

反射波の低減を考慮したカーテン防波堤について

愛媛大学工学部 正会員 中村孝幸
 復建調査設計(株) 正会員 河野 徹
 " 正会員 ○横本一徳

1. はじめに

杭式防波堤であるカーテン防波堤は、軟弱地盤への建設が可能であることや、堤体下部を通しての海水交換機能が期待できるなどの利点を有する。また、この型式の防波堤は、波動運動の卓越する水面付近のみをカーテン壁で遮断することから効率よく透過波を低減することができるが、透過波を効果的に低減するためにはカーテン壁の吃水を深くすることが必要とされ、このとき逆に反射波が増大し、周辺海域に大きな影響を及ぼすことになる。

本研究は、反射波災害などの防止を目的とし、透過波のみならず反射波についても低減可能なカーテン防波堤の構造形式について究明する。具体的には、前後のカーテン壁の間隔を上部堤体幅と同程度とした異吃水の二重式カーテン壁構造を採用し、カーテン壁間でのピストンモードの波浪共振を利用して、カーテン壁下端部での渦形成によるエネルギー逸散を促進させ、結果的に透過・反射波の両者を減衰させようとするものである。ここでは、特に前面のカーテン版の吃水を変化させることによる反射波の低減効果について検討した。また、中村・井出(1997)による減衰波理論を用いた理論的な検討や二重式カーテン壁内での水位変動の測定結果に基づき、透過・反射波の両者を効果的に減衰させるために必要な前後カーテン壁の吃水条件等を明らかにする。

2. 実験内容

実験に用いた堤体模型は、図-1で示すように2枚の防水ベニヤ板を上部より片持ち梁構造で支持することにより、二重式カーテン防波堤の模型とし、各種の周期及び波高条件を採用して水理実験を実施した。このとき、カーテン版の後面壁の吃水 d_2 は、単一カーテン版とした場合に有効な透過波の制御効果が得られる程度の吃水深に固定した($d_2=27.5\text{cm}$)。また、前後壁の間隔 B については、従来のカーテン版で用いられている上部工の幅を参考にして、その堤体幅程度となるように模型化した値($B=30\text{cm}$)に固定した。

実験は、前面壁の吃水 d_1 を後面壁と同じ吃水深より順次浅く($d_1=27.5\text{cm}, 12\text{cm}, 6\text{cm}$)して、反射・透過率およびカーテン壁間の波高分布等を測定し、各前面壁吃水時における反射・透過・エネルギー逸散率および堤内波高の増幅度の周期や波高による変動特性などを把握した。また、単一カーテン版に対する実験結果との比較から、異吃水の二重式カーテン防波堤による反射波および透過波の低減効果を確認した。

3. 理論的解析方法

カーテン防波堤による波の変形の解析には、中村・井出(1997)により展開されている、渦流れ等による逸散を近似的に考慮した減衰波理論に基づく数値解析法を用いた。この減衰波の理論では2つの未知なパラメータを含んでいる。1つは減衰波領域の広さであり、もう1つは線形抵抗係数 ζ である。中村・井出(1997)の研究では、減衰波領域は流れの剥離やその発達した渦流れの影響する範囲とされており、その範囲はカーテン壁の前後に $1/8$ 、水深方向には水面より水底までとされている。ここでは、二重式カーテンが対象であることから、堤体間に流域があり、その部分の取り扱いが問題になるが、はん雑な取り扱いを避けるために、

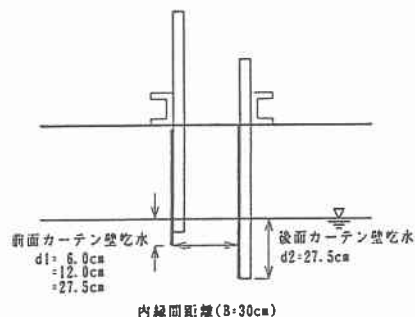


図-1 堤体模型

堤体間水域は無条件に減衰領域とし、この領域とその前後の $1/8$ 波長までの水域を最終的な減衰波領域と仮定した。減衰波領域の水深方向への広がり水面より水底までとした。また、線形抵抗係数 f_c については、中村・井出(1997)の研究において用いられている $f_c=0.15$ を基準として計算した。

4. 実験結果及び理論解析結果

二重式カーテン防波堤に対する反射率 C_r 及び透過率 C_t の検証結果の代表例を図・2、3に、波のエネルギー逸散率の検証結果を図・4に示す。なお、図中の単一カーテン壁の結果については、中村(1984)により行われている結果を用いており、模型実験は本実験と同一のスケール及び同一の波の条件下で実施されたものである。

これによると、二重式カーテン防波堤の反射率については特定の d_2/L で一旦低下する特性がある。また、透過波については、後面壁の影響が支配的なことから、比較的ばらつきも少なく解析結果と良く合った傾向にあると言える。

エネルギー逸散率 E_d ($E_d=1-C_r^2-C_t^2$)は、実験値・算定値ともに各前面壁の吃水条件に対応して、特定の d_2/L でピークを示す。エネルギー逸散率 E_d がピークを示す d_2/L の条件は、反射率が一旦低下する d_2/L の条件とほぼ一致している。したがって、反射率が一旦低下するのは、エネルギー逸散の増大化によるものと推測できる。また、反射率の低下は、直接的には前面カーテン壁の下端での渦流れの増大化に起因すると推定される。

5. 結論

1) 二重式カーテン防波堤において、後面壁の吃水 d_2 を単一カーテン防波堤と同程度保ち、前面壁の吃水 d_1 を浅くすると、単一カーテン防波堤の場合に比較して反射波が効果的に低減できる。また、透過波の低減効果については、単一カーテン防波堤と同程度かそれを多少上回る程度である。このときの、前後壁の間隔は、従来のカーテン防波堤の上部工と同程度の幅でよい。このとき、前面壁の吃水を浅くすると、反射波が低減できる周期は、短周期側に順次移行する。

2) 反射波の低減は、堤内波浪の共振に伴う前面カーテン下端部での渦流れの極大化による。そして、波のエネルギー逸散は、この条件下で最大値を示し、その周期条件は前面の吃水が浅くなると短周期側に移行する。

3) 前後壁の吃水が同じで、その間隔を上部工の幅と同等とした二重式カーテン防波堤は、単一カーテン防波堤の場合と比較して、透過波は低減できるが、反射波の制御効果はほとんど期待できない。

4) 渦流れの発生による逸散効果を近似的に考慮した減衰波理論を用いて、各種条件下での二重式カーテン防波堤における透過波および反射波の低減効果が概略的に推定できる。

6. まとめ

ここでは、後面壁の吃水深を固定して前面壁の吃水深のみを変化させての実験および解析を行った。したがって、後面壁の吃水深を変化させる等の実験を行い、さらに反射波・透過波を低減できる前後壁の吃水深の組み合わせ、壁の形状等を検証する必要がある。

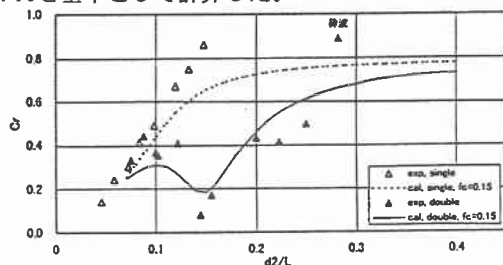


図-2 単一カーテン壁と二重式カーテン壁の反射率 C_r の比較
($d_1/d_2=0.436$, $H_1/d_2=0.364$, $d_2/h=0.353$)

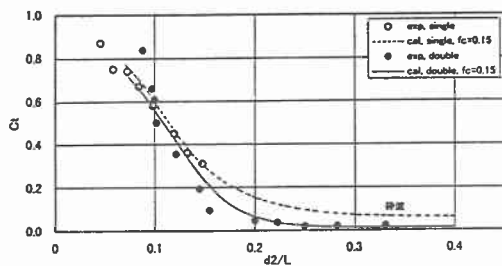


図-3 単一カーテン壁と二重式カーテン壁の透過率 C_t の比較
($d_1/d_2=0.436$, $H_1/d_2=0.364$, $d_2/h=0.353$)

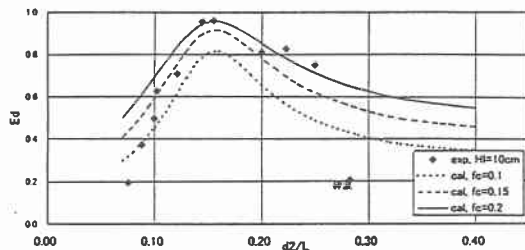


図-4 エネルギー逸散率 E_d ($d_1/d_2=0.436$, $H_1/d_2=0.364$, $d_2/h=0.353$)