

塩分溶脱作用を受けた有明粘土地盤の地震時挙動について

九州工業大学大学院 学生会員 ○柴田雄史 高田泰行  
 九州工業大学工学部 正会員 永瀬英生 廣岡明彦 清水恵助  
 基礎地盤コンサルタンツ（株） 正会員 田上裕

1.はじめに

筆者らは、海成粘土である有明粘土の不攪乱試料を用いて、力学的特性に与える塩分溶脱の影響について検討を行ってきた<sup>1)</sup>。その結果、圧密特性、動的強度特性および繰返し載荷後の非排水せん断特性に塩分溶脱の影響が認められた。そこで本研究では、塩分溶脱前後における有明粘土地盤の地震時残留変形量を、繰返し載荷後の非排水せん断試験で得られた剛性低下率を用いて予測することを試みた。また、そのときの非排水せん断強度の拘束圧依存性に与える塩分溶脱の影響についても検討を行った。

2.試料および実験方法

試料は、長崎県諫早市本名川河口付近でシンウォールサンプラーにてボーリング孔より採取したものである。表1に用いた試料の物理的性質を示す。

塩分溶脱方法は、試料を試験装置にセットした後に蒸留水を長時間通水することによって行った。通水時の動水勾配は25程度とした。なお、通水後の塩分濃度は1g/l以下になるものとした。

本実験では、繰返し中空ねじり試験装置を用いた。供試体は外径7cm、内径3cm、高さ7cmの中空円筒形である。圧密は $K_c=0.5$ の異方圧密とし、圧密時間は3t法により48時間とした。試料Aにおいては有効拘束圧一定のもと、せん断ひずみが数%生じる20サイクルの繰返し載荷を行い、試料Bに対しては有効拘束圧を30,60,90(kPa)と変化させ、特に大地震を想定してせん断ひずみ10%に達するまで繰返し載荷を行った。また、これらの試料すべてにおいて、繰返し載荷後に非排水状態を維持したまま、せん断ひずみ速度1%/minの非排水せん断試験を行った。比較のためそれぞれの試料について繰返し載荷を行わない場合の非排水せん断試験も行った。

3.実験結果および考察

図1は、試料Aについての繰返し載荷後の非排水せん断試験結果を示したものである。ここには、比較のため繰返し載荷を受けない場合の非排水せん断試験の結果も併記している。この図より、塩分溶脱前後でともに繰返し載荷を受ける場合、せん断強度が低下しており、その低下量は塩分溶脱後の方が大きくなっていることが確認できる。図2は、図1から求めた剛性低下率 $G_i/G_{0,i}$ とせん断ひずみの関係を示したものである。ここに、 $G_{0,i}$ は塩分未溶脱試料の繰返し載荷を受けない場合のせん断ひずみ0.1%における割線係数である。これより、同じひずみレベルでの割線係数は繰返し載荷を受け

表1. 試料の物理的特性

試料番号	A	B
深度(m)	3.0~3.8	3.1~3.9
自然含水比 w(%)	143.6	134.1
土粒子密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.628	2.632
湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.414	1.346
乾燥密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	0.580	0.565
間隙比 e	3.527	3.461
液性限界 $w_L$ (%)	128.6	127.2
塑性限界 $w_P$ (%)	50.4	45.7
塑性指数 $I_P$ (%)	78.2	81.5
塩分濃度(g/l)	11.7	9.5

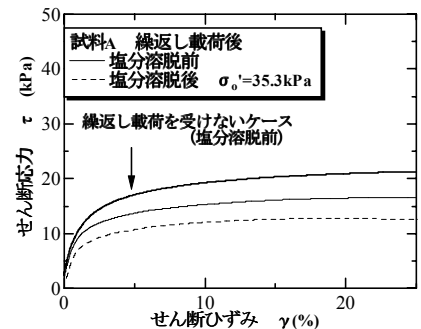


図1.  $\tau \sim \gamma$  関係

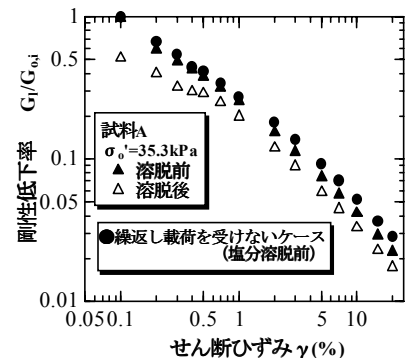


図2.  $G_i/G_{0,i} \sim \gamma$  関係

有明粘土、塩分溶脱、剛性低下、非排水せん断試験、残留変形

〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1 Tel 093-884-3111 Fax 093-884-3100

ると低下しており、塩分溶脱作用を受けるとさらに低下していることが分かる。このことより、繰返し載荷後における剛性低下に与える塩分溶脱の影響は大きく、塩分溶脱された有明粘土地盤に比較的大きな地震荷重が加わると剛性が著しく低下することが予想される。

図3には、試料Bについて行った繰返し載荷後の非排水せん断試験の結果を示している。ここでは、塩分溶脱前後における非排水せん断強度  $C_u$  を有効拘束圧に対してプロットしている。この図より、繰返し載荷後において塩分溶脱後の方が塩分溶脱前よりも強度増加率が小さくなっていることが分かる。これは塩分溶脱作用により粒子間の引きつけ合う力が弱くなり、繰返し載荷による攪乱により初期の骨格構造が乱され、粒子間の摩擦抵抗が小さくなったためではないかと考えられる。

**4.地震時残留変形解析**

解析に用いたモデル地盤は左右対称の簡易的なものとした。図4には、実際解析に用いた左半分のモデル地盤を示している。

残留変形解析は、以下のような方法で行った。

- ①：初期応力解析により、初期応力および変形状態を求める。
- ②：①で得られた応力状態を引き継ぎ、動的解析を行う。
- ③：動的解析で得られた最大せん断応力  $\tau_{max}$  を、20 サイクルの繰返しせん断応力  $\tau_d$  に変換する。
- ④：各要素の初期拘束圧を  $\sigma'_0$  として、繰返し応力比  $R(= \tau_d / \sigma'_0)$  を求める。
- ⑤：④で求めた繰返し応力比を用いて繰返し試験等を行い、図2のような結果を示して剛性低下率を求める。
- ⑥：初期応力解析にて用いた変形係数に、⑤で求めた剛性低下率を乗じたものを地震後の変形係数とする。

ここで、初期応力解析では変形係数  $E$ 、ポアソン比  $\nu$ 、単位体積重量  $\gamma_t$  を用いた。変形係数は盛土の段階構築過程と照らし合わせるため、圧密試験より得られた  $e$ - $\log p$  曲線を用い、ポアソン比を 0.33 として算出した。

動的解析では、入力地震動として 1968 年十勝沖地震(八戸港)の NS 成分を用いた。最大入力加速度は 130gal とした。

⑥で得られた変形係数を用い再度静的解析より変形量を求め、初期応力解析の際に求めた変形量を差し引くことにより残留変形量を求めた。図5に最も変形が著しいと思われる盛土周辺地盤での変形量を示す。この図より、塩分溶脱前後において変形量に差が生じ、塩分溶脱後の方が大きく沈下変形しており、最も大きなところで 1m 程度の変形量の差が見られる。このように、地震時残留変形に与える塩分溶脱の影響は大きいものと思われる。

**5.まとめ**

本研究では、以下のことが確認できた。(1)塩分溶脱作用により、有明粘土の強度増加率は低下する。(2)塩分溶脱作用により、有明粘土地盤の残留変形量は大きくなる可能性がある。

なお、本研究は文部省科学研究費(基盤研究(C)(2)-10650488)の補助を受けて行ったものである。  
 <参考文献> 1) 宮下義幸、他：塩分溶脱作用を受けた有明粘土の繰返し載荷後の強度・変形特性：第35回地盤工学研究発表会発表講演集、pp539-540。

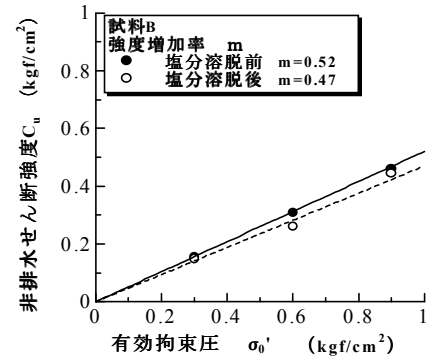


図3  $C_u \sim \sigma'_0$  関係

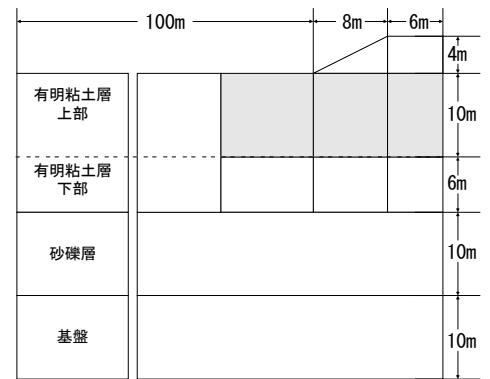


図4 モデル地盤

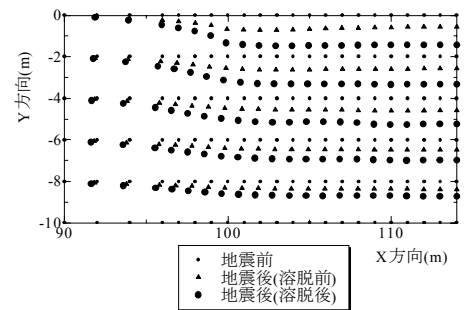


図5 盛土付近の残留変形