

## 論文の内容の要旨

論文題目 Seismic Analysis and Serviceability Evaluation of Elevated Bridges Based on  
3D Modeling with Pounding Effects of Girders

(橋桁の衝突を含む高架橋の3次元モデルによる地震応答解析と性能評価)

氏 名 朱 平 (Ping ZHU)  
シュ ピン

近年、大地震により社会基盤施設が甚大な被害を受けている。大地震後の被害調査において高架橋における桁間の衝突が、構造物全体の崩壊につながる原因の一つであることが指摘されている。高架橋では桁間の衝突の影響により橋軸方向に大きく変位することがあり、落橋現象に繋がる可能性がある。一方、橋軸直角方向に桁が変位すると、桁間の伸縮装置や落橋防止装置など、桁に連結されたデバイスに損傷を与える結果となる。さらに、都市内の高架橋が大きな被害を受けると、1995年兵庫県南部地震にみられるように交通施設が稼動不能となり地震後の救援活動に支障をきたすこととなる。

しかし、既往の衝突モデルでは、桁の衝突現象を点の衝突とみなしてモデル化している。そのため、実状況を反映した任意の3次元的な衝突現象を再現するために、十分な精度を有しているとは言い難い。本研究では、高架橋全体の地震時挙動を精緻に予測するための、3次元地震応答解析システムを構築する。特に本解析システムでは、桁間の衝突現象を精緻にモデル化するとともに、それを応用して衝突の影響を低減するための対策について検討する。

第1章では、以上の背景をふまえ既往の研究を整理するとともに、以下に示す目的を掲げた。

- 1) 隣接する桁間において生じる衝突現象に着目し、高架橋の地震応答解析のための精緻な3次元地震応答解析システムを構築する。
- 2) 構築した解析システムを応用し、衝突現象を含む橋梁の3次元的な地震時挙動を解明する。
- 3) 解析システムを応用し、桁間における衝突の影響を低減させるための対策、ならびに地震時における高架橋の使用性について定量的に評価する。

第2章では、摩擦力を含む3次元の接触解析モデルを提案する。本接触解析モデルでは接触面が平面であると仮定し、接触が予測される節点と接触面とがオーバーラップすることを許している。さらに実用化されている既往の接触解析モデルの長所を融合している。

本モデルは、橋梁の桁間における任意の衝突問題に対して適用でき、さらに動的解析の数値積分に簡単に組み込むことが可能な汎用的ものである。

第 3 章では構築した接触解析モデルを検証するための実験について述べる。本実験では、桁と橋台を含む橋梁模型を作成し、1 次元と 2 次元の衝突現象を再現した。また、桁の剛体運動を画像計測手法により空間的に計測し、桁の衝突現象を精緻に把握することに成功した。さらに実験結果と提案した接触解析モデルによるシミュレーション結果とを比較したところ、本モデルにより橋軸方向、橋軸直角方向ともに実験で計測された衝突現象を精緻に再現できることがわかった。

第 4 章では、高架橋システムをモデル化する手法について詳細に述べる。本研究では高架橋が免震用積層ゴム支承を用いた水平 2 方向免震構造を採用しているものと想定し、既往の水平 2 方向モデルをバネ要素として導入している。橋脚にはファイバーモデルを用いている。さらに桁のモデル化では梁要素を用い、基礎のモデル化においては地盤と等価な力学特性を有する単一の梁を用いている。また、高架橋全体が 3 次元の地震動を受けることを前提とし、動的応答解析のための数値積分法について説明している。

第 5 章では、4 章にて述べた各構造部材のモデルを統合し、オブジェクト指向プログラミングによる高架橋の地震応答解析のための汎用的な解析システムを構築している。さらに本システムを応用し、鋼桁を用いた 3 径間連続高架橋について種々の状況を想定した地震応答解析を行っている。ここでは隣接する桁間の衝突現象を考慮し、高架橋が直橋である場合と斜橋である場合の 2 ケースを解析の対象としている。その結果、特に曲線橋の場合において桁の剛体回転が衝突の影響により、著しく増加することがわかった。

第 6 章では、高架橋の桁間における衝突の影響を低減させるための対策について述べる。これまでにいくつかの対策手法が提案されているものの、ここでは現在広く利用されている落橋防止装置を例にとり、上述した解析モデルを応用して定量的な評価を行っている。その結果、落橋防止装置は直橋の場合において橋軸方向の応答ならびに桁の剛体回転を低減することがわかった。一方、斜橋の場合には、直橋の場合ほどの効果はえられないことがわかった。次いで本解析モデルを用いて、地震時における高架橋の使用性について定量的な評価を行っている。具体的には、積層ゴム支承を採用している直橋ならびに斜橋の 2 つのモデルを対象として、落橋防止装置を採用している場合と採用していない場合を想定した計 4 ケースについて、交通車両の通過の可能性を定量的に評価している。ただし、通過の可能性を評価する指標として、ここでは解析モデルによる桁間の最大相対変位応答を用いている。その結果、一般的に橋軸方向の桁間の相対変位はそれほど大きくないものの、すべてのケースにおいて積層ゴム支承に生じる最大変位が、特に橋軸直角方向について破断に達するほど大きなものである。そのため桁間に大きな永久変形が生じ、結果として車両が通行できない可能性が高いことがわかった。