

室蘭港北外防波堤建設工事について

— 大根礁部の設計および施工 —

正員 松山方彦*

〇梅沢一之**

横田実***

I 概 要

室蘭港北外防波堤は昭和39年に、南外防波堤は昭和44年に着工し鋭意建設中である。北外防波堤は図-1に示すように、ポロシレト岬より南へ全長 2,120m であり、昭和46年度に 1,915m まで延伸し、昭和47年度に竣功する。

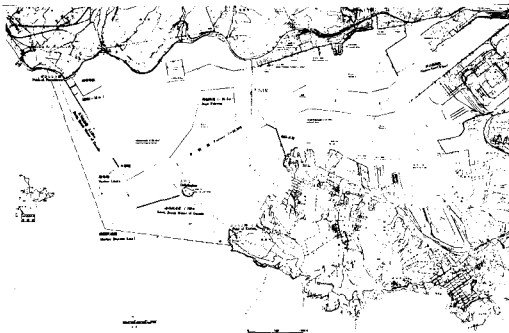


図-1 室蘭港一般平面図

また南外防波堤は大黒島より西へ全長 850 m であり、昭和46年度に本体工が完了し、昭和47年度に竣功する。

北外防波堤は設置水深の大半が -16.0m ~ -18.0m を占めるのに比し、沖波諸元は、 $H=3.4\text{m}$, $T_0=7.5\text{sec}$, $L_0=87.8\text{m}$, 堤体前面波は、 $H=3.2\text{m}$, $T=7.5\text{sec}$, $L=81.0\text{m}$ と地形的に恵まれ比較的小さいため、重複波により設計された混成堤である。

この外防波堤建設工事は、本道における防波堤工事の中では年間施工量および設置水深において、最も大規模なものであるが、今日の港湾技術ではこの程度の防波堤工事は技術的な問題は殆ど残されていない。施工面においても、開発局では着工当時としては国内でも屈指の 500t 吊起重機船「大雪号」の建造や作業船の整備を計

り、民間施工業者も大型作業船の建造に努め、着工以来順調な進捗を辿っている。しかし昭和46年度の工事に先立ち、机上では解決困難な問題に直面したので、ここにその概要を紹介し技術的検討経過を述べる。

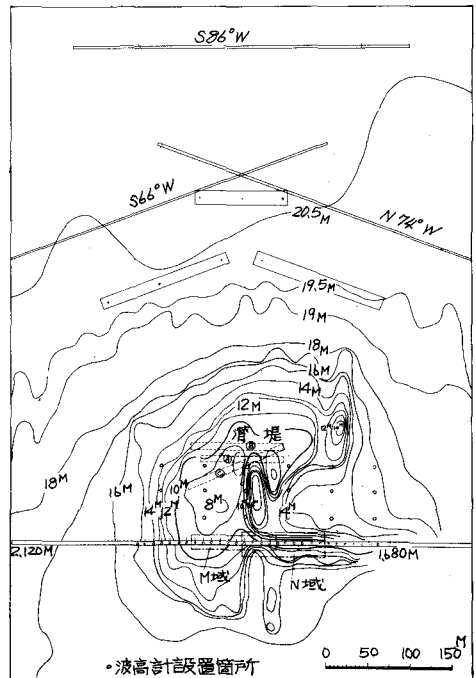


図-2 室蘭港模型実験概要図

図1, 2に示すように、北外防波堤基点より 1,800m の地点の沖測に、直径 300m, 水深 -20m ~ -7.7m, 海底勾配は 1/150 ~ 1/10 と急変した「大根礁」が存在する。これは円形を呈する浅瀬であり、洪積世基盤が海底

* 北海道開発局室蘭開発建設部室蘭港建設事務所, 所長

** 同, 工務班長

*** 同, 第1工務係長

面に急上昇して露出したものであって、大黒島を構成する集塊岩と同質である。よって、防波堤建設上の問題点として、海中にこのような浅瀬がある場合、進行してきた波は屈折、収束により波高が増大するが大根礁のような海底地形では図-3にその一例を示すように波向線が交叉して、現在用いられている波向線法、波峰線法などの手法により屈折図を作図して増大波高を算出することは困難である。

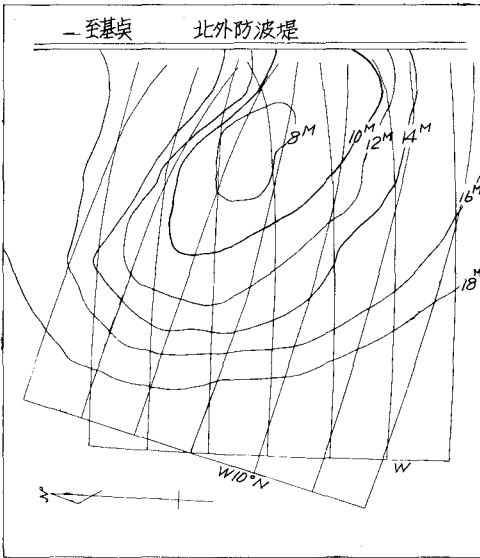


図-3 大根礁屈折図(波向線法による場合)
T = 7.5sec

したがって、大根礁部分の模型実験を行い、次の諸点に主眼をおいて検討を進めることとした。

- (1) 防波堤法線位置での最大波高
- (2) 防波堤法線位置での波高分布
- (3) 最大波高が過大になるような場合の波高低減策およびその効果

II 実験概要

1. 実験の方法

実験は土木試験所港湾研究室屋外に築設した16m×11m×0.75mの水槽内に大根礁を含む800m×500mの範囲を縮尺1/50で収めた(図-2)、模型地形はモルタル固定床で作製し、造波機は底部ピンザのフラット型である。波高の測定は高さ25cmの電気抵抗式波高計を48台設置し、スイッチボックス1台、増巾器3台を通じて12チャンネルの電磁オシログラフ2台で記録した。波高測定

位置は図2に示すように、防波堤法線上10mおきに30点と防波堤より沖側にL/2間隔で18点を選定して測定を行った。

2. 模型波の諸元

室蘭港は地形的にNW～S方向の波が対象となる。主な対岸距離は表-1の通りである。

表-1 室蘭港対岸距離

方 向	NW	WNW	W	WSW	SW	SSW	S
対岸距離	35km	47km	52km	45km	39km	32km	44km

表-2 実験波の諸元

周 期 (To)	波 向	波 高 (Ho)	起 水 深 度	Kv × Ks	波 高	模 型 波 高	模 型 周 期
(sec)		(M)	(M)		(M)	(CM)	(sec)
6.0	WNW	2.8	19.0	0.97	2.6	5.2	0.848
	W	2.7	21.0	0.98	2.6	5.2	
	WSW	2.7	20.0	0.99	2.8	5.6	
6.5	WNW	3.1		0.96	3.0	6.0	0.919
	W	3.1		0.97	3.0	6.0	
	WSW	3.1		0.97	3.0	6.0	
7.0	WNW	3.3		0.94	3.1	6.2	0.989
	W	3.3		0.95	3.1	6.2	
	WSW	3.3		0.96	3.2	6.4	
7.5	WNW	3.7		0.90	3.2	6.4	1.060
	W	3.7		0.93	3.4	6.8	
	WSW	3.6		0.93	3.4	6.8	
8.0	WSW	4.3		0.90	3.8	7.6	1.131
	W	4.2		0.90	3.8	7.6	
	WSW	4.2		0.91	3.9	7.8	
8.5	WNW	4.3		0.90	3.8	7.6	1.202
	W	4.2		0.90	3.8	7.6	
	WSW	4.2		0.91	3.9	7.8	

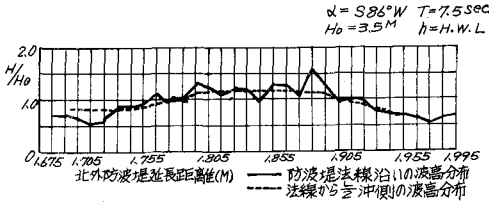
波の変形は水深、波高、波向等の関数であるから、波高変化については各々条件を変え検討する必要がある。よって周期は6.0sec から0.5sec 毎に8.5sec まで、波向は防波堤法線に直角方向(W)と、それより南北に20° 偏った場合の3方向、水位は、H・W・L(+1.5m)、M・W・L(+0.75m)、L・W・L(±0.0m)の3水位を採用した。実験波高は、S.M.B法により、各々の周期と対岸距離に対応する波高を算出し、表-2に示す諸元を採用した。

3. 実験結果

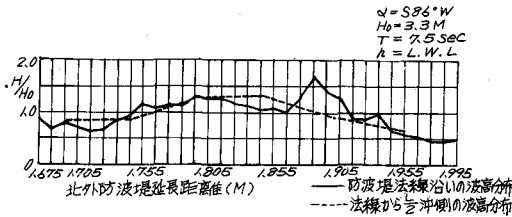
(1) 波 高

防波堤の設置前および設置後の2通りについて模型

実験を行ったが、防波堤設置後では堤体に砕波した場合の波高の測定が不可能なこと、模型水槽内が起波後数波にして定常波振動を起こすこと、実際に防波堤を設計する場合には進行波としての波高を用いることなどの理由により、防波堤を設置しない状態での実験結果により取りまとめることにした。その結論を要約すると次の通りである。



図一 4 波高分布図



図一 5 波高分布図

ア) 設計波高 ($H_o = 3.4\text{m}$, $T_o = 7.5\text{sec}$) に対する防波堤法線上の波高分布は図 4, 5 に示す通り、1,880 m ~ 1,890 m 付近で最大波高を記録し、 $H \cdot W \cdot L$ 時で、波高比 $H/H_o = 1.58$ 、 $L \cdot W \cdot L$ 時で $H/H_o = 1.7$ とする。

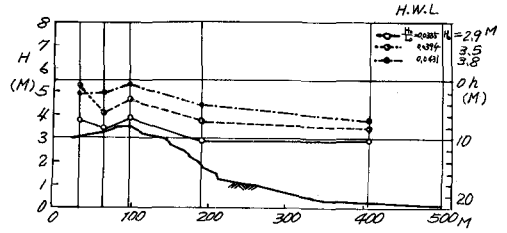
イ) 周期および波形勾配を種々変えた場合、周期が 6.0 ~ 7.0 sec の波はあまり高まらないが、周期が 7.0 sec を越えると周期が大きくなるに従い波高比も大きくなり 8.0 sec で $H/H_o = 1.6$ ($H \cdot W \cdot L$ および $M \cdot W \cdot L$ 時共) となる。周期が 8.0 sec よりさらに大きくなると、波は途中で砕波してまって H/H_o は小さくなる。すなわち $H \cdot W \cdot L$, $M \cdot W \cdot L$ 時ともに

$$(H/H_o)_{\max} = 1.6$$

である。

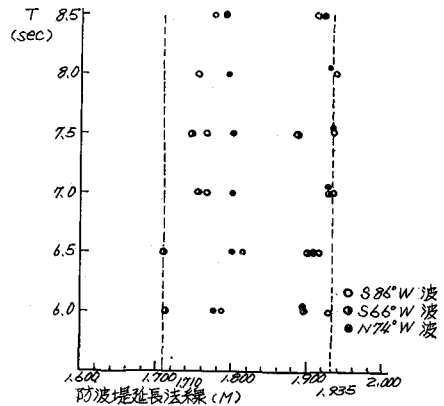
ウ) 沖合から防波堤に (深海部から浅海部に) 進行してくる波の波高の変化は図一 6 の通りであり、最浅部付近で最も高くなり、それ以後は同波高を維持するかあるいは砕波してむしろ小さくなる。

(2) 波高分布



図一 6

防波堤法線上での波高分布は波向が変わることにより分布帯も変動する。北外防波堤の既設部断面の設計波高は、沖波波高 $H_o = 3.4\text{m}$ 、前面波高 $H = 3.2\text{m}$ であるから、大根礁の影響により、防波堤法線上で $H = 3.2\text{m}$ 以上となる範囲は断面を拡大しなければならない。即ちその範囲を模型実験で求めると図一 7 のような結果となる。同図は横軸に防波堤法線を取り、縦軸に周期をとって各波向、周期に対する限界点を示したものである。これより北外防波堤は法線上、1,710 m から 1,935 m までの区間は拡大断面かもしくは波高低減策を講ずる必要がある。



図一 7 $H_i > 3.2\text{m}$ の範囲

(3) 波高低減策

大根礁を球面突起状をした海底地形と考えると、球面の中心を通過する波は直進し、両側面を通過する波は中心向きに屈折して直進する波と収束して波高が高まる。したがって、直進する波を途中で遮断すると効果的に波高を低減することが可能であるという発想から、大根礁中心の最浅部前方に洪堤を設置して、直進波を砕波させ防波堤位置での波高を低減させる実験を行った。

その結果は図-8、9に示す通りであり、潜堤の天端高を高くする程効果があり、また、この潜堤の効果は波向が変動しても殆んど変らない。

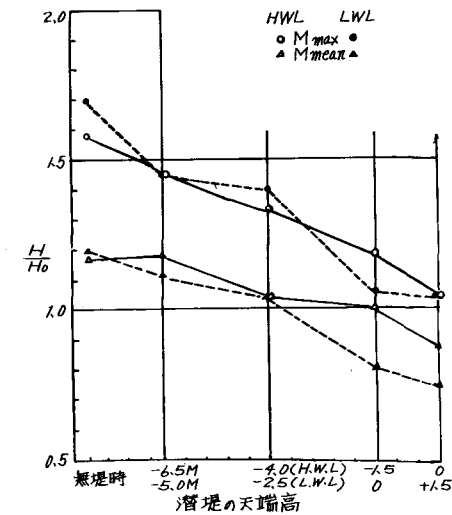


図-8 潜堤天端高と代表域Mの波高

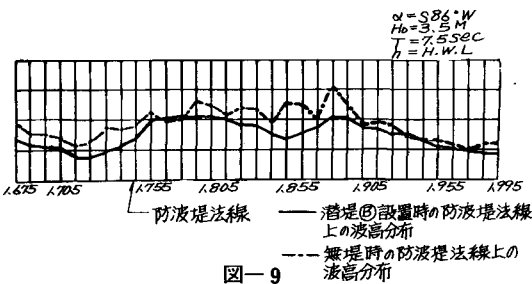


図-9

Ⅲ 防波堤断面の設計

1. 設計波高

室蘭港北外防波堤に最も強い影響を与える波は、WS W~W~WN W方向、即ち防波堤に直角方向の波であり、既設部断面は、設計沖波波高 $H_o = 3.4\text{ m}$ 、 $T_o = 7.5\text{ sec}$ 設計前面波高 $H = 3.2\text{ m}$ 、 $T = 7.5\text{ sec}$ で設計している。これに対して大根礁付近の断面の設計波高は、模型実験の $(H / H_o)_{\text{max}} = 1.6$ という結果から。

$H = 1.6 \times H_o = 1.6 \times 3.4 = 5.4\text{ m}$ と決定する。

2. 大根礁の影響範囲

大根礁の影響による波高の増大が防波堤法線上でどの範囲におよぶかを調べるために実験波向を防波堤直角方

向から両側に各々 20° 偏向した模型実験を行った。偏向を 20° とした理由は、偏向角が 20° 以上になると、地形的に対岸距離、風速が小さくなること、波圧力も、 $P \cdot \cos^2\theta$ (θ : 偏向角) で減少することなどにより、設計上から防波堤の外力として影響がなくなると判断したからである。この実験結果から、既設の防波堤設計波高 $H = 3.2\text{ m}$ を超過する範囲が $1,710\text{ m} \sim 1,935\text{ m}$ であるから、この範囲の防波堤断面は設計波高 $H = 5.4\text{ m}$ で設計することにした。

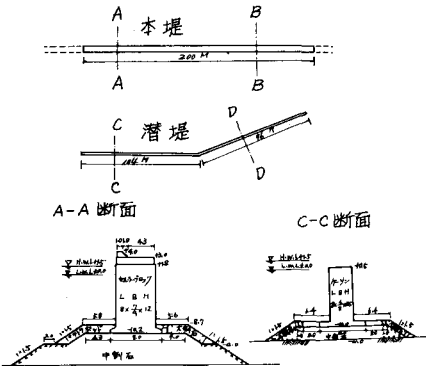


図-10 潜堤

3. 防波堤断面の検討

大根礁部の構造は次の4案について比較設計を行った。

- (1) 前面に潜堤を設置し本堤は既設部の構造と同一断面とする潜堤案。
- (2) 設計波高 $H = 5.4\text{ m}$ の碎波圧で設計した混成堤案。
- (3) 混成堤の前面を消波ブロックで被覆した消波ブロック式混成堤案。
- (4) 大根礁の影響部分の防波堤法線を大根礁の前面に変更する法線変更案。(図-10~13参照)

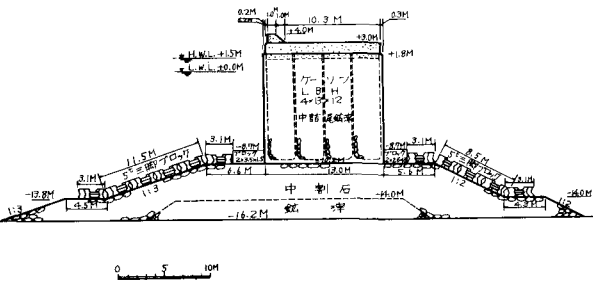


図-11 混成堤

表3は4案の比較結果である。この内工事費の最も少ない(1)、(4)案は設計施工、現地条件等に致命的な問題点があり、(3)案は工事費が過大でありいづれも採用するこ

とはできない。これに対し(2)案は工事費では(1), (4)案より劣るが, 設計, 施工, 現地条件等に特に問題はないので本案を採用することにした。

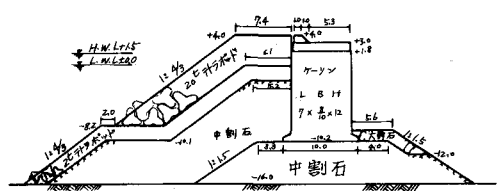


図-12 消波堤

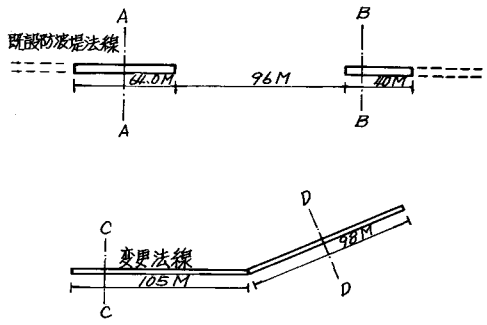


図-13 法線変更

表-3

構造形式	工事費	問題点		
		設計上	施工上	現地条件
1. 潜堤	小	○潜堤自体の安定計算, 特に波圧力の計算方法が未解決である。 ○本堤と潜堤との間で波の干渉現象が起こる可能性もある。	潜堤部のケーソン据付け, および上部のコンクリート施工が, 大潮の低潮時に施工しなければならないという時間的な制約がある。	小型船が座礁する危険がある。
2. 混成堤	中	特に問題はない	○ケーソンの幅員は13m, 高さは12m 必要であるがケーソンの重量をクレーン船の能力から500t 以下としなければならないので, 長さは4m となり, 施工中にやや不安定である。 ○ケーソンヤードの拡幅, 吊金具が必要となる。	特に問題はない
3. 消波堤	大	特に問題はない	施工時, 特に消波ブロック被覆前に波をうけて, 被災する確率が大い。	特に問題はない
4. 法線変更	小	前面堤は本堤からの反射波も受ける可能性があり, もし前後両面からの波圧を考慮すると大きな断面となる。	特に問題はない	波の遮へい効果がよくない, 特に斜めから入射する波に對して悪い。

IV 防波堤建設工事

本防波堤工事は昭和47年度に完了するが, 着工以来の年度別事業実施状況は表-4 に示す通りである。

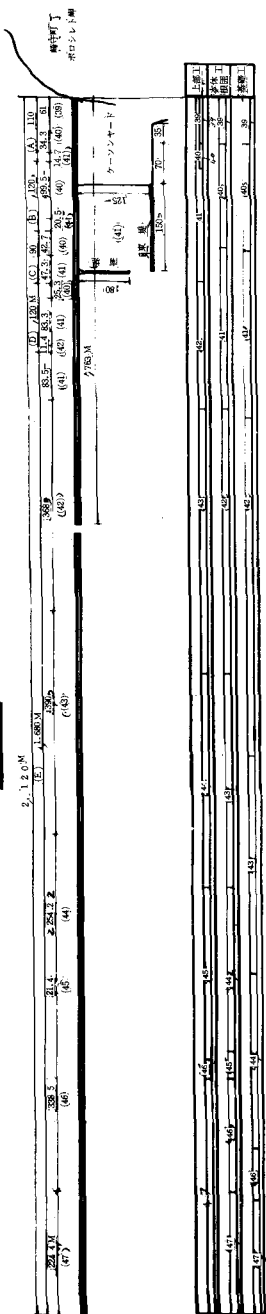
1. 基礎工

着工以来, 基礎マウンドの石材使用量は昭和46年度までに 509,500^mにおよぶが, 水深が-16~-18mと深いため, 工費の低減を計るためこの内 123,100^mは, 新日本

製鉄KK で副産する安価な鉾滓をマウンド底層部に代用している。現在までの使用実績は, 表-5 の通りである。なお, 昭和46年度は, 55,600^m (内, 鉾滓21,800^m) を使用し大根礁部を合わせ304 m (45年度施工部の拡幅198mを含む) を完成した。また, 当港では, 捨石投入に土運船式運搬船と台船を併用している。運搬船で投入すると工費の低減を計れるが, 捨石均し作業が困難となるため, 捨石厚の比較的小さい部分, および捨石厚が

平面図

0 50 100 150 200M



縦断面図

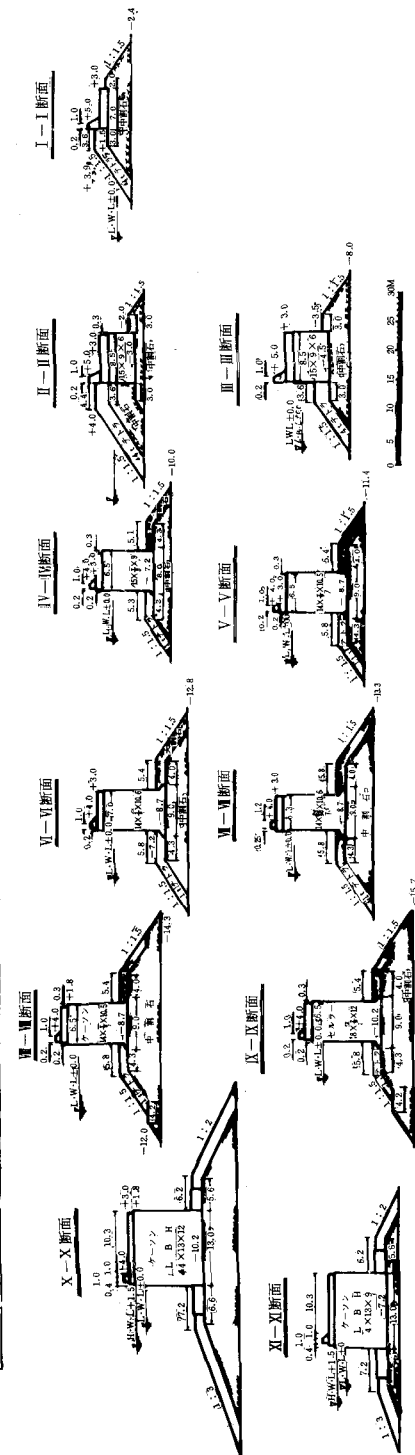
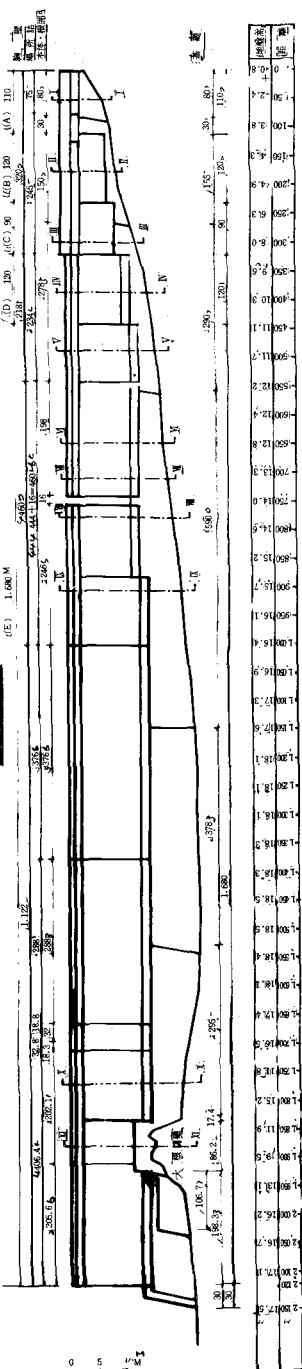


図-14 北外防波堤構造図

大きい場合の表層，約1mの範囲は台船で投入している。

表一 4 北外防波堤年度別事業実績表

年 度	施工内訳	工 事 費	備 考
39	A 部 61.0m	64,300 ^円	着 工
40		204,000	
	A 34.3	14,200	
	B 99.5	94,000	
	C 42.7	57,000	
	D 25.3	38,800	
41		589,100	
	A 14.7	6,100	
	B 20.5	19,100	
	C 47.3	62,700	
	D 83.3	126,300	
	E 83.5	172,500	
	ケーソンヤード	202,400	
42		934,400	
	D 11.4	16,400	
	E 368.0	918,000	
43	E 390.0	972,000	
44	E 254.2	629,000	
45	E 21.4	53,000	
46	E 338.5	812,600	
47	E 224.4	475,000	竣 功

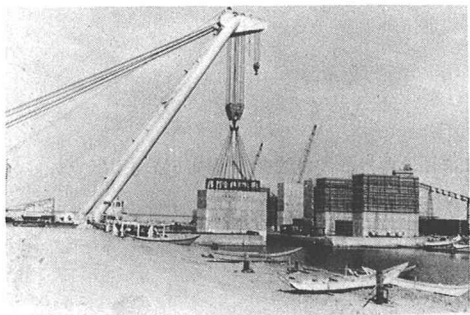
昭和46年度から大根礁部の堤体用 ケーソンの製作に着手したが，起重機船の吊上げ能力に制限されるため，ケーソンの寸法は， $L \times B \times H$ m と，高さが長さの3倍という形状となった。このため，製作および据付け後のケーソンの安定性が問題とされたが，43函の施工を終った現在，さしたる問題は認められない。また，ケーソンの据付け精度は，据付け直後の測定によると，目地間隔，1～10cm（平均 4.4cm），法線方向の出入は，最大4cmであり，ケーソンの形状による，据付け精度の低下はなかった。これは起重機船により据付け施工したことによるものであろう。ただし，中詰を終了して約1ヵ月経過した後では法線方向の出入10cm，目地間隔10cmとところにより15cm変動しており，昭和45年度までの精度より若干わるく，ケーソンの形状による影響があらわれている。沈下については，大根礁部の堤体については，まだ測定していないが，昭和45年度以前の施工部分については，捨石厚4.5～6.5mで函塊を据付けてから5～9ヵ月における沈下量は，15～38cmであった。このうち約8cmは，中詰填充により捨石厚に無関係に沈下している。また，昭和43年5月の十勝沖地震では，震度4を記録したが，地震による沈下は，5～35cmであり，捨石厚にほぼ比例している。

2. 本 体 工

本防波堤は，基点より110mまでは水深が浅く岩盤の露出箇所があるため，注入コンクリートにより施工し，その先は，ケーソン，セルラブロックにより施工した。ケーソンは当初，乾ドック，斜路により製作していたが，昭和42年度より，500t 吊起重機船を建造し，北外防波堤基部の－4.0 m物揚場上にケーソンヤードを造成し，ケーソンを製作することになり大量施工が可能となり，年間90～110函のケーソンを製作し，据付けるようになった。

表一 5 北外防波堤石材使用実績 単位^{m³}

上段は函塊中請填充材				
年 度	小 割 石	中 割 石	大 割 石	鉋 滓
39		5,380		
40		6,630		
41		52,560		
42	639	66,310	8,640	385 20,230
43	890	92,680	5,740	1,120 39,780
44	684	45,300	4,000	864 20,860
45	76	—	450	96 —
46		33,800		18,300 3,540



写真一 2 500t 吊起重機「大雪号」によるヤードからのケーソン吊上施工状況（右方はケーソンヤード）

3. 根 囲 工

昭和45年度までは港外側は，1t 程度の大割石が大量に産出しないので，テトラポッドを使用し，港内側は600kg前後の大割石を使用した。しかし，大根礁部は波高が高く，堤体前面で碎波するので，港外側は24t 方塊，港内側は17t 方塊で根囲工を行い，さらに5t 3脚ブロックにより，法面を被覆した。なお，昭和46年度の施工数量は24t 方塊103個，17t 方塊101個，5t 3脚ブロック2,048個である。

表一6 ケーソン製作実績

年 度	施 工 数 量	備 考
42	19 函	
43	50	
44	73	南外防着工
45	114	
46	90	大根礁函塊 43函据付

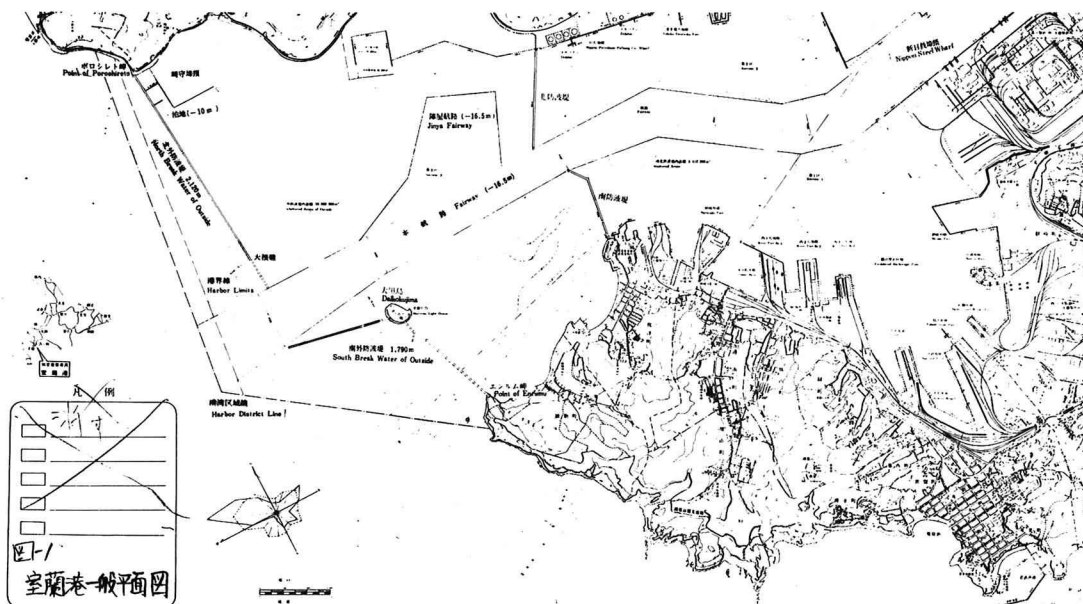
4. 上部工

上部コンクリートの打設は着工以来、アジテータトラックを防波堤上に乗入れ、生コンクリートで施工してきた。(このアジテータトラックを防波堤上に乗入れさせるために、防波堤の切れ目にはプレートガーダー式渡橋を、堤体延長が長くなると、途中で転車台を使用した。)昭和46年度からは海上プラント船により施工したが、このプラント船は、既製の400t台船に発電機およびバッチャープラント設備一式を搭載したもので主要目は次の通りである。

- 台船 400t (鋼)
- バッチャープラント (0.5m³×1)
- 強制ミキサー (0.5m³練り)
- 発電機 (ディーゼル, 70KVA)
- 施工能力 100m³ / 日

V む す び

北海道における代表的な大規模防波堤工事であった。



写真一 防波堤設置時の波高
(W波, $H_o = 3.4$ m, $T = 7.5$ sec, H.W.L.)

北外防波堤, 南外防波堤 (絵柄地区を除く) も昭和47年度に竣工する。

本工事の施工上の特徴は、道内の他港湾の防波堤工事に比して、500t吊起重機船や400t積はしけ、ミキサー船等、大型作業機械を積極的に導入したことである。また、設計面では、北外防波堤着工以来の懸案であった、大根礁部も土木試験所の絶大な支援をえて、今年度中に突破することができた。この検討過程においては、種々新しい発想も試みたが、時間的に検討不十分な面もあり、最も無難な構造を採用せざるを得なかった。

本報告は、字数の制限もあり2ヵ年にわたり、いろいろと行った模型実験結果の一部と設計、施工の経過の要旨を述べたものであるが、何らかの参考になれば幸甚である。