

母材の吸水性とベントナイト混合土の膨張を考慮した限界添加率の評価に関する研究

宇都宮大学大学院 正会員 今泉 繁良
 宇都宮大学大学院 正会員 吉直 卓也
 三井住友建設 正会員 高橋 直樹
 宇都宮大学大学院 学生会員 ○渡 昌純

1. はじめに

廃棄物最終処分場の遮水工は、浸出水の周辺地盤への漏洩を防止するために重要な構造である。近年では、遮水シートと透水係数の小さいベントナイト混合土を用いた複合遮水構造の採用が増加している。三ヶ田ら¹⁾は、ベントナイト添加率の増加に対して透水係数の変化が小さくなる添加率をベントナイトの実験限界添加率と定義し、これを推定するためにベントナイトの膨潤を考慮したマクロ間隙比の概念(式1)を提案した。

しかし、マクロ間隙比の概念からは、多孔質な母材を用いたベントナイト混合土において、有効な限界添加率を推定することができなかつた。そこで大塚ら²⁾は、母材の吸水性を考慮した修正マクロ間隙比の計算式(2)を提案した。

本研究では、昨年度実施した緑色凝灰質砂岩破砕砂と山砂³⁾に続いて、比較的多孔質な黄色凝灰質砂岩破砕砂および指久保しらすの微細空隙率 γ を評価し、これらを母材としたベントナイト添加率を変化させたベントナイト混合土の締固め試験と透水試験および吸水膨張試験を実施した。そして、修正マクロ間隙比の計算式(2)の適用性を検討し、締固め中のベントナイトの膨潤および飽和によるベントナイト混合土の膨張を考慮したマクロ間隙比を提案する。

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

$$e'_m = \rho_s \left(\frac{1 + \alpha/100}{\rho_{d\max\alpha}} - \frac{\alpha\beta/100}{\rho_b} \right) - (1 + \gamma) \quad (2)$$

2. 各母材の土質特性と微細空隙率 γ

表-1に、母材として用いた黄色凝灰質砂岩破砕砂および指久保しらすの土質特性を示す。これらの母材の微細空隙率は、昨年用いた緑色凝灰質砂岩破砕砂より小さく、山砂より大きい。

表-1 母材の土質特性と微細空隙率

母材の種類	黄色凝灰質砂岩破砕砂			指久保しらす		
粒径 (%)	12.2			22.7		
砂分 (%)	82.2			53.2		
細粒分 (%)	5.6			24.1		
均等係数 U_c	5.8			66.7		
曲率係数 U_c'	1.586			3.000		
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.716			2.484		
微細空隙率 γ	0.200			0.347		
締固め試験結果	添加率 α (%)	最適含水比 w_{opt} (%)	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	添加率 α (%)	最適含水比 w_{opt} (%)	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)
	0	18.5	1.688	0	24.2	1.271
	5	18.7	1.678	5	24.1	1.254
	10	18.8	1.669	15	22.5	1.224
	15	18.8	1.628	20	22.1	1.207

3. ベントナイト混合土の膨張特性

各添加率に対して、最適含水比にて締固め度 $D_c100\%$ 、直径約10cm、高さ約12.7cmになるように締固めた供試体に対して、ベントナイト混合土の吸水飽和による体積膨張量を把握するための試験を行った。締固め後の供試体をモールドに入れたまま図-1に示す有孔板上に設置し、浸水させ、膨張が収束するまで計測を続けた。なお、図-1の上部

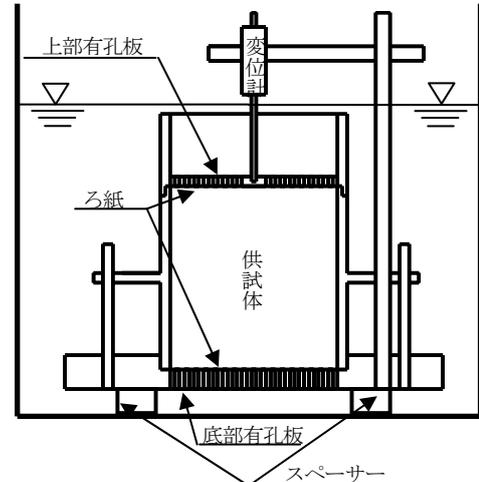


図-1 吸水膨張試験装置の概要

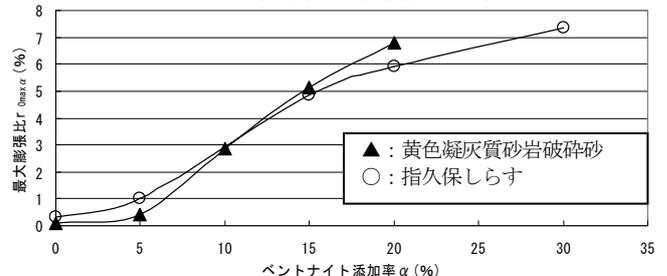


図-2 ベントナイト添加率と最大膨張比の関係

有孔板は、厚さ約5mm、質量約100gのアルミ製であり、供試体の膨張に合わせて上下が可能である。図-2に、ベントナイト添加率と式(3)に示す最大膨張比 $r_{0\max\alpha}$ の関係を示す。

$$r_{0\max\alpha} (\%) = \frac{\text{供試体の最大膨張高さ (mm)}}{\text{供試体の初期高さ (mm)}} \times 100 \quad (3)$$

4. ベントナイト混合土の透水特性

ASTMD5084に準拠し、たわみ性壁透水試験機を用いて、吸水膨張試験と同様の供試体に対して透水係数を測定した。試験では、飽和の度合いを示すB値が0.95以上となったのを確認した後、動水勾配 $i=20$ として実施した。図-3に、各母材のベントナイト添加率と透水係数の関係を示す。本研究では、実験限界添加率を図-3の破線のように、添加率0%の点とその次の点を結んだ直線、および添加率が最大の点とその前の点を結んだ直線の交点に対応する添加率とした。その結果を表-2に示した。

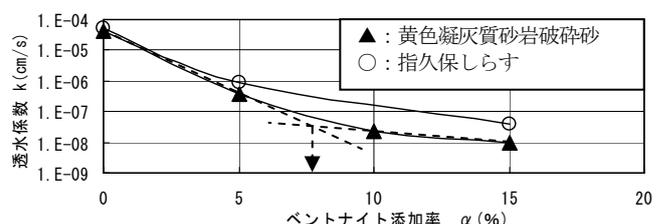


図-3 ベントナイト添加率と透水係数の関係

キーワード ベントナイト、間隙比、透水係数、吸水膨張

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7丁目1番2号 宇都宮大学大学院工学研究科 028-689-6218 Email: mt063434@cc.utsunomiya-u.ac.jp

5. マクロ間隙比に関する考察

図-4 は、式(1)・(2)から計算した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。表-2 に、式(1)・(2)から求めたマクロ間隙比が0になる点すなわち推定限界添加率および実験限界添加率を示す。黄色凝灰質砂岩破砕砂において、式(1)より式(2)から求めた推定限界添加率の方が実験限界添加率に近く、式(2)の方が的確な推定限界添加率を求めることが可能であることがわかる。

ところで、図-4 に示したように、マクロ間隙比は推定限界添加率以上の添加率で負の値になる。しかし、間隙比の値は、その定義からマイナスになることはない。そこで、この原因が式(1)・(2)に用いるβの値にあると考え、以下の検討を行った。

(1) 締固め中のベントナイトの膨潤

ベントナイト混合土の締固め試験では、試料を含水比調整(試料に加水)した1時間後に締固めを行っているため、この間にベントナイトが膨潤していると考えられる。そこで、図-5 に示す締固め中のベントナイトの膨潤を考慮した示相図を用いて、各相の体積および質量を計算した。そして、添加率0%の供試体の土粒子の質量 m_s と、添加率αの場合の「土粒子+ベントナイト」の質量(m_s+m_b)との質量差($m_s'+m_b'$)は、ベントナイトが膨潤したことで発生したと考えた。ここで、ベントナイトが膨潤しなければ、($m_s'+m_b'$)はモールドの中に入ることができたので、ベントナイトが膨潤した体積は、この質量差を体積に置き換えた($V_s'+V_b'$)と考えることができる。したがって、締固め中の膨潤比β。および締固め後にベントナイトが保有する膨潤比β' は式(4)・式(5)のように定義できる。

$$\beta_c = \frac{V_b + (V_s' + V_b')}{V_b} \tag{4}$$

$$\beta' = \beta - (\beta_c - 1) \tag{5}$$

(2) 飽和によるベントナイト混合土全体の体積膨張

飽和後に、ベントナイト混合土が $\frac{r_{0max\alpha}}{100}V$ 膨張すると考えた示相図を図-6 に示す。ベントナイトが膨潤しても埋めきれない、かつ通水を許す空隙の体積を V_o'' とし、供試体全体の膨張を考慮したマクロ間隙比の式(6)を導いた。

$$e_m'' = \rho_s \left[\frac{\left(1 + \frac{r_{0max\alpha}}{100}\right) \left(1 + \frac{\alpha}{100}\right) \frac{\alpha\beta'}{\rho_b}}{\rho_{dmax\alpha}} - (1 + \gamma) \right] \tag{6}$$

図-4 には、式(4)~(6)を用いて計算したマクロ間隙比 e_m'' とベントナイト添加率の関係も示した。黄色凝灰質砂岩破砕砂において、式(6)のマクロ間隙比の値は添加率が20%のときに負になっているが、式(2)と比較すると大幅にプラス側にシフトしている。

6. まとめ

黄色凝灰質砂岩破砕砂において、微細空隙率を考慮した式(2)の方が式(1)より的確な推定限界添加率を求めることができた。また、黄色凝灰質砂岩破砕砂および指久保しらすについては、締固め中と飽和中のベントナイトの膨潤を考慮した式(6)が、式(1)・(2)より大幅にプラス側にシフトしたマクロ間隙比を得られた。ただし、式(6)に基づくマクロ

表-2 実験限界添加率と推定限界添加率

母材	実験限界添加率 (%)	式(2)から求めた推定限界添加率 (%)	式(1)から求めた推定限界添加率 (%)
黄色凝灰質砂岩破砕砂	8	12	17
指久保しらす	-	24	38

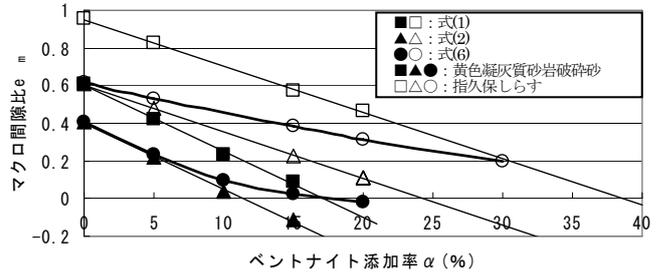


図-4 ベントナイト添加率とマクロ間隙比の関係

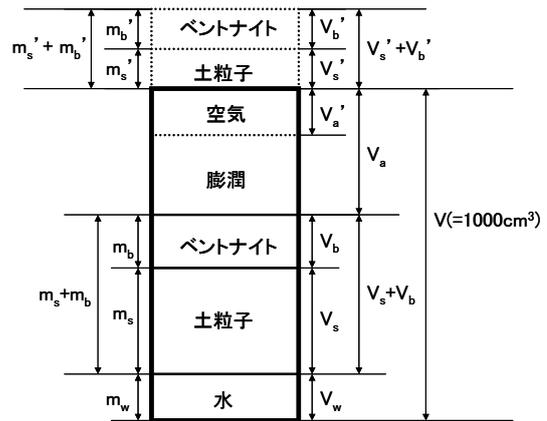


図-5 締固め中のベントナイトの膨潤を考慮した示相図

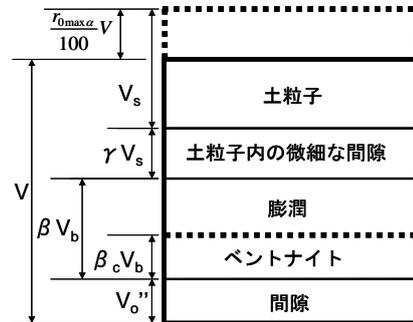


図-6 飽和による膨張を考慮した示相図

間隙比のグラフからは推定限界添加率が判断しにくいので、設計には式(2)による修正マクロ間隙比を用いる方が適切である。

謝辞

本研究は、宇都宮大学平成19年度特定重点推進研究の補助を受けて実施したものである。記して感謝申し上げる。

参考文献

- 1)横山能史、土居洋一、三ヶ田能、今泉繁良：たわみ性壁透水試験装置を用いたベントナイト混合土の評価、第4回環境地盤工学シンポジウム論文集、pp.303-306、2001。
- 2)大塚昂、今泉繁良、吉直卓也、渡辺和也：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、CD-ROM、2006。
- 3)渡昌純、今泉繁良、高橋直樹、土居洋一：母材の吸水性を考慮した限界ベントナイト添加率評価について、第34回土木学会関東支部、CD-ROM、2007。