

II - 103 氷板下に拡がった油の流れによる変形及び移動に関する数値計算

岩手大学工学部 学会員 ○松崎 義孝
 岩手大学工学部 正会員 小笠原敏記
 岩手大学工学部 正会員 堺 茂樹

1 序論

近年、サハリン島北東部沖合の大陸棚における石油および天然ガスの生産が本格化しており、それに伴い油流出事故が危惧されている。もし油流出事故が発生すると、流出油が東カラフト海流により南下するため、北海道のオホーツク海沿岸にも多大な環境被害を及ぼす可能性がある。また、冬期間この海域は氷に覆われるが、この時期に油が流出すると氷板下に拡散する場合もあることから、氷板下の油拡散に対して海流の影響があると考えられる。そこで本研究では堺ら*1)の実験結果に基づき、氷板下の油層に作用する流れの影響による変形及び移動をモデル化し、氷板下に拡がった油の流れによる変形及び移動に関する数値計算手法を開発した。

2 油の変形及び移動に関する従来の実験結果

堺ら*1)は氷板下に油を流出させ十分に時間の経過した後、氷板を一定速度で移動させることによって相対的な意味での定常な流れを再現する実験を行った。その結果、図1に示すとおり変形には静止、定形、変形、分裂のパターンがあり、油層の初期面積と流速による変形パターンの分類として図2の結果が得られた。油の初期面積により差はあるが、流速が10cm/s未満の場合はほぼ静止状態にあり、20cm/sを超えると分裂することがわかった。

3 基礎式と流れの影響のモデル化

油の変形及び移動の基礎式には、非圧縮性流体のNavier-Stokes方程式と連続の式を用いた。氷板下に拡がった油層は平面に比べ厚さが非常に小さいので長波近似を仮定する。油層を積分し、粘性項は泉山ら*2)の理論解を用いると、NS方程式、連続の式は次のように展開される。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{h} \right) + \frac{\rho_w - \rho_o}{\rho_o} gh \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{4\mu_o M}{\rho_o h^2} = 0 \quad \cdots(1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{h} \right) + \frac{\rho_w - \rho_o}{\rho_o} gh \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{4\mu_o N}{\rho_o h^2} = 0 \quad \cdots(2)$$

$$\frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad \cdots(3)$$

ここで、 M, N はそれぞれ x, y 方向の流量フラックス、 h は油層厚、 ρ_o, ρ_w はそれぞれ油、水の密度、 g は重力加速度、 η は油層面の位置、 μ_o は油の粘性係数である。この式をスタガード格子で差分化し、leap-frog法を用いて計算した。また、油層端部では、油・氷・水の界面張力を考慮した(堺ら*3))。

本計算モデルでは、水の存在は油層に浮力を与えることのみで表現されており、水と油の動的な相互干渉は考慮されていない。したがって油層に流れが作用した場合、その力を直接表現することはできない。そこで、油層に流れが作用した際

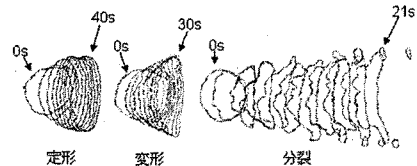


図1 油層の変形パターンの例

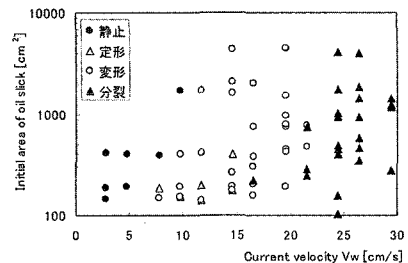


図2 油層の初期面積と流速による変形パターンの分類

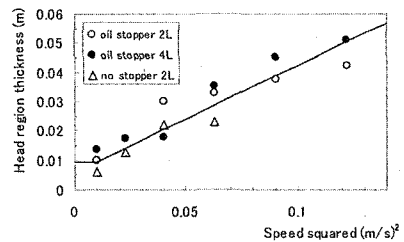


図3 流速と油層先端部の油層厚の関係

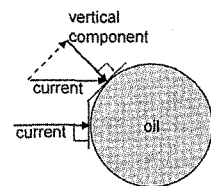


図4 油層先端部の傾きの考え方

に油層先端部での油層厚が増大することに着目した。図3は流速と油層先端部の油層厚の関係を示している。油の量にかかわらず、油層先端部の厚さは流速の2乗と線形な関係にあり、流れによる油層厚の増加量が推測できる。そこで、想定される流速に対応した油層厚を油層先端部に与えることによって、流れの影響を反映させることを試みた。その際、図4のように油層面が流れに対し垂直でない場合、油層先端部に対する垂直成分と図3から油層増加量を決めた。また、油層が移動すると流れの相対速度が減少するから、移動が始まってからは、流速は油の移動速度を差し引いた相対速度で計算している。流速が10cm/s未満の場合油は静止することがわかっているため、10cm/sまでは油層先端部に油層厚を与えないこととした。流速が20cm/sを超えると油が分裂し、連続流体としての運動でなくなるので、流速が20cm/s以下の場合を今回のモデルの計算範囲とした。

4 計算結果

図5〜7は実験と計算の比較である。初めは一致しないが、実験では静止状態から氷板を移動させ相対的な流れを再現しており、初期にかかる力が大きいと考えられる。ある程度移動が進むと計算値は実験値と一致している。図8より実験では油層の初期面積が小さいほど、流速が大きいほど、油の移動速度が大きい結果が得られているが、計算結果でも同様の結果を示している。また、いずれの条件でも実験値とよく一致している。

図9は図5のときの変形の平面図である。油は左から右に移動している。油が流れに対して徐々に垂直に変形していく様子が実験値とよく一致しており、流れによる影響をよく表現している。

5 結論

本計算モデルでは分裂が発生する以前(流速 20cm/s 以下)の油の変形及び移動を表すことができた。東カラフト海流の流速は20cm/s未満であることから、今回のモデルは実際の海域にも適応しうる。しかし、オホーツク海の氷板底面には凹凸があり、この効果を検討する必要がある。また、前述のとおり今回のモデルには水と油の動的干渉が考慮されていない。よって今後、より精度の高い予測をするために流れを考慮した計算を行う予定である。

参考文献

- 1) 堺茂樹・花井宏太・笹本誠・金田成雄・泉山耕(1999): 氷板下での油拡散に及ぼす流れの影響に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第46巻, pp.1076-1080
- 2) 泉山耕・堺茂樹(1998): 氷海域に於ける流出油の拡散に関する実験及び理論解析, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.921-925
- 3) 堺茂樹・彭瑜・岡本敦・笹本誠・泉山耕(2003): 氷板下の油拡散に関する数値計算, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.1276-1280

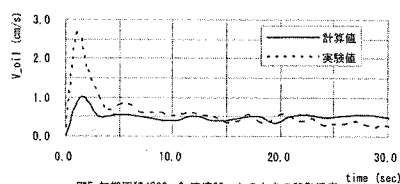


図5 初期面積4500cm² 流速20cm/sのときの移動速度

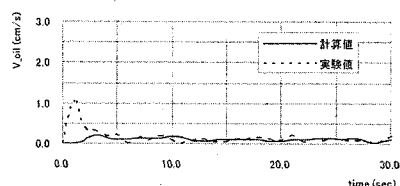


図6 初期面積4500cm² 流速15cm/sのときの移動速度

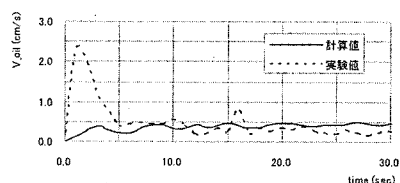


図7 初期面積400cm² 流速15cm/sのときの移動速度

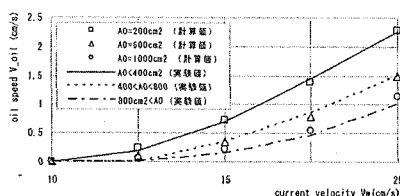


図8 流速及び油層の初期面積に対する油層の移動速度

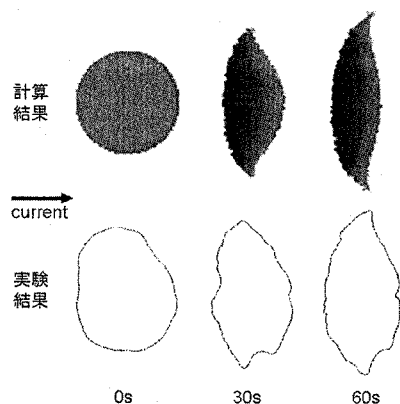


図9 油の変形の比較
(初期面積4500cm² 流速20cm/s)