

不飽和まさ土の繰返しせん断特性と盛土の地震時変形予測

山口大学大学院 学生会員 ○大橋隼也

山口大学大学院 正会員 オレンセロランド 兵動正幸 吉本憲正

(株)大林組 非会員 高橋翔

1. はじめに

2004年新潟県中越地震において盛土斜面の崩壊による被害が多く発生した。原因の一つとして地震前の豪雨との関係が指摘¹⁾されている。このことから飽和度の変化が耐震性能に影響を及ぼすと考えられるが、飽和度の違いによる地震時の地盤挙動や盛土斜面の安定性に関する研究は数少ない。そこで本研究では、飽和度及び初期せん断応力比を様々に変化させて比排水繰返しせん断試験を行うことで不飽和斜面に対しての動的特性を検討した。加えて試験結果をもとにニューマーク法を用いて飽和度の違いが盛土の変形に及ぼす影響の評価を行った。

2. 試料および試験方法

本研究では山口県岩国市で採取したまさ土($G_s=2.623$, $e_{\max}=1.07$, $e_{\min}=0.616$)を試料として用いた。初期せん断応力比を0, 0.2, 0.4、飽和度も100%, 90%, 80%と変化させ試験を行った。供試体は4層に分けた試料をモールド内に1層ずつ入れ四方をハンマーで叩き、初期相対密度50%となるように作製した。飽和供試体を作製するために CO_2 および脱気水を供試体に通し、その後バックプレッシャーを100kPa負荷した。不飽和供試体の作製方法は飽和供試体を圧密した後、空気圧を供試体下部より負荷することにより脱水を行い脱水量はビュレットを用いて確認した。試験は所定の圧力まで等方応力状態で圧密を行い、初期せん断を有するものは排水状態のまま初期せん断応力を側圧一定で負荷する。その後非排水、非排水状態にして載荷速度0.1Hz, 側圧100kPaで繰返し三軸試験を行った。

3. まさ土の非排水繰返しせん断特性

今回は試験前に供試体内の飽和度が均一であるかを検証し、結果として供試体内の飽和度分布はおおむね均一であったので不飽和供試体の作製方法に大きな問題はなかったと判断した。図-1に有効応力経路を示す。横軸は不飽和土ということで $p^*(=p-u_w-u_a)$ としている。初期せん断応力が作用していない場合 $S_r=80\%$, 90%のような不飽和土でも有効応力が0となり液状化現象が確認できた。

図-2に繰返しせん断強度(繰返し回数20回の時の繰返しせん断応力比)と初期せん断応力比の関係を示す。なお初期せん断応力比0の場合は、軸ひずみ両振幅 $\varepsilon_{DA}=5\%$ 、初期せん断応力比0.2, 0.4の場合はピーク軸ひずみ $\varepsilon_p=5\%$ を用いて整理している。図より初期せん断応力比を0.2作用させると初期せん断が作用していない場合よりも強度が高くなり、初期せん断応力比0.4を作用させると初期せん断応力比を0.2作用させた場合よりも強度は低くなる傾向にあることが分かる。また、不飽和土に対しては初期せん断応力比0.4を作用させると強度の差はほとんどなくなる傾向にある。飽和土に関しては初期せん断応力比の大きさに関係なく強度の変化はあまりみられなかった。図-3に繰返しせん断強度と飽和度の関係を示す。図より飽和度が低下すると動的強度が増加している。増加の度合いは初期せん断応力比0.2を作用させた場合が一番顕著である。

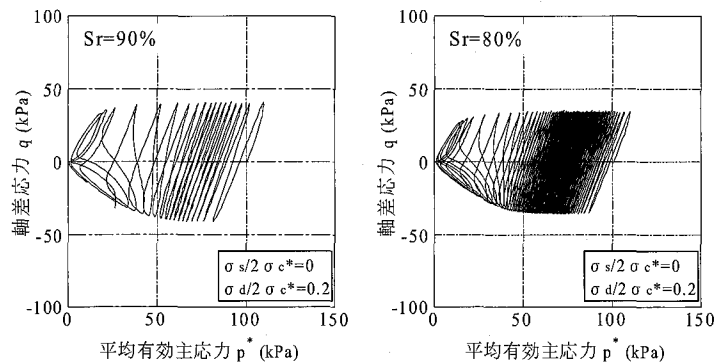


図-1 有効応力経路

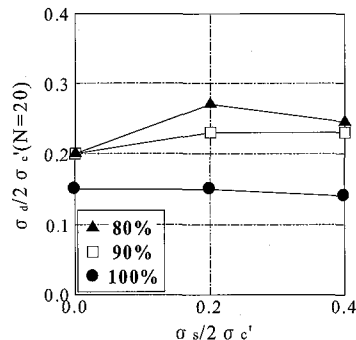


図-2 繰返しせん断強度と初期せん断応力比の関係

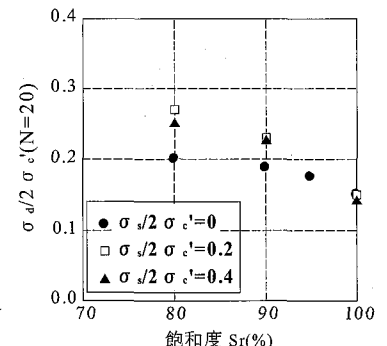


図-3 繰返しせん断強度と飽和度の関係

4. 盛土の地震時変形予測

本研究では、実験に得られた動的強度より安定解析を行うことで降伏震度を算出し、ニューマーク法により滑動変位量を算出して²⁾飽和度の違いが盛土斜面の変形に及ぼす影響を評価した。図-4 に盛土形状を示す。新潟県中越地震では緩い傾斜でも斜面崩壊が発生したため、勾配を緩く設定した。強度定数は盛土部分（岩国まさ土） $c=0$ 、 $\phi=38^\circ$ とした。図-5 に安定計算に使用した動的強度比と初期せん断応力比の関係を示す。動的強度曲線は図-2 より次に示すパラメータを用いて求めた。 τ_0 は初期せん断応力、 τ_{sf} は排水せん断強度（ $\tau_{sf}=c' + \sigma_n' \tan \phi'$ ）、 τ_{df} は動的強度（ $\tau_{df}=\tau_0 + \tau_d$ ）である。今回ニューマーク法で用いた地震波は新潟県中越地震の際長岡市で観測された地震動（最大加速度 369Gal）である。図-6 に解析のフロー図を示す。図-7 に滑動変位量の時刻暦を示す。すべてのケースで地震動が最大加速度を記録する 6 秒付近から滑動変位が発生している。また滑動変位量は 6 秒から 8 秒の間に大きく発生している。ニューマーク法を用いて滑動変位量を計算すると $Sr=100\%$ のときは 22.6cm、 $Sr=90\%$ のときは 3.6cm、 $Sr=80\%$ のときは 2.4cm、 $Sr=100\% \& 90\%$ のときは 16.9cm、 $Sr=100\% \& 80\%$ のときは 16cm となった。 $Sr=80$ 、 90% のときは滑動変位量に大きな差はみられなかったが、 $Sr=100\%$ になると差は大きい。盛土が 2 層の場合では、滑動変位量は $Sr=100\%$ の場合の結果に近いことがわかる。これは盛土の円弧が $Sr=100\%$ の部分の方が大きいと、その影響を受けるからと考えられる。図-8 は地震波の最大加速度を変化させ解析を行った場合の最大加速度と滑動変位量の関係である。300Gal を超えたあたりから滑動変位量の差が大きくなり、飽和度の高いものほど滑動変位量は大きくなることから分かる。

5. まとめ

本研究の結果より初期せん断応力比が 0 の場合、不飽和土とされる $Sr=80\%$ 、 90% でも有効応力が減少して 0 となり液状化現象が確認できた。動的強度は飽和度の低下により緩やかな上昇傾向を示す。次に実験結果から円弧すべり解析法を行った上ニューマーク法により盛土の滑動変位量の予測を行った結果、 $Sr=80\%$ 、 90% の場合の滑動変位量に大きな差はみられないが、 $Sr=100\%$ の場合は滑動変位量に約 5 倍の差がみられた。飽和度によって滑動変位量にも違いが見られたので降雨や地下水位上昇を考慮した安定設計が重要になってくるといえる。

参考文献 1) 佐々恭二ら：2004 年新潟県中越地震による斜面災害，京都大学防災研究所年報 第 48 号A，pp. 1-20，2005. 2) 富士通エフ・アイ・ピ株式会社：COSTANA—斜面安定計算システム使用マニュアル，2005.

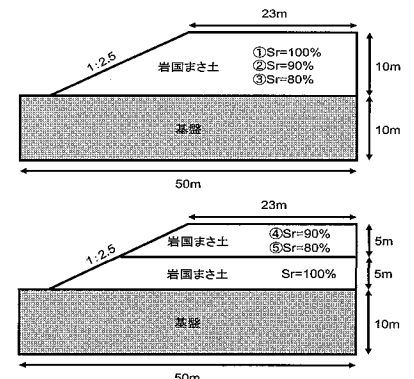


図-4 盛土形状

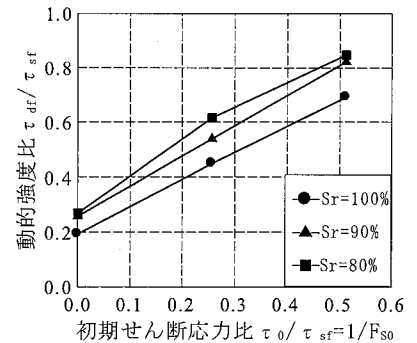


図-5 動的強度曲線

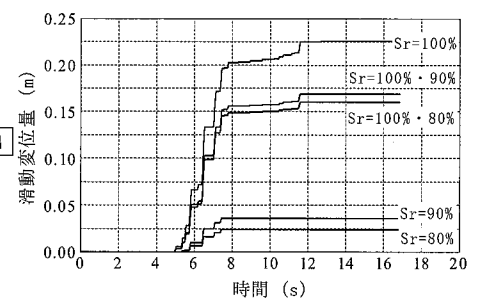


図-7 滑動変位量の時刻暦

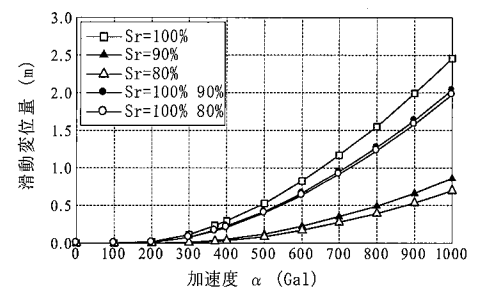


図-8 最大加速度と滑動変位量の関係

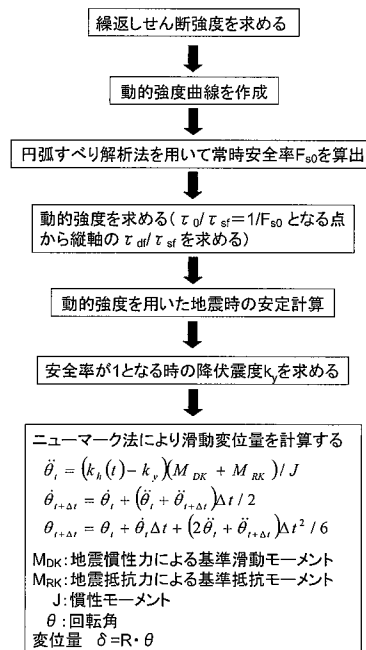


図-6 解析フロー図