

焼却灰徐冷溶融スラグを活用したベントナイト混合土の力学特性

宇都宮大学大学院工学研究科 学生会員 ○柳田 翔
 宇都宮大学大学院工学研究科 正会員 今泉 繁良
 宇都宮大学大学院工学研究科 非会員 猪狩富士夫

1. はじめに

最終処分場の遮水工として、透水係数 $1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 以下の難透水性を満たす粘性土系の遮水層を敷設することが義務づけられているが、現場での良質な粘性土の確保が困難であり、購入土砂等にベントナイトを混合した遮水層を敷設することが一般的である。

そこで、本研究では、埋め立て処分のされることの多い溶融スラグが遮水層として購入土砂に変わる性質・特性を有するかを検証するために、溶融スラグの各種物理・力学試験を行うとともに、溶融スラグベントナイト混合土としての締固め試験、透水試験、一軸・三軸圧縮試験を行った。

2. 溶融スラグの土質力学的特性

使用した溶融スラグはスラグ製造工場から搬入した最大粒径20mmのものである。その外観を図-1に示す。

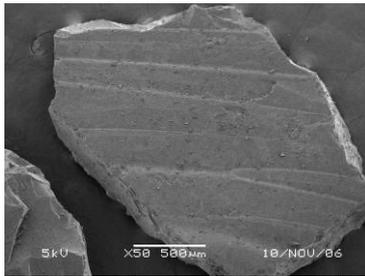


図-1 溶融スラグの外観 (LV-SEM 画像)

また、粒度試験、その他の各種物理試験によって求められた土質特性の一覧を表-1に示す。

表-1 各種物理試験結果

	締固め	
	前	後
粗礫分 %	73	59
砂分 %	26	39
細粒分 %	1	2
自然含水比 %	0.03	
表面乾燥状態時含水比 %	2	
土粒子の密度 ρ_s g/cm^3	2.734	
液性限界	N.P	
塑性限界	N.P	
吸水率 %	0.33	
最大乾燥密度 ρ_{dmax} g/cm^3	1.930	
最小乾燥密度 ρ_{dmin} g/cm^3	1.491	

表-1 から細粒分は1%と少なく、工学的分類は砂質礫 (GS) に属し、締固め後では砂分が増加していた。

これにより、溶融スラグの破碎しやすい特性が考えられる。また、自然含水比、表面乾燥飽和状態時含水比はともに低く水分を含みにくい材料である。

3. 溶融スラグのベントナイト混合土としての活用試験

(1) 溶融スラグベントナイト混合土の締固め特性

ベントナイトとして米国ワイオミング産の Na 型ベントナイトを使用し、ベントナイト添加率 $\alpha=3, 5, 8, 10, 15, 20\%$ の条件で締固め試験を行った。締固め曲線を図-2に示す。添加率が増加するにつれ最大乾燥密度は減少しており、最適含水比は増加している。

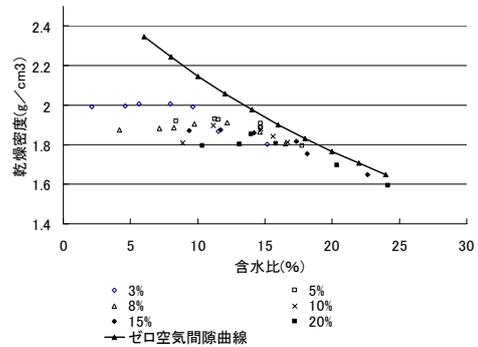


図-2 溶融スラグベントナイト混合土締固め曲線

(2) マクロ間隙比による限界添加率の計算

締固め曲線により得られた各ベントナイト添加率における最大乾燥密度を用いて、ベントナイトの膨潤と土粒子内の微細空隙比を考慮したマクロ間隙比 e_m を式(1)で計算し、図-3に各ベントナイト添加率とマクロ間隙比の関係を示した。

$$e_m = \rho_s \left(\frac{1 + \alpha / 100}{\rho_{d \max \alpha}} - \frac{\alpha / 100 \cdot \beta}{\rho_b} \right) - (1 + \gamma) \quad (1)$$

ここに、 α はベントナイト添加率(%), β はベントナイト膨潤比、 ρ_s は土粒子密度(g/cm^3), ρ_b はベントナイト密度(g/cm^3), $\rho_{d \max \alpha}$ は各ベントナイト添加率における混合土の最大乾燥密度(g/cm^3)である。なお、微細空隙比 γ は式(2)で表され、表面乾燥状態時の含水比 w_s を求めることで算出できる。マクロ間隙比 $e_m=0$ になるときのベントナイト添加率を限界添加率 α_{cr} とすると、本研究では α_{cr} は約9%となった。

キーワード 溶融スラグ ベントナイト混合土 強度特性 透水特性

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科地域施設学研究室 TEL/FAX.028-689-6218

$$\gamma = \frac{\rho_s \cdot W_s}{100 \cdot \rho_w} \quad (2)$$

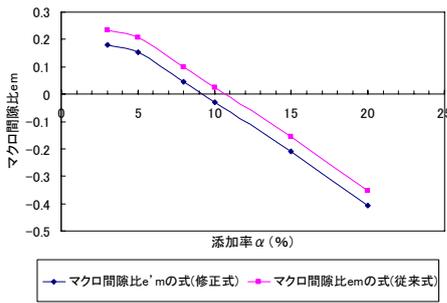


図-3 ベントナイト添加率とマクロ間隙比の関係

(3) 透水試験

ベントナイト添加率 $\alpha = 0, 3, 5, 8\%$ の条件で、たわみ性壁透水試験機を用いて透水試験を行った。図-4 にベントナイト添加率と透水係数の関係を示す。図-4 により、添加率 4% 以上で遮水工基準の透水係数 $1 \times 10^{-6} \text{ (cm/s)}$ 以下を満たすことがわかった。

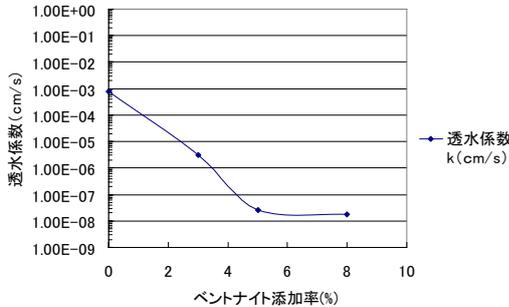


図-4 ベントナイト添加率と透水係数の関係

(4) 一軸圧縮試験

ベントナイト添加率 $\alpha = 5, 10, 15, 20\%$ の条件で、JIS A 1216 に準拠して、毎分 1% の圧縮ひずみが生じる割合で一軸圧縮試験を行った。図-5 に応力-ひずみ曲線を示す。ベントナイト添加率の増加とともに、一軸圧縮強度は増加し、添加率 $\alpha = 5\%$ での一軸圧縮強度 $q_u = 93.7 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ 、変形係数 $E_{50} = 2.32 \text{ (MN/m}^2\text{)}$ であった。なお、添加率 $\alpha = 8\%$ 程度で一軸圧縮強度 $q_u = 100 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ となった。

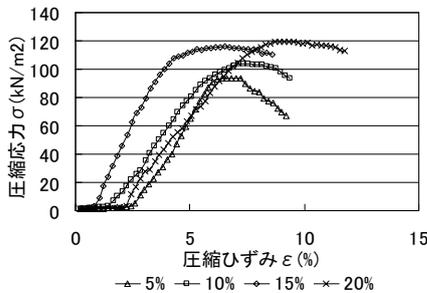


図-5 応力-ひずみ曲線

(5) 三軸圧縮試験

熔融スラグベントナイト混合土の強度定数 ϕ', c' を求

めるために、ベントナイト添加率 $\alpha = 5\%$ で圧密非排水三軸圧縮試験 (CU) を行った。軸載荷速度は $0.005\%/min$ にて行った。縦軸に $\sigma_a - \sigma_r$ 、横軸に $(\sigma'_a + 2\sigma'_r) / 3$ をとって整理した有効応力経路を図-6 に示す。各圧密応力経路に沿った直線から傾き M を求め、式(3)により内部摩擦角 ϕ' を求めると $\phi' = 41.5^\circ$ となった。また、主応力差最大時の有効軸方向応力および有効側方向応力にて整理したモールの応力円を図-7 に示し、モール・クーロンの破壊線から ϕ', c' を求めると $\phi' = 43.0^\circ, c' = 0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ となった。

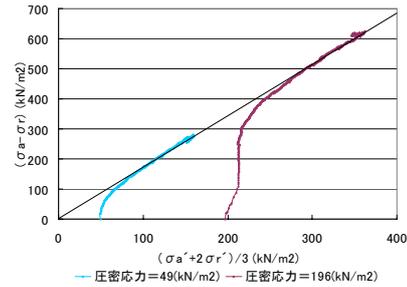


図-6 有効応力経路

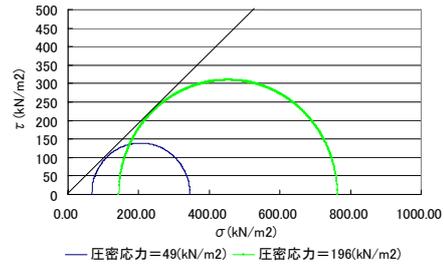


図-7 モールの応力円

$$M = \frac{6 \sin \phi'}{3 - \sin \phi'} \quad (3)$$

4. まとめ

熔融スラグベントナイト混合土は、ベントナイト添加率 4% 程度で遮水工としての透水特性を満たし、かつ添加率 8% 程度で $100 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ となり、建設時に必要なトラフィカビリティを満たしていた。²⁾ これにより、熔融スラグにベントナイトを混合することで透水性・強度特性の面で処分場遮水層として適用できると推察される。

謝辞： なお、本研究は宇都宮大学平成 19 年度特定重点研究補助を受けて実施したものであり、ここに感謝し上げる。

参考文献

- 1) 大塚昂「しらすや凝灰質砂岩破砕砂を用いたベントナイト混合土の透水特性」第 33 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集 2006
- 2) 柳田翔、今泉繁良、猪狩富士夫「焼却灰徐冷熔融スラグのベントナイト混合土としての活用試験」第 34 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集 2007