

構造物と地盤との動的相互作用を利用した制震手法

徳島大学大学院 学生会員 ○岸浦正樹 徳島大学大学院 正会員 三神 厚

1. はじめに

構造物のパッシブ制震の方法の1つに、制震ブレースを用いて地震のエネルギーを吸収する方法があるが、これは制震ブレースに十分な相対速度を与えないと十分な効果が得られない。本研究では構造物と地盤の動的相互作用、すなわち、基礎と地盤との相対速度を利用した制震手法を提案し、その可能性を模索する。

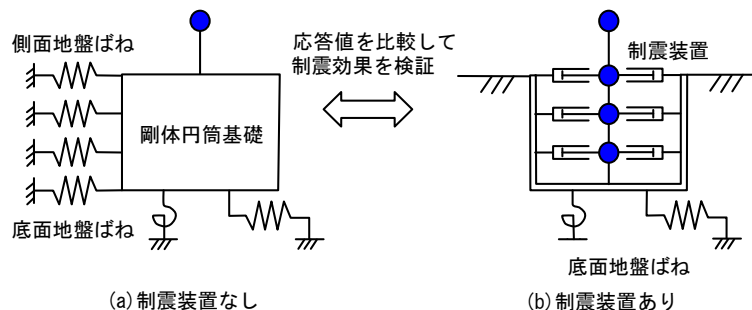


図1 解析モデル

2. 制震手法

本研究で提案する制震手法は、地階を有する建物を対象としている。地下階部分と地盤とを分離し、そこに制震装置を組み込み、そこから生じる相対速度を利用して地震のエネルギーを吸収するもので、本来生じるであろう構造物と地盤の動的相互作用を利用したものである。図1に対象構造物のモデルを示す。簡単のため、ここでは建物の地上部分を1自由度系としてモデル化し、検討する。図1(a)は制震装置がない、通常の構造物と地盤との動的相互作用を解析するケースである。この場合、建物の地下階を剛体円筒基礎として近似し、基礎底面と地盤の相互作用を考慮するために、基礎底面にはConeモデル¹⁾に基づく地盤ばね(1)式によるSwayばねと(2)式によるRockingばねを、基礎側面には式(3)で表されるNovakモデル²⁾に基づく地盤ばねを取り付け、いわゆる埋め込みSway-Rockingモデルとしてモデル化した。それぞれの算出式を以下に示す。底面のSwayばね K_h は、式(1)で表される。

$$K_h(a_0) = K[k(a_0) + ia_0c(a_0)] \tag{1}$$

ただし、 $K = \frac{8Gr_0}{2-\nu}$, $k(a_0) = 1$, $c(a_0) = \frac{\pi(2-\nu)}{8}$ 。ここに、 G :せん断弾性係数、 a_0 は $a_0 = \omega r_0/V_s$ で定義される無次元振動数で、 ω :円振動数、 r_0 :基礎の半径、 V_s :S波速度、 ν :地盤のポアソン比である。

底面のRockingばね K_r は、式(2)で表される。

$$K_r(a_0) = K_\theta[k_\theta(a_0) + ia_0c_\theta(a_0)] \tag{2}$$

ただし、 $K_\theta = \frac{8Gr_0^3}{3(1-\nu)}$, $k_\theta(a_0) = 1 - \frac{1}{3} \frac{\mu_\theta}{\pi} \frac{z_0}{r_0} a_0^2 - \frac{1}{3} \frac{a_0^2}{(2r_0/z_0)^2 + a_0^2}$, $c_\theta(a_0) = \frac{z_0}{6r_0} \frac{a_0^2}{(2r_0/z_0)^2 + a_0^2}$

ここに、 $\mu_\theta = 0.3\pi(\nu - 1/3)$, z_0 :近似円錐地盤の頂点高さである。また、側面のSwayばね K_a は、

$$K_a = -\pi G a_0^2 \frac{4K_1(b_0^*)K_1(a_0^*) + a_0^* K_1(b_0^*)K_0(a_0^*) + b_0^* K_0(b_0^*)K_1(a_0^*)}{b_0^* K_0(b_0^*)K_1(a_0^*) + a_0^* K_1(b_0^*)K_0(a_0^*) + b_0^* a_0^* K_0(b_0^*)K_0(a_0^*)} \tag{3}$$

ここに、 $a_0^* = ia_0$, $b_0^* = ib_0$, $K_\nu(*)$:第2種 ν 次の変形ベッセル関数。ただし、 b_0 は $b_0 = \omega r_0/V_p$ で定義される無次元振動数である。これらによる地盤ばねの計算例(ポアソン比 $\nu = 0.33$ のとき)をそれぞれ図2, 図3に示す。

図1(b)には、制震装置を取り付ける場合のモデルを示す。この場合も同様に地下階を剛体円筒基礎でモデル化するが、円筒側面には地盤ばねの代わりにダッシュポットでモデル化した制震装置を取り付ける。円筒底面は、図1(a)と同様にConeモデルで地盤との相互作用をモデル化する。これは、本来側面において地下階部分と地盤が接するところで切り離してダッシュポットで表現される制震装置を介することによって、構造物の応答の低減に期待するものである。

3. 検証方法

図1に示す2つのモデルの周波数応答解析を行い、応答を比較することにより制震効果を検証する。ここで、

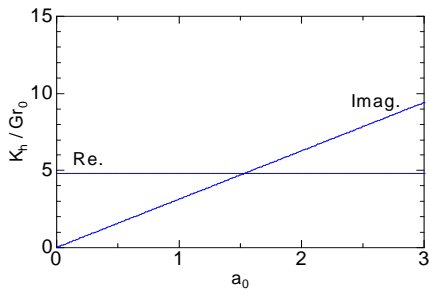


図2 底面地盤ばね(Cone)

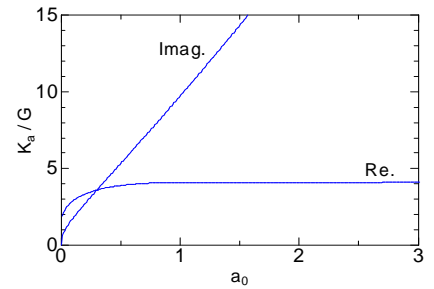
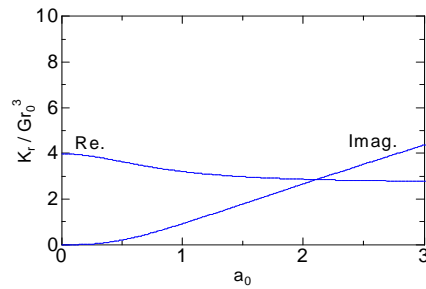


図3 側面地盤ばね(Novak)

表1 解析モデルのパラメータ

	質量(t)	固有振動数(Hz)	減衰定数(%)	高さ(m)
構造物	1.0	1.0	5.0	3.0
	半径(m)	厚さ(m)	密度(t/m ³)	
剛体円形基礎	6.0	12.0	2.5	
	密度(t/m ³)	S波速度(m/s)	ポアソン比	
地盤	1.8	100	0.33	

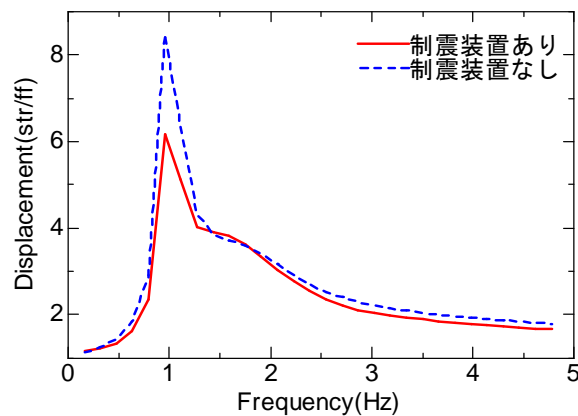


図4 制震効果の検証

解析モデルのパラメータを表1に示す。構造物は固有振動数1Hzとしたものを考える。地盤は半無限一様($V_s=100\text{m/s}$)として考え、側面地盤ばねは単位厚さ(1m)当たりに取り付けた。また、基礎入力動は地震動とし、入力損失を考えていない。なお、今回使用する制震装置の減衰係数は $1 \times 10^7 \text{kN} \cdot \text{s/m}$ とし、埋設深さ12mにおいて1m間隔に取り付けた。

4. 検証結果

図4に制震装置有無の2つの解析モデルの検証結果を示す。本ケースでは、構造物の変位応答/基礎の変位応答で約30%の応答低減が得られる結果となった。

5. まとめ

地下階を有する建物と地盤の動的相互作用を利用した制震手法を提案した。今後、建物、地盤の条件を様々に変えて、制震効果を検討する必要がある。

参考文献

- 1) Meek J W and Wolf J P: Cone models for homogeneous soil, Journal of geotechnical engineering, ASCE, Vol. 118, No.5, pp 667-685, 1992
- 2) 日本建築学会：入門・建物と地盤との動的相互作用，技報堂，pp.212～218，1999