

防波堤開口部に設置したResonatorによる回折波高の低減化について

大阪大学工学部	正会員	樺木 亨
神戸商船大学	正会員	久保雅義
大阪大学工学部	正会員	○青木伸一
大阪大学大学院		Jose Avitia

1. まえがき Resonatorとは波の共振現象を利用した位相干渉効果によって反射あるいは透過波高を低減させようとする装置であり、Valembos(1953)によって最初に提案された。その後いくつかの研究があるが、これらはいずれも水路内に設けられたResonatorを対象としたものである。本論文は防波堤開口部に設置したResonatorの効果、すなわち回折現象に及ぼす影響を数値計算によって調べるとともに、水理実験により検証を行ったものである。

2. 計算手法 今回用いた手法は、港内の波高分布を算定する際によく用いられるGreen関数を使った領域分割法を任意形状をもつ防波堤開口部からの回折問題に拡張したものである。すなわち図-1に示すようにその先端の形状が任意であるような防波堤を考え、その防波堤によって分割される領域を外海領域(Region I)、港口部領域(Region II)、港内領域(Region III)の3つに分け、それぞれの領域における速度ポテンシャル $\Phi_I, \Phi_{II}, \Phi_{III}$ をその境界上でのboundary conditionを満足するように決定する方法である。各領域でのポテンシャルは水深 h を一定とすると次式で表わせる。

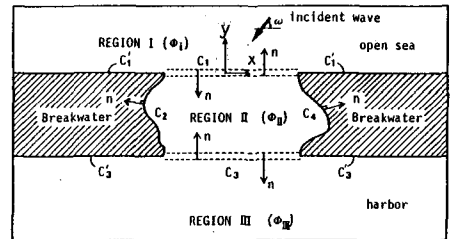


図-1 分割領域と境界

$$\Phi_I = \frac{g\zeta_0 \cosh kh(h+z)}{i\sigma \cosh kh} (f_0 + f_1) e^{-i\sigma t} \quad \text{-----(1)}$$

$$\Phi_{III} = \frac{g\zeta_0 \cosh kh(h+z)}{i\sigma \cosh kh} f_{2(3)} e^{-i\sigma t} \quad \text{-----(2)}$$

ここに ζ_0 は入射波振幅、 f_0, f_1, f_2, f_3 は wave functionであり、 f_0 は入射波と反射波のみによるもので入射波を $\zeta_I = \zeta_0 \exp[-i(kx \cos \omega + kysin \omega + \sigma t)]$ -----(3) で表わすと次式で与えられる。

$$f_0 = 2 \cos(kysin \omega) e^{-ikx \cos \omega} \quad \text{-----(4)}$$

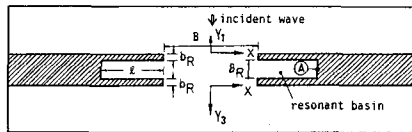
f_1, f_2, f_3 はそれぞれ境界条件を満足するように Helmholtz の方程式 $\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + k^2 f = 0$ を解くことによって求められるが、このとき Green 関数を用いて Helmholtz の方程式を積分方程式の形に書き直す。例えば f_2 に関しては次のように表わされる。

$$f_2 = -\frac{i}{4} \int_{C_1+C_2+C_3+C_4} \{f_2 \frac{\partial H_0^{(1)}(kr)}{\partial n} - H_0^{(1)}(kr) \frac{\partial f_2}{\partial n}\} ds \quad \text{-----(5)}$$

ここに $H_0^{(1)}(kr)$ は0次第一種の Hankel 関数である。

また境界条件としては C'_1, C_2, C'_3, C_4 上では法線方向の流速がゼロであること、 C_1, C_3 上では隣接する領域における法線方向の流速と圧力が連続していること、さらに無限遠方では散乱波は消えるという radiation condition を満足していることが要求される。また実際の計算では各境界を適当な長さの Mesh に分割して数値的に解く。本計算方法の検証のために、防

波堤の幅を小さくして回折係数を計算し、厳密解と比較したが十分な精度で計算できることが確認された。



3. 計算結果 図-3には 図-2 港口部 Resonator 波長と港口幅の比 $L/B=2.2$, 堤幅と港口幅の比 $b/B=0.15$ の場合の波高分布を、また図-4には図-2に示すような長方形の Resonator を防波堤先端部に設置した場合 ($L/B=2.2$, $l/B=0.5$, $B_R/B=0.08$, $b_R/B=0.03$) の波高分布をそれぞれ示している。図-4は Resonator 内での共振が最も大きくなる場合であるが、回折係数は図-3と比べると著しく小さくなっていることがわかる。しかし逆に外海領域では波高が大きくなっている。図-5は図-4と同一条件で Resonator からの散乱波のみをとり出して示したものであるが、これより散乱波は図-4の回折波と類似した波高分布を示しており、図-3の回折波と図-5の散乱波の位相干渉によって図-4のように回折波高が低減していることが認められよう。

4. 水理実験による検証 実験は平面水槽を用いて $B=60\text{cm}$, $B_R=5\text{cm}$, $l=30\text{cm}$, $b_R=2\text{cm}$, $h=10\text{cm}$ の条件 (図-4と同一条件) で行った。図-6は入射波長を種々変えて行った実験における $X/B=0$, $Y_2/B=1.33$ の点 (図-2参照) での回折係数 (Resonator を設置した場合 (●) としない場合 (○) の両方) を計算結果と対比して示したものである。これより計算値は実験値を十分説明できておらず、実験では Resonator の効果は極めて小さいことがわかる。図-7は Resonator の奥④点 (図-2参照) での応答を示したものであるが、実験においては計算のように顕著な共振が発生していない。この差異が原因で図-5に示すほど Resonator からの散乱波が大きくなり、十分な干渉効果が発揮できていないため、Resonator の効果が小さいと思われる。この共振の発生しない原因としては、Resonator mouth での渦の発生によるエネルギー逸散などが考えられるが明らかではない。

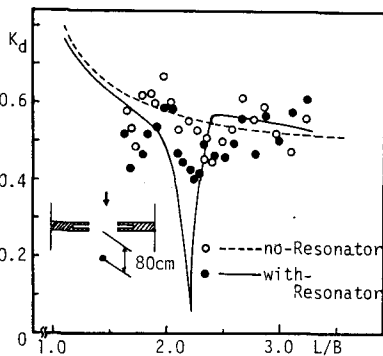


図-6 回折係数の変化

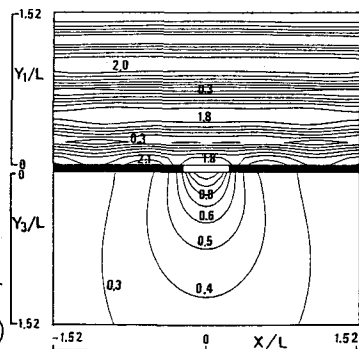


図-3 防波堤開口部からの回折

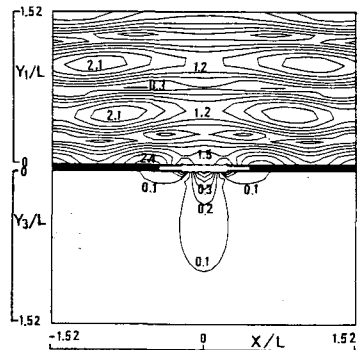


図-4 Resonatorを設置した場合

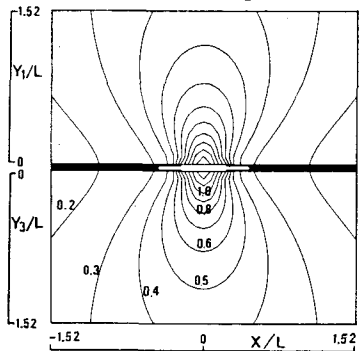


図-5 Resonatorからの散乱波

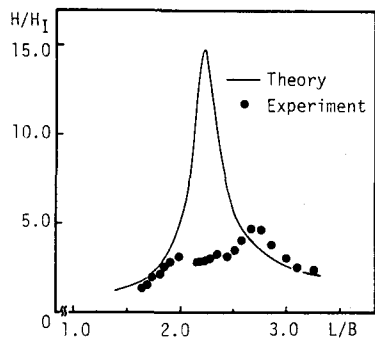


図-7 Resonator内での応答特性