

九州大学工学部 正 員 山内豊聡

〃 学生員 兵動正幸

〃 〃 〇長山秀昭

## 1. まえがき

近年、地中構造物が大型化し、その安全性が問われる中で、耐震設計上、飽和砂の液状化現象に関する問題が大きく取り上げられるようになってきた。液状化現象については、今日までの種々の研究の結果から、その定性的なものは大略把握されてきたようである。しかしながら、これらは地盤についてのみのものであり、地中構造物が存在する地盤における液状化の評価は、まだ不十分であると言わざるを得ない。そこで本報では地中構造物として杭基礎のある地盤を設定し、杭基礎周辺地盤の液状化の発生状況を検討した結果、液状化に対する杭の影響を確認できたので、その成果を報告するものである。杭基礎周辺地盤の挙動は地盤条件や杭の材質、形状などによってさまざまであるが、ここではゆい均質砂地盤中にコンクリート杭が存在する1モデルを考え、地盤せん断応力をFEM動的応答解析により求め、Seedらの方法<sup>1)</sup>で所定繰返し回数に一樣振幅繰返し荷重に換算し、繰返しねじり三軸試験結果<sup>2)</sup>と関連づけて過剰間げき水圧を求めるという手法を用いた。

## 2. 解析方法

解析の対象とした杭地盤の有限要素モデルを図-1に示す。杭地盤に作用する地震波としてE. Centro地震N-成分(最大加速度326 gal. マグニチュード7)を用いた。また、杭は辺長1 mの四角形柱で、ヤング率は $E_c = 200,000 \text{ kg/cm}^2$ 、ポアソン比は $\nu_c = 0.30$ である。地盤の動的弾性定数 $G(\text{kg/cm}^2)$ は、次式に示すRichardの実験式<sup>3)</sup>から求めた。

$$G = 2205 (2.17 - e)^2 / (He) \cdot \sigma_m^{0.5} \quad \dots (1)$$

ここに、 $e$ ：間げき比、 $\sigma_m$ ：平均主応力

減衰定数は、 $R = 0.1$ とした。なお、杭地盤を平面歪の二次元問題として解析する場合、杭を平面と直角方向に幅をもつ板として取り扱うため、杭間隔は4 mより杭が幅1 m、奥行き4 mの断面形になることを考慮して、曲げ剛性EIが正しい値を保つよう杭のヤング率を $1/4$  ( $E_c = 50,000 \text{ kg/cm}^2$ ) に落とした<sup>4)</sup>。

まず、杭地盤全体の固有振動数と振動モードを求め、Modal Analysisで地震時における各節点の時々刻々の変位を求め、各要素のせん断応力を算定した。図-2は、地震時の地盤せん断応力の時間履歴を示す1例であるが、このせん断応力の最大値 $\tau_{max}$ から次式によって等価繰返しせん断応力 $\tau_{av}$ に換算した。

$$\tau_{av} = 0.65 \tau_{max} \quad \dots (2)$$

また、繰返し回数は地震のマグニチュードが7であることから10回程度と考えられている<sup>5)</sup>が、本解析は地震波の初期の秒を対象としているので、約7回程度と推定した。このように不規則荷重変化を一樣振幅荷重に表現し直して、室内実験結果と比較から杭周辺地盤の過剰間げき水圧を求めた。

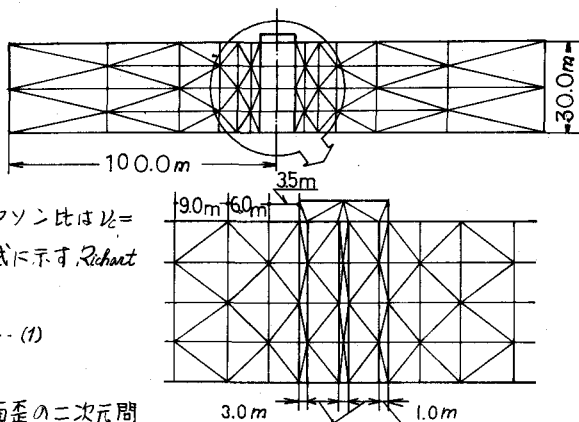


図-1 杭地盤の有限要素モデル

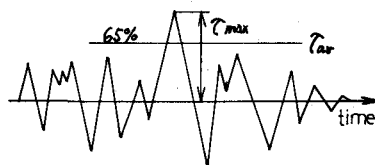


図-2 繰返しせん断応力の評価方法 (Seed's法による)

### 3. 結果および考察

解析した杭地盤の固有円振動数および杭周辺断面の1次振動モードを、それぞれ表-1、図-3に示す。振動モードは、地表面付近では杭に近づくにつれて大きくなっているが、基礎付近では逆に小さくなっていく傾向にあり、地盤に対する杭の影響が現われている。次に、応答計算により、応答は約2.5秒から3秒

表-1 杭地盤の固有円振動数

| 次数 | (rad/sec) |
|----|-----------|
| 1  | 13.443    |
| 2  | 17.506    |
| 3  | 20.445    |
| 4  | 25.873    |
| 5  | 27.589    |
| 6  | 28.013    |
| 7  | 28.102    |
| 8  | 30.059    |
| 9  | 30.419    |
| 10 | 32.322    |

いて最大値を示していることが得られた。図-4に、加振後3.0 secにおける応答セン断応力の分布状況を示している。図から、杭周辺におけるセン断応力の複雑な変化が認められるが、セン断応力は杭に近づくにつれ次第に大きくなり、杭先端付近においては比較的小さいセン断応力分布となることがわかる。全要素のセン断応力において、その最大値 $T_{max}$ を取り出し、応力比 $\sigma/\tau$ に換算した。その結果を図-5に示す。杭のない均質砂地盤において液状化が、浅い部分に生じやすいという定説はこの結果からもうかがえ、さらに本結果では杭周辺で応力比の大きい部分が深部まで食い込んでいることも示されている。しかし、杭先端付近および杭間では、応力比は比較的小さい値である。最後に、計算で求めた応力比を相対密度60%の新潟砂で行なわれた室内実験結果と対応して、各要素の最終間げき水圧および液状化度 $q$ を求め、図-6に杭周辺地盤の液状化状況を示した。液状化層を图中に斜線で示す。この図から、杭から離れた地盤では表面下約1/3の深さまで、初期液状化を上回る液状化層となっており、杭近傍においては表面から2/3付近まで液状化層が広がっていることがわかる。しかし、杭間においては、液状化の危険性はあるものの、液状化することはないと考えられる。以上のことから、杭がある地盤では杭上部付近で液状化が助長されるが、杭の先端部および杭間では液状化しにくくなることがわかった。

### 参考文献

- 1) Seed, H.B. and Idriss, I.M.: Proc. ASCE, Vol. 97, No. SMR (1971), 1249/1273
- 2) 山内一穂: 第29回 土木学会年次学術講演会講演要旨集(1973), 154/155
- 3) 工研学会編: 土木構造物の動的相互作用(1973), 19/20
- 4) 阿部 浩: 第11回 工研学会発表会(1976), 569/572

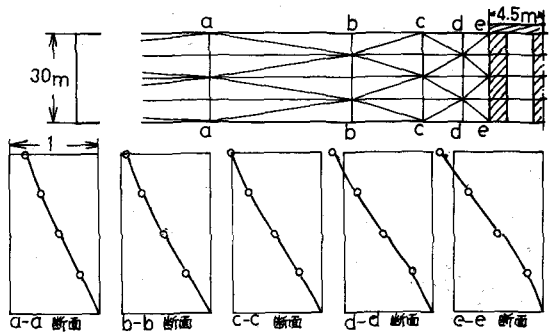


図-3 断面の各節点の1次振動モード

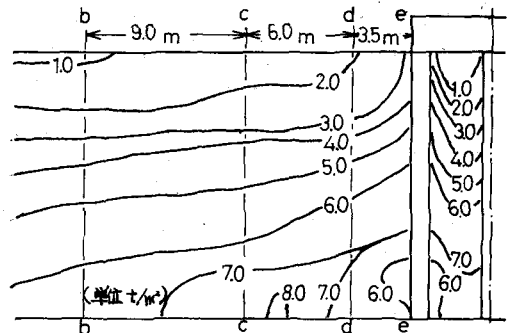


図-4 杭周辺地盤のセン断応力分布 ( $t=3.0 \text{ sec}$ )

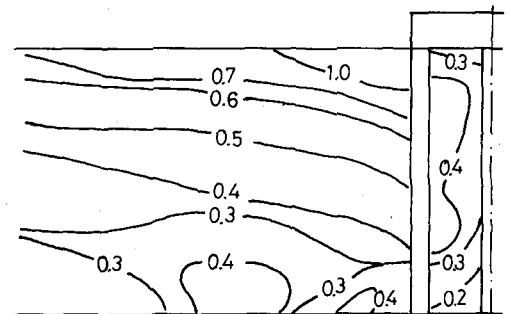


図-5 杭周辺地盤の応力比( $\sigma/\tau$ )分布

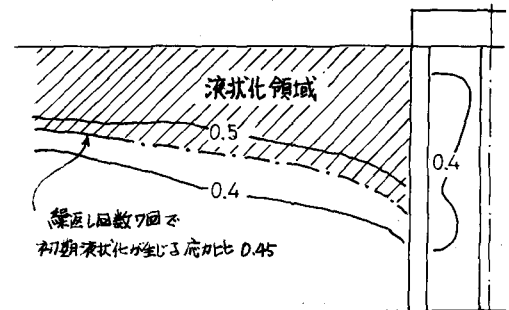


図-6 杭周辺地盤の液状化状況