

制振実験棟による振動制御実験（その2）

HMDによる制振効果の検証

清水 欽也 古川 忠 稔
田村 保

要 旨

（その1）で報告した制振実験棟に実大レベルのHMD制振装置を搭載した。そのHMDの機構および制御システムの概要について報告する。また、制振効果の検証として、強風時と加振機による強制振動状態の2つの条件下で振動制御実験を実施した。その結果、強風時および強制振動時いずれの場合においてもHMDの制振効果が確認できた。

1. まえがき

（その1）りに引き続き、ここでは実験棟屋上（R階）に実大レベルのハイブリッドマスダンパー型制振装置（HMD:Hybrid Mass Damper）を搭載し、強風時と模擬地震動入力による条件下での制振効果に関する検証結果について報告する。HMDは制振機構上はアクティブ方式に分類される。さらにHMDは、アクティブマスダンパー（AMD:Active Mass Damper）より少ないエネルギーで高い効果が得られる制振装置として注目され、実建物に適用する場合、アクティブ方式の主流となるものと考えられる。実際、アクティブ制振装置の中で採用実績が最も多く、今後、当社の制振技術開発においても、アクティブ制振の基本的な考え方として取り組むべきものとして考えられる。

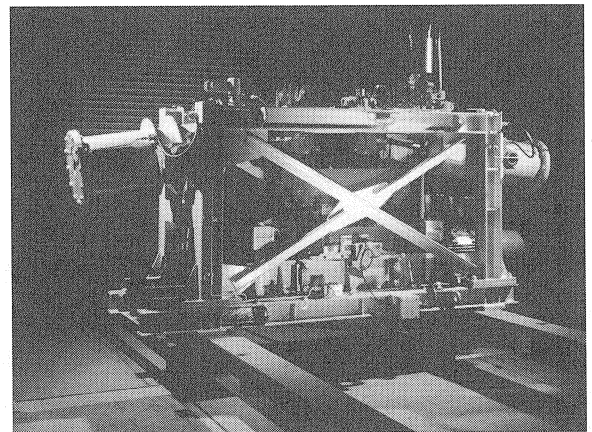


写真-1 HMDの外観

2. HMDの概要

2.1 機構

本実験棟屋上（R階）に搭載したHMDの外観を写真-1に、概要を図-1に示す。HMDは、大きく分けて制振体である振り部分、それを駆動するモータ部分、さらにそれら全体を支えるフレーム部分から構成される。本HMDは図-1に示すように、水平1方向に可動な振子をボールネジを介してACサーボモータで駆動するアクティブ方式の制振装置である。制振体マスは、ボールネジ上を動く水平可動なマスと鉛直方向に自由に動くジョイントで接合された振り状のマスとで構成されている。このジョイント部分を分離し、振り部分のみを制振体とすることによりチューンドマスダンパー（TMD:Tuned Mass Damper）となり、一方、水平可動なマスのみを制振体とするとアクティブマスダンパー（AMD）とな

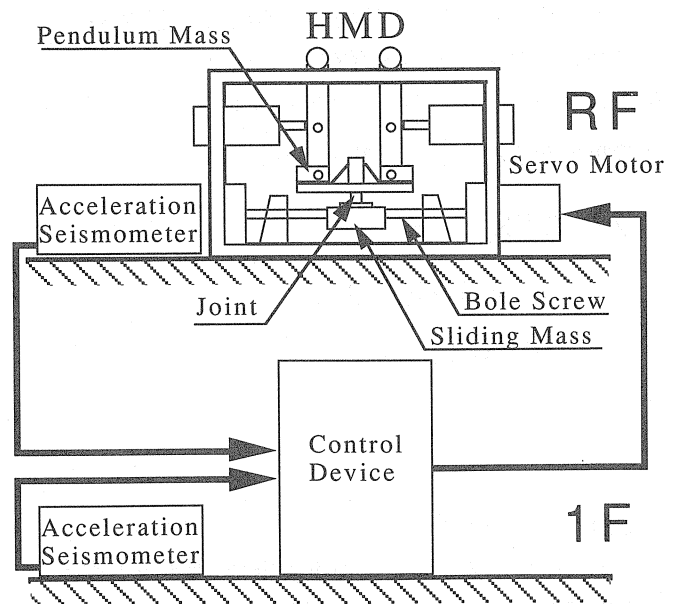


図-1 HMDシステムの概要

る。制振体の重量は、TMDとして最大250kg、AMDとして最大250kg、HMDとして最大500kgとすることが可能である。さらに本HMDは実験用のため、振子の支点調整および制振体マス重量の調整により1.0秒～1.2秒までの建物固有周期に対応可能な装置とした。表—1にHMDの諸元を示す。

表—1 HMDの諸元

Weight Mass	500kg
Maximum Stroke	±150mm
Motor Output	5.5kw
Dimensions(B×D×H)	2.0×0.6×1.32m
Total Weight	3.2ton

2.2 制御システム

HMDを用いた制振システムは、図—1に示すように、センサ部、制御部、駆動部から構成されている。センサは加速度計を採用し、1階とR階の床の上に設置している。構造実験棟内に制御盤を設置し、実験時の作業性を確保するため遠隔操作盤を制振実験棟1階観測ハウス内に設置している。制御部でセンサより計測された加速度をもとに、専用の演算器を用いてサーボモータ駆動力を算出する。得られたサーボモータ駆動力は変位指令としてサーボモータに与えられ、サーボモータはボールネジを介して制振体を駆動する。本HMDの制御則は、装置設置位置（R階）での建物応答速度 \dot{X}_s 、建物応答変位 X_s 、付加質量体の相対速度 \dot{Z} および相対変位 Z の4個の検出量を出力フィードバックすることにより、付加質量体の指令変位 \tilde{Z} を式(1)で与える。

$$\tilde{Z} = \{G\}^T \{X_r\} \quad (1)$$

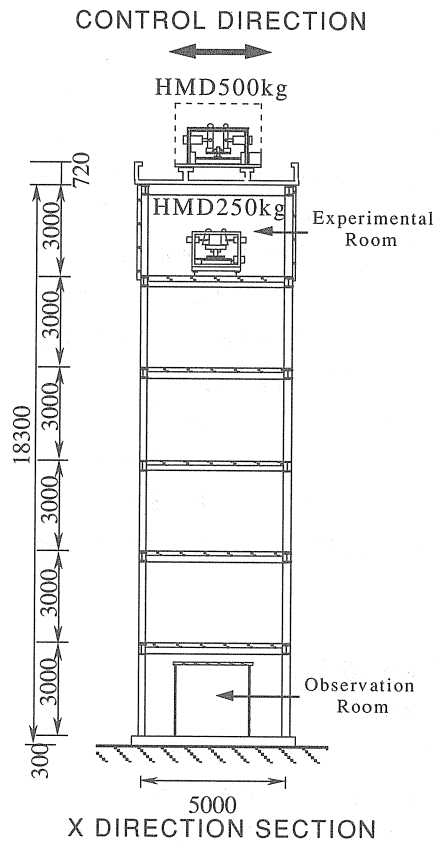
ただし、 $\{G\}^T = \{G_1, G_2, G_3, G_4\}$

$$\{X_r\}^T = \{\dot{X}_s, X_s, \dot{Z}, Z\}$$

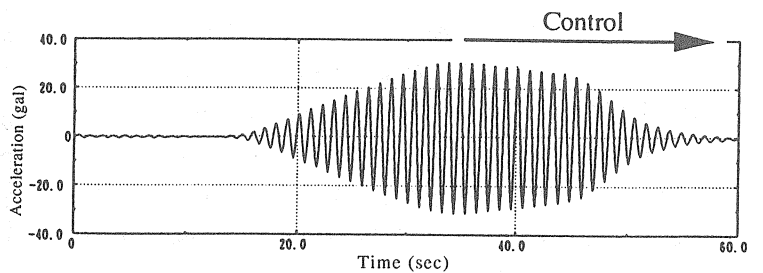
なお、 $|G|$ はフィードバックゲインであり、高次モードに対するスピルオーバー不安定や、モデルの設定誤差の影響を除去し、ロバスト制御系を構築するため、最小ノルム法を用いた準最適化手法によって設定した³⁴⁾。

2.3 動作確認試験

実験に際して、本実験棟6階体験ルーム内にR階のものよりひとまわり小さいHMD（最大マス重量250kg）を設置した。これを加振機として用いてHMDの動作確認試験を行った。図—2に動作確認試験時のHMDの配置について示す。HMDの動作確認試験は、加振機を実験棟の固有振動数の正弦波で加振して行った。図—3にR階の応答加速度波形を示す。図に示すようにHMDの作動時以降に大幅な振幅の低減効果が確認できた。また、応答加速度の対数減衰率を求めると、 $h=0.04$ が得られた。HMDを作動させない場合（ $h=0.003$ ）³⁵⁾に比べて、HMDを作動させた場合は10倍以上の付加減衰が得られることが確認できた。



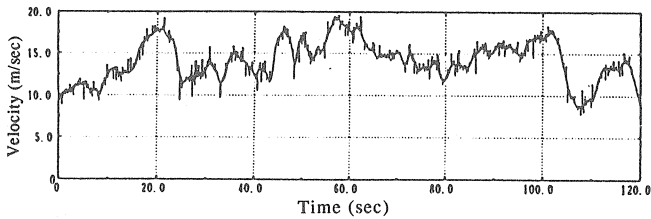
図—2 HMDの配置



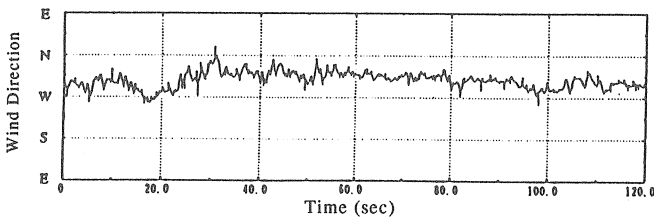
図—3 応答加速度波形（R階X方向）

3. 強風時の効果

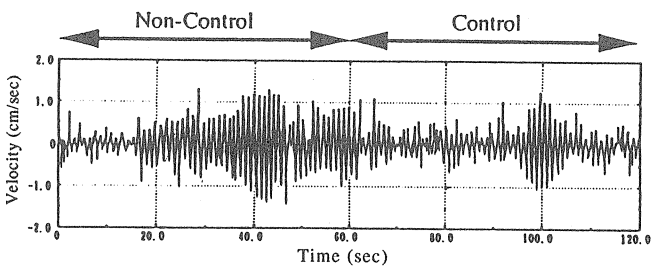
1994年4月3日に、強風時の制御効果の検証のための制振実験を行った。図—4および図—5に、階段棟頂部に設置した風向風速計で記録された実験時の風向、風速を示す。図より、最大瞬間風速で20m/s、平均15m/s程度の強風が観測されていることがわかる。図—5からも分かるように風向は観測中ほぼ北西であり、実験棟が受ける風は実験棟Y方向に相当する。実験は120秒間行い、前半60秒間は非制振の状態、後半60秒間はHMDによる制御状態である。実験棟の揺れは図—6に示す前半60秒間の応答速度からも明らかなように、X方向の揺れが顕著であった。後半60秒間の制御状態では、前半60秒間の非制御状態に比べて振幅が押えられており、HMDの制振効果が確認できた。



図—4 風速



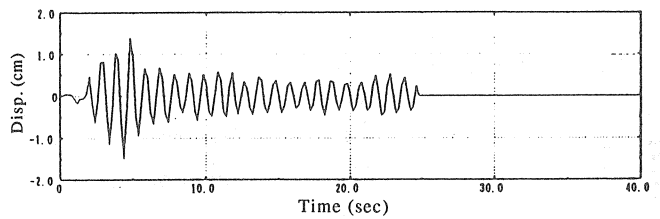
図—5 風向



図—6 応答速度波形 (R階X方向)

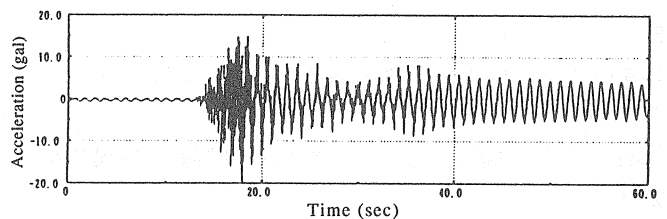
4. 模擬地震動入力時の効果

次に、非定常な外乱入力に対する効果を検証するため、動作確認試験同様、6階体験ルーム内のHMDを設置し加振機として作動させ、地震入力を模擬した振動制御実験を行った。加振機の入力の都合上、模擬地震動を作成し、実験棟6階での応答変位波形を加振機のマスに変位指令として入力した。このようにして得られた入力変位波形を図—7に示す。

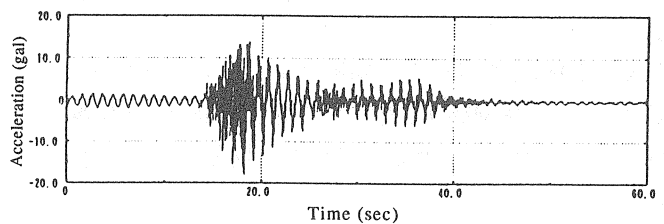


図—7 入力変位波形

入力波形の具体的な作成方法は以下の通りである。まず、実験棟を1自由度系でモデル化し、EL CENTRO 1940NS波形を入力して、質点の応答変位波形を算出した。HMDのストロークの20%になるように振幅調整した上でHMDマスの変位波形となるように加振機を作動させた。図—8は模擬地震動入力時のR階X方向の応答加速度を示しており、(a)がR階のHMDを作動させない状態での応答(非制振)、(b)がR階のHMDを作動させた状態



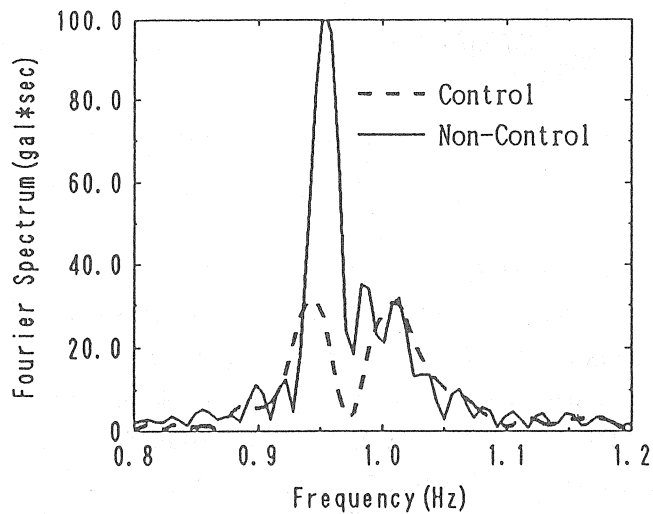
(a) Non-Control



(b) Control

図—8 応答加速度波形 (R階X方向)

での応答（制振）を示したものである。制振時における地震動立上り時の低減効果は小さいものの、後揺れの継続時間が大幅に減少していることが確認できる。図—9はR階X方向の加速度応答波形から得られたフーリエスペクトルを1次固有周期近傍について示したものである。この図から、非制振では実験棟1次固有振動数での応答のピークが抑えられており、地震動のような非定常振動の外乱に対してもHMDによる応答の低減効果があることが確認できた。



図—9 フーリエスペクトル (R階X方向)

5. まとめ

強風時および模擬地震動入力時の効果検証により以下のことが確認できた。

- (1)強風時の効果検証により、制振時には振幅の低減効果が確認できた。
- (2)模擬地震動入力での条件下において、ピーク値の低減効果は少ないものの、後揺れに対する継続時間が大幅に減少可能であることがわかり、非定常振動に対してもHMDの効果が確認できた。

今後、本HMDを用いた、制御アルゴリズムの異なった場合の検証やHMDの配置等を変更した場合等の実験を行い、より効果的な制振システムを開発してゆく予定である。

参考文献

- 1) 清水欽也他、「制振実験棟による振動制御実験（その1）実験棟の建設と動特性の確認」、五洋建設技術研究所年報、VOL.24、1994年。
- 2) 柴慶治他、「ハイブリッドマスダンパー（HMD）を用いた建築構造物の応答制御」、アクティブ制震（振）シンポジウム論文集、1992年3月。
- 3) 高橋守人他、「能動型制振装置による白鳥大橋の主塔架設時の制振対策」、第2回振動制御コロキウム PART B講演論文集、1993年8月。
- 4) 谷田宏次他、「V字型ハイブリッドマスダンパの開発と超高層ビルへの適用」、日本機械学会第3回「運動と振動の制御」、シンポジウム講演論文集、1993年7月。