

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 橋脚の正負交番载荷実験

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

JFE シビル (株) 櫻井 有哉
早稲田大学 正会員 秋山 充良

1. はじめに

座屈拘束ダンパー (以下, ダンパー) は, 補剛材によって軸力材の座屈を防止した履歴型ダンパーであり, 建築物の制振デバイスとして多用されてきたが, 橋梁の分野においても制震を目的としてトラスやアーチ橋のブレース材^{1),2)}や上部工と橋脚間³⁾に取付けた事例がある. 図-1に示すように, このダンパーを RC 橋脚の脚柱とフーチング間に設置すると, 地震時に柱基部の塑性ヒンジを中心に橋脚が変形するときにダンパーに伸縮が生じ, 地震エネルギーを効率よく吸収し, 橋脚の耐震性能を向上できると考えられる. 本研究では, 模型 RC 橋脚の正負交番载荷実験によって, 水平荷重-水平変位関係やエネルギー吸収能に及ぼすダンパーの効果を調べた.

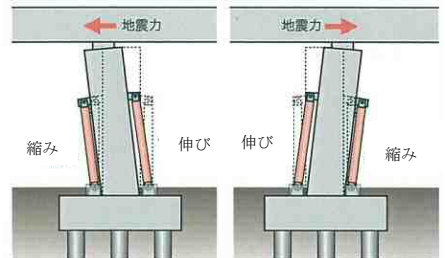


図-1 橋脚の変形とダンパーの伸縮

2. 実験概要

供試体は図-2に示す 1/5 縮尺の単柱型 RC 橋脚とし, 脚柱は高さ 1360mm, 断面は幅 500mm, 高さ 400mm である. 供試体は表-1に示す 4 種類である. 供試体 A および B は, 参考文献 4)にある, 昭和 39 年鋼道路橋設計示方書, および平成 8 年道路橋示方書を満足する RC 橋脚を模してそれぞれ設計した. A-D1 および A-D2 は, 径 22mm の SS400 棒鋼を軸力材としたダンパー D1 および D2 にて曲げ補強しており, 軸力材の長さがそれぞれ 700mm および 350mm である. D1 は, ダンパーの終局伸縮量を十分確保したもの, D2 は, 伸縮の初期剛性を大きくし, かつ, 軸力材と補剛材の間隙を少なくして塑性域を広くしたものである. ダンパーは, 橋脚にあと施工アンカーで固定した治具にピン接合した. 図-3にダンパー単体の試験による履歴曲線を示す.

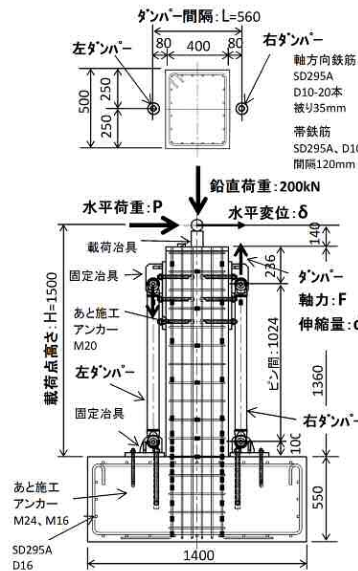


図-2 供試体 (A-D1, A-D2)



写真-1 载荷状況 (A-D1)

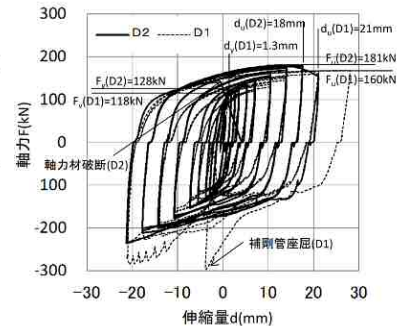


図-3 ダンパーの単体試験による履歴曲線

荷重は, 写真-1に示すように, 橋脚頭部に設置した治具を介してジャッキにて鉛直および水平方向に加力した. 載荷点高さは H=1500mm である. 鉛直荷重は 200kN の一定 (圧縮応力 1MPa に相当) とし, 水平方向には基部の引張鉄筋が降伏したときの載荷点の水平変位を δ_y とし, その整数倍ごとに 3 サイクルの正負交番载荷とした.

表-1 供試体の諸元

| 供試体記号 | 脚柱断面 幅×高さ (mm) | 軸方向鉄筋 | | | | 帯鉄筋 | | | | コンクリート | | ダンパー | | |
|-------|----------------------|---------|------------|---------------------------|-----------------------------|-----------|------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|------|-----------|--------------------------|
| | | 径-本数 | 軸鉄筋面積比 (%) | 降伏強度 (N/mm ²) | ヤング係数 (kN/mm ²) | 径-間隔 | 帯鉄筋面積比 (%) | 降伏強度 (N/mm ²) | ヤング係数 (kN/mm ²) | 圧縮強度 実験当日 (N/mm ²) | ヤング係数 (kN/mm ²) | 記号 | 軸力材長 (mm) | 降伏軸力 F _y (kN) |
| A | 500×400 | D10-20本 | 0.71 | 351 | 183 | D10-120mm | 0.24 | 351 | 183 | 28.8 | 22.4 | - | - | - |
| A-D1 | 500×400 | D10-20本 | 0.71 | 351 | 183 | D10-120mm | 0.24 | 351 | 183 | 28.7 | 22.5 | D1 | 700 | 118 |
| A-D2 | 500×400 | D10-20本 | 0.71 | 358 | 193 | D10-120mm | 0.24 | 358 | 193 | 33.9 | 23.1 | D2 | 350 | 128 |
| B | 500×400 | D16-20本 | 1.99 | 351 | 196 | D13-120mm | 0.42 | 361 | 194 | 33.3 | 23.5 | - | - | - |

鉄筋の材質は全てSD295A

ダンパーのピン間長: 1024mm

キーワード 座屈拘束ダンパー, RC 橋脚, 曲げ補強, 正負交番载荷実験

連絡先: 〒111-0051 東京都台東区蔵前 2-17-4 JFE 蔵前ビル 5階 JFE シビル株式会社 TEL03-3864-3796

3. 実験結果

図-4 (a) ~ (d) に各供試体の履歴曲線を示す。ダンパーで補強した供試体 A-D1 および A-D2 は、A に比べて最大荷重が 1.45 倍および 1.58 倍に増加している。ダンパー降伏軸力 F_y による抵抗モーメントを載荷点水平荷重に $P_{dy}=L/H \cdot F_y$ の式で換算し、これを A の最大荷重 $P_m(A)$ に加算した値は、各ケースの最大荷重 P_m に良く一致している。また、A は $7\delta_y$ で終局状態になっているが、A-D1 および A-D2 は、水平荷重が低下した後も $15\delta_y \sim 17\delta_y$ まで安定した履歴曲線を維持している。図-3 に示したダンパーの終局伸縮量 d_u から載荷点変位を $\delta_{du}=2H/L \cdot d_u$ で換算した値は、A-D1 および A-D2 の終局変位に概ね近い。供試体 B は、A に比べて最大荷重が 2.05 倍に増加しているが、終局変位は $5\delta_y$ であり、塑性率で比較した変形能は A と同程度である。

図-6 は、各供試体について最大変位が 30mm 付近の 1 サイクル目の履歴曲線をピーク時の荷重 P_p と変位 δ_p で正規化して比較したものである。A-D2 の面積は他に比べて大きく、エネルギー吸収能が高いと言える。

図-7 は、各載荷ステップの 1 サイクル目のピーク変位 δ_p と履歴吸収エネルギー W の関係を示す。各供試体について $\delta_p=40\text{mm}$ のときの W の値を読み取り、供試体 A の W 値に対する比率をみると、A-D2 は 1.87 倍であり、A-D1 の比率よりも大きく B のそれに近い。写真-2 に最終の損傷状態を示す。A-D2 の塑性ヒンジ長は B よりも短いことが確認される。

4. まとめ

本研究では、脚柱とフーチング間にダンパーを設置した場合の耐震性能改善効果を模型 RC 橋脚の正負交番載荷実験によって調べた。結果は次のとおりである。(1)ダンパー設置によって水平荷重、および変形能が向上する。水平荷重増加量は、ダンパーの降伏軸力による抵抗モーメントを水平荷重に換算し算定できる。(2)橋脚本体が終局に達した後も、ダンパーの効果により安定した履歴曲線が維持され橋脚の倒壊が抑止される。ダンパー補強橋脚の終局変位は、ダンパーの終局伸縮量を水平変位に換算し算定できる。(3)ダンパー軸力材の初期剛性や拘束度を適切に設定して塑性域を大きくすることにより、ダンパー補強した橋脚の履歴エネルギー吸収能を向上できる。

参考文献 1)宇佐美勉編著,(社)日本鋼構造協会:鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン,技報堂出版,pp.243-251,2006.9. 2)土木研究センター,わが国の免震橋事例集,pp.118-121,2011.12. 3)前野裕文・杉浦裕幸・八木孝行・永谷秀樹・神谷伸治:座屈拘束ブレースを用いた上部構造の耐震補強設計,土木学会第59回年次学術講演会,1-184,pp.367-368,2004.9. 4)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.

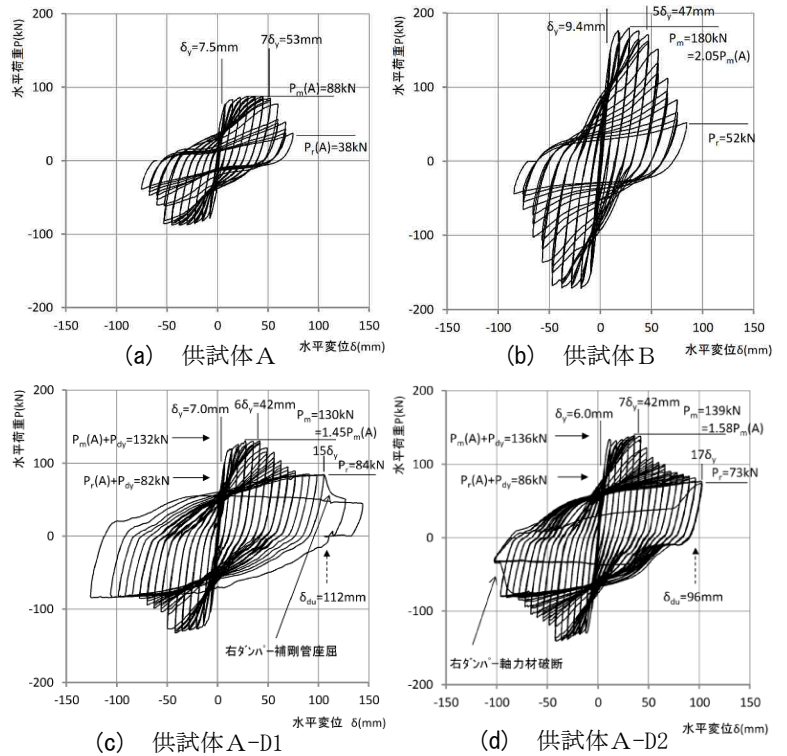


図-4 水平荷重と載荷点水平変位の関係

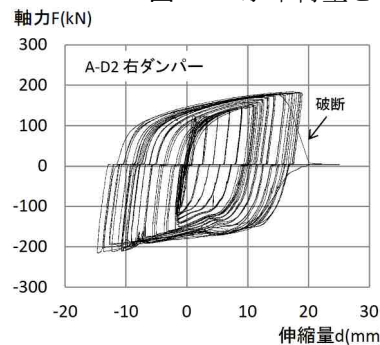


図-5 ダンパーの挙動

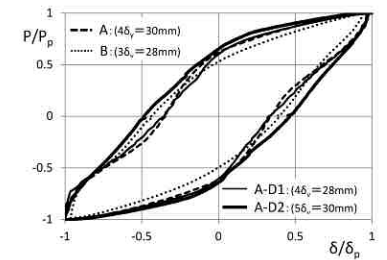


図-6 履歴曲線の比較

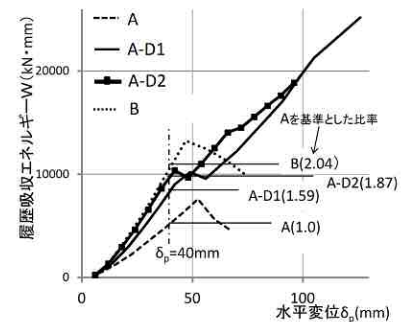


図-7 吸収エネルギーの比較



写真-2 橋脚の損傷状態