

地震記録に基づく PCaPC 造 7 階建て建物の振動特性に関する研究

名古屋大学工学部社会環境工学科建築学コース
飛田研究室 松井政樹

1. はじめに

一般の建築物には階数が十数階建てまでの中低層建物が多い。これらの建物は、地盤と建物の動的相互作用の影響が大きいと言われており、また、建物の形状も様々なため複雑な挙動を示すことが多く、振動特性が十分に明らかにされていない。また、振動実測に基づく分析はあまり行われておらず、実際の振動特性を把握するためにも実測記録の果たす役割は大きい。

名古屋大学東山キャンパス内では、建物の強震観測システムが整備されており、多数の建物で建物近傍の地盤及び中低層建物の地震時挙動の観測が行われている。ここでは、建物、地盤、杭中の計 15 地点 36 成分の超高密度の観測を行っている PCaPC 造 7 階建て建物について、振動特性の検討を行う。原子力関連施設などの重要構造物以外でこれほどの高密度の観測を行っている建物はあまり見られず、中低層建物の振動特性を把握するには貴重なデータと言える建物である。

2. 対象建物及び強震観測概要

対象建物は名古屋大学構内に立地する PCaPC 造 7 階建て建物の環境総合館である。平面形状は長辺方向 5 スパン(49.5m) × 短辺方向 2 スパン(16.0m)の長方形平面で東西に整形な偏心の少ない建物である。強震観測は、建物内 8

表 1 建物概要

延床面積	5956.08㎡	構造種別	地上PCaPC造
階数	地上7階		地下RC造
	地下1階	骨組形式	EW方向 ラーメン構造
高さ	33.4m		NS方向 耐震壁付きラーメン構造
軒高	29.7m	基礎種別	杭基礎PHC杭
			杭長 36m,32m

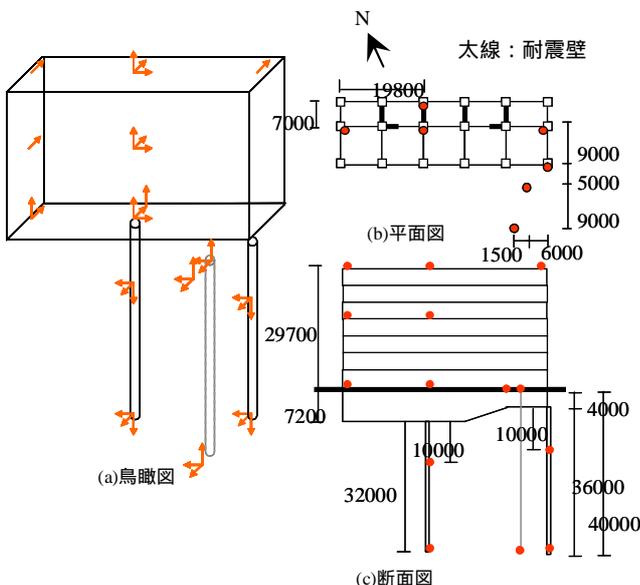


図 1 強震観測点

地点、地盤地表面 2 地点、地盤地中 1 地点、杭中 4 地点の計 15 地点で高密度の観測を行っており、水平成分 24ch、上下成分 12ch のデータが得られる。これまで既製杭の中に加速度地震計を設置した例はあまり見られない。2004 年 1 月 6 日から 2005 年 1 月 9 日までに 26 の地震記録が得られている。ここでは主に、2004 年 9 月 5 日 23 時 57 分に発生した紀伊半島南東沖の地震(Mag.7.4)と 2005 年 1 月 9 日に発生した愛知県西部の地震(Mag.4.4)を取り上げている。紀伊半島南東沖の地震は規模が大きく、長周期の成分が優勢な地震として、愛知県西部の地震は対象敷地付近の直下で発生した短周期成分が優勢な地震として取り上げた。表 1 に建物概要、図 1 に強震観測点を示す。(b) は基準階平面図を兼ねる。

高密度の観測を行ってもデータが正確でなければ十分なデータとは言えない。特に地盤や杭の地震計については設置の際に方向がずれてしまうことがある。本論では建物、地盤ともに剛体的に動く長周期の成分が優勢であった地震波から、バンドパスフィルタをかけて長周期成分のみを取り出し、波形を比べ、オービットを描いて方向のずれを確認し補正を行った。

3. 連成系と基礎固定系の固有振動特性

地盤地表・1 階中央・1 階西端部・1 階北端部・屋上中央の 5 点の記録から伝達関数を算出した。図 2 に紀伊半島南東沖の地震における地盤 - 建物連成系(RF/GL)、スウェイのみ固定した基礎固定系(RF/1F)、スウェイとロッキングを固定した基礎固定系(RF/(1F+H))の伝達関数を示す。RF/GL と RF/1F の伝達関数を比較し、RF/1F と RF/(1F+H) の伝達関数を比較するとそれぞれピークの位置がずれているのがわかる。RF/GL と RF/1F の伝達関数のずれからはスウェイの影響が認められ、RF/1F と RF/(1F+H) の伝達関数からロッキングの影響が認められる。NS 方向と EW 方向で比較するとスウェイの影響には差がないがロッキングの影響は EW 方向に比べて NS 方向が大きいことがわかる。これは EW 方向が桁行方向でロッキングの影響を受け難いからであると思われる。そこで、フーリエスペクトルの振幅比からスウェイ・ロッキング率を算出した結果、NS 方向スウェイ率 3.7% ロッキング率 21.6%、EW 方向スウェイ率 4.6% ロッキング率 9.6%であった。

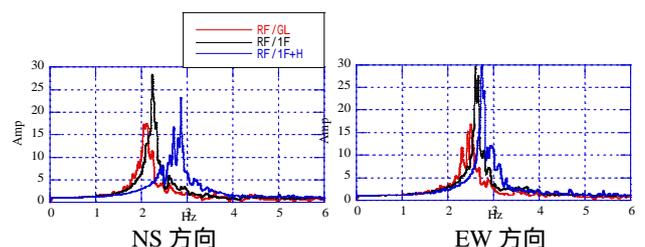


図 2 紀伊半島南東沖の地震の伝達関数

各地震の伝達関数を用いて 1 自由度カーブフィット法より固有振動数を算出した。屋上最大変位との関係を図 3 に示す。NS 方向 EW 方向ともに RF/GL<RF/1F<RF/1F+H の順に固有振動数が高くなっている。RF/1F+H ではややばらつきもあるが、RF/GL、RF/1F の固有振動数には振幅依存性の傾向が見られる。

4. 最大値の増幅特性

多数の地震記録を用いて簡易的に振動数領域での増幅特性についての検討を行う。地震動の卓越振動数を表す指標として、等価卓越振動数(PGA/PGV/2)を用いる。図 4 に等価卓越振動数と 1 階と屋上の最大加速度比(PRA/PBA)の関係を示す。地震動の卓越振動数によって増幅度が異なっているのがわかる。また、増幅度が高くなっている振動数帯域は図 2 の RF/1F の伝達関数のピークが現れている振動数帯域と良く対応している。

5. ねじれ振動

整形な建物はねじれにくいと考えられるが、対象建物では中央と端部の最大加速度に差があることからねじれの可能性がある。そこで屋上における東西端部における NS 成分の差の 1/2 をねじれ成分、東西端部の NS 成分と中央の NS 成分の 2 倍の和を 4 で除したものを並進成分とし、紀伊半島南東沖の地震と愛知県西部の地震のそれぞれの成分を求めた。加速度フーリエスペクトルを図 5 図 6 に示す。これらから、ねじれ成分の固有振動数と並進成分の固有振動数が近接していることがわかる。2 つの固有振動数付近のピークにおけるねじれ成分と並進成分のスペクトル振幅を比較すると、紀伊半島南東沖の地震ではピーク高さが同じくらいで、愛知県西部の地震ではねじれ成分が並進成分よりも大きい。図 7 にねじれモードを示す。並進成分に対するねじれ成分の割合が大きい愛知県西部の地震は紀伊半島南東沖の地震と比べて大きくなっているのがわかる。このように、整形な建物でもねじれの寄与が大きいことがわかる。

6. 地盤 - 杭 - 建物の応答

図 8 に紀伊半島南東沖の地震での杭端、杭中-10m、1 階、屋上、地中-40m、地表のフーリエスペクトルを示す。地中と地表では増幅効果が見られる。屋上は 2Hz 付近、0.3Hz 付近でピークを持ち、これはそれぞれ建物の固有振動数と地震基盤からの固有振動数である。1 階は建物と地盤両方の影響を受けている。動的相互作用の影響で 1 階は地表に比べて小さい値になっている。杭端は地中と同じようなスペクトル形状をしており、上部構造の影響はあまり見られない。

7. まとめ

今後、ねじれにくいとされる整形な建物がねじれる原因について検討する必要がある。また、高密度の観測システムを生かし、地盤 - 杭 - 建物の振動特性を詳細に把握し、他の構造物との振動特性を比較し、検討していく予定である。

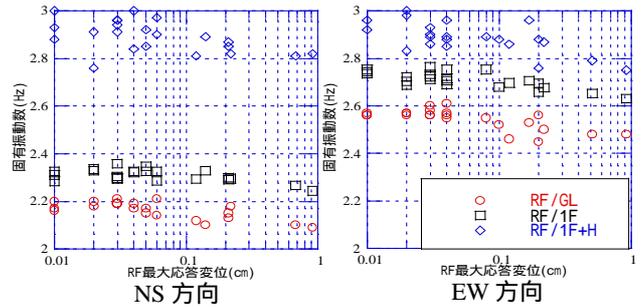


図 3 固有振動数と屋上最大変位の関係

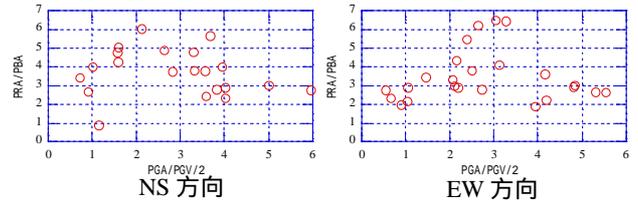


図 4 等価卓越振動数と最大加速度比の関係

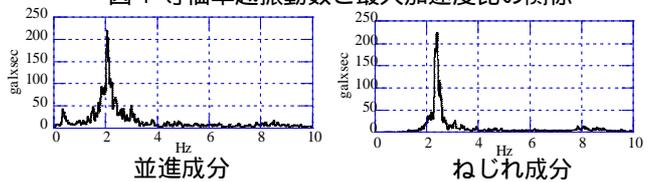


図 5 紀伊半島南東沖の地震加速度フーリエスペクトル

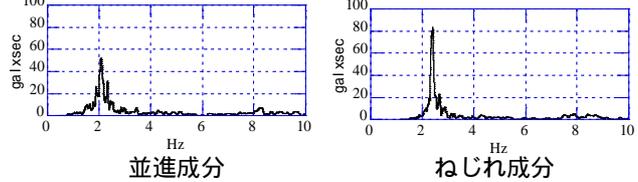


図 6 愛知県西部の地震の加速度フーリエスペクトル

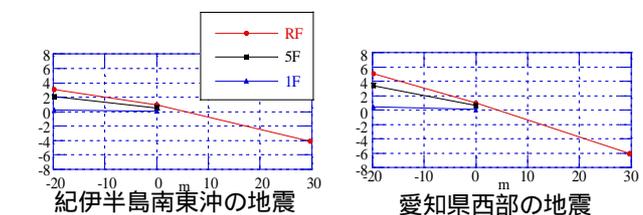


図 7 ねじれモード

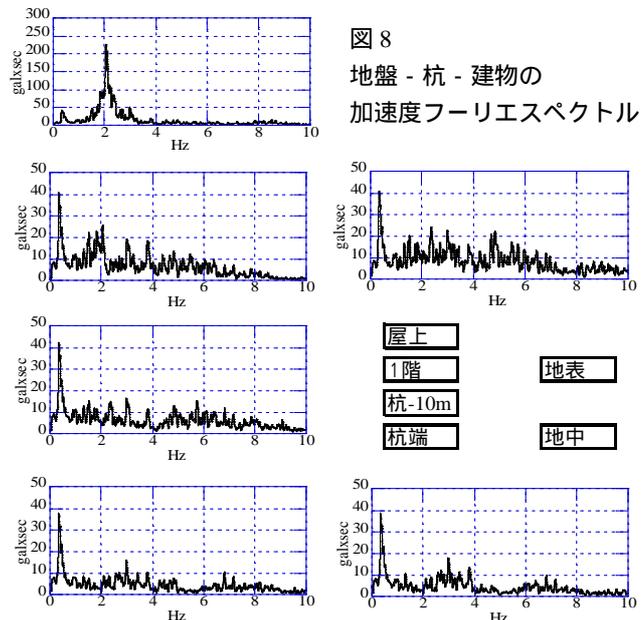


図 8 地盤 - 杭 - 建物の加速度フーリエスペクトル