

根入れ基礎構造物の3次元動的解析

岡山大学工学部 正 員 竹宮 宏和

岡山大学大学院 学生員 合田 和哉

岡山大学大学院 学生員 ○平松 恵美子

1. まえがき 本研究は、剛体あるいは弾性根入れの周辺地盤との相互作用における3次元動的解析手法の開発を目的としたものである。既に著者らは、当該問題に対して軸対称モデルによる3次元解析手法を動的サブストラクチャー法を適用して提案してきた（SUBSSIP-3D）。土木構造物の基礎断面が実際には円形よりもむしろ矩形の方が多いとして鑑て、上記のSUBSSIP-3Dを任意形状断面の場合にも適用できるように拡張したので今回は、円形断面を有する弾性基礎のベルヌーイ・オイラー梁の導入による合理的解法の提案と共に、ここに報告する。

2. 定式化

地盤のモデル化：基礎周辺の地盤のモデル化は、軸対称モデル化を考える。そのときの変位ベクトルは円筒座標系で、周方向にフーリエ級数展開すると、

$$U_{r\theta z} = H \hat{U}_{r\theta z} \quad (1)$$

ここに、 $\hat{U}_{r\theta z} = \{U_r, U_z, U_\theta\}$ で、 $\hat{U}_{r\theta z}$ はフーリエ振幅で、対称、逆対称モードから成り、 H はフーリエ級数係数である。

同様に単位ラジアン力の対しても、

$$P_{r\theta z} = H \hat{P}_{r\theta z} \quad (2)$$

いま、式(1)に対して r, z 面内で有限要素化し、縮合操作によって、周辺地盤の動的効果を基礎とのインターフェイスにおけるインピーダンス関数とそれへの有効入力として評価すると、地盤部の運動方程式は、

$$\hat{D}_{r\theta z}^{ii*} \hat{U}_{r\theta z}^i = \hat{P}_{r\theta z}^{i0} + \hat{P}_{r\theta z}^{i0*} \quad (3)$$

ここで、 $\hat{D}$ は動的剛性マトリックスで、 i はインターフェイス節点を示す。

ベルヌーイ・オイラー梁による基礎のモデル化：基礎部は弾性体として、曲げおよびせん断変形を考慮したベルヌーイ・オイラー梁とする。ベルヌーイ・オイラー梁の各節点変位 $\hat{U}_{xyz}^f$ と地盤とのインターフェイス節点変位 $\hat{U}_{xyz}^i$ は剛

体条件により、

$$\hat{U}_{xyz}^i = G^f \hat{U}_{xyz}^f \quad (4)$$

一方、インターフェイス節点の円筒座標系での変位 $\hat{U}_{r\theta z}^i$ を座標変換マトリックス G と上式(4)を使って表わすと、

$$\hat{U}_{r\theta z}^i = G^T S \hat{U}_{xyz}^f \quad (5)$$

さらに $\hat{U}_{r\theta z}^i$ と $\hat{U}_{xyz}^f$ をインターフェイスの1周上で関係付けるため、式(5)に前から H^T を乗じて $0 \sim 2\pi$ まで積分すると、次式を得る。

$$\alpha \hat{U}_{xyz}^i = T^i \hat{U}_{xyz}^f \quad (6)$$

$$\text{ただし、} \alpha = \int_0^{2\pi} H^T H d\theta \quad T^i = \int_0^{2\pi} H^T G S d\theta$$

次に、インターフェイスでのつり合いを考え、仮想仕事より、

$$P_{xyz}^f = T^{ir} \hat{P}_{r\theta z}^i \quad (7)$$

ベルヌーイ・オイラー梁の質量効果の導入は各セグメントが剛体として質量および質量回転慣性を評価する。その結果、運動方程式は、

$$D^f \hat{U}_{xyz}^f = -P_{xyz}^f + P_{xyz}^{f0} \quad (8)$$

したがって、地盤-基礎系の連成運動方程式は

$$(D_{xyz}^f + T^i \hat{D}_{r\theta z}^{ii*} \alpha^{-1} T^i) \hat{U}_{xyz}^f = T^i \hat{P}_{r\theta z}^{i0*} + P_{xyz}^{f0} \quad (9)$$

となる。

3次元ソリッド要素による基礎のモデル化：任意の基礎

断面を扱うため、図1

のように、基礎をそれに接する近傍地盤を含めて3次元ソリッド要素で表現する。このとき3次元領域と軸対称3次元領域のインター

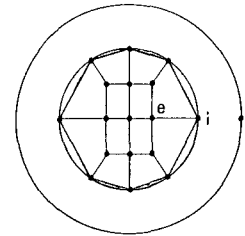


図 1 ソリッドモデル立面図

フェイス節点の取り扱い方として、前者の変位を後者のフーリエ変位振幅で表わす変換を行なう。つまり、インターフェイス節点において両領域に対する仮想仕事により、

$$\bar{u}_{xyz}^i = (\bar{6} \bar{H})^T \hat{u}_{xyz}^i \quad (10)$$

と表わせるから、上式(10)と式(2)より、

$$(\bar{6} \bar{H})^T \bar{p}_{xyz}^i = \alpha p_{r0z}^i \quad (11)$$

3次元ソリッド要素による基礎および近傍地盤の運動方程式は、動的剛性マトリックス $\bar{D}$ を使って、次式で与えられる。

$$\begin{bmatrix} \bar{D}^{ee} & \bar{D}^{ei} \\ \bar{D}^{ie} & \bar{D}^{ii} \end{bmatrix}_{xyz} \begin{Bmatrix} \bar{u}^e \\ \bar{u}^i \end{Bmatrix}_{xyz} = \begin{Bmatrix} \bar{p}^e \\ \bar{p}^i \end{Bmatrix}_{xyz} + \begin{Bmatrix} \bar{p}^{e0} \\ \bar{p}^{i0} \end{Bmatrix}_{xyz} \quad (12)$$

ただし、上式で軸対称領域とのインターフェイス節点 i とそれ以外の節点 e に分割している。ここで式(3)で支配される軸対称領域の地盤との連成振動を式(10),(11)の下で図る。その結果、

$$\begin{bmatrix} \bar{D}^{ee} & \bar{D}^{ei} \\ (\bar{6} \bar{H})^T \bar{D}^{ie} & (\bar{6} \bar{H})^T \bar{D}^{ii} + \alpha \hat{D}_{r0z}^{ii*} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{u}_{xyz}^e \\ \hat{u}_{r0z}^i \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \bar{p}_{xyz}^e \\ \alpha p_{r0z}^i \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \bar{p}_{xyz}^{e0} \\ \alpha p_{r0z}^{i0*} \end{Bmatrix} \quad (13)$$

3. 数値解析例および考察 本研究では、各モデル化とも、等価な断面積を有する基礎としてモデル化を行った。振動数応答解析は、その応答は基礎天端で評価し、結果を図2に示す。併せて、3次元剛体モデル化によって計算された基礎重心でのインピーダンス関数を図3に示す。また各モデルの計算時間、自由度については、基礎部、地盤部に分けて表1に示す。

今回、軸対称の剛体モデル化が精度、効率ともに秀れ、ついで、バルヌーイ・オイラー梁がせん断効果を考慮することにより精度も充分で、効率も良いことがわかった。それに対して、ソリッドモデルについては、基礎部の自由度数が大規模で効率も悪いことがわかった。2次元モデル化との比較によれば、3次元モデル化は2次元モデル化のとらえきれないロッキングのピークをとらえていることがわかった。

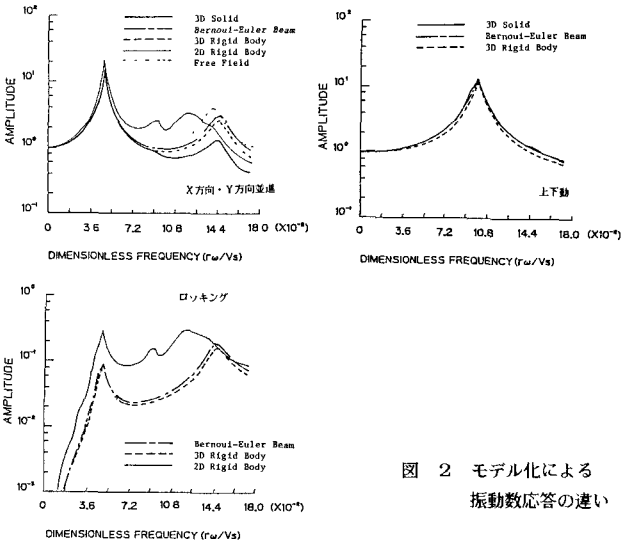


図 2 モデル化による振動数応答の違い

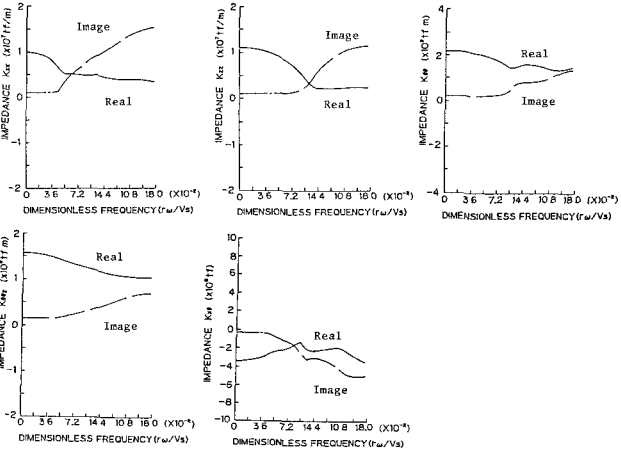


図 3 基礎重心位置でのインピーダンス関数(3次元剛体モデル)

表 1 解析モデル間の比較

基礎(あるいは近傍地盤を含む)系の自由度数	基礎(あるいは近傍地盤を含む)系の振動数応答計算時間	周辺地盤の自由度数	周辺地盤の計算時間
6 (41)	2 秒	63	83 秒
24 (41)	4 秒	63	83 秒
4 (176)	256 秒	78	76 秒

参考文献

1) Hirokazu Takemiya : Three-Dimensional Seismic Analysis For Soil-Foundation-Superstructure Based On Dynamic Substructure Method, PROC. OF JSCE Structural Eng./Earthquake Eng. Vol12, No.1, 1985.4.