

河川の大規模乱れ (第2報)*

松岡保正**

1. ま え が き

河川における流速変動、河床変動、拡散などを初めとする種々の問題は、河川乱流場の構造と密接な関連を持っている。河川乱流場には、様々の大きさと強さを持った乱れが存在しているが、河川工学の対象となる現象の大部分は最大乱子の支配下にあると考えられる。従って実河川における最大乱子の特性を把握する事は、近代乱流理論の成果の河川工学への適用を考える場合、重要な意味を持つ。

実河川における乱れの研究は、研究例自体はもとより、流速変動の長時間観測例も少ない現状にある。そのため筆者らは、観測例の蓄積を開始した。本研究の第1報¹⁾では普遍的な結論を得るには到らなかったが、その後、測器やデータ収録および処理のための機器を充実させ、新たな観測地点も選定するなどして観測例の蓄積を続けている。

河川乱流場を規制している特徴的なスケールは、河幅 B と水深 H であると考えられる。両者の比 B/H が大きければエネルギースペクトルにギャップを生じ、鉛直乱流場と水平乱流場に分離して扱う事が可能になる。最大乱子のスケールについては、安定理論からしても、鉛直最大乱子は水深の10倍程度、水平最大乱子は河幅の10倍程度と余越²⁾は指摘している。本報では、断面形状等の条件の異なる4地点で得られた観測結果をもとにして、河川乱流場の二重構造性と最大乱子スケールとについて若干の考察を加える。

2. 現 地 観 測

2-1 観測地点

第1報では、エネルギースペクトルに明瞭なギャップを持った例を観測したものの、流量変動や、上流部の大きな彎曲の存在のため、水平乱流に関する普遍的な結論を得るには到らなかった。この事を考慮して、新たな観測地点は上流部に強烈な彎曲が存在せず、十分な直線性が確保できる様な地点を選定した。今回は4箇所を観測を行った。

以下に観測地点付近の河川の平面図と横断面図を示す。

図1は第1観測地点(飯山市照岡)の

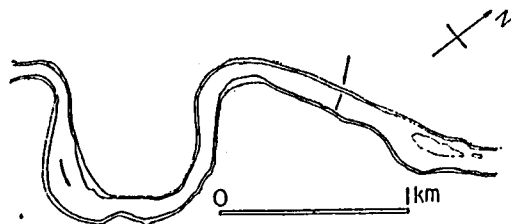


図 1

* 昭和57年10月 土木学会年次学術講演会において発表

** 土木工学科講師

原稿受付 昭和58年9月27日

平面図で、上流部の大きな彎曲が特徴である。

図2に同地点の横断面図を示す。流量170t/sec時で、幅約120m、平均水深1.7mである。左岸下流には大きな砂州が存在し、観測地点での最大流速点位置に大きな影響を与えている。

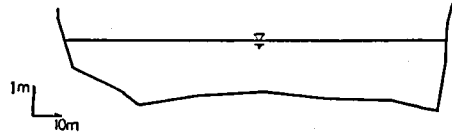


図 2

図3に第2観測地点(中野市立ヶ花)の平面図を示す。右岸上流1kmで篠井川、左岸上流2kmで鳥居川と浅川が流れ込んでいる。観測地点の右岸には建設省の自記水位観測所があり色々便宜を図っていた。

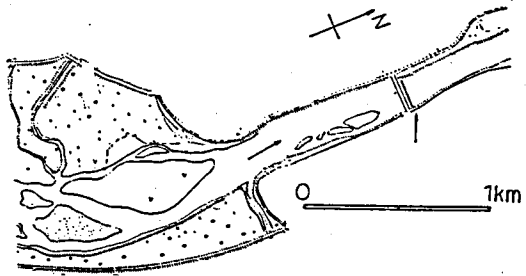


図 3

図4に同地点の横断面図を示す。河幅は約150mであるが、右岸側の40m程は、上流部に存在する砂州のため死水領域化している。観測は左岸側で行なった。

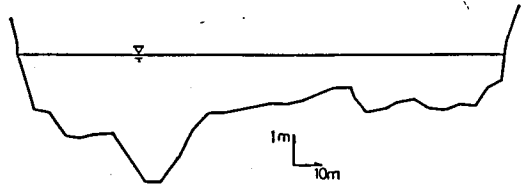


図 4

図5に第3観測地点(長野市篠ノ井東福寺)の平面図を示す。勾配が緩やかなため、他の3地点と異なり、流れが緩やかで顕著なボイルは観測されない。河床は細かい砂と泥で構成されている。

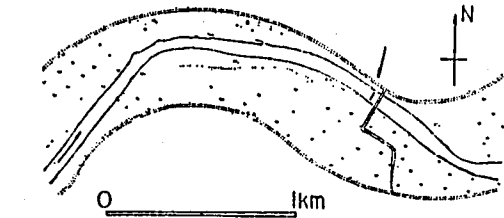


図 5

図6に同地点の横断面図を示す。河幅は75m。水深は流量70t/sec時で約2.2m。横方向にほぼ一様であると思なす事ができる。この地点の流量は、観測地点左岸の水位と、4km上流の杭瀬下における流量記録を参考にした。

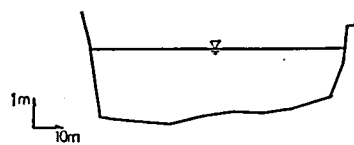


図 6

図7に第4観測地点(長野市安茂里小市)の平面図を示す。ここは4地点中勾配が最も急で流れも速い。右岸上流はコンクリートブロック水制により連続して護岸されている。観測地点上流約1.6kmには小田切ダムがあり、そこでの放流の影響をかなり受けそうである。その意味では好ましくない観測地点であるが、上流の直線性が良い事と同地点の右岸下流約30mに、建設省の自記水位観測所がある事等から選定した。

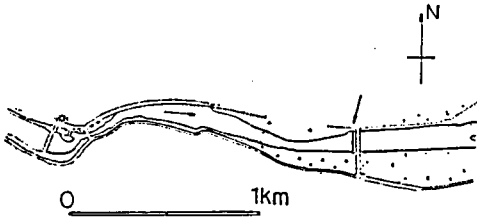


図 7

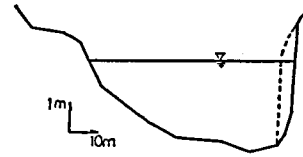


図 8

図 8 に同地点の横断面図を示す。河幅は約 65m。橋の直下右岸には旧橋脚の残骸があり、そのために主流位置は左岸寄になっている。

2-2 観測方法

基本的には、河川の横断方向に張ったワイヤーに、直径 13cm の発電式プロペラ流速計を複数吊して流速測定を行なった。第 1 観測地点の観測では、流観用の川船の利用が可能であった為河川中央から両岸に向けて任意の位置に流速計を吊す事ができた。他の 3 地点は、直径 5mm のワイヤーを、手巻きのウィンチを用いて張り渡した。流れの緩やかな第 3 観測地点では、ゴムボートを用いて流速計を吊したが、流れの速い地点では安全性を考え、岸から軽量のパイプを用いて送り出す方式を用いた。流速計からの出力はアンプで増幅し、平均流速に相当する直流成分を差し引いてからデータ・レコーダーに記録した。

2成分電磁流速計については、鉄パイプを用いて、専用の取付台を作成した。一人での取扱いが可能な様に設計してある為、設置可能な場所は限られる。今回は、本器を導入したばかりと言う事もあり観測の主役ではないが、浮遊物等に対しても強く、今後の観測に大きな威力を発揮するものと期待される。

3. 解析結果

実河川での観測結果を解析する事により、河川乱流場における乱れの種々の特性量を得る事が出来る。それらの詳細な結果は別の機会に譲り、ここでは河川乱流場の二重構造性と最大乱子スケールに着目して、解析結果を報告し、簡単な考察を加える。

3-1 エネルギースペクトル密度

データが比較的豊富な第 1 観測地点と第 3 観測地点の、それぞれを代表する様な観測例を

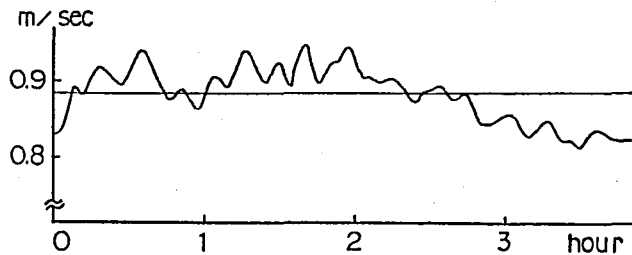


図 9

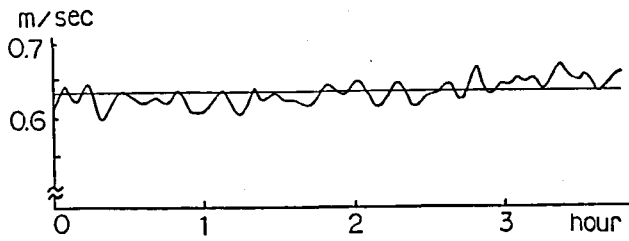


図 10

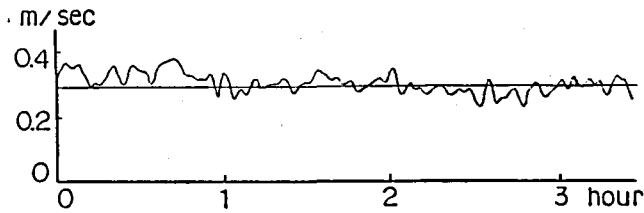


図 11

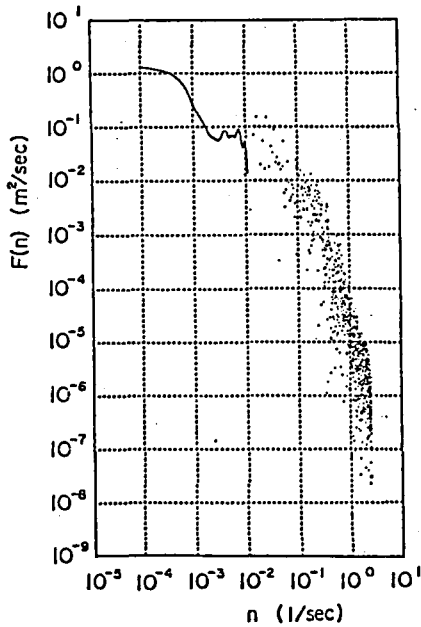


図 12

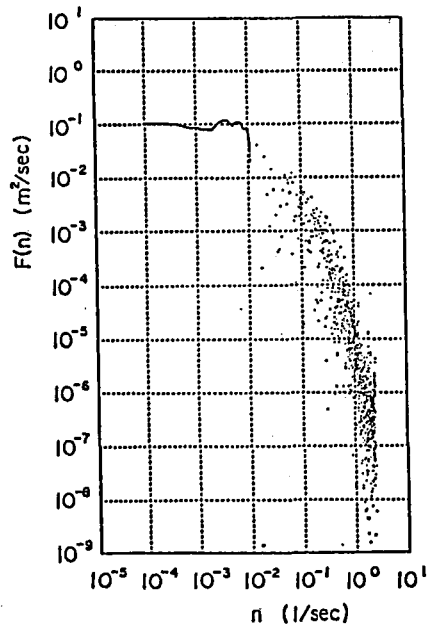


図 13

示す。図9が第1地点、右岸から30mのもの、図10が第3地点、左岸から25mのものである。記録全体を概観するため、共に 0.0018Hz のローパスフィルターを通してある。解析にあたり、高周波側と低周波側に分離した。高周波側は0.011Hz~2.2Hz のバンドパスフィルターを通した後、0.2秒間隔で2048個サンプリングした。低周波側は、0.011Hz のローパスフィルターを通した後、5.1秒間隔で2048個サンプリングした。この解析には信州大学工学部の

A. S. P. S. を利用した.

図12, 図13はそれぞれ図9, 図10のデータをスペクトル解析したものである. 第1地点では観測例の殆どに図9の様なスペクトルのギャップが見られたが, 第三地点では逆に殆ど見られなかった. しかし, 図10からも明らか様に, 強さはともかく, 確かに鉛直最大乱子よりも大スケールの乱れが, かなり周期的な形で存在している. 両地点間の相異は, 流速の大小と上流の直線性が主である. この事実からすると, 流速が大きく, 上流に彎曲や大きな砂洲の存在する所では二重構造が強く現われ, 流れが緩やかで直線的な所では, 二重構造は観測出来ない程弱いと言える.

図11に2成分電磁流速計による観測結果を示す. 流速計は第2観測地点下流15m, 左岸から10mの地点, 河床から0.3m1.0mの2点に設置した. スペクトルを求めるにあたり, 高周波側は0.0011Hz~7Hz のバンドパスフィルターを通し, 0.128秒間隔でサンプリングした. 低周波側は0.00044Hz~0.0695Hz のバンドパスフィルターを通し, 6.4秒間隔でサンプリングした. 平滑化のためのハニング回数は15回である. エネルギースペクトル密度分布の形も, これまでプロベラ流速計による観測から得られたものと大差ない.

3-2 最大乱子スケール

前出の, 対照的な2地点の最大乱子スケールを比較したものが図15, 図16である. 横軸は最大乱子スケールを, 鉛直乱流場については水深で, 水平乱流場については河幅で無次元化した値を示す. 縦軸は観測事例の数を示す.

鉛直最大乱子についてみると, 第1地点では10倍付近に集中しているのに対し, 第3地点

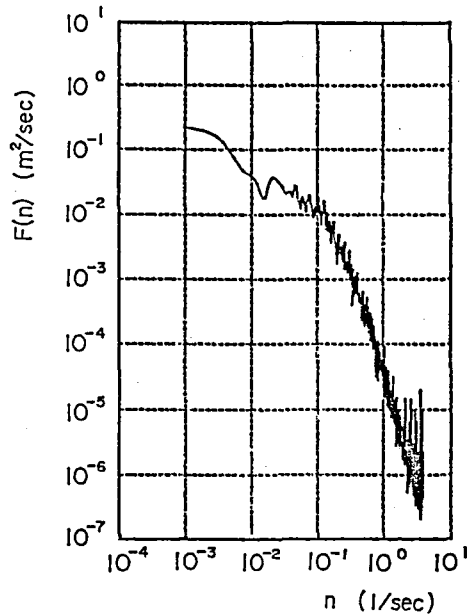


図 14

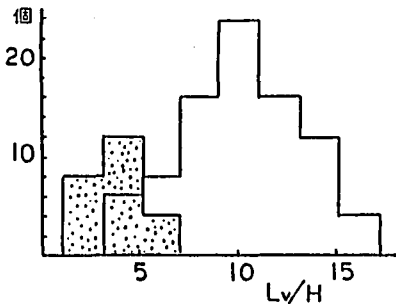


図 15

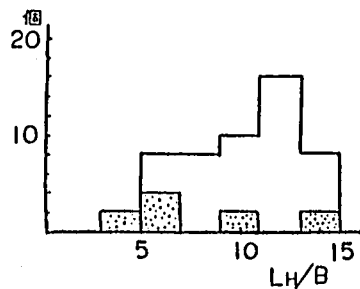


図 16

では5倍付近に集中している。これは、第3地点の小流速、大水深が原因ではないかと考えられる。この様な場合、平均流のシアが強いの河床近傍のわずかな領域で、上の領域は伴流的になっている³⁾。全水深の何割がいわゆる対数分布則の成立する乱流領域であるかは、流れの状態に依ろう。

水平最大乱子についてみると、第1地点では12倍程度に集中しているが、第3地点では求められない場合が多く、傾向も一定していない。第1地点で、求められた場合についても、エンストロフィーカスケーディングを行なうと考えられる領域での-3剰則は、慣性領域における-5/3剰則程の普遍性で見出す事は出来なかった。

4. あとがき

実河川での観測で得られた結果のうち、エネルギースペクトルと最大乱子の2点について簡単に報告した。第2観測地点と第4観測地点の結果は、本文で紹介した両極の例の中間的性状を示した。未だ、個々の事例を細かに分析する段階にまで研究が進んでいないため、相関を始め他の乱れの諸量については報告を省いた。これまでの所をまとめると、

- i) 水平乱流場での-3剰則は、鉛直乱流場での-5/3剰則程普遍的には成立していない。
- ii) 河道が直線的で、流れが緩やかだと、 B/H が大でも水平乱流のエネルギーは無視し得る程度しか存在しない。
- iii) 鉛直最大乱子のスケールは、水深だけでは決まらない。

となる。確かに-3剰則については否定的な結果が多かったが、鉛直最大乱子よりもはるかに大きな乱れが存在する事は事実である。これには例外が無かった。今後は、渦としての別のとらえ方をして行く必要がある。

末筆ながら、本研究を進めるにあたり御指導をいただいた広島大学余越正一郎教授、信州大学富所五郎講師、広島大学川西澄助手に感謝の意を表す。また、現地観測に便宜を図っていただいた、東京電力西大滝ダムの方々、建設省北陸地方建設局千曲川工事々務所の方々に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 松岡保正：河川の大規模乱れ（第1報）、長野高専紀要、第12号、pp. 33~pp. 39, 1981.
- 2) 石原安雄・余越正一郎：河川の乱流構造に関する一考察、京都大学防災研究所年報、第13号B、pp. 323~pp. 331, 1970.
- 3) 余越正一郎：河川乱流のエンストロフィー伝達率、第30回年講、2、pp. 412~pp. 413, 1974.