

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

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

1. はじめに

建築の制震用途で実績のある慣性質量ダンパー¹⁾を既設橋梁の耐震性能向上に用いることを目的として、制震装置の最適な諸元を決定するために、線形モデルによる最適値の探索と非線形モデルによる制震効果の検証を実施した。結果、対象橋梁に設定した諸元の制震装置を適応した場合、①支承変位と橋脚基部モーメントを同時に低減可能であること、②異なる地震動に対して制震効果を発揮することを時刻歴応答解析より確認した。

2. 慣性質量型制震装置の概要

本研究で対象とする制震装置は、回転慣性を利用して錘の質量より数千倍以上の慣性質量効果を発揮する回転慣性質量型の装置である。本研究では、磯田らの研究¹⁾で想定しているボールねじ機構による慣性質量型ダンパーを用いて、慣性質量ダンパーと減衰要素を並列に設置し、線形ばね要素を直列に並べた機構(図1)を一つの制震装置として対象構造に適用することを考える。本検討では、地震応答解析によるパラメトリックスタディを実施し、対象構造に最適な制震装置の諸元、慣性質量 ψ_d 、減衰係数 c_d 、バネ剛性 k_d を決定する。

3. 対象構造

対象とする橋梁モデルを図2に示す。対象橋梁は、上部構造が5主I桁橋を3径間毎で連続化した高架橋であり、下部構造は、直径3.0mの円形断面のRC橋脚が鋼板巻き立て工法により補強されている。また、支承は水平力分散支承である。本検討では、図1の制震機構を支承と並列に設置し、時刻歴応答解析を実施した。なお、後述するパラメトリックスタディは線形モデルで、応答低減効果の確認は橋脚を非線形モデルに変更して実施した。

4. 入力地震波

解析に用いた入力地震波は、道路橋示方書・同解説中 V 耐震設計編²⁾中のレベル2地震動(タイプI・II)のIII種地盤の波計6波(I-III-1~II-III-3)を用いた。

5. 解析結果

パラメトリックスタディの結果を以下に示す。なお本報告では省略するが、詳細なパラメトリックスタディの事前検討として、伝達関数をもとに試解析を実施し慣性質量比($\mu=\psi_d/m_s$)を25%に決定した。

(1) 制震装置の諸元設定のための詳細なパラメトリックスタディ

本研究で提案する制震装置の特徴として、支承部の変位と橋脚の負担力を同時に減少させることが挙げられる。しかし一般に、制御したい各応答(支承変位や橋脚モーメント等)それぞれに対する最適値は異なり、複数の要求性能に対して最適値を一意に定めることはできない。また、地震動のように外力が不定の場合、入力地震動に対しても最適値は変化する。そこで試解析により設定した慣性質量比に対し、バネ剛性・減衰を変化

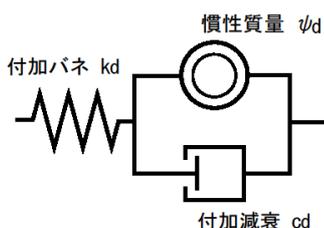


図1 制震機構モデル

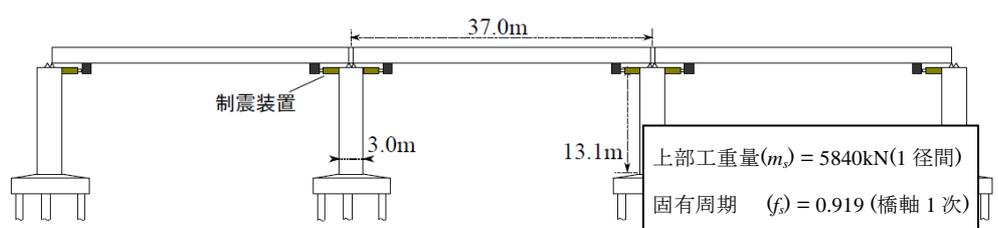


図2 対象橋梁モデル

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 〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 清水建設(株)技術研究所 TEL 03-3820-8475

させ詳細なパラメトリックスタディを実施した。本検討では、制震装置の寸法に影響するバネ変位と慣性質量変位の最大値を制約条件に組み込んだ。それぞれ、200mmと300mmを上限とし、これを下回る範囲内で6種類の入力地震波に対し、支承変位及び橋脚モーメントを低減させる諸元組み合わせを探索した。図3に、各解析ケースで得られた応答の最大値をコンターにして整理したグラフの一例として、支承変位の低減効果を示す。ここで、図の各軸は式(1)に示すパラメータで整理した。添え字の d は制震装置、 s は構造系に関するパラメータを意味する。コンターの値は、任意のパラメータでの最大支承変位を示しており、カラーバーの赤色に向うほど最大支承変位は低減している。6種類の入力地震動に対する支承間変位、橋脚モーメントの結果より、各応答に対し、効果的な諸元として、図3の黒点の値 ($\gamma=1.37, h=0.26$) を最適値として設定した。

(2) 応答低減効果の確認

設定した最適値を用いて、非線形時刻歴応答解析を実施した。結果、モーメントの低減に伴い、橋脚基部の最大塑性変形を、タイプI地震動ではほぼ弾性域レベルまで、タイプII地震動では非制震時の半分程度まで低減していること(図4)、タイプI・IIの地震波に依らず支承間の最大変位を非制震時より、約3割低減していること(図5)が確認できる。

6. まとめ

既存橋梁に適用する慣性質量型制震装置の諸元を時刻歴応答解析により検討した本研究より、推奨値を設定した場合、①最大支承変位を約3割程度低減しつつ、同時に橋脚基部の塑性変形を低減し損傷を軽減できること、②地震波の種類に依らず応答低減効果を発揮できることを確認した。

$$\gamma = f_d / f_s = \omega_d / 2\pi f_s = \sqrt{k_d / \psi_d} / 2\pi f_s \quad (1)$$

$$h = c_d / 2\sqrt{\psi_d k_d}$$

ここで、 γ : 同調比, h : 減衰比, f : 固有振動数, ω : 固有角振動数

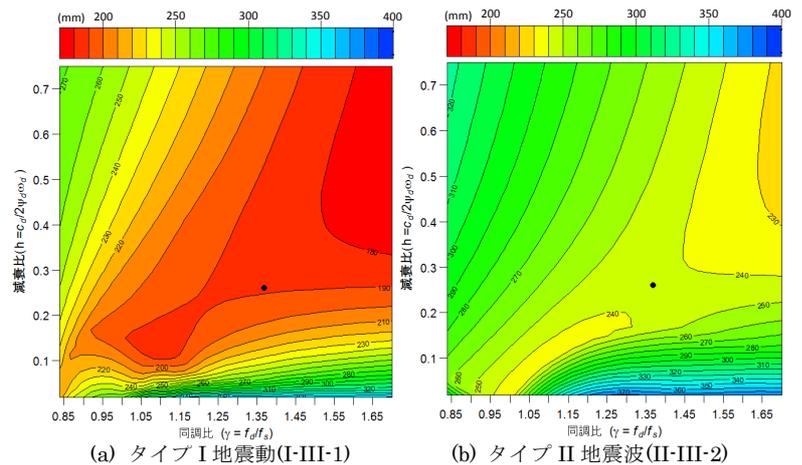


図3 支承変位の低減効果

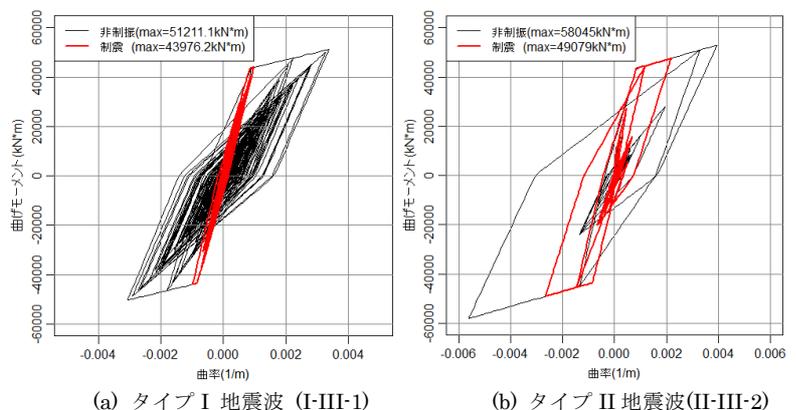


図4 橋脚基部非線形応答履歴

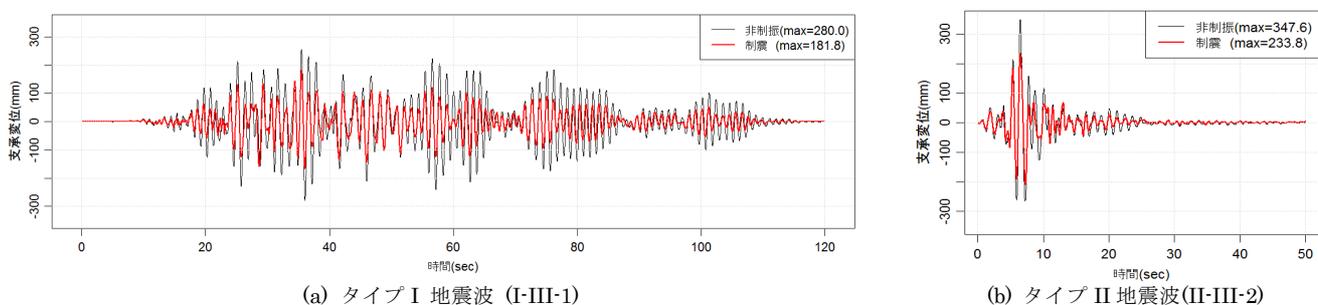


図5 支承変位応答波形

参考文献

- 磯田和彦, 半澤徹也, 田村和夫: 回転慣性質量ダンパーを組み合わ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.
- 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2011.