

I-440 地上剛体板基礎の加振に伴う浮上り・ロッキング振動の解析

埼玉大学大学院 学生員 ○ 今村 幸一
埼玉大学工学部 正会員 川上 英二

1. はじめに 原子力発電所、地上タンク、橋梁の海中設置ケーソン基礎等の構造物では、強震時に基礎が浮上る可能性があるため、これらの構造物の浮上り・ロッキング振動は重要な問題である。前報¹⁾では浮上り振動解析の第一歩として、基礎を加振源とする場合の浮上り・ロッキング現象を解析するための境界要素法を用いた反復計算による一つの解析方法を提案した。本報告は、この手法を質量の無い剛体長方形板基礎の定常ロッキング振動問題に新たに適用することにより、その妥当性を検討するものである。

2. 解析方法²⁾ 基礎の浮上りにより従来の地盤の動的コンプライアンスの値がどのような影響を受けるかを解析するために、基礎は半無限弾性地盤（ $x-y$ 平面）上に置かれた質量の無い剛板とし、自重に相当する鉛直 z 方向の静的な力 P_z 及びロッキングを起こさせる y 軸回りの動的加振偶力 M_y が、基礎の重心に作用する場合の浮上り・定常ロッキング振動を扱った。解析は、振動数及び時間領域の双方で行い、高速フーリエ変換により解の受け渡しを行った。前者においては境界要素法で表された弾性体の運動方程式を満足させ、後者では浮上りに伴う境界条件を考慮して表面力補正、変位補正を行った。表面力補正では、引張を負担せず、かつ剛体の運動方程式の成立を乱さないように次の関数を乗じて表面力の再配分を図った。

$$t_z^{(i)'} = \begin{cases} 0 & \dots\dots\dots \text{引張の表面力} \\ a \left(\frac{x^{(i)} - \ell}{R} \right)^n t_z^{(i)} & \dots\dots \text{圧縮の表面力} \end{cases} \quad (1)$$

ただし、 $t_z^{(i)}$ 、 $t_z^{(i)'}$ はそれぞれ補正前、後の要素 i の z 軸方向の表面力、 $x^{(i)}$ は要素 i の x 座標値、 ℓ は浮上り部と接触部との境界の x 座標値（ロッキングの回転軸に沿う方向の要素分割数だけ決定する）、 a 、 n は補正パラメータ、そして R は矩形基礎では x 軸に沿う $\frac{1}{2}$ 辺長、円形基礎では半径を表す。質量の無い剛板の運動方程式（つりあい式）は、時間領域で次のように与えられる。

$$P_z - \sum_{i=1}^{NN} t_z^{(i)} A^{(i)} = 0, \quad M_y + \sum_{i=1}^{NN} t_z^{(i)} A^{(i)} x^{(i)} = 0 \quad (2)$$

ただし、 NN は要素分割総数、 $A^{(i)}$ は要素 i の面積である。 $t_z^{(i)'}$ も式(2)を満足しなければならないためこれを式(2)に代入し、未知数 a 、 n の値を算定する。まず、 a を消去して整理すると n に関する式(3)を得る。

$$P_z \sum_{i \in NU} t_z^{(i)} A^{(i)} \left(\frac{x^{(i)} - \ell}{R} \right)^n \left(x^{(i)} + \frac{M_y}{P_z} \right) = 0 \quad (3)$$

ただし、接触している要素の集合を NU とする。この n に関する非線形方程式を数値計算で解き、求めた n を式(1)(2)に代入して a を決定し、式(1)から浮上りを考慮した表面力分布の補正値を求めた。変位補正は、表面力補正時に浮上っていないと判断された基礎の部分の地盤変位より剛板条件を考慮して、最小二乗法により基礎の変位を算定し、これを用いて両者が適合するように浮上っていない部分の地盤変位を補正した。そして図-1に示された反復計算（図中の①～⑧の一過程を繰り返すこと）により所要の解を算定した。

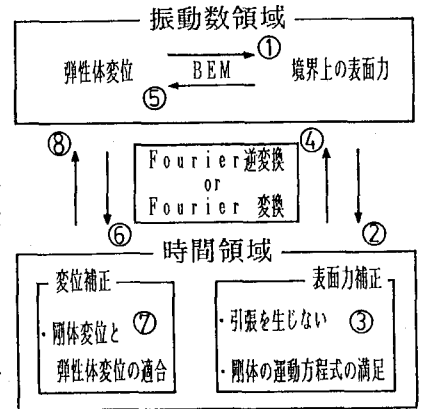


図-1 収束計算手法の概念図

表-1 地盤の物性値

密度 (t/m^3)	P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	ポアソン比
1.6	800	400	1/3

表-2 加振条件

	鉛直荷重 P_z (kgf) $\times 10^{11}$	加振偶力 M_{max} ($kgf \cdot m$) $\times 10^{12}$	加振角振動数 ω (rad/s)
case 1	0.13	0.20	2π
case 2	0.13	0.15	2π

3. 解析結果 基礎の浮上り現象が理解しやすいように、幅2.5m、長さ40m、要素分割総数16の要素が一列に並んだ解析モデルを用いて計算した。その結果、10回程度の反復計算で比較的容易に収束解が求められた。地盤の物性及び加振条件は、それぞれ表-1, 2に示す通りである。図-2, 3には、それぞれ表面力分布、変位分布の収束解の半周期分が描かれている。表面力分布については、浮上りを考慮すると、浮上っている領域は考慮しない場合に引張が生じている領域より二倍程度広くなり、基礎端部での表面力の集中は一層著しくなることがわかる。変位分布については、浮上りを考慮しなければ地盤と基礎は常に密着して運動している。しかし、浮上りを考慮すると、基礎は平面を保持しながらも回転角を増大させると共に上下方向に振動が加わることがわかる。また、地盤変位は、浮上っていない領域では基礎の変位と等しく、浮上っている領域では接触部と浮上り部との境界から緩やかにカーブを描きながら零の変位に漸近している。図-2と図-3とを比較すると、浮上りを考慮しても各時刻において表面力と変位の境界条件は、共に満足されていることが分かる。図-4には、式(1)に現れる補正パラメータ a , n , l の反復回数に伴う変化が示されている。この図から、比較的安定した収束状況であることが認められる。

謝辞：本報告の提出にあたり、埼玉大学工学部久保慶三郎先生、渡辺啓行先生に貴重な御助言を頂きました。深く感謝致します。

参考文献：1) 今村・川上：基礎の浮上りを考慮したロッキング振動解析，第40回年次講演会概要集，I-348 2) 川上・今村：地上剛体板基礎の浮上りを伴うロッキング振動の一解析方法，構造工学論文集，Vol. 32A, pp. 835~846, 1986。

