I-211　地中基礎側面の水平・回転(複素)ばね

清水建設(株)　正会員○石井　清
東京大学　　　学生員　原田隆典

§1はしがき

地中基礎の剛性評価は地盤－基礎系の剛性評価の中でも難解なものの1つである．また，既往の研究の中でも解析手法あるいは対象とする解析モデルによりその振動解はかなり変動する．その中で，田治見の振動解は基盤を基礎底面に接して設定したことによりばね定数が他の振動解に比べ大きく算定され，反対に逸散減衰は波動が基盤より下方に伝播しないことから過小に評価されるという問題点はあるが，基盤を設定したことにより振動解に出現する遮断振動数は逸散減衰の算定に重要な意味を持つと考えられる。このことより，本研究では田治見の解析モデルを一部修正して図－1に示めされるような地中基礎側面の水平ばねを解析的に算定した．また，同様の考え方により基礎側面と地盤との摩擦のみによって決まる側面の回転ばねを求めている。§2で示すが，ばね剛性の定式化にはかなり大胆な仮定を含んでいるが表層地盤，言いかえれば遮断振動数の特性は十分にとらえることができる。設計には簡便さに主眼をおいた本解のような見込みのよい振動解も役立とう。

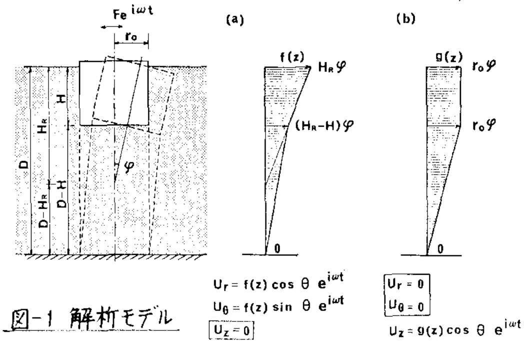


図-1 解析モデル

§2解析モデル

図－1のような円筒形地中基礎が上端に水平加振を受けたとき，その振動モードは図－1の破線に示すように基礎底面よりさらに深いところにロッキング中心を持つ回転運動としてとらえることができる。この動きに対して厳密な振動解を得ることは至極むずかしいので，いまこの振動モードを図－1(a),(b)に示めされるような水平および回転モードとに分解して考える．すなわち，(a)水平振動モードでは基礎の動きをロッキング中心を深さH_R点におく回転角φの動きとしてとらえるとともに，基礎下に基礎と等半径の土柱を考え，その土柱側面の変位が基礎の底面で基礎の動きと一致し深さに比例して単調減少し基盤面で0となる最も簡単な変形モードを仮定した．また，(b)の回転振動モードでは基礎の上下方向変位をロッキング中心に関係なく回転角φのみにより規定し，土柱側面の変位は水平モードと同じように定めている。ここで，基礎下の土柱の変形モードを仮定したのは，実際の境界条件より基礎底面における水平方向の境界条件を除くためであり，これにより境界条件は基礎および土柱側面の鉛直方向の境界条件となり条件は大幅に緩和される。むろん，この仮定の採用に伴って基礎の底面ばねを別に評価してやる必要性がでてくるが，実用的には基礎を地表面に設置した場合の底面ばね剛性が使えそうである．なお，定式化にはさらに，水平ばねを算定する場合には上下方向の変位成分を無視し，回転ばねを算定する場合には水平方向の変位成分を無視している。

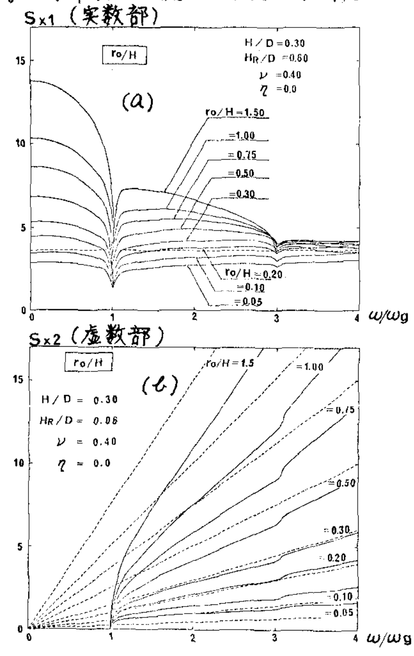
§3 定式化

基礎加振による基礎側面の水平、回転（複素）ばねの定式化の道筋を示す。基盤および地表における境界条件を満足する波動方程式の解をフーリエ級数で展開した形でまず整理する．次に基礎側面およびその直下の土柱側面と地盤との連続条件よりフーリエ級数解の未定定数を定める．最後に，基礎側面に働く地盤反力を求め，基礎(中心)の変位より側面のばね定数を算定する．なお，ばね剛性は水平および回転動についてそれぞれ以下の無次元量で整理している。　H；基礎の埋込み深さ，r_0；基礎の半径，μ；地盤のセン断剛性係数

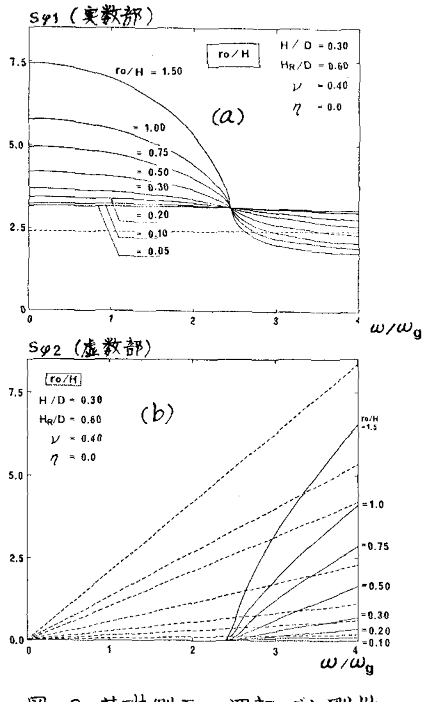
水平ばね；$K_{SX} = \mu H(S_{X1} + iS_{X2})$　　回転ばね；$K_{S\varphi} = \mu r_0^2 H(S_{\varphi 1} + iS_{\varphi 2})$

§4 数値結果と他の振動解との比較検討

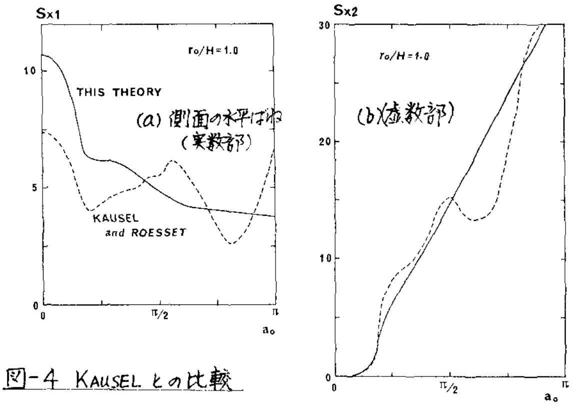
数値計算例を図－2，図－3に示す。図中破線はNovakの解である。モデルは$H/D=0.3$，$H_R/D=0.6$，ポアソン比$\nu=0.4$，減衰定数$\eta=0.0$としr_o/Hをパラメターとしている。遮断振動数は水平ばねで表層地盤のセン断振動の1次固有円振動数ω_g，回転ばねで$(V_P/V_S)\omega_g$となる。 水平ばねに関して言えば本研究の出発点においている田治見の振動解とはω_gの値が異なるので直接の比較はむずかしいが，静的なばね定数で$r_o/H=0.3$のときに半分程度，減衰定数は大きくなる。図－4にはFEM解析の結果であるKAUSELらの振動解との比較を示す。本振動解は定性的な傾向をよくとらえているが，静的なばね定数は3割方大きくなっている。（なお，FEM解析の結果は底面、側面にばね剛性が分離されているわけではなく，ばね定数については静的ばね定数の底面，側面の分担率より算定し，減衰定数は基礎が地表に設置されているときの減衰が地中基礎においてもそのまま期待できるものとして求めた概算値である。）一方，側面の回転ばねは定性的な傾向をよくとらえ減衰定数などほぼ一致するが，静的なばね定数は4割方小さくなっている。なお，図－5には底面位置における全体系の静的ばね定数を比較したものであるが他の解と比べ水平動では2割方大きく，回転動では幾分小さめに評価している。このことより，設計では静的なばね定数に注意し，本研究の振動解を用いれば加振振動数によるばね剛性の変化は十分考慮できよう。



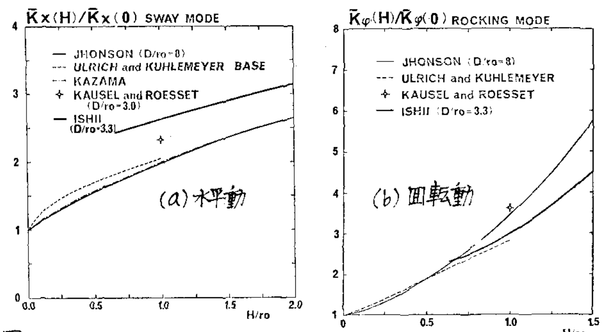
図－2 基礎側面の水平ばね剛性



図－3 基礎側面の回転ばね剛性



図－4 KAUSELとの比較



図－5 基礎底面における全体系の静的ばね定数の比較

＊田治見 宏；深い基礎を有する構造物の地震応答について，日本地震工学シンポジウム，1966．