



津波漂流物の 三次元挙動解析手法の開発

都市耐水研究室 永島 弘士

研究の背景

- 津波に伴う漂流物による被害
(流木・瓦礫・コンテナ・船舶 etc.)
 - 人に衝突 → 打撲
 - 護岸に衝突 → 護岸を破壊・浸水
 - 港湾に浮遊・沈没 → 航路の障害



スマトラ沖地震津波による被害の様子
澳門討論區HP(<http://macao838.com/viewthread.php?tid=31623>)
より

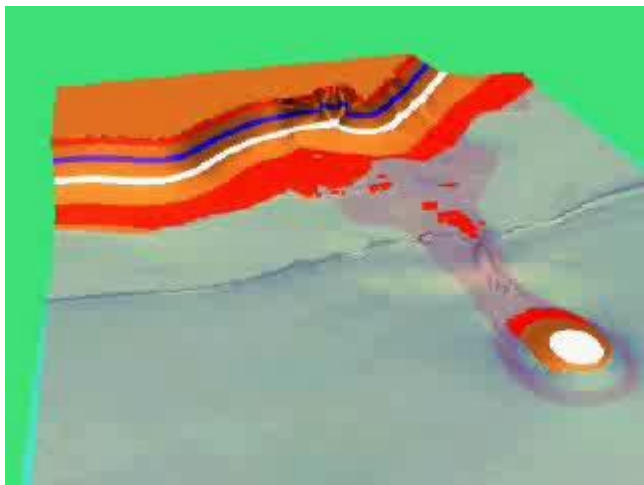
近い将来に
東南海・南海地震発生

漂流物の挙動や衝突力を予測することが必要

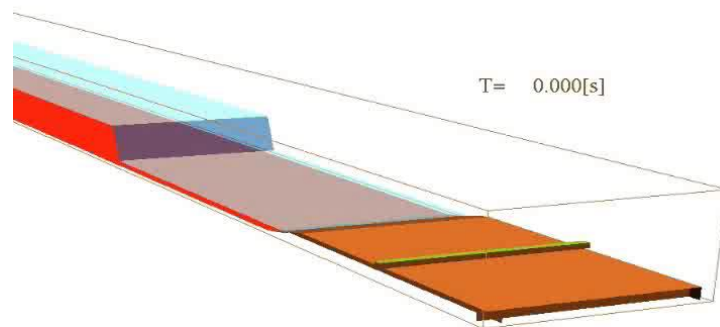
研究の目的

漂流物の挙動や衝突力の予測方法は未だ確立されていない

➡ 多様な場に適用可能な数値解析手法を開発する



三次元流体挙動解析手法
(米山ら, 2002)

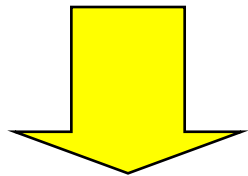


三次元漂流物挙動解析手法

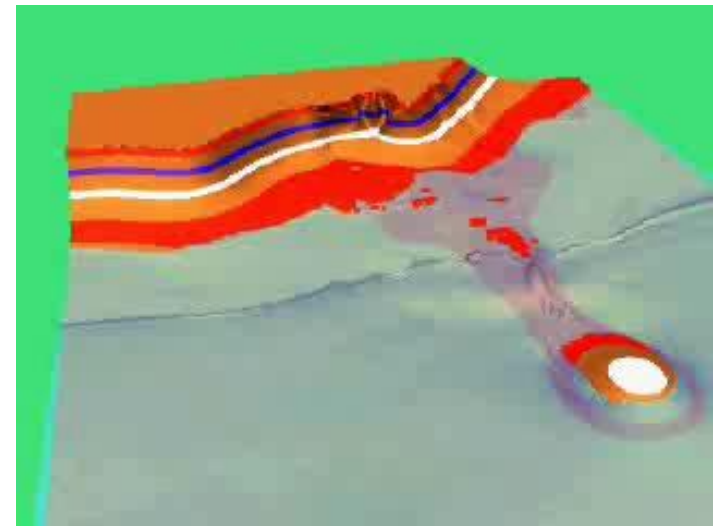
漂流物移動手法

流体挙動解析手法

- 解析対象：浅水域の津波
 - 流動は地形形状の影響を受ける
 - 鉛直方向の流速分布を考慮する必要がある



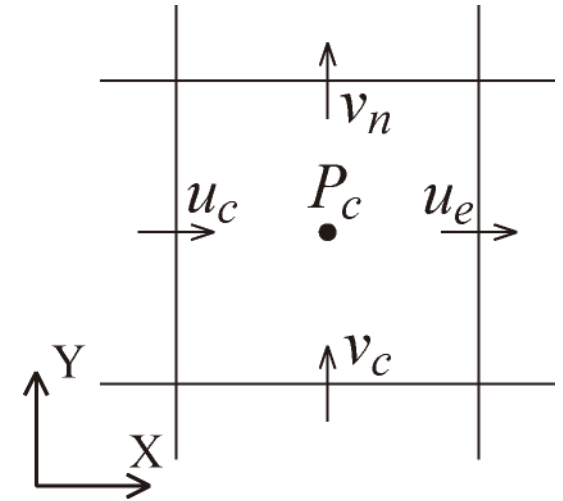
津波の挙動を精度よく予測するため
米山らが開発した三次元数値解析手法
(VOF法)を用いる



米山ら(2002)

VOF法の概要

- 計算領域を直交格子で分割する。
- 以下の基礎方程式を連立させ、各計算格子での流速，水の存在割合を算定する。



<連続方程式（質量保存式）（ $i=1,2,3$ ）>

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$

<運動方程式（水平二方向と鉛直方向）（ $i=1,2,3$ ）>

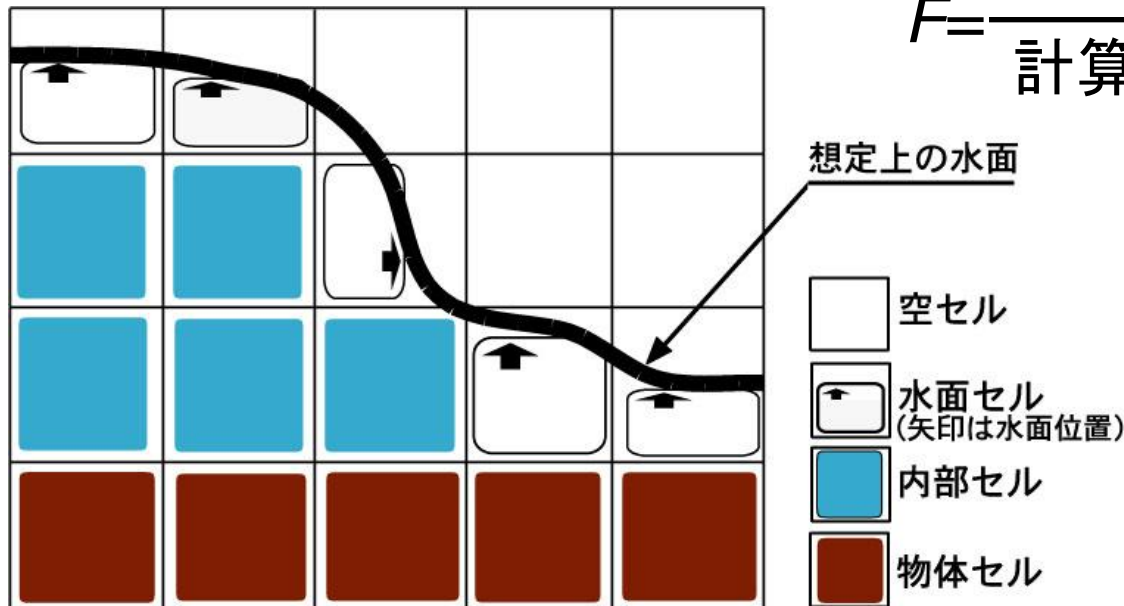
$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} = G_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right)$$

<VOF法(Volume of Fluid)にもとづく水面方程式>

水面の取り扱い(VOF法)

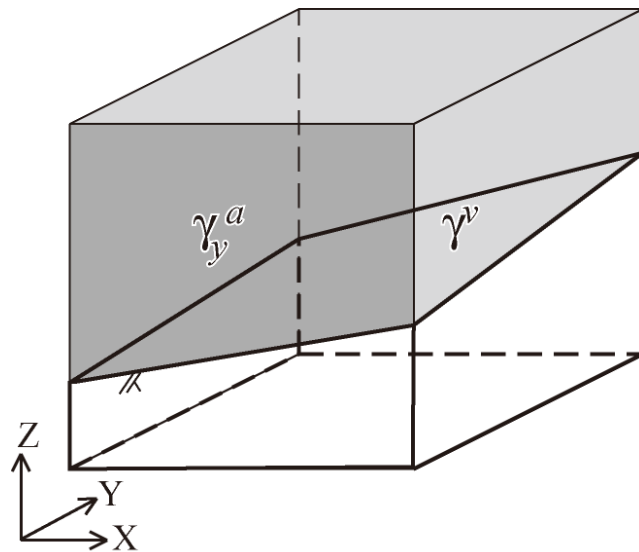
- VOF(Volume of Fluid)法での流体表現法
 - 計算セル内の流体配置を流体充填率 F で表す
 - 水面向きを周囲のセルによって決める

$$F = \frac{\text{計算セル中の流体体積}}{\text{計算セル中の空隙体積}}$$



地形形状の取り扱い (FAVOR法)

- 計算セルの空隙率および計算セル境界面の開口率によって地形形状を認識させる。



- 空隙率

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

- 開口率

$$\gamma_i^a = \frac{\text{計算セル境界の物体以外の面積}}{\text{計算セル境界の面積}}$$

漂流物の認識方法

- 平面で囲まれた物体を対象とする
- 計算セルの空隙率 γ^v と開口率 γ_i^a の時間変化を考慮する
 - これらの時間変化を考慮した計算の流れは卒論で確立

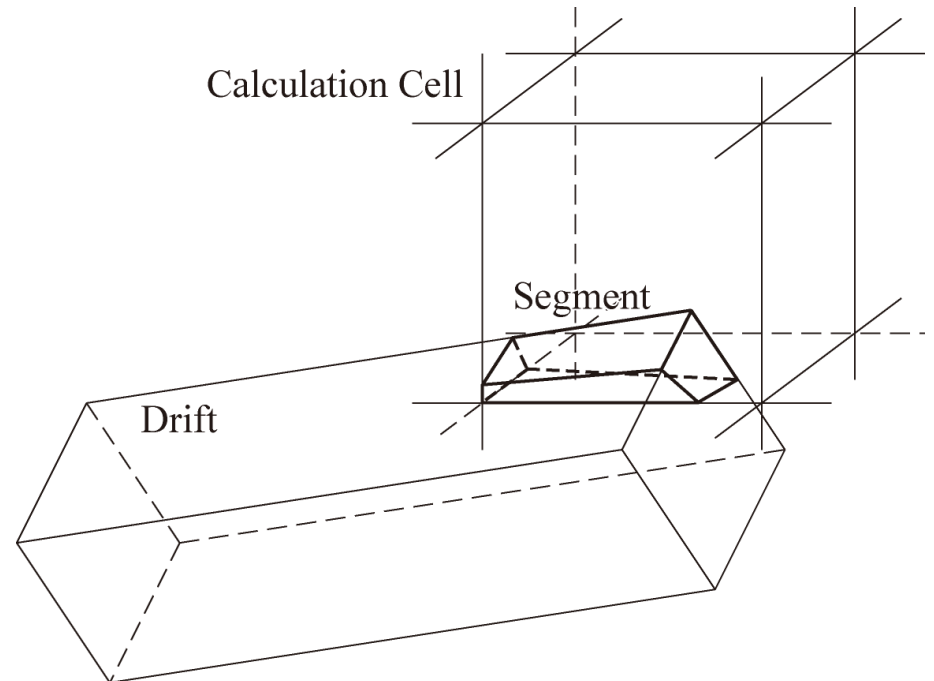
	空セル $\gamma^v = 0.8$ $F = 0.0$	空セル $\gamma^v = 0.5$ $F = 0.0$	空セル $\gamma^v = 0.4$ $F = 0.0$	空セル $\gamma^v = 0.6$ $F = 0.0$	
	水面セル $\gamma^v = 0.5$ $F = 0.6$	物体セル $\gamma^v = 0.0$ $F = 0.0$	物体セル $\gamma^v = 0.0$ $F = 0.0$	水面セル $\gamma^v = 0.4$ $F = 0.6$	
	内部セル $\gamma^v = 0.7$ $F = 1.0$	内部セル $\gamma^v = 0.1$ $F = 1.0$	内部セル $\gamma^v = 0.2$ $F = 1.0$	内部セル $\gamma^v = 0.5$ $F = 1.0$	

漂流物挙動解析手法の三次元化

- 計算セルと漂流物の共通部分(セグメント)の形状を、ベクトル解析を用いて厳密に計算する方法を新たに構築した。

セグメント形状の解析手順

- ① 頂点座標を計算する。
- ② 面を構成する頂点を調べる。
- ③ 頂点の順番を並び替える。
- ④ 表面積を計算する。
- ⑤ 体積を計算する。



セグメントがどんな形状になっても解析可能

漂流物運動の基礎方程式

■ 重心の運動と重心まわりの回転運動に分解

■ 重心の運動方程式

$$m\mathbf{a}_g = \mathbf{F}_g$$

■ 重心まわりの回転の運動方程式

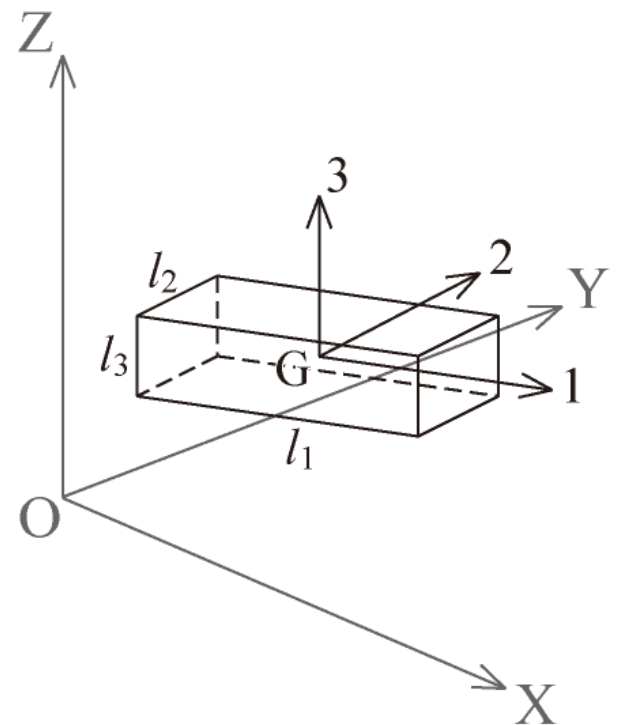
$$\begin{cases} I_{11}\phi_1 - (I_{22} - I_{33})\omega_2\omega_3 = N_1 \\ I_{22}\phi_2 - (I_{33} - I_{11})\omega_3\omega_1 = N_2 \\ I_{33}\phi_3 - (I_{11} - I_{22})\omega_1\omega_2 = N_3 \end{cases}$$

I: 慣性モーメント

ϕ_i : i 軸まわりの角加速度

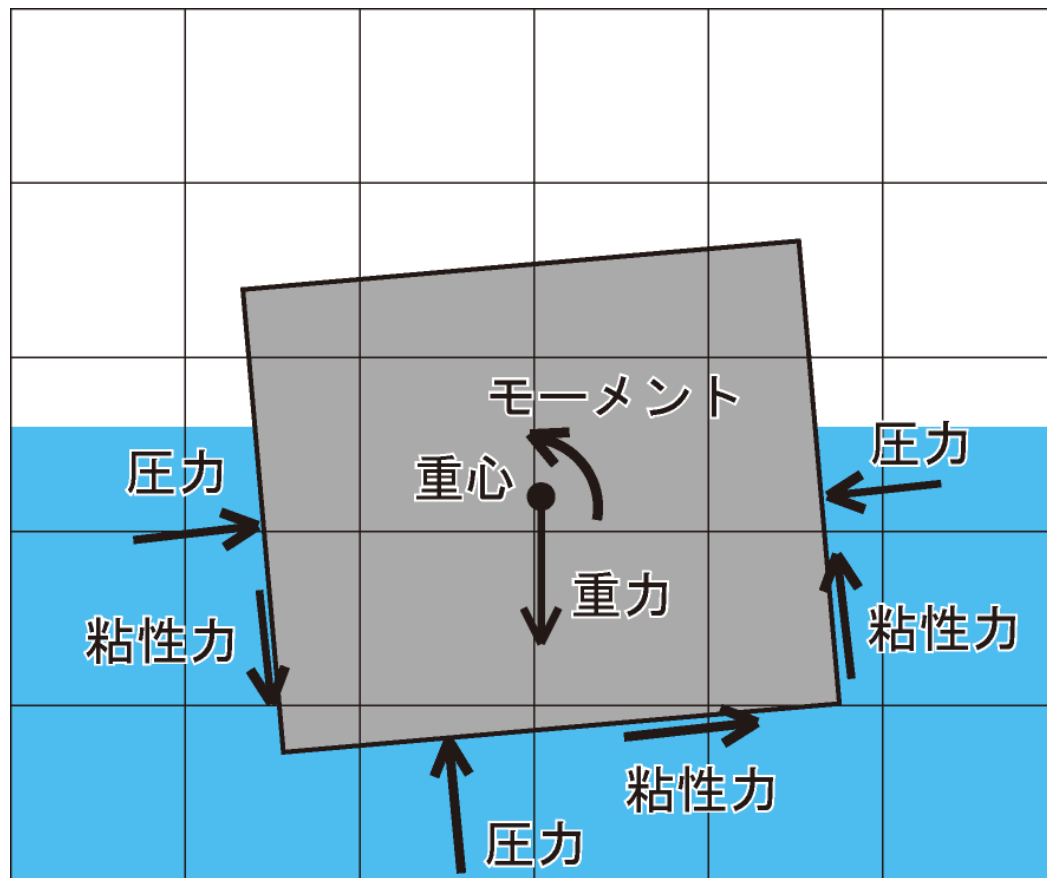
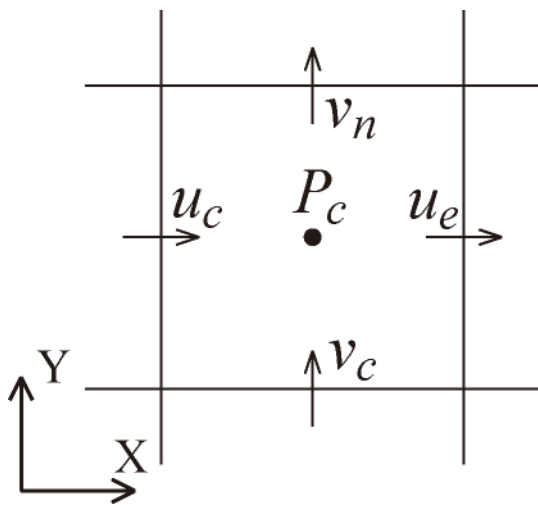
ω_i : i 軸まわりの角速度

N_i : i 軸まわりのモーメント



外力の評価方法

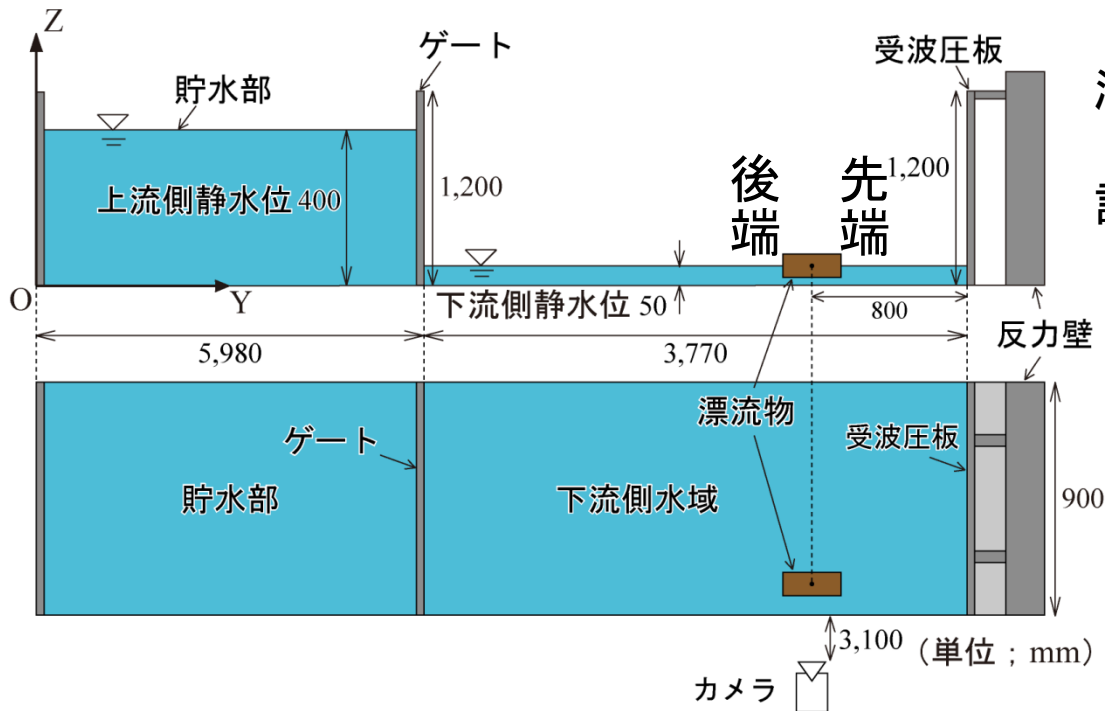
- 評価する外力
 - 重力
 - 流体の圧力
 - 流体の粘性力



水理模型実験への適用 (1)

砕波段波津波による波力と漂流物の挙動・衝突力に関する実験的研究, 池野ら(2001)

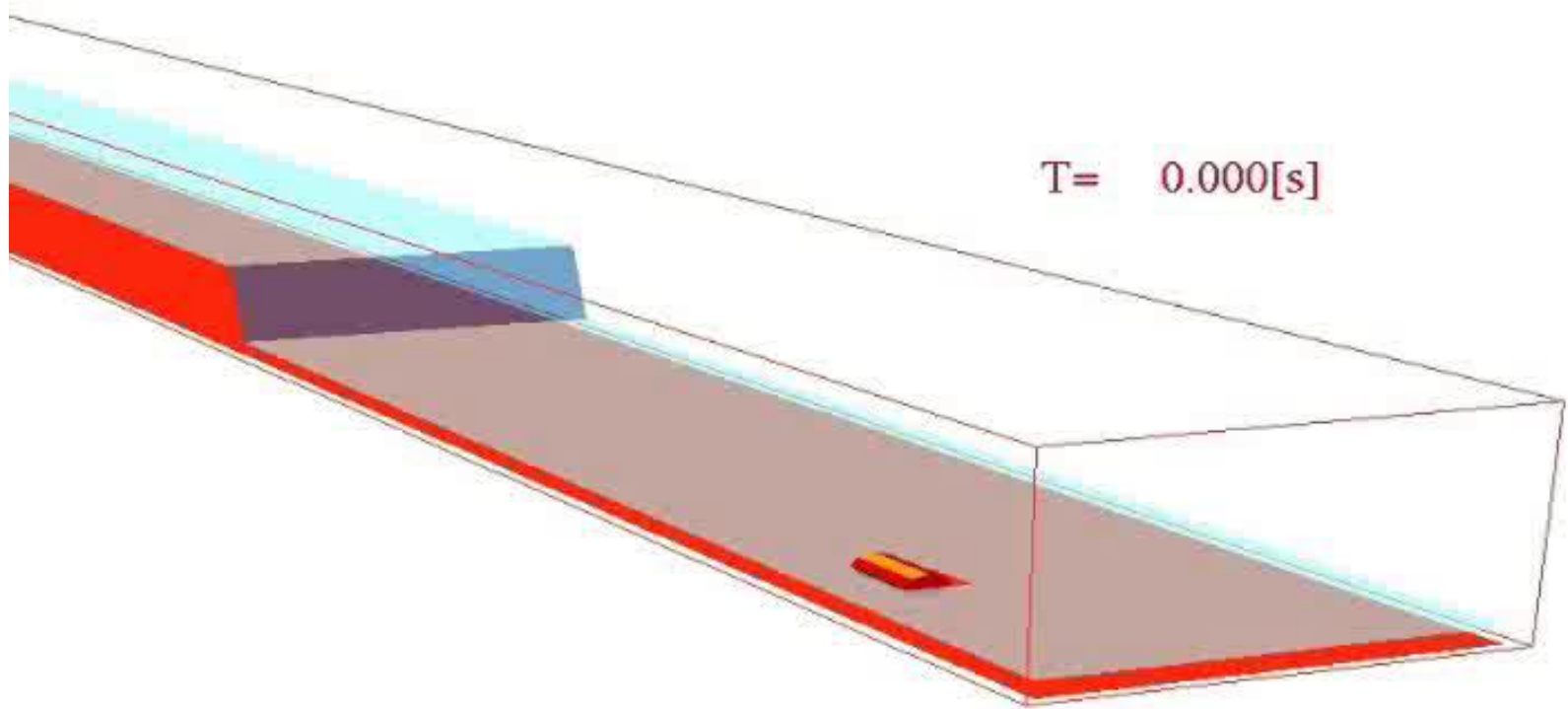
- ゲート引き上げ急開により段波を発生させる



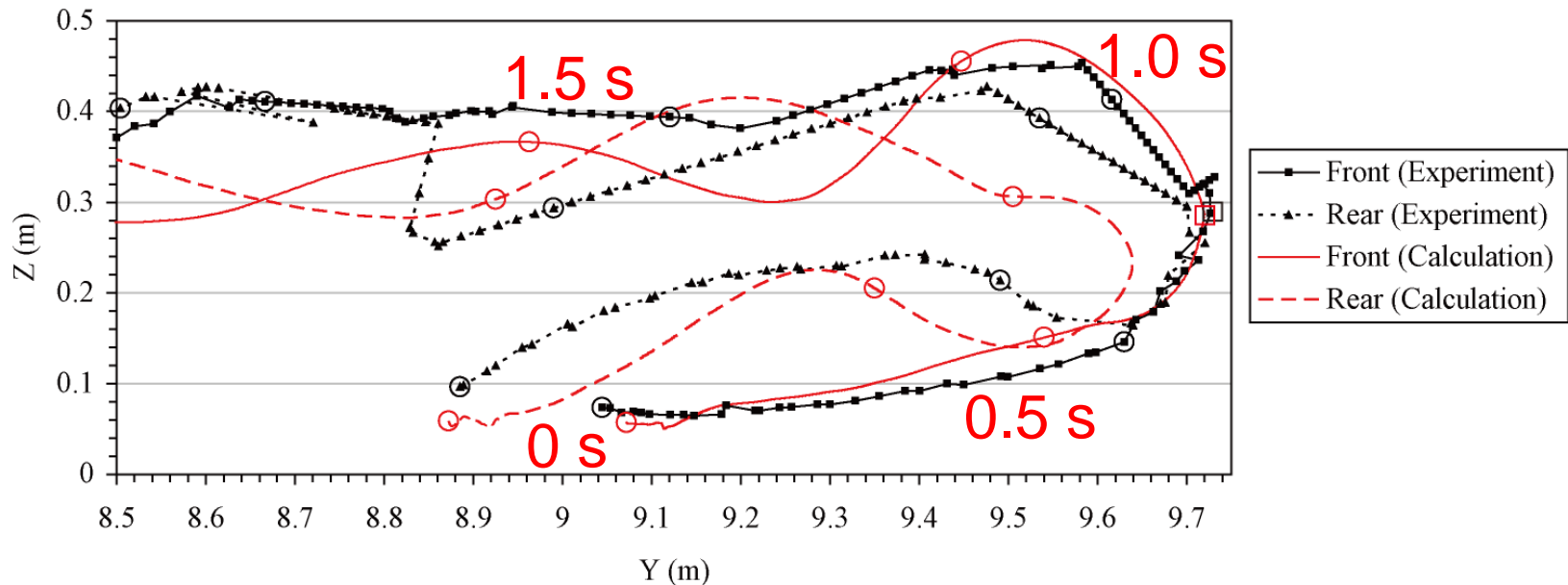
漂流物: 直径8cm・長さ20cmの円柱
密度 0.5g/cm^3

計算格子: X 6cm・Y 6.5cm・Z 3cm

漂流物挙動の三次元解析 (1)



結果の比較 (1)



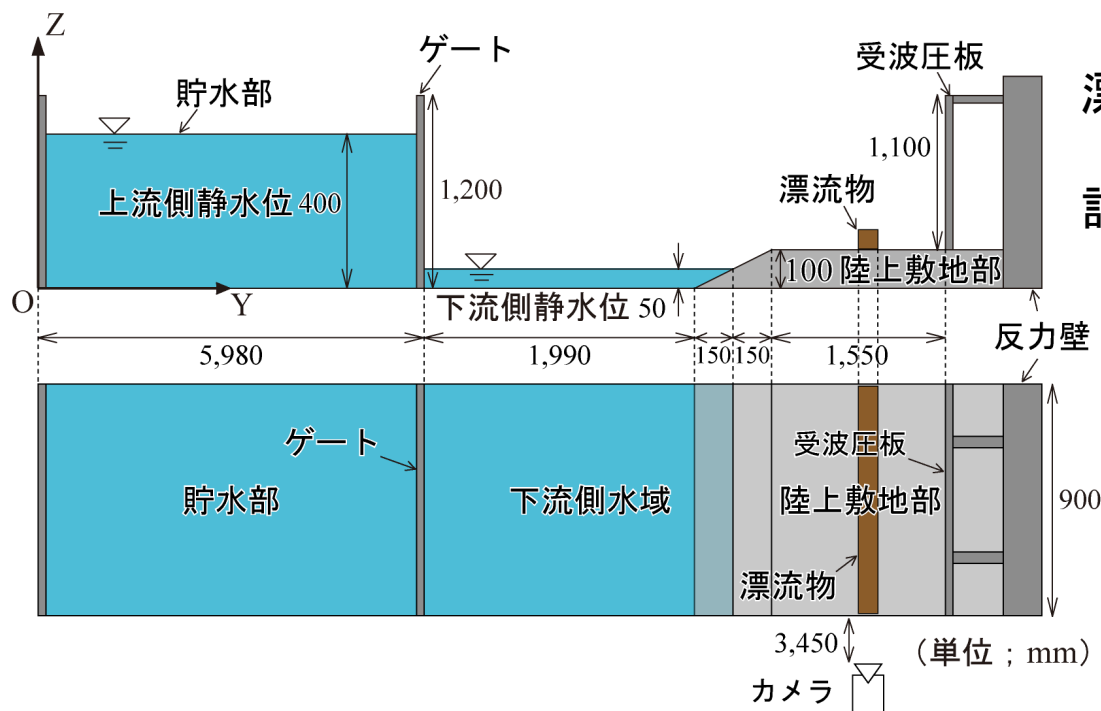
漂流物先端と後端の鉛直二次元移動軌跡の比較

漂流物の移動軌跡はほぼ一致

水理模型実験への適用 (2)

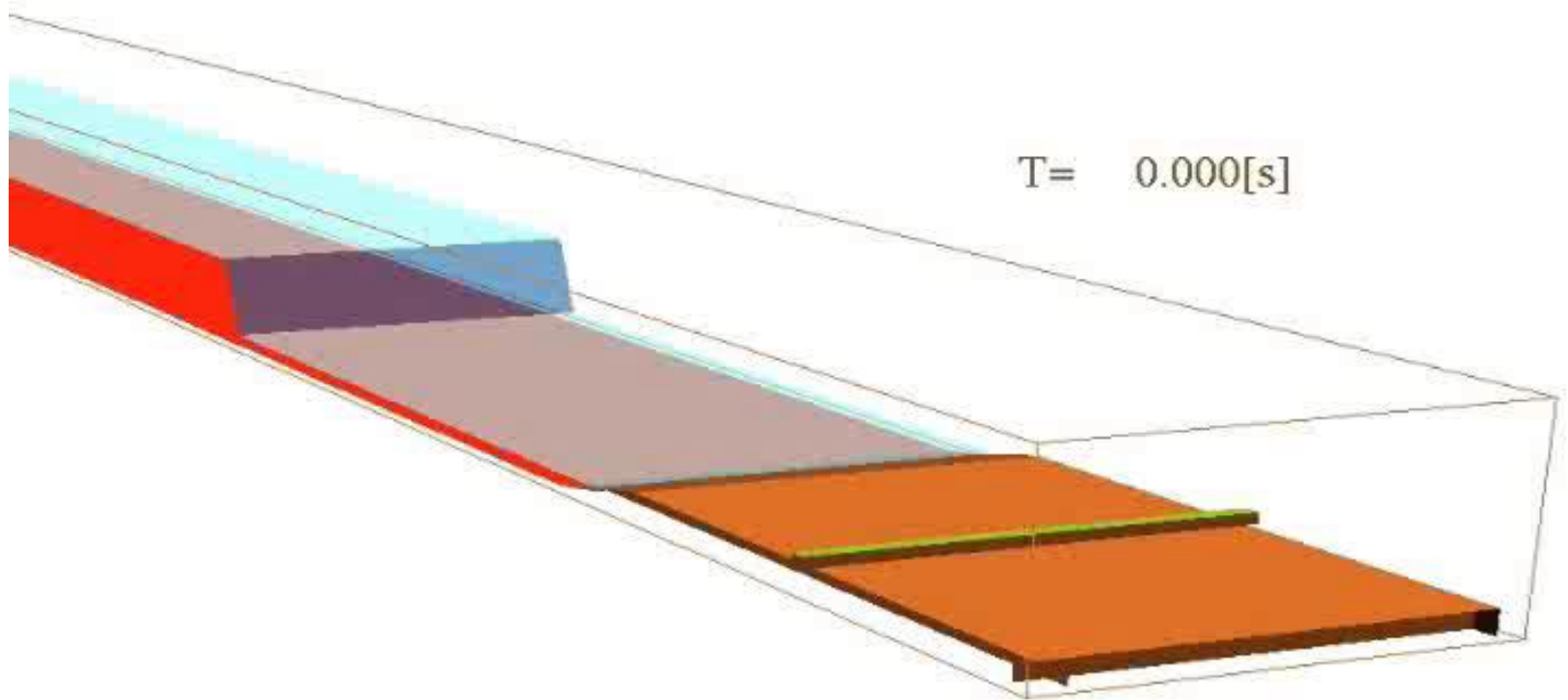
陸上遡上津波と衝突力に関する実験的研究, 池野ら(2003)

- 高さ10cmの陸上敷地部がある。

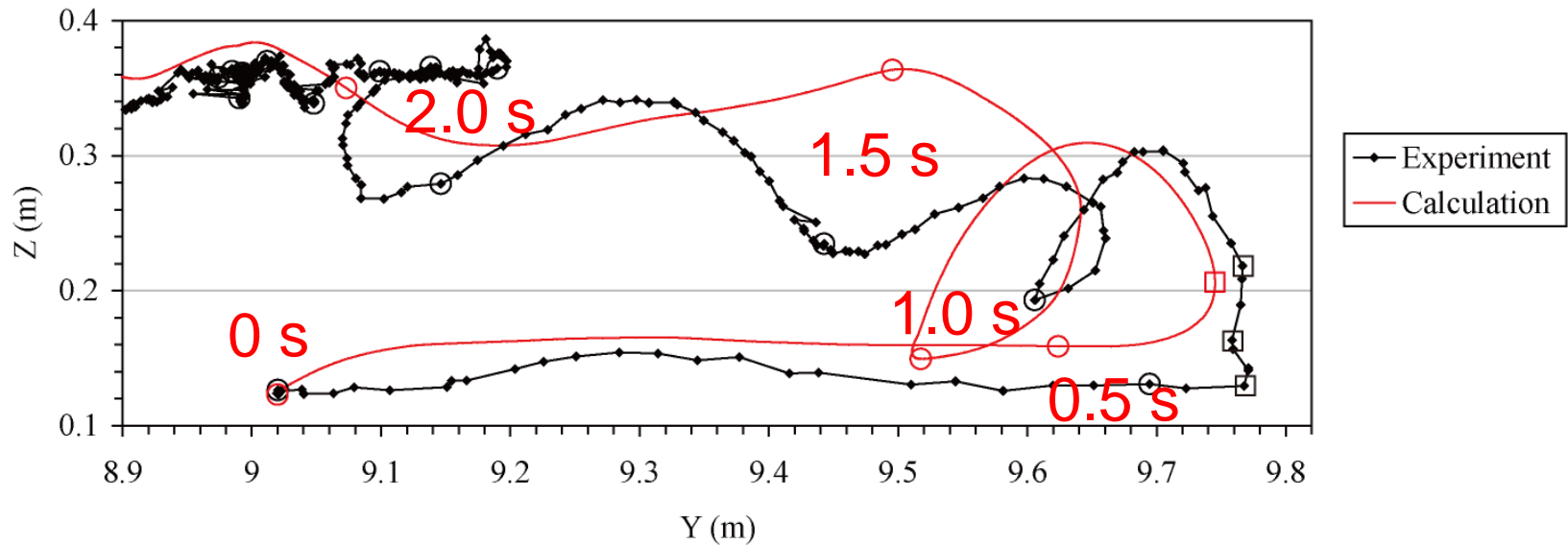


漂流物: 4cm四方・長さ89cmの角柱
密度 0.5g/cm^3
計算格子: X 6cm・Y 6.5cm・Z 3cm

漂流物挙動の三次元解析 (2)



結果の比較 (2)



漂流物重心の鉛直二次元移動軌跡の比較

漂流物重心の移動軌跡はほぼ一致



結論

- 三次元直交格子で区切られた漂流物の個々の形状を、ベクトル解析を用いて厳密かつ安定的に解析できる方法を構築した。
- 上記の機能を三次元流体挙動解析手法に盛り込み、漂流物の三次元挙動解析手法を開発した。
- 本解析手法により、水面に浮かぶ物体および陸上に置かれた物体が津波に流され、鉛直壁に衝突してはね返る挙動がおおむね再現できた。



今後の課題

- 本解析手法を他の漂流物挙動にも適用し、解析結果の検証を積み重ねる。
 - 計算格子と漂流物の大きさの関係によっては計算が不安定になる可能性があり、その適切な関係を探る必要がある。
 - 漂流物の衝突速度について、その評価方法も含めて詳細に検討する必要がある。



解析手法の可能性

- 本解析手法は、流体と物体の連動した挙動を解析するものであるため、物体が移動することによる流体の挙動を解析することも可能である。
- 三次元直交格子で区切られた漂流物の個々の形状を解析する方法は、複雑地形の認識に応用可能である。