

構造物振動の流体駆動式ハイブリッド制御に関する研究

長崎総合科学大学大学院 学生員○加賀 敏明

長崎総合科学大学工学部 深松 尚

長崎大学教養部 中村 任男

長崎大学工学部 正 員 岡林 隆敏

1. はじめに

建築構造物や船舶構造等における振動応答を制御する問題は、それらの長大化に伴います重要性を増している。U字管内水柱の振動的性質を活用する流体駆動式の制振装置については、ハイブリッド型状態フィードバック制御方式を採用することで、パッシブ型とアクティブ型の両者の長所を兼ね備えた制御が可能であることが報告されている¹⁾。本研究では、状態フィードバックを実現するための全状態量を、構造物変位だけの計測値から推定する、全次元状態観測器を導入した場合の有効性を検討したので報告する。

2. 実験装置の概要とシミュレーション

実験に用いた装置とその諸元を図-1と表-1に示す。装置外枠組を地盤に見立て、構造物を一つの振動モードのみに着目し1自由度系の振り子式構造で模擬する。これにU字管に水を入れた振動系を設置して、この水にピストンにより制御力を与える制御系を組み込む。パッシブ制御では、ピストンを外し水柱の固有振動数を構造物のそれに一致させて動吸振器としての制御作用を持たせる。地盤を構造物の固有振動数で正弦波加振し、これの数値シミュレーションをおこなった。構造物振動変位の成長の様子を、制御なしの場合とパッシブ制御の場合について、図-2、図-3に示した。

3. 状態フィードバックによるハイブリッド制御

パッシブ制御の欠点を補うために、構造物の変位と速度により、水に制御力を加えるフィードバック制御を行ったがパッシブ制御以上の制振効果は得られなかった。そこで、2自由度システムの4個の状態量、すなわち構造物と水柱それぞれの変位と速度のフィードバック量を極配置法で求めてハイブリッド制御した。この場合のシミュレーション波形を図-4に示す。

4. 全次元状態観測器による状態推定

モデル実験や現場では全ての状態量を計測することは困難であることが多いので、システムの方程式を式(1)、(2)としたとき、ある計測可能な限られた状態量からすべての状

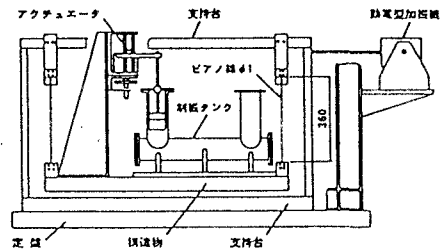


図-1 実験装置概要図

表-1 実験装置諸元

項目	値	単位・備考
振動台	1000x400x60mm 54.5kcf	質量m: 11.02kg
アクチュエータ	200x200x630mm 31kcf	減衰係数c: 0.219kpf・sec/cm
振り子	振り子長: 343mm 振り子質量: 15kcf	固有振動数: 0.85Hz
U字管	600x375x60mm 7.7kcf	質量m: 0.289kg
水柱	水柱長さ: 2.8kcf 水柱直径: 68mm	減衰係数c: 0.0567kpf・sec/cm 固有振動数: 0.85Hz

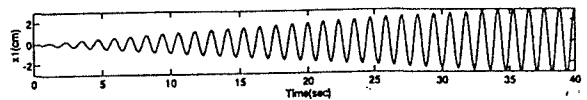


図-2 構造物変位 (制御なし)

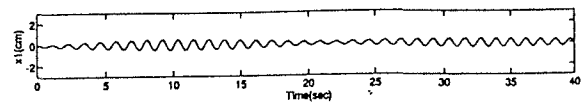


図-3 構造物変位 (パッシブ制御)

状態を推定する全次元状態観測器を式 (3) のように構成する²⁾。

$$\dot{\hat{X}}(t) = A\hat{X}(t) + B_1 f(t) + B_2 u(t) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$Y(t) = C\hat{X}(t) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\dot{\hat{X}}(t) = (A - GC)\hat{X}(t) + GY(t) \quad \dots\dots\dots (3)$$

システムの方程式式 (1)、(2) から求めた水の速度とこの状態観測器の式 (3) から求めたその推定量の比較を図-5に示す。次に、制御のためのフィードバックゲインを K とし、状態変数の推定値による制御力を $-K\hat{X}$ としこれを水に加える。システムと全次元状態観測器の状態方程式をまとめると次式 (4) のようになる²⁾。

$$\begin{Bmatrix} \dot{\hat{X}} \\ \dot{\hat{X}} \end{Bmatrix} (t) = \begin{bmatrix} A & -B_2 K \\ GC & A - GC - B_2 K \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \hat{X} \\ \hat{X} \end{Bmatrix} (t) + \begin{bmatrix} B_1 \\ 0 \end{bmatrix} f(t) \quad \dots\dots\dots (4)$$

この全次元状態観測器のブロック線図は図-6のようになり、このときのフィードバックゲインも極配置法により決定する。式 (4) の推定量により制御力を加えた数値計算シミュレーションを図-7に示す。

5. シミュレーション結果に対する考察

図-2は制御なしの場合の構造物変位であり図-7 構造物変位 (状態観測器によるハイブリッド制御) にパッシブ制御を加えたものが図-3である。

図-3を見るとまだ変動が残っていることがわかる。図-4はハイブリッド制御した場合の波形で図-3のパッシブ制御の波形と比較するとさらに制御効果が高められていることがわかる。図-5はシステムの方程式から求めた水の速度を実線で、この状態観測器から求めたその推定量を破線で示した比較図であり約15秒で推定が完了したことがわかる。図-7は推定量によりシステムに制御力を加えた波形でありこれを見ると全次元状態方程式の推定量による制御が有効に働いていることがわかる。

6. まとめ

システムの理論式と状態観測器による水の速度の波形およびシステムの理論式と状態観測器により制御を加えたときの構造物模型の変位の波形の比較から全次元状態観測器の有効性が確認できた。したがって、水の速度を計測することなく制御を行うことが可能である。今後は、今回得られた理論演算である全次元状態観測器を実験装置に組み込むことにより状態フィードバックを行うことが課題となり、実際の建築構造物に応用するには、ひとつの階にセンサーを取り付ければ、それ以外の階には必要ではなくなると考える。

【参考文献】 1) 山崎孝治・香川洸二・藤田一誠・本田貞光：ハイブリッド型流体制振装置に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海) 1994年9月。 2) 白石昌武：入門現代制御理論、啓学出版。

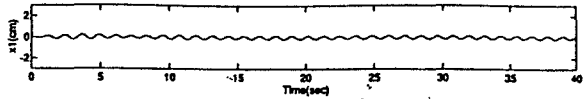


図-4 構造物変位 (ハイブリッド制御)

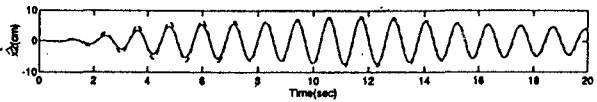


図-5 状態観測器による水の速度の推定量

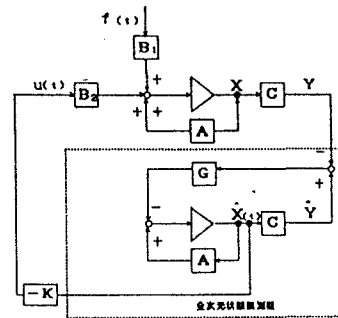


図-6 システムと全次元状態観測器のブロック線図

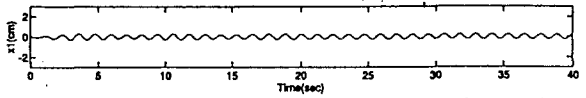


図-7 構造物変位 (状態観測器によるハイブリッド制御)