

MDMモデルによる地震波形荷重下の様々な地盤要素の繰返し応力～ひずみ関係の再現 ～非線形全応力モデルによる地震波形荷重下の様々な飽和土の要素シミュレーション～

中部電力(株) 技術開発本部 電力技術研究所 正会員 熊崎 幾太郎, 上田 稔
(株)大星測量設計 調査部 地盤技術課 正会員 ○三島 聡明

1. はじめに

非線形モデルが生成する広いひずみ領域の繰返し応力～ひずみ関係の信頼性は、その非線形モデルにより、地盤要素が液状化状態にまで至る地震波形の大振幅荷重載荷時の複雑な繰返し応力～ひずみ関係試験データを高精度に要素シミュレーション可能であるか検討し、確認しておく必要がある。

そこで本稿では、提案しているMDMモデルにより、飽和した典型的な5種類の地盤要素の地震波形荷重下における動的変形試験データを対象に、要素シミュレーションを行った結果を示し、大ひずみ領域の不規則な繰返し応力～ひずみ関係の予測に対するMDMモデルの信頼性について検証する。

2. 地震波形荷重による飽和した5種類の地盤要素の動的変形試験結果

MDMモデルによる要素シミュレーションの対象にしたのは、飽和した粘性土、シルト、豊浦標準砂、砂質土、礫質土という5種類の地盤要素に非排水条件下で地震波形荷重を載荷した時の複雑な繰返しせん断応力 τ ～せん断ひずみ γ 関係試験データである。図-1は、これらの飽和した5種類の地盤要素各々に対して、ひずみ制御により、図-2と同様の1983年日本海中部地震波形荷重を3段階のひずみ領域でそれぞれ載荷した時の等価せん断剛性率 G_{eq} および履歴減衰係数 h のせん断ひずみレベル $|\gamma|$ に対する依存性試験データ(以下、 G_{eq} 、 $h \sim |\gamma|$ 関係試験データと記す)である。また、それらの試験の際、それぞれの供試体に生じた繰返し $\tau \sim \gamma$ 関係は図-3～図-7の通りである。なお、地盤要素に地震波形荷重を載荷した時の G_{eq} 、 $h \sim |\gamma|$ 関係試験データの求め方、つまり図-3～図-7の不規則な繰返し $\tau \sim \gamma$ 関係試験データから図-1に示したそれぞれの地盤要素の G_{eq} 、 $h \sim |\gamma|$ 関係試験データを求める方法は、文献1)、2)で新たに提案した方法を用いた。この求め方は、MDMモデルの履歴法則に準じて独自に提案した方法である。

3. MDMモデルによる要素シミュレーション結果

図-1に示したそれぞれの地盤要素の G_{eq} 、 $h \sim |\gamma|$ 関係試験データを最小の誤差で再現するMDMモデルのパラメタを決定し、動的変形試験時のせん断ひずみ時刻歴を外力としてMDMモデルへ入力することにより、不規則な繰返し $\tau \sim \gamma$ 関係の要素シミュレーションを行った。図-8, 11, 14, 17, 20に、それぞれの地盤要素の動的変形試験中に計測された過剰間隙水圧比の時刻歴を示す。また、図-9, 12, 15, 18, 21は、それぞれの地盤要素の動的変形試験データに対して求められたMDMモデルの瞬間変形係数 G_{MDM} のひずみ依存性である。そして、MDMモデルによる要素シミュレーション結果と図-3～図-7に示した試験データの比較を図-10, 13, 16, 19, 22に示す。これらの結果より、地盤要素の種類やひずみレベルにかかわらず、実測値はMDMモデルを用いた要素シミュレーションによって、よく再現

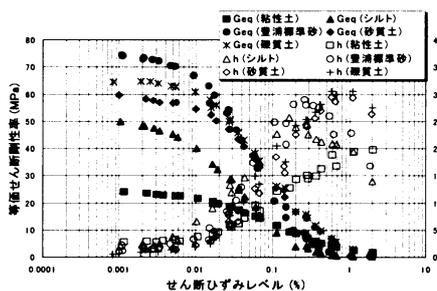


図-1 日本海中部地震波形荷重による5種類の地盤要素の試験結果

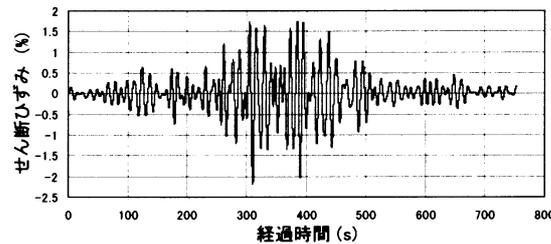


図-2 日本海中部地震波形のせん断ひずみ時刻歴

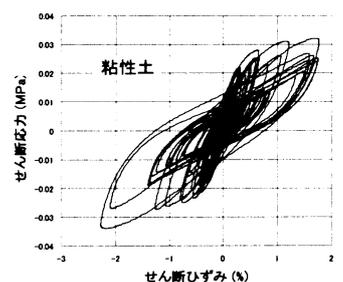


図-3 粘性土の試験データ

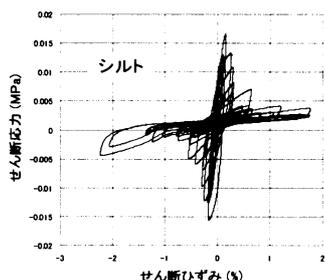


図-4 シルトの試験データ

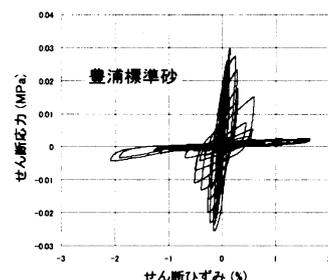


図-5 豊浦砂の試験データ

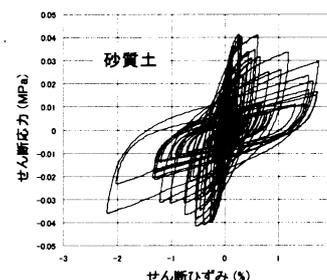


図-6 砂質土の試験データ

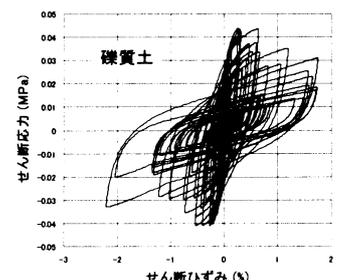


図-7 礫質土の試験データ

キーワード MDMモデル, 瞬間変形係数, 非線形モデル, 液状化, 要素シミュレーション
連絡先 〒459-8522 名古屋市緑区大高町字北関山20-1 TEL.052-621-6101 FAX.052-623-5117

されているのが分かる。

図-11, 14において, 過剰間隙水圧比が極めて1.0に近づいている状態から分かるように, 本研究で実施した動的変形試験では, 供試体である飽和したシルトと豊浦標準砂が明らかな液状化状態に達した. この液状化時の激しいひずみ軟化挙動を含む繰返し $\tau \sim \gamma$ 関係を対象に, 非線形全応力モデルであるMDMモデルを用いて要素シミュレーションを行った結果は図-13, 16の通りである. これらの結果によれば, MDMモデルは, 地盤要素が確実に液状化状態となり, 極度の剛性低下率と急峻なひずみ軟化およびその後の流動的挙動を呈する状態に至っても, 良好に動的変形試験時の複雑な繰返し $\tau \sim \gamma$ 関係を要素シミュレーション可能であることが分かる.

4. まとめ

本稿で述べた結果より, 地盤要素の初期の微小ひずみ領域から大ひずみ領域そして液状化状態, 更には流動の状態まで, MDMモデルによって, 繰返し $\tau \sim \gamma$ 関係の実測値を良好な精度で要素シミュレーション可能であることが実証的に示された. これは, MDMモデルのように, 地盤要素の液状化状態や流動的状态も要素シミュレーション可能な全応力表示の構成式を用いれば, 実務で供されやすい全応力地震応答解析法により, 構造物基礎の設計に必要な精度を有する液状化地盤応答の予測が可能なることに通ずる結果であると考察される^{3), 4)}.

謝辞: 本稿でMDMモデルによる要素シミュレーションの対象にした様々な地盤要素の動的ねじり試験データは, 基礎地盤コンサルタンツ株式会社殿に実施して頂いた土質試験で計測されたものです. ここに記して, 謝意を表します.

参考文献

- 1) 熊崎幾太郎, 上田 稔: MDMモデルによる地震波形荷重を載荷した礫質土の繰返し応力~ひずみ関係の再現シミュレーション, 第35回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.943-944, 2000.6.
- 2) 熊崎幾太郎, 上田 稔: MDMモデルによる地震波形荷重を載荷した粘性土の繰返し応力~ひずみ関係の再現シミュレーション, 第55回土木学会年次学術講演会講演概要集, III-A112, 2000.9.
- 3) 熊崎幾太郎, 上田 稔: 液状化地盤応答解析が可能な非線形全応力モデルによる乾燥砂と飽和砂の要素シミュレーション ~MDMモデルによる飽和砂の極度の剛性低下率と急峻なひずみ軟化および流動的挙動の再現~, 第56回土木学会年次学術講演会講演概要集, 2001.10.
- 4) 上田 稔, 熊崎幾太郎, 恒川和久, 今枝靖博: MDMモデル依存非線形全応力解析によるいくつかの実地盤応答アレー観測記録の再現, 第56回土木学会年次学術講演会講演概要集, 2001.10.

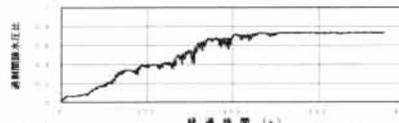


図-8 過剰間隙水圧比の時刻歴(粘性土)

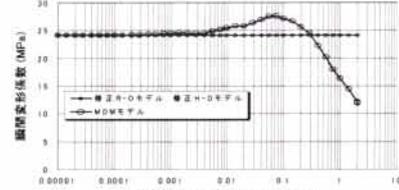


図-9 瞬間変形係数のひずみ依存性(粘性土)

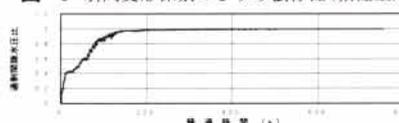


図-11 過剰間隙水圧比の時刻歴(シルト)

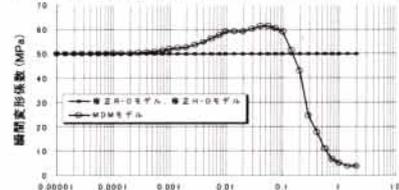


図-12 瞬間変形係数のひずみ依存性(シルト)

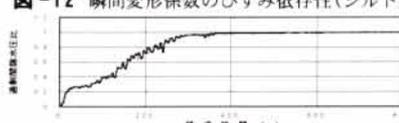


図-14 過剰間隙水圧比の時刻歴(豊浦砂)

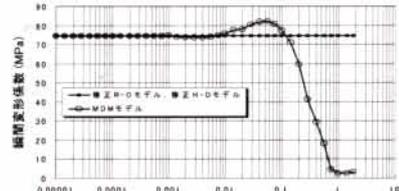


図-15 瞬間変形係数のひずみ依存性(豊浦砂)

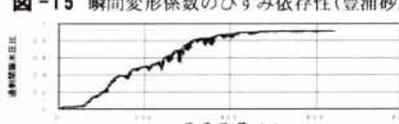


図-17 過剰間隙水圧比の時刻歴(砂質土)



図-18 瞬間変形係数のひずみ依存性(砂質土)

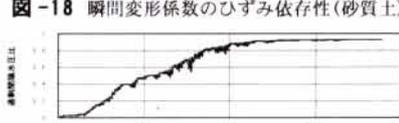


図-20 過剰間隙水圧比の時刻歴(礫質土)

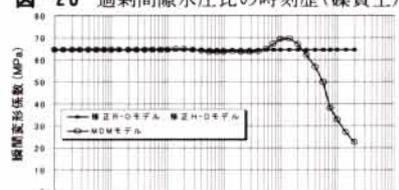


図-21 瞬間変形係数のひずみ依存性(礫質土)

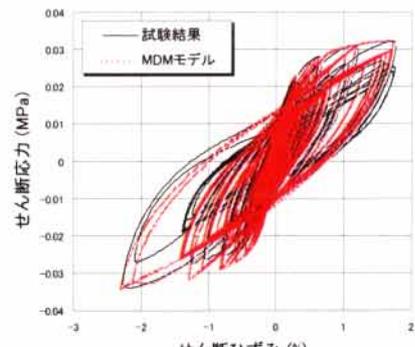


図-10 粘性土の要素シミュレーション結果

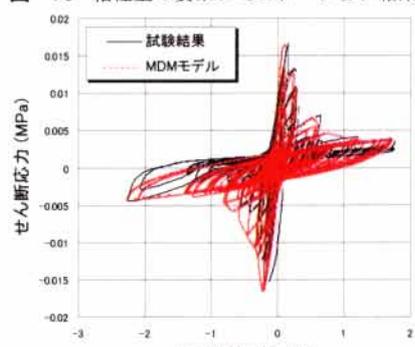


図-13 シルトの要素シミュレーション結果

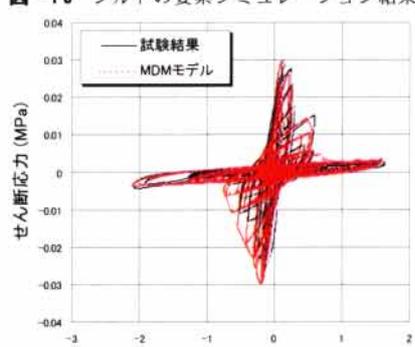


図-16 標準砂の要素シミュレーション結果

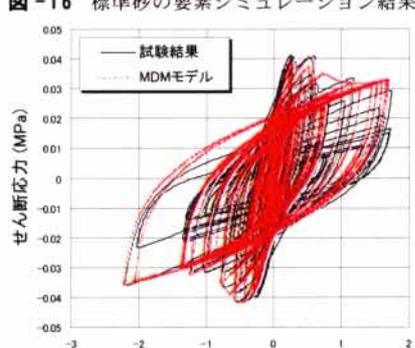


図-19 砂質土の要素シミュレーション結果

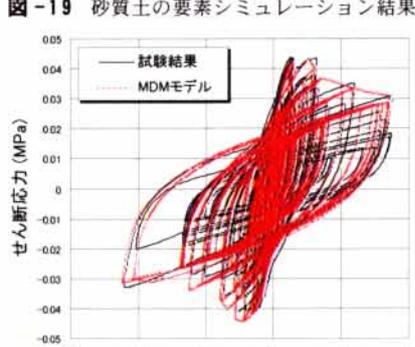


図-22 礫質土の要素シミュレーション結果