

## 回収技術の高度化検討（その5）：土質材料の特性が機械的除去に及ぼす影響

（公財）原子力環境促進整備・資金管理センター 正会員 ○八木 啓介 正会員 小林 正人  
大成建設（株） 正会員 藤原 斉郁 正会員 小野 誠 正会員 松井 秀岳

## 1. はじめに

処分坑道横置き・PEM方式では、閉鎖後長期の安全性確保の観点から廃棄体の搬送定置装置が移動する空間（隙間）をベントナイト混合土（隙間充填材）で埋め戻すことが検討されている。回収時には隙間充填材の除去が必要であり、機械的除去装置の開発に向けた切削・排土試験を実施している（同報告その4）。ベントナイト混合土の性状は、処分場の個々の構成要素に割り当てられる要件や仕様、隙間充填材の施工後から回収までの時間経過に応じて顕著に変化するため、様々な仕様や状態のベントナイト混合土に対して除去技術の適用性を示すことが重要である。そこで、ベントナイト混合土の配合率、密度、含水比が機械的除去技術に与える影響について確認するために、一般的な土質材料のパラメータや、切削力、切削時の破壊状況について整理し、開発する機械的除去装置の適用性について検討した。本報では、これらの検討内容について報告する。

## 2. ベントナイト混合土の有効粘土密度とコンシステンシー指数が強度に与える影響

ベントナイト混合土の含水比、配合率、乾燥密度をパラメータとした土質試験から一軸圧縮強度、コーン指数、粘着力（一面せん断試験より）を取得し、有効粘土密度  $\rho_e$  と、土の状態を表すコンシステンシー指数  $I_c$  で整理した（図.1）。塑性状 ( $I_c < 1$ ) では強度は低く半固体状 ( $I_c > 1$ ) になると上昇する。半固体状では  $\rho_e$  の増加とともに強度が上昇する結果となった。ただし、珪砂を多く含むベントナイト配合率が小さいケースでは締固めて乾燥密度を大きくしても高配合のケースと比較して一軸圧縮強度と粘着力は上昇しない。掘削機による岩盤の掘削性について判断基準とされる一軸圧縮強度は最大で 11.7 MPa と軟岩系岩盤相当となった。そのため

Br=15 %,  $\omega_p=12.5$  % : ○  $\rho_e(\text{pd}) \approx 0.65(1.80) \text{ Mg/m}^3$     ○  $\rho_e(\text{pd}) \approx 0.80-0.85(2.00) \text{ Mg/m}^3$     ○  $\rho_e(\text{pd}) \approx 1.00(2.10) \text{ Mg/m}^3$   
 Br=50 %,  $\omega_p=18.8$  % : □  $\rho_e(\text{pd}) \approx 0.80-0.85(1.20) \text{ Mg/m}^3$     □  $\rho_e(\text{pd}) \approx 1.00(1.45) \text{ Mg/m}^3$     □  $\rho_e(\text{pd}) \approx 1.20(1.66) \text{ Mg/m}^3$     □  $\rho_e(\text{pd}) \approx 1.60(2.00) \text{ Mg/m}^3$   
 Br=70 %,  $\omega_p=23.5$  % : △  $\rho_e(\text{pd}) \approx 1.00(1.20) \text{ Mg/m}^3$     △  $\rho_e(\text{pd}) \approx 1.20(1.40) \text{ Mg/m}^3$     △  $\rho_e(\text{pd}) \approx 1.40(1.60) \text{ Mg/m}^3$     △  $\rho_e(\text{pd}) \approx 1.80(2.00) \text{ Mg/m}^3$   
 Br=100 %,  $\omega_p=23.5$  % : ×  $\rho_e(\text{pd}) \approx 1.20 \text{ Mg/m}^3$     ×  $\rho_e(\text{pd}) \approx 1.60 \text{ Mg/m}^3$     ×  $\rho_e(\text{pd}) \approx 2.00 \text{ Mg/m}^3$   
 （半固体状 ( $I_c > 1$ ) の記号 (○, □, △, ×) は塗りつぶし、塑性状 ( $I_c < 1$ ) の記号は白抜きにした）

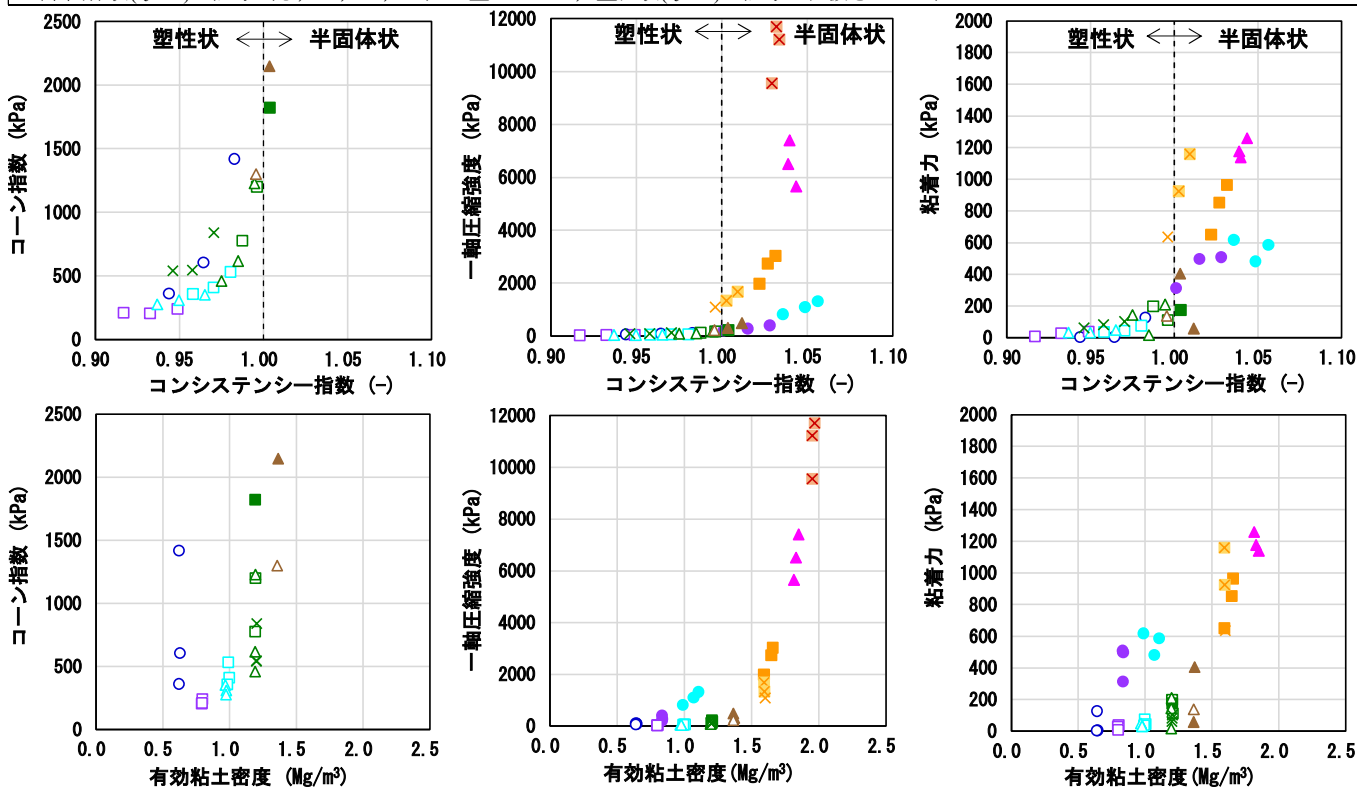


図.1 コンシステンシー指数、有効粘土密度とコーン指数、一軸圧縮強度、粘着力の関係

キーワード 放射性廃棄物、ベントナイト混合土、コンシステンシー指数、有効粘土密度、切削力

連絡先 〒104-0044 東京都中央区明石町6番4号 原子力環境整備・資金管理センター TEL: 03-6264-2111

土質試験に用いたいずれのベントナイト混合土においても、一軸圧縮強度を基準とした場合、岩盤の掘削機をベースに開発している機械的除去装置で適用可能と考えられる。

### 3. 切削力と切削パターン

実際の除去作業における、隙間充填材の切削メカニズムを把握するため、1次元の切削試験を実施した。試験は密度、含水比を変えた37ケースの供試体を試験装置(図.2)に設置し、切削刃で幅15mm×奥行き50mmの帯状に切削した。切削時の移動速度は200mm/min、切削刃の角度は30、45、60度とし、試験では切削刃に作用する荷重(切削力)をロードセルにより測定した。供試体が破壊される時、鉛直軸方向に亀裂が生じて割裂する切削パターンと切削刃面の垂直方向にせん断される切削パターンが確認された(図3)。ベントナイト配合率が低く $I_c$ が小さい供試体にせん断破壊が多く見られる傾向があり、逆に $I_c$ が大きく含水比の低い乾燥密度が大きい供試体は、強度が大きくなると共に破壊時の限界ひずみも小さくなることで割裂が生じやすくなると考えられる。例えばベントナイト配合率100%の殆どの供試体は割裂が生じ破壊した。切削パターンの差異については引張強度や剥離性などの観点からの考察が必要であり、畑村ら<sup>1)</sup>は粘着力が引張強度より小さいときせん断破壊が生じるとしている。塑性状の土の引張強度を正確に取得すること容易ではなく、現時点ではベントナイト混合土のデータが不足しているため本試験の検証は今後の課題である。また、本試験では飽和度100%での試験は実施できておらず、この場合において切削パターンが一変する可能性もある。供試体が破壊する瞬間の切削力を図.4に示す。 $\rho_e$ が1.2Mg/m<sup>3</sup>を境に切削力は上昇しており、塑性状であってもその傾向は変わらない。これは前述した土質試験の結果と異なる傾向である。畑村ら<sup>2)</sup>は、ロームの切削において排土板表面の摩擦条件が切削現象に大きな影響を与えると指摘していることから、本試験において供試体が塑性状であっても切削力が低下しない要因の一つとして切削面における摩擦の影響が考えられる。切削パターンやベントナイト混合土と除去装置間の摩擦は、切削機構だけではなく排土機構にも与える影響が大きいと考えられることから機械的除去装置の適用性を検討するにあたり重要なパラメータとなる。今後は、これらを定量的に把握し、評価するために引き続き検討を進めていきたいと考えている。

### 4. まとめ

ベントナイト混合土の仕様や状態が強度や切削パターンに与える影響について整理し、機械的除去装置の適用範囲について検討した。隙間充填材を想定したベントナイト混合土の一軸圧縮強度は軟岩系岩盤相当であることから機械的除去装置の適用範囲内と考えられる。ただし、機械的除去装置の適用性については切削パターンや摩擦の影響といった強度以外の観点からも考察が必要であり、引き続き検討を進めていきたいと考えている。※本研究は、経済産業省資源エネルギー庁委託事業「令和3年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業(JPJ007597)(回収可能性技術高度化開発)」の成果の一部である。参考文献1) 畑村 洋太郎, 千々岩 健児: 土の切削機構の解明(第1報, 土の切削パターンについて), 日本機械学会論文集第3部, 40巻338号, pp.2945-2955, 1974. 2) 畑村洋太郎, 千々岩健児: 土の切削機構の解明(第5報, 土の切削理論について), 日本機械学会論文集第3部, 42巻359号, pp.2258-2268, 1983.

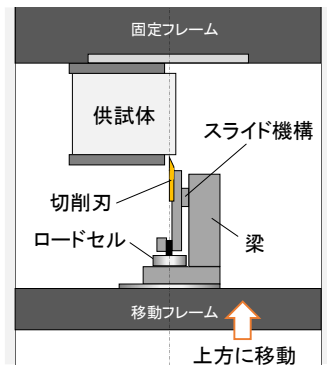


図.2 試験装置

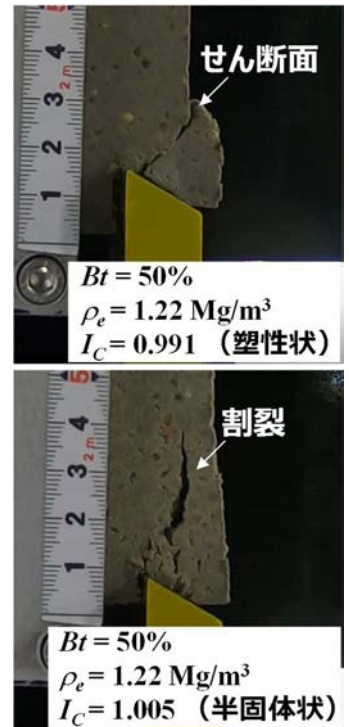


図.3 供試体の破壊状況

○ $Br=15\%, I_c > 1$ (半固体状)	○ $Br=15\%, I_c < 1$ (塑性状)
□ $Br=50\%, I_c > 1$ (半固体状)	□ $Br=50\%, I_c < 1$ (塑性状)
△ $Br=70\%, I_c > 1$ (半固体状)	△ $Br=70\%, I_c < 1$ (塑性状)
× $Br=100\%, I_c > 1$ (半固体状)	× $Br=100\%, I_c < 1$ (塑性状)

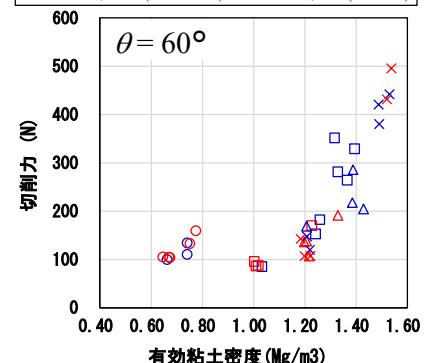


図.4 切削力と有効粘土密度の関係