

## II-531

## 湾内侵入波の制御と水波投影法による観察

九州大学総理工 正員 経塚 雄策  
九州大学大学院 学生員 ○ 北野 和徳

## 1 ま え が き

光、音波、電磁波、水波、弾性波などの波動現象はすべて波動方程式によって記述されるので基本的な性質は同じであり、工学的な応用手法についても共通して成立する所が多い。水波の特徴としては分散性であることと浅海では水深によって波速が変化することなどがあげられるが、一定水深域とすればその速度ポテンシャルはヘルムホルツの方程式によって記述されるのでその波動は2次元音場のものに等しくなる。そこで、本研究では港内侵入波の制御法として、空中音の防音装置としてすでに実用化されている方法を適用した場合の問題について理論的に考察するとともに、水波投影法による散乱波の観察を行った結果について報告する。

## 2 浅水波の散乱理論

図1の座標系において一定水深( $z = -h$ )を仮定すれば、入射波の速度ポテンシャルは次式で与えられる。

$$\Phi_I(x, y, z, t) = \text{Re} \left\{ \phi_I(x, y) \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} e^{i\omega t} \right\} \quad (1)$$

ただし、 $\phi_I = e^{ik(x \cos \alpha + y \sin \alpha)}$

この領域に  $N$  個の柱状体が存在しているものとし、その平面形状を  $C_j (j = 1 \sim N)$  とすれば、(1) に対応して散乱波ポテンシャルは

$$\Phi_s(x, y, z, t) = \text{Re} \left\{ \phi_s(x, y) \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} e^{i\omega t} \right\} \quad (2)$$

で与えられ、その境界条件は次式で与えられる。

$$\frac{\partial \phi_s}{\partial n} = -\frac{\partial \phi_i}{\partial n} \quad \text{on } C_j \quad (j = 1 \sim N) \quad (3)$$

ここで、グリーンの定理を適用すれば一般に

$$\phi_s(P) = \sum_{j=1}^N \int_{C_j} \left\{ \frac{\partial}{\partial n} \phi_s(Q) - \phi_s(Q) \frac{\partial}{\partial n} \right\} G(P, Q) ds_Q \quad (4)$$

ただし、

$$P = (x, y), \quad Q = (x', y'), \quad r^2 = (x - x')^2 + (y - y')^2$$

$$G(P, Q) = -\frac{i}{4} H_0^{(2)}(kr) H_0^{(2)}(kr); \text{ 第2種ハンケル関数} \quad (5)$$

によって与えられる。ここでさらに  $\phi = \phi_I + \phi_s$  とおき

$$\phi(P) = \phi_I(P) - \sum_{j=1}^N \int_{C_j} \phi(Q) \frac{\partial}{\partial n} G(P, Q) ds_Q \quad (6)$$

とする方が解法上有利である。上式を離散化表現し、積分方程式を解けば  $C_j$  上の  $\phi$  の分布が得られ、(6) から任意位置での  $\phi$  が求められる。この時、水面変位は、次式によって計算できる。

$$\eta(x, y, t) = \text{Re} \left\{ -\frac{i\omega}{g} \phi(x, y) e^{i\omega t} \right\} \quad (7)$$

## 3 干渉型消波構造物による波浪制御

本研究で試みた波浪制御装置は図2のような形式のもので、防音装置として既に実用化されているもの<sup>1)</sup>にヒントを得た。消波原理は港口における直接波とL形構造物と防波堤の間から進入する波に経路差をつけて干渉させるもので、 $l$  として入射波の半波長を選べば逆位相となって港内への入射波を減少できるというものである。ここでは、港口中央線に対して対称となるものを考えているが実質的な港口長  $B$  に対して消波効果が最大となるように  $l, b, f, C$  などの長さを決定しなければならない。

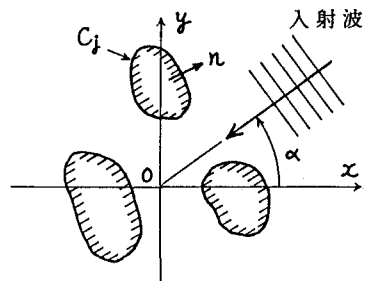


図1 座標系

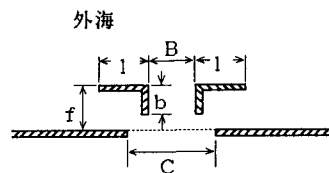


図2 消波型防波堤

#### 4 水波投影法による波紋の観察<sup>2)</sup>

図3に示すような実験装置によって港内侵入波のパターンを観察した。透明アクリル板製の浅水槽 ( $L \times B \times D = 2m \times 1m \times 0.1m$ ) の上部から点光源によって水面を照らし、床面に生ずる干涉縞をビデオカメラで収録するとともに画像信号をパソコンに取り込んで簡単な処理を行うものである。造波装置はD.C モーター駆動で低周波発振器の信号で制御される。水深は約30mmとし、入射波は波高3mm、波長は14cm $\sim$ 11cm ( $f = 3.2 \sim 3.7H_z$ ) の規則波で実験した。

図4は上述の実験装置によって求めたビデオ画像の一例で、波長 $\lambda = 12cm$  の入射波に対して図2の記号では  $l = \lambda/2, b = f = \lambda/4, B = 5cm, C = 10cm$  となっている。白く写っているところが波頂に対応しており、港内側ではうっすらと港口からのリング波がみられる。注目すべきことは、直線堤防とL型構造物の間に強い白の部分が存在していることである。波が素通りする場合にはこの部分は波の谷となるはずであるが構造物との干渉の結果、位相が逆転して大きな水面隆起となっていることになる。この結果、港内側では直接波と回折波が打ち消し合い効率の良い消波堤となっているといえる。

図5は、この実験に対応した数値計算によって求めた波紋図であり、等高線でドットがある部分は負となっている。これから、港口付近の波紋のパターンは実験と良く対応していることがわかる。

これらの例のように水波投影法による実験は波動場全体の大まかなパターンを求める上で手軽でかつ、それなりの精度がある。数値計算では定量的に詳細な情報が得られるので、この両者を組み合わせれば効率的な最適設計が可能となろう。

#### 参考文献

- [1] 干渉型防音装置カムゾン、(株)ブリヂストンIPK カタログ
- [2] 霜田光一：波動の実験、講談社(1983)

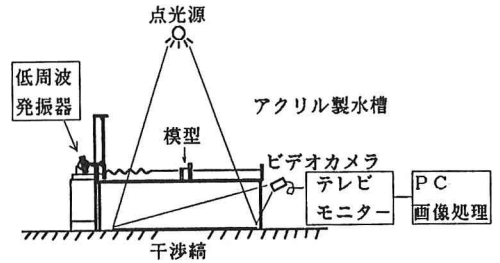


図3 水波投影法実験装置

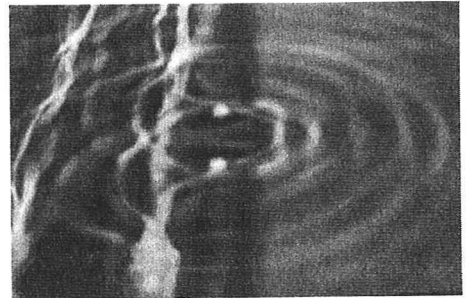


図4 水波投影法による画像例

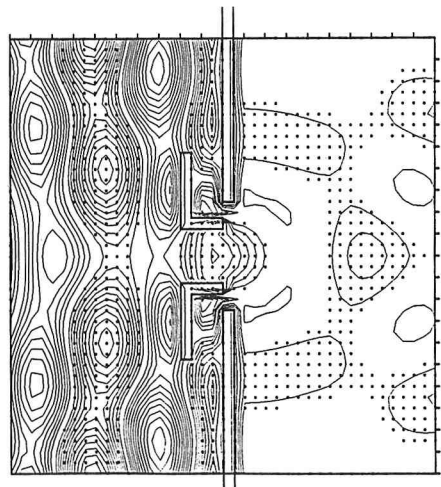


図5 数値計算による波紋例