

ベントナイト混合土の遮水性発現メカニズムに関する検討（その3） ～ ベントナイト混合試験と一面せん断試験 ～

前田建設工業株式会社

正会員

○大塚 悠大

正会員

平田 昌史

フェロー会員

石黒 健

正会員

岩田 将英

岩手大学大学院

正会員

大河原 正文

正会員

太田 征志

原子力環境整備促進・資金管理センター

正会員

広中 良和

1. はじめに

著者らは、これまでベントナイト混合土を締め固めることによって発揮される遮水性の発生メカニズムに焦点をあてた研究を進めており、締め固め時の含水比や飽和度の違いが締め固め後の飽和透水係数に及ぼす影響や土粒子や水の挙動の可視化等について検討している¹⁾²⁾。先の報告³⁾⁴⁾では、締め固め時の含水比（飽和度）により形成される間隙構造に違いが生じ、透水性に影響を及ぼしていることが確認された。本報告では、この間隙構造の違いがどのように形成されるのかのプロセスを検討するために実施した混合試験と、間隙構造の違いを力学挙動の観点から検討するために実施した一面せん断試験の結果について述べる。

2. ベントナイトの混合試験

図-1 に示したベントナイト 10%混合土に対して、材料の混合から締め固めまでの供試体作製状況を観察するための混合試験を実施した。ここでは締め固め～透水試験の供試体作成方法と同様に、母材となる購入砂とベントナイトを乾燥状態で十分混合した後、霧吹きにて所定の含水比まで徐々に加水し、全体が均一になるまで混合して試料を作製している。図-2 は、含水比を 1.5%刻みで 4.5%～21.0%まで 12 段階に変えて混合した試料を蒸発皿に載せて撮影した写真である。含水比が低い 4.5%の試料では、試料の状態はほぼサラサラであるが、含水比が高くなるにつれ徐々に小さな塊が形成され、最適含水比 13.5%（1Ec 締め固め）より大きな含水比では、かなり大きな塊・ダマ状になっていることが確認でき、含水比 21.0%の試料ではかなりベトベトな状態となっている。図-3 は、この混合した試料を 3%刻みで 6 試料取り出し、乾燥密度 1.50g/cm³の緩詰め状態で容器に詰めた供試体と、その表面を実体顕微鏡で撮影した画像である。顕微鏡画像を見ると、含水比 6%では白い粉状のベントナイトが砂粒子に付着している様子が観察できるが、含水比 21%では吸水して半透明（ジェル化）状態となったベントナイトが砂粒子を覆い、大きな塊・ダマとなっている様子が確認できる。図-4 は、図-3 の状態からさらに乾燥密度 1.73g/cm³の密な状態まで締め固めた供試体と実体顕微鏡画像である。顕微鏡画像を見ると、形成されていたダマが締め固めにより押しつぶされ間隙を埋めている様子が伺え、大きなダマを持つ高含水比な供試体ほどその傾向が強い。このような顕微鏡画像の傾向は、締め固め～透水試験後の供試体顕微鏡画像⁴⁾と酷似しており、このような混合～締め固めのプロセスによって生じた間隙構造の違いが、透水試験結果に影響を及ぼしていると考えられる。

3. ベントナイト混合土の一面せん断試験

含水比を 9, 12, 15, 18, 20%に調整したベントナイト 10%混合土試料を乾燥密度 1.68 g/cm³で締め固め作製した供試体に対して、図-5 に示したスマート一面せん断試験機⁵⁾を用いた定圧せん断試験（上載圧 40kN/m²）を実施した。図-6 は、この一面せん断試験結果（せん断変位～せん断応力関係）である。この図を見ると、乾燥側の供試

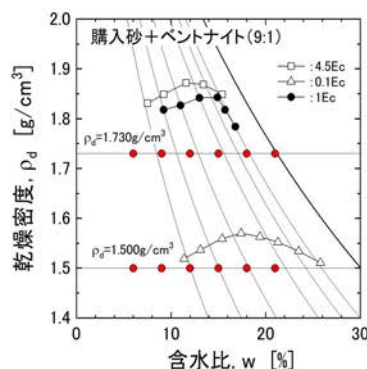


図-1 締め固め試験結果

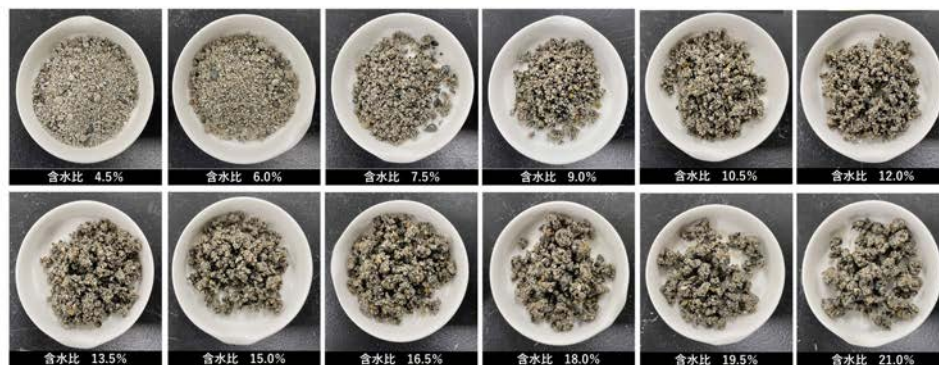


図-2 含水比を変えたベントナイト混合土試料状況

キーワード：ベントナイト混合土、透水性、締め固め、間隙構造、一面せん断試験

〒302-0021 茨城県取手市寺田 5270 前田建設工業(株) ICI 総合センター TEL 0297-85-6171 FAX 0297-85-6173

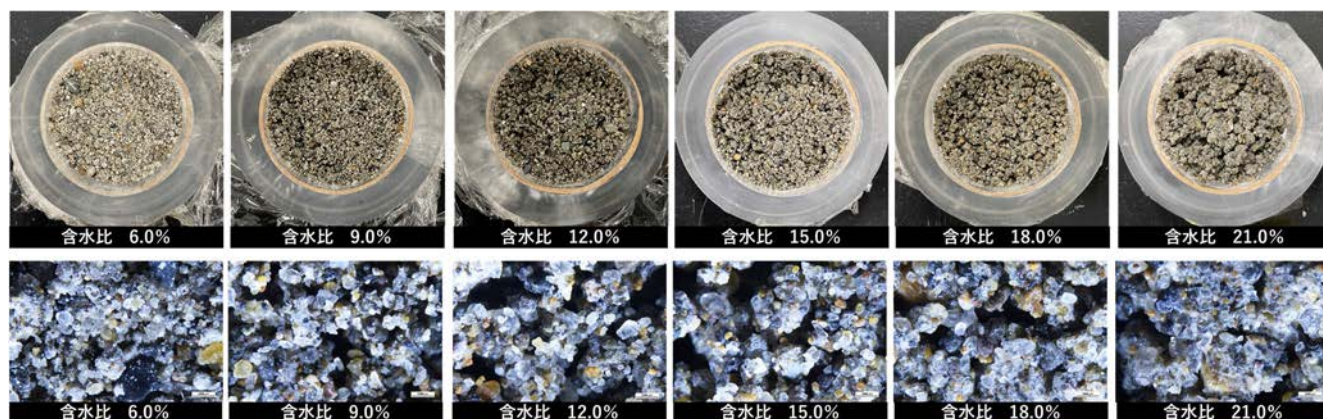


図-3 締固め供試体画像と実体顕微鏡画像（緩詰め、乾燥密度 $\rho_d = 1.50 \text{ g/cm}^3$ ）

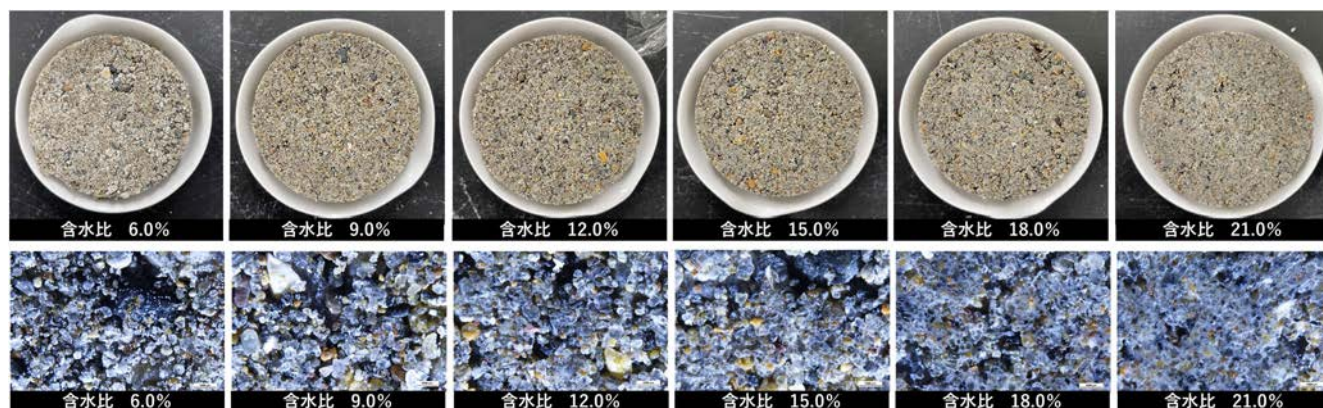


図-4 締固め供試体画像と実体顕微鏡画像（密詰め、乾燥密度 $\rho_d = 1.73 \text{ g/cm}^3$ ）

体はピークが生じた後に残留強度特性を示す過圧密的挙動となっている。これは、固練り状態かつ離散配置状態のベントナイトが、微小変位までは固練り状態の高い粘着力（せん断抵抗）を発揮するものの、せん断変位が進むと変形追随性を失って強度低下が生じているように思われる。一方、最適含水比付近ではベントナイトの吸水（ジェル化）が始まり、被覆面積が増えるためせん断抵抗が増加、変形追随性も発揮されるためピークが徐々に見られなくなる。湿潤側ではより被覆的配置になるためひずみ硬化型の挙動に変化するが、粘着力は最適含水比よりもやや低下するため強度は最適含水比よりも小さくなる。このように、一面せん断試験による強度特性は、顕微鏡画像によるベントナイト付着状況と定性的に整合している。



図-5 スマート一面せん断試験機

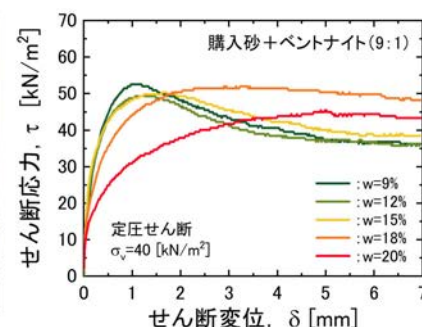


図-6 定圧一面せん断試験結果

4. おわりに

本報告では、ベントナイト混合土の混合試験および一面せん断試験結果について紹介した。締固め時の初期含水比によって形成される間隙構造に違いが生じる様子や、この間隙構造が一面せん断の強度発生にも影響を与えていることが確認できた。なお、本報告は経済産業省資源エネルギー庁からの委託による「令和4年度低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発事業（JPJ010897）（地下空洞型処分調査技術高度化開発）」の成果の一部である。

【参考文献】

- 1) 石黒ら：ベントナイト混合土の締固め後粒子間隙構造の可視化に関する検討，土木学会第76回年次学術講演会，2021.
- 2) 石黒ら：締固めたベントナイト混合の遮水性発現メカニズムに関する検討，土木学会第77回年次学術講演会，2022.
- 3) 石黒ら：ベントナイト混合土の締固め時透水挙動の検討（その1）土木学会第78回年次学術講演会，2023.(投稿中)
- 4) 野田ら：ベントナイト混合土の締固め時透水挙動の検討（その2）土木学会第78回年次学術講演会，2023.(投稿中)
- 5) 平田ら：等体積一面せん断試験を用いた不飽和パラメータの推定手法の検討，第56回地盤工学研究発表会，2021.