

衝突時の波動伝播に着目した版桁橋の地震応答に関する研究

Pounding Effect on the Dynamic Behavior of Bridge Deck during the Earthquake

竹内諒*・渡邊学歩**・葛西昭***・馬越一也****

Ryo TAKEUCHI and Gakuho WATANABE and Kazuya MAGOSHI

*修士(工) 山口大学大学院 創成科学研究科 社会建設工学専攻 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

** 博士(工) 山口大学大学院 准教授 創成科学研究科 社会建設工学専攻 (同上)

***博士(工) 熊本大学 准教授 大学院先端科学研究部 (〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2-39-1)

**** 正会員 株式会社耐震解析研究所 解析技術センター (〒810-0003 福岡県福岡市中央区春吉 3-21-19)

Key Words: Kumamoto Earthquake, Bridge, Dynamic Analysis, Impact, Girder Deck, Concrete Slab, Stress Wave

1. はじめに

2016 年 4 月に発生した熊本地震では、強震動の作用と断層変位に伴う地盤変状によって、県道 28 号線沿いに架橋された橋梁構造物が被災している。そのうちのひとつである大切畑大橋では、橋台壁面に上部構造が衝突したとみられる痕跡が残っている。曲線桁や斜橋では上部構造が隣接する橋台等に衝突すると、接触時に作用する反力によって上部構造に鉛直軸周りの回転変形を生じさせることが明らかになっており、特に曲線桁の場合には、隣接構造間の衝突によって、曲線の法線方向外側に曲線桁が並進移動するとされている。本研究では大切畑大橋の非線形動的解析を行い、桁と橋台間の衝突時の床版や主桁内部の応力波伝播について検討を行ったので報告する。

2. 部分構造系を対象とした橋桁の衝突解析

図 1 には、本研究で対象とした大切畑大橋の橋梁一般図を示す。予備解析で求めた大切畑大橋全体系の上部構造慣性力作用位置での加速度応答を、大切畑大橋の第 1 径間 (A1~P1 区間) のみを抽出した部分構造系 (単純桁) に地震動として作用させて、単純桁が橋台に衝突する際の上部構造の地震時挙動を求めた。なお、本研究では実際の上部構造を対象に衝突時に構造要素内を軸方向応力が伝播する過程やその応力度を評価する必要があることから、図 2 に示すとおり、床版をシェル要素で、主桁をファイバー要素によりモデル化して非線形動的解析を実施した。

図 3 には桁端部の応答変位を示すが、地震力の作用によって橋桁が正負両方向に振動している。橋台と橋桁間には 35cm の遊間が設けられているが、時刻 6.589 秒には橋桁が負側 (橋台側に近づく方向) に 0.35m 変位したため、これによって橋桁が橋台に衝突する。橋桁と橋台の間には衝突ばね要素と呼ばれる仮想の構造要素を設けているが、両構造要素間に生じる衝突力を図 4 に示す。橋桁が橋台に接触しその後離反するまでの間 (時刻 6.589 秒~6.617 秒)、両構造間には橋桁総重量 (4.85 MN) の約 20 倍に相当す

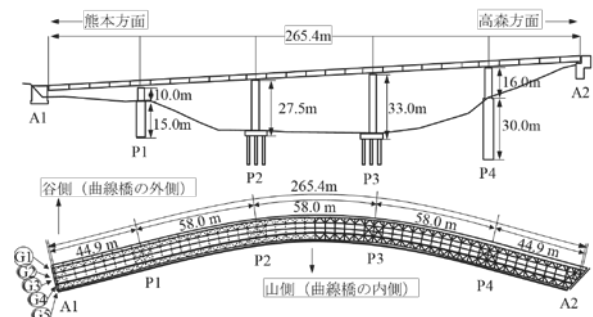


図 1 本研究で対象とした大切畑大橋

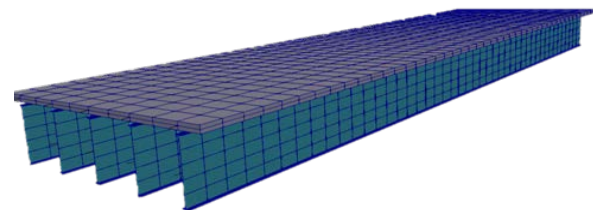


図 2 FEM モデル

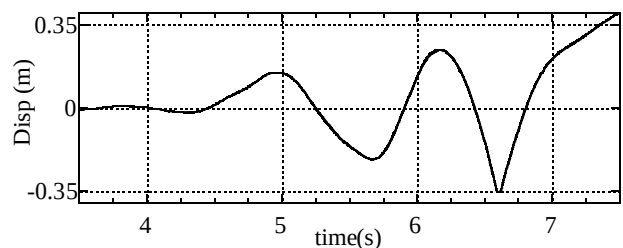


図 3 桁端部の応答変位 (部分構造系)

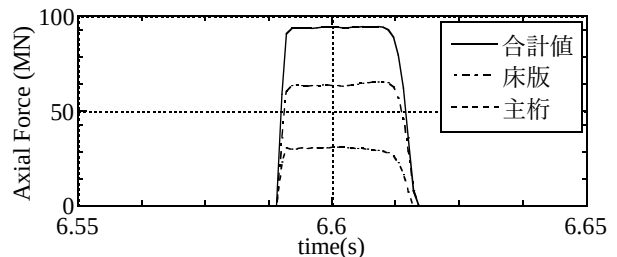


図 4 橋桁に作用する衝突力の時刻歴応答

る 100 MN 程度の衝突力が発生している。この作用によ

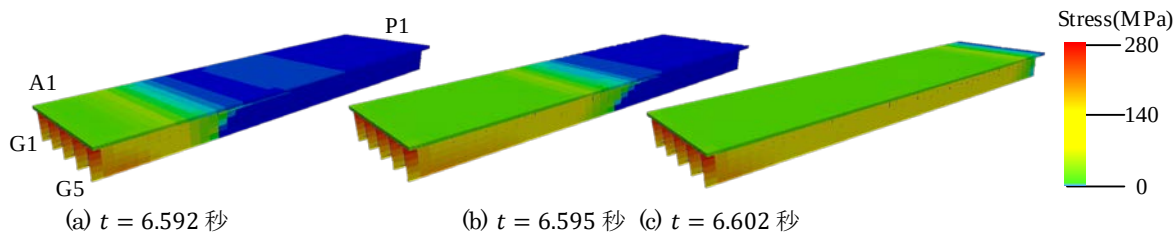


図5 衝突時の橋桁内部を伝播する軸方向圧縮応力波（コンター）

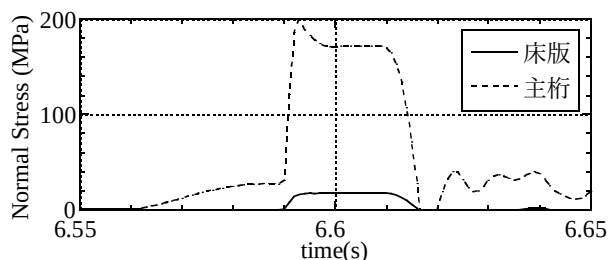


図6 橋桁内に生じる軸方向応力

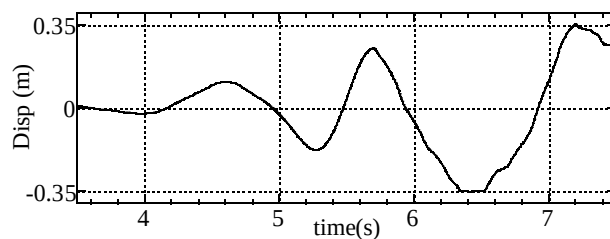


図7 桁端部の応答変位（全体構造系）

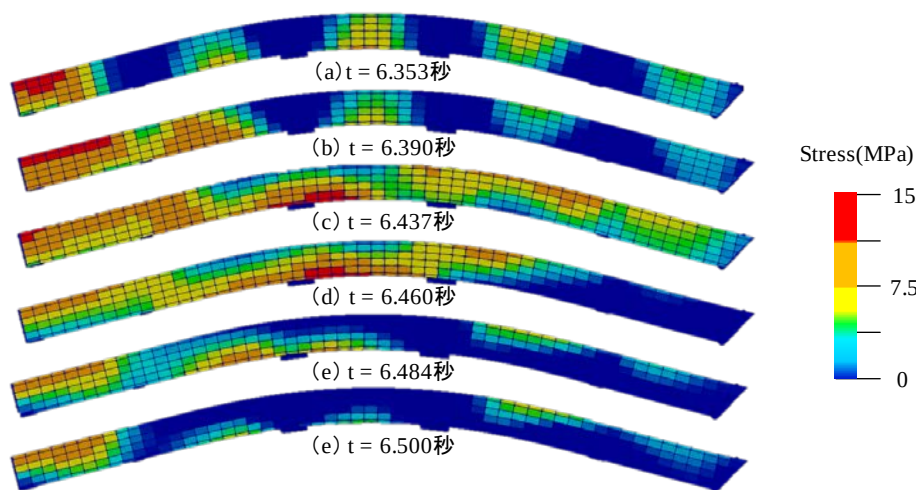


図8 衝突時に上部構造内部を伝播する応力波

り、床版及び主桁内部には図5に示す様に、接触面側から反対側の桁端面に向かって応力が伝播する。また、応力波が桁内部を1往復すると、両構造間に作用していた衝突力が消散すると共に、桁が橋台から離反する方向に運動を開始することが分かった。なお、図6には床版及び主桁（桁端部から5m地点）に生じる軸方向応力の時刻歴を示す。主桁（SMA400AW）に発生する圧縮応力は最大で169.7MPaに達しており、主桁は降伏しないものの、座屈するレベルの応力が作用していることを示す。

3. 衝突により上部構造内を伝播する応力波

大切畑大橋の全体系モデルを対象に非線形動的解析を行い、橋桁と橋台間の衝突現象について詳細解析を行った。図7にはA1橋台位置における橋桁と橋台間の橋軸方向相対変位の時刻歴を示す。6.0秒から、橋桁は橋台側（負側）方向に変位しており、6.342秒にはその変位量が-0.35m（桁～橋台間の遊間量に相当）に達する。これにより、0.181秒間、桁は橋台に接触し続け、その後、6.523秒から桁は橋台から離れる方向に運動している。この時の床版内

に生じる軸方向圧縮応力（コンター）の時間変動を、図8に示す。桁がA1橋台に接触した後、応力波が床版内をA2橋台側に向かって伝播している。また、桁がA1橋台から離隔し始める6.523秒には床版内の応力が消散していることが確認出来る。以上により、多径間連続橋においても隣接構造間で衝突が発生すると、単純桁の場合と同様に応力波が桁内を伝播し、桁内部を往復すると衝突が終了することが確認出来た。

4. 結論

本研究では、地震時に桁と橋台間に生じる衝突現象について実橋を対象に解析を行った、結論を以下に示す。

- 1) 床版や主桁の伸縮過程を構造解析により詳細に分析し、桁内部の応力波の伝播が、衝突時の接触から離反までの一連のプロセスを支配している。
- 2) 多径間連続橋においても隣接構造間で衝突が発生すると、単純桁の場合と同様に接触面から応力波が伝播し、これが桁内部を往復すると桁が離反することを構造解析により明らかにした。