



岐阜大学機関リポジトリ

Gifu University Institutional Repository

流速計の特性と開水路流れの乱流現象

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2022-05-19 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 板垣, 博, 古田, カ メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12099/5887

流速計の特性と開水路流れの乱流現象

板垣 博・古田 力

農業水工学研究室
(1983年7月28日受理)

Characteristics of Current Meter and Turbulence Phenomena in Open Channel Flow

Hiroshi ITAGAKI and Tsutomu FURUTA

Laboratory of Agricultural Hydraulic Engineering
(Received July 28, 1983)

SUMMARY

The purpose of this study is to examine the characteristics of a current meter and analyze the turbulence mechanism in an open channel flow. A current meter of the propeller type is used in this study, and the characteristics of the response and the direction of this meter are examined. From the experiment, it is found that the time constant is about 0.04 seconds for the usual flow and is well approximated by the cosine function in the direction. The authors consider this current meter effective for the measurement of large-scale turbulence. Correlations, spectrum and scales of the turbulence are calculated by the time series analysis of the data from measurements in the outdoor experiment. It is found that the large turbulence is of the same magnitude as the depth of water of the channel in the vertical and transversal direction.

Res. Bull. Fac. Agr. Gifu Univ. (48) : 159-171, 1983.

要 約

本研究の目的は流速計の特性を検定し、開水路流れにおける乱流構造を解析することにある。この研究においては、プロペラ式（回転式、羽根車式）の流速計が使用され、この計器の応答特性と方向特性が検定された。この検定実験から、時定数は通常の流れに対しては約0.04秒であり、方向性においては余弦関数で良く近似されるということが得られた。したがって、この流速計は大規模な乱流計測に対して十分に有効であると考えられる。野外開水路流れにおける乱流計測のデータを時系列解析することによって、相関、スペクトルとスケールが計算される。これより大規模乱流のスケールは開水路の水深方向と横断方向においては水深と同じ大きさであることが得られた。

緒 言

本研究はプロペラ式流速計の検定特性と野外開水路流れにおける乱流計測について述べたものである。使用した流速計は外径20mmであり、4枚のプロペラを持ち、その各先端には小型磁石が接着してある。そしてプロペラの回転を流速計支持枠の上部に設置してあるICにより検出するものであり、その出力パルスは約4Vp-pである。すなわち、プロペラの1回転によりほぼ矩形波に近い波形が4パルス発生し、この1パルスは流速値に換算して約1.2cm/secに相当する。この出力パルスを市販のモジュールにより製作し

たFVコンバータにより、アナログ量としての電圧に変換し、この電圧量を記録計としてのデータレコーダにより集録した。ここで自作したFVコンバータの周波数(F)と電圧(V)の関係は大変良い直線性を示した。これは計測システム全体の校正用に、実験の前後に発振器からの矩形波パルスを20Hzから140Hzまで20Hzきさみで与え、最小自乗法による直線回帰式の相関係数の値より判定されたものである。また、この直線回帰式によると、電圧1Vは周波数でおよそ100Hzに相当することが得られた。なお、データレコーダの記録速度は1 $\frac{1}{8}$ inch/secとしたが、これは直流(DC)から625Hzまでの変動現象に対して、十分に応答できる速度である。

野外開水路における乱流の計測時間は河川乱流での研究成果¹⁾を参考にして、1ケースについて数分から10数分前後を目標として設定した。しかしながら、流水中の浮遊物質等がプロペラ式流速計の軸にかかり、記録が中断することが度々あって、長時間にわたる計測は容易なことではない。

次に、データレコーダ中のアナログ量をADコンバータにより、カセット磁気テープ上にデジタル量として変換し、さらに計算機への入力媒体としての紙テープ化、もしくは磁気テープ化をした。なお、データレコーダの再生時のテープ速度は記録時におけるものと同じとし、さらにノイズ補償回路を入れて行った。また、データレコーダ中の時系列データをADコンバータによりデジタル化をしてサンプリングする際には、次に述べる本実験において使用したプロペラ式流速計の時定数を考慮することにより、0.15秒ないし0.20秒間隔でサンプリングした。したがって、時系列解析をする場合の総データ数は1ケースについて、最小900個、最大3,000個である。

時系列解析には相関解析法、スペクトル解析法と移動平均法を使用した。この解析結果より、野外開水路流れにおける開水路の水深方向(z軸方向、原点は水路底)、横断方向(y軸方向、原点は水路の中央)と流下方向(x軸方向、原点は上流側の流速計の位置)の大規模な乱流現象のスケールが求められ、さらに、乱流運動の発生と発達過程が検証される。

プロペラ式流速計の応答特性と方向特性

本研究に使用したプロペラ式流速計の各特性について検討する。特性についての実験は岐阜大学農学部水理実験室の長方形断面(水路幅、側壁高共に約0.3m)の直線水路(水路延長約20m)でおこなった。その検定方法は一般におこなわれている静止した検定水路の中を流速計を一定の速度で走行させるものではなく、直線水路の中に高さ約0.1mの幅厚ゼキを設置して、その上部の一樣流中に流速計を固定させておこなった。

応答特性

流速計の応答特性には始動特性と終特性があるが、ここでは終特性は始動特性と同一であると考えて、始動特性についてだけ検討する。始動特性の測定方法は最初に一樣流中の流速計のプロペラの回転を人為的に停止させておいて、任意の瞬間にこの拘束を解いて、急激に流速計の回転を許す。そして、この時の流速計の出力パルスを電磁オンロググラフに記録して、一樣流速値に対応するパルス数になるまでの間、各パルスの時間間隔を読み取り、回転速度の増加の過程をみたものである。すなわち、任意の平均流速値 U_0 に対する始動後 t 時間における流速値 U は一般に

$$U = U_0(1 - e^{-t/\tau}) \quad (1)$$

によって与えられる。そして、流速計が上式のような過渡応答特性をするとして、時定数 τ を評価した。この始動特性についての実験結果をFig. 1とFig. 2に示す。これらの実験結果から乱流の計測可能限界を推定することができる。すなわち、計器の応答周波数以上の現象はこの計器に感知されることができず、得られた記録は現象のスペクトルをこの周波数で切断したものである。本流速計は類似のプロペラ式流速計と比較しても大差ない始動特性であるということがわかった^{2,3)}。

方向特性

プロペラ式流速計の方向特性には水平方向特性と鉛直方向特性があり、これは傾斜式ポイントゲージの先端に流速計を固定して、水平方向及び鉛直方向における流線に対する偏角と流速計の出力パルスの関係について測定した。この場合には、ある一定時間内における出力パルスを読み取る方法であり、この場合

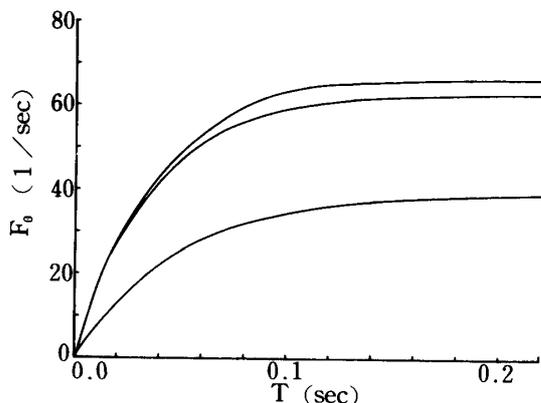


Fig. 1. Starting characteristics of propeller current meter.

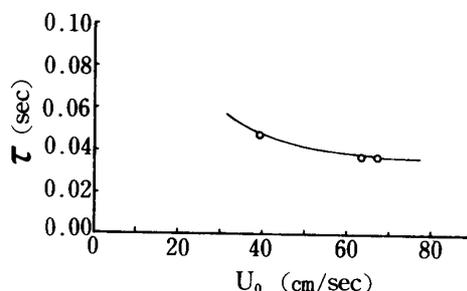


Fig. 2. Dependence of time constant of current meter on velocity.

には各方向特性は余弦関数で与えられることが望ましい。水平方向における2種類の流速値に対する実験結果を Fig. 3-1 と Fig. 3-2 に示す。なお、この場合の偏角 θ は流下方向に直交する方向 (y方向) に対する角度を表しており図中の曲線は最小自乗法により求めたものであり、その特性曲線は Fig. 3-1 の場合

$$F_{\theta}/F_{90} = \{\cos(\theta-90)\}^{1.26} \quad (2-1)$$

Fig. 3-2 の場合

$$F_{\theta}/F_{90} = \{\cos(\theta-90)\}^{1.33} \quad (2-2)$$

である。実験結果の一部には異常な値が見られるが、全体としては余弦関数に近い特性をもつことがわかった。

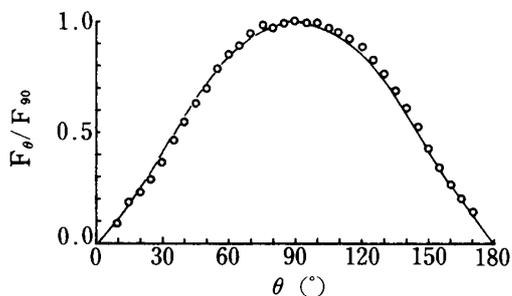


Fig. 3-1. Horizontal characteristics at $U_0=93.8\text{cm/sec}$.

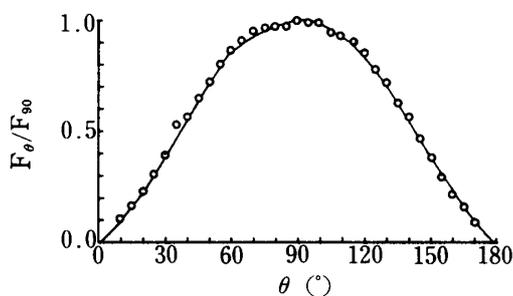


Fig. 3-2. Horizontal characteristics at $U_0=48.6\text{cm/sec}$.

次に鉛直方向における同様の実験結果を Fig. 4-1 と Fig. 4-2 に示す。なお、この場合の偏角 θ は流下方向 (x方向) に対する角度を示しており、この時の特性曲線は Fig. 4-1 の場合

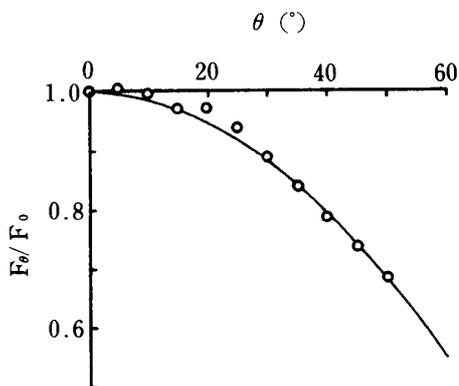


Fig. 4-1. Vertical characteristics at $U_0=96.8\text{cm/sec}$.

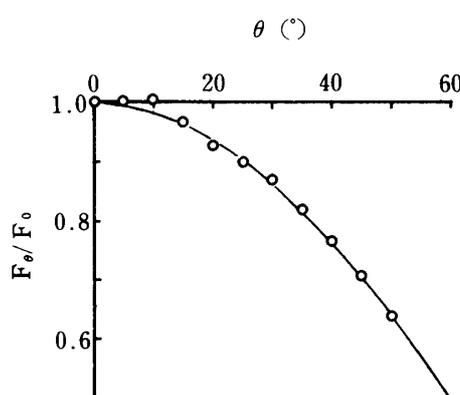


Fig. 4-2. Vertical characteristics at $U_0=61.1\text{cm/sec}$.

$$F_{\theta}/F_0 = \{\cos(\theta)\}^{0.86} \quad (3-1)$$

Fig. 4-2の場合

$$F_{\theta}/F_0 = \{\cos(\theta)\}^{1.00} \quad (3-2)$$

である。この場合、流速計の設置の都合上、50°以上の大きな偏角に対する実験がおこなえなかったが、水平方向特性の場合と同様に、鉛直方向特性も全体として余弦関数に近いものであることが得られた。なお、偏角が $\theta = 0^\circ$ の場合より $\theta = 5 \sim 10^\circ$ において流速計の回転がもっとも良いということが測定されたが、これは一様流中にある程度の上昇流が存在していたのではないかと推測される。方向特性については以上の知見が得られたが、実験値にみられるわずかな余弦関数との相違は、流速計自体の特性によるものか否かはこの実験からは把握できない。

計測場所および方法

多くの農業用水路においては完全に用水と排水の分離がおこなわれておらず、工業排水、家庭排水の他、農村社会における生活排水、雑排水等を直接流下させており、地域社会における排水路を兼用している場合が度々見られる。また、用水路という性格上、当然のことながら上流部ほど流量が豊富で、水路断面積が大きい。したがって、河川よりの取入口付近で乱流を計測することが望ましく、かつ研究上の問題点も多いものと考えられる。本研究においては、木曾川の犬山地点で濃尾用水犬山頭首工より取水している木津用水と長良川の関市小瀬地点より自然取水している各務用水において乱流を計測した。その計測場所は木津用水では左岸幹線分水工より下流約1,200mの地点であり、各務用水では津保川サイフォンの上流約300mと東西分水工の上流約300mの2地点である。

計測場所付近の幹線用水路は上下流共数百mにわたってほぼ直線になっており、しかも用水路中には、側壁に付設された直分水用のゲートを除いて橋脚等の大きな障害物は存在せず、ほぼ野外開水路では理想的な水路状態である。開水路の断面形状は木津用水が底幅6.4m、側壁コウ配約1:1の台形断面であり、各務用水が水路幅5.5mと4.5mの長方形断面であって、共にコンクリートライニングがなされている。ここで、乱流を計測した時の水理条件を Table 1 に示す。

Table 1. Hydraulic condition

Experiment	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6
Water depth (m)	1.15	0.78	0.77	0.33	0.80	0.78
Aspect ratio	7.81	7.05	5.88	16.9	6.89	7.10
Discharge (m ³ /s)	7.50	3.79	2.40	0.99	3.51	4.01
Mean velocity (m/s)	0.85	0.89	0.70	0.56	0.80	0.95
Froude number	0.25	0.32	0.26	0.31	0.29	0.34
Reynolds number $\times 10^4$	97.5	76.9	59.6	20.3	64.2	74.7

これらの表中の6 Case の計測を乱流の空間的な相互相関特性の立場から分類すると、Case 1 は水路の横断方向(y方向)の相関特性、Case 2, 3, 5 と6 は水路の水深方向(z方向)の相関特性、Case 4 は水路の流下方向(x方向)の相関特性について主として検討するためにおこなった実験であり、Case 1 は木津用水において、その他は各務用水におけるものである。

計測方法としては、Case 1 では水路の中央の水面下0.3mの位置に1台の流速計を固定させて、他の1台の流速計を同一の高度でそれぞれ右岸側(+y方向)、ないし左岸側(-y方向)に0.2mずつ等間隔に移動させて同時計測した。また、Case 2, 3, 5 と6 では5台の流速計を同時に使用して、水深方向については水深の上層部と下層部に分けて、水深の1割から9割までの9測点で、水路幅方向については2ないし9測線でおこなったものである。さらに、Case 4 では2台の流速計を同一高度で同一測線上に固定させて、流下方向については4.45m(計測時の水深の約14倍の距離)離して、水路中央部付近について同時計測し

たものである。

計測結果および考察

乱流の相関解析とスペクトル解析^{4),5)}

オイラー的な時間自己相関関数 C_{uu} を

$$C_{uu}(m\Delta t) = \frac{1}{N-m} \left\{ \sum_{i=1}^{N-m} U_i \cdot U_{i+m} - \frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^{N-m} U_i \cdot \sum_{i=1}^{N-m} U_{i+m} \right\} \quad (4)$$

により定義する。したがって、自己相関係数 R_{uu} は上式を分散値 $\overline{u^2}$ で正規化した

$$R_{uu}(m\Delta t) = \frac{C_{uu}(m\Delta t)}{\overline{u^2}} \quad (5)$$

で与えられる。ここで、 N は全データ数、 m はずらしの個数、 Δt は読み取り時間間隔である。また、(4) 式を2変数に拡張すれば、相互相関関数 $C_{uv}(m\Delta t)$

$$C_{uv}(m\Delta t) = \frac{1}{N-m} \left\{ \sum_{i=1}^{N-m} U_i \cdot V_{i+m} - \frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^{N-m} U_i \cdot \sum_{i=1}^{N-m} V_{i+m} \right\} \quad (6)$$

と相互相関係数 R_{uv}

$$R_{uv}(m\Delta t) = \frac{C_{uv}(m\Delta t)}{\sqrt{\overline{u^2}} \sqrt{\overline{v^2}}} \quad (7)$$

が求められる。さらに、Wiener-Khinchine の定理により、自己相関関数のフーリエ余弦変換で求められるエネルギー・スペクトル関数 E を

$$E(k\Delta f) = 2\Delta t \left\{ C(0) + 2 \sum_{m=1}^M C(m\Delta t) \cos \frac{mk\pi}{M} + C(M\Delta t) \cos \pi k \right\} \quad (k=0,1,2,\dots,M) \quad (8)$$

により計算する。ここで、 M は最大ずらし数であり、Blakman and Turkey にしたがって全データ数の $\frac{1}{10}$ にする。なお、エネルギー・スペクトル関数は最終的には Hamming の平滑フィルター

$$\left. \begin{aligned} E(0) &= 0.54 \cdot E(0) + 0.46 \cdot E(\Delta f) \\ E(k\Delta f) &= 0.54 \cdot E(k\Delta f) + 0.23 \cdot \{E[(k-1)\Delta f] + E[(k+1)\Delta f]\} \\ E(M\Delta f) &= 0.54 \cdot E(M\Delta f) + 0.46 \cdot E[(k-1)\Delta f] \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

を操作する。したがって、本論文においては計測された時系列変動現象を重要視して、データ自体の正規化、トレンドの除去、プレホワイトニング等の特別の操作を施していない。

Case 5 において計算された自己相関係数を Fig. 5 に示す。なお、図は上より開水路の中央部において、水深の上層部（底面から水深の9割）、中層部（水深の5割）と下層部（水深の1割）におけるものの代表的な事例である。一般に、自己相関係数の減少割合は極めて速く、その傾向は下層部へ向うほど著しい。

水深の下層部においては、遅れ時間 (τ) がほぼ4秒付近で相関係数の値は0.04位まで急激に低下しており、その後0.1位まで上昇しており、1つの卓越した周期現象と考えられるものが存在している。その後は、相関係数の値は ± 0.1 以内の範囲をゆっくりと上下して変動しており、その形状は各データごとに異っており、特別な顕著な周期成分は認められない。なお、4秒ないし5秒付近に見られる卓越した周期現象はバースト現象と考えられ、鉛直乱流場の乱れの発生機構における1つの重要な渦構造に相当するものと考えられる。

水深の中層部においては、このバースト現象に相当すると考えられる周期性が、さらにはっきりと認められ、遅れ時間が3ないし4秒付近で約0.2の相関係数の値になっている。これは固定壁面において発生した間欠的な乱流が、平均流によって上層部へ伝達されると共に、渦構造自体が明瞭になり発達するためと考えられる。

水深の上層部においては、特に明確な遅れ時間を有するバースト現象に相当する周期性は認められず、相関係数の値自体は3秒付近からゆっくりと減少しており、8ないし10秒において0になる。これは自由水面が存在するためと考えられる。すなわち、中層部において最大に発達したバースト現象が自由水面の

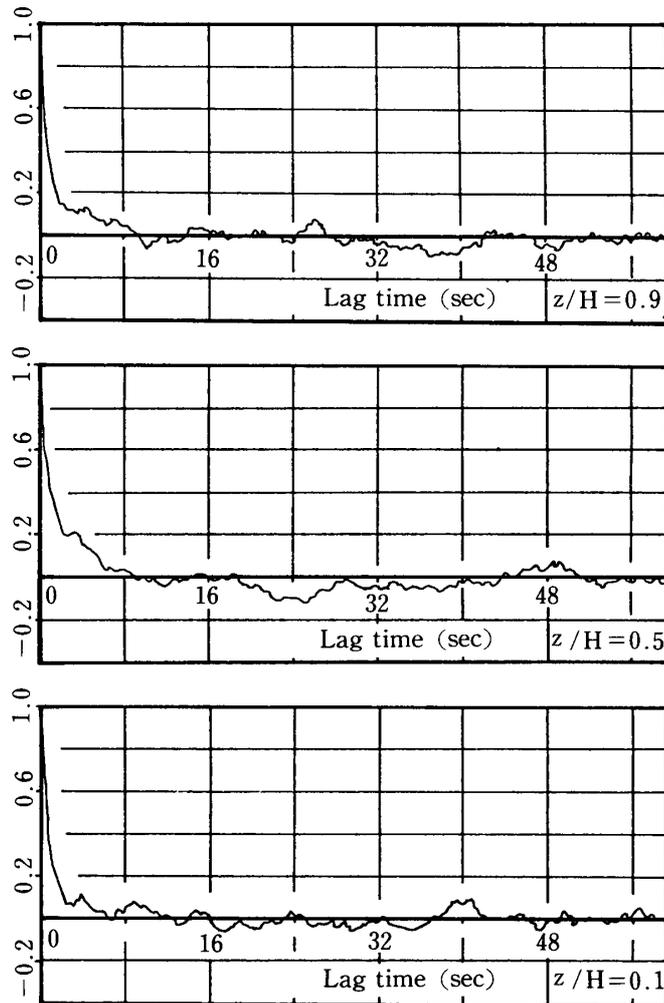


Fig. 5. Auto-correlogram of turbulence (Case 5).

存在のために押しえられ、エネルギーを放出しながら、次第に消滅するためであると考えられる。

次に Case 5 の水深の中層部におけるエネルギー・スペクトル関数を Fig. 6 に示す。この図においても、3 ないし 4 秒のバースト現象に相当する周波数 0.3Hz 付近に 1 つのピークが認められる。また 40 から 50 秒に相当する 0.02 ないし 0.025Hz 付近にもピークが認められ、さらに長周期の変動成分が存在することを示している。なお、エネルギー・スペクトル関数の形状は、全体的に周波数が大きくなるにしたがって、エネルギーが低くなり、およそ 0.3Hz の変曲点を境にして、それ以上の高周波数領域では $-5/3$ 乗則が認められ、また、変曲点以下の低周波数領域では緩傾斜であって -1 乗に近い傾向を示している。このことは、一般の河川乱流や大気乱流と同様に開水路流れにおいても乱流のエネルギーのカスケード過程¹⁾が存在していることを示しているものと考えられる。

乱流の空間的な相関特性

3 次元的な開水路乱流場の空間的な相関特性を (7) 式より計算される相互相関係数により検討する。まず最初に、Case 1 における開水路の横断方向 (y 方向) における乱流の空間的な特性を Fig. 7 に示す。なお図の縦軸は $\tau = 0$ における相互相関係数 $R(0, y/H, 0.74; 0)$ であり、横軸は水深で無次元化した y 軸である。これより相互相関係数の値は $y/H = \pm 0.17$ において $R \approx 0.7$ 、 $y/H = \pm 0.35$ において $R \approx 0.4$ 、 $y/H = \pm 0.52$ において $R \approx 0.2$ となっており、これ以上の y の位置においては相関性がほとんど認められないということがわかる。すなわち、横断方向における乱流の空間的なスケールはほぼ水深と同程度のものであると考えられる。

開水路の水深方向 (z 方向) における Case 2 と Case 3 より求められた乱流の空間的な特性の結果を Fig.

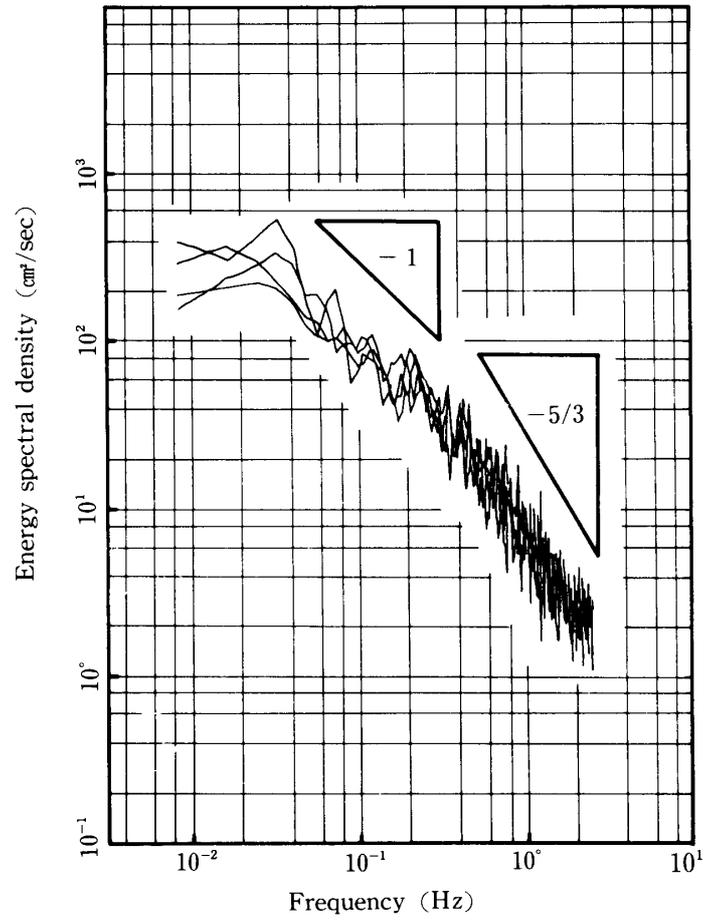


Fig. 6. Energy spectral density of turbulence (Case 5 ; $z/H=0.5$).

$R(0, y/H, 0.74; 0)$

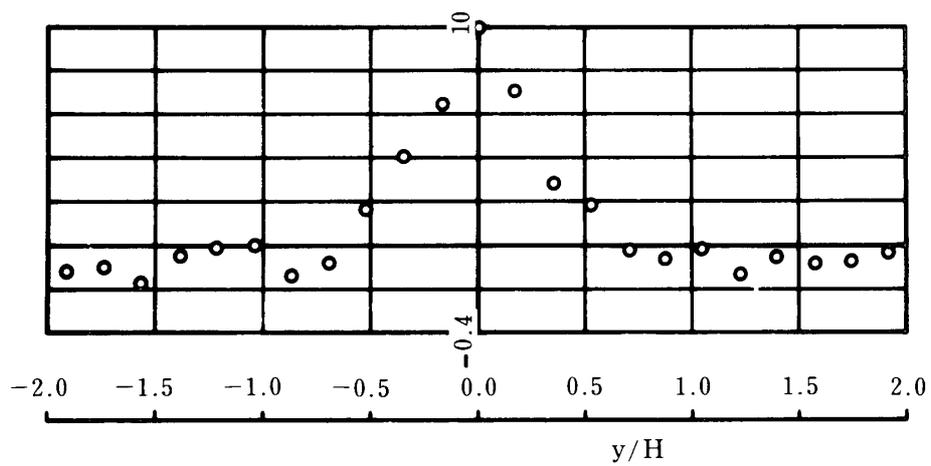


Fig. 7. Transversal cross-correlation of turbulence (Case 1).

8に示す。この場合は、開水路の中央の水深の半分の位置(0, 0, 0.5)に基準となる流速計を設置して、他の流速計をそれぞれ水深の1割から9割まで1割間隔に移動させて計測したものであり、図の縦軸は水深で無次元化したz軸であり、横軸は $\tau = 0$ における相互相関係数 $R(0, 0, z/H; 0)$ である。この図から、基準とした位置より水深の1割離れると $R \approx 0.75$, 2割離れると $R \approx 0.53$, 3割離れると $R \approx 0.35$, 4割離れると $R \approx 0.23$ となり、相関係数の値そのものは減少するが、自由水面より底面付近まで相関性が

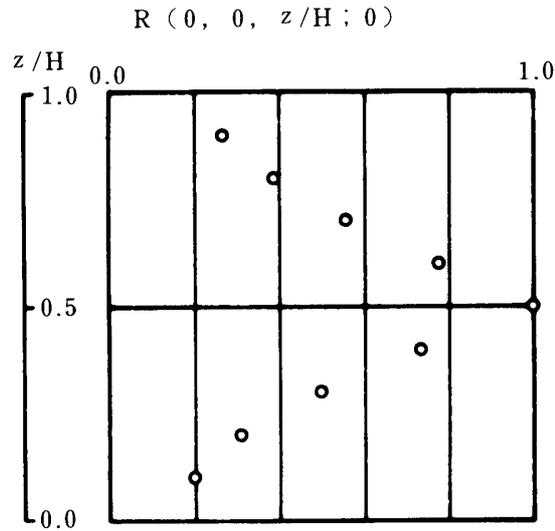


Fig. 8. Vertical cross-correlation of turbulence (Case 2 and Case 3).

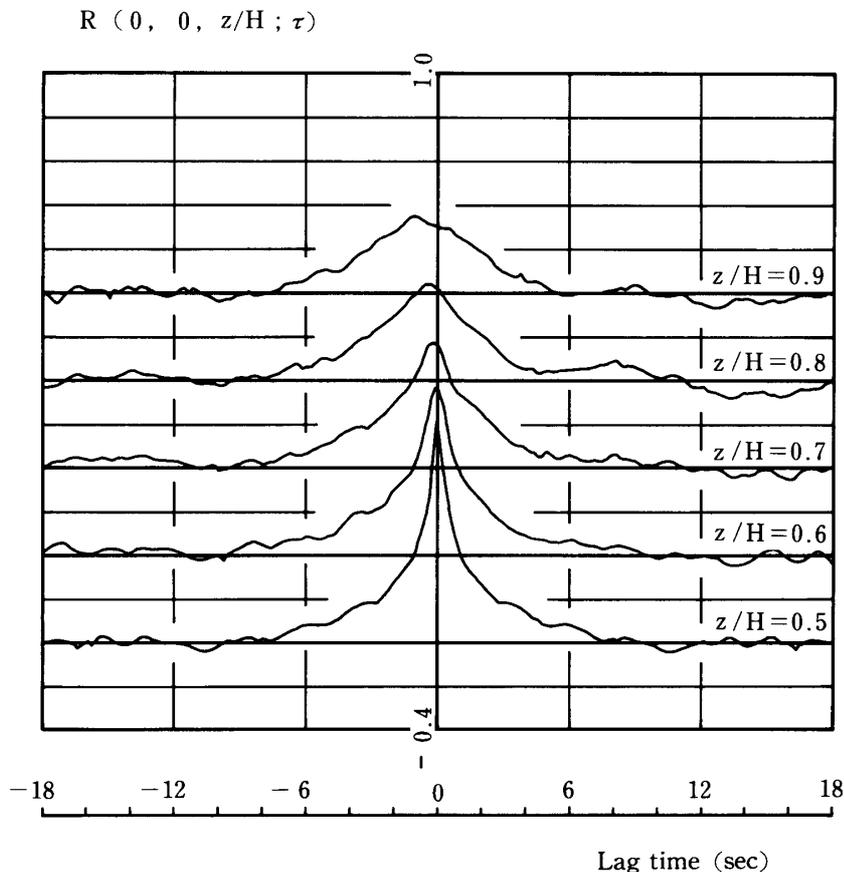


Fig. 9-1. Vertical cross-correlogram in upper layer of channel (Case 3).

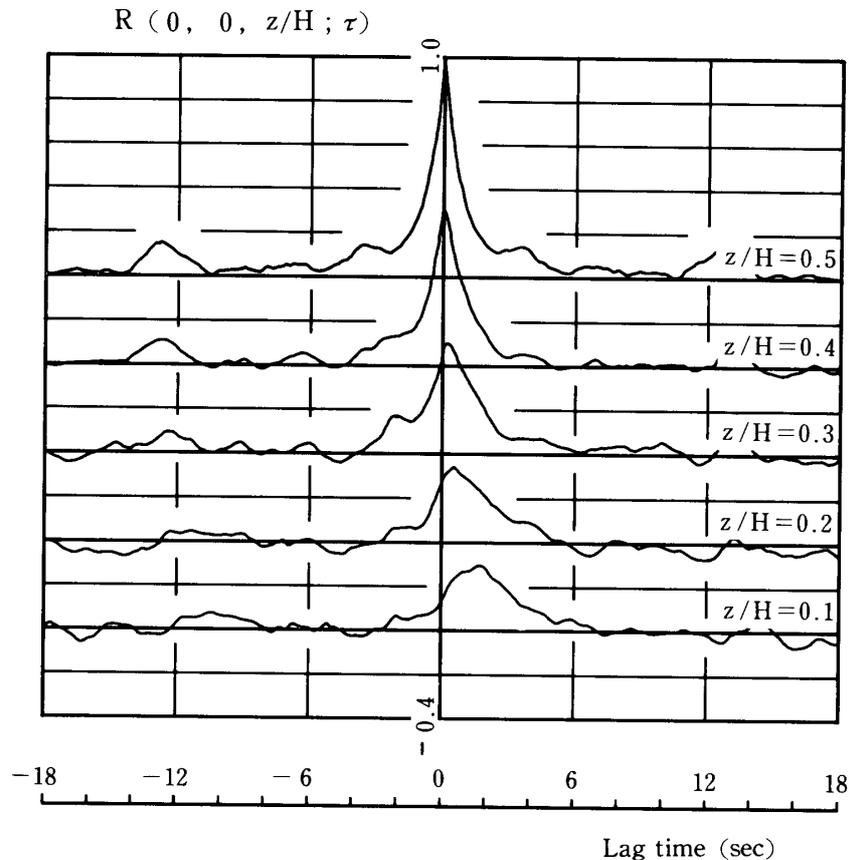


Fig. 9-2. Vertical cross-correlogram in lower layer of channel (Case 3).

あることがわかる。すなわち、水深方向における乱流の空間的なスケールもほぼ水深と同程度のものである。なお、Fig. 9-1 と Fig. 9-2 にCase 3 における相互相関係数の形状を示す。

最後に、Fig. 10は Case 4 の開水路の流下方向（x方向）における乱流の空間的な特性を示す。図は上から、水深の上層部（底面より水深の8割）、中層部（水深の4割）、下層部（水深の2割）における相互相関係数の値を示したものであり、いずれの計測においても、2台の流速計を同一高度で、x方向には水深の14倍離して測定したものである。その相互相関係数の形状は、それぞれの高度で平均流速値より逆算される時間において相関は最大となり、しかも水深の14倍の距離においても0.3ないし0.4の相関性があることを示している。また、上層部の方が下層部よりも形状が鋭く、相関も高い傾向にあるという結果が得られた。

以上の計算結果より、開水路における乱流の空間的なスケールは、横断方向と水深方向については水深程度であり、流下方向については細長い円筒状の構造をした乱流が推察される。ここで開水路における流量測定という立場からすれば、少数の測点で短時間の内に結果が求められることが望ましい。上述の計測結果を参考にすると、流量測定のための測線は開水路のアスペクト比に相当する測線数が必要であり、測点については1点法⁶⁾によっても十分平均流速が求められることを示唆しているものと考えられる。

移動平均法による長周期スケール

乱流のように時間的に変動している時系列現象から、その周期成分を判定する一般的な方法としては、時間領域における相関解析や、周波数領域におけるスペクトル解析がある。しかしながら、これらの方法では長周期成分を判定することは相当困難である。したがって、ここでは移動平均法を使用して、開水路乱流場に存在する比較的長周期の変動成分について検討する。

移動平均法には算術移動平均法と加重移動平均法があり、一般に変化の大勢判断には算術移動平均法が、特定周期の変動の除去には加重移動平均法が用いられる。ここでは、前者による方法を試みる。なお、こ

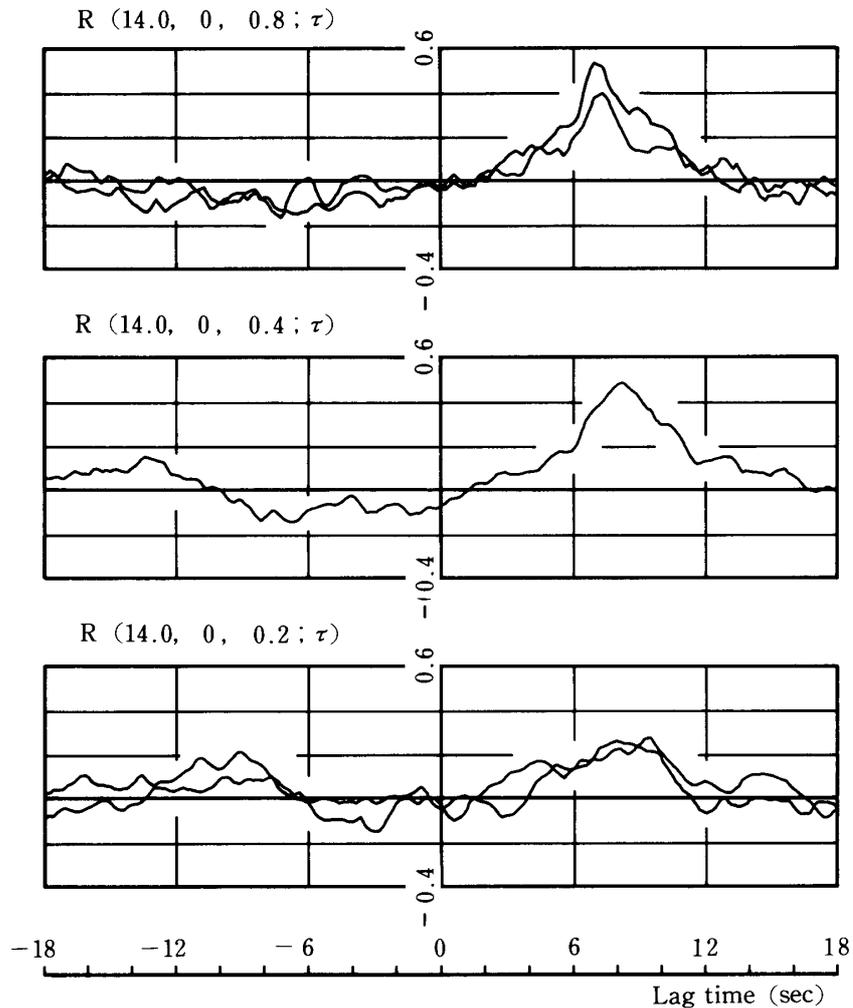


Fig. 10. Longitudinal cross-correlogram of turbulence (Case 4).

の方法を使用すると、ランダム成分や短周期成分は除去されるが、これによって変動曲線がなめらかになり、振幅は減少することになる。

いま、 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ が与えられたものとして、原系列 x_i の代わりにその $x_{m+1}, x_{m+2}, \dots, x_{n-m}$ に対して

$$\left. \begin{aligned}
 g_{m+1} &= \frac{1}{2m+1} (x_1 + x_2 + \dots + x_{2m+1}) \\
 g_{m+2} &= \frac{1}{2m+1} (x_2 + x_3 + \dots + x_{2m+2}) \\
 &\vdots \\
 g_{n-m} &= \frac{1}{2m+1} (x_{n-2m} + x_{n-2m+1} + \dots + x_n)
 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

を対応させる方法を $2m+1$ 次の移動平均法という⁷⁾。すなわち、この時には x の値の $(2m+1)$ 個の平均値を g とし、 x の値を 1 個づつずらしながら順次 g を求める方法である。

移動平均の操作は Case 5 と Case 6 の計測に対して、各測点ごとにおこなった。なお、算術移動平均の平均化時間は 2 秒(データ数では 10 個)、5 秒(25 個)、10 秒(50 個)、20 秒(100 個)、30 秒(150 個)、40 秒(200 個)、50 秒(250 個)、60 秒(300 個) の 8 種類を計算した。ここで、計算結果の 1 例として 30 秒の移動平均を施した場合の水深の上層部におけるものを Fig. 11-1 に、下層部におけるものを Fig. 11-2 に示す。この各種の移動平均による時間・変動曲線より、流速変動のパターン化をおこない、次のような知見が得

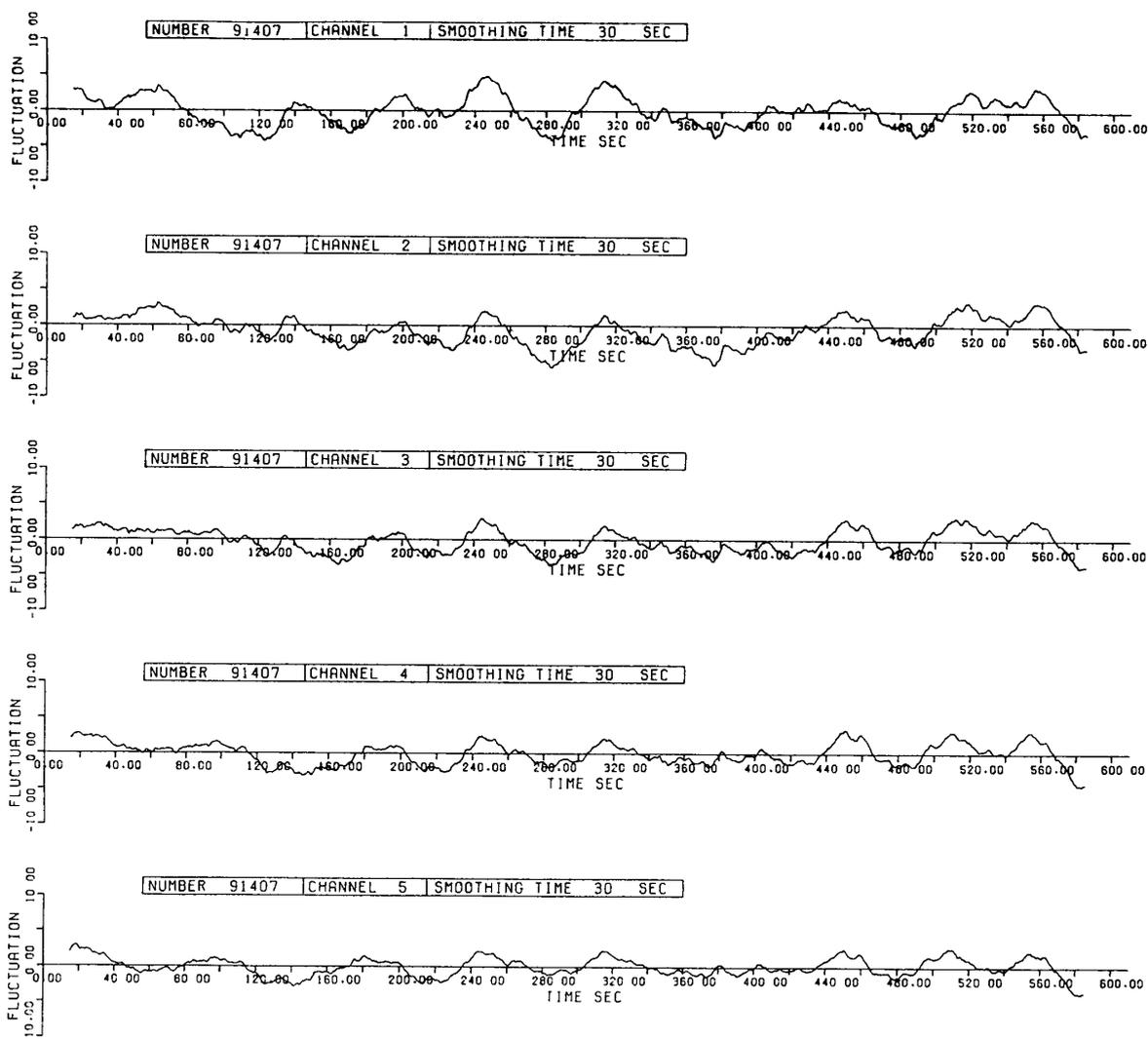


Fig.11-1. Moving average of fluctuating velocity in upper layer of channel (Case 5).

られた。

(i) 水深の上層部、または下層部の計測において得られた各5測点1組の流速変動のパターンの形状はよく類似している。すなわち、前項における相互相関特性からは推定出来ない程のわずかな時間的ずれを除いて、各測点の変動はマクロ的には同一であると考えられる。

(ii) 各測線において、約10分間の計測を3回おこなったが、これらが全て同一のパターンを示すことはなく、部分的には類似している場合もあった。したがって、研究の目的によって、条件付計測方法を規定しなければならないことを示唆している。

(iii) 一般に、平均流速より遅いマイナス時間領域における波形は鋭く、速いプラス時間領域における波形は鈍く、比較的にゆっくりした変化を示していることが多い。しかし、水路底付近の測点では反対の現象が得られた。

さらに、各移動平均操作を行った時間・変動曲線の波形より、波形の周期を読み取り、相対度数分布を作成した。この場合の周期の読み取りの規範は次のように定めた。

(i) 原則として、波形の峰から峰と谷から谷までの2種類の時間についておこなう。

(ii) 移動平均時間より知かい時間に現われる周期は除外する。ただし、比較的長い移動平均時間においては振幅が比較的大きい場合には読み取る。

(iii) 長周期の波形の場合で、波形が滑らかなためピークが明確でない場合には、その中央部をピー

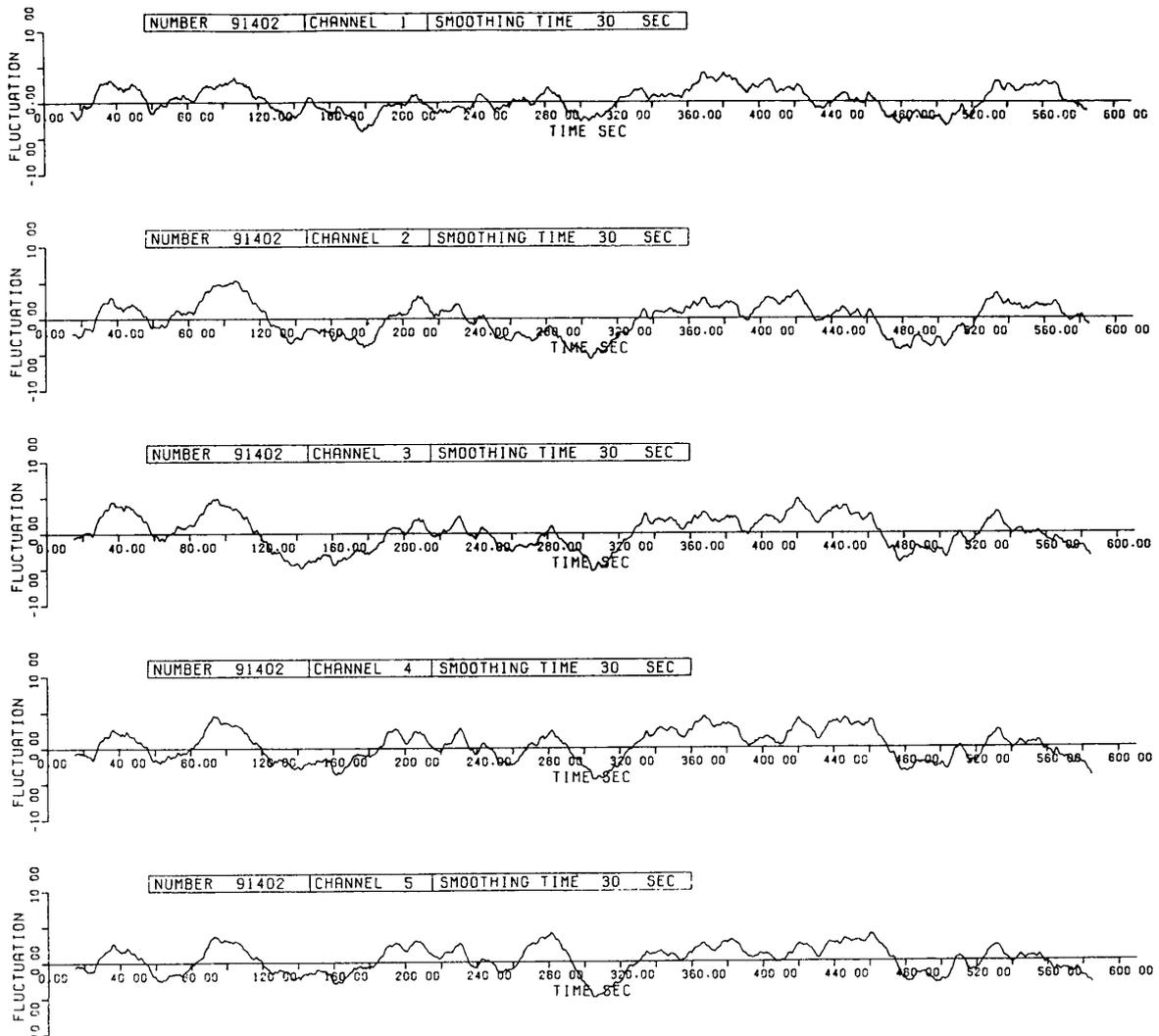


Fig. 11-2. Moving average of fluctuating velocity in lower layer of channel (Case 5).

クとする。

これらの規範の設定により、各移動平均時間における周期の相対度数分布より、乱流の長周期スケールに関して次のような知見が得られた。

(i) 相対度数分布の形状は各測点において移動平均化時間30秒位まで、極めて良く類似しており、各種類の周期が連続的に存在していることを示している。

(ii) 周期の平均時間スケールが度数分布の卓越階級付近に存在すると思われるのは、移動平均化時間20秒位までであり、およそ各移動平均化時間の2倍のところに存在する。

(iii) 各周期を Taylor の凍結乱流の仮設により空間スケールに変換すると、水路幅 B の 2 倍、4 倍、8 倍程度の卓越した長周期スケールが存在すると考えられる。

謝 辞

本研究をおこなうにあたり、木津用土地改良区と各務用土地改良区、さらに、現地計測にあたり岐阜大学農学部農業工学科農業水工学研究室の専攻生の御協力を得た。また統計計算にあたっては名古屋大学大型計算機センターの M200 と岐阜大学情報・計測センターの FACOM 230-28 を使用した。ここに深甚の謝意を表します。

文 献

- 1) 余越正一郎：河川の大規模乱れ. 京大防災研年報(10)－B：199－206, 1967.
- 2) 余越正一郎：びわ湖疏水における乱れの観測. 京大防災研年報(9)－B：513－523, 1966.
- 3) 田中雅史：小型回転式流速計による乱流解析について. 三重大農学報(46)：25－41, 1974.
- 4) 電気学会編：“測定値の統計的处理”東京：電気学会, 83－148, 1968.
- 5) 石原藤次郎・本間 仁編：“応用水理学下(II)”東京：丸善, 81－137, 1971.
- 6) 土木学会編：“水理公式集”東京：土木学会, 168－170, 1971.
- 7) 堀川 明：“ランダム変動の解析”東京：共立出版, 16－23, 1966.