

大阪大学工学部 正 室田 明

大阪大学工学部 正 多田博登

1. はしがき

「移動床流れの粗度と河床形状」研究小委員会の中間報告において指摘された問題点の中で、河床形状のスペクトル密度が水路幅と水深によって規定される波数領域で卓越し、前者が bar に、後者が dune に対応するのではないかという点について注意をうながされた。sand waves の regime が水路断面の規模に依存するのではないかというきわめて重要な上記の提案について、まず解決すべき二つの問題があると考ええる。その一つは不規則な sand waves においてはたして卓越波が存在するだろうか、あるいは卓越波にかわるべき妥当な有義波の概念を用いて上の問題を議論できないだろうかという問題と、かなりあいまいにスケールの大きい方が bar で、小さい方が dune と考えられているが、そのおのおのをスペクトルの形状から判別できないだろうかという問題である。

いづれにしても、このような河床形状におよぼす scale effect を解明するためには今後、多くの研究者によって、種々の断面規模をもつ水路で精度のよい実験が行なわれて、多数のスペクトル資料が集積されることがもっとものぞましい。本研究は、このような意図にもとづいて、まず固有の断面規模におけるスペクトルの実験成果を提示し、あわせて上記の二つの問題への接近を試みたものである。

表 - 1

2. 実験方法および実験条件

実験水路は透明なアクリライト樹脂製	Run	I	Q L/sec	H cm	V cm/sec	R cm	Fr	$\text{cm}^3/\text{hr}/\text{cm}$ bed load
で、延長 20 m、断面は幅 50 cm、高さ	1	1/1000	15.	9.3	32.26	8.08	.2982	166.4
80 cm、勾配は 0 から 1/10 の範囲で可変	2	"	17.5	9.3	37.63	7.78	.3580	371.2
である。河床砂は図 - 1 に示す粒度分布	3	"	20.	11.5	34.78	9.82	.2763	201.2
をもつ二種の砂を用いた。まず水路床に	4	1/750	12.5	7.9	31.65	7.09	.3213	166.4
砂を平坦に敷いて通水し、sand waves	5	"	15.	8.7	34.48	7.69	.3303	221.0
が十分成長しきったと考えられるような	6	"	17.5	7.0	50.00	5.50	.6017	114.0
時点より下流端から 6.5 m の断面にて砂	7	"	20.	12.1	33.06	10.13	.2559	185.6
	8	1/500	12.5	8.5	29.41	7.93	.2759	185.6
	9	"	15.	9.2	32.61	8.48	.2969	176.8
	10	"	17.5	10.0	35.00	9.13	.2949	278.4
	11	"	20.	9.0	44.44	7.87	.4189	215.2

面測定器を用いて河床変動の計測を始める。砂面測定器は、水路上に設置されたセンサーが降下し砂面に触れると上昇する、この間の作動長がカウンターに表示されるようになっている。

15 秒間隔で砂面高を記録し通算 4 時間の測定を行なった。流砂量は下流端で捕捉した量を計量する。砂④を用いた場合の実験条件と水理量を表 - 1 に示す。なお砂③については勾配と流量が表 - 1 と等しい実験を行なった。

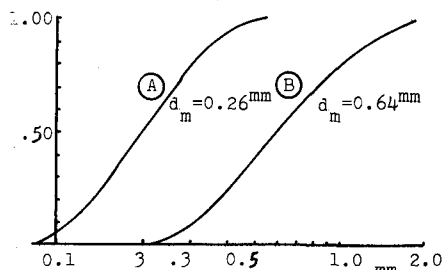
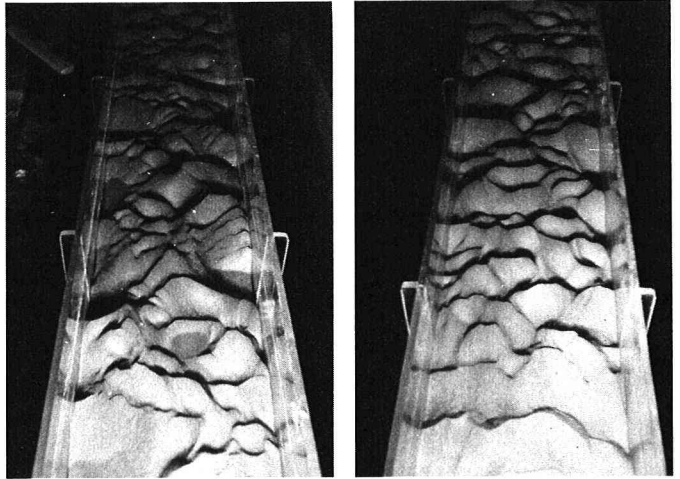


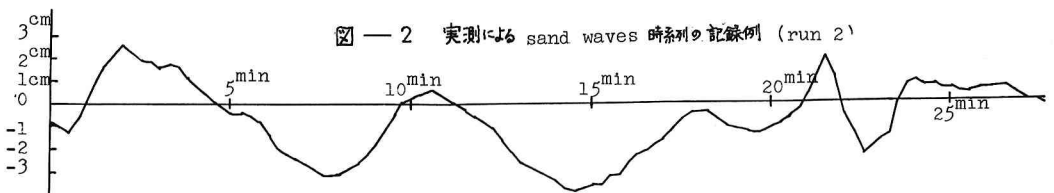
図 - 1

3. 河床状態

実験開始の初期にまず ripple の形態が現われ、時間の経過とともに波高が大きくなりクレストの峰線が切れ 3 次元的な dune の形状に変化する。dune の上流側斜面に ripple が重なっている場合もある。通水開始後約 1 時間で河床形状の成長は終了し平衡状態に達すると思われる。水流の蛇行はこの頃から見られ不規則に時々現われては消えるが、側壁に現われる sand waves には目で見る限り alternating bar の存在は観察されなかった。本実験は全てこのような河床形態の範囲にある。ただし図-1に示す砂⑤を用いた実験では、上記の実験範囲で常に alternating bar の存在が観察されたが、反対に砂④を用いた実験で見られた ripple の存在は確認されていない。



写真—1 sand waves の形状
左:run 1 右:run 2

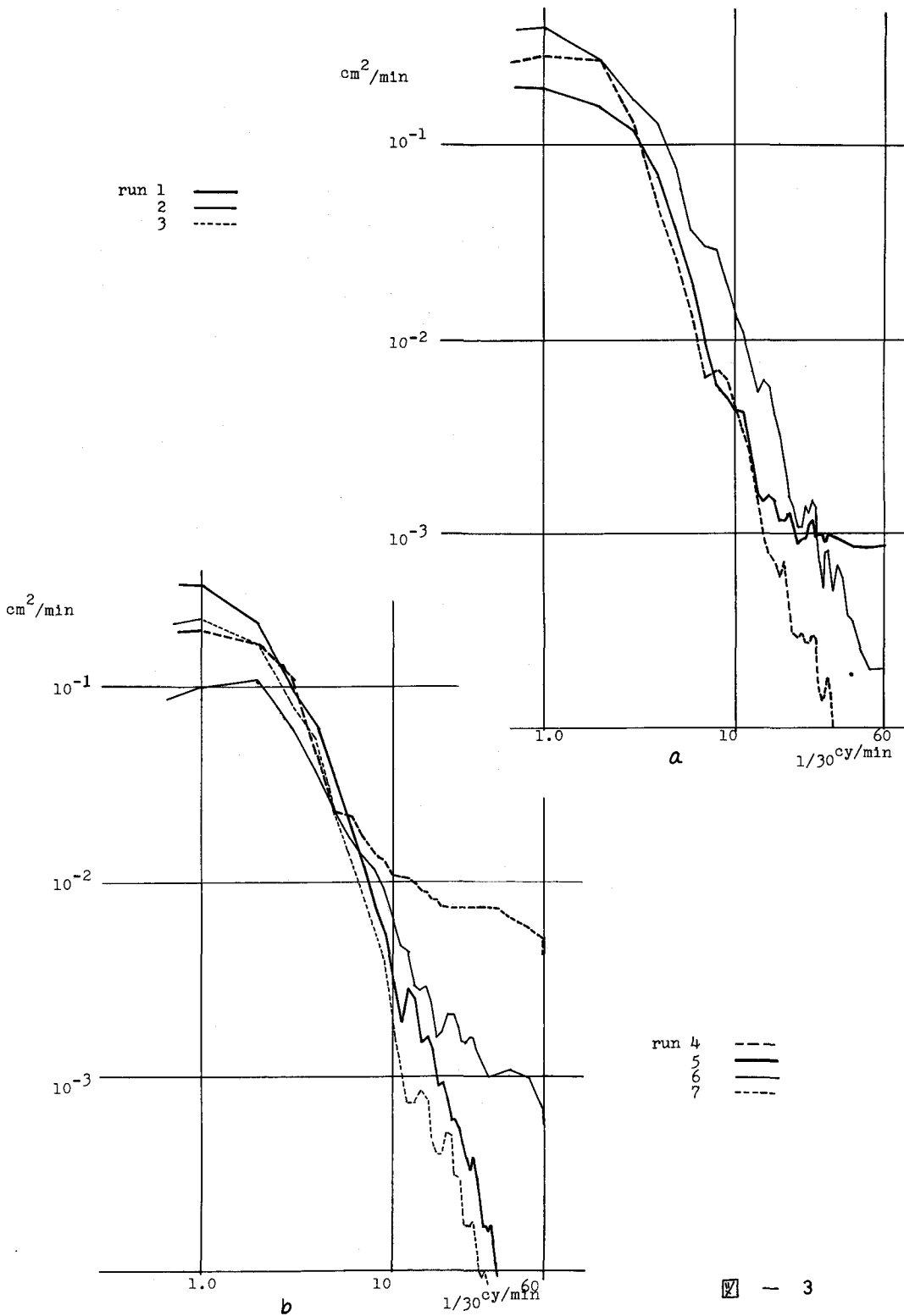


4. SAND WAVES のスペクトル

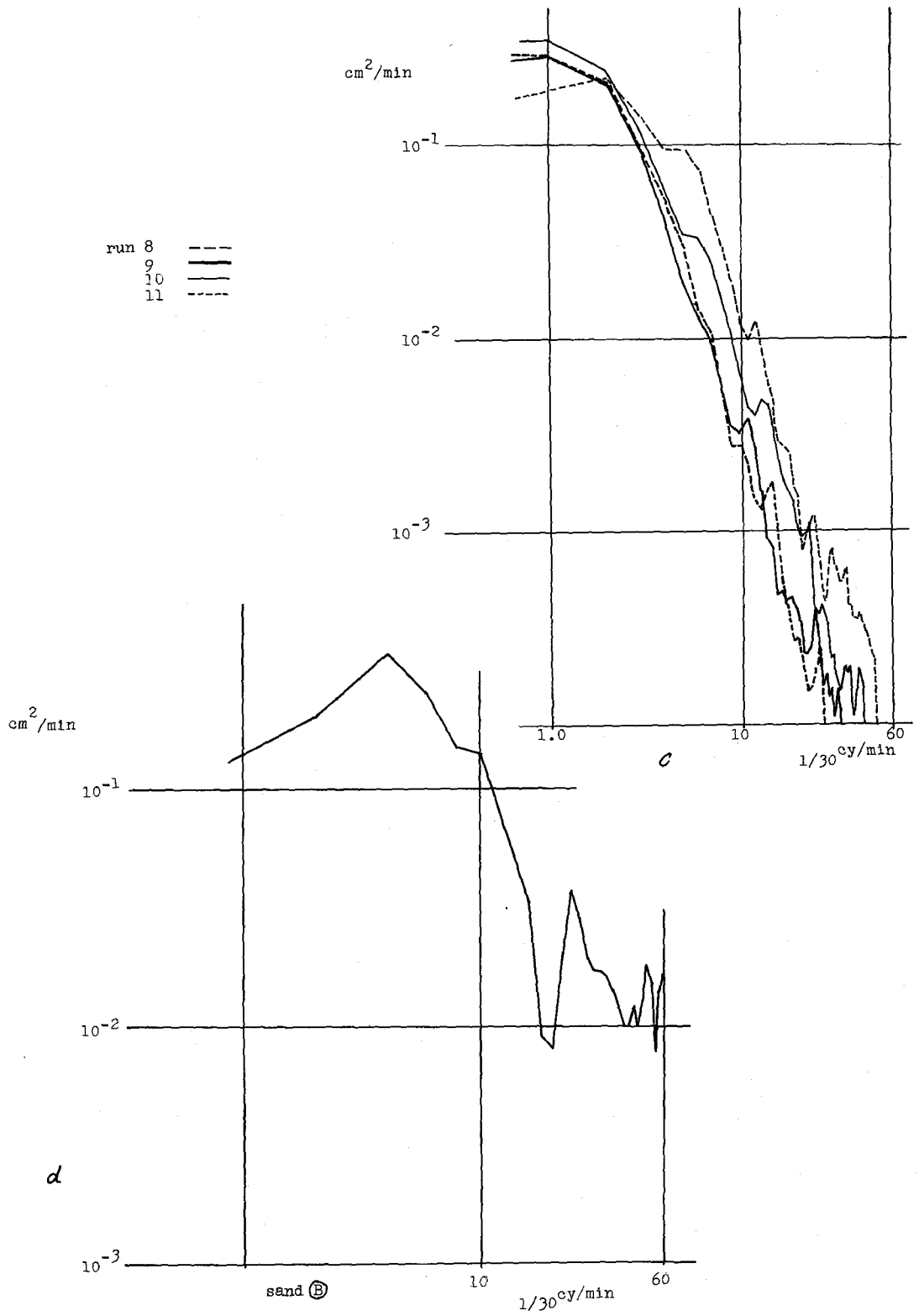
定点観測によってえられた sand waves 時系列記録を用い Tukey の方法で計算したパワースペクトルを図-3.a,b,c,d に示す。なお実験砂④を用いたスペクトルのすべては自由度 30 である。

日野¹⁾は次元考察にもとづいて sand waves の周波数スペクトルの関数形を決定し、低周波側で -2 乗則が、高周波側で -3 乗則が成立するとしている。本実験においても図-3.a,b,c に見られるように run 6, 7 の場合を除いて高周波平衡領域で -3 乗則が成立することが確認された。さらに明確ではないが $f < 1/10 \sim 1/7.5$ の範囲では -2 乗則に近いようにも見える。実験砂⑤を用いたものでは確認できない。

実験砂④を用いた実験ではスペクトルのピークは明確には認められないが、実験砂⑤によるスペクトルではかなり明確にピークの存在が予測され、その卓越周波数は流量、勾配等の水理条件に関係せずほぼ一定 ($f = 1/7.5 \sim 1/15$) のように見える。これは砂⑤を用いた実験では alternating bar が顕著に認められたことに対応するかと考えられる。



3 - 3

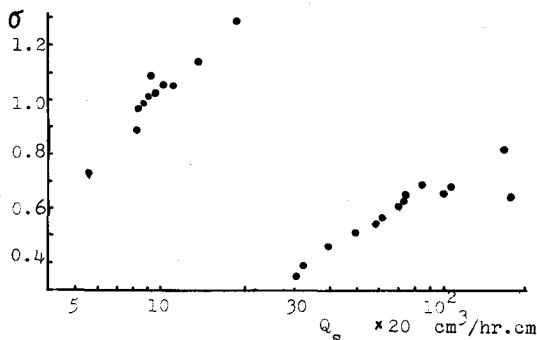


5. SAND WAVES の有義波高の定義

sand waves のパワースペクトルで、ピークが認められない場合があることは前述した通りである。もしスペクトルピークがあっても、それは通常きわめて低周波側にかたより、その周波数に対応する sand waves が河床抵抗等にもっとも寄与の程度の大きいという意味での卓越波であるとはいえない。流れとの相互干渉に影響するのは不規則な河床形態の集合であるべきで、ピークをはさむ適当な周波数帯に含まれる低周波 sand waves のみに着目することは現実的には意味がうすいと思う。むしろスペクトルのパターンをいかした「有義波」の定義と、その有義波に及ぼす水理条件の効果を追求することも試みられるべきであろう。

ここでは、パワースペクトル関数を用いた有義波高をつぎのように定義し、そのように定められた有義波と水理条件との相関を検討する。有義波高を H_T 、パワースペクトルを $P(f)$ とすれば、

$$H_T^2 = \sum_f \hat{P}(f)$$



図—4 $q_s - \sigma$

6. 不規則な SAND WAVES 時系列の標準偏差、および有義波高と流砂量の関係

観察によれば sand waves の発達、伝播は掃流砂量に密接に関係している。したがって sand waves の波高、その分散等に及ぼす種種の水理学的因子の中で、流砂量が卓越する parameter であるという予想のもとに、不規則波の標準偏差、および有義波高と流砂量の関係をしらべた。

図—4は標準偏差と、流砂量の関係を示したものである。図に見られる通り、砂④、⑤を用いた両実験ともに流砂量の対数と標準偏差との間にほぼ完全な比例関係が認められる。すなわち、流砂量の増加とともに、sand waves の不規則性が増大することを示している。

つぎに、前節で定義した不規則波の有義波高 H_T と流砂量の関係を示したのが図—5である。図中 $f=1/30, \dots$ とあるのはパワースペクトルの $f=0$ から $1/30$ までの積分範囲で定義した有義波高であることを示すので f が大きい程高周波側成分の寄与が大きくなる。 $160 < q_s < 220$ の範囲を除いて q_s と H_T の間に、ある程度の相関が認められ、前の図—4から当然予想されることであるが、高周波成分をより多く包含する程 q_s の変化による H_T の変動は大きくなる。 $160 < q_s < 220$ の範囲の $q_s - H_T$ 関係における大きなズレについて、Regime の変態水理条件の変化等種々検討したが明確な原因を解明できなかった。

なお周波数分析による卓越周波数等の検討は講演時にのべる。

本研究は京大・芦田教授を代表者とする昭和46年度文部省科学研究費（特定研究：水成地形の変動による河川災害の総合的研究）の補助を受けて行った研究の一部である。記して謝意を表す。

参考文献 1) Hino, M.: Equilibrium-range spectra of sand

waves formed by flowing water, J. Fluid Mech., Vol. 34, 1968

