

石灰添加砕石微粉末脱水ケーキの強度発現に及ぼす石灰添加量と含水比の影響

佐賀大学理工学部 学生会員○内布 竜矢

佐賀大学低平地沿岸海域研究センター 正会員 末次 大輔

同上 正会員 原 弘行

1. はじめに 現在、採石場で発生する砕石微粉末脱水ケーキは汚泥として処分されることが多く、自然から採取した資源を有効に利用することが求められている。そこで、砕石スラッジに石灰を添加して付加価値を与え、単体あるいは土質改良材としての利用を考える。そのためにはまず石灰を添加した脱水ケーキの基本的な特性を明かにする必要がある。本研究では石灰を添加し締固めた脱水ケーキの一軸圧縮強さに及ぼす石灰添加量と含水比の影響について考察する。

2. 実験概要 本研究では九州内の採石場から採取した母岩の異なる3種類の脱水ケーキを使用した。脱水ケーキの母岩はそれぞれ安山岩、結晶片岩、輝緑岩である。使用した砕石微粉末はシルト分と粘土分の細粒分で構成されており、日本統一土質分類によればいずれも低塑性シルトに分類される。これらの脱水ケーキの物性をまとめて表-1に示す。本研究では石灰を添加して締固めた脱水ケーキの一軸圧縮強さに及ぼす含水比ならびに石灰添加量の影響を調べるために、母岩の異なる3種類の脱水ケーキの含水比を5ケース、石灰添加量を5ケースとして供試体を作製した。実験条件をまとめて表-2に示す。供試体の作製方法は次のとおりである。まず、採取した脱水ケーキをJIS A 1201¹⁾に基づいて乾燥させ、塊がある場合には丁寧にときほぐし、2mmふるいを通過したものだけを用いた。この乾燥試料に水を加えて所定の含水比にした。そして、含水比調整した脱水ケーキの乾燥質量に対して所定量の石灰を添加し、ホバートミキサーとスコップを使用して十分に攪拌混合した。次に、直径50mm、高さ100mmの型枠に、3層に分けて締め固めて充填した。このときの締め固めエネルギーは約550kJ/m³である。その後、型枠上面をラップで密閉し、20℃の室温で28日間水中養生した。養生終了後に供試体を型枠から取り出し、上下面を水平に整形して一軸圧縮試験に供した。一軸圧縮試験はJIS A 1216:2009¹⁾に基づいて行った。

表-1 3種類の砕石微粉末の物性

	安山岩	結晶片岩	輝緑岩
土粒子の密度(g/cm ³)	2.78	2.78	2.83
自然含水比 (%)	34.6	34.3	34.5
液性限界 (%)	45.1	34.5	43.4
塑性限界 (%)	18.5	22.4	21.4
最適含水比 (%)	16.3	17.4	19.6
最大乾燥密度(g/cm ³)	1.81	1.74	1.76
粒度組成 (%)			
砂	9.4	7.2	8.3
シルト	49.6	61.8	47.3
粘土	41.0	31.0	44.4

3. 実験結果 結晶片岩の脱水ケーキにおける一軸圧縮強さ q_u と石灰添加量の関係を図-1に示す。脱水ケーキの含水比 w が30%~45%の場合、石灰添加量が増加するほど q_u が大きくなる。20%、25%の場合には、石灰添加量が2.5%ないし5.0%となるまでは q_u は増加するが、それより添加量が増すと q_u は減少する傾向を示す。次に、石灰添加に伴う含水比低下を図-2に示す。同図の含水比低下量 Δw は、石灰添加前の脱水ケーキの含水比 w と28日養生後の含水比 w_{28} の差として算出した。石灰添加量が増加するほど含水比低下量も大きくなる。土に石灰を混合すると、石灰の消化吸水反応によって急速に含水比が低下する²⁾。消化吸水反応で消費される水量は石灰添加量に依存する。これらのことを踏まえると、図-1に示した脱水ケーキの含水比が小さい条件で q_u が小さくなる原因は、石灰添加による消化吸水反応による含水比の低下量が大きく、締め固めによる密度増加に必要な水分が得られなくなるためと推察される。

表-2 供試体の作製方法

母岩	安山岩, 結晶片岩, 輝緑岩			
含水比 w (%)	20, 25, 30, 35, 45			
石灰添加量 (%)	0, 2.5, 5, 7.5, 10			
混合時間 (min)	20			
供試体寸法	$\phi 50\text{mm} \times h 100\text{mm}$			
締め固め条件	ランマー質量 (kg)	落下高さ (cm)	層数	各層の締め固め回数
	1.5	10	3	25

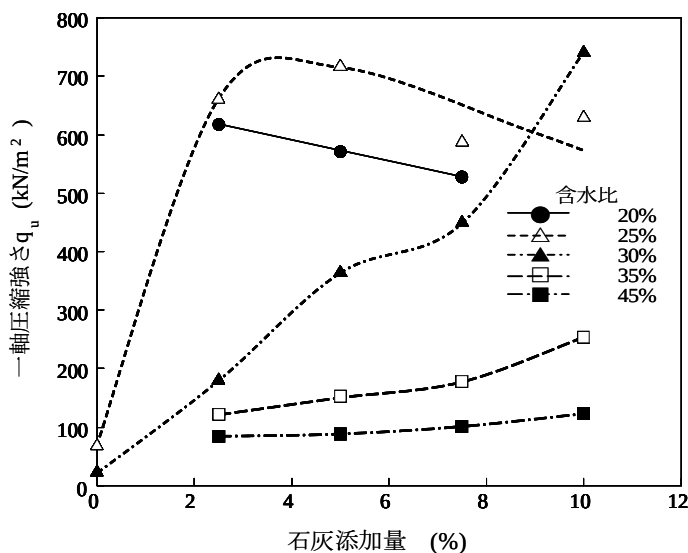


図-1 一軸圧縮強さと石灰添加量の関係

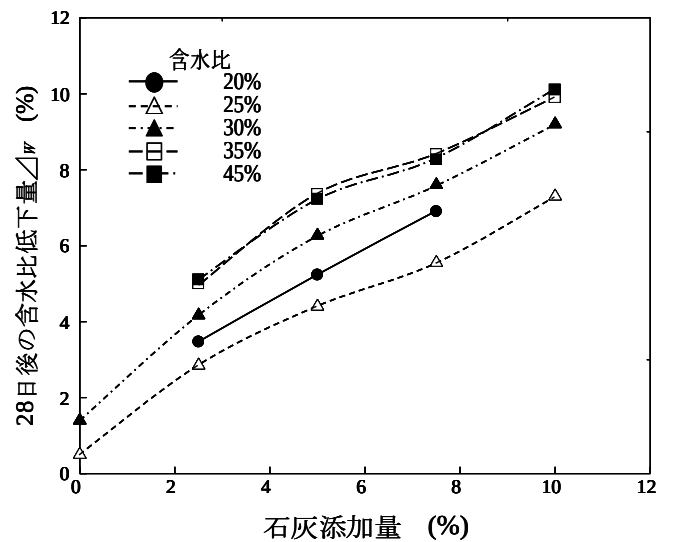


図-2 28日後の含水比低下量と石灰添加量の関係

一軸圧縮強さ q_u ならびに乾燥密度 ρ_d と28日養生後の含水比 w_{28} の関係を図-3に示す。石灰添加量の異なる供試体の q_u と w_{28} の関係はほぼ一致することがわかる。 q_u は w_{28} が大きくなるとある値で最大値を示し、その後小さくなる傾向を示す。 q_u が最大となるときの w_{28} は石灰添加量の多少にかかわらず20~23%となる。一方、 ρ_d と w_{28} の関係もほぼ一致する。 ρ_d も w_{28} が大きくなると最大値を示しその後小さくなる傾向を示す。 q_u と同様に ρ_d の最大値も石灰添加量の多少にかかわらず23%程度となり、 q_u が最大となる時とほぼ一致する。このような結果は、他の2試料についてもほぼ同様に得られた。

以上の結果をまとめると、28日養生時点では、石灰添加による水和反応による強度発現は添加量によらずほぼ一定で、消化吸水反応による含水比低下とそれに伴う締固め密度の変化が強度発現に大きな影響を及ぼすと考えられる。

4. まとめ

本研究では石灰を添加した碎石スラッジの一軸圧縮強さ q_u に及ぼす含水比ならびに石灰添加量の影響について検討した。その結果、石灰添加碎石微粉末脱水ケーキの強度発現には石灰添加量の影響は少なく、石灰添加による脱水ケーキの含水比の低下とそれに伴う締固め密度の変化の影響が大きいことが明らかとなった。

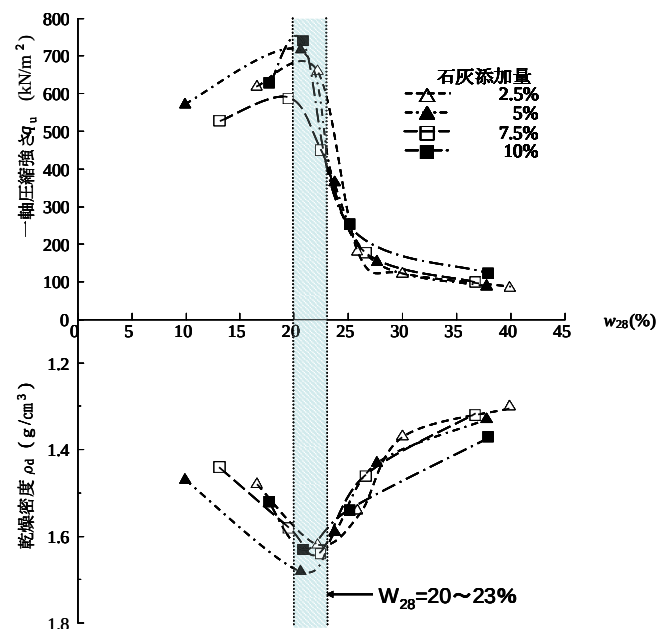


図-3 一軸圧縮強さならびに乾燥密度と28日後の含水比の関係

謝辞: 本研究で使用した脱水ケーキは大坪石材(株)・ガイアテック(株)・才田碎石工業(株)に提供して頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) (社)地盤工学会: 地盤材料試験の方法と解説 pp.29-36, 541-552, 2009
- 2) 日本石灰協会: 石灰安定処理工法, pp.14-20, 2006.