

制震構造物における地震エネルギー分担率に関する研究

京都大学工学部 正員 家村 浩和
 京阪電気鉄道(株) 正員○北村 等

1. まえがき

近年、免震及び制震構造に関する研究がさかんに行われている。そのなかでも、合理的耐震設計法の基礎として、強震動による構造物の応答を、エネルギー入力という観点から解析してゆく研究がさかんになりつつある。本研究では、おもに1自由度系構造物における能動的制震機構の効果を地震入力エネルギーの観点から評価することを目的とした。

2. 能動的制振機構を有する1自由度系構造物における地震入力エネルギー

1自由度モデルとして、Fig.1に示す1層せん断型モデルを用いる。また、ここでは能動的制震力 $P(t)$ として“質点の応答速度に比例する力 $P(t) = -p_1 * V$ (p_1 (dyn sec/cm):比例定数)”ならびに“質点の応答変位に比例する力 $P(t) = -p_2 * D$ (p_2 (dyn/cm):比例定数)”を質点に加える2通りの能動的制震機構を考える。

a) 1自由度弾性構造物の運動方程式より、エネルギー方程式は次式のように示される。

$$\frac{1}{2}m \dot{x}_{t=t_0}^2 + C \int_0^{t_0} \dot{x}^2 dt + \frac{1}{2}k x_{t=t_0}^2 = -m \int_0^{t_0} \ddot{x} \dot{x} dt - \int_0^{t_0} P(t) \dot{x} dt \quad (1)$$

これを(2)式のように表すと、 W_k は時刻 t_0 における質点の運動エネルギー、 W_c は粘性エネルギー、 W_E はせん断柱の弾性歪エネルギー、 E は質点に吸収される地震エネルギー、 PE は制震機構によって質点に与えられるエネルギー、 $E + PE$ は総入力エネルギーとなる。

$$W_k + W_c + W_E = E + PE \quad (2)$$

b) 1自由度弾塑性構造物におけるエネルギー方程式は次式のように表される。

$$\frac{1}{2}m \dot{x}_{t=t_0}^2 + C \int_0^{t_0} \dot{x}^2 dt + \int_0^{t_0} f(x) \dot{x} dt = -m \int_0^{t_0} \ddot{x} \dot{x} dt - \int_0^{t_0} P(t) \dot{x} dt \quad (3)$$

$f(x)$ は履歴復元力を表す。本研究ではFig.2の示すようなBi-linear型モデルを用いた。これを(4)式のように表すと、

$$W_k + W_c + W_E + W_H = E + PE \quad (4)$$

W_H はせん断柱に蓄積される塑性歪エネルギーを表す。

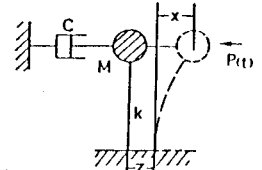


Fig.1 SDOF-System

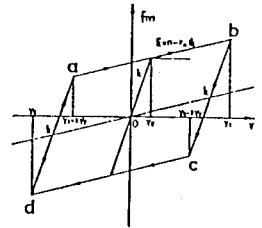


Fig.2 Bi-linear Model

Table 1 K, M, P(t) and Xy of each Model

Model	K(lam/cm)	a(lam)	Period(sec)	P(t)	xy(cc)
1	350.0	4000.0	0.70	P ₁ M ₁	∞
2	350.0	4000.0	0.70	P ₁ M ₀	∞
3	350.0	4000.0	0.70	P ₁ M ₁	1.0
4	350.0	4000.0	0.70	P ₁ M ₀	1.0

Hirokazu Iemura, Hitoshi Kitamura

3. 能動的制震機構を有する1自由度系構造物の地震応答結果

Table 1に示す制震機構を有する4つの構造物モデルについて次の応答値を求める。なお減衰定数 h を10(%)、断塑性系の降伏変位 x_y を1.0(cm)、断塑性傾斜率 P_n を0.75とし、入力地震波は日本海中部沖地震波AKITA. S-N(1983)を用いた。Fig.3,4,5,6に、全モデルにおける制震力の最大値(P_{max})と相対変位の最大値(DX)、相対速度の最大値(VX)、構造物に吸収された地震エネルギー(E)、及び総入力エネルギー($E+EP$)との関係を各々示した。非制震状態($P_{max}=0$)では、弾性系は、 DX 、 E においては弾塑性系より大 fw きな応答を示し、 VX においては小さい応答を示している。

Fig.3,4より、 DX 、 VX の各応答曲線は、下に凸な曲線となり、極小点(D_i 、 V_i ($i=1\sim 4$))が見られる。この極小点が各制震機構において、応答変位、速度面からみて、著しい制振効果の現れている状態であると考えられる。また速度比例制御が変位比例制御よりもより効果的である。速度比例制御された制震機構を持つ弾性系及び弾塑性系構造物の応答曲では極小点が一致している。これは、弾塑性系構造物が制御力が大きくなり、塑性領域に及ばず、弾性領域のみで振動を行っているためであると考えられる。 E 、及び $E+PE$ についても同様のことが言える。また、 D_1 と V_1 は、各々、ほぼ同じ制震力を加えた状態での応答結果である。

Fig.5において E の応答曲線は、概して、減少-増加-減少傾向を示す。今、 D_1 と同じ制震力を加えた状態に対応する点を E_1 とする。この時、制震効果をエネルギー面から考えると、 E の応答結果において E_1 の状態より小さい制振力の領域において最も安定した制振効果がある。また、より大きい制震力を加えても、著しい制震効果はみられない。

Fig.6において、 D_1 の状態に対応する点を W_1 とする。 $(E+PE)$ の応答曲線は E の応答曲線とほぼ似た曲線であるが、 W_1 より大きな制震力を加えた状態では激しい減少傾向を示している。これは、制震機構によって構造物に与えられたエネルギー(PE)の絶対値が増加するだけで、 E にはほとんど変化がみられないことを示す。

4. 結果

本研究では、地震入力エネルギーの面から、制震効果を評価することを目的とした。①応答変位及び速度に比例する制震力を持つ1自由度系弾性、弾塑性系制振構造物において、各々最適な制震状態が存在すると思われる。②制震効果を評価するとき、構造物への入力エネルギーと応答変位を最小とする制振力の値はほぼ等しいが、入力エネルギーと応答速度を最小とする値に少々のがずれが見られた。

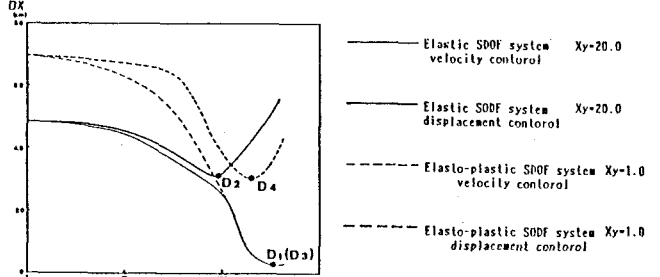


Fig.3 DX-Pmax Relation

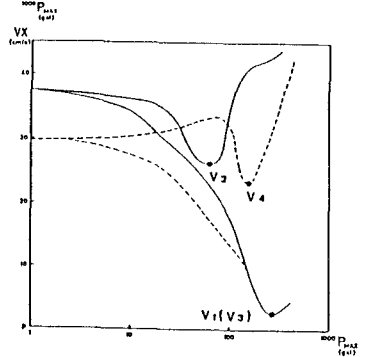


Fig.4 VX Pmax Relation

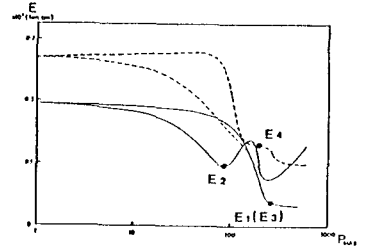


Fig.5 E-Pmax Relation

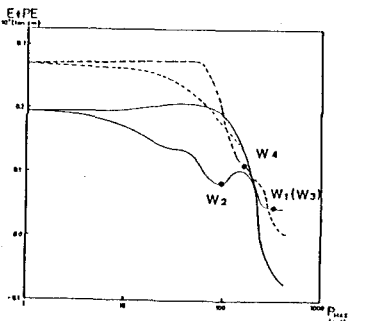


Fig.6 (E+PE)-Pmax Relation