

平面2次元における波力および流体力を受けて移動する物体の数値計算

長岡技術科学大学 建設工学課程 学生会員 ○大竹剛史
 長岡技術科学大学 建設・環境系 正会員 細山田得三
 長岡技術科学大学 建設・環境系 正会員 犬飼直之

1. はじめに

流体力を受けながら移動する漂流物の運動が津波や高潮被害が注目される中で関心が高い(図-1)。

物体と周囲流体の相互作用に関する研究は、船舶・航空工学分野で物体に対する安全性や効率性を評価するために実施されてきた。それらの研究分野では NS (Navier-Stokes)方程式の直接数値計算が物体の形状に適合させた曲線座標系の格子を用いて精密に行われてきた。建設構造物においても NS 方程式に海水面の変動を含めた計算パッケージ、CADMAS-SURF を中心としたプログラムが用いられている。これらの計算ツールは建設工学が取り扱う計算空間の特異性を考えると計算速度の問題や過剰な精密性を追求している。計算空間の平面的広域性とそれに比して鉛直方向スケールが極めて小さいという問題である。計算の安定性を考慮すると鉛直方向に比して水平方向が過剰に安定であり、計算が大変非効率となる。また、反復計算の収束判定が含まれるため計算時間が膨大となる。

一方、従来用いられてきた平面2次元の浅水系の計算方法は精度の検証が十分であることと建設工学の特異な計算空間の条件に対する計算方法として適する。本研究では、平面2次元空間の各格子に対してフラグgingを与えることによって物体の形状を近似的に表現した。さらに本論文では、それらの分布が流体力を受けて移動する計算方法を考案し、いくつかの計算結果を示してその妥当性について述べる。

2. 直交格子での移動物体と流体力の表現

図-2 には平面の格子に対して付与された矩形の物体の領域の分布の移動を示す。左上が初期状態であり、右下が最終状態である。物体が計算領域の左下より右斜め上方に並進運動しつつ反時計方向に回転している。図中の黒丸が重心であり、物体の表面



図-1 集合状態で漂流する構造物周辺の津波の水位差

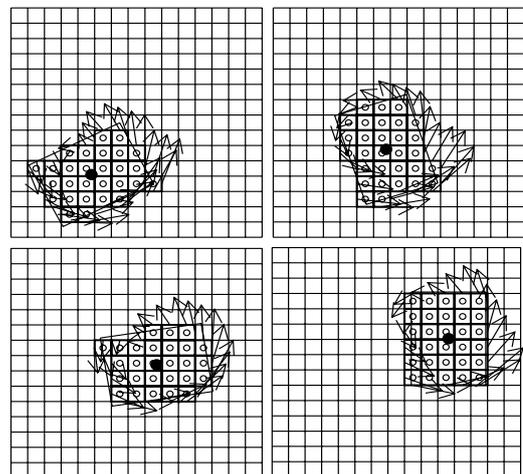


図-2 等速の並進と回転運動の合成による矩形の剛体の変位計算例 (矢印: 変位に伴う物体表面の変位速度)

に示された矢印はその表面が持つ速度であり、並進速度と回転速度が合成されたベクトルである。白丸は計算格子点に与えられた物体内部格子の中心を意味し、その格子が物体内部を意味する。このため当然ながら、物体の表面は縦横方向の格子によるギザギザ (CG用語の Jaggy) で表現されることになる。

物体に作用する流体力は、物体の表面と判定された格子における、1. 水平方向波力、2. 流速によって生じる物体の接線方向のせん断力、3. 近似的に求められる浮力である。さらに物体と判定された格子の集合体となる構造物に作用する並進力 (波力の合力) および重心に作用するトルク (重心から作用点まで

キーワード 津波外力, 数値計算, 物体移動

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 水工学研究室 E-mail: s123234@stn.nagaokaut.ac.jp

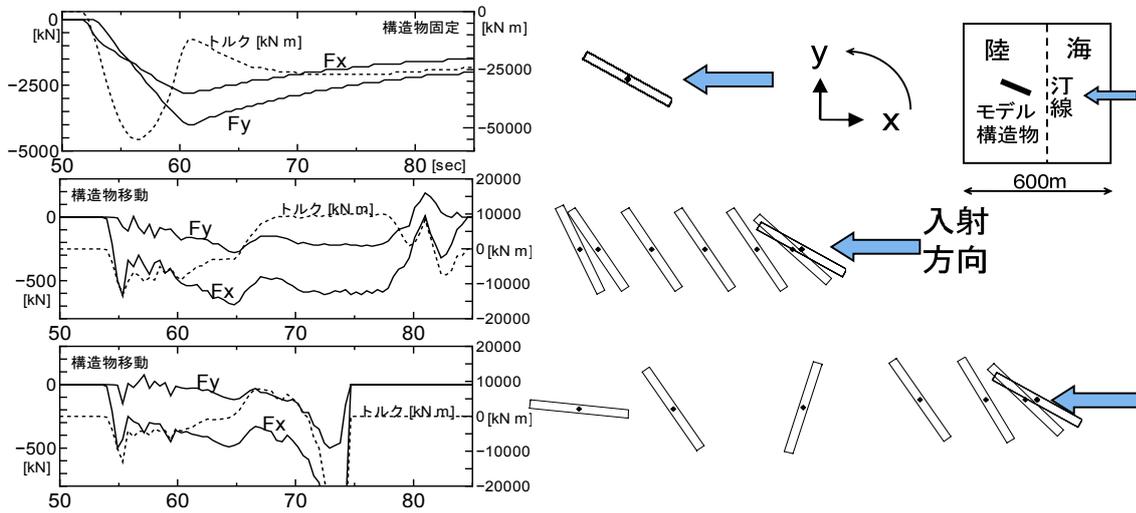


図-3 棒状の構造物に作用する津波水平力(F_x, F_y)およびトルクの時系列 (長さ 80m, 幅 7.25m)
 上段：構造物固定 2段目：質量大・摩擦係数大 3段目：質量大・摩擦係数小

のベクトルと外力の外積の総和)を算出し、それらを並進と回転の外力としてそれぞれの運動方程式を時間積分して変位および回転角を求める。新しい重心の座標および回転角より物体の表面を構成する点(例えば矩形の場合は4点)の更新値を求め、それに応じて流体計算を実施して1つのサイクルが終了する。なお、この計算では図-2のベクトルが示すように物体の移動は流体・物体間の境界の移動でありその移動速度が流体の流速と一致しなければならない(運動学的条件)。これは流体に対する造波条件となるが、この効果も本計算には含まれている。

3. 計算結果および考察

図-3には、仮想地形上に棒状のモデル物体を汀線に対して角度をつけて設置して右から左方向に津波を遡上させた計算条件を種々変化させた結果を示す。左図は、3つの流体力の時系列であり、右は物体の変位状況である。いずれも F_x は概ね負であり、 x 方向が津波の遡上方向と逆になっていることに対応している。 F_y は物体の形状によって津波が物体の y の正側を通過し、 y の負の側の面は遮蔽されており、負値をとる。トルクについては時計回りに作用しやすいため基本的には負値である。物体が移動する2つのケースでは、固定しているケースに比して最大水平力が10分の1程度となっており、また、物体の回転に応じた時系列の変動が見られる。質量と摩擦係数が大きい場合(2段目)、若干回転するが、概ね x 方向に並進運動をしている。質量が大きく、摩擦

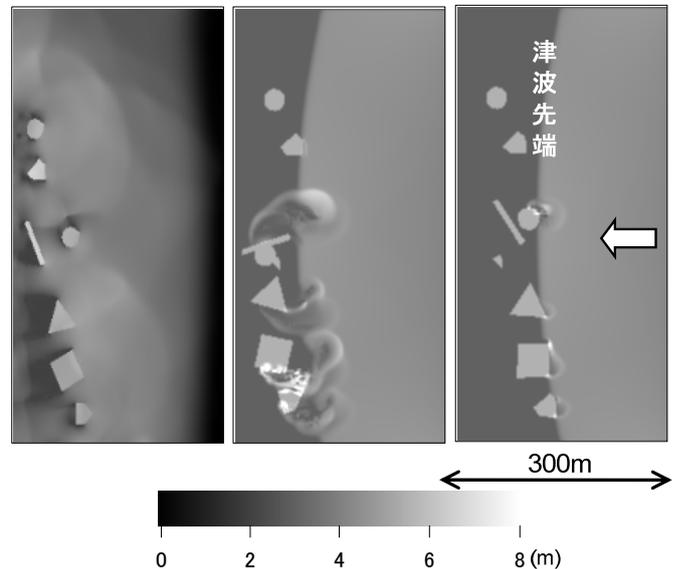


図-4 集合状態の構造物に作用する津波と構造物の移動
 右から左に向かって時間が進行する。津波は右から左に遡上
 係数が小さいケース(3段目)では、回転運動が大きく、 x の負の方向に移動する速度が早い。回転に応じた津波遡上方向に対する物体の向きが変動することでトルクが正・負の間で変動している。

図-4には種々の形状の物体を配置して集合状態として計算を行った結果を示す。物体の形状に応じて変位量が異なるが、丸い物体の変位量が少ない。また、原理的に、物体が複数であっても単体の物体を対象とした計算と大きな計算時間の差がない。

参考文献

1) 細山田得三 田安正 茂犬飼直之 森貴正(2013): 津波外力を受けて移動する物体の数値計算法の提案, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.69, No.2, 2013, I_786-I_790.