

## 2. 等価線形化法に基づく応答評価

柴田は等価線形化法により、弾塑性応答する構造物の必要耐力と変形の間係を求めている<sup>13)</sup>。また、著者等は一質点系が共振する時の1サイクル分のエネルギーに着目して、復元力特性が応答に与える影響を検討し、復元力特性ごとに応答低減効果を示すと共に、等価剛性(等価周期)及び減衰力によるエネルギー吸収が等しければ、復元力特性が異なっても応答にさほど差がないことを明らかにしている<sup>14)</sup>。本章では、建物の地震応答時の等価周期と応答変形の間係から、地震応答時には多くの建物が速度一定領域に属することを示した。また、速度一定領域に属する建物が地震により塑性化し、建物の周期が伸びることによって、加速度応答スペクトルの値がどの程度低減されるかについても理論式を基に示した。

### 2.1 等価周期の一般式

文献<sup>13)</sup>や文献<sup>14)</sup>で明らかなように、弾塑性応答する建物では、加速度応答スペクトルに対応する周期として、応答時の等価周期を用いることが妥当である。限界耐力計算では、加速度応答スペクトルに対応する周期として弾性周期ではなく、最大応答時の等価周期が用いられている。そのため、本節では、建物の等価周期と応答変形の間係の理論式を示した。

図2.1に一質点系モデルを、図2.2に地震応答時のベースシア係数 $C_B$ と塑性率 $\mu$ の間係を示す。図2.2より、建物の等価剛性 $K_e$ と初期剛性 $K_0$ はそれぞれ(2.1)式、(2.2)式となる。また、建物の等価剛性 $K_e$ は初期剛性 $K_0$ を用いて(2.3)式で表せる。

$$K_e = \frac{C_B \cdot M_u \cdot g}{\mu \cdot \delta_y} \quad (2.1)$$

$$K_0 = \frac{C_B \cdot M_u \cdot g}{\delta_y} \quad (2.2)$$

$$K_e = \frac{K_0}{\mu} \quad (2.3)$$

$K_e$  : 建物の等価剛性(kN/m)

$C_B$  : ベースシア係数

$M_u$  : 建物の等価質量(ton)

$g$  : 重力加速度(=9.8m/s<sup>2</sup>)

$\mu$  : 塑性率

$K_0$  : 初期剛性(kN/m)

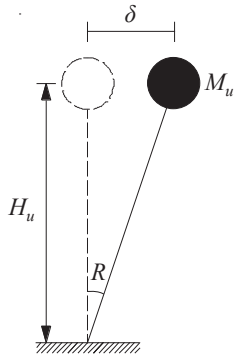


図 2.1 縮約 1 自由度系モデル

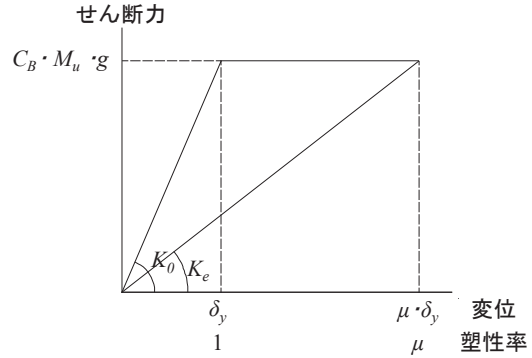


図 2.2 せん断力と塑性率  $\mu$  の関係

建物の等価周期  $T_e$  は(2.4)式で表せる。(2.4)式に(2.3)式を代入して、等価周期  $T_e$  は(2.5)式となる。

$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{M_u}{K_e}} \quad (2.4)$$

$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{M_u \cdot \mu}{K_0}} \quad (2.5)$$

$T_e$  : 建物の等価周期(s)

文献<sup>3)</sup>より、一質点系の地震時における建物の等価周期  $T_e$  とベースシア係数  $C_B$ 、地震時の応答変形  $\delta$  の関係が(2.6)式で与えられる。

$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{\delta}{C_B \cdot g}} \quad (2.6)$$

$\delta$  : 地震時の応答変形(m)

文献<sup>4)</sup>より、地震時の応答変形  $\delta$  は(2.7)式で与えられる。

$$\delta = R \cdot H_e \quad (2.7)$$

$R$  : 地震時の応答変形角(rad.)

$H_e$  : 建物の有効高さ(m)

(2.6)式に(2.7)式を代入すると(2.8)式となる。

$$R = \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 \frac{C_B \cdot g}{H_e} \quad (2.8)$$

## 2.2 等価周期の具体例と考察

文献<sup>1),3),6)</sup>、より、限界耐力計算の大地震時における地表面での加速度応答スペクトル  $S_a$  は(2.9)式～(2.21)式で与えられる。

$$S_a = Z \cdot S_{0a} \cdot G_s \quad (2.9)$$

$$[T_e < 0.16(s)] \quad S_{0a} = 3.2 + 30T_e \quad (2.10)$$

$$[0.16(s) \leq T_e < 0.64(s)] \quad S_{0a} = 8 \quad (2.11)$$

$$[0.64(s) \leq T_e] \quad S_{0a} = \frac{5.12}{T_e} \quad (2.12)$$

[第1種地盤]

$$[T_e < 0.576(s)] \quad G_s = 1.5 \quad (2.13)$$

$$[0.576(s) \leq T_e < 0.64(s)] \quad G_s = \frac{0.864}{T_e} \quad (2.14)$$

$$[0.64(s) \leq T_e] \quad G_s = 1.35 \quad (2.15)$$

[第2種地盤]

$$[T_e < 0.64(s)] \quad G_s = 1.5 \quad (2.16)$$

$$[0.64(s) \leq T_e < 0.864(s)] \quad G_s = 2.34T_e \quad (2.17)$$

$$[0.864(s) \leq T_e] \quad G_s = 2.025 \quad (2.18)$$

[第3種地盤]

$$[T_e < 0.64(s)] \quad G_s = 1.5 \quad (2.19)$$

$$[0.64(s) \leq T_e < 1.152(s)] \quad G_s = 2.34T_e \quad (2.20)$$

$$[1.152(s) \leq T_e] \quad G_s = 2.7 \quad (2.21)$$

- $Z$  : 地域係数  
 $S_{0a}$  : 解放工学的基盤の加速度応答スペクトル(m/s<sup>2</sup>)  
 $G_s$  : 地盤増幅係数

図 2.3 に(2.9)式～(2.21)式より求めた加速度応答スペクトル  $S_a$  を示す。また、加速度一定領域と速度一定領域の境界となる周期を表 2.1 に示す。さらに、表 2.2 に(2.8)式の建物の等価周期  $T_e$  に表 2.1 の加速度一定領域と速度一定領域の境界となる周期を代入し、ベースシア係数  $C_B$  を 0.3、建物の有効高さ  $H_e$  を 3(m)、5(m)、10(m)、建物高さ  $H$  を 20(m)、31(m)とした応答変形角  $R$  を示す。また、(2.8)式を変形した(2.22)式において、ベースシア係数  $C_B$  を 0.3、地震時の応答変形角  $R$  を限界変形角  $R_u (=1/50(\text{rad.}))$ 、建物の有効高さ  $H_e$  を 3(m)、5(m)、

10(m)、建物高さ  $H$  を 20(m)、31(m)とした建物の等価周期  $T_e$  を図 2.3 に黒色の破線で示す。なお、文献<sup>2)</sup>より、各層の質量、階高、層間変形が同じであると仮定した場合の建物の有効高さ  $H_e$  は、(2.23)式で与えられる。建物高さ  $H$  が 20(m)と 31(m)の建物については、(2.23)式より、建物高さ  $H$  を建物の有効高さ  $H_e$  とし、計算を行った。さらに、後述の(4.6)式より、建物高さ  $H$  を 20(m)、31(m)とした場合の建物の弾性周期  $T$  ( $T=0.02H$  の場合) を灰色の破線で示す。

$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{R \cdot H_e}{C_B \cdot g}} \quad (2.22)$$

$$H_e = 0.715H \quad (2.23)$$

表 2.2、図 2.3 より、仮に、建物の許容しうる限界変形角  $R_u$  を 1/50(rad.)とした場合、第 3 種地盤の平屋建ての建物以外は崩壊時において、速度一定領域に属することがわかる。一方、弾性周期 ( $T=0.02H$ ) で計算された場合では、中層の建物であっても加速度一定領域ないし、加速度一定領域を若干過ぎたところに属することがわかる。(2.5)式と図 2.3 より、速度一定領域の加速度応答スペクトル  $S_a$  の値は周期に反比例するため、周期の伸びにより、速度一定領域の加速度応答スペクトル  $S_a$  の値は塑性率  $\mu$  の平方根に反比例することがわかる。したがって、以下では速度一定領域における応答評価式について検討する。

表 2.1 境界周期

	境界周期(s)
$T_1$	0.576
$T_2$	0.864
$T_3$	1.152

表 2.2  $C_B=0.3$ , 限界変形角  $R_u=1/50(\text{rad.})$ のときの応答変形角

	第1種地盤	第2種地盤	第3種地盤
建物の有効高さ $H_e=3(\text{m})$	1/121	1/54	1/30
建物の有効高さ $H_e=5(\text{m})$	1/202	1/90	1/51
建物の有効高さ $H_e=10(\text{m})$	1/405	1/180	1/101
建物高さ $H=20(\text{m})$	1/579	1/257	1/145
建物高さ $H=31(\text{m})$	1/897	1/399	1/224

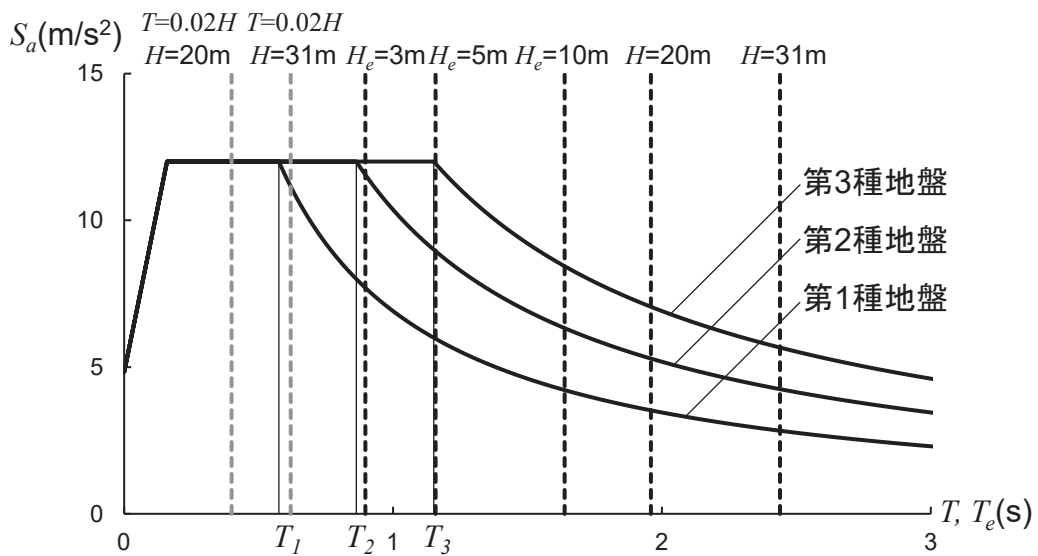


図 2.3 加速度応答スペクトル  $S_a$  と建物の周期の関係