

応答スペクトルによる2方向加震を受ける任意形状桁の最大衝突速度予測

佐賀大学 正 会員 井嶋克志
正 会員 帯屋洋之

学生会員 Liengson Xaypaxa

1. まえがき

ゴム支承を含めた免震支承など靱性が大きい支承を使用する橋梁においては、桁と橋台あるいは桁間の地震時衝突を明確にしておく必要がある。このため地震時の桁衝突問題に関する数多くの研究が行われているが、桁の衝突振動は一般的にカオス事象である認識が十分なされていないように思われる。衝突振動事象は、衝突と衝突の間は運動方程式に支配されるものの、衝突時の僅かな物理量の差が衝突回数とともに拡大する初期値鋭敏性を有するものである。確かに、1自由度系において衝突時に僅かでもエネルギー吸収がなされればカオス性は小さくなるが、2方向加振を受ける水平3自由度の桁では、衝突直後にたとえ桁端部速度がゼロになってもカオス事象となる。このような系では、入力地震波の僅かな差異によって応答最大値は大きく変動する。したがって、衝突時の現象を精度良く表現できるモデルを開発しても、多くのシミュレーション計算に寄らなければ、安全性の評価はできない。一方、カオス事象に起因して時刻歴解析の信頼性は低下するものの、応答値の上限はエネルギー原理によって規定されるため予測可能であると考えられる。以上の観点から、本研究は、1自由度系の衝突振動予測に基づき、桁の最大衝突速度を簡便に求める方法を開発し、ここに示したものである。

2. 1自由度系の最大衝突速度予測

地震によって加震される1自由度衝突振動系において、図1を参考に、最大速度による衝突時の系のエネルギー状態は式(1)によって表され、この最大エネルギーを求めるために使用する衝突無しの系の減衰定数を式(2)によって定義する。

$$\frac{1}{2}mv_{i,\max}^2 + \frac{1}{2}ke_l^2 = V_{\max} \quad (1)$$

$$h = h_0 + \frac{1}{4p} \frac{V_l}{V_{\max}} \quad (2)$$

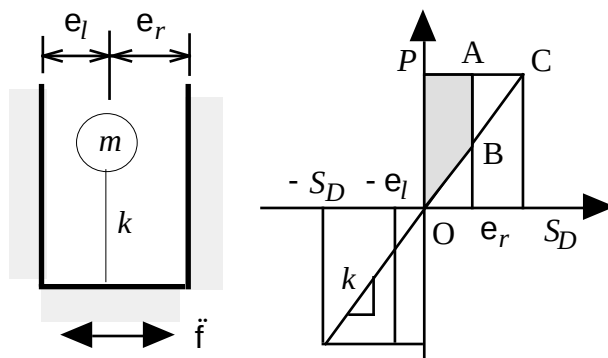


図1. 両面衝突反転系 図2. 両面衝突反転系における最大エネルギー

ここに、 $v_{i,\max}$ は最大衝突速度、 e_l は小さい方の遊間量、 $V_{\max}$ は地震時に系が有する最大エネルギーである。また、 h_0 は衝突以外の減衰要因に関わる減衰定数、 V_l は衝突時の散逸エネルギーである。式(2)の減衰定数を用いて衝突のない系の地震時最大応答を求め、この最大応答の基に衝突系が有する最大エネルギーを予測し、最大衝突速度を求めるものである。次のような各ケースに対して、1自由度系のシミュレーション結果と比較する。

(1) 両面衝突反転系

図2において、地震時に衝突が発生しない系の最大エネルギーは $\triangle OCS_D$ であるが、両面衝突反転系においては衝突面によって変位が制限され、 $\square OPAB$ の面積を系の最大エネルギーと考えることができる。ここに、 S_D は衝突が発生しない系の変位応答スペクトルであり、式(2)の減衰定数と系の固有周期に基づくものである。

図3と4に1自由度の両面衝突反転系の地震時衝突最大速度について、シミュレーション結果と予測値を比較して示している。共に固有周期は1秒、使用した地震波は兵庫県南部地震における神戸海洋気象台記録の南北成分である。入力加速度波形全体を線形変換した約10秒間の加震波形における最大加速度を横軸に、系の衝突振動中で最大衝突速度を縦軸に取り、2gal刻みに入力最大加速度を増加させている。図3は左右1cmの等遊間の場合、図4は5cmと1cmの左右の遊間が異なる系における最大衝突速度予測の検証結果である。図中の e_l と e_r はそれぞれ左右の衝突における反発係数である。図4の場合には片面にのみ衝突する入力強度の範囲が存在し、この範囲では次の片面衝突の予測式を使用している。予測値はいずれのケースも最大衝突速度の上限側の値を良く捉えていることが分かる。

(2) 片面衝突反転系

曲線桁の衝突を考えた場合、桁が片面にのみ衝突するケースについて予測式を導く必要がある。このとき、系の最大エネルギーは図2における $\triangle OPC$ である。図5に、両面衝突反転系と同じ固有周期と地震波による片面衝突反転系のシミュレーション結果と予測値を比較したものを示す。遊間は1cmである。反発係数が1の完全弾性衝突のキーワード：衝突振動 斜桁 曲線桁 2方向加震 最大応答 応答スペクトル

〒840-8502 佐賀市本庄1 佐賀大学理工学部都市工学科 TEL 0952-28-8579

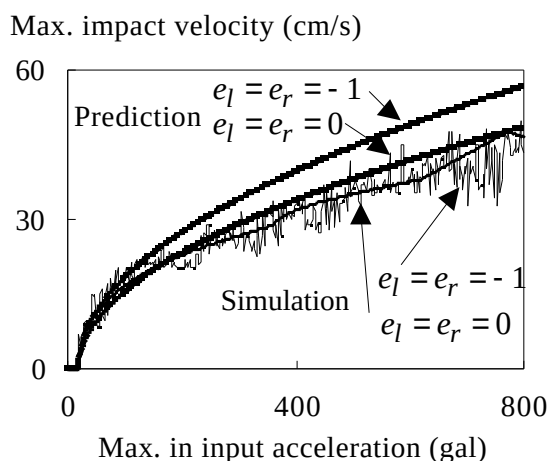


図3. 等遊間1cmの系の最大衝突速度

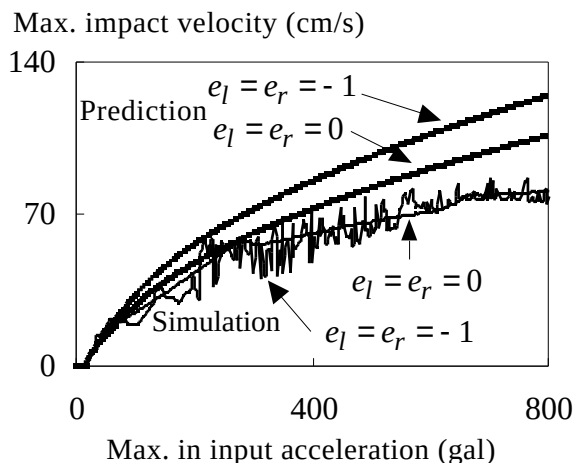


図4. 左右遊間1cmと5cmの系の最大衝突速度

場合には、入力地震強度が大きいとき衝突速度を過大に見積もる傾向にあるが、衝突時にエネルギー散逸が僅かでも起これば予測値はシュミレーション値と良く一致する。

これらのケース他、桁が衝突面に斜めに入射する衝突のために、1自由度系の衝突面すり抜け衝突における最大速度予測が必要となる。この場合に対しても十分な精度で予測可能であることが判明したが、これについては講演時に発表することとする。

3. 斜桁・曲線桁の最大衝突速度予測

上記に示した1自由度系の地震時最大衝突速度予測を応用することにより、斜桁あるいは曲線桁が地震時に橋台パラペットに衝突する最大速度を予測する。

まず、斜桁においては桁両端の橋台パラペットが平行であるから、水平2方向成分独立として加震される場合でもパラペット面に直交する振動を主体として衝突振動を行う。

また、衝突面に直交する衝突速度成分の最大値は、この方向の衝突振動において発生する。したがって、斜桁重心がパラペット面に直交する振動のみ行うとして、左右等遊間の1自由度系衝突振動予測を用いて斜桁の最大衝突速度を予測し、図6の結果を得る。加震加速度は前出の南北成分の加速度記録に加えて東西成分も使用した。斜桁の形状は斜角 60° 、桁長 50m、遊間は 2.5cm である。予測値はシュミレーション結果と良く一致している。

また、曲線桁では、左右異なる遊間の衝突反転系、片面衝突反転系、片面衝突反転かつ片面すり抜け衝突の3ケースを用いて最大衝突速度を予測できる。中心角 60° 、半径 50m の曲線桁の予測値とシュミレーション結果を図7に示す。

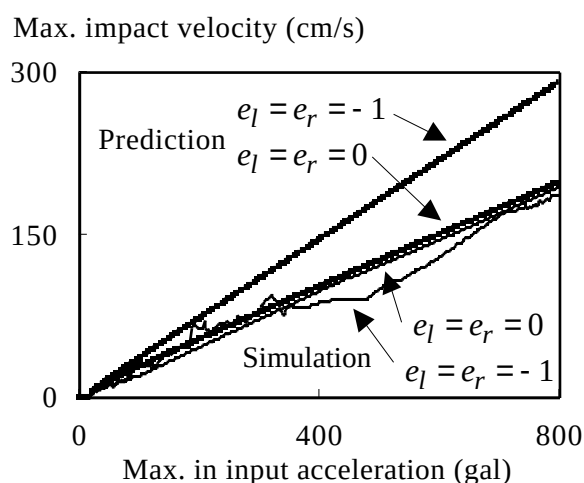


図5. 遊間1cmの片面衝突系における最大衝突速度

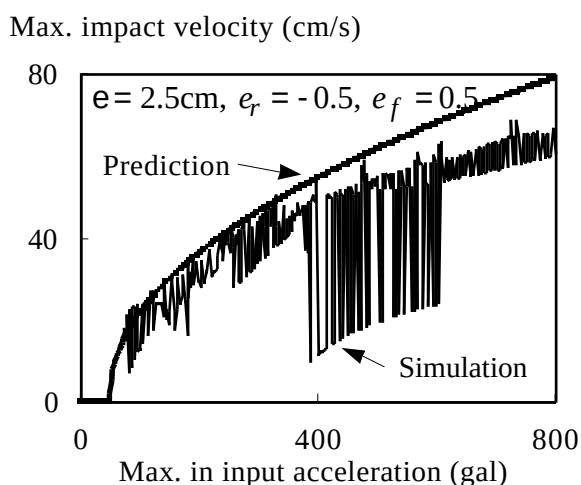


図6. 斜桁の衝突面直交方向の最大衝突速度成分

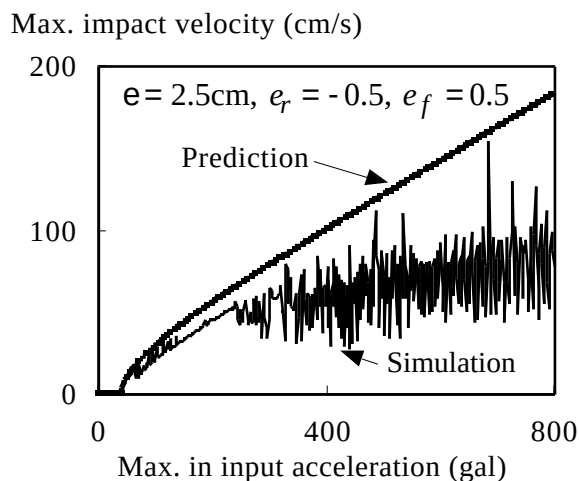


図7. 曲線桁の衝突面直交方向の最大衝突速度成分