

あり、その総数は実機と一致させてある。また、計算点は、AからEまでの5点を対象にした。

計算は、各係留点における浮体の前後及び左右方向の水平変位と係留力及び浮体の4隅の自由端の上下動について行った。

(2) 計算ケース

自然環境条件は、表 2.15 に示す N1 から N5 までの通常時と異常時の A1 である。また、風と波との方向の組み合わせに関しては、代表的な方向について計算を行い、その他の方向については計算結果を内挿して求めることとする。それに基づいて計算を行ったケースを一括して表 7.1 に示す。

7.2 予測計算に用いる外力条件

7.2.1 定常力

浮体に働く定常力としては、表 3.24 の風荷重、表 3.25 の波漂流力及び表 3.26 の潮流力を適用する。ただし、通常時 (N1~N7) の潮流力は、総て最大値の流速である 0.8 kt に対する値を適用する。

7.2.2 流体力係数及び変動力

(1) 流体力係数及び波強制力

流体力係数は、第 4 章において検証した値を (4.9) 式に代入して用いた。波強制力は、第 3 章の 3.2.3 項で示す値を入力させた。

(2) 不均一外力

不均一外力を設定するに当たって次に挙げる事項の仮定を設けることとする。

a) 不均一外力の度合に関しては、第 2 章の 2.4 節において概略検討したものとす。

b) 風速及び波高の不均一性は、浮体の長さ方向の距離に対して線形に変化するものとす。また、基本風速及び基本波高を各状態における最大値であると仮定すると不均一による外力の変化係数は次式で求められる。

力の変化:

$$c_F = \frac{1}{L} \int_0^L \left( 1.0 - \delta + \frac{\delta}{L} x \right)^2 dx$$

係数モーメントの変化係数:

$$c_M = \int_0^1 \left( 1.0 - \delta + \frac{\delta}{L} x \right)^2 \left( x - \frac{L}{2} \right) dx$$

ここで、 $L$  は浮体の長さ、 $\delta$  は不均一度である。

なお、モーメントの不均一による変動は、浮体に働く  $y$  軸方向の均一の力とモーメントの変化係数との積によって生ずるものとする。

c) 浮体の上部施設帯に対する風荷重の不均一は、無視する。

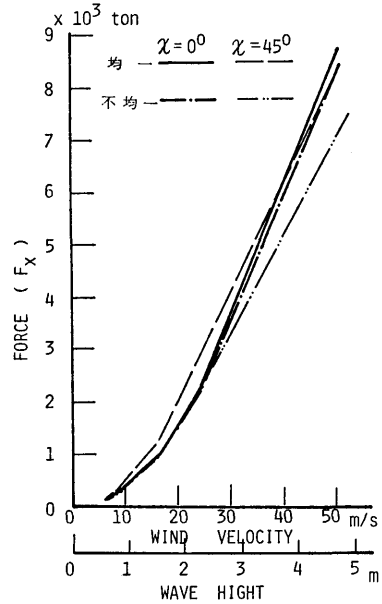


図 7.5 主滑走路用浮体の広域不均一と均一の外力の比較

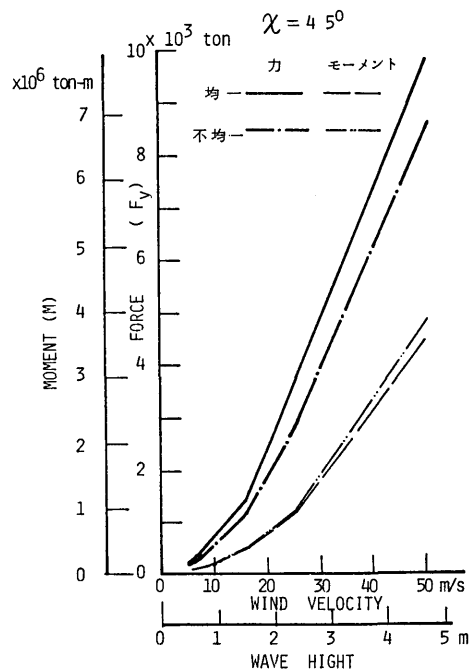


図 7.6 主滑走路用浮体の広域不均一と均一の外力の比較

以上の仮定に基づいて風速と波高の不均一度を求めた結果を表7.2に、均一外力と不均一外力とを求めた結果を図7.5及び図7.6に示す。

これらの図から、力にすると不均一外力よりも均一外力の方が大きくなり、モーメントは不均一外力の場合が均一外力の場合より若干大きくなるが無視できる程度である。

ただし、基本風速及び波高を最大値とし、不均一度を低い方に設定したものである。しかしながら、基本風速及び波高を低位に設定し、不均一度を高い方に設定すれば、力の平均値は基本風速及び波高より  $1/2 \cdot \delta$  だけ高くなり、均一外力の値をはさんで高位と低位が存在することになる。モーメントは、均一外力の場合より若干大きくなるが、その増加分は無視できる程度

表 7.2 不均一外力の計算例 ( $\chi=0^\circ$ )

状 態	力及び モーメント	風抗力と	風抗力と	波漂流力 (t)	合 計 (t)	状 態	力及び モーメント	風抗力と	風抗力と	波漂流力 (t)	合 計 (t)	
		モーメント 上部施設 ( $t_{or} t-m$ )	モーメント 浮体 (t)					モーメント 上部施設 ( $t_{or} t-m$ )	モーメント 浮体 (t)			
果 積 度 数 率 70 %	主 滑 走 路 用 浮 体	F <sub>x</sub> (均一)	27	70	36	133	風 速 1/6 m	F <sub>x</sub> (均一)	206	520	251	977
		F <sub>x</sub> (不均)	27	67	33	127		F <sub>x</sub> (不均)	206	499	232	937
		F <sub>y</sub> (均一)	1	0	0	1		F <sub>y</sub> (均一)	10	0	0	10
		F <sub>y</sub> (不均)	1	0	0	1		F <sub>y</sub> (不均)	10	0	0	10
		M(均一)	$7 \times 10^3$	0	0	$7 \times 10^3$		M(均一)	$53 \times 10^3$	0	0	$53 \times 10^3$
		M(不均)	$7 \times 10^3$	0	0	$7 \times 10^3$		M(不均)	$53 \times 10^3$	0	0	$53 \times 10^3$
	補 助 滑 走 路 用 浮 体	F <sub>x</sub> (均一)	0	56	17	73	相 当 1/8 m	F <sub>x</sub> (均一)	0	416	121	537
		F <sub>x</sub> (不均)	0	53	10	63		F <sub>x</sub> (不均)	0	396	71	467
		F <sub>y</sub> (均一)	0	0	0	0		F <sub>y</sub> (均一)	0	0	0	0
		F <sub>y</sub> (不均)	0	0	0	0		F <sub>y</sub> (不均)	0	0	0	0
		M(均一)	0	0	0	0		M(均一)	0	0	0	0
		M(不均)	0	0	0	0		M(不均)	0	0	0	0
果 積 度 数 率 90 %	主 滑 走 路 用 浮 体	F <sub>x</sub> (均一)	56	145	93	294	年 間 平 均 最 大 2.5 m/s	F <sub>x</sub> (均一)	502	1,270	707	2,479
		F <sub>x</sub> (不均)	56	139	86	281		F <sub>x</sub> (不均)	502	1,220	653	2,375
		F <sub>y</sub> (均一)	3	0	0	3		F <sub>y</sub> (均一)	25	0	0	25
		F <sub>y</sub> (不均)	3	0	0	3		F <sub>y</sub> (不均)	25	0	0	25
		M(均一)	$14 \times 10^3$	0	0	$14 \times 10^3$		M(均一)	$130 \times 10^3$	0	0	$130 \times 10^3$
		M(不均)	$14 \times 10^3$	0	0	$14 \times 10^3$		M(不均)	$130 \times 10^3$	0	0	$130 \times 10^3$
	補 助 滑 走 路 用 浮 体	F <sub>x</sub> (均一)	0	116	45	161	異 常 時 (100年 台風)	F <sub>x</sub> (均一)	0	1,016	341	1,357
		F <sub>x</sub> (不均)	0	110	26	136		F <sub>x</sub> (不均)	0	966	199	1,165
		F <sub>y</sub> (均一)	0	0	0	0		F <sub>y</sub> (均一)	0	0	0	0
		F <sub>y</sub> (不均)	0	0	0	0		F <sub>y</sub> (不均)	0	0	0	0
		M(均一)	0	0	0	0		M(均一)	0	0	0	0
		M(不均)	0	0	0	0		M(不均)	0	0	0	0
果 積 度 数 率 95 %	主 滑 走 路 用 浮 体	F <sub>x</sub> (均一)	80	201	161	442	主 滑 走 路 用 浮 体	F <sub>x</sub> (均一)	2,009	5,081	1,571	8,661
		F <sub>x</sub> (不均)	80	193	149	422		F <sub>x</sub> (不均)	2,009	4,880	1,450	8,339
		F <sub>y</sub> (均一)	4	0	0	4		F <sub>y</sub> (均一)	99	0	0	99
		F <sub>y</sub> (不均)	4	0	0	4		F <sub>y</sub> (不均)	99	0	0	99
		M(均一)	$21 \times 10^3$	0	0	$21 \times 10^3$		M(均一)	$517 \times 10^3$	0	0	$517 \times 10^3$
		M(不均)	$21 \times 10^3$	0	0	$21 \times 10^3$		M(不均)	$517 \times 10^3$	0	0	$517 \times 10^3$
	補 助 滑 走 路 用 浮 体	F <sub>x</sub> (均一)	0	161	78	239	補 助 滑 走 路 用 浮 体	F <sub>x</sub> (均一)	0	4,065	757	4,822
		F <sub>x</sub> (不均)	0	153	45	198		F <sub>x</sub> (不均)	0	3,865	442	4,307
		F <sub>y</sub> (均一)	0	0	0	0		F <sub>y</sub> (均一)	0	0	0	0
		F <sub>y</sub> (不均)	0	0	0	0		F <sub>y</sub> (不均)	0	0	0	0
		M(均一)	0	0	0	0		M(均一)	0	0	0	0
		M(不均)	0	0	0	0		M(不均)	0	0	0	0

である。

以上の検討結果より不均一係留関係の挙動及び係留力に関して無視し得ると判断できる。

### (3) 変動風荷重

ここでは、変動風のパワースペクトラムと空間相関及び浮体の風荷重係数が分かっている場合について、風による変動荷重(力及びモーメント)の時系列を推定する手法について述べる。

#### a) 取り扱いの一般的方法

一般に入力  $a(t)$  に対して出力  $b(t)$  がある場合の自己相関関数 ( $R_{aa}(\tau)$  と  $R_{bb}(\tau)$ ) 及び相互相関関数 ( $R_{ba}(\tau)$ ) 並びにそれらのパワースペクトラム ( $S_{aa}(f)$ ,  $S_{bb}(f)$ ) 及びクロススペクトラム ( $S_{ba}(f)$ ) 等は、既に山内<sup>1)</sup>によって定義され、求めることが可能であることが示されている。

これらの関数から線形の周波数応答関数  $H_{ba}(f)$  と Coherency 関数  $\gamma^2(f)$  が求められる。

そこで、いま入力の時系列  $x(t)$  に対して出力の時系列  $y(t)$  を  $x(t)$  と線形の応答関数で結ばれる  $z(t)$  成分と結ばれない  $n(t)$  成分に分けると、それらの時系列のスペクトラムは次式で与えられる。

$$\begin{aligned} S_{xx}(f) &= 0 \\ S_{yy}(f) &= S_{zz}(f) + S_{nn}(f) \\ S_{yx}(f) &= S_{zx}(f) \end{aligned}$$

そして、周波数応答関数  $H_{yx}(f)$  及び Coherency 関数  $\gamma^2(f)$  は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} H_{yx}(f) &= H_{zx}(f) = S_{zx}(f)/S_{xx}(f) \\ \gamma^2(f) &= |S_{yx}(f)/S_{xx}(f)|^2 / (S_{yy}(f)/S_{xx}(f)) \\ &= |H_{zx}(f)|^2 \cdot S_{xx}(f) / S_{yy}(f) \end{aligned}$$

一方、互に線形な応答で結ばれている  $x(t)$  と  $z(t)$  について周波数応答関数  $H_{zx}(f)$  を求めると次式となる。

$$|H_{zx}(f)|^2 = S_{zz}(f) / S_{xx}(f)$$

したがって、

$$\begin{aligned} S_{yy}(f) / S_{xx}(f) &= \{S_{zz}(f) + S_{nn}(f)\} / S_{xx}(f) \\ &= |H_{zx}(f)|^2 + S_{nn}(f) / S_{xx}(f) \end{aligned}$$

という関係を求め、両辺に  $S_{xx}(f) / S_{yy}(f)$  を乗じて移項すると

$$|H_{zx}(f)|^2 S_{xx}(f) / S_{yy}(f) = 1 - S_{nn}(f) / S_{yy}(f)$$

が求められ、最終の Coherency 関数は、次式で求められる。

$$\gamma^2(f) = 1 - S_{nn}(f) / S_{yy}(f)$$

この関係式から Coherency 関数の値は  $y(t)$  のパワースペクトラムのうち  $x(t)$  と線形な応答関数で関係

づけられる成分の占める割合で表わすことができることが判る。

#### b) 水平面内における相関

自然風の水平面内における相関<sup>4)</sup>に関しては、既に第2章の2.1.4項の(3)で述べたように水平面内の2点における変動風の無次元クロススペクトラムは次式で求められる。

$$\begin{aligned} R_u(x_1, x_2, \mu; f) &= \exp \left\{ -\frac{7f}{U} |x_1 - x_2| \cos \mu \right. \\ &\quad \left. + i \frac{5.13f}{U} (x_1 - x_2) \sin \mu \right\} \end{aligned}$$

Coherency 関数は次式で求められる。

$$\sqrt{\gamma^2(f)} = \exp \left( -\frac{7f |x_1 - x_2|}{U} \cos \mu \right)$$

c) 水平に置かれた細長い構造物に働く変動風荷重  
水平に置かれた細長い構造物に風が当たる場合の風速の分布は一般的に次式で表されるものとする。

$$v = U(x, \mu) + u(x, \mu, t)$$

ここで、 $U$  は時間的な平均風速、 $u(x, \mu, t)$  は変動風速である。

いま、 $-l$  から  $l$  までの細長い構造物の微小部分に働く直圧力とそれによる原点まわりのモーメントを求め、変動風速の2乗の項を無視すると構造物全体に働く力 ( $F(\mu, t)$ ) 及びモーメント ( $M(\mu, t)$ ) は次式で書き表わされる。

$$\begin{aligned} F(\mu, t) &= \int_{-l}^l dF(x, \mu, t) \\ &= \frac{1}{2} \rho h \int_{-l}^l C_N(x, \mu) U(x, \mu)^2 \\ &\quad \times \left\{ 1 + 2 \frac{u(x, \mu, t)}{U(x, \mu)} \right\} dx \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M(\mu, t) &= \int_{-l}^l dM(x, \mu, t) \\ &= \frac{1}{2} \rho h \int_{-l}^l x C_N(x, \mu) U(x, \mu)^2 \\ &\quad \times \left\{ 1 + 2 \frac{u(x, \mu, t)}{U(x, \mu)} \right\} dx \end{aligned}$$

ここで、 $C_N(x, \mu)$  は直圧力係数、 $h$  は構造物の長さである。

そこで、今直圧力係数と平均風速との長さ方向の分布を考慮して次式のように表わされるとする。

$$C_N(x, \mu) = \bar{C}_N(\mu) \cdot \phi_N(x, \mu)$$

$$U(x, \mu) = \bar{U} \phi_U(x, \mu)$$

ただし、 $\phi_N(x, \mu) \equiv 1$ 、 $\phi_U(x, \mu) \equiv 1$  である。

その結果、構造物全体に働く力及びモーメントは、

次式のように書き換えることができる。

$$\begin{aligned}
 F(\mu, t) &= F(\mu) + F_T(\mu, t) \\
 &= \frac{1}{2} \rho h \bar{C}_N(\mu) \bar{U}^2 \\
 &\quad \times \int_{-l}^l \phi_N(x, \mu) \{\phi_V(x, \mu)\}^2 dx \\
 &\quad + \rho h \bar{C}_N(\mu) \bar{U} \\
 &\quad \times \int_{-l}^l \phi_N(x, \mu) \phi_V(x, \mu) u(x, \mu, t) dx \\
 M(\mu, t) &= M(\mu) + M_T(\mu, t) \\
 &= \frac{1}{2} \rho h \bar{C}_N(\mu) \bar{U}^2 \\
 &\quad \times \int_{-l}^l x \phi_N(x, \mu) \{\phi_V(x, \mu)\}^2 dx \\
 &\quad + \rho h \bar{C}_N(\mu) \bar{U} \\
 &\quad \times \int_{-l}^l x \phi_N(x, \mu) \phi_V(x, \mu) u(x, \mu, t) dx
 \end{aligned}$$

そして、上式中の  $F_T(\mu, t)$  及び  $M_T(\mu, t)$  のパワースペクトラムを計算するためのそれぞれの自己相関関数を求め、それらをフーリエ変換してパワースペクトラム ( $S_{FF}(f)$ ) 及び ( $S_{MM}(f)$ ) とクロススペクトラム ( $S_{MF}(f)$ ) を求めると次式のように書き表される。

$$\begin{aligned}
 S_{FF}(f) &= \{\rho h \bar{C}_N(\mu) \bar{U}\}^2 S(f) |J_{SS}(f)|^2 \\
 S_{MM}(f) &= \{\rho h \bar{C}_N(\mu) \bar{U}\}^2 S(f) |J_{MM}(f)|^2 \\
 S_{MF}(f) &= \{\rho h \bar{C}_N(\mu) \bar{U}\}^2 S(f) |J_{MS}(f)|^2
 \end{aligned}$$

ここで、 $S(f)$  は変動風のパワースペクトラム、

$$\begin{aligned}
 |J_{SS}(f)|^2 &= \int_{-l}^l \int_{-l}^l \phi_N(x_1, \mu) \phi_N(x_2, \mu) \\
 &\quad \times \phi_V(x_1, \mu) \phi_V(x_2, \mu) \\
 &\quad \times \exp \left\{ \frac{-7f |x_1 - x_2|}{\bar{U}} \cos \mu \right. \\
 &\quad \left. + i \frac{5.13f(x_1 - x_2)}{\bar{U}} \sin \mu \right\} \\
 &\quad \times dx_1 dx_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 |J_{MM}(f)|^2 &= \int_{-l}^l \int_{-l}^l x_1 x_2 \phi_N(x_1, \mu) \phi_N(x_2, \mu) \\
 &\quad \times \phi_V(x_1, \mu) \phi_V(x_2, \mu) \\
 &\quad \times \exp \left\{ \frac{-7f |x_1 - x_2|}{\bar{U}} \cos \mu \right. \\
 &\quad \left. + i \frac{5.13f(x_1 - x_2)}{\bar{U}} \sin \mu \right\} \\
 &\quad \times dx_1 dx_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 |J_{MS}(f)|^2 &= \int_{-l}^l \int_{-l}^l x_1 \phi_N(x_1, \mu) \phi_N(x_2, \mu) \\
 &\quad \times \phi_V(x_1, \mu) \phi_V(x_2, \mu) \\
 &\quad \times \exp \left\{ \frac{-7f |x_1 - x_2|}{\bar{U}} \cos \mu \right.
 \end{aligned}$$

$$\left. + i \frac{5.13f(x_1 - x_2)}{\bar{U}} \sin \mu \right\} \times dx_1 dx_2$$

である。

$|J_{SS}(f)|^2$  及び  $|J_{MM}(f)|^2$  は風による変動抗力の空間相関特性が左右動方向と船首揺れ方向の強制力とモーメントに寄与する程度を表わしており、結合アクセプタンスと呼ばれるものである。なお、表示式の形は複素数になっているが、実際に計算すると虚数部は零になる。

d) 変動荷重の時系列による表現

一般に時系列  $x(t)$  のパワースペクトラムが  $S(f)$  である時、 $x(t)$  は  $S(f)$  を用いて次の様に書き表わされる。

$$\begin{aligned}
 x(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} \cos \{2\pi f t + \phi(f)\} \sqrt{S(x) df} \\
 &= \sum_{i=1}^n \cos \{2\pi f_i t + \phi(f_i')\} \int_{f_i}^{f_{i+1}} \sqrt{S(f) df} \\
 f_i t &= \frac{\int_{f_i}^{f_{i+1}} f S(f) df}{\int_{f_i}^{f_{i+1}} S(f) df}
 \end{aligned}$$

ここで、 $\phi(f_i')$  は 0 から  $2\pi$  にわたってランダムに分布するように定める。

そこで、 $M_T(\mu, t)$  と  $F_T(\mu, t)$  とは線形な応答関数で関係づけられない成分が存在するものとして  $M_T(\mu, t)$  が  $F_T(\mu, t)$  と線形な応答関数で結びつく項 ( $M_{TL}(\mu, t)$ ) と結びつかない項 ( $M_{TN}(\mu, t)$ ) とに区分し、それぞれのスペクトラムを次式で書き表わされるものとする。

$$\begin{aligned}
 S_{ML}(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \\
 &\quad \times \int_{-T}^T M_{TL}(\mu, t) M_{TL}(\mu, t + \tau) dt \\
 &\quad \times e^{-i2\pi f \tau} d\tau
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{MN}(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \\
 &\quad \times \int_{-T}^T M_{TN}(\mu, t) M_{TN}(\mu, t + \tau) dt \\
 &\quad \times e^{-i2\pi f \tau} d\tau
 \end{aligned}$$

したがって、これらがラムダムに分布することを考慮すると、

$$F_T(\mu, t) = \sum_{i=1}^n \int_{f_i}^{f_{i+1}} \sqrt{S_{FF}(f) df} \cos(2\pi f_i t + \epsilon_i)$$

$$M_{TL}(\mu, t) = \sum_{i=1}^n \int_{f_i}^{f_{i+1}} \sqrt{S_{ML}(f) df} \cos(2\pi f_i t + \xi_i)$$

$$M_{TN}(\mu, t) = \sum_{i=1}^n \int_{f_i}^{f_{i+1}} \sqrt{S_{MN}(f)} df \cos(2\pi f_i' t + \zeta_i)$$

で書き表わされる。ただし、 $\xi_i = \text{Arg}\{S_M(f_i)\} + \varepsilon_i$  の関係にあるものとする。

そして、

$$M_T(\mu, t) = \sum_{i=1}^n \bar{M}_{Li} \cos(2\pi f_i' t + \varepsilon_i + \phi(f_i')) + \sum_{i=1}^n \bar{M}_{Ni} \cos(2\pi f_i' t + \zeta_i)$$

である。ここで、 $\phi(f_i') = \text{Arg}\{S_{MF}(f_i')\}$ 、 $\varepsilon_i$  及び  $\zeta_i$

は  $0 \sim 2\pi$  にわたってランダムに分布するように決定された位相角であり、

$$\bar{M}_{Li} = \int_{f_i}^{f_{i+1}} \sqrt{S_{ML}(f)} df$$

$$\bar{M}_{Ni} = \int_{f_i}^{f_{i+1}} \sqrt{S_{MN}(f)} df$$

である。

e) 変動風荷重の計算

変動風荷重のパワースペクトラムとして次式の

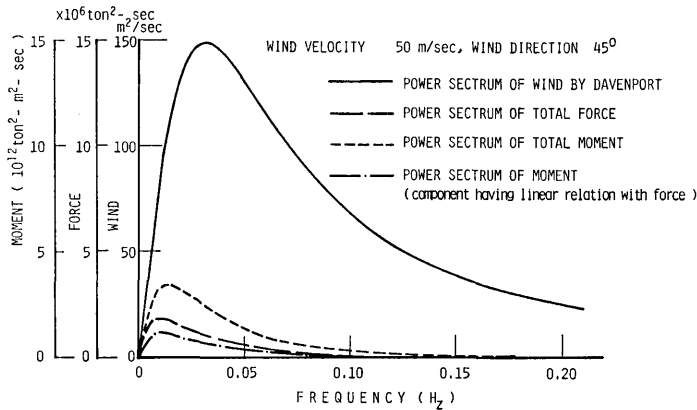


図 7.7 主滑走路用浮体に対する変動風荷重のパワースペクトラム

表 7.3 主滑走路用浮体に働く変動荷重

$\alpha = 90^\circ$

i	1	2	3	4	5	6	7
$f_i'$ (Hz)	0.0063	0.0195	0.0390	0.0664	0.1107	0.1725	0.2545
$\bar{F}_i$ (ton)	270.2	409.7	314.6	290.6	189.3	139.5	86.1
$M_{Li}$ (ton-m)	$15.3 \times 10^3$	$28.4 \times 10^3$	$23.5 \times 10^3$	$22.3 \times 10^3$	$14.8 \times 10^3$	$11.0 \times 10^3$	$8.7 \times 10^3$
$\psi(f_i')$ (deg.)	360.0	"	"	"	"	"	"
$\bar{M}_{Ni}$ (ton-m)	$267.3 \times 10^3$	$510.8 \times 10^3$	$412.9 \times 10^3$	$387.7 \times 10^3$	$254.8 \times 10^3$	$188.6 \times 10^3$	$115.3 \times 10^3$

$\alpha = 45^\circ$

i	1	2	3	4	5	6	7
$f_i'$ (Hz)	0.0063	0.0194	0.0390	0.0663	0.1107	0.1725	0.2544
$\bar{F}_i$ (ton)	168.3	248.6	188.8	173.7	112.9	83.0	51.3
$M_{Li}$ (ton-m)	$121.3 \times 10^3$	$203.8 \times 10^3$	$158.9 \times 10^3$	$147.5 \times 10^3$	$96.4 \times 10^3$	$71.1 \times 10^3$	$44.7 \times 10^3$
$\psi(f_i')$ (deg.)	334.1	344.7	352.1	355.2	357.1	358.2	359.0
$\bar{M}_{Ni}$ (ton-m)	$72.2 \times 10^3$	$150.7 \times 10^3$	$118.9 \times 10^3$	$110.2 \times 10^3$	$71.8 \times 10^3$	$52.9 \times 10^3$	$32.2 \times 10^3$

$\alpha = 0^\circ$

i	1	2	3	4	5	6	7
$f_i'$ (Hz)	0.0065	0.0201	0.0392	0.0666	0.1109	0.1726	0.2547
$\bar{F}_i$ (ton)	229.6	465.8	406.1	395.1	265.2	198.3	122.7

Davenport のスペクトラムを用いる。

$$S(f) = 480,000kf / \{1 + (1,200f/U)^2\}^{4/3}$$

ここで、 $f$  は周波数、 $U$  は高度 10 m における 10 分間平均風速、 $k$  は高度 10 m の風速で定義した表面摩擦係数である。

上式に基づいて風向が  $45^\circ$ 、平均風速が 50 m/s、 $k$  が 0.003 の場合の主滑走路用浮体に働く変動風速、力及びモーメントのパワースペクトラムを求めた結果を図 7.7 に示し、パワースペクトラムを  $n=7$ 、 $f_i=0.001, 0.01, 0.03, 0.05, 0.09, 0.14, 0.22$  及び 0.30

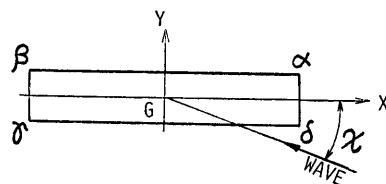
として区間積分し、時系列表示式の成分波の振幅及び位相差を求めた結果を表 7.3 に示す。

### 7.2.3 係留系のバネ特性

数値シミュレーション計算に適用した係留系のバネ特性は、ドルフィンに剛性であると仮定し、1 基当りのゴムダンパーの圧縮特性を図 6.6 に示す 100 年台風時の上限値を用い、そのゴムダンパー特性を等価粘性減衰係数に換算した値である。なお、ゴムダンパーの圧縮特性は、非線形性が強いいため、数値シミュレーション計算を行う場合には、12 本の折線にて圧縮特性

表 7.4 主滑走路用浮体の波浪中における上下変位等の予測値例

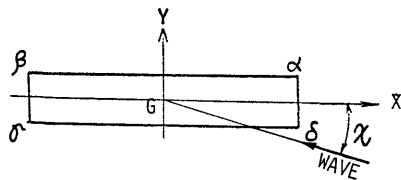
100 年台風時 (A1)



	$\chi = 0^\circ$			$\chi = 45^\circ$			$\chi = 90^\circ$			
	標準偏差	有義値	1/1000 最大期待値	標準偏差	有義値	1/1000 最大期待値	標準偏差	有義値	1/1000 最大期待値	
Heave(m)	0.0275	0.0550	0.106	0.0332	0.0665	0.128	0.0382	0.0763	0.147	
Roll(rad)	$0.137 \times 10^{-3}$	$0.274 \times 10^{-3}$	$0.528 \times 10^{-3}$	$0.168 \times 10^{-3}$	$0.336 \times 10^{-3}$	$0.648 \times 10^{-3}$	$0.193 \times 10^{-3}$	$0.386 \times 10^{-3}$	$0.746 \times 10^{-3}$	
Pitch(rad)	$0.757 \times 10^{-5}$	$1.514 \times 10^{-5}$	$2.923 \times 10^{-5}$	$0.684 \times 10^{-5}$	$1.368 \times 10^{-5}$	$2.640 \times 10^{-5}$	$0.606 \times 10^{-5}$	$1.212 \times 10^{-5}$	$2.339 \times 10^{-5}$	
上下変位 (m)	$\alpha$ 点	0.0657	0.131	0.253	0.0785	0.157	0.303	0.0896	0.179	0.346
	$\beta$ 点	0.0674	0.135	0.253	0.0785	0.161	0.317	0.0921	0.184	0.356
	$\delta$ 点	0.0674	0.134	0.260	0.0807	0.161	0.311	0.0921	0.184	0.355
	$\delta$ 点	0.0657	0.131	0.253	0.0786	0.157	0.303	0.0896	0.179	0.346

表 7.5 主滑走路用浮体の波浪中における上下変位の予測値例

平均年間最大時 (N5)



	$\chi = 0^\circ$			$\chi = 45^\circ$			$\chi = 90^\circ$			
	標準偏差	有義値	1/1000 最大期待値	標準偏差	有義値	1/1000 最大期待値	標準偏差	有義値	1/1000 最大期待値	
Heave(m)	0.0089	0.0178	0.0343	0.0108	0.0215	0.0416	0.0124	0.0247	0.0477	
Roll(rad)	$0.149 \times 10^{-4}$	$0.839 \times 10^{-4}$	$1.619 \times 10^{-4}$	$0.513 \times 10^{-4}$	$1.026 \times 10^{-4}$	$1.981 \times 10^{-4}$	$0.592 \times 10^{-4}$	$1.184 \times 10^{-4}$	$2.285 \times 10^{-4}$	
Pitch(rad)	$0.240 \times 10^{-5}$	$0.480 \times 10^{-5}$	$0.927 \times 10^{-5}$	$0.217 \times 10^{-5}$	$0.434 \times 10^{-5}$	$0.837 \times 10^{-5}$	$0.191 \times 10^{-5}$	$0.381 \times 10^{-5}$	$0.736 \times 10^{-5}$	
上下変位 (m)	$\alpha$ 点	0.0203	0.0406	0.0783	0.0243	0.0486	0.0937	0.0277	0.0554	0.1069
	$\beta$ 点	0.0210	0.0419	0.0809	0.0215	0.0502	0.0969	0.0287	0.0573	0.1106
	$\delta$ 点	0.0209	0.0419	0.0808	0.0251	0.0502	0.0968	0.0286	0.0572	0.1105
	$\delta$ 点	0.0203	0.0406	0.0784	0.0243	0.0486	0.0938	0.0277	0.0554	0.1070

を近似させて用いた。

### 7.3 予測結果及び考察

#### 7.3.1 上下変位の予測値

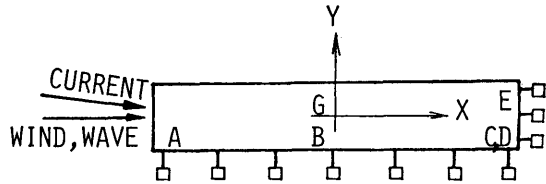
表 7.1 に示す状態について数値シミュレーション計算によって浮体式海上空港の動揺及び上部構造物の端部における上下変位量を予測した。その予測結果例と

して、自然環境条件が 100 年台風時と平均年間最大時における主滑走路用浮体の上下揺れ、横揺れ、縦揺れ及び 4 隅の上下変位の標準偏差、有義値及び 1/1,000 最大期待値を外力との出会角に対して表 7.4 及び表 7.5 に示す。

その結果、浮体式海上空港は、風速 16 m/s 以下の自然環境条件である N1~N4 では動揺及び上下変位

表 7.6 主滑走路用浮体の水平変位と係留力の予測値例

100 年台風時 (A1)  
 (変動風を考慮した場合)  
 $\alpha = 0^\circ$



項目	定常値	有義値	1/1000 最大期待値	定常値 + 有義値	定常値 + 最大期待値	平均周期 (sec)	
外力	X 方向力 (t)	21537	1874	3617	23411	10.48	
	Y 方向力 (t)	773	6038	11653	6811	9.47	
	Z 軸回りモーメント (t-m)	$0.515 \times 10^6$	$0.110 \times 10^7$	$0.212 \times 10^7$	$0.162 \times 10^7$	$0.264 \times 10^7$	11.88
変	重心の Surge (m)	0.191	0.029	0.056	0.220	0.247	16.75
	Sway (m)	0.004	0.129	0.249	0.133	0.253	13.28
	Yaw (rad.)	$0.256 \times 10^{-6}$	$0.106 \times 10^{-4}$	$0.205 \times 10^{-4}$	$0.109 \times 10^{-4}$	$0.208 \times 10^{-4}$	12.40
位	航空機橋連結部の X 方向変位 (m)	0.191	0.030	0.058	0.221	0.249	16.43
	Y 方向変位 (m)	0.004	0.138	0.266	0.142	0.270	13.30
	係留点 A の Y 方向変位 (m)	0.005	0.123	0.237	0.128	0.242	13.15
	係留点 B の Y 方向変位 (m)	0.004	0.129	0.249	0.133	0.253	13.28
	係留点 C の Y 方向変位 (m)	0.004	0.139	0.268	0.143	0.272	13.30
係留力	係留点 D の X 方向変位 (m)	0.191	0.029	0.056	0.220	0.247	16.82
	係留点 B の X 方向変位 (m)	0.191	0.030	0.058	0.221	0.249	16.56
	係留点 A (t)	38	951	1712	989	1750	13.09
	B (t)	33	915	1712	1040	1800	13.20
	C (t)	28	1077	1872	1105	1900	13.24
力	D (t)	1437	171	333	1608	1770	16.61
	E (t)	1435	177	345	1612	1780	16.39

とも極端に小さく殆んど応答しないといえる。なお、主滑走路用浮体は、風速が 25 m/s の平均年間最大 (N5) になっても最も大きい端部の上下変位の 1/1,000 最大期待値が最大で  $\pm 11$  cm 程度にであり、100 年台風時 (A1) でも  $\pm 36$  cm 程度に収まる。

### 7.3.2 水平変位及び係留力の予測値

数値シミュレーション計算によって浮体式海上空港

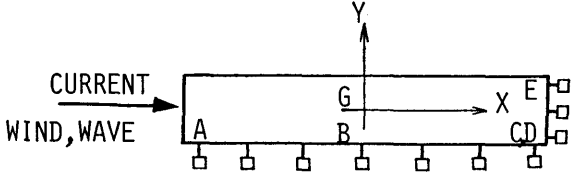
の水平変位及び係留力を予測した。その予測結果例として A1 及び N5 の自然環境条件における主滑走路用浮体の外力、水平面内の動揺、局部水平変位及び係留力の予測値を表 7.6 及び表 7.7 に示す。

水平変位及び係留力は N1~N4 の海象・気象条件では、上下変位と同様に極端に小さい。

なお、主滑走路用浮体の挙動及び係留力は、N5 で

表 7.7 主滑走路用浮体の水平変位と係留力の予測値例

平均年間最大時 (N5)  
 $\alpha = 0^\circ$



項目	定常値	有義値	1/1000 最大期待値	定常値 + 有義値	定常値 + 最大期待値	平均周期 (sec)	
外力	X 方向力 (t)	4538	768	1482	5306	6.14	
	Y 方向力 (t)	30	3150	6080	3180	6.08	
	Z 軸回りモーメント (t-m)	$0.130 \times 10^6$	$0.287 \times 10^6$	$0.554 \times 10^6$	$0.417 \times 10^6$	$0.684 \times 10^6$	7.40
変位	重心の Surge (m)	0.037	0.002	0.004	0.039	0.041	8.14
	Sway (m)	0.000	0.008	0.015	0.008	0.015	8.49
	Yaw (rad.)	$0.993 \times 10^{-7}$	$0.661 \times 10^{-6}$	$0.128 \times 10^{-5}$	$0.760 \times 10^{-6}$	$0.183 \times 10^{-5}$	9.55
係留点	航空機橋連結部の X 方向変位 (m)	0.037	0.002	0.004	0.039	0.041	8.13
	Y 方向変位 (m)	0.000	0.008	0.015	0.008	0.015	8.14
	係留点 A の Y 方向変位 (m)	0.000	0.009	0.017	0.009	0.017	8.64
	係留点 B の Y 方向変位 (m)	0.000	0.008	0.015	0.008	0.015	8.49
	係留点 C の Y 方向変位 (m)	0.000	0.008	0.015	0.008	0.015	8.41
	係留点 D の X 方向変位 (m)	0.037	0.002	0.004	0.039	0.041	8.17
	係留点 E の X 方向変位 (m)	0.037	0.002	0.004	0.039	0.041	8.13
係留力	係留点 A (t)	3	71	137	74	140	8.60
	B (t)	1	68	131	69	132	8.45
	C (t)	1	68	131	69	132	8.36
	D (t)	303	14	27	317	330	8.13
	E (t)	302	13	25	315	327	8.09



は水平変位が定常量と 1/1,000 最大期待値を単純加算しても最大で 5.4 cm 程度、係留力が 450 t 程度であり、A1 で変動風を考慮した自然環境条件下では、水平変位が最大で 46 cm 程度、係留力が 2,600 t 程度である。したがって、係留力は許容値以下であることが判明した。

### 7.3.3 予測結果の総合考察

#### (1) 変動風の影響

風を定常風としてではなく、実際に近い変動風として入力させても数値シミュレーション計算結果によると変動風としての影響は極めて小さいといえる。

#### (2) ゴムダンパー特性の変化による影響

数値シミュレーション計算のゴムダンパー特性は、100 年台風時の上限特性を用いたが、これを下限特性にしても水平面内の変位量は増加するが、係留力は逆

に可成り減少することが数値シミュレーション計算によって確認された。

### 第7章関係の参考文献

- 1) 山内保文：海洋波中の応答，第1回耐航性に関するシンポジウム，日本造船学会，1969年。
- 2) Davenport, A. G.: Buffeting of a Suspension Bridge by Stormy Winds, Proc. ASCE, Vol. 87, ST3, 1962年。
- 3) 本州四国連絡橋耐風研究委員会：本州四国連絡橋の耐風に関する調査研究報告書，土木学会，1975年。
- 4) 岡内 功，伊藤 学，宮田利雄：耐風構造，丸善，1977年。
- 5) Batchelor, G. K.: Theory of Homogeneous Turbulence, Cambridge Univ. Press, 1953年。

## 第8章 調査結果の総合検討

浮体式海上空港の建設に係わる技術的課題について浮体式海上空港の検討用モデルを設定し、各種環境外力条件下における浮体の挙動、係留力、構造強度及び係留装置等の基本的な特性について技術的調査・検討を行って来た。

その結果に基づいて浮体式海上空港の建設の可能性、安全性及び空港機能面からの検討並びに浮体式海上空港の建造方法、経済性及び実施設計に対する指針等について総合的な技術検討を行った。ここでは、その検討内容と結果の概要を紹介する。

### 8.1 浮体の挙動、構造及び係留面からの総合検討

浮体式海上空港は、100年台風に遭遇しても十分安全であるように構造設計してあるために構造物を構成している各部材に働く応力値は、十分許容応力値を満足しているといえる。したがって、構造強度に関しては、実施設計において十分検討すればよいといえる。

そこで、浮体式海上空港に関しては、浮体の挙動、撓み及び係留力の面からの総合検討を行うこととした。

まず、空港機能面からの検討に関係する通常時と浮体式海上空港の安全性の面からの検討に関係する異常時における主滑走路用浮体の挙動、撓み及び係留力を総括して表8.1に示す。

また、最終的に設定された主滑走路用浮体の挙動及び係留力の1/1,000最大期待値を表8.2に示す。

なお、表8.1及び表8.2は、要素浮体がフーティング型の場合である。

#### (1) 空港機能面を主体にした検討

航空機が離着陸できる最悪条件である表2.15の平均年間最大(N5)及び離着陸時(N6)に対して浮体の挙動量と空港機能との関係を検討すると共に、滑走路部、グライドパス付近及びローライザー付近における浮体の撓みによる最大傾斜と空港機能との関係を検討し、余り問題がないことを確認した。

#### (2) 要素浮体の形状と浮体の挙動、撓み及び係留力との関係

多数の要素浮体支持型式の海上空港の有利性とフーティング型要素浮体支持型式の上下動の軽減等が認められたが、多数の要素浮体支持型式の海上空港であれば、浮体の挙動は要素浮体の形状が多少変化してもほ

んど問題とならない。したがって、浮体の撓みのみを検討すればよいが、部分撓みは、必要に応じて部分的な要素浮体の形状及び寸法を変化させて、浮体の挙動及び係留力などの基本的性能を阻害せずに減少させることが可能であるといえる。

#### (3) 最大値の検討

浮体式海上空港の安全性を検討するために、平均年間最大状態及び100年台風時について浮体の挙動、撓み及び係留力等の1/1,000最大期待値を求めた。その結果から空港機能面及び係留装置の安全性等が確保できることが判明した。

#### (4) 災害モデルの設定と検討

災害モデルとしては、①台風来襲、②津波来襲、③地震時、④係留装置の一部破損時、⑤航空機の墜落時、及び⑥船舶の衝突時等を想定し、これらが浮体及び係留装置に及ぼす影響の度合いと安全性を検討した。

台風及び津波来襲時については、前章までの検討と同じ条件であるが、その他に関しては、次の様に検討条件を再設定して検討を行った。

a) 地震については、数値シミュレーションによる浮体の挙動と係留力とを求めた結果を基本的なドルフィンの応答及び浮体の挙動量に加算して再検討し、安全が確保されることを確認した。

b) ドルフィンが端部で2基破損した状態と長辺で3基が等間隔で破損した状態とについて100年台風に遭遇した場合の浮体の挙動及び係留力を数値シミュレーション計算を行って求めた。その結果、等間隔で3基破損しても浮体の挙動及び係留力は非破損時に比して僅かに増加する程度に収まること、一方、端部破損時には、端部で浮体の挙動及び係留力が大きくなるが、許容値以内に収まることを確認した。

c) 航空機の墜落に関しては、気象・海象条件を航空機の離着陸限界時で500tの重量の航空機が部分破壊なく、剛体が時速300kmで落下するという最も厳しい状態に関しても浮体の挙動及び係留力の数値シミュレーション計算を行い、余り問題がないことが判明した。

d) 船舶の衝突に関しては、9.5万重量トン級の船舶が100年台風時に4ノットで衝突したと仮定して浮体の挙動及び係留力の数値シミュレーション計算を行

表 8.1 主滑走路用浮体の挙動、撓み及び係留力等の総括表

状 態	上下運動 (有義値, 片振幅)					グライドバス付近における X方向鉛直面内最大傾斜					ローカライザ付近における Y方向鉛直面内最大傾斜					水 平 変 位 (最大=定常値+変動の有義値)						係留力 最大 (トン) /基当り (ton)						
						静的要因		動的 要因		合 計	静的要因		動的 要因		合 計	X方向 (cm)		Y方向 (cm)		船 首 撓 度 (度)								
	略 号	上下 揺 (cm)	縦 揺 (度)	横 揺 (度)	端部 最大 上下動 (cm)	夜 間 駐 機 差	温度 差	波浪による 撓み	離着陸 による 撓み	運動 による 傾斜	静的 傾向	動的 傾向	夜 間 駐 機	温度 差	波浪による 撓み	離着陸 による 撓み	運動 による 傾斜	静的 傾斜	動的 傾斜		定 常 値		変 動 値	最 大	定 常 値	変 動 値	最 大	
常 時	累積度数率 70%	N1	0	0	0	0	0	0	1/2000	0	1/2000	0	<1/1000	0	1/85000	0	<1/1000	1/85000	1.80	0	1.80	0.30	0	0.3	0	120		
	累積 90%	N2	0	0	0	0	0	0	1/2000	0	1/2000	0	<1/1000	0	1/85000	0	<1/1000	1/85000	2.00	0	2.00	0.50	0	0.5	0	150		
	累積度数率 95%	N3	0	0	0	0	0	0	1/2000	0	1/2000	0	<1/1000	1/38000	1/85000	0	<1/1000	1/26270	2.20	0	2.20	0.60	0.1	0.7	0	180		
	横風最大	N4	0.1	0	0	0	0	0	1/2000	0	1/2000	0	<1/1000	1/34000	1/85000	0	<1/1000	1/24290	1.80	0	1.80	1.30	0.3	1.6	0	140		
	平均年間最大	N5	2.5	0	0	5.7	0	0	(1/500000)	1/2000	0	1/2000	0	<1/1000	1/13300	1/85000	0	<1/1000	1/11500	4.30	0.1	4.40	3.30	1.1	4.4	0	370 (0.5x10 <sup>-4</sup> )	
	航空機離着陸 時(最悪条件)	N6	2.5	0	0	5.7	0	0	(1/500000)	1/2000	0	1/2000	0	<1/1000	1/13300	1/85000	0	<1/1000	1/11500	4.30	0.1	4.40	3.30	1.1	4.4	0	370 (0.5x10 <sup>-4</sup> )	
	夜間駐機時	N7	2.5	0	0	5.7	0	-	(1/500000)	1/2000	0	1/2000	0	-	1/13300	1/85000	0	≒ 0	1/11500	4.30	0.1	4.40	3.30	1.1	4.4	0	370 (0.5x10 <sup>-4</sup> )	
常 時	100年台風時	A1	5.5 (8.6x10 <sup>-4</sup> )	0	0.015	13.5	-	0	1/56000	1/2000	1/66600	0	1/5690	-	0	1/4000	1/85000	1/3820	0	1/1910	18.00	2.7	20.70	6.3	12.7	19.0	0	1550 (5.5x10 <sup>-4</sup> )
	地震時	A2	0	0	0	0	0	0	1/2000	0	1/2000	0	<1/1000	1/38000	1/85000	0	<1/1000	1/26270	2.20	0	2.20	0.6	0.1 + 7.1	0.7 + 7.1	0	180 + 770 + 0.002		
	津波来襲時	A3	0 (102)	0	0	0	0	0	1/2000	0	1/2000	0	<1/1000	1/38000	1/85000	0	<1/1000	1/26270	9.90	0.1	0.10	0.1	0.1	0.2	0	810 (0.2x10 <sup>-4</sup> )		
	船舶衝突時	A4	2.5	0	0	5.7	0	0	1/2000	0	1/2000	0	<1/1000	1/13300	1/85000	0	<1/1000	1/11500	4.30	0.1	4.40	3.3	1.1 + 27.4	4.4 + 27.4	0	370 + 0.005 abt. 1600		
	航空機墜落時	A5	2.5 + 0.9	0 + 0.0006	0 + 0.004	5.7 + 6.2	0	0	1/2000	0	1/2000	0	1/5520	0	<1/1000	1/13300	1/85000	0	<1/1000	1/11500 + 1/14300	4.30	0.1	4.30	3.3	1.1	4.4	0	370

表 8.2 主滑走路用浮体の挙動及び係留力の 1/1,000 最大期待値

応答 状態	鉛直面内の挙動				水平面内の挙動			ドルフィン1基 当りの最大係 留力 (t)
	上下揺 (cm)	縦揺 (度)	横揺 (度)	端部における 最大上下動 (cm)	前後揺 (cm)	左右揺 (cm)	回頭角 (度)	
累積度数率 95%	≒ 0	≒ 0	±0.0002	± 2	22±0	0.6±0.2	≒ 0	176± 4
平均年間最大時	± 4.8	±0.0005	±0.013	± 15	42±0.2	3.3±2.1	$\frac{0.0001}{\pm 0.001}$	270± 181
100年確率台風時	±12.8	±0.0017	±0.037	± 59	19.1±5.6	6.1±3.17	$\frac{0.0003}{\pm 0.0013}$	368±1,977
地震時	——	——	——	——	±41.5	±35.4	±0.0013	±1,910
津波来襲時	±102	≒ 0	±0.0002	±102	9.9±0	0.1±0.2	≒ 0	805± 4

い、安全性が確保されることを確認した。

以上の項目について浮体式海上空港の浮体の挙動、構造及び係留面から想定される環境条件下で総合的な検討を行い、浮体式海上空港は、通常時には空港としての機能を阻害しないこと及び異常時には充分安全性が確保されることを技術的見地から確認した。

## 8.2 浮体式海上空港の施工法及び工期の検討

浮体式海上空港は、分割建造方式を採用し、全国のドックで建造した建造ユニットを設置地点まで曳航し、各建造ユニットを海上で接合して完成するものである。

### (1) 建造ユニットの建造

建造ユニットは、進水、曳航時の安定性、造船設備、現地接合工事量、形状の共通性等を総合的に検討した結果、主滑走路用浮体は長さ 300 m、幅 60 m の建造ユニットが 238 基、補助滑走路用浮体は長さ 240 m、幅 45 m の建造ユニットが 150 基、そして航空機橋用浮体は長さ 214 m、幅 45 m の建造ユニットが 12 基で構成されているものとした。

各建造ユニットは、長さ 15 m、幅 15 m のブロックで建造し、それに 1 本の要素浮体を取り付けた後にドック内で組立て艀装及び塗装を行う。

この様な建造方式を採用すると全国の 19 造船所の 26 ドックで行うことができ、建造ユニットの建造期間は、各ドックにおける建造が 2 ヶ月に 1 基の割で行なえば月間建造ユニットの建造基数が 17 基となり、約 30 ヶ月で建造が完了することになる。これは昭和 49 年度における建造実績の 53~57% 程度の建造量である。

### (2) 建造ユニットの曳航

まず、過去 10 年間の船舶からの気象通報資料を整

理し、曳航時の抵抗及び構造強度等を考慮して曳航方法及び曳航航路等を検討すると同時に、建造ユニットの復原性及び波浪中における動揺等を検討して曳航可能な海象及び曳航に要する日数を推定した。

その結果、風速 20 m/s、波高 2 m、相対風向 45°以下の海象条件であれば、5,000 馬力級の曳船 4~5 隻で往航が 4.5 kt 程度、復航が 12 kt 程度で曳航できる。そして、曳航所要日数が求まり、それに曳航待機、狭水道通過調整、乗員交代及び航路状況の季節的相違等に要する時間を考慮して一律 3 日間を加算すると、3 グループで曳航すれば約 2 年 4~5 ヶ月で建造ユニットは曳航できることになる。

### (3) 建造ユニットの現地接合

現地における海上接合工事の能率向上を図るため、曳航されてきた建造ユニットを 100 年級の台風に遭遇しても充分耐えるように 250 t 型一点係船ブイ (8 基) に一時係留する。

建造ユニットの接合工事は、建造ユニットを係留ドルフィンに動揺を抑制しながら取り付け、順次長さ及び幅方向に接合を展開することができる。なお、同時接合基数は、品質及び労務管理上から 8 建造ユニットとした。その接合作業が可能な海象条件は、初期 (8 基) までが風速 10 m/s 以下、波高 0.8 m 以下とし、それ以後 (9 基以後) が風速 16 m/s 以下、波高 1.3 m 以下とする。

その他、建造ユニットの引寄せ、仮拘束、計測・調整、仮接合及び本溶接等の作業手順及び要領は分割建造船舶の海上接合の実績等を参考にして検討した。また、係留装置の施工及び浮体とドルフィンとの連結作業等についても作業要領及び日数を検討した。

### (4) 全工期の検討

建造ユニットの工期は、加工開始から 4 ヶ月後に最

初の建造ユニットが完成し、順次完成基数が増加し、最後の建造ユニットが3年10ヶ月後に完成する。

建造ユニットの曳航は、3船団で行なえば工期的に可成り自由度があるといえる。

ドルフィンの工期は、2グループで実施すれば約35ヶ月間で完成する。

建造ユニットの現地接合工事は、主滑走路用浮体が29ヶ月間、補助滑走路用浮体が22ヶ月間で完成するが、この両者はある程度同時に行うことが可能である。

以上の検討により建造ユニットの加工開始から現地接合完了までの全工期は、大略4ヶ年間としても特に問題がないといえることが判明した。

### 8.3 浮体式海上空港の維持及び補修の検討

浮体式海上空港の耐用年数を60年以上と想定し、その間の維持及び補修の要領について概略検討を行った。

#### (1) 防食要領

既存の海洋構造物、本四連絡橋等の実績及び防食業者の実績や意見を参考にし、海上空港の特質性を考慮して現有の最高防食技術を適用し、浮体が60年間経過した後においても空港機能及び構造強度等の低下が皆無であるようにした。

防食対策は、①空中部は耐食性と耐候性に優れた有色仕上の塗装とし、補修を10年毎に実施する。②没水部及び土中部は塗装と電気防食とを併用し、電気防食は建造中が流電陽極法で、施工後が外部電源法を適用する。③飛沫帯及び干満帯は、最も腐食環境が厳しくかつ維持補修が困難であることから、重防食を施して耐久性を高めることを主体にして検討した。その結論として要素浮体は、無機ゾンプライマの上に3mmの合成樹脂塗料または4mmの充填材入り合成樹脂が、5mmのレジンモルタルを施す、杭は内側を50mmのモルタル、外側を5mmのFRP被覆を施すこととした。

#### (2) 保守点検法

構造面及び防食面からの定期的な点検、異常の有無に拘わらず防食材料の経年変化を見るために補修間隔に従って防食面からの点検及び台風、津波や地震等の異常状態が発生した場合の異常時点検について、点検方法、点検設備、点検頻度、作業量及び劣化予測などについて検討した。また、係留装置のドルフィン、リンク機構及びゴムダンパーに関して点検箇所、点検内容及び作業量等の検討を行った。

### (3) 維持・補修

点検によって発見された場合の補修項目、補修方法、補修期間及び作業量などについても一応の検討を行った。

### 8.4 浮体式海上空港の経済性の検討

浮体式海上空港の経済性としては、建設費、メンテナンス費及び要素浮体が鋼製とコンクリート製についての価格等の概略見積を行ったが、見積が昭和54年2月時点の価格であるため、本報告では省略することとする。

### 8.5 浮体式海上空港の空港機能面からの検討

本調査研究においては、浮体式海上空港の可能性及び安全性を検討すると共に、浮体式海上空港の空港機能面からの検討として海上空港と陸上空港との相違点とその相違点が空港機能に及ぼす影響についても概略検討した。

検討した項目としては、①浮体の撓み及び変位がILSのグライドパスとローカライザー及びMLSのエレベーションとアジマスに及ぼす影響、②浮体上面の変位と管制電波の反射面との関係、③VASIS関係、④進入燈並びに⑤着陸誘導装置関係以外の諸施設として舗装、海上と陸上の交通システム及び必要な構築物等について概略検討を行った。

### 9.6 浮体式海上空港の実施設計への指針

本調査研究では、浮体式海上空港の基本的な調査及び検討を既存資料と技術並びに模型実験結果等に基づいて行った。その結果、多数の要素浮体で支持された海上空港は、予想した以上の自由度を持って実用への適用が可能であることが判明した。

そこで、浮体式海上空港を実施設計する際には、前述の多様性を充分活用して、海上空港の機能性、安全性及び経済性の面から海上空港の最適化を図るために、次の諸点を考慮することが望ましいといえる。

#### (1) 巨大化と評価モデルとの関係

本調査研究用に設定された浮体式海上空港モデルは、従来類のない巨大な構造物であるため、巨大化したことによって発生する問題が種々考えられる。その中で最も大きい問題として、構造物の3次元的な巨大化であるといえる。しかしながら、本調査研究用の海上空港は、多数の要素浮体で支持された構造物であるため、巨大化は平面的となって2次元的な問題として

取り扱うことが出来る。したがって、巨大化のための課題は、本調査研究の内容をより細部に亘って検討すれば充分解決されうるといえる。

## (2) 設計条件の詳細設定

設計条件としては、計器着陸誘導装置の許容誤差、空港の規模及び建設予定場所における環境外力条件等をより詳細に設定すれば、浮体式海上空港の多様性を有効に活用して最も機能性、安全性及び経済性の高い設計が可能であるといえる。

## (3) 経済性向上のための最適化

浮体式海上空港の要素浮体の形状及び寸法等を適切に組み合わせて適正に配置することにより空港機能並びに経済性の向上が図られる。また、上部構造物の構造配置の適正化及び係留装置の適正化も詳細な検討により十分可能であると思われる。

これらの諸点からも経済性の向上が期待できるといえる。

以上の外に浮体式海上空港を具体化する際に究明すべき事項が本研究の調査研究報告書を航空局に提出した後に検討会において指摘されているので、それらの事項を参考のために付記する。

### ① 台風来襲時における自然条件の実態把握

台風来襲時における自然環境条件は、時間的及び平面的に不規則な変動をするので現地観測等により更に具体的なデータを収集し、本調査研究において想定した値と比較検討して安全性を確認する必要がある。

### ② 波浪スペクトル特性の検討

空港設置予定地点で実施中の波浪観測の中間結果によると、現地の波浪スペクトル特性は、本調査研究に用いた短波頂不規則波に比べ長波頂特性が顕著であり、長周期成分も卓越する傾向がある。したがって、現地観測等を継続し、波浪スペクトル特性の実態を把握し、そのスペクトル特性が浮体の挙動に及ぼす影響を明確にしておく必要がある。

### ③ 連絡用の浮体の検討

主滑走路用浮体と補助滑走路用浮体との連絡用浮体に関しては、その挙動特性の究明及び連絡用浮体と滑

走路浮体との間の連結部について更に検討する必要がある。

### ④ ゴムダンパーの力学的特性及び耐久性の把握

ゴムダンパーに関しては、繰り返し荷重、クリープ特性、外気温の変化や衝撃荷重等による特性変化及び耐久性について大型模型等により確認する必要がある。

### ⑤ リンクの安全性の把握

係留装置の複雑な溶接個所やユニバーサルジョイント部の疲労による材料劣化の影響を考慮し、これに対処できるように部材の形状、材質及び施工管理並びに維持管理について詳細検討が必要である。

### ⑥ 洋上接合工法の確立

建造ユニットの現地接合に関しては、現地の自然条件を詳細に把握すると共に、溶接時には建造ユニット相互間の相対運動を完全になくすことのできる大規模な建造ユニットの洋上拘束技術の完成とその確認を行う必要がある。

また、建造ユニットは、多数の異なる造船所で建造されるので高度な工程管理について詳細な検討を行う必要がある。

### ⑦ 浮体の防食対策

耐用年数が60年と長期であるので点検及び補修を含む防食対策について更に詳細に検討する必要がある。

これらの指摘は、海上空港が公共的な施設であり、莫大な経費と多数の人員を取り扱う点を考慮すれば当然であるといえる。

本調査研究は、浮体式海上空港の技術的可能性を極めて短期間で実施したが、基本的な検討はすべて行われている。したがって、実施設計をする際には、上記事項に関しては本調査研究の成果を応用して充分対応できる問題であるといえる。

また、上記事項に関しては、その後上五島や白島の洋上石油備蓄基地の建設やその他の海洋開発関連の技術開発で究明され、解決した事項も多いので、その成果も適用できる。

## 第9章 結 言

本報告は、関西新国際空港を浮体工法で海上に建設することを想定して、それを評価するための技術的な調査研究を昭和52年度及び昭和53年度に実施した内容を紹介したものである。

しかしながら、本調査研究において実施した技術的な検討内容は、海上空港のみに止まらず今後、海洋開発が進展して海洋空間等の有効利用に供する目的で海洋に超大型の浮遊式海洋構造物を実現させる際には十分活用でき得るものである。また、海洋開発関連の技術開発のためにも大いに役立つ内容であることを確信する。

本調査研究において提示した評価手順や手法及び技術的な検討内容が、現在進行中である九州地区の上五島や白島の洋上石油備蓄基地の計画、設計及び建造等に活用されているが、その程度の活用にとまることな

く、近い将来において浮体式海上空港または海洋空間等の有効利用としての超大型の浮遊式海洋構造物の実現に生かされることを期待して止まない。

最後に、本調査研究の一部は日本造船研究協会に依頼し、海上空港調査委員会においてこれまで造船業界が蓄積して来た実績及び技術などを充分活用して行ったが、その際、甚大な労力を惜まず御指導・御鞭撻を賜った海上空港調査委員会元良誠三委員長（当時東京大学教授）をはじめ、精力的に調査研究の実施に協力していただいた各委員や挙動分科会、構造分科会及び係留分科会の分科会長と各委員、並びに日本造船研究協会及び日本造船工業会の関係各位に対してここに深く感謝致します。

なお、関西新国際空港の建設工法は、最終的に埋立工法が採用されることになった。



浮体式海上空港の大型模型による水槽実験