

液状化地盤の側方流動による地中構造物の挙動に関する一考察

金沢大学大学院 学生員 長谷川正道
 金沢大学工学部 正会員 宮島 昌克
 金沢大学工学部 正会員 北浦 勝

1. はじめに

地震の発生により地盤の液状化現象が生じると、地盤面の傾斜などの影響により側方流動が起こることが、過去の地震調査から知られている。特に、新潟地震の際には、新潟市の信濃川流域を中心に広範囲にわたり側方流動が起こり、その周辺の構造物の基礎に多くの被害が見られた¹⁾。また最近、液状化地盤を粘性流体として取り扱い、その物性値を探る実験などが行われている。

そこで本研究では、液状化した地盤を粘性流体と仮定し、流動する地盤が杭基礎に及ぼす抗力を評価すると共に、杭基礎の応答について検討した。

2. 傾斜地盤上の流速分布

図-1に示す平行な液状化層を想定し、その地盤面の勾配のみを側方流動の起因と考え、Navier-stokes方程式から定常状態の流速分布を算出した。液状化層上面に非液状化層がある場合の流速分布は式(1)となる。

$$V(h) = \sqrt{\frac{\beta^2}{1+\beta^2} \frac{gH^2}{2\nu} \left\{ \frac{h}{H} - \left(\frac{h}{H}\right)^2 \right\}} \quad (1)$$

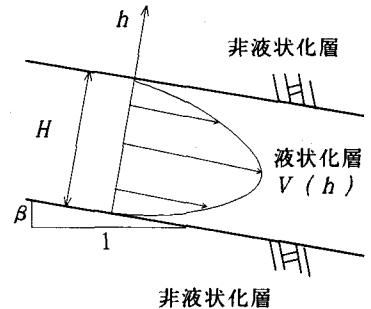


図-1 液状化地盤モデル

ここで、 $V(h)$: 流速分布(m/s)、 H : 液状化層厚(m)、 g : 重力加速度(m/s²)、 ν : 動粘性係数(m²/s)、 β : 勾配

新潟地震時に被害のあったNビル付近の地盤を液状化層厚7.5 m、勾配1%であると仮定する。ここでは、液状化層上に非液状化層があったので、図-1の場合と同様であると考えられる。最大流速と動粘性係数の関係を式(1)から求めると図-2のようになる。最大流速は過去の調査から、毎秒数メートルから毎秒数センチメートル程度であると考え、動粘性係数は1.0 m²/sから100.0 m²/s程度であると考えられる。一方、現在筆者が行っている液状化時の地盤の動粘性係数を求める実験によれば、動粘性係数が0.2 m²/s程度であるので、対応する最大速度は図-2より10.0 m/s程度であると考えられる。想定される最大速度とこの実験値から求めた最大速度との差が生じる理由としては、①式(1)が定常状態を考えているため、実際の速度より大きくなっていること、②実験による液状化地盤の動粘性係数が実際の液状化地盤のそれより小さくなっていることが考えられる。

3. 杭基礎に作用する抗力²⁾

粘性流体中に存在する円柱が受ける抗力は式(2)で表せる。

$$f = \frac{1}{2} \rho C_d V^2 D \quad (2)$$

ここで、 f : 抗力(tf/m)、 ρ : 液状化地盤密度 (t/m³)、 C_d : 抗力係数、 V : 円柱と側方流動の相対速度(m/s)、 D : 円柱外径(m)

抗力係数はレイノルズ数の関数であり、式(3)のように表せる。ただし、式(3)はレイノルズ数が非常に小さい範囲において成り立つ。

$$C_d = \frac{8\pi}{\text{Re}\{0.5 - \alpha - \ln(\text{Re}/8)\}} \quad (3)$$

ここで、 Re = レイノルズ数、 α = オイラーの定数(0.5772)
レイノルズ数は式(4)で表せる。

$$\text{Re} = \frac{VD}{\nu} \quad (4)$$

ここで、 ν : 動粘性係数(m²/s)

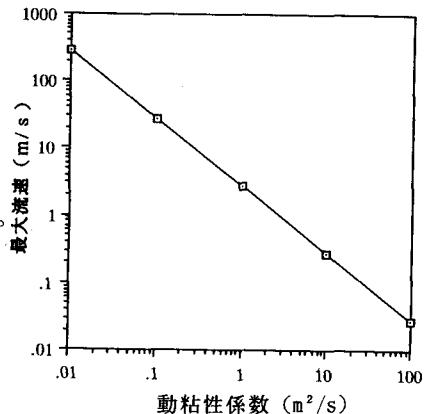


図-2 最大流速と動粘性係数

4. 抗力を受ける杭基礎に生じる曲げモーメント

液状化層内に存在する部分の杭基礎を図-3に示す2種類の梁（両端固定梁(3.a)、一端固定・一端ヒンジ梁(3.b)）にモデル化した。そこに上述の速度分布から求めた抗力分布を作用させ、その時杭基礎に生じる曲げモーメント分布を算出した。抗力を求める際の諸定数はNビルの杭基礎を参考にし、液状化層厚 H を7.5 m、杭基礎外径 D を0.35 m、また、液状化地盤単位体積重量 1.8 tf/m^3 、最大流速を 1.0 m/s とし、動粘性係数を 1.0 、 10.0 、 $100.0 \text{ m}^2/\text{s}$ と変化させた。

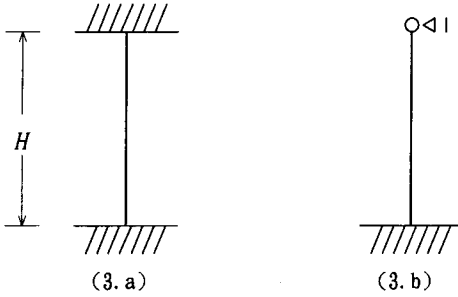


図-3 梁モデル

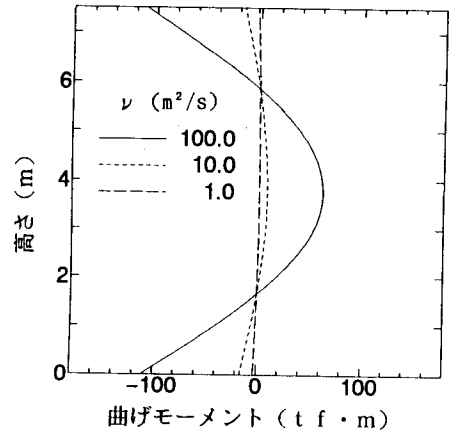


図-4 モデル(3.a)の曲げモーメント分布

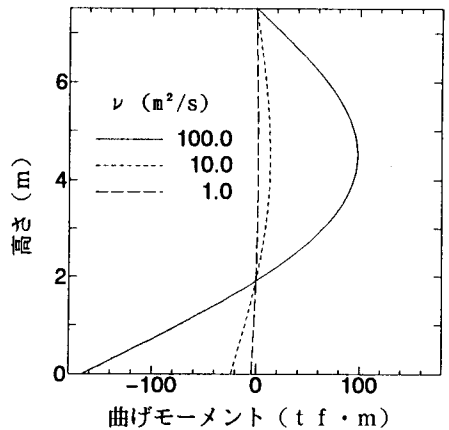


図-5 モデル(3.b)の曲げモーメント分布

図-4は、梁モデル(3.a)に速度分布式(1)に基づいて式(2)から算出した抗力分布を作用させた時の曲げモーメント分布を示している。このモデルにおいては、杭基礎が非液状化層に完全に固定されている状態である。この状態では、正の最大曲げモーメントは液状化層中央で、負の最大曲げモーメントは両端面で発生する。

図-5は、梁モデル(3.b)に同様の抗力分布を作用させた時の曲げモーメントを示している。このモデルでは、杭基礎の先端が非液状化層に完全に固定されているが、杭頭は完全に固定されておらず曲げモーメントを生じない状態である。このとき、正の最大モーメントは液状化層上面から 3.0 m の位置に発生し、負の最大モーメントは液状化層下面に発生する。

これらのモデルは、上述したNビル周辺の地盤を簡易的にモデル化したものである。Nビルの杭基礎は液状化層上面から $0.7 \sim 1.7 \text{ m}$ の位置に正の曲げモーメントによると思われる破損、下面から $0.3 \sim 1.3 \text{ m}$ の位置に負の曲げモーメントによる破損があった¹⁾。この被害の曲げモーメントのモードは、液状化層中の基礎を梁モデル(3.b)と考えたほうがよく説明できた。

また、最大流速 1.0 m/s という条件では、動粘性係数が $100.0 \text{ m}^2/\text{s}$ の場合に絶対最大曲げモーメントが $100 \text{ tf}\cdot\text{m}$ 程度であった。実験から得られた動粘性係数が $0.2 \text{ m}^2/\text{s}$ の粘性流体と考えた場合には杭基礎を破壊する曲げモーメントは発生しないと考えられる。

5. まとめ

液状化地盤・杭基礎を簡易的にモデル化し解析を行ったところ、粘性流体として扱った液状化地盤が杭基礎を破壊し得る可能性のあることがわかった。しかし、筆者らの行った実験から得られた動粘性係数 $0.2 \text{ m}^2/\text{s}$ 程度では非現実的な大きい最大流速にならない限り杭基礎を破壊し得ないことも明らかとなった。さらに現実的なモデル化による解析と実験により、今後検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 森伸一郎、清水勝美、鈴木信久、高木政美、中村晋：液状化による地盤の永久変位に起因する杭基礎の被害と解析、第20回地震工学研究発表会講演概要、pp. 25~28、1989。
- 2) 大友敬三、浜田政則、岩橋敏広、清水幹夫、朱牟田善治：側方流動を考慮した耐震設計法の検討－杭基礎に及ぼす荷重特性の評価－、電力中央研究所報告、研究報告U92031、p. 27、1992。