

川崎重工業 正員 坂井藤一

〇月岡康一

1. まえがき

レゾネータに関する研究はあまりなされていないが、Valenbois (1953)¹⁾は図-1のEX1, EX3およびいくつかのレゾネータを組み合わせたモデルで実験を行い、また最近ではJames (1968~1970)^{2,3)}はそれをさらに発展させレゾネータ形状、水路幅と共振波長の関係を実験的に求めるとともに水深の影響も検討し実用化のためのデータを提供している。Jamesは特殊な場合についてのみ解析解を求めて

いるが、一般

的な場合の解

析はまだ行わ

れていないよ

うである。

ここでは有限要

素法(FEM)による解析を試みることにする。FEMの特徴から明らかのように解析は任意形状および任意水深に対して可能であるが、ここではレゾネータの基本的特徴を把握すること、そして従来の研究との比較を通じてFEM解析の有効性を確かめることを目的としたので単純形状で一様水深の場合を扱うこととした。また解析領域が閉じていない場合を扱う必要が生じてくるが、その場合には仮想的な境界を設けることにより無限領域を閉じた領域として扱い得る。

2. 基礎方程式

非圧縮、非回転の完全流体における微小振幅波動を平面2次元的に取り扱うことにする。 η を水面高、 h を水深、 C を波速、 k を角波数として ω を角速度とする。いま x 方向成分のみ考えると波動方程式は次式で与えられる。

$$\eta_t + C(x) \cdot \eta_x = 0 \quad (1)$$

ここで波速 $C(x)$ は次式で与えられる。

$$C(x) = g/k(x) \cdot \tanh(k(x) \cdot h) \quad (2)$$

現象が時間に関して調和であるとするとき

$$\eta = (\eta^c + i \cdot \eta^s) \cdot e^{-i\omega t} \quad (3)$$

と複素表示できる。これを用いると(1)式は次のようになる

$$\eta_x^c \pm k(x) \cdot \eta^s = 0 \quad (4)$$

$$\eta_x^s \mp k(x) \cdot \eta^c = 0 \quad (5)$$

y 方向成分についても同じような関係が成立するので、これらに対して停留=乗積関数⁴⁾を導入する。

$$J = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \{ (\eta_x^c \pm k(x) \cdot \eta^s)^2 + (\eta_y^c \pm k(y) \cdot \eta^s)^2 - (\eta_x^s \mp k(x) \cdot \eta^c)^2 - (\eta_y^s \mp k(y) \cdot \eta^c)^2 \} dx dy \quad (6)$$

この停留条件 $\delta J = 0$ は、Helmholtz方程式と境界条件を与える。

ところで仮想境界はSommerfeldの放射条件

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \cdot (\eta_r \mp i k \eta) = 0 \quad (7)$$

が成立する点に設けられるものであり、(6)式から

$$k_x^2 + k_y^2 = k^2 \quad (8)$$

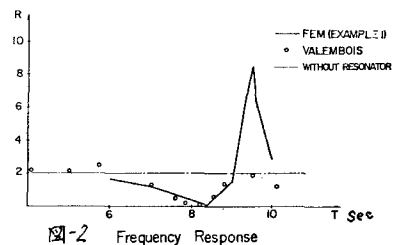
の関係を利用して得られた境界条件が相当する。

3. レゾネータ解析

図-1に示すようなEX1, EX2, EX3のモデルを対象としメッシュ分割を行った。

EX1は、行き止まりになっている水路にレゾネータを設けた場合であり、これはValenboisが実験を行ったモデルである。

FEMと実験値を比較してみたのが図-2である。縦軸



R は H_{η}/H_E であり横軸 T は入射波周期である、これをみると全体として同じ傾向を示しているが、 R の最大

値はFEM値の方がかなり大きな値をとっている。これは実験値では粘性や渦によるエネルギー損失が大きいためであると思われる。無限に長い水路の場合(EX.2, レゾネータ長18m)の共振特性を $R = H_1/H_2$ によって図-3に示した。これによると $T = 7.22 \text{ sec}$ (波長 $L = 7.2m$)

において透過率は最小値、

0.08をとるが、

この時レゾネータの長さ

は $L/4$ であり

幅は $L/2$ とな

っており Valenbois の得た結果と一致している。EX.3はEX.2のモデルのレゾネータを2分割した場合である。共振特性を $R = H_1/H_2$ で図-3に示した。

次にレゾネータ振動を水面形から検討するため等波高線図を図-4に示す。

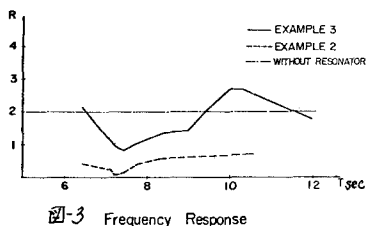


図-3 Frequency Response

くなっている。

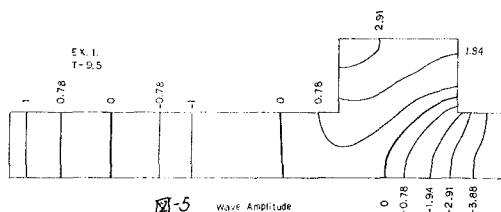


図-5 Wave Amplitude

4 あとがき

いままです実験的にしか扱われていなかったレゾネータをFEMによって解析することが可能であることを示した。

最後に京都大学岩垣雄一教授にレゾネータについての有益な御教示をいただいたことを記し、ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) Valenbois, J.: Investigation of the Effect of Resonant Structures on Wave Propagation, Pros. Min. Intern. Hydraulics Convention, Sept. 1953, pp 193~199
- 2) James, W.: Rectangular Resonators for Harbour Entrances, Conf. on Coastal Engineering, Aug. 1968, pp. 1512-1530
- 3) James, W.: An Experimental Study of End Effects for Rectangular Resonators on Narrow Channels, J. Fluid Mech. 1970, vol. 44, Part 3, pp 615-621
- 4) 坂井藤一: 任意の開水路における波動のFEM解析, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 昭和49年

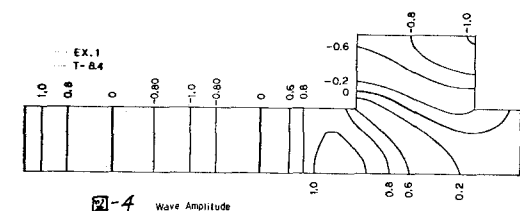


図-4 Wave Amplitude

これはレゾネータが最も有効な場合でありEX.1, であるが最小となっている時の波高分布である。レゾネータとその手前の水路が一体となって振動していることがわかる。試みにレゾネータとその手前の水路をレゾネータ幅だけとした部分の固有周期を計算してみると 9.38 sec , となり入射波周期との差は20%未満である。すなわちレゾネータは、この部分の固有周期に近い波に対して共振現象を起し、それより先に波が進行するのを防ぐことにより効果を發揮することがわかる。EX.2についてもほぼ同様のことが言え、振動領域をうまく想定すればその固有周期を計算することにより R が最小となる周期は予想できると思われる。

一方 R の値が最も大きくなる場合の波高線図(図-5)をみると、レゾネータとその手前から先の水路が一体となり2次モードの振動をしていると思われる。この時振動領域は図-4の場合より大きくなるので共振周期も長