

技術展望

TECHNICAL OVERVIEW

技術展望

鉄筋コンクリートの歴史 — 港湾構造物 —

HISTORICAL DEVELOPMENT OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES FOR PORT AND HARBOUR FACILITIES

山下生比古*・福手 勤**

Ikuhiko YAMASHITA and Tsutomu FUKUTE

* 運輸省港湾技術研究所長
(〒239 横須賀市長瀬 3-1-1)

** 運輸省港湾技術研究所構造部材料研究室長

Keywords : port and harbour concrete structures, caisson, break water, volcanic ash, historical development

1. ま え が き

わが国における本格的な近代港湾の整備は、鎖国が終わって外国との貿易が盛んとなった明治にはいつからで、英国、オランダなどの外国人技術者の指導のもとに始まった。しかし当時の港湾技術者の努力によって、間もなくわが国の独力で港湾建設が進むようになった。港湾工事にコンクリートが用いられるようになったのもその頃からである。

防波堤におけるコンクリートは、明治20年代に横浜港、小樽港、大阪港などでコンクリートブロックとして用いられたのが始まりで、その後神戸港では鉄筋コンクリート(RC)ケーソン式防波堤が世界で初めて建設された。

岸壁では明治17年に人造石¹⁾(正確には石灰安定処理土で、たたきとも呼ばれる)ブロックで係船突堤が広島(宇品)港で建設された後、横浜港で本格的なコンクリートブロック積み岸壁が施工された。その後、明治後半から昭和初期にかけて、RCケーソン岸壁、RCポンツーン栈橋、RC杭式栈橋、RC矢板物揚げ場、L型岸壁、RCウェル岸壁、RCセル岸壁などの新しい形式の岸壁が建設されていった。

戦後、コンクリート用の新しい混和材料が開発されるのに伴い、港湾コンクリート構造物にもプレパクトコンクリート²⁾や水中不分離性コンクリートなどが使われ、施工の合理化が図られるようになった。さらにプレストレストコンクリート技術³⁾や大型構造物の設計、施工技術の進歩につれて、マルチセルラーケーソン、局面スリットケーソン、二重円筒ケーソンなどの新形式の防波堤や、水深60mに達する大水深海域での防波堤の建設も始まっている。表-1はわが国の港湾コンクリート技術の変遷、図-1は防波堤設置水深の変遷を示してい

る。

本報告では、港湾コンクリート構造物のうち、コンクリート技術の発展上のエポックメイキングとなったものをいくつか紹介する。

2. 近代の港湾コンクリート技術発展の黎明期

(1) 横浜港⁴⁾

横浜港は、防波堤によって大規模に泊地を保護したわが国最初の本格的港湾である。明治22年に、第1次築港工事として、現在の山下埠頭の付近に総延長約3700mの円弧状防波堤が建設された。これは、英国人技師H.S. パーマーの設計・指導によるもので、図-2に示すような断面をもつコンクリートブロック積混成堤であった。

当時のコンクリートの配合は容積配合であるが、いくつかの仮定のもとにブロックの製造に使用したコンクリートの配合を現在の質量に基づく配合表に直すと、表-2のようになる。セメントは英国製のもので、国産の浅野セメント、大阪セメント、愛知セメントが使用され、コンクリートの練りませには、蒸気式のミキサが用いられた。コンクリートの打込みは、型わく中にコンクリートを約30cm敷き、4人の入夫が杵で突き固めた後にその上に中割栗石を敷き、再びコンクリートを敷き同様の手順を繰り返すというものであった。翌日には脱型をし、表面の凹凸などはモルタルで補填した後、屋外でそのまま気乾養生をした。ブロックの大きさはいろいろあるが、およそ2m×1.5m×1m程度であり、1日の製作個数は1ミキサ当たり16個以下としていた。

パーマーはコンクリート工事にあたって、現場の職工長に以下のように指示している。すなわち、

『左の5項は、定備の職工をして、これに従事せしむることを要す。

表-1 わが国の港湾コンクリート技術の変遷

年 代	事 項
明治元年	1868年 兵庫港, 大阪港開港
2年	1869年 新潟港開港
11年	1878年 宮城県野蒜港, 福井県坂井港(現在の三国港)築港工事開始
17年	1884年 広島宇品港修築工事開始, 山土と石灰を混ぜた「人造石」を工事に使用
22年	1889年 横浜港修築工事着工, 広島宇品港修築工事完成
24年	1891年 横浜港でコンクリートブロックに多数のひびわれが発生, 原因追求の開始
28年	1895年 佐世保軍港の第1船渠の完成. しかし著しい漏水の発生. 原因追求調査の開始
29年	1896年 横浜港修築工事完成 三陸沖地震津波米襲(M=7.55, 家屋全壊77300戸, 死者7087人) (フェレが空隙セメント比法則を提唱)
30年	1897年 小樽港築港工事着工. その前年からモルタルの100年耐久性試験の開始 大阪港にて, コンクリートミキサの使用
35年	1902年 横浜港第1期税関海面埋立工事着工(ニューマチックケーソンを初めて使用)
39年	1906年 神戸港第1期修築工事着工 台湾基隆港で栈橋の桁として初めて鉄筋コンクリートを使用
43年	1910年 神戸港の岸壁工事に初めて鉄筋コンクリートケーソンを採用 函館港修築工事着工
44年	1911年 小樽港において世界で初めてケーソンを滑台で進水
45年	1912年 高松港でRCポンツーン栈橋(-7m), 大阪港でRC杭式栈橋(-9.7m)を施工
大正2年	1913年 浅野総一郎氏川崎港埋立(150万坪)に着手
3年	1914年 塩釜港, 新潟港, 青森港, 松山港, 門司港などで修築工事に着手
7年	1918年 (エブラムスが水セメント比法則を提唱)
8年	1919年 酒田港, 八戸港修築工事着工
11年	1922年 境港で初めてのL型岸壁(-7m), 新潟港でRC矢板物揚げ場(-1.2m)を施工
12年	1923年 関東大震災(M=8.16, 全壊家屋12584戸, 死者99331人, 行方不明43476人)により東京港, 横浜港, 横須賀港で防波堤, 岸壁に被害発生
昭和7年	1932年 (リースがセメント水比説を提唱) 尾道港でRCウェル岸壁(-7.5m)を施工
10年	1935年 姫路港でRCセル岸壁(-7.5m)の施工
26年	1951年 神戸港第7突堤工事でニューマチックケーソン工法, コンクリートポンプの採用
29年	1954年 門司港岸壁, 横浜港山下埠頭工事にプレキャストコンクリートの採用 洞爺丸台風来襲
30年	1955年 岩手県八木港にてコンクリート異形ブロックを初めて使用
34年	1959年 神戸港第5防波堤に真空沈設工法を採用 伊勢湾台風来襲, 伊勢湾高潮対策事業着工
38年	1963年 本格的掘込み式港湾である鹿島港の着工
39年	1964年 新潟地震により, 新潟港などに液状化の被害発生
41年	1966年 神戸港ポートアイランドの着工
43年	1968年 十勝沖地震により, 室蘭港などに被害発生
44年	1969年 衣浦港沈埋海底トンネル着工
53年	1978年 初めてのPC栈橋を酒田港で施工
55年	1980年 苫小牧港の斜路の補修に水中不分離性コンクリートを初めて使用
58年	1983年 日本海中部地震により, 秋田港などで液状化の被害発生
60年	1985年 大阪府阪南港で塩害対策としてエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用
62年	1987年 関西国際空港着工, 埋立護岸の地盤改良に遅効性セメントを用いた深層混合処理工法を採用
平成元年	1989年 釜石港湾口防波堤(-60m)のコンクリートケーソン製作開始 清水港などで鉄筋コンクリート栈橋の補修に電気防食工法を採用

- | | |
|--------------------------|--------------------------------|
| ① 砂利, 砂, 其他原料計量のこと | ず, 施工途中の明治25年11月に多数のブロックにひび |
| ② 原料調査のこと | われが発見された. 政府はこれを重視し, 原因究明及び |
| ③ コンクリート突き固めのこと | 対策のための調査委員会を発足させた. 調査は, 使用セ |
| ④ 枠組及び枠台据え付けのこと | メントの分析, 強度などの各種試験, 骨材, 配合, ブロッ |
| ⑤ 水管活嘴開閉のこと | ク製造法, 養生法, 水の浸透試験, 防波堤の構造のチェッ |
| しかしこのようなパーマの細心の注意にもかかわらず | クなど行う詳細なものであり, 8か月を要した調査の結 |

表-2 横浜港のブロック用コンクリートの配合 (中割栗石を除いたもの)

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和材料
150	6~7	4.5	55	38	115	215	800	1 300	-

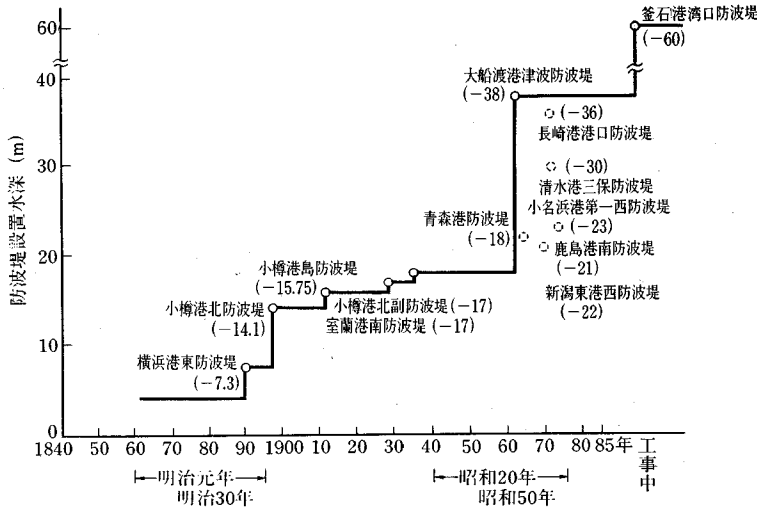


図-1 防波堤設置水深の変遷

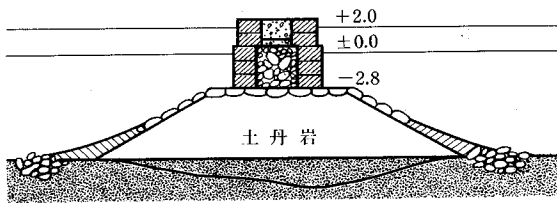


図-2 横浜港のコンクリートブロック積混成堤

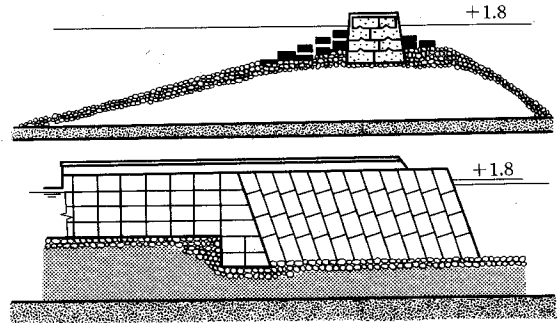


図-3 小樽港のコンクリートブロック積混成堤

果、以下のようなことが結論として得られた。カッコ内はその後対策としてとられたもののうち、主なものを示している。

- ① セメントの品質には問題はなかった。
- ② セメントの砂に対する分量がやや少なかった (セメントと砂の容積比が1:2.4であったのをその後1:2に増加した。ただこのような高価な配合のコンクリートは海水に接触する部分にのみ使用することでも良いとした)。
- ③ 割栗石がやや大きかったために、ブロックに空隙が残った (中割栗石の使用をやめた)。
- ④ 突き固めが不十分であった (突き固めの人夫数を増やすとともに、杵を大きなもの (約4貫目) に変更した)。
- ⑤ ブロック製造後の処理が悪かった (製造後の急激な乾燥を防止し、海中への据え付けは製造後約30日後とした)。

コンクリート工事に当たってのパーマーの指示事項、ならびにひびわれの原因調査とその対策は、現代の工事にもそのまま適用することができる高い水準であったといえる。

(2) 小樽港⁵⁾

小樽港での最初の本格的な築港工事は、明治30年に着手された北防波堤の建設である。この防波堤は総延長1289m、最大水深約15mで、工期10年という、当時としては極めて規模の大きなものであった。この防波堤の生みの親は、北海道庁技師兼札幌農学校教授で、初代の小樽築港事務所長の広井勇である。

小樽港北防波堤は、図-3のような構造を有するコンクリートブロック積堤であり、ブロックを斜め積みしていくことが特徴である。このように斜め積みすることで、

表-3 火山灰を混入したコンクリートの配合例

港名	小樽	佐世保	青森	船川	四日市	室津
セメント	1	1	1	1	0.65	0.7
火山灰	0.8	0.33	0.6	0.6	0.35	0.3
砂	3.2	?	4	3.2	2	3
砂利	6.4	?	8	8	5	6

注：佐世保は質量比、それ以外は容積比

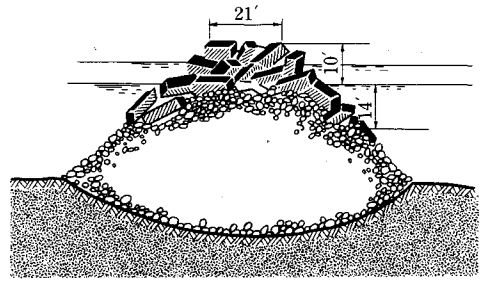


図-4 大阪港の捨て方塊被覆捨石堤

工事中の端部のブロックの脱落を防ぐとともに、隣接するブロックともたれ合わせるにより構造的に強固なものとなり、現在も小樽港の第一線防波堤としてその機能を果たしている。

先に述べたように、横浜港でブロックのひびわれが大きな問題となり、その原因のひとつにコンクリートの空隙が挙げられたため、小樽港の工事では特に入念な締め固めと品質管理が行われた。当時はエブラムスの水セメント比説が提唱される20年以上も前であるにもかかわらず、工事報文の一節には、『混凝土塊（コンクリートブロック）を製造するには水量及び突き固めの程度に最も細密なる注意と厳重なる監督を要し瞬時も放心を許さざるが故に当事者の苦心は実に察するに余りあり』と記されていて、水量の管理を重視していたことがわかる。

小樽港で使用されたコンクリートの特徴は、火山灰を使用したことである。周到な試験の結果、小樽においてもコンクリートに火山灰を混入することが有効であることが確認されたため、直ちにそれを実行した。つまり、当初容積比でセメント1、砂2、砂利・砕石4であったのを、明治35年以降はセメント1、火山灰0.8、砂3.2、砂利・砕石6.4とし、水は練り上がり量の12~14%とした⁶⁾。この水量は水セメント比で38~44%に相当すると推定される。火山灰の有効性は、佐世保軍港の船渠工事^{7),8)}でも確認されたため、海水の影響を受けるコンクリートでは、火山灰の使用が一般的となった。表-3はいくつかの港のコンクリート構造物での火山灰の使用実績^{8),9)}である。

小樽港でのブロックの製造手順は、まずセメント混合機により砂、セメント、火山灰を混合し、これをコンクリート混合機で砂利と混合した後、水を加えてコンクリートを練り上げた。締め固めは、当初17kgまたは7kgの「蝸（たこ）」と呼ばれる突き固め棒を用いて人力で行った。コンクリートは30cmずつ撒き出し、これを突き固めては表面にしみでる水分をポロ布で吸い取る作業を繰り返した。こうした作業を8人1組で行って、8m³のブロックを1日2個作るのが最大であった。しかしその後、毎分500回打撃可能な鎚を有する締め固め機が用いられるようになり、作業効率が大幅に向上した。

その後明治44年に小樽港では、ケーソン式の防波堤の建設を開始したが、その時のケーソンは世界で初めて

滑台を用いて進水された。

また、小樽築港を語る際に、忘れられないのがコンクリートの長期試験のことである。当時はコンクリートの配合や強度に関して未だ十分に解明されていなかったため、広井はモルタルの供試体を製作し、その強度の経時変化の試験を開始した。供試体の製作は、北防波堤着工の前年の明治29年から昭和12年まで続けられ、セメント13種類、火山灰など混和材料19種類、細骨材10種類で、その総数は6万個、364種類に及んでいる。残存する供試体は、空气中、海水中、淡水中に現在も保存され、1999年には材令100年試験が行われることになっている。

(3) 大阪港¹⁰⁾

大阪港の開港は明治元年であったが、当時は安治川を主とする河川港であり水深が浅かったため、大型船舶の入港が困難であった。市民による熱心な築港運動が結実して、明治30年に当時の市の予算の20数倍にあたる総工費をもって、大阪市が本格的な築港工事に着工することになった。

大阪港の本格的な築港は、オランダ人工師デリーケの設計に基づいて行われた。デリーケの立案した防波堤は、5900mの南堤と4200mの北堤からなり、その主要部の構造は図-4に示すように、粗石マウンドの上にコンクリートブロックを乱積みしたものである。

コンクリートブロックは、約1.8m×1.5m×1.2mの大きさで、重量は約8トン、全体で5万4千個余りが製作された。

材料は、ポルトランドセメント、砂は大和川産で4.5mmふるいを通過したもの、また砂利は海砂利を中心とし、4.5cmふるいを通過し、9mmふるいに留まるものを用いた。

コンクリートの製造は、攪拌器を用いてまずセメントと砂を混合してモルタルを作り、これを混和機内に移して砂利と混和してコンクリートにした。セメント、砂、砂利の配合容積比は、1:3.22:4.83で、水量はモルタルに対して、夏は8~9%、冬は7~8%であった。ブロックの製作は1層約24cmで突き固めて、順次打ち継いでいった。その打ち継ぎの手順として、以下の3種類の

方法を用いた。すなわち、

- ① 各層約 30 分間突き固めて、打ち継ぎのための接合処理はしなかったもの
- ② ①と同様の突き固めを行った後、打ち継ぎ面を熊手でかきおこし処理を行ってから打ち継いだもの
- ③ 突き固めの時間を 18 分間に減じて、接合面が空気に接する時間をできるだけ減じたもので、打ち継ぎ面の処理は②と同様なもの

製作されたブロックは、約 3 か月間陸上空気中で養生した後に、海中へ投入した。ところが、海中投入後、かなりのものの打ち継ぎ部にひびわれが発生していることがわかった。

この原因追求の中で、打ち継ぎ処理との関係を検討したところ、ひびわれの入ったブロックのほとんどは①の方法で施工され、また③で施工されたものには全くひびわれはみられないことがわかった。そのためその後の施工は③の手順を用いていくことにした。

その後、築港事務所はさらに詳細な検討を行った結果、次のような結果を得た。

- ① セメントの品質には問題はなかった。
- ② (打ち継ぎ部の) 施工法の問題点以外に、モルタル中の水の量が過多であった。
- ③ モルタル中のセメント量が少ない。セメント、砂の割合を 1:2 ないし 1:2.5 にすればより信頼性のあるコンクリートとなる。

(4) 神戸港^{11), 12)}

神戸港では、明治 43 年に第 4 突堤の建設にわが国初めての鉄筋コンクリートのケーソンが用いられた。これは森垣亀一郎がオランダ・アムステルダム港での例を視察し、それを参考に神戸港でも採用することにしたものである。ケーソンは全部で 80 函製作されたが、その第 1 号函は、高さ 11.7 m、長さ 33.6 m、幅 6.9 m、壁の厚さは 20~50 cm 程度、底版の厚さは 77 cm であった。また鉄筋比は 0.012 であった。

コンクリートの配合は、セメント:砂:砂利の容積配合で、底部で 1:2:3.5、上部で 1:2:3、水セメント比は約 50% であった。コンクリートの練りまぜは容量 0.6 m³ のキューブ式ミキサー 3 台を用いて、蒸気機関で運転した。コンクリートの打込みは流し込みによったが、鉄筋の間ではコンクリートの充填が不十分になる恐れがあったので、そのような場所には適当な器具を用いて軽く突き固めた。

コンクリート打込みの前日には砂と砂利を淡水で洗って塩分やゴミを取り除き、また施工当日の骨材の含水状態をなるべく一様にし、混和水量の加減をやすくするなど、当時としては非常にすぐれた品質管理を行っていた。

ケーソンの進水は浮船渠によって行った。また所定位

置に据え付け後は、函室にコンクリートあるいは砂を中詰めした。中詰めコンクリートはセメント 1、火山灰 4、砂利 10 の配合で、陸上のミキサーで製造し、運搬船で所定の場所に運搬した後、浮起重機船でケーソン内に投入した。

当時は、海水の影響でコンクリートにひびわれが入り、鉄筋が腐食することが懸念されていたため、鉄筋コンクリートの信頼性は現在ほど高くはなかった。そのため、万が一ケーソンの外壁に穴などが開いても致命的な事故にならないよう、外側の函室の中詰めには貧配合ながらコンクリートを用いていたのである。

3. 現代の港湾コンクリート構造物の建設技術

わが国の港湾コンクリート構造物の建設技術の基礎は、明治時代にほぼ確立されたといってもよいであろう。そして現在は、防波堤や岸壁の大水深化、また新たな形式の構造物、さらには新しい材料の開発に伴う合理的な施工法や高耐久性化への段階といえる。

(1) 水中不分離性コンクリート

港湾工事では、プレキャスト構造物を現地に設置することが多いが、中には海水中に水中コンクリートを直接打ち込むこともある。従来水中コンクリートは、普通のコンクリートを水中に流し込む方法、プレパクトコンクリートによる方法などが使われてきたが、1980 年に高分子材料を用いた水中不分離性混和剤が開発・導入されたことにより、水中コンクリートの施工性や品質の大幅な向上が可能となった。

水中不分離性混和剤を用いた水中不分離性コンクリートは、

- ① 水中で、波や流れによって材料が分離しにくく、水質汚濁が極めて少ない。
- ② 流動性、充填性がよいため、密な配筋や捨石の隙間、薄い部材用の型わく内に自重で流れ込む。
- ③ ブリージングがなく、レイタンスも少ないため、打ち継ぎ面の処理が容易である。

のような特長を有している。港湾工事では、昭和 55 年に苫小牧港の船台のスリップヤードの補修に約 16 m³ が使用されて¹³⁾以来、隙間充填、水質汚濁防止、水中の RC 構造物、防食ライニング、災害復旧などに幅広く用いられるようになった。

現在では、港湾のみならず大規模な橋脚などにも大量に使われ、マニュアル¹⁴⁾や設計施工指針¹⁵⁾も整備されるに至り、技術的にもほぼ確立されたものとなっている。

(2) 釜石湾口防波堤

釜石は、典型的なリアス式海岸である岩手県南部の三陸海岸に位置するため、昔から津波の脅威にさらされてきた。釜石湾口防波堤は、その釜石湾内を津波から守るとともに、そこに造り出される静穏な海域を活用して地

表-4 釜石湾口防波堤のコンクリートの配合

ケーソンの部位	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤	流動化剤
海 水 中	25	12	4	50	44.0	150	300	844	1 099	6.60	1.08
干満、飛沫帯	25	12	6	45	42.2	148	330	777	1 090	7.26	1.39

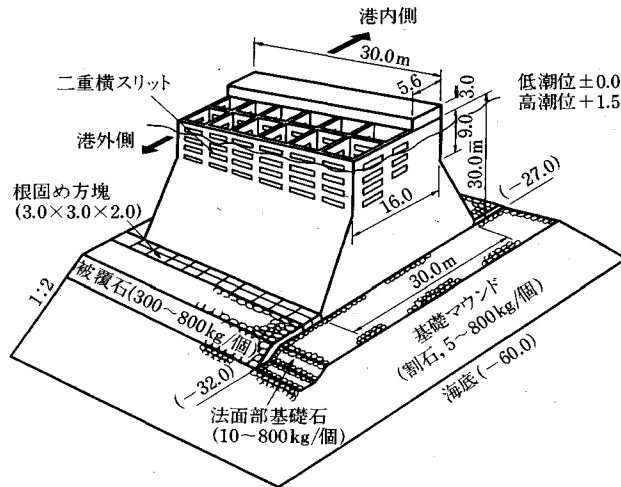


図-5 釜石湾口防波堤

域の発展を図る目的で計画され、21世紀の初頭の完成をめざして現在建設中である。防波堤の長さは開口部をはさんで北堤、南堤合わせて1660mである。最深部の水深は60mであり、世界で最も水深の大きい海域に建設される防波堤である。

防波堤の鉄筋コンクリートケーソンは、波力などによる滑動および転倒に対して所要の安全性を有するとともに、偏心傾斜荷重に対する地盤の支持力(端し圧)に対して安全となるように設計される。最適形状を検討した結果、図-5のような、台形ケーソン(部材厚さ:底版1m、壁0.6m、スリット部1.1m)の採用が決められた。この構造断面の特徴は以下のようなものである。

- ① 台形の斜面壁に作用する波力や動水圧は鉛直力を生じるため、ケーソンの滑動抵抗が増大する。
- ② ケーソンの設置水深は、これまでの防波堤ケーソンでは最大の深さ25m(沈下後は27m)である。
- ③ 防波堤前面での漁業への影響を小さくするために、ケーソン上部には斜め入射波の反射の低減できる新しいタイプの二重横スリットからなる遊水室を設けている。
- ④ ケーソンの形状は幅30m(上部は16m)、長さ30m、高さ30mであり、総重量は12500トンで、これまでの最大規模のケーソンの約2倍の重量に相当する。またカウンターバラストを含むと約

16000トンとなる。

このケーソンは百年の耐用年数を想定しているため、コンクリート標準示方書施工編「海洋コンクリート」¹⁶⁾や海洋コンクリート構造物の防食指針(案)¹⁷⁾の中でも最も厳しい条件に準じた仕様で施工を行っている。コンクリートの配合は表-4に示す通りで、海中部と飛沫帯の環境条件の違いにより、配合を区別している。

コンクリートの施工に関して工夫されたもののうち、主要なものを以下に挙げる。

- ① 超大型ケーソンのため、底版から最上段までを1か所で打ち込むことができない。そのためフローティングドックで高さ9mまで製作した後、(浮上→水深の大きい打ち継ぎ場へ移動→着底→打ち継ぎ)のプロセスを、4回繰り返して、完成天端まで打ち継ぐ。
- ② 耐久性向上のため打継目の処理を入念に行う。すなわち、コンクリートの打込み後低圧スプレーで凝結遅延剤を散布し、24時間以内に圧力水で表面のモルタル分を洗い流す。その後付着力と水密性の向上を図るため、打継コンクリート打設直前に厚さ3cmの敷モルタルを敷く。
- ③ コンクリートの養生は、夏季は有孔塩ビ管で散水養生を行い、平均気温が4℃以下となる冬季では蒸気式の給熱養生を行う。

- ④ ケーソンの部材はマスコンクリートに近い。そのため、温度応力によるひびわれ対策として、スリット部には必要に応じてパイプクーリングなどを行う。
- ⑤ 台形斜面壁のコンクリート表面には気泡が残存し、耐久性上の欠点となりやすいので、新たに開発した特殊パイプレーターを使用して、それを防止する。

釜石湾の建設場所では、平成3年末の時点ですでに5函のこのような超大型ケーソンが据え付けられている。

4. あとがき

明治時代の港湾コンクリート工事はいずれも水セメント比説が発表される以前のものであった。しかもセメントは現在ほど品質が良くなく、しかも高価なものであったにもかかわらず、先輩技術者の並々ならぬ努力で、立派な港湾施設が建設されていった。またその時のいくつかの失敗の中から得られた知見をもとに、現在のわが国のコンクリート技術ができあがっているといっても過言ではない。なかには、100年以上を経た現在でも立派にその構造物の使命を果たしているものもあり、驚嘆に値する。

わが国には港湾法に基づく港湾が現在1000余りあり、それらはわが国の発展とわれわれの生活を支える重要な社会基盤施設となっている。その港湾施設の建設材料として最も重要な材料のひとつがコンクリートである。先達の培ってきた技術を伝承・発展させて、港湾というコンクリートにとって厳しい環境条件、施工条件のもとで、より信頼性のある港湾施設を整備していくことがわれわれの努めであると考えている。

参 考 文 献

- 1) 長野正孝：広島湾発展史，中央書店，pp. 72-75，1982.
- 2) 運輸省港湾技術研究所編：プレバッドコンクリート施工例集，コンクリートライブラリー第13号，土木学会，1965年.
- 3) 特集 PC 海洋・港湾構造物，プレストレストコンクリート，Vol. 33, No. 3, 1991年5月.

- 4) 運輸省第二港湾建設局京浜港工事事務所：横浜港修築史，昭和58年（1983年）（パーマーによる横浜港計画の原文[明治21年]は，現在横浜市港湾局に保存されている。その全訳文が横浜港史（明治29年）に掲載されていて，本文献4）にはその概要が紹介されている）.
- 5) 中村信之，木村克俊：小樽港の百年コンクリート，セメント・コンクリート，No. 527, pp. 8-17, 1991. 1.
- 6) 藤井光蔵：34年間小樽築港防波堤に使用せられたる浅野セメント製混泥土方塊（2），セメント工業，pp. 5-7, 1933年7月.
- 7) 眞島健三郎：我国セメントの発達を促した三大築港工事，小野田セメント（株）創業50年史，pp. 214-217, 1931年.
- 8) 藤田 稔：セメント〈日本の産業〉シリーズ5，有斐閣，pp. 100-101, 1960.
- 9) 鈴木雅次：港工学第4版，風間書房，p. 93, 1955年.
- 10) 日本ポルトランドセメント同業会：大阪築港に於けるコンクリート塊，セメント界彙報第321号，pp. 111-114, 1934年12月.
- 11) 神戸開港百年史 建設編，神戸市，1970年.
- 12) 森垣亀一郎伝，森垣博士功績顕彰会，1967年.
- 13) 池田康弘ほか：特殊水中コンクリート工事について，第24回北海道開発局技術研究発表会，pp. 159-163, 1980年.
- 14) (財)沿岸開発技術研究センター，(財)漁港漁村建設技術研究所：水中不分離性コンクリート・マニュアル（設計・施工），1989年12月.
- 15) (社)土木学会：水中不分離性コンクリート設計施工指針（案），コンクリートライブラリー-67, 1991年5月.
- 16) (社)土木学会：コンクリート標準示方書【昭和61年制定】施工編，pp. 169-175.
- 17) (社)日本コンクリート工学協会：海洋コンクリート構造物の防食指針（案），1983年2月.

その他

- (社)日本港湾協会：日本港湾史，1978年.
- (社)土木学会：日本の土木技術100年の発展のあゆみ，1964年.
- 山田順治：コンクリートものがたり，文一総合出版，1986年.
- 谷本憲俊：連載ゼミナール 波と闘う防波堤・防波堤構造の変遷，No. 1-8，土木施工，30巻10号-31巻5号，1989. 10-1990. 5.

(1991. 12. 26 受付)