

直接せん断試験による盛土材料の動的強度の評価

山口大学工学部	正会員	兵動正幸
山口大学大学院	学生会員	福田賢二郎
復建調査設計(株)	正会員	藤井照久
(株)奥村組	正会員	日下部伸
日本地研(株)	正会員	○板井久義

1. まえがき

1995年の兵庫県南部地震では、多くの道路盛土、河川堤防が崩壊した。これを契機に、レベル2地震動時における盛土の安定性評価法の確立が求められている。そこで本研究では、実際に施工で使用する盛土材料を用いて、盛土の安定度評価に必要な盛土材料の動的強度を求めることを目的としている。盛土の動的強度は、盛土内部の応力状態および盛土の破壊形態¹⁾を考慮した境界条件下で繰返しせん断試験を行うことにより求めた。

2. 試験装置および供試体作成方法

試験に用いた载荷装置は日下部らが開発した簡易直接せん断試験装置²⁾を用いた。簡潔に試験装置を説明すると、供試体に負圧を与えることにより拘束圧を制御し、供試体上部から異方圧密時の鉛直荷重と水平力によるせん断力をそれぞれ独立して作用させる構造となっている。また、試験に用いた試料は実際に施工で用いられる盛土材料であり、2mm以上の礫分を取り除いて、最適含水比($w_{opt}=20.7\%$)下で最大乾燥密度($\rho_d=1.58t/m^3$)の90%程度になるように締固めた状態で、直径6cm、高さ2cmの供試体を作成した。

3. 試験方法および試験条件

試験は、事前に実盛土に対して行なわれた静的な有限要素解析で求めた状態に近い圧密応力及び初期せん断応力を载荷した後、以下の2種類のせん断モードで行った。一つはせん断中に鉛直および水平方向の変形を許す状態で試験を行うシェイクダウンモードで、もう一つは鉛直および水平方向に変位を許さない状態で試験を行う単純せん断モードである。ここで、シェイクダウンモードは盛土法肩から法尻付近の境界条件を、単純せん断モードは水平地盤の境界条件を想定したものである。各せん断モードにおける供試体の状態を図-1および2に示す。試験は非排水状態で単調载荷および繰返しせん断試験を行い、単調载荷試験ではひずみ速度1%/minの条件下で、また、繰返しせん断試験では载荷速度約0.02Hzの条件下で行った。

4. 結果および考察

4.1 せん断破壊モードの違いによる繰返しせん断特性の評価

図-3は、各せん断モードで行った繰返しせん断試験の有効応力経路を比較したものである。この図より、単純せん断モードでは繰返しせん断応力の負荷に伴い有効応力が大きく低下しているものの、シェイクダウンモードでは有効応力の低下があまりなく、ある程度まで低下すると定常な経路をたどっていることがわかる。

図-4はシェイクダウンモードおよび単純せん断モードに対し、最大せん断ひずみが5%発生時における繰返しせん断応力比と繰返し回数の関係を示したものである。シェイクダウンモードの場合、せん断時にせん断ひずみに加え鉛直ひずみも発生するため最大主ひずみ面は、単純せん断モードの場合と異なる。そこで、シェイクダウンモードでは最大せん断ひずみをモールのひずみ円を用いて算出した。同図より、シェイク

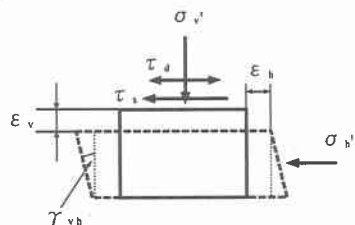


図-1 シェイクダウンモードにおける供試体の状態

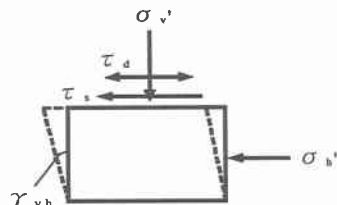


図-2 単純せん断モードにおける供試体の状態

ダウンモードの繰返しせん断強度は単純せん断モードの繰返しせん断強度よりも大きいことがわかる。これは、繰返しせん断時において単純せん断モードの方が有効応力の低下が著しいことに起因しているものと考えられる。

4.2 シェイクダウンモードによる盛土材料の動的強度の評価

図-5は、シェイクダウンモードに対する所定の繰返し回数時におけるせん断応力と最大せん断ひずみの関係を示したものである。図中、(a)は初期せん断応力のない場合、(b)は初期せん断応力 15kPa 载荷させた場合の結果である。また、図中には単調载荷試験のせん断応力～最大せん断ひずみ関係も併せて示している。これらの図より、同一せん断ひずみに着目すると、繰返し回数 1 回時のせん断応力が最も大きく、繰返し回数が増えるに伴い強度が低下している様子が見られる。これは、繰返しせん断応力を受けることにより土が劣化していることを示している。また、せん断ひずみ $\gamma_{max}=5\%$ における単調载荷時のせん断応力と繰返し回数 1 回時のせん断応力を比較すると、繰返し回数 1 回は強度が単調载荷時の強度よりも大きな値を示している。これは、繰返しせん断試験の载荷速度が単調载荷試験の载荷速度より約 10 倍程度速いことに依存しているものと考えられる。ただし、繰返し回数が増加していくとせん断応力は徐々に低下し、最終的には静的強度より低めになっている。今、繰返し回数 10 回時に着目すると、単調载荷時とほぼ一致している。これは、载荷速度の違いによる強度増加と繰返しせん断による劣化が相殺されることによるものであり、動的強度と静的強度がほぼ同程度と見ることができる。

5.まとめ

本研究において、せん断破壊モードの違いによる盛土材料の繰返しせん断特性の評価として単純せん断モードとシェイクダウンモードにおける繰返しせん断強度を比較した結果、動的強度は繰返しせん断時に有効応力の低下が少ないシェイクダウンモードの方が高いことが確認された。また、高盛土の地震時の破壊モードとして、せん断時に鉛直および水平方向にひずみを許すシェイクダウンモードを想定し、そのせん断特性を明らかにした。その結果、盛土材料のような不飽和材料を用いた場合、本破壊モードの動的強度は静的強度とほぼ一致することが確認された。

【参考文献】1) 建設省動土質研究所：盛土の簡易動的安定解析法に関する実験的研究報告書（第1報），土木研究所資料第 2542，1988。

2) 日下部伸，森尾敏，岡林巧，藤井照久，兵動正幸：簡易単純せん断試験装置の試作と種々の液状化試験への適用，土木学会論文集，No. 617/Ⅲ，pp. 299-304，1999。

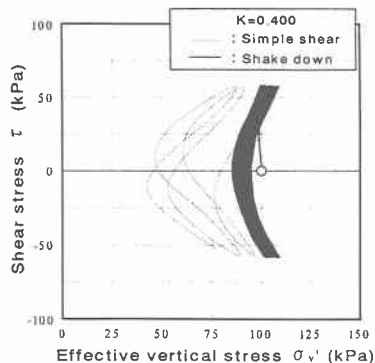


図-3 有効応力経路

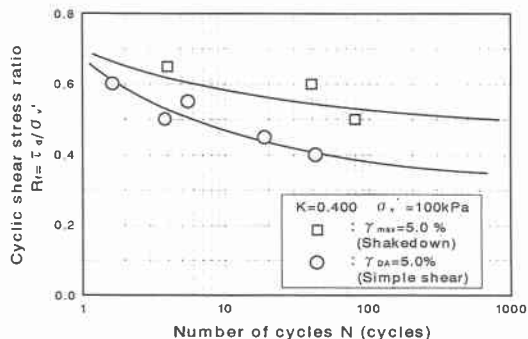
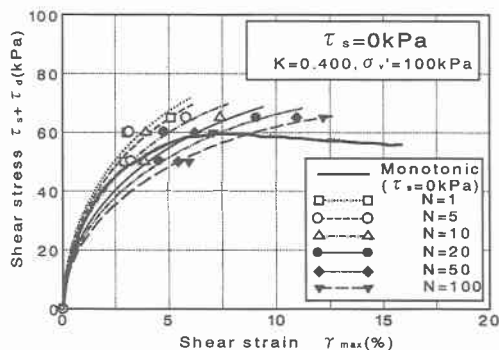
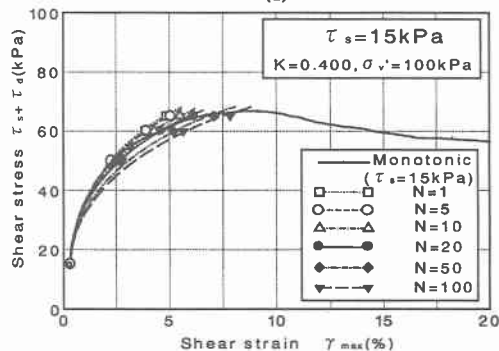


図-4 繰返しせん断応力比-繰返し回数



(a)



(b)

図-5 せん断応力-最大せん断ひずみ関係