

常時微動計測に基づく中低層事務所建物の振動特性に関する研究

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 平田悠貴

1. 背景と目的

超高層建築物や免震などの特別な構造物に関しては、強震観測などに基づく振動特性の検討が行われている。一方で、建築物の大多数を占め、地盤と建物の相互作用が大きく、建物の形状も様々な中低層建物の振動特性に関する実証的検討は十分ではない。多数の中低層建物に対して実測により振動特性を解明し、データベース化して、全体としての傾向を捉えることは極めて重要である。

本研究室ではこれまで、学校や集合住宅に対し常時微動計測を行い、振動特性に関する傾向分析及びデータベース化を行ってきた。比較的に明快な傾向を示す学校及び集合住宅に対し、職業形態に応じて様々な構造形式をとる事務所建物がどのような傾向を示すかについて、分析・データベース化を行うことの意義は大きい。本論では中部電力のRC・SRC造中低層事務所49棟を対象に、建物の基本的な振動特性を把握できる共通の観測点配置で常時微動計測を行い、結果の傾向分析及びデータベース化を行った。また、SRC造10階建て大規模事務所建築物に対して高密度常時微動観測を行い、高次振動やねじれを含む詳細な立体振動特性の分析を行った。

2. 実測及びデータベース概要

今回対象とした建物群は、中部電力の中低層RC・SRC造事務所建物49棟である。常時微動計測は、2007年2月10日から同年9月30日の期間で実施し、対象建物それぞれについて、地盤、1階中央、1階短辺、1階長辺、屋上の計5点に、3チャンネル微動計を設置した。1階において、中央以外に短辺方向と長辺方向の端部に微動計を設置することで、建物-地盤連成系(以下RF/GL)及び基礎固定系(スウェイ固定、以下RF/1F)だけでなく、建物の基礎固定系(スウェイ・ロッキング固定、以下RF/(1F+H0))での振動特性を求めることができる。本論では、RF/1F及びRF/(1F+H0)での固有周期及び減衰定数を推定した。また本論で構築するデータベースの項目を表1に、また全49棟に関する主要な値を表2に示す。さらに、対象建物の概要を図1、2に示す。4階以下のRC造がほとんどを占めており、1割強は耐震性が十分ではないことがわかる。

3. 計測結果と考察

計測結果に基づく固有振動数・減衰定数の推定の際、伝達

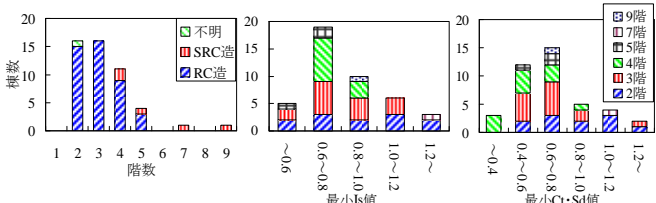


図1 構造形式と階数

図2 最小Is及びC_T・S_D値と階数

表1 データベース収録項目

1.名称	2.所在地	3.竣工年	4.構造	5.階数
6.用途	7.階高	8.軒高	9.建築面積	10.スパン数
11.スパン長	12.基礎構造	13.鉄塔有無	14.配置図	15.N値
16.地質図	17.Is値(各階・最小)	18.C _T ・S _D 値(各階・最小)	19.固有振動数(長・短辺)	20.減衰定数(長・短辺)
21.計測日	22.計測時風速	23.センサー配置図		

関数のピークの明瞭性、位相差との対応度に応じて、推定結果の信頼性の高い順にA、B、Cに分類し、信頼性が著しく低いC分類については推定結果を除外して分析を行った。表2においてもこれらの数値は記載していない。

軒高と固有周期:図3にRF/1F及びRF/(1F+H0)の軒高と固有周期の関係を示す。これより、ばらつきはあるが、軒高と固有周期に明確な比例関係があることが分かる。回帰直線の傾きは一般的なRC建物のT=0.02hよりやや小さく、長辺が短辺より固有周期がやや短いという結果となった。これは長辺が短辺より壁耐力分担率が大きく、壁が多いことが一因と考えられる。また、RF/1F及びRF/(1F+H0)を比べると、RF/(1F+H0)はロッキングが除かれたことによって、固有周期係数にして長辺0.0006、短辺0.0005の固有周期の短周期化がみられた。

軒高と減衰定数:図4に軒高と減衰定数の関係を示す。RF/1F及びRF/(1F+H0)の短辺・長辺共に、軒高が低いときにばらつきが大きくなる傾向が明確に読み取れる。これは、低層建物の方が中層建物よりも剛体的に振動するため、1Fと屋上間での振動の増幅が小さくピークが低く明確なピークが現れないことにより、正確な減衰評価ができなかったことが原因と考えられる。

最小C_T・S_D値と固有振動数:図5に最小C_T・S_D値と固有振動数の関係を示す。図より最小C_T・S_D値と固有振動数の関係は、短長辺共に最小C_T・S_D値の増加に伴い固有振動数が増加する傾向がわかる。また、2、3階建ての低層建物ほど最小C_T・S_D値増加に伴う固有振動数の増加傾向が大きい。一方で、5階以上の建物では、サンプル数は少ないが、最小C_T・S_D値増加に伴う固有振動数の増加傾向は見られない。

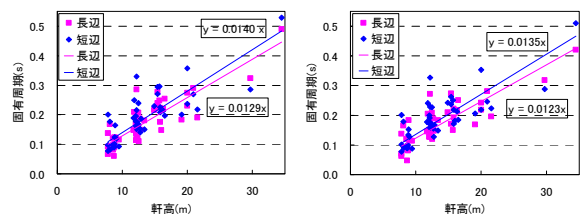


図3 固有周期と軒高(左:RF/1F、右:RF/(1F+H0))

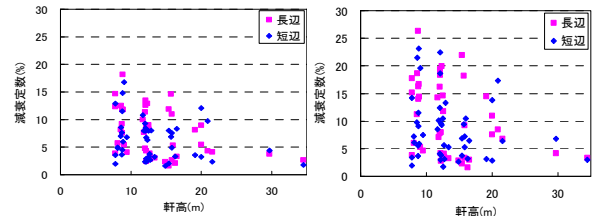


図4 減衰定数と軒高(左:RF/1F、右:RF/(1F+H0))

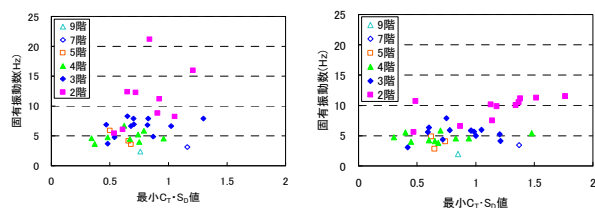


図5 最小C_T・S_D値と固有振動数(左:長辺、右:短辺)

表2 データベース主要収録項目

建物名	竣工年	階数	軒高	用途	建築面積 (㎡)	構造	基礎	最小4値		最小CT・SD		固有振動数(Hz)		減衰定数(%)	
								EW	NS	EW	NS	長辺	短辺	長辺	短辺
1 刈谷営業所	1959	2	8.1	営業所	545	RC	直接	0.61	0.66	0.61	0.47	6.1	5.6	6.0	7.2
2 大谷営業所	1982	2	8.7	SS	324	RC	直接	1.19	1.52	1.19	1.52	11.3	11.3	3.7	3.7
3 船方営業所	1982	2	8.5	SS	420	RC	直接	0.91	1.76	0.91	1.76	8.8	11.5	4.7	7.5
4 名産営業所	1982	2	8.8	SS	400	RC	柱	1.05	1.34	1.05	1.34	8.3	10.0	16.3	11.5
5 四日市営業所	1957	2	8.9	営業所	721	RC	直接	0.65	0.69	0.54	0.87	5.4	6.6	14.4	5.9
6 浜北営業所	1981	2	8.7	営業所	235	RC	直接	0.86	1.15	0.84	1.13	21.2	10.1	26.3	5.6
7 田原SS	1976	2	8.9	SS	546	RC	柱	0.65	1.14	0.65	1.14	12.4	7.5	16.7	23.2
8 瀬川SS	1984	2	8.7	SS	440	RC	柱	1.53	1.55	1.54	1.57	16.0	9.9	15.2	3.4
9 徳島SS	1979	2	7.8	SS	216	RC	直接	1.21	1.18	1.21	1.18	16.0	9.9	15.2	3.4
10 上野営業所	1981	2	8.8	営業所	556	RC	直接	0.58	0.57	0.72	0.37	12.3	10.5	14.0	9.1
11 尾鷲営業所	1987	2	8.6	営業所	680	RC	柱	0.92	0.49	0.92	0.49	11.2	10.7	18.7	21.5
12 鬼矢作電力所	2	7.8	電力	627								14.4	13.0	17.8	14.2
13 刈谷営業所増築	1984	2	9.1	営業所	210	RC	直接					8.4	7.9	5.3	19.6
14 豊科営業所	1988	2	8.2	営業所	563	RC	直接	1.41	1.38	1.41	1.38		11.2		6.1
15 伊那電力所	1997	2	7.8	電力	570	RC	柱					7.3	5.0	3.8	1.9
16 大井川電力センター	1983	2	8.6	電力	945	RC	柱					8.4	10.2	11.2	9.8
17 録電力センター	1979	3	12.1	電力	576	RC	柱	0.70	1.00	0.70	1.00	7.9	5.0	16.2	12.4
18 平田営業所	1974	3	11.2	営業所	1275	RC	柱	0.88	1.21	0.87	1.21	4.9	4.2	7.1	10.1
19 豊橋営業所	1962	3	12.2	営業所	785	RC	直接	0.39	0.34	0.48	0.42	3.7	3.1	2.8	3.8
20 桑名営業所	1978	3	12.1	営業所	920	RC	柱	0.83	1.21	0.83	1.21	7.9	5.3	18.4	22.5
21 松坂営業所	1968	3	11.7	営業所	690	RC	柱	1.01	0.99	0.71	0.99	6.9	5.7	14.3	8.5
22 四日市電力	1981	3	12.1	電力	570	RC	直接	0.66	1.05	0.66	1.05				
23 駒ヶ野営業所	1959	3	12.2	営業所	524	RC	直接					5.5	4.4	8.0	9.6
24 中村営業所	1978	3	12.5	営業所	800	RC	直接	0.64	0.75	0.54	0.72	4.8	4.4	14.6	10.5
25 加茂営業所	1970	3	12.6	営業所	546	RC	直接	1.02	0.59	1.02	0.59	6.6	5.6	7.7	4.1
26 天白営業所	1978	3	12.1	営業所	775	RC	柱	0.85	0.96	0.68	0.96	6.6	5.8	19.4	18.6
27 一弘営業所	1970	3	12.7	営業所	1172	RC	直接					5.5	6.5	4.1	5.6
28 蒲原SS	1968	3	12.1	SS	450	RC	直接	0.82	0.75	0.82	0.75	6.8	7.9	3.5	3.1
29 長野電力センター	1979	3	12.4	電力	517	RC	柱	0.74	0.98	0.47	0.96	6.9	5.9	20.0	9.3
30 大町電力	1992	3	13.4	電力	670	RC	柱					5.5	6.8	3.3	5.3
31 伊那営業所	1966	3	12.2	営業所	690	RC	柱	1.30	0.60	1.30	0.60	7.9	6.4	4.1	3.0
32 静岡電力センター	1978	3	12.6	電力	573	RC	直接	0.90	0.90	0.65	0.78	8.3	5.9	11.8	1.7
33 春日井営業所	1970	4	15.4	営業所	750	RC	直接	0.62	0.68	0.37	0.68	3.7	3.8	2.3	3.7
34 瀬川営業所	1983	4	15.3	営業所	440	RC	柱	0.74	0.70	0.74	0.70	5.2	5.9	3.4	5.3
35 徳島営業所	1969	4	18.0	営業所	400	RC	直接	0.90	0.80	0.68	0.40			5.5	10.5
36 浜松営業所	1981	4	16.5	営業所	880	SRC	柱	0.74	1.25	0.75	1.48	4.0	5.4	3.0	6.4
37 大垣営業所	1964	4	15.7	営業所	525	RC	直接	0.70	0.60	0.62	0.45	6.7	4.0	18.3	9.4
38 録電営業所	1970	4	15.8	営業所	1115	RC	柱	0.66	0.93	0.67	0.94	4.5	4.6	9.2	7.2
39 碧倉電力センター	1999	4	20.0	電力	642	SRC	柱	0.96	0.83	0.96	0.83	4.6	4.6	11.0	13.8
40 磐田営業所	1992	4	16.3	営業所	740	RC	柱	0.74	0.80	0.34	0.30	4.6	4.7	1.6	3.2
41 高山営業所	1969	4	14.9	営業所	410	RC	直接	0.72	0.94	0.48	0.65	4.8	4.1	2.8	2.7
42 上田営業所増築	1963	4	13.5	営業所	650	RC	柱	1.12	0.99	0.70	0.44				
43 清水営業所	1971	4	15.4	営業所	565	RC	柱	0.79	0.60	0.79	0.60	5.9	4.2	21.9	6.9
44 滝営業所	1979	5	20.5	営業所	845	RC	柱	0.68	0.74	0.68	0.74	3.6	4.1	8.4	17.3
45 北営業所	1980	5	20.0	営業所	1010	SRC	直接	0.85	0.79	0.66	0.65	4.1	2.8	7.6	2.8
46 上田電力	1979	5	21.8	電力	610	RC	直接					5.1	4.5	6.8	6.4
47 伊勢営業所	1955	5	18.1	営業所	1280	RC	柱	0.50	0.62	0.50	0.62	5.9	4.9	14.5	3.1
48 掛川営業所	1990	7	28.7	営業所	1280	SRC	柱	1.47	1.75	1.16	1.37	3.2	3.5	4.1	6.8
49 熱田営業所	1971	9	34.5	営業所	830	SRC	直接	0.94	0.85	0.76	0.85	2.4	2.0	3.3	3.0

5.大規模建築物の高密度常時微動計測

5.1 常時微動計測の概要

対象建物の中で最大のSRC造地上10階地下2階の建物については、多点同時の詳細な常時微動観測を行った。建物概要を図6と表3に示す。10階建て部分は長辺80m×短辺39mであり、壁の少ない整形なラーメン構造である。4階以下は壁の多いホール部分が西側にエクステンションジョイントなしで接続されており、この影響により、複雑な振動性状を示すことが予想される。図7に示すように、3ch微動計6台、1ch微動計19台を用いて、計25地点37chによる高密度常時微動計測を行った。

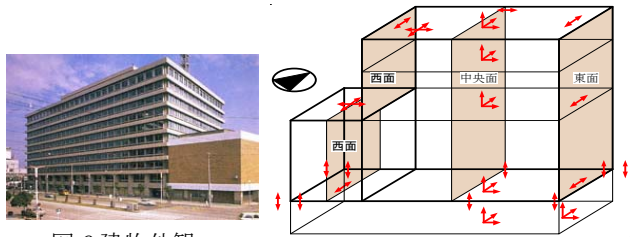


図6 建物外観

図7 観測点配置

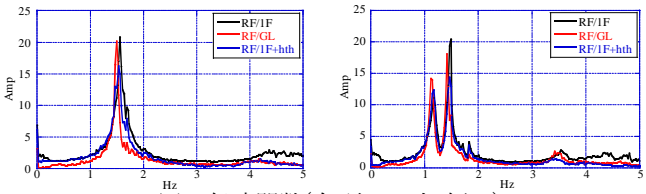


図8 伝達関数(右:長辺、左:短辺)

5.2 計測記録の分析

図8にRF/GL・RF/1F・RF/(1F+H0)の伝達関数を示す。並進1次のピークは、長辺方向は1.5Hz付近、短辺方向は1.1Hz付近に存在し、短辺方向のねじれ振動のピークは1.5Hz付近に存在する。モード形を分析するため、振動成分を並進、ねじれ、弓形の3成分に分けた。3成分それぞれの速度フーリエスペクトルを図9に示す。1.1Hz付近の並進1次にもねじれ成分が含まれ、1.5Hz付近のねじれ振動にも並進成分が含まれることが分かる。次に、平面内で伝達関数をとることで分析を行った。更に、モード形を求めるため、各モードが卓越する周波数帯にバンドパスフィルターを施した波形で、並進1次では屋上中央の応答が最大になる時刻、ねじれ振動では屋上東端の応答が最大になる時刻、並進2次では5階中央が最大になる時刻における各点での応答変位をプロットすることでモード形を求めた。図10、図11、図12に1次、2次、ねじれモードを示す。

以上より、並進1次モードは建物西側より東側が大きな振幅をとって振動すること、ねじれモードは建物東側をねじれ中心とするねじれ振動であり、短辺・長辺方向での連成していることが分かった。

7.まとめ

本研究では、中低層RC・SRC造事務所建物49棟及び、SRC造10階建て大規模事務所建物に関して、常時微動計測を行い、固有振動特性の推定を行うとともに、その結果を建物・地盤条件や耐震診断結果とあわせてデータベース化した。結果として、中低層RC・SRC造事務所建物の固有周期は建物高さに比例し大きくなること、減衰定数のばらつきは建物が高いほど小さくなることが分かった。SRC造10階建て大規模事務所建物については、高密度常時微動観測により不整形な建物形状に起因する複雑な立体モード形を明らかにした。今後は、実測に基づく固有周期及び減衰定数の推定の信頼性についての検証、及び一棟一棟の建物での詳細な分析を進める必要がある。また、SRC造10階建て大規模事務所建物に関しては、その振動性状が複雑であるため、今後その振動モードを視覚的に捉えられるよう、立体振動表現ツールの開発を行う予定である。

表3 建物概要

延床面積: 約50000㎡

階数: 地上10階 地下2階

高さ: 38.9m

用途: 事務所

構造種別: SRC造

基礎形式: 杭基礎

図9 速度フーリエスペクトル

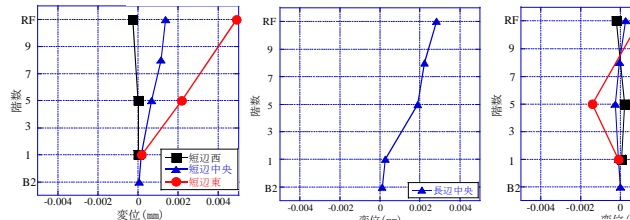


図10 1次モード(左:短辺、右:長辺)

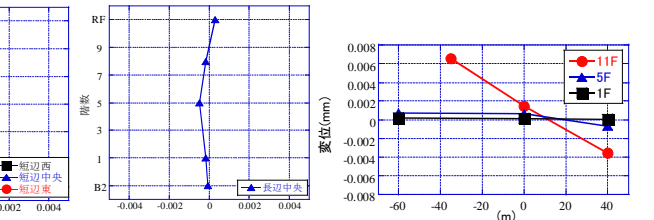


図11 2次モード(左:短辺、右:長辺)

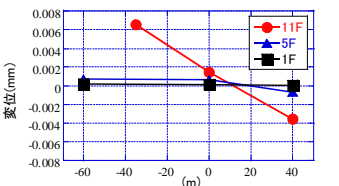


図12 ねじれモード