

## 1 はじめに

送電用地中洞道などの地中構造物が液状化による沈下や浮き上がり防止のため、杭基礎支持により対策されている場合が多い<sup>1)</sup>。これは水平地盤における液状化の影響に対処するものと考えられるが、杭基礎によっても側方流動がある程度抑止できることが指摘されている<sup>2)</sup>。側方流動が杭基礎に作用することを想定すると、杭体に作用する外力を把握することが重要となる。しかしながら、杭体に作用する外力は現状ではあまり調べられていない。このため、地中洞道が杭基礎に支持されている状態を想定して杭体に作用する外力の把握を目的とする模型振動実験を行った。

## 2 模型振動実験

今回の実験では、杭基礎の曲げ剛性に関する相似則が満足できることを目標にした。杭基礎模型（以下、杭と呼ぶ）の設計は井合によって提案された1g場における地盤・構造物・水連成系の相似則<sup>3)</sup>に基づいた。想定した実物杭は外径300mm、肉厚80mmのコンクリート杭と鋼管杭である。杭にはそれぞれの実物に対応するアルミ中空管（外径2.5cm、肉厚0.1cm）とステンレス中空管（外径2.5cm、肉厚0.3cm）を用いた。相似比を20とした場合のコンクリート杭と鋼管杭に相当する中空管の曲げ剛性に関する相似則の目標値と実現値を表-1に示す。

洞道は標準断面内で2本の杭基礎で支持される形式を想定した。杭頭は洞道の接合面において完全拘束となるように鋼製のキャップにはめこんで、洞道底面に完全固定した。杭の中心間隔は20cmとした。一方、杭先端は支持層に充分根入れされている状態が模擬できるように土槽底部に洞道底面と同様な方法で完全固定した。

今回の実験における計測項目は図-1に示すように；①振動台加速度（BASE），②地盤の応答加速度（A1～A3），③地盤の過剰間隙水圧（SW1～SW4、NW1～NW4），④地盤の側方流動（F1～F3），⑤杭基礎の曲げひずみ，などである。地盤中の側方流動の測定には巻き込み型変位計を応用した方法を採用した。振動台による加振は振動数10Hzの正弦波を20波加えることにより行った。ただし、加振波形前後にそれぞれ3波のテーパをつけたので、加振時間は2.6秒となる。最大加速度振幅は400Gal程度を目標に設定した。

## 3 側方流動の外力

2ケースについて曲げモーメントの等時刻最大値分布（加振後約1.2秒）を図-2に示す。この図には静的載荷試験で得られた曲げモーメント分布のうち、振動台加振による杭頭近くのひずみ計測点における曲げモーメントがほぼ等しくなる荷重ステップのものを重ね描きしてある。振動台加振と洞道・杭系での載荷試験による曲げモーメント分布は杭先端で曲げモーメントが最大となる傾向がほぼ同じである。この2者と地盤・洞道・杭系での曲げモーメント分布は異なっている。洞道・杭系の静的載荷試験の状況はいわ

表-1 曲げ剛性に関する相似則の適用結果（単位 $\text{kgf}\cdot\text{cm}^2$ ）

| Proto Type | Idealized Model | Realized Model | Note       |
|------------|-----------------|----------------|------------|
| 1.21E+10   | 3.38E+05        | 5.91E+05       | RC Pile    |
| 7.26E+10   | 2.03E+06        | 2.13E+06       | Steel Pile |

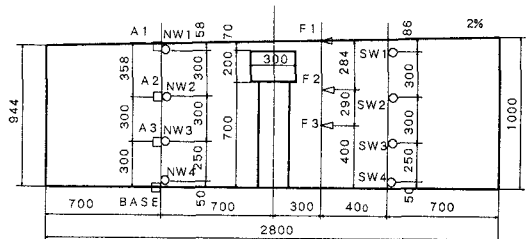


図-1 計測点の配置（単位cm）

ば、地上に突出した杭の状態であり、実際の杭基礎の水平支持力を検討するには最も厳しい条件となる。一方、地盤・洞道・杭系の場合は、通常地盤反力係数法などで評価される水平支持力の算定の場合に相当する。振動台加振による曲げモーメント分布が突出杭の場合に近いことは、側方流動による杭体への外力を検討する場合には周辺地盤の地盤反力がほとんど期待できない突出杭のような状況を想定しなければならないことを示唆する。

杭に作用した外力は曲げモーメントの2回微分により時刻歴でも得られている。測点F2における側方流動の速度と外力の時刻歴の対応関係を検討した。図-3に示すように2ケースとも、外力と流動速度の最大値が発生する時刻が一致する。このことは、両端が固定された杭に対して深さ方向にほぼ一様な速度で側方流動がすり抜ける場合、側方流動の外力が抗力の適用によって評価可能なことを示唆している。

抗力には対象構造物の曲げ剛性の影響が含まれないので、側方流動速度が同程度であれば外力は変わらない。ところが、今回の実験結果では、図-3のように流動速度がほぼ同じでも曲げ剛性の影響により外力の大きさが異なっている。したがって、このまま抗力の適用は困難と考えられる。今後、抗力を適用する場合の杭の曲げ剛性や地盤と杭の相対速度の影響などを検討していきたい。

#### 4 まとめ

地中洞道が杭基礎に支持されている状態を想定して杭体に作用する外力の把握を目的とする模型振動実験を行った。側方流動の作用により杭に発生する曲げモーメント分布は突出杭の状況に近いものとなった。また、側方流動による杭の外力は抗力によって評価可能なことが示唆された。なお、今回の検討は（財）地震予知総合研究振興会における「地震時の地盤挙動とライフライン施設の耐震性に関する研究」（平成4年度）の一環として行われた。

#### 参考文献

- 1) 川村ほか：電力土木，No. 196，1985。
- 2) 安田ほか：第21回地震工学研究発表会講演概要，pp. 281-284，1991。
- 3) Iai, S. : Soils and Foundations, Vol. 29, No. 1, pp. 105-118, 1989。

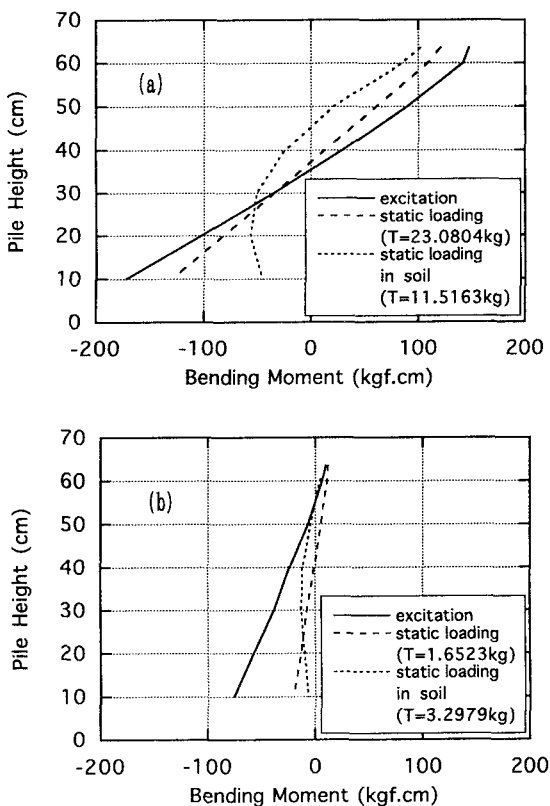


図-2 杭の曲げモーメント分布  
(a) RC杭想定 (b) 鋼管杭想定

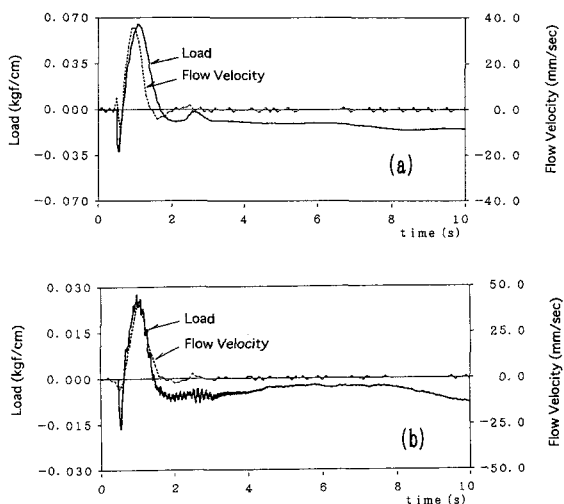


図-3 杭に作用した側方流動の外力と流動速度  
(a) RC杭想定 (b) 鋼管杭想定