

有限振幅波と複列構造物との非線形干渉

九州大学○学生員 杉尾俊治

九州大学 正 員 村上啓介

九州大学 正 員 吉田明徳

1. まえがき 著者らは昨年度の当研究発表会および海岸工学講演会において、有限振幅波(ストークス2次)と任意断面2次元構造物との非線形干渉効果をグリーンの公式を用いた常問題として解析する方法⁽¹⁾を示した。本文は、海底に設置された半円形構造物を例に、単一構造物の場合と複列の場合についての解析を行って、構造物による波の変形および構造物への作用波力の非線形効果について調べたものである。また、あわせて仮想境界面位置や要素分割等による解の安定性についての検討を行った結果についても述べている。

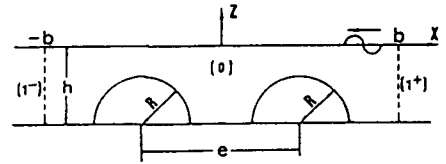


図-1 複列半円構造物

2. 解析結果と考察 図-1に示すように、水深hの海域にある半径0.7hの半円構造物(単体あるいは2列設置)に対し、2次のストークス波(角周波数 σ 、波数k、1次の振幅 a)が入射するものとし、仮想の境界面($x = \pm b$)によって流体域を内域(0)と外域(1⁺), (1⁻)に分割する。外域(1[±])における2次のポテンシャルの倍周波数成分 $\phi^{(2)}$ はそれぞれ次の形で表される。

$$\phi^{(2)} = A^{(2)} e^{-ik^{(2)}z} Z(k^{(2)}z) + ia_s \{e^{i2kz} + A^2 e^{-i2kz}\} + ib_s A \quad (1)$$

$$\phi^{(2)} = B^{(2)} e^{ik^{(2)}z} Z(k^{(2)}z) + ia_s B^2 e^{i2kz} \quad (2)$$

上式で、A, Bはそれぞれ1次解の反射波と通過波の入射波に対する振幅と位相を表し、 $A^{(2)}$, $B^{(2)}$ が、倍周波数 2σ の分散方程式より決まる波数 $k^{(2)}$ をもつ自由波の振幅を表す。一方、堤体に作用する流体圧の倍周波数成分は1次のポテンシャル ϕ と2次のポテンシャル $\phi^{(2)}$ より

$$P^{(2)} = -i2\phi_{(x,z)}^{(2)} - \frac{1}{4k \left(\frac{e^2}{g}\right)} \{\phi_x^2 + \phi_z^2\} \quad (3)$$

で与えられるから、これを堤体表面で積分することにより、堤体に作用する水平及び鉛直波力の倍周波数成分 $F_x^{(2)}$, $F_z^{(2)}$ が得られる。

図-2は、複列堤体の場合について仮想境界面($x = \pm b$)を $b/h = 2.0 \sim 8.0$ まで7通り変化させたときの解の変動の程度を自由波の振幅 $B^{(2)}$ について示したものである。 $b/h \geq 4.0h$ (堤体の端から2.1h)程度であれば、仮想境界面の位置による解の変動は最大でも数%以下で安定した解が得られる。ここに示してはいないが、堤体への作用波力についても同様である。複列設置した場合との比較のために、単一堤体についての1次のオーダー($O(\epsilon)$)の反射波Aと通過波Bおよび2次のオーダー($O(\epsilon^2)$)の自由波 $A^{(2)}$, $B^{(2)}$ を図-3に示している。 kh が0.3以下の長波長域では、 $A^{(2)}$

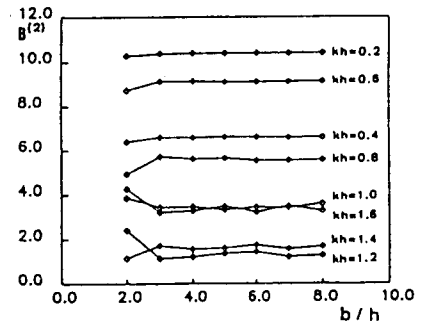


図-2 仮想境界位置による解の変動

, $B^{(2)}$ とも急激に増大するが, $\varepsilon (=K\zeta_0)$ で振動展開するストークス波の適用は, ほぼ, $kh > 0.3$ であることを考慮すると, 単一堤体の場合には, 反射側への自由波の発生はほとんどなく, 通過波側における自由波の成分も, 基本周波数成分に対してそれほど大きくないことがわかる。ここには示していないが, 波力についても同様であり, $kh > 0.5$ では, $0(\varepsilon^2)$ の波力成分 $F_x^{(2)}$, $F_z^{(2)}$ とも $0(\varepsilon)$ の波力 $F_x^{(1)}$, $F_z^{(1)}$ に較べ小さく, 作用波力は $0(\varepsilon)$ の波力で決まることになる。

図-4は, 堤体を2列設置(中心間隔2.4h)した場合について, A, Bおよび $A^{(2)}$, $B^{(2)}$ を示したものである。これに対応する波力については後列(通過側)の堤体に作用する $0(\varepsilon)$ の波力 $F_x^{(1)}$, $F_z^{(1)}$ と $0(\varepsilon^2)$ の波力 $F_x^{(2)}$, $F_z^{(2)}$ を図-5に示している。図-3と図-4を比較すると, 単一堤体と複列堤体の場合には発生する自由波の大きさとその周波数特性が両方で大きく異なったものになることがわかる。図-4によると $kh = 0.5 \sim 0.8$ では, $B^{(2)}$ がBとほぼ同程度のオーダーになり, 通過側の水面波形に2倍周波数の自由波成分が大きく寄与することになる。反射側においても, 単一堤体に較べると自由波の成分は大きく, 特に, $kh = 0.5$ 近傍では, 反射側の水面波形は倍周波数成分が卓越したものになることがわかる。

図-5の波力を見ると, $kh = 0.8$ 以上の高周波数域では, $0(\varepsilon^2)$ の波力成分は無視できる程小さく, 作用波力は $0(\varepsilon)$ の波力で決まるが, $kh = 0.3 \sim 0.8$ では $0(\varepsilon^2)$ の波力成分は, $0(\varepsilon)$ の波力成分と同程度のオーダーとなり, また, 単一堤体においては余り問題とならない $kh = 0.5 \sim 0.8$ 付近の波に対しても無視できなくなる。

図-6は, 2列の堤体の間隔 e を $e/h = 0.25, 0.5, 1.0, 2.0$ と4通りに変化させたときの, 通過側の $0(\varepsilon^2)$ の自由波の振幅 $B^{(2)}$ を示している。堤体間隔によって, $0(\varepsilon^2)$ の成分の周波数特性は大きく変化し, ここには示していないが, 作用波力も $kh = 0.3 \sim 0.7$ 近傍で大きく異なったものとなる。

3. あとがき 本文では半円形構造物についてのべたが, 種々の形状の構造物についても解析を行っておりこれらの結果については発表会の際に述べたい。また, 解析法は斜め入射波や, 2個以上の周波数成分を含む入射波に対しても拡張することができ, これらについても検討を行っている。

参考文献

(1) 吉田, 村上, 小島, 鶴本: グリーン公式による有限振幅波の定常境界値問題解析法, 第36回海岸工学講演会論文集, 1989年

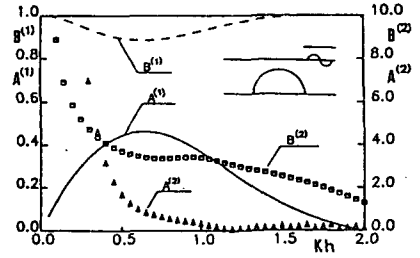


図-3 1次および2次のポテンシャルの未定係数(単一堤体)

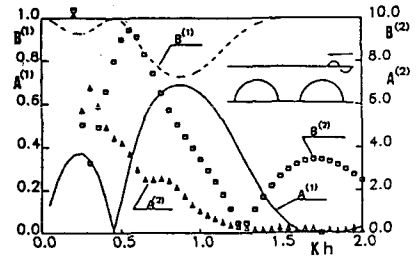


図-4 1次および2次のポテンシャルの未定係数(複列堤体)

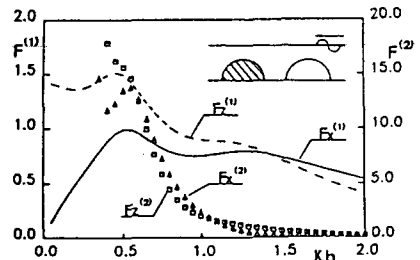


図-5 後列堤体に作用する1次および2次の波力

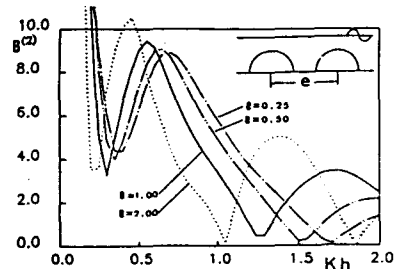


図-6 堤体の間隔 e による自由波の振幅 $B^{(2)}$ の変化