

波と流れが交差する場合における漂砂

愛媛大学工学部 正員 伊福 誠
愛媛大学大学院 学生員 〇住井勝彦
愛媛県 志賀啓造

1. はじめに

伊福・後藤(1989)は、波と流れが共存する場合においても境界層の取り扱いが重要であるとの考えから、波と流れの交差角が 0 radあるいは π radの場合を対象とし、流れが漂砂に及ぼす影響について調べている。一般に、波と流れは任意の角度で交差する。しかしながら、波と流れが交差する場合における乱流境界層内の水粒子速度の特性を実験的に詳細に検討したものは著者の知り得るところないようである。浅野ら(1985)は、波と流れが交差する場合における漂砂に関する理論的検討を行っているが、実験や観測との比較は必ずしも満足されるものではないことを報告している。なお、波と流れが交差する場合における漂砂に関する実験的研究は、ようやく一歩を踏み出したに過ぎない(柴山ら;1989)。こうしたことから、波と流れが任意の角度で交差する場合における漂砂について調べようとしたものである。

2. 基礎方程式

波と流れが共存するときの二次元運動方程式は、 x および z 軸を水平な底面および底面より鉛直上向きに取り、波と流れの共存場における流体の運動に関して

- i) 流れの流速の x 方向の勾配 $\partial U / \partial x$ は小さい、
- ii) 波および流れの鉛直方向の流速は流れの流速の x 方向の勾配に比較して小さい、

と仮定し、 u についての非線形項を無視すると

$$\frac{\partial u}{\partial t} + U \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial (p+P)}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial z} \quad (1)$$

で与えられる。

境界層外では非粘性の波動理論で記述できるものと考え、また、式(1)中の摩擦応力は Grant・Madsen (1979) にならい境界層内外で区別した渦動粘性係数 N_z を用いて評価すると、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} N_z &= \kappa |u_{cw}^*| z & z < \delta_b \\ N_z &= \kappa |u_c^*| z & z > \delta_b \end{aligned} \quad (2)$$

ここに、 u_{cw}^* および u_c^* は、それぞれ、波と流れの共存場の摩擦速度および流れの摩擦速度、 δ_b は乱流境界層の厚さである。

図-1のように波の進行方向に x 軸、それと直角方向に y 軸をとると y 軸方向の波の成分は存在しないので交差場においても、摩擦応力および波の水粒子速度は式(1)で計算可能である。流れの圧力 P は波の圧力 p に比較して小さいという仮定を用い、さらに式(2)を用いると線形化した境界層方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial (u-u_b)}{\partial t} - U_b \frac{\partial u_b}{\partial x} + U \frac{\partial u}{\partial z} = \\ \frac{\partial}{\partial z} (\kappa u_{cw}^* z \frac{\partial u}{\partial z}) \end{aligned} \quad (3)$$

が得られる。 u_{cw}^* は波と流れが任意の角度で交差する場合に次式で計算される(Tanaka・Shuto;1981)。

$$u_{cw}^* = \sqrt{(\tau_{cw, \max})_x^2 + (\tau_{cw, \max})_y^2} / \rho$$

$$= \sqrt{u_c^{*2} + 2S u_{cw}^* u_c^{*2} \cos \alpha + S^2 u_{cw}^{*2}} \quad (4)$$

ここに、 $(\tau_{cw})_x$ および $(\tau_{cw})_y$ は、それぞれ、波と流れの交差場における最大摩擦応力の x 方向および y 方向成分である。

$$S = \{ \kappa z_0 (\partial u / \partial z) z = z_0 \} \max \quad (5)$$

式(4)のアンダーラインの部分が波と流れが交差する影響を表す。 κ はカルマン定数 ($\kappa=0.4$) である。波と流れの交差場における水粒子速度および摩擦応力は、波の水粒子速度および摩擦応力に流れの流速および摩擦応力をベクトル的に加えて算出した。

波と流れの共存場における粗度長について検討されたものは著者の知り得る限りではないので、波動場の解析において仮定したものを用い、また、乱流境界層の厚さは野田の結果(1969)を援用する。

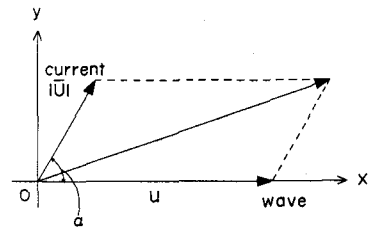


図-1 座標系

沈降速度 w_0 を持つ物質の鉛直一次元の乱流拡散方程式は流れの鉛直方向の水粒子速度は波のそれに比較して小さいとすれば次式のように与えられる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} (K_z \frac{\partial C}{\partial z}) + w_0 \frac{\partial C}{\partial z} \quad (6)$$

ここに、 C は物質の濃度、 K_z は乱流拡散係数である。

掃流層内の濃度および乱流拡散係数は、伊福・後藤の共存場での解析を援用する。

3. 解析結果

田中ら(1973)の実験諸元に基づいて解析した流体中の砂の平均濃度の鉛直分布を図-2に示す。流れの断面平均流速が負の場合である。底面近傍において

実験結果と計算結果との差が大きいものの、その他の高さにおいては両者は良く一致している。なお、流れの断面平均流速が正の場合には、底面近傍において実験結果と計算結果との差が図-2より大きい。この実験結果と計算結果との差は掃流層内の濃度の評価するうえで支配的である揚力係数や掃流層の厚さ等が考えられる。本研究では、交差場においては明確にされていない物理量は波動場の解析で使用した値を準用した訳であるが、こうした物理量が波動場と波と流れが交差する場において同一の値を取るという物理的な根拠は曖昧である。底面近傍における高濃度領域の存在は漂砂量にも極めて大きな影響を及ぼすことから数値モデル中に含まれる各種の物理量について再検討の余地があるようにも思える。

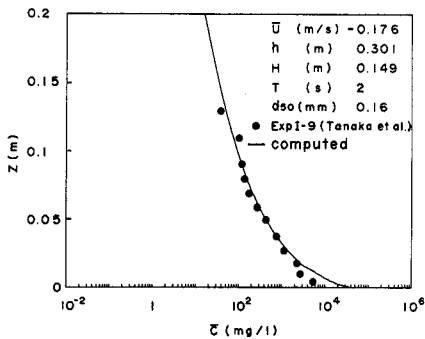


図-2 平均濃度の鉛直分布

波の一周期間におけるx軸方向の掃流漂砂量、浮遊漂砂量および全漂砂量と波と流れの交差角との関係を $|U|/u_{bm}$ が0.5の場合について示したのが図-3である。交差角が増大するにつれて、掃流漂砂量、浮遊漂砂量および全漂砂量は徐々に減少する。交差角が $2\pi/3 \sim 5\pi/6$ radにかけて掃流漂砂、浮遊漂砂および全漂砂の方向は岸向きから沖向きに変わる。流れの大きさが小さい場合 ($|U|/u_{bm} \leq 0.2$) には、掃流漂砂量、浮遊漂砂量および全漂砂量とも減少するが漂砂の方向は岸向きである。

波の一周で平均して得たx軸方向およびy軸方向の掃流漂砂量、浮遊漂砂量および全漂砂量をベクトル合成し、合成ベクトルとx軸とのなす角 θ を漂砂の方向と定義する(図-4)。漂砂の方向 θ と交差角 α との関係を $|U|/u_{bm}$ をパラメータとして示したのが図-5である。図中の●、△および○は、それぞれ、掃流漂砂、浮遊漂砂および全漂砂のものである。流れの大きさが小さい(a)では、交差角が $\pi/2$ radで漂砂の方向は最大となり、上に凸の形状を示す。流れの大きさが大きい(b)では、交差角が増大するにつれて掃流漂砂、浮遊漂砂および全漂砂の方向とも増大し、交差角と漂砂の方向との差が小さくなる。

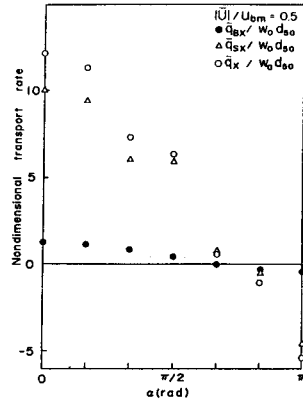


図-3 波と流れの交差角と漂砂量との関係

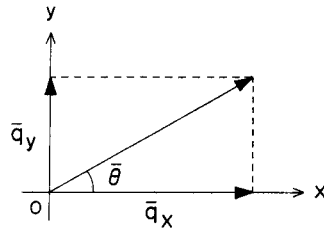
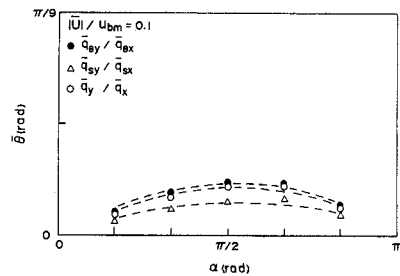
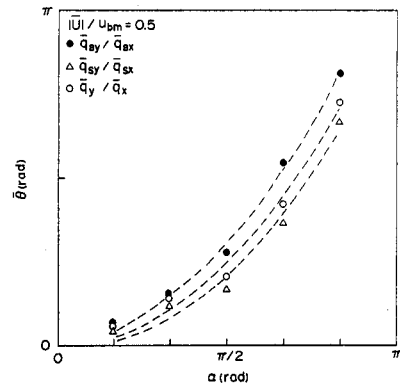


図-4 漂砂の方向の定義



(a) $|U|/u_{bm}=0.1$



(b) $|U|/u_{bm}=0.5$

図-5 漂砂の方向と波と流れの交差角との関係