橋梁制震に用いる慣性質量ダンパーの振動台実験による制震効果の確認

| 清水建設 | (株) | 正会員 | ○滝本 | 和志 | 林 | 大輔 | 磯田 | 和彦 | 吉武 | 謙二 |
|------|-----|-----|------|-------------|-----|-----|------|-----|----|----|
| | | | 清7 | k 建設 | (株) | | フェロー | -会員 | 丹 | 博美 |
| | | 首都福 | 高速道路 | (株) | Ī | 三会員 | 和日 | 日新 | 右高 | 裕二 |

1. はじめに

レベル 2 地震に対して損傷を限定的に留め,早期に 機能回復を図ることを目的に,慣性質量ダンパー¹⁾を用 いた同調型制震デバイスを既設橋梁の地震応答制御に 適用した場合の制震効果を,振動台実験²⁾により検討し た.高架橋を想定した 2 質点系モデルの実験模型に, 制震デバイス(慣性質量ダンパー+オイルダンパー) を組み込み,地震時の応答低減効果を検証した.

2. 慣性質量ダンパー

本実験で対象とする慣性質量ダンパーは、錘の回転 慣性を利用することで、錘の質量の数百倍~数千倍の 慣性質量効果を発揮するデバイスである.本実験では、 慣性質量ダンパーとオイルダンパーを組み合わせ、 TMDと同様の同調型制震デバイスとすることで高架橋 の地震応答低減を図る.ダンパーは上段ゴム支承と並 列に取り付け、この支承と橋脚の水平剛性をモデル化 した下段ゴム支承とを考慮して、同調効果を発揮する ように設定した³⁾.実験に使用した慣性質量ダンパーと オイルダンパーの仕様を**表1**に示す.

3. 振動台実験の概要

高架橋のモデルとして、水平力分散支承で支持され た連続高架橋中の1橋脚を想定した¹⁾.橋脚は円形断面 であるため、橋軸方向と橋軸直角方向の構造特性が同 じになるように設定した.**表2**にモデル橋梁および実 験模型の構造特性を示す.本実験では、加速度の相似 率が1となるように、長さと時間の相似率をそれぞれ 1/2.22、1/1.49と設定した.

| 表 1 | 実験に使用し | たダンバ | 『一の諸元 |
|-----|--------|------|-------|
|-----|--------|------|-------|

| 慣性質量 | ダンパー | オイルダンパー | | | | |
|-----------------|---------------------|---------|--------------|--|--|--|
| 慣性質量 | 15.0ton | 減衰係数 | 3.0kN/(cm/s) | | | |
| ストローク | ±120mm | ストローク | ±100mm | | | |
| 最大負担力 | 100kN | 最大負担力 | 150kN | | | |
| 全長 | 1.00m [*] | 全長 | 1.31m* | | | |
| 重量 | 180kg ^{**} | 重量 | 210kg** | | | |
| ※ロードセル,取付け治具を含む | | | | | | |

図1に実験模型の概要を示す.事前に実施したスウ ィープ試験の結果を用いて $1/\sqrt{2}$ 法により減衰定数の推 定を行った結果, h=0.066の値が得られた.その際の固 有振動数は 1.47Hz (0.68sec) であった.当初設定した 固有振動数に比べて実験で得られた固有振動数が高く なった原因として,スウィープ加振時にはゴム支承の せん断ひずみが 50%程度と,ゴム支承の等価剛性を評 価する際のひずみ (175%)よりも小さく,等価剛性よ りも大きな剛性となったことが考えられる.

実験に用いた入力波を表3に、加速度応答スペクト ルを図2に示す. 地震波は相似則に従い時間軸の補正 を行い、非制震の状態で上・下段のゴム支承のせん断 ひずみが200%を超えない大きさに低減して入力した.

4. 実験結果

振動台実験より得られた各応答の最大値を表4に示 す.上段フレームの加速度はフレーム中央に設置した 加速度計の値,支承変位は上下段フレームの相対変位 をフレーム隅角部1か所で計測した値,支承反力は下 段のゴム支承下部に設置した4台の三分力計の合計の 値である.応答はすべてX方向(制震方向)である.

| (X,Y方向に共通) 上部工質量 | | モデル橋梁 | 実験模型 |
|---------------------|----------|--------------|--------------|
| | | 526.5ton | 48.3ton |
| | 支承剛性 | 2.45e+04kN/m | 4.50e+03kN/m |
| | 水平剛性(橋脚) | 1.59e+05kN/m | 2.80e+04kN/m |
| | 固有周期 | 1.09sec | 0.74sec |
| | 四七拒動粉 | 0.0011- | 1 2511- |

表2 モデル橋梁および実験模型の構造特性



キーワード 慣性質量ダンパー,同調型制震,振動台実験,高架橋,耐震性向上 連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設(株)技術研究所

TEL03-3820-6962

-202

入力波 倍率 方向 概要 H24 道示 動解に使用する I-III-2 1.0 Xのみ レベル2地震動の加速度波形4) H24 道示 動解に使用する II-III-2 0.8 XOA レベル2地震動の加速度波形4) X:NS 1995年兵庫県南部地震 Kobe 波 0.8 Y:EW 神戸観測波(JMA KOBE) NS,EW 成分 2011年東北地方太平洋沖地震 X:NS Sendai 波 0.8 Y:EW 仙台観測波(MYG013) NS,EW 成分

表3 入力地震波一覧

制震デバイスを設けた場合は、上部工を模した上段 フレームの応答加速度が入力加速度程度となり、上段 支承変位が大きく低減していることが確認できる.ま た,Sendai 波を除いて下段支承反力も低減している. この傾向は、特に周期が 0.7sec を超える応答が大きい 地震波(I-III-2, II-III-2)で顕著である.この理由を実 験結果から考察するため、振動台テーブルと上段フレ ームで計測した加速度より応答倍率を求めた(図3). 制震の場合、固有振動数周辺での応答倍率が大きく低 減されることが確認できる.制震デバイスを取り付け たことで構造物の共振が抑えられ、上段フレームの加 速度が低減したことで慣性力が小さくなり、支承の変 位だけでなく、橋脚に相当する下段支承の負担力も小 さくなった(表4).

図2より Sendai 波のケースでは固有周期よりも短周 期の成分が支配的であるため、非制震でも加速度が増 幅されず橋脚の負担力も比較的小さく、設計断面を決 定する入力波とはならない.これに制震デバイスを取 り付けると、下段支承の負担力は若干増加するが、支 承変位は大幅に低減する.すなわち、地震波の周期特性 に関わらず、制震デバイスを取り付けることで橋脚の 負担力を増やすことなく、支承変位を大きく低減する ことが可能であることを示唆している.

振動台実験より得られた上段支承変位と下段支承反 力の応答波形の一例を図4に示す.上段支承変位は,

表4 最大応答一覧

| | | 入力 | 上段 | 上段支 | 下段支 | |
|-------------|-----|--------------|--------|-------|-------|--|
| (X 方 | (向) | 加速度 | 加速度 | 承変位 | 承反力 | |
| | | (gal) | (gal) | (mm) | (kN) | |
| | 非制震 | 606.7 | 1151.3 | 136.8 | 696.1 | |
| I-III-2 | 制震 | 671.7 | 474.4 | 33.6 | 350.0 | |
| | 低減率 | / | 0.41 | 0.25 | 0.50 | |
| | 非制震 | 440.1 | 1288.4 | 138.0 | 764.2 | |
| II-III-2 | 制震 | 459.9 | 467.6 | 30.3 | 325.7 | |
| | 低減率 | \backslash | 0.36 | 0.22 | 0.43 | |
| | 非制震 | 690.6 | 1101.9 | 117.3 | 605.6 | |
| Kobe 波 | 制震 | 740.9 | 690.5 | 35.3 | 523.0 | |
| | 低減率 | | 0.63 | 0.30 | 0.86 | |
| Candai | 非制震 | 1069.4 | 761.5 | 98.5 | 443.8 | |
| Sendal 波 | 制震 | 1118.3 | 632.7 | 29.8 | 479.7 | |
| 1/2 | 低減率 | | 0.83 | 0.30 | 1.08 | |

最大値だけでなく,継続時間全域に渡って振幅が小さ くなっていることが確認できる.また,下段支承反力 も,大きな振幅が抑制され,橋脚に入力されるエネル ギーが小さくなっていることが確認できる.

5. まとめ

高架橋を想定した 2 層モデルの振動台実験を行い, 慣性質量ダンパーを付加することで以下の効果が得ら れることを確認した.

- (1)構造物の固有振動数付近の応答倍率を大きく低減 させ、共振特性を改善することができる.
- (2) 支承の変位と橋脚の負担力を同時に低減すること ができる.

参考文献

大西孝典ほか:橋梁制震に適用する同調型慣性質量ダンパーの試設計,土木学会第70回年次学術講演会講演概要集,2015.9

2) 和田新ほか:橋梁に用いる制震デバイスの振動台実験による制震効果の確認,土木学会第71回年次学術講演会講演概要 集,2016.9

3) 林大輔ほか:支承復元力と組み合わせた慣性質量ダンパーの橋梁制震への適用,土木学会第71回年次学術講演会講演概 要集,2016.9

4) 日本道路協会:道路橋示方書·同解説 V 耐震設計編, 2012.3

