

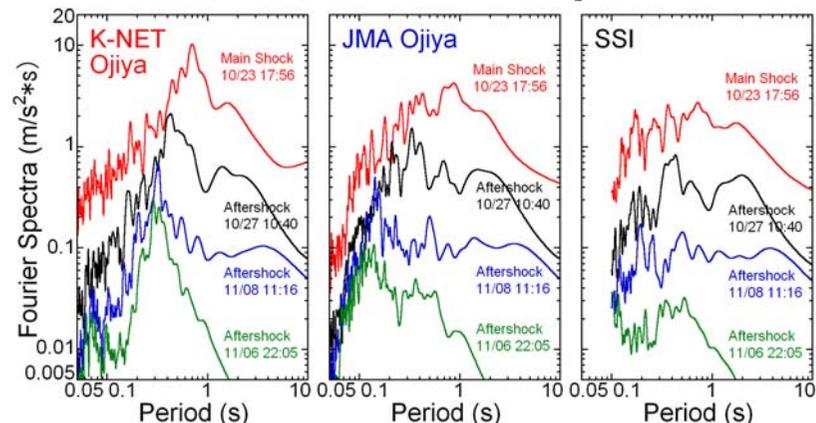
# 都市防災工学

## 第4回 地盤の地震応答解析 等価線形化法プログラムSHAKE

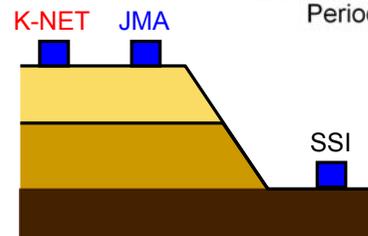
1

地盤の非線形性(強震記録)

$$T = \frac{4H}{V_s} : 4分の1波長則$$



(Tokimatsu, K. and T. Sekiguchi, S&F, 2006)

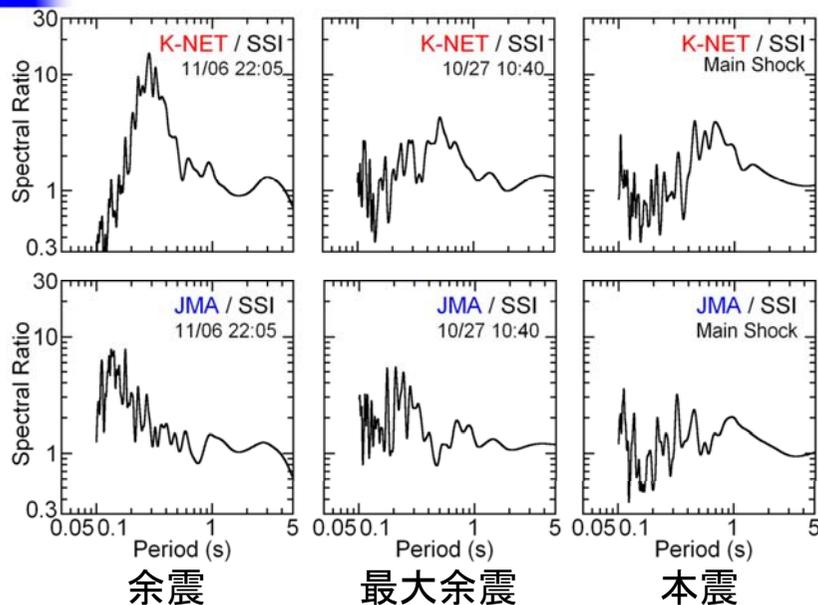


地震動レベルが大きくなるに従い  
卓越周期が延びる

⇒ 表層地盤の剛性が非線形化により低下するため

2

## 加速度記録のフーリエスペクトル比



余震                      最大余震                      本震

振幅小 ←→ 振幅大

3

## 原位置試料の室内動的変形試験



砂質シルト

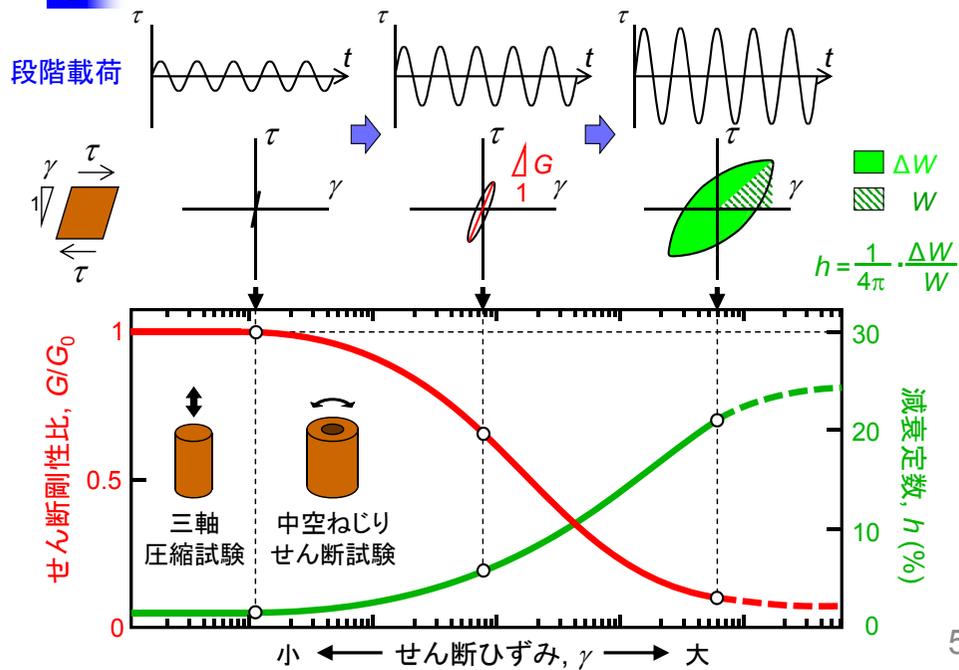


腐植土

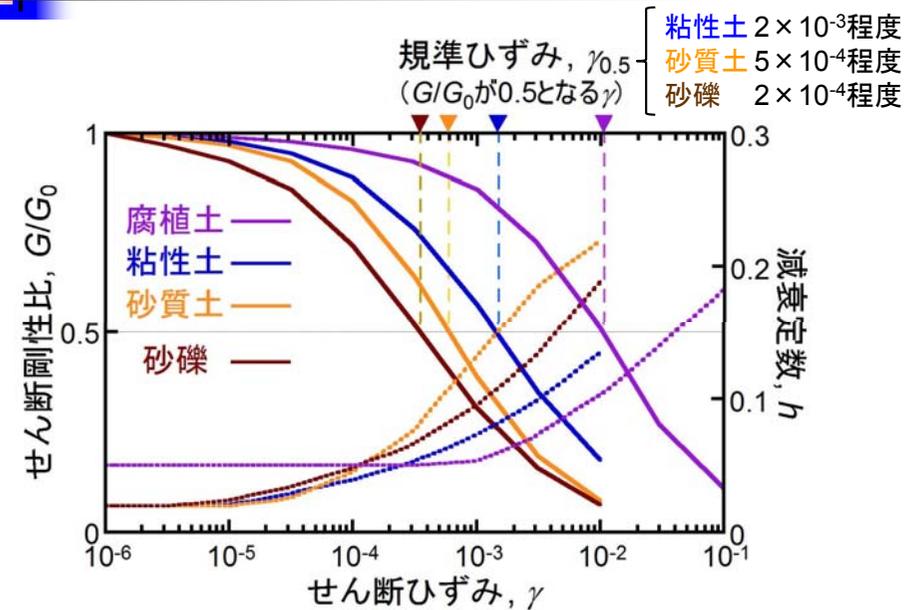


4

## 地盤の非線形性(室内試験)



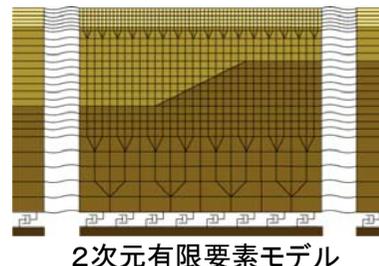
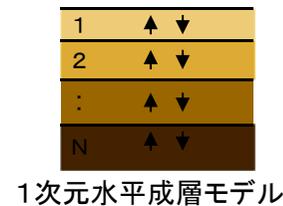
## 土質分類ごとの動的変形特性



初期剛性の低い土質ほど剛性低下しづらい

## 地盤の地震応答解析手法の分類

- 解析領域 1・2・3次元
- 計算モデル 連続体モデル  
ばね-質点系モデル  
有限要素モデル
- 飽和地盤の取扱 全応力・有効応力
- 非線形性 線形(弾性)解析  
等価線形解析  
非線形解析
- 計算領域 周波数応答解析  
時刻歴応答解析  
(逐次積分法)



7

## SHAKEの前提条件

### 重複反射理論(連続体の線形理論)

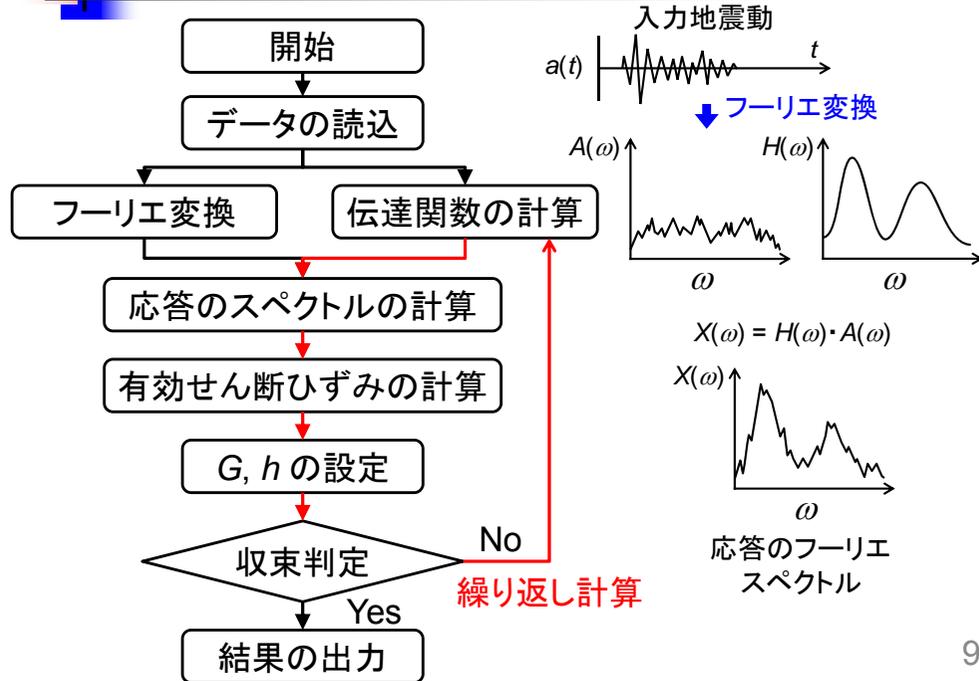
- 地盤構造は水平方向に無限に均質である。(1次元水平成層地盤)
- 地盤の応答は、鉛直下方から上方へ伝播するせん断波(S波)によって起こるものとする。
- 各層は、せん断剛性、減衰定数、密度、層厚によって定義される。

### 地盤の非線形性(等価線形化法)

- 地盤の剛性と減衰は震動の時間を通して変化しないと仮定する。

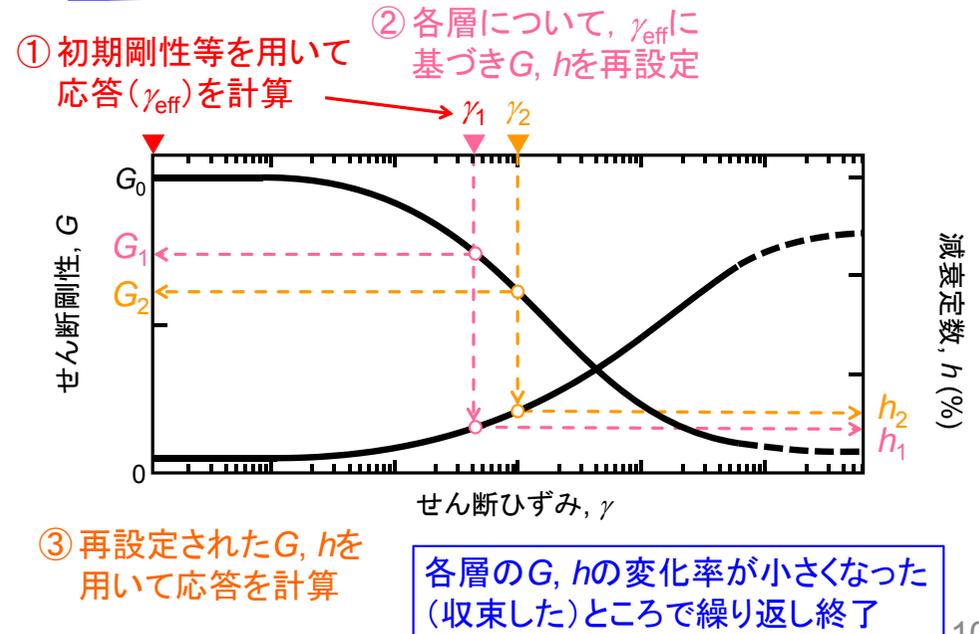
8

## SHAKEプログラムの流れ



9

## 地盤の非線形性を考慮するための繰り返し計算



10

## 有効せん断ひずみ

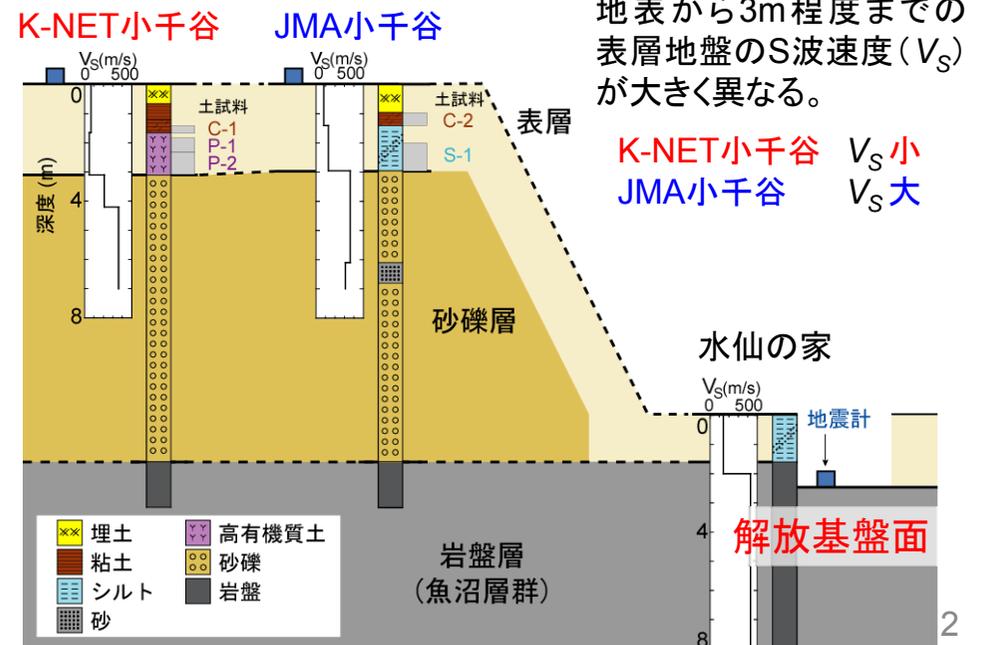
繰り返し計算の際に、各層のせん断ひずみのスペクトルを計算し、フーリエ逆変換によりせん断ひずみの時刻歴を計算し、その最大値を求める( $\gamma_{max}$ )。次式により有効せん断ひずみ( $\gamma_{eff}$ )を求める。

$$\gamma_{eff} = \alpha \cdot \gamma_{max}$$

ここで、 $\alpha$  は有効せん断ひずみ換算係数であり、一般的には0.65とされている。

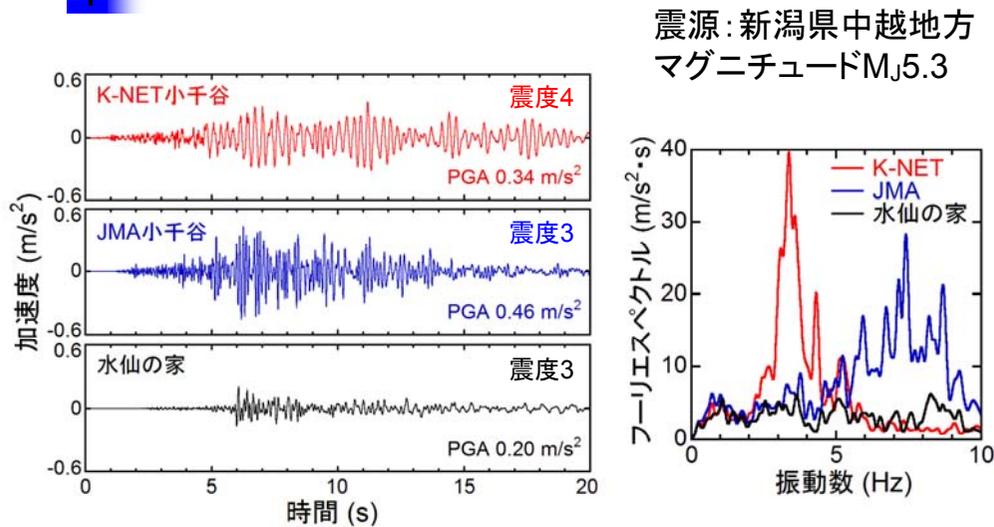
11

## 強震観測点の地盤構造



12

## 各強震観測点の余震記録

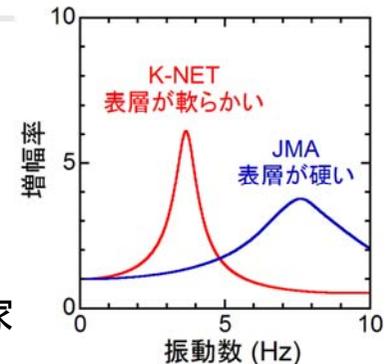
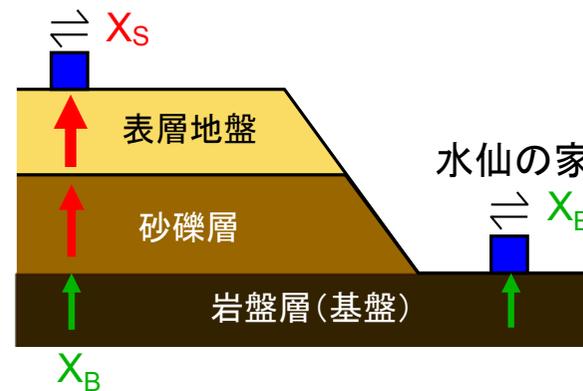


振幅が比較的小さいので地盤の非線形性の影響が小さい→地盤を線形弾性体と仮定

13

## 表層地盤の地震応答解析

K-NET小千谷  
JMA小千谷

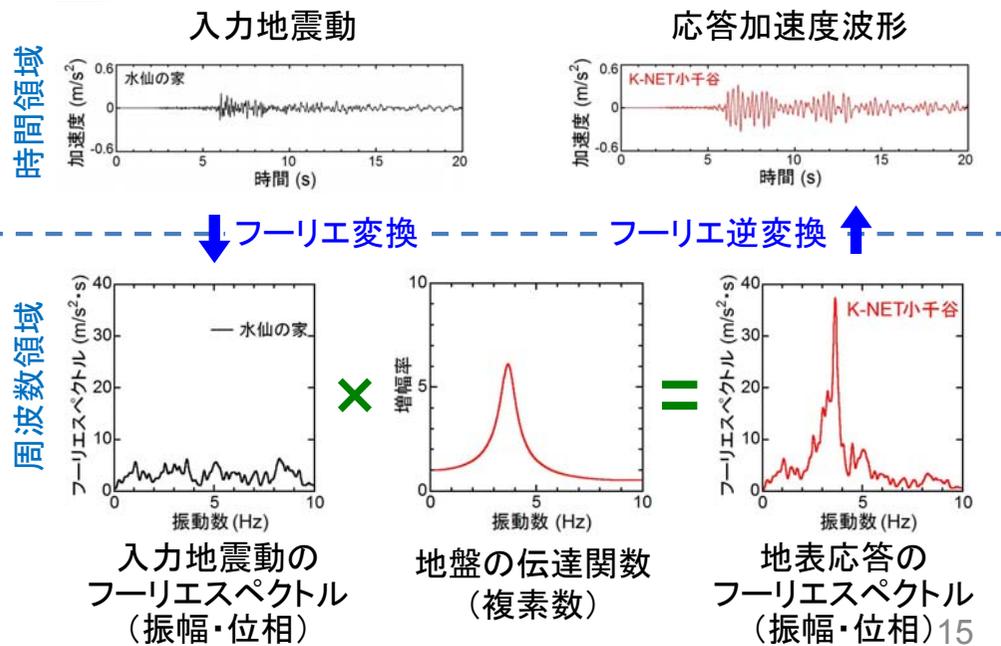


地盤の理論  
伝達関数

基盤露頭波 $X_B$ を砂礫層の下部に入力し、周波数応答解析を行い地表での地震動 $X_S$ を求める。

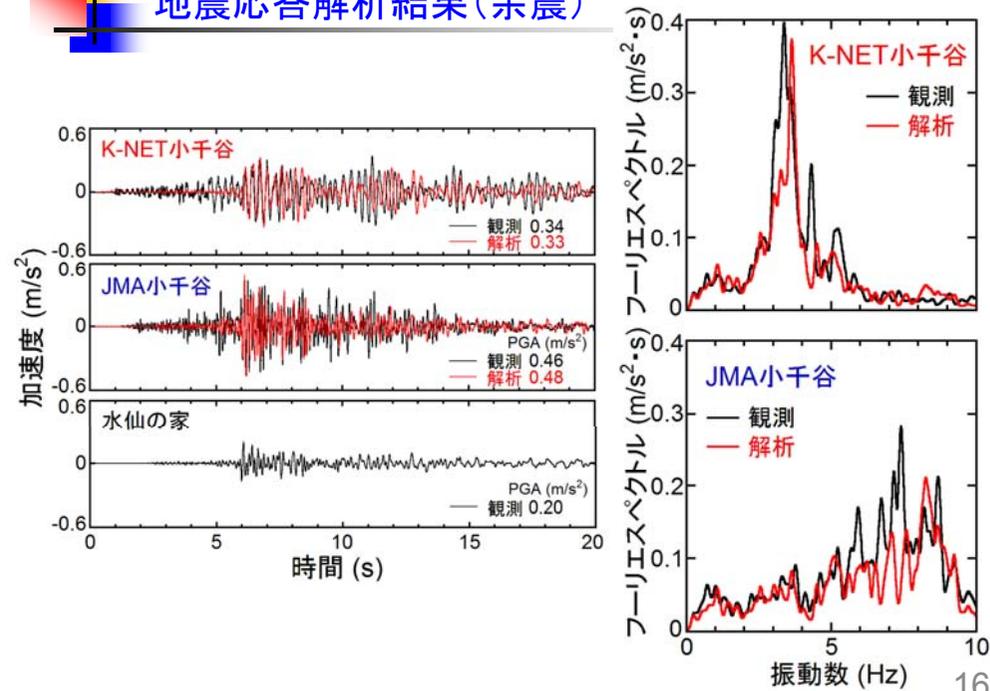
14

## 地盤の周波数応答解析



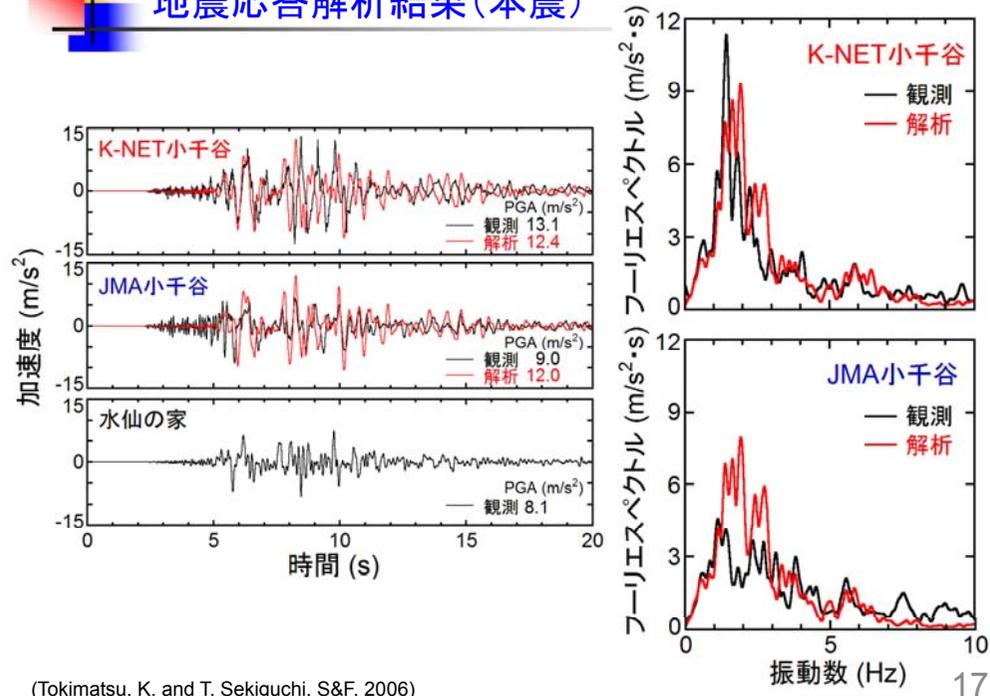
15

## 地震応答解析結果(余震)



16

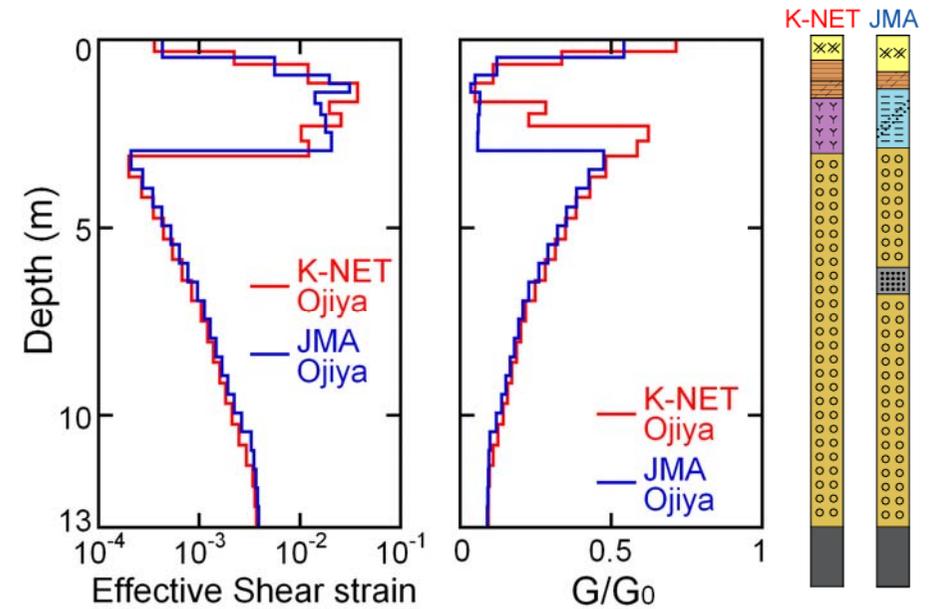
## 地震応答解析結果(本震)



(Tokimatsu, K. and T. Sekiguchi, S&F, 2006)

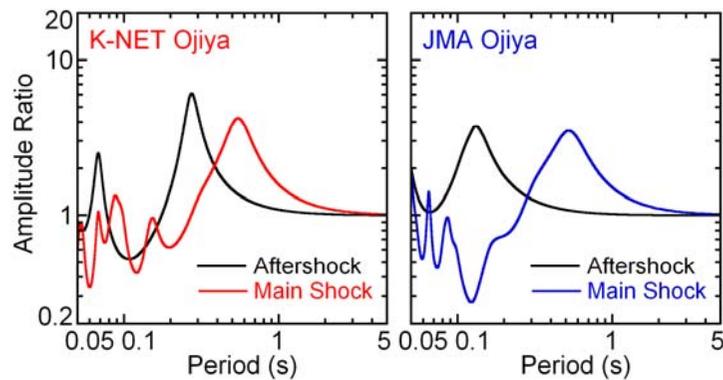
17

## 有効せん断ひずみとせん断剛性比の深度分布



18

## 本震と余震での伝達関数の比較



19

## SHAKEの長所と短所

### 長所

- パラメータが比較的少ない。  
(各層の密度, S波速度, 層厚, 土の動的変形特性)
- 土の動的変形特性の室内試験結果をそのまま利用できる。
- 地表入力や逆増幅の計算ができる。

### 短所

- 周波数領域の解析なので, 液状化などの時々刻々の剛性の変化を再現できない。
- ある層にせん断ひずみが集中し, 計算が収束しない時がある。
- 一般にせん断ひずみが1%程度までとされている。

20