

大谷石粉末を添加した混合土の力学特性と含水状態によるその変化

宇都宮大学 学生会員 ○篠崎歩 正会員 海野寿康 非会員 吉直卓也

1. はじめに

栃木県宇都宮市大谷町付近一帯から採掘される大谷石の採掘や加工の際に、石クズや粉末などの産業廃棄物が大量に発生している¹⁾。大量の産業廃棄物が排出されることによって、最終処分場の残存容量が少なくなっているという問題が発生²⁾しており、産業廃棄物排出量削減のため、石クズや粉末などの再利用が必要不可欠である。そこで、本研究では、締め固めた大谷石粉末並びに一般土砂(まさ土)に大谷石粉末を混ぜた土砂(混合土)の強度特性の把握を試みた。

2. 大谷石粉末と比較土試料の物理的性質

本研究では、3種の土、大谷石粉末、まさ土、混合土(大谷石粉末とまさ土を重量比 1:5 で混合した土)を用いた。用いた試料の物理特性を表-1に示し、図-1に各試料の粒度分布を示す。

3. 大谷石粉末並びに混合度の強度特性

今回用いた大谷石粉末自体($\rho_{dmax}=1.264 \text{ g/cm}^3$)の各試験条件における強度定数(c, ϕ)をまとめたものを表-2に示す。また、これを踏まえて最大乾燥密度で締め固めた各試料の含水比別の一軸圧縮試験の結果³⁾を図-2に示す。これらの結果を見ると、まさ土は含水比 $w=0.4\%$ 時に一軸圧縮強さ $q_u=377 \text{ kN/m}^2$ 、混合土は $w=0.5\%$ 時に $q_u=1,115 \text{ kN/m}^2$ 、大谷石粉末は $w=0.2\%$ 時に $q_u=3,050 \text{ kN/m}^2$ となっている。

4. 屋外模型地盤による強度

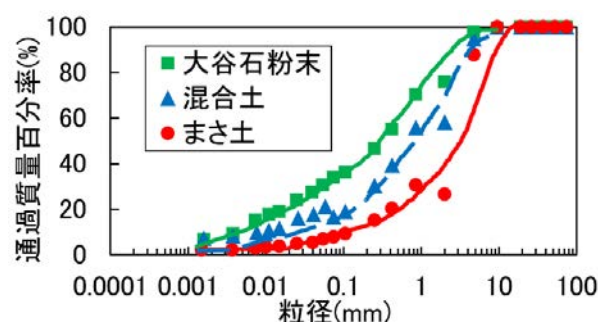
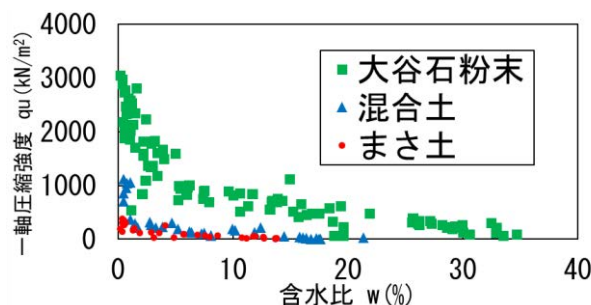
3. の三軸試験および一軸圧縮試験を踏まえ、大谷石粉末を盛土材として使用することを検討するため、模型地盤で実地調査を行う。要素試験に用いた試料を使い、高さ 15 cm、幅 50 cm、奥行き 30 cm の木製型枠に試料を最大乾燥密度で締め固めた屋外模型地盤を作製した。土壌水分計を地表面から 7.5 cm の深さに埋め土中水分量を常時計測しながら、ポータブルコーン貫入試験(JGS 1431)を行った。2019/11/20 から 2020/1/20 の期間中に計測し、降雨後ポータブルコーン貫入試験を計 5 回実施した。図-3 にポータブルコーン貫入試験結果、

表-1 各試料の物理的性質³⁾

試料名	土粒子密度 $\rho_s (\text{g/cm}^3)$	最適含水比 $w_{opt} (\%)$	最大乾燥密度 $\rho_{dmax} (\text{g/cm}^3)$	細粒分含有率 $F_c (\%)$	透水係数 $k (\text{m/s})$
大谷石粉末	2.328	28.4	1.264	33.995	5.666×10^{-9}
まさ土	2.645	9.5	1.990	16.754	5.171×10^{-6}
混合土	2.586	12.9	1.731	8.032	1.376×10^{-7}

表-2 大谷石粉末($\rho_{dmax}=1.264 \text{ g/cm}^3$)の強度特性

強度定数	CU試験	CD試験	UU試験
$\phi(^{\circ})$	34.000	32.000	35.000
$c(\text{kN/m}^2)$	49.000	75.000	40.000

図-1 各試料の粒度分布³⁾図-2 各試料の含水比と一軸圧縮強さ q_u の関係³⁾

土壌水分計による含水比と時間降雨の時刻歴を示す。ここで、ポータブルコーン貫入試験 5 回のうち、次の 2 回に着目する。2019/11/25、2019/12/11 の試験は、混合土のコーン貫入抵抗が最も小さい結果となった。その他の試験日はすべての盛土でコーン貫入抵抗が計測最大値(2500 kN/m^2)付近となり、特にまさ土と大谷石は全てのコーン貫入試験で計測最大値付近となった。

ここで、土壌水分計で計測した盛土地盤の水分を考える。大谷石粉末の含水比は、模型盛土地盤を作製した

キーワード：大谷石、圧縮強度、含水比、ポータブルコーン貫入試験

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学地域デザイン科学部 TEL. 028-689-7041

直後の降雨以降、常に $w=35\%$ 以上であり、混合土は $w=15\%$ 程度、まさ土は $w=8\%$ 程度を保っていた。2019/11/23 の降雨の際は①大谷石粉末②混合土③まさ土の順に含水比の増加量が大きい一方、2019/12/22 の少量の降雨の時には、大谷石粉末、まさ土、混合土の順に含水比の増加量は大きい。特に 2019/12/18 以降、少量の降雨を経験しているが、まさ土や大谷石粉末は含水量が一時的に増加する一方、混合土は水分量に変化はない。この点を考察すると、大谷石粉末、混合土、まさ土の中でまさ土の透水性が最も高いことによると推測する。透水性が高いため、降雨後すぐに水分が地中に侵入し含水比が上がるが、細粒分が少なく水を多く保つことができない⁴⁾ため、直ちに排水されるようである。混合土は、まさ土に大谷石粉末を添加したことで細粒分が増え、まさ土よりも透水性が悪くまさ土よりも保水性が向上し、降雨による影響が乏しくなったのではないかと推測する。なお、図中の時間降水量のデータは、気象庁「過去の気象データ」より宇都宮地方気象台で観測されたデータを使用した。

(<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>)

5. 含水比とコーン貫入抵抗の関係

既往の研究³⁾によれば、最大乾燥密度で作成した供試体の一軸圧縮強さは、大きい順に①大谷石粉末②混合土③まさ土である。一方、2019/11/25 のポータブルコーン貫入試験の結果によると、混合土の強度が最も小さい。土壌水分計による土中の水分から、強度の大小は地盤の含水状態の差に起因していると考えられる。そこで、ポータブルコーン貫入試験時の地盤内の含水比と一軸圧縮試験の結果を比較した。

図-4 と図-5 は 2019/11/25 における盛土のコーン貫入抵抗と一軸圧縮強さをまとめたものである。これらの図より、一軸圧縮試験でも混合土の強度が最も小さく(図-5)、ポータブルコーン貫入試験結果(図-4)と同様の傾向が得られた。なお、2019/12/11 の試験結果においても混合土の一軸圧縮強さが最も小さいという同様の結果が得られた。

以上の結果、強度の小さいまさ土に添加材として強度の大きい大谷石粉末を加えたが、細粒分の増加に伴う透水性の低下や保水性の上昇により土中含水量が増え、強度が低下した。

6. まとめ

本研究では大谷石粉末を混合した際の力学試験と模

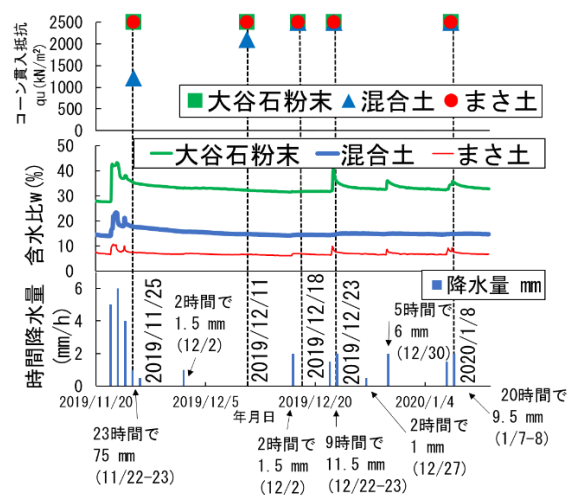


図-3 時間降水量と含水比、コーン貫入抵抗の関係

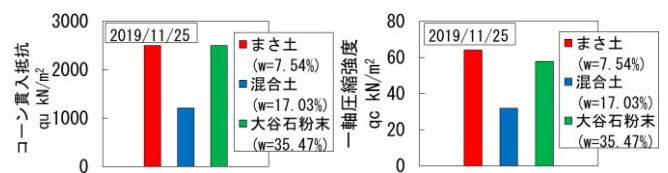


図-4 2019/11/25 の
コーン貫入抵抗

図-5 2019/11/25 の含
水比の一軸圧縮強度

型試験を行った。

大谷石粉末自体は $c'=49 \text{ kN/m}^2$, $\phi'=34^\circ$ と高い強度特性を有するため、他の土に添加した場合でも強度は増加する。一方、それらの試料を用いて最大乾燥密度で締固めた盛土を作製した場合、大谷石粉末を加えた混合土は、細粒分含有率が増えるため、降雨により加水されるとまさ土よりも混合土の土中の水分量が増える。よって、強度増加を期待して大谷石粉末をまさ土に添加したが、降雨による加水を受け土中水分量が増え、実地盤を想定した屋外模型地盤では強度が低下する結果となった。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 JP19H00262(代表：吉直卓也)の助成を受けたものです。

参考・引用文献

- 1) 吉直卓也, 海野寿康, 掛端太郎: 石材加工副産物の工学的性質の把握, 第 13 回環境地盤工学シンポジウム, pp.93-102, 札幌, 2019.
- 2) 「環境省/産業廃棄物処理施設の設置、産業廃棄物処理業の許可等に関する状況(平成 28 年度実績)」について <<https://www.env.go.jp/press/106676.html>> (2020.01.15 アクセス)
- 3) 高樋夢, 海野寿康, 吉直卓也, 掛端太郎: 大谷石粉末を添加した土試料の一軸圧縮強さと土中水分量の関係, 第 46 回土木学会関東支部発表会, 2019.
- 4) 西村拓(編): 土壌物理学, 朝倉書店, pp.17-34.