

重複波の底面境界層における質量輸送

京都大学防災研究所 正員 ○ 野田 英明

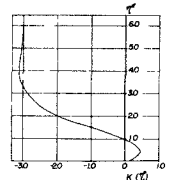
京都大学大学院 学員 川嶋康宏 工学部 学員 木村 晃

1. まえがき：この研究の目的は、重複波による砂堆発生機構を究明するために、浅海重複波に伴う底面付近での流れの特性、とくに 質量輸送について検討しようとするものである。重複波による砂堆発生機構については、すでに Lettau, 野満や速水によって研究され、砂堆は重複波の腹および節に生じると説明されている。しかし著者らの一人が行なった茅崎漁港の実験では、重複波の腹に砂堆が生じるのみで、上の説とはかならずしも一致しない。この不一致を明らかにするためには、まず第一に、重複波の底面境界層内における流れの特性と明らかにすることが必要であって、ここでは、浅海重複波の底面境界層内における質量輸送と層流の場合について理論的・実験的に考察する。

2. 底面境界層内の質量輸送速度：いま、水槽一端の鉛直壁からの水平距離を x 、水平な水底からの高さを z とすると、境界層内における一周期平均の質量輸送速度 $\bar{u}$ は、

$$\bar{u}/(\pi^2 H^2/8LT \sinh^2 kh) = K(\eta) \sin 2kx \quad (1)$$

となる。ここに、 $K(\eta) = -3 + 8e^{-\eta} \sin \eta + 3e^{-2\eta}$ であり、 h は水深、 L は波長、 H は波高、 T は周期と、また $k = 2\pi/L$ 、 $\eta = z/\delta$ ($\delta = \sqrt{\nu T/\pi}$ 、 ν は動粘性係数) を表わす。図-1 は $K(\eta)$ と η の関係を示すもので、質量輸送の方向は $\eta = 0.9$ の上下層で異なることがわかる。さらに、上式から、 $kx = n\pi/2$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) すなわち、重複波の腹および節で質量輸送速度は 0 となり、 $n\pi < kx < (n + \frac{1}{2})\pi$ の区間と $(n + \frac{1}{2})\pi < kx < (n+1)\pi$ の区間とでは、その方向が異なる。



実験は、京大防災研究所の長さ 3.0m、幅 30cm、深さ 1.0m の水槽を用いて行なった。水槽一端にはフラッター式造波機を設置し、水深は 40cm と一定にして、波長 2.5m (実験 I) および 5.0m (実験 II) の重複波で、それぞれの波長に対し、波高を種々変えて実験を行なった。

質量輸送速度は 3 種の方法によって測定した。その第 1 の方法は比重 1.10 のナイロン球を水底に沈め、一周期あたりの変位とストロボスコープで撮影するものである。なお用いたナイロン球の粒径はそれぞれの境界層厚に対応するように、実験 I に対して 3mm、同 II に対して 4.8mm とした。この方法では境界層全体にわたる平均の質量輸送速度を求めることができる。第 2 の方法は $KMnO_4$ を用いて dye streak を作り、これの一周期あたりの変位と写真撮影し、境界層内における最大質量輸送速度と求めるものである。最後に、第 3 の方法は、図-1 に示す $\eta < 0.9$ の層がその上層と逆方向に質量輸送を起こすので、これを実験的に確かめるため、粒径 0.13mm、比重 1.15 の塩化ビニール粒と底面に蒔く一様に敷きつめ、その移動の時間的变化を観察する方法である。

3. 実験結果と考察：波形 実験 I の場合の波形は、波高が小さい場合、微小振幅波理論に、また、波高がかなり大きい場合、浅海波に対する有限振幅波理論の第 2 次近似解によく一致することがわかった。しかし、実験 II の場合、波高が大きくなると、こうした理論波形とは一致しない。図-2 はその一例であって、波高 16cm の場合の実験結果と Miche, 岸および Tadjbaksh と Keller の理論曲線を比較したものである。図から明らかなように、それぞれの理論曲線の間にはそれほど差異は認

められない。しかし、実験波形は理論のそれに比べて、波峰がとがり、波谷が平坦になっていることがわかる。これは、実験Ⅱの場合 h/L の値が 0.08 と小さく、浅海重複波よりもむしろ長波性の重複波であるためと考えられる。

質量輸送速度 図-3および4はそれぞれ実験ⅠおよびⅡの場合のナイロン球による実験結果を示すものであって、図中の実線は(1)式を境界層全体にわたり平均したもので、

$$\lambda_m = \overline{uT} / (1.9\pi^2 H^2 / 8L \sinh^2 kh) = -\sin 2kx \quad \cdots \cdots (2)$$

を表わす。これらの図から明らかなように、ナイロン球による実験の結果ははらつきが大きく、その最大値が理論曲線にほぼ一致する程度であるが、その方向は理論のそれと一致し、重複波の節から腹の方向に移動する。このはらつきの原因はナイロン球とできるだけ水の比重に近づけるため球に孔をうかうち空気を閉じ込め、かつ実験中球が転動しないように十分注意したが、やはり比重が大きいため、底面との間に摩擦が働き、実験値がはらつき、かつ小さくなる傾向を示したものと考えられる。

図-5および6はそれぞれ実験ⅠおよびⅡの場合の染料による実験結果の一例で、図中の実線は、境界層内の最大質量輸送速度

$$\lambda^* = \overline{uT} / (3.1\pi^2 H^2 / 8L \sinh^2 kh) = -\sin 2kx$$

を示すものである。図から明らかなように、実験Ⅰの場合、実験値のはらつきはかなり大きい、その平均値は理論曲線にほぼ一致する。一方、実験Ⅱの場合、実験値の方がかなり大きくなる。これは代り波高についていえるが、一般に入*の値は波高の増大とともに小さいくなる傾向がある。

これは、こうした波長の長い重複波では $\overline{u}$ が H^2 に比例しないことを意味すると考えられ、浅海重複波に対して求めた(1)式の適用に問題があると考えられる。ただし、いづれも、その方向は理論のそれと一致している。

写真-1は第3の方法による実験結果を示すもので、写真の両端は重複波の腹中央は節の位置である。これは、 $H=3.3\text{ cm}$ 、 $T=1.45\text{ sec}$ 、($L=250\text{ cm}$)、 $h=40\text{ cm}$ に対する実験結果であって、写真から明らかなように、実験開始後5 minも経過すると底面に砂れんが発達し、かつ中央に向かって粒子の集まる様子を示している。しかかつて、底面のごく近くの底層では腹から節の方向に向う流れが存在することがわかる。以上の結果から、底面にある底質の粒径 d と δ との比が、砂粒の移動方向を決定するのにつきわめて重要であると考えられる。最後に、この研究に際し、終始、御指導・御鞭達と賜った京都大学防災研究所 岩垣雄一教授に深謝の意を表す。

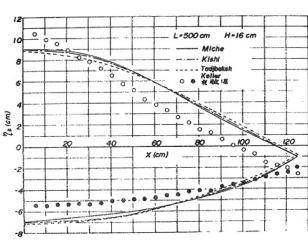


図-2 実験波形と理論曲線との比較の一例

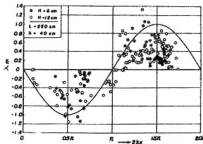


図-3 ナイロン球による実験結果の無次元表示 (Ⅰ)

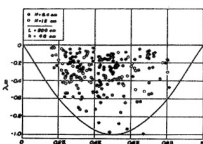


図-4 ナイロン球による実験結果の無次元表示 (Ⅱ)

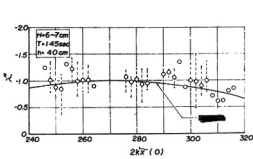


図-5 染料による実験結果の無次元表示 (Ⅰ)

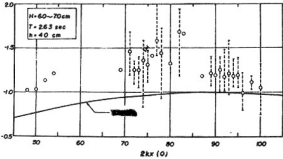


図-6 染料による実験結果の無次元表示 (Ⅱ)

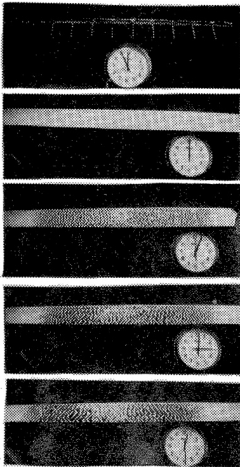


写真-1 底面近くの底層における粒子の移動状況