

ベントナイト混合土における脆弱岩の適用性に関する研究（その2） —ベントナイト混合土の力学特性について—

大成建設 正会員 ○森川義人

大成建設 正会員 遠藤さち恵, 藤原斉郁

1. はじめに

管理型最終処分場や土壌貯蔵施設の遮水層は、遮水性と変形追随性が要求されており、これらの要求性能を満足する材料としてベントナイト混合土を適用する機会が多い。著者らは、現地掘削土が脆弱岩である場合のベントナイト混合土への適用性に関する研究を行っており、(その1)では脆弱岩を母材に用いたベントナイト混合土について、脆弱岩の種類や物理特性がベントナイト混合土の締め固め特性や透水特性に与える影響を確認した¹⁾。本報告では脆弱岩を用いたベントナイト混合土の圧密非排水三軸圧縮試験を行い、母材の種類やベントナイト混合率がベントナイト混合土の力学特性に与える影響について考察を行った。

2. 試験方法

2-1. 使用材料

ベントナイト混合土には、Na型ベントナイト（クニゲル VI）を用い、母材は報告（その1）¹⁾で使用した新第三系鮮新統の泥岩と稲城砂を選定した。使用した材料の基本物性を表1に示す。本研究に使用した

泥岩は内部に微小な空隙を有し、突き固め試験前後で粒度が変化する粒子破砕性の顕著な材料である²⁾。図1に示すように、泥岩は稲城砂とほぼ同等の均等係数 $U_c \geq 10$ に調整した粒度とした¹⁾。また、ベントナイト混合率は5%および10%（以下 Bt=5%、Bt=10%と記す）で比較した。

2-2. 圧密非排水三軸圧縮試験（CUB）

供試体は、材料を所定のベントナイト混合率、含水比に調整した後、供試体作成用モールド（ $d=50\text{mm}$, $h=100\text{mm}$ ）に泥岩は $\rho_d=1.22\text{g/cm}^3$ （Bt=5%、10%）、稲城砂は $\rho_d=1.87\text{g/cm}^3$ （Bt=5%）、 $\rho_d=1.83\text{g/cm}^3$ （Bt=10%）の乾燥密度で作製した。試験は、所定の値で等方圧密を行い、飽和状態を確認（背圧 200kPa、B 値 $\geq 95\%$ ）後、ひずみ制御式でせん断試験を行った。軸ひずみ速度 0.05%/min で側圧を一定に制御し、軸ひずみ $\varepsilon_1=15\%$ まで実施した。拘束圧 σ_c は想定有効土被り条件を考慮し、 $\sigma_c=50, 200, 400\text{kN/m}^2$ とした。

3. 試験結果と考察

3-1. せん断挙動特性

泥岩および稲城砂の有効応力比 $\eta (=q/p')$ -軸ひずみ ε_1 関係をそれぞれ図2および図3に示す。間隙水圧の変化も図中に付記した。泥岩の場合（図2参照）は有効応力比 η が拘束圧に依存し、せん断終了時点で Bt=5%が $\eta=1.2 \sim 1.7$, Bt=10%が $\eta=1.1 \sim 1.5$ となっている。また、拘束圧が小さいほど有効応力比 η が高くなる傾向を示している。一方、稲城砂の場合（図3参照）は、有効応力比 η は拘束圧に依存せず、一定の値に収束する傾向を示し、せん断終了時点で Bt=5%は $\eta=1.5$, Bt=10%は $\eta=1.4 \sim 1.5$ となっている。また、間隙水圧の変化は、泥岩の場合はせん断の進行に伴い増加し、各拘束圧により異なった値に収束する傾向を示しており、拘束圧が大きいほど間隙水圧も大きく、Bt=5%、Bt=10%共にほぼ同様な値に収束する傾向を示している。一方、稲城砂の場合は Bt=5%はせん断初期で間隙水圧がピーク値を示した後、せん断の進行とともに間隙水圧が減少する傾向を示し、比較的低い拘束圧

表1 使用した材料の基本物性

| 項目 | | 泥岩 | 稲城砂 | Na型ベントナイト |
|-------|---------------------------|---------|-------|-----------|
| 物理的性質 | 含水比 (%) | 31.88 | 3.95 | 8.0 |
| | 粒子密度 (g/cm ³) | 2.553*1 | 2.638 | 2.79 |
| | | 1.391*2 | | |

*1 JIS A 1202

*2 JIS A 1225（「土の湿潤密度試験」のパラフィン法）

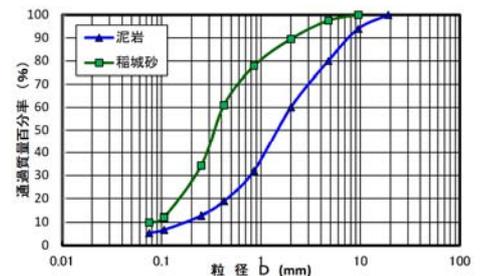


図1 使用した母材の粒径加積曲線

キーワード ベントナイト混合土, 脆弱岩, 応力比, 有効応力径路, 限界状態線

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設 原子力本部 TEL: 03-5381-5315

では負の間隙水圧となっている。Bt=10%は、低い拘束圧で負の間隙水圧を示すものの、せん断の進行に伴い一定値に収束する傾向を示している。以上より、 $\eta - \varepsilon_1$ 関係と $U_e - \varepsilon_1$ 関係から、泥岩の場合は急激なひずみ軟化を呈しない正規圧密粘土に近い変形挙動特性が現れ、稲城砂の場合はベントナイト混合率が大きいほど正規圧密粘土に近い変形挙動特性の傾向にあることが判った。

3-2. 有効応力径路

泥岩および稲城砂の $q-p'$ 平面上における有効応力径路を図4に示す。最大軸差応力と有効主応力より得られる限界状態線 ($q = M \cdot p'$) を図中に付記した。図4(a)に示すように、泥岩の場合はベントナイト混合率の大きさに関わらず、応力状態 (p') が小さい場合は過圧密粘土の有効応力径路の特徴を示すが、応力状態 (p') が大きくなるに従い正規圧密粘土の有効応力径路の特徴を示している。一方、図4(b)に示すように、稲城砂ではベントナイト混合率が小さい (Bt=5%) 場合は、試験の応力状態 (p') において過圧密粘土の有効応力径路の特徴を示すが、ベントナイト混合率が大きい (Bt=10%) 場合には泥岩の場合と同様、応力状態 (p') が小さい場合には過圧密粘土の有効応力径路の特徴、応力状態 (p') が大きくなるに従い正規圧密粘土の有効応力径路の特徴を示している。また、泥岩、稲城砂共にせん断終了時に近づくにつれ、応力状態 (p') が大きい場合でも、有効応力径路が正規圧密の挙動から過圧密の挙動へと遷移しており、稲城砂の場合はこの傾向が顕著である。さらに、泥岩、稲城砂共に比較的応力状態 (p') が小さい領域では有効応力径路が限界状態線を若干上回る軽過圧密的な領域の降伏局面 (Hvorslev 面) が現れており、せん断終了時におけるベントナイトの膨潤が降伏局面に影響を与えている可能性が考えられ、今後の検討課題である。なお、泥岩を用いたベントナイト混合土の強度定数は、Bt=5%が $c' = 20\text{kN/m}^2$, $\phi' = 27^\circ$, Bt=10%が $c' = 18\text{kN/m}^2$, $\phi' = 25^\circ$ であった。泥岩を用いたベントナイト混合土の透水係数は、報告(その1)より Bt=5%で $k = 10^{-11}\text{m/sec}$ オーダー、Bt=10%で $k = 10^{-12}\text{m/sec}$ オーダーの透水係数が得られており、締固めによる脆弱泥岩の破砕が粒度分布の改善効果に繋がり、貧配合のベントナイト混合率でも十分な遮水性能と力学的安定性を確保できることが判った。

4. まとめ

脆弱な泥岩を用いたベントナイト混合土は、締固めの破砕性による粒度分布改善効果により、Bt=5%でも、 $k = 10^{-11}\text{m/sec}$ オーダーの遮水性能と $c' = 20\text{kN/m}^2$, $\phi' = 27^\circ$ の力学的安定性を確保できることが判った。

参考文献 1) 遠藤さち恵, 森川義人, 藤原斉都: ベントナイト混合土における脆弱岩の適用性に関する研究(その1), 第69回年次学術講演会講演会講演概要集/CS9, 2014.9.(投稿中) 2) 遠藤さち恵, 森川義人, 白瀬光泰: 脆弱岩を母材としたベントナイト混合土の締固め特性, 第49回地盤工学研究発表会, 2014.(投稿中)

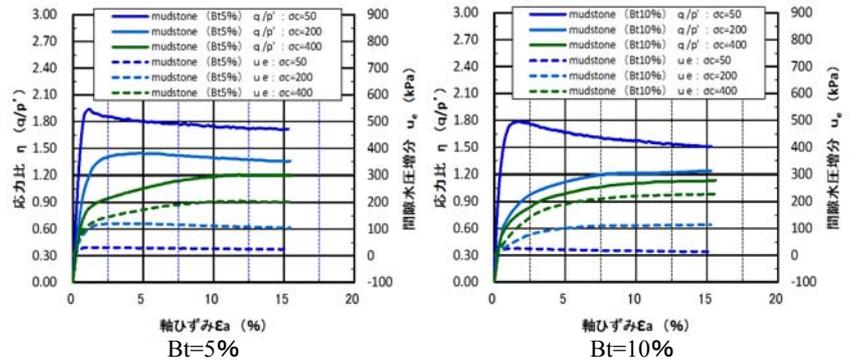


図2 η (=q/p')-ε₁ 関係 (泥岩)

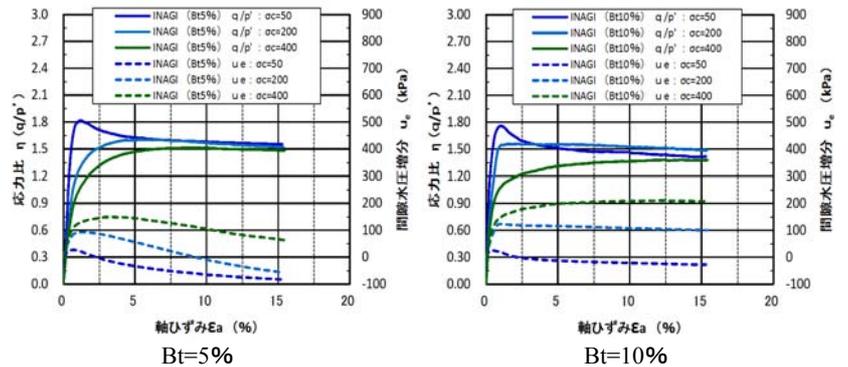


図3 η (=q/p')-ε₁ 関係 (稲城砂)

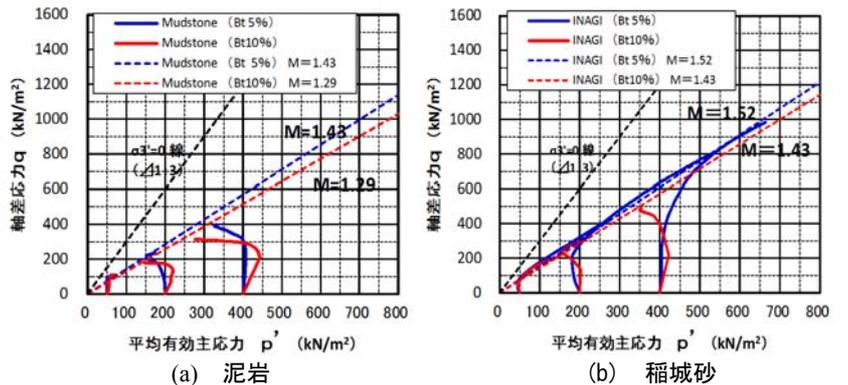


図4 有効応力径路 (q-p'平面)