

Ⅲ-A158 大きなせん断ひずみをうける砂の非線形挙動

大成建設株式会社 土木設計第1部 正会員 福岡研一

大成建設株式会社 技術研究所 正会員 後藤聡 岡本晋 坂下克之

1. はじめに

地盤の地震時応答を計算により求める際、土の非線形挙動を表すために修正 R-O モデル¹⁾や修正 H-D モデル²⁾などの非線形モデルがよく用いられる。しかし、近年問題となっている数%~10%程度にまで達する、大きなせん断ひずみに対する非線形モデルとしては、その適用に問題点が指摘されている。

そこで、本研究では全応力解析を行うことを念頭におき、乾燥砂を対象とした中空ねじり試験装置による動の変形試験を、排水条件下で大きなせん断ひずみ領域まで実施した。その結果、せん断応力とせん断ひずみの履歴ループを詳細に検討することにより、従来より広く用いられている非線形モデルの検証を行った。

2. 動の変形試験の結果

試験材料は4号ケイ砂($\rho_s=16.18\text{kN/m}^3$)および豊浦標準砂($\rho_s=14.51\text{kN/m}^3$)の2種類を対象とした。供試体形状は、外径100mm、内径60mm、高さ100mmの中空洞筒で、供試体は空中落下法にて作成した。動の変形試験は排水状態、せん断ひずみ制御で繰返しねじり力を載荷することにより行った。繰返し載荷は、せん断ひずみ $\gamma=2\times 10^{-4}\%$ ~10%まで、段階的に実施した。載荷周波数は、せん断ひずみ速度が0.5%/min.以下になるように設定した。また、それぞれの材料について、3種類の拘束圧に対して試験を行った。

動の変形試験によって得られた4号ケイ砂と豊浦標準砂の、剛性低下率ならびに減衰定数のひずみ振幅依存特性を図1、2に示す。点によるプロットは試験結果を表したものである。また、拘束圧 $\sigma'_c=19.6\text{kPa}$ の試験結果に対して、これを修正 R-O モデルでシミュレートしたものを破線で、また同様にこれを修正 H-D モデルでシミュレートしたものを一点鎖線で表している。両モデルのパラメータとして、初期せん断弾性係数はせん断ひずみが $2\times 10^{-4}\%$ のときのせん断弾性係数、基準ひずみは G/Go が0.5のときのせん断ひずみ、最大減衰定数はせん断ひずみの値に関係なく、減衰定数が最大となるときの値を用いている。

修正 H-D モデルと試験結果を比較すると、 $G/Go\sim\gamma$ 曲線はよく一致しているが、減衰定数はひずみの大きな領域で過大となる。また修正 R-O モデルでは $G/Go\sim\gamma$ 、 $h\sim\gamma$ 曲線とも広範囲なひずみレベルで比較的良好に試験結果を模擬しているように見て取れる。ここで、ひずみレベルの大きな領域に着目し、図1、2をせん断応力とせん断ひずみの関係で表し直したものを図3、4に示す。実線で描いたヒステリシス曲線は、大きなひずみレベルでの繰返し載荷試験の結果である。一方、修正 R-O モデルと修正 H-D モデルでシミュレートした骨格曲線は、それぞれ破線と一点鎖線で示しているが、大きなせん断ひずみ領域では試験結果と差異が現れている。

3. Masing 則の検証

本研究では議論を行わないが、仮に今回の試験結果に対して、せん断ひずみ~せん断応力関係の骨格曲線を正確に表現できる構成則を提案できた場合を考える。この骨格曲線に対して、修正 R-O モデルや修正 H-D モデルと同様に、Masing 則³⁾を用いて繰返し載荷時の挙動を規定する。図5、6の実線で表した曲線は、試験で得られた骨格曲線に Masing 則を適用した場合のヒステリシス曲線である。一方、破線は試験材料に繰返し載荷を行ったときのヒステリシス曲線である。骨格曲線に Masing 則を適用したものは、実際の試験結果よりも曲線が大きく膨らみ、実際の挙動よりも減衰が大きく評価されることになる。したがって、何らかの形で骨格曲線を提案した場合でも、それを Masing 則により動的解析へ適用することには問題があるものと思われる。

4. まとめ

本研究は、乾燥砂の中空洞筒供試体によるねじりせん断試験を行い、その動の変形特性を調べた。その結果、大きなせん断ひずみレベルにおいて従来の非線形モデルを適用するには、骨格曲線と Masing 則の両方にその適用性の問題点があることが明らかとなった。数値計算により地盤の地震時非線形応答解析を行う場合、この点を踏まえて計算を行う際のモデル化とパラメータの設定を行う必要がある。

キーワード：動の変形特性、中空ねじり試験、非線形解析

連絡先：〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 TEL 03-5381-5289 FAX 03-3345-1914

参考文献 1)大崎順彦、原昭夫、清田芳治：地盤振動解析のための土の動力学モデルの提案、第13回土質工学研究発表会講演集 pp.1057～1060、1978。 2)国生剛治、桜井彰雄：MODIFIED HARDIN-DRNEVICH モデルについて、土木学会第33回年次学術講演会概要集第Ⅲ部、1978。 3)Masing,G.:Eigenspannungen und verfestigung beim Messing、Proceeding of Second International Congress of Applied Mechanics、Zurich、332、1926。

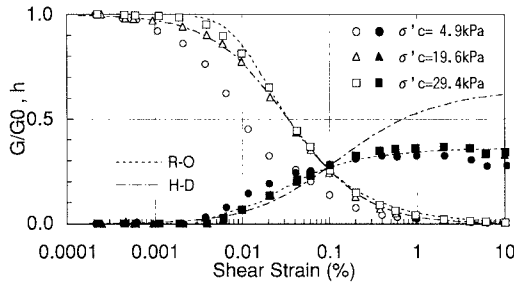


図1 4号ケイ砂のひずみ振幅依存特性

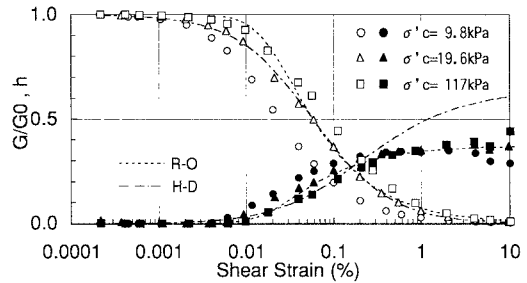


図2 豊浦砂 (Dr=80%) のひずみ振幅依存特性

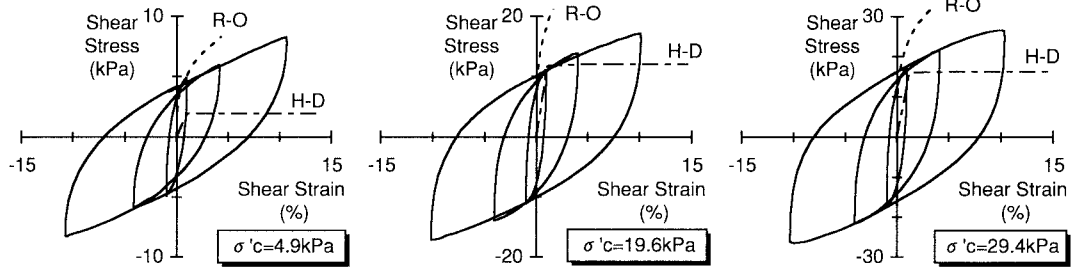


図3 4号ケイ砂のヒステリシス曲線

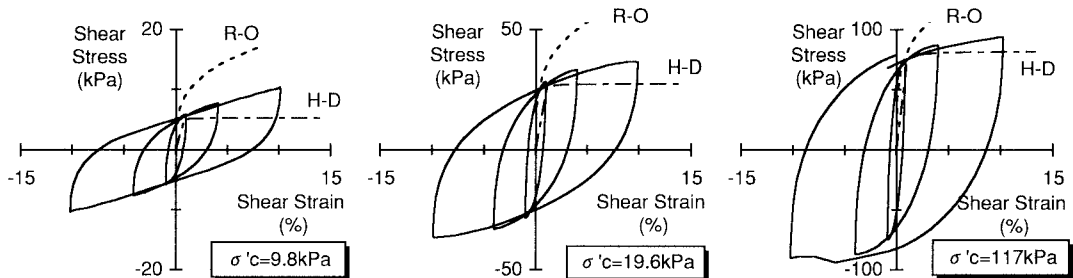


図4 豊浦砂 (Dr=80%) のヒステリシス曲線

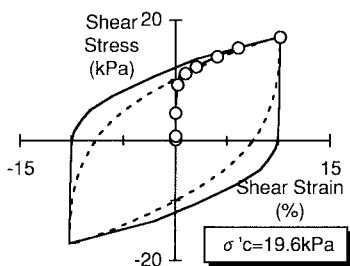


図5 骨格曲線とMasing則の関係 (4号ケイ砂)

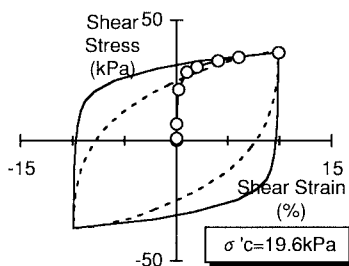


図6 骨格曲線とMasing則の関係 (豊浦砂 (Dr=80%))

- 試験より得られた骨格曲線
- 骨格曲線にMasing則を適用した履歴
- - - 繰返し載荷試験より得られた履歴