

(59) ジオテキスタイルにより補強した粘性土の動的強度特性

フジタ工業(株) 技術研究所

福島伸二 望月美登志 香川和夫

1. まえがき

各種の土構造物の建設に補強土工法が用いられるようになってきたが、このような構造物の建設材料は砂質土よりも粘性土である場合が一般的である。このような粘性土に補強材を入れて補強した時の静的な強度特性は室内土質試験により既に調べられている¹⁾。また補強した粘性土よりなる盛土の静的条件下での挙動について調べられた例もある²⁾。しかしこの種の盛土の静的な安定性が得られても、地震時のような動的条件下での安定性が得られるとは限られないから、この安定性についても調べておく必要がある。本研究は粘性土材料を用いて補強土工法により建設された盛土のような土構造物の地震時の安定性を調べるのに必要な基礎的な情報を得るために、不織布などで補強した関東ロームの動的強度特性を繰返し三軸試験により調べ、動的条件下における補強材の効果について検討したものである。

2. 粘性土の動的強度と試験方法

斜面の地震時挙動は静的状態でどの程度の安定性が保たれていたかに関係している。したがって、静的状態で斜面内の土の要素に作用している応力状態を推定し、これを供試体に再現して地震に相当する繰返し応力を加えて土の動的強度を調べる必要がある。斜面内の土の要素は静的状態において既にその拘束圧に比べて比較的大きな初期せん断応力を受けている。この場合の土の要素が地震時に受ける応力変化は主応力の回転は少なく、主応力の大きさが変化する。従ってこのような斜面内の土の要素

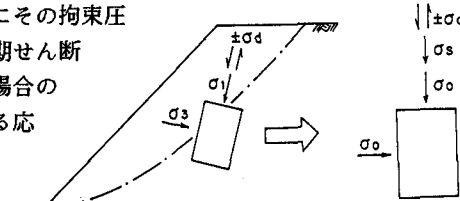


図-1 繰返し三軸試験による再現

の応力変化は図-1の左図に示すような状態で理想化でき、この状態を供試体に再現するには図-1の右図に示すように繰返し三軸試験で可能である。ここでは以下のように試験を行なった。作製した供試体を負圧($\sigma_{n0}=0.5\text{kgf/cm}^2$)で自立させて1時間放置させた後、供試体の寸法を測定し、負圧とセル圧を交換($\sigma_0=|\sigma_{n0}|$)し所定の拘束圧まで圧密する(圧密時間は1時間)。そして図-2に示すように非排水状態で初期せん断応力 σ_s ($0 \rightarrow 0$)を加えた後、ある一定の振幅($\pm \sigma_d$)を持つ繰返し応力回を加える(周波数 $f=0.2\text{Hz}$)。次に繰返し応力をN回加えて発生する軸ひずみ(ϵ_A)を求め、これと偏差応力($\sigma_s + \sigma_d$)が対応する点を求める(A点)。 σ_s を一定のまま、繰返し応力振幅だけを変えた同様の試験を行ない、繰返し回数N回に相当する点を連ねれば(A $\rightarrow$ B $\rightarrow$ C)、与え

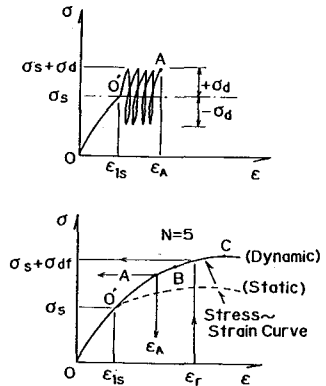


図-2 動的応力-ひずみ曲線

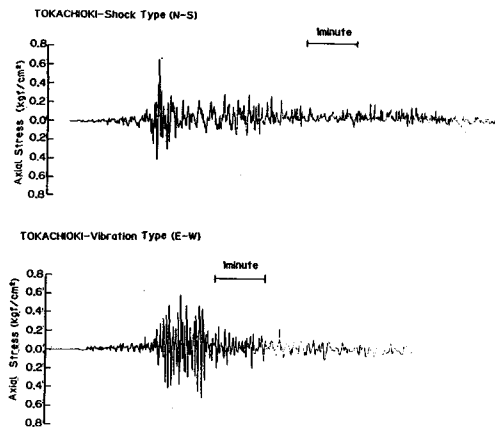


図-3 不規則波荷重(十勝沖地震)

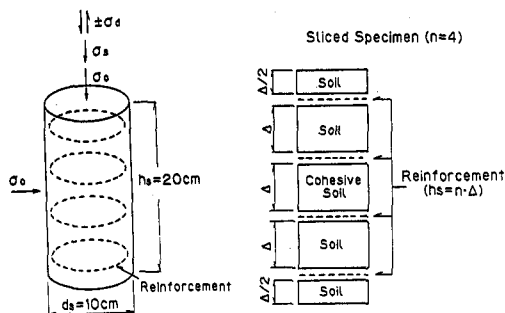


図-4 分割供試体

た初期せん断応力と繰返し回数に対応する動的応力-ひずみ曲線が得られる。実際の地震により盛土に作用する動的応力の経時変化は不規則であるので、この影響を調べるために、図-3に示すような実際の地震の2種類の加速度変化を用いた動的試験も実施した(不規則荷重による試験)。この試験は一定振幅荷重を用いた試験と同様に初期せん断応力を加えた後、最大応力片振幅 σ_{dmax} を変化させて動的応力を加えて試験を行い、各 σ_{dmax} に対してその時に生じた軸ひずみをプロットして動的応力-ひずみ曲線を求める。ここで使用した試験装置は供試体寸法が直径 $d_s=10\text{cm}$ 、高さ $h_s=20\text{cm}$ を持つ空圧式の繰返し三軸試験機である。また試料は盛土材料として使用されることもある関東ロームで、神奈川県大和市から採取したものの($G_s=2.78$, $w_L=140\%$, $w_p=85\%$, $w_n=100\%$)である。無補強の供試体は自然含水比状態にある関東ロームを直径10cm、高さ20cmのモールド内で5層に分けて、重量2.5kgのランマーで各層24回、落下高さ30cmで突き固めて作製した(突き固めエネルギーは突固め試験法JIS A1210 第1法とほぼ同じ $E_c=5.26\text{kgcm/cm}^3$)。また補強した供試体は次のように作製した。土の部分は無補強の場合と同様に作製し、これを図-4に示すように必要な高さ(Δ あるいは $\Delta/2$)に切断して、これに補強材を水平にはさんで積み重ねて補強供試体とした。供試体内に配置した補強材は次の2種類である。(1)不織布:直径9cmの円板状のもので、厚さ(t_R)が垂直応力(σ_N)に対して次式であらわされる。 $t_R = -1.25 \log \sigma_N + 1.75 (\text{mm})$ (2)銅板:直径8.5cm、厚さ0.5mmの銅板に砂粒子を付着させたもの。平均厚さ1.6mm。

3. 試験結果

3.1 正弦波荷重による試験

図-2に示した方法により求めた無補強の関東ロームの繰返し回数 $N=1, 5, 10$ 回に対応する動的応力-ひずみ曲線を図-5(a)に示してある。この時の初期せん断応力は 0.35kgf/cm^2 で、図中の一点鎖線は静的な非排水三軸圧縮試験より求めた静的応力-ひずみ曲線である。図中の σ_s/σ_f の値は初期せん断応力と

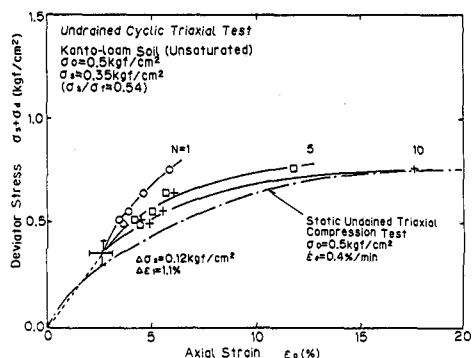


図-5(a) 動的応力-ひずみ曲線(無補強)

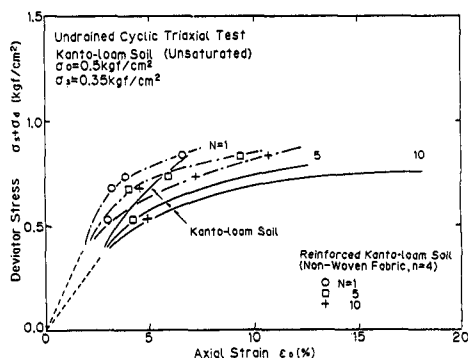


図-5(b) 動的応力-ひずみ曲線(不織布で補強)

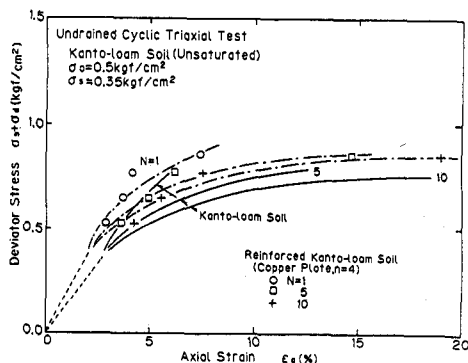


図-5(c) 動的応力-ひずみ曲線(銅板で補強)

静的強度の比である。静的強度は静的応力-ひずみ曲線から得られ、軸ひずみ $\epsilon_a = 10\%$ における偏差応力として求めると $\sigma_f = 0.65 \text{ kgf/cm}^2$ である。この (σ_s / σ_f) の逆数は静的状態におけるその供試体の安定度、すなわち安全率 $F_s = \sigma_f / \sigma_s$ を表わしていることになる。図-5(a)で動的応力-ひずみ曲線の初期せん断応力の点が静的応力-ひずみ曲線上にないのは、動的試験では初期せん断応力を比較的急速に加えたため(応力制御)の一種の速度効果による差と考えられる。また図-5(b), (c)にそれぞれ不織布、銅で補強した関東ロームの動的応力-ひずみ曲線を示してある。図中の実線は図-5(a)の無補強の関東ロームの動的応力-ひずみ曲線である。これらの図から動的応力-ひずみ曲線は繰返し回数が多くなるほど平坦になり動的強度が低下してくることがわかる。これは繰返し回数が小さい時には繰返し载荷の速度効果が卓越し強度が大きい、繰返し回数が増すと共に繰返し効果により土が弱化してくるためと考えられる。補強した関東ロームについてみると、初期せん断応力により生じる初期軸ひずみは補強した場合の方が小さく補強材挿入による効果が初期せん断応力载荷時から認められる。また、繰返し载荷時の補強効果について考えると、どの繰返し回数においても変形が大きくなるほど補強した場合とそうでない場合の応力-ひずみ曲線の差大きくなり補強材の効果が大きくなることわかる。図-6には動的強度として繰返し回数 $N=10$ 回の動的応力-ひずみ曲線から軸ひずみ $\epsilon_a = 10\%$ 時の偏差応力として求め、これと初期せん断応力との関係を示してある。図中の点線は無補強の関東ロームの静的強度である。無補強の関東ロームの動的強度は初期せん断応力が小さい場合には静的強度よりも小さい。これは初期せん断応力が小さい場合には不完全であるが両振り状態(圧縮と伸張応力状態の繰返し)になり、片振り状態(圧縮状態のみ)に比べて、土が攪乱され弱化しやすくなるためと考えられる。しかし補強材による動的強度の増加分(補強効果)は初期せん断応力の大きさに関係なくほぼ一定であり、動的条件下においても補強材を挿入すれば粘性土の動的強度を大きく出来ることが分る。

3.2 不規則波荷重による試験

これまで動的強度は地震動による不規則繰返し応力による影響が一定振幅の正弦波繰返し応力で $N=10$ 回の繰返し回数で代表できるものと仮定してきめたが、このようにして決めた強度が実際の地震動を受けたときに発揮される強度とは限らない。地震動には衝撃的なもの、振動的なものなど色々あり、これを振幅一定の規則的な繰返し応力で代表させるにはその繰返し回数を適切に選ぶ必要がある。このためには実際の地震時の不規則な繰返し応力を供試体に加えて、その影響を調べる必要がある。図-7には2種類の不規則荷重を加えた

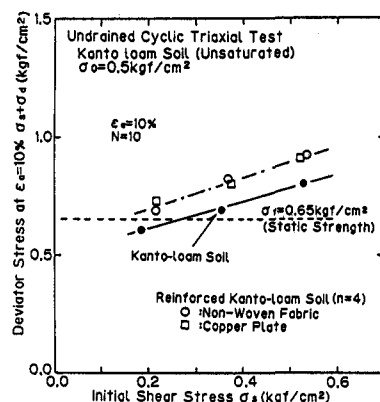


図-6 動的強度に及ぼす
初期せん断応力の影響

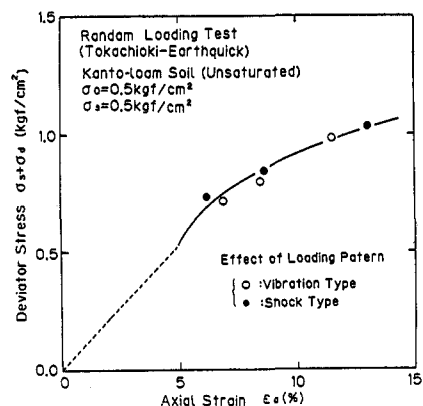


図-7 不規則荷重の荷重パターンの影響

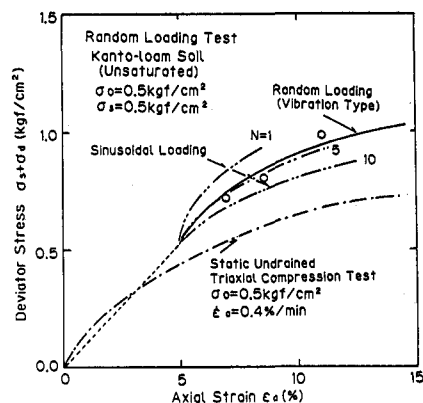


図-8 不規則荷重における
動的応力-ひずみ曲線

時の無補強の関東ロームの動的応力-ひずみ曲線を示してある。この図から衝撃型でも振動型でもほぼ同じ曲線となっており、荷重パターンによる差はほとんどないようである。図-8には振動型荷重と正弦波荷重による無補強の関東ロームの動的応力-ひずみ曲線を比較してある。このような図から軸ひずみ $\epsilon_a = 7\%$ が生じる時の偏差応力と繰返し回数の関係を求めたのが図-9である。この図から、不規則荷重を受けたときの動的強度は、補強材の有無により異なりそれぞれ正弦波荷重を受けた時の繰返し回数 $N=5$ (無補強) あるいは $N=2$ (補強) に対応する動的応力-ひずみ曲線から求めた動的強度に相当していることがわかる。したがって、不規則荷重を受けたときの動的強度を正弦波荷重を用いた試験から推定するには繰返し回数 $N=5$ 程度の応力-ひずみ曲線から求めるのがよいだろう。そこで図-5から動的強度として繰返し回数 $N=5$ の動的応力-ひずみ曲線の $\epsilon_a = 10\%$ に相当する偏差応力を求め、初期せん断応力に対してプロットしたのが図-10である。この図から斜面のようにある初期せん断応力が作用している場合には、粘性土の動的強度は静的強度より大きいことがわかる。したがって粘性土よりなる斜面のような土構造物は静的強度を用いて静的安定性が得られるように設計しておけば、自動的に動的安定性も得られるものと考えられる。

4. あとがき

補強土工法により建設された土構造物の地震時安定性を調べるために、不織布などで補強した関東ロームの動的強度特性を初期せん断応力を作用させた非排水繰返し三軸試験を実施した。その結果以下のことが分った。(1) 動的応力条件下でも、補強材を挿入することにより粘性土の強度を増加させる。この増加量は初期せん断応力の大きさに関係なくほぼ一定である。(2) 一般に初期せん断応力が作用している場合には粘性土の動的強度は静的強度より大きいから、このような材料からなる土構造物は静的強度により静的安定性が得られるように設計しておけば自動的に動的安定性も得られるものと考えられる。

5. 参考文献

- 1) Jewell, R.A. (1980): Some Effects of Reinforcement on the Mechanical Behaviour of Soils, Ph.D. Thesis, Cambridge Univ.
- 2) 龍岡文夫ら (1983): 不織布で補強した関東ロームの試験盛土の挙動, 土と基礎, Vol. 31, No. 9, pp21~29.

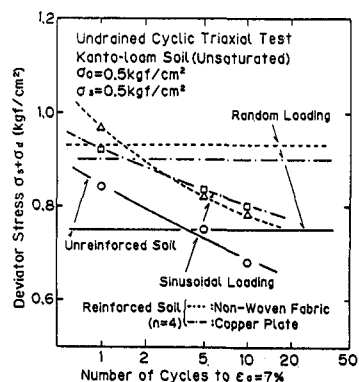


図-9 正弦波および不規則波荷重における動的偏差応力の比較

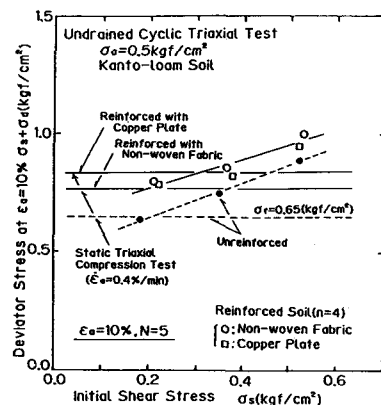


図-10 動的強度に及ぼす初期せん断応力の影響