

Ca型ベントナイト混合土の長期状態設定における変形挙動と透水係数 (その1) —せん断透水試験における長期・地震時による比較・検討—

大成建設(株) 正会員 ○森川義人, 正会員 木ノ村幸士
 大成建設(株) 正会員 磯さち恵, 正会員 藤原斉郁
 日本原燃(株) 正会員 庭瀬一仁, 正会員 工藤 淳
 日本原燃(株) 正会員 浪岡翔吾
 東電設計(株) 正会員 田坂嘉章, 正会員 矢込吉則

1. 目的

放射性廃棄物埋設施設である浅地中処分 (L2) のコンクリートピット外周には、ベントナイト混合土による難透水性覆土が計画されている。埋設施設の長期的な劣化等を考慮した長期状態設定における検討として、埋設施設の劣化等が難透水性覆土に与える影響を考慮した設計対応が求められる。本研究では、コンクリートピット等の金属腐食膨張に伴う長期状態における局所変形および地震時の大変形を想定し、せん断透水試験¹⁾、動的載荷試験および透水試験を実施し、変形挙動特性と透水係数の考察を行った。

2. 試験概要

(1) 供試体作製方法

試験に用いた供試体は、メチレンブルー吸着量 (MBC) $\geq 120\text{mmol}/100\text{g}$ の Ca 型ベントナイト (クニボンド:クニミネ工業製) および三沢産の砂 (図1, 表1参照) を母材としてベントナイト混合率30wt%のCa型ベントナイト混合土を室内試験用ミキサーで混合し、乾燥密度 $\rho_d=1.65\text{Mg}/\text{m}^3$ (最適含水比 $W_{\text{opt}}+4\%$, 締固め度D値97%), 1層圧縮成型にて作製した。

(2) 試験条件

本試験では、長期状態と地震時状態では異なる試験方法を適用した。長期状態を想定したせん断透水試験では、供試体全般に一様にせん断ひずみが生じるよう直径 $\phi=50\text{mm}$, 高さ $h=25\text{mm}$ とし、両端部に摩擦軽減層を設けた²⁾ (写真1, 図2参照)。一方、地震時状態を想定した動的載荷試験の供試体は、 $\phi=50\text{mm}$, $h=100\text{mm}$ とし、所定のせん断ひずみ γ までせん断

した後、最大軸差応力 q_{max} まで多段階繰返し載荷を実施し、続けて同一三軸セル内にて透水試験を行った。地震時状態における試験前後の供試体を写真2に示す。有効拘束圧は、図3に示す概略土層モデルにおけるベントナイト混合土上部に設定し $\sigma_c'=87\text{kN}/\text{m}^2$ とした。長期状態の最終せん断ひずみ γ_{en} は、既往の長期ひび割れ解析を参考に $\gamma=15\%$ とし、飽和 (背圧 $300\text{kN}/\text{m}^2$, 飽和度B値95%以上)、等方圧密後、せん断ひずみ速度 $0.01\%/ \text{min}$ (非排水条件) にてせん断および透水試験 ($\gamma=5\%$ 毎に排水条件) を実施した。一方、地震時状態は既往の長期地震影響解析を参考に $\gamma=10\%$ までせん断した後、三軸圧縮試験 (\overline{CU}) から得られた最大軸差応力 $q_{\text{max}}=234\text{kN}/\text{m}^2$ の6段階ステージ載荷の繰返し試験を $\gamma=20\%$ (振動周波数 $f=1\text{Hz}$) まで実施し、最終せん断ひずみ $\gamma_{\text{en}}=30\%$ をもってせん断試験を終了した。せん断試験後は間隙水圧を消散した後、引き続き三軸セル内にて透水試験を実施した。

表1 使用材料の基本特性

	三沢産砂	Ca型ベントナイト
MBC	—	123mmol/100g
土粒子密度	2.714Mg/m ³	2.608Mg/m ³
含水比	5.84%	10.35%

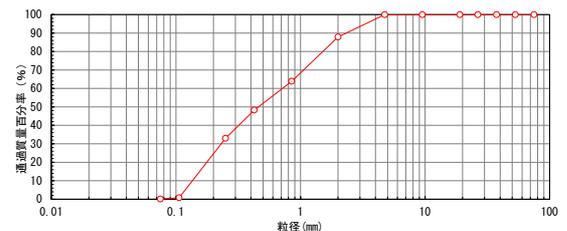


図1 三沢産砂の粒径加積曲線



写真1 試験状況 (長期)

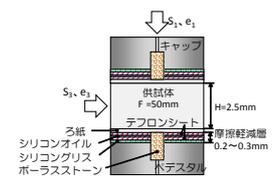


図2 摩擦軽減層



写真2 試験前後の供試体

キーワード ベントナイト混合土, せん断透水試験, 変形, 透水係数

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 新宿センタービル 大成建設株式会社 原子力本部 TEL 03-5381-5315

3. 試験結果

長期状態および地震時状態における軸差応力 q ・間隙水圧増分 u_e とせん断ひずみ γ の関係を各々図 4, 6 に, 軸差応力 q と平均有効主応力 p' の関係 (有効応力経路) を各々図 5, 7 に示す. 図 4 より長期状態では, 軸差応力 q がせん断ひずみ $\gamma=5\%$ 以降, 三軸圧縮試験より少し大きくなるものの, 間隙水圧増分は三軸圧縮試験とほぼ同等な値に収束する傾向が見られた. 一方, 図 6 より地震時状態では, 動的载荷における軸差応力の最大値は三軸圧縮試験よりも大きくなり, 間隙水圧増分は三軸圧縮試験とほぼ同等かやや小さくなる傾向が見られた. また, 軸差応力 q -平均主応力 p' 関係については, 図 5 より長期状態は三軸圧縮試験とほぼ同様の有効応力経路をたどり, せん断時と排水時で限界状態線 (CSL) を挟んで上下に遷移する傾向が見られた. 一方, 図 7 より地震時状態も動的载荷過程において限界状態線を挟んで上下に大きく遷移する傾向が見られた. 長期状態にお

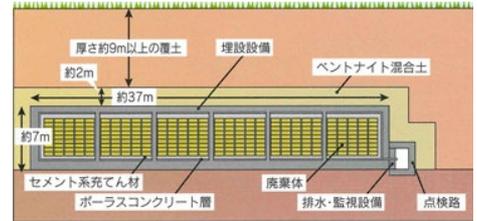


図 3 概略土槽モデル

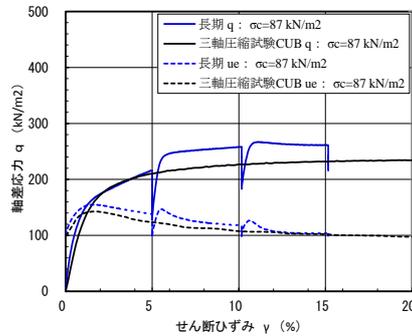


図 4 $q \cdot u_e - \gamma$ 関係 (長期)

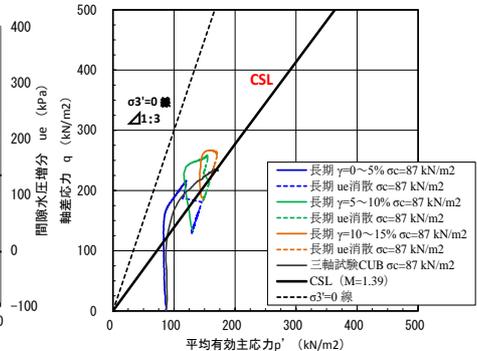


図 5 $q-p'$ 関係 (長期)

は, 図 5 より長期状態は三軸圧縮試験とほぼ同様の有効応力経路をたどり, せん断時と排水時で限界状態線 (CSL) を挟んで上下に遷移する傾向が見られた. 一方, 図 7 より地震時状態も動的载荷過程において限界状態線を挟んで上下に大きく遷移する傾向が見られた. 長期状態にお

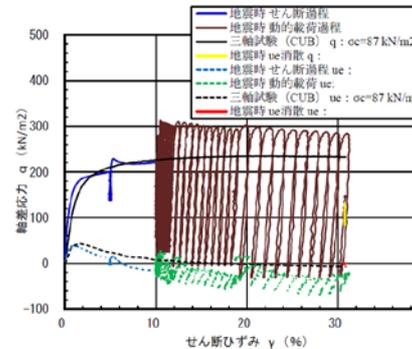


図 6 $q \cdot u_e - \gamma$ 関係 (地震時)

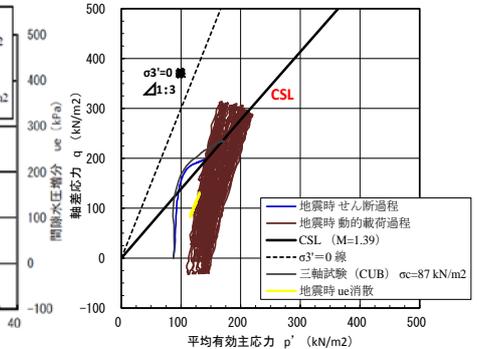


図 7 $q-p'$ 関係 (地震時)

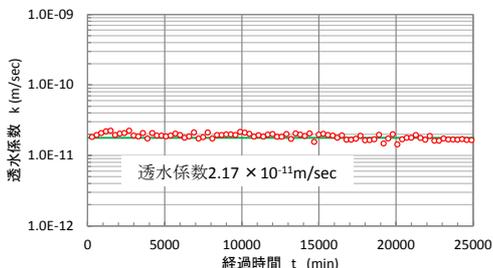


図 8 透水係数と経過時間の関係 ($\gamma=15\%$)

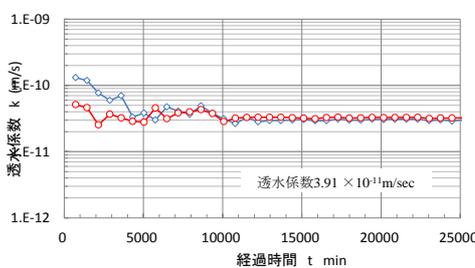


図 9 透水係数と経過時間の関係

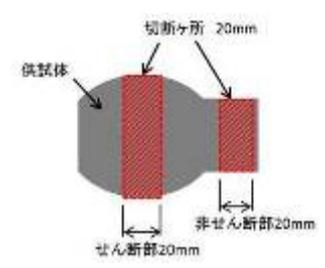


図 10 スライス試料位置

る $\gamma=15\%$ の間隙水圧消散後の応力は, 限界状態線よりやや下方に収束しているのに対し (図 5 参照), 地震時状態ではさらに下方に収束する傾向が見られた (図 7 参照). 次に, 透水試験結果を図 8, 9 に示す. 地震時状態における試験後の供試体を観察すると, ひずみの局所化が見られる (写真 2 参照). 透水係数はせん断部と非せん断部が直列配置であることから, 透水係数の小さい非せん断部の影響が支配的となる. そこで, せん断部と非せん断部を各々 20mm に切断したスライス試料 (図 10 参照) の乾燥密度 ρ_d について, せん断試験前 (飽和・圧密完了時) と比較した. せん断変形前の透水係数は 10^{-11} m/sec オーダー, 乾燥密度は $\rho_d=1.65$ Mg/m³ であるのに対し, スライス試料の乾燥密度は, せん断部が $\rho_d=1.63$ Mg/m³, 非せん断部が $\rho_d=1.67$ Mg/m³ であったことから, せん断部, 非せん断部ともに透水係数は 10^{-11} m/sec オーダーを大きく超えることはない想定される. 従って, 長期状態および地震時状態によりせん断ひずみ 30% 程度までのせん断変形を受けても, 透水係数への影響はほとんどないものと考えられる.

参考文献

- 1) Ca 型ベントナイトせん断透水試験及び伸びひずみ追随試験その 1, 土木学会第 67 回年次学術講演会, 平成 24 年 9 月, 工藤他
- 2) 砂とベントナイト混合土における透水特性に関する実験的研究, 大成建設技術研究所報告, 1989, 今村聡, 後藤聡