

海洋大型浮体構造物の構想と技術 その1

長崎 作治*

1. 大型浮体構造物構想の歴史的背景

1.1 灯 船

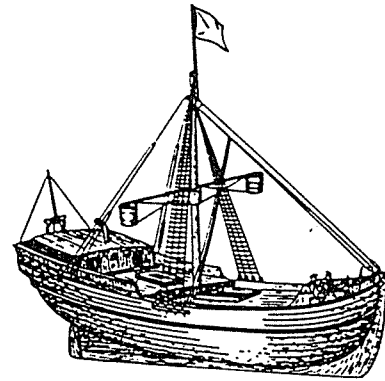
海洋構造物のはじめは固定構造物を建設することができなかったため、船体を浮かべて代用させている。

1732年（265年前）イギリスは浅瀬、暗礁に固定した灯標が建設できず、図-1の長さ30mの有人の灯船を一点カタナリチェーン（鉄鎖）係留している。ドイツでは41m級（幅7.4m、高さ5.2m）、フランスでは1890年、船底両側に竜骨（キール）をおき船体の横揺れを少なくしたチブク号（290t）、ルイタンジアン号（339t）が設置された。

1903年フランスの北海入り口サンデチアに設置された灯船（長さ35m、高さ4.5m、吃水深4.7m、342t）は、アンカー4個（2t 錨1個、0.7t シンカー2個、铸铁製片爪錨1個）、直径42mm、総長300mのチェーンにより一点係留された。

日本でも5大港の開港に伴い、明治2年（1869年）横浜に本牧灯船、続いて明治4年に函館灯船が設置された。横浜灯船は明治16年にイギリス船に衝突され、沈没している。

第二次大戦後、スウェーデンは1947年（昭和22年）から1972年夏まで、25箇年間に要し、17基の灯船を図-2の現場打設、テレスコピック、仮設壁工法などによるコンクリートケーソン灯標に置き換えた。一方、アメリカは5基の空軍の大西洋沖レーダー観測テキサスタワー、メキシコ湾の数多くの鋼管杭打ジャケット型固定構造物の施工実績



英国ノーアサンド

図-1 最初の灯船 1732年

から、22基の灯船を1957年から毎年2基ずつ、図-3の鋼製ジャケット型灯標に置き換えた。

日本は、昭和22年東京湾の発展に伴い、港口水深12mに固定灯標が軟弱地盤のため施工できず、旧陸軍の船を改装した灯船（100t）を設置した。この灯船は5年後に沈没し、長さ21.5m、幅7m、高さ3.4m（吃水深

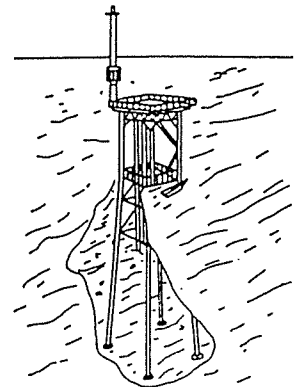


図-3 ジャケット型灯標

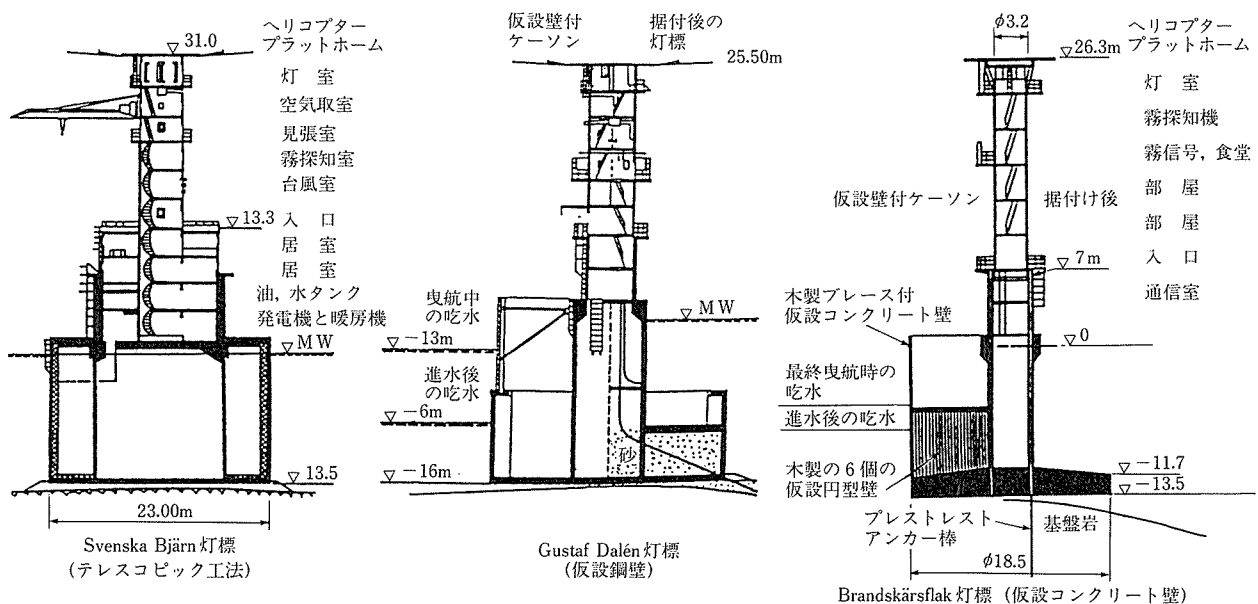


図-2 テレスコピック, 仮設壁工法

* Sakuji NAGASAKI: 東海大学名誉教授・本協会海洋構造物委員会 委員長

1.8m), 総トン数107tの新造鋼船を図-4のように, 長さ12m, 直径15mmチェーン2本を介し, 浮力10tの係船ブイに一点係留した。ブイは, 長さ25mの58mmチェーンにより, 水深12mの海底に置かれた4t沈錘(アンカー)と結ばれ, 4t沈錘はさらに25m, 2方向に置かれた2t沈錘に38mmチェーンで結ばれている。

灯船を維持するには, 二年間に一回, 本船を係留するブイとチェーンの全交換, 鋼船体の塗装, そして上架(ドック入り)を行わなければならない。上架中は代替船を定置しておく必要がある。

昭和44年, この維持問題と東京港にふさわしい固定式灯標をとの要望に応じ, 海上での大口径1.8m鋼管杭打, 100%現場溶接などの新施工技術を導入し, 図-5の東京灯標が新設され, 灯船の歴史を閉じた。

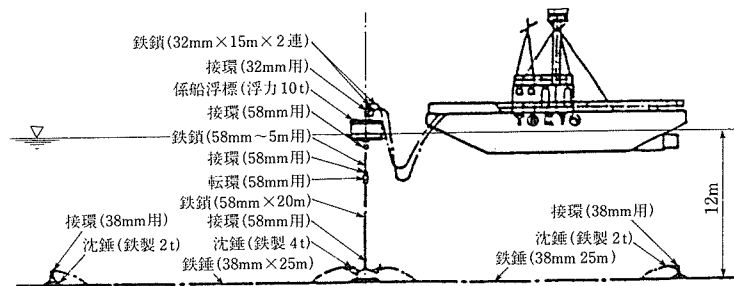


図-4 東京灯船と係留

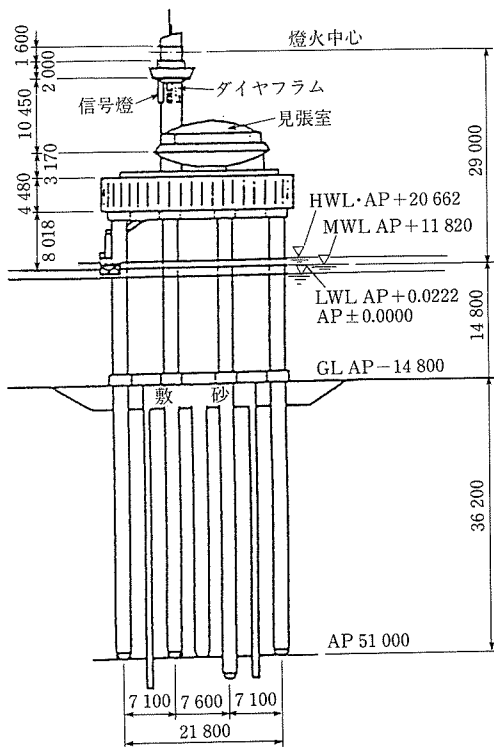


図-5 東京灯標(単位mm)

1.2 浮体空港

浮体空港の最初の考え方は, 第一次大戦直後の石炭運搬船を改造した飛行機運搬船をもとに設計された図-6の

浮体ではないかと思われる。

1924年パテントになったArmstrongの浮体空港は海洋でモデル実験も行い, その考え方を示した好例といえる。浮体空港は設計, 建造, 維持, 揺れ運動を抑制した係留などの問題点が多く, 実施されなかったが, その後バージ, ドライドック, 浮き棧橋, テンションレグセミサブ石油採取プラットフォームなどの実績から, 実施可能な時期に至った。

構造タイプとしては, 図-7のポンツーン, 潜水フロート, プラットホームバージなどがある。構造に関しては, モデル実験によらないと評価できない問題があるが, 作用外力は, 飛行機荷重より波力(波漂流力)のほうがより厳しい。計画された浮体空港の構想を2例紹介する。

(1) Armstrong空港

計画は1922年Edward. H. Armstrongによって始められ, 1924年にパテントになった。1929年にニューヨークとバーミューダの間に, また北大西洋を横切る400マイル間隔での空港建設を提案した。計画によると, 飛行甲板(デッキ)は1 200×400ft(360×120m), 海面下に最大直径と浮力を持つ孔あき垂直円筒を置き, その直径を変え, 海面上75ft(22.5m)まで立上げ, プレース構造で結構し, デッキを支持する設計である。なお碎波帯では, 円筒直径はできるだけ小さくし, 円筒下部にバラストをつけ, 重心, 浮心, 傾心に配慮した設計をしている。46年にはデッキの計画長さは6 000ft(1 800m)に至っている。

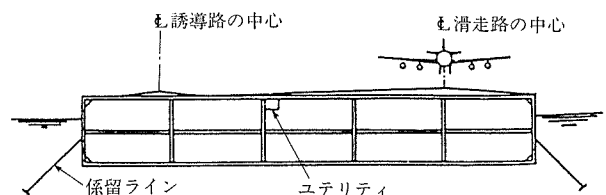


図-6 飛行機運搬船改造浮体空港(計画)

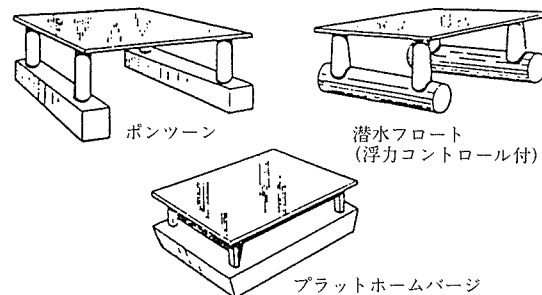


図-7 浮体空港構造タイプ

施工は鋼板構造体の寸法が大きいので, セクションごとに造船所のドックで建造, 海上に曳航し, 一体構造に組立てる段取りとした。なお, 船型, いかだ構造体の曳航, 係留時の作用波力, 風力をモデル実験から測定, さらに固定剛体と比較するとそれらがかかなり少ないことが確認さ

れ、空港にある程度の揺れ運動が許されることから、係留外力は風力の方が優先するとしている。

さらに、海洋空港は巨大構造物であるから、波浪によるゆれ運動はかなり小さくなるが、長さ6000ft(1800m)の場合、複雑な鋼構造で設計するので、その価格は巨額となり、また現場での海中維持はできないと強調している。

(2) ガスホルダーによる海洋空港

イギリスの建設省Floating Aerodromes(1969)、海洋において建設可能性の高い空港のスタディを紹介する。

浮体空港は、長さ3200m、幅380mの滑走路を持ち、450t(ボーイング747の20%増)の航空機荷重に対する舗装強度が必要である。作用外力としては、航空機荷重より波力の方が大きいので、遮蔽海域を対象とした。一辺62.5mの正方形ボックスユニットを高強度摩擦ボルトで相互連結構成した図-8のコンクリート製と鋼製の浮体空港と図-9のエキスパンドポリスチレンをつめたユニットをポストテンションによって組立て、内部に0.21~0.35kg/cm²の空気圧を導入した空気クッションガスホルダータイプ(外側と内側海面に空気圧により差をつけた)の3つの浮体空港を設計した。

設計上問題となった海面上のデッキの最小高さ、構造タイプと地盤に適したアンカー係留、動水圧の計算にウエストガーダー式が適用できるか、エキスパンドポリスチレン板のたわみ曲線理論計算値とモデル実験測定値が一致するか、などを解明し、これよりエキスパンドポリスチレンは浮体構造物の材料として使用でき、しかも十分安定した浮力が確保できると結論を下し、さらに、コンクリートとエキスパンドポリスチレンを用いた次の縮尺モデル3体について比較実験を行った。

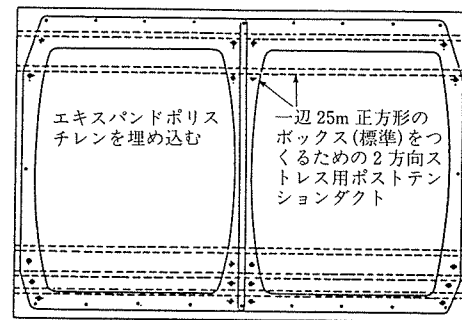
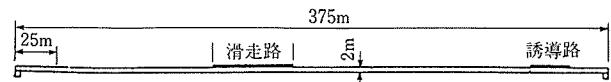
- I 90×60cm、深さ60cm、厚さ(頂板1.9cm、壁と床3.8cm)のコンクリートにエキスパンドポリスチレンのコアを取り付けた。
- II 同様の寸法で、頂板7.5cm、底面すべてエキスパンドポリスチレン
- III 83×53cm、深さ53cm、すべてエキスパンドポリスチレン

以上の3個の浮体を5週間養生し、海水に浮かべた。なおI、II、IIIの浮体は同一重量で、乾舷はいずれも15cmである。15cmの乾舷の高さを一週間おきに測定したところ、4.5か月間、変わらなかった。しかし、気圧が高くなると乾舷が変わり、浮力が減少すると空気室は機能を果たさなくなる。空気室に海水が入るようなことはなかった。以上より技術的に可能であるが、遮蔽施設を設けることができない海域ではさらに研究を必要としている。

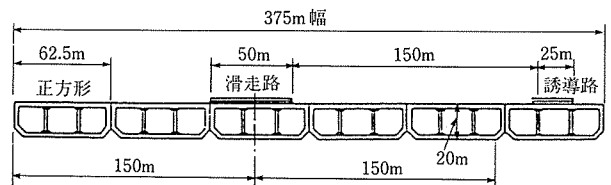
1.3 鋼、コンクリート、フレキシブル材による大型浮体

(1) 鋼フローティングホテル

側面2重、底板とからなる82.9×27.7×6m鋼製バージ上には6階建てのホテルとレストラン、バー、ショップ、ナイトクラブ、ジム、サウナ、会議室、スキューバダイビングスクール、スイミングプール、海中観測、テニスコー



コンクリートボックスユニット



鋼ボックスユニット

図-8 ボックス型ユニット

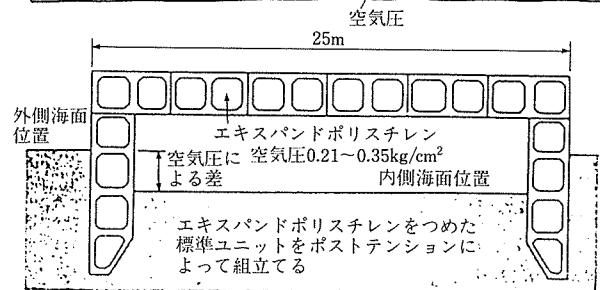
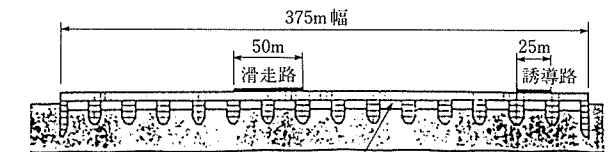


図-9 空気クッションガスホルダーユニット

ト、セイリングボート、フィシングトリップなどが組み込まれたフローティングホテルで、係留システムで位置づけ、必要に応じ位置移動できる設計とした。

シンガポールで建造、1988年1月3日、オーストラリア Great Barrier Reefまで台船に乗せて運搬し、19日、図-10の係留システムに定置した。

フローティングホテルと係留システムの設計、建造、据付けはDNV(ノルウェー船級協会)により“+1A1 Barge Floating Hotel BIS POSMOOR”に級別(Classification)された。すなわち、船体、機械、パイピング、配線、係留システムの図面はすべて証明、また鋼板、機械、その他部材は検査、テストをそれぞれ受け、建造作業も測定、テスト後承認され、据付け作業も承認を受け、モニターを実施している。また稼動時の周期的サーベイ(survey)はDNV基

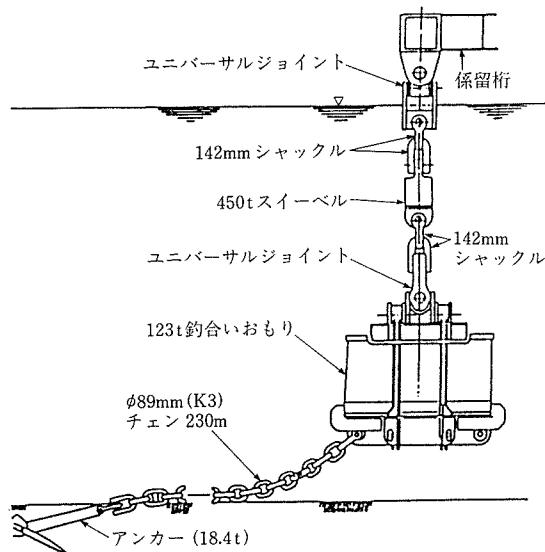


図-10 フローティングホテル係留システム

準サービス施設の項目に基づいている。したがって、ホテル構造体、係留システム、オペレーションについては安全性(基準)と信頼性に最大の確信を持っている。防火帯、スプリンクラーそして防熱、防煙、船舶と異なる避難場所(別構造のテニスコート)、防水ドアと窓は100年周期の最大サイクロンに抵抗でき、オーストラリア連邦政府はすべての安全設計を承認した。

なお、フローティングホテル独自で自給、自足できるよう発電機(1 000rpm, 885kwを3台, 予備265kwを1台), 152t/日浄水製造機2台, 空調, 下水, ごみ処理プラントを装備している。ホテルで生じた下水は2台のプラントによって15m³/h処理され, 液体ごみは殺菌, 浄化し, 定期的にサービスバージュに乗せて持ち出す。また固定ごみ, オイルスラッジ, 台所ごみは65万kcal/h, Golar型GS500海水焼却炉で船上焼却, 灰はドラム缶に入れ陸に船運搬する。

係留システムはアメリカロサンゼルスIMODOCOが設計し, 500年に一度の推定波浪による係留モデル水槽実験か

ら決定した。海底地盤に6個の18.4t Stevsharkアンカーを星型に置き, 長さ230m, 直径89mm, 高張力鋼チェーンそれぞれを中央の重量123tカウンターウエイトに結び, カウンターウエイトはユニバーサルジョイントを介し, 450t吊りスーベル(回転継手)にシャックルし, 回転継手はユニバーサルジョイントを介し, 船首中央に突き出た桁に連結係留する。さらに船尾において, 長さ220m, 直径97mmチェーンを一对の17.5tアンカーに係留する。

(2) コンクリート浮体

A. コンクリート船体

世界最初の鉄筋コンクリート船は手漕ぎボートで, 1850年, フランス人Joseph Lambotが建造した。コンクリート船体の開発は, 1987年ローマでSearleがポンツーンを, 続いて1902年, 50tバージュを建造したのが最初となった。1917年ノルウェーのFougerは重量182t, 長さ22.5mの海洋を航行できるバージュを進水させている。

第一次, 第二次大戦では, 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。第一次大戦(1919年)で建造した最大の軽量骨材コンクリート(1 105kg/m³)の5mm細骨材, 705kg/m³の14mm粗骨材, 配合1:1:1, 圧縮強度385kg/cm²船はアメリカのSelmma(7 500tタンカー, 長さ132m, 幅13m, 吃水深7.9m, 排水重量13 000t)で, 34年後の1953年, 船殻を検査したところ, コンクリート, 鉄筋とも退化は見られず, 良好であった。

イギリスでは, 1 000t級のバージュが建造できる造船所を各地に設け, Creteと名付けられたコンクリート船を進水させた。

第二次大戦では, 第一次大戦と同じことが繰り返された。アメリカでは1941年, コンクリート船の計画を決定し, 5箇所の造船所で, 表-1の104隻が建造された。サンフランシスコで建造した貨物船(10 930t)を図-11に, 軽量コンクリートの配合と特性を表-2, 表-3に示す。

表-1 第二次大戦時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	55	38	12 750	6 375	2 450	1 555
ナショナルシティ	27	165	46	17.5	4 000	1 600	860	490

表-2 軽量骨材コンクリートの配合

軽量骨材		天然砂	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)
			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

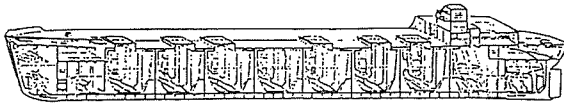


図-11 第一次大戦軽量骨材コンクリート貨物船

表-3 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) (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

イギリスではSir Owen Williamsの設計による長さ81m、死荷重2 400tの2隻の自航軽量コンクリート船と、ノルマン

ジー上陸作戦に使用した図-12のポンツーンBeetle(甲虫)が建造された。

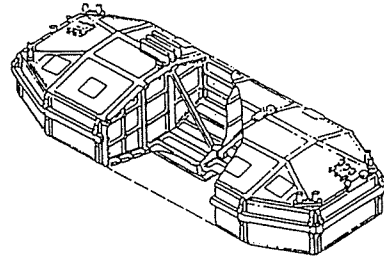


図-12 BEETLES 第二次大戦軽量骨材コンクリートポンツーン

次回 (Vol.40, No.2) に続く

【1997年9月10日受付】