

武蔵工業大学 学生員・杉山 滋
清水建設(株) 正会員 石井 清

§1 はじめに

本研究では、地中基礎を含む基礎-地盤系の剛性評価を設計への適用も十分に考慮した上で、既往の研究を中心に整理し簡単な基礎-地盤系の剛性評価法として提案し、また、これを実際の構造物に適用し検討を加えたものである。ここではばね剛性の評価については、Ulrich, Kuhlemeyerらの行った図-1のような半無限弾性地盤中に埋込まれた質量のない円筒形剛基礎のFEM解析結果をふまえたものであるが、具体的に設計へと示した数値は既往の基礎振動実験の検討より弾性振動解を経験的にかなり低減した値をとっている。

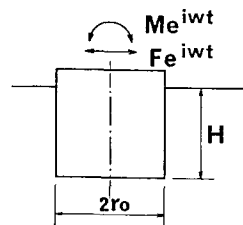


図-1 地中基礎の解析モデル

§2 設計のばね定数と減衰係数

図-2、図-3はUlrich, Kuhlemeyerらによる地中基礎のばね剛性についてのFEM解析結果の一例を示したが、それより次の事が指摘できる。(1)基礎の埋込み深さ(H/r_0)が変化しても、ばね剛性の加振振動数による特性はほとんど変化しない。(図-2) (2)基礎の埋込み深さ(H/r_0)によるばね剛性の变化は静的なばね定数(すなわち、複素ばねの虚数部の傾き)の増加としてとらえられる。(図-3) 上述の考察より、弾性波動理論による地中基礎-地盤系におけるばね剛性を次のように表わす事を考えた。

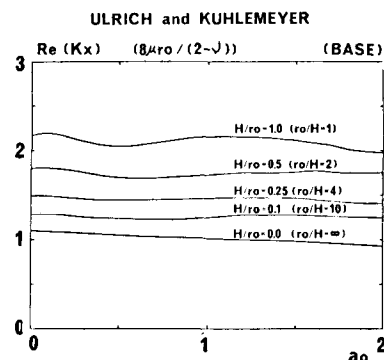


図-2 水平動に対する地中基礎底面でのバネ定数

ばね定数 $K = k_2 \cdot k_1 \cdot k_{st}$ —(1) 減衰係数 $C = C_2 \cdot C_1 \cdot C_{st}$ —(2)

k_{st}, C_{st} : 静的なばね定数および基準となる減衰係数。

k_1, C_1 : 無次元化した加振振動数 a_0 によるばね剛性の变化に対応する補正係数。

k_2, C_2 : 基礎の埋込み深さ(H/r_0)によるばね剛性の補正係数。

§3 弾性振動解の整理

< k_1, C_1 >について ばね剛性の値は加振振動数 a_0 により値を変えするという性質がある。しかし、ここでは設計を考慮し計算誤差を検討したうえで定数として与える。(参照、参考文献1)

水平動; $k_1 = 1.00$ $C_1 = 0.62$, 回転動; $k_1 = 0.80$ $C_1 = 0.16$

— (3) (0.98) (0.44) (0.78) (0.11)

< k_2, C_2 >について k_2, C_2 は、弾性振動解を整理し結果を表-1(次ページ)に示す。そこで、 C_2 はUlrich, Kuhlemeyerの結果を、 k_2 は適用性大のJohnsonのFEM解析結果を採用する。

(C_2 は $1.0 \leq H/r_0 \leq 2.0$ で値を外挿している。)

§4 弾性振動解の経験的な補正

前節では、半無限弾性地盤上(あるいは地盤中)において振動解を考えてきたが、この解析モデル(図-1)は、実際の基礎と比べかなり単純化されたものである。そこで、それに対処するため、すなわち少しでも実際の基礎-地盤系の剛性に近づくため、本研究では、実際に行なわれた基礎振動実験結果を整理し、一次の固有振動数と減衰定数において実験値と解析値がほぼ等しくなるよう上述の評価に対し、さらに経験的補正を加えてみた。まず、

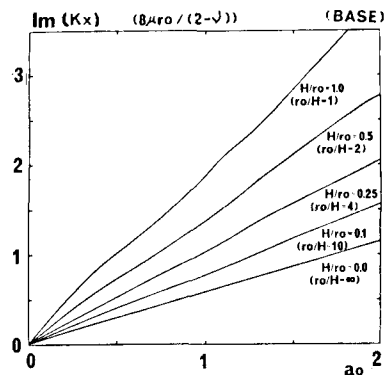


図-3 水平動に対する地中基礎底面での減衰係数

$\langle k_1, c_1 \rangle$ については、埋込みのない基礎の実験値、解析値の検討より補正値を与え、 $\langle k_2, c_2 \rangle$ は、埋込みのない時と埋込みがある時の固有振動数および減衰定数の増加率が、実験と解析でほぼ合うよう補正を決めた。なお、 $\langle k_2, c_2 \rangle$ においては、整理において実験値のばらつきが大きいことから(特に減衰定数において)解析解はかなり安全側とした。 $\langle k_1, c_1 \rangle, \langle k_2, c_2 \rangle$ の経験的な補正は(3)、表1のカッコ内)

§5 実際の構造物への適用例

本研究では、解析モデル(図-1)に最も近い構造を有するものとして原子力発電所原子炉建屋を例にとり、その起振実験の検討より原子炉建屋の多自由度系を一自由度系に置換し、本評価法の妥当性を検討した。

§6 結果およびその考察

図-4、図-5は、本評価法による解析解が実験解とどの程度一致するか示したもので、結果のばらつきは大きいのが平均的には両者は合っているということが理解される。表-2は§5で述べたように、本評価法を原子炉建屋に適用した結果であり、実験値と比べ解析解は幾分低めに見積っているが、設計的にはかなり妥当な値ではと考えられる。

§7 まとめ

本研究では、基礎-地盤系の振動解を既往のFEM解析結果をもとに経験的補正を含め簡単な評価法としてまとめた。その結果、底面のばね剛性についてみれば、接地圧分布において、提案したばね定数は剛基礎分布に近いものだが、補正後の分布をみると均等分布にした時の解に近いことが解った。また、埋込み深さでは実験解のばらつきが大きい弾性振動解はかなり低減されている。図-4、図-5を見る限り両者の対応は平均的にも合っていると言えるし、表-2より適用例は3つと少ないが、この検討からも設計上安全側をとっており、本研究による基礎-地盤系の剛性評価が大筋において危険側になることはないと考えている。

表-2 原子力発電所原子炉建屋における解析解と実験解の比較

	r_0 (m)	H/r_0	V_0 (m ³)	EXPERIMENT			THIS ANALYSIS			解析値 実験値	
				a_0	f_{0Hz}	h_{0g}	a_0	$f_{[Hz]}$	$h_{\%}$	f/f_0	h/h_0
HAMAOKA	36.12	0.46	800	1.36	4.8	17.5	1.21	4.3	14.7	0.90	0.84
TOKAI No2	37.81	0.62	470	1.31	2.6	15.0	0.91	1.8	11.2	0.69	0.75
FUKUSHIMA	27.10	0.52	610	1.12	4.0	33.7	0.89	3.2	10.5	0.80	0.31

参考文献

1) 石井, 平林: 設計への適用を考えた基礎底面のばね剛性の評価 第7回 関東支部発表会 pp. 11~12

2) Ulrich, C.M. and Kuhlemeyer, R.L.: Coupled Rocking and Lateral Vibration of Embedded Footings., Can. Geotech. J., Vol.10, pp.145-160, 1973. (1-A.II-54)

3) Kausel, E., Roesset, J.M. and Wass, G.: Dynamic Analysis of Footings on Layered Media., ASCE, Vol.101, No.EM5, pp.679-693, 1975.

4) Johnson, G.R., Christiano, P. and Epspejn, H.I.: Stiffness Coefficients for Embedded Footings., ASCE, Vol. 101, No.GT8, pp.789-800, 1975.

表-1 基礎の埋込み深さによるばね剛性の補正係数

H/r_0	水平動		回転動	
	k_2	c_2	k_2	c_2
0.0	1.00 (1.00)	1.00 (1.00)	1.00 (1.00)	1.00 (1.00)
0.2	1.24 (1.07)	1.64 (1.19)	1.23 (1.07)	1.60 (1.18)
0.4	1.45 (1.14)	2.13 (1.34)	1.64 (1.19)	2.39 (1.42)
0.6	1.64 (1.19)	2.54 (1.46)	2.15 (1.35)	3.38 (1.71)
0.8	1.82 (1.25)	2.86 (1.56)	2.75 (1.53)	4.56 (2.07)
1.0	1.98 (1.29)	3.18 (1.65)	3.46 (1.74)	5.92 (2.48)
1.2	2.14 (1.34)	3.43 (1.73)	4.25 (1.98)	7.26 (2.88)
1.4	2.30 (1.39)	3.68 (1.80)	5.21 (2.26)	8.60 (3.28)
1.6	2.43 (1.43)	3.93 (1.85)	6.31 (2.59)	9.95 (3.69)
1.8	2.54 (1.46)	3.99 (1.89)	7.44 (2.93)	11.29 (4.09)
2.0	2.64 (1.49)	4.09 (1.93)	8.59 (3.28)	12.63 (4.49)

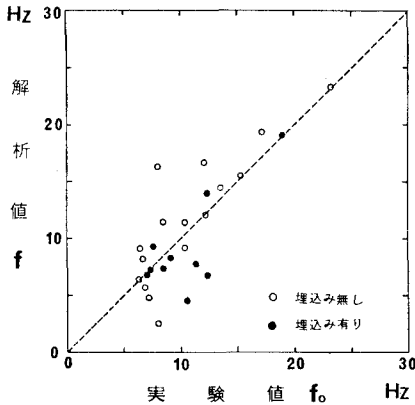


図-4 固有振動数(1次)の実験値と解析値の比較 (地中基礎を含む)

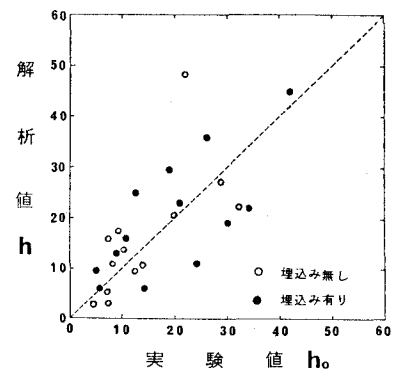


図-5 減衰定数の実験値と解析値の比較 (地中基礎を含む)