

灰土試料の強度・変形特性に及ぼす攪乱の影響について

九州工業大学大学院 学生会員 ○松本典子 三田井義一
九州工業大学工学部 正会員 永瀬英生 廣岡明彦
九州工業大学工学部 浦上洋平

1.はじめに

灰土は、攪乱による強度の低下が著しいという性質を有している。そこで、本研究では大分県で採取した灰土の不攪乱試料および攪乱を受けた試料を用い、灰土のコーン指数に与える攪乱の影響を調べるとともに、繰返し載荷後の強度・変形特性を調べ、地震荷重を受けた灰土地盤の軟化傾向について実験的に検討を行った。

2.試料について**2.1 採取方法**

大分県豊後大野市内の道路建設のための切土斜面において試料の採取を行った。採取にあたり、ショベルを用いて表層部分を削った上で、押切り式ブロックサンプリング方法により採取したものを不攪乱試料、ショベルを使用して採取したものを攪乱試料とした。表-1 に試料の物理的性質について示す。

表-1 試料の物理的性質

試料		灰土
土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$		2.76
含水比 $w(\%)$		61.3
液性限界 $w_L(\%)$		55.9
塑性限界 $w_P(\%)$		49.5
塑性指数 I_P		1.8
粒度組成(%)	粗粒分	34
	シルト	18
	粘土	48

2.2 攪乱方法

幅 14cm、高さ 16cm、150rpm の回転翼を持つ攪拌機に試料を投入し、所定の時間繰り返して作製した試料を攪乱試料として使用した。

3.コーン指数試験

不攪乱試料の試験では、試料採取現場の地山に、攪乱試料の場合は実験室で攪乱した試料に、コーンペネトロメーター（コーン底面積 $A=3.23\text{cm}^2$ 、コーン先端角 $\alpha=30$ 度）を鉛直に立て、約 1cm/s の速度で貫入させ、コーンの先端が試料の上端面から 5cm、7.5cm、10cm 貫入したときの荷重計の読みからそれぞれの貫入抵抗力を求めた。

写真-1 に採取した灰土を攪拌機で 5 秒間攪拌したときの様子を示す。ショベルで地山から採取してきた試料をこの程度攪拌しただけでドロドロの状態になることがわかる。これは、本試料が攪乱を受けることによって、土粒子構造の破壊と、それに伴う土粒子間に拘束されていた非自由水分の自由水化によって水分が見かけ上増加し、軟弱化したためと考えられる。

図-1 にコーン指数と攪拌時間の関係を示す。なお、同一グラフ上に不攪乱試料（地山）の値と、ショベルで地山から採取した状態のコーン指数値もプロットした。図より、攪拌すると同時に強度が低下していることがわかる。この結果からこの灰土は、施工機械のトラフィカビリティーの低下が著しい土であることが確認できる。

図-2 に図-1 に示した試料の 5 秒間攪拌したものと、3 分間攪拌したものを含水比の変化しない状態で養生させたときのコーン指数と経過時間の関係を示す。なお、同一グラフ上に実験結果をもとに描いた本試料における予想強度回復曲線を破線で示している。図より、攪乱した灰



写真-1 5秒間攪拌した試料

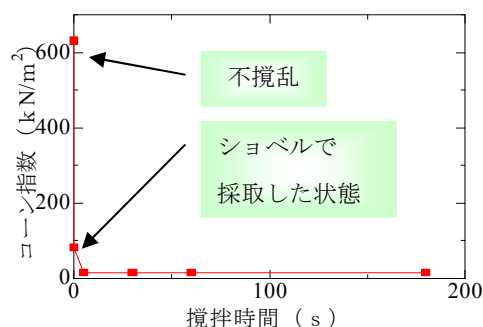


図-1 コーン指数と攪拌時間の関係

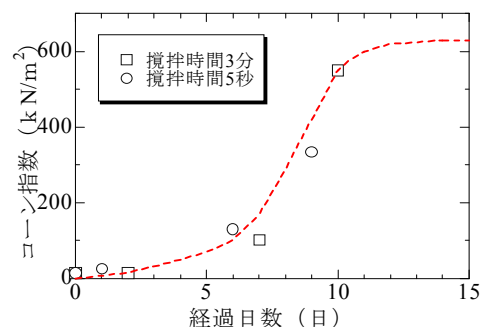


図-2 コーン指数と経過日数の関係

土は経過日数に伴って強度が回復する、いわゆるシキソトロピー現象が確認できる。そして、10 日程度で不攪乱試料と同等の強度 (630kN/m²) まで回復していることがわかる。よって、攪乱によって強度がかなり低下した試料もシキソトロピー現象により不攪乱試料 (地山) の強度まで回復する可能性があると考えられる。

4.繰返し試験および繰返し载荷後の単調载荷試験

本実験では、繰返し中空ねじりせん断試験装置を用いた。供試体は外径 7cm、内径 3cm、高さ 7cm の中空円筒形であり、二酸化炭素、脱気水を通し、飽和化を図った。その後、原位置の応力状態を再現するために $K_c = \sigma_h' / \sigma_v' = 0.5$ と仮定して異方圧密を行った。せん断過程では、非排水条件下で試料に 20 波で数%のひずみが生じるまで、および両振幅せん断ひずみ DA が 3%程度になるまでの繰返しねじりせん断試験を行い、その後非排水状態を維持したままで、ひずみ速度 1%/min の単調载荷を行った。

図-3 に灰土の不攪乱試料における、繰返し応力比 $R = \tau / \sigma_v'$ と両振幅せん断ひずみ DA=3%に達するまでの繰返し回数 N_c の関係を示す。比較のため、豊浦砂の R と DA=5%に達するまでの N_c の関係¹⁾ も示している。両者の結果は試験方法が異なるので単純には比較できないが、灰土の繰返し応力比 R は緩い豊浦砂の液化化強度よりもはるかに大きいことが確認でき、この灰土はせん断力に対して大きな抵抗力を有すると考えられる。

図-4 に不攪乱試料を用いて、繰返し载荷後に行った単調载荷時の応力～ひずみ関係を示す。ここで、20 波の繰返し载荷終了時の両振幅ひずみは 11.2%であった。また、グラフ上に同一試料において、繰返し载荷を行わず単調载荷のみ行った場合の結果も示している。図に示す繰返し载荷なしの応力～ひずみ関係は、地震前の状態を示している。そこに地震波を想定した繰返し荷重が作用すると、応力～ひずみ関係は、図に示す繰返し载荷ありのように変化する。このように地震後に地盤材料の強度、剛性が低下することによって、土構造物等に残留変形が発生することが予測できる。

図-5 にせん断剛性低下率とひずみの関係を示す。初期せん断剛性 $G_{0,i}$ は、不攪乱試料の単調载荷のみを行った時のせん断応力とせん断ひずみの関係より、せん断ひずみ $\gamma = 0.1\%$ における割線勾配と定義した。また、各ひずみレベルでの割線勾配をせん断剛性 G と定義し、G を $G_{0,i}$ で除したものをせん断剛性低下率と定義した。図より、繰返し荷重を受けた試料において、せん断ひずみ 0.1~1%の範囲で繰返し荷重を受けない試料の 1/2~1/3 程度に剛性が低下していることが確認できる。したがって、地震荷重が加わると、剛性の低下が著しく大きくなることが予想される。

5.まとめ

攪乱を受けた灰土は、土粒子構造の破壊と、それに伴う土粒子間に拘束されていた非自由水分の自由水化によって水分が見かけ上増加し、軟弱化し、不攪乱試料の約 1/40 程度まで強度が低下することが明らかになった。また攪乱されていない灰土は、地震荷重を受けると、地震前の状態に比べて、1/2~1/3 程度まで剛性が低下することがわかった。

参考文献 Toki, S., Tatsuoka, F., Miura, S., Yoshimi, Y., Yasuda, S. and Makihara, Y. (1986); Cyclic undrained triaxial strength of sand by a cooperative test program. *Soils and Foundations*, vol.26, pp117-28

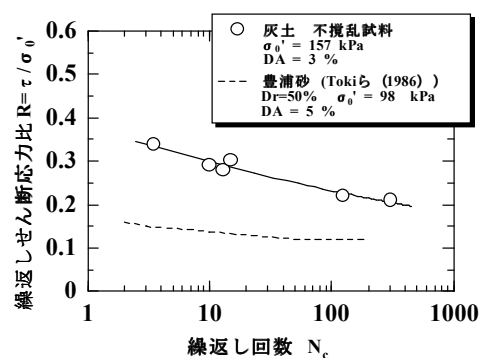


図-3 R-Nc 関係

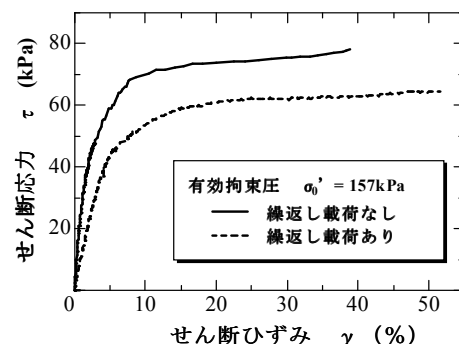


図-4 $\tau - \gamma$ 関係 (不攪乱試料)

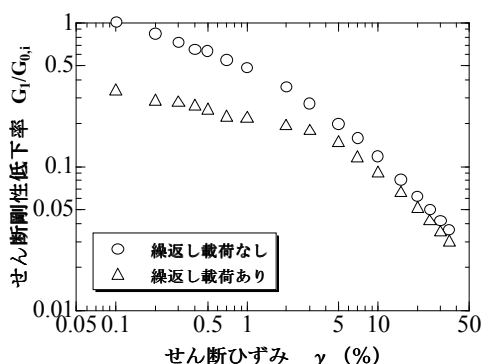


図-5 $G/G_{0,i} - \gamma$ 関係 (不攪乱試料)