本資料のうち，枠囲みの内容は，機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第７号機　工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-028-10-20　改3
提出年月日	2020年8月21日

最新知見として得られた減衰定数の採用について
(使用済燃料貯蔵ラック)

2020 年 8 月

東京電力ホールディングス株式会社

目　　次

：今回ご提示資料

別紙-5　ハーフパワー法について

加振力 $Fe^{i\omega t}$ を受ける１自由度系の振動方程式は式(1)で表される。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = Fe^{i\omega t} \tag{1}$$

上式の解を $x = Ae^{i\omega t}$ として，式(1)に代入すると，

$$A = \frac{F}{-m\omega^2 + ic\omega + k} = \frac{F}{k\left\{\left(1 - \frac{m}{k}\omega^2\right) + i\frac{c}{k}\omega\right\}}$$

ここで，固有円振動数 $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ ，減衰定数 $\zeta = \frac{c}{c_c} = \frac{c}{2\sqrt{mk}} = \frac{c\omega_0}{2k}$ とおくと

$$A = \frac{F}{k\left[\left\{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right\} + i2\zeta\frac{\omega}{\omega_0}\right]}$$

よって，

$$x = \frac{1}{k\left[\left\{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right\} + i2\zeta\frac{\omega}{\omega_0}\right]}Fe^{i\omega t}$$

となる。
よって，加振力 $Fe^{i\omega t}$ に対する変位の振動伝達特性の振幅は式(2)で与えられる。

$$A' = \frac{1}{k}\frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right)^2 + \left(2\zeta\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}} \tag{2}$$

いま $\zeta \leq 1$ とすると式(2)の振幅曲線はピーク値付近で $\omega = \omega_p$ に対しほぼ対称である。

そこで ω_p より少し低い ω_L 点の振幅を A_L とする。

$\Delta\omega/2 = \omega_P - \omega_L = \omega_0 - \omega_L \left(\omega_P \approx \omega_0\right)$ より

$$A_L = \frac{1}{k}\frac{1}{\sqrt{\left(1-(\omega_0-\Delta\omega/2)^2/\omega_0^2\right)^2+4\zeta^2(\omega_0-\Delta\omega/2)^2/\omega_0^2}}$$

$$\approx \frac{1}{k}\frac{1}{\sqrt{(\Delta\omega/\omega_0)^2+4\zeta^2}}$$

一方，

$$A_{\max} = \frac{1}{2k\zeta\sqrt{1-\zeta^2}} \approx \frac{1}{2\zeta k}$$

となる。$A_{\max}$と A_L の比 R は

$$R = \frac{A_{\max}}{A_L} = \frac{\sqrt{(\Delta\omega/\omega)^2+4\zeta^2}}{2\zeta}$$

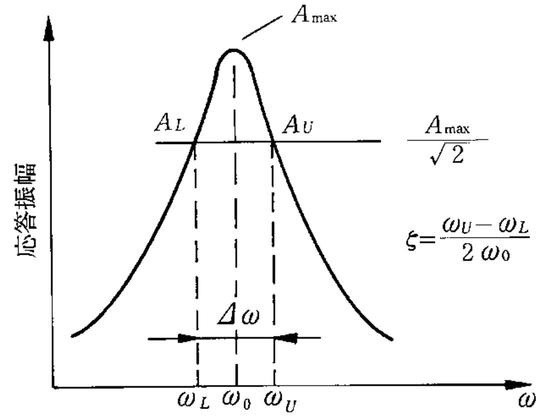
となり，整理すると

$$\zeta = \frac{1}{2}\frac{\Delta\omega/\omega_0}{\sqrt{R^2-1}}$$

となる。$R = \sqrt{2}$ とすると以下のように簡単になる。

$$\zeta = \frac{1}{2}\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{1}{2}\frac{\omega_U-\omega_L}{\omega_0} = \frac{f_U-f_L}{2f_0}$$

よって，周波数応答の$A_{\max}/\sqrt{2}$を示す周波数f_Uと f_L 及び固有振動数f_0を計測すれば減衰定数 ζ を求めることができる。この減衰定数測定方法をハーフパワー法という（第 5-1 図）。



第 5-1 図　ハーフパワー法

【補足事項】減衰定数算定に適用したハーフパワー法の導出式について

第 5-1 表にハーフパワー法の導出式の比較を示す。別紙 5 では，一般的な①相対変位から求める導出式を記載した。一方，別紙 4 正弦波掃引試験では絶対応答加速度を用いているため，②絶対応答加速度から求める導出式が，試験方法との整合性からは妥当である。ただし，減衰常数 ζ を求める算定式は，同一の式が得られる。

第 5-1 表　ハーフパワー法の導出式の比較

	①相対変位から求める場合 （別紙 5 記載）	②絶対応答加速度から求める場合 （別紙 4 正弦波掃引試験）
運動 方程式	$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = Fe^{i\omega t}$	$\mathrm{m}\ddot{x} + c\dot{x} + kx = m\ddot{x}_o$
応答振幅 A'	$A' = \dfrac{1}{k}\dfrac{1}{\sqrt{\left(1-\left(\dfrac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right)^2 + \left(2\zeta\dfrac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}$	$A' = \dfrac{\sqrt{1+\left(2\zeta\dfrac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}{\sqrt{\left(1-\left(\dfrac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right)^2+\left(2\zeta\dfrac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}$
A_L	$A_L \approx \dfrac{1}{k}\dfrac{1}{\sqrt{(\Delta\omega/{\omega_0}^2)^2+4\zeta^2}}$	$A_L \approx \dfrac{\sqrt{1+4\zeta^2}}{\sqrt{(\Delta\omega/{\omega_0}^2)^2+4\zeta^2}}$
A_{max}	$A_{max} \approx \dfrac{1}{2\zeta k}$	$A_{max} \approx \dfrac{\sqrt{1+4\zeta^2}}{2\zeta}$
比率 R	$R = \dfrac{A_{\max}}{A_L} = \dfrac{\sqrt{(\Delta\omega/\omega)^2+4\zeta^2}}{2\zeta}$	$R = \dfrac{A_{\max}}{A_L} = \dfrac{\sqrt{(\Delta\omega/\omega)^2+4\zeta^2}}{2\zeta}$
減衰定数 ζ	$\zeta = \dfrac{1}{2}\dfrac{\Delta\omega}{\omega_0} = \dfrac{1}{2}\dfrac{\omega_U-\omega_L}{\omega_0} = \dfrac{f_U-f_L}{2f_0}$	$\zeta = \dfrac{1}{2}\dfrac{\Delta\omega}{\omega_0} = \dfrac{1}{2}\dfrac{\omega_U-\omega_L}{\omega_0} = \dfrac{f_U-f_L}{2f_0}$