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

宇都宮大学大学院　学生会員　○渡　昌純
宇都宮大学大学院　正会員　今泉　繁良
三井住友建設　正会員　高橋　直樹
三井住友建設　正会員　土居　洋一

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。著者ら[1)]は、難透水性の遮水工を設計するために、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を用いた。しかし、従来の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った。そこで、母材の吸水性を考慮した修正マクロ間隙比[2)]の概念を導いた。

本研究では、修正マクロ間隙比の概念の適用性を検討するために凝灰質砂岩破砕砂と山砂についての吸水性を評価し、それを考慮した修正マクロ間隙比を計算した。そして、凝灰質砂岩破砕砂を母材としてベントナイト添加率を変化させた透水試験を行い、既に実施している山砂ベントナイト混合土の透水特性を修正マクロ間隙比の立場から考察し、限界添加率を評価した。

2. 母材の吸水性と微細空隙比γ

図-1 に表面乾燥飽水状態における示相図を示す。ベントナイトが膨潤しても埋めることのできない土粒子内の微細な間隙の体積をγVsとし、γを微細空隙比と定義した。本研究では、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水状態にした母材の含水比$w_s\left(=\dfrac{m_w}{m_s}\times 100\right)$を測定した。この$w_s$(%)とγ関係は、**図-1** においてVs=1 として導くと以下の**式-1** となる。

$$\gamma = \frac{\rho_s w_s}{100\rho_w} \qquad \text{式-1}$$

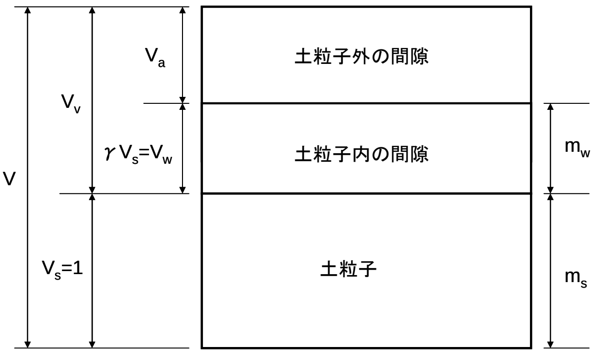

図-1　表面乾燥飽水状態における示相図

表-1　凝灰質砂岩破砕砂および山砂の土質特性

母材の種類	凝灰質砂岩破砕砂	山砂
土粒子密度　ρ_s(g/cm^3)	2.336	2.667
礫分（%）	35.2	76.7
砂分（%）	44.5	19.9
細粒分（%）	20.3	3.4
均等係数 Uc	59.091	12.2
曲率係数 Uc'	0.591	3.630
最適含水比 w_{opt}(%)	68.0	10.4
最大乾燥密度 ρ_{dmax}(g/cm^3)	0.864	2.030
微細空隙比 γ	1.180	0.061

ここに、ρ_sは母材の土粒子密度(g/cm^3)、ρ_wは水の密度(g/cm^3)である。

表-1 にベントナイト混合土の母材として用いた凝灰質砂岩破砕砂および山砂の土質特性を示す。多孔質な凝灰質砂岩破砕砂のγの値は山砂より大きくなっている。

3. ベントナイト混合土の締固め特性および透水特性

ベントナイトは、**表-2** に示す米国ワイオミング産の Na 型を用いた。また、A-c 法によって実施した凝灰質砂岩破砕砂ベントナイト混合土の締固め試験結果を**図-2** に、山砂ベントナイト混合土の試験結果を**図-3** に示す。凝灰質砂岩破砕砂のベントナイト添加率α=20、25%の締固め曲線は、添加率 10、15%と大きく異なり、

表-2　ベントナイトの特性

産地	密度(g/cm^3)	膨潤率	液性限界	塑性限界	塑性指数
米国	2.86	5.84	581	38	543

キーワード　ベントナイト、凝灰質砂岩破砕砂、マクロ間隙比、透水係数
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 TEL028-689-6218 Email:mt063434@cc.utsunomiya-u.ac.jp

最適含水比がかなり小さくなっている。この理由として、添加率 20、25%に関する試験は母材を採取してから時間がかなり経過した後に実施したため、多孔質である凝灰質砂岩破砕砂の土粒子内の水分が蒸発したためと考えられる。また、山砂については、ベントナイト添加率の増大に伴い最適含水比が大きくなるのに対し、最大乾燥密度が小さくなっている。

透水試験にはたわみ性壁透水試験機を用い、添加率ごとに最適含水比にて締固めた供試体に対して ASTMD5084 に準拠して実施した。動水勾配を、i=15 として行った。

図-4 に凝灰質砂岩破砕砂および山砂におけるベントナイト添加率と透水係数の関係を示す。凝灰質砂岩破砕砂ではベントナイト添加率 15%～25%、山砂については 5.3%～17.6%での透水係数の変動が小さく、いずれも 1×10^{-8}cm/sオーダーである。

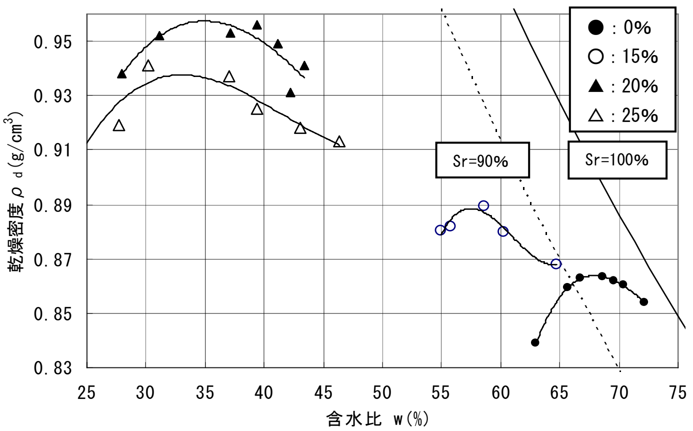

図-2　凝灰質砂岩破砕砂の締固め曲線

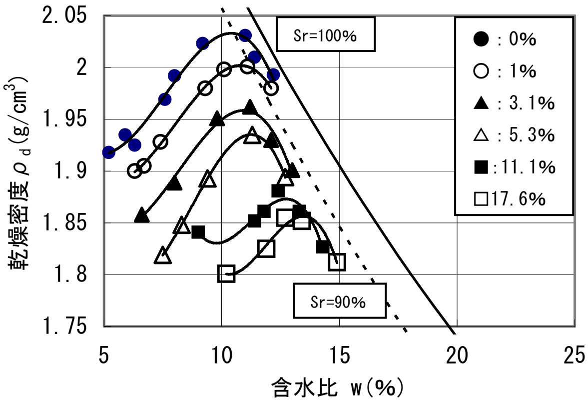

図-3　山砂の締固め曲線

4. ベントナイト混合土の限界添加率

式-2 は、著者らが提案した母材の吸水性を考慮したマクロ間隙比の式である。

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

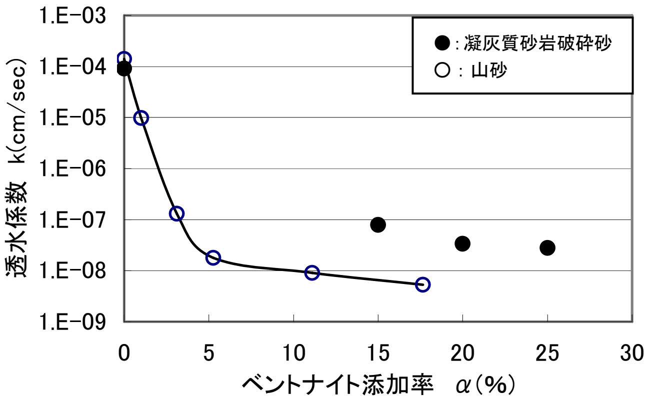

図-4　ベントナイト添加率と透水係数の関係

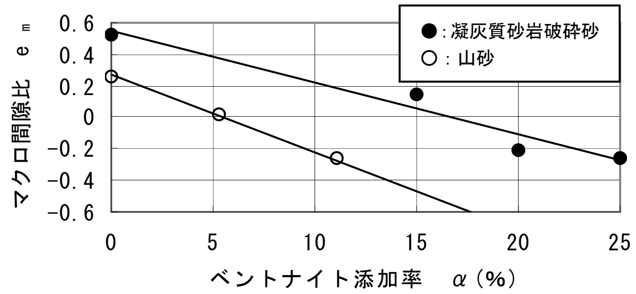

図-5　ベントナイト添加率とマクロ間隙比の関係

ここに、βはベントナイトの膨潤率、ρ_bはベントナイトの密度(g/cm^3)、$\rho_{d\max\alpha}$は添加率α(%)でのベントナイト混合土の最大乾燥密度(g/cm^3)である。

式-2 を用いると、凝灰質砂岩破砕砂および山砂に対するベントナイト添加率とマクロ間隙比の関係は**図-5** のようになる。凝灰質砂岩破砕砂において、マクロ間隙比が 0 になるベントナイト添加率は約 17%であり、山砂においては約 5%である。これらの値は、いずれの試料においても、**図-4** に示した透水係数が大きく変化しないときのベントナイト添加率に対応している。

5. おわりに

山砂および多孔質な凝灰質砂岩破砕砂において、微細空隙比とベントナイトを添加した締固め特性から、修正マクロ間隙比を計算し、この値が 0 になるように考えることで実用的に適用性のあるベントナイトの限界添加率を推定できることを示した。

参考文献

1) 三ヶ田能、今泉繁良、長内圭太、土居洋一：ベントナイト混合土の透水性評価に関する研究、土木学会第 55 回年次学術講演会講演集、Ⅲ-A235、2000.
2) 高橋直樹、今泉繁良、吉直卓也、土居洋一、黒川幸彦：限界添加率の多孔質材料への適用性に関する研究、第 17 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp. 944-946、2006.