

II-375 有限長没水水平透過板の波浪制御特性

大阪市立大学工学部 正員 角野昇八
(株)修成建設コンサルタント 正員 ○ 鍾 一明

1. まえがき 無限長の没水水平透過板の波浪制御特性を考えた前報¹⁾に引き続き、本報では、図1に示すような有限長の没水水平透過板周辺の波動場を考える。ここに、 h は水深、 d は水平透過板の没水深、 $2l$ は水平透過板の長さである。問題は、以下のような仮定の下に、漸近展開接合法²⁾および領域分割法を併用することにより解析する。(1).流体は非圧縮性、非粘性とし、いかなる形のエネルギー損失も考慮しない。(2).構造物による減衰定常波の影響は無視できるものとする。(3).漸近展開接合法において、その内部解においては透過性板の厚みを考慮するが、外部解においては考慮しない。(4).水平透過板より

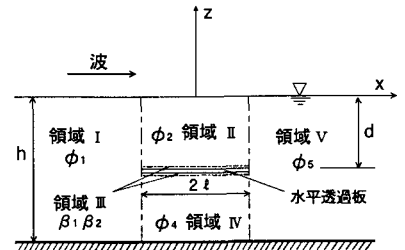


図1 有限長の没水水平透過板

上の領域の波動とその下の領域の波動とは、時間的かつ空間的に同じ変動性を持つものとする。すなわち、両領域での角振動数および波数は同じであるものとする。

本研究で対象とする透過板は、その形式を問う必要はなく、孔あきや柱体列など、透過性板であれば基本的にどのようなものでもよい。しかし、以下の理論展開では、その周辺の水利特性が十分に明かになっていることから、平板列、円柱列あるいは角柱列を対象にするものとする。

2. 理論解析 本解析手法の概要は以下のようなものである。まず全流体領域を、図1に示すように、5つの領域に分ける。この際、水平透過板上下では、透過板の極く近傍の領域（内部領域Ⅲ）および透過板から離れた領域（外部領域ⅡおよびⅣ）に分割する。ついで、領域Ⅲを除く領域に対しては各々の波動場の解（外部解）を、また領域Ⅲに対しては透過板を通過する流れを表す解（内部解）を用意する。最後に、得られた解を接合することにより、最終的な解を得る。ここで、 $x=-l$ においては、領域Ⅰと領域Ⅱおよび領域Ⅳの速度ポテンシャルおよびその微分値（流速）が接続されていなければならない。さらに、 $x=l$ では、領域Ⅴと領域Ⅱおよび領域Ⅳに対して同様の関係が満足されていなければならない。

1) 問題の定式化 支配方程式は速度ポテンシャルに関する2次元のラプラス方程式である。境界条件として、自由表面での条件と水底面、透過板表面での条件および放射条件が課される。

2) 各領域の速度ポテンシャルの決定 まず領域Ⅰおよび領域Ⅴについては、各々水面における境界条件および水底における境界条件を満足する支配方程式の解を次式のように求めることができる。

$$\phi_1 = [A_1 \exp(ik_0 x) + B_1 \exp(-ik_0 x)] [\cosh(k_0(z+h)) / \cosh(k_0 h)] \exp(-i\sigma t) \quad (x < -l) \quad (1)$$

$$\phi_5 = M_5 \exp(ik_0 x) [\cosh(k_0(z+h)) / \cosh(k_0 h)] \exp(-i\sigma t) \quad (x > l) \quad (2)$$

ここに、 k_0 は入射波の波数、 σ は同じく角振動数であり、また、 A_1 は入射波の振幅相当量、 B_1 は反射波の振幅相当量、 M_5 は透過波の振幅相当量を表す。 $i = \sqrt{-1}$ である。

また、水平透過板上下の領域Ⅱおよび領域Ⅳにおける速度ポテンシャルについては、まず、それぞれ水面における境界条件、および水底における境界条件を満足する支配方程式の解（外部解）を求める。そして、求められた外部解と内部解（後述）を接合することにより、領域Ⅰと領域Ⅴにおける速度ポテンシャルとの接合によって決定される係数を除いて、次のように得ることができる。

$$\phi_2 = [C_2 \exp(ikx) + D_2 \exp(-ikx)] \{ i [\cosh(k(z+d)) / \cosh(kd)] - [\cosh(kz) / (k \sinh(kd))] - [\cosh(k(z+d)) / (k \cosh(kd) \sinh(kd))] \} R \exp(-i\sigma t) \quad (3)$$

$$\phi_4 = [R/k] [C_2 \exp(ikx) + D_2 \exp(-ikx)] [\cosh(k(z+h)) / \sinh(k(h-d))] \exp(-i\sigma t) \quad (4)$$

ここに、 $R = i [k \sinh(k(h-d))] / [2k \cosh(k(h-d)) \cosh(kd) + \cosh(kh)]$ である。ただし、 k は水平

透過板上および下の波数を表す。また C_2 は領域Ⅱにおける正の x 軸方向に進行する波の振幅相当量、 D_2 は負の x 軸方向に進行する波の振幅相当量を表す。その領域の波高 H に対して、 $(C_2, D_2) = [g/(2\sigma)] (H_c, H_b)$ のように関係づけられる。

水平透過板を挟む内部領域に対しては、透過板表面での境界条件を厳密に満足する解を求めることは困難であるため、その漸近展開形である透過板(柱体列)を通過する一様流を表す解(内部解、 β_1 および β_2)を用意する。ただし、このことにより、透過板表面での流体不透過の境界条件は、領域Ⅰと領域Ⅲの速度ポテンシャルならびにその微分値(流速)の接続の境界条件($z=-d_+$)、および領域Ⅱと領域Ⅲにおける同様の境界条件($z=-d_-$)に置き変わることになる。このような流れを表す速度ポテンシャルは、Tuckによれば、

$$\beta_1'(z) = (z+d+C)R' + C_1' \quad (z > -d_+), \quad \beta_2'(z) = (z+d-C)R' + C_1' \quad (z < -d_-) \quad (5)$$

と表される。ただし、 z は流れに沿う座標軸であり、水平柱体列を対象とする今の場合には鉛直座標軸をとる。 R' は一様流部における流速、 C_1' は複素定数であり、 C は閉塞係数(blockage coefficient)とよばれ、水平透過板断面形状のみによって純理論的に決定される定数であり、角柱列の場合には、次式で算定される。

$$C = b/2 \cdot (B/a-1) + 2B/\pi \cdot [1 - \log(4 \cdot a/B) + 1/3 \cdot (a/B)^2 + 281/180 \cdot (a/B)^4] \quad (6)$$

ただし、 b は水平透過板の厚みであり、 B は隣接柱体間隔の1/2、 a はスリット幅の1/2である。今、ここで考える水平柱体列を通過する一様流は、仮定(4)により、次式で表現することができよう。

$$\beta_1(x, z, t) = [C_2 \exp(ikx) + D_2 \exp(-ikx)] [(z+d+C)R + C_1] \exp(-i\sigma t) \quad (z > -d_+) \quad (7)$$

$$\beta_2(x, z, t) = [C_2 \exp(ikx) + D_2 \exp(-ikx)] [(z+d-C)R + C_1] \exp(-i\sigma t) \quad (z < -d_-) \quad (8)$$

また水面での運動学的な境界条件を領域Ⅱでの速度ポテンシャルを表す式(3)および式(3)に対応する領域Ⅱにおける波形を表す式 $\eta = [(H_c/2) \exp(ikx) + (H_b/2) \exp(-ikx)] \exp(-i\sigma t)$ に適用すれば、次式を得る。

$$\sigma^2 = gk \tanh(kd) + gk \sinh(k(h-d)) / \{ \cosh(kd) [2kC \sinh(k(h-d)) \cosh(kd) + \cosh(kh)] \} \quad (9)$$

上式は、 σ 、 g 、 d 、 h 、 C が与えられれば、波数 k が決定されるような、いわゆる分散関係式となっている。上式より、板の透過性を表す C の大小によっても波数が変化することが明かである。

3) $x=-l$ および $x=l$ での速度ポテンシャルの接続 このように、別々に求められた速度ポテンシャル ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_4 、 ϕ_5 に対して先の $x=-l$ および $x=l$ での境界条件式を適用し、それぞれを、 $-h$ から $-d$ まで、また $-d$ から 0 まで z に対して積分し、積分した結果を $x=l$ および $x=-l$ で等置することにより、4つの未知定数 B_1/A_1 、 M_5/A_1 、 C_2/A_1 、 D_2/A_1 に関する4つの連立一次元方程式が得られる。これらの連立一次元方程式を解くことにより、未知係数を以下のように決定することができる。

$$B_1/A_1 = \exp(-i2k_0 l) \{ [(k+k_0) \exp(-i2k l) + (k-k_0) \exp(i2k l)] / (kG) \} - 1 \quad (9)$$

$$M_5/A_1 = 2 \exp(-i2k_0 l) / G \quad (10)$$

$$C_2/A_1 = [S_1(k+k_0)/(S_2 kG)] \exp(-i l (k_0+k)), \quad D_2/A_1 = [S_1(k-k_0)/(S_2 kG)] \exp(-i l (k_0-k)) \quad (11)$$

ただし、 $G = [(k+k_0)^2 \exp(-i2k l) - (k-k_0)^2 \exp(i2k l)] / (2k_0 k)$ 、 $S_1 = \tanh(k_0 h) / k_0$ 、 $S_2 = i [\sinh(kd) / (k \cosh(kd))] + R / (k^2 \cosh(kd))$ 。ここに、 B_1/A_1 、 M_5/A_1 はそれぞれ複素反射率と複素透過率を表す。

3. 計算結果 以上の手法による計算結果の一例を図2に示した。図2により、没水水平透過板の開口率を10%とし、没水水深を全水深の10%にとり、またその長さを水深の8倍にとっても、いかなる損失も考慮しないこの計算によれば、波はほとんど透過してしまうことが示されている。

参考文献 1) 角野昇八、鍾一明：没水水平透過板の波浪制御特性、平成5年度関支年講。2) 角野昇八：漸近展開接合法の海岸工学への応用。水工学シリーズ、87-B-3。

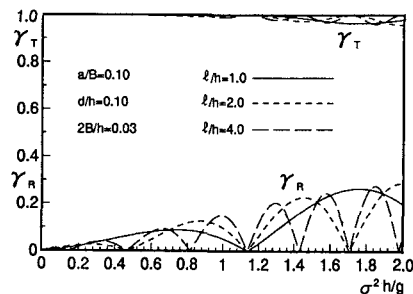


図2 有限長没水水平透過板(正方形断面角柱列)の反射率と透過率