

II-115 3次元性を有する小規模河床波の発生

中央大学大学院 学生会員 龍見 典明

中央大学理工学部 正 員 林 泰造

1. 緒 言 交互砂州やうろこ状砂州は3次元河床波であり、その波長は主として河幅に依存することからこれらは中規模河床波である。このことから、3次元河床波といえは中規模河床波をさし、これに対比して、波長が主として粒径ないし水深により定まる砂漣、砂堆等の小規模河床波は屢々2次元河床波とよばれ、小規模河床波においても認められる3次元性は二次的なものとして理論解析上は無視されることが多かった。しかし、木下[1]の航空写真等による自然河川における観測によれば、高水時に河床上に形成されているうろこ状砂州の波長は水深に依存し河幅には殆ど無関係であるので、この意味では小規模3次元河床波である。本研究はこのような小規模河床波の発生機構及びその特性を理論的並びに実験的に研究した。

2. 3次元小規模河床波の安定理論解析 直線状長方形断面開水路における3次元河床波の理論解析においては、従来その両側壁における反射の影響が支配的な場合のみが取り扱われてきた。しかし本研究では、両側壁からの河床波の反射の影響を無視しうような河幅が十分大きい場合についての研究を行う。河床面上に式(1)で与えられる微小攪乱を与え、これに対する河床面の安定解析を行う。

$$\eta = a[\exp\{ik(x-ct)+i\ell z\} + \exp\{ik(x-ct)-i\ell z\}] \quad \cdots \cdots \cdots (1)$$

ここに、 x, z =攪乱前の河床面上で河川中心軸上にとった原点よりのそれぞれ主流方向及び横方向の座標、 $k=2\pi/L_x, \ell=2\pi/L_z$ 、 L_x, L_z =それぞれ x 方向及び z 方向の波長、 c =河床波の複素速度= $c_R + i c_I$ 、 a =初期攪乱の片振幅。林による前報[2]では $\ell = m\pi/B$ (但し B =河幅、 m =複列河床波の次数) ととったが本研究では ℓ の式の中に B を含まない。次に、主流速度 U 、水深 d の一様な一方向ポテンシャル流が式(1)で与えられる攪乱の上を流れるときの流れのポテンシャル ϕ 及び河床面上の流線の主流方向よりの傾き dz/dx は前報と同様にそれぞれ式(2)及び(3)で与えられる。但し、 y =鉛直上向きの座標(未攪乱水表面上に原点)、 $F=U/\sqrt{gd}$ 、 $\beta=\sqrt{k^2+\ell^2}$ である。

$$\phi = Ux - \frac{Uk}{\beta} a \frac{\cosh \beta y + (F^2 k^2 d / \beta) \sinh \beta y}{\sinh \beta d - (F^2 k^2 d / \beta) \cosh \beta d} \left[\exp\{ik(x-ct)+i\ell z\} + \exp\{ik(x-ct)-i\ell z\} \right] \quad \cdots \cdots \cdots (2)$$

$$\frac{dz}{dx} = \frac{k\ell}{\beta} a \frac{1 - (F^2 k^2 d / \beta) \tanh \beta d}{\tanh \beta d - (F^2 k^2 d / \beta)} \left[\exp\{ik(x-ct)+i\ell z\} - \exp\{ik(x-ct)-i\ell z\} \right] \quad \cdots \cdots \cdots (3)$$

また、流砂量の x, z 方向の各成分 G_1 及び G_3 の計算式として次の式(4)、(5)をとる

$$G_1 = m[1 + \alpha_1 \partial \eta(x-\delta, z, t) / \partial x] [\partial \phi(x-\delta, -d, z, t) / \partial x]^n \quad \cdots \cdots (4), \quad G_3 = G_0 [dz/dx - \alpha_3 \partial \eta / \partial z] \quad \cdots \cdots (5)$$

ここに、 $G_0 = mU^n$ 、 α_1 =inclination factor、 δ =遅れ距離、 $\alpha_3 = 1/\tan \Phi$ 、 Φ =河床物質の動摩擦角。式(4)は前報[2]と同じであり、式(5)の中には今回新たにEngelund[3]による横方向勾配に沿う重力の影響をとり入れている。式(4)と(5)を河床物質保存則 $\partial \eta / \partial t + \partial G_1 / \partial x + \partial G_3 / \partial z = 0$ $\cdots \cdots \cdots (6)$ に代入し、 $k\delta \ll 1$ と考えると同式の実数部及び虚数部についての等式からそれぞれ次式を得る。

$$c_R = G_0 [\alpha_1 k^2 \delta + n(k^2/\beta) f_b + (\ell^2/\beta) f_b] \quad \cdots \cdots (7), \quad c_I = G_0 [\alpha_1 k - n(k^3 \delta / \beta) f_b - \alpha_3 (\ell^2/k)] \quad \cdots \cdots (8)$$

但し、 $f_b = [1 - F^2 k^2 (d/\beta) \tanh \beta d] / [\tanh \beta d - (F^2 k^2 d / \beta)]$ 。式(8)を書き直すと

$$c_I = \frac{\alpha_1 k G_0}{C} \left[C \left\{ 1 - \frac{\alpha_3}{\alpha_1} \left(\frac{\ell}{k} \right)^2 \right\} - \frac{n}{2} \frac{k^2 d}{\beta} F^2 f_b \right] \quad \cdots \cdots \cdots (9)$$

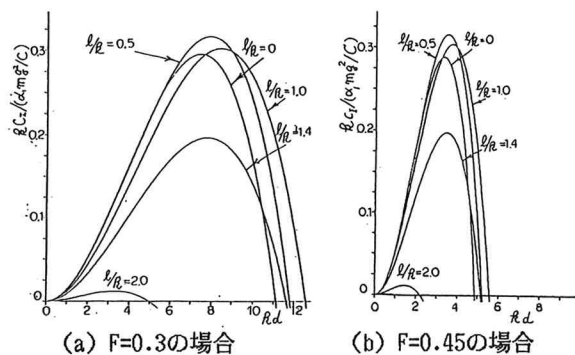


図-1 河床波の初期増幅率



写真-1 河床波（流向：画面右下方から左上方へ）

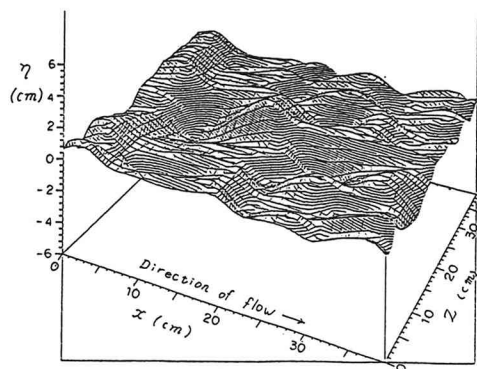


図-2 河床波形（変位）

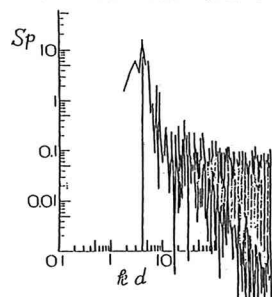


図-3 主流方向スペクトル

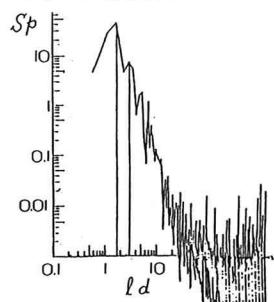


図-4 横断方向スペクトル

となる。但し、 $C = (\alpha_1 / \delta) U^2 / 2g$ 。式(1)から見られるように kc_1 は η の初期増幅率を表す。これに關係する定数の値としては、 C は前報[2]と同じく $C=2.0$ 、 $\Phi=30^\circ$ 、 α_1 の値としては、Jain-Kennedyの實驗[4]によれば $\alpha_1=6\sim 12$ と考えられるので、 α_3/α_1 の平均的な値として $\alpha_3/\alpha_1=0.2$ ととる。 n は4とする。式(9)を用いて初期増幅率 kc_1 を計算したものが $F=0.3$ 及び 0.45 について図-1のそれぞれ(a)及び(b)である。このいずれの図も $l/k \leq 1$ の3次元河床波が卓越的に発生することを示している。

3. 実験 幅80cm、長さ24mの可変勾配水路で、50%粒径 0.29mmの篩分け自然砂を用いて実験を行った。河床形状は超音波測深器を使用して測定した。写真-1、図-2,3,4の実験条件はすべて次の通り：

$$S=1/1,900, Q=16.2\ell/s, d=5.9\text{cm}, F=0.45$$

図-2は河床波形を、また図-3,4は河床波形のスペクトルを示す。図-3から卓越波長の kd の値は4前後の範囲にあり、図-1(b)の理論値とほぼ一致する。また図-4からは l/d の卓越波長値は 1.7 と 3.0 の付近にありこのことから $l/k=0.4\sim 0.8$ となる3次元的小規模河床波が卓越していることがわかるが、このことも図-1(b)の理論結果と一致する。

4. 引用文献 [1] 木下良作, 日本写真測量学会誌, 1967, No.1

[2] 林泰造, 土木学会論文報告集, 1970, No.180 [3] F.Engelund, J. HY-11, ASCE, 1974, [4] S.C.Jain & J.F.Kennedy, JFM, Vol.63, 1974.

付 記 本研究は文部省科研費一般研究（C）「三次元性を有する小規模河床波の相当砂粒粗度に関する基礎的研究」の補助により行われたものである。