

コンシステンシー限界を用いた粘土の難透水性の解明

(独)国立環境研究所 (正)遠藤和人
 (財)地域 地盤 環境 研究所 (正)本郷隆夫
 岡山大学 大学院自然科学科 (正)水野克己
 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、鉱物特性の異なる粘土鉱物(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(ρ_d)、最適含水比(w_{opt})、最大乾燥密度(ρ_{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、コンシステンシー限界を用いて、不飽和粘土の難透水性のメカニズムについて塑性図を物理・化学的視点で促えて解明することである。

2. 試験内容と結果 最終処分場の建設事例(C:Constraction)として2点、室内実験結果(TP: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6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23点のデータを使用した¹⁾²⁾。材料番号とその詳細を表-1に示す。ベントナイト混合土の性質は、コンシステンシー限界である液性限界(w_L)や塑性限界(w_p)、塑性指数を室内実験によって求め、図-1に示される塑性図にプロットした値から、B線を境にして圧縮性(膨潤性)の大小を、A線($I_p=0.73(w_L-20)$)を境にして透水性、タフネス(強じん性)、乾燥強さ(耐泥土化)、体積変化率の大小を知ることができる。図-1に示されるようにカオリン系混合土の多くは粘性土(CL)に、ベントナイト混合土の多くは膨潤性を有する粘土(CH)に位置している。

図-1に示す塑性図上における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 $I_{E=w_L/I_p}$ と表現し、 I_{E} を水和エネルギーと定義した。 I_{E} とA線からの距離 $I_p-0.73(w_L-20)$ の関係を図-2に示す。水和エネルギー($I_{E=w_L/I_p}$)の値が1.7 ~ 2.1付近を変曲点とした二つの直線が描かれていることが読みとれる。粘土鉱物をみると、変曲

表-1 材料番号とその詳細¹⁾²⁾

項目	粘土分使用材料	粘土鉱物, その他	配合(%)	備考
			(外割り)	
KF	オリ月印(国産)+DLクレ-	カオリン+微粉	16.7~50	1)坪井ら(2000)
KC	ASP200	カオリン系	16.7~50	
KB	ASP200+ス-P ⁻ -クレイ(米国産)	カオリン+ベントナイト系	16.7~50	
TP	赤城(群馬産)	ベントナイト系	4.7~33.3(5~50)	----
C	ス-P ⁻ -クレイ(米国産)		11.5(13) 12.2(14)	2)水野(2003)

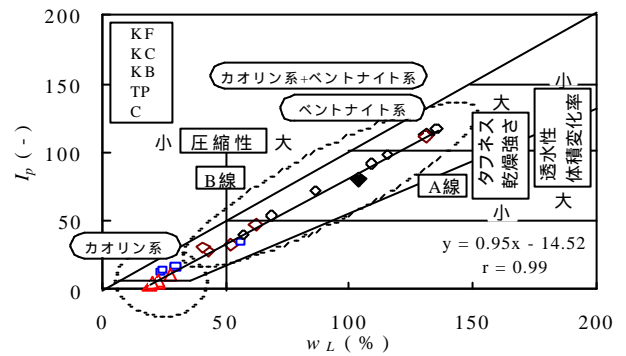


図-1 塑性図

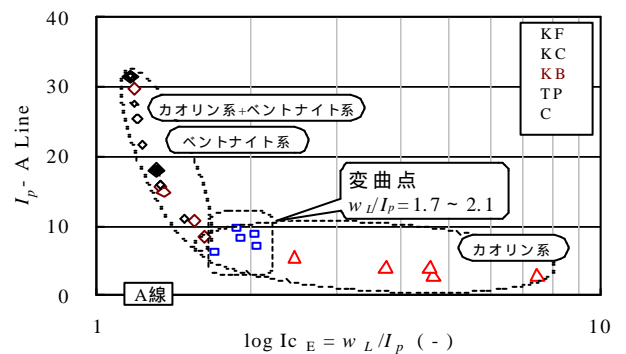


図-2 $I_{E=w_L/I_p}$ と $I_p-0.73(w_L-20)$ の関係

点より左側の水和エネルギー(I_{E})の小さな領域がベントナイトを含有する混合土であり、右側がカオリン系混合土であることが読みとれる。

3. 考察 水和エネルギー(I_{E})の逆数と透水係数(A_c 法, E_c 法)の関係を図-3に示す。両者は高い相関性を示している

キーワード 物理化学的性質, 透水係数, 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

ことが確認される。これは、水和エネルギー(I_c)が混合土の構造的安定性のみではなく、透水性をも表現することが可能であることを示しており、相関係数は 0.90 と高い水和エネルギー (I_c)の逆数が大きくなるほど透水係数は減少しており、 $1/I_c=0.6$ 付近にて透水係数 $\log k = -7$ になる。水和エネルギー(I_c)と透水係数との関係は、水和エネルギー (I_c)の特性からも定性的に説明することが可能である。水和エネルギー (I_c)の増加は液性限界 (w_L)に対して、塑性指数 (I_p)が減少することになり、両者の比が大きくなることを表している。水分保持力 (水和エネルギー) に着目すると水和エネルギー (I_c)の小さなベントナイト混合土は、液性限界側の多量の間隙水 (水和層) を保持した状態から、塑性限界側のごく微量な間隙水に至るまで、塑性体としての性質を保持することが可能であるといえる。これは、浸出水などの浸透エネルギーの減衰 (ベントナイトが膨潤することで、難透水性に寄与する間隙の水和エネルギーが高まり、浸透する水のエネルギーを減衰) に寄与する粘土分などの細粒分含有量が適当な粒状であることを意味しており、締め固めによって難透水性を発揮できる間隙径分布が形成されると考えられる。図-4に表-1に示した材料番号 KF, KC, KB の粘土分などの重量百分率別に 5 種類のグループに分類した、 w_L/I_p と $I_p-0.73(w_L-20)$ と比表面積と $1/E_c$ ならびに $1/20E_c$ の透水係数を示す。ここで、 E_c は締め固めエネルギーを表している。 w_L/I_p と $1/E_c$ 透水係数ならびに $I_p-0.73(w_L-20)$ と比表面積と関係があることがわかる。図-4に示す透水係数 $1/E_c$ ならびに $1/20E_c$ では、密なる充填と緩い充填の違い (巨視的な間隙の充填性の違い) で $1/20E_c$ 透水係数に大きな差があることがわかる。5 種類の中から C1 ~ C3, D1 ~ D3, E 1 ~ E3 グループの正規分布 (質量と粒径の関係) を図-5に示す。透水係数に関わる巨視的な間隙部分の充填性に、土粒子径 0.054mm 以下の質量変化が、寄与していることがわかる。図-2に示す 1.7 ~ 2.1 付近に変曲点が存在する理由は、巨視的な間隙部分に密なる充填性と緩やかな充填性が存在し、これに加え 比表面積の違いと、水和エネルギー (I_c) の大きさの違いが混在し、物理・化学的なバランスの偏りが原因と推察される。

4. まとめ コンシステンシー限界を用いて、水和エネルギー $I_c = w_L/I_p$ と定義し、水和エネルギーの逆数と透水係数の対数値との間に線形関係があることを見出した。また相関性も 0.9 と高い。 $I_c = w_L/I_p$ と $I_p-0.73(w_L-20)$ の関係では 1.7 ~ 2.1 付近に変曲点があり、この領域は物理・化学的なバランスの偏りが原因であることを示した。

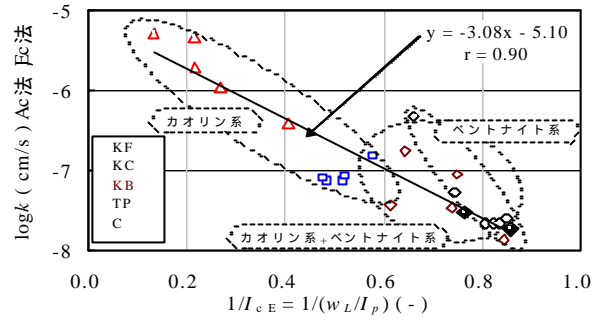


図-3 水和エネルギー (I_c) と透水係数の関係

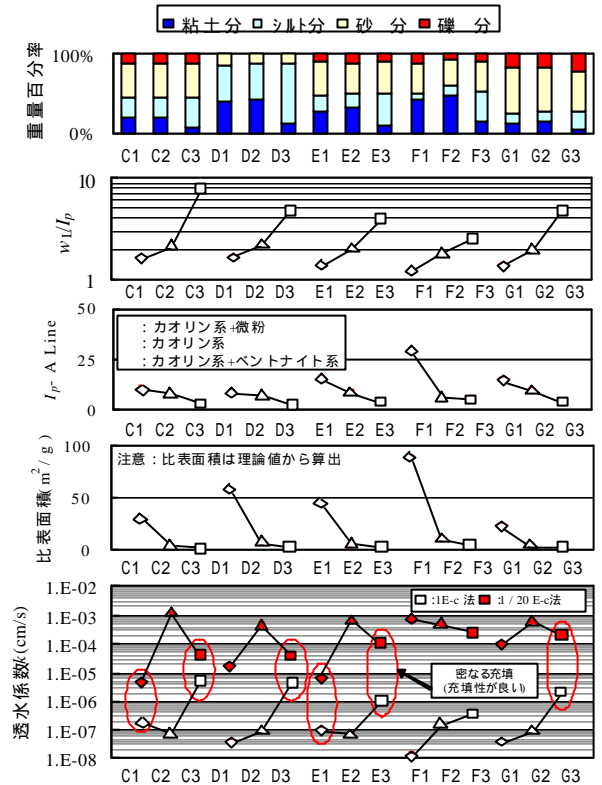


図-4 w_L/I_p と $I_p-0.73(w_L-20)$ と比表面積と透水係数の関係

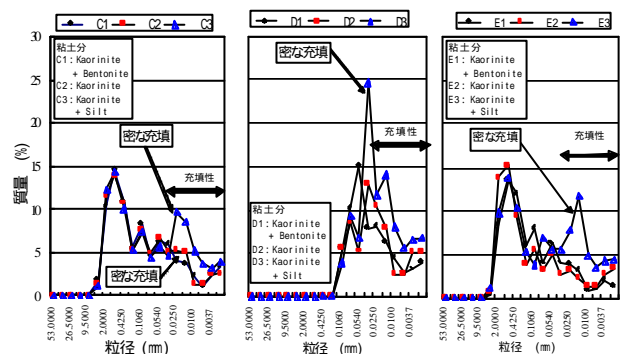


図-5 C, D, E グループの正規分布 (質量と粒径の関係)

参考文献 1)坪井秀夫・原田健二 (2000): 締め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)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.