

海洋工学における問題点と土木技術

2.1 一般論

光 易 恒*

1. はじめに

海洋開発 (Ocean Development or Ocean Exploitation), 海中技術 (Underwater Technology), 海中工学 (Undersea Engineering), 海宙 (Hydro Space), そして今回とり上げる海洋工学 (Ocean Engineering or Oceanology), この種の言葉が最近きわめて多くわれわれの耳に入ってくる。たとえば, 宇宙開発に対応する海洋開発, 世界の大企業の海宇産業への進出, あるいはビッグサイエンスとしての海洋工学などの表題の記事が科学ジャーナリズムの一つの流行になっているようにすら見受けられる。

しかしながら, これらは単にジャーナリスティックなトピックスにとどまらず, その背後を少し注意深く眺めてみると, 実際に海洋を場として考えられるありとあらゆる試みが, 世界的な規模で進行しているといっても過言ではない。非常に大規模な実行段階にあるものとしては, その性質上正確な全貌は必ずしも明らかでないが, 海中における主導権をとおして軍事的優位性を獲得しようとする軍事目的の各種の試みが残念ながら第一に上げられるであろう。しかしながら, 一方では平和目的の活動も, 特にこの数年加速度的に進行している。すなわち

- ① すでに民間企業により強力におし進められている石油掘削をはじめとする海底地下資源の開発を目標

とした各種の試み (資源探査法, 掘削用作業台^りや, 掘削技術の開発, ならびに資源の輸送, 貯蔵, 処理などに関連した一連の技術の開発)

- ② 潜水船, 海中乗物, 海底機械などの開発
- ③ 耐圧耐食材料の開発
- ④ 海中の通信ならびに照明技術の開発
- ⑤ 海洋生物資源のより体系的な利用
- ⑥ 海洋の力学的および熱的エネルギーあるいは海水自体の利用
- ⑦ 海中あるいは海底の空間の利用 (海底貯蔵庫, 海中公園, 海上都市, 海上空港等)
- ⑧ 海象および気象に関する正確なデータを得るためのブイステーションの開発
- ⑨ 沿岸土木工事の規模の増大と質的变化

等々である。このようなさまざまな活動がきわめて多面的にしかも大規模に現在進行している。

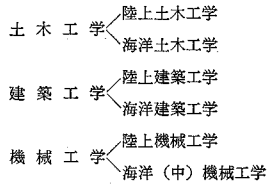
これらの活動は, 確かに海洋開発という言葉で総称するのは適切であるかも知れないが, これより海洋工学という工学体系に関するイメージは必ずしも容易に浮んでこない。以下本題に入る前に, まず海洋工学とは何か, 工学体系としての海洋工学が成立するとすれば, その工学を特徴づける要素は何か, といった基本的な問題について簡単にふれた後, 海洋工学における問題点と土木技術との関連について, 一つの試行的な議論を進めてみたい。

2. 海洋工学とは何か

結論的にいって, 工学体系としての海洋工学はまだはっきりとした形態をとっていないし, また, 将来どのような工学体系になるか現在その予測は困難である。しかしながら, 次のように考えるとその輪郭がかなりはっきりしてくるのではないかと考えられる。海洋工学は, 海洋を場として行なわれるすべての工学的な活動を総称したもので, 陸上工学 (土木工学, 機械工学, 通信工学など陸上で現在成立している, ありとあらゆる工学) および空間工学 (航空工学ならびに宇宙工学) に対応し, その規模が現在の陸上工学に相当する程度に大きくなる可能性がきわめて強いということである。したがって, 既

* 正会員 理博 九州大学助教授 応用力学研究所 沿岸海象力学研究部門

存の海岸工学，船舶工学，水産工学などは当然その中に含まれ，海洋土木工学，海洋建築工学，海洋交通工学，海洋通信工学など，多くの工学が陸上のそれらに対応して存在しうるものと考えられる。ただこのような名称を上げると，既存の陸上を中心とした工学が



などのように分化することも考えられ，この海洋に関係した部分を総称するものとして，海洋工学という名称が使用されることになるかもしれない。現在のところ，たしかにそのような傾向が見られるが，将来においてはそうならないで，独立した工学体系ができる可能性も非常に強い。この可能性を支配する要素こそ，海洋工学と仮称される工学体系を規定し，それを特徴づけるものであるので，次にこれをもう少し立ち入って考えてみることにする。

3. 海洋工学を特徴づける要素

海洋工学を外部から特徴づける要素としては，

- ① 海洋という環境条件 *enviromental condition* が，そこで行なわれる人間活動に対して非常に厳しいものであること，それにもかかわらず，
 - ② 海洋を場として行なわれる人間活動が非常に多様で，しかも規模が大き（大きくなりつつある）
- ことの2つを上げることができる。

工学は何らかの目標を設定し，それを実現するための設計を行ない，具体的に製作，あるいは建設を行なう活動を導く学問として，その特徴をいい表わすことができる。ところで，物の設計を行なうに際しては，それに要求される機能と環境条件が主要な条件となるが，海洋という環境条件は空間あるいは地上のそれとは非常に異なっており，しかも複雑で厳しい。すなわちまず人間が自然の状態では海水中に生存できないという条件，海洋では，潮汐，波（表面波，内部波），流れ，漂砂，暴風，地震，津波など地球上で生ずるほとんどすべての自然現象が生じ，それに生物現象，海水の化学的作用，深海における高い水圧など多くの要素がからみ合って海洋の環境条件を形成している。したがって，このような環境条件の中で，人間が活動するには，いろいろな手段が必要であるし，そこで使用するものをつくる際には，その設計ならびに建造法は陸上とは著しく異なったものとなることが当然考えられる。

この特殊な環境条件を考慮した物の設計法が海洋工学の一つの柱となることは間違いないであろう。しかしながら，もしも海洋で使用するもの自体が限られた形式のもの，あるいは非常に小規模なものであれば，現在出現しようとしている海洋工学のような学問の成立の可能性は少ないであろう。

ところが，現実には海洋の環境条件がこのように人間活動にとって非常に厳しいものであるにもかかわらず，1. で述べたごとく，現在海洋を場としてきわめて多様なしかも大規模な活動が展開され，その活動の種類は少なくとも現在の時点で考えると空間工学（宇宙工学）のそれに比してきわめて多様で，それは陸上工学における活動の種類にもある程度匹敵するものとなりつつあるように思われる²⁾。このようにみえてくると，海洋工学という工学体系が成立する可能性は非常に強く，前節で示した陸上工学，空間工学に対応するものとしての海洋工学といった大まかな工学の分類も，ある程度うなづけるのではないかと思われる。一方

- ① 海洋で使用する物を設計し建設するに際して，その物の種類にかかわらず，ある程度共通して環境条件の強い制約があること
- ② 海洋における活動が多様ではあるが，陸上のそれに比べるとかなり人為的であること

この2つの条件は，海洋工学を陸上の工学のように独立に分化した工学の集合としないで，全部とはいかないまでも，ある程度まとまった幹を有する工学とする要因となるものと考えられる。

4. 海洋工学における問題点と土木技術

これまで述べてきたことよりも推測されるように，海洋工学の一つの幹となる部分として

- ① 海洋の環境条件自体（あるいは物の設計へのそのとり入れ方）
- ② 海洋の環境条件に耐え，規定の機能をはたす構造物の合理的な設計
- ③ 必要な新しい材料の設計

④ 海洋における構造物の建設法，あるいは建設手段などをあげることができるであろう。これらは全般的にみて，いわゆる *hard wear* の設計の問題で，土木技術とも密接な関連を有するものである。以下，これらに焦点をあて，それぞれについて少し具体的に問題点を考察してみたい。

(1) 環境条件

a) 海洋波

海洋波は内部波を含めて海洋構造物の強度，作業性能

ならびに安全性を支配する重要な要素である。しかも、従来海岸工学で問題となったような比較的浅海部の場合には水深により最高波が制限され、最高波の限界が存在したけれども、外海で水深が増大すると、このような波高の制限が存在しなくなるので、設計波の上限をおさえることが困難となる。また構造物の種類あるいは機能によって設計に考慮する波の考え方が少し異なってくることも考えられる。すなわち、固定されたステーションのようにある海域に固定して使用する構造物と石油掘削に使用される可動型の半潜水式作業台 (semi-submersible rig) のように、いろいろな海域に曳航したのち固定して使用する、ある程度の可動性を有する構造物、あるいは船舶のように広い海域を動きまわり、しかもかなり高速の移動性能を有する構造物とでは、それらの設計において考慮すべき波の種類が異なってくるであろう。

それに、外海における波の観測データが現在きわめて少ないこと、効果的な観測網を配置すること自体かなり困難をとまうことなども当面解決すべき重要な問題であろう。船舶の場合にはもちろんそうであるが、ある程度可動性を有する構造物の場合には、強烈な暴風時には暴風海面より脱出して、その安全を確保する方法が考えられる。このように、構造物を暴風域をさけるように移動させるため、あるいは固定構造物の場合にも危険なときに少なくとも人員だけを退避させるためには、正確な気象および海象の予報が必要となる。したがって、これは地球物理学としての気象学ならびに海洋学と密接な関連があるが、海洋における観測網の整備、観測データの自動処理と総合的な解析、さらに精度の高い予報技術の確立などがさしせまった問題となる。

b) 波の作用

海洋構造物に対しては、陸上では全く考えられなかった波力というやっかいな外力が作用する。しかも、構造物の種類が多様になるにしたがって、波と構造物の相互作用の結果生じる波力の特性はかなり異なってくるのが予想される。したがってさまざまな形状の部材に作用する波力、水中あるいは水面の浮体に作用する波力、浮体を繫留するアンカーケーブルに作用する力、構造物の応答特性と不規則な外力としての波力との関係など、波力に関する基礎的な問題の研究が必要となってくる。

c) 流れ

構造物をある場所にアンカーあるいは auto positioning 装置⁹⁾を使用して固定する際に、海流は重要な要素となる。海水の密度は空気の密度の約 800 倍であるので、たとえば 1.5 m/sec の海流は約 42 m/sec の暴風に相当する抵抗力を構造物におよぼすことになる。ところが、海流に関しては、その巨視的な特性はある程度明らかになってきているけれども、微細構造、短時間内の時間的

変動などに関しては、現在のところ、不明の点がきわめて多い。

d) 風

海面上の風は、風波ならびに吹送流を発生させて間接的にも構造物に作用するが、構造物の海上部分に対しては、風圧力として直接に作用する。しかも、波、流れと同時に作用し、暴風時には風自体大規模に水滴を含み、風速変動の中には本来の乱れのほかに波による変動を含んでいることも予想されるので、地上風よりもその影響がいっそう強大であるうえ、構造物の応答特性によっては、かなり複雑な効果を生ずる場合も考えられる。

e) 海底地盤

海底に固定された海洋構造物の場合には、海底地盤の土質力学的特性も問題であるが、それに加えて海水の流動による漂砂、構造物の基礎洗掘、あるいは埋没といったやっかいな問題が生じてくる。特に、比較的浅海部における海中構造物では、これらは重要な問題となるであろう。

f) 地震および津波

たとえば、海中公園や海底貯蔵庫のように比較的浅海の海底に固定された構造物の場合には、地震および津波によって致命的な災害を受ける可能性がひそんでいる。したがって、これらを十分に考慮した構造物の設計法、ならびに合理的な警報組織の確立などが必要であろう。また、これら以前に海底地震ならびに津波に関する、より大規模な基礎研究も必要である。

g) 附着生物ならびに海水の化学的作用

海水中の物体に附着する貝類や藻類などの防除は、その解決がきわめてやっかいな問題である。現在でも、海洋計測器あるいは発電所の冷却水の取排水施設などで、附着生物の防除のために非常に努力が払われているが、まだ決定的な解決は得られていない。海洋構造物の種類が増加し、その規模が大きくなるにしたがって、この問題の重要性はさらに増加するであろう。しかしながら、一方では海底牧場のような施設においては、貝類あるいは魚類などが好む材料も必要となってくるので、単に防除法のみならず基礎的な研究も必要であろう。海水による金属の腐食の問題も、やっかいな問題である。防食塗料、耐食金属あるいは耐食性と強度とを兼ねそなえた材料の開発などは、海洋構造物の合理的な設計においてきわめて重要な位置を占める。

h) 水圧

現在でも水深 200~300 m の海底が開発の対象になっているが、開発の対象となる水深は今後さらに増大することが考えられる。このような深海においては非常に高い水圧 (水深 10 m が増すごとに気圧が約 1 気圧上昇する。たとえば 1000 m の場合は 100 気圧となる) が作用

するので、耐圧構造物の設計上の問題、あるいはそこで作業する人間に対する医学的な問題などが生じてくる。

以上述べたような海洋の環境条件を考慮した構造物の設計、あるいはこのような環境条件における人間の活動に際しては、結局、次のような事項が必要となるであろう。

- ① 過去の集積された海洋の環境条件に関する精度の高い観測データ、時々刻々の環境条件に関係する観測値ならびに将来の予測値などに関する適切な情報
- ② 各環境条件の力学的機構に関する知識
- ③ 環境条件と構造物あるいは人間との相互作用の機構に関する知識

などである。これらは気象学、海洋学あるいは流体力学などの基礎科学とも密接な関連を有する。したがって、このように海洋構造物の設計する立場より海洋の科学的知識を整理して体系化する研究が、一種の境界領域の学問として重要性を増すものと考えられる。特に最近アメリカ合衆国で海洋開発に進出している企業（たとえば、Westinghouse Electric Co. など）の中にならび多くの海洋学者が入って活躍しているのは、このような事情を反映しているものと考えられる。

また、気象および海象に関する全地球海洋的なデータの収集に関しては、現在世界気象機関（WMO）により世界気象監視（WWW）計画が国連に提案され、一方第5回政府間海洋学委員会 IOC-V では全地球海洋ステーション組織 IGOSS (Integrated Global Ocean Station System) に関する決議がなされている。後者の場合、たとえば海洋ステーションの地理的分布、作業組織、周波数の問題、情報の伝達方式などに関する具体的検討に入ろうとしている。これに関連して、アメリカでは非常に多くの観測要素⁴⁾を有する観測ブイ（モンスターブイ）ならびに観測ブイの全地球海洋的な設置計画が提出されている。

さらに、一方では、人工衛星を利用した気象および海象の観測、航空機による波浪観測、ニューヨーク大学の Pierson 等を中心に推し進められている人工衛星ならびに航空機による観測を並用して、計算機組織により全地球海洋的な波の予報を行なおうとする意欲的なプロジェクト、あるいは Scripps 海洋研究所の W.H. Munk らによって提唱された深海部の潮汐の構造を明らかにするための国際協同研究計画など、海洋の環境条件を明らかにするための新しい大規模な試みが進行している。

このような世界的な動きを眺めるとき、現在の海洋開発の機運が、その内的な必要性とともに、他方では上述のような基礎的な科学技術の進展とも密接な関連を有していることがわかる。

(2) 海洋構造物

海洋構造物は 4.(1) で述べたような非常に複雑な環境条件に耐え、しかも十分な機能を発揮できるように設計を行なわなければならない。しかも、今後の海洋構造物は非常に多様性に富んだものとなるので、これら海洋構造物の設計法は海洋工学における、きわめて重要な位置を占める。

海洋構造物は、その使用目的、機能、移動性能、使用位置（内海あるいは外海、海上、海中、海底など）により非常に多くの種類のものが考えられるが、それらをたとえば移動性能により分類してみると次のようになる。

a) 移動型

現在の船舶の延長上にあるものとも考えられるが、ホーバークラフトや CAB (Captured Air Bubble Vehicle)⁵⁾ のような ACV (Air Cushion Vehicle) あるいは水中翼船などのように高速性能を得るために、従来の船という概念からはかなり異なったものが出現している。また、バチスカーフのように深海の調査を行なうもの、あるいは海中を移動し運搬を行なうもの、海中で作業を行なうもの、深底の探査を行なうものなど、さまざまな形式のものが、浅海用、中深海用、深海用に開発されそれらの名称は Alminaut (Reynold International), Beaver (North American Rockwell), Deepstar (Westinghouse Electric Co.), Star (General Dynamics Co.) など枚挙にいとまのないほどである。海中の土木建設工事に関連の深いものとしては、潜水作業船を含む簡便で高性能な海中建設機器の開発が今後重要な課題となるであろう。

b) 固定型

現在の各種の港湾および海岸の構造物、あるいは浅海にある固定ステーション（海洋観測用、海底資源掘削用）などの延長上にあるものとも考えられる。しかしながら、海底貯蔵庫、海中貯油施設（貯油タンクおよびパイプラインを含む）、海底作業基地（ダイバーがこれを中継基地にして海中作業を行なう居住施設）、海中公園などのように、海中にその主要部を有する各種の無人あるいは有人の構造物が出現しつつある。また、水産資源の開拓などに関連して、海中の局所的な環境条件を変えるためのさまざまな海中構造物が今後出現することも予想される。たとえば、河口流、沿岸流、波などを適当に制御するための施設、合理的な漁床をつくるための施設などがそれである。このような固定型の構造物においては、水圧や波力などを考慮した構造設計に加えて、海底地盤の問題（基礎の支持力、漂砂、基礎洗掘など）が重要となってくる。また、施設の建設あるいは敷設ともなう水中工事に関連してやっかいな問題も生じてくる。した

がって、水中施工法の開発との関連が深い。

c) 移動固定型

海洋構造物が設置される水深が増大するにつれて、海底に足をおろして、固定した構造物は建設も困難であるし、経済的にも問題が生じてくる。そこで考えられた構造物が設置位置までそれらを船積あるいは曳航して行き、そこで

- ① 昇降式の脚を下して固定する形式(Jack-up type)のもの
- ② アンカーで固定する形式のもの
- ③ Auto positioning 装置で位置を保持する形式のもの

などである。①は秋田沖で活躍している白竜号のような石油掘削用の作業台で代表され、きわめて多種多様のものが建造されて、大型のものは現在水深 60~70 m まで使用されている。水深が 100 m を越えると脚を下して固定する方式は、実際上困難になってくる。そこで、モホール計画で設計された掘削用プラットフォームで代表される半潜水式作業台(semi-submersible rigs)のように、できるだけ波および流れによる力を減ずるような構造にして、アンカー、auto positioning 装置、あるいは両者の並用により水面付近に安定に保持する方式が現在開発されつつある。気象、海象観測用のブイステーションももちろん移動固定型のうちに入るであろう。今後、このような必要に応じて適当な位置に船積あるいは曳航して運び、固定して使用する形式の構造物は地下資源開発用の作業台やブイステーションに限らず、ますますその種類が増加するのではないかと考えられる。たとえば、最近、日本電信電話公社で計画されている海洋中継所⁹⁾などもこれに入るであろう。これらの構造物自体の設計法、係留方式ならびに浮体の運動特性などに関する基礎的研究、auto positioning 装置に関する研究など、さまざまな問題がこれに関連して生じてくることになる。

以上のようにみえてくると、一口に海洋構造物といっても、実に多種多様のものが建造されつつあることがわかる。しかも、従来、船舶工学でとり扱ったいわゆる船舶や、海岸工学でとり扱った海岸および港湾の諸施設、あるいは浅海の固定ステーションなどとは著しく性質の異なった構造物が多い。このような海洋構造物を適切に分類して、4.(1)で述べたような環境条件を考慮した合理的な設計規準を確立することは、きわめて重要な工学的課題である。この場合、もちろん、単に個々の構造物の運動学的あるいは構造力学的諸問題のみならず、システムとしての解析の必要なことも忘れてはならないであろう。

(3) 材 料

最近の航空工学あるいは宇宙工学において、新しい高

性能の材料の開発が重要な役割を果たしているのと同様に、あるいはそれ以上に新材料の開発は海洋工学において重要である。現在特殊鋼の企業により開発が進められている耐海水鋼のような耐食金属、あるいは深海用の構造物に必要な軽量で、しかも十分な強度を有する特殊材料(たとえばガラス繊維の入ったプラスチック、ホイスターなど)、これらの開発は海洋構造物の設計においてきわめて重要な役割を果たす。またこのような新材料の開発とともに、従来地上で使用されている各種材料(たとえば、コンクリート等)の海水中における、あるいは高圧下における諸特性に関する研究も従来行なわれたより以上に必要となってくるであろう。

(4) 海中工事

海洋に構造物を建設する際には、どうしてもある程度の中における工事が必要となる。たとえば、海底の地盤の整地、基礎工事、あるいは海中における構造物の組立(場合によるとその建造)などが必要である。これらを実行する手段としては、作業内容により

- ① 人間が直接潜水して工具を使用して行なうもの
- ② 潜水作業船を利用して行なうもの
- ③ 遠隔制御されたロボットを使用するもの
- ④ 陸上の建設機械に対応した海底の建設機械を使用するもの

などをあげることができるであろう。人間が潜水して海中で生活するに際してのさまざまな問題に関連した研究が、フランスのプレコンチナン計画(大陸棚開発計画)や、アメリカの MITS(The man-in-the-sea)計画の一環としてのシーラブ(海中実験室)計画で行なわれていることはよく知られているとおりである。また、これと並行して潜水医学に関する研究も精力的に進められている。これらの研究の結果、特殊な工夫を行えば人間は 100 m 程度の海底でも生活し、活動できることが明らかにされた。したがって、海中工事に関連して潜水者の養成、ならびに海中における潜水者用の作業基地の開発⁷⁾、水中の工具および簡単な測定器、通信機などの開発などが海中工事に関連して重要な問題となる。水深が大陸棚を越えてさらに深くなってくると、人間が潜水することは実際問題として困難となるし、また人間の潜水範囲でも作業によってはロボットを使用の方が能率的な場合も考えられる。このような場合、使用するロボットの開発が現在すすめられている。たとえば、海上の船や海中ステーションより有線リモートコントロールで動作する無人の作業機器はこの種のロボットの一種とみなされ、アメリカの CURV(Controlled Underwater Recovery Vehicle)や Mobot(Marine Robot)などがあげられる⁸⁾。CURV は高さ 1.8 m、幅 1.5 m、長さ 4 m の海

中作業艇で、3つのスクリューで水平、垂直方向に自由に動き、ソナー、投光器、テレビカメラ、マニピュレーター（人工手）などを備え、ステーションからの指示で動作し、スペイン沖の核弾頭の回収作業で活躍したといわれている。また、各種の調査、監視および作業を行なうための小型の潜水作業船が数多く建造されていることは、前に述べたとおりである。わが国でもよく知られているように、最近、水中テレビ、マニピュレータ、各種海洋計測装置、採泥機などをそなえ、600mの水深まで潜水可能な潜水調査船深海が建造された。さらに水中ブルドーザー、水中杭打ち機、水中クレーンあるいは水中ボーリング機械など、水中で使用する建設機械の必要性は、海中工事の規模の増大とともに増加してくるであろう。

また、これらの水中の建設機械の開発と並行して、水中における各種施工法の開発の重要性を忘れてはならないであろう。現在でも、各種海岸構造物の建設、あるいはパイプラインの敷設などには種々の努力が払われているが、海洋構造物の規模の増大、構造の複雑化などとともに、さらに高度の海中工法の開発がきわめて重要となってくる。そしてこの問題は、いうまでもなく、土木工学と、きわめて密接な関連を有するものと考えられる。

(5) 海洋の汚染

この問題は、海洋の環境条件の変化というもっと一般的な問題に含まれるものであるかもしれない。すなわち

- ① 海洋における人間活動の結果として生じる環境の変化
- ② 人間が目的をもって積極的にを行なう環境の変化など

がそれである。前者には廃棄物による海洋の汚染、海洋構造物による海況の変化ならびにその変化の他の要素への影響などの問題が含まれる。後者には水産資源を増大させるための海洋の環境条件の制御、ならびに気象を制御するために海洋の環境条件を人為的に変化させることなどが含まれ、これらは海底牧場の構想あるいは海洋において台風の発生を防止する具体的方法の検討などにつながってくる。

ところで、海洋の汚染の問題は、最近すでに隣海工業地帯の規模の増大とともに工場排水、都市排水あるいは発電所（火力、原子力）の取排水などの問題に関連してきわめて重要な問題になってきている。また、放射性廃棄物の処分も差しせまった問題になってきている。海洋構造物がさらに増加し、今後、海洋における人間の活動が大規模になるにしたがって、この海洋に廃棄する物質の処理法、あるいは廃棄後の物質の流動ならびに拡散、それによる環境条件（たとえば、水質、水温など）の変

化、その変化の他の要素への影響などの研究の重要性はさらに増大するものと考えられる。また、付着生物その他のところでも簡単に触れたことであるが、構造物の規模が増大すると、防食塗料あるいは付着生物防除用の塗料などによる汚染も場合によると問題となってくるかもしれない。

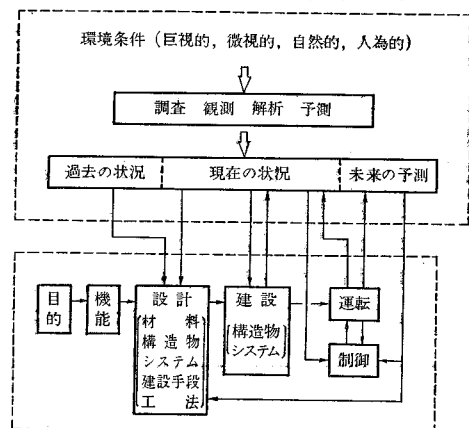
(6) その他

これまで海洋工学のうち、土木工学に直接的な関係の深いものを主としてとり上げてきたが、これら以外の海洋工学における諸問題も上に述べたそれぞれの事項に無関係ではない。すなわち、潜水医学は前にも述べたように、水中工事者としてのダイバーの活動と密接な関係を持ち、海中通信ならびに照明の重要性もいうまでもないであろう。また、これらの施設の建設はまた構造物の設計の問題に関係してくるし、水産資源の開発の問題もそのための施設、あるいは構造物による環境条件の変化といった面で関係してくる。さらにまた、海水の淡水化あるいは潮力発電などのプロジェクトに関連しても、当然大規模な海洋（岸）構造物の設計と建造が必要となってくる。

4. あとがき

工学は前にも述べたように、常に目標を設定して、これを環境の中に最適の条件で実現するための設計を行なう学問であるといえることができる。この設計を中心とした工学活動の過程を図式的に表わすと、図-1のようなものが考えられ、この図で環境条件に海洋のそれをあてはめたものが海洋工学を特徴づける図式にほかならない。海洋工学の特徴は、それは海洋工学における基本的な問題点でもあるが、自然環境が非常に複雑であるうえに、工学活動に対するその影響力がきわめて強いこと、

図-1 設計を中心とした工学活動の過程



さらに工学活動の影響はまた自然環境に敏感にはね返ることである。したがって、自然環境に関する正確な情報ならびに相互作用の機構を理解しなければ、合理的な設計あるいは建設といった工学的活動が困難である。この海洋の自然環境に重点をおいて、その基本的性質を明らかにするための学問が、基礎科学としての海洋科学である。したがって、海洋工学と海洋科学との結び付きは、きわめて密接である。このあたりに、現在アメリカで進行している特定の大学で海洋工学に関する教育、技術者の訓練、ならびに基本的な研究を重点的に行なうことにより、基礎科学と工学とのギャップを埋めることを主要な目的とした Sea Grant College 計画⁹⁾ の一つのねらいがあるように思われる。

いろいろな角度からみて、海洋工学は現在世界的な規模で発展の途上にあるし、また急速に発展させなければならぬ工学と考えられる。それにもかかわらず、その工学としての内容は必ずしも明確でなく¹⁰⁾、われわれはともすると、現在海洋工学と呼ばれているものの個々の内容の多種多様性に目をうばわれて、海洋工学を単に個々の既設工学の寄せ集めとしての巨大科学と見がちである。この小論は、このような海洋工学を海洋という自然環境に最適の海洋構造物を造ることに関連した学問としてとらえ、ある程度具体的に工学上の問題点を整理することを試みたものである。もちろん、海洋工学は応用を目的とした学問であるので、最も重要と考えられる問題に関連して、具体的目標を設定し、既存の学問の各分野に蓄積された知識を集結し、未知の部分に関しては集中的に研究を行ない、その目標を達成するという実践をとおして、その工学としての体系が形成される面がきわめて強い。最近、イギリスの土木学会の研究開発委員会 (Research and Development Committee) が、会員の海洋工学に関する注意を喚起したのち、学会でとり上げるべき海洋工学の第一の目標を海底地下資源の調査に必要な機器および方法の開発にしぼり、そのために必要とする具体的技術開発を例にあげて勧告しているのは、上述のような行き方に立脚しているものとみなしうるであろう¹¹⁾。

しかしながら、一方ではその学問がより広い範囲に対して有効性を発揮できるように、知識の集積の各段階に応じて、それを体系化して進んでいくことが、特に海洋工学のような多様性を有する工学においては必要であろう。そして、この問題に関しては、土木工学の中に海洋学および気象学の新しい知識をとり入れ、さらに新しい分野を開拓することにより、海岸工学という一つのユニ

ークな工学をつくり上げた過程は、もちろん情況はかなり異なっているけれども、非常に参考になるものと考えられる。さらに、層の厚い研究者および技術者の養成¹²⁾、研究の組織化、ならびに研究成果を発表して知識を交換するための場 (たとえば学会) の整備なども、今後のきわめて重要な問題であろう。

著者注

- 1) offshore drilling rigs の訳語で、この中には掘削用の固定やぐら fixed rigs、船やバージに掘削機械を積んだもの drilling vessel、掘削用のやぐらを可動式にした各種の形式のもの (脚昇降式 junk-up type、着底式 submersible、半潜水式 semi-submersible) などがある (たとえば Ocean Industry, Vol. 3, No. 7, 1968. 参照)。
- 2) 世界中の大企業が積極的に海洋産業に進出している原因の一つは、このあたりにあるものと考えられる。
- 3) Dynamic positioning 装置とも呼ばれ、位置の検出装置と推進装置とを組合わせた自動制御装置で、浮体がたえずある場所を保持するように作動する。
- 4) 気象: 風向, 風速, 気温, 湿度, 輻射, 気圧, 降水量
海象: 流向, 流速, 水温, 塩分, 溶存酸素, 炭酸ガス音速, 光の散乱, 表面波
- 5) 現在使用されている ホーパー クラフトに類似しているが、フレキシブルな スカートのかわりに、船底両側の固定壁と前後にある種々の形式のシールで air cushion (気泡の層) が保持される。
- 6) 大陸棚の先端付近 (陸より約 50 km 以内、水深 200~300 m) に海洋中継所 (通信施設、電力装置、アンテナ、修理員の居住室などを含む無人 ブイステーション) で積載重量 20~30 t を設け、これより深海部の海底同軸ケーブルとこれより浅海部のマイクロ方式との中継を行なう計画で、現在、日本舶用機器開発協会にその開発が委託されている。
- 7) 潜水者が深海で作業したのち、海面に上昇してくるには作業時間に比して非常に長い時間をかけないと潜水病となる。したがって、作業後、毎回上昇していたのではきわめて能率の悪いものとなるので、合理的な水中基地が必要となり、アメリカなどではさまざまなものが製作されている。
- 8) 実際には、ロボットと小型作業船との区別は、はっきりとしない。後者も考えようによればロボットの一つとみなされる。
- 9) これに関する一般的な解説は、たとえば酒匂博士の論文 (自然 68-5) を参照されたい。
- 10) このことは、アメリカの NSIA (National Security Industrial Association) がまとめた報告書 (Ocean Engineering) 中の項目にもみられるし、今年 2 月イギリス Brighton で開かれる国際海洋工学会議のプログラムにも見られる。
- 11) The Institution of Civil Engineering, Proceedings Vol. 39, March 1968. 参照
- 12) 海洋工学の教育上の問題に関しては、基礎工学 (Engineering Science) あるいは広義の環境工学 (Environmental Science & Technology) の問題などが関連してくることが予想されるが、これらは工学教育一般の問題とも考えられるので、ここではたち入らないことにする。