

韓国甘川港のケーソン防波堤への数値波動水路の適用について

名古屋大学大学院 正会員 ○李 光浩
 名古屋大学大学院 正会員 水谷法美
 (株) 三星物産建設部門 姜 閔求

1. はじめに

近年、海岸工学分野においては水理模型実験とほぼ同様な条件での数値シミュレーションが可能な数値波動水路モデルを海岸構造物の設計に適用し、経済的に事業評価することが増えている。特に、韓国では今年度から数値計算による土木事業評価を従来の水理実験と同様に重要な項目として設定されており、事業評価の有用なツールとして認識されている。本研究は、韓国の甘川港の外郭施設設置工事に適用される西防波堤の改築と二重円筒スリットケーソンに対して数値波動水槽による数値解析を実施したのでその結果について報告する。

2. 甘川港の外郭施設設置工事の概要

図-1 に示す韓国の甘川港は、水産物や沿岸貨物など産貨物専用埠頭処理機能が複合された多目的港湾であり、釜山港の重要な役割の一部を果たしている。しかし、1979年に設置された甘川港の防波堤は当時の設計波高が 6.5m から現在では 12.1m となり、港内の静穏度の確保が困難な状況である。そこで、外郭施設設置工事は、これまで港湾の運営上に指摘されてきた港内の静穏度や通航船舶の安全性を確保することを目標としている。本研究では、主に改築される西防波堤と新築予定である二重円筒スリットケーソンに対して検討した。

3. モデルの概要

数値モデルは李ら(2010)¹⁾による3次元数値波動水路モデルに基づいた。数値モデルの基礎方程式には、混合しない液相と気相の非圧縮性流体を対象とした連続方程式および透過層による動水勾配が考慮可能な修正 Navier-Stokes 方程式を採用している。

$$\nabla \cdot (\theta \mathbf{V}) = \tilde{q} \quad (1)$$



図-1 甘川港の位置

$$\begin{aligned} [\theta + C_A(1-\theta)] \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\theta \mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} = - \frac{\theta \nabla p}{\hat{\rho}} \\ + \theta \nabla \cdot (2\hat{\nu} \mathbf{E} - \boldsymbol{\tau}) - \frac{2\theta}{3} \nabla \{ \hat{\nu} (\nabla \cdot \mathbf{V}) \} + \theta \mathbf{F}_b - \gamma \theta \mathbf{V} - \mathbf{R} \end{aligned} \quad (2)$$

ここに、 $\mathbf{V} = u\mathbf{i} + v\mathbf{j} + w\mathbf{k}$ は各相の速度ベクトル、 p は圧力、 $\tilde{q} = q / \Delta x_s$ は造波ソース、 q は造波ソース位置 $x = x_s$ におけるわき出し強さ、 Δx_s は $x = x_s$ での x 方向の格子長、 t は時間、 γ は付加減衰領域で正の値を持つ減衰係数、 $\mathbf{F}_b$ は重力や表面張力などの影響による任意の体積力、 $\mathbf{E}$ はひずみ速度テンソル、 θ は透過層の空隙率、 C_A は慣性力係数、 $\hat{\rho}$ と $\hat{\nu}$ は各相を代表する流体率 C ($0 \leq C \leq 1$) で決められる平均密度と平均動粘性係数である。また、 $\mathbf{R}$ は透過層による抵抗抗力である。本数値モデルでは透過層を構成する粒径によって層流抵抗と乱流抵抗を適切に考慮できるように Shih(1990)²⁾の提案式を変形した以下の適用している。

$$\mathbf{R} = a\mathbf{V} + b\mathbf{V}^2 \quad (3)$$

$$a = \left[\alpha_1 + \alpha_2 \left(\frac{g}{\nu^2} \right)^{2/3} D_{50}^2 \right] \frac{(1-\theta)^3}{\theta} \frac{\nu}{g} \frac{1}{D_{50}^2} \quad (4)$$

$$b = \left[\beta_1 + \beta_2 \exp \left[\beta_3 \left(\frac{g}{\nu^2} \right)^{1/3} D_{50} \right] \right] \frac{(1-\theta)}{\theta^2} \frac{1}{g D_{50}} \quad (5)$$

ここで、 α_i および β_i は無次元定数であり、 $\alpha_1 = 1683.71$ 、 $\alpha_2 = 3.12 \times 10^{-3}$ 、 $\beta_1 = 1.72$ 、 $\beta_2 = 1.57$ 、 $\beta_3 = -5.10 \times 10^{-3}$ をそれぞれ適用した。上記の基礎方程式を M-CIP 法³⁾に基づいて計算を行った。さらに、メッシュ生成に伴う作業を極力軽減させるために計算付加が少ない FAVOR (Fractional Area Volume Obstacle Representation) 法⁴⁾を用いて直交格子で構造物を表現した。その際、透過層の空隙率を表す m を利用することによって計算領域で不透過と透過性の構造物を同時に考慮することが可能となる。また、液相と気相の界面の追跡には VOF 法を採用した。

4. 計算結果と考察

(1) 西防波堤の改築

図-2 に示すように西防波堤は、現在の設計波高に対応できるように既往の断面を補強する基本計画が立てられている。また、港内の水質を改善する目的で補強断面の一部には海水交換口が設けられている。本研究では、海水交換口の効果的な断面を決めるため、平常波である波高 2.5m、周期 6.0s の規則波に対して数値実験を行った。水深は平均水面(M.S.L)を対象とした。図-3 に補強計画の基本断面に対して海水交換口の設置位置による海水交換口内の平均流速を示す。計算結果から、海水交換口の設置位置が深くなることにつれてより強い流速が発生し、海水交換性が期待され

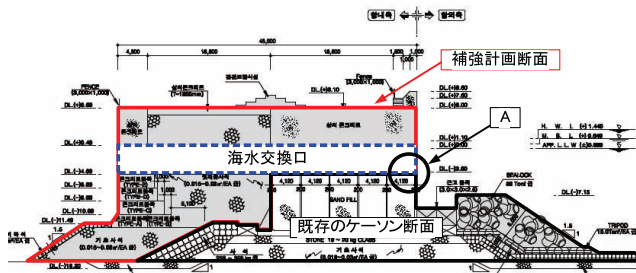


図-2 西防波堤の補強計画の基本断面

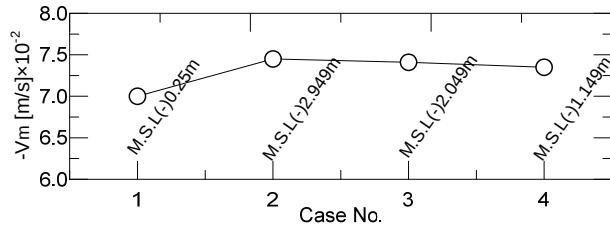


図-3 設置位置による海水交換口内の平均流速

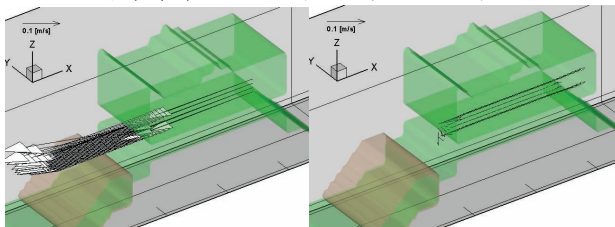


図-4 海水交換口内の最大沖向き流速 (左) と岸向き流速 (右)

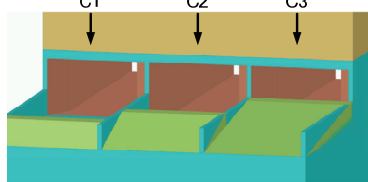


図-5 既存ケーソンの A 部に設置される越流式構造物の形式案

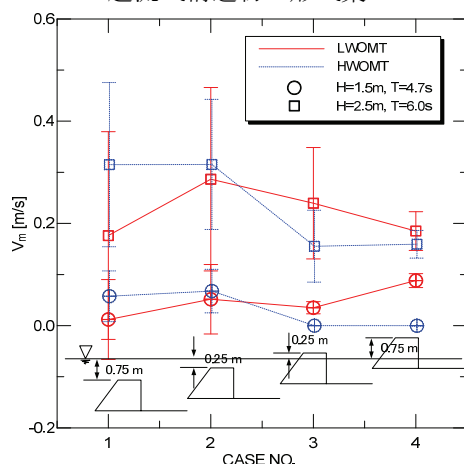


図-6 越流構造物の設置による海水交換口内の流速

る。また、海水交換口内の最大沖向き流速と岸向き流速を示す図-4 から分かるように沖向きの流速が卓越することを確認した。しかし、図-3 のケース 1 以外は海水交換

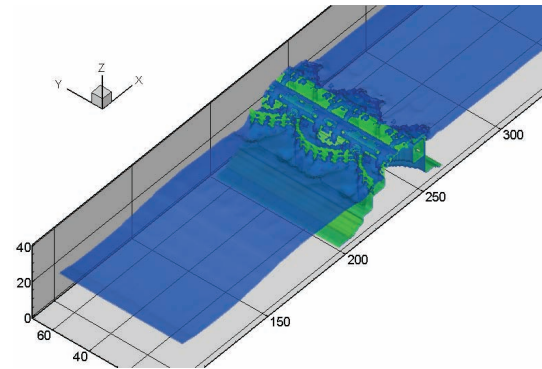


図-7 二重円筒スリットケーソン周辺の水面変動の例

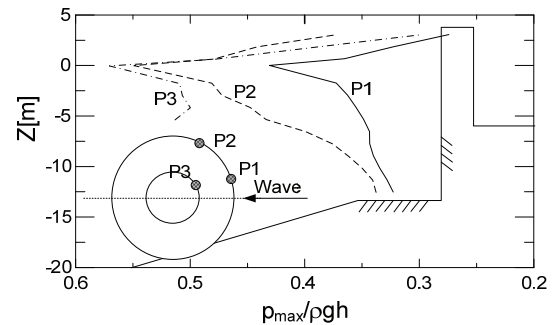


図-8 最大波圧分布

口を設置するために、既存ケーソンを改良する必要があり、施工能や工事費の観点から望ましくない。そこで、既存ケーソンの天端 (図-2 の A 部) に越流構造物を設置した図-5 の断面に対して検討を行った。本稿では、計算結果から海水交換性が一番良好であった図-5 中の C1 断面の結果を報告する。図-6 は、C1 断面の設置位置による海水交換口内の平均流速を示したものである。図から分かるように浅い潜水深を持つケース 2 の越流構造物が海水交換口内の流速の発生に最も有利であることを確認した。

(2) 二重円筒スリットケーソン

新築予定の二重円筒スリットケーソンに対する耐波設計のため、設計波による二重円筒スリットケーソン周辺の水面変動特性および最大波圧分布を調べた。代表的な水面変動と最大波圧分布の結果をそれぞれ図-7 と 8 に示す。その結果を示す。計算結果からスリットを有するケーソン周辺の水面変動の特性や断面形状による波圧分布の特性などを把握することが出来る。

5. おわりに

本研究では、3 次元数値波動水路モデルを韓国の甘川港外郭施設設置工事の設計段階に適用し、多様な条件に対して経済的に構造物の断面検討を行った。今後、より計算効率や精度を上げることによって実務的活用可能な数値波動水路モデルに改良して行きたい。

(参考文献) 1) 李 光浩・水谷法美・姜 問求: スリットを有する複雑なケーソン防波堤への三次元数値波動水槽の適用, 海洋開発論文集 26(2010) 69-74. 2) Shih, R.: Permeability characteristics of rubble material - New formulae, 24th Coastal Engineering Conference, 1990 1499-1512. 3) Nakamura, T. and Yabe, T.: Cubic interpolated propagation scheme for solving the hyper-dimensional Vlasov-Poisson equation in phase space, *Computer Physics Communications*, 120(1999) 122-154. 4) Hirt, C.W. and Sicilian, J.M.: A porosity technique for the definition of obstacles in rectangular cell meshes, *Flow Science*, Inc. Los Alamos, New Mexico, 1985, 450-469.