

地震時における地盤 - 基礎相互作用モデルのばね定数の評価
(その1: 相互作用地盤ばねの算定)

杭の水平抵抗 相互作用 地震応答

安井建築設計事務所 正会員 細野 久幸
大阪工業大学 国際会員 大場新太郎 ジオトップ 正会員 小林 恒一
日建ソイルリサーチ 国際会員 本田 周二 大成建設 平松 昌子

1. はじめに

兵庫県南部地震において基礎形式の違いによる上部構造・基礎構造の被害の差異は多く見られている¹⁾。筆者らは特に摩擦杭建物が地震時挙動において、他の基礎形式に比べてどのような違いがあるのかSRモデルにより検討してきた²⁾。本報では(その1)で基礎形式毎にSRモデルによる相互作用地盤ばねの算出法を示し、16階建て支持杭建物での地震観測事例をもとに地盤ばねと建物固有周期の関係について考察する。(その2)では、この支持杭建物の地震観測とSRモデルによる応答を比較し、相互作用地盤ばねの妥当性と杭に対する底盤の寄与率について検討を行なう。

2. 相互作用地盤ばねの算出

上部構造を等価せん断質点系モデルに置換し、最下部に相互作用地盤ばねを取付けたSRモデルで検討を行なう。地盤ばねは、底盤と杭に分けて算出し、摩擦杭や支持杭は基礎形式に応じて杭の抵抗に底盤の寄与分を加えることで求める。底盤による水平、回転地盤ばねは式(1)で示すように、コーンモデルを用いた手法³⁾により、基礎底面直下の地盤が半無限一様に続くとして求めた値に、成層性の補正を行なうことで求める。ただし、振動数依存性については考慮されていない。

$$K_b = \beta \cdot K_{1b} \quad (1)$$

K_{1b} : 基礎直下地盤が半無限に続くとしたときの地盤ばね
 β : 基礎直下地盤に対する成層地盤としての水平ばねの補正係数

基礎根入れ部の前面土圧による抵抗は、文献³⁾をもとに根入れ側面による地盤ばねとして扱った。

杭による回転地盤ばねは、杭基礎の鉛直ばねを有する建物回転中心回りの回転剛性によって表現する³⁾。杭の上下方向の鉛直ばねは、杭の先端で求められるばね(平均変位の仮定)と、杭周面の摩擦抵抗ばね(Randolfの方法)によって表わす。杭による水平地盤ばねは、杭を弾性支承上にある梁の問題に置き換え(図1)杭頭を固定した状態で水平力Qを作用させたときの変位から、杭1本あたりの水平剛性を求めた。ただし、問題を簡単にするため、群杭の効果については考慮していない。

弾性支承ばねの剛性を表わす水平地盤反力係数は、文献^{4,5)}をもとに

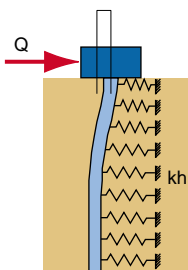


図1 杭の水平剛性

震による地盤剛性の低下を等価的に評価した値を用いて求めている。

$$k_h \cdot B = 1.3 \cdot \frac{\bar{E}_S}{1 - \nu_S^2} \cdot \sqrt{\frac{E_S \cdot B^4}{E_P \cdot I_P}} \quad (2)$$

$$\bar{E}_S = E_S \cdot \left(\frac{G}{G_0} \right)_{AVE} \quad (3)$$

E_S, ν_S : 地盤ヤング係数 (1.6N MN/m²)、ポアソン比
 $E_P \cdot I_P$: 杭の曲げ剛性、 B : 杭幅
 G : 地盤の地震時等価せん断剛性
 G_0 : 地盤の初期せん断剛性

3. 建物・地盤概要

対象建物は、文献⁶⁾で地震観測結果が報告されている大阪工業大学6号館学舎であり、建物高さ65.65m、地上16階(塔屋2階)、地階無しのSRC造である。架構形式は長辺方向(EW方向)は純ラーメン構造、短辺方向(NS方向)は耐震壁付きラーメン構造である。建物の平面図と断面図概要をそれぞれ図2、3に示す。地盤構成は図4で示すように、地表から深度9mまでは砂層、その下に沖積粘土層が12m堆積し、GL-21mで洪積砂礫層が現れている。基礎はこのGL-21mの洪積砂礫層を支持層とする軸部を1,800、2,200、杭先端でそれぞれ3,000、3,600に拡底した場所打ちコンクリート拡底杭である。表層地盤は土質柱状図から図4のようにモデル化を行なった。

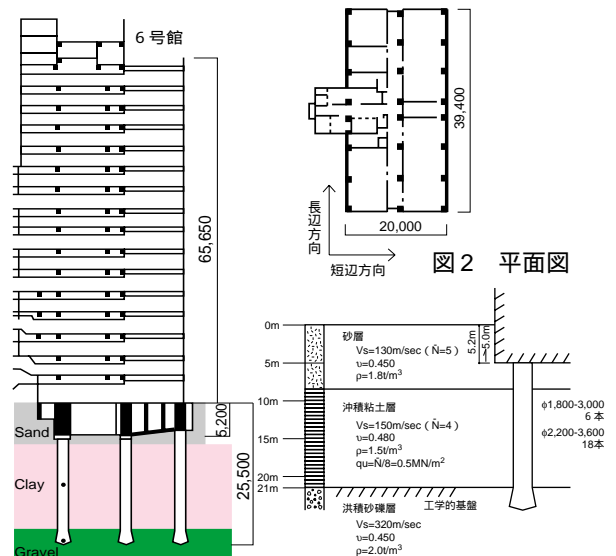


図3 建物断面図

図4 地盤モデル

Study Spring of Soil-Structure Interaction for Earthquake.

(Part1. Estimate Stiffness of Soil-Structure Spring)

Hisayuki HOSONO (Yasui Architects & Engineers Inc.),

Shintaro OHBA (Osaka Institute of Technology), Shuji HONDA (NIKKEN SOIL RESEARCH LTD),

Koichi KOBAYASHI (GEOTOP Corporation), Masako HIRAMATSU (Taisei Corporation).

4. 解析対象

主に相互作用地盤ばねの妥当性について検討を行なうため、地盤の影響が出やすい短辺方向(耐震壁付きラーメン構造)のみを対象として、上部構造を弾性として扱った。対象とした地震観測記録は、1995年兵庫県南部地震(地表最大加速度189Gal)とその後に生じた2001年京都府南部での地震(地表最大加速度46Gal)であり、その地震波から液状化は見られない。観測記録は建物頂部(65.65m)1階床部と、建物から約100m離れた地表(GL-1.5m)、解析で工学的基盤とした洪積地盤(GL-25.5m)を用いた。表層地盤の地震時等価せん断剛性は、基盤での観測波を入力としたSHAKE(有効ひずみは最大ひずみに対して65%)による表層地盤の地震応答解析で評価した。兵庫県南部地震での加速度応答スペクトル(h=5%)を図5に示す。なお、表層地盤各層のG/G₀、h-曲線は建築基準法告示第1457号第七別表で示されている値を用いた。

5. 相互作用地盤ばねと建物固有周期の算出結果

2.で示した相互作用地盤ばねの算出法に基づき、地震時における等価地盤せん断剛性から相互作用地盤ばねを算出した結果を表1に示す。同表には、微小ひずみ時の剛性で評価した常時微動と、京都府南部の地震と兵庫県南部地震時における地盤ばね値を表わした。各地盤ばね値の右欄には、側面、底面、杭の3タイプの地盤ばね全てが有効であるとした時を100%とした時のそれぞれのばね剛性の占める割合を水平、回転地盤ばね別に付した。水平成分の地盤ばねでは、底面による地盤ばねが占める割合は約60%と大きく、次に杭による水平抵抗が約30%、回転成分の地盤ばねでは杭が約80%を占め、底面によるものが約10%であった。側面の地盤ばねは水平、回転とも与える影響は比較的小さく約10%程度であった。SRモデルによる解析で用いる相互作用地盤ばねは、表1で求めた各地盤ばねの組み合わせで検討を行なう。側面+底面+杭(Ke+Kb+Kp)の地盤ば

表1 地盤ばねの算出結果

	常時微動時		京都府南部の地震		兵庫県南部地震	
	値	(%)	値	(%)	値	(%)
側面水平地盤ばねK _{he} (kN/m)	398,428	(6.4%)	378,108	(6.5%)	287,187	(8.3%)
底面水平地盤ばねK _{hb} (kN/m)	3,842,374	(62.2%)	3,583,472	(62.0%)	2,054,814	(59.1%)
杭水平地盤ばねK _{hp} (kN/m)	1,938,775	(31.4%)	1,815,211	(31.4%)	1,133,845	(32.6%)
側面回転地盤ばねK _{re} (kNm/rad)	442,564,259	(11.0%)	416,836,885	(10.7%)	304,321,727	(9.8%)
底面回転地盤ばねK _{rb} (kNm/rad)	447,019,207	(11.1%)	413,765,386	(10.6%)	228,055,688	(7.4%)
杭回転地盤ばねK _{rp} (kNm/rad)	3,142,709,600	(77.9%)	3,070,461,200	(78.7%)	2,569,677,200	(82.8%)

表2 解析用地盤ばね一覧

		常時微動時		京都府南部の地震		兵庫県南部地震	
		水平地盤ばね(kN/m)	回転地盤ばね(kNm/rad)	水平地盤ばね(kN/m)	回転地盤ばね(kNm/rad)	水平地盤ばね(kN/m)	回転地盤ばね(kNm/rad)
EBP	Ke+Kb+Kp	630,141	411,179,461	589,069	397,797,767	354,438	316,321,538
BP	Kb+Kp	589,513	366,050,466	550,512	355,292,234	325,153	285,289,359
EP	Ke+Kp	238,328	365,596,188	223,656	355,605,440	144,905	293,066,330
P	Kp	197,700	320,467,193	185,100	313,099,907	115,620	262,034,150
B1P	0.894Kb+Kp	547,981	361,218,640	511,779	350,819,847	302,942	282,824,306
B2P	0.270Kb+Kp	303,490	332,774,677	283,761	324,491,835	172,194	268,313,057

表3 固有値解析結果

	常時微動	京都府南部の地震	兵庫県南部地震
Ke+Kb+Kp (EBP)	0.912	0.924	1.030
Kb+Kp (BP)	0.942	0.955	1.069
Ke+Kp (EP)	1.067	1.086	1.240
Kp (P)	1.135	1.156	1.340
0.894Kb+Kp (B1P)	0.952	0.964	1.079
0.270Kb+Kp (B2P)	1.041	1.058	1.207

ね全てを考慮した場合をEBP、底面+杭(Kb+Kp)をBP、側面+杭(Ke+Kp)をEP、杭(Kp)のみをPとした。また、支持杭における底盤の影響がどの程度あるかを検討するため、図6に示すような底盤の寄与率を

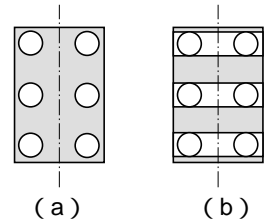


図6 底面寄与率の仮定

を仮定した。(a)底盤は杭の面積分を除いた網掛け部分が寄与するとして、杭面積と底盤面積の比(=0.894)が抵抗(0.894Kb+Kp)とするB1P、(b)底盤は杭の振動方向に対する幅分を除いて寄与するとして、振動方向の幅に対して杭の幅分を除いた幅比(=0.270)が抵抗(0.270Kb+Kp)とするB2Pを検討ケースに加えた。表2に解析用地盤ばねの一覧をまとめ、これら地盤ばねを用いた建物固有周期を表3に示す。建物の固有周期は取付く地盤ばねの影響により、最も固い地盤ばねで評価されるEBPから柔らかいPでは0.2秒~0.3秒の幅を持ち、応答解析でも地盤ばね剛性の違いによる影響が見られると予測される。なお、2002年の微動観測から本建物の1次固有周期は0.950秒であり、解析による固有周期では底盤+杭(BP)に近かった。

6. まとめ

基礎形式の違いによる建物の地震時応答特性を比較、検討することを目的として、基礎形式の違いを表わす相互作用地盤ばねを簡易に評価する方法を示した。地盤ばねが固有周期に与える影響は大きく、応答解析でも地盤ばねの違いによる影響が予測される。(その2)では地盤ばねが建物応答に与える影響について考察する。

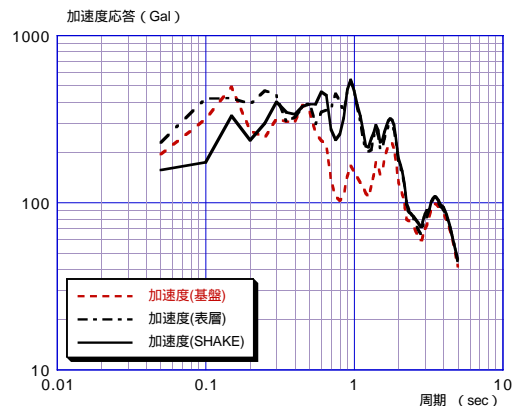


図5 加速度応答スペクトル (兵庫県南部地震:h=5%)

参考文献

- 1)金井,小椋,須見:摩擦杭基礎の地震に対する安全性,基礎工,pp.69-73,1996.11.
- 2)日本建築学会近畿支部摩擦杭設計技術委員会:摩擦杭の設計-考え方と課題-,日本建築学会近畿支部,2003.3.
- 3)国土交通省住宅局建築指導課他編集:2001年版限界耐力計算法の計算例とその解説(平成13年3月),2001.3.
- 4)岸田,中井:地盤反力-変位関係の非線型性,土と基礎25-8,pp.21-28,1977.8.
- 5)護,長谷川:場所打ちRC杭における降伏曲げ耐力と最大応答塑性率の関係,構造工学論文集Vol.48B,pp.327-333,2002.3.
- 6)大場,三枝:地盤と構造物の動的相互作用に地震動特性が及ぼす影響,第10回日本地震工学シンポジウム,pp.1797-1802,1998.