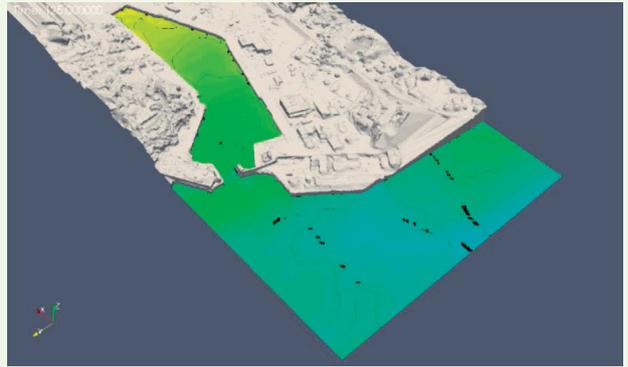


画像を利用した数値解析技術とフラップゲートへの適用

国土交通省は、i-Constructionとして建設生産システムのICT化を重要施策に掲げており、当社においても、数値シミュレーション技術の中核としたデジタルエンジニアリングを推進している。ドローンによる空撮画像から合成される3次元モデルを数値シミュレーションに適用できれば、広大なインフラを対象としたシミュレーションが比較的容易に行える。ここでは、画像合成によって作成した流体解析モデルを用いて、フラップゲート式可動防波堤の模擬津波に対する減災性能を可視化した事例を報告する。

キーワード

数値シミュレーション, ドローン, 画像合成, フラップゲート式可動防波堤, 模擬津波計算



■ 目的

当社では、津波防護施設としてフラップゲート式可動防波堤（以下、フラップゲートと呼称）を開発し、2020年12月に岩手県大船渡漁港細浦地区、2022年3月に兵庫県福良港への設置を完了した。フラップゲートは、通常時には海底に倒伏し、浮力を利用して水面まで浮上させて港口部などを閉鎖する可動式の防波堤である。

デジタルエンジニアリングの展開、ならびにフラップゲートの津波減災性能の可視化を目的として構築した、画像からの解析領域のモデリング技術および可動構造物の解析技術について報告する。

■ 技術の概要

1. 解析領域のモデリング技術

津波の伝搬など流体の動きを評価する際には、対象とする領域の形状を表す数値データが必要となる。そこで、ドローンによる空撮写真から画像処理によって得られた地形データを数値解析に用いた。撮影は、海面から約100 mの高さより行い、2080万画素のカメラを用いた。約200 m×600 mの港内の水域を対象として、98枚の写真を撮影し画像合成に用いた。画像合成に用いた写真の一例を図1に示す。

画像の合成には、市販のソフトを用いた。画像合成によって作成した3次元地形モデルを図2に示す。水面の形状は刻一刻と変化するため、撮影時間の異なる複数の画像からは合成ができない。したがって、不自然な凹凸を有した形状として海面が表現されている。数値解析を行う際には、天文潮位に応じて水面を別途設定するため、係留されている船舶も含めて、図2における水面は後処理によって除いた。

図2の地形モデルから出力した海岸線の形状と国土地理院電子地図における海岸線とを比較したところ、双方の差は最大で約5 mであった。津波を対象とした数値解析を行う上では、港口部など重要な境界部分を除き、5 m程度の海岸線の誤差の影響は軽微である。したがって、

図2に示す地形モデルは十分な寸法精度と考えられる。なお、港口部など重要な境界部分については、測量結果等に基づくモデルの補完が必要となる。

次章において、模擬的な津波計算の事例についても紹介するが、図1に示されるように、撮影時には、陸側からみて港口部右側の海岸防護施設が未完成であった。そこで、モデルの表面データを改良し、完成形状を模擬した防潮堤をモデル上で形成した。

数値解析に用いるメッシュ作成には、オープンソースである流体解析ソフトOpenFOAMを利用した。同ソフトで作成した解析モデルの全体を図3に示す。本稿における模擬津波計算では、陸域への津波の遡上は対象としないため、計算に影響のない陸上の構造物は取り除いているが、標題の図のように、陸上の地形を考慮した計算も可能である。



図1 ドローンによる空撮画像の一例



図2 空撮画像から合成した3次元モデル

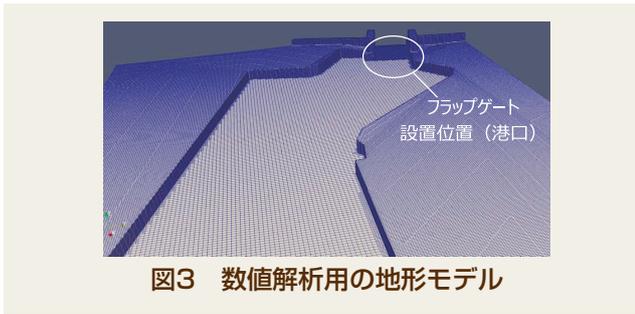


図3 数値解析用の地形モデル

2. 可動構造物の解析技術

一般的に、流体シミュレーションでは、解法として有限体積法が多く用いられ、単一の格子上で計算されることが通常である。流体中におけるフラップゲートの挙動を表現する上で、主格子中に補助格子を配置し、双方の格子間で物理量を共用しながら解析を進める重合格子法を用いた。重合格子法の特長として、主格子における流体力に対応して補助格子を変位させることで、比較的容易に流体と構造体との連成解析を行うことができる。特に、フラップゲートの扉体は、1自由度の回転運動のみを許容する構造物であり、扉体周りに作用する流体力に回転軸からの距離を乗じ、扉体の全周にわたって積分することで、扉体に作用するモーメントを容易に算出することができる。

重合格子法による連成計算では、固定された主格子と変位する補助格子とが格子点を共有することなく重なり合っているため、各格子間において物理量の補間が必要となる。この計算には、線形内挿を用いた。

補助格子によりモデル化した扉体を含む可動部を図4に示す。扉体の高さは約13 m、厚さは約1 mである。補助格子は、扉体の周囲にわたって、約0.5 mの厚さの流体領域を有するよう構築した。

実機の試運転時における扉体浮上動作を本計算手法により再現した結果を図5に示す。この図より、計算結果は実機の浮上速度とほぼ一致しており、十分な計算精度を有していることが確認できた。浮上の後半において計算値がやや上回っているが、扉体以外の構成部材を考慮しておらず、その粘性抵抗がないためと考えられる。

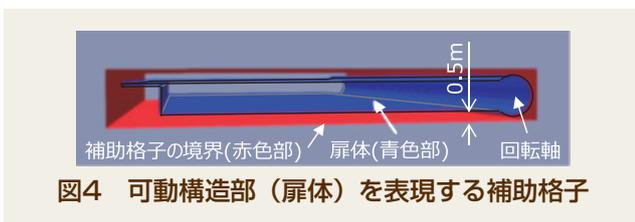


図4 可動構造部（扉体）を表現する補助格子

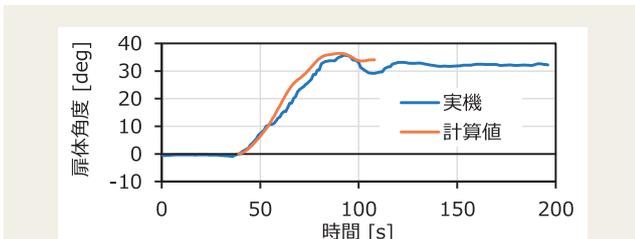


図5 実機試運転時の浮上動作を対象とした再現計算

■ 計算事例

画像から合成した図3に示す地形モデルおよび重合格子法により構築したフラップゲートモデルを用いて、模擬的な引波津波作用時における港内静穏度を評価した。ただし、引波作用時には、扉体は所定の角度で固定される構造であるため、ここでは、扉体の変位は計算の対象とはしていない。

フラップゲート設置時と非設置時における、ある時刻の水面付近の流速分布を図6に示す。フラップゲートを設置した場合は、多くの領域で流速が0.5 m/s以下に留まる一方、フラップゲートを設置しない場合は、流速が3 m/sに達する領域もみられた。引波時の港内流速による係留船舶の流出が懸念される場合には、こうした評価を通してフラップゲートの効果を可視化することが可能となる。

上述の計算では、扉体の動揺を伴わない引波津波を対象としたが、風波や潮位に応じて変位する扉体の挙動を、本計算モデルを用いて評価することも可能である。

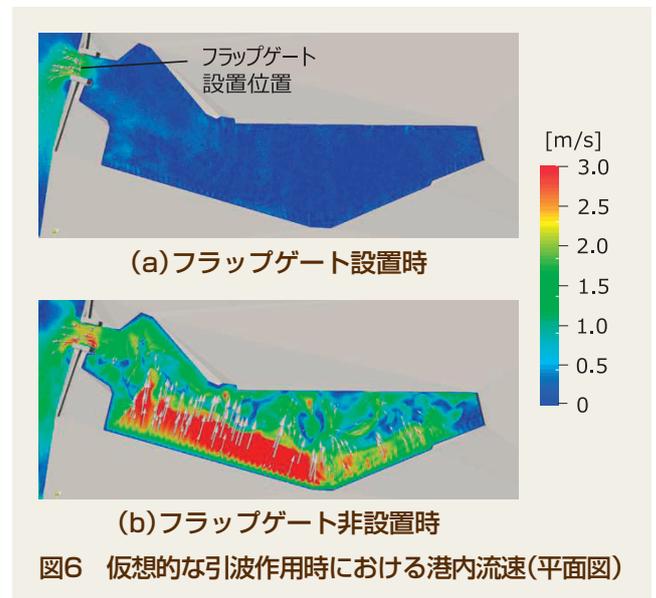


図6 仮想的な引波作用時における港内流速(平面図)

■ おわりに

本稿では、画像からの解析領域のモデリング技術および可動構造物を対象とした流体解析技術、ならびに引波津波を対象とした計算事例について述べた。こうした数値解析を通してフラップゲートの減災性能を可視化し、その効果を確認することができる。また、デジタルエンジニアリングとして、設計上必要なデータを数値解析結果から取得することも可能となる。

SDGsに貢献する技術

シミュレーション技術を用いて製品の実用性や適切性を検証することで設計技術を向上させ、安全で安心な暮らしを守る製品の提供に貢献します。

【問い合わせ先】

日立造船株式会社 開発本部 技術研究所
基盤技術研究センター 流体グループ
Tel : 06-6551-9128
E-mail : kimura@hitachizosen.co.jp