

高密度観測・強制加振実験に基づく PCaPC 造建物の立体振動性状に関する研究

正会員 ○海野元伸^{*1} 同 小島宏章^{*2}
同 飛田 潤^{*3} 同 福和伸夫^{*4}

高密度観測 強制加振実験 常時微動
立体振動 動的相互作用 共振曲線

1. はじめに

近年、微動・強震観測技術は観測機器の発展や観測体制の整備により進歩が著しく、多点多成分観測記録によって建物の振動性状を考察することが可能である。本論では常時微動計測と、室内に設置された振動台を使用して加振源が明快な強制加振実験を実施することで、微動・強震観測に基づく振動特性分析の有用性を把握することを目的とした。その為、強震観測体制が整備されている PCaPC 造 7 階建て建物¹⁾を対象として、さらに高密度な観測体制を構築し、計測を行った。

2. 振動実験の内容

実験では建物や地盤の立体振動性状を検証する為に、従来の観測点に加え新たに各階中央、1 階床面、周辺地盤に微動計等を設置して、全 31 カ所 85 成分の観測体制を構築した。また 4 階西端の振動台²⁾を加振源として加速度を測定し、張間方向 70kg、桁行方向 1,050kg の可動部重量を乗じ、加振力を求めた。表 1 に実験項目を、図 1 に観測体制配置図を示す。常時微動計測は昼夜 2 回行った。加振はスイープ加振と、その精度確認の為に正弦波加振の 2 種類を行った。

3. 常時微動時と地震時における建物の振動性状

図 2 に夜の微動時における伝達関数を、図 3 に 2009.8.11 駿河湾の地震における伝達関数を示す。また表 2 と表 3 にカーブフィット法で推定した微動時と地震時の固有振動数・減衰定数を示す。なお、モード形から桁行方向とねじれの連成を確認している。微動時において張間方向はロッキング率 18.3%、スウェー率 9.7%に対し、桁行方向はロッキング率 6.5%、スウェー率 13.5%である。微動時に対して地震時の固有振動数は低下傾向にあるが、減衰定数にばらつきが見られる。

4. 共振曲線

図 4 に各方向でスイープ加振により得られた各階中央点の共振曲線及び加振力との位相曲線、コヒーレンスを示す。図 4 の a)では 2.12Hz と 2.52Hz に共振点が現れ、並進 1 次とねじれの固有振動数と考えられる。一方 b)では桁行並進 1 次の共振点付近で、2.41Hz と 2.59Hz の近接した 2 つのピークが見られる。各位相は共振点で約 90 度であり、その時のコヒーレンスの乱れも少ない。3Hz 以降でコヒーレンスが乱れ始め、応答が下階から順に上昇していくと同時に位相も落ちていく

表 1 実験項目

No.	計測種類	加振内容(振動台設定)		
		方向(対象モード)	振動数範囲	振動数変化
1	常時微動計測	-	-	-
2		-	-	-
3	スイープ加振計測	張間(並進1次・ねじれ)	1.4⇒6.6Hz	上昇(0.01Hz/sec)
4		桁行(並進1次・ねじれ)	6.6⇒1.4Hz	下降(0.01Hz/sec)
5		桁行(並進1次・ねじれ)	1.4⇒6.6Hz	上昇(0.01Hz/sec)
6	ステップ加振計測	張間(並進1次)	6.6⇒1.4Hz	下降(0.01Hz/sec)
7		張間(ねじれ)	2.1⇒2.2Hz	0.01Hz刻み
8		桁行(並進1次・ねじれ)	2.4⇒2.6Hz	0.02Hz刻み
9			2.38⇒2.7Hz	0.02Hz刻み

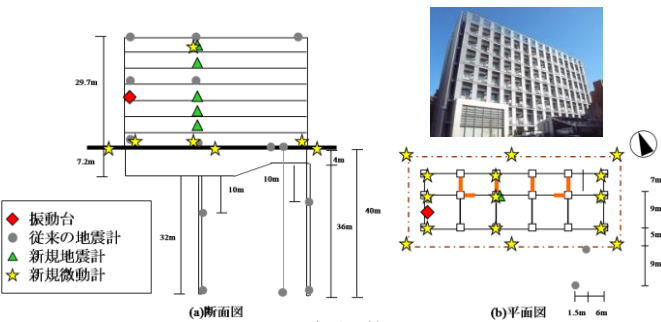


図 1 観測体制配置図

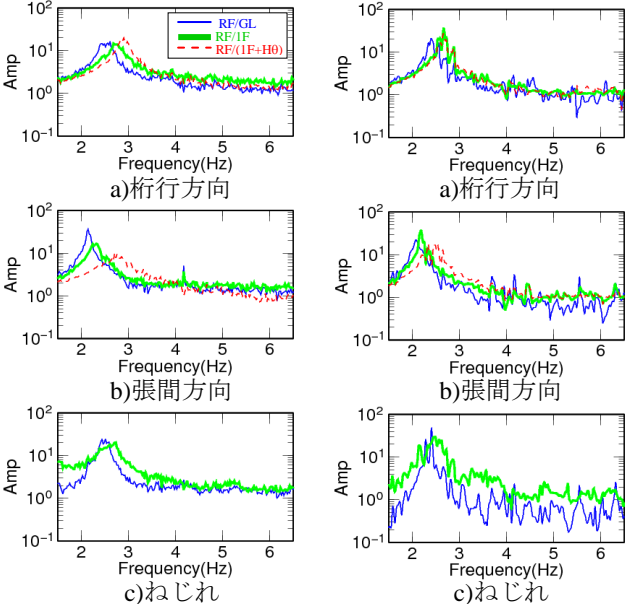


図 2 微動時の伝達関数 図 3 地震時の伝達関数

表 2 固有振動数 (微動時 / 地震時)

	桁行並進1次	張間並進1次	ねじれ
RF/GL	2.54 / 2.40	2.15 / 2.09	2.5 / 2.4
RF/IF	2.75 / 2.67	2.30 / 2.18	2.7 / 2.5
RF/(IF+H0)	2.90 / 2.66	2.75 / 2.45	-

(単位: Hz)

表 3 減衰定数 (微動時 / 地震時)

	桁行並進1次	張間並進1次	ねじれ
RF/GL	2.9 / 2.5	1.2 / 2.1	-
RF/IF	3.2 / 1.7	2.7 / 1.3	-
RF/(IF+H0)	2.5 / 2.0	5.6 / 2.0	-

(単位: %)

が、この原因として 2 次モードへの移行段階にあることが挙げられる。最上階の共振曲線に対してねじれを考慮したパラメータ推定を行う為、図 5 に示す 2 軸剛性偏心の 1 質点 3 自由度系モデルを用いて得られた連成振動を考慮した振動方程式(1)によるカーブフィッティングを試みた。表 4 に各パラメータを、図 6 にフィッティング結果を示す。張間方向は 2.13Hz で 2.5%、桁行方向は 2.49Hz で 3.7%であった。ただし図 6 の b)での位相は実測値とずれており、さらなる検討が必要である。

$$\begin{bmatrix} m & 0 & me_y \\ 0 & m & me_x \\ me_y & me_x & m(e_x^2 + e_y^2) + I \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{\theta} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_x & 0 & 0 \\ 0 & C_y & 0 \\ 0 & 0 & C_{z\theta} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_x & 0 & 0 \\ 0 & k_y & 0 \\ 0 & 0 & k_{z\theta} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} f_y \cdots (1)$$

m :質量, e_x, e_y :剛性偏心距離, ρ :質量回転半径, $I = m\rho^2$:回転慣性質量,

f_y :y方向外力, $\tilde{k}_{yx} = \sqrt{\frac{k_x}{k_y}}$:振動数比, $\omega_y = \sqrt{\frac{k_y}{m}}$:非連成並進(y方向)固有円振動数,

$r_{y\theta} = \sqrt{\frac{k_{z\theta}}{k_y}}$:剛性半径, x, y, θ :x,y方向並進変位およびねじれ回転角

5. モード形状と立体振動性状

図 7 に共振曲線の各ピーク時における様子を示す。図 7 の a)2.12Hz では各階の軌跡が直線状かつ並行に振動し、1 階床面も平面を保持したままロッキングしている。2.52Hz では軌跡が円を描き、建物両端が逆位相でねじれ振動すると同時に、1 階床が面外変形している。b)2.41Hz と 2.59Hz では加振力の偏心が少ないに

も関わらず、並進とねじれの連成振動をしている。

6. 周辺地盤の振動性状

図 8 に各方向でスイープ加振により得られた建物周辺の地盤観測点である南西、南中、南東の共振曲線及び加振力との位相曲線、コヒーレンスを示す。建物の共振点となる振動数で応答が大きくなり、位相にも影響があることから、地盤は建物振動により応答が励起されている。このことは、強震観測の際に、地盤観測点が建物振動の影響を受けていることを示唆している。

7. まとめ

今回の実験で、比較的整形な建物でも立体振動性状や相互作用、床変形等を詳細に検討すると複雑な挙動となっており、多点高密度観測の意義があることが実証された。今後の課題は得られた知見について説明可能な振動解析モデル構築を検討することで、実測とモデル双方の視点から建物の振動性状を適切に評価することが必要である。

参考文献: 1)榎原啓太、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第 13 巻,第 25 号,pp65-68,2007.6 2)護雅史、福和伸夫、飛田潤:減災行動を誘導するための総合型地震応答体感環境の構築,日本建築学会技術報告集第 15 巻,第 30 号,pp605-610,2009.6

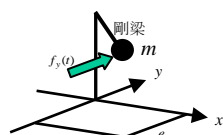


図 5 モデル概念

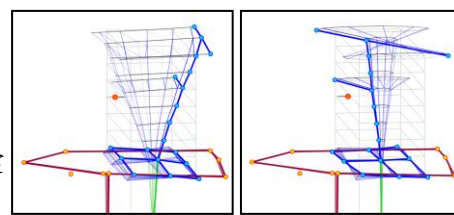
表 4 パラメータ設定

a)張間方向加振時

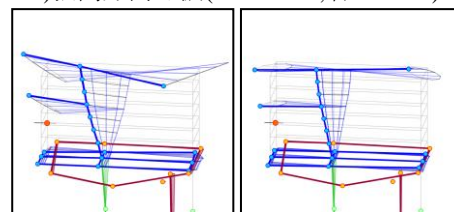
パラメータ	x方向 (桁行)	y方向 (張間)	θ方向
固有振動数(Hz)	2.480	2.120	2.520
減衰定数(%)	3.000	2.500	3.000
偏心距離(m)	0.156	0.324	-
質量(t)	7500		
回転慣性(t・m ²)	455130		

b)桁行方向加振時

パラメータ	x方向 (張間)	y方向 (桁行)	θ方向
固有振動数(Hz)	2.120	2.410	2.450
減衰定数(%)	2.400	3.400	3.100
偏心距離(m)	0.324	0.156	-
質量(t)	7500		
回転慣性(t・m ²)	455130		



a)張間方向加振(左:2.12Hz,右:2.52Hz)



b)桁行方向加振(左:2.41Hz,右:2.59Hz)

図 7 共振曲線の各ピーク時の様子

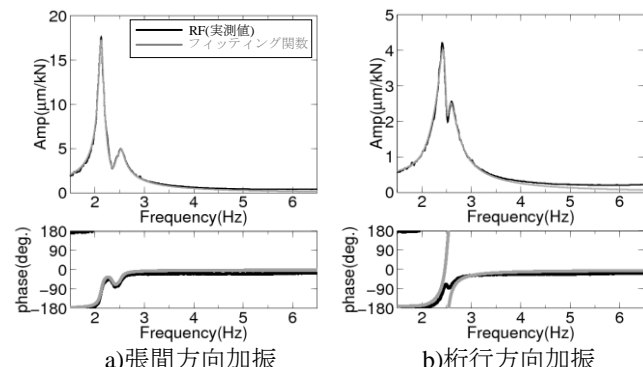


図 6 共振曲線のフィッティング結果

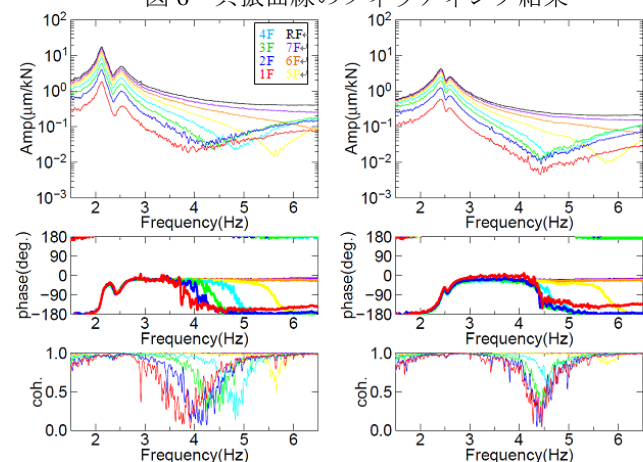


図 4 各階中央点の共振曲線

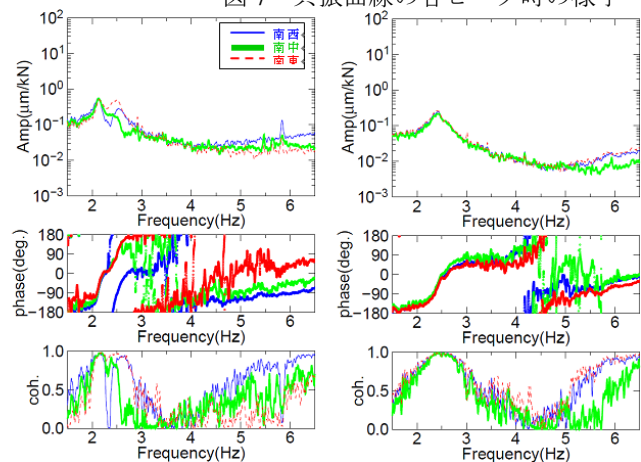


図 8 地盤点の共振曲線

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

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