

PC 部材で構築された消波堤

オリエンタル建設(株)岡山工場

○武本大作

オリエンタル建設(株)滋賀工場

森下重和

オリエンタル建設(株) 技術部

正会員

森田嘉満

1. はじめに

これまで、PC 部材を使用したポンツーン・栈橋・護岸矢板・ケーソン等の港湾構造物は、長年にわたりその健全性を保っている。この要因としてPC 部材が、高強度・耐久性・水密性を兼ね備えているためであり、今後も海洋構造物にPC 部材の活用が期待される。その中で新たな構造形式として、岡山市犬島港にて採用されたプレキャスト消波堤の機能概要及び部材製作について、紹介する。

2. 機能概要

杭式防波堤であるカーテン防波堤は、軟弱地盤上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がある。しかしながら、従来の前面杭にカーテン版を取り付ける単一カーテン形式では、透過波を低減し港内の静穏度は保てるものの、逆に反射波は増大し、航行船舶や周辺海域に副次的な影響を及ぼすことが懸念される。このことから、透過波のみならず反射波を低減することが必要になってくる。今回提案したプレキャスト消波堤の構造は、後面杭にもカーテン版を取り付ける異吃水（いきっすい）の二重カーテン形式とすることにより、前面と背面のカーテン版間において、波の波動特性を用いることで波エネルギーを逸散させ、反射波の低減を図れる構造である。（吃水 = カーテン版下端部の深さのこと）

2-1 研究内容

本構造物の研究過程は、2段階で行われた。まず、不透過版で構成される異吃水の二重式カーテン防波堤である。これは、図-1に示すように直立式の二重式カーテンの前後で、カーテン版の下端に吃水差を設ける構造である。次に、大きな潮位変動にも対応できる構造として発案された傾斜版列を前面壁とする二重式カーテン防波堤についてである。これは、図-3に示すように前面壁を傾斜版列の透過性構造とすることにより、それほど前後の壁に吃水差を設けなくても必要な消波効果が得られる構造である。本構造物の対象波浪域として軟弱地盤を有する瀬戸内海を対象としているため大きな潮位変動にも対応できる構造が求められるためである。

以下に、上記研究における反射率の単一カーテン形式の場合と二重カーテン形式の場合との実験結果比較より、解明された内容について説明する。最も重要なことは、防波堤の形状効果であり、以下3点のパラメータに着目した。

- ① 前後カーテン版の吃水差
- ② 前後壁の間隔
- ③ 前面壁の形状（前面壁 = 傾斜版列）

2-2 不透過版で構成される異吃水の二重カーテン形式の研究

実験は、長さ28m、幅1m、高さ1.25mの2次元造波水槽を用いて行った。図-1に模型実験の概要図を示す。前後壁間隔は、従来のカーテン防波堤で用いられている上部工矩形堤の幅を参照して、30cmに固定している。後面壁の吃水深 d_2 は一定として、

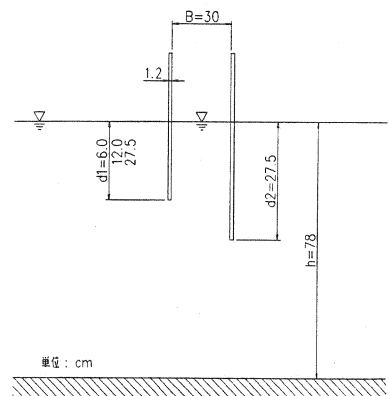


図-1 異吃水の二重式カーテン防波堤模型図

前面壁の吃水深 d_1 を変化させて比較検討した。ここで、想定した模型の縮尺は $1/17$ である。図-2 にその代表例として反射波の低減効果が最も高いことが確認された前面カーテン壁の吃水 $d_1=12\text{cm}$ のときの反射率 C_r の d_2/L (L =波長) による変化を示す。図中には、比較のため後面壁と同吃水の単一カーテン形式による結果及び減衰波理論 (物体まわりの波動場は、流速に比例して波の逸散が生じる) による算定結果も併せて示している。この図より、両堤体における C_r は、単一カーテンでは d_2/L が大きく長周期になるにつれ増大するのに対し、異吃水の二重式カーテンでは特定の d_2/L で一旦低下することがわかる。このような反射波の低減は、写真-1 に示すような前面壁下端部よりの渦流れ増大現象によると考えられる。そして、前面壁の吃水深としては、後面壁の約半分程度に設定すると、図-2 に示すように、反射波が最も低減できることが確認できた。

2-3 傾斜版列を前面壁とする二重カーテン形式の研究

異吃水の二重式カーテン防波堤では、瀬戸内海のように潮位差の大きい海域では、低潮位の際に前面壁の下端が空中に露出する場合も考えられ、実際上への適用には大きな制限を受けることになる。そこで、前面壁の吃水を比較的深くできる傾斜版列を前面壁とする二重式カーテン防波堤について検討した。

実験は、上記と同様の2次元水槽を用いた。模型堤体は、図-3 に示すように前面の傾斜版列と後面のカーテン版で構成されている。前後壁の吃水については、前面傾斜版列の吃水が各潮位に対して異吃水の二重式カーテン防波堤と同様の波浪制御効果が保てるようにし、後面壁については、低潮位でも有効な透過波の制御効果が得られる程度の吃水深として、異吃水の二重式カーテン防波堤よりも、深いものを採用した。

ここでは特に M.W.L における前面壁の吃水 $d_1=33.5\text{cm}$ 後面壁の吃水 $d_2=45.7\text{cm}$ の実験結果をふまえて、その消波効果について述べる。図-4 に前後壁間隔 $B=34\text{cm}$ のときの反射率 C_r について、 d_2/L による変化を示す。また、図-5 には、前後壁間隔 $B=26\text{cm}$ のときの結果を同様に示す。両実験結果より、上記した異吃水の二重式カーテン防波堤と同様に反射波が有意に低減されていることがわかる。このことは、図中に示す単一カーテン壁の C_r との比較からも明白である。そして、前後壁間隔を広くすると C_r が一旦低下する d_2/L の値は小さくなり、より長周期の反射波を低減することが出来ることになる。

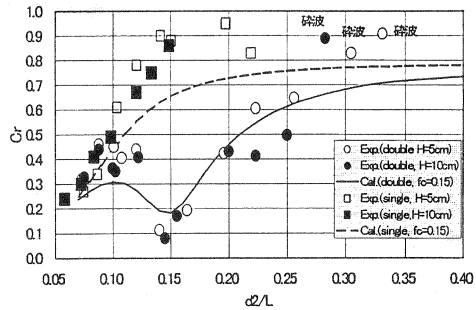


図-2 異吃水の二重式カーテンと単一カーテンの反射率 C_r の比較 ($h=78\text{cm}$, $d_1=12\text{cm}$, $d_2=27.5\text{cm}$, $B=30\text{cm}$)

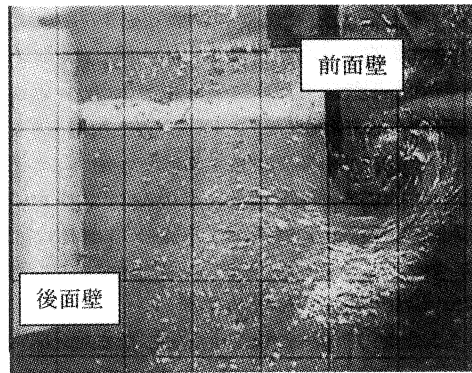


写真-1 異吃水の二重式カーテン消波効果

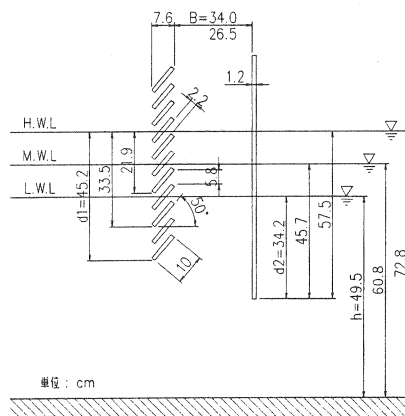


図-3 前面壁を傾斜版列とする二重式カーテン防波堤模型図

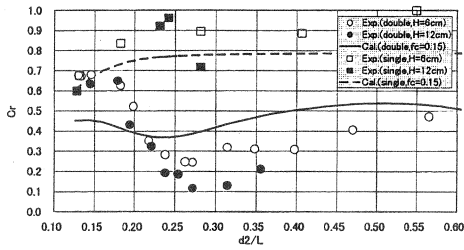


図-4 傾斜板列を前面壁とする二重式カーテンと単一カーテンの反射率 C_r の比較 ($h=60.8\text{cm}$, $d_1=33.5\text{cm}$, $d_2=45.7\text{cm}$, $B=34\text{cm}$)

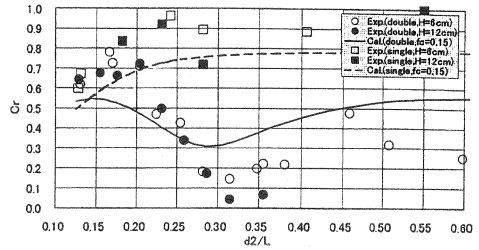


図-5 傾斜板列を前面壁とする二重式カーテンと単一カーテンの反射率 C_r の比較 ($h=60.8\text{cm}$, $d_1=33.5\text{cm}$, $d_2=45.7\text{cm}$, $B=26.5\text{cm}$)

3. 部材製作

今回採用された犬島消波堤の全体構造図を図-6 に示す。その構成は、前後面の PC カーテン版、杭頭巻きコンクリート及び天端コンクリート受け U 型支保工桁からなり、全てプレキャスト部材を用いる。上部構造を支持する下部構造は、鋼管杭 ($\phi 800\text{mm}$) を用いている。以下、部材製作にあたり特に留意した前面傾斜版列 PC カーテン版突起部の製作方法について述べる。

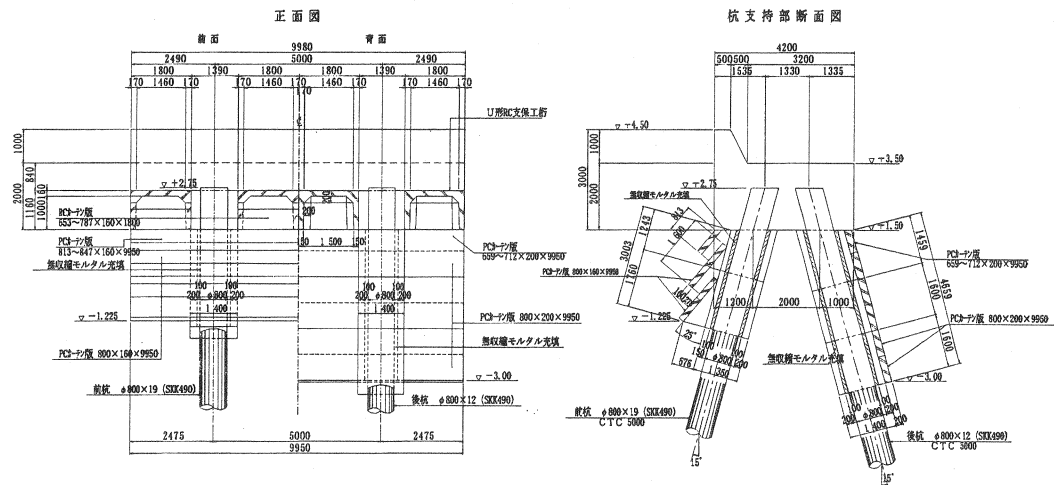


図-6 犬島消波構造図

3-1 部材製作 (STEP1)

傾斜版列と突起部との結合部は、PC 版からの張り出し鉄筋 D13 の配筋のみで結合されるため、コンクリートの充填性を特に配慮し、図-7 に示す製作方法とした。反転機を用いて傾斜 PC 版 2 枚を鉛直にセットした状態で、緊ぎ鉄筋を配筋する。PC 版セット時の接合寸法及び鉛直性の調整には、H 鋼用のスチフナージャッキを用いた。その後、型枠を組立てコンクリートの充填性が危惧される箇所をあらかじめ打設しておくことにより、2 枚の PC 版の確実な結合を行った。

3-2 部材製作 (STEP2)

結合 PC 版と単体 PC 版を傾斜ゲージ型枠上にセットし、結合鉄筋と突起鉄筋を配置した後、型枠組立・コンクリート打設をした。中空型枠にはワイディングパイプを使用し、組合い工数の削減を図った。そのワイディングパイプは、コンクリート圧による変形を防ぐために円加工した補強用アングルを 600mm ピッチ程度

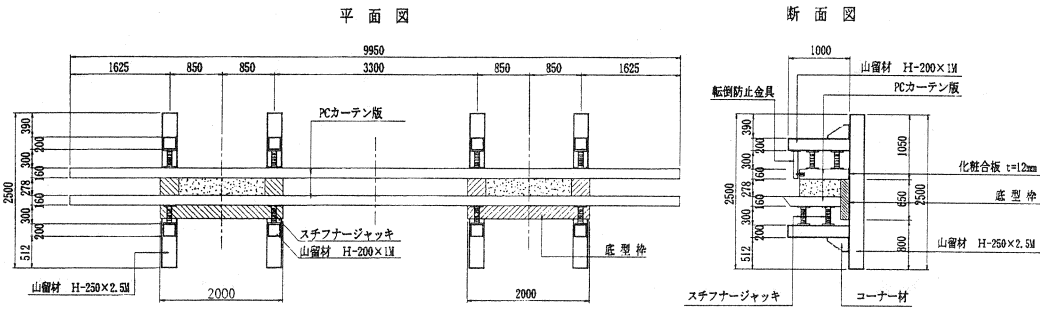


図-7 前面傾斜版列間部の製作図

で内側に配置した。その結果中空型枠の変形は、1mm程度に抑えることができた。なお、このアングルは脱型後に取り外して転用できる構造とした。中空型枠のコンクリート打設時における浮力による浮きあがりに対しては、浮き止め用のバンドを450mmピッチ程度に配置して、中空型枠の移動を固定した。目地鉄板の固定は、PC版の出来型誤差及び型枠の兼用を考慮し、側型枠に鋼製面木を溶接し目地鉄板を挟み込む構造とした。図-8に、その製作図を示す。

3-3 部材製作 (STEP3)

側型枠脱型後、門型クレーンにてブロックの切り離しを行い、サンドベース上で仮置き・反転を行った。反転時のアンカーには、現場仮設用のゲビンデ鋼棒及びデーハーアンカーを利用した。

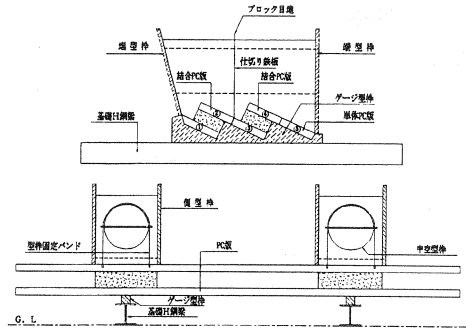


図-8 前面カーテン版突起部の製作図

4. おわりに

プレキャスト消波堤の機能概要については、反射率の実験結果をふまえて簡単にその消波効果のみを説明したが、今後さらに実際の環境条件に近い状態での検討が必要とされる。すでに、高逸散型消波構造物研究会を発足し、水産庁・水産工学研究所との共同研究という形で、さらなる機能性の追求を図っている。

部材製作については、多少複雑な形状ではあるがプレキャスト部材を一貫して製作できるように創意工夫が必要であり、また製作工数の削減を目指している。

参考文献

- 1) 中村孝幸・井出善彦：波の逸散現象を利用した隅角物体まわりの波変形と作用波力の算定法
海洋開発論文集，第13巻，pp.177～182，1997