

津波来襲時の海水の漂流挙動に関する基礎的研究

Study on Drift Behavior of Ice Floe due to Tsunami

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 ○正 員 森 昌也 (Masaya Mori)
 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 正 員 木岡 信治 (Shinji Kioka)
 (株) クマシロシステム設計 正 員 阿部島 直哉 (Naoya Abeshima)

1. まえがき

津波来襲時に津波とともに漂流する津波漂流物は津波の被害を増大させることが指摘されており、各種、津波漂流物を想定した研究が近年行われている。例えば、熊谷ら¹⁾は港湾に多数野積みされているコンテナを漂流物の対象として、水理模型実験から漂流挙動を把握している。また、藤井ら²⁾は船舶、松富ら³⁾は流木を漂流物の対象とした同様の検討を実施している。

北海道のオホーツク海沿岸域および太平洋東部沿岸域において流氷来襲時に津波が来襲すれば大きな被害が発生する可能性がある。実際に1952年の十勝沖地震においては、写真-1に示すように津波とともに海水が陸域に遡上し、家屋の破壊などの被害が発生している。小野ら⁴⁾はこのような被害を津波流氷災害と名付けて、このような複合災害が発生する可能性とその対策の重要性について報告している。さらに、2006年11月および2007年1月にオホーツク海沿岸域に津波警報が発表されたこともあり、流氷来襲域の自治体においても津波防災の意識は高まっている。しかしながら、被害を増大させると考えられる海水の影響を評価する手法については明らかにされていないのが現状である。

そこで本報告では、津波来襲時の海水の漂流挙動を把握することを目的として、2層流モデルを用いた海水の漂流計算を実施するとともに、模型実験との比較からその適用性について報告するものである。

2. 海水の漂流に関する模型実験と数値計算の方法

(1) 模型実験の方法

一様斜面を遡上する海水に関する基礎的な模型実験を実施した。実験は図-1に示すような1/30の勾配の設けてある断面水路を用い、ピストン型造波装置によって



写真-1 海水の遡上状況：浜中町霧多布
 (1952年十勝沖地震調査報告書より)

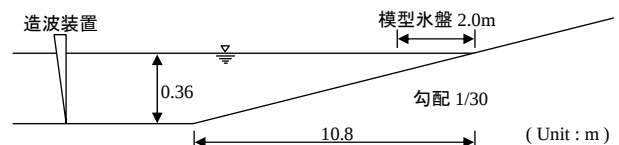


図-1 模型実験の断面図

一山形の正弦波を造波させて模型氷盤の遡上状況を撮影した。実験に用いた模型氷盤は比重が実際の氷盤とほぼ同じ0.91であるポリプロピレン製とし、厚さが0.5cm、直径が6cmの円形(質量14.1g)を用いた。これらの形状は1952年十勝沖地震調査報告書に記載されている情報から設定している。模型氷盤は図-1に示すように陸域から2.0mの範囲に浮かべており、カバー率は80%とした。ここでは津波モデルとして一山型の正弦波を造波しており、長波領域に相当する波高 $H=2.0\text{cm}$ 、 2.5cm 、周期 $T=8.0\text{s}$ の条件で実施した。測定では、模型氷盤の遡上状況をデジタルビデオカメラで撮影し、静水面を基準とした模型氷盤の最大遡上高さ R_{ice} を読み取った。

(2) 数値計算の方法

津波漂流物の漂流計算の手法として熊谷ら¹⁾はコンテナに作用する抗力および慣性力から漂流挙動を計算している。また、五十里ら⁴⁾はMPS法を用いた流体-構造連成計算から流木の漂流挙動を計算している。これらの計算モデルは漂流個数が比較的少ない漂流物を対象としたものであり、海氷のように半無限的に存在する漂流物の場合には計算負荷が大きくなり、適用するのが難しい。岩淵ら⁴⁾は津波来襲時にタンクから流出した油の漂流計算を行うために非線形長波方程式の2層流モデルを提案している。この計算モデルは計算負荷が小さいため、ハザードマップ等を想定した広領域への適用も可能なモデルであり、一般的に用いられている津波計算との領域結合も容易である。ここでは、2層流モデルを海水の漂流計算に適用し、模型実験との比較からその適用性を確認することとした。岩淵ら⁴⁾のモデルにおける油の層を海氷に置き換えて、上層を海氷の層、下層を海水の層とした場合、非線形長波理論の2層流モデルの支配方程式は下式のように表すことができる。

《海氷層の支配方程式》

$$\frac{\partial(\eta_1 - \eta_2)}{\partial t} + \frac{\partial M_1}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial M_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M_1^2}{D_1} \right) + g D_1 \frac{\partial \eta_1}{\partial x} - f u |u| = \nu \frac{\partial^2 M_1}{\partial x^2}$$

《海水層の支配方程式》

$$\frac{\partial \eta_2}{\partial t} + \frac{\partial M_2}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial M_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M_2^2}{D_2} \right) + g D_2 \left(\alpha \frac{\partial D_1}{\partial x} + \frac{\partial \eta_2}{\partial x} - \frac{\partial h_1}{\partial x} \right) + \frac{g n^2}{D^{7/3}} M_2 |M_2| + \alpha f \bar{u} \bar{u} = 0$$

ここで、 h は水深、 η は水位変化量、 D は全水深、 M はフラックス、 n はマンニングの粗度係数、 α は海水層と海水層の密度比(ρ_1/ρ_2)、 f は抵抗係数、 $\bar{u}$ は上層下層間の相対流速、 g は重力加速度を示している。なお、式中の添え字の 1 は海水層、2 は海水層の値であることを示している。

再現計算における空間格子幅は $dx=0.02m$ に設定しており、模型実験と同じ入射波を左端の造波境界から与えている。模型実験を再現するため、海水層の初期厚さは $0.005m$ 、密度比 α は 0.9 としている。抵抗係数 f は漂流量を決定する重要なパラメータである。ここでは模型実験との比較から 0.02 を用いているが、値の設定法については更に検討を進める予定である。

3. 再現計算と考察

図-2 は波高 $H=2.5cm$ 、周期 $T=8.0s$ の条件における再現計算の空間波形の一例を $2.0s$ 間隔で示している。左端の造波境界から入射した一山型の津波モデルは $t=8.5s$ 付近から先端部分が段波となって海水層へ作用している。その後、入射波とともに海水層が陸域へ輸送さ

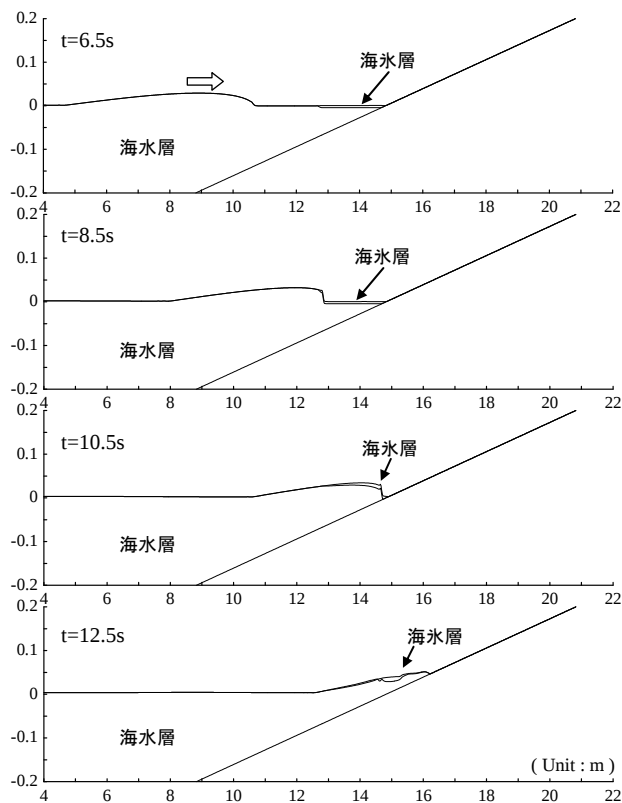


図-2 計算結果の空間波形 ($H=2.5cm$, $T=8.0s$)

れており、遡上域まで安定して計算可能なモデルであることが確認できる。

海水の最大遡上高さの計算値 $R_{ice[cal]}$ を実験値 $R_{ice[exp]}$ と比較したのが図-3 である。実験値と計算値を比較すると計算値の方がやや大きな値となっているが、概ね実験値と一致する傾向を示している。海水の漂流挙動を評価する手法の一つとして、2 層流モデルの適用性を確認することができた。

4. まとめ

一様斜面を遡上する海水に関する基礎的な模型実験を実施するとともに、2 層流モデルを用いた模型実験の再現計算を実施した。模型氷盤の遡上高さについては計算値と実験値は概ね一致する傾向にあり、海水の漂流挙動を評価する手法の一つとして適用性が確認された。今後は、ハザードマップなどへの適用を目指して実海域を対象とした平面二次元の計算を行うとともに、遡上した海水による作用力の推定法についても検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 熊谷兼太郎・小田勝也・藤井直樹：津波によるコンテナの漂流挙動シミュレーションモデルの適用性、海岸工学論文集第 53 巻、pp.241-245、2006。
- 2) 藤井直樹・大森政則・池谷毅・朝倉良介・武田智吉・柳沢賢：港湾における津波漂流物の数値計算、海岸工学論文集第 52 巻、pp.296-300、2005
- 3) 松富英夫：砕波段波に伴う流木の最大衝撃力に関する実験的研究、土木学会論文集、No.467/II-23、pp.19~28、1993
- 4) 小野延雄：津波流水災害に関する資料解析、第 20 回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集、pp.144-147、1983。
- 5) 五十里洋行・後藤仁志：津波氾濫による橋桁被災過程の数値シミュレーション、海岸工学論文集第 54 巻、pp.221-215、2007。
- 6) 岩淵洋子・越村俊一・今村文彦：津波の陸上遡上域における油・水輸送問題の数値実験、海岸工学論文集第 53 巻、pp.1361-1365、2006。

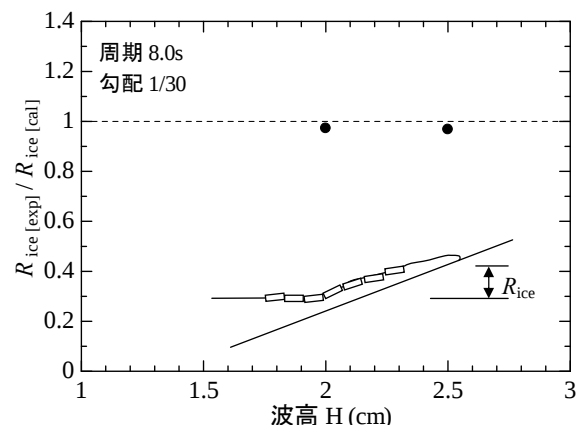


図-3 遡上高さの実験値と計算値