

河川流の拡散・分散特性に関する GPS フロート調査と数値シミュレーション

東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻
東京理科大学理工学部土木工学科
アジア航測(株)公共システム部

学生員 ○江端 萌奈美
正会員 二瓶 泰雄
非会員 加藤 祐一

1. はじめに

河道管理・整備をしていく上では河川流速・流量、物質（土砂、栄養塩等）動態に関するモニタリングを行うことは必要不可欠である。このうち物質動態を把握する上では河川流中の物質拡散・分散特性を知る必要がある、そのためには一般的に行われているオイラー的観測法よりもラグランジュ的観測法が有効である。ラグランジュ的観測法の代表例として、小型 GPS を搭載したフロートを放流・追跡し GPS によりフロートの位置情報を取得する、という方法が海洋や沿岸海域ではよく行われるものの、河川流モニタリングへの適用例は皆無である。そこで本研究では河川流場における拡散・分散現象に着目し、多数の GPS フロートを用いて河川水のラグランジュ的挙動や拡散・分散特性の実態把握を試みる。さらに計算効率性の高い河川流モデル（二瓶ら，2005）を用いた三次元流動解析を実施し、河川流場における乱流拡散・分散特性に関して定量的に比較する。

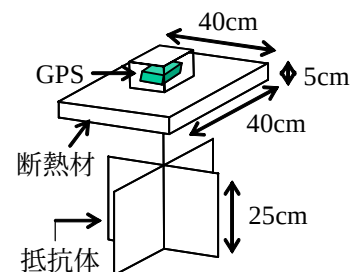


図-1 GPS フロート

2. GPS フロートを用いた現地調査

(1) 観測概要

本調査で用いる GPS フロートは、浮きとなる薄い断熱材とその上に置かれている携帯型 GPS（Geko201, GARMIN 社製）、その下に繋がっている抵抗力から構成される。この GPS フロート 11 台を用いた調査を、江戸川中流部（35～40km，図-2）において 2004 年 8 月 12 日，8 月 18 日に行った。観測手順としては、複数の GPS フロートをスタート地点の横断面全体にわたるように投入し、その後ゴール地点となる横断面を GPS フロートが通過した後に回収する。8 月 12 日には、スタート・ゴール地点となる横断面をそれぞれ 39.5km，35.0km と設定し 2 回放流した。8 月 18 日には、スタート地点となる横断面を 36.0km，38.0km，39.5km の三ヶ所とし、ゴール地点は各々スタート地点より 1km 下流側の横断面とし、この 3 区間を各々区間①，②，③と呼ぶ。なお、野田橋（39.5km）の水位は 8 月 12 日では Y.P.表示で 4.0m，8 月 18 日では 3.8m とともに年平均水位よりも低かった。

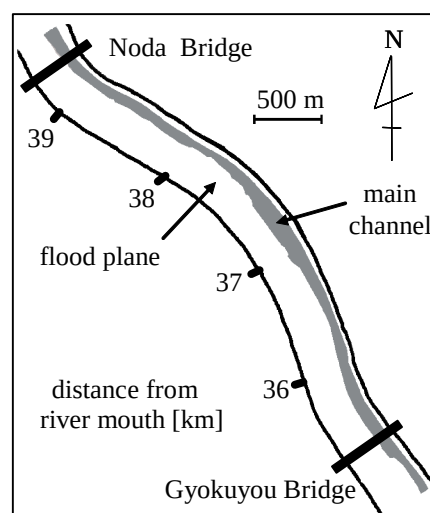


図-2 観測サイト

(2) 観測結果

放流時には横断面全体に分布している GPS フロートは、流下するとともに、GPS フロート群が広がる場合や収束する場合が確認された。一例として、調査結果より得られた GPS フロートの軌跡とその流速ベクトルを図-3に示す。ここでは、8 月 18 日における区間①で、同時刻における 5 台の GPS フロートを線で結んで、一種のタイムライン法と同じ形で流れを可視化している。これより、横断面内の最大流速位置が時間とともに左岸よりから中央よりに移動するとともに、フロート群が全体的に右岸側に集まってきている。このように GPS フロート調査により、河川水のラグランジュ的挙動や平面流速パターンが分かる。

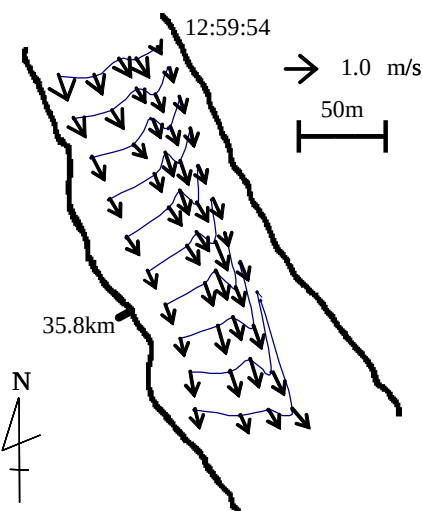


図-3 平面流速ベクトル（8/18，区間①）

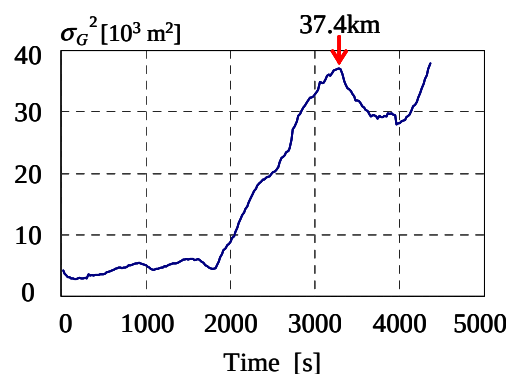
キーワード：GPS フロート，分散，乱流拡散，三次元数値計算

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 Tel.04-7124-1501(内 4072) Fax.04-7123-9766

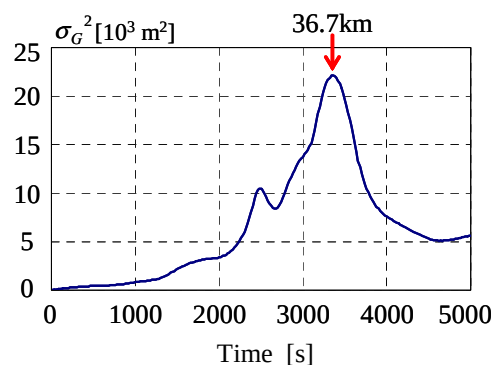
次に、GPS フロート群の位置情報から河川流における相対拡散特性を検討するために、フロート群の重心位置に対する各フロートの距離の2次モーメント（=分散） σ_G^2 を次式により算出する

$$\sigma_G^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left\{ (x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2 \right\} \quad (1)$$

ここで、 x_i, y_i は各フロートの位置、 $\bar{x}, \bar{y}$ は N 台のフロートの平均位置である。図-4 (a) は、8月12日第2回目における式(1)より得られる分散 σ_G^2 ($N=7$)の時間変化を示している。図中の横軸はGPSフロートを放流してから時間である。これより、分散 σ_G^2 は時間とともに増加する「正の拡散現象」が卓越しているものの、 $t=3300$ sの後には σ_G^2 が減少する「負の拡散現象」が発生している。GPSフロート群の位置を調べてみると $t=3300$ sでは37.4km付近、 $t=4000$ sでは37.0km付近を流下しており、図-2より、この区間は河道湾曲部に相当している。この湾曲部では二次流の形成に伴い外岸側に収束域が形成されているため、見かけ上、負の相対拡散が生じていることが推察される。このような相対拡散特性を正確に議論するためには、流体運動の乱れ成分に起因している乱流拡散と平面内における流速差により生じる移流拡散すなわち分散の大小関係を比べる必要があり、そのため、以下に三次元流動解析を行う。



(a) 観測結果 ($N=7$)



(b) 計算結果

図-4 相対拡散特性（8月12日，2回目）

3. 三次元流動計算に基づく河川流の拡散・分散特性

(1) 数値シミュレーションの概要

河川流計算に用いる数値モデルとしては、二瓶ら(2005)により開発されている3次元河川流モデルである。これは水平・鉛直座標系として各々直交曲線・ σ 座標系を用い、乱流モデルとしては0方程式モデルを採用している。GPSフロート調査の河川流況の再現計算を行うために、計算領域は江戸川の35.0km～39.5km、観測の行われた2004年8月12日、18日の野田観測所の水位を上流端条件として与える。また、流れが定常状態となった後に、計算領域上流端より放流された中立粒子の追跡計算を実施し、その結果より、河川流の拡散・分散特性を検討する。

(2) 計算結果

図-4 (b) は中立粒子の追跡計算結果から算出した分散 σ_G^2 ($N=16$)の時間変化を示す。これより、中立粒子が湾曲部を通過している $t=3400$ sの後に分散 σ_G^2 が減少しており、観測結果でも見られた「負の拡散現象」が計算結果においても生じている。そこで、前述した乱流拡散と分散の大小関係を知るために、数値計算結果より求められる分散係数 E 及び横断面平均した水平渦動粘性係数 ε の流下方向変化を図-5に示す。なお、図中の横軸は、河道中心軸に沿った計算領域上流端（39.5km）からの距離である。これより、流下後1500mまでは両係数の値はほぼ同じであるが、その後、分散係数の値は著しく増減している。図-4においても、上流端から1500m付近を中立粒子が通過した辺りから分散の値が急激に変化しており、低水時江戸川の流れ場では、乱流拡散よりも平面内の流速差に起因する分散が卓越していることが示唆された。

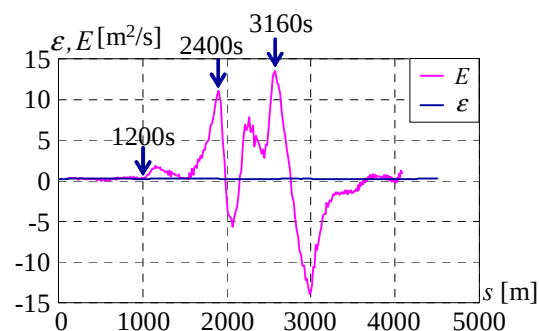


図-5 水平渦動粘性係数 ε と分散係数 E の比較

4. 結論

多数のGPSフロートを用いて江戸川中流部の河川流調査を行ったところ、フロート位置に対する分散 σ_G^2 から、河川流場において一種の「負の拡散現象」が生じることを示した。この結果と三次元流動計算結果より、ここでは乱流拡散よりも横断方向の流速差により生じる分散が卓越していることが明らかとなった。

参考文献

二瓶，加藤，佐藤：土木学会論文集，2005（投稿予定）。