

波浪フィルター理論を応用した離岸堤構造の消波効果について

森田 知志*・中村 孝幸**

1. はじめに

波浪フィルター理論(望月, 1990)は電気工学における Low Pass Filter 回路の設計法を矩形水路内の波浪に適用したもので, 波浪の通過が効果的に抑えられる水路各部の構造寸法を, 目標とする周期帯の条件から簡単な筆記計算によって直接決定できるところに大きな特長がある。中村ら(1995)はこの理論を用いて設計した共振装置の波浪制御特性について実験や数値解析を行い, ほぼ設計どおりの周期帯において優れた制御特性が得られることなど同理論の設計法としての有効性を明らかにしている。さらに中村ら(1995, 1998)はこの共振装置を港内波浪の静穏化対策として港口部に設置することを提案し, その有効性についても検証している。本研究では波浪フィルター理論によって最適設計された共振装置の適用先として新たに離岸堤構造を取り上げ, その消波効果について究明するものである。

ところで, わが国各地の海岸に建設された離岸堤の例をみると, 波浪透過型の堤体が1スパンあたり100m前後にわたって連続的に設置されており, 水理的な作用面からみると堤体の断面はスパン全体で一様となるように設計されていることがわかる。これに対して共振装置の連続配置による離岸堤構造を想定すると, 複数の独立した大型ブロックで1スパンを構成する構造が考えられ, 平面的な透過性構造となることに特徴を見出すことができる。波浪フィルター理論による最適設計によって各ブロックおしの間隔は比較的大きくとることができるので1スパンの実質的な延長が少なくなり, コストや工事期間の面で有利となる可能性が高い。

本研究では, 波浪フィルター理論を用いて設計した離岸堤の1スパン分を対象にして, Green 関数法に基づく数値計算と平面水槽による水理模型実験を実施し, 規則波および多方向不規則波に対する消波特性について明らかにすると共に, 波浪フィルター理論の離岸堤への適用性について検討・考察するものである。

2. 離岸堤の形状および共振装置の特性

(1) 離岸堤の平面形状

波浪フィルター理論を用いて決定した離岸堤の平面形状を図-1(a)に示す。水深が8mの海域に設置された延長 $W=150\text{m}$ の堤体が一連した6基のH型ブロックで構成される構造である。ブロック間の遊水部は矩形型共振装置として機能し, その有効周期帯は3.8~7.0 secの範囲となるように設定してある。開口率は44%である。

図-1(b)は並列ブロックを採用した場合の平面形状を示す。波浪フィルター理論をほぼ忠実に具体化した矩形型共振装置に対して, 岸沖方向の壁体を省略したよりシンプルな構造である。この場合の遊水部は波が直角に入射するときには, 各ブロックの中立軸に関する鏡像関係を考慮すると矩形型共振装置の場合と同様に機能するものと期待でき, 開放型共振装置と称することとする。なお, これと類似した共振装置を港口部に設置した場合の波浪制御特性については中村ら(1998)によって既に検討されている。

図-1(c)は延長, 幅, 開口率および基数を上記と等し

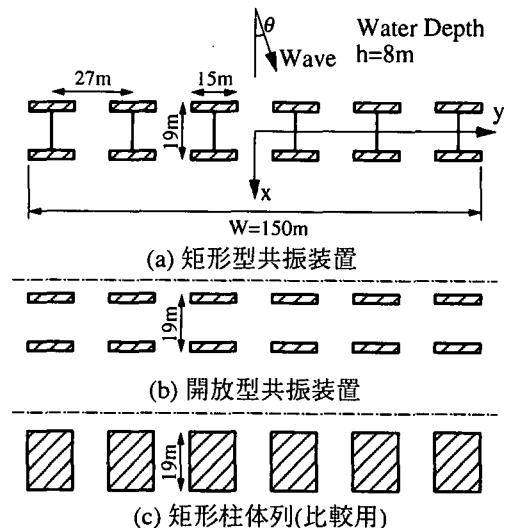


図-1 対象とした離岸堤構造の平面形状

* 正会員 工修 (株)熊谷組 技術研究所
** 正会員 工博 愛媛大学 工学部

く設定した矩形柱体列を示したもので、本研究では共振装置としての機能をもたない比較対象として採用した。

(2) 共振装置による透過波の周期特性

有限長の離岸堤背後に伝達する波浪は、堤体列内の遊水部を通過する透過波と堤体列の両端部からの回折波とによりもたらされるが、これらのうち共振装置の効果が直接反映される透過波の特性について、堤体の無限配列

を想定したグリーン関数法(中村ら, 1988)による算定結果を入射角度別に図-2および3に示す。各図の縦軸には透過波高の配列方向におけるrms値と入射波高との比(K_d)_{rms}, 横軸には周期 T がとってある。

図-2は直角入射を想定した場合の結果であり、設計時に設定した有効周期帯(3.8~7.0 sec)において、矩形型および開放型共振装置の(K_d)_{rms}は矩形柱体列に比べて大幅に低減していることがわかる。共振装置による透過波の低減効果および波浪フィルター理論による設計の妥当性が認められる。なお $T=4.3$ sec付近の条件下で(K_d)_{rms}がスパイク状の変化を示すのは、配列方向への横波共振によるものである。

次に図-3は波の入射角が $\theta=15^\circ$ の場合の結果を示す。この場合にも各共振装置を備えた堤体列の(K_d)_{rms}は矩形柱体列のそれを大きく下回るように出現しており、装置が有効に作用していることがわかる。ただし、開放型共振装置の(K_d)_{rms}は $T=4\sim 5$ secの条件下で0.7程度にまで増加するなど、矩形型共振装置に比べると消波効果が甘くなっている。これは遊水部の形状変化によって横波共振の発生パターンが異なるためと思われる。

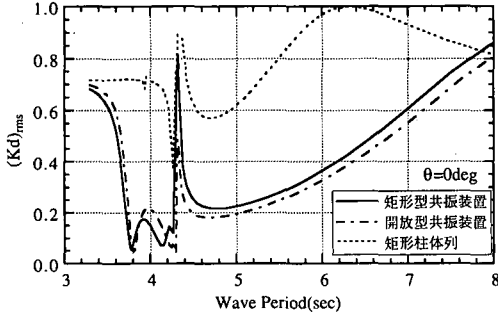


図-2 各離岸堤構造による透過波高のrms値 ($\theta=0$ deg)

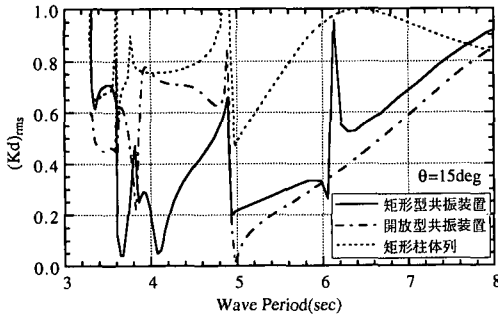


図-3 各離岸堤構造による透過波高のrms値 ($\theta=15$ deg)

3. 規則波に対する波浪制御効果

(1) 実験装置および実験方法

共振装置を組み込んだ有限長の離岸堤の規則波に対する有効性を検討するため、平面水槽による波高分布の測定実験を行った。図-1(a)(b)に示した離岸堤を対象に縮尺を1/20とした堤体模型を鋼材と耐水ベニヤ板により製作した。平面水槽内への模型の設置状況は図-4や写真-1に示すとおりであり、水域の平面位置を表す X -

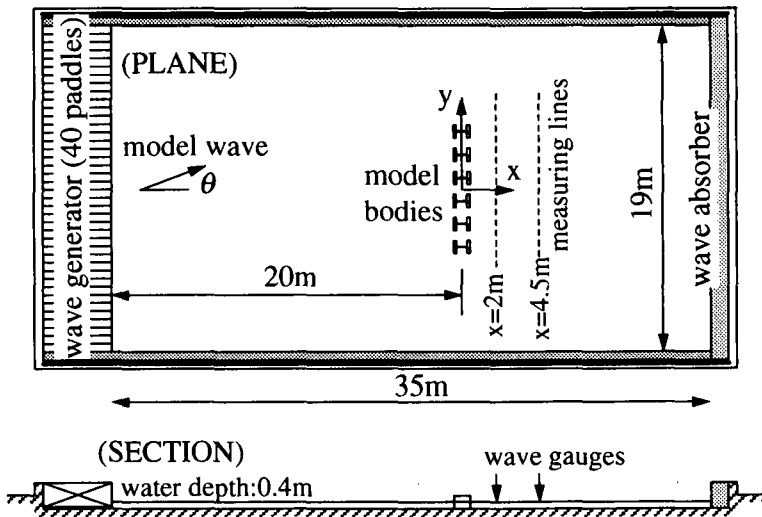


図-4 水槽内での実験装置の配置

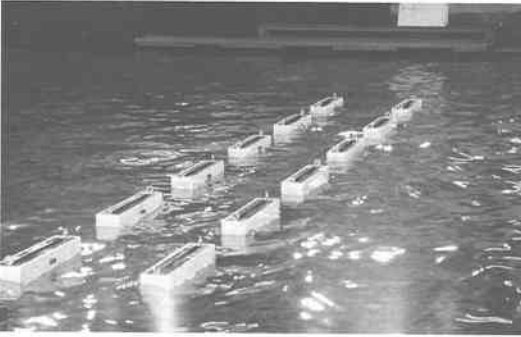


写真-1 多方向不規則波中の離岸堤模型の状況

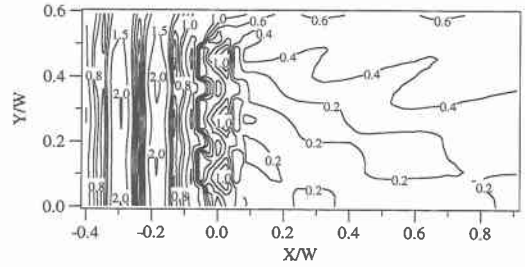


図-6 規則波に対する回折係数の平面分布
(矩形型共振装置, $T=4.9 \text{ sec}$, $\theta=0 \text{ deg}$)

Y座標系を堤体列の中心に原点をとって図示のように設定した。水槽の一端には40枚のパドルからなる多方向造波機が、他端には厚さ1mの消波装置が設置されている。また両側の内壁は鋼板による不透過構造となっている。ここでは入射波として周期 T_m が0.75~1.98 sec(現地換算3.4~8.9 sec)の5種類、波向 θ が 0° および 15° 、波高 H が5 cm程度の計10種類の規則波を採用し造波機の運転を行った。なお、斜め波の実験では森田ら(1992)による水槽側壁による波の完全反射を考慮した造波方法を採用し、模型位置($X=0$)における入射波の分布が水槽横断方向にわたって均一となるように造波信号の制御を行った。

波高分布の測定は $X=2 \text{ m}$ および 4.5 m (現地換算40 m, 90 m)の堤体背後に設けた測線上に25~50 cmの間隔で配置した波高計により行った。実験時の水深 h は40 cmと一定にした。

(2) 堤体背後における波高分布特性

入射波の周期を現地換算で $T=4.9 \text{ sec}$ 、波向 θ が 0° および 15° の場合の各測線上での波高分布の実験結果を代表例としてまとめて図-5に示す。図中の縦軸は回折係数 K_d (測定波高/入射波高)、横軸は堤体延長 W で無次元化したY座標を表す。また各々の図中には、比較のため、鉛直線グリーン関数法(中村ら, 1993)による矩形柱体列を含めた算定結果についても併せ示してある。

この図より、離岸堤背後で計測された波高値は矩形柱体列の計算値に比べてほぼ半減していることや、堤体列中央部($Y/W=0$)付近での K_d は図-2や3に示した(K_d)rmsにほぼ等価な値となっていることなど、共振装置の採用によって有限長の離岸堤による波浪制御効果は大幅に向上していることが認められる。また、矩形型と開放型の各共振装置による消波効果に有意な差異は見られないことや、計算値と実験値は良好に対応していることなどがわかる。本研究では他の波周期についても同様

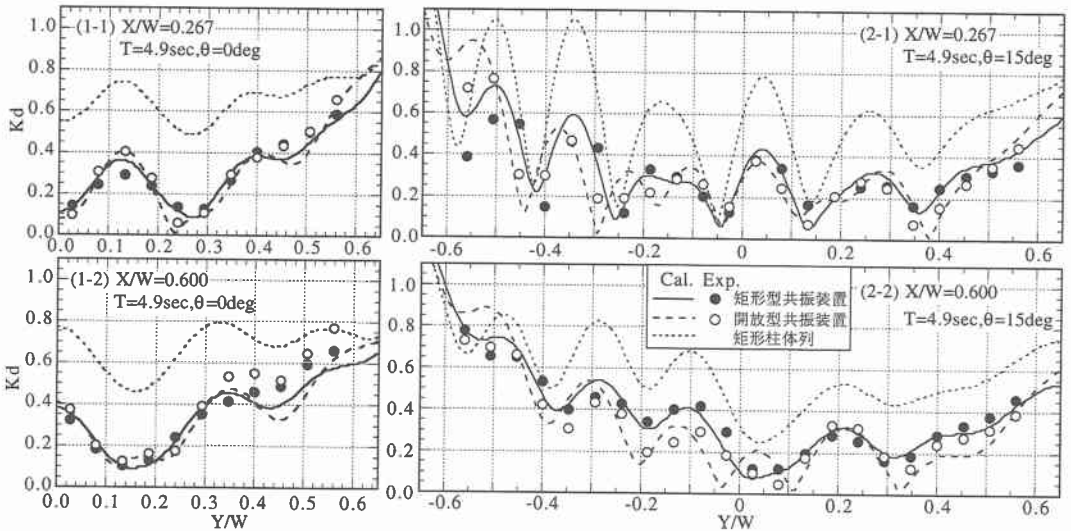


図-5 離岸堤背後の波高分布の測定結果 ($T=4.9 \text{ sec}$)

な検討を行っているが、何れの周期条件においても離岸堤背後の中央部付近には図-2や3にほぼ対応した波高値が現れることや計算値と実験値は周期や波向に拘わらず良く一致することなどを確認している。

図-6は $T=4.9$ sec, $\theta=0^\circ$ の条件下での堤体まわりの回折係数 K_d の計算結果をコンターで示す。堤体列の沖側では部分重複波が形成されて起伏の激しい平面分布となっている一方で、岸側の水域では波高の小さい静穏域が広がっていることなどがわかる。

4. 多方向不規則波に対する波浪制御効果

(1) 実験および理論解析の方法

より現実的な波浪条件での消波性能の検証を目的に、多方向不規則波による実験を行った。実験水槽、模型および計測内容は前述の規則波実験の場合と同様である。多方向不規則波の造波条件としては、現地換算有義波で $T_s=6.0$ sec, $H_s=1.8$ m の諸元をもつプレットシュナイダー・光易型スペクトルと、波の主方向 $\theta=0$, 方向集中度パラメーターの最大値 $S_{max}=40$ の光易型方向関数を採用した。水槽内の発生波は、4本の波高計による星形アレイにより堤体模型を撤去した状態で計測し、F.F.T.法と最尤法(M.L.M.)によるデータ処理を介して諸元の確認を行った。測定された発生波の方向スペクトルを

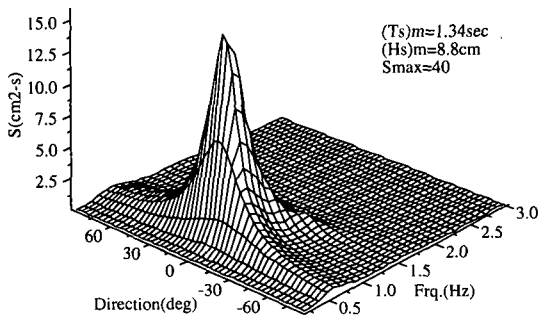


図-7 多方向不規則波の方向スペクトル

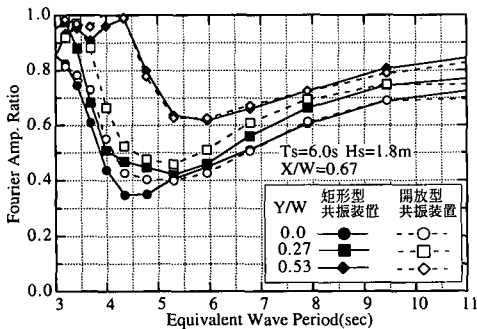


図-8 離岸堤背後で計測された波浪の振幅比スペクトル

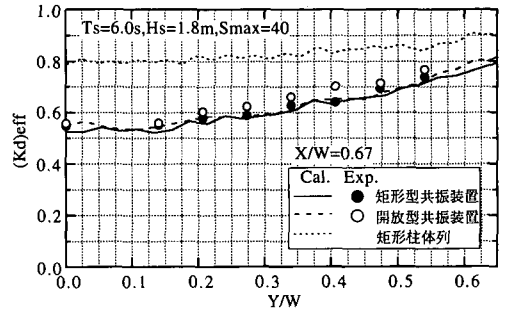


図-9 離岸堤背後の不規則波回折係数の分布

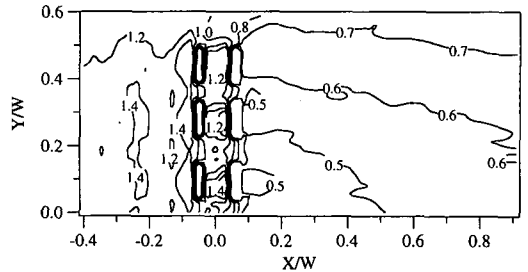


図-10 不規則波回折係数の平面分布 (矩形型共振装置, $T_s=6.0$ sec, $\theta=0$ deg, $S_{max}=40$)

図-7に示す。

一方、理論解析に関しては前章での検討により適用性が確認された中村ら(1993)による方法を用いて成分波ごとの回折係数を求めておき、それらを入射波の方向スペクトルに従って逆F.F.T.法により合成して着目点ごとの不規則波の時系列を算定した。この際、成分波への分割数は波周期10成分×波向10成分の合計100成分程度とした。

(2) 堤体背後における不規則波回折係数の特性

図-8は、各々の共振装置の堤体背後 ($X/W=0.67$) に現れる波浪の振幅スペクトルの入射波スペクトルに対する比率と成分波の周期との関係について、堤体列の中央および端部 ($Y/W=0, 0.53$) を含む3ヶ所での測定結果に基づき示したものである。規則波が直角入射する場合の透過波の特性を示した図-2と比較してみると、多方向不規則波の場合には斜波成分波の混入やF.F.T.計算に伴う平滑化の影響のために波周期による振幅比の変動は穏やかなものとなり、その極小値も増加していることなどが認められる。しかし、それでも共振装置の有効周期帯(3.8~7.0 sec)における振幅比は堤体端部を除くとほぼ0.6を下回る極小域として出現しており、波浪フィルター理論による共振装置の設計法は多方向不規則波に対しても有効であることが判明した。

次に、図-9は堤体背後における不規則波回折係数 $(K_d)_{\text{eff}}$ の分布について実験結果と矩形柱体列を含む解析結果を示したものである。この図より共振装置の $(K_d)_{\text{eff}}$ は矩形柱体列のそれを大幅に下回っており、共振装置の有効性が検証されたものと言える。また、実験値と計算値はよく一致していることや、矩形型および開放型共振装置による消波性能はほぼ等価であることなどが確認できる。

最後に、図-10は矩形型共振装置による堤体列まわりの不規則波回折係数 $(K_d)_{\text{eff}}$ の計算結果をコンターで示す。規則波の場合を示した図-6に比べ、 $(K_d)_{\text{eff}}$ の場所的な変動は穏やかであることなど、多方向不規則波に対する回折係数の特徴を読みとることができる。特に、堤体列背後での $(K_d)_{\text{eff}}$ は規則波に対する回折係数よりも大きく現れており、このことは離岸堤の消波性能を把握する上で注意すべき事項と言えよう。

5. 結 語

(1) 波浪フィルター理論を用いて設計した共振装置型の離岸堤は、高い消波性能を維持したままで堤体列の開口率を45%程度まで広くとることが可能である。

(2) 共振装置を応用した離岸堤の消波特性は設計どおりの比較的広い周期帯にわたって良好である。矩形型

および開放型離岸堤の直角入射波に対する消波性能の効果は同等である。

(3) 堤体周囲の波高分布に関して計算結果と実験結果の対応は良好であり、解析法の妥当性が示された。

(4) 共振装置型の離岸堤は多方向不規則波に対しても有効である。波浪フィルター理論を用いることによって多方向不規則波に対する効率的な離岸堤の設計が可能であることが明らかとなった。

参 考 文 献

- 中村孝幸・岩崎和弘 (1993): 直線配列された消波堤による平面的な波変形に関する研究, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 626-630.
- 中村孝幸・小野正順 (1988): 規則配列された沖合消波堤まわりの波浪共振の特性とその解析法, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 527-531.
- 中村孝幸・鈴木裕明・森田知志 (1995): 港口部に設けた共振装置による港内波浪の静穏化特性について, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 746-750.
- 中村孝幸・森田知志・加藤孝輔 (1998): 港内波浪の静穏化のための港口部共振装置の有効性について, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 721-725.
- 望月 仁 (1990): 波浪フィルター, 日本音響学会誌, 46巻12号, pp. 998-1003.
- 森田知志・大本晋士郎 (1992): 長水槽における横波モードを考慮した斜波・多方向不規則波の造波方法, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 86-90.