

傾斜板式消波構造物の建設と現地波浪観測

木村秀雄* ・ 根本清英**・ 山本正昭***
高木伸雄****・ 堀越伸幸****

1. 結 言

沿岸域の有効利用を図るため、各方面で新しい形式の消波構造物の開発が進められている。漁港新技術開発研究会第7研究部会では傾斜板式消波構造物（PSR：Pile Supported Reef）の開発を行ってきた（高橋ら，1989）。PSRは、図-1に示すように平板を海面付近に杭で固定することによって波のエネルギーを費消させる新しい形式の消波構造物であり、その水理及び構造上の特性から、

- ・ 必要な透過率を選択できる
- ・ 反射率が低い
- ・ 海水の交換性に優れる
- ・ 大水深や軟弱地盤では特に経済性を発揮する
- ・ プレファブ工法により現地工期が短い
- ・ 構造物自体に魚礁効果を期待できる

等、従来の消波構造物には見られない多くの特徴を有しており、新形式漁港構造物として期待されている。

昨年、千葉県君津市にある小糸川漁港の航路への反射波対策を目的に、隣接する君津製鐵所西護岸の消波施設として初めてPSRが建設された。PSR建設に当たり水槽実験による消波性能・波力特性の確認が行われたが、

実構造物においても反射波低減効果を検証すべく、昨年10月より本年2月まで、PSR設置前後2回にわたり現地波浪観測を実施した。反射率は、磯部・近藤（1983）による修正最尤法（MMLM）によって方向スペクトルを推定して算出し、PSR設置前後で比較することによって反射波低減効果を評価した。

本報文は、このPSR建設工事の概要と現地観測結果について報告するものである。

2. 君津製鐵所西護岸消波施設設置工事の概要

（1）建設の経緯と設置地点

君津製鐵所西護岸と対岸の富津側埋立地に挟まれた小糸川航路は、季節によっては両岸からの反射波により波高が増大しやすい海域となっており、航路を利用する小糸側漁港の漁船の脅威となっていた。このため新日本製鐵㈱は千葉県と協議の上、航路の安全確保のために西護岸にPSRによる消波工を設置することになった。図-2に設置場所を示すが、長さ約12mのPSRを31基、延長361.8mにわたり設置した。

（2）波浪条件と構造諸元

波浪条件を表-1に示す。周期3秒、波高1m程度の波に対して反射率が0.3以下という消波性能を実現す

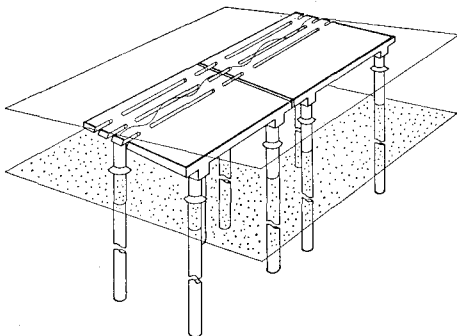


図-1 PSR 構造概念図

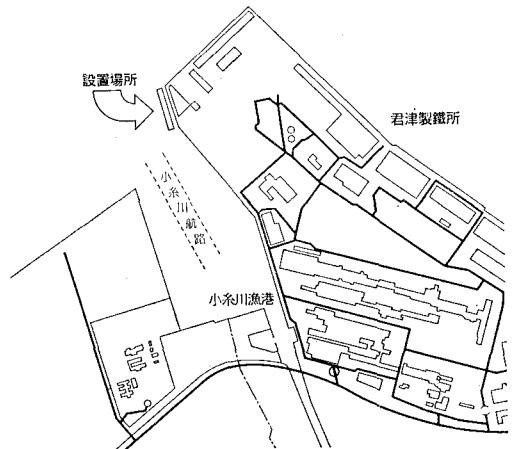


図-2 PSR 設置場所

* 正会員 工修 漁港新技術開発研究会第7研究部会
新日本製鐵(株)鉄構海洋事業部土木事業開発部掛長
** 正会員 (財)漁港漁村建設技術研究所理事長
*** 正会員 工博 水産庁水産工学研究所開発システム研究室長
**** 正会員 工修 水産庁漁港部計画課課長補佐、建設課係長

るために、既往の研究成果や現地条件に合わせた水理実験などから 表-2 に示す構造諸元を選択した。

現地の波浪や水深から、本工事には予め打設した ϕ 700 mm の鋼管杭上に SRC 製の傾斜板を設置する構造とした。10.2 m $\times$ 11.6 m $\times$ 0.35 m、重量約 130 t の SRC 傾斜板は波力低減を目的とした幅 20 cm のスリットを持ち、4 本の鋼管杭によって支持されている。施設数量を 表-3 に示す。

表-1 波浪条件

消波対象波	周期	$T_{1/3} = 3.0$ (sec)
	波高	$H_{1/3} = 1.0$ (m)
構造設計波	周期	$T = 5.0$ (sec)
	波高	$H_{max} = 3.0$ (m)

表-2 構造諸元

諸元	記号	設定値
水深	h	AP-5.0 $\sim$ -2.0m
潮位	HWL	AP+2.0m
	LWL	AP $\pm$ 0
背面減岸との距離	B'	4.0m
傾斜板角度	θ	20°
傾斜板下端	d	AP-1.5m
傾斜板上端	h_r	AP+2.0m
傾斜板幅	B	10.2m

PSR断面図

表-3 施設数量

項目	数量	仕様・寸法等
SRC 傾斜板	31基	標準タイプ10.2m $\times$ 11.6m $\times$ 0.35m約130T/基
鋼管杭	124本	700 ϕ $\times$ 9/19mm $\times$ ℓ (22.3 $\sim$ 28.8m)
〃 (進入防止)	4本	500 ϕ $\times$ 9mm $\times$ 25.0m
標識灯	3基	太陽電池式 FM 同調点灯システム内蔵
点検歩廊	3基	0.9m 幅

(3) 製作・施工概要

写真-1、2 に製作・施工の状況を、また 表-4 に製作・施工工程を示す。SRC 製傾斜板の鉄骨加工・配筋、コンクリート打設は新日鐵若松鉄構海洋センターで行われた。この SRC 傾斜板の製作と現地への輸送は傾斜板を反転した状態で行い、設置場所付近の泊地で正位置に反転した。

なお、予め打設した鋼管杭上に SRC 傾斜板を設置したため鋼管杭の打設精度の管理に十分な配慮が必要であった。また、上・下部構は上部構四隅の長さ 2.5 m のレグと鋼管杭の間にグラウトを注入・固化して一体化された。大幅にプレファブ化された本工事は、現地施工開始より僅か 3 ヶ月という短工期で昨年 12 月に完工した。写真-3 に完工した PSR の全景を示す。

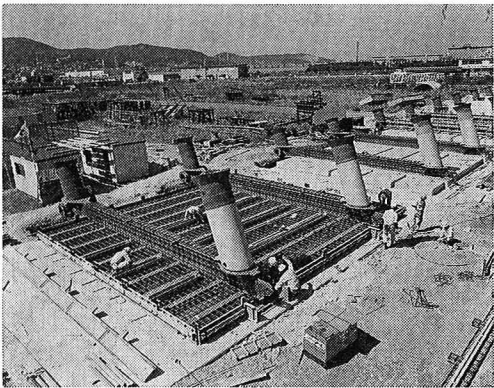


写真-1 製作状況 (SRC 傾斜板配筋)

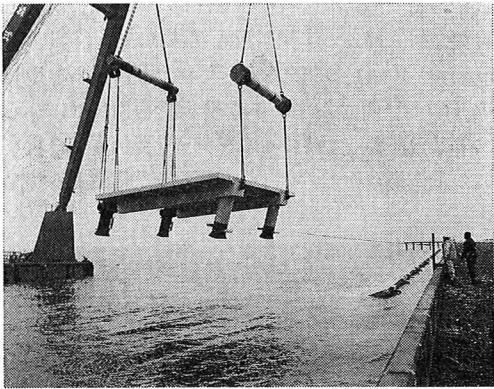


写真-2 施工状況 (SRC 傾斜板据え付け)

表-4 製作・施工工程

項目	平成 2 年						平成 3 年
	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月
SRC 傾斜板製作							
鋼管杭製作							
鋼管杭打設							
SRC 傾斜板据付							
グラウティング							
付帯工事							
現地視測							

3. 現地波浪観測と解析結果

(1) 現地波浪観測

PSR 設置前後それぞれ約 1 ヶ月にわたって、PSR 設置延長の中央地点で 3 台の波高計アレイを法線方向に展開し観測を行った。測器の設置状況を 図-3 に、測定条件を 表-5 に示す。波高計の間隔は周期 3 秒・波長 14 m の風浪を想定して決定した。3 台の波高計は専用ケーブルで結線され、すべて同期がとられている。また、沖合いの流速計は水粒子運動の軌跡から侵入波の卓越波向を算定するために設置した。この波向は波高計アレイにより求めた波向と適宜比較される。

観測は 11 月 9 日に流速計の電圧が降下し、一時同期不

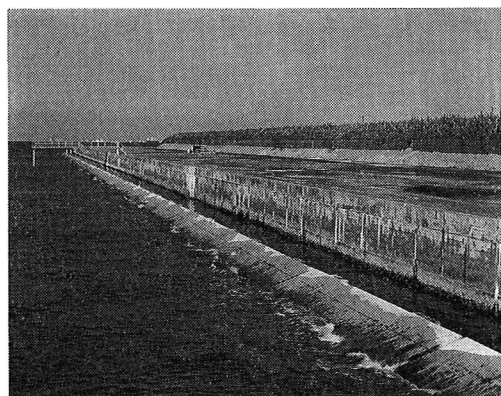


写真-3 PSR 全景 (完工時)

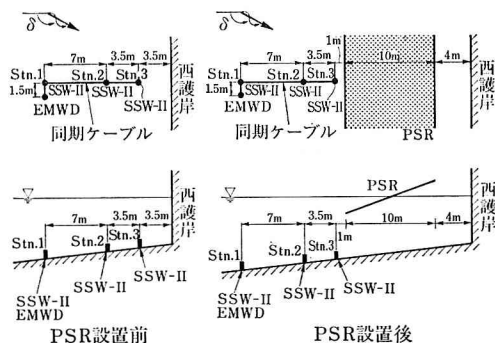


図-3 測器設置状況

表-5 測定条件

観測点	測定要素	使用測器	測定条件	測定期間
stn. 1	波高	直記型超音波式波高計 (SSW-II)	$\Delta t = 0.2$ 秒 PSR 設置前 毎正時10分間	PSR 設置前 '90 10/30~11/23 11/13充電および 収録テープ交換
	流速	直記型電磁流速計 (EMWD)	PSR 設置後 毎偶数時10分間	
stn. 2	波高	直記型超音波式波高計 (SSW-II)	内蔵磁気テープに収録	PSR 設置後 '90 1/12~2/9 1/29充電および 収録テープ交換
stn. 3	波高	直記型超音波式波高計 (SSW-II)		

調となった他は順調に経過した。ただし、水深が浅いため波高が高くなると碎波に伴う気泡が発生し超音波信号が受信できない場合があった。この時には記録上異常値を示すフラグが立てられ、正常信号と区別される。PSR 設置前後とも平均して5%程度このような現象が確認されたが、前後の正常値を線型補間することによって解析に支障のない波形データが得られた。

(2) 解析結果

解析に使用したデータは各観測記録の開始から2048個(409.6秒)であり、ハニングフィルターによるスペクトルの平滑化(自由度17)を行っている。波数の絶対値は分散関係式によって決定したが、この時必要となる水深は各観測毎3台の波高計で得られた水位の平均値を採用した。また PSR 設置後の反射面の位置は潮位や波高によって変動するが、簡単のため1月の平均海面が傾斜板を横切る点とした。

方向スペクトルの推定例を図-4、および図-5に示す。これらは PSR 設置前後の荒天時に対応する。両図において(a)は推定された方向スペクトル、(b)は推定された反射率 r_m 、(c)、(d)はそれぞれ方向スペクトルのエネルギーピークに対応した周波数における波向に関するエネルギーの分布と r_m の分布である。なお、方向スペクトルの値はエネルギーのピークの値で正規化している。海岸線の走行を考慮すると90度~180度が入射波の領域であり、0~90度には反射波が存在しているものと考えられる。

まず図-4の PSR 設置前の解析例であるが、当日の天気図によれば高気圧が三陸沖にあって東へ移動しており、四国の南海上には前線を伴った低気圧があって東北東に進んでいた。木更津では昼頃から夜半にかけて10 m/s を越す北風が吹き続いた。(a)から分かるように、周期3.53秒、波向115度に入射波のエネルギーのピークがあって、これに対応する反射波成分は波向65度に存在しており、反射波のエネルギーは入射波の88%に達している。一方成分波の反射率 r_m は、推定された方向スペクトルのピークに於いて0.721と高い値を示しており、既往の資料による直立壁の反射率と矛盾しない。

次に図-5に示す PSR 設置後の解析例であるが、当日は中国大陸の東岸に高気圧があってゆっくりと東南東へ移動しており、関東の東の低気圧は東に進んでいた。日本付近は冬型の気圧配置となつて木更津では15 m/s 前後の北西から北北西の風が吹き続いた。推定された方向スペクトルは、入射波領域にほとんどのエネルギーが集中している。入射波のエネルギーのピークは周期3.30秒、波向135度にあつて、対応する反射波のエネルギーは入射波の9.7%に過ぎない。この場合の反射率 r_m は、0.273と算定され、効果的な消波が行われたことを示している。

(3) 反射率の評価

MMLM の推定精度が比較的良好であると判断されるケースを選定したところ十分な試料数を得た。ここでは多数の計測データの解析結果から平均的な反射率を求め、PSR の消波効果を検討する。なお、磯部の反射率 r_m は周波数と方向角の関数として定義されているが、

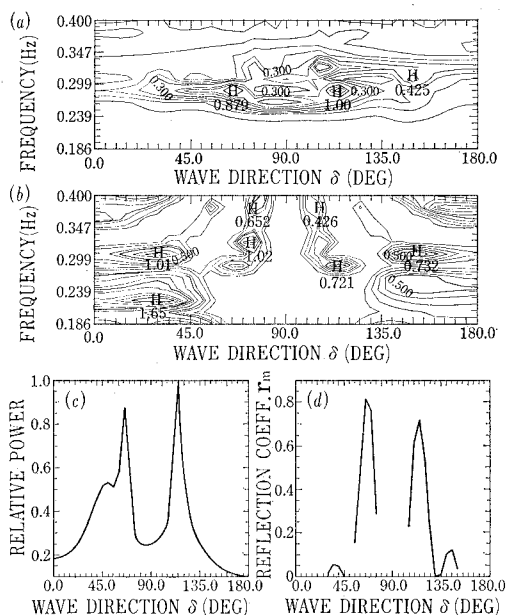


図-4 方向スペクトルの推定例
(PSR 設置前, 10月30日16時)

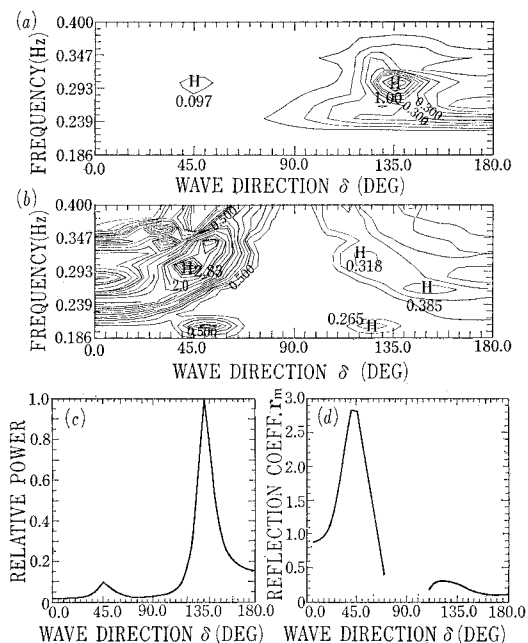


図-5 方向スペクトルの推定例
(PSR 設置後, 1月14日6時)

反射率の指標としては種々考えられており、参考までにここでは以下の5種を比較して表-6に示す。また、図-6、図-7にPSR設置前後で各種反射率の階級別出現頻度を示す。

r_m : 推定された方向スペクトルのピークにおいて定義された磯部の r_m

r_{sm} : ピークの方向スペクトルの値により、それに対応する反射波の波向での方向スペクトルの値を除いたものの平方根

r_s : 推定された方向スペクトルを入・反射波を示す波向範囲についてそれぞれ積分したものの比の平方根

r_{ie} : 推定された方向スペクトルを入・反射波を示す波向範囲についてそれぞれ積分後、さらに周波数について積分したものの比の平方根

$\hat{r}$: 反射率の高い場合に推定精度が良好とされる r_{sm} と、低い場合に良好とされる r_m とを用い、式(1)により反射率の重み付けを行ったもの

$$\hat{r} = (1 - \hat{r})r_m + \hat{r} \cdot r_{sm} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\hat{r} = r_m / (1 + r_m - r_{sm}) \quad \dots \dots \dots (1')$$

PSR設置前の反射率は、積分操作を施すに従ってばらつきが小さくなるが、いずれの最頻階級も0.8~1.0である。

これに比べ反射率の低い設置後の反射率は、積分操作を施しても施さなくてもばらつきは比較的小さいが、平

均値は積分操作を施すにつれて大きく推定される傾向にある。反射率が低い場合に推定精度が良好とされる r_m に注目すると、平均値は0.306であり、また0.4を超えるものは全体の2.6%に過ぎず、所定の消波性能はほぼ満足されたと判断される。なお、 r_m と有義波高の関係に言及すると、波高が高いほど r_m のばらつきが大きく、かつ反射率が高く評価される場合が多かった。

さて、磯部ら(1984)は水面変動以外に水粒子運動や水面勾配などの任意の変動量の組み合わせからなる観測記録を用いて方向スペクトルを推定できるように、拡張最尤法(EMLM)も導いている。stn.1に併設した波高計と流速計の組み合わせに対して、試みにEMLMを適用して方向スペクトルを推定してみたが、設置前後で推定された方向スペクトルの形状は単峰型で、入射波の主たる波向と卓越周期はMMLMの結果と類似しているものの、入・反射波の分離ができず、反射率を算定するには至らなかった。これは、入・反射波の位相干渉項が大きかったことによるものと思われる。位相干渉項は波浪系が反射面から2波長以上離れたと相対的に小さくなり、入・反射波に対応する波浪系は独立に存在するものと仮定でき、その場合EMLMはどのような測器の種類、台数、配置に対しても方向スペクトルを推定できる。しかし、本観測ではいずれの計測ケースでも反射面から1波長以内に測器が位置しており、位相干渉項の影響が大きかったと思われる。また、当該地点に進行する入射波の方向集中度は小さく、この入射波に対してPSR

表-6 PSR 設置前後の反射率の比較

反射率 指 標	PSR 設置前			PSR 設置後		
	平均値	標準偏差	試料数	平均値	標準偏差	試料数
r_m	0.803	0.223	90	0.306	0.065	38
r_{sm}	0.964	0.247	90	0.343	0.065	38
r_s	0.962	0.168	90	0.412	0.070	38
r_{to}	0.932	0.064	90	0.455	0.048	38
$\hat{r}$	0.971	0.319	90	0.318	0.067	38

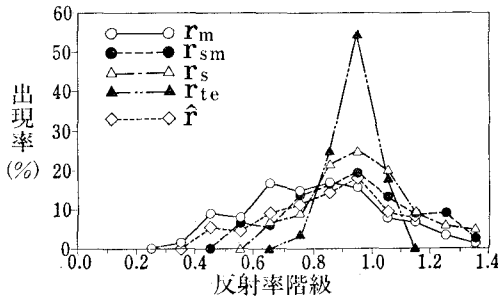


図-6 階級別反射率の出現分布 (PSR 設置前)

の反射率が0.3程度と小さい場合、測定誤差を考慮すれば EMLM による反射波の分離は PSR 設置後の方がさらに難しいものと考えられる。

4. 結 言

本報文で紹介した傾斜板式消波構造物 (PSR) は、護岸の反射率低減を目的とした消波工としての施工例であ

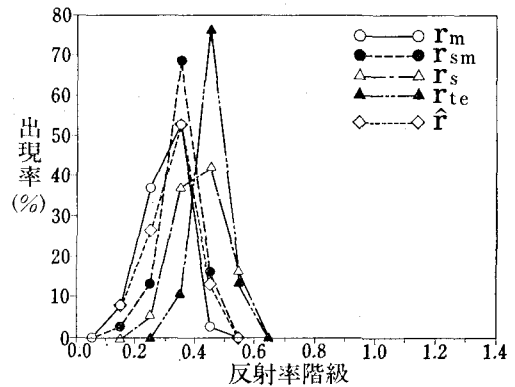


図-7 階級別反射率の出現分布 (PSR 設置後)

ったが、PSR 開発の本来の目的である大水深域における静穏域の創出を目指し、漁港外かく施設としての利用が待たれている。

最後に、波浪観測を行うに当たり MMLM による解析結果について貴重な示唆を頂いた東京大学工学部磯部助教授、また計測・解析に協力頂いた(財)日本気象協会橋本道明氏に深く謝意を表します。

参 考 文 献

- 高橋陽一他 (1989): 傾斜板を用いた波浪制御構造物に関する研究, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 519-523.
- 磯部雅彦・近藤浩右 (1983): 入・反射波の共存場における方向スペクトルの推定法, 第30回海岸工学講演会論文集, pp. 44-48.
- 磯部雅彦他 (1984): 方向スペクトルの推定における MLM の拡張, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 173-177.