

## 石材加工時に発生する石粉末の基礎的工学特性の把握

宇都宮大学 学生会員 ○塚原周平  
 宇都宮大学 正会員 海野寿康, 吉直卓也  
 株式会社 栃木グランドプロ 掛端太郎

### 1. はじめに

栃木県宇都宮市北西部の大谷地区は石材で有名な大谷石の産地であり<sup>1)</sup>, 現在の埋蔵量は約 6 億トン, 年間出荷量は約 2 万トン<sup>2)</sup>である. 一方, 大谷石は採掘や加工の際の破碎により粉末が発生し, そのほとんどが再利用されることなく産業廃棄物扱いとなっている現状である. これらの粉末を再利用するには, 工学的性質を把握する必要がある.

以上の背景から本研究では採掘や加工の際に発生する大谷石の粉末に対して各種室内土質試験を実施し, その工学的性質の把握を行った.

### 2. 大谷石粉末の工学的性質

本研究で用いた大谷石の粉末を“大谷石粉末”と呼ぶことにする. この大谷石粉末に対し, 土粒子密度試験(JIS A 1202), 土の液性・塑性限界試験(JIS A 1205), 突き固めによる土の締固め試験(JIS A 1210), 土の粒度試験(JIS A 1204)を行った. 土粒子の密度は  $2.41(\text{g}/\text{cm}^3)$ であった. また, 液性限界 $w_L(\%)$ , 塑性限界 $w_p(\%)$ , 塑性指数 $I_p$ はそれぞれ $w_L=46.6(\%)$ ,  $w_p=26.9(\%)$ ,  $I_p=19.7$ であり低塑性に分類される.

採取した試料の粒度加積曲線を図-1に示す. 大谷石粉末の工学的分類は細粒分質礫質砂(SFG)であった. 次に締固め試験より得られた試料の締固め曲線を図-2に示す. 最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(\text{g}/\text{cm}^3)$ , 最適含水比 $w_{opt}(\%)$ はそれぞれ $\rho_{dmax}=1.27(\text{g}/\text{cm}^3)$ ,  $w_{opt}=29.8(\%)$ であった.

### 3. 大谷石粉末の鉱物組成と粒子形状

鉱物組成を把握するため, 大谷石粉末に対し, X線粉末回折による回折強度を測定することにより試料が含む結晶物の把握を行った. 図-3 a)の分析結果から大谷石粉末にはゼオライトの一種の結晶物であるクリノプチロライト(Clinoptilolite)が多く検出された. そこで, 本研究では, 市販のゼオライトを入手し X線粉末回折を行い大谷石粉末と結晶物の比較を行った. 入手したゼオライトの産地は, 中国河北省である. 図-3 b)の分析結果から市販のゼオライトからもクリノプチロライトが多く検出され, 回折強度のピーク値も大谷石粉末とほぼ同じであった.

次に粒子形状を把握するため, 大谷石粉末と市販のゼオライトに対し, 電子顕微鏡(SEM)による観察を行った. 写真-1に各土粒子の拡大図を示す. 大谷石粉末は写真-1 a)に示す凹凸の激しい表面の粒子が多く観察されたのに対し, 市販のゼオライトは写真-1 b)に示す滑らかな表面の粒子が多く観察された.

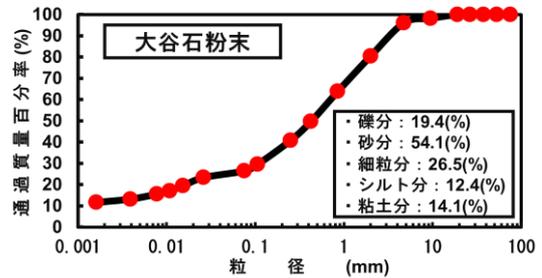


図-1 粒度調整前の試料の粒度加積曲線

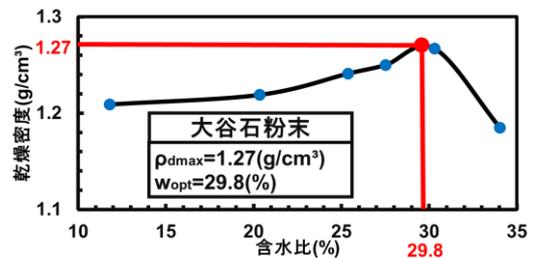
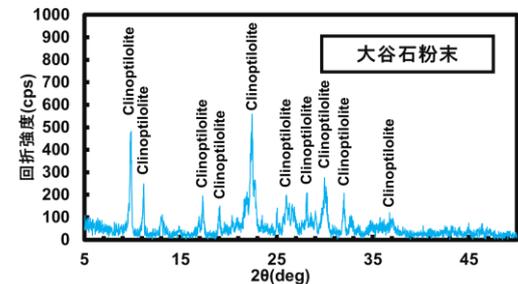
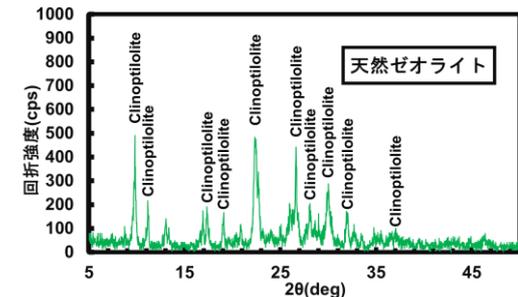


図-2 粒度調整前の試料の締固め曲線

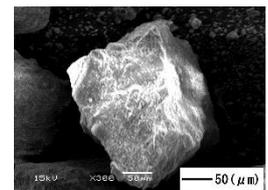
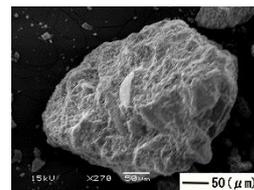


a) 大谷石粉末



b) 市販のゼオライト

図-3 X線回折結果



a) 大谷石粉末(×270) b) 市販のゼオライト(×300)  
 写真-1 SEMによる土粒子拡大図

キーワード 大谷石, ゼオライト, リサイクル, 石粉末

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部 TEL. 028-689-7044

4. 大谷石粉末の一軸圧縮強度

基本的な力学特性を把握するため、大谷石粉末と市販のゼオライトに対して土の一軸圧縮試験(JIS A 1216)を行い、強度の比較をした。

ここで本研究では、供試体作製をセメント協会標準試験方法のセメント系固化材による安定処理土の試験方法(JCAS L-01:2003)に準拠して行い、作製された供試体に対し一軸圧縮試験を行っている。

使用する試料は、粒径 4.75(mm)以下であり、鋳鉄製の二つ割型モールド(内径 50(mm)、高さ 100(mm)) に対し、試料を 4 層に分け 1.5(kg)ランマーを 20(cm)の高さから自由落下させ、1 層目を 10(回)、2 層目及び 3 層目を各 20(回)、4 層目を 40(回)で突き固めた後にモールド管から取り出した。

なお、供試体作製法では、試料を 4.75(mm)ふるいで調整しており採取時と粒度分布が異なるので、市販のゼオライトもこの粒度に合わせている。図-4 は供試体作製に用いた試料の粒径加積曲線である。今回の供試体作製法による突き固め回数で求めた締固め曲線を図-5 に示す。 $\rho_{dmax}=1.3(g/cm^3)$ 、 $w_{opt}=28(\%)$ であり、図-2 の試験結果と比較しても大きな差がみられなかった。そこで、今回の供試体作製時の含水比は図-2 の結果を利用し、大谷石粉末、市販のゼオライトともに 29.8(%)付近に調整して作製した。両試料は、写真-2 の載荷前供試体のようにモールド管から取り出しても崩れることなく自立し、載荷が可能であった。

図-6 に一軸圧縮試験より得られた大谷石粉末と市販のゼオライトの応力-ひずみ曲線、表-1 に両試料の一軸圧縮強度、乾燥密度、含水比をまとめた。図-6 や表-1 より両試料の締固め供試体に対する乾燥密度、含水比に大きな差は見られないものの、大谷石粉末の一軸圧縮強度は  $209(kN/m^2)$ であり、市販のゼオライトの  $52(kN/m^2)$ に比べて約 4 倍であった。この強度差は試料の粒子形状の違いによるものと推測される。

7. 結論

本研究により得られた知見は以下の通りである。

- 大谷石粉末の土粒子密度は  $2.41(g/cm^3)$ であり、工学的分類は細粒分質礫質砂(SFG)に分類され、最大乾燥密度は  $1.27(g/cm^3)$ 、最適含水比は 29.8(%)であった。
- X線粉末回折より、大谷石粉末にはゼオライトの一種の結晶物であるクリノプチロライトが多く検出された。
- 大谷石粉末の一軸圧縮強度は、天然ゼオライトに比べて約 4 倍の強度があることが分かった。

参考文献

- 1) 栃木の自然 編集委員会編：栃木の自然をたずねて P219
- 2) 宇都宮市経済部 都市魅力創造課 大谷振興室：<http://www.city.utsunomiya.tochigi.jp/sangyo/sangyo/ziba/1006777.html>

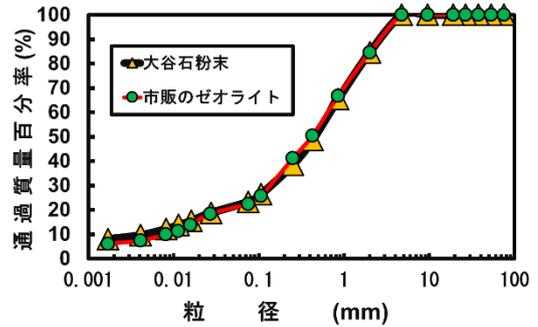


図-4 粒度調整した一軸圧縮試験用試料の粒径加積曲線

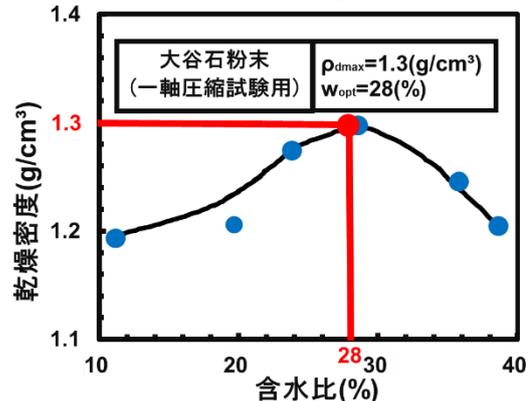


図-5 粒度調整をした一軸圧縮試験用試料の締固め曲線



写真-2 載荷前の供試体の様子

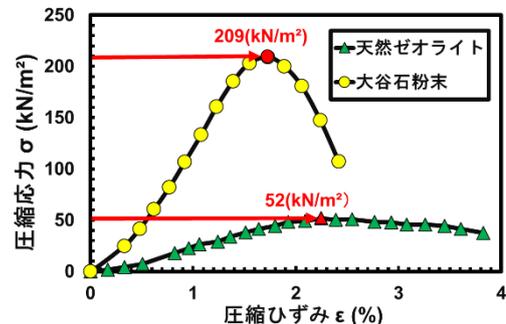


図-6 応力-ひずみ曲線

表-1 一軸圧縮強度、乾燥密度、含水比

試料	$q_u(kN/m^2)$	$\rho_d(g/cm^3)$	$w(\%)$
大谷石粉末	209	1.24	29.4
天然ゼオライト	52	1.23	29.7