

# 漂流物の初期条件の違いによる漂流特性と不確実性に関する研究

## A Study of Drifting Characteristics and Uncertainties under the Different Initial Conditions of Debris

都市人間環境学科専攻 盛田 理子  
Department of Civil Engineering, Riko MORITA

**Key Words :** tsunami debris, debris motion, hydraulic experiment , uncertainty, numerical simulation

### 1. はじめに

津波来襲時には、施設の保護・人命救助の観点から、津波来襲後の漂流物の挙動と漂着範囲を予測することが重要であるが、漂流挙動は不確実性が大きいことから、漂着位置を詳細に予測することは難しい。そこで、漂流物の挙動の不確実性の検討が重要となる。

漂流挙動漂着地点の統計的研究は、Naito et al.<sup>1)</sup>やNistor et al.<sup>2)</sup>が行っており、広がり角の算定式を提案している。Stolle et al.<sup>3)</sup>は漂流挙動の広がり方を確率関数を用いてばらつきの標準偏差を評価した。現状の漂流解析モデルは挙動の不確実性の考慮が不十分である。そこで、本研究では、漂流挙動のばらつきに関する検討として初期位置の違いが漂流挙動に与える影響について実験的研究を行い、移動距離や広がり方についての検討を行った。また数値計算により、漂流挙動の再現性の比較を行った。

### 2. 研究手法

#### (1) 水理実験の概要

水理実験は、図-1に示すように長さ8.78 m、幅2.0 m、高さ0.585 mの平面水槽を使用した。陸上模型は長さ4.0 m、幅2.0 m、高さ0.265 m、斜面は長さ2.6 m、高さ0.265 mの斜面を使用した。造波条件として、水深0.265 m、波高0.045 mの孤立波を造波させた。

#### (2) 漂流物模型および解析手法

漂流物模型は3Dプリンターで作成し、長さ0.04 m、幅

0.04 m、高さ0.02 m、比重は0.60とした。実験条件を表-1に示す。ここで、汀線位置における波高を $H_0$ とする。漂流物模型の初期位置を流れ方向に対して垂直方向および平行方向に変え、挙動の違いを比較した。ここで、漂流物の重心位置間配置間隔を $L$ 、漂流物の幅を $d$ とする。漂流物の漂着位置および漂流挙動の算定に当たっては、地上3.7 mの場所に設置したビデオで撮影した映像から解析を行った(50fps)。実験による漂流挙動の解析は0.1 sごとに座標のプロットを行った。

### 3. 水理実験結果

#### (1) 実験結果

##### a) 繰り返しによるばらつき

はじめに、E01の結果を用いて実験回数による漂流物挙動のばらつきを検討する。図-2に30ケースの漂流挙動を示す。なお、各漂流物模型位置における流速・波高は同一であったため各漂流模型に加わる流体力は同じと考える。また、4つの漂流物は衝突等の互いに相互干渉する様子は見られなかった。以上の理由から、Y方向の位置を重ね合わせて広がりを検討した。流下方向に対して垂直方向にばらつきながら流れていることがわ

表-1 実験条件

実験 ケース	造波条件		漂流物設置位置		回数
	$h$ [m]	$H_0$ [m]	$D$ [m]	$Y_0$ [m]	
E01	0.265	0.0345	0.4	0.4, 0.8, 1.2, 1.6	30
E02	0.28	0.0573	0.1	0.4, 0.8, 1.2, 1.6	5
E03	0.28	0.0573	0.2	0.4, 0.8, 1.2, 1.6	4
E04	0.28	0.0573	0.4	0.4, 0.8, 1.2, 1.6	4
E05	0.265	0.0345	0.18	1	5
E06	0.265	0.0345	0.18	0.94, 0.98, 1.02, 1.06	5
E07	0.265	0.0345	0.18	0.4, 0.8, 1.2, 1.6	5
E08	0.265	0.0345	0.4	0.4, 0.8, 1.2, 1.6	30
E09	0.265	0.0345	0.4	0.4, 0.8, 1.2, 1.6	30

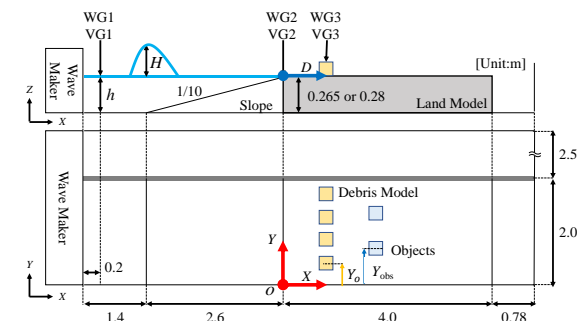


図-1 実験概要図(上)平面図 (下)断面図 ( $h$ : 水深,  $H$ : 波高,  $D$ : 汀線から漂流物重心までの初期距離,  $Y_0$ : 基準点から漂流物重心までの Y 方向の初期距離,  $o$ : 基準点)

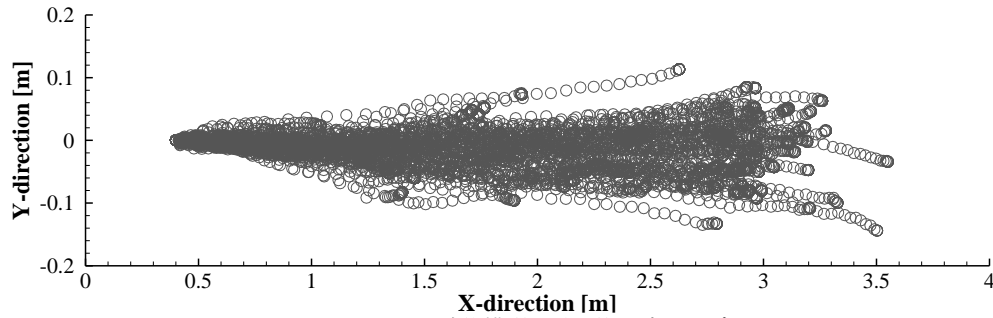


図-2 漂流物模型の重心位置時系列データ

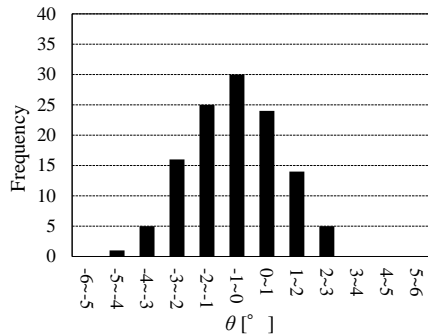


図-3 角度のばらつき

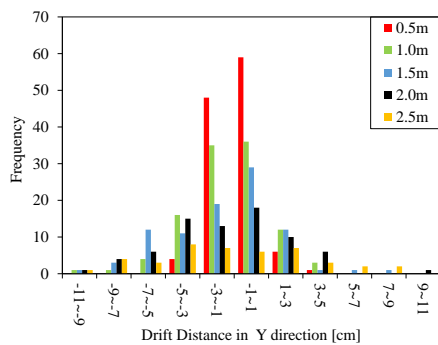


図-4 Y方向のずれ度数分布

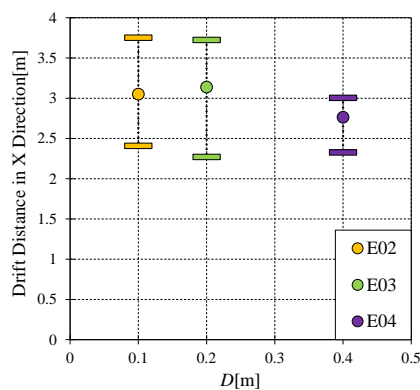


図-5 初期位置と流下方向の移動距離 (○: 平均値)

かる。また、流下方向への移動距離が大きくばらつき結果となった。地形表面のわずかな凹凸や傾きにより漂流物との間に摩擦が発生したことにより減速し、ば

らつきの範囲が大きくなったと考えられる。また、図-3に最終漂着位置による初期位置からの流下方向のばらつきの範囲  $\theta$  の度数分布を示す。本検討結果における漂流物の広がり角は $\pm 4^\circ$ 以内となり妥当性を示すとともに既往実験より範囲がより狭まる結果となった。

図-4に流下方向移動距離と流下方向に対し垂直方向のばらつきの関係を示す。流下方向0.5 mごとに整理した。どの移動距離においても正規分布となる傾向が見られ、また、移動距離の増加とともに分布がゆるやかになっており、移動距離と流下方向に垂直方向のばらつきには比例関係にあることがわかる。

#### b) 汀線からの初期距離を変えた検討

汀線からの初期距離  $D$  を変えた場合のばらつきの検討のため、E02, E03, E04 の3ケースを比較する。図-5に初期位置  $D$  と流下方向の移動距離の関係を示す。E02での漂着位置のばらつきの範囲に関して、E04はE02の半分程度に小さくなっていることがみてとれる。これは、波の安定性によるものと考えられる。

#### c) 初期配置間隔を変えた検討

次に、汀線からの初期距離  $D$  は一定で漂流物重心の初期配置間隔  $L$  を変えた場合のばらつきの検討を行うためE05, E06, E07の3ケースを比較する。図-6に漂流物の移動距離を漂流物の初期配置間隔  $L$  ごとに示す。初期配置間隔  $L$  を漂流物の幅  $d$  で除したもので無次元化した。なお、図は実験における流下方向の移動距離の範囲を示している。図-7に最終漂着位置における漂流物の移動角度を示す。E05, E07においては単峰性の正規分布に見える一方、E06においては二峰性の正規分布のように見える。図-6および図-7より、E05およびE07とE06において漂流物に衝突した波力が異なっていることが考えられる。E05およびE07において、漂流物の波への接触面は幅0.04 m、高さ0.02 mであるのに対し、E06では4つの漂流物を隙間なく横並びに配置した。そのため、E06では漂流物により、より多くの水がせき止められる。このとき、個々の漂流物ごとに衝突する水位が一定ではないため、

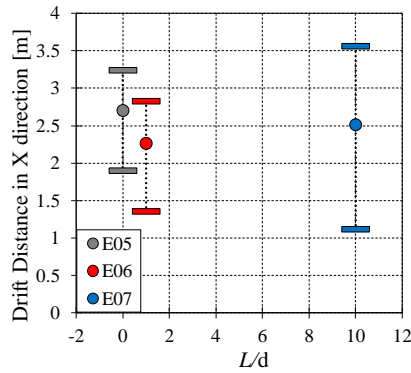


図-6 初期位置と流下方向の移動距離 (○：平均値)

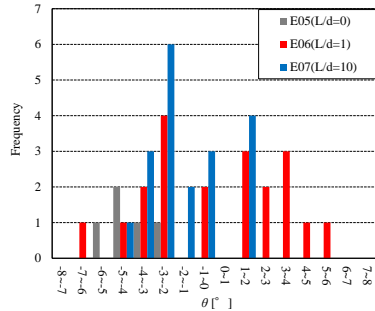


図-7 最終漂着位置における初期位置からの移動角度

特に漂流物両端において衝突する波の水位差が顕著に生まれる。この水位差により、漂流物がまっすぐ押し出されずに捻がりが大きい挙動となったと考えられる。

(2) ばらつきの確率分布における検討

図-4より、本研究においては平均軌道の周りの漂流挙動の広がり方は正規分布であると仮定する。これにより、漂流物の広がり方を評価する際に、漂流物の重心位置を用いての確率密度関数を利用できる。式は次に示す。

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(Y-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

$Y$ は横方向の広がり、 $\sigma$ は標準偏差、 $\mu$ は平均軌道とする。どのケースにおいても、漂流挙動が負の $Y$ 方向に偏る傾向がみられた。この傾向は全ケースで共通して見られたため、実験地形によるものであると考えられる。そこで、 $Y$ 方向の平均を0として作成した正規分布を示した。図-8より、移動距離とともに分散が大きくなり、 $Y$ 方向のばらつきが大きくなることが確認できる。

図-9に、E01～E07における流下方向移動距離と流下方向に対し垂直方向のばらつきの標準偏差の関係を示す。どのケースにおいても移動距離とともに流下方向に対し分散が大きくなっていることが分かる。E06以外の6ケースはE06に対して広がり傾向が緩やかで、かつ移動距離1.5 mまでの標準偏差の値は概ね一致した。これにより、初期位置を変えた場合においても漂流挙動のばらつきの程度は変わらないことが示された。

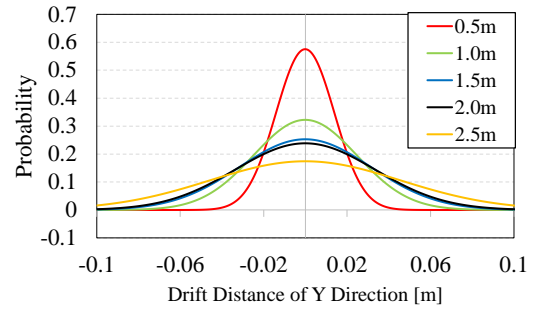


図-8 X方向移動距離とY方向のずれ

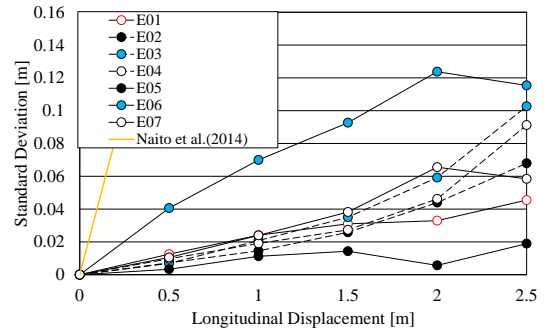


図-9 X方向とY方向の挙動の関係

一方、E06のように漂流物が隣接している場合広がりが大きくなった。これは隣接する漂流物が互いに干渉しあい、流況に変化が生じたためと考えられる。

また、Stolle et al.<sup>3)</sup>は標準偏差を以下の式を用いて推定できると示している。

$$\sigma = \frac{1}{h_0} \tan(0.277 + 0.06N)X \quad (2)$$

ここで、 $h_0$ は汀線位置での波高、 $N$ は漂流物の数、 $X$ は流下方向の移動距離である。漂流物の数の影響を検討するため、実験ケースE01とE06の広がりをこの式で評価したところ、大幅に過大評価となったことが図-10からわかる。そこで、本実験の条件を用いて評価式を新たに算出した。

本実験の結果を用いてばらつきの最大値をとると、以下に示す式となった。

$$\sigma = \frac{1}{h_0} \tan(0.037 + 0.126N)X \quad (3)$$

式(3)より、漂流物が隣接している場合における漂流挙動の広がり角の定量的な評価が可能となった。一方、既往の研究より範囲が狭まる結果となった。しかし、この評価式の課題として、漂流物の形状や大きさ、また波高などの造波条件を変えた場合の適応性を検討するとともに、相似則の影響を考える必要がある。

#### 4. 数値計算との比較

##### (1) 基礎方程式

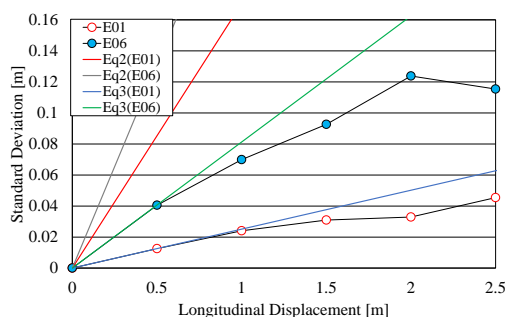


図-10 実験挙動と既往式の比較

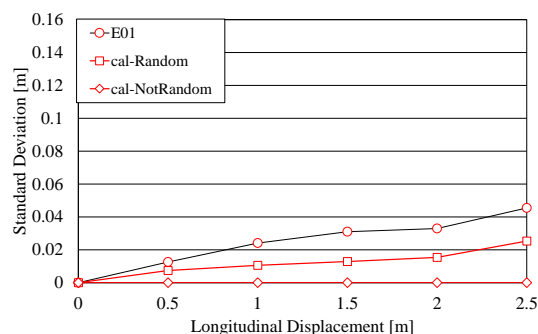


図-11 実験挙動と数値計算の比較

本検討における数値計算では、富田<sup>4)</sup>が開発した Navier-Stokes 方程式を基にした準三次元数値シミュレーション(STOC-ML)と漂流物計算モデル(STOC-DM)<sup>5)</sup>を片側連成させたモデルを用いる。MLと連成することによりDMに流速と水位を受け渡し、漂流挙動を計算する。DMは池谷<sup>6)</sup>を参考にモリソン式を拡張した。

## (2) 計算条件

計算範囲は、X方向はWG1から陸上部下端まで、幅は仕切り板までとした。表-2に数値計算条件を示す。なお、WG1で得られた波高および流速の時系列データ入射し計算を行った。

## (3) 計算結果

E01の実験および数値計算により得られた流下方向移動距離と流下方向に対し垂直方向のばらつきの標準偏差の関係を重ねて図-11に示す。数値計算は、不確実性を考慮したものと考えしていないものの2ケース実施した。実験結果による流下方向の移動距離はばらつきはあるものの、平均値は計算結果と概ね一致する結果となり、数値計算の妥当性を示した。一方、流下方向に対し垂直方向のばらつきに関しては、不確実性を考慮しないものは数値計算では表現することができず、流下方向にまっすぐ進んでいる。一方、不確実性を考慮したケースは流下方向の増加とともにばらつきが増加しており、傾向の再現はできているが、ばらつきの程度は過小評価となっている。これは、不確実性を評価するランダム係数の値が影響しているものと考えられる。ばらつきの発生要因は流れ、渦、陸上部と漂流物との摩擦、抗力等のパラメータによるものであり、ランダム係数の検討とその再現性は今後の課題としたい。

## 5. まとめ

下記に本研究の結論と課題を示す。

- (1) 確率密度関数を用いた検討の結果、既往の式を用いて漂流挙動の流下方向の広がりの評価式を提案した。これにより、漂流物の漂着範囲のおおよその推定が可能になる。
- (2) 初期位置を変えた水理実験により、漂流物の初期位

表-2 計算条件

Direction	Range [m]	Grid Size [m]	Number of Grid
X	-2.60~4.78	0.01	858
Y	0~200		200

置の違いは漂流挙動にそれほど影響がないことが確認できた。一方、漂流物が隣接している場合広がりが大きくなり、これは隣接する漂流物が互いに干渉しあい、流況に変化が生じたためと考えられる。

(3) 数値計算により、不確実性を考慮することで漂流物のばらつきを表現することは可能であることを示したが、ランダム係数の検討が今後の課題となる。

## 参考文献

- 1) Naito, C., Cercione, C., Riggs, H. and Cox, D. : Procedure for site assessment of the potential for tsunami debris impact., *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.*, Vol.140, pp.223–232, 2014.
- 2) Nistor, I., Goseberg, N., Stolle, J., Mikami, T., Shibaya-ma, T. and Nakamura, R. : Experimenta Investigations of Debris Dynamics over a Horizontal Plane, *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.*, Vol.137, 2017.
- 3) Stolle, J., Goseberg, N., Nistor, I. and Petriu, E. : Probabilistic Investigation and Risk Assessment of Debris Transport in Extreme Hydrodynamic Conditions, *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.*, Vol.137, 2018.
- 4) 富田孝史, 柿沼太郎 : 海水流動の3次元性を考慮した高潮・津波の数値シミュレータSTOCの開発と津波解析への適用, 港湾空港技術研究所報告, Vol.44, No.2, 2005.
- 5) 本多和彦, 富田孝史, 西村大司, 坂口章 : 多数の津波漂流物を解析する数値モデルの開発, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.25, pp.39-44, 2009.
- 6) 池谷毅, 朝倉良介, 藤井直樹, 大森政則, 武田智吉, 柳沢賢 : 浮体に作用する津波波力の実験と評価方法の提案, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.52, pp.761-765, 2005.