

II-285 現地観測に基づく実河川の乱れのスケールに関する考察

神戸大学工学部 正 員 瀬 良 昌 憲

1. まえがき 開水路乱流場の任意の一地点での乱れ変動は種々の渦スケールから構成されている。この渦スケールを代表する特性スケールに内部スケールと外部スケールとがある。内部スケールが乱れに固有なものであるのに対し、外部スケールは水理条件や幾何条件によって変化し、実河川のように流れ場が複雑になると外部スケールがいくつも現れる。従来、流速のアナログデータをA/D変換する際のサンプリング周波数は一般的に実験室水路で行われているのと同様に100Hzとしてデータ整理を行ってきた。しかし、実河川における流速のデータ処理に対して、100Hzというサンプリング周波数を採用した場合、実河川の流速の乱れ変動に存在すると思われる大きな外部スケールを見い出すことはできないのではないかと疑問が生ずる。そこで、実河川で得られた流速のアナログデータのA/D変換時のサンプリング周波数に注目して、実河川での流速の乱れ変動をカオスの「トラジェクトリ」的な現象として取り扱うという新しい試みを適用して検討した結果、実河川の乱流場に存在する外部スケールは流路幅のような水理パラメータと強い相関を有することを昨年の第49回年次講演会で報告した²⁾。しかし、前報で用いた手法は乱れ変動成分の描く「トラジェクトリ」という軌跡の形状変化を人間の目で判断するという方法を採用したため、あいまいさが残る。そこで、本報告では、上述の手法で求められたサンプリング周波数を基準にして、エネルギー・スペクトルの分布形状から、実河川の乱流場に存在する外部スケールを求め、水理パラメータと乱れのスケールの関係について考察する。

2. 現地観測データ 現在までにフローブ型の3次元超音波流速計を用いて主に兵庫県下の河川を対象として流速の現地観測を数多く実施してきた³⁾。しかし、以下の議論を進めるために必要な条件を満足する現地観測データはそれほど多く得られていない。すなわち、5.12Hzのサンプリング周波数でデータ個数を8192個以上とることができるような長時間の観測記録データである。前述の条件を満足するような測定ケースは表-1に示すような兵庫県下の7河川での測定データであった。なお、これらの河川では、相対水深 $z/H=0.2, 0.5, 0.75$ 付近において長時間の測定データが得られている。さらに、表中には現地観測データとの比較のため、水路幅0.5m、長さ16mの鋼製矩形断面実験室水路での計測データも示した。

3. エネルギー・スペクトルと外部スケール 昨年の年講で報告した手法は乱れ変動成分の描く「トラジェクトリ」という軌跡の形状変化を人間の目で判断するという方法を採用しているため、あいまいさが残る上に、軌跡の形状変化点のサンプリング周波数を正確に求めるためには、さらに、きめ細かなサンプリング周波数で同様の作業を繰り返す必要がある。そこで、本報告ではエネルギー・スペクトルの分布形状より、乱れエネルギーの高いところからエネルギーの散逸の開始点を検出してその周波数から実河川の乱流場に存在する外部スケールを求め、前報と同様に流路幅と乱れのスケールの関係について検討を加える。

流速のアナログデータのエネルギー・スペクトルを求めるためのデータ処理にはスペクトラムアナライザ(アドバンテスト製TR9404)を使用した。以下の議論では、エネルギー・スペクトルとして流下方向の S_{uu} のみを対象とした。まず、加古川の場合、サンプリング周波数5.12Hz、データ個数1024個、10回の平均化を行い、エネルギー・スペクトルを求めた。その結果を図-1に示す。最大流速点付近の相対水深 $z/H=0.75$ の場合、高周波数側の傾きを持つ領域のスペクトルの値の中心線とスペクトル値の水平線との交点を求めるという簡単な作図により求める周波数は0.14Hzであることがわかる。同様にして、相対水深 $z/H=0.5$ では0.20Hz、河床付近の相対水深 $z/H=0.2$ では0.60Hzとなる。以上のように、周波数が得られたので、周波数の逆数を時間のスケールと定義した。各時間のスケールは、(a)7.14sec, (b)5.00sec, (c)1.67secと求められる。さらに、各水深における局所の平均流速を得られた周波数で割り算すれば平均流速による外部スケールが得られる。同様にして、河川の摩擦速度を得られた周波数で割り算すれば摩擦速度による外部スケールが得られる。同様にして、千種川、市川、武庫川、猪名川、篠山川、有野川、実験室水路について、時間のスケール、平均流速による外部スケール、摩擦速度による外部スケールを求めたものを表-1にまとめて示す。なお、相対水深 $z/H=0.2, 0.5$ 付近における結果は紙面の都合により省略する。

表-1 水理条件と外部スケール

河川名	流路幅 B (m)	水深 H (cm)	Re ($\times 10000$)	Fr	摩擦 速度 (cm/s)	平均 流速 (cm/s)	z/H	周波数 (Hz)	時間の スケール (sec)	平均流 のスケール (cm)	摩擦速度 のスケール (cm)
加古川	35.7	37.0	18.1	0.29	4.52	55.5 60.6 32.8	0.759 0.478 0.178	0.14 0.20 0.60	7.14 5.00 1.67	396 303 55	32.3 22.6 7.5
千種川	32.1	36.0	18.9	0.25	4.48	55.4	0.785	0.22	4.55	252	20.4
市川	31.7	41.5	22.9	0.28	11.96	70.6	0.795	0.30	3.33	235	39.9
武庫川	16.0	34.0	18.4	0.34	5.64	68.2	0.779	0.50	2.00	136	11.3
猪名川	14.0	32.0	14.9	0.31	9.29	64.0	0.750	0.18	5.56	356	51.6
篠山川	9.6	29.0	16.5	0.42	8.31	77.0	0.755	0.40	2.50	193	20.8
有野川	3.1	32.0	14.4	0.28	3.10	95.1	0.688	0.60	1.67	159	5.2
実験室	0.5	20.0	3.2	0.11	0.86	16.0	0.750	2.00	0.50	8	0.4

4. 水理パラメータと外部スケールの関係

まず、横軸に平均流速による外部スケール、縦軸に流路幅を取り、相対水深ごとにプロットしたものが図-2である。最大流速点付近ではデータ点のばらつきは大きいもののデータ点の分布は右上がりの分布形状を示していると考えられる。 $z/H=0.5$ 付近ではデータ点のばらつきが大きく平均流速による外部スケールと流路幅の間には相関があるとは考えにくい。河床付近では明らかにこれらの量には相関がないと考えられる。次に、横軸に摩擦速度による外部スケール、縦軸に流路幅を取り、相対水深毎にプロットしたものが図-3である。これらの図の場合、データ点のばらつきが大きく、どの相対水深についても摩擦速度による外部スケールと流路幅の間には相関があるとは考えにくい。

5. 結言 本研究により、実河川の乱流場に存在する渦スケールを代表する特性スケールとしての外部スケール（平均流速による外部スケール）が河川の規模を表す水理パラメータの一つである流路幅と強い相関を有することがわかった。さらに、今回の測定地点の水深の大きさを見ると、30～40cmとほとんど同じ程度の大きさであることから、今回対象とした河床粗度に比べて水深の小さい実河川、見方を変えれば、水深に比べて流路幅が10倍以上あるような実河川では乱流場に存在する渦スケールを代表する特性スケールは水深のような鉛直方向の長さよりも流路幅のような横断方向の長さ強い相関を有すると考えられる。

参考文献 1) 合原一幸編：お水、サイエンス社、p.161、1990。
2) 瀬良昌憲：実河川における乱流成分のサンプリングに関する検討、土木学会第49回年譜概要集、土木学会、1994。
3) 瀬良昌憲：現地観測に基づく実河川の流れ特性について、水工学論文集、第35回、pp.353-358、1991。

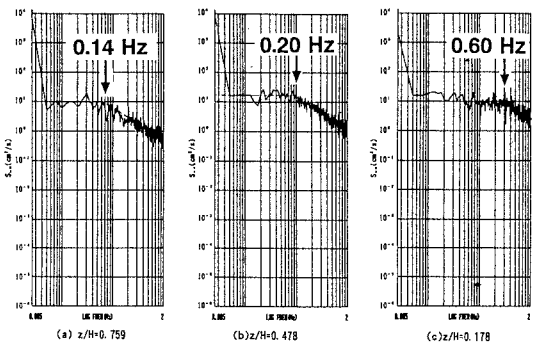


図-1 各水深のエネルギー・スペクトル（加古川）

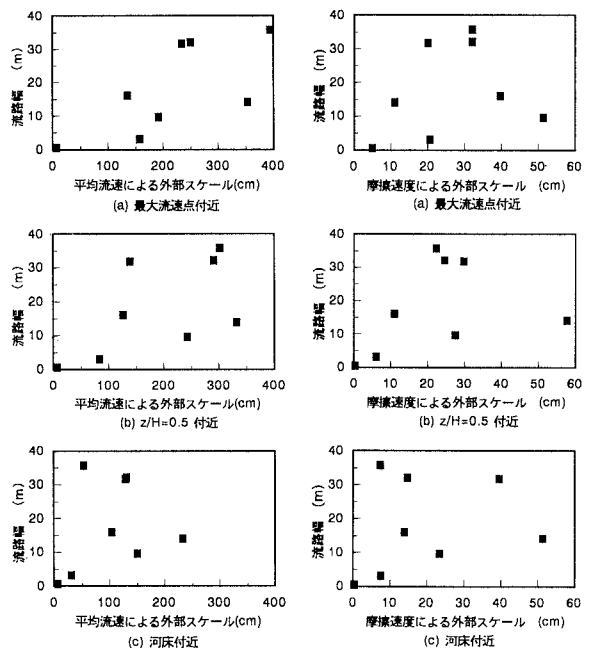


図-2 平均流速による外部スケールと流路幅の関係

図-3 摩擦速度による外部スケールと流路幅の関係