

## 洪水時の実河川での乱れの瞬間像の計測

日野 幹雄\* 孟 岩\* 村山 宣義\*

### Simultaneous 3D Turbulent Large-scale Structures in a Flood Flow by Multi-channels Measuring System

by

Mikio HINO, Yang MENG and Nobuyoshi MURAYAMA  
Tokyo Institute of Technology

#### ABSTRACT

Field measurements on turbulent large-scale structure of a flood flow in the Hinuma river at a high Reynolds number of the order of  $10^6$  were conducted with 16-channels electromagnetic velocimeters. The turbulent velocity components ( $u, v$ ) at 8 points in a plane perpendicular to the mean flow have been sampled and recorded simultaneously by a A/D converter. The quasi-instantaneous 3D images of coherent structures in the flood flow were reconstructed from these data by using a new method of data analysis. These structures detected near the river bed are low-velocity lumps of fluid and generate intermittently peaks of the high positive Reynolds stress. The high concentration of the suspend load in the flood flow may be explained by these structures. Near water surface, the coherent structure has also been found and they generated small-scale boils.

#### 1. はじめに

管路や開水路における乱れのマクロな構造については、Kline らの研究以来の多くの研究により、ほぼ共通の認識が得られたと思われる。ただし、これらの研究のほとんどは、実験室内で行われたもので、従って低レイノルズ数域での実験結果である。

ここでは、実規模のかつ高レイノルズ数域の乱れとして実河川の洪水（逋減）時の計測を行った。実験室での実験のように、多数のデータを収録しこれの条件付平均を採るなどのような通常の統計処理をすることが困難なこと、および conditional sampling and averaging が乱れの瞬間像と必ずしも一致しないことから、ここでは最近著者らが

風洞実験で試みている“疎らなデータからの乱れの瞬間像”を推定する方法<sup>1)</sup>を、実河川に適用した。

実規模スケールの河川の乱れには、風洞での境界層内の乱れとは異なるいくつかの乱れの現象が知られている。その一つは、河の表面に boil と呼ばれる現象が時折みられることである。これは河の表面が円形に盛り上がりあたかも下から水が湧き上がり流れに乗ってしばらく流下する現象である。ボイルについては当然 bursting の強く大きなものが表面に到したという考えがある一方で、スケールから考えて別の現象ではないかとの考えもある。普通の河川でみられる boil は直径が高々数 10cm の現象であるが、アマゾン河のボイルに関しては「舟が転覆する危険を感じた」との話もある。

\* 東京工業大学工学部

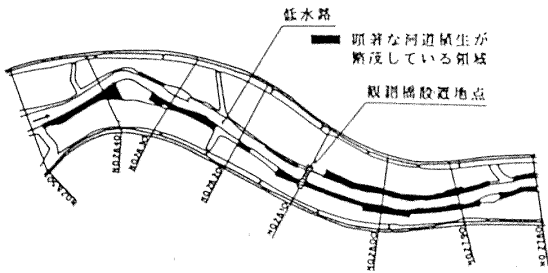


図1 濁沼川観測区間の平面図と28.1km地点の横断面図

また、通常の河川は平滑ではなく砂床からなっている。砂床には多くの場合、波長がcmオーダーの砂漣、波長が数mオーダーの砂堆、あるいは波長のさらに大きい砂州などの河床波が発達している。河床波形成のメカニズムは、風波などと同じく「河床界面の流体力学的不安定」現象であることが、Kennedyの研究以来明らかにされて来た。

しかし、砂堆・砂州が十分発達した段階では、河床における bursting などのマクロな乱流現象が砂粒子の移動に重要な役割を演じているとみられるが、未だ十分な研究はなされていない（もっとも、今回の実験区間では河床は岩質であり、河床波の発達は少ないといわれる場所である）。

## 2. 瞬間像の推定法

まず、風洞実験で有効性が確認された“乱れの瞬間像”の推定について説明する（日野・孟・村山，1991）。

i) 流れの条件付きサンプリングで収録した乱れのデータに通常の統計平均処理を行い、乱れの構造の平均像を予め把む。

ii) 上の解析結果から乱れの秩序構造のおおよそのスケールがわかるので、これを参考にして流れを横切る鉛直断面内に10本前後の二成分流速計を配置する。風洞実験では11本のホット・ワイヤを配置したが、野外での実測では流速計は2成分8本しか使えなかったため、図1のように配置した（しかも、後述のようにこのうちの2本は不十分で実際には6本の2成分流速計のデータを解析することになった）。

iii) これらの流速計のうちの一つを detector probe として、乱れの流速信号を記録する。

iv) 流速計配置点面内にこのスケールの格子網

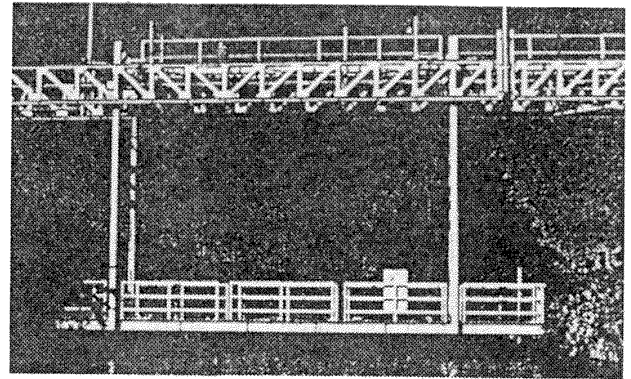
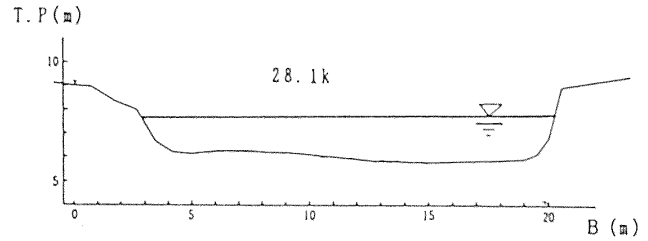


写真1 濁沼川洪水観測施設

を引き、流速計の無い点の流速を得られた信号の時系列の内挿により求める。内挿方法には、いくつかの方法があるが、ここでは格子網全体を覆う仮想的弾性平板を考え、各点の各瞬間の流速をこの仮想弾性平板の撓みとみなす方法—仮想荷重法（日野）によった。

v) 得られた各点各瞬間の流速の実測値と内挿値  $v_0$  を連続の方程式を束縛条件とする二乗誤差最小の変分問題として最適推定値を求める MASCON 法 (Sasaki, Sherman) を適用した。この方法の信頼性は、シミュレーション・データにより検証された。

## 3. 洪水時の観測

茨城県の水戸市近郊を流れる中河川である濁沼川（ヒヌマガワ）の建設省土木研究所の観測栈橋を利用し、やや規模の小さい洪水の減水時に測定を行った。乱れの特性としては洪水の増水期の方が特異な現象がみられること（流れの濁度が高く、乱れも大きい）が知られているが、今回は時間的な制約から減水期の測定となった。

風洞などの室内実験の結果を、スケーリング法則により拡大し、（電磁）流速計の配置を図2

のようにした。この配置で河床近傍と水面近傍の2つの位置で測定を行った。

### 4. 結果

(1) 流速, 乱れの強さおよび Reynolds 応力の分布

流速, 乱れの強さと Reynolds 応力の分布は, 図3に示すとおりである。Reynolds 応力の分布は, 両岸から笹などの植物が河中にせり出している影響を受けている。

(2) 秩序構造

計測器の不具合で同時記録は6点でしか得られなかったが, マスコン法による解析結果により,

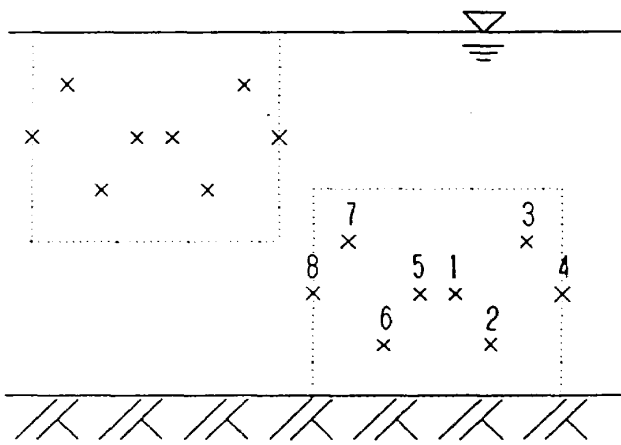


図2 プローブの配置図

表1 観測地点の水理条件

測定地点	水路幅 (m)	水深 (m)	平均流速 (m/s)	レイノルズ数
酒沼川	約20.0	約1.8	約1.3	約 $2.39 \times 10^6$

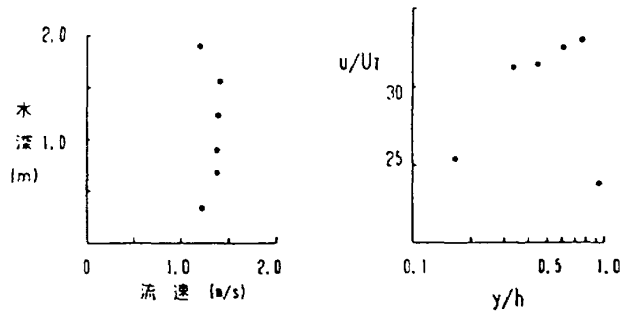


図3a 平均流速の分布と無次元化された平均流速分布

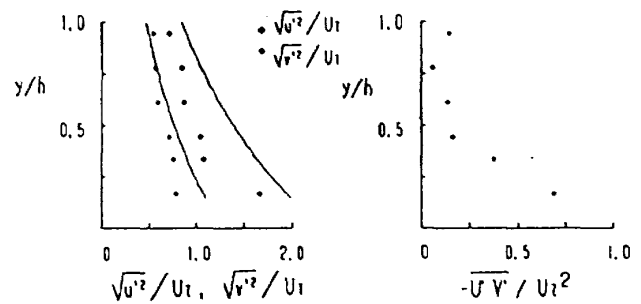


図3b 乱れ強度の分布

図3c レイノルズ応力の分布

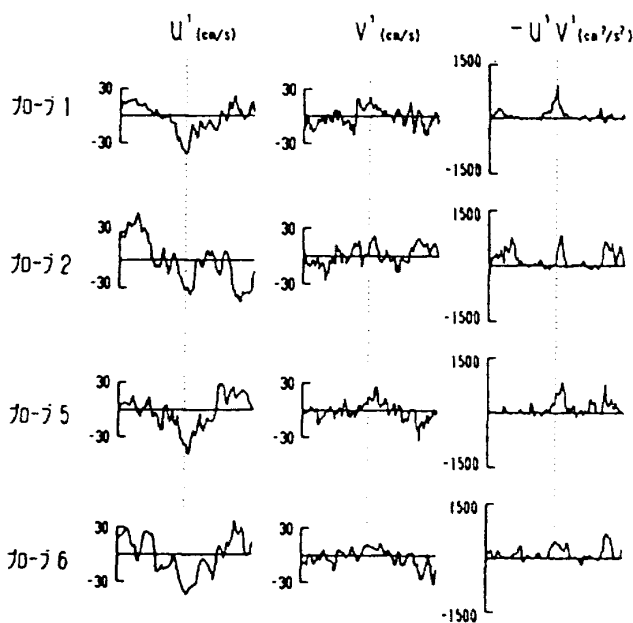


図4a 底面付近の瞬間流速変動  $u'$ ,  $v'$  とレイノルズ応力  $-u'v'$  の生データ

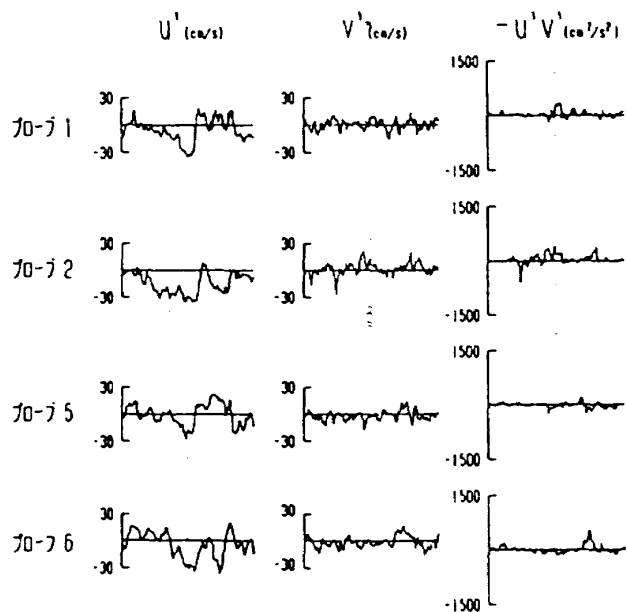


図4b 水面付近の瞬間流速変動  $u'$ ,  $v'$  とレイノルズ応力  $-u'v'$  の生データ

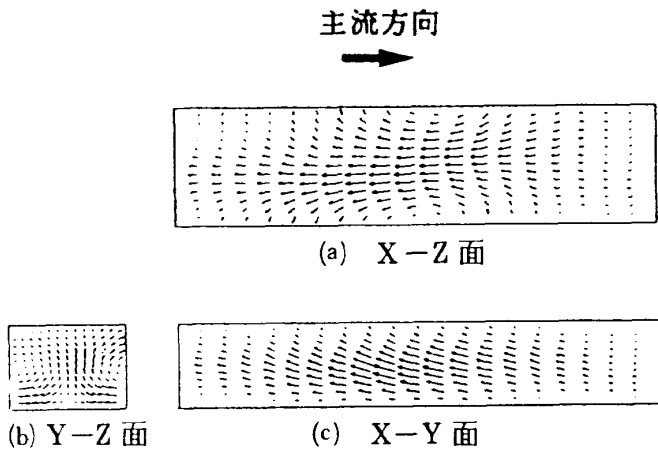


図5a 底面付近のデータからの推定結果

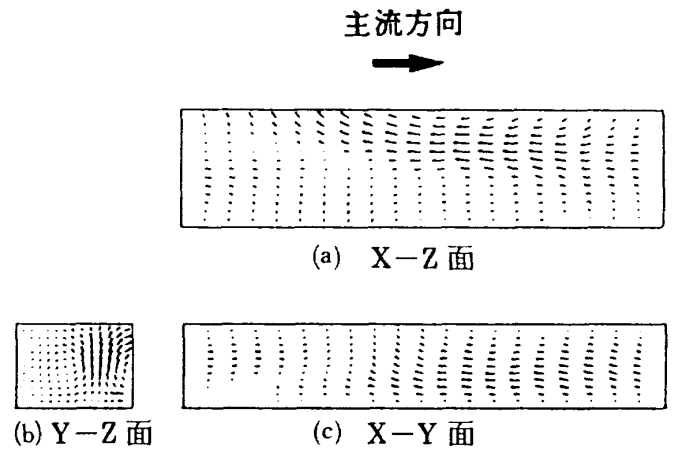


図6a 水面付近のデータからの推定結果

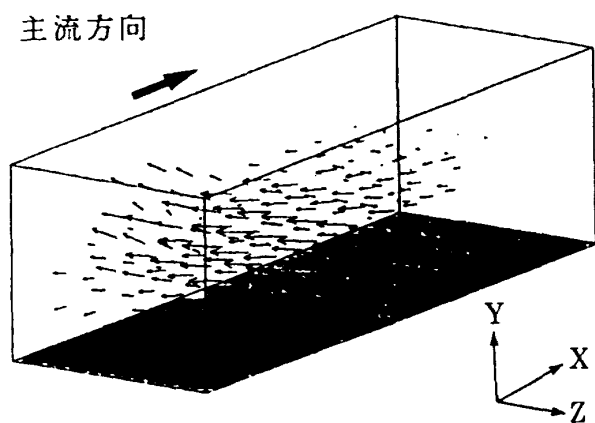


図5b 底面付近の大規模乱流構造に伴う速度変動  $u, v, w$  の空間分布

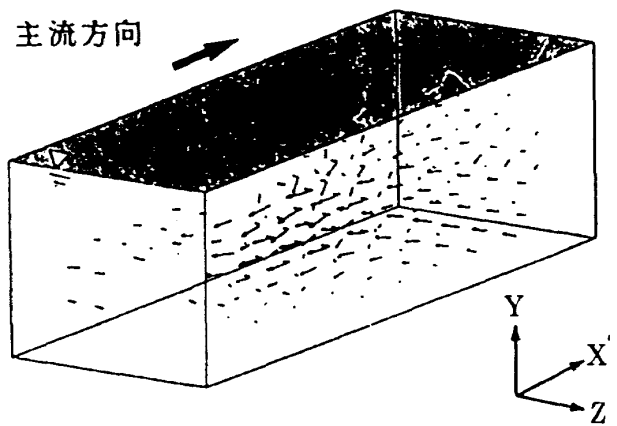


図6b 水面付近の大規模乱流構造に伴う速度変動  $u, v, w$  の空間分布

Reynolds 数の極めて高い ( $Re \approx 2.4 \times 10^6$ ) 実河川でも風洞におけると同様の乱れの大規模構造が存在することが認められた (図4a, 5)。

(3) Boil の構造

水面近傍には低速の上昇流が存在し、同時の目視観察からこれは小規模な boil によるとみられるが、次回以後の測定でさらに確認したい (図4b, 6)。

参 考 文 献

- 1) 孟岩・村山雅昭・日野幹雄 (1991) : 3次元組織的乱流構造の瞬間像を推定する試み, 水工学論文集, 第35巻.
- 2) 日野幹雄・孟岩・村山雅昭 (1992) : 3次元大規模乱流構造の測定, 水工学論文集, 第36巻, pp.175-180.