

金沢港の効率的な事業実施に向けた埋没予測

東宮 真琴¹・長田 光正¹・長谷川 右京¹

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）

令和 7 年 3 月、港湾管理者である石川県により金沢港の港湾計画が改訂された。金沢港では河川からの土砂流入や港外からの漂砂による港内埋没への対策が課題となっており、港湾計画改訂にあたっては、港内埋没量を低減できる港形の検討や土砂処分場の配置検討等が行われた。

本稿では、新たに示された将来港形へ至る整備過程において生じる埋没量を縮減することを目的として、埋没予測モデル解析を行い、効率的な整備順序について検討した結果を報告する。

キーワード：金沢港、港内埋没、埋没予測

1. はじめに

金沢港では令和 7 年 3 月に港湾管理者である石川県により港湾計画が改訂された。取扱貨物量やクルーズ船寄港数の増加に対応し、さらなる機能強化を図るため、各岸壁が担う機能の配置転換等を行う計画である。

一方で、金沢港では河川からの土砂流入や港外からの漂砂による港内埋没（ここでは、港内に土砂が堆積し、航路等の水深が浅くなることを埋没という）の対策が課題となっている。港内に土砂が堆積することで、航路・泊地の必要水深が確保されず、大型船舶の安全な航行や荷役効率の低下といった支障をきたす可能性がある。さらに、必要水深を確保するための浚渫量が増加することで、航路を維持する費用の増大や土砂処分の問題も生じる。そのため、港湾計画改訂時には、埋没量を低減できる港形の検討や浚渫土砂を有効活用する土砂処分場の配置検討等¹⁾が行われた。

過年度は港湾計画改訂後の将来港形における港内埋没について検討を行ったため、本検討では、将来港形に至るまでの過程において埋没する土砂量の縮減を目的として、埋没予測モデル解析を行い、外郭施設の効率的な整備順序を検討した。

2. 金沢港港湾計画改訂の概要

図-1 に、港湾計画改訂後の大浜地区の港湾計画図を示す。今回の改訂では、コンテナ船の大型化や取扱貨物量の増加、新航路の就航等に対応できるように、大浜地区の沖合に新コンテナターミナルが位置付けられた。コンテナターミナルの位置づけに合わせ、岸壁の整備、航路・泊地の増深、静穏度確保

のための西防波堤延伸、港口部における埋没量低減のための防砂堤の計画も定められた。

本稿においては、港内埋没について検討を行うため、金沢港の港口部に位置する西防波堤の 490m 延伸および大浜地区の防砂堤 600m の整備手順に着目する。

3. 埋没予測解析

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、土砂の堆積傾向をモデル化し、将来的な変化を定量的に予測することである。

なお、埋没予測モデルは、①波浪条件（日本海側の冬季風浪）、②海浜流条件（波浪によって巻き上がった泥や砂が港内まで運ばれるよう、通常の見流に加えて副振動に伴う流れを考慮したもの）、③底質条件（海底の泥と砂の面的な含有率の分布）を与えた。

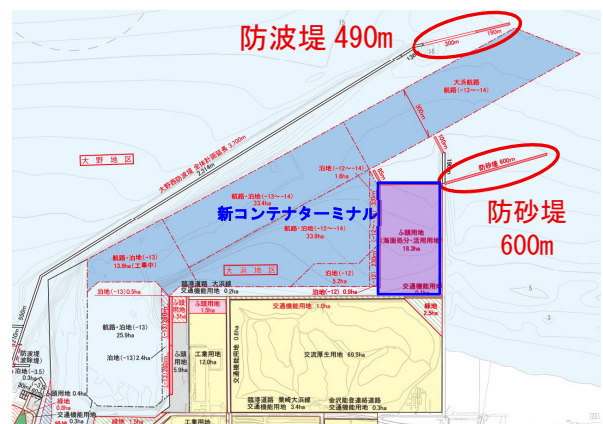


図-1 大浜地区の港湾計画図

(1) 埋没メカニズム

波浪によって巻き上げられた砂（粒径 0.075～2 mm）と粘土・シルト（粒径 0.075 mm 未満）が図-2のように防波堤先端付近の港口部から港内へ侵入する。侵入した砂と粘土・シルトは海浜流によって運ばれ、比重が重く沈降速度の速い砂は港口部で堆積し、沈降速度の遅い粘土・シルトは副振動も加わって港奥部にも運ばれる。（副振動については後述する。）

西防波堤の延伸および防砂堤の新設により、埋没範囲は、次のように変化すると仮定し検証を行った。西防波堤を延伸することで、防波堤背後の静穏域が拡大し、港口部の流れが穏やかになるため、航路への埋没土量が低減しない可能性がある。一方で、新設防砂堤を先行して整備する場合、金沢港沖の海浜流は、東側から西側に卓越していることから、直接的に港内の埋没量を低減できる可能性がある。ただし、西防波堤の延伸が伴わないことによって、波浪による港内への土砂流入が継続する可能性もある。以上の仮定を検証するため、西防波堤および新設防砂堤の整備順序による埋没量を定量的に評価する観点で解析を行った。

(2) 埋没予測の計算条件

a) 埋没予測を行う港形

過年度に構築・改良された港内埋没予測モデルを用いて、西防波堤延伸と新設防砂堤の整備順序がおよぼす埋没の抑制効果について検討した。

埋没予測を行う港形を図-3に示す。ケース A は計画改訂前の現況港形（西防波堤の延伸部および新設防砂堤がない）、ケース B は先行して西防波堤を延伸する場合、ケース C は先行して新設防砂堤を延伸する場合、ケース D は計画改訂後の将来港形である。

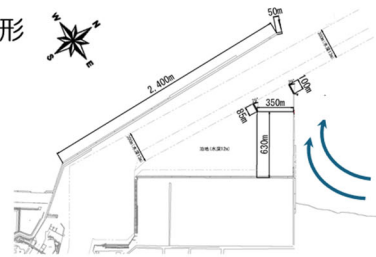
b) 地形条件

地形条件は、NOWPHAS 波浪観測位置を含む範囲を計算領域に設定する。対策港形の計算地形図を図-4に示す。なお、地形データの作成に用いた港内の深浅測量成果は、令和3年度の深浅測量成果をベースとし、航路・泊地の計画水深を反映した。

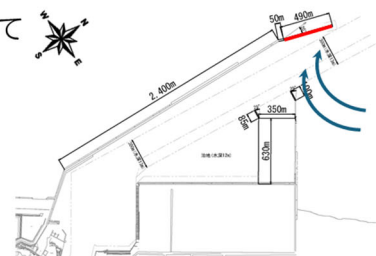


図-2 砂と粘土・シルトの移動イメージ

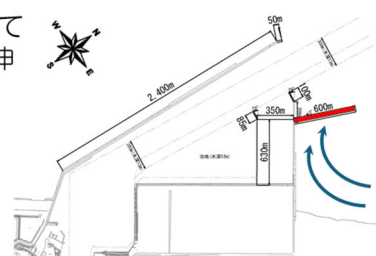
CaseA：現況港形



CaseB：先行して
西防波堤を延伸



CaseC：先行して
新設防砂堤を延伸



CaseD：将来港形
港湾計画港形

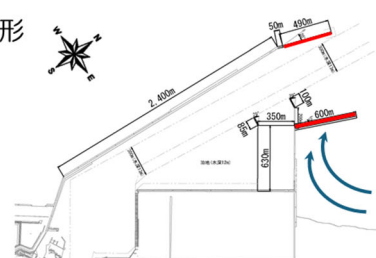


図-3 港内埋没予測モデルの計算港形

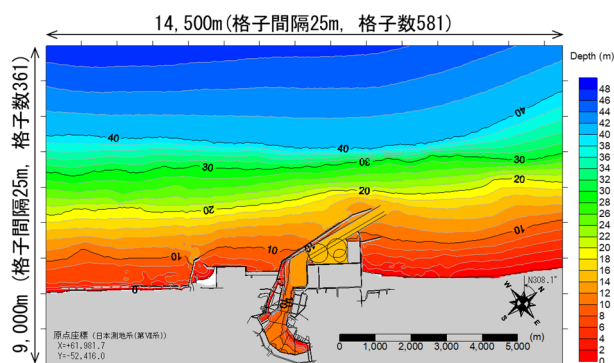


図-4 対策港形の計算地形図

c) 波浪条件

防砂堤先端付近の水深 10m、底質粒径 0.15mm を条件とした場合、防波堤先端では波高 2m で地形変化が生じ土砂が流入する傾向にあるため、波高 2m 以上を高波浪、それ以下を低波浪として設定した。

・高波浪

港内埋没に対して影響が強い高波浪の設定は、NOWPHAS で観測した 1970 年～2019 年の 50 年分の波浪データのうち、高波浪の上位 50 位から波高ピーク時刻の前後 48 時間を抽出した。これを基に、高波浪の発達期、最盛期、減衰期における波高、周期、波向の変化過程を波浪条件に考慮した。

表-1 は、代表波浪に基づいた単位時間当たりの波エネルギー (kw/m) と波エネルギー量である。表中の①代表波の総波エネルギー量で、②波高 2m 以上の年間当たりの総波エネルギー量 (56,093kwh/m) を除して求めた擾乱作用回数を代表波浪の作用回数として与えて、年間の地形変化の予測を試みた。なお、総波エネルギー量の対象年は、測得率 90%以上 (欠測率 10%以下) の 31 年間である。

波高 2m は、底質粒径 0.15mm を条件とした際の完全移動限界水深が防砂堤先端水深 10m と整合する波高値であり、波エネルギーは、永井ら²⁾に従って算定した金沢港に來襲する年間当たりの総波エネルギーである。波高が 2m 以上になると水深 10m より深い領域の底質が動くこととなり、防砂堤の先端 (水深約 10m) から航路にかけて底質が移動すると考え、波浪条件を設定する上で考慮した。

・低波浪

低波浪による粘土・シルト分の沈降も加味するため、低波浪を対象とした波浪条件も設定した。

表-2 は、代表波浪に基づいた単位時間当たりの波エネルギー (kw/m) と波エネルギー量である。表中の①代表波の総波エネルギー量で、②波高 2m 以下の年間当たりの総波エネルギー量 (18,689kwh/m) を除して求めた擾乱作用回数を代表波浪の作用回数として与えて、年間の地形変化の予測を試みた。なお、総波エネルギー量の対象年は、「(A)高波浪」と同様に測得率 90%以上 (欠測率 10%以下) の 31 年間である。

d) 港内での副振動条件

副振動とは、波浪による振動とは別に、閉鎖性の水域や湾、海峡などで発生する海面の振動現象である。副振動は大別して 2 つのものがあ、台風や低気圧、津波等によって発生した海面の変動によるものと、外海から來襲した波浪やそれに伴う長周期の水位変動・流れによるものがある。掘込み港湾である金沢港は、形状が細長く、岸壁など反射率の高い施設で水域が囲まれているため、後者の現象による副振動が生じやすい。副振動は港の形状に固有な振動周期になった場合、大きな共振を起こすことがある。前述したように、沈降速度の遅い粘土・シルト

は副振動も加わって港奥部へ運ばれるため、本検討では境界条件として副振動も考慮した。

副振動条件は、実測値から 40 分程度の周期で、高波浪が來襲する冬季には 18cm の振幅が確認されている。そこで、境界条件として振幅を与え、検潮所位置の水位変動が周期 40 分、振幅 18cm 程度になるよう設定した。

e) 底質の平面分布データ

面的に異なる底質は、実測の含泥率と水深、底面せん断力の相関式より推定した。相関式については、「令和 3 年度 金沢港埋没対策検討業務」において推定・補正 (水深 12m 以深の含泥率や護岸前面の含泥率を実態に整合させ低く補正) されたものを適用した。図-5 は、粘土・シルト分の含泥率と水深、底面せん断力の相関式より推定した含泥率の平面分布図である。

表-1 高波浪の波浪条件

	代表波				波エネルギー - (kw/m)	波エネルギー量 (kwh/m)
	H _{1/3} (m)	T _{1/3} (s)	波向 (°)	S _{max}		4hr
Phase1	2.92	7.5	312	10	32.14	129
Phase2	3.55	7.9	294	10	49.46	198
Phase3	5.06	9.3	298	10	119.06	476
Phase4	7.02	11.4	317	10	280.65	1,123
Phase5	5.47	10.8	327	25	162.02	648
Phase6	4.78	10.2	326	25	115.96	464
Phase7	4.14	9.7	333	25	82.96	332
Phase8	3.63	9.2	329	25	60.48	242
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作用回数 (=⑤ ÷ 24時間)	21

※NOWPHAS 金沢の波浪データを使用

表-2 低波浪の波浪条件

	代表波				波エネルギー - (kw/m)	波エネルギー量 (kwh/m)
	H _{1/3} (m)	T _{1/3} (s)	波向 (°)	S _{max}		4hr
---	1.00	6.0	337.5	10	3.00	12
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作用回数 (=⑤ ÷ 24時間)	260



図-5 粘土・シルト分の含有率の平面分布図

(3) 埋没予測の計算結果

作成した計算入力データを基に、波浪変形計算、海浜流計算、地形変化の計算を実施した。前述の通り、波浪条件は1年分の波の総エネルギーに相当する条件を与えているため、ここで算出される地形変化量は1年分の変化である。

高波浪最盛期の波高分布、高波浪最盛期の海浜流分布、波浪・流れの外力条件により計算した地形変化分布の結果を図-6～8に示す。それぞれの分布図から下記に示す特徴が見られた。

a) 波高分布

- ・西防波堤延伸なしのケース A、C では港内への波の侵入が見られる。
- ・西防波堤延伸ありのケース B、D では、港口部付近の波高分布に差異がある。ケース D では新設防砂堤からの反射波が見られる。

b) 海浜流分布

- ・新設防砂堤がないケース A、B は、港口部の航路を横断する冲向きの流れが生じる。
- ・西防波堤の延伸（ケース B）及び新設防砂堤（ケース C、D）により、流れを沖方向へ逃がす効果がある。新設防砂堤（ケース C、D）では、航路の岸側から航路を迂回するような流向の流れとなり、沿岸漂砂による埋没を抑制できる効果があると想定される。

c) 地形変化分布

- ・西防波堤延伸（ケース B）により、現況（ケース A）より、港内全体の埋没量が少なくなる。
- ・新設防砂堤（ケース C、D）による冲向きの流れにより港口部への堆積は減少する。
- ・ただし、西防波堤延伸なしのケース C では、港口部から進入する波浪により港内に土砂が押し込まれ、港内全体で堆積傾向となる。

4. 整備順序の検討

(1) 年間埋没量の算定結果

地形変化分布の計算結果を用いて、図-9に示す領域①～④で港内の年間埋没量を算定した。次頁の表-3に、土量の算定結果を示す。地形変化分布には、ケース B では港口部（領域④付近）の航路への堆積、ケース C では港奥部（領域①および領域②③の奥側）への堆積が顕著に表れており、これらの堆積量の違いが港内全体の埋没量に影響する。

- ・合計の埋没量は、多い順に、ケース A > ケース C > ケース B > ケース D となり、西防波堤を先行して延伸した方（ケース B）が埋没量が少なくなる。
- ・ケース A（現況港形）と比較した埋没量は、西防波堤を延伸することで43%減、新設防砂堤を整備することで25%減となる。両方の施設を整備すると埋没量は51%減する結果となった。

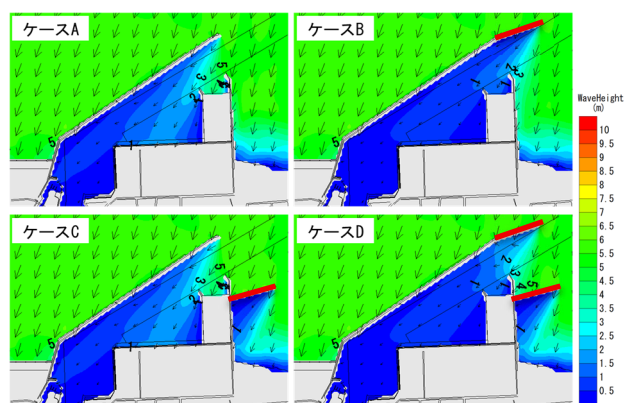


図-6 各整備段階における波高分布（高波浪時）

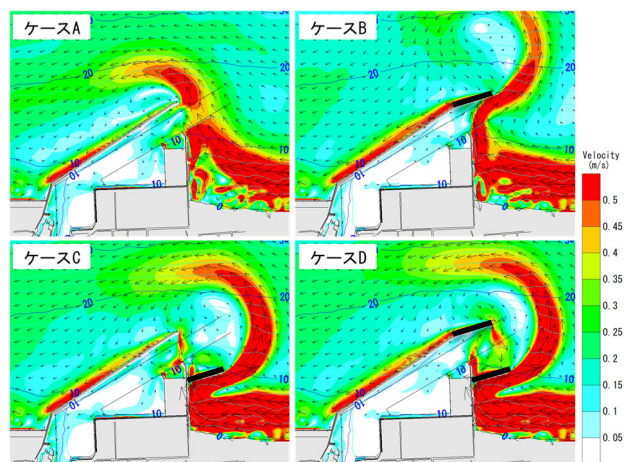


図-7 各整備段階における海浜流分布（高波浪時）

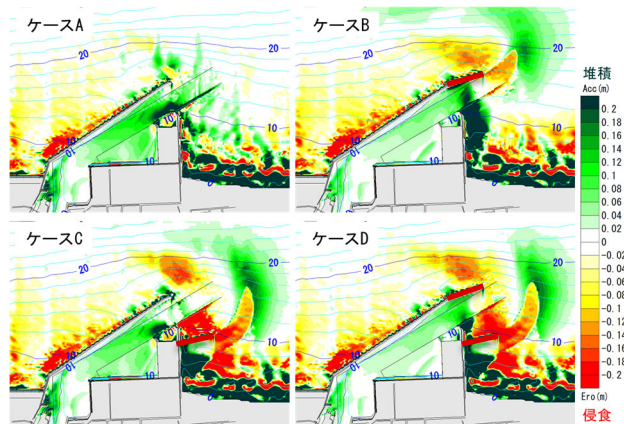


図-8 各整備段階における地形変化分布

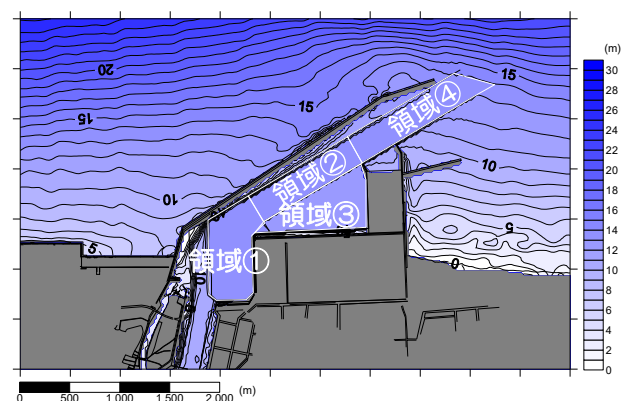


図-9 埋没量の算定領域

ケースによって、領域による埋没傾向の差異を把握するため、図-10 および表-4 に各領域の埋没量を底質別に整理した。

- ・ケース B は新設防砂堤がないため、港口部の領域④に堆積する量はケース C に比べて多くなるものの、西防波堤延伸により遮蔽域が広がり波の侵入が抑えられることで、港内（領域①～③）の堆積量は総じて少ない。
- ・ケース A とケース C や、ケース B とケース D を比べると、ケース C・D の方が領域④（港口部）でシルトが増加している。これらの港形の違いは新設防砂堤の有無であり、反射波や新設防砂堤航路側での流れ場の変化によるものと考えられる。

(2) 整備順序の検討

埋没予測の算定結果を比較し、効率的に事業を実施できる整備順序を検討した。

- ・先行して西防波堤を整備すると港内静穏度が向上するとともに、港内埋没量が減少する。新大浜岸壁も静穏度が確保されるため、効果的な整備手順となる。
- ・新設防砂堤を先行して整備すると、海岸側からの沿岸漂砂の港内流入を抑制する効果があるが、西防波堤を先行して整備するよりも埋没量は多くなる。
- ・ただし、新設防砂堤周辺は比較的水深が浅く、陸上からのアクセス性の観点からも施工性の面で優位であるため、西防波堤に比べて早期の整備が可能となる。整備効果が早期に発現できる可能性があることから、整備進捗の予定もあわせて考慮する必要がある。

表-3 各ケースの港内埋没量（領域①～④の合計）

港形ケース	合計埋没量 (m³)	埋没量減少率 (%) (ケース A 比)
ケース A (現況港形)	9.9 万 m³	—
ケース B (西防波堤先行)	5.6 万 m³	43%
ケース C (新設防砂堤先行)	7.4 万 m³	25%
ケース D (将来港形)	4.8 万 m³	51%

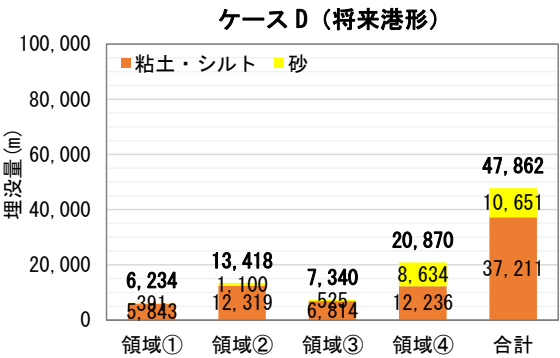
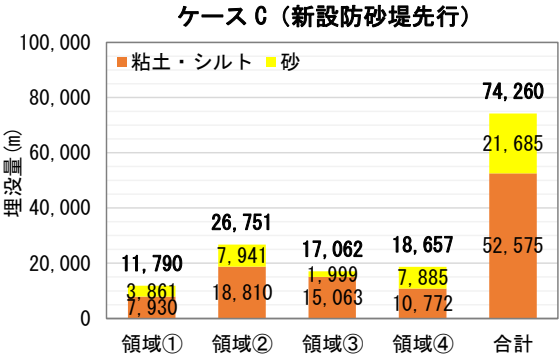
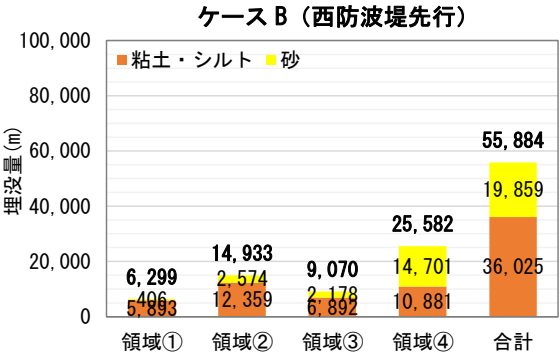
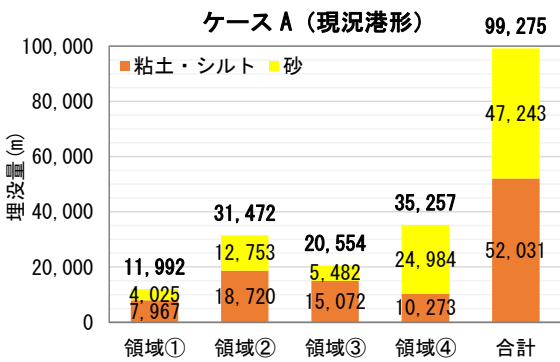


図-10 各ケースの港内埋没量（各領域、底質別）

表-4 各ケースの港内埋没量（各領域、底質別）

埋没量(m³)	領域①		領域②		領域③		領域④		計	
	砂	粘土・シルト	砂	粘土・シルト	砂	粘土・シルト	砂	粘土・シルト	砂	粘土・シルト
ケース A	4,025	7,967	12,753	18,720	5,482	15,072	24,984	10,273	47,243	52,031
ケース B	406	5,893	2,574	12,359	2,178	6,892	14,701	10,881	19,859	36,025
ケース C	3,861	7,930	7,941	18,810	1,999	15,063	7,885	10,772	21,685	52,575
ケース D	391	5,843	1,100	12,319	525	6,814	8,634	12,236	10,651	37,211

5. まとめ

本検討における結論を以下に示す。

- ① 現況港形と比較した埋没量は、西防波堤を延伸することで 43%減、新設防砂堤を整備することで 25%減、両方の施設を整備すると 51%減する結果となった。
- ② 前述した仮定の検証については、西防波堤を延伸することで、防波堤背後の静穏域が拡大したが、航路（領域②）の埋没量は半減程度に縮減できる結果となった。一方で、新設防砂堤を先行して整備する場合は、港内の砂の埋没量が減少したが、粘土・シルトの埋没量は現況港形と比較して 1%減程度であった。
- ③ 港内埋没量の総量を抑制する観点からは、西防波堤を先行して延伸した方が優位であり、効率的な整備手順となる。
- ④ 施工性の観点からは新設防砂堤の整備が優位であり、現況港形よりも埋没量が抑制されるため、早期に効果発現が期待される。ただし、新設防砂堤からの反射波が生じるため、港内静穏度も考慮する必要がある。
- ⑤ ケース B と C を比較した場合、港口部である領域④の埋没量に約 7,000m³ の差が出る。領域④

は、港全体の航路に影響することから、西防波堤の整備を優先させることが、ランニングコストを含めた総費用の抑制につながると考える。

- ⑥ 本検討では、1 年分の埋没量を算出した。しかし、港内に流入する土砂を完全に遮断しない限り埋没は恒久的に継続するため、年数の経過に伴い周辺地形が変化し、それによる波浪・流況特性の変化によって埋没量が変化する可能性があることに留意が必要である。

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「金沢港港湾機能向上検討会」の委員各位に謝意を表する。

参考文献

- 1)宮脇虎太郎，長田光正，氷見和也：金沢港港湾計画改訂と提携した土砂処分場の配置検討，2025
- 2)永井紀彦・渡辺弘・川口浩二：長期波浪観測結果に基づく我国沿岸の波パワー出現特性の検討，港湾技研資料 No.895，1998，pp.4～5.
- 3)国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説，公益社団法人日本港湾協会，2018