

京都大学所炎研究会 正会員 土屋義人

" " 安田孝道

京都大学文理院

山下隆男

1. 緒言 沿岸流などの波浪に伴う水理現象を問題とする場合、港湾での波浪の特性の解明がますます重要となるが、特に有限振幅波の特性の解明は今やめて重要な問題となる。このことから、著者らは数年来、有限振幅波理論に関する研究を行ってきた。ここでは有限振幅波の特性を解明するため、従来用いられてきた波浪水槽の問題点を検討した新波浪水槽を試作し、波速および質量輸送速度に関する実験を行い理論と比較検討したので、その結果について述べる。

2. 有限振幅波の波速・質量輸送速度 現在一般に用いられているStokes流の有限振幅波理論は、式(1)および(3)に示されるStokesの波速の定義を付加条件として展開されている。ところで、これら2つの付加条件はいずれも流体運動の内部を拘束している。しかし、こ、いすれの定義を用いるかによって、波速のみならず木造子速度や質量輸送速度まで相異することになる。式(2)および(4)はそれぞれオイ定義およびオイ定義を用いて、LaitoneおよびLe Mehauteによて求められたクノイド波の波速および質量輸送速度 U_m を示したもので、波速の定義による相異が明らかとなる。式(1)。

$$\text{Stokesの波速の} \alpha_1 \text{定義: } (C/\sqrt{h})_I = (1/T) \int_0^T \{(U+c)/\sqrt{h}\} dt, \quad (1/T) \int_0^T U dt = 0 \quad (1)$$

$$(C/\sqrt{h})_I = 1 + (1/2k^2)(H/h)\{2-3(E/k)-k^2\} + (1/40k^4)(H/h)^2(E/k)\{25(E/k)-23k^2+40\} - (1/120k^6)(H/h)^3(33k^4-113k^2+98) \quad (2)$$

$$(U_m/\sqrt{h})_I = \{[C/\sqrt{h}]_I / 24k^2\}(H/h)^2\{[E/k](2-k^2)+13k^2-10\}, \quad h/h_c = 1 + (H/h)(h/m)(E/k+k^2-1) + (1/4k^2)(H/h)^2\{[E/k](k^2-2)-2k^2+2\} \quad (3)$$

$$\text{Stokesの波速の} \alpha_2 \text{定義: } (C/\sqrt{h})_I = (1/T_h) \int_0^T \{(U+c)/\sqrt{h}\} dt, \quad (1/T_h) \int_0^T U dt = 0 \quad (3)$$

$$(C/\sqrt{h})_I = 1 + (1/2k^2)(H/h)\{2-3(E/k)-k^2\} - (1/40k^4)(H/h)^2(E/k)\{83(E/k)+15k^2-90\} - (3/20k^6)(H/h)^3(k^4-6k^2+6), \quad (U_m/\sqrt{h})_I = 0 \quad (4)$$

ここに、Eおよびk; それぞれオイ種およびオイ種完全積円積分, k; その母数, T; 周期, H; 波高, h; 平均水深, m; 波の合での水深, z; 平均水深からの水位変動, U; 水平水粒子速度, およびC; 波速である。このような従来の有限振幅波理論の欠陥は、單に理論上の問題としてではなく、沿岸海域における漂砂などの輸送機構の解明にも大きな影響を及ぼすことはいうまでもない。一方、最近著者らが提案した新しいクノイド波理論では、流体運動の内部に対して専ら附加的拘束条件を与えることなく、水面変動のみで表示した運動方程式の特性曲線によつて波速が一義的に決定されているので、前述した問題点は解消されている。著者らの理論によれば、波速はオイ次近似解で次式で表わされる。

$$C/\sqrt{h} = 1 + (N/2k^2)\{3(E/k)+k^2-2\} + (1/40k^4)(45(E/k)\{3(E/k)+2k^2-4\} + 19k^4 - 64k^2 + 26) \quad (5)$$

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

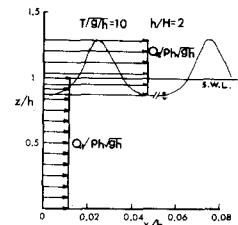
$$U_m/\sqrt{h} = (1/6k^2)\{1+2(\sqrt{h}/C)\}[-(E/k)\{3(E/k)+2k^2-4\}+k^2-1] \quad (6)$$

一方、この理論の大きさの特長として、Euler座標での1周期平均速度が存在し、次式で表わされる。

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

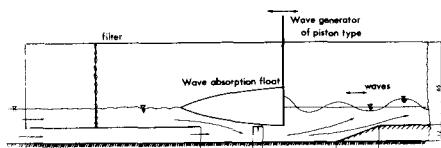
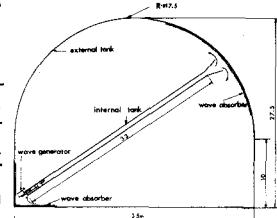
すなわち、式(1)から波の進行方向に向う非周期成分 \bar{U} が存在することがわかる。これと関連して、mass flux (J) $Q_1/\sqrt{h} \bar{U} = Q_1/\sqrt{h} J_F$, $Q_2/\sqrt{h} \bar{U} = (1/T_h) \int_0^T (U/\sqrt{h}) dt + (1/T_h) \int_0^T (U/\sqrt{h}) dt = (1/6k^2)\{-(E/k)\{3(E/k)+2k^2-4\}+k^2-1\} + (1/3k^2)\{-(E/k)\{3(E/k)+2k^2-4\}+k^2-1\}$ で表わされ、これ日図-1に示すように鉛直分布をもつことがわかる。

3. 新波浪水槽 波水槽での有限振幅の定形波の実験を行つ場合に必須はこと、有限振幅波の波形の一様性のみ



(1) 図-1 mass fluxの鉛直分布

反らす、波に伴う質量輸送の一様性を確保することである。このような場合、従来のよう正弦運動による造波装置によって発生する波は正弦波としてその波形正確性を保つことができますが、solitonsに分裂し再び安定な波に変形していくので、定形波の発生が困難となる。それ故、(1)イド波の水位速度に対する運動エネルギー板に与えられるように特殊力を利用して初期の有限振幅波を発生させることにした。一方、両端を開じた従来の水槽では、波に伴う質量輸送によって、水槽端部で質量輸送を拘束する反対に水位変化が生じ、波の進行方向と逆向きのものより流れが発生すると考えられる。したがって、図-2に示すように、両端を開口した波浪水槽($0.85 \times 0.5 \times 33$ m)を扇形平面水槽内に設置し、水槽端部で質量輸送を拘束しないようにし、造波側および消波側での水位を一定に保ち、もどり流れのよう向2次的の流れの発生を防ぎ、一様性を確保することにした。そのため、さらに造波装置附近を図-2に示すように改造して質量輸送に対する流入可能面を用いてとともに、水槽下流端にはより工夫して消波装置を設置して、更によく輸送されてきた水が直線的に水槽外に流出できるようにした。波の計測は、波速の測定誤差を $\pm 1\%$ 未満とするため、記録紙の読み取り誤差が 0.5mm でレコーダーの秒送り速度が 25mm/sec であることから、波高計を 2.11m および 2.02m の間隔で設置して行った。また、水深の図-2 新波浪水槽平面図



4. 実験結果 図-4は波速に関する実験結果と前述の(1)イド波理論との比較を示したものである。図中C-A-Eは式(5), C-A-

図-3 新波浪水槽造波部構造図

2は式(5)の入る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。実験結果は著者らの理論曲線と比較してよく一致していることがわかるが、これは前述したよう新波浪水槽により質量輸送の一様性を保ち、有限振幅の定形波の伝播速度を測定したためと思われる。このことは、一方で水槽端部閉じて従来の水槽での実験結果が若干小さく現れて、波速の定義を用いた理論によく適合することを説明するものと思われる。また、 $h/H > 6$ では実験値が理論曲線よりも若干小さくなることがあるが、水深・波高比の減少とともに無次元波速 c/gH が増大する傾向がよく現れている。図-5は質量輸送に関する実験結果と式(6)による理論曲線との比較を示したもので、実験値のバラつきを考慮して大きいけれども、そのオーダーや傾向は理論曲線と一致していると考えられる。

5. 結語 以上、有限振幅の定形波の特性を突き明かすために、主として新しい(1)イド波理論の適用性について検討した。その場合、従来の波浪水槽の問題点を指摘して新しい方式の波浪水槽を提案し、実験結果の一例を示して著者らの理論の適用性を明らかにした。さらに追加すべき実験結果についても、その議論時に述べる。

なお、本研究は財團研究(代表者 阪大根木亨教授)による成果の一部であることを付記する。

参考文献

- 1)土屋義人・安田孝志:新しい(1)イド波理論の試み,
第21回海岸工学講演会論文集, 1974, pp. 65~71.

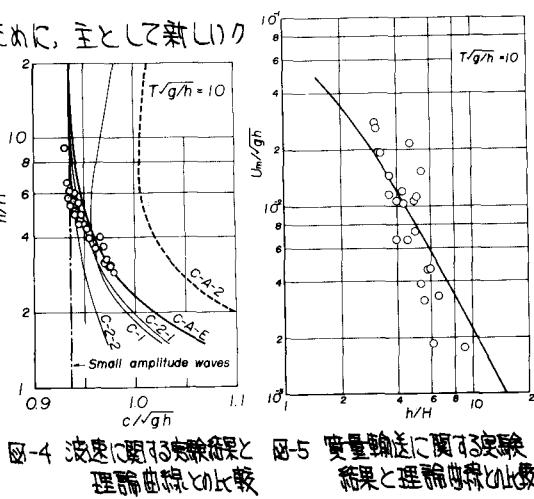


図-4 波速に関する実験結果と理論曲線との比較
図-5 質量輸送に関する実験結果と理論曲線との比較