

I - 453

ケーソン式護岸の模型振動実験に対する個別要素法の適用
—間隙水圧がケーソンの応答に与える影響—

東電設計（株） 正会員 中瀬 仁 正会員 安中 正 正会員 栗田哲史
東京電力（株） 正会員 嶋田昌義 正会員 藤谷昌弘

1.はじめに

発電所の新立地方式として人工島を想定した場合、取水路等の関連する施設の耐震安全性を評価するためには、強い地震に対する護岸の応答を正確に予測しておく必要が有る。筆者等は数年来ケーソン式護岸の1/40模型振動実験¹⁾を対象に個別要素法の実用化に取り組んできた。その結果、ケーソンを連結要素²⁾、背後地盤を回転拘束した円形要素の集合³⁾でモデル化することにより、図-1に示すように護岸模型の大変形を再現性良くシミュレーションできるようになり、実用化の目処がついた。しかしながら、これまでの研究⁴⁾では、消波工と水のない実際とは異なる模型を対象としていた。本報告では、まず、水で満たされていないケーソン、背後地盤および消波工からなる模型について、消波工を背後地盤と同様に回転拘束した円形要素の集合でモデル化しシミュレーションを行なう。この結果について実験と比較しシミュレーションの妥当性を示す。次に、これが水で満たされた状態について、浮力のみを考慮したシミュレーションを行ない実験結果や

水の無いケースと比較する。これにより、背後地盤に発生する負の間隙水圧がケーソンの応答に対して予想外に大きな影響を与えていることを示す。

2.水で満たされていない模型に対するシミュレーション

本研究では、解析で用いる材料定数のうち背後地盤材料（砂）については、これに対する平面ひずみ圧縮試験の主応力比-ひずみ曲線を、再現性良くシミュ

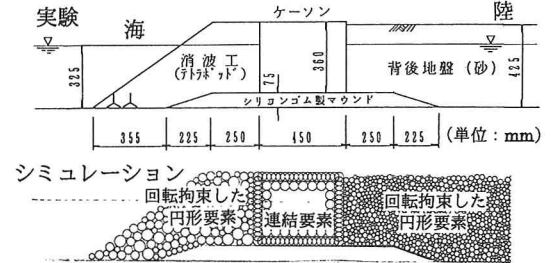


図-2 実験模型のモデル化

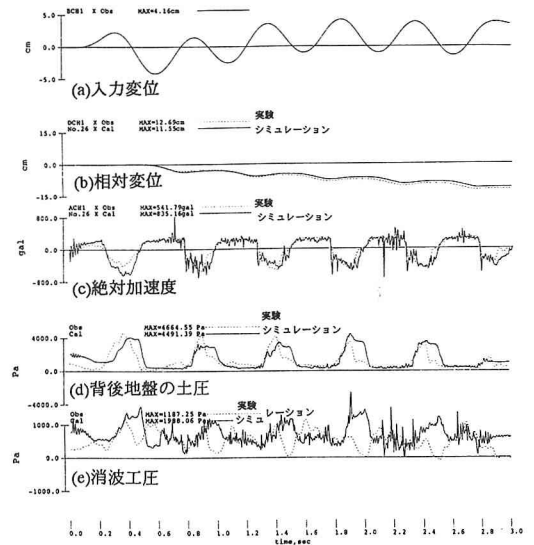
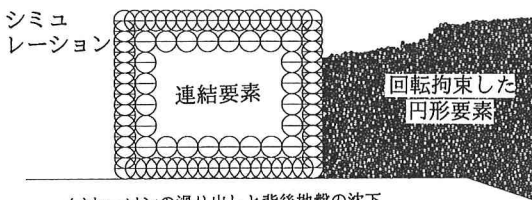
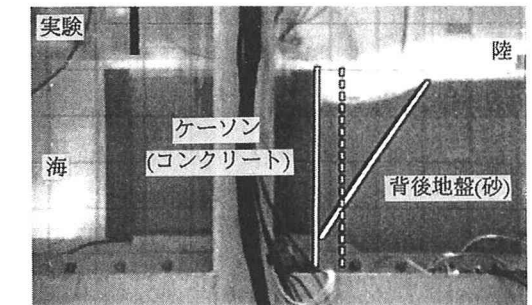
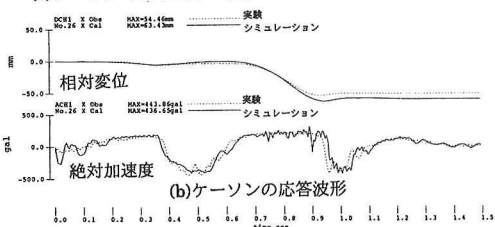


図-3 入力と系の応答波形の比較



(a)ケーソンの滑り出しと背後地盤の沈下



(b)ケーソンの応答波形

図-1 個別要素法によるシミュレーション

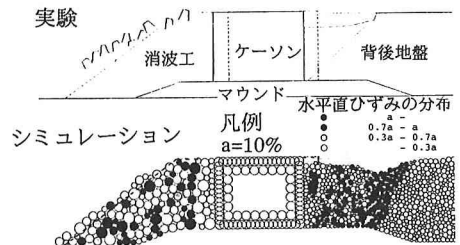


図-4 ケーソンの滑り出しと背後地盤の沈下

レーションするようにバネ定数と要素間摩擦角を決定した。また、ミニチュアのテトラポッドからなる消波工についてはこれが崩れたときの安息角を再現するように材料定数を定めた。ケーソンとマウンド間の摩擦係数などの定数は材料実験による。実験模型と解析モデルを図-2に示す。

図-3に(a)の入力に対するケーソンの応答およびケーソンの背後地盤側と消波工側に発生する土圧について実験とシミュレーションの比較を示す。(b)が振動台に対するケーソンの相対変位波形、(c)がケーソンの絶対加速度波形、(d)が背後地盤の平均土圧、(e)が平均消波工圧である。ここで、変位と加速度は陸側が正、土圧および消波工圧は圧縮が正である。変位波形、加速度波形は各波形共に実験値と良く一致している。土圧と消波工圧は、ケーソンの絶対加速度が海側にピークを示した直後（ケーソンが陸に向って変位しているとき）、シミュレーションが実験をかなり大きく上回る傾向を示す。これは、実験よりシミュレーションの方が消波工が陸側に崩れ易いあるいは背後地盤の抵抗が大きいことが原因であると考えている。これに対して、ケーソンが海側へ滑る時の土圧および消波工圧についての比較では両者ともに良く対応している。図-4にシミュレーションにおける加振後の水平ひずみ分布を実験のスケッチと比較する。水平直ひずみは初期状態において対象とする要素を中心とする半径5cmの範囲内に在った要素が加振後に左右に広がった平均的な変位量を円の半径5cmで除して得た。ひずみの分布状況から見てマウンドの肩から発生している滑り面が最も卓越している点で実験と異なるがケーソンの応答には大きな影響を与えなかったようである。

3. 水で満たされている模型に対するシミュレーション

シミュレーションにおいては、浮力のみを考慮しており背後地盤と付帯的に運動する間隙水の質量は考慮にいていない。これにより背後地盤の質量が実際より20%程度小さく評価される。

図-5にケーソンの応答およびケーソンの背後地盤側と消波工側に発生する土圧について実験とシミュレーションの比較を示す。入力波形が水のない模型とほとんど同じであるにもかかわらず、実験結果ではケーソンの相対変位が小さく元の位置へ戻る挙動を示す。シミュレーションの相対変位は非常に大きい。絶対加速度波形をみれば、実験ではケーソンが海側へ変位している時には陸側へ引き戻す力が増加するのに対して、シミュレーションではケーソンの滑りによりこれが頭打ちになっている。このとき、実験における土圧波形を見れば陸側へ引き戻す力に見合う負圧が働いているのに対して、シミュレーションではほぼ0となる。実験で用いた土圧計測装置は機能上、水圧も同時

に計測してしまう。土圧は負になり得ないので土圧の波形に見られる負圧は負の間隙水圧によるものである。ケーソンが陸側に移動する際には、正の間隙水圧も発生しており、これらはケーソンの動きを抑制する作用として働いていることが解る。

4. おわりに

護岸構造物の模型振動実験とこれに対するシミュレーションの比較により、背後地盤に発生する間隙水圧がケーソンの動きを強く抑制する方向に働いていることが解った。水を含むケーソン式護岸の応答を解析するためには、間隙水圧を考慮に入れることが不可欠である。本研究では、個別要素法のプログラムとして京都大学の澤田純男氏の開発した「DEMS」を改良して用いた。

参考文献

- 1) 安田・福井・佐藤・豊田・黒瀬：護岸構造物の地震時挙動に関する実験的研究（その1），土木学会第47回年次学術講演会講演概要集，第1部，pp.160～161，1992年。
- 2) Meguro, K. and Hakuno, M. : Fracture Analysis of Concrete Structures by the Modified Distinct Element Method, Proc. of JSCE, Structural Eng./Earthquake Eng., No.410/I-12, pp.113～124, October 1989.
- 3) 中瀬・栗田・安中・片平・興野：改良個別要素法による平面ひずみ圧縮試験のシミュレーション，土木学会第46回年次学術講演会講演概要集，第1部，pp.466～467，1991年。
- 4) 中瀬・栗田・安中・安田・藤谷：個別要素法を用いたケーソン式護岸の模型実験に対するシミュレーション，第22回地盤工学研究発表会，pp.687～690，July 1993.

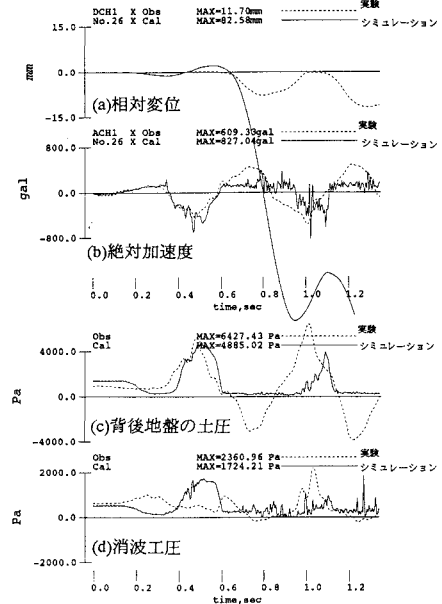


図-5 系の応答波形の比較