

II-45 砂連に関する基礎的研究 (I)

— Ripples のスペクトラム特性について —

京大防災研究所 正 工博 芦田和男, 京大防災研究所 正 O 田中祐一朗

1. 緒言: 砂連については従来から種々の研究がなされているが、各種の形態における現象を統一的にしかもその力学的な機構を明確に説明し得るようにはなっていない。このことは Ripples, Dunes といった河床形状の定義さえ明確でなく、研究者によって区々であることなど、現象そのものに対する我々の知識の貧困なことに起因するものと思われる。とくに従来は砂連の周期性、波動性に着目して考察が行なわれているが、実際の現象はこうした規則的なものばかりでなく、各種のものも混在しており、それが伝播とともに変形してゆく。したがって砂連の今一つの重要な性質としてその不規則性があるが、測定の問題から、この砂連の random 性について研究されたものはほとんどない。そこで著者らは砂連の現象を一つの Stochastic Process と見なすという立場に立ち、その random 性についての性質を調べることにより、その性格を明らかにし、水流の乱れとの関連について、その発生、発達、伝播などの機構を明らかにすべくここに一連の研究に着手した。本論文はその第一段階として、超音波式的水位、河床測定器の試作と、それを用いて行なった Ripples の観測における実験およびそのニミのスペクトラム特性について述べる。

2. 超音波式測定器: 砂連を確率変動現象と見なし、これを統計的に処理してその性質を調べるには、水位および河床の時間的変化を連続的に正確にしかも容易に測定、記録できる計測器が必要である。そこで著者らは沖電気 KK の協力を得て超音波式水位河床測定器を試作しほゞ満足する結果を得た。この測定器は通常の音響測深機と原理的には同じであるが、とくに実験水路において使用することを目的としたもので、比較的短距離(水位 10~50 cm, 河床 3~30 cm)をおよりの高精度(絶対誤差 1mm)で測定し得るよう配慮されている。測定精度上最も問題となるのは空振りし感度の取り方である。砂面が安息角を呈したり、水面に波長の短い波が生ずるなど、反射面がある程度以上傾斜していると反射波は受波器に帰らずいわゆる空振りとなる。送波器の構造上、振動板の固有振動により発生する音波は完全な矩形パルスとならず、反射面によりこれがさらに変形されることから、受波器の感度の取り方によりこれが誤差の原因となることもある。これらは反射面の状態に影響されるものが大きく、浮遊砂の存在する場合などこれらの問題の解決策については目下検討中である。

3. 実験およびその考察: 行なった実験の種類は表-1 の通りである。実験に用いた水路は巾 50 cm, 長さ 20 m の両面ガラス張りのもので、使用した砂は平均粒径 0.88 mm のほゞ均一のものである。流量は台形堰の越流水深で測定し、上流端からスクレーパー式の給砂装置により乾燥砂をして実験中河床こう配を一定に保つようにした。6 組の送受波器によ、て水位および河床の変化を 30

記号	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7
こう配	1/800	〃	〃	〃	〃	〃	〃
流量 (kg/s)	6	10	11	12	20	26	27
給砂量 (%)	0	0.1	0.11	0.16	0.77	1.6	1.7
Ψ	0.037	0.052	0.055	0.058	0.081	0.097	0.10
河床形態	F	F	CR	〃	R	R	CR

表-1 実験の種類

秒間隔で測定するとともに、砂連の移動速度、流砂量などを測定した。

実験結果の一例を示したものが図-1 である。この図の上は A-4 下は A-7 の場合である。A-4

は典型的な Ripples であり、比較的規則正しい波が河床に現われている。しかし A-7 ではそのような規則的なものは少なく、種々の周期のものが混在している。A-4 の水位に見られるように、砂連の 3~4 個を一波長とする長周期の波が現われている。これは A-5, 6, 7 などでも見られるもので後のスペクトルの計算結果にも現われており、極めて興味ある現象である。これは現象自体の中に存在するものか、水路の特性など外的条件によるものかは今のところ明らかでない。砂連の規模と抵抗係数の間には密接な関係があると思われる、従来からも平均波高 H や Steepness H/L と抵抗係数の関係等が実験的に調べられている。今 H/L の代りに平均河床に対する標準偏差 σ をとり、これと相対粗度 k_s の関係を調べたものが図-2 である。ひと k_s はほぼ直線的な関係にあることがうかがわれるが砂連の規模の大きいもの程其の散乱が著しくなっている。これは Dunes など不規則なまた規模の大きいものは流線の剥離や渦の消長など内部機構の変化の影響が著しく、凹凸の程度と抵抗係数を一義的な関係で結びつけるのは困難なことを示すものと思われる。水位および河床の時間的変化の記録は一つの時系列量をなす。そこで河床の波高について自己相関係数およびスペクトル密度を次式によつて計算してみた。

$$R(\tau) = \frac{N}{N-\tau} \left(\sum_{i=0}^{N-\tau} z_i \cdot z_{i+\tau} \right) / \sum_{i=0}^{N-1} z_i^2 \quad \dots\dots (1) \quad F(f) = 4 \int_0^m R(\tau) \cos 2\pi f \tau d\tau \quad (2)$$

計算は FACOM 231 によつて行なった。計算に用いたデータは $N=369$ 、ずらし数 $m=40$ である。この場合の自由度は約 17 である。図-3 は A-3, 5 の場合の自己相関係数を図示したもので、砂連は周期性とマルコフ性の中間の性質を有するものであることが分る。また A-3 と A-5 では相関の減少の様子が著しく異なる。これは A-3 は小規模だが比較的周期の長い規則的な変化をなしているのに対し、A-5 は周期も短く、変動も大きいことを示すもので実際の現象をよく表現している。上の場合のスペクトル密度を図-4 に示す。A-3 はほぼ完全な Ripples の状態で、観察による限りでは波長、周期などほぼ一定の一つの値しか認め難い。しかしこのようにスペクトルを求めてみると少くとも二つの顕著な周期が存在することが分る。このスペクトルの図からも見られるように Ripples の領域のものでも種々の波が混在しており、このことから波長や周期などの特性値の選ぶとその意味について更に検討する必要がある。以上本研究はその緒についたばかりであるが、今後この研究の積み重ねにより現象解明の緒口が得られるものと思われる。

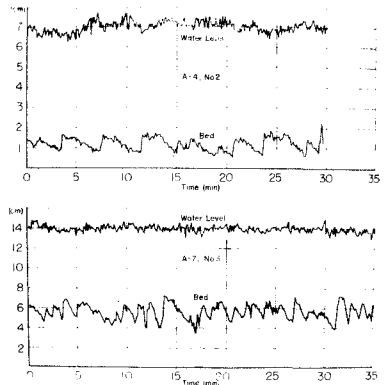


図-1 水位および河床の時間的変化

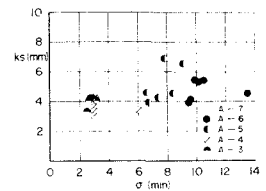


図-2 k_s と σ の関係

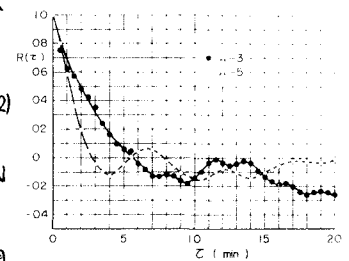


図-3 自己相関係数

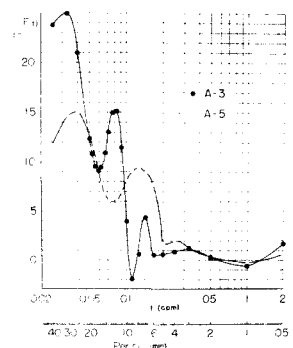


図-4 Ripples のスペクトル密度