

構造物の動的制御に関する基礎的研究

○信州大学 学生員 太田 靖一

信州大学 正会員 吉沢 孝和

1. まえがき

構造物を設計する場合重要な問題となるのは、その設計された構造物が将来にわたって安全かどうか、即ちその構造物が将来受ける荷重、外力等に対して耐え得るかどうかである。この問題の解決にあたっては、従来構造物を静的に観る立場から安全率の考え方が採用されてきた。そして安全率の決定に対しても、これまでは経験的な要素が多かったが情報処理々論の発展により、安全率を統計的に処理するという、より科学的根拠のある方法がとられてきた。

しかし、この問題を前者とは異なった立場から解決しようとする方法がある。これは建造後の構造物に対して外力の条件が種々変化した場合、構造物がそれに適応した抵抗形態をとるようにしようとする考え方である。¹⁾(構造物制御) これを基本として構造物の動的挙動に対する制御についての考察を進める。

動的制御の方法としては次のようなものが考えられる：

(i) 構造物に達する地震力の影響をバネ等を利用して吸収させる方法。

(ii) 粘性抵抗力を大きくして、振幅を調節する方法。

(iii) 復元力を変位に応じて調整し、振幅を調節する方法。

(iv) ダイナミックダンパー等を利用して構造物に振動を起こさせない方法。

以上のような方法を適当に組み合わせることによって、構造物の振動に対する制御はかなり成果を上げることができようであろう。ここでは(ii)の立場からの制御方式とその効果を考える。構造物の動的制御の目的は、地震力に応じて構造物に生ずる振幅を安定領域内におさめるか、あるいはそれと急速に減衰させることにある。

2. 基本式

図-1(a)のような一層ラーメン構造物について考える。図において E 、 I 、 m はそれぞれ弾性係数、断面二次モーメント、質量を表わしている。このラーメンは水平方向のみの振動をするものと仮定する。なお、BC部材は剛体、地盤の影響は考えないものとする。問題を簡単にするために、図-1(a)を図-1(b)のように1質点系にモデル化する。復元力を利用した動的制御系の基本型として、図-2(a)のように対角線状にピアノ線をゆるく張力をもたせないで取り付ける方法を考える²⁾。ラーメンが水平方向にのみ変位すると、このピアノ線が抵抗するようにする。

これをモデル化したのが図-2(b)である。この図において振動方程式を考える。ここで復元力 kx

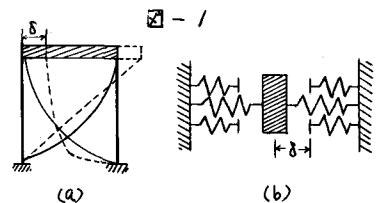
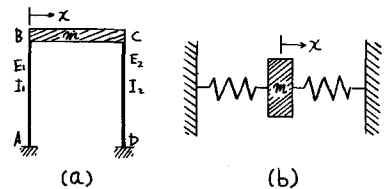


図-2

と変位 x の関係を図示すると図-3のようになる。

(1) 自由振動

$$m\ddot{x} + f(x) = 0.$$

$$f(x) = \begin{cases} k_1 x & |x| \leq \delta \\ k_2(x-\delta) + k_1\delta & |x| > \delta \end{cases}$$

バネ定数が k_1 のときの解を x_1 , k_2 のときの解を x_2 とすると³⁾

$$x_1 = C_1 \sin \sqrt{\frac{k_1}{m}} t + C_2 \cos \sqrt{\frac{k_1}{m}} t,$$

$$x_2 = C_3 \sin \sqrt{\frac{k_2}{m}} t + C_4 \cos \sqrt{\frac{k_2}{m}} t + (1 - \frac{k_1}{k_2}) \delta$$

となる。

(2) 正弦波的外力による強制振動

$$m\ddot{x} + f(x) = F \sin \omega t.$$

$$x_1 = C'_1 \sin \sqrt{\frac{k_1}{m}} t + C'_2 \cos \sqrt{\frac{k_1}{m}} t + \frac{F/k_1}{1 - (\omega/\sqrt{k_1/m})^2} \sin \omega t,$$

$$x_2 = C'_3 \sin \sqrt{\frac{k_2}{m}} t + C'_4 \cos \sqrt{\frac{k_2}{m}} t + \frac{F/k_2}{1 - (\omega/\sqrt{k_2/m})^2} \sin \omega t + (1 - \frac{k_1}{k_2}) \delta.$$

積分定数は、初期条件と $x = \delta$ における連続条件より決定される。

3. 制御

以上のような制御方法によって、具体的な制御手続を考えてみよう。図-1(a)の構造物を図-2(a)のような方式によって制御するものとする。この場合制御の対象は水平変位であるが、そのために調整すべき量は、

(i) ピアノ線の張力の大きさ、

(ii) δ の大きさ、

の二つが考えられる。これらの二つの量を任意の地震力に対して、変位を最小値にするように、適当に調節するのである。特に振動中の張力の調節いかによっては振動制御に対して非常に大きな効果が期待できる⁴⁾。また自由振動の場合問題となるのが安定問題である。いかなる振動に対してもそれを急速に収束させることが望ましい。この点からも制御の問題を考えた方がいいだろう。

4. あとがき

構造物の動的、静的挙動に対する制御の研究は以前から数多くなされてきており、種々の制御方法が考えられている。特に建築物の高層化の要求を促す手段として研究されたものが多い。本研究はこういう事情を背景にして、更に新しい制御方式を求めて、まず一段階としてこれまでの方法を振動制御の面から再検討したものである。

参考文献

- 1), 2) James T. P. Yao: Concept of Structural Control, ST.DIV., ASCE, Vol. 98, 1972, P.1567, P.1571.
- 3) J. P. Den Hartog and R. M. Heiles: Forced Vibration in Nonlinear Systems With Various Combinations of Linear Springs, J. APPL. MECH., ASME, Vol. 3, 1936, P. A-27.
- 4) W. Zuk: Kinetic Structures, CIV. ENG., ASCE, Vol. 38, 1968, PP. 62-64.

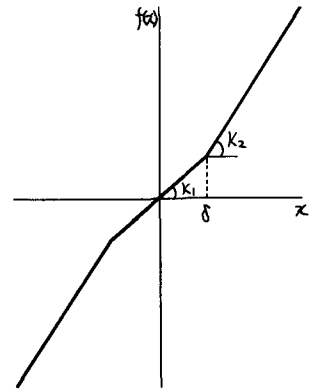


図-3