

# 等価線形化解析による粘性土地盤の地震応答解析の適用性に関する耐震設計の観点からの考察

鈴木猛康<sup>1</sup>

<sup>1</sup>工博 技術士 中央復建コンサルタンツ(株) 地下構造系グループ

等価線形解析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。軟質ならびに硬質粘性土地盤を対象として地震応答解析を実施し、地盤のせん断ひずみ、加速度に着目し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、レベル2地震動を対象とした場合でも、粘性土地盤中の地下構造物の耐震設計実務の観点からは、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。

**Key Words :** *equivalent linear method, earthquake response analyses, clayey soil deposit, seismic design, MDM model*

## 1. はじめに

地盤の動的試験や地震観測の結果を高い精度で再現できるせん断応力～ひずみ履歴の構成則（MDMモデル）が開発され、この構成則を用いることによって、砂地盤を対象として1%以上のせん断ひずみ領域まで、地盤の非線形地震応答を精度良く再現できることが報告されている<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。しかし、耐震設計の観点から、設計対象とする構造物の応答まで含め、等価線形解析の適用性を検討した例は見られない。また、検討対象は主に砂地盤であり、粘性土地盤についての検討は極めて少ない<sup>3),4)</sup>。さらに、上記の検討は実地震波を用いて行われており、設計入力地震動を検討対象としたものは報告されてされていない。

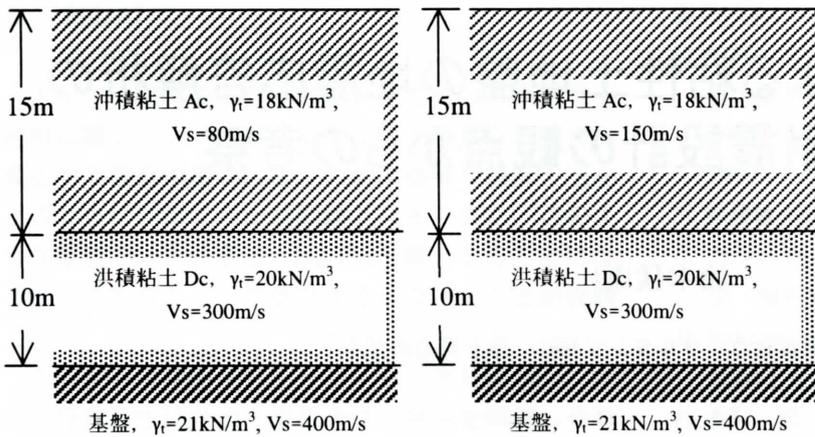
一方、地下構造物でもレベル2地震動に対する耐震設計が実務レベルで実施されるようになっており、軟弱粘性土地盤中の大規模地下構造物の耐震設計が必要とされている。等価線形解析は耐震設計における地盤の地震時応答を算定するための設計ツールであり、多くの場合設計入力地震動の大きさを問わず、実務設計で使用されているのが実情である。しかし、レベル2地震動下の軟弱地盤ではせん断ひずみが1%を超える解析結果となり、解析結果の是非を誤ると非経済的な設計となったり、構造物に要求される耐震性能の確保が難しくなる。

そこで、SHAKEならびにMDMモデルを用いて、レベル2設計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、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。

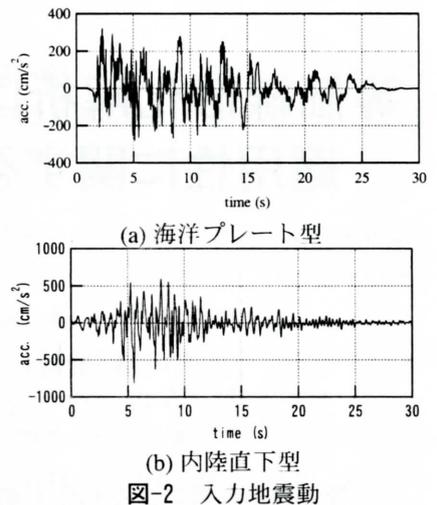
## 2. 解析条件

検討の対象としたのは図-1に示す2種類の2層系粘性土地盤である。上層を構成する沖積粘土のS波速度は地盤タイプ1（軟質地盤）で80m/s、地盤タイプ2（硬質地盤）で150m/sであり、両地盤タイプともにその下にS波速度300m/sの洪積粘土層を想定している。沖積粘土は東京低地に一般的に分布する軟弱な粘性土をイメージしている。

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<sup>5)</sup>の中から、図-2に示すそれぞれタイプI、II地震のI種地盤用No.1波形（I-I-1ならびにII-I-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。



(a) 地盤タイプ1 (b) 地盤タイプ2  
図-1 地盤タイプ



(a) 海洋プレート型 (b) 内陸直下型  
図-2 入力地震動

表-1 解析ケース

項目	内容	ケース数
解析モデル	MDMモデル, SHAKE	2
地盤タイプ	軟弱地盤, 硬質地盤	2
入力地震動	海洋プレート型4, 内陸直下型6	10

解析に用いた沖積粘土, 洪積粘土のひずみ依存曲線を図-3に示す. これらの曲線は, 5%程度のせん断ひずみ領域まで行われた繰返し中空ねじりせん断試験で得られたいくつかのデータについて平均化を行って求めた沖積粘土ならびに洪積粘土の平均的な曲線である. 砂質土については, 液状化の発生により実験可能なせん断ひずみ領域はせいぜい1~2%であるが, 粘性土の場合には実験の精度上の問題はあるが5%程度まで実験データを得ることができ, したがって, これらのひずみ依存曲線を忠実に再現できるモデルを用いた非線形時刻歴応答解析が実現象を近似すると考えた.

表-1に解析ケースをまとめた. 前述の通り, 解析モデルはMDMモデルによる逐次非線形時刻歴解析とSHAKEによる等価線形解析の2種類, 地盤タイプは前述の2種類, 入力地震動は海洋プレート型, 内陸直下型で最大加速度を変化させた10種類であるので, 解析ケース数は $2 \times 2 \times 10 = 40$ ケースである. なお, SHAKEによる等価線形解析では, 有効ひずみ係数を全解析ケース0.65で統一した.

### 3. 解析結果

#### (a) 地盤タイプ1, 海洋プレート型地震

地盤タイプ1, 海洋プレート型地震を入力地震動とした解析ケースについて, 地盤のせん断ひずみ最大値の鉛直分布について, 等価線形解析と非線形時刻歴応答解析を比較して図-4にまとめた. 図中凡例のMDM100はMDMモデルを用いた非線形時刻歴応答解析で入力地震動の最大加速度を $100\text{cm/s}^2$ としたケースを, SHAKE100はSHAKEを用いた等価線形解析で入力地震動の最大加速度を $100\text{cm/s}^2$ とした

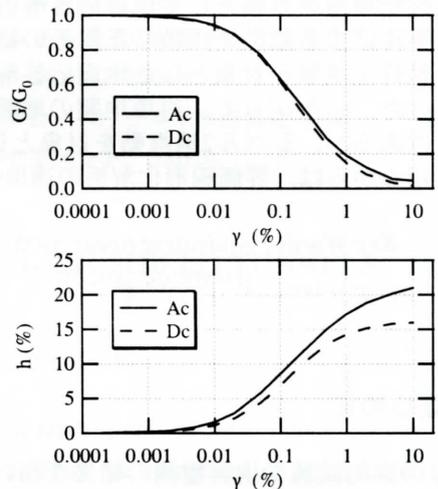


図-3 沖積粘土(Ac)と洪積粘土(Dc)のひずみ依存曲線

ケースを表している. 入力加速度レベルによらず, 等価線形解析は総じて非線形時刻歴応答解析よりも小さなひずみを算定しており, 両者の差は入力レベルが大きいくほど大きくなる傾向が認められる.

図-5は沖積粘性土の最大ひずみ発生時刻における地盤加速度の鉛直分布について, 等価線形解析と非線形時刻歴応答解析を比較したものである. この比較は, 地下構造物の横断面の耐震検討において, 地盤応答震度法を適用することを想定し, 地盤応答震度の算定に用いる加速度分布が両解析結果でどの程度異なるか, その結果として発生する地盤変位がどの程度異なるかを検討する目的で行ったものである. 図のように, 地盤加速度分布はひずみ分布の比較に対して両解析でかなり異なっていることがわかる.

図-6は海洋プレート型地震で入力地震動の最大加速度を $500\text{cm/s}^2$ としたケースにおいて, 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. 図のように, 波形のピークにおいて, 非線形時刻歴応答解析ではピークがなだらかとなっているが, 位相特性については両解析でよく一致していることがわかる. 図-7は, 同様の解析ケースの沖積粘性土最深处におけるせん断ひずみ波形について, 等価線

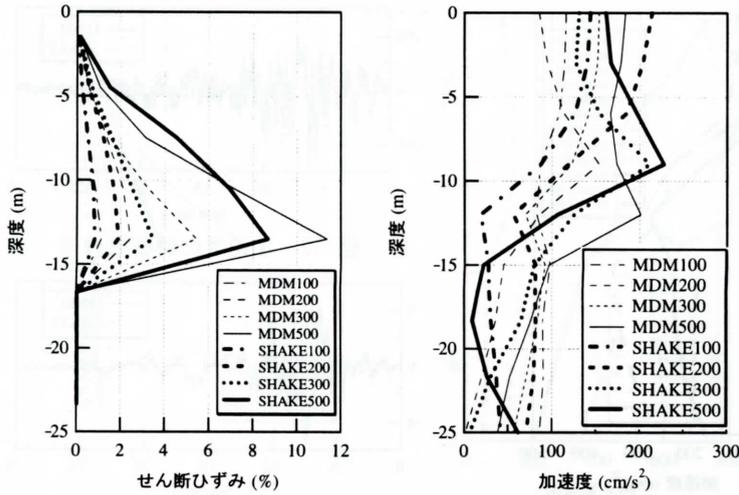


図-4 最大せん断ひずみ分布  
(地盤タイプ1, 地震動-海洋プレート型)

図-5 最大加速度分布  
(地盤タイプ1, 地震動-海洋プレート型)

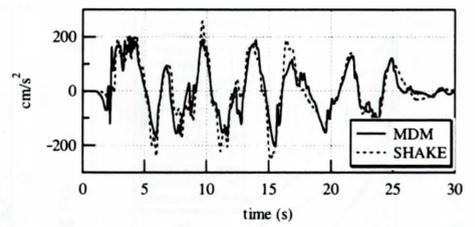


図-6 加速度の時刻歴波形

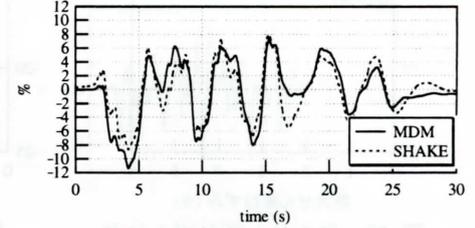


図-7 せん断ひずみの時刻歴波形

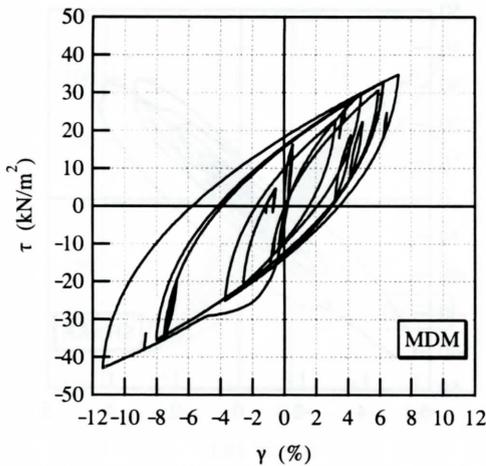


図-8 MDMモデルによる $\tau \sim \gamma$ 履歴 (地盤タイプ1)

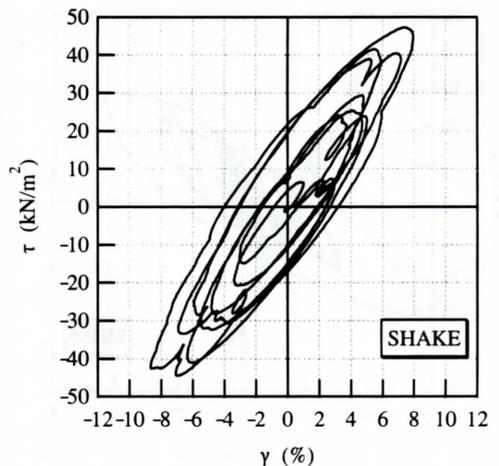


図-9 SHAKEによる $\tau \sim \gamma$ 履歴 (地盤タイプ1)

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。図のように、波形のピークにおいて、非線形時刻歴応答解析のひずみ値が多少大きい傾向は見られるが、せん断ひずみに関する両解析結果は、位相特性も振幅もよく一致している。

図-8と図-9は最大加速度 $500\text{cm/s}^2$ のケースについて、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。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はせん断剛性が高くなっており、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一般に比較的良好一致している。これらの履歴の比較より、等価線形解析では最大せん断ひずみは小さく、最大せん断応力は大きい解析結果を与えるが、これらの非線形時刻歴応答解析との差は比較的小さく、地下構造物の耐震設計においては、これらは外力として相殺される関係にあり、解析精度上の問題とはならない。

(b) 地盤タイプ1, 内陸直下型地震

図-10, 図-11は地盤タイプ1, 内陸直下型地震を入力地震動とした解析ケースについて、それぞれ地盤のせん断ひずみ最大値の鉛直分布, 沖積粘性土の最大ひずみ発生時刻における地盤加速度の鉛直分布について、地盤タイプ1, 海洋プレート型地震の解析ケースと同様に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。図のように、せん断ひずみ分布では最大加速度 $500\text{cm/s}^2$ のケースでは両解析結果に有意な差が認められるが、それ以外の加速度レベルでは、最大加速度 $900\text{cm/s}^2$ のケースでも、両解析結果はよく一致している。加速度分布についても、海洋プレート型地震のケースよりは両解析結果の差は比較的小さいことがわかる。

図-12は内陸直下型地震で入力地震動の最大加速度を $900\text{cm/s}^2$ としたケースにおいて、沖積粘性土層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-13は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。加速度の時刻歴波形では最大値発生時刻にずれが生じているものの、

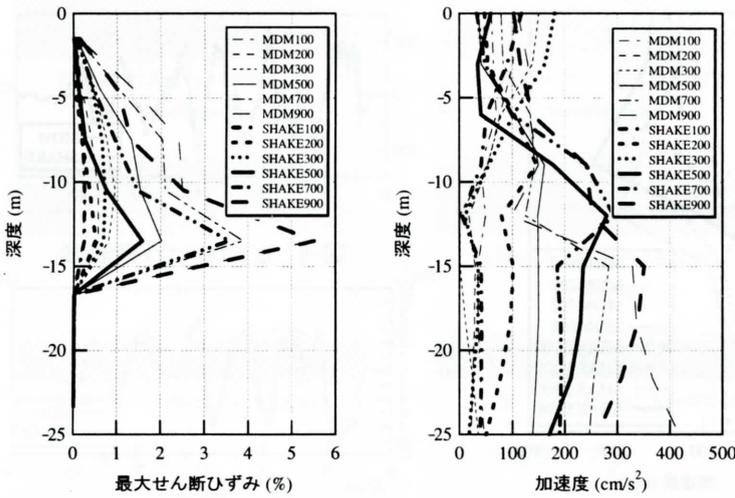


図-10 最大せん断ひずみ分布  
図-11 最大加速度分布  
(地盤タイプ1, 地震動-内陸直下型)

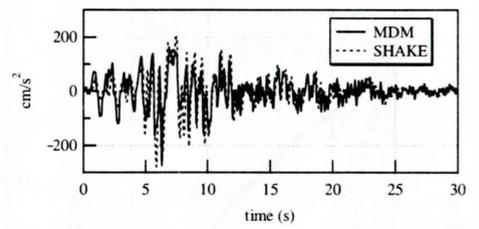


図-12 加速度の時刻歴波形

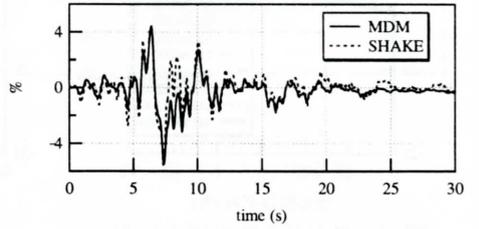


図-13 せん断ひずみの時刻歴波形

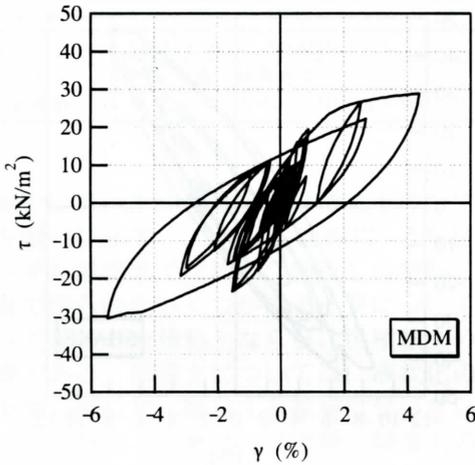


図-14 MDMモデルによるτ~γ履歴(地盤タイプ1)

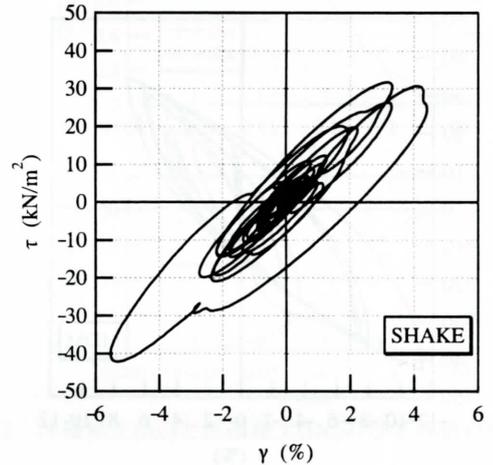


図-15 SHAKEによるτ~γ履歴(地盤タイプ1)

ひずみの時刻歴波形では主要動部で両解析結果はほぼ一致しており、内陸型直下地震でも等価線形解析は非線形時刻歴応答解析を十分近似できることがわかる。せん断ひずみの時刻歴波形では、主要動部で両解析結果の位相に多少相違が見られるが、最大ひずみの発生するピークに関しては、両解析結果でほぼ一致していることがわかる。

図-14と図-15は、最大加速度 $900\text{cm/s}^2$ のケースについて、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~せん断ひずみの履歴を比較したものである。2%以上のひずみレベルでは、非線形時刻歴応答解析に対して等価線形解析では明らかにせん断剛性が高くなっているが、主要動部では履歴にさほど大きな相違は見られないし、また最大ひずみ値もほぼ一致している。

以上のように、軟質粘性土地盤では、海洋プレート型地震、内陸直下型地震によらず、等価線形解析は非線形時刻歴応答解析の良い近似を与えることが

示された。

(c) 地盤タイプ2, 海洋プレート型地震

地盤タイプ2, 海洋プレート型地震を入力地震動とした解析ケースについて、地盤のせん断ひずみ最大値の鉛直分布について、等価線形解析と非線形時刻歴応答解析を比較して図-16にまとめた。最大加速度 $500\text{cm/s}^2$ のケースでは、等価線形解析の最大せん断ひずみが非線形時刻歴応答解析の50%と小さいが、その他の入力加速度レベルでは、両解析結果はほぼ一致している。図-17は沖積粘性土の最大ひずみ発生時刻における地盤加速度の鉛直分布について、等価線形解析と非線形時刻歴応答解析を比較したものであるが、前述の(a)地盤タイプ1のケースとは異なり、両解析結果は加速度分布でもよく一致していることがわかる。したがって、等価線形解析で得られた加速度の鉛直分布に基づいて静的外力を算定する地盤応答震度法の適用性は高いと言える。

図-18は海洋プレート型地震で入力地震動の最大

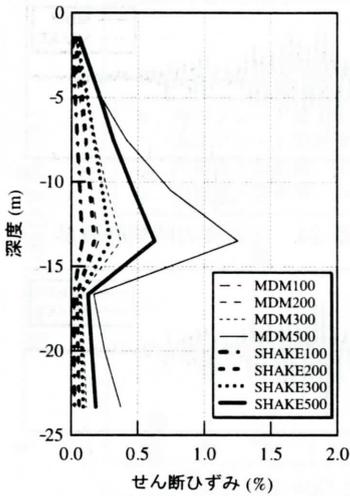


図-16 せん断ひずみ  
(地盤タイプ2, 地震動-海洋プレート型)

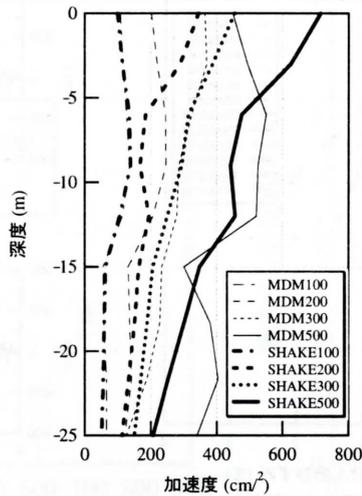


図-17 加速度分布

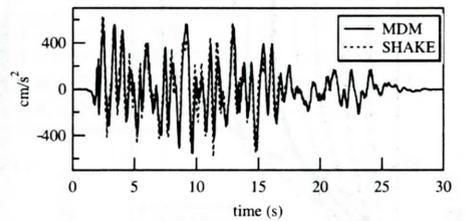


図-18 加速度の時刻歴波形

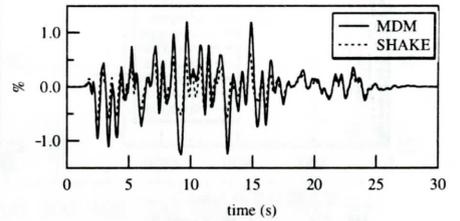


図-19 せん断ひずみの時刻歴波形

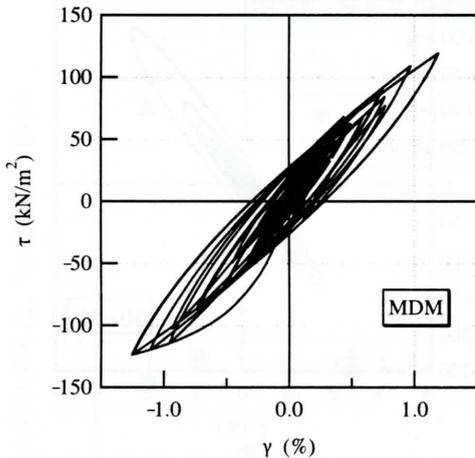


図-20 MDMモデルによるτ~γ履歴(地盤タイプ2)

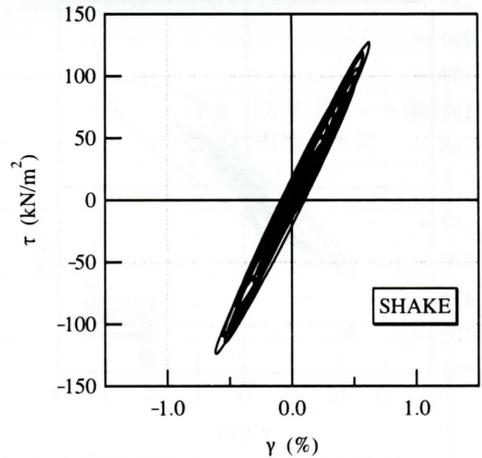


図-21 SHAKEによるτ~γ履歴(地盤タイプ2)

加速度を  $500\text{cm/s}^2$  としたケースにおいて、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。図のように、波形の各ピークにおける振幅の大小関係が両解析でまちまちであるが、位相特性はよく一致している。図-19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。両解析結果の位相特性はほぼ一致しているが、図-16で示したように、本解析ケースでは、等価線形解析のひずみ振幅は全解析時間を通して非線形時刻歴応答解析の50%程度となっている。

図-20と図-21は最大加速度  $500\text{cm/s}^2$  のケースについて、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、 $\tau$ ~せん断ひずみ、 $\gamma$ の履歴を比較したものである。図より明らかなように、等価線形解析では非線形時刻歴応答解析に対してせん断剛性が高く、ひずみ振幅が小さい。最大せん断応力は両解析結果でほぼ等しいが、せん断ひずみ振幅は等価線形解析が小さいので、等価線形解析は危険側の評価

を与えることとなる。したがって、このような地盤、入力地震動の条件下で、地下構造物の耐震設計に等価線形解析を適用するのは好ましくない。

(d) 地盤タイプ2, 内陸直下型地震

図-22, 図-23は地盤タイプ2, 内陸直下型地震を入力地震動とした解析ケースについて、それぞれ地盤のせん断ひずみ最大値の鉛直分布, 沖積粘性土の最大ひずみ発生時刻における地盤加速度の鉛直分布について、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。図のように、最大加速度  $900\text{cm/s}^2$  のケースでは、せん断ひずみ分布に両解析結果で有意な差が認められるが、それ以外の加速度レベルでは、両解析結果はよく一致している。一方、加速度分布については、分布形状は両解析結果で異なるケースはないが、入力地震動の最大加速度  $500\text{cm/s}^2$ ,  $700\text{cm/s}^2$  のケースで、等価線形解析の加速度が地表面近くでは非線形時刻歴応答解析の結果よりも大きくなっている。

図-24は内陸直下型地震で入力地震動の最大加速度を  $900\text{cm/s}^2$  としたケースにおいて、沖積粘性土層中央部における加速度波形について、等価線形解析

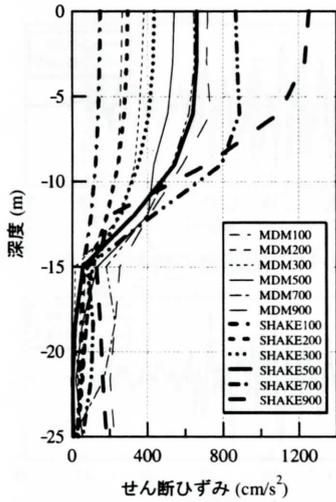


図-22 せん断ひずみ

(地盤タイプ2, 地震動-内陸直下型)

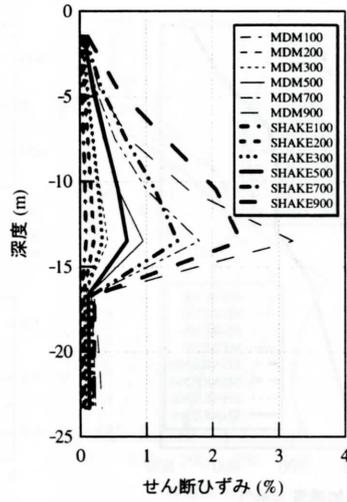


図-23 加速度分布

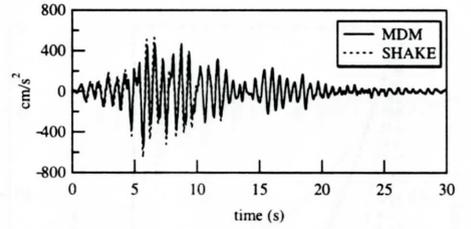


図-24 加速度の時刻歴波形

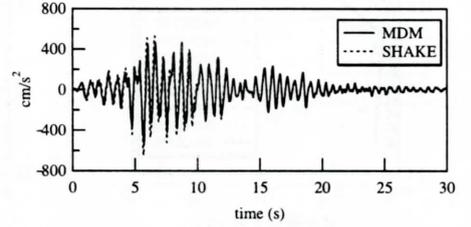


図-25 ひずみの時刻歴波形

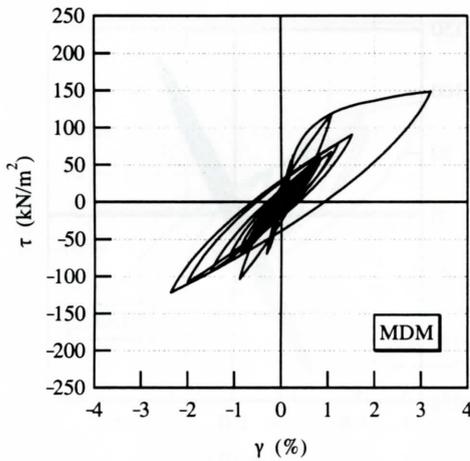


図-26 MDMモデルによるτ~γ履歴(地盤タイプ2)

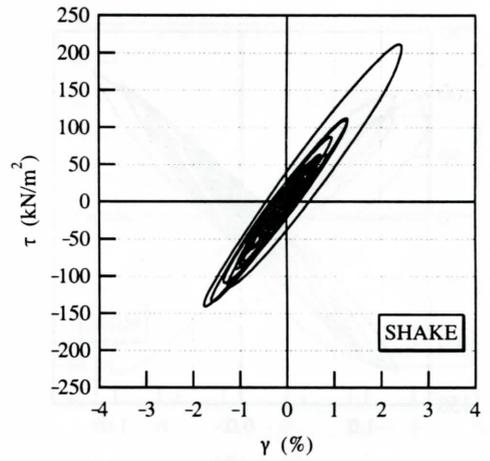


図-27 SHAKEによるτ~γ履歴(地盤タイプ2)

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-25は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、せん断ひずみの時刻歴波形ともに、位相、振幅ともに等価線形解析は非線形時刻歴応答解析を十分な精度で近似できていることがわかる。

図-26と図-27は、最大加速度900cm/s<sup>2</sup>のケースについて、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~せん断ひずみの履歴を比較したものである。両図で大きく異なるのは、最大ひずみの発生する1サイクルの履歴のみであり、その他は全体的に等価線形解析の傾きが少し大きい程度の相違である。

以上のように、硬質粘性土地盤では、入力地震動レベルが大きいケースで、等価線形解析では非線形時刻歴応答解析よりもせん断剛性を過大に算定してしまい、その結果、せん断ひずみを過小評価する可能性があるものの、海洋プレート型地震、内陸直下型地震によらず、等価線形解析は非線形地震応答解析を比較的良い精度で近似できることが示された。

#### 4. 等価線形解析の適用性

以上のように、軟質、硬質粘性土地盤のレベル2地震動に対する等価線形解析の適用性は高いと思われるが、レベル2地震動の耐震設計に対する等価線形解析の適用性について、もう少し考察を加えることとした。

図-28は横軸に入力地震動の最大加速度振幅を、縦軸に沖積粘性土最深部における発生最大ひずみ値をプロットしたものである。硬質粘性土地盤(地盤タイプ2)では、入力地震動の最大加速度が300cm/s<sup>2</sup>までは両解析結果はほぼ一致するが、最大加速度が500 cm/s<sup>2</sup>となると海洋プレート型、内陸直下型を問わず、等価線形解析のせん断ひずみの算定値は非線形時刻歴応答解析の算定値より小さく、またその差は加速度レベルの上昇とともに大きくなる傾向にある。一方、軟質粘性土地盤(地盤タイプ1)では、海洋プレート型地震のケースでは入力地震動の最大加速度300cm/s<sup>2</sup>までは両解析結果はほぼ一致し、最大加速度500 cm/s<sup>2</sup>で等価線形解析のせん断ひずみの算定値が非線形時刻歴応答解析の算定値より小さくなる傾向は、硬質粘性土地盤のケースと同様である。

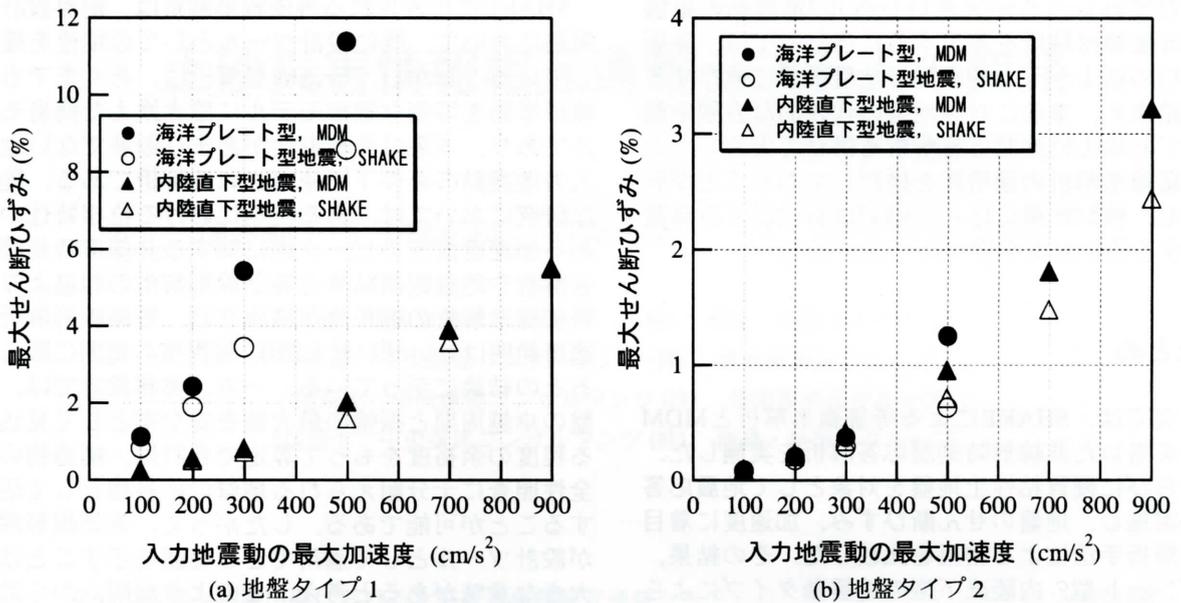


図-28 最大せん断ひずみに関するMDMとSHAKEの解析結果の比較

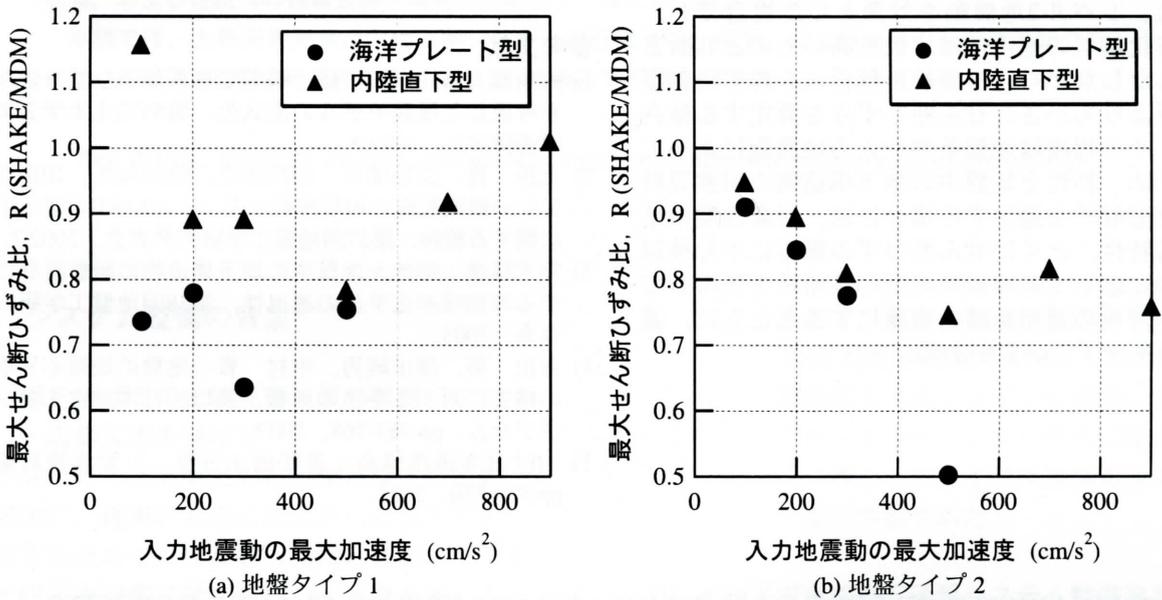


図-29 MDMとSHAKEによる最大せん断ひずみ比, R

が、内陸直下型地震のケースでは、入力地震動のレベルによらず、最大加速度 $900\text{cm/s}^2$ まで両解析結果はほぼ一致している。

図-28の同じ地盤タイプ、地震動タイプの最大せん断ひずみに関する非線形時刻歴応答解析(MDM)に対する等価線形解析(SHAKE)の比、 $R(\text{SHAKE}/\text{MDM})$ を求め、図-29にプロットした。地盤タイプ2のケースでは、最大せん断ひずみ値は、入力地震動の最大加速度 $300\text{cm/s}^2$ までは入力加速度レベルの上昇とともに比が減少する傾向が明らかであり、海洋プレート型地震の場合は最大加速度 $500\text{cm/s}^2$ で比は0.5まで低減している。一方、内陸直下型地震の場合は $500\text{cm/s}^2$ 以上ではほぼ0.8前後の一定値に収束している。一方、地盤タイプ1では、最大せん断ひずみに入力地震動の加速度レベルに依存

した明瞭な関係は見られない。最大せん断ひずみ比、 $R(\text{SHAKE}/\text{MDM})$ は、軟質粘性土地盤、内陸直下型地震のケースでは、1.0を超えるケースも見られるが、平均値は0.8程度であり、総じてSHAKEの結果はMDMモデルよりも小さいことがわかる。

以上のように、粘性土地盤を対象とした等価線形解析は、加速度、ひずみの分布、位相特性に関して、非線形時刻歴応答解析と比較して結果は総じてよく一致しており、砂地盤のように0.1%程度のせん断ひずみレベルまでに限定されず、1%を超えるレベルまで適用は可能なレベルにあると思われる。しかしながら、等価線形解析では発生最大ひずみが非線形時刻歴応答解析結果の8割程度であり、また入力地震動の位相特性によって、両解析結果のせん断ひずみ比の傾向に明らかな相違が認められる。また、

とくにひずみレベルが大きいレベル2地震動の耐震設計に等価線形解析を適用するに当たっては、等価線形解析の結果が入力地震動や地盤条件に依存することを踏まえ、事前に対象地盤の代表的な表層地盤について非線形時刻歴応答解析も併せて実施しておく、等価線形解析の適用性を検討しておくことが肝要であり、検討結果に応じて適切な有効ひずみ係数を設定する等の対策を講ずる必要がある。

## 5. まとめ

本論文では、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。軟質ならびに硬質粘性土地盤を対象として地震応答解析を実施し、地盤のせん断ひずみ、加速度に着目し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、等価線形解析は非線形時刻歴応答解析の比較的良い近似を与え、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。しかしながら、等価線形解析は非線形時刻歴応答解析よりも小さなせん断ひずみを算定する傾向があり、その程度は地盤条件や入力地震動によって異なるため、粘性土地盤中の地下構造物の耐震設計に等価線形解析を適用する場合には、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検討し、必要に応じて非線形時刻歴応答解析を併用して等価線形解析の適用範囲を明確にするとともに、適切な対策を講ずる必要がある。

SHAKEに代表される等価線形解析は、耐震設計の実務において、既に設計ツールとしての地位を確立している。しかし、等価線形解析は、あくまでも非線形挙動を等価な線形モデルに置き換えた簡易モデルであり、本来は非線形性があまり顕著でない地盤、入力地震動の条件下で使用される解析である。純粋な研究においては、ある時刻における位相特性や、ある加速度波形のピーク値に関する非線形時刻歴応答解析や地震観測結果と等価線形解析の相違より、等価線形解析の適用性が議論され、等価線形解析の適用範囲はせいぜいせん断0.1%程度の範囲に限られるとの結論に至っている。一方、実務設計では、地盤の卓越周期と振幅の最大値を安全率として見込める程度の余裕度をもって算定できれば、構造物の安全性照査に十分耐えられる地盤の応答値として活用することが可能である。したがって、等価線形解析が設計ツールとして適用できる範囲を示すことは、大きな意味があると考え、このような観点から敢えて検討を行った。本検討結果が、実務設計において役立てば幸いである。

## 参考文献

- 1) 熊崎幾太郎, 上田 稔: 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.
- 2) 上田 稔, 虎谷健司, 山崎浩之, 恒川和久: 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.
- 3) 鈴木猛康: 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, 第38回地盤工学研究発表会, 2003.
- 4) 吉田 望, 澤田純男, 中村 晋: 地盤の地震応答解析の精度に対する手法の影響, 第11回日本地震工学シンポジウム, pp.767-768, 2002.
- 5) (社)日本道路協会: 道路橋示方書 V耐震設計編, pp.304-310, 2002.

## APPLICABILITY OF EQUIVALENT LINEAR ANALYSIS TO CLAYEY DEPOSITS FROM A POINT OF VIEW OF SEISMIC DESIGN

Takeyasu SUZUKI

For the purpose to examine the applicability of equivalent linear analyses to clayey deposits, equivalent linear analyses using SHAKE and non-linear earthquake response analyses using MDM model are carried out in this paper. Two types of clayey ground, soft and stiff clayey deposits, are selected for the examination. Results of the two different analyses are compared regarding acceleration and shear strain responses. As a result, it reveals that equivalent linear analysis gives comparatively good approximation of non-linear earthquake response analyses for clayey ground, although an examination should be made carefully whether equivalent linear analysis gives shear strain which is lower than actual soil response or not.

キーワード: 等価線形手法, 地震応答解析, 粘性土地盤, 耐震設計, MDMモデル