

免制震すべりシステム（Ⅱ-3）：2方向同時入力時の制震ダンパーの挙動

オイレス工業(株) 正会員 ○宇野裕恵
西日本高速道路(株) 正会員 和田吉憲
フジエンジニアリング(株) 正会員 松田哲夫
ドーユー大地(株) 正会員 中谷隆生

京都大学工学研究科 正会員 五十嵐晃
京都大学工学研究科 正会員 古川愛子
JIP テクノサイエンス(株) 正会員 松田 宏
大成建設(株) 正会員 井上和真

1. はじめに

免制震すべりシステム (Isolation Seismic Controlled Sliding System: ICSS) とは、『橋台間に挟まれた一連の落橋しにくい多径間連続桁橋にすべり支承を設置して上下部構造をアイソレーションさせ、温度変化等に起因する不静定力を極力振動系に内蔵させない耐震構造とし、特定区間の下部構造に免震支承および免震ダンパーを用いて地震時の挙動を制御する耐震システム』と定義している。ICSS を長多径間連続桁に適用する場合、地震時には桁が橋軸および橋軸直角方向に大きく変位することに加え、地震力が平面的に任意の方向から作用するので、部材長を有する制震ダンパーの応答は桁の変位の影響を受けやすい。そこで、図-1 に示すような ICSS を適用した最大曲率半径 750m を有する橋長約 1,200m の鋼 18 径間連続箱桁鉄桁混合の曲線橋 (NEXCO 西日本の今切川橋) に地震波を 2 方向に同時入力し、制震ダンパーの地震時挙動を確認した。

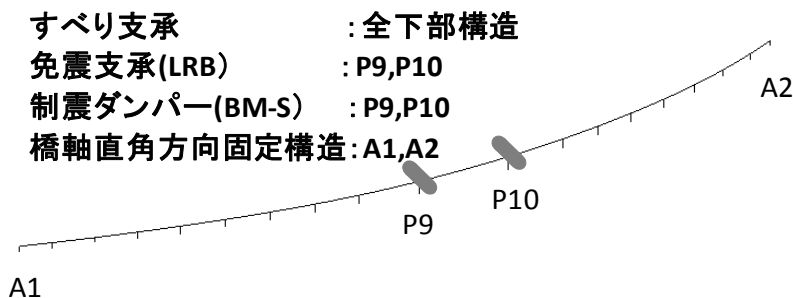


図-1 鋼18径間連続箱桁鉄桁混合の曲線橋

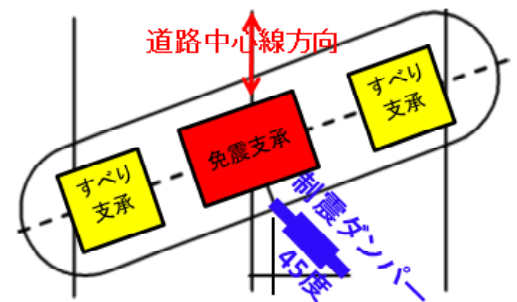


図-2 P9, P10橋脚の支承部デバイス

2. 解析条件

支承条件は、A1 および A2 橋台で橋軸直角方向を固定とし、全ての支承部に摩擦係数 0.05 ～ 0.01 程度のすべり支承を設置し、P9 および P10 橋脚に免震支承（鉛プラグ入り積層ゴム支承：LRB）および制震ダンパー（摩擦履歴型）を設置した。制震ダンパーの抵抗力は速度の 0.1 乗に比例し、50kine の速度で抵抗力が 9,000kN となる仕様を各橋脚に設置する場合と、抵抗力のない仮想の制震ダンパーの 2 とおりとした。制震ダンパーの取付けピン間距離は 3,850mm であり、図-2 に示すように道路中心線に対して 45 度の方向に設置している。解析には、桁や制震ダンパーの変位の影響を考慮して、有限変形解析を採用した。2 方向同時入力した地震波は、道路橋示方書の標準波Ⅱ-Ⅲ-1 とヒルベルト変換により位相を $\pi/2$ 遅らせた直交相補地震波¹⁾ (以下、変換波) であり、以下のように橋軸方向 (X 軸) および橋軸直角方向 (Y 軸) に組み合わせ、0, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150 度回転させて入力した。

- ① XY 正入力：X 軸 標準波，Y 軸 変換波
- ② YX 逆入力：X 軸 変換波，Y 軸 標準波

0 度入力での①の入力加速度のオービットを図-3 に示すが、入力加速度の方向性は小さい。本論文では、135 度回転させて入力したケースを例に述べる。なお、②の入力加速度のオービットは同図の対角線に対称なオービットとなる。

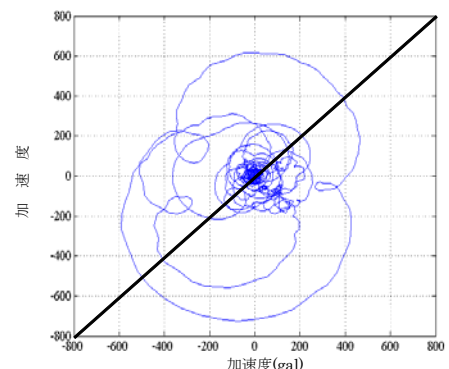


図-3 入力加速度オービット (①)

キーワード 免制震すべりシステム, 免震支承, 制震ダンパー, すべり支承, 2 方向同時入力, ヒルベルト変換
連絡先 (〒 108-0075 東京都港区港南一丁目 6 番 34 号・TEL.03-5781-0316・FAX.03-5781-0318)

3. 解析結果

制震ダンパーの抵抗力を 9,000kN および 0kN とし, XY 正入力と YX 逆入力を 135 度回転させて入力した P10 橋脚位置での免震支承および P11 側の制震ダンパーの応答変位のオービットを図-4に, 免震支承の時刻歴応答合成変位の絶対値および制震ダンパーの時刻歴応答変位を図-5および図-6に示す. 0kN とした制震ダンパー両端のオービットを図-7に示す.

4. 考察

図-4より, 免震支承と制震ダンパーの応答変位のオービットは同等である. ただし, 制震ダンパー 9,000kN では XY 正入力と YX 逆入力では応答が異なっているが, 制震ダンパー 0kN では逆符号で同等のオービットとなっている. 同様に図-5より, 免震支承の時刻歴応答合成変位は制震ダンパー 9,000kN では XY 正入力と YX 逆入力では異なっているが, 0kN ではほぼ一致している. すなわち, 免震構造では, 地震波の組み合わせによる影響は極めて小さいことがわかる. しかし, 図-6より, 制震ダンパーの応答変位は, 制震ダンパーの抵抗力の抵抗力の有無にかかわらず異なっている. 制震ダンパーのない免震構造では XY 正入力と YX 逆入力では免震支承の挙動は同じであるので, 橋全体の動的挙動は同等の応答を呈していると考えられるが, 制震ダンパーの挙動は異なっている.

そこで, 図-7に制震ダンパー 0kN の両端部における変位のオービットを示す. 橋脚取付側では小範囲のオービットであるが, 桁取付側では広範囲のオービットであり, 挙動も大きく相違する. すなわち, 制震ダンパーは桁の水平振動により挙動が変化することを意味し, XY 正入力では制震ダンパーの圧縮方向に大きく変位するが, YX 逆入力では制震ダンパーが回転する挙動となって変位は小さい. このように, 図-3のオービットの僅かの相違が大きく影響している.

5. おわりに

一般の耐震設計では, 地震波を 1 方向に入力し制震ダンパーの機能を橋脚の中心位置で代表させるので, このような現象は発現しない. しかし, 実際の地震動は 1 方向ではないので, 地震波を 2 方向同時に入力し, 制震ダンパーの取付け部材長を考慮した実挙動に近い制震橋の地震時挙動を把握することが望まれる.

参考文献: 1) 井上, 五十嵐, 古川, 和田, 松田, 宇野, 松田, 中谷: 免制震すべりシステムに対する 2 方向同時入力に用いるヒルベルト変換, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集, 2011.9

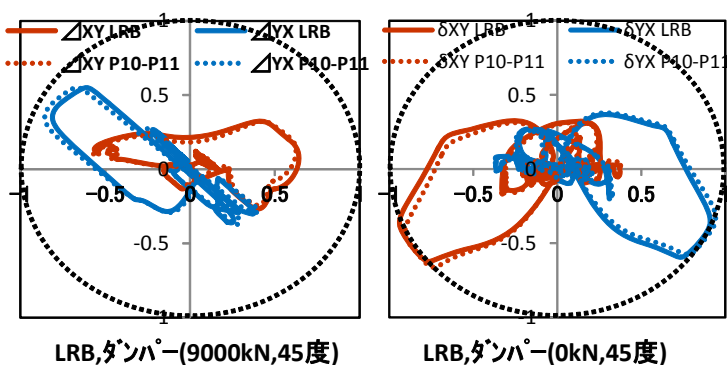


図-4 免震支承・制震ダンパーの相対変位オービット

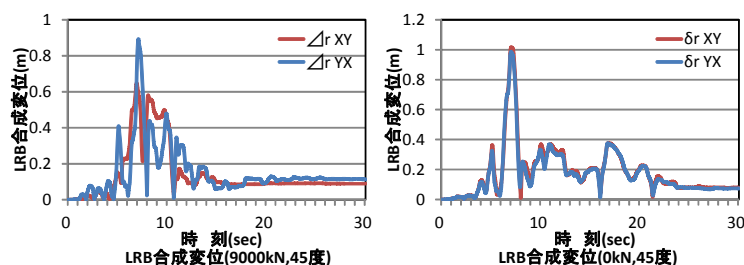


図-5 免震支承の時刻歴応答合成変位の絶対値

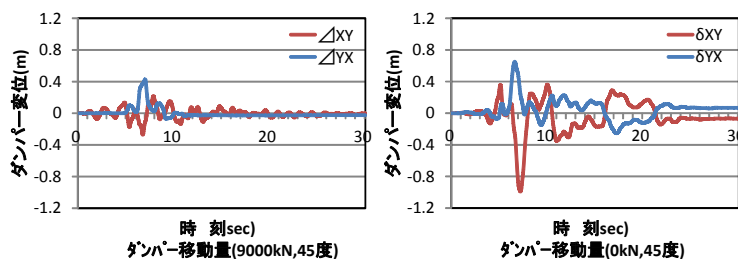


図-6 制震ダンパーの時刻歴応答変位

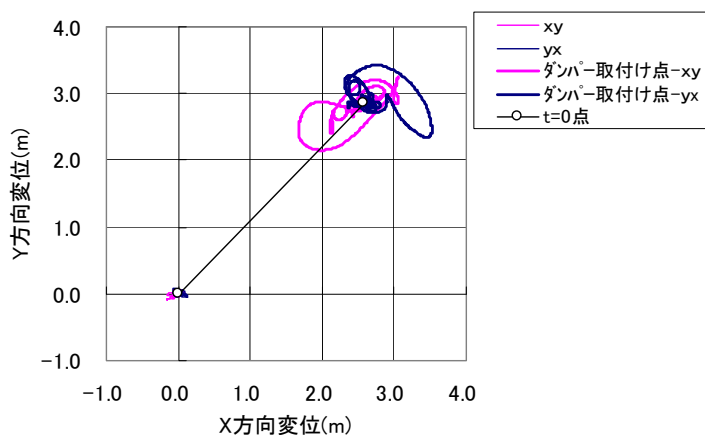


図-7 制震ダンパーの応答変位オービット