

金沢港港湾計画改訂と連携した土砂処分場の配置検討

宮脇 虎太郎¹・長田 光正¹・氷見 和也¹

1 金沢港湾・空港整備事務所 企画調整課 (〒920-0331 石川県金沢市大野町 4-2-1)

金沢港では、水域施設などの整備に伴う浚渫土砂や港外からの漂砂による埋没により既存の土砂処分場の処理能力が逼迫しているため、新たな土砂処分場が必要となっていた。新たな土砂処分場の配置検討にあたり、港内埋没の影響を考慮した浚渫土量の検討が必要であった。

一方、金沢港では令和 6 年度に石川県が港湾計画改訂を予定していたことから、その改訂に先立ち、埋没予測解析や、土砂処分場の土地利用を見据えた港内静穏度等の検討を事前に整理しておく必要があった。これらを踏まえた金沢港の港湾機能向上に向けた土砂処分場の配置検討について報告する。

キーワード：金沢港、港内埋没、港内静穏度、港湾計画改訂

1. はじめに

金沢港は、昭和 38 年に金沢市が豪雪に見舞われ（三豪雪）、陸路が遮断されたことから、海上輸送の重要性が認識され、大野川の河口を掘り込んで整備を進め、昭和 45 年に開港した。開港以降、港湾機能の拡充や国際物流拠点化が進められ、近年はコンテナなどの貨物取扱量やクルーズ船寄港数が増加し、物流・観光の両面で地域経済を支えている。

しかし、金沢港は整備に伴う浚渫土砂や港外からの漂砂による埋没により既存の土砂処分場が逼迫している。港内の浚渫が実施できない場合、航路や泊地の水深確保が困難となり、大型船舶の安全な入出港や荷役効率の低下といった実務的な支障が発生し、金沢港の整備や持続的な運用における懸念材料となっているため、新たな土砂処分場の配置を検討する必要があった。

本検討では、新たな土砂処分場の配置を検討すると共に、石川県が進めていた港湾計画改訂と整合を図りながら、将来の土砂処分場の土地利用を見据えた静穏度向上に資する施設配置や埋没予測を踏まえた配置検討を実施した。



図-1 現在の金沢港

2. 金沢港港湾計画改訂の概要

新たな土砂処分場の配置にあたっては、石川県が進めていた港湾計画改訂と土砂処分場の配置がお互いに妨げにならないよう連携が必要であった。

金沢港の港湾計画改訂の主な内容として、物流分野では近年の船舶の大型化やトラックドライバー不足等の情勢を踏まえた施設配置・転換、観光分野ではクルーズ船増加に伴う受入体制強化や港周辺での賑わい空間の形成、防災分野では能登半島地震を踏まえた港の防災機能の強化があった。

石川県はこれらの港湾計画改訂内容を考慮した結果、御供田ふ頭のコンテナターミナルは狭隘かつ不整形で背後の拡張や水域の増深が困難であり、近年のコンテナ船の大型化に対応が困難な状況にあるため、大浜沖合へのコンテナターミナル機能の移転を検討していた。そのため、将来の土地利用も見据えることができる大浜沖合のコンテナターミナル予定地を新たな土砂処分場とすることが最も合理的であるため同地を土砂処分場用地に選定した。

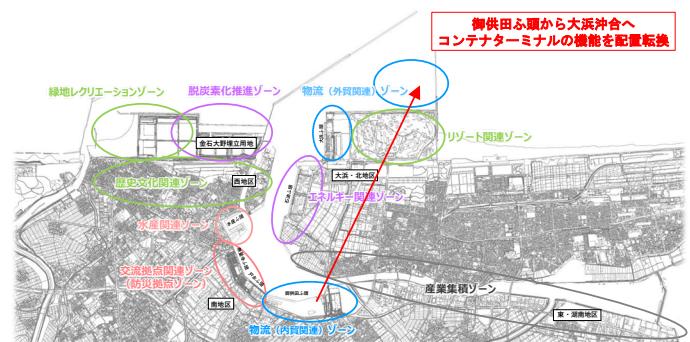


図-2 金沢港港湾計画改訂の概要

3. 金沢港の埋没予測解析

新たな土砂処分場を検討するに当たり、将来港形も含めた埋没特性を把握し、埋没土量が縮減される港形を確認するため、埋没予測解析を実施した。

なお、埋没予測解析とは、過去の深浅測量データ、海象や気象の条件、河川や沿岸からの土砂供給量などの情報をもとに、堆積の傾向をモデル化し、将来的な変化を定量的に予測することである。

(1) 埋没予測の計算条件

a) 埋没予測を行う港形

解析モデルには、過去に実施した港内の深浅測量結果を使用し金沢港の地形を再現した。計算領域は図-3に示す。

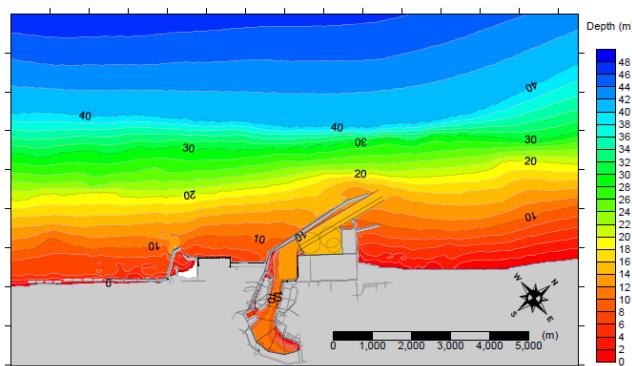


図-3 対策港形の計算地形図

埋没予測を実施する金沢港の港形には①現状の金沢港（以後、『現状港形』と呼ぶ）②西防波堤を490m延長した港形（以後、『新設防砂堤無し』と呼ぶ）③西防波堤を490m延長し新設防砂堤600mを設置する港形（以後、『新設防砂堤あり』と呼ぶ）の3パターン（図-4）で検討を行った。

西防波堤490mの延伸については、港内静穩度の向上とともに、船が入港する際の操船性への影響にも配慮するため金沢港の利用者（水先人）へヒアリングを行った。水先人から航路を屈曲させないような防波堤の方向及び延長を求められたため、航路に影響を与えない最大延長である490mに設定した。

新設防砂堤の延長については周辺海岸への影響を与えない600mで設定した。

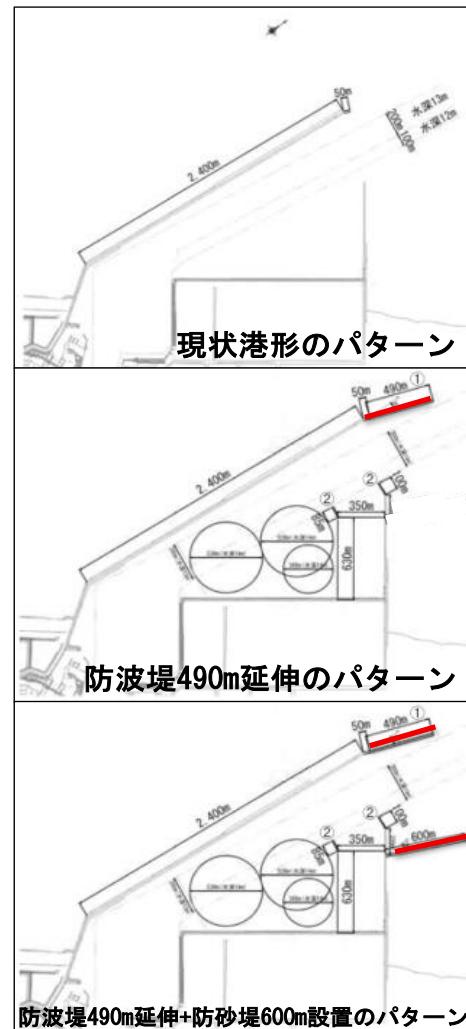


図-4 埋没予測を行う港形パターン

b) 埋没量の算定領域

埋没量の算定領域（図-5）には、金沢港湾・空港整備事務所で現在整備を行っている航路・泊地部分（領域A, B, D）と土砂処分場の将来を見据えた泊地部分（領域F）を選定した。

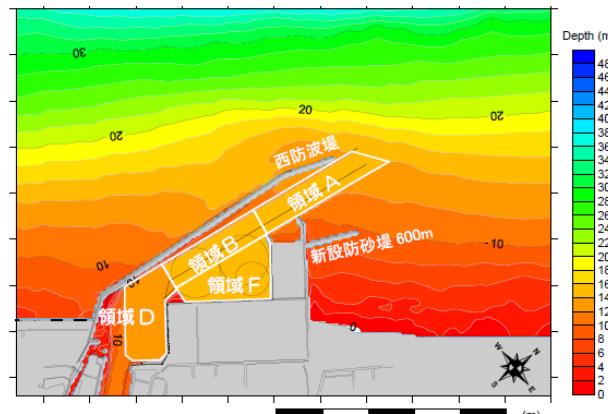


図-5 埋没量算定領域

c) 波浪条件

港内埋没に対する影響が大きい高波浪に加え、粘土・シルト分の堆積を加味するための低波浪も対象とし、2条件で地形変化解析を実施した。

高波浪条件では、1970年から2019年までの波浪観測データから波高上位50事例を抽出し、発達期・最盛期・減衰期の波高・周期・波向の変化を反映した8つの代表波（Phase1～Phase8）を設定した。これらの波に対し、年間波エネルギーに基づく擾乱作用回数を導出し、年換算での地形変化量を評価した。

低波浪条件では、シルト・粘土分の堆積を考慮し、波高1m以下の代表波1事例（Phase1）を対象とした。高波浪と同様にエネルギー換算により年換算の堆積量を算出した。

表-1 高波浪の波浪条件

	代表波				波エネルギー量 (kwh/m) 4hr (kwh/m)
	H _{1/3} (m)	T _{1/3} (s)	波向 (°)	Smax	
Phase1	2.92	7.5	312	10	32.14
Phase2	3.55	7.9	294	10	49.46
Phase3	5.06	9.3	298	10	119.06
Phase4	7.02	11.4	317	10	280.65
Phase5	5.47	10.8	327	25	162.02
Phase6	4.78	10.2	326	25	115.96
Phase7	4.14	9.7	333	25	82.96
Phase8	3.63	9.2	329	25	60.48
①代表波の総波エネルギー量 (kwh/m)				3,611	
波高2m以上の総波エネルギー量 (kwh/m)				28,047	
②波高2m以上の総波エネルギー量 (kwh/m)				56,093	
③擾乱作用回数 (=②/①)				15.53	
④代表波浪 (Phase1～8) の作用時間 (=4hr × 8Phase)				32	
【参考】⑤作用時間 (=③ × ④)				497	
【参考】⑥作用日数 (=⑤ ÷ 24時間)				21	

表-2 低波浪の波浪条件

	代表波				波エネルギー量 (kwh/m) 4hr (kwh/m)
	H _{1/3} (m)	T _{1/3} (s)	波向 (°)	Smax	
---	1.00	6.0	337.5	10	3.00
①代表波の総波エネルギー量 (kwh/m)				12	
波高2m以下の総波エネルギー量 (kwh/m)				9,344	
②波高2m以下の総波エネルギー量 (kwh/m)				18,689	
③擾乱作用回数 (=②/①)				1557.39	
④代表波浪 (Phase1) の作用時間 (=4hr × 1Phase)				4	
【参考】⑤作用時間 (=③ × ④)				6230	
【参考】⑥作用日数 (=⑤ ÷ 24時間)				260	

(2) 埋没量の計算結果

図-5に示す各領域での砂分、シルト分を現状港形、新設防砂堤無しおよび新設防砂堤ありの3港形で比較した埋没土量の計算結果を図-6、図-7のとおり示す。

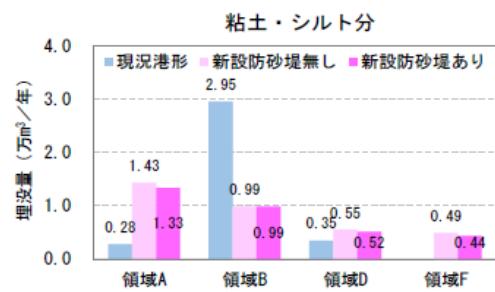
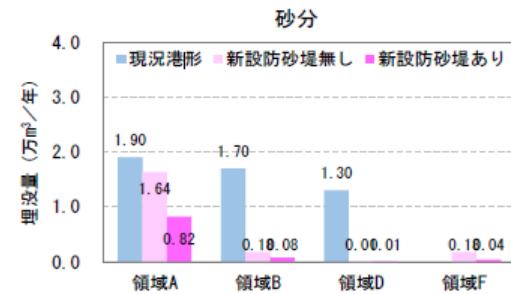


図-6 各領域における埋没量

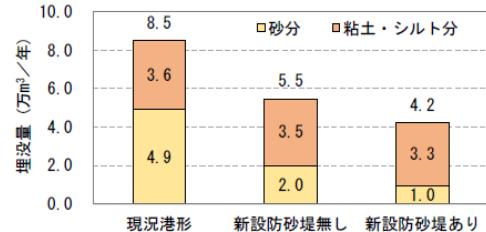


図-7 港内全体(全領域)の埋没量

現状港形の検討の結果、港内全体の年間埋没量は約8.5万m³と推定された。

領域Bでは、年間で約4.65万m³（砂分：約1.7万m³、シルト・粘土分：約2.95万m³）と、全体の中でも特に多くの堆積が確認された。領域Bは港内中間部に位置し、外部からの波浪や流れの影響が集まりやすく、港内に滞留した微細な土砂が沈降しやすい環境にあると考えられる。

次に、新設防砂堤無しの場合について埋没傾向を確認した。このケースでは、外力条件は現状港形と同様とした。

地形変化分布（図-8）より既設防砂堤に沿って堆積域が分布し、一部が航路へ流入している。また解析結果は、港内全体の年間埋没量は約5.5万m³となり、現状港形の約8.5万m³と比較して約3万m³の削減が見られた。

一方で、港口部にあたる領域Aの埋没量は約2.18万m³から約3.07万m³へと約0.9万m³増加しており、特に粘土・シルト分の堆積が増えている。これは防波堤の延伸によって波の侵入が抑制された結果、粘土・シルト分が沈降し堆積したものと推測される。

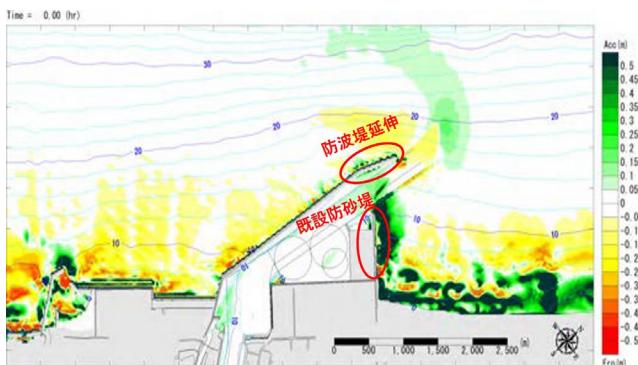


図-8 防波堤延伸のみの地形変化分布

最後に、新設防砂堤ありの場合の埋没量を評価した。外力条件や底質条件は他のケースと同様とした。

地形変化分布(図-9)では、新設防砂堤により堆積が遮断され新設防砂堤の先が堆積している。

また、解析結果は、港内全体の年間埋没量は約4.2万m³まで減少し、現状港形(約8.5万m³)の約半分となった。これは、防波堤および新設防砂堤による複合的な遮蔽効果によって、波浪が効率的に抑えられたことを示している。

特に領域Bでは、年間の埋没量が約4.65万m³(現状港形)から約1.1万m³(新設防砂堤あり)へと大幅に減少しており、波や流れによる土砂輸送が大きく制限されたことが分かる。中間域である領域Bは、現状港形では堆積が集中していたが、新設防砂堤の設置により港内への土砂の侵入が抑制された結果、堆積の発生が大幅に軽減されたと考えられる。

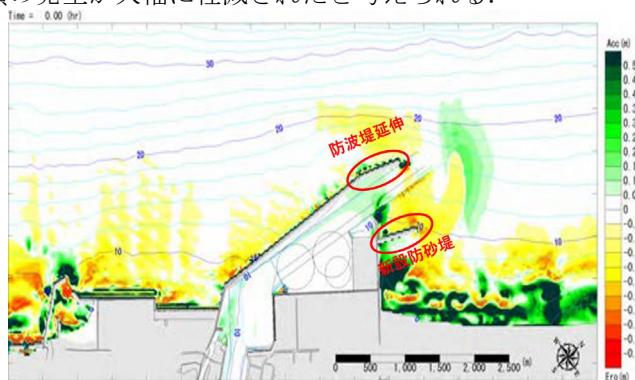


図-9 防波堤延伸+新設防砂堤の地形

4. 静穏度解析

金沢港における荷役作業の効率性と安全性を高めるためには、港内の静穏度を的確に把握することが不可欠であるため静穏度解析を実施した。

静穏度解析とは、波浪が荷役稼働に与える影響を定量的に評価し、荷役作業が安定して行える気象・海象条件の閾値を明確化することにより金沢港の荷役稼働率を算出するものである。

静穏度解析を行うための港内波浪予測計算にはブシネスクモデルを用いた波浪変形計算を実施した。

なお、静穏度を評価する係留施設には今後防波堤延伸などによる影響の変化が生じる図-10で示す4箇所とした。

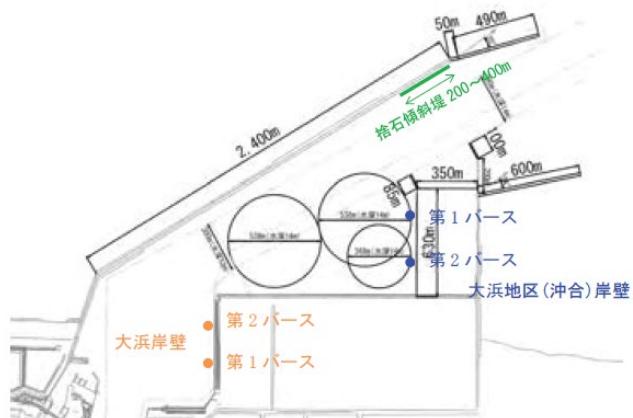


図-10 静穏度評価実施箇所

(1) 静穏度の計算条件

a) 波浪条件

ブシネスクモデルを用いた波高算定計算で使用する波浪条件として、波向と周期を設定した。波向は金沢港で出現頻度が高い波向W~Nを5波向とし、周期は出現頻度56.9%の代表周期6秒、目標荷役稼働率に97.5%に近い周期帯の代表周期8秒、周期10秒以上の高波浪の代表周期10秒を設定した。

構造パターンの違いによる波の遮蔽効果を比較するため、港内各測点における限界波高的分布を解析し、稼働率を算出した。

これらは港湾の施設の技術上の基準より荷役稼働率が97.5%を満足する岸壁にする必要があるため、対象岸壁前面波高が荷役限界波高を超える頻度を確認し、各岸壁の対象船舶における荷役稼働率を算出した。

静穏度の評価を行う4つの施設の利用が想定される船舶に対する荷役限界波高を表-3に示す。

表-3 静穏度の評価を行う対象船舶及び荷役限界波高

対象船舶		荷役限界波高(m) [波の入射方向45°]					
船種	船型	4s	6s	8s	10s	12s	15s
貨物船	1,651DWT	0.50	0.30	0.20	0.20	0.20	0.20
	13,280DWT	0.50	0.50	0.50	0.45	0.35	0.25
PCTC船 ^{※1}	19,670DWT	0.50	0.50	0.50	0.45	0.30	0.20
RORO船 ^{※2}	5,690DWT	0.50	0.50	0.50	0.35	0.25	0.20
コンテナ船	11,731DWT	0.50	0.50	0.50	0.45	0.25	0.20
	23,000DWT	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.20

港内静穏度解析を行う港形には、3. 金沢港の埋没予測解析で埋没対策に最も効果を示した③新設防砂堤ありの港形を基本港形として検討をおこなった。

また、異常時の波浪（金沢港の場合、波高 1.5m）における静穏度解析及び水深が暫定 12m でコンテナターミナルが供用した場合における検討もおこなった。

b) 地形条件

ブシネスク方程式の波浪変形計算は、エネルギー平衡方程式で求めた方向スペクトルを入射波境界で与えて、金沢港近郊を含む港内を対象に実施した。

エネルギー平衡方程式とブシネスク方程式の計算領域の例を図-11 に示す。

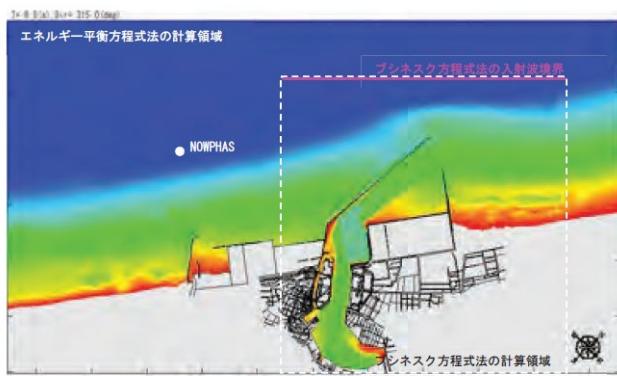


図-11 エネルギー平衡方程式法と
ブシネスク方程式法の計算領域(波向 NW)

c) その他の条件

波高分布計算には、ブシネスク型の波動モデルを用いた。（表-4）

表-4 ブシネスク方程式法の計算条件

項目	条件
計算モデル	NOWT-PARI Ver4.6c5a
計算格子間隔	5m
入射波スペクトル	エネルギー平衡方程式法で求めた方向スペクトル
成分波数	512 波
潮位	0.24m (M. W. L. 時)
最小水深	3.0m
碎波計算	なし
Δt	0.02s
緩和波時間	80s
有義波算定開始時刻	1,000 s
有義波算定終了時刻	2,000 s

(2) 解析結果

a) 通常波浪条件における検討

基本港形（防波堤 + 防砂堤構成）に対して静穏度解析を行った結果、大浜地区（沖合）第 1 バースのコンテナ船 11,731DWT に対する稼働率は 96.6% であり、目標とする 97.5% には達していなかった。（表-5）

港内反射率低減の対応策として、防波堤の背後に捨石傾斜堤を追加した港形で再度検討を行った。

捨石傾斜堤を追加する静穏度解析について、捨石傾斜堤の最適な延長を求めるため、複数パターン（200m, 300m, 400m）についてシミュレーションを実施した（表-5）。

捨石傾斜堤を 200m とした場合、稼働率は基準値を満足しない結果となった。一方、300m では全体として稼働率を確保できたが、過剰な静穏域が広がる傾向が確認された。

これらの結果を踏まえ、稼働率 97.5% 以上を確保しつつ構造量を最適化する観点から、捨石傾斜堤の長さを図-12 から 230m とする案が妥当であると結論付けた。

表-5 荷役稼働率算定結果(風波・うねり)

岸壁	限界波高	船型	稼働率(%)		
			基本	捨石200m	捨石300m
大浜岸壁 第1バース	貨物船(内航)	1,651DWT	98.4	98.6	98.7
	貨物船(外航)	13,280DWT	99.5	99.5	99.6
	PCTC船	19,670DWT	99.5	99.5	99.5
	RORO船	5,690DWT	99.3	99.3	99.4
大浜岸壁 第2バース	貨物船(内航)	1,651DWT	98.0	98.3	98.4
	貨物船(外航)	13,280DWT	99.4	99.5	99.5
	PCTC船	19,670DWT	99.4	99.4	99.4
	RORO船	5,690DWT	99.2	99.2	99.2
大浜処分場岸壁 第1バース	コンテナ船	11,731DWT	96.6	97.3	98.1
		23,000DWT	97.2	97.8	98.4
		11,731DWT	98.2	98.5	98.8
	コンテナ船	23,000DWT	98.5	98.7	99.0
			※赤字の稼働率は目標稼働率 97.5% 以下		

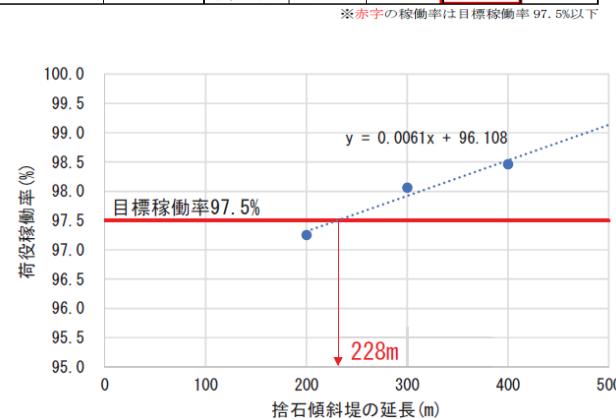


図-12 捨石傾斜堤の延長と荷役稼働率の関係
(大浜地区(沖合)岸壁 コンテナ船 11,731DWT)

b) 暫定水深及び異常時波浪の検討

港内の水深を 12m とした上で、水深 14m で静穏度が確保された港形（捨石傾斜堤 230m）による静穏度解析を行った。

**表-6 荷役稼働率算定結果
(水深 12m・低反射構造)**

岸壁	限界波高	船型	稼働率 (%)					
			基本	捨石200m	捨石300m	捨石400m	水深12m	水深12m 低反射構造
大浜岸壁 第1ベース	貨物船(内航) 1,651DWT	98.4	98.6	98.7	98.7	98.8	98.7	98.7
	貨物船(外航) 13,280DWT	99.5	99.5	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6
	PCTC船 19,670DWT	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5
	RORO船 5,690DWT	99.3	99.3	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4
大浜岸壁 第2ベース	貨物船(内航) 1,651DWT	98.0	98.3	98.4	98.4	98.1	98.2	98.2
	貨物船(外航) 13,280DWT	99.4	99.5	99.5	99.5	99.4	99.4	99.4
	PCTC船 19,670DWT	99.4	99.4	99.4	99.4	99.3	99.4	99.4
	RORO船 5,690DWT	99.2	99.2	99.2	99.2	99.2	99.2	99.2
大浜丸岸壁 第1ベース	コンテナ船 11,731DWT	96.6	97.3	98.1	98.5	97.0	98.5	98.5
	23,000DWT	97.2	97.8	98.4	98.6	97.5	98.6	98.6
大浜丸岸壁 第2ベース	コンテナ船 11,731DWT	98.2	98.5	98.8	99.0	98.4	99.3	99.3
	23,000DWT	98.5	98.7	99.0	99.1	98.6	99.4	99.4

その結果、コンテナ船 11,731DWT に対する稼働率は 97.0% にとどまり、目標値である 97.5% を下回った。(表-6) これは、水深が 14m から 12m になったことに伴い波の屈折条件が変化し港内側に波の侵入性が高まるところで、傾斜堤構造のみでは波の反射や干渉を充分に抑えきれなかったことが原因と考えられる。

また、異常時の波浪の条件である 50 年確率波(50 年に一度発生する高波浪)を沖合で作用させた場合においては、岸壁前面の荷役限界波高 1.5m を超過する結果となった。

これらの対策として大浜地区(沖合) 岸壁に低反射型構造(スリットケーソン式岸壁等)を採用した港形で再評価を行ったところ、水深 12m の場合に稼働率は 98.5% へと改善され、異常時の波浪を作用させた場合においても、大浜地区(沖合) 岸壁前面の限界波高は 1.5m を下回った。この結果より、低反射構造の採用によって、異常波浪条件と荷役稼働率の両面が確保されることが確認され、港内の稼働率の安定的確保及び経済的な港形として、防波堤背後に捨石傾斜堤 230m を設置し、大浜地区(沖合) 岸壁を低反射構造とする港形が最も有効な対策であると判断される。

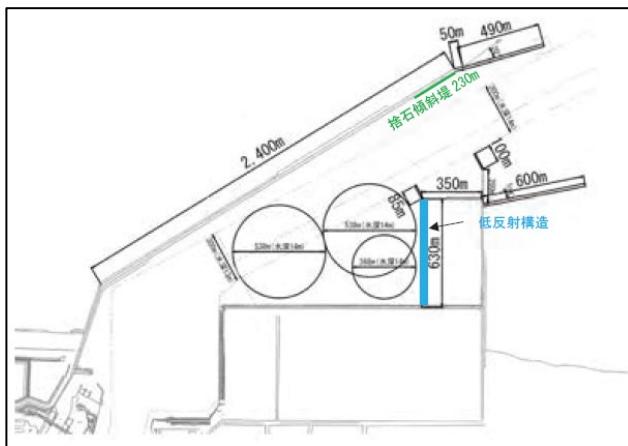


図-13 低反射構造及び捨石傾斜堤の港形

5.まとめ

以上の検討より、本検討において以下のことが示された。

- ① 現状港形では年間 8.5 万 m³ の堆積が想定されたが、新設防砂堤ありの場合、4.2 万 m³ まで削減された。
- ② 通常波浪時では防波堤背後に傾斜堤 230m をすることで荷役稼働率 97.5% 以上を達成した。また、暫定水深及び異常時波浪は、更に岸壁構造を低反射型とすることにより荷役稼働率と港内波高低減を満足した。
- ③ 新設防砂堤と低反射構造を併用することで、埋没抑制と静穏性確保の両立が可能であり、整備案として合理的である。

謝辞：本検討のとりまとめにあたり、貴重なご意見を賜った「金沢港港内埋没対策検討会」の委員各位に謝意を表する。