

斜め入射波に対する垂下版式 反射波低減工の効果

PERFORMANCE OF A VERTICAL-BARRIER-TYPE REFLECTION WAVE DISSIPATER IN OBLIQUELY INCIDENT WAVES

中村孝幸¹・中山哲巖²・佐伯信哉³・神野充輝⁴

Takayuki NAKAMURA, Akiyoshi NAKAYAMA, Shinya SAEKI and Mitsuteru JINNO

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

²正会員 工修 独立行政法人水産総合研究センター 水産工学研究所水産土木工学部
(〒314-0421 茨城県鹿島郡波崎町海老台)

³正会員 (株)荒谷建設コンサルタント (〒730-0831 広島市中区江波西一丁目25番5号)

⁴正会員 (株)三柱 (〒135-0034 東京都江東区永代一丁目3-4)

We have already presented a new type of reflection wave dissipater which has a curtain wall in front of the vertical seawall. The mechanism of the dissipater is to enhance vortex flows around the lower edge of curtain wall by the use of piston mode wave resonance in the water chamber. In order to expand the usage of the new type dissipater, performance of the dissipater in obliquely incident waves is examined extensively, including normal incidence of waves. The dissipaters adopted in this study are a single water-chamber type and a double water-chamber type. The latter is intended to expand the effective range of wave period. Applicability of the numerical analysis based on the damping wave theory is also examined precisely for both the normal and oblique incidence of waves.

Key Words : reflection wave dissipater , oblique wave , piston-mode , damping wave theory

1. 序論

既に著者ら¹⁾は、遊水室前面のスリット壁や多孔壁などに代わり、水面付近のみを不透過カーテン壁で遮断する垂下版式の反射波低減工を提案した。この反射波低減工は、遊水室内のピストンモードの波浪共振を利用して、垂下版下端部に強い渦流れを発生させ、結果的に反射波エネルギーを逸散する機構を採用しており、必要とされる遊水室の幅は、従来の透過壁構造に比較すると、ほぼ半減できることなどが確認されている。

ここでは、このような垂下版式反射波低減工の効果を、現地で遭遇するような斜め入射波に対して明らかにする。既に著者ら²⁾は、斜め入射波に対する反射波低減効果についても一部報告しているが、より広範囲の入射角を対象にして再検討を行い、直角入射波に対する結果との比較を含め、反射波低減工に及ぼす入射角の影響を大局的に考察する。この際、既に著者ら³⁾が明らかにしている斜波条件下での減衰波理論の適用性についても検証する。

2. 実験装置及び実験方法

(1) 模型堤体

実験には、図-1に示すように、両側に側壁を有するユニット式の単一遊水室構造の垂下版式反射波低減工の模型を用いた。

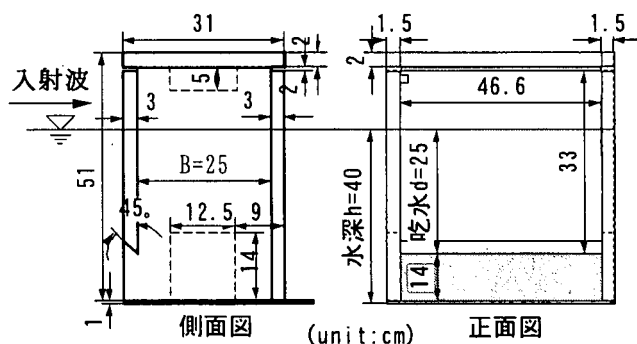


図-1 単一遊水室構造式反射波低減工の模型

さらに、図-2に示すような二重遊水室構造の垂下版式反射波低減工を用いた。後者の模型は、反射波の低減効果がより広い周期帯で現れるように採用してある。堤体1ユニットの長さは50cmとし、側壁には通水孔を設けてある。このとき、実験で想定した模型縮尺は、現地の約1/14である。

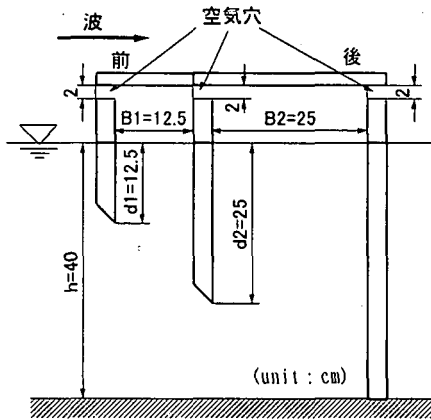


図-2 二重遊水室構造式反射波低減工の模型

(2) 実験水槽および波高測定

実験は、図-3に示す水産工学研究所の幅10m、長さ30mの平面水槽を用いた。水槽の一端には、波の反復反射を防ぐため採石消波工とヘチマロン（消波材）を設置した。また、水槽側壁には、模型堤体からの反射波に対する再反射を防ぐため、ヘチマロンを取り付けた。

実験では、斜め入射波に対する反射波低減工の反射率および遊水室内のピストンモードの出現状況を検討するため、複数台の波高計により遊水室内の波面モードについても観測した。

(3) 実験条件

実験で用いた水深 h は、40cmと一定にした。模型堤体に作用させた入射波は、入射波高 H が5~10cm、周期 T は0.85~2.50sの範囲の規則波である。

3. 斜め入射波に対する反射波低減工の効果

(1) 単一遊水室構造の反射波低減工

図-4は、中村ら²⁾による直角入射、30度斜め入射および今回行った45度、60度斜め入射に対する反射率 C_r の実験結果を L/B (L : 波長, B : 遊水室幅) による変化で示している。図中の入射角は、堤体前面法線から立てた垂線と入射方向とのなす角で定義しており、図中の入射角0度がいわゆる「直角入射」の条件に相当する。さらに、堤体法線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³⁾による算定結果も併せ示してある。算定で必要となる線形減衰係数 fc は、中村ら²⁾より直角入射波に対して用いられている $fc = 0.2$ を準用した。

まず、反射率の極小値に及ぼす入射角の影響に着目した。この図より、反射率 C_r の実験結果は、反射率が極小値を示す L/B の条件、すなわち周期条件は、入射角によりほとんど影響を受けないことが認められる。一方算定結果では、入射角が大きくなるに従い反射率が極小となる条件が短周期側にシフトし、実験結果と異なる傾向を示している。この原因としては、(3)で後述するが、実験では各ユニット内で側壁の影響によりそれぞれ独立したピストンモードの波動運動が離散的に生じることが確認されており、算定で仮定しているような正弦波的な連続波面形状が現れないことによるものと考えられる。このため、斜波中の減衰波理論は不十分で、側壁が考慮できる厳密な意味での3次元理論による予測が必要である。

次に、反射率の絶対値に及ぼす入射角の影響に着目した。反射率は、入射角が増大すると全体的に低下する傾向が見られ、この傾向は L/B の大きな長周期側で顕著である。このように、反射率が入射角の影響を受ける要因の一部は、反射波低減工の各ユニットの側壁に設けた通水孔によるものと考えている。すなわち、堤体間で階段状の水面変動が生じることにより、通水孔を通して水の移動が起こる際に

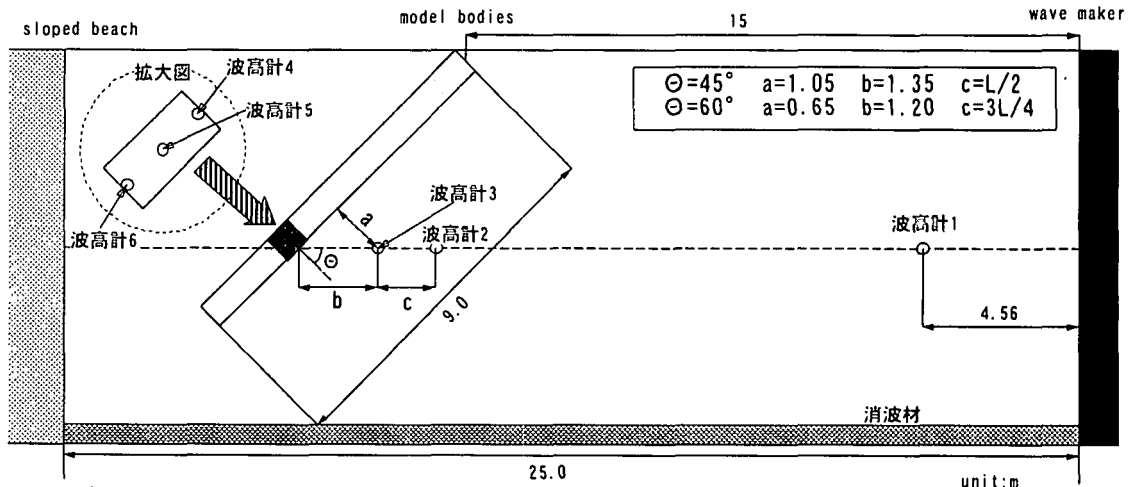


図-3 模型堤体および波高計の設置状況

エネルギー損失をするものと推測するが、実態は定かではなく、この検証は今後の課題としたい。

また、 L/B の大きな長周期側において、45度斜め入射波に対する反射率の実験値は、30度、60度斜め入射波に対する反射率の実験値に比べて増大する傾向にある。これは、45度斜め入射波に対する反射率の実験では、模型堤体よりの反射波が、ちょうど実験水槽側壁に対して直角入射となるため、入・反射波の分離推定に用いる有効波数が極端に少なくなることが原因と考える。そして、水槽幅による影響を顕著に受けやすい L/B の大きな長周期側における実験値の信頼性はやや乏しいものと判断される。

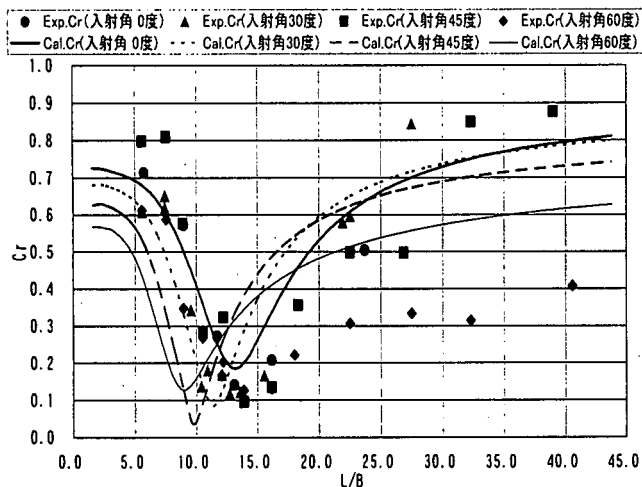


図-4 単一遊水室構造式反射波低減工の反射率

(2) 二重遊水室構造の反射波低減工

図-5は、図-4と同様に、各入射角の条件に対する反射率 Cr の L/B (L : 波長, $B=B_1+B_2$, B_1 : 第1遊水室幅, B_2 : 第2遊水室幅) による変化を示している。

この図より反射率 Cr の実験結果は、遊水室が二重構造の場合でも反射率が極小値を示す条件は、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ない。そして、遊水室を二重式構造にすると、入射角に関係なく反射率は異なる2カ所の波長・遊水室幅比の条件で極小値を示すようになり、反射波を低減できる有効周期帯が有意に拡大できる。一方算定結果は、単一遊水室構造と同様に、実験結果との相違が見られるが、やはり側壁の影響によるものと考えている。

(3) 遊水室内の波面モード

垂下版式反射波低減工のメカニズムは、遊水室内でのピストンモードによる強い渦流れによって反射波を低減するものである。そこで、遊水室内の波面モードに及ぼす周期特性や入射角の影響について検討してみた。実験では、図-3に示すように、波高計4~6 (遊水室内の両端と中央) を用い、遊水室内の水面変動を計測した。

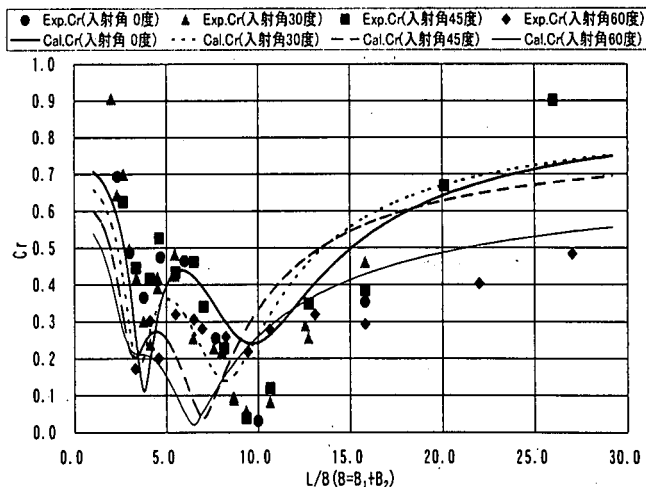


図-5 二重遊水室構造式反射波低減工の反射率

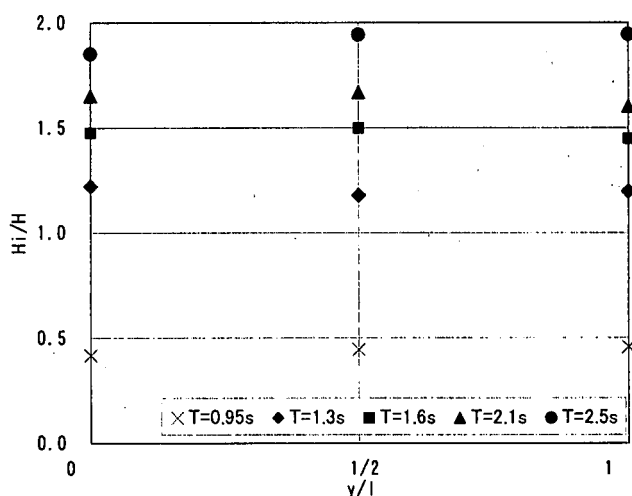


図-6 遊水室内の平均水面変動(入射角45度)

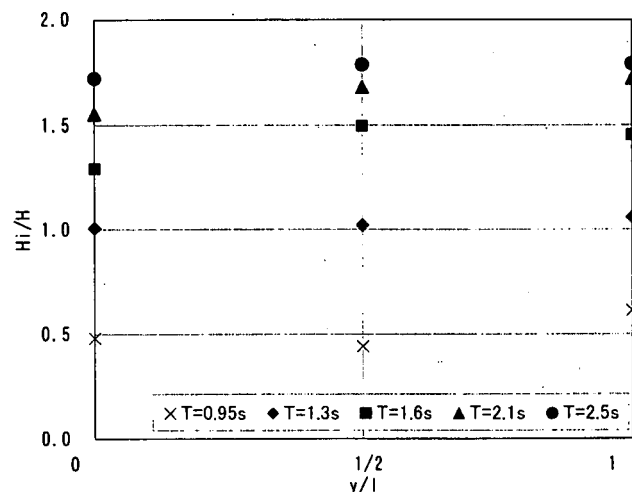


図-7 遊水室内の平均水面変動(入射角60度)

図-6, 7は、図-1に示す単一遊水室構造に対して、それぞれ入射角45度、60度で、周期 $T=0.95\sim 2.5s$ の入射波の条件で、縦軸に遊水室内の波高 Hi と入

射波高 H との比 H_i/H (波高増幅度) を、横軸に堤体長 l と遊水室内片端に設置した波高計4からの距離 y の比 y/l を用いて示す。これらの図から、周期が長いほど遊水室内の波高増幅度は大きいこと、同周期では遊水室内の場所にかかわらず同程度の波高増幅度、すなわちピストンモードであることが確認できる。また図-8, 9は、単一遊水室構造に対して、それぞれ入射角45度, 60度で周期 $T=1.5s$ の入射波の条件で、波高計4~6の位置での水面変動の時間変化を示す。この図より、遊水室内の水面変動に位相差はほとんどないことが確認できる。

以上の結果より、斜め入射波に対しても遊水室内では、各ユニットに独立なピストンモードが生じていることが確認できる。

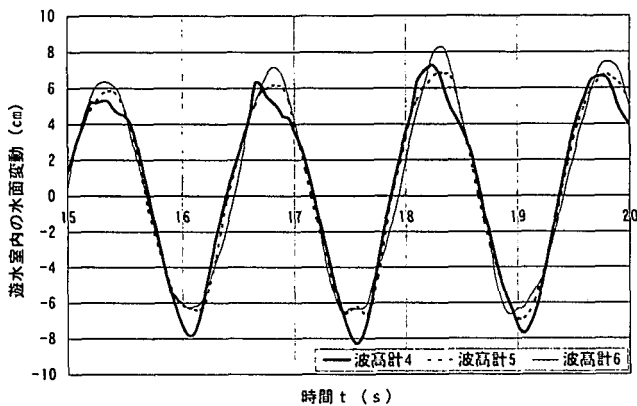


図-8 遊水室内の水面変動の時間波形(入射角45度)

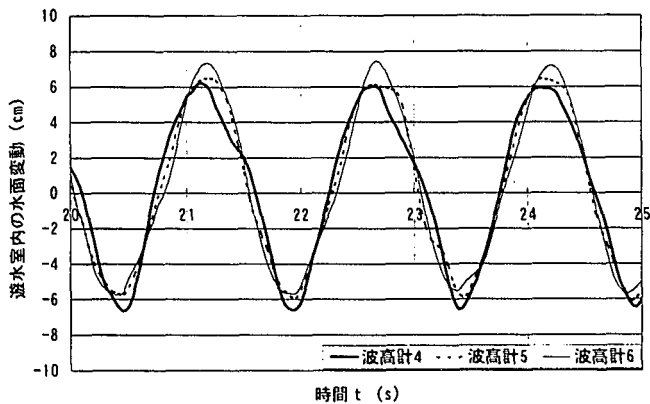


図-9 遊水室内の水面変動の時間波形(入射角60度)

(4) 二重遊水室構造による有効周期帯の拡大

中村ら²⁾は、単一遊水室構造に比べ二重遊水室構造にすることで、直角入射および30度斜め入射に対して、二重遊水室構造による有効周期帯の拡大効果を明らかにしている。ここでは、45度および60度斜め入射に対しても、単一遊水室構造と二重遊水室構造の反射波低減効果を比較検討した。

図-10, 11は、比較のため中村ら²⁾による直角入射, 30度斜め入射に対して、遊水室構造別の実験結果を再整理した。図-12, 13は、今回行った45度, 60度

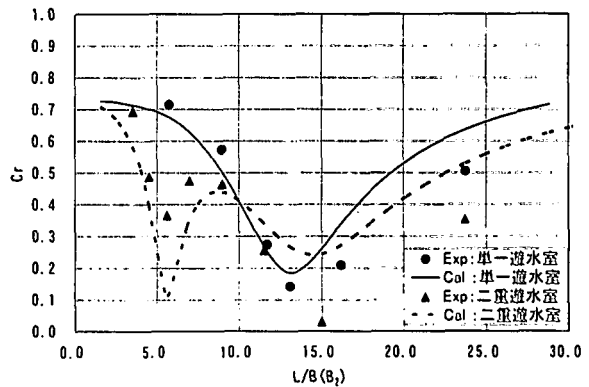


図-10 遊水室構造の違いによる反射率の比較(入射角0度)

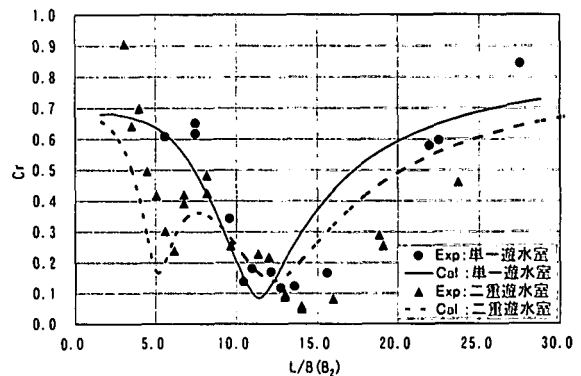


図-11 遊水室構造の違いによる反射率の比較(入射角30度)

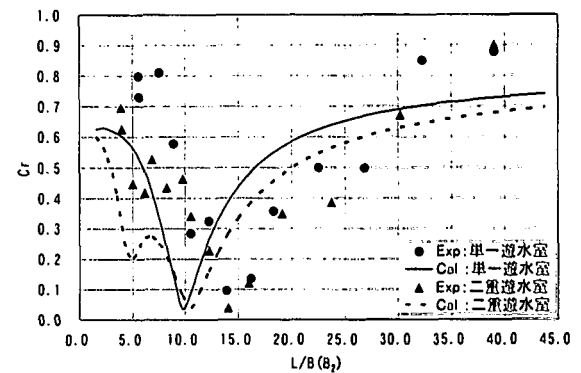


図-12 遊水室構造の違いによる反射率の比較(入射角45度)

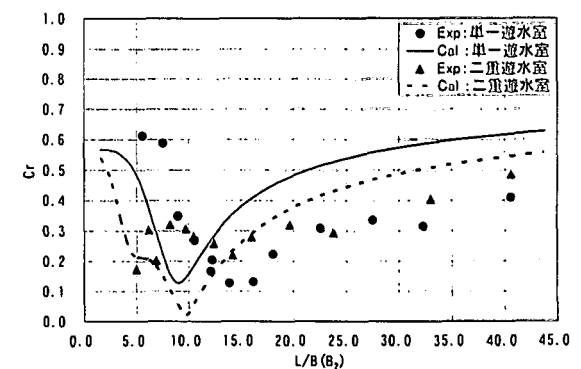


図-13 遊水室構造の違いによる反射率の比較(入射角60度)

斜め入射に対する実験結果を示す。これらの図は、反射率 C_r の実験結果を L/B による変化で示してある。ここで、二重遊水室構造の遊水室幅 B は、第2遊水室幅 B_2 で定義した。

これらの図より、入射角に関わらず単一遊水室構造に比べて、二重遊水室構造の有効周期帯が拡大していることが確認できる。しかしながら、中村ら²⁾による入射角0度および30度の斜め入射波に対する二重遊水室構造の結果ほど、単一遊水室構造に対する二重遊水室構造の優位性は認められない。この機構は、入射角が大きくなると、単一遊水室構造と二重遊水室構造はともに反射波低減効果の有効周期帯が広くなり、結果的に両堤体構造の有効周期帯の相対的な差が少なくなることによる。

現地での二重遊水室構造の適用を考えると、入射角が小さいとき、あるいは消波対象波が短周期であるときに有効であり、入射角が大きいたきは建設コストや施工性を考慮すると、単一遊水室構造が有利であるといえる。

4. 結 語

(1) 側壁を有するユニット形式の垂下版式反射波低減工では、単一遊水室構造および二重遊水室構造に関わらず、反射率が極小となる周期条件は入射角による影響をほとんど受けない。

(2) 反射率の絶対値は、単一遊水室構造および二重遊水室構造に関わらず、入射角が増大すると全体的に低下する傾向が見られ、この傾向は波長・遊水室幅比 L/B の大きな長周期側で顕著である。

(3) 二重遊水室構造の反射波低減工では、入射角に関係なく、ほぼ各々の遊水室幅と吃水深の条件に固有な2箇所波周期で反射率は極小となり、有効周期帯を有意に拡大できる。

(4) 実験結果と算定結果の相違は、実験では反射波低減工の各ユニット内で側壁の影響によりそれぞれ独立したピストンモードの波動運動が離散的に生じ、算定で仮定されているような正弦波的な連続波面形状があらわれないことによる。このため、斜波中の減衰波理論は不十分で、側壁が考慮できる厳密な意味での3次元理論による予測が必要である。

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, 1999.
- 2) 中村孝幸, 高木伸雄, 中山哲巖, 久保勝太, 飯干富広: 平面波浪場における垂下版式反射波低減工の効果について, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 666-670, 2002.
- 3) 中村孝幸, 高木伸雄, 中山哲巖, 河野徹, 菊池一郎: 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, 2001.