超大型浮体に働く波力・流体力の推定法に関する研究

(第2報)

正員 朱 庭 耀* 正員 影 本 浩**
正員 藤 野 正 隆**

On the Estimation Method of Hydrodynamic Forces Acting on a Huge Floating Structure (2nd Report)

by Tingyao Zhu, *Member*, Hiroshi Kagemoto, *Member*
Masataka Fujino, *Member*

Summary

A very large floating structure is now being considered as a possible candidate of an offshore airport. The structure is expected to be so large that the analysis of the hydrodynamic forces that will act on the structure by a conventional numerical technique is practically impossible because of the required huge computational burden. In order to overcome this difficulty, an approximate but quite accurate numerical method for the analysis of a diffraction problem was presented in the 1st report. The method exploits the fact that the structure is very large and assume a certain uniformity in the flow field around the structure except at the vicinity of the perimeters of the structure. The present paper extends the method to the analysis of a radiation problem (including that due to elastic motions) and shows that a similar approximate technique can be used in the analysis. In addition, as examples of the application of the presented method to some practical problems, an analysis of elastic responses of a very large floating structure in waves and an analysis of wave forces on a floating airport composed of two runway structures are carried out.

1. 緒 言

長さ・幅が数 km 規模の超大型浮体の波力や流体力（運動に対する流体反力）の解析に既存の数値解析手法（例えば特異点分布法など）を直接適用しようとする、構造物の規模が巨大なために、計算時間が膨大なものになるという問題がある。このような問題の解決法として、第1報¹⁾においては、構造物の規模が大きいことを逆に利用し、端部を除く構造物周りの流場が、水平方向に無限の広がりを持つ構造物周りの流場に等しいと仮定することによって、計算量の大幅な軽減を図ることができることを示した。その際、いわゆる端部影響は構造物内部と端部との相互影響を既存の手法と同様の手法で考慮することにより、精度良く

評価できることを示した。第1報では、波力（ディフラクション問題）について数値解析例を示し、近似を施さないで得られる解や実験結果と比較することによって、その有効性を示した。付加質量や造波減衰係数などのラディエーション問題の解法については、弾性変形モードに対するラディエーション問題までを含めて同様な近似解析ができることを示唆したが、解析例としては剛体としての上下揺れについて示したのみであった。本論文（第2報）においては、弾性変形モードを含めた広範な変形モードに対する流体反力の計算に、第1報で述べた近似計算手法と同様な手法が良い精度で適用できることを示す。更に、第1報及び本論文（第2報）で提案する近似計算手法の実用的な問題への適用例として、

(1) 長さ 1500 m, 幅 300 m のポンツーン型浮体の波浪中弾性応答。

(2) 補助滑走路用浮体つき浮体式海上空港に働く波力の解析結果を示す。

* (財)日本海事協会(研究当時東京大学大学院)

** 東京大学工学系研究科

原稿受理 平成9年6月25日

秋季講演会において講演 平成9年11月14, 15日

2. 超大型浮体の剛体モード及び弾性モードに対する流体力

2.1 剛体モードに対する流体力

長さも幅も波長に比べて非常に大きな浮体の剛体運動に対する流体力の解析を考える。(この場合の波長とは、運動によって生じる発散波の波長を意味するものとする。)構造物の型式としては、Fig. 1に示すようなポンツーン型の超大型浮体を想定する。静止水面上に x, y 軸を持ち、鉛直上方に z 軸を持つ空間固定の直交座標系 (x, y, z) を考える。第1報と同様に微小振幅運動を仮定した通常の線形ポテンシャル理論が適用できるものとし、解析には特異点分布法を適用するものとするが、ポンツーン型超大型浮体の喫水は小さいと予想されるので、喫水方向の分割は簡単のため考えないものとする。円周波数一定(ω)の周期運動を考え、特異点強さ(σ)、速度ポテンシャル(ϕ)などは次に示すように、すべて同じ円周波数 ω で変動しているものとし、今後は特異点強さ、速度ポテンシャルとは、それぞれ時間項 $e^{-i\omega t}$ を除いた $\sigma(x, y)$, $\phi(x, y)$ を意味するものとする。

$$\begin{aligned}\sigma(x, y, t) &= \text{Re}\{\sigma(x, y) \cdot e^{-i\omega t}\}, \\ \phi(x, y, t) &= \text{Re}\{\phi(x, y) \cdot e^{-i\omega t}\}\end{aligned}\quad (1)$$

2.1.1 上下揺れに対する流体力

まず、剛体としての上下揺れに対する流体力の解析を考える。浮体の水平面内寸法が(波長に比べて)非常に大きければ、浮体端部を除く内部領域に分布させるべき特異点強さ(σ_3)や内部領域における速度ポテンシャル(ϕ_3)はほぼ一定値と仮定してよいことは容易に予測できるから、内部を大きな要素で代表させ、その上では特異点強さ及びポテンシャルは一定と仮定することが良い近似で成立するであろうことが予想される。端部においては、特異点強さや速度ポテンシャルは一定と仮定することはできないと考えられるが、このような端部影響による特異点強さや速度ポテンシャルの局所的な変化は、当該端部領域を細かく分割し、通常の特異点分布法の手法に従って、内部の特異点と端部の特異点との相互影響を考慮することによって、正しく評

Fig. 1 Definitions

価できるであろうと考えられる。このような近似計算法の有効性を検証するため、Fig. 2に示したような長さ1500m、幅300mの浮体の単位速度振幅の上下揺れに対するラディエーション問題を、Fig. 2(a)に示したような均一な要素分割(2700要素)で計算した場合と、Fig. 2(b)に示すように内部を大きな要素で代表させて要素数を減少させて(533要素)計算した場合とを比較してFig. 3(a), (b)に示す。動揺周期は8.68秒である。各要素上では要素の大きさに拘らず特異点強さは一定と仮定して計算した。図は、構造物底面における速度ポテンシャルの実部(Fig. 3(a)), 虚部(Fig. 3(b))の値の分布を比較したものである。533要素で計算された値は、近似を用いないで2700要素で計算した結果と端部での変動まで非常に良く一致しており、本近似計算法の有効性が認められる。

2.1.2 縦揺れ、横揺れに対する流体力

長さも幅も波長に比べて非常に大きな浮体の縦揺れや横揺れなどの反対称モードの運動に対するラディエーション問題の解析も2.1.1で示した上下揺れの解析と同様な考え方で近似計算を行うことができると考えられる。即ち、 x 軸まわりの横揺れに対する流体力計算では、上下揺れの場合と同様に内部を大きな要素で代表させ、その要素上では特異点強さ(σ_4)、速度ポテンシャル(ϕ_4)が x 方向には変化せず、 y 方向にそれぞれ次式に従って変化すると仮定することができると予想される。

$$\sigma_{4j} = \frac{y_j}{y_i} \sigma_{4i}, \quad \phi_{4j} = \frac{y_j}{y_i} \phi_{4i} \quad (2)$$

ここで、 y_j, y_i は各々 j パネル、 i パネルの y 座標、 x_j, x_i は各々 j パネル、 i パネルの x 座標を表し、 σ, ϕ の下付き添え字 j, i はそれぞれ j パネル、 i パネル上の特異点強さ、速度ポテンシャルの値を表すものとする。一方、 y 軸まわりの縦揺れに対する解析では、横揺れの場合と同様に、構造物内

(a) discretization into panels of equal size (2700 panels)

(b) discretization into large panels (533 panels)

Fig. 2 Discretization of a 1500m×300m structure

(a) real part of the velocity potential

(b) imaginary part of the velocity potential

Fig. 3 The distributions of the velocity potential over the bottom surface of the structure due to heave motion

部を大きな要素で代表させ、その要素上では特異点強さ (σ_s)、速度ポテンシャル (ϕ_s) が y 方向には変化せず、 x 方向にそれぞれ次式に従って変化すると仮定することができる。

$$\sigma_{sj} = \frac{x_j}{x_i} \sigma_{si}, \quad \phi_{sj} = \frac{x_j}{x_i} \phi_{si} \quad (3)$$

これらの近似計算法の有効性を検証するために、上下揺れの場合と同じく、長さ 1500 m、幅 300 m の浮体の剛体としての横揺れ、縦揺れに関するラディエーション問題を、Fig. 2(a) で示したように、均等分割された 2700 要素で計算した場合と Fig. 2(b) に示したように、内部を 1 要素で代表させた 533 要素で計算した場合とを比較して、Fig. 4(a), (b) (横揺れ)、Fig. 5(a), (b) (縦揺れ) に示す。図に示したものは、各運動に対する速度ポテンシャルの実部 (Fig. 4(a), Fig. 5(a)), 虚部 (Fig. 4(b), Fig. 5(b)) の値の構造物底面における分布を比較したものである。533 要素による計算では、内部の大きな要素の上では (2) 式 (横揺れの場合)、(3) 式 (縦揺れの場合) に従って特異点強さあるいは速度

(a) real part of the velocity potential

(b) imaginary part of the velocity potential

Fig. 4 The distributions of the velocity potential over the bottom surface of the structure due to roll motion

ポテンシャルが変化すると仮定している。533 要素による近似計算結果と 2700 要素による計算結果とは、ほぼ完全に一致しており、横揺れや縦揺れなどの反対称モードの剛体運動に対するラディエーション問題にも、本近似計算法が良い精度で適用できることが確認された。

2.2 弾性モードに対する流体力

本研究で対象としているような超大型浮体では、長さ (L)・幅 (B) が数 km となる一方で、構造物の厚さ (D) は高々 10 m 程度にとどまることが予想されているから、相対的な曲げ剛性 (EI/L^5 , EI/B^5) (EI : 断面の曲げ剛性, L : 長さ, B : 幅) が既存の浮体に比べて非常に小さくなる。曲げ振動の固有周波数が $\frac{1}{L^2} \left(\frac{EI}{A\rho} \right)^{1/2}$ (A : 断面積, ρ : 構造物の密度) にほぼ比例するとすれば、曲げ振動の固有周波数は既存の最大規模の浮体 ($L, B \sim 100$ m) の $1/50 \sim 1/50^2$ 程度になると予想される。既存の浮体では、曲げ振動の固有周波数が実海面において有意なエネルギーを持つ波の周波数に比べてはるかに高いために、波による曲げ振動はあまり問題とならない。一方、本研究で対象とするような超大型浮

Fig. 5 The distributions of the velocity potential over the bottom surface of the structure due to pitch motion

体では、その曲げ固有周波数が大きく低下するため、曲げ振動の固有周波数が設置海域における卓越波の周波数に近づいて、その結果として波によって誘起された弾性応答が大きくなり、剛体としての運動変位よりも弾性応答による運動変位が卓越する可能性があると考えられている。既存の浮体では、弾性応答による変位は剛体としての応答変位に比べてはるかに小さいため、浮体まわりの流場を解析するにあたっては、弾性応答変位が流場に及ぼす影響は通常無視される。しかしながら、弾性応答が卓越するような場合には、弾性応答の流場に及ぼす影響を、剛体としての応答の流場に及ぼす影響に比べて無視することはできない。このような弾性変位と流場との相互影響即ち流力弾性現象を考慮して浮体の応答を解析する有力な手法としてモード解析法²⁾と呼ばれる手法がある。この手法では、浮体の弾性応答をある関数系の線形和として表す。関数系としては、通常当該浮体の真空中における曲げ振動の固有モード（ドライモード）が採用されることが多い。このようなモード解析法を用いて流力弾性現象を考慮した応答解析を行うに

あたっては、浮体が単位振幅の各固有モード（以後、弾性モードと呼ぶこととする）で運動した時の流体反力（付加質量、造波減衰係数）をあらかじめ求めておく必要がある。従って、本節ではこのような弾性モードに対するラディエーション問題の解析法を提案する。

浮体の弾性応答による鉛直方向変位 $Z(x, y, t)$ が弾性モード $w_{nm}(x, y)$ の重ね合わせで以下のように表されるとする。

$$Z(x, y, t) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M a_{nm} w_{nm}(x, y) e^{-i\omega t} \quad (4)$$

$w_{nm}(x, y)$ の具体形として、両端自由の2次元梁のドライモード関数の組み合わせで表される以下のようなものを考える。

$$w_{nm}(x, y) \equiv w_n(x) \cdot w_m(y) \quad (5)$$

$w_n(x)$, $w_m(y)$ としては以下に示すような、Newman³⁾により提案された一般化された general mode を用いることとする。

$$w_n(x) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left(\frac{\cos \kappa_n q}{\cos \kappa_n} + \frac{\cosh \kappa_n q}{\cosh \kappa_n} \right) & \text{if } n \text{ is even} \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\sin \kappa_n q}{\sin \kappa_n} + \frac{\sinh \kappa_n q}{\sinh \kappa_n} \right) & \text{if } n \text{ is odd} \end{cases}$$

$$w_m(y) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left(\frac{\cos \kappa_m p}{\cos \kappa_m} + \frac{\cosh \kappa_m p}{\cosh \kappa_m} \right) & \text{if } m \text{ is even} \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\sin \kappa_m p}{\sin \kappa_m} + \frac{\sinh \kappa_m p}{\sinh \kappa_m} \right) & \text{if } m \text{ is odd} \end{cases}$$

ここで、 $q \equiv 2x/L$, $p \equiv 2y/B$ で定義される。また、 κ_n は次式の正の実根である。

$$(-1)^n \tan \kappa_n + \tanh \kappa_n = 0 \quad (6)$$

長さ・幅が波長に比べて非常に大きい浮体の弾性モードに対する流体力も、2.1 で示した剛体モードの運動に対する流体力の解析と同様な考え方で近似計算できるであろうことは容易に予測できる。即ち、ある弾性モードに対する特異点強さ、速度ポテンシャルは、浮体の端部を除く内部の大部分では、長さ・幅方向に当該弾性モードの関数形に従って変化すると考えられる。従って、弾性モード $w_{nm}(x, y)$ に対するパネル j 、パネル i 上の特異点強さ σ_{nmj} , σ_{nmi} 、速度ポテンシャル ϕ_{nmj} , ϕ_{nmi} には次のような関係が良い近似で成り立つと予想される。

$$\sigma_{nmj} = \frac{w_{nm}(x_j, y_j)}{w_{nm}(x_i, y_i)} \sigma_{nmi}, \quad \phi_{nmj} = \frac{w_{nm}(x_j, y_j)}{w_{nm}(x_i, y_i)} \phi_{nmi} \quad (7)$$

ここで、 (x_j, y_j) , (x_i, y_i) は各々 j , i 番目のパネルの中心の x, y 座標値である。

上式の有効性を確かめるために、2.1 で扱ったものと同じ長さ 1500 m、幅 300 m の浮体を対象として、単位速度振幅の弾性モード運動に対する流体力を、全体を均一に 2700 要素 (Fig. 2(a)) で計算した場合と、本近似解析法の考え方に基づいて、内部を 1 要素で代表させた 533 要素 (Fig. 2(b)) で計算した場合とを比較した。533 要素による計算では、内部の大きな 1 要素上では、特異点強さ・速度ポテンシャルの値は (7) 式に従って変化すると仮定して計算した。Fig. 6(a) (b) (c) に、いくつかの弾性モードについて計

Fig. 6 (a) The distributions of the velocity potential $\phi_{nm}(n=2, m=2)$ over the bottom surface of the structure due to the elastic mode of motion $w_{nm}(n=2, m=2)$

Fig. 6 (b) The distributions of the velocity potential $\phi_{nm}(n=16, m=2)$ over the bottom surface of the structure due to the elastic mode of motion $w_{nm}(n=16, m=2)$

Fig. 6 (c) The distributions of the velocity potential $\phi_{nm}(n=7, m=4)$ over the bottom surface of the structure due to the elastic mode of motion $w_{nm}(n=7, m=4)$

算された速度ポテンシャルの値の浮体底面における分布を示す。各モード共に変動周期は8.68秒とした。 $(\phi_{n,m})$ は

w_{nm} で与えられる弾性モードに対する速度ポテンシャルを表す。)各モード共に2700要素で計算された値と533要

Table 1 Comparisons of added mass and damping coefficients obtained by 2700 panels and those obtained by 533 panels

	(a)2700 panels	(b)533 panels	(b)/(a)
$A_{0,0}/\frac{\pi}{8}\rho B^2 L$	2.84E-01	2.85E-01	1.004
$B_{0,0}/\frac{\pi}{8}\omega\rho B^2 L$	1.59E-02	1.61E-02	1.013
$A_{1,0}/\frac{\pi}{8}\rho B^2 L^2$	1.24E-00	1.24E-00	1.000
$B_{1,0}/\frac{\pi}{8}\omega\rho B^2 L^2$	1.58E-01	1.58E-01	1.000
$A_{0,1}/\frac{\pi}{8}\rho B^2 L^2$	3.47E+01	3.47E+01	1.000
$B_{0,1}/\frac{\pi}{8}\omega\rho B^2 L^2$	2.48E-01	2.48E-01	1.000
$A_{2,2}/\frac{\pi}{8}\rho B^2 L$	1.38E-02	1.36E-02	0.986
$B_{2,2}/\frac{\pi}{8}\omega\rho B^2 L$	1.80E-03	1.75E-03	0.972
$A_{16,2}/\frac{\pi}{8}\rho B^2 L$	1.20E-02	1.19E-02	0.995
$B_{16,2}/\frac{\pi}{8}\omega\rho B^2 L$	1.13E-03	1.11E-03	0.982
$A_{7,4}/\frac{\pi}{8}\rho B^2 L$	1.17E-02	1.15E-02	0.983
$B_{7,4}/\frac{\pi}{8}\omega\rho B^2 L$	5.47E-04	5.39E-04	0.985

素を用いて近似計算された値とは、端部を含めて浮体底面全体にわたってほぼ完全に一致しており、本近似解析手法の有効性が確認される。超大型浮体のラディエーション問題に特徴的なことは、Fig. 3～Fig. 6に共通に見られるように、速度ポテンシャルの虚部が浮体の端部を除く大部分で非常に小さな値となることである。図に示した速度ポテンシャルは、単位速度振幅に対するものであるから、その虚部は造波減衰力に対応する。即ち、Fig. 3～Fig. 6に示した結果は、浮体が超大型の場合には（端部を除いて）浮体各部が運動しても波が遠方に発散して行かないことを示唆している。これは、第1報¹⁾で示したように、浮体内部では、流場はその上部を構造物の底部で覆われていることによって、進行波モードの波が存在することができないため、外部からの入射波は浮体内部へ到達せず、逆に浮体内部からの発散波は浮体の外部へ発散しえないからであると考えられる。Table 1には、剛体モードを含めた各モードに対する流体力係数（付加質量係数、造波減衰係数）について、2700要素で計算された値と本近似手法を用いて533要素で計算された値を比較して示す。高次モードまで、本近似解析法を用いた533要素による計算で、2700要素による計算結果と、実用上十分と考えられる3%以下の誤差で一致する結果が得られることがわかる。（表中、 $A_{0,0}$, $B_{0,0}$ は剛体としての上下揺れに対する付加質量、減衰係数、 $A_{1,0}$, $B_{1,0}$ は剛体としての横揺れに対する付加質量、減衰係数、 $A_{0,1}$, $B_{0,1}$ は剛体としての縦揺れに対する付加質量、減衰係数、 $A_{n,m}$, $B_{n,m}$ ($n, m \geq 2$)は固有弾性モード w_{nm} に対する付加質量、減衰係数を表す。）

3. 適用例

3.1 ポンツーン型浮体の弾性応答

前章で提案した弾性モードに対する流体力の近似解析法及び前報¹⁾で提案した波力の近似解析手法によって、波

力・流体力（付加質量力、減衰力）が求められると、通常のモード解析法（例えば、文献[2]）によって波浪中の弾性応答を計算することができる。例として、長さ1500m、幅300mのポンツーン型浮体の波浪中弾性応答（各部の鉛直変位の振幅分布）を解析した結果をFig. 7(a), (b)に示す。入射波は波長100mの縦波であり、浮体の曲げ剛性は $EI=10^7 N \cdot m^2$ とした。Fig. 7(a)に示すものは、波力・流体力として浮体全面を均一に1800要素に分割して求めた値を用いた場合の結果であり、Fig. 7(b)に示すものは、浮体内部を大きな1要素で代表させ、要素数を528にまで減少させて、本近似法により波力・流体力を求めた値を用いた場合の結果である。モード解析に用いたモード数は縦方向に10である。（簡単のため、横方向には変形を考慮していない。）本近似計算法を用いた528要素によって、本近似計算法を用いない1800要素による計算結果とほとんど完全に一致する結果が得られることが確認される。

3.2 補助滑走路用浮体つき浮体式海上空港に働く波力

通常、空港には横風用の補助滑走路が設けられることが多いから、その例としてFig. 8に示すように、主滑走路用浮体と横風用の補助滑走路用浮体の2つの超大型浮体によって構成される浮体空港に働く波力の解析を行った。主滑

(a) results obtained by 1800 panels

(b) results obtained by 528 panels

Fig. 7 Comparisons of the distribution of vertical displacement amplitudes in head waves ($\lambda=100m$) obtained by 1800 panels and that obtained by 528 panels. (The waves are incident from negative x axis.)

Fig. 8 A floating airport composed of two runway structures

走路用浮体と補助滑走路用浮体は共に長さ・幅がそれぞれ 1000 m, 200 m とする。(空港の規模としては、実際に想定されるものよりも若干小さいが、以下に示すように、浮体を均一な要素に分割した場合との比較を行うため、均一分割しても計算が可能となる規模を選定した。)図に示すように、主滑走路用浮体は x 軸に平行で、これと 40° の角度で補助滑走路用浮体を設ける。また、両浮体の長さ方向の中心線の交点と主滑走路用浮体の左端との距離を $\overline{SL}$ とし、 $\overline{SL}$ を両浮体の近接度を表すパラメータとして用いる。 x 軸の負の方向から正の方向へ進行する規則波(波長 100 m)中の波力の解析を行うこととし、Fig. 9 に示すように、主滑走路用浮体、補助滑走路用浮体の底面をそれぞれ長さ方向に 100 分割、幅方向に 12 分割して(計 2400 要素)得られる値

Fig. 9 Discretization of the main-runway structure and the sub-runway structure into panels of equal size.

を本近似計算法による結果との比較計算値として用いる。 $\overline{SL}=1/4 \cdot L$, $\overline{SL}=1/2 \cdot L$, $\overline{SL}=3/4 \cdot L$ の場合について、2400 要素で計算された特異点強さの長さ方向分布を、主滑走路用浮体の第 1～第 3 列目、第 10～第 12 列目について各々 Fig. 10(a) および Fig. 10(b) に、補助滑走路用浮体の第 13～第 15 列目、第 22 列目～第 24 列目について各々 Fig. 11(a) および Fig. 11(b) に示す。(列番号については、Fig. 9 を参照。)主滑走路用浮体の第 1 列～第 3 列、補助滑走路用浮体の第 22～第 24 列では、浮体の近接度($\overline{SL}$ の違い)に拘らずほとんど同じ値をとり、互いに他の浮体の影響をほとんど受けていないことがうかがえる。一方、主滑走路用浮体の第 10 列～第 12 列、補助滑走路用浮体の第 13 列～第 15 列は、互いに他の浮体に近い所に位置しているために、浮体の近接度($\overline{SL}$ の違い)によって特異点強さの値がかなり異なり、主滑走路用浮体と補助滑走路用浮体との相互干渉の影響が顕著に認められる。結局、主滑走路用浮体と補助滑走路用浮体が組み合わされたような浮体空港の解析では、各浮体の端部と共に、各浮体の他の浮体に近い部分も細かく分割する必要がある、要素分割としては Fig. 12 に示すようなものが適当であると考えられる。このような要素分割を行って第 1 報で提案した近似解析法に基づき、主滑走路用浮体の大きな要素上では、外海に近い各列では特異点強さが次式に従って変化すると仮定し、

$$\sigma_j = \left(\frac{x_j + L/2}{x_i + L/2} \right)^{1/2} \cdot \sigma_i e^{ik(x_j - x_i)} \quad (k: \text{波数}) \quad (8)$$

内部の各列では次式に従って変化すると仮定する。

$$\sigma_j = e^{-\kappa_1(x_j - x_i)} \cdot \sigma_i \quad \left(\kappa_1 = \frac{\pi}{h-d}, \quad h: \text{水深}, d: \text{喫水} \right)$$

更に、補助滑走路用浮体の大きな要素上では特異点強さは次式に従って変化すると仮定する。

$$\sigma_j = \sigma_i e^{ik(x_j - x_i)} \quad (10)$$

Fig. 12 に示す分割例はこのような仮定のもとに要素数を 1158 要素にまで減少させたものである。 $\overline{SL}=1/2 \cdot L$ の場合について、2400 要素及び 1158 要素で計算された主滑走路用浮体、補助滑走路用浮体底面における速度ポテンシャルの分布をそれぞれ Fig. 13(a), Fig. 13(b) に示す。これらの図より、本近似計算法の考え方により要素数を 1158 にまで減少させても、浮体を均一に 2400 要素に分割して計算したものとほぼ完全に一致する結果が得られることがわかる。現在わが国で計画されている海上空港のように、長さ 5000 m、幅 1000 m と構造物の規模が更に大規模になっても、細かく分割すべき範囲は構造物の周辺部だけであるから、本計算で対象とした長さ 1000 m、幅 200 m の場合に細かく分割した範囲とあまり変わらないと考えられるため、構造物の大型化に伴って、本近似計算手法の有効性が更に発揮されると考えられる。Fig. 14, Fig. 15 には、各々 $\overline{SL}=1/3 \cdot L$, $3/4 \cdot L$ の場合について、2400 要素及び 1158 要素

Fig. 10(a) The lengthwise singularity strength distribution on the 1st~3rd columns of panels for $\overline{SL} = \frac{1}{3}L, \frac{1}{2}L, \frac{3}{4}L$.

Fig. 10(b) The lengthwise singularity strength distribution on the 10th~12th columns of panels for $\overline{SL} = \frac{1}{3}L, \frac{1}{2}L, \frac{3}{4}L$.

Fig. 11(a) The lengthwise singularity strength distribution on the 13th~15th columns panels for $\overline{SL} = \frac{1}{3}L, \frac{1}{2}L, \frac{3}{4}L$.

Fig. 11(b) The lengthwise singularity strength distribution on the 22nd~24th columns panels for $\overline{SL} = \frac{1}{3}L, \frac{1}{2}L, \frac{3}{4}L$.

Fig. 12 Discretization of the main-runway structure and the sub-runway structure into reduced number of panels.

Fig. 13 (a) Comparisons of the distribution of the velocity potential over the bottom surface of the main-runway structure obtained by 2400 panels and those obtained by 1158 panels ($\overline{SL} = \frac{1}{2}L$).

Fig. 13(b) Comparisons of the distribution of the velocity potential over the bottom surface of the sub-runway structure obtained by 2400 panels and those obtained by 1158 panels ($\overline{SL} = \frac{1}{2}L$).

Fig. 14(a) Comparisons of the distribution of the velocity potential over the bottom surface of the main-runway structure obtained by 2400 panels and those obtained by 1158 panels ($\overline{SL} = \frac{1}{3}L$).

Fig. 14(b) Comparisons of the distribution of the velocity potential over the bottom surface of the sub-runway structure obtained by 2400 panels and those obtained by 1158 panels ($\overline{SL} = \frac{1}{3}L$).

Fig. 15(b) Comparisons of the distribution of the velocity potential over the bottom surface of the sub-runway structure obtained by 2400 panels and those obtained by 1158 panels ($\overline{SL} = \frac{3}{4}L$).

Fig. 15(a) Comparisons of the distribution of the velocity potential over the bottom surface of the main-runway structure obtained by 2400 panels and those obtained by 1158 panels ($\overline{SL} = \frac{3}{4}L$).

Table 2 Comparisons of heave force, roll moment and pitch moment acting on the floating airport obtained by 2400 panels and those obtained by 1158 panels for $\overline{SL} = \frac{1}{3}L, \frac{1}{2}L, \frac{3}{4}L$.

	$\overline{SL} = \frac{1}{3}L$		$\overline{SL} = \frac{1}{2}L$		$\overline{SL} = \frac{3}{4}L$	
number of panels	2400	1158	2400	1158	2400	1158
heave force/ $2\rho g\zeta_N BL$	3.208E-03	3.226E-03	7.175E-03	7.209E-03	7.560E-03	7.607E-03
roll moment/ $\rho g\zeta_N B^2 L$	8.537E-03	8.463E-03	9.189E-03	9.177E-03	1.315E-02	1.309E-02
pitch moment/ $\rho g\zeta_N BL^2$	3.540E-03	3.531E-03	6.910E-03	6.906E-03	7.246E-03	7.246E-03

で計算された速度ポテンシャルの分布を示す。両浮体の近接度が変わっても、本近似計算法により非常に精度良く計算することが可能である。最後に、浮体空港全体に加わる波強制力の値を Table 2 に示す。(roll moment, pitch moment は各々 x 軸, y 軸に関するものである。)これらの比較により、本近似計算法は超大型浮体が組み合わせられたような場合にも適用可能であることが示された。

4. 結 言

第1報¹⁾で提案した近似計算手法が、弾性変位モードも含めた各運動モードに対する流体反力の計算(ラディエーション問題)にも適用可能であることを示した。また、提案した近似解析手法の実用的な問題への適用例として、大型箱型浮体の波浪中弾性応答、補助滑走路用浮体つき浮体空港に働く波力の解析を行い、本計算手法によって少ない

計算量で精度の良い解を得ることができることを示した。

参 考 文 献

- 1) 影本浩, 藤野正隆, 朱庭耀: 超大型浮体に働く波力・流体力の推定法に関する研究, 日本造船学会論文集第179号, 173-182, 1996.
 - 2) Bishop, R. E. D. and Price, W. G.: Hydroelasticity of ships, Cambridge University Press, Cambridge, 1979.
 - 3) J. N. Newman: Wave effects on deformable bodies, *Applied Ocean Research*, **16**, 47-59, 1994.
 - 4) 朱庭耀: 超大型浮体式海洋構造物に働く波力および流体力の推定法に関する研究, 東京大学工学系研究科船舶海洋工学専攻学位論文, 1996.
-