

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
A Study on Evaluation of Dynamic Properties for a Steel Building and PCaPC Building
based on Seismic Response Observation Data

2. 構造 - 2. 振動

強震観測 動的相互作用 固有振動数
減衰定数 S 造建物 PCaPC 造建物

正会員 ○小島 宏章*

KOJIMA Hiroaki

正会員 福和 伸夫**

FUKUWA Nobuo

正会員 飛田 潤***

TOBITA Jun

1. はじめに

近年発生した被害地震では大加速度の強震記録が得られているが、建物被害が軽微な事例が多く見られる。この原因の一つとして、建物と地盤との動的相互作用の影響が指摘されている。しかし、動的相互作用の影響を検討可能な観測体制で、且つ中低層建物を対象とした実証的な研究事例は少ない。

本論では、建物竣工当初から高密度強震観測している S 造 10 階建て建物と PCaPC 造 7 階建て建物で得られた地震記録に基づき、固有振動数と減衰定数の経年変化と振幅依存性について動的相互作用の影響も考慮して検討する。

2. 対象建物及び観測概要

対象建物は、2001 年に竣工した S 造 10 階建て建物（以後、S 造建物）と 2004 年に竣工した PCaPC 造 7 階建て建物（以後、PCaPC 造建物）の 2 棟で、いずれも名古屋大学東山キャンパス内に立地している。建物の外観、及び基準階平面図を写真 1, 2, 図 1, 2 に示し、建物概要と表 1 に示す。両建物とも整形な形状をしている上、二次部材が少ない特徴を持っている。

S 造建物は基礎が場所打ちコンクリート杭で上部がラーメン構造であるのに対し、PCaPC 造建物は基礎が PHC 杭で上部が耐震壁付きラーメン構造であるため、S 造建物の方が動的相互作用の影響を受けにくい構造であることが分かる。

強震観測は、S 造建物では建物頂部と一階でねじれ・ロッキングが観測可能な 5 地点 9 成分の体制で始まったが、2004 年に S 造建物の周囲を取り囲むように増築工事が行われた後は、周辺建物と地盤も含めた 16 地点・32 成分に増強されている。PCaPC 造建物では竣工後の 2004 年から上部構造、杭、周辺地表と地中の計 15 地点・36 成分の高密度強震観測を行っている。センサー配置の詳細は紙面の都合上割愛するので、文献 1, 2 を参照頂きたい。

地震記録は、観測開始から 2008 年 9 月までに S 造建物で増築前に 49 個、増築後に 82 個、PCaPC 造建物で 171 個得られている。地表面加速度が最大のものは、2004 年 9 月 5 日 23 時 57 分頃に発生した紀伊半島南東沖の地震で、約 35gal である。

表 1 建物概要

建物名	S 造建物	PCaPC 造建物
延床面積	7,440m ²	5956m ²
階数	地上 10階 地下 1階	7階 1階
軒高	41.1m	29.7m
構造種別	地上 S造 地下 SRC造	PCaPC造 RC造
骨組形式	桁行 ラーメン構造 張間 ラーメン構造	ラーメン構造 耐震壁付き ラーメン構
根入深さ	GL-7.5m	GL-4.1m, -7.3m
基礎種別	杭種 場所打ち杭 1300φ, 1400φ 杭径 (拡底部: 1900φ, 2400φ) 杭長 41.7m	杭基礎 PHC 杭 800φ 36m, 32m



写真 1 S 造建物外観



写真 2 PcaPC 造建物外観

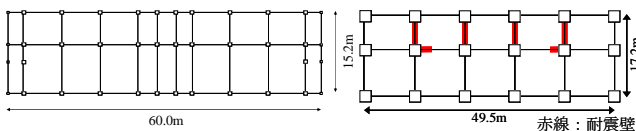


図 1 S 造建物
基準階平面図

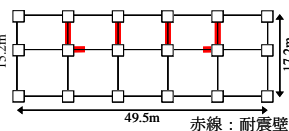


図 2 PCaPC 造建物
基準階平面図

* 名古屋大学大学院環境学研究科・助教・博士（工学）

** 名古屋大学大学院環境学研究科・教授・工博

*** 名古屋大学大学院環境学研究科・准教授・工博

Assist. Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

Assoc. Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

3. S 造建物の振動特性の推移

S 造建物の基本的な応答特性を見るために、2004 年 9 月 5 日の地震記録の伝達関数を図 3 に示す。伝達関数は Hv 推定法により算出しており、0.1Hz の Parzen Window を施している。図 3 には地盤-建物連成系（以後、RF/GL）、スウェイのみ固定した基礎固定系（以後、RF/1F）、スウェイとロッキングを固定した基礎固定系（以後、RF/(1F+H0)、ここに H は等価高さ）を示している。3 種類の伝達関数で大きな差が認められないため、S 造建物は動的相互作用の影響が小さいことが分かる。また、上部構造そのものもつ減衰も小さいことも分かる。

次に、振動特性の経時変化について検討するために、図 4 に地表最大加速度、屋上最大変位、固有振動数、減衰定数の推移を示す。但し、図 4(a)の地表最大加速度は、増築前は地盤観測点がなかったため、建物 1F での最大加速度を示している。固有振動数と減衰定数については、線形多モードモデルを用いて、地表 (GL)、1 階 (1F)、1 階とロッキングを考慮した (1F+H0) 水平動のそれぞれを入力、屋上 (RF) の水平動を出力としたフィッティング³⁾により推定している。

図 4(c)~(e)に共通して、個々の地震による相互作用特性の差はほとんど認められない。

図 4(c), (d)に着目すると、2001 年から 2004 年頃まで固有振動数に減少傾向が見られる。設計資料に基づき建物重量を検したところ、積載荷重による重量増加分は上部構造の躯体重量の約 2 割程度と試算できるため、2001 年から 2002 年頃の固有振動数の減少分の大半は、入居による荷重増加の影響と考えられる。2002 年以降の固有振動数・減衰定数の傾向については、図 4(b)の屋上最大変位の相関が見受けられる。これは 6 章にて検討する。

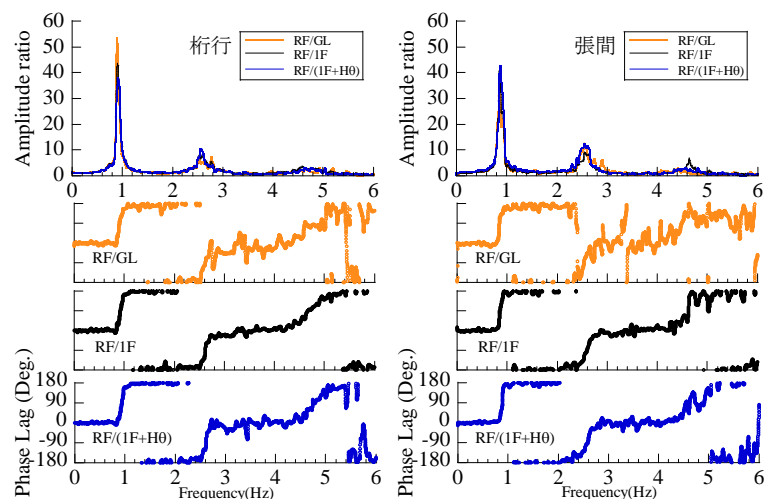


図 3 S 造建物の伝達関数

(左：桁行方向、右：張間方向
上から振幅、位相 [RF/GL, RF/1F, RF/(1F+H0)])

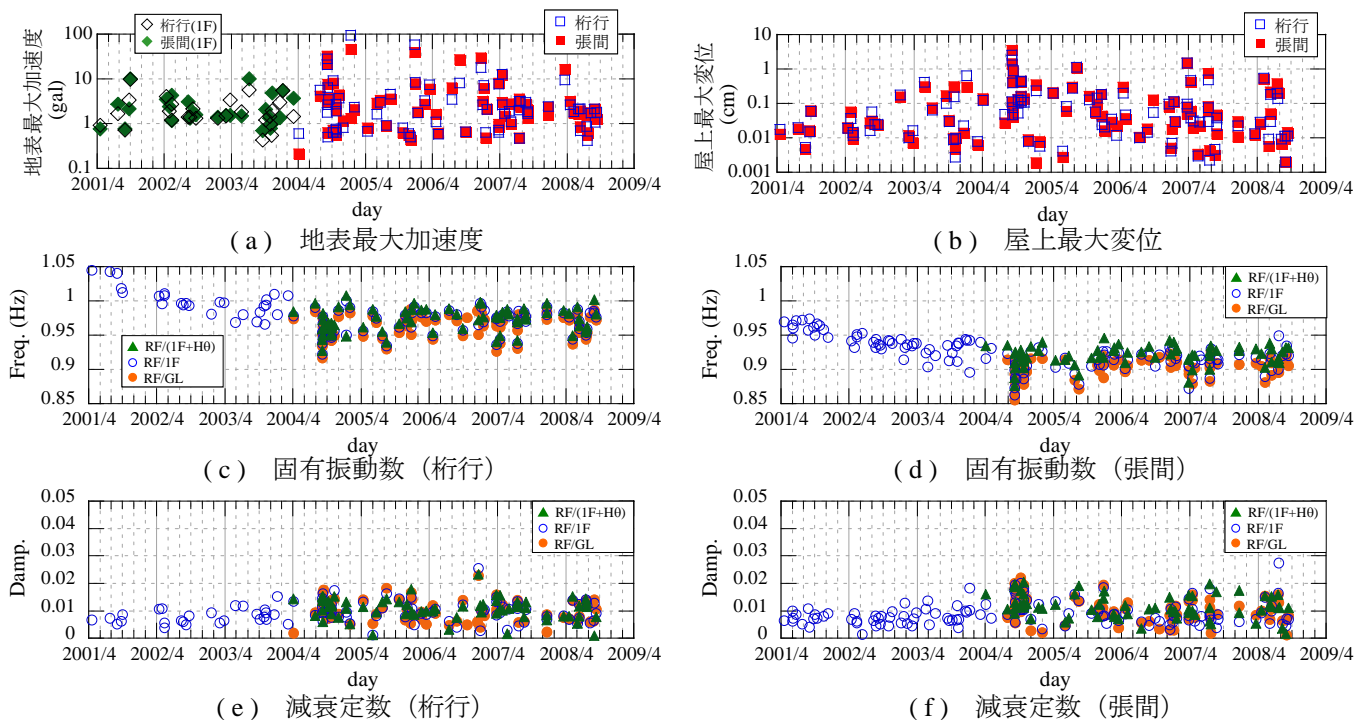


図 4 S 造建物の観測最大値と固有振動数・減衰定数の推移

4. PCaPC 造建物の振動特性の推移

PCaPC 造建物の基本的な応答特性を見るために、2004 年 9 月 5 日の地震記録の伝達関数を図 5 に示す。図 5 より、桁行方向はスウェイの影響が強く、張間方向はロッキングの影響が強く出ていることが分かる。張間方向の $RF/(1F+H0)$ の 3Hz 付近に現れている振幅と位相の乱れは、別の地震記録でも現れているため、今後追加検討する予定である。

次に振動特性の継時変化について検討するために、図 6 に地表最大加速度、屋上最大変位、固有振動数、減衰定数の推移を示す。図 6(b) の $RF/(1F+H0)$ の固有振動数のばらつき、及び図 6(e) の $RF/(1F+H0)$ の減衰定数が、 RF/GL 、 $RF/1F$ の値よりも大きくなっているのは、図 5 に示したように $RF/(1F+H0)$ の振動システムが明確でないため、減衰を適切に評価できていないことが原因である。

図 6(c)~(e)に共通して、S 造建物に比べ動的相互作用の影響が強く現れているが、個々の地震による変動は小さいことが分かる。また、経年変化による固有振動数、減衰定数には明瞭な傾向は見受けられない。図 6(e)に着目すると、スウェイによって減衰が 2%程度増えている事が分かる。

5. 固有振動数と減衰定数の振幅依存性

固有振動数と減衰定数の振幅依存性を検討する

ために、図 7、図 8 に屋上最大変位と固有振動数と減衰定数の関係を示す。

S 造建物は固有振動数、減衰定数とも明瞭な振幅依存性が認められる。これに対し、PCaPC 造建物では固有振動数には若干の振幅依存性が見られるが、減衰定数に振幅依存性は認められない。この原因として、S 造建物は外壁 PC の接合方法や内壁の影響等が考えられるが、まだ特定できていない。

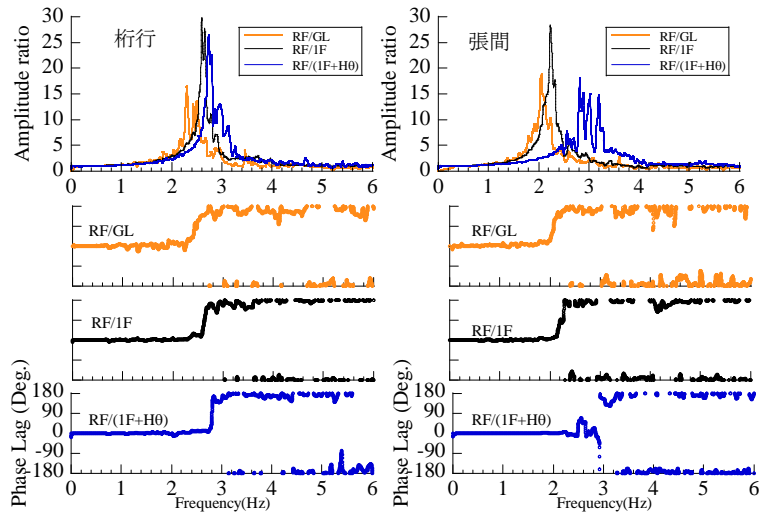


図 5 PCaPC 造建物の伝達関数

(左：桁行方向，右：張間方向

上から振幅，位相 [RF/GL , $RF/1F$, $RF/(1F+H0)$])

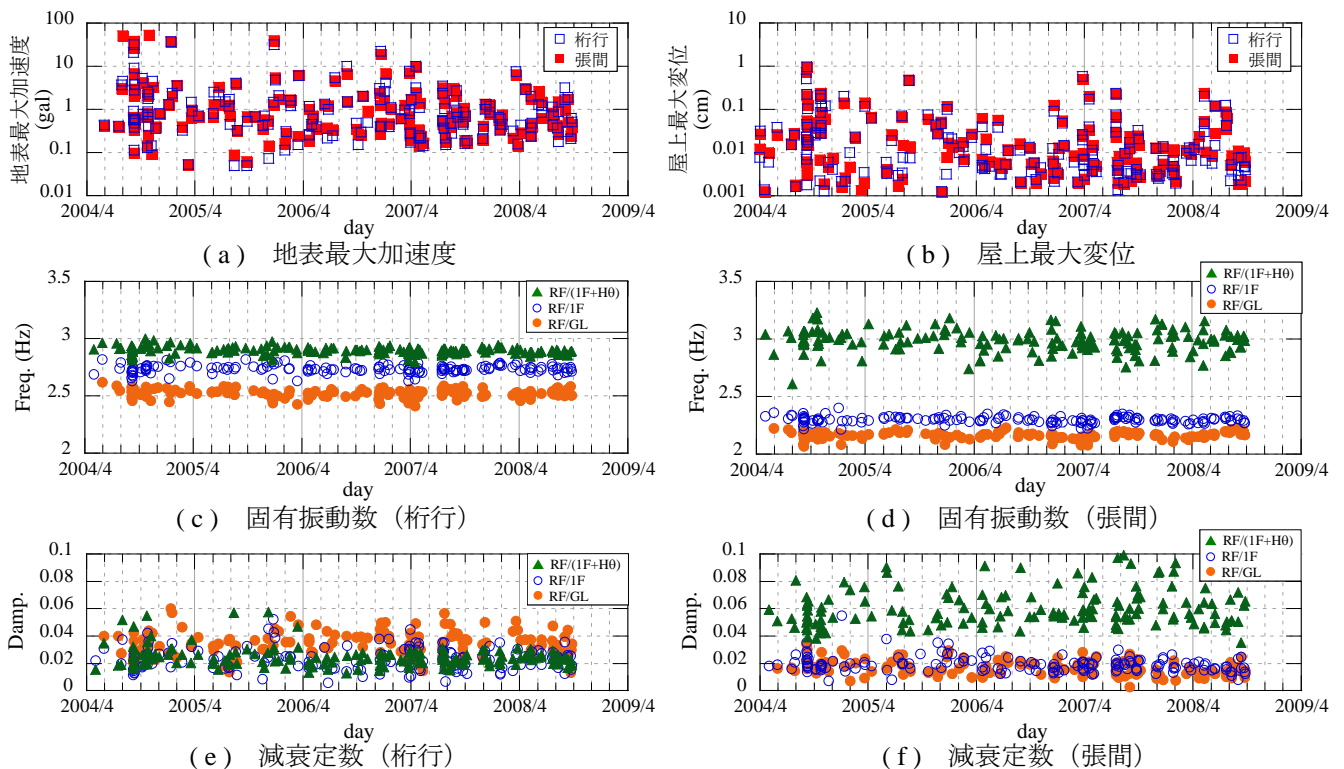


図 6 PCaPC 造建物の観測最大値と固有振動数・減衰定数の推移

6. まとめ

S 造建物と PCaPC 造建物の地震観測記録から、固有振動数と減衰定数の経年変化と振幅依存性について分析した。その結果、S 造建物では同期相互作用の影響が小さいこと、入居による固有振動数の変動と振幅依存性の存在が認められた。PCaPC 造建物は動的相互作用の影響が大きいこと、経年変化はほとんど認められないこと、固有振動数のみに若干の振幅依存性が現れて

いた。張間方向のロッキングについては、追加検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 福和他：観測記録に基づく微動時・強風時・地震時の建築物の応答性状の違いの分析，日本建築学会構造系論文集，No.598，pp.61-68，2005.12
- 2) 松井他：地盤・杭・建物の高密度強震観測に基づく PCaPC 造 7 階建て建物の振動特性，日本建築学会学術講演梗概集，B-2，pp.85-86，2005.9
- 3) Tobita, J. : Evaluation of Nonstationary Damping Characteristic of Structures under Earthquake Excitations, J. Wind Eng. and Industrial Aerodynamics, Vol.59, pp.283-298, 1996

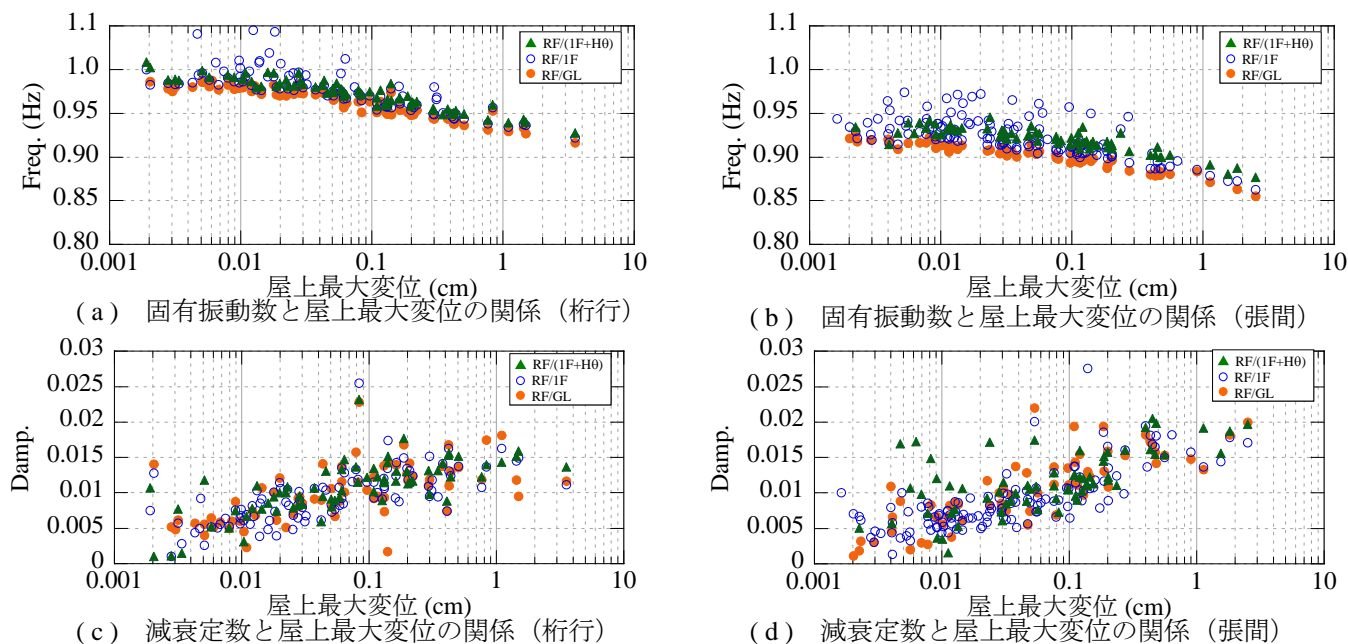


図7 S 造建物の固有振動数・減衰定数と屋上最大変位の関係

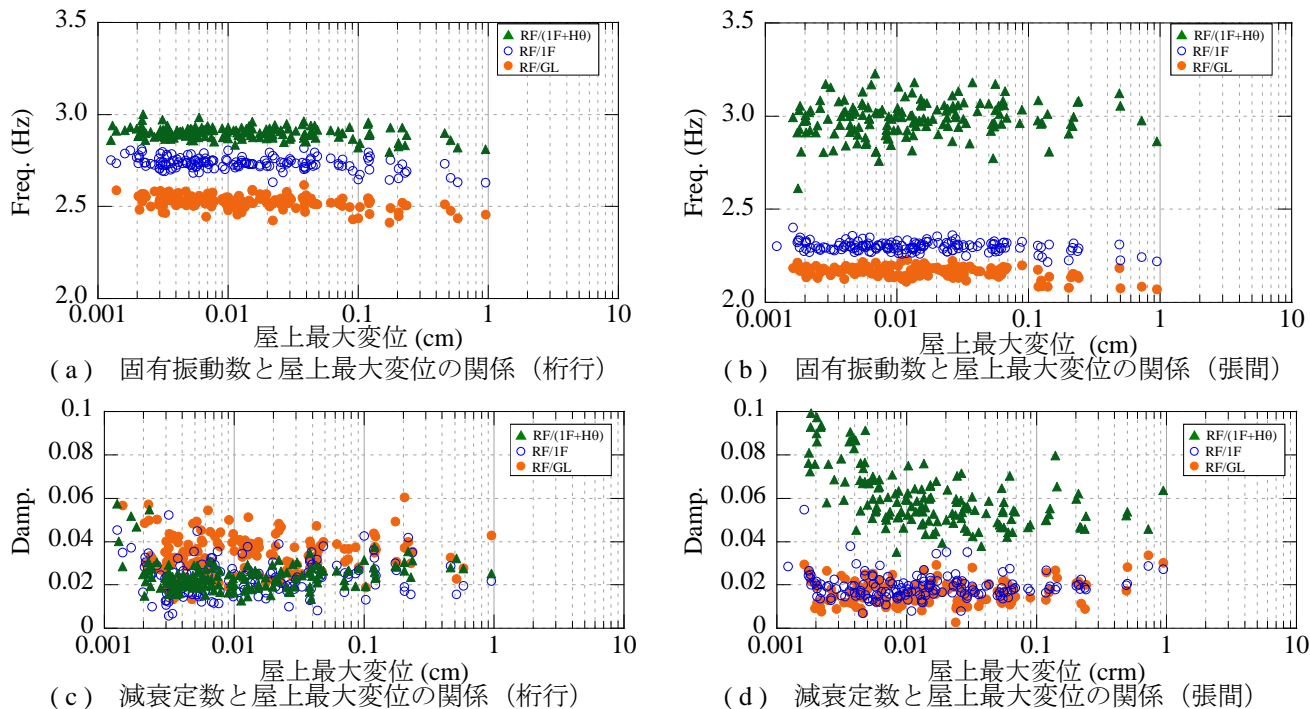


図8 PCaPC 造建物の固有振動数・減衰定数と屋上最大変位の関係