

浮上式プレストレストコンクリート製海上空港に対する構想

—海洋構造物委員会報告—

海洋構造物委員会

海洋構造物委員会構成

委員長	君島 博次 (東海大学)	委員	柳下 肇 (ピー・エス・コンクリート (株))
委員	島村 久 (三井建設 (株))	〃	古賀 尚宏 (ピー・エス・コンクリート (株))
〃	平部 俊光 (大成建設 (株))	〃	坂村 杲 (住友電気工業 (株))
〃	山本 隆治 (住友建設 (株))	〃	田中 義人 (神鋼鋼線工業 (株))
〃	富田 价彦 (鹿島建設 (株))	顧問	海上秀太郎 (当協会副会長)
〃	松本 公典 (日本構造橋梁研究所 (株))	〃	畑 敏男 (海洋工学研究所長)
〃	小池 欣司 (オリエンタルコンクリート (株))	オブザーバー	
〃	宮地 清 (北海道ピー・エス・コンクリート (株))		佐竹 清 (セメント協会)
〃	大神 芳馬 (富士ピー・エス・コンクリート (株))	事務局	後藤 武雄 (当協会事務局長)

目 次

1. プレストレストコンクリートによる浮上式海上空港構想の提案の経緯
 - 1.1 提案の背景
 - 1.2 海洋構造物委員会の設立
 - 1.3 近年の空港建設の世界的傾向
 - 1.3.1 新增設傾向
 - 1.3.2 海上移行傾向
 - 1.3.3 浮上化傾向
 - 1.3.4 コンクリート製の傾向
 - 1.4 今回提案のプレストレストコンクリート製浮上空港
 - 1.5 本構想のプレストレストコンクリートによる浮上式空港の特長
2. 世界の航空輸送量増大趨勢
3. 近年の世界空港の海上立地化傾向
 - 3.1 海上立地のメリット
 - 3.1.1 概 説
 - 3.1.2 海上立地の社会的メリット
 - 3.1.3 海上立地の技術的・工事費的メリット
 - 3.2 世界の海上空港例
 - 3.2.1 計 画 例
 - 3.2.2 既存海上空港実例
 - 3.2.3 英国の Harris & Sutherland Consulting Engineers で検討中の第3ロンドン空港用浮上 PC 滑走路案
4. 浮上式プレストレストコンクリート製空港の特長
 - 4.1 プレストレストコンクリートとは (省略)
 - 4.2 浮上式構造のメリット
 - 4.3 コンクリート製のメリット
 - 4.4 浮上式プレストレストコンクリート構造物実例 (省略)
5. 関西新空港の建設構想
 - 5.1 新空港建設の必要性
 - 5.2 各種提案経過と検討条件
 - 5.2.1 審議会答申書
 - 5.2.2 造船工業会提案
 - 5.2.3 現時点における運輸省の新空港原案
 - 5.2.4 建設に対する検討条件
6. プレストレストコンクリートによる浮上式海上空港建設の構想
 - 6.1 設計方針
 - 6.1.1 検討モデルの設定

- 6.1.2 設計条件
- 6.1.3 準拠基準
- 6.1.4 使用材料
- 6.2 浮上構造物
 - 6.2.1 コンクリート製浮上構造物の設計概要
 - 6.2.2 施工概要
- 6.3 連絡橋
- 6.4 係留
 - 6.4.1 設計方針
 - 6.4.2 係留チェーンの設計概要
 - 6.4.3 施工概要
 - 6.4.4 特色と研究課題
- 6.5 浮消波堤
 - 6.5.1 概要
 - 6.5.2 提案する設計案
 - 6.5.3 浮消波堤の特徴
 - 6.5.4 今後の研究課題
- 6.6 本案の特長考察
- 7. あとがき
- 付録 参考文献

1. プレストレストコンクリートによる浮上式海上空港構想の提案の経緯

1.1 提案の背景

近年の世界情勢を見渡すと、単に科学技術の進歩のみならず政治・経済・社会等のあらゆる面でその変動速度の速さには驚くべきものがある。

現在、世界は省エネルギー時代・国際化時代に突入しており、東洋に孤立したかつての日本では到底あり得なくなっている。したがって我々土木技術者は常に大所高所から世界を見渡し、世界の技術の進歩に遅れることなく歩調を合わせてゆかねばならない。

かような時代に関西新空港の建設構想が浮かび上がり、運輸省の航空審議会の答申書では、その造成には埋立・干拓・さん橋および浮体の4案が検討された後、我が国で経験も多く未知要素の少ないとされる埋立造成案が当時最適であるとの答申がなされている。

しかし世界の技術先進国である米英仏伊や北欧諸国を見渡すと、北海油田の開発用のプラント・貯蔵タンク、橋梁やドライドック等の海洋構造物に対しては、プレストレストコンクリートが続々と使用され、他の材料に勝る利点を発揮し、海洋構造物としては最適の材料として実用化の時代を迎えている。彼らはさらに歩を進めて浮上空港もこれで造るべく計算や実験を重ねているから、

遠からずこの方式による空港が実現するであろうと予測されている。

世界に比してプレストレストコンクリート技術において勝るとも劣ることのない我が国が、世界的な傾向を見送りつつ荏苒として日を過ごし、我が国表玄関の一つである国際空港に旧来の埋立工法を用いるのは土木技術者として必ずしも満足ではない。たまたまこの時に当たり、造船工業会の鋼製浮体案が提起されたのを契機に、プレストレストコンクリートによる浮体空港案も並んで提案し、斯界の御叱正と御指導を仰ぎたいと考えた次第である。もちろん実施設計に至るには、なお今後の研究に俟つところ多いことは当然である。

1.2 海洋構造物委員会の設立

上述の背景のもとにプレストレストコンクリート技術協会は、セメント協会の協力のもとに標記委員会の設置を決定し、第1回委員会が昭和53年4月に開催された。以後、回を重ねて慎重な計算・検討を行い、昭和54年2月に本件に対する委員会報告を完成するに至った。引き続き広く外部の説明用に色刷り、12頁のパンフレット作製に着手し、同年7月これを完成し関係官庁を始め、学協会や関係会社にも発表の運びに至った。

1.3 近年の空港建設の世界的傾向

1.3.1 新增設傾向

人類は絶えず、より速く快適に人や物資を運びたい欲望を持っていたが、世界のGNPの向上と国際化時代に伴い、航空機輸送量はここ20年間平均して毎年10%以上の増加率で増えている。しかし飛行機を発着させる空港は一度建設されると需要増に応じて拡張することは極めて困難であるため、世界中の空港は程度の差こそあれ慢性的な混雑状態となり、常に他に新空港を求める努力を続けているが、土地入手難と環境公害等の理由からほとんど実ることなく過ぎていく。

1.3.2 海上移行傾向

利用者側からみて望ましい航空輸送を可能にする空港は、周辺住民側から見ると騒々しくて土地の大食い厄介者であるという相反する要素を共有していることに問題がある。この解決法は空港を従来の陸地から海上に移す以外によい方法はない。

我が国の主要都市はほとんど臨海都市であるから、広大な平坦地を安価に確実に入手できる場所は、最寄の海面以外にないことは成田の新東京国際空港の例から明らかである。

単に具象的な騒音・空気汚染公害、事故災害の危険、膨大な警備費・敷地造成費等を考慮するだけでなく、遠

表-1.1 世界の主要空港の概要

空 港 名 (国 名)	面 積 (ha) 滑 走 路 数	都 心 距 離 km	発 着 回 数 万回/年	旅 客 数 百万人/ 年	貨 物 運 搬 費 千トン/年
アムステルダム・スキポール (オランダ)	1 700 3 450m 他 3 本	18	13.2	7.9	256
フランクフルト (西ドイツ)	1 030 3 900m 他 1 本	15	19.3	13.1	492
ロンドン・ヒースロー (イギリス)	1 101 3 900m 他 2 本	25	25.6	23.2	415
パリ・オルリー (フランス)	1 500 3 650m 他 3 本	18	14.5	10.7	139
ロスアンゼルス (アメリカ)	1 400 3 690m 他 3 本	30	35.7	26.0	599
ニューヨーク・ケネディ (アメリカ)	2 050 4 440m 他 3 本	30	27.8	21.0	935
サンフランシスコ (アメリカ)	900 3 600m 他 3 本	21	29.4	17.6	310
東京国際 (羽田)	408 3 150m 他 2 本	19	16.6	19.4	426
大阪国際 (伊丹)	317 3 000m 他 1 本	17	13.1	11.4	133
新東京国際 (成田)	1 065 4 000m のみ	66	—	—	—

(注) 1976 年実績, 航空振興財団「数字でみる航空」より抜粋

い内陸空港への永続的な人員資材燃料等の運搬費やそれらの交通渋滞を考えた時間・エネルギーのロスをも含めて考えると、いずれの点からみても近くの海上に空港を立地させることが有利であり、これが世界の主要空港の海上移行計画となって種々検討されているところであり、すでに香港・ジブラルタル・ラガーディア (ニューヨーク) 等となって海上空港として成功しているものである。

1.3.3 浮上化傾向

海上空港となると一応干拓・埋立・さん橋・浮体の4案が考えられるが、前二者は騒音公害を考えた沖合5km地点となると水深大となり、ヘドロの上に敷地造成する場合には長年にわたりやむことない圧密沈下をきたし、その量的な推定は現在の土木技術では困難である。滑走路の長年の維持修繕や、まして地震時の軟弱地盤上構造物の被害の大きさは累次の経験から実証済みであって、重要構造物をかような地盤に立地させることには大きな問題がある。

その点浮体は基礎地盤と無関係で、全国到るところで同一規格の部材・函体を一齐に製造し、現場に曳航してプレハブ式に組立てて工期工費の短縮が可能である。もちろん浮上式であるから海流障害や環境変化はほとんど問題とならない。

1.3.4 コンクリート製の傾向

一基約2800万tの重量の着陸帯は航空機や波浪の沈下・動揺がほとんどなく、耐食・防火性にも優れ、補修取替えも容易で海上構造物材料としてコンクリート製が鋼材より優れていることは、北海油田開発用構造物の例から明らかである。

プレストレスをかけることは、鉄筋コンクリートと異

なってひびわれに対して防御的でなくて攻撃的に防ぐことになり、今日の鉄道橋を始め多くの橋梁がプレストレスコンクリート化している実績からも信頼性十分な構造体である。

さらに、コンクリートは大部分が砂利より成る国産の材料で、鋼材に比して省エネルギー的な材料でもある。

1.4 今回提案のプレストレスコンクリート製浮上空港

橋梁など経験豊かな我が国の技術で、長さ300m、幅60m、高さ12mのダブルハルの函体を各地で製造し、現場に曳航して洋上でプレストレスをかけて接合し一体化して、長さ5000m、幅840mの浮上式着陸帯を主副2本(副はやや小)を造るものである。固定荷重は水バラストでとり、わずかな沈下や動揺が飛行機の発着に支障とならないことは、太平洋上を全速疾走する航母に発着できることから類推できる。湾内に浮上する大型函体の動揺に対する安全性や機能性に問題はない。

礎着方式は昔から失敗例が多かったので、新工法を避けて今回は実績多い鋼鎖を用いたカテナリー方式で杭礎着法を採用した。

さらに浮消波堤で湾内波浪を半分以下に低減させて安全性を増すように図られている。

本提案の空港の詳細については別途に述べてあるので、ここでは簡単な概要を述べるに留める。

1.5 本構想のプレストレスコンクリートによる浮上式空港の特長

以上に述べた本構想の特長を要約して以下に列挙する。

(1) 安全性

浮消波堤の設置により波浪による動揺を防除。信頼性大な鎖の礎着により荒天時の係留は安全。地盤と無関係なため地震や不等沈下による被害は皆無。重量大で振動減衰性も大だから、航空機荷重等による路面変動が少。衝撃や火災に対しても抵抗力が大。風波による曲げ・せん断に対しても十分に安全。温度差による構造的影響が少。プレストレスにより水密性を確保し、腐食による安全性の低下も少。

(2) 施工性

全国随所にある材料と技術を用い、プレストレスと接合剤により分業でプレハブ化して海上で組立て一体化が可能。既存の造船ドックや海岸地帯の一時的使用が可能。万一の事故時の補修・取換えや施設の増設が容易。

(3) 機能性

離着陸に対する機能は陸上空港とほとんど不変、航路

報 告

障害・電波障害なく、保安対策が容易。浮上函体内部スペースの立体的有効利用が可能。

(4) 環境問題

浚渫・掘削・埋立による海洋汚染や海流障害なし。また沿岸から 5 km 離すから騒音公害ほとんどなし。

(5) 経済性

鋼製の場合の膨大な定期的塗装費を含めると保守費が僅少なコンクリート製は著しく経済的。用地費・補償費・環境対策費・建設費・維持管理費・警備費・交通運搬費等の諸費用も含めて長期的に考えると他の諸工法に比べてむしろ有利。関連の地域産業全般にわたり景気浮揚効果が大。仮設ドックは施設帯として有効利用が可能。

(6) 応用発展性

プレストレストコンクリートによる人工浮き地盤造成工法が実用化されるに至れば、我が国が慢性的に悩む各地のローカル空港の建設のみならず、石油備蓄基地や原子力発電所用地および僻地の工業用地の造成等に直ちに応用され、我が国の将来の発展に寄与するところ極めて大。

(7) 省エネルギー工法

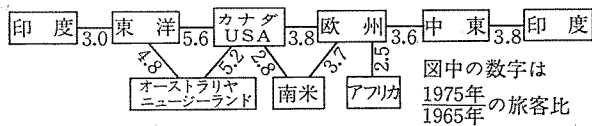
コンクリート製は一部のセメント燃料と鋼線用鉄鉱石を除けば大部分の材料は国産で、エネルギー消費量からみて、鋼製より著しく省エネルギー構造物。

(執筆担当：君島博次)

2. 世界の航空輸送量増大趨勢

人類の歴史を見ると、より快適に、より早く人や物を運搬しようという欲望を絶えず希求してきた。しかも世界人口の増大と航空旅行の大衆化によって、航空輸送量の増加は地表・海上輸送量の増加より著しく、図-2.1~2.4 から空輸増大傾向を地域的・旅客的・貨物的・機数的に示す。

(執筆担当：君島博次)



○太平洋路線の増加が世界最大

図-2.1 各大陸間旅客輸送人員の比率

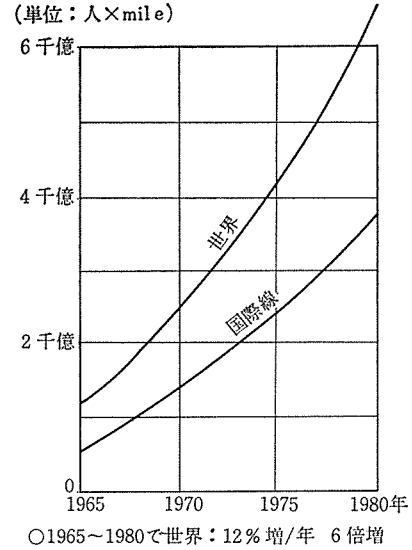


図-2.2 世界・国際線旅客輸送量

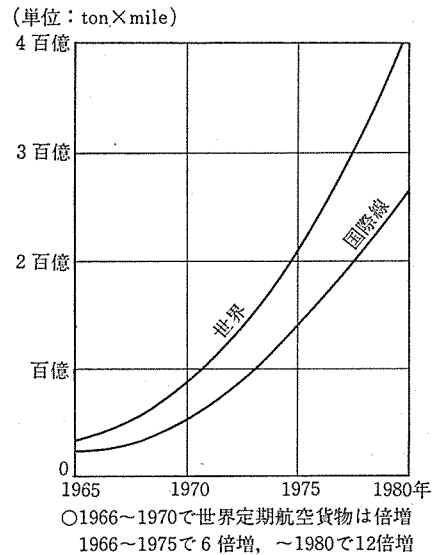


図-2.3 世界・国際線貨物輸送量

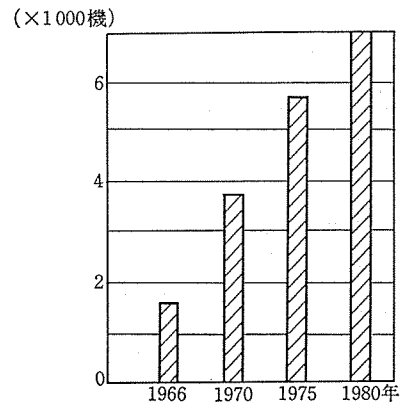


図-2.4 世界のジェット機数

(図-2.2~2.4 は、ソ連・中華人民共和国統計除外)

3. 近年の世界空港の海上立地化傾向

3.1 海上立地のメリット

3.1.1 概 説

空輸量の増大に比例して空港所要面積も世界的に増大しているが、本来陸地は地球表面積の約 25% しかなく、世界人口の大部分は臨海・臨水の都市に集中しているうえ、我が国の人口集中している工業地帯もすべて臨海都市である。

空港は元来土地の大消費者で、国際空港規格に合格する 2 滑走路空港の所要面積は、長さ 4300 m; 420 万 m² である。さらに騒音公害による立退き面積を含めるとこの面積はさらに 2 倍になる。

空港は騒音公害をもたらす、住民の快適さという点からみると一大障害となるので、都市から次第に遠隔化し、空港関連人口 25 万人と資材運搬の渋滞による燃料・時間の損害あるいは離着陸失敗による付近の生命財産の損害等を考えると今や陸上立地よりは都市近くの海上立地が俄然焦点に浮かんでくる。

3.1.2 海上立地の社会的メリット

- ・乏しい土地の使用無用、特に土地狭く、地価高い処に適當。
- ・騒音公害の消去、陸地の快適さ保全。特に環境保全に熱心な国。
- ・飛行パターンが自由に取れること、陸地、構造物障害もない。
- ・将来の拡張と変更自在。
- ・内陸連絡の自在。
- ・短距離連結可。
- ・空港と関連社会との計画的分離可能。
- ・社会全般の総合コストの縮減。
- ・飛行機誘導の電波障害ない。
- ・空港警備が容易。

3.1.3 海上立地の技術的・工事費的メリット

- ・大平原の平地がある場合は陸上滑走路がベストである。
- ・高価な土地費、諸補償費、掘削盛土費、排水費、舗装費等の直接工事費のほか忘れてならないのは空港保守費、貨客と燃料廃棄物運搬・貯蔵費、反対運動対策費、警備費、環境対策費、工事期間延長費等の間接費・臨時費および住民側より金に換算できない自然環境喪失補償、快適さ喪失補償、遠距離空港への渋滞交通による金銭・時間的ロス費などを含めた総合費で考えると、都市から遠距離化した陸上空港は都市近くの海

上空港に遥かに劣る。

- ・一般的にみて、平均水深約 5 m 以下ならば埋立地工法は海上空港より経済性において勝るといわれている。
- ・埋立地上の空港や着底式海上空港は基礎地盤の力学的性質が未知のため、工期・工費が推定値を大きく上回ることがある。
- ・浮上式なら基礎費不要、プレハブ化した部品の組立で急速のマスプロ化が可能である。
- ・拡張性・変更性の自由度大で漁業補償費を除き土地代金は不要。
- ・諸条件の相違でコスト計算ははなはだ難しいが、参考を示すと、

英国海上空港建設費単価	5,200~6,500 ¥/m ²	£ =
英国 Foulness (第 3 ロンドン) 空港建設単		360 ¥
価	5,511 ¥/m ²	at
		1970年

 英国 Foulness (第 3 ロンドン) 2 滑走路浮上式、試算 420 万 m² で 230 億円 (ただしターミナルビル、地表輸送設備を除く) (敷地造成・排水工費なし)
- ・英国第 3 ロンドン陸上空港建設計画 (4 滑走路) について、陸上 3 地点埋立して地点のコスト比較を行った (1970年、敷地造成費のみ) 結果、A : B : C : 埋立 = 112 億 : 202 億 : 241 億 : 238 億となった。
- ・埋立地と浮上式は立地は同じだが、建設速度と未知要素の多少、水深自在の点で後者が遥かに勝る。
- ・昭和 46.10~49.8 迄の航空審議会関西空港部会の答申では埋立を薦めているが、騒音公害から陸地より 5 km 離してなお平均水深 5 m 以下はあり得ない。水深大なら工費の点で埋立は不適。
- ・地盤と縁が切れている浮上空港は水深大 (5 m 以上) なら有利。腐食による耐久性、塗装等の防食費を含めた大きな保守費をも考えるとコンクリート製浮上空港が鋼製より遥かに有利である。
- ・設計いかんによっては滑走路下方の空間を倉庫・タンク等に利用可。

3.2 世界の海上空港例

3.2.1 計 画 例

- ・1924 年 U.S.A. の E.R. Armstrong は初めて太平洋上に Floating Airport 建設を提唱し、“Concept of Floating Airdrome” で特許を取った。Eng. N.R., 1946 参照。
- ・第 2 次世界大戦中米英両海軍は種々の形の鋼製ポンツーンをヒンジで連絡した不時着基地を考えた。
- ・有名な HabbaKUK 計画というのがあって、水と鋸屑を氷らせて耐久性ある氷のプラットフォーム、“Pykrete” なるものを太西洋の中央部に造り、これに浮上式のト

ラス鉄塔を建てる構想であった。

- ・第3 ロンドン空港：ロンドン東方 50 マイル，テムス河口 Foulness に新設計画。1968 年ヒースロは 1300 万人，年率 12% 増，世界一の旅客数でパンク寸前。
- ・ニューヨークの Kennedy 国際空港，La Guardia，Newark の 3 空港は 1967 年で合計 3400 万人乗降客，そこで Staten 島あるいは Long Island 沖に海上空港検討中。
- ・サンフランシスコ International は 1968 年 1800 万人，そこで Richmond，Berkeley，Oakland，Redwood City の邪魔にならぬ新空港を Bay Area 海上空港で計画。
- ・Los Angeles，Chicago，Caracas，Roma，Oakland，Lisbon…海上空港検討中。
- ・Tokyo 第3 空港，宮崎，高松空港…検討中。
- ・米海軍は戦略的側面から浮上空港の研究中。

3.2.2 既存海上空港実例

- ・香港，啓徳空港…埋立による
- ・ジャマイカ，キングストンの Palisades 空港
- ・La Guardia，New York，…杭打ち海上延長滑走路
- ・Gibraltar 空港

3.2.3 英国の Harris & Sutherland Consulting Engineers で検討中の第 3 ロンドン空港用 浮上 PC 滑走路案

在来型陸上空港なら土砂厚さ 3.6m，または適当厚さのコンクリートが必要である。

海上空港なら波圧に耐え，滑走路に波の浸入を防ぎ，床面の動揺を防止せねばならない。

陸上コンクリートは伸縮継手が必用だが海上では拘束がないから温度勾配の影響さえ考えれば，寸法は大きくてよい。

浮上空港は切取盛土皆無である。基本的な構想は，

- 1) 陸地でマsproされたプレファブ浮遊床片をプレストレスで無限に緊結連続させ得る。
- 2) 浮遊防波堤で荒波を減免させる。

国際空港基準によれば，平行 2 滑走路で，長さ 4300 m，面積 420 万 m² の舗装滑走路および誘導路・駐機場を備えねばならない。その他，追越路，法肩部が入用。

そこで，プレファブ製作，取扱い運搬上から，一辺 30m の正方形，厚さ 1.2m のコンクリート床版を 4500 個各地で分散製作する。

内部に隔壁付き，空間は発泡スチロール填充，これで 1 個当り 300t 程度の浮力を得る。

Top slab の厚さは単一輪荷重 24.5t (表-3.1 中*印) より決まる。微小たわみなら土砂でも荷重に比例する。浮体なら浮力は排水量に比例する。2 方向プレストレス

表-3.1

	Lockheed L-500 (Civil)	Lockheed C-5A (Military)	Boeing 747	Concorde
Max. T.O. Wt.	370 t	451 t	322	167
Max. Land. Wt.	290	371	266	102
No. Wheels	16	24	16	8
Max. Wheel Load	23.3	18.8	20.2	21.0
Nose Wheel Load	19.1	19.1	24.5*	12.7

スラブなら Westergaard の式から弾性支承上版として解ける。最大静荷重時の 2.5 cm のたわみは飛行機操作に支障ない。

浮遊防波堤の歴史は古い。1944 年ノルマンディ上陸作戦当時 Mulberry 港に浮遊式鉛直壁防波堤を布設したが，アンカーが切れて失敗した。多くの実例は鉛直壁で防波しようとしたので失敗している。波しぶき，ピッチングおよびローリングから滑走路を守るには浮き防波堤が必要で，その上に周辺に波返しを設ける。浮き防波堤にはジグザグの水平板を考えている。碇着力も小さい。

この種防波堤は波の進行方向に対する幅が大きいほど消波効果が大きい。幅が狭いと波に漂うコルク片のようで無益だが幅が波長の 2 倍程度に近づくと消波効果は大いに有効になり波高を 1/2 に減ずる。幅が増すと次第に消波効果も増し，波長の 2 倍になるとほぼ完全消波となる。ただし幅はコストと密接に関係する。

碇着力と曲げ応力測定結果によれば消波効果の上限值で最大値に達し，それ以上長い波長に対してはこれらの力も減じ自動的に破壊力の抑制効果を持っている。異常時 2~3 時間も滑走路を止めればよいことになる。1/100 の模型で入念に実験し，1/10 でも大タンクで実験した。

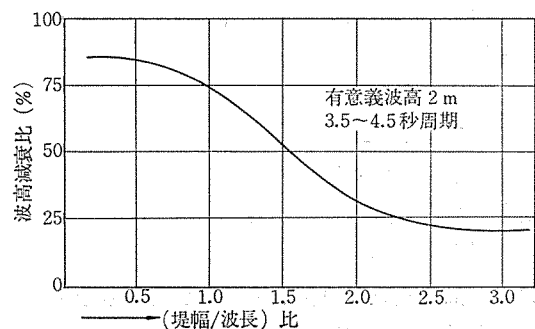


図-3.1 浮上防波堤消波効果代表例

滑走路は多数ケーブルでアンカーされる。同時にロックアンカーされたケーソンも開いて碇着する。

図-3.1 は (堤幅/波長) 比と波高の減衰比の関係を示すものである。

(執筆担当：君島博次)

4. 浮上式プレストレストコンクリート製空港の特長

4.1 プレストレストコンクリートとは

(省略)

4.2 浮上式構造のメリット

浮上式空港には下記のようなメリットがあると考えられる。

- ① 水深 20 m の海底に基礎を設ける柱脚、梁、床版構造は巨大な構造物となり、また埋立の場合には基礎処理のため膨大な土量と莫大な工事費と工期がかかると考えられる。浮上式は一切基礎の問題はない。
- ② 既設の造船ドックで函体ブロックをマスプロダクションし、曳航のうえ、洋上で組立が可能である。
- ③ 基礎がないために湾内の海水の流動を阻害することはない。湾内環境を乱すことはない。
- ④ 浮防波堤との組合せにより、波高を半分以下に減少させ、浮上式海上空港構造物に対する波のエネルギーを軽減させることが可能である。

4.3 コンクリート製のメリット

コンクリートは以下のようなメリットをもつと考えられる。

- ① 火災が生じてもその被害を最少限にとどめることが可能である。
- ② 鋼製に比して減衰性が良く、振動による影響が少ない。
- ③ 保守がいらない。必要としても安価で済む。
- ④ コンクリートはどこでも材料入手が容易にでき、製作に高度な技術を必要としない。
- ⑤ 低温脆性等の脆化現象がない。
- ⑥ 破損事故が生じた場合の補修が容易である。
- ⑦ 疲労に対して耐久性がある。
- ⑧ 既設の造船ドックを利用して、函体ブロックをマスプロし、洋上で組立てる工法がとれる。

(執筆担当：島村 久)

4.4 浮上式プレストレストコンクリート構造物事例

(省略)

5. 関西新空港の建設構想

5.1 新空港建設の必要性

関西新空港建設の必要性については早くより論議さ

れ、今さらここで詳細を述べるまでもないが、昭和 49 年 8 月、運輸省航空局編の『関西国際空港の規模及び位置』という大冊に 32 回の審議会を経て運輸大臣に提出された答申結果が示されている。

これによると新空港建設の必要性は、関西地区の航空輸送の需要増加に対処し、同時に国際交流の促進に貢献し、また西日本の福祉向上と社会経済構造の高度化に対応して、既存大阪国際空港が抱える騒音公害の抜本的対策として新空港建設が必要であると述べられている。

一方、この必要性解決の時期は極めて切迫しており、昭和 52 年 11 月 14 日付け新聞報道によれば、運輸省関西新空港計画室長の説明として、「環境調査を 54 年度中に終え、56 年度着工、60 年度前半に開港したい」と述べられている。

5.2 各種提案経過と検討条件

5.2.1 審議会答申書

本答申書の第 3 分冊に、泉州沖、神戸沖、播磨灘の 3 地点について埋立、干拓、さん橋および浮体の 4 工法を採り上げ、それぞれについて概念設計に基づき比較検討が加えられている。本案によれば泉州沖の埋立法が最も有利のように推定されている。

(1) 埋立法

最も安価で経験も多いが水深 20 m、軟弱地盤 40 m のところに護岸を築造し、埋立用 5 億 m³ 余の大量の土砂を確保し、推定 20 年で 5~6 m に達する圧密沈下の防止工法をいかにするか。推定 1 兆 2 000 億円の工費になる(昭 49)。

(2) 干拓工法

水深数 m を除き 20 m の干拓経験なし。堤防の安定性、水密性、堤防下方の揚圧力によるボーリングの危険性あり。揚圧力 40 t/m² とすると軟弱層重さ 28t/m²、盛土厚 9 m 入用。沈下量は比較的少。堤防費大、工期長い、将来の拡張性なし。総工費約 1 兆 2 000 億円(昭 49)。

(3) さん橋工法

ニューヨークの La Guardia 空港の実例あり。海流に対する影響少、経験多し。鋼管 10 万本、上部コンクリート 1 400 万 m³、鉄筋 112 万 t、H 形鋼 126 万 t、滑走路・付帯設備一部分離案で工費 1 兆 1 600 億円(昭 47)。沈下なし、機能維持容易・土工量少、環境影響少、プレハブ化で工期短、経験多く施工に自信多し、反面工費が前 2 者より大、耐久性有限・維持費大。飛行機の大型化に対応する補強不能、用途変更困難。

(4) 浮体工法

アイディアの段階。波浪動揺・曲げ・せん断疲労・温

度応力等が許容限界内に収まるか。安全係留・海上接合・防食可能か等の問題あり。溶接量膨大・施工の可能性・鋼材寿命と保守など技術的に未解決な点多いが、水深大でも基礎地盤不良でも無関係。工費は1兆3000億円(昭47)。現在では採用できないと考えられる。

5.2.2 造船工業会提案

社団法人日本造船工業会は関連造船重機メーカー協力のもとに昭和52年8月浮体方式の半潜水型鋼製滑走路同付属構造物の提案を行った。泉州沖5kmに面積約580ha、厚さ10mの鋼製箱形滑走路を24000個の支持浮体で支え海面上5mに長さ4000mと3200mの主副滑走路と付属設備を建設するものである。

潮流・風波による動揺少なく、地震にも安全な鋼管杭特殊ドルフィンで係留。工期3年半で造船業界の不景気対策としても大きな波及効果を持つ。環境影響少で不等沈下なく、工期少、動揺少、荒地地震時の係留安全、耐久性十分、立体活用、増設改造移動容易、経済波及効果多大のメリットを有する。

5.2.3 現時点における運輸省の新空港原案

昭和51年1月21日付け新聞報道によると運輸省第3港湾建設局は社団法人日本埋立浚渫協会に埋立工法による人工島建設案の可能性調査を委託した。

設計条件としては水深15~31m、所要面積1100ha、全面土砂埋立のV字形人工島。

これに対し考案された工法は、海底面下50mまでの粘性土層まではサンドドレインによる地盤改良により護岸建設(2年間)し、工事中7~8m、完成後2~3mの沈下に収め、約5億m³の土砂を埋立て6年で造成するが、土取場・運搬法、環境影響、地元合意など未知な点が残されていると述べられている。

以上述べてきたように現在までのところいずれの案も未知の点が数多く残されており、解決までにはなお一層の研究の余地がある。

5.2.4 建設に対する検討条件

新空港の建設という大事業を行うに当たって比較検討すべき項目は単に建設関連項目のみに限らず、運航管制・環境条件を始め広く政治・経済・社会上のあらゆる項目を採り上げ総合判断せねばならない。さらにまた海中に広大な滑走路という敷地を造成する作業であるので技術的な仕様書や基準も確立されておらず検討するのに難しい点が多くある。

そこで当プレストレストコンクリート技術協会の海洋構造物委員会では運輸省航空局編の答申書に述べられている各種検討項目に基づき、また比較の便宜上から造船工業会などで採用されている設計条件をそのまま採用しこれに基づいて設計・施工の基本方針とした。

上記答申書に述べられている検討項目を参考のため列挙する。

検討項目：

(1) 利用の便利さ

有効利用性・一般交通への影響・ターミナル機能の分離・便利・利用度

(2) 管制・運航

気象条件・飛行経路の空域・進入出発方式・離着陸の処理能力

(3) 環境条件

航空機騒音・大気汚染・潮流変化・海水汚染

(4) 建設

海象条件・地象条件・建設の難易・工費・工事量

(5) 既存権益との調整

海上交通・水産業

(6) 地域計画との整合

土地利用計画・水需給計画・道路計画・鉄道計画

(7) 開発効果

開発の可能性・既存集積の効果的利用

(執筆担当：君島博次)

6. プレストレストコンクリートによる浮上式海上空港建設の構想

6.1 設計方針

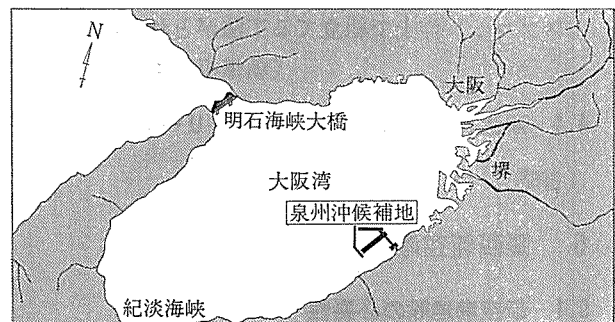
6.1.1 検討モデルの設定

(1) 規模および位置

航空審議会答申は、「新関西国際空港は、その位置を大阪湾南東部の泉州沖の海上とし、その規模を、海上国際空港として最小の単位となる長さ4000mの滑走路1組に、長さ3200m以上の補助の滑走路1本を加えたものとするのが望ましい」としている。

今回、当委員会の提案する浮上式海上空港案は、上記の答申を尊重し、次のとおりとした。

- ・位置 大阪湾南東部泉州沖5kmの海上



図一6.1 新関西国際空港位置図

- 規模 { 主滑走路 4000 m × 1 本
副滑走路 3200 m × 1 本 (横風用)

空港候補地の位置は 図-6.1 に示すとおりであるが、その特長としては、外洋波や津波の影響がほとんどないことや、水深がほぼ 20 m で一定していることがあげられる。

(2) 全体配置

航空審議会の答申にしたがい、大阪湾泉州沖の海上約 5 km の位置に設けた。4000 m 主滑走路をもつ着陸帯 ㉔、3200 m 副滑走路をもつ着陸帯 ㉕の大きさおよび相互位置関係は 図-6.2 に示すようになる。

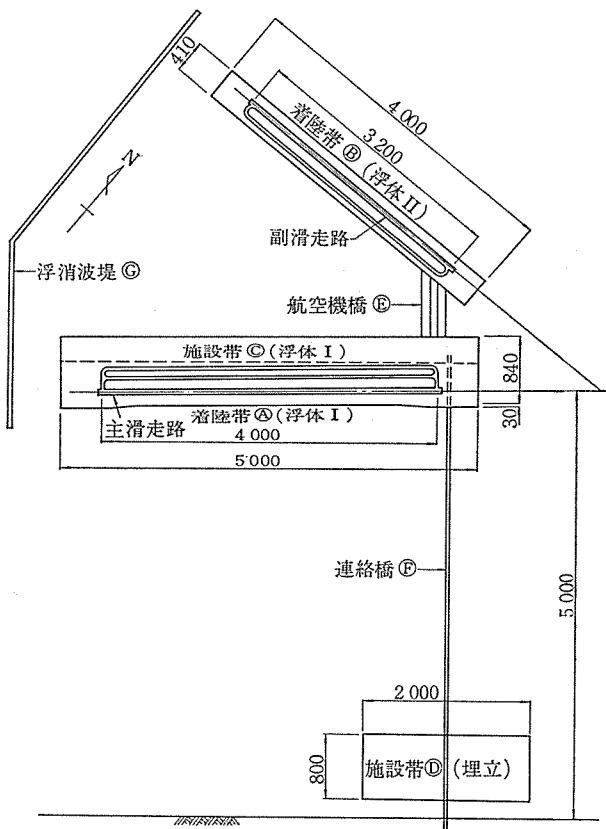


図-6.2 全体配置図

施設帯は沖側施設帯 ㉗と沿岸側施設帯 ㉘とに分かれている。沖側施設帯 ㉗は航空機の運航や整備、旅客の乗降および貨物の積降ろしなどに必要な施設設備が配置されており、沿岸側施設帯 ㉘は旅客、貨物ターミナル、官公庁施設や会社事務所などが配置されている。これは沖合の海上空港と沿岸地域との有機的な結合を強める役目を果たしている。

なお、以上の全体配置は大阪科学技術センターの計画案を参考としたものである。

沖合の浮体 I (着陸帯 ㉔+施設帯 ㉗) と浮体 II (着陸帯 ㉕) とは、航空機橋 ㉙により連絡し、沖合の浮体と沿岸側の施設帯 ㉘とは連絡橋 ㉚により連絡する。

浮体 I、浮体 II および航空機橋 ㉙はプレストレストコンクリート製箱形浮上構造であり、施設帯 ㉗も同様のプレストレストコンクリート製の浮上構造とすることが可能であるが、陸地に近接していることを考慮して、ここでは埋立により土地造成を行うものとする。なお施設帯 ㉗はブロック製作用の仮設ドックとして使用した後に埋立することも可能である。

連絡橋 ㉚は、中間部に橋梁 (中央支間 150 m 程度) を設けて船舶の航行を妨げないように配慮し、標準部をプレストレストコンクリート構造とした箱形断面の浮き橋とすることができる。

(3) 検討方針

プレストレストコンクリート製の海上空港は、浮体 I、浮体 II、施設帯 ㉗、航空機橋 ㉙、連絡橋 ㉚から成っている。

当委員会では、着陸帯 ㉔と施設帯 ㉗から成る浮体 I に関して詳細な検討を行った。浮体 II (着陸帯 ㉕) および航空機橋 ㉙に関しては、浮体 I に準じて検討することができる。

また連絡橋 ㉚については、アメリカ西海岸ワシントン州に造られた三つの浮き橋の実例などもあることから中間部を船舶通過用の橋梁とし、標準部をプレストレストコンクリート製浮き橋とすることが可能である。

㉖は浮消波堤である。

なお、施設帯 ㉘は埋立により土地造成を行う計画であるので、当委員会では特に検討は加えなかった。

6.1.2 設計条件

(1) 自然条件

- 水深 20 m
- 干満差 (朔望平均) 1.60 m
- 最大潮位差 4.36 m
- 高潮偏差 { 最大 1.70 m
最小 -0.74 m
- 基本風速 通常時 5 m/sec 荒天時 50 m/sec*
- 有義波高 ($H_{1/3}$)** 通常時 2.3 m 荒天時 4.6 m
- 有義波周期 ($T_{1/3}$) 通常時 6.2 sec 荒天時 9.6 sec
- 潮流速 { (浮体長手方向) 通常時 0.7 ノット 荒天時 2.2 ノット
(浮体短手方向) 通常時 0 ノット 荒天時 0.3 ノット
- 地震 水平震度 $k_h=0.24$
鉛直震度 $k_v=0$
- 海底土質 図-6.3 のとおり

* 最強風時における地上 10 m の位置での 10 分間平均風速である (大阪地区での既往最大風速は室戸台風のときの 42 m/sec)。

** 波の観測記録のうち、波高の高いものから 1/3 をとり、これらを平均したものである。

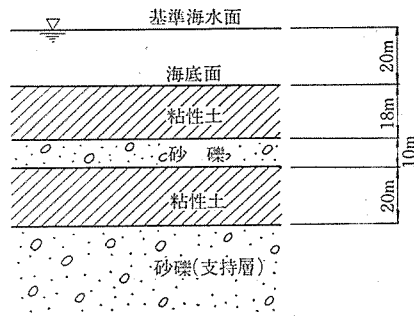


図-6.3 海底土質

(2) 施設荷重

着陸帯④および施設帯⑤から成る浮体I (長さ5000m × 幅840m) の検討を行うため、浮体Iに配置される各種施設およびそれらの施設の概略重量を図-6.4に示すように想定する。

なお、ここでいう施設荷重には、プレストレストコンクリート製浮体自重と、航空機や車両などの活荷重は含まれない。

着陸帯④

主な施設：主滑走路誘導路および緑地帯

施設重量：200 kg/m²~400 kg/m²

施設帯⑤

主な施設：航空機の運航、整備施設（旅客エプロン、貨物エプロンなど）

施設重量：500 kg/m²~900 kg/m²

(3) 航空機荷重

B747-200 と車輪および脚配置を同一とし、将来の航空機の大型化を考慮して、最大離陸重量を500tとする。

また、衝撃係数を0.35とする。

6.1.3 準拠基準

土木学会：コンクリート標準示方書（昭和52年）

〃：プレストレストコンクリート設計施工指針（昭和36年）

〃：プレストレストコンクリート標準示方書

（昭和53年）

土木学会：海洋コンクリート構造物設計施工指針(案)（1977年）

日本海事協会：プレストレストコンクリートバージ規準（昭和50年）

日本港湾協会：港湾構造物設計基準

日本道路協会：道路橋示方書（昭和53年）

国際プレストレストコンクリート連盟 (FIP)：コンクリート海洋構造物の設計施工指針

アメリカコンクリート学会 (ACI)：Building Code Requirements for Reinforced Concrete

6.1.4 使用材料

構造物の外的条件、使用目的、耐用年数、重要度などを十分考慮して決定する。

(1) コンクリート

コンクリートは耐海水性、耐久性および水密性に重点をおいて高品質のセメント、十分吟味をした骨材、清浄な水を使用した、高強度コンクリートを使用する。

本構造物では、構造的にも機能的にも十分対応できるものとして設計強度400 kg/cm²程度の普通コンクリート（単位体積重量2.5 t/m³）を採用した。なおセメントは、日本工業規格 JIS R 5210 の普通ポルトランドセメントを使用する。

(2) PC鋼材

PC鋼材は、すでにプレストレストコンクリート製海洋構造物に使用されてその実績を広く認められている。

PC鋼材は次のとおりである。

- { JIS G 3536 PC鋼線およびPC鋼より線
- { JIS G 3109 PC鋼棒

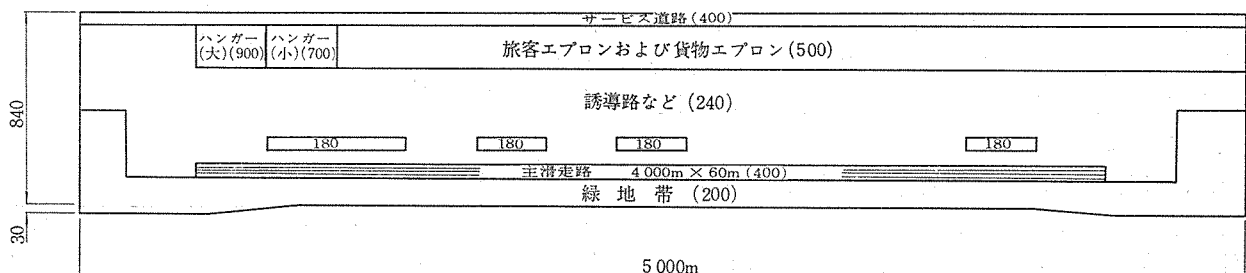
(3) 鉄筋および一般鋼材

品質の保証された規格品を使用する。

- { JIS G 3112 異形鉄筋 SD 30
- { JIS G 3101 一般鋼材 SS 41

6.2 浮上構造物

6.2.1 コンクリート製浮上構造の設計概要



()内の値は、単位面積当り荷重を示す [単位：kg/m²]

図-6.4 各種施設の配置とその概略重量

(1) 設計条件

空港としてのコンクリート製浮上構造の安全性を検討するための設計条件は、前記の自然条件より、水深 20 m と波浪としての通常時波高 2.3 m (周期 6.2 sec)、異常時波高 4.6 m (周期 9.6 sec) を採用した。また、荷重としては、滑走路、誘導路、エプロン、整備施設など空港として必要な各種の施設の荷重を考慮している。航空機の荷重は、前述 6.1.3 (3) より離陸時最大荷重を 500 ton、その時の衝撃係数を 0.35 とした。

(2) 構 造

今回検討した空港本体(浮体 I)の構造は、半潜水式のコンクリート製箱形構造で、甲板、底板、側板、隔壁などは、安全のためすべて二重壁構造とした。断面は、全断面に対しプレストレストコンクリート構造とし、鉄筋コンクリート構造に比して部材厚がかなり薄くなり空港全体で考えれば軽量にできているといえる。鋼材のかぶりに関しては、国際海洋構造物基準に沿った構造としており、全体強度、局部強度に対して全断面フルプレストレストとし、コンクリートに対するひびわれを防御している。安全性と耐久性のある構造物となっている。函体の高さは、全体強度と乾舷より 12 m に決定し、空港本体(浮体 I)の大きさを (L) 5 000 m × (B) 840 m × (D) 12 m とした。そして、建造時のことを考慮してこの空港本体は、長手方向を 17 個、幅方向を 14 個の計 238 個のブロックに分割できる構造としている。この場合の 1 ブロックの大きさは (L) 300 m × (B) 60 m × (D) 12 m であり、これを 1 ユニットずつ建造し洋上にて接合できる構造としているものである。

(3) 強 度

函体の全体強度に対する断面力は、静水曲げモーメントと波浪曲げモーメントおよびそれらのせん断力などにより算定するが、自重と施設荷重のアンバランスによる静水曲げモーメントおよびせん断力は、固定荷重のため

経済性を考慮して水バラストにより調整することにして、波浪曲げモーメントおよびせん断力は、空港本体の周囲に浮消波堤を設置してできる限り波高を減ずることを考えているが、函体の設計上安全側になるように波浪に関しては、異常時の波高である 4.6 m (周期 9.6 sec) を採用し、断面力を算定している。また、局部強度では、甲板は各種の施設荷重と 500 ton 航空機荷重の組合せで、側板、底板は、異常時の最大波高 9.2 m による水圧を考慮して断面力を算出している。これらの断面力を部材に応じて組合せ総合して決定したものが 図一 6.5 および 6.6 に示す空港本体(浮体 I)の一般図とブロック構造図である。

(4) た わ み

なお、航空機の移動荷重に関しての検討は、昼間、夜間ともそれぞれ駐機中のもの、または離着陸中のものを考慮して断面力を算出してみると、通常時の波浪曲げモーメントおよびせん断力の値より小さいため十分安全であり、昼間の航空機の駐機数 50 機による変形量は 15 mm 程度となっており、離着陸中の航空機に対する変形量もまた問題にならない数値となっており、航空機の運航上何ら支障はないといえる。

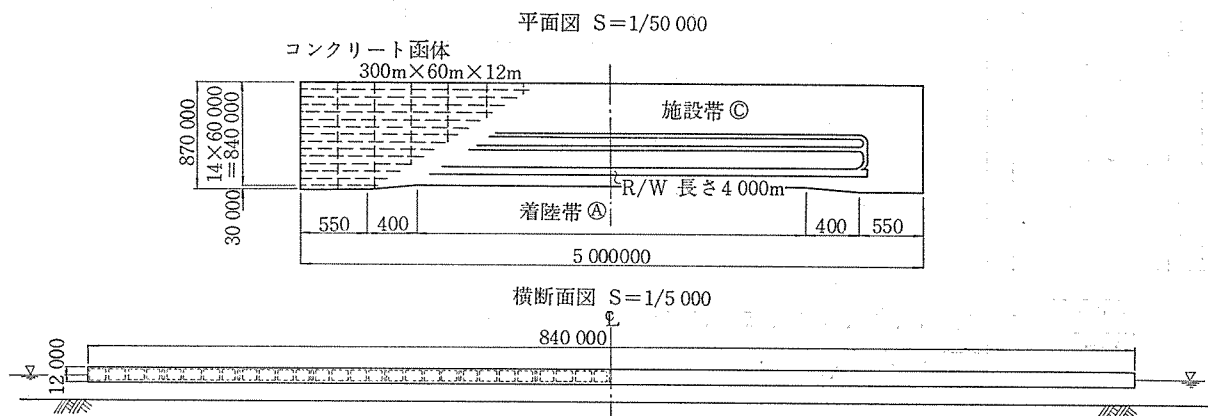
(5) 乾 舷

函体の乾舷は、空港本体全体で算定すると 4 690 m となっており、航空機 50 機の荷重 25 000 ton で 6 mm の沈み分を考慮しても、異常時の最大波高 9.6 m の波でも空港を洗うことはない状態である。なお、離着陸中の航空機による函体の沈み量は 0.2 mm 程度となっている。

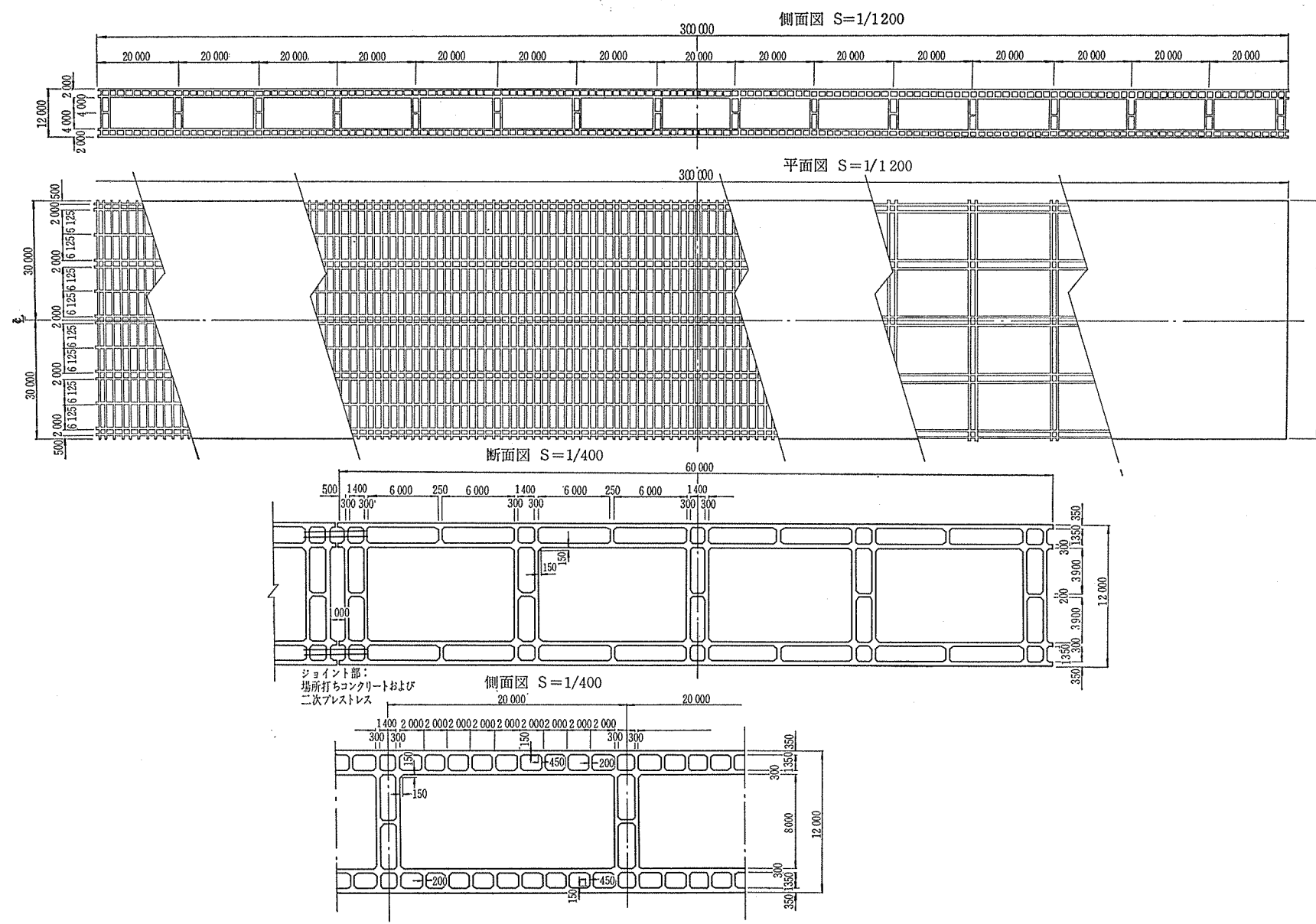
6.2.2 施工概要

浮上式海上空港は、陸地から約 5 km、水深約 20 m の海域に建設することを想定し、施工の技術的可能性、および安全性をもとに基本施工計画を検討した。

海上空港の本体は、「6.2 浮上構造物」に示すように



図一6.5 浮上構造物一般図



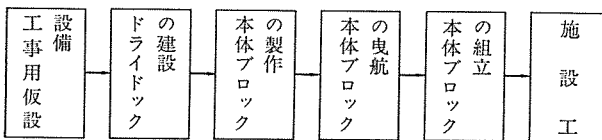
図—6.6 浮上構造物構造図

プレストレストコンクリート構造であり、施工性等を考慮して大型のプレストレストコンクリート函体(300m×60m×12m)に分割し、ドライドックで製作して空港建設地点まで曳航し、海上接合により一体化をはかって空港を構成しようとするものである。

プレストレストコンクリート函体の製作に使用するドライドックには造船用大型ドック案、仮設のドライドックで建設する案および両方を併用する案の3案が考えられる。

しかしながら施工法の選定に際しては、気象条件にあまり左右されず安全に作業ができ、かつ、海上作業を少なくすること、および超大型規模の工事に対する急速施工の要請、ならびにコンクリートの品質管理が容易であること、水質汚濁を防ぐこと等を考慮して本案では仮設のドライドックを建設する方法を採用した。しかし既存造船所ドック使用も可能である。

これらの施工順序の概略はつぎに示すとおりである。



(1) ドライドックの建設

ドライドックは、コンクリート函体(300m×60m×12m)を12基製作できる大きさのものを2箇所建設し、それぞれ10回の転用を行う。

建設場所は、空港建設予定地の近くで、気象条件に左右されず、しかも曳航に必要な水深を得られる所などの立地条件が必要である。

仮設ドックの形式は、海岸線に接する陸地を開削する方法と、海上を二重矢板により締切する方法とが考えられ

る。また、ドライドックの使用後の跡地の有効な利用法をあわせて考えれば、干拓予定地、埋立予定地等も有効な候補地となるが、当案の場合は空港施設地帯を利用するのが有利と考えられる。

図-6.7に仮設ドライドックの平面図を示す。

(2) プレストレストコンクリート函体の製作

前述のように、浮上空港の本体は、大型ブロックに分割し、建設場所で海上接合し一体化する。分割する1ブロックの大きさは、施工性、工程、曳航抵抗等を考慮して決定する必要がある。本案においては仮設ドライドック内の機械設備や施工性、仮設ドライドックの規模と全体工程の関係等を種々検討し図-6.5の平面図に示すようなブロック割とした。この場合の曳航抵抗は既存のタグボート一隻で十分曳航が可能である。

次に1ブロックの製作についてのべる。

コンクリート函体は作業工程を考慮し、長手方向を3分割、深さ方向を8分割して、すべて場所打ちコンクリートにより行うものとして工程等の検討を行っているが、プレキャスト化も十分可能である。特に函底上版、デッキ上版、各二重殻内部の隔壁等はプレキャスト化するのが有利となる。

図-6.8に1ブロック施工順序図を示す。

(3) コンクリート函体の曳航組立

この浮上式空港は、浮消波堤を設け、波浪による影響を極力小さくするように考えている。したがってコンクリート函体の組立作業は比較的波浪の影響を受けない状態で可能である。この条件を考慮するとコンクリート函体の曳航、組立はつぎのように行うのがよいと考えられる。

仮ドック内のコンクリート函体12基の製作が完了するとドック内に注水しコンクリート函体を浮上させる。

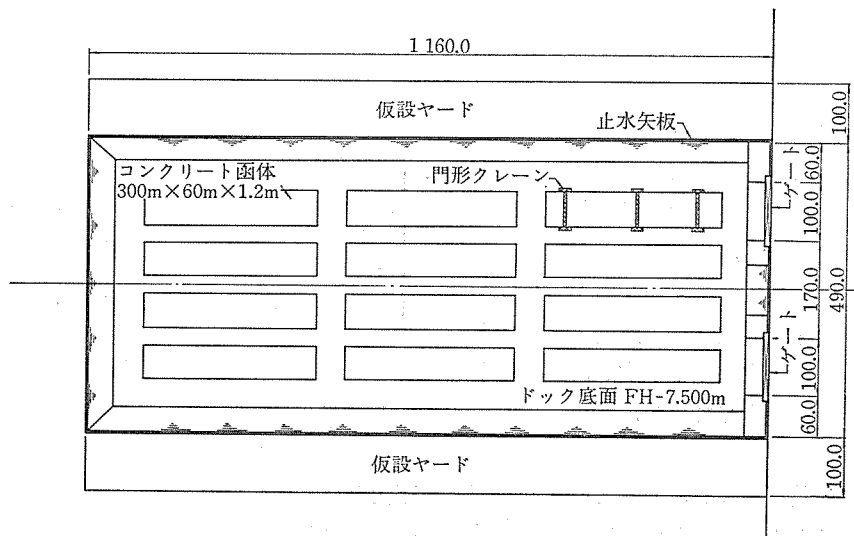


図-6.7 ドライドック平面図

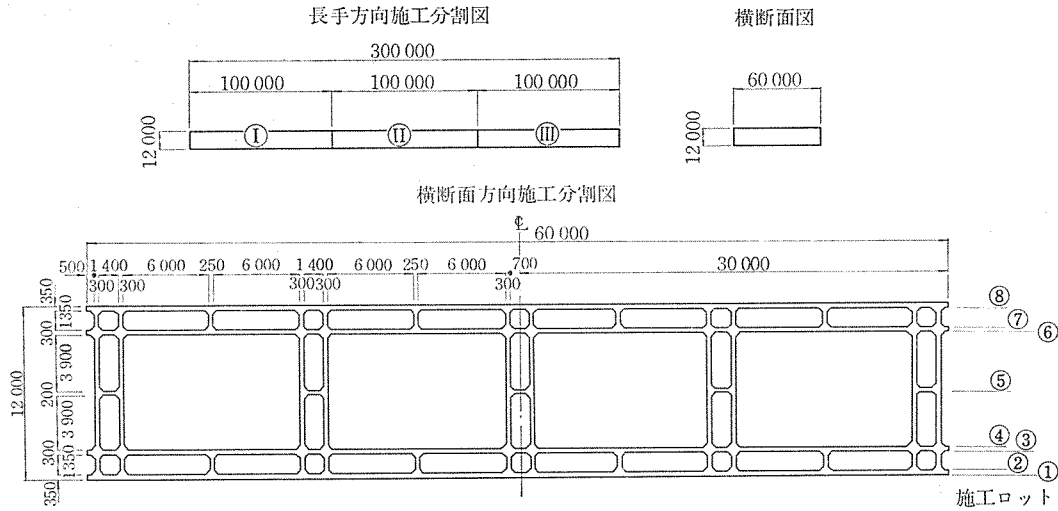


図-6.8 ブロック施工順序

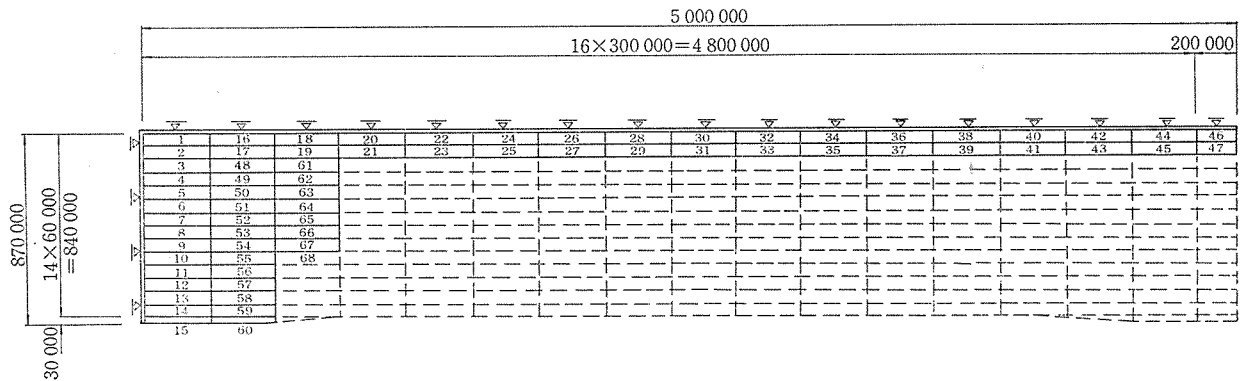


図-6.9 ブロックの組立順序図

コンクリート函体には仮の係留装置、および緩衝材をとりつけ、浮上時に衝突しないように配慮する。

浮上したコンクリート函体は、一基ずつタグボートでドック内より引き出し、空港予定地に曳航し 図-6.9 の順序に従って組立て、連結部は間詰めコンクリートを打設して PC 鋼材により緊結する。

コンクリート函体の組立は、ガイドとすべき函体を長手方向に 2 列、短手方向に 1 列最初に固定する。

これらを固定するには本設に使用する係留装置を利用するのが最も良いと考えられる。

係留装置にはドルフィン方式とチェーン方式とがあり、両者とも浮上空港の係留装置として適用可能である。図-6.9 にブロックの組立順序を示すが、これはドルフィン方式の係留装置を想定している。

(4) 工 期

仮設のドライドック 2 基を建設し、それぞれ 10 回転用するものとして、1 サイクル 8 か月とすれば、工期は約 8.5 か年となる。図-6.10 および 6.11 に工程図を示す。

	1か月	2	3	4	5	6	7	8
ドック準備								
本体製作								
曳航組立								

図-6.10 1 ドックにおける 1 サイクル工法

	工 期								
	1年	2	3	4	5	6	7	8	9
仮設ドック建設									
準備工									
本体工									
施設工									

図-6.11 全体工程

(5) 工 費

概略工費として m³ 当り 14 万円とすると m² 当り 30 万円となる。したがって、浮上構造物の工費は約 1 兆 3 千万円になる。

(執筆担当：島村 久，富田价彦)

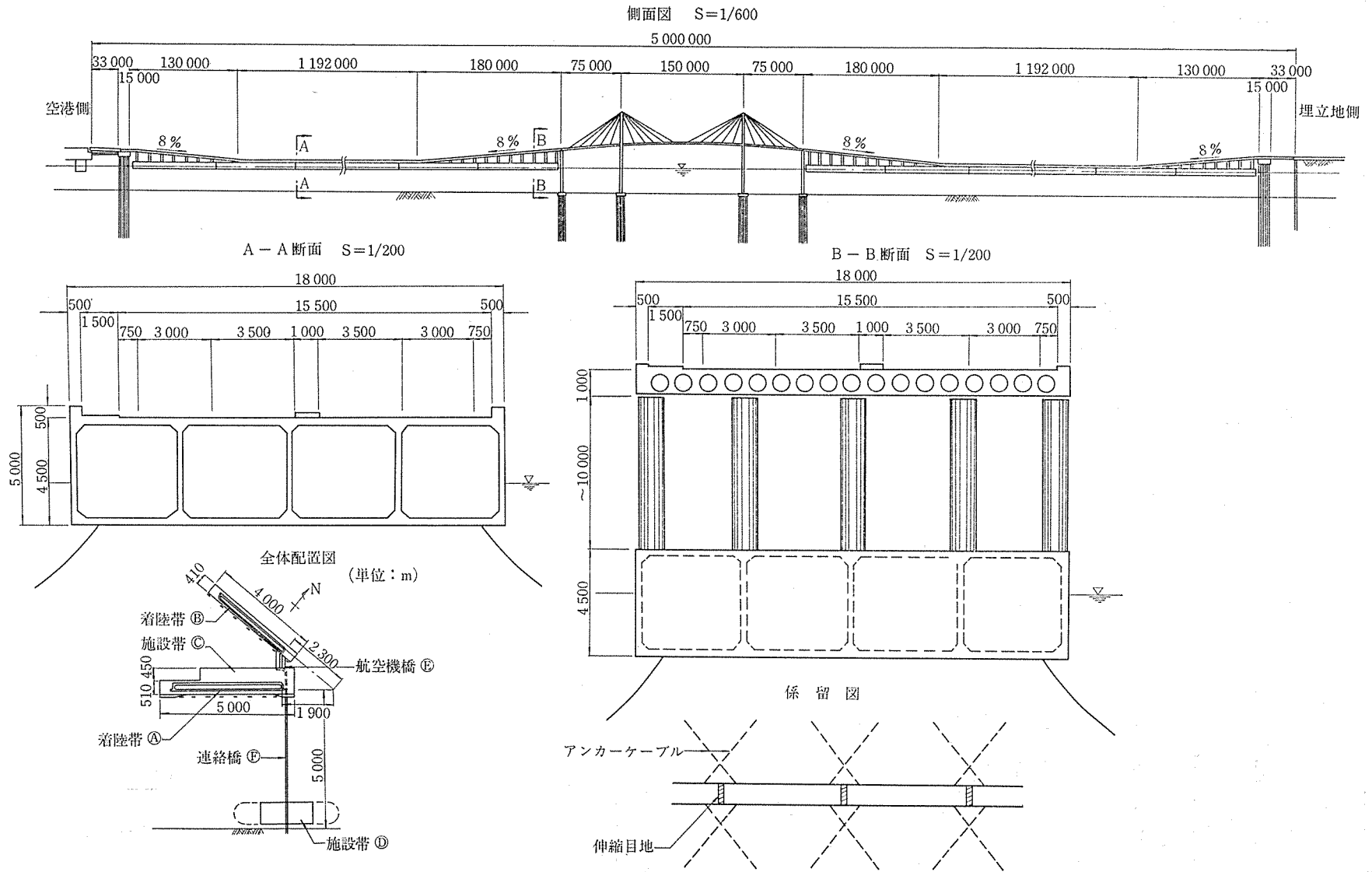


図-6.12 浮き連絡橋一般図

6.3 連絡橋

連絡橋⑩は、主滑走路の浮体Ⅰと埋立の施設帯⑩とを結ぶ全長 5 km の橋梁である。当委員会は、この連絡橋が滑走路用浮体と同様に、風雨や波浪に曝されることから維持管理費の少ないプレストレストコンクリート構造とすることを提案する。

連絡橋の中央部は、船舶が通行できるように桁下空間を十分取ったプレストレストコンクリート斜張橋とし、残りの両側は、箱形断面のプレストレストコンクリート製浮き橋とする。これらの一般図を 図-6.12 に示す。

PC 斜張橋は、総幅員 18 m、中央スパン 150 m の全長 300 m とした。PC 浮き橋は、長さ 100 m、幅 18 m、深さ 4.5 m の函体を長さ方向に連結したもので、PC 斜張橋、滑走路用浮体、埋立地との取合部は、8%の勾配をつけて函体上に支柱をたててホーラスラブ構造としている。基礎は、PC 斜張橋と取合部については、杭などの基礎が必要であるが、浮き橋部は、滑走路用浮体同様の係留方式とし支持層の深い軟弱地層では地震に対し有利になっている。PC 斜張橋は、陸上の橋梁と同様の技術で架設できるし、浮き橋は、浮体Ⅰと類似の方法で施工できるので詳細については省略する。

(執筆担当：平部俊光)

6.4 係 留

6.4.1 設計方針

浮遊函体の係留方法として現時点で考えられるものとしては、カタナリー方式、ドルフィン方式および SBS (Submerged Buoyancy System) 方式があり、総合的に検討した結果、実績、確実性を重要視してカタナリー方式とした。

アンカーは海底土質の軟弱性、海上工事の特殊性などの観点からパイル埋設方式とした。図-6.13 に係留の状態図を示す。

6.4.2 係留チェーンの設計概要

ここに用いたチェーンは $\phi 100$ 3種と大容量のものであり、暴風時の安全率は高いものとした。また海底以下の部分はさらに太径のものを配置する。

パイルアンカーとして $\phi 1200 \times 16$ m 長のコンクリート充填鋼管を海底下 40 m まで打ち込み、引抜力で抵抗させる。

チェーンには初期張力を与えて浮体の移動量が減ずるように配慮している。

6.4.3 施工概要

チェーン布設工事は、幅そうする海上交通や変化の激しい海象条件を十分考慮して迅速に実施しなければならない。

工事は大きく分けて、パイル打設、チェーンの布設およびそのプレテンション、空港への取付けから構成され、本体工事と大部分平行して実施できる。

6.4.4 特色と研究課題

チェーン方式の長所はつぎのとおりである。

- 1) 地震の影響がない。
- 2) 実績があり確実性が高い。
- 3) 温度変化の影響をうけない。
- 4) 工事が本体工事と平行して実施でき工事への影響が小さい。

今後の問題点としては移動量の低減化をはかることが必要であろう。

さらに本体との結合方式をも含めたドルフィン方式についても検討中である。

(執筆担当：山本隆治、古賀尚宏)

6.5 浮消波堤

6.5.1 概 要

- (1) 浮消波堤の必要性

領海 12 カイリ時代に入って、海域の有効利用が必要となり、その利用分野も多岐にわたっている。

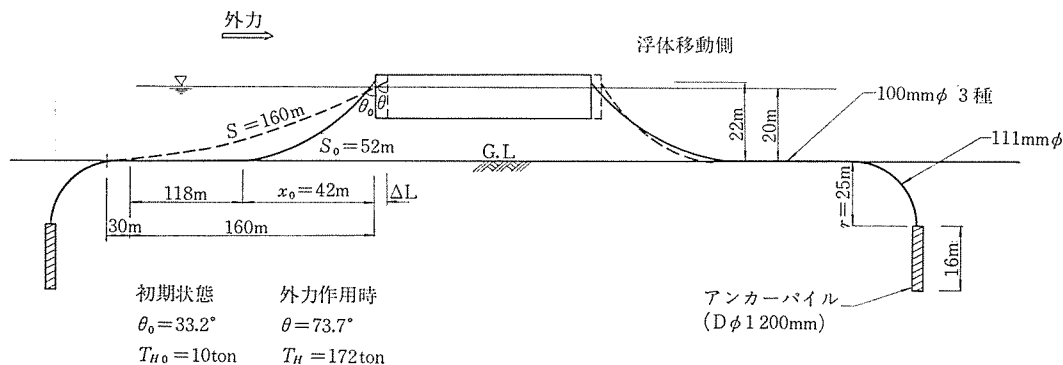


図-6.13 係留状態図 (catenary)

海域の利用,あるいは海洋構造物の計画に当って,海洋構造物の施工の安全性,経済性の両面から適切な消波工の開発が最も望まれている。

利用海域の消波に当って,海底から海面上までを障壁とする従来の重力式着底防波堤は,大水深に対しては経済性の面から限界がある。

一方,大水深での波のエネルギー密度分布の大部分が海面付近に集中していることを着目すれば,浮消波工はわずかに一部の透過波は避けられないが,海面付近の大部分の波エネルギーを吸収消波する点において最も合理的である。

(2) 浮消波工(なぎさ型)の性能

浮消波工は,瞬間的に強大な波浪の直撃力を受けて波を押し返す剛直な直立壁防波堤と異なり,波浪を柔軟にふとこにだきこむように,時間をかけて,持続的に波エネルギーを分散,平均化させて消波機能を発揮するので,波力の低減,係留力の低減に大きく役立つものである。また,波の進入方向に対して緩傾斜させることによって,波浪による浮体の揚圧力を防ぎ動揺を軽減できる。

消波工の性能を示す指標として,一般に入射波高 H_1 と透過波高 H_T との比 H_T/H_1 で表わされ,透過率と呼ばれている。透過率は一般に次式で表わすことができる。

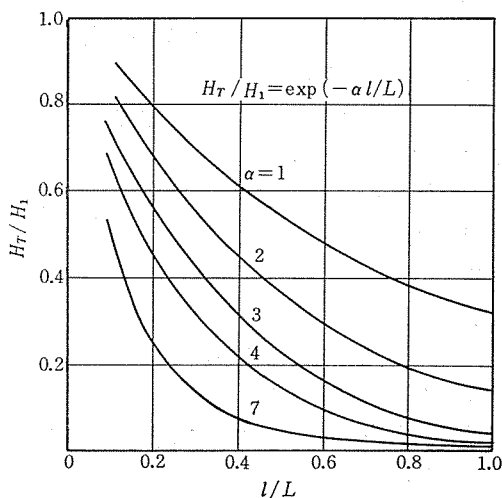
$$H_T/H_1 = e^{-\left(\alpha \cdot \frac{l}{L}\right)}$$

H_T/H_1 : 透過率

l : 消波工の幅

L : 波長

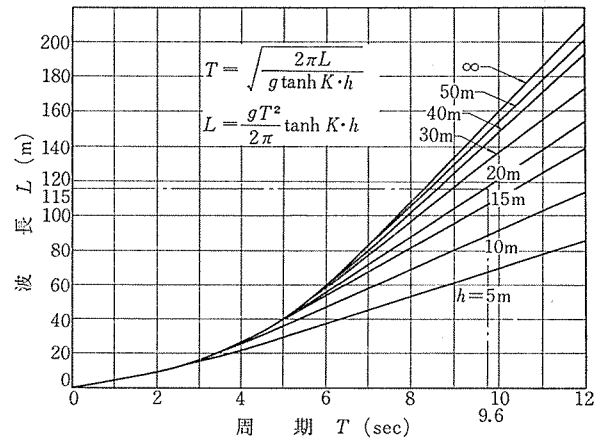
α : 消波工の構造形式によって定まる係数で,実験結果では $\alpha=3\sim 6$ である。



図—6.14 消波性能評価曲線

図—6.14 は H_T/H_1 と l/L との関係を図示したもので,消波工の幅 l が大きいほど,また α が大きいほど消波性能が高いことを示している。

また 図—6.15 は,水深 h ,波の周期 T ,波長 L の関係を示す。



図—6.15 水深 h , 周期 T , 波長 L の関係

(3) 設計基本原則

浮消波堤の設計に当って,次項を基本原則として,主要形状寸法を決定する。

- 1) 幅の広い平板状構造体を沖側(波浪の入射端)を低くした緩傾斜($6^\circ\sim 10^\circ$ が適当)をもたせて海面付近に設置して消波機構の主体とする。
- 2) 消波用平板構造体を固定,または固定に近い状態に保持する。このために係留設計に際して,干潮時に係留材に初張力を与え,かつ傾斜角 $6^\circ\sim 10^\circ$ となるように係留材の設計を行う。
- 3) 海域の利用目的に応じて要求される静穏度が得られるように,平板構造体(消波工)の幅を理論的に決定する。
- 4) 以上の基本原則によって設計された浮消波工に作用する波力の水平分力の最大値は,実験結果から直立固定壁に作用する波力の $1/10$ 以下になることが測定されている。

6.5.2 提案する設計案

浮消波堤の消波性能安全度を検討するための設計条件は前記の自然条件より,

- 水 深: 20 m
- 設計風速: 50 m/sec
- 設計波高: 4.6 m
- 設計周期: 9.6 sec
- 設計波長: 115 m
- 設計潮流速: 2.2 ノット

を採用した。

今回検討した浮消波堤の構造は平板構造体として, 2

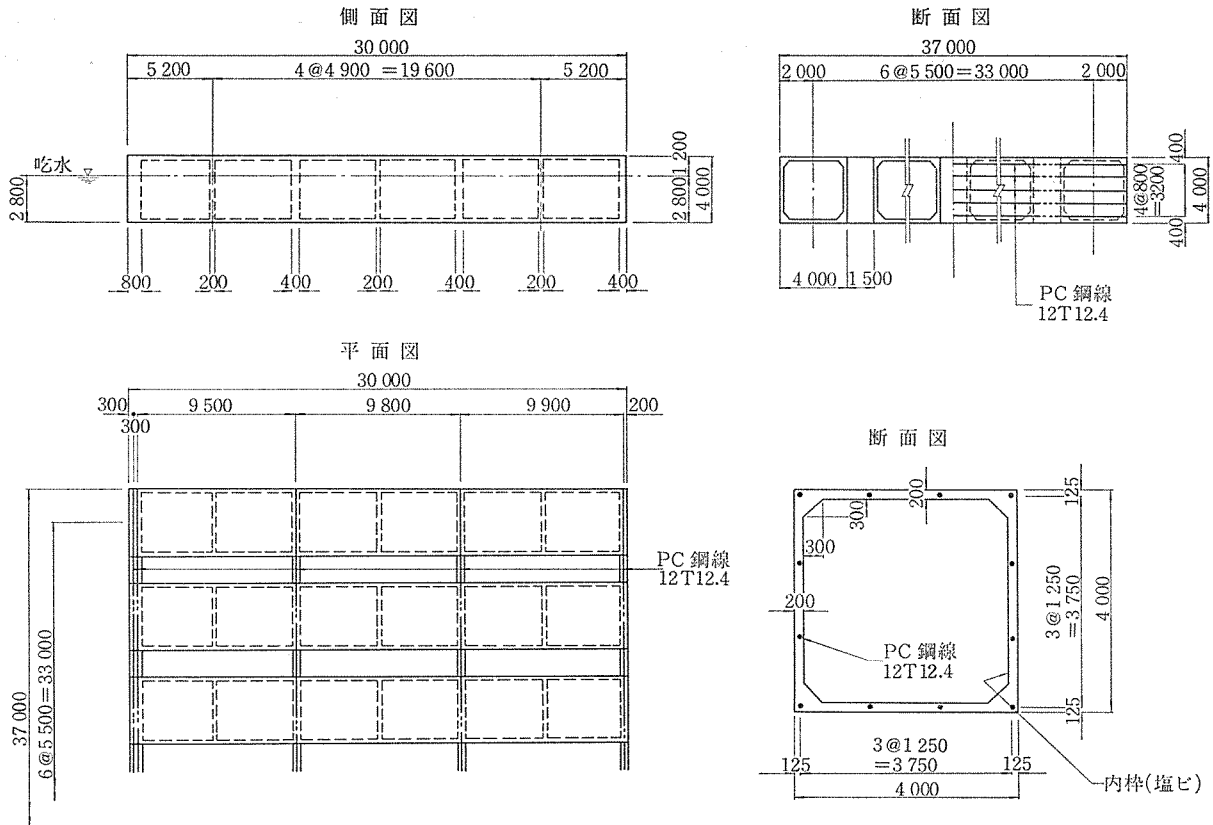


図-6.16 浮消波堤の構造

方向にフルプレストレスを与え、コンクリートに対するひびわれを防御するとともに、鉄筋のかぶりについては国際海洋構造物基準に沿った構造としており、安全性と耐久性のある構造物となっている。

浮消波堤の幅は、透過率 (H_T/H_1) を約 1/3 程度になるように前記の条件、波長 115m、波高 4.6m と、図-6.14 より消波堤幅を $\alpha=4$ (浮消波堤の形式に該当) の線により、 $L=30\text{m}$ に決定した。

浮消波堤のユニットは、図-6.16 に示すように $4\text{m} \times 4\text{m} \times 30\text{m}$ の中空断面のプレキャストブロックを 7 個ダイヤフラムで連結する。1 ユニットの寸法は $4\text{m} \times 37\text{m} \times 30\text{m}$ となる。浮消波堤ユニットはバラストを載荷することにより沖方向に 8° 程度の緩傾斜を持たせる。

浮消波堤の係留は 3 ユニットをチェーンで連結し、海

底に打ち込まれたアンカーパイル ($\phi 1200, l = 11\text{m}$) とチェーンで連結して係留する。

6.5.3 浮消波堤の特徴

[利点]

- 1) コンクリート製であるため耐久性が高い。
- 2) ユニット方式構造であり、補修、取替えが容易で、かつ、地形に対応させて任意、適切な形状の浮上構造体を組立てることができる。
- 3) バラスト載荷により任意、適切な傾斜角に調整が可能である。
- 4) 傾斜角と格子構造空間部とによって消波効果を上げることができる。
- 5) 浮体であるために海水の流通を妨げない (魚礁、イケア効果がある)。
- 6) 必要により浮体の他場所への移設が可能である。
- 7) 深海になるほど着底式に比較して経済効果が増大する。

[欠点]

- 1) 長周期の波が消えにくい。
- 2) 底層の透過波が残る。
- 3) 係留の方法によっては浮体の移動による二次波が発生する。

6.5.4 今後の研究課題

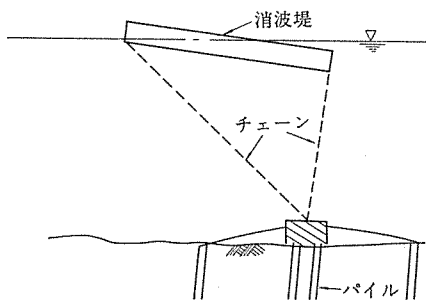


図-6.17 浮消波堤の係留方法

(1) 長周期の波、底層透過波

これらを遮蔽するには、完全な着底式防波堤でないかぎり問題は解決しない。しかし、必要な静穏度は、遮蔽海域の使用目的によって定まる問題であり、浮消波堤の幅を広くすることによって、実用上支障のない静穏度を確保することは可能である。

本報告書で提案した浮消波堤では、透過率 $H_T/H_1=0.37$ 程度であり、浮上式空港本体に作用する波力は、 $(H_T/H_1)^2=0.14$ 程度となり、波力影響は著しく軽減され、経済的効果は顕著である。

(2) 係留の問題

係留系事故として起こりやすいのは、直接的には直立壁面に作用する衝撃的波力が原因となって、

- ① 浮体の動揺による係留系への衝撃。
- ② 繰返し応力による疲労。
- ③ 連結部の摩擦。
- ④ 海底アンカーに対する設計・施工上の不確実さ。

などが想定されるが、浮体構造機構を持たせることが、係留系の安全性を確保するうえで重要なことであり、また逆に浮体そのものの動揺がより小さくなるような係留系を考慮することが重要である。

このためつぎのような方法が考えられる。

- ① 浮体を適切な深さに、適度な緩傾斜面を持たせて波力を軽減する。
- ② 浮体の重心を低下させて安定させる(③と併用する)。
- ③ 浮体の係留材に初張力を与える。
- ④ ストラットアンカー

しかし、浮体の形状と係留系の挙動について、理論的、実験的な研究が必要と考えられる。

(3) 軽量化の問題

提案した消波堤はかぶり厚の規定により 20 cm 厚となり、かなり重い構造となっている。しかしながら設備の

ととのった工場製作とすることにより、図-6.18 に示したようなすい構造物とすることも可能である。

(4) 今後の問題点を総括すれば、構造、材料、施工、メンテナンス、安全性、経済性など、問題は多岐にわたるが、基本的に可能性の予測が成立するならば、あとは現在の技術水準で、個々に解決可能な問題に分割される。

本報告書では、新関西国際空港予定海域をモデルケースとして一提案を行ったものであるが、さらに水槽模型実験、現場海上実験によってフィージビリティを確認することが先決である。

(執筆担当：大神芳馬、宮地 清)

6.6 本案の特長考察

ここでくりかえしプレストレストコンクリートによる浮上式海上空港の特長を列举すると次のとおりである。

(1) 特 長

- 環境問題を起す心配はきわめて少ない。
- 不等沈下の心配がない。
- 工期が短い。
- 製作管理が容易。
- 海上での接続が可能。
- 錆びない。
- △振動が生じても減衰性が良く、すぐに消滅する。
- △補修も可能

(2) 安 全 性

- 消波堤により、波浪等による上下の動揺はほとんどない。
- 風・波浪・潮流で前後左右に動揺することはない。
- 荒天時や地震時にも係留は安全。
- 航空機荷重による滑走路面の変化は小さい。
- 夏冬の温度差による伸縮の影響はほとんどない。
- 火災や船の衝突に安全。

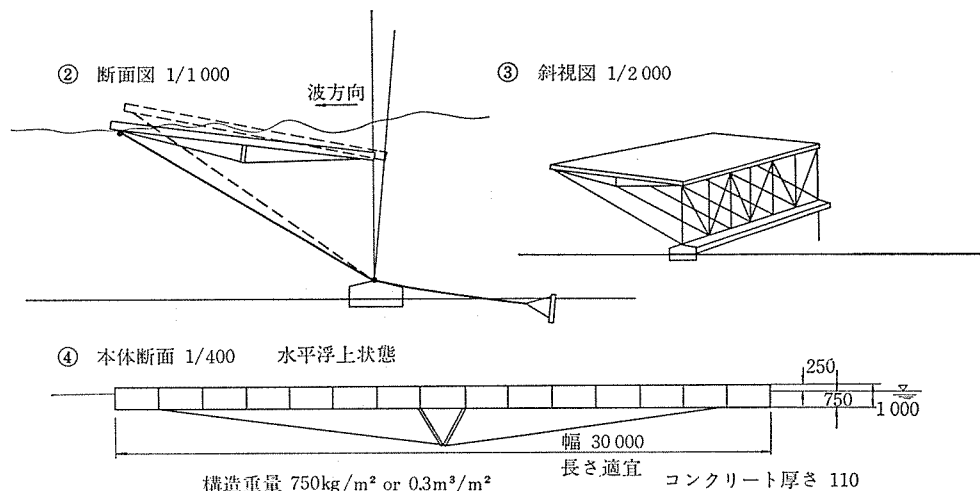


図-6.18 軽量化浮消波堤

報 告

○耐久性は橋と同じ。

△プレストレスにより水密性は確実。

(3) 機 能 性

○立体的に活用できる。

○離着陸の機能は陸上空港と変わらない。

○増設が容易。

(4) 経 済 性

△保守がいらぬ。

(5) 将 来 性

△浮体構造物への応用バージ、さん橋、浮きドック、
石油備蓄

(執筆担当：柳下 肇)

7. あとがき

当協会に海洋構造物委員会が編成されて、第1回目の委員会を昭和53年4月10日に開催して以来10回の会合を重ね、1年間で本構想を提案することができた。各委員は、多忙中にもかかわらず終始熱心に討議され、当協会が保有する最高の技術を傾け、いまだ前例のない巨大な浮上式構造物の設計・施工に関する構想を短期間

にまとめることができた。これ一重に、バックの関連企業各社ならびに委員各位の御尽力の賜であり、委員長として深甚の謝意を表したい。

もちろん、短期間に仕上げたものであり、幾多の未解決の問題が残されているので、今後の研究にまつところが多い。ここに、各方面より、忌憚のない御批判と御叱正を謹んでまつものである。

なお、本報告書脱稿後に、当協会主催の参加団が結成されて、リオデジャネイロにおける1979年海洋構造物国際シンポジウムに出席した。会議は、10月7日より12日まで、世界21か国、約160人の参加のもとに、海洋構造物の設計、施工、保守および計測などについて論議された。日本からは、4論文が発表されて、13人が出席した。

リオデジャネイロ大学、サンパウロ大学、カリフォルニア大学バークレー校の充実した研究設備、サンタフェポメロイ社のコンクリート工場、バンクーバーの既設・未設のポンツーン海上埠頭などを見学し、海洋構造物とその研究について、見聞を広めて帰国できたことを報告したい。

(執筆担当：君島博次)

付録 参考文献

番号は当協会所蔵の文献の整理番号を示す。

番 号	題 目	出 典	著 者	備 考
A-1	海上空港のための海洋スペース	海上空港研究会報告書 '72.1	鋼材倶楽部	関西国際空港
A-2	Federal Register Determination of Transportation	Rules and Reg.	USA	'70.2
A-3	Ocean structures of prestressed concrete	PCI Journal '71.3	B.C. Gerwick, Jr.	
A-4	Concrete structures; Key to development of the oceans	ACI Journal '74.6	B.C. Gerwick, Jr.	
A-5	海洋土木の新しい動き—拡張可能な浮き基地—	施工技術 75.1.2	長崎作治	
A-6	プレストレストコンクリート船開発の現況と問題点	土木施工 '77.1	猪股俊司	
A-7	コンクリート船の将来	セメント・コンクリート '77.2	竹鼻三雄	
A-8	浮体構造による計画案	J.S.S.C. '78.3	日本鋼構造協会	
A-9	昭和52年度委員会事業報告書	J.S.S.C. '78.3	日本鋼構造協会	
A-10	ハワイ海上都市計画	カラム	菊竹清訓	
A-11	世界の海上空港—計画と構想—	運輸省公報	雨宮武男	46.2
A-12	Prestressed concrete floating structures	The society of naval arch. marine eng.	A.R. Anderson	
A-13	3 海上飛行場			
A-14	Concrete sea structures	Tbilisi FIP Symposium '72.9	FIP	
A-15	Concrete ships & vessels	Berkeley Symposium '75.6	U.C.B. London	
A-16	Concrete afloat	Symposium Concrete ships & Floating structures '77.3		
A-17	Seminer on sea structures	8th FIP Congress '78.5	FIP	London
A-18	Seminer on concrete ships	8th FIP Congress '78.5	FIP	London
A-19	海上空港の計画と建設	港湾技研資料 No. 118 '74	佐藤勝久	
A-20	フローティングブリッジに関する調査報告	日大理工学部理工学研究所 '77 No. 5	加藤・関	
A-21	プレストレストコンクリート海洋構造物	海外ニュース '74		
A-22	プレストレストコンクリートを用いた海洋構造物	土木施工 '77.1	猪股俊司	
A-23	大型浮遊構造物	ISSC No. 97 '74.1	武藤	
A-24	Floating airport	Ocean Industry '70	Weidlinger	1970

番号	題 目	出 典	著 者	備 考
A-25	Prestressed concrete floating and submerged structures	FIP	B.C. Gerwick, Jr.	
A-26	Prestressed Concrete Gravity Platform for Deep Water	OTC. '73		
A-27	沿岸海域の空間利用とコンクリート構造物	セメントコンクリート No. 298	吉田	
A-28	人工軽量骨材コンクリートの河海構造物への応用と浮上都市計画構造物について	コンクリートジャーナル '69.3	清水	
A-29	Floating Dock in Genoa's Harbour	L'Industria Italiana del Cemento		FIP 8 th Congress
A-30	巨大な海上貯油センターの実理	Ocean Age '78.1	島田博之	
A-31	夢ふくらむ浮体方式による海上空港	Ocean Age '78.1	日本造船工業会	
A-32	コンクリート海洋構造物の最近の傾向	PCI Journal '76.5	B.C. Gerwick, Jr.	
A-33	日本で最初の鉄筋コンクリート船	コンクリート工学 '78.5	田村富雄	
B-1	海洋鋼構造物設計指針(案)解説	'73.8	土木学会	
B-2	Recommendation for the design and construction (I) of Concrete sea structures	FIP '73.10		(II) '74.11 (III) '77
B-3	固定式海洋構造物の設計施工および検査に関する規則	DNV '74		
B-4	プレストレストコンクリートバージ規準(案)	NK '75		解説 '75
B-5	Prestressed concrete ships: First report consideration for design	FIP '75.11		
B-6	Recommended Practice for Segmental Construction in Prestressed Concrete	PCI Journal '75.3.4	PCI	
B-7	Classification and survey of pontoons supports of plants	BV '76 1		
B-8	海洋コンクリート構造物設計施工指針(案)	コンクリートライブラリー No. 42 '77.3	土木学会	
B-9	海洋構造物の安全性と船級協会規則	日本海事協会	寺田	
C-1	アメリカ・ワシントン州の3つの浮橋について	橋梁 '66.3	諸岡熊博	
C-2	Feasibility study of prestressed concrete tanker ships	Journal ACI '74.12	Johannes Moe	
C-3	Design and construction of ocean going pretensioned concrete barge	ACI Journal '75.4	A.A. Yee	和訳あり
C-4	Tacoma gives birth to unique L. P. G. storage unit	Western Construction '75.4	Bruce Johnson	
C-5	Concrete ships for hauling L.N.G. ?	Ocean Industry '77.5		
C-6	Floating concrete terminal for arctic seas	Ocean Industry '75.11		
C-7	Application of reinforced and prestressed concrete at floating special structures	Marine Tech. '76.8	K. Finsterwalder	
C-8	ARCO will operate floating LPG facility offshore from Indonesia	Marine Engineering '76.9		
C-9	Concrete rocks LNG boat	Marine week '76.10		
C-10	World's Largest Prestressed LPG Floating Vessel	PCI Journal '77.1,2	R. Anderson	
C-11	EKOFISK prestressed concrete oil storage caisson	Freyssinet International		
C-12	A semi-submerged stable plable platform as an offshore port	OTC '75	R. Hooper	
C-13	Practical methods of ensuring durability of prestressed concrete ocean structures	ACI SP 47-14 '75	B.C. Gerwick, Jr.	
C-14	Concrete offshore structures-structural aspect.	OTC '75	Gausel. Flinge	No. OTC 2405
C-15	大型浮遊構造物のハイブリット球殻化	国際海洋開発会議 '75	西枚	
C-16	プレストレストコンクリートバージの設計と施工	プレストレストコンクリート '78.1	林・島村	
C-17	プレキャストブロック工法によるPC沈埋トンネルの設計と施工	土木技術 '77	寺田・林	
C-18	PC工法による洞海湾横断沈埋トンネル工事	土木施工 '77.8	島村・刃根	
C-19	The Ninianfield concrete gravity platform	FIP 8 th Congress	D. Draisey	
D-1	水で飽和されたモルタルの圧縮破壊および疲労特性に関する基礎的研究	土木学会論文報告集 第245号	田 政節	
D-2	水で飽和されたモルタルのクリープ挙動に関する研究	土木学会論文報告集 第256号	田 政節	
D-3	コンクリートの水密性の研究	土木学会コンクリートライブラリー No. 7	村田二郎	
D-4	海洋環境におけるプレストレストコンクリートの耐久性	港湾技術資料 No. 191	関 博	
D-5	構造物の劣化と耐久性向上の対策	コンクリート工学 '77.9	関 博	
D-6	海洋開発における基礎構造物の現状	土質学会		
D-7	鋼材の腐食と対策	コンクリート工学 '77.9	小林豊治	
D-8	Lower density concrete for marine structures	FIP 8 th Congress	T.W. Bremer	

会 員 増 加 に つ い て お 願 い

会員の数はその協会活動に反映するもので、増加すればそれだけ多くの便益が保証されています。現在の会員数は2400余名ですが、まだまだ開拓すべき分野が残されています。お知合いの方を一人でも多くご紹介下さい。事務局へお申し出下されば入会申込書をすぐお送りいたします。