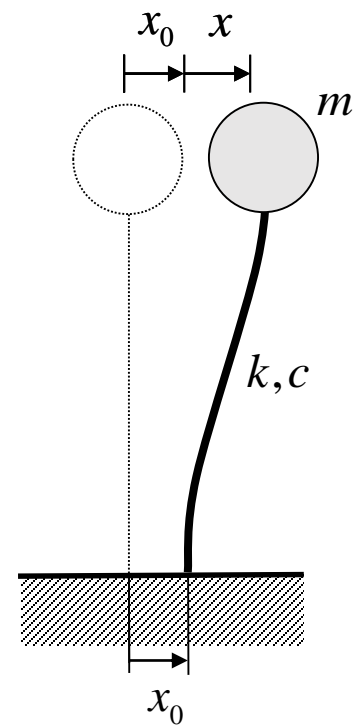
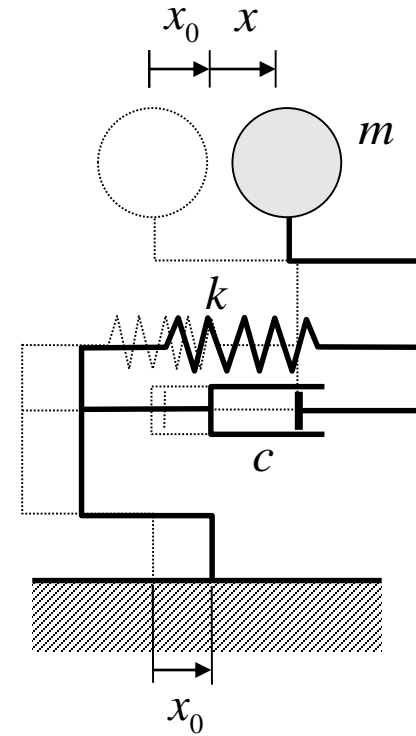
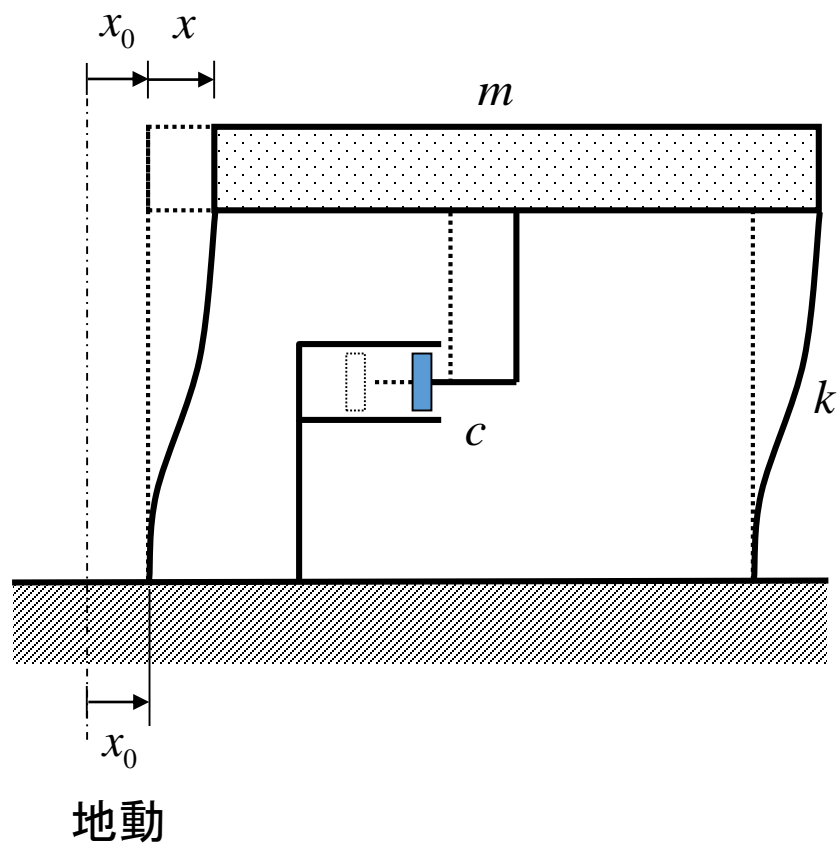


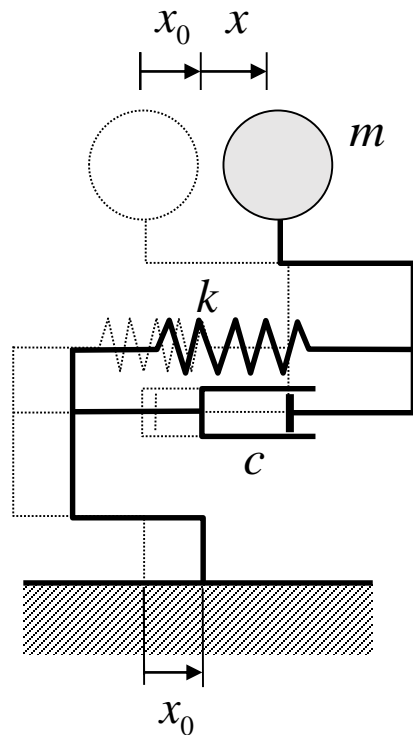
構造設計Ⅲ

第9回 地震応答スペクトル

モデル化



運動方程式



$$-m(\ddot{x} + \ddot{x}_0) - c\dot{x} - kx = 0$$

地動加速度

運動方程式

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{x}_0$$



$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = -m \frac{d^2 x_0}{dt^2}$$

運動方程式の解

$$x(t) = -\frac{1}{\omega'} \int_0^t \ddot{x}_0(\tau) e^{-h\omega(t-\tau)} \sin \omega'(t-\tau) d\tau$$

$$\dot{x}(t) = -\int_0^t \ddot{x}_0(\tau) e^{-h\omega(t-\tau)} \cos \omega'(t-\tau) d\tau - h\omega x(t)$$

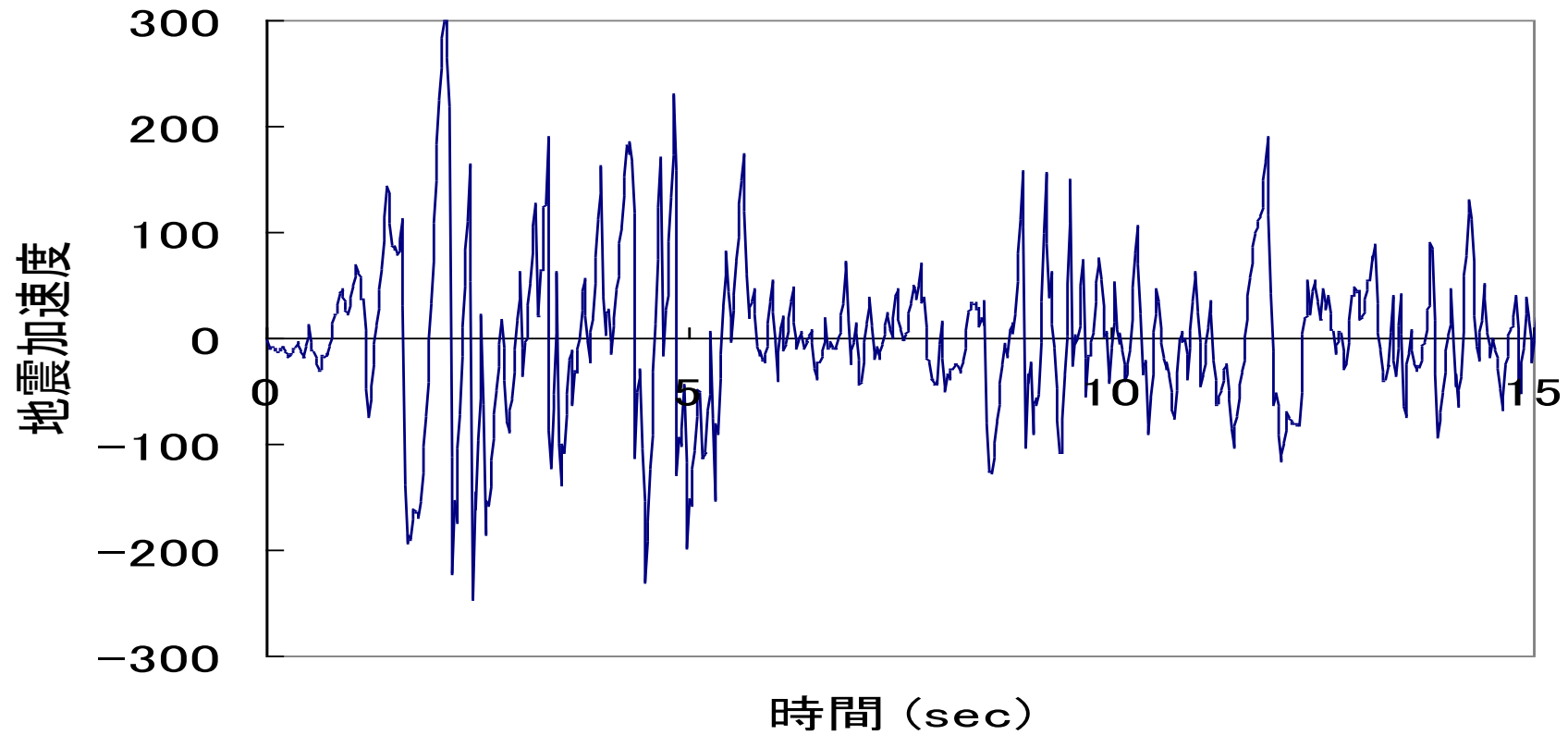
$$\ddot{x}(t) = -2h\omega \dot{x}(t) - \omega^2 x(t) - \ddot{x}_0(t)$$

変位応答が求めれば、速度、加速度応答は簡単に求まる

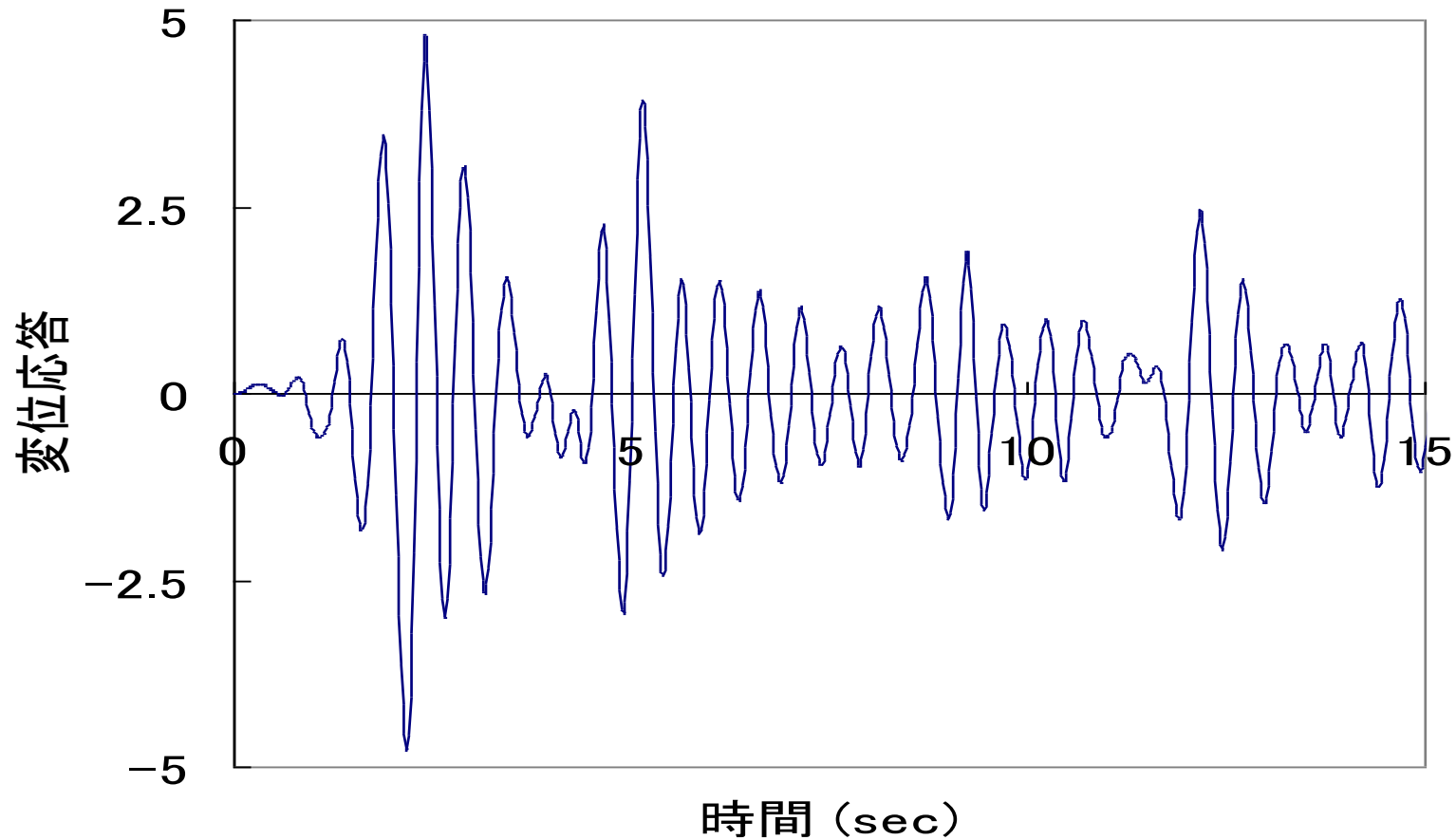
変位応答

- 前回作成した地震応答解析プログラムを用いて、建物の固有周期を変化させた場合の応答を求めてみる。
- 地震波としてはEl Centro 1940 NSを用いる。

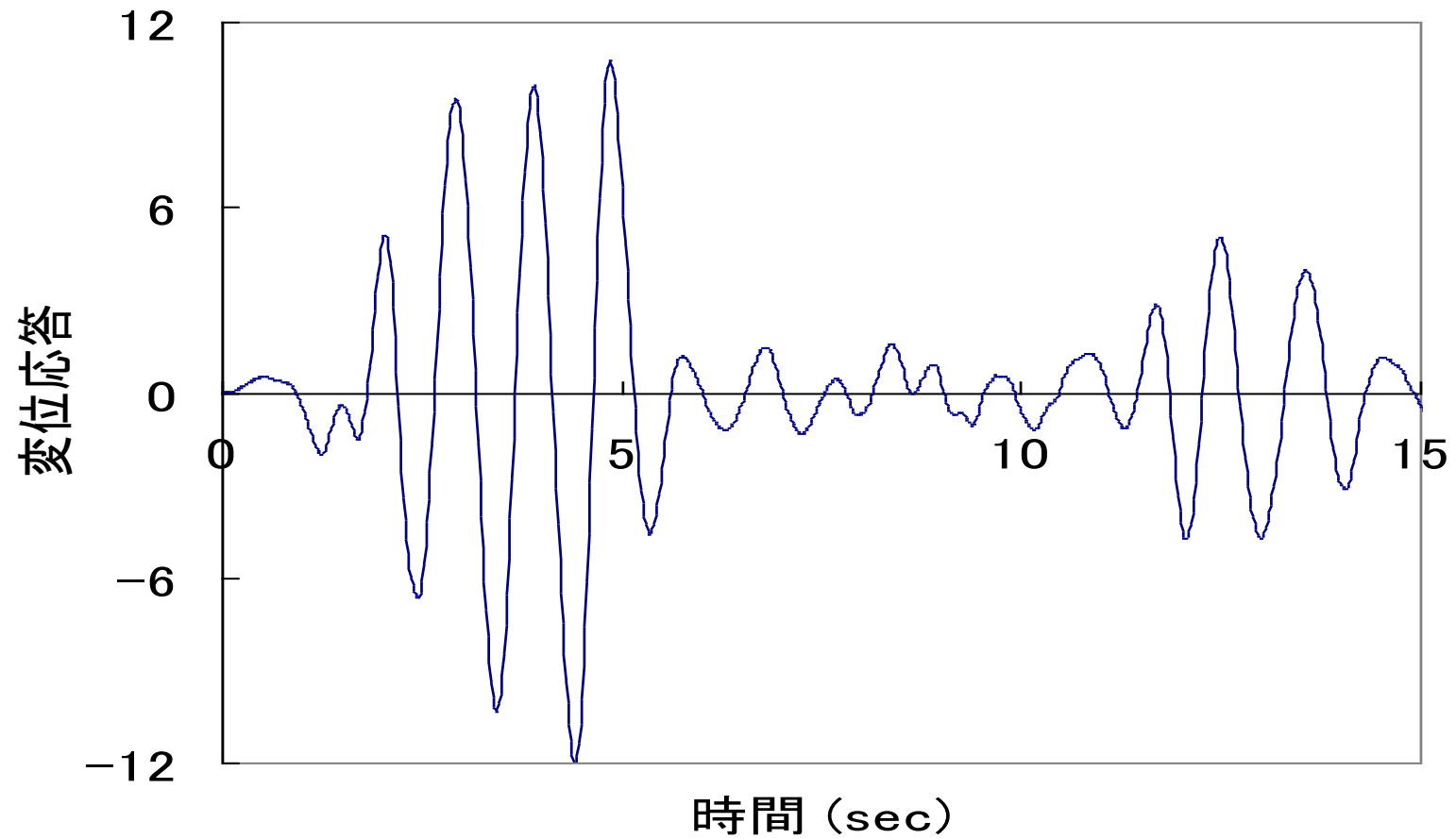
El Centro NS波の地震加速度



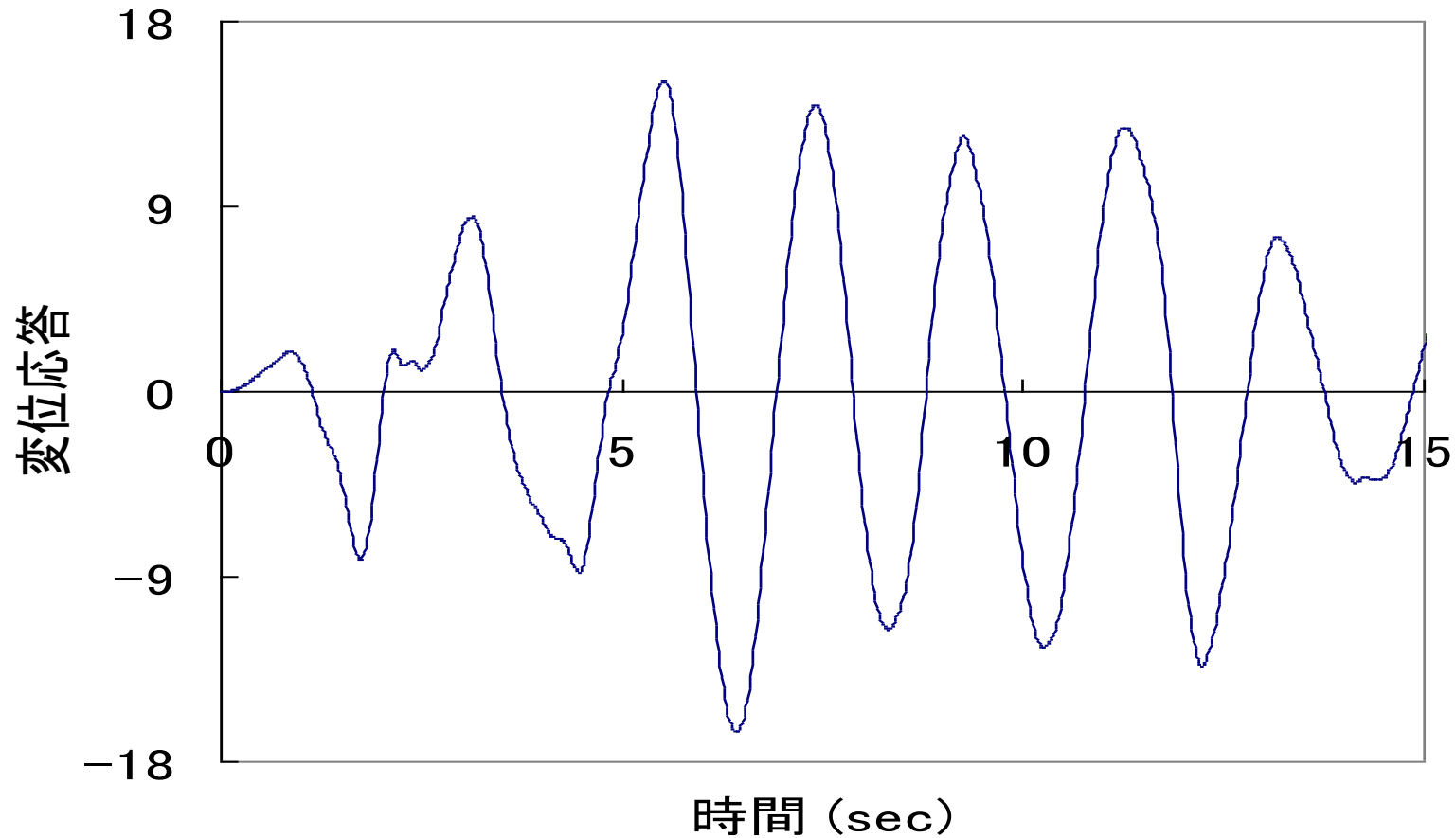
Excelで作成した $T=0.5\text{s}$, $h=0.05$ の変位応答図



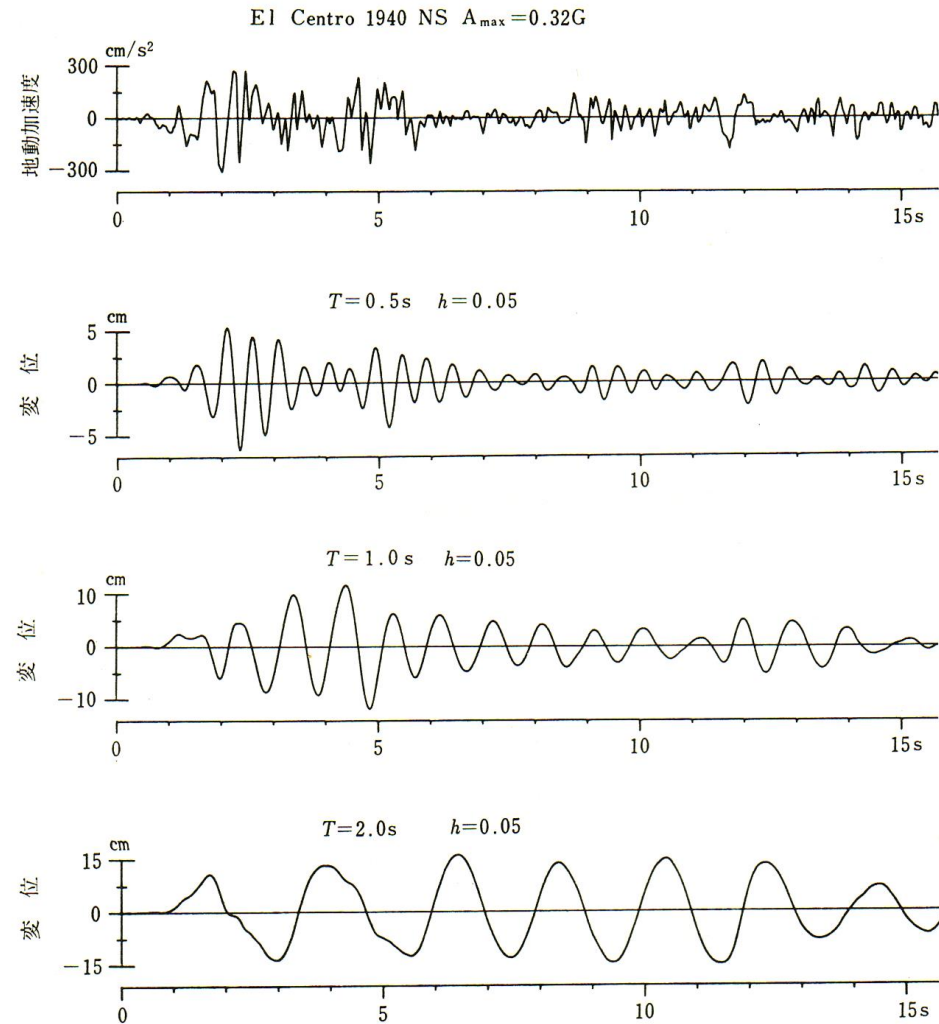
Excelで作成した $T=1.0s$, $h=0.05$ の変位応答図



Excelで作成した $T=2.0s$, $h=0.05$ の変位応答図



本から引用した図



設計に必要なのは最大応答値

$$S_D = x_{\max} = -\frac{1}{\omega'} \left| \int_0^t \ddot{x}_0(\tau) e^{-h\omega(t-\tau)} \sin \omega'(t-\tau) d\tau \right|_{\max}$$
$$\dot{x}_{\max} = \left| -\int_0^t \ddot{x}_0(\tau) e^{-h\omega(t-\tau)} \cos \omega'(t-\tau) d\tau - \underline{h\omega x(t)} \right|_{\max}$$
$$\left| \ddot{x}(t) + \ddot{x}_0(t) \right|_{\max} = \left| \underline{-2h\omega \dot{x}(t)} - \omega^2 x(t) \right|_{\max}$$

h が小さい場合次のように近似できる

$$\omega' = \sqrt{1-h^2} \omega$$

$S_V = \omega S_D \approx \dot{x}_{\max}$	→	疑似速度スペクトル
$S_A = \omega^2 S_D \approx \left \ddot{x} + \ddot{x}_0 \right _{\max}$	→	疑似加速度スペクトル

建物に加わる最大せん断力

$$Q_{\max} = kx_{\max} = kS_D = m\omega^2 S_D = mS_A$$

せん断力係数は

$$q = Q_{\max} / mg = S_A / g$$

このせん断力係数が建物の設計に使われる

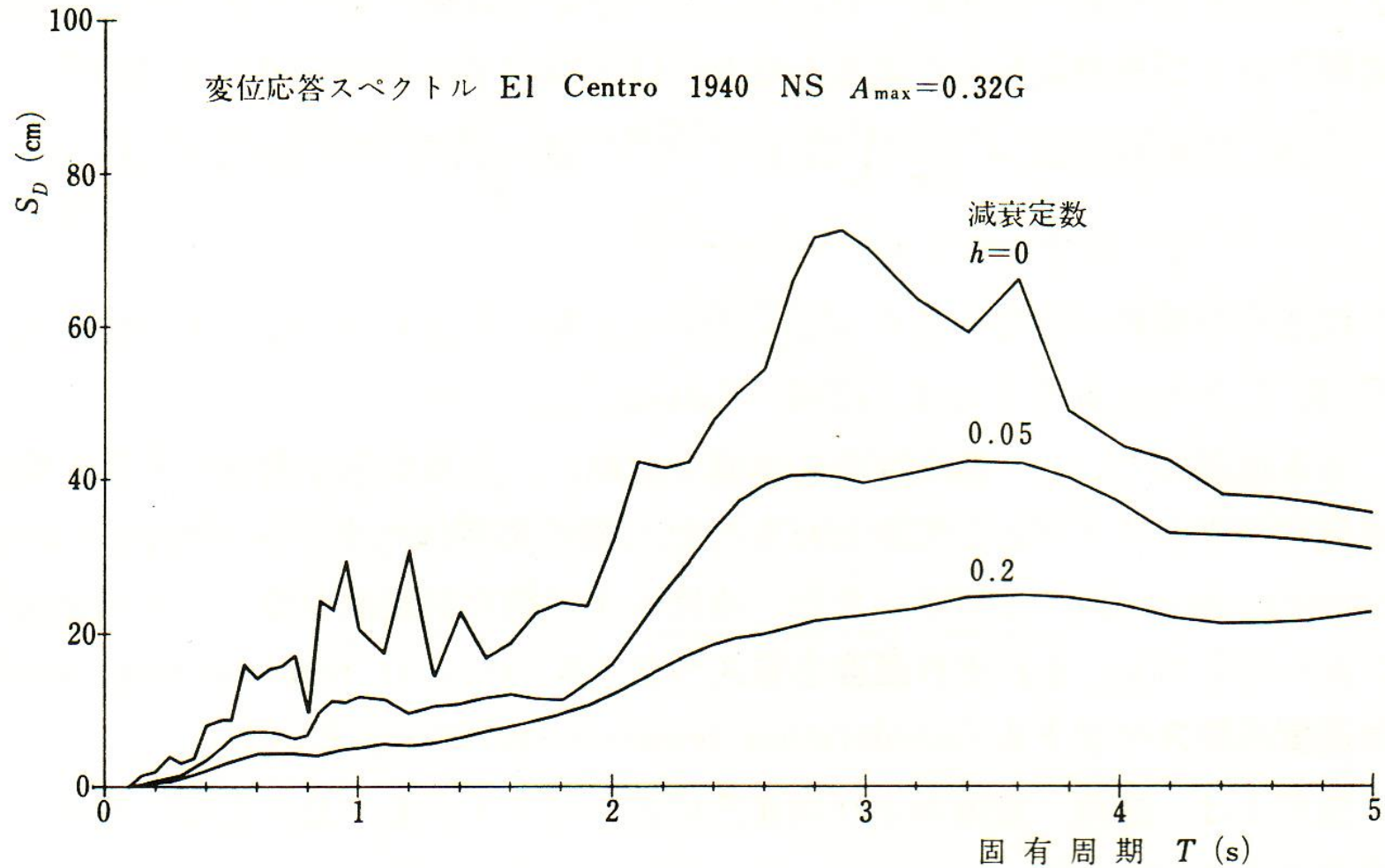
しかし・・・

- 建物ごとに最大応答を求めるのは大変
- もっと簡単に最大応答を求められないだろうか？
- 最大応答値は，建物の固有周期と減衰定数によって決まる。これをうまく利用できないだろうか？

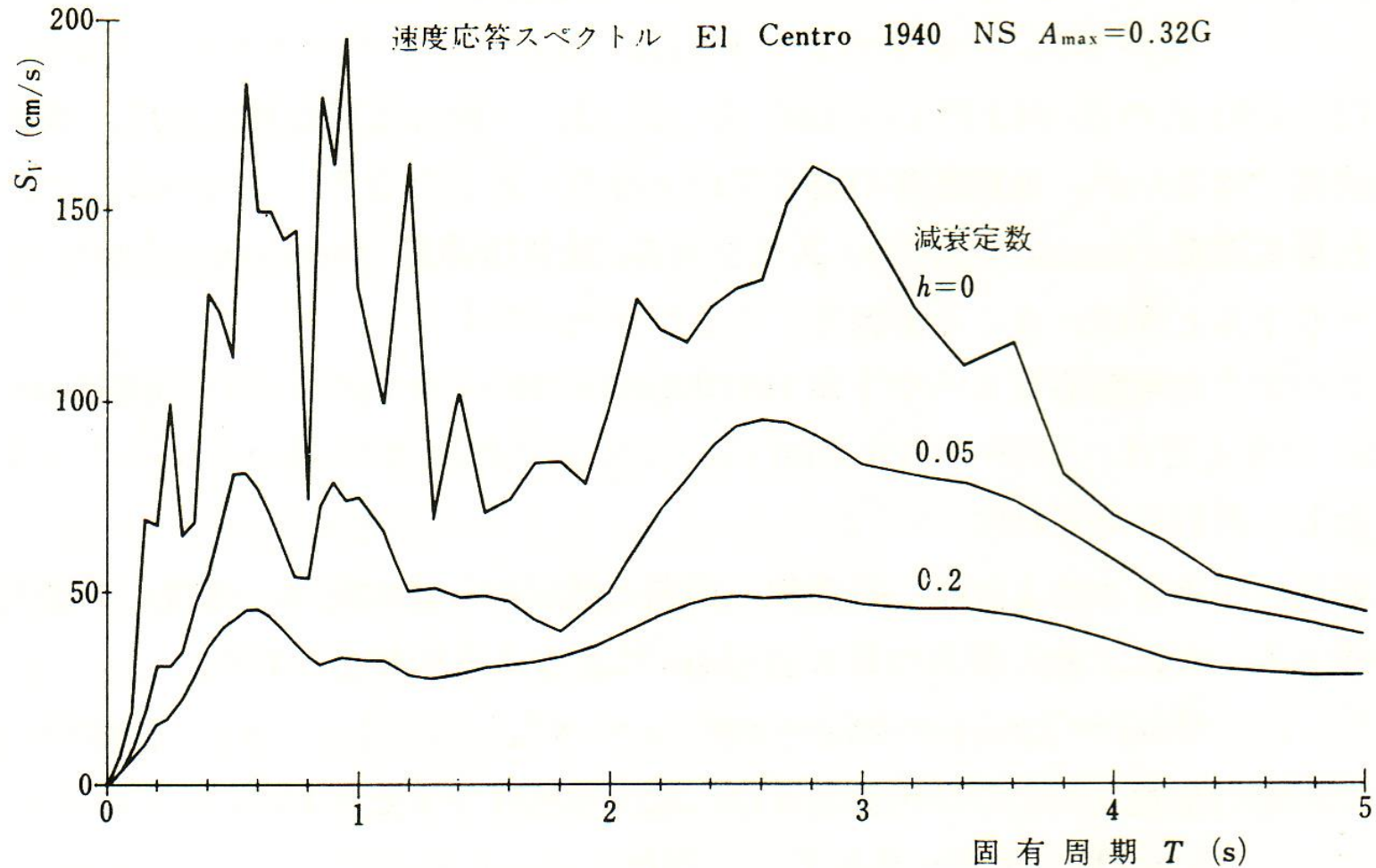
応答スペクトル

- ある地震について、最大変位応答を縦軸に、固有周期を横軸にとり、減衰定数をパラメータとして表したものを、**変位応答スペクトル**という。
- また、速度および絶対加速度の最大応答値を同様に表したものを**速度応答スペクトル**、**加速度応答スペクトル**という。

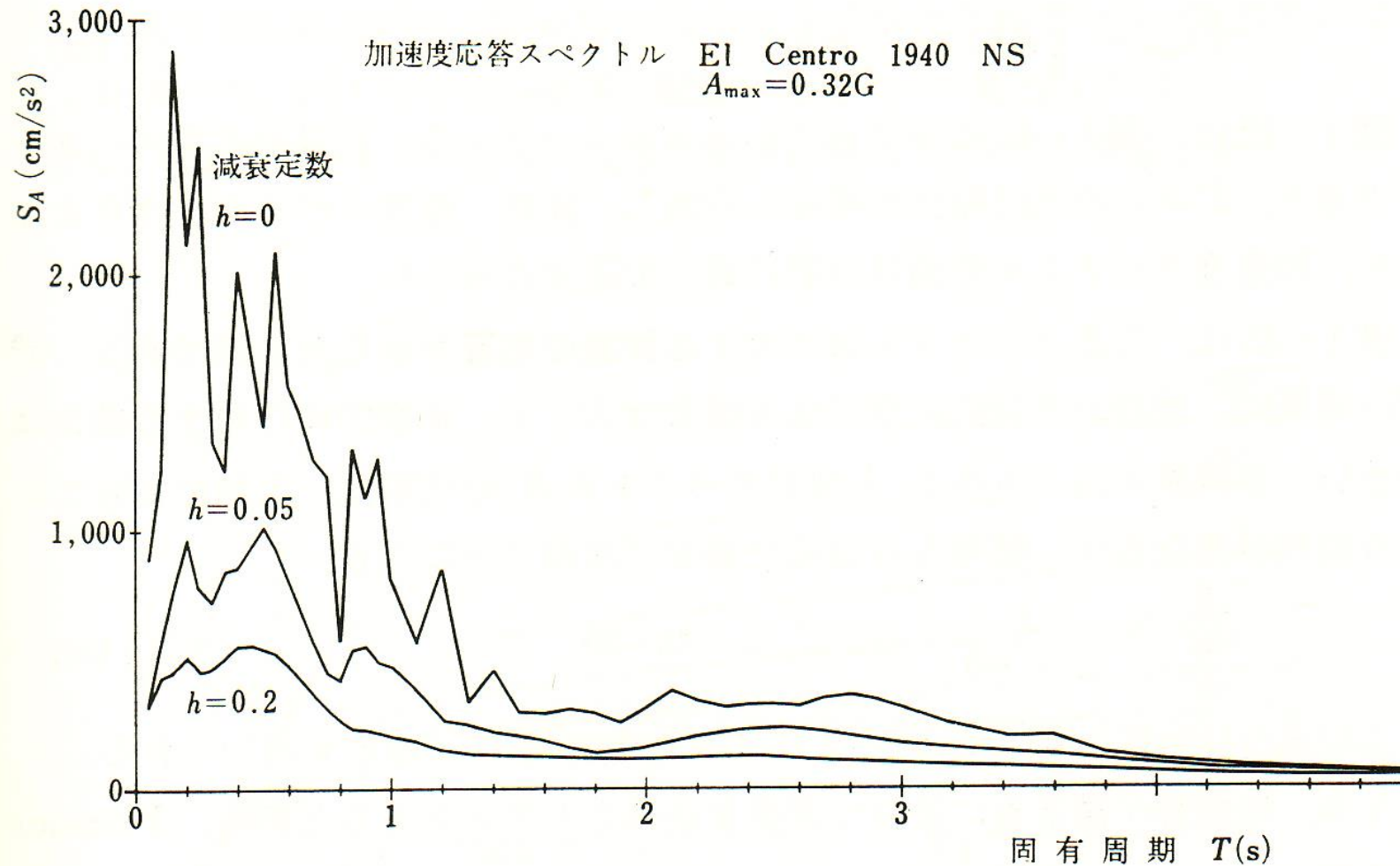
変位応答スペクトルの例



速度応答スペクトルの例



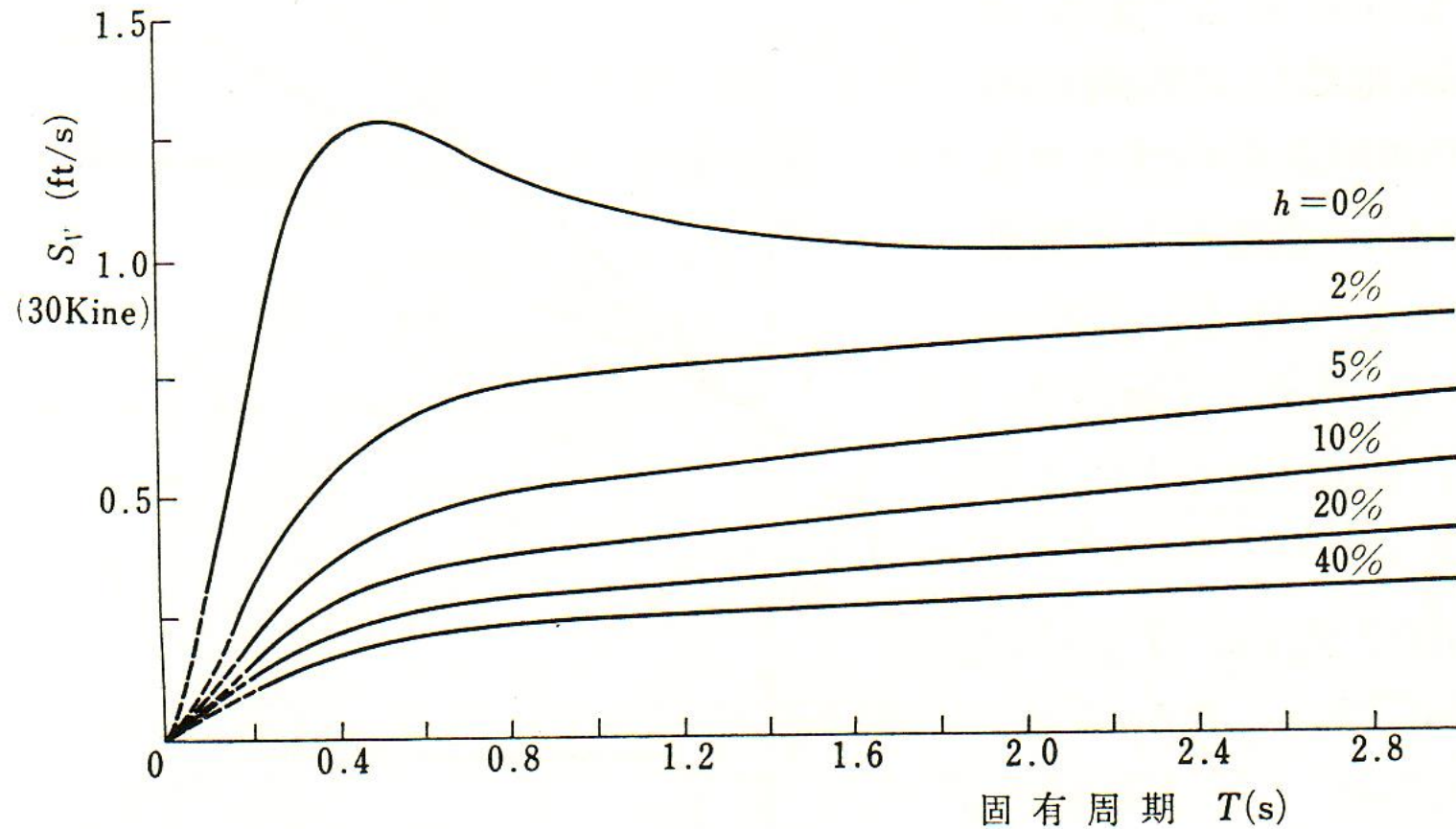
加速度応答スペクトルの例



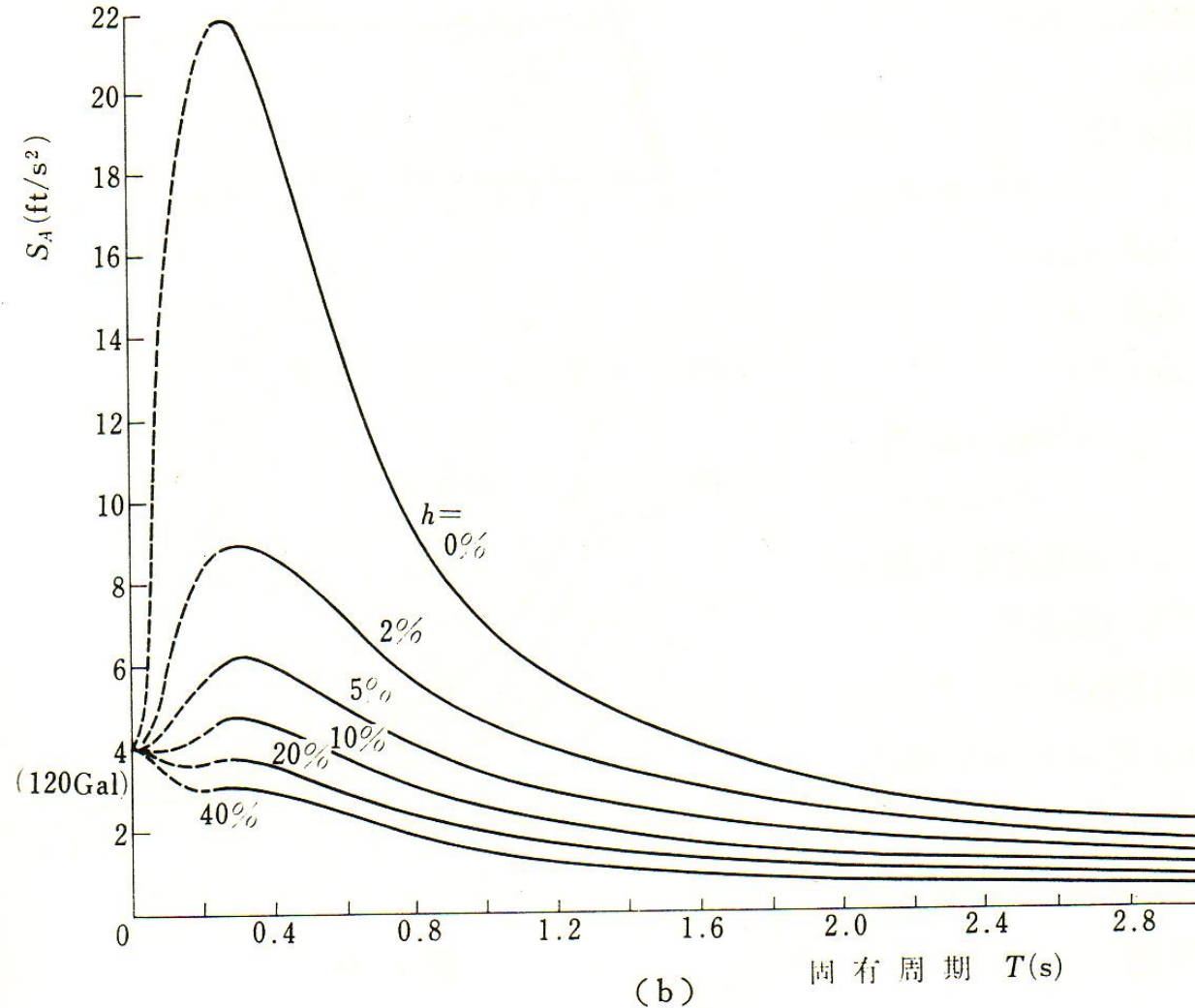
しかし……

- 応答スペクトルは、観測された地震加速度に依存する。各地震ごとに、スペクトルを求めるのは大変
- 過去観測された色々な地震加速度に対する平均的な応答スペクトルを作っておけば便利である。

Housnerの 平均速度応答スペクトル



Housnerの 平均加速度応答スペクトル



梅村スペクトル

$$S_D = \begin{cases} 90T^2k_G \text{ cm} & T \leq 0.5 \text{ s} \\ 45Tk_G & 0.5 < T \leq 3 \\ 135k_G & T > 3 \end{cases}$$

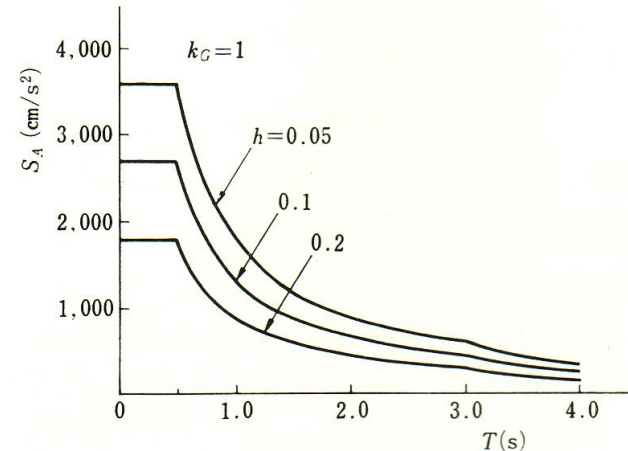
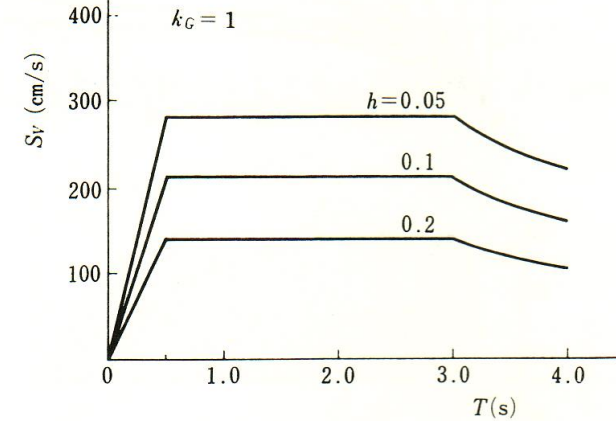
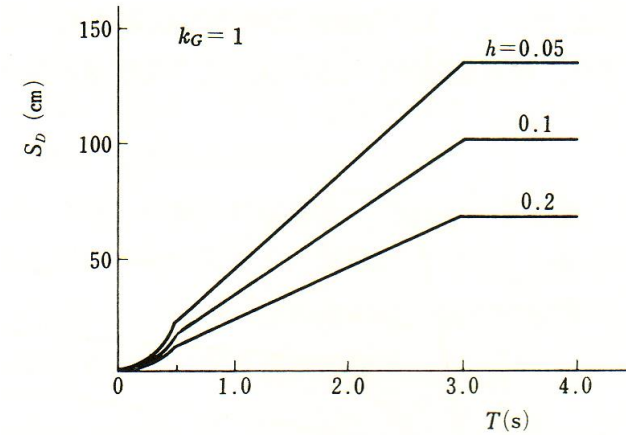
(1・136-a)

$$S_V = \begin{cases} 566k_G T \text{ cm/s} \\ 283k_G \\ 849k_G/T \end{cases}$$

(1・136-b)

$$S_A = \begin{cases} 3.6gk_G \text{ cm/s}^2 \\ 1.8gk_G/T \\ 5.4gk_G/T^2 \end{cases}$$

($g = 980 \text{ cm/s}^2$)
(1・136-c)



建築物が地震に耐える3つの方法

