

## 漂流物解析のための移動境界を用いた流体と剛体の連成計算手法

港湾空港技術研究所	正会員	東野 洋司
港湾空港技術研究所	正会員	富田 孝史
港湾空港技術研究所	正会員	有川 太郎
港湾空港技術研究所	正会員	本多 和彦

### 1. はじめに

東海地震や東南海地震, 南海地震にともなう津波の発生が注目され, その被害の正確な把握と対策の必要性が高まっている. 津波に関する研究は津波そのものの変形や打上げ高などを中心に研究されてきているが, 津波と構造物の相互作用などについては必ずしも十分に検討されているとは言い難い. 特に, 津波作用時にはブロックの散乱や, 貯木場の木材や漁船などの小型船舶の漂流などが発生しており, その衝突によって構造物に破滅的な被害を及ぼすことも考慮しておく必要がある. 特に近年の海上物流のコンテナ化により, 大規模港湾には大量のコンテナが積まれており, これらが津波により漂流すると港湾施設などに甚大な被害を与える危険性がある. したがって, このような漂流可能物が津波作用時にどのような挙動をするのか, あるいはそれらが漂流状態となって構造物に衝突したとき, どのような力を与えるのかを把握しておくことは, 港湾の耐震性を向上させるためには必要不可欠である. 本研究では, 想定津波による被害推定できることを念頭に置いて, 津波波源から一連に解析が行えるよう移動境界を用いて, 津波伝播と漂流物移動とを連成させた数値計算モデルを構築することを目的とする.

### 2. 基礎方程式と数値計算法

従来の漂流物移動計算モデルでは, 流体から漂流物に作用する力は, 漂流物位置における流速から抗力ならびに慣性力を推算して行なっている. また, 流体計算において漂流物自体の物体情報が組み込まれていないために, 物体移動に伴う流体変化の相互作用が表現できない. そのため, 流体計算において移動境界を用いて, 流体と漂流物運動を連成的に一体で解析を行なう必要がある. 柿沼・秋山(2005)は各格子の体積占有率と有効面透過率を時間とともに逐次変化させる物体移動表現手法を提案しているが, 基礎方程式は従来のままであり, 漂流物が構造物に近づく際に連続式を満足しない問題がある. 本研究では, 著者らが開発してきた STOC(富田・柿沼, 2005)の3次元モデルにおいて, 移動境界表現を柿沼・秋山(2005)が提案した手法を用い, 流体と漂流物運動を連成的に計算できるよう, 新たに次式で示すような従来の基礎方程式に体積占有率の時間変化項を付与した基礎式を提案し, 数値計算モデルを構築した.

$$\frac{\partial \gamma_v}{\partial t} + \frac{\partial (\gamma_i u_i)}{\partial x_i} = 0$$

$$\frac{\partial (\gamma_v u_i)}{\partial t} + \frac{\partial (\gamma_i u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\gamma_v}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \gamma_v \frac{\rho}{\rho_0} g_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \gamma_j \nu_T \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right\}$$

ここで,  $x_i$  は直交座標系  $(x, y, z)$ ,  $t$  は時間,  $u_i$  および  $p$  はそれぞれ流速  $(u, v, w)$  および圧力であり,  $\rho$  および  $\rho_0$  はそれぞれ流体の密度およびその基準値である. また,  $g_i$  は重力加速度  $(0, 0, -g)$  であり,  $\nu_T$  は動粘性係数である.  $\gamma_v$  および  $\gamma_i$  はそれぞれ体積占有率および有効面透過率である. 漂流物は剛体として扱い, 漂流物に作用する外力は漂流物周りの圧力を積分して算出し, 漂流物位置および角度を運動方程式および角運動量式を逐次計算することにより求める.

キーワード 津波, 漂流物, 数値計算

連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 (独) 港湾空港技術研究所 津波防災研究センター TEL 046-844-5052

### 3. 数値計算の概要

はじめに, テストケースとして静止流体中に浮かぶ直方体を重心位置が水面から 1.5m 下がった状態から浮力と重力によって鉛直方向に自由振動する解析を行なった. メッシュ幅 0.5m, メッシュ数  $11 \times 11 \times 27$ , 漂流物サイズを  $0.5\text{m} \times 0.5\text{m} \times 4.0\text{m}$  (ケース 1) および  $2.0\text{m} \times 2.0\text{m} \times 4.0\text{m}$  (ケース 2) の 2 種類とし, 漂流物密度は流体密度の  $3/4$  とした.

ケース 1 における計算値と解析解の位置および速度の比較を図 - 1 に示す. 解析解は, 外力を浮力と重力のみ扱っている. 計算結果は解析解とほぼ一致している. ただし, 時間が進むにしたがって振動幅が減少し, また, 物体の固有周期 3.47s に対して振動周期は 3.51s から時間が進むにつれて固有周期に近づき位相差が広がっている. これは解析解では考慮できない物体移動を考慮していることにより, 流体からの抵抗を受ける慣性力によるものである. この現象は, 流体が抵抗する面積が広がったケース 2 において, その度合いも大きくなった.

静止流体中を円柱が等速並進運動するときの流動計算を行なった. メッシュ幅は 0.1m, メッシュ数  $60 \times 60 \times 10$ , 円柱の直径を 1m とし, 円柱の移動速度を 0.05m/s とした.

図 - 2 に円柱等速並進運動の流速分布のスナップショットを示す. 流体が円柱後部へ回り込んでいることが確認できる. また, 図 - 3 に円柱が動いた瞬間 (1 タイムステップ目) の  $x$  軸上の  $x$  方向流速分布を示す. 円柱の外側の速度を円柱表面まで外挿すると, ほぼ  $U_0 = 0.05\text{m/s}$  となり, 定量的に正しい値が得られていることが分かる.

### 4. おわりに

本研究では, 津波波源から一連に解析が行えるよう移動境界を用いて, 津波伝播と漂流物移動とを連成させた数値計算モデルを構築することを目的とし, 体積占有率の時間変化項を付与した流体の基礎方程式を基にした数値計算モデルにより, 流体と構造物移動の相互作用を考慮できることを明らかにした.

なお, 本研究の一部は(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構の平成 18 年度運輸分野における基礎的研究推進制度の補助を受けたことを付記し, ここに謝意を表す.

### 参考文献

- 富田孝史・柿沼太郎 (2005): 海水流動の 3 次元性を考慮した高潮・津波シミュレータ STOC の開発と津波解析への適用, 港湾空港技術研究所報告, 第 44 巻, 第 2 号, pp.83-98.
- 柿沼太郎・秋山実 (2005): 海底地形の変動に伴う津波発生過程の数値計算, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp.236-240.

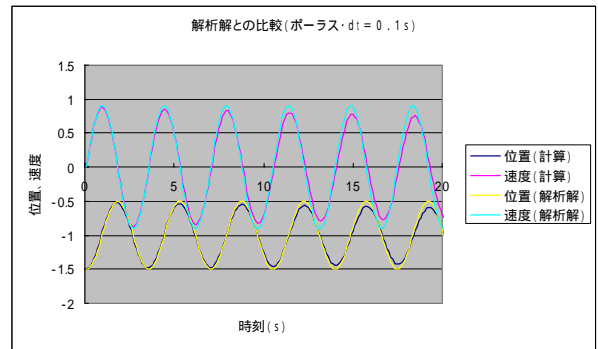


図 - 1: 浮体の鉛直自由振動解析  
計算値と解析解との比較

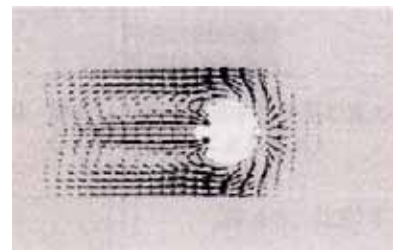


図 - 2 移動する円柱周りの流速分布

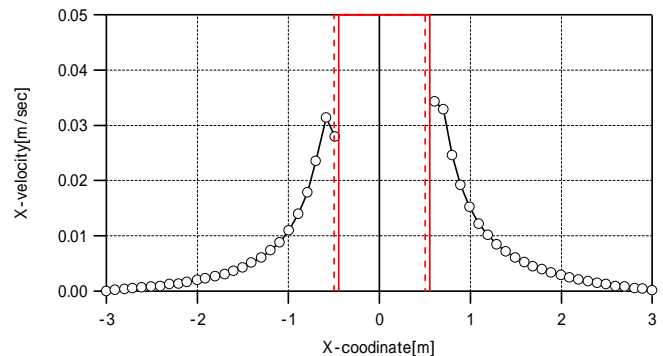


図 - 3:  $x$  軸上の  $x$  方向流速分布