

切土斜面における灰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 ○浦上洋平 松本典子
 九州工業大学工学部 正会員 永瀬英生 廣岡明彦
 九州工業大学大学院 学生会員 三田井義一
 基礎地盤コンサルタンツ(株) 正会員 田上裕 白井康夫

1.はじめに

灰土には、不攪乱状態では十分な強度を持つが、攪乱を受けると強度が大幅に低下する性質を有するものがある。本研究では不攪乱状態および攪乱状態の灰土試料を用い、その繰返し強度特性、繰返し载荷後の非排水せん断特性を調べ、地震荷重により攪乱を受けた灰土の軟化傾向について実験的に検討を行った。また、それらの結果に基づき、灰土地盤の地震時安定性を評価するために、FEMによる地震時残留変形解析を行った。

2.試料および実験方法

試料には大分県豊後大野市で採取した灰土を用いた。表1に試料の物理的性質を示す。本実験ではコーン試験と中空ねじり試験装置による静的および動的载荷試験を行った。コーン試験は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 $\alpha=30^\circ$ ）を容器（高さ 18cm、上面直径 9.6cm、下面直径 6.6cm）に投入し、供試体の中央に鉛直に立て、約 1cm/s の速度で貫入させ、コーンの先端が供試体の上端面から 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。そして平均貫入抵抗力をコーンの底面積で割り、コーン指数を求めた。

中空ねじり試験では、外径 7cm、内径 3cm、高さ 7cm の供試体を用いた。圧密は $K_c=0.5$ の異方圧密で行い、せん断過程では、非排水状態で試料に数%のせん断ひずみが生じる 20 サイクルの繰返し载荷を行った後に、ひずみ速度 1%/min の単調载荷を行った。なお、比較のため繰返し载荷を行わない場合の静的非排水せん断試験も行った。また、攪乱試料は攪拌機で練り混ぜ、恒温室内で 2 週間程養生したものである。

3.コーン試験結果

図1に原位置および練り混ぜ後のコーン指数の経時変化を示す。図1から分かるように、練り混ぜることでコーン指数は急激に 15.0kN/m^2 程度まで低下するが、練り混ぜ時間を増やしてもそれ以下には低下しなかった。これは、攪乱による強度低下の大きな要因である土粒子構造の破壊が進行し終わっているためだと考えられる。

そして、図1より分かるとおり、時間経過とともにコーン指数は回復する。これはシキソトロピーにより、攪乱されて流動的になった試料が再び固まりだしたためである。

4.静的および動的载荷試験結果

図2に不攪乱試料と攪乱試料を用いて、繰返し载荷後に行った単調载荷時のせん断応力～せん断ひずみ関係図を示す。また、グラフ上に不攪乱試料において、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す。図2に示す繰返しキーワード 灰土、コーン指数、シキソトロピー、せん断強度、地震時残留変形

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(%)	砂分	34
	シルト	18
	粘土	48

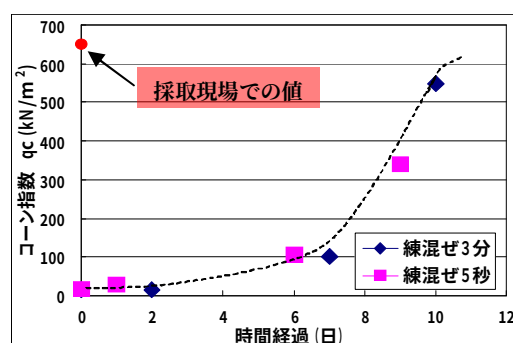


図1 コーン指数と時間経過の関係

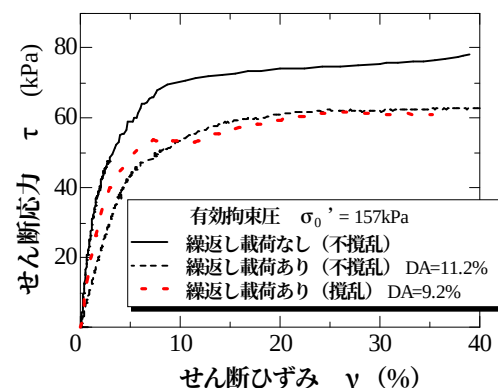


図2 せん断応力～せん断ひずみ関係

し、荷重なしのせん断応力～せん断ひずみ関係は、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、繰返し荷重ありのようにせん断応力～せん断ひずみ関係が変化する。地震後には地盤材料の強度、剛性が低下することによって、残留変形が発生することが確認できる。つまり、地震前に作用していたせん断応力を受け持つために地震後にはせん断ひずみが大きくなると考えられる。また、攪乱試料のせん断応力～せん断ひずみ関係と不攪乱試料で繰返し荷重ありのそれとがほぼ同じ形状であることから、攪乱を受け強度が低下した灰土でも時間の経過とともに強度が回復し、不攪乱試料と同程度の強度をもつことがわかる。このことより、灰土のシキソトロピー性が改めて認識できる。

5. 解析方法

本解析における地震時残留変形は、地震による地盤の剛性低下に起因する沈下変形量としている。解析はFEMを用い、地震前の静的解析から動的解析、さらに実験結果を組み合わせた地震後の静的解析という順序で応力等を引き継ぎながら実施した。地震前の静的解析では、地盤上の切土の初期応力状態を求めた。動的解析では、静的解析での各要素の応力状態等を引き継ぎ、地震応答解析を行った。最後に得られたせん断応力やせん断ひずみを考慮して、実験結果より得られた剛性低下率を用い、地震後の静的解析を実施した。

剛性低下率の算出方法は以下の通りである。すなわち動的解析で得られた最大せん断応力 τ_{max} を、20 サイクルの繰返しせん断応力 $\tau_d (=0.65 \tau_{max})$ に変換する。次に各要素の初期有効拘束圧を σ_0' として、繰返し応力比 $R (= \tau_d / \sigma_0')$ を求める。求めた繰返し応力比を用いて繰返し中空ねじり試験を実施し、その後非排水せん断試験を行って地震後の剛性低下率を求める。

入力地震動には、1968年に八戸港で観測された十勝沖地震のNS成分の加速度波形を用い、最大入力加速度は300galとした。図3に解析前の切土の断面を示す。1層目・2層目はローム層、3層目は灰土層、4層目は砂礫、5層目は基盤となっている。

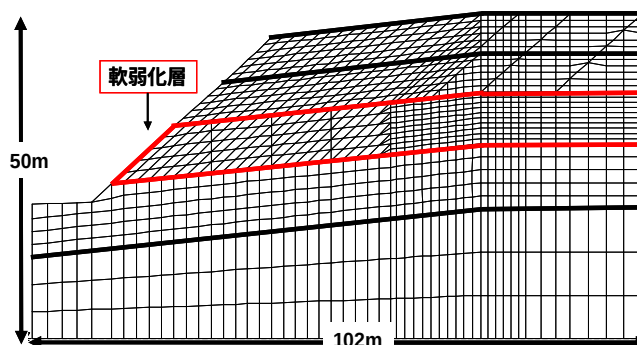


図3 解析前の切土断面

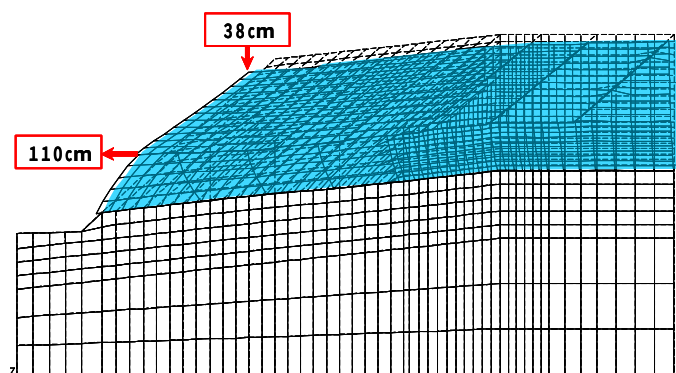


図4 解析後の切土断面

6. 地震時残留変形解析結果

図4に解析後の切土断面の変形状況を示す。図4より、灰土層の剛性が低下したことで、1・2・3層目の変形が大きくなっていることがわかる。特に切土斜面の変形量は大きく、鉛直方向では切土斜面の直上で38cm程沈下し、水平方向では灰土層とローム層の境界点で110cm程、切土開放面に向かって変形した。

7. まとめ

灰土は攪乱を受けるとコーン指数、せん断強度が著しく低下することがわかった。しかし、時間が経過するとシキソトロピーの性質により強度回復し、不攪乱試料とほとんど変わらない強度値を示すこともわかった。よって、一度攪乱を受けた灰土でも一定期間後に発生する地震に対して、不攪乱試料の場合とさほど変わらない挙動を示すことが予測される。

解析結果より、灰土層は地震動により攪乱を受けて軟化し、剛性が低下するため、圧縮変形することにより、灰土層上部にあるローム層の変形量が大きくなり、さらに切土面では水平方向の拘束圧がなく支持力が働かないため、流れ盤に沿った方向の変形量が特に大きくなることが明らかになった。

参考文献

- 1) 山内豊聡：「九州・沖縄の特殊土」，九州大学出版社，1983
- 2) 田上裕：「河川構造物周辺盛土での地震時残留変形解析」，昭和62年度土質工学会東北支部研究討論会，1987