

特集

海洋構造物

プレストレストコンクリート海洋構造物の現状

柳 下 肇*
古 賀 尚 宏**
久 保 明 英**

1. ま え が き

“海洋開発” “プレストレストコンクリート（以下 PC と略す）海洋構造物” は、仕事としても男のロマンをかき立て、そして酔わされやすい言葉ではなからうか？ 四面海に囲まれ、狭隘な国土と、乏しい資源に悩み、海の子と歌わされ、また貿易立国と教え込まれてきた日本人には、やむを得ないことかもしれない。

海洋開発という言葉がはやり、官民ともに、ビッグプロジェクトとして取り上げ始め、大資本系大手企業が、海洋開発専門会社を設立したのは、昭和 40 年頃だったと思う。十数年後の今日、これら専門会社の経営は、かなり苦しいという記事を読まされたり、また喰わんがために、事業方針の転換をはからざるを得ないような話も耳にする。

まして、我が国の PC 海洋構造物は、皆無といってもよいほど実績もなく、設計、施工するにも我が国の PC 海洋構造の技術基準すら確立されてない時期に、技術誌に PC 海洋構造物の現状など述べることは、筆者にとっては非常な重荷である。

しかしながら、エネルギー開発とともに、我が国特有な環境より、大水深海洋空間開発利用の需要度が高まっている現在、このような大規模開発物件には、お互いの情報を密にとり、現状を十分把握し、技術研究、開発の方向性をあやまらさないためにも無駄ではないと考え、現況と先進諸国の実績および技術基準の方向性を述べることにした。読者のご寛容をお願いしたい。

2. PC 海洋構造物の社会的、経済的ニーズ

海洋構造物を本格的に実施しているのは、巨大な石油資本をバックにもち海底石油の開発を進めている民間企業と、膨大な予算を持つアメリカ海軍にしかない。欧米先進国では、PC のバージ、浮きドック、浮きさん橋、あるいは、大型パイル等、いくつもあてはないかとい

われるかもしれないが、海底石油開発事業の PC プラットホームに比べて、これらは、単発的で事業としては、いまだ一般化されてなく、投資償却に苦慮している。

それでは、海底石油や、軍を持たない日本では、PC 海洋構造物の研究・開発は、尚早であるとみられるかもしれない。しかしながら、狭隘な国土と乏しい資源に悩み貿易立国にならざるを得ないところに、大水深海洋空間開発利用の面で、逆に日本は、他国にない PC 海洋構造物開発の価値と可能性の高い環境下にある。

本年 8 月 15 日、内閣総理大臣の諮問機関である海洋開発審議会より、約 20 年後の西暦 2000 年の海洋開発の展望と 1990 年の目標設定までとして、第一次答申が提出された。これによると、資源およびエネルギー開発とともに、海洋空間の開発利用は、極めて重要であることが述べられている。

第三次全国総合開発計画（三全総）によると、20年後の西暦 2000 年には、我が国の人口は、1 億 3700 万人に増加し、経済規模も現在の 2 倍以上の 460 兆円になっている。これを前提にし、我が国の地形等の自然条件お

表-1 地目別国土利用の必要量の想定

(単位：万 ha)

	1972年	1985年	2000年
農 用 地	599	611	689~1 589
農 地	578	585	660~1 560
探 草 放 牧 地	26	26	29
森 林	2 523	2 482	2 650~4 390
原 野	56	26	26~32
水面・河川・水路	112	117	123
道 路	91	112	126
宅 地	111	148	193
住 宅 地	88	114	143
工 場 用 地	13	20	32
事務所・店舗等の宅地	10	14	18
そ の 他	282	282	282~311
合 計	3 774	3 778	4 090~6 770

注 1) : 1972年は、国土庁「公共施設用地調査」、1985年は、国土庁・環境庁「国土利用計画」による。

2) : 2000年は、いくつかの前提下における試算値であり、将来の国土利用のバランスを予測したものではない。

3) : 道路は、一般道路および農林道である。

出典：「超長期展望（西暦 2000 年）作業」（国土庁計画・調整局）

* ピー・エス・コンクリート（株）技術部、主任研究員

** # 技術部

論 説

よび交通、流通等の社会条件を勘案すると、沿岸陸海域の空間は、国土利用の延長として利用せざるを得ない。人口集中の激しい都市の所要面積は、2000年代初頭には、1975年の2倍に増加（建設省“新国土建設の長期構想”）するとさえいわれている。

国土庁計画・調整局の作業によると、表-1に示すごとく、20年後の必要利用国土の不足量は、現在の国土面積3780万haおよび国土の可住地域面積（8%以下の傾斜地）1300万haに比べ、実に、300万~3000万ha上回る。今後、土地の高度利用化、多目的化されるとしても、最低の300万haは、国土の代替として浅域海洋空間が必要である。

それだけではない。国土延長利用以外に、産業経済活動の中には、本質的に海洋にしか利用空間を求めざるを得ないものもある。すなわち、沿岸漁業（増養殖）、港湾水域、航路水域、海洋性レクリエーションの場などである。

我が国沿岸海域の空間利用状況は、表-2に示すとおり現在港湾構造物の施工限度である水深20m以浅の全海域面積は、308.8万haしかなく、その内140万haが現在利用されている。しかしながら、2000年における各目的別期待量を単純に加算すると、表-3のごとく、400万ha必要となる。したがって、国土利用延長空間も考慮すると、最低でも400万haの空間が不足することになる。

勿論、港湾荷役のコンテナ化、パイプライン化など

表-2 我が国沿岸海域の利用目的別空間利用状況

(単位: 万 ha)

水 深	0~20m	20~50m	50~100m	100~200m
全 海 域 面 積	308.8	498.5	797.4	1443.6
(1)沿岸漁業(増養殖)利用面積	54.1	22.2	21.5	5.6
(2)港 湾 水 域	66.2	—	—	—
(3)航 路 水 域	1.99	—	—	—
(4)海洋性レクリエーション	2.82	—	—	—
(5)埋 立 地 面 積	11.9	—	—	—
(6)廃棄物処理場	0.37	—	—	—
(計)	137.4	22.2	21.5	5.6

- 注 1)：全海域面積のうち、水深100m以浅は建設省「沿岸開発計画基図」(1971年7月)、水深100~200mは水産庁(1974年)調査による。
- 2)：(1)は水産庁「都道府県沿岸漁業整備開発構想調査」(1974年)による。(養殖場免許面積、増殖場および人工魚礁漁場面積の合計)
- 3)：(2)~(5)は運輸省「海洋開発に関する長期展望」(1978年6月)による。航路水域は指定航路のみ、海洋性レクリエーション水域には、海水浴場およびボートエリアを含む。
- 4)：(6)は運輸省資料(同上)による0.32万ha(東京湾、大阪湾)に、建設省資料「沿岸海域スペース利用」(1978年6月)による下水道の終末処理場分480haを加算したもの。
- 5)：上記のほか、漁港、民間埋立、演習場、航路標識、海洋石油生産プラットホーム等による海域利用面積がある。
- 6)：重複利用分を厳密に整理していない。

表-3 海域利用目的別空間利用需要(西歴2000年の期待値)

(単位: 万 ha)

水 深	0~20m	20~50m	50~100m	100~200m
全 海 域 面 積	308.8	498.5	797.4	1443.6
(1)沿岸漁業(増養殖)利用面積	173.0	342.1	407.6	402.1
(2)港 湾 水 域	180			
(3)航 路 水 域	5.4			
(4)海洋性レクリエーション	27.8			
(5)埋 立 地 面 積	18.8			
(6)廃棄物処理場	1.4			
(7)海 上 空 港	0.4			
(8)そ の 他	x			
計	406.8+x	342.1	407.6	402.1
全海域面積との差	-98.0-x	156.4	389.8	1041.5

- 注 1)：全海域面積および(1)~(5)の出典は、表-2に同じ。
- 2)：(6)は運輸省資料(前出)による1.15万haに、建設省資料(前出)による下水道終末処理場分0.25万haを加算したもの。
- 3)：(7)は新関西国際空港の推定規模0.11万haを4箇所分想定。
- 4)：(8)は沿岸都市、海上プラント等による新規需要。
- 5)：上記のほか、漁港、民間埋立、演習所、航路標識、海洋石油生産プラットホーム等による海域利用面積がある。

により、高度空間利用化、多目的利用化の方向はとるにせよ、水深50~100m域の大水深港湾構造物の必要性が出てくる。

現に、釜石港では、水深70mの防波堤が、具体的に検討されている。

また、運輸技術審議会答申書、および昭和53年11月の運輸省港湾局の“海洋スペース利用に関する長期展望”では、早急に技術開発すべき海洋構造物として、PCの沖合人工島、大型浮遊構造物、大型着底式海洋構造物の検討が含まれている。

不足する空間を、大水深海洋に求めるにしても、立地条件より、海洋構造物は、完全な技術をもって行わねばならぬし、また海洋利用には、かなりの費用を必要とする。

例えば、防波堤についていえば、現在最も多く使用されている水深10mのケーソン式混成堤の場合、m当りの施工単価は、約800万円であるが、水深50mとなると、m当り単価は、約2億円となり、水深の2乗に比例して高価になる。

したがって、現在の技術方式では、国民経済的にも投資効果の極めて大きい、特殊な利用形態でなければ、海洋に進出することは困難であろう。ここが、海洋構造物の社会経済ニーズのネックである。

大水深海洋構造物の材料として、PCが最も適していることは、海底石油開発のプラットホームの実績より明らかであり、説明を要しないことかもしれない。しかし、海の構造物建設のコツは、海上、海中作業をできるだけ少なくすることが、技術的にも、経済的にも有利と

なることである。したがって、PC での軽量化、なかならず、プレストレス結合によるプレキャスト化により、日本の立地条件（例えば、北海のような海底地耐力がない）に適した、合理的かつ経済的な新しい PC 構造物を生み出すことが、今要求されている。

3. 既存 PC 海洋構造物について

3.1 はじめに

この章では、現在、世界中で供用あるいは、建造中のプレストレスコンクリート製の海洋構造物について、その構造諸元および設計条件等に関して述べる。

考慮する海洋構造物は、広い意味での海洋構造物とする。すなわち、港湾構造物も含むこととする。

現在までに存在する海洋構造物は、石油関係構造物（石油採掘装置、貯油装置、LNG貯油装置）、ドック用構造物およびさん橋に使われる浮遊構造物に大別できる。

(1) 石油関係構造物

北海関係構造物 (13基)

LNG 貯油バージ

2000 トン PC バージ

石油採掘プラットフォーム

(2) ドック用構造物

フローティングドック

ドライドック

ドライドック締切堤

(3) さん 橋

浮き橋

浮きさん橋

(4) そ の 他

固定式さん橋

3.2 北海関係構造物 (13基)¹⁾

プレストレスコンクリート製の海洋構造物について述べるのにまず北海の石油開発関係設備の構造物についてふれなければならないであろう。1964年からエコフィスク油田の貯油タンクとしてノルウェーが PC 製構造物を建造して以来、1979 年までに英国、オランダ等で 13 基の構造物がつくられた。設置水深も、エコフィスクの 94 m からダンリンの 156 m と年々深くなっている。表-4 は各構造物の寸法、材料等を示してある。表の中で () の中は、コンクリート 1 m³ 当りの PC 鋼材料および鉄筋量を示してある。図-1~図-11 は、各構造物の完成予想図である。構造形式は、円筒形を取り入れており、これによって大きな水圧に耐えるようにしてある。設計は、限界状態設計法（詳細は次章で述べる）を取り入れており、これをカバーするために解析には、有限要

素法を使って立体解析を行っている。図-12 は、立体解析を行うための要素分割図である。また、応力状態の把握のため縮尺モデルによる実験も数多く行われている。

3.3 LNG 貯油バージ²⁾

この構造物は、現在、インドネシア、ジャワ沖で稼働中である。製作は、アメリカ、タコマで行われ、太平洋を横断して曳航された。図-13 に横断面図を示す。構造寸法は、長さ 140 m、幅 42 m、高さ 17 m である。図-14 に建造手順を示す。

3.4 2000 トン PC バージ³⁾

この構造物は、現在、フィリピンで、油輸送船として活躍している。この構造物だけが、プレテンション方式でつくられている。1964年に建造されて以来現在まで十分機能をはたしているそうである。構造寸法は、長さ 60 m、幅 17 m、高さ 3.9 m である。図-15 に、2000 トン PC バージの一般図を、写真-1 に、内部鋼製フレームと底版の配筋状態図を示す。

3.5 フローティングドック⁴⁾

この構造物は、イタリアのジェノバ港で使われる浮きドックで 1979 年中に完成の予定である。

主体は、プレストレス軽量コンクリート製ケーソンで、ドック全長は 350 m、幅 79 m、全高 24 m、ケーソン部高さは 9 m である。図-16 に完成後の平面図、側面図、断面図を示す。

施工法として、全長 350 m を八つに割り、それぞれをドライドック内で製作し、浮上させ、洋上で結合させる方法を採用している。図-17 に構造断面図を示す。

3.6 ドライドック⁵⁾

この構造物は、フランス、ブルターニュ半島先端にあるプレスト港にあるドックである。ドックは PC および RC のハニカム状の 3 個のプレキャストケーソンを接合して製作されたもので、第 1、第 2 ケーソンはドック本体に、第 3 ケーソンはポンプ室に用いられている。図-18 にドックの平面図、図-19 に断面の見取図を示す。

各ケーソンは、3 km はなれたドライドックで製作され、別個に設置地点まで海上を曳航され、浮いた状態で接合された。

3.7 ドライドック締切堤⁶⁾

この構造物は、フランスのマルセーユ港にあるドライドックの締切堤のためにつくられたケーソンである。構造寸法は、長さ 87 m、幅 15 m、高さ 14 m である。プレストレスは、フレシネー 12T13 ケーブルで行っており、コンクリート 1 m³ 当り PC 鋼材は 43 kg 使用された。図-20 には、断面図を、図-21 には、見取図が示してある。

表-4 北 海 の

PLATFORM	EKOFISK	CDP-1	MCP-01	NINIAN	BRENT B	STATFJORD A
Engineering and design	DORIS	DORIS	DORIS	DORIS	NORWEGIAN CONTRACTORS	NORWEGIAN CONTRACTORS
Constructor	Type I DORIS	Type I DORIS	Type I SKANSKA/ DORIS	Type II HOWARD/ DORIS	Type II NORWEGIAN CONTRACTORS	Type II NORWEGIAN CONTRACTORS
Construction site	STAVANGER (N)	ANDALSNES (N)	STROMSTAD (S)	KISHORN (UK)	STAVANGER (N)	STAVANGER (N)
Number of columns	—	1	1	1	3	3
Dimensions of immersed caisson : Length×Breadth×Height (m) or Diameter×Height (m)	95×85*	101×107*	101/62×105*	140/63×55/75*	100×89×60	100×89×68
Diameter of columns (m)	—	62	10	—	20/12.2	20/13.2
Total Height (m)	100	126	123	175	163.9	176
Concrete (m ³)	80 000	56 000	57 000	142 000	65 000	85 000
Prestressing system	Freyssinet	Freyssinet	Freyssinet	Freyssinet	Freyssinet	VSL
Prestressing reinforcement (m. tonnes)	3 500 (44)	2 600 (46)	2 600 (46)	3 100 (22)	1 150 (18)	1 250 (15)
Passive reinforcement (m. tonnes)	10 000 (125)	7 700 (138)	8 300 (146)	27 000 (190)	10 700 (165)	16 000 (188)

* Jarlan perforated wall

These informations were kindly given by ANDOC—CONDEEP—DORIS and SEA TANK CO.

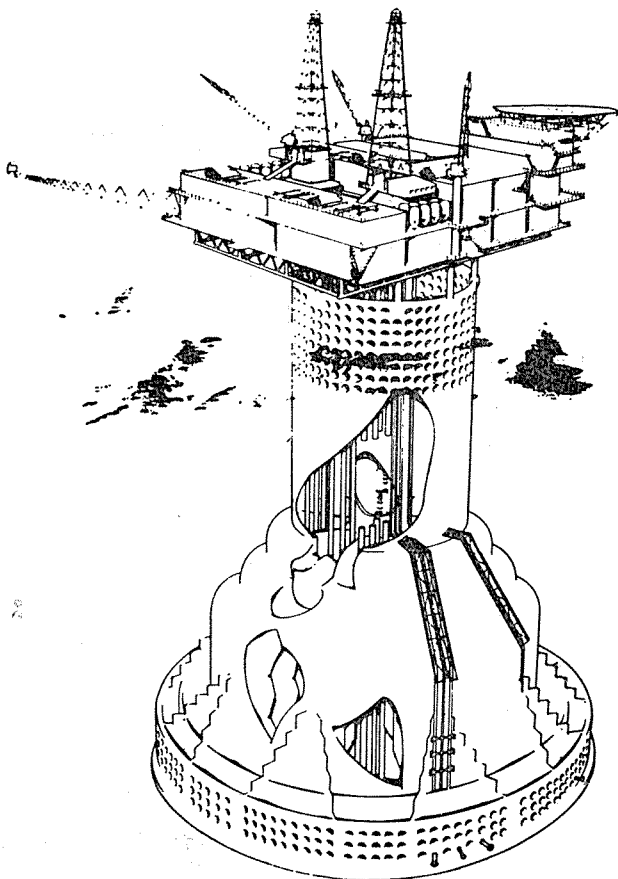


図-1 ニニアプラットフォーム

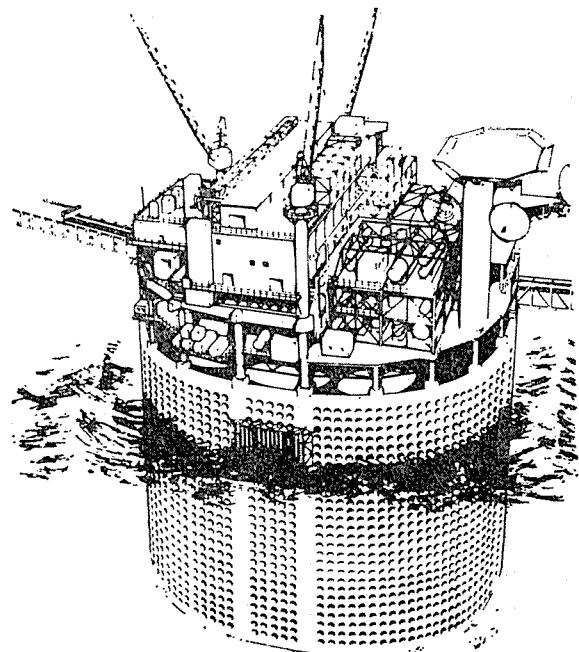


図-2 エコフィスクタンク

PC 構 造 物

TCP 2	BRENT D	BERYL A	DUNLIN A	TP-1	BRENT C	CORMORANT A
NORWEGIAN CONTRACTORS Type II NORWEGIAN CONTRACTORS ANDALSNES (N) 3	NORWEGIAN CONTRACTORS Type II NORWEGIAN CONTRACTORS STAVANGER (N) 3	NORWEGIAN CONTRACTORS Type II NORWEGIAN CONTRACTORS STAVANGER (N) 3	ANDOC Type II STC/MC ALPINE ROTTERDAM (ND) 4	SEA TANK CO Type II STC/MC ALPINE ARDYNE (UK) 2	SEA TANK CO Type II STC/MC ALPINE ARDYNE (UK) 4	SEA TANK CO Type II STC/MC ALPINE ARDYNE (UK) 4
100×89×45.5	100×89×56.2	100×89×43	100×100×32	72×72×44	91×91×60	100×100×56
20×10.4	20/12	20/12.2	22/7	13.8/8	15/9	16/9
129.7	165.9	149	174	125	170	172
62 000	65 000	62 000	94 000	50 000	107 000	130 000
Freyssinet	VSL	Freyssinet	Freyssinet	CCL	CCL	CCL
600 (10)	1 500 (23)	820 (13)	2 400 (26)	500 (10)	1 400 (13)	1 100 (9)
14 000 (226)	14 000 (215)	8 500 (137)	12 400 (194)	6 000 (120)	13 000 (122)	19 000 (140)

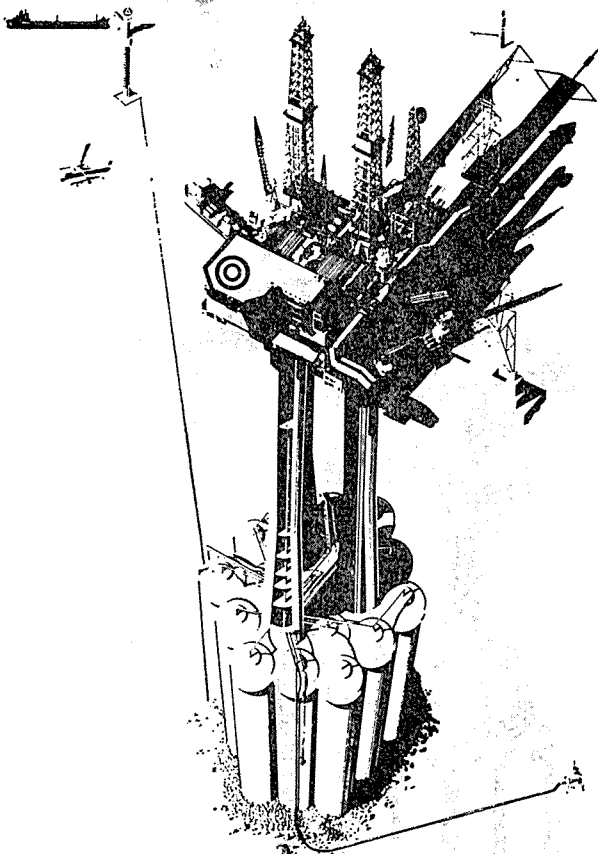


図-3 Beryl A

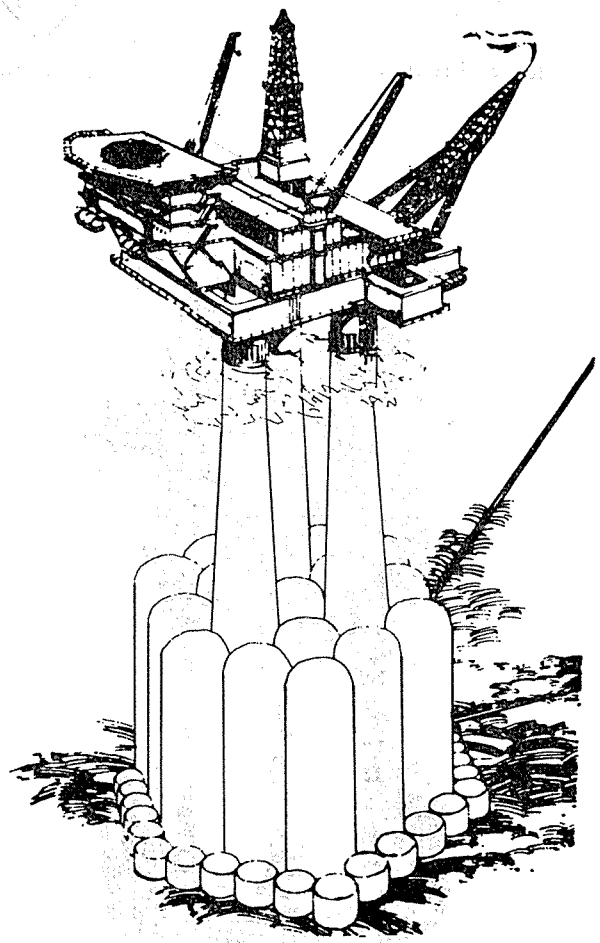


図-4 Statfjord

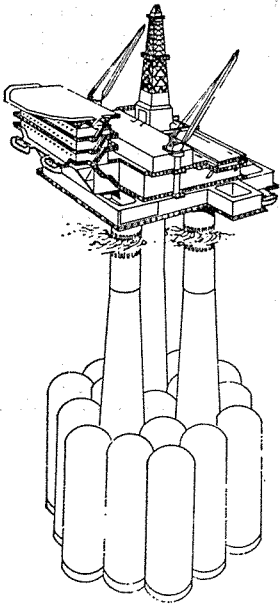


図-5 Brent B

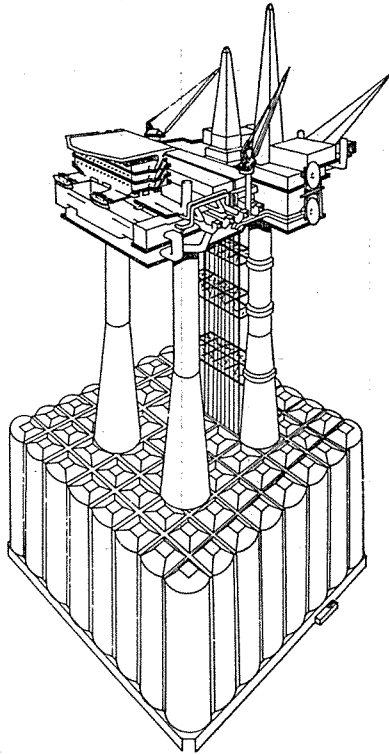


図-6 Brent C

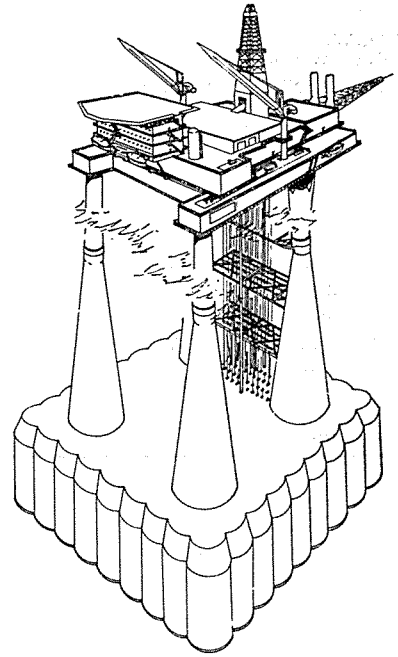


図-7 Dunlin A

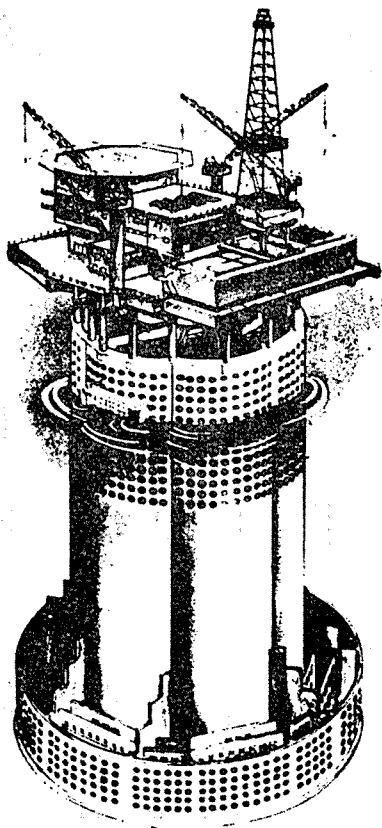


図-8 CDP-1

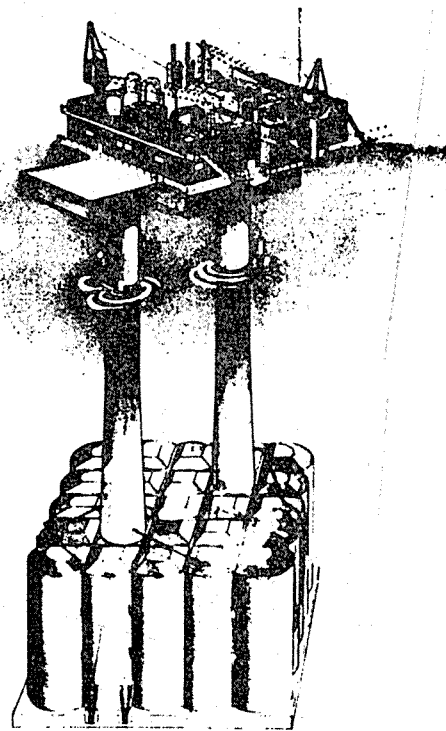
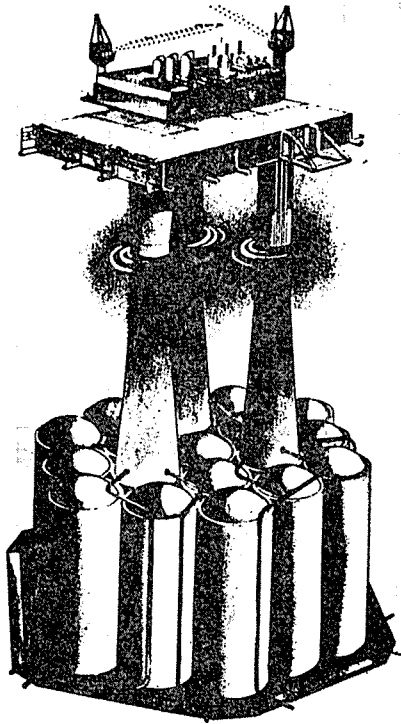
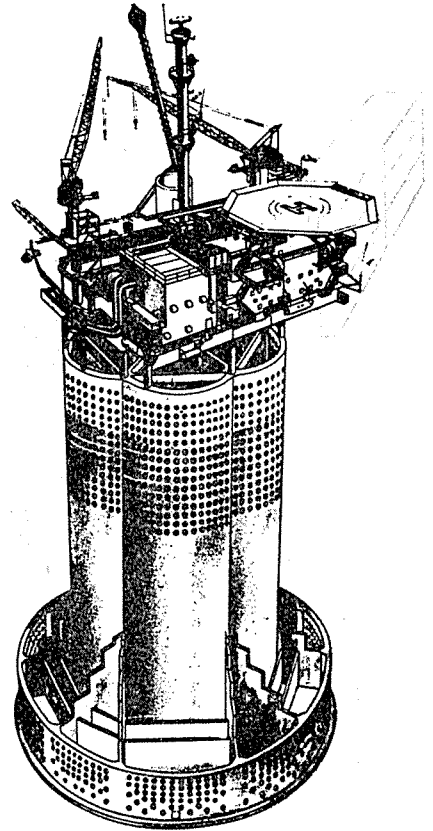


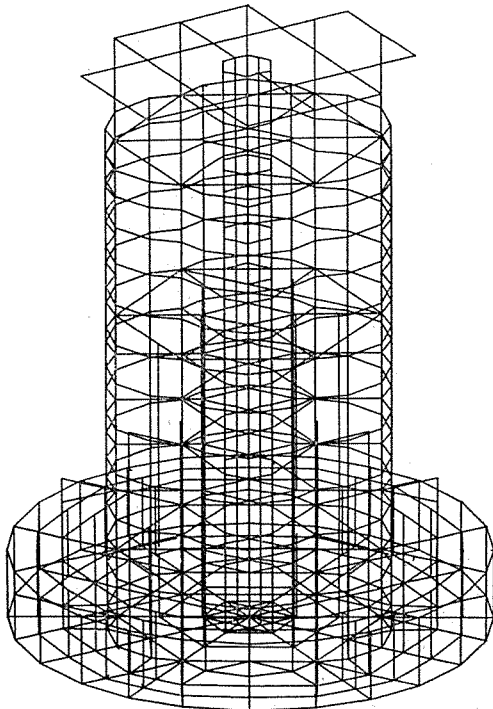
図-9 TP-1



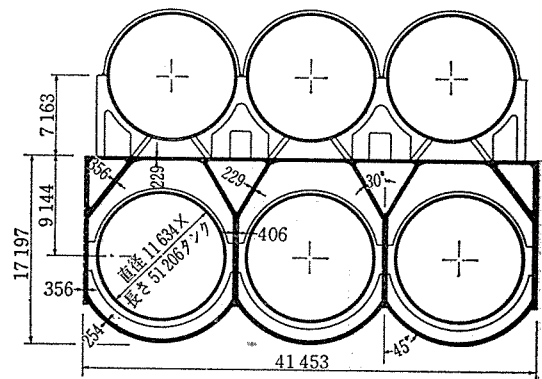
図—10 TCP 2



図—11 MCP-01



図—12 要素分割図



図—13 コンクリート船体断面図

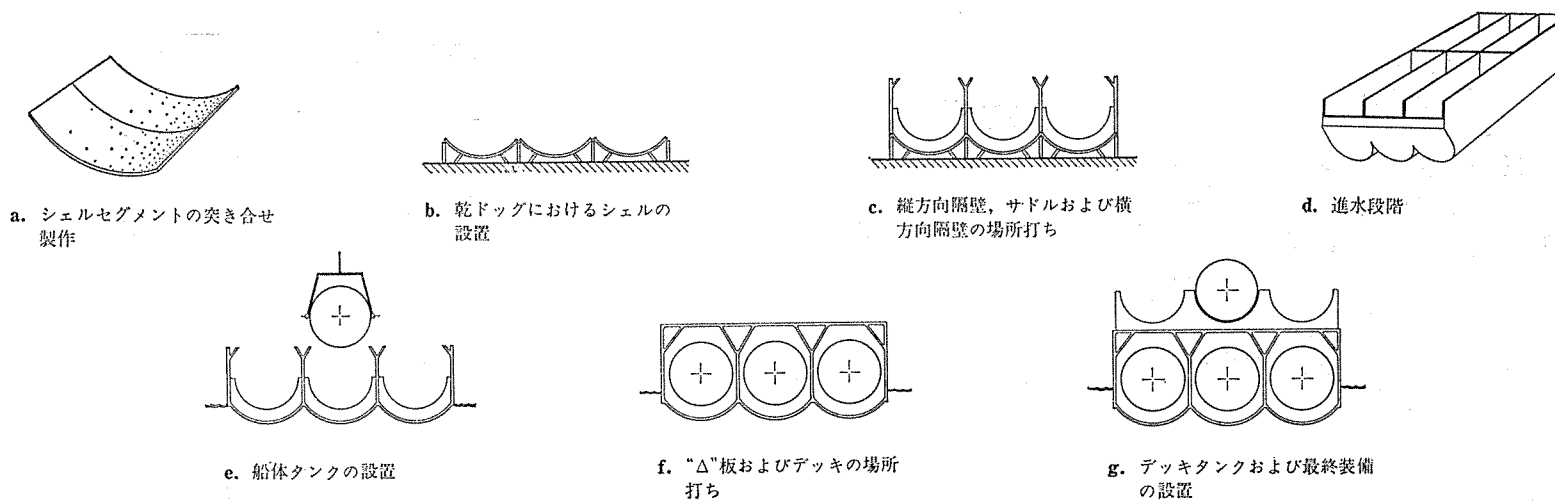


図-14 建 造 手 順

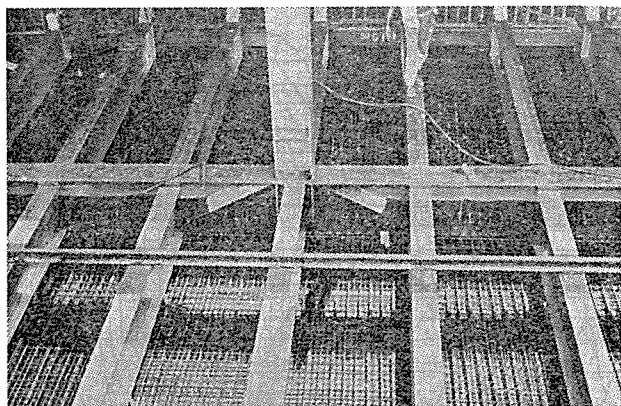


写真-1 鋼製フレームおよび底版配筋状態

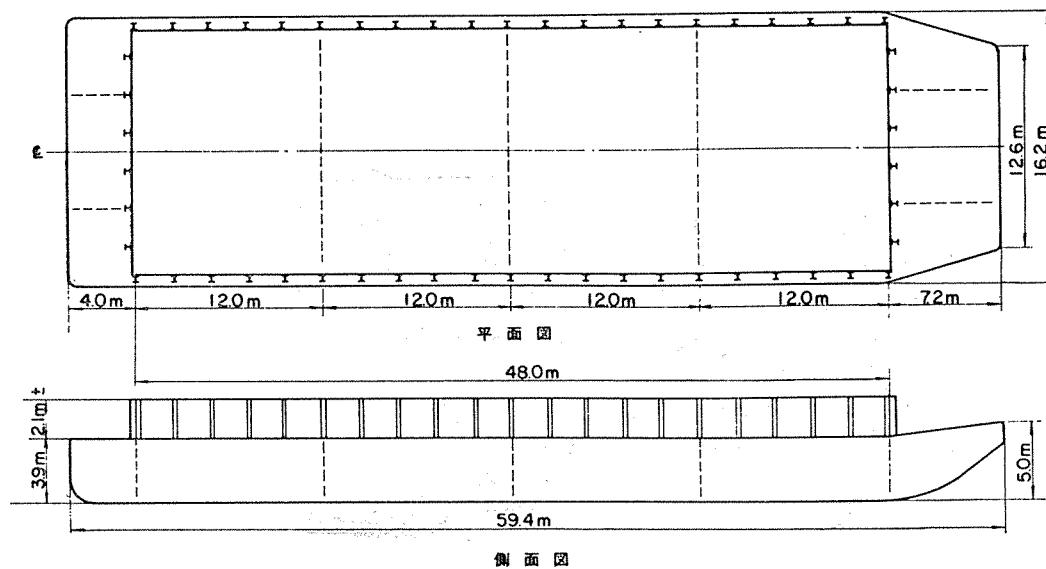


図-15 2000 トン PC バージの一般図

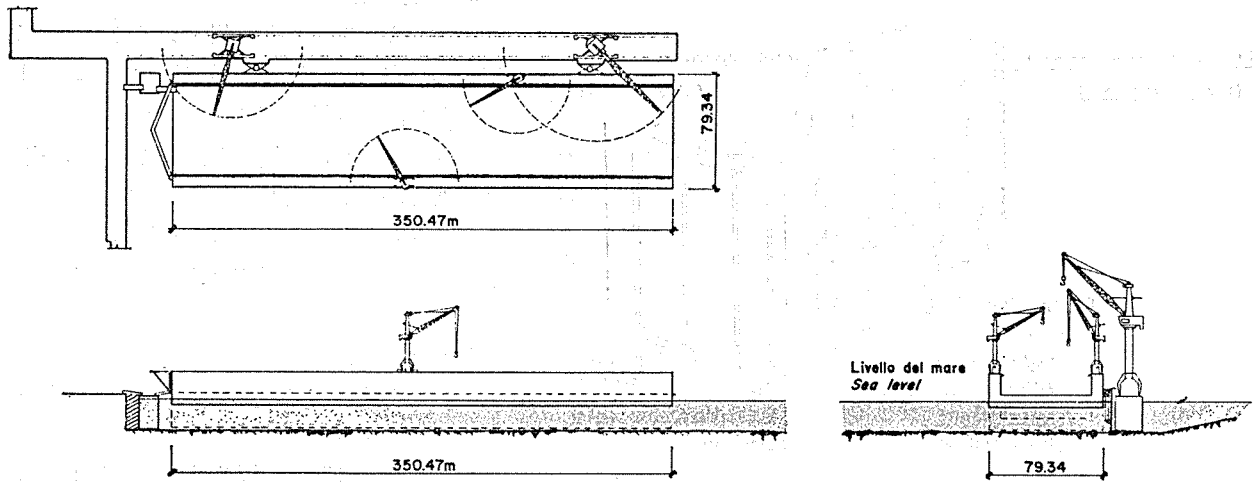


図-16 フローティングドック

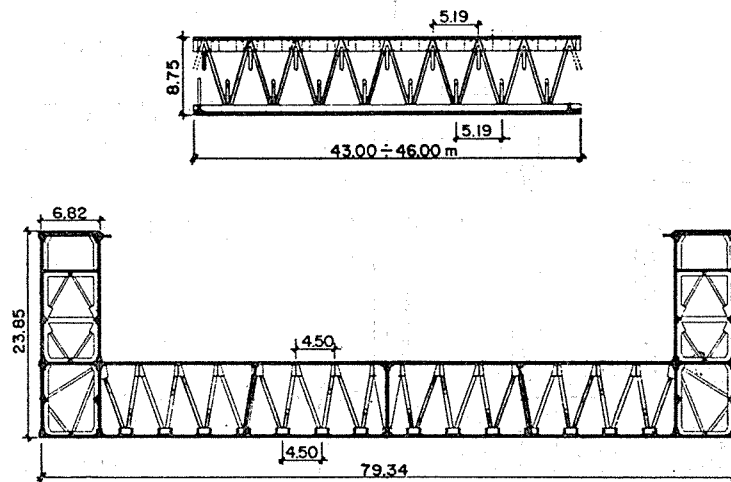


図-17 構造断面図

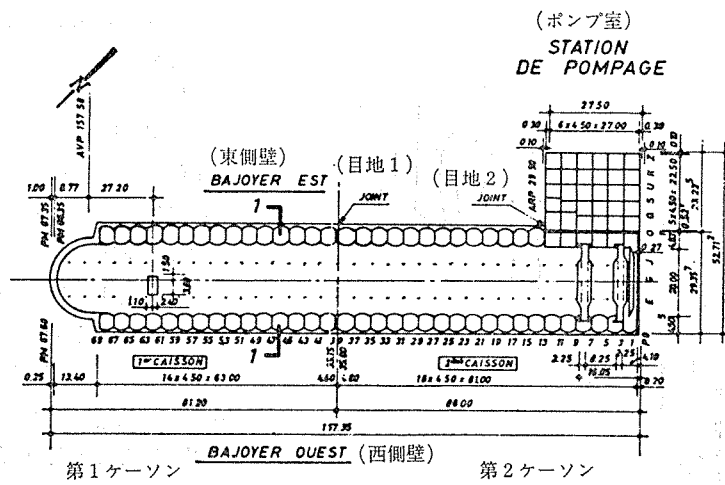


図-18 平面図

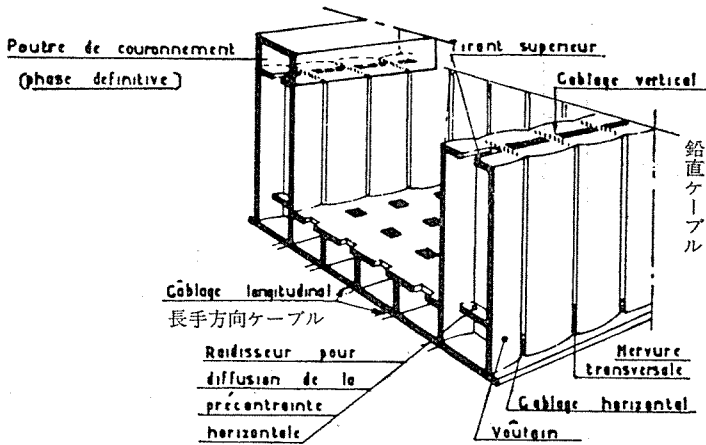


図-19 見 取 図

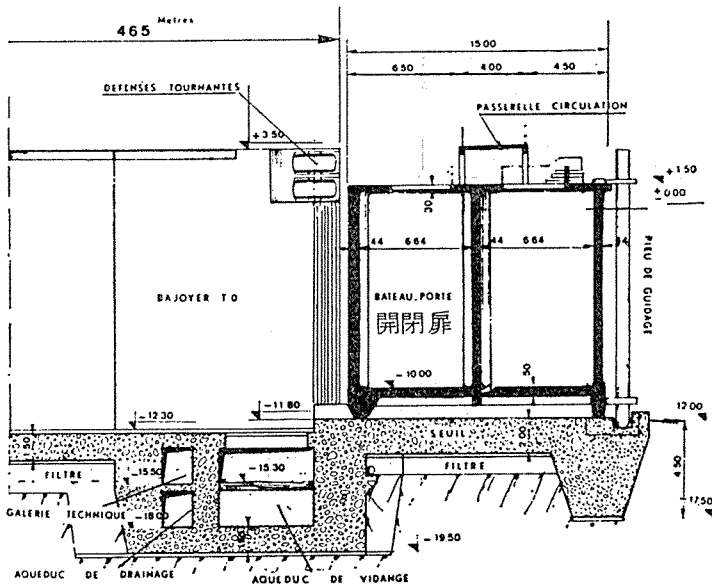


図-20 断 面 図

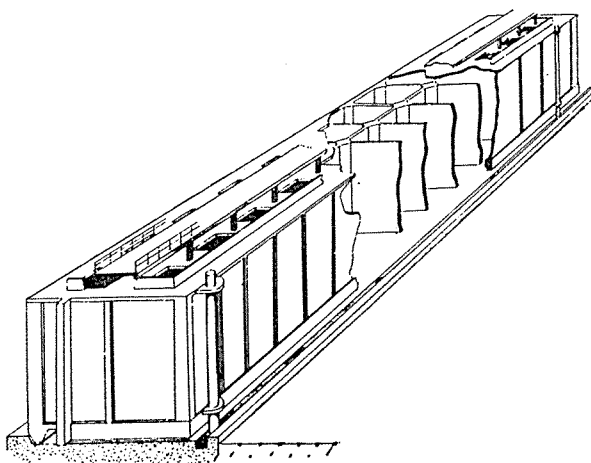


図-21 見 取 図

3.8 浮き橋

アメリカ・ワシントン州・シアトルでは、1940年以来三つの浮き橋が架設された。第1ワシントン湖浮き橋、第2ワシントン湖浮き橋、フッドキャナル浮き橋とよばれている。表-5に構造寸法、形式などを示した。昨年、暴風により、フッドキャナル浮き橋が損傷を受けたと、報道されたが、詳細な報告がまたれるところである。

3.9 浮きさん橋⁷⁾

この構造物は、イギリス・サセックス州・ブライトンのマリナーで使われている浮きさん橋である。長さ160m、幅9.6m、高さ1.8mという細長いポンツーンである。図-22にその断面図を示す。

4. 各国の海洋構造物に関する基準について

4.1 はじめに

この章では、各国および国際的に使用されている海洋構造物の設計・施工に関する規準の設計、材料、耐海水性についての考え方を調査したものについて述べる。調査した基準は、次のとおりである。

- 1) 海洋コンクリート構造物設計施工指針(案)⁸⁾, 土木学会, 1977年3月
- 2) 海洋コンクリート構造物設計施工指針⁹⁾, FIP, 3版, 1977年7月 (Recommendations for the design and construction of concrete sea structures)
- 3) プレストレストコンクリートバージ規準¹⁰⁾, 日本海事協会, 1975年
- 4) 浮遊コンクリート構造物設計施工船級指針¹¹⁾, DNV, 1979年3月 (Guidelines for the design, construction and classification of floating concrete structures)
- 5) 鉄筋コンクリート外航船および浮きドックに関する建造規則¹²⁾, ソビエト連邦船級登録局, 1968年 (Rules for the construction of sea-going reinforced concrete ships and floating docks)
- 6) 固定式海洋コンクリート構造物設計施工指針¹³⁾, ACI, 1978年12月 (Guide for the Design and Construction of Fixed Offshore Concrete Structures)

なお、4) 番の DNV は、ノルウェーの船級

表-5

	第一ワシントン湖浮き橋	第二ワシントン湖浮き橋	ブードキャナル浮き橋
開 通 年 次	1 9 4 0	1 9 6 3	1 9 6 1
長 さ (m)	2001	2275	1974
幅 度 (m)	18 (4車線)	18 (4車線)	9 (2車線)
高 さ (m)	4.5	4.5	4.5 (ボンツーン部分)
水 質	淡 水	淡 水	海 水
水 深 (m)	30~75	25~61	21~104
水 位 (潮差) (m)	0.9	0.9	4.5
構成ボンツーン数	25	33	23
ボンツーン寸法(最長) (m)	長さ 幅 高さ 114 × 18 × 4.5	110×18×4.5	110×9×1.5
壁 厚 (cm)	18~25	18~28	18~25
構 造	鉄筋コンクリート	プレストレストコンクリート	プレストレストコンクリート
接 合	ボルト (80)×54	ボルト, ワイヤー (プレストレスト)	ボルト, ワイヤー (プレストレスト)
アンカーケーブル径 (mm)	69	56	44
長さ (m)	70~180	63~150	186~372
数	64	62	—
アンカーブロック	個 幅 高 厚 m m m Jet×41, 8×4×0.3 Gravity×4, 壁厚 0.3m Pile×19, 長さ 6m と 8m	水 中 重 量 520 トン Jet ×43個 Gravity × 2 Pile × 4 Jet with Rock ×13	水 中 重 量 481 トン
形式			
開 橋 部 長 さ (m)	61	61	183
構 造 形 式	ボンツーンニ又内挿入式	リフトスパン内ボンツーン挿入式	ボンツーンニ又内挿入式
所 要 時 間 (分)	1.5	3	3
動力 (HP) × モーターの数	75×2	50×4	40×4
陸地との接続方式	片側上下可動鋼トラス橋	片側上下可動鋼トラス橋	片側上下可動鋼トラス橋

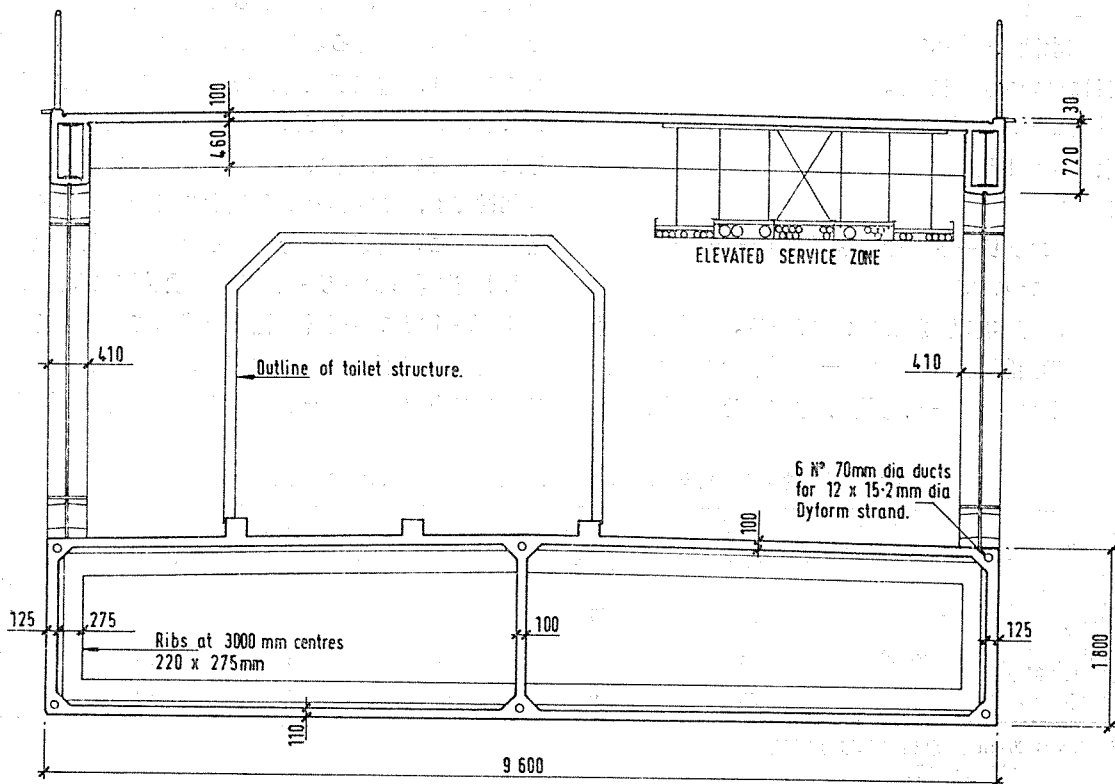


図-22 断 面 図

論 説

協会 Det Norske Veritas のことである。また、この指針の姉妹編として、海底に固定された構造物を対象とした Rules for the Design and Construction of Offshore Structures があり、1977年5月に制定されている。内容は、おおむね浮遊構造物の指針と同じである。

調査項目は、次のとおりである。

(1) 設計について

まず設計手法が許容応力度法か、限界状態設計法であるか調べ、その後次のような細目を調査した。

- 1) 許容応力度法
 - a. 許容応力度
 - b. 特記事項
- 2) 限界状態設計法
 - a. ひびわれの制限
 - b. 許容応力度（使用限界状態）
 - c. 安全係数（破壊限界状態）
 - d. 特記事項

(2) 材料について

次の項目について調査した。

- a. セメント
- b. 骨材
- c. 水
- d. 混和材料
- e. 鉄筋
- f. PC 鋼材
- g. 特記事項

(3) 耐海水性について

次の項目について調査した。

- a. 単位セメント量
- b. 水セメント比
- c. かぶり

4.2 海洋コンクリート構造物設計施工指針（案）

4.2.1 設計について

設計手法は、許容応力度法によっている。許容応力度の値は、土木学会制定のコンクリート標準示方書およびプレストレストコンクリート標準示方書のそれと同じで

ある。

4.2.2 材料について

セメントに関する記述では、各種ポルトランドセメントおよび高炉セメント、シリカセメント等は、JIS 規格に適合したものであることとしている。解説の中で、耐海水性のあるセメントとして中庸熱ポルトランドセメント、スラグ含有量の多い高炉セメント、ポゾラン質原料成分の配合量の多いシリカセメントおよびフライアッシュセメントであるとしている。

練り混ぜ水の項目では、鉄筋コンクリートおよびプレストレストコンクリートに海水の使用を禁止している。

海砂の使用に関しては、骨材の解説で、鉄筋コンクリートについては海砂の絶乾重量に対し NaCl に換算して 0.1% 以下にするとしている。

4.2.3 耐海水性について

単位セメント量に関しては、潮の干満作用を受ける部材および海水で常時洗われる部材は、コンクリートの劣化が最もはげしい所であるので、330 kg/m³ 以上とするのが望ましいとしている。

水セメント比に関しては、表-6 に示すとおりで 60% ~45% となっている。これは他の基準に比較するとゆるやかな値と思われる。

最小かぶりに関しては、表-7 に示すとおりである。ただし、コンクリート製品およびプレストレストコンクリートを使う場合は、責任技術者の判断によりこれを定めるとしてあり、場合によってはかなりこの値を小さくできると解釈できる。しかし、これは、解説にも述べてあるとおり、施工が入念にできること、およびプレストレストコンクリートでは、ひびわれが入りにくいことなどによっているからであり、プレストレストコンクリート部材でも、ひびわれが発生する可能性があることを考えると、この要素は十分考慮しなければならない。

4.3 海洋コンクリート構造物設計施工指針（FIP）

R・1・1でこの指針の範囲を述べている。それによると、海洋環境下における鉄筋コンクリート製およびプレストレストコンクリート製の構造物とその一部を含む構

表-6 耐久性から定まる AE コンクリートの最大の水セメント比 (%)

構造物の露出状態	気象条件	凍結融解がしばしば繰返される地域			氷点下の気温となることがまれな地域		
	部材断面	薄い場合*	普通の場合**	厚い場合***	薄い場合*	普通の場合**	厚い場合***
(1) 潮風を受ける部分、波しぶきを受ける部分		50	55	55	50	60	65
(2) 潮の干満作用を受ける部分、海水で洗われる部分		45	50	55	45	50	55
(3) 常時海中にある部分		55	60	65	55	60	65

* 断面の厚さが 20 cm 程度以下の構造物の部分

** * および *** に属さない部分

*** マッシブな構造物の表面部分

AE 剤コンクリートとした無筋コンクリートにおける耐久性から定まる水セメント比は、表-6 の値を 5% 程度上回る値としてよい。

表一7 鉄筋の最小のかぶり (cm)

(a) 海水に直接接する部分, 海水で洗われる部分 および激しい潮風を受ける部分	7
(b) 上記以外の部分	5
(c) 水中で施工するコンクリート	10

造物に適用されるとしている。ただし注釈では、さん橋、防波堤のような港湾構造物およびコンクリート製の船は含まないとしている。この指針が作成されたのが北海での厳しい環境下におかれた主に石油掘削および貯蔵装置を対象としているからであろう。

4.3.1 設計について

設計手法は、限界状態設計法を採用している。

ひびわれ幅の制限については、次のようになっている。

- 1) 通常的环境荷重が載荷された場合、表面ひびわれ幅を 0.2 mm まで許容する。ただし、PC 鋼材の増加応力は、ひびわれ断面の鉄筋の応力の 50% を超えてはならないとしている。
- 2) 異常な環境荷重が載荷された場合、表面ひびわれ幅を 0.3 mm まで許容する。ただし、鉄筋の引張応力は、降伏点応力の 80% を超えてはならないとしている。ここで、環境荷重とは、波、潮力、風、氷、地震等である。

破壊限界状態の安全係数は、表一8 のとおりである。

表一8 安全係数

		Load Factor (ν_f)				Material Factor (ν_m)	
		P	L (I)	D	E	コンクリート	鋼材
ULS	通常	1.2	1.6	1.1	1.4	1.5	1.15
	異常	1.1	1.3	1.1	1.3	(1.3)*	(1.0)*

* Locale damage に対する ν_m

ULS: 破壊限界状態

P: 死荷重, L: 活荷重, D: 変形荷重, E: 環境荷重

4.3.2 材料について

セメントに関する規定は、種類については、普通、早強および耐硫酸塩ポルトランドセメント等としてあり、C₃A の量を 12% までとしている。ちなみに、第2版では、C₃A の量は 8% 以下が、耐久性のあるコンクリートを造り出すとしている。また、アルミナセメントの使用を禁止している。

練り混ぜ水については、海水の使用を禁止している。

混和剤は、0.10% 以上の塩化イオンを含むものの使用を禁止している。

4.3.3 耐海水性について

耐海水性に関しては、三つの範囲に分けて考えている。それは、次のとおりである。

1) 海中部

2) 感潮部

3) 空中部

そして、それぞれ次のような注意すべき項目をあげている。

1) については、

- a. コンクリートの劣化作用
- b. 鋼材の腐食作用
- c. 海食作用

2) については、

- a. 凍結融解作用
- b. コンクリートの劣化作用
- c. 鋼材の腐食作用

3) については、

- a. 凍結融解
- b. 鋼材の腐食作用
- c. 火災

最小セメント量については、感潮部 2) は 400 kg/m³、その他は、粗骨材の最大寸法が 40 mm の場合は 320 kg/m³、20 mm の場合は 360 kg/m³ としている。また、500 kg/m³ を超えるセメント量の使用は、薄い断面では乾燥収縮により、厚い断面では温度応力によりひびわれが発生する危険があるので、十分な配慮をしなければならないとしている。

最小かぶりについては、50 cm 以上の厚さを持つ部材については、

海中部については、鉄筋は 60 mm

PC 鋼材は 75 mm

感潮部については、鉄筋は 75 mm

PC 鋼材は 100 mm

となっている。また、50 cm 以下の厚さの部材で、上記の条件以外のものは、骨材の最大寸法の 1.5 倍または、鉄筋径の 1.5 倍の大きい方の値としている。

4.4 プレストレストコンクリートバージ規準

この規準は、日本海事協会が北海での各種のコンクリート製海洋構造物およびジャワ沖で活躍している LPG タンク用浮遊構造物等の成果をふまえ、今後我が国でもプレストレストコンクリートバージなどのコンクリート製海洋構造物の製作の機運が高まると考えて作成したものである。

4.4.1 設計について

設計手法は、許容応力度によっている。

特記事項として、波浪縦曲げモーメントの算定式がある。バージの長さ (L)、幅 (B) が決まると自動的にモーメントの計算ができる。次式による。

$$0.13 K_m L^2 B C_b (1 + 0.04 L/B)$$

ここで、

$$K_m = \sqrt{1 - \left(\frac{300-L}{300}\right)^2} \dots\dots\dots L < 300 \text{ m}$$

$$= 1.0 \dots\dots\dots L > 300 \text{ m}$$

C_b : 方形係数(満載喫水線に対する排水容積を LBd で除した値)

4.4.2 材料について

セメントに関する規定は、海洋コンクリート構造物設計施工指針(案)とほぼ同じである。

混和剤に関しては、塩化カルシウムそのもの、または塩化カルシウムを多量に含む混和剤を PC 鋼材に接するコンクリートには用いてはならないとしている。

練り混ぜ水は、海水の使用を禁止している。

4.4.3 耐海水性について

単位セメント量は、400~450 kg/m³ が望ましいと述べている。

最小かぶり厚は、表-9 に示すとおりである。値は、大きなものとなっているが、この理由を、「他船、流木等の浮遊物との接触あるいは、座礁に対して緊張材及び主鉄筋が容易に破壊することなく、これを保護する目的のためである」と述べている。

表-9 鋼材のかぶり

(単位: mm)

	PC 緊張材のかぶり	主鉄筋のかぶり
船側および船底外周部	100	70
それ以外の部分	45	40

4.5 浮遊コンクリート構造物設計施工船級指針

この指針の適用範囲は、洋上を移動することが可能なコンクリート構造物としている。しかし前にも述べたように、内容がほぼ同じ固定式コンクリート構造物に関する規定があるので、海洋構造物すべてと考えても良いであろう。

4.5.1 設計について

設計手法は、限界状態設計法を採用している。

ひびわれの制限については、ひびわれ幅を制限するのではなく最小鉄筋量を規定している。次式による。

$$A_s \geq \frac{f_{tm} + W}{f_{sp}} \cdot b \cdot d_e$$

ここで、

f_{tm} : コンクリート平均引張強度

W : ひびわれ部の水圧

f_{sp} : 鉄筋の比例限界(降伏点強度より小さい値である)

b : 部材幅

d_e : 有効引張域(=1.5C+10φ)

C: コンクリートのかぶり

φ: 鉄筋直径

ただし、 $0.2h < d_e < 0.5(h-x)$

(x は全断面有効として計算した値)

使用限界状態の許容応力度は、表-10 による。ここで A1 は、底版、側壁、水密隔壁で、ドライ状態で修理検査が行えるもの、A2 は、A1 のうちドライな状態で修理検査が行えないもの、B は、上床版、水密を必要としない隔壁である。

破壊限界状態の安全係数は、表-11 による。

表-10 許容応力度

Design phase	Loading Condition	許容応力度 (kg/cm ²)			備 考
		$\sigma_s^{4)}$	$\Delta\sigma_s$	$\sigma_{cm}^{5)}$	
C	a ¹⁾	2200 ³⁾	1200 ³⁾	—	A1, A2, B
O	a ¹⁾	1800	1000	0	A1
		1600	800	0	A2
		2000	1200	20	B
	b ²⁾	$0.8f_{sy}$	—	—	A1, A2, B

- 1) Loading Condition a) $P+L+D+O.S.E$
- 2) " b) $P+L+D+E$
- 3) $P+L+D+E$ のうち短期荷重に対して、許容応力度を 30% 増加してよい。
- 4) 一方向のみにプレストレスを与える部材では、直角方向および PC 鋼材に隣接する鉄筋の応力度は $\Delta\sigma_s$ 以下とする。
- 5) $\sigma_{cm} = N/A_c$: membrane force のみによるコンクリート許容引張応力度

表-11 安全係数

Loading Condition	Load Factor (ν_f)					Material Factor (ν_m)		
	P	L	D	E	A	コンクリート	鋼材	
ULS	通常	1.3	1.3	1.0	0.7	—	1.5	1.15
	異常	1.0	1.0	1.0	1.3	—		
SLS, FLS, PLS		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

- ULS: 破壊限界状態
- SLS: 使用限界状態
- FLS: 疲労限界状態
- PLS: 暫増破壊限界状態

4.5.2 材料について

セメントに関しては、ASTM I, II, III, IV, IS, IP としている。

混和剤は、塩化カルシウムの使用を禁止している。

4.5.3 耐海水性について

水セメント比は、0.45 以下で 0.40 が望ましいとしている。

最小セメント量は、300 kg/m³ 以上としているが、感潮部では、400 kg/m³ 以上としている。

かぶりは、次のようになっている。

A1 では、鉄筋 25 mm

シーす 50 mm

A2 では、鉄筋 40 mm

シーす 80 mm

Bでは、鉄筋 25 mm

シース 50 mm

特記事項として、コンクリートの水密性の試験を行って、その値が、 10^{-12} m/s 以下であることという規定がある。

4.6 鉄筋コンクリート外航船および浮きドックに関する建造規則

ソ連の浮遊コンクリート構造物に関する規則である。

4.6.1 設計について

設計は、限界状態設計法によっている。

ひびわれの制限は、表-12 に示すとおりである。

表-12 許容ひびわれ幅

(単位: mm)

船殻の構造部材	荷 重 の 性 質		
	曲げ、偏心軸圧縮力をうけた、そしてまた、偏心軸引張力をうけた部材で断面に圧縮域がある場合		軸方向および偏心軸引張力をうけた部材で断面には圧縮域がない場合
	湿った表面側からのひびわれ	湿っていない表面側からのひびわれ	
水面下にある底面と側面のシェルスラブ	0.10	0.15	0.08
水面上におけるシェルの側スラブ 開口部分における甲板スラブ、バラスト隔壁の枠のスラブと梁	0.03	0.15	0.07
閉じ部分の甲板スラブ、隔壁のスラブとドライ隔壁における枠の梁	0.20	0.20	0.15

4.6.2 材料について

セメントでは、耐硫酸塩ポルトランドセメントの使用を決めている。

4.6.3 耐海水性について

水セメント比は 0.42 以下、セメント量は、普通コンクリートでは $400 \text{ kg/m}^3 \sim 500 \text{ kg/m}^3$ 、軽量コンクリートでは $450 \text{ kg/m}^3 \sim 575 \text{ kg/m}^3$ としている。

かぶり厚は、船殻の外表面は 15 mm、ドックの作業フロアでは 20 mm 以上、船殻内部では 10 mm 以上となっている。

その他では、水密性に関して、厚さ 5 cm の試験用供試体に 2.5 kgf/cm^2 の圧力をかけた場合、48 時間のうちに水が浸出しないものであることとしている。

4.7 固定式海洋コンクリート構造物設計施工指針

この指針は、固定式の海洋構造物について規定したものである。ただし、曳航時は、浮遊状態を考慮しなければならない。

4.7.1 設計について

設計手法は、限界状態設計法を採用している。

ひびわれ幅の制限については、4.5 の浮遊構造物の指針とほぼ同じである。次に示す式である。

$$A_s = \frac{f_t}{f_y} \cdot b \cdot d_e$$

ここで、

f_t : コンクリートの平均引張強度

f_y : 鉄筋の降伏点強度

b : 断面の幅

d_e : 有効引張域 ($= 1.5 C + 10 \phi$)

使用限界状態の許容応力度は、表-13 に示すとおりである。

破壊限界状態の安全係数は、表-14 に示すとおりである。

表-13 鋼材の許容引張応力度

状 態	荷 重	許容応力度 kg/cm^2	
		$d\sigma_p$	σ_s
(a) 施工中 ① ひびわれが完成系に有害 ② ひびわれが完成系に無害 ③ 輸送、設置時	施工中の全荷重	1300	1600
	"	1300	2100 または $0.6\sigma_{sy}$
	"	1300	1600
(b) 使用時 ① ②	$D+L+E_0$	750	1200
	$D+L+E_{max}$		$0.8\sigma_{sy}$

D : 死荷重 L : 活荷重

E_0 : 1 か月 1 度程度起こる波浪荷重

E_{max} : 最大環境荷重

表-14 安全係数

	Load Factor (ν_f)				Material Factor (ν_m)	
	D	L_{max}	T	E	コンクリート	鋼材
通常	1.2	1.6	1.2	$1.0 E_0$	1.5	1.15
異常	1.2	1.2	1.2	$1.3 E_{max}$		

T : 変形荷重

4.7.2 材料について

セメントは、ASTM C 150 に規定された、I、II、III、型ポルトランドセメント、および ASTM C 595 に規定された、混合セメントとしている。 C_3A の量は 4% 以上なければならないとしている。実験によると、10% の C_3A の量が耐久性を確保していると述べている。

練り混ぜ水は、塩分がセメント量の 0.07% 以下、および SO_4 の量が 0.09% 以下のものでなければならないとしている。

コンクリート中の塩分は、鉄筋コンクリートでセメント量の 0.10%、プレストレストコンクリートで 0.06% 以下としている。

4.7.3 耐海水性について

耐海水性については、FIP の指針と同様、次の三つの区域に分類して記述している。

- 1) 海中部 (Submerged Zone)

表-15 水セメント比

Zone			最大水セメント比
海	中	部	0.45
感	潮	部	0.40
空	中	部	0.40

表-16 か ぶ り

1. コンクリート壁厚 ≥50 cm

Zone	PC 鋼 材	鉄 筋	
		主 鉄 筋	スターラップ
海 中 部	75mm	50mm	37mm
感 潮 部	90	65	52
空 中 部	75	50	37

2. コンクリート壁厚 <50 cm

- (a) 最大骨材直径の 1.5 倍, または
 - (b) 最大鉄筋直径の 1.5 倍, または
 - (c) スターラップを含めて 20 mm
- のうちいずれか大きい値
(注) PC 鋼材ダクトは 13mm 加算する。

2) 感潮部 (Splash zone)

3) 空中部 (Atmospheric zone)

単位セメント量は, 最小量が 356 kg/m³, 最大量が 415 kg/m³ となっている。

水セメント比は, 表-15 に示す値である。

かぶりは, 表-16 に示す値である。

5. おわりに

FIP の海洋コンクリート構造物委員会は, 12か国の委員で組織され, その下部組織として, 10のワーキンググループがある。そして, クラック問題はフランスが責任担当, 材料関係はノールウェー, 補修問題はアイルランド, 地震はアメリカ, 温度はイギリスなど国単位で責任分担をとり, これらが一堂に会って討議を行い, PC 海

洋構造物に関する技術基準を作っている。

日本の海象, 立地条件に適した, 具体的設計・施工指針を, 学官民一体となって, 1日も早く作ることが今一番必要なことと思う。

上記した小文が, 今後の我が国 PC 海洋構造物の技術開発に少しでも役だてば幸いである。

参 考 文 献

- 1) FIP Commission on Concrete Sea Structures, Chairman's Report; FIP 8th International Congress, 1978年5月
- 2) A.R. Anderson: World's Largest Prestressed LPG Floating Vessel, PCI Journal, Jan.-Feb., 1977
- 3) A.A. Yee: Design and Construction of Oceangoing Pretensioned Concrete Barges, ACI Journal, April, 1975, p.p. 125~p.p. 134
- 4) L'Industria Italiana del Cemento, Bacino Galleggiante di Carenaggio nel Porto di Genova, 4/1978
- 5) J. Renault: La forme de Radoub n° 10 à Brest, FIP 8th International Congress, May, 1978
- 6) Port autonome de Marseille bateau-porte de la forme de Repoub n° 10
- 7) R. Hyde: Floating Concourses-Brighton Marina Sussex, FIP 8th International Congress, May, 1978
- 8) 土木学会, 海洋コンクリート構造物設計施工指針(案), 1977年3月
- 9) FIP, Recommendation for the design and construction of concrete sea structures, 3th edition, 1977年7月
- 10) 日本海事協会, プレストレストコンクリートバージ規準, 1975年
- 11) DNV, Guidelines for the design, construction and classification of floating concrete structures, 1979年3月
- 12) ソビエト連邦船級登録局, Rules for the construction of sea-going reinforced concrete ships and floating docks, 1968年
- 13) ACI, Guide for the Design and Construction of Fixed Offshore Concrete Structures, 1978年12月

転勤 (または転居) ご通知のお願い

勤務場所 (会誌発送, その他通信宛先) の変更のご通知をお願いいたします。

会誌発送その他の場合, 連絡先が変更になっていて, お知らせがないため郵便物の差しもどしをうけることがたびたびあります。不着の場合お互いに迷惑になるばかりでなく, 当協会としましても二重の手数と郵送料とを要することになりますので, 変更の場合はハガキで結構ですから, ただちにご一報下さるようお願いいたします。

ご転勤前後勤務先に送ったものがそのまま転送されなくてご入手にできない場合は, 当方として責任を負いかねますからご了承下さい。