

II-251

Resonant Duct による波の透過特性

清水建設(株) 大崎研究室 (正) 清川哲志

清水建設(株) 技術研究所 三俣正和

1. はじめに

近年、景観上の観点から人工リーフ、潜堤などの没水型海域制御構造物が見直されている。本論文では、このような構造物の一つとして複数の鉛直壁と底版からなる Resonant Duct (図-1) を取り上げ、これによる波の透過特性を理論的に明らかにする。この Resonant Duct は、Duct 内での共振現象を利用して大きな散乱波を発生させ、この波と入射波との位相差を利用して透過波を下げようとするものである。これは、従来の没水構造物ではほとんど防波効果が無かった相対天端水深が比較的大きな場合でも、共振させることによって透過波を下げるができるのではないか? という着想を出発点としている。本報は、これを実際に理論解析によって確かめ、波浪制御構造物としての適用可能性を検討したものである。

2. 解析理論および数値計算法の概要

図-1 に示すように、水深 h の海域に複数の鉛直壁と底版からなる構造物があり、これに波高 H_i 、角振動数 ω の微小振幅波が入射する場合を考える。そして、波による流体運動は速度ポテンシャルによって記述することができるものとする。さらに線形性を仮定し、場全体の速度ポテンシャルを入射波と散乱波のポテンシャル和で表す。入射波は既与であるから、問題は、結局散乱波のポテンシャルに関する境界値問題として定式化される。本研究では、これを John¹⁾ による 2 次元グリーン関数と、グリーン関数の定理を用いて積分方程式に変換した後、通常行われるように離散化して複素係数連立 1 次方程式を導き、これを数値的に解いている。解析上の特長は、グリーン関数を要素上で積分する際に座標変換を用いて解析的に積分していることである。こうすると、特異点も同じように積分できて、特異点に対して特別な処理を必要としないという利点がある。また、実際に数値計算を行う場合の注意として、グリーン関数 G_{ij} で、点 i と点 j が鉛直方向に一直線上に並ぶ場合、すなわち source 点も観測点も鉛直壁上有る場合には、グリーン関数の収束が著しく遅くなるので、実際の計算では収束を加速するなどの工夫²⁾ が必要であることを付記しておく。

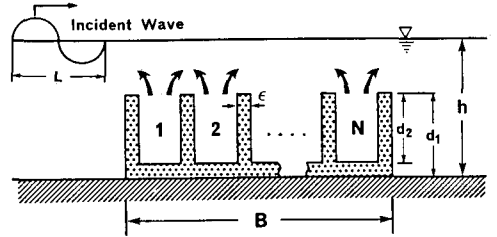


図-1 Resonant Duct の概念

次に計算精度について述べる。用いた理論では波のエネルギー損失を考慮していないので、エネルギー保存則、すなわち $K_T^2 + K_R^2 = 1$ (K_T : 透過率、 K_R : 反射率) が成り立たなければならない。したがって、得られた計算結果の精度は、これをどの程度満足しているかによって調べることができる。まず、構造物からどの程度離れれば反射側、透過側でそれぞれの波高が一定となるかを調べた。この結果数波長離れると一定と見なせることがわかり、以下の計算では透過率および反射率は構造物の中心から 10 波長離れたところで評価した。さてエネルギー保存則であるが、これが満足されるかどうか、換言すれば高精度な結果が得られるかどうかは、要素長と入射波長の比によって決まり、高精度(誤差 0.1% 未満)の結果を得るためには、この比を 0.01 以下とする必要があることがわかった。これは、没水構造物の場合、構造物周辺では波長がかなり短くなっていることと、反射率および透過率は、構造物表面上のポテンシャルを source として、それとグリーン関数の積を構造物表面で積分することによって得られるため、構造物表面上のポテンシャル分布を正確に求めないとエネルギー保存則の精度が上がらないという理由による。このようにエネルギー保存則を満足させるためには、要素波長比をかなり小さくする必要があり、計算時間、計算機エリアともに増大する。したがって、この後に示す計算結果は計算時間、計算機エリアの制約から最大 5% 程度の誤差を許容した。

3. 数値計算例と考察

(1) ダクトの効果: 図-2はダクトの効果を確認するために、ダクト数を1とし、ダクト深さと構造物の高さの比 d_2/d_1 をパラメータとして、透過率の特性の変化を示したものである。横軸には構造物の幅と入射波長の比 B/L をとっている。また、壁厚と構造物の幅の比 $e/B=0.045$ 、構造物の高さと水深の比 $d_1/h=0.8$ 、幅と水深の比 $B/h=2.2$ である。図からわかるように、ダクト深さが大きくなるに従って広い範囲にわたって透過率が下がる。

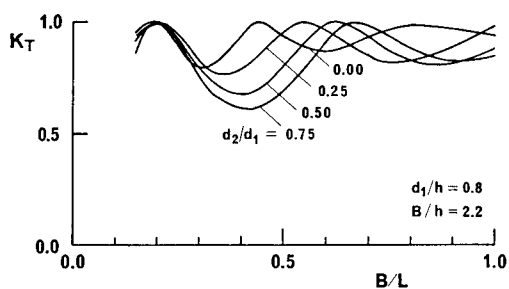


図-2 透過特性に及ぼすダクト長の影響

(2) 天端水深の影響: 図-3は天端水深の影響を見るために d_1/h をパラメータとして透過率特性を示したものである。このケースの場合、壁厚と底板厚を同じとしたので $d_2/d_1=0.875$ となっている。他の条件は図-2の場合と同じである。これから d_1/h が大きいほど、したがって天端水深が浅くなるほど透過率が下がることがわかる。また、透過率の極小値を与える B/L が d_1/h の増加に伴って相対的に小さい方にシフトしている。この場合 d_1/h の増加は同時にダクトが長くなることを意味しているので、 d_1/h の増加に伴ってダクトの固有周期が相対的に長周期側に移ることがその原因と思われる。従来の没水構造物による防波のメカニズムは、碎波によるエネルギー損失が主であったが、ここに示したようにダクトにすることによって碎波しなくても高い防波効果が得られることがわかる。

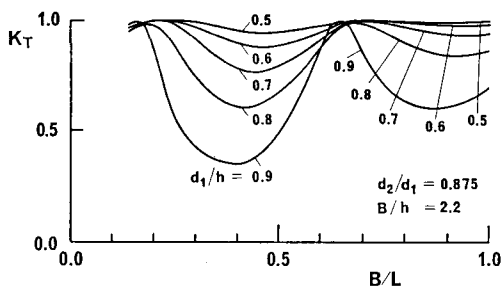


図-3 透過特性に及ぼす天端水深の影響

(3) ダクトの個数の影響: 図-4は構造物の幅を固定して仕切り壁を設けることによりダクト数を増やした場合の透過率特性の変化を $d_1/h=0.8$ の場合を例にとって示したものである。この場合、特性の変化は前二者の場合に比較

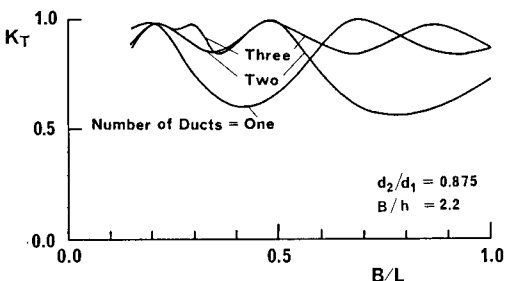


図-4 透過特性に及ぼすダクトの個数の影響

してやや複雑である。ただ、1個の場合と2個の場合を比較すると透過率の最小値を与える B/L の値が、2個の場合相対的に大きい方へシフトしているのがわかる。構造物幅を一定としているので、個数を増やすとダクト幅は相対的に小さくなる。したがって、この場合もダクトの固有周期が重要な意味を持っているものと思われる。この考えによれば、3個の場合、 B/L が1以上の領域に同じような最小透過率を持つことが予想されるが、 B/L が大きくなると要素数を増やす必要があり、今回はこれを確認できなかった。

4. あとがき

Resonant Ductによる波の透過特性を理論的に検討した結果、構造物の高さを水深の8割以上とすると、碎波を考慮に入れなくても高い防波効果が得られることがわかった。断面積は従来の潜堤に比べて大幅に小さくなるから、建設コストもそれに比例して低くできると思われる。また、このような構造物の場合、実際には碎波や鉛直壁端部で生成される渦によって相当なエネルギー損失が生じると考えられる。したがって、ここで示した以上に低い透過率となることが期待される。

参考文献

- 1) John, F.: On the Motion of Floating Bodies (II), Comm. Pure Appl. Math., Vol. 3, pp.45-101, 1950.
- 2) Pidcock, M. K.: The Calculation of Green's Functions in Three Dimensional Hydrodynamic Gravity Wave Problems, Int. Jour. Numerical Method in Fluids, Vol. 5, pp.891-909, 1985.