高圧脱水処理したスラグ石灰混合浚渫土の配合強度特性

九州大学工学部　学生会員○竹下　知希　九州大学大学院　正会員　笠間　清伸
港湾空港技術研究所　正会員　春日井 康夫　九州大学大学院　フェロー　善　功企

1. はじめに

港湾の航路・泊地等の維持浚渫や船舶の大型化による海底増深などに伴う浚渫土砂は，これまで土砂処分場で受け入れてきたが，処分場の容量はほぼ飽和状態にある．我々の研究グループは，固化材としてセメントを加えた浚渫土砂を「高圧脱水固化」することで，コンクリートの圧縮強度に匹敵する材料強度まで高強度化できる技術シーズを得た．しかし，近年セメントが海洋環境へ与える悪影響が懸念されており，漁業関係者からセメント使用に対する反対の声も挙がっている．

本文では，セメントの代わりに結合材として高炉スラグ微粉末を，高炉スラグ微粉末の潜在水硬性を引き出すためのアルカリ刺激材として石灰を用いて，高圧脱水固化したスラグ石灰混合浚渫土を作製し，その強度特性を調べた．さらに，最も効率的な配合の作製条件の検討および主成分分析を行った．

2. 実験概要

使用材料：供試体を作製するために用いた母材は，博多港で浚渫された土砂(以降, 博多港土砂と呼ぶ)および新北九州空港で浚渫された土砂(以降，関門粘土と呼ぶ)である．固化材として，結合材には高炉スラグ微粉末，高炉スラグ微粉末の潜在水硬性を引き出すためのアルカリ刺激材には消石灰を使用した．試料の物理特性および粒径加積曲線をそれぞれ**表-1** および**図-1** に示す．高炉スラグ微粉末および消石灰は，母材の乾燥重量に対する比率(以降，スラグ混合率および石灰混合率と呼ぶ)で配合し，スラグ混合率，石灰混合率ともに 2%~54%の条件で配合した．

供試体作製方法：母材と固化材を初期含水比が $1.2w_L$%となるように加水調整し，十分攪拌混合させた後，ϕ50mm×h250mmのモールドに試料を充填した．その後，定圧載荷試験機によって 5MPa および 10MPa で定圧載荷し，供試体を作製した．排水条件は，上下端周面排水とした．載荷中には，沈下量および脱水時間を測定した．圧密終了は 3t 法で決定し，そのときを圧密度 100%とした．圧密終了後，モールドから脱型した供試体を 28 日間恒温湿潤状態で養生し，一軸圧縮試験(JIS A 1216)により一軸圧縮強度を測定した．実験条件を**表-2** に示す．

表-1　試料の物理特性

	密度 (g/cm^3)	自然含水比 (%)	液性限界 (%)	塑性指数
博多港浚渫土	2.686	68.36	68.13	32.5
関門橋浚渫土	2.697	152	95	59.1
高炉スラグ微粉末	2.88	-	-	-
消石灰	2.2	-	-	-

表-2　実験条件

母材	博多港土砂 関門粘土
結合材	高炉スラグ微粉末
アルカリ刺激材	消石灰
初期含水比	$1.2w_L$
スラグ混合率	2% ~ 54%
石灰混合率	2% ~ 54%
脱水圧力	5MPa 10MPa
脱水条件	上下端周面排水
養生日数	28日間
養生条件	温度20℃ 湿度≧90%

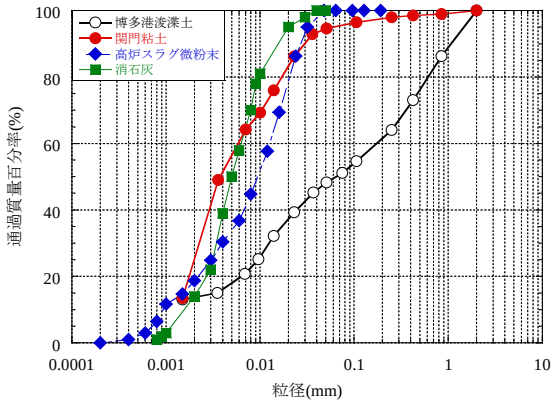

図-1　粒径加積曲線

3. 実験結果および考察

脱水圧力が 10MPa のときの，石灰混合率と一軸圧縮強さの関係を**図-2** に示す．凡例はスラグ混合率を表す．母材が博多港土砂のとき，スラグ混合率の増加に伴い，一軸圧縮強さが

キーワード　一軸圧縮強度　スラグ　粘性土
連絡先　〒819-0395　福岡市西区元岡 744 番地ウエスト 2 号館 1110 号室　ＴＥＬ092-802-3383

大きく増加した．しかし，石灰混合率 10%未満では，一軸圧縮強さの増加量が小さくなった．母材が博多港土砂のとき，石灰混合率 10%およびスラグ混合率 31%以上で最大一軸圧縮強さ 23.12MPa となった．また，母材が関門粘土のときも同じようなことが言えた．母材が関門粘土のとき，石灰混合率 20%およびスラグ混合率 21%~30%で最大一軸圧縮強さ 25.48MPa となった．

スラグ石灰水重量比と一軸圧縮強さの関係を**図-3** に示す．判例は，脱水圧力を示す．母材が博多港土砂のとき，スラグ石灰水重量比を 3 に近づけるほど一軸圧縮強さが増加した．あた，母材が関門粘土のときも同様にスラグ石灰水重量比が 1.6 に近づくほど一軸圧縮強さが増加した．さらに，脱水圧力を増加するほどスラグ石灰水重量比が 1.6 に近づくことが分かった．このことから，スラグ石灰混合浚渫土の強度発現にはスラグ石灰水重量比をある値に近づけること，脱水圧力を増加することが重要であると考えられる．

図-2 および**図-3** より，スラグ石灰混合浚渫土の強度発現には様々な要因があると考えられる．そのことから，主成分分析を行った．その結果を**表-3** に示す．第 1 成分は粒度特性を，第 2 成分はアルカリ刺激力を，第 3 成分では固化反応力を，さらに第 4 成分では骨格の強度を表す指標であると考えられ，それぞれの成分から説明変数を選択し，重回帰分析を行い，一軸圧縮強さに対して重回帰式を得た．その式を下に示す．

$$\text{一軸圧縮強さ } qu = -22.17 + 0.88 \times F_c - 0.10 \times \text{石灰混合率}$$
$$-0.96 \times \text{スラグ石灰水重量比} - 48.55 \times \text{間隙比} e$$

重相関は 0.83 と強い相関を得ることができた．さらにデータ数を増やし分析を行うことで，どの浚渫土でも精密な一軸圧縮強さの予測ができる重回帰式を得ることができると考えられる．

4. 結論

本文では，スラグ石灰混合浚渫土の配合強度特性に着目し，一軸圧縮強さの考察および分析を行った．結論を以下に示す．

1) 母材が関門粘土のとき，石灰混合率 20%およびスラグ混合率 21%~30%で最大一軸圧縮強さ 25.48MPa となった．
2) 主成分分析より，スラグ石灰混合浚渫土は，粒度，アルカリ刺激力，固化反応力および骨格の強度により，90%以上の評価が可能である．
3) 重回帰分析によりスラグ石灰混合浚渫土の一軸圧縮強さを予測できる重回帰式を得た．

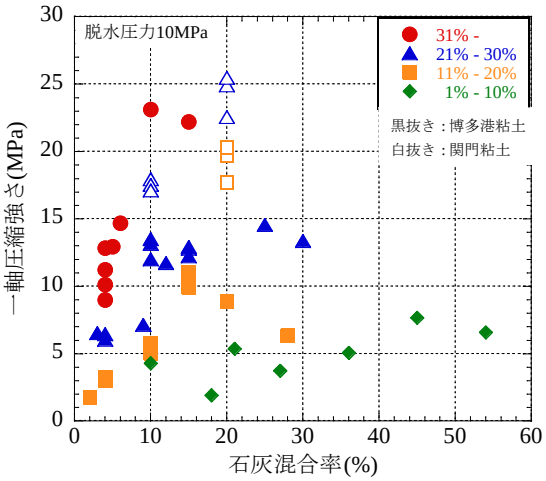

図-2　石灰混合率と一軸圧縮強さの関係

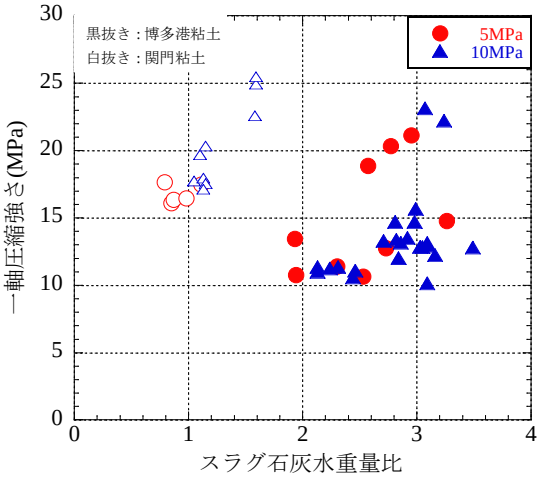

図-3　スラグ石灰水重量比と一軸圧縮強さの関係

表-3　主成分分析

	成分			
	1	2	3	4
累積寄与率(%)	39.22	72.10	86.85	93.86
成分行列				
ρ_s	0.43	-0.89	0.06	-0.04
S_c	-0.91	-0.40	-0.11	0.09
F_c	0.91	0.40	0.11	-0.09
P_c	0.73	0.67	0.08	-0.07
U_c	-0.80	-0.59	-0.09	0.08
U'_c	0.98	0.11	0.11	-0.10
スラグ混合率	0.90	-0.37	0.12	-0.10
石灰混合率	-0.04	0.98	-0.02	-0.01
含水比	0.56	0.34	0.70	0.23
浚渫土含有率	-0.91	-0.40	-0.11	0.09
湿潤密度	0.84	-0.09	0.20	0.46
乾燥密度	0.57	-0.49	-0.48	0.41
水スラグ石灰重量比	-0.49	-0.10	0.76	0.38
水スラグ重量比	-0.52	0.66	0.02	-0.12
水石灰重量比	0.32	-0.70	0.23	-0.04
脱水圧力	0.05	0.24	-0.51	0.60
スラグ石灰水重量比	0.40	0.04	-0.83	-0.36
スラグ水重量比	0.56	-0.69	-0.39	-0.20
石灰水重量比	-0.34	0.89	-0.25	-0.06
間隙比e	-0.26	-0.33	0.66	-0.54
実験前石灰水比	-0.14	0.98	-0.03	0.01

【参考文献】1)松永久宏：鉄鋼スラグ水和固化体の強度発現性に及ぼすアルカリ刺激材の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.1，2009．2）河野　信貴：高圧脱水固化処理土の強度特性と大型化，地盤改良シンポジウム論文集，2006.10.