I-49　区分モード合成法による着底式海洋構造物の固有振動解析

中電技術コンサルタント㈱　正員　小宮山賢太郎
鳥取大学　正員　神部　俊一
鳥取県庁　西尾　雅明

１．まえがき

本報は、図－１に示すように、デッキプレートが４本の脚（レグ）で支持されている着定式海洋構造物に対して、デッキプレートの水平面内における剛体運動を区分モード合成法[1]に組み込んで固有振動解析を行ない、その動的特性を明らかにする。　この解析法によれば、全系を限定された個数の分系のモード座標を用いて解析できるので、物理座標を用いる場合よりも自由度を大幅に削減できる。

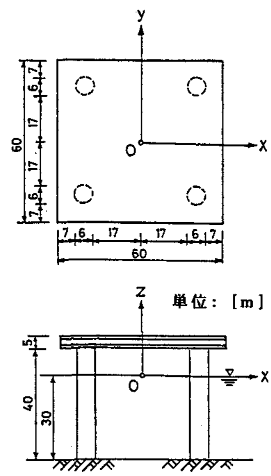
２．解析方法

２－１　物理座標空間における全系の運動方程式

分系と分系との接合部を結合領域、それ以外の部分を内部領域と呼び、それぞれ、添字 C, I を付けて区別する。　レグ全体とデッキプレートとを分系に選び、それらに関する物理量には右肩に、それぞれ、添字 (L), (D) を付けて区別する。　そこで、物理座標空間における全系の不減衰の運動方程式を、弾性変形に起因する全系の変位ベクトル $\{\mathbf{U}_E\}$ と水平面内におけるデッキプレートの剛体運動を表わす重心Gの変位ベクトル $\{\mathbf{U}_G^{(D)}\}$ とを用いて書くと、次のようになる。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M}_E & 0 \\ 0 & \mathbf{M}_G^{(D)} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\mathbf{U}}_E \\ \ddot{\mathbf{U}}_G^{(D)} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K}_E & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{U}_E \\ \mathbf{U}_G^{(D)} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{F}_E \\ \mathbf{P}_G^{(D)} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここに、 $\{\mathbf{F}_E\}$は外力ベクトルを意味し、 $\{\mathbf{P}_G^{(D)}\}$は結合領域を介してデッキプレートに作用する内力ベクトルを意味する。



図－１　着底式海洋構造物

２－２　弾性変形に起因する内部領域の変位

各分系の運動方程式に現われる特性行列から結合領域を完全に固定した状態で求めた限定された個数の固有モードより成るモーダルマトリックス $[\phi_{IE}^{(D)}]$, $[\phi_{IE}^{(L)}]$とモード座標を成分とする列ベクトル $\{\xi_{IE}^{(D)}\}$, $\{\xi_{IE}^{(L)}\}$とを用いて、弾性変形に起因する内部領域の変位ベクトル $\{\mathbf{U}_I^{(D)}\}$, $\{\mathbf{U}_I^{(L)}\}$を次式で表現する。

$$\{\mathbf{U}_I^{(D)}\} = [\phi_{IE}^{(D)}]\{\xi_{IE}^{(D)}\}, \quad \{\mathbf{U}_I^{(L)}\} = [\phi_{IE}^{(L)}]\{\xi_{IE}^{(L)}\} \quad (2)_{1\sim2}$$

２－３　デッキプレートの水平面内剛体変位

結合領域の水平面外変位を拘束した状態でレグ部の剛性マトリックスを Guyanの静的縮合法により結合領域に縮合して $\{\mathbf{P}_G^{(D)}\}$を求めると、 $\{\mathbf{U}_G^{(D)}\}$を支配する運動方程式が得られる[2]。　この方程式に現われる特性行列からモーダルマトリックス $[\phi_R^{(D)}]$を求めてモード座標ベクトル $\{\xi_R^{(D)}\}$を用いると、 $\{\mathbf{U}_G^{(D)}\}$は次式により表わされる。

$$\{\mathbf{U}_G^{(D)}\} = [\phi_R^{(D)}]\{\xi_R^{(D)}\} \quad (3)$$

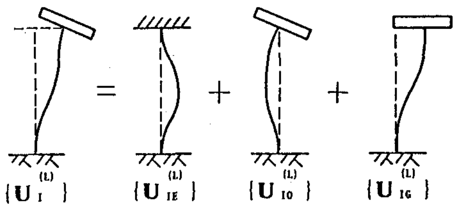
２－４　結合領域の水平面外変位

Guyan の静的縮合法により結合領域の水平面内変位を拘束した状態で各分系の特性行列を結合領域部に縮合して重ね合わせる。　この特性行列からモーダルマトリックス $[\phi_C]$が求まると、結合領域の水平面外変位ベクトル $\{\mathbf{U}_{C(O)}\}$ はモード座標ベクトル $\{\xi_C\}$を用いて次式で表現される。

$$\{\mathbf{U}_{C(O)}\} = [\phi_C]\{\xi_C\} \quad (4)$$

３．モード座標空間における全系の運動方程式

各分系の内部領域の変位ベクトル $\{\mathbf{U}_I^{(L)}\}$，$\{\mathbf{U}_I^{(D)}\}$ を結合領域の変位ベクトル $\{\mathbf{U}_{C(O)}\}$ と関係付ける変換行列を、それぞれ、$[\mathbf{T}_O^{(L)}]$，$[\mathbf{T}_O^{(D)}]$とする。 なお、$\{\mathbf{U}_I^{(L)}\}$は $\{\mathbf{U}_{C(I)}\}$ とも関係付けられるが、その変換行列を $[\mathbf{T}_I^{(L)}]$とする。 図－２に示すように、内部領域の変位ベクトルが各種の拘束条件を課して求めた変位ベクトルの線形和で与えらると仮定すると、全系の変位ベクトルは式(2)，(3)，(4) より次式で表わされる。



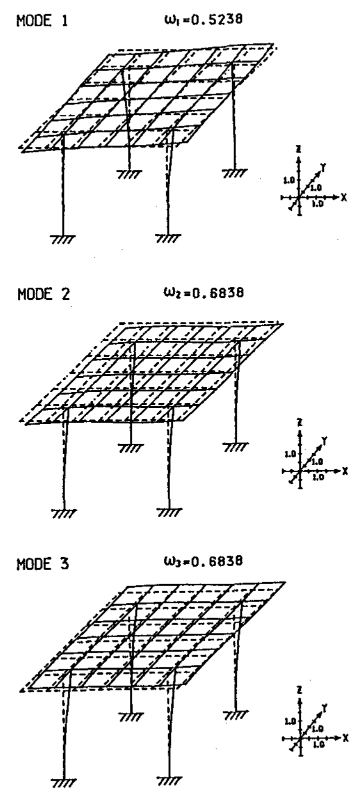
図－２　内部領域の変位モードの合成

$$\left\{\begin{array}{c}\mathbf{U}_E \\ \hline \mathbf{U}_G^{(D)}\end{array}\right\} \equiv \left\{\begin{array}{c}\mathbf{U}_I^{(D)} \\ \hline \mathbf{U}_{C(O)} \\ \hline \mathbf{U}_{C(I)} \\ \hline \mathbf{U}_I^{(L)} \\ \hline \mathbf{U}_G^{(D)}\end{array}\right\} = \left[\begin{array}{c|c|c|c} \boldsymbol{\phi}_{IE}^{(D)} & \mathbf{T}_O^{(D)}\boldsymbol{\phi}_C & 0 & 0 \\ \hline 0 & \boldsymbol{\phi}_C & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & \mathbf{T}_R\boldsymbol{\phi}_R^{(D)} \\ \hline 0 & \mathbf{T}_O^{(L)}\boldsymbol{\phi}_C & \boldsymbol{\phi}_{IE}^{(L)} & \mathbf{T}_I^{(L)}\boldsymbol{\phi}_R^{(D)} \\ \hline 0 & 0 & 0 & \boldsymbol{\phi}_R^{(D)} \end{array}\right] \left\{\begin{array}{c}\boldsymbol{\xi}_{IE}^{(D)} \\ \hline \boldsymbol{\xi}_C \\ \hline \boldsymbol{\xi}_{IE}^{(L)} \\ \hline \boldsymbol{\xi}_R^{(D)}\end{array}\right\} \equiv [\mathbf{T}_M]\{\boldsymbol{\xi}\} \quad (5)$$

物理座標空間における全系の運動方程式に上式を代入して左側から $[\mathbf{T}_M]^T$ を乗じると、モード座標空間に縮合された全系の運動方程式が得られる。 この系に対する一般固有値問題を解けば全系の固有振動数が求まり、対応するモーダルマトリックスを $[\boldsymbol{\Psi}]$ とすると、物理空間における全系の固有モードは $[\mathbf{T}_M][\boldsymbol{\Psi}]$から求まる。

４．数値計算例

図－１に示す構造モデルに対して、デッキプレート部を１節点が３自由度の４隅節点を有する合計３６個の長方形要素で、レグ部を１本当り１節点が５自由度の合計８個の梁要素で分割し、離散化モデルを構成して固有振動解析を行なった。 数値計算により得られた全系の固有振動数ωと固有モードの一部を図－３に示す。



図－３　固有振動数と固有モード

５．結　語

全系に有限要素法を適用して解析すると、自由度は２８６となるが、区分モード合成法では内部領域の弾性変形に関連する固有モードを大幅に減らせるので、全系の自由度を１３６にして解析したところ殆ど一致する結果を得た。 合計１０個の固有モードを計算するのに要したＣＰＵ占有時間は、前者の場合の約５６％であった。

参考文献）

1）田中基八郎・三枝省三共著：振動モデルとシュミレーション，応用技術出版（初版），pp.265 ～270, 1984.

2）神部俊一・小宮山賢太郎・飯塚修：着底式海洋構造物デッキプレートの剛体自由振動モード，第４２回土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集，I-35，pp.70 ～71 ，1990.