

水槽を使用した。

c) 実験条件: 実験で用いた水深 h は 40 cm と一定にし、模型堤体に作用させた入射波は、入射波高 H が約 10 cm、周期 T は 0.75 s ~ 1.95 s の範囲の 10 種類程度の規則波である。

(2) 単一遊水室の反射波低減工の効果

図-3 は、直角入射および 30 度斜め入射に対する反射率 C_r の実験結果を B_2/L (B_2 : 遊水室幅, L : 波長) による変化で示す。図中には、堤体長方向に断面が変化しないと仮定して、斜め入射波を想定して開発された減衰波理論 (中村ら, 2001) による算定結果も併せて示す。理論算定では、実験で用いた以外の入射角に対する結果も示してある。算定では、線形減衰係数 ($=f_c$) が必要になるが、従来において直角入射波に対する垂下版式反射波低減工の算定に用いられている $f_c=0.2$ を準用した。

この図より、反射率 C_r の実験結果は、直角入射と 30 度入射のときでほとんど差が見られない。一方、算定結果では、入射角が大きくなると、反射率が極小となる条件が順次に短周期側に移行するなど、実験と異なる傾向を予測する。この原因としては、算定では考慮されていない側壁の影響と考えられる。事実、実験では、直線配列された各堤体において、側壁の存在により独立したピストンモードの波面運動が発生し、ちょうど堤体の横幅を持った階段状の波がピアノの鍵盤のように順次に移動変化する様子が観測された。そして理論算定では、このような離散的な波面モードではなく、正弦波状の連続的な変化を仮定しており、実験結果との相違が現れたものと考えられる。

そして、斜め入射波の条件も含め、この場合の反射波低減工の効果は、直角入射の条件を想定した減衰波理論によりほぼ推定できることが認められる。

(3) 2重遊水室構造の反射波低減工の効果

図-4 は、図-3 と同様に、各入射角の条件に対する反射率の B/L ($B=B_1+B_2$, B_1 : 第一遊水室幅, B_2 : 第二遊水室幅, L : 波長) による変化を示す。

この図より、実験結果では、単一遊水室構造のときと同様に、入射角による有意な変化は見られず、算定結果との相違が認められる。これは、やはり側壁の影響と考えられる。

遊水室を 2 重式構造にすると、入射角に関係なく、反射率は異なる 2 ヶ所の周期条件で極小値を示すようになる。また、単一遊水室構造のときの結果である図-3 と比較すると、反射波が有意に低減できる有効周期帯は拡大することがわかる。これは、前後の遊水室で異なる周期条件に対してピストンモードの波浪共振が発生することによる。

以上の検討より、斜め入射の条件下でも、直角入射の

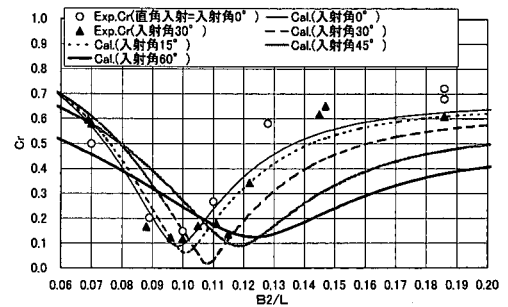


図-3 入射角による単一遊水室構造のときの反射率 C_r の変化 ($H=10$ cm)

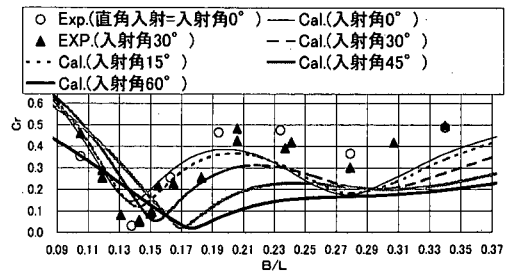


図-4 入射角による 2 重遊水室構造のときの反射率 C_r の変化 ($B=B_1+B_2=37.5$ cm, $H=10$ cm)

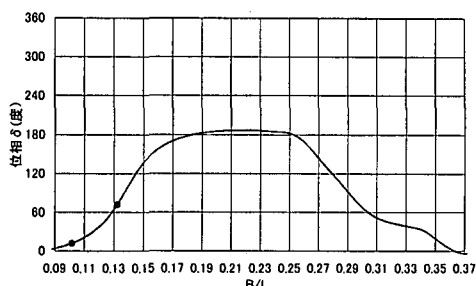
ときとほぼ同様の反射波の低減効果が期待できることがわかる。そして、理論的な予測に当たっては、各ユニット間にある側壁の影響を考慮できる 3 次元理論の開発が必要といえ、今後に続く研究課題としたい。

3. 低減工よりの反射波の位相差

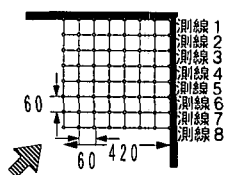
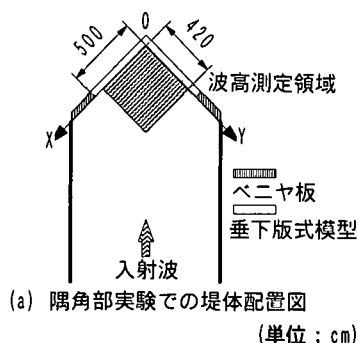
垂下版式低減工のような構造では、作用する波の周期により反射源の変動が予測される。例えば、比較的長周期の波では、背後の不透過壁よりの反射が卓越し、比較的短周期の波では前面垂下版よりの反射が卓越するなどである。このような反射源の特定は、後述する平面波浪計算で必要になる。

ここでは、2 重遊水室構造の低減工を対象として、直角入射波を対象にして反射波の遅れの位相角を減衰波理論により検討してみる。以下では、垂下版がない状態での背後不透過壁よりの反射波の位相を基準にして、遅れの位相角 δ を定義した。

図-5 は、2 重式遊水室構造のときの位相角 δ の B/L による変化を示す。この図より、 δ は B/L の小さな長周期側では比較的小さく、反射源は背後不透過壁にあると推定される。そして、さらに周期が短くなり、 C_r の極小領域付近から δ は漸増して逆位相に到り、再度減少するなど複雑な変化を示す。このような条件下では、中央あるいは前面垂下版に反射源があると推定される。このよ



図一五 二重遊水室構造のときの反射波の遅れの位相角



図一六 平面実験状況図

うな複雑な変化を呈するのは、位相差に対して空間距離によるものに加えて、ピストンモードの波浪共振も関係しているためと推定される。この詳細については、今後さらに検討を進めていきたい。なお、図中の黒丸は後述する平面波浪計算で用いた位相差を示す。

4. 港湾隅角部に用いた低減工の効果

(1) 実験装置及び実験方法

a) 模型堤体：ここでは、斜め入射波に対しても広い周期帯で反射波を有意に低減できる2重遊水室構造の反射波低減工を用いた。また、比較のため、前面開口部を閉じた直立堤も用いた。

b) 実験水槽：実験には、上記した水産工学研究所の平面水槽を用いた。模型堤体は、図一六に示すように造波機から約15 mの位置より直角交差の隅角部の端部が始まるように配列した。

実験では、図中に示すように直線配列した計8台の波高計を予め定めた測線に平行移動させて、順次に波高を

測定した。このとき、波高計の左右間隔は作用波の波長を考慮して60 cmとした。

c) 実験条件：実験で用いた水深 h は40 cmと一定にした。作用波は、2次元実験で最も反射波の低減効果が確認された周期 $T=1.60$ s とそれほど十分でない $T=2.00$ s の規則波2条件と、有義波周期 $T_{1/3}=1.60$ s、有義波高 $H_{1/3}=6$ cm の一方向不規則波の1条件を用いた。

(2) 隅角部における波高分布

規則波に対する波高分布の実験結果および算定結果の代表例を図一七～一十二に示す。これら図では、各測点での波高 H_z を入射波高 H で除した波高比のコンターで示す。

波高分布の算定には、中村ら(1985)による鉛直線グリーン関数法を用いた。このとき、2重遊水室構造の反射波低減工で構成される境界上の反射率は、前出の図一四の結果を参照して設定した。また、反射波の遅れの位相角についても、図一五中に黒丸で示す値およびそれを0とした場合の両者を用いた。比較のための直立堤に対する反射率は0.9とした。

$T=1.60$ s のケースの直立堤と低反射堤についての結果を比較すると、実験結果・算定結果ともに直立堤では堤体前面及び隅角部の中央付近において波高比が3を超える高波高域が見られる。しかし、低反射堤にすることでこの高波高域は見られなくなり、隅角部付近を含め、全域において波高値が有意に低下することがわかる。そして、実験結果と算定結果は波面パターンの類似性が見られるなど両結果はほぼ一致している。

このような一致度は、 $T=2.00$ s のケースに対応する図一十一、一十二においても認められる。なお、本研究では、波高分布に及ぼす反射波の位相差の影響についても理論的に検討しており、この位相差を無視すると平面的な重複波の腹・節の位置が変化するなど、実験結果との対応が見られなくなることなどを確認している。

最後に図一十三、一十四は、低反射堤を用いたときの不規則波に対する実験結果および算定結果を示す。この際、算定では、低反射堤の反射率の周期による変化が大きいことから、その周期特性を考慮した算定としてある。これらの図より、波高比は不規則波に対しても規則波のときと同様に全体的に低く現れ、反射波の低減効果が認められる。そして、規則波に対する結果に比較すると、不規則波の場合、平面的に波高分布が平滑化されて重複波の腹・節の位置が不明瞭になることなども分かる。

以上の検討より、隅角部を低反射堤にすると、規則波のみならず不規則波においても有意に隅角部での高波高を低減できることが判明した。

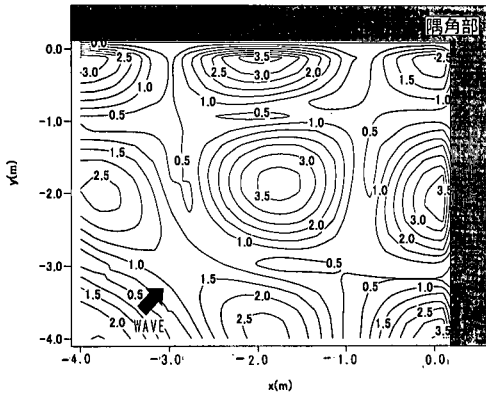


図-7 直立堤のときの波高比の算定結果
($T=1.60$ s, $C_r=0.90$)

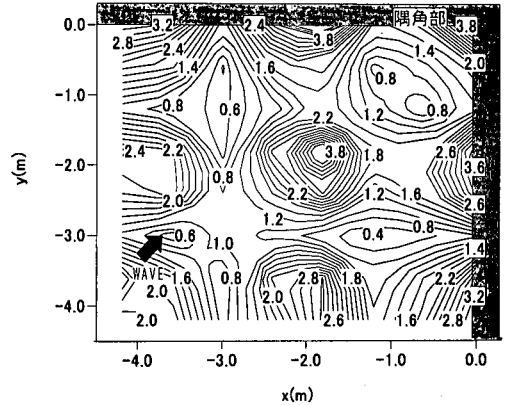


図-8 直立堤のときの波高比の実験結果
($T=1.60$ s, $H=6$ cm)

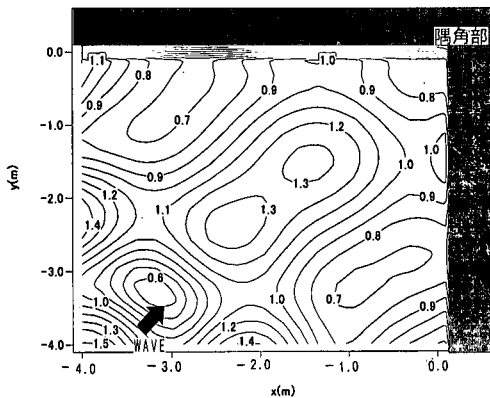


図-9 低反射堤のときの波高比の算定結果
($T=1.60$ s, $C_r=0.15$)

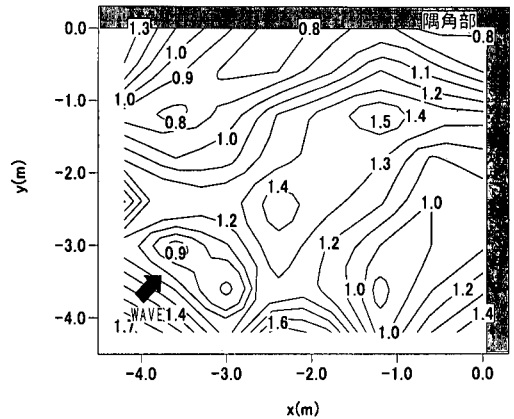


図-10 低反射堤のときの波高比の実験結果
($T=1.60$ s, $H=6$ cm)

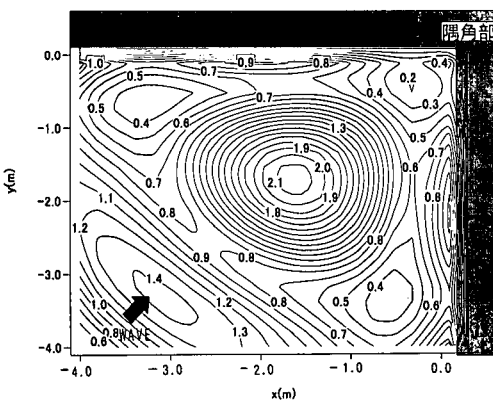


図-11 低反射堤のときの波高比の算定結果
($T=2.00$ s, $C_r=0.50$)

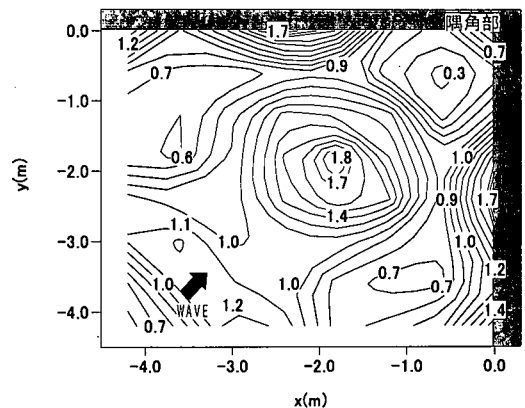


図-12 低反射堤のときの波高比の実験結果
($T=2.00$ s, $H=6$ cm)

5. 結 語

(1) 側壁を有する垂下版式反射波低減工の効果は、入射角の影響をほとんど受けず、その効果は直角入射に

対する結果で代用できる。これは、側壁の影響によるもので、低減工の各ユニットではそれぞれ独立したピストンモードの波動運動が生じており、理論算定で想定されているような堤体間で連続した滑らかな波面とはならず

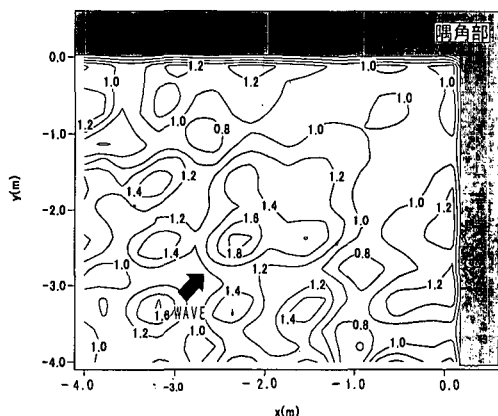


図-13 一方向不規則波に対する波高比の算定結果
($T_{1/3}=1.60$ s, $H_{1/3}=6$ cm, 低反射堤)

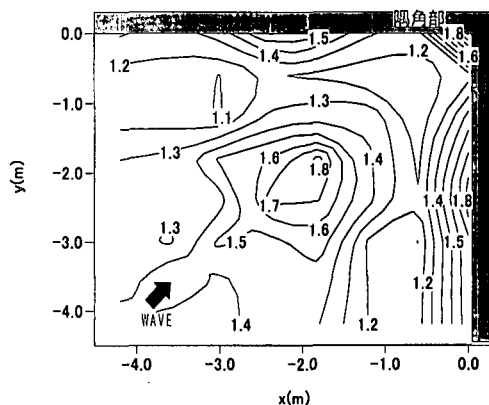


図-14 一方向不規則波に対する波高比の実験結果
($T_{1/3}=1.60$ s, $H_{1/3}=6$ cm, 低反射堤)

堤体の横幅をもった階段状の運動が生じるためである。そして、このような結果の予測には両側壁の影響が考慮できる3次元理論による算定が必要である。

(2) 港湾隅角部の両側に垂下版式反射波低減工を設けると、隅角部付近における高波高域は有意に低減できる。そして、平面波浪場の予測に際しては、反射率のみならず低減工の反射源の位置、すなわち反射波の位相差を考慮することが必要で、これらを考慮することで比較的精密に波高分布の予測が可能になる。

参考文献

- 中村孝幸・奥 吉雄 (1985): 任意平面形状を有する堤体構造物まわりの波変形の解析法について, 第32回海岸工学講演会論文集, pp. 594-598.
- 中村孝幸・神野充輝・西川嘉明・小野塚孝 (1999): 渦流れの増大現象を利用した垂下版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.
- 中村孝幸・高木伸雄・中山晋蔵・河野徹・菊地一郎 (2001): 減衰波理論に基づく斜波中の波浪境界値問題の解析法とその適用性について, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 781-785.