



超大型浮体式海洋構造物の研究とその成果の報告（その4）

—上載施設機能保証技術の研究，その他の研究及び結言—

正員 菊 竹 哲 夫*

第6章 上載施設機能保証技術の研究

6.1 はじめに

浮体式海上空港（メガフロート空港）は超大型浮体式海洋構造物（メガフロート）の主要な用途の一つである。このメガフロート空港の実用化には、空港の機能が満足され、航空機の安全運航が可能であることが、空港ユーザーを含め広く一般に納得される必要がある。

さて同じ海上空港といっても、埋立て式海上空港の場合、埋立てた陸上に建設されるため、地盤沈下等の問題を除いて、基本的には既存陸上空港と同じ機能が確保される。一方、浮体式海上空港（メガフロート空港）では、空港施設は海上に浮く長さが数キロメートルに及ぶ鋼製超大型浮体の上に建設される。このため、波や風といった環境外力、離陸重量が400トンにも及

ぶ大型航空機（B747-400）等の移動荷重及び日照による変形等の影響を受ける可能性がある。そこで、メガフロート空港の実用化には、各種環境外力の影響度を解析、空港として必要な諸機能が確保されることを確認する必要がある。図6.1にメガフロート空港機能に関する影響因子と解析に必要な技術を示す。

上載施設機能保証技術の研究は、フェーズ1（平成7年度-平成9年度）の3年間において、図6.1に示す研究開発項目のうち、以下に示す研究開発を実施した。

- 1) (鋼製) 浮体特性解析プログラムの開発
 - ・ (日照等) 温度影響解析プログラムの開発
 - ・ 磁場解析プログラムの開発
 - ・ 振動解析プログラムの開発
 - ・ 騒音解析プログラムの開発

(注：なお、メガフロートの挙動を考える上で最も影響の大きい波浪応答解析や係留力解析は、既報告¹⁾)

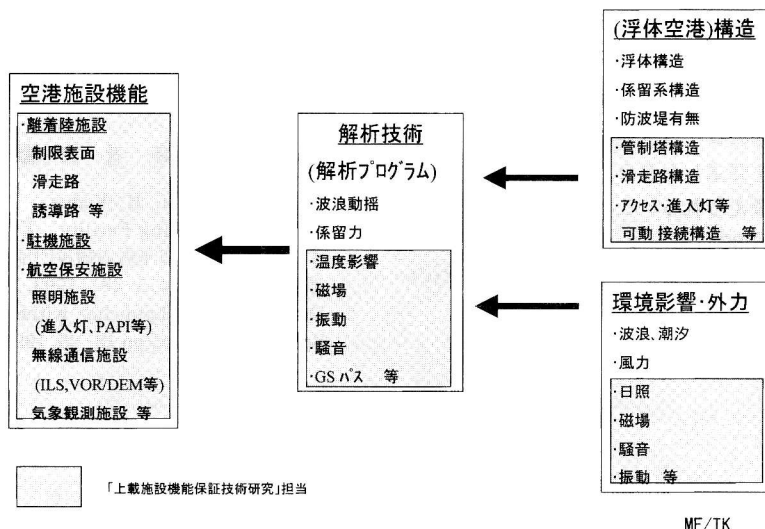


図 6.1 浮体空港における空港施設機能への影響因子と解析プログラム

* メガフロート技術研究組合

のように設計技術分科会が担当している。)

2) 浮体空港施設の検討

- ・浮体空港滑走路仕様の検討
- ・管制塔等の挙動検討等

3) 浮体空港機能の評価

- ・メガフロート空港着陸シミュレーション
- ・飛行機走行性の評価

その結果、既に報告したように²⁾、メガフロートの振動、騒音、温度影響、磁場については解析プログラムが完成、予測が可能となった。本報告では、主として平成9年度に実施した「浮体空港施設の検討」と「浮体空港機能の評価」の成果について述べる。

6.2 浮体空港施設の検討

6.2.1 浮体空港滑走路仕様の検討

滑走路は空港の最も基本的な施設であり、滑走路の設計のために各種の詳細な設計基準が定められている^{3)~5)}。これらの基準は既存（陸上）空港を前提とし、地盤や路床の強さを基準に使用航空機の重量に応じた舗装厚みを定めている。メガフロート空港の場合、滑走路の舗装は、地盤とは変形挙動や強度が異なる鋼製構造の上に建設される。そのため、既存の空港用滑走路基準がメガフロート空港にも適用可能か否かは検討が必要である。そこで改めて、鋼製構造と舗装構造からなるメガフロート空港滑走路の設計指針を検討、最終的には部分モデルを試作し耐久性試験によりこの設計指針の妥当性を確認した。

(1) 設計のクライテリア

メガフロート空港の鋼製構造は、既報告²⁾に示したように、鋼製の梁と板が組み合わさった構造となる。このため、その上の舗装構造に対する支持力は梁の部分と板の部分で異なり一定とはならない。従って、メガフロート空港の滑走路仕様を考える場合には、この点を考慮する必要がある。そこで、既存の空港舗装基

準に加え、似たような複合構造を持つ鋼橋の舗装基準も参考に、メガフロート空港の舗装構造の強度、耐久性を確保する観点から表6.1に示す設計のクライテリアを設定した。

表 6.1 メガフロート空港滑走路の設計クライテリア

対象部位	設計のクライテリア	備考(出典等)
無筋コンクリート舗装	・引張り応力 $\leq 1/2$ 静的曲げ強度	・セメントコンクリート舗装要綱 ⁶⁾ 、疲労設計法
アスファルト舗装	・デッキプレートのリブ間隔 $\leq 1/300$ ・表面ひずみ $\leq 300 \mu$	・道路橋示方書 ⁷⁾ 、鋼床版上アスファルトの設計法
PC床版舗装	・3種設計法(ひび割れ許容)	・プレキャスト床版合成桁橋設計・施工指針(案) ⁸⁾ ・プレキャスト床版設計施工マニュアル ⁹⁾
鋼構造部(含む溶接部)	・鋼船規則 ¹⁰⁾ 、 ・応力度 $\leq 10 \text{ kgf/mm}^2$	・鋼構造物の疲労設計指針・同解説 ¹¹⁾

表 6.2 試作した浮体空港滑走路モデルの特徴と粗い建設費試算

モデル名	無筋コンクリート	アスファルト	PCプレキャスト版
舗装構造(厚み mm)	無筋コンクリート(600)	・改質アスファルト(50) ・ゲースアスファルト(50)	PCプレキャスト版(280)
防水層(厚み mm)	防水シート	ゲースアスファルト(上記兼用)	ゲースアスファルト(10)
鋼構造			
1) 鋼板厚 (mm)	1) 19	1) 32	1) 19
2) ロング間隔 (mm)	2) 1250	2) 800	2) 800
3) トランス間隔 (mm)	3) 6000	3) 3000	3) 6000
舗装重量 (ton/m ²)	1.38	0.24	0.65
鋼材重量 ¹⁾ (ton/m ²)	0.23	0.41	0.29
全重量 ¹⁾ (ton/m ²) (死荷重)	1.61	0.65	0.94
舗装部建設費試算 ²⁾	2.6	1.0	11.1
鋼構造部建設費試算 ²⁾	6.5	11.7	8.3
全建設費試算 ²⁾	9.1	12.7	19.4
供用中の補修性	難	容易	比較的容易

注 1) (中間デッキ、)底板構造部分は含まず。

2) アスファルト舗装費を1とした相対価格。

3) 洋上施工等の特殊要因は考慮せず。

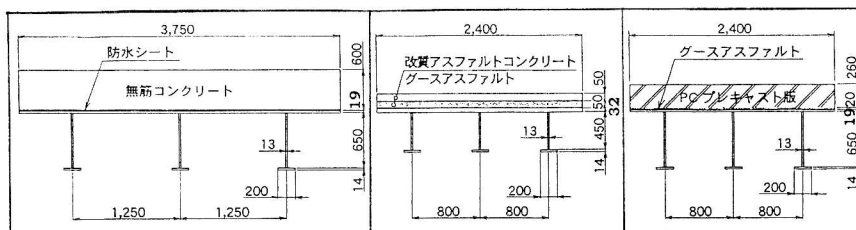


図 6.2 浮体空港滑走路モデル断面構造

(2) メガフロート空港滑走路モデル

表6.1の設計クライテリアに基づき、B747-400(ジャンボジェット)の離着陸を想定したメガフロート空港滑走路の部分モデル(長さ12m)を試作した。試作に当たっては、建設費、維持費バランス等を考慮し、構造の異なる3種類のモデルを製作した。モデルの特徴と粗い建設費試算を表6.2に、断面構造を図6.2に示す。なお、無筋コンクリートモデルとPC床版モデルにおいては、モデル中央部に目地を設定、その耐久性も評価した。

(3) 耐久性試験

浮体空港滑走路モデルに対し、ジャンボジェットのメインギヤー一脚(四輪)の重量と等しい载荷能力(911 kN)を持つ自動走行载荷装置(写真6.1, 運輸省港湾技術研究所土質部滑走路研究室所有)を用いて飛行機の走行荷重による耐久性を評価した。

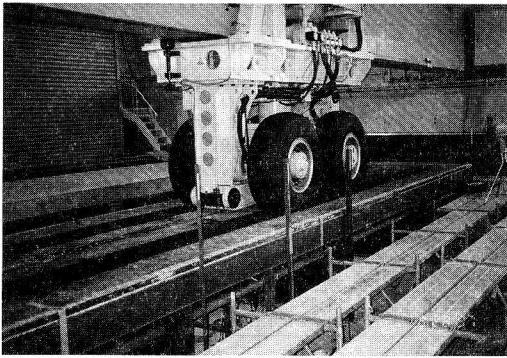


写真 6.1 自動走行载荷装置(载荷能力911 kN, 運輸省 港湾技術研究所 所有)

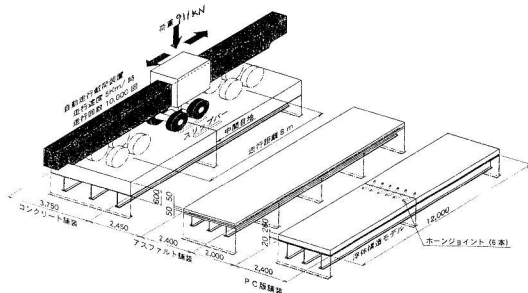


図 6.3 自動走行载荷装置による走行試験要領

試験要領を図6.3に示す。走行回数は滑走路研究室が既存空港滑走路の評価基準としている10,000回である。走行中に滑走路モデル各部の応力、たわみ等を連続して計測、解析モデルの精度を確認した。走行終了後にモデルの表面、断面観察を行い、亀裂の有無、

損耗程度等を計測した。計測・検査項目を表6.3に、応力計測点の例を図6.4に示す。

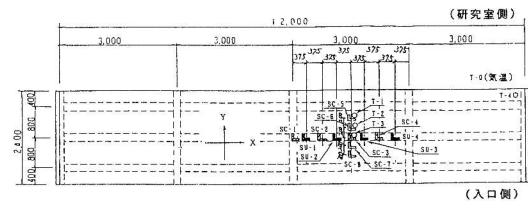
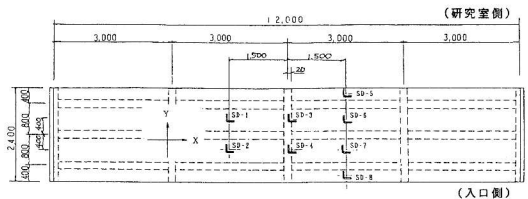
(4) 試験結果と考察

1) 解析値の比較

FEM弾性解析により各モデルのたわみ、応力を解

表 6.3 計測・検査項目

項目	試験体 No.1 アスファルト舗装	No.2 PC版舗装	No.3 無筋コンクリート舗装
デッキプレート下ひずみ	2軸×8点=16ch	2軸×8点=16ch	2軸×8点=16ch
下フランジひずみ	1軸×9点=9ch	1軸×9点=9ch	1軸×9点=9ch
舗装部ひずみ	2軸×12点=24ch	2軸×6点=12ch	2軸×6点=12ch
P.C鋼棒ひずみ	—	1軸×4点=4ch	—
P.C鋼線ひずみ	—	1軸×4点×2=8ch	—
スリット部ひずみ	—	—	1軸×2点=2ch
ホーンジョイントひずみ	—	1軸×2点=2ch	—
路版たわみ	19点	19点	19点
支点沈下	—	6点	7点
舗装部温度	4点	2点	3点
気温	1点	1点	1点
以上同時測定点数	73ch	79ch	69ch
舗装面平面度測定	○ 274点測定	○ 274点測定	○ 274点測定
亀裂発生状況観察	○	○	○
目地部段差測定	—	○	○
舗装内面の状況観察	○	○	○
タイヤ表面温度の 管理計測	○	○	○
試験体のレベル測定	○	○	○
タイヤ内圧の記録	○	○	○



L: アスファルト上面 2軸×4
 内部 2軸×4 (表面下20mm)
 内部 2軸×4 (下面境界部20mm上)
 ○: 温度測定 4箇所

図 6.4 ひずみ測定位置の例(アスファルトモデル)

析、計測値との比較を行った。なおFEM解析において鋼材部分はシェル要素、舗装部分はソリッド要素として扱った。使用した解析ソフトは米国サイバネット社の「ANSYS Ver. 5」である。またいずれのモデルも鋼構造と舗装構造の複合構造となるが、両構造の連続性を考慮して、アスファルトモデルは合成構造、無筋コンクリートモデルは非合成構造として解析、PC床版モデルは両方の条件で解析した。使用した舗装材料特性を表6.4に示す。

表 6.4 滑走路モデル解析に用いた舗装材料特性

	コンクリート	アスファルト*
ヤング率 E_c (kgf/cm ²)	330,000	1,000
せん断弾性係数 G_c (kgf/cm ²)	143,000	435
ポアソン比 μ	0.167	0.167

* : グースアスファルト、改質アスファルトとも同一とする

① 無筋コンクリートモデルについて

無筋コンクリートモデル、デッキプレートの垂直変位量を図6.5に示す。変位量は高々0.9 mmと非常に小さい。図6.6にロング下フランジの応力度を示す。最大約200 kg/cm²程度の応力が発生する。また、図6.7にコンクリートに発生する応力を示す。最大引張り応力は26 kg/cm²程度と予測され、設計クライテリア ($1/2 \sigma_B = \text{約 } 25 \text{ kg/cm}^2$) とほぼ等しい。いずれも計測値と解析値は良く一致する。

② アスファルトモデルについて

輪荷重負荷時のアスファルトモデル、デッキプレートの垂直変位量を図6.8に示す。トランス材の無い部分のデッキプレートの変位が特に大きく3.5 mm程度となり、無筋コンクリートモデル（図6.5）と比較してもかなり大きい。図6.9にロング下フランジの応力度を示す。最大400 kg/cm²程度の応力が発生し無筋コンクリートモデル（図6.6）の場合よりかなり大きい。いずれの場合も、計測値と解析値は良く一致する。

③ PC床版モデルについて

PC床版モデル、デッキプレートの垂直変位量を図6.10示す。計測された変位量は3.16 mmとアスファルトモデルに近い値を示す。合成解析値が実測値に近いがやや危険側の予測となる。図6.11にロング下フランジの応力度を示す。最大約500 kg/cm²程度の応力が発生、実測値は非合成解析値に近い。図6.12にPC床版に生じる応力を示す。

PC床版に生じる最大引張り応力は床版下面に生じ、その値は実測で30 kg/cm²程度、非合成解析値

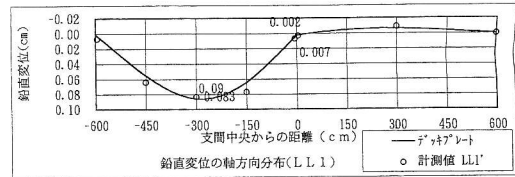


図 6.5 デッキプレートの垂直変位量（無筋コンクリートモデル）

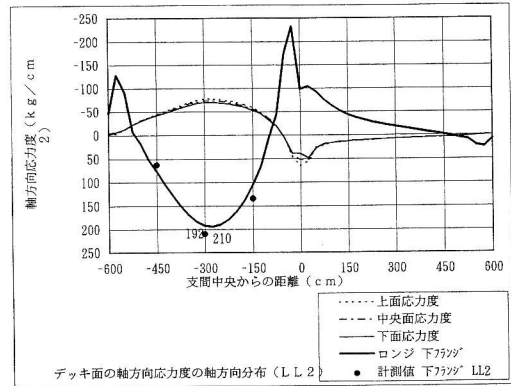


図 6.6 ロング下フランジの応力度（無筋コンクリートモデル）

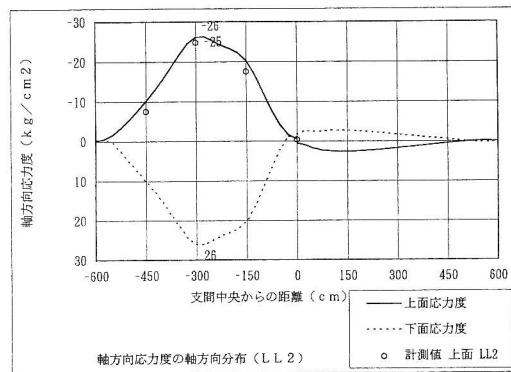


図 6.7 コンクリートに発生する応力（無筋コンクリートモデル）

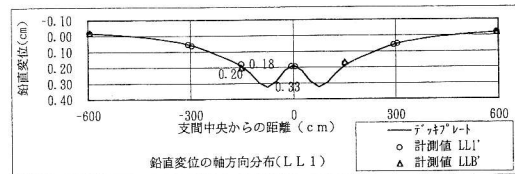


図 6.8 デッキプレートの垂直変位量（アスファルトモデル）

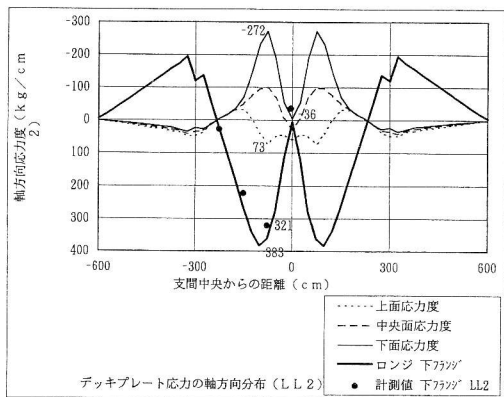


図 6.9 ロンジ下フランジの応力度 (アスファルトモデル)

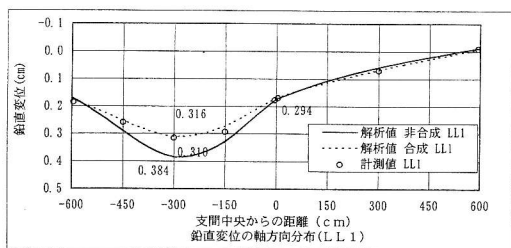


図 6.10 デッキプレートの垂直変位量 (PC床版モデル)

で 40 kg/cm^2 程度である。PC床版にはプレストレスとして約 10 kg/cm^2 の圧縮応力が付加されており、実際PC床版下面に加わる引張り応力は $20\text{--}30 \text{ kg/cm}^2$ 程度となる。この値は、コンクリートの疲労設計強度 ($\leq 1/2$ 静的曲げ強度 $\approx 25 \text{ kg/cm}^2$) にほぼ等しく、疲労亀裂発生の可能性は少ない。現実には耐久試験後の検査でも疲労亀裂は検出されていない。合成、非合成いずれの解析法を採用するかは議論のあるところであるが、安全側の予測となる非合成解析が妥当であるとする。

2) 耐久性について

各モデルにつき 10,000 回の走行試験を実施、走行

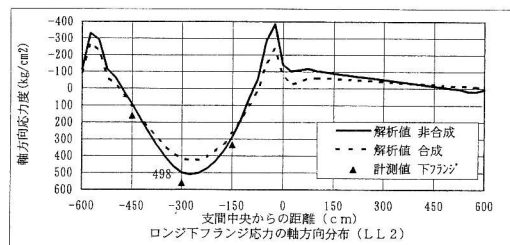


図 6.11 ロンジ下フランジの応力度 (PC床版モデル)

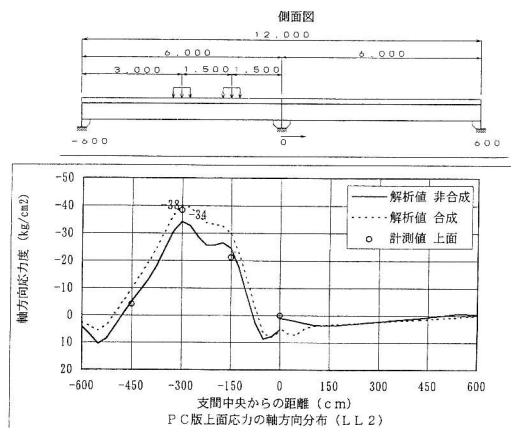


図 6.12 PC床版に生じる応力 (PC床版モデル)

の経過に伴う変形挙動の変化を観察した。試験終了後はモデルの表面や断面観察を行い健全性を調査した。各モデルとも走行回数の増加に伴う変形挙動の変化は無く、疲労亀裂などの進展はなかったと考えられる (図6.13)。表面性状に関しては、アスファルトモデルにおいて轍掘れが観察された (図6.14)。但し轍掘れの量は早急に補修を必要とするレベルではない。陸上空港においてコンクリート舗装を採用した場合に懸念されるコンクリート目路部の破損に関しては、無筋コンクリートモデル (図6.15)、PC床版モデルとも全く観察されない。これは、陸上空港の路盤が目路部

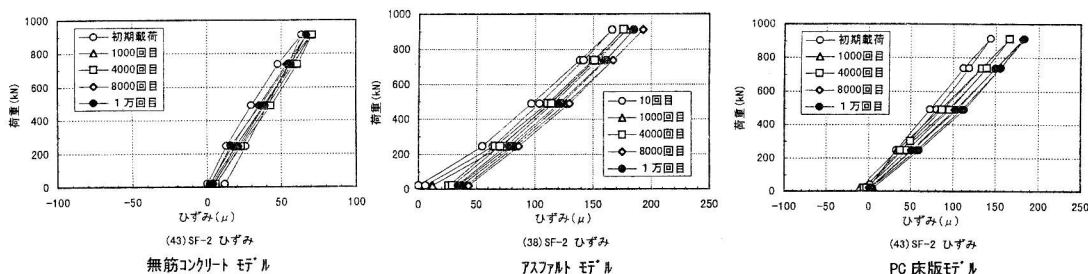


図 6.13 モデルの変形挙動に及ぼす走行回数の影響

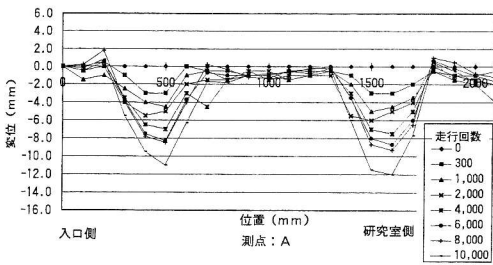


図 6.14 アスファルトモデルに発生した横揺れ

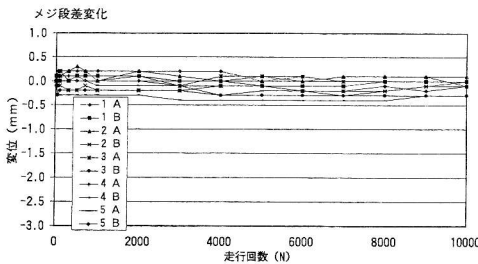


図 6.15 目路部段差と走行回数の関係（無筋コンクリートモデル）

の集中荷重で変形し、片側が沈下し段差を生じやすいの 비해、浮体空港の鋼製基盤は変形しにくく目路部段差が生じにくいと、考えられる。

まとめ

メガフロート空港滑走路構造に関する設計クライテリアを提案、試作モデルによる耐久性試験を実施し以下を確認した。

- 1) 採用したFEM弾性解析による解析値は、実測値と良く一致する。
- 2) 設計法としては、安全側となる非合成設計が望ましい。特に無筋コンクリート舗装の場合、非合成設計が必須である。
- 3) 各モデルとも10,000回の繰り返し走行試験に対し十分な耐久性を示し、今回採用した設計クライテリアと解析法は浮体空港滑走路構造の設計に有効である。
- 4) B747-400のような大型航空機が離着陸する大型浮体空港の場合、コスト（特に維持コスト）的にはコンクリート主体の舗装構造が優れる。
- 5) 浮体空港では鋼製基盤が地盤（路盤）に比べ局部変形しにくく、コンクリート舗装滑走路の場合、目路部破損とそれに伴う補修の恐れは少ない。

6.2.2 管制塔構造の検討

大型浮体空港の施設において、管制塔は非常に高く

（新東京国際空港では87.3 m）かつ大重量（同4,136 t）であるため、その設計には工夫が必要である。また管制塔の機能を考える場合、管制官の作業環境確保の観点から管制室の揺れを押さえる必要があり、陸上空港においても大型管制塔においては風による揺れ防止のための制振装置がつけられている。ここでは、大型浮体空港における管制塔機能維持の観点から、管制塔形状に関する基礎検討を行った。

(1) 管制塔の形状

管制塔は、滑走路のすべての場所を、滑走路面との交差角が35'以上で見通せる高さが要求される。この高さの維持と管理上の観点から、通常は塔状の管制塔が多い。一方浮体空港では、管制塔は浮体構造で支えられるが、陸上空港の管制塔基礎に較べれば柔構造とならざるを得ない。そこでこの弱点を補うため、浮体構造との接合面積の大きい末広状管制塔構造（図6.16）が考えられる。

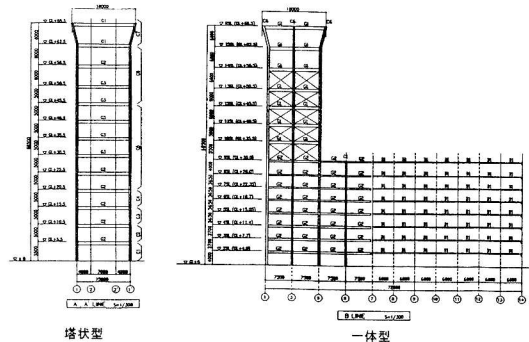


図 6.16 塔状管制塔と末広状管制塔の構造図

この末広状構造はいわゆる管制塔と管理棟を一体とする事を考えたもので、以後一体型管制塔と呼ぶ。

(2) 風荷重の影響

陸上と浮体上における塔状管制塔に風荷重が作用した場合の管制塔の応答を図6.17に示す。浮体空港の方が、応答が小さい。これは、浮体空港の場合、管制

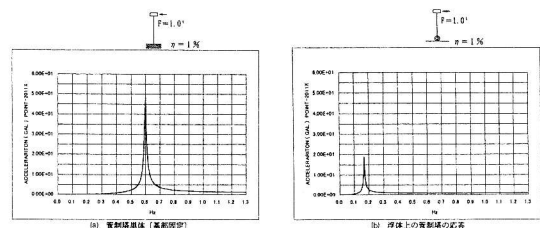


図 6.17 塔状管制塔の風荷重応答（陸上と浮体上の比較）

塔に加え浮体部分も一体となって応答するため、応答時の質量(マス)が大きくなるためである。

(3) 波浪の影響

浮体上の管制塔に及ぼす波浪動揺の影響を図6.18に示す。明らかに一体型管制塔の方が、揺れが少ない。管制塔頂部の管制室における揺れを定量的に評価するには、波浪条件や浮体基部構造を明らかにする必要があるが、浮体空港においては一体型管制塔構造があらゆる揺れに対して有利であるといえる。

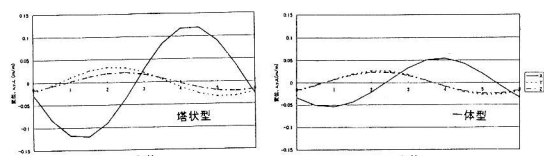


図 6.18 浮体上管制塔形状と波浪動揺の関係

6.3 浮体空港機能の評価

6.3.1 空港機能に関する影響度の比較

浮体空港機能を考える場合、最も影響が大きいと考えられる浮体空港固有の特性は揺れである。浮体空港での揺れの原因としては、波浪による動揺、航空機の着陸による振動等が考えられる。そこで、これらの影響度を、解析プログラムを用いて推定した。飛行機の着陸及び走行により生じる振動に関しては、B747-400の着陸条件を図6.19に示す荷重条件に置き換え、

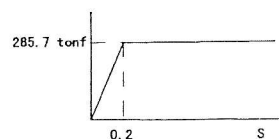
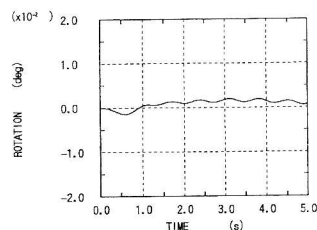


図 6.19 B747-400着陸を想定した荷重条件

全体振動解析結果



局部振動解析結果

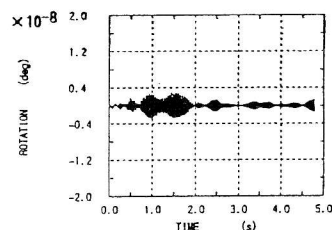


図 6.20 大型浮体空港PAPI位置の振動解析結果

振動の形式としては浮体構造全体が振動する全体振動と、滑走路のある甲板面のみが振動する局部振動の二種類の解析を行った。解析結果を精密進入角指示灯(PAPI)位置の回転角度として図6.20に示す。局部

表 6.5 浮体空港着陸シミュレーション条件

	海象条件 1	海象条件 2	海象条件 3	
再現確率	年間最大	年間 95%出現確率	100 年台風時	
沖波条件				
・有義波高 (m)	2.0	0.7	4.5	
・波周期 (秒)	5.0	4.0	9.5	
浮体波浪条件				
・有義波高	2.0	0.7	1.0	
・波周期	5.0	4.0	9.5	
備考	・東京湾奥を想定 ・防波堤なし ・27 年間平均	・東京湾奥を想定 ・防波堤なし ・気象海象要覧より推定	・防波堤あり	
浮体空港動揺両				
・回転角 (度)	$\pm 0.035^\circ$	$\pm 0.007^\circ$	$\pm 0.07^\circ$	
・周期 (秒)	5.0	4.0	9.5	
反射面変形量 *				*GS 70°計前面の反射面が sin 波形で変形すると仮定
・変形波長 (m)	200	160	260	
GS パス				
1) 回転角度	1) $\pm 0.016^\circ$	1) $\pm 0.002^\circ$	1) $\pm 0.030^\circ$	
2) 回転周期	2) 5.0 秒	2) 4.0 秒	2) 9.5 秒	
PAPI				
1) 回転角度	1) $\pm 0.035^\circ$	3) $\pm 0.007^\circ$	3) $\pm 0.070^\circ$	
2) 回転周期	2) 5.0 秒	4) 4.0 秒	4) 9.5 秒	
進入灯 (浮体の上下変位)	$\pm 1.5\text{m}$	同左	同左	

振動より全体振動の方がはるかに大きい、全体振動でも高々 0.001° 程度の非常に小さな回転しか生じない。

波浪動揺によるPAPI位置の回転角度の解析例を表6.5に示すが、いずれの海象条件でも 0.01° オーダーの回転量が予測される。従って、浮体空港の機能に及ぼす動揺影響を考える場合、影響度の大きい波浪動揺を第一に考慮する必要がある事がわかる。そこで次に示す浮体空港着陸シミュレーションにおいては、波浪動揺の空港機能に及ぼす影響を検討した。

6.3.2 浮体空港着陸シミュレーション

各種解析プログラムの開発により、浮体空港の挙動に関する数値解析が可能となったが、数値解では空港ユーザー（特にパイロット）の理解、納得を得る事は困難である。そこで、浮体空港の挙動解析結果をフライトシミュレーターにインプットし、浮体空港への着陸をシミュレーション、現役パイロットおよび関係者の評価を仰ぐ事とした。

(1) シミュレーション条件

浮体空港着陸シミュレーション条件を表6.5に示す。ここで、波浪動揺により最も大きな影響を受け、かつ着陸時に重要な役割を果たす空港施設として計器着陸装置（ILS/GS）と精密進入角指示灯（PAPI）を考えた。PAPIの光軸は、PAPIが設置されている浮体部分の回転角度だけ回転する。ILS/GSは、GSアンテナ前面のGS反射面（面積約 $460\text{ m} \times 120\text{ m}$ の地面または浮体上面）を利用して、直接波と反射波を合成して電波による飛行機進入パスを形成、着陸を誘導するものである。この電波反射を利用する原理のため、GSパスの回転は浮体上の一点の回転量より小さくなる。

シミュレーションは日本航空（株）所有のフライトシミュレーター（レディーフュージョン式B747-400、第一種フェイズ3）を用いた。そのコックピットを写真6.2に示す。着陸時フライト経路を図6.21に示す。なお、浮体空港の画像は既存空港（関西空港）を借用し、ILS/GSとPAPIのみを浮体空港として動揺させた。また、浮体空港の波浪動揺の影響のみをパイロットに判断してもらうため、飛行条件としては機体への風影響の無い、無風条件を選択した。

シミュレーションは現役パイロット2名により実施、各波浪条件及び比較のため浮体動揺の無い条件で、手動および自動操縦にて着陸を行った。

(2) シミュレーション結果

図6.22に浮体動揺が無い場合の手動着陸時（上段）

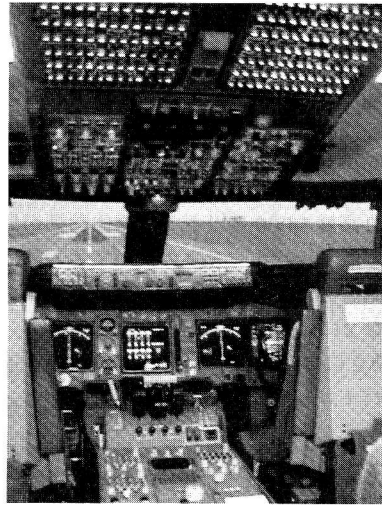


写真 6.2 浮体空港着陸シミュレーション実験状況（於 JAL）

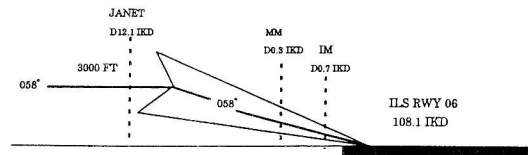


図 6.21 着陸シミュレーション時のフライト経路

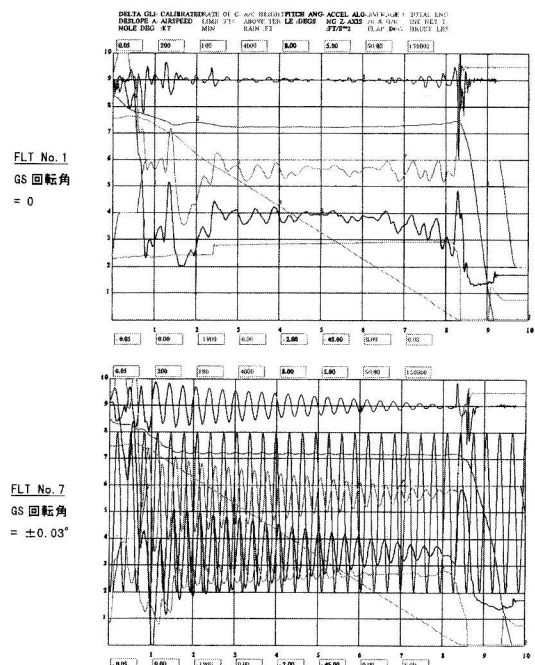


図 6.22 浮体空港着陸シミュレーション実験記録の例

とGSパスが動揺する場合(海象条件3, 浮体回転角0.07度)の自動着陸の記録を示す。海象条件3(有義波高1.0m, 波周期9.5秒)といった非常に厳しい条件の場合, 特に自動操縦では, 遠方でGSをキャッチした直後, 飛行機はGSパスの揺れに追従するため揺れる。しかしこの揺れは飛行機が空港に近づくにつれ小さくなり高度1,000ft以下では浮体動揺が無い場合と同程度となる。パイロットの見解でも着陸は可能である事が確認されている。また, 揺れの少ない海象条件1および2による着陸は全く問題が無い。さらにPAPIの動きについても, いずれの条件でも違和感の無い事がパイロットによって確認されている。

6.4 ま と め

主としてフェーズ1の後半(平成9年度)に実施した上載施設機能保証技術の研究の成果は以下のとおりである。

- 1) 浮体空港滑走路の設計クライテリアを設定, 舗装構造の異なる3種類の滑走路モデルを試作した。運輸省 港湾技術研究所 滑走路研究室の有する載荷装置を用いて試作モデルの評価試験を実施, 耐久性を確認し, 設計クライテリアが有効である事を確認した。
- 2) 大型浮体空港の舗装構造としては, 建設コスト, 維持コストともコンクリート主体の舗装構造が有利である。
- 3) 浮体空港の管制塔形状は, 動揺抑制の観点から, 浮体基部との接合面積の大きい末広状構造が有利である。
- 4) 波浪動揺によるILS/GSとPAPIの挙動をシミュレート, B747-400フライトシミュレーターを用いて浮体空港着陸シミュレーションを実施した。現役パイロットの評価によれば, 波浪動揺の影響はほとんど問題にならない。

なお, 本研究の実施に当たり, 多大のご協力と助言をいただきました運輸省 港湾技術研究所 滑走路研究室 八谷室長, 今井主任研究官, JAL関係各位に, 紙上を借り謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 佐藤千昭: “実用化を目前にしたメガフロート研究(その2)”, 日本造船学会誌, 第823号(1998), p. 57-65.
- 2) 菊竹哲夫: “実用化を目前にしたメガフロート研究(その3)”, 日本造船学会誌, 第824号(1998), p. 8-11.
- 3) (財)港湾空港建設技術サービスセンター: 空港土木施設設計基準 運輸省航空局監修(1998).

- 4) (財)航空振興財団: 空港アスファルト舗装構造設計要領, 運輸省航空局監修(1995).
- 5) (財)航空振興財団: 空港コンクリート舗装構造設計要領, 運輸省航空局監修(1990).
- 6) (社)日本道路協会: セメントコンクリート舗装要綱.
- 7) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説(1997).
- 8) プレキャスト床版合成桁橋設計・施工指針(案).
- 9) プレキャスト床版設計施工マニュアル.
- 10) 鋼船規則.
- 11) (社)日本鋼構造協会編: 鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 技報堂出版.

第7章 その他の研究及び結言

7.1 フェーズ1の研究について

以上, 6章に亘ってメガフロート技術研究組合の事業としての研究成果を報告した。この報告により, メガフロートを建造するに当たっての大きな技術課題は, 実証実験により明らかになったことを理解いただけたかと思う。今後はこの技術を使ってメガフロートを実現させることが目標である。しかし, メガフロートを実現させるに必要な基本的な技術は一通り確立したが, さらに高度な技術の開発, すでに開発した技術の改良, 経済性の追求などに関する研究課題は未だいくらかでもあり, 引き続き次のフェーズ2の研究で, 並行して種々の研究を当技術研究組合でも行っている。

前章までの報告では補助金を受けた事業としての研究の紹介をしたものであるが, 実際にはこの他にも自主研究として実用化に向けた研究, 事業研究の補完的な研究, この際大型浮体モデルを利用して行っていた研究などを, 大学, 官庁研究所, 海洋関係団体, などへの委託研究や共同研究として実施した。

番外になるが, これらの主要なものについても, 何をやったのかを極く簡単に紹介しておきたい。

7.2 組合自主研究

自主研究は全部で約30項目あったが, そのうちの幾つかを概略ではあるが紹介する。

(1) 超大型浮体式海洋構造物の安全基準に関する研究

(財)沿岸開発技術研究センターとの共同研究で, 平成8年度から始められ平成10年度に完成した。これは, いずれ国などの公的機関から出される安全基準の原形となるようなものを想定しており, 「安全基準案」と, その技術的な根拠となる「技術基準案」で構成されている。技術基準案の作成に当たってはフェー

ズ1の成果を参考にして纏めている。この研究では、大学や運輸省の技術研究所の他に、組合に参加していない会社も含めて、多くの専門家に加わっていただいで基準案をまとめた。まとめるに当たっては(財)日本海事協会のご指導及びご協力をいただいた。

(2) 超大型浮体構造物安全性評価に関する研究

運輸省船舶技術研究所との共同研究で、船舶技術研究所とメガフロート技術研究組合で行った要素技術の研究成果の一部を持ち寄り、超大型浮体構造物の安全性評価に利用可能な技術について取りまとめたものである。主な項目は外力評価、弾性応答評価、係留システム評価、施工技術評価などである。

(3) 法制度の整備に関する研究

(財)運輸経済研究センター及び(社)鋼材倶楽部との共同研究で、メガフロートに関わる現行法の調査を行い、これをメガフロートに適用する場合の問題点を明らかにした。具体的には、技術的な構造安全性の関連だけでなく、国土計画、事業主体、利権関係、資金調達、海域開発・占有・利用に関する法制度も調査した。研究結果は、現行法でも適用できないことはないが、メガフロートのようなものを想定していない部分は筋の通った考え方で新たに整備すべきであるとしている。

(4) 超大型浮体構造物の設計信頼性の評価に関する研究

(社)日本鋼構造協会との共同研究で、超大型浮体構造物の設計思想はいかにあるべきかということ、船舶・海洋、土木、建築系の大学の先生方にまとめてもらったものである。具体的には造船、土木、建築学界での代表的な大型構造物である船舶、海洋構造物、橋梁、防波堤などでの安全性の考え方を対比しながら、超大型浮体構造物での安全性に対する考え方を取りまとめたものである。この成果は前記(2)項の研究成果と共に、(1)項の安全基準案を作成する上でも大いに参考になっている。

(5) 超大型浮体の利用拡大に関する調査研究

マリンフロート推進機構との共同研究で、東京湾奥にメガフロート空港を設置する場合の試設計を行った。この試設計はメガフロート空港の具体的な検討を行うことを目的にしたために、空港の規模や設置場所の選定などプロジェクトの在り方については単に仮定して検討を進めた。この具体的な設計を基にして各種の課題を抽出し、これを検討しながら全体を取りまとめた。また、これを土台にして一連のメガフロート設計技術の成果を確認した。概略の工期及び工費も算定

しているが、この点ではさらに改善の余地があり、引き続きフェーズ2でも検討を行うことにしている。

(6) 湿式水中溶接技術の研究

工業技術院四国工業技術研究所との共同研究で、メガフロートの現地接合工事に利用可能な小型の湿式水中半自動溶接機を開発した。また、厚板(25mm)や上向き溶接が可能な水中溶接機を開発した。この溶接法は通常の現地接合工事に利用可能であるが、さらに、補修を含めた特殊なケースでの溶接にも適用することができる。

(7) 海洋構造物の検査・点検・補修システムの開発

石油公団は上五島及び白島の石油洋上備蓄基地で、備蓄タンクの泊地内での検査、点検、補修システムの開発を行ってきており、この分野では先行している。そこで、組合は石油公団と研究資材の融通等の技術協力を結んで、これ等を使って行った研究成果の共有化を行った。各種のモニタリングシステム及び水中補修システムの研究では、既知のレベルまでのキャッチアップや組合の研究に利用可能な機器の借用で支援を受けた。逆に、石油公団は組合の浮体モデルを利用して防食電位分布の研究を実施した。

(8) 高分子系素材の暴露試験

(財)高分子素材センターとの共同研究で、海洋構造物の装備品などに適用可能な、有機複合新素材の暴露試験を行った。試験は浮体モデルの飛沫帯で行ったが、同時に他の陸上屋外暴露試験も行い、比較実験として行われた。この研究により各種有機複合素材の劣化に関するデータを収集し、このような素材の基本的な試験・評価方法の参考となる基礎資料を得た。

(9) メカニカル接合の可能性の研究開発

数人の大学の先生方との共同研究で、メガフロートに対するメカニカル接合の可能性について検討した。まず、メカニカル接合の特徴と、過去に実績のある具体的方法の調査を行った。その上で、別に試設計を行った浮体構造物(防災拠点)にメカニカル接合を適用することを検討し、計算等により実現可能であることを確認した。本研究は菱和海洋開発(株)にまとめてもらった。

(10) 総合水理実験及び環境保全に関する研究

工業技術院中国工業技術研究所との共同研究で、同所の瀬戸内海大型水理模型水槽を借用して大阪湾にメガフロートを設置した場合の水理実験を行った。これによりメガフロートの有無による拡散パターン、流跡線、流速、などのについて計測し、浮体影響による変

化を把握すると共に、計算プログラムの検証をすることができた。

(11) 超大型浮体式海洋構造物設計手法の評価技術に関する研究

8大学の海洋構造物に関係している先生方をお願いして、2年間で合計31項目の委託研究を行った。研究内容は波浪、流体、係留、構造、災害損傷、等、多岐にわたるので個々には紹介できないが、いずれも組合の研究を補完する内容のものである。

7.3 おわりに

以上、メガフロートが3年間に亘って行った研究を4回に分けて紹介した。初めにもお断りしたように、それぞれの専門分野を担当した主任研究員及び組合参加会社の研究者がその分担分を執筆した上に、分野によってはその技術の特性もあるために、必ずしも書き方の統一がとれなかった。この点については、本報告の全体を通して読むと違和感が感じられるかもしれないが、ご容赦願いたい。しかし、逆に、それぞれの研究成果がその研究分野の特性に合わせて、具体的に紹介されたものになったと考えている。

これら、紹介した研究成果は、実際には、多くの研究テーマに分割して、組合参加会社、または組合参加会社を経由して専門の会社や団体組織などに研究を実施してもらったものである。研究項目は同一研究でも年度で分かれたテーマもあるが、3年間合計で、報告書の数が170にもものぼる膨大なものである。組合ではこれらの報告書を年度ごとに要約して「成果報告書の概要」を作成すると共に、成果報告会を開催した。成

果報告書の概要は本稿よりさらに詳しく書かれているので、興味のある方は参照されたい。

メガフロートの研究成果は組合員の技術ノウハウにはなったが、残念ながら、未だこの技術を生かしてメガフロートを実現させるに適した案件が出てきていない。しかしながら、メガフロートの技術は沖縄の海上ヘリポートにも応用できるため、その計画の中にも取り上げられたし、また、首都圏第三空港が海上空港になることが決まっているので、いずれ海域の埋立案と共にメガフロートでも検討されるであろう。他にも浮体の港湾施設や防災基地も検討されていて、現在、平成10年度補正予算により、とても小さくてメガフロートとは言えないが、本研究の技術を一部に適用して、耐震性を生かした浮体式防災基地が実現しつつある。本技術研究組合では、さらに大きな本来のメガフロートに近い将来実現することを確認して、現在、1,000mの超大型実験モデルを使いフェーズ2の研究を進めているところである。

メガフロートの研究を行うに当たっては、組合外部の方々にもいろいろとご指導や援助を受けた。運輸省(造船業基盤整備事業協会経由)及び日本財団から多額の補助金をいただいた。また、自主研究では外部と共同で研究するから当然のことであるが、事業研究でも外部の大学、研究所、団体、企業などの専門家の方々にアドバイザーになっていただき、ご指導を受けながら研究を進めてきた。最後になってしまったが、このようなご支援を賜った関係の方々には心から感謝を申し上げる。