

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 フェロー 家村 浩和
 名古屋市 正会員 ○沢木夕紀彦

1. 概説

本研究では、5層と3層の隣接構造物間に設置したアクチュエータを制御することにより、応答低減効果を得る手法を検討した。この方法は一棟の構造物のみを制御する場合と比べて困難になる可能性があると考えられるが、AMDやTMDでは実現できなかった反応の速い制御が実現できる可能性がある。しかし、実験を予定している油圧式のアクチュエータでは制御における時間遅れが問題となる。本論文では実験対象構造物の数値化モデルに対して数値シミュレーションを行った結果を報告する。

2. 制御対象モデル

制御対象モデルの概要を図1に示す。数値モデル化された質点系における節点番号を示した。5層構造物は京都大学防災研究所内に既設であり、今回新たに隣接するように3層構造物を建設し、アクチュエータを両構造物の3階部分を連結するように設置することにより実験システムを構築する。

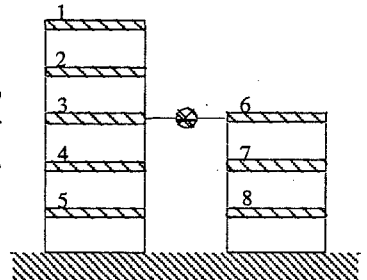


図1 制御対象モデルと質点系における節点番号

3. H_∞ 理論による制御器の設計

制御器の設計における方法として H_∞ 理論を用いた。この理論はモデルに不確かさが存在しても閉ループ系が安定となるロバスト安定条件と、モデルに対して外生信号から制御量までの H_∞ ノルムをある値以下に抑えるノミナル性能（制震性能）条件のトレードオフで設計される。数値シミュレーションでは節点1、節点6のみに変位観測器を仮定し、その値のみをフィードバックして制御力を決定している。5層、3層構造物それぞれに対して主要な1, 2次モードを制御することを制震性能に対する要求としている。制御器の設計はループ整形法によっている。 H_∞ ノルムによる評価関数は次の様なものである。ここで $G(s)$ はシステムの伝達関数、 $K(s)$ はフィードバック系の伝達関数、 $W(s)$ は重み伝達関数である。

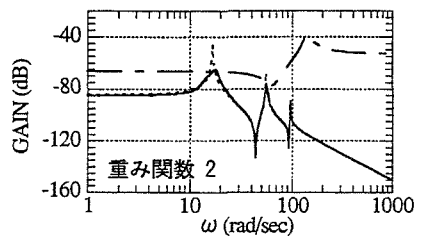
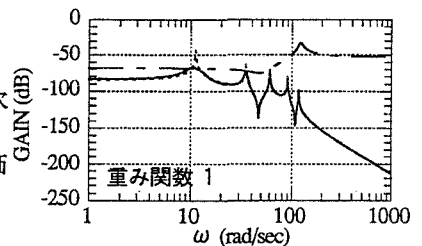
$$\left\| \begin{bmatrix} I \\ W(s)^{-1}K(s) \end{bmatrix} (I - G(s)K(s))^{-1} \begin{bmatrix} I & G(s)W(s) \end{bmatrix} \right\|_\infty < \gamma$$

γ は2.2である。また制震性能条件に関するボード線図は図2の通りである。上が節点1の変位に対するものであり、下が節点6の変位に対するものである。重み関数を併せて示した。重み関数は観測器が2つであるから2種類であり、以下の様なものを用いた。

$$W_1(s) = 1000 \frac{s^2 + 10s + 15000}{s^2 + 20s + 2500}, \quad W_2(s) = 1000 \frac{s^2 + 20s + 20000}{s^2 + 15s + 4300}$$

4. 制御シミュレーションの結果

シミュレーションにおける入力地震波としてEl Centro-NS波の最大値が50 galになるようにスケールしたものをを用いている。本研究では同一条件におけるLQ制御の結果も検討した。この場合は全状



—— H_∞ 制御理論による伝達関数
 --- 重み関数
 無制御状態の伝達関数

図2 制震性能に関するボード線図

態をフィードバックするものと仮定している。制御器に時間遅れが存在しない場合、この方法によれば H_{∞} 制御とほぼ同等な結果が得られることが確認できた。しかし一般に油圧式など流体によるアクチュエータの動特性を無視することができない。ここではその影響を調べるために、油圧アクチュエータ系の動特性の影響を制御力の位相遅れによりモデル化して数値シミュレーションを行った。応答解析においては0.01秒を1ステップとして計算を行っている。LQ制

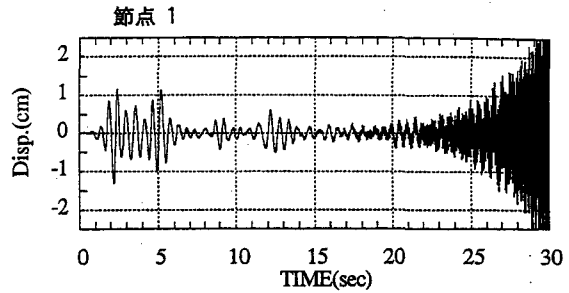


図3 LQ制御における変位応答（制御遅れ0.02秒）

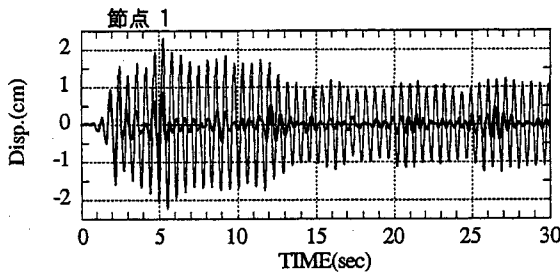
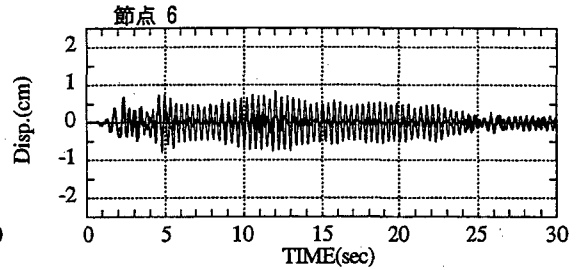


図4 H_{∞} 制御による変位応答（制御遅れ0.04秒）



細線:無制御時 太線:制御時

御では0.01秒の時間遅れまでなら良好な制御結果が得られるが、0.02秒遅れると解が発散する（図3参照）。即ちシステムが不安定となる。しかし H_{∞} 制御の場合0.04秒の時間遅れを仮定した場合でも極めて安定である（図4参照）。これは H_{∞} 制御が制御器に対してロバスト性能を発揮することを示している。また H_{∞} 制御による時刻歴応答のフーリエスペクトルを無制御の場合（図5）と比較して図6に示す。制御器の設計の段階で積極的に低減しようとした周波数領域においてスペクトル値の低減が明確に示されている。

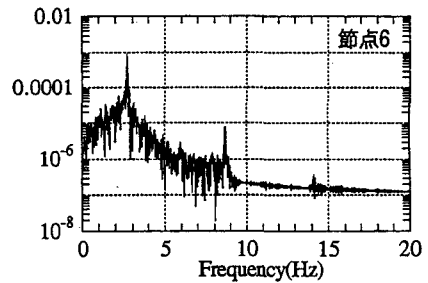
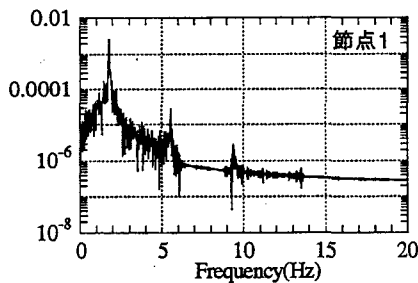


図5 無制御時の変位応答のフーリエスペクトル

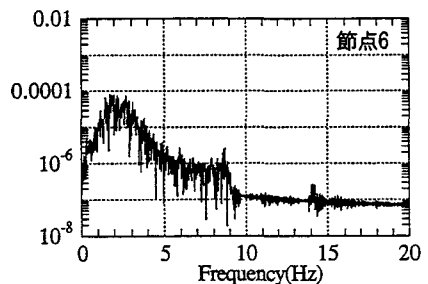
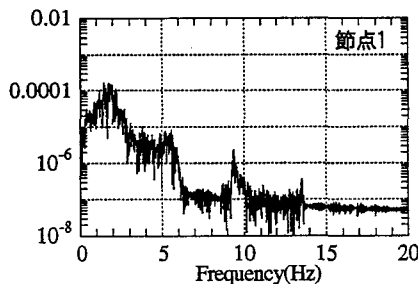


図6 H_{∞} 制御時の変位応答のフーリエスペクトル