

橋梁制震に適用する同調型慣性質量ダンパーの試設計

首都高速道路（株） 正会員 ○大西孝典 蔵治賢太郎 右高裕二
清水建設（株） 正会員 滝本和志 吉武謙二 林大輔 磯田和彦 若原敏裕 丹博美 日原邦夫

1. はじめに

同調型質量ダンパー（TMD）を既設橋梁に適用して地震時に効果を発揮させるためには、上部工質量の1割以上の錘が必要となるが、慣性質量ダンパー¹⁾を用いることで、装置の小型・軽量化が図れ、上部工の変位抑制と応答加速度の低減に加えて橋脚基部に作用する曲げモーメントの低減も期待することができる。本研究は、慣性質量ダンパーの橋梁構造物への適用を検討したものである。

2. 慣性質量ダンパーの機構

本研究で制震装置として用いる慣性質量ダンパー（図1参照）は、建築分野で実績のある制震装置である。左端においてボールナットの回転は自在で軸方向変位を拘束、右端においてボールねじの軸方向変位は自在で回転を拘束している。フライホイール（回転錘）はボールナットと一体化している。ボールねじの軸方向変位 x により、回転慣性モーメント I_θ を持つ回転錘を θ 回転させたときの軸方向力（反力）を F とする。ボールねじのリード（ねじ山ピッチ） L_d 、回転錘を円盤状として直径 D 、質量 m とすると、 $x = \theta L_d / (2\pi)$ から式（1）が成立する。なお、ボールねじとボールナットの摩擦抵抗、ボールナットの回転慣性モーメントは無視する。

$$F = \frac{I_\theta \ddot{\theta}}{L_d / (2\pi)} = \left(\frac{2\pi}{L_d} \right)^2 I_\theta \ddot{x} = \frac{\pi^2 D^2}{2 L_d^2} m \ddot{x} = \psi \ddot{x} \quad \cdots \cdots (1)$$

式（1）より、軸方向力はダンパー両端の相対加速度に比例するものとなる。 ψ が軸方向の慣性質量に相当し、回転錘の形状寸法やボールねじのリードを適切に設定することで、回転錘質量 m の数百倍～数千倍の慣性質量を得ることができる。

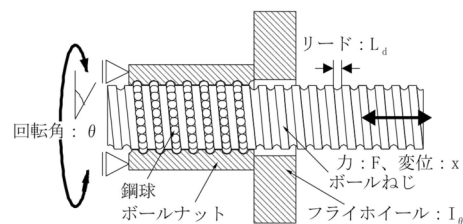


図1 慣性質量ダンパーの機構

3. 慣性質量ダンパーの設置イメージと解析モデル

慣性質量ダンパーの設置イメージと解析モデルを図2に示す。設置イメージは、橋脚頂部と桁の間に慣性質量ダンパーとバネ装置を直列配置したものである。慣性質量ダンパーは静的剛性を持たないため、上部工の温度変化による伸縮には、ほとんど反力を生じずに追従することができる。

慣性質量ダンパーは、慣性質量 ψ_d と減衰係数 c_d を並列にしたもの、バネ装置はこれと直列するバネ剛性 k_d としてモデル化される。制震機構は、慣性質量 ψ_d と直列バネ k_d とにより定まる固有周期を対象橋梁の1次固有周期に同調するように設定した同調型制震機構である。

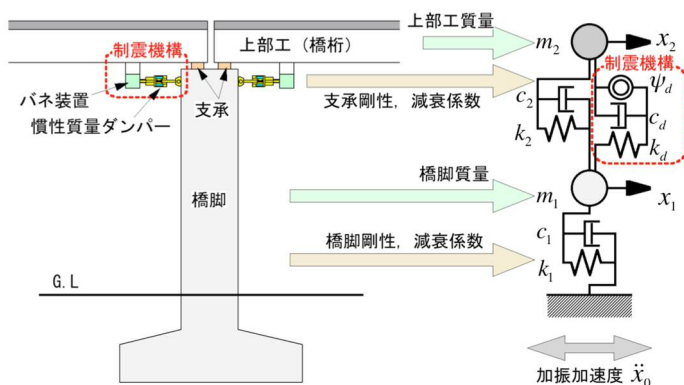


図2 慣性質量ダンパーの設置イメージと解析モデル

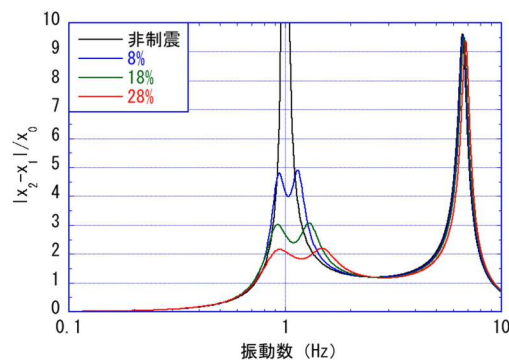


図3 支承変位の伝達関数の一例

キーワード 回転慣性質量，同調型制震，地震応答低減，耐震性向上，橋梁

連絡先

〒221-0021 横浜市神奈川区子安通 3-403 首都高速道路（株）神奈川建設局 TEL 045-451-6683

図2に示す解析モデルの制震機構において、地表面変位 x_0 に対する支承変位 $|x_2 - x_1|$ の伝達関数が、固有振動数付近ではほぼ等しい二峰性を有するように、慣性質量比 μ ($\mu = \psi_d/m_2$) が8~28%の慣性質量に対する減衰係数とバネ剛性の組合せを求めた。図3に地表面変位に対する支承変位の伝達関数の一例を示す。

4. 慣性質量ダンパーの諸元と試設計例

3. の検討結果を基に、首都高速道路の実在橋梁を対象として、慣性質量ダンパーの最適な慣性質量比を検討した。対象橋梁は、図4に示した単純桁(5主I桁)を連結して3径間連続化した橋梁であり、左端1支承線以外の支承は全て水平力分散支承に交換されている。各径間長は37m、上部工質量は1径間当たり5,840kN、橋脚断面は直径3.0mの円形断面、橋脚高さは13.1m、橋軸方向1次固有周期は0.919秒である。図4の対象橋梁をモデル化し、慣性質量比をパラメータとした線形解析結果の一例を図5に示す。横軸は慣性質量比、縦軸は変位着目点の慣性質量ダンパーの変位である。線形解析結果等を参考に慣性質量比を25%と決定した。

次に、慣性質量比25%に対して、バネ剛性と減衰係数を変化させた詳細なパラメトリックスタディ²⁾により、支承変位と橋脚基部の曲げモーメントを同時に低減させる諸元の組合せを探索した。ここで得られた諸元を基に、橋梁用慣性質量ダンパーを試設計した。図6に試設計例を示す。1支承線当たり2基の慣性質量ダンパーを設置するとした場合、1基当たりの慣性質量は35ton、最大負担力は400kN、ストロークは±300mmである。バネ装置に積層ゴムを用いることで、全長約2m、重量約600kgと橋梁構造物に適用可能な同調型制震装置を実現することができた。この慣性質量ダンパーを対象橋梁に設置した場合の非線形応答解析²⁾により、最大支承変位を30%程度低減するとともに橋脚基部の曲げモーメントを15%程度低減できる結果が得られた。

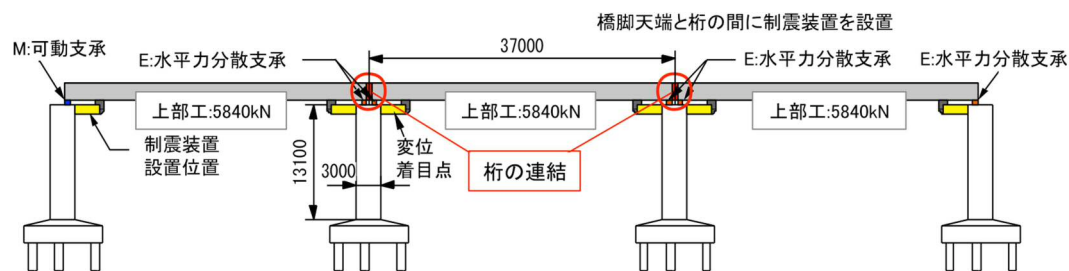


図4 検討対象橋梁

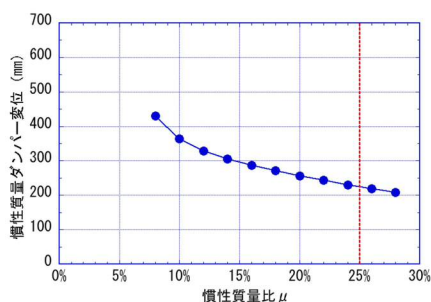


図5 慣性質量ダンパーの変位

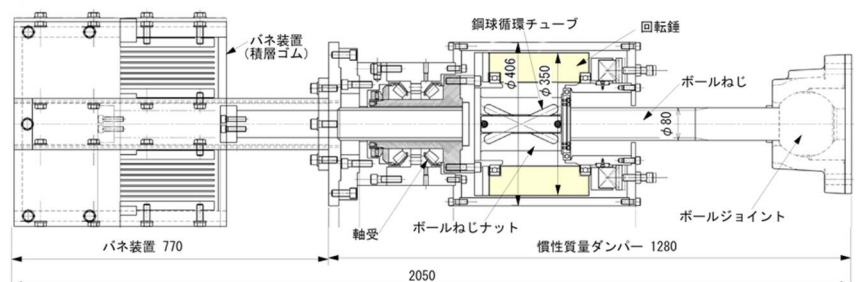


図6 橋梁用慣性質量ダンパーの試設計例

5. おわりに

慣性質量ダンパーの橋梁構造物への適用について検討した結果、小型・軽量の同調型制震装置を試設計することができた。この装置を実在橋梁に適用した場合、支承変位の抑制と橋脚基部の曲げモーメントの低減を期待することができる。

参考文献

- 1) 磯田和彦, 半澤徹也, 田村和夫: 回転慣性質量ダンパーを組合せた応答低減機構による1質点系振動モデルの応答特性に関する研究, 日本建築学会構造系論文集 Vol. 74, No. 642, pp. 1469-1476, 2009
- 2) 林大輔他: 橋梁制震に適用する同調型慣性質量ダンパーの最適化と応答低減効果の検討, 土木学会第70回年次学術講演会講演概要集