

垂下版式低反射工の遊水室内における波浪共振の特性

愛媛大学 正会員 中村 孝幸
 (株)三柱 正会員 神野 充輝
 愛媛大学大学院 学生員 ○久保田 二郎

1. 目的

既に著者ら¹⁾は、スリット式低反射工に比較すると遊水室幅をほぼ半減できる垂下版式低反射工を提案し、その消波特性などを明らかにしてきた。この新規低反射工は、垂下版と直立壁で構成される遊水室内にピストンモード波動運動を励起して、垂下版下部に大規模な水平渦を発生させることで反射波を低減する方式である。ここでは、遊水室内の水表面に厚さのない仮想的な水平版を設け、その波浪動揺を理論的に解析することで、ピストンモード共振に関するパラメータや効果的な断面設定法について明らかにする。

2. 等価振動モデルによる理論的な検討

図-1 (a), (b) は、直立壁前面に任意の距離だけ離れた位置に水面上より鉛直版を挿入した垂下版式低反射工とその等価振動モデルを示す。従来の研究において、遊水室内の水表面振動を取り扱う等価振動モデルは、各種のものが提案されているが、ここでは図 (b) に示すように、遊水室内の水表面に重さのない十分に剛な仮想的な水平版があり、それが鉛直方向に波の作用により振動する振動自由度1の水平板置換モデルで近似する。これは、水平版の鉛直動揺による付加質量が直接的に求められることから採用してある。

理論解析では、このような等価モデルに加えて、遊水室内の水表面振動モードを仮定しない、いわゆる厳密解析による算定も行った。後者の解析には、既に著者ら¹⁾が明らかにしている減衰波理論に基づく固定物体に対する波浪境界値問題の数値解析法を用いた。また、等価モデルに対しても、仮想水平版に作用する鉛直波力および付加質量係数などの動的流体力係数を求める必要があり、これらの水理学的な諸量の算定にはやはり著者ら²⁾による減衰波理論に基づく浮体動揺算定法を用いた。このとき、等価線形抵抗係数は0.25の一定値を用いた。

図-2 は、図-1 の堤体断面で水深と垂下版吃水深を固定して、遊水室幅 B を12cmから100cmの範囲で7種類に変化させたときの反射率 C_r の等価モデルによる算定結果を波長・吃水比 L/d の関数として示す。なお算定では、現地の1/15程度の縮尺を想定した。この図より、反射率が極小となる L/d の条件は、遊水室幅 B の増大に伴いより長波長の条件で現れるようになることが分かる。

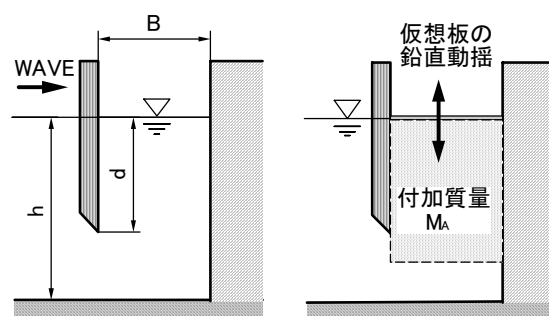


図-1 (a) 垂下版式低反射工 (b) 水平板置換モデル

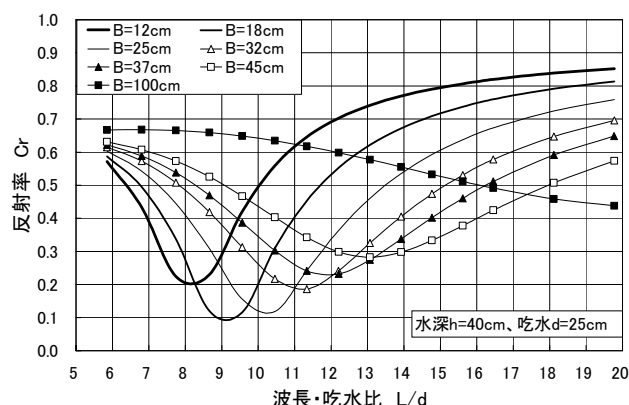


図-2 遊水室幅 B による反射率の変化

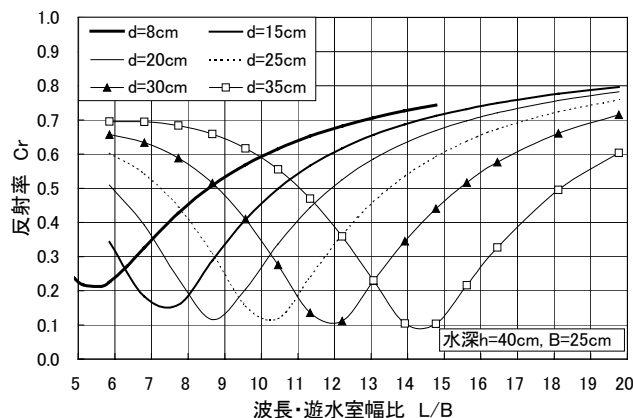


図-3 吃水深 d による反射率の変化

キーワード ピストンモード共振、低反射工、付加質量、共振パラメータ、水平板置換モデル

連絡先 〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番 愛媛大学工学部 TEL 089-927-9835

一方、図-3は、遊水室幅 B を固定して、垂下版吃水深 d を各種に変化させたときの反射率の算定結果を示す。この図より、極小反射率は d を深くすることでも長波長の条件で現れるようになることが分かる。このような d による極小反射率の変化は、図-1 (b) に示す等価モデルを考慮すると、吃水深に伴い振動質量が増加し、結果的にピストンモード波浪共振の出現する周期条件が長周期側に移行することで説明できる。

しかしながら、図-2に示す遊水室幅 B による極小反射率の変化特性は、 B に伴いやはり振動質量が増加するものの、バネ常数に相当する静水力学的な復元力も B に比例して増加することから、共振特性に及ぼす B の影響は打ち消されるため理論的には理解し難い。この理由としては、遊水室幅が増加するとその増加幅分以上に鉛直方向の付加質量が増加することが考えられる。この検討結果を示すのが図-4であり、図中では鉛直方向付加質量 M_A を B と d の積で無次元化した付加質量係数 C_A の L/d による変化で示す。このとき、吃水 d は図-2の場合と同条件に固定して、遊水室幅 B がやはり変化させてある。この図から、付加質量係数 C_A は、 B に伴い増加する傾向が認められ、上記した推測が妥当なものであることが分かる。そして、その他の吃水条件を含めたより詳細な検討の後に、鉛直方向付加質量 M_A はほぼ遊水室幅 B の 1.4 乗、吃水 d の 0.6 乗に比例することなどが確認された。なお、厳密解析による C_r の算定結果は、等価モデルによるそれと一致していたことを確認しており、ここに付記しておく。

3. 極小反射率の出現条件に関するパラメータ

上記した等価モデルの固有振動周期 T_n と極小反射率の出現条件とは密接な関係にあることが推測される。これは、遊水室内のピストンモードの水位変動が共振状態になると垂下版の内外の水位変動に有意な位相差が生じることになり、反射波の低減原理である強い渦流れが生成されるようになるためである。等価振動モデルの固有振動周期は、概略的に $T_n = 2\pi\sqrt{M_A/k}$ で与えられ、バネ常数で $k = \rho g B l_b$ とえられることおよび上記した付加質量の特性を考慮すると、 $T_n \propto \sqrt{B^{0.4} d^{0.6}}$ となる。さらに、波長が周期の 2 乗に比例することに注意すると、極小反射率の出現する波長条件は、ほぼ $L_n \propto B^{0.4} d^{0.6}$ の関係を満足することが導かれる。図-5は、この推測の妥当性を図-2の条件に対して検討した結果を示す。この図から、極小反射率は上記の関係を考慮して得られる共振特性パラメータでほぼ 10 付近に共通して現れ、反射率の特性はほぼ一つの普遍曲線で表現できることが分かる。なお、このパラメータに水深 h の影響を採り入れたのは、 d の異なる図-3の結果などの再整理の際に試行錯誤的に判明したことによる。図-6は、各種の条件下での反射率の測定結果を共振特性パラメータを用いて再整理したもので上記した理論的な傾向とほぼ一致することが分かる。

参考文献 1) 中村他 (1999) : 渦流れの増大現象を利用した垂下版式の反射波低減工について、海岸工学論文集、第 46 巻、p p. 797-800. 2) 中村他 (1997) : 減衰波中における浮体の動揺理論とその適用性に関する研究、海岸工学論文集、第 44 巻、pp. 856~860

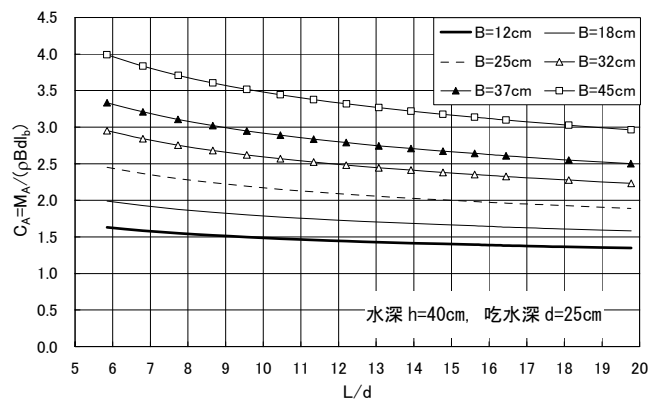


図-4 遊水室幅 B による付加質量係数の変化

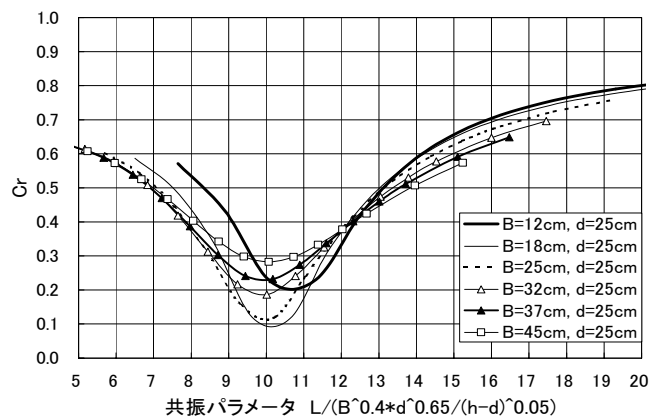


図-5 反射率の共振パラメータによる再整理

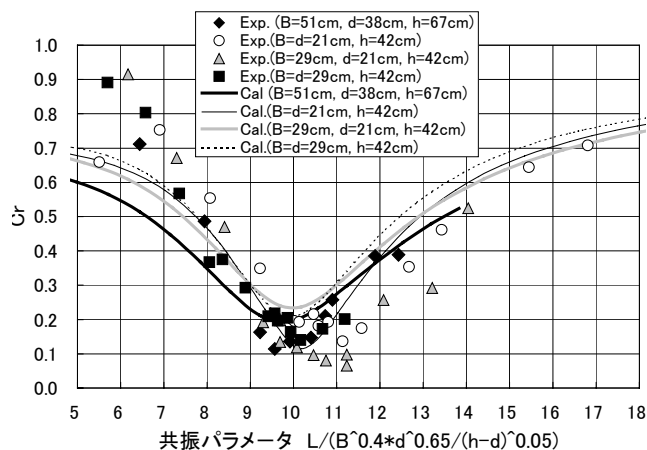


図-6 共振パラメータによる C_r の実験結果の再整理