

金沢工業大学 正員 今井 悟

金沢工業大学 正員 中川 武夫

金沢工業大学 正員 本田 秀行

1. 緒言

河床波の形態及びその形成機構に関する研究は河川工学における主要テーマの一つとして古くから精力的な研究がなされてきた。実際の河床波の形状が三次元的であり、かつその大きさが不規則であることは指摘するまでもないことであるが、この種の不規則現象を解析するための一つの有効な方法としてスペクトル解析がある。

Nordin & Algert⁴⁾の河床波スペクトルに関するパイオニア的研究に続いて Hino⁵⁾は砂波のスペクトル密度が高波数帯域において波数の -3 乗に依存すると述べているが、この結論が砂洲のスペクトルに適用できるかどうかは明らかではない。

本論文では、そこで交互砂洲及び菱形砂洲のスペクトル解析及びその結果の考察を行なう。

2. 実験及び解析方法

Fig.1は実験に使用した水路の平面図及び側面図を示す。水路上流端の港水部と下流端の泥砂部の間に厚さ0.1 mの砂を敷き、砂面勾配を $1/100$ に設定した。続いて、図示のように長さ3 m、幅0.15 m、厚さ10 mmの二枚のアクリル板を両内壁面が互いに平行でかつ間隔が0.1 mとなるように砂面に対して垂直に突き立てた。すなわち、これら二枚のアクリル板が水路側壁となり、この間の長さ3 m、幅0.1 mの砂層が水路床となるわけである。使用した砂の中央粒径は0.31 mmであり、その比重は約2.65である。また、Table 1には代表的な水理パラメータの値を掲げた。

実験の解析にあたっては、水路入口端の中央を原点とし、それぞれ流下方向を x 軸、左岸方向を y 軸の正方向とした。また、 z 軸の基準面は初期水路床とし、上方を y の正方向とした。実験経過時間 t の時間原点は流水が水路入口端に到達した瞬間である。各実験の通水時間はいずれも25分間であり、通水終了後、実験対象区間である $100\text{ cm} < x < 250\text{ cm}$ について $y = -25\text{ mm}$ 及び 0 mm の両軸に沿う河床縦断面形状の測定を流下方向へ10 mm間隔ごとに行なった。

続いて、これらのデータを用いて最大エントロピー法による河床波のスペクトル解析を行なった。

3. 実験結果及び考察

実験1と2の場合にはそれぞれ水路床に交互砂洲、菱形砂洲が形成された。Fig.2(a,b)はそれぞれ $y = -25\text{ mm}$ と 0 mm に沿う実験1の場合の河床縦断面形状を、一方Fig.3(a,b)には実験2の場合の同様な河床縦断面形状を示す。これらの図から、河床縦断面形状が座標 y に依存すること、及び河床が不規則な砂の波から構成されていることを知ることができよう。

Fig.4(a,b)はそれぞれFig.2(a,b)に示した河床波のスペクトル密度を示す。Fig.4(a)のスペクトル密度は、波数 $k=0.05[\text{c/m}]$ から急激に増加し $k=0.29[\text{c/m}]$ でいったん最大となったのち、波数の増加に伴って平均的には $k^{-2.2}$ に従って減少する。但し、その減少の仕方単調ではなく、図のように上へ下へ振動をくり返す。ところが、Fig.4(b)のスペクトル密度は、 $k=0.05[\text{c/m}]$ から $0.35[\text{c/m}]$ の波数範囲においてはほぼ $k^{-1.2}$ に従

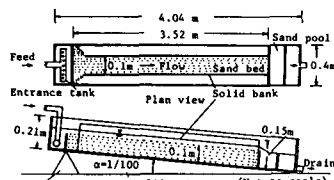


Fig.1 Schematic diagram of the experiment.

Table 1 Hydraulic parameters.

	Experiment 1	Experiment 2
Flow rate[cm ³ /s]	300	333
Mean velocity U[cm/s]	29	25
Mean depth d[cm]	1.03	1.31
Froude no. $Fr=U/\sqrt{gd}$	0.92	0.71
Channel width w[cm]	10	10
Depth/width d/w	0.10	0.13

って単調に減少する。しかし、これより大きな波数範囲においては図のような上下の振動をくり返して平均的には $k^{-2.3}$ に従って減少する。

一方、Fig.5(a,b) はそれぞれFig.3(a,b) に示した河床波のスペクトル密度を示す。

Fig.5(a) のスペクトル密度は $k=0.05$ [c/m] から急激に増加し $k=0.3$ [c/m] でいったん最大となる。ところが、

$0.3 \text{ [c/m]} \leq k \leq 2.0 \text{ [c/m]}$ の波数範囲ではこのスペクトル密度が $k^{-2.7}$ 程度のみを基調に従って比較的単調に減少し、以後は数回上下振動をくり返しながら平均的に

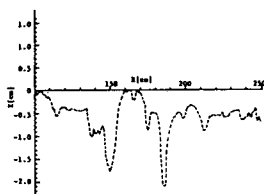
に $k^{-1.0}$ に従って減少する。また、Fig.5(b) のスペクトル密度は、 $0.05 \text{ [c/m]} \leq k \leq 0.4 \text{ [c/m]}$ と $0.4 \text{ [c/m]} \leq k \leq 1.8 \text{ [c/m]}$ の波数範囲において、それぞれほぼ $k^{-0.1}$ と $k^{-3.0}$ に従って単調に減少したのを、以後は数回上下振動をくり返しながら平均的には $k^{-0.6}$ に従って減少していくことがわかる。

4. 結論

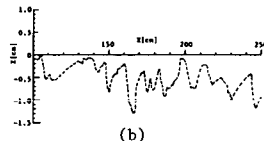
- 1) 砂堆のスペクトル密度の高波数帯域において成立する波数の -3 乗則は一般に砂洲のスペクトル密度には適用できない。
- 2) 砂洲のスペクトル密度は水路横方向の座標に依存する。
- 3) 交互砂洲と菱形砂洲のスペクトル形状を比較すると、後者の場合にはスペクトルが比較的単調に減少する中間波数帯域があるのが特徴的である。

参考文献

1. Exner, F.M. (1925) Über die Wechselwirkung zwischen Wasser und Geschiebe in Flüssen. Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien, 3-4, 165-180.
2. Liu, H.K. (1957) Mechanics of sediment-ripple formation. Proc. ASCE 83, HY2, paper 1197 (1-21).
3. Kennedy, J.F. (1963) The mechanics of dunes and anti-dunes in erodible-bed channels. J. Fluid Mech. 16, 521-544.
4. Nordin, C.F. & Algert, J.H. (1966) Spectral analysis of sand waves. Proc. ASCE 92, HY5, 95-114.
5. Hino, M. (1968) Equilibrium-range spectra of sand waves formed by flowing water. J. Fluid Mech. 34, 565-573.
6. Burg, J.P. (1967) Maximum entropy spectral analysis. Paper presented at 37th meeting, Soc. of Explor. Geophys. Oklahoma city.

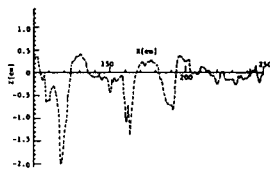


(a)

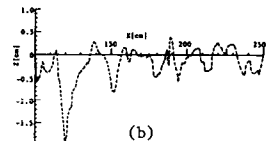


(b)

Fig.2 Longitudinal bed profiles in experiment 1.
(a) along $y=-25$ mm,
(b) along $y=0$ mm.

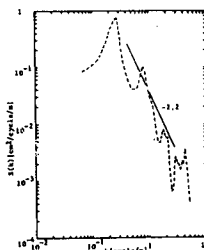


(a)

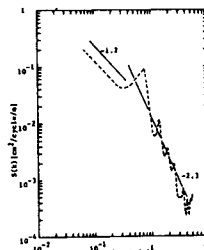


(b)

Fig.3 Longitudinal bed profiles in experiment 2.
(a) along $y=-25$ mm,
(b) along $y=0$ mm.

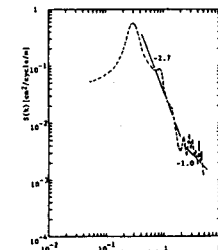


(a)

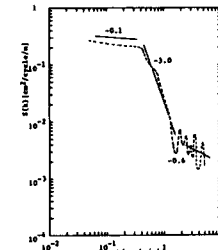


(b)

Fig.4 Power spectral densities in experiment 1.
(a) along $y=-25$ mm,
(b) along $y=0$ mm.



(a)



(b)

Fig.5 Power spectral densities in experiment 2.
(a) along $y=-25$ mm,
(b) along $y=0$ mm.