

京都大学工学研究科 フェロー 家村 浩和
 京都大学工学研究科 正会員 五十嵐 晃
 京都大学工学研究科 学生員 ○三宅 啓太

1. はじめに

広く用いられている TMD は、非定常な入力に対して補助マスの反応性が低いことや、大レベル入力の場合に補助質量の相対変位が過大になることなどの欠点がある。そこで、TMD の減衰特性を入力や応答状態に応じて変化させる機構を有する可変減衰マスダンパー装置を取り上げ、ダンパーの減衰を LQ 制御や可変ゲイン制御に基づくアルゴリズムにより時々刻々更新する手法について検討した。各制御則のパラメーターが制振効果に与える効果を調べるとともに、パッシブ制御と比較した制振効果の相違を解析的に検討した。

2. 解析モデル

解析モデルとして、右の図 1 のように可変減衰マスダンパー装置を 1 自由度系に取り付けたモデルを想定している。質量比は 3% である。M=1171kg、m=35.13kg、K=20998.77(N/m)、C=198.354(Ns/m)、k=629.12(N/m)である。

3. 制約条件

可変減衰マスダンパー装置には、出力可能な減衰に限界があるため、ダンパー装置の制御力には制御可能な領域が存在すると考えられる。モデル化する際には、出力される減衰が実験用のマスダンパー装置の出力可能な減衰の最大値 $C_{max}=22.62\%$ と最小値 $C_{min}=5.55\%$ との間の値しか出せない想定している。ダンパーの制御力は、補助マスの相対速度とダンパーの減衰係数の積により求められるので、ダンパーの制御可能領域を制御力-相対速度平面で図示すると図 2 の斜線部分で表される。また、補助マスの変位制約は 15cm としている。

4. 解析手法

可変減衰マスダンパー装置の減衰を制御する制御理論としては、LQ 制御及び可変ゲイン制御に基づくアルゴリズムにより時々刻々更新する手法を検討した。この場合、各ステップ(0.01sec)ごとにダンパーに必要とされる制御力を算定し、その値がダンパーの制御可能領域におさまるように制御力を決定する。可変ゲイン制御²⁾については、補助マスの変位制約 $|y(t)| \leq Y_{max}$ を考慮し、補助マスの相対速度 $\dot{y}(t)$ を次式のように制御する。

$$\dot{y}(t) = \beta(E)x(t) - \alpha y(t)$$

制御ゲイン β は構造物の振動エネルギー E を用いて右の図 3 のような関係により決定される。

5. 周波数応答曲線

加速度振幅が 10gal の正弦波を入力とした場合について周波数応答曲線を描いたものが図 4 である。LQ 制御を利用した場合は、セミアクティブ制御によりパッシブ制御を越える応答低減を行うことは困難であったが、可変ゲイン制御を利用したセミアクティブ制御は容易にパッシブな TMD を越える応答低減を達成できていることがわかる。

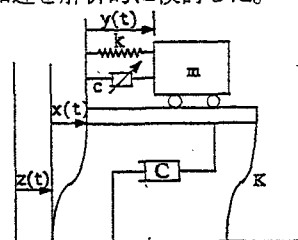


図1 解析モデル

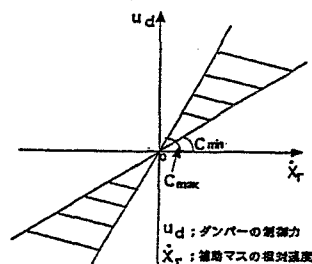


図2 ダンパーの制御可能領域

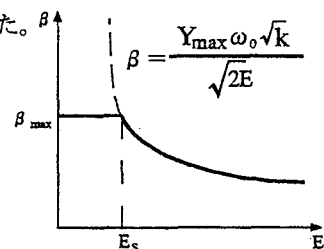


図3 制御ゲイン β と振動エネルギー E の関係

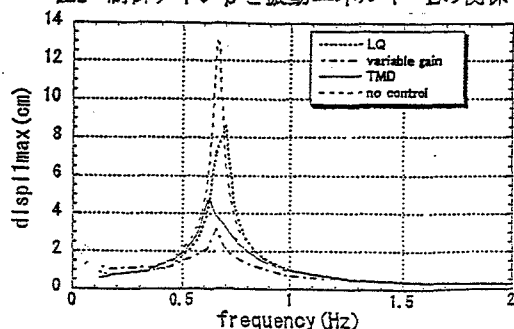


図4 周波数応答曲線

5. 構造物の変位応答

地震波として EL-Centro 波の最大値を 200gal にスケールリングした波を入力した。

図 5(a)は構造物の変位応答であり、図 5(b)は LQ 制御および可変ゲイン制御を用いたセミアクティブ制御のそれぞれに対して TMD を用いた場合との構造物の

最大応答の比を表したものである。

図5(a) 構造物の変位応答

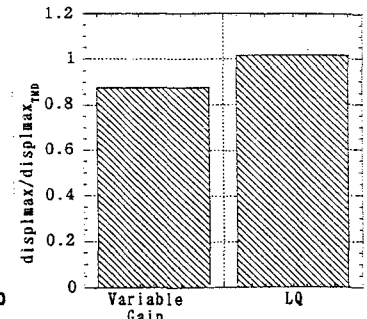


図5(b) TMDの場合に対する構造物の最大応答の比

6 秒から 7 秒付近の変位応答が最大となる点に注目すると、可変ゲイン制御を利用した場合のセミアクティブ制御はパッシブ制御よりも最大応答を 13%程度低減できることがわかる。しかしながら、LQ 制御を用いた場合については、パッシブ制御よりも良好な応答低減効果は得られなかった。

6. 補助マスの振幅

図 6 は補助マスの振幅の時刻歴をパッシブな TMD およびセミアクティブ制御 (LQ 制御・可変ゲイン制御) について表したものであるが、構造物の変位応答を最も低減していた可変ゲイン制御を用いたセミアクティブ制御のみが、補助マスの変位制約 15cm におさまっていることが見てとれる。

7. 減衰の変化

図 7 はセミアクティブ制御に関して LQ 制御と可変ゲイン制御を用いた時のマスダンパー装置の減衰の変化の時刻歴をそれぞれ表したものである。LQ 制御に関しては減衰が変化し始めるのに 1.5 秒程度かかっているが、可変ゲイン制御を用いた方は減衰が変化し始めるのにほとんど時間を要していないことがわかる。これにより、不定常性の強い入力に対して可変ゲイン制御による構造物の応答低減効果が大きいことが示唆されている。

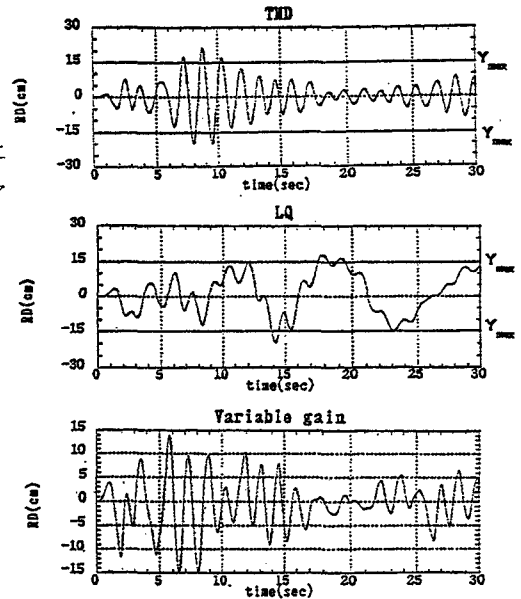


図6 補助マスの振幅

8. 結論

セミアクティブ制御に関して、可変ゲイン制御に基づくアルゴリズムは、LQ 制御に基づくアルゴリズムと比較して減衰が変化し始めるのが早く、かつ補助マスの変位制約を有効に利用できるためパッシブ制御よりも制振効果が高くなることが明らかになった。

参考文献

1) 藤野ら DEVELOPMENT OF A NEW SEMI-ACTIVE MASS DAMPER, 第 51 回 年次学術講演概要集、1996 年 9 月

2) 奥村昌好・五十嵐晃・家村浩和：可変剛性・

減衰要素を有するアクティブ TMD のための最適制御則、平成 10 年度関西支部年次学術講演会

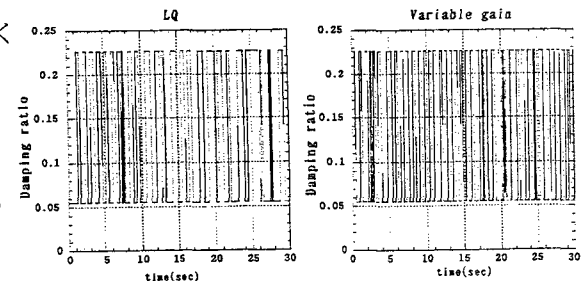


図7(a) 減衰の変化 (LQ制御)

図7(b) 減衰の変化 (可変ゲイン制御)