

生石灰を用いた脱水ケーキ改良土の刃金土としての適用性

九州産業大学 学生会員 吉井 聡  
鳥栖砕石 非会員 吉田 健治

九州産業大学 正会員 林 泰弘  
鳥栖砕石 非会員 吉田 一彦  
九州産業大学 正会員 松尾 雄治

1. はじめに

筆者らは花崗岩を破碎し骨材に加工する時に発生する脱水ケーキを刃金土の代替材として活用できる品質に改良することを目指して、脱水ケーキに消石灰やセメント系固化材を添加する方法<sup>1)</sup>、脱水する前の泥水に固化材を添加し改良する方法<sup>2)</sup>、まさ土や洗砂といった土を混合して改良する方法<sup>3)</sup>に取り組んできた。中島ら<sup>3)</sup>は洗砂やベントナイトの混合によって脱水ケーキの粒度分布を既存の人工刃金土に近づけた混合土を作製したが十分な品質が得られなかった。

本研究では、脱水ケーキに礫と洗砂を混ぜた「砂礫混合土」、生石灰を添加した「生石灰混合土」を作製し、締固め試験、圧密試験、三軸圧縮試験によって力学特性を評価した。

2. 混合土の作製

花崗岩を粉碎して骨材用の礫や砂を得た後、最終的に脱水ケーキ(D)が発生する。中島ら<sup>1)</sup>は脱水ケーキの粒度分布を既存の刃金土<sup>4)</sup>に近づけるため洗砂(A)に加えた「洗砂混合土」のD6:A4、細粒分を増やし遮水性を高める事を目的にベントナイト(B)を混合した「3種混合土」のD5:A4:B1を作製した。これらの透水係数はD6:A4では $3.40 \times 10^{-9} \text{m/s}$ 、D5:A4:B1では $3.81 \times 10^{-9} \text{m/s}$ と刃金土として十分な値が得られたが、強度定数の粘着力 $c'$ 、内部摩擦角 $\phi'$ はともに十分な値が得られなかった。

そこで、「洗砂混合土」の粗粒分を増やす事で強度改善を目指して脱水ケーキ(D)に10~15mmの礫(G)と洗砂を混ぜて、粒度分布を既存の刃金土に近くなるように調整した「砂礫混合土」のD6:A3:G1、D5:A4:G1を作製した。それぞれの粒径加積曲線を図1に示す。

また、含水比の特性および強度の改善を比較するために生石灰(L)を添加した「生石灰混合土」を作製した。「生石灰混合土」は脱水ケーキを4.75mmふるいを通過するように解きほぐし、含水比を30%に調整した後、生石灰を2%、5%添加・混合したD+L=2%、D+L=5%を作製した。その後、恒温庫(20±3℃)内で1週間密閉養生後、9.5mmふるいを通過するようにほぐして試験に供した。

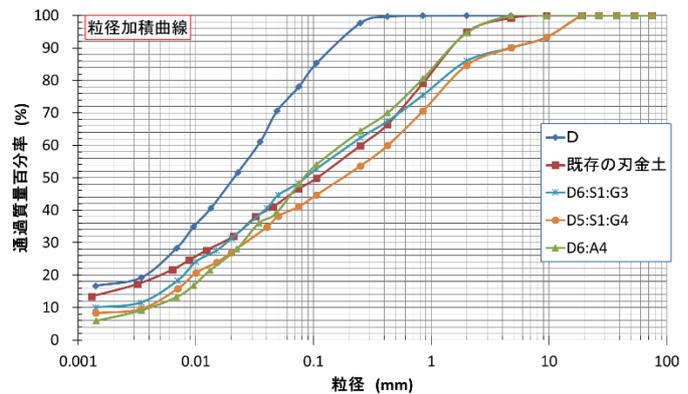


図1 粒径加積曲線

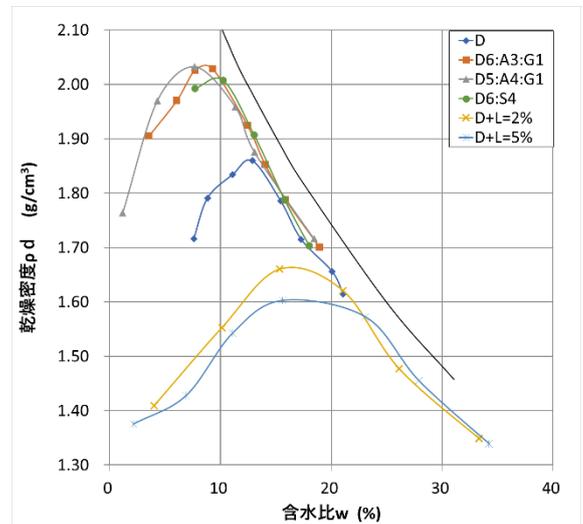


図2 締固め曲線

表1 最適含水比と最大乾燥密度

試料	改良後含水比 (%)	締固め度 (%)	最適含水比 (%)	最大乾燥密度 (g/cm³)
D	29.3	75.7	12.5	1.863
D6:A3:G1	20.3	81.1	8.6	2.034
D5:A4:G1	18.2	84.8	7.5	2.034
D6:A4	20.9	78.5	9.7	2.012
D+L=2%	27.6	87.0	16.2	1.664
D+L=5%	24.4	96.6	16.5	1.605

### 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 の締固め曲線が得られた。各混合土の最適含水比、最大乾燥密度を表 1 に示す。「砂礫混合土」の D6:A3:G1、D5:A4:G1 は「洗砂混合土」の D6:A4 とほぼ同様の締固め特性を示し、粒度や混合材料の違いは見られなかった。「生石灰混合土」の D+L=2%、D+L=5%は最大乾燥密度が下がり最適含水比が上がった。改良後含水比での締固め度は「生石灰混合土」D+L=2、D+L=5%が高くなり、改良効果が見られた。

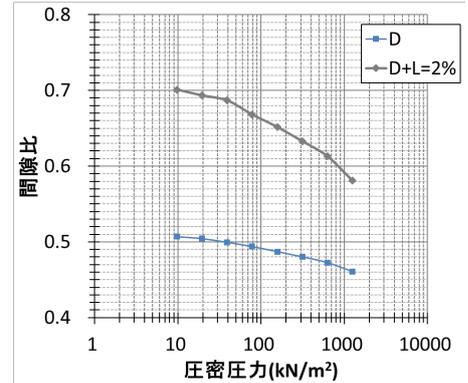


図 3 圧縮曲線

### 4. 圧密特性

締固め度が 95%になるように締固め、飽和させた脱水ケーキ D と「生石灰混合土」D+L=2%を用いて JIS A 1217 : 2009 に基づき段階載荷による圧密試験を行った。圧縮曲線を図 3 に示す。いずれも明確な圧密降伏応を得ることができなかった。「生石灰混合土」D+L=2%は脱水ケーキと比較して間隙比が大きいため、圧縮性が高くなった。

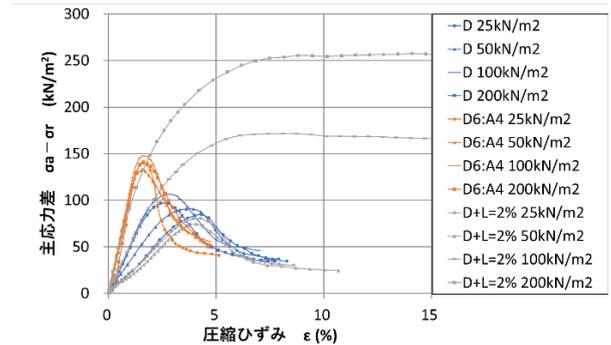


図 4 応力ひずみ曲線

### 5. 三軸圧縮特性

締固め度 95%を目標に、飽和させた試料を用いて JGS 0523-2009 に基づき、非圧密非排水条件で三軸圧縮試験を行った。側圧は 25, 50, 100, 200kN/m²、軸ひずみ速度は 1%/min とした。応力ひずみ曲線を図 4 に示す。D は軸ひずみが約 2%、D6:A4 や拘束圧が 50kN/m² 以下の D+L=2%は軸ひずみが約 4%で最大主応力差が現れたが、拘束圧が 100kN/m² 以上の D+L=2%は圧縮ひずみの増加とともに主応力差も増加している。

表 2 強度定数

	締固め度 Dc (%)	飽和単位体積重量 $\gamma_{sat}$ (kN/m³)	粘着力 cu (kN/m²)	内部摩擦角 $\phi_u$ (°)
D	89.3	21.2	42.7	1.9
D6:A4	89.1	22.1	42.1	2.1
D+L=2%	90.7	20.0	15.5	20.5

拘束圧と圧縮強さの関係を図 5 に、粘着力 cu、せん断強さ  $\phi_u$  を表 2 に示す。D6:A4 では、cu が大きく  $\phi_u$  が小さいが D+L=2%は cu が小さく  $\phi_u$  が大きいため、拘束圧がおおむね 90kN/m² 以下では D6:A4、90kN/m² 以上では D+L=2%の圧縮強さが最も大きくなった。

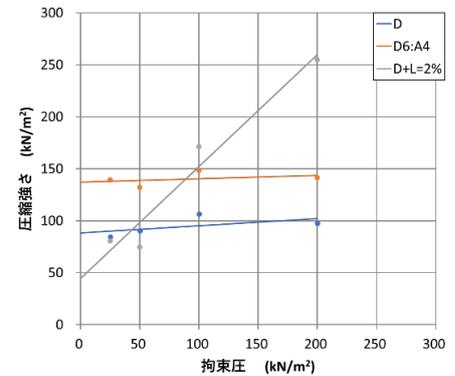


図 5 拘束圧と圧縮強さ

### 6. まとめ

粗粒分を増やす目的で混合土を作製したが、締固め特性は「洗砂混合土」の D6:A4 と大きな違いがなかった。「生石灰混合土」では含水比の低下と締固め度の改善することができた。非圧密非排水せん断強さは拘束圧が 90 kN/m² を超える場合は D+L=2%、それ以下の場合は D6:A4 の強度が大きいことがわかった。

参考文献：1) 小倉正暉・林泰弘・吉田健治・吉田一彦・鎌田瑞樹・松尾雄治：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，平成 29 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.257-258，2018.3.2) 大江脩平・林泰弘・吉田健治・吉田一彦・松尾雄治：花崗岩破碎処理により発生した微粉末の脱水処理による土質改良効果，平成 26 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.365-366，2015.3.3) 中島・林泰弘・吉田健治・吉田一彦・辻大樹・松尾雄治：脱水ケーキを主体とした混合土の力学特性，平成 30 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp. 355-356，2019. 3. 4) 株式会社一典工業：試験結果報告書，2015.7