

地盤特性を考慮した D.M. を用いた建造物の制震性能に関する基礎的研究

その2 建物-地盤ばねモデルを考慮した制震性能

Research on Seismic Performance of Structure with Dynamic Mass in Consideration of Soil Characteristics

Part 2 Seismic Response Control Performance Considering the Soil-Structure Interaction Model

○高松慶介⁴, 秦一平¹, 石丸辰治², 廣谷直也³

* Keisuke Takamatsu⁴, Ippei Hata¹, Shinji Ishimaru², Naoya Hirotsani³

This research shows the seismic response control performance using D.M. tuned mode control considering the soil-structure interaction model. This paper is compared the fixed-base model with the soil-structure interaction model. In conclusion, this paper shows that design analysis model considering the soil characteristics is required.

2-1. はじめに

その2では, D.M.モード制御の概要を示し, 基礎固定モデルと地盤ばねを用いたモデルを比較し, 地盤特性を考慮した場合の応答特性の変化を示す.

2-2. D.M.モード制御概要

制震装置を組み込んだ1質点系をFig.2-1に示す. 振動方程式は(2-1)式であり, 式中の各係数を(2-2)式に示す.

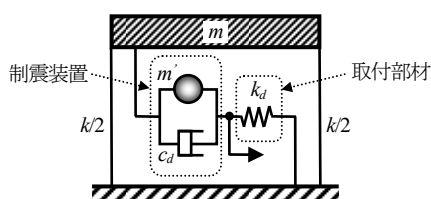


Fig.2-1 制震装置を組み込んだ1質点系

$$\left\{ \begin{matrix} \ddot{x} \\ \ddot{x}_d \end{matrix} \right\} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -2h_d\omega_d & 2h_d\omega_d \end{bmatrix} \left\{ \begin{matrix} \dot{x} \\ \dot{x}_d \end{matrix} \right\} + \begin{bmatrix} \omega_0^2 & \omega_0^2\kappa_k \\ \omega_0^2 & \omega_0^2\kappa_k \left(1 + \frac{1}{\eta_d}\right) \end{bmatrix} \left\{ \begin{matrix} x \\ x_d \end{matrix} \right\} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \ddot{y} \quad (2-1)$$

$$\left. \begin{aligned} \eta_d &= \frac{m'}{m}, \kappa_k = \frac{k_d}{k}, \omega_0^2 = \frac{k}{m}, \omega_d^2 = \frac{k_d}{m'} = \kappa_k \frac{\omega_0^2}{\eta_d}, \\ \frac{k_d}{m} &= \frac{k_d}{k} \frac{k}{m} = \omega_0^2 \kappa_k, \frac{c_d}{m} = \frac{c_d}{m'} \frac{m'}{m} = 2h_d \omega_d \eta_d, \frac{c_d}{m'} = 2h_d \omega_d \end{aligned} \right\} \quad (2-2)$$

D.M.モード制御では, 最適同調及び最適減衰時の固有値の関係をそれぞれ(2-3), (2-4)式で表している. 最適設計の手順は, まず(2-3)式を満足するD.M.量を決定し, 次に(2-4)式を満足する減衰係数 c_d を決定する. (2-4)式中の κ_k は, 減衰ゼロと無限大時の固有周期 T_0, T_∞ を用いて, (2-5)式で表すことができる. つまり, この手法は T_0, T_∞ を求めるための2回の複素固有値解析のみで対象構造物をもつ最大の制震性能を簡便に把握することができる.

$$\text{最適同調条件: } \omega_\infty = \sqrt{\omega_{0,1}\omega_{0,2}} \rightarrow T_\infty = \sqrt{T_{0,1}T_{0,2}} \quad (2-3)$$

$$\text{最適減衰条件: } h_{opt} = h_1 = h_2 \approx (0.5 \sim 0.6) \sqrt{\frac{\kappa_k}{2 + \kappa_k}} \quad (2-4)$$

$$\therefore \text{付加剛比: } \kappa_k = \left(\frac{T_0}{T_\infty} \right)^2 - 1 \quad (2-5)$$

2-3. 基礎固定モデルの制震性能

2-3-1. 基礎固定モデルの複素固有値解析

ここでは, 建物-地盤ばねモデルの比較モデルとなる基礎固定時の制震性能を把握する. 解析モデルは, その1のFig.1-1で示した2つのモデルを用いる.

制震装置は, 各モデルの下層部に付加剛比 κ_k の値が大きくなる層に配置した. 取付部材剛性は, 各モデルで1次粘性減衰定数 h_1 が同等となるように決定した. 各モデルの付加剛比 κ_k , 最適粘性減衰定数 h_{opt} 及び総デバイス量をTable2-1に示す. また, 最適設計時の固有値解析結果をTable2-2に示す. なお, 内部減衰は剛性比例型で1次モードに2%としており, ■はD.M.モードを示している.

Table2-1 κ_k, h_{opt} 及び総デバイス量

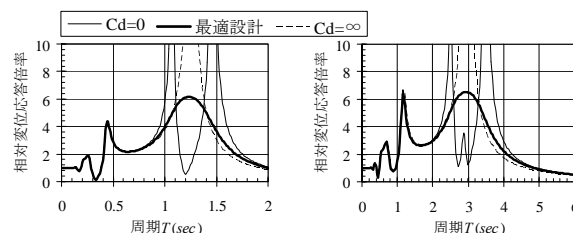
	Model ① (15質点)	Model ② (42質点)
付加剛比 κ_k	0.099	0.105
最適粘性減衰定数 h_{opt}	0.130	0.134
D.M.(ton)	50400.0	43430.0
c_d (kN·s/m)	134500.0	47450.0

Table2-2 最適設計時固有値解析結果

モード	Model ① (15質点)			Model ② (42質点)		
	T	h	η	T	h	η
1次	1.365	0.130	0.684	3.261	0.133	0.693
2次	1.149	0.131	0.128	2.683	0.135	0.181
3次	0.437	0.001	0.992	1.153	0.002	0.978
4次	0.273	0.000	1.000	0.720	0.001	0.992
5次	0.198	0.000	1.000	0.523	0.000	0.995

2-3-2. 基礎固定モデルの応答解析

各モデルの相対変位応答倍率及びBCJ-L2波入力時の相対変位の時刻歴応答解析結果をそれぞれFig.2-2, 2-3に示す. これより, 各モデルは最適設計により, 大幅に応答低減されていることがわかる.



a). Model①(15層目) b). Model②(42層目)

Fig.2-2 相対変位応答倍率(最上層)

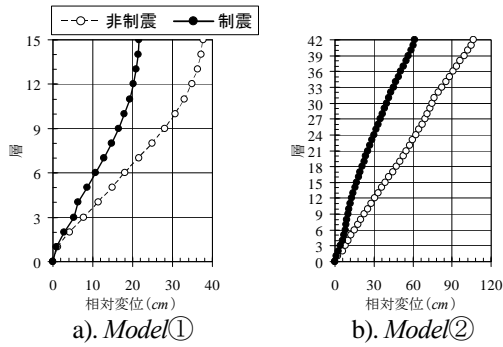


Fig.2-3 時刻歴応答解析結果(相対変位)

2-4. 建物-地盤ばねモデルの制震性能

ここでは、建物-地盤ばねモデルの制震性能の変化を把握する。対象モデルは、基礎固定モデルにその 1 で算出した地盤ばねを取り付けたモデルである。まず、基礎固定時の最適デバイス量を付加した時の最上層の相対変位応答倍率を Fig.2-4, 2-5 に示す。なお、周期変動に伴う応答倍率の変化を確認するため、図中の $C_d=0, \infty$ は基礎固定時の結果を示している。基礎固定から軟弱地盤になる程、最適同調は崩れ、応答倍率の最大値が大きくなる。また、Model②の方が周期変動しており、応答倍率の変化も大きいことがわかる。

次に、周期変動の大きい Model②を取り上げ、建物-地盤ばねモデルに対して最適設計を行う。相対変位応答倍率を Fig.2-6 に示す。これより、建物-地盤ばねモデルに対して設計を行うことで、最適設計条件を満足することがわかる。また、軟弱地盤になる程、最大応答倍率は低減されることもわかる。

最後に、BCJ-L2 波入力時の相対変位の時刻歴応答解析結果を Fig.2-7 に示す。なお、基礎固定モデルとの比較のため、建物-地盤ばねモデルでは、基礎の変位応答を各層の応答から差し引いた結果を示している。これより、基礎固定モデルと比較して、建物-地盤ばねモデルは変位応答が大きくなることがわかる。また、構造物が高層且つ軟弱地盤になる程、建物-地盤ばねモデルで最適設計する必要があるということがわかる。

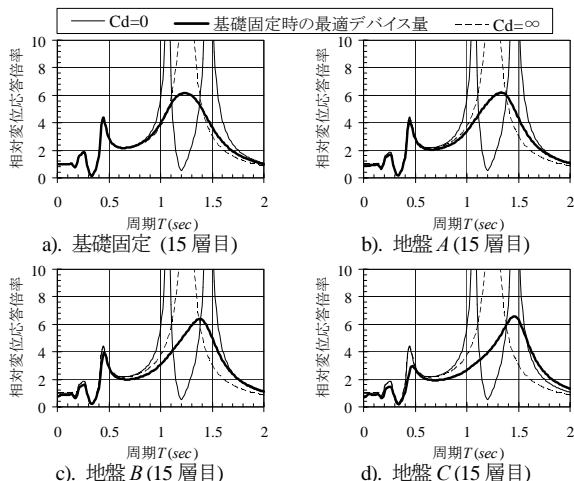


Fig.2-4 Model①の相対変位応答倍率(最上層)

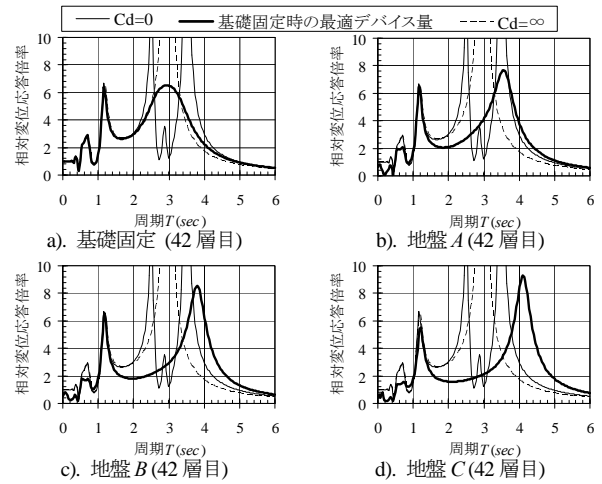


Fig.2-5 Model②の相対変位応答倍率(最上層)

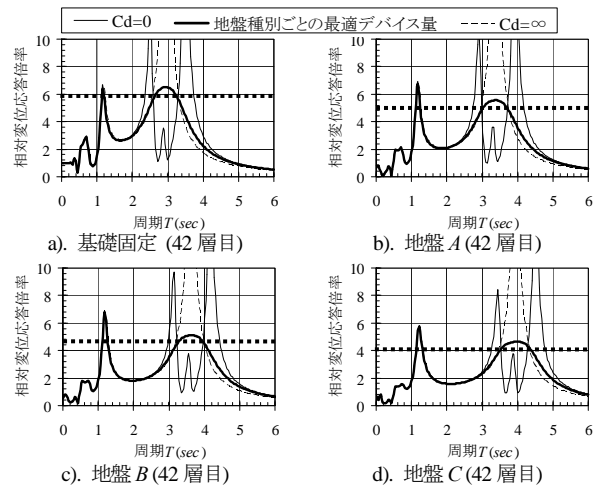


Fig.2-6 Model②の相対変位応答倍率(最上層)

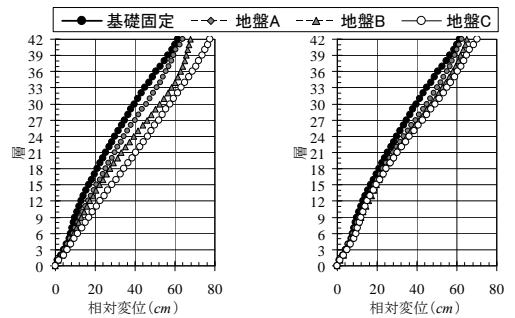


Fig.2-7 Model②の時刻歴応答解析結果(相対変位)

2-5. まとめ

その 2 では、D.M.モード制御の概要を示した。また、基礎固定モデル及び建物-地盤ばねモデルの最適設計時の応答特性を示した。これにより、地盤特性を考慮した際の D.M.を含む構造物の制震性能の変化を把握した。

以上の結果より、設計対象の構造物が高層且つ地盤が軟弱な場合、周期変動による制震性能の変化が大きく、従来のような基礎固定モデルでの設計ではなく、建物-地盤連成モデルで最適設計を行う必要があるといえる。

【謝辞】

本研究を進めるにあたり、薄層要素法に関して御助言を頂きました東電設計株式会社 真下貢氏、荻原実氏に深謝致します。