

# 廃棄物最終処分場におけるベントナイト混合土の配合設計について

宇都宮大学 学生会員 ○飯塚 正樹  
 宇都宮大学 正会員 今泉 繁良  
 三井住友建設 正会員 土居 洋一

## 1. はじめに

わが国の廃棄物最終処分場の構造基準は、表面遮水工構造の一つとして、透水係数が $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 以下で厚さ50cm以上の粘性土等の上に遮水シートを敷設する構造が示されている<sup>1)</sup>。このような粘性土として用いられるベントナイト混合土の添加率を決めるには、通常(1)ベントナイト添加率を0~20%の範囲で数段に分けて締固め試験を行いそれぞれの最適含水比を定め、(2)添加率ごとに最適含水比(あるいはそれより若干高い含水比)で締固めた供試体に対して透水試験を行い(3)透水係数がある値以下(通常 $10^{-8} \text{cm/s}$ のオーダー)となる添加率を求めてこれを設計添加率とする、という手順が用いられる<sup>2)</sup>ため多大な労力と時間を必要とする。ところで、三ヶ田<sup>3)</sup>がおこなった透水試験結果では、添加率の増加に伴い間隙比が大きくなり、透水係数は小さくなっている。通常、間隙比が大きくなれば透水係数は大きくなるはずである。

そこで、ベントナイトの膨潤特性を考慮したマクロ間隙比<sup>3)</sup>という概念を考え、このマクロ間隙比がゼロとなるようなベントナイト添加率を限界添加率と定義し、たわみ性壁を持つ変水位透水試験装置を用いて目標とする $1 \times 10^{-8} \text{cm/s}$ 以下の透水係数となるかの確認を行った。また、密度と含水比を変化させた場合の透水係数の分布範囲を求める検討および現場浸出水を使用した透水試験を行い、これらが透水係数へ与える影響などを検討した。

## 2. 使用した試料

母材に用いたまさ土の特性を表-1に示す。最大粒径は26.5mm、レキ分は28%、砂分は59%、細粒分は13%である。締固め試験は、A-c法(ランマー質量2.5kg、モールド内径10cm、1層当り突固め回数25回)で行った。

ベントナイトは2種類のUSA産ベントナイト(TypeA, TypeB)と2種類の中国産ベントナイト(TypeC, TypeD)を用いた。用いたベントナイトの特性を表-2に示す。

## 3. 限界添加率の推定

膨潤率を考慮したマクロ間隙比は、式(1)で計算される<sup>3)</sup>。

$$e_m = \rho_s \left( \frac{1 + \alpha}{\rho_{da}} - \frac{\alpha \beta}{\rho_b} \right) - 1 \quad (1)$$

$\rho_{da}$ : 各添加率での最大乾燥密度( $\text{g/cm}^3$ )  $\alpha$ : 添加率(%)

$\rho_b$ : ベントナイト密度( $\text{g/cm}^3$ )  $\beta$ : ベントナイト膨潤率

キーワード ベントナイト 透水係数 マクロ間隙比 膨潤

表-1 まさ土の特性

		まさ土
土粒子密度 $\rho_s$ ( $\text{g/cm}^3$ )		2.688
最大粒径 (mm)		26.5
液性限界 $w_L$ (%)		24.5
塑性限界 $w_p$ (%)		NP
均等係数 $U_c$		73.1
曲率係数 $U'_c$		6.3
最適含水比 $w_{opt}$ (%)		13.1
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ ( $\text{g/cm}^3$ )		1.883
透水係数 $k$ ( $\text{cm/sec}$ )	鋼製モールド	$1.0 \times 10^{-4}$
	たわみ性壁	$5.5 \times 10^{-5}$

表-2 各ベントナイトの特性

ベントナイト	TypeA	TypeB	TypeC	TypeD
$\rho_b$ ( $\text{g/cm}^3$ )	2.5	2.86	2.7	2.7
$w_L$ (%)	616	581	747	420
$w_p$ (%)	48	38	65	61
膨潤体積 ( $\text{ml/2g}$ )	23	32	26	18
膨潤率 $\beta$	6.57	5.84	5.4	3.77

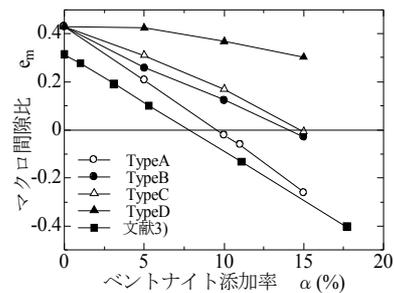


図-1 マクロ間隙比と添加率の関係

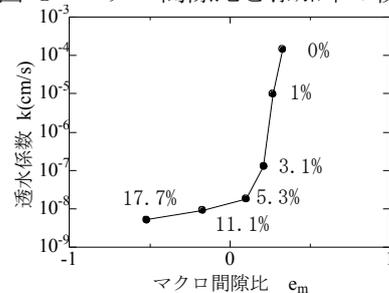


図-2 マクロ間隙比と透水係数の関係

図-1は、各ベントナイト混合土のマクロ間隙比とベントナイト添加率の関係を示したものである。この図よりTypeA, TypeBおよびTypeCの混合土では、ある添加率でマクロ間隙比が0になっている。ところで、図-2は三ヶ田によるマクロ間隙比 $e_m$ と透水係数 $k$ の関係である。これより、マクロ間隙比が0になる添加率7.5%以上ベントナイトを添加しても透水係数の低下はそれ程顕著ではない<sup>3)</sup>。そこで、マクロ間隙比が0になる点を限界添加率と定義し、TypeA, TypeBおよびTypeCに関してこの限界添加率で供試体を作製し、たわみ性の壁を持つ透水試験

装置にて透水試験を行い、目標とする  $1 \times 10^{-8} \text{cm/s}$  のオーダーの透水係数を満足できるか確認を行った。

#### 4. たわみ性の壁を持つ変水位透水試験

##### (1) 試験装置および試験手順

試験に用いたたわみ性壁をもつ試験装置を図-3に示す。試験では、最適含水比で締固めた供試体をセットし、供試体に側圧  $\sigma_c$ 、流入圧  $\sigma_{in}$ 、流出圧  $\sigma_{out}$  をかけて飽和させた。そして、2時間当たりの流入量と流出量がほぼ一定で、B値が0.95以上となったときを飽和状態と見なし透水試験を開始した。透水係数の測定では、動水勾配が  $i=20$  となるように側圧  $\sigma_c=402\text{kPa}$ 、流入圧  $\sigma_{in}=392\text{kPa}$ 、流出圧  $\sigma_{out}=372\text{kPa}$  を与え、かつ二重管ビュレット内に水位  $h_{in}$ 、 $h_{out}$  を与えた後、時間  $t$  の経過に伴う  $h_{in}$ 、 $h_{out}$  の変化を測定し、透水係数を算出した。



図-3 たわみ性壁透水試験機

#### 5. 試験結果と考察

##### (1) 限界添加率での透水試験

表-3に各ベントナイト混合土の透水試験結果を示す。

表-3 各混合土の透水試験結果

Type	A	B	C	D
$\alpha(\%)$	11	14	15	15
$k(\text{cm/s})$	$3.7 \times 10^{-8}$	$4.6 \times 10^{-8}$	$3.4 \times 10^{-8}$	$1.9 \times 10^{-7}$

限界添加率で作製した各ベントナイト混合土は、目標とする  $10^{-8} \text{cm/s}$  のオーダーを満足出来た。添加率15%のTypeD混合土の透水係数は  $1.9 \times 10^{-7} \text{cm/s}$  で、他の供試体の透水係数より1オーダーほど大きい。これは、マクロ間隙比が0になっていないため全ての間隙部をベントナイトの膨潤によって満たすことが出来ず、 $10^{-8} \text{cm/s}$  のオーダーを満足することが出来なかったと考えられる。

##### (2) 締固め度と含水比を変化させた透水試験

これまで、各ベントナイト混合土の限界添加率にて最適含水比付近で締固め度100%の供試体を作製し、 $10^{-8} \text{cm/s}$  オーダーになるか確認を行ってきた。しかし、現場でベントナイト混合土を敷設し、転圧を行う場合、室内試験のように最適含水比で締固め度を100%にすることは難しい。そこで、現場にてベントナイト混合土を使用する場合の含水比、締固め度と透水係数との関係を知るために、TypeB混合土を用いて検討を行った。図-4に各締固め条件での透水試験結果をプロットした。この結果から  $10^{-8} \text{cm/s}$  オーダーの透水係数になるためには破線より右上方側であればよいことが確かめられた。

##### (3) 浸出水を通水させた透水試験

ベントナイトは水に対して極めて低い透水性を発揮するが、化学物質溶液を浸透させた場合、透水係数が大きく増大することが報告されている<sup>4)</sup>。表-4に各ベント

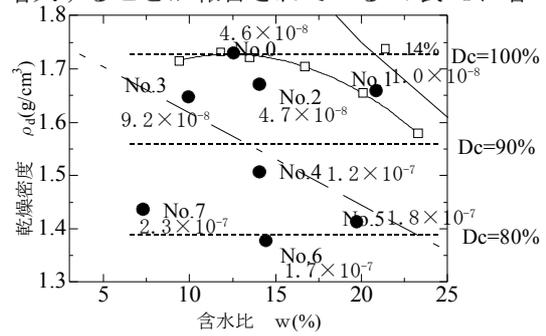


図-4 密度と含水比を変化させた透水係数 ナイトの膨潤体積試験を行った結果を示す。表より浸出水中に含まれる陽イオンによって膨潤が大きく阻害されていることが分かる。そこで、処分場から発生する浸出水による透水係数への影響について検討を行った。

供試体は、TypeBのベントナイトを用いて添加率  $\alpha=14\%$ 、含水比  $w=12.6\%$  で締固めた。試験方法は、まず蒸留水にて飽和させ、6日間透水係数を計測した後、浸出水を通水させ引き続き計測した。透水試験結果を図-5に示す。図より透水係数は、500時間以降幾分上昇する傾向が見られるがまだ顕著でない。化学物質との反応には透水時間を十分に与える必要が指摘されており、引き続き計測を行っていく予定である。

表-4 膨潤体積試験結果

	TypeA	TypeB	TypeC	TypeD
蒸留水 (ml/2g)	23	32	26	18
浸出水 (ml/2g)	6	7	8	6

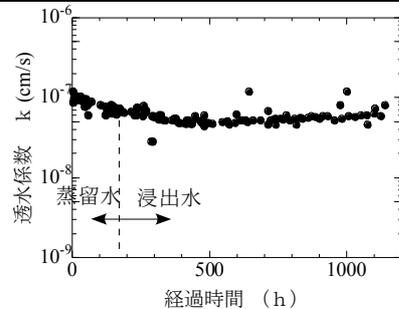


図-5 浸出水による時間経過に伴う透水係数

#### 6. まとめ

室内透水試験の結果、マクロ間隙比を考慮した限界添加率という概念で  $10^{-8} \text{cm/s}$  の透水係数を満足することが出来ると考えられる。また、締固め度や含水比の違いと透水係数との関係を知ることが出来た。浸出水を通水させた場合にベントナイトの膨潤に大きな影響を及ぼすことが分かった。

##### 参考文献

- 1)国際ジオシンセティックス学会日本支部・ジオメンブレン技術委員会:ごみ埋立地の設計施工ハンドブック,2000
- 2)A.Bouazza:Liners for Solid Waste Containments,1999
- 3)三ヶ田能:ベントナイト混合土を用いた遮水工に関する研究,2000
- 4)勝見武,Craig H.Benson,嘉門雅史:ベントナイトを用いた遮水ライナーの耐化学性について:土と基礎 49-2,2001