

# 人工島施工法の研究

財団法人日本海洋開発建設協会 正会員 北村 浩行  
真田 輝見  
正会員 下村 嘉平衛  
加藤 敏夫

はじめに

四周を海に囲まれたわが国では、古来から恵まれた海岸線を積極的に利用してきた。近年では、港湾や臨海工業用地造成にもみられるように、流通・生産・都市活動などのため人工島を含む沿岸開発が進められ、経済社会の発展の基礎となってきた。

しかし、最近では、海岸線利用の過密化や環境保全の必要から従来の利用に新たな要請も加わり海洋空間の多様化・高度化をめざした有効利用が益々重要な課題となっている。

こうしたなかで、財団法人日本海洋開発建設協会では従来から大型海洋工事の研究に取組み研究成果を取りまとめて来ました。本報告は主として埋立式人工島の施工技術について、厳しい自然（海象）条件下での人工島建設工法の現状・将来動向をまとめた。

## 1 人工島の歴史

従来からの海面埋立ても人工島として評価するならば、古くは紀元前4000年頃よりナイル川、チグリス・ユーフラテス川やインダス川の河口で埋立が行われている。近世のヨーロッパでは、特に18世紀後半の産業革命以降、土木技術の急速な発展があり、オランダにおいては、海面の埋立て等が営々と進められ、7000km<sup>2</sup>以上もの国土を創出しているのは周知のとおりである。また、つい最近では、デルタ計画の一環としてStorm Surge Barrier 締切堤を完成させている。

また、わが国では清盛による経ヶ島（1180年頃）、秀吉の大阪市街地、家康の江戸市街地などがあげられるが、本格的な海面埋立が開始されたのは、昭和30年代以降の臨海工業用地造成からである。しかし、これまでに実施された埋立式人工島は数例を除けば沿岸型の人工島である。いわゆる本格的な沖合人工島としては、関西新空港・東京湾横断道路の人工島が初めてである。

一方、構造物形式の人工島としては、海洋石油開発のため掘削・生産・貯油用の海上足場としての人工島がメキシコ湾・北海・北極海を中心に多数建造されており、大水深・高波浪の厳しい気象・海象条件の海域における設計技術・施工技術が急速に進展してきている。

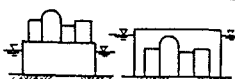
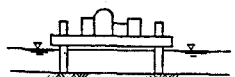
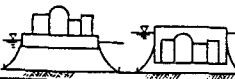
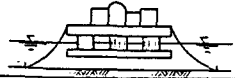
## 2. 人工島施工技術の現状

これまでに実施された人工島建設は沿岸域における水深20m以浅の実施例が主である。今後、海岸線利用の過密化や環境保全の必要性から外海や外海に面した沿岸域における建設需要の増大が予測されており従来の施工技術より格段にむづかしい立地とならざるを得ない状況となってきている。これに対処するために、その設計技術はもとより施工技術においても多くの技術的課題がある。以下に埋立式人工島の施工技術を土工技術、基礎工技術、構造物建設技術等に大別して歴史の変遷と現状について整理した。

### 2.1 土工技術

人工島建設における土工としては浚渫土砂による埋立と陸上土砂による埋立が主なものである。

表-1 人工島構造形式の分類

| 形式       | 模式図                                                                                  | 適用例                    |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| 埋立式      |  | 神戸ポートアイランド<br>タルースト人工島 |
| くい式      |  | ラ・ガーディア空港              |
| 着底式      |  | 北海コンクリート<br>プラットフォーム   |
| ジャッキアップ式 |  | 石油・ガス生産プラットフォーム        |
| 浮体式      |  | 〃                      |
| 半潜水式     |  | 〃                      |

この内、浚渫土砂による大規模臨海工業用地造成の施工例は非常に多い。つまり物流量の拡大・船舶の大型化による港湾施設の整備拡大・拡充のため航路・泊地など浚渫土の活用である。いずれにしてもこのような土地造成の施工を担ってきたのはポンプ浚渫船であり昭和40年代後半には、1万馬力以上の能力を持つものも建造された。また、ポンプ浚渫船と同じように、連続作業ではないが大水深の浚渫や特殊な地盤の浚渫を対象として超大型グラブ浚渫船も開発され実用化されてきた。

最近では、施工管理の効率化にともないコンピュータを組み込んだ計測管理システム・運転制御システムなどハイテク技術を活かした作業船も出現している。また海外では作業海域をオフショアまで適用拡大した、半潜水式やジャッキアップ浚渫船などが稼働している。

他方、浚渫による良質土砂の入手難と海洋環境の保全の見地から陸上の地域開発計画等から発生する土砂を埋立土砂として流用し、ベルトコンベヤ・土運船・揚土船などを組み合わせた連続土工システムにより大量急速施工で人工島を造成した工法が表-2に示すように確立されている。これら陸上土砂による埋立工事では、良質土砂の確保、採取方法、運搬方法、埋立方法などに大量急速施工ゆえの作業機械類の運用などの特徴がある。表-3にそれら特徴ある施工技術を示す。

## 2.2 基礎工技術

基礎工を考える場合、海底地盤の性状と構造物の用途によって、地盤改良基礎、直接基礎、杭基礎、剛体基礎などから最適な基礎工法が選択される。

### (1) 地盤改良基礎

軟弱地盤改良技術は、臨海部とりわけ湾内や内海での ①立地条件 ②構造物の大型化 ③短期間のうちに急速施工して投資効率をあげるなどの要求から、沈下対策と安定対策を目的に各種工法が開発されてきている。

海上工事における軟弱地盤改良技術の開発は、おおまかに置換工法→サンドドレーン工法→サンドコンパクション工法→深層混合処理工法と順次実用化が計られ、最近の大規模プロジェクトでは、急速施工の要請に答えて、大水深の深層混合処理工法の採用も普及してきている。

工法の開発と進行して、地盤改良工法に使用する施工機械、特に海上での作業船は大型化・省力化が進み、水深-70m近くまでの施工を可能にし、同時に施工能力の飛躍的な向上が計られている。

施工管理面では、地盤の動態観測が普及し、周辺地盤や近接構造物への影響などを考慮した厳しい制約条件下で安全かつ経済的に施工するため、品質管理も含め各種の計測機器を用いた施工管理システムが採用されている。今後、エレクトロニクス技術の進歩により、センサーの精度向上・測定データの収集・整理・分析システムの開発により情報化施工管理はより高度化の傾向となっている。

表-2 陸上土砂による埋立工事実施例

| 工事名称                            | 造面<br>ha        | 平均水深<br>m | 採土・運搬量 万 $\text{m}^3$    |       |                   | 運搬距離 km                 |      | 主力施工機械                                                                                                                                      |                       |                                                                                                | 工期<br>(年月)        | 備考                         |
|---------------------------------|-----------------|-----------|--------------------------|-------|-------------------|-------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------|
|                                 |                 |           | 全土量                      | 年間最大  | 月間最大              | 陸上                      | 海上   | 運搬(陸上)                                                                                                                                      | 運搬(海上)                | 揚土                                                                                             |                   |                            |
| 須磨高倉山<br>山砂採取運搬<br>工事<br>(神戸埋立) | 1,016           | 12        | 20,000                   | 1,300 | -                 | 1.3                     | 18.0 | ベルトコンベヤ<br>幅 2.1m                                                                                                                           | ブッシャバー<br>ジ           | バケットホイール式<br>アンローダー<br>1,600 $\text{t}/\text{h}$<br>シフタブル<br>コンベヤ<br>3,200 $\text{t}/\text{h}$ | 1966~<br>1985     | 水深2mまでは土運船より直接投下           |
| 浅間山土砂採取<br>運搬工事<br>(釧路埋立)       | 515             | 10        | 8,500                    | 2,500 | 280               | 3.5<br>3.6<br>2<br>[系列] | 32.4 | ベルトコンベヤ<br>2系列<br>4,800 $\text{m}^3/\text{h}$<br>5,400 $\text{m}^3/\text{h}$                                                                | ブッシャバー<br>ジ<br>自航式バージ | ポンプ船で<br>2度吹き<br>2,000~<br>9,000PS<br>13隻                                                      | 1971.12<br>1976.9 | 水深3mまでは土運船から直接投下           |
| 長崎空港<br>(新大村空港)                 | 136             | 15        | 2,500                    | -     | 166<br>(平均<br>77) | 1.0~<br>1.4             | -    | ダンプトラック<br>32 $\text{t}$ , 45 $\text{t}$ 級                                                                                                  | -                     | -                                                                                              | 1971.11<br>1975.4 | 硬岩を主体とする大規模埋立              |
| 御切火力発電所                         | 35              | 5         | 280                      | -     | 55                | 1.8                     | 90   | ベルトコンベヤ<br>幅 2.1m                                                                                                                           | ブッシャバー<br>ジ           | -                                                                                              | 1960.3~<br>1983.1 | ブルコン工法による連続土工システム          |
| 益利谷間開発                          | 間隙<br>面積<br>180 | -         | 掘出<br>336<br>切盛<br>1,200 | -     | -                 | 5.5                     | -    | ベルトコンベヤ<br>1,600~<br>800mm<br>250~<br>300 $\text{m}^3/\text{min}$<br>BWE<br>2,100 $\text{m}^3/\text{h}$<br>950 $\text{m}^3/\text{h}$<br>各2台 | -                     | -                                                                                              | 1979              | BWEコンベヤによる連続土工システム(土地開発残土) |

表-3 海上土工の施工技術

| 分類   | 技術項目         | 施工技術の内容特徴                                                                               |
|------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 土砂採取 | 大量土砂採取(陸上)   | ・大型BWE・モービルクラッシャー等連続システム                                                                |
|      | 浚渫技術         | ・大型硬土盤グラブ船による硬岩・軟岩の直接浚渫<br>・密閉式バケット等低公害型機械、工法の開発<br>・耐液性能<br>・半潜水式、ジャッキアップ式など新形式の開発・実用化 |
| 海上運搬 | 連続輸送システム     | ・大型土運船(ブッシャー方式)による大量ピストン輸送<br>・将来設備である連絡橋梁等を先行築造してベルトコンベヤを懸架するなど従来の工法の適用拡大              |
| 埋立   | 揚土技術         | ・軟弱地盤での安定対策のため薄層散布技術、工法の開発(散布台船、浮橋方式フローティングコンベヤ方式、)                                     |
|      | 位置決め・誘導・形状管理 | ・光波・電波測量機器とコンピュータを組み合わせたシステムによる施工管理システム                                                 |
|      | 沈下管理等情報化施工技術 | ・各種計測器による動態観測データを収集・解析・判断し次施工段階に反映させる情報化施工システムの実用化                                      |

表-4 軟弱地盤改良工法

| 分類                      |              | 工 法              | 目的<br>対策工法の効果<br>海上工事への適用性・実績 | 沈下対策    |         | 安 定 対 策 |         |         |          | 年 代    |                         |              |               |       | 実績<br>国内件数を示す。<br>主に 1982 年まで               |                                                                              |
|-------------------------|--------------|------------------|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|--------|-------------------------|--------------|---------------|-------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
|                         |              |                  |                               | 圧密沈下の促進 | 全沈下量の減少 | 剪断変形の抑制 | 強度低下の抑制 | 強度増加の促進 | すべり抵抗の付与 | 液状化の防止 | ⇒は海外<br>→は国内<br>の開発を示す。 |              |               |       |                                             |                                                                              |
|                         |              |                  |                               |         |         |         |         |         |          |        | 1930                    | 1940         | 1950          | 1960  |                                             | 1970                                                                         |
| 置 換<br>(掘削置換)<br>(強制置換) | 掘削置換工法       | ○                |                               | ○       | ○       |         |         | ◎       | ○        |        |                         |              |               |       |                                             |                                                                              |
|                         | 押し出し置換工法     | △                |                               | ○       | ○       |         |         | ◎       | ○        |        | 1942                    |              |               |       | 最近の事例は少ない                                   |                                                                              |
|                         | 爆破置換工法       | ×                |                               | ○       | ○       |         |         | ◎       | ○        |        | 1935                    |              |               |       | 日本の施工例は少ない                                  |                                                                              |
|                         | 強制置換(柱状)     | ○                | ○                             | ◎       | ○       |         |         | ◎       | ◎        |        |                         |              | 1966          |       | 海上100件程度<br>累計1000万m <sup>3</sup>           |                                                                              |
| 地 盤<br>改 良              | 脱 水          | 自然圧密             | フレローディング工法                    | ○       | ◎       |         |         |         | ○        |        |                         |              |               |       |                                             |                                                                              |
|                         |              | 加 圧 脱 水          | サンドドレーン工法                     | ○       | ◎       |         | ○       | ○       |          |        |                         | 1937         | 1952          |       |                                             | パイプ式1,000件以上<br>1,000万m <sup>3</sup> 、ジェット式50件<br>バックドレーン 約100件<br>背負式 約100件 |
|                         |              |                  | バックドレーン工法                     | ○       | ◎       |         | ○       | ○       |          |        |                         |              |               |       |                                             |                                                                              |
|                         |              |                  | ベーパードレーン工法                    | ○       | ◎       |         | ○       | ○       |          |        |                         | 1937         |               | 1963  |                                             | ベーパードレーン500件以上<br>合成樹脂ドレーン、約50件<br>約30万m <sup>2</sup><br>(試験工事段階)            |
|                         |              | 負 圧 脱 水          | 大気圧裁荷工法                       | ×       | ◎       |         |         | ○       |          |        |                         |              |               | 1971  |                                             |                                                                              |
|                         |              |                  | ディープウェル工法                     |         |         |         |         |         |          |        |                         | 1944         |               |       |                                             |                                                                              |
|                         |              | ウエルポイント工法        | ×                             | ◎       |         |         | ○       |         |          |        |                         |              | 1953          |       |                                             |                                                                              |
|                         | 化学的脱水        | ケミコパイル工法         | ×                             |         | ◎       |         |         |         | ◎        |        |                         |              | 1963          |       |                                             |                                                                              |
|                         | 脱 水・締<br>固 め | サンドコンパクションパイル工法  | ○                             | ○       | ◎       | ○       |         |         | ◎        | ◎      | 1930<br>1950            | 1953<br>1957 |               |       | S.C.P. 約1000件<br>5,500万m <sup>3</sup>       |                                                                              |
|                         | 締 固 め        | グラベルコンパクションパイル工法 | ×                             | ○       | ◎       | ○       |         |         | ◎        | ◎      |                         |              | 1965          |       | 約20件                                        |                                                                              |
| 振動水締め                   |              | バイプロフローテーション工法   | ○                             |         | ○       |         |         | ○       | ○        | 1936   |                         | 1955         |               | 約100件 |                                             |                                                                              |
|                         |              | ロッドコンパクション工法     | ○                             |         | ○       |         |         |         | ◎        | ◎      |                         |              |               | 1973  | 約50件                                        |                                                                              |
| 衝撃 "                    |              | 動圧密工法            | ×                             |         | ○       | ○       |         |         | ◎        |        |                         |              | 1960末<br>1974 |       | 約400件<br>(内日本約30件)                          |                                                                              |
| 固 結                     | 深層混合処理工法     | ○                |                               | ○       | ◎       |         |         | ◎       |          |        |                         |              | 1976<br>1974  |       | DLM 約30件、CMC<br>約70件1,521,000m <sup>3</sup> |                                                                              |

## (2) 直接基礎

直接基礎は主として護岸・防波堤などに多用されている捨石マウンドである。捨石マウンドの特徴は、①大水深で比較的軟弱な地盤に適用可能 ②地盤の不陸を補正できる ③波浪や潮流による構造物周辺の洗掘を防止できる ④施工法そのものが単純 ⑤材料コストが廉価 などであり表-5に示すような大水深での捨石マウンド基礎(捨石緩傾斜防波堤を含む)がある。この表に示されるように、国内では大水深での護岸・防波堤では捨石マウンド基礎+コンクリートケーソン(混成堤型式)が多く、外国では捨石マウンドと同様の傾斜堤型式が多い。しかし、大水深化に伴い、捨石マウンドとコンクリートケーソンとの設備費の関係は一般にはコンクリートケーソン高さを高くした方が経済的になる。このため、超大型フローティングドックの使用で、10,000t級のケーソン製作も可能となり捨石マウンドの天端は増々下がる傾向にある。しかし、従来の潜水夫による捨石マウンドの均し能力は著しく低く、高能率の機械式均しの開発実用化が進められている。

捨石マウンドの施工技術における課題は、①大量の捨石を急速施工で精度よく捨込み可能な工法 ②機械式均しの能力・精度向上 である。これからは現場の施工条件(捨石量、捨石サイズ、水深、品質目標管理水準値、自然条件、工程等)下でのトータルの経済性を追求することになる。

## (3) 杭基礎

杭基礎は一般に施工速度が速く、海洋土木では使用例が多い。特に鋼管杭ではこの傾向があり、超大型杭打船や海上足場の機械設備能力の進歩にともない長尺

表-5 大水深防波堤護岸に使用した捨石マウンドの施工例

| 名 称                 | 用 途           | 構 造 形 式                  | 時 期   | 設 置 場 所       | 水 深  | 主要寸法・能力他                                           |
|---------------------|---------------|--------------------------|-------|---------------|------|----------------------------------------------------|
| 第3海堡                | 砲台            | 捨石                       | 明25   | 東京湾湾口         | -40m | 長さ270m×幅160m                                       |
| 大船渡津波防波堤            | 防波堤           | 捨石マウンド基礎<br>コンクリートケーソン   | 昭42   | 大船渡港          | -35m | ケーソンL×B×H=10m×12m×11.5m<br>最大水位差3.0m<br>最大流速6.1m/s |
| 釜石湾口防波堤             | 津波防波堤         | "                        | 昭57~  | 釜石港           | -63m | ケーソンL×B×H=20m×15m×33m<br>港内水位+4.0m以下               |
| マルセユ防波堤             | 防波堤           | 捨石緩傾斜堤                   | 1945  | マルセユ          | -31m | 捨石3~8000kg/個、<br>33t方塊                             |
| シネス港防波堤             | 防波堤           | "                        | 1978  | ポルトガルシネス      | -50m | 捨石及び42tドロソ                                         |
| モナコ海岸構造物            | 埋立用護岸         | "                        | 1973  | モナコ<br>モンテカルロ | -40m | コンクリートケーソン<br>ARC工法、BDシステム                         |
| Storm Surge Barrier | コンクリートケーソン締切堤 | 捨石マウンド基礎                 | 1967~ | オランダ          | -35m | コンクリートケーソン<br>特殊形状                                 |
| タルースト人工島            | 石油試験用ケーソン護岸   | 液浸土によるマウンド<br>マウンド高15.5m | 1981  | カナダ<br>ボーホート海 | -22m | コンクリートケーソン<br>4基<br>L×B×H=69m×15m×11.5m            |

・大口径化へと発展している。また、過酷な海象条件下での施工を高効率で施工するため、杭打機自身も大能力のものが開発され、大型ディゼルハンマから気動ハンマ、特にオフショア型が注目されている。国内では、ラム重量30トンが最大であるが、外国では125トンクラスも実用化されている。また、特殊なものでは、水中ハンマも開発され水深100mで稼働できるものもある。

以上、打込み杭についてであるが、最近海底岩盤など特殊な場所で、建込み杭が採用される場合が多い。建込み杭は、海底地盤が岩盤や良く締った砂礫層で打込み杭が施工できない場合に、海底岩盤などを掘削機により削孔して既成杭を建込み根固めを行う。この方式の適用範囲が拡大され、本四架橋の大鳴門橋で代表されるような超大口径場所打ち杭がある。

このように、基礎杭の大規模化が進むにつれ、施工に必要な仮設備、特に作業足場、動力設備、資材運搬設備など適正規模への配慮がなされている。

表-6 杭基礎

| 分類    | 名称        | 構造物種類   | 基礎形式 | 施工年  | 諸元         |        |           |        | 施工法                                     |
|-------|-----------|---------|------|------|------------|--------|-----------|--------|-----------------------------------------|
|       |           |         |      |      | 外径(mm)     | 板厚(mm) | 長(m)      | 杭入長(m) |                                         |
| 打込み杭  | 琵琶湖大橋     | 橋梁基礎    | 多柱式  | 1963 | φ1200~1500 | 9~13   | 22.5~38.5 | 23     | 作業船、パイロハンマ(V-5)使用                       |
|       | IHI知多係留橋  | ドルフィン   | 杭    | 1972 | φ2500      | 30     | 45        | 23     | スチームハンマ(MRB-2000)                       |
|       | 日石喜入シーバース | シーバース   | 杭    | 1973 | φ1000~2300 | 12~34  | 58~66     | 27     | スチームハンマ(MRB-2000)                       |
|       | 興産大橋      | 橋梁      | 多柱式  | 1981 | φ2500      | 25~30  | 28~32     | —      | スチームハンマ(MRB-2000)                       |
|       | 厚岸大橋      | 橋梁      | 杭    | 1972 | φ1200      | 9~22   | 68~75     | 55     | スチームハンマ(MRB-1000)                       |
| 埋込み杭  | 大鳴門橋      | 橋梁      | 多柱式  | 1977 | φ4000~7000 | —      | 27        | 15     | 大口径ボーリングマシン使用<br>上部ケーシングパイプ一部ラップ施工      |
|       | 大島大橋      | 橋梁      | 〃    | 1974 | φ3500      | —      | 39        | 18     | 〃                                       |
| および   | ニューニャリー橋  | 橋梁(ケニヤ) | 〃    | 1978 | φ2000      | —      | 58        | 36     | ミニセップ使用、リバース掘削機使用<br>上部ケーシングパイプ         |
| 現場打ち杭 | 大野川橋梁     | 橋梁基礎    | 杭    | 1972 | φ1200      | —      | 18~23     | 18~23  | ベント杭(二重天板締切り)                           |
|       | 新山下橋      | 〃       | 〃    | 1977 | φ4000      | —      | 21~27     | 39     | 栈橋使用、スタンドパイプ下部埋殺し<br>上部転用、リバース掘削機(S600) |

#### (4) 剛体基礎

剛体基礎は、上部構造の大きい荷重に対して適応性があり、以前から多数採用されてきている。しかし、杭基礎と比較すると大規模で長期間の施工となることが多いので海上施工ではデメリットとなりやすい。しかし、近年、現場施工の省力化、プレハブ化が進み、機械化施工を取りいれている。また、工法の多様化も進み表-7に示すような施工法があげられる。これらは、いずれも次のような施工技術の課題に従って実用化が進んでいる。

- ①大型・大規模化
- ②高精度化
- ③施工の自動・無人化、リモートコントロール化、システム化
- ④厳しい環境条件への対応(環境保全)

表-7 水中基礎としての剛体基礎例

| 工法       | 工法の概要                                                                              | 特徴                                                                                                                   | 事例                |      |            |                                     |                                             |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------|------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|
|          |                                                                                    |                                                                                                                      | 名称                | 施工年  | 水深(m)      | 形状寸法(m)                             | 施工法                                         |
| オーブンケーソン | 基礎を主に自重により沈下させ、所定の支持地盤に据付ける工法である                                                   | ・掘削作業から深さを限定されることはないが、深くなるとケーソンを沈下させることが困難になってくるので、補助工法を併用することが必要となる。                                                | 広島大橋              | 1973 | -12        | φ10×59.5                            | R C円形吊込方式<br>根入れ-57m                        |
|          |                                                                                    |                                                                                                                      | 撫養橋               | 1984 | -10        | φ16                                 | 支持棒工法<br>根入れ-45m                            |
|          |                                                                                    |                                                                                                                      | 明石海峡<br>舞子沖<br>実験 | —    | -5         | □10×10×8<br>×1基<br>□10×10×2<br>×14基 | プレキャスト部材使用<br>根入れ-65m                       |
| 圧気ケーソン   | ケーソン底部を水平床版により密閉し、圧搾空気を送りこみ、掘削底面に湧出しようとする地下水を抑えながら、またヒービング現象を防止しながら、掘削沈下する工法である。   | ・作業気圧の限界は4.0kgf/cm <sup>2</sup> 程度であり、より深い位置への施工性は地下水位低下工法や無人ケーソン工法を用いることが必要。<br>・支持地盤の目視確認、地耐力試験により強度の確認ができ、信頼性が高い。 | 港大橋               | 1974 | -3.5       | 40×40×35                            | 築島工法<br>R Cケーソン<br>根入れ-34m                  |
|          |                                                                                    |                                                                                                                      | 名港西大橋             | 1994 | -12        | 35×33×32                            | 支持棒工法<br>鋼製ケーソン<br>根入れ-45m                  |
| 設置ケーソン   | 海中に根入れの小さい剛体基礎を構築するものであり、あらかじめ海底を支持地盤まで掘削整形し、その上にケーソンを据付けて基礎とする工法である。              | ・支持地盤としての岩盤が基礎全高と比較してかなり浅い位置にある場合に適している。                                                                             | 黒之瀬戸大橋            | 1973 | -7         | 22×10×18.5                          | 鋼製型枠<br>プレバッドコンクリート<br>根入れ深度-14.5m          |
|          |                                                                                    |                                                                                                                      | 本四児島・坂出ルート        | 1981 | max<br>-45 | max<br>59×75×55                     | 二重壁鋼製ケーソン<br>プレバッドコンクリート<br>根入れ深度-50m       |
| 鋼管矢板井筒   | 鋼管矢板を現場で円形、小判形、矩形等の閉鎖形状に建込み、頭部処理を行い、鉛直支持力が得られるようにした基礎形式であり、くい基礎とケーソン基礎の中間に位置づけられる。 | ・中間層にN値20以上の砂れき層がある場合は、継手構造に問題が生じることがある。                                                                             | 南港連絡橋             | 1971 | —          | 35.3×11.35<br>mm mm m               | φ1219×13×33.5                               |
|          |                                                                                    |                                                                                                                      | 大和川橋梁             | 1978 | —          | φ30.0<br>φ33.2                      | φ1016×16~19×65.2<br>φ1016×16~19×53.3        |
|          |                                                                                    |                                                                                                                      | 金港橋               | 1984 | —          | 52.4×13.7<br>矩形                     | φ1000×14×46.5<br>2基                         |
|          |                                                                                    |                                                                                                                      | 大黒埠頭橋             | 1974 | -12        | 34×30×5.5                           | φ1400×22×47.5<br>根入れ深度-60m<br>鋼製枠(ベルトタイプ)   |
| 合成基礎     | くい基礎とケーソン基礎とを合せたもので、くい基礎をケーソン基礎より先に施工する工法と後に行う工法とがある。                              | ・下部のくい部分で鉛直方向の支持力を期待するのでくい基礎と同様の配慮が必要となる。                                                                            | 荒川湾岸橋             | 1978 | -6         | 37.55×22.55<br>5.0                  | φ1500×22×38×60本<br>根入れ深度-43m<br>鋼製枠(ベルトタイプ) |
|          |                                                                                    |                                                                                                                      | 本四北浦港橋梁           | 1986 | -11        | □9×10×4                             | 鋼矢板締切<br>ソイルセメント築島<br>連壁深度52.5m<br>"厚1.5m   |
| 地中連続壁基礎  | 地中連続壁の要素相互を構造継手により剛結一体化し箱状の閉合された断面を築造し頭部に頂版を設ける。                                   | ・地質条件への適応が広い。<br>・平面的に接合する事により任意の形状が可能で支持力特性が優れている。<br>・低振動・低騒音工法である。                                                | —                 | —    | —          | —                                   | —                                           |

## 2.3 構造物建設技術

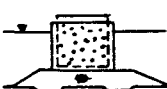
構造物建設技術は、護岸・防波堤・アクセス基礎などの構造物に集約される。最近では、構造物建設地点における施工環境もだんだん厳しいものとなっている。それに対応するため、現地作業と部材の製作を分離したプレハブ方式の建設技術が発達してきており、構造物の大型化につれて、より大規模なプレハブ化施工が増大している。

プレハブ化施工では、部材の大型化・大重量化とともに、部材の製作・運搬・据付方法の一連工種をシステム化した施工管理が必要となる。また、専用の作業船をも含めたオペレーションシステムの研究も進められている。表-8にプレハブ化施工例を示す。

表-8 プレハブ 施工例

| 名 称                   | 場 所          | 施 水 深<br>m  | 条 件<br>潮 流<br>m/sec | 構 造 寸 法<br>(m)                               | 施 工 方 法                                        | 施 工 年         |
|-----------------------|--------------|-------------|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------|
| 広島大橋                  | 広島湾<br>国道31号 | 15          | 0.5                 | オープンケーソン8基<br>φ10×H33<br>1,800t              | 2,000tクレーン<br>船ガイド<br>ガイドわく                    | 1971~<br>1973 |
| 東京港<br>トンネル           | 東京港          | 16          |                     | 沈埋函(鉄筋コンクリート)<br>37.4×8.95×L115<br>38,000t/函 | 注水・バラストブレー<br>シングバージ アンカ<br>×8点 ジャッキ引き寄<br>せ修正 | 1970~<br>1976 |
| 南北備讃<br>瀬戸大橋<br>7A 基礎 | 備讃瀬戸         | 50          | 0.7                 | 鋼製設置ケーソン<br>75.0×59.0×H55.0<br>19,500t       | 浮力・注水<br>3,000tクレーン船<br>アンカ×8点                 | 1982          |
| 横浜港<br>横断橋            | 横浜港          | 13~15       | 0.2                 | 多柱基礎頂版<br>54×56×H12                          | 頂版PCバー<br>ドライドック製作・曳航                          | 1984          |
| 熱海市下<br>水処理場          | 熱海市<br>海底    | 基礎9.2<br>15 | —                   | 鋼殻ケーソン<br>129.3×41.3×H14.4                   | 造船ドック築造曳航<br>セル基礎30基上に沈設                       | 1983          |

表-9 防波堤の構造形式別の評価

| 設 置 水 深 |              | ケーソン設置水深(-20m)                                                                     |                                                                                     | ケーソン設置水深(-30m)                                                                       |
|---------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 形 式     |              | 混 成 堤<br>(ケーソン式)                                                                   | 有 孔 消 波 堤<br>(有孔ケーソン式)                                                              | 混 成 堤<br>(ケーソン式)                                                                     |
| 項 目     |              |  |  |  |
| 機 能     |              | 透 過 波<br>透過波ない                                                                     | 堤体を透過する波ない                                                                          | 透過波ない                                                                                |
| 施工性     | 主 要 材 料      | コンクリート・捨石・<br>中詰材                                                                  | コンクリート・捨石・<br>鋼材                                                                    | コンクリート・捨石・中詰材                                                                        |
|         | 施 工 の 難 易    | 捨石量の供給                                                                             | 捨石量の供給                                                                              | 捨石量の供給小                                                                              |
| 環 境     | 海 水 交 流      | 海水交流できない                                                                           | 海水交流できない                                                                            | 海水交流はできない                                                                            |
|         | 反 射 波        | 前面消波ブロックを施<br>工した場合小                                                               | 反射波は小さい                                                                             |                                                                                      |
| 問題点     | 中 詰 投 入<br>他 | 中詰材の投入に関して<br>施工機械の開発が必要                                                           | 施工機械の大型化                                                                            | 急速施工をするため中詰材<br>の投入等に関して施工機械<br>の開発が必要                                               |
|         | ケーソン製作       | 大規模な製作ヤードが<br>必要                                                                   | 大規模な製作ヤードが<br>必要                                                                    | 本体製作の技術の開発<br>(例：軽量化、PC化)                                                            |

### (1) 外郭施設(護岸・防波堤)

護岸・防波堤の構造形式は基本的に同一であり、特に外海に面したものは、越波や波圧を低減させる消波構造や機能を持つものが多く、その評価を表-9に示す。これら沖合人工島建設における大水深や高波浪の立地条件に対する技術的な課題は①新しい構造形式の開発(半円形型、曲面スリット式、マルチセラー式軟着底式、浮体式)②プレハブ部材の製作方法(フローティングドック方式、シンクロリフト方式、プレキャスト部材の活用→部材のプレハブ化)③波浪エネルギーの多目的利用などが開発実用化の段階に入っている。

### (2) その他施設

外郭施設の他、人工島を構成するものにけい留施設とアクセス施設がある。

アクセス施設は、人工島の用途に基づき海域の水深・地質・気象海象の自然条件や海上交通・漁業等の社会環境条件から決定され、表-10に示す構造形式があり、各々技術的課題を持っている。

表-10 アクセス構造形式と施工の問題点

|         | シールドトンネル                                                                                       | 山岳トンネル                                                     | 沈埋トンネル                                                                 | 橋りょう(下部工)                                                                                    |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 水 深     | 水深20mでの施工例、泥水圧4.0kgf/cm <sup>2</sup> での実績がある。大深度でのテールパッキン室内実験では10kg/cm <sup>2</sup> まで施工可能である。 | 水深140mでの施工例として青函トンネルがある。土被りが大きくなり、アプローチが長く、施工延長が長くなる。      | 水深60mでの施工例があるが、水深が深くなると部材厚が厚くなり、浮上条件が厳しくなる。また、潜水作業が厳しくなり、アプローチ部分が長くなる。 | 設置ケーソン構造では本四、備讃瀬戸大橋で水深50mの実績がある。橋りょう下部工として鋼管構造は大体30m以下であり水深・基礎深度が大きくなるとオープンケーソン・設置ケーソン構造が多い。 |
| 地 質     | 沖積シルト層、洪積砂れき層での施工実績がある。大水深になると他の工法より経済的になる。                                                    | 軟弱地盤では不可能であり、地質条件の良いところでなければ補助工法、地盤改良、注入費用がかかり、経済性に影響を及ぼす。 | 軟弱地盤ではほとんど問題はないが、岩盤の場合にはトレンチの掘削がむずかしく、経済性に影響を及ぼす。                      | 比較的軟らかい粘性土および砂質土盤でなく、基礎構造やケーソン構造が、硬質土盤ではケーソン構造が採用される例が多い。岩盤が出る海域では設置ケーソンが適用できる。              |
| 気 象 海 象 | 施工時、完成後ともに影響はない。                                                                               | 同左                                                         | トンネル完成後は海象の影響を受け、潮流の速い海域等では沈埋函の曳航、位置決め、高精度の制御管理技術と大型機械設備が必要。           | 静穏な海域ではくい打ち船、クレーン船等で施工可能であるが、海象条件の厳しい海域ではS.E.P.その他の固定足場が必要となる。プレハブ構造とする必要がある。                |
| 環 境 社 会 | 海水汚濁、航路障害などの問題がない。                                                                             | 同左                                                         | トレンチ掘削に伴う海水汚濁防止を十分検討する。沈埋函の曳航・沈設には一時的に航路の一部閉鎖することもあり、事前に十分な検討が必要である。   | 施工時にやむをえず航路内水域を一時的に使用する場合には、その使用期間を最小にする施工法および構造形式を十分に検討することが重要である。                          |

## 2. 4 施工管理

沖合い人工島を建設する場合、従来の港湾工事と比べて次のような特異な事項があげられる。①内湾に立地する場合では、軟弱地盤が多く、また海域が一般船舶の航行で輻輳している。②外海に立地する場合では、海象条件が厳しく離岸距離が大きい。③急速大量施工とならざるを得ないので、施工に当たっては、大型の作業船が多数同時稼働となる。

このような環境条件で施工を実施するには、計画段階から施工管理計画を立案するのは当然であるが、施工段階では、各種の情報を迅速に処理し、情報データに基づいた確かな意思決定を行い判断を下さなければならない。このためプロジェクト全体の施工管理体制を確立するのが重要なポイントとなっている。

また、環境保全の面では施工に伴い水質、大気質、海洋生物生態系などの環境構成因子に、工事が種々の影響を及ぼす可能性がある。工事中に苦情が発生してから対処するのでは、その後の問題解決を困難にする。したがって、環境に与える影響については、事前に数値シミュレーションなどの予測技術を使って対策工法を検討する。特に水質環境は2重・3重の対策を実施していく傾向にある。

## 3. 海外の人工島関連施工技術

わが国では、埋立式人工島の施工実績および今後の人工島に関する計画案・構想案が多い中で、海外では埋立式人工島に関する施工実績は比較的少ない。しかし、過酷な自然条件とりわけ海象条件の厳しい中で海洋構造物を建造する技術には手本とする所が非常に多い。例えば、オランダにおけるデルタプロジェクト、北極海域での石油掘削に関する埋立式人工島やケーソンタイプ人工島（鋼製人工島 Molikpag、鋼・コンクリート複合型人工島 Super CIDS）、北海におけるコンクリートプラットフォームなどがそれに該当する。

また、大水深（300m以深）での石油油田開発では重力式コンクリートプラットフォームのCondeep T-300、鋼製のTripod Tower platform が考えられている。また、より深海への対応として、Tension Leg PlatformやGuyed Tower など新しいタイプの開発が行われている。さらに、施工のみならず設計技術では極限設計法の確立や耐水構造物の設計など、着実な技術開発の歩みを見ることができる。

表-11 人工島施工技術の課題

| 大項目       | 中項目                                                                | 小項目                                                                                                                                                                                              | 備考                                                                               |
|-----------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 調査     | (1)基礎データの整備<br>(2)調査<br>(3)予測                                      | ①基礎データの整備<br>①気象・海象調査<br>②地形・地質調査<br>③広域調査<br>④長期予測値を統計的推算                                                                                                                                       | 自然条件の把握・稼働率の予測<br>音波探査技術・大水深サウンディング技術<br>リモートセンシング<br>設計条件・稼働率の予測                |
| 2. 材料     | (1)耐海水コンクリート<br>(2)耐海水鋼<br>(3)水中コンクリート<br>(4)高強度軽量コンクリート<br>(5)埋立材 | ①塩害<br>①長期防食技術<br>①水中コンクリート<br>①添加剤<br>②軽量骨材<br>①大量土砂採取場の確保<br>②産業廃棄物の利用                                                                                                                         | 大水深・大量・無公害工法 低価格<br>流動化剤・シリカフェーム                                                 |
| 3. 構造物    | (1)設計技術<br>(2)施工技術                                                 | ①限界設計手法<br>②耐震・耐波設計技術<br>③捨石マウンド改良地盤の耐力<br>①大型ケーソンの大量急速施工<br>②新型ケーソンの開発<br>③水中捨石均し工法<br>④大型作業船・機械の開発<br>⑤大型船舶・機械の安全運搬・管理<br>⑥大口径長尺杭の施工法<br>⑦大水深軟弱地盤改良工法<br>⑧大水深マウンド造成工法<br>⑨大型浮体の曳航・沈設<br>⑩洋上施工法 | 実用的動的応答解析手段<br>支持力機構<br>大製作ヤード・積出し設備<br>迅速・精度・無公害<br>大量石材土砂運搬方法など<br>コンクリート打設・継手 |
| 4. メンテナンス | (1)鋼材の点検調査<br>(2)コンクリートの点検調査                                       | ①強度チェック<br>②防食状況監視システム<br>①強度チェック<br>②防食状況監視システム                                                                                                                                                 | 非破壊検査・水中検査<br>非破壊検査・水中検査                                                         |
| 5. 環境保全   | (1)環境アセスメント<br>(2)環境保全技術                                           | ①環境影響評価法の確立<br>②技術規準の整備<br>①建設時の各種環境対策<br>②モニタリングシステムの開発                                                                                                                                         | 海水汚濁・粉じん・騒音・自然景観                                                                 |

## 4. 人工島の施工技術の課題

大型海洋工事において波浪や環境保全の問題で着工が遅れたり計画を変更した事例があるように、沖合いの人工島の建設は施工環境の厳しさに伴う難工事化は必須であり工費削減・環境対策・安全面など検討すべき課題も多くい。表-11に主な技術的課題を示す。

### あとがき

以上、人工島施工技術について、現状を中心に述べたが、最後に今後の人工島を含めた大型海洋工事の施工に要求される事項をまとめると、①自動化された施工・調査機器の開発 ②大型・高性能な施工機械の開発 ③建設公害をクリアーする大量・急速施工システムの開発 ④工事管理システムの確立（運航、船舶・機器、工程、作業等）⑤局地的な 気象・海象の長期予報技術の開発 ⑥民間の技術開発投資の促進と国の協力体制の確立 などがあげられる。

- 参考文献 1) 人工島施工技術：(財)2海洋開発建設協会：山海堂、1984  
2) 人工島施工計画マニュアル：同上：山海堂、1986  
3) 建設施工技術要覧：同上：技報堂、1981