

波の質量輸送に関する実験的研究

京都大学防災研究所 正会員 土屋 義人

京都大学防災研究所 正会員 〇安田 孝志

京都大学大学院

山下 隆男

1. 緒言 波による質量輸送は、沿岸流や海岸侵食に密接に関係するのみでなく、有限振幅波理論の高次解の検証という点からも重要である。著者らは、従来の有限振幅波理論においては波速に関する物理的定義が必須であることを考え、そのような拘束条件を必要とし(1)新しい波動理論を提案し、質量輸送に関する若干の研究を行なってきた。ここでは、著者らの理論結果を実験的に確かめるため、従来と異なり、新波浪水槽を製作し、波による質量輸送に関する研究を行なう、に結果を述べる。

2. 有限振幅波の波速・質量輸送に関する考察 まず、従来の有限振幅波理論とくにクノイド波の波速および質量輸送は、それぞれ Laitone および Le Méhauté によ、てつぎのように求められている。

Stokes の波速の第1定義: $(C/\sqrt{gh})_I = (1/T) \int_0^T \{ (U+C)/\sqrt{gh} \} dt$, $(1/T) \int_0^T U dz dt = 0$ (1)

$$\left. \begin{aligned} (C/\sqrt{gh})_I &= 1 + (1/2k^2)(H/h)\{2-3(E/k)-k^2\} + (1/40k^2)(H/h)^2\{E/k\}\{25(E/k)-23k^2+40\} - (1/20k^2)(H/h)^3\{33k^2-113k^2+98\} \\ (U_m/\sqrt{gh})_I &= \{C/\sqrt{gh}\}_I/24k^2\{H/h\}^2\{E/k\}\{2-k^2+13k^2-10\}, h/h_t = 1 + (H/h)(h/h_t)\{E/k-1+k^2\} + (1/4k^2)(H/h)^2(h/h_t)^2\{2(E/k)-E/k\}k^2 \end{aligned} \right\} (2)$$

Stokes の波速の第2定義: $(C/\sqrt{gh})_{II} = (1/Th) \int_0^T \int_0^h \{ (U+C)/\sqrt{gh} \} dz dt$, $(1/Th) \int_0^T \int_0^h U dz dt = 0$ (3)

$$(C/\sqrt{gh})_{II} = 1 + (1/2k^2)(H/h)\{2-3(E/k)-k^2\} - (1/40k^2)(H/h)^2\{E/k\}\{23(E/k)+45k^2-90\} - (3/20k^2)(H/h)^3\{k^2-6k^2+4\}, (U_m/\sqrt{gh})_{II} = 0 (4)$$

ここに、 E および k ; それぞれ第1種および第2種完全楕円積分, k ; その母数, T ; 周期, H ; 波高, h ; 平均水深, h_t ; 波の谷での水深, U ; 水平水粒子速度, および C ; 波速である。つぎに、著者らの理論による波速は特性曲線によ、て一義的に決定され、次式で表わされる。

$$C/\sqrt{gh} = 1 + (1/2k^2)(\epsilon_2/J_1)\{3(E/k)+k^2-2\} + (1/40k^2)(\epsilon_2/J_1)^2\{E/k\}\{135(E/k)+90k^2-180\} + 19k^2-64k^2+26\} (5)$$

ここに、 $\epsilon_2 = \{2k^2 J_1/[10-12(E/k)-5k^2]\}\{1-(1/(k^2)(H/h)(10-12(E/k)-5k^2))^{1/2}\}$ および $J_1 = (E/k+k^2-1)/k^2$ 。また、Lagrange 座標で定義される質量輸送速度は、次式で表わされる。

$$U_m/\sqrt{gh} = (1/6k^2)(\epsilon_2/J_1)^2\{1+2\sqrt{gh}/C\}\{E/k\}\{4-3(E/k)-2k^2\}+k^2-1\} (6)$$

一方、Euler 座標で一周期平均速度が定義され、次式で表わされる。

$$\bar{U}/\sqrt{gh} = (1/T) \int_0^T (U/\sqrt{gh}) dt = (1/6k^2)(\epsilon_2/J_1)^2\{E/k\}\{4-3(E/k)-2k^2\}+k^2-1\} (7)$$

すなわち、式(7)から波の進行方向に向う非周期成分が存在する。mass flux は次式となる。

$$\partial/\partial x \int_0^h U dz = (1/Th) \int_0^T \int_0^h (U/\sqrt{gh}) dz dt + (1/Th) \int_0^T \int_0^h (U/\sqrt{gh}) dz dt = (1/6k^2)(\epsilon_2/J_1)^2\{E/k\}\{4-3(E/k)-2k^2\}+k^2-1\} + (1/3k^2)(\epsilon_2/J_1)^2\{E/k\}\{4-3(E/k)-2k^2\}+k^2-1\} (8)$$

3. 新波浪水槽および実験方法 一般に波に伴、て質量輸送が生じるので、両端を閉じた従来の波浪水槽では、水槽端部による質量輸送に対する拘束のために水位変化が生じ、波の進行方向と逆向きの質量輸送に相当したもどり流れが発生すると考えられる。したが、て、少なくとも定形波の実験を行なう場合には、単に波形の一様性のみならず、前述したもどり流れのような二次的流れが発生しないようにして、質量輸送の一様性をも確保することが必須となる。このために、本研究ではこれら2つの条件を同時に満足できる波浪水槽を新たに製作することにした。まず、図-1 に示すように、両端を開口した波浪水槽

(0.65X0.5X33m)を扇形平面水槽内に設置し、水槽端部による質量輸送に対する拘束をなくし、かつ造波側および消波側での水位を一定に保つことにした。さらに、波の質量輸送に伴う水の移動を可能とするために、造波機付近を図-2に示すように改造するとともに、消波側についても同様の観点から消波装置を工夫して、前述した2つの条件を満足できる水槽とした。波の計測は、造波機側より約22mの位置から3台の極電線式波高計を2.113m および2.018mの間隔で配置して行なう。このことは、つぎの点に留意したためである。まず、記録紙の読み取り誤差を0.5mmとすれば、レコーダーの紙送り速度が25mm/secのとき、波速の測定誤差を1%未満とするためには、波高計間隔は約200cmとなり、また木架の波速に及ぼす影響から、水槽設置の可能性を加味して波高測定区間の水槽底の水準誤差を木架10cm~15cmに比して10.2cmとすることにした。また、波の質量輸送の測定は、直径約0.8cmの中立粒子を用いて行なう。

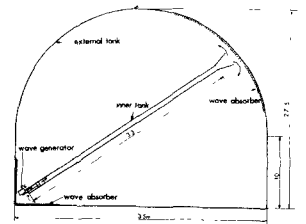


図-1 新波浪水槽平面図

4. 実験結果と考察 波形と質量輸送の一樣性に主眼をおいた水槽を用いて実験を行なう。だが、実験結果がそれら2つの条件を満足していることを確認しておく必要がある。このため、波

の非対称性の指標として図-3に示すABを定義し、AB、波速および質量輸送速度の時間的変化を求め、前述した2つの条件が満足されるのは、これらが定常になることであるとして、定常状態での値を実験値として採用することにした。しかし、若干の反射波や波の不安定性の影響によって、十分波の対称性が満たされない場合もあり、質量輸送はまだ定常になっていないが、波形が対称である場合をとりあげることとし、ABが1.0以内にある波を実験値として採用することにした。図-4は実験結果と前述のクノイド波理論との比較を示したものである。

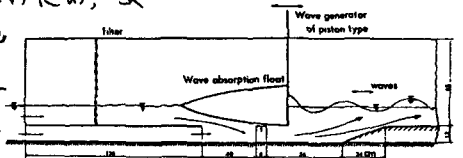


図-2 新波浪水槽底波高計構造図

図中C-A-Eは式(5)、C-A-2は式(5)中の ζ_2 を第3項まで展開して近似した式、C-2-1は式(2)およびC-2-2は式(4)を示す。実験結果は著者の理論曲線とまねてよく一致しており、 $h/H > 6$ では実験値が若干小さくはなっているが、水深・波高比 h/H が小さい図-3 波形の非対称性

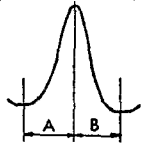


図-4は実験結果と式(6)による理論曲線との比較を示したもので、実験結果のバラツキが大きいけれども、その傾向は大体一致していると考えられるが、さらに多くの実験値との比較が必要である。

5. 結 語 クノイド波の波速・質量輸送について考察するとともに、新波浪水槽を製作して若干の実験を行ない、 $T/gH=10$ の場合の理論結果の適用性を明らかにしたが、なお系統的な実験を追加して議論時に述べるつもりである。

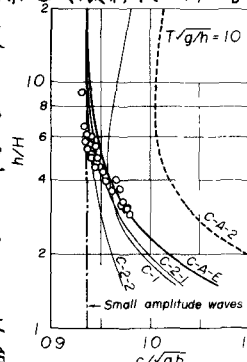


図-4 波速に関する実験結果と理論曲線との比較

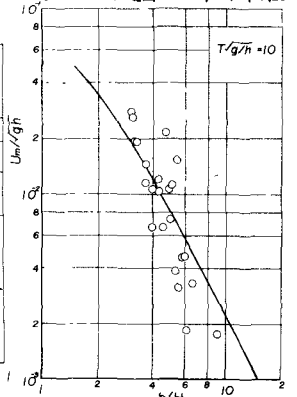


図-5 質量輸送に関する実験結果と理論曲線との比較