

平成21年 4月30日現在

研究種目：若手研究(B)	
研究期間：2007～2008	
課題番号：19760385	
研究課題名（和文）	実在中低層建物の地震時挙動解明に向けた高精度数値解析モデル構築及び観測レシピ作成
研究課題名（英文）	High resolution structural modeling for the reach of dynamic properties of existing low and mid-rise building and making recipe for vibration observation
研究代表者	
小島 宏章（Hiroaki Kojima）	
名古屋大学・大学院環境学研究科・助教	
研究者番号：40402557	

研究成果の概要：

中低層建物の実振動挙動を解明するために、本研究では弾性範囲内の振動に対象を絞り、中小地震の記録と常時微動記録の収集・データベース化を行った。また、対象建物の一つであるPCaPC造7階建て建物の各階にセンサーを配置した高密度観測を行い、桁行方向と張間方向で振動モード形状に明確な差異があること、建物へ入力する波動成分の違いがロッキング動に大きな影響を及ぼしていることを示し、これらを考慮した振動解析モデルを構築し、構造設計図書から作成した一般的な振動解析モデルと比較し、各要因の影響度合いを示した。

高密度で得られる記録は、従来の紙ベースでの分析では現象を十分に把握できないため、建物の立体振動挙動をアニメーションで把握可能な振動分析ツールを作成した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,600,000	0	1,600,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	2,700,000	330,000	3,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学 建築構造・材料

キーワード：建築構造，耐震，動的相互作用，強震観測，常時微動，立体振動

1. 研究開始当初の背景

近年の被害地震における実測記録及び地震被害調査結果より、耐震設計で想定しているレベルを遙かに上回る地震動が建物に入力しているにもかかわらず、建物被害がごく軽微な場合が多く報告されている。これは、現状では実在建物の地震時挙動を数値解析で再現するレベルには至っておらず、実在建

物、特に都市域に多く存在する中低層建物の真の耐震性能は明らかになっていないことを示している。このような現状である一方、耐震設計や研究における数値解析は、地盤や部材の非線形化や免震・制震技術の導入など、高精度化の一途を辿っている。これらの数値解析が妥当であるかを検証するためには、実測記録と詳細に比較、検討することが必要不

可欠であるが、中低層建物の実測記録が十分に蓄積されている例は少ない。

そこで本研究では、弾性範囲内の振動を対象を絞り、常時微動・中小地震記録のデータベースを作成すると共に、実振動挙動を再現可能な高精度数値解析モデルの構築を行う。

2. 研究の目的

(1) 都市域に多く存在する一般的な中低層建物の振動挙動は、建物と地盤との動的相互作用、非構造部材、隣接建物、振幅レベル、振動入力システム（地震入力、表面波入力、風入力）の差異の影響を強く受けているが、これらを定量的に取り扱った実測、数値解析はごく僅かであり、適切な数値解析モデルの作成は未だなされていないため、これらが分析可能な実測記録を過去のデータも含めて収集・整理し、データベースを作成する。

(2) 建物の振動パラメータを直接的に取り扱うことのできる各階同時観測の例はほとんどない上、立体振動挙動についての観測事例も少ないため、これらが分析可能な振動実測を実施し、数値解析モデルを作成する際に考慮すべき現象を絞り込む判断材料を得る。

(3) 過去に得られた実測記録を現代の分析手法で再評価し、パラメータ推定に及ぼす影響を検討することで、パラメータ推定手法・結果の妥当性を示した事例は極めて少ない。また、長期的な経年変化に伴う振動性状の変化を把握することは、既存建物の数値解析モデル作成に及ぼす影響を実証的に示すデータを作成する。

(4) 建物振動実測は数多く行われているものの、目的に合った建物振動挙動を適切に捉えるためのノウハウを建物観測レシピとしてまとめる。

3. 研究の方法

(1) 数値解析モデルを構築するための基礎データとして、これまでに得られた微動記録及び中小地震記録を用いて建物の上部構造物の剛性、減衰及び、地盤のパラメータ推定を行う。パラメータ推定には、振幅レベル、振動入力メカニズム（表面波、実体波）の差異にも着目し、これらがパラメータ推定と推定値に及ぼす影響を明らかにする。

(2) 約 10 年前に得られた実測記録を現代の手法で分析し、過去の結果を比較することで、分析手法の違いがパラメータ推定に及ぼす影響を明らかにする。同時に、長期的な経年変化によるパラメータの変化について明らかにする。

(3) 既存の実測記録に加え、中低層建物の質量と剛性のパラメータ推定をより直接的に取り扱うために建物各階にセンサーを設置し、地震観測と常時微動計測を行う。これにより、一般に行われている少数の地点での観

測から推定されるパラメータの妥当性を明らかにする。

(4) 高密度観測から得られる多量の情報を効果的に分析するために、立体振動をアニメーション表現可能な振動分析ツールを作成し、立体振動性状を把握する。

(5) 構造設計資料を基に数値解析モデルの基礎を作成し、上記 4) までに得た実測記録に基づく知見とパラメータとの整合性が合うように、数値解析モデルをチューニングする。先ず 1 棟を対象としてプロトタイプを作成し、数値解析モデルに及ぼす因子の抽出とその影響度合いについて分析し、数値解析モデルの精度を上げる。

(6) 一連の研究の経験と知見を活かし、建物観測レシピを作成する。

4. 研究成果

振動解析モデルを構築する際の基礎データとなる振動実測記録（主に中小地震記録、常時微動記録）の収集、データベース化を行った。従来はあまり着目されなかった、あるいは機器の性能上、収録できなかった中小地震も分析対象に加えることで、固有振動数と減衰定数の経年変化に着目した分析を行った。その結果、S 造 10 階建物では、竣工後約 3 年間は桁行・張間両方向の固有振動数が低下し、その後、比較的安定していたこと（図 1）、応答振幅と固有振動数・減衰定数に明瞭な相関関係が認められること（図 2）が分かった。これに対し、PCaPC 造 7 階建物の固有振動数は竣工後から変動が小さいこと、及び

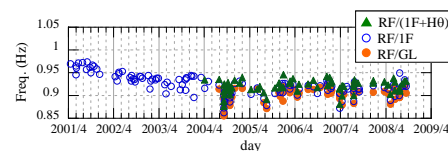
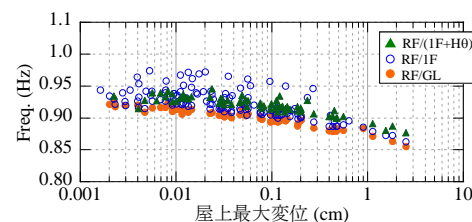
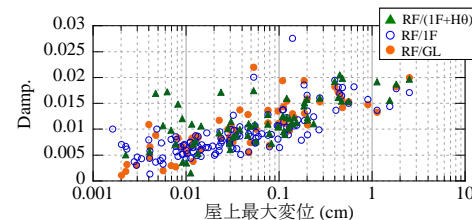


図 1 S 造 10 階建物の固有振動数の推移（張間）



(a) 固有振動数と屋上最大変位の関係（張間）



(b) 減衰定数と屋上最大変位の関係（張間）

図 2 S 造 10 階建物の固有振動数・減衰定数と屋上最大変位の関係

桁行と張間方向の振動数差が大きく、相互作用特性が異なっていることを示すと共に、張間方向のロッキングを考慮すると推定結果が大きく乱されていること(図3)、また、S造10階建物に比べ振幅依存性が小さいことが分かった(図4)。この結果は、PCaPC造7階建物の応答は、入力振動の特性によってロッキング振動が変動しており、それらが伝達関数推定やパラメータ推定に影響を及ぼしていることを示している。

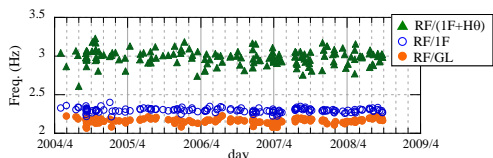
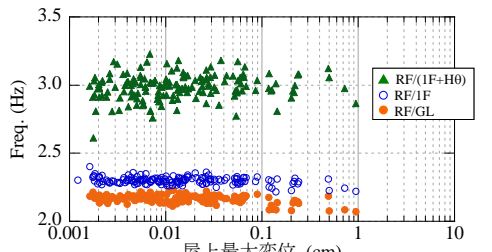
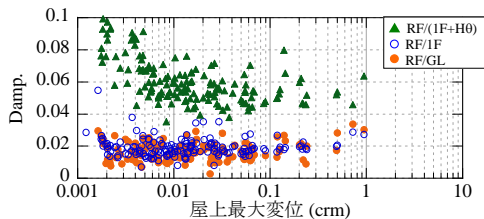


図3 PCaPC造7階建物の固有振動数の推移(張間)



(a) 固有振動数と屋上最大変位の関係(張間)



(b) 減衰定数と屋上最大変位の関係(張間)

図4 PCaPC造7階建物の固有振動数・減衰定数と屋上最大変位の関係

ロッキング動の影響を詳細に検討するために、PCaPC造7階建物の既存観測点に加え、各階に設置し高密度観測で得られたデータを分析した結果、桁行方向と張間方向で振動モード形状に明確な差異が認められること、特に張間方向においてロッキング動の影響が大きく、入力地震動によってモード形状が変化している様子が明らかとなった(図5)。これは、等価高さの評価を桁行・張間方向で別々に評価する必要があること、地震動によって変えなければならないことを意味しており、建物応答性状を把握する上で重要である。

PCaPC造7階建物において、構造設計資料を基に数値解析モデルを作成し、実測記録と比較した結果を表1に示す。初期モデルでは固有振動数に大きな差があったが、積載荷重、コンクリート強度、逆梁による剛域の評価、

スラブ効果の影響を詳細にそれぞれの影響度合いを検討し、各要因全てを考慮することで数値解析モデルと実測値との差は小さくなった。さらに建物と地盤との動的相互作用の影響を考慮することにより、実測記録との差は小さくなっている。相互作用を考慮した詳細モデルと初期モデルを使用した、観測地震波を用いた地震応答解析結果と実測記録との比較したところ、桁行方向は観測記録と非常に良く対応した。しかし、張間方向は実測記録との差が埋められなかった。これは、先に示したロッキングの影響を十分に評価し切れていないこと、ねじれ振動の影響を考慮できていないことが原因とされており、現在も分析を継続している。

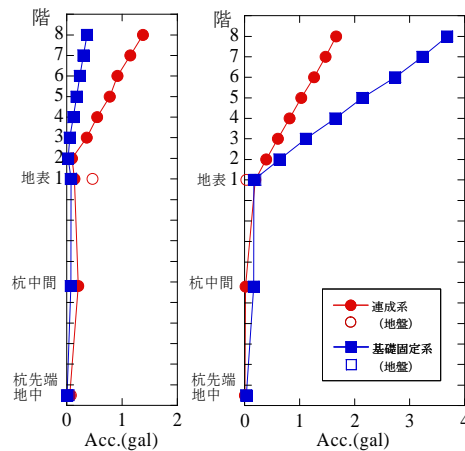


図5 最大加速度分布(左:桁行方向, 右:張間方向)

表1 固有振動数一覧

		桁行方向	張間方向
実測記録	RF/GL(相互作用系)	2.49	2.11
	RF/1F+HH基礎固定系H	2.73	2.86
解析結果	初期モデル	2.22	2.43
	(1) 積載荷重	2.26	2.48
	(2) コンクリート強度	2.28	2.50
	(3) 柱剛域の評価	2.39	2.48
	(4) スラブ効果	2.24	2.48
	(1)~(4)全て考慮	2.67	2.70

(Hz)

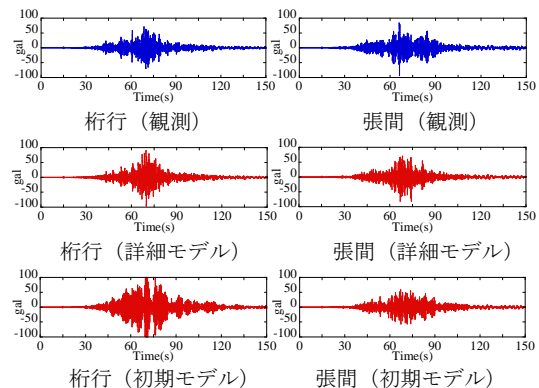


図6 初期モデルと詳細モデルの比較(PCaPC造7階建物の建物頂部の加速度波形)

高密度観測から得られる多量の情報を、従来から行われている固有振動数と減衰定数のみに着目した検討や、モード形や波動伝播性状などを紙面に基づいて分析するだけでは立体振動性状を十分には把握できない。そこで、多点・多成分の記録を効果的に分析する三次元アニメーションによる分析支援ツールを作成した。このツールは、単に観測記録を表示するだけでなく、基本的なスペクトル解析や、着目したい振動数範囲を内部で容易に変更する機能が入れてあり、立体振動モードやその時刻歴での変動を抽出可能なものとなっている（図7）。

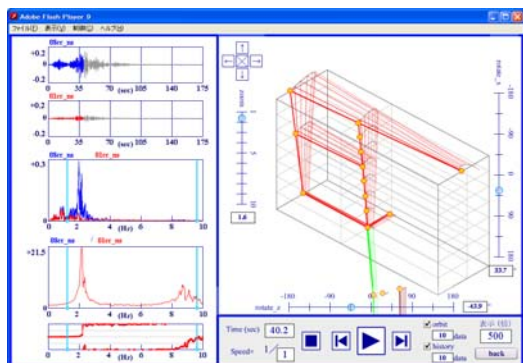


図7 立体振動分析ツールの表示例

このツールを用いて立体振動挙動を分析した結果、地震記録においてもねじれ動・ロッキング動の影響が大きいこと、短周期成分が多く含まれる地震では初動で基礎がねじれやロッキング挙動が見られた。これは地震動の鉛直可能入射の仮定が成立していないか、不整形をした基礎のためねじれやロッキング入力動が励起されている可能性を示している。この点については、基礎形状の不整形を考慮した相互作用解析を行うことで、その影響度合いを分析する方向で研究を継続している。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 2 件）

廣野衣美, 牧原慎一郎, 福和伸夫, 飛田潤, 護雅史, 小島宏章: 多点多成分振動観測記録

の効果的な分析を支援する動画アプリケーションの開発, 日本建築学会技術報告集, 査読有り, 第28号, 2008年, pp.423-428

榊原啓太, 福和伸夫, 飛田潤, 小島宏章: 観測された動特性を説明可能な構造物の振動解析モデルの構築, 日本建築学会技術報告集, 査読有り, 第25号, 2007年, pp.65-68

〔学会発表〕（計 5 件）

小島宏章, 福和伸夫, 飛田潤: S造建物とPCaPC造建物の強震観測記録に基づく振動特性評価に関する研究, 日本建築学会東海支部研究報告会, 20090215, 岐阜市

廣野衣美, 福和伸夫, 飛田潤, 護雅史, 小島宏章: 三次元アニメーションによる高密度観測記録の効果的分析支援ツールの開発, 日本建築学会大会, 20080920, 広島大学

小島宏章, 西澤崇雄, 福和伸夫, 飛田潤: 不整形超高層建物の建設時観測に基づく柱歪・振動特性変化に関する研究(その2) 常時微動記録に基づく振動特性の変化, 日本建築学会大会, 20080918, 広島大学

小島宏章, 福和伸夫, 飛田潤: 各階強震観測に基づくPCaPC造7階建て建物の応答モード形状に関する検討, 日本建築学会大会, 20070830, 福岡大学

廣野衣美, 福和伸夫, 飛田潤, 小島宏章: 高密度強震観測に基づく免震建物の立体振動特性の分析と分析支援ツールの開発, 日本建築学会大会, 20070730, 福岡大学

〔その他〕

ホームページ等

名古屋大学強震観測 Web

<http://www.sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp/~smsr/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小島 宏章 (Hiroaki Kojima)

名古屋大学・大学院環境学研究科・助教

研究者番号: 40402557