

II-269 波に及ぼす流れの鉛直分布の影響

(財)電力中央研究所 正会員 榊山 勉、牛島 省

1. はじめに 河口部や放水口前面の水域を波が遡上する場では波と流れの干渉により波高が増大し、波長が減少することが知られている。一方では、波が流れを遡上しながら波高が減衰することも観察されている。この様な両者の現象を扱うためには、粘性を含む非線型の運動方程式を支配方程式として解析を行う必要がある。これまでの波と流れの相互干渉に関する研究では、粘性の影響が考慮されていなかったり、線型理論の扱いや一様分布を仮定した定常流と線型波を扱ってきたものが多い。そこで、本研究では波と流れの非線型効果や定常流の鉛直分布の違いが波に与える影響を調べるために数値実験を行った結果を報告する。

2. 数値計算 数値計算法としてMAC法を取り上げた。解析法は2次元Navier-Stokes方程式を支配方程式とし、連続の方程式とから導かれる圧力に関するポアソンの方程式をSOR法で解く。ここでは、移流項はドナーセルで表した。また、水面における境界条件の扱いにおいては、力学的条件を厳密に満足させるためにirregular starを採用した¹⁾。運動学的条件には、particleを用いず、Lagrangian-Eulerian法を採用した。また、底面での境界条件はフリースリップとした。入射境界では非線型効果を出すためにStokes波の第5次近似解²⁾を与えた。定常流分布は右端境界で与え、計算領域内に流入する流量に相当する流量を図-1に示すように入射境界から1.5波長離れた所で0.5波長の区間で底面から流出させ、計算領域全体の水量を一定に保った。計算は、先ず定常流を計算し、波と流れ共存場での初期値としてこの定常流分布を与えた。その後、左端境界から波を与え、右端境界まで波が伝播するまで計算を行った。計算領域は水平方向に入射波の波長の10倍とした。計算条件を表-1に示す。計算時間間隔は $\Delta t = T/200 = 0.01s$ で、メッシュ間隔は $\Delta x = L_1/50 = 0.0825m$ 、 $\Delta z = h/12 = 0.0417m$ である。流れの鉛直分布の違いや流量による波高、波長の変化を調べるために一様分布、1/2乗分布、台形分布の3種類の流速分布について流量を流量比 $Q/(Ch) = 0.025$ から0.15までの範囲で与えた。ここに、 C は入射波の波速である。

3. 計算結果 (1)波長、波高の変化 流量の違いによる波長 L 、波高 H の変化をそれぞれ図-2、図-3に示した。縦軸は流れがない場での波長 L_1 、波高 H_1 で無次元化してある。波長は2地点の水面波形の時系列よりクロススペクトルを求め、フェイズから計算した。図中には一様流速分布の場合の線型理論の結果を点線で示した。波長比は流量比の小さいところでは流速分布の違いや線型理論との差はあまりないが、流量比が0.1以上になると流速分布の違いによる影響が顕著になってくる。また、波高比は流量比が0.05位から流速分布の違いによる影響や線型理論との差が現れてくる。このように、波に及ぼす流れの鉛直分布の影響は同一流量の場合、表面速度が大きいくほど強くなること³⁾が再現された。(2)流速場 図-4に流量比 $Q/(Ch) = 0.1$ の場合の計算結果から、波峰、波谷、静水位近傍における水平流速成分の鉛直分布を示した。図-4(b)、(c)にみられるように波峰時に水平流速が定常流成分によりキャンセルされるため、水位の中程で最小値が現れる。流量比0.15の場合においては波峰時においてさえ負の流速が現れる現象がみられた。(3)内部粘性への影響 波が流れを遡る場のもうひとつの特徴的な現象として、波の伝播に伴う波高の減衰が挙げられる。この一要因である内部粘性によるエネルギー損失は渦度を用いて次式で表される。

$$\Phi = \mu \left\{ \left(\frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 - 4 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{\partial u}{\partial z} \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right\} \quad (1)$$

波と流れの共存場では運動は回転的であるから、上式の第一項は0にならないが、これまでこの項は無視されてきた。図-5に式(1)の第一項と第二項との比較を示した。一波長のうち左半分が渦度を表す第一項、右半分が第二項の分布を表す。一様分布の場合の計算結果では渦度の項は極めて小さい。第二項についても一様分布の場合に比べて速度勾配をもつ1/2乗分布や台形分布の場合の方が大きい。図-5から内部粘性によるエネルギー消滅への第一項渦度の寄与は第二項の 10^{-1} オーダー程度であるものと推定され、波高の評価に考慮する必要がある。

4. おわりに 今後は、波高減衰を精度良く評価するために数値計算法を改良すると共に、水理実験による検証を行う予定である。**〈参考文献〉** 1) R.K.C. Chan and R.L.Stretet:A computer study of finite-amplitude water waves, J.Comput. Phys.6,1970. 2) 磯部雅彦ら：保存波の摂動解の波高による表示、第33回年次講演会概要集、Ⅱ、1978. 3) 堺ら：二層流上の波の浅水変形、第31回海講論文集、1984.

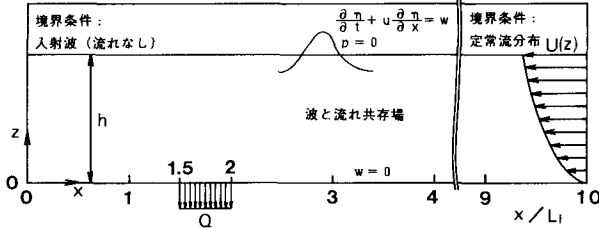


図-1 計算領域と境界条件

表-1 入射波条件（流れなし）

水深 h (m)	周期 T (s)	波高 H_1 (m)	波長 L_1 (m)
0.50	2.0	0.15	4.13

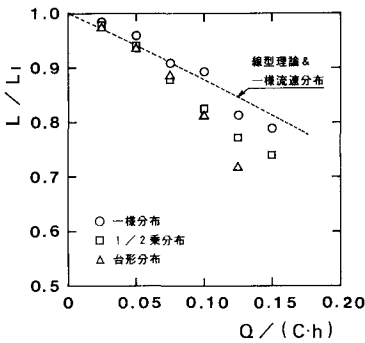


図-2 波長の変化

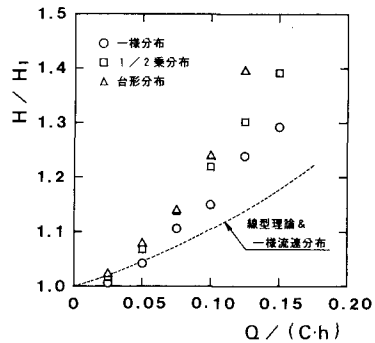


図-3 波高の変化

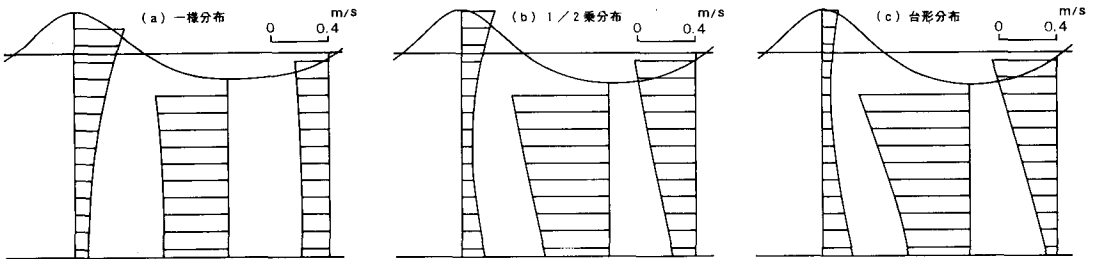


図-4 波・流れ共存場における水平流速分布（流量比 $Q/(Ch) = 0.1$ ）

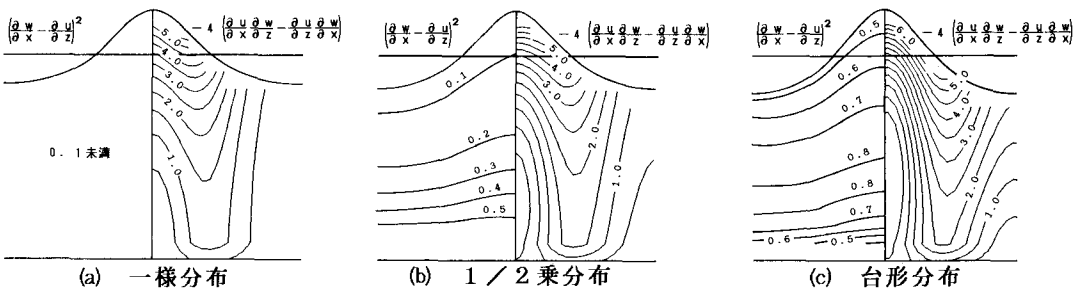


図-5 内部粘性によるエネルギー損失への寄与（流量比 $Q/(Ch) = 0.125$ ）