海洋コンクリート構造物

総括執筆者（座長）

田 中 行 男

正会員 工博 東日交通コンサルタント（株）社長

話題提供者

赤 塚 雄 三

正会員 工博 運輸省第2港湾建設局横浜調査設計事務所長

河 野 通 之

正会員 工博 日本交通技術（株）取締役

岡 村 甫

正会員 工博 東京大学助教授 工学部土木工学科

桜 井 紀 朗

正会員 本四連絡橋公団第2建設局建設第一課長

遠 藤 武 夫

正会員 本四連絡橋公団工務部第一課長

担当・中国四国支部

まえがき

北海の 100 万バーレルのコンクリート貯油タンクの建造に刺激されて，今や世界中のコンクリート技術者の関心が，急速に海洋コンクリート構造物に向けられている。1972 年 9 月に開催された FIP 主催の海洋コンクリート構造物に関するシンポジウムは多数の参加者を集め盛況裡に行われたと聞いている。これを契機として FIP は，F. Hansen（イギリス）を小委員長として「海洋構造物に関する小委員会」を発足させたのである。ACI にも 1973 年 10 月に海洋コンクリート構造物に関する委員会が新しく設けられ，日本からも数名の委員の参加が要請されている。また，1974 年 3 月には早速，海洋コンクリート構造物に関するセミナーが同委員会の主催で開催された。FIP の小委員会は，1973 年 10 月に早くも「海洋コンクリート構造物の設計指針」を公表しており，「コンクリート船」についても，1974 年の総会で独自の小委員会として新たに発足することになった。これは今後発展を期待される重要な課題であることが認識された結果である。コンクリート船に関しては，すでにいくつかの国および国際的な団体が，フェロセメント，鉄筋およびプレストレストコンクリートで建造されるコンクリート船体の規準を作成しており（USSR Register, Lloyds, ABS, US Coast Guards)[2]，わが国でも規準作成の動きがある。

土木学会としても，コンクリート委員会の小委員会として海洋コンクリート構造物の設計指針を作成中であって，研究討論会のテーマの一つとして海洋コンクリート構造物が選ばれた。当日は以下の 5 テーマについて話題が提供され，活発な質疑応答が行われた。本報告は，その概要を再編し，とりまとめたものである。

① 海洋コンクリート構造物の展望 （赤塚雄三）
② 海洋コンクリート構造物設計施工上の問題点 （河野通之）
③ 海外における海洋コンクリート構造物の現況 （岡村 甫）
④ 巨大な海中コンクリートの施工実験 （桜井紀朗）
⑤ 海中コンクリート工事施工の海中への影響防止 （遠藤武夫）

1. 海洋コンクリート構造物の展望

（1） 海洋コンクリート構造物への要請

人間の社会活動，経済活動の場は従来主として陸上にあって，海洋は運輸交通の径路，漁業やレクリエーショ

ンの場を提供するのにすぎなかった。しかし，近年，海洋は陸上で枯渇し始めた天然資源探査の対象となるとともに，陸上立地の困難性，自然条件の制約，環境問題等の理由により，多くの施設についてその利用が要請されることになった。例えば発電所，空港，下水処理場，産業廃棄物処理場，精油場，石油貯蔵基地，海水淡水化プラント等，海洋空間も積極的に利用する方策が考慮され実施されつつある。一方，船舶については船型の大型化が急速に進展し，これに伴って港湾施設の大型化と大水深化が進められ，利用水深 15～20 m の施設もかなり一般化し，さらに大深水の沖合係留施設も漸増しているのが実情である。こうした傾向は，沖合貯油施設とか精油施設の建設を促し，すでに北海では水深 100 m 以上の海中に巨大なＰＣ構造の施設が建造されている。

（2） 海洋空間の多目的利用

海洋構造物の建設にあたって最も留意すべきことは，環境保全，公害防止，安全対策であろう。海洋空間の利用は，その自然条件が陸上に比べて格段と厳しいうえに環境保全や公害防止対策の実施が前提となる。開発調査，計画，設計，施工，管理，運営，いずれの面を取り上げても決して容易ではなく，開発費，工事費，運営費も在来の陸上立地の場合に比べて，かなり多額に上がるであろう。

したがって，海洋空間において多様な目的別に独立した施設を設置することは，限りある海洋の合理的利用法とはいいにくい。むしろ各種目的の施設や構造物をその機能等によって集約し，海洋の多目的利用を積極的に推進し，事業の経済性向上を図るべきと思われる。例えば大水深港湾と石油貯蔵基地，精油所，火力発電所，廃油処理場，海水淡水化プラント等の施設群は，ある程度集約することにより海洋利用の経済的，技術的フィージビリティーをかなり向上させることであろう。

（3） 海洋構造物の特徴

海洋構造物は設置される場所が海洋であることによって

① 特に耐食性が要求される
② 水圧，波力など荷重の影響が大きい
③ 支持条件により構造形式が全く異なる（特に浮遊構造）
④ 施工条件が厳しい
⑤ 建設の歴史が新しく，実績の少ないものが多い

などの設計施工上の問題が生ずる。また，海洋構造物は陸上構造物と環境条件が著しく異なる点が特徴であって，気象条件（気温，湿度，塩分，風向，風速，台風など），海象条件（海流，潮流，潮汐，高潮，波浪，漂砂，水温，水質など），地盤条件（海底地形，地質，地震など）等の自然条件，利用条件（船舶の航行，物体の漂流など）等を考慮する必要があるうえに，構造物の工事中および完成後の環境に及ぼす影響について配慮する必要がある。

（4） 海洋構造物の構造様式

海洋構造物には，水深，海底地盤，海象条件等の自然条件とか構造物の目的や機能等により，各種の構造様式が開発されよう。すでに構想されているものから主要なものを列挙すると次のようである。

① 単塊構造：漁礁，錨定ブロック，消波ブロック等
② 脚柱構造：灯台，海上橋梁等
③ 桟橋構造：港湾施設，海上空港等
④ 円筒構造：海底採鉱の立坑等
⑤ 函体構造：沈埋トンネル，火力発電所，原子力発電所，産業廃棄物処理場，精油所等
⑥ 槽および殻構造：貯油槽，穀物倉庫等
⑦ 浮上構造：浮橋，海上空港，海上都市，港湾施設等
⑧ 消波構造：海洋構造物のための外郭施設

（5） 構想されている海洋コンクリート構造物

a) 海上空港

空港の騒音問題はいずれの国でも共通の問題であり，これを湖上や洋上に移転する計画は数多いが，現時点での海上空港構想の大部分は埋立方式によるものである。しかし，今後はＲＣまたはＰＣの桟橋構造とか，浮上構造も実際的に考慮されることになろう。この場合，騒音に関係のない管理施設，サービス施設等を陸域に残し，滑走路，誘導路等のみを海域に移す案も考えられる。

b) 海洋発電所

陸上での用地難，環境問題，冷却水取水，温排水，燃料の搬入や貯蔵等の関係から火力，原子力発電所は，ともに現在の臨海立地型から沖合立地を指向するものと思われる。構造としては，浮上式，着底式等が考えられているが，巨大なコンクリート函体を水深 30～50 m の海底岩盤上に沈設固定する着底方式が有力といわれている。これは，いくつかの隔室をもつ巨大なＰＣあるいはＲＣ構造の函体ユニットをドライドックで製作し，進水浮上せしめた後，所要の個数のユニットを海上で平面的に結合し，また，所要の高さに打ち継ぎ，これを設置地点まで曳航し，沈設する方法で築造することになろう。

この施工技術はすでに実用化している沈埋トンネルのＲＣユニットや大水深防波堤の大型ＲＣケーソン等の技術の延長線上にあって，十分な実現性をもつものといえよう。

c） プラント類

廃油処理場等の産業廃棄物の処理プラント，海水淡水化プラント，精油所等の海上プラントについても，RCまたはPCの着底式函体構造が採用されることになろう。

d） 海中貯油施設

大型シーバースと併せて陸上立地の困難な貯油施設を設けようとするもので，大水深港湾の少ないアメリカ合衆国でかなり実現性の大きいプロジェクトとして検討されている。係船施設としては，船舶の接岸時衝撃等に対し鋼杭を用いたドルフィン構造が有利であるが，貯蔵施設としてはPCの着底式貯油槽とすることが考えられ，北海には 100 万バーレルのタンクが実現した。

e） 消波構造

前述の海洋発電所にしろ海中貯油槽にしろ，その操業上周囲に静穏な海面を必要とし，また，台風等の荒天時にあっても，本体の安全が絶体確保されなければならない。また洋上では，漂流船舶等の衝突の可能性もある。したがって，本体の周辺を堅牢で消波効果の大きい構造体で防護することが必要である。大水深の地点では，在来型の重力式消波構造は適用性に乏しいので，浮防波堤とか，消波堤その他の新しい構造の開発が要請されている。

f） 洋上架橋

本四連絡橋のような大型の洋上架橋工事では，大水深における大型橋脚工事が不可欠である。海底岩盤への確実な着底，型枠の建込み，水中コンクリートの施工，大型コンクリートプラント船，施工管理方式，等の諸点で在来の海上工事とは隔絶した施工技術が要請され，新たな開発の成果が，まさに試みられようとしている。

（6） 今後の研究課題

従来の海洋構造物の分野で大きな部分を占めてきた港湾構造物の多くは，その利用水深も 15～20 m 程度であって，防波堤の設置水深も 30 m が限度であった。したがって，水深 30 m 付近までの海象条件の観察資料はかなり整備され波浪の特性も研究されているが，さらに大水深の資料は本四架橋関係を除けば皆無に等しく，50 m 程度の大水深波浪観測網の整備もようやく着手された段階にあって，その整備とともに観測機器の開発が急務である。

従来の海洋構造物は，目的が単純なため重厚な重力式が多く，台風等による被災も局部的で，全面崩壊とか公共の安全性が著しく損われた例は少ない。しかし今後の海洋構造物は，複雑な構造体のものが想定されているので，万一の被災が全面的崩壊，環境汚染，人命や財産の損失をもたらすことのないよう，施工技術の開発とともに，安全確実な構造計画や部材設計法の確立が必要となろう。

最後に，これらの海洋構造物の多くは，海上における社会的，経済的な人間活動の場を提供するものであり，こうした施設の管理運営の経験は十分とはいいにくいのが実状である。海洋開発を正しく評価し方向づけるための社会的・経済的要因に関する調査研究，海洋構造物の機能を十分に発揮せしめるための管理運営面についての検討も併せて行うべきものと思われる。 （赤塚 雄三）

2. 海洋コンクリート構造物の設計施工上の問題点

海洋コンクリート構造物の対象とする範囲は必ずしも明確ではないが，「土木学会コンクリート標準示方書」では，港湾，海岸，または海洋に位置し，海水あるいは潮風の作用を受ける構造物に使用されるコンクリートを海洋コンクリートと呼び，波浪や潮風の作用を受けるコンクリート構造物を海洋コンクリート構造物ということにしている。海洋コンクリート構造物の建設位置は，海岸陸地，水際，沿岸海域，沖合にわたり，海上，海面，海中，海底（地盤）を含むことになり，海水（塩分）の作用を受けるばかりでなく，一般に浮力，水圧等のほか潮流，波力等の作用を受ける。

海洋構造物は，土木構造物として強度以外に，重量，耐久性，施工性などの各種の機能が要求されることが多く，鋼材，コンクリートなど，材料の適切な使用，組合せを考えることが必要であるほか，建築，船舶，機械，電気などの専門分野との協力が要請されることが多い。海洋構造物の形態は，使用目的，機能ならびに建設箇所の海象，地盤などによって異なるが，支持方式によって分類すると次のようになる。

① 浮遊式 { 海上型（浮上式） { アンカーされない形式 / アンカーされた形式 } / 海中型（潜水式，水中保留式） }

② 接地式 { 固定式 / 着底式 }

③ 埋設式

海洋構造物の建設は不安定な気象，海象のもとで行われることが多いから，洋上作業をなるべく短くするためプレキャスト部材の利用とともに，鋼材を主構造とし防食と剛性あるいは重量不足に対してコンクリートを用いる構造，あるいは施工上必要な鋼殻，鉄骨等を利用した合成コンクリート構造，さらにプレキャストコンクリート構造等が採用される傾向にある。

海水その他の有害な作用に対する耐久性は，すべての海洋構造物に共通した，重要な要件の一つである。海洋コンクリート構造物を耐久的なものにするためには，材

料，施工とともに，鉄筋のかぶり，ひびわれの制限等について設計上の考慮が必要であり，特に部材接合部の設計施工に留意しなければならない。ＰＣ構造は，ひびわれを防ぐことから有利であり，特に水密を要する構造に対して優れているが，緊張したＰＣ鋼材は，海洋環境のような腐食に対しては，普通の鉄筋に比べて鋭敏でありＰＣ鋼材が腐食した場合の部材強度に及ぼす影響はきわめて大きい。したがって，ＰＣ鋼材および定着具等の防食については，特に入念な設計施工をしなければならない。

（1） 設計上の問題点

海洋構造物では，施工法を含めた設計条件の設定，構造形式の選定等の構造計画が特に重要である。また，環境条件が重要な場合が多く，工法が設計に影響することが多い。施工のための仮設物の設計が大きなウエイトを占める場合もある。

設計荷重は，自重，搭載荷重，接岸着陸による衝撃荷重，風荷重，波力，流水圧，静水圧，浮力，浮遊曳航時の動荷重，地震力などであるが，これらのうち，波力，流水圧などの水平外力が大きなウエイトを占めることが多い。設計波力，流水圧などを定めるためには，長期にわたる広範囲の観測調査とともに，高度な技術的判断を必要とする。また，完成後の荷重よりも施工時の荷重条件が厳しい場合も多い。

海底および海底下の地盤条件は調査そのものが困難であるばかりでなく，地上の軟弱地盤よりもはるかに弱い粘性流体に近い挙動を示すものもある。また，浮遊構造のアンカーの支持力なども陸上構造物とは異なって推定の難しいものである。構造物の設計にあたって，構造物の安全性は，一般に作用荷重と許容応力度について考慮し，荷重の組合せに対しては，荷重の種類とその作用頻度，構造物の状態等に応じ許容応力度の割り増し，または低減をするのが現在一般に行われている方法である。海洋構造物は自然条件が厳しく，完成後のみならず施工時の条件の影響も大きいので，設計荷重とその種々の組合せに対して許容応力度を選定するためには，高度な技術的判断を必要とする。したがって最近，構造物の設計に取り入られつつある限界状態設計法における考え方，すなわち，終局限界（破壊，疲労，不安定等），使用限界（ひびわれ，変形，振動等）について，それぞれ荷重，材料，構造物の重要さ等に対して別個の安全係数を考慮する考え方を取り入れることが必要であろう。

（2） 施工上の問題点

海洋コンクリート構造物の施工は，気象および海象の影響を特に大きく受けるばかりでなく，航行船舶から障害を受ける場合もある。また，海洋の汚染等を生じないようにするとともに，航行船舶の安全対策に留意する必要があり，施工計画は特に重要である。

水中コンクリートは材料分離を起こし易く，信頼性において不安があるうえ施工結果の確認が困難である。また，途中のトラブルに対応しにくく，打継目は特に弱点となり易いので，途中で中断しないような施工をしなければならない。このため，水中コンクリートの大量急速連続施工を検討する必要がある。

海洋の困難な状況下における施工を少なくするためには，プレキャスト工法が望ましい。しかも，できるだけ大型化することが有利であるが，大型のプレキャスト コンクリートを用いる場合は，製作，進水，運搬（曳航，吊下げ運搬），すえ付け等の技術と，これを操作する大型海上作業機械装置が必要となる。さらに，プレキャスト部材を現場において組み立て接合するには，強度，耐久性，水密性などの点からも信頼でき，かつ容易な接合方法が必要である。また，すえ付け地盤の正確な仕上げが望まれる。

（河野　通之）

3. 大規模な海洋コンクリート構造物の実施例

（1） コンクリート船

コンクリートの浮上構造への応用は，19 世紀半ばからフランス，オランダ，イタリアなどで，鉄筋コンクリート船が建造されはじめたことに端を発するといわれている。それ以後，第一次大戦，第二次大戦を通じて世界各国でコンクリート船が建造され，総排水量で 50 万トンに達したが，その後は積極的な開発は行われなくなった。しかし，最近になってコンクリート船が再び注目を浴びるようになってきた。それは，液化天然ガスの貯蔵と輸送の手段としては，タグボートによってけん引されたコンクリート製のバージが最も経済的であるとの理由によるものである。その場合，8 000 PS のタグボートと 2 万トンのバージとの組合せが最も経済的であって，通常のタンカーの半分のコストで建造できるとのことである。これは，液化天然ガスの低温を保つためにはコンクリート製の容器が必要であるが，コンクリート船の場合には，これと船体とを兼ねさせる点が有利となるからである。船体は，プレキャスト プレテンションの蜂の巣状のパネルからなり，これらのパネルをドックでポストテンショニングすることによって一体化する。このことは，プレストレストコンクリートが浮上構造にとって大いに経済的であるという点で，われわれを大いに勇気づけるもので，将来この分野にプレストレストコンクリートが応用されることが期待されるのである。

（2） 浮上コンクリート橋

浮上コンクリート構造としては，アメリカ合衆国ワシントン州シアトル市に 1940 年に建造されたワシントン湖橋が有名である。その後，ワシントン州には，さらに2つのコンクリート製浮橋がつくられており，現在3橋ともに無事使用されている。フードキャナル海峡の水深 70 m の海上に架かる橋長 2 200 m のものは，4車線の道路橋であって，鉄筋コンクリートの大型ポンツーン 23 個を，高張力ボルトおよびＰＣ鋼棒で橋軸方向に結合構成した浮体をアンカーケーブルで海底に定着，係留したものである。

（3） 浮上空港

世界の主要都市の空港を海上につくることの利点は言を費す必要のないことであって，要はいかにつくるかが問題である。浮上空港は，プレキャスト エレメントをプレストレスで一体化することによって，無限に広い浮スラブをつくる技術と，浮破砕波体によって荒海から滑走路を保護する技術とをあわせれば，十分可能性はあるであろう。浮スラブのモデルテストによって，定着力は荒海の場合でも十分管理できる程度であるとされているし，不慮の事故による沈没の恐れは，穴あきスラブの中空部をポリエチレン等で満たすことによって解決できるであろう。もちろん，経済性で他の方法より劣ると指摘されることもあろうが，それを問題としないだけの利点が浮上空港には存在するであろう。

（4） コンクリート浮ドック

コンクリート造の浮ドックの建造も現在検討されている。一つはマルセイユ港の全長 350 m の 35 万トンタンカー用ドックであり，他の一つは，ジェノア港のドライドックである。2つとも，ほぼ同じディメンジョンであるが，後者は軽量コンクリートの使用が特徴であって，通常の鋼製のものと比べて建設費 20% 減，維持費 70% 減という計算がなされている。

（5） 海中フローティングトンネル

ノルウェイ，ギリシャ，イタリアなどでは，深い海峡を渡るために，海中フローティング トンネルの建設が検討されている。通常の沈埋トンネルと反対に，トンネルに作用する浮力を海底にアンカーする必要があり，アンカーケーブルとして亜鉛めっきしたスライドをプラスチックで包む方式の詳細についての検討，ならびに事故の危険度等についての詳細な検討も行われている。いずれにしても，この種の建造物が実現される場合には，構造体自体のみならず，アンカー システム に対しても，プレストレッシングが応用されると思われる。

（6） 着底貯油タンク

海洋コンクリート構造物としての最近のトピックスは北海に設置されたコンクリート貯油タンクの建設であろう。この重量 21 万 5 000 t のコンクリートタンクは，ノルウェイで建造され，4隻のタグボートによって 480 km 曳航された後に，1973 年6月，深さ 70 m の海底に 10 日間かかって設置されたものである。このタンクは9つのセルに分かれており，ポストテンション方式のプレキャスト プレストレスト コンクリート構造である。タンクの外側には，穴あき消波壁を設けているが，これは同時に衝突に対する防護も兼ねている。このプロジェクトの特徴の一つは，コンクリート 8 万 3 000 m³，鉄筋 9 500 t，ＰＣケーブル 3 600 t を使う大規模構造物の建造が，1 000 人の作業員によってほぼ 1 年で完了したことである。この成功に勇気づけられて，現在この種の海洋コンクリート構造物がつぎつぎと建造されている。

（岡村　甫）

4. 巨大な海中コンクリートの施工実験

（1） 本四架橋のプレパックドコンクリート施工実験の経過とこれまでのいきさつ

著名な長大吊橋で本格的な海中コンクリート工事を施工したのは，ジョージ ワシントン，サンフランシスコ オークランド ベイ，ゴールデンゲート，マキノ，ベラザノ，サラザールの各橋であり，コンクリート工事量は大きいものでは約 10 万 m³ である。これらの工事方法はコファーダムやケーソン等の締切工の底部にトレミーコンクリートを打ち込んで封そくし，その後のコンクリート打ち作業はドライ状態で行った例が大半を占める。これに反して，マキノ橋の場合のように，海中基礎全体にプレパックドコンクリート工法を採用した例は，若戸大橋，天草 2,3,4 号橋，広島大橋，黒之瀬戸大橋，大島大橋，大黒埠頭連絡橋などであり，近い将来，本四架橋で 60 万 m³ 程度の海中コンクリートがこの工法で施工される予定であって，その用途はますます広がっていくものと思われる。

昭和 40 年度に着手したプレパックド工法についての実験の最初の手がかりは，モルタル上昇速度の確保である。計画では 0.4～0.7 m/h としているが，これは骨材空隙中のモルタルの流れと，型枠強度から決定されたものである。これには，モルタル プラントの能力が関係する。上昇速度を固定し，注入面積を大きくすれば，プラントの所要出力も大きくなる。コンクリートの型枠と

なるケーソンには，曳航，沈設に応じて隔壁を追加するが，隔壁がふえるとケーソン製作費が増大する。したがって，ケーソンの曳航，沈設，コンクリート打設を含めた施工法と，ケーソン，プラントの製作費，施工能率を含めた経済性とのサドル点を求めることが注入計画の重要な作業となる。本四橋では，モルタルプラントの能力を常時で 4 000 l/min，最大で 6 000 l/min としており，一度に注入できる面積は 1 200 m² となる。次に，注入管の配置が問題となる。従来は 2 m 間隔程度であったが，これでは注入管の本数がかなりの数となり，材料の供給，注入管へのモルタルの分配，注入制御，作業スペース等の面でプラント設計が困難となる。そこで間隔を 7 m，プラントの注入ポンプに直結できる注入管は最大 30 本，常時 20 本とし，これらの注入管へ同時に同量のモルタルを送る計画である。注入速度は，注入管の間隔を大きくしたために 1 本あたり 300～400 l/min となり，従来の約 10 倍である。

プレパックド工法で施工したコンクリートの品質が，どのようなものであるかという最も初歩的な実験から始め，次いで，これらの実験過程で生じた材料分離現象の解明と品質向上のための実験，さらにこの工法を大量高速施工法に応用するために，注入速度と注入面積に関する実験へと進め，昭和 44 年にようやく実用化への足がかりをつかむことができた。その後は，実際の施工計画をたてるうえで問題となるモルタルの上昇速度，注入温度，注入管の間隔等に関する実験，海中施工の問題や型枠構造検討のための海中実験，大容量モルタル プラント等の施工機器に関する試作，研究を行い，実用上問題のないことを確かめることができた。これらの施工実験はかつてない大がかりのものであったが，施工規模の面からみると，実際の基礎との間には大きな差がある。また，実験で主要な役割を果たすモルタル プラントは，既存のプラントの 100 倍程度の大きさとなり，しかも長時間の注入作業に耐えうる高度な注入制御機能が必要である。このような超大型のプラントは，従来のシステムを基準にして性能予測することは不可能に近い。このため，昭和 47 年 5 月から昭和 48 年 11 月にかけて，一連の実験の総仕上げとなる大規模注入実験を行った。その内容は，実用機に近いプラントを試作し，その性能確認を行うとともに，実際のコンクリート施工体に対応する大型実験体の注入実験を行い，注入モルタルの製造，注入，コンクリートのできばえ，強度確認までの一連の作業特性を十分に確認することを目的としたものである。

（2） 大型プラントによる大規模注入実験

a） プラント性能確認実験

本実験に使用したプラントの能力は，2 000 l/min であり，本工事用プラント船に搭載するプラント 3 基のうちの 1 基分に相当するものである。このプラントの特長は，モルタルの製造から注入に至る一連のプロセスが自動化されていることで，モルタルの製造量や各注入管の流動調節，練り上がったモルタルのコンシステンシーの良否の判断と最適調整，注入管の引上げ操作等の作業が自動的に行われる。このプラントの試作に引き続き，ミキサーとアジテーターの最適化実験，連続耐久試験等を行い，初期故障の抽出，改善ならびに運転操作の習熟に努めた。以上の実験による通算運転時間は 350 時間，モルタル製造量は 2 000 m³ であった。実験の結果，プラント各部についての改善箇所はかなりあったが，いずれもディティールの修正程度であり，装置の基本構造やシステムの構成について特に問題はなかった。

b） 注入実験

本工事におけるケーソンの一部を想定し，直径 15 m，高さ 5 m，体積 900 m³ の型枠に格子状に 4 本の注入管を配置し，各注入管から注入されたモルタルが合流する中央部付近の強度確認を行った。次いで，幅 7 m，長さ 28 m，高さ 15 m，体積 3 100 m³ の型枠に直線状に 4 本の注入管を配置して注入を行い，水平，鉛直方向の強度分布を調べるとともに，大量高速施工における施工要領の習得に努めた。実験の結果，プラントのモルタル製造機構と注入制御機構は正常に作動し，順調な注入作業を行うことができた。でき上がったコンクリートの強度については，ϕ 450 mm×900 mm の大口径コアを各部から抜き取り，試験した結果によると，材令 90 日で 200～300 kg/cm² の範囲にあり，プレパックド コンクリートとしては十分なできばえであった。（桜井 紀朗）

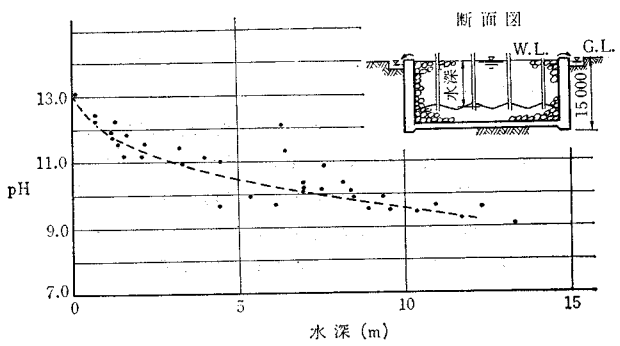
5. 海中コンクリート工事施工の海水への影響防止

（1） 海中コンクリート工事において，予測される海水の水質に及ぼす影響

海中コンクリート工事が海水に与える影響は，コンクリート成分，特にセメント分の流出によって生じ，濁りのほか，pH 値の増大など化学的な水質変化となって現われる。通常の工事においてコンクリート成分が流出する場合としては，各施工段階において次のようなケースがあげられる。

① 製造時，プラントの洗浄時，ミスバッチ処理時に生ずる排水とともに流出すること。

② 打設時，海中コンクリートの施工法により種々のケースが想定されるが，その主なものは，ⓐ 型枠の継目から漏洩する，ⓑ 海底岩盤と型枠面の接触不良によ



図—1　大規模注入実験における pH 値の測定結果

る空隙から漏洩する，ⓒ 水中施工の場合，打設の進行に伴って，型枠天端から越流する海水とともに流出するなどのケースである。このほか，特殊なケースとしては，多柱基礎工，鋼管矢板締切工，鋼製海上足場工などの施工において，海底岩盤に建て込まれる鋼管の根固めとして，孔壁と鋼管柱の空隙にモルタルまたはコンクリート等が注入される場合，モルタルが海中へ流出することがあげられる。

③　完成時，材令の若いコンクリート壁面からセメント分が溶出すること。

コンクリート成分が海水中に溶出する度合いは，pH 値の測定によって定量的に観察するのが都合がよい。実際の施工において，どの程度周辺の水質に影響が生じるかは，流出するセメント成分の量と周辺海域の海象（潮流，波浪）によって拡散の状況が異なるため，影響の範囲，程度を一律に決めることは困難である。

海象に左右されない水中施工の場合の型枠天端からの越流水については，本四公団で行ったプレパックドコンクリートの大規模注入実験（7 m×28 m×15 m）時に測定した結果によれば，図—1 に示すような pH 値の変化が生じている。

（2）　コンクリート工事施工による水質変化が水産生物に与える影響についての実験的検討

コンクリートの水産生物に与える影響については，現在，なお継続調査中であるが，これまでの実験結果などから，その影響の態様について述べると次のとおりである。

①　コンクリート成分のうち，何が影響を与えるか。

②　水質の変化としては pH 値の増大が大きいが，pH 値の変化のみを影響因子と考えてよいか。

③　pH 調整した場合，その後の影響はないか。

以上の問題を検討するため，ウニ卵の受精率，正常発生率などを指標にした実験を行った。その結果は

ⓐ　フライアッシュ，その他の添加物を含んだ海水とセメントのみを含んだ海水との比較の結果，両者間に有意差はなく，影響因子としてはセメントを考慮すれば足りる。

ⓑ　セメントを含んだ海水と，NaOH により pH 値を増大させた海水との比較の結果，後者は pH 9.0 ぐらいまで影響がないが，前者はこの pH 値付近で若干の影響が出ており，セメントには pH 値以外に弱いながら他の影響因子がある。

ⓒ　希硫酸で中和されたセメントを含む海水では，セメント濃度が 1 000 ppm の高濃度でもほとんど影響が現われない，との報告を得ており，いわゆる“コンクリートのアク”の水産生物に与える影響は，セメントの成分溶出による pH 値の増大が，最も大きな因子となっていると考えられる。もちろん，大量にコンクリート（モルタル）が流出する場合はセメント粒子，砂等の懸濁物質による濁りの物理的な影響が，pH 値増大等の化学的影響のほかに付加されることは当然である。また，ワカメの葉体の光合成に及ぼす影響の実験では，NaOH により pH 値を増大させた海水に比べて，コンクリートのアクによる影響が大きく，pH 値の増大が主な因子であるが，炭酸塩等の増大も影響因子として考えられるとの報告もあるので，水産生物の種類により各影響因子の影響程度が異なることも考えておかなければならない。

（3）　コンクリート成分の流出による海水への影響の防止対策

コンクリート成分の流出が水産生物に与える影響は，高濃度のものが長時間滞溜する場合には致命的なものとなり，低濃度でも，長時間にわたれば，生長阻害などの影響がある。しかし，一般には拡散または潮流の影響によって，濃度はきわめて早い時間内に薄められることになるが，大量のコンクリートを打設する場合には，特別にコンクリート成分の流出防止を図る必要がある。各施工段階における対策として，次のようなことがあげられる。

①　製造時，洗浄時，ミスバッチ処理水は，セメント分の濃度が高く，そのまま海水へ放流することができない。一度貯溜槽に集水し，懸濁物質の沈降，pH 調整を行った後排水する必要がある。装置としては，通常使用されている濁水処理装置に，希硫酸の添加槽を付加すればよいと考えられる。

②　打設時，型枠の継目，型枠と海底岩盤との空隙からのモルタル分の漏洩防止はコンクリートの品質確保のためにも必要であり，パッキングなど十分な漏洩防止対策をする必要がある。なお，大型の海中基礎工の場合などは，鋼製ケーソン等を使用するのでモルタル分の流出は岩盤との接触部のみが問題になる。プレパックドコン

クリートなどで水中施工が行われる場合の対策としては型枠天端からの越流水を集水し，pH 調整および必要により懸濁物質の沈降処理をする必要がある。大量のプレパックド コンクリート工法を採用する本四連絡橋の海中基礎工には，処理槽をもったモルタル プラント船により，モルタル注入を行うことにしている。鋼管柱の根固め用モルタル注入については，海底面と孔壁面との空隙に，スポンジ等のパッキングをするか，鋼管柱にビニールのスカートをつけ海底面に抑えつけるなどの防止対策を行う。

③ 完成後，硬化したコンクリート壁面からの溶出は生コンクリートが流出する場合に比べその影響する範囲は狭く，壁面に近い局部的なものである。このため，潮流，波浪等があり，海水が流動している海域では特に問題にはならないが，湾奥部等の停滞している所で，大規模なコンクリート構造物を築造する場合には留意する必要があり，鋼型枠の装置等の処理をする必要があろう。

（遠藤　武夫）

7. 質疑応答

以上の話題提供に対して，活発な質疑応答がなされた。主な質問要旨は，① 浮上コンクリート構造物の維持補修技術の現況，② RC ポンツーンの施工例が少なくないが，その設計基準および審査機関，③ 海洋構造物の安全基準，④ 在来の港湾構造物は有義波を設計対象波として設計しているが，最大波を用いるべきではないか，⑤ 設計波は既往の経験だけでなく，発生確率論的手法をもとにして推定すべきではないか，⑥ 海洋構造物にコンクリート以外の新材料，例えばプラスチックコンクリートなどが用いられる見込みはどうか，などであった。

以上の各項に対する話題提供者の意見は次のようである。

① 浮桟橋ポンツーンのように可動構造の場合は，斜路やドライドックでの補修が容易である。浮橋のようなものでは，隔室構造であって要補修箇所にマンホールを通じて接近し，内部から補修のできる構造としてある。公共の安全に重大な影響をもつ構造物は，第一に維持補修を必要としない構造とするのが望ましく，第二に，仮に破損等があっても，それが局部的な破損にとどまり，重大な災害をもたらすことのないような構造とすべきであろう。

② 設計基準としては，運輸省港湾局制定の港湾構造設計基準等があり，これらを準用するのが望ましい。審査機関としては，当該ポンツーンが国庫補助を受けて築造されている場合には，設置箇所を管轄区域にもつ運輸省港湾建設局がこれを担当することになる。

③ 海洋土木構造物の安全基準はまだないが，運輸省では 1974 年3月に，海洋構造物安全指針を制定している。

④ 海洋構造物の安全性の検討には，その構造物の目的，種類，構造，機能等とともに，設置箇所の海象条件の特性を考慮して，設計波を決定する必要があろう。

⑤ 港湾構造物の設計では，従来から，既往 30 年ないし 50 年の観測資料に基づいて各年ごとに最大有義波を推算し，これを用いて最大有義波の 30 年ないし 50 年間における，再現期待値を決定する手法を採用している。海洋構造物の例として，エコフィスクの貯油タンクに対しては，100 年間再現期待値としての最大波高 24 m を設計波高としており，構造物の目的，種類，重要度等に応じて適宜に定めるべきものと思われる。

⑥ 将来においても大量に使用されるのはコンクリートと思われるが，新材料もそれぞれの特性を生かし，適所には大いに用いられるようになるであろう。

豆知識

環境アセスメント

(Environmental Assessment)

環境アセスメントは，開発工事に伴う公害の発生，自然環境の破壊，社会生活の阻害を未然に防止するため，開発計画に先立って，新たに生ずる自然および社会環境の変化を事前に分析予測し，計画そのものを評価（アセスメント）することで，環境面で悪い影響が生じる可能性がある場合には，計画それ自体に軌道修正を加えていくための資料を提供する作業である。さらに，アセスメントは，計画段階だけでなく，実施中も随時補完し，新たな阻害要因が予測されるならば計画の変更を求め，また工事完了後には追跡調査を実施する。

この環境アセスメントはアメリカ合衆国で手法が確立され，1971 年環境保護法（EPA）が施行されて以来，いっそうその利用度が高まっている。最近，わが国でも環境庁が法体系の整備・確立に積極的に取り組み，苫小牧東部工業基地で初適用したのに続いて瀬戸内海全域にわたるアセスメントの導入，定着化などに力を入れている。

環境アセスメントは従来注目されていたテクノロジー・アセスメントの概念を土台にしており，われわれ建設工事に携わる者は，計画そのものの評価，工事地点の選定，工法の検討・選択などについて社会面，経済面ばかりでなく人間的側面からも総合的な評価を加えることが必要不可欠な要件となってきていることを十分認識し，これら手法の研究・開発にさらにいっそうの努力を傾ける必要があろう。　（安　昌克・記）