

京都大学工学部 学生員 ○永島 弘士
 京都大学防災研究所 正会員 米山 望
 京都大学防災研究所 正会員 戸田 圭一

1. はじめに

津波来襲時には、船舶やコンテナ等が津波により漂流し、港湾部の構造物に衝突して破壊する可能性がある。このような被害を軽減するためには、漂流物の挙動や衝突力を予測することが必要である。本研究では、流体挙動解析手法として米山ら^[1]のVOF法を用いた三次元数値解析手法を選択し、ここに漂流物移動手法を追加して、周囲の流体から圧力を受けて移動する漂流物の挙動を解析する手法（漂流物挙動解析手法）を提案する。

2. 基礎方程式

VOF法を用いた三次元数値解析手法の基礎方程式は連続式と運動方程式であり、次式に従って流体を移動させる。

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

ここで、 u_i は流速の各方向成分、 F は計算セルの流体充填率、 Fa は計算セルの空隙率であり、

$$F = \frac{\text{計算セル中の流体体積}}{\text{計算セル中の物体以外の体積}}$$

$$Fa = \frac{\text{計算セル中の物体以外の体積}}{\text{計算セルの体積}}$$

である。

3. 流体挙動解析手法の津波遡上水理模型実験への適用

池野ら^[2]は、単純形状の漂流物が津波により運ばれて構造物に衝突する場合の衝突力を明らかにし、衝突力の概略が把握できる算定式を提案するために水理模型実験を行っている。その実験装置を図1に示す。模型縮尺は1/100である。上流側静水位 $H_1 = 40$ cm, 下流側静水位 $H_2 = 5$ cm で漂流物が無い場合について流体挙動解析手法を適用した。奥行き 1 cm, 計算時間刻み幅 $\Delta t = 5.0 \times 10^{-4}$ s, 連続式誤差許容最大値 $D_{max} = 1.0 \times 10^{-5}$, 水の動粘性係数 $\nu = 1.0 \times 10^{-6}$ m²/s, 物体境界条件をハーフスリップとして計算し、 $Y = 707, 811, 902, 981$ cm での水位変動の実験結果と解析結果を比較したのが図2である。ただし、池野らはゲートを引き上げ急開することにより段波を発生させているが、解析では計算開始と同時にゲートが瞬時に消えるとしており、解析結果の時刻は $Y = 981$ cm での水位上昇開始時刻が実験結果と一致するようにして表示している。図2より、4点すべてについて水位変動はおおむね一致しており、VOF法を用いた三次元数値解析手法によって津波遡上現象がおおむね解析できたと考えられる。また、受波圧板前面での水圧値を鉛直方向に積分し、受波圧板に

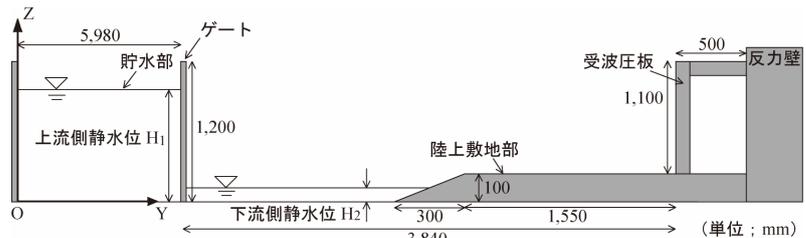


図1 実験装置正面図

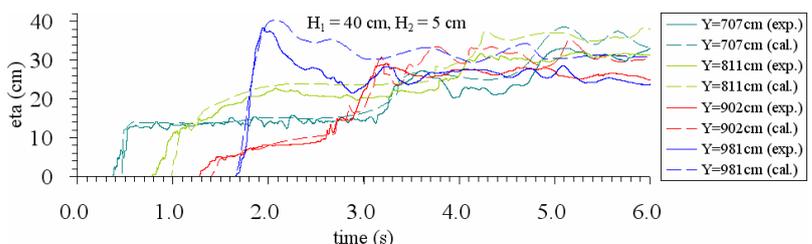


図2 水位変動の比較

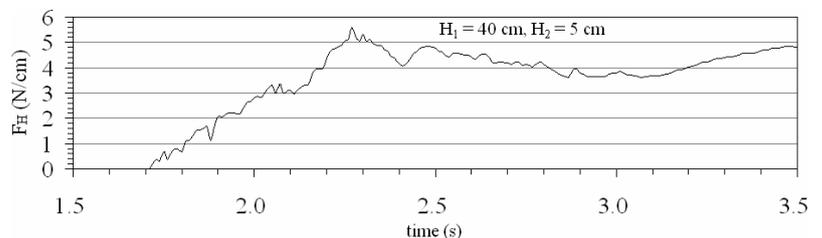


図3 津波衝突力

かかる単位奥行きあたりの力を計算したところ、**図3**のようになった。この波形は池野らの実験結果を定性的に表していると考えられるが、定量的な検討については今後行う。

4. 漂流物挙動解析手法の提案と適用例

漂流物は剛体として取り扱い、その存在は計算セルの空隙率 Fa を考慮することにより表現する。作用する圧力には周囲の計算セルの圧力定義点(**図4**中の・点)の圧力値を用い、運動方程式より加速度を計算して漂流物を移動させ、 Fa を変化させる。このような漂流物移動手法を流体挙動解析手法に追加したのが漂流物挙動解析手法である。

津波が陸上に遡上すると、コンテナなどの陸上に置かれている物体は津波の先端部分に押されて水平方向に移動し、構造物に衝突するという現象が起こり得る。そこで、3.で用いた津波遡上解析領域を対象として漂流物挙動解析手法をこの現象に適用した。解析領域、座標系、初期水位、計算時間刻み幅、連続式誤差許容最大値、水の動粘性係数はすべて3.と同じとし、漂流物は高さ8 cm、幅8 cm、奥行き1 cm、密度 0.3 g/cm^3 、漂流物重心の初期位置は $Y = 895.0 \text{ cm}$ 、漂流物と地面の間の摩擦係数は、静止摩擦係数を $\mu = 0.5$ 、動摩擦係数を $\mu' = 0.3$ として計算したところ、漂流物の移動の様子は**図5**のようになった。また、漂流物重心の水平方向の速度変化は**図6**のようになり、漂流物の受波圧板衝突時の速度は約 2.6 m/s となった。池野らの実験結果より漂流物の衝突時間を $0.03 \sim 0.1 \text{ s}$ とし、衝突後の漂流物の速度を 0 m/s と仮定すると、漂流物の単位奥行きあたりの衝突力 F_d は約 $0.5 \sim 1.7 \text{ N/cm}$ と計算される。一方、津波衝突直後の流体のみの単位奥行きあたりの衝突力 F_w の計算値は**図3**より約 $0.5 \sim 1.0 \text{ N/cm}$ であり、 F_d は F_w と比較して同程度から約2倍の値になることがわかる。本解析においては漂流物のみが先に衝突しているため、漂流物の衝突力だけを計算した。しかし、実際には漂流物を含んだ流体が衝突するため、その衝突力は F_d よりも大きくなると考えられ、これについては今後の検討課題である。

5. おわりに

VOF法を用いた三次元数値解析手法により津波遡上現象がおおむね解析できた。また、この流体挙動解析手法に漂流物移動手法を追加し、漂流物挙動解析手法を提案した。さらに、提案した手法を、陸上に置かれた物体に陸上遡上津波が作用する現象に適用したところ、物体が遡上津波の先端部分に押されて水平方向に移動する様子が解析できた。最後に、実験データを提供して頂きました(財)電力中央研究所 池野正明氏に厚く御礼申し上げます。

参考文献 [1] 米山 望・松山昌史・田中寛好：1993年北海道南西沖地震津波における局所遡上の数値解析，土木学会論文集 No.705/II-59, pp.139-150, 2002.5 [2] 池野正明・田中寛好：陸上遡上津波と漂流物の衝突力に関する実験的研究，海岸工学論文集，第50巻，pp.721-725, 2003.

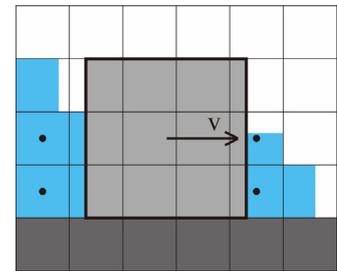


図4 漂流物の移動方法

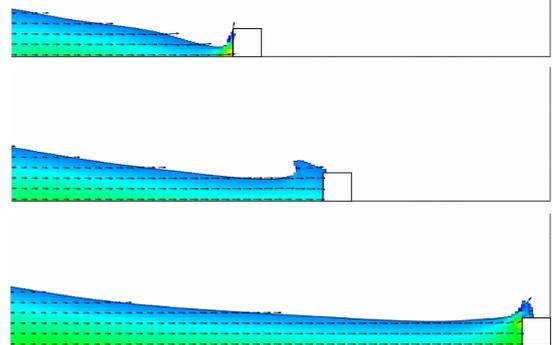


図5 漂流物の移動の様子

(上から順に $t = 1.62, 1.80, 2.26 \text{ s}$)

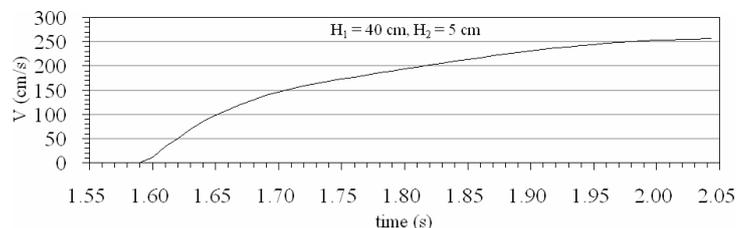


図6 漂流物の移動速度