

HMD制振構法の開発（その4）

— 現地試験結果 —

井出 知良* 今岡 達彦** 川久保政茂***

要約： 近年、超高層ビルでは地震や強風に対する構造安全性のみならず、台風や季節風などによる風揺れに対する居住性能の確保が重要な課題となっている。本論文では都内某超高層ビルへ制振装置を設置する際に行った強制振動実験および自由振動試験の結果について報告する。強制振動試験の結果、居住性が問題となる程度の振幅レベルにおける建物の1次固有周期は、設計値に比較し20%程度小さな値であることが判明した。それに対しコイルばねの数量を増加させることにより制振装置の周期調整を行った。また定常振動からの自由振動試験を行い、制御性能および回生抵抗による減衰性能の確認を行った。

キーワード： 制振装置, 超高層ビル, 風揺れ, ハイブリッドマスダンパ, 強制振動試験, 自由振動

- 目次：**
1. はじめに
 2. 対象建物の振動特性
 3. 自由振動試験
 4. おわりに

1. はじめに

近年、超高層ビルでは地震や強風に対する構造安全性のみならず、台風や季節風などによる風揺れに対する居住性能の確保が重要な課題となっている。特に超高層ビルを住居やホテルとして利用する場合、居室としての居住性能を確保する必要がある。このようなニーズに対応するために制振装置の研究開発が盛んに行われ、実用段階を迎えている。本論文では都内某超高層ビルへ制振装置を設置する際に行った強制振動実験および自由振動試験の結果について報告する。

2. 対象建物の振動特性

対象建物は地上41階、地下6階、最高高さ183.85mの超高層建物である。構造形式は地下1階以上がS造、地下2、3階がSRC造、地下4～6階がRC造である。また建物用途は4～16階は事務室、17～18階は機械室、19～38階がホテル客室として利用される。制振装置設置階の平面図を図1に、断面図を図2に示す。建物の固有周期（設計時）を表1に示す。本制振装置は強風時の風揺れに対する居住性向上および中小地震時の後揺れの早期低減を目的に設置された。装置の設置位置を図1に示す。本制振装置はパッシブ型のチューンドマスダンパーを基本としながら、モデルフォロイング制御則により設計者が意図したチューンドマスダンパーとしての挙動を実現させるためにACサーボモータを用いてアクティ

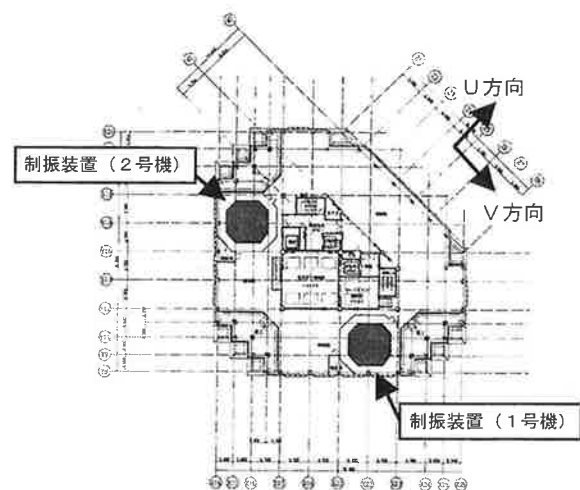


図1 平面図（41階）

表1 対象建物の固有周期（設計値）

	モード	固有周期 [sec]
		(固有振動数 [Hz])
U方向	1次	4.38 (0.228)
	2次	1.64 (0.610)
V方向	1次	4.14 (0.242)
	2次	1.49 (0.671)
ねじれ	1次	2.87 (0.348)
	2次	1.32 (0.758)

ブ制御を行うハイブリッド型の制振装置である。¹⁾²⁾³⁾⁴⁾
 制振装置の諸元を表2に示す。チューンドマスダンパーは制御対象建物の固有周期に応じその固有周期を調整する必要がある。一般に居住性が問題となる程度の微小振幅レベルにおける固有周期は、2次部材の影響等により設計値に比べて小さくなる傾向がある。そこで微小振幅レベルにおける固有周期を把握するために制振装置設置時に強制振動実験を行った。実験では制振装置を加振装置として使用した。加振対象は、並進方向(U、V)の1次振動および2次振動とした。また2基の制振装置をU方向について逆位相で加振することにより、ねじれの1次についても検討した。

実験により得られたV方向の共振曲線を図3、4に示す。また共振曲線より読み取った固有周期、減衰定数を表3に示す。なお減衰定数はハーフパワー法により算出した。設計値と比較すると、並進方向の固有周期はU、V方向とも1次で19%、2次で28%小さな値となっていた。またねじれの1次についても30%小さな値であった。したがって建物の1次周期をもとに多自由度系に対するチューンドマスダンパーの最適設計法⁵⁾から決定される最適周期は、U方向が3.60秒、V方向が3.39秒となった。本制振装置ではコイルばねの増減による周期調整が可能であり、コイルばねを増加させることにより最適周期への設定を行った。

3. 自由振動試験

制振性能を確認するために自由振動試験を行った。試験方法は、まず制振装置を用いて建物をその1次振動で定常振動させた。その後十分振動が安定したのち加振を停止させた。なお加振レベルは共振時における41階床の絶対加速度が4 cm/sec²程度になるようにした。試験は加振停止後の自由振動に対して制御を行った場合および制御を行わない場合について行った。また制御を行わない場合については、回生抵抗を接続しない場合と回生抵抗を接続した場合について行った。本制振装置では、年数回発生する程度の台風や季節風を対象としているが、大型台風や大地震などに遭遇し可動マスの変位が設定値を超えた場合はACサーボモーターによる制御が停止し、パッシブモードとなる。その際装置の過大な変形を防止

表3 強制振動試験から算出した建物の振動特性

	モード	固有周期 [sec]	減衰定数	実験値
		(固有振動数 [Hz])	[%]	設計値
U方向	1次	3.57 (0.2802)	0.8	0.81
	2次	1.19 (0.8398)	0.8	0.73
V方向	1次	3.35 (0.2985)	0.8	0.81
	2次	1.08 (0.9277)	0.8	0.73
ねじれ	1次	2.01 (0.4979)	---	0.70

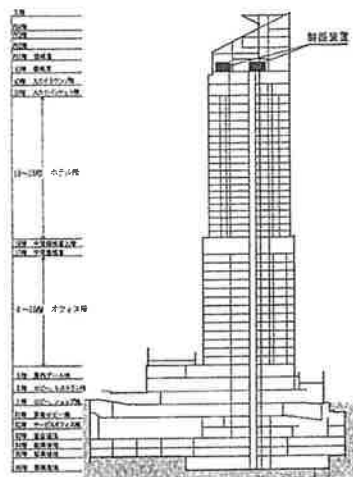


図2 断面図

表2 制振装置諸元

	U方向	V方向
総重量 [ton]	150	
可動マス重量 [ton]	110	100
設計周期 [sec]	4.40	4.15
実用変位 [cm]	-60~+60	-60~+60
最大変位 [cm]	±80	±80
モータ容量 [kW]	11×2台	11×2台

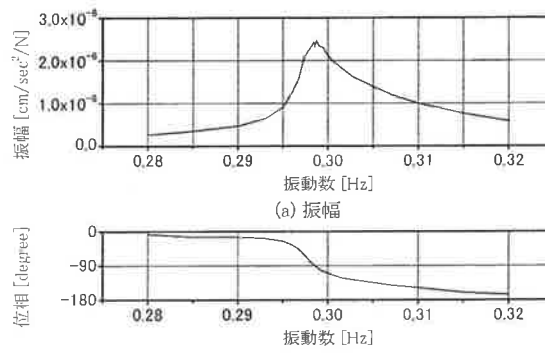


図3 共振曲線(V方向1次)

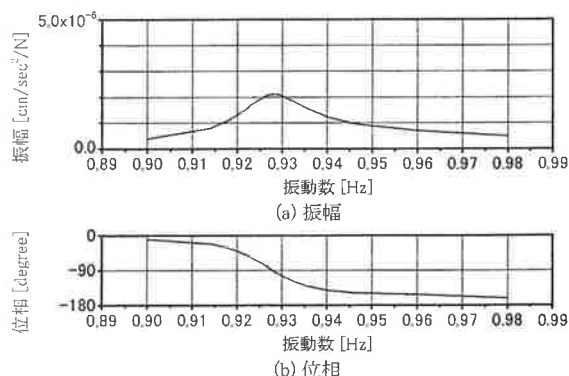


図4 共振曲線(V方向2次)

するため、ACサーボモーターに回生抵抗を接続することによる減衰機構を採用している。

試験により得られた建物 41 階の自由振動波形 (V 方向) を図 5 に、可動マスの挙動を図 6 に示す。図 5 (a) によれば制御を行った場合、制御を行わない場合 (b), (c) に比較して、制御開始後の 5 秒から 15 秒の間で急速に振動が低減している。図 6 (a) によればこの間可動マスには大きな変位が生じている。

次に制御を行わなかった場合について考察する。図 6 (b)、(c) に示した加振停止後の可動マスの挙動についてみると回生抵抗を接続した場合は、接続しない場合に比較し振動が小さくなっている。これは回生抵抗を接続することにより減衰性能が増加したためである。また図 5

(b)、(c) に示した 41 階の自由振動波形では回生抵抗を接続した場合は、接続しない場合に比較し振動低減が緩やかになっている。

さて図 6 (b)、(c) によれば 35 秒以降可動マスの動きは停止している。これはリニアガイド等による摩擦によるものと考えられる。

従ってこれ以降は制振装置が働かない場合の建物の自由振動と考えることができる。そこで図 5 (b)、(c) の 35 秒以降の自由振動波形から建物の振動特性を同定した。その結果を表 4 に示す。固有周期、減衰定数ともに強制振動実験 (表 3) と比較しほぼ同程度の値であった。

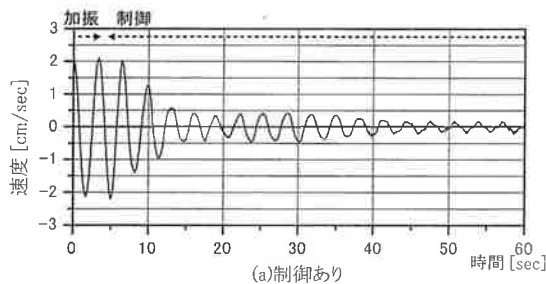
4. おわりに

以上都内某超高層ビルへ制振装置を設置の際、実施した強制振動試験、自由振動試験の結果について報告した。同建物では、平成 13 年 3 月より風速・風向および建物の揺れを観測しており、今後観測データによる制振効果の検証を行う予定である。

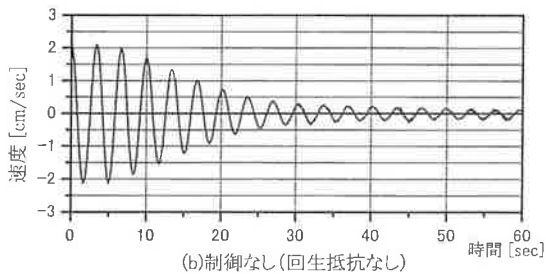
なお本制振装置の開発は、日本大学理工学部建築学科石丸研究室との共同研究である。

表 4 自由振動試験から算出した建物の振動特性

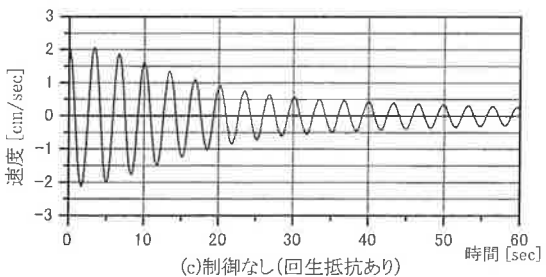
	回生抵抗	固有周期 [sec] (固有振動数 [Hz])	減衰定数 [%]
U方向	なし	3.48 (0.287)	1.2
	あり	3.51 (0.285)	1.1
V方向	なし	3.25 (0.308)	1.2
	あり	3.27 (0.307)	1.2



(a)制御あり

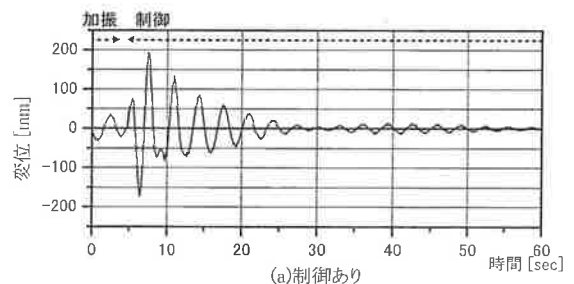


(b)制御なし(回生抵抗なし)

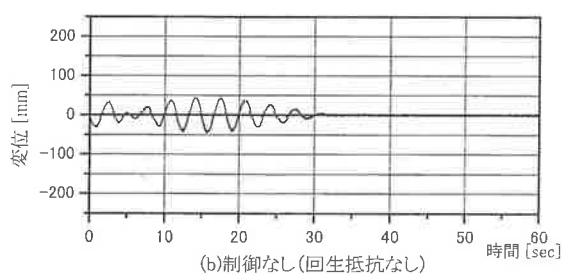


(c)制御なし(回生抵抗あり)

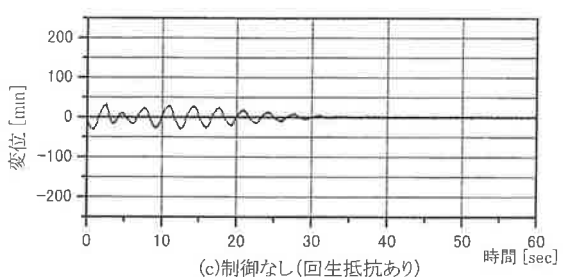
図 5 自由振動波形 (41 階 : V 方向)



(a)制御あり



(b)制御なし(回生抵抗なし)



(c)制御なし(回生抵抗あり)

図 6 自由振動波形 (可動マス : V 方向)

参考文献

- 1) 川久保政茂・木村正彦・今岡達彦 HMD制振構法の開発 (その1) 東急建設株式会社技術研究所報No.21 pp.159-164
1995年10月
- 2) 川久保政茂・木村正彦・今岡達彦 HMD制振構法の開発 (その2) 東急建設株式会社技術研究所報No.22 pp.187-192
1996年10月
- 3) 川久保政茂・木村正彦・今岡達彦 HMD制振構法の開発 (その3) 東急建設株式会社技術研究所報No.26 pp.63-66
2000年9月
- 4) 今岡達彦・川久保政茂・他4名 ハイブリッド制振装置開発に関する基礎的研究 日本建築学会大会学術講演会梗概集
pp.859-860 1995年8月
- 5) 背戸一登・岩波孝一・滝田好宏 動吸振器による多自由度系の制振 日本機械学会論文集(C編) 50巻458号 pp.1962-
1969 1984年10月

DEVELOPMENT OF HMD STRUCTURAL CONTROL SYSTEM (PART 4) RESULT OF EXPERIMENTS

T. Ide, T. Imaoka and M. Kawakubo

Recently, in order to mitigate the uncomfotability of residents in ultra-high-rise and slender buildings by earthquake and wind loads, many kinds of vibration control system have been developed. This paper presents the results of force vibration tests and free vibration tests on high-rise building with hybrid mass damper (HMD). The HMD is comprised of weights, springs and dampers to absorb the energy of vibrations. Its basic movements are determined by a passive type TMD(Tuned Mass Damper), which adjusts itself to the natural period of the building to which the device is installed, and the device also includes an active control system to control micro-vibration and to improve control stability.