

## 安全性・復旧性・経済性に配慮した鋼製座屈拘束ダンパーによるRC橋梁の耐震補強設計に関する基礎的研究

西山 聡一郎<sup>1</sup>・熊崎 達郎<sup>2</sup>・塩田 啓介<sup>3</sup>  
櫻井 有哉<sup>4</sup>・萩原 健一<sup>5</sup>・秋山 充良<sup>6</sup>

<sup>1</sup>学生会員 早稲田大学大学院（〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1）

<sup>2</sup>学生会員 早稲田大学大学院（〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1）

<sup>3</sup>正会員 修（工） JFEシビル株式会社（〒111-0051 東京都台東区蔵前2-17-4）

<sup>4</sup>正会員 修（工） JFEシビル株式会社（〒111-0051 東京都台東区蔵前2-17-4）

<sup>5</sup>正会員 JFEシビル株式会社（〒111-0051 東京都台東区蔵前2-17-4）

<sup>6</sup>正会員 博（工） 早稲田大学教授 創造理工学部社会環境工学科（〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1）

### 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全体の耐震性を向上できる場合がある<sup>1)</sup>。本稿では、鋼製座屈拘束ダンパー<sup>2)</sup>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を用いたRC橋梁システムの耐震補強設計法

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地震時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

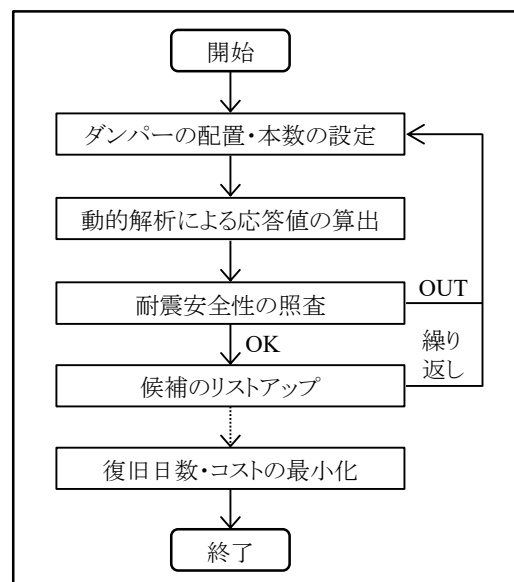


図-1 耐震補強設計フロー

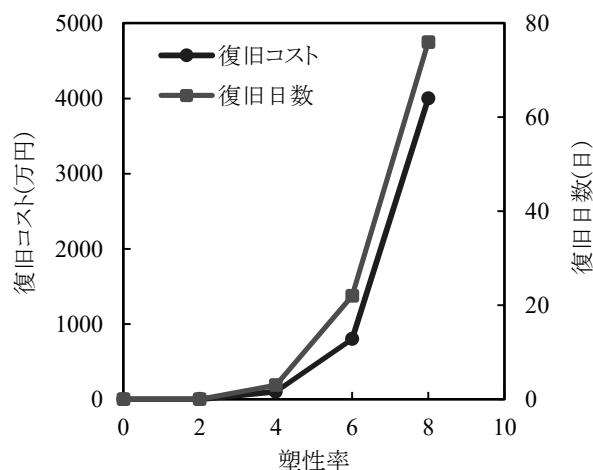


図-2 復旧日数・コスト曲線

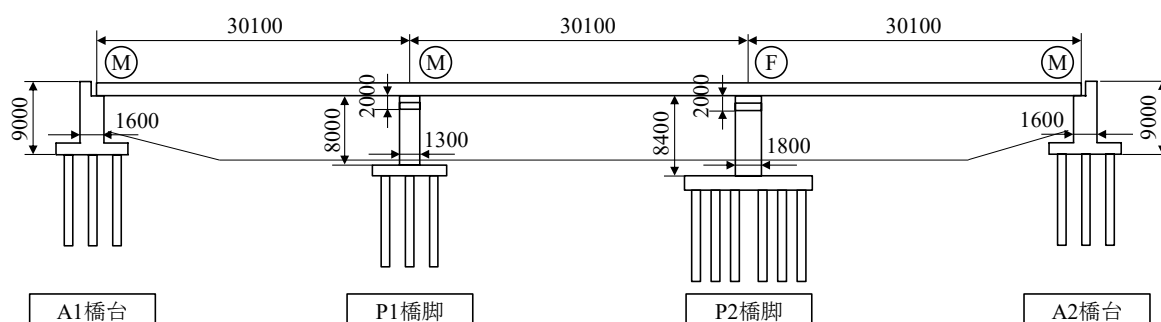


図-3 検討対象橋梁

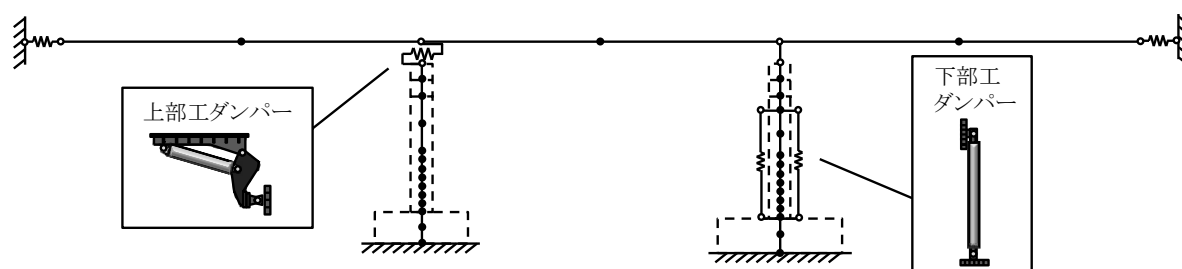


図-5 動的解析モデル

表-1 支承条件および下部構造の設計反力

| 下部構造          | A1橋台 | P1橋脚 | P2橋脚  | A2橋台 |
|---------------|------|------|-------|------|
| 支承条件          | 可動   | 可動   | 固定    | 可動   |
| 死荷重反力 (kN)    | 1300 | 3700 | 3600  | 1400 |
| 橋軸方向分担重量 (kN) | —    | —    | 10000 | —    |

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<sup>3)</sup>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および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ことになる。

### 3. 検討対象橋梁と解析モデル

検討対象橋梁を図-3、支承条件および下部構造の設計反力を表-1に示す。本研究では、参考文献<sup>4)</sup>に記載されているモデル橋梁を参考にした。また、P1橋脚およびP2橋脚の骨格曲線を図-4に示す。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、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-5に示す。本研究では、杭基礎はモデル化せずにフーチング基部を固定し、ダンパー設置前の杭基礎とRC橋脚の保有水平耐力の比( $\gamma$ )をパラメータとして検討を行う。な

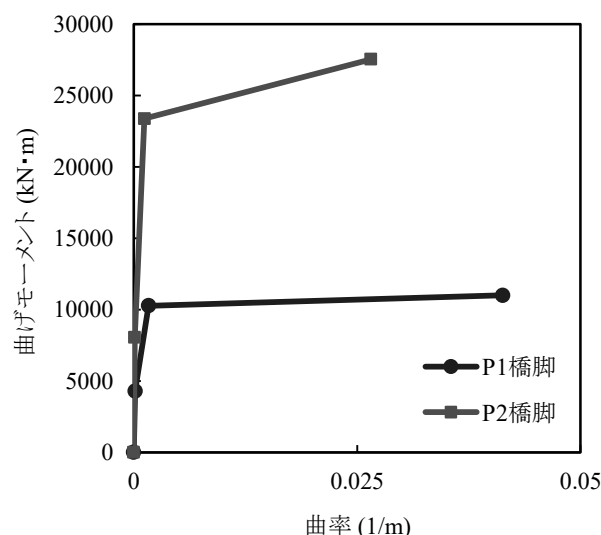


図-4 P1 橋脚および P2 橋脚の骨格曲線

お、過去の耐震基準で設計された杭基礎とRC橋脚の耐力差は大きいことから<sup>5)</sup>、本稿では、 $\gamma = 1.9$  (ケース1)と $\gamma = 1.7$  (ケース2)を仮定した。また、RC橋脚と各ダンパーの履歴特性は、それぞれTakedaモデルとバイリニアモデルに従うと仮定し、入力地震動には、II種地盤・タイプII地震動<sup>6)</sup>を用いた。

### 4. 検討結果

#### (1) ケース1

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-2に示す。また、耐震安全性の照査を

表-2 耐震安全性の照査結果(ケース 1)

|      | 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

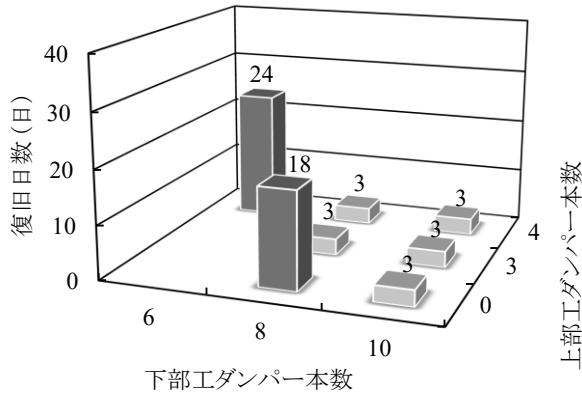


図-6 復旧日数の照査結果(ケース 1)

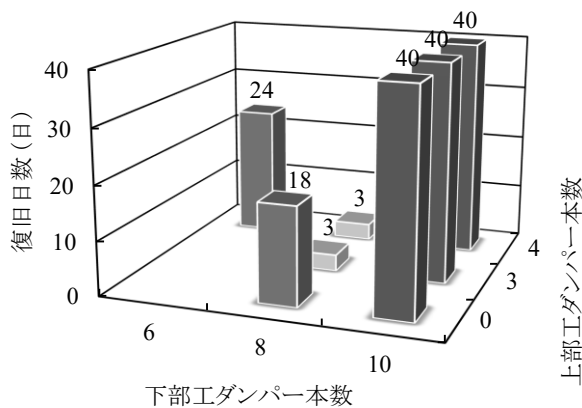


図-8 復旧日数の照査結果(ケース 2)

表-3 耐震安全性の照査結果(ケース 2)

|      | 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

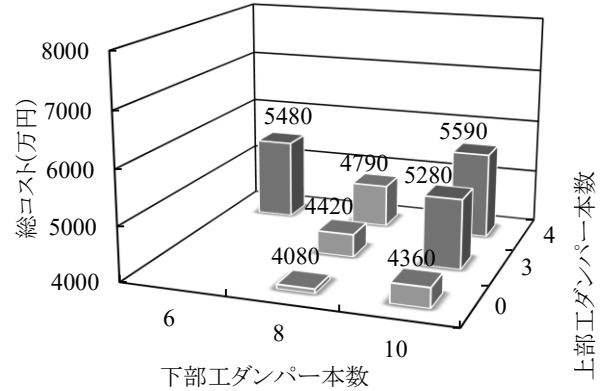


図-7 総コストの照査結果(ケース 1)

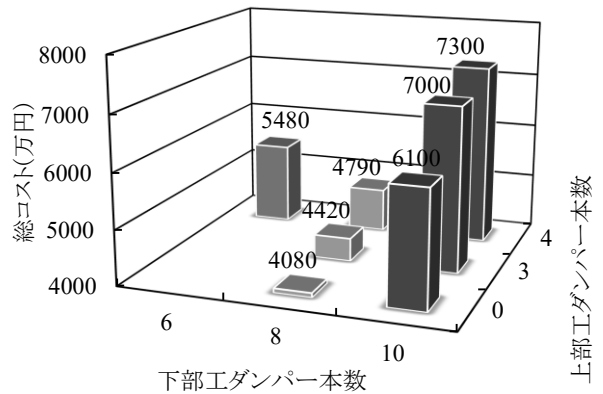


図-9 総コストの照査結果(ケース 2)

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-6および図-7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日となる補強法の中で、最も経済性に優れる下部工ダンパー10本・上部工ダンパー0本の組合せの選択が最適である。一方、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。

## (2) ケース2

耐震安全性の照査結果を表-3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

多いほど、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。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-8および図-9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、より経済性に優れる下部工ダンパー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-10～図-13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本による補強法が選択される。

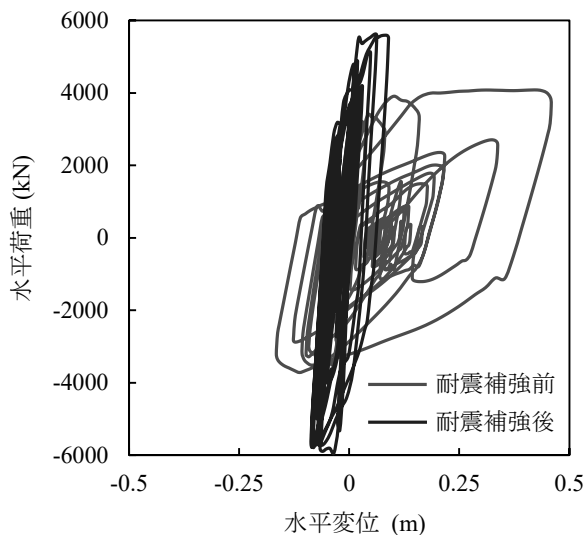


図-10 上部工 水平荷重-水平変位関係

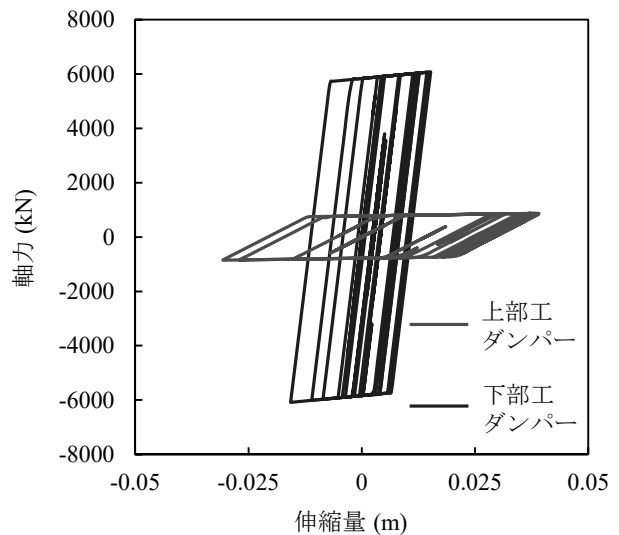


図-11 ダンパー 軸力-伸縮量関係

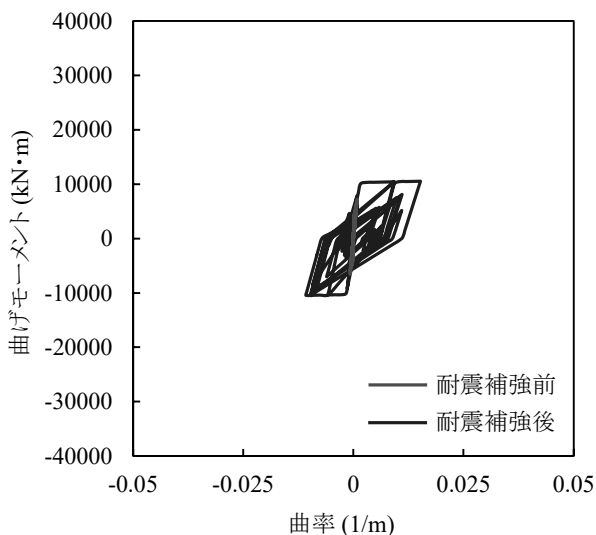


図-12 P1 橋脚基部 曲げモーメント-曲率関係

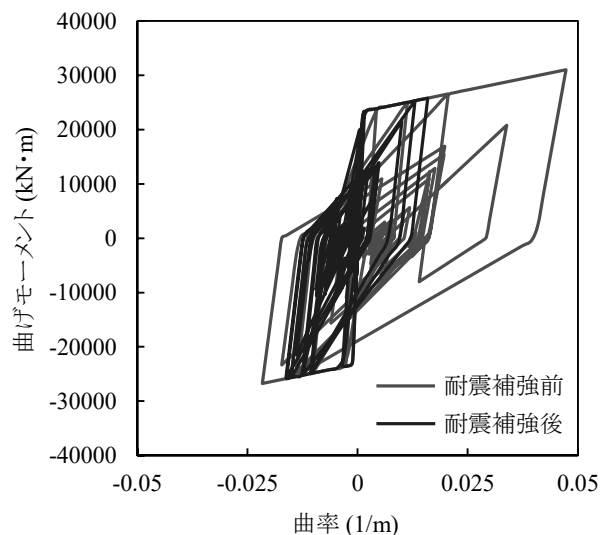


図-13 P2 橋脚基部 曲げモーメント-曲率関係

## 5. まとめ

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基礎検討を行った。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柱の正負交番荷重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) 米田慶太，川島一彦，庄司学，藤田義人：耐震技術基準の改訂に伴うRC橋脚及びくい基礎の耐震性向上度に関する検討，第2回地震時保有水平耐力に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.453-460，1998。
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V 耐震設計編，2012。