

ケーソン護岸近傍における杭基礎の挙動について（その2：有効応力解析による検討）

東電設計(株) 正会員 東 均, 佐藤正行, 中瀬 仁, 小瀬木克己
東京電力(株) 正会員 嶋田昌義, 志村 聡, 弘重智彦

1. はじめに

その1の遠心載荷実験結果を対象に二次元有効応力解析プログラム STADAS を用いてシミュレーションを行い、有効応力解析によってケーソンの移動に伴う近傍埋設構造物の杭基礎の地震時挙動をどの程度再現できるかについて検討した結果について報告する。

2. 解析モデルおよび解析条件

解析には STADAS¹⁻²⁾ 用い、地盤の構成式として液状化特性を表現できる改良した飛田・吉田モデル³⁾を適用いた、解析モデルを図-1 に示す（印は後述する解析結果の出力位置を示す）。ケーソン、ダクト、背後地盤および土槽底面（ポーラストーン）をソリッド要素、杭基礎をはり要素でモデル化し、ケーソン底面～ポーラストーン間およびケーソン背面～背後地盤間には要素の剥離および滑動を表現できるジョイント要素を設け、動水圧は付加重量で考慮するものとした。

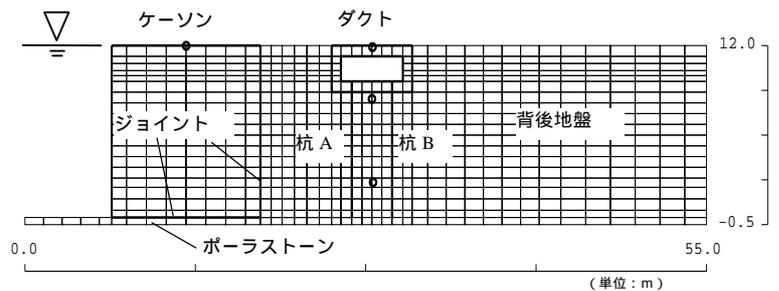


図-1 解析モデル

解析モデルの境界条件は、底面を固定、側方は鉛直ローラーとした。杭基礎は、杭上端をダクトに差込み、下端はピンとした。

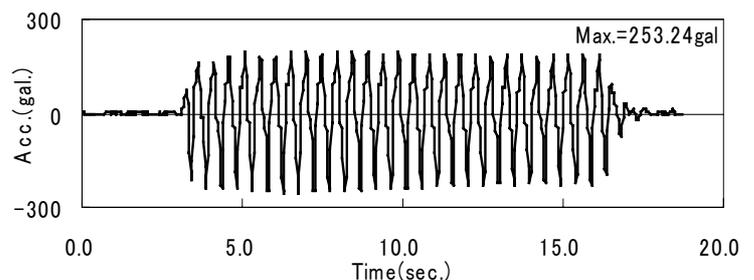


図-2 入力地震波

杭は、水に関する自由度が無く、奥行き

方向に連続しているはり要素でモデル化されることから、このままでは、杭をまたいだ水の流れが考慮できない。しかし、実構造物を考えると、間隙水は杭を回り込むように流れることができるはずである。そこで、解析モデルにおける水の流れに関する境界条件は、杭の存在を無視して杭をまたいだソリッド要素同士で連続となるように設定した。地盤の構成則固有の材料定数は材料の室内試験結果の要素シミュレーションから設定した。杭は、実スケールとしては、杭径 75.0cm、肉厚 1.5cm の鋼管杭となるが、奥行き方向の杭間隔を考慮して断面積及び有効せん断面積を単位奥行き当たりで等価になるように物性値を設定した。

また、モデルの初期応力状態は、自重応力解析より決めた。解析は排水条件で行い、時間刻みは 0.002sec で 18.72 秒間の地震応答解析を実施した。入力地震波を図-2 に示す。

3. 解析結果

杭の曲げモーメントの最大値分布を実験結果と比較して図-3 に示す。陸側の杭 B に発生する曲げモーメント分布は逆三角の形状となっており、実験との対応が良い。また、海側の杭 A に発生する曲げモーメントは、値は実験結果の 1.6 倍程度（高さ 5.25m）であるものの、その分布形状に着目すると、陸側の杭 B の逆三角形型とは異なり、杭頭部に比べて杭中間部が大きくなっており、実験結果と同様の分布形状を再現することができていることが分かる。

ケーソン及びダクトの変位時刻歴を実験結果と比較し図-4 に示す。単調増加するケーソンの滑動パターン

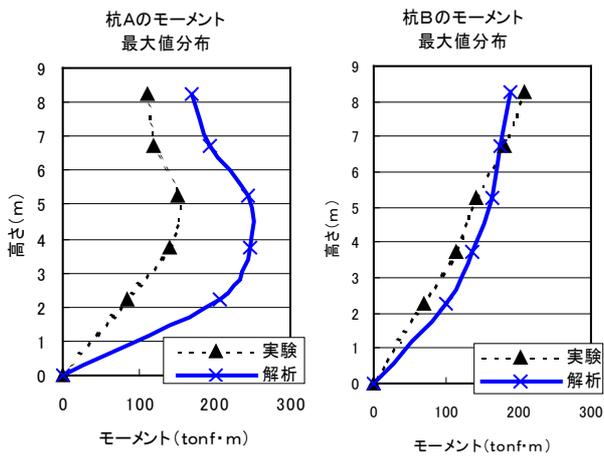


図-3 杭の曲げモーメントの最大値分布の比較

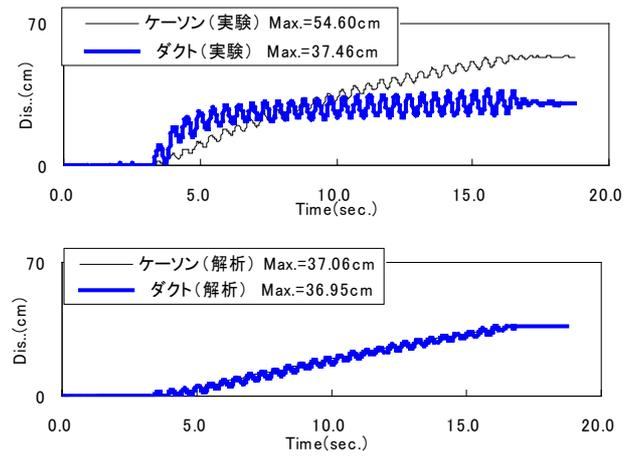


図-4 ケーソン、ダクトの変位量時刻歴の比較

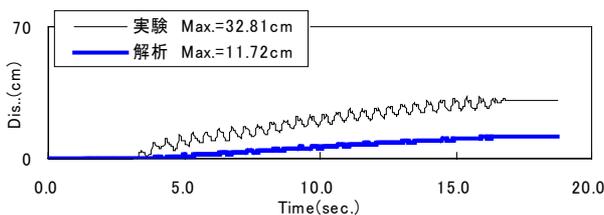


図-5 杭間地盤の変位量時刻歴（高さ 2.25m）

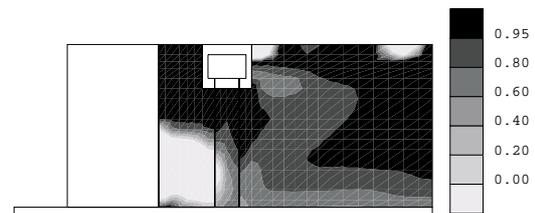


図-6 振動終了時点での過剰間隙水圧比分布

ンは単調増加するケーソンの滑動パターンは、実験とシミュレーションで良く対応している。しかし、実験では加振開始直後にダクトの変位が急増し、その後に漸増し、単調増加するケーソンの変位とはかなり傾向が異なるのに対して、シミュレーションではダクトとケーソンの挙動がほぼ一致している。最終的なケーソン変位量は実験で 54.6cm、シミュレーションで 38.2cm となっており、かなり開きがあるのに対して、ダクトの変位は、両者共に 37cm 程度でほぼ一致している。

このような実験と解析の差異が生じる理由としては、次のような事項の関与が考えられる。底面から 2.25m 位置における杭間地盤の変位時刻歴を実験と解析で比較して図-5 に示す。最終変位量は実験では 32.8cm であるのに対して、シミュレーションではその 3 分の 1 程度の 11.7cm となっている。実験では、ダクト直下の杭間地盤の最大変位量が 42.0cm となり、ダクトの最大変位量の 37.5cm より大きくなったことから、ケーソンの海側への滑動に伴い、杭間を砂がすり抜けるという三次元的な現象が生じていることが分かる。一方シミュレーションでは、平面ひずみの条件の解析モデルであるためこれを表現できない。その結果、図-5 のような差が生じるものと思われる。これが原因で、ケーソンとダクト間の地盤に発生する過大な負の間隙水圧(図-6)が生じ、これによってケーソン近傍の杭 A に対して海側へ向かう大きな荷重が作用し、上述したように杭 A に発生する曲げモーメントが実験より大きくなったのではないかと考えられる。

4. まとめ

埋設ダクトがケーソンに近い場合には、海側の杭に発生する曲げモーメント分布が、陸側の杭の逆三角形の分布とは異なり、杭頭部に比べて杭中間部が大きくなるという実験結果の傾向を、有効応力解析によりほぼ再現することができた。杭間を砂がすり抜けるという三次元的な現象を再現するためには、杭と地盤を切り離し、相互作用を表すために別途地盤バネを付加するといったモデル化等も考えられるが、これについては今後の課題である。

参考文献

- 1) 佐藤 他：矢板護岸被害の有効応力解析（その 1：微震動の影響），第 33 回地盤工学研究発表会講演集，1998.7.
- 2) 王 他：矢板護岸被害の有効応力解析（その 2：排水条件の影響），第 33 回地盤工学研究発表会講演集，1998.7.
- 3) 黒瀬 他：発生ひずみの制御が可能な有効応力解析による液状化試験のシミュレーション，第 35 回地盤工学研究発表会、2000.6. 投稿中.