

V-18 電子計算機による橋脚の振動性状の演算に関する研究

京都大学工学部 正員 成岡昌夫

松尾橋梁 K K 正員 山本知弘

三菱造船 K K 正員 藤田秀夫

1. 序言

軟弱な地盤に支持された橋脚に地震動が作用した場合、橋脚の挙動を非線型過渡振動として扱う問題は、さきに電子管式低速度型相似計算機(analog computer)を用いてその解が求められたが、最近の欧米の情勢を見ると、digital computer がこのような解法にも活用されている。

筆者らは、digital computer を用いて構造物の非線型過渡振動の解を求める方法を研究し、京都大学に設置された科学計算用デジタル計算機KDC-1を用いて、橋脚の振動性状の演算を行い、analog computer および同解法の結果と比較検討した。

図-1

2. 橋脚の運動方程式

図-1において、橋脚地中部で地盤の水平運動との相対変位のない点を原点Oとし、横軸にy、橋脚の平衡位置からの角変位を θ 、橋脚の全質量をM、原点のまわりの慣性モーメントをIとすれば、地動変位 y_g が作用する場合の橋脚の運動方程式は、

$$I\ddot{\theta} + LR(\theta) = -Ml\ddot{y}_g \quad (1)$$

となる。ここで、 $LR(\theta)$ は地盤全体としての復元力に対応する原点のまわりのモーメントであって、一般に地盤の力学特性によって定まる θ の非線型関数である。

3. 2階常微分方程式の数値解法

式(1)で表わされる2階常微分方程式の数値積分を、digital computerで行う方法として、step-by-step methodのうち、1 stepに得られる精度が高く、かつ、計算時間の早いRunge-Kutta法を選ぶ。

いま、2階常微分方程式

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y, z) \quad \frac{dz}{dx} = g(x, y, z) \quad (2)$$

を例にとって、Runge-Kutta法を説明する。

式(2)において、 $x = x_i$ 、 $y = y_i$ 、 $z = z_i$ なる x, y, z の値がわかっている場合には、 $x = x_i + h$ に対する y, z の値は

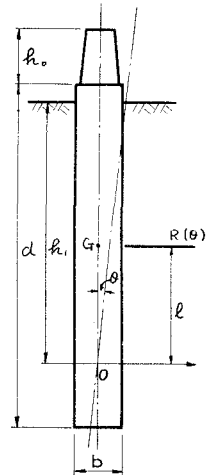
$$y = y_i + h \quad z = z_i + h$$

で与えられる。ただし

$$h = (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)/6 \quad l = (l_1 + 2l_2 + 2l_3 + l_4)/6$$

で k_i, l_i はそれぞれ

$$\begin{aligned} k_1 &= f(x_i, y_i, z_i)h & l_1 &= g(x_i, y_i, z_i)h \\ k_2 &= f(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{k_1}{2}, z_i + \frac{l_1}{2})h & l_2 &= g(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{k_1}{2}, z_i + \frac{l_1}{2})h \end{aligned}$$



$$k_3 = f(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{k_2}{2}, z_i + \frac{k_2}{2})h$$

$$k_4 = f(x_i + h, y_i + k_3, z_i + k_3)h$$

$$l_3 = g(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{k_2}{2}, z_i + \frac{k_2}{2})h$$

$$l_4 = g(x_i + h, y_i + k_3, z_i + k_3)h$$

である。

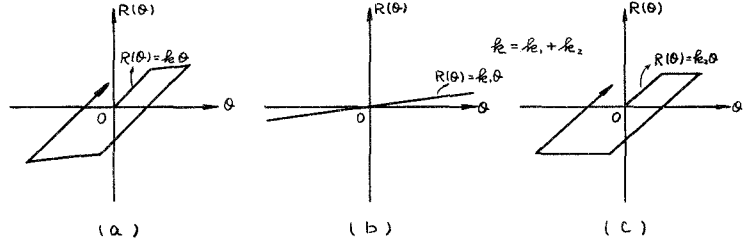
4. Bi-linear Hysteretic System

橋脚と周辺地盤の振動系の復元力 $R(\theta)$ は、近似的に図-2(a)に示すような bi-linear hysteretic な特性に抽象化できるものと仮定する。

図-2

これを digital computer で計算する方法を考える。

図-2(a)のような特性を持つ $R(\theta)$ を、図(b),(c)の2つの図形に分割して考える。そして図(c)の部分の計算にはつぎの判定を行う。



- 1) $(R_n + k_2 \Delta \theta) \geq R_y$ ならば $R_{n+1} = R_y$
- 2) $(R_n + k_2 \Delta \theta) \leq -R_y$ ならば $R_{n+1} = -R_y$
- 3) $|R_n + k_2 \Delta \theta| < R_y$ ならば $R_{n+1} = R_n + k_2 \Delta \theta$

この判定の結果と図(b)の部分の計算結果を加え合わせると、bi-linear hysteretic system のすべてを含むことができる。

5. 演算結果

実例橋脚(寸法および重量は表の通り)について、図-3に示す仮想的な地震動が作用した場合を対象として、そのレスポンスを定量的に求めた。これらの解の若干は、それらと同一の条件で analog computer, さらに Phase-plane-delta method で得た結果と比較検討したが、かなりよく一致した。一例を図-3に示す。

KDC-1 に対するプログラミングについては、講演会当日発表する。

記号	記号の意味とその単位	数値
l	橋脚井筒の長さ(m)	28.0
h	橋脚躯体の長さ(m)	7.3
h_1	橋脚原点と地面との距離(m)	19.5
l	橋脚重心と原点との距離(m)	11.5
a	橋脚井筒の厚さ(m)	3.6
b	橋脚井筒の中(m)	8.3
A	橋脚井筒の断面積(m ²)	27.1
W_0	上部荷重重量(tm)	734
W_1	橋脚重量(tm)	1163
M	橋脚質量(tm · sec ² · m ⁻¹)	193.6
I_0	橋脚の原点に関する慣性能率(tm · m · sec ²)	54021

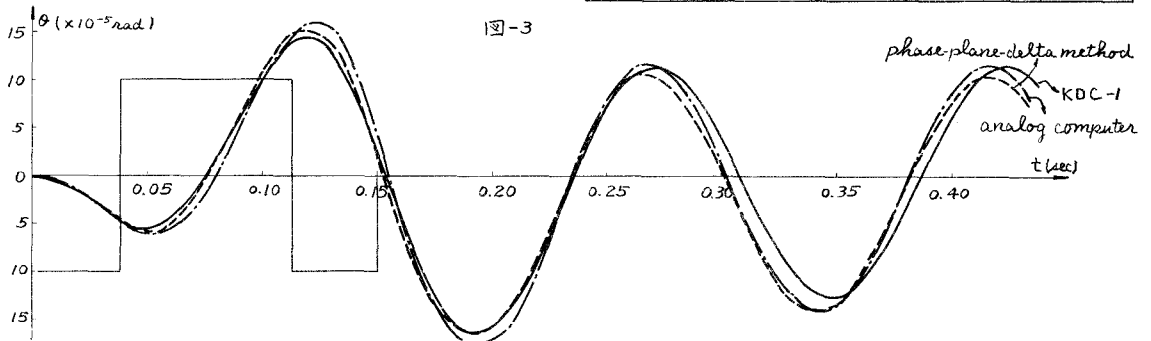


図-3