

1. はじめに

地盤要素がレベル2相当の地震動を受けた時に生ずる繰返し応力～ひずみ関係は、その地盤要素の土質や地震動のタイプにより大きく異なる。従って、地盤要素の繰返し応力～ひずみ関係を時刻歴で考慮する地震応答解析により、昨今重要視されているレベル2地震動に対する地盤応答を正確に予測するためには、いずれのタイプの地震動を受ける地盤要素の繰返し応力～ひずみ関係でも高精度に再現シミュレーション可能な履歴モデルを用いる必要がある。そこで、本稿では粘性土の供試体に対して、振動型および衝撃型の地震の荷重パターンでそれぞれ載荷する動的変形試験によって得られた繰返し応力～ひずみ関係を対象に、瞬間変形係数(Momentary Deformation Modulus)のひずみ依存性を考慮する履歴モデル、すなわちMDMモデル^{1), 2), 3)}を用いた再現シミュレーションを行い、異なるタイプの地震動を受ける粘性土の地盤の地震応答解析におけるMDMモデルの適用性について考察する。

2. 地震波形荷重を受けた粘性土の剛性と減衰のひずみ依存性

粘性土の供試体を対象に、振動三軸試験機を用いて、図-1に示す振動型の日本海中部地震(1983年)のひずみ時刻歴波形外力をひずみ制御で載荷する動的変形試験を行うことにより、図-2に示す繰返し応力～ひずみ関係が試験結果として得られた。図-2の繰返し応力～ひずみ関係は様々な大きさの履歴ループから成っているが、ひずみ時刻歴において時間の小さい方から順に見て、各時点までの最大のせん断ひずみレベル γ が更新された時のみの履歴ループを取り出して行き、それらの等価せん断剛性率 G_{eq} および履歴減衰係数 h を求めて γ との関係をプロットすると、地震波形荷重下の粘性土の動的物性値、すなわち $G_{eq}, h \sim \gamma$ 関係データが図-3のように得られる。一方、同じ条件の粘性土の供試体(湿潤密度: 1.75 g/cm^3 , 乾燥密度: 1.44 g/cm^3 , 圧密応力: 0.1 MPa)に対して、図-4に示す衝撃型の兵庫県南部地震(1995年)のひずみ時刻歴波形外力を載荷した場合には、図-5に示す繰返し応力～ひずみ関係が試験結果として得られ、上述と同様の手順により、 $G_{eq}, h \sim \gamma$ 関係データが図-6のように得られる。図-2、図-3および図-5、図-6から解るように、日本海中部地震のケースに比べ、兵庫県南部地震のケースの方が同じ位のひずみレベルにおける剛性はより小さくなっており、減衰はより大きくなっている。因みに、本稿の図において、等価せん断剛性率は各供試体の試験で得られた最も大きい G_{eq} 、すなわち $G_{eq_{max}}$ により正規化した値で表してある。

3. MDMモデルのパラメータ決定

MDMモデルにより、図-2および図-5に示した地震波形荷重下の粘性土の繰返し応力～ひずみ関係を再現シミュレーションするため、図-3および図-6の $G_{eq}, h \sim \gamma$ 関係データからそれぞれ、MDMモデルのパラメータである瞬間変形係数

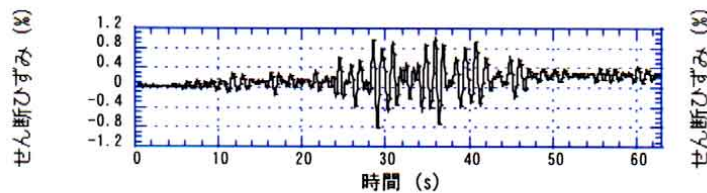


図-1 日本海中部地震波形の外力パターン

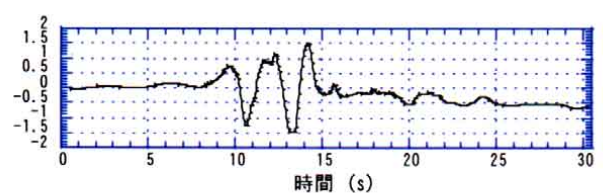


図-4 兵庫県南部地震波形の外力パターン

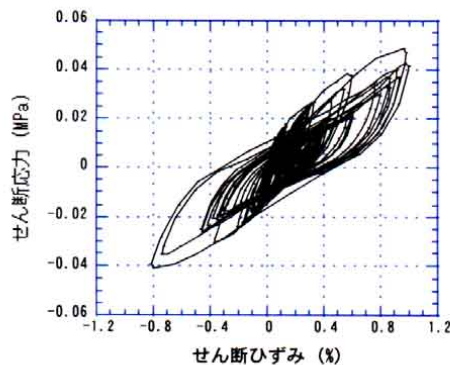


図-2 繰返し応力～ひずみ関係(日本海中部地震)

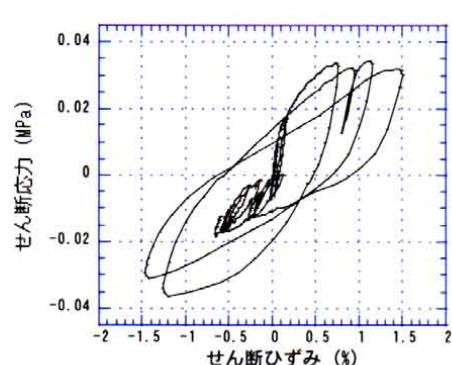


図-5 繰返し応力～ひずみ関係(兵庫県南部地震)

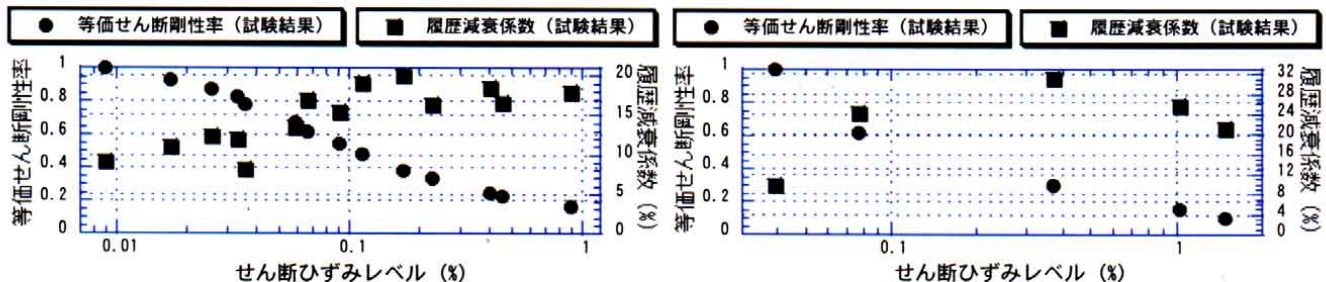


図-3 剛性と減衰のひずみ依存性(日本海中部地震)

図-6 剛性と減衰のひずみ依存性(兵庫県南部地震)

キーワード 地震応答解析、瞬間変形係数、履歴モデル、MDMモデル、再現シミュレーション

連絡先 〒459-8522 名古屋市緑区大高町字北関山20-1 TEL. 052-624-9186 FAX. 052-623-5117

表-1 MDMモデルのパラメーター決定結果

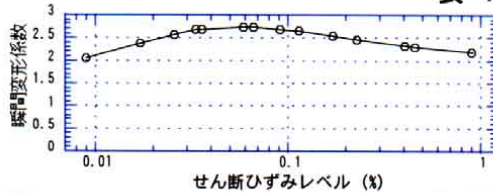


図-7 G_{MDM} のひずみ依存性 (日本海中部地震)

	γ_r (%)	h_{max} (%)
日本海中部地震	0.008	20.1
兵庫県南部地震	0.033	28.5

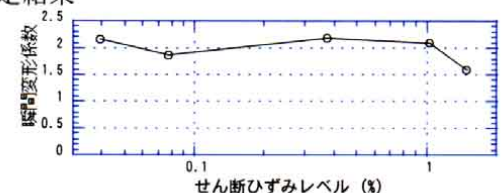


図-8 G_{MDM} のひずみ依存性 (兵庫県南部地震)

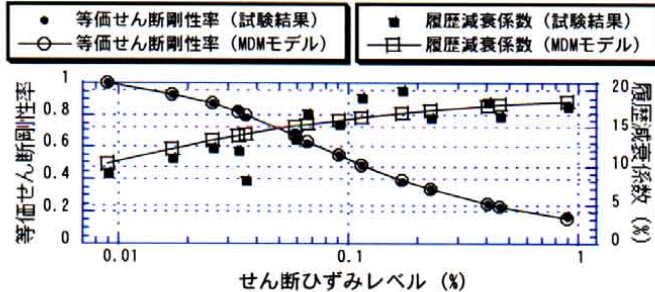


図-9 MDMモデルと試験結果の適合状態 (日本海中部地震)

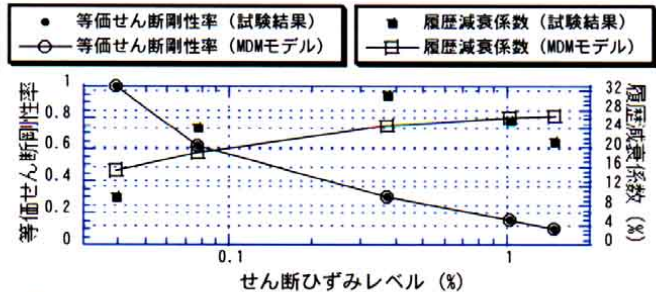


図-10 MDMモデルと試験結果の適合状態 (兵庫県南部地震)

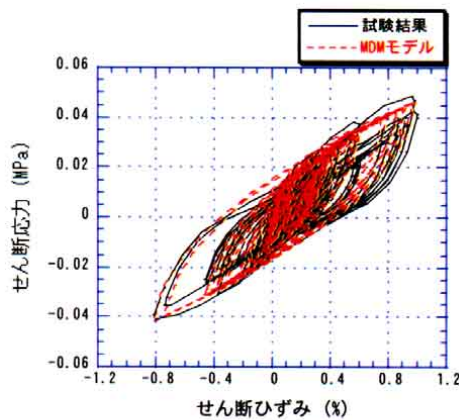


図-11 再現シミュレーション結果 (日本海中部地震)

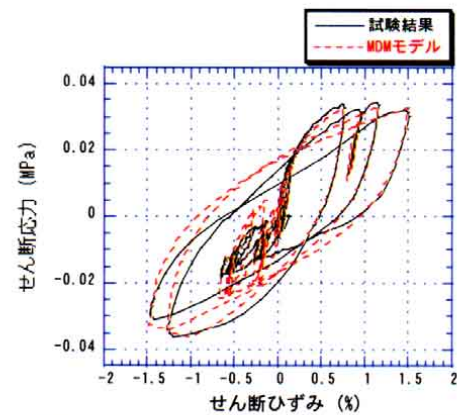


図-12 再現シミュレーション結果 (兵庫県南部地震)

G_{MDM} のひずみ依存性を求めた。さらに、求められた G_{MDM} のひずみ依存性のもとにおいて、MDMモデルによる $G_{eq}, h \sim \gamma$ 関係曲線が最小の誤差で図-3および図-6の $G_{eq}, h \sim \gamma$ 関係データへそれぞれ適合するように、MDMモデルの残りのパラメーター、すなわち参照せん断ひずみ γ_r と最大履歴減衰係数 h_{max} を決定した。結果的に、 G_{MDM} のひずみ依存性は図-7および図-8に示す通りであり、 γ_r と h_{max} の決定結果は表-1の通りである。この時のMDMモデルによる $G_{eq}, h \sim \gamma$ 関係曲線と図-3および図-6に示した動的変形試験結果の $G_{eq}, h \sim \gamma$ 関係データとの適合状態をそれぞれ図-9および図-10に示す。因みに、図-7と図-8において、瞬間変形係数は $G_{eq, max}$ により正規化した値で表してある。

4. 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

上述のように決定したパラメーターの値をMDMモデルに与え、粘性土の動的変形試験で地震波形外力パターンとした図-1および図-4のひずみ時刻歴と同じものをそれぞれモデルに外力として入力することにより、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を行った。MDMモデルによる繰返し応力～ひずみ関係曲線と動的変形試験で得られた繰返し応力～ひずみ関係データとの比較を図-11および図-12に示す。

5. 考察とまとめ

- (1) 図-7および図-8より、どちらの地震のケースでも、瞬間変形係数がひずみの増大に伴って著しく低下する傾向は現れていない。これは、本研究で用いた飽和状態の粘性土が繰返し荷重を受けても、ひずみ軟化しにくい傾向にあることを意味する。この特徴は、砂質土や礫質土の場合と大きく異なるものである。
- (2) 図-9、図-11および図-10、図-12から解るように、日本海中部地震と兵庫県南部地震のいずれのケースでも、MDMモデルは広いひずみ領域に渡り、粘性土の剛性と減衰のひずみ依存性に適合可能であり、従って良好な精度で繰返し応力～ひずみ関係を再現シミュレーションできている。よって、MDMモデルは地震動のタイプが振動型と衝撃型のいずれであっても、地盤要素の繰返し応力～ひずみ関係を時刻歴で考慮する粘性土の地盤の地震応答解析において有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 熊崎幾太郎: Hysteresis Model Considering Shear Strain Dependency of Fractal Dimension and Momentary Deformation Modulus, 博士論文 (京都大学), 第7章, 1998.3.
- 2) 熊崎幾太郎, 杉山 武, 上田 稔, 長谷川英明: 瞬間変形係数のひずみ依存性を考慮した履歴モデル, 第53回土木学会年次学術講演会講演概要集, III-A 89, pp.176-177, 1998.10.
- 3) 熊崎幾太郎, 上田 稔: ポートアイランドのまさ土地盤の非線形地震要素シミュレーション, 電力土木, No.282, pp.57-61, 1999.7.
- 4) 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, 2000.6.