

粘性土地盤中の地下構造物の耐震設計に対する等価線形化手法の適用性

等価線形化解析 レベル2地震動 粘性土地盤

中央復建コンサルタンツ 正会員 鈴木 猛康

1. はじめに

レベル2地震動に対する地下構造物の耐震設計において、地震応答解析のツールとして利用されている SHAKE による粘性土地盤の地震時応答の再現性について検討する目的で、SHAKE による等価線形解析と MDM モデルを用いた非線形時刻歴応答解析を実施した。軟弱粘性土地盤を対象とした地震応答解析を実施し、地盤のせん断ひずみ、加速度の応答特性について両解析手法による結果を比較した。その結果、海洋プレート型、内陸直下型の地震動タイプによらず、粘性土地盤を対象とした地震応答解析では、両解析手法は比較的近い結果を与えることがわかった。したがって、対象地盤の地震動増幅特性、とくにせん断ひずみ振幅に十分配慮する必要はあるが、粘性土地盤中の地下構造物の耐震設計では、レベル2地震動を対象とした場合でも、等価線形化解析の適用性は比較的高いものと判断された。

2. 本研究の目的

熊崎らは、地盤の動的試験や地震観測結果をかなり厳密に再現できるせん断応力～ひずみ履歴の構成則である MDM モデルを開発し、とくに砂地盤を対象として液状化が発生する1%以上のせん断ひずみ領域でも、地盤の非線形地震応答が MDM モデルによって精度良く再現できることを示している<sup>1),2)</sup>。熊崎らの研究によれば、等価線形解析の適用性はせん断ひずみ 0.1%までの領域とされているが、検討対象は主に砂地盤であり、粘性土地盤についてあまり検討は行われていない。また、検討は実地震波を用いて行われており、設計入力地震動は検討対象とされていない。

一方、地下構造物でも本格的なレベル2地震動に対する耐震設計が実務レベルで実施されるようになっており、軟弱粘性土地盤でも大規模地下構造物が計画されている。そこで、SHAKE ならびに MDM モデルを用いて、レベル2設計入力地震動を入力とした粘性土地盤の地震応答解析を実施し、MDM モデルを用いた非線形時刻歴地震応答解析の結果を正として両解析手法の比較を行い、その結果より等価線形解析を用いた場合の地下構造物の耐震設計への影響について考察することとした。

3. 解析条件

検討の対象としたのは図-1に示す2層系の粘性土地盤である。上層を構成する沖積粘土のS波速度は80m/sであり、その下に洪積粘土を想定している。沖積粘土は沖積低地に一般的に分布する軟弱粘性土をイメージしている。解析に用いた沖積粘土、洪積粘土のひずみ依存曲線を図-2に示す。

入力地震動としては、海洋プレート型、内陸直下型の代表的な設計入力地震波として、道路橋の動的解析に用いる標準波の中から、図-3に示すそれぞれタイプ、地震の種地盤用 No.1 波形を用いることとした。これらの波形を、海洋プレート型の入力地震動では最大加速度を 100, 200, 300, 500cm/s<sup>2</sup> の4種類に振幅調整して使用した。一方、内陸直下型の入力地震動では、これらに 700, 900cm/s<sup>2</sup> を加えた6種類の最大加速度に振幅調整して用いることとした。

4. 解析結果と考察

解析結果の中から、地盤せん断ひずみ最大値の鉛直分布を海洋プレート型地震のケースについて図-4に、内陸直下型地震のケースについて図-8にまとめた。どちらの地震タイプでも、またどの入力加速度レベルでも、総じて等価線

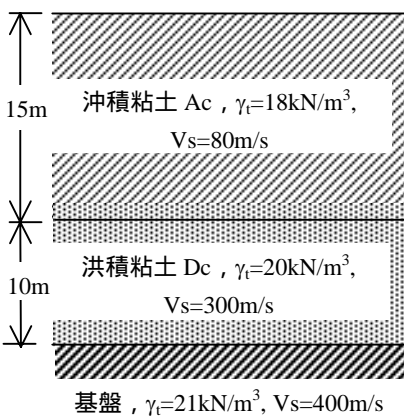


図-1 地盤条件

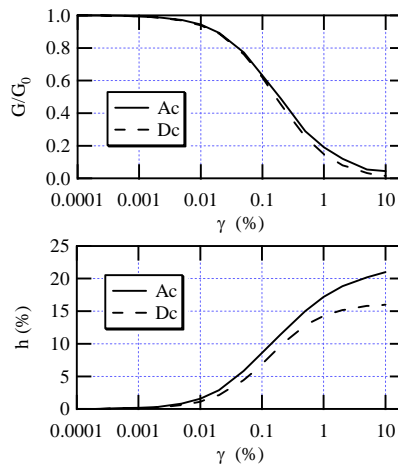


図-2 ひずみ依存曲線

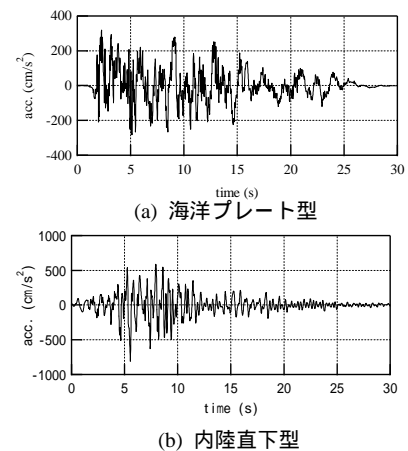


図-3 入力地震動

Applicability of the equi-linealization technique to seismic design against large earthquakes with respect to underground structures constructed in clayey soil deposits.

Takeyasu SUZUKI, Chuo Fukken Consultants Co., Ltd.  
2-11, Nihonbashi Oodenma-cho, Chuo-ku, Tokyo 103-0011  
e-mail:suzuki\_ta@cfk.co.jp

形解析は非線形時刻歴解析よりも小さなひずみを算定しているとの結果を示している。また、両者の差は、入力レベルが大きいかほど大きくなる傾向が認められる。

図 - 5 は海洋プレート型地震で、最大加速度  $500\text{cm/s}^2$  のケースについて、図 - 9 は内陸直下型地震で最大加速度  $900\text{cm/s}^2$  のケースについて、それぞれ等価線形解析と非線形時刻歴応答解析の最大ひずみ発生要素（沖積粘性土の最深部）におけるせん断応力～ひずみの履歴を比較したものである。両地震動タイプとも、ひずみの最大値発生時刻においては、非線形時刻歴応答解析に対して等価線形解析でせん断剛性高くなっており、等価線形解析がせん断剛性を過大に評価していることを示しているが、最大ひずみ発生時以外では両解析結果の履歴の傾きは比較的良好一致している。

図 - 6 は海洋プレート型地震で、入力加速度レベル  $500\text{cm/s}^2$  としたケースで、沖積粘土層の中央部における加速度波形について、等価線形解析と非線形時刻歴応答解析の比較を行ったものである。また、図 - 7 は、同様の解析ケースの沖積粘性土最深部におけるせん断ひずみ波形について、等価線形解析と非線形時刻歴応答解析の比較を行ったものである。加速度では等価線形解析で、ひずみでは非線形時刻歴解析で、ピーク時の振幅が大きいが、位相は加速度、ひずみ波形ともに両解析手法で良好一致している。内陸直下型地震について同様な比較を図 - 10, 11 で実施しており、海洋プレート型地震と比較すれば、両解析によるせん断ひずみ波形の位相特性に多少大きな相違は認められる。

以上のように、粘性土地盤中の地下構造物の耐震設計等へ等価線形解析を適用するに当たっては、せん断ひずみ振幅について慎重な検討を要するものの、砂地盤のケースと比較すれば、等価線形解析の適用性は比較的高いと判断される。

参考文献

- 熊崎, 上田: 瞬間変形係数のひずみ依存性を考慮した履歴モデルの定式化, 第 54 回土木学会年次学術講演会, 1999.9.
- 上田, 他: 10 地点のアレー観測記録の再現解析に基づく SHAKE の適用限界に関する検討, 第 37 回地盤工学研究発表会, 2002.7.

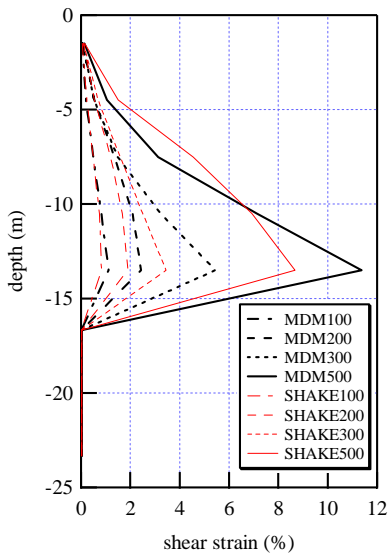


図 - 4 ひずみ分布 (タイプ)

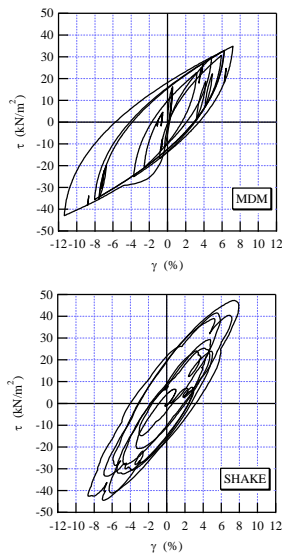


図 - 5 τ-γ履歴 (タイプ)

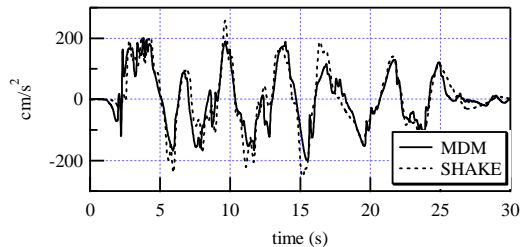


図 - 6 沖積粘土層の加速度時刻歴波形

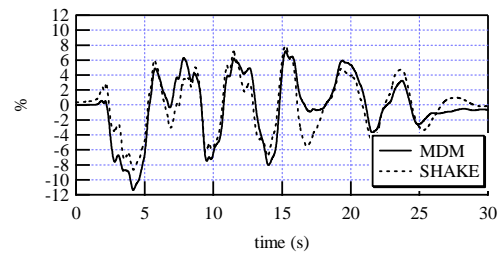


図 - 7 沖積粘性土層のひずみ時刻歴波形

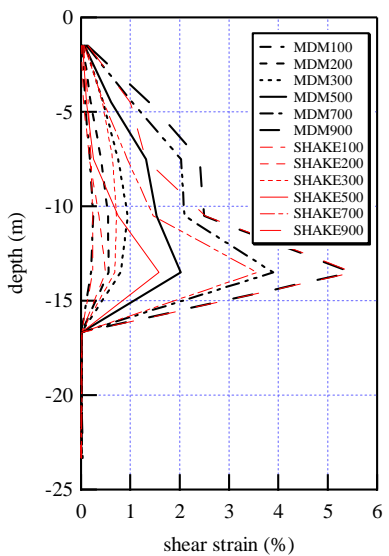


図 - 8 ひずみ分布 (タイプ)

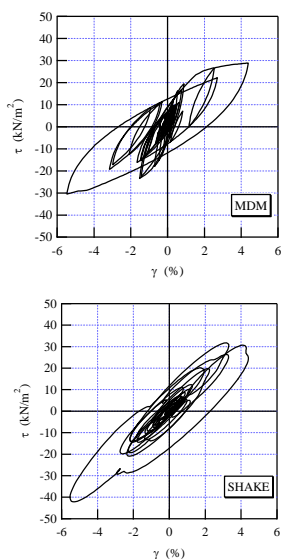


図 - 9 τ-γ履歴 (タイプ)

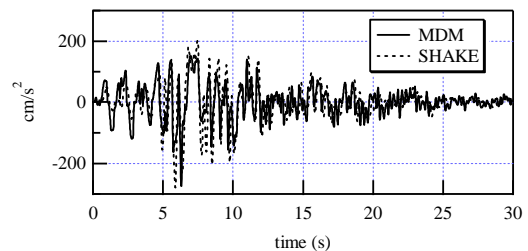


図 - 10 沖積粘土層の加速度時刻歴波形

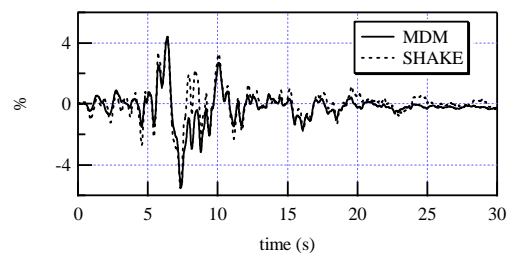


図 - 11 沖積粘性土層のひずみ時刻歴波形