

外海におけるケーソン防波堤施工方法の研究

STUDIES ON CONSTRUCTION METHODS OF CAISSON TYPE BREAKWATER IN THE OPEN SEA

西田 俊 策*・赤塚 雄 三**・和智 昭 市***
By Shunsaku Nishida, Yuzo Akatsuka and Shoichi Wachi

要 旨 波浪条件の厳しい外海におけるケーソン防波堤の施工に関して、主として波浪条件の特異性の観点から計画、設計および施工上の各種の問題点を検討するとともに、近年における施工方法合理化の成果を評価し、これを体系づけることを試みた。すなわち、1~4章では近年における港湾整備計画の中で外海に面した開発港湾整備の現況と防波堤建設の比重の大きさについて述べ、ついで、防波堤の施工上の観点から眺めた外海の特性を検討するとともに、防波堤の構造様式のうち実用的なくつつかの様式を選んで施工上の観点から比較検討して現時点ではケーソン防波堤が最も実用的な構造様式であることを確かめ、さらにケーソン防波堤の施工計画に影響する主要な要因を詳細に検討して、合理化を計る最も重要な一手法としての波浪予測の導入について述べた。5章ではケーソン防波堤施工上の各工種、すなわち基礎捨石、ケーソンの据付け、中詰め、蓋コンクリート、上部コンクリート、根固めブロック等のそれぞれについて問題点を指摘し、過去数年間にわたって八戸、小名浜、鹿島等の各港の工事に際して実施した検討結果を述べた。本論文は以上によって外海におけるケーソン防波堤施工方法の合理化の成果を評価するとともに、これを体系づけることを試みたものである。

1. 外海における 港湾整備の 現況と 防波堤建設の要請

近年、とくに昭和30年代以降のわが国の港湾整備は、すさまじい経済成長における重要な役割の一面を担った産業構造の変革と地域開発に対応して、急速に進められ

ている。すなわち、東京湾、大阪湾等の大都市圏港湾では外貿埠頭の整備を中核として湾周辺の大臨海工業地帯と港湾との結合が広範にかつ有機的に行なわれて、日本の産業基盤の一大拠点を形成している。また、従来は地域の流通機能の一翼を担う商港を主眼として整備されて来た地方港湾にあって、その背後地に立地した臨海工業をより高度に育成するために工業港的機能の充足が促進されている。さらに、新産業都市等における地域開発の戦略手段としての工業化を集約的にかつ大規模に推進するためには、その基盤としての港湾の開発整備が不可欠の条件となり、このような観点から、全く新しい臨海工業地帯の開発を目指した開発港湾の建設が進められるに至っている。

上述のような背景から、港湾整備に対する要請は、従来は東京湾、大阪湾あるいは瀬戸内海等の自然条件に恵まれた地域の港湾に傾斜していたが、今日では背後地に開発発展の可能性のある地域では、外海に面した港湾であってもその整備に対する要請が急速に強まって来ている。たとえば、苫小牧、八戸、小名浜、鹿島、新潟東の各港はいずれも地方にあって工業港化あるいは新しい開発港湾としての要請に応えつつある港であり、背後に開発の余地を有しかつ外海に面した所に位置している港湾である。近年、このような位置における港湾施設の開発が急速に行なわれるに至ったのは背後地の立地企業ないし進出予定企業の強い要請を反映しているのはもち論であるが、その背景には海象条件の厳しい外海に港湾を急速に建設する技術が充実して来たことも見逃し得ない。とくにこのような港では防波堤の急速施工の可否が第一の鍵となっており、このことは表-1に示したように事業計画の中で防波堤工事の占める比重の大きい点からも明らかであろう¹⁾。

そこで、防波堤の施工が急がれている外海の代表的な港の数例について概観するとつぎのようである。

八戸港は従来は漁港および商港として整備され、さら

* 正会員 運輸省第一港湾建設局長 (前第二港建技術次長)

** 正会員 工博 運輸省第二港湾建設局 小名浜港工事事務所長

*** 運輸省港湾局防災課査定官 (前小名浜港工事事務所工事課長)

表-1 最近の港湾工事における防波堤工事の比重

(事業費単位：千円)

港名	区分	昭和40年度	昭和41年度	昭和42年度	昭和43年度	昭和44~47年度
八戸港 八太郎地区	事業費(A)	314 330	841 200	1 294 000	1 655 300	3 755 400
	防波堤関係事業費(B)	256 300	766 400	1 057 000	942 800	2 512 400
	(B/A)	0.82	0.91	0.82	0.57	0.67
	主要防波堤延長(C)	北防 256 m	北防 654 m	北防 545 m	北防 328 m	北防 766 m
塩釜港 仙台新港区	(A)	—	(実測) 20 000	200 000	450 000	5 442 400
	(B)	—	20 000	200 000	450 000	2 998 200
	(B/A)	—	1.00	1.00	1.00	0.55
	(C)	—	—	南防 134 m	南防 187 m 内防 88 m	南防 887 m 北防 300 m
小名浜港	(A)	1 096 400	1 635 000	2 000 000	2 100 000	8 587 000
	(B)	477 200	979 990	1 097 020	679 980	5 661 440
	(B/A)	0.43	0.60	0.55	0.32	0.66
	(C)	西防 189 m 三崎防 21 m	西防 361 m 三崎防 77 m	西防 540 m 三崎防 50 m	第1西防 73 m 第2西防 50 m 三崎防 50 m	第1西防 350 m 第2西防 1 350 m 三崎防 420 m
鹿島港	(A)	1 536 800	1 900 000	3 000 000	4 228 000	16 771 000
	(B)	1 205 960	1 237 700	1 871 500	1 806 000	2 629 600
	(B/A)	0.79	0.65	0.63	0.43	0.16
	(C)	南防 573 m 東防 31 m 北防 189 m	南防 386 m 北防 199 m	南防 422 m 北防 135 m	南防 415 m 北防 42 m	南防 1 440 m
新潟東港	(A)	1 031 220	1 528 700	1 948 760	2 198 530	10 149 470
	(B)	631 220	967 400	973 500	870 000	1 538 200
	(B/A)	0.61	0.63	0.50	0.40	0.15
	(C)	西防 316 m	東防 200 m 西防 390 m	東防 230 m 西防 384 m	東防 220 m 西防 220 m	東防 137 m 西防 476 m
金沢港 大野地区	(A)	397 754	697 000	1 053 000	1 180 000	7 309 000
	(B)	357 658	432 700	450 000	700 000	2 078 000
	(B/A)	0.90	0.62	0.43	0.59	0.29
	(C)	西防 223 m	西防 270 m	西防 219 m 東防 84 m	西防 180 m 東防 148 m	西防 346 m 東防 619 m

(注) 事業費(A)は、直轄、補助、特定等を含めた合計である。防波堤関係事業費(B)は、該当港区の防波堤関係事業費合計である。主要防波堤延長(C)は、該当港区の急速施工を要請されている主要工種のみ計上したもので、予算上の換算延長である。

には工業港としての機能も兼備する港湾であったが、各立地企業の拡張計画に応えるとともに、新企業の進出を目指した八太郎地区の開発に対応してこの地区に新しい港湾施設の整備が急がれており、とくに北防波堤築造工事の促進が最も重要な課題となっている。

小名浜港は漁港ならびに商港として発展して来たが、その背後には非鉄金属工業や化学工業等各種企業が立地しており、それらの改良拡張計画および新規進出企業による海上輸送需要が増大し、港湾整備の促進が要望されている。本港では第一西防波堤は大勢を整え、第二西防波堤の早期整備が急務となっている。

鹿島港は首都圏内に残された一大臨海工業地帯として鉄鋼、石油の重化学工業を基幹に開発されつつある掘込港湾で、しゅんせつ工事の重要性もさることながら防波堤建設がすべてに先行して行なわれている。

2. 防波堤の施工に関連した外海の特性²⁾

(1) 概 説

一般の港湾工事でも波浪条件によって施工計画、施工

方法および作業可能量は相当の影響を受けるが、外海に面した港の防波堤工事ではその程度が特に著しい。そこで、防波堤施工上の観点から外海の特性を明らかにするために、前述の三港の波浪条件を新潟港、神戸港、京浜港のそれとの比較を試みた。本稿では外海に面した港としては外洋からのうねりが絶えず、来襲し、連続した静穏な日が年間を通じて少ない港を考えている。また、京浜港と神戸港はそれぞれ静穏な湾内と内海の代表的な港として、新潟港は外海に面してはいるが波浪条件が季節的

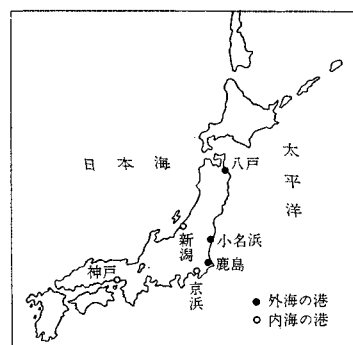


図-1 調査した港の位置図

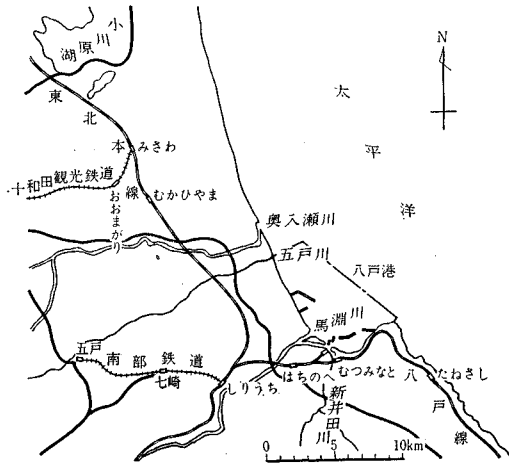


図-2 八戸港位置図

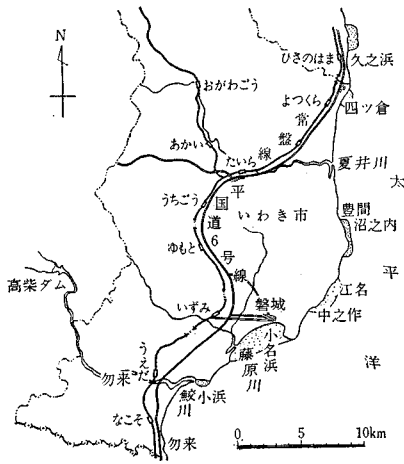


図-3 小名浜港位置図

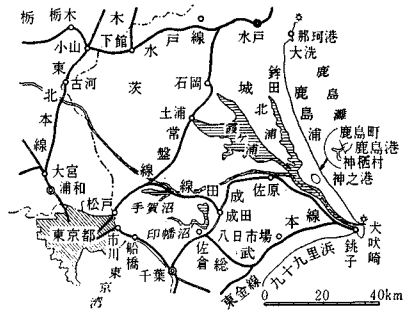


図-4 鹿島港位置図

に著しく変化する港の一例として選定したものである。図-1~4 にこれらの港の位置図を示す。

(2) $H_{1/3} < 0.5 \text{ m}$ の波の月別発生頻度

従来の実績によれば、防波堤工事では有義波高 $H_{1/3}$

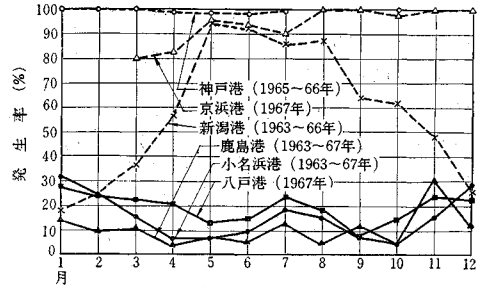


図-5 $H_{1/3} < 0.5 \text{ m}$ の波の月別発生頻度

が 0.5 m 以下であればほとんどの作業が可能と判断してよい。そこで既往の観測資料から 0.5 m 以下の波の月別発生率を調べると図-5のとおりである。本図からも明らかなように、外海の各港の $H_{1/3} < 0.5 \text{ m}$ の波の年間発生率は $15 \sim 20\%$ 程度に過ぎないが、内海や湾内では 90% を越え、冬期に荒天の続く日本海の新潟港ですら平均 56% であって、外海の港では一般の港にくらべて静穏な作業可能日数がきわめて少ない。

(3) $H_{1/3} \geq 2 \text{ m}$ の波の月別発生頻度

有義波高で 2 m 以上になると、中詰を完了していないケーソンは波浪によって移動するおそれがあり、他の作業もほとんど不可能となる。さらにこのような状態で波浪が継続すると施工中の手もどりや災害をこうむる可能性も大きい。このような観点から $H_{1/3} \geq 2 \text{ m}$ 以上の荒天日数についての調査結果を取りまとめると図-6のようであって、八戸、小名浜、鹿島の各港では年間平均 $8 \sim 16\%$ 程度となり、新潟港でも平均 10% 程度で、発生頻度の点では大差ない。しかし太平洋沿岸の各港では年間を通して平均的に発生しているのに対し、新潟港では主として冬期の季節風の強い時期に集中しているのが特長である。また内海や湾内の港では、この程度の波の発生頻度はきわめて少ない。

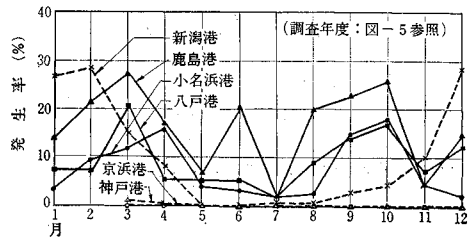


図-6 $H_{1/3} \geq 2.0 \text{ m}$ の波の月別発生頻度

(4) 外海の波の周期

外海の波の特性の一つとして来襲波の周期が内海のものにくらべて長いことがあげられる。すなわち、内海の風波は吹送距離が限定されるので外海のうねりにくらべて周期が短く、周期と発生率との関係を調べると図-7

に示したようである。これによると、外海の三港では周期10 sec 前後の波が最も多く、内海では6 sec 程度の値が卓越している。

(5) 外海の波の変動

内海の港では波の発生が現地付近の気象と密接な関係があるのに対し、外海の港では現地の局地的な気象状態

とは無関係に激浪が来襲することがある。図-8 は一例として小名浜港における 1967 年 9 月の風速と波高の記録を示したもので、初旬、中旬、下旬に各 1 回 $H_{1/3} = 3 \sim 4$ m の波の日が 3~4 日間続いたが、気象記録では 5~10 m/sec 程度の陸風が吹いており、波浪が現地気象とは一致しないことを示している。また、たとえば新潟港のように波浪条件の季節間の変動は大きくても、特定の季節内ではある程度安定した状態が続くものであれば波浪の予測も比較的容易であり、現地の天気予報と既往の資料から作業工程を樹てることも可能である。外海の港ではこのような季節的な安定性も概して期待しがたいのが普通で、図-9 は一例として小名浜港における過去 5 年間の 3 月における観測値を示したもので、波高の変動の激しさが容易に看取できる。このような波の発生は洋上遠方の台風からのうねりや急激に発達する低気圧に

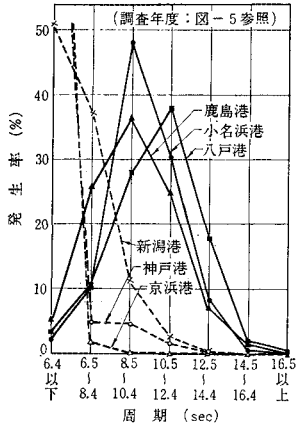


図-7 周期別発生率

よる場合が多いが、まれには在来の気象観測資料による限りでは原因の不明な高波が突然発生することもある。

(6) 静穏な状態の不安定性

外海では静穏な日数が少ないだけでなく、静穏な日が連続して現われることがきわめてまれなことも著しい特長の一つである。表-2 は一例として小名浜港における波高別の持続時間の出現回数を示したもので、 $H_{1/3} \leq 1$ m の出現回数に着目すると、この範囲の波の総出現回数のうち 63% までが 6 時間以下しか持続せず、持続時間を 12 時間以下に限定すれば約 80% までがこのグループに入って、静穏な状態が永続しないことを示している。表-4 は数日間の連続作業の可能性の観点から $H_{1/3} \leq 1$ m の波の出現率を求めたもので、2 日連続の場合でも 8 回/月程度に過ぎないことがわかる。

表-2 波高別持続時間の出現回数 (小名浜港)

$H_{1/3}$ 波高 (m)	0~0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	2.0~3.0	3.0~4.0	4.0~
持続時間 (h)							
0~6	430	697	483	307	151	54	9
6~12	101	160	135	71	38	3	1
12~18	38	97	57	17	9	2	1
18~24	27	61	13	2	4	—	—
24~30	17	48	17	1	2	—	—
30~36	17	28	3	1	—	—	—
36~42	18	20	—	—	—	—	—
42~48	11	10	2	—	—	—	—
48~	2	5	—	—	—	—	—

注) 1958, 59, 62, 63, 64, 66 の 6 カ年の港研型波高計資料による。

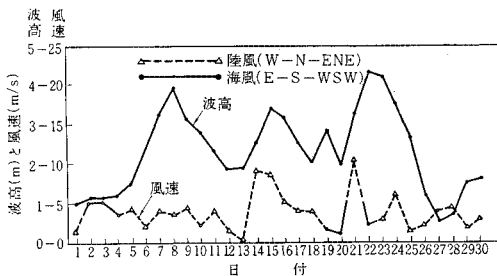


図-8 小名浜港における波高と風速 (1967 年 9 月)

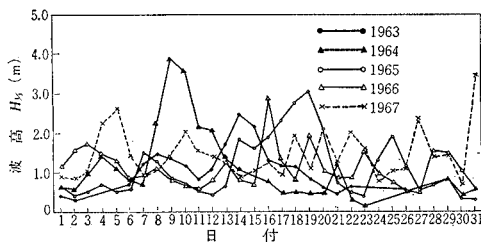


図-9 小名浜港波高記録 (3 月)

3. 防波堤構造様式の比較とケーソン防波堤の機能

(1) 概 説

防波堤の構造様式としては、直立堤、傾斜堤、両者を組合わせた混成堤および特殊防波堤が考えられる。ここで特殊防波堤とは空気防波堤とかカーテン防波堤等の特殊な防波堤の総称であるが、いずれも波高の比較的小さい場合に試験的に用いられているに過ぎず、また長期間の使用実績によって裏付けられていないのが大部分であって、外海を対象とする防波堤としては、普遍性が少ないと判断してよい。直立堤は海底からただちに壁体を立上らせるもので、海底地盤が堅固で水深の浅い小規模な防波堤に用いられることが多く、外海における防波堤としては混成堤に含めて考えればよい。そこで以下では混成堤と傾斜堤について主として施工上の観点から比較検討する。

(2) 混成堤

混成堤は海底地盤上に割石を投入してマウンドを形成し、その上に直立堤体を設けるものであって直立部にはコンクリート方塊、コンクリート単塊、セルラーブロック、ケーソン等が用いられている。いずれも波力に対して堤体自重による摩擦によって抵抗するもので、いわゆる重力式構造物となっている。

直立堤体部分の構成を見ると、方塊と単塊を用いるものでは全断面がコンクリートより成り、ほぼ均一な断面とみなせるが、方塊積みの場合には整積みを原則としているため、全体としての結合は各方塊相互の摩擦と機械的なかみ合わせとによって保っており、単塊式にくらべて一体性に乏しい。一体性を増すために各方塊間にほぞを設けたり、縦目地を通さないように積むなどの工夫を必要とする。また、方塊の大きさはできるだけ大きい方が望ましいが、現状では大容量の起重機船の経済的な入手が可能かどうかによって堤体断面が規制される傾向がある。

ケーソンとセルラーブロックはコンクリート製の外壁の中に砂や割石等を詰めて一体としたものであるが、両者の基本的な相違は、ケーソンが一般に浮遊、曳航、沈設を前提としているのに対し、セルラーブロックは起重機船による吊上げと据付けを前提としていることであろう。このため、ケーソンは陸上で一体として製作するのに対し、セルラーブロックは起重機船の能力によって数個のブロックに分けて製作し、防波堤の施工現場で組立てる。また、底版は設けないのが普通であるが、プレキャスト底版を据付けてその上に組立てた例もある。このようにセルラーブロックはケーソンに比較して一体性に乏しいので、中詰め材料としても噛み合わせが大きく流出し難い割石を用いるのが原則である。もちろん、プレパックドコンクリートや方塊等を用いるとより強固な構造となるが、経済性と施工性の観点からあまり用いられていない。

ケーソンの中詰としては従来は方塊や水中コンクリートを用いた例が多かったが、最近は安価な砂や鉍滓を用いる例が大部分である。これは単に経済性の点からだけでなく、この種の細粒状の材料であれば投入のための荷役作業が他の材料に比較して格段に能率的であり、施工中に被災するおそれが少なく、かつ、急速施工に適していることにもよる。しかし、鉄筋コンクリートの海水中における耐久性については不明の要素も多く、施工過程で生じるひびわれや欠損部分の鉄筋の腐食でコンクリートが崩落し、中詰材料が流出する可能性が全く皆無とはいえず、今後の問題点として残されている点について留意したい。

わが国では碎波を生じやすい場所に防波堤を設置せざるを得ない場合が少なくなく、さらにその前面を異形ブロックで被覆した例も多い。このような異形ブロック被覆混成堤は異形ブロックの消波効果を利用して混成堤直立部の幅を減少し、あわせて防波堤からの反射波を減少する効果を期待するものである。しかし、重複波を生ずるような場所にこの形成を採用するのは原則として好ましくなく、また施工中の安定度にも問題があり、通常の混成堤と異形ブロック被覆混成堤の安定上の優劣については今後の検討が必要であろう。

(3) 傾斜堤

傾斜堤は海底地盤上に粗石やコンクリートブロックを捨て込んで堤状にしたもので、波高が大きい場合は表層を異形ブロックで被覆する必要がある。このため一般には割石、方塊および異形ブロックが使用される。現時点では、傾斜堤の波力に対する抵抗機構はまだ不明の点があり、堤体重量の摩擦によって抵抗する重力式構造物と想定して設計するのが普通である。

傾斜堤はその天端幅が混成堤直立部の天端幅に比較して大幅な減少を計り得ない反面、そののり勾配は1:1.5ないし1:2程度と比較的ゆるくしなければならないので、水深が深くなるとともに大量の材料を必要とし、同時に被覆ブロックの据付けや被覆石の均し等の作業が困難で多大の労力を必要とする。

傾斜堤は本体中に空きがあるため、波や漂砂が透過しやすいのが欠点で、とくにコンクリートブロック傾斜堤ではその傾向が著しい。また、この透過量の定量的な評価も現時点では困難なのが実情である。越波量に関しても、混成堤より多くなることが実験的に確認されているが、天端高は混成堤と同程度にしている例が多い。

(4) 施工中の安定度とケーソン防波堤の評価

(2)、(3)で述べた混成堤と傾斜堤の長短を取りまとめると表-3が得られる。実際に防波堤の築造を計画する場合、上記の各構造様式を比較して最も経済的で施工の容易な構造と工法を選択することになる。一般には、傾斜堤に関しては原石山の潤滑化や遠隔化あるいは交通事故の影響を受けて石材単価が高騰していること、外海の強大な波力に対して異形ブロック等の併用が必要であり広大なブロックヤードを設けなければならないこと、ブロックの港内側からの据付けにリーチの長い起重機船を必要とすること、等の諸点で現在の工事単価を基礎とする限りでは成混堤に比較して不経済であり、外海における大規模な防波堤として採用されるには至っていない。

このような事情から一般の防波堤工事でも混成堤を用いる例がきわめて多いが、外海を対象とする場合には施

表-3 (a) 防波堤構造様式の比較：傾斜堤

特 長	欠 点
①地盤の凸凹に関係なく施工できる。	①波高の大きいところや、水深の深いところでは、多量の材料と労力を要し、一般に不経済である。
②比較的軟弱な地盤でも適用できる。	②直立堤、混成堤に比較して、堤体幅が広がるため、港口幅員や港内面積の点から制約を受けることがある。
③洗掘に対して比較的順応性があり、維持補修が容易である。	[捨石式の場合]
④施工設備が簡単で、初期の設備投資が比較的少ない。	③多量の粗石を要し、その経済的入手の面から制約がある。
⑤施工工程が単純であり、施工上直立堤や混成堤に比較して波の影響を受けることが少ない。	④波力の大きい場合は、粗石の大きさに限度があるため、異形ブロックを併用する必要がある。
[捨ブロック式の場合]	[捨ブロック式の場合]
⑥波力に応じて任意の重量の異形ブロックを使用できるので、波力の強大な所にも適用できる。	⑤方塊を使用する場合は、粗石に比べてかみ合せが悪く、同一波力に対して粗石よりも重量の大きい方塊を使用する必要がある。
	⑥ブロックヤード、起重機船等の設備が必要である。
	⑦直立堤や混成堤に比較し、漂砂や波の透過が著しい。

工中の安定性も構造様式の選定上重要な点である。施工時の波浪が設計波に近いものがしばしばあり得るからである。このような場所では、できるだけ完成断面に近い形で施工を進めて行くことが必要で、とくに急速施工を要する場合には相応した施工設備を整え、工程計画を樹てなければならない。

こうした観点から混成堤の構造様式を評価すると、水深の浅い地点ではブロック積混成堤を用いる余地はあるが、水深が大きく波力の強い外海では一体性の乏しいセルラーブロックやブロック積混成堤は適当とはいえず、また不経済になりやすく、ケーソン式混成堤を用いるのが常道である。もちろん、ケーソン式混成堤の場合でも、ケーソン据付け後短時日に中詰と蓋コンクリートを施工する必要があり、できれば上部工まで施工するのが望ましい。

異形ブロック被覆混成堤の場合には、直立部の幅が一般の場合より減じているのが普通であるから、施工途中で被覆工のない時点ではその耐波性は完成時の2/3程度に過ぎない。被覆工の施工が間に合わずに本体が滑動した例もあり、この構造を採用する場合にはこの点に留意して施工計画を樹てる必要がある。

4. 施工計画に影響をおよぼす要因と波浪予測の導入

(1) 概 説

ケーソン防波堤の施工は捨石投入、捨石均し、ケーソン据付け、中詰め、蓋コンクリート打ち、根固方塊据付

表-3 (b) 防波堤構造様式の比較：混成堤

特 長	欠 点
①混成堤は、直立堤と傾斜堤の両者の長所と短所とを有し、直立部とマウンド部分の組合せを交えることにより広範囲の適用性をもつ。	①基礎の洗掘が直立部に致命的影響を与えるため、その防止に十分留意する必要がある。
[ケーソン式の場合]	[ケーソン式の場合]
②直立部堤体が一体となっているため、波力に対して強く、波や漂砂の透過が少ない。	②荒天日数の多い所、静穏な日の継続が少ない所では、海上作業日数に著しい制約を受ける。また、ケーソン据付け後短時日に中詰蓋コンクリートを施工しなければならないため、海象条件の予期しない変動により被害を受けることがある。
③海象条件にかかわらず製作を陸上で先行でき、また1回の据付けで相当の延長となり、施工速度が早い。	③ケーソンヤード、大型起重機船等の施工設備に相当の工費を要し、新規工事では相当の先行投資と準備期間が必要である。
④方塊式および単塊式に比べて割安な中詰材料を用いるので経済的である。	④ケーソンの進水、据付け等が水深によって左右されることが多い。
[方塊式の場合]	⑤直立堤や傾斜堤に比較すると工種が多く、工程管理が複雑である。
⑤一般に施工が容易で、施工設備も簡単である。	[方塊式の場合]
[セルラーブロック式の場合]	⑥各方塊間の結合が十分でなく一体性にかげ、波浪に対して弱く、一般に強大な波力を生ずる所には用いられない。
⑥方塊式や単塊式に比べて割安な中詰材料を用いるので経済的である。	⑦ケーソンに比べて、海上作業期間が長くなり施工上手もどりを受け易いので、荒天日数の多い所では一般に用いられない。
⑦ケーソンに比較して、底部の摩擦が大きく滑動に対する抵抗は大きい。	⑧ブロック数が多い場合には、広いブロックヤードが必要である。
[単塊式の場合]	[セルラーブロック式の場合]
⑧プレバッドコンクリート等の使用によって一体となった強固な構造とすることができる。	⑨一体性に乏しいため、波力の強い所には用いられない。
⑨施工設備が比較的簡単である。	[単塊式の場合]
	⑩荒天日数の多い所では、現場打ち方式は無理である。
	⑪本体工のみの比較では、ケーソン式より不経済である。

け、上部コンクリート打ち等の工種から成り、それぞれの作業内容に応じて施工可能な限界波高が考えられ、これは一面では作業船舶の性能によってもある程度変化する。また、これらの工種には単独作業の可能なものと連続施工を必要とするものがあり、捨石投入、捨石均し、上部工、根固工等はその工種のみを単独で進めることができる。したがって最少の作業単位を念頭に置いて作業順序を決定しておけば年間の作業量に応じた作業可能日を設定することができる。しかし、ケーソンの据付けから蓋コンクリートまでは連続施工が原則で最少2~3日の連続した静穏日を必要とする。しかし、2.で述べたように外海では連続した静穏な日数が少なく、これを適確に把握して年間工事量を順調に消化するためには正確な波浪予測の導入が必要である。本章では以上の諸点に

ついて述べる。

(2) 工種別の限界波高

八戸、小名浜、鹿島の各港における既往の施工実績を基にして工種ごとに作業中の実測波高に対する施工頻度を示すと 図-10~15 のようであって、これより工種別の限界波高を推定することができる。

(i) 捨石の投入：捨石の投入は石運船またはガット船を用いて行なうもので、1.6~1.9m の範囲にある。この中で小名浜港の限界波高が多少高いのは押船と石運船を併用していることによるものと思われる(図-16 参照)。

(ii) 捨石均し：これは潜水夫の水中作業によるもので、潜水船ならびに水中作業の安全性によって限界波高も決まる。各港ともほとんど差が無く 1.4m 程度である。

(iii) ケーソン据付け、中詰め、蓋コンクリート施

工：ケーソン据付けから中詰めと蓋コンクリートの施工までは最も重要な一連の作業であり、工事に当ってその作業可能限界をあらかじめ指示するのが普通である。しかし、実際には据付けを開始すれば施工途中で波浪条件が悪化しても中止することはできるだけ避けなければならないため、実績の限界波高は指示波高を上回るのが普通である。いったん据付けが終了すると中詰めや蓋コンクリートの施工に必要な作業船は据付けられたケーソンによって遮蔽された水面で作業する場合が多く、その限界波高も図示のように据付けのそれよりもやや高い。また、八戸港の据付け実績が小名浜港や鹿島港のそれより多少劣るのは、図-17~19 に示したようにケーソンヤードないし仮置場より据付け箇所までの約 5000m の曳航距離が既設の防波堤によって全く遮蔽されていないことによるものであろう。

(iv) 根固方塊の据付け：この作業では限界波高は 1.1~1.6m で、小名浜港の値がとくに大きいのは後述

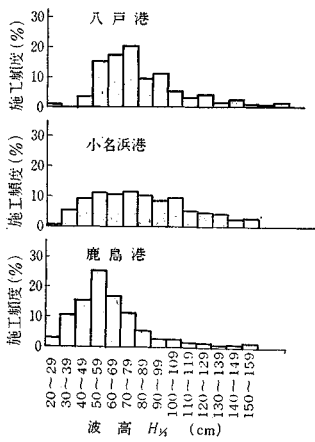


図-10 捨石作業と波高の関係

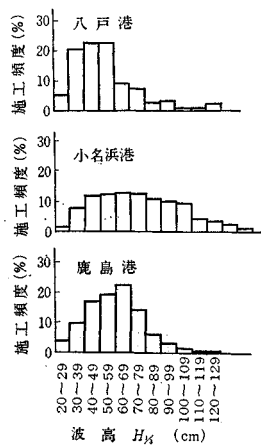


図-11 捨石均し作業と波高の関係

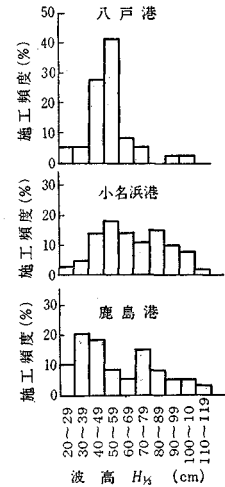


図-12 ケーソン据付け作業と波高の関係

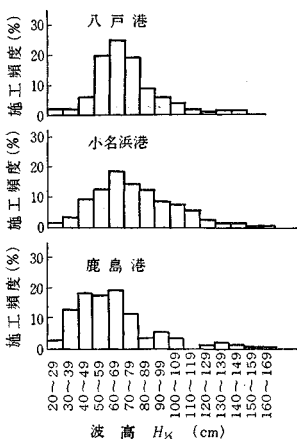


図-13 中詰め作業と波高の関係

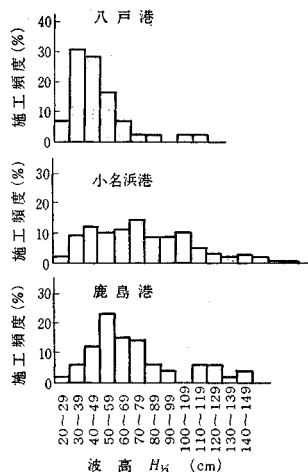


図-14 上部コンクリート作業と波高の関係

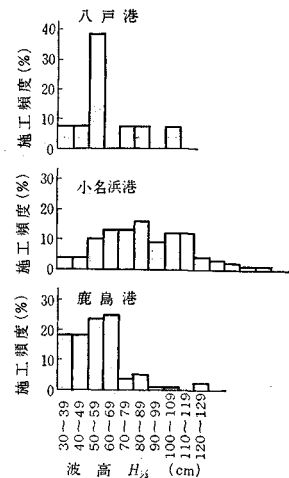
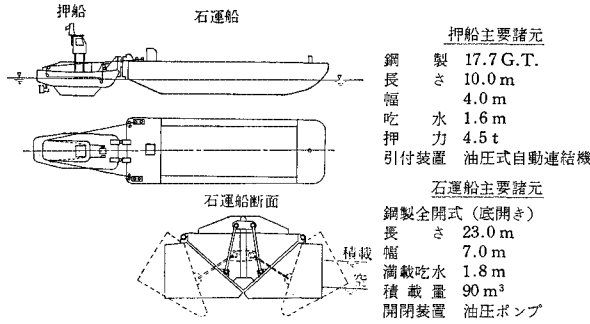


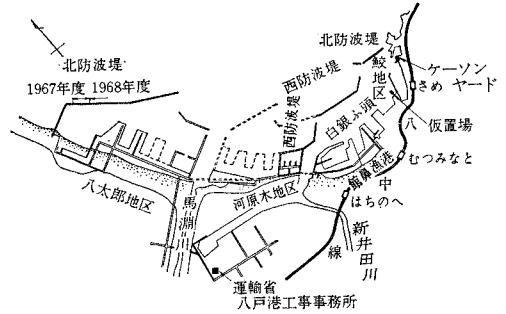
図-15 根固方塊据付け作業と波高の関係



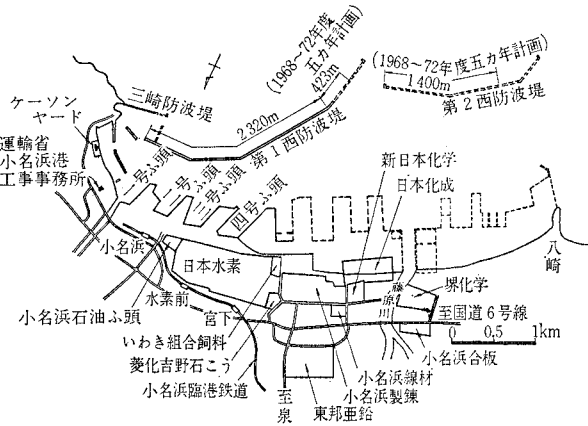
図一16 小型押船および石運船 (小名浜港, 五洋建設KK所属)

押船主要諸元
 鋼製 17.7 G.T.
 長さ 10.0 m
 幅 4.0 m
 吃水 1.6 m
 圧力 4.5 t
 引付装置 油圧式自動連結機

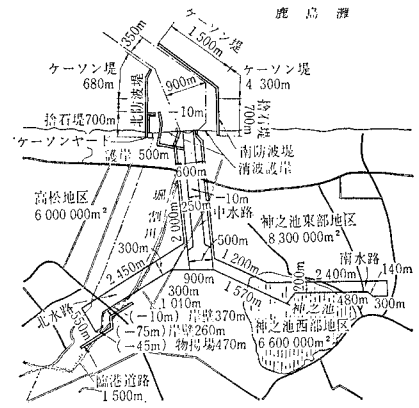
石運船主要諸元
 鋼製全開式 (底開き)
 長さ 23.0 m
 幅 7.0 m
 満載吃水 1.8 m
 積載量 90 m³
 開閉装置 油圧ポンプ



図一17 八戸港平面図 (1968年)



図一18 小名浜港平面図 (1969年)



図一19 鹿島港建設計画平面図 (1967年)

のように港内側からの据付け可能な起重機船が配置されていることによると思われる。

(v) 上部コンクリート施工：この作業では小名浜港の限界波高が他の2港よりやや高いが、これは上部工を2段打ちで行ない、上段施工に相当する限界波高が比較的高いためと思われ、1段打ちを行なう限りでは1.1~1.3 m程度と考えてよい。

上述のように限界波高は作業船の能力や施工の段取りによってもある程度変化し、これと高め得る余地はある

が、これにも経済的な限界があり、上述の値が現時点における施工方法に相応したほぼ妥当な値と思われる。

(3) 作業可能日数の推定

前述のように単独作業の可能な工種については、年間の作業量に応じて上記の限界波高以下となるような作業可能日を設定すればよく、最少作業単位としては一般に1日を考える。たとえば、小名浜港における $H_{1/3} \leq 1$ mの波の出現率を求めると表一4のようであり、仮に

表一4 小名浜港における $H_{1/3} \leq 1$ mの波の出現率と連続作業の月別可能回数

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
1日だけの出現率 (%)	80	80	61	60	76	88	89	74	81	41	75	86	74
2日連続出現率 (%) 1958~65年平均	58	62	40	33	48	69	72	51	52	17	50	62	52
2日連続出現回数 1958~66年平均	9.0	8.6	6.3	5.0	7.4	10.3	11.1	7.9	7.8	2.6	7.5	9.7	7.8
2日連続出現回数 1966年実績	12	8	8	5	7	7	13	10	8	7	5	8	8.2
連続作業の 月別可能回数 (1966年実績)	1日作業	27	17	17	14	17	19	27	23	18	16	18	19.1
	2日作業	12	8	8	5	7	7	13	10	8	7	8	8.2
	3日作業	7	3	2	1	3	4	8	6	4	4	4	4.2
	4日作業	5	3	2	0	1	2	6	4	3	2	0	2.4
	5日作業	4	2	0	0	1	6	4	3	2	1	0	1.9
	6日作業	3	1	0	0	1	2	3	2	2	1	0	1.3
	7日作業	1	1	0	0	0	2	2	2	2	1	0	0.9

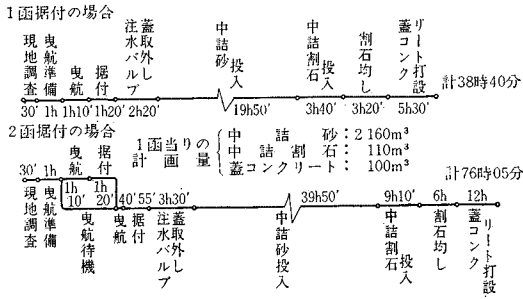


図-20 鹿島港におけるケーソン据付けの作業時間

限界波高を $H_{1/3}=1\text{m}$ と設定するものとすれば年間の作業可能日は 270 日程度となり、単独作業の可能な工種に関する限りでは、相当の作業量を消化できる。

ケーソンの据付けから蓋コンクリートの施工までは限界波高以下の波が数日間連続することが必要で、作業可能日の設定も既往の波浪資料に基づいて求めたこの条件を満足する波の出現率によって行なう。年間の据付け予定数がこのように決めた作業可能日数を上まわる場合は丁場の増加とかの処置が必要となる。

ケーソンの据付けに関連する作業の所要時間は作業設備、据付け方法、曳航距離、ケーソンの大きさ等によっても異なり、たとえば、小名浜港では 1 函据付けの場合は 20 時間程度であるのに対し、鹿島港では 図-20 に示したように約 40 時間であって、限界波高以下の連続日数もこれに応じてそれぞれ 2 日間および 3 日間となる。2 函あるいは 3 函連続据付けの場合には所要の連続静穏日数もこれに応じて長くなることは 図-20 から明らかであろう。

作業可能日数は上述の作業時間を想定して既往の波浪観測資料から求めた限界波高以下の波の連続出現率に基づいて推定する。表-4 には一例として小名浜港における $H_{1/3} < 1\text{m}$ の波の 2 日連続出現率と、観測記録に基づいて月別可能回数を示した。これは年間の大まかな計画立案に必要なもので、月別の施工計画は後述の波浪予測の 1 カ月予報によって立案し、週間予報と 3 日予報に

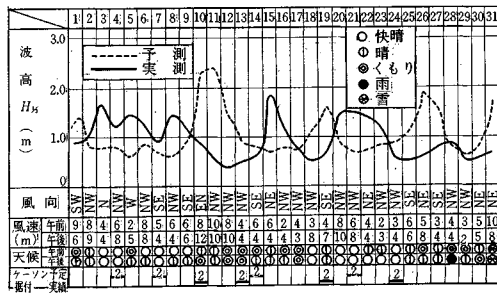


図-21 小名浜港における 1 カ月波浪予測とケーソン据付け予定と実績 (1969 年 12 月)

基づいて実施に移す方法を採用している。図-21 に 1 カ月予報と作業実施状況を示す。

(4) 作業施設と船舶機械の影響

(2) で述べたように作業可能日数は波浪条件からかなり制約されており、これを有効に利用することが防波堤急速施工の前提条件となり、ケーソンヤードとか、作業船舶も相応した能力をもつように設置する必要がある。八戸や小名浜港では防波堤の急速施工が計画された時点における施設や船舶が在来のもので能力が十分でなく、施工計画がこの点で制限されたことが経験されている。

たとえば、八戸港のケーソンヤードは 1 本の斜路で同時 2 函の製作が可能であるが、八太郎地区防波堤の早期完成のためには製作能力が不足であり、宮古港にもケーソン製作を依頼し、これを八戸港まで回航している現状である。また小名浜港でも在来は八戸港と同程度の規模のヤードを 1965 年度に同時 4 函製作可能な横引進水方式に改造し、さらに、'66、'67 年度に各 1 函台増設して年間の製作能力を 70~80 函に高めて現状に至っている。船舶機械についても、たとえば捨石投入には従来はガット船や台船を用いているが、これを 図-16 のような小型押船と石運船に変えることにより投入位置への操船が容易となり、投入所要時間もきわめて短時間に完了するので作業の能率と安全性は著しく向上する。図-22 は小名浜港におけるケーソンと根固方塊の据付け用の起重機船であるが、後述のようにこれの導入により、据付け精度が向上したばかりでなく、港外側根固方塊の据付けを港内側作業に切換えることができ、据付け能率とともに作業の安定性が著しく向上している。

ケーソンの据付けについても同様であって、図-23 の

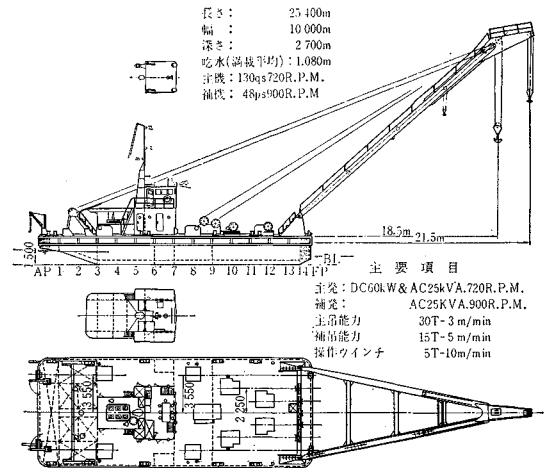


図-22 ケーソンおよび根固ブロック据付け用 14 号起重機船 (小名浜港: 運輸省所属)

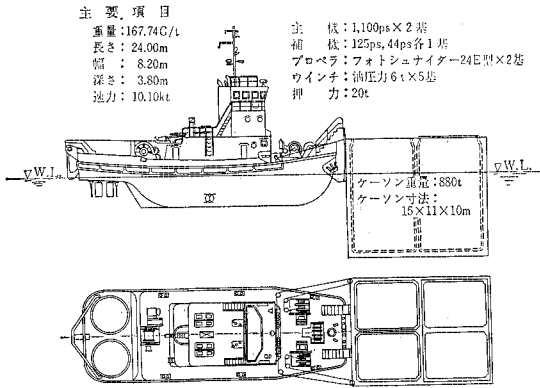


図-23 押船あぶくま丸によるケーソン押航図
(小名浜港：運輸省所属)

ような高性能の押船の導入によって、ケーソンの曳航操船がきわめて容易になった。

上述のように、作業施設の規模や船舶機械の能力は防波堤急速施工に対する要請に相応したものであることが必要で、これが適正でない場合には施工能率や安全性を犠牲にすることになり、工程上の些細な手違いが全計画にも致命的な影響をおよぼすことがある。

(5) 波浪予測の導入

a) 必要性

2., 4. で述べたように、外海では静穏日数が少なく、また局地的な現地気象とは無関係に大きなウネリが来襲することが多い。(2) で述べた作業可能日数の推定は既往の波浪観測資料の統計的な処理によって大略の月別日数を定めるもので、実際の施工にはあまり役立たない。すなわち、ケーソンの据付けには 2~5 日の連続した静穏日を事前に適確に把握する必要があり、これは年間の計画施工量の円滑な実施と作業の安全性の確保にきわめて重要である。波浪予測はこうした目的をもって導入するものでその直接的効果として、

- ① 工程管理の精度の向上
- ② 人員機械の待機拘束の減少
- ③ 作業の安全性および作業員の士気の向上

等があげられる。

b) 手法と精度

港湾工事に波浪予測を導入したのは 1965 年 9 月に小名浜港で導入したのが最初で、以来、八戸港 (1969 年 4 月)、鹿島港 (1967 年 4 月)、金沢港 (1967 年 1 月) の各港においても採用され港湾工事の円滑な促進に寄与している。波浪予測の手法の詳細についてはすでに発表しているもので^{3), 4)}、本報文では小名浜港における手法と精度 (1968 年) の概要を紹介するに止める。

表-5 波浪予測の発表日時と使用目的

予測の種類	発表日時	主な目的
1 カ月予測	毎月 25 日	翌月の工程計画をたてる資料とする
週間予測	毎週火曜、金曜	1 週間以内の作業の予定をたてる
明日、明後日予測	毎日午後 3 時	翌日の作業を決定する資料とする

波浪予測は 1 カ月予測、週間予測、明日・明後日予測の 3 種から成り、その発表日時と目的は表-5 に示したとおりである。

1 カ月予測図は 500 mb 上層天気図における等高度線と等温度線の波動を分析してその移動を求め、これより目的地における 500 mb 面の高度と気温の向う 1 カ月間の変動を推定する。つぎに過去においてこれと類似せる変動を示した年の地上気圧配置からさらにその状態の波高記録等を照合して波高を予測する。この結果は図-21 のような予測図として発表し、これを基にして向う 1 カ月間の作業工程を組む。図-21 には実測値を実線で表わして予測値と対比しているが、これからも明らかのように現時点における 1 カ月予測の精度は満足すべきものではなく、たとえば予測の許容誤差を波高 0.5 m とすると、その的中率は 52% 程度である。しかし、出現波高のパターンには多少のずれはあってもかなり類似し、月間のどの時期に (1) で述べた限界波高以下の波がどの程度継続するかをほぼ的確に推定することができ、これによって工種ごとの 1 カ月工事予定表の作成が容易とな



図-24 週間波浪予測図 (小名浜港)

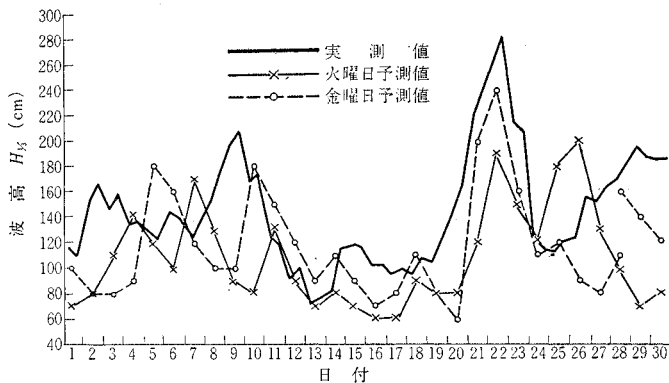


図-25 週間波浪予測値と実測値の比較 (小名浜港 1968年9月)

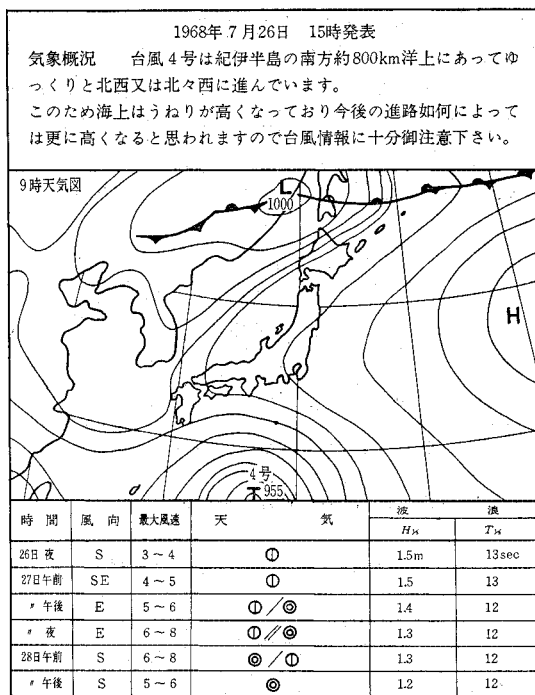


図-26 明日、明後日波浪予測図 (小名浜港)

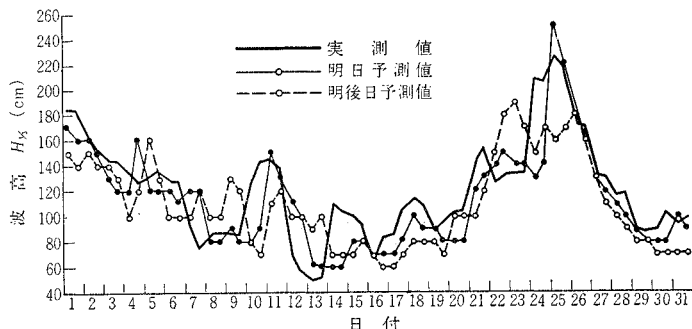


図-27 明日および明後日波浪予測値と実測値の比較 (小名浜港, 1968年12月)

る。

週間予測は気象庁の各種気象情報を基にして東経 140° 付近の北半球天気図から気圧の谷を追跡して、上述とほぼ同様の方法で週間の波高を予測して、図-24 の形で発表する。この週間予測は各施工業者にも配布して全工事の作業予定と荒天対策の判断資料としており、上述の同様に評価したときの的中率は 62% である。図-25 は一例として週間予測を実測結果と対比して示したものである。

明日・明後日予測は 1 カ月および週間予測で調査したすべての資料と発表当日の天気図を基に行なうもので、各種工事の施工可否の判断資料とする。この予測は 図-26 のように気象概況、天気図、風向、風速、天気、波浪について行ない、図-27 に示したように的中率はかなり高く、明後日予測で 71% 程度である。

以上に述べた波浪予測の実務は新日本気象海洋 K.K. とか日本気象協会のような専門技術会社に依頼して行なっているが、前述のごとく予測には必ず誤差が伴い、また精度も十分とはいえない。現時点では工事責任者の状況判断もかなり重要である。

5. ケーソン防波堤施工上の問題点

(1) 基礎捨石の施工

a) 施工法の概要

防波堤基礎の割石は石山から船積機橋までダンプトラックで輸送し、機橋で石運船に積み替え、あらかじめ標識を設けた位置まで運搬して投入するのが普通であるが、石運船を欠く場合や海上輸送距離の長い場合には 300~600 m³ 積みのガット船が用いられている。ガット船の場合には船のクレーンにオレンジピール型のグラブを装着して割石を取扱うため、荷役に長時間要するの

が欠点である。均しの割石は層厚が薄く広範囲に投入する必要がある所から、その運搬には通常 100 t 積み程度の台船を使用する。捨石は計画天端高より 0.5~1.0 m 下りまで達すると均し作業の基準となる遺形を 3~5 m 間隔に設置し、残りの割石を補充しながら均して計画断面に仕上げる。均しの標準作業量は施工水深における透明度が 4~5 m 程度まで施工可能であり、2~2.5 m では能率は多少低下し、1 m 程度では半減すると考えてよい。

b) 基礎捨石の沈下と割増し

外海の工事では砂地盤に基礎捨石を施工する場合が多く、施工中の沈下と波浪による流失を考慮した割増しが必要である。沈下には割石相互のかみ合いの進行によるものとめり込みによるものおよび割石間げきを海水が流動して割石下面を洗掘するために生ずるものがあり、波浪による流失とともに施工箇所の条件によってかなり異なり、現時点ではその定量的な把握は困難である。図-28 は基礎捨石を先行した代表的なケーソンについて据付け後 2~3 カ月間の沈下量を調べたもので、先行日数によってケーソンの据付け直後における沈下に緩急の差があるが、数カ月後の沈下状況はほぼ同様な傾向を示すことがわかる。表-6 は鹿島港における調査結果の一部である。これは沈下を減少する一つの試みとして帆布を砂地盤上に敷きその上に捨石を施工したもので、捨石上に設置した沈下板を介して捨石の沈下を直接的に測定している。これによれば、捨石の沈下は港内側とか港外側等の場所によってあまり変化せず、施工後 2 カ月程度でかなり落ち着く傾向を示している。捨石の割増量はこのような調査結果と従来の経験的実績に基づき地盤条件と捨石層厚を考慮して決定するのが実情であって、砂地盤の所では 20~30% とした例が多い。

c) 基礎捨石の所要重量

本論文で考慮しているような外海の防波堤では、その

表-6 防波堤基礎捨石の沈下量 (鹿島港 1967 年調査)
(単位 cm)

測 点	経過日数	経過日数				
		7 日	20 日	34 日	50 日	64 日
堤 内 側	1	5.0	10.3	23.5	31.9	35.1
	2	10.5	17.9	26.1	38.0	43.2
	3	7.2	11.9	14.3	21.1	25.2
	4	3.0	7.0	14.6	17.9	20.4
中 央 部	1	5.2	9.4	15.9	18.9	21.3
	2	12.1	17.2	18.8	22.9	24.8
	3	6.8	9.2	14.0	20.2	25.6
堤 外 側	1	3.2	8.3	14.3	19.5	21.7
	2	4.7	7.8	16.3	21.4	25.9
	3	4.1	11.0	15.8	21.5	25.3
	4	7.1	15.2	24.0	30.5	32.7
	5	3.8	9.5	16.0	22.7	26.2
平 均		6.0	11.2	17.8	23.8	27.3

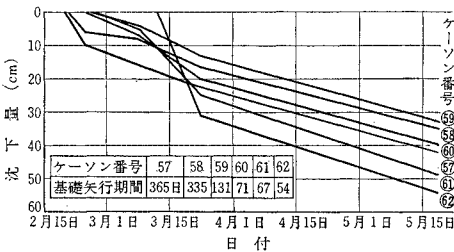


図-28 小名浜港における基礎捨石の先行とケーソンの沈下量 (1965 年)

基礎捨石の所要重量はプレブナーの計算図表で求めると 800~1 000 kg 以上が必要である⁵⁾。八戸、小名浜、鹿島の各港では 図-29~31 に示したように被覆石にはこの程度のもを使用するが、基礎捨石にはかなり小さめの割石を使用している。したがって、被覆が不完全な状態で荒天となる場合にはある程度の流失は避けがたく、基礎が浅いほど、また波高が大きいくほど流失量も多くなる。これを最小限に止めるには、堤高と波高に応じて割石も大きくしなければならぬが、大割石は大量入手が困難であり、潜水夫の作業効率も低下する等の欠点を伴い、割石重量の増加による流失予防が必ずしも経済的とは限らない点に留意する必要がある。

d) 均しの施工精度

一般の防波堤工事では、捨石均しの天端高の不陸が +0、-3 cm 以内の施工精度が要求され⁶⁾、仕上げ用として細粒の割石を用いて入念に施工する限りでは、これが必ずしも過大な要求でないことは長年の施工実績によって裏付けられている。しかし、外海の防波堤の基礎均しには施工中に均し面が変化する要素もあり、施工精度の低下は避けがたい。たとえば、据付け中のケーソンの

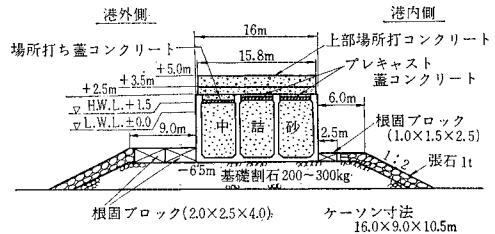


図-29 八戸港北防波堤断面図 (1968 年度より) 単位: m

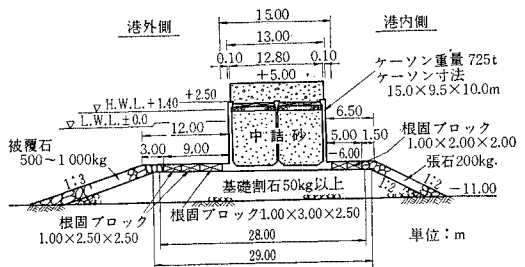


図-30 小名浜港第一西防波堤Eタイプ

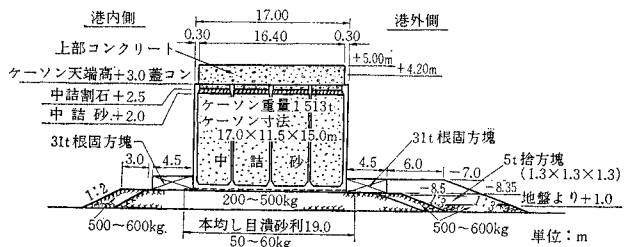


図-31 鹿島港南防波堤Bタイプ

動揺による衝撃や中詰施工中の荷重の偏心の影響を受けて均し面が傾くことは往々にして認められる。また、均しの精度を高めるにはかなり細粒の石片を使用して入念に仕上げなければならないが、これが多少の波でも散乱しやすだけでなく、均し作業だけでも相当の期間を必要とし外海での急速施工の障害となることは明らかである。一方、均しはケーソンの実際の状態をその設計計算上の仮定、すなわち、底版に作用する反力を分布荷重と考える、滑動抵抗を底版全面にわたって均一に分布すると考える等の条件に近似せしめるために行なうものと考えてよい。b) で述べたように、ケーソンは据付け直後に 10~20 cm 程度沈下して次第に落ち着くことや、底版の厚さは一般に 50 cm 程度であって個々の割石より受ける反力の分布状況を考慮すると、均しの施工精度としては ±10 cm 程度が実情に即した値と考えてよい。

e) 洗掘とその防止

4. で述べたように作業可能日数が少ないとはいいながらも相当数のケーソン据付けが可能である。しかし、在来の実績(1963 年度以前)では、年間 10~15 函程度に過ぎず、その原因の一つとして据付けたケーソンの先端部の基礎捨石が 図-32 のように度々洗掘され、その補修に貴重な作業可能日を消費していたことがあげられる。すなわち、低気圧等による波によって先端ケーソンの隅角部の捨石が直径 6~7 m、深さ 1~1.5 m の椀状に吸出され、中間に吸出された捨石の一部が堆積する。こうした先端部の洗掘はその発生頻度から推定して $H_{1/10}$

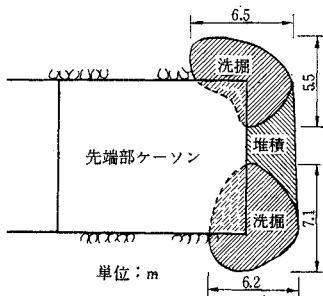


図-32 先端部ケーソン基礎の洗掘状況 (小名浜港, 1964 年 5 月 2 日, 推定波高 $H_{1/10}=4.8$ m)

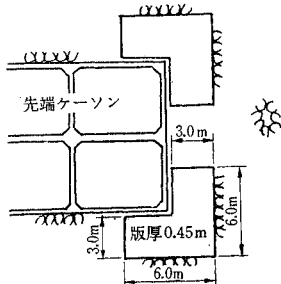


図-33 小名浜港における防災根固ブロック (1964 年以降)

=2.0 m 程度の波によって生じ、その補修に 3~4 日要したことが据付け工事進捗の障害となっていた。この洗掘を防ぐには先端部の捨石を安定性の大きいブロックで被覆し、うねりで生ずる渦流による吸出し作用を遮断すればよく、被覆ブロックとして 図-33 のような L 形の鉄筋コンクリート版を試みた結果、荒天に際しても防止版の移動も洗掘も全く生ぜず、洗掘防止に有効なことが実証されている⁷⁾。

(2) ケーソンの据付け

a) 据付け方法の概要

防波堤の本体工であるケーソンの据付けから蓋コンクリートの施工までは 図-20 に示したよう一連の作業であり、その施工方法は波浪条件やケーソンの大きさ、作業船舶等によって多少相違する。これは静穏な海面における在来の方法を外海の波浪条件に応じて改善したもので、多くの点で作業時間の短縮と耐波浪性の向上が計られている。

図-34~36 はそれぞれ八戸、小名浜、鹿島の各港における据付け方法を図示したものである。据付け準備は各港とも多少異なり、据付けに曳船ないし押船を一隻のみ使用する八戸港と小名浜港では図示のように 4~5 t のアンカーを防波堤延長上の内外に各 2 個設置し、鹿島港では曳船と押船計 4 隻を同時使用することによってアンカーを廃している。アンカーの移動設置は相当の労力と長時間の作業を必要とし、一度で数函分のケーソン据付けに利用できるような位置に設置するのが普通で、アンカーとケーソンを結ぶワイヤロープと防波堤法線のなす角が 60° 以下になるとケーソンに作用する法線方向の合力が過大となって据付けが困難になる。また、仮置場に沈設中のケーソンは据付け前日ないし当日に注水バルブを取付けた後ポンプを用いて排水浮上し、上面を作業用の足場蓋でおおって曳航準備を終える。

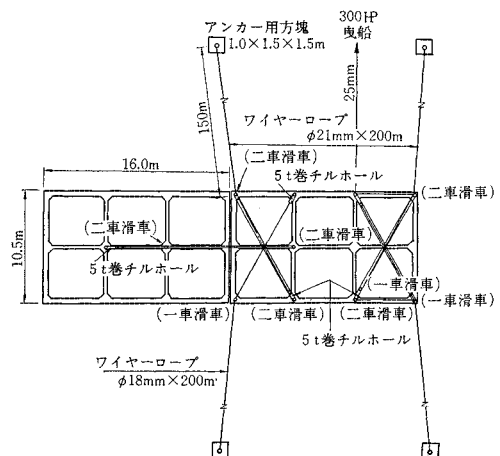


図-34 八戸港ケーソン据付け図 (1968 年)

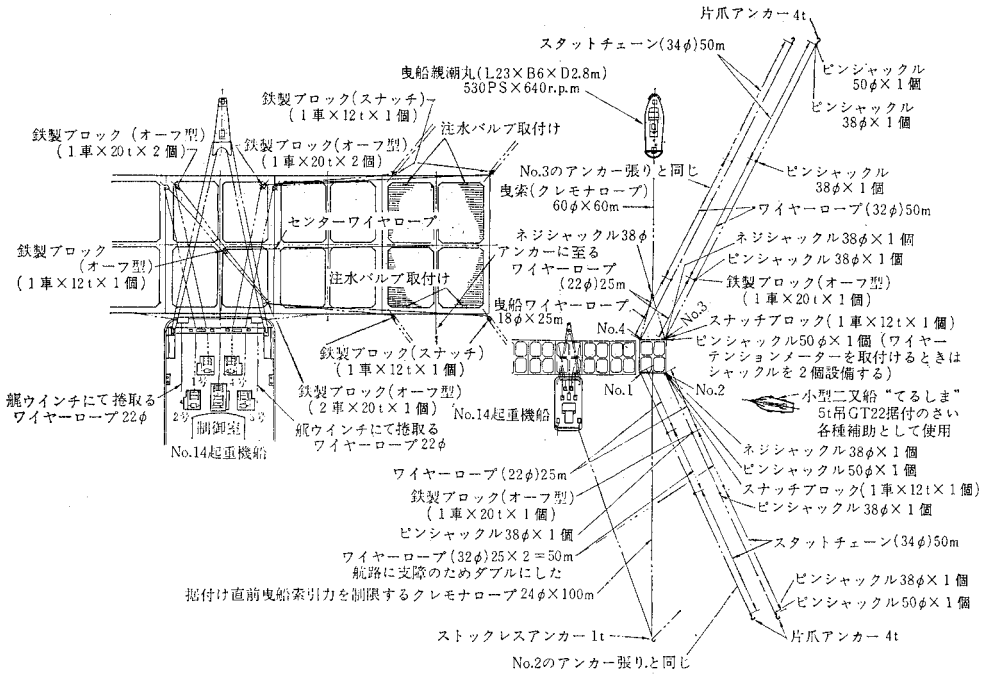


図-35 小名浜港ケーソン据付け図 曳船を使用した場合 (1967)

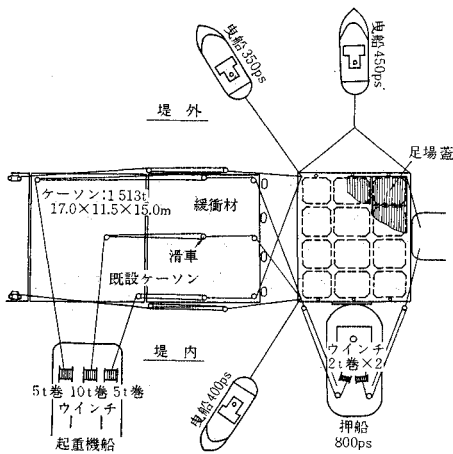


図-36 鹿島港ケーソン据付け図

曳船ないし押船で据付け予定位置の付近に運んだケーソンは上述のアンカとワイヤロープで結び、このワイヤロープをウインチないしチルホールを操作して相互に緊縮弛緩せしめることによってケーソンを所定の位置に引き寄せ、注水バルブを開放して注水沈設する。アンカーを用いない鹿島方式では、押船と曳船を 図-36 のように配置してケーソンの防波堤内外方向への移動を拘束しながら、起重機船のウインチを操作して既設のケーソンに引寄せ、この状態で注水して沈設する。

以上の据付け作業は 4.2 で述べた作業可能限界波高以下の比較的静穏な波浪条件の下で行なうのであるが、こ

のような場合でも相当のウネリが無い日はきわめてまれで、ケーソンも作業船もそれぞれの固有周期でピッチングとローリングを繰返すだけでなく、波力によって堤外側より堤内側に押流されるのが普通である。こうした条件下でケーソンを所定の位置にかなりの精度で迅速に据付けるには、ワイヤロープの緊縮弛緩操作と注水バルブ開閉のタイミングにかなりの熟練を必要とする。一般には据付け中のケーソンを基礎捨石の天端すれすれまで一次注水して沈めた状態で堤外側に 0.5~1.0m はみ出させて待機し、ケーソンが大きなウネリを受けて少しずつ後退して既設ケーソンの法線と一致する直前に二次注水して沈設を終える。このタイミングが狂ってケーソンが後退し過ぎた場合はポンプ排水して再び浮上せしめ上述と同様の操作を繰返して所定の精度内に据付ける。

b) ケーソンの据付け天端および基礎捨石の天端高さ

外海の工事では据付けたケーソンの天端が低過ぎると、常に越波したりしぶきを浴びて中詰めや蓋コンクリートあるいは上部コンクリートの施工が困難になる。一方、据付け天端が高過ぎる場合には曳航中の安定が悪く、また、基礎捨石の所要の高さが増して不経済になりやすい。経験的に得られた最適天端高さは、関東から東北にかけての太平洋沿岸では +2.5~+3.0m 程度である。

注水沈設前のケーソン底面と基礎捨石天端の間隔は小さいほど沈設所要時間は少なくてすむが、あまり小さすぎると波浪による動揺で底面が基礎捨石と衝突したりして作業が困難になる場合があり、これを 1m 程度と

するのが实际的である。

基礎捨石の天端高さは主としては波浪条件とケーソンの大きさ（ケーソン ヤードの能力）および防波堤断面全体としての経済性から決まるが、その決定に際しては上述のような施工上の要素についても考慮する必要がある。

c) 据付け時の衝撃によるケーソンの破損

a) で述べたように、ケーソンは据付け中にかなり動揺し、既設のケーソンに激突して隅角部を損傷する例が多く、図-37 はその著しい例である。損傷の程度が波浪条件が厳しいほど悪くなるのは当然で、表-7 は一例として小名浜港における岸壁ケーソンと防波堤ケーソンの損傷の程度を比較した結果である。これは据付け時の緩衝材として松板を用い、また、隅角部損傷に関する面取りの効果を調査するため面取りを全く行なわなかったケーソンを対象としたもので、損傷箇所の発生率はほぼ同じであるが、1カ所当りの損傷の程度は著しく相違することがわかる。小名浜港では、この調査結果に基づいて6×6cmの面取りを施すことにより損傷箇所数が面取りせぬものに比べて10~20%減少することが確かめられており、その大きさは隅角部における鉄筋のかぶり

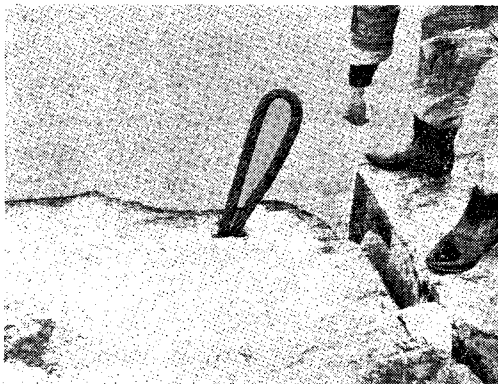


図-37 据付け時の衝突におけるケーソン隅角部損傷の一例

表-7 据付け中の衝撃によるケーソン損傷の程度 (小名浜港)

損傷部の容積 (×10³ cm)	損傷箇所の累加百分率		損傷部の容積 (×10³ cm)	損傷箇所の累加百分率	
	岸壁 ^{a)}	防波堤 ^{b)}		岸壁 ^{a)}	防波堤 ^{b)}
0~2	30.8	15.7	16~18	95.3	78.3
2~4	57.0	32.9	18~20	95.3	78.3
4~6	69.3	50.0	20~22	96.8	79.9
6~8	77.0	54.7	22~24	98.3	81.5
8~10	84.7	65.7	24~26	98.3	81.5
10~12	90.8	65.7	26~28	98.3	83.1
12~14	92.3	65.7	28~30	98.3	83.1
14~16	93.8	73.6	30~	100.0	100.0

- a) 昭43年度に据付けた4号埠頭の23面についての調査結果
 損傷箇所数：計65、1箇所当りの平均損傷量：6800 cm³
- b) 昭42年度に据付けた第一西防波堤および三階防波堤の27面についての調査結果
 損傷箇所数：計64、1箇所当りの平均損傷量：14800 cm³

に影響をおよぼさない範囲で上記の値よりいくぶん大きくするのが効果的と思われる。

ケーソンの破損を減少する方法の一つとして既設と据付け中の両ケーソンの間に、緩衝材を挿入することは以前から行なわれ、たとえばポンプ船用のゴムスリーブ、大型トラックのタイヤ、松材などが用いられている。緩衝材は同時にケーソン間の目地間隔や法線の修正を目的として用いる場合もある。しかし、緩衝材のみでケーソンの破損を防止することは不可能で、波浪条件の最もきびしい鹿島港では隅角部を1.5m幅の鉄板で巻いて保護することを試みている。

このように外海の施工ではケーソンの破損防止策を講ずることはかなり重要な意味をもつ。

d) 注水時間の短縮と注水バルブ

ケーソンの注水バルブはその径が大きいほど据付け時の沈設が速く、前述の注水のタイミングの調整が容易になり、据付けの所要時間の短縮と精度の向上に効果的である。在来は注水バルブに径5inのスルースバルブを各室2個、計8個(700~800t級ケーソンの場合)用い、これによる2次注水所要時間が約10minであった。この5inバルブの重量は1個当り58kgあり、その寸法を大きくすることは水中における取付けと取りはずし操作をますます困難にする。一方、バルブの開閉は1個に1名の作業員を配置して操作するので、その数を増すことは狭いケーソン上に作業員が密集して危険であり、工事の経済性にも影響する。上述の観点から各種のバル

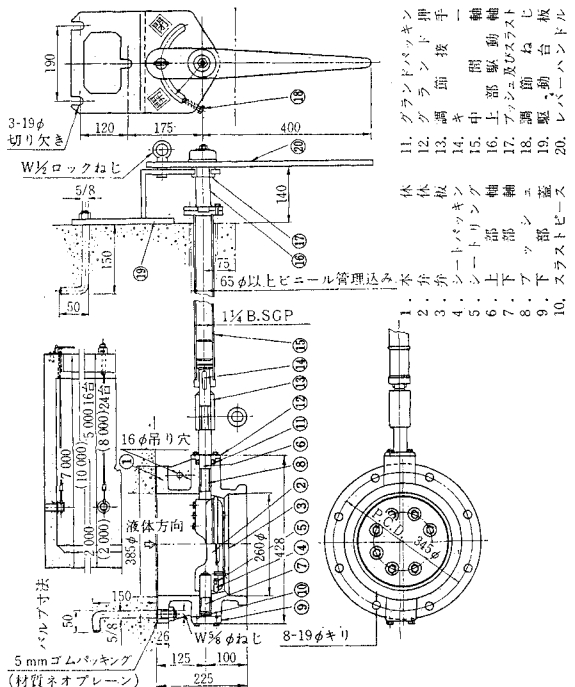


図-38 注水バルブ詳細図

ブを比較検討して 図-38 の軽合金製の蝶型バルブ（通称ビーエフバルブ）に切替えた。このバルブは非常に軽く、10 気圧用の口径 10 in でわずか 19 kg であり、さらに開閉動作が容易で確実等の利点もある。そこで、バルブの口径は鉄筋間隔も考慮して 10 in とするとともに個数を半減して 4 個とした。この結果 2 次注水は在来の半分の 5 min に短縮され、据付けが容易になった⁹⁾。このビーエフバルブは小名浜港でその効果が実証されたので、他港でもただちに採用しているが、その数はケーソンの大きさによって変え、たとえば鹿島港の 1500 t 級のケーソンに対しては 12 個として注水時間の短縮を計っている。

e) 注水孔の後埋め

d) ではもっぱら注水作業合理化を念頭に置いた注水バルブ改善の経過について述べたが、注水バルブはケーソン据付け終了後ただちに取外して、側壁の注水孔は鉄蓋や栓等で閉塞するもので、この意味では注水孔が大きいほど大きな弱点を残すことになる。後述のように、ケーソン防波堤の経済性および急速施工の可能性は中詰材料に砂や鉾滓等の粒状材料を用いる点に大きく依存している。したがって、万一にもケーソン本体にこれらの粒状材料の流出を許容するような孔やひびわれが発生すれば致命的な欠陥になる。注水孔は側壁に鉄管を埋込んで作るもので、この鉄管は海水と直接に接触して腐食しやすい状態にある。このため、その後埋めには各種の工夫を凝らしているがまだ完全な方法がないのが実情で今後の研究課題となっている。

現在の時点で行なわれている代表的な後埋めの方法を紹介すると 図-39 のようで、それぞれの欠点をあげる

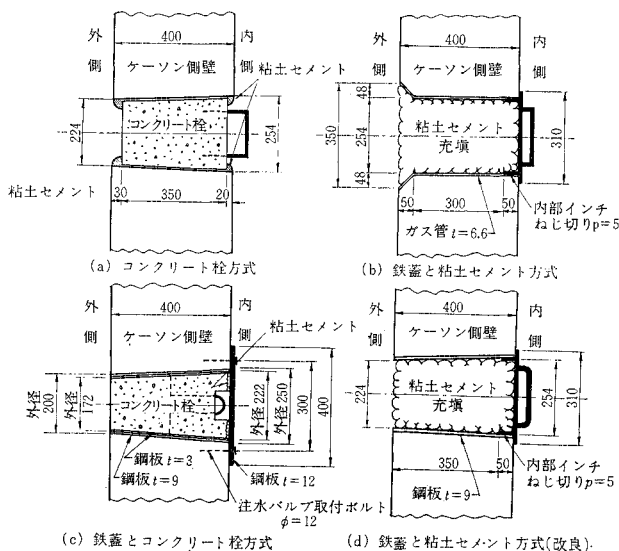


図-39 注水孔の後埋め方式

とつぎのようである。

(a) の方式はコンクリート栓と注水孔との嵌合が十分でなく、これを補う手段として粘土セメントを充填しているが、これが十分に硬化しない状態で波を受けた時の海水の流入圧で粘土セメントはもちろんコンクリート栓も吹き飛ばされない保証はない。(b) の方式は取りあえず鉄蓋をねじ込んで固定し、ケーソンの中詰め終了後に外側から粘土セメントを押込んで注水孔を充填するもので、粘土セメントの状態によっては波を受けて砕けたり、吸出されたりする可能性が無いわけではない。(c) の方式は海水の流入圧で吹き飛ばされるおそれはないが、鉄管と栓周辺の鉄板が腐食しやすい状態にあることは (b) の方式と同様である。

いずれの方式でも孔径が大きいため、鉄蓋をねじ込む際とか栓を押込む際に波を受け、海水の流入圧で吹き飛ばされて潜水夫にあたる危険があり、ねじ込みや押込み操作が簡単で確実に固定できるものでなければならない。小名浜港西防波堤の施工例について波の激しい堤外側の注水孔後埋めの状況を調査した範囲では粘土セメントが確実に充填されて防食材料としての機能を果たしているものようである。しかし、粘土セメントの配合とか充填後の脱け出し防止にはさらに改善の余地がある。たとえば、在来の配合は重量比で、セメント：粘土* = 1:2 程度のもので、 $\sigma_3 = 15 \text{ kg/cm}^2$ 程度に過ぎず、これを 1:1 程度に改めることにより $\sigma_3 = 30 \text{ kg/cm}^2$ 程度の強度を期待でき、また充填性も変わらない。また、注水孔の埋込み鉄管についても 図-39 (d) のような形に改めて粘土セメントの脱出防止を確実にするとともに、これを非鉄金属ないし合成樹脂材料に改めることを検討中である⁹⁾。

f) 据付け時間の短縮

据付け作業に要する時間は施工条件によって異なるがたとえば鹿島港における標準的な所要時間は 図-20 のようであって、注水据付けまでの工程を考えると 3 函連続据付けの場合でも 5~6 hr に過ぎず注水据付けには 1 函 40~60 min 程度である。小名浜港の場合には 図-40 に示したようにさらに短い。このような据付け時間は年間の据付け函数が 10~15 函程度であった頃の 1/3~1/4 で、近年に行なわれた据付け作業の合理化がきわめて著しいことを例証したものといえよう。これは据付け時にワイヤに作用する荷重の実測結果に基づいて安全率が 2 程度になるように細径のものを選んで、ワイヤの運搬や取付等の操作の容易化と迅速化を計る、従来のシヤクル式 2 車滑車をスナッチ式単車滑車に改めて滑車重量の減少とワ

* 空気中で乾燥して粉末としたもの、含水量約 20%

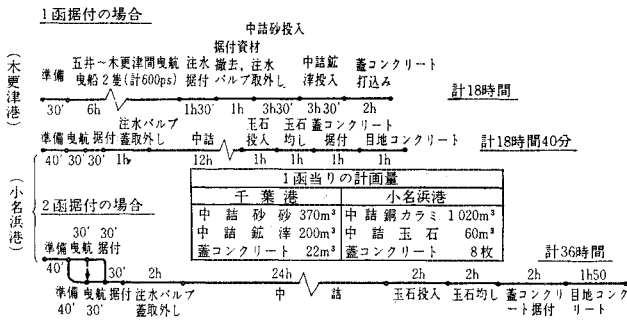


図-40 小名浜港におけるケーソン据付けの作業時間 (1968年)

表-8 三港におけるケーソン据付け精度の実績

港 別	精度の範囲 (cm)	隣接との間隔		精度の範囲 (cm)	法線の出入	
		① (%)	② (%)		③ (%)	④ (%)
八 戸 港 1966年8月~ 1967年12月 34 函	0~5	45.5	30.3	±5	29.4	35.3
	0~10	63.7	69.7	±10	50.0	58.8
	0~15	75.8	78.8	±15	67.6	67.6
	0~20	84.9	81.8	±20	82.3	79.4
	0~25	90.9	0	±25	88.2	—
26以上	100	100	±26	100	100	
小 名 浜 港 1967 年 44 函	0~5	47	47	±5	88.5	81.5
	0~10	98	93	±10	98	95.5
	0~15	100	100	±15	100	100
鹿 島 港 1967 年 51 函	0~5	11.8	15.6	±5	20.0	26.5
	0~10	25.4	33.4	±10	42.2	46.9
	0~15	49.0	53.0	±15	64.4	63.2
	0~20	67.0	65.0	±20	75.5	85.7
	0~25	73.0	82.0	±25	84.4	87.7
	0~30	85.0	86.0	±30	88.8	93.8
	0~35	90.0	92.0	±35	93.3	100
	0~40	92.0	94.0	±40	100	—
	0~45	97.0	—	±45	—	—
	0~50	100	100	±50	—	—

表-9 ケーソンの大きさや据付け精度との関係

区分 港名	ケーソン重 (t)	側面積 (波圧を受ける側) (m²)	据付け限界波高 $H_{1/3}$ (m)	据付け精度の範囲	
				隣接との間隔 0~15 cm (%)	法線の出入 0~15 cm (%)
八 戸 港	785	120.0	0.5	75.8~78.8	67.6
小 名 浜 港	725	95.0	1.0	100	100
鹿 島 港	1513	168.5	1.0	49~53	64.4

イヤのもつれ防止を計る、アンカーやチェーン、滑車等をワイヤの設計荷重に相当するものに改めるとともにウインチ ブレーキを過負荷重時にスリップする構造にして安全性の向上を計る、据付け専用の起重機船を新造して据付けウインチの操作をすべて船橋における遠隔操作に切替える、等の据付け作業に含まれる各種の工程を再

検討して合理化を進めた結果によるものである。図-40には比較のために東京湾内の木更津港におけるケーソン据付けの場合を例示した。

八戸港や鹿島港では作業船舶の整備が小名浜港にくらべてやや劣り、ケーソン据付け作業の合理化もさらに徹底する余地が残されているが、現時点でもかなりの程度進められており、上述の鹿島港の例もこうした合理化の成果の一部と考えてよい²⁾。

g) ケーソンの据付け精度

5. でも論じたように、波の荒い海外でのケーソンの据付けは大きな波力を受けながら行なうもので、その施工精度が静穏な海面でのそれよりかなり低下することは避け難い。法線のずれや目地の狭少が防波堤の機能や構造物の安定に影響する限界に関しては、まだ不明であるが、現行の施行基準*はむしろ美観と従来の施工実績に基づいたもので静穏な海面での施工では容易に満足し得るものであった。しかし、 $H_{1/3}=1m$ 程度を据付け限界波高とするような海外では実用性を欠くと思われる。たとえば、最近の八戸、小名浜、鹿島の各港での施工精度は表-8の通りであって上述の基準を満足するためには施工能率をかなり犠牲にしなければならない。

表-8によれば、据付け精度は三港の間でもかなり相違するが、これには据付け専用起重機船の有無や直営と請負の施工体制上の差とともに表-9に示したようにケーソンの大きさの差もかなり影響するものと思われる。また、隣接ケーソンの間隔については先に述べた緩衝材の大きさによって決まる所が大きい。以上の諸点を考慮すれば、海外におけるケーソン据付けの所要精度としては施工条件を考慮して、15~50 cm の範囲で選定するのがより実際的と思われる。

(3) 中詰めと蓋コンクリート

a) 施工方法の概要

所定の場所に注水沈設したケーソンにはその注水孔を5. (2) e) に述べたような方法で閉塞した後、ただちに中詰材料を投入充填し、その上に蓋コンクリートを施工して安定を計る。先にも述べたようにケーソンの据付けから蓋コンクリートの施工までは一連の工程であるが、図-20に示したごとく中詰投入の所要時間が最も長く、この間に波浪条件が変化し被災する例もまれではない。

中詰材料の投入には (a) 台船上にクラン シェルを装着したモビール クレーンないしショベル ドーザーを載せ、他の台船で運搬した中詰材料を投入する方法 (八戸港)、 (b) ガット船を用いる方法 (八戸港、鹿島港)、

* 法線方向の出入=±10 cm 以内、隣接ケーソンとの間隔=10 cm 以内¹⁰⁾

(c) クラム シェルを取付けたクローラー クレーンを既設ケーソン上に載せて、 120 m^3 積み程度の台船で運搬した中詰材料を投入する方法（小名浜港）、(d) コンクリート プラント船を用いて投入する方法（小名浜港）等の各種の方法が行なわれている。いずれの方法にも長短があるが、それぞれの方法ごとに主な長短を列挙するところの通りである。

(a) は運搬用台船を複数配置することによりピストン輸送して作業能率を上げることができるが、台船相互の取合いが悪く耐波浪性が低い。

(b) は積み込み、運搬、投入の作業を1隻のガット船で行なう場合が多く、積み込みと運搬にかなりの時間を費し、作業能率が悪い。

(c) は複数の台船でピストン輸送する場合の作業能率は4方法中最も優れているが、既設ケーソン上のクローラー クレーンの緊急避難が困難で、天候が急変した際に被災した例がある。

(d) は中詰材料を甲板には積載して曳航運搬し、容量の大きいベルト コンベヤーで投入するもので、積み込みと運搬に割く割合が大きく、結果的にはその作業能率は(a)の方法とほぼ同程度になる場合が多い。

蓋コンクリートは作業時間をできるだけ短縮する意味でプレキャスト コンクリートの蓋を台船で運搬し、起重機船ないしクローラー クレーンで吊って据付けるのが望ましい方法（八戸港、小名浜港）である。しかし、ケーソンが大きく起重機船のリーチが不足する場合や上記の方法を採用できない場合もあり、ガット船等で生コンクリートを運搬して場所打ちとする例（八戸港、鹿島港）もある。

b) 中詰め材料と作業時間の短縮

ケーソンの中詰めには従来は既設の方塊や割石あるいは水中コンクリートを用いた例が多い。これはケーソン防波堤の耐久性の観点からは最も望ましい方法であるが、砂等を用いる場合に比べて経済性の点で劣り、波浪による動揺のため起重機船と台船との取合いが悪いかグラブの能率が低いといった諸点で大量急速施工にははなはだ不適当である。

砂とか銅がらみのような鉱滓は上述のような経済性と大量急速施工の観点から中詰材料として採用され、これによって中詰投入時間も著しく短縮されたが、なおかつケーソンの据付けから蓋コンクリートの施工までの一連の作業の中で中詰投入の所要時間が最も長い。図-41は波浪条件の変化によって中詰投入を中断した結果、中詰砂が洗い流されて側壁隔壁が無防備となって破損した状況の一例である。

中詰投入時間を短縮する一方法として中詰表層部の割石を省くことが考えられる。図-20に示したように中

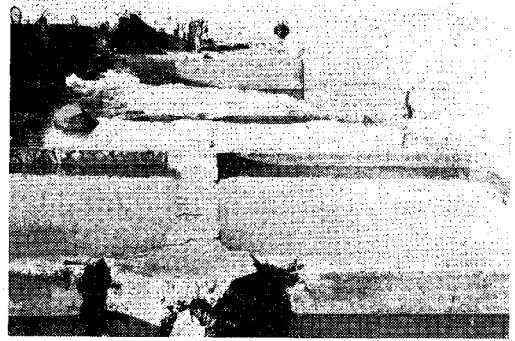


図-41 蓋コンクリートの施工が完了する前に高波を受けて被災したケーソン

詰割石の投入と均しの占める割合はかなり大きい。これは蓋コンクリートの施工が遅れた場合に越波による中詰砂の吸出しを防止することを期待して投入するものであるが、その効果は必ずしも十分でないこと、中詰割石を省くことによって蓋コンクリートの施工をかなり促進できること等の観点から最近はこの中詰割石を省く傾向にある。たとえば鹿島港では中詰砂の上にビニール布を直接敷き、その上に場所打ちの蓋コンクリートを直接施工する方法を採用し、小名浜港では中詰の銅緩上に直接プレキャストの蓋コンクリートを据付けた場合、割石に比較してグラブ効率が良く、かつ均しも容易な砕石で置き換えた場合等の試験工事を実施して改善方法を検討中である。

c) 蓋コンクリートの設計条件

蓋コンクリートも施工途中で被災しやすいものの一つで、これが破損して中詰材が流出しケーソンの破壊ないし滑動に至った例もある。蓋コンクリートは越波時に流失しないだけの単体重量もち、さらに波の衝撃によって折損しないだけの厚さをもつように設計するのが建前で、さらに、プレキャストの場合には起重機船の能力を満足する大きさでなければならない。こうした観点から場所打ちの場合には厚さ 70 cm の無筋コンクリートとし、打込み後少なくとも 24 時間程度の硬化時間を見込むのが普通である。一方、プレキャスト蓋の場合には蓋厚を 50 cm とし、吊下げ等の荷役や据付け時の衝突による衝撃を考慮して断面の 0.1% 程度の鉄筋を挿入する。従来の施工例では蓋厚を 30 cm とし、波の衝撃で割れた例があり、50 cm としても据付け時にケーソン側壁と衝突してひびわれの生ずる例は往々にして認められる。蓋コンクリートと隔壁との間隔としては一辺 7.5 cm 程度が、据付けもさほど困難ではなく、また中詰めも流失し難い限度と思われる。

d) 側壁と隔壁の設計条件

ケーソンの設計において蓋コンクリートが未施工の状態が高波を受けることを予想してケーソン壁を現行より

も補強することは通常の場合には必要がない。しかし、外海の防波堤では据付け作業中に波浪条件が変化し、蓋コンクリートを施工しないで放置せざるを得ない場合がしばしば経験され、被災例によれば、この時に受ける波の圧力と衝撃に対して最も弱いのは隔壁と側壁である。したがって、工事が多く天候が急変しやすい時期に工事を実施する場合には、あらかじめ補強して置くのが望ましい。具体的な補強方法については、波高、周期、波向、前面水深、ケーソン天端高等の影響する要因が多く、今後の研究にまたねばならないが、たとえば、鉢巻（アゴとも略称し、側壁および隔壁の上縁部で断面を大きくした部分）の強化とか隔壁の配筋を複鉄筋とする方法が考えられる。

(4) 上部コンクリートと根固ブロック

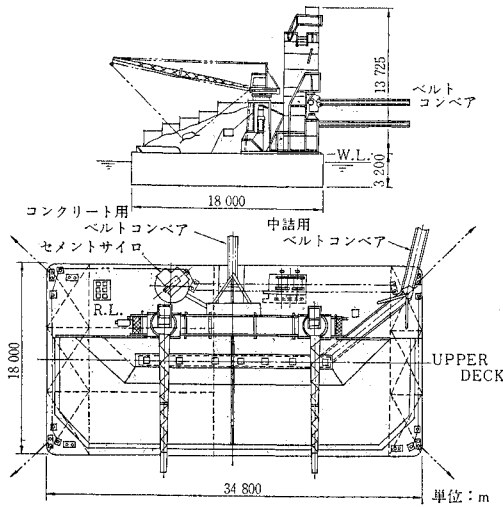
a) 施工方法の概要

上部コンクリートの施工には、台船にコンクリート運搬用のスキップを多数積込み、これを他の台船ないし既設ケーソン上に据付けたクローラー クレーンで操作してコンクリートを打込む方法、ガット船で運搬と打込みを行なう方法、専用のコンクリートプラント船を用いて現場で練りまぜと打込みを行なう方法等が行なわれている。

根固方塊の据付けはブロックヤードから起重機船を用いて台船に積込み、据付け現場まで運搬し再び起重機船を用いて港内側より据付けるのが最も望ましい形である。実際の作業工程もこれに近い形で行なわれているが、現場の設備状況に応じて変形せざるを得ない。たと

表一10 上部コンクリート作業時間の比較 (小名浜港)

スキップ使用の場合 (台船1往復10m ³)				プラント船の場合 (1往復300m ³)	
練りまぜ	台船 A 13'	台船 B 13'	台船 A 13'	材料積込み	3h00'
積み込み	13'	13'	13'	曳航 (往)	30'
曳航 (往)	15'	15'	15'	練りまぜ	10h00'
打設	30'	30'	30'	打設	
曳航 (復)	10'	10'	10'	曳航 (復)	30'
計	40' / 往復 × 21 往復 = 14h			計 1 往復 14h	
コンクリートプラント: 1基, クローラークレーン: 2台 (スキップ積込み 積下しおよびコンクリート打込み), 台船: 2隻 (各1m ³ 積みスキップを10個積み), 曳船: 1隻 コンクリート施工量: 14 × 10 = 140m ³				コンクリートプラント船: 1隻, 曳船: 1隻, 骨材積込み用ベルトコンベア: 2基, コンクリート施工量: 300m ³	



図一42 コンクリートプラント船双竜号 (小名浜港; W建設KK所属)

主要諸元

鋼製	650 G.T.
長さ	34.8 m
幅	18.0 m
満載吃水	2.8 m
ミキサ	E-BA 0.6 m ³
セメントサイロ	100 t
作業能力	
コンクリート材料	300 m ³ 積
コンクリート混合	20~30 m ³ /h
中詰材料	600 m ³ 積
中詰め	200 m ³ /h

えば、八戸港や鹿島港では起重機船のリーチが短い港外で据付け作業しなければならない。この場合、波浪のあるときは運搬船と起重機船との取合いが困難で、作業が危険になるため、ブロックヤードから起重機船で吊上げたまま現場まで運搬し、据付けることが多く作業能率が著しく低下する。

b) 練りまぜから打込みまでの時間

上部コンクリートの施工位置が海上であるため、スキップとかガット船を用いる方法は積込みと運搬に相当の時間を要し、この間にコンクリートのワーカビリチーが低下して打込みが困難となり、また作業時間も長くなるのが欠点である。表一10は一例として小名浜港第一西防波堤の場合の各工程所要時間を示したもので、夏季の施工ではこの傾向は一層著しい。図一42はこうした問題点の対策として開発された作業船でコンクリート材料 (コンクリート 300 m³ 相当分) を積載して施工現場に曳航し、現場で練りまぜと打込みを行なうことができ、表一10のように施工能率もかなり改善される。このプラント船には図示のように中詰用のベルトコンベアも装備されており、中詰材料の投入にも供用できる。

c) 波浪条件と上部施工の段取り

八戸港と小名浜港では、上部工はケーソン据付け天端 +2.5 m から +3.5~3.7 m までを1段目とし、それ以上 +5.0 m までの計画高までを2段目として2工程に分けて施工している。これは、(a) 全体を一度に打込むと単位延長当りの施工量が多く、施工延長が相対的に短くなること、

(b) ケーソンの天端高が低いので上部工の施工可能日数が限定されており、静穏日に1段目の施工延長をできるだけ長くすることにより2段目は多少の高波があっても施工可能となり、結果的に作業可能日をより有効に使えること、等を考慮した結果に基づく。経済的な観点からは型わく費等の点でも有利になると考えられ、一般には荒天による作業船や機械設備の拘束日数を減少することの効果も期待できる。

d) 起重機船の到達距離

a) で述べたように、根固方塊の据付けは港内側から施工できれば作業可能日数も多くなり安全かつ迅速に施工できる。図-22の起重機船はケーソンの据付けとともに根固方塊の港内側からの据付けが可能のように設計されたもので、荷重30tで18.5mのリーチを有する。外海における防波堤の急速施工ではこのような起重機船の有無が作業能率に大きく影響するもので、その整備は急速施工の成否を決定する要素の一つといえる。

e) 起重機船と運搬船の取合い

根固方塊やプレキャストコンクリート蓋またはコンクリート運搬用スキップ等を海上で起重機船が運搬船から取合う場合、両方の船舶の波浪による動揺が同一でないため作業が不可能となる事例が多い。従来経験では取合い可能な範囲は波高が0.5m程度までであるが、船舶の大きさによっても異なり、たとえば、起重機船のリーチが長ければ動揺も一般に大きくなり、一定した基準は定めがたい。この種の取合いの可否は工程計画に影響する所が大きく、実船操作によってあらかじめ検討しておくことが必要である。

6. 結 論

1.~5. において外海におけるケーソン式防波堤の施工に関して、主として海象条件の特異性の観点から計画、設計および施工上の各種の問題点を検討するとともに近年における施工方法合理化の成果を評価し、これを体系づけることを試みた。要約するとつぎのとおりである。

a) 港湾整備に対する要請は従来は東京湾、大阪湾あるいは瀬戸内海などの自然条件に恵まれた地域に集中する傾向が濃厚であったが、近年では、背後地に開発発展の可能性を有する地域では外海に面した港湾に対しても要請が急速に強まって来ている。このような港湾における開発整備の問題点はその厳しい海象条件のゆえに急速施工の可否に集約されている。

b) 防波堤施工上の観点から外海の特性を考えた場合、波の発生源が広範囲にわたり、波高が大きく周期の長い波浪が来襲する頻度が多く、内海のような静穏な海面は

ほとんど期待できない。また、日本海のいくつかの港におけるように冬期に最も卓越するような季節的特異性も認め難く、現地の局地的な気象条件とは無関係に大きな波浪が来襲する場合も少なくない。

c) 防波堤の構造様式としては直立堤、傾斜堤、混成堤および特殊構造の防波堤が考えられるが、外海を対象とした防波堤として実用性をもつものは現時点ではケーソン式防波堤に限定されると考えてよい。しかし、この構造様式の経済性も相対的なものであり、また、中詰材料として砂や鉍滓を用いることの可否については鉄筋コンクリートの耐久性の観点から再検討が必要である。

d) 外海の防波堤工事で施工計画に影響をおよぼす重要な要因としては工種別の作業可能限界波高、海象条件による作業可能日数、作業施設と船舶機械の規模と性能等が考えられる。従来経験によれば、限界波高はいずれの工種の場合も $H_{1/10}=1\sim 2$ mの範囲にあり、年間の作業可能日数は概して少なく、とくに数日間連続して作業可能な日数はきわめて少ない。このため、大量のケーソンを急速施工するためには波浪予測を行ない、作業可能日数を有効に消化する必要がある。

e) 基礎捨石については砂地盤へのめり込みや洗掘による沈下あるいは波浪による流失はある程度避けがたいが、たとえば、捨石量をあらかじめ20~30%割増し、投入をケーソン据付けに数カ月先行せしめることによって対処できる。ケーソン据付け先端部における洗掘に対しては防災根固ブロックが効果的なことが実証されている。また捨石の均し精度については ± 10 cm程度が実情に即した値と思われる。

f) ケーソンの据付けから中詰めおよび蓋コンクリートの施工に至る工程は連続して行なう必要があり、作業可能限界ぎりぎりの状態で施工する場合が多く、波浪条件によってはこの一連の作業を中断せざるを得ないことも少なくない。こうした背景の下にその大量急速施工を計るためにここ数年間に施工方法の細部まで再検討が加えられ、かなりの程度合理化され、所要時間の短縮と安全性の向上が実現しているが、なお、据付け時の耐衝撃性の向上、注水孔の腐食対策、蓋コンクリート未了時の高波に対する補強方法、据付精度の向上等の改善を要する問題点も少なくない。

g) 上部工と根固工の施工は作業船舶の性能と容量が最も影響する工種で、既設ケーソンの港内側よりコンクリートを打込み、あるいは港外側の根固方塊を据付け得る場合には作業可能日数が著しく増加し、また、施工能率もかなり向上する。しかし、実際に所要の水準以下の作業船舶ないし機械設備のみで施工せざるを得ない場合には、波浪条件を考慮した工程計画や船舶相互間の取合い等についてあらかじめ検討する必要がある。

本論文に収録した資料の収集に当っては、新潟、神戸、京浜、八戸、鹿島および小名浜の各港の工事関係者のご協力による所が極めて大きい。ここに厚くお礼申上げる。

参 考 文 献

- 1) 運輸省港湾局：“第三次港湾整備5ヶ年計画(1968~1972)”，1968年
- 2) 運輸省第二港湾建設局：“外海におけるケーソン防波堤の施工方法とその問題点”，第19回直轄港湾技術研究会資料，78 pp.，1968年11月
- 3) 吉村芳男：“ケーソン防波堤の急速施工例”，土木学会誌，51巻9号，pp. 41~47，1966年9月
- 4) 運輸省第二港湾建設局小名浜港工事事務所：“港湾工事における波浪予測”，340 pp.，1966年12月，“小名浜港における波浪予測の現況”，51 pp.，1968年1月

- 5) A. Brebner, D. Donnelly：“Laboratory Study of Rubble Foundations for Vertical Breakwaters”，Proc. 8th Conference on Coastal Engineering, Ner Mexico City. p. 408~429, 1962
- 6) 運輸省港湾局：“港湾工事共通仕様書”，日本港湾協会，p. 36, 1964年3月
- 7) 吉村芳男：“ケーソン防波堤の急速施工例”，土木技術，20巻10号，pp. 87~93, 1965年10月
- 8) 吉村芳男：“波のある時のケーソン据付”，港湾，44巻2号，p. 47~52, 1967年2月
- 9) 赤塚雄三・望月和昶：“ケーソン注水孔の後埋めについて”，港湾，46巻4号，p. 46~49, 1969年4月
- 10) 運輸省港湾局，“港湾工事共通仕様書”，日本港湾協会，p. 113, 1964年3月

(1969.3.24・受付)