では、水中保存の試料が $q_u=98.8\text{kgf/cm}^2$ に対し強制乾燥後水中保存のものは $q_u=51.6\text{kgf/cm}^2$ と50%程の強度低下が再確認された。大内²⁾の結果は $q_u=135.0\text{kgf/cm}^2$ であり、25%程度低くなっている

ことが分かる。これは大谷石が堆積軟岩であるが故、採掘深さや試料に用いた大谷石の固結度が違うためであると考えられる。

(3)三軸圧縮試験の結果をもとにして図-1、図-2、図-3、図-4にそれぞれ応力-ひずみ、軸ひずみ-体積ひずみ、有効応力経路、最大強度時のモールの応力円を示す。低拘束圧から高拘束圧のどのケースでもその挙動は初期の弾性挙動からひずみ硬化-軟化の塑性変形をし、最終的に残留応力状態に至る傾向がみられる。そして拘束圧の変化によってピーク強度に変化が見られることから、大谷石の強度は拘束圧に依存していると考えられる。その傾向は残留応力状態に顕著にみられる。体積ひずみについては $\sigma_3' \leq 15.0 \text{ kgf/cm}^2$ と $\sigma_3' \geq 30.0 \text{ kgf/cm}^2$ では降伏の状態は異なり、前者は体積収縮から膨張に変化した後に降伏し、後者は体積収縮のままで降伏することが分かった。有効応力経路はせん断によって応力は増大し降伏と共に最大強度点に至ったが、それ以降はひずみ軟化で次第に減少し、最終的に残留応力状態に至った。以上のことから、試料は明かに加圧密状態の挙動を示していることが分かる。

4. 結論

大谷石は側圧の変化によって強度に大きな影響を及ぼすが、その影響はピーク強度よりも残留強に見られる。

大谷石の原位置での破壊の状況は深度により異なり、地表面から浅い部分では体積変化が収縮から膨張に転じた後に降伏し、深い部分では体積は収縮のままで降伏する。

以上の事より大谷石の原位置での状態を評価する場合には、飽和状態時の残留強度を基準し採掘跡地の地下空洞に構造物を建設する場合もそれに準ずるべきである。

今後は、大谷石の時間依存性を調べ原位置でのクリープ破壊による地下空間の破壊のメカニズムを知ることが望まれる。

《参考文献》

- (1)足立、小川：体積軟岩の力学特性と破壊規準（土木学会論文報告集第295号1980年）
- (2)大内英二：大谷石（体積軟岩）の工学的特性（昭和63年度宇都宮大学卒業論文）

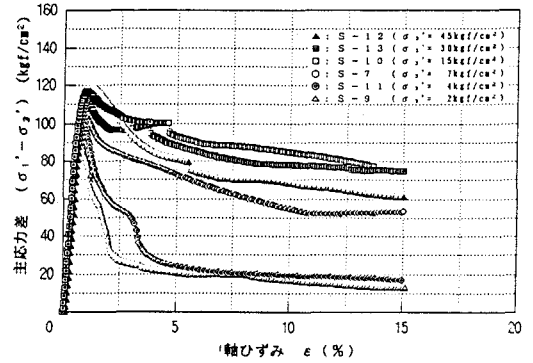


図-1 応力-ひずみ関係

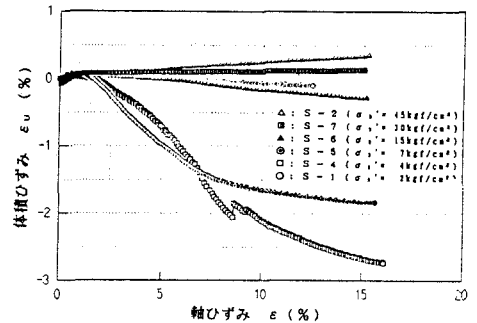


図-2 軸ひずみ-体積ひずみ関係

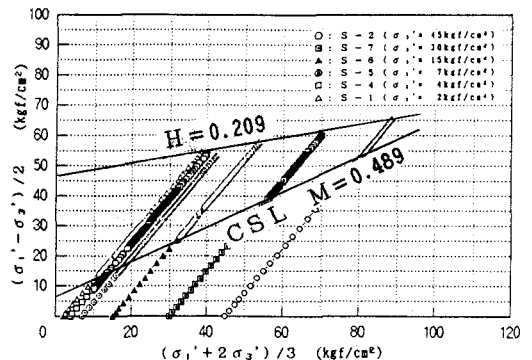


図-3 有効応力経路

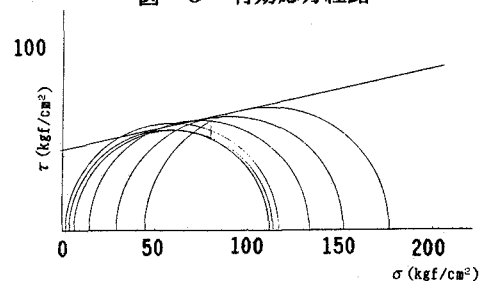


図-4 モールの応力円