

水理実験による斜め入射波に対するスリットケーソンの反射特性の確認について

【イノベーション部門】

化生 順一郎¹・村上 栄基²

¹関東地方整備局 横浜港湾空港技術調査事務所 調査課（〒221-0053 横浜市神奈川区橋本町2-1-4）

²関東地方整備局 横浜港湾空港技術調査事務所 技術開発課（同上）

横浜港新本牧地区道路護岸は、現在整備中の岸壁と既設の本牧ふ頭を接続する護岸であり、港湾計画で設定されている港内静穏度を確保するため、当該護岸の構造形式をスリットケーソンとし、所定の反射率以下にする必要があった。そのため、基本設計段階では、過去の文献に記載のスリットケーソンの遊水室と反射率の関係により、最適なスリットケーソンの諸元を設定している。一方で、文献に記載の手法は、スリットケーソンに対し、直角入射する波に対して、前述の関係を求めたものであり、斜め入射波に対する反射特性については十分に把握されていない。よって、今回水理模型実験を行い、スリットケーソンの反射特性の確認を行った。

キーワード スリットケーソン、反射率、水理模型実験、港内静穏度、生物共生型護岸、SDGs

1. はじめに

当局では、国際コンテナ戦略港湾施策に基づき、図-1に示す「横浜港国際海上コンテナターミナル再編整備事業」を2019年から実施している。当該事業は、横浜港において大型コンテナ船に対応した新本牧ふ頭の整備をはじめとした既存ふ頭の改良、並びに集荷・創貨にむけた大型物流施設の整備・集約等の再編を行うものである。事業内容のうち、新本牧ふ頭地区については、現在岸壁の整備を行っており、今回検討対象の当該地区の道路護岸は、図-2に示す整備中の岸壁と既設の本牧ふ頭の間を接続する護岸である。



図-2 検討対象施設位置



図-1 横浜港国際海上コンテナターミナル再編整備事業概要

2. 水理模型実験の目的

(1) 道路護岸の構造形式

当該地区の港湾計画では、岸壁前面の港内静穏度の目標は、表-1のとおりを設定されている。それぞれの波浪条件は、港内の波浪変形計算を行った結果、設定されている港内静穏度を満足するために、道路護岸の反射率（反射波高/入射波高）が、常時波浪で0.9、異常時波浪で0.5以下である必要があることが分かった。よって、道路護岸の構造形式は、反射率の軽減が期待できるスリットケーソンを採用し、過去の文献※1)に記載のスリットケーソンの遊水室と反射率の関係により、遊水室の諸

元を所定の反射率以下となるように基本設計では設定した。

表-1 港内静穏度の目標

波浪条件	係留施設前面波高	稼働率
通常時	0.5m以下	97.5%以上
異常時	1.5m以下	—

(2) 水理模型実験の目的

設計段階では、前項のとおりスリットケーソンの諸元は遊水室の幅と反射率の関係により設定したが、この関係はスリットケーソンに対し直角に入射する波に対して求められたものであり、斜めに入射する波に対する反射特性は十分に把握されていない。一方で、当該地区の波浪変形計算によれば、図-3のように当該地区の主たる波向きであるSE、SSE及びS方向の波が港内の港口から入射した場合、浅水変形等により、検討対象施設の護岸前面の波は、いずれも護岸法線に対して、約39度と斜めに入射する波となることが分かっている。

また、「港湾の施設の技術上の基準（以下、技術基準）」によれば、消波型ケーソン堤の波浪に対する性能照査にあたっては、水理模型実験を行うことが望ましいとされている。よって、今回、斜め入射波に対するスリットケーソンの反射特性を確認するため、写真-1に示す当局所有施設の水理実験場の平面水槽で、三次元水理模型実験（以下、平面実験）を行った。

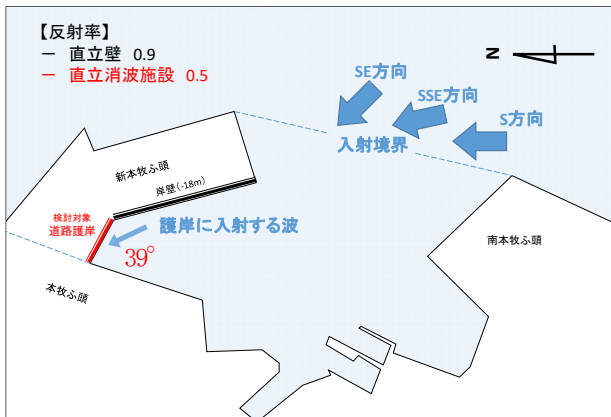


図-3 護岸に入射する波向き



写真-1 横浜港湾空港技術調査事務所 水理実験場

3. 水理模型実験の実施

(1) 水理模型実験に際しての課題

本実験の目的は、スリットケーソンの反射特性を確認することであり、スリットの効果を精度良く再現するために実験模型を出来るだけ大きくする必要がある。一方で、造波板の高さの制約もあるため、図-4のとおり、水槽内で基礎マウンドなどを含めた堤体すべてを再現する場合、実験縮尺を1/32まで小さくしなければならず、この縮尺で実施した場合は、実験模型のスリット幅が小さくなり過ぎてしまい、水の粘性の影響を受けやすくなることで、測定精度へ影響する。また実験波の最も短い周期も0.62sと短くなり、造波機での波の再現が困難である。このため、スリットの効果を精度良く再現でき、実験施設で造波可能な波高・周期となる実験縮尺とすることが課題であった。

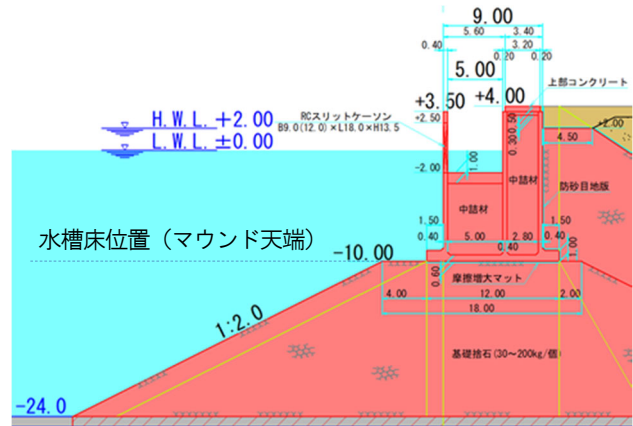


図-4 検討対象護岸断面

(2) 課題への対応

上記課題への対応として、海底地形・基礎マウンドは再現しなくても、スリットケーソンの堤前波の再現は可能なため、実験縮尺を1/16まで大きくできた。これにより、実験波の最も短い周期は、0.88sで、造波可能となり、スリットの効果を精度良く再現可能な縮尺とした。

(3) さらなる生物共生型護岸への対応へ

平成30年度の技術基準の改訂により、港湾の自然環境の保全・再生・創出のため、環境の保全に資する規定が新設され、施設本来の機能を損なわず港湾の環境を保全できるよう、所要の要求性能、性能規定を定められている。よって、本実験では、今後の細部設計で、図-5に示すように、環境へ配慮した構造の検討ができるよう、遊水室の底面に石材（蛇籠）を設置した場合に、反射率への影響がどうなるか（要求性能を満足できるか）確認を行った。

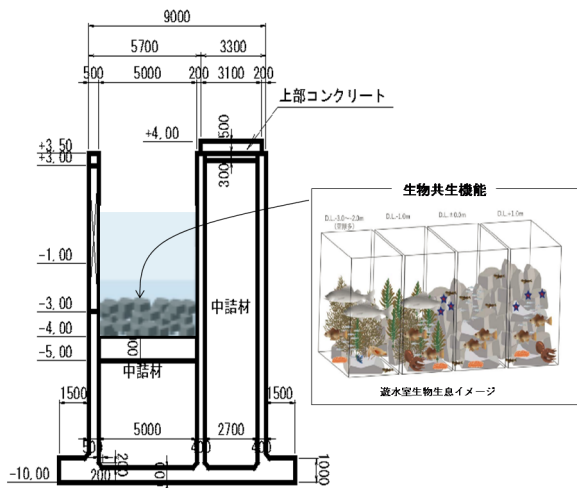
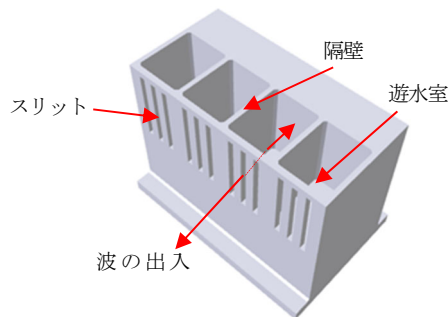


図-5 生物共生型護岸断面

(4) スリット形状の違いによる反射率の確認

設計段階では、図-6に示す通常の縦スリットで検討しているが、実験により所定の反射率が、万が一確保出来ない場合の対策のため、反射率低減効果がある図-7に示すダイヤ型スリットも実験に加え、反射率への影響がどうなるか（要求性能を満足できるか）確認を行った。



※スリット（柱の間に空隙がある）ケーソンでスリットを抜けて遊水室に入る波が渦で波のエネルギーを消費する構造

図-6 スリットケーソン部材等説明イメージ図

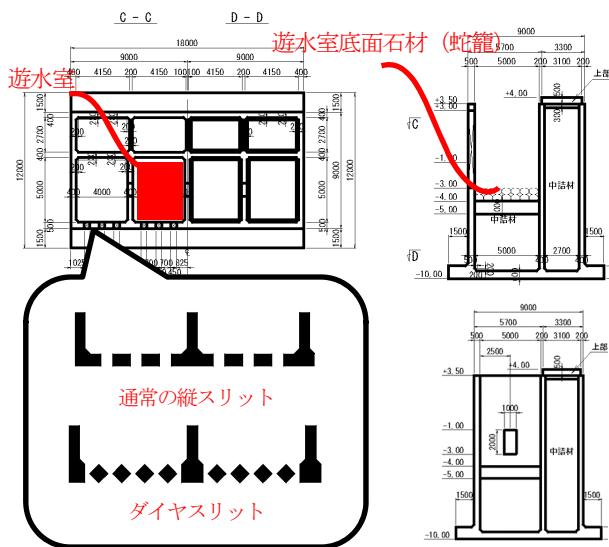


図-7 スリットケーソン構造図

2. 水理模型実験条件

(1) 検討対象波浪および潮位

検討対象の波浪と潮位は、表-2に示すとおり常時波浪4種と異常時波浪1種の波高と周期とし、潮位は、平均水面（MWL）を実験条件とした。波の入射角は表-3に示す3種類（0°、20°、39°）とし、39°が卓越する斜め入射波の波向で、0°は直角入射の波向である。20°は中間の角度で反射率傾向把握のために実験に適用した。

表-2 検討対象の波浪および潮位の条件

波浪区分	潮位 D.L. (m)	現地量		波高Hと周期Tの設定根拠
		H _{1/3} (m)	T _{1/3} (s)	
常時波浪	(M.W.L.) +1.2	0.70	7.0	波高および周期が最大
		0.70	5.0	周期による反射率変化の検討
		0.70	3.5	波形勾配が最大, H/L=0.042
		0.40	7.0	波形勾配が最小, H/L=0.005
異常時波浪	(M.W.L.) +1.2	1.37	5.9	50年確率波、標準部および既設護岸接続部の堤前波

表-3 実験を実施する波の入射角

実験内容	波の入射角*	摘要
斜め入射波反射特性確認実験	0度	直角入射の机上検討の精度検証
	20度	直角入射と堤前波向の中間
	39度	50年確率波の堤前波向

* NからE周りの角度

3. 水理模型実験方法

(1) 実験領域と護岸模型配置

図-8及び写真-2に示すように平面水槽内に3台の造波機を設置した幅15mの実験領域の中で実験を実施した。3種類の入射角は、造波機や実験領域の角度を変えると、計測機器の設置や実験波の検定も角度毎に行う必要があり時間を要するため、護岸模型自体の設置角度を変更する工夫で効率化を図った。なお護岸模型を斜めに配置すると反射波が導波板方向に向かうため、消波材を設置して導波板からの反射波を抑制するよう配慮した。

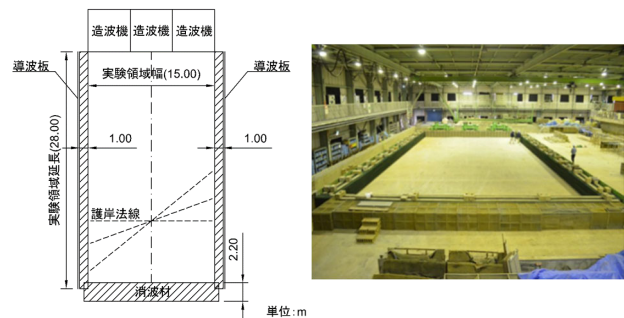


写真-2 実験領域写真

図-8 実験領域図

(2) 斜め入射波反射特性確認実験

1) 実施した構造の実験ケース

表-2の各波浪, 表-3の入射角, 図-9の計測機器配置にて結果的に以下の構造ケースを実施した.

- ケース1: 縦スリット, 隔壁開口部なし, 石材なし
- ケース1': 縦スリット, 隔壁開口部なし, 石材あり
- ケース4: ダイヤ型スリット, 隔壁開口部あり, 石材あり (入射角39°のみ)

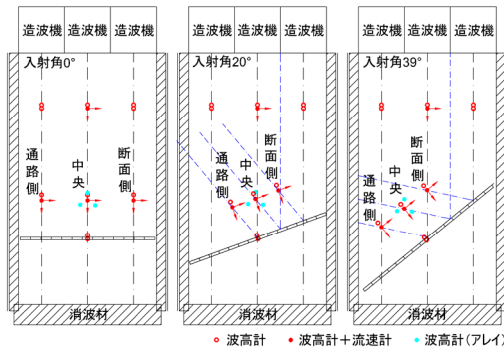


図-9 模型と計測機器の配置 (斜め入射波反射特性実験)

4. 斜め入射波反射特性確認実験結果

(1) 各ケースの反射率

表-4に実験全ケースの反射率の結果を示す. 全ケース常時波浪で0.9以下, 異常時波浪で0.5以下の要求性能を満足していることが確認出来た.

表-4 反射率算出結果まとめ

ケース名	構造の種類			入射角 (°)	反射率				
	スリット形状	隔壁開口部	遊水室底部石材		常時波浪				異常時波浪
					T=7.0s H=0.70m	T=5.0s H=0.70m	T=3.5s H=0.70m	T=7.0s H=0.40m	
ケース1	縦	なし	なし	39	0.549	0.534	0.657	0.713	0.410
ケース1'	縦	あり	あり	39	0.523	0.531	0.634	0.692	0.398
ケース1'	縦	なし	あり	20	0.506	0.479	0.667	0.655	0.398
ケース1'	縦	なし	あり	0	0.517	0.486	0.609	0.590	0.399
ケース4	ダイヤ	あり	あり	39	0.438	0.378	0.477	0.593	0.345

(2) 入射角による反射率の違い (ケース1')

図-10に示すとおり異常時波浪は入射角による反射率の変化はなく, 常時波浪は入射角が大きくなると反射率が若干大きくなる傾向が認められた. この結果は入射角40°程度までは, 入射角による反射率の変化は小さい研究報告がされており, 本実験結果も同様の確認が出来た.

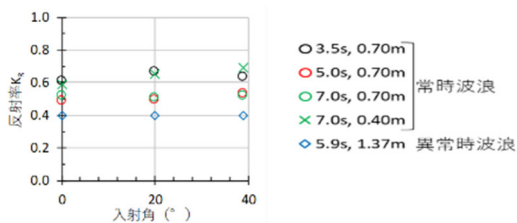


図-10 入射角と反射率の関係

(3) 構造形式による反射率の違い

図-11, 写真-3に示すように遊水室底部石材 (蛇籠) 「有」のケース1'は「無し」のケース1より反射率がわず

かに小さい. これは遊水室底部を石材とすることによって底面摩擦が大きくなったためと考えられる. ケース1'とケース4'は縦スリットとダイヤ型スリットの違いで, 隔壁開口部の有無の影響もあるが, 反射率に対してはスリットの形状の違いが大きいためと考えられる. 表-4に示すようにケース4'の反射率はケース1'より明らかに小さい. これは, 写真-4のようにスリットを流れが通過する前後で発生する渦によるエネルギー消費が, 縦スリットよりもダイヤスリットのほうが強いと考えられる.

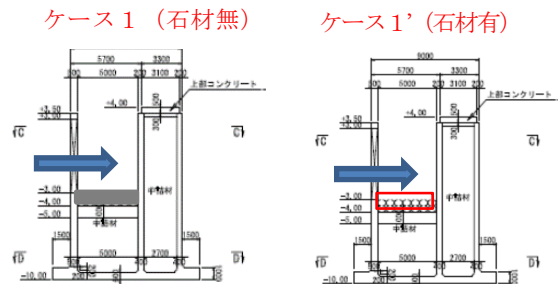


図-11 遊水室への波の入射イメージ

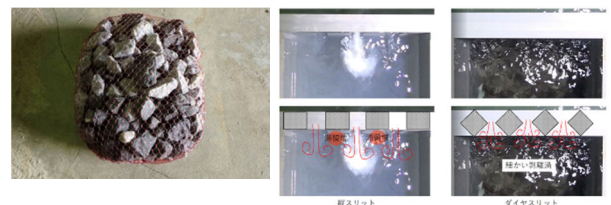


写真-3 石材 (蛇籠) 写真 写真-4 スリット別の渦写真

5. まとめ

本実験により, 基本設計時に設定したスリットケーソンの諸元で, 斜め入射波に対して, 常時波浪で反射率0.9以下, 異常時波浪で0.5以下となり, 要求性能を満足できることを確認した. さらに入射波, 波浪条件, 構造形式による違いも確認でき, 今後の直立消波ケーソンの本体製作設計に非常に有意義な実験となった. また, 今回生物共生機能として, スリットケーソンの遊水室に石材 (蛇籠) を設置した場合に反射率がわずかに軽減されることがわかった. この結果により, 今後スリットケーソンの設計時に生物共生機能を有した護岸の採用が増え, SDGs 開発目標14の「海洋の保全」に貢献することができる. また大型台風や地球温暖化による海面上昇の影響によって懸念されている, 護岸・岸壁等における越波被害対策等について, 実験による確認と設計との連携を図り, 確実に実施していきたい.

参考文献

- 1) 港湾技術研究所 第21号巻 第3号の直立消波ケーソンの反射に関する理論及び実験的研究
- 2) (社)日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説