

進行波における浮遊粒子の挙動について

大阪府立工業高等専門学校
新日本製鉄
成幸工業

正員 〇 平山秀夫
横村茂樹
市田一雄

1. はしがき: これまで著者の一人は、重複波動中における単一粒子の挙動と種々の角度から検討し、その一部を本講演会でも発表してきた。今日は、進行波動中での単一粒子の挙動について検討したので、ここにその結果を報告する。

2. 実験装置および実験方法: 実験は大阪府立工業高等専門学校土木工学部水理実験室内に設置されている長さ21m、幅70cm、高さ1mの片面ガラス張り水槽を用いて行った。水槽端部には、消波工を設置し、波の反射を軽減するようにした。実験の方法は、波を発生させ、ほぼ定常状態になったと思われる時(約10波後)で水表面の波の峰の位置からスポット状のガラス管を通して水中に投入し、ストロボを照射して、単一粒子の挙動を撮影した(波動中での照射周期 $\Delta t = 0.075 \text{ sec}$, 静水中での沈降速度の測定の場合には $\Delta t = 0.06 \text{ sec}$)。波高は、抵抗線式波高計を用いて単一粒子の投入位置で測定した。実験条件は、水深が30cmと50cmの2種類に分けて、それぞれ周期 $T = 1.2, 1.0, 0.8 \text{ sec}$ の場合について波高を8~15cmの範囲で変化させ、かつ鉛直方向の測定位置も4ヶ所の異なった位置で行なった。

3. 解析方法: (1) 単一粒子の速度および軌跡の計算法: ここでは、前報の場合と同様に、波動理論(有限振幅波動理論としては Skjelbreia の3次近似解)を用いて、初期条件 $t=0$ での位置と速度から、 Δt 時間ごとに、逐次位置と速度を求めていく、いわゆる差分による方法(方法(1))と、実験の単一粒子の位置の座標を用いて波動理論から各測定点における流速を見積る方法(方法(2))および第3回年次講演会(土木学会)で発表した解析的方法(方法(3))の3つの方法によって求めた。ただし、軌跡の計算は方法(1)と(3)により、方法(3)の結果は、次式に示す1次近似解による。

$$U = (-\pi H/T) \cdot \sin(kx_0 - \omega t) / \sinh kh \cdot \{ \cosh k(h+z_0) + k \cdot \eta \cdot t \cdot \sinh k(h+z_0) \} \dots \dots \dots (1)$$

$$W = (\pi H/T) \cdot \cos(kx_0 - \omega t) / \sinh kh \cdot \{ \sinh k(h+z_0) + k \cdot \eta \cdot t \cdot \cosh k(h+z_0) \} + \eta \dots \dots \dots (2)$$

$$\Delta x = \int_0^t U dt, \quad \Delta z = \int_0^t W dt \dots \dots \dots (3)$$

ただし、 U, W はラグランジュ速度成分、 (x_0, z_0) は $t=0$ のときの初期位置である。

(2) 実験結果の解析法: 重複波の場合と同様に、ストロボ写真によって得られたネガフィルムから、フィルムモーションアナライザーを用いて浮遊粒子の位置の座標を読みとった。読みとりは、 $U=0, W=W_{max}$ と考えられるところから始め、2.5~3周期までとした。

4. 実験結果および考察: (1) 単一粒子の速度および軌跡: 図-1および図-2は、それぞれ水平および鉛直速度成分の1例を、横軸に経過時間とって示したものである。図中の実線、一重鎖線および破線は、それぞれ、方法(3)、微小振幅波理論による方法(1)および有限振幅波理論を用いた方法(2)による計算結果で、また、 Δ 印は方法(2)による計算結果、 $\bigcirc$ 印

は実験値である。これらの図から明らかなように、面速度成分の大きさのオーダーや傾向はほぼ類似しているが、重複波動中の場合と同様に、計算手法の差異による理論曲線の差異や理論値と実験値との位相や大きさの差異などが見られる。図-3は単一粒子の軌跡の理論曲線と実験値と比較したもので、図中の各曲線や Δ 、 $\circ$ 印は図-1,2の場合と全く同じことを示す。この図では、実験値は方法(3)による理論曲線に最も近いが、一般的には、いずれの方法による理論曲線とも実験値とはかなりの差異があり、その差異も重複波動中の場合と比較して顕著のようである。この原因として反射波や質量輸送などの影響が考えられよう。なお、図-4は表面波形の一例を示したもので、理論値と実験値はほぼ合致する場合が多い。

(2) 水平方向の質量輸送速度： これまで、進行波動中における質量輸送の問題は、多くの研究者によって理論と実験の両面から検討されているが、ここでは、実験と計算による運動軌跡から、残留速度を求め、従来提案されている理論結果(StokesやLonguet-Higginsによるもの)や方法(3)による解析結果とを比較した。その結果が図-5で、図中の破線、実線、実線および一実線は、それぞれ波速の ω_1 定義によるStokesの結果($\bar{U}_1$)、波速の ω_2 定義によるStokesの結果($\bar{U}_2$)、Longuet-Higginsのconduction solutionの結果($\bar{U}_3$)および著者が求めた解析解の結果($\bar{U}_4$)とそれぞれ次式のように無次元で表したものである。

$$\bar{U}_1/(H/T) = \pi^2 H/L \cdot \cosh\{2k(h+z)\}/2 \sinh^2 kh \quad \text{--- (4)}$$

$$\bar{U}_2/(H/T) = \pi^2 H/L \cdot \cosh\{2k(h+z)\}/2 \sinh^2 kh - (H/4h) \cdot \coth kh \quad \text{--- (5)}$$

$$\bar{U}_3/(H/T) = (\pi^2 H/L)/4 \sinh^2 kh \cdot \{2 \coth\{2kh(1+z/h)\} + 3 + kh \cdot \sinh 2kh \cdot \{3(z/h)^2 + 4(z/h) + 1\} + 3(\sinh 2kh/2kh + 3/2) \cdot \{(z/h)^2 - 1\}\} \quad \text{--- (6)}$$

$$\bar{U}_4/(H/T) = -\pi \cdot T/L \cdot \{\sinh k(h+z)/\sinh kh \cdot \cos kx\} \quad \text{--- (7)}$$

この図から、本実験条件の範囲内では、実験値は式(5)に非常に近いことが明らかであろう。

最後に、本研究を行なうにあたり、終始、暖かい御指導と御援助を賜った岩垣雄一教授、御助言をいただいた酒井哲郎助教授に心から感謝の意を表する。また、本研究は文部省科学研究所自然災害特別研究(1)(代表者：岩垣雄一教授)による研究の一部であることを付記し、謝意を表する。

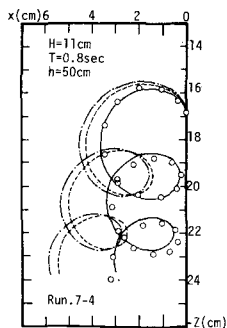


図-3 単一粒子の軌跡

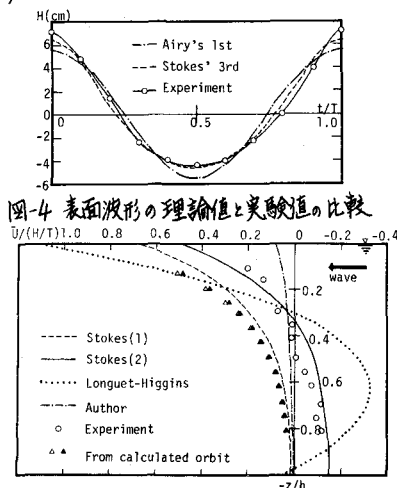


図-4 表面波形の理論値と実験値の比較

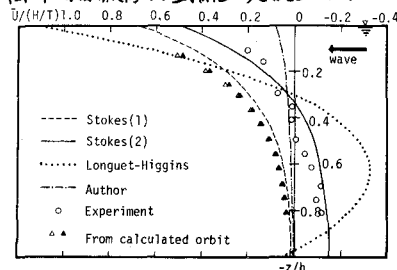


図-5 水平質量輸送速度の理論値と実験の比較

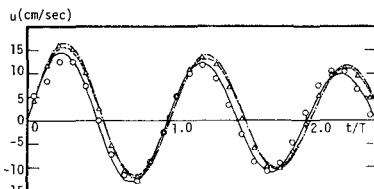


図-1 単一粒子の水平速度

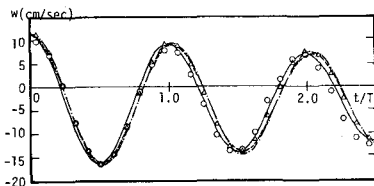


図-2 単一粒子の鉛直速度