

杭基礎の鉛直動的ばねの簡易設定法に関する検討

日建設計シビル 正会員 ○川満 逸雄
 日建設計 國津博昭 今枝裕貴
 日建設計 山根尚志 石井正人

1. はじめに

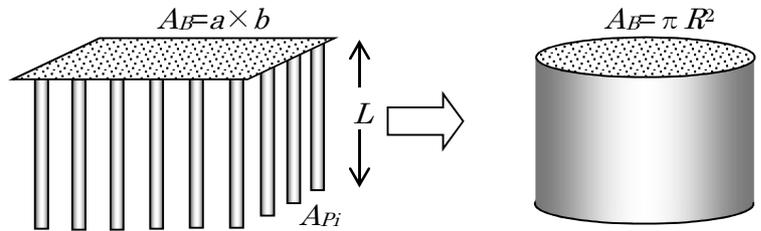
近年の大規模空間や長スパンの構造物が建設されるようになり、設計時に鉛直方向の動的解析が求められる場合が多くなってきている。地盤との動的相互作用を考慮する場合、基礎から下部にばねと減衰を設置することになるが、水平方向の設定法に比べ鉛直方向の設定法はあまり提案されていないようである。杭基礎の鉛直ばねを厳密に算定しようとするれば、薄層要素法等による方法などがあるが、一般的な手法ではない。本検討は、杭基礎の鉛直方向ばね（ばねと減衰）を簡易に設定する方法を検討し、観測値と比較したものである。

2. 簡易設定法の設定

杭基礎は、構造物の底面に全域に群杭として配置されているので、図1に示す構造物の底面積を持つ大きな円形の単杭として杭頭のばね値を設定する方法を採用した。単杭の杭頭のばね値 K_{VS} は次式で算定される¹⁾。

$$K_{VS} = E_p A \beta_S \frac{E_p A \beta_S (1 - e^{-2\beta_S L}) + k_b (1 + e^{-2\beta_S L})}{E_p A \beta_S (1 + e^{-2\beta_S L}) + k_b (1 - e^{-2\beta_S L})} \quad (1)$$

ここに、 $\beta_S^2 = S_V / E_p A$, E_p : 杭のヤング率, A : 杭の断面積, S_V : 杭周上下ばね, k_b : 杭先端の上下地盤ばね, L : 杭長である。式(1)より杭頭の鉛直ばねは、①杭体の鉛直剛性、②杭周上下ばね、③杭先端の上下地盤ばねにより決定されることが分かる。そこで、基礎の群杭を単杭と



杭の全断面積 $A = \sum A_{Pi}$
 図1 群杭のモデル

置き換える場合、①から③を表1のように設定した。同表には減衰の設定方法も記載している。減衰に関しては各項目から計算された減衰の合計を全体の減衰とした。

表1 ばね、減衰の設定方法

	単杭 ¹⁾	群杭	
		ばね値	減衰
① 杭体の鉛直剛性	$E_p A$ (E_p : コンクリートのヤング率, A : 杭1本の断面積 $A = \pi B^2 / 4$, B は杭の直径)	$E_p \sum A_i$ ($\sum A_i$: 使用杭の断面積の合計)	考慮しない
② 杭周の上下ばね	Randolf の式 $S_V = 2\pi G_e / \log_e(2r_m / B)$ $r_m = 2.5L(1 - \nu_e)$ G_e, ν_e : 杭周辺地盤のせん断弾性係数, ポアソン比	無限弾性体中の剛で無質量な円盤 (半径は基礎の等価半径 R) が定常振動する場合の複素ばね (Novak のばね ²⁾) の実数部分.	無限弾性体中の剛で無質量な円盤 (半径は基礎の等価半径 R) が定常振動する場合の複素ばね (Novak のばね ²⁾) の虚数部分
③ 杭先端の地盤ばね	円盤基礎の上下地盤ばね $k_b = \frac{3\pi}{8} \frac{\pi G_b B}{2(1 - \nu_b)}$ G_b, ν_b : 杭先端地盤のせん断弾性係数, ポアソン比	田治見の動的上下地盤ばね ³⁾ $k_b = \frac{G_b \sqrt{A_B}}{1 - \nu_b} \alpha_S$ $\alpha_S = 2.2$	田治見の動的上下地盤ばねの減衰 ³⁾ $C_V = \frac{G_b(A_B) C}{(1 - \nu_b) V_S}$ V_S : 杭先端地盤のせん断波速度, $C = 1.0$

キーワード 鉛直方向地震応答解析, 地盤ばね, 地盤減衰, 簡易設定法

連絡先 〒112-0004 東京都文京区後楽 1-4-27 日建設計シビル TEL 03-5226-3070

3. 観測値との比較

2011年の東北地方太平洋沖地震の際に東京都千代田区の14階建てのビルで観測された記録との比較を実施した。対象ビルの地盤モデルを表2に、杭配置を図2に示す。図中の円は底面積と等価な円である。同ビル地下1階で観測された地震動を入力し、上部階での観測記録と比較した。比較には、薄層法およびその他、鉛直地盤ばね設定に用いられている手法を用いた応答結果も示す。各設定法および設定したばね値を表3に示す。Case-3は、杭基礎を無視して直接基礎として文献3)で計算した値。Case-4は、ばね値は文献1)の杭基礎ばねの設定法により求め、減衰は杭先端位置での基礎面積に対する減衰を文献3)に基づいて設定したものである。

設定されたばね値(表3)を見ると、ばね値は最大最小1.5倍程度の差であるが、減衰に関しては100倍程度の差が出ている。

建物の応答計算結果と観測結果をみると、Case-1、Case-2が観測値から離れており、Case-3、Case-4は観測値に近い結果となっている。これらのグループの違いは、杭周面の減衰を考慮の有無によるものと考えられる。

4. まとめ

鉛直方向の動的ばねの簡易設定法に関して検討を行った。ばねの設定法に関しては、設定法によらずほぼ同じ程度の値になることが分かった。一方、減衰に関しては、算定法により減衰の値の差が大きく、地震観測結果との比較では、杭周辺の減衰を考慮しない方が、観測値に近い結果となっている。また、簡便法として用いられているCase-3,4の方法でも観測値と良い一致を示していることが分かった。

表3 設定法と地盤ばね値

	設定方法	K(kN/m)	C(kNs/m)
Case-1	円柱法	7.63×10^7	1.43×10^7
Case-2	薄層法	6.50×10^7	2.98×10^5
Case-3	直接基礎	5.32×10^7	2.21×10^6
Case-4	文献1	7.15×10^7	3.53×10^6
Case-5	基礎固定	—	—

参考文献

- 1) 日本建築学会：建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計，2006
- 2) Novak: Dynamic Soil Reaction for Plane Strain Case, ASME EM3, August, 1978
- 3) 田治見他：弾性理論による基礎底面—地盤の動的ばねに関する研究(その2)動的ばねの実用式について，日本建築学会学術講演集(関東)，1975. 10

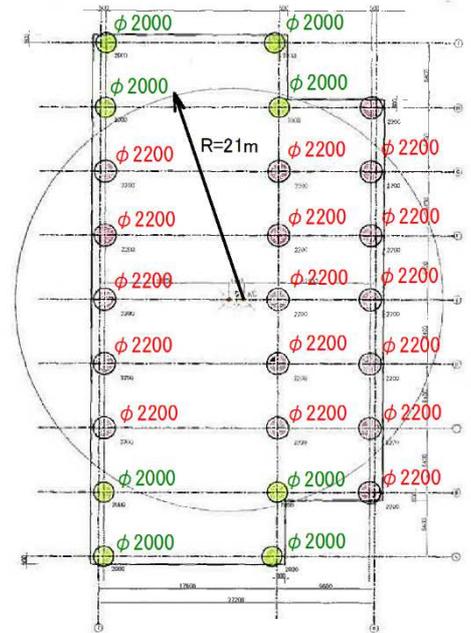


表2 地盤モデル 図2 杭配置

土質	層厚	深度	減衰h	Vs (m/sec)	ρ (t/m ³)
埋土	1.8	1.8	0.02	106	1.70
シルト・砂質シルト	4.1	5.9	0.02	141	1.60
砂礫	2.8	8.7	0.02	250	1.89
シルト質砂	1.7	10.4	0.02	220	1.80
シルト質粘土	2.7	13.1	0.02	220	1.73
砂礫	-	-	0.02	590	2.18

建物応答の比較

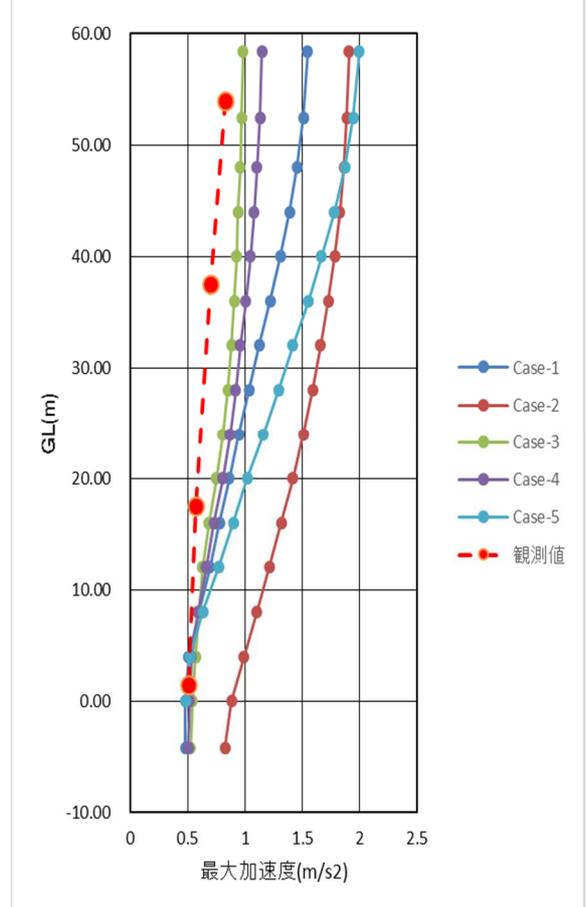


図3 建物の応答計算結果