

渦による消波機能を活用した 長周期波対策施設の特性

THE CHARACTERISTICS OF LONG-PERIOD WAVE ABSORPTION FACILITY APPLYING EDDY LOSS EFFECT

大島香織¹・森屋陽一²・水流正人³・杉田繁樹⁴・平石哲也⁵

Kaori OHSHIMA, Yoichi MORIYA Masahito TSURU, Shigeki SUGITA and Tetsuya HIRAISHI

¹正会員 工修 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)

²正会員 工博 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)

³正会員 五洋建設株式会社 土木設計部 (〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8)

⁴正会員 工修 五洋建設株式会社 土木設計部 (〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8)

⁵正会員 工博 (独)港湾空港技術研究所 海洋・水工部 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

In many ports, long-period waves decrease the efficiency of cargo handling and sometimes cause break of mooring ropes. One of the most effective ways to reduce the long-period waves in a port is to construct the wave absorption facilities. Then, we proposed a new slit-type long wave adsorption facility whose length is shorter than the other former long-wave absorbers. The facility has the long wave absorption function applying eddy loss effect.

The basic performance of the facility has already been examined by the hydraulic experiments. This study estimates optimum configuration of the facility and verifies the characteristics for the actual form by the hydraulic experiments.

Key Words : long-period wave, reflection coefficient, long-wave absorber, eddy

1. はじめに

近年, 係留船舶の動揺に対する長周期波の悪い影響が明らかとなり, そのメカニズムや対策についてさまざまな研究がなされてきた. 平成16年には沿岸技術研究センターより港内長周期波影響評価マニュアル¹⁾が発行され, 港湾計画を行う際に長周期波を考慮した荷役稼働率を用いることの重要性が示され, 全国の港湾で長周期波対策の必要性に対する認識が高まってきている.

港内における長周期波対策には, 波浪予測などのソフト面の対策や, 係留系や構造物によるハード面の対策が挙げられる. 長周期波による荷役稼働率の低下に対しては, ハード面からの対策が必要であり, 構造物により港内の静穏度を高める方法が有効である.

構造物による長周期波対策には, 平石ら²⁾や池野ら³⁾により, レキ層により長周期波のエネルギーを低減させる幅50m程度の大規模な構造物が提案されているが, 実港湾への適応性を考慮すると, 構造物の小型化が課題と

なっていた. そこで著者ら⁴⁾は, 導水板により渦を励起し, 長周期波のエネルギーを低減させる幅20m程度の構造物を提案した(図-1). 本構造は, 斜めに設置された導水板により, 渦を発生させ長周期波のエネルギーを低減させる. その効果は水理模型実験により確認しているが, 最適形状や構造形式を考慮した検討はなされていない.

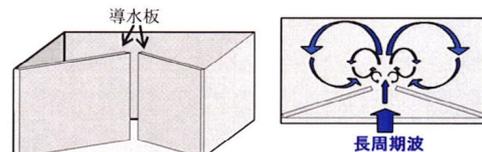


図-1 渦消波タイプの長周期波対策構造物

本研究は, 周期1分程度の長周期波に対する, 渦消波タイプの構造物の最適形状を把握することを目的とし, 2次元水理模型実験を行った. また, 実際の施工を考慮して構造検討を行い, 使用目的や施工条件に合わせた構造形式における消波性能を確認した.

2. 水理模型実験概要

(1) 実験概要

水理模型実験に用いた装置の概要を図-2に示す。2次元造波水路は、長さ50m・幅60cm・深さ1.2mで、沖側には無反射装置付きの造波装置が設置されている。水槽内に、アクリル板で製作した長周期波消波構造物の模型を設置して実験を行った。図-2に示す位置に容量式波高計を9台、電磁流速計を1台設置した。サンプリング周波数は20Hzとし、造波開始から300秒間のデータを収録した。長周期波対策構造物の反射率は、合田ら⁵⁾による入射分離推定法により算出した。その際、No. 4~7の波高計を用い、波高計の距離と有効周波数帯を考慮し、周期ごとに使用する波高計を選び解析を行った。

実験に用いた造波機には無反射装置が設置されているが、本実験で対象とするような周期の長い波には対応していないため、規則波実験においては吸収制御は行っていない。よって、解析には波高計に波が到達してから造波板による再反射波が到達するまでの時間のデータを用いることとした。また、対象とする波浪条件における波長や水槽長などを考慮し、模型縮尺は50分の1と設定した。水深は現地スケールで10mとした。

以下、本文中の数字は全て現地スケールで表記する。

(2) 入射波条件

長周期波の低減特性を把握するための基本実験として表-1に示す波を用いて反射率を測定した。また、消波性能の周期特性を調べる詳細実験として、不規則波と規則波の10~70sの実験(表-3)も行った。

3. 最適形状確認実験

渦消波タイプの長周期波対策構造の長周期波低減性能と、周期1分程度の長周期波に対する最適形状を把握するための実験を行った。長周期波低減性能の目標値を、既存の長周期波低減構造物を参考に反射率0.7とし、最適な形状について評価する。

(1) 実験模型

図-3に示す構造物内に導水板を2枚設置した基本形の模型に対し、構造物幅、導水板角度、スリット開口幅をパラメータとし実験を行った(表-3、図-4, 5)。構造物の長さは、水槽の幅により制限されるため30cmのみとした。

表-1 基本実験入射波

	周期(s)	波高(m)
規則波	30	0.25
	60	

表-2 詳細実験入射波

	周期(s)	波高(m)
不規則波	10	0.25
規則波	10	
	20	
	30	
	40	
	50	
	60	
	70	

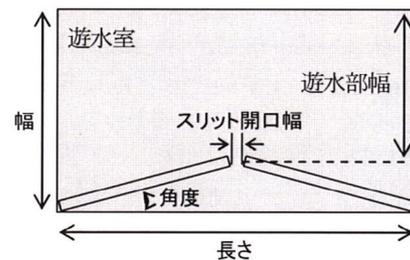


図-3 基本形の模型平面図

表-3 実験模型ケース

構造物幅(m)	導水板角度(°)	スリット開口幅(m)
20, 25, 30, 35	10	0.75
	15	
	20	
	30	
	40	
20	15	1.0
		1.5
		2.0

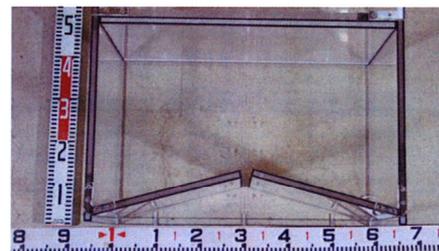


図-4 基本模型(幅20m, 角度15度, 開口幅0.75m)

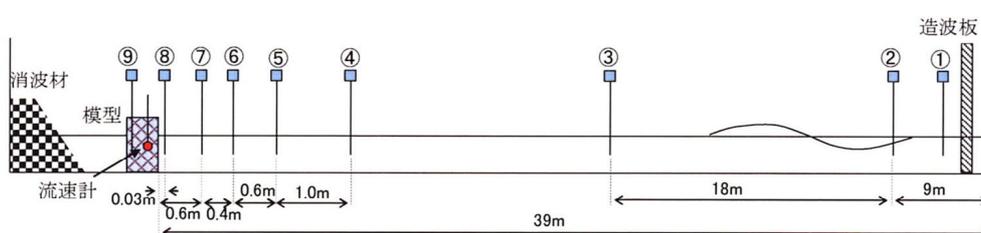


図-2 水理模型実験概略図

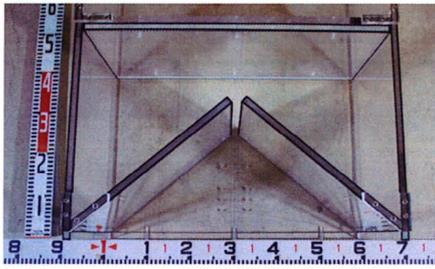


図-5 基本模型(幅20m, 角度40度, 開口幅0.75m)

(2) 実験結果

a) 構造物幅による反射率の違い

構造物幅による反射率の違いの結果を図-6, 7に示す。これより、構造物幅が大きくなると反射率が低下していることがわかる。

また、図-8に構造物幅を波長で無次元化した結果の一例を示す。無次元化を行っても、周期により反射率の傾向が異なり、波長と構造物幅の関係からだけで、反射率を一義的に決定できないことが明らかとなった。また、構造物幅を大きくしていくと反射率は一定値に漸近する傾向がみられる。

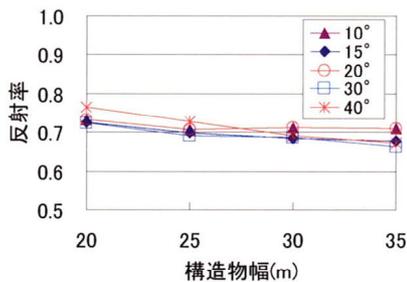


図-6 構造物幅と反射率の関係 (周期30s)

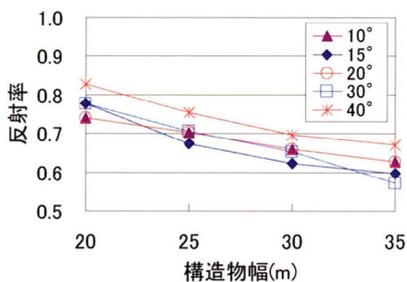


図-7 構造物幅と反射率の関係 (周期60s)

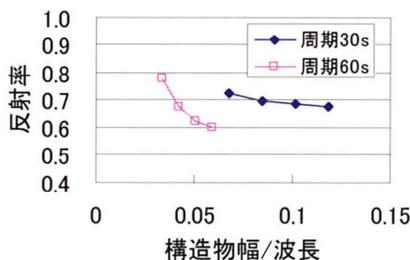


図-8 構造物幅(無次元量)と反射率の関係 (導水板角度15°)

b) 導水板角度による反射率の違い

構造物幅ごとの導水板の角度と反射率の関係を、図-9, 10に示す。

周期30sの場合、導水板角度が20°までは、わずかではあるが反射率が低下し、その後徐々に反射率が大きくなる。周期60sの場合、構造物幅が20mのみ導水板角度が大きくなると反射率が大きくなるが、それ以外は導水板角度が15°までは角度が大きくなるに従い反射率が低下し、その後、ばらつきはあるが角度が大きくなると反射率が大きくなっている。これは、導水板角度が大きくなるとスリット開口部から構造物奥の壁までの距離(図-3:遊水部幅)が小さくなることによると考えられる。

そこで、構造物幅別に遊水部幅の無次元量と反射率の関係を調べた結果が図-11である。この図の遊水部幅の無次元量は、導水板の角度が大きくなるほど小さくなり、構造物幅ごとに10~40°の結果をプロットしている。この図より、遊水部幅が大きい(導水板角度が小さい)と反射率が小さくなる傾向が見られる。しかし、各ケースとも遊水部幅が最も大きい時(導水板角度10°)で、反射率が大きくなっていることから、導水板角度は15°以上あることが望ましい。

c) スリット開口幅による反射率の違い

スリット開口幅を変えた実験結果を図-12に示す。周期30sでは1.5mで反射率が最小になり、周期60sでは開口幅が小さいほど反射率が小さくなる結果が得られた。周期60sも開口幅を小さくしていくと、最適な開口幅が明らかになるとは思われるが、施工面からこれ以上開口幅を小さくするのは難しいこともあり、0.75~1mが最適値とした。

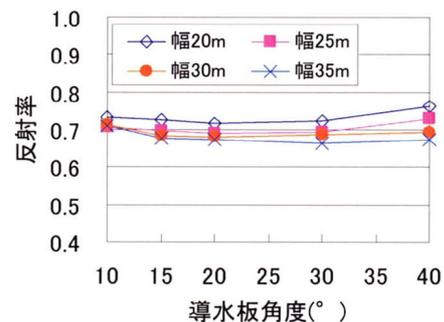


図-9 導水板角度と反射率の関係 (周期30s)

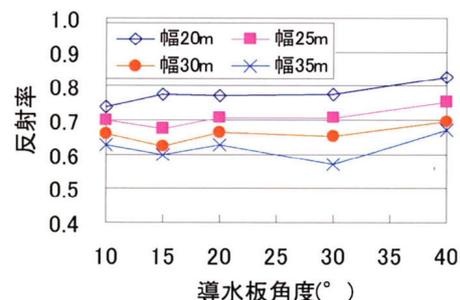
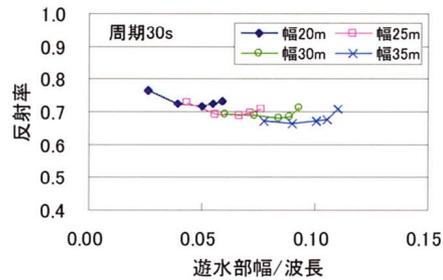
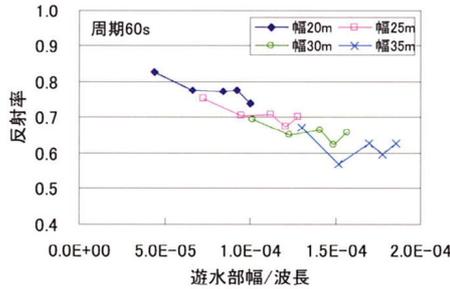


図-10 導水板角度と反射率の関係 (周期60s)



(a) 周期30s



(b) 周期60s

図-11 遊水部幅(無次元量)と反射率の関係

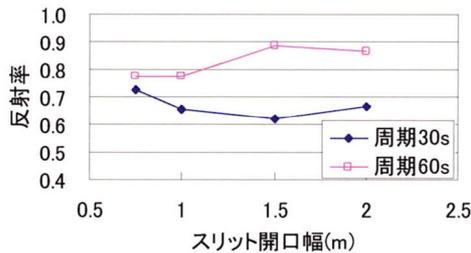


図-12 スリット開口幅と反射率の関係

d) スリット開口部付近の流速と反射率

スリット開口部より遊水室側1.5m, 水深の半分の位置で, 周期60sについて流速の測定を行った. 流速の最大値と反射率の関係を図-13に示す. これより, スリット開口部付近での流速が大きい程, 長周期波のエネルギーをより低減させることが可能となる.

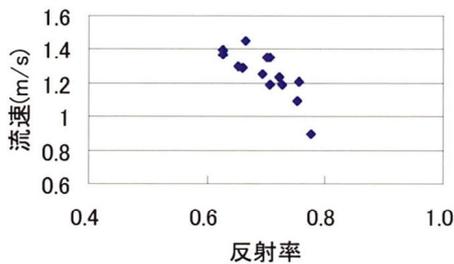


図-13 スリット開口部付近の流速と反射率の関係

e) 詳細実験

周期30sと60sの規則波を用いて実験を行ってきたが, 本構造の周期特性を調べるため, 構造物幅20m, 導水板角度15°, スリット開口幅を0.75mの模型を用いて, 表-2の波を作用させた詳細実験を行った. その結果を, 図-14に示す. これより, 本構造は周期の短い波に対する消波性能は低いが, 周期20s以上の広い周期帯の波の

エネルギーを低減させることが可能な構造であることが明らかとなった.

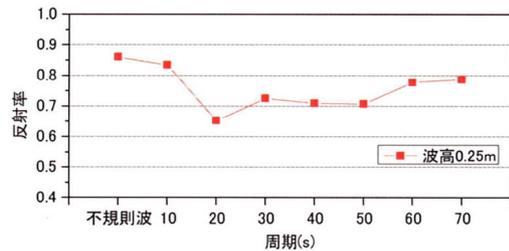


図-14 詳細実験結果

4. 前面壁形状の違いによる性能評価実験

本構造を実港湾に適応する際, その護岸の利用目的に応じて前面壁が必要となる. 特に船舶が接舷する場合, スリット壁(図-15(a))ではスリットからの流速の影響で船が動揺することが懸念されるため, カーテン壁(図-15(b))のように下部に開口部を持った前面壁にする必要がある. ここでは, 前面壁の形状が長周期波低減性能に与える影響について評価する.

(1) 実験模型

実験に用いる前面壁の形状を図-15と表-4に示す. 前面壁の有無による影響を確認するため, 前面壁のないケースとの比較を行った. 模型は全て構造物幅20m, 導水板角度15°, スリット開口幅を0.75mとした.

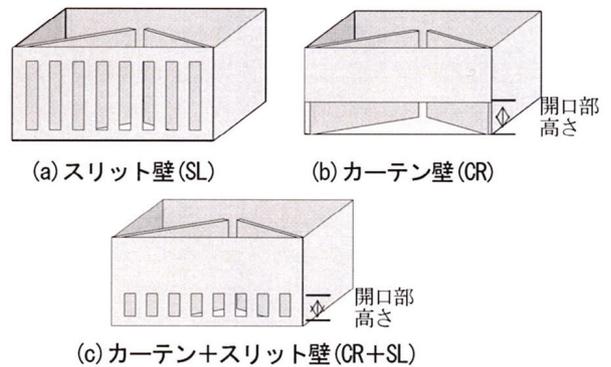


図-15 前面壁形状

表-4 実験模型ケース

ケース	前面壁形状	開口率 (%)	備考	
			スリット部開口率 (%)	開口部高さ (m)
なし	なし	-	-	-
SL	スリット	50	50	-
CR	カーテン	30	-	3
CR+SL3	スリット	15	50	3
CR+SL1	+カーテン	5		1

(2) 実験結果

前面壁を設置した模型を用いた実験結果を図-16に示す。前面壁がないケースに比べ、前面壁を設置したケースは反射率が小さくなり、長周期波低減性能が向上していることがわかる。特に、カーテン壁(CR)やカーテン+スリット壁(CR+SL)の反射率が低下している。これは、導水板の前後で生じる水位差に加え、カーテン壁の前後でも水位差が生じているためであると考えられる。カーテン+スリット壁において、周期60sで開口高が小さいケース(CR+SL1)の反射率が小さくなっている。この際、カーテン壁前面で他のケースよりも大きな水位差が生じていることが、目視ではあるが確認できた。

船舶等が接舷する岸壁に本構造を適用する場合は、上部のカーテン部を開口部のスリットで支持することができる『カーテン+スリット壁』が、最も有効な構造であると考えられる。

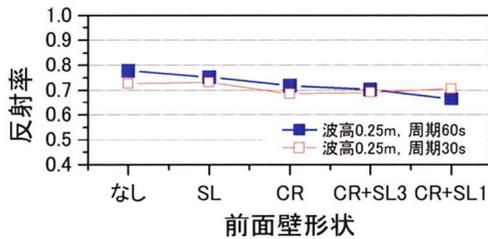


図-16 前面壁形状と反射率

5. 構造形式別の性能実験

渦消波タイプの長周期波対策構造物は、重力式と栈橋式が考えられる。重力式は構造物の安定性確保の観点から中詰め用の隔室が必要となる。また、栈橋式は遊水室内に杭が配置される構造となり、導水板や側壁は施工性等を考慮すると矢板で構成するのが有利であり、導水板などの壁に凹凸が生じることとなる。

このように、中詰め用の隔室や杭の存在、導水板の凹凸が長周期波の消波性能にどのような影響を与えるかを把握するために、図-17に示す①重力式、②栈橋式、③矢板式の3つの構造について実験を行った。なお、重力式、栈橋式とも上部を有効利用できるように上床板の設置を想定しているが、ここでは図示していない。

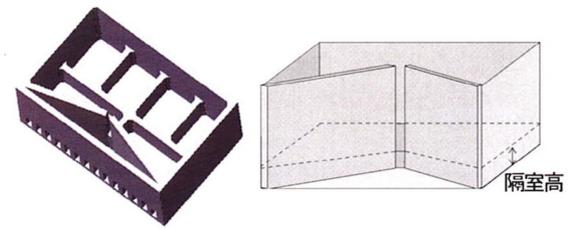
上記の構造形式の模型を用いた実験結果と導水板のみを配置した基本形状の実験結果との比較を行い、各構造の長周期波低減性能を評価した。

(1) 実験模型

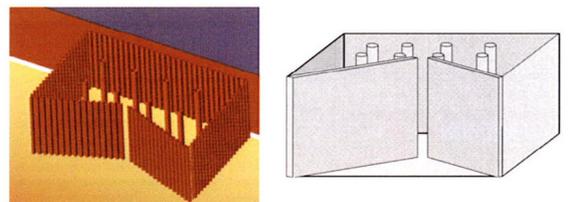
構造形式別の実験に用いた模型形状を図-17と表-5に示す。構造物幅20m、導水板角度15°、スリット開口幅0.75mの形状を基本形状とし、前面壁なしの模型を用いた。

①の重力式は、遊水室内に設ける隔室の高さを、水深の半分と1/4とした2ケースの実験を行った。②の栈橋式

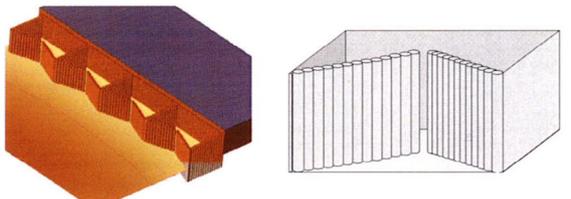
は、遊水室内に径1mの杭を6本配置と8本設置の2ケースを行った。杭は遊水室内に2列に配置することとした。杭6本(3本×2列)のケースはスリット開口部の延長に杭が配置され、杭8本(4本×2列)はスリット開口部延長上には杭は配置されない。ここでは、杭の配置位置による長周期波低減性能の違いを確認することを目的としている。③の導水板を鋼管矢板で構成した矢板式は、構造物の壁に凹凸が生じるため、その凹凸の影響を確認することを目的とし、導水板のみに凹凸を再現した模型を用いた。径1mの鋼管を模擬した円柱をつなげた導水板を用いて実験を行った。本模型では継ぎ手は再現していない。



①中詰め用の隔室がある場合(重力式)



②遊水室内に杭がある場合(栈橋式)



③導水板が鋼管矢板の場合(矢板式)

図-17 構造形式別模型形状

(右:イメージ図, 左:模型概略図)

表-5 実験模型ケース

ケース名	前面壁	導水板	遊水室内
基本形状	なし	板状15°	
隔室高大	なし	板状15°	中詰め用隔室 高さ5m
隔室高小	なし	板状15°	中詰め用隔室 高さ2.5m
杭6本	なし	板状15°	径1mの杭6本
杭8本	なし	板状15°	径1mの杭8本
鋼管矢板	なし	径1mの鋼管矢板 15°	

(2) 実験結果

構造形式別の長周期波低減性能を比較した結果を図-18に示す。全ケースの結果を比較すると、周期30sは構造形式により多少反射率に違いが見られるが、周期60sの長周期波に着目すると、構造形式による反射率の違いは小さいことがわかる。

①の重力式を模擬した隔壁高大と小の結果を見ると、周期30sの場合、隔壁高小であれば基本形と大差はなく、周期60sの波に対してはいずれのケースも基本形状と反射率はほぼ同じであり、隔壁を設けたことによる影響は認められない。周期が長い場合には、隔壁を設けても長周期波低減性能に影響はないことが明らかとなった。

②の栈橋式の結果も周期60sでは、杭がスリット開口部の延長上にある杭6本の結果が、8本の結果より多少反射率が大きくなっており、周期30sでは逆の傾向が見られる。しかし、基本形状の反射率と比較すると反射率は同程度であり、杭を設置したことによる有意な影響は認められない。

③の矢板式の結果は、周期30sで反射率が小さくなっているが、60sでは逆に大きくなっている。これは、板状の導水板を用いた場合、導水板の先端の形状が鋭いのに対し、鋼管矢板を用いた場合は導水板の先端が滑らかとなり、スリット開口部での渦の生成に差ができていたために、このような反射率の違いが生じているものと考えられるが、この点についてはさらに詳細な検討が必要である。

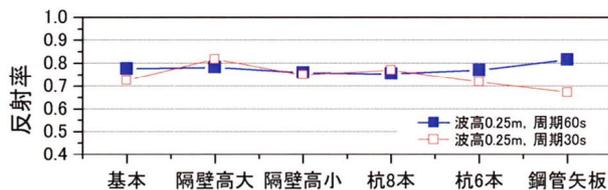


図-18 構造形式別の長周期波低減性能

6. まとめ

渦消波タイプの長周期波対策構造物に対し、周期1分程度の長周期波に対する最適形状の把握と、前面壁形状や構造形式の違いによる長周期波低減性能の評価を目的として、2次元水理模型実験を行った。その結果を以下に示す。

- ① 本構造の基本特性の確認のため、構造物幅、導水板角度、スリット開口幅をパラメータとした実験を行った。その結果、周期1分程度の長周期波に対し反射率0.7~0.8を目標性能とした場合、構造物幅25m、導水板角度15°、スリット開口幅0.75m程度の対策構造が最適な形状であると考えられる。
- ② 前面壁の有無とその形状による反射率の違いを比較した結果、前面壁を設置すると長周期波低減性能が向上することが明らかとなった。前面壁形状はカーテン+スリット壁が最も効果が高く、護岸の使用目的にあった前面壁を選択することが可能である。またカーテン壁は、構造物前面の擾乱を防ぐだけでなく、構造物内にゴミなどの浮遊物の流入を防ぐ効果も期待できる。
- ③ 構造形式別の性能比較を行った結果、重力式、栈橋式、矢板式とも、周期60sの長周期波に対しては性能に大きな差が見られなかった。これより、施工場所の条件やコストなどを考慮し、最適な構造形式を選択することが可能となることが明らかとなった。

今回、スリット開口部で励起される渦を利用した長周期波対策構造物の性能を実験により確認した。しかし、スリット開口部で生成する渦の特性と消波性能の関係については詳細に検討する必要がある、今後の課題である。

参考文献

- 1) 長周期波影響評価マニュアル：(財)沿岸技術研究センター、平成16年8月
- 2) 平石哲也、永瀬恭一：長周期波対策護岸の性能検証実験、海岸工学論文集、第50巻、pp.801-805、2003
- 3) 池野勝哉、熊谷隆宏、森屋陽一、大島香織、関本恒浩：長周期波を対象にした直立消波構造物の開発、海岸工学論文集、第51巻、pp.731-735、2004
- 4) 大島香織、森屋陽一：導水板によるスリット構造物の長周期消波特性、海洋開発論文集、第21巻、pp.791-796、2005
- 5) 合田良実、鈴木康正、岸良安治、菊池 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.24、1976