

## 質と量の異なる粘土鉱物を配合した難透水性人工粘土の相関性

岡山大学 大学院自然科学科 (正)水野克己  
 (独)国立環境研究所 (正)遠藤和人  
 (財)地域地盤環境研究所 (正)藤原照幸  
 岡山大学 環境理工学部 (正)西垣 誠  
 京都大学大学院 地球環境学堂 (フェロー)嘉門雅史

**1.はじめに** 本研究の対象は、砂分(土質分類でSF-G, SF, SP, S-F)の含有率が質量比でおおよそ 54 ~ 94 %からなる砂質系土砂に、質と量の異なる粘土鉱物(カオリンやベントナイトなど)を配合した人工粘土の透水係数である。研究に用いたパラメータは、主に液性限界( $w_L$ )、塑性限界( $w_p$ )、塑性指数( $I_p$ )、透水係数( $k$ )、密度( $\rho_s$ )、最適含水比( $w_{opt}$ )、最大乾燥密度( $\rho_{dmax}$ )、比表面積( $m^2/g$ )ならびに粒度分布である。本研究の目的は、試験から得た相関性をもとに、コンシステンシー限界を用いて、物理・化学的視点で促えて不飽和粘土の難透水性のメカニズムについて、解明することである。

**2.試験内容と結果** 室内実験結果 (TP1 と TP2:Test Pad) としてベントナイト混合比を 5 ~ 30 %程度まで変化させたデータを 7 点、カオリン系混合土 (KC:Kaolinite), カオリン+ベントナイト系混合土 (KB:Kaolinite+Bentonite), カオリン+微粉 (KF: Kaolinite + Flour) を各 5 点の合計 22 点のデータを使用した<sup>1)2)</sup>。材料番号とその詳細を表-1に示す。

**3.考察** 図-1に示されるように塑性図上における A 線からの距離は、タフネスや乾燥強さを示していることになるため、自然含水比( $w_n$ )をゼロとしたときのコンシステンシー指数を  $I_{cE}=w_n/I_p$  と表現し、 $I_{cE}$  を水和エネルギーと定義した。目標する透水係数を得るための、相関性を示す性質を一次(目標)、二次(条件)、三次性質(境界条件)と定義し、物理

・化学的視点にわけて表現した。この一次性質、二次性質、三次性質は土の性質を表すものではない。物理・化学的性質の共通パラメータとして  $I_{cE}=w_n/I_p$  とした。これら 10 種類のパラメータを用いて近似式から相関性を求めた。なお、比表面積 ( $m^2/g$ ) は理論値から求めた。表-2に KF, KC, KB, TP1, TP2 の平均値と相関性 ( $r > 0.9$ ) の個数を示す。

カオリンと比ベントナイトを用いた混合土が相関性 ( $r > 0.9$ ) を示す値が多い。KF, KC, KB, と比ベ TP1, TP2 は、塑性限界 ( $w_p$ ) と比表面積 ( $m^2/g$ ) と  $I_{cE}=w_n/I_p$  の平均値が異なり、鉱物特性の違いが理由であることがわかる。図-2 ~ 図-6 に各 KF, KC, KB, TP1, TP2 の相関性と粘土分として用いた板状粘土鉱物特性概念を示す。図-2 と 図-6 のように、 $k$  (cm/s) -  $w_L$ ,  $k$  (cm/s) -  $I_p$  の相関性が何れも低い理由は、透水試験とコンシステンシー限界試験 (425  $\mu m$  以下) で用いる粒度の違いから、425 ~ 75  $\mu m$  までの吸水しない土粒子(非膨潤性粒子)の存在が影響していると考えられる。図-6 ~ 図-7 に示すように、ベントナイトの添加量の増加で、全体の相関係数が高くなることが読みとれる。図-2 ~ 図-3 に比べ、図-5 ~ 図-6 では示すように

キーワード 物理化学的性質, 相関性, コンシステンシー限界, ベントナイト

連絡先 (株)ホージュン 〒379-0133 群馬県安中市原市 1433-1 027-385-0233 okada@hojun.co.jp

表-1 材料番号とその詳細<sup>1)2)</sup>

項目	粘土分使用材料	粘土鉱物, その他	配合 (%) (外割り)	備考
KF	カオリン月印(国産)+DLケ-	カオリン+微粉	16.7 ~ 50	坪井ら(2000) <sup>1)</sup>
KC	ASP200	カオリン系	16.7 ~ 50	
KB	ASP200+スル'-クレイ(米国産)	カオリン+ベントナイト系	16.7 ~ 50	
TP1	赤城(群馬産)	ベントナイト系	4.7 ~ 33.3	----
TP2			(5 ~ 50)	

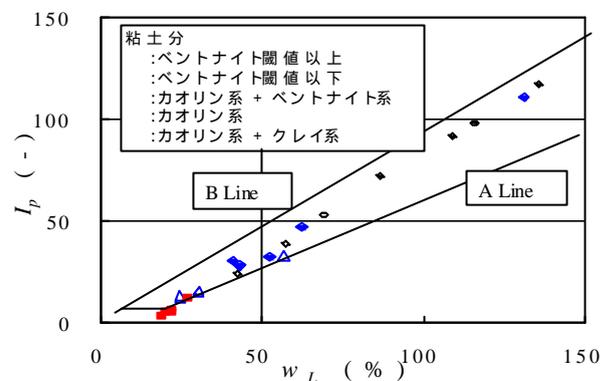


図-1 塑性図

表-2 KF, KC, KB, TP1, TP2 の平均値と相関性

項目	一次性質			二次性質			相関性
	$w_p$ (%)	比表面積 ( $m^2/g$ )	$I_p - 0.73(w_L - 20)$ (-)	$w_L$ (%)	$I_p$ (-)	$w_L/I_p$ (-)	
KF	16.7	1.4	32.9	22.6	5.9	4.57	10
KC	15.5	5.5	35.1	33.4	17.7	1.94	17
KB	16.6	48.4	44.4	66.0	49.6	1.41	7
TP-1	19.0	41.9	10.9	56.9	37.9	1.24	40
TP-2	18.5	232.6	26.4	112.3	93.8	1.20	37

$w_L/I_p$  - 最大乾燥密度( $d_{max}$ ) ,  $w_L/I_p$  - 間隙比( $e$ ) ,  $w_L/I_p$  - 最適含水比( $w_{opt}$ )の相関性が 0.9 以上である。これは、水和力(水のポテンシャルエネルギー)が土の物理的性質を支配していると推察される。図-6の に示すように  $w_L/I_p$  - 密度( $d$ )の相関性は低いことから、物理的性質である密度( $d$ )と化学的性質である水和力( $w_L/I_p$ )には相関性が低いことから説明できる。図-3と比べ図-4に示す 水和力( $w_L/I_p$ )と塑性限界( $w_p$ )、比表面積( $m^2/g$ )、 $I_p-0.73(w_L - 20)$ の相関性が極めて低い。KBの塑性限界

( $w_p$ )には、カオリンと ベントナイトの異なる鉱物特性が混在する。このため、塑性限界( $w_p$ )と同じ化学的性質である比表面積( $m^2/g$ )と  $I_p-0.73(w_L-20)$ が互いに干渉し、相関性に乱れが生じているものと推察される。図-2と図-3に示す を比較すると、水和力( $w_L/I_p$ )と塑性限界( $w_p$ )の相関性が同じ一次性質である比表面積( $m^2/g$ )、 $I_p-0.73(w_L-20)$ と比べ小さいことが読みとれる。これは塑性限界( $w_p$ )は、物理的性質である収縮定数( $w_s$ )のパラメータを持つためと考えられる。KF, KC, KB, TP1, TP2 で共通することは、最適含水比( $w_{opt}$ )と最大乾燥密度( $d_{max}$ )と間隙比( $e$ )は  $r = 0.9$  と相関性が高い。また、透水係数( $k$ )と比表面積( $m^2/g$ )と  $I_p-0.73(w_L-20)$  は  $r = 0.9$  と相関性が高い。比表面積( $m^2/g$ )と液性限界( $w_L$ )と塑性限界( $w_p$ )は、 $r = 0.9$  と相関性が高い。図-2~図-6から物理・化学的な視点で促えて一次(目標)、二次(条件)、三次性質(境界条件)との関連性が確認された。

**4. まとめ** ベントナイト混合土は、最終処分場の施工時において、原位置で非破壊法でかつ短時間で  $k$  を正確に測定する方法が確立していないため、室内試験結果より求めた  $k - d - w$  の関係を求め、原位置で  $k$  を推定している<sup>3)</sup>。ベントナイトを用いた場合は、透水係数( $k$ )と最適含水比( $w_{opt}$ )ならびに最大乾燥密度( $d_{max}$ )の相関性は高いことから、RI 計器による土の密度試験にて  $k$  を推定する工学的根拠として有効性があると思われる。

**参考文献** 1)坪井秀夫・原田健二(2000): 締固め工法における中詰め材料としてのリサイクル材の適用性と評価, 地盤工学会, 土と基礎, Vol. 48, No. 6, pp. 5-8. 2)遠藤和人, 本郷隆夫, 水野克己, 西垣 誠, 嘉門雅史(2004): コンシステンシー限界を用いた粘土の難透水性の解明, 第59回年次学術講演会, 土木学会, CD-ROM. 3)水野克己, 嘉門雅史, 星野 實, 氏原康博(2003): 最終処分場におけるベントナイト混合土の品質管理と性能評価事例, 地盤工学会, 土と基礎, Vol51, No.8, pp.30-31.

KF 項目	化学的性質						$w_L/I_p$	物理的性質				
	一次性質			二次性質				三次性質		二次性質		
	$w_p$	$I_p - A$ line	比表面積	$w_L$	$I_p$	$k$ (1×Ec)		$e$	$d_{max}$	$w_{opt}$		
一次性質	$I_p - A$ line	0.80										
	比表面積	0.24	0.18									
二次性質	$w_L$	0.23	0.62	0.88								
	$I_p$	0.05	0.48	0.95	0.98							
$w_L/I_p$		0.55	0.86	0.64	0.84	0.92						
三次性質	$k$ (1×Ec)	0.21	0.53	0.70	0.86	0.88	0.84					
	$e$	0.98	0.71	0.40	0.13	0.06	0.05	0.40				
二次性質	$d_{max}$	0.99	0.72	0.40	0.12	0.07	0.08	0.41	1.00			
	$w_{opt}$	0.91	0.52	0.61	0.38	0.20	0.19	0.15	0.97	0.96		
一次性質	$s$	0.47	0.57	0.61	0.83	0.72	0.29	0.41	0.97	0.62	0.79	

図-2 KFの相関性

KC 項目	化学的性質						$w_L/I_p$	物理的性質				
	一次性質			二次性質				三次性質		二次性質		
	$w_p$	$I_p - A$ line	比表面積	$w_L$	$I_p$	$k$ (1×Ec)		$e$	$d_{max}$	$w_{opt}$		
一次性質	$I_p - A$ line	1.00										
	比表面積	0.94	0.91									
二次性質	$w_L$	1.00	1.00	0.93								
	$I_p$	0.99	0.99	0.89	1.00							
$w_L/I_p$		0.93	0.94	0.82	0.95	0.96						
三次性質	$k$ (1×Ec)	0.76	0.65	0.54	0.80	0.84	0.84					
	$e$	0.50	0.54	0.77	0.48	0.41	0.03	0.35				
二次性質	$d_{max}$	0.57	0.61	0.82	0.55	0.48	0.02	0.42	0.99			
	$w_{opt}$	0.65	0.69	0.82	0.64	0.57	0.13	0.55	0.96	0.98		
一次性質	$s$	0.59	0.51	0.86	0.59	0.56	0.31	0.66	0.96	0.62	0.73	

図-3 KCの相関性

KB 項目	化学的性質						$w_L/I_p$	物理的性質				
	一次性質			二次性質				三次性質		二次性質		
	$w_p$	$I_p - A$ line	比表面積	$w_L$	$I_p$	$k$ (1×Ec)		$e$	$d_{max}$	$w_{opt}$		
一次性質	$I_p - A$ line	0.73										
	比表面積	0.86	0.96									
二次性質	$w_L$	0.59	0.98	0.90								
	$I_p$	0.51	0.96	0.87	1.00							
$w_L/I_p$		0.10	0.34	0.41	0.72	0.78						
三次性質	$k$ (1×Ec)	0.36	0.66	0.68	0.69	0.69	0.55					
	$e$	0.90	0.88	0.98	0.80	0.75	0.28	0.67				
二次性質	$d_{max}$	0.91	0.88	0.97	0.79	0.74	0.26	0.64	1.00			
	$w_{opt}$	0.81	0.95	0.97	0.90	0.87	0.48	0.67	0.97	0.97		
一次性質	$s$	0.81	0.58	0.98	0.87	0.83	0.29	0.58	0.97	0.83	0.84	

図-4 KBの相関性

Tp1 項目	化学的性質						$w_L/I_p$	物理的性質				
	一次性質			二次性質				三次性質		二次性質		
	$w_p$	$I_p - A$ line	比表面積	$w_L$	$I_p$	$k$ (1×Ac)		$e$	$d_{max}$	$w_{opt}$		
一次性質	$I_p - A$ line	0.98										
	比表面積	0.91	1.00									
二次性質	$w_L$	0.97	1.00	0.99								
	$I_p$	0.97	1.00	0.98	1.00							
$w_L/I_p$		0.99	0.97	1.00	0.99	1.00						
三次性質	$k$ (1×Ac)	0.91	0.84	0.99	0.99	0.98	0.84					
	$e$	0.91	0.97	1.00	0.99	0.98	0.96	0.99				
二次性質	$d_{max}$	0.98	1.00	0.97	1.00	1.00	1.00	0.98	0.97			
	$w_{opt}$	0.99	0.94	0.84	0.92	0.93	0.96	0.84	0.84	0.94		
一次性質	$s$	0.39	0.20	0.03	0.14	0.16	0.24	0.02	0.03	0.20	0.52	

図-5 TP1の相関性

Tp2 項目	化学的性質						$w_L/I_p$	物理的性質				
	一次性質			二次性質				三次性質		二次性質		
	$w_p$	$I_p - A$ line	比表面積	$w_L$	$I_p$	$k$ (1×Ac)		$e$	$d_{max}$	$w_{opt}$		
一次性質	$I_p - A$ line	0.92										
	比表面積	0.87	0.99									
二次性質	$w_L$	0.96	1.00	0.98								
	$I_p$	0.95	1.00	0.98	1.00							
$w_L/I_p$		0.91	0.98	1.00	0.99	0.99						
三次性質	$k$ (1×Ac)	0.69	0.84	0.81	0.79	0.79	0.99					
	$e$	0.91	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	0.99				
二次性質	$d_{max}$	0.79	0.96	0.99	0.93	0.94	0.96	0.78	0.96			
	$w_{opt}$	0.73	0.93	0.97	0.89	0.90	0.94	0.75	0.94	1.00		
一次性質	$s$	0.52	0.78	0.84	0.73	0.74	0.82	0.22	0.82	0.91	0.94	

図-6 TP2の相関性