

鋼製座屈拘束ダンパーを用いた RC 橋梁システムの耐震補強設計に関する基礎的研究

早稲田大学 学生会員 ○西山 聡一郎, 熊崎 達郎, 小川 直也 早稲田大学 正会員 秋山 充良
JFE シビル株式会社 正会員 塩田 啓介, 櫻井 有哉, 萩原 健一

1. はじめに

既存 RC 橋梁システムの耐震補強では、地震時慣性力を固定支承を有する橋脚のみではなく、可動支承を有する橋脚にも負担させることで橋梁システムの耐震性を向上できる場合がある¹⁾。本稿では、鋼製座屈拘束ダンパー²⁾を固定支承橋脚の脚柱・フーチング間と可動支承橋脚の柱頭部・上部工間の両者に設置することを想定し、耐震安全性・復旧性・経済性の観点から、各ダンパーの仕様を決定するための耐震補強設計法を検討する。なお、以降では、前者と後者の位置に設置する鋼製座屈拘束ダンパーをそれぞれ下部工ダンパーおよび上部工ダンパーと呼ぶ。

2. 鋼製座屈拘束ダンパーによる耐震補強設計法

下部工ダンパーと上部工ダンパーの本数(強度)により、RC 橋梁システムを構成する各部材の損傷程度は変化する。本研究で提案する各ダンパーの耐震補強設計フローを図-1に示す。

まず、上部工・下部工ダンパーの配置・本数を仮定し、レベル2地震動に対する安全性照査を行うことで、必要となる最小量のダンパーを決定する。次に、復旧性と経済性の観点から、橋梁システムを構成する各部材の損傷配分を検討する。本研究では、地震発生後の復旧日数により復旧性を定量化する。一方、経済性に関しては、耐震補強コストに復旧コストを加算した総コストにより評価する。これらの算定時には、兵庫県南部地震の被害データを基に、部材の塑性率と復旧日数および復旧コストの関係を定めた庄司らの研究³⁾を参考にした。その一例として、RC 橋脚の塑性率と復旧日数・復旧コストの関係を図-2に示す。最終的には、復旧性と経済性の両視点から、レベル2地震動に対する耐震安全性を満足するパレート解より最適なダンパー補強量を選択する。

3. 検討対象橋梁と解析モデル

検討対象橋梁を図-3に示す。参考文献4)に記載されているモデル橋梁を参考にした。本研究では、P1 橋脚に上部工ダンパー、P2 橋脚に下部工ダンパーを設置することを想定し、また、橋軸方向の応答のみを解析対象とした。動的解析モデルを図-4に示す。本研究では、杭基礎はモデル化せずフーチング基部を固定し、RC 橋脚と各ダンパーの非線形履歴特性は、Takeda モデルとバイリニアモデルとした。入力地震動には、II 種地盤・タイプ II 地震動⁵⁾を用いた。

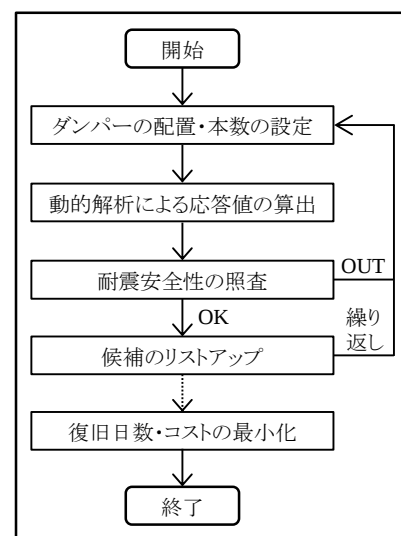


図-1 耐震補強設計フロー

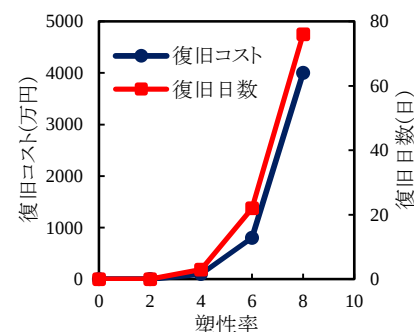


図-2 復旧日数・コスト曲線

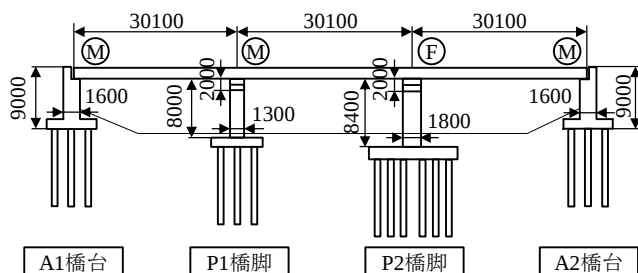


図-3 検討対象橋梁

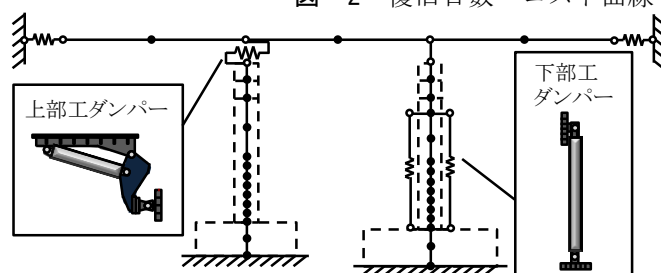


図-4 動的解析モデル

キーワード 鋼製座屈拘束ダンパー, RC 橋梁システム, 復旧性, 耐震補強設計法, 非線形動的解析

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学部社会環境工学科 TEL: 03 (5286) 2694

4. 検討結果

各ダンパーの本数を変更した動的解析を繰り返し、橋脚、ダンパー、および杭基礎の安全性照査を行った結果を表-1に示す。表中、影のついた欄は杭基礎の降伏が RC 橋脚の曲げ降伏よりも先行し、それ以外は RC 橋脚の曲げ降伏が先行することを示している。下部工ダンパーの設置量が増えると、RC 橋脚への作用水平力が増加し、結果として杭基礎の降伏が先行しやすくなる。なお、ダンパー設置前の杭基礎と RC 橋脚の保有水平耐力の比は 1.7 を仮定している。次に、耐震安全性の照査を満足したものに対して、復旧日数と総コストを計算した。結果を図-5 および図-6 に示す。復旧日数の最小化を優先する場合には、復旧日数が 3 日となる補強法から、より経済性に優れた下部工ダンパー8本・上部工ダンパー3本の組合せの選択が最適である。この組合せの補強量から得られる各部材の地震時挙動を図-7～図-9 に示す。ダンパーの設置により、固定支承橋脚の応答は小さくなる一方で、可動支承橋脚の応答は補強前に比べて大きくなる。これに対し、コスト最小化を優先する場合には、下部工ダンパー8本・上部工ダンパー0本による補強法を選択することになる。

表-1 耐震安全性の照査結果

	上0	上1	上2	上3	上4
下6	×	×	×	×	○
下8	○	×	×	○	○
下10	○	×	×	○	○

下: 下部工ダンパー本数
上: 上部工ダンパー本数

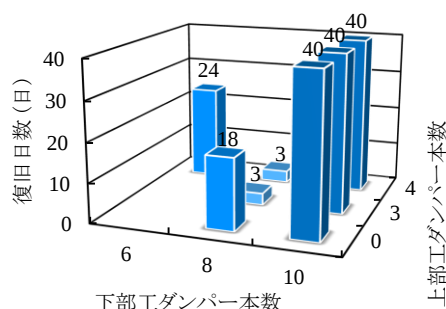


図-5 復旧日数の照査結果

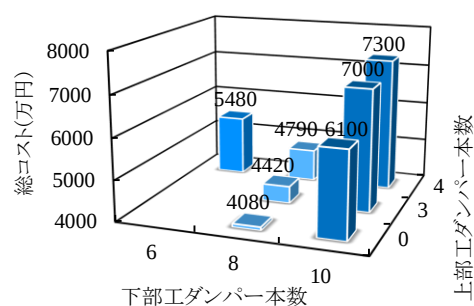


図-6 総コストの照査結果

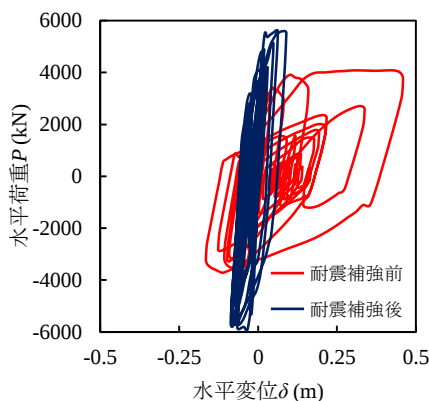


図-7 上部工 $P-\delta$ 関係

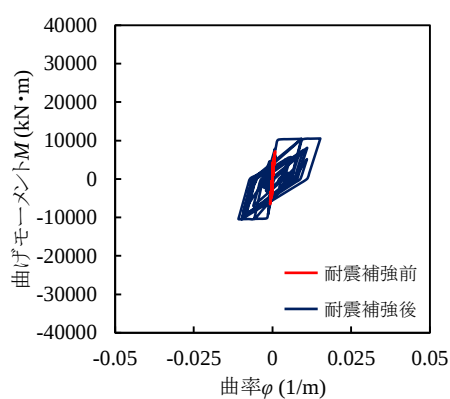


図-8 P1 橋脚基部 $M-\phi$ 関係

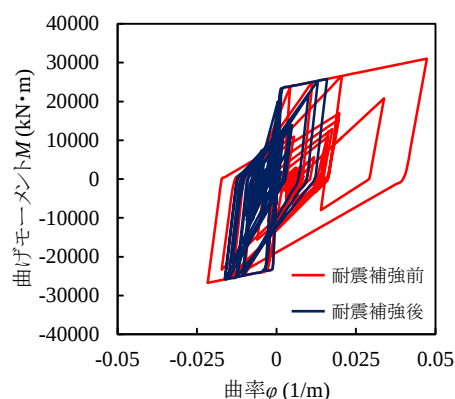


図-9 P2 橋脚基部 $M-\phi$ 関係

5. 結論

本稿では、鋼製座屈拘束ダンパーを用いた RC 橋梁システムの耐震補強設計に関する検討を行った。ケーススタディでは、レベル 2 地震動に対して橋梁システム全体の耐震安全性を確保し、かつ復旧性と経済性に優れた耐震補強設計（各箇所のダンパー補強量の決定）の一例を示した。

参考文献

- 1) 玉越隆史, 白戸真大, 星隈順一, 堺淳一: 既設橋の耐震補強設計に関する技術資料, 国土技術政策総合研究所 700 号・土木研究所資料 第 4244 号, 2012.
- 2) 萩原健一, 櫻井有哉, 塩田啓介, 熊崎達郎, 秋山充良: 脚柱とフーチング間に座屈拘束ダンパーを設置した既存 RC 柱の正負交番載荷実験と耐震性能評価, 第 18 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp. 173-178, 2015.
- 3) 庄司学, 藤野陽三, 阿部雅人: 高架道路橋システムにおける地震時損傷配分の最適化の試み, 土木学会論文集, No. 563/I-39, pp. 79-94, 1997.
- 4) 星隈順一, 堺淳一, 安藤滋芳, 岡田慎哉: 耐震補強として支承部に水平力分担構造を設置した橋の地震時挙動の評価に関する研究, 土木研究所資料 第 4265 号, 2013.
- 5) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2012.