

特集

PC海洋・港湾構造物

港湾構造物の現状と展望

山口 晶 敬*



*Akiyoshi YAMAGUCHI
運輸省港湾局技術課
技術指導官

1. はじめに

「港のあたりが、ウズウズしてる」——これは近年、港が大きく変わり始めていることを表している港のキャッチフレーズの一つである。

21世紀まで余すところ10年にも満たなくなった現在、我が国は世界でも有数の経済大国に成長した。この発展の一翼を担ってきた我が国の港は、過去においては、海上輸送の中核として、また、重化学工業をはじめとする産業の立地拠点としてその役割を十分に果たしてきた。

その後、我が国経済が安定成長に移行したのに対応して、運輸省は新たな港湾整備方針を打ち出した。それが、昭和60年4月に公表した「21世紀への港湾」である。

しかしながら、それから数年の間の我が国経済社会の変化は予想を上回るスピードで進行した。すなわち、国際的には、我が国経済の拡大、貿易収支のインバランス、急激な円高の発生と定着が見られ、国内的には、社会の成熟化が一層進展したことである。その結果、あらゆる分野で質の向上が求められるとともに、ウォーターフロント、海洋性レクリエーション、客船によるクルージングなどに対する国民の関心がますます高まってきた。

港湾がこれら様々な変化に対応するため、運輸省は「21世紀への港湾」で提唱した政策について、その実施状況を踏まえつつ、これを今日的な視点で見直したものとして平成2年4月に「豊かなウォーターフロントをめざして」を策定・公表した。

ここでは、“総合的な港湾空間の創造”に向けて行われてきたこれまでの諸施策をさらに、その“質の向上”にも力を入れるべきであるとの認識のもとに、今後は港湾空間の機能の充実とあわせて、“使いやすく美しい港づくり”に重点を置くこととなった。

このような新しい流れの中で、港湾構造物のあり方も自ずと変化の兆しを見せ始めている。

ここでは、まず我が国の沿岸域の特性を概観したうえで、港湾構造物の現状と今後の展望について私見を述べてみたい。

2. 我が国沿岸域の特性と港湾

2.1 我が国沿岸域の自然特性

四面を海に囲まれた我が国は、4つの主島と約4000の島嶼からなる狭長な列島である。国土面積約38万km²は世界でも下位に位置するが、我が国をとりまく200海里の経済水域の面積は約451万km²と国土面積の12倍にも達し、世界でも7番目にランクされる広

大きさである。

この広大な海域に囲まれた海岸線は、湾や入江、島嶼によって入り組み、その総延長は約 34 400 km に及んでいる。このような海岸線に沿う我が国の沿岸域は、地形的特性により、閉鎖性内湾・内海、開口性湾域および外海性沿岸域に分類できる。

これら沿岸域における自然条件としてはまず、台風や冬季の季節風による強風およびそれらによる波浪、高潮、うねり、風浪があげられる。また、外海に面した沿岸部では波浪や潮流による大きな浸食作用を受ける。さらに、我が国は環太平洋火山帯の上に位置しているため、地震の発生頻度が高く、沿岸部では海底地震による津波の来襲の危険性もある(図-1)。

潮汐の干満による潮位差については、日本海側の沿岸部では概ね 1 m 以下と比較的小さく、太平洋沿岸部では 1.5~2 m 程度、瀬戸内海では 2.5~3.5 m 程度であるが、九州西岸部では 4~5 m にも達するところがある。

沿岸部の海底地盤は内湾部をはじめとして軟弱地盤の所が多く、その層厚が 20~30 m にも達する場合もある。

近年においては、施設が建設される地点がますます大水深化することに伴って、より厳しい自然条件に遭遇することが多くなってきている。

2.2 我が国の沿岸域と港湾

我が国の沿岸域で比較利用が容易と考えられる水深 100 m 以浅の海域は、約 16 万 km² と国土面積の約 42 % に相当する広さである。このうち利用が稠密な -20 m 以浅の海域は約 3 万 km² (うち 3 大湾、瀬戸内海で

表-1 港湾数一覧表

(平成 2 年 8 月 1 日現在)

区 分	総 数
特定重要港湾	20
重要港湾	113
地方港湾	895 (35)
その他 56 条港湾	71
合 計	1 099 (35)

(注) () 内は内数で避難港を示す。

約 1 万 km²), -20~-50 m の海域は約 5 万 km² (うち 3 大湾、瀬戸内海で約 1 万 km²) ある。

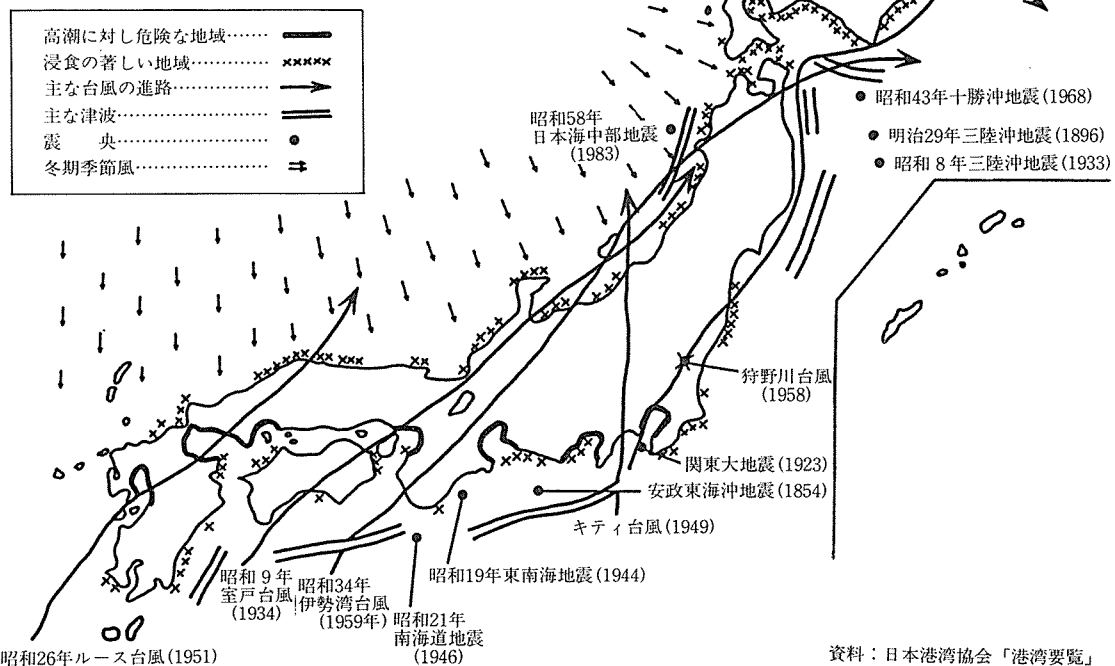
我が国沿岸域には、海岸線約 30 km に 1 港の割合で主要な市区町村に約 1 100 の港が配置されているほか(表-1)、漁港が約 3 000 港ある。そして、これらの港は物流、産業、生活等の沿岸域活動の中心となっている。

加工貿易によって国民生活が支えられている我が国にとって海上交通は大動脈である。海上貿易量は、1986 年現在、アメリカに次いで世界第 2 位の 6.9 億トンとなっている。また、国内における貨物輸送の分野でも船舶輸送が占める割合はトン・キロベースで約 50 % と極めて高いシェアを占めている。

3. 港湾の施設と構造物

3.1 港湾の施設

港湾の基本的施設としては、港内の水面を静穏に保つ



資料：日本港湾協会「港湾要覧」

図-1 我が国沿岸災害の特性

ための防波堤、船舶が安全に入出港し、係留するための航路、泊地、岸壁などのほか、背後地域との間で港湾貨物を円滑に輸送するための臨港道路などがある。さらに、貨物の積み卸しを円滑に行うための荷役機械、上屋、野積場などの施設や、港湾の環境を保全したり、港で働く人々が休息するための緑地なども港湾活動を支える重要な施設である。

近年においては総合的な港湾空間の創造という施策のもと、各地の港において港湾文化交流施設、国際会議場、国際見本市会場、テレポート、インテリジェントビルなどがいわゆる民活法上の特定施設として整備が進められている。

このように、港湾は従来の倉庫、殺風景な埠頭といったイメージから、人、物、情報の集まる空間として、時代の最先端をいく地域へと大きく変わり始めている。

しかしながら、ここでは、これらの施設の中でも港湾構造物として特徴的なものを中心として述べることにする。

3.2 港湾構造物の特徴

港湾構造物として特徴的な施設は、外郭施設のうちの防波堤や護岸、岸壁や栈橋などの係留施設および埠頭間や港頭地区を連絡するトンネル、橋梁などの臨港交通施設などである。

これらの施設はその構造物の大部分が水面下にあることによって、陸上の構造物と大いに異なる特徴がある。それらを列挙すると、以下のとおりである。

① 波（波浪、うねり）、津波、潮流、水圧、水による力など、厳しい自然の外力を直接受ける。

港湾構造物にとって支配的な外力は波である。この力は、時として巨大な水平力として構造物に作用し、しかも数十分から数時間にわたって繰り返して作用する荷重となる。

② 外力や海水による劣化、腐食などに対する充分な対応が必要であるとともに、検査、補修などの維持管理が重要となる。

③ 構造物の存在が水域環境と直接的な係わりを持つため（反射波、潮流、水質、漂砂、水棲生物など）、それらに対する充分な配慮が必要となる。

④ 工事の実施や構造物の検査、補修に際し、構造物の大半が直接目視困難であったり、潮汐の干満や潮流などによる時間的制約を受ける。

⑤ 海水による浮力や水圧を利用した構造物の設計、施工が可能であるとともに、大型部材による一括施工が可能である。

4. 港湾構造物の現状

港湾構造物のうち、主要な施設の構造形式と新たな構造物の現状などについて以下に述べる。

4.1 防波堤

平成元年3月末現在の我が国における防波堤の総延長は約910 kmである。

防波堤の一般的な形状としては、図-2に示すよう

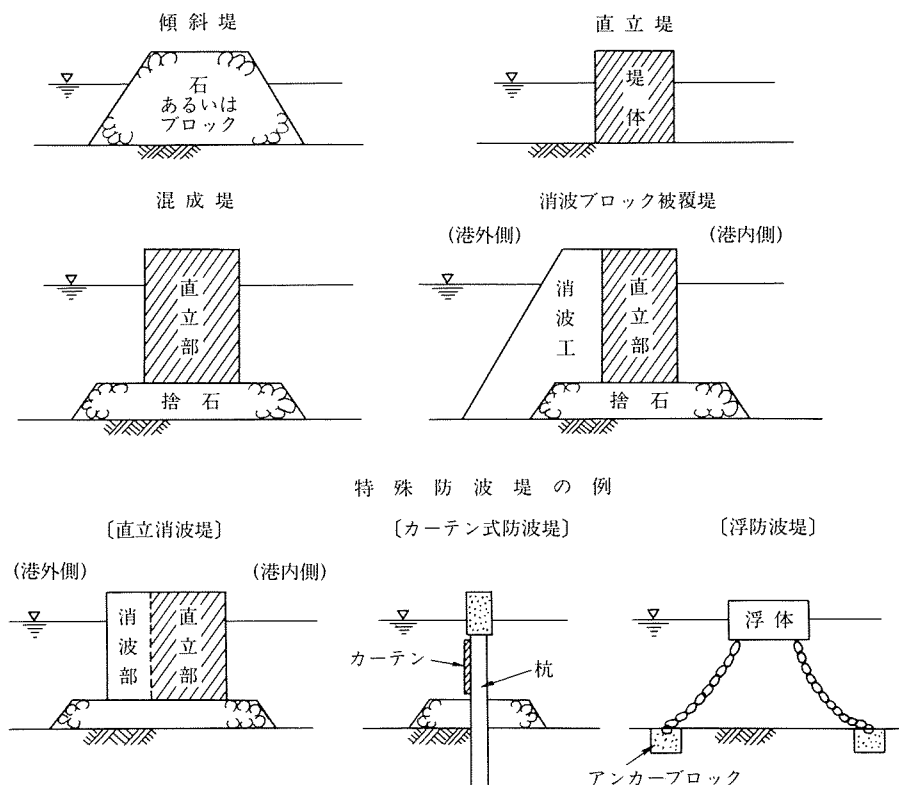


図-2 防波堤の構造形式

に、傾斜堤、直立堤、混成堤および消波ブロック被覆堤がある。

傾斜堤は防波堤の原点ともいえる形式であり、中世の頃から本格的な防波堤の建設が進められてきたヨーロッパ諸国では、現在においてもイタリアを除きこのタイプの防波堤が大部分であるが、現在の我が国では混成堤タイプが主流を占めている。

我が国においてはさらに、小型船や養殖施設などへの反射波を軽減するために直立部の前面側を消波構造としたものや、海水の流れを阻害させないことなどを目的としたカーテン式や浮防波堤などの特殊形式の防波堤も各地で設計、施工されている。

近年、防波堤の設置場所が次第に沖合に向かうにつれ、水深が深くなるとともに、波浪条件がますます厳しさを増している。これについても、経済性を確保しつつ防波堤の建設を促進するため、運輸省港湾技術研究所および港湾建設局などを中心として新たな防波堤の開発が進められている。

写真-1 および図-3 に示す防波堤は昭和 59 年に秋田県の船川港に設置された延長 150 m の曲面スリットケーソン堤である。曲面部分は PC 部材として製作され、本体にドライジョイント工法で接合された。これは、防波部材にプレストレストコンクリートの接合法を用いた初めての外海防波堤である

マルチセルラーケーソン堤(図-4)は凹状の曲面壁を積み重ねた形状であり、比較的狭い幅の堤体でも耐波安



写真-1 船川港の曲面スリットケーソン堤

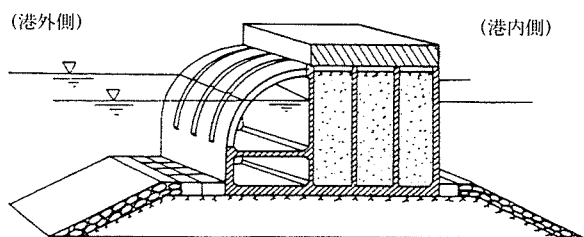


図-3 曲面スリットケーソン堤

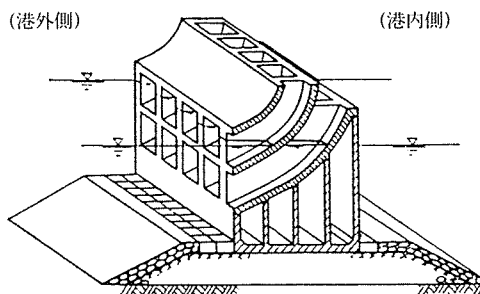


図-4 マルチセルラーケーソン堤

定性を確保することができる防波堤である。このタイプのケーソンは現地での試験用として昭和 59, 60 年にかけて和歌山港で製作され、南防波堤の一面に設置されている。

写真-2 に示す二重円筒ケーソン堤は八角形の底版の上を二重の円筒とし、その上方の外側円筒壁に孔をあけて、内側円筒との間にドーナツ状の遊水室を持たせたものである。このタイプの防波堤は曲面で波力を受けるために位相差を考慮でき、全波力の低減効果を期待できるほか、消波並びに海水交換機能を付加させることが可能である。同写真のケーソンは運輸省第三港湾建設局により境港において製作・設置された現地実証試験のためのケーソンであり、3函のうち1函は PC 函によるケーソン構造となっている。

図-5 は釜石港湾口防波堤の断面図である。この防波堤は津波から釜石湾を守るために運輸省第二港湾建設局

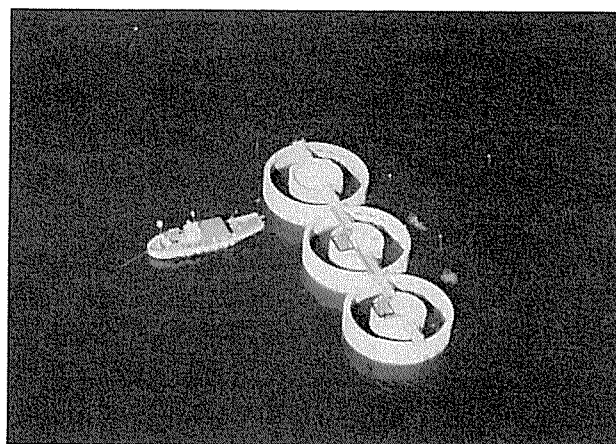


写真-2 境港の二重円筒ケーソン堤

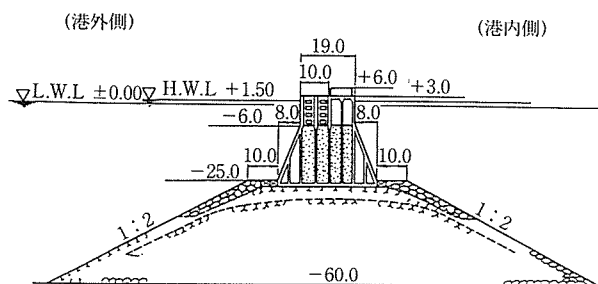


図-5 釜石港湾口防波堤断面図(単位:m)

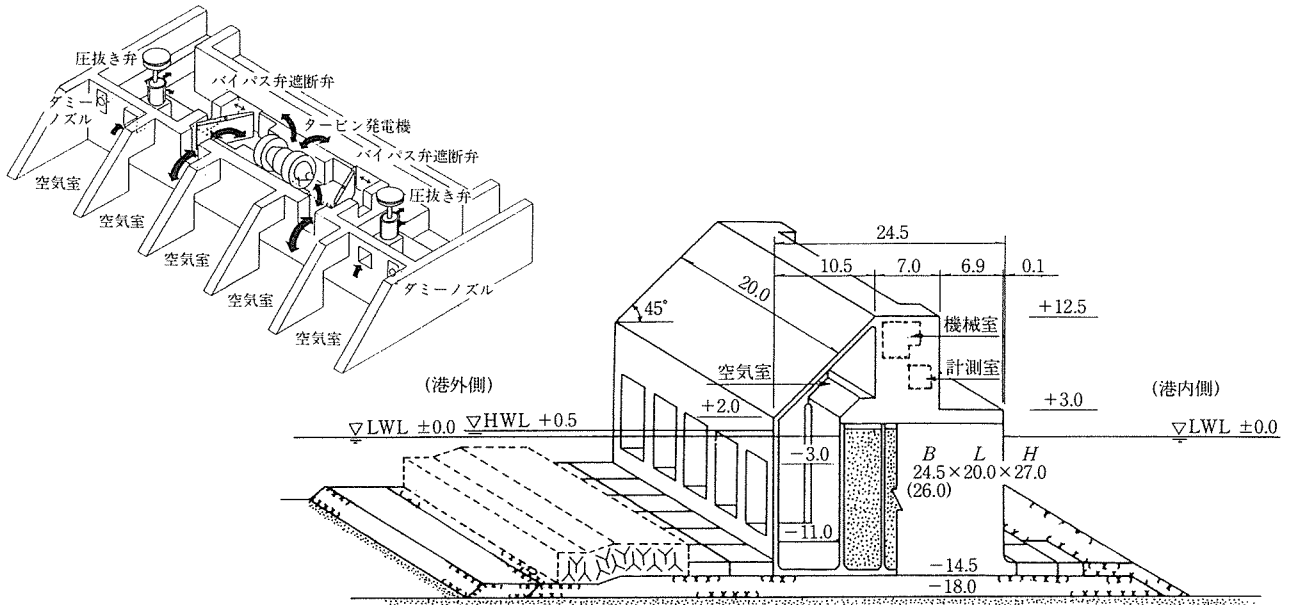


図-6 波力発電ケーソン堤

が建設を進めているもので、最大水深は63 mに達する世界でも最大水深の防波堤である。この防波堤は、通常の波に対する反射波を低減させるためにケーソン上部を二重横スリットの消波構造としている。

図-6に示す波力発電ケーソン堤については、港湾技術研究所での実験室レベルでの開発の後、運輸省第一港湾建設局によって酒田港の第二北防波堤に試験堤が設置された。この防波堤は波のエネルギーを吸収して反射波を抑え、波力の低減を図るとともに、吸収したエネルギーを電力に変換して利用しようとするものである。この現地試験については、運輸省と(財)沿岸開発技術研究センターおよび民間企業20社との共同研究により平成元年12月から開始された。現在、発電された電力はデモンストレーションハウスの照明、屋外タワーのライ

トアップなどに利用されているほか、屋外のロードヒーティングなどにも試験的に使われている。

長期的なエネルギー問題の高まりのなか、防波機能に加え自然の波エネルギーを利用する本防波堤については内外の関係者の注目を集めている。

4.2 係留施設

平成元年3月末現在の全国における水深4.5 m以上の係留施設の総延長は約820 kmに達している。

係留施設の一般的な形状は図-7に示すとおりである。これらのうち、重力式係船岸の壁体としてはコンクリートブロック、セルラーブロックおよびコンクリートケーソンなどが用いられる。また、矢板式係船岸に用いられる矢板の材料としては、鋼、鉄筋コンクリート、プレストレストコンクリートなどがあるが、我が国では主

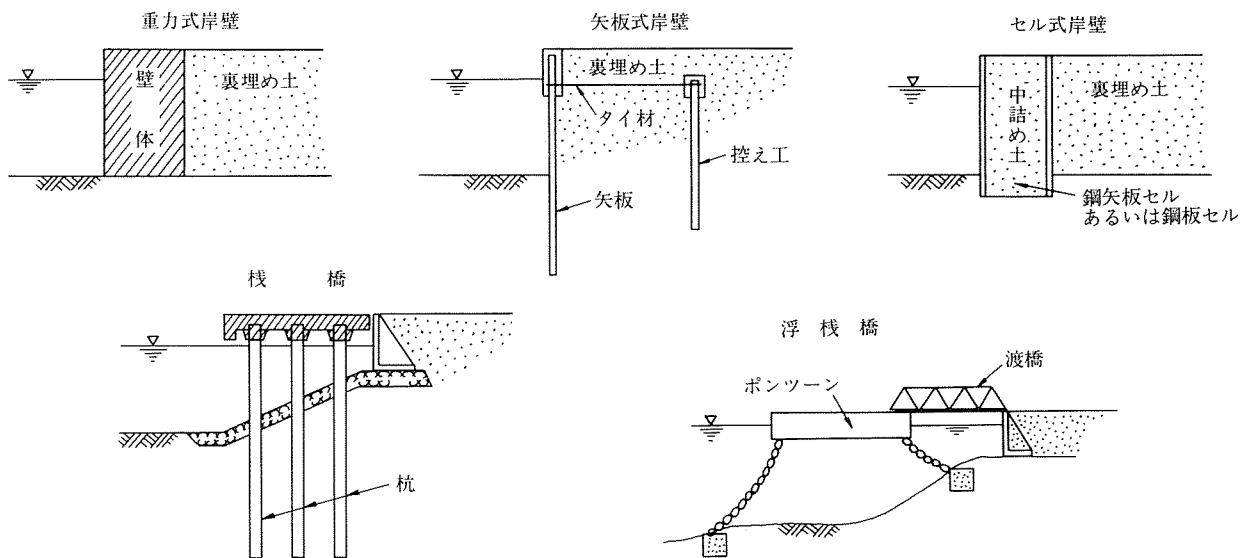


図-7 係留施設の構造形式

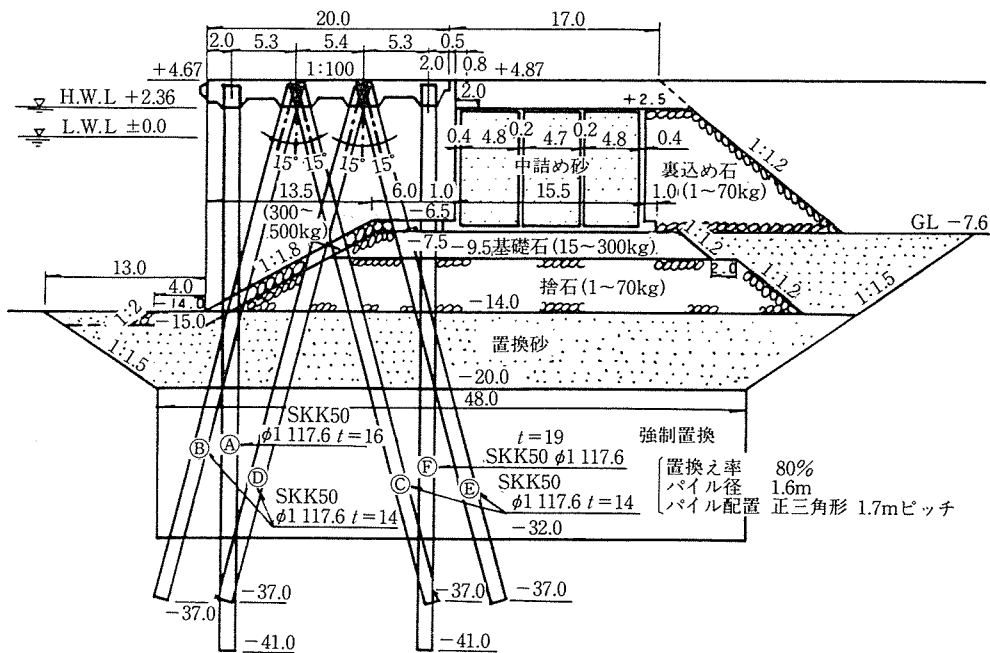


図-8 四日市港-14 m 岸壁断面図

として鋼材が用いられている。

近年、船舶の大型化、港湾の沖合展開などに伴って係留施設も大型化しており、5万トン級のコンテナ船が接岸できる水深14mの岸壁などもつくられている(図-8)。

4.3 臨港交通施設

臨港交通施設として特徴的な構造物は海底トンネルである。埠頭間の連絡や対岸との自動車や軌道系の交通機関などの連絡を行う。取付け道路の関係などから海底トンネルは、沈埋トンネル形式のものが一般的である。

我が国で最初の沈埋トンネルは昭和43年に愛知県の衣浦港でつくられた。その後、川崎港では延長1000mを超えるものがつくられている。

沈埋トンネルはトンネル本体をいくつか分割して陸上で製作し、予め浚渫しておいた海底の溝に分割した本体を沈設し、海底で水圧を利用して繋ぎ合わせることで海底トンネルとするものである。

構造物本体は鉄筋コンクリートを主体として防水のために外周を鋼板で覆ったものから、外周の鋼板を本体の一部としたハイブリッド構造の沈埋トンネルもつくられるようになった。

臨港交通施設としての橋梁も港のアクセスの確保、改良などに伴って最近盛んにつくられるようになった。陸上の橋と同様に各種の形式、材料を用いてつくられるが、橋は港のランドマークともなるため、デザインや色彩などに特別な配慮が必要となっている。

4.4 浮体式構造物

浮体式構造物としては、浮棧橋のほか従来より、船を利用したレストランや展示施設などがある。最近では、ウォーターフロント志向の高まりなどにより各種の浮体

式構造物が出現している。かつての豪華客船や連絡船を利用した記念館的展示船はもとより、水族館や遊園施設を載せた浮体構造物や駐車場船などもある。

横浜博の際に第二港湾建設局が展示施設として開発した六角形の浮体構造物(H. M. S.)はユニークなもので

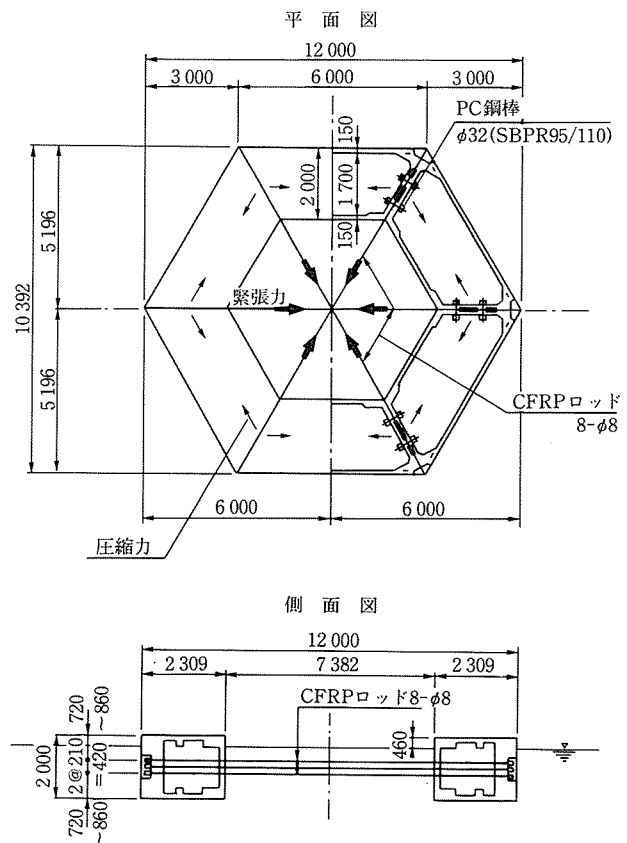


図-9 H. M. S. 構造図

ある。本施設は、プレストレストコンクリート製の函体6つを洋上で接合して一体としたもので、函体の形状や接合の仕方を変えることにより、あらゆる形状の構造物を形づくるのが可能である。(図-9)。

5. 今後の展望

港湾構造物の現状においても今後の動向を占う要素は垣間見られたが、それらを整理すると以下のように要約できる。

(1) 構造物の大型化

防波堤や係留施設の項でも述べたように、近年における港湾施設はますます水深の深いところ、海底地盤条件の悪い所へと進出している。このため、構造物の基礎となる部分をはじめ、構造物自体も大型化している。前述した釜石港湾口防波堤では、最大のケーソンは底面幅、高さ、長さとも30mで重量は約16000トンにも達する巨大な構造物である。

また、小名浜港の外防波堤の将来区間では水深が25~30mと深いうえ、地盤が軟弱であることから、図-10に示すような大型の台形ケーソンが採用されることになっている。

一方では、構造物を大型化することにより、波圧の低減効果による経済性を追求するとともに、施工期間の短縮を図る試みが高知港において行われている。従来、防波堤用ケーソンの長さは15~20mが一般的であるが、ここでは1函の長さを100mとする計画である。PC鉄骨構造で製作される実証函における各種の計測結果から、合理的な設計法の確立が図られることが期待される。

さらに、浮体構造物については現在、広島港宇品地区において大型の旅客船を対象とした長さ150m、幅30mのPC構造のポンツーンを洋上で繋ぎ合わせる工法により製作すべく検討が進められている。

(2) 自然の力を利用した構造物

従来の防波堤は波の進行を阻止するためにその重量を

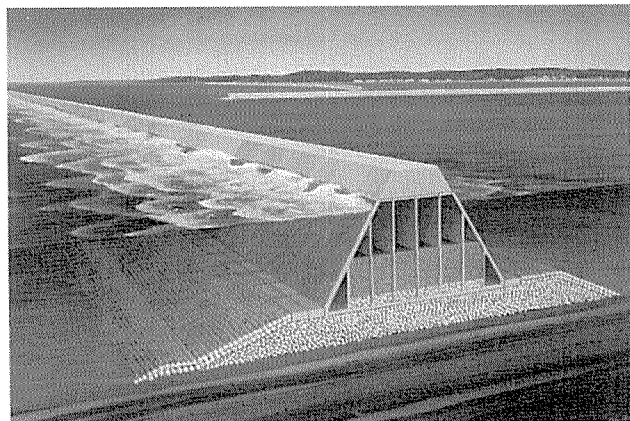


図-10 台形ケーソン堤のイメージ

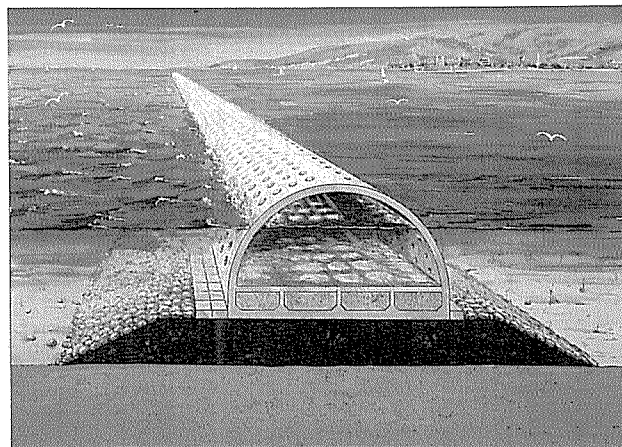


図-11 半円形ケーソン堤のイメージ

もって、波を力強くはね返すことを基本としていた。しかし、波を止める面は直立の壁である必要はなく、波圧が壁面に直角に作用することを考慮して、波によって下向きに抑える力を生じさせるため、壁面を斜面や、凹凸の曲面とすることが考えられた。

前述のマルチセルラーケーソン堤や台形ケーソンさらには、防波堤の上部を斜面とした上部斜面ケーソン堤などはこれにあたる。凸曲面壁の特徴を最も顕著に現したのものとして開発されたものが図-11に示す半円形ケーソン堤である。曲面に働く波圧は円の中心に向かい、鉛直波力成分はケーソンの安定向上に寄与するため全体の軽量化が図られる。本ケーソンの頂部は滑らかな曲面構造であるため、景観上も優れた構造物といえる。このタイプの防波堤の実証実験が平成3年度から宮崎港において進められることになっている。

このように、今後の港湾構造物は単に自然の外力に抵抗するのではなく、逆に自然の力を有効に利用することにより、より合理的な構造物とする方向にあるといえる。

(3) 構造物の多機能化

防波堤の前面側を消波構造として波の反射波を低減させたり、構造物に孔を開けて通水性を確保するなど港湾構造物に対する機能の付加は従来より種々行われている。しかし、前述した波力発電ケーソン堤のように防波堤の機能と同時に吸収したエネルギーを別の用途に利用しようという試みは港湾構造物の多機能化のはしりともいえる。

図-12は和歌山港毛見地区に建設中の和歌山マリナシティの最前線に設置される防波堤である。本防波堤は我が国ではじめて、一般市民に開放することを目的の一つとして建設される防波堤であり、外郭施設としての防波機能のほかに、市民が防波堤の上を自由に散策でき、マリナシティの景観を眺望したり、海に親しむことのできる機能を有する防波堤として建設が進められているものである。

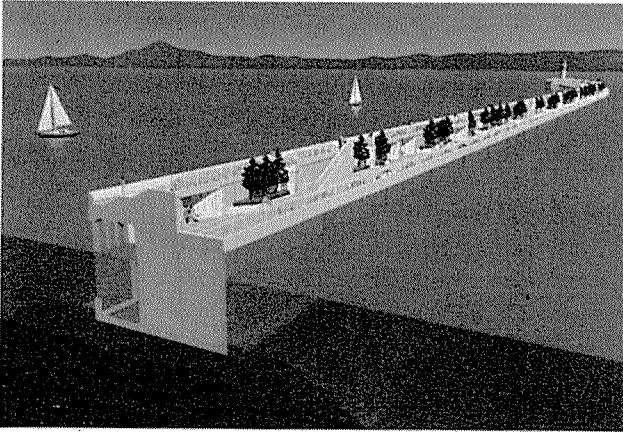


図-12 親水性防波堤のイメージ

このように、本来の機能に加え他のいろいろな機能を合わせ持つ港湾構造物の建設要請は今後ますます高まってくるものと考えられる。

(4) 新しい材料等の活用

港湾構造物に用いられる材料は現在でも、石、砂、コンクリート、鋼材が主たるものである。これらのうち、コンクリートの分野では水中での材料の分離やそれに起因する水質汚濁を軽減することを目的とした水中不分離性コンクリートが開発され、港湾構造物への適用も進んでいる。

一方、既存の材料の組合せによる新たな構造物の開発も行われている。すなわち、コンクリートと鋼材を組み合わせたいわゆるハイブリッド構造は特殊なケーソンや沈埋トンネルの本体構造への適用も具体化されつつある。

また、我が国の港湾構造物に用いることに慎重であったプレストレストコンクリートについても、船川港の曲面スリットケーソン堤への適用以降、二重円筒ケーソン堤や、大型の浮体構造物にも採用されてきている。

他方では、PC鋼材の代わりに、腐食の心配がなく、かつ強度の大きいカーボンファイバーやアラミドファイバーなどのFRPを用いることによって、さらに耐久性の高い構造物をつくることも試みられている。このような材料は一般のプレテンション、ポストテンション部材の緊張材としてばかりでなく、大型ケーソンや浮き防波堤などの海上接合のための連結材としての適用も考えられる。前述した、六角形の浮体構造物の海上での連結材としては直径8mmのカーボンファイバーロッドを束ねたケーブルが用いられた。

このように、プレストレストコンクリートは特殊な形をした新形式の構造物や大型構造物への適用に際し、腐食の心配の無い緊張材の開発と相俟って今後大いに採用されることが期待される。

(5) 自然との調和、景観への配慮

これまでの我が国の港の防波堤や埋立地の形は、明ら

かに図面上で直線定規によって描かれたものと分かるものが多い。現在でも、直線的な形がふさわしいと考えられるものもあろうが、場合によっては曲線を用いたり、海底の等深線に沿う形で構造物の形を決めるなど、自然と調和した施設づくりも必要となる。また、個々の施設についても景観に配慮した形や色彩を取り入れたものとしていくことも重要な方向と考えられる。

(6) 人手不足への対応

最近の我が国における建設産業の人手不足はますます深刻になりつつある。港湾工事のうち海上工事については従来から機械化が相当進んでいるが、陸上における鉄筋コンクリートケーソンや棧橋の床版製作などは多くの人手を必要とする。また、水中における基礎マウンドの均し作業に必要な潜水士の確保なども今後大いに問題となる。

港湾構造物の将来は、これら人手不足に対応した構造、すなわち多少高価であっても省力化あるいは自動化した機械によって製作・施工が可能な形態も考慮せざるを得なくなるものと思われる。

また、他の公共施設と同様、港湾施設においても昭和30年代の高度成長期以降の積極的な投資によって建設された施設の老朽化が目立ち、更新の時期を迎えている。

人手不足の折、今後とも施設の数が増え続けるため、新たに整備される施設については相当長期にわたる耐用年数の期間、メンテナンスフリーとなるような施設づくりも期待されることである。

6. おわりに

以上、港湾構造物の現状と将来展望について私見を述べてきたが、ここではその一端に触れたに過ぎない。

運輸省港湾局では平成3年度を初年度とする第8次港湾整備五ヶ年計画を現在策定中である。ここでは、来るべき21世紀に向かって、港湾をはじめとする沿岸域の保全と活用についてこれまで以上に力を入れていくこととしている。

そのためには、港湾に関する新たな技術開発が不可欠のものとして、そのあり方について検討を進めているところである。現在、港湾分野に限らずいろいろな分野の有識者からなる懇談会を設けて意見を徴しているところであり、平成3年度中にはその成果を取り纏めることとしている。

今後とも、関係の皆様方より忌胆の無いご意見、ご指導を賜れば幸いである。

【1991年4月2日受付】