

五洋建設(株) 技術研究所 正会員 佐貫 宏

五洋建設(株) 技術研究所 正会員 森屋陽一

五洋建設(株) 技術研究所 正会員 関本恒浩

1. はじめに

構造物周辺において碎波や渦が生じる条件では、構造物の作用波力特性に未知な部分が多く、その評価は難しい。しかしながら、近年、自由表面の処理に VOF 法を用いた非線形性の強い場にも適用性の高い数値計算手法が磯部ら(1999)によって開発されており(数値波動水路)、将来、水理模型実験に代わる設計波力評価手法として期待されている。本研究では、天端上で碎波などが起きやすい没水状態のケーソンを想定し、ケーソン周辺の水位変動および作用波力について、実験値と VOF 法を用いた計算値を比較することにより、VOF 法の適用性について検討を行った。

2. 実験概要

実験は、図-1 に示すように、長さ 50m、幅 60cm、深さ 1.2m の二次元造波水路に、1/30 勾配の斜面に続き水平床を設置し、その水平床の前端にケーソン模型を据え付けて実施した。また、図-2 は、ケーソン模型の設置状況を示したものである。なお、実験縮尺は 1/60 を想定している。

水槽内の水位変動の測定には容量式波高計を用い、図-1 のように計 6 台設置した。また、ケーソンに作用する波圧の測定には超小型波圧計を用い、ケーソン模型の前面および背面に水路幅方向の中心線上にそれぞれ等間隔で 7 個ずつ配置した。

実験では、模型の設置条件は変えずに、周期の異なる規則波を用いた(表-1)。また、データ収録は、収録周波数 200Hz とし、造波開始から 60 秒間行った。

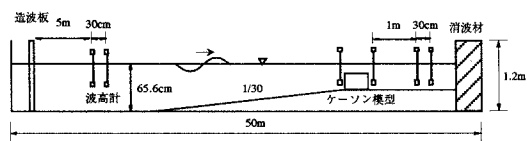


図-1 実験水槽概要図

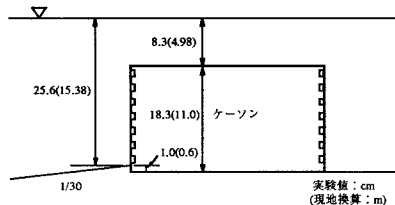


図-2 ケーソン模型設置状況

表-1 入射波条件

	実験室諸元	現地諸元
周期	1.03、1.29、1.55、 1.81、2.07 (s)	8、10、12、14、16 (s)
波高	6.7 (cm)	4.0 (m)

3. 数値計算概要

水位および波力の再現計算には、磯部ら(1999)による数値波動水路を用いた。数値波動水路は、樺山ら(1997)のポーラスボディモデルに基づき、2次元非圧縮性流体の連続式および Navier-Stokes 方程式を基礎方程式としている。

また、自由表面の取り扱いには、汎用性が高く複雑な自由表面が計算可能である VOF 法を採用している。VOF 法は、計算セルに占める流体の比率を VOF 関数 F と定義し、 F の移流方程式と表面の向きを逐次的に計算することにより、自由表面の挙動を記述する。VOF 関数 F の移流方程式を以下に示す。なお、 u 、 w は流速の水平・鉛直成分、 γ_v は空隙率、 γ_x 、 γ_z は水平、鉛直方向面積透過率を示す。

$$\gamma_v \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial \gamma_x u F}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_z w F}{\partial z} = 0 \quad \dots \dots \dots (1)$$

キーワード：VOF 法・没水ケーソン・自由表面・波力

連絡先：〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町 1534-1 tel.0287-39-2109 fax.0287-39-2132

計算では、図-3 に示すように、水平方向 600m、鉛直方向 28m の領域を考え、格子は水平方向に 480 分割 ($\Delta x=1.25\text{m}$)、鉛直方向に 70 分割 ($\Delta z=0.4\text{m}$) した。また、水深は、実験で設定したケーソン前面水深を考慮し領域内で一様とした。さらに、沖の造波境界より 300mの位置に、高さ 10.4m、幅 20mのケーソンを設置し、表-1 の規則波を造波境界より入射させた。なお、計算時間は、コンピュータの性能とケーソン前後において安定した波が数波形成されるまでの時間を考慮して、いずれのケースとも 80 秒とした。

4. 実験結果と計算結果の比較

図-4 は、周期 $T=10\text{s}$ の規則波を用いたケースについて、ケーソン前後における水位の時系列波形を示したものである。なお、実験の波形は、ケーソン前面水位について計算値と位相が合うように時間をずらして表示してある。ケーソン前面での水位変動については、実験では正弦的な波形が得られ、計算値と良く一致した。一方、ケーソン背面での水位波形をみると、非常に非線形性の強いとがった波形となったが、VOF 法による計算結果をみてもこれを良く再現している。

次に、ケーソンに作用する水平波圧合力と、水平波圧合力がピークをとるとき（押し波時）の波圧分布について比較検討を行った。図-5、図-6 にそれぞれ水平波圧合力の時系列および押し波時の波圧分布を示すが、いずれも実験値と計算値はよく一致しており、VOF 法の非線形性の強い場への適用性が高いことがわかる。

なおここでは、周期 $T=10\text{s}$ の規則波を用いたケースのみ結果を示したが、周期の異なる他のケースについても良好な再現結果が得られた。

5. おわりに

本研究では、将来構造物の耐波設計の適用が期待されている数値波動水路を用いて、没水ケーソン周辺の波の変形や作用波圧の評価を行った。実験値との比較を行った結果、ケーソン前面の正弦的な水位や波圧波形だけでなく、非線形性の強いケーソン背面におけるとがった波形も VOF 法を用いた数値波動水路では良好な再現結果が得られた。

参考文献

(1)磯部雅彦・高橋重雄・余 錫平・榊山 勉・藤間功司・川崎浩司・蔣 勤・秋山 実・大山洋志(1999): 数値波動水路の耐波設計への適用に関する研究—VOF 法基本プログラムの作成—、海洋開発論文集、第 15 巻、pp.321-326

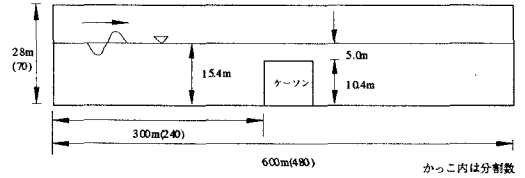


図-3 計算領域

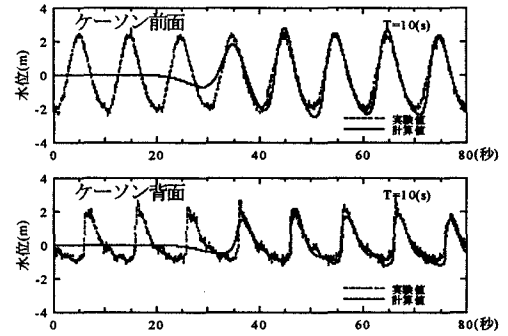


図-4 ケーソン前後の水位変動 ($T=10\text{s}$)

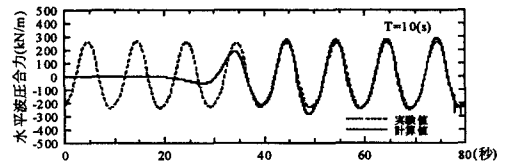


図-5 水平波圧合力の時系列波形 ($T=10\text{s}$)

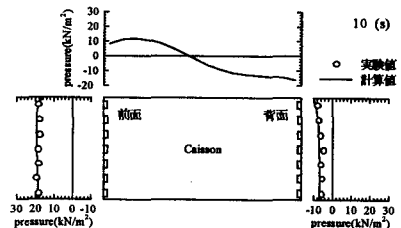


図-6 押し波時の波圧分布 ($T=10\text{s}$)