

PCaPC 造建物の高密度観測・強制加振実験に基づく微動・強震観測の有効性に関する考察

名古屋大学工学部社会環境工学科
建築学コース福和研究室 海野元伸

1. 背景と目的

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、原子力発電所をはじめとする重要建物や免震建物等に幅広く適用されている。一方で建築物の大半を占める中低層建物は、構造形式や建物形状が多様で、地盤と建物の動的相互作用が比較的影響しやすい為、これらの建物の立体振動特性を解明する上で、多点多成分観測記録の果たす役割は大きい。よって、今後建物の微動・強震観測を行う際に、より詳細な建物や地盤の振動特性が得られるような観測体制を構築することは重要である。

本研究室では、数多くの建物で微動・強震観測等を行っており、蓄積された記録も豊富である。本論ではその内の1つであり、強震観測体制が整備されているPCaPC造7階建て建物を対象として、さらに高密度な観測体制により計測を行った。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する。

2. 対象建物における既往の研究

対象建物は名古屋大学環境総合館である。この建物に関するこれまでの研究で得られた知見を以下にまとめて示す。

- 1)地盤-建物連成系の1次固有振動数は張間方向が約2~2.2Hz、桁行方向が約2.4~2.6Hz、ねじれが約2.4~2.6Hzであり、強震記録から振幅依存性が確認されている。
- 2)減衰定数は張間方向が約1~2%、桁行方向が約1~2.5%とばらつきがある。
- 3)張間方向より桁行方向の固有振動数が大きい理由は、腰壁、垂壁と梁の一体化や、PC床版のリブが剛性を高めている点が挙げられる。
- 4)重量が大きく剛性の高い建物である為、地盤との動的相互作用効果が明確で、張間方向ではロッキングの影響が大きい。また整形な建物だがねじれの影響がある。

3. 振動実験の内容

実験では建物や地盤の振動特性を検証する為に、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の可動部重量をかけ、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ステップ加振の2種類を行った。

4. 常時微動時と地震時における建物の振動特性

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。桁行方向とねじれが連成していることが分かる。微動時において張間方向はロッキング率18.3%、スウェイ率9.7%に対し、桁行方向はロッキング率6.5%、スウェイ率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、減衰定数はばらつきが見られる。

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	振幅
1	常時微動計測	-	-	-	-
2		-	-	-	-
3		-	-	-	-
4	スイープ加振計測	張間(並進1次・ねじれ)	1.4→6.6Hz 6.6→1.4Hz	上昇(0.01Hz/sec) 下降(0.01Hz/sec)	1800gal一定
5		桁行(並進1次・ねじれ)	1.4→6.6Hz 6.6→1.4Hz	上昇(0.01Hz/sec) 下降(0.01Hz/sec)	270gal一定
6		張間(並進1次)	2.1→2.2Hz	0.01Hz刻み	10cm一定
7	ステップ加振計測	張間(ねじれ)	2.4→2.6Hz	0.02Hz刻み	7.0cm一定
8		桁行(並進1次・ねじれ)	2.38→2.7Hz	0.02Hz刻み	1.0cm一定
9		桁行(並進1次・ねじれ)	2.38→2.7Hz	0.02Hz刻み	1.0cm一定

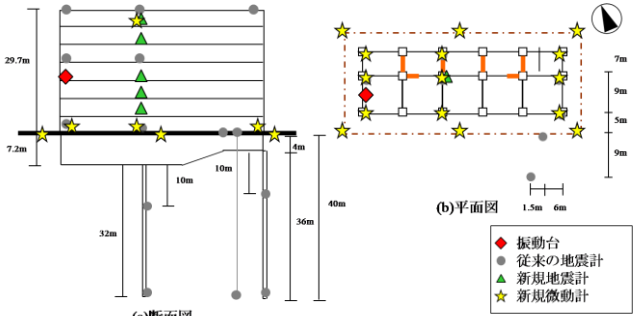


図1 観測体制配置図

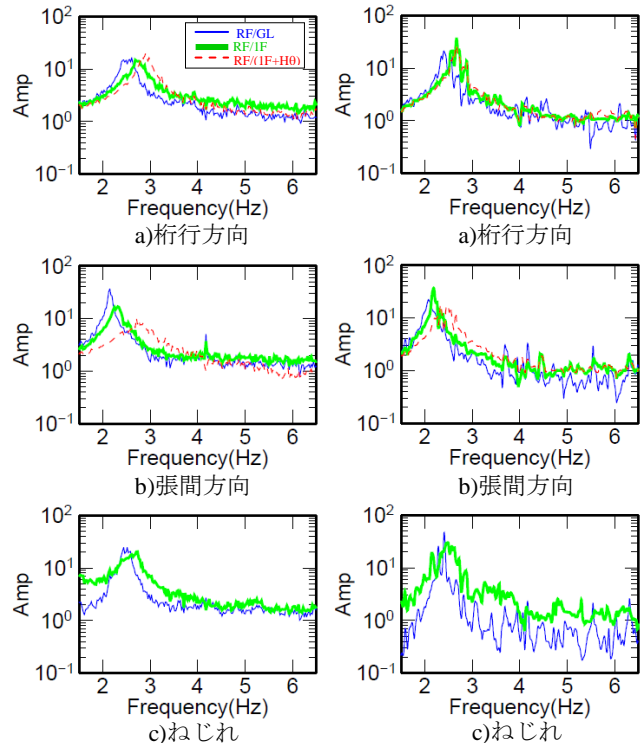


図2 微動時の伝達関数

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/1F	2.75 / 2.67	2.30 / 2.18	2.7 / 2.5
RF/(1F+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/1F	3.2 / 1.7	2.7 / 1.3	-
RF/(1F+H0)	2.5 / 2.0	5.6 / 2.0	-

(単位:%)

5. 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。張間方向加振時では2.12Hzと2.52Hzに共振点が見れ、並進1次とねじれの固有振動数と考えられる。一方桁行方向加振時では桁行並進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。各々の1つ目のピークにカーブフィット法を適用した結果、張間方向は2.12Hzで3%、桁行方向は2.41Hzで3%であった。桁行方向についてはねじれと近接している為減衰評価は難しい。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。

6. モード形状と立体振動特性

図5に張間方向スイープ加振時のモード形が移り変わる様子を示す。加振振動数が上昇するにつれ、下階から応答が減少し、2次モードの節目が現れて上階へ移動していく様子が分かる。またロッキングの影響も小さくなる。

図6に共振曲線の各ピーク時における様子を示す。張間方向加振2.12Hzでは各階の軌跡が直線状かつ並行に振動しており、1階床面も平面を保持したままロッキングしている。一方2.52Hzでは軌跡が円を描き、建物両端が大きく逆位相でねじれ振動しているとともに、1階床が面外変形している。桁行方向加振2.41Hzと2.59Hzでは加振力の偏心が少ないにも関わらず、並進とねじれ双方を含む振動モードとなっている。特に2.41Hzでは北端のロッキングが卓越する一方で、南端のロッキングの影響が小さくなる結果が得られた。

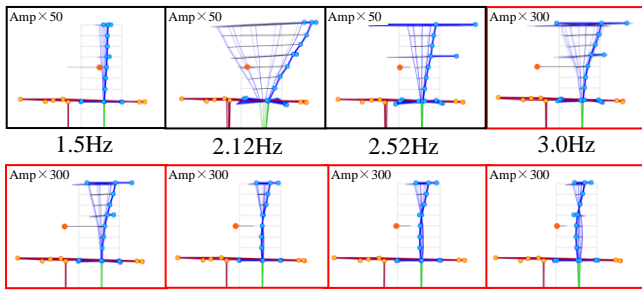


図5 張間方向スイープ加振時の各モード形の様子

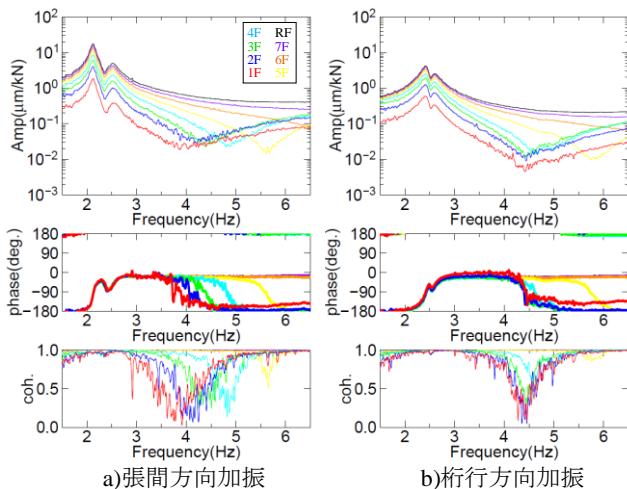


図4 各階中央点の共振曲線

7. 周辺地盤の振動特性

図7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。各方向加振時ともに建物の共振点で応答が大きくなっており、並進1次では位相が約90度、ねじれでは南西と南東が逆位相であることから、地盤は建物振動に付随して振動していることが分かる。よって強震観測の際に、地盤観測点が建物振動の影響を受けないよう地盤点を設置する必要がある。特に建物の共振時には注意が必要であると考えられる。

8. まとめ

今回の高密度観測と強制加振実験により、比較的整形な建物でも立体振動特性や相互作用、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。今後の課題としては、得られた知見について原因を解明する必要がある。また他の中層建物についても同様の現象が得られる可能性がある為、今回の結果や知見を活かしつつ、様々な建物で微動・強震観測性能の向上を目指す必要がある。

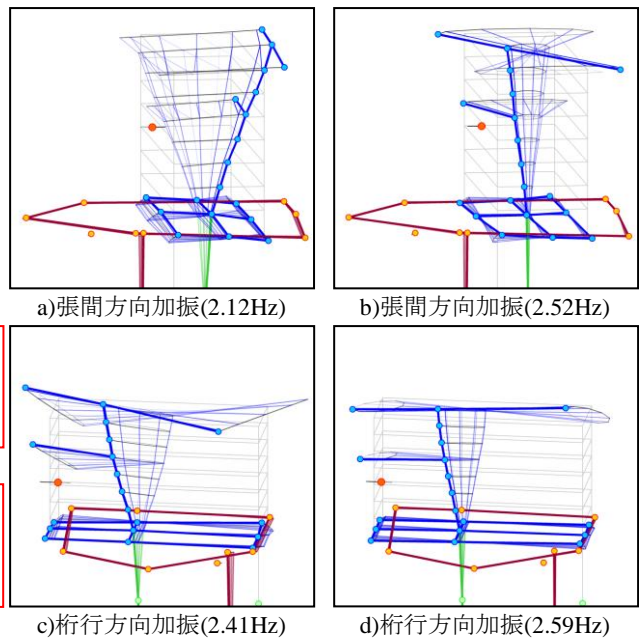


図6 共振曲線の各ピーク時の様子

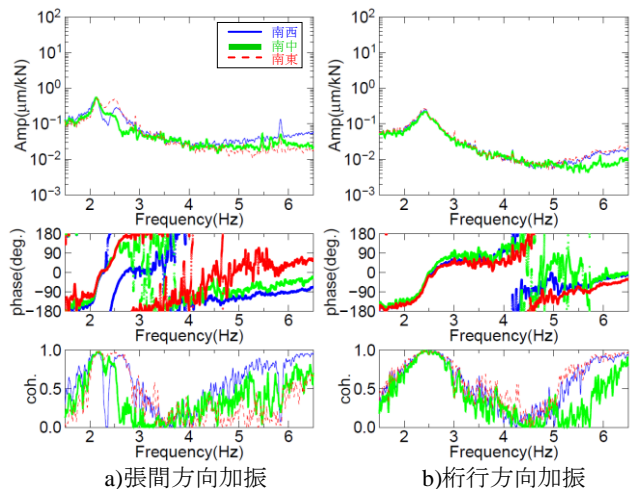


図7 地盤点の共振曲線