

## 橋梁桁衝突振動応答の不確定性に関する実験的研究

佐賀大学大学院 学生会員○薩摩桂佑 佐賀大学 正会員 井嶋克志  
佐賀大学 正会員 帯屋洋之 佐賀大学 正会員 川崎徳明

### 1. まえがき

橋脚の耐震安全性向上を目的とする免震支承やゴム支承によって支持された桁は、地震時における応答変位が大きく、経済性および地震後の緊急交通維持を考慮すると、地震時における桁と橋台あるいは桁間の衝突振動を許容せざるを得ない。このため桁間衝突に関する多くの実験的・解析的研究が行われている。

著者等も桁衝突振動応答に関するシミュレーション解析を行った結果<sup>1)</sup>、その安全性評価として重要な桁最大変位や衝突最大速度が、僅かな入力振動波形の差異によって大きく変動することが分かった。本研究は、シミュレーション解析による桁衝突振動応答の変動性について模型実験から検討したものであり、僅かな初期状態の差異が応答振動中に最大応答の2倍近い差異となって現れ、その応答は再現性がなく不確定といってもよいことがわかった。

### 2. 実験方法

単一斜桁・曲線桁・矩形桁において以下の振動実験を行った。

図-1のように、まずボールベアリング上に置いた鉄板を弦巻バネにより水平支持することにより加振テーブルを作成した。加振テーブルの固有振動数はu方向2.78Hz、v方向1.39Hzである。加振テーブル上に橋台と弦巻バネによって水平支持された矩形桁、斜桁あるいは曲線桁を設置し、加振テーブルに減衰自由振動を与えることによって桁の衝突振動を測定した。加振方法は、加振テーブル角部とテーブル重心を結ぶ線方向にテーブル角部を錘重量により引っ張り、与えた初期変位を瞬間的に解放するものである。測定は、圧電型加速度計（重量約1gf）を加振テーブルの重心位置に2個、桁についてはその重心位置2個と桁角部1個の計3個設置し、桁水平面内3自由度の相対加速度測定を行った。FFTを用いることにより、この相対加速度を桁速度、桁変位に変換した。加振テーブルの重量は7100gfに対し桁模型重量は斜桁122gf、曲線桁84gf、矩形桁119gfのように、加振テーブル重量に対する桁重量比を出来る限り小さくすることにより、衝撃力が加振波形に影響を与えないよう配慮した。また、矩形桁長150mm、斜桁長180mm、曲線桁長185.5mmに対し、各桁と橋台との遊間量は全て同じ1mmとした。

加振テーブルに初期変位を与える錘重量を同一とした同じ入力強度の下に、橋台を設置しない無衝突の桁振動実験を3種類の桁それぞれについて3回、橋台設置による衝突振動実験をそれぞれ5回行い、各桁について同一入力による振動応答波形を比較することにより、僅かな初期状態の差異が衝突応答に及ぼす影響を観察した。加振前に桁に僅かな初期微動を与えることによって桁初期状態の差異とした。

### 3. 実験結果の考察

図-2は曲線桁の衝突振動実験における1回目（太線）と5回目（細線）の桁重心位置v方向速度波形を重ね書きしたものである。同一入力振動であっても、図が示すように衝突振動応答波形は時間が経過するとともに差異が大きくなっていることが分かる。勿論、この差異は桁と橋台の衝突に起因する。

図-3 (a) は斜桁衝突なしの1回目と2回目における重心位置u方向位相面トラジェクトリー、(b) は斜桁衝突ありの1回目と2回目の衝突無しと同じ重心自由度の位相面トラジェクトリーである。衝突なしの場合、1回目の軌道と2回目のそれはともに楕円の渦巻き状の形状となり、2つの軌道の位相距離はほぼ一定値

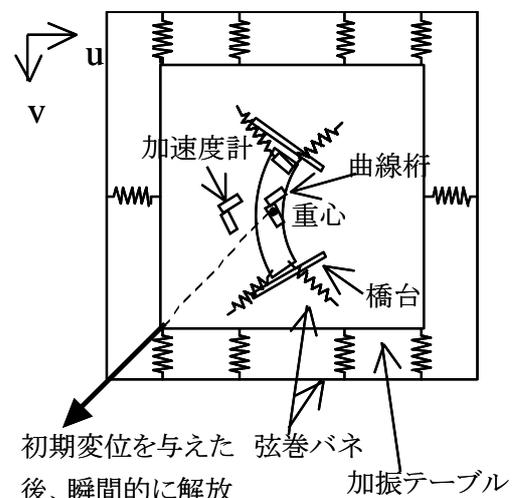


図-1 曲線桁模型の衝突振動実験概要

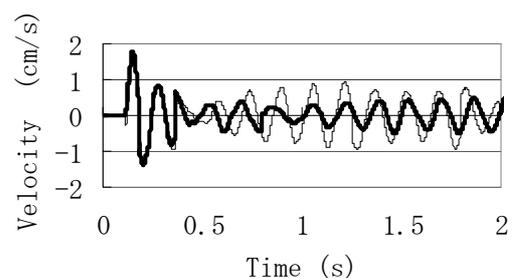


図-2 曲線桁重心位置のv方向速度波形  
(1回目-5回目の比較)

となる。衝突ありの場合、2つの軌道ともに不規則な形状となり、変位がほぼ一定のもとに速度が急激に変化する衝突時においてその衝突前後の桁挙動が2つの軌道で全く異なっていることが分かる。

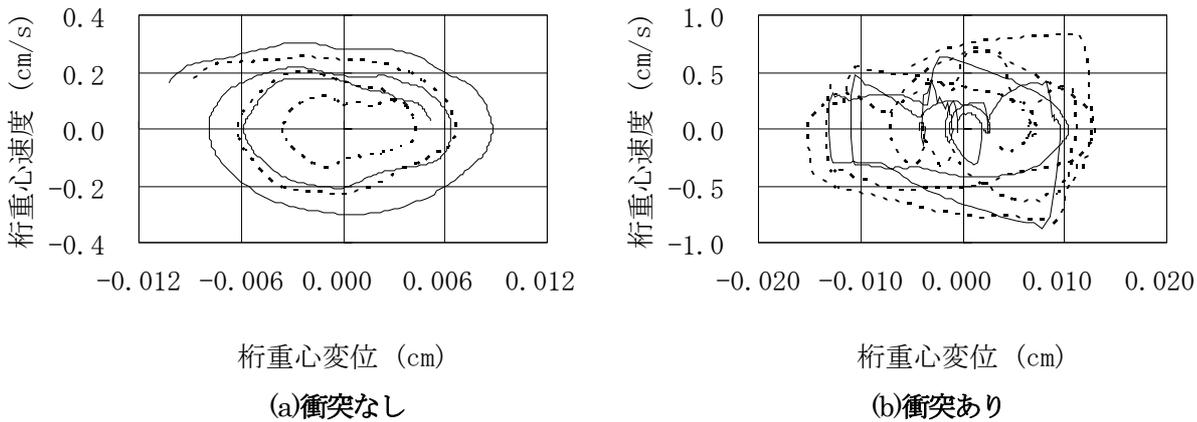


図-3 斜桁重心位置 u 方向の位相面トラジェクトリー

位相面トラジェクトリーにおける2つの軌道の距離を定量的調べるため、次の無次元位相空間距離  $l_i$  を定義し、2つの軌道間の無次元位相空間距離を求めた。

$$l_i = L_i / L_{max} \quad (1)$$

ここに、

$$L_i = \sqrt{(\dot{u}_i - \dot{u}_0)^2 + (\dot{v}_i - \dot{v}_0)^2 + (\dot{\theta}_i - \dot{\theta}_0)^2 + (u_i - u_0)^2 + (v_i - v_0)^2 + (\theta_i - \theta_0)^2} \quad (2)$$

$$L_{max} = \sqrt{\dot{u}_{0max}^2 + \dot{v}_{0max}^2 + \dot{\theta}_{0max}^2 + u_{0max}^2 + v_{0max}^2 + \theta_{0max}^2} \quad (3)$$

$u, v, \theta$  は桁重心の変位を表し、サフィックスゼロは第1回目のデータを表し、 $i$  は第2回目以降の実験番号を表す。

図-4(a)は、斜桁について衝突なしの無次元位相空間距離を太線で、衝突有りの無次元位相空間距離を細線によって示したものである。当然のごとく、衝突ありのケースが2つの軌道間の距離が大きくなるが、問題は最大位相距離の2倍近くまで位相空間距離が大きくなる点である。このことは最大応答値そのものも大きく変動することを意味し、桁衝突振動のシミュレーション解析を行いその最大応答を求めてみても、その値は必ずしも安全側の評価を与えるものでないことを示唆している。

図-4(b)は矩形桁についての同様な図であるが、この実験では加振後0.5秒までは桁が衝突振動を行っていたが、それ以後は桁と橋台が衝突しない振動となったため、衝突ありの無次元位相距離も衝突無しの場合と同程度の値となった。

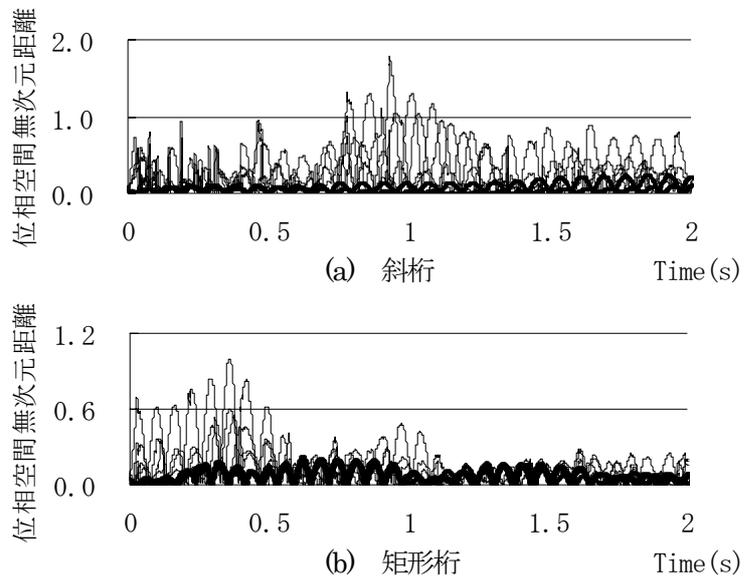


図-4 衝突有無における同時刻の位相空間無次元距離

4. 結論

桁模型の衝突振動実験から振動応答波形は再現性がないものであることが確認された。このことはシミュレーション解析では非常に多数回の応答計算を行うことによってその安全性を評価するか、あるいは、桁の最大応答値を包絡する上限値をエネルギー論的に求める方法に寄らざるを得ないと考えられる。

<参考文献>

- 1) 井嶋克志, リエンソン・サイバサ, 帯屋洋之: 応答スペクトルを用いた単一任意形状桁の地震時最大衝突速度予測, 構造工学論文集, Vol. 50A, pp. 457-466, 2004. 3.