

導水板による長周期波対策構造物の 構造形式と消波特性

HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF LONG-WAVE ABSORBER
WITH OBLIQUE WALLS ACCORDING TO STRUCTURAL TYPE

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 OHSIMA, Yoichi MORIYA Masahito TSURU, Shigeki SUGITA
and Tetsuya HIRAISHI

¹正会員 修(工) 五洋建設(株) 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)

²正会員 博(工) 沿岸技術研究センター (〒102-0092 東京都千代田区隼町3-16)

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

⁴正会員修(工) 五洋建設(株) 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 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-type long wave absorption structure with two oblique walls. The length of the structure is shorter than the other long-wave absorber. The basic performance of the facility has already been examined by the hydraulic experiments.

In this paper, we propose the structural type (gravity type, sheet pile type, etc.) of long-wave absorber with oblique walls and the wave-absorbing performances for them are experimentally investigated.

Key Words : Long-period wave, long-wave absorber, reflection coefficient, gravity type, sheet pile type

1. はじめに

全国の港湾で、港内に進入した長周期波により係留船舶が長周期動揺し、荷役稼働率を低下させる問題が数多く報告されている。係留時の安全性や荷役稼働率の向上を図るため、長周期波対策の必要性が高まっている。長周期波対策には、波浪予測によるソフト面の対策や、防波堤延伸や消波構造物設置、係留系の改善などのハード面の対策が挙げられる。安全性を向上するにはソフト面の対策も十分に有効な手段となるが、荷役稼働率を向上させるには、根本的に港内の長周期波を構造物により低減し、港内の静穏度を高めることが有効である。

港内で長周期波を低減する構造物として、平石ら¹⁾や池野ら²⁾によるレキを用いた幅 50m 程度の消波構造物が提案されている。既存の港湾に幅 50m の構造物を設置することは、航路や泊地のスペースを考慮すると現実的ではないため、著者ら³⁾は、港内に設置可能な幅 25m 程度の小型の構造物の開発を行った(図-1)。この構造物(以下、渦消波構造物)は、一

対の斜めに設置された導水板の前面と背後の遊水室に水位差を生じさせ、遊水室内に渦を励起し長周期波のエネルギーを低減する。水理模型実験により、渦消波構造物の消波特性や構造形式別の基本的な性能が明らかにされている。

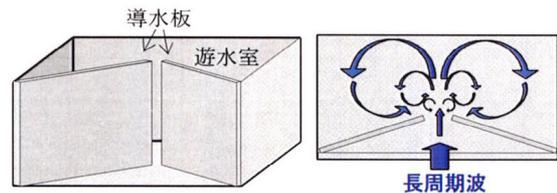


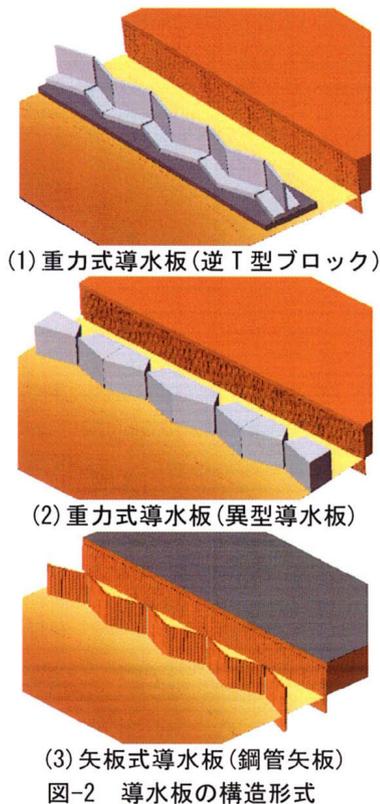
図-1 導水板を用いた長周期波対策構造物

有効な消波性能が確認された渦消波構造物は、既存の護岸や防波堤を背後壁として利用すると、導水板のみを設置すれば良いため経済的である。

設計条件(設計波, 設計震度, 水深, 地盤条件)により最適な形式は異なるが、代表的な構造形式として矢板式と重力式が考えられる。重力式は、水深が浅く設計波が小さい場合は逆 T 型のようなブロック

構造，水深が深く設計波が大きい場合はケーソン構造が考えられる(図-2)。

本研究は，経済的な渦消波構造物の開発を目的とし，実現性を考慮して導水板の厚さや形状，背後壁の形状を変化させた2次元水理模型実験を行い，詳細な構造形式別の消波特性を明らかにした。



2. 水理模型実験概要

(1) 実験概要

水理模型実験は，長さ 50m・幅 60cm・深さ 1.2m の2次元造波水路を用いた。水路長と波の波長を考慮して実験縮尺を 1/50 とし，渦消波構造物の周期による消波性能の違いを把握するため，表-1 に示す周期 30~90s の規則波を入射波とした。

本研究における渦消波構造物の目標性能は，周期 60s の長周期波に対し反射率 0.7~0.8 である。昨年の実験³⁾で周期 60s に対する有効な消波性能が確認された，構造物幅(B)25m，導水板厚(t)1m，導水板間のスリット開口幅(w)0.75m を基本形の模型として用いた。

水位の計測には容量式波高計を用い，造波板前面と図-3 に示す位置に計 10 台設置し，サンプリング周波数 20Hz，造波開始から 300 秒間のデータを収録した。無反射装置付きの造波装置を用いているが，本実験の周期の波には対応していないため吸収制御は行わず，第1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て解析を行った。

渦消波構造物の反射率は，合田ら⁴⁾による入射波分離推定法を参考に算出し，波高計の間隔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択した。また，No.9，10 の波高計は，マウンドを設置した実験で，透過波を測定する際に用いた。

以下，本文中の数字は全て現地スケールで表記する。実験状況を図-5 に示す。

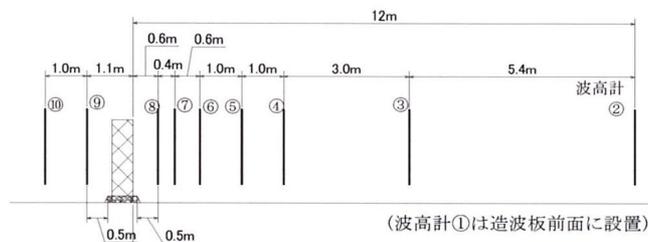


図-3 波高計設置位置図(実験スケール)

表-1 入射波条件(現地スケール)

	波高	周期	水深
規則波	0.25m	30s	10m
		60s	
		90s	

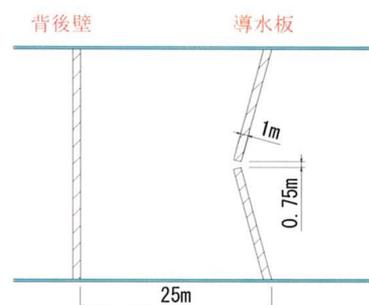


図-4 模型基本形状(現地スケール)



図-5 実験状況(基本形状)

(2) 実験内容

図-4 に示す模型形状を基本形とし，以下の項目に対する実験を行った。

a) 導水板厚の違い

重力式導水板を想定し，導水板の厚さが消波性能に与える影響を比較した。基本形(導水板厚 1m)に対し，遊水室側に導水板厚を 3m，6m と大きくした実験を行った(図-6)。

b) 開口部角度の違い

重力式導水板を想定し，開口部角度を大きくした

異型導水板の消波性能を確認した。設計波が大きい場合、安定性を確保するため基本形の導水板厚を図-6のように大きくすることが考えられる。基本形の開口部角度は図-6に示すように30°であり、開口部の水域が狭く遊水室内への海水の流入に対し影響が懸念された。そこで、開口部角度60°とし、図-7に示す異型形状を提案し、導水板厚6mの結果と比較を行った。

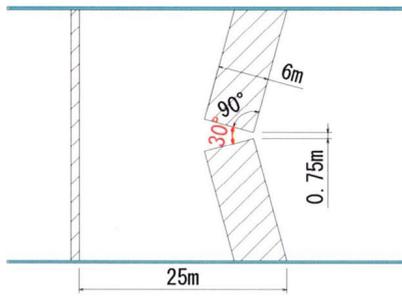


図-6 導水板厚実験模型(導水板厚 6m)

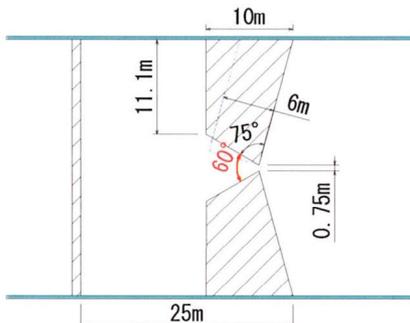


図-7 異型導水板(構造物幅 25m)

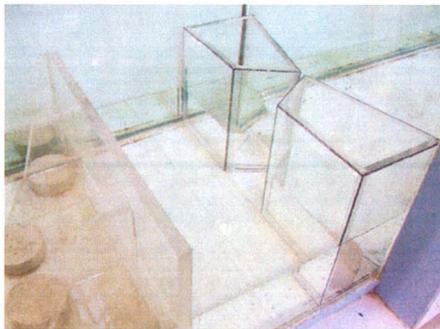


図-8 異型導水板模型(構造物幅 25m)

c) 導水板の天端高の違い

導水板の高さを変え消波性能に与える影響を確認した。実験には基本形の模型を用い、導水板の天端高を変え、以下に示す3ケースの実験を行った。

- ①水面よりも十分に高く越流のない場合
- ②水面と同じ高さで導水板上を波が越流する場合(図-9)
- ③水面よりも2m低く完全に没水している場合

d) 背後壁の形状の違い

栈橋などのように背後の地形が傾斜している場所に導水板を設置する場合を想定し、背後壁の形状の違いが消波性能に与える影響を確認した。導水板は

基本形を用い、図-10に示すような勾配1:2の傾斜壁を設置する。遊水室の水面位置での幅は24.4m(基本形と同程度)と、30m, 40mの3ケースについて実験を行った。

e) 捨石マウンドの影響

防波堤の港内側に導水板を設置する場合を想定し、導水板や背後壁の基礎マウンドが消波性能に与える影響を確認した。長周期波がマウンドを透過し背後に抜ける影響を確認するため、図-11に示す2つのマウンド形状の実験を行った。実験ケースを表-2に示す。

- ①導水板の下にのみマウンドがある場合：マウンドがある場合でも本構造の消波メカニズムが発揮されるかを確認する。また、マウンド厚による消波性能の違いを確認する。
- ②背後壁から導水板にかけてマウンドがある場合：構造物の背後に透過する波の影響を把握する。

f) 構造形式別の性能比較

構造形式の違いによる性能を比較するために、径1mの鋼管矢板を模擬した模型を用い(図-12)、基本形状や重力式(導水板幅6m, 異型導水板)との性能を比較した。導水板形状以外は、基本形と同じ条件とした。

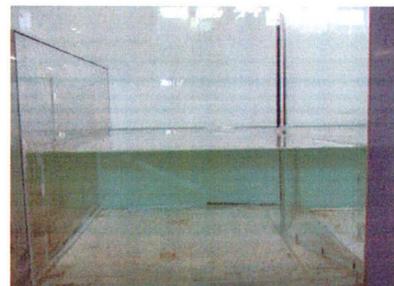


図-9 導水板天端高の影響実験(導水板高:水面)

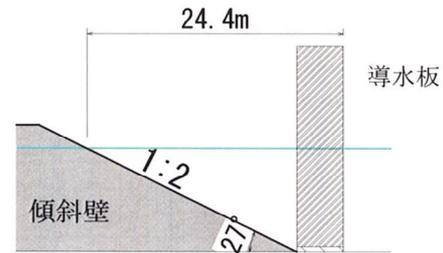


図-10 傾斜壁を用いた実験模型

表-2 捨石マウンド実験ケース

マウンド設置位置	マウンド厚	捨石粒径(実験 Sc)
①導水板のみ	2m	10mm
	5m	
②導水板~背後壁	2m	

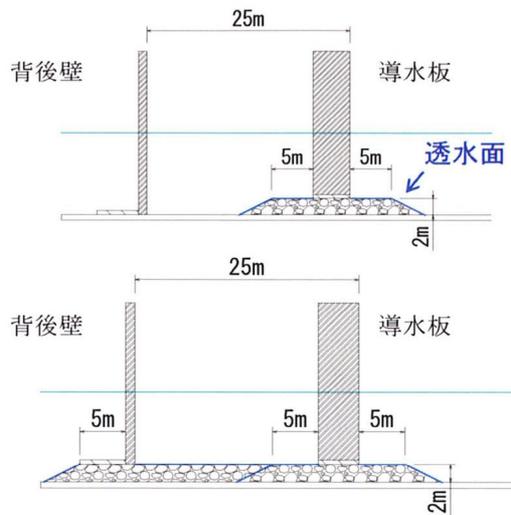


図-11 捨石マウンド設置概略図
(上：導水板下のみ，下：導水板～背後壁)



図-12 鋼管矢板模型

3. 実験結果

(1) 導水板厚の違い

導水板厚が消波性能に与える影響を確認した実験結果を図-13 に示す。周期 30s では導水板厚による性能の違いは見られない。長い周期では導水板厚が大きくなると反射率が多少上がる傾向が見られるが、周期 60s で目標の消波性能を満足している。反射率が大きくなるのは、導水板厚を遊水室側に大きくしたため、遊水室幅が狭くなったことが要因と考えられる。遊水室幅と消波性能の関係は著者ら³⁾の実験で明らかとなっている。導水板の厚さの増大による消波性能の低下が懸念される場合は、導水板の設置位置を変え遊水室幅を確保することが有効な対策となる。

また、図-13 によると周期 90s の反射率が目標の 0.8 を上回っている。他の項目の実験にも共通するが、周期 60s に適した構造物幅 (25m) の模型を用いているためであり、さらに長い周期には構造物幅を大きくすることで対応できることが、著者ら³⁾により確認されている。

(2) 開口部角度の違い

重力式導水板の開口部の角度が消波性能へ与える影響を確認した実験結果を図-14 に示す。周期によらず、異型導水板の反射率が大きくなった。これは、導水板を図-7 に示すように断面積の大きい形状としたため、遊水室の面積が小さくなったことが要因の1つと考えられる。実験結果には導水板の開口部角度を大きくした影響と、遊水室の面積が小さくなった影響が含まれるため、本実験だけでは開口部角度の影響を明確にするに至らなかった。最適な開口部角度については、今後の課題である。

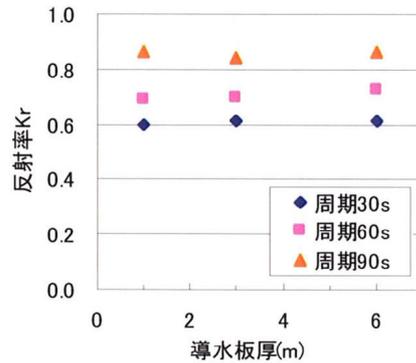


図-13 導水板厚と反射率の関係

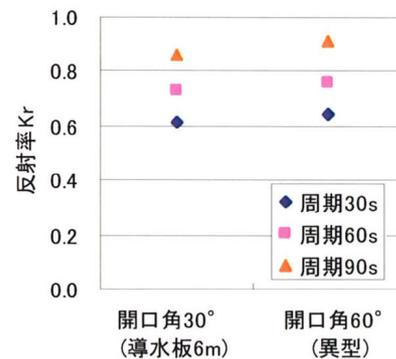


図-14 開口部角度と反射率

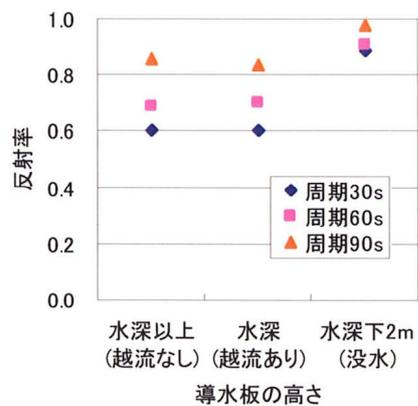


図-15 導水板高さとの関係

(3) 導水板の天端高の違い

導水板の天端高の違いによる消波性能を確認した

実験結果を図-15 に示す。導水板の天端高を水面と同じにした結果は、水面より十分に高くした結果と差は見られなかった。しかし、水面より 2m 低く完全に導水板が没水すると、周期に関係なく反射率が 0.9 前後となり十分な消波性能が得られなかった。

導水板を水面と同じ高さにした場合、長周期波が到達すると波が越流するとともに、開口部より渦が生じていることが確認できた。導水板が没水しているケースでは、波は導水板上を通過し遊水室内の渦は目視では確認できなかった。

以上の結果より導水板の天端高を決定する際には、波高と潮位を考慮して没水しない適切な高さに設定することが必要となる。

(4) 背後壁の形状の違い

背後の地形が傾斜している場所に導水板を設置することを想定し、傾斜壁を用いた実験結果を図-16 に示す。図の白抜きで示した背後壁が直立壁の結果と比較すると、周期 30s、60s では傾斜壁の反射率がわずかではあるが大きくなった。傾斜壁の遊水室幅が 0.6m 小さいことを考慮すると、直立壁との差はほとんどないと考えられる。傾斜壁を後退させ、水面位置での遊水室幅を広くすると、周期 30s の反射率はほとんど変化しないが、周期が長くなると大幅に反射率が低下し、0.6 程度に漸近する傾向が確認された。背後壁が直立の場合でも同様の傾向が確認されている³⁾。

傾斜壁の場合、遊水室の体積は直立壁に比べ大幅に減少しているが消波性能に差は見られない。これは開口部の水深が等しく、傾斜壁のため長周期波の流入が阻害されず、水面付近で同程度の遊水室幅を有するため、直立壁と同様に水位差が生じ渦を励起できたためと推測される。

(5) 捨石マウンドの影響

導水板や背後壁の下に捨石マウンドがある場合の消波性能を確認した結果を図-17 に示す。導水板の下にのみマウンドがある場合、周期 60s と 90s では、マウンドを長周期波が透過し導水板の前背面で水位差が小さくなるため、消波性能が低下し反射率が大きくなる。ただし、周期 60s の反射率は 0.7 程度であり目標の消波性能は満足している。周期 30s は他の周期と傾向が異なり、マウンドの設置により性能が向上する。また、マウンド厚の明確な影響は確認されなかったが、周期 30s ではマウンド厚 2m の反射率が小さくなる傾向が見られた。

導水板から背後壁にかけてマウンドがある場合、構造物背後に長周期波が透過するため、各周期とも反射率は低下する。構造物背後に設置した波高計で透過波を計測し、入射波高に対する透過率を算定した結果からも周期が長くなるほど透過率が大きいことが確認された(図-18)。本構造は構造物背後に長周期波が透過するため、見かけ上反射率が小さいが、外海からの長周期波がマウンドを通じて港内に進入

してくることに注意を要する。

(6) 構造形式別の性能比較

構造形式の違いによる消波性能を比較した結果を図-19 に示す。径 1m の鋼管矢板の消波性能と基本形の結果を比較すると、両者の反射率に差は見られず、導水板の凹凸による消波性能への影響は確認されなかった。

前年に著者ら³⁾が行った同じ条件の実験では、周期により鋼管矢板の反射率にばらつきが見られ、凹凸の消波性能に与える影響を明確にできなかった。本実験では全ての実験周期にあわせ、波高計間隔や、解析に使用する波高計の組合を検討し変更したため、周期による反射率のばらつきは大幅に減少した。

遊水室面積が小さい異型導水板以外は、導水板の構造形式による消波性能に大きな違いは見られないことより、地盤条件や設計波浪条件に応じ、適切な構造形式を選択することが可能となる。

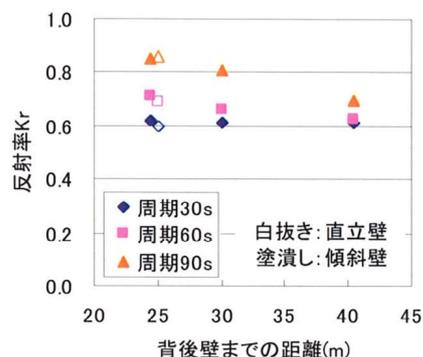


図-16 傾斜壁の消波性能

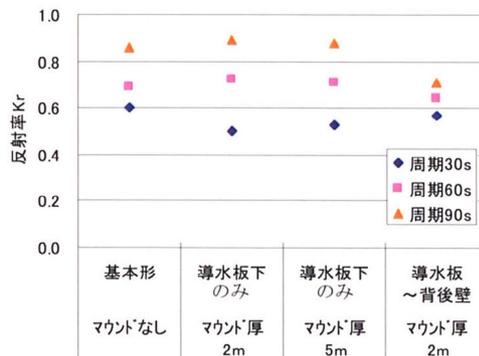


図-17 マウンドの消波性能に与える影響

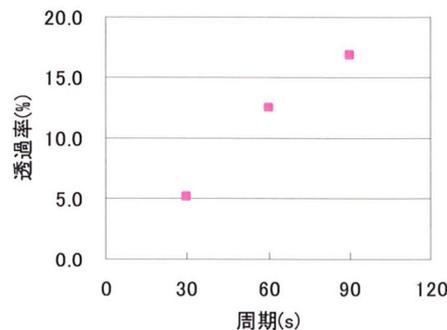


図-18 構造物背後への透過率

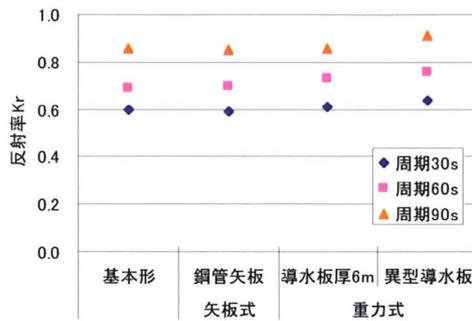


図-19 構造形式別の消波性能

4. まとめ

本研究で得られた結論を以下に示す。

- ① 導水板の厚さを変えた実験を行い、導水板厚が大きくなり遊水室幅が小さくなると、周期が長い場合(60s, 90s)に、反射率が多少大きくなる傾向が確認された。消波性能の低下は、構造物幅(遊水室幅)を大きくすることで改善することが可能となる。周期 60s で導水板厚が 6m の時、反射率は 0.7 程度であり、導水板を厚くしても目標とする消波性能が得られている。
- ② 導水板の開口部角度を 30° から 60° と大きくした異型導水板の消波性能を確認した。その結果、遊水室面積が小さくなり消波性能が低下した。導水板の構造を検討する際には、遊水室の大きさを確保するように導水板の設置位置を適切に決定することが重要となる。
- ③ 導水板の天端高を変えて実験を行った。その結果、導水板の天端高は波高と潮位の変動を考慮し、没水しない高さに設定することが必要である。
- ④ 栈橋などのように背後の地形が傾斜している場所に導水板を設置する場合でも、直立壁と同程度の消波性能が得られることが確認された。背後壁が傾斜している場合、直立の背後壁に比べ

遊水室の体積が減少するが、導水板開口部位置での水深と水面付近での遊水室幅を十分に確保することで有効な消波性能を得ることが可能となる。

- ⑤ 捨石マウンドが消波性能に与える影響を確認した結果、マウンドを長周期波が透過するため、導水板前背面での水位差が生じにくくなり消波性能が低下する。導水板から背後壁にかけてマウンドがある場合は、周期が長い波ほど構造物背後に波が透過するため、見かけ上反射率は小さくなるが、実際には外海から港内へ長周期波が透過してくることに注意する必要がある。
- ⑥ 導水板の構造形式の違いによる消波性能を比較した。鋼管矢板を模擬した実験結果より、導水板の凹凸による消波性能への影響は確認されなかった。矢板式、重力式とも周期 60s の波に対し、構造物幅 25m で反射率 0.7 前後の消波性能があることが確認された。さらに周期の長い波を対象とする際には、構造物幅を大きくすることで、必要とする消波性能を得ることが可能となる。

以上の結果より、矢板式、重力式の構造形式が現実性のある構造であることが確認された。また、設計波浪条件や地盤条件に即し適切な構造形式を用いることで、経済的な構造を提案することが可能となる。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 大島香織, 森屋陽一: 渦による消波機能を活用した長周期波対策施設の特性, 海洋開発論文集, 第 22 巻, pp.145-150, 2006
- 4) 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