

海洋PCフローティング構造物

長崎 作治*

1. まえがき

最近、破断力1000tをもつ係留索(ライン)、さまざまな海底地盤に応じたアンカー、上下、水平、角度運動(ゆれ)を限定した準固定的なテンションレグ、ゆれの少ない、いわゆる波なし浮体などの開発によって海洋フローティング構造物の設計、建造、曳航、係留に関する究明が行われるようになってきた。

固定した海洋構造物を技術的に建設することができない時代、鋼製船型浮体をカテナリチェンで係留することは260年前に実施され、現在でもこの方法は用いられている。

鋼管脚柱によるジャケット型構造物、鉄筋、プレストレストコンクリート(PC)による重力型構造物などの固定海洋構造物の出現は第二次大戦後のことである。戦後、海洋石油掘削に伴うメキシコ湾、北海、その他油田の鋼製ジャケット型構造物、ブラジル沖、北海の重力型コンクリート構造物、カナダ・ボーフォート海の軽量骨材コンクリートと鋼との複合 Concrete Drilling System (CDS) などが厳しい波浪条件(極限条件で最大波高32m、周期18sec)、海水条件に対し設置され、水深216mまで、ここ20年間に経験し、実績が得られ、現在固定構造物の設計、施工は容易にしかも確実に実施できるようになった。

しかし、長い歴史を持つ海洋フローティング構造物にはいまでも不確定要素がかなり多く、例えば浮体に作用

する波力(波漂流力)、ゆれ、確実な係留、耐用年数を考慮した構造物材料など解決しなければならない問題点がかなりある。

本文は海洋フローティング構造物の実施例と問題点、コンクリート(鉄筋、軽量、プレキャスト、PC)によるフローティング構造物の実施例、コンクリートによるフィージビリティスタディの例などについてご紹介し、これによりPCフローティング構造物の設計に際し、いささかでもご参考になれば幸いである。

2. 海洋フローティング構造物と問題点

第二次大戦後設置された、我が国のフローティング構造物3例とその問題点について述べてみる。

2.1 東京灯船

海洋構造物の最初は、技術的に固定構造物を建設することができなかったので船体を浮かべて代用させている。

例えば、航路に浅瀬あるいは暗礁等があって、ここに固定した灯標を建設することができなかった時代、イギリスでは1732年灯船を用いている。灯船は船長30m以上あり、ドイツでは41m級(幅7.4m、高5.2m)も出現した。フランスでは実験から船体の運動が波浪と同調しないよう、船底両側に竜骨(キール)をおき、横ゆれ(ローリング)を減らす設計を1890年のズプチ号(290t)、ルイタンジアン号(338t)で行った。

灯船の係留は、1903年12月フランスの北海入口サンデチアに設置された船長35m、船幅6.3m、船高5.5m、喫水深4.7m、重量342tの場合、アンカは4個(2t錨1個、0.7tシンカ2個と0.2t铸铁製片爪錨1個)、総長300mの直径42mmチェンで係留定置した。日本でも五大港の開港に伴い、1969年(明治2年)横浜に本牧灯船を設置したが、1983年(明治16年)イギリス船と衝突し、沈没している。続いて、函館灯船が1971年(明治4年)設置された。明治16年両船が廃止されたから、特に灯船の設置は考えられなかった。

第二次大戦後、1947年(昭和22年)、東京港の発展に伴い、港口水深12mに旧陸軍の船体を改装した灯船が設置されたが、5年後に老朽のため沈没し、1953年(昭



* Sakuji NAGASAKI
東海大学海洋学部海洋土木工学科教授

和 28 年), 船長 21.5 m, 幅 7 m, 高 3.4 m, 喫水 1.8 m, 総 ton 数 107 t の鋼船, 東京灯船が図-1 に示されるように, 長さ 15m, 直径 32 mm チェン 2 本により浮力 10 t のブイに 1 点係留された。ブイは長さ 25 m の 58 mm チェンにより, 水深 12 m の海底に置かれた 4 t 鉄製沈鍾と結ばれ, 4 t 鉄製沈鍾はさらに 25 m 隔てて 2 方向に位置づけられた 2 t 鉄製沈鍾に

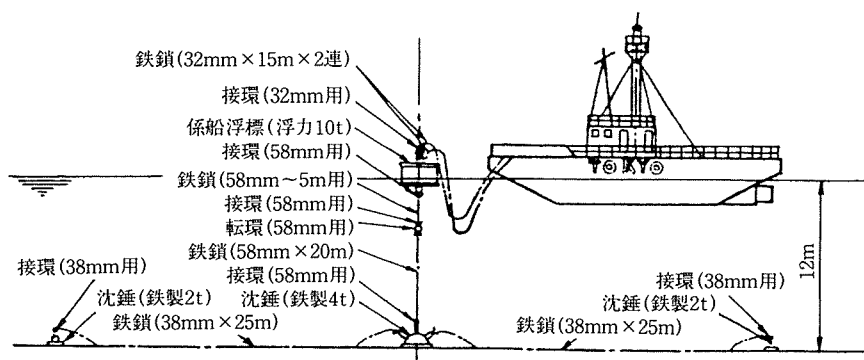


図-1 東京灯船

38 mm チェンで結ぶ, いわゆる典型的な繫船係留により, 1968 年 (昭和 43 年) まで 15 年間, 東京灯標の点灯まで存在しその機能を果たした。この間灯船を維持するため, 2 年間に 1 回, 船体係留ブイとチェンの全交換, 船体塗装, そして船体の上架 (ドック入り) を行っている。上架中は当然代替船を定置しておくことが必要である。したがってフローティング構造物の場合, 本体とその係留施設にメンテナンス (維持) 不要の考え方が要求

されるゆえんである。

2.2 係船ターミナルブイ

海洋の油田開発に伴い, 26 万~3万 2 000 t タンカを係留し, 沖合荷卸しを目的としたフローティングターミナルがカタナリチェン係留によるブイタイプで 1961 年 (昭和 36 年) 以降, 表-1 に示されるように 18 基設置された。

図-2 のイモドコブイは十分な浮力と強度を持つ鋼製

表-1 ターミナルブイ

No	設置年	港 (現場)	所有者	設 計	最大タンカ船 DWT	ホースシステム 数一直径
1	1961	新 潟	シ エ ル	新 潟	90 000	3-12"
2	1963	大 分	九 州 石 油	イ モ ド コ	100 000	2-12"
3	1964	四 日 市	シ エ ル	三 菱	90 000	2-16"
4	1964	四 日 市	シ エ ル	三 菱	90 000	2-16"
5	1965	千 葉	丸 善 石 油	イ モ ド コ	100 000	3-16"
6	1967	小 柴	米 国 陸 軍	イ モ ド コ	100 000	2-12"
7	1968	箱 崎	米 国 陸 軍	イ モ ド コ	100 000	2-16"
8	1968	川 崎	昭 和 - 三 菱 石 油	三 菱	264 000	2-12"
9	1968	函 館	ア ジ ア 石 油	イ モ ド コ	32 000	2-20"
10	1968	四 日 市	大 協 石 油	三 菱	200 000	1-16"
11	1969	富 山	日 本 海 石 油	イ モ ド コ	150 000	2-20"
12	1969	横 浜	ア ジ ア 石 油	三 菱	200 000	2-16"
13	1970	渥 美	中 部 電 力	三 菱	200 000	2-20"
14	1970	姫 路	出 光	イ モ ド コ	220 000	2-20"
15	1970	Buckner 湾	ト ヨ ガ ソ リ ン	イ モ ド コ	100 000	2-16"
16	1970	宇 部	西 武 石 油	三 菱	200 000	2-20"
17	1970	Tengan	米 国 陸 軍	イ モ ド コ	50 000	2-12"
18	1971	中 城 湾	エ ッ ソ ン	エ ッ ソ ン, Van Houfen	250 000	2-24"

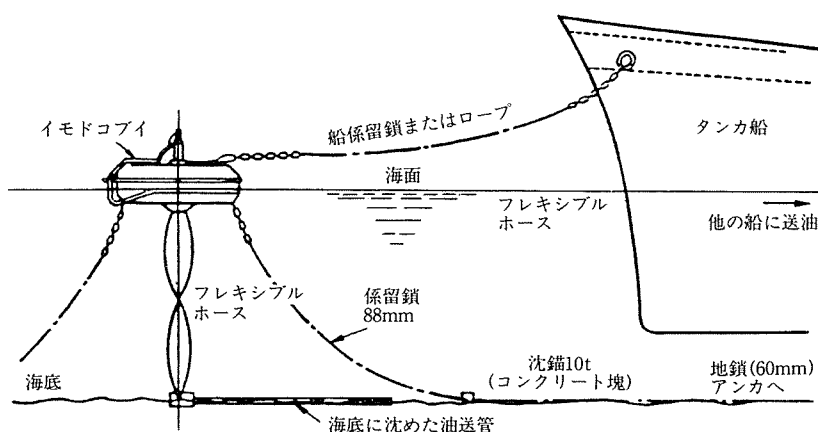


図-2 イモドコブイ

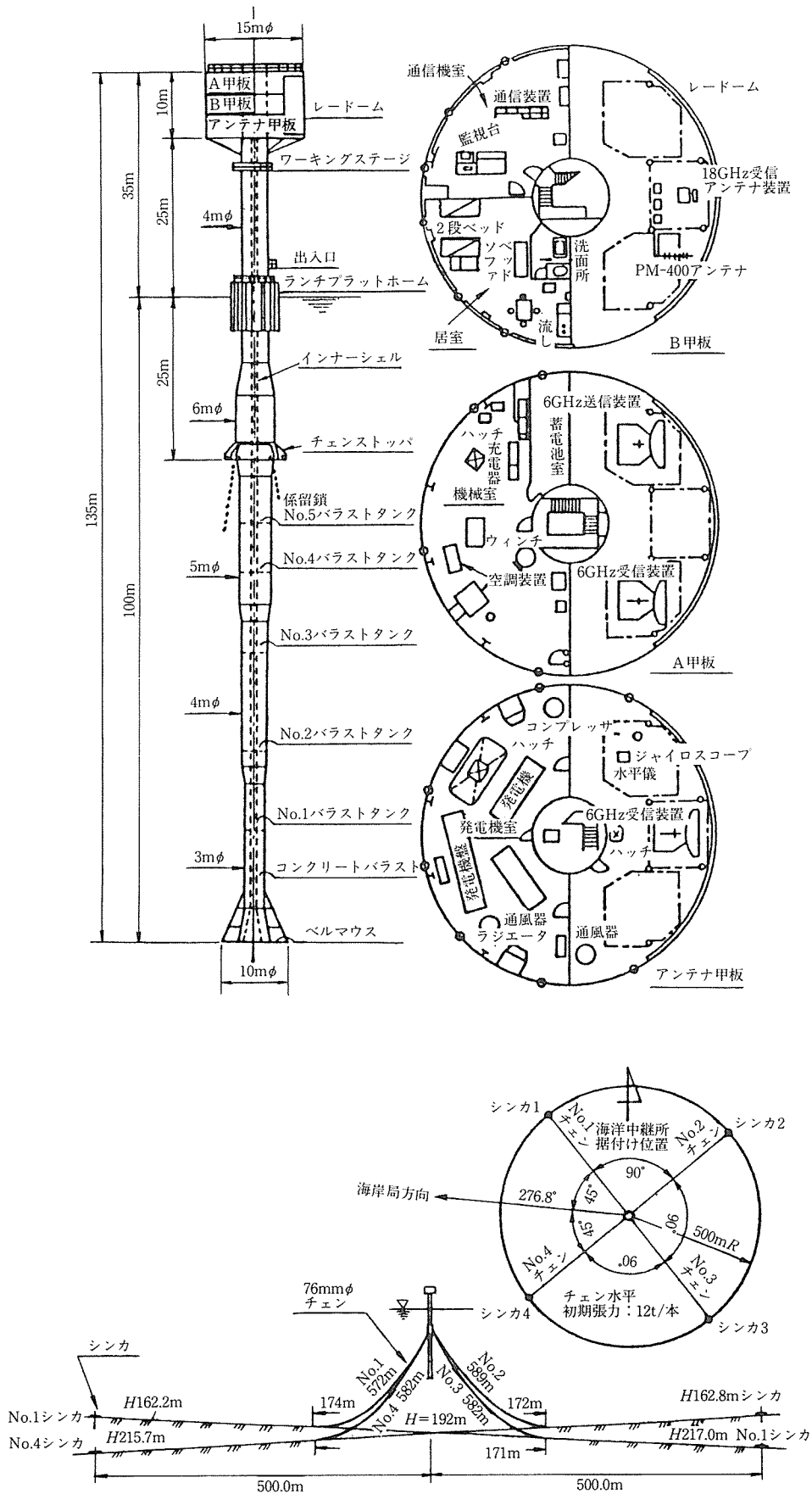


図-3 海洋無線中継所

円盤タイプでアンカとチェンにより多点係留され、ブイには係船装置としてムアリングアーム、原油荷役用のスイベル、レボルビンアームおよびフレキシブルホースなどが装備され、これらはいずれもブイ中心軸回りを360°回転することができる。さらに、ブイの底部中心からフレキシブルホースが海底パイプラインに接続されている。風、波浪、潮流に対し、タンカは自由にブイ回りをその抵抗が最小となるよう方向づけることが可能である。定置には4個のアンカ、4条のチェン、ブイに急激な外力が作用したときのショックアブソーパ的な4個のコンクリートクランプを用いる。

大型の船体を洋上係留し、パイプラインを介して荷積、荷卸しできる利点が挙げられるが、耐用年数と維持に問題がある。しかし、今後洋上ターミナルの必要性に対し、係留と耐用年数の問題を解決した設計を考えなければならぬ。

2.3 海洋無線中継所

1973年(昭和48年)、伊豆大島千波崎沖合7.9 m、水深192 mの外洋に全長135 m、スパー(円筒)タイプの電々公社の海洋無線中継所が耐用年数20年を目標として多点係留された。図-3に示されるように、海面上35 m、海中部100 mで安定上常時重心が浮心より下になるように設計し、円筒体は上部構(最大径15 m、長さ15 m、重量160 t)、下部構(最大径11 m、長さ120 m、重量820 t)とからなり、上部構は台船上に立置状態で、下部構は200 tの浮力タンクを取り付け、海面に水平に浮かべ、それぞれを広島から曳航し、設置現場から120 km離れた沼津内浦湾内で、上下両体を250 t起重機船によって一体に接合し、ここから直立状態で曳航し、前もって敷設しておいた4方向(90°)のチェンによって係留した。

無線中継所の場合、潮流2~5ノット、波高15 m、周期15 sec、風速60 m/secの設計条件による上下ゆれ±5 m、傾斜角±5°、回転角±5°、回遊半径50 mの理論計算値に対し、モデル実験からはこの値を下回った上下ゆれ±1.5 m、傾斜角±3.4°、回遊半径±9.4 mが測定された。これにより設計条件を満足し、しかも係留索のない状態でも自立できる重心と浮心間の長いつまり海中部を長くし、喫水深の1/4位置を4点カテナリチェンで係留することとした。なお、コンクリートシンカ(アンカ)は5×5×3 m、海中重量155 t(所要把駐力63 t、把駐係数0.4)で中継所から500 mの位置においた。チェンは直径76 mm、水深の3倍の長さ600 m(海事協会：電気溶接チェン第2種400 m+第3種200 m)である。本係留の考え方は今後の係留設計の問題となろうが、しかし、この設計、施工経験は水深200 m以上を対象とするフローティング構造物の指針となろう。

3. コンクリートによるフローティング構造物の実施例

3.1 コンクリート船体

モルタル、鉄筋(軽量骨材)コンクリート、プレストレストコンクリートなどによるコンクリート船体の開発は、商船の消耗に対し必要とする鋼材を節約する軍事目的でコンクリートを船体に用いた第一次、第二次大戦の時期と1960年から現在にいたる時期とに分けられる。

3.1.1 モルタル船体

コンクリートは高い耐久性から海洋での使用例は古くからあり、古代エジプト人は天然のセメントを用い、コンクリートの港湾、防波堤を建設している。

1756年、石造灯台の継手材料としてポルトランドセメントが開発され、1848年と1849年に、フランス人Lambotは2隻のボートを鉄筋と鉄網で形づくり、モルタルを被覆して建造した。この2隻のボートは現存しており、最初のコンクリート船体となった。

1943年、Nerviはフェロセメントの実験を初めて行い、その特性と構造物としての挙動を確認した。1960年、オーストラリア、ニュージーランド、英国で数多くのボートが建造され、フェロセメントによる長さ7.3 m、船殻厚10 mm、速度56 km/hrの船体から、長さ50 m、厚さ40 mmの船体が1000隻以上建造された。Lambotは船体を形づくるのに鉄筋と一層の鉄網を使用した。Nerviは鉄筋の代わりに数層の鉄網を入れ、必要強度を求めている。

船体が大きくなると、鋼製ラチス(格子)で水平方向を形づくり、高い引張強度をもつ棒鋼を鉛直、水平方向に配置し、全体強度をもつようにした。鉄網(メッシュ)はモルタルを付着させることと、引張荷重によるクラックを防止することを目的とし、モルタルは注入カスプレー施工によった。セメント1、砂2の容積配合に対し、水/セメント比0.4のモルタルで、透水性と緻密性の必要から3 mm以下の砂を使用している。

3.1.2 鉄筋(軽量骨材)コンクリート船体

鉄筋コンクリート船体の開発は1897年ローマで、Searleがポンツーンを、1902年SearleとHøjgaardが50 tのバージを建造したのが最初となった。ノルウェーのFougnerは重量182 t、長さ25.5 mの海洋を航行できるバージを1917年進水させた。この船体は支持用鋼ラチスとブレース用鋼ラチス間にコンクリートを注入し、船殻表面は後からモルタル仕上げをしているので、外回りはフェロセメント造と言える。厚さ10 cm以上の鉄筋コンクリート船殻の建造は、直径12~32 mmの鉄筋を型枠内に配筋し、5~25 mmの砂利と砂によるコンクリートを注入し、突き固める工法を用いて

いる。かぶりを厚くするほどクラックは少なくなるが、フェロセメント造に対する荷重より少ない荷重で限界クラック幅 0.05 mm が発生する。

第一次大戦では商船が不足し、英、米両国は鉄筋（軽量骨材）コンクリート船体に注目し、緊急造船計画を立案した。最大のコンクリート船は米国の Selma (130 m, 6 340 t) である。英国でも 1 000 t 級のバージが建造できる造船所を各地に設け、Crete…と名付けられた鉄筋（軽量骨材）コンクリート船が進水した。大戦の終わりには、商船は過剰となり、コンクリートの造船計画は中止され、1922 年以降建造されなくなり、船殻としての開発も行われなくなった。

第二次大戦では第一次大戦と同じことが繰り返され、英国では数隻の沿岸船、数百隻のバージ、フローティングドック、そして 1944 年ノルマンディ上陸作戦に使用され現存している Mulberry 港のピアポンツーン “Beetles” などが建造された。

ソビエト連邦も第二次大戦中、数隻のバージとフローティングドックを建造し、鉄筋コンクリート浮体の開発を行っている。第二次大戦後、鉄筋コンクリートはバージ、ポンツーン、フローティングドックを除いて大ベッセルには使用されていない。大ベッセルにはプレストレストコンクリートを用いることが望ましい。次に第一次、第二次大戦時の軽量骨材鉄筋コンクリートの船体とピアポンツーンを紹介する。

(a) 第一次大戦時の USS Selma

Selma は 1919 年 6 月、米国アラバマ、モービルで進水した。7 500 t タンカで、長さ 132 m、幅 13 m、喫水 7.9 m、排水重量 13 000 t である。底板 10 cm の強化膨張頁岩軽量コンクリート船殻から構成建造された。膨張頁岩骨材はミズーリの Atlas ポルトランドセメント

(株) が回転窯で生産した。1 105 kg/m³ の 5 mm 細骨材と 705 kg/m³ の 14 mm 粗骨材により配合 1 : 1 : 1 による 15×30 cm 円筒、28 日強度 30.5 N/mm²、平均弾性係数 23 kN/mm²、湿重量 1.9 t/m³ が得られた。水/セメント比 0.48、セメント 660 kg/m³、スランプ 20 ~ 22.5 cm である。コンクリート量 2 030 m³、鉄筋量 550 t を要した。34 年後の 1953 年 7 月、Engineers Testing Laboratory は Selma の船殻を検査し、平均圧縮強度は船殻に海水が充満した場合 61 N/mm² 以上、飽和重量 1.85 t/m³、弾性係数 21 kN/mm²、鉄筋付着応力 3.5 N/mm² を示し、コンクリートは良好で、鉄筋は退化が見られなかった。かぶりは 10 mm である。船殻には 6 mm の深さまで砕けた箇所が幾つかあったが、この深さのコンクリートは海水による変色はなく、乾燥状態であると報告された。

(b) 第二次大戦時の US 軽量コンクリート船体

1941 年、軽量コンクリート船の建造計画が海運委員会の要請により決定し、1942 年、建造ドック施設と船殻の建造が開始され、1943 年にはコンクリート船が引き渡された。5 箇所の造船所で表-2 に示されるように 104 隻を建造した。タンパは自航の貨物船、サバナ、ヒューストン、後のナショナルシティは石油台船である。台船の壁厚は 10.8~15 cm、外かぶり 2cm、内かぶり 1.2 cm、3~5 層の密な鉄筋で、図-4 にサンフランシスコで建造された貨物船を示す。

軽量骨材は、Haydite (砕いて篩にかけた頁岩の円、角形状焼塊)、Rocklite (気泡をもつ球形状の薄い頁岩)、Naodulite (酸性白土を回転炉で焼いた球形状) で、その特性を表-3、コンクリートの配合を表-4、コンクリートの特性を表-5 にそれぞれ示す。なお石油船の場合、貯蔵内側にビニール樹脂ペイントか強化チオコール乳液

表-2 第二次大戦時米国で建造した軽量骨材コンクリート船

建造ヤード	建造数	長 ft	幅 ft	深 ft	排水量 long ton	貨物量 long ton	コンクリート量 m ³	鉄筋 short ton
サバナ	7	350	54	35	10 930	5 430	2 090	1 525
ヒューストン	4	350	54	35	10 930	5 430	2 090	1 520
タンパ	24	350	54	35	10 930	5 200	2 380	1 250
サンフランシスコ	20	350	54	35	10 930	5 730	1 990	1 100
ナショナルシティ	22	360	56	38	12 750	6 375	2 450	1 655
ナショナルシティ	27	165	48	17.5	4 000	1 600	860	490

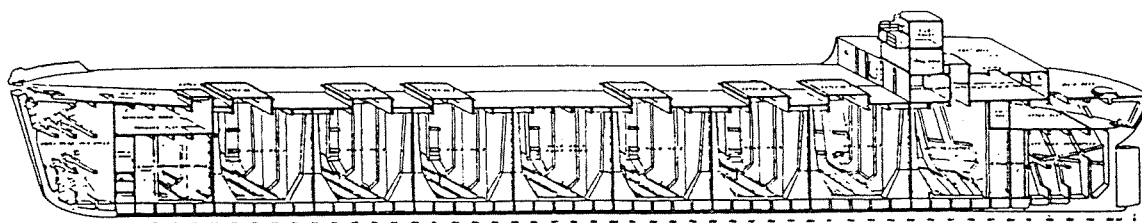


図-4 コンクリート貨物船

表-3 軽量骨材の特性

骨材のタイプ	骨材寸法 (mm)	密度 (乾) (kg/m ³)	容積比重 (乾)	吸水率 (%)
Haydite	12	640	1.09	23
	9	656	1.14	21
	No. 8	800	1.24	20
Nodulite	12	672	1.29	8
	9	736	1.42	8
	No. 4	976	1.86	7
Rocklite	20	592	1.19	16
	12	672	1.21	19
	9	704	1.25	19

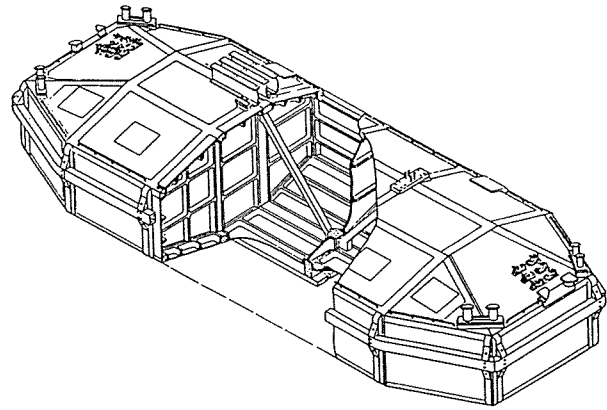


図-5 軽量コンクリートピアポンツーン Beetles

表-4 コンクリート船の配合

軽量骨材		配合率 (%)				混和剤 セメント 重量の%	セメント (kg/m ³)	水/セメント 重量比	スランプ (mm)
		天然砂	軽量骨材						
細	粗		細	3/8"	1/2"	3/4"			
Haydite	Haydite	15	35	50		0.5	580	0.47	135
Nodulite	Nodulite	15	35	20	30	0.5	540	0.50	115
-	Rocklite	48	-	16	36	0.375	550	0.45	90

表-5 軽量骨材コンクリートの特性

軽量骨材		円筒強度 (N/mm ²)		コンクリート (フレッシュ) 重 (kg/m ³)	弾性係数 28日 (kN/mm ²)
細	粗	28日	1年		
Haydite	Haydite	38.5	50	1 740	16.6
Nodulite	Nodulite	39.0	49	1 855	16.7
天然砂	Rocklite	43.5	53	2 000	23.0

浸触組布による被覆を行い、コンクリートと油が直接接触しないようにしている。

(c) 軽量コンクリートピアポンツーン

第二次大戦時、英国で Mulberry 港の上陸用ピアポンツーン “Beetles” が軽量骨材コンクリートで開発された。“Beetles” 甲虫は図-5 に示されるように、30 mm の厚のプレキャスト板とリブで強化組立、建造した。6 個の防水室は 5 個のせん断に抵抗できる厚さ 50 mm のプレキャスト板に仕切られ、鉄筋は 6 mm と 12 mm、リブは 3 mm の円環で、プレキャスト板との接合は現場打設コンクリートによる。配合はセメント 560 kg、砂 0.38 m³、粗骨材 (9~3 mm) 0.76 m³、急硬化ポルトランドセメントを使用し、板の 28 日強度 41 N/mm²、コンクリート重量 2 130 kg/m³ である。

3.1.3 PC による LNG タンカー船体のスタディ

液体天然ガス (LNG) 自航コンクリートタンカ船体スタディのコンクリート応力は最小角圧縮強度 45 N/mm²、破裂強度 5 N/mm² を基準としており、最大設計荷重条件に対し、この強度は引張 4 N/mm²、圧縮 22.5 N/mm² となり、運航荷重では引張応力は生じない。コンクリートは十分突固めできる配合とし、水/セメント比 0.45 以下、骨材 6 mm 以下でポンプ圧送可能

とし、コンクリート最大重量 2 t/m³、かぶり外回り 30 mm、内回り 20 mm である。

図-6 の鉄筋とポストテンション鋼は低温高炭素鋼で、極限強度 1 500 N/mm²、降伏強度 1 350 N/mm²、弾性限界 1 200 N/mm² を用いている。図-7 の LNG タンカーは船長 290 m、幅 44 m で、船殻構造物の全

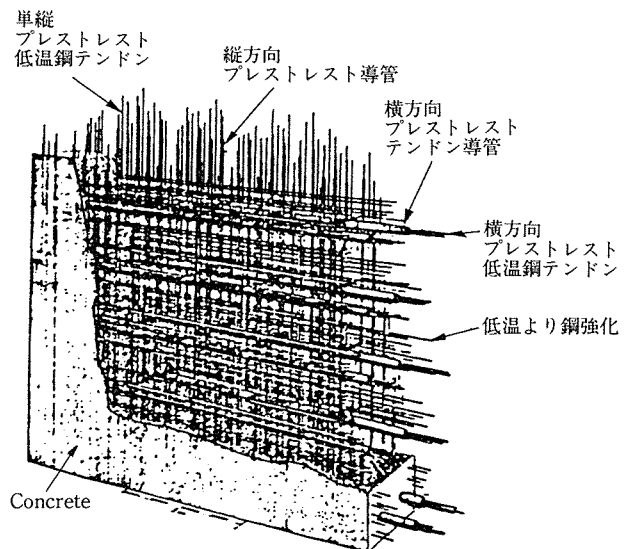


図-6 プレストレスト鋼

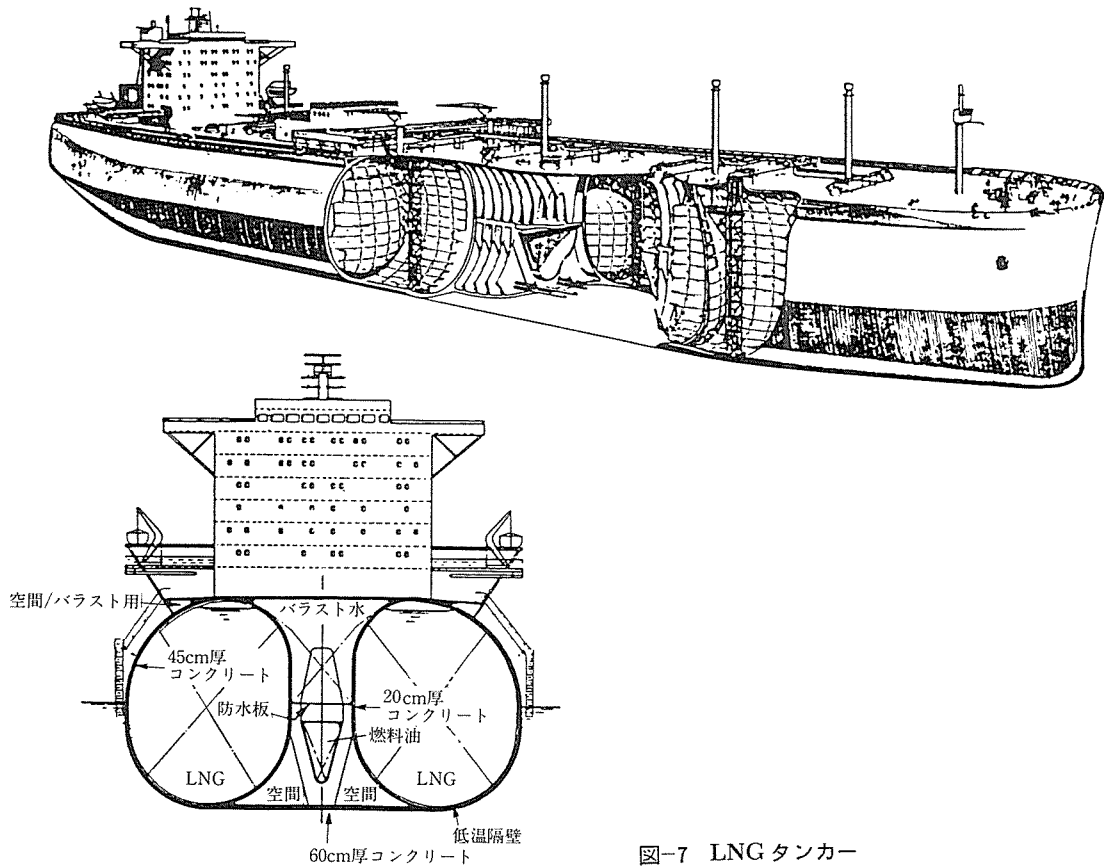


図-7 LNGタンカー

体設計と詳細設計はロイド船級協会，単殻設計はアメリカ沿岸警備隊の承認をそれぞれ受け，また IMCO の必要条件をすべて満足させた。

3.2 PCによるフローティング構造物

1943年ドイツ人技師が初めてプレストレスを船体に応用し，500tバージを設計，建造した。それはあらかじめ製作されたコンクリート製品（プレハブセグメント）を相互ポストテンションすることによってフローティング構造物を建造する方法を用いている。図-8は箱形セクションをつくるため組み立てられたプレテンションスラブで，これを図-9のようにポストテンションするとバージとなる。1962年，55×24mのポストテンションによるポンツーンがベルギーで建造され，製油

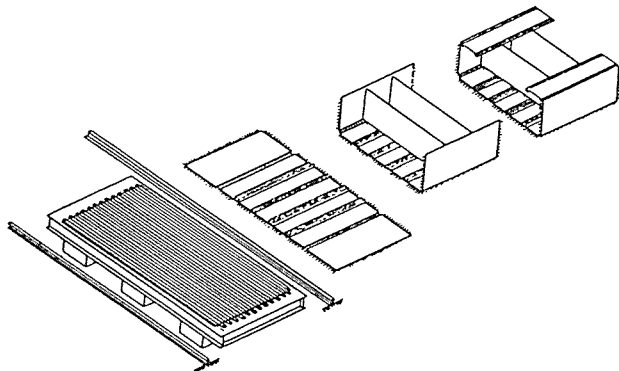


図-8 プレテンションセグメント

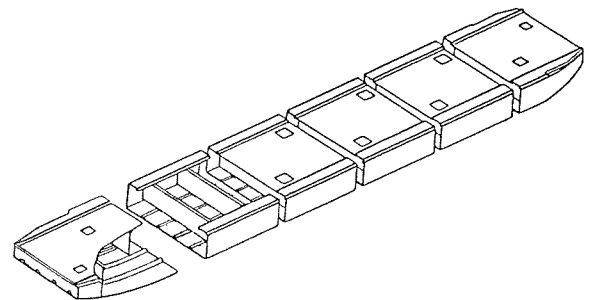


図-9 セグメントのポストテンション

所としてリビアまで曳航された。また同年，2000tバージがフィリピンでAL Yeeにより建造されている。その他，多数のポンツーン，バージ，クラフトがソビエト連邦，オーストラリア，ニュージーランド，英国で建造に成功した。

ここではイタリア・シェノバのフローティングドックと，ここ15年間に国外において建造されたPCフローティング構造物を文献から2例要約してご紹介する。PCフローティング構造物の利用目的は船体，バージ，ドック，備蓄タンク，マリーナのコンコース（広場），コンテナターミナル，ヘリポート（バンクーバーのstrofoamを詰めたフローティングコンクリートヘリポート），湖の道路橋（USAシアトルの第3レイク・ワシントンフローティング橋）などである。我が国では特に

コンクリートバージ C-Boat 500 (オーナー, エンジニア, 建造者, ポストテンション: 大成建設) とフローティングコンクリート打設プラントバージ (オーナー: 本州-四国橋基礎瀬戸大橋下部構共同企業会社, エンジニア, 建造者, ポストテンション: 大成建設) が注目される。

3.2.1 ジェノバのフローティングドック

ジェノバで建造されたフローティングドックは, 容積 10 万 t, 35 万 DWT オイルタンカ用のもので, プレストレストコンクリート箱形構造で, 排水重量を少なくするため軽量コンクリートを用いた。いかだ (raft) ケーソンは 8 個のプレハブ断面からなり, 6 個の中央部は 79 × 43 m, 端部 2 個は 79 × 46 m, 頂板, 底板, 縦壁は軽量コンクリートの現場打ちで, 鋼製格子枠で底板を連結した。フローティングドックの平面, 断面は図-10 のとおりであるが, プレストレスの方法はポストテンション Prebeton ケーブルと Dywidag 鋼棒によった。乾燥重量 890 kg/m^3 の膨張粘土 3~8 mm の骨材を使用し, 28 日角強度 54 kN/mm^2 , コンクリート重量 1870 kg/

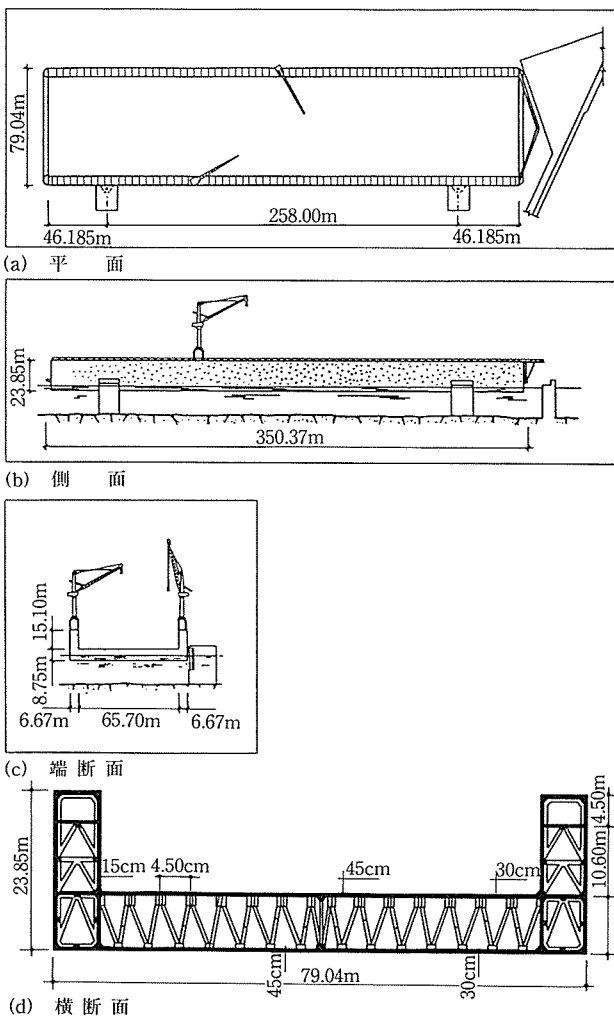


図-10 ジェノバの浮きドック

m^3 , 弾性係数 21 kN/mm^2 , 配合は, 砂 450 kg/m^3 , 軽量骨材 790 kg/m^3 , セメント 400 kg/m^3 , 水 210 l/m^3 である。

3.2.2 英国 Brighton マリーナ, フローティングコンコース

Brighton マリーナは, ロンドンの南 100 km, Sussex Brighton 近くのポート港で, 2 047 隻のボート係留, 1 250 のアパートとマンション, 500 のベッドを持つホテル, 会議室, 陸上ポートヤード, 社会クラブ, ヨットクラブ, 4 648 台のカーパーキング, 催し会場, ショッピングと展示場などが含まれている。図-11 の潮位差 8 m のマリーナに潮位差を考えた 2 つの A, B フローティングコンコース (広場) が PC により計画された。図-12 に示されるコンコースの下部構は cell (蜂の巣) 状の箱形で, 浮体は長さ 15 m を超えない径間の隔壁により縦, 横に分割され, 断面中央に位置づけたリブにより, 第 2 のスラブシステムと水平ステーを設け, コンコースの上部構は剛に接合された鉄棒で 3 径間に分割され, 鉄棒は軽量コンクリートで被覆している。コンコースはスパン 30 m の橋を介し陸とアクセスする。コンコース自体はドルフィン杭に係留する。

海底浚渫骨材による密なコンクリートを下部構には用いた。コンクリートの設計最小圧縮強度は 56 日で 50

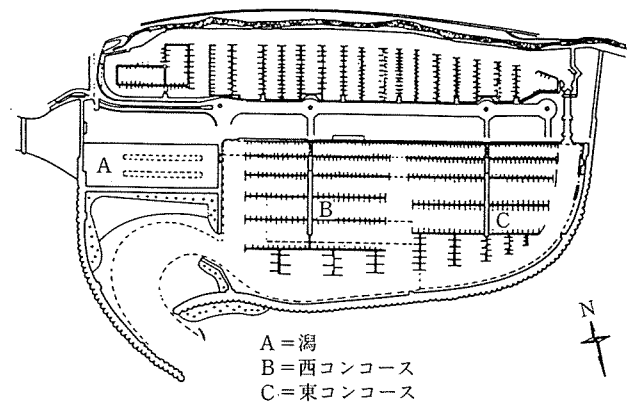


図-11 Brighton マリーナ

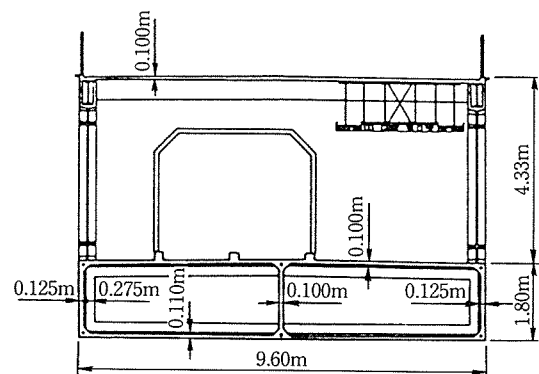


図-12 コンコースの断面

N/mm^2 , 硫酸塩抵抗ポルトランドセメントと超硬化顆粒高炉スラグを用い, 水/セメント比は0.42で, 特に下部構のコンクリートに要求された条件は, 最小の乾燥と熱収縮, 最小の透過性, 最小のワーカビリチー, 最小の凝縮性等である。

コンコースは潟を排水して造成した仮設乾ドックで建造した。1976年7月, 作業を開始し, 1978年1月ドックに水を入れ, 2月コンコースを浮上させた。西コンコースは1978年6月, 東コンコースは9月に完成した。基本断面は長さ15mの8分割とし, 両コンコースとも設計重量2140tを上回り2260tとなった。

ポストテンションケーブルはVSLタイプ6-12の異形低レラクセーションストランドを使用した。ウェブの各下部と上部における6本の tendon は直で, 基本横断面内のアンカレッジは内側を曲げ, ダクトの直径は壁とハンチの厚さを減少させるため, 最小直径70/77mm

亜鉛メッキスパイラル wound 鋼を使用した。アンカレッジ内の最小応力は中央スパンにおいて最小 $0.85 f_u$ とした。Tendon は部分的に圧入し, また, 部分的にウィンチで引張った。

3.2.3 アラスカ Valdes のフローティングコンテナターミナル

工費4500万\$のプレキャスト, プレストレストフローティングコンテナターミナルがアラスカ Valdes 市に建設され, 港湾の計画, 設計, オペレーターの関係者に一つの突破口を示した。このタイプの施設は維持費が安く, 容易に展開でき, 深海, 軟弱地盤に適し, 潮位にも追随し, 固定, 移動も可能である。

フローティングターミナルは最大5万 long t の船舶と, 1500 long t のバージを対象とし, 3エレメントからなり, 幅30.5m, 長さ213m, 深さ9.15mのプレストレストコンクリートのポンツーン浮体(浮きドック),

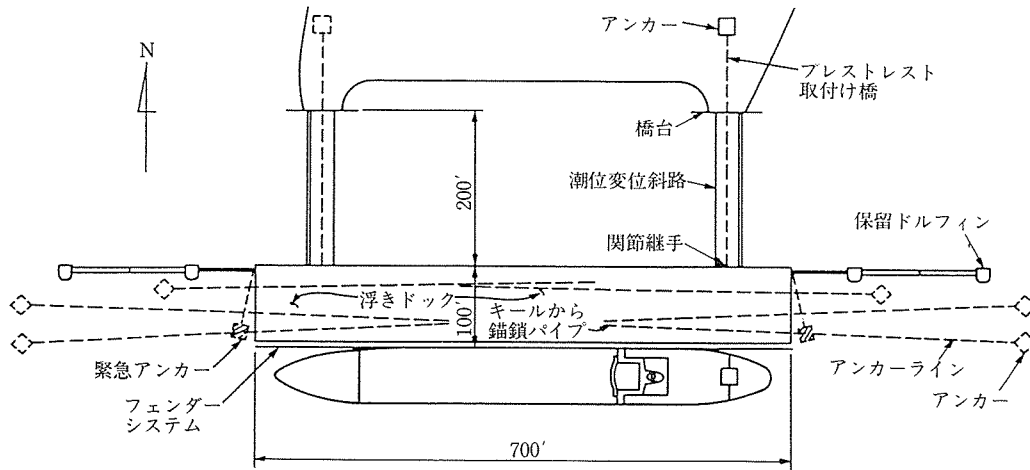


図-13 コンテナターミナル平面

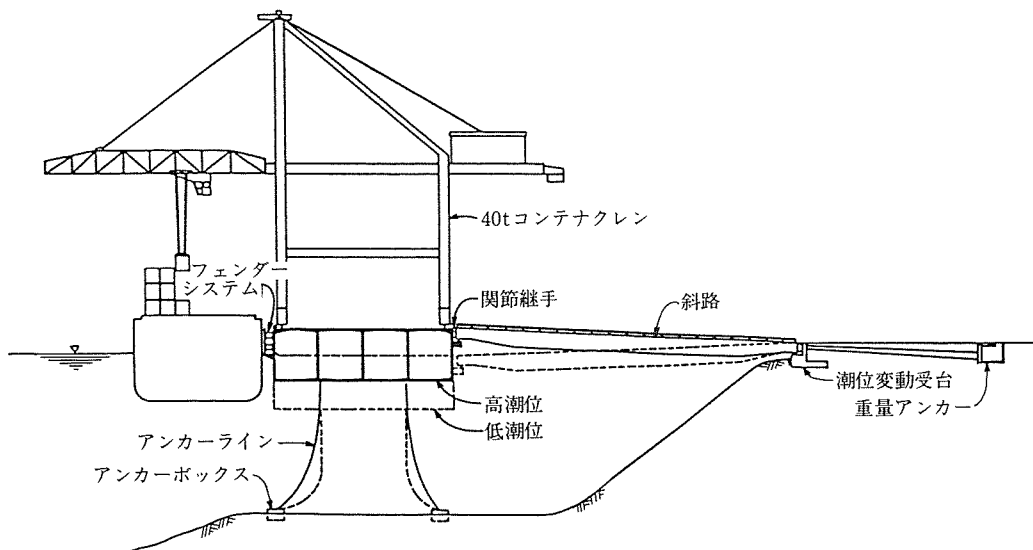


図-14 コンテナターミナル断面

係留システム、停泊中の船舶を防護するフェンダーシステムからなり総面積 6 310 m² である。

図-13, 14 にコンテナターミナルの平面, 断面を示す。なお, プレストレスされた浮体は 2 590 km 離れた既設の施設を利用し, 長さ 107 m の 2 分割で建造し, アラスカ湾を横断して曳航し, 設置現場で一体とすることとした。2 個の浮体はそれぞれ 16 の防水室からなり, 壁と隔壁は重量を 45~55 t に限定した設計寸法のプレキャストコンクリート部材とし, 壁部材間の継手は現場打ちとし, 各室の底部スラブも現場打ちである。底幅 7.62 m のスパンに対し, 234 枚のコンクリートデッキパネルをおき, この上に厚さ 30.5 mm のコンクリートの現場打ちを行った。

完成した各コンクリートポンツーンは縦, 横, 鉛直方向に図-15 のポストテンション tendon をもち, 縦 tendon は断面を貫いて置かれ, ポンツーンの引渡し曳航時, デッキ荷重時, 設置現場における波浪作用時に十分に抵抗できる必要強度を持っている。横 tendon は底部, デッキ, 端の隔壁に置かれ, 横方向の曲げに抵抗し, さらに縦壁間の底部, デッキスパン等の一部板の曲げに対し十分な強度を持つ。底部は 10.1 m の静水圧と 2 000 lbs/ft² (0.97 kgf/cm²) の貨物荷重に対し設計された。縦, 横のポストテンションはまた縦, 横の継手を横切る圧縮力に対し防水性を確保している。内壁は高強度棒鋼によって鉛直方向にポストテンションする。この設計によって防水性が高まり, 壁は静水圧荷重に抵抗し, 係留荷重にも安全となる。2 つのポンツーンの継手部の噛み合わせ力とモーメントに対しては, ポストテンションを用い抵抗させることとした。この結合 tendon は直径 13 mm の 22 本で, 接合継手の各側から 6.1 km 離れてアンカーした。なお, tendon 用のアンカー板は浮体, デッキ, 外壁の厚い断面内に埋め込んだ。結合 tendon のストレスはポンツーン内側に用意できるのでポンツーンの一体化 (集合) がドライの状態で行える。鉛直棒鋼を含むすべてのポストテンション tendon シースにはグラウト材が圧入注入され, アンカー端は腐食に対し防護用の被覆をする。

設計時, 高い繰返し率を達成させるため, プレキャスト

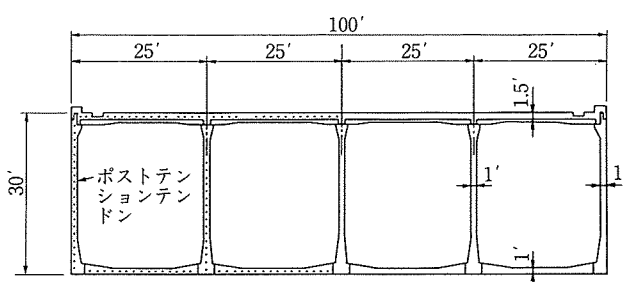


図-15 ポストテンション tendon

ト壁とデッキ部材の基準化に努めた。目的は価格を安くするためである。プレキャスト壁は 5 個の型枠で打設した。4 個が鋼製で, 木製の 1 型枠は特殊壁に用いた。早期高強度セメント, 低水/セメント比コンクリートを用いて, 加速養生により 266 個の壁板を 80 日間で製作した。また 468 個の 2 タイプのプレレストのデッキ板は, 温水養生による長いベツト型枠で 1 日に 6 個製作した。

最小の工期が目的の一つで, 107 m のポンツーンに対し, ドックの組立てに 13 週間, さらにデッキの組立, デッキのポストテンション, くつわ鎖の取付け, 曳航装備に 8 週間要した。しかし, 次の 107 m ポンツーンでは, それぞれを 8 週間と 5 週間で完了している。計画, 設計, 型枠製作その他工期 3 か月, 2 ポンツーンの製作 6 か月, プレキャスト作業 1 か月, 曳航, 2 ポンツーンの結合を含む全工期は 10 か月, 1982 年 10 月に完成した。

4. 冷水取水パイプを付けた海洋温度差発電 コンクリートフローティング構造物の フィージビリティスタディ

水深 1 000 m 前後, 風, 流れ, 波浪の厳しい外洋に変位運動が少なく, 確実な係留が望まれる冷水取水パイプを付けた海洋温度差発電 (OTEC) コンクリートフローティング構造物とそのフィージビリティスタディを 2 例 (米国) 要約して紹介する。

図-16 は TRW 社の設計で, 直径 102 m のコンク

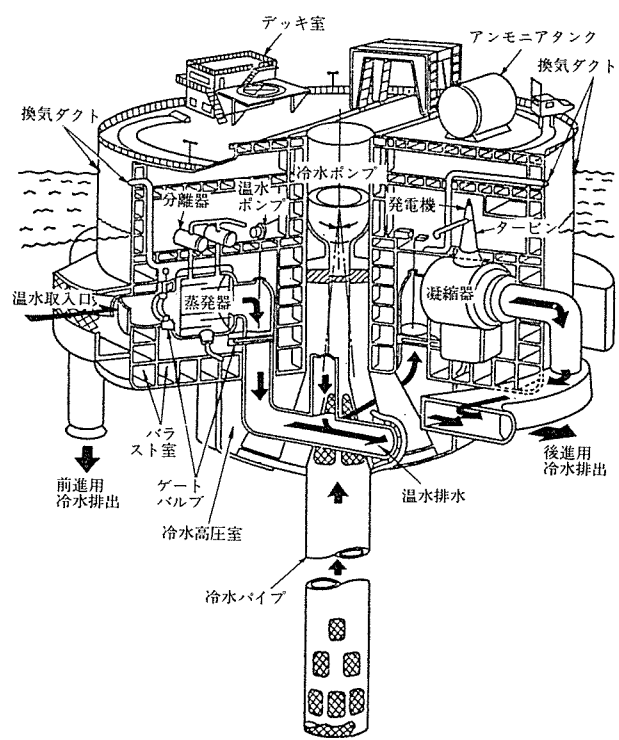


図-16 TRW 社の OTEC

リート円盤形浮体に、直径 12 m、長さ 1 200 m のファイバー強化プラスチック (FRP) 冷水取水パイプを付けた複合構造体を温度差発電プラントから排水される海水のジェット流を利用したダイナミックポジショニングによって安位置を確保する考えである。

図-17 はロッキード社の設計で、図-18 の直径 38.7 ~ 31.5 m、長さ 450 m のテレスコピック型 PC コンクリート冷水取水パイプと、4基のパワーモジュールから構成された円筒型コンクリート浮体を孔あき鋼 (HY 80)

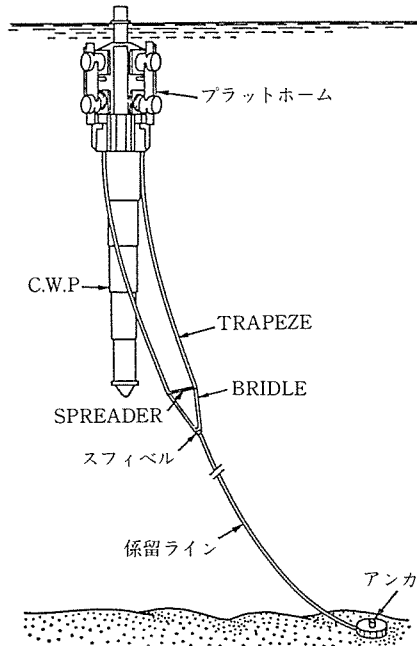


図-17 ロッキード社の OTEC

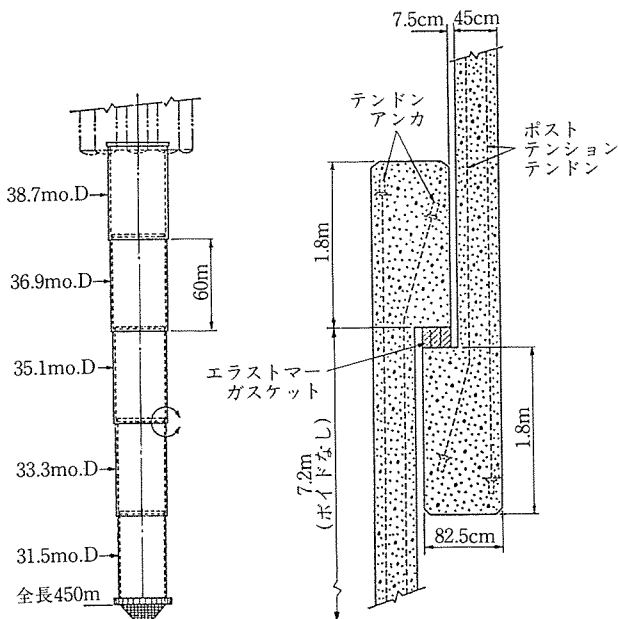


図-18 テレスコピックパイプと継手

リンク (直径 178~36 cm) による一点係留ラインで直径 28 m、高さ 4.8 m、海中重量 800 t のコンクリートアンカに結び、位置づけるものである。

100 MWOTEC 浮体としては船型、円盤型、セミサブ型の鋼製の設計が多いが、維持面を考えるとコンクリート、PC が有利と言える。

5. 結 び

北海における重力型コンクリート構造物の 15 か年に及ぶ経験から、コンクリートの強度、ポストテンション、スリッフォームに飛躍的な施工開発が実施された。まずセメント、骨材、特にリグニンスルホン酸塩、超減水系 PA (B) などの混和剤の品質開発により、コンクリートの特性が改良され、420~440 kg/m³ のセメント量で、スランプ 20 cm のワーカビリーな、圧縮強度 C 60 (円筒強度で約 490 kgf/cm²) が容易に得られるようになり、さらに高強度の C65-70 (570 kgf/cm²) が最近現場打設でき注目されている。またポストテンションが設計、施工の重要な部分を占め、ポストテンション量 100 kg/m³、水平方向 170 m、鉛直方向 198 m に及ぶ難しいグラウト作業に対する品質保証の開発、そして傾斜脚柱の曲線形状のスリッフォームの実験的現場施工から任意形状の型枠の開発もされた。

これらのことから、フローティング PC 構造物の場合、残された問題点として、いままでの経験を踏まえた係留システムの開発、つまり機能上許容できる水深に対する最大変位、各種係留ラインの破断力に対する許容引張力、多点係留、テンションレグ係留、そしてアンカリングなどを解決した準固定的な係留開発が望まれる。

参 考 文 献

- 1) 長崎作治：海洋浮遊構造物の係留設計，山海堂，1~17 (1981)
- 2) Concrete Society Technical Report No. 16, May 1978. Structural lightweight aggregate concrete for marine and offshore applications.
- 3) 長崎作治：海洋軽量コンクリート構造物，埋立と浚渫，No. 134, 21~27, (1987)
- 4) Concrete afloat, TTL, London, 1~21, 83~96, (1977)
- 5) Floating Concrete Structures, Examples From Practice, VSL International LTD., 20~24, (1987)
- 6) 長崎作治：フローティングコンクリート構造物，埋立と浚渫，No. 184, 30~35, (1989)
- 7) Floating Container Terminal Maldez, Alaska. Journal Prestressed Concrete Institute, Vol. 27, No. 4, 2~9, (1982)

【1991年1月30日受付】