

海洋開発における消波構造物の役割

国際臨海開発研究センター 赤塚健三

運輸省第二港湾建設局 竹田英章

1. 港湾のすう勢

世界の海上貿易は、経済の発展と貿易量の増大および石炭から石油へのエネルギー転換が行なわれたことから、1950年以来、年間平均7.4%と急激な増加を示してきた。しかし、今後は環境保全と新しいエネルギー源の開発により、タンカー部門の増加率は低下が見込まれるので、海上貿易は緩やかに増加を続けるものと考えられる。しかし、それでも今世紀末には現在の2倍程度になるものと予測されている。貿易量の増大は船腹量が比例して増加することを必要とし、同時に船型の大型化・専用船化・高速化を促進する。船型の大型化は吃水の増大をもたらし、50万トン級タンカーで-30m、15万トン級鉄鉱石船で-19m、12万トン級のバラ積み船で-16mの水深が必要である。したがって、航路・泊地の水域施設、岸壁・シーバース等のけい留施設、防波堤・護岸の外かく施設はこれらの水深と同程度あるいはそれ以上の深さに建設することが必要になってきた。

地域発展計画における港湾はその推進をなすものであり、近年まで比較的地形に恵まれた水際線をそれにあてがうことが容易であった。しかし、今後あらたに建設される港湾は、波浪条件の厳しい、しかも水深の大きな場所にも余地を見い出さざるを得なくってきている。また、従来の港湾においては、新たな需要を満たす臨海空間はもはや隣接地域に求めることが難しくなり、港湾の再開発と合わせて沖合に人工島を建設して、その需要に対処せざるを得ない。神戸港のポートアイランド、大甲埠頭、横浜港の大黒埠頭等はその好例で、今後は外海にも建設されるものと考えられる。

わが国の工業用地の37%、約5万haは臨海部に位置し、各地の港湾が埋立られ不足する用地を補充してきた。わが国は、世界的には鉄鋼・石油化学等の中間材を安定的に供給する役割を担っており、その需要動向から考えると将来においても工業用地は不足するものと考えられる。しかし、既成の臨海工業地域付近の埋立造成のみに依存することは困難であり、苫小牧東部、むつ小川原、秋田湾、志布志に新規の工業基地を建設する準備が進められている。また、公害防止および都市環境改善の点から、日本鋼管扇形製鉄所のように沖合に空間を求めて移転しているものもあり、今後、精糖所、精糖所、石油貯蔵基地等も逐次沖合に進出するものと考えられる。

日本経済が高成長に転じた昭和30年代後半から産業廃棄物は急増し、昭和50年度には約11億トン前後になったものと推定されている。産業廃棄物は現在その処理体制がなく、その処理は時代の緊急かつ重大なニーズと使命をもつようになった。いっぽう、福祉優先、公害反対の世論に押されて大都市ではごみ処理場、下水処理場等の建設用地確保が困難となり、海上に人工島を建設して処理場を作ることを真剣に考慮しなければならなくなっている。

2. 港湾構造物の材料と消波ブロックの出現

石材の豊富な欧米と異なりわが国では、1879年にコンクリートが港湾工事に採用されて以来、コンクリート方塊や鉄筋コンクリートケーソンを用いた構造物が発達した。やがて1950年代後半に入ると、経済の急成長に応じて港湾貨物量も急速に伸び船型も大型化して、港湾施設ごとに大型けい船岸の大量急速施工の要請が強く出された。これが鋼材の大量供給の時代と一致して、鋼矢板、鋼管等を主材料とする構造物がけい船岸の主流を占めるようになった。この傾向は防波堤にもおよび波浪条件の厳しい場所では鋼管やH型钢を用いた防波堤も出現した。

自然石・コンクリート方塊に代って、テトラポッドが1949年に開発され消波ブロックとしてわが国に紹介されたのは1955年で、岩手県八木港において製作使用されたのが最初である。以来、大脚ブロック、中空三角ブロック、ホロースケアをはじめとする50種以上の異型コンクリートブロックが研究開発されてきた。消波ブロック

は、波力減殺、越波防止、反射波軽減の効果とあいまって、自然石では得られない安定性と大重量塊の製作が可能であり、今後においても盛んに使用されるものと考えられる。

3. 港湾における直立消波構造物の採用

けい船岸の構造は対象となる貨物の種類と船舶の大きさおよび基礎地盤の上質条件によって異なり、1000t以下の船舶を対象とした物揚場(水深4.5m以下)から15万t級鉄石船を対象とした大型けい船岸や20万~50万t級タンカー用のシーバースと多種多様である。図-1は典型的なけい船岸の構造で、前面は船舶接岸のため直立壁となる。しかし、防波堤で囲まれた静穏な空間と水際線の有効利用の点からけい船岸や護岸の築造が進み、自然海岸の消滅した港や人工的に陸地に掘込んだ港では、水際線の大部分がこのような壁体で囲まれ、港内波が反射を繰り返して海面が騒々しく、サージングの発生も懸念される。このような欠点をなくして、より静穏で使い易い港にするには消波工の設置により港内波のエネルギーを吸収するのが効果的である。しかし、従来の消波ブロックでは例えば図-2のような断面となって、けい船岸としての機能が失われ港内における操船の安全性にも影響する。

直立消波構造は上述の要請を受けて開発されたもので、施工例も急速に増加している。直立消波構造には、10~40t程度の比較的小型のアレキヤストコンクリートブロックを割石基礎上に積上げる方式と、1000~2000t級の大型単塊形式のものがあるが、いずれもコンクリートの造形性を最大限に利用した構造様式である。

図-3はブロック横式直立消波構造を岸壁に使用した例である。ブロック横は水深が大きい場合には耐震設計上不利であり、また港内波を対象にする場合には図-4のように全水深を消波構造にする必要もない。図-5は

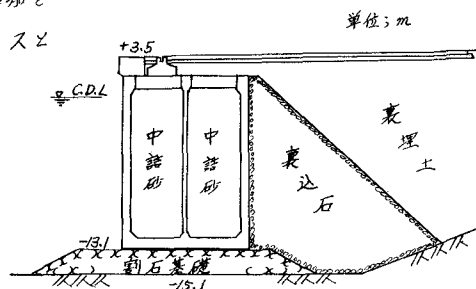


図-1 鉄筋コンクリートケーソンを用いた重力式けい船岸(入戸港 -13M岸壁 1976年)

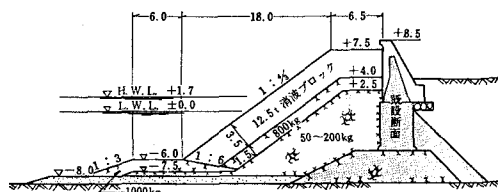


図-2 神戸市長田地区護岸

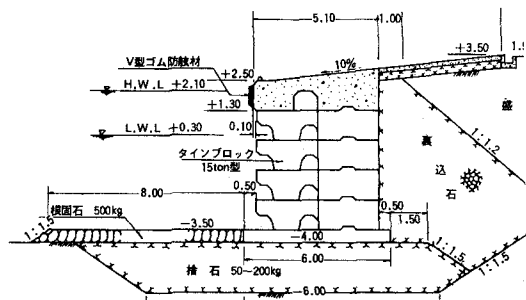


図-3 直立消波岸壁の設計例

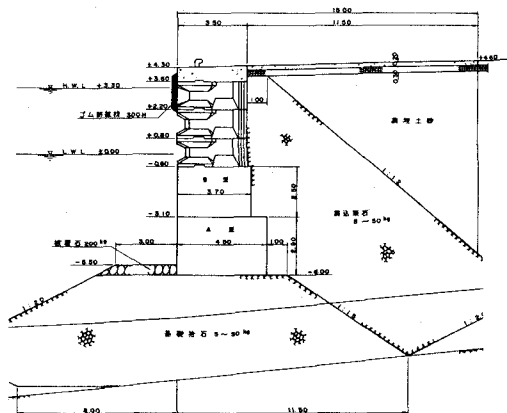


図-4 長崎港皇后地区 -5.5M岸壁

直立消波ブロックと鋼矢板を組合せた構造で、陸上で施工後に前面を炭炭する掘込港湾という施工条件もあって通常の鋼矢板構造に匹敵する経済性を有し得たものである。

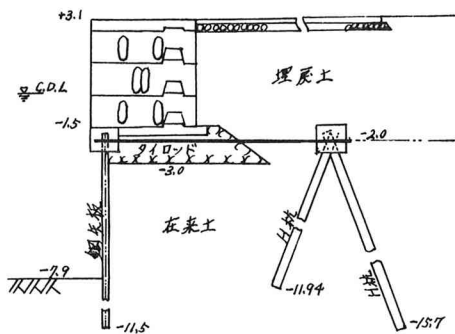


図-5 直立消波構造と鋼板を組合せたけい船岸
(鹿島港仙台港区 -7.5M岸壁 1976年)

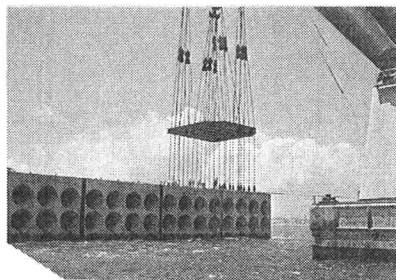


図-6 大型単塊式の直立消波構造を用いた
護岸(鹿島港北海岸 1976年)

水深が大きい場合あるいは波浪条件が厳しい場合には単塊構造が有利である。図-6は水深8m、設計波高6mの直立護岸に用いられた事例で、施工段階では単独で大きな波力に耐えなければならぬため、必然的に大重量の単塊構造となり、その据付けには大型起重機船を使用している。換言すれば、この種の構造は大型起重機船の出現によって可能となった構造様式で、所要数の単塊構造をあらかじめ製作しておき、海面の潮流を時期に一挙に据付けける方法を採用している。

図-7は設計波高は2.4mと余り大きくはないが、水深が12mとかなり大きいためだけでなく、港口に面してたえず侵入波にさらされる場所を対象として建設された護岸である。単体としての安定性に富み、在来ケーソンと同様に浮上した状態で所定の位置まで曳航運搬し、注水して沈設できるのが特長で、据付けに大型起重機船を必要とせず、ケーソンの製作可能な場所であればどこでも採用できる。消波機能は在来ケーソンの側壁の一部にスリットを設け、隔壁に小型の異型ブロックを填充することによって発揮せしめ、進水浮上の際にはスリット部分を簡単に蓋で覆って浮力をもたせたものである。図-8はスリット部を底版まで下げ、隔壁は遊水空間としてそのまま残し、波の位相差を利用して消波を試みた例である。単体としての安定性に富み、据付けには大型起重機船を使用している。

図-3～8はいずれもけい船岸あるいは護岸に用いた事例であるが、その機能と構造上から防波堤としても利用可能である。

わが国の防波堤構造様式として最も典型的なものは、図-9に示したようなケーソン式混成堤である。この型式は永年の施工実績に基づいて改良工夫が加えられほぼ完成した構造様式で、経済的であると同時に大量急速施工に適している。据付けには大型作業船を必要とせず、波浪条件や水深に応じて断面を自由に選ぶことが出来る点も大きな特長の一つである。いっぽう、このケーソン式防波堤の欠点は、その両面が直立壁であることに由来す

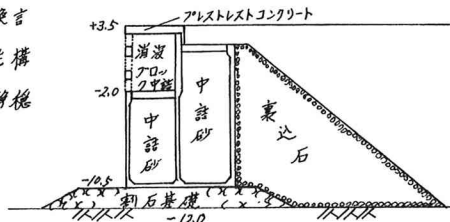


図-7 隔壁の一部に消波機能を備えた鉄筋
コンクリートケーソン(小笠原港 7号碼頭先
端護岸 1976年)

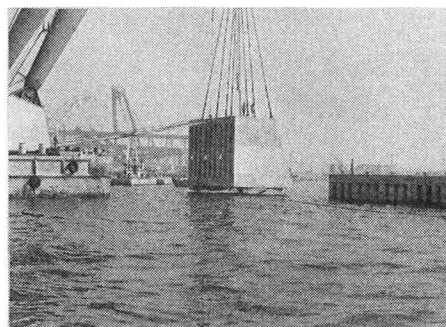


図-8 施工中のスリット型ケーソン
(神戸港ポートアイランド -4.4M物揚場)

るもので、出入港船舶の安全性向上のために港口付近の静穏度をより一層高め、あるいは防波堤外の養殖漁場等への影響を軽減するために防波堤の外側に消波構造を必要とする事例が増加している。

既設の防波堤においては消波ブロックを前面に投入して反射波を軽減するのが普通である。しかし、このような要請のある場所に防波堤を新たに建設する場合には、消波工設置型の防波堤は必ずしも得策でない。施工段階における直立部の

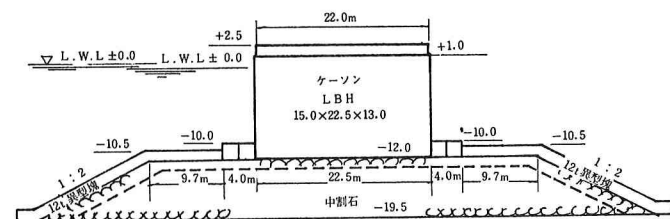


図-9 ケーソン式混成防波堤(留萌港,西防波堤,堤頭部)

安定性を確保し、さらに消波工を追加する構造は、直立壁のみの構造に比べて工費が著しく増加するからである。そこで、壁自体に消波機能をもたせることにより経済性を高める構造が開発されている。

直立消波構造を防波堤に用いるためには、ブロック様式あるいは大型単塊式のいずれでも、施工段階および完成後のどの時点においても波浪に対して十分な安定性をもつものでなければならない。この安定性は堤体に十分な重量と幅を与えることによって確保される。堤体を直立消波構造とする場合は、その消波効果の故に作用波力が減少するが、同時に消波機能と設ける空間分の重量が失われるため、相応の重量を補う必要がある。結果として、同一の波浪条件のもとでは、在来型のケーソンとほぼ同一の断面で、消波機能を備えた堤体が得られることになり、消波工設置型と比較すると経済性は著しく改善される。

現段階では波浪条件の厳しい場所で大断面の直立消波堤を設けた事例は乏しいが、波除堤と小岸壁兼用の突堤に用いた事例は相当数に達する。図-3, 6, 7, 8のいずれも防波堤に適用可能な構造であるが、特に大断面の直立消波堤としては図-6, 7のような構造が有利と考えられる。

防波堤は、本来、港を外海の波浪から遮蔽して港内を静穏に保つものであり、波のもつエネルギーを完全に遮断するのが最も効果的である。しかし、これは港内の水を死水と化し、陸域より流入する汚濁物質の沈殿堆積と重なって港湾の環境悪化をもたらすことになる。このため防波堤の一部を透過構造とし、堤体を介した海水交換が考えられており、博多港では亀甲ブロック堤が施工されている。図-10は波のエネルギーの大部分を巻散せしめると同時に港内外の海水交換を行なう堤体構造のアイディアである。消波機能と海水交換の機能は前後壁に設けられるスリット部分の形状と配置間隔、透水路の大きさ、対象波浪の諸元等によって変化し、理論研究と共に実用化のために水理実験も行なわれている。

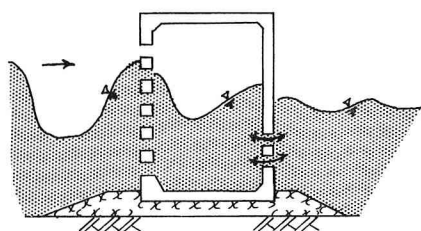


図-10 海水交換の機能をもつ防波堤の構造(案)

4. 海洋開発と消波構造物

北海における原油の開発は、新しい海洋構造物を出現させた。すなわち、海底原油に対する探査が一層大水深に移り、さらに厳しい波浪条件下におかれるにつれ、固定プラットフォームとしては鋼ジャケット構造物の他に、新たに図-11のような重力型構造物が建造されるようになった。1973年 EKOFRISKに

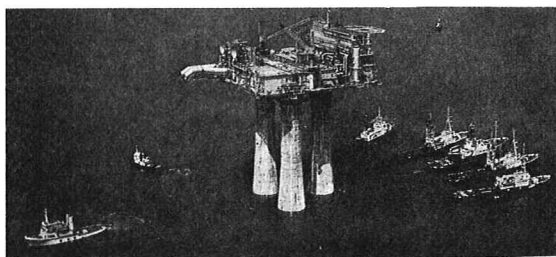


図-11 石油掘削用プラットフォームの隻航(北海)

おけるアレストレストコンクリート製貯油タンクの成功的な据付は重力型構造物に対する自信を持たせ、以後、水深96mのFRIGG CDP.1が1975年に据付けられ、FRIGG MP.2が1976年に、NINIANが水深140mに据付けられる予定である。これらの構造物はJARLANにより考案された図-12のような消波機能を有する外壁を有している。

火力・原子力発電所は、燃料搬入、冷却用水の取水、排水処理等の関連で臨海立地型の業種であるが、陸上での用地難、環境問題、財政等の関係から沖合立地を志向するものと考えられる。アメリカのニュー・ジージー州沖合5kmの大西洋上には“浮かぶ原子力発電所”が建設されている。これは世界で初めての本格的な浮遊式構造物で、発電所搭載のプラットフォームと、これを浮遊けい留する図-13の着底防波堤、およびけい留装置よりなっている。

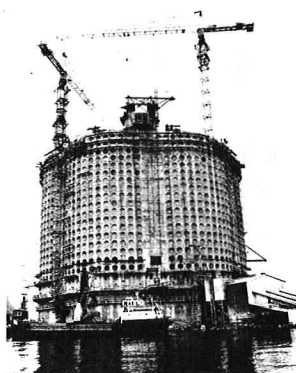


Plate-forme FRIGG

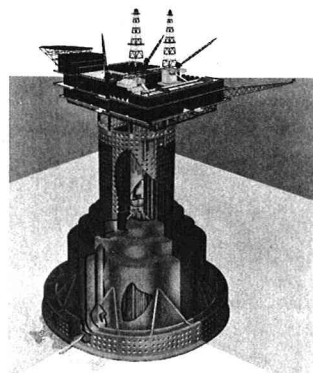


Plate-forme NINIAN

図-12 消波壁を有する海洋構造物

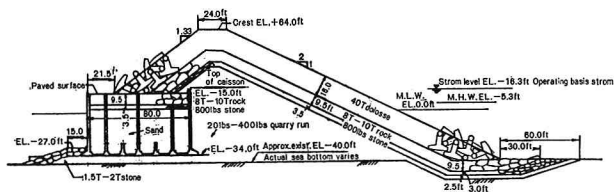


図-13 アトランティック海上原子力発電所の防波堤

[引用・参考文献]

- 1) 赤坂雄三；海洋構造物の展望と問題点，港湾，第51巻12号，日本港湾協会，1974年。
- 2) 竹田英章；大水深防波堤の要請とその設計概要，建設の機械化，1976年2月号。
- 3) 竹田英章；大水深構造物の展望，月刊建設，1976年4月号。
- 4) 赤坂雄三；最近の港湾コンクリート技術，セメントコンクリート，1976年10月号登載予定，セメント協会。
- 5) 湯元馨；大水深への幕開け—第8回OTCをふり返って—，新日本製鉄株式会社営業旬報1976年8月上旬。
- 6) 長崎作治；重力型海洋構造物の基礎ユニットとスカートの設計考察，日本鋼管株式会社S+C 20，1976年。
- 7) M. GERBAUT, P. XERCAVINS；Structures offshore en béton, Préliminary report of 10th Congress of IABSE, 1976.