



Title	移動床流れにおける河床形状と乱れの相互関係
Author(s)	岸, 力; Kishi, Tsutomu; 森, 明巨 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 68(1), 121-127
Issue Date	1973-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41137
Type	departmental bulletin paper
File Information	68(1)_121-128.pdf



移動床流れにおける河床形状と 乱れの相互関係

岸 力* 森 明巨* 黒木幹男*

(昭和48年3月22日受理)

The Reciprocity between Bed Configuration and Turbulence in Alluvial Streams

Tsutomu KISHI* Akio MORI* Mikio KUROKI*

Abstract

Fluctuations of flow velocity and bed elevation were observed at a time in an alluvial stream, and the reciprocity between the bed configuration and turbulence was studied statistically.

The following is an outline of the results obtained from the analysis:

The fluctuation of flow velocity is composed of the variation of mean velocity and the turbulence due to a turbulent boundary layer.

A model was proposed to express the fluctuation of velocity.

In the author's experimental work, a phase of mean velocity was observed to change in accordance with the bed configurations, whereas, according to the theory proposed by Hayashi¹⁾, the phase of mean velocity coincides with that of the bed configuration of the dunes.

Due to the analysis of the coherency between the fluctuation of velocity and the bed elevation, a higher correlation was observed at a lower frequency which corresponds to the mean velocity in the dunes and the transition, but was not observed in the ripples.

1. はじめに

開水路における乱れの測定は、主に河床が flat あるいは河床波のある固定床について行なわれており¹⁾、移動床における測定例は少ない。

今回、著者らは、長さ 20 m、幅 1 m の鋼鉄製可変勾配水路に平均粒径 0.69 mm の砂を敷き、移動床における乱れを測定した。同時に砂面の変動も測定し、河床形状と乱れの相互関係を統計的に調べた。

本研究の目的は、河床形状の生成、発達メカニズムを調べる基礎とし、又、流量観測の精度に関し、乱れの time scale を調べることにある。

流速測定には直径 18 mm のプロペラ流速計を用い、水路上流端より 11 m に設置した。砂面変動の測定には計測技研(株)製の砂面測定器 2 台を用い、水路上流端より 12, 13 m にそれぞれ設置した。

* 土木工学科 河川工学研究室 Department of Civil Engineering

実験の概況を表-1に示す。

表-1

RUN	15	16	17	18
河床形状	ripple	transition	dune	dune
水面勾配	1/340	1/225	1/630	1/600
水深 (cm)	4.4	5.5	12.9	21.2
y (cm)	2.4	3.3	4.3	5.4
平均流速 (cm/sec)	55.6	69.6	68.0	64.1
T_E (sec)	4.2	41.6	221.6	179.1
L_x (m)	2.3	28.9	150.8	114.8
L_x/H	52.7	525.7	1,168.7	541.6

y : 平均河床から測定位置までの距離

2. スペクトラム

1.2 流速変動のマクロスケール

表-1中に流速変動のマクロスケール L_x が示されている。著者らの自然河川における測定では²⁾, L_x は水深程度の大きさをもつが, 表-1からわかる様に本実験では水深の数十倍から数百倍となっている。

このような大きな値を取る原因は次の様なものと考えられる。

移動床流れでは, 河床に sand wave が発生し時間とともに移動し, それにともなって平均流速が変化する。従って流速変動は, 乱流境界層による乱れと平均流の時間的変化の二成分より構成される。

本実験では, sand wave の一波長が, 水路内の一地点を通過するのに要する時間は数十秒ないし数十分であった。従って, 平均流の時間的変化は非常に低周波なもので L_x を大きなものとする。

2.2 流速変動のコレログラムと乱流のモデル

図-1に流速変動のコレログラムが示されている。図から, 前節で述べた考えの妥当性が確かめられる。

今, 移動床流れにおいて, 平均流変化の time scale を T_{E1} , 固定床において, 河床波がある時と flat な時の time scale をそれぞれ T_{E2} , T_{E3} とする。 T_{E2} は T_{E1} の特殊な場合である。

flat な実験水路における乱れは T_{E3} に関するものであり, 自然河川における乱れは T_{E2} と T_{E3} に関するものと考えられ, それぞれのコレログラムは (1) 式で比較的良く近似される。

$$R(\tau) = e^{-\tau/T_E} \quad (1)$$

そこで, 移動床における平均流の変動のモデルとして (1) 式を用いてみた。これは一次のマクロ過程を仮定したことになる。

この時, コレログラム $R(\tau)$ は次式で与えられる。

$$u'^2 R(\tau) = u_1'^2 e^{-\tau/T_{E1}} + u_3'^2 e^{-\tau/T_{E3}} \quad (2)$$

$$u'^2 = u_1'^2 + u_3'^2$$

$u_1'^2$, $u_3'^2$ はそれぞれ平均流の変動, 乱流境界層による乱れの強度で, 両者の時間的変化に相関はないものとする。

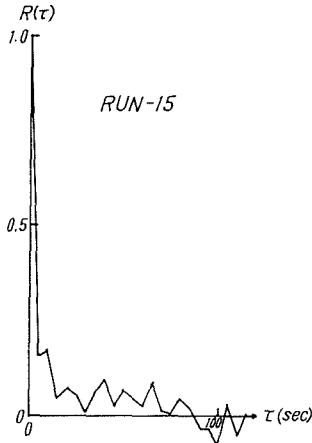


図-1 a

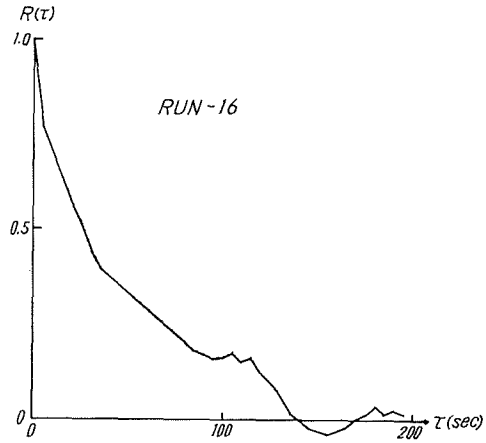


図-1 b

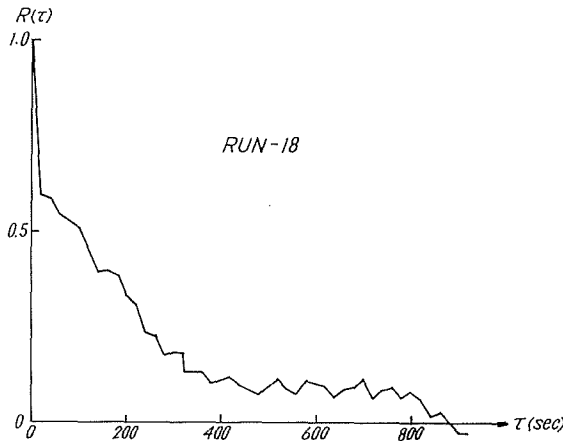


図-1 c

スペクトラム $E(f)$ は次式で与えられる。

$$E(f) = \frac{4u_1^2 T_{E1}}{1 + (2\pi f T_{E1})^2} + \frac{4u_3^2 T_{E3}}{1 + (2\pi f T_{E3})^2} \quad (3)$$

図-2 に (3) 式の計算例が示されている。図中の記号は $A = T_{E3}/T_{E1}$, $B = u_1^2/u^2$ である。

2.3 流速変動のスペクトラム

図-3 に流速変動のスペクトラムが ●印で示されている。○, △印は、それぞれ 11, 12 m 地点の砂面変動のスペクトラムであるが、流速変動のスペクトラムと低

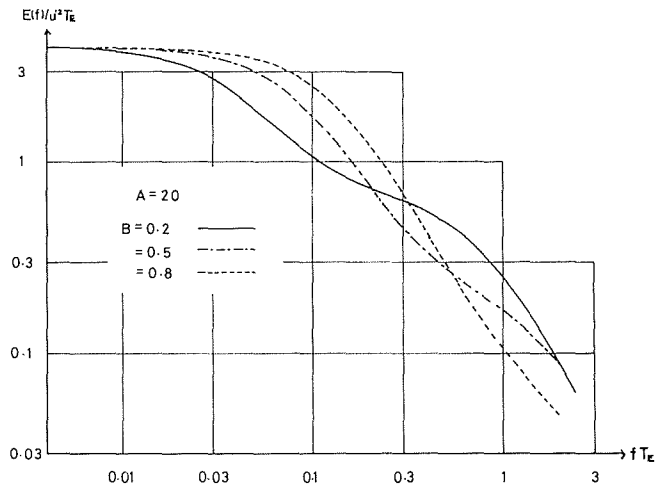


図-2

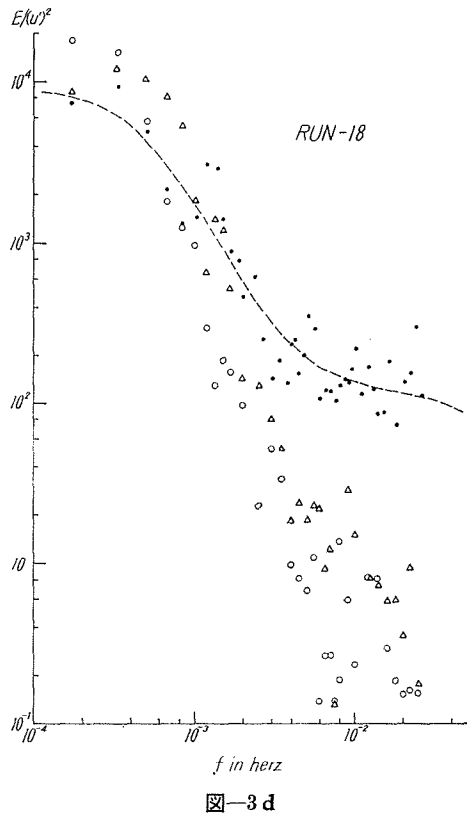
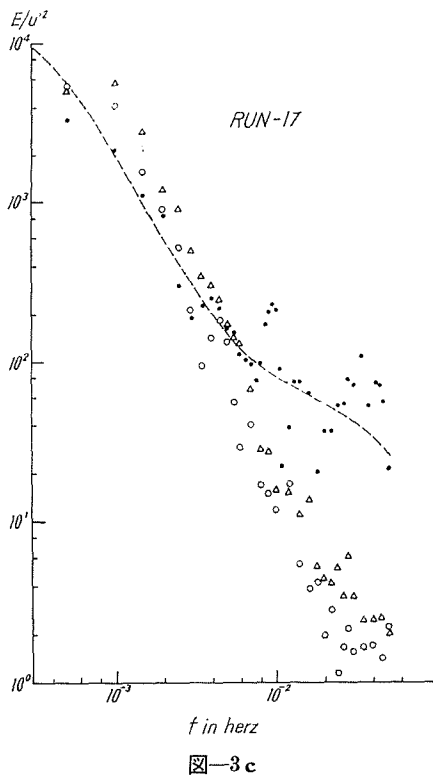
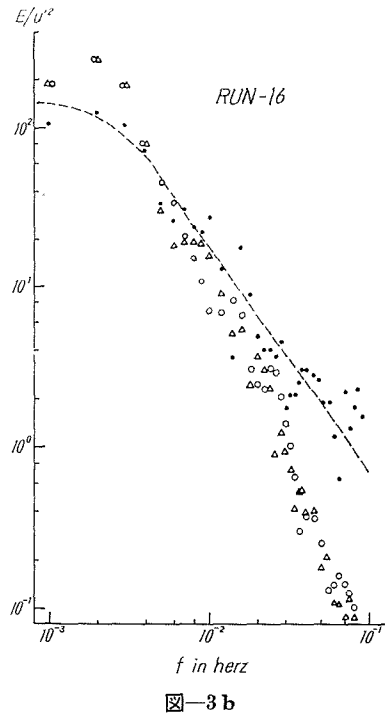
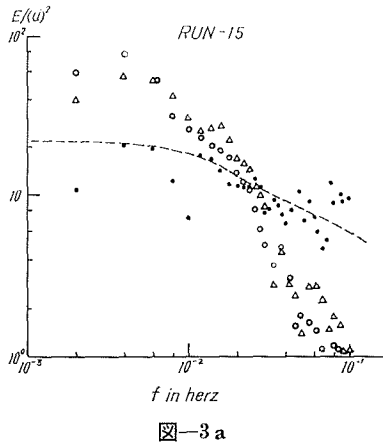


表-2

RUN	$T_{E3}(\text{sec})$	$u_1'^2(\text{cm}^2/\text{sec}^2)$	$T_{E1}(\text{sec})$	$u_1'^2(\text{cm}^2/\text{sec}^2)$	u_3'/\bar{U}
15	9.4	2.3	0.9	12.5	0.027
16	46.6	28.6	3.3	6.8	0.077
17	430.4	40.8	3.7	18.6	0.094
18	338.8	27.1	2.0	63.1	0.081

周波部分において相似である。

図中の点線は (3) 式で流速変動のスペクトラムを近似したものであるが、(3) 式は実測値を良く表わしている。

使われた諸量の値が表-2に示されている。

これらの諸量は、実測のスペクトラムをスムーズな曲線で表わし、適当な4つの周波数を選びその時の曲線上の値を(3)式に代入して得られたものである。

表によると、 T_{E3} は ripple, transition, dune の順に大きく、 $u_3'^2$ は、ripple は transition, dune に比べそれほど大きくない。

表中には u_3'/\bar{U} (\bar{U} : 平均流速) も示されているが、これらの値はかなり大きい。従って、自然河川において河床変動の大きい出水時における流量観測は、少なくとも T_{E3} 以内に終了するのが望ましい。

3. 河床波の移動速度

3.1 流速変動と河床変動の位相差

林³⁾によると、河床波が dune の場合、平均流速と砂面の位相は同相とされている。

今回の実験では、流速と砂面の変動は同一地点で測定されていないため、11 m 地点における流速記録と 12 m 地点における砂面記録との間の位相差を $\varphi_1(f)$ とし、12 m 地点と 13 m 地点における砂面記録の間の位相差を $\varphi_2(f)$ とし、Low frequency 部分について両者を比較した。

得られた結果が図-4に示されている。図中の実線は $\varphi_1 = \varphi_2$ を示すものである。図によると、河床形状が ripple のとき $\varphi_1 > \varphi_2$ 、dune のとき $\varphi_1 < \varphi_2$ であり、transition のときは、はっきりした傾向が見られない。

3.2 河床波の移動速度

河床波の移動速度を調べるために $\varphi_2(f)$ より arrival time を求め、図-5に示した。

arrival time は次式によって計算した。

$$t_a = (\varphi_2 + 2n\pi) / 2\pi f \quad (4)$$

$$(n = 0, 1, 2, \dots)$$

図中に示された実線は、2つの砂面記録より得られた cross-correlation が最大となる時間である。

日野によると⁴⁾、平衡領域では河床波は変形せず、波速は周波数に依存しない。従って、(4)式において適当な n を取ると、周波数によらず $t_a = \text{const.}$ とすることが出来る。

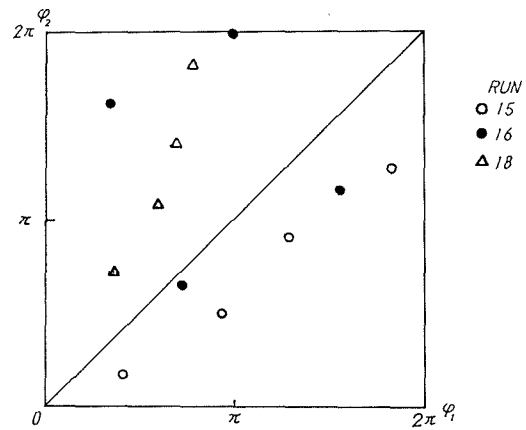


図-4

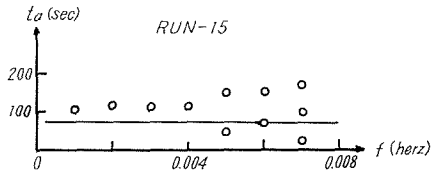


図-5 a

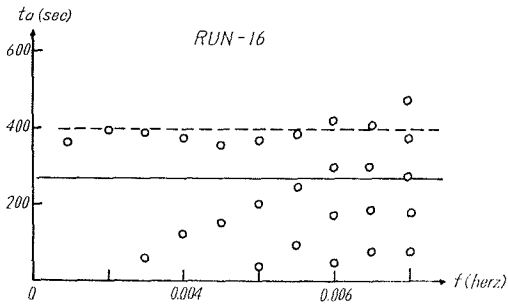


図-5 b

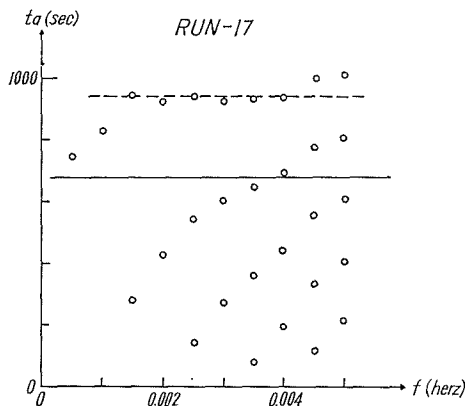


図-5 c

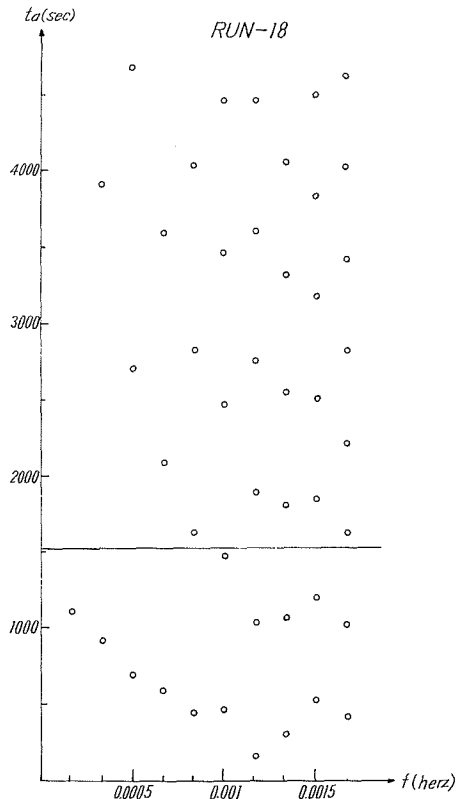


図-5 d

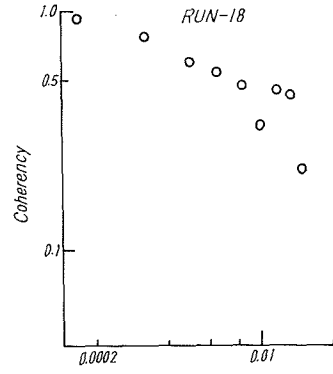
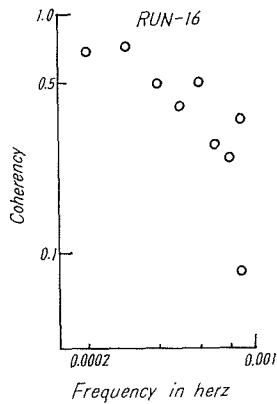
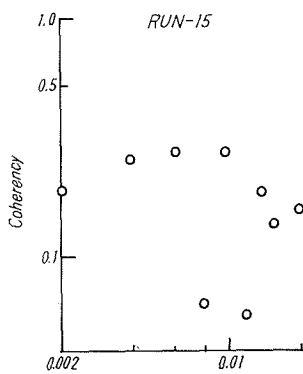


図-6

RUN 15, 16, 17 では、実線又は点線で示される様にはほぼ $t_u = \text{const.}$ となる n が存在する。しかし、RUN-18 では適当な n が定められない。

4. 平均流と河床波の相互依存性

平均流と河床波の相互依存性を調べるために、11 m 地点の流速記録と 12 m 地点の砂面記録の間の coherency を計算した。

得られた結果が図-6 に示されている。図によると、流速と砂面の変動の相互関係は、低周波部分において大きく、高周波部分で小さくなる。河床形状による違いをみると、dune 及び transition は、ripple に比べ平均流との結びつきの大きいことがわかる。

参 考 文 献

- 1) Raudkivi, A. J.: Jour. of Fluid Mech., Vol. 26, No. 3, pp. 507-514.
- 2) 岸 力, 板倉忠興, 森 明巨, 黒木幹男: 石狩川の流出解析と流砂に関する研究, No. 7.
- 3) T. Hayashi: ASCE, Vol. 96, HY 2, pp. 357-366.
- 4) 日野幹雄: 東工大土木工学科研究報告, No. 4, pp. 30-34.