

土粒子内の空隙を考慮したベントナイト混合土の限界添加率に関する研究

宇都宮大学 正会員 今泉 繁良
宇都宮大学 正会員 吉直 卓也
宇都宮大学 渡 昌純
三井住友建設 正会員 黒川 幸彦
三井住友建設 正会員 ○高橋 直樹

1. 目的

著者らは、ベントナイトの膨潤と土粒子内の空隙を考慮した修正マクロ間隙比の概念を提案し、これがゼロとなるときのベントナイト添加率を限界添加率と定義してその配合設計法を示した¹⁾。

本研究では、土質特性の異なる6種類の土を母材としたベントナイト混合土の締固め試験および透水試験を実施した。その結果から、限界添加率を用いたベントナイト混合土の配合設計法の適用性を検討した。

2. 各母材の土質特性と微細空隙率

ベントナイト混合土の母材として用いた試料の土質特性を表-1に示す。表-1には、実験に供したベントナイトとたわみ性壁透水試験を行う際の供試体拘束圧に等しい402kPaを与えて測定したベントナイトの膨潤比 $\beta^{1)}$ の値も示している。

図-1に、表面乾燥飽和状態における示相図を示す。ここで、ベントナイトが膨潤しても埋めることのできない、かつ通水を許さない土粒子内の微細な間隙の体積を γV_s とし、 γ を微細空隙率と定義する。今回、土粒子内の微細な間隙量を評価するために、細骨材の吸水率試験の手順を用いて表面乾燥飽和状態にした含水比を測定した。

$w_s(\%)$ と γ の関係は、図-1において $V_s=1$ として導くと以下の式(1)となる。

$$\gamma = \frac{\rho_s w_s}{100 \rho_w} \quad (1)$$

緑色凝灰質砂岩破砕砂は、土粒子密度と最大乾燥密度が最も低い。一方、微細空隙率が最も高く多孔質であることが確認できる。黄色凝灰質砂岩破砕砂は、土粒子密度は最も高いが微細空隙率は山砂より大きく多孔質な性質を示した。また、しらすと指久保しらすは、最大乾燥密度・土粒子密度・微細空隙率が同程度となった。山砂は、最大乾燥密度が最大で微細空隙率が最小となり、多孔質ではないことが確認できる。

3. ベントナイト混合土の透水特性

ベントナイト添加率を種々変化させ、最適含水比にて締固め度 $D_r 100\%$ 、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、たわみ性壁透水試験機を用いてASTMD5084に準拠して透水係数を測定した。なお、各ベントナイト添加率に対する締固め試験は、非繰返し法(A-c法)にて別途実施した。透水試験に際して、供試体内の空気をCO2に置換した後、真空ポンプおよび通水により飽和を行い、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。試験の際の側圧を402kPa、流

表-1 各母材の土質特性

母材の種類	緑色凝灰質 砂岩破砕砂	黄色凝灰質 砂岩破砕砂	指久保 しらす	しらす	山砂
礫分 (%)	35.2	12.2	22.7	31.4	76.7
砂分 (%)	44.5	82.2	53.2	63.6	19.9
細粒分 (%)	20.3	5.6	24.1	5.0	3.4
均等係数 U_c	59.1	5.8	66.7	9.3	7.9
曲率係数 U_c'	0.591	1.586	3.010	2.990	3.042
最適含水比 $w_{opt}(\%)$	68.0	18.5	24.2	30.9	10.4
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(g/cm^3)$	0.864	1.688	1.271	1.275	2.030
土粒子密度 $\rho_s(g/cm^3)$	2.336	2.716	2.484	2.443	2.667
実験に用いた ベントナイトの種類	ボルクレイ	ボルクレイ	ボルクレイ	ボルクレイ	スーパー クレイ
微細空隙率 γ	1.180	0.200	0.347	0.391	0.061

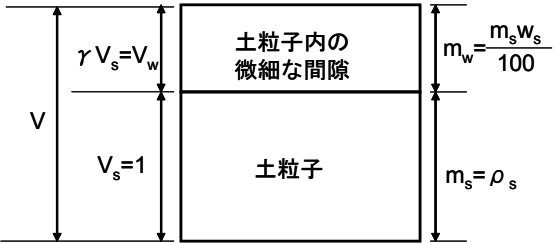


図-1 表面乾燥飽和状態の土粒子の示相図

キーワード ベントナイト、透水係数、間隙比

連絡先 〒270-0132 千葉県流山市駒木 518-1 三井住友建設(株) 技術研究所 土木研究開発部 TEL 04-7140-5201

入圧を 392kPa, 流出圧を 367kPa とした. 図-2 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.

山砂では, ベントナイト添加率 5%で透水係数が $1 \times 10^{-8} \text{cm/s}$ オーダーとなるのに対し, 最も多孔質な緑色凝灰質砂岩破砕砂では, ベントナイト添加率 15%で $1 \times 10^{-8} \text{cm/s}$ オーダーとなっている. ここで, 実験限界添加率は, 図-2 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. それぞれの実験限界添加率は, 緑色凝灰質砂岩破砕砂で 15%, 黄色凝灰質砂岩破砕砂で 8%, しらすで 8%, 指久保しらすで 12%, 山砂で 4%であった.

4. 推定限界添加率と実験限界添加率

ベントナイトの膨潤のみを考慮したマクロ間隙比²⁾は式(2)で, ベントナイトの膨潤と土粒子内の空隙を考慮した修正マクロ間隙比¹⁾は式(3)で与えられる.

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

$$e'_m = \rho_s \left(\frac{1 + \alpha/100}{\rho_{d \max \alpha}} - \frac{\alpha\beta/100}{\rho_b} \right) - (1 + \gamma) \quad (3)$$

ここに, $\rho_{d \max \alpha}$ はベントナイト添加率 α の場合の最大乾燥密度(g/cm^3), ρ_b はベントナイトの密度(g/cm^3)である. 別途実施した締固め試験の結果等を用いて式(2)・(3)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図-3 に示す. また, 表-2 に式(2)・(3)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. いずれの母材においても, 式(2)より式(3)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なっており, 式(3)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. 特に, 最も最も多孔質な緑色凝灰質砂岩破砕砂では, 約 44%推定限界添加率が低下しているのに対し, 山砂では 1%程度の低下にとどまっており, 式(3)の効果を確認することができる.

5. まとめ

種々の土を母材として用いたベントナイト混合土の締固め試験および透水試験の結果から, ベントナイトの膨潤と土粒子内の空隙を考慮した修正マクロ間隙比から求められる推定限界添加率は, ベントナイトの膨潤のみを考慮した場合よりも実験限界添加率に近い値となることが明らかとなった. これより, 限界添加率を用いたベントナイト混合土の配合設計を行う際には, 実験限界添加率との適合性が良い修正マクロ間隙比から求められる推定限界添加率を用いることが適切であると考えられる.

参考文献

- 1) 今泉繁良, 渡昌純, 土居洋一, 黒川幸彦, 高橋直樹: 多孔質土材料を用いたベントナイト混合土の限界添加率に関する研究, 第7回環境地盤工学シンポジウム論文集, pp.231-234, 2007.
- 2) 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.

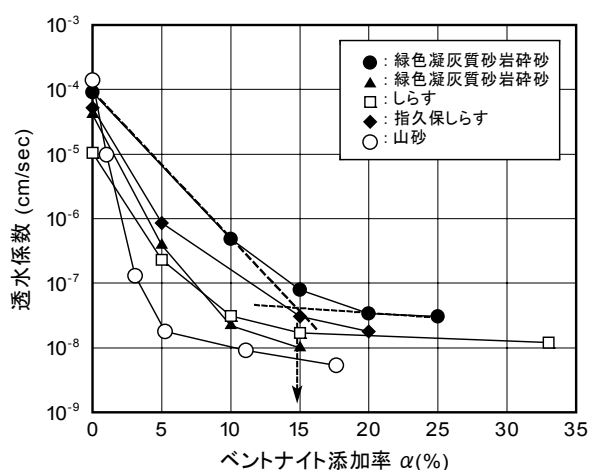


図-2 ベントナイト添加率と透水係数の関係

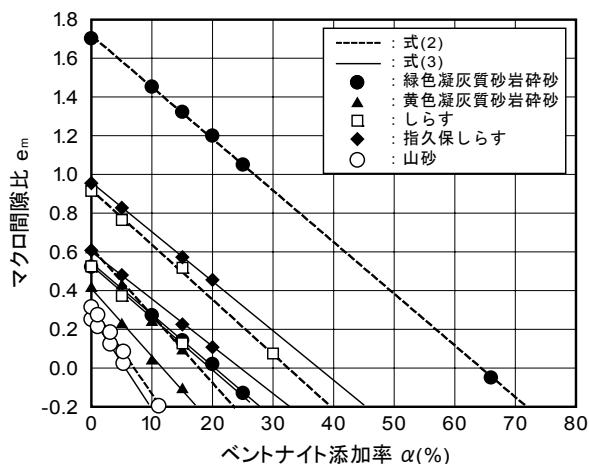


図-3 ベントナイト添加率とマクロ間隙比の関係

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 (%)	推定限界添加率	
		式(2) (%)	式(3) (%)
緑色凝灰質砂岩破砕砂	15	64	20
黄色凝灰質砂岩破砕砂	8	17	12
しらす	8	33	18
指久保しらす	12	38	24
山砂	4	7	6