

I-446

履歴型非線形構造物の適応制御に関する考察

(財)電力中央研究所 正員 ○酒井 理哉
早稲田大学理工学部 正員 平嶋 政治
早稲田大学理工学部 正員 依田 昭彦

1. はじめに

近年、土木分野においてもアクチュエータなどを用いて積極的に振動を制御する制振構造が盛んに研究されている¹⁾。一般に制振構造などで代表される制御系の設計はプラント(制御対象+外力)の動特性を表す数式モデルをもとに進められる。したがって、制御系の動特性の把握は設計に先立つ優先事項である。しかしながら、実際には地震や風などの外力の性質が経時的に変動したり、外力の作用中に構造物が塑性化したりするため、必ずしも十分に動特性を把握しきれないことが多い。もちろん、動特性の変動が比較的小さい場合には、通常のフィードバック制御で十分な性能を得ることができるが、動特性が大幅に変動するときには、制御則が固定されている従来の制御方式では性能が劣化するだけでなく安定性を失うおそれもあることが指摘されている。それ故、動特性の変化に応じて制御装置をオンライン的に自動調節し、制御性能を常に最適な状態に保つような制御方式が期待されている。このような制御方式は、プラントの特性に制御装置を適応させることで可能となることから適応制御と呼ばれている。

本論文は、非線形な動特性を示す構造物に対し、適応制御理論を応用した制振構造を考え、フィードバック制御との比較を試みたものである。

2. 制御方法

本論では制御則としてセルフチューニングレギュレータ(STR)を用いている。その基本構成は通常のフィードバック制御をオンライン化したものである。すなわち、制御対象のパラメータは既知であるものとして制御装置の構造を決定し、実際に振動している制御対象の入出力信号を用いて推定機構により未知パラメータを推定する。次に、この推定値を真値とみなして制御パラメータを計算して制御装置を修正し、制御入力をオンラインで調節する。

a) 制御装置の設定

制御装置は、フィードバック制御系の極を望ましい

値に指定にする任意極配置理論を用いて設定する。

システム方程式は次式で表される。

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega x + \omega^2 x = g u \quad (1)$$

$$\text{ここで、}\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad \zeta = \frac{c}{2\sqrt{mk}}, \quad g = \frac{1}{m}$$

希望する極とオブザーバーゲインを与えると、極配置による制御入力は次式により計算できる。

$$(q_0 + 2 - k_0 \Delta)u(k) + (q_0 \Delta - 2 - k_0 \Delta)u(k-1) \\ = (2h_1 + h_0 \Delta)x(k) + (h_0 \Delta - 2h_1)x(k-1) \quad (2)$$

$$\text{ここで、}\begin{cases} k_0 = 2\zeta\omega - (p_1 + p_2) \\ h_1 = \frac{q_0 k_0 + \omega^2 - p_1 p_2 - 2\zeta\omega k_0}{g} \\ h_0 = \frac{q_0(\omega^2 - p_1 p_2)\omega^2 k_0}{g} \end{cases}$$

p_1, p_2 : 希望する極、 q_0 : オブザーバーゲイン

b) ハイブリッド適応推定機構

適応制御では計算機を用いて推定を行うため、離散時間形でシステムと推定機構を取り扱うのが普通であるが、本論文の制御対象はシステムを離散化すると未知なパラメータが推定しにくくなる。そこで、対象となるシステムを連続時間形のシステム方程式と同定モデルとして取り扱い、推定は離散時間形で行うハイブリッド適応推定機構を考える。(図1)

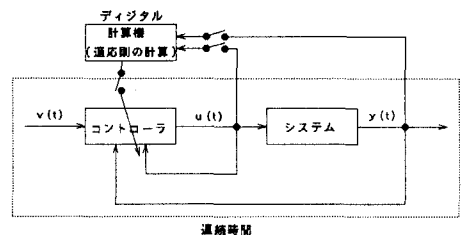


図1: ハイブリッド適応制御系

適応推定機構では通常、システム方程式を以下のようなパラメトリック表現に変形し、推定アルゴリズムを用いて推定を行う。

$$\ddot{x} = \theta^T \xi(t) \quad (3)$$

ここで、 $\theta^T = [-2\zeta\omega, -\omega^2, g]$:未知パラメータ

$\xi^T(t) = [\dot{x}, x, u]$: 帰帰ベクトル

本論文では推定則に指数重み付き最小2乗アルゴリズムを用いた。

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + \frac{P(k-1)\xi(t)\{\bar{x} - \hat{\theta}^T(k-1)\xi(t)\}}{\rho(k) + \xi^T(t)P(k-1)\xi(t)}$$

$$P(k) = \frac{1}{\rho(k)} \left(P(k-1) - \frac{P(k-1)\xi(t)\xi^T(t)P(k-1)}{\rho(k) + \xi^T(t)P(k-1)\xi(t)} \right) \quad (4)$$

ただし、時間の経過とともに $\rho \rightarrow 1$ となるように考慮した。 $(0 < \rho(k) \leq 1)$

また、初期推定値 $\hat{\theta}(0)$ 、 $P(-1) = P_0 > 0$ は既知とする。

3. 数値計算例

図2に示す1自由度質点-ばね系において剛性がバリエーション型の履歴特性を示すような構造物を制御対象として、フィードバック制御と適応制御による振動制御シミュレーションを行った。入力にはエルセントロ地震波を用いた。

まず、図3に制御しない場合の応答結果を示す。この系は300gal程度の地震外力に対し安定であることが分かる。

図4は極配置によるフィードバック制御入力した場合の結果であるが、途中で制御入力によって発散してしまっている。これは構造系が塑性化し剛性が変化したことにより線形理論では制御できなくなってしまったためである。しかしこの場合でも、フィードバックゲインを大きくすれば、変動を小さく抑えることができ制御が可能である。

図5に適応制御による結果を示す。剛性が変動しているときにも良く制御できているものの、剛性の変動が激しいため推定値は真値に収束していない。

4. まとめ

剛性が変化するような非線形構造物を制御するような場合、従来のフィードバック制御では系のループゲインを大きくとらないと不安定になり、逆にループゲインを大きくしすぎると系は不安定になる。すなわち安定性との関連においてループゲインを選ばなければならない。しかしながら、適応則などを用いて制御パラメータを調節すれば常に安定した振動制御系が得ら

れることが分かった。

今後の課題としては、未知パラメータの推定の精度の向上を目指すとともに、制御則を最適なものに改良することが挙げられる。

<参考文献>

- 1) 酒井理哉・永田俊範・依田照彦: "トラス構造物の最適振動制御に関する一考察", 第13回地震工学・応用地学に関するシンポジウム, pp. 5~6, 平成元年3月。

表1: 諸定数	
剛性	弾性域 4.0(tf/cm)
塑性域	0.8(tf/cm)
質量	1.373(ton)
減衰	$C = \alpha M + \beta K$
	$\alpha = 0.0153$
	$\beta = 0.0182$

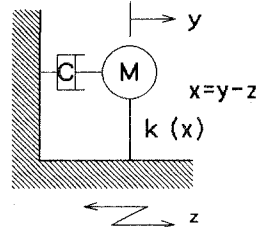


図2: 解析モデル

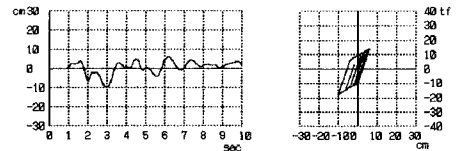


図3: 制御入力なし

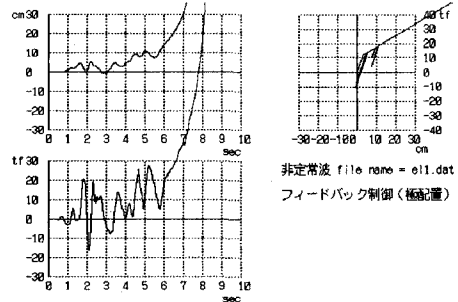


図4: フィードバック制御

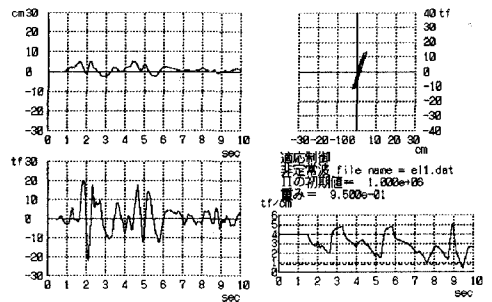


図5: 適応制御