

金沢港新港湾計画における 防波堤等整備手順の検討

INVESTIGATION FOR CONSTRUCTION PROCEDURE
OF BREAKWATER ON NEW KANAZAWA PORT PLAN

波間純男¹・土肥俊満²・松本祐二³・竹内悟⁴・
長沼淳也⁵・坂井美文⁶

Sumio NAMIMA, Toshimitsu DOI, Yuji MATSUMOTO, Satoru TAKEUCHI,
Junya NAGANUMA, Mifumi SAKAI

- 1 正会員 国土交通省北陸地方整備局金沢港湾・空港整備事務所 所長 (〒920-0331 石川県金沢市大野町4-2-1)
- 2 国土交通省北陸地方整備局金沢港湾・空港整備事務所 課長 (〒920-0331 石川県金沢市大野町4-2-1)
- 3 国土交通省北陸地方整備局金沢港湾・空港整備事務所 前課長 (〒920-0331 石川県金沢市大野町4-2-1)
- 4 国土交通省北陸地方整備局金沢港湾・空港整備事務所 係長 (〒920-0331 石川県金沢市大野町4-2-1)
- 5 国土交通省北陸地方整備局金沢港湾・空港整備事務所 (〒920-0331 石川県金沢市大野町4-2-1)
- 6 国土交通省北陸地方整備局金沢港湾・空港整備事務所 (〒920-0331 石川県金沢市大野町4-2-1)

In this study, the economical and efficient construction procedure for outlying facilities is investigated when the bulkhead wharf is constructed in deepwater at Kanazawa Port. Therefore, the harbor tranquility at the front of bulkhead wharf is analyzed on each constructing step for the breakwater and the sand groin. Also, the appearing effects of each facility's construction are compared. As a result, it can be confirmed that the effect of the sand groin on raising the harbor tranquility is quicker appearance than that of the breakwater.

Key Words : simulation of harbor tranquility, port and harbor planning, breakwater, sand groin, bulkhead wharf in deepwater

1. まえがき

港湾計画は、港湾管理者である県が作成し、国土交通大臣がその提出を受け、交通政策審議会の意見を聴き、承認するものである(港湾法第三条の三)。地方整備局においても、港湾管理者から内容について相談を受け、技術的助言を行うなど、相互間で協議を行っている。今回の金沢港における港湾計画改訂においては、水深-13mの大型岸壁(大浜地区大水深岸壁)が計画され、さらにこの岸壁に必要な外郭施設・航路の整備が盛り込まれ、これらの施設については、国自ら工事を行う直轄事業対象施設となりうると考えられた。港湾荷役施設、係留施設など岸壁を設計・施工するうえで、その施設の稼働率を知るために施設前面及び航路となる水域の静穏度を把握することは必要不可欠である。また、公共事業予算が厳しい状況にある中で、効果的、効率的な投資が重要な

課題になっている。これらのことから、港湾計画改訂内容で金沢港内が所定の静穏度を確保することを確認するとともに、事業の有効投資も踏まえ、計画段階から、事業効果が最大となる事業実施の手順について詳細な検討を行った。

以上の背景を踏まえ本論文では、第4章において、計画段階から行った具体的な検討の例として、防波堤および防砂堤の整備手順について説明する。また、第5章において、第4章に記すような作業を行うことの利点を整理する。

2. 金沢港新港湾計画の概要

金沢港港湾管理者である石川県は、平成14年11月に金沢港の港湾計画の改訂を行った。この改訂の主なポイントは「物流コストの削減に資する大型岸壁の計画と

既存埠頭の再編」および「まちづくりと連携したにぎわい空間の創出」である。これらの計画改訂に伴い、防波堤等の外郭施設の法線にも変更があった。図-1に金沢港新港湾計画図を、図-2、図-3および図-4に各外郭施設を示す。

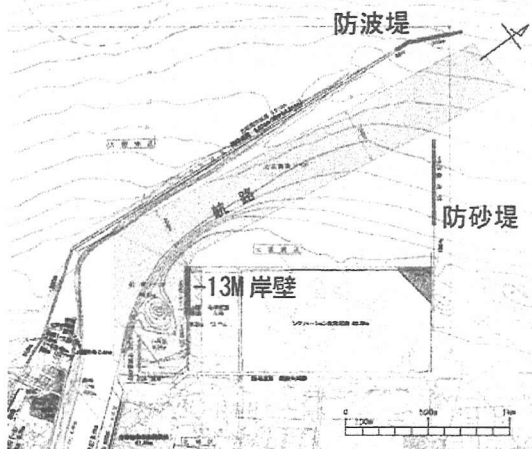


図-1 金沢港新港湾計画図

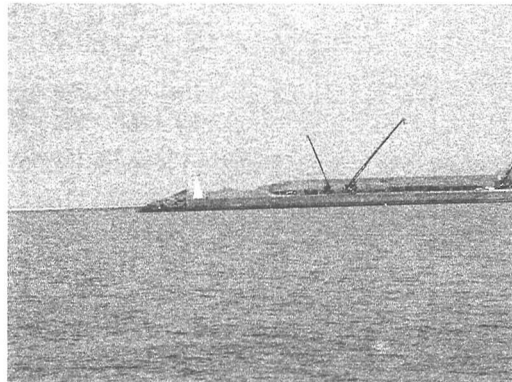


図-4 -13m 岸壁建設予定地

3. 金沢港の波浪と外郭施設の分析

(1) 波浪特性

金沢港における波浪特性を調べるため、多数のデータが蓄積されている福井港のデータを波浪変形計算により変換し、金沢地点の波向きとした。なお、波浪変形計算



図-2 防波堤

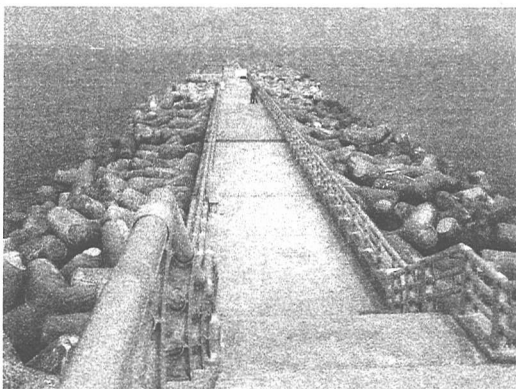


図-3 防砂堤

表-1 金沢港における冬季波向き別波高出現頻度予測

波高(m)	N	N N E S W にお いて は 出 現 率 は 全 て 0 で あ る。	WSW	W	WNW	NW	NNW	計	累計
0.00	1		1	1	3	6	6	18	18
~0.25	0		0	0	0	0.1	0.1	0.3	0.3
0.25	62		0	9	22	65	121	279	297
~0.5	1		0	0.1	0.3	1	1.9	4.4	4.7
0.50	131		2	16	33	92	261	535	832
~0.75	2.1		0	0.3	0.5	1.5	4.1	8.4	13.1
0.75	115		1	24	37	125	335	637	1469
~1.0	1.8		0	0.4	0.6	2	5.3	10.1	23.2
1.00	155		5	27	51	191	358	787	2256
~1.25	2.4		0.1	0.4	0.8	3	5.7	12.4	35.6
1.25	139		5	39	76	206	314	779	3035
~1.5	2.2		0.1	0.6	1.2	3.3	5	12.3	47.9
1.50	107		5	29	58	182	234	615	3650
~1.75	1.7		0.1	0.5	0.9	2.9	3.7	9.7	57.6
1.75	87		2	22	47	150	188	496	4146
~2.0	1.4		0	0.3	0.7	2.4	3	7.8	65.5
2.00	85		0	32	89	246	231	683	4829
~2.5	1.3		0	0.5	1.4	3.9	3.6	10.8	76.3
2.50	31		1	29	78	237	153	529	5358
~3.0	0.5	0	0.5	1.2	3.7	2.4	8.4	84.6	
3.00	11	0	16	71	179	79	356	5714	
~3.5	0.2	0	0.3	1.1	2.8	1.2	5.6	90.2	
3.50	6	0	21	72	109	40	248	5962	
~4.0	0.1	0	0.3	1.1	1.7	0.6	3.9	94.1	
4.00	2	0	15	54	75	21	167	6129	
~4.5	0	0	0.2	0.9	1.2	0.3	2.6	96.8	
4.50	0	0	5	38	35	7	85	6214	
~5.0	0	0	0.1	0.6	0.6	0.1	1.3	98.1	
5.00	0	0	4	19	29	10	62	6276	
~5.5	0	0	0.1	0.3	0.5	0.2	1	99.1	
5.50	0	0	5	15	10	5	35	6311	
~6.0	0	0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.6	99.7	
6.00	0	0	3	8	3	2	16	6327	
~6.5	0	0	0	0.1	0	0	0.3	99.9	
6.50	0	0	1	2	0	0	3	6330	
~7.0	0	0	0	0	0	0	0	100	
7.00	0	0	0	3	0	0	3	6333	
~	0	0	0	0	0	0	0	100	
計	932	0	22	298	776	1940	2365	6333	
	14.7	0.0	0.3	4.7	12.3	30.6	37.3	100	

(上段：波浪出現回数。下段：波浪出現率%)

とは、沿岸域又は浅海域における沖波が陸域に進行する際に受ける屈折、浅水変形、回折、反射、砕波等の変形を数値的に計算し、当着地点における波浪の最終形状を求めるものである。その結果得られた金沢港における波向き別波高出現頻度を、表-1に示す。この表によれば、N, NNW, NW, WNW, W方向の波が出現する頻度が多いことが認められる。したがって、静穏度向上のためには、N, NNW, NW, WNW, W方向の波に対処することが有効であると考えた。

(2) 外郭施設

防波堤法線はほぼ北を向いており、計画長 2,750mの内 436mが未施工であり、西方向からの波に対して有効である。一方、防砂堤法線はほぼ北西を向いていて、計画長 800mの内 614mが未施工であり、北東方向からの波に対して有効である。また図-1中に示した大浜地区-13m岸壁前面における冬季の現況静穏度は79.8%(表-4)となっている。

(3) 港内静穏度について

港湾計画における港内静穏度については「港湾の施設の技術上の基準」で、「原則として、係留施設の前面で、年間を通じて97.5%以上の停泊又は係留日数を可能とする静穏度を確保する」と規定されている。具体的には、係留施設前面泊地における荷役限界波高は、大浜地区大水深岸壁に係留されると予想される中・大型船の場合、0.5mとされている。これは、「岸壁前面における波高が0.5m以下である日数を、年間97.5%確保する」ということになる。ただし本論文では、日本海側特有の冬季(12月~2月)における時化を鑑み、波高0.5m以下であ

る日数を、冬季において95.0%以上確保することを目標とした。

また、港内静穏度算出においては、まず数値シミュレーションにより各波向き別に波高比(港口部より入射した波高に対する、目標地点波高の比)を求めた。これを基に、岸壁前面において波高0.5m以下に留めうる港口部入射限界波高を求めた。最後に、その範囲内における冬季波浪出現率を各波向き別に加算することにより、港内静穏度を算出した。表-2に外郭施設完成時における静穏度算出結果を示す。なお、各波向き別波浪出現率の加算については、表-2において、着色された範囲の数値を加算することによって求めた。

4. 防波堤および防砂堤整備手順の検討

(1) 検討方法

整備手順の検討に先立ち、港湾計画改訂内容における外郭施設最終形状について静穏度シミュレーションを行った。本論文における最終形状の静穏度は95.4%(表-4)となっている。この結果は、港湾管理者算出結果に対し、0.1%の誤差にとどまり、ほぼ同様の結果が得られた。

防波堤整備手順の検討にあたっては、防波堤および防砂堤を100mずつ延伸したと仮定し、各段階の静穏度シミュレーションを行った。検討ケースを表-3に示す。静穏度シミュレーションにあたっては、独立行政法人港湾空港技術研究所プログラム港内静穏度解析(P045)を使用した。このプログラムは港内という閉鎖空間に波浪が進入した場合に起こる、反射・回折といった現象による港内の波高分布(港内静穏度)を計算するもの

表-2 外郭施設完成時の静穏度算出表

完成形	静穏度																	95.4	出現率%				
	(m)	入射限界波高	0	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	2.5	3.0	3.5	4.00	4.50	5.00			5.50	6.00	6.50	7.00
N	2.11	0.0	1.0	2.1	1.8	2.4	2.2	1.7	1.4	1.3	0.5	0.2	0.1										12.6
NNW	3.19	0.1	1.9	4.1	5.3	5.7	5.0	3.7	3.0	3.6	2.4	1.2	0.6	0.3	0.1	0.2	0.1						34.8
NW	6.25	0.1	1.0	1.5	2.0	3.0	3.3	2.9	2.5	3.9	3.7	2.8	1.7	1.3	0.6	0.5	0.2						31.0
WNW	11.54	0.0	0.3	0.5	0.6	0.8	1.2	0.9	0.7	1.4	1.2	1.1	1.1	0.9	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1				12.0
W	18.75	0.0	0.1	0.3	0.4	0.4	0.6	0.5	0.3	0.5	0.5	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1						4.7
その他		0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1															0.3
計		0.2	4.3	8.5	10.1	12.4	12.4	9.8	7.9	9.4	7.8	4.2	3.1	2.4	1.3	0.9	0.5	0.1	0.1				95.4

表-3 検討ケース一覧表

防波堤延長 防砂堤延長	2,314m (A)	2,400m (B)	2,500m (C)	2,600m (D)	2,700m (E)	2,750m (F)
186m(Case1)	Case1-A	Case1-B	Case1-C	Case1-D	Case1-E	Case1-F
200m(Case2)	Case2-A	Case2-B	Case2-C	Case2-D	Case2-E	Case2-F
300m(Case3)	Case3-A	Case3-B	Case3-C	Case3-D	Case3-E	Case3-F
400m(Case4)	Case4-A	Case4-B	Case4-C	Case4-D	Case4-E	Case4-F
500m(Case5)	Case5-A	Case5-B	Case5-C	Case5-D	Case5-E	Case5-F
600m(Case6)	Case6-A	Case6-B	Case6-C	Case6-D	Case6-E	Case6-F
700m(Case7)	Case7-A	Case7-B	Case7-C	Case7-D	Case7-E	Case7-F
800m(Case8)	Case8-A	Case8-B	Case8-C	Case8-D	Case8-E	Case8-F

→20度曲げる

である。港口部からの侵入波の計算は、高山式¹⁾によって行い、岸壁や突堤を半無限堤とみなし回折計算を行っている。高山式による港内波高比は、岸壁等による反射波等の各有義波高におけるエネルギー合成によって求められる。

a) 岸壁等による反射波の波高比

港口部から侵入してきた回折波は、岸壁によって反射される。また、岸壁による反射波は、再度他の岸壁によって再反射される場合もある。この入射波に対する反射波の波高比 K_d は、式(1)で求まる。

$$K_d = \sqrt{\frac{\sum_n S_d(f_n) \delta f_n}{\sum_{n,m} S(f_n, \theta_m) \delta f_n \delta \theta_m}} \quad (1)$$

ここで、

- $S_d(f_n)$: 反射波の周波数スペクトル
- $S(f_n, \theta_m)$: 岸壁に入射する波の方向スペクトル
- δf_n : n番目の周波数の分割区間幅
- $\delta \theta_m$: m番目の波向の分割区間幅

b) 合成波の計算法

有義波高を H_i とすると、港内波高比 K_d は、各義波高のエネルギー合成によって式(2)で求められる。

$$K_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N H_i^2}{H_{1/3}}} \quad (2)$$

(2) 検討概要

港内静穏度シミュレーションにおける入力諸条件の概要は、以下に示すとおりである。なお、波向きについては表-1に示す金沢港冬季の波高出現頻度から出現率の高いもの、また港湾形状が必要とする対策を考慮し、以下の5波向きを選出した。

- 標準反射率: 0.9
- 港内平均水深: 10.0~13.0m
- 反射・回折の最高次数: 2
- 波高: 3.68m
- 周期: 9.0s
- 波向き: N, NNW, NW, WNW, W

(3) 検討結果

はじめに、港内静穏度シミュレーションにおいて算出された波高比分布状況(波向き: N方向)を、図-5(防波堤のみを整備した場合: Case1-F)、図-6(防砂堤のみを整備した場合: Case8-A)に示す。

これらの大水深岸壁前面における波高比コンターによれば、防波堤のみを整備した場合(Case1-8)の波高比0.40に対し、防砂堤のみを整備した場合(Case8-A)の波高比は0.20と減少している。よって、防砂堤がN方向の波浪に対して有効に反応することがわかる。

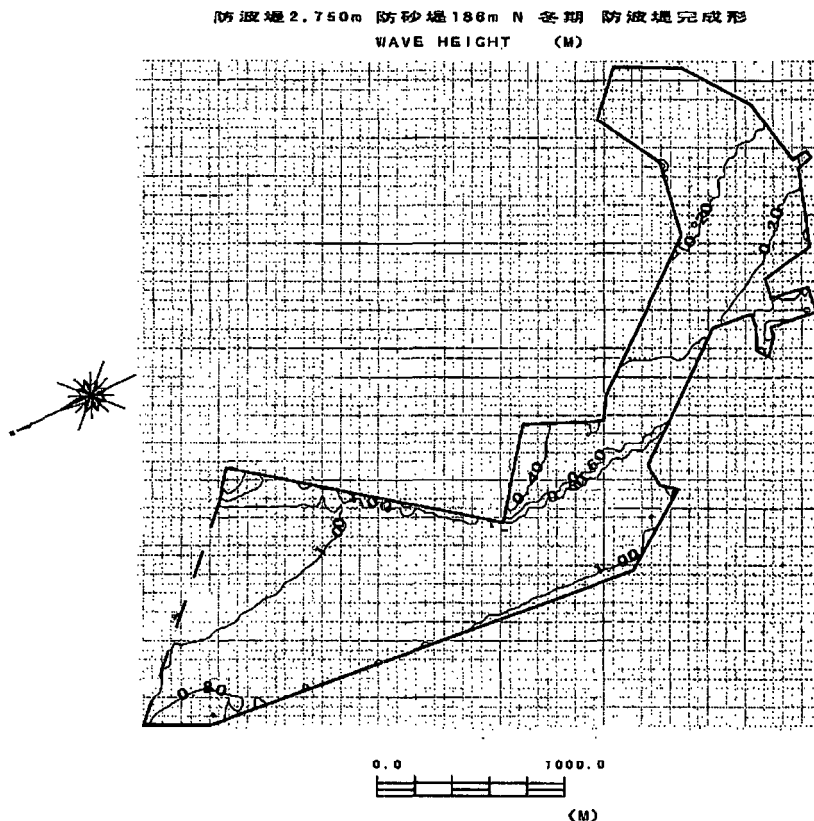


図-5 Case1-FにおけるN方向の波高比分布(防波堤のみ完成形)

防波堤2,314m 防砂堤800m N 冬期 防砂堤のみ完成
WAVE HEIGHT (M)

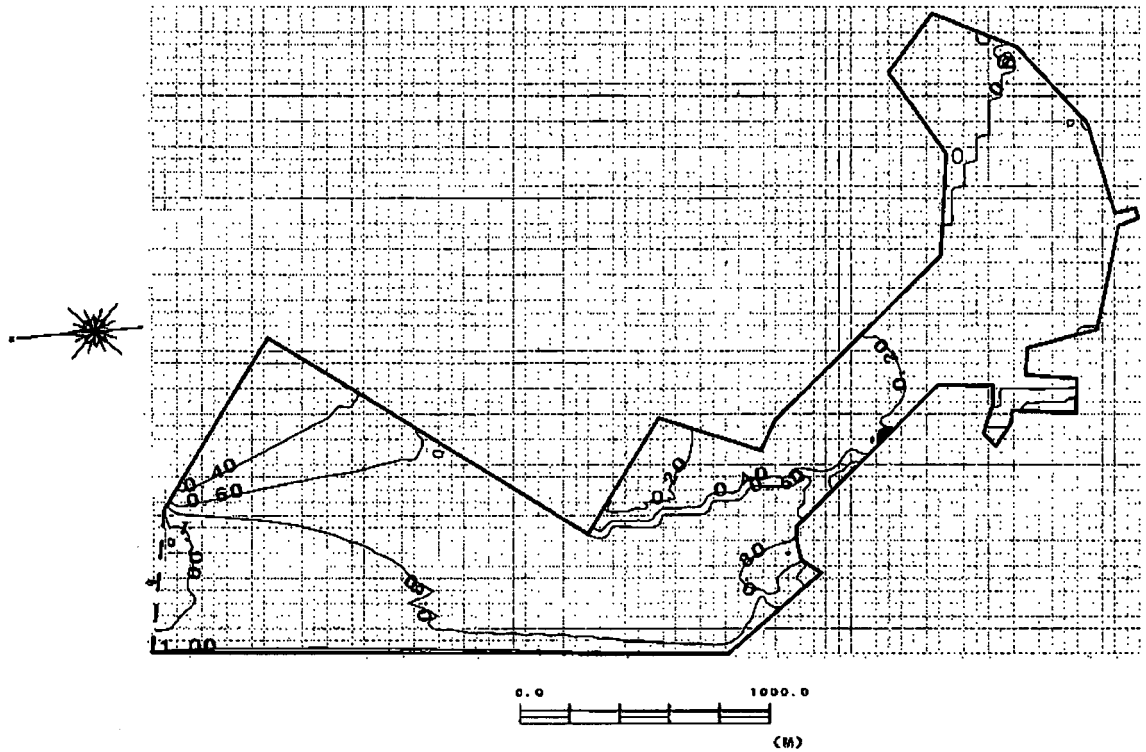


図-6 Case8-AにおけるN方向の波高比分布（防砂堤のみ完成形）

以上のような検討を行い、各ケースにおける静穏度算出結果についてマトリクスとしてまとめたものを、表-4に示す。この表は、横に防波堤の延長方向、縦に防砂堤の延長方向を示したものである。

第一に、表を防波堤延長方向に従って読み、静穏度の変化を確認する。これによれば、静穏度の増加は全体的

に少なく、防砂堤延長を200mまで（Case1～Case2）延伸した場合においては、全く変化は見られない。しかしながら、防砂堤を更に延伸するにつれて、静穏度は徐々に増加する傾向が見られ、防砂堤完成時（Case8）においては、最高で3.1%の増加がみられる。

表-4 各検討ケースに対する静穏度算出結果

防波堤延長(m)		2,314	2,400	2,500	2,600	2,700	2,750
防砂堤延長(m)		A 防波堤 現況	B 防波堤 現況+86m	C 防波堤 現況+186m	D 防波堤 現況+286m	E 防波堤現 況+386m	F 防波堤完 成
	186	Case1 防砂堤 現況	79.8%	79.8%	79.8%	79.8%	79.8%
200	Case2 防砂堤 現況+14m	79.8%	79.8%	79.8%	79.8%	79.8%	79.8%
300	Case3 防砂堤 現況+114m	79.8%	79.8%	79.8%	79.8%	81.5%	81.5%
400	Case4 防砂堤 現況+214m	83.7%	83.7%	83.7%	83.7%	85.0%	85.0%
500	Case5 防砂堤 現況+314m	89.0%	90.3%	90.3%	90.3%	90.9%	90.9%
600	Case6 防砂堤 現況+414m	90.3%	90.3%	90.3%	90.9%	90.9%	91.4%
700	Case7 防砂堤 現況+514m	90.3%	90.9%	90.9%	90.9%	91.4%	91.4%
800	Case8 防砂堤 完成	92.3%	92.8%	92.8%	94.0%	94.0%	95.4%

第二に、表を防砂堤延長方向に従って読み、静穏度の変化を確認する。これによれば、静穏度の増加の度合いは非常に大きく、防波堤が現況(A)であっても、防砂堤完成時には12.5%もの増加が見られる。

これらの結果から、港内静穏度に対する向上効果は、防砂堤延伸が防波堤延伸より高いこと、また冬季における静穏度確保に対し両施設整備が必要不可欠であることが確認できた。また、同時に、防波堤の整備効果発現には、防砂堤の延伸整備が前提条件となることがわかった。

5. 計画段階から詳細な作業を行う利点の整理

今回、第4章に例を示したとおり、従来の定性的な検討内容に加えて、事業効果の早期発現に着目した外郭施設の整備手順を、計画段階から数値として定量的に評価するという、より詳細で具体的な作業を行った。これにより、事業の実現性を様々な方向から高めることができるといった観点から、いくつかの利点が考えられる。そこで本章では、第4章に記した検討を含み、一連の作業を通じて、計画段階から作業を行う利点を整理する。

- ①港湾計画改訂内容の金沢港内の静穏度に関して、港湾管理者と同様の結果が得られた。すなわち、直轄担当者が、外郭施設である防波堤及び防砂堤の計画延長における必要性について確認することができた。
- ②公共事業予算の有効な投資手法を確認できた。すなわち、防波堤に対し防砂堤を優先的に整備することによる効果の早期発現といった整備手順を見いだすことができた。
- ③港湾管理者との事業連携を強化できた。すなわち、本検討により得られた定量的な数値結果に基づき、それぞれの役割分担を認識しながら、計画段階から以後の

具体的な工程計画を検討することができた。その結果、事業を効率よく進めることが期待できる。

- ④具体的な効果の説明が可能になることによって、計画実現性をより向上できた。すなわち、公共事業は、市民に具体的な事業効果が理解された後に、実施工されるものであり、定量的検討に基づく具体的な効果を早い段階で把握したため、これを活用した説明責任を効果的に果たすことが期待できる。

6. あとがき

金沢港の外郭施設整備に関し、事業効果が最大となる事業実施の手順を模索した。その結果、静穏度シミュレーションを通じ、各整備段階に応じた各施設の整備効果を、数値として定量的に把握することができた。またこれにより、事業効果の早期発現に着目した事業の有効投資における方向性として、防波堤に対し防砂堤を優先的に整備するといった手順を見いだすことができた。

最後に本論文では、事業実施時期ではなく、港湾計画の策定段階から詳細な作業を行い、整備効果の効率的な発現手法を検討することの利点が明らかとなった。したがって本論文が、今後の港湾計画策定と合理的な整備手順策定において、一助となることを期待する。

謝辞

本論文の作成に当たり、金沢工業大学講師宮里心一氏にご尽力を賜った。ここに心から謝意を表する。

参考文献

- 1)高山知司, 神山豊: 不規則波の回折計算, 第24回海岸工学講演会論文集, pp.112~116, 1977