

北大 正員 工博 渡辺 昇
北大 正員 ○金子 孝吉

1. まえがき

建設省土木研究所などで、従来、一自由度系構造物の線型の地震応答スペクトルの研究がなされてきている。これに対し、ここでは、さらに非線型の場合の地震応答特性を、アナログコンピュータによって解析し、両者を比較した。

2. 非線型の地震応答振動のアナログコンピュータのブロック図

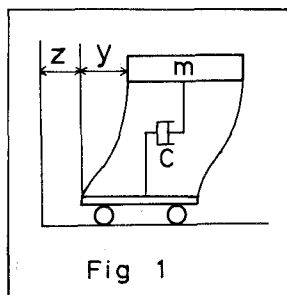


Fig 1

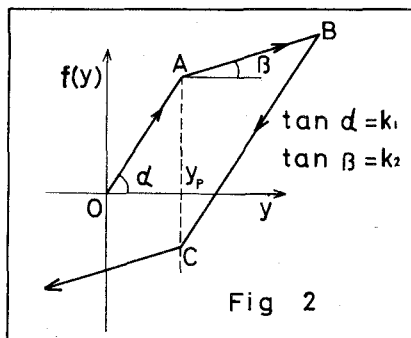


Fig 2

図-1のような一自由度系構造物があり、質量を m [$\text{Kg sec}^2 \text{cm}^{-1}$], 減衰係数を c [Kg sec cm^{-1}], 相対変位を y [cm], 地動を z [cm] とする。いま、地震により構造物が動くと、構造物の相対変位と力との間の関係が、図-2のように、ある変位 y_p まではバネ定数は k_1 [Kg cm^{-1}] であり、これをこえるとバネ定数は k_2 [Kg cm^{-1}] であり、さらに、復元するときのバネ定数は k_1 [Kg cm^{-1}] であるような履歴をとるものとする。すなわち、図-2において、点Oから動き始めて、直線OAの経路では、次の振動微分方程式にしたがう。

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + k_1 y = -m\ddot{z} \quad \text{----- (1)}$$

次に、直線ABの経路では、次の振動微分方程式にしたがう

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + k_2 y = -m\ddot{z} \quad \text{----- (2)}$$

そして、点Bにおいては、速度 $\dot{y}$ が零になって、もとより始め、直線BCの経路をたどり、ふたたび式(1)の振動微分方程式にしたがう。これをくりかえすのである。

式(1)および式(2)を、このような経路にしたがって解くことは、なかなか難しく、特に、式(1)および式(2)の右辺の地動加速度 $\ddot{z}$ がランダム波形をもつときは、一般的な数学的解析は無理である。このような場合には、カーブリーダーを用いてこの波をアナログコンピュータに入れながら、式(1)および式(2)を連続して解くことが最も有効な手段となる。

いま、図-2の経路にしたがいながら、式(1)および式(2)の微分方程式を連続して解くためのアナログコンピュータのブロック図を示せば、図-3のとおりである。ここで、 $A_1, A_2, A_3, \dots$ は加算器; $I_1, I_2, \dots$ は積分器; CP_1, CP_2 は比較器; SW_1, SW_2 は切換スイッチ; ①, ②, ③,

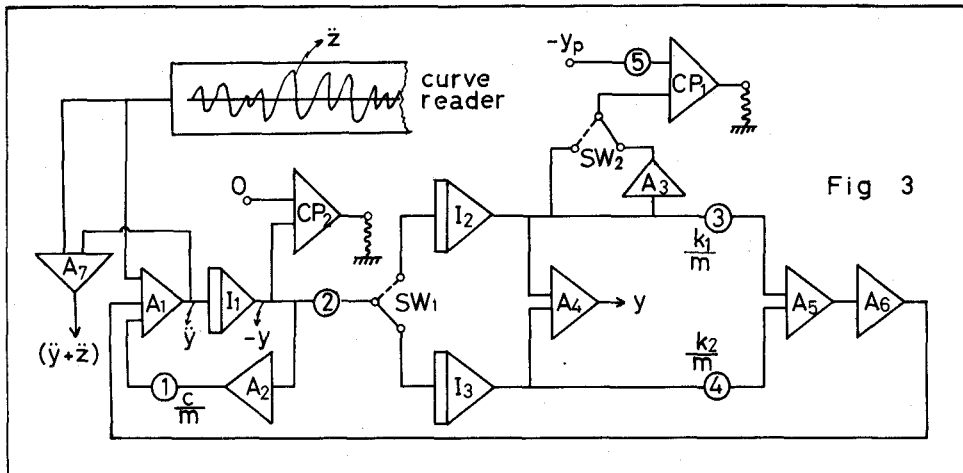


Fig 3

……はポテンシオメーターである。このブロック図では、 $A_1-I_1-②-I_2-③-A_5-A_6-A_1$ の経路をたどるときは、式(1)を解く回路であり、 $A_1-I_1-②-I_3-④-A_5-A_6-A_1$ の経路をたどるときは、式(2)を解く回路である。いま、式(1)の回路をたどっていて、途中で変位 y が y_p をこえると、 CP_1 の指示によって SW_1 が作動して、式(2)の回路にまわりかわる。そして、式(2)の回路をたどっていて、速度 $\dot{y}$ が零になると、 CP_2 の指示によって SW_2 が作動して、式(1)の回路にまわりかわる。このようなことをくりかえして行くわけである。

そこで、いま、釧路地震波(1962年4月23日発生、 $\ddot{z}_{max}=373 \text{ gal}$)を例にとりて、この波の記録紙をカーブリーダーを用いて、式(1)および式(2)の右辺の外力として、アナログコンピュターに入れてやり、その応答変位 y 、応答速度 $\dot{y}$ 、応答相対加速度 $\ddot{y}$ 、応答絶対加速度 $(\ddot{y}+\ddot{z})$ を求め、これらの最大値のみをプロットして図示すると、図-4、図-5、図-6のとおりである。

ここで、図の横軸には、構造物の非減衰固有周期として

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k_1}} \quad \text{----- (3)}$$

をとり、これをいろいろに変えたときの応答の最大値をプロットしたのである。

なお、ここでは、図-2において

$$\left. \begin{aligned} y_p &= 3 [\text{cm}] \\ k_2 &= \frac{1}{2} k_1 \end{aligned} \right\} \quad \text{-----(4)}$$

としてみた。また、

$$\frac{n}{p} = \frac{c}{2\sqrt{k_1 m}} \quad \text{として、非減衰の場合は } \frac{n}{p} = 0, \text{ 減衰のある場合は } \frac{n}{p} = 0.4 \quad \text{としてみた。}$$

さらに、従来の線型の場合、すなわち、図-2の直線OAのみを上下する場合の応答をも求め、同時に、図-2の非線型の場合と比較した。

3. 地震応答特性について.

(i) 応答最大変位特性.

図-4において, $y_p = 3 \text{ cm}$ に相当するところは, $\frac{n}{p} = 0$ では $T_1 = 0.26 \text{ sec}$, $\frac{n}{p} = 0.4$ では $T_1 = 2.2 \text{ sec}$ であった.

すなわち, この T_1 より小さい範囲では, 非線型応答は生ぜず, 線型応答のみである. この T_1 より大きい範囲では, 図のとおりであり, かなりの差が生じ, 特に, $\frac{n}{p} = 0$ の場合, 非線型応答変位の方が線型応答変位より小さい値を示し, T_1 が 3 sec 位以上になると, 非線型応答変位の方が, 大きくなる.

(ii) 応答最大速度特性.

図-5において, $\frac{n}{p} = 0$ の場合, 非線型応答速度の方が, 線型応答速度より小さい値を示し, T_1 が 3 sec 位以上になると, $\frac{n}{p} = 0$, $\frac{n}{p} = 0.4$ の両者の場合とも, 非線型応答速度の方が, 大きくなる.

特に, T_1 がうんと大きくなると, $\dot{y}$ の値はどんどん大きくなって, いわゆる Housner の平滑性は見られない.

(iii) 応答最大加速度特性.

図-6において, 応答最大相対加速度 $\ddot{y}$, および, 応答最大絶対加速度 $(\ddot{y} + \ddot{z})$ をみると, $T_1 = 3 \text{ sec}$ 以上になると, 非線型応答の方が線型応答よりも大きな値を示すが, $T_1 = 3 \text{ sec}$ 未満の構造物に対しては, 一般に, 非線型応答の方が線型応答よりも小さな値を示し有利である.

