

北大工 正員 森 明 巨

" " 岸 力

1. まえがき 著者は⁽¹⁾、河床波の波数スペクトラム $S_y(k)$ ($k=1/\lambda$, λ :波長) が shape factor $X = \sqrt{M_0 M_2} / M_1$ ($M_1 = \int_0^\infty k S_y(k) dk$) を用いて (1) 式で比較的良く近似できることを示した。しかし、 X の物理的の意味は明確ではなかったのでこれについて若干の考察を行なった。

$$\frac{S_y(k)}{\sigma_y^2 L_2} = S_{y*}(k*) = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\cos \theta/2}{1 + 2 \cos \theta \cdot k*^2 + k*^4}, \quad X = \frac{\pi \sin \theta/2}{\theta} \quad (1)$$

ここで、 $k* = k L_2$, $\sigma_y^2 = M_0$, $L_2 = \sigma_y / \sqrt{M_2}$ 。(1) 式において $\theta = \sqrt{\theta'}$ とおくと $X > \pi/2$ に対して $\theta' < 0$ である。 θ' は X の増加とともに減少する。 $\theta = \pi$ のとき $X = 1$ で、(1) 式は $k* = 1$ でラインスペクトルとなる。

2. X と波長の分布の関係 S_{y*} の平均波数 $\bar{k}_*$ も (2) 式で定義すると $\bar{k}_*$ のまわりの S_{y*} の分散 σ_{k*}^2 は (3) 式で与えられる。

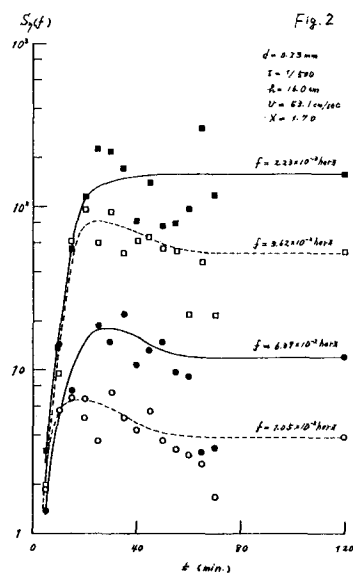
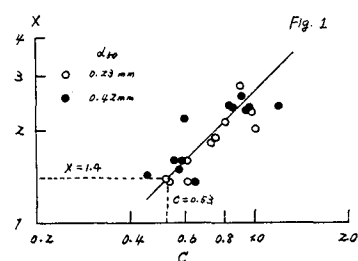
$$\bar{k}_* = \int_0^\infty k* S_{y*} dk* = \frac{1}{X} \quad (2) \quad \sigma_{k*}^2 = \int_0^\infty (k* - \bar{k}_*)^2 S_{y*} dk* = 1 - \frac{1}{X^2} \quad (3)$$

(2) 式から X と波長分布の変動係数 C の間に相関のあることが予想される。図-1 はこの関係を示したものである。散らばりは大きい X とともに C が増加するの認められる。河床波の波高は波長の増大とともに減少するであろうから、 C が大きくなると短波長の河床波は長波長の河床波上に superpose するものと思われる。(前者の波群を W_1 、後者の波群を W_2 と呼ぶことにする。) W_1 の波高が W_2 の波高に比べ充分大きい場合、 W_2 は W_1 の crest を通過後消滅する。このことから充分発達した河床波の平均波長 $\bar{\lambda}$ に対して $\lambda \ll \bar{\lambda}$ である河床波の initial growth rate $\Gamma(f)$ が大きい場合 W_2 上に W_1 が superpose し X が大きくなるものと思われる。この growth rate は有限振中の河床波上のものであるが、理論的にはまだ取り扱われていない。そこで、実験により X の大きな測定値に対して、河床波の発達過程における砂面変動を測定し、スペクトルの時間的変化を調べた。

3. 非定常スペクトル 砂を平坦に敷きならした実験水路(長さ 20m, 巾 1m)に通水した直後から砂面変動 $\eta(x)$ を測定した。実験は同じ条件で 8 回行ない、砂面測定は砂面計により水路上下流の 2 点で行なった。 $\eta(x)$ の相関関数及びスペクトルは Bendat & Priesol⁽²⁾ の方法により (4) 式で求めた。(4) 式より求める $S_y(f, x)$ の物理的解

$$R(x, \tau) = \overline{\eta(x - \frac{\tau}{2}) \cdot \eta(x + \frac{\tau}{2})}, \quad S_y(x, f) = 2 \int_0^\infty R(x, \tau) \cos 2\pi f \tau d\tau \quad (4)$$

数には多少不明確な点もあるが、その傾向はしらえることが出来るであろう。計算結果は図-2 に示される様には f が小さいとき (この flow では $\bar{v} = 60 \text{ cm/sec}$, 平均流速 $= 1 \text{ mm/sec}$ であるので $f = 0.01 \text{ Herz}$ といふ $\lambda = 10 \text{ cm}$ である) スペクトルは 20 分前後で peak を持ち、その後減少している。これは、 W_1 が充分発達したことにより W_2 の消滅が始まったためと見られる。しかし、充分時間が経過した後は peak 値より値が小さいが同程度のパワ



を持っているのがわかる。このことから WL 上の W_s の Γ は平坦河床上的 Γ とそれほど違わなりのと思われる。

4. Jain-Kennedy の実験⁽¹⁾ ($d=0.25\text{mm}$) Jain らは、

河床の発達過程における U_{*c}/ν と適当な時間間隔で測定し、河床波の発達の特性を明らかにした。図-3 に彼らの測定による L_2 の時間変化を示した。図からわかる通り L_2/d は時間とともに増加するが $L_2/d = 400 \sim 500$ を境にその増加の傾向が異なる。 $L_2/d \approx 400$ であるからこの境界では L_2 が λ である。Jain らによれば発生初期の河床波は河床面近傍の乱れに支配され、 L_2 が大きくなると水深全体の流れに支配される。著者らの実験結果と考え合わせると、前者は河床波が充分発達しても存在すると予想されるので W_s と考え、後者を WL と考えても良いであろう。図-4 に示す様に L_2/d の増加とともに減少する。従って C が増加するものと考えられるが $L_2/d \approx 500$ 附近で θ の減少の割合が小さくなってきている。これは前節で述べた WL の発達による W_s の消滅が始まったことに対応するものと思われる。

5. X のノンのモデル 以上の実験結果から W_s の特

性がある程度明らかになったが、これらの実験の範囲では W_s は ripple に対応し WL は dune に対応するものと思われる。図-5 は X と U_{*d}/ν の関係を見たものであるが、ripple が発生しなると考えられる $U_{*d}/\nu > 20$ の X は $X \approx 1.4$ である。dune の波長を λ_d 、ripple の波長を λ_r とおき、 W_s と ripple、WL と dune とすると X は両者の波長比 $\lambda_d/\lambda_r = E$ に強く依存するであろう。著者らは λ_d が (5) 式で近似できることを示した。一方、 λ_r は d に比例するものとするとは (6) 式で与えられる。 $(N_0: \text{砂粒の沈降速度})$

$$\frac{\lambda_d}{\lambda} = 14 F^2 \left(\frac{W_0}{\nu g d} \right)^{-2} \quad (5) \quad E \propto \left(\frac{U}{W_0} \right)^2 = \left(\frac{U_*}{W_0} \right)^2 \phi_0^2 \quad (6)$$

図-6 は X と U_{*d}/ν の関係を示したものである。図によれば、 $U_{*d}/\nu > 10$ で X は U_{*d}/ν とともに増加し、 $U_{*d}/\nu < 10$ では $X \approx 1.4$ である。以上の結果から dune と ripple が共存し、 W_s の波長比が大きい場合 X が大きくなることわかった。

6. 今後の問題点

(1) 日野⁽⁶⁾は波形に注目し、 λ 、Jain ら⁽¹⁾は W_s と WL のエネルギーの授受の平衡を考えそれそれぞれスペクトルの“主束則”を導出した。このとき X は大きな値を取るが、本報告では X と C を結びつけている点で Jain らの考え方に近いと思われる。しかし、 $U_{*d}/\nu > 20$ の flow で $\phi_0(k) \propto k^{-3}$ となる報告が多いことから、今後、波形の面からの接近が必要であろう。b) これまでの実験水路の結果では X は 1.4 (このとき図-1 中に示した直線では $C \approx 0.53$ で Rayleigh 分布の C に対応する) 附近で最小値を持つようであるが Missouri 川では X が 1.1 程度となる測定例⁽⁶⁾がある。このときの水温は $4 \sim 5^\circ\text{C}$ と思われるが、水温が高いときは X は大きい値となっている。このことから水温の変化が波形に与える効果を明らかにする必要がある。

参考文献

- (1). 森 岸, 北工河川研究報告, 76-01, '76年. (2). Bendat & Piersol, Random data Analysis, Wiley-Interscience, '71年. (3). Jain & Kennedy, J. F. M. vol. 63, No. 2 '74年. (4). 森 岸, 藤田, 第31回年講 II-180 '76年. (5). Hino, J. F. M. vol. 34, No. 3, '68年. (6). Annambhotla, Ph.D The University of Iowa, '69年

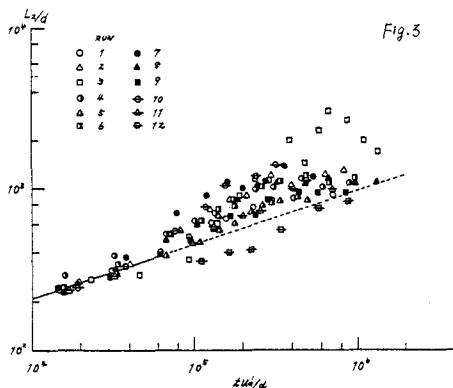


Fig.3

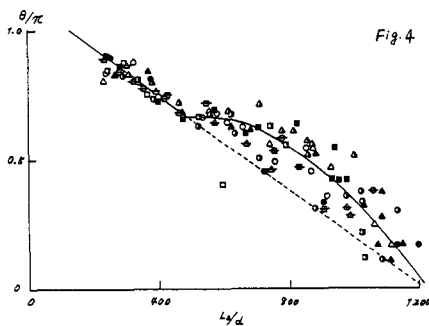


Fig.4

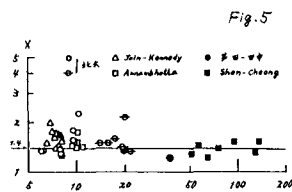


Fig.5

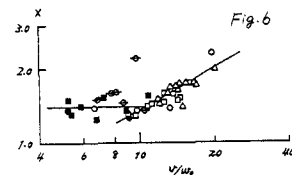


Fig.6