

Ⅲ-A83

さまざまな応力経路により 繰り返し荷重を受ける砂の非線形挙動

大成建設(株) 土木設計第1部 正会員 志田智之 福岡研一 立石章
東京工業大学 工学部 正会員 桑野二郎 橋本聡

1. はじめに

地震時において、構造物と地盤はその振動特性が異なるために、それぞれ別々の揺れ方をする。このときの地盤に発生する主たるひずみは地震動によって発生するせん断ひずみと、構造物との相互作用によって発生する垂直ひずみの2種類である。しかし、せん断ひずみと垂直ひずみを同時に受ける地盤の非線形特性は十分に把握されていない。そこで本研究は砂の供試体に対して、応力経路が異なる3種類の中空ねじり試験を行い、その応力とひずみの関係を調べた。この結果、せん断ひずみと垂直ひずみを同時に受ける場合に、その履歴曲線がどのような形状になるのかを把握することが出来た。また、これを数値解析によりシミュレートすることが出来たので、以下に報告をする。

2. 中空ねじり試験

今回使用した中空ねじり試験装置は、軸力、トルク、内圧、外圧をそれぞれ所定の値に変化させることにより、4つの応力成分 σ_z 、 σ_r 、 σ_θ 、 $\tau_{z\theta}$ を独立して制御することができ、またひずみについても4成分を独立に測定できるものを使用している¹⁾²⁾。この装置を用いて図-1に示す応力経路による繰り返し載荷試験を実施した。いずれもモールの応力円であれば、平均有効応力 p' を中心とした円で表される同一の応力状態となるように載荷を行う方法である(図-2)。

試験材料には豊浦砂を用いた。ここで、供試体の初期構造異方性を少なくするために、以下の方法で供試体を作成した。まず試料総重量を5等分割し、一層分ごとを空中落下法により充填する。その後、直径4mmの丸棒で各層40回突くことで人工的に堆積面を破壊している。このときの目標相対密度は50%に設定した。これを平均有効応力 $p'=98.1\text{kPa}$ まで等方圧密し、排水条件で中間主応力係数 $b=0.5$ と平均有効応力 p' を変化させないように最大せん断応力 $\tau_{\max}$ のみを変化させながら載荷を行った。

試験結果を図-3の○印でプロットした。それぞれ縦軸に応力、横軸にひずみをとって応力とひずみの履歴曲線を描いたものである。上段はせん断応力とせん断ひずみの関係について、下段は軸差応力と軸差ひずみの関係について、大きなひずみレベルでの履歴曲線1サイクル分を示している。描いた履歴曲線の大きさには多少の違いがあるものの、応力経路の違いによるループの形状にはあまり違いが見られなかった。これは供試体の初期構造異方性が弱いためと思われる。

3. 非線形モデルによる数値解析

以上の結果より、初期構造異方性のない状態ではせん断ひずみと垂直ひずみの組み合わせに応じて、同様な履歴ループを描くことが確認された。このような非線形特性を表現できる地盤の非線形モデルがいくつか提案されているが³⁾、本研究では著者らが提案した複合履歴モデル⁴⁾を用いて数値シミュレーションを実施した。解析に用いた物性値は、 $G_0=73.7\text{MPa}$ 、 $\gamma_c=9.3\times 10^{-4}$ 、 $h_{\max}=0.40$ 、非線形パラメータは $A=0.03$ 、 $B=0.93$ とした。

有限要素によりモデル化した砂要素に、中空ねじり試験で実施したときと同様な載荷方法で荷重を加え、このときの応力とひずみの関係を再現するように試みた。計算結果を図-3に実線で示す。先ほどの中空ねじり試験の結果と比較すると、数値解析により試験結果をほぼ再現していることがわかる。

4. まとめ

著者らはレベル2地震時や、さらには相互作用の影響が強くなる状況でも適用可能な地盤の非線形モデルの提案を行い、この有効性を確認した。今後はFEM動的応答解析を実施し、構造物と地盤の相互作用問題でこのモデルが実用的であることを検証する予定である。

キーワード：動的変形特性、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)桑野二郎 他：種々の主応力方向に繰り返しせん断を受けた豊浦砂の変形特性、土木学会第53回年次学術講演会概要集Ⅲ部(A)pp.58～59、1998. 2)中村勇平、橋本聡、桑野二郎：広範囲なひずみレベルでの測定が可能な中空ねじり試験装置について、第33回地盤工学研究発表会 pp.519～520、1998. 3)福岡研一、立石章、志波由紀夫：垂直ひずみによる剛性低下を考慮した構造物－地盤相互作用解析に用いる地盤非線形モデルの検討、土木学会第52回年次学術講演会概要集Ⅰ部(B)pp.746～747、1997. 4)福岡研一 他：大きなひずみレベルでの動的相互作用問題に適用可能な地盤非線形モデルの提案、第25回地震工学研究発表会、1999（投稿中）.

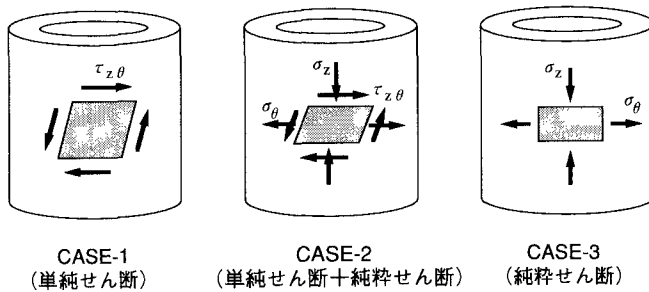


図-1 中空ねじり試験で実施した载荷状態

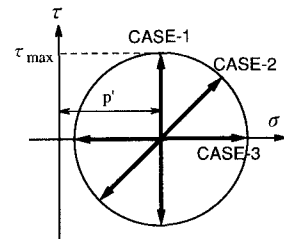


図-2 応力経路の比較

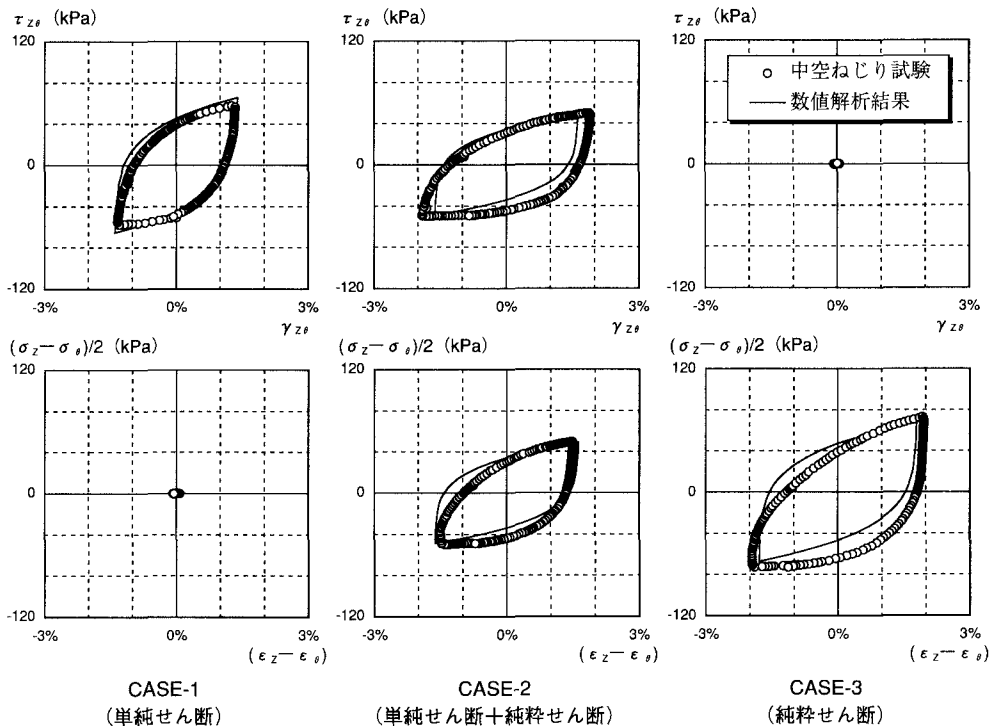


図-3 中空ねじり試験結果と数値解析結果の比較