

傾斜板列型二重式カーテン防波堤の効果の予測法に関する再検討

(一財)災害科学研究所 中村 孝幸
 復建調査設計(株) 正会員 榎本 一徳
 復建調査設計(株) 南本 浩一
 復建調査設計(株) ○高見 慶一
 復建調査設計(株) 山川 恭平

1. まえがき

傾斜板列型二重式カーテン防波堤は、前面壁を傾斜板列構造、後面壁をカーテン壁構造とする二重式カーテンである。この防波堤は、透過波のみならず反射波についても低減可能な杭式防波堤として開発され、その効果が潮位に関係なく安定して発揮できるなどの特徴を有する。既に著書¹⁾は、この新型杭式防波堤の波浪制御効果の予測を目的として、線形減衰係数を仮定した減衰波理論に基づく数値解析法について明らかにし、その適用性についても水理模型実験結果との比較などから検討してきた。その結果、反射波は特定の周期条件下で減勢されるなどの定性的な傾向は予測できたものの、反射率の絶対値など定量的な評価は不十分なままとなっていた。

本研究は、このような未解決なままとなっていた、新型杭式防波堤の波浪制御効果に関する定量的な評価の改善を目的として、解析での減衰波領域を構造体近傍に限定するなどの改良を加え、従来の実験結果との比較などから、その有効性を検証するものである。

2. 減衰波理論の背景と減衰波領域

(1) 減衰波理論の背景

従来、直立消波構造物の波浪制御効果等は、消波構造体を均質な透水層に置き換え、構造体の慣性抵抗に関する慣性係数および損失エネルギーを表すための抵抗係数により透水層を近似する解析モデルに基づき取り扱われてきた。しかしながら、このモデルの適用に際しては、二つの係数値に関して各種の組み合わせが事前検討が必要になるなど、係数値の同定を含め解決すべき課題が残されていた。既に著者¹⁾は、このような課題を解決するための方策の一つとして、消波構造体の慣性係数については、構造体形状を直接的に入力して理論的に考慮することで不要とする減衰波理論に基づく数値解析法を明らかにした。ただし、残りの波エネルギーの逸散に関する抵抗係数については、やはり実験結果との比較などから推定する必要がある。

ここでは、減衰波理論を適用する際に問題となりやすい、1)構造体まわりの減衰波領域の設定法、2)減衰波領域に用いる線形減衰係数 f_c の値に着目して、傾斜板列型二重式カーテン防波堤の波浪制御効果の理論的な推定法について検討した。この際、推定法の妥当性の検証には、著者らが公表している実験結果¹⁾を参照した。

(2) 減衰波領域の設定法

図-1は、著者¹⁾が従来の研究において断面2次元実験で使用した傾斜板列型二重式カーテン防波堤の断面を示す。模型縮尺は $S=1/13.3$ が想定されており、図では縮尺を考慮して、現地量に換算した寸法で表示してある。実験は、水路幅1mで水路長30mの長水路で実施されており、作用波は、現地量で波高 $H=0.8\text{m}, 1.6\text{m}$ の2種類(一部2.4mを含む3種類)、周期 $T=2.7\text{s}\sim 6\text{s}$ の範囲の13種類の条件としている。また、水深 h は、図中に示す3潮位に対応するように3種類のものが採用されている、なお、模型則にはフルードの相似則が想定されている。

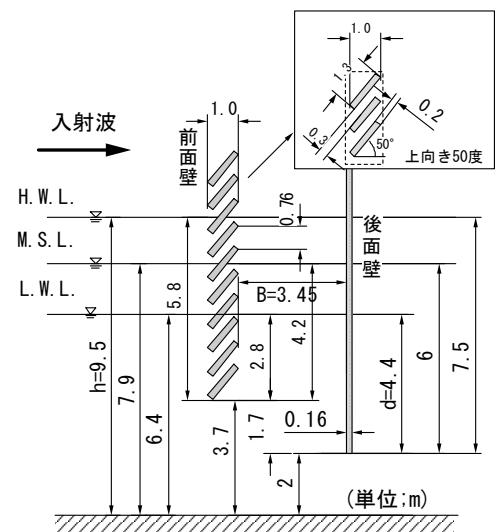


図-1 前後壁異吃水型二重式カーテン防波堤
 (現地換算量: 模型長の13.3倍)

キーワード 傾斜板列, 二重式カーテン防波堤, 反射率, 透過率, 狭領域減衰波理論, 波湧き出し分布法
 連絡先 〒732-0052 広島県広島市東区光町 2-10-11 復建調査設計株式会社 TEL 050-9002-1741

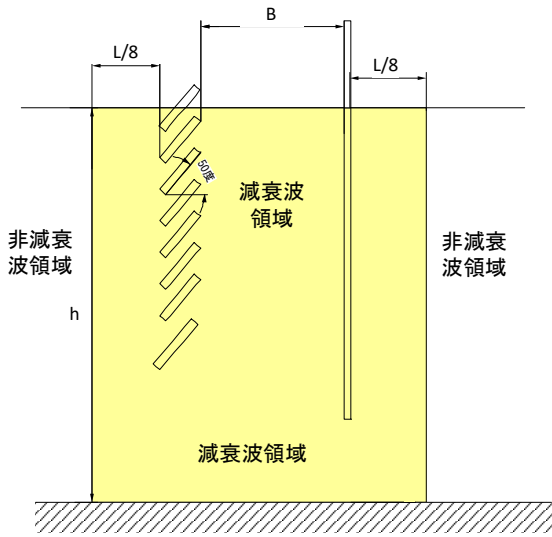


図-2 従来の減衰波領域の設定法¹⁾

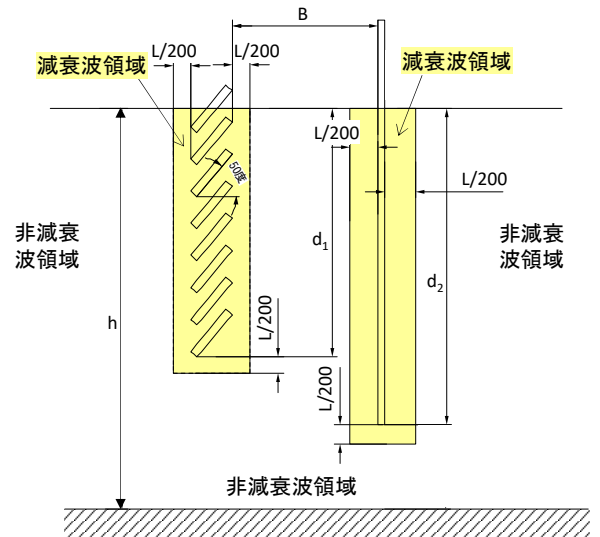


図-3 狭領域モデルの減衰波領域の設定法

図-2と図-3は、理論解析で使用した算定モデルの概略を示す。前者が従来の研究で用いられているモデル(従来法と称する)、後者が本研究で採用した狭領域モデルにそれぞれ相当する。これらモデルの相違点は、減衰波領域の設定にあり、図-2では、構造体の前後に波長 L の $1/8$ の範囲でしかも水面から底面までの範囲が減衰波領域とされている。一方、図-3では、前後壁の周囲に波長 L の $1/200$ 程度とかなり狭い範囲が減衰波領域に設定されている。このような狭い減衰波領域としたのは、構造体下部から底面までの距離が大きい場合や、今回のモデルのような二重壁式構造で前後壁間がかなり広い場合などにおいて、流体減衰が有意でない範囲まで減衰波領域を設定することを避けるためである。既に著者らの中の一人²⁾は、狭領域減衰波を想定したモデルにより、スリットケーソンによる反射波低減効果について検討し、各種の構造条件下での反射率の推定に有効であることなどを確認している。

図-4と図-5は、高潮位の条件下で、それぞれ反射率 Cr と透過率 Ct に及ぼす減衰波領域の設定の影響について検討した結果を示す。図中で RS は、減衰波領域の広さを表し、図-3の狭領域モデルでは、波長 L の $1/60$ から $1/200$ まで変化させてある。この際、線形減衰係数 fc の値は、後述する検討結果で最も妥当とされた $fc=0.7$ を用いた。また、従来法における fc は、従来の研究¹⁾で推奨されている $fc=0.15$ と今回の比較のために $fc=0.7$ の両者を用いた。

これらの図から、狭領域減衰波モデルでは、従来法に比較して、反射率の結果に代表されるように、 $B/L=0.17$ 付近で一旦極小となるような複雑な変化を精度よく再現できていることが確認できる。また、狭領域モデルでは、

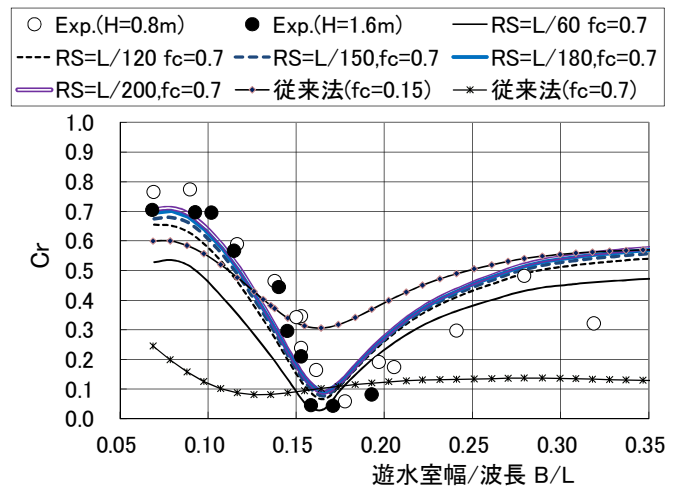


図-4 反射率に及ぼす減衰波領域の影響
(高潮位 $h=9.5m$, $d_1=5.8m$, $d_2=7.5m$, $B=3.45m$)

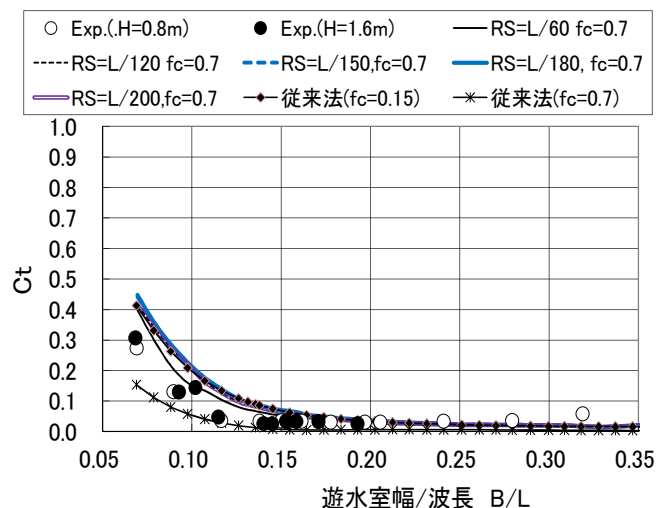


図-5 透過率に及ぼす減衰波領域の影響
(高潮位 $h=9.5m$, $d_1=5.8m$, $d_2=7.5m$, $B=3.45m$)

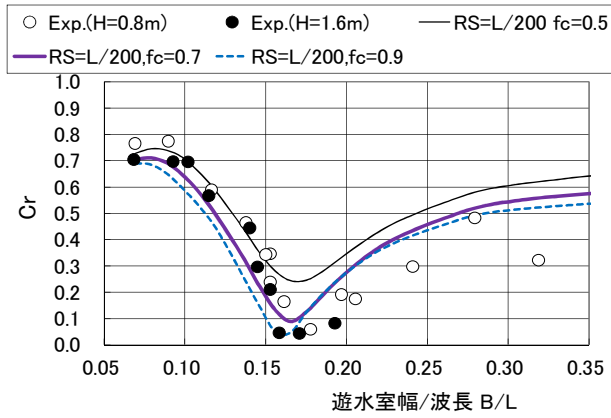


図-6 反射率に及ぼす減衰係数 f_c の影響
(高潮位 $h=9.5m$, $d_1=5.8m$, $d_2=7.5m$, $B=3.45m$)

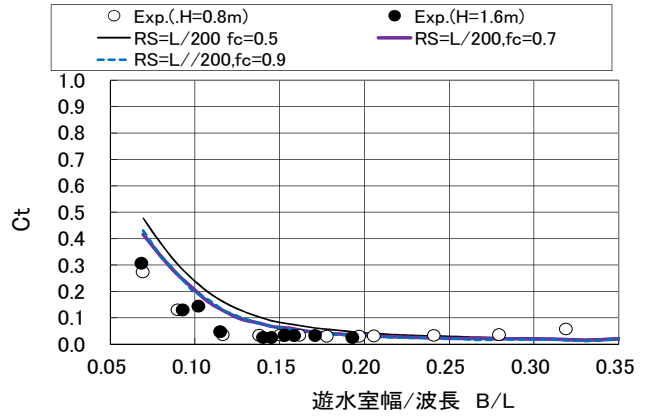


図-7 透過率に及ぼす減衰係数 f_c の影響
(高潮位 $h=9.5m$, $d_1=5.8m$, $d_2=7.5m$, $B=3.45m$)

RS=L/150 より狭くしても反射率に及ぼす影響はほとんど見られないことや透過率に及ぼす影響は小さいことなどが分かる。また、従来法で、 $f_c=0.7$ を用いると、過大なエネルギー逸散を予測するため、実験結果との相違が大きくなることなども認められる。

一方、図-6は、反射率 C_r に及ぼす線形減衰係数 f_c の影響について検討した結果である。この図から、 f_c の値としては、 $f_c=0.7$ 程度とした算定結果が実験結果との対応が最もよいと判定される。また、図-7は、透過率 C_t に及ぼす f_c の影響について検討した結果を示す。 C_r の場合に比較すると、透過率 C_t に及ぼす f_c の影響は比較的小さいことなどが確認される。

以上の検討から、狭領域の減衰波理論では、減衰波領域としてRS=L/200程度とし、線形減衰係数 $f_c=0.7$ 程度すれば従来の実験結果との対応が良いと考えられる。以下、その他の潮位や構造条件についても更に検討してみる。

3. その他の潮位条件と構造条件に関する検討

図-8と図-9は、平均潮位における、それぞれ反射率と透過率の結果を示す。図中には、妥当性が確認された算定条件(RS=L/200で $f_c=0.7$)を用いた狭領域モデルによる結果と従来法による算定結果ならびに実験結果を示す。これらの図から、反射率 C_r については、やはり狭領域モデルによる算定結果がB/Lによる変化特性を含め、実験結果とほぼ一致していることが分かる。ただし、B/Lの大きい短周期側では、実験結果との差異も見られる。これは水面付近の傾斜板列と波面との衝突現象による逸散など、流体抵抗による逸散機構とは異なる水理現象によるものではないかと推測されるが定かでない。

図-10と図-11は、低潮位における結果を上記の例と同様にして示す。反射率 C_r については、狭領域モデルによる算定結果が実験結果とほぼ一致している。ただし、平均潮位の場合と同様に、B/Lの大きい短周期側では、実験結果との差異が見られ、やはり水面付近の傾斜板列と波面との衝突現象による逸散などの影響によるものではないかと推測される。透過率 C_t については、平均潮位および低潮位の条件共に、狭領域モデルによる算定結果は、実

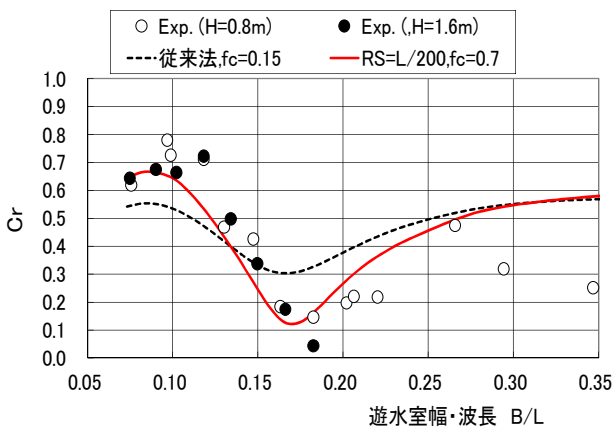


図-8 平均潮位における反射率のB/Lによる変化
(平均潮位 $h=7.9m$, $d_1=4.2m$, $d_2=6m$, $B=3.45m$)

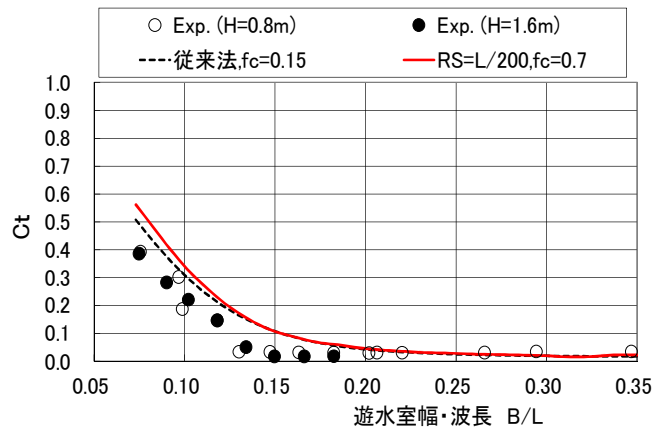


図-9 平均潮位における透過率のB/Lによる変化
(平均潮位 $h=7.9m$, $d_1=4.2m$, $d_2=6m$, $B=3.45m$)

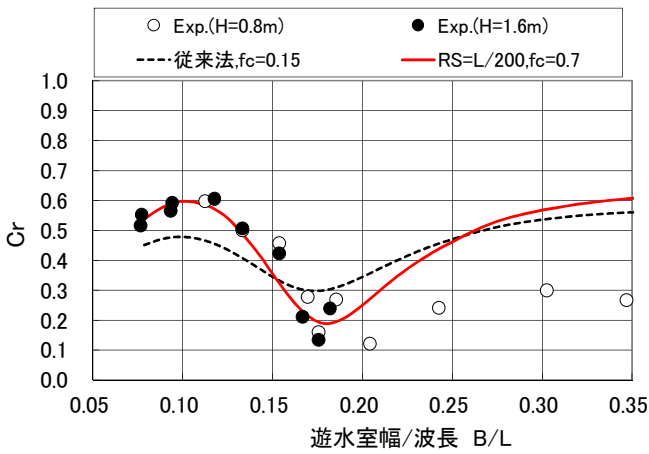


図-10 低潮位における反射率のB/Lによる変化
(低潮位 $h=6.4\text{m}$; $d_1=2.8\text{m}$, $d_2=4.4\text{m}$, $B=3.45\text{m}$)

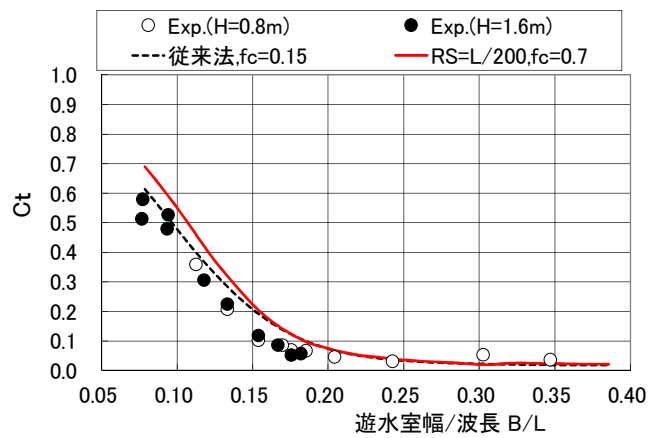


図-11 低潮位における透過率のB/Lによる変化
(低潮位 $h=6.4\text{m}$; $d_1=2.8\text{m}$, $d_2=4.4\text{m}$, $B=3.45\text{m}$)

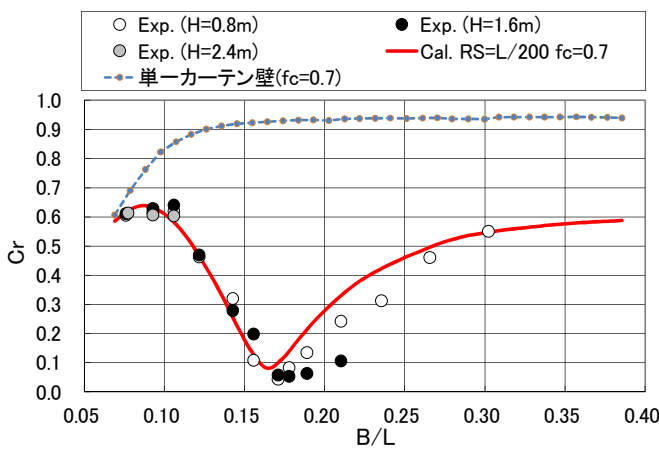


図-12 同吃水二重式カーテン防波堤の反射率のB/Lによる変化
(高潮位 $h=9.5\text{m}$, $d_1=d_2=5.8\text{m}$, $B=3.45\text{m}$)

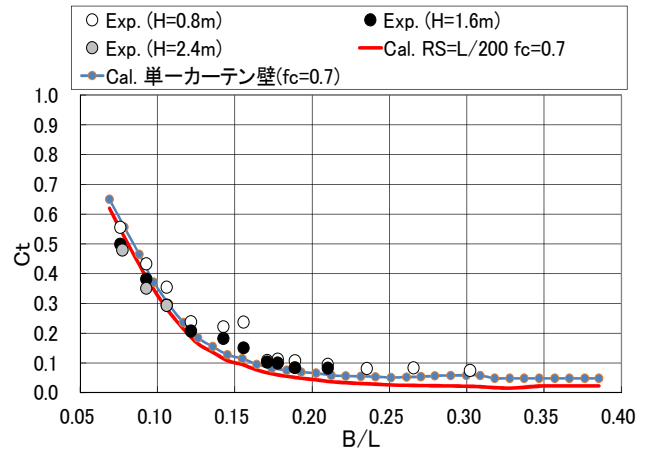


図-13 同吃水二重式カーテン防波堤の透過率のB/Lによる変化
(高潮位 $h=9.5\text{m}$, $d_1=d_2=5.8\text{m}$, $B=3.45\text{m}$)

験結果よりも多少ながら高めの予測であるが、 B/L による変動傾向など両結果は概略的に一致している。

最後に、図-12と図-13は、図-1の傾斜板列型二重式カーテン防波堤において、後壁カーテン壁の吃水深 d_2 を浅くして、前面の傾斜板列壁の吃水 d_1 と同一にしたときの結果を示す。前者が反射率、後者が透過率の結果であり、これらは共に高潮位の条件に相当する。また、図中には、前面の傾斜板列を取り除き、後壁のみの単一カーテン防波堤に対する結果についても併せ示した。まず、実験結果と狭領域減衰波モデルによる算定結果を比較すると、反射率と透過率の両者共に算定結果と実験結果はほぼ一致していることが認められる。ただし、反射率については、 B/L の大きい短周期側で、多少ながら差異が見られる。また、単一カーテン壁の反射率と比較すると、二重構造の反射率は、極小を示す B/L の条件を中心に大幅に低減していることが分かる。これは過去の研究¹⁾でも指摘されているように、遊水室内の波浪共振に伴うエネルギー逸散の増大による。一方、透過率は、単一カーテン構造と二重カーテン構造で差異はほとんど見られず、透過波の制御には、後壁カーテン壁が重要な役割を果たしていることが認められる。

4. 結語

構造体の没水表面に付着するように減衰波領域を設定する狭領域減衰波モデルは、構造体の全体を対象として、その前後にしかも水深方向に一様に減衰波領域を設定する従来の減衰波モデルよりも、傾斜板列型二重式カーテン防波堤の波浪制御効果等の予測に関して優れている。この際、減衰波領域としては、構造体の没水表面上において波長の1/200程度の狭い範囲とし、使用する線形減衰係数 fc は0.7程度とすればよい。

参考文献 1) 中村, 神川, 河野, 榎本: 傾斜板列を前面壁とする二重式カーテン防波堤による波浪制御効果について, 海洋開発論文集, 第15巻, 1999, pp. 13-18, 1999. 2) 河村, 中村, 浅田, 伊井, 平山: 減衰波理論による直立消波構造物の近似解析と適用性について, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 第71巻, pp. 829-834, 2015.