

I-437

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基礎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-A3D)¹⁾。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ことに鑑て、上記のSUBSSIP-A3Dを任意形状断面の場合にも適用できるように拡張した。今回は、円形断面を有する弾性基礎に対するベルヌーイ・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に、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、 $U_{r\theta z}^T = \{ -[u_r \ u_\theta \ u_z] \}^T$ で、 $\hat{U}_{r\theta z}$ はフーリエ振幅の対称、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に対して、

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

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(図1参照)。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

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

一方、インターフェイス節点の円筒座標系での変位 $\hat{U}_{r\theta z}^i$ を直交座標への変換マトリックス G と式(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0-2 π まで積分すると、次式を得る。

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

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力の

つり合いを考え、仮想仕事より、

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

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、

$$D_{xyz}^f U_{xyz}^f = -P_{xyz}^f + P_{xyz}^{f0} \quad (8)$$

したがって、式(3)、(7)、(8)より地盤-基礎系の連成運動方程式は次式(9)となる。

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

3次元ソリッド要素による基礎とその近傍地盤のモデル化: 任意の基礎断面を扱うため、図2に示すように、基礎と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、

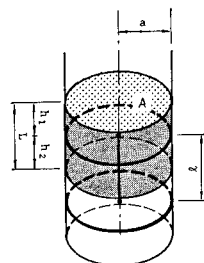


図 1
ベルヌーイ・オイラー梁

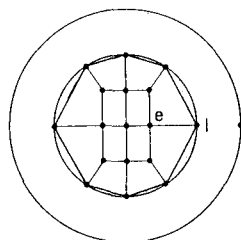


図 2
ソリッドモデル立面図

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

と表わせるから、上式（10）と式（2）より、

$$(\bar{G} \bar{H})^T \bar{P}_{xyz}^i = \alpha \bar{P}_{r\theta z}^i \quad (11)$$

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、

$$\begin{bmatrix} \bar{D}^{ee} & \bar{D}^{ei} \\ (\bar{G}\bar{H})^T \bar{D}^{ie} & (\bar{G}\bar{H})^T \bar{D}^{ii} + \alpha \hat{P}_{r\theta z}^{i*} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{U}_{xyz}^e \\ \hat{U}_{r\theta z}^i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{P}_{xyz}^e \\ \alpha \hat{P}_{r\theta z}^i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{P}^{e0} \\ \alpha \hat{P}_{r\theta z}^{i0*} \end{bmatrix} \quad (13)$$

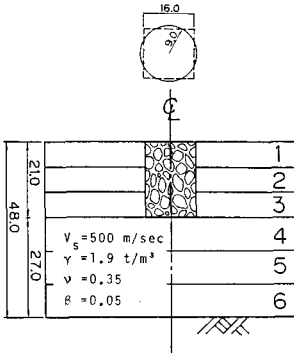


図 3 解析対象の地盤-基礎系

表 1 解析モデル間の比較

基礎	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
剛体	6 (41)	2 秒	63	8.3 秒
ベルヌーイ・オイラー梁	24 (41)	4 秒	63	8.3 秒
3次元ソリッド体	3 (176)	25.8 秒	7.8	7.8 秒

（振動数 41 ポイントで計算）

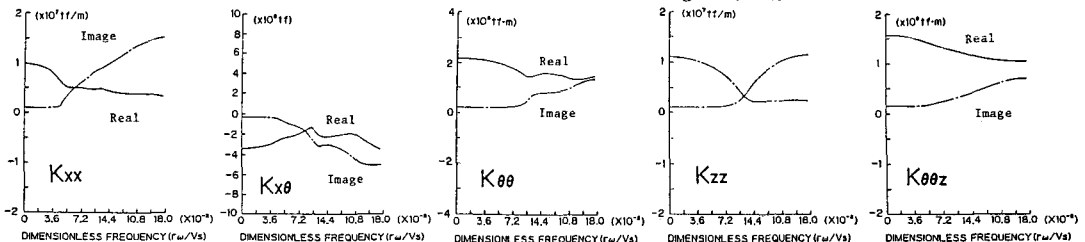


図 4 基礎重心位置でのインピーダンス関数

3. 数値解析例および考察 本研究では、図3に示す地盤-基礎系を対象にして上記の各モデル化とも、等価な断面面積を有する基礎としている。図4は3次元軸対称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である。図5は各モデル化に対して、基礎端の振動数応答を比較したものである。そのときの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。

軸対称の剛体モデル化が計算、効率の観点から秀れ、ついで、ベルヌーイ・オイラー梁がせん断効果を考慮することにより精度の向上を図、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。図5には2次元モデル化による振動数応答も併せて描いてあるが、今回の対象系では2次元モデル化でも充分な精度を示している。

現在、著者らは、基礎の形状比、根入れ深さ等をパラメータに、3次元解析と2次元解析結果を比較し、等価2次元解析モデルについての検討を行っている。

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. Vol.2, No.1, 1985. 4.

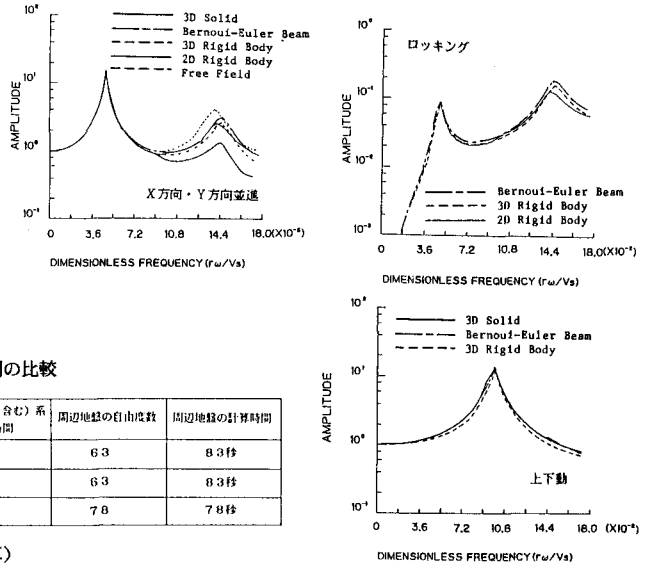


図 5 モデル化による振動数応答（基礎端）の比較