

高強度固化処理土の一軸圧縮強度に関する主成分分析

九州大学大学院工学研究院 正会員 ○笠間清伸 善功企 陳光斉

1. 目的

著者らは、建設副産物の再資源化方法の一つとして、浚渫粘土のような軟弱な材料にセメントを添加した後、高圧力で機械脱水することで、コンクリートに匹敵する圧縮強度まで高強度化する技術開発を行っている¹⁾。本文では、提案する高強度化技術の汎用性を調べるために、塑性指数を人工的に変化させた試料を用いて固化処理土を作製し、一軸圧縮試験から高強度化の程度を明らかにした。さらに、得られた一軸圧縮強度、試料の物理特性および作製条件に関する主成分分析から、高強度化に影響する支配因子を分析した。

2. 試料および実験方法

試料は、熊本港粘土、まさ土、まさ土の細粒分、カオリン粘土および熊本港粘土とまさ土を混合した試料を用いた。初期含水比を150%に調整し、試料の乾燥重量の10%、20%および30%の高炉スラグセメントB種を添加し、十分に攪拌した(セメント添加率C=10, 20, 30%)。その後、モールド(高さ235mm, 直径50mm)に試料を詰め、定圧載荷試験機によって20MPaで定圧載荷し、供試体を作製した。排水条件は、上下端および周面排水である。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法で決定した。詳しい供試体の作製方法は、参考文献1)を参照下さい。作製した供試体を28日間湿潤状態で養生し、一軸圧縮強度を測定した。実験ケースを表-1に示す。各試料の物理特性を表-2に、粒径加積曲線を図-1に示す。

3. 母材の物理特性と強度の関係

図-2にセメント添加率と一軸圧縮強度の関係を示す。熊本港粘土を母材とした供試体の一軸圧縮強度は、セメント添加率20%まで急激に増加し、その後ほぼ一定値を示す。熊本港粘土とまさ土を混合した供試体では、混合率によらず、ほぼ直線的に増加し、その増加傾向は、熊本港粘土の混合率が大きいほど顕著であった。また、今回作製した試料の中で、最も小さな一軸圧縮強度を示したのは、まさ土の細粒分を母材とした供試体であった。

図-3に塑性指数と一軸圧縮強度の関係を示す。カオリン粘土の結果を除くと塑性指数が増加するに従い、一軸圧縮強度は増加する。一軸圧縮強度の増加傾向に着目すると、セメント添加率が増加するにつれ、強度増加の程度も増加する。これは、セメントの化学反応に必要な水分と土粒子の粘土成分に吸着している水の割合が強度発現に関連していると考えられる。

4. 主成分分析による強度分析

高圧脱水固化処理土の強度分析を行うために、一軸圧縮強度試験結果と実験条件のうち、セメント添加率などの表-3に示す17変数を設定し、2変数間の相関係数の把握および主成分分析を行った。ここでは載荷圧20MPaの実験ケースのデータを用いた。

セメント、安定処理、一軸圧縮強度、塑性指数

〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 共同研究棟 2F TEL&FAX: 092-642-4399

表-1 実験ケース(載荷圧 20MPa)

実験 ケース	試料	セメント添加率 (%)	載荷圧 (MPa)
No. 20-1	熊本港粘土	10	20
No. 20-2		20	20
No. 20-3		30	20
No. 20-4	まさ土細粒分	10	20
No. 20-5		30	20
No. 20-6		10	20
No. 20-7	まさ土(熊本港粘土添加率80%)	20	20
No. 20-8		30	20
No. 20-9		10	20
No. 20-10	まさ土(熊本港粘土添加率60%)	20	20
No. 20-11		30	20
No. 20-12		10	20
No. 20-13	カオリン	20	20
No. 20-14		30	20
No. 20-15	まさ土細粒分(熊本港粘土添加率33%)	10	20

表-2 試料の物理特性

試料	粘土含有率 (%)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	塑性指数	活性度
熊本港粘土	73.36	110.60	40.50	70.10	1.79
まさ土細粒分	16.61	41.50	25.60	15.90	1.63
まさ土および熊本港粘土(K=80%)	59.49	79.17	27.42	51.75	1.52
まさ土および熊本港粘土(K=60%)	45.61	63.03	25.71	37.31	1.48
カオリン	52.50	50.60	31.00	19.60	0.69
まさ土細粒分および熊本港粘土	25.33	55.50	29.70	25.80	1.80

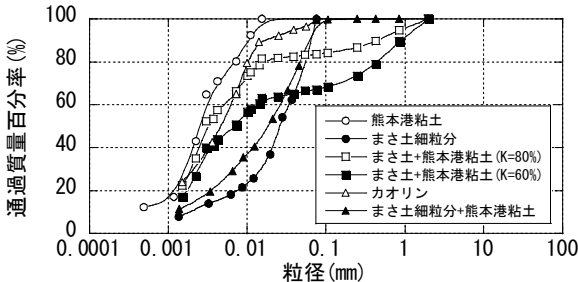


図-1 粒径加積曲線

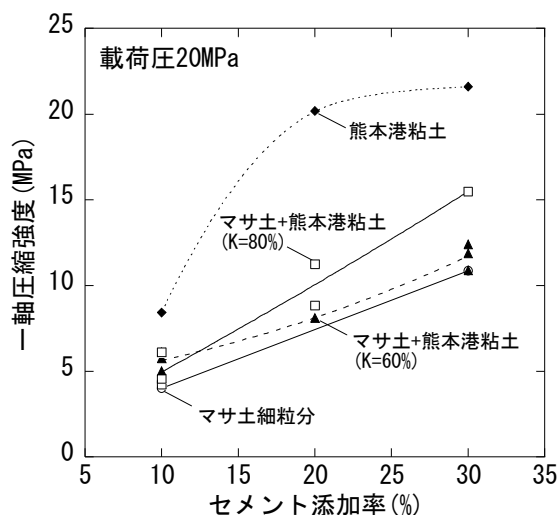


図-2 セメント添加率と一軸圧縮強度

表-3 に一軸圧縮強度と各変数の相関係数を、表-4 に主成分分析の結果を示す。表-3 より、正の相関では、セメント添加率、セメント水重量比、細粒分含有率、および塑性限界の順で大きくなった。負の相関では、水セメント重量比が最も大きい。しかしながら、一つの変数で 0.8 以上の相関係数は得られていない。表-4 より、第 1 から第 4 主成分で元の全変数をもつ情報の約 98% を評価可能である。各主成分値の大きい変数に着目すると、第 1 主成分は粘土の保水能力、第 2 主成分は比較的粒径の大きな成分、第 3 主成分は土の骨格、第 4 主成分はセメントの特性を表す成分であると考えられる。これらの結果を踏まえて、含水比、塑性限界、およびセメント添加率を説明変数に選択し、一軸圧縮強度に対して重回帰分析を行うことが有効だと判断した。

表-5 に重回帰分析の結果を示す。得られた重回帰式は $q_u = -18.045 - 0.0640X_1 + 0.7078X_2 + 0.5246X_3$ となり、3 次線形関数の形となった。ここで、 X_1 : 含水比、 X_2 : 塑性限界、 X_3 : セメント添加率であり、重相関係数は 0.93 となった。

5. 結論

1) 高強度固化処理土の一軸圧縮強度は、セメント添加率および塑性指数が増加するにつれ、増加する。2) 主成分分析により、第 4 主成分までで約 98% の情報を表せた。3) 含水比、塑性指数およびセメント添加率を用いて一軸圧縮強度を説明する重回帰式が得られた。

なお、本研究は、国土交通省九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所受託研究(浚渫土砂を利用した高強度構造物の開発研究)の成果の一部である。

【参考文献】1) 倉富ら(2004): 高压脱水固化処理を施した浚渫粘土の力学特性, 第 49 回地盤工学シンポジウム, pp.111-118.

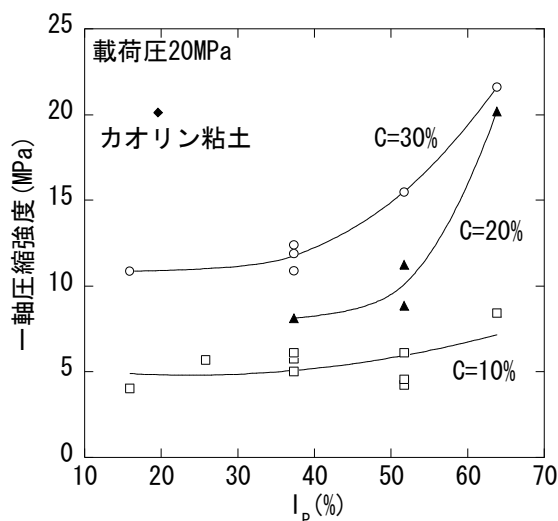


図-3 塑性指数と一軸圧縮強度

表-3 2 変数間の相関係数

相関行列	一軸圧縮強度(MPa)
一軸圧縮強度(MPa)	1.000
セメント添加率(%)	0.782
塑性指数	0.052
塑性限界(%)	0.586
液性限界(%)	0.161
粘土分含有率(%)	0.368
シルト含有率(%)	0.457
細粒分含有率(%)	0.617
2 μm 以下粘土分(%)	0.386
活性度	-0.210
D ₆₀ (mm)	-0.441
含水比(%)	-0.261
水セメント重量比	-0.724
セメント水重量比	0.667
湿潤密度(g/cm ³)	0.102
乾燥密度(g/cm ³)	0.163
間隙比	-0.162

表-4 主成分分析

	成分			
	1	2	3	4
累積寄与率	50.746	77.150	88.207	97.780
成分行列				
セメント添加率(%)	-0.419	0.530	-0.122	0.712
塑性指数	0.936	0.064	0.248	0.238
塑性限界(%)	0.527	0.783	0.191	-0.043
液性限界(%)	0.920	0.211	0.254	0.199
粘土分含有率(%)	0.833	0.540	0.118	0.017
シルト含有率(%)	-0.517	0.689	-0.283	-0.420
細粒分含有率(%)	0.209	0.919	-0.131	-0.308
2 μm 以下粘土分(%)	0.817	0.566	0.109	0.003
活性度	0.833	-0.318	0.281	0.352
D ₆₀ (mm)	-0.603	-0.719	0.144	0.215
含水比(%)	0.907	-0.256	0.090	0.040
水セメント重量比	0.605	-0.507	0.158	-0.550
セメント水重量比	-0.714	0.520	-0.166	0.403
湿潤密度(g/cm ³)	-0.669	0.168	0.711	-0.069
乾燥密度(g/cm ³)	-0.817	0.216	0.529	-0.075
間隙比	0.634	-0.255	-0.723	0.092

表-5 重回帰分析

	非標準化係数		標準化係数	t	有意確率
	B	標準誤差	ベータ		
(定数)	-18.0447	3.6077		-5.0017	0.0000
含水比(%)	-0.0640	0.0962	-0.0543	-0.6651	0.5115
塑性限界(%)	0.7078	0.0987	0.5220	7.1728	0.0000
セメント添加率(%)	0.5246	0.0599	0.7003	8.7541	0.0000
従属変数: 一軸圧縮強度					