

砕波点付近における水粒子運動に関する研究

日本道路公団 正員○坂本達也

島根県 正員 実原哲也

鳥取大学工学部 正員 野田英明

1. はじめに

砕波点付近における流体運動は、漂砂現象に最も影響する要因の一つにあげられる。このメカニズムについて把握しなければ、根本的な問題の解決にはならない。そこで、本研究では砕波点付近における室内流速測定実験を行い、砕波現象の実態を観察して問題の解明を試みる。その際、砕波点付近底面近傍で渦が発生することを考え、渦をシミュレーションし、実験結果と比較する。

2. 実験方法ならびに解析方法

実験方法は、Split 型 Hot film 流速計を用いて、図-1に示す測点の流速を測定した。表-1は実験条件を示し、砕波形式は spilling 型砕波である。

砕波点付近の流速場を

$$u = \tilde{u} + u', \quad w = \tilde{w} + w' \quad (1)$$

とおく。ここに u ; 水平方向水粒子速度, w ; 鉛直方向水粒子速度, “ $\sim$ ”; 波動成分, “ $'$ ”; 乱れ成分である。波動成分の算出にあたっては、15~17波分の時系列データをアンサンブル平均し、波動成分の流速とした。(1)式で定義された乱れ成分は渦による流速変動を含んでいると仮定し、

$$u_e \subseteq u', \quad w_e \subseteq w' \quad (2)$$

と表わす。ここに、“ e ”; 渦による流速変動である。

基本的な渦のモデルとして、円形渦を仮定する。円形渦の特性量として、循環 Γ 、半径 a 、渦度 ω を考え、これら3つの変数の関係は、

$$\Gamma = \pi a^2 \omega$$

と仮定する。渦による円周方向流速 ψ を特性量で表せば、

$$r > a \text{ において } \psi = r \cdot \omega / 2$$

$$r < a \text{ において } \psi = a^2 \omega / 2r$$

となる。ここに、 r は渦の中心からの距離である。

つぎに、渦の移動を考え、時間的に変化する流速変動を考慮しなければならない。図-2は渦の移動を表し、渦の中心 C が x 軸方向に U 、 z 軸方向に W の速度で移動すると仮定すると、測点 P における渦による流速変動は、

$$u_e = \psi_t \cos(\pi/2 - \theta_t), \quad w_e = \psi_t \sin(\pi/2 - \theta_t)$$

と表せることになる。ここに、下付きの t は時間の関数を意味する。

3. 実験結果および考察

図-3は、 $x = -6 \text{ cm}$, $z = -4.5 \text{ cm}$ で測定されたデータから任意の一波を取り出したもので、同図(a), (b), (c)および(d)はそれぞれ水面変動、流速波形、乱れ成分および Reynolds 応力を示している。同図(d)の Reynolds 応力の分布は、 $t = 1.0 \text{ sec}$ を中心に比較的大きな変動を示している。この変動からこの時点付近で渦が通過したと仮定し、以下、渦のシミュレーションを試みる。図-4(a)は、その結果求められた渦による流速変動を、同図(b)は Reynolds 応力を表している。また、渦に関する諸量は $t = 1.0 \text{ sec}$ のとき、

$$\Gamma = -35 \text{ cm}^2/\text{s}, \quad a = 0.8 \text{ cm}, \quad x_a = -6 \text{ cm}, \quad z_a = -3.8 \text{ cm}$$

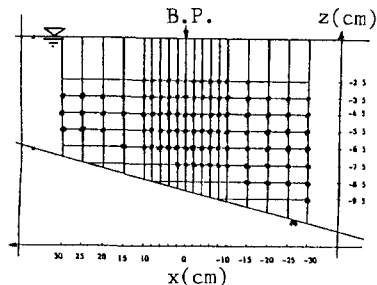


Fig-1 Coordinates and measured points

表-1

斜面勾配	1/15
一様水深部水深	40 cm
波の周期 T	1.3 sec
一様水深部波高 H ₁	6.42 cm
沖波波形勾配	0.027

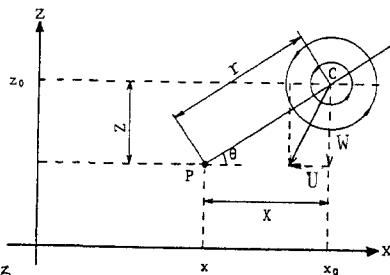


Fig-2 Model of a moving vortex

$$U = 8 \text{ cm/s}, W = 1 \text{ cm/s}$$

である。

このようにして、他の測点において渦をシミュレーションした結果を以下にまとめる。図-5は渦の半径を縦軸に、位相 t の変化を横軸に示している。この図より、 $a \approx 0.1 \cdot h$ のオーダーである。また、渦の出現する位相は、 $t/T = 0.6 \sim 1.0$ の範囲に全体の7割以上存在している。したがって、波の谷の位相付近に渦が多く分布していることがわかる。図-6は、横軸に碎波点を中心とした x の値を、縦軸に循環の絶対値を示している。この図より、循環は従来考えられていた $10^2 \text{ cm}^2/\text{s}$ のオーダーより小さい $10 \text{ cm}^2/\text{s}$ のオーダーであることがわかる。図-7は、横軸に底面からの距離、縦軸に渦の周期 T_v をそれぞれ示している。ここに、渦の周期は、

$$T_v = 4\pi^2 a / \Gamma$$

により算出される渦核の回転周期である。底面からの距離と渦の周期に相関はみられないが、渦の周期は波の周期の $1/2$ であることがわかる。

4. 結語

Hot Film 流速計によって、碎波点付近における流速場を測定し、その流速に含まれる渦の成分をシミュレーションした。その結果、渦の半径は水深の $1/10$ のオーダーであり、波の谷の位相に多く分布していることがわかった。渦の循環の大きさは、 $10 \text{ cm}^2/\text{s}$ のオーダーであった。また、渦の回転周期は波の周期の $1/2$ 程度であることも明らかになった。

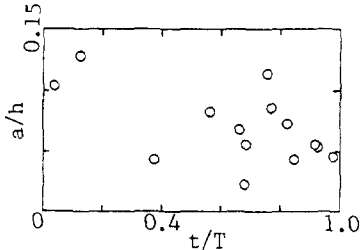


Fig-5 The time variation of radii of the vortex

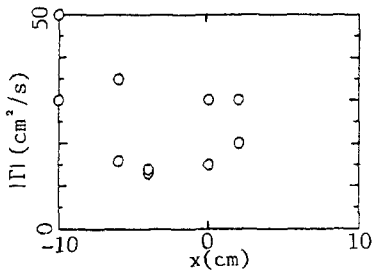


Fig-6 Absolute circulation

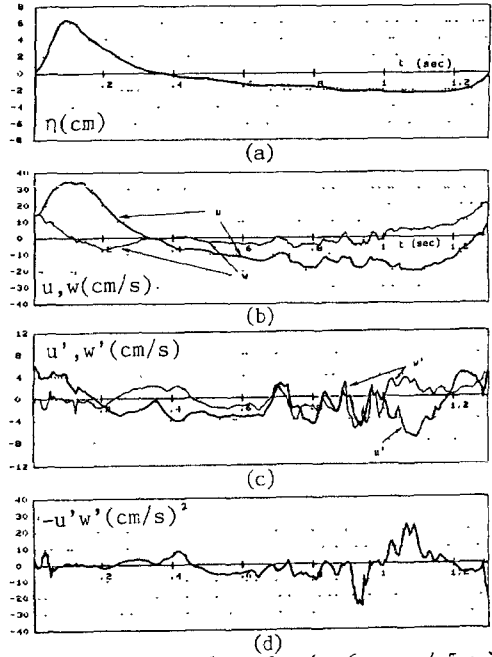


Fig-3 Experimental results ($x=6 \text{ cm}, z=4.5 \text{ cm}$)

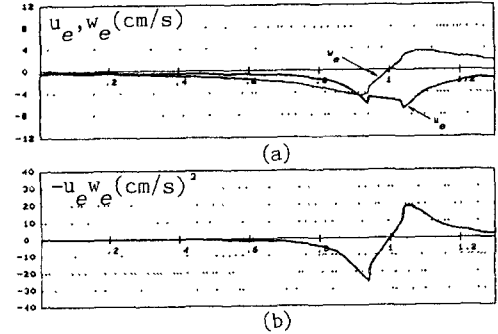


Fig-4 Results of the vortical simulation

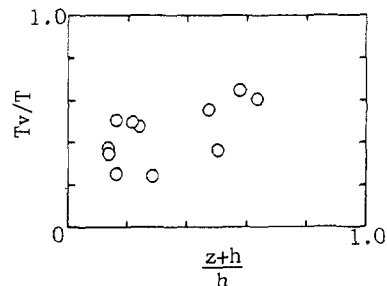


Fig-7 Vortical frequencies