

(財)電力中央研究所 正員 白砂 孝夫

河床の sand wave のスペクトルの構造と流れの乱れ速度のスペクトルの構造は類似して^{(1),(2)}いて、流れの乱れ速度に frozen turbulence を仮定すれば両者のスケールが一致して^{(1),(2)}いることが報告されて^{(1),(2)}いる。

この場合、乱れ速度が sand wave の原因となるのか、sand wave が乱れ速度の原因となるのかはまだ定説がないようである。本研究では、sand wave が乱れ速度のエネルギーの発生項であると仮定して、定常状態において sand wave が十分に発達して、変形速度に比べて進行速度が十分に大きい場合と仮定し、観測された乱れ速度のスペクトルと sand wave のスペクトルとの関係を考察する。

Sand wave と乱れ速度

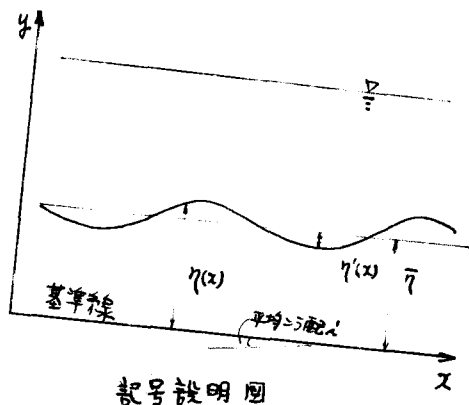
一様水深の河床変動は次式で表わされる。

$$\frac{\partial \eta(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial q(x,t)}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

ここに、 $\eta(x,t)$ ；sand wave の基準線からの高さ、 $q(x,t)$ ；単位幅、単位時間当たりの流砂量、 x ；水路に沿った距離、 t ；時刻である。

sand wave の移動速度を u_b とし、 u_b に比べて sand wave の変形速度が十分に小さい場合には、近似的に次式が成立つ。

$$\frac{\partial}{\partial t} = -u_b \frac{\partial}{\partial x} \quad (2)$$



(1)、(2)と連立して解けば、sand wave の高さと流砂量の間の関係として次式を得る。

$$-u_b \eta(x,t) + q(x,t) = C \quad (3)$$

ここに、 C は基準線のとおりであれば sand wave の変形に寄与しない流砂量によって決まる定数である。

ある時刻 $t = t_0$ における η および q の場所的年平均値に $\bar{\eta}$ と $\bar{q}$ をつけ、それらの量の平均値からずれるを η' と q' をつけて表わすと

$$\eta(x, t_0) = \bar{\eta} + \eta'(x, t_0) \quad (4)$$

$$q(x, t_0) = \bar{q} + q'(x, t_0) \quad (5)$$

(4)および(5)を(3)式に代入すれば次式を得る。

$$-u_b \eta'(x, t_0) + q'(x, t_0) = 0 \quad (6)$$

(6)式を用いれば、sand wave の空間相関関数 $\Gamma(\tau)$ は次式で表わされる。

$$R_q(\xi) = \overline{\eta'(x, t_0) \eta'(x+\xi, t_0)} = \frac{1}{u_b^2} \overline{q'(x, t_0) q'(x+\xi, t_0)} \quad (7)$$

ここで、流砂量 $q(x, t)$ がつぎのような形で表わされると仮定する。

$$q(x, t) = m u^n(x, t) \quad (8)$$

ここに、 $u(x, t)$ は時刻 t における断面 x の河床近傍の平均流速、 m , n は河床物質の性状および流体の性状によって決まる定数である。

$u(x, t_0)$ の場所的平均を $\bar{u}(t_0)$ とし、 $u(x, t_0)$ の $\bar{u}(t_0)$ からのずれ速度を $u_M'(x, t_0)$ とすれば、

$$u_M'(x, t_0) = u(x, t_0) - \bar{u}(t_0) \quad (9)$$

(9), (8) および (7) より流砂量の場所的変動量 $q'(x, t_0)$ を求めれば

$$q'(x, t_0) = m \{ u_M'(x, t_0) + \bar{u}(t_0) \}^n - m \bar{u}^n(t_0) \quad (10)$$

展開して、2次以上の項は小さいものと見て無視すれば、結局

$$q'(x, t_0) = m n \bar{u}^{n-1}(t_0) u_M'(x, t_0) \quad (11)$$

(11) を (10) 式に代入すれば、次式を得る。

$$R_q(\xi) = \frac{m^2 n^2 \bar{u}^{2(n-1)}(t_0)}{u_b^2} \overline{u_M'(x, t_0) u_M'(x+\xi, t_0)} \quad (12)$$

一方、混合距離理論的に考えれば、流れの乱れ速度は平均流速分布に二重配がある場合に、あるところの異なるところからなんらかの作用により流体粒子が飛びこみずれ速度を生じる二重配によって生ずる。そこで乱れはその所の平均流速で置かれたながら完全に混合に消滅する。二のように考えれば、本件の場合の乱れ速度は河床に近い遅い流速の部分の流体が上部の平均流に飛びこみ発生すると考えられるので乱れ速度の空間的な頻度分布は $u_M'(x, t_0)$ の頻度分布に等しいと考えられる。乱れの発生、消滅はエネルギー的と考えられるので、変動速度に比べて測定点の平均流速 $\bar{u}$ が十分に大きく frozen turbulence と仮定することができれば、一点において乱れ速度を測定し、Euler 相関 $R_E(\xi)$ を求め、平均流 $\bar{u}$ による修正と波数スペクトルを求めれば、それは乱れ速度の波数スペクトルと同じであり、これが (12) 式より求めた河床の sand wave の波数スペクトルと類似である。すなわち、sand wave の波数スペクトル $F(k)$ と Euler 相関の関係はつぎのようである。

$$\begin{aligned} F(k) &= + \int_0^\infty R_q(\xi) \cos 2\pi k \xi d\xi \\ &= \frac{+ m^2 n^2 \bar{u}^{2(n-1)}(t_0) \bar{u}}{u_b^2} \int_0^\infty R_E(\xi) \cos 2\pi k \bar{u} \xi d\xi \end{aligned} \quad (13)$$

参考文献

り 芦田和男 流砂の変遷と災害、河川災害研究の現状とその将来に関するシンポジウム、1968年2月
り 福田理二 砂運の発生、発生とそのスペクトル、東京工大土木工学科研究報告 No. 4, 1967年