

斜め入射波に対する直立消波構造物の消波特性について

——水理模型実験報告——

工藤秀雄*・長友文昭**・辻 清次***
橋立洋****・米澤 朗*****

1. はじめに

港湾へのニーズの多様化に伴い、港湾構造物についても新しい構造タイプの開発要請が高まっている。

構造物内部に遊水部を有する直立消波構造物は、このような要請に応えるための新しい構造タイプの一つとして考案されたもので、防波機能のほか消波機能、環境機能をも兼ね備えている。この種の構造物に関しては、越波、波圧、消波等の水理特性把握のための調査、研究が各機関で積極的に行われており、また、全国で200ヶ所程度の施工事例がある^{1),2)}。

しかしながら、これまでの調査、研究の多くは、構造物法線に対して入射波が直角に作用する場合を対象としており、「斜め入射波」に対する場合についての検討は、あまり行われていない状況にある。

一方、今後、直立消波構造物は、港湾へのニーズに適切に対応するため、波の卓越方向が斜め入射波となる地点にも数多く設置されることが予想されることから、斜め入射波に対する水理特性についての検討を早急に実施する必要性が生じている。

このような状況に鑑み、運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所において、当所所有の平面水槽を用い、斜め入射波に対する直立消波構造物（スリットケーソンタイプ）の消波特性に関する検討を実験により試みた。

本文は、この実験により得られた ① 直立消波構造物の周期別の波向と反射率の関係 ② 各種スリット構造タイプの反射率の比較結果を報告するものである。

2. 実験条件及び方法

2.1 実験条件

実験は、唐津港妙見地区（-12.0m）岸壁をケース・スタディにとりあげ、平面水槽（縦 31m×横 26m×高さ 1.2m）で、表-1 に示すケースについて反射率を求める実験を行った。

表-1 実験ケース一覧表

潮位	波向	周期	波高	模型タイプ [開口比]	備 考
① M.W.L +1.18m (実験水深 52.72cm)	④ 構造物 法線に 対して 30° 45° 60° 90°	④ 5.0s (1.0s) 6.0s (1.2s) 7.0s (1.4s) 9.0s (1.8s)	① 1.0m (4.0cm)	⑤ 角柱縦スリット [0.5] 円柱縦スリット [0.5] 変形縦スリット [0.5] 横スリット [0.4]* 格子スリット [0.5]	実験ケース数 ①×④×⑤=80ケース 実験縮尺: 1/25 実験波: 規則波 ()内の数値は 実験で使った 値である。 * 開口比 0.5 では、 部材強度が 不足するため、 開口比 0.4 をと した。

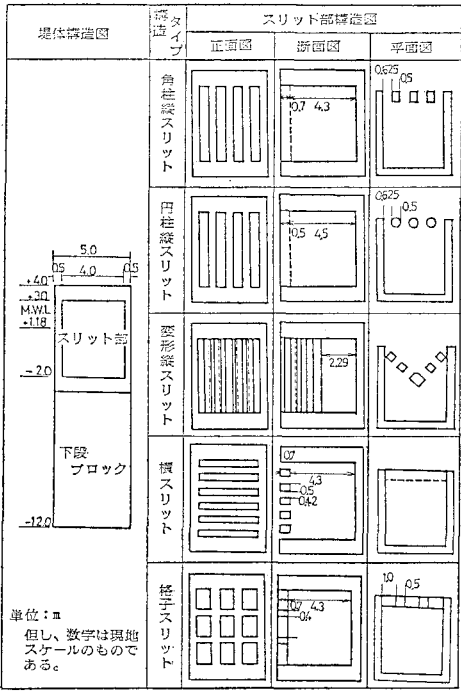


図-1 各種スリット構造物の堤体構造図

なお、模型縮尺は、ペンジュラム式規則波造波機能力、実験精度等を考慮して 1/25 とした。実験で使った模型タイプは、図-1 に示す5種類のスリット構造物（木製）であり、構造物の開口比は次式で定義した。

$$\text{開口比} = \frac{S_e}{S_a}$$

* 運輸省第四港湾建設局次長
** 正会員 運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所長
*** 運輸省第四港湾建設局唐津港工事事務所長
**** 工修 運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所調査課長
***** 正会員 運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所

ここで, S_a : (変形縦スリット以外の構造の場合)

図-2 に示す領域の面積

(変形縦スリットの場合)

図-3 に示す領域の面積

S_e : (変形縦スリット以外の構造の場合)

図-2 に示す領域の空隙部分の面積

(変形縦スリットの場合)

図-3 に示す領域の空隙部分の面積

である。

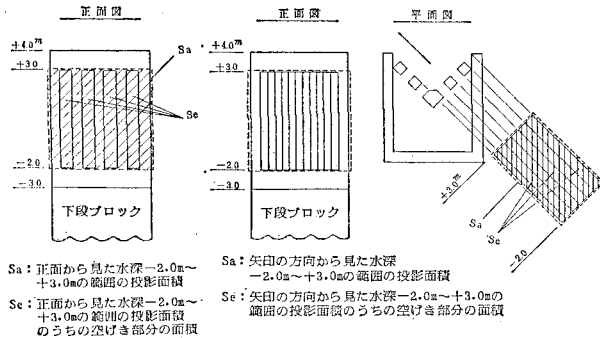


図-2 開口比の計算のための対象領域
〔変形縦スリット以外の構造の場合〕

図-3 開口比の計算のための対象領域
〔変形縦スリットの場合〕

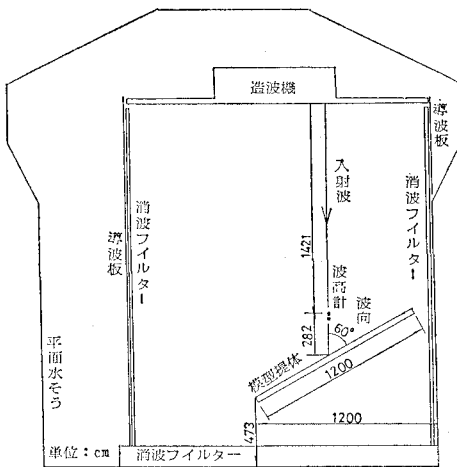


図-4 模型堤体及び波高計設置位置図〔波向 60° の場合〕

また, 実験においては, 図-4 に示すように模型堤体を設置し, 水槽の両側には波のエネルギーの分散を防止するため導波板を, 導波板及び水槽後壁には波の反射を防止するため消波フィルターを設置した。

2.2 反射率の測定及び解析方法

反射率の解析は, 2 台の波高計より得られた波形記録を高速フーリエ変換法 (Fast Fourier Transform) を用いた入・反射波の分離推定法 (以下「FFT 法」と言う) により行った。

なお, 波高計は, 模型堤体の両端における波の変形及びスリット前面における波の著しい乱れの影響を受けない範囲に設置する必要があるため, 実験に先立ち, 模型堤体を島堤と考え, 島堤前面の波高比分布のシミュレーションを実施し, 堤体両端における波の変形の影響を受けない範囲を検討するとともに, 合田らの研究成果である「波高計の設置位置による入・反射波の推定振幅の変化図」, 「不規則波の反射率に及ぼす波高計設置位置の影響図」³⁾ を参考にして, 波高計の設置位置を定めた。

また, 2 本の波高計の設置間隔は 20 cm (実験周期 1.0 s の場合は 10 cm) とし, FFT 法解析におけるデータのサンプリングタイムは 1/60 秒, データ個数は 1024 個と設定した。

3. 実験結果

実験結果は, 各周期について波向と反射率の関係でとりまとめ, 図-5~8 に示した。なお, 実験は各 3 回行い, それぞれの反射率の平均値を結果として採用した。

3.1 現地周期 5.0 s の場合

現地周期 5.0 s (実験周期 1.0 s) の場合, 反射率と波向及び構造タイプとの関係は, 次のような傾向となっている。

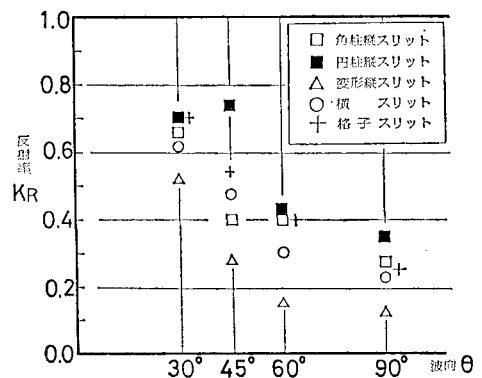


図-5 実験結果〔現地周期 5.0 s の場合〕

(1) 波向と反射率の関係

波向 90° (直入射波) の場合, 各スリット構造物の反射率は 0.1~0.4 程度にあるが, 波向が小さくなる, すなわち波がより斜めから入射するにしたがって, スリット構造物の消波効果は減少し, 波向 30° の場合, その反射率は 0.5~0.7 程度にまで上昇する。

(2) 構造タイプと反射率の関係

各構造タイプについて, 反射率の比較検討を行うと, 変形縦スリットタイプは, 他のスリットタイプよりも各波向に対して反射率が 0.1~0.3 程度低い値を示しており, かなりの消波効果が期待できることがわかる。

各構造タイプを消波効果の大きい順にならべると、おおむね次のようになる。

変形縦スリット>横スリット, 角柱縦スリット, 格子スリット>円柱縦スリット

3.2 現地周期 6.0 s の場合

現地周期 6.0 s (実験周期 1.2 s) の場合、反射率と波向及び構造タイプとの関係は、次のような傾向となっている。

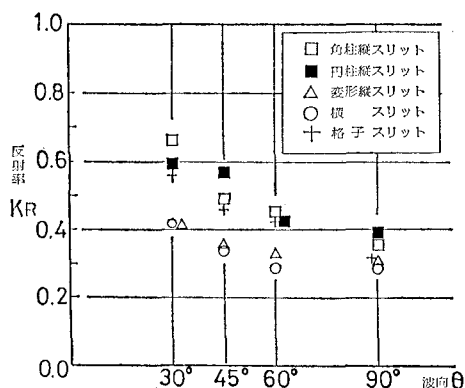


図-6 実験結果 [現地周期 6.0 s の場合]

(1) 波向と反射率の関係

波向 90° の場合、各スリット構造物の反射率は 0.3~0.4 程度であり、波向 60° の場合においては反射率はわずかな上昇となっている程度であるが、波向が 45°~30° になると反射率は増大し、波向 30° の場合、0.4~0.7 程度となる。

この波向の相違による反射率の変動は、現地周期 5.0 s の場合よりも緩やかである。また、波向 90° の場合における反射率は、現地周期 5.0 s の方が小さい。

(2) 構造タイプと反射率の関係

各構造タイプについて、反射率の比較検討を行うと、横スリットタイプ及び変形縦スリットタイプが、他のスリットタイプよりも各波向に対して反射率が低く、また波向の変化に対して反射率は大きな影響を受けず 0.3~0.4 程度にあることがわかる。他のスリットタイプは、波向の変化に対して反射率は変動し、波向 90° の場合、反射率は 0.4 程度であるが、波向 30° の場合では、0.6 程度まで上昇している。

各構造タイプを消波効果の大きい順にならべると、おおむね次のようになる。

横スリット, 変形縦スリット>格子スリット, 角柱縦スリット, 円柱縦スリット

3.3 現地周期 7.0 s の場合

現地周期 7.0 s (実験周期 1.4 s) の場合、反射率と波向及び構造タイプとの関係は、次のような傾向となっている。

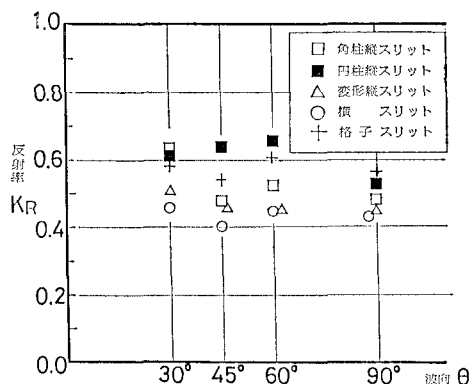


図-7 実験結果 [現地周期 7.0 s の場合]

(1) 波向と反射率の関係

現地周期 7.0 s の場合、現地周期 5.0 s 及び 6.0 s の場合と異なり、波向の変化に対して反射率はあまり影響を受けず、各スリット構造物の反射率は 0.4~0.6 程度となっている。

(2) 構造タイプと反射率の関係

各構造タイプについて、反射率の比較検討を行うと、反射率 0.5 前後に横スリットタイプ、変形縦スリットタイプ及び角柱縦スリットタイプ、反射率 0.6 前後に格子スリットタイプ及び円柱縦スリットタイプがあり、この反射率は、どの波向に対してほぼ同じであることがわかる。

各構造タイプを消波効果の大きい順にならべると、おおむね次のようになる。

横スリット, 変形縦スリット, 角柱縦スリット>格子スリット, 円柱縦スリット

3.4 現地周期 9.0 s の場合

現地周期 9.0 s (実験周期 1.8 s) の場合、反射率と波向及び構造タイプとの関係は、次のような傾向となっている。

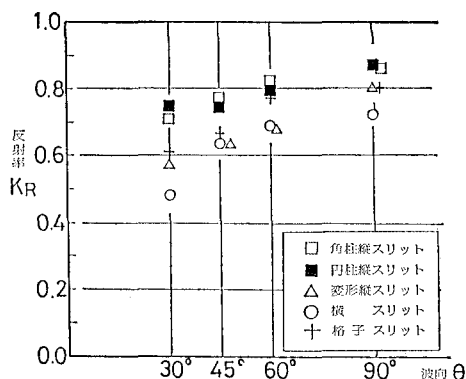


図-8 実験結果 [現地周期 9.0 s の場合]

(1) 波向と反射率の関係

現地周期 9.0 s の場合、波向と反射率の関係は、現地

周期 5.0 s 及び 6.0 s の場合と逆の傾向を示している。すなわち、波向 90° の場合、各スリット構造物の反射率は 0.7~0.9 程度とかなり消波効果が悪い状態にあるが、波向が小さくなる、すなわち波がより斜めから入射するにしたがって、消波効果は増大し、波向 30° の場合、反射率は 0.5~0.7 程度となる。

(2) 構造タイプと反射率の関係

各構造タイプについて、反射率の比較検討を行うと、横スリットタイプ、変形縦スリットタイプ及び格子スリットタイプは、角柱縦スリットタイプ及び円柱縦スリットタイプよりも各波向に対して反射率が 0.1 程度低い値を示していることがわかる。

各構造タイプを消波効果の大きい順にならべると、おおむね次のようになる。

横スリット、変形縦スリット、格子スリット > 角柱縦スリット、円柱縦スリット

4. ま と め

今回の実験より得られた斜め入射波に対する直立消波構造物の消波特性に関する傾向を簡単にとりまとめると以下のとおりである。

① 反射率と波向との関係は、波の周期によりその傾向が異なる。

本実験条件下においては、現地周期 5.0 s 及び 6.0 s (実験周期 1.0 s 及び 1.2 s) の波の場合、入射波の方向と堤体とのなす角度が小さくなる、すなわち波がより斜めから入射するにしたがって、消波効果は減少する傾向にある。逆に現地周期 9.0 s (実験周期 1.8 s) の場合、波がより斜めから入射するにしたがって、消波効果は増大する傾向にある。また、現地周期 7.0 s (実験周期 1.4 s) の場合、各スリット構造物の消波効果は方向性がなく、どの方向の波に対しても同程度の反射率を示す。

このように波の周期により反射率と波向との関係が異なるため、直立消波構造物の設置を計画する際には、現地の波浪条件に十分留意する必要がある。

② 反射率は、スリットの形状により変化する。これは、

スリット部におけるエネルギー損失の差に基づくものである。

本実験で各種スリット構造タイプの反射率の比較検討を行った結果、横スリットタイプ及び変形縦スリットタイプは、他の構造タイプ(角柱縦スリット、円柱縦スリット及び格子スリット)よりも、斜め入射波に対し消波効果が良いことがわかった。

このように、反射率をより低くおさえる必要がある場合は、エネルギー損失をより大きくするスリット構造、すなわちスリット部における波の乱れを大きくする構造とすればよい。

5. おわりに

以上、斜め入射波に対する直立消波構造物の消波特性に関して、特に波向と反射率、各種スリット構造タイプと反射率の関係について検討してきたが、本テーマに関しては、斜め入射波に対する反射率と開口比、基礎ブロックの高さ、隔壁間隔、スリット部材の厚さ等の関係の解明などいくつかの課題が残されている。

そこで、当所では、今後の直立消波構造物の施設計画のための基礎資料を得るため、各機関で提案している理論式、あるいは公表している実験成果を収集し、それらの特性分析を行うなどの調査を鋭意実施しているところである。

謝 辞： 最後に本実験の実施、成果のとりまとめにあたり、御指導、御協力をいただいた九州大学の井島教授、奥園助手、運輸省港湾技術研究所の谷本室長、高山室長、鈴木主任研究官に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 柳生忠彦・湯坐美幸：直立消波ブロック式防波堤構造集覧，港湾技研資料 No. 358, 1980.
- 2) 第四港湾建設局下関調査設計事務所：直立消波構造物の消波特性調査報告書，1981.
- 3) 合田良実・鈴木康正・岸良安治・菊地 治：不規則波実験における入・反射波の分離推定法，港湾技研資料 No. 248, pp. 8~10, 1976.