

外付け可撓性オイルダンパーを用いた塔状構造物の減衰付加法

西日本システム建設 正会員 高野涼平 崇城大学工学部 正会員 ○片山拓朗
熊本大学工学部 正会員 山尾敏孝

1. はじめに

建築学会と土木学会の共同提言で示されたように海溝型巨大地震による長周期地震動は現実的な脅威であり、長周期の固有周期を持つ既設塔状構造物に対する新しい制振装置の開発が急務と考えられる¹⁾。

ここでは、曲げ変形が主となる塔状構造物の制振装置として、構造物の外面に細長い可撓性オイルダンパーを設置する方法について²⁾、減衰定数の評価法と模型実験で得られた減衰特性を報告する。

2. 外付け可撓性オイルダンパーの減衰定数

提案のオイルダンパーは、図1に示すように構造物の外面に添わせて設置し(図ではオイルダンパーと構造物は離して描いている)、ピストンの上端を構造物の頂部に固定し、シリンダの下端を構造物の基部に固定したものである。ピストンとシリンダの曲げ剛性は構造物の曲げ剛性に比べて小さいものとする。曲げ振動が主となる塔状構造物においては、振動時の頂部の水平変位 u_h と回転角 θ の関係は

$$\theta = \beta u_h \quad (1)$$

となる。比例定数 β は固有振動モードの形状から定まる。塔頂部が水平変位 u_h を生じた時、オイルダンパーのピストンの取り付け点の高さの変化量 v は、

$$v = a\theta = \beta a u_h \quad (2)$$

となる。ここに、 a は構造物の軸線O-Oからピストンの取り付け点までの距離である。よって、シリンダの反力 f は次式で表される。

$$f = c\dot{v} = \beta a c \dot{u}_h \quad (3)$$

ここに、 c はオイルダンパーの減衰係数とする。さらに、オイルダンパーの片側当たりの設置本数を n とすると、構造物の頂部に作用する減衰モーメント M_h は次式で表される。

$$M_h = 2nf a = \alpha \dot{u}_h \quad (4)$$

ここに、係数 α は次式で示す係数である。

$$\alpha = 2nc\beta a^2 \quad (5)$$

構造物を等断面片持ち梁(Bernoulli-Euler beam)とすると、自由振動時の梁の運動方程式と境界条件はそれぞれ(6)式と(7)式で表される。

$$EI \frac{\partial^4 u}{\partial y^4} + \rho A \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 \quad (6)$$

$$w = 0, \quad \partial u / \partial y = 0 \quad \text{on} \quad y = 0 \quad (7a)$$

$$\partial^2 u / \partial y^2 = -M_h / EI, \quad \partial^3 u / \partial y^3 = 0 \quad \text{on} \quad y = h \quad (7b)$$

ここに、 $E, I, u = u(y, t)$ はそれぞれ梁の弾性係数、断面二次モーメントおよび梁のたわみとする。

減衰モーメントが作用しない梁の一次自由振動モード $\phi(y)$ と梁先端に静モーメント荷重が作用する時のたわみに相似な変形モード $\xi(y)$ を用いて、梁のたわみを次式で近似する。

$$u(y, t) \approx \phi(y)p(t) + \xi(y)q(t) \quad (8)$$

ここに、

$$\phi(y) = \sigma(\cosh \lambda y - \cos \lambda y) - \tau(\sinh \lambda y - \sin \lambda y) \quad (9a)$$

$$\sigma = \frac{\cosh \lambda h + \cos \lambda h}{\sqrt{h} \sinh \lambda h \sin \lambda h}, \quad \tau = \frac{\sinh \lambda h - \sin \lambda h}{\sqrt{h} \sinh \lambda h \sin \lambda h} \quad (9b)$$

$$\xi(y) = (y/h)^2 \sqrt{5/h} \quad (10)$$

である。

(8)式を用い、 $\phi(h) = 2/\sqrt{h}$ と $\xi(h) = \sqrt{5/h}$ の関係を考慮すると、減衰モーメント M_h は次式で近似できる。

$$M_h \approx \alpha \sqrt{\frac{5}{h}} \left(\frac{2}{\sqrt{5}} \dot{p}(t) + \dot{q}(t) \right) \quad (11)$$

次に、(7b)式の境界条件と(11)式の減衰モーメントより次の条件式を得る。

$$q(t) + \alpha u_{hm} \left(\frac{2}{\sqrt{5}} \dot{p}(t) + \dot{q}(t) \right) = 0 \quad (12)$$

ここに、 u_{hm} は次式で示す頂部に単位静モーメント荷重が作用したときの構造物頂部の水平変位である。

$$u_{hm} = \frac{h^2}{2EI} \quad (13)$$

次に(6)式に(8)式を適用すると次式を得る。

$$\omega^2 p(t) + \ddot{p}(t) + \gamma \ddot{q}(t) = 0 \quad (14)$$

$$\gamma = \int_0^h \phi \xi dy = \frac{4\sqrt{5}(\cosh \lambda h \sin \lambda h + \sinh \lambda h \cos \lambda h)}{(\lambda h)^3 \sinh \lambda h \sin \lambda h} \quad (15)$$

$$\omega_0 = \lambda^2 \sqrt{\frac{EI}{m}} \quad (16)$$

ここに、 m は梁の単位長さ質量である。また、 $\lambda h = 1.8751$ である。(12)式と(14)式を同時に満たす解を(17)式で仮定すると、(18)式の振動数方程式を得る。

$$[p, q]^T = [w_p, w_q]^T e^{st} \quad (17)$$

$$\begin{vmatrix} \omega_0^2 + s^2 & \gamma s^2 \\ \frac{2}{\sqrt{5}} \alpha u_{hm} s & 1 + \alpha u_{hm} s \end{vmatrix} = 0 \quad (18)$$

キーワード：塔状構造物，オイルダンパー，減衰

連絡先（〒860-0082 熊本市池田4丁目22番1号・Tel:096-326-3792・E-mail:katayama@eco.sojo-u.ac.jp）

よって、振動体の減衰定数を ζ 、固有円振動数を ω とすると、 $\omega = |\text{Im}(s)|$ 、 $\zeta = -\text{Re}(s)/\omega$ となる。

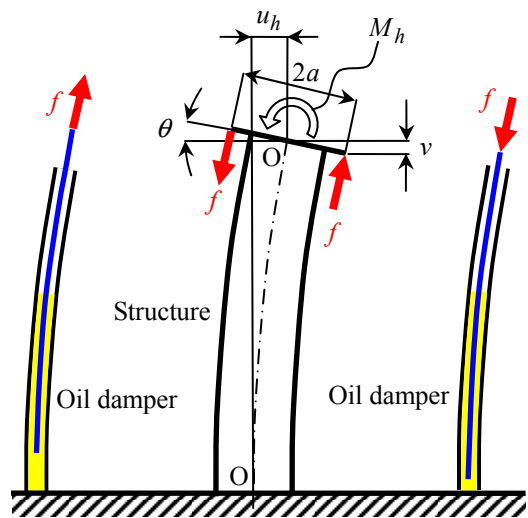


図1 ダンパーの配置と減衰モーメント

3. 実験方法

提案のダンパーの減衰効果を検証するために、構造物とオイルダンパーの模型を用いた振動実験を行った。図2に実験に用いた構造物模型の一般図を示す。模型の構造形式は主部材に2本のみがき平鋼 38×8(SS400)を使用した片持ち梁とした。模型の高さは1.56mとし、質量は60kgとした。一次固有振動数は1.0Hzである。シリンダはプラスチック製パイプを使用し、ピストンはプラスチック製丸棒とした。シリンダの内径は6mm、ピストンの外径は5mmである。オイルは粘度の異なる3種類のシリコンオイルを使用した。

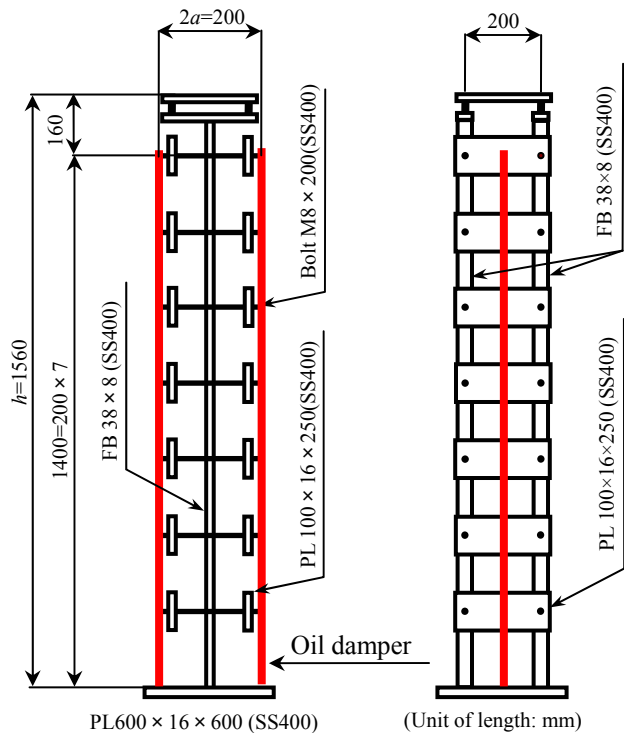


図2 構造物模型の一般図

4. 実験結果

図3は実験に用いたオイルダンパー模型の履歴曲線である。3種類のオイル注入高さと動粘度との組み合わせを例示した。Type-Aでは速度と減衰力の関係は線形であるが、Type=Cでは大きなループを描いた。これはオイルのキャビテーションが原因である。Type-Bは両者の中間的な性質を示す。表1に履歴曲線より求めたオイルダンパーの減衰係数を示す。

図4は自由振動実験で得られた減衰定数と(18)式より得られる理論値を比較したものである。実験値はほぼ理論値と一致することが分かる。

実験結果の詳細については発表当日に説明する。

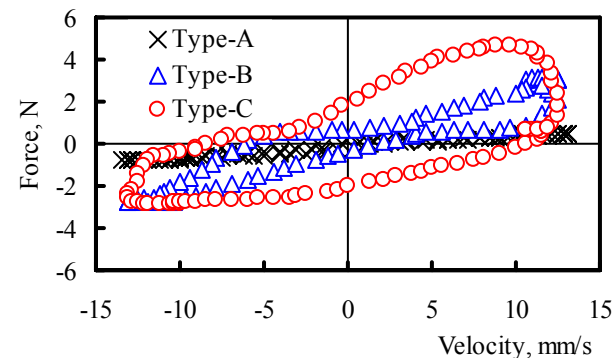


図3 オイルダンパーの履歴曲線の一例

表1 オイルダンパーの減衰係数

	動粘度 (mm ² /sec)	注入高さ (mm)	減衰係数 (Ns/m)
Type-A	100	300	74
Type-B	300	600	143
Type-C	500	900	264

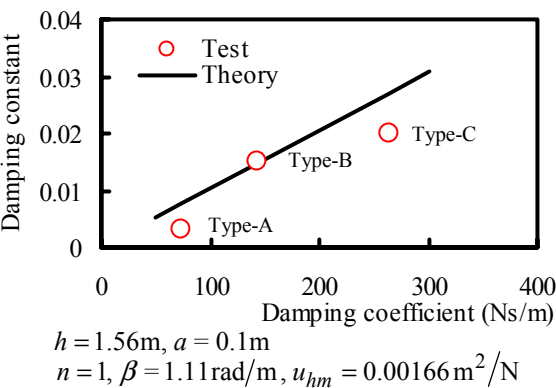


図4 減衰定数の比較

参考文献

- 1) 土木学会，日本建築学会，海溝型巨大地震による長周期地震動と土木・建築構造物の耐震性向上に関する共同提言，2006年11月20日
- 2) 赤松，片山，山尾，外付け可撓性オイルダンパーによる塔状構造物の自由振動実験，平成18年度土木学会西部支部研究発表会概要集，2007年3月，pp.71-72