

実測資料に基づく制振建築物の減衰性能調査

Damping Properties of Response Controlled Structures Based on Observed Data for Actual Building

平田 裕一 YUICHI HIRATA

日本建築学会の大会論文梗概集を調査し、制振建築物の実測減衰データベースの作成を行った。主として制振装置の有無に対する特性の変化をまとめている。またその結果に基づいて、制振建築物の固有周期、減衰定数の傾向分析を行った。パッシブ制振、アクティブ制振ともに大きな減衰性能を付与しているもののその値にばらつきが見られることが示されている。

キーワード：制振建築物、実測データ、固有周期、減衰定数

The author have built up the damping factor database of response controlled structures based on the papers of the annual convention of AIJ. In this paper, differences of the damping characteristics between the structures with vibration control devices and without them are compiled and natural period and damping factor are also analyzed. It is shown that both passive response control system and active one add higher damping to the structures, but the values have some variation.

Key Words: Response Controlled Structure, Observed Data, Natural Period, Damping Factor

1. はじめに

建築物が持つ減衰性能の評価は、地震や風に対する建築物の応答を把握するために必要不可欠なものである。建築物の減衰性能は、構造躯体や仕上げ材等の複合的な要因によって定まるため、減衰性能の評価を解析的に行うことは難しいと考えられている。建築物の減衰を適切に把握するためには減衰の実測データの収集が必要であり、日本建築学会ではこれまでに数多くの減衰実測データが収集されている¹⁾。

一方、近年、性能設計の流れのなかで、著しく普及している制振建築物は、屋上や構造架構の中に制振装置(制振ダンパー)やエネルギー吸収部材等を組み込んだ形式の構造物であり、これらの装置により建築物の減衰特性の改善が図られている。制振建築物では、減衰性能は設計者によって積極的に加えられるものであるため、所定の減衰性能が確保できているかどうかを把握することは一般建築物以上に重要である。

本論では、制振建築物に着目し、制振装置やエネルギー吸収部材による付加減衰を含めた制振建築物の減衰性能の現状を、日本建築学会大会梗概集²⁾に基づいて調査している。収集した主たるデータは、制振建築物で用いられている制振装置の種類と制振建築物の固有

周期および減衰定数である。またその実測データに基づいて、固有周期と減衰定数の傾向分析を行った。

2. 制振建築物の推移

制振建築物は、一般にパッシブ型の制振(以下、パッシブ制振と記す)とアクティブ型の制振(以下、アクティブ制振と記す)に分類される。パッシブ制振は、さらに、制振装置の抵抗力が装置の変形によって変化する変位依存型、制振装置の抵抗力が装置の変形速度に応じて変わる速度依存型、建物と制振装置との連成振動によって応答を減衰させる同調質量型等に分類される。

これに対して、アクティブ制振は、建物頂部に設置した付加質量を建物応答に応じて自動制御で運動させる AMD(Active Mass Damper)を利用するもの、パッシブ制振の同調質量型である TMD(Tuned Mass Damper)をベースにして、エネルギー効率の改善を目的としてその付加質量の運動を自動制御する HMD(Hybrid Mass Damper)を利用するもの、建物に組み込まれた制振装置の剛性、減衰を建物応答に応じて変化させる可変剛性、可変減衰等の分類がある。

文献³⁾によれば、1984年から2001年までの制振建築物数は295件であり、相当数の制振建築物がすでに国内

に存在している。各制振装置の割合の推移を図-1に示す。図の縦軸はその年までに竣工した累積の制振建築物数に占める各制振方式の割合を示している。ただし、2001年は竣工予定建物のデータが用いられている。なお、この図は、文献³⁾に記載された制振実施例のデータから作成したものである。

図より、1980年代中頃の初期の制振建築物は、主に同調質量型や変位依存型の装置を用いるパッシブ制振が多いことがわかる。また、1990年頃より速度依存型のパッシブ制振やアクティブ制振の適用が始まっている。1995年の兵庫県南部地震以後は、変位依存型や速度依存型のパッシブ制振が著しい増加傾向を示しているのに対して、アクティブ制振の割合は相対的に少なくなっている傾向が見られる。

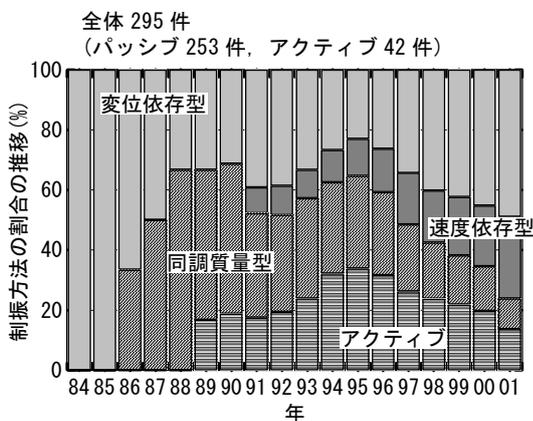


図-1 制振方法の割合の推移

3. 制振建築物の減衰データベース

制振建築物の減衰データベース一覧を本論末尾の付録に表-1～表-3として示す。本減衰実測データ調査の調査対象とした文献は、日本建築学会大会梗概集²⁾である。

今回の調査範囲は、制振建築物の竣工年度を参考にして、1987～2007年度までの21年間とした。なお、建築物の実施例やその際に行われた強制振動実験等の報告は、大会梗概集の振動分野に集中していることから、今回の調査は、1987年～1994年：B(構造I)、1995年～2007年：B-1(構造I)、B-2(構造II)に掲載された論文に限定している。

調査項目は、制振建築物の階数、軒高、構造種別、固有周期、減衰定数、制振装置、制振装置の状態、実験方法、減衰評価法等である。調査対象制振建築物の総数は71棟であり、その内訳は、一般建築物59棟、塔状建築物12棟である。新築物件66棟、耐震改修物件5

棟である。また、鉄骨造(S,CFT)64棟、鉄筋コンクリート造(RC)5棟、木造(W)2棟である。以下に、データベースにおいて使用している調査項目および使用した略記号等をまとめる。

●調査範囲

日本建築学会大会梗概集(21年間)

1987年～1994年：B(構造I)

1995年～2007年：B-1(構造I)、B-2(構造II)

●調査項目

1)所在地,2)竣工年,3)階数,4)軒高,5)用途

6)制振方法,7)基礎情報,8)設計情報,9)実測方法

10)実測年,11)制振装置の状態,12)固有周期

13)減衰評価方法,14)減衰定数,15)振幅レベル

●制振建築物の分類と表中の略記号

V-**：制振建築物の番号

V-**K：耐震改修物件

S：鉄骨造

RC：鉄筋コンクリート造

CFT：柱CFT構造

W：木造

タワー：塔状の制振構造物

ビル：一般の制振建築物

●制振装置の分類と表中の略記号

(パッシブ制振)

1)同調質量型：

TMD(同調質量ダンパー)

TLD(液体を利用したTMD)

2)速度依存型：

粘性(使用材料の粘性抵抗力を利用したダンパー)

オイル(流体の流れを利用したシリンダー状のダンパー)

VEM(粘弾性ダンパー),

3)変位依存型：

鋼材,鉛,座屈拘束ブレース,低降伏点鋼,

極軟鋼,超塑性

(アクティブ制振)

1)アクティブ型：

AMD(アクティブタイプ),

HMD(TMDを用いたハイブリッドタイプ)

2)セミアクティブ型：

セミアクティブオイル(オイルダンパーの制御)

可変剛性

4. 制振建築物の傾向分析

今回調査した制振建築物のうち、構造種別が明示されているものは約 90%が鉄骨造(S,CFT)であった。本章では、付録に示した表-1～表-3 のデータベースを用いて、制振建築物の固有周期、減衰定数に関する傾向分析を行う。

なお、データベースのなかで固有周期、減衰定数が幅を持って示されている場合は、中間値で代表させている。また実験方法や減衰評価方法によりデータ値が異なる場合は、振幅レベルの大きいものを優先的に選択している。このような条件で区別できない場合は、さらに論文発表年の新しいほうを用いることとした。

このような絞込みにより、制振建築物 1 棟に対して短辺方向と長辺方向の 2 データを抽出することとし、同一建築物に対するプロットの重複を避けている。

(1) 固有周期

制振建築物の軒高と固有周期の関係を一般制振建築物、塔状制振建築物についてそれぞれ図-2、図-3 に示す。図より、軒高と 1 次固有周期の関係は、一般制振建築物の場合、軒高に対して約 0.022 倍、塔状制振建築物

の場合、軒高に対して約 0.018 倍の比例定数を持つ線型関係で精度よく表されており、文献¹⁾に示されている制振構造ではない鉄骨造の一般建築物や塔状建築物の関係とほぼ同等の値となっている。

また制振建築物における制振装置の有無をパラメータとした実測結果では、制振建築物の固有周期の変動が小さいことがわかる。

これは、同調質量型のパッシブ制振やアクティブ制振では、制振装置により構造躯体が直接的には拘束されないため、制振装置が構造物の剛性に及ぼす影響が小さいためと思われる。

これに対して、変位依存型のパッシブ制振では、制振装置が各階の層間に設置されることが多く、構造躯体を拘束するので、制振装置の有無により大きな剛性変動が考えられる。しかしながら、このタイプの装置の場合、建築物の施工計画上の理由からダンパーの有無をパラメータとした実測が計画し難く、測定データが非常に少ない。このため、図-2、図-3 にその影響が表れていないものと考えられる。

(2) 減衰定数

一般制振建築物の軒高と 1 次減衰定数 h_1 の関係および

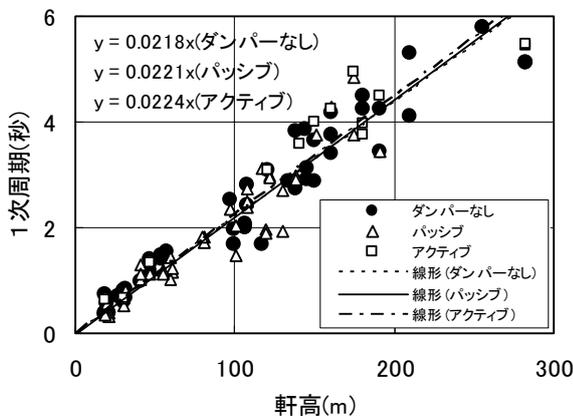


図-2 一般制振建築物の軒高と固有周期の関係

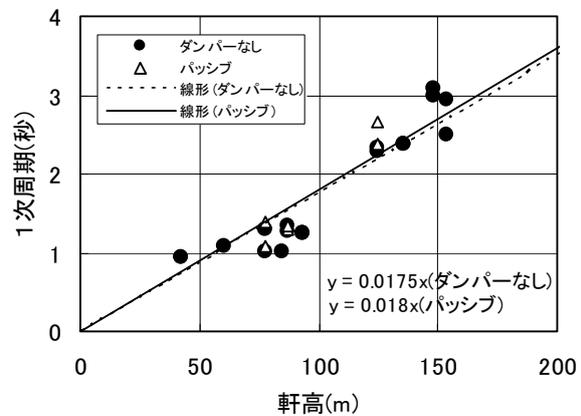
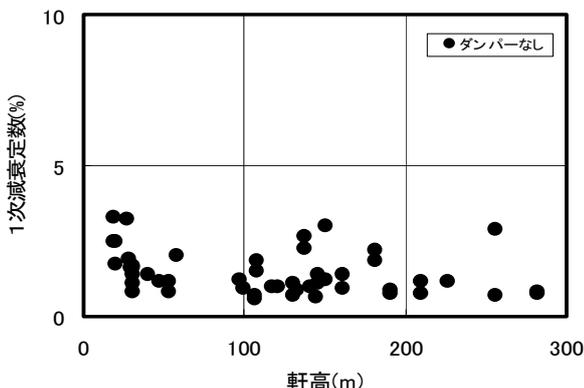
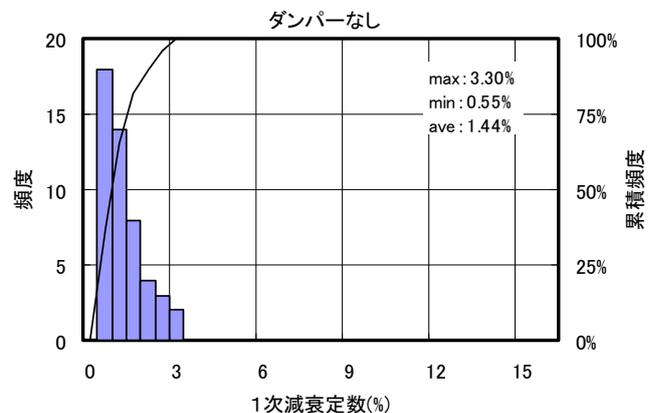


図-3 塔状制振建築物の軒高と固有周期の関係

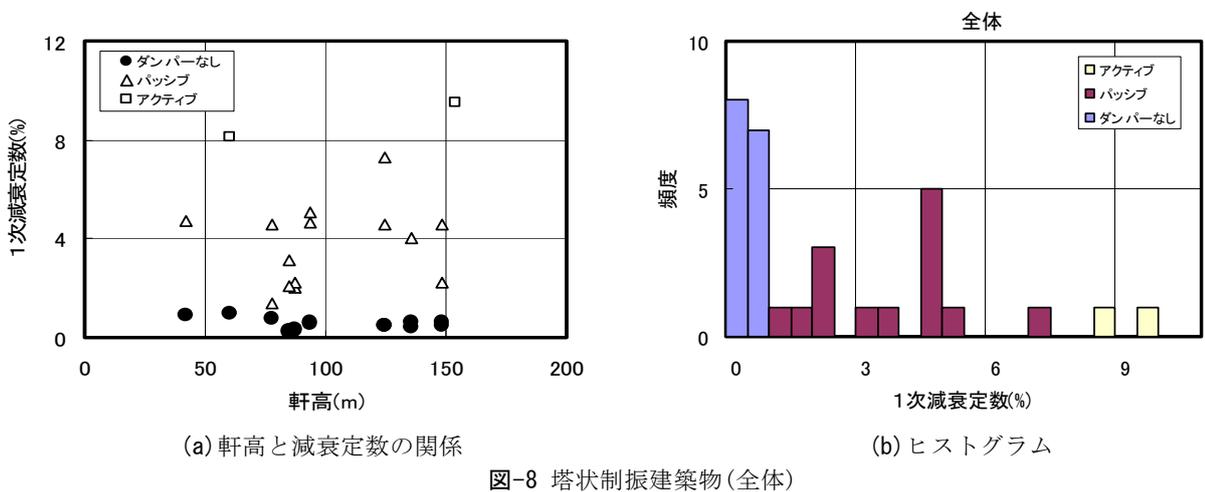
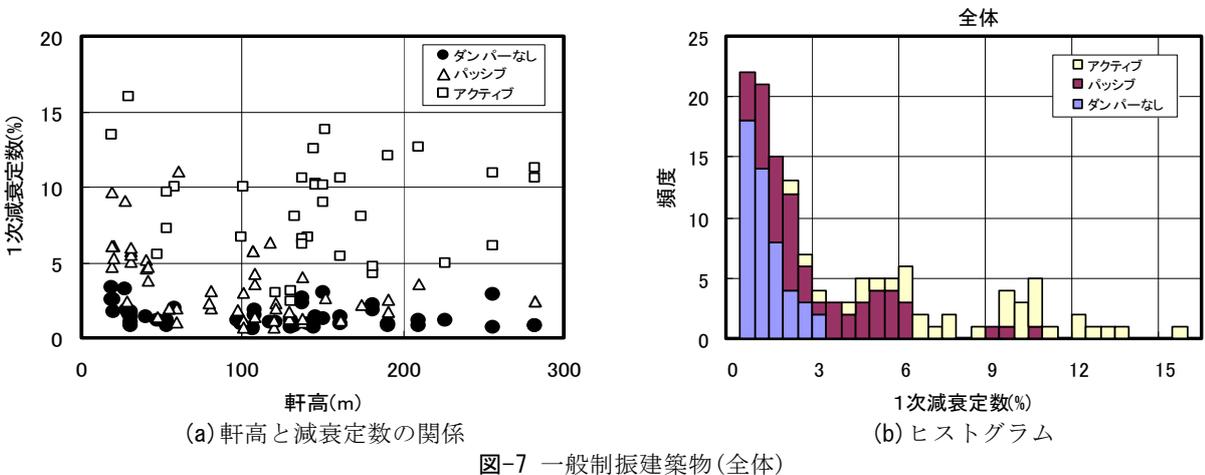
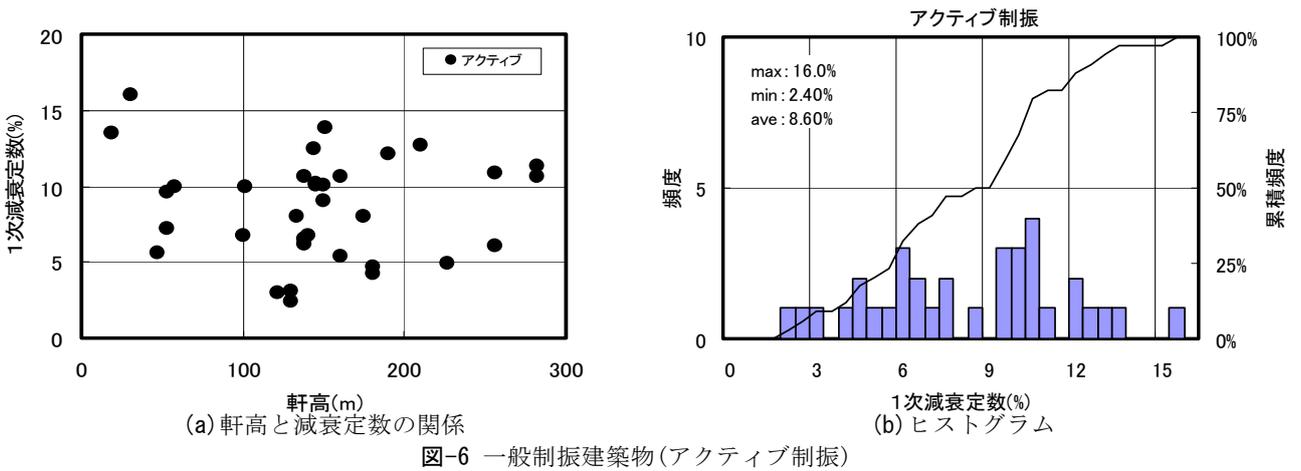
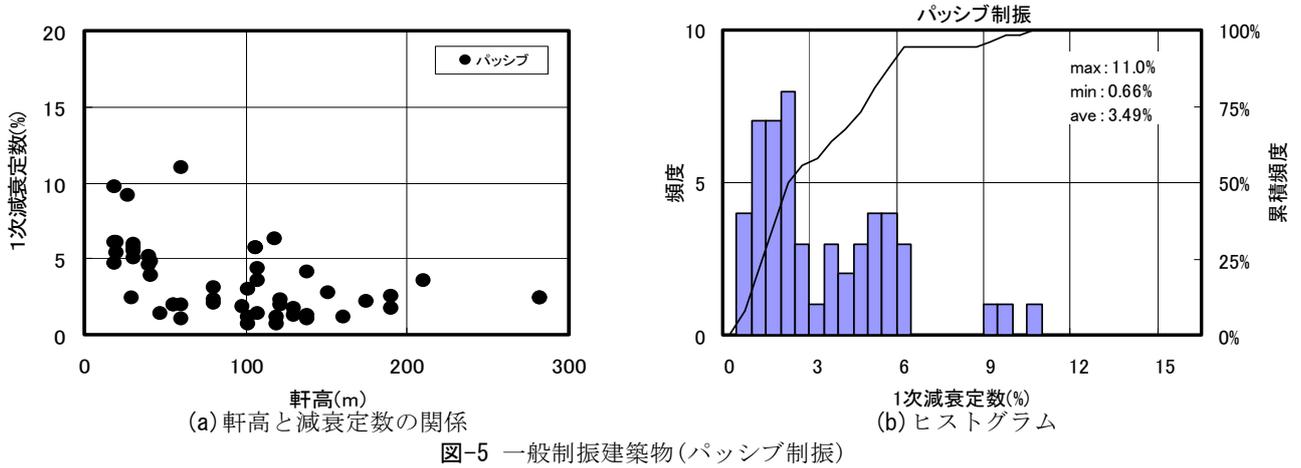


(a) 軒高と減衰定数の関係



(b) ヒストグラム

図-4 一般制振建築物(ダンパーなし)



びヒストグラムを図-4～図-8に示す。

図-4は制振装置の影響がない場合、図-5はパッシブ制振の場合、図-6はアクティブ制振の場合であり、図-7はそれらを重ねて示したものである。また図-8は塔状制振建築物の場合である。

図-4より、制振装置の影響がない場合の制振建築物の減衰定数 h_1 は、最大値 3.30%、最小値 0.55%、平均値 1.44%である。減衰定数 h_1 は、軒高に関わらずほぼ一定値を示している。またヒストグラムより、減衰定数のばらつきは小さく、約 85%の建築物が $h_1=2\%$ 以下の値を示している。この値は、鉄骨造で時刻歴応答解析をする場合の一般的な減衰定数 $h_1=1\sim 2\%$ とよい対応を示している。

図-5より、パッシブ制振の減衰定数 h_1 は、最大値 11.0%、最小値 0.66%、平均値 3.49%である。パッシブ制振の場合、軒高の増加に伴い減衰定数がやや低下する傾向が認められる。パッシブ制振のなかで最も多いタイプである層間設置型は、制振装置が層のせん断変形に対して設計されることが一般的である。このため、高層化に伴い層間変形に占める曲げ変形の割合が大きくなると相対的に制振装置の効率が低下すると考えられる。軒高の増加による減衰定数の低下は、このことと対応しているものと思われる。

パッシブ制振の平均減衰定数 3.49%と制振装置の影響がない場合の平均減衰定数 1.44%の差から、平均的な付加減衰は約 2%である。付加減衰で約 8%以上を報告した例は少なく、減衰定数 $h_1=6.5\%$ までの累積頻度が 90%を超えている。現在国内で建設されている約 90%のパッシブ制振の付加減衰は、約 5%以下と考えられる。なお、この値は、実測データに基づいたものであるため、動的設計において極めて稀に発生する大地震として想定されている設計値としての減衰定数とは直接的には対応しないことに留意する必要がある。

また、本論の図化では、減衰定数が複数回測定されている場合には、平均的な値で代表させた。このため、個々の測定結果では、パッシブ制振の場合、最大 11%を超過する減衰定数も報告されている。これらについては、付録の表-1～表-3の備考欄を参照されたい。

図-6より、アクティブ制振の減衰定数 h_1 は、最大値 16.0%、最小値 2.40%、平均値 8.60%である。アクティブ制振の場合、軒高に関わらず、減衰定数が一定の幅の中にばらつく傾向が見られる。また、減衰定数のばらつきが、 $h_1=2\%\sim 16\%$ という幅広い範囲に分布する点も特徴的であり、 $h_1=5\sim 6\%$ と $h_1=10\sim 11\%$ にそれぞれ頻度の小さなピークが見られる。アクティブ制振では、制振装置が建築物の頂部に設置されることが多く、建

築物の曲げ変形の増加に対して制振装置の効率が低下しない。このため軒高の影響が小さいものと思われる。また、減衰定数のばらつきは、アクティブ制振の性能のばらつきというよりも、設計目標としている減衰定数の違いを反映していると思われる。アクティブ制振の平均的付加減衰は、全体的には、約 7%であるが、この2つのピークを別に評価すると、約 5%と約 10%の2段階の値があると思われる。

図-7より、 $h_1=6\sim 7\%$ を境にしてパッシブ制振からアクティブ制振の頻度が大きくなっていることが分かる。微小振動レベルの減衰定数として $h_1=約 10\%$ を設定する場合、アクティブ制振が採用されていることが多くなっているものと思われる。図-8の塔状制振建築物も同様の傾向が見られる。

5. まとめ

1987～2007年度までの21年間の日本建築学会大会論文から、制振建築物の実測減衰データベースを作成した。また、それに基づいて制振建築物の減衰性能の簡単な傾向分析を行った。パッシブ制振、アクティブ制振ともに大きな減衰性能を付与しているものの、その値のばらつきはかなり大きい。制振装置がその性能を発揮するためには、設計、施工上の十分な配慮が必要と思われる。また、今回の分析では比較的大きな振幅レベルの減衰定数を採用することとしたが、振幅レベルによっては必ずしも十分な減衰性能が得られていない場合もあるようである。振幅レベルごとの減衰定数の分析や減衰評価方法の違い等に関する影響の整理を今後進めていく必要があるものと考えられる。

謝辞：本研究は、日本建築学会荷重運営委員会のもとに設置された「建築物の減衰と性能設計小委員会」の活動を通じて実施したものである。本研究をまとめるにあたり、多大なご協力をいただいた早稲田大学 曾田五月也 教授、応用地震計測(株) 佐武直紀委員に心より感謝申し上げます。また同小委員会の関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築物の減衰，2000
- 2) 日本建築学会：学術講演梗概集(1987～1994: B, 1995～2007: B-1, B-2)
- 3) 日本建築構造技術者協会：応答制御設計法，付:免震・制振(震)建築の設計例/装置・部材データ集，2000

表-1 つづき

建物No.	減衰評価手法 TF:伝達関数 PS:パワースペクトル	減衰定数実測値(%)									1次モード振幅値 *はRMS値,他は最大値(加速度 cm/s ² ,速度×10 ⁻³ cm/s,変位×10 ⁻⁶ cm)			備考	論文 発表 年			
		短辺			長辺			ねじれ			変位	短辺	長辺			ねじれ		
		1次	2次	3次	1次	2次	3次	1次	2次	3次								
V-1 (Sタワー)	自由振動波形より 自由振動波形より	0.93 4.70											変位 79000.0 44000.0			TLD水量1t×25基,管制塔重量の0.59%,2方向制振	1987	
V-2 (Sタワー)	1/√2法 自由振動波形より	0.40 4.00	1.10		0.60	1.30		1.20	5.20				変位 760000.0 450.0			TLD水量0.6t×16基,建物1次モード重量の約1% のTLD自由水,短辺方向のみ制振	1988	
V-3 (Sタワー)	自由振動波形より 伝達関数より 伝達関数より	0.50 4.60 7.10			0.50 7.30 6.70								加速度 413.7 41.5			建物重量の1%のTMD重量,2方向制振	1988	
V-4 (Sタワー)	対数減衰率 対数減衰率	0.50 4.60			0.60 2.20								変位 1800000.0			タワー地上部重量4000t,TMD重量X方向30t,Y方向 25t,減衰定数h=15%,X方向は壁面の一つと平行方向,Y 方向はX方向と直交する方向,2方向制振	1989	
V-5 (ビル)	1/√2法(PS) 自由振動波形より 自由振動波形より	2.00 3.20 9.10											変位 500000.0 4000000.0			振り子式TMD,建物地上部重量1100t,TMD重量 5t,有効質量比約1%,短辺方向のみ制振	1989	
V-6 (ビル)	1/√2法(PS) カーブフィット(PS) RD法	2.35 2.01 1.92	1.52 2.21	3.86	3.99 3.06 2.25	1.57 1.08 2.57	2.76						加速度 10~40			1~16階に鉛ダンパー設置	1990	
V-7 (ビル)	1/√2法 1/√2法	13.00 3.00											変位 4.0			制振時ではなく,システムの固定時と非固定時の比較,短辺方向のみ制振	1991	
V-8 (Sタワー)	自由振動波形より 1/√2法 自由振動波形より 1/√2法 RD法 RD法	0.96 1.60 8.10 7.60 0.3~0.9 6~10											加速度 4.0 4.0			ジャイロタイプ,建物重量300t,ロータ重量408kgf	1992	
V-9 (ビル)	常時微動より システム同定 システム同定 システム同定	0.81 1.13 1.45 1.86	0.91 1.76 3.77 4.19	1.61 1.96 2.83 3.90	0.91 0.98 1.29 1.20	0.90 1.88 1.74 2.58	1.29 2.50 3.03 3.24						変位 60000.0 35~82 35~82 35~82			制振方向はX方向(短辺方向として表示),システム 同定は時刻応答解析による	1992	
V-10 (ビル)	自由振動波形より 自由振動波形より 自由振動波形より 自由振動波形より				2.50 5.5~6.6								変位 50000~ 750000 250000~ 320000			建設中に実験実施,1階~5階に粘性体ダンパー設置, 粘性体面積(1階:10800cm ² ,5階:7200cm ²),2方 向制振	1992	
V-11 (Sタワー)	自由振動波形より 自由振動波形より	0.55 4.66			0.65 5.06								加速度 30.0 30.0	30.0 30.0		TMD質量1.2t,一般化質量比2%,2方向制振	1992	
V-12 (ビル)	共振曲線より	1.40	1.43	1.75	1.86	1.24	1.65									短辺方向のみ制振	1993	
V-13 (ビル)	1/√2法 1/√2法	2.50 6.10			(3.9) 4.70								変位 50000.0 48000.0	60000.0 90000.0		2方向制振,()内の減衰は参考値	1993	
V-14 (Sタワー)	自由振動波形より 自由振動波形より FDD法 カーブフィット(自由振動波形)	0.37 2.00 0.46 1.26	1.16	2.64	0.60 1.69	0.71	1.03	0.41	0.79	1.04			速度 75.0 150.0	75.0 200.0		建物一般化質量とTLD内容物の質量比 X2.5%,Y2.1%,X方向を短辺として表示,2方向制振	1993	
V-15 (Sタワー)	自由振動波形より 自由振動波形より RD法 RD法 RD法 RD法 カーブフィット(自由振動波形) FDD法 カーブフィット(自由振動波形)	0.77 3.90 4~7 1.5~7 1.60 4.55 1.52 4.34			1.5~2 1~2 1.41 1.10 1.56	1.07	0.75	1.52	1.49	1.35			速度 120.0 50.0 0.6*~1.4* 0.1*~1.0* 10.0* 150.0 0.2~0.6	0.4*~0.8* 0.1*~1.0* 10.0* 250.0 0.4~1.2		建物一般化質量とTLD内容物の質量比短辺3.2%, 長辺2.0%,2方向制振	1993	
V-16 (ビル)	カーブフィット(自由振動振幅) カーブフィット(自由振動振幅)	1.87 2.39	1.94 2.11					2.13 2.18					変位 250000.0			1階~10階の各階に4箇所ずつ設置,てこによる増 幅機構,2方向制振	1993	
V-17 (ビル)	RD法 RD法	2.00 5~15														建物1次等価重量3280t,AMDマス重量36t×2基, 短辺方向とねじれの制振	1994	
V-18 (ビル)	自由振動波形より 自由振動波形より RD法 RD法	1.40 10.60 2.00 6~15											加速度 5.0 5.0 1.0 1.0			TMDマス重量480t,建物1次等価重量の3.4%(短 辺),3.9%(長辺),2方向制振	1994	
V-19 (ビル)	共振曲線より 自由振動波形より	0.85 8.00	1.20	1.48									加速度 3.0			建物重量52000t,AMDマス重量15t×2基,短辺方 向2次~3次の制振	1994	
V-20 (ビル)	自由振動波形より 自由振動波形より	0.92 6.70											加速度 3.5 3.5			1次モード質量比0.47%,HMD1基の重量22t×2基,2 方向制振	1994	
V-21 (ビル)	対数減衰率 対数減衰率 RD法 RD法 RD法 RD法 RD法 RD法	0.80 2.40 10.60 1.08 4.69 1.00 5.84 1.17 6.45	1.30	1.50	0.76 11.30 1.03 4.34 0.91 5.84 1.04 6.27	1.25 1.34	0.85	0.95 1.09 0.86 1.23 0.86 1.30						速度 10000.0 10.0 10.0 200.0 200.0 500.0 500.0 1000.0 1000.0			多段階振り子方式のHMD(TAD),付加振動体質量比 0.74%,付加振動体重量170t×2基,2方向制振	1998
V-22 (ビル)	自由振動波形より 自由振動波形より 自由振動波形より 自由振動波形より	1.14 2.38 3.76 4.94											変位 2000000.0 2000000.0 2000000.0 2000000.0			付加振動体重量110t×3基,39階に設置,2方向制 振	1994	
V-23 (ビル)	自由振動波形より 自由振動波形より	0.83 7.23			1.15 9.65								変位 200000.0 200000.0			TMD上にAMDを設けたHMD,TMD重量20t,建物重量の 0.77%,AMD重量2t,建物重量の0.08%,2方向制振	1994	
V-24 (ビル)	対数減衰率 TF	1.60 16.00	3.00 3.00										加速度 9.0 9.0 20.0			HMD可動部重量2.11t,1次有効質量比1.7%,短辺 方向1次,2次の制振	1994	
V-25 (ビル)	対数減衰率 1/√2法	10.00 11.00											変位 30000.0 50000.0			躯体工事終了時測定,衝撃加振の減衰は約2.5%~ 18%に分布,1/√2法の値は下限値,2方向制振	1994	
V-26 (ビル)	対数減衰率 対数減衰率 1/√2法 対数減衰率 対数減衰率 1/√2法	1.13 1.23 1.68 3.55 3.22 5.05			1.60 1.37		1.21 1.24 3.00 3.91						加速度 4~7 1~2 >6 4~7 1~2 >3	4~7 1~2 4~7 >3		建物全体重量729t,1次用TMD(1.0t),3次用 TMD(1.75t),短辺方向とねじれの制振	1994	
V-27 (ビル)	自由振動波形より 自由振動波形より	0.55 5.5~6.0			0.68 5.5~6.0								変位 55000.0 30000.0			2方向回型水槽,質量比2.28%,装置有効重量 26.5t,建物1次有効重量1160t,2方向制振	1994	
V-28 (ビル)	自由振動波形より 自由振動波形より	0.81 5.70			1.07 5.47											質量比0.9%,はり間方向より時計回りに約20度の方 向を短辺,直交方向を長辺と表示,2方向制振	1995	
V-29 (ビル)	RD法 RD法	1.00 3.00					2.50 7.50						速度 1000.0* 200.0*			建物1次等価重量10150t,ATMDマス重量50t×2 基,短辺方向とねじれの制振	1995	
V-30 (ビル)	自由振動波形より 自由振動波形より	1.10 10.20			1.40 10.10								変位 1000000.0 1000000.0	1000000.0 1000000.0		TMD上にAMDを設けたタイプのHMD,TMD重量 30t,AMD重量6t×2基,HMD設置数2基,2方向制振	1995	
V-31 (ビル)	対数減衰率 対数減衰率	0.70 6.10			2.90 10.90								加速度 9.0 7.0	5.0 5.0		装置重量50t×2基,2方向制振	1995	
V-32 (ビル)	PS PS						1.13 4.50						加速度 1~4			振り子式TMD,TMD重量112~132t(高架水槽),建 物有効回転質量の2~2.5%,ねじれの制振	1996	

表-2 つづき

建物No.	減衰評価手法 TF:伝達関数 PS:パワースペクトル	減衰定数実測値(%)									1次モード振幅値 *はRMS値,他は最大値(加速度 cm/s ² ,速度×10 ⁻³ cm/s,変位×10 ⁻⁶ cm)			備考	論文 発表 年		
		短辺			長辺			ねじれ			変位	変位	変位				
		1次	2次	3次	1次	2次	3次	1次	2次	3次							
V-33 (Sビル)	対数減衰率 対数減衰率	4.30			1.50								800000.0 700000.0			1階~16階に計80台設置,最大減衰力100t,2方向制振	1996
V-34 (Sビル)	自由振動波形より 自由振動波形より 自由振動波形より RD法	0.84 2.50 10~11.8 0.75 12.10	0.82 1.12 1.30		0.88 1.02 1.76 1.54								10.0 10.0 10.0			多段振り子方式のHMD(TAD),振動体重量90t/基,建物重量の0.17%,有効質量比0.61%,2基設置,短辺方向とねじれはアクティブで長辺方向はパッシブ	1996
V-35 (Sビル)	システム同定 システム同定	2.20 4.20			1.85 4.70								290.0 150.0			HMD2基設置,システム同定(ARMAX,AR),2方向制振	1997
V-36 (Sビル)	PS	6.30			1.00				1.50				9.0 4.0			振り子式TMD,TMD重量(短辺180t,振れ:90t),建物重量27000t,短辺方向とねじれの制振	1997
V-37 (Sビル)	自由振動波形より 自由振動波形より	1.40 6.00											10.0 3.0			転がり振り子式TMD(2方向),TMD重量8.5t,建物重量の1%,2方向制振	1997
V-38 (Sビル)	微動波形より 自由振動波形より 自由振動波形より	2.20 8.00						3.50 9.50					2500.0 2500.0			水蓄熱槽を利用したAMDを38階に2基設置,両側の低層棟との間に超塑性ゴムを計8箇所設置,長辺方向は超塑性ゴム,短辺方向とねじれはアクティブと超塑性ゴム	1998
V-39 (スタワー)	カーブフィット(自由振動波形)	8~11											1600.0			HMD可動部重量(短辺:34.5t,長辺:26.8),有効質量比(短辺:1.73%,長辺:1.41%),2方向制振	1998
V-40 (Sビル)	共振曲線より 対数減衰率 システム同定	1.21 10.10 9.00	1.70		1.05 3.00 1.50			1.73 3.40 1.60					4.0 4.0	4.0 2.0		ギヤ振り子とリニアモータのHMD,HMD重量30t×2基,建物総重量の約0.12%,システム同定はARXモデル,短辺方向とねじれの制振	1998
V-41 (W)	自由振動波形より 自由振動波形より	2.65 3.83											50.0 25.0			木造2階建住宅,設置枚数(1階12枚,2階8枚),ダンパー1枚約1.7tの抵抗力,2方向制振	1998
V-42 (Sビル)	PS 共振曲線より 自由振動波形より 自由振動波形より	0.63 0.72 3.00 10.00	1.50 3.00		1.14 0.86 1.00 4.50			0.89 0.86 1.00 4.50					8.0 5.0	0.1 0.1		リニアモーターを用いたHMD,HMD重量24.7t×2基,短辺1次,2次,ねじれの制振	1998
V-43 (スタワー)	対数減衰率 対数減衰率 RD法 RD法	0.25 2.10 0.50 2.30			0.23 3.10 0.32 2.00											TMD質量12t,有効質量比約2.8%,タワーの中間部に3本のステーあり,2方向制振	1999
V-44 (Sビル)	1/√2法 1/√2法 対数減衰率 対数減衰率 PS TF FDD法 1/√2法	1.40 3.90 4.50 4.41 4.31 1.01 1.14 4.62 6.20	2.30 6.10										348000.0 118000.0 1.0 1.8 2.5 20.6 19.7		21.5	起振機実験は竣工引渡し前に実施,オイルダンパー最大径φ200,最大減衰力50t,72基設置,2方向制振	1999 2002
V-45 (スタワー)	RD法 RD法 RD法 RD法	0.3~0.4 3~4.5 0.1~0.3 2.9~4.3							2.37 8.90							屋上鉄塔(高さ20.5mのSRC建物の屋上に高さ62.5mの鉄塔),TMD重量1t,2方向制振	1999
V-46 (Sビル)	自由振動波形より 自由振動波形より	0.65 12.50	0.78 4.90										8.0 9.0	2.0 2.0		HMD(パッシブ)部質量68t,アクティブ部質量7.5t×2基,建物総質量50000t,短辺1次,2次,ねじれの制振	2000
V-47 (Sビル)	1/√2法 1/√2法 1/√2法	3.30 9.70 13.50														最大減衰力100tの可変オイルダンパー,1階~4階に2基ずつ設置,短辺方向はセミアクティブ,長辺方向は鋼材ダンパー設置	2000
V-48 (Sビル)	対数減衰率 対数減衰率	1.70 5.34 6.68	1.96 6.68													オイルダンパー設計減衰力196kN,限界減衰力392kN,各階8基計40基設置,2方向制振	2000
V-49 (Sビル)	カーブフィット(自由振動振幅ピーク) カーブフィット(自由振動振幅ピーク)	1.70 1.30	0.90 0.50	1.00 0.90	0.90 0.40								3400.0 92700.0	2200.0 40600.0	159200.0	粘性制震壁453枚設置,2方向制振	2000
V-50 (Sビル)	対数減衰率 対数減衰率 対数減衰率 対数減衰率	1.15 1.42 1.19 5.57											500000.0 500000.0 500000.0 500000.0			オイルダンパー22台,セミアクティブオイルダンパー42台,オイル,セミアクティブオイル共に2方向配置,1階~6階にセミアクティブ,7階~10階にオイル配置,セミアクティブダンパーの最大荷重1500kN,リリーフ荷重1300kN	2001
V-51 (Sビル)	自由振動波形より 自由振動波形より	2.26 10.58	3.85 6.24	2.63 4.08		2.55 9.76							7.5 7.5	5.0 5.0	3.0 3.0	HMD(TMD)有効重量54.5t,AMD有効重量11t×2基,短辺1,2次,ねじれアクティブ,長辺パッシブ	2002
V-52 (Sビル)	1/√2法 RD法 TF	0.66 0.45 0.5~1	0.92 1.47	1.13 1.10 1.5~2	0.95 1.31	0.64 0.47 0.74										1999年1月~2001年11月まで2ヶ月ビッチで測定した値より評価	2002
V-53 (CFTビル)	RD法	2.30		2.00												1階~19階:8台/階,20階~38階:4台/階,2方向制振	2002
V-54 (CFTビル)	自由振動波形より 自由振動波形より 自由振動波形より 自由振動波形より モード分解法 モード分解法	0.90 1.10 3.00 4.00 2.30 4.50														TMD上にAMDを設けたHMD,セミアクティブオイル最大荷重1500kN,リリーフ荷重1300kN,TMD質量30t,AMD質量10t,セミアクティブオイルダンパーは短辺方向に88基,HMDは屋上に2基で2方向制振,システム同定(ARXモデル)を用いた閉ループ直接同定法	2003 2004 2005
V-55 (CFTビル)	自由振動波形より 自由振動波形より	0.77 12.70	0.85 3.17	1.15 3.59		0.92 9.14	0.83 2.99						9.0 9.0	5.0 5.0		HMD(TMD)有効質量200t,AMD有効質量20t×2基,短辺1次~4次アクティブ,長辺はパッシブ	2003
V-56 (CFTビル)	RD法 RD法 TF	0.97 4.20 6.70	3.50													短辺方向にセミアクティブオイルダンパー(72台),長辺方向にオイルダンパー(40台)	2004 2005
V-57 (Sビル)	自由振動波形より 自由振動波形より	2.70 13.80				1.90 10.90										テコ&レール式リニアモーター,振動体重量31t×2基,ダンパー減衰力1500kN,HMD:短辺,ねじれ,オイル短辺	2004
V-58 (CFTビル)	自由振動波形より	1.5~3														粘性制震壁,基準粘度9000poise,3F~20F:各階6基,極軟鋼LY100,3F~20F:各階8基,2方向制振	2004
V-59K (SRCビル)	システム同定	1.2~3.5														耐震改修,2階~5階に設置,システム同定(ARMAMAモデル),2方向制振	2004
V-60 (CFTビル)	1/√2法	3~4.7		3~6.5												極低降伏点鋼(LY100),2方向制振	2005
V-61K (RCビル)	RD法 RD法 RD法 RD法				1.90 2.90 2.69 2.28	1.50 3.00 4.59 3.63										耐震改修,ジェン系減衰体,最大減衰力400kN,設置数(長辺:16台,短辺:8台),2方向制振	2005
V-62 (CFTビル)	RD法 システム同定1 カーブフィット(自由振動振幅ピーク) 応答モデル システム同定1 システム同定2	0.97 0.85 1.07 1.80 1.6~1.92 1.00	1.91 1.81		0.77 0.81 2.69 1.8~2.2	2.74 1.57							0.11~0.18 0.11~0.18 0.30~0.89 0.6~41.0	0.12~0.18 0.13~0.18 0.62~1.43 0.7~64.0		床屈拘束ブレース(LY100),粘性体制振壁,両ダンパー共に2方向配置,応答モデル(等価せん断モデル)による地震応答解析,システム同定1(ARXモデル),システム同定2(部分空同定)	2005 2006
V-63 (Sビル)	自由振動波形より 自由振動波形より	1.00 6.50		1.30 6.20		1.40							4.0 4.0	4.0 4.0		HMD質量50t×2基,有効質量比(1次:0.41%,2次:0.4%),建物有効質量(1次:24200t,2次:24700t),2方向制振	2005
V-64 (Sビル)	RD法+ARMAモデル RD法+対数減衰率 ARMAモデル RD法+ARMAモデル RD法+対数減衰率 ARMAモデル	1.00 0.90 0.70 1.30 4.60 3.10			1.50 1.00 1.10 2.80 0.90 2.40								0.2*~0.7* 0.2*~0.7* 0.2*~0.7* 0.3*~0.5* 0.3*~0.5* 0.3*~0.5*	0.2*~0.5* 0.2*~0.5* 0.2*~0.5* 0.15*~0.4* 0.15*~0.4* 0.15*~0.4*	長辺方向立面が8階以上で両端部が約20m張り出すT字型形状,2方向制振	2006	

