

モデル化 強震観測 PCaPC 造
固有振動数 動的相互作用 応答解析

1. 研究の背景と目的

平面形状や構造特性が複雑なものが多い中低層建物では、解析のみから振動性状を正確に把握することは難しい。例えば 1995 年兵庫県南部地震では、地動入力設計レベルを遥かに超えたとされる地域でも中低層建物の被害は少なかった。この事例からも設計段階における構造物の振動特性や耐力の正確な把握は困難であることが分かる。そこで本研究では、実測記録から得られる構造物の固有周期に着目し、上部構造のモデル化や相互作用の影響を検討し、設計段階で十分考慮されていない要因が振動解析モデルに与える影響を明らかにする。

2. 対象建物及び強震観測の概要

対象建物は名古屋大学構内に立地する PCaPC 造 7 階建て建物である。対象建物の簡易な平面図を図 1 に示す。桁行方向 5 スパン(49.5m)×張間方向 2 スパン(16.2m)の長方形平面で整形な偏心の少ない建物であり、張間方向には現場打ちの耐震壁が取り付けられている。対象建物では 15 地点 32ch の高密度観測が行われており、観測開始から現在までに 58 の地震記録が得られている。本論では、地震記録として 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(Mj.7.4)の観測記録を用いる。

表 1 対象建物概要

延床面積	5956m ²	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	桁行 ラーメン構造
高さ	33.4m		張間 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 32m,36m

3. 実測記録からみる振動特性

地震記録から求めた地盤 - 建物連成系(RF/GL)、スウェー・ロッキングを固定した基礎固定系(RF/(1F+H0))の伝達関数を図2に示し、ピーク位置から推定された固有振動数を表2に示す。両者を比較すると、桁行方向に比べ張間方向で振動数の差が大きい。これは、張間方向で相互作用の影響が大きいことを示している。

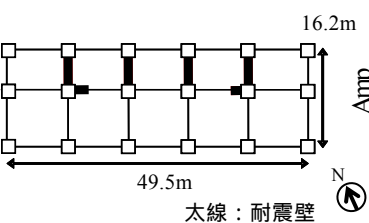


図 1 対象建物平面図

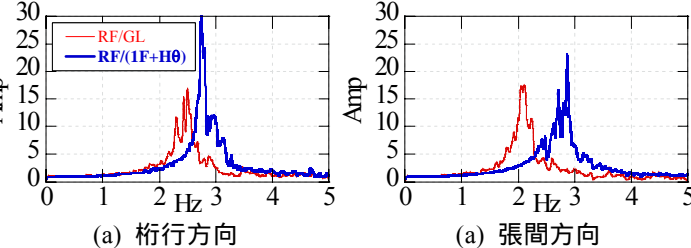


図2 紀伊半島南東沖の地震の伝達関数

4. 設計モデルによる解析

構造計算図書より作成したモデル(以下、設計モデルと呼ぶ)の固有振動数と、観測記録から推定された固有振動数の差を検討する。設計モデルでは、コンクリートの設計基準強度を PC 柱部材、PC 梁部材で $F_c=60\text{N/mm}^2$ 、PC 床版で $F_c=45\text{N/mm}^2$ 、現場打ちの RC 部材は $F_c=30\text{N/mm}^2$ とし、剛床仮定、柱梁接合部分への剛域の設定を行っている。積載荷重には、地震用荷重を用いている。設計モデルでは基礎固定系として固有値解析を行った。結果を表 2 に示す。これより、設計モデルと実測値の固有振動数に 2~3 割程の差があることがわかる。

表 2 地震記録と設計モデルの固有振動数の比較

	桁行方向	張間方向
RF/GL	2.49	2.11
RF/(1F+H0)	2.73	2.86
設計モデル	2.18	2.34

(単位:Hz)

4. モデル化における各種要因が振動特性に与える影響

設計時に十分考慮されていない各種要因が構造物の振動特性に与える影響を固有振動数に着目して検討する。

(a)積載荷重：設計時の積載荷重は実際よりも大きく見積もられているため、本論では積載荷重の値を実状に近い値に置き換え検討した。その結果、積載荷重が設計時の約 0.6 倍になった。

(b)コンクリート強度：工場生産された PC 部材の材令 28 日強度を調査し、その平均値を PC 部材のコンクリート強度として採用する。表 3 に対象建物における PC 部材の平均強度を示す。いずれも設計基準値より大きな値であることがわかる。また、RC 部材については施工後の強度上昇を見込み、コンクリート強度を 2 割増加させた。

(c)剛域の違い：対象建物は桁行方向の梁が腰壁を兼ねている逆梁構造をとっており、桁行方向と張間方向で柱のクリアスパンと剛域長に差がある。これを表現するために本論では、桁行・張間方向で、柱の剛域長の異なるモデルを作成した。

表 3 圧縮試験結果

部材名	圧縮試験平均
PC梁	76.9
PC柱	68.9
PC床版	62.4

(N/mm²)

(d)リブの剛性：設計ではハーフ PC のトッピングコンクリート厚さのみをスラブ厚として考慮しているが、本論では PC 床板の厚さも考慮する。また、設計では考慮されていない、桁行方向の PC 床版に取り付くリブの剛性を、断面二次モーメントが等価となる床厚に置換して考慮する。これにより、梁の断面 2 次モーメントは、桁行方向で約 1.2 倍、張間方向で約 1.1 倍の値になった。

以上 4 つの要因を考慮したことによる基礎固定系での固有値の変化について表 4 にまとめる。

5. 動的相互作用の影響

薄層法と容積法を組み合わせた解析方法¹⁾を用いて、杭・根入れを考慮した解析より動的地盤バネを求め、地盤・建物連成系での固有値解析を行った。図 3 に地盤インピーダンスを示す。水平ばねには両方向で大きな違いは無いが、回転ばね定数は張間方向の方が桁行方向に比べて 1/4 倍程度小さい値になっていることがわかる。

動的相互作用を考慮した固有値解析は、(a)~(d)の 4 つの要因を全て反映させた解析モデルに、地盤ばねを付加することで考慮する。その際地盤ばねのばね定数の値は、ばね定数を規定する振動数が、連成系の 1 次固有振動数と一致するように収斂計算した値を用いる。

相互作用を考慮した場合の固有値解析の結果を表 5 に示す。相互作用を考慮することにより、特に張間方向で固有振動数の値が大きく変化することがわかる。

6. 動的解析によるモデルの妥当性の検証

モデルの妥当性を検証するために、相互作用を考慮したモデルに、紀伊半島南東沖の地震の地盤表面での観測記録(加速度波形)を入力し、解析モデルから求められた建物頂部の加速度応答波形と、実際に建物頂部で観測された加速度波形を比較する。ただし、建物の減衰は 3% とし、水平・回転ばねの減衰は図 3 の虚数部分の、連成系での 1 次固有振動数に対応する点の傾きを減衰定数として採用した。動的解析結果を図 4 に示す。最大応答に差が見られるが地震記録をほぼ再現できているといえる。

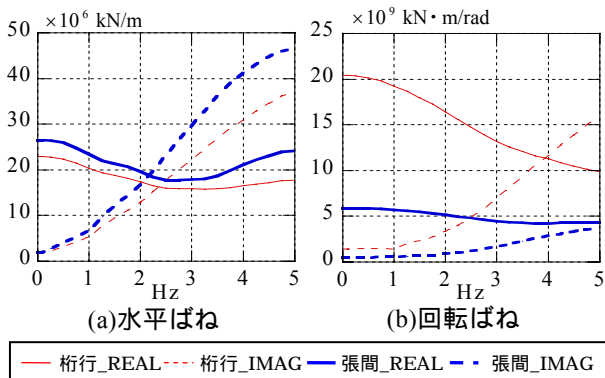


図 3 地盤インピーダンス

7. まとめ

設計段階の条件に、積載荷重 コンクリート強度剛域の違い 床版のリブの剛性、の 4 つの要因を考慮することにより地震記録を説明できる振動解析モデルを作成した。今後、より精度の高いモデルを作成するためにその他の要因についても検討していく必要がある。

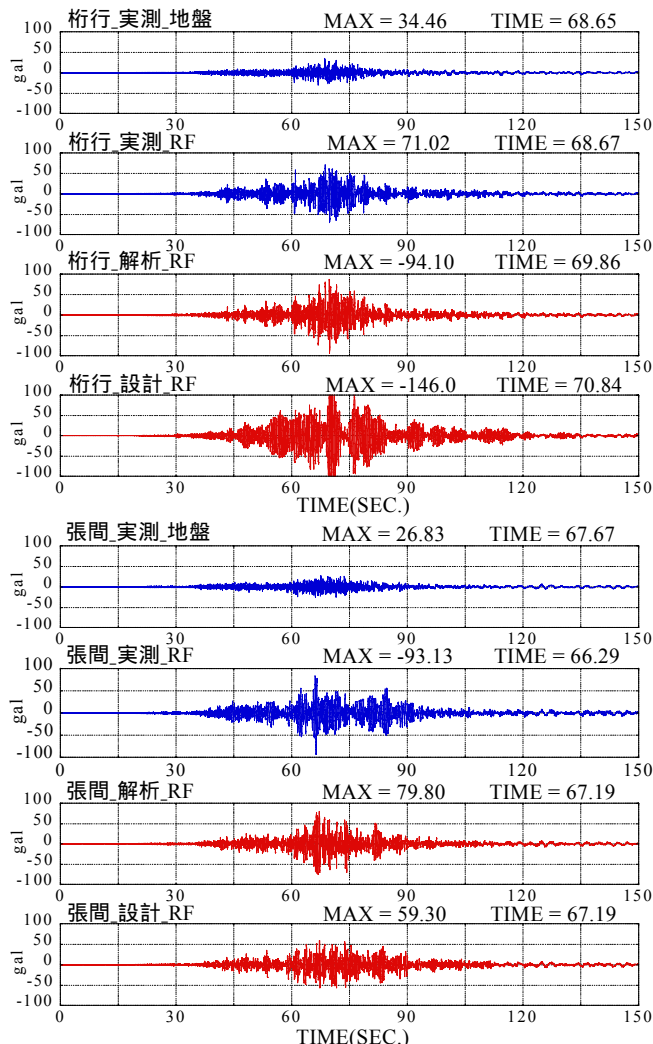


図 4 動的解析の結果

表 4 固有振動数の変化

	桁行方向	張間方向
実測値	2.73	2.86
設計モデル	2.22	2.43
(a) 積載考慮	2.26	2.48
(b) コンクリート強度	2.28	2.50
(c) 剛域の違い	2.39	2.43
(d) リブの剛性	2.24	2.48
全て考慮	2.67	2.70

表 5 連成系での解析結果 (単位:Hz)

	桁行方向	張間方向
実測値	2.49	2.11
解析値	2.49	2.37

(単位:Hz)

【参考文献】

- 1) 文学章:地盤と構造物の動的相互作用における基礎形式・基礎形状・隣接建物の影響に関する解析的研究,名古屋大学学位論文,2006
- 2) 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,日本建築学会,2006

*1 名古屋大学大学院環境学研究科・大学院生
 *2 名古屋大学大学院環境学研究科・教授・工博
 *3 名古屋大学大学院環境学研究科・助手・博士(工学)
 *4 名古屋大学大学院環境学研究科・助教授・工博

*1 Graduate Student, Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ.
 *2 Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr.Eng.
 *3 Res.Assoc., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr.Eng.
 *4 Assoc. Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr.Eng