

地震観測による制震構造物の性能評価に関する研究
その 1. 小規模地震からみる制震構造物の挙動

Research on the quality assessment of the seismic control structure thing by seismic observation

Pert 1. The action of a vibration control structure inputted Low-Level-Earthquake

加瀬真一郎⁴, 秦一平¹, 石丸辰治², 黄國杰³, 石田安澄⁴

*Shinichirou Kase⁴, Ippei Hata¹, Shinji Ishimaru², Kuo-chieh Huang³, Azumi Ishida⁴

This paper shows a method proposed to estimate the performance vibration control of the original by invariant point theory, Also, it is confirmed that the oil dampers become a rigid state when a small earthquake and high response control can be evaluated.

1-1. はじめに

震度 1 から 4 程度の日常的に発生するような地震観測記録から、制震構造物のような粘性減衰定数の大きい建物の固有周期と粘性減衰定数の評価値は、設計値と大きく異なる。この原因については、非構造部材などによる影響であると解釈されているが、それを理論的に証明されている研究論文はない。

一般的に行われている観測記録データの評価方法としては、周波数応答データに変換し、フーリエスペクトル、パワースペクトル及びその伝達関数により、固有周期と減衰定数を評価している。固有周期は周波数応答に変換した際のピーク値により、各モードの固有周期を評価している。減衰定数は、周波数応答に変換した際に、カーブフィット法、ハーフパワー法、位相勾配法による評価や、観測データを自由振動波形に変換して、自己相関関数法や RD 法により評価している。以上の評価方法は、実験などにより証明されているため、評価方法論としては、妥当であると考えられる。

これより、制震構造物の性能評価で、設計値と評価値の相違が考えられる原因として、筆者らは制震ダンパーのモデル化手法が挙げられると考えた。

そこで本研究は、定点理論の考えを利用し、対象構造物に適用しているオイルダンパーの減衰特性や、制震装置の取付部材剛性を評価することで、制震構造物が有する本来の制震性能を推定する方法を提案し、東北地方太平洋沖地震を含む観測記録からの評価方法の妥当性を示す。その 1 では小規模地震による評価法の提案と評価値を示す。

1-2. 提案評価方法

本研究で提案する評価方法は、定点理論の考えを利用し、制震装置の取付部材剛性を評価することで、制震構造物が有する本来の制震性能を推定する方法を提案する。

取付け部剛性を考慮した制震建物の振動モデルは、Figure1-1 に示すような振動系で表される。なお、地震観測データが絶対加速度データであるため、ここでは絶対座標系の振動モデルを仮定している。

Figure1-1 の振動方程式は、(1)式ようになる。

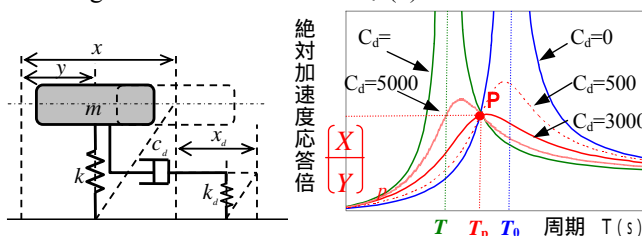


Figure1-1
Vibration mode

Figure1-2 Absolute acceleration response magnification resonance curve

$$\begin{cases} m\ddot{x} + k(x-y) + k_d(x-x_d) = 0 \\ c_d(\dot{x}_d - \dot{y}) - k_d(x-x_d) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

ここで、(2)式に示す表記を導入している。

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m}, \quad \kappa_k = \frac{k_d}{k}, \quad \frac{c_d}{m} = 2h_d\omega_0, \quad \lambda = \frac{\omega}{\omega_0} \quad (2)$$

いま、(3)式のような定常振動状態と仮定する。

$$\begin{cases} y = Ye^{i\omega t} \\ \dot{y} = i\omega Ye^{i\omega t} \\ \ddot{y} = -\omega^2 Ye^{i\omega t} \end{cases} \begin{cases} x = Xe^{i\omega t} \\ \dot{x} = i\omega Xe^{i\omega t} \\ \ddot{x} = -\omega^2 Xe^{i\omega t} \end{cases} \begin{cases} x_d = X_d e^{i\omega t} \\ \dot{x}_d = i\omega X_d e^{i\omega t} \\ \ddot{x}_d = -\omega^2 X_d e^{i\omega t} \end{cases} \quad (3)$$

(3)式を(1)式に代入すれば、本モデルの応答倍率は(4)式のように表すことができる。

$$\frac{X}{Y} = \frac{1 + (1 + \kappa_k) \left(\frac{2i\lambda h_d}{\kappa_k} \right)}{(1 - \lambda^2)^2 + (1 + \kappa_k - \lambda^2) \left(\frac{2i\lambda h_d}{\kappa_k} \right)} \quad (4)$$

Figure1-2 に(4)式の関係から、 $h_d=0$ のときの 7F の共振曲線と $h_d =$ の時の共振曲線を描くと、 h_d の値にかかわらず応答倍率が変化しないひとつの定点が存在することがわかる。その振動数比を λ_p と表せば(5)式を得る。

$$\left| \frac{1}{1-\lambda^2} \right|_P = \left| \frac{1+\kappa_k}{1+\kappa_k-\lambda^2} \right|_P \rightarrow \lambda_p = \sqrt{\frac{2(\kappa_k+1)}{\kappa_k+2}} \quad (5)$$

(5)式より、定点 P のときの固有周期 T_p は、(6)式となる。

$$T_p = T_0 \sqrt{\frac{\kappa_k+2}{2(\kappa_k+1)}} \quad (6)$$

なお、 $h_d=0$ に対する $h_d=\infty$ 時の振動数比 λ_∞^2 は、

$$\lambda_\infty^2 = 1 + \kappa_k \rightarrow \left(\frac{T_0}{T_\infty} \right)^2 = 1 + \kappa_k \quad (7)$$

であり、また、 λ_p における振幅は、

$$\frac{X}{Y} = \left| \frac{1}{1-\lambda^2} \right|_P = \frac{1}{1-\frac{2(\kappa_k+1)}{\kappa_k+2}} = \frac{2+\kappa_k}{\kappa_k} \quad (8)$$

(7)式が、定点周期 T_p における最大応答倍率であり、 $1/2h$ に相当すると考えると、その構造物に付与できる最大の粘性減衰定数は、(9)式になる。

$$h = 0.5 \frac{\kappa_k}{2+\kappa_k} \quad (9)$$

以上の評価方法から、1号館で観測された震度 1~3 の地震時の固有周期と絶対加速度応答倍率の関係を Figure1-3,1-4 に示す。このときのモデルを、設計図書に基に制震装置の取付部剛性を考慮した「設計モデル」、非制震状態の「C0 モデル」とする。結果から、震度 1~3 程度の場合は、装置の摩擦により制震装置のダンパーが稼働せず、減衰係数が大きい場合の $C_d = \infty$ 時の共振曲線結果にほぼ一致していることがわかる。そのため、小規模地震で観測されたデータは、ダンパーが稼働していない状態の観測値であり、実際に建物の有する性能を示していないことがわかる。そのため、制震性能を把握するためには、制震装置のない構造物の固有周期がわかれば、提案する評価方法により、制震性能を推定することができる。

その算出方法は、制震装置を考慮していない構造物の固有周期 T_0 を制震装置を設置する前の常時微動計測や構造設計図書から求める。次に、制震装置を設置後の小規模な地震による観測データから、 $C_d = \infty$ 時の固有周期 T_∞ を求めることで、(7)式により付加剛比 κ_k を計算する。最後に、その κ_k により(6)式の定点周期 T_p 、(8)式の定点高さ、及び(9)式の粘性減衰定数を推定することが可能となる。実際に計算し、提案する評価方法による評価値と設計図書に記載されている設計値を Table1-1 にまとめた。

定点周期 T_p 、定点倍率 $(X/Y)_p$ は、(6)式(8)式から X 方

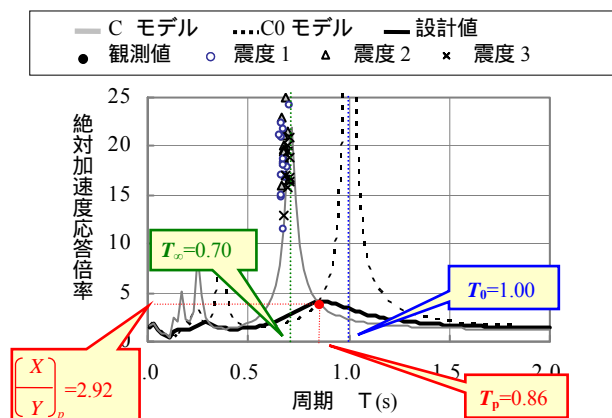


Figure1-3 Resonance curve and the relationship between the observed record (direction X)

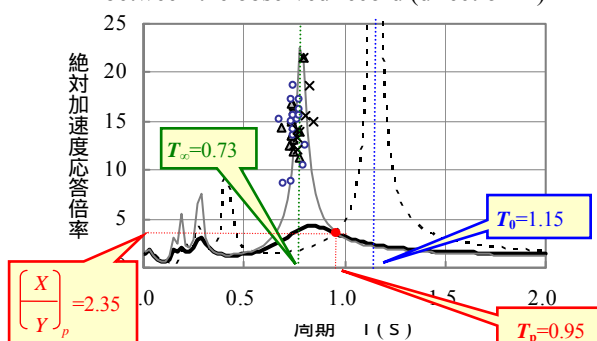


Figure1-4 Resonance curve and the relationship between the observed record (direction Y)

Table1-1 Comparison of a characteristic value

方向	モード	評価値		設計値	
		固有周期 T(s)	粘性 減衰定数 h(%)	固有周期 T(s)	粘性 減衰定数 h(%)
X	1次	0.86	17.1	0.86	18.94
Y	1次	0.95	21.3	0.79	21.83

向は $T_p=0.86$ ($(X/Y)_p=2.9$ ($h=17.1\%$)), Y 方向は $T_p=0.95$, $(X/Y)_p=2.35$ ($h=21.3\%$) であり、X 方向については設計値と良い対応を示していることがわかる。Y 方向の固有周期については、設置している制震装置数が最適数より多いため、最適な粘性減衰定数ではないことから、設計値と若干の違いがある。

1-3. まとめ

小規模地震時の制震構造物は減衰定数が無限大となる C モデルと酷似する。これは、ダンパー部が摩擦か何かの影響から剛体となり、制震性能が発揮されていないことが原因と考えられる。これより、小規模地震観測データを用いた定点理論による減衰評価手法が可能である事を示した。評価した減衰から、大規模地震時に高い減衰性能が期待できる事を確認した。その 2 では、中規模地震時における挙動を報告する。

【参考文献】

- [1] 荒井恵美・秦一平他：「地震観測による制震構造物の減衰評価に関する研究」,平成 22 年度 日本大学理工学部 学術講演会論文集, B-45
- [2] 背戸一登, 松本幸人：「振動の制御」, 丸善, 1999.3