

液状化側方流動に対する抑止杭工法の数値解析モデル

大林組 正会員 ○樋口 俊一

早稲田大学 正会員 濱田 政則 谷 賢俊

1. はじめに

筆者らは護岸の背後地盤に設置し、側方流動量を減じることで近傍構造物の耐震性を高める抑止杭工法を提案し、その効果を検証してきた¹⁾。本報では、抑止杭工法のシミュレーションにおける解析モデルの特徴と、流動地盤が杭間をすり抜ける現象を表現した「すり抜けばね」の検討結果を報告するものである。

2. 抑止杭工法と遠心模型実験の概要

抑止杭工法は、護岸背後地盤に杭を柱列状に打設して地盤の流動変位を抑制しようというものである(写真-1)。これは、液状化した砂が杭間をすり抜けるときに杭との相互作用により力を受け、移動が抑止される効果を利用したものである。また、液状化しない表層地盤は杭に引っかかって移動が制限される。これらの効果を有効に利用するため、杭は護岸直交方向2列に、千鳥状に配置している。筆者らは、抑止杭工法の変位抑制効果を遠心模型振動実験により検証し、影響因子を検討してきた(図-1)。

3. 解析モデル

2次元有効応力解析により遠心模型振動実験のシミュレーションを試みた。有効応力解析プログラムは、土骨格と間隙水の連成効果を厳密に評価した飽和多孔質媒体のBiotの多次元圧密方程式を基礎式とし、液状化解析で用いる地盤構成モデルは松岡モデルに繰返し載荷を考慮できるパラメータを導入したものである²⁾。

図-2に解析モデルを示す。千鳥配置をモデル化するため、護岸側(以下、海側杭)の杭と背後地盤側の杭(以下、陸側杭)それぞれの断面について2次元平面ひずみモデルを構築し、地盤および鋼矢板護岸の各構成節点の水平・鉛直自由度をそれぞれ変位拘束して、地盤の変形が海側杭、陸側杭の付いたモデルで同一となるようにモデル化した。杭の地盤奥行き分担幅は各杭間隔の1/2としたが、これは、前後の杭を1列に配置とした時(単位幅あたりの杭は2列4D間隔配置と1列2D間隔配置で同数)の分担幅に相当する。初期地盤モデルはせん断剛性の拘束圧依存性(0.5乗則)を考慮(基準拘束圧 $\sigma_{cm}' = 100\text{kPa}$ で $V_{sm} = 170\text{m/s}$ 相当)して設定した。地盤の液状化特性は試験に用いた砂の要素試験のシミュレーションより設定し、遠心実験での自由地盤の応答を比較してその再現性を確認した(図-3)。

側方流動が発生すると地盤は杭の間をすり抜けるが、2次元モデルでは杭は壁状になるためこれが表現できない。これに対して、ここでは杭と地盤間にばね要素(水平方向のみ、以下、「すり抜けばね」とする)を定義し、杭と地盤のすり抜け現象をモデル化した。すり抜けばね要素の剛性は、液状化しない表層地盤のない遠心模型実験ケースで得られた抑止杭の曲げモーメント分布と最終地盤水平変位をターゲットとして、パラスタにより設定した。すり抜けばねの剛性は道路橋示方書の水平地盤反力係数³⁾を基本として設定するが、その算定において変形係数 E_0 には地盤の初期剛性に低減係数 κ を考慮し、これをパラメータとした。

4. 解析結果

図-4に杭間隔4D(Dは杭径、 $D=1.0\text{m}$)モデルについて、杭の曲げモーメント深度分布($t=50\text{s}$)の実験値と解析値を比較した。これより低減係数を $\kappa=0.005$ とした場合が最も実験結果の再現性が良いことがわかった(a)。液状化地盤の水平地盤ばねに関する低減係数 κ については、例えば鉄道構造物等設計標準⁴⁾では1/1000としており、この検討結果もオーダーとしてそれに整合している。一方杭間隔6Dのケースでは、 $\kappa=0.01$ の場合が杭の曲げモーメント分布を最も良く再現できた(図-5)。即ち、杭間隔が大きいと液状化土の水平地盤ばねが大きく評価されることになるが、これは杭間隔の違いによる群杭効果に起因するものと推察できる。

キーワード 液状化, 側方流動, 遠心模型振動実験, 耐震補強, 数値解析

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640 (株)大林組技術研究所構造技術研究部 TEL:042-495-0947

次に、非液状化地盤がある断面（杭間隔 4D）におけるシミュレーション結果を示す。すり抜けばねの設定には低減係数 $\kappa=0.005$ を用い、非液状化層部分については地盤節点と杭節点に等変位条件を課している。図-6 に杭の曲げモーメント分布を示すが、実験、解析ともに非液状化層の影響で杭曲げモーメントが非液状化層のない場合より大きくなり、両者の整合も良い。また、実験結果に見られるように海側杭と陸側杭の荷重分担が異なる様子も再現されている。さらに、図-7 に示した杭を 1 列に配置したケース（杭間隔 2D）での杭の曲げモーメント分布の比較では、実験結果と同様に杭基部の曲げモーメントは杭間隔 4D のケースの海側杭よりも小さく、陸側杭よりも大きくなることも再現できている。

以上より、提案モデルで抑止杭の地盤変位抑制効果を再現することが概ね可能であることがわかった。

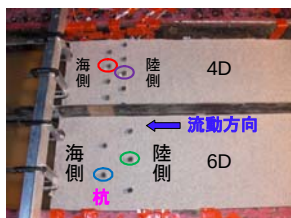


写真-1 抑止杭の配置

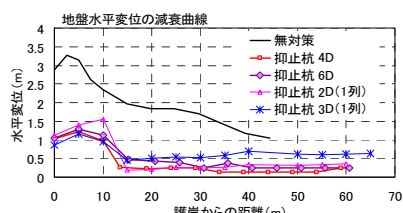


図-1 遠心模型振動実験概要

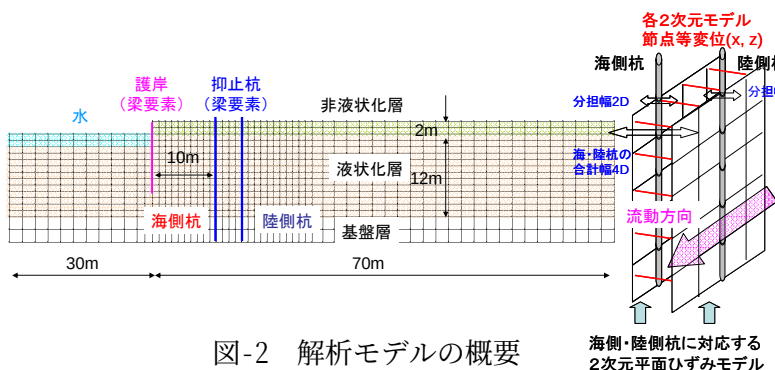


図-2 解析モデルの概要

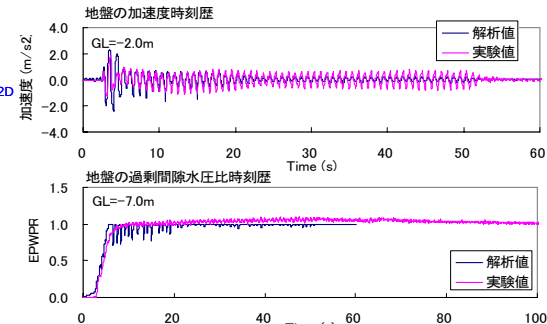
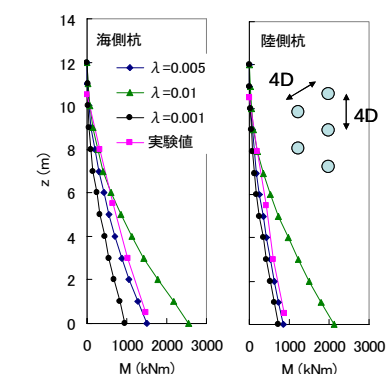


図-3 自由地盤の応答比較



(a) 杭の曲げモーメント分布

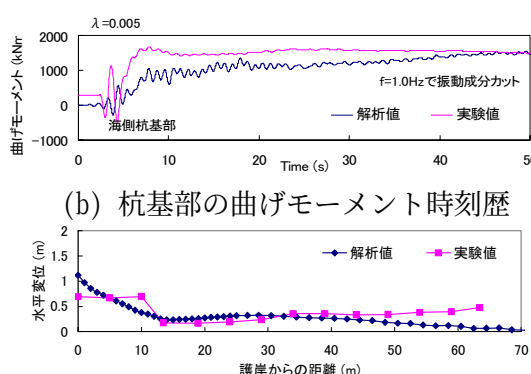


図-5 杭間隔 6D での杭の曲げモーメント分布

(b) 杭基部の曲げモーメント時刻歴

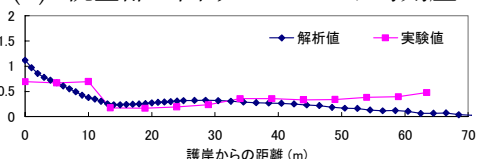


図-6 非液状化層のある断面の杭の曲げモーメント分布 (4D)

(c) 地盤水平変位の減衰曲線

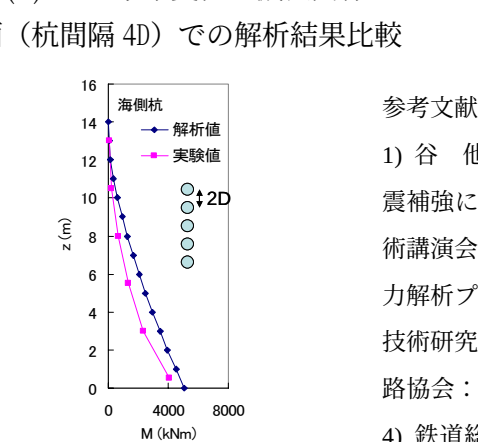


図-7 1列配置(2D)での杭の曲げモーメント分布

参考文献.

- 1) 谷 他:液状化地盤の流動に対する護岸の耐震補強に関する研究, 土木学会第 64 回年次学術講演会, III-161, 2009.
- 2) 伊藤:動的有効応力解析プログラム「EFFECT」(その1), 大林組技術研究所報, No.51, pp.7-14, 1995.
- 3) 日本道路協会:道路橋示方書 V 耐震設計編, 2002.
- 4) 鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 1999.