

名古屋工業大学 正 員 石田 昭
 学生員 浅田 耕司
 学生員 ○神谷 紀志
 学生員 岸田 潤三

① 緒 言 定形波による質量輸送速度はこれまでも多くの研究者によって理論的研究がなされてきたが、実際の波は非定形波となり従来の理論で説明することはできない。そこで浜田の二次干渉の理論²⁾を用いて二次波峯現象下の質量輸送速度を求めた。また閉水路における特性を考慮して二種類の戻り流れを仮定し質量輸送速度の実験値および理論値を求めて比較・検討を行なった。

② 非定形波の質量輸送速度算定方法 水深が有限であり非粘性非回転の流体について二次元(X,Z)の成分波計算を浜田の理論により行なうと、二つの自由波が存在する場合次のようになる。一次オーダーの速度ポテンシャルを ϕ_1 、二次オーダーの速度ポテンシャルを ϕ_2 として

$$\phi_1 = a_1 \frac{\sigma_1 \cosh k_1 (h+z)}{k_1 \sinh k_1 h} \sin(k_1 x - \sigma_1 t) + a_2 \frac{2\sigma_1 \cosh k_2 (h+z)}{k_2 \sinh k_2 h} \sin(k_2 x - 2\sigma_1 t + \pi) \dots\dots (2.1)$$

$$\phi_2 = B_{21} \frac{\cosh 2k_1 (h+z)}{\sinh 2k_1 h} \sin 2(k_1 x - \sigma_1 t) + B_{22} \frac{\cosh 2k_2 (h+z)}{\sinh 2k_2 h} \sin 2(k_2 x - 2\sigma_1 t + \pi) \\ + B_{23} \frac{\cosh(k_1 + k_2)(h+z)}{\sinh(k_1 + k_2)h} \sin\{(k_1 + k_2)x - 3\sigma_1 t + \pi\} + B_{24} \frac{\cosh(k_2 - k_1)(h+z)}{\sinh(k_2 - k_1)h} \sin\{(k_2 - k_1)x - \sigma_1 t + \pi\} \dots\dots (2.2)$$

である。ただし自由波は進行波としての解 $\eta = a_1 \cos(k_1 x - \sigma_1 t) + a_2 \cos(k_2 x - 2\sigma_1 t + \pi)$ を用いており、 a_2 は Fontanet 波の振幅である。まず着目する水粒子の速度を $(u, v) = \left(\frac{\partial(\phi_1 + \phi_2)}{\partial x}, \frac{\partial(\phi_1 + \phi_2)}{\partial z} \right)$ とすれば、質量輸送速度はこれを一周期について平均したものである〔式(2.3)〕。(2.3)式は戻り流れを考慮しない開いた水路の式であり、特に $a_2 = 0$ のとき Stokes 波の質量輸送速度と一致するものである。

$$U_{m.open} = a_1^2 \frac{\sigma_1 k_1 \cosh 2k_1 (h+z)}{2 \sinh^2 k_1 h} + a_2^2 \frac{\sigma_1 k_2 \cosh 2k_2 (h+z)}{\sinh^2 k_2 h} \\ + B_{21}^2 \frac{2k_1^2 \cosh 4k_1 (h+z)}{\sigma_1 \sinh^2 2k_1 h} + B_{24}^2 \frac{(k_2 - k_1)^2 \cosh 2(k_2 - k_1)(h+z)}{2\sigma_1 \sinh^2(k_2 - k_1)h} \\ - \frac{1}{2} \left\{ a_1 B_{24} \frac{k_2 (k_2 - k_1) \cosh k_2 (h+z)}{\sinh k_1 h \sinh(k_2 - k_1)h} + a_2 B_{21} \frac{2k_1 (2k_1 + k_2) \cosh(2k_1 + k_2)(h+z)}{\sinh k_2 h \sinh 2k_1 h} \right\} \cos 4k_1 x \dots\dots (2.3)$$

さて(2.3)式は空間的一様成分 $[A(Z)]$ と空間的変動成分 $[B(Z) \cos 4k_1 x]$ とから成るが、実験水槽のように閉じた領域では戻り流れを考慮した項 $[C(Z)]$ が必要となり、この流れのために各断面での正味の輸送量は零となるはずである。 $C(Z)$ を決めるために次の2ケースを仮定することとする。

- ⑴ 移動床上では実験的に $1/4 L_{ov}$ で質量輸送の方向がぶつかることが確かめられている。これを考慮して空間的一様成分に対して $-A(Z)$ に相当する戻り流れの発生があるとする。また空間的変動成分に対して中間層での戻り流れの発生があるとし、その速度分布は水面および水底で零となる放物型分布とする。したがって $C(Z)$ を決める係数 c は⑩式を満足するように決める。
- ⑵ 空間的一様成分に対する戻り流れの分布は⑴と同じであるとする。また空間的変動成分に対する戻り流れは水面近くで最大となり水底で零となる放物型分布とする。したがって係数 c は⑪式を満足するように決める。

$$\int_{-h}^0 \{B(Z) - cZ(h+z)\} dz = 0 \dots\dots \textcircled{10}$$

$$\int_{-h}^0 \{B(Z) - c(-h+z)(h+z)\} dz = 0 \dots\dots \textcircled{11}$$

⑴、⑵による質量輸送速度 $U_{m.cros(1)}$ 、 $U_{m.cros(11)}$ は次のように算定される。

$$U_{m.cros(i)} = -\frac{1}{2} \left[a_1 B_{21} \frac{k_2(k_2 - k_1)}{\sinh k_1 h \sinh(k_2 - k_1)h} \left\{ \cosh k_2(h+z) + \frac{6z}{h^2}(h+z) \frac{\sinh k_2 h}{k_2 h} \right\} \right. \\ \left. + a_2 B_{21} \frac{2k_1(2k_1 + k_2)}{\sinh k_2 h \sinh 2k_1 h} \left\{ \cosh(2k_1 + k_2)(h+z) + \frac{6z}{h^2}(h+z) \frac{\sinh(2k_1 + k_2)h}{(2k_1 + k_2)h} \right\} \right] \cos akx \dots\dots (2.4)$$

$$U_{m.cros(ii)} = -\frac{1}{2} \left[a_1 B_{21} \frac{k_2(k_2 - k_1)}{\sinh k_1 h \sinh(k_2 - k_1)h} \left\{ \cosh k_2(h+z) + \frac{3}{2h^2}(-h+z)(h+z) \frac{\sinh k_2 h}{k_2 h} \right\} \right. \\ \left. + a_2 B_{21} \frac{2k_1(2k_1 + k_2)}{\sinh k_2 h \sinh 2k_1 h} \left\{ \cosh(2k_1 + k_2)(h+z) + \frac{3}{2h^2}(-h+z)(h+z) \frac{\sinh(2k_1 + k_2)h}{k_2 h} \right\} \right] \cos akx \dots\dots (2.5)$$

3 実験方法 実験は全長26.4m、幅60cm、高さ1.2mの片面ガラス張りの水槽を用い、一端に造波装置、他端には消波のために1/10勾配で砕石を置いた。二次波峯発生間隔を四等分し、 $1/4L_{ov} \sim L_{ov}$ の四点において長さ約1.0m、直径5mmの鋼棒に通マンガン酸カリウムを接着剤で付着し、水槽に鉛直に設置した。設置10秒後および30秒後の染料の広がり平均位置を水深に対してプロットし1秒当りの移動量を質量輸送速度とした。なお、二次波峯発生間隔は次式を使って求めた。

$$L_{ov} = K_0(gT^2 - 4\sqrt{gh} \cdot T)/2 \quad K_0: H/h \text{ によって決まる値}^{1)}$$

4 計算結果および考察 表1に示す実験条件を(2.4)、(2.5)式に代入し非定形波理論による質量輸送速度の数値計算を行なう。ここで波高 H と a_1, a_2, B_{21}, B_{22} などとの関係は文献1)の方法を用いている。

計算した値は $1/2L_{ov}$ および L_{ov} における水深の8等分点での値であ

No.	h (cm)	H (cm)	T (sec)	L_{ov} (m)
1	20.0	10.0	2.4	14.35
2	30.0	10.0	2.4	14.37

table.1

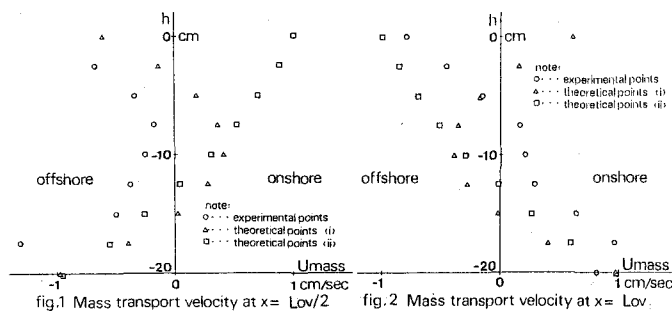
り、実測された各点と同一の図に記されている。水深20cmの場合、

$1/2L_{ov}$ では中間層での戻り流れが現われており仮定(i)の理論値と同じ傾向が見られるが、 L_{ov} ではむしろ水面付近での戻り流れが著しく、仮定(ii)の理論の傾向がある。また水深30cmでは $1/2L_{ov}$ 、 L_{ov} ともに中間層での戻り流れが現われている。実験結果および理論値との比較などから次の点が明らかになった。

① 固定床の場合には、底面での U_{mass} はすべて岸向きとなっているが、移動床では $1/4L_{ov}$ 付近に U_{mass} の方向がぶつかる場所がある。

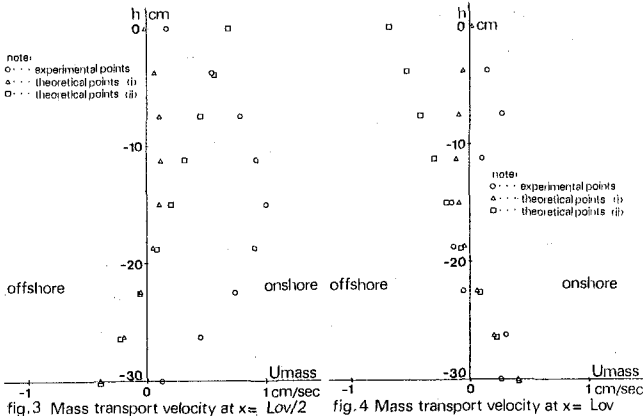
② 二次波峯現象下の質量輸送速度は場所的にも変化しており、重複波現象の場合と類似した対流現象が発生する。

③ 閉じた水路における戻り流れがどのようなようになるかは、実験を重ねて調べる必要がある。

fig.1 Mass transport velocity at $x = L_{ov}/2$ fig.2 Mass transport velocity at $x = L_{ov}$

参考文献

- 1) 石田 昭・高橋宏直・金沢和幸：数値解析による浅海波の変形特性——波数周波数スペクトルとバースペクトルによる検討——第27回海岸工学講演会論文集、pp.20~24、1980。
- 2) Hamada, T.: The secondary interactions of surface waves, Rept. Port and Harbor Technical Research Institute, No.10, 28p. 1969.

fig.3 Mass transport velocity at $x = L_{ov}/2$ fig.4 Mass transport velocity at $x = L_{ov}$