

鹿島港の複合的視野にたった漂砂対策と長周期波対策の検討

吉川貴志*・小谷野喜二**

* 前(財)沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員
 ** 前(財)沿岸技術研究センター 研究主幹

鹿島港は、その地域特性から漂砂問題と長周期波問題を抱えており、緊急に対策が求められている。鹿島港の港湾計画改訂作業に合わせ、漂砂、長周期波の両問題を同時に解決する複合的視野にたった対策案を検討した。

キーワード：漂砂，埋没，長周期波，静穏度

1. はじめに

鹿島港(図-1)は、大洗～波崎に至る延々70kmのゆるやかな曲線をなす鹿島灘の中央やや南に位置する港である。その地域特性から漂砂による影響(特に港内埋没)が大きな問題となっている¹⁾。また、港内において、波高がそれほど高くない時にも、船体動揺が大きくなるといった長周期波の影響と考えられる荷役障害事例が多数報告されている²⁾。

そのため、港湾の経済性と安全性を確保するための対策が緊急に必要と判断され、港湾計画の見直しに伴う技術的検討が行われた。

本稿は、鹿島港の港湾計画改訂に伴い、漂砂問題および静穏度問題を同時に解決する複合的視野にたった検討について紹介するものである。

南防波堤内側の外港航路や平井浜海岸の南端に位置する北海浜第2船だまりの周辺の土砂堆積が深刻な問題となっていることが明らかとなった³⁾。これは、鹿島港北側より流入する南向きの沿岸漂砂が、鹿島港でせき止められることにより生じるためと考えられる。

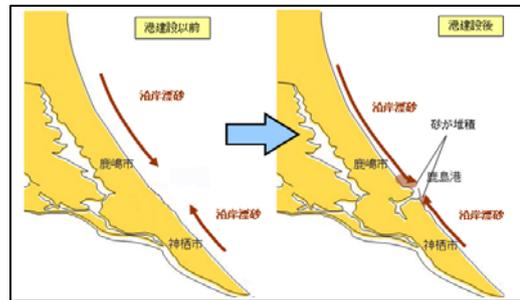


図-2 鹿島灘における漂砂の傾向



図-1 鹿島港 既定港湾計画

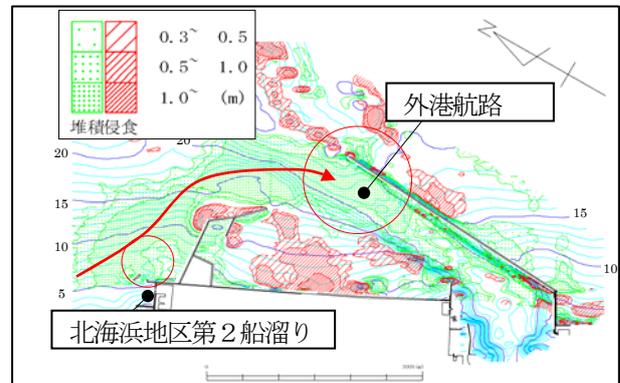


図-3 2005年と1992年の水深差分図

2. 鹿島港における課題

2.1 漂砂問題

鹿島港整備以前は、図-2に示すように、南北に沿岸漂砂が行き来することで鹿島灘の砂浜全体が均衡を保っていたと考えられる。

しかし、鹿島港の整備開始後(1946年～)は、沿岸漂砂が鹿島港の両脇に堆積する傾向が強まり、特に、鹿島港近傍の深浅測量データの分析から、図-3に示すように、

2.2 長周期波問題

鹿島港では「底うねり」と呼ばれる長周期動揺により、係留策切断や荷役中止が発生している。また、現況地形や既定計画地形における長周期波に対する荷役稼働率は、目標値である97.5%を満足しないことが確認された²⁾。

鹿島港では、NE方向に開口した港口から長周期波が侵入しやすいため、図-4に示すように岸壁毎に多重反射を繰り返して港の内部(中央航路)にいたるものと考えられる。

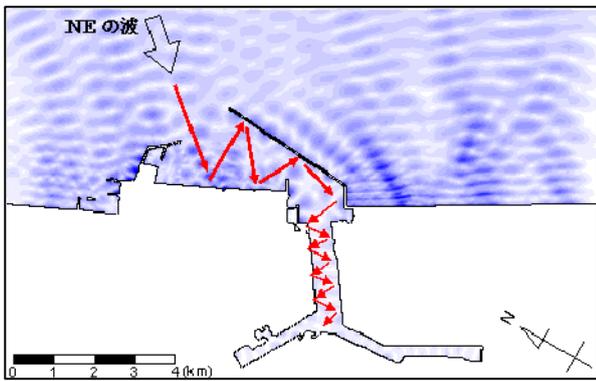


図-4 鹿島港における長周期波の反射

3. 検討フロー

鹿島港の漂砂問題および長周期波問題に関する一連の検討フローを図-5に示す。まず、これらの問題に対して個別に対策案の検討を行い、その後、複合対策案として、中央防波堤を沖向きに屈曲延伸するとともに防砂潜堤を延伸する案について検討した。中央防波堤の法線形状については、風波および長周期波に対する静穏度評価、漂砂対策としての効果の検討を行うことで、最適な法線形状を決定した。

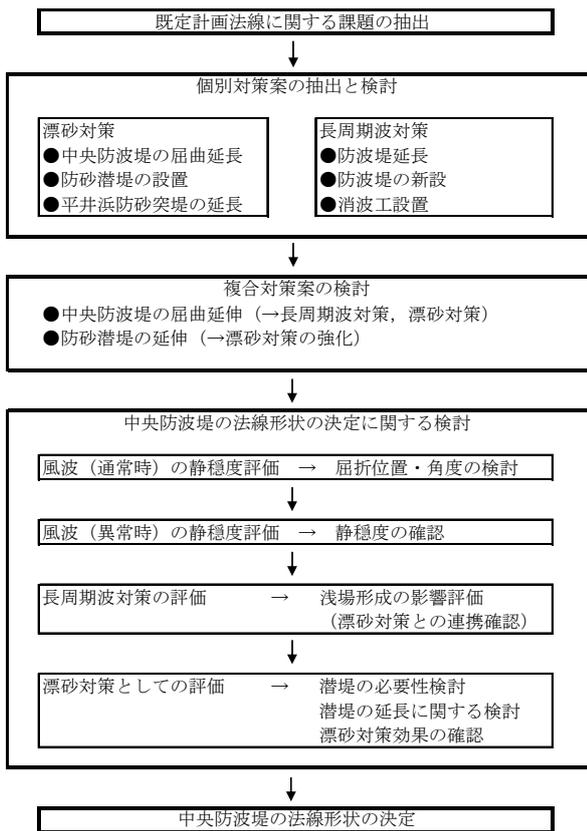


図-5 検討フロー

4. 個別対策案の検討

4.1 漂砂対策の検討

鹿島港における北海浜第2船だまりおよび外港航路の

漂砂問題は、南向きの沿岸漂砂が主要因である。これを制御する観点から、図-6に示す対策案の検討を行った⁴⁾⁵⁾。

- ①中央防波堤を屈曲して沖方向へ延伸し、さらに防砂潜堤を配置する。
- ②中央防波堤の基部から沖方向へ防砂潜堤を配置する。
- ③鹿島港北側の既設防砂堤を沖方向へ延伸する。

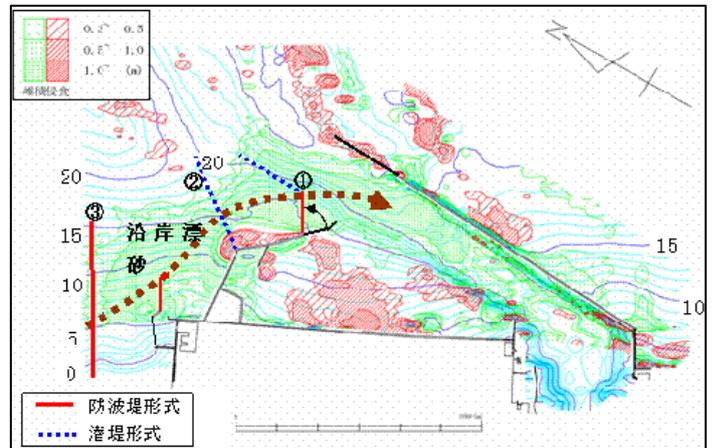


図-6 漂砂対策案

鹿島港全体への土砂供給を根本的に抑制するという点からは、対策案③が考えられるが、防砂堤を相当沖まで延長する必要があり非現実的である。現実的な漂砂対策としては、漂砂が悪影響を及ぼしている地域（第2船だまり、外港航路）にそれぞれの対策を講じるべきであり、表-1に示す3案の比較検討から、対策案①が妥当であると判断した。

表-1 各漂砂対策案の比較

対策案	長所	短所	概算工事費
①	天端が水面上にあり、土砂の通過を完全に阻止する。	水深が深い場所での施工となるため、工費がかかる。中央防波堤屈曲部に消波工が必要。	潜堤15億円 中央防波堤の消波工32億円 合計47億円
②	天端が水面下であるため、防波堤に比べて安価である。	第二船だまりに悪影響を及ぼす。	53億円
③	鹿島港全体への土砂供給を抑制する。	水深が深い場所での施工となり、かつかなり沖まで延伸が必要であるため、工費がかかる。	450億円

4.2 長周期波対策の検討

長周期波のハード対策手法として、以下の対策案について検討を行った²⁾⁴⁾(図-7、表-2参照)。

- ①長周期波の港内侵入を低減させる。→対策案A, B, C
- ②港内に侵入した長周期波を消波し、反射による増幅を抑制する。→対策案D, E, F

長周期波の反射を抑制する工法としては、図-8に示すような、透水層を有することで粘性による波エネルギー逸散効果を利用する構造形式を想定した。

各対策案の検討の結果を表-2に示す。また、図-9, 10に長周期波抑制効果の大きい案D(南防波堤裏の消波)および案F(中央航路奥部の消波)についての、既定計画地形での対策案実施前後の長周期波高の比較図(対策後の波高-対策前の波高)を示す。なお、対策案Dでは、南

防波堤裏の全領域に消波工を設置すると非経済的であるため、南防波堤の内側で波高の増大する場所を予め選定し、そこに消波工を3基（1基延長300m）設置することとした。

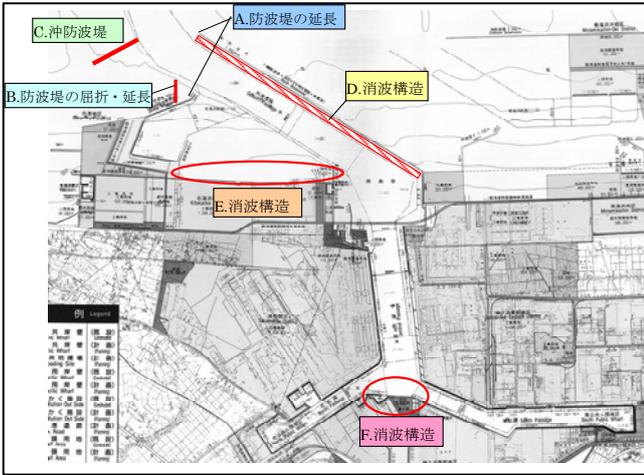


図-7 長周期波対策案

表-2 各長周期波対策案の比較

対策案	内容	利点	問題点
A	南防波堤の延長	●鹿島港に年間60%以上襲撃するE系の波の侵入を抑制する。	●設置水深が深いため工費が高い。
A'	中央防波堤の延長	●N系の波の侵入を抑制する。	●漂砂制御効果はない。
B	中央防波堤の屈曲・延長	●N系の波の侵入を抑制する。 ●漂砂制御効果がある。 ●漂砂制御効果による浅場の形成により、長周期波を屈折させる。	●南防波堤の延伸が完了するまでは、E系の波に対する外港地区の静穏度確保が課題。
C	沖防波堤の設置	●N系の波の侵入を抑制する。	●設置水深が深く工費が高い。 ●港口より侵入した長周期波を吸収し、増幅を抑制する。
D	南防波堤裏の消波	●効果の及ぶ範囲が広い。 ●長周期波高が高くなる場所にピンポイントで対策をしても、高い効果が得られる。 ●南防波堤の沿い波を抑制する効果もある。	●設置水深が深いため工費が高い。 ●港口より侵入した長周期波を吸収し、増幅を抑制する。
E	北浜浜地区の消波	●南防波堤裏の消波に比べ、設置水深が浅く、工費が効果の及ぶ範囲が狭い。 ●取水口、排水口が既設であり、設置位置に制約がある。	●消波工の設置が、将来的な岸壁の利用に制約を与える可能性がある。
F	中央航路奥部の消波	●利用度の高い中央・北・南航路内で増幅される長周期波を吸収する。 ●設置範囲が狭く、工費が安い。	●多数の船舶が往来する水域であるため、消波工の設置が船舶航行に制約を与える可能性がある。 ●港公園沿いを掘り込んで設置する必要がある。

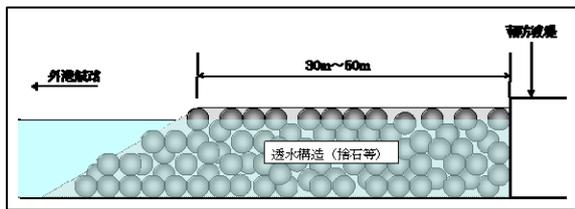


図-8 消波構造物の設置イメージ

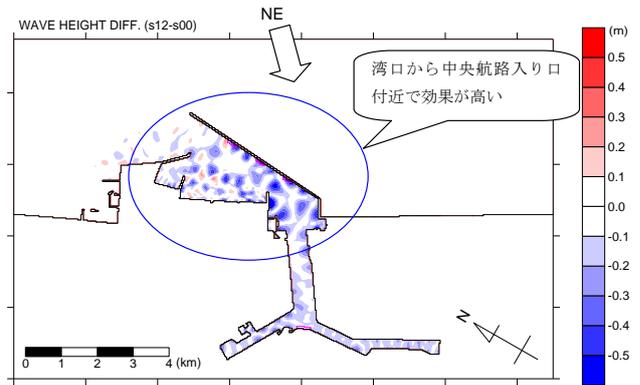


図-9 対策案Dによる長周期波高の低減効果

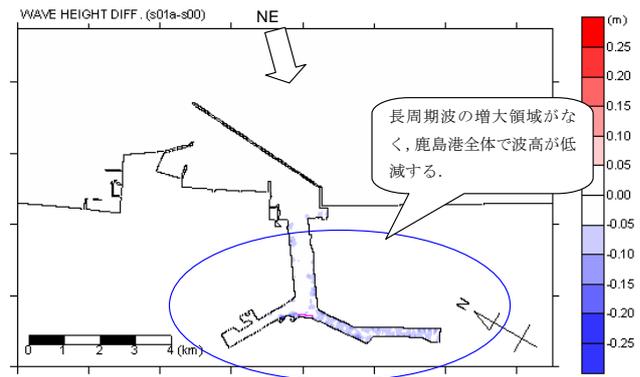


図-10 対策案Fによる長周期波高の低減効果

5. 複合対策案の検討

中央防波堤を沖向きに屈曲することは、漂砂の供給源が鹿島港北側からの沿岸漂砂であるため、外港航路の埋没問題への対策として有効である。また、長周期波対策としても、NE方向からの長周期波の侵入抑制の観点から効果がある。

以降に、中央防波堤の法線を屈曲させて、風波および長周期波に対する静穏度や、漂砂対策としての効果を検討した結果を示す。

5.1 通常時の静穏度評価

中央防波堤の屈曲位置として、図-11に示す以下の3ケースを設定し、外港地区の静穏度の確保という観点からの検討により、法線形状を決定した⁴⁾。

Case①：現況の中央防波堤（延長501m）の隣に隅角函（15m）を設置し、N60°Eの方向に屈曲させた後、450m延伸した場合

Case②：現況の中央防波堤（延長501m）の隣にケーソン6函（90m）と隅角函（15m）を設置し、N60°Eの方向に屈曲させた後、300m延伸した場合

Case③：中央防波堤を800mまで延伸し、N60°Eの方向に屈曲させた後、200m延伸した場合

稼働率の算定点は、図-11に示す外港地区岸壁のA、Bの2地点とし、静穏度の目標値は表-3に示すものとした。

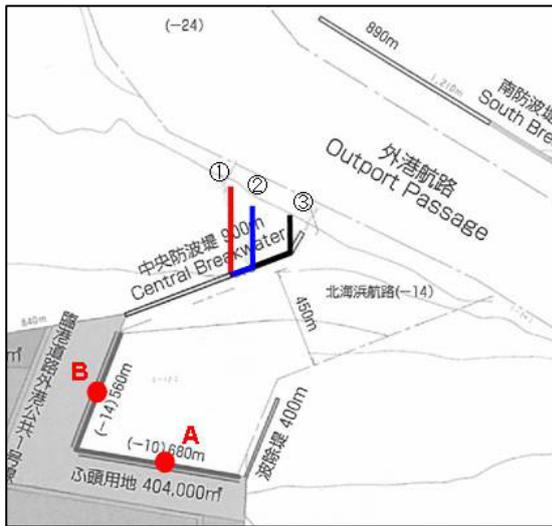


図-11 中央防波堤の法線形状と稼働率算定点

表-3 静穏度の目標値 (通常時)

通常時	
波高 (H1/3)	稼働率
0.5m以下	97.5%以上

表-4に稼働率算定点A,Bの波高比と稼働率の算定結果を示す。算定結果より、外港地区の静穏度を確保するには、ある程度中央防波堤を現状のまま延伸して、屈曲させたほうがよいことが確認された。また、屈曲させた後の延長が長いほど、漂砂対策として効果的と考えられるため、中央防波堤を現状のまま延伸させる長さは約100m (Case②程度) が適切と考えられる。

表-4 波高比および稼働率の算定結果

位置	Case	波向					稼働率
		NNE以北	NE	ENE	E	ESE以南	
A	①	0.10	0.17	0.17	0.15	0.08	95.4%
	②	0.09	0.14	0.15	0.11	0.07	98.4%
	③	0.10	0.12	0.07	0.05	0.03	99.7%
B	①	0.10	0.16	0.16	0.14	0.08	97.8%
	②	0.09	0.14	0.15	0.11	0.06	98.4%
	③	0.11	0.12	0.06	0.05	0.03	99.7%

5.2 異常時の静穏度評価

5.1 通常時の静穏度評価での検討と同様に、Case②'として、中央防波堤を現況より100m延伸し、屈曲させた後300m延伸した場合について、異常時波浪に対する外港地区の静穏度検討を行なった⁴⁾。表-5に目標値を、表-6に波浪条件(高波浪の出現頻度の高いNE, ENEについての50年確率波)を示す。

表-5 静穏度の目標値 (異常時)

異常時	
波高 (H1/3)	
1.5m以下	

表-6 波浪条件 (異常時)

波向	沖波波高	港口波高	周期
NE	8.2m	7.21m	14秒
ENE	8.7m	7.99m	14秒

上記の2条件について、異常時風波に対する外港地区岸

壁A,Bの静穏度を求めた結果を表-7に示す。別途、試算を行なった中央防波堤の現況延伸をCase②'より25m短くし85mとしたケースでは、評価点での異常時波高が1.53mとなり目標値を上回った⁶⁾ことから、現況延伸を100mとして屈曲する法線形状が最適であると判断した。

表-7 異常時風波に対する静穏度の算定結果

	評価点	波向条件	異常時の波高
Case②'	A	NE	1.28m
		ENE	1.44m
	B	NE	1.19m
		ENE	1.34m

5.3 長周期波に対する静穏度評価

4.2 長周期波対策の検討において検討された対策案B(中央防波堤の屈曲・延伸)、対策案D(南防波堤裏の消波)、対策案F(中央航路奥部の消波)を実施した場合について、4方向(NE, ENE, E, ESE)の波向別に長周期波シミュレーションを行なって港内代表点の波高比を算定し、長周期波に対する通年稼働率を算定した。稼働率は荷役限界波高を10cm(10,000DWT以上)と15cm(5,000~10,000DWT)とした場合について算定した。図-12に稼働率の算定地点を、表-8に稼働率の算定結果を示す。通年稼働率は全地点において基準値の97.5%以上を満足することが確認された⁵⁾。

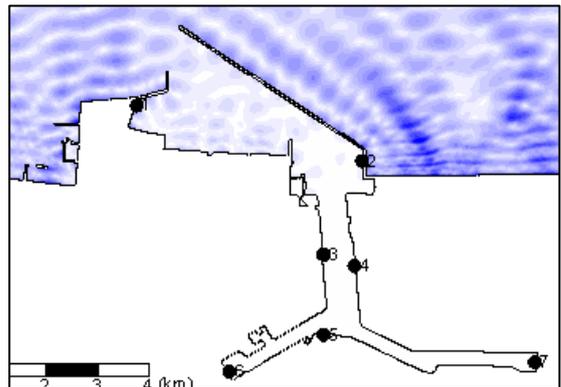


図-12 稼働率の算定地点

表-8 長周期波に対する稼働率の算定結果

POINT	波向別波高比				稼働率 (%)	
	NE	ENE	E	ESE	10cm	15cm
1	0.43	0.20	0.28	0.13	97.9	99.5
2	0.26	0.18	0.10	0.08	99.7	100
3	0.09	0.09	0.07	0.04	100	100
4	0.10	0.09	0.08	0.05	100	100
5	0.07	0.06	0.05	0.03	100	100
6	0.07	0.07	0.04	0.03	100	100
7	0.08	0.07	0.04	0.03	100	100

5.4 漂砂対策としての評価

図-13は中央防波堤周辺の土砂の堆積域と漂砂対策(中央防波堤屈曲部+潜堤)の設置範囲を重ね合わせたものである。漂砂対策の設置範囲は、中央防波堤の沖側から

外港航路へと帯状に分布している土砂堆積域を横切るように配置されるため、有効な漂砂制御効果が期待される。

下記に示すケースについて、地形変化計算モデルにより漂砂の制御効果を確認した。

- 既定計画形状：中央防波堤を現状に沿って直進
- 対策案1：中央防波堤を屈曲
- 対策案2：対策案1＋潜堤を第2屈曲部まで延伸
- 対策案3：対策案1＋潜堤を土砂の堆積域まで延伸

図-14は、予測された外港航路（領域15, 16, 17, 18）の土砂堆積量を示したものである。その結果、潜堤延長は漂砂の移動経路全体を遮断する（対策案3）ことで、効果が最も高くなることが確認された⁷⁾。

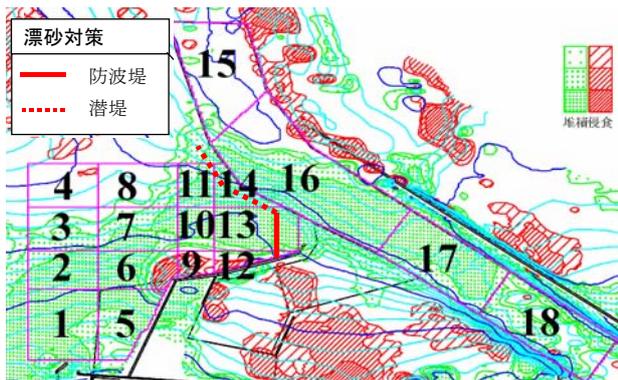


図-13 土砂堆積域と対策工の位置関係

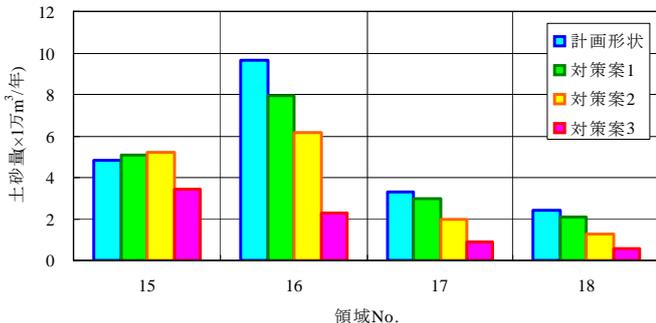


図-14 外港航路の土砂堆積量

5.5 漂砂対策と長周期波対策の連携効果

中央防波堤の屈曲に加え防砂潜堤を延伸することにより、漂砂を制御した結果、その前面に土砂が堆積すると考えられる（図-15）。そこで、中央防波堤屈曲部前面に、3mの堆積厚の浅場が形成されたことを想定し、長周期波高の低減効果を検討した⁴⁾。

図-16に浅場を想定する場合としない場合の長周期波高分布の差分図を示す。青色系は、浅場があることによる波高の低減効果を表すが、港口から侵入しようとする波が浅場の方向へ屈折するため、港内への長周期波の侵入が抑制されていることがわかる。

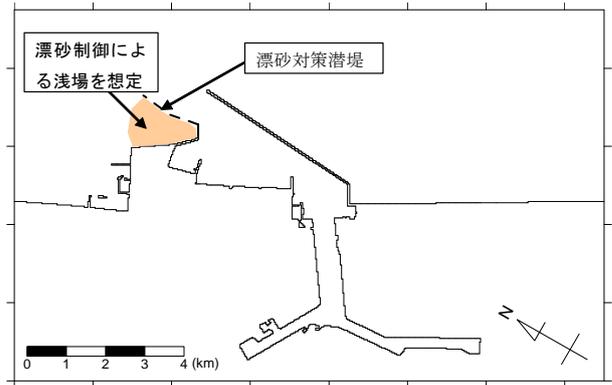


図-15 漂砂対策潜堤設置により形成される浅場

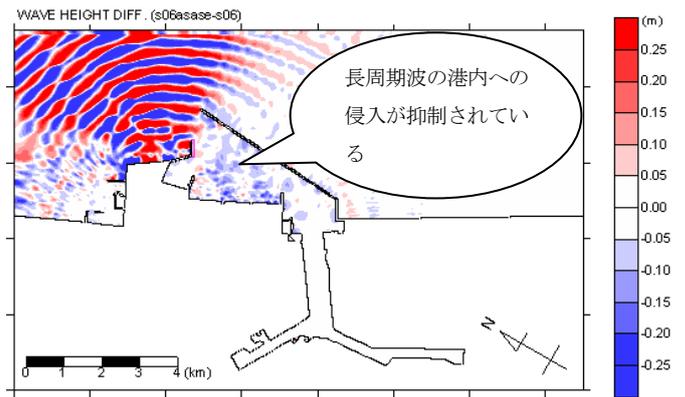


図-16 浅場の有無による長周期波高の差分図

6. 謝辞

本稿は、茨城県鹿島港湾事務所発注による「平成18年度漂砂対策および静穏度対策検討調査」他での検討の一部を取り纏めたものである。検討に際し、漂砂対策検討部会（部会長：栗山善昭（独）港湾空港技術研究所 漂砂研究室長）、静穏度検討部会（部会長：平石哲也（独）港湾空港技術研究所 波浪研究室長）の各委員から貴重なご意見、ご指導を頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 茨城県鹿島港湾事務所：漂砂対策検討調査，平成18年3月
- 2) 茨城県鹿島港湾事務所：長周期波対策検討調査，平成18年3月
- 3) 茨城県鹿島港湾事務所：漂砂対策検討調査（その2），平成18年3月
- 4) 茨城県鹿島港湾事務所：漂砂対策および静穏度対策検討調査，平成18年12月
- 5) 茨城県鹿島港湾事務所：静穏度対策検討調査，平成19年2月
- 6) 国土交通省関東地方整備局 鹿島港湾・空港整備事務所：鹿島港の整備における長周期動揺等の海象解析を踏まえた静穏度確保方策調査，平成19年1月
- 7) 茨城県鹿島港湾事務所：地形変化予測検討調査，平成18年11月