

橋脚の地震時保有水平耐力に着目した摩擦履歴型ダンパーの挙動

オイレス工業（株） 正会員 ○竹ノ内 勇 オイレス工業（株） 正会員 宇野 裕恵
 （株）高速道路総合技術研究所 正会員 塩畑 英俊 オイレス工業（株） 正会員 横川 英彰

1. 目的

摩擦履歴型ダンパー（以下、ダンパー）は剛塑性特性を有し初期剛性が大きいので、ダンパー抵抗力が橋脚の保有水平耐力に近づいた場合、静的な地震時解析では、ダンパーが塑性化する前に橋脚が先行して降伏すると橋脚が先に変形してしまいダンパーは変位することなく固定状態となる。しかし、動的挙動では、橋脚躯体が質量を有することにより上下部構造間に位相差が生じるため、橋脚が先に塑性化しても直ちにダンパーが変位しなくなるようなことはない。本検討では、ダンパー抵抗力をパラメトリックに変化させて非線形時刻歴応答解析を行いダンパー効果のケーススタディを行った。加えて、ダンパー抵抗力が設計値に対してばらついた場合の応答の変動の傾向も合わせて確認し、ダンパーの適用性を考察した。

2. 検証条件

対象モデルは5径間連続鉄桁橋から橋脚1基とそれが支持する死荷重を抽出した単柱モデルである¹⁾。固有周期は支承条件を固定とした場合に約0.5secとし、これに弾性支承を設けることにより0.75, 1.0, 1.5secの3ケースを設定した。ダンパーは各モデルの上下部構造間に設置し、抵抗力を変化させて解析を行なった。解析モデル、解析条件、橋脚の履歴特性、ダンパーの履歴特性をそれぞれ図-1、表-1、図-2および図-3に示す。ここで橋脚の履歴特性は完全弾塑性モデルとし、ダンパーは変位0.0025mで降伏する初期剛性を持つ剛塑性モデルとした。

3. 抵抗力のパラメータ解析結果と評価

ダンパー抵抗力を変化させたパラメータ解析の結果から橋脚の最大応答変位、支承の最大応答作用力および橋脚の最大応答塑性率を図-4、図-5、および図-6に示す。横軸はダンパー抵抗力を橋脚の降伏荷重 P_y で除した値をダンパー抵抗係数 α として無次元化して表した。これらの結果から以下のことが言える。

ダンパー抵抗力を大きくすることにより支承の最大応答変位は急激に減少し0に近づいていくが、橋脚の最大応答作用力および橋脚の最大応答塑性率はいったん低下したのち増大して一定値に収束する。すなわち橋脚に対する最適値が存在する。ダンパー抵抗力が $0.4P_y$ 程度までは固有周期に応じた応答を示すが、その抵抗力近辺から

橋脚は降伏し固有周期の影響がなくなってくる。これは、橋脚の塑性化後ではダンパーによる橋脚への作用力が橋脚の降伏荷重に一義的に依存するためである。特に、本橋脚のモデルを完全弾塑性としたため橋脚の降伏荷重は地震時保有水平耐力と同じとなり、ダンパー抵抗力が $1.0P_y$ 以上では橋脚躯体の慣性力の大きさに関わらず支承部は変位することなく上下部構造は一体挙動している。したがって、ダンパー抵抗力が増大しても橋脚の最大応答

キーワード 摩擦履歴型ダンパー、地震時保有水平耐力、塑性率、位相差、動的挙動、ばらつき

連絡先 〒105-8584 東京都港区浜松町一丁目30番5号 オイレス工業（株） TEL 03-3578-7930

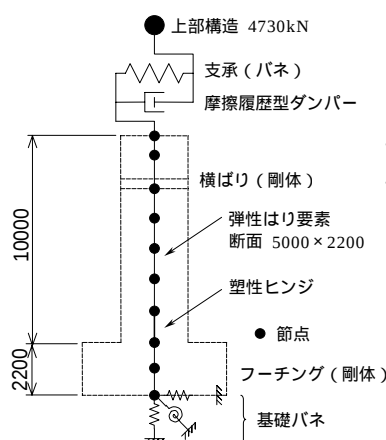


図-1 解析モデル

表-1 解析条件

動的解析	非線形時刻歴応答解析
地盤種別	種地盤
入力地震波形	道示標準波形 - 1
減衰	レーリー減衰
積分法	Newmark-β法 (β=0.25)
積分時間間隔	0.002sec

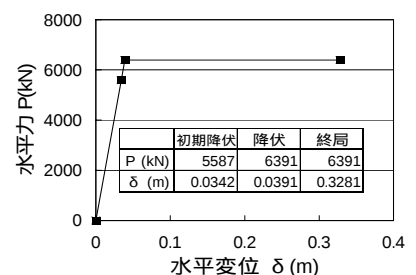


図-2 橋脚の履歴特性

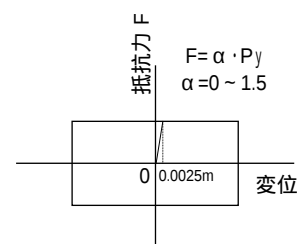


図-3 ダンパーの履歴特性

性率は一定となり、ダンパー抵抗力をこれ以上大きくする必要はない。ダンパー抵抗力が $0.4 \sim 1.0P_y$ の間では橋脚の塑性化が漸増する状態にある。静的挙動では図 - 6 中に矢印で示すようにこの範囲内で橋脚は降伏に至るが、動的には同図のように急激な塑性化は進行していない。これは下部構造自体の質量により上下部構造間で位相差を生じ、上下部構造が一体として挙動していないことを意味する。上下部構造がそれぞれ最大加速度を生じる時刻は図 - 7 に示すようであり、ダンパー抵抗力が $1.0P_y$ に近づくにつれ最大加速度の発生時刻が同時刻に近づき、位相差が徐々に小さくなっていることがわかる。ただし、ダンパーは初期剛性を有しているため若干の位相差は残存する。

4. 抵抗力のばらつきの解析結果と評価

製品には必ず性能のばらつきがあるため、ダンパーが有する誤差として、抵抗力が設計値から $\pm 10\%$ および $\pm 20\%$ 変動した場合の解析を同じモデルで行なった。橋脚の応答塑性率について、抵抗力変動時の解析応答値と、設計値での応答値との比率を取りそのグラフを図 - 8 および図 - 9 に示す。これより、図 - 6 で応答塑性率が最小値となる $0.2 P_y$ 程度より小さいダンパー抵抗力の範囲では、抵抗力が大きくなる方向にばらついた場合は応答塑性率は小さくなる方向に変動し、抵抗力が小さくなる方向にばらついた場合は応答塑性率は大きくなる方向に変動する傾向となり、 $0.2 P_y$ 程度以上のダンパー抵抗力的ではその傾向が逆転することがわかる。すなわち、ダンパー抵抗力が小さい範囲でのダンパー抵抗力のばらつきは大きい方が橋脚の塑性化を促進しない方向に作用し、逆に抵抗力が大きい範囲でのダンパー抵抗力のばらつきは小さい方が橋脚の塑性化を促進しない方向に作用する。

5. まとめ

初期剛性が極めて大きい剛塑性のダンパーを用いた場合において、橋脚が塑性化してもダンパー抵抗力の増大とともに急激に塑性化が進行するわけではないことがわかった。したがって、ダンパー抵抗力が大きく橋脚の応答が塑性域に入るような場合でも、橋脚の許容塑性率を超えない範囲で橋脚に副次的な塑性化を期待でき、特定の橋脚に大きな上部構造慣性力を負担させ他の橋脚の負担を低減させるような分担調整が可能である。一方、本検討ではダンパー抵抗力のばらつきによる塑性率変動の傾向も確認した。実設計ではこれらを考慮して適切な抵抗力のダンパーを設定するのがよいが、ダンパー抵抗力が P_y を超えると固定構造となり減衰効果が得られないことを理解しておく必要がある。なお、ダンパーによっては温度や速度等による依存性が大きいものもあり、これによる抵抗力の変動も考慮した対応が必要となる。

参考文献

- 1) 橋の動的解析法設計マニュアル：(財)土木研究センター，2006.5

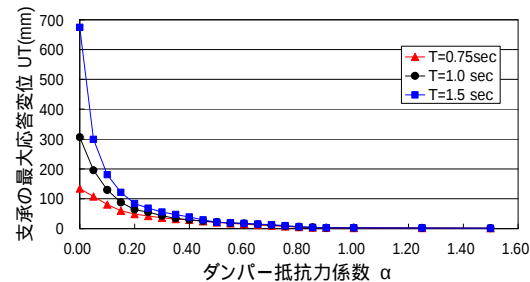


図 - 4 支承の最大応答変位

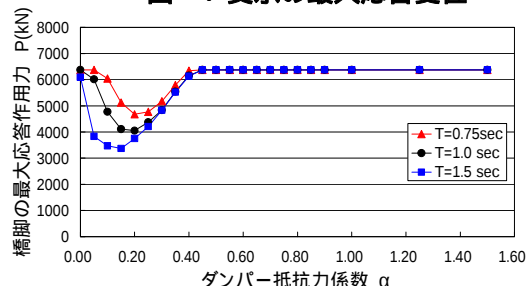


図 - 5 橋脚の最大応答作用力

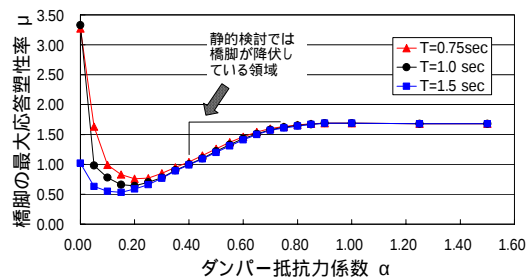


図 - 6 橋脚の最大応答塑性率

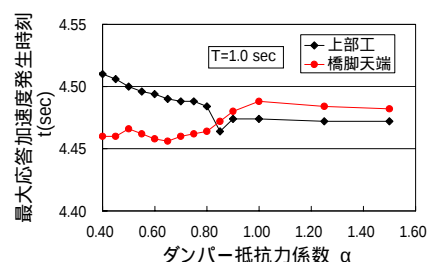


図 - 7 最大応答加速度の発生時刻

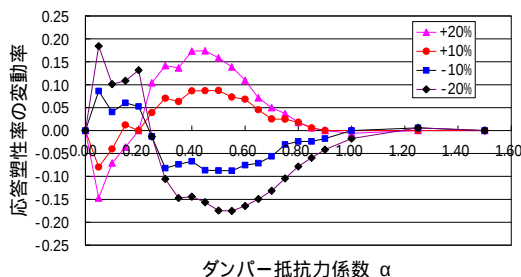


図 - 8 塑性率の変動率(T=0.75sec)

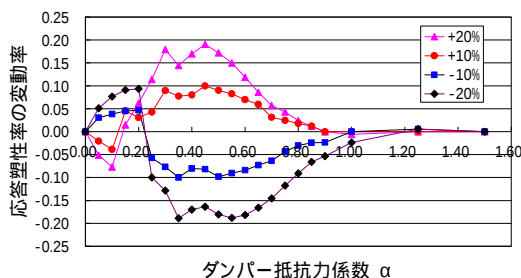


図 - 9 塑性率の変動率(T=1.0sec)