

## 1. はじめに

### 1.1. 背景

近年発生した地震では、地震動によって引き起こされる液状化の被害が多数報告されている。液状化による被害を防ぐことは急務であるが、対策等ために液状化地盤の地震応答を適切に評価し把握しておくことが必要である。しかしながら地盤の応答を知るためには地震応答解析を用いる必要があるのが現状である。特に液状化地盤の地震応答解析では非線形の有効応力解析を行うことが必要である。しかしながら、有効応力解析はパラメータの設定が難しくまた必要なパラメータが多いことから非常に繊細な解析方法である。さらにパラメータが多いため必要な試験が多くなり非常に労力がかかる。

ところで実務では一般的に等価線形解析が使用されている。しかしこの解析法を液状化地盤へ適用するには、せん断ひずみが大きくなると適用性が低下されることや有効応力の変化を考慮しない解析法であることから課題があるといえる。

### 1.2. 等価線形解析について

等価線形解析は SHAKE の登場を契機に実務で多用されてきた。この解析法は線形解析でありながら地盤の歪みに依存する非線形性（以下、動的変形特性）を考慮することにより、比較的簡易な方法でありながら目的によっては適切な解が得られる解析法である。初期の地盤モデル（層の構成、各層の層厚・密度・動的変形特性・せん断剛性・減衰定数）より、線形解析を行って得た有効ひずみよりせん断剛性・減衰定数を動的変形特性から参照し算出する。せん断剛性と任意の基準値以内に入るまで再度算出したせん断剛性等を入力として線形解析を繰り返す。ここで有効ひずみとは最大ひずみに有効ひずみ係数  $\alpha$  をかけることで求められる。一般的に有効ひずみ係数は 0.65 が用いられているがこの値の決め方には明確な基準はない。

### 1.3. 目的

液状化地盤の挙動を把握するためには非線形の有

効応力解析を行う必要があるが、非常に難しく労力のかかる解析法である。こうした点を踏まえて液状化地盤に対して等価線形解析を行いたいが、液状化地盤に対しての適用には課題がある。その課題の解決の一案として、条件を変更し求める解を絞ることを検討する。条件を変更するにも様々な方法が考えられるが、今回は等価線形解析の中で重要なパラメータである有効ひずみ係数に焦点を当てて検討を行う。また求める解としては時々刻々と変化するものを合わせることは難しいと考え、最大値のみを求める。特に設計等でも用いられる最大加速度を求め、つまり今回の検討では、最大加速度を等価線形解析で求める際に最適な有効ひずみ係数の値を求めることを目的とする。

### 1.4. 使用データの選定

今回の検討では地震動を観測した地点で液状化の影響があることが必要である。また解析結果の精度のために観測記録や実験データが豊富であることも必要である。そうした点から今回は 1995 年の兵庫県南部地震におけるポートアイランドの事象を対象とする。

## 2. 研究手順

研究の手順として等価線形解析を行うために必要な地盤物性や入力する地震動が必要である。そのため①データを収集し・解析に用いることができるように整備し、②解析を行った後、③結果の比較・考察を行う。

## 3. 解析用データの準備

### 3.1. データの収集

等価線形解析を行うにあたり観測した地震動、層の構成、各層の密度・層厚・初期のせん断剛性・減衰定数・動的変形特性が必要になる。これらは神戸市の PS 検層データ等から収集した。収集したデータは解析ソフトに入力できるよう補正等を行う。なお、等価線形解析には SHKE の方法で解析を行うことができる解析ソフトである DYNEQ を用いる。

### 3.2. 地震動の補正

観測した地震記録は鉛直アレー式によるものであり、4深度のデータがある。この地震記録は観測記録の設置状況等により加速度0の値のずれ（以下、基線）や方位が統一していないことが想定される。そのため、基線のずれに対して基線補正と方位のずれに方位補正を行った。

### 3.3. 地盤モデルの設定

地盤物性は神戸市の報告書<sup>1)</sup>や吉田の論文<sup>2)</sup>をもとに設定を行った。

### 4. 解析の実行

今回は有効ひずみを変えることで最大値の算出を行う。有効ひずみの変化の幅に関しては一般的な0.65を基準に上限として有効ひずみ=最大ひずみを表す1.0にし、その幅より下限を0.3に設定した。また変動幅は0.05刻みに設定する。

### 5. 解析結果

最大加速度の比較については相対誤差を用いる。また波形の比較に関しては相対誤差の和や到達時間差を参照しつつ波形を観察する。

解析結果を最大加速度について図1・2、波形について図3に示す。

### 6. 考察

図-1や図-2より有効ひずみ係数が大きくなるにつれて相対誤差が小さくなっている。またそれぞれのグラフより最大加速度に関してN-Sで0.7、E-Wで0.55が誤差最少になった。観測記録の最大値がN-Sで約340m/s<sup>2</sup>、E-Wで280m/s<sup>2</sup>とそれぞれ異なっていることもあり、こうして差が生じることは容易に想像できる。設計に用いるにあたって大きめに評価すること安全側であり多少は問題ない。解析結果が観測記録よりも大きいことを示す相対誤差が正の領域であることを条件に最少の誤差であった有効ひずみ係数0.5を最適とした。

加速度で最適とした有効ひずみ係数0.5の全体的な波形の一致度は低い最大加速度は序盤で出る傾向があり、その値については再現できている。

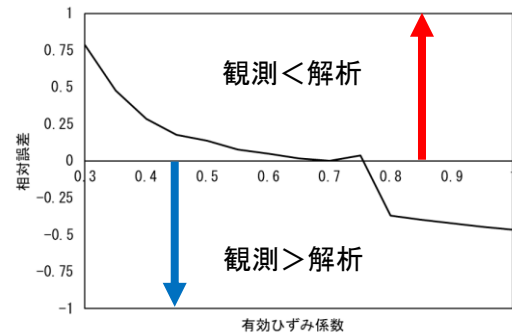


図-1 有効ひずみ係数-最大加速度相対誤差 (N-S)

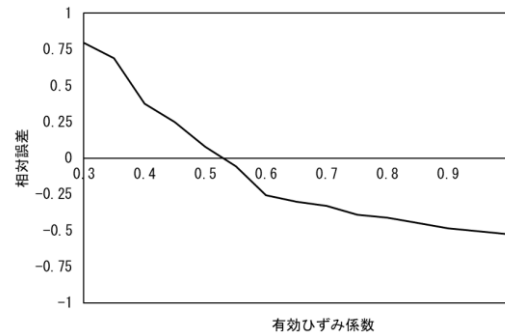


図-2 有効ひずみ係数-最大加速度相対誤差 (E-W)

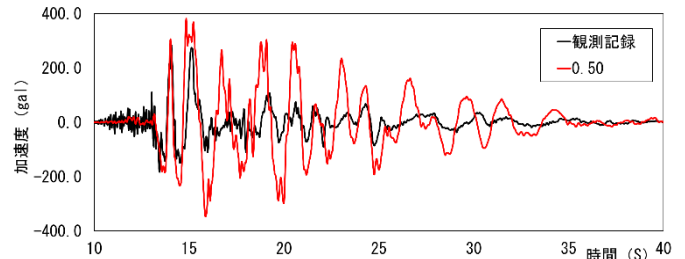


図-3 観測記録と解析結果の比較 (E-W)

### 7. まとめ

今回のポートアイランドの事例に対しては最大加速度を求める値としては有効ひずみ係数は0.5が最適である。

### 8. 今後の展望

今後、他の液状化事例に対しても同様の検討を行い、最適な有効ひずみ係数の値を求めることが必要である。

### 参考文献

- 1) 神戸市開発局：兵庫県南部地震による埋立地地盤変状調査，1995
- 2) 吉田望：1995年兵庫県南部地震におけるポートアイランドの地震応答解析，地盤工学会，土と基礎 43-10，p49-54，1995.10