

堆積軟岩の物理特性がベントナイト混合土の繰返し変形特性に与える影響

アースプライム 正会員 ○佐々木朋子

金子 秀樹

大成建設

正会員 森川 義人

正会員 磯 さち恵

1. はじめに

管理型廃棄物処分場や放射性廃棄物処分場の遮水層にはベントナイト混合土が適用される場合が多く、遮水性と変形追従性が設計上の重要な要求性能となっている。筆者らは、処分場建設時に発生する堆積軟岩を用いたベントナイト混合土の適用性に関する研究を行っており、比較的低配合のベントナイト混合率でも十分な遮水性が得られることを確認している¹⁾。本研究では、物理特性が異なる堆積軟岩及び山砂を用いて地震時の変形追従性を確認するため繰返し三軸試験を実施した。その結果、膨潤性粘土鉱物や破碎性等を有する堆積軟岩を用いたベントナイト混合土の繰返し変形特性は、粘性土的特徴を有していることを確認した。

2. 堆積軟岩の種類と試験方法

2.1 使用材料とベントナイト配合率

ベントナイト混合土は、掘削ズリを 20 mm 以下に粒度調整した 2 種類の堆積軟岩（図-1 参照）及び山砂の計 3 種類の母材に対し、堆積軟岩は配合率 5%（乾燥重量比、ベントナイト配合率を Bt と記す：以下同様）、山砂は Bt=10%にて Na 型ベントナイト（クニミネ工業製）と混合して作製した。また、山砂のみの場合も比較対象として試験を行った。堆積軟岩は、物理特性の異なる新第三系鮮新統の泥岩である「仙台層群向山層」、「島尻層群与那原層」を用い、山砂は宮城県産の購入砂を用いた。堆積軟岩、山砂及びベントナイトの物理特性を表-1 に示す。表-1 より、2 種類の堆積軟岩のうち、向山層は比較的多孔質で吸水膨張性が低く、与那原層は比較密実で吸水膨張性が高い軟岩であることが分かる。なお、向山層と与那原層の破碎率はほぼ同じ値を示しているが、破碎の形態に違いが見られるため、締固め時の破碎状態との関係の整理が必要である。

2.2 供試体作製方法及び試験方法

供試体（φ50mm×h100mm）は、突固め法による密度調整によって作製した。作製条件は JIS A 1210 の A 法によって得られた値を採用しており、表-2 のとおりである。試験は JGS 0542 「地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法」に準拠して実施した。供試体は、二重負圧法と背圧によって飽和化（ $B \geq 0.95$ ）し、有効拘束圧 σ'_c は 50 kN/m² と 400 kN/m² の 2 種類でそれぞれ等方圧密した。また、载荷は周波数 $f=0.05$ Hz、非排水条件で実施した。

3. 試験結果と考察

3.1 繰返し三軸試験結果

まず、表-2 及び図-2 に、各試料の繰返し三軸試験結果を示す。表-2 より、初期せん断剛性率 G_0 に明確な拘束圧依存性が確認でき、各試料とも $\sigma'_c=400$ kN/m² は $\sigma'_c=50$ kN/m² の 3~4 倍であった。一方、図-2 の正規化したせん断剛性率 G/G_0 とせん断ひずみ $(\gamma)_{SA}$ の関係では、山砂、山砂 Bt=10%、向山層 Bt=5%の結果は、 σ'_c の大きい方が G/G_0

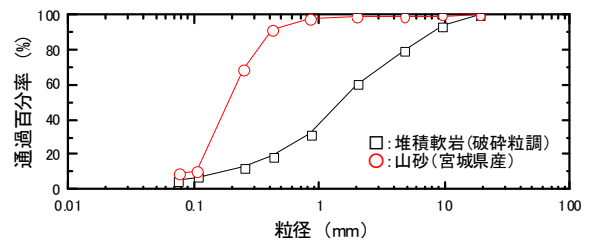


図-1 使用した母材の粒径加積曲線

表-1 使用材料の基本物性

項目	向山層	与那原層	山砂	Na型ベントナイト	備考
含水比 w %	27.4	25.0	-	8.0	JIS A 1203
土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.571	2.747	2.683	2.790	JIS A 1202
乾燥密度 ρ_d g/cm ³	1.474	1.623	-	-	JIS A 1225 ^{a)}
メチレンブルー吸着量 MBC mmol/100g	36.0	23.0	8.0	81.0	JBAS-107
破碎率 B_R %	49.3	47.1	-	-	JHS 109
吸水膨張率 L_s %	0.55	2.1	0.036 ^{b)}	-	JGS 2121

*a) パラフィン法による、 *b) 参考値

表-2 供試体条件と初期せん断剛性率^{a)}

試料名	ρ_{dmax} (g/cm ³)	w_{opt} (%)	σ'_c (kN/m ²)	G_0 (MN/m ²)
山砂	1.580	19.3	50	52.9
			400	182
山砂Bt=10%	1.632	18.1	50	41.7
			400	150
向山層Bt=5%	1.216	39.4	50	39.4
			400	121
与那原層Bt=5%	1.401	30.7	50	28.7
			400	102

*a) $\nu=0.5$ として算出

キーワード 堆積軟岩、ベントナイト混合土、繰返し三軸変形特性

連絡先 〒359-0007 埼玉県所沢市北岩岡 296-1 株式会社アースプライム 技術センター TEL 04-2990-1010

$\sim(\gamma)_{SA}$ 曲線がグラフの右側にシフトするような形を示したが、与那原層 $Bt=5\%$ では σ'_c の違いによる顕著な差はみられなかった。また、図-3 に履歴減衰率 h と G/G_0 関係を示す。図より、堆積軟岩 ($Bt=5\%$) の $h \sim G/G_0$ 関係はいずれも、山砂 $Bt=10\%$ より勾配が緩い。多くの地盤材料において、砂質土より粘性土の方が $h \sim G/G_0$ 関係の勾配が緩くなる傾向にあることから²⁾、山砂 $Bt=10\%$ より堆積軟岩 ($Bt=5\%$) の方が粘性土的な特徴を有していることが分かる。よって、与那原層 $Bt=5\%$ 、向山層 $Bt=5\%$ 、山砂 $Bt=10\%$ 、山砂の順に、粘性土から砂質土的な挙動を示すといえる。

ここで、各载荷段階に発生した過剰間隙水圧 Δu の最大値を σ'_c で正規化した $\Delta u_{max}/\sigma'_c$ と $(\gamma)_{SA}$ の関係を図-4 に示す。図より、2 種類の堆積軟岩 ($Bt=5\%$) と山砂 $Bt=10\%$ における $\Delta u_{max}/\sigma'_c$ は、山砂と比較して、上昇し始める $(\gamma)_{SA}$ が大きい (上昇が遅い)。一般に、繰返し载荷による Δu の上昇は粘性土より砂質土の方が早いことから³⁾、 Δu の発生状況においても、堆積軟岩 ($Bt=5\%$) や山砂 $Bt=10\%$ は山砂と比較すると粘性土的特徴を示しているといえる。また、その傾向は σ'_c が大きいほど顕著である。

3.2 軟岩の物理特性が結果に及ぼす影響

上述のように、堆積軟岩 ($Bt=5\%$) は繰返し载荷時の Δu の上昇が比較的遅い。しかしながら、 $\sigma'_c=50 \text{ kN/m}^2$ ではせん断ひずみが $(\gamma)_{SA} > 0.1\%$ を超えた辺りから Δu の増加割合が大きくなる。この要因について、図-5 に G と母材の吸水膨張率 L_s 関係を整理した。図より、向山層と比較して与那原層は L_s が大きく、 G は向山層より与那原層の方が小さいが、 $(\gamma)_{SA}$ が進んだ領域の G の減衰の割合は、与那原層の $\sigma'_c=50 \text{ kN/m}^2$ が一番小さい。 $(\gamma)_{SA} > 0.1\%$ の領域で h の増加や $\Delta u_{max}/\sigma'_c$ の上昇が顕著になる要因として、堆積軟岩の吸水膨張の影響が考えられる。本研究で用いた堆積軟岩は、いずれも山砂と比較すると MBC や破碎率が大きい、与那原層の場合はさらに L_s が大きいため、载荷段階が進み G が低下した状態では吸水膨張が促進され、過剰間隙水圧の上昇に繋がった可能性が考えられる。

4. まとめ

MBC、破碎性及び吸水膨張性が比較的高い堆積軟岩のベントナイト混合土は、 $Bt=5\%$ の低配合であっても、繰返しせん断特性は比較的高い粘性土に近い特徴を有していることが分かった。今後は、堆積軟岩の物理特性と繰返し変形特性について定量性のある評価を行う予定である。

参考文献

- 磯, 森川, 木ノ村, 藤原: 破碎性堆積軟岩の特性を活かしたベントナイト混合土の効率的施工方法, 大成建設技術センター 報, 第 48 号, 2015
- 木幡, 佐々木: 種々の地盤材料の履歴減衰係数について, 平成 12 年度土木学会北海道支部論文報告集第 57 号, pp.542-545
- 久保, 坪田: 土の繰返し三軸試験における過剰間隙水圧の挙動に関する一検討, 第 47 回地盤工学研究発表会, pp.317-318

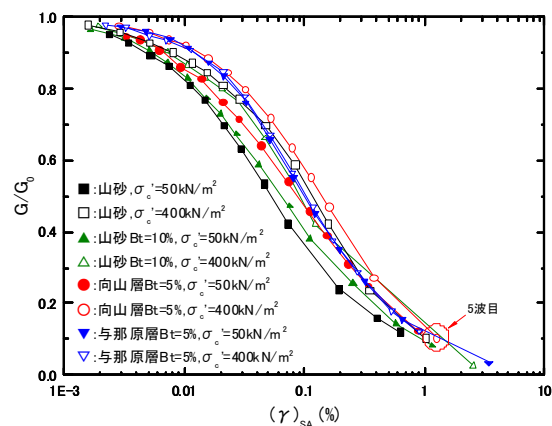


図-2 $G/G_0 \sim (\gamma)_{SA}$ 関係

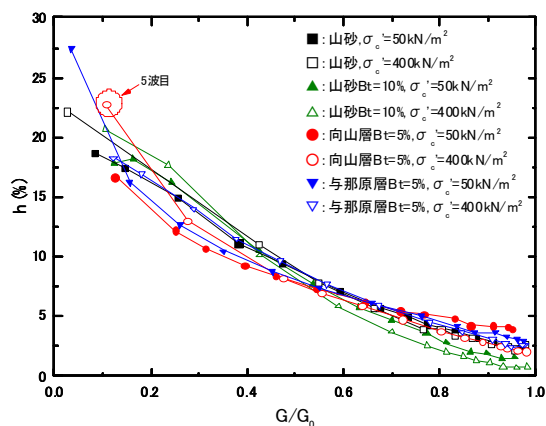


図-3 $h \sim G/G_0$ 関係

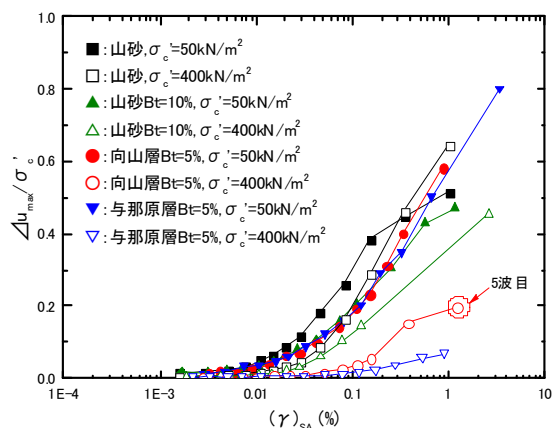


図-4 $\Delta u_{max}/\sigma'_c \sim (\gamma)_{SA}$ 関係

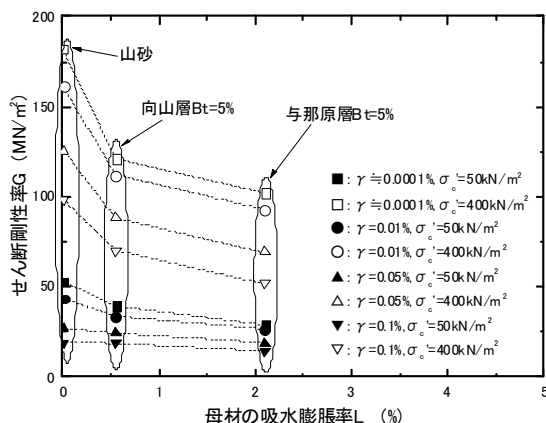


図-5 $G_0 \sim L_s$ 関係