

地震観測記録に及ぼす隣接建物の影響

正会員 河本 悠歩^{*1} 同 護 雅史^{*2}
同 福和 伸夫^{*3} 同 飛田 潤^{*4}

地震観測記録 隣接建物 自由地盤応答
動的相互作用 直接基礎 杭基礎

1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震以降、急速に強震観測網が整備されてきている。地震計は、特に都市部においては敷地の制約により、建物に隣接して設置されることが少なくない。著者らは、これまでに、こうした地震計の記録には隣接建物の応答の影響が含まれていることを、高密度強震観測を行っている地盤・建物系の検討により確認している¹⁾。隣接建物の影響は、建物規模、基礎形式、平面形状、建物と観測点の距離等の要因により異なる。

そこで、本論では、薄層要素法と有限要素法を、容積法を用いた動的サブストラクチャーにより結合した動的相互作用解析手法²⁾を用いて、地震観測記録に及ぼす隣接建物の各種要因の影響について解析的な検討を行う。

2. 解析概要

隣接建物の階数・根入れ(地下階数)・基礎形式(杭基礎)・平面形状が地盤応答及ぼす影響について検討する。

図 1 に解析モデル、表 1 に検討内容、表 2 に解析パラメータと従属定数を示す。解析モデルの基礎・各階重量は、それぞれの単位面積重量として与える。上部構造は、1 質点系等価せん断型モデルとし、1 次固有振動数は、建物高さに従属する定数とする。ただし、根入れ部分の単位面積重量は、最下階を $\gamma_b=2.4\text{tf/m}^2$ とし、1 階以下のその他の階を $\gamma_f=1.5\text{tf/m}^2$ とし、それらの総重量を根入れ部分に均等に分配する。地盤は半無限一様 ($V_s=200\text{m/s}$) としている。入射波は X 方向(X 加振)と Y 方向(Y 加振)の 2 方向の鉛直下方 S 波とする。

ここでは、建物から $D=1\text{m}, 5\text{m}, 10\text{m}, 15\text{m}, 20\text{m}$ の距離にある地盤上の点 A(図 1)を考え、自由地盤応答に対する地点 A の応答の伝達関数(3 方向)を検討する。その際に、地点 A からみて軸・せん断方向の建物の揺れと、ロッキングによる基礎端部の上下応答の影響について考察する。また、平面形状(長方形)が与える影響(表 2)については、短辺側の地点 B についても同様の検討を行う。

3. 基礎、地盤の応答

図 2 に、3 階建て正方形地表面基礎、 $b=c=10\text{m}$ (b, c は、基礎半幅)の解析モデルの地点 A の伝達関数を示す。水平 2 方向について、慣性の相互作用効果によって生じる建物固有振動数付近(2~6Hz)の基礎応答の変動の

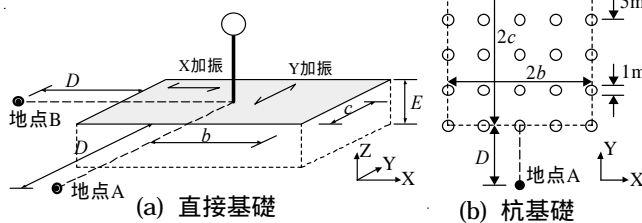


図 1 解析モデル

影響は、せん断方向より軸方向の方が遠方の地盤にまで及んでいる。また、これより高振動数側では、自由地盤に対してうねるような変動がみられ、鉛直下方入射波と建物を振動源とする波の干渉が関係していると考えられる。うねりの形状が軸方向とせん断方向とで異なるのは、建物を振動源とする波が、それぞれ P 波、S 波として伝播するため、波長が異なることが起因していると思われる。

以下に、各解析結果についてまとめて示す。

階数の影響：5 階建て正方形地表面基礎、 $b=c=10\text{m}$ について、図 3 に示す。3 階建て(図 2)と比べると、3 階建ての方が、上部構造の固有振動数が高振動数であり、地盤に対して相対的に固くなるためスウェイ率が大きくなり、地下逸散減衰の影響を大きく受ける。そのため、慣性の相互作用による基礎応答の変動が広い周波数帯域に及び、周囲の地盤に与える影響も広い周波数帯域に及んでいる。

根入れ(地下階数)の影響：3 階建て根入れ基礎(B1F)、 $b=c=10\text{m}$ について、図 4 に示す。地表面基礎(図 2)の結果と比べると、根入れの影響で、水平方向は、建物の固有振動数付近の基礎応答の変動は小さくなり、地盤応答に与える影響も小さくなっている。逆にこれより高振動数側では入力との相互作用によって基礎応答が減少し、建物極近傍の地点においてその影響が顕著に現れている。一方、上下方向については、根入れ基礎では、建物の固有振動数付近における基礎端部の上下応答のピーク値が小さく、9Hz 付近以上では入力の相互作用によって若干の振幅の増加がみられる。また、基礎、地盤応答のピーク値について地表面基礎(図 2)と比較すると、根入れ基礎の基礎応答のピーク値の方が小さいが、 $D=10\text{m}$ より遠方の地点では同程度の振幅となっている。これは、地表面基礎に比べて、根入れ基礎の、地盤

表1 検討内容

検討内容	定数	パラメータ
階数 N ($dH=3.5\text{m}$)	$b=c=10\text{m}, E=0\text{m}$	$N=3, 5$
根入れ基礎	$b=c=10\text{m}, N=3$	$E=4\text{m(B1F)}$
杭基礎	$b=c=10\text{m}, E=0\text{m}, N=3$	杭基礎
平面形状(長方形)	$b=10\text{m}, E=0\text{m}, N=3$	$c=5\text{m}$

表2 解析パラメータと従属定数

建物からの距離	$D=1, 5, 10, 15, 20\text{m}$
一次周期(sec)	$T_1=0.02 \times N \times dH$
基礎重量 ($\gamma_b=2.4\text{tf/m}^2$)	$W_b=\gamma_b \times 4bc$
各階重量 ($\gamma_f=1.5\text{tf/m}^2$)	$W_f=\gamma_f \times 4bc$
地盤(半無限一様)	$V_s=200\text{m/s}, \rho=1.8\text{t/m}^3$ $h=0.03, \nu=0.45$
杭(杭長15m)	$E_p=2.1 \times 10^7\text{kN/m}^2, \nu_p=1/6$ $\rho_p=2.4\text{t/m}^3, h_p=0.03$

との接触面積が大きいことが要因と考えられる。

基礎形式の影響：3 階建て杭基礎、 $b=c=10\text{m}$ について、図 5 に示す。これより、水平方向の全体的な傾向は、地表面基礎(図 2)に近いことがわかる。ただし、地表面基礎に比べて、慣性の相互作用によって生じる基礎応答の変動が大きく、その影響が近傍地盤に及んでいる。また、ここでは固有振動数より高振動数側の、 $D=10\text{m}$ より遠方の地点では、複数の杭から伝播する波の干渉の影響で、地表面基礎に比べてうねりが少なくなっている。この現象は、杭間隔の影響も受けることが考えられる。一方、上下方向は、杭の効果でロッキングが抑えられ、基礎、近傍地盤共に応答が小さくなっているが、 $D=10\text{m}$ より遠方の地点での建物の影響は、根入れ基礎の場合と同様に、地表面基礎と同程度となっている。

平面形状(長方形)の影響：3 階建て長方形地表面基礎、 $b=10\text{m}, c=5\text{m}$ における、地点 A、地点 B の結果について、それぞれ図 6(上段)、図 6(下段)に示す。水平方向について比較すると、地点 A の方が、軸方向、せん断方向とも、全ての距離で建物の振動の影響を大きく受けていることから、評価地点からみた建物の揺れの方より、見付け幅の差の方が地盤応答に及ぼす影響が大きいことがわかる。また上下方向は、X 方向に比べて基礎幅の狭い Y 方向のロッキングが大きいため、地点 A の方が建物の影響を大きく受けている。

4. まとめ

地震観測記録に及ぼす隣接建物の各種要因の影響について検討した。

評価地点からみて、せん断方向より軸方向の建物の揺れの影響の方が大きく、建物近傍の地盤には、鉛直下方入射波と建物を振動源する波の干渉の影響が認められた。建物が地盤に対して相対的に固く相互作用の影響が大きい建物ほど、地盤応答に及ぼす影響が大きく、基礎の見付け幅、地盤との接触面積が大きいほど、その影響は大きくなる。また、建物の揺れの方より、見付け幅の方が地盤応答に及ぼす影響が大きい。

参考文献

- 1) 河本悠歩, 護雅史, 福和伸夫: 地表地震計に隣接する建物が観測記録に与える影響, 日本地震工学会, 第 5 回日本地震工学会大会 2007 梗概集, pp.170-171, 2007.11
- 2) 文学章, 福和伸夫: 隣接建物の存在が直接基礎の動的相互作用特性に与える影響, 日本建築学会構造系論文集, No.600, pp.97-105, 2006

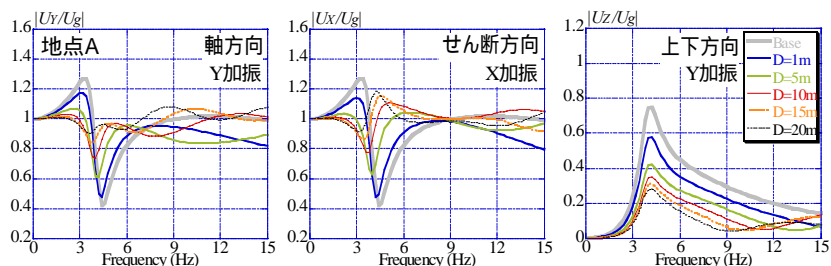


図 2 伝達関数(各評価地点の応答/自由地盤の水平応答) [3F, $b=c=10\text{m}$]

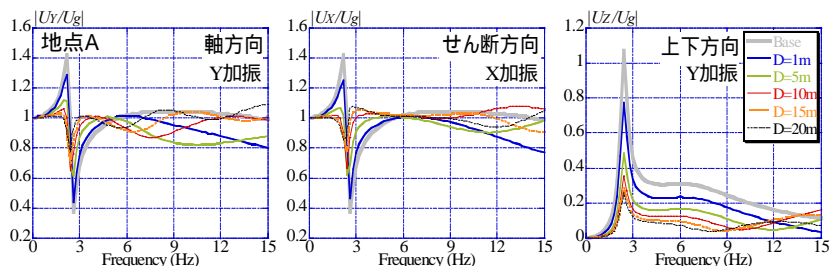


図 3 伝達関数(各評価地点の応答/自由地盤の水平応答) [5F, $b=c=10\text{m}$]

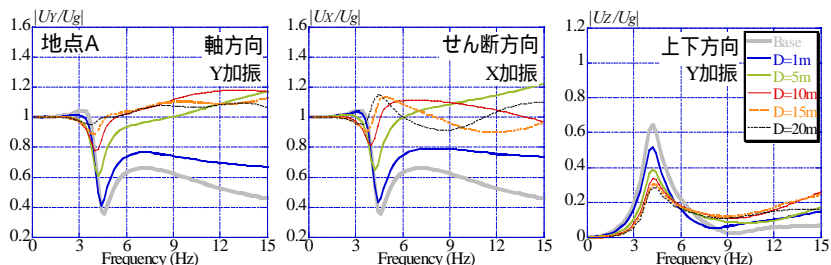


図 4 伝達関数(各評価地点の応答/自由地盤の水平応答) [3F, B1F, $b=c=10\text{m}$]

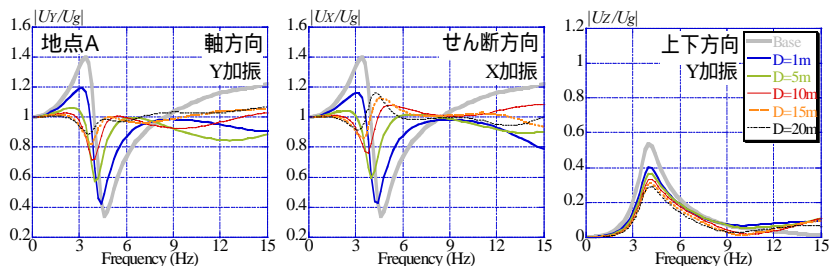


図 5 伝達関数(各評価地点の応答/自由地盤の水平応答) [3F, Pile, $b=c=10\text{m}$]

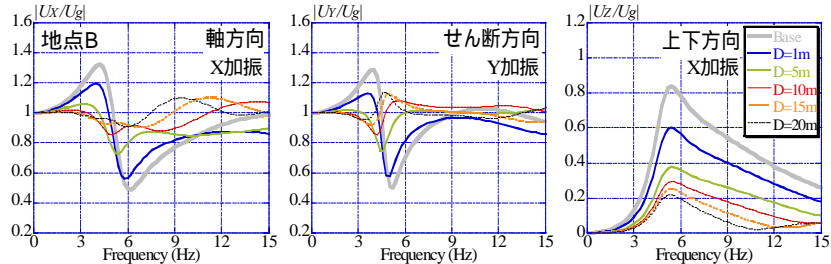
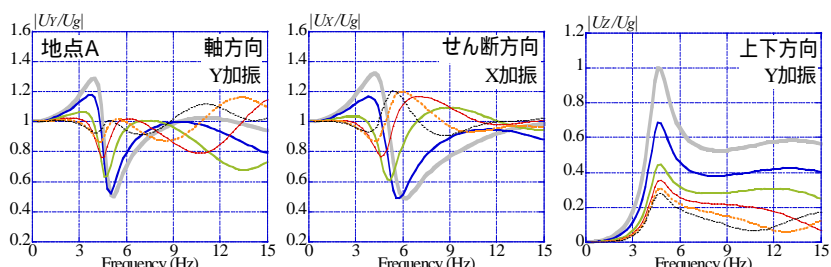


図 6 伝達関数(各評価地点の応答/自由地盤の水平応答) [3F, $b=10\text{m}, c=5\text{m}$]

*1 清水建設 株式会社 (元名古屋大学大学院生)
 *2 名古屋大学大学院環境学研究科・准教授・博士(工学)
 *3 名古屋大学大学院環境学研究科・教授・工博
 *4 名古屋大学大学院環境学研究科・准教授・工博

*1 Shimizu Corporation (Former Graduate Student, Nagoya Univ.)
 *2 Assoc. Prof., Graduate, School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.
 *3 Prof., Graduate, School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.
 *4 Assoc. Prof., Graduate, School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.