

# 鹿島港における静穏度・漂砂対策の検討

隅田 智之<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 関東地方整備局 鹿島港湾・空港整備事務所 第一建設管理官室  
(〒314-0021 茨城県鹿嶋市大字粟生 2254)

鹿島港は太平洋に面し、海上輸送における地理的優位性を有しているものの、外洋からの波浪の影響を受けやすい厳しい環境にあるため、風波と長周期波に対する港内静穏度の確保と北側からの沿岸漂砂による埋没が課題となっていることから、検討委員会を設けて、荷役稼働率(港内静穏度)及び漂砂堆積量の予測結果を基に、港内静穏度を満足しつつ、漂砂堆積量を低減できる、実現可能性の高い対策施設配置を検討した。対策により、船舶の安全な航行や効率的かつ安全な岸壁利用、大型船舶への対応が可能となり、背後の荷主等事業者の物流効率化が図られるとともに、大規模地震時の物流輸送拠点として、地域住民の生活を支えることができる。

キーワード 港内静穏度、荷役稼働率、沿岸漂砂、漂砂堆積量、耐震強化岸壁

## 1. 鹿島港の港勢

鹿島港は、日本を代表する工業生産拠点である鹿島臨海工業地帯(石油化学、鉄鋼、飼料、木材など約170企業が立地)の中央部に位置し、バルク貨物(原材料)の輸入や製品の輸出の海上輸送基地として、素材型基幹産業の国際競争力を支える工業港である(図-1参照)。平成23年5月に「国際バルク戦略港湾(穀物)」に選定されており、穀物等の大量一括輸送による安定的かつ安価な輸送の実現を目指している。現在、定期航路は、内貿2航路、外貿1航路が運航されており、コンテナターミナルとしての機能も高まっている。取扱貨物量は、年間約6,000万トンで推移しており、その内、公共岸壁を利用する貨物の割合は約200万トンである。また、外貿貨物については鉄鉱石、原油、石灰等の取り扱いが多く、内貿貨物では、石油製品、鋼材、石灰石等を多く取り扱っている。



図-1 鹿島港 (2019年2月撮影)

## 2. 鹿島港が抱える問題

### (1) 港内静穏度

外洋からの波浪の影響を受けやすい厳しい環境にあり、海象条件をランク1~9に分けている港湾請負工事積算基

準では、鹿島港はランク9で全国で最も悪く、風波と長周期波に対する港内静穏度の確保が課題となっている。

### (2) 沿岸漂砂による外港航路の土砂堆積

近年、北側からの沿岸漂砂による外港航路への土砂堆積が深刻な問題となっており、これを抑制する対策が必要である(図-2参照)。

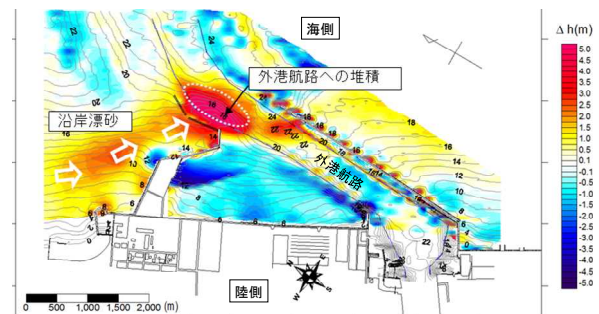


図-2 沿岸漂砂による土砂堆積

### (3) 安全の確保

#### 1) 船舶航行

平成18年10月の相次ぐ座礁事故発生を期に、安全な船舶航行のため、港の利用者や関係機関が共有すべき情報を「鹿島港船舶航行安全の手引き(平成19年3月発行)」として取りまとめたところだが、それ以降も、54回の避難勧告、12回の実験事故が発生しており、船舶の安全確保が必要となっている。

#### 2) 震災時の緊急物資輸送拠点

茨城県地域防災計画において、最も大きな被害を及ぼ

す地震動として「南関東直下地震（M7級）」が位置付けられ、高い確率での発生が見込まれている（今後30年以内に発生する確率70%程度）。鹿島港には外港地区に耐震強化岸壁（-14m）が整備されている（平成24年度完成）。東日本大震災において、茨城県内の通常岸壁は殆ど被災したが、県北部の茨城港常陸那珂港区の耐震強化岸壁は直後に利用可能な状態であったことから、震災時における県南部の緊急物資輸送拠点として鹿島港の耐震強化岸壁が期待されている。

### 3. 対策事業の概要と進捗状況

#### (1) 対策事業の概要

昭和39年度から南防波堤、平成3年度から中央防波堤の延伸整備を継続している。また、長周期波対策のため平成30年度から長周期波対策施設C・Eを、漂砂対策のため平成22年度から潜堤の整備に着手している（図-3参照）。

#### (2) 対策事業の進捗状況（令和2年度末時点）

- ・南防波堤 4,610m（計画4,800m） ※上部工未了
- ・中央防波堤 757m（計画900m） ※上部工未了
- ・長周期波対策C 350m（計画493m）
- ・長周期波対策E 605m（計画605m） ※完成済
- ・潜堤 510m（計画1,130m）



図-3 対策事業の進捗状況

#### (3) 対策事業の投資効果

対策事業の静穏度向上・漂砂抑制により、以下の投資効果が期待される。

- ・国際バルク貨物の安定的かつ安価な輸送を実現できる。
- ・荷役の稼働率など背後の荷主等事業者の物流機能の高度化、効率化が促進され、地域産業の国際競争力を向上できる。
- ・輸送の効率化により、陸上輸送や海上輸送時に排出されるCO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>等の排出ガスを削減できる。

### 4. 静穏度対策の検討

港内静穏度の検討は、ブシネスクモデルによる波浪変形計算を行い、耐震強化岸壁（-14m）において、風波と長周期波に対する荷役稼働率（港内静穏度）を算定した（図-4参照）。

#### (1) 風波

波浪条件として、波向は出現率の高いNE(20.4%)、ENE(36.1%)、E(31.8%)、ESE(8.8%)を代表波向に設定した。

表-1 NOWPHAS 波向別波高出現頻度表

| 波 向：全波向                |    |     |     |      |       |       |      |     |     | 波 向：16方位 |       |
|------------------------|----|-----|-----|------|-------|-------|------|-----|-----|----------|-------|
| 季 節：通 年                |    |     |     |      |       |       |      |     |     | 波 高：cm   |       |
| 期 間：1991年 1月～2013年 12月 |    |     |     |      |       |       |      |     |     | 周 期：sec  |       |
| 地点名：鹿島港ナウファス           |    |     |     |      |       |       |      |     |     |          |       |
| 波高                     | 波向 | NNW | NNE | NE   | ENE   | E     | ESE  | SE  | SSE | NNW      | total |
| 0- 50                  |    |     | 3   | 23   | 238   | 803   | 147  | 18  | 2   |          | 1234  |
|                        |    |     | 0.0 | 0.0  | 0.5   | 1.7   | 0.3  | 0.0 | 0.0 |          | 2.7   |
| 50- 100                |    |     | 119 | 1652 | 5866  | 6753  | 1647 | 245 | 29  |          | 16311 |
|                        |    |     | 0.3 | 3.6  | 12.6  | 14.5  | 3.5  | 0.5 | 0.1 |          | 35.1  |
| 100- 150               |    |     | 307 | 3171 | 5583  | 4048  | 1128 | 153 | 9   |          | 14399 |
|                        |    |     | 0.7 | 6.8  | 12.0  | 8.7   | 2.4  | 0.3 | 0.0 |          | 31.0  |
| 150- 200               |    |     | 209 | 2285 | 2754  | 1816  | 587  | 37  |     |          | 7688  |
|                        |    |     | 0.5 | 4.9  | 5.9   | 3.9   | 1.3  | 0.1 |     |          | 16.6  |
| 200- 250               |    |     | 126 | 1184 | 1236  | 803   | 292  | 18  | 1   |          | 3654  |
|                        |    |     | 0.3 | 2.6  | 2.6   | 1.7   | 0.6  | 0.0 | 0.0 |          | 7.9   |
| 250- 300               |    |     | 62  | 542  | 572   | 357   | 142  | 3   |     |          | 1678  |
|                        |    |     | 0.1 | 1.2  | 1.2   | 0.8   | 0.3  | 0.0 |     |          | 3.6   |
| 300- 350               |    |     | 17  | 258  | 251   | 108   | 74   |     |     |          | 708   |
|                        |    |     | 0.0 | 0.6  | 0.5   | 0.2   | 0.2  |     |     |          | 1.5   |
| 350- 400               |    |     | 7   | 157  | 124   | 52    | 32   | 1   |     |          | 373   |
|                        |    |     | 0.0 | 0.3  | 0.3   | 0.1   | 0.1  | 0.0 |     |          | 0.8   |
| 400- 450               |    |     | 3   | 83   | 65    | 28    | 9    |     |     |          | 188   |
|                        |    |     | 0.0 | 0.2  | 0.1   | 0.1   | 0.0  |     |     |          | 0.4   |
| 450- 500               |    |     |     | 56   | 34    | 7     | 5    |     |     |          | 102   |
|                        |    |     |     | 0.1  | 0.1   | 0.0   | 0.0  |     |     |          | 0.2   |
| 500- 550               |    |     | 1   | 34   | 14    | 2     | 3    |     |     |          | 54    |
|                        |    |     | 0.0 | 0.1  | 0.0   | 0.0   | 0.0  |     |     |          | 0.1   |
| 550- 600               |    |     |     | 15   | 7     | 2     |      |     |     |          | 24    |
|                        |    |     |     | 0.0  | 0.0   | 0.0   |      |     |     |          | 0.1   |
| 600- 650               |    |     |     | 8    | 1     |       | 1    |     |     |          | 10    |
|                        |    |     |     | 0.0  | 0.0   |       | 0.0  |     |     |          | 0.0   |
| 650- 700               |    |     |     |      |       |       |      |     |     |          |       |
| 700- 750               |    |     |     |      |       | 1     |      |     |     |          | 1     |
|                        |    |     |     |      |       | 0.0   |      |     |     |          | 0.0   |
| -750                   |    |     |     |      |       |       |      |     |     |          |       |
| total                  |    |     | 854 | 9468 | 15739 | 14780 | 4067 | 475 | 41  |          | 46424 |
|                        |    |     | 1.8 | 20.4 | 36.1  | 31.8  | 8.8  | 1.0 | 0.1 |          | 100.0 |

測得率：46.1(%)、欠測回数：54388 上段：出現回数、下段：出現頻度(%)

風波に対する荷役稼働率（港内静穏度）を向上させるため、南防波堤延伸と島堤設置の2案について比較検討した。南防波堤を既設法線のまま延伸させた場合、目標稼働率 97.5%を確保する延長にすると、先端が外港航路に入ってしまうため、外港航路に沿って屈曲延伸させる案を検討した（図-4参照）。

なお、南防波堤延伸あるいは島堤設置では長周期波に対する目標稼働率 97.5%を確保できないことから、港内消波施設との組合せによる対策検討も行った。

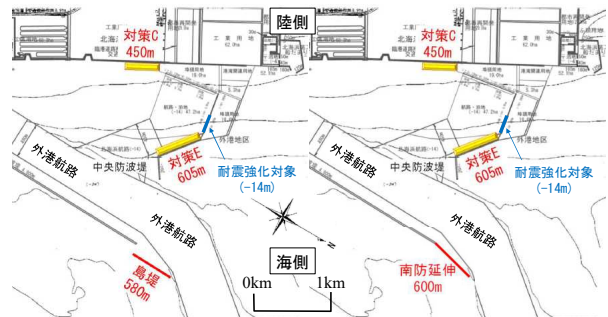


図-4 風波対策の施設配置検討

#### (2) 海浜流、地形変化量

検討委員会の指摘を受けて、台風時の南からの波によ

る海浜流分布と、50年後の地形変化量に対する風波対策の影響を検討した。図-5に南防波堤の先端付近を拡大表示したものを示す。

海浜流分布は、島堤の場合、南防波堤との開口部を通じて航路側へ進入する比較的強い流れが生じており、船舶航行に影響を与えるおそれがあることを確認した。

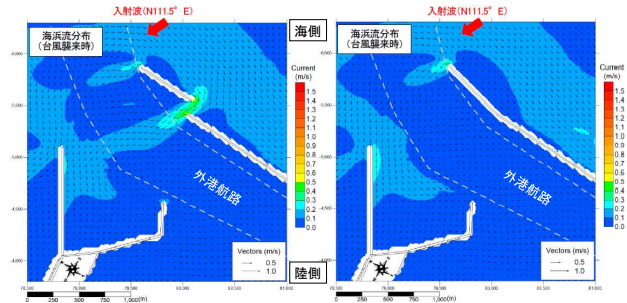


図-5 海浜流分布

地形変化は、島堤の場合には先端部で洗堀が生じやすく、強い流れにより航路に一部堆積が生じる傾向があり、船舶航行に影響を与えるおそれがあることを確認した。屈曲延伸の場合には先端での流れが弱いため、洗堀への影響も小さいことを確認した（図-6参照）。

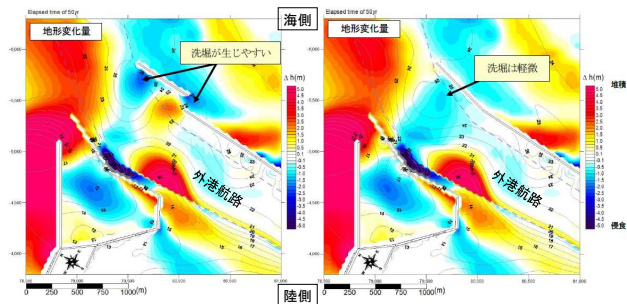


図-6 地形変化量（侵食：青系、堆積：赤系）

### (3) 長周期波対策の検討

#### 1) 長周期波とは

長周期波は、通常の波浪（風波）よりも周期が長い波で、風波の周期は数秒から20秒程度であるのに対して、30秒から300秒周期の波である（図-7参照）。

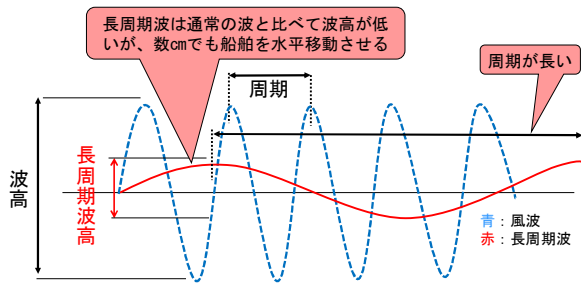


図-7 長周期波とは

長周期波高が数cmであっても、大型の係留船舶に作用すると、その係留索の固有周期と共振して数十cm以

上の振幅を有する水平運動を引き起こし、荷役障害を起こすおそれがあり、目視では確認が困難とされている。港内長周期波影響評価マニュアル<sup>\*)</sup>によると、長周期波の荷役限界波高はコンテナ船、鉱石船等(10,000~70,000 DWT)であれば0.10mとあり、こうした低い波高でも船舶に荷役障害を起こす特徴がある<sup>\*)</sup>。また、港内に入った長周期波高は港外に比べて高く、港内で増幅する傾向があることがわかっている。

#### 2) 港内消波施設

港外から入射した長周期波は、港内で多重反射して減衰せずに岸壁へ到達する。そのため、反射を抑える港内消波施設を配置することにより、反射波を減衰させ、船体動揺を抑える港内消波施設の配置を検討した（図-8参照）。

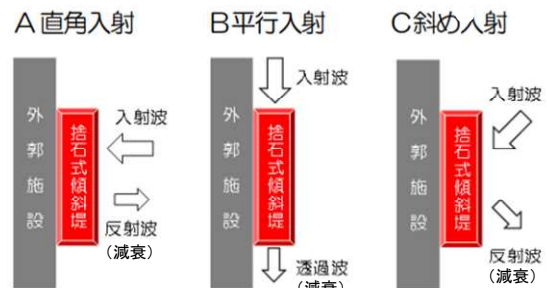


図-8 港内消波施設による減衰イメージ

港内消波施設として対策A～H、港内突堤を考えた（図-9参照）。対策Aは稼働率向上効果が最も低く、長大な延長が必要で高額となり、最も整備効率が悪い。対策Hは現行港湾計画で同箇所に岸壁を予定しているため、設置が難しい。そのため、港内消波施設の配置検討は、対策A・H以外の施設の組合せにより検討する。また港内突堤は、検討委員会の指摘で船舶航行軌跡を基に船舶航行に影響が及ばない延長を確認した結果、延長を250mに止めることにした。

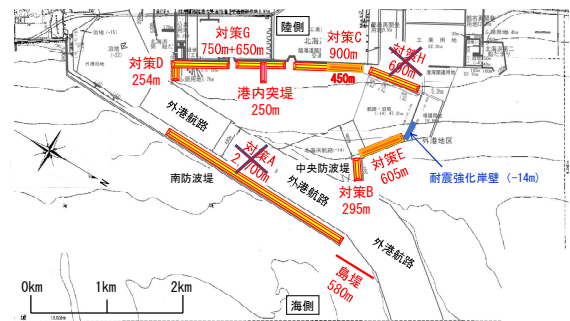


図-9 港内消波施設の配置案

港内消波施設の組合せとして、稼働率向上効果が最も高かった港内突堤が、有る場合（港内突堤、対策B, C, D）と無い場合（対策B, C, D, G）で比較検討した（図

-10参照)。両ケースとも目標稼働率97.5%を満足するが、港内突堤が有る場合の方がわずかに稼働率が高い。つまり港内突堤は250mの施設延長で、対策G（750m+650m）以上に稼働率向上効果があるといえる。

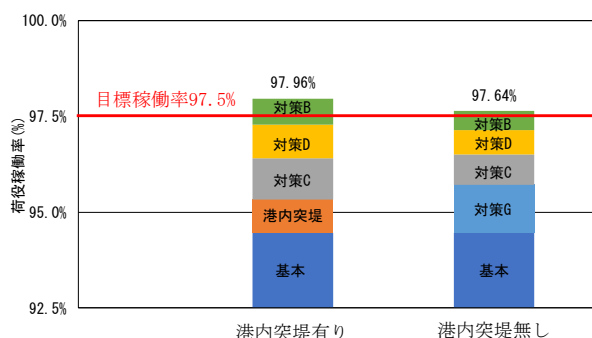


図-10 各港内消波施設の荷役稼働率比較

## 5. 漂砂対策の検討

静穏度を向上させるためには南防波堤を延伸する必要があり、南防波堤を延伸すると外港航路の堆積がより激しくなるという性質のものであり、静穏度対策と漂砂対策はトレードオフの関係にある。外港航路の漂砂問題は、南向きの海岸線に沿った沿岸漂砂が主要因であるが、単に沿岸漂砂を防ぐのであれば、沿岸漂砂を遮るように防砂堤を設置すれば良いが、静穏度向上も考慮すると非常に困難な検討である。これらを踏まえて、沿岸漂砂の特性を把握した上で、地形変形シミュレーションにより50年間の漂砂堆積量を予測し、北側に防砂堤を配置する3案について比較検討した。対策の設置位置が異なる対策案の効果を評価する必要があるため、対策の設置位置が航路から遠くなるほど対策効果が発現するまでに時間を要することが想定されたため、予測計算を長期間（50年間）行う（図-11参照）。

- ・防砂堤無し：漂砂量295.2万m<sup>3</sup>/50年
- ・防砂堤A：漂砂量57.7万m<sup>3</sup>/50年、コスト比率1.46
- ・防砂堤A'：漂砂量62.0万m<sup>3</sup>/50年、コスト比率1.14
- ・防砂堤B：漂砂量71.1万m<sup>3</sup>/50年、コスト比率1.00

漂砂量の抑制効果はA>A'>Bの順、静穏度の向上効果は防砂堤Bにのみ港口付近の波浪をわずかながら低減することを確認した（漂砂量：全施設完成後50年分）。

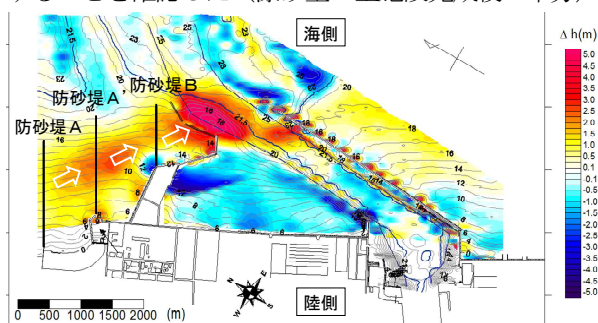


図-11 漂砂対策の比較配置案

## 6. まとめ

静穏度対策、漂砂対策の組合せとして下記3案を比較評価した結果、案②が有効な組合せと考えた（図-12参照）。

案①：島堤、港内突堤、対策B, C, D, E、防砂堤B 950m

- ・荷役稼働率：風波97.77%、長周期波97.45%97.5%
- ・漂砂堆積量：約70万m<sup>3</sup>/50年
- ・概算費用：比率1.00（維持浚渫費を含む）

案②：南防波堤屈曲延伸、港内突堤、対策B, C, D, E、防砂堤B 950m

- ・荷役稼働率：風波97.60%、長周期波97.91%
- ・漂砂堆積量：約70万m<sup>3</sup>/50年
- ・概算費用：比率1.00（維持浚渫費を含む）

案③：南防波堤屈曲延伸、港内突堤、対策B, C, D, E、防砂堤B 1,270m

- ・荷役稼働率：風波97.20%97.5%、長周期波97.89%
- ・漂砂堆積量：約50万m<sup>3</sup>/50年
- ・概算費用：比率1.06（維持浚渫費を含む）



図-12 対策施設配置（案②）

今後、港湾管理者（茨城県）による鹿島港長期構想検討状況を踏まえ、引き続き下記事項を加えた具体的な検討を行っていくこととする。

- 1) 施工期間短縮、コスト縮減が必要
  - ・技術開発の進展に伴う新工法の採用
  - ・対策施設構造のスリム化
- 2) 深浅測量による継続的な漂砂埋没量の把握が必要
- 3) 対策施設施工順序の検討

## 7. 謝辞

検討に際し、検討委員会（委員長：高山京都大学名誉教授）の各委員から貴重なご意見、ご指導を頂いた。ここに厚く御礼申し上げます。

## 【参考文献】

- \*1 港内長周期波影響評価マニュアル：（財）沿岸技術研究センター平成16年8月
- \*2 鹿島港漂砂・静穏度対策施設に関する整備効果等検討業務報告書：鹿島港湾・空港整備事務所 令和3年3月