

摩擦履歴型ダンパーを用いた橋梁模型の振動台実験

独立行政法人土木研究所 正会員 ○岡田太賀雄

独立行政法人土木研究所 正会員 運上 茂樹

1. 目的

主として既設橋の耐震補強に対して地震時の応答変位の低減を目的にダンパーを用いた制震構造が採用される事例も出てきているところである。制震ダンパーとしては材料やメカニズム等によって様々なものが開発されつつあるが、その性能検証方法や制震ダンパーを用いた橋梁の設計方法はまだ十分確立されておらず、振動台実験による効果や設計モデルの検証データも少ないのが実状である。

本文では摩擦履歴型ダンパーにより変位制御された橋梁模型を用いて振動台実験を実施し、動的挙動の確認及びシミュレーション解析を行った結果について報告する。

2. 実験概要と実験結果

橋梁模型の設置状況を図-1に示す。片側 175kN を有する長さ 5m の橋桁模型 2 つを鉄筋コンクリート橋脚模型天端に取り付けられたピン支承と防護用フレーム両端のローラー支承で支持する構造とした。橋脚模型が支持する鉛直荷重は全重量の 1/2 となるが、水平方向には橋桁模型全重量による慣性力が橋脚模型天端に取り付けられたピン支承を介して橋脚模型へと作用することとなる。両端のローラー支承付近の橋桁と防護用フレームの間に図-2に示す特性を有するダンパーを片側 2 本ずつ設置し、約 80kN 程度の減衰力が橋桁に作用するようにした。なお、減衰力は速度の 0.1 乗に比例するとし、ダンパー単体の正弦波加振結果に基づき設定している。橋脚模型については断面形状と高さを 600mm×600mm×2800mm とし、一般的な道路橋橋脚の 1/4 縮尺程度を想定した。主鉄筋比を約 1% 程度とするため、SD295-D13 鉄筋を 28 本配置した。また、帯鉄筋は SD295-D6 鉄筋を 75mm ピッチで配置し中間帯鉄筋を 1 本配置した。コンクリートの設計基準強度は 27N/mm² とした。図-3に実験時の材料試験結果に基づき算出した橋脚模型の慣性力作用位置での水平力-変位関係を示す。加振方向については橋軸方向のみとし、実地震動による観測波として 1995 年兵庫県南部地震時の JR 西日本鷹取駅構内における記録 (NS 方向) を入力した。縮小模型であるため時間軸については 1/2 とした。橋脚が弾性範囲から塑性範囲に入るように順に入力振幅を大きくし、振幅 30%, 50%, 70%, 100%, 120% と入力した。表-1に各ケースでの最大応答値を示す。振幅 100% の加振の場合に応答変位が 28.9mm 生じ降伏変位 12.8mm を超え塑性化する結果となった。ダンパーの減衰力については

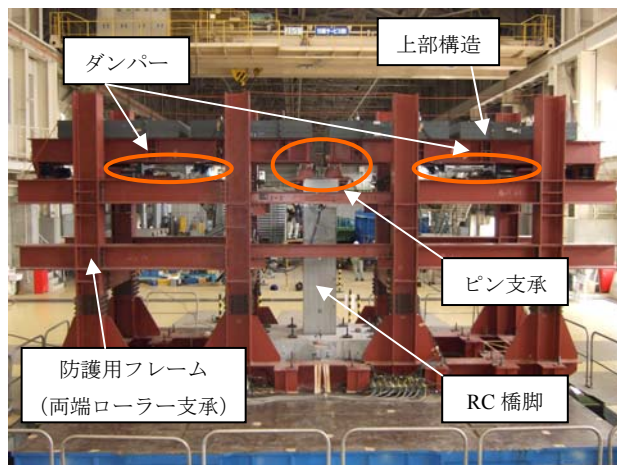


図-1 橋梁模型設置状況

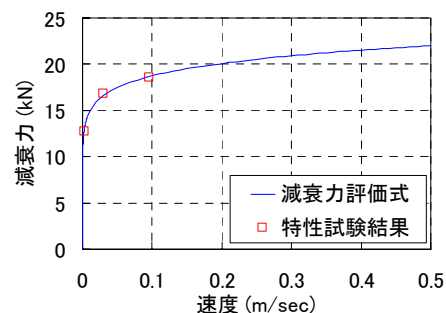


図-2 実験に用いたダンパーの減衰力特性

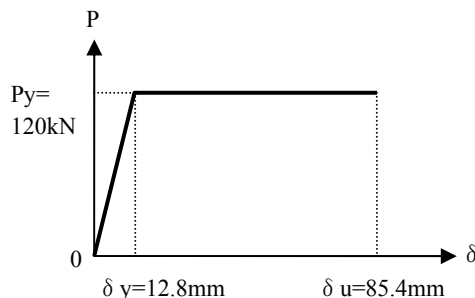


図-3 橋脚模型の P-δ 関係

表-1 各ケースの最大応答値

加振振幅 [%]	加速度		ダンパー 減衰力 [kN]	慣性力作用 位置の変位 [mm]
	フーチング [gal]	桁 [gal]		
30	165.8	273.8	61.4	2.1
50	287.3	347.9	68.1	4.5
70	387.2	426.1	74.3	9.5
100	570.0	569.9	77.5	28.9
120	724.9	612.6	87.8	67.8

キーワード ダンパー, 橋梁模型, 振動台実験, シミュレーション解析

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (独)土木研究所構造物メンテナンス研究センター TEL 029-879-6773

低速域においても大きな減衰力が発生する特性であることから、加振振幅が小さい場合でも想定通りの減衰力が生じている事が確認できる。

3. シミュレーション解析

解析モデルの概要を図-4に示す。4本のダンパーは固定点と上部構造をモデル化した質点との間に1つの要素に集約してモデル化した。ダンパーの減衰力については図-2に示す減衰力を速度依存型の減衰要素でモデル化したケースと、摩擦履歴型のバイリニアバネ要素でモデル化したケースの2ケース実施し、モデル化の違いが及ぼす影響について検討した。バイリニアバネ要素でモデル化する場合には、振動台実験結果に基づき $K_1=50,000\text{kN/m}$ 、二次剛性についてはほとんどゼロに近い $K_2=K_1 \times 10^{-5}\text{kN/m}$ とした。一連の実験で計測されたダンパーの最大減衰力は平均的に75kN程度であったため、これを最大減衰力として設定した。フーチングについてはモデル化せず、橋脚基部を固定とした。橋脚に与えた減衰定数は2%とし、ダンパー要素に対する減衰をゼロとするために、ダンパーを除く単柱橋脚のみの1次と2次の固有振動数で設定した要素別Rayleigh減衰により減衰マトリクスをモデル化した。実験結果と同条件にするため、フーチングで計測された各加振振幅での加速度を連続して入力し解析を行った。なお、積分時間間隔は1/500とした。橋脚が塑性化した加振振幅100%と120%の解析結果と実験結果の主要動での比較を図-5, 6に示す。応答変位についてはバネ要素を用いた方が弾性範囲での小振幅での応答を再現できている。また、ダンパーの減衰力については減衰要素を用いた方が速度に応じた減衰力が生じるモデルであるため、より再現できていることがわかる。いずれのモデルを用いた場合も概ね最大応答変位は再現できている事がわかる。

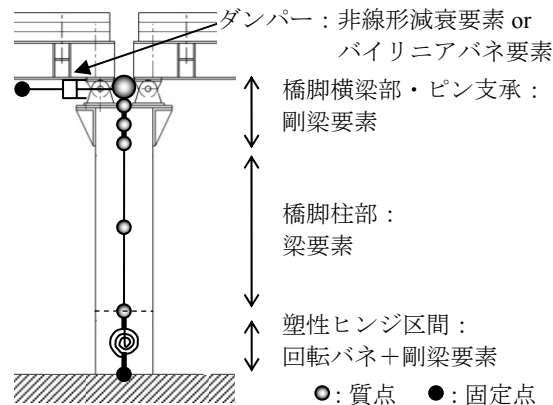


図-4 解析モデル

ダンパー要素でモデル化する場合には、振動台実験結果に基づき $K_1=50,000\text{kN/m}$ 、二次剛性についてはほとんどゼロに近い $K_2=K_1 \times 10^{-5}\text{kN/m}$ とした。一連の実験で計測されたダンパーの最大減衰力は平均的に75kN程度であったため、これを最大減衰力として設定した。フーチングについてはモデル化せず、橋脚基部を固定とした。橋脚に与えた減衰定数は2%とし、ダンパー要素に対する減衰をゼロとするために、ダンパーを除く単柱橋脚のみの1次と2次の固有振動数で設定した要素別Rayleigh減衰により減衰マトリクスをモデル化した。実験結果と同条件にするため、フーチングで計測された各加振振幅での加速度を連続して入力し解析を行った。なお、積分時間間隔は1/500とした。橋脚が塑性化した加振振幅100%と120%の解析結果と実験結果の主要動での比較を図-5, 6に示す。応答変位についてはバネ要素を用いた方が弾性範囲での小振幅での応答を再現できている。また、ダンパーの減衰力については減衰要素を用いた方が速度に応じた減衰力が生じるモデルであるため、より再現できていることがわかる。いずれのモデルを用いた場合も概ね最大応答変位は再現できている事がわかる。

4. まとめ

摩擦履歴型ダンパーにより変位制御された橋梁模型の振動台実験を行い、動的挙動の確認とシミュレーション解析を行った。シミュレーション解析により概ね最大応答変位を再現できることがわかった。

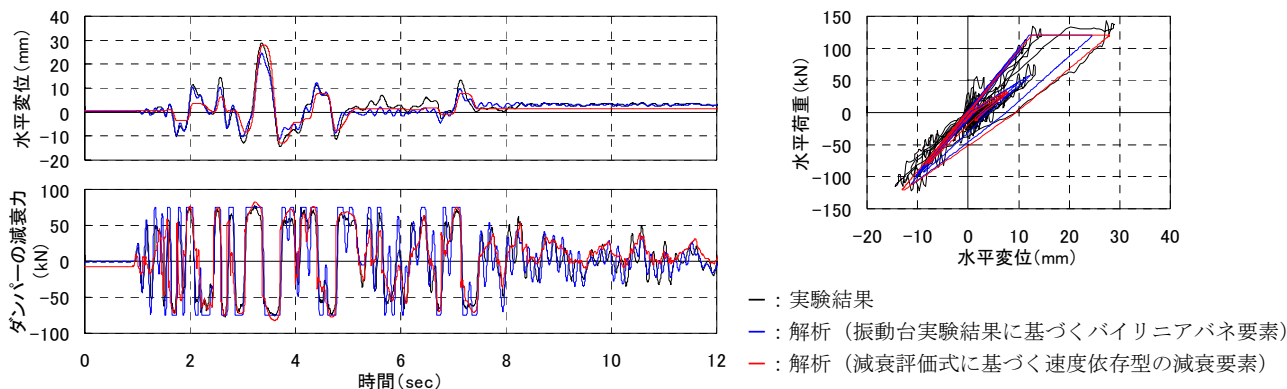


図-5 上部構造の応答変位、ダンパーの減衰力の時刻歴及び橋脚の P-δ 関係の比較図（加振振幅 100%）

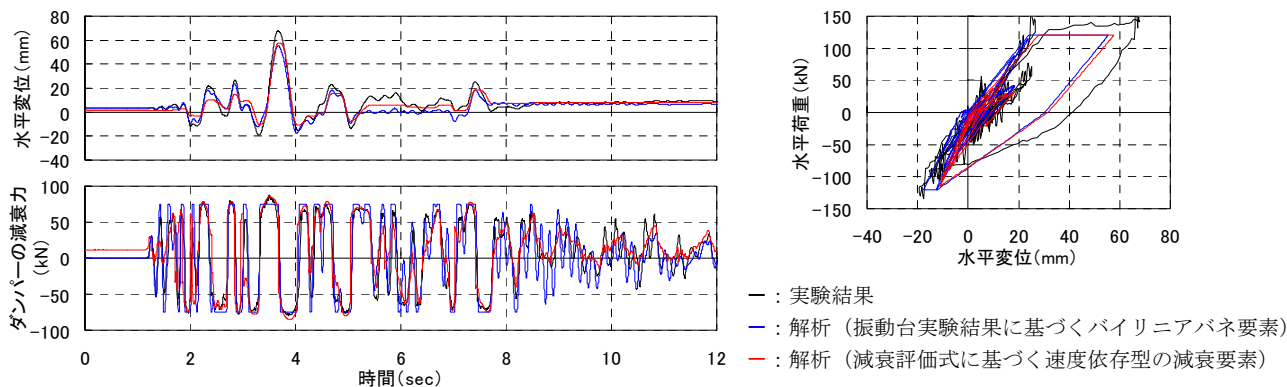


図-6 上部構造の応答変位、ダンパーの減衰力の時刻歴及び橋脚の P-δ 関係の比較図（加振振幅 120%）