

II-302 実河川における乱流成分のサンプリングに関する検討

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出すことはできないのではないかという疑問が生ずる。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“トランジェクトリ¹⁾”的な現象として取り扱うという新しい試みを適用し、実河川の乱流場に存在する種々の渦スケールを代表する特性スケールである外部スケールの大きさを求め、実河川においてそのスケールの大きさを決定づける水理パラメータがいかなるものかを検討する。

2. 現地観測データ 表-1の水理条件に示すような兵庫県下の3ヶ所の河川直線部と1ヶ所の河川湾曲部において実施した流速の現地観測データを以下の考察に用いた。なお、現地観測には、プローブ型の3次元超音波流速計と直径7ミリの2成分電磁流速計を用いた。また、現地観測データとの比較のため、水路幅50cm、長さ16mの鋼製矩形断面実験室水路での計測データも用いた。

3. 流速の乱流成分のトランジェクトリ的な取り扱い 従来の時間平均化された乱れ強度分布について考えてみる。表-1の市川の場合のサンプリング周波数1Hzと100Hzの比較を図-1に示す。なお、データの個数はそれぞれ20480個(100Hz)、200個(1Hz)とした。これらの図を見比べると明らかに分布形状は良く一致している。よって、従来のように乱れ強度を時間平均化した場合、サンプリング周波数による乱れの分布特性の違いはないと考えられる。一方、変動波形の最も簡単な波形として周期的なサイン波を考えてみる。すなわち、 $u = \sin(t)$ という速度を持つ波を考え、そして、その速度を微分し加速度を求めると、 $du/dt = \cos(t)$ という関数が得られる。横軸に速度をとり、縦軸に加速度をとって時間 t の経過に従う軌跡を描くと“円”となる。この円はカオスの分野での“トランジェクトリ”の一種であると言える。ところが、実際の河川の流れは乱流であり流速の変動は不規則であるので、その軌跡は、サイン波のような円形の“ループ”を描かないと考えられる。そこで、市川の流速のアナログデータを用いて、サンプリング周波数1Hz、100Hzの場合について、横軸に流下方向の乱れ速度 u' 、縦軸に鉛直方向の乱れ速度 w' をとり、時間に従った u' と w' の関係を表す点の軌跡を描いたものが図-2である。

表-1 水理条件と時間のスケール

ケース	流路幅 B(m)	水深 H(cm)	B/H	平均流速 (cm/s)	摩擦速度 (cm/s)	サンプリング 周波数	時間の スケール(秒)
市川(流路幅:大)	31.7	41.5	76	57.2	11.96	10 Hz	0.100
武庫川(流路幅:中)	16.0	34.0	47	62.6	5.64	20 Hz	0.050
有野川(流路幅:小)	3.1	32.0	10	49.2	3.10	50 Hz	0.020
武庫川湾曲部 (電磁流速計による)	28.0	18.1	155	23.1	2.29	5 Hz	0.200
武庫川湾曲部 (超音波流速計による)	28.0	15.1	186	14.8	1.08	10 Hz	0.100
実験室水路	0.5	20.0	2.5	16.0	0.86	70 Hz	0.014

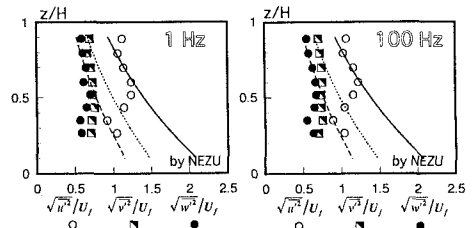
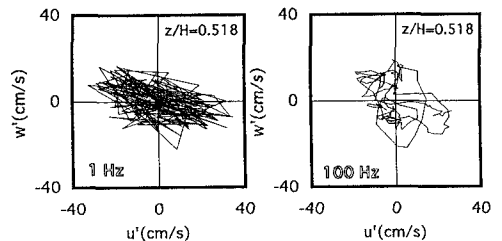


図-1 時間平均化された乱れ強度分布の比較(市川の場合)

図-2 乱れ速度 u' と w' との比較(市川の場合)

なお、作図に用いたデータ個数は200個とした。1Hzの場合、その軌跡は負の傾きを持った軌跡を描いており、この2成分には強い相関があることがわかる。ところが、100Hzの場合、“ループ”状の軌跡を描いている。これは、前述したように流れが乱流であれば、その軌跡は“ループ”を描かないであろうという推測に反する。この事実は採用する $\frac{z}{H}$ の周波数の違いによって、河川流に存在する乱流成分の特性を見誤る可能性があることを意味している。

4. $\frac{z}{H}$ の周波数と流路幅について 表-1に示した6ケースについて、 $\frac{z}{H}$ の周波数を1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100Hzの16種類に細かく変化させて、“トランジエント”的な軌跡の形状の変化する境目の $\frac{z}{H}$ の周波数を見出すことを試みた。データ個数はすべての $\frac{z}{H}$ の周波数で200個とした。以下の考察では“トランジエント”的な軌跡の形状の変化を目視によって判定を下すわけであるが、その判定基準は以下の通りである。すなわち、(1)軌跡が、正から負へ、あるいは、負から正へと激しく変動し、鋭く尖った形状から、一部の軌跡の形状がループ状の軌跡を描き始める状態にあるかどうか。(2)軌跡全体の形状が勾配を有すると判断できるかどうか。このような判定基準に従い、 $\frac{z}{H}$

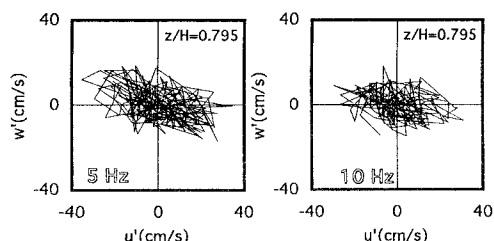


図-3 乱れ速度 u' と w' の関係（市川、流路幅：大）

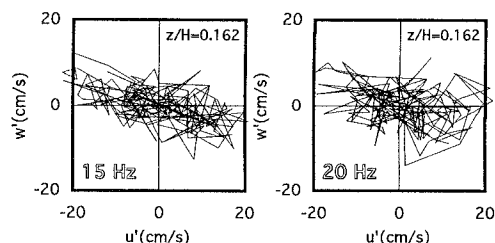


図-4 乱れ速度 u' と w' の関係（武庫川、流路幅：中）

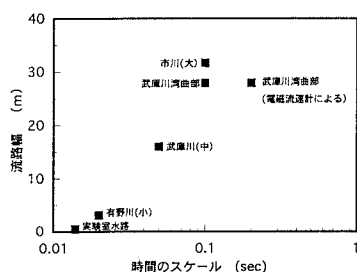


図-5 時間のスケールと流路幅の関係

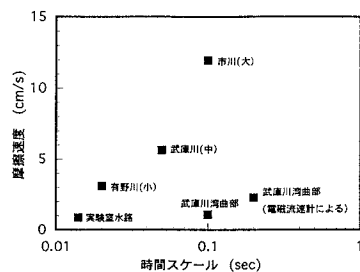


図-6 時間スケールと摩擦速度の関係

リング周波数と水理条件に何らかの対応関係があるのかどうかを検討するために、水理条件として流路幅： B に注目し、“トランジエント”的な軌跡の形状の変化する境目の $\frac{z}{H}$ の周波数の乱れ速度 u' と w' の関係を求めたものが図-3～4である。（紙面の都合で全てのケースを載せていない。）図-3の市川（流路幅：大）について見ると、 $\frac{z}{H}$ の周波数5Hzと10Hzの間でその軌跡の形状が変化していると考えられる（判定基準（1））。以下同様の判定を下した結果をまとめると表-1のようになる。この表中の時間のスケールは乱れ速度 u' と w' の関係から求めた $\frac{z}{H}$ の周波数の逆数をとったものである。これらの値から流路幅と時間のスケールの関係を示したものが図-5である。この図から流路幅という河川の規模を表す水理パラメータと今回得られた時間のスケールとの間には強い相関が認められる。言い換えれば、乱流場に存在する渦スケールを評価する時間のスケールが大きいということはその渦スケールも大きいことを意味すると考えられる。次に、図-5と同じ時間のスケールを用いて、縦軸に摩擦速度 U_τ をとり、それらの関係を示したものが図-6である。この図から武庫川湾曲部での測定データはその他のデータから大きく外れており、摩擦速度と時間のスケールには比例的な関係は認められない。このことから、河床の粗さを表す水理パラメータである摩擦速度がその乱流場に存在する外部スケールと何らかの関係を示すとは考え難いと思われる。

5. 結言 今回対象とした現地観測データの流路幅と水深の比を見ると1.0以上となっており、水深に比べて流路幅の大きい実河川の場合、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と考えられる。

参考文献

- 1) 合原一幸 編：カオス，サイエンス社，p.161, 1990.