

# 没水薄壁で構成される構造物の周辺波動場に関する簡易解析手法

大阪市立大学 正会員 角野 昇八  
 大阪市立大学 学生会員 中木原 宏文  
 NKK 都市工学研究部 正会員 塩崎 禎郎

## 1. まえがき

昨今の港湾構造物や海岸構造物には、その周辺の周辺生態系に与える影響が良好な、あるいは、少なくともそれらに与える影響が微小な構造形式が望まれるようになってきている。このような観点から種々の構造形態が提案あるいは施工されるようになってきているが、そこには、例えばカーテンウォール防波堤に見られるように、厚みがきわめて薄いと見なすことができる部材（薄壁）が用いられ、その両面に水域があるような状況がしばしば出現する。ところで一般に、構造物の波浪制御特性を数値的に解析し、また検討を加えるときには境界要素法が用いられることが多い。その際、水中に薄板部材がある場合には、その部分で数値解析上特別の工夫と取り扱いが要求される<sup>1)2)</sup>。

ここでは、水中の薄壁部材を含む構造物の波浪制御効果を境界要素法によって数値解析する際、そのような特別の取り扱いが不要で、きわめて簡便に取り扱える方法を提案するとともに、その手法に基づく若干の計算結果を示す。

## 2. 理論

### (1) 支配方程式と境界条件

解析対象領域の例として、図-1に示すような2枚の鉛直不透過薄壁で構成される鉛直2次元の解析領域を考える。流体は非回転・非圧縮性であり、取り扱う波は微小振幅波（線形理論）とする。また、粘性減衰効果は一切考慮しない。このときの支配方程式と境界条件は以下に示すようである。

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} &= 0 & (1) \\ \frac{\partial \phi}{\partial y} - \nu \phi &= 0, \text{ on } y=0 & (2) \\ \frac{\partial \phi}{\partial y} &= 0, \text{ on } y=-h & (3) \\ \frac{\partial \phi}{\partial x} &= 0, \text{ on } x=0, l, 0 > y > -d & (4) \\ \lim_{|x| \rightarrow \infty} \left( \frac{\partial \phi}{\partial |x|} - ik\phi \right) &= 0, \text{ on } |x| \rightarrow \infty & (5) \end{aligned}$$

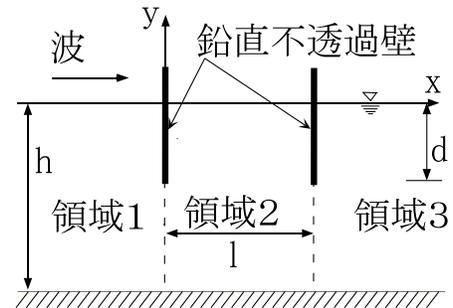


図-1 解析対象領域

ここに、 $\phi$ は領域内で満足される速度ポテンシャルの時間項をのぞいた項、 $\nu = \sigma^2/g$  ( $g$ は重力加速度、 $\sigma$ は角周波数)であり、 $k$ は波数( $k = 2\pi/L$ ,  $L$ は波長)である。ここで対象とする解析領域の場合、式(5)の放射条件は、複素反射率 $\rho_R$ および透過率 $\rho_T$ を用いて以下のように表すこともできる。

$$\phi(x, y) = (e^{ikx} + \rho_R \cdot e^{-ikx}) \frac{\cosh\{k(y+h)\}}{\cosh kh}, \quad x \rightarrow -\infty \quad (6)$$

$$\phi(x, y) = \rho_T \cdot e^{-ikx} \frac{\cosh\{k(y+h)\}}{\cosh kh}, \quad x \rightarrow +\infty \quad (7)$$

### (2) 境界積分方程式 (外部解)

図-1に示すように、不透過薄壁部分を含む鉛直面を領域境界として流体領域を分け、それぞれの領域についてグリーンの定理を適用すると次式を得る。

$$\phi_1(\xi, \eta) = \phi_0(\xi, \eta) + \int_{-h}^0 \left\{ \phi_1(0-, y) \frac{\partial G_1}{\partial x}(0-, y; \xi, \eta) - \frac{\partial \phi_1}{\partial x}(0-, y) G_1(0-, y; \xi, \eta) \right\} dy \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \phi_2(\xi, \eta) &= \int_{-h}^0 \left\{ \frac{\partial \phi_2}{\partial x}(0+, y) G_2(0+, y; \xi, \eta) - \phi_2(0+, y) \frac{\partial G_2}{\partial x}(0+, y; \xi, \eta) \right\} dy \\ &+ \int_{-h}^0 \left\{ \phi_2(l-, y) \frac{\partial G_2}{\partial x}(l-, y; \xi, \eta) - \frac{\partial \phi_2}{\partial x}(l-, y) G_2(l-, y; \xi, \eta) \right\} dy \end{aligned} \quad (9)$$

$$\phi_3(\xi, \eta) = \int_{-h}^0 \left\{ \frac{\partial \phi_3}{\partial x}(l+, y) G_3(l+, y; \xi, \eta) - \phi_3(l+, y) \frac{\partial G_3}{\partial x}(l+, y; \xi, \eta) \right\} dy \quad (10)$$

ここに、 $\phi_0$ は入射波の速度ポテンシャル相当関数、 $\phi_i$ および $G_i$ ( $i = 1, 2, 3$ )は、各領域での速度ポテンシャル相当関数およびグリーン関数であり、 $(\xi, \eta)$ は領域内の任意点、 $(x, y)$ は境界上の任意点を表す。式中のグリーン関数は、式(2)および(3)、(5)の境界条件を満足するもの<sup>3)</sup>を選ぶので、自由表面および海底、無限遠点での積分は積分経路に含まれない。

### (3) 薄板を含む境界上での解(内部解)

薄壁を含む境界線上では、その線に垂直な方向への一様流

$$\phi(\xi, \eta) = [\xi \pm C(\eta)] \cdot U(\eta) + C'_0(\eta) \quad (11)$$

を用意する。式中の $U(\eta)$ は一様流部での流速振幅であり、速度ポテンシャル相当関数の壁面での $x$ 軸方向微分値と関係づけられる。また $C'_0(\eta)$ は任意定数である。さらに、 $C(\eta)$ はblockage coefficientとよばれる理論定数であり、その大小によって一様流を横切る障害物の慣性抵抗の大小が表現される。

### (4) 外部解と内部解の接合

最終的に解くべき方程式は、沖側の境界面 $x = 0$ において式(8)および(9)を接合し、また岸側の境界面( $x = l$ )において式(9)および(10)を接合することによって以下のように得ることができる。

$$\begin{aligned} & \int_{-h}^0 U_1(y) \cdot [G_1(0_-, y; 0_-, \eta) + G_2(0_+, y; 0_+, \eta)] dy - C_1(\eta)U_1(\eta) \\ &= \phi_0(0_-, \eta) + \int_{-h}^0 \left\{ U_2(y)G_2(l_-, y; 0_+, \eta) - \phi_2(l_-, y) \frac{\partial G_2}{\partial x}(l_-, y; 0_+, \eta) \right\} dy \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} & \int_{-h}^0 U_2(y) \cdot [G_2(l_-, y; l_-, \eta) + G_3(l_+, y; l_+, \eta)] dy - C_2(\eta)U_2(\eta) \\ &= \int_{-h}^0 \left\{ U_1(y)G_2(0_+, y; l_-, \eta) - \phi_2(0_+, y) \frac{\partial G_2}{\partial x}(0_+, y; l_-, \eta) \right\} dy \end{aligned} \quad (13)$$

### (5) 離散化計算

式(12)および(13)中には、4つの未知関数 $\phi_1(0_+, y)$ 、 $\phi_2(0_+, y)$ 、 $\phi_2(l_-, y)$ 、 $\phi_3(l_+, y)$ があるが、これらは境界での速度ポテンシャル連続の式(式(12)と(13))と流速値(速度ポテンシャルの微分値)連続の式を連立させて求めることができる。具体的計算は、式を離散化して行う。

### (6) 計算における不透過薄壁の認識

計算における不透過薄壁の有無の認識は、一様流をブロックする断面の慣性抵抗の大小が $C(\eta)$ の大小によって表現できることを利用する。すなわち、不透過壁が存在している要素ではその値を無限大に近い値とし、逆に存在しない要素では0とするものである。

## 3. 計算結果

### (1) 妥当性の検証

本手法の妥当性は、反射率および透過率の二乗和が1となること、および既往の解<sup>2)</sup>と一致することで確認した。

### (2) 計算例

本手法を用いた計算の例として、図-1に示すように、長さが水深の1/3の2枚の薄壁を水深と同じ間隔だけ離し、それらを水面あるいは水中、水底に設置した場合の波の反射率および透過率を求めた。図-2はその結果を $kh$ の関数として表した結果を示すが、2枚の鉛直壁を水面付近に設置した場合がもっとも反射率および透過率の変化が激しいのに対して、水底付近や水中に設置してもその効果はわずかであり、またほとんど変わらない。水面付近に設置したときには、波浪制御効果が現れるのはほぼ $kh=1.3$ 以上のときである。

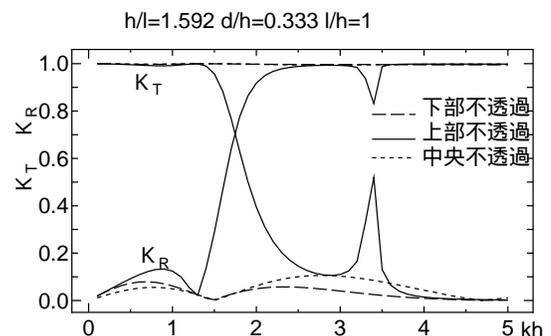


図-2 反射率および透過率の比較

### 参考文献

- 1) 中村孝幸：薄肉物体まわりの波浪境界値問題に関する解析法，第30回海岸工学講演会論文集，pp.410-414, 1983.
- 2) Ching-Yun Yueh and deng-How Tsaur: wave scattering by submerged vertical plate-type breakwater using composite BEM, Coastal Engrg. J., Vol.41, 1, pp.65-83, 1999.
- 3) John, F.: On the motion of floating bodies, II, Simple harmonic motions, Comm. on Pure and Applied Math., Vol.3, 1, pp.45-101, 1950.