

脱水ケーキを主体とした混合土の力学特性

九州産業大学	学生会員	中島 夏葵	九州産業大学	正会員	林 泰弘
鳥栖砕石	非会員	吉田 健治	鳥栖砕石	非会員	吉田 一彦
九州産業大学	学生会員	辻 大樹	九州産業大学	正会員	松尾 雄治

1. はじめに

花崗岩を掘削し破碎・分級して砂利や砂を製造する過程で発生する脱水ケーキは、透水性が低いことから「盛土材」や「刃金土」の代替材として活用することを目指して研究が行われている。小倉ら¹⁾はセメント系固化材、またはまさ土による脱水ケーキの改良を試み、設計 CBR \geq 3%、膨張比 \leq 3%、透水係数 \leq 5.0 \times 10⁻⁸m/s を満たす結果が得られた。田代ら²⁾は消石灰と粒状ベントナイトによる脱水ケーキの改良を試み、コーン指数 $q_c \geq 1200$ kN/m²、透水係数 $k < 2.0 \times 10^{-8}$ m/s を満たす結果が得られたが、粒状ベントナイトと脱水ケーキが混ざりにくく施工性に問題が残った。本研究では、脱水ケーキと洗砂を混合した「洗砂混合土」と、脱水ケーキに洗砂を混合しベントナイトを添加した「3 種混合土」の締固め試験と三軸圧縮試験を実施し、「刃金土」として活用するための力学特性³⁾を評価した。

2. 混合土の作製

洗砂とは、脱水ケーキが発生する前の過程で分級された砂である。洗砂混合土は、脱水ケーキと洗砂を粒径加積曲線が既存の刃金土⁴⁾に近くなるように乾燥質量 6 : 4 の割合で混合して作製した。粒径加積曲線を図 1 に示す。図において、脱水ケーキを D、洗砂を A とし、脱水ケーキ 60%と洗砂 40%を混合した試料を DA と表記する。3 種混合土は、DA に粉末のベントナイトを加え、より細粒分を増やしながらも、クラック危険範囲に入らないように脱水ケーキ、洗砂、粉体のベントナイトを乾燥質量 5 : 4 : 1 の割合で混合して作製したもので、図において DAB と表記する。

3. 締固め特性

JIS A 1210 : 2009 に基づき E-a 法で締固め試験を行い、図 2 のような締固め曲線と最適含水比と最大乾燥密度が表 1 のように得られた。脱水ケーキとまさ土を乾燥質量 6 : 4 で混合したまさ土混合土 (DM¹⁾) の結果も同時に示す。洗砂混合土とまさ土混合土の最適含水比は変わらなかったが、最大乾燥密度は洗砂混合土の方が高くなった。また、3 種混合土は洗砂混合土とまさ土混合土より最適含水比が高く、最大乾燥密度は低くなった。

4. CBR 特性

JIS A 1211 : 2009 に基づき設計 CBR 試験を最適含水比より高い範囲で実施した結果を図 3 に示す。洗砂混合土も 3 種混合土も含水比を高くするにつれて設計 CBR は小さくなり、含水比が 16%より大きくなると路床材料としての基準である 3%を満たさなくなった。また、3 種混合土は含水比を高くした時の設計 CBR の値の下がり方が大きかった。

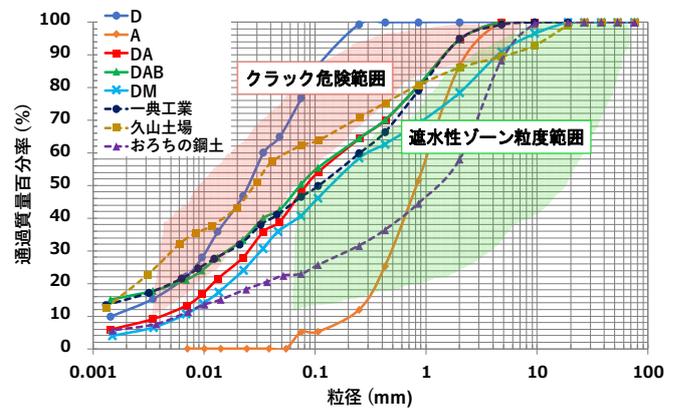


図 1 粒径加積曲線

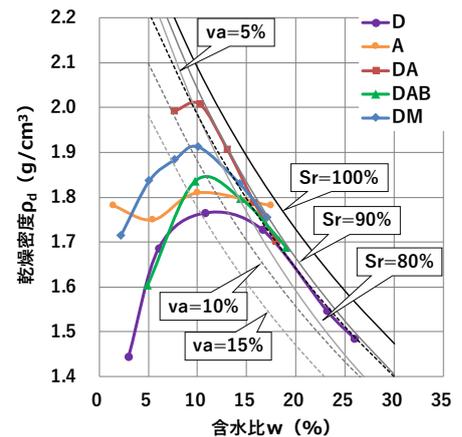


図 2 締固め曲線

表 1 最適含水比と最大乾燥密度

試料	最適含水比 %	最大乾燥密度 g/cm ³
D	12.0	1.767
A	10.7	1.810
DA	9.7	2.012
DAB	10.8	1.845
DM	9.7	1.915

5. 三軸圧縮特性

JGS 0523-2009 に基づき、粘着力 c' とせん断抵抗角 ϕ' を求めるために三軸圧縮試験を圧密非排水条件で行った。締固め度 95% に湿潤側含水比で締め固めた洗砂混合土 ($w=12.8\%$) と 3 種混合土 ($w=16.6\%$) の供試体を作製した。圧密応力と圧密割合の関係を図 4 に示す。圧密割合とは、圧密前の供試体体積に対する圧密量を表す。洗砂混合土と 3 種混合土は脱水ケーキより圧密割合が小さかった。

応力ひずみ曲線を図 5 に示す。脱水ケーキと洗砂混合土は $\sigma'_c=200\text{kN/m}^2$ の場合には圧縮途中で最大主応力が表れた。脱水ケーキ、洗砂混合土、3 種混合土と、脱水ケーキの割合が小さくなるにつれて圧縮ひずみ 2% までに対する主応力差の増加が小さくなった。洗砂混合土と 3 種混合土は、洗砂混合土の最大乾燥密度が 3 種混合土より大きかったことから最大主応力も大きくなったと思われる。有効応力経路を図 6 に示す。脱水ケーキと 3 種混合土は圧縮初期から有効応力が増加したが、洗砂混合土は一旦有効応力が減少したのちに増加に転じた。

強度定数は洗砂混合土が粘着力 $c'=0\text{kN/m}^2$ 、せん断抵抗角 $\phi'=10^\circ$ 、3 種混合土は $c'=5\text{kN/m}^2$ 、 $\phi'=2^\circ$ という結果が得られた。3 種混合土は洗砂混合土に比べて c' は少し大きくなったが、 ϕ' が小さくなった。しかし、洗砂混合土も 3 種混合土も目標とする $c' \geq 10\text{kN/m}^2$ 、せん断抵抗角 $\phi' \geq 30^\circ \sim 35^\circ$ を満たさなかった。締固め度 95% における湿潤側含水比は、最適含水比に比べ洗砂混合土は 3.1%、3 種混合土は 5.8% 高くなる。これにより設計 CBR で路床材料の基準を満たさなかった 16% に近くなることで強度が大幅に低下したため、最適含水比に設定した洗砂混合土と 3 種混合土で試験を行い比較することを考えている。

6. まとめ

脱水ケーキ、洗砂混合土、3 種混合土と、脱水ケーキの割合が小さくなるにつれてせん断強さが小さくなり、洗砂混合土と 3 種混合土ともに刃金土として活用するために必要な c' と ϕ' を得ることはできなかった。しかし、締固め試験と三軸圧縮試験により、洗砂混合土は 3 種混合土に比べて強度が出ることが分かったため、脱水ケーキをより有効活用することができると考えられる。また、まさ土混合土と比較すると粒径加積曲線においてはクラック危険範囲に近いが、締固め試験においては最大乾燥密度が高かったことから混ざり具合が良かったと考えられる。

参考文献：1) 小倉ら：脱水ケーキを路床・路盤材料として活用するための土質改良，2017.2、2) 田代ら：脱水ケーキを刃金土として活用するための土質改良実験，2016.2、3) 農林水産省農村振興局整備部監修：土地改良事業設計指針「ため池整備」，公益社団法人農業農村工学会，p18，2015.5、4) 株式会社一典工業：試験結果報告書，2015.7、松和建設株式会社：試験結果報告書，2016.7、ISK ソリューション株式会社：「おろちの鋼土」，2017.10

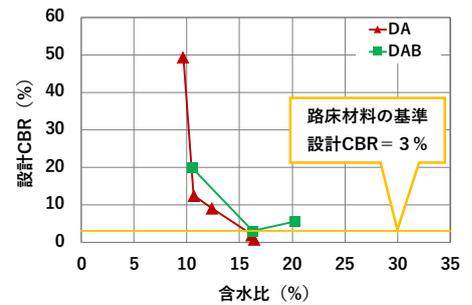


図 3 含水比と設計 CBR

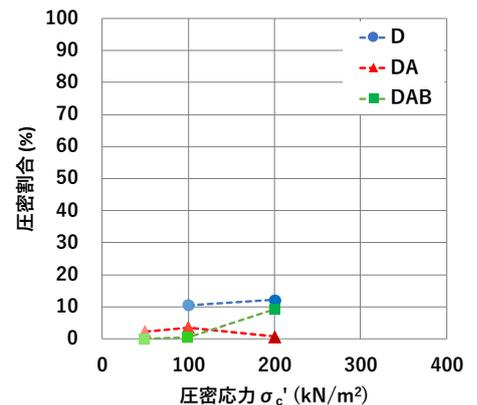


図 4 圧密応力と圧密割合

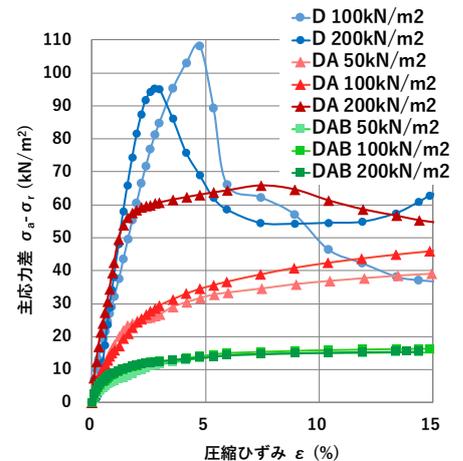


図 5 応力ひずみ曲線

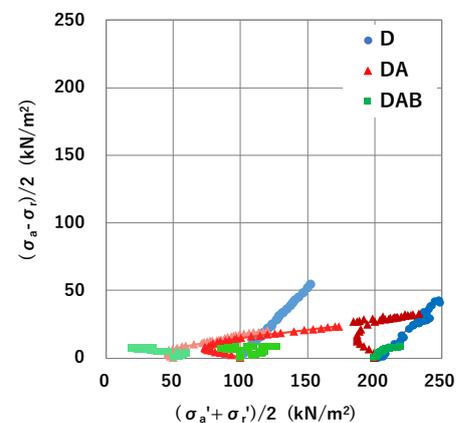


図 6 有効応力経路