I －163 地震動を受けた構造物の速度応答スペクトルが平坦となる理由

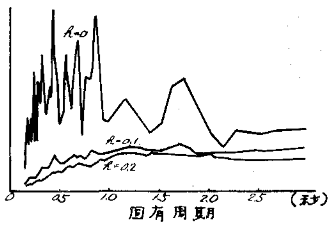
東京工業大学　　伯野元彦

§1．はじめに

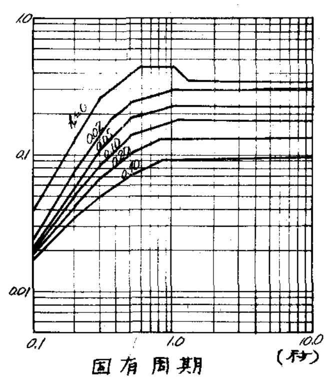
巨大な土木構造物の耐震設計を行う場合、従来の震度法のみではなく、動的解析に基づいた設計法の試みがなされている。

手法としては、種々提案されているが、その一つに米国の Housner 博士その他による応答スペクトル法がある。　これは米国において得られた過去の強震記録に基づき、その地震が1自由度振動系に作用した場合の振動変位の最大値を計算機によって求め、振動系の固有周期を色々に変えて最大値をプロットし、その図から耐震設計の場合の設計震度を得ようとするものである。
たまたま、この図を各種の強震記録について求めてみたところ、その値は図－1に示すような、構造物の固有周期に余り関係しない平坦な値が得られた。

また日本でも、最近、日本ならびに米国で得られた地震記録について、大久保、栗林等が解析した結果は、図－2に示すように、同様な性質を示している。



図－1　一自由度系の速度応答スペクトル（Housner）



図－2　速度応答スペクトルの平均（高田、大久保、栗林）

このような構造物の地震時振動の性質は耐震設計を行う場合、非常に便利な性質で、構造物に加わる速度を V とすれば

$$V = Const. \qquad ---- (1)$$

したがって、構造物に加わる加速度すなわち震度Aは

$$A \propto \frac{1}{T} \qquad ---- (2)$$

こゝに　T：構造物固有周期

構造物に考えるべき設計震度は(2)式に示されているように固有周期が長く柔かな構造物ほど震度を小さくとってよいということとなる。　現在、巨大土木構造物の設計震度を決める場合、(2)式または、その修正式が通常用いられている。

本研究は、(2)式のもとになっている速度スペクトルが構造物固有周期に余り関係しないという性質が、必ずしも過去に得られた強震のみが持っている性質ではなく、一般に過渡的振動外力が本質的に持っているものであり、したがって、これから起る地震動にも、その測定地点によらず、その性質は、大体備わっていると見て差支えないということを、言おうとしたものである。

§2. 関数積のフーリエ変換

1自由度振動系が地震加速度 $\ddot{Y}(t)$ を受けた時の振動変位 $x(t)$ は次のように，結局，$\ddot{Y}(t)$ のフーリエ変換で表わされる。

$$x(t) = T_n \times \sqrt{a^2(t,\omega_n)+b^2(t,\omega_n)}\ \sin(\omega_n t-\alpha(t)) \qquad \text{---(\ \ )}$$

$$\therefore\ x(t)\times\omega_n = \text{速度応答} = A(t,\omega_n)\sin(\omega_n t-\alpha(t)) \qquad \text{----(\ \ )}$$

こゝに

$$a(t,\omega_n)=\int_0^t\{\ddot{Y}(\tau)e^{-\mu(t-\tau)}\}\cos\omega_n\tau\,d\tau,\quad b(t,\omega_n)=\int_0^t\{\ddot{Y}(\tau)e^{-\mu(t-\tau)}\}\sin\omega_n\tau\,d\tau \qquad \text{....(\ \ )}$$

したがって，$a(t,\omega_n)$，$b(t,\omega_n)$ が，それぞれ，ω_n が変化しても余り値を変えなければ，(4)式における $A(t,\omega_n)$，ひいては速度応答スペクトルが平坦となる事になる。

さて，教科書によれば，2関数 $F(t)$, $G(t)$，それぞれのフーリエ変換を $f(\omega)$，$g(\omega)$ とした場合，$F(t)$ と $G(t)$ の積のフーリエ変換は次式のように，$f(\omega)$, $g(\omega)$ の畳み込み積分で与えられる。

$$\int_{-\infty}^{\infty}F(t)\times G(t)\,e^{-j\omega t}\,dt=\int_{-\infty}^{\infty}g(v)\,f(\omega-v)\,dv \qquad \text{---(\ \ )}$$

(6)式の右辺は，$g(v)$ というスペクトルを $f(v)$ という重み関数で平滑化していることを示している。　構造物の地震応答では，この $F(t)$，$G(t)$ は如何なる関数であろうか。

いま次の三つの場合を考えて見る。

(i) 構造物振動の最大値をとるという事。　この過程は

$F(t)=u(t)$，$G(t)=\ddot{Y}(t)$，（図−3参照）

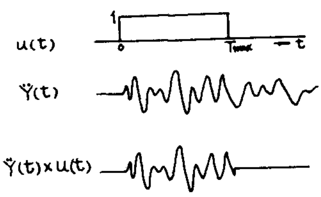
(ii) 構造物の減衰性の影響。　この過程は

$F(t)=e^{-\mu(t-\tau)}$，$G(t)=\ddot{Y}(t)$，（図−4参照）

(iii) 地震動の非定常性。

$F(t)=E(t)$，：地震動の過渡包絡線。

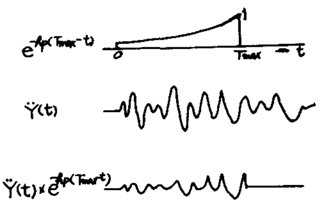
$G(t)=\ddot{Y}(t)$，：地震動の定常成分。



図−3

これら何れの影響も，速度応答のスペクトルを平滑化する働らきのある事が，(6)式から知られる。　また，平滑化の程度は，地震加速度に掛ける $F(t)$ の継続時間が短かい程大きい。

したがって，減衰性 μ が大きい程，振動応答最大値が地震開始後すぐ生じる程，地震動が衝撃的である程，速度スペクトルは平坦になると言える。



図−4

§3. 結論

本研究によって，一自由度振動系の速度応答スペクトルは，系に加わる加速度が過渡的な場合には，一般に，平坦となることが，証明されたが，未だ，多分に定性的な議論に終止しているキライもあるので，今後は，実際の地震動について，系の固有周期1.数秒以下の時，数秒以上の時についても研究を進めたい。