

## 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 柱の耐震性能評価

早稲田大学 学生会員 ○熊崎 達郎, 竹中 孔信  
JFE シビル (株) 正会員 塩田 啓介, 萩原 健一

早稲田大学 正会員 秋山 充良  
JFE シビル (株) 櫻井 有哉

## 1. はじめに

曲げ破壊型の既存 RC 柱を対象として、建築分野で主に使用されてきた座屈拘束ダンパー（以下、ダンパー）により地震時保有水平耐力と塑性変形能の改善を目的とした耐震補強法を著者らは提案している<sup>1)</sup>。特徴は、ポストピーク挙動時に RC 柱の軸方向変形を抑制するように柱軸と平行にダンパーを設置していることにある。参考文献 1)では、図-1 に示す RC 柱供試体の正負交番載荷実験結果を報告した。本稿では、実験結果の再現解析、およびその耐震補強設計法について報告する。

2. ダンパー付 RC 柱の正負交番載荷実験の概要<sup>1)</sup>

供試体設置状況を図-1 に示す。本研究で用いた供試体は、昭和 39 年鋼道路橋設計示方書を満足するように設計された RC 柱<sup>2)</sup>がせん断補強され、曲げ破壊型になった状態を想定している。本稿では、ダンパーを設置しない供試体 A とダンパーを設置した供試体 A-D1 を対象とする。本研究で用いたダンパー

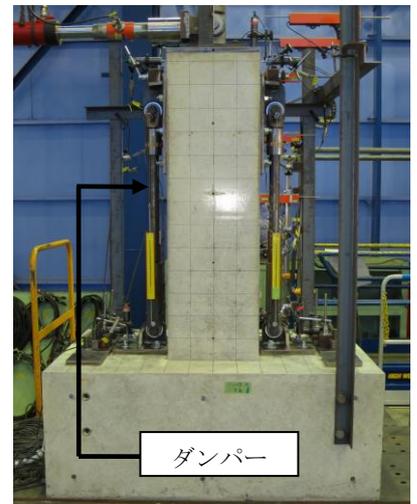


図-1 供試体設置状況

は、軸力を負担する軸力材と、軸力材の全体座屈を抑制する補剛管から構成されている。RC 柱の頭部が正負交番の水平載荷を受けるのに伴い、ダンパーには軸方向に繰り返しの軸荷重が生じる。本ダンパーは、その条件下でも、一定の鉛直荷重を保持し、エネルギー吸収が可能である。なお、ダンパーの両端はヒンジ構造となっており、ダンパーには軸方向力のみが作用するようになっている。正負交番載荷では、最外縁の軸方向鉄筋ひずみが材料試験結果より得られた降伏ひずみに達した変位を降伏変位 ( $\delta_y$ ) とし、以降は降伏変位の整数倍の変位毎に 3 サイクルの交番載荷を与えている。鉛直方向には、圧縮応力 1MPa に相当する軸荷重を与えている。

## 3. 実験結果の再現解析

図-2 に供試体 A と供試体 A-D1 の正負交番載荷実験の結果を示す。両図の比較から明らかなように、ダンパーを設置することで、水平荷重が 1.45 倍程度となり、塑性変形能も大きく改善している。塑性ヒンジ部の曲げによる損傷に着目すると、ダンパーの設置の有無に関わらず、同程度の水平変位で軸方向鉄筋のはらみ出しなどが生じるが、ダンパーを設置していることでコアコンクリートの損傷の進展が抑えられ、実験的に得られる RC 柱の軸方向変位の変化はダンパー有の方が小さくなっていた。ダンパー有の場合には、軸方向鉄筋が破断し、RC 柱がほとんど曲げに抵抗できない状態になった後も、ダンパーが曲げ、そして RC 柱はせん断に対して抵抗することで大きな塑性変形能を発揮している。

次に、多質点骨組モデルを用いて実験結果の再現解析を試みる。RC 橋脚の非線形性は、曲げモーメント-曲率関係によりモデル化した。履歴復元力特性には、Takeda モデルを使用している。なお、ダンパーによる補強効果が発揮されるのは、RC 柱にかぶりコンクリートの剥離・剥落が発生し、軸方向鉄筋のはらみ出しや破断に伴う荷重低下が生じる領域である。そこで、水平変位の大きさに関わらず除荷・再載荷の剛性は Takeda モデルに従うと仮定し、参考文献 3)に示されるモデルで骨格曲線を定め、RC 柱のポストピーク挙動を再現した。ダンパーの挙動は、脚柱とフーチングに節点を設け、その間に生じる軸力について、バイリニアの復元力特性を与えた非線形ばねにてモデル化した。RC 柱やダンパーの骨格曲線を定める際には、予め行った材料試験結果を用いている。解析結果と実験結果の比較を図-2 に示す。また、解析的に得られる RC 柱とダンパーの吸収エネルギーについて、水平載荷の進展に伴うその負担割合の変化を図-3 に示した。簡易な解析モデル

Key Words : 座屈拘束ダンパー, 正負交番載荷実験, 耐震補強工法, 静的非線形解析, RC 橋脚

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

であるが、図-2に示されるように、解析結果は実験結果を良好に再現しており、本モデルにより提案構造の耐震性能評価は可能と思われる。また、ダンパーとRC柱の吸収エネルギーの分担率(図-3)から、RC柱がポストピーク挙動に入った後、ダンパーによりエネルギー吸収が図られていることが確認できる。

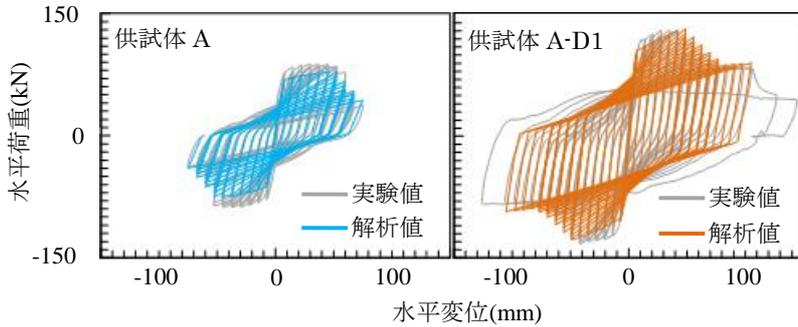


図-2 荷重載荷位置における水平荷重-変位関係

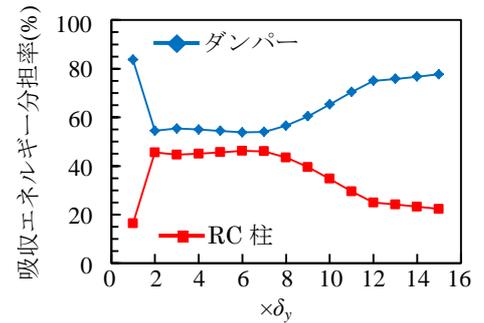


図-3 吸収エネルギー分担率

#### 4. 座屈拘束ダンパーを用いたRC橋脚の耐震補強設計

レベル2地震を受けた際に道路橋示方書<sup>4)</sup>がRC橋脚と杭基礎に求める限界状態、すなわち、地震時応答値が限界変位に達しない、残留変位が限界変位に達しない、そして、杭基礎の降伏に先行して橋脚が曲げ降伏する、の3つの条件を満足させるようにした提案構造の耐震補強設計法を検討した。

このとき、ダンパーの設置により増加するRC橋脚の保有水平耐力により杭基礎の降伏が先行しないことを確認するため、式(1)を満足させる。

$$1.1(P_p + \alpha) \leq P_{pf} \quad (1)$$

ここで、 $P_p$ はRC橋脚の地震時保有水平耐力、 $P_{pf}$ は杭基礎の地震時保有水平耐力、 $\alpha$ はダンパー補強による地震時保有水平耐力の増加量(最大水平荷重の増加量)を表す。

図-4にダンパーの設計手順を示し、ダンパー補強後のRC橋脚の各荷重や変位の取り方の考えを図-5に示した。

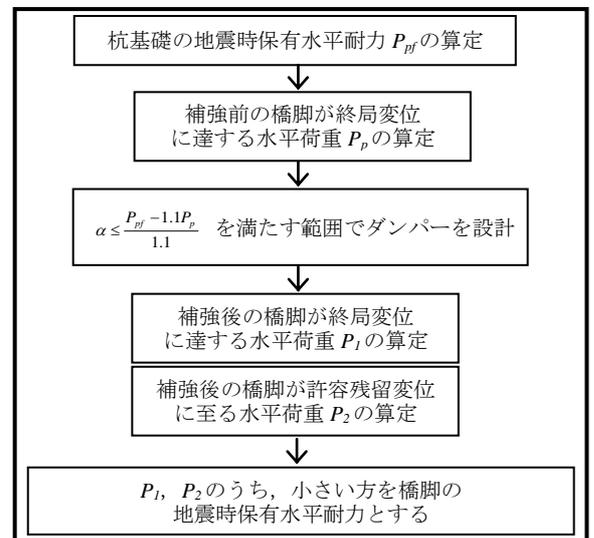


図-4 ダンパーの設計手順

#### 5. まとめ

曲げ破壊型の既存RC橋脚に座屈拘束ダンパーを設置した構造は、本稿で示した簡易モデルでもその水平荷重-水平変位関係を再現できることを正負交番載荷実験との比較から示した。また、この簡易モデルを用いた提案構造の耐震補強設計法について、その基本的な考えを示した。

#### 参考文献

- 1) 萩原健一ほか：脚柱とフーチング間に座屈拘束ダンパーを設置し曲げ補強したRC橋脚の正負交番載荷実験，土木学会第70回年次学術講演会，2015（投稿中）。
- 2) 堺淳一，川島一彦，武村浩志：試設計に基づく耐震技術基準の変遷に伴うRC橋脚の耐震性向上度の検討，構造工学論文集，Vol.43A，pp.833-842，1997。
- 3) 梅村恒，境有紀，南忠夫，壁谷澤寿海：繰り返しによる耐力低下を考慮した鉄筋コンクリート部材の復元力特性のモデル化，コンクリート工学年次論文報告集，No.3，V-20，pp. 1015-1020，1998。
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2012。

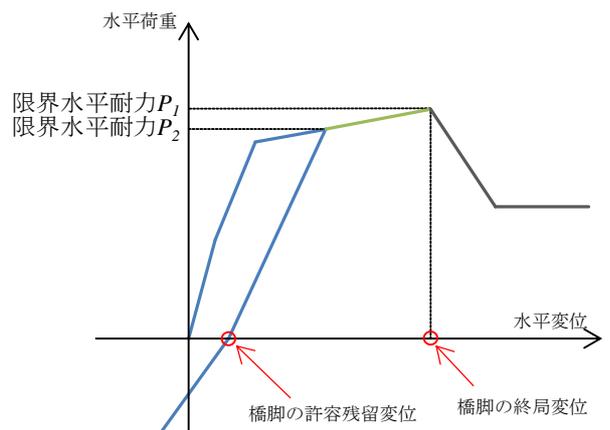


図-5 補強後の橋脚の限界状態の考え方