浮遊式海洋構造物の動的弾性応答解析

鳥 取 大 学　正 員　神部 俊一
日本建設コンサルタント　正 員　池内 覚
鳥 取 大 学　学生員　○武林 昌哉
鳥 取 県　正 員　新宮 宏治

1．まえがき

多数の浮体でもって上部構造物を支持する形式の浮遊式海洋構造物が考えられている。 これを設計するには、浮体の弾性変形を考慮に入れて各部材の強度を算定する必要がある。 本報告では、その第一段階として、波浪の作用下にある浮遊式海洋構造物に生じる弾性変形を解析するための基礎的な解析法を示し、それを簡単な構造モデルに対して適用することを試みた。 その際、入射波の周期及び入射角を変化させて、それらが構造物の弾性変形に及ぼす影響を検討した。

2．解析方法

1）作用外力　浮遊式海洋構造物には種々の外力が作用するが、本報告では波力と復元力のみを考慮する。 Fig.1 に示すような浮遊式海洋構造物に、x軸の負の方向から正の方向にx軸とαの角をなして微小振幅波が入射しているものとする。 この場合の波力を算定するに当っては、流体場の支配方程式であるラプラス方程式と自由水面、海底面における境界条件、及び放射条件を満足するグリーン関数を導入し、グリーンの定理を用いて支配方程式及び境界条件を浮体没水面上の積分方程式に変換させて解く方法 [1] を採用する。 復元力は浮体の鉛直方向変位と、水面に対して浮体が傾くこと、即ち回転変位によって生じる。 鉛直方向の復元力は波形と浮体の鉛直方向変位とに関連して定まる没水体積の変化により決定され、回転変位に対する復元力は浮体の重心とメタセンターとの距離及び浮体重量により決定される。

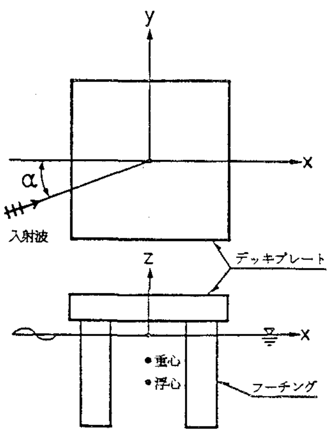

Fig.1 浮遊式海洋構造物

2）剛体運動解析　1）で求めた外力を用いて、構造全体を剛体とみなした場合の構造物の変位を求める。 浮体の剛体運動を支配するオイラーの運動方程式は、慣性座標系から見た重心の並進変位ベクトル$\mathbf{U}_g'$（3行1列）及び、重心を通る慣性主軸まわりの回転変位ベクトル$\boldsymbol{\theta}_g$（ 3行1列）について次式のように表わされる。

$$\left[\begin{array}{ccc|ccc} M & & & & & \\ & M & & & 0 & \\ & & M & & & \\ \hline & & & I_x & & \\ & 0 & & & I_y & \\ & & & & & I_z \end{array}\right]\begin{bmatrix}\ddot{\mathbf{U}}_g' \\ \hline \ddot{\boldsymbol{\theta}}_g\end{bmatrix} = \mathbf{E}_g - \mathbf{M}_g\begin{bmatrix}\ddot{\mathbf{U}}_g' \\ \hline \ddot{\boldsymbol{\theta}}_g\end{bmatrix} - \mathbf{N}_g\begin{bmatrix}\dot{\mathbf{U}}_g' \\ \hline \dot{\boldsymbol{\theta}}_g\end{bmatrix} - \mathbf{K}_r\begin{bmatrix}\mathbf{U}_g' \\ \hline \boldsymbol{\theta}_g\end{bmatrix} \qquad (1)$$

ここに　M：浮体全質量
I_x, I_y, I_z：　慣性主軸に関する慣性モーメント
$\mathbf{E}_g$　：波強制力マトリクス（6行1列）
$\mathbf{M}_g$　：付加質量マトリクス（6行6列）
$\mathbf{N}_g$　：造波減衰マトリクス（6行6列）
$\mathbf{K}_r$　：復元力マトリクス（6行6列）

これを解けば重心の剛体運動変位が求まる。

3）弾性応答解析　対象とする浮遊式海洋構造物を Fig.2 に示すように梁要素（フーチング部）と長方形要素（デッキプレート部）に分割する。 デッキプレート部においては面外変位のみを取り扱うため、長方形要素の節点変位として Fig.3(a) に示すような変位を考える。

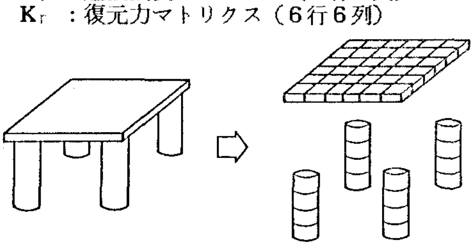
Fig.2 要素分割

フーチング部においては、梁軸方向のねじりモーメントを考慮しないため、梁要素の節点変位として Fig.3(b) に示すような変位を考える。　3）で求めた浮体の剛体運動による重心の変位ベクトルを用いて、構造物を構成する任意の節点変位ベクトルを求める。　それを時間に関して二回微分することにより慣性力を求め、これを上述の各節点の変位成分に対応する荷重成分として各節点に作用させる。

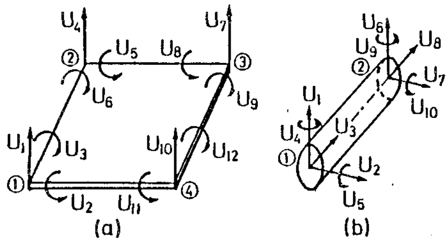

Fig.3　節点変位

構造減衰は剛性に比例する（比例定数γ）と仮定すると、弾性変位ベクトル$\mathbf{U_e}$（ n行１列）に関する運動方程式は次式で与えられる。

$$\mathbf{M}\mathbf{U}_e + 2\gamma\mathbf{K}\mathbf{U}_e + \mathbf{K}\mathbf{U}_e = \mathbf{F} \qquad (2)$$

ここに、　**M**：質量マトリクス（n行n列）　**F**：荷重ベクトル（n行１列）

K：剛性マトリクス（n行n列）　n：構造物の自由度

この運動方程式をモーダル解析法を適応して解くことにより、任意の節点の弾性変位が求まる。[2)]

３．数値計算例及び考察

１）計算条件　Fig.1 で示した浮遊式海洋構造物を対象として数値計算を行った。　計算条件を表－１に示す。　デッキプレート部とフーチング部は共に中空状になっており、それぞれ厚さ4cm 、１０cm の鋼板でできているものとする。　構造物の要素分割は上述のようにデッキプレート部を長方形要素に、フーチング部を梁要素に分割し、節点番号は Fig.4に示すとおりである。

波浪条件については、周期を表－１に示すように変化させ、さらにそれぞれの周期について入射角αを０度、４５度と変化させた。

表－１　計算条件

構造モデル	形状	デッキプレート部	縦：３０m　横：３０m　高さ：５m		
		フーチング部	直径：６m　高さ：２０m		
	吃　水		１７．４ m		
	質　量		２．００×１０^{12} kg		
水　深			１００ m		
波浪条件			周期（sec）	波長（m）	波高（m）
	case Ⅰ		３．０	１４．０	１．０
	case Ⅱ		３．５	１９．１	１．０
	case Ⅲ		４．２	２７．５	１．０
	case Ⅳ		４．８	３５．９	１．０

２）計算結果及び考察　デッキプレート部の中央点と端点（ Fig.4 に示した節点番号１，７，２５，４３，４９）での鉛直方向の弾性変位の振幅を表－２に示す。　入射角が０度の場合、節点１と７及び節点４３と４９の弾性変位振幅はそれぞれほぼ同程度の値であり、入射角が４５度の場合は節点７と４３の弾性変位振幅が同程度である。　このことは、構造モデルの形状からみても妥当な結果であると言える。

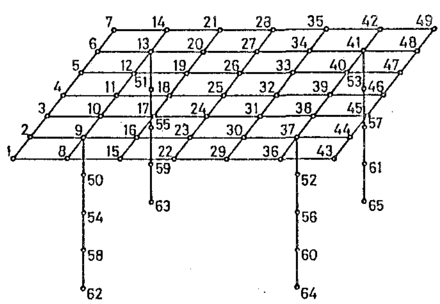

Fig.4　節点番号

また、おおむね入射波の周期に比例して、デッキプレート部の鉛直方向の弾性変位は大きくなると言えるが、入射波の周期が、波強制力及び造波抵抗力に与える影響を明らかにするためには、さらに周期の刻み幅を小さくして計算を行う必要があると考えられる。

表－２　弾性変位振幅

入射角 α		節点番号				(×１０$^{-3}$ cm)
		１	７	２５	４３	４９
０度	caseⅠ	０．５９	０．３９	０．９４	０．５０	０．４３
	caseⅡ	３．８０	３．９６	３．５５	４．０６	４．０６
	caseⅢ	４．０５	４．２５	２．３９	３．２９	３．９１
	caseⅣ	５．１８	５．０５	４．０２	４．８３	４．８３
４５度	caseⅠ	２．８１	２．６２	１．０６	２．６１	２．３９
	caseⅡ	２．７０	２．１３	３．９０	２．２２	２．６３
	caseⅢ	３．９２	３．６１	２．５０	３．４１	３．４０
	caseⅣ	３．８７	４．７６	３．５６	４．７３	４．３７

参考文献

1)清川哲志他：グリーン関数法による任意形状浮体の動揺解析，土木学会論文報告集，No.332(1983)

2)Ｊ．Ｓ．シェニムスキー著，川井忠彦，山田嘉昭共訳：マトリクス構造解析の基礎理論，培風館 pp.282～340,初版(1971)