

重複波による浮遊粒子の挙動について

京都大学工学部 正 員 岩垣雄一
 京都大学大学院 学生員 平山秀夫
 日本水道コンサルタント 藤田行広

1. はしがき 本研究は重複波による底質の浮遊機構を解明するため、重複波内部に底質と浮遊させる乱れに似たものが存在するかどうかを検討し、その特性と浮遊との関係を調べることを目的とするものであるが、その前段階として中立粒子によるストロボ写真撮影を行ない、その挙動、特に重複波の節における水平速度と軌跡を実験的に調べ、微小振幅波理論による理論値と比較して重複波の内部構造を明らかにしようとしたものである。

2. 実験装置および実験方法 実験は長さ5m、高さ60cm、幅50cmの片面ガラス張りとなっている銅製水槽を用いて行なった。造波板はフラッター型で反射板の位置は任意に変えられる。ガラス面に中央部より左右1mにわたり糸を張って1cm×1cmのメッシュをつくり、これを利用して中立粒子および写真機の位置を決定した。実験波はその波長を等一歩(λ=166.7cm)として、節の数が3つとなるように、周期(1.14secと2.0sec)と水深(25cmと30cm)を決め、さらに波高(定常状態で5cm、5.5cm、6cmおよび9cm)を適当に組み合わせ、ほぼ完全な重複波を発生させた。実験の方法は、水槽内の水が静止状態のとき、所定の位置に中立粒子を置いてから重複波を発生させ、カメラをガラス面側方約30cmの位置に設置し、ストロボを照射して一定時間間隔毎に中立粒子の挙動を撮影した。また中立粒子の最初の投入位置は、静水面から水深方向に5cm間隔で変化させた。ストロボ写真の実例を図-1に示す。

3. 解析方法 (1) ストロボ写真による中立粒子の速度と軌跡: ストロボ写真撮影によって得られたフィルムのネガからフィルムモーションアナライザーを用いて中立粒子の位置の座標を読みとった。読みとりは定常的な運動になりはじめたと考えられる5波目から7.5波目までとし、フィルム上の倍率は中立粒子の投入位置にスケールを入れて撮影し決定した。実験の座標および速度は、読みとり開始点(X_0, Z_0)を原点として、 $x_i = (X_i - X_0)/A$ および $z_i = (Z_i - Z_0)/A$ と $u_i = (X_{i+1} - X_i)/\Delta t$ および $w_i = (Z_{i+1} - Z_i)/\Delta t$ から求めた(A : 倍率, X_i, Z_i : i 番目の読み, Δt : ストロボ照射周期)。

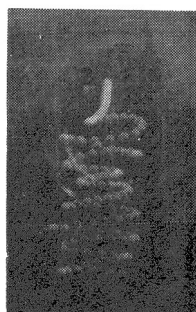


図-1 ストロボ写真の実例

(2) 微小振幅波理論による中立粒子の速度の軌跡: 座標軸は反射板の位置を原点とし静水面に沿って造波板に向い x 軸と、静水面から鉛直上方に z 軸をとった。そして中立粒子は、 z 方向には水粒子のその方向の速度成分と中立粒子の静水中での沈降速度の和に等しい速度で動くと考えた。中立粒子の速度と軌跡の算出は、微小振幅波理論によった。すなわち重複波の水面形を $\eta = (H/2) \cosh kx \cos \omega t$ と表わすと、水粒子速度の u および w 成分は、それぞれ $u = (H\omega/2) \{ \cosh k(h+z) / \sinh kh \} \sin kx \sin \omega t$, $w = (-H\omega/2) \{ \sinh k(h+z) / \sinh kh \} \cos kx \sin \omega t$ と表現される。まず初期条件 $t=0$ で中立粒子の位置(x_0, z_0)を、前述の式に代入して

速度(u_0, w_0)を求め、次に(x_0, z_0)および(u_0, w_0)を用いて Δt 時間後の右での位置(x_1, z_1)を $x_1 = x_0 + \Delta t u_0$, $z_1 = z_0 + \Delta t (w_0 + W)$ および $t_1 = t_0 + \Delta t$ より求める(W : 中立粒子の静水中での沈降速度)。以下同様にくり返し計算をする。尚本実験で解析した波は、波高が時間とともに増大していることより上式の H は $H = H_0(1 + \alpha \cdot \pi \Delta t)$ と表現して用いた(H_0 : 5波目の波高, α : 2.5周期間の波高増加の割合, $\pi \Delta t$: 5波目を基準とした n 番目の経過時間)。

4. 実験結果と考察 図-2は経過時間を横軸に u および w を縦軸にとり、それぞれ実線および破線で理論曲線が示してあるが、 w のスケールは u の100倍にしている。また○印は x 方向の速度成分の実測値を示す。この図から明らかなように、 u の理論値と実測値は、極大値付近を除けばほぼ合致するようである。極大値付近での両者の差異の原因として、中立粒子の慣性効果および波高の手え方の問題などが考えられる。また u の半周期間に w は1周期含まれているが、これは当然のことである。 w の実測値はアンプライザーの精度の限界から測定不可能であった(図中の T : 波の周期, Z : 底面からの距離, h : 水深, $\bar{H}$: 測定時の平均波高, H : 定常状態の波高)。

図-3および4は中立粒子の軌跡について、理論曲線と実験値の比較を示した一例である。図-3の方は理論値と実験値はかなり一致しているが、図-4は両者の特性に若干の差異が見られる。すなわち、理論値は軌跡が左右対称であるが、実測の軌跡は左右の極大点付近で相違している。この傾向は底面からの距離が大きくなればなるほど著しいようである。この原因としては逆波生れた波の波形の非対称の影響、およびこの実験では時間とともに波高が増大する場合であるので、その影響などが考えられる。また、定常状態の波の場合には、中立粒子が沈降するにたがって、その挙動の水平振幅は減少するはずであるが、この場合は逆に増大している。このことより流速に与える波高増大の影響がいかに大きいかわかる。最後に本研究は文部省科学研究費による研究の一部であることを付記する。

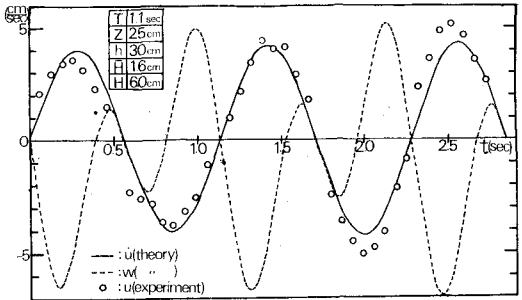


図-2 水平速度および鉛直速度

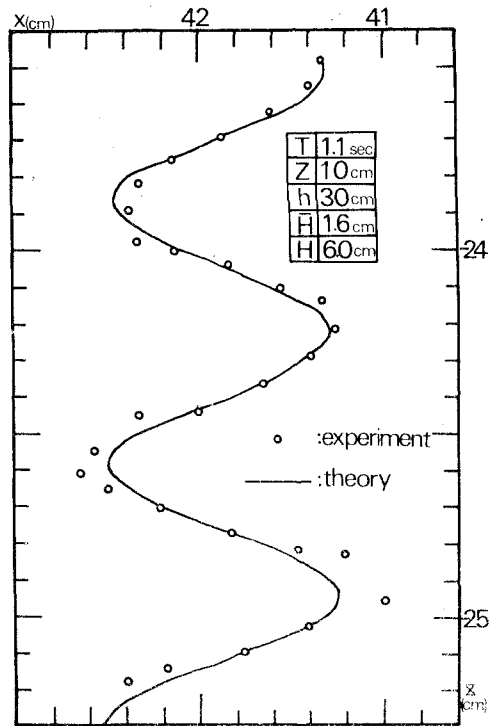


図-3 中立粒子の軌跡(理論曲線と実験値)

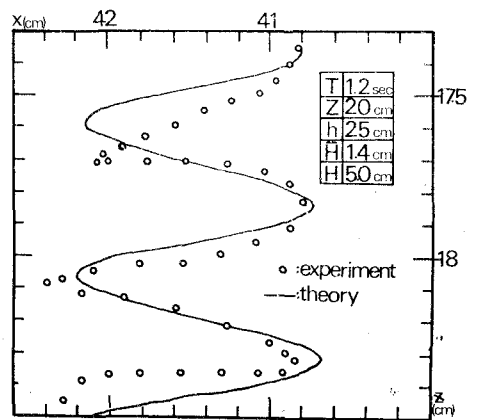


図-4 中立粒子の軌跡(理論曲線と実験値)