

## 6. RD法による建物の減衰特性

本章では、対象建物の減衰特性について検討するため、A棟、B棟の微動測定データから、建屋—地盤連成系の並進の1次振動数、ねじれの1次振動数ならびにロッキングの1次振動数に対する減衰定数を算出し、減衰定数の長辺方向、短辺方向の違い、類似形状である2棟の違い等について比較検討を行なった。また、得られた減衰定数の値について、既往の建物の実測結果と比較検討を行なった。

常時微動測定データによる減衰定数の推定方法としては、周波数応答データを用いる方法（カーブフィット法、ハーフパワー法、 $1/\sqrt{2}$ 法、位相勾配法）と自由振動波形を用いる方法がある<sup>2)</sup>。本章では、RD法による自由振動波形を用いた検討を行なった。なお、4章においてはスウェイ・ロッキング・建物系の伝達特性を算出する際、位相勾配法による減衰定数の推定を、7章では人力加振による自由振動波形を用いた方法で検討を行なっている。

### 6.1 RD法の概要<sup>1)</sup>

建屋頂部における常時微動の応答  $X(t)$  を、建屋の自由振動  $D(t)$  とランダムな外力  $F(t)$  による強制振動  $R(t)$  との和で表現できると仮定した場合、応答  $X(t)$  の時系列波形を、図 6.1 のように  $t=0$  において極大値となるように並べ時刻軸を揃えて重ね合わせると、 $\sum Xi(t)$  のうちランダムな強制振動成分の和  $\sum Ri(t)$  は 0 に近づき、自由振動成分の和  $\sum Di(t)$  のみが残り、この重ね合わせ波形はランダムな極大値  $Pi$  の和  $\sum Pi(t)$  を初期振幅とする自由振動波形となり次式で表せる。

$$\sum Di(t) = (\sum Pi) \exp(-h \omega_0 t) \cdot \cos \sqrt{(1-h^2) \omega_0 t} \quad (6.1)$$

エルゴード過程では、アンサンブル平均を時間平均に置き換えることが可能である。したがって、上記のアンサンブル平均の重ね合わせを、時間軸方向に極大値を1つずつずらしながら重ね合わせで算出することができる。実際の測定データでは、エルゴード性を仮定して時間平均に基づいた確率統計解析を行なう場合がある。

本章では、測定データに建物の1次固有円振動数  $\omega_0$  の狭帯域フィルターを施し、その重ね合わせ波形により、自由振動波形（RD波形）を算出し、その振幅の極値に最小2乗法を適用し減衰定数  $h$  を算出した。

### 6.2 データ処理の方法

各減衰定数を算出する際に使用したデータは、連成系の並進の1次振動数については屋上階のセンター位置の測定結果を用いた。ねじれ振動に対しては屋上階の南側と北側の測定記録の差を、また、ロッキング振動については1階床の東側と西側の上下方向の測定記録の差を利用した。

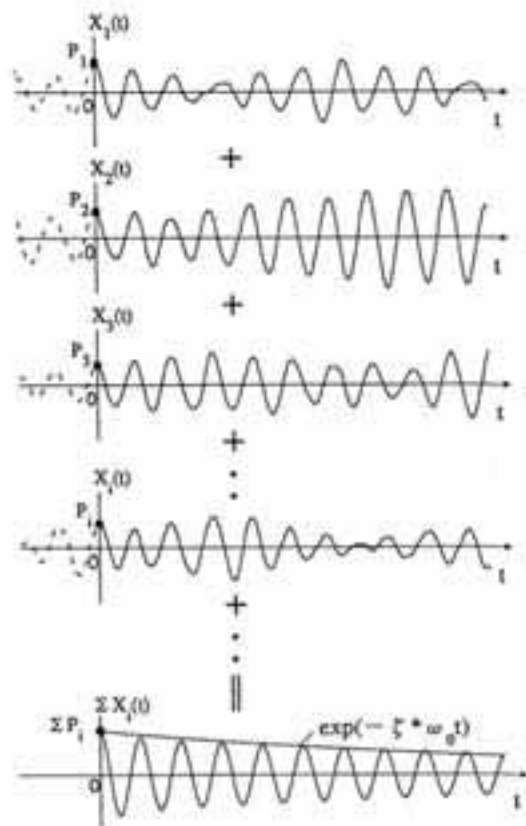


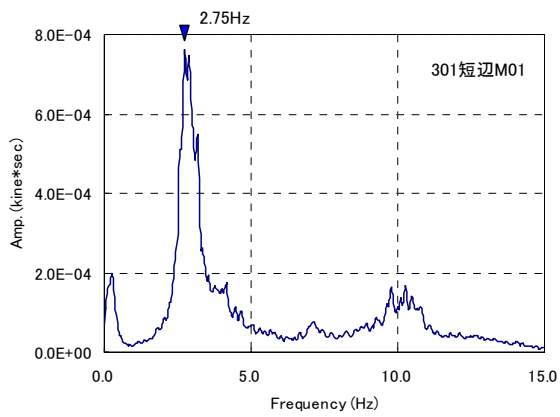
図 6.1 RD法の原理<sup>1)</sup>

RD法の適用にあたっては、上記の記録に狭帯域のバンドパスフィルター（バターフィルター）を施した。フィルターの周波数範囲は、各振動成分の1次ピーク振動数を考慮し、連成系の短辺・長辺方向の並進1

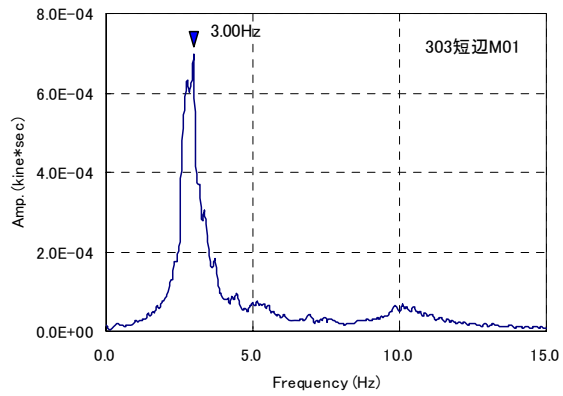
次振動成分およびロッキング成分については2～4 Hz のバンドパスを、また、ねじれ振動成分に対しては2～5 Hz のバンドパスとし、フーリエスペクトルの1次ピーク両側のスペクトルの裾野が入る程度のウィンドウ幅とした。各データのフーリエスペクトル（アンサンブル平均）の例を図 6.2 に示す。ロッキング成分のフーリエスペクトルにおいて、A 棟では10Hz 前後の高振動数成分が大きく、この成分は交通振動の影響と考えられる。このような非定常なノイズの影響を除去するため、フィルター処理は必要であると考えられる。

極大値を  $t=0$  に揃えて重ね合せするデータは、各極大値から5秒間とし、全区間（301号棟は600秒間、303号棟は500秒間、 $\Delta t=0.005$ 秒）にわたって重ね合せを行なった。重ね合せにより各自由振動波形（RD 波形）は、データの最大値で基準化し、この最大値から、8個目までの極大値に最小2乗法を適用して減衰定数を算出した。RD 法は、各棟の短辺・長辺方向の並進、ねじれ、ロッキング毎に、各6回ずつの微動計測データに対し、RD 法を適用し、固有振動数、減衰定数の平均値を求めた。

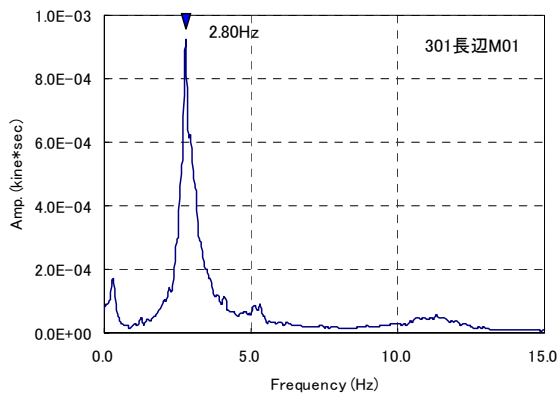
データ処理のフローを図 6.3 に示す。



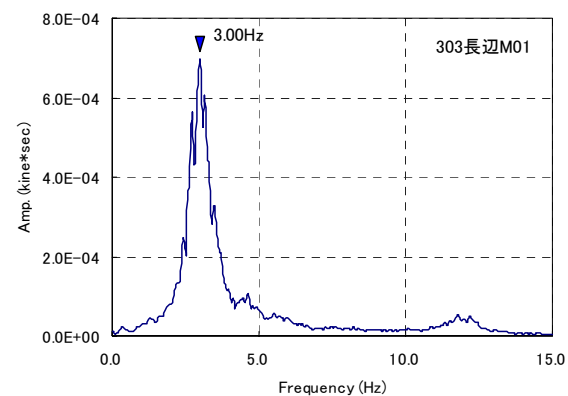
(a) A棟・並進・短辺方向



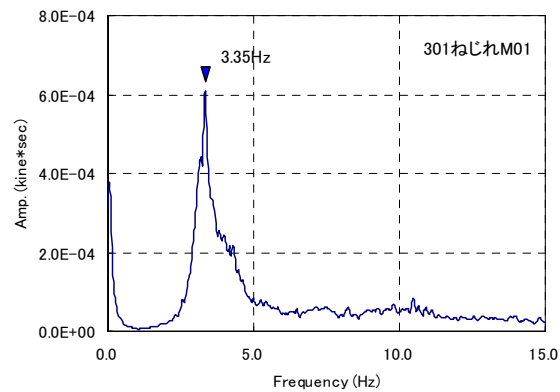
(b) B棟・並進・短辺方向



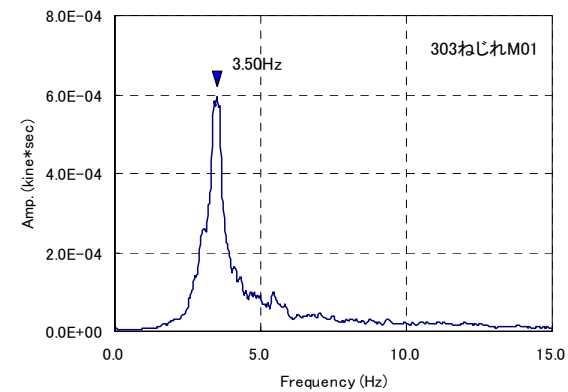
(c) A棟・並進・長辺方向



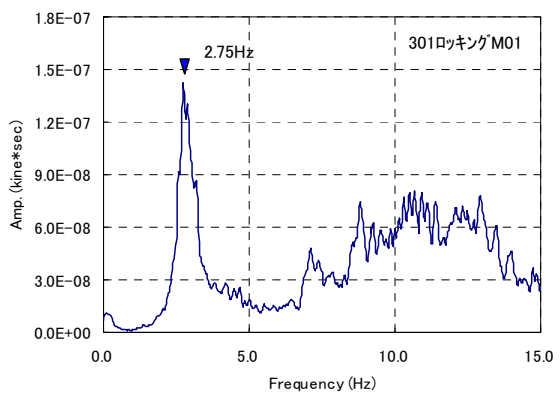
(d) B棟・並進・長辺方向



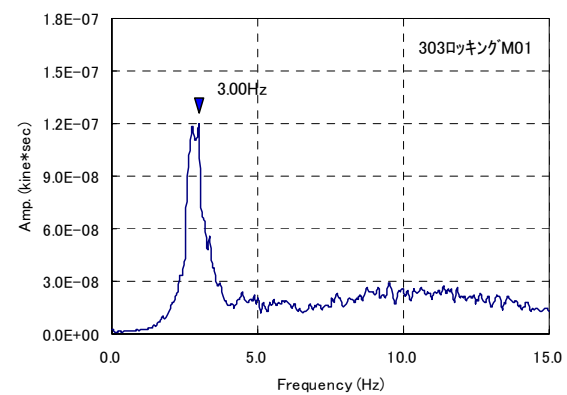
(e) A棟・ねじれ振動



(d) B棟・ねじれ振動



(f) A棟・ロッキング振動



(g) B棟・ロッキング振動

図 6.2 各微動のフーリエスペクトルの例  
(バンドパスフィルターの処理前)

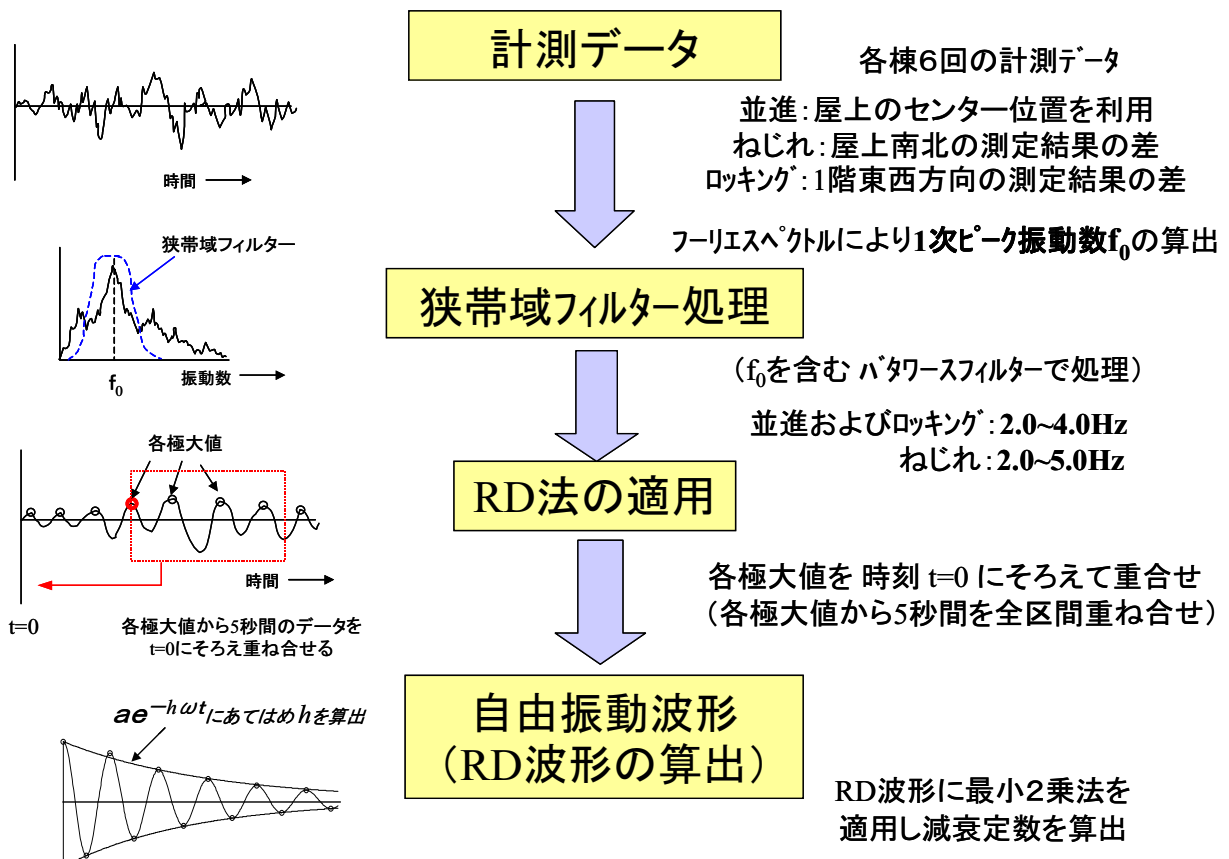


図 6.3 RD法によるデータ処理フロー

### 6.3 建物の減衰定数

#### 1)RD 法による減衰定数

RD 法により求めた自由振動波形 (RD 波形、最大値に基準化) を図 6.4a~6.4h に示す。また、この図には、最小 2 乗法より求めた包絡線も図中に重ね書きした。この図から、全体的に、包絡線は RD 波形の減衰をよく表現しているが、2 番目の極大値については、包絡線から若干外れる傾向が認められる。

表 6.1 には、各計測データ毎のフーリエスペクトルから算出した 1 次振動数、RD 波形より算出した減衰定数の結果、および RD 波形算出時の重ね合せ回数を整理して示す。この表より、連成系の並進 1 次振動数に対する減衰定数は、計測データでばらつきはあるものの、平均的にみると短辺方向で 5.5~6.0%、また長辺方向で 6.5~6.9%となり、長辺方向の減衰定数が短辺方向の結果に比べてやや大きく評価された。

一方、ねじれの減衰定数は、A 棟で 4.89~7.39% (平均 6.36%)、B 棟で 4.26~5.26% (平均 4.70%) と A 棟の方が B 棟に比べばらつきが大きく、減衰定数の平均値も 1%以上大きい結果となった。

ロッキング成分については、平均的にみると 5.59~6.11%となり、A 棟が B 棟に比べてやや大きい結果となった。

表 6.1 RD 法による減衰定数の算出結果

	A棟				B棟			
	ファイル名	F <sub>0</sub> (Hz) <sup>*1</sup>	h (%)	N <sup>*2</sup>	ファイル名	F <sub>0</sub> (Hz) <sup>*1</sup>	h (%)	N <sup>*2</sup>
短辺方向 1次振動	A301TM01	2.75	6.51	1801	A303TM01	3.00	5.81	1472
	A301TM02	2.95	5.97	1796	A303TM02	2.75	5.04	1478
	A301TM03	2.85	5.82	1779	A303TM03	2.90	6.17	1485
	A301TM04	2.85	5.73	1771	A303TM04	2.75	5.04	1460
	A301TM05	2.85	5.10	1777	A303TM05	2.80	5.96	1469
	A301TM06	2.90	6.67	1796	A303TM06	2.80	5.32	1468
	平均	<b>2.86</b>	<b>5.97</b>	1787	平均	<b>2.83</b>	<b>5.56</b>	1472
長辺方向 1次振動	A301LM01	2.80	5.57	1785	A303LM01	3.00	7.48	1524
	A301LM02	2.90	5.07	1772	A303LM02	2.80	7.75	1519
	A301LM03	2.80	7.40	1792	A303LM03	2.80	7.45	1520
	A301LM04	2.95	7.27	1833	A303LM04	2.80	5.99	1505
	A301LM05	2.85	7.51	1833	A303LM05	2.90	6.16	1495
	A301LM06	3.10	6.46	1823	A303LM06	2.90	6.31	1515
	平均	<b>2.90</b>	<b>6.55</b>	1806	平均	<b>2.87</b>	<b>6.86</b>	1806
ねじれ	A301TM01	3.35	7.39	2181	A303TM01	3.50	4.74	1787
	A301TM02	3.45	4.89	2137	A303TM02	3.55	4.26	1772
	A301TM03	3.35	6.01	2131	A303TM03	3.55	4.52	1772
	A301TM04	3.45	6.48	2130	A303TM04	3.55	5.16	1773
	A301TM05	3.45	6.09	2154	A303TM05	3.60	5.12	1818
	A301TM06	3.45	7.31	2198	A303TM06	3.50	4.38	1785
	平均	<b>3.42</b>	<b>6.36</b>	2155	平均	<b>3.54</b>	<b>4.70</b>	1785
ロッキング	A301TM01	2.75	6.37	1795	A303TM01	3.00	5.74	1478
	A301TM02	2.95	6.21	1802	A303TM02	2.75	4.93	1408
	A301TM03	2.85	5.86	1778	A303TM03	2.90	6.29	1409
	A301TM04	2.85	5.83	1789	A303TM04	2.75	5.05	1485
	A301TM05	2.85	5.41	1793	A303TM05	2.80	6.07	1430
	A301TM06	2.90	6.97	1813	A303TM06	2.80	5.47	1481
	平均	<b>2.86</b>	<b>6.11</b>	1795	平均	<b>2.83</b>	<b>5.59</b>	1449

\*1: F<sub>0</sub>は1次固有振動数

\*2: Nは重ね合わせ数

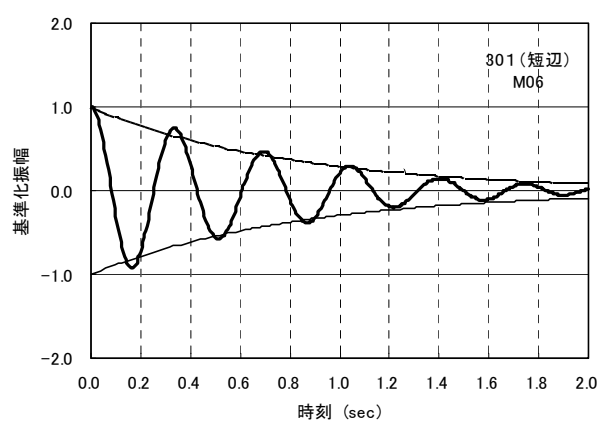
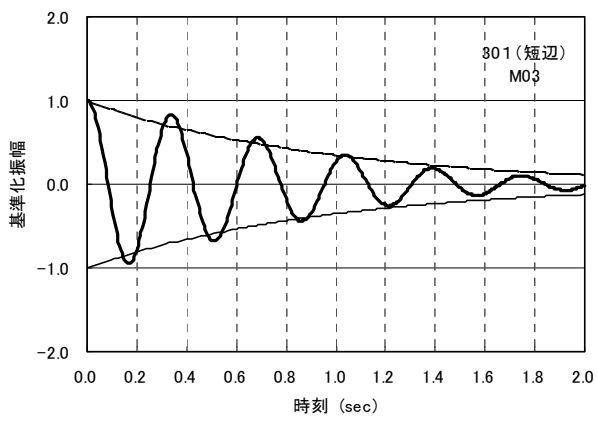
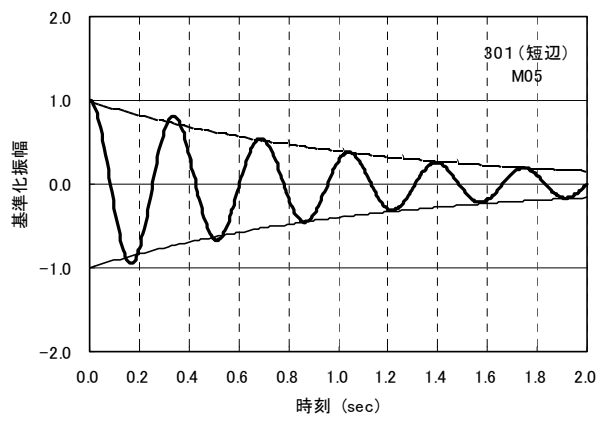
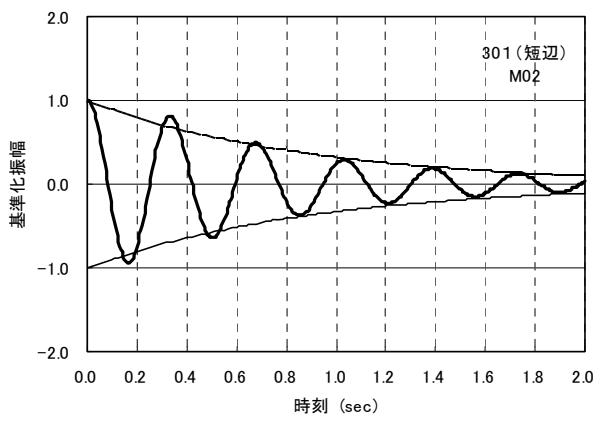
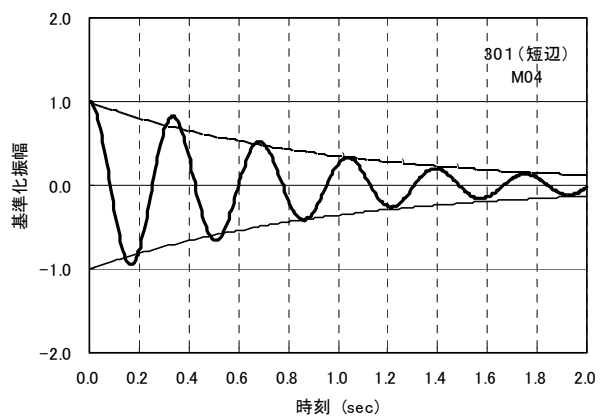
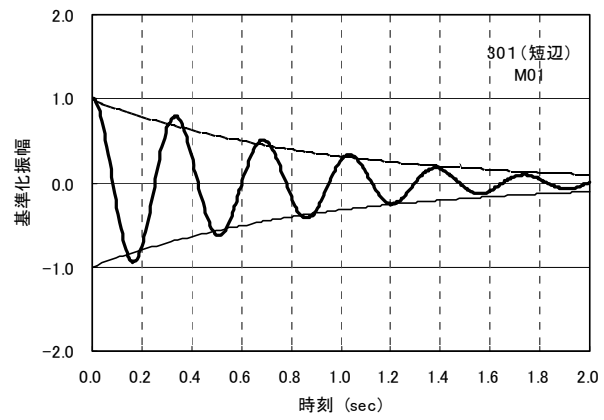


图 6.4a RD 波形 (A 棟・並進・短辺方向)

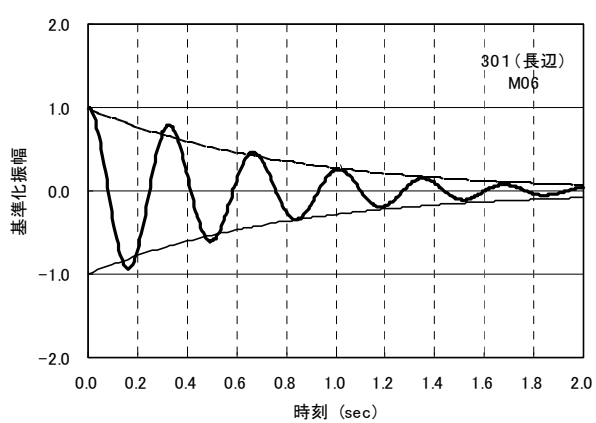
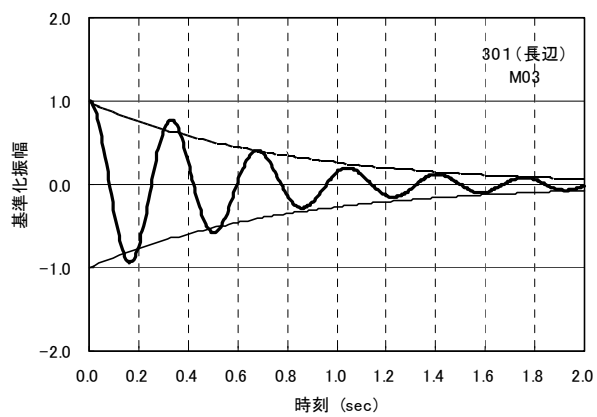
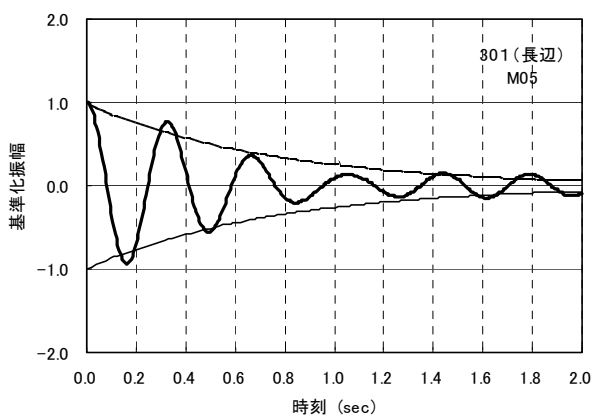
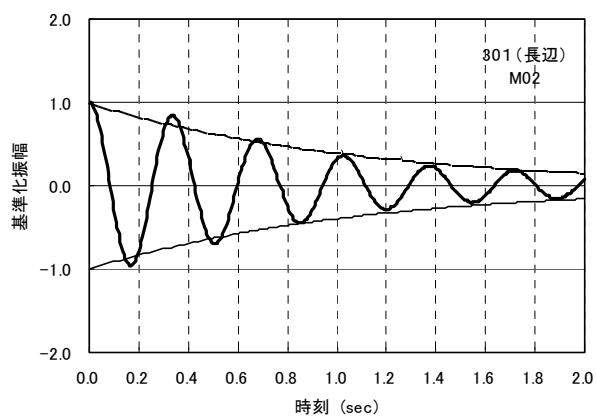
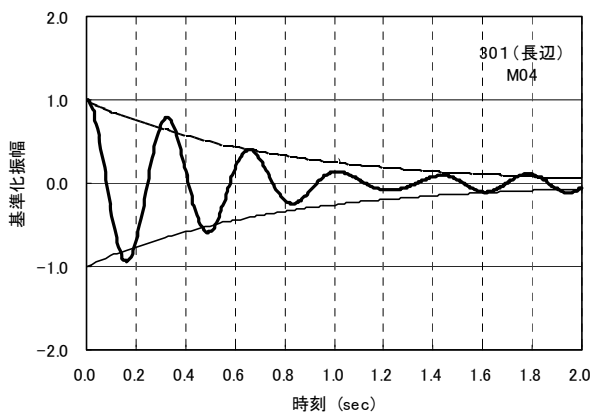
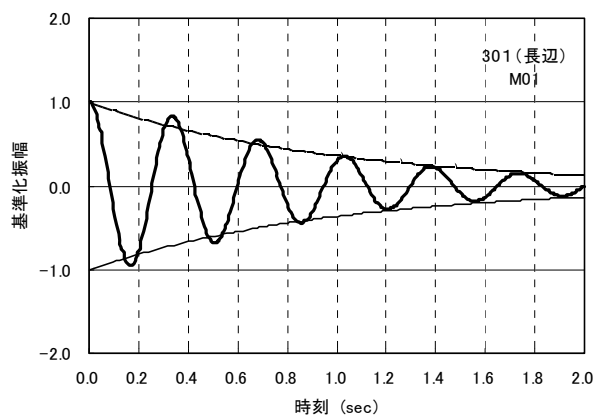


図 6.4b RD 波形 (A 棟・並進・長辺方向)

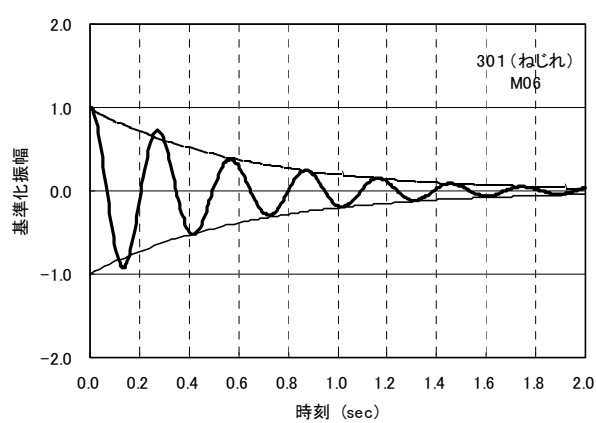
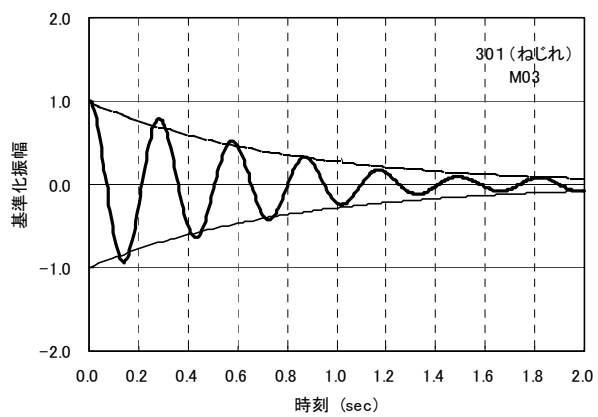
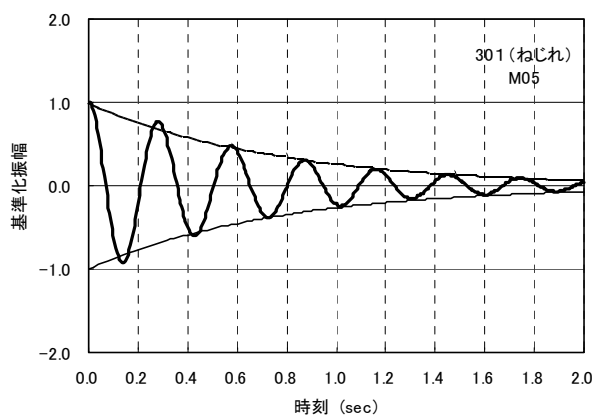
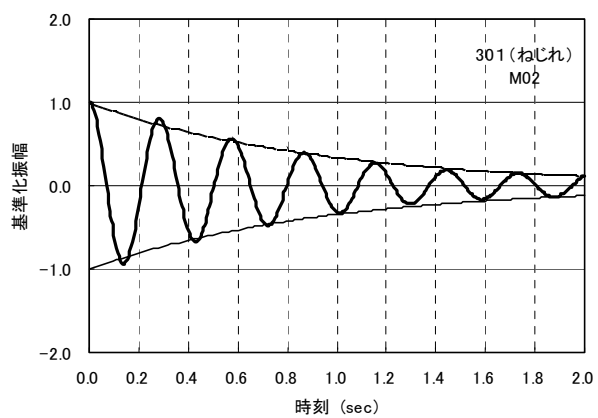
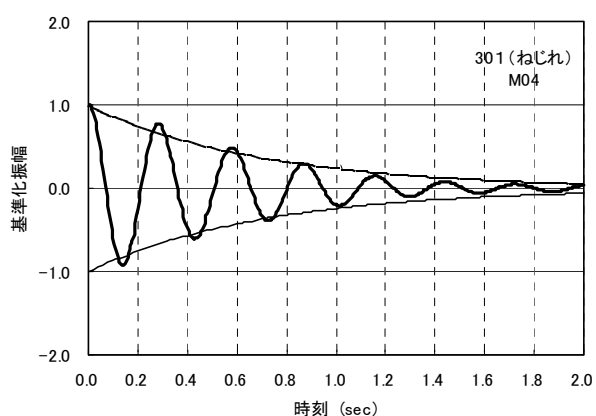
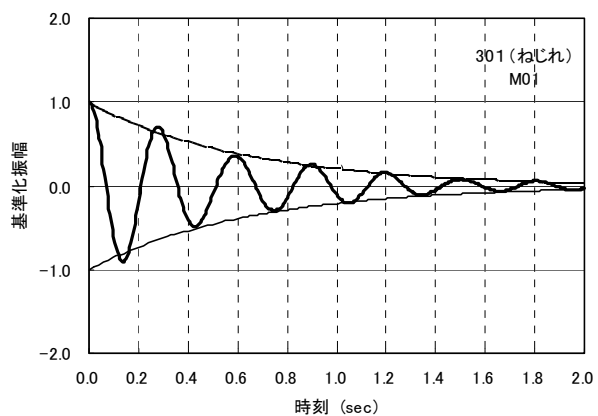


図 6.4c RD 波形 (A 棟・ねじれ成分)



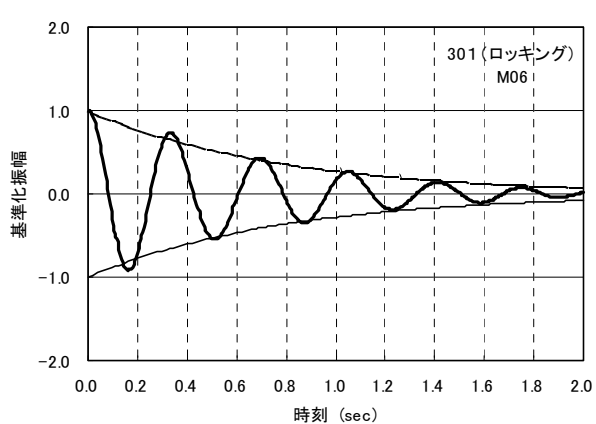
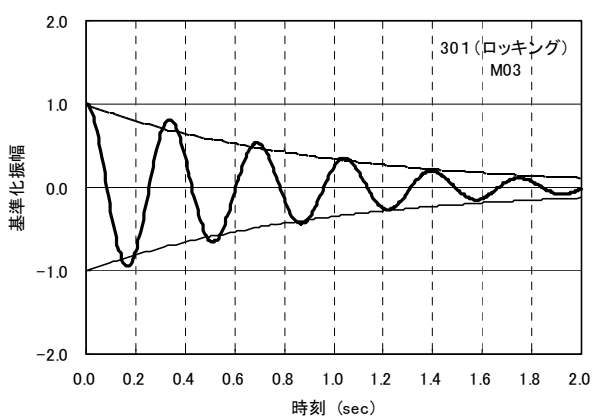
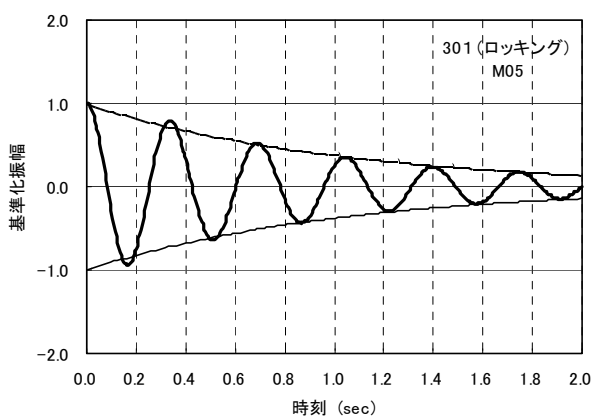
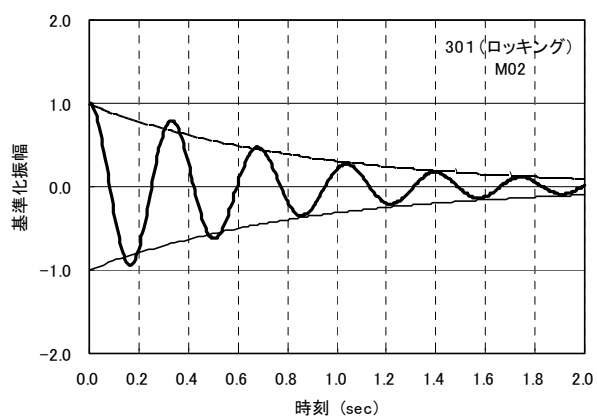
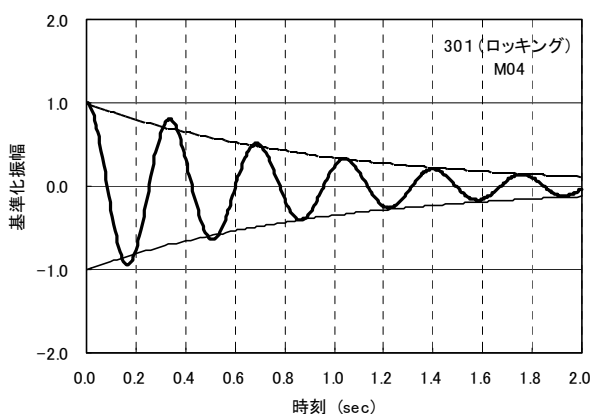
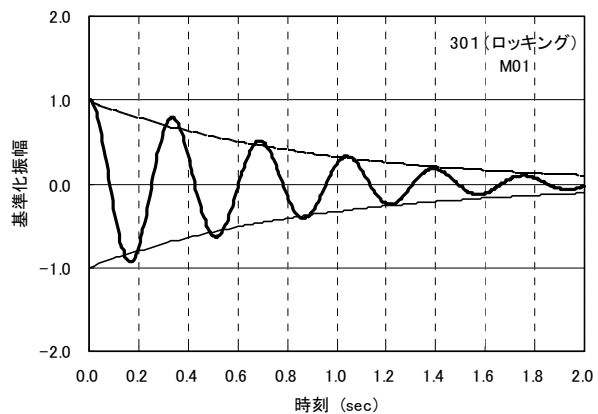


図 6.4d RD波形 (A棟・ロッキング成分)

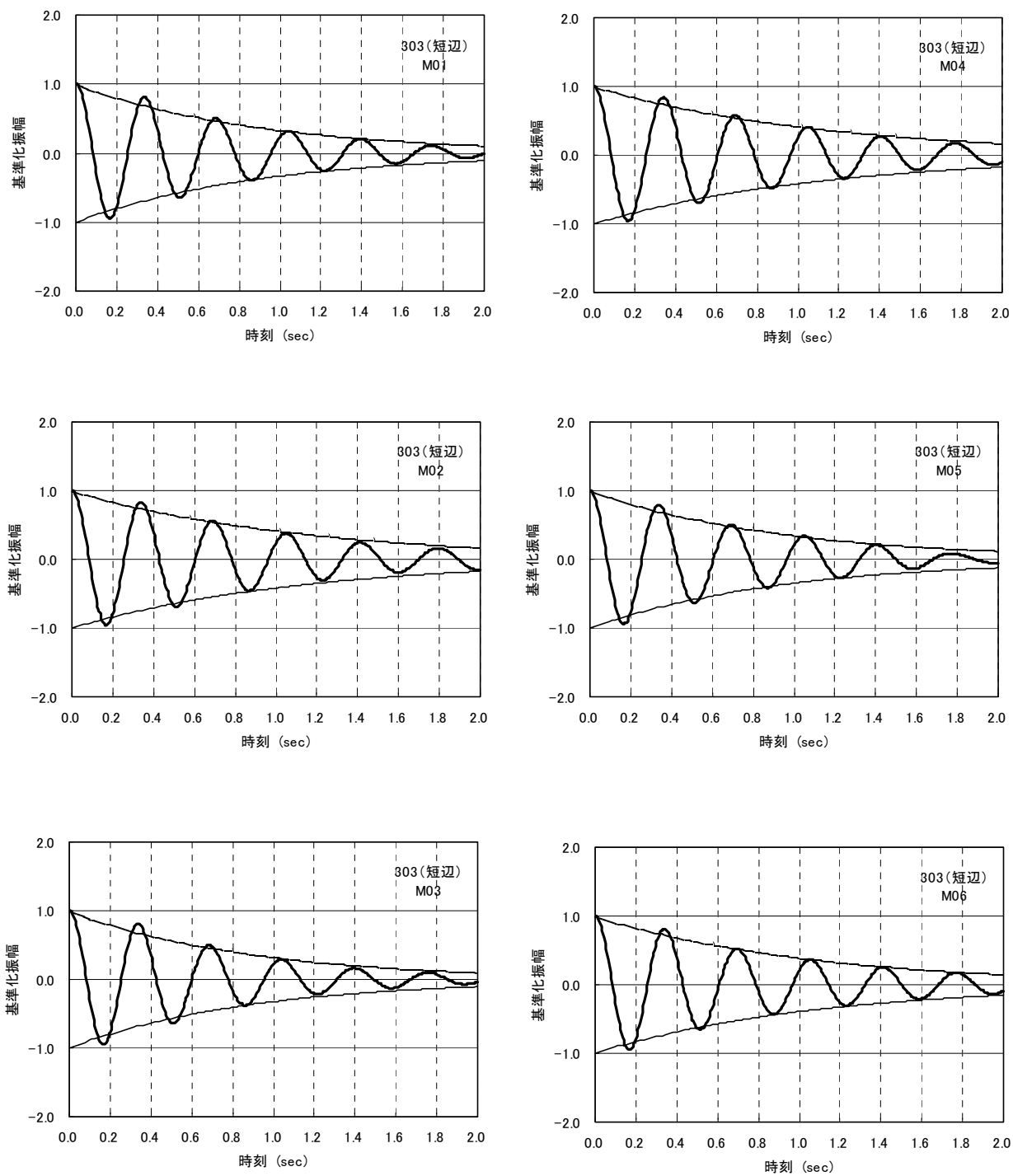


图 6.4e RD波形 (B棟・並進・短辺方向)

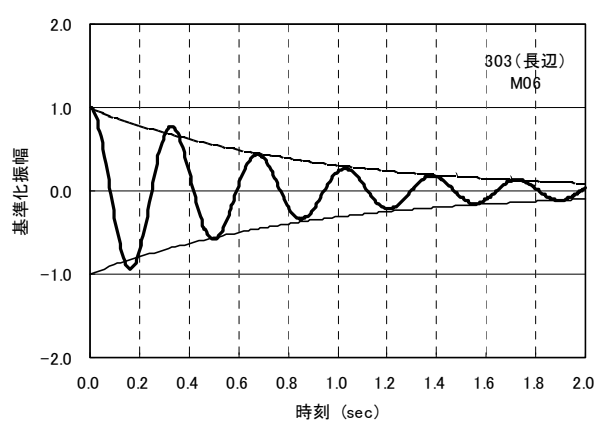
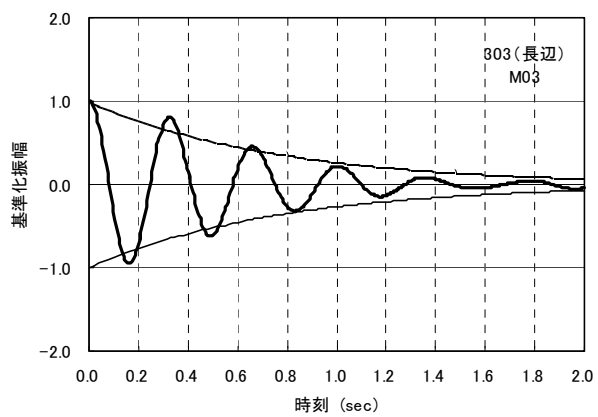
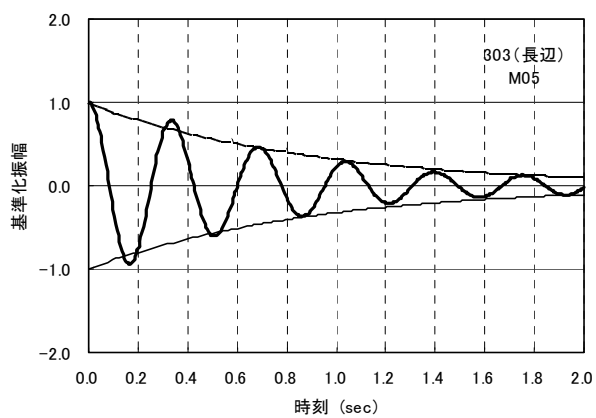
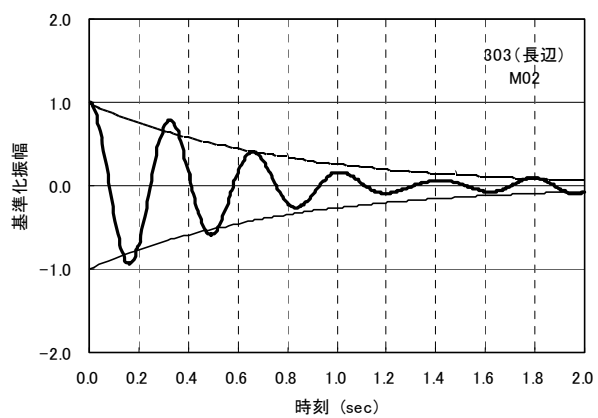
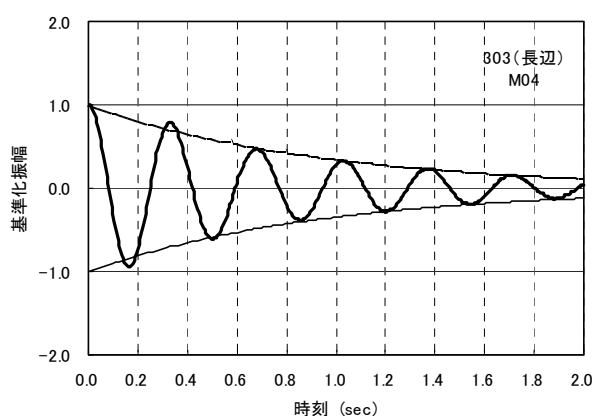
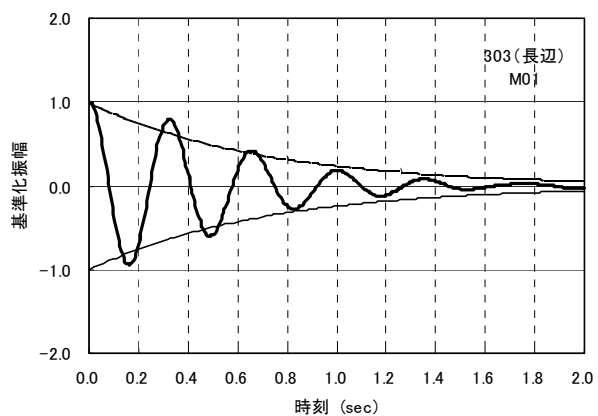


图 6.4f RD波形 (B棟・並進・長辺方向)

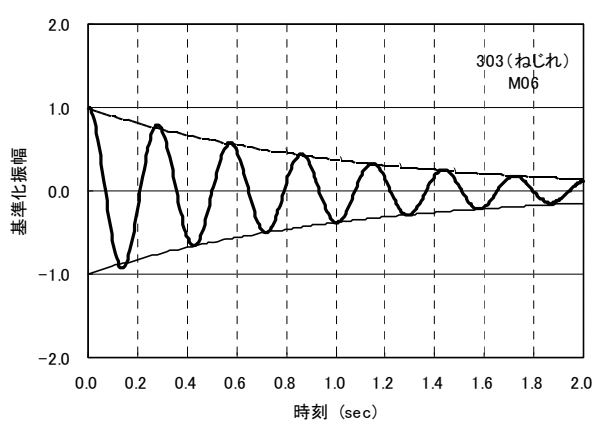
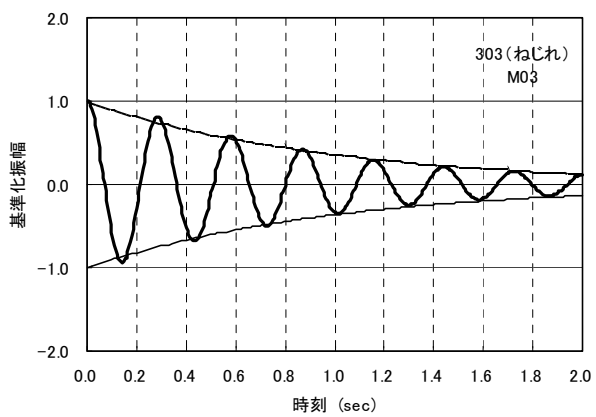
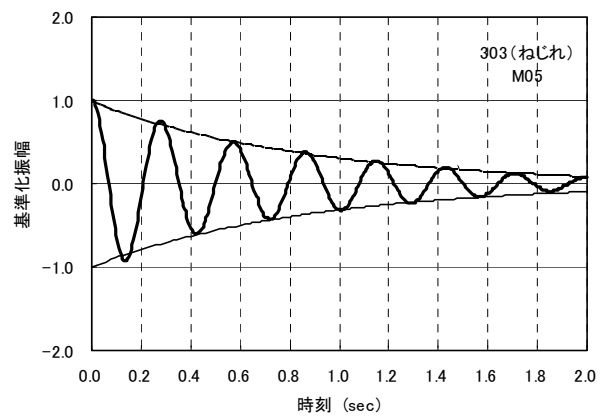
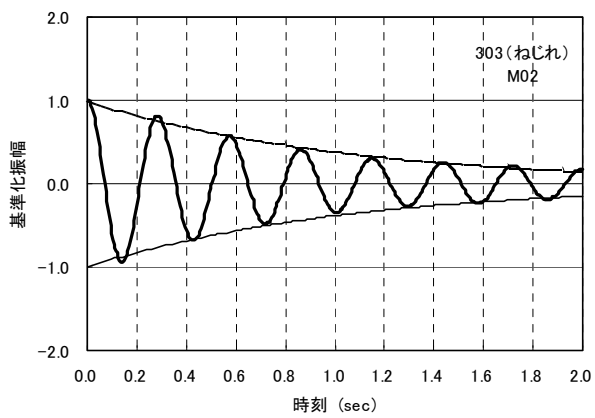
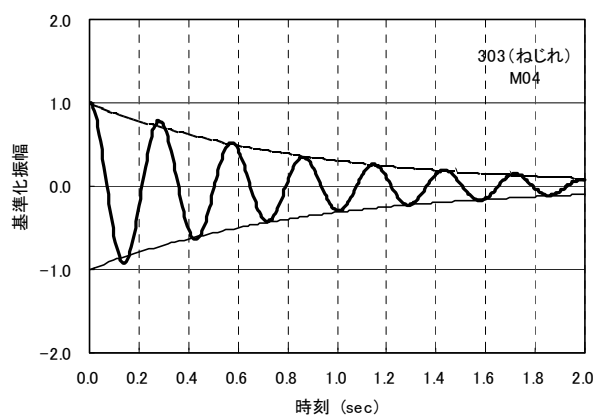
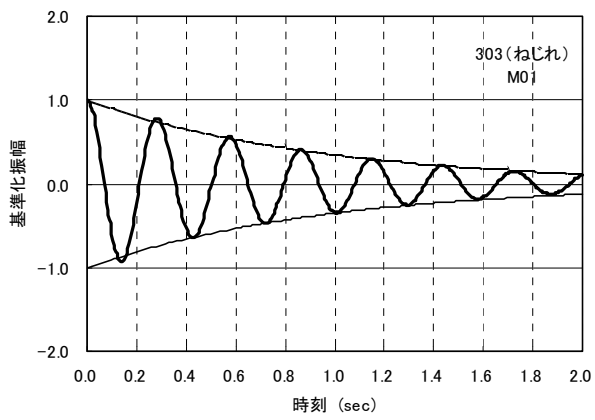


図 6.4g RD波形 (B棟・ねじれ成分)

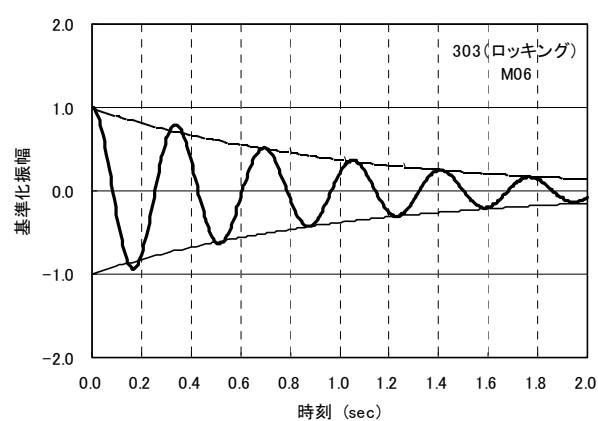
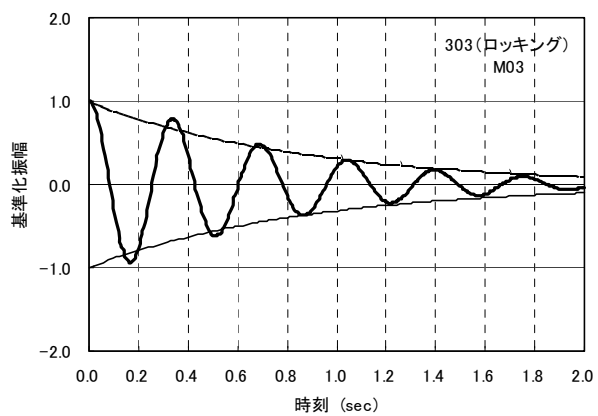
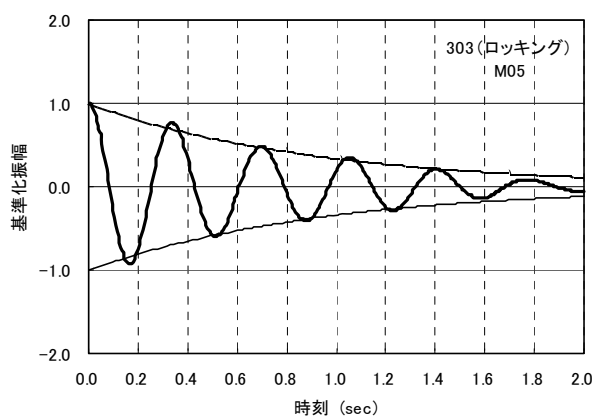
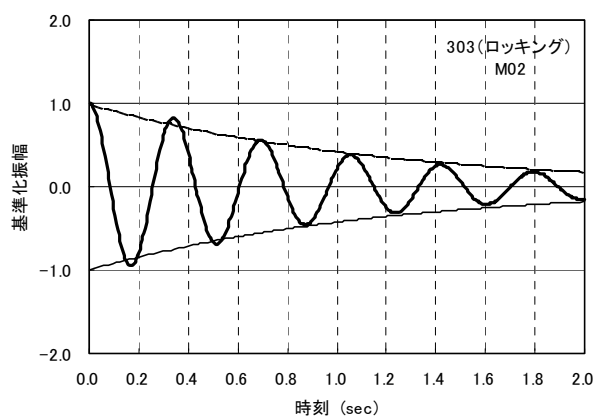
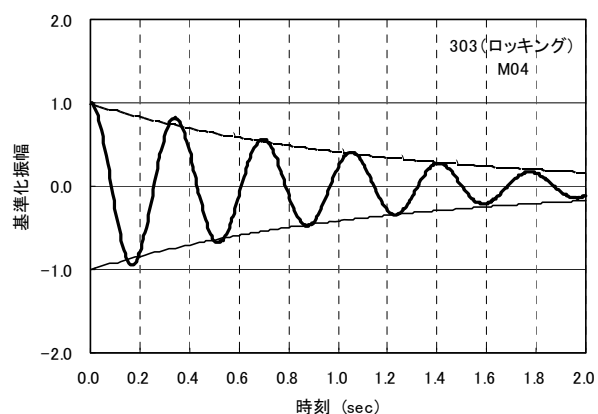
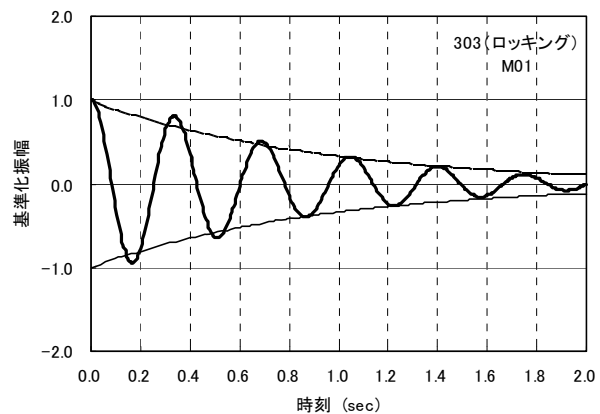


図 6.4h RD波形 (B棟・ロッキング成分)

2) 既往の研究成果との対応

日本建築学会では、建物の減衰について文献 2) で、実測データに基づく建築物の減衰定数について、構造種別毎に整理しまとめている。そこで、表 6.1 に示した RD 法による減衰定数の結果を、RC 系建物の実測データの結果と比較検討した。

図 6.5 には軒高と 1 次固有周期の関係を示し、また、図 6.6 には軒高と 1 次減衰定数の関係を示す。さらに、図 6.7 には 1 次固有周期と 1 次減衰定数の関係を示し、図 6.8 には 1 次固有振動数と 1 次減衰定数の関係を示す。これらの図に、RD 法より算出した B 棟の短辺および長辺方向の並進の 1 次減衰定数の結果を重ねてプロットした。(A 棟、B 棟の差は小さいので B 棟のみプロット)

これらの図から、日本建築学会のデータには、20m 以下の建物サンプルが非常に少なく、軒高の低い(あるいは固有周期の短い)建物で減衰定数は 2~8% とばらつきは大きい。本対象建物の RD 法より算出した結果(短辺 5.56%、長辺 6.86%)は、学会のばらつき範囲に収まり、図中に示す学会の略算式とも調和的である。

また、図 6.9 には、1 次固有振動数と 1 次減衰定数の関係を、基礎構造の違いに着目し、直接基礎と杭基礎に分けてプロットした結果を示す。本対象建物は PC 杭で支持されていることから、解析結果を杭基礎建物の図に重ねてプロットした。この図より、学会のサンプルは振動数 3Hz 程度以上のデータが少ないが、本結果はデータのばらつき範囲内にある。

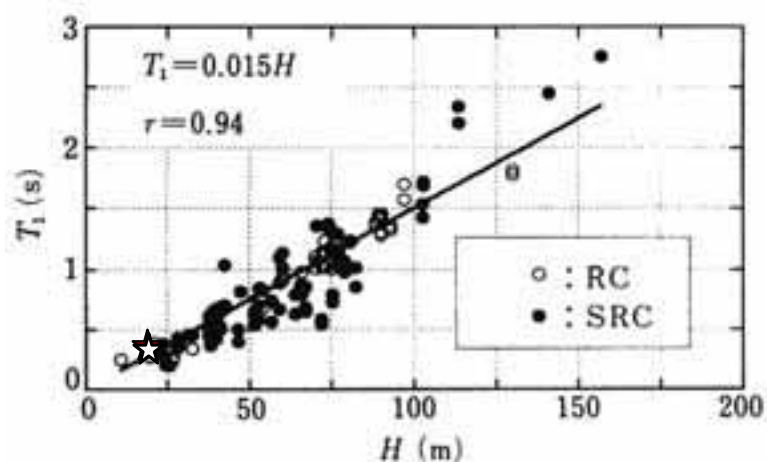


図 6.5 軒高 H と 1 次固有周期  $T_1$  との関係 2)

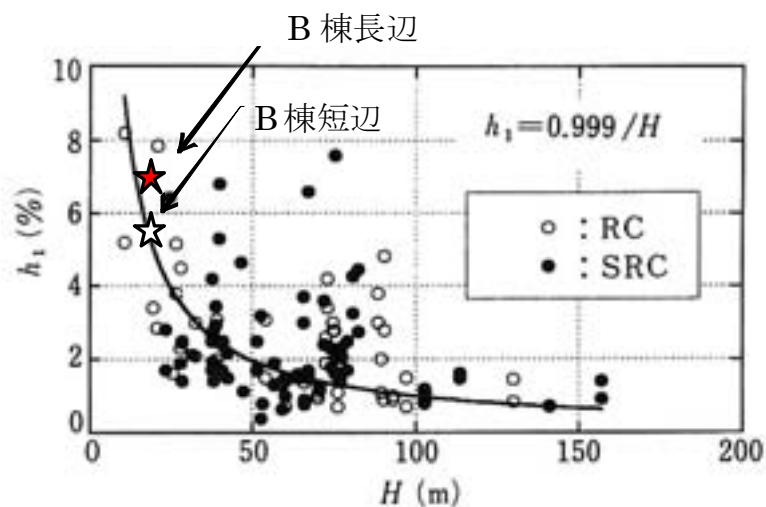


図 6.6 軒高 H と 1 次減衰定数  $h_1$  との関係 2)

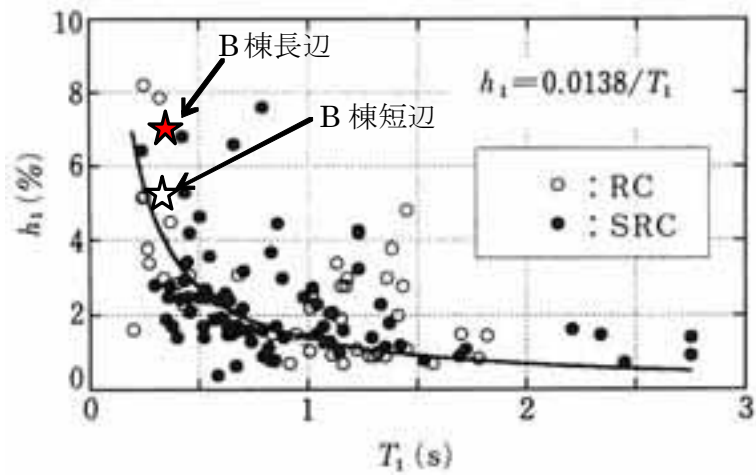


図 6.7 1次固有周期  $T_1$  と 1次減衰定数  $h_1$  との関係<sup>2)</sup>

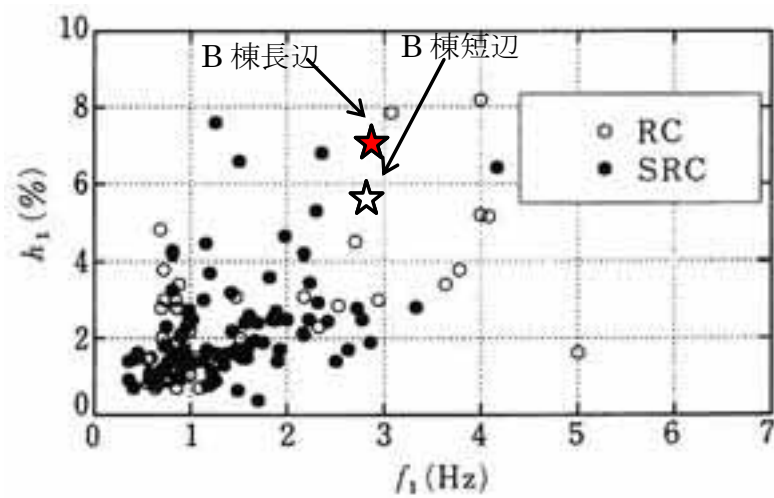
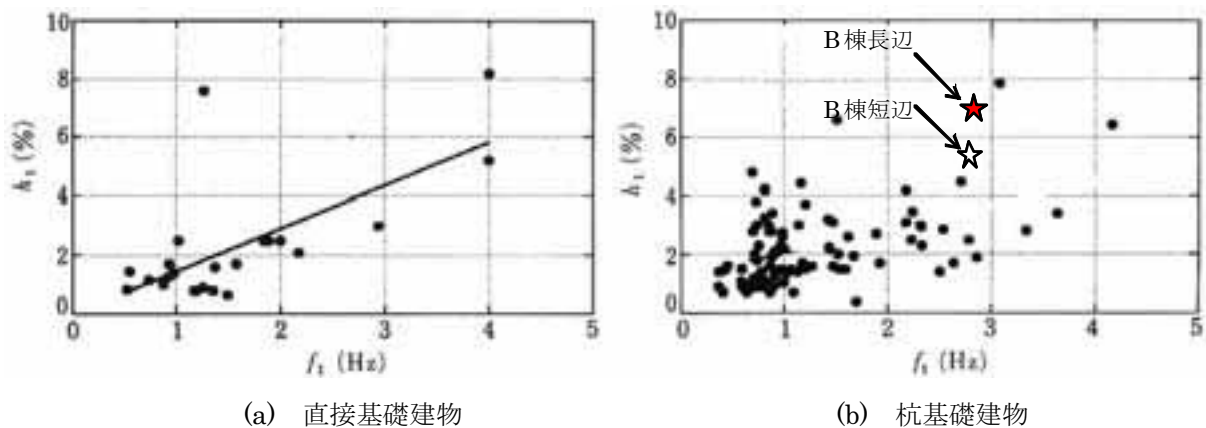


図 6.8 1次固有振動数  $f_1$  と 1次減衰定数  $h_1$  との関係<sup>2)</sup>



(a) 直接基礎建物

(b) 杭基礎建物

図 6.9 1次固有振動数  $f_1$  と 1次減衰定数  $h_1$  との関係<sup>2)</sup>

図 6.10、6.11 には、軒高とねじれ周期の関係およびねじれ振動数と減衰定数の関係を示した。これらの図より、学会のサンプルには、軒高 25m 以下の建物データはないが、本対象建物のねじれ周期は、学会の軒高とねじれ周期の略算式と調和的である。また、図 6.11 には、A 棟、B 棟の結果を重ねてプロットしたが、学会のデータはばらつきが大きく、明確な傾向は認められないが、本対象建物のねじれの振動数に対する減衰定数（A棟 6.36%、B棟 4.7%）は学会のサンプルと比較して大きめの傾向にある。

なお、文献 2)ではロッキングの減衰定数についての実測結果はまとめられていない。

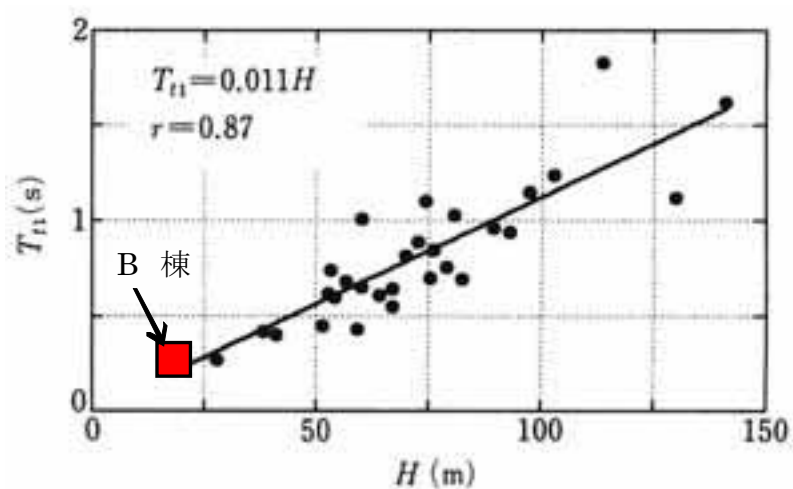


図 6.10 軒高 $H$ とねじれ 1 次固有周期  $T_{t1}$  との関係<sup>2)</sup>

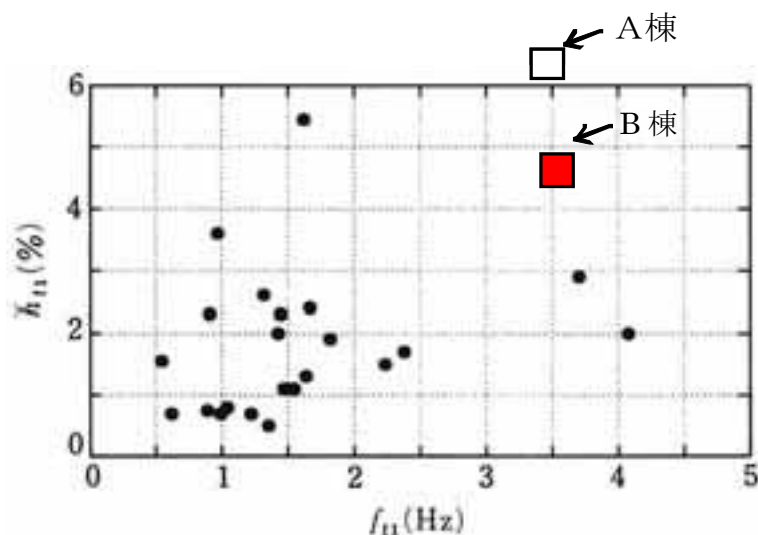


図 6.11 ねじれ 1 次固有振動数  $f_{t1}$  と 1 次減衰定数  $h_{t1}$ <sup>2)</sup>

(第 6 章 参考文献)

- 1) 田村幸雄、佐々木淳、塚越治夫：RD 法による構造物のランダム振動時の減衰評価、日本建築学会構造系論文報告集、第 454 号、pp.29-38、1993
- 2) 日本建築学会：建築物の減衰、pp.137-143、2000 (一部の図に加筆)