

液状化地盤におけるケーソン護岸と杭基礎の大型振動台実験に対する予測解析

東北大学 学 ○神谷 研志 正 風間 基樹・渦岡 良介・仙頭 紀明

1. 研究の背景と目的

1995年に発生した兵庫県南部地震では液状化によりケーソン護岸が海側に水平変位し、その近隣で杭基礎構造物が被災する例が確認されている¹⁾。その後、模型実験や数値解析によって現象の再現やメカニズムの解明に関する多くの研究がなされた。また、近年では実大規模に近い地盤・構造物の破壊挙動を解明するために大型震動台を用いた実験²⁾も始まっている。このプロジェクトでは今年度、ケーソン護岸と杭基礎構造を持つ模型に対して実大震動台実験を行った。これに対する事前解析を行うことにより、地盤の硬さや入力動等に関する有用な情報を提供する。またこれと共に液状化解析の精度向上を目的として三次元有効応力解析³⁾を行った。

2. 解析

2.1 解析モデル

図-1の振動台実験の概略図を参考に図-2の有限要素モデルを作成した。アルバニー砂からなる地盤、ケーソン、マウンドのいずれもアイソパラメトリックソリッド要素でモデル化した。杭はビーム要素とソリッド要素からなるハイブリッド要素、フーチングおよび上部工はソリッド要素でモデル化した。ただし二次元解析ではケーソン変形の概略予測を目的としたため杭、フーチング、上部工はモデル化しなかった。

2.2 材料パラメータ

アルバニー砂の材料パラメータは昨年度の報告書²⁾を参考にした。

2.3 境界条件

土骨格に対する境界条件として、底面は水平・鉛直を固定、側方は土槽壁面法線方向を固定した。杭のビーム要素、周辺の杭体積を表現するソリッド要素及び周辺地盤のソリッド要素との境界は、それぞれ鉛直方向のすべり（水平成分は同一接点同一変位）を考慮した。またフーチング要素と地盤の境界についても、鉛直方向のすべりを考慮した。ケーソン要素と土骨格の境界条件も、鉛直方向のすべりを考慮した。ただしケーソンと地盤の最下接点のみ鉛直方向を地盤変位と等変位とした。

2.4 初期条件

地盤の初期有効応力状態を算定するため、動的解析と同一の有限要素モデルを用いて静的排水自重解析を

実施した。静的排水自重解析では、模型実験での模型作成手順をできるだけ忠実に模擬するため、以下の二段階で初期応力解析を実施した。

1. ケーソン前面のストラット位置（ストラット位置が不明のためケーソン前面の全節点）の水平成分を固定し、地盤の有効重量を考慮して、自重解析を行った。解析後にケーソン前面で固定した水平成分の節点力を得た。
2. ケーソン前面のストラット位置の水平成分を自由とし、「1」の応力状態のもと、「1」で得た節点力を作用させ、加振前の応力状態を算定した。

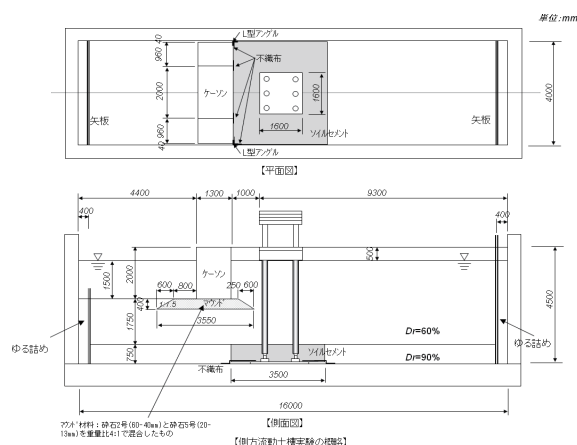


図-1 実験模型

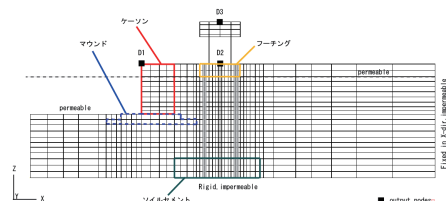


図-2 有限要素モデル

2.5 解析ケース

二次元解析では表-1に示すように異なる入力地震動および異なる地盤の材料パラメータを用いた4ケースについて解析を行った。2D-E01では、昨年度と同じ入力地震動および材料パラメータを用いた。2D-E02は入力加速度振幅を2D-E01の50%としたケースである。2D-E03はアルバニー砂の材料パラメータの一つである規準ひずみ（弾性および塑性）を50%にしたケースである。ケース4は昨年度の矢板護岸の側方流動実験において震動台で観測された加速度を入力加速度としたケースである。三次元解析では2D-E04と同じ条件で解析を行った。

表- 1 解析ケース

ケース	材料パラメータ	入力動
2D-E01	昨年度と同様	JR 鷹取波
2D-E02	昨年度と同様	JR 鷹取波 振幅 50%
2D-E03	規準ひずみ 50%	JR 鷹取波
2D-E04	昨年度と同様	昨年度の振動台観測波
3D-e02	昨年度と同様	昨年度の振動台観測波

2.6 解析結果と考察

二次元解析の変形図と過剰間隙水圧比の分布を図-3に示す。二次元ではケーソン背面と前面で液状化が発生した。ただしマウンド下では過剰間隙水圧の上昇はそれほど大きくなかった。またケーソンは変位、傾斜とも海側であった。ケーソン左天端の水平変位の時刻歴を図-4に示す。図-4から分かるように2D-E01と2D-E02の比較より振幅を50%にすると、水平変位は約60%になり、地震波の振幅の大きさとケーソン水平変位量は密接に関係していることがわかる。また2D-E01と2D-E03より規準ひずみを50%にしたところ水平変位量は約20%増加した。規準ひずみは体積収縮が正から負に変相した後の弾性・塑性剛性の低下を制御するものであり、地盤の硬さを表現するパラメータのひとつである。よって地盤パラメータがケーソン水平変位に与える影響は大きいものであると考えられる。また2D-E01と2D-E04において、加震途中の水平変位の差、位相差は多少あるものの、最終的なケーソンの水平変位の差は小さいことから、ケーソンの変形に寄与する成分に関して、震動台はターゲット波である鷹取波を良く再現していると考えられる。次に、三次元解析の変形図と過剰間隙水圧比の分布を図-5に示す。三次元解析でも同様にケーソン背面と前面で液状化が発生した。またマウンド下での過剰間隙水圧の上昇も同様に小さかった。しかしケーソンは陸側に傾斜する形となった。実験では中央にメインケーソンがあり、その両横にメインとは固定されていないサブケーソンが設置してある。実験ではメインケーソンは二次元解析のように海側に傾斜することが確認されており、その水平変位量は1.3mである。またサブケーソンの水平変位量はメインの半分ほどとなった。三次元解析ではケーソンをひとつの剛体と考えているので、それが解析と実験に関して相違を生じさせてしまった原因と考えられる。また水平変位量は二次元との比較だと2D-E03と近い値になっており、地盤パラメータに関して検討が必要であると言える。杭の変形モードに関しては解析で多少過小評価をしたものの、二箇所で座屈するという変形の概略は予測することができた。し

かしながら座屈位置に関しては多少ずれがあり、さらなる検討が必要である。

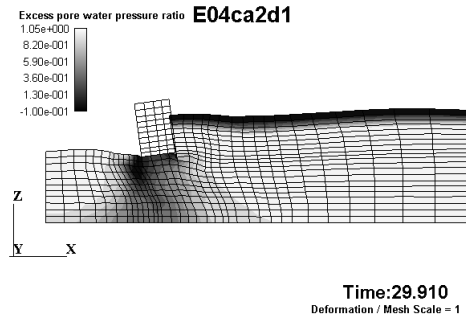


図- 3 二次元 (E04) 過剰間隙水圧比分布と変形図

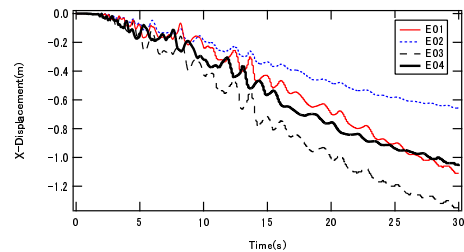


図- 4 ケーソン天端水平変位図

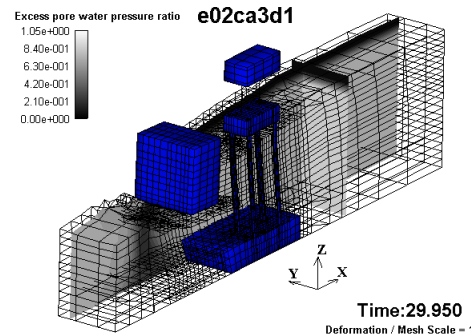


図- 5 三次元 過剰間隙水圧比分布と変形図

3. 結論

本研究により、以下のような結論が得られた。1) 二次元、三次元解析ともにケーソン背後、前面のマウンド下を除いて液状化が発生した。2) ケーソンの挙動は、地震動の振幅、地盤パラメータ等に大きく影響される。3) 三次元解析ではおよそその液状化挙動は再現できたが、ケーソン、杭の挙動に関してはさらに検討が必要である。

謝辞

本解析は文部科学省「大都市大震災軽減化特別プロジェクト、震動台活用による耐震性向上研究」(平成17~18年度)の一環で行ったものであり、関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) Matui, T. and Oda, K. (1996): Foundation damage of structures, Soils and Foundations, Special Issue on Geotechnical Aspects of the January 17 1995 Hyogoken-Nambu Earthquake, pp.189-200.
- 2) 文部科学省 (2006): 大都市大震災軽減化特別プロジェクト 振動台活用による構造物の耐震性向上研究 (平成17年度) 成果報告書
- 3) Oka, F., Yashima, A., Shibata, T., Kato, M. and Uzuoka, R. (1994): FEM-FDM coupled liquefaction analysis of a porous soil using an elasto-plastic model, Applied Scientific Research, Vol.52, pp.209-245.