

導水板によるスリット構造物の 長周期波消波特性

LONG-PERIOD WAVE ABSORBING CHARACTERISTICS FOR SLIT-TYPE STRUCTURES

大島香織¹・森屋陽一²

Kaori OHSHIMA and Yoichi MORIYA

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)

In many ports, long-period waves decrease the efficiency of cargo handling and sometimes cause cutting of mooring ropes. Possible counter measures against damages due to long-period waves are to forecast the surge of long waves, to extend the offshore breakwater, or to improve the mooring system. One of the most effective ways to reduce the long-period waves in a port is to construct the long-wave absorbing structures along breakwaters. In order to absorb long-period waves, however, the wave absorber requires long structures and may not fit in many existing ports.

In this study, we propose a new slit-type long-wave absorbing structure whose length is shorter than other former long-wave absorbers. We performed hydraulic experiment and verified the overall performance of the present wave absorbing structure in terms of its wave reflection rate.

Key Words : long-period wave, long-period wave absorbing structure, reflection coefficient

1. はじめに

外洋に面した港湾では、港内が静穏に見える場合でも、水深の深い岸壁に係留されている大型船舶が大きく水平に動揺し、係留索や防舷材が破損する事故や荷役障害が数多く報告されている。近年の研究で、これらの事故・荷役障害の原因が周期数分の長周期波と船舶の固有周期が一致し、共振を起こしているためであることが明らかとなり、荷役の安全性や定時制を高めるための長周期波対策の重要性が高まっている。

長周期波による船舶の荷役障害対策には、長周期波の発生を予測して事前に退避するなどのソフト対策や、係留索や防舷材の材質を変更し係留船舶の固有振動数を変える方法や、防波堤の延長や長周期波対策構造物を港内に設置するなどのハード対策が挙げられる。長周期波予測や係留索の材質を変更することにより、荷役障害や事故を回避し安全性を向上させることは可能である。しかし、港内静穏度を向上させ荷役の定時制を高める解決方法とはならない。また、防波堤を延長するには、多大な施工領域やコストが問題となる。

これらの背景を考慮すると、長周期波により港内

静穏度が低下している場合、長周期波消波構造物を港内に効果的に配置する方法は有効な対策の1つと考えられる。長周期波消波構造物の研究は、平石ら¹⁾や池野ら²⁾により既に行われており、幅50m程度の構造物で長周期波を消波することが可能とされている。しかし、既存の港湾における長周期波対策として、幅50m程度の構造物を設置することは、航路や泊地の確保および建設コストの面などで適応が難しいのが現実である。

そこで本研究は、小型の長周期波消波構造物の開発を目的とし、導水板により形成されたスリット状の開口部で渦を発生させ、長周期波のエネルギーを低減させる構造物を提案した。また、2次元水槽による模型実験を行うことにより、長周期波に対する反射率を測定し、消波性能を確認した。

2. 長周期波消波構造物の概要

本研究で提案する長周期波消波構造物の模式図を図-1に示す。本構造は、ケーソン内に斜めに導水板を設置することで、ケーソン内に渦を発生させる構造となっている。導水板により波の入射側に形成さ

れる導水室は、ケーソンの奥へ行くほど幅が狭くなり、その奥がスリット状の開口部(スリット部)となっている。導水室の奥には遊水室が存在し、スリット部を介して両室間を海水が移動する構造となっている。

この導水板によるスリット構造物の長周期波を消波するメカニズムを以下に示す。①ケーソン内に長周期波が進入すると、導水室の奥へ行くほど幅が狭く開口部幅も狭いため、導水室の奥の水位が上昇する。②導水室の奥で水位が上昇することで、導水室と遊水室間に水位差が生じる。③スリット部を介して遊水室内へ海水が遊水室へ流入する。スリット部の幅が狭いため、遊水室に海水が流入する際に縮流となり、遊水室に大きな渦が発生する。④遊水室内に生じた渦の効果により長周期波のエネルギーを低減させる。

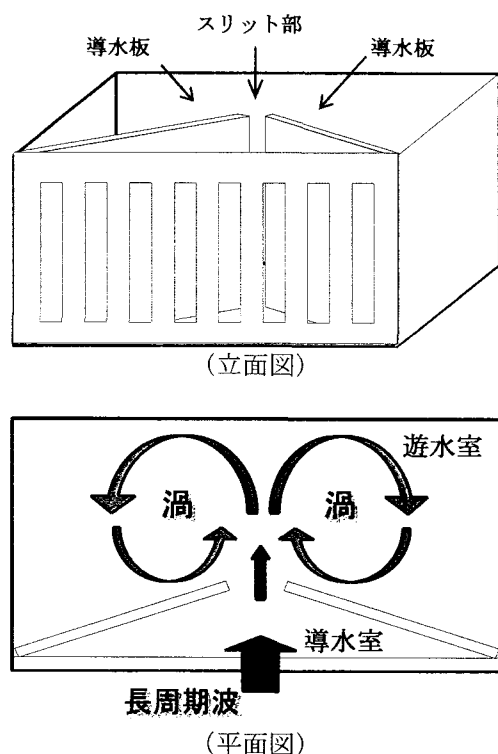


図-1 長周期波消波構造の模式図

3. 水理模型実験の概要

(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。水槽内には、沖側に1/50の傾斜を持った水路床を設置し、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。

また、図-2に示す位置に容量式波高計を7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。

反射率は、図-2で示したNo. 3～6の波高計を用い、合田ら³⁾による入反射分離推定法により算出した。その際、長周期波の有効周波数の範囲と波高計の距離を考慮し、周期ごとに使用する波高計を選び解析を行った。また、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、造波板による再反射波の影響を考慮する必要があった。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抜き出し用いることとした。

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。

(2) 実験模型

長周期波消波構造物内に設置する導水板形状は、図-3～5に示す三種類とした。図中の数値はすべて現地スケールである。

図-3の導水板①は2枚の導水板で導水室を形成し、その中央部にスリット部を有した構造となっている。

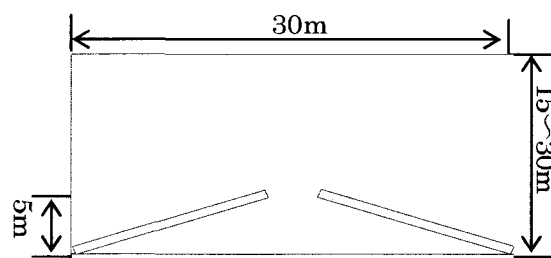


図-3 導水板形状(導水板①)

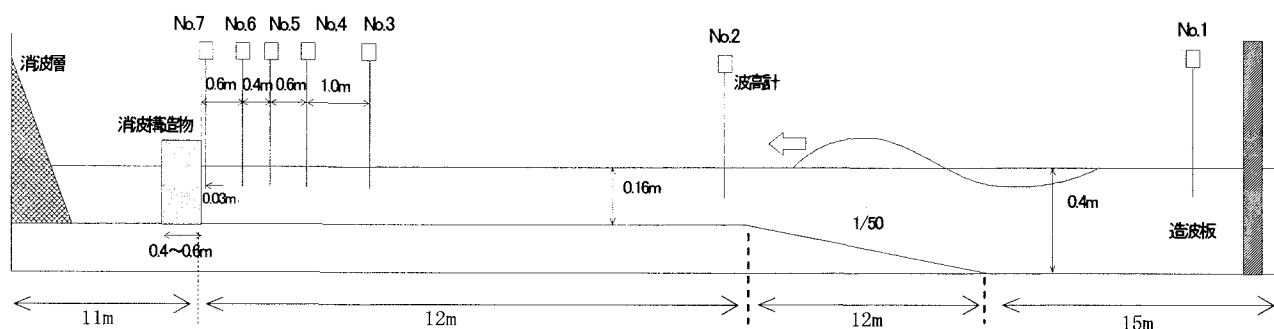


図-2 実験装置概要

一方、図-4、5の導水板②、③は1枚の導水板で導水室を形成し、導水室の端にスリット部を有する構造となっている。図-4の導水板②は直線であるのに対し、図-5に示した導水板③は曲面を有した構造となっている。また、導水板により形成されたスリット部の幅は、いずれも現地スケールで0.75mとした。

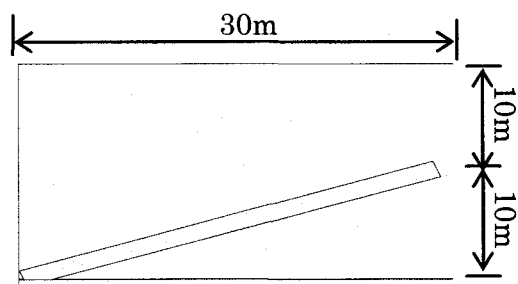


図-4 導水板形状(導水板②)

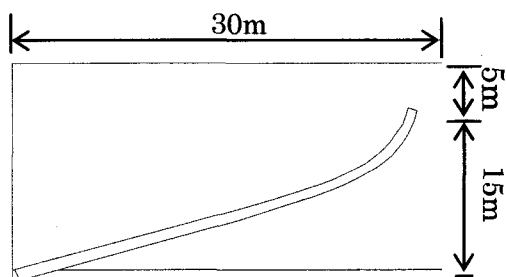


図-5 導水板形状(導水板③)

長周期波消波構造物を港内に設置する際、設置場所により構造物前面の形状を変える必要性が考えられる。防波堤として長周期波消波構造物を用いる場合などは、港内側は図-6で示すようなスリット形状が良い。しかし、岸壁に採用する際には、構造物前面がスリット形状であると、スリットの間からの流れが係留船舶の動揺に影響を与えることが懸念される。そこで、図-7に示すようなカーテン壁を考え、実験の対象とした。また、前面壁の形状が反射率に与える影響を把握するため、図-8に示すような導水板のみの形状についての実験も行った。

図-6に示した前面スリット壁は開口率50%とし、図-7に示した前面カーテン壁の下の開口部の高さは、現地スケールで1.5mとした。

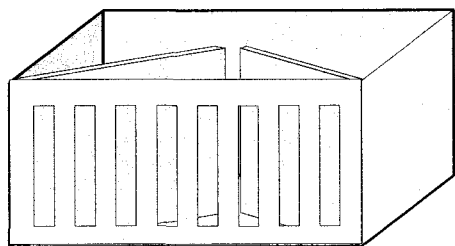


図-6 模型前面形状(前面スリット)

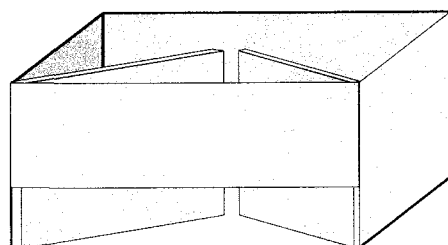


図-7 模型前面形状(前面カーテン壁)

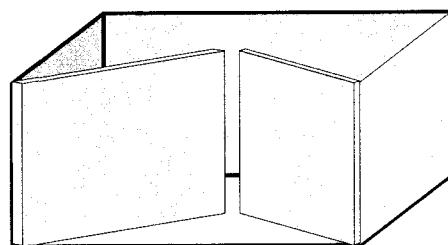


図-8 模型前面形状(前面壁なし)

(3) 波浪条件

実験に用いる波浪条件を表-1に示す。実験はすべて規則波で行った。前面壁がスリット形状で堤体幅20mとした模型を基本形とし実験を行った。実験周期は、基本形と導水板①～③の組合せについてのみ、周期を10sと30～70sまで10s毎の計6種類、それ以外の模型形状については、周期10sと30～70sまで20s毎の計4種類の実験を行った。本実験では、周期10sを短周期波、周期30s以上を長周期波と定義した。また、水深は現地スケールで8mとして実験を行った。

表-1に示した波浪の入射波検定を行った結果、波高は誤差1mm以内(現地スケールで5cm以内)、周期の誤差は最大で0.09s(現地スケールで0.6s)の波を作成することができた。

表-1 波浪条件(現地スケール)

波高(m)	周期(s)	波長(m)	備考
0.5	10	84	短周期波
	30	264	長周期波
	40	353	
	50	442	
	60	530	
	70	619	
1.0	10	84	短周期波
	30	264	長周期波
	50	442	
	70	619	

(4) 実験ケース

図-3～6で示した導水板形状と前面壁形状を組合せ、4種類の実験を行った。

①導水板形状による反射率の違いを把握する実験(表-2)。図-2で示した導水板①～③を用いた実験の

他に、導水板の有無による長周期波の消波性能の違いを明らかにするため、導水板のない通常のスリットケーソンを対象とした実験も行った。

②構造物の幅による反射率の違いを把握する実験(表-3)。実港湾で適応可能な構造物幅を考慮し、15～30mで実験を行った。構造物の幅を変化させる際は、導水室の形状や幅は変化させず一定とし、遊水室の幅のみを変化させた。

③波高による反射率の違いを把握する実験(表-4)。波高が1.0mというケースは、現実の長周期波の波高に比べると大きな数値である。しかし、実験縮尺が1/50のため波高の小さな実験では反射率を算出する際に誤差が大きくなるため、このような大きな波高値を設定した。

④前面壁形状による反射率の違いを把握する実験(表-5)。表-2～4に示した実験は、すべて前面壁がスリットの条件で行っているため、ここで前面壁形状による違いを把握するための実験を導水板①～③を用いて行った。

表-2 実験ケース(導水板形状の違い)

導水板	前面壁	構造物幅	波高
なし	スリット	20m	0.5m
導水板①			
導水板②			
導水板③			

表-3 実験ケース(構造物の幅の違い)

導水板	前面壁	構造物幅	波高
導水板①	スリット	15m	0.5m
		20m	
		25m	
		30m	

表-4 実験ケース(波高の違い)

導水板	前面壁	構造物幅	波高
導水板①	スリット	20m	0.5m
			1.0m

表-5 実験ケース(前面壁の違い)

導水板	前面壁	構造物幅	波高
導水板①	スリット	20m	0.5m
	カーテン		
	なし		
導水板②	スリット	20m	0.5m
	カーテン		
	なし		
導水板③	スリット	20m	0.5m
	カーテン		
	なし		

4. 実験結果

(1) 導水板形状による反射率の違い

導水板形状の違いによる反射率の違いを測定した結果を図-7に示す。導水板を持たない通常のスリットケーソンは、周期30s以上の長周期波で反射率が0.9以上となり、長周期波に対する消波効果をほとんど有していないことが確認できた。これに対し、導水板①～③を設置した場合、周期70sで反射率が0.8を越えるものも存在するが、長周期波に対し高い消波性能を有することが明らかとなった。

また、導水板を設置した構造物は、短周期(周期10s)の反射率が高い結果となっている。これは、周期が短い場合には、導水板により海水が導水室奥へ集められ水位差が生じ遊水室へ流れ込む現象が、長周期波に比べ起きにくく、導水板で波が反射してしまうためであると考えられる。実際、周期が短い場合は長周期波に比べ、遊水室で発生する渦の大きさが小さいことが、目視であるが確認された。

導水板の形状の違いによる反射率への影響度合を比べると、導水板①がすべての周期において安定した消波性能を示している。導水板②、③は、周期10sと70sで反射率が高くなる傾向にあるが、その間の周期帯では高い消波性能が確認できた。曲面の導水板を用いた導水板③は、導水板②に比べ多少反射率が小さいが、両者に大きな差は確認できなかった。

導水板①と導水板②、③の反射率の傾向の差は、導水板の形状と、それにより形成されるスリット部の位置の違いによるものと考えられるが、今後さらに検討を行う必要がある。

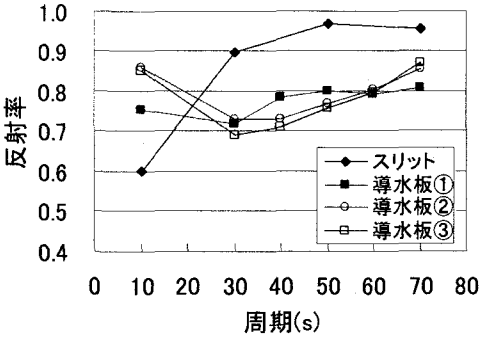


図-7 導水板形状の違いによる反射率の変化

(2) 構造物の幅による反射率の違い

前面スリットで導水板①を用い、構造物の幅を変化させた実験の結果を図-8に示す。これより、構造物の幅が大きくなるほど(遊水室の幅が大きくなるほど)、長周期波に対する消波性能が向上することが確認できた。短周期波(周期10s)の反射率は、構造物の幅による違いは見られなかった。長周期波については、幅15m以外は周期70sに対しても反射率0.7～0.8程度であり、既存の長周期波対策構造物の約半分の構造物幅で、十分な消波性能を有していることが明らかとなった。

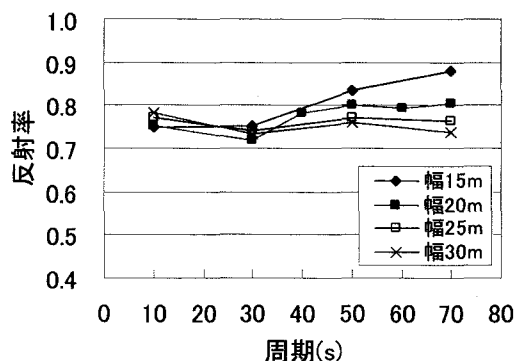


図-8 構造物の幅の違いによる反射率の変化

(3) 波高による反射率の違い

前面スリットで導水板①を用い、波高を変化させた実験を行った結果を図-9に示す。長周期波に対しては、波高が大きいと反射率が小さくなる傾向が見られる。これは、波高が大きいと導水室と遊水室の水位差が大きくなり、導水室から勢い良く海水が流入し、大きな渦が発生するためであると考えられる。

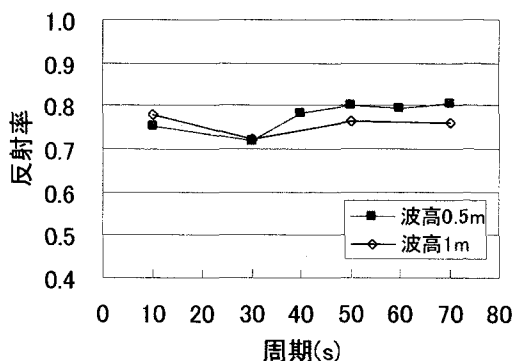


図-9 波高による反射率の違い

(4) 前面壁形状による反射率の違い

前面壁の形状を変えた実験結果を図-10～12に示す。導水板を2枚用いた導水板①の結果(図-10)は、導水板1枚の導水板②、③の結果(図-11, 12)に比べ多少反射率にばらつきがあるが、前面壁形状による反射率の明確な違いは認められない。また、周期10sの短周期波の結果も前面壁の形状に関わらず反射率0.8以下となっている。これは導水板②、③の傾向と異なっており、導水板の形状の違いによるものと考えられる。

1枚の導水板を用いた導水板②、③の結果(図-11, 12)は、周期30s以上の長周期波については、前面壁の違いによる反射率の違いは見られない。また、長周期波の周期が長くなるにつれ、反射率が直線的に大きくなる傾向が見られる。また、周期10sの短周期波では前面壁形状により反射率に違いが見られ、前面壁がない場合が最も大きく、前面がカーテン形状の場合が最も小さい点も共通の傾向として明らかになった。短周期波で反射率が高くなる理由は、(1)でも述べたが、ケーソン内に設置した導水板により波が反射されるためであると考えられる。

以上より、前面壁の違いによる長周期波消波特性の明確な違いが認められなかったことから、長周期波消波構造物を港内に設置する際は、設置場所や使用目的に合わせた適切な前面形状を選択することが可能であると言える。

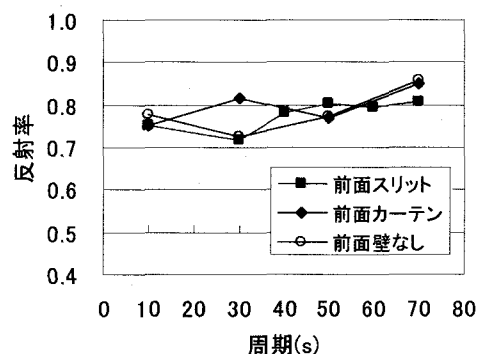


図-10 前面壁形状の違いによる反射率の変化 (導水板①)

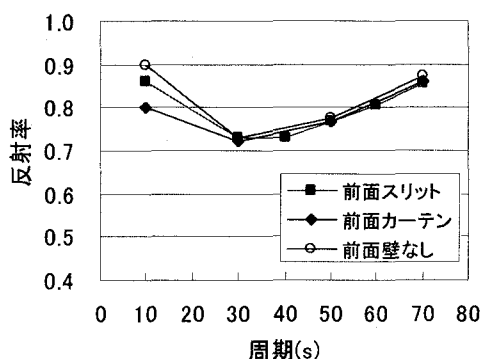


図-11 前面壁形状の違いによる反射率の変化 (導水板②)

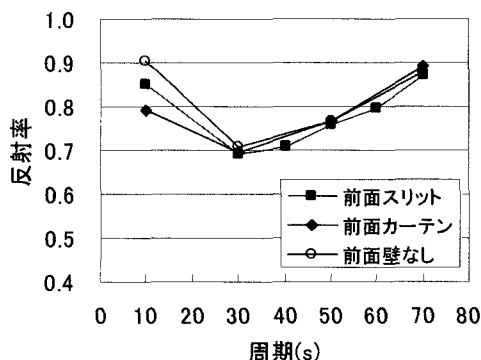


図-12 前面壁形状の違いによる反射率の変化 (導水板③)

5. まとめ

小型の長周期波消波構造物の開発を目的とし、導水板によるスリット構造の消波構造物を提案した。本構造は、ケーソン内に導水板を設置し、渦を発生させることで長周期波のエネルギーを低減させる効果を期待している。本研究では2次元水槽を用いた

水理模型実験を行い、提案する長周期波消波構造物の特性に関する知見を得た。得られた結論を以下に示す。

- ① 通常のスリットケーソンと今回提案した構造物の反射率を比較したところ(図-7)、通常のスリットケーソンは周期30s以上の長周期波に対する反射率が0.9以上であったのに対し、提案した構造物は反射率0.8前後であり、長周期波に対する消波効果を確認することができた。
- ② ケーソン内に設置した導水板の形状による反射率の違いを確認した結果(図-7)、導水板を2枚用いた形状(図-3、導水板①)が、周期30～70sの長周期波に対し安定した消波性能があることが明らかとなった。
- ③ 構造物の幅による反射率の違いを導水板①を用いた模型で確認した結果(図-8)、幅が大きいほど(遊水室の幅が大きいほど)、反射率が小さくなることが明らかとなった。既存の研究の長周期波消波構造物の消波性能(幅50～60m、反射率0.7程度)と比較しても、半分程度の幅で、同等の消波性能を有していることが確認できた。
- ④ 波高の違いによる反射率の違いを導水板①を用いて確認した結果(図-8)、長周期波に対しては、

波高が大きいほうが反射率が小さくなる傾向が見られた。

- ⑤ 前面壁形状による反射率の違いを確認した結果、前面壁の違いによる反射率の明確な違いは確認されなかった。これより、設置場所や使用目的に合わせた適切な前面形状を選択することが可能となることが確認できた。

導水板を用いた長周期波消波構造物の高い消波性能を確認することができたが、渦によるエネルギー損失に対するスケール効果の影響が懸念される。今後は数値的な検討を行うことで、スケール効果の影響や実スケールにおける消波効果等についての検討を行う必要がある。

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) 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