

ベントナイトと砂分を添加した海成粘土の透水係数と圧密係数の予測式

広島大学大学院工学研究科
広島大学大学院工学研究院
広島大学大学院工学研究科
日本工営株式会社

学生会員
正会員
学生会員
正会員

○高橋 源貴
土田 孝
遠藤 秀祐
村上 博紀

1. はじめに

廃棄物処分の目的で海面処分場を建設する際には、底面および側面の遮水層として用いる遮水地盤材料の遮水性能(止水性)や圧密特性(施工性に影響)の目標を設定し、それらを満たす材料の配合設計を行わなければならない。本論文では、载荷段階圧密試験によって得られた海成粘土にベントナイト及び砂を添加した遮水材料のデータ¹⁾をもとに、単回帰分析や重回帰分析の結果から適応性を検討した。

2. ベントナイトと砂分を考慮した海成粘土の透水係数の予測式

载荷段階圧密試験では1つの供試体に対し透水係数と平均圧密応力の関係を得ることができるが、この関係から得られたデータに対して累乗近似を施すと近似式は以下のようになる。

$$k = k_0 p^{-a} \tag{1}$$

ここでは k_0 : 初期透水係数(m/s), a : 透水係数低減定数とする。なおここで使用されている東京湾粘土とは東京湾で浚渫された粘土を指し、徳山港粘土とは山口県徳山港で浚渫された粘土、ベントナイトと砂はアメリカのワイオミング産ベントナイト、相馬珪砂5号を指す。各試料の物性値は表1に示す。表2にそれぞれの供試体の k_0 , a を示し、表2中のYは東京湾粘土, Tは徳山港粘土を表す。またBはベントナイトを表し, Bに続く数字は液性限界の1.5倍に調泥した海成粘土1m³当りの乾燥重量に対する、ベントナイト乾燥状態での添加量(kg)を, Sは相馬珪砂を表し, Sに続く数字は海成粘土とベントナイトの合計乾燥重量に対する相馬珪砂の添加比(%)を表す。更に, r_B は液性限界の1.5倍に調泥された海成粘土1m³当りの乾燥重量に対するベントナイトの添加比(%)を表す。

初期透水係数 k_0 とは式(1)から計算された、平均圧密応力1kPa下における透水係数であり、透水係数低減定数 a は透水係数の値をどれだけ減じるか示す定数である。既往の研究¹⁾²⁾では、ベントナイト添加により透水

表1 各試料の物性値

試料	土粒子密度 (g/cm ³)	液性限界 (%)
東京湾粘土	2.793	133.9
徳山港粘土	2.616	110.6
ワイオミング産ベントナイト	2.898	187.0
相馬珪砂5号	2.665	-

表2 各供試体の初期透水係数と透水係数低減定数

供試体名	原料土	ベントナイト 添加比 r_B (%)	砂添加比 r_S (%)	初期透水係数 k_0 (m/s)	透水係数 低減定数 a
YB0	東京湾粘土	0.00	0.00	1.19E-08	0.569
YB0S100		0.00	100.00	8.93E-09	0.500
YB0S150		0.00	150.00	8.52E-09	0.458
YB25		5.77	0.00	1.08E-08	0.600
YB50		11.54	0.00	9.61E-09	0.618
YB50S100		11.54	100.00	6.60E-09	0.546
YB50S150		11.54	150.00	9.32E-09	0.543
YB100		23.08	0.00	1.02E-08	0.703
YB100S100		23.08	100.00	5.98E-09	0.598
YB100S150		23.08	150.00	6.35E-09	0.527
YB200	徳山港粘土	46.16	0.00	8.85E-09	0.763
YB250		57.70	0.00	9.57E-09	0.823
TB0		0.00	0.00	5.62E-09	0.603
TB0S100		0.00	100.00	2.53E-09	0.502
TB0S150		0.00	150.00	3.05E-09	0.423
TB25		4.98	0.00	4.21E-09	0.614
TB50		10.00	0.00	4.48E-09	0.665
TB75		14.93	0.00	4.95E-09	0.693
TB100		20.00	0.00	4.89E-09	0.708
TB100S100		20.00	100.00	3.27E-09	0.635
TB100S150		20.00	150.00	2.82E-09	0.560
TB150		30.30	0.00	4.71E-09	0.732

表3 初期透水係数と透水係数低減定数の予測式

海成粘土	予測式
東京湾粘土	$a_p = 4.17 \times 10^{-3} r_B - 7.87 \times 10^{-4} r_S + 0.58$
	$k_{0p} = -4.30 \times 10^{-11} r_B - 2.14 \times 10^{-11} r_S + 1.10 \times 10^{-8}$
徳山港粘土	$a_p = 5.41 \times 10^{-3} r_B - 1.00 \times 10^{-3} r_S + 0.60$
	$k_{0p} = -1.42 \times 10^{-11} r_B + 4.76 \times 10^{-9}$

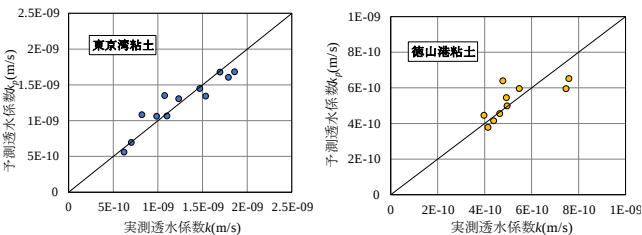


図1 予測透水係数と実測透水係数の関係

係数は低下し、砂を150%添加した供試体は高压密応力下において透水係数は上昇すると報告されている。つ

まり、透水係数の挙動はベントナイトと砂の両者の影響を考慮する必要があるため、それぞれ東京湾粘土と徳山港粘土を母材としたケースに対して重回帰分析を行った。重回帰分析により算出した予測式を表3に示す。なお徳山港粘土を母材とした初期透水係数は、 r_B に関する相関性が見られなかったため、 r_S のみの単回帰分析を行った。

そして、これまで求めた各係数を式(1)に適用し、最終的に得られた透水係数 $k_p(\text{m/s})$ の予測式を式(2)に示す。

$$k_p = k_{0p} p^{-a_p} \quad (2)$$

また図1に式(2)より算出した予測透水係数と実測透水係数の関係を示す。

3. ベントナイトと砂分を考慮した海成粘土の圧密係数の予測式

透水係数同様に1つの供試体に対し圧密係数と平均圧密応力の関係を得ることができるが、この関係から得られたデータに対して累乗近似を施すと近似式は以下ようになる。

$$c_v = c_{v0} p^b \quad (3)$$

ここでは c_{v0} : 初期圧密係数(cm^2/day), b : 圧密係数変化定数とする。表4にそれぞれの供試体の c_{v0} , b を示す。

初期圧密係数 c_{v0} とは式(3)から計算された、平均圧密応力 1kPa 下における圧密係数であり、圧密係数変化定数 b は圧密係数が平均圧密応力によってどの程度変化するかを表している。既往の研究¹⁾²⁾では、 r_B が大きい程圧密係数は低下し、 r_B が等しい供試体同士ならば、 r_S が大きい供試体の方が圧密係数は上昇する傾向があると報告されている。つまり、圧密係数の挙動についても、ベントナイトと砂の両者の影響を考慮する必要があるため、重回帰分析を行った。重回帰分析により算出した予測式を表5に示す。なお初期圧密係数に関して、東京湾粘土を母材とした供試体においては r_S に関する相関性、徳山港粘土を母材とした供試体においては r_B に関する相関性が見られなかったため、それぞれ r_B , r_S のみの単回帰分析を行った。

そして、透水係数同様求めた各係数を式(3)に適用し、最終的に得られた圧密係数 $c_{vp}(\text{cm}^2/\text{day})$ の予測式を式(4)に示す。

$$c_{vp} = c_{v0p} p^{b_p} \quad (4)$$

また図2に式(4)より算出した予測透水係数と実測透水係数の関係を示す。

4. まとめ

表4 供試体の初期圧密係数と圧密係数変化定数

供試体名	原料土	ベントナイト 添加比 $r_B(\%)$	砂添加比 $r_S(\%)$	初期圧密係数 $C_{v0}(\text{cm}^2/\text{day})$	圧密係数 変化定数 b
YB0	東京湾粘土	0.00	0.00	18.11	0.318
YB0S100		0.00	100.00	17.34	0.419
YB0S150		0.00	150.00	18.43	0.479
YB25		5.77	0.00	14.52	0.301
YB50		11.54	0.00	11.57	0.311
YB50S100		11.54	100.00	10.38	0.405
YB50S150		11.54	150.00	13.26	0.458
YB100		23.08	0.00	11.12	0.226
YB100S100		23.08	100.00	7.91	0.372
YB100S150		23.08	150.00	10.37	0.435
YB200		46.16	0.00	8.72	0.174
YB250		57.70	0.00	9.01	0.118
TB0	徳山港粘土	0.00	0.00	5.60	0.380
TB0S100		0.00	100.00	2.76	0.549
TB0S150		0.00	150.00	3.54	0.670
TB25		4.98	0.00	4.39	0.344
TB50		10.00	0.00	4.81	0.270
TB75		14.93	0.00	4.58	0.277
TB100		20.00	0.00	4.59	0.260
TB100S100		20.00	100.00	2.99	0.420
TB100S150		20.00	150.00	2.23	0.581
TB150		30.30	0.00	4.91	0.224

表5 初期圧密係数と圧密係数変化定数の予測式

海成粘土	予測式
東京湾粘土	$b_p = -3.25 \times 10^{-3} r_B + 1.17 \times 10^{-3} r_S + 0.32$ $c_{v0p} = -0.16 r_B + 15.41$
徳山港粘土	$b_p = -5.08 \times 10^{-3} r_B + 2.02 \times 10^{-3} r_S + 0.36$ $c_{v0p} = -1.45 \times 10^{-2} r_S + 4.76$

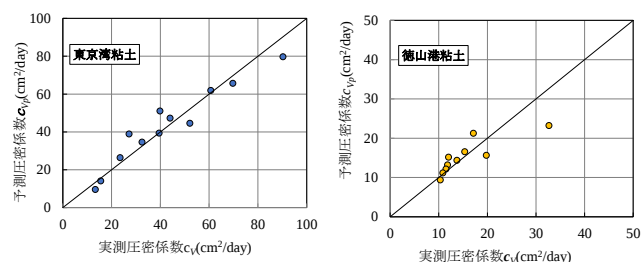


図2 予測圧密係数と実測圧密係数の関係

1) 透水係数は、圧密試験から得られた各供試体の透水係数と平均圧密応力の関係に対し累乗近似を施し、 $k = k_{0p} p^{-a}$ という近似式が得られた。近似式中の k_0 , a に対しても r_B , r_S を考慮した重回帰分析を行い、精度の高い予測式を得た。

2) 圧密係数も同様に、各供試体の圧密係数と平均圧密応力の関係に対し累乗近似を施し、 $c_v = c_{v0p} p^b$ という近似式が得られた。 c_{v0} , b に対しても r_B , r_S を考慮した重回帰分析を行い、精度の高い予測式を得た。

参考文献

- 1) 村上博紀, 土田孝, 片山遥平: セシウムを含む廃棄物を対象とした海成処分場における遮水地盤材料の研究, 地盤工学ジャーナル, Vol.10, No.1, 2015.
- 2) 高橋原貴, 土田孝, 村上博紀: 海成処分場における遮水地盤材料の吸着性能に関する研究, 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol.71, 2015.