

垂下板式反射波低減工の潮位による 低減効果の変動とその対策工法について

VARIATIONS OF EFFECTIVENESS OF A CURTAIN-WALL TYPE REFLECTION-WAVE-DISSIPATER WITH TIDAL LEVELS AND POSSIBLE COUNTER MEASURES

中村孝幸¹・西川嘉明²・小野塚孝²・加藤孝輔²・神野充輝²
Takayuki NAKAMURA, Yoshiaki NISHIKAWA, Takashi ONODUKA, Kousuke KATOU
and Mitsuteru JINNO

¹正会員 工博 愛媛大学助教授 環境建設工学科 (〒790-8577 松山市文京町三番)

²正会員 (株)三柱 (〒135-0034 東京都江東区永代一丁目3-4)

It has become known that a curtain-wall type dissipater of reflected waves from vertical sea walls and breakwaters is more effective for comparatively long waves than the conventional perforated walls and breakwaters. The dissipation mechanism of reflected waves is to enhance vortex flows around a vertical barrier by the use of piston-mode wave resonance in the water chamber. However, for the sea with large tidal difference, it is concerned that effectiveness of the reflection dissipater may vary significantly with tidal levels because the draft depth of the vertical barrier changes with tidal levels.

In this study, at first, variations of effectiveness of a curtain-wall type dissipater with tidal levels were clarified by both the physical model test and theoretical study. Secondly, in order to overcome such difficulties resulted from varying tidal levels, two different counter measures were proposed. Effectiveness of these measures was also examined theoretically and experimentally.

Key Words: *Curtain-wall type dissipater, tidal level difference, combination of different draft unit, doubly walled dissipater, piston-mode wave resonance*

1. 序論

既に著者ら^{1), 2)}は、水深を固定した条件下で垂下板式反射波低減工の消波効果について検討し、特定の遊水室幅・垂下版吃水深の組み合わせに対して固有の周期条件で効果的に反射波が低減できることなどを明らかにしてきた。しかしながら、瀬戸内海のような潮位差の大きい海域では、潮位変化に伴い、垂下版の吃水深は変化することになり、結果的に有効周期帯も変化することが予測され、消波対象波に対して十分な低減効果が得られない恐れがある。

特にカーテン防波堤や垂下板式反射波低減工では、水面付近のみを壁で遮蔽する構造であるため、その吃水深が潮位に伴い変動し、最悪のときには空中に露出するなどの事態が生じることになる。

本研究では、このような潮位差対策として、i) 前面垂下版の吃水深が異なるユニットを交互配置する方法(図-1)、ii) 二重式垂下版構造とする方法(図-2)の2種類を提案し、その効果を実験と理論に基づき明らかにする。i)の方法は、潮位変化に対して平面的に対応する方法であり、ii)の方法は

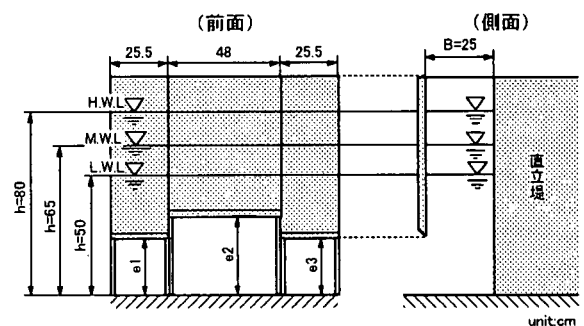


図-1 異吃水ユニットの模型

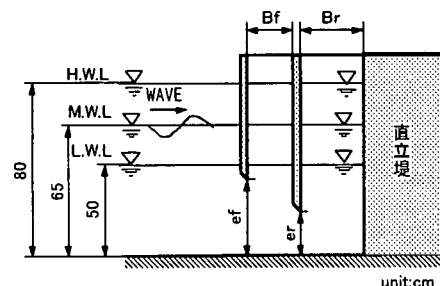


図-2 二重式垂下版構造の模型

二重式構造の反射波低減工が比較的広い有効周期帯をもつことを利用する方法である。

2. 実験装置および実験方法

(1) 実験水槽

実験は、愛媛大学工学部環境建設工学科の長さ25m、幅1m、高さ1.25mの2次元水槽を用いて行った。この水槽の一端には、サーボ式モータを動力源とする反射波吸収方式のピストン型造波装置が、他端には端部からの再反射を防ぐために砕石からなる1/5勾配の消波工が設けてある。

(2) 実験方法と実験模型

模型堤体は、1ユニットの横幅を48cmとし、その両隣のガラス側壁と隣接する場所には、1ユニット幅の約1/2の模型堤体を設置した。これは、両側壁の完全反射を仮定すると、それらの鏡像原理により、長水路内での堤体まわりの波変形が、それを規則的に無限配列したときと同じになることから採用したものである。この模型堤体の遊水室幅 B は25cmと固定し、垂下板を各種の吃水深 d を各種に変化させた。なお、ここで用いた模型の縮尺は1/10程度である。

水深は、瀬戸内海などの潮位差の大きい海域を想定し、高潮位、平均潮位、低潮位をそれぞれ8.0m、6.5m、5.0mとした。

消波対象波には現地周期で5.0～5.5sの波を想定し、平均潮位(M.W.L)で効果的に反射波を低減できるように遊水室幅 B 、垂下板吃水深 d を、従来明らかにしている設定法¹⁾に基づき決定した。そして、まず最初に、このように決定した B と d をもつ低減工ユニットを横方向に3つ配列した模型を用いて、各潮位に対して反射率の特性を検討した。

次に、図-1に示すように、吃水深 d (下部開口長 e) が異なるユニットを各種に組み合わせ、同様に、各潮位に対して反射率の特性を把握した。このとき、吃水深としては、それぞれ低・高潮位の時対象波に対して効果的となるようなものを選定した。

一方、二重式構造の低減工については、低潮位から高潮位の範囲で、消波対象波に対して効果的となるように広い有効周期帯をもつ吃水深と遊水室幅の組み合わせを選定した。そして、この二重式の低減工については、減衰波理論³⁾に基づく数値実験により低減効果を検討した。

3. 反射特性の変化

(1) 同吃水ユニットの低減効果の潮位による変化

効果的な異吃水ユニットの組み合わせ法を検討する前に、各ユニットの開口長 $e1 = e2 = e3 = 25\text{cm}$ と一定にした模型を用いて潮位による反射波特性の変化について検討した。なお、以下では、潮位に伴

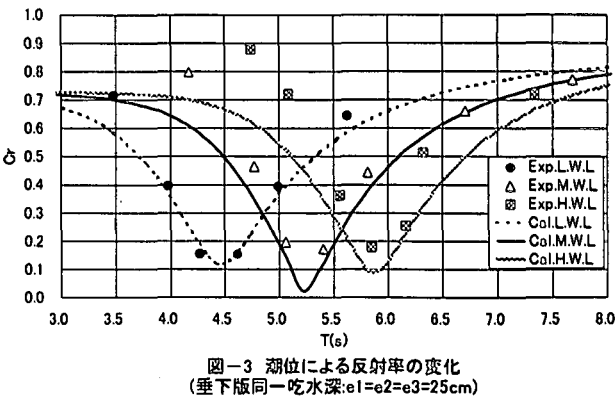


表-1 異吃水ユニットの組み合わせ

	開口長 e (unit:cm)		
	$e1$	$e2$	$e3$
Case1	25	25	25
Case2	25	15	25
Case3	25	35	25
Case4	35	15	35
Case5	15	25	35

い変化する垂下板の吃水深の代わりに、それによる変化がない垂下板下部の開口長を用いて説明することにした。

図-3は、この模型堤体に対する高潮位、平均潮位、低潮位の時々の反射率 Cr を一括して示す。横軸は、現地波を想定した周期 $T(\text{s})$ で表示してある。図中には、減衰波理論による算定結果についても併せ示してある。なお、減衰波理論による算定では、減衰波領域の広さや等価線形抵抗係数 fc が必要になるが、これらについては中村らの研究¹⁾と同様のものが適用できるとした。すなわち、減衰波領域については、遊水室内を含め垂下板より沖側に $1/8$ 波長までの領域とした。また、線形抵抗係数は $fc=0.20$ とした。

この図より、 Cr は各潮位で異なる特定の周期条件で極小となり、その値は $1 \sim 2$ 割程度と反射波が効果的に低減されているのがわかるが、 Cr が 0.5 以下となる有効周期帯は、低潮位より高潮位へと潮位が高くなると長周期側に移行するなど大きく異なることも確認できる。この傾向は、減衰波理論による算定結果においても同様に認められる。

これは、潮位に伴い吃水深が深くなることから、遊水室内のピストンモードの波浪共振点が長周期側に移行することおよび、垂下板下端部まわりの顕著な渦流れもこの共振周期にほぼ連動するように現れることに起因する。

以上の検討から、同一吃水とした単一垂下版式反射波低減工を、瀬戸内海のような潮位差の大きな海域に設置した場合、潮位に関係なく特定の周期の消波対象波を低減することは困難と言えよう。

(2) 異吃水ユニットの組み合わせの効果

まず、平均潮位の際に着目して表-1に示すCase2~5までの各種異吃水ユニットの組み合わせを採用した模型堤体の反射波低減効果について検討してみる。

図-4、図-5は、同一の垂下版吃水深としたCase1の模型において、 e_2 のみを $\pm 10\text{cm}$ と変化させたCase2, Case3の反射率 Cr を遊水室幅・波長比 B/L の変化で示す。ここで以下の減衰波理論による算定では、まず最初に各ユニット毎に独立に反射波を算定しておき、堤体横幅を勘案してエネルギー的に合成し、最終的に次式により簡易的に反射率を求めた。

$$C_r = \sqrt{\sum_{i=1}^n C_{ri}^2 \times \ell_i} / \ell \quad (1)$$

ここに、 ℓ_i :各ユニットの横幅、 ℓ :全堤体長、 C_{ri} :各ユニットの遊水室幅と垂下版吃水深を用いて減衰波理論により算定した反射率である。

また、これらの図中には、比較のため平均潮位の際のCase1の実験および算定結果も併せて示す。これらの結果の比較から、中央の1ユニットの垂下版吃水深を浅くすると Cr の極小となる B/L は短周期側へ、深くすると長周期側へ移行することがわかる。そして、 Cr が0.5以下となる有効周期帯についても同様に、より短周期側、より長周期側に広がることが実験および算定結果から分かる。

図-6は、Case4のときの結果を示すもので、Case2, 3に比較して、開口長 $e_1 \cdot e_3$ と e_2 の差を大きくしたときのものである。この図から、 Cr の絶対値は増加するものの、有効周期帯は広がることが実験と算定結果から確認できる。

次に、図-7は、3つの異なる開口長としたCase5のときの実験結果と算定結果を示す。このときの結果は、反射率 Cr の絶対値、およびそれが極小となる条件ともに、同一吃水深としたCase1の結果に比較して有意な差はみられない。

上記の平均潮位(M. W. L)での検討から、有効周期帯の拡大が認められたCase3 ($e_1 = e_3 = 25\text{cm}$, $e_2 = 35\text{cm}$)、Case4 ($e_1 = e_3 = 35\text{cm}$, $e_2 = 15\text{cm}$)を対象にして、潮位による反射率の周期特性の変化をそれぞれ図-8、図-9に示す。横軸は、現地周期 $T(\text{s})$ に対応している。これらの図と、同一吃水深としたCase1の潮位による反射特性の変化を示す図-3とを比較してみると、異吃水ユニットを交互配置することにより、多少ながら有効周期帯は拡大できるものの、Case3では潮位による Cr の極小周期の変化が見られることや、Case4では Cr の絶対値が増加するなどの傾向も見られ、潮位差の対策工法としては十分なものとは言い難い面がある。

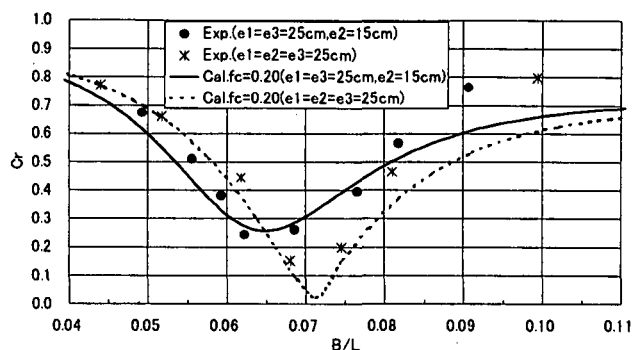


図-4 Case2での反射率 Cr の変化
($e_1=e_3=25\text{cm}$, $e_2=15\text{cm}$)

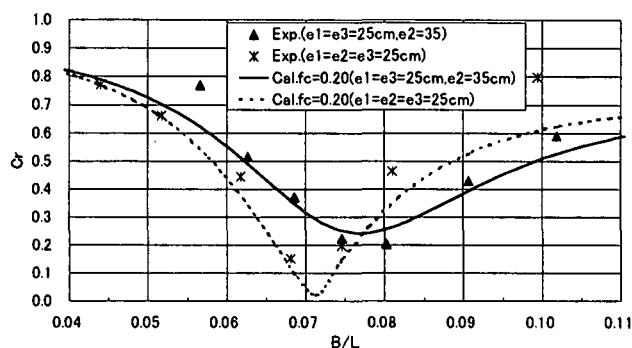


図-5 Case3での反射率 Cr の変化
($e_1=e_3=25\text{cm}$, $e_2=35\text{cm}$)

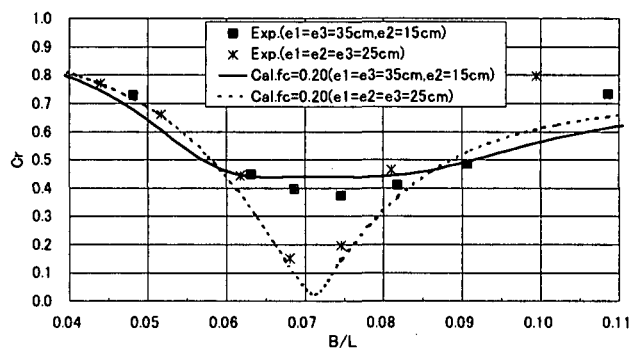


図-6 Case4での反射率 Cr の変化
($e_1=e_3=35\text{cm}$, $e_2=15\text{cm}$)

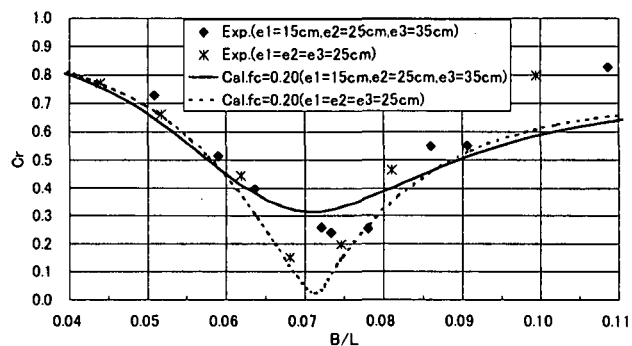


図-7 Case5での反射率 Cr の変化
($e_1=15\text{cm}$, $e_2=25\text{cm}$, $e_3=35\text{cm}$)

(3) 二重式垂下版構造の効果

まず始めに、前出のCase1の低減工を基本として、それを二重式構造にすることを試みた。付加する構造体は、平均潮位でのCase1の遊水室幅・垂下版吃水深の1/2のもの(遊水室幅 $B_f = 12.5\text{cm}$ ・開口長 $e_f = 45\text{cm}$)であり、それを沖側に取り付けた。以下

の説明では、前側の遊水室幅、開口長を B_1, e_1 とし、後側のそれらを B_2, e_2 としてある。

そして、この二重式構造の潮位による反射波特性の変化を減衰波理論に基づき検討した。このような二重式構造の反射波低減工に対する減衰波理論の適用性は、既に中村ら^{1),2)}により確認されており、ここに付記しておく。算定では、等価線形抵抗係数 fc が必要になるが、やはり従来の研究と同様に $fc=0.2$ を用いた。

図-10は、このときの高潮位、平均潮位、低潮位、それぞれの反射率 Cr の算定結果を示す。この図と Case1 の結果を示した図-3との比較から、二重式構造にすることで、各潮位ともに単一式構造に比較して有効周期帯が拡大することや、平均潮位で設定した目標波に対する反射波低減は、低潮位および高潮位においても実現されている。ただし、低潮位の際に、 Cr が極小となる周期帯をもう少し長周期側に設定すると、対象波に対する反射波低減がより効果的になると推測される。

このような検討を進めるため、 $B_1=25\text{cm}$ 、 $e_1=35\text{cm}$ ・ $B_2=25\text{cm}$ 、 $e_2=15\text{cm}$ として有効周期帯の拡大を図った。図-11は、二重式垂下版構造の潮位に伴う反射率 Cr の周期特性の変化を示す。この図から、平均潮位時の消波対象波に対する Cr は極小ではなく、0.3~0.4程度であるが、高潮位、低潮位時と比較しても、消波周期帯の変化が少なくなることがわかる。

以上の検討から、潮位変化に対する対策工法として、二重式垂下版構造とする方法が有効であることが確認されたが、今後は実験的な検証を含めて、さらに検討を進めていきたい。

4. 結論

- (1) 同一吃水とした反射波低減工では、反射率 Cr は各潮位で異なる特定の条件で極小となり、その値は 1~2 割程度と効果的に低減できる。しかし、 Cr が 0.5 以下となる有効周期帯は、高潮位、平均潮位、低潮位で大きく異なることも確認された。
- (2) 異吃水ユニットを交互配置する方法は、各潮位での有効周期帯を多少ながら拡大できるものの、 Cr の絶対値が増加するなど潮位変化に対する有効な対策工法とは言い難い面がある。
- (3) 二重式構造にすることで、各潮位ともに単一式構造に比較して有効周期帯が拡大することや、平均潮位で設定した対象波に対する反射波低減は、低潮位および高潮位においても実現できる。

参考文献

- 1) 中村孝幸, 神野充輝, 西川嘉明, 小野塚孝: 渦流れの増大現象を利用した垂下板式の反射波低減工について, 海岸工学論文集, 第46巻, pp.797-800, 1999.
- 2) 中村孝幸, 神野充輝, 西川嘉明, 小野塚孝: 不規

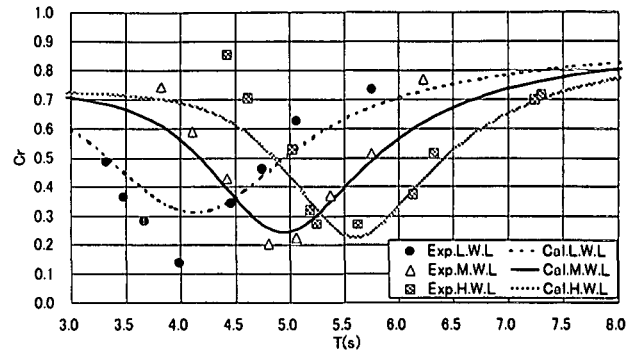


図-8 潮位による反射率の変化
(異吃水ユニット: $e_1=e_3=25\text{cm}$, $e_2=35\text{cm}$)

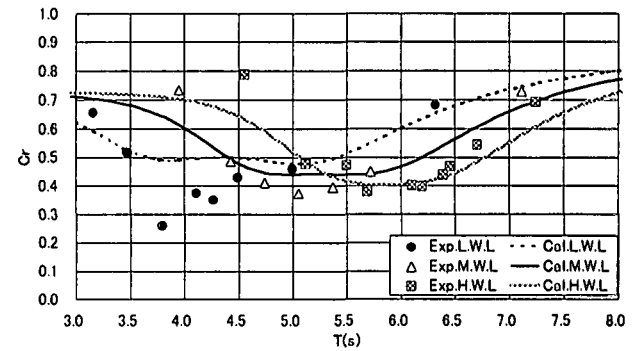


図-9 潮位による反射率の変化
(異吃水ユニット: $e_1=e_3=35\text{cm}$, $e_2=15\text{cm}$)

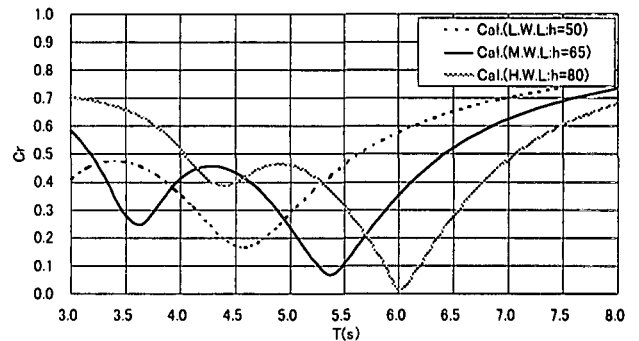


図-10 潮位による反射率の変化
(二重式垂下版構造: $B_f=12.5\text{cm}$, $e_f=45\text{cm}$, $B_r=25\text{cm}$, $e_r=25\text{cm}$)

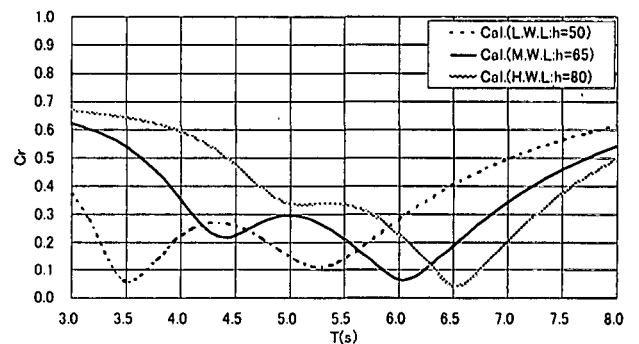


図-11 潮位による反射率の変化
(二重式垂下版構造: $B_f=25\text{cm}$, $e_f=35\text{cm}$, $B_r=25\text{cm}$, $e_r=35\text{cm}$)

則波に対する垂下板式反射波低減工の波浪制御効果について, 海洋開発論文集, 第16巻, pp.1-5, 2000.

- 3) 中村孝幸, 井手義彦: 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, pp.177-182, 1997.