湾曲状ダンパーによる高架橋耐震補強方法に関する研究(その1) ~耐震補強設計と静的・動的非線形解析~

大阪市立大学大学院工学研究科(現)財団法人 鉄道総合技術研究所) 正会員 〇中田裕喜 大阪市立大学大学院工学研究科 学生員 大木皓平 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 大内 一,角掛久雄

1. はじめに

現行の鉄道構造物等設計標準¹⁾において、レベル1地 震動に対しては修復性(無損傷)および使用性が(耐 震性能 I)、レベル2地震動に対しては安全性(耐震性 能 III)が要求性能として規定されている.ただし、新 幹線などの重要度の高い構造物に対しては、修復性も 要求される(耐震性能 II).一方で、旧基準で設計され た既存高架橋の中にはせん断補強筋が少なく、脆性的 な破壊をするものが多い.これらの耐震補強に当たっ て、一般に柱の巻き立てやダンパーブレースなど減衰 装置が適用されている.しかし、巻き立て補強は応答 変位の抑制効果はなく、また減衰装置はせん断破壊す るものに適用できない.

そこで、履歴減衰型の鋼製湾曲状ダンパー²⁾を開発し、 高架橋フレーム内への効果的配置により、脆性的な破 壊を防止するとともに損傷を制御する耐震補強方法を 考案した.湾曲状ダンパーの特長は、座屈の防止と曲 げ応力による塑性域の拡がりを確保できることが挙げ られる.次に、このダンパーを隅角部に設置すること により、1)フレーム全体の耐力と剛性を増大させる、 2)柱材端ではダンパーの水平力負担により、作用せん 断力を低減させる、3)柱中央部で作用せん断力が大き くなるが、ディープビーム効果によりせん断耐力増大 を導く、そして 4)履歴減衰により構造物全体の応答 を低減するものである(図-1.1参照).すなわち、せん 断破壊する可能性の大きいものや曲げ靱性の足りない ものに対して、脆性的な破壊を防ぎ、かつ地震応答変 位を小さくするものである.本研究は鉄道RCラーメン 高架橋に対して耐震補強設計を施し,湾曲状ダンパー の適用性を解析により検討したものである.

2. 湾曲状ダンパーによる耐震補強設計

図-2.1 の高架橋³⁾を対象に、図-1.1 のようにダンパー を設置したときの耐震補強設計を行う.ただし、せん 断補強筋比は過去の規格最低量である 0.15%とした.ダ ンパーの反力の水平成分を P_{B1} (引張)、 P_{B2} (圧縮)、 ダンパー端部の全塑性モーメントを M_p とする.なお、 ダンパーの軸引張力の影響により、 $P_{B1} > P_{B2}$ となる. また、水平耐力を P_u 、断面力を図-1.1 (b)、(c)に示す通 りとする.柱の上下端が終局モーメント M_u に達した時 の水平力の釣り合い(図-2.2 参照)および断面力分布か ら、式(1)が導かれる.

$$P_{u} = \frac{4M_{u} + 2(P_{B1} + P_{B2})L_{B} - 4M_{p}}{L}$$
(1)

式(1)の第1項は補強前の耐力で、その他の項は補強に よる耐力の増分である.

次に, 柱中腹部のせん断スパン比 a/d (a: せん断ス パン, d: 有効高さ) が 2.5 以下のとき, 架構がせん断 破壊しないためには式(2)を満足すればよい.

$$Q_l < V_d$$
 and $Q_c < V_{dd}$ (2)

 V_d :スレンダービームのせん断耐力 $(a/d > 2.5)^{1}$ V_{dd} :ディープビームのせん断耐力 $(0 < a/d < 2.5)^{1}$ なお, $P_{B1} > P_{B2}$ より式(2)を満たせば同時に $Q_h < V_d$ を



Key Word:湾曲状ダンパー,耐震補強,履歴減衰,ディープビーム,鉄道 RC ラーメン高架橋 連絡先:〒558-8585 大阪市住吉区杉本町 3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 TEL:06-6605-2723



満足する.ここで、基礎の耐力を考慮して補強による 水平耐力の上昇を 30%とする.また、 $P_{B1}: P_{B2} = 1.2:1.0$ と仮定する.このとき、せん断力とせん断耐力の関係 が図-2.3 のように示される.したがって、架構がせん断 破壊しないためには、ダンパーの補強範囲を 1800 < L_B < 3750 mm にすればよい.

3. 湾曲状ダンパーの適用性の解析的検討

3.1 静的解析結果と動的解析概要

実大高架橋に対して湾曲状ダンパーの適用性を解析 的に検討する.ダンパーはH鋼を想定する.また,湾曲 状ダンパーの形状は 1/4 円弧,材料はSS400 とする.図 -2.3 より,補強範囲 L_B は 2100mmとし,断面は 200×204 ×12×12 とした.静的非線形解析結果を基に動的解析 を行った.なお,紙面の都合上,静的解析の概要は割 愛する.図-3.1 に静的解析による荷重-部材角関係を示 す.設計通り,水平耐力が約 30%上昇している.また, ダンパー降伏後は軸引張力の影響によりダンパー負担 分が上昇しているのが確認できるが,全体としては耐 力以降軟化した.なお,いずれの部材もせん断力がせ ん断耐力を超えず,せん断破壊しない.

次に,設計地震波に対して湾曲状ダンパーの効果を 確認するため,非線形地震応答解析プログラム ERA for M.NMSS を用いて1 質点による動的非線形応答解析を 行った.解析モデルを図-3.2 に示す.質点に架構とダン パーの非線形バネが並列で接続された振動モデルを用



1047月頃休(前的麻何) 図-3.2 麻何モアル(動的麻何) いる.架構とダンパーのバネは静的解析の結果から, 図-3.1 (モデル化)に示すものとした.ただし,架構の 履歴則は武田モデル,ダンパーはバイリニアモデルで ある.減衰は初期剛性比例型で2%とした.質量は上部 工の重量から290t である.このモデルに対し,図-3.3 に示すような鉄道標準適合波を与えた.

3.2 解析結果

図-3.4 に応答部材角の時刻暦を示す. 図中の破線は鉄 道標準による限界部材角である¹⁾. 補強することで最 大応答変位が 32%低減し,かつ限界部材角を超えない 結果となった. ただし,残留変位の絶対量はあまり変 わらないが,正負で逆となった. これは,卓越した正 負の地震波(約2秒後)の影響によるものと考えられ る.以上より,提案した耐震補強法は有効であると考 えられる.

4. 結論

- (1)低せん断補強筋比の高架橋に対して水平耐力を 30%増加させる条件のもと、柱材端でのダンパーの 水平力負担と柱中腹部でのディープビーム効果に より曲げ破壊先行型に移行できる.
- (2) 耐震補強により応答変位を低減し,限界部材角内に 押さえることができる.
- (3) 以上より,湾曲状ダンパーの適用性が確認できた.

参考文献

1)財団法人 鉄道総合技術研究所:鉄
道構造物等設計標準・同解説―耐震設
計,1999,2)島端 嗣浩:湾曲状仕口
ダンパーの耐震補強へ適用に関する
研究,大阪市立大学大学院工学研究科
修士論文,2008.2,3)社団法人 土木
35 学会:平成8年制定 コンクリート標
準示方書 [耐震設計編],1996