

1. まえがき 本研究は、構造物が長方形底面をもつ剛体で、地盤は等質等方の半無限弾性体と仮定した場合の地盤の複素剛性を求めるための実用的計算法を示したものである。このような Mixed-Boundary の問題は、接触圧分布を未知量として二重積分で表わされ積分方程式を解く問題に帰着し、非常に難解である。このため、本研究では、構造物底面を有限個の要素に分割し、各要素の接触圧に関する多元連立一次方程式を解く問題に帰着させる。筆者等は、この方法によって、静的な場合の長方形剛基礎底面の接触圧分布をすでに求めており¹⁾、今回はこの方法を動的な場合に拡張したものである。

2. 計算方法 半無限弾性体の表面に原点をとり、原点において鉛直方向に作用する点加振 $Pe^{i\omega t}$ による弾性体表面の任意点の鉛直変位 w は、Lamb によって次のように求められている²⁾。

$$w = -(Pe^{i\omega t} / 2\pi G) \cdot (\alpha/r) \int_0^\infty (\zeta \sqrt{\zeta^2 - r^2} / F(\zeta)) \cdot J_0(\zeta \alpha) d\zeta \quad (1)$$

ここで、 $F(\zeta) = (2\zeta^2 - 1)^2 - 4\zeta^2 \sqrt{\zeta^2 - r^2} \sqrt{\zeta^2 - 1}$ 、 $r = \sqrt{(1-2\nu)/2(1-\nu)}$ 、 $\alpha = \omega r / V_s$ 、 r : 振源距離、 V_s : 横波の伝播速度、 ν : ポアソン比、 G : セン断弾性係数、 J_0 : 0 次の第1種ベッセル関数である。

一方、田治見は、式(1)の絶対振幅および位相角と $\omega r / V_s$ との関係を探るべく、 $\omega r / V_s$ が小さい場合の近似式を次のように提案している³⁾。なお、次式で $\omega = 0$ とおくと、Boussinesq の解に一致する。

$$w = ((1-\nu)/2\pi G) \cdot (Pe^{i\omega t} \cdot e^{-iKr}) / r, \quad K = C\omega / V_s \quad (2)$$

つまり、図-1 を示すような長方形 ($2B \times 2L$) の構造物底面を考えたとき、 $2m \times 2n$ 個の要素に分割する。この分割モデルに対して、本研究では解析上の仮定を次のように設ける。

- 1) 各要素の位置は、その中心の座標によって表わす。
- 2) 各要素内での接触圧は等分布とする。
- 3) 各要素の鉛直変位は、中心点の変位値によって表わす。
- 4) 載荷要素以外の要素の変位の計算に対しては、等分布荷重と静力学における Saint-Venant の原理を準用して要素の中心に作用する集中荷重として取り扱う。
- 5) 構造物底面に働く摩擦力的については無視する。

ここで、仮定2)、3) から、載荷要素に対する中心点の変位は、 $\omega r / V_s$ が小さい範囲と仮定するように分割要素の大きさを決めるのである。式(2)を用いて次のように導かれる。

$$w_0 = (2(1-\nu)/\pi G) \cdot (Pe^{i\omega t} / kab) \cdot [-i \tan^{-1}(b/a) - i \tan^{-1}(a/b) + \int_0^{\tan^{-1}(b/a)} \{ \sin(Ka/2 \cos \theta) + i \cos(Ka/2 \cos \theta) \} d\theta + \int_0^{\tan^{-1}(a/b)} \{ \sin(Kb/2 \cos \theta) + i \cos(Kb/2 \cos \theta) \} d\theta] \quad (3)$$

ここで、 a, b : 分割要素幅 (図-1 参照)、 $\sin(Ka/2 \cos \theta)$ 、 $\cos(Ka/2 \cos \theta)$ については層間公式を用いて、式(3)の積分を行う。なお、式(2)、(3)で K を求めるための C は、 $C \approx 1.20$ となっている。

また、図-1 において、要素 (i, j) の鉛直荷重による要素 (k, l) の変位を w_{kl} 、 $j = -n \sim n$ となる場合をすべて、要素 (k, l) の全変位 w_{kl} を求める。もし、構造物が足軸方向に鉛直振動する場合のみ足軸方向にロッキング振動する場合、変位の境界条件はそれぞれ次のように与えられる。

$$w_{kl} = \Delta e^{i\omega t} \quad (\text{鉛直振動}) \quad (4), \quad w_{kl} = X_R \cdot \Omega e^{i\omega t} \quad (\text{ロッキング振動}) \quad (5)$$

結局、式(2)、(3)を用いて各要素の接触圧に対する影響係数を求め、式(4)および式(5)の境界条件に対して解く。すなわち、各要素の接触圧を未知量とする多元連立一次方程式を解く問題に帰着する。

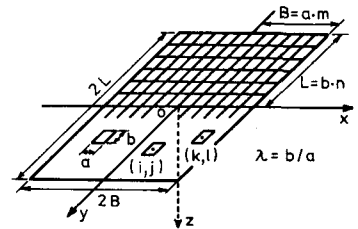


図-1 構造物底面の分割モデル

3. 計算結果と考察

計算結果は、複素剛性 $K_{VV}(a_0)$ (鉛直振動) および $K_{MM}(a_0)$ (ロッキング振動)

の実部、虚部であらわす。なお、 a_0 は $a_0 = \omega B / V_s$ と表わし、 B は構造物底面の x 方向の幅である。また、

分割幅 (ここでは、硬
鉄の鋼板は省略) は数
値計算結果に影響を及
ぼさないよう注意した。

図-2~4は構造物底
面の形状変化(面積は
変化せず)を仮する複
素剛性の变化を示した
ものである。これらの
図において、近似解法
(1) としたものは、
(2) の ν に対して (1) を
直接数値積分して求め
たものであり、(2)
を用いた場合の近似解
法 (2) とは区別する。

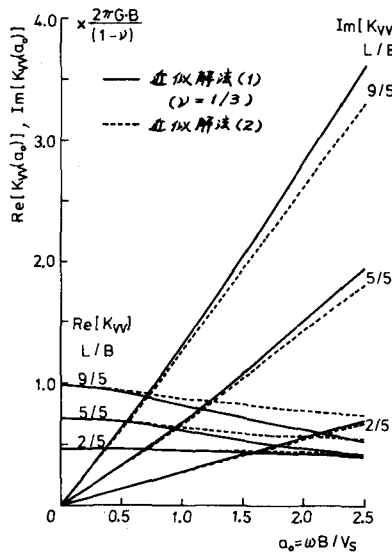


図-2 鉛直振動 (B :一定)

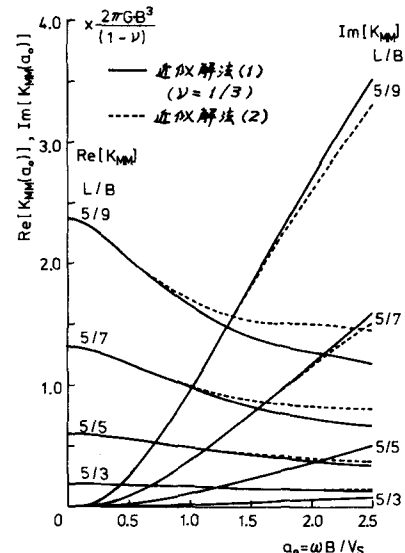


図-3 ロッキング振動 (L :一定)

L/B によって、ここでは近似解法 (1) が最も真実を近くをていす。
まず、鉛直振動 (図-2) の場合、複素剛性の実部は $\omega B / V_s$ に等し
てあまり変化していないが、虚部は大きく変化していることがわか
る。一方、ロッキング振動 (図-3, 4) の場合、振幅 B の増加によ
りて、複素剛性の実部、虚部とも大きく変わっており、振幅の変化
の影響が大きいと言えよ。

つまり、図-5、6は構造物の底面積を一定として、形状変化に
対する検討を行なったものである。なお、これらの図は上面のほ
ん柱を考慮したため、近似解法 (1) による結果のみを示す。鉛直振
動に於ては、形状変
化よりも面積の変化の
影響が大きいことがわ
かる。一方、ロッキン
グ振動に於ては、幅
の増加とともに面積
の影響を受けるとい
えよ。

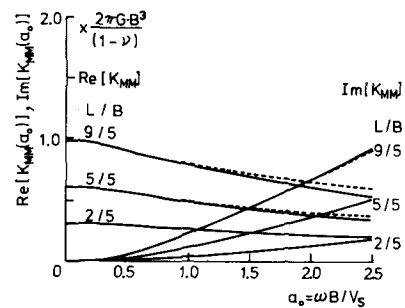


図-4 ロッキング振動 (B :一定)

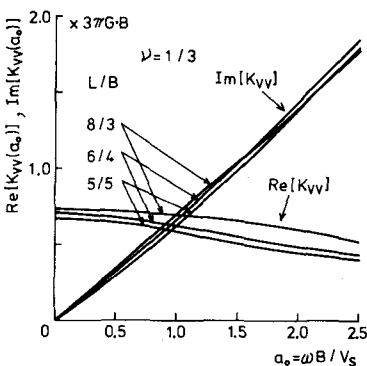


図-5 鉛直振動 ($B \times L$:一定)

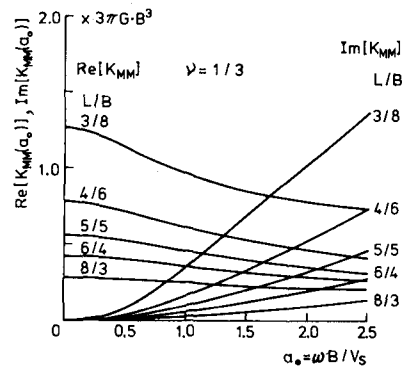


図-6 ロッキング振動 ($B \times L$:一定)

4. あとがき

基礎
構造物に対する複素剛
性を求めた方法を示し

たが、 $\omega B / V_s$ の小さい場合以外、静的バネ定数を用いて動的設計を行なうことはならぬ一端を示している。

参考文献: 1) 福井, 北村: 土学論 No.175, 2) Lamb: Phil. Trans. Roy. Soc., London (A), vol. 203, 3) 岡田見地: 地震工学, 朝岡社