

# 漁港における長周期波対策効果について —熊石漁港現地観測結果をモデルとして—

函館開発建設部 江差港湾事務所 工務課 ○永井 将規  
川内 宏哉  
藤田 雄二

熊石漁港は、これまで周期数十秒～数分の長周期波が原因とみられる漁船の係留障害や荷役障害の発生が問題となっており、早期の対策が求められている。

本漁港では長周期波対策として、外郭施設の延伸や捨石による吸収層の整備が計画されているが、長周期波対策としての吸収層の施工事例は少なく、特に、港湾よりも港の規模が小さく水深が比較的浅い漁港における現地レベルでの検証は未だなされていない。さらに、本特定計画では外郭施設背後ではなく、港奥の擾乱水域に近接した箇所に吸収層を配置しており、整備効果の検証が課題となっている。

これらのことから、本報告では、長周期波による障害が発生している熊石漁港において、外郭施設の延伸及び仮設吸収層を配置した時点での現地観測を行い、施設整備前後での比較により対策効果について確認し、さらに、観測値を用いて実規模での吸収層の反射率を推定し、長周期波対策の効果と配置計画の妥当性について検証した結果を報告するものである。

キーワード：計画手法、長周期波

## 1. 熊石漁港の概要

北海道渡島半島西海岸中央部に位置する第3種熊石漁港（写真-1）は地域水産物の生産流通拠点として重要な役割を担っている。2004年（平成15年）に衛生管理型施設として屋根付き岸壁及び衛生管理型荷捌き施設や海洋深層水供給施設を整備したところであり、水産物の鮮度保持を高め、品質向上を図っている。主要魚種は、スケトウダラ・イカであり、特にスケトウダラについては韓国への輸出等も行っており、衛生管理による、付加価値向上を図ることで更なる消費拡大を目指している。

本漁港では引き続き、台風・低気圧時の高波浪による港口からの進入波対策や防波堤からの越波防止対策を行うことで港内全体の静穏度対策を進めているところである。



写真-1 熊石漁港の位置・航空写真

Masanori Nagai, Hiroya Kawauchi, Yuji Fujita

## 2. 長周期波対策の背景

熊石漁港はこれまで、長周期波の進入に伴う港内擾乱が問題となっており、荒天時には港奥の岸壁及び衛生管理岸壁周辺の静穏度が悪く、漁船の係留障害・荷役障害が発生している状況である（写真-2）。また、荒天時には近隣他港への避難を余儀なくされており、早期の対策が求められていた。これらのことから過年度より現地観測を行い対策工法について検討し、特定漁港漁場整備事業計画（以下、特定計画）にて長周期波対策施設の位置付けを行った。



写真-2 港内擾乱状況（岸壁越流・水面盛り上がり）

### 3.現地観測

#### (1) 現地観測条件

本漁港では長周期波対策施設の整備が計画されている中で、2003年以降に港奥の拡幅工事が進められており(図-1)、2009年時点で外郭施設が概成している(図-2)。現地観測箇所については、図-2に示す箇所であり、St-1(港外:水深20m)、St-2(港内:水深3m)、St-3(港内:水深3.7m)、St-4(港口:水深13.5m)の4地点を対象とした。波浪観測の実施内容については表-1に示すとおり、2009年12月~2010年1月までの30昼夜とし、DL-3型海象計を用いてサンプリング間隔0.5秒の連続計測で実施した。現地観測においては、吸収層の整備予定箇所に基礎捨石(30~300kg/ヶ)による仮設吸収層を配置しており(図-3)、現地条件として、吸収層の前面を幅19m、長さ80m、水深3.5mの水路状とした。この仮設吸収層の前面にSt-3(港内)を配置した。

一方、本漁港においては、図-1のとおり、港奥拡幅工事前である2002年、港奥拡幅工事の建設過程である2003年と2005年に上記のSt-1(港外)、St-2(港内)の箇所において現地観測を実施している。

このことから、St-1(港外)及びSt-2(港内)の2009年現地観測データと過年度の観測データの比較を行うことで、長周期波対策としてこれまで実施した外郭施設の整備及び仮設吸収層の整備効果の検証を行うこととした。

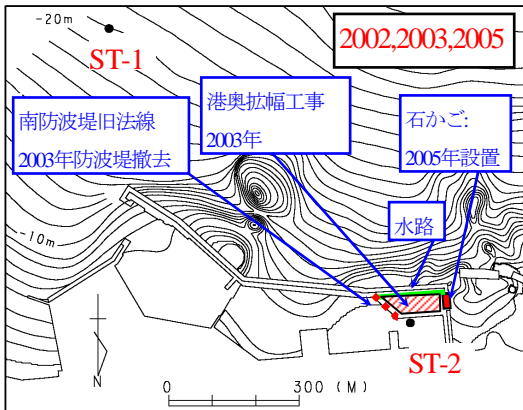


図-1 観測地点及び整備状況

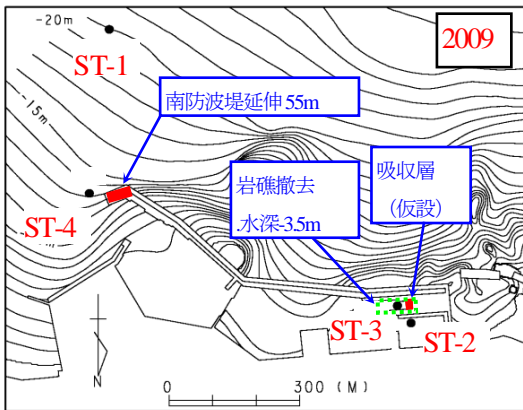


図-2 観測地点及び整備状況

表-1 波浪観測実施内容

観測年	観測時期	位置	仕様	機器
2002	2002/1/11 ~2002/3/14	ST-12	20分間隔/1時間 毎 $\Delta t=0.5s$	DL-2型 海象計
2003	2003/11/21 ~2003/3/7	ST-12	20分間隔/1時間 毎 $\Delta t=0.5s$	DL-2型 海象計
2005	2005/1/14 ~2005/3/14	ST-12	40分間隔/1時間 毎 $\Delta t=0.5s$	DL-2型 海象計
2009	2009/12/19 ~2010/1/18	ST-1,2,3,4	連続観測 $\Delta t=0.5s$	DL-3型 海象計

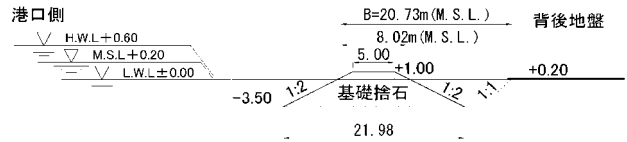


図-3 仮設吸収層断面

#### (2) 観測期間の波浪

現地観測データについては、図4-1,図4-2に示すとおりである。観測期間中に取得した波形データについて、風波(有義波)は連続データから20分間のデータを対象にゼロアップクロス法により波高・周期を求めた。また、長周期波は港内長周期波影響評価マニュアル(文献<sup>3)</sup>)を参考に30秒~300秒を分析対象周期として波高・周期を求めている。

観測期間である2009年12月19日~2010年1月18日の30昼夜中において、港外波高が3.0m以上を超える荒天時は、12/27、12/31の2地点である。特に2009年12月31日にはSt-1の有義波高 $H_{1/3}=4.56m$ 、有義波周期 $T_{1/3}=8.6$ 秒の海象が取得された。また、同日の長周期波高は、最大 $H_L=0.76m$ であった。

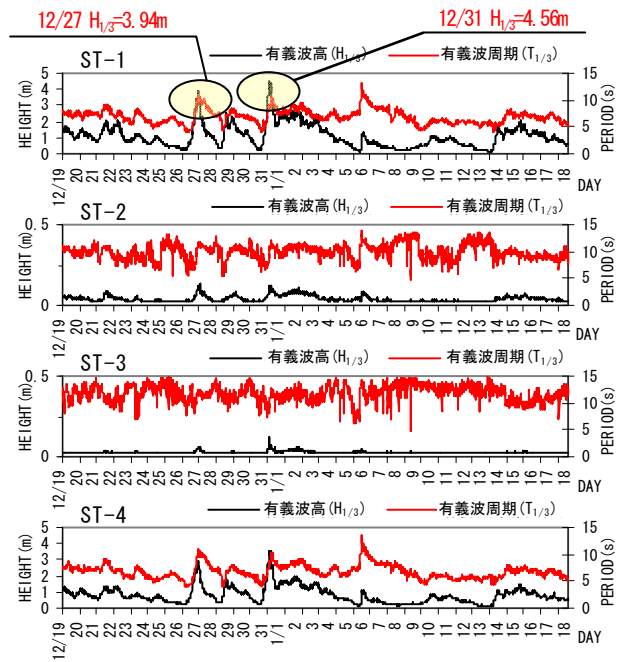


図-4-1 現地観測データ(風波)

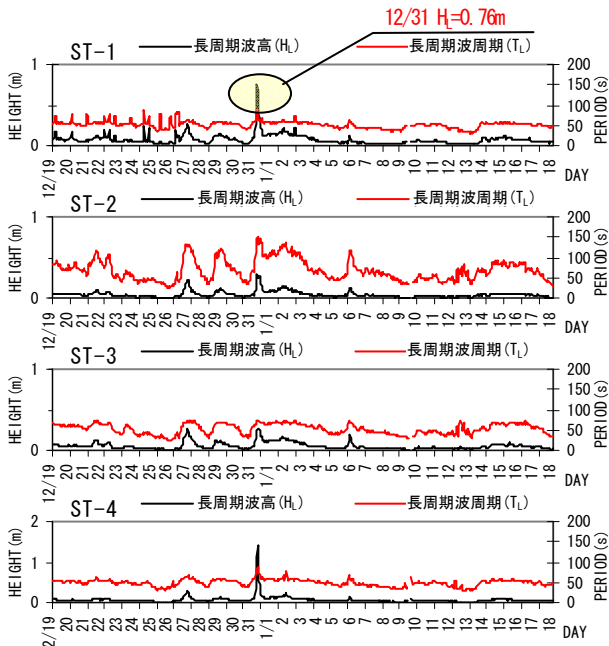


図-4-2 現地観測データ（長周期波）

一方、各観測地点での波向きの出現頻度は図-5 に示すとおりである。St-1(港外)・St-4(港口)については主波向きである SW 方向であり、St-2, St-3(港内)については、港口方向である E 系の波向きとなっている。

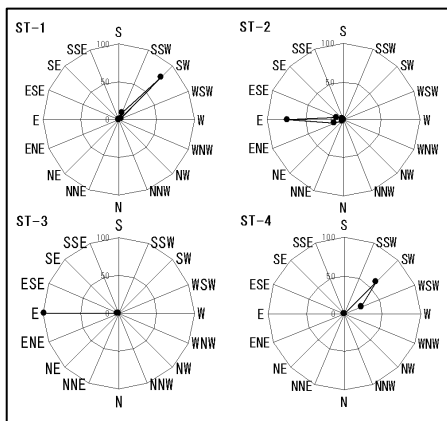


図-5 波向き出現頻度

### (3) 港内擾乱の特性

観測データを基に、本漁港での港内擾乱特性を把握することとし、荒天時の代表的な波浪スペクトルを図-6 に示す。

港内擾乱箇所である、St-2(港内)においては周期 120 秒程度にピーク周期が存在しており、過年度(2002年)の現地観測結果においても同じく、港内擾乱箇所である St-2 では 120 秒程度のピーク周期が存在している。

ここで、熊石漁港全体の m 次モードにおける固有振動周期 T については、表-2・図-7 に示すとおりであり、固有振動周期 T は、本漁港での擾乱箇所到達する解析上の周期数である。本漁港の代表長さ  $l$  を 850m(漁港の全長に相当)、代表水深  $h$  を 3.5m(港奥部の ST-2 及び ST-3 に相当)と仮定し、 $T=4l / (2m+1)\sqrt{gh}$  の関係より算出し

た値である。なお、表-2 のモード 0~4 については漁港全体の節の数 (m) を示しており、それぞれの節の数により固有振動周期 T を求めている。

これらのことから、St-2(港内)のピーク周期 120 秒は漁港全体の固有振動周期のモード 2 と概ね一致することがわかった。

したがって、港内擾乱の発生要因は、長周期波が港内に伝達して、港の固有振動との共振現象「副振動」が起こり、港内擾乱が発生しているものと推定される。

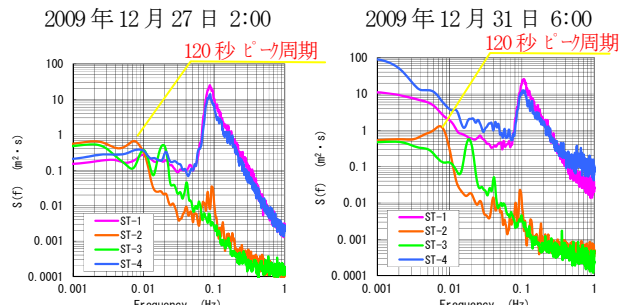


図-6 現地観測 荒天時 波浪スペクトル

表-2 熊石漁港 固有振動周期

モード	代表長さ $l$ (m)	代表水深 (m)	固有振動周期 (秒)
0	850	3.5	580.5
1			193.5
2			116.1
3			82.9
4			64.5

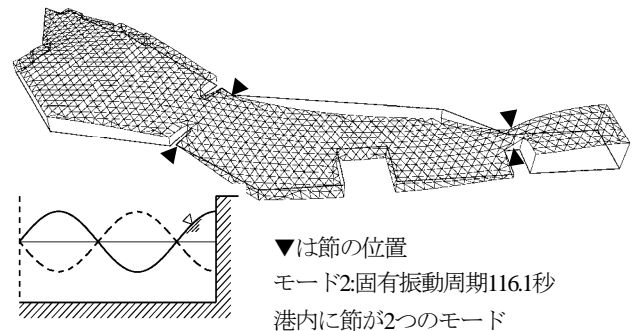


図-7 固有振動モード

## 4. 長周期波対策効果の検証

本漁港では 2009 年までに長周期波対策施設として、南防波堤の延伸や港奥部の仮設吸収層を配置している状況である。今回の現地観測値と、2002 年(港奥拡幅工事前)、2003 年・2005 年(拡幅工事建設過程)の現地観測値をもとに、風波・長周期波の波高比を算定し、比較する。比較地点については共通地点である、St-1(港外)及び St-2(港内)としている。また、風波及び長周期波において St-1(港外)を基準として St-2(港内)の波高比を比較し、結果を図-8 に示す。



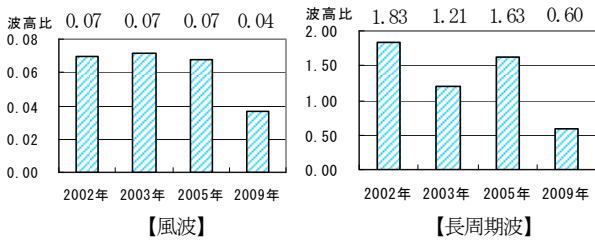


図-8 波高比の比較

風波は、2005年以前の波高比が0.07であり、2009年には波高比0.04程度と半減した。2009年の波高比については南防波堤の延伸により低下したものと考えられる。

長周期波については、2002年の波高比は1.83であり、長周期波の増幅により、岸壁への越流・浸水が発生し、係留障害・荷役障害が発生していたと考えられる。2003年の波高比は1.21であり、南防波堤の拡幅工事により浅瀬が形成され、それに伴い、水路が形成されたことで、港内副振動で増幅した長周期波が港外に逸散したことで波高比が減少した。2005年には、水路からの進入波を抑制するため、石かごを設置したことにより、長周期波が港外へ散逸する妨げになったことで、波高比が増大する結果となったものと考えられる。2009年は波高比が0.6と2002年の1.83と比べると約1/3程度まで減少した。2009年の波高比が減少した要因については、南防波堤延伸による遮蔽効果及び仮設吸収層の消波効果によるものと考えられる。

このことから、外郭施設の延伸及び擾乱水域に隣接した箇所への吸収層の配置は、長周期波対策として有効であることが実証された。

## 5. 港奥部の反射率の推定

これまでの検証において、長周期波対策施設の配置は、長周期波対策として有効であることがわかった。特定計画においては長周期波対策として港奥に吸収層が配置されており、吸収層は熊石漁港の固有振動周期のピーク周期である120秒において、反射率0.7以下を確保することを目標としている。なお、目標反射率0.7は文献<sup>1)</sup>及び港内長周期波影響評価マニュアル(文献<sup>3)</sup>)を参考に設定している。(表-3)

ここで、基礎捨石による吸収層は、長周期波対策施設としての施工事例は少なく、一部の港湾において防波堤背後に配置する検討が進められ、現地実証実験等が行われている程度となっている。また、漁港は港湾よりも港の規模が小さく水深が比較的浅いことから、浅い水深帯でどの程度の消波効果が期待できるのかを検証する必要がある。このため、図-9・図-3に示す仮設吸収層(B=20.7m)を配置し、前面のSt-3において、現地観測を実施した。この現地観測結果を解析することで、仮設吸収層の効果を現地レベルで検証する。

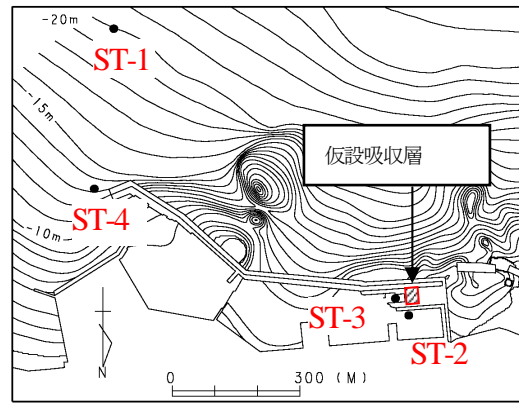


図-9 仮設吸収層配置図

表-3 吸収層設定条件

固有振動周期	120秒	
波長L (h=3.5m)	703m	
消波層長B	70m	
B/L	0.1	
反射率	図-10 文献 <sup>1)</sup>	0.66~ 0.72
	図-11 文献 <sup>2)</sup>	0.69

吸収層については、参考文献の通り他港にて、模型実験や実証実験が行われている。文献<sup>1)</sup>、文献<sup>2)</sup>では、実験により吸収層の消波層長B、波長Lと反射率の関係について検証されている。

図-10は、文献<sup>1)</sup>における模型実験結果を総括したものであり、「B/L」波長Lに対して、消波層長Bが大きくなるにつれて反射率Krが低下する。また、B/L=0.1が極小値となり、0.1以上の値としても反射率に大きな変化がないことが認められる。また、図-11の文献<sup>2)</sup>においても「切欠なし」で、B/L=0.1において反射率が極小値(反射率0.7)をとる傾向となる。

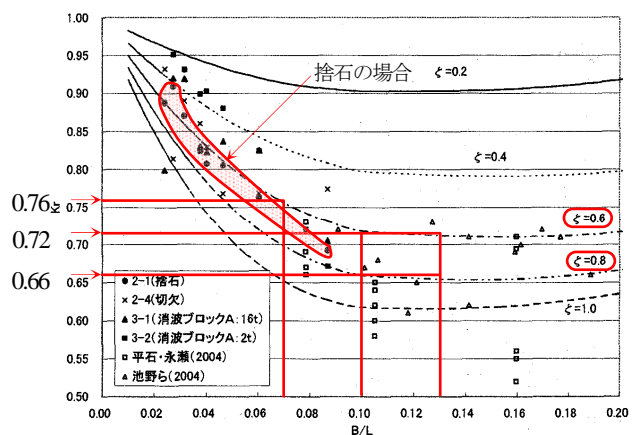


図-10 相対消波層長と反射率の関係(文献<sup>1)</sup>)

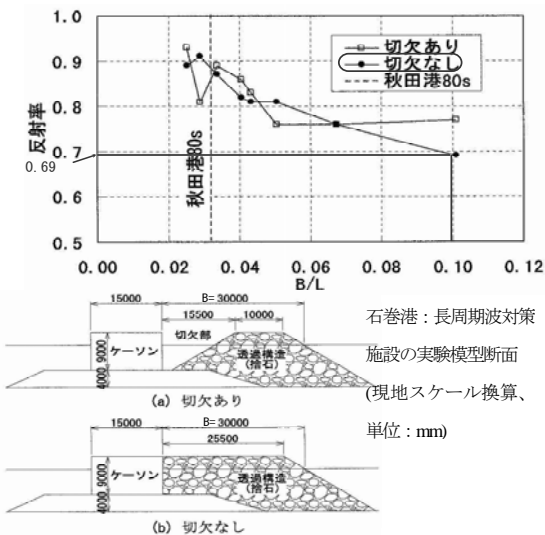


図-11 実験による長周期波対策施設の反射率特性(文献<sup>2)</sup>)

ここで図-12 は本漁港にて 2009 年の ST-3 仮設吸収層前面の観測データを基に、周期別波浪成分の 60 秒、90 秒、120 秒、150 秒、180 秒を抽出した上で、入・反射分離を行うことで、仮設吸収層 (B=20.7m) の反射率を推定した結果である。表-4 については、仮設吸収層の現地観測による反射率と、文献<sup>1)</sup>の理論値を示したものである。これらによると、仮設吸収層の反射率は、理論値と概ね一致しており、熊石漁港の固有振動周期 120 秒における反射率は 0.84 と理論値と近似している。

これにより、熊石漁港の吸収層においても文献<sup>1)</sup>の消波層長と反射率の関係(図-10)が概ね一致することが言えるため、消波層長 B=70.0m を確保し、B/L=0.1 とした場合には、文献<sup>1)</sup>の  $\zeta=0.8$  の理論式より、0.7 以下の反射率確保が可能となることがわかった。

このことから、吸収層 B=70.0m とした現特定計画は、妥当なことを実証したと言える。

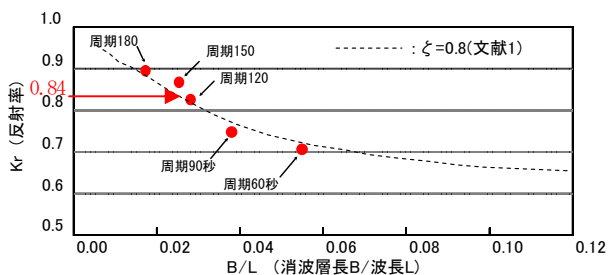


図-12 仮設吸収層の反射率特性

表-4 反射率比較表

周期 (秒)	B/L	反射率	
		現地観測値	理論値 $\zeta=0.8$
60	0.057	0.70	0.72
90	0.038	0.75	0.77
120	0.029	0.84	0.83
150	0.026	0.88	0.86
180	0.019	0.90	0.88

## 6. まとめ

本報告による主な結論は以下のとおりである。

- ・ 外郭施設の延伸及び擾乱水域に隣接した箇所への吸収層の配置は、水深の浅い漁港においても長周期波対策として有効である。
- ・ 吸収層の長周期波に対する反射率を現地観測値により求め、石巻港の模型実験の事例(文献<sup>1)</sup>)と概ね一致することを実規模で検証した。
- ・ 吸収層の反射率推定により、特定計画における長周期波対策施設の配置が妥当なことを実証した。

## 7. おわりに

本漁港においては、現地観測値を基に、仮設吸収層の効果を現地レベルにて確認することが出来たことから、今後は本検討に基づき、整備を進めていくことで熊石漁港の機能向上を図って行きたいと考える。

長周期波による影響は港の形状や利用状況・港の特性により異なるものであり、長周期波対策を実施するに当たっては十分な検証が必要ではあるが、本報告が、本港と同様に長周期波に起因する障害が発生している他港においても参考となれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 山田晶子・国栖広志・爲廣哲也・小平田浩司・平石哲也(2005)：石巻港における長周期波の消波対策に関する検討，海洋開発論文集，第 21 巻，pp.785-790.
- 2) 小澤敬二・森屋陽一・山本禎寿・平山克也・平石哲也(2009)：秋田港における港内長周期波対策施設による静穏度向上効果，海洋開発論文集，第 25 巻，pp.653-658.
- 3) 財団法人 沿岸開発技術センター(2004)：港内長周期波影響評価マニュアル
- 4) 久保田 進・水口 優・堀田新太郎・竹澤三雄(1989)：現地遡上域における反射波の特性，海岸工学論文集，第 36 巻，pp.119-123.
- 5) 平石哲也・河野信二・玉城重則・長谷川準三(1997a)：港湾構造物の設計に用いる長周期波の標準スペクトルについて，第 44 回海講論文集，pp.246-250.
- 6) 平石哲也・白石 悟・永井紀彦・横田 弘(1997b)：長周期波による港湾施設の被害特性とその対策工法に関する調査，港湾技研資料，No.873，pp.1-39.
- 7) 平山克也・平石哲也(2002)：港湾における長周期波対策の現状と課題，海洋開発論文集，第 18 巻，pp.143-148.
- 8) 水口 優(1991)：浅海域における入・反射波の分離手法について，海岸工学論文集，第 38 巻，pp.31-35.