

## 熊本地震における長周期パルスの作用を受けた大切畑大橋・上部構造の3次元動的挙動

筑波大学 学生会員 ○山本 翔吾 正会員 庄司 学  
土木研究所 正会員 大住 道生

## 1. はじめに

2016年熊本地震により、熊本県道28号線に位置する高橋脚で支持された長周期型橋梁構造物に甚大な被害が生じた<sup>1)2)</sup>。長周期型橋梁構造物の代表例である大切畑大橋の周辺では、斜面崩壊や地表断層変位が観測されており、これらと長周期パルスの複合的な作用が大切畑大橋に甚大な被害が生じた要因であると考えられている。これらの複合作用の中で長周期パルスが、大切畑大橋・上部構造の動的挙動をどの程度支配しているかを明らかにすることが本研究の目的である。

## 2. 対象橋梁のFEモデル

大切畑大橋は、橋長265.4[m]、幅員12.5[m]の鋼5径間連続非合成鈹桁橋である。図-1に、大切畑大橋の橋梁-地盤系の3次元Finite Element (FE)モデルを示す。節点数は441,196個、要素数は2,437,126個である。上部構造は、床版のモデルに橋桁の剛性を割り増し、四面体1次要素でモデル化した。各橋台・橋脚上に5つの積層ゴム支承（天然ゴム層の総厚：85[mm]～150[mm]）が設置されており、天然ゴム1層と鋼板1枚をそれぞれ1つの四面体1次要素でモデル化した。以降、例えばA1橋台上のゴム支承をA1Bのように表す。A1およびA2橋台は逆T式橋台である。P1およびP4橋脚は張出式円形RC橋脚で、P4橋脚は中空断面である。P2およびP3橋脚は張出式矩形RC橋脚で、両者中空断面である。A1橋台、P2およびP3橋脚の基礎は場所打ち杭基礎であり、A2橋台、P1およびP4橋脚の基礎は深礎杭基礎である。これらの橋台・橋脚・基礎を四面体1次要素でモデル化した。周辺地盤は9種類の地層で構成されており、これらを四面体1次要素でモデル化した。全構造要素を等方線形弾性体と仮定し、各構造要素の材料物性値は表-1に示すものとした。

## 3. 本解析で用いるサイト波および解析条件

解析コードはオープンソース大規模並列FEM非線形構造解析プログラムFrontISTR<sup>3)</sup>を用いた。図-1の3次元FEモデルの全節点に対して、入力波（加速度波形）を等価な慣性力として作用させ、線形動的解析を実施した。入力波には、文献4)で有限差分法により推定されたA1橋台付近におけるサイト波を用い、8秒から18秒までの10秒間の主要動を抽出してEW、NS、UDの3方向に作用させた(図-2)。運動方程式の解法は陰解法、時間積分法としてNewmark-β法(β=0.25, γ=0.5)を用いた。積分時間間隔は0.005秒とし、計算ステップは2000とした。運動方程式の減衰マトリックスのモデル化については、Rayleigh減衰の質量比例の係数 $R_m=0$ 、剛性比例の係数 $R_k=0.01$ とし、剛性比例のマトリックスとした。線形ソルバは共役勾配法(CG法)を適用し、上限反復回数は10000とした。前処理は対称逐次過緩和前処理(SSOR前処理)を用いた。収束判定の閾値は $1.0 \times 10^{-6}$ と設定した。

## 4. 積層ゴム支承および上部構造の3次元動的挙動

図-3にP3のドリフトが最大になる時刻付近(5.0[s])のコンター図を示す。図-4にEW-NS平面における各橋台・橋脚上のゴム支承の水平変位のリサージュを示す。図-4より、全橋台・橋脚上のゴム支承において許容せん断ひずみ250%を超過しており、破断する領域に至っていたと推察される。また、サイト波が各成分において同期的にピークを示す3.9[s]より前で、P3B、P2B、P4B、A2B、P1Bの順で許容せん断ひずみを超過し、ピーク後にA1Bが許容せん断ひずみを超過する結果となった(図-2参照)。ゴム支承の応答から推定される、サイト波のピーク時前までの上部構造の経時的状態変化が図-5である。まず1.86[s]～2.49[s]で北西に変位し、その後2.49[s]～2.82[s]でA1を軸としてやや時計回りに回転しながら南東方向に変位し、最後に2.82[s]～3.24[s]でA1を軸としてやや反時計回りに回転しながら北に変位したと推察している。

キーワード 熊本地震、大切畑大橋、3次元FEモデル

連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1 筑波大学 大学院理工情報生命学術院 システム情報工学研究群 TEL029-853-7368

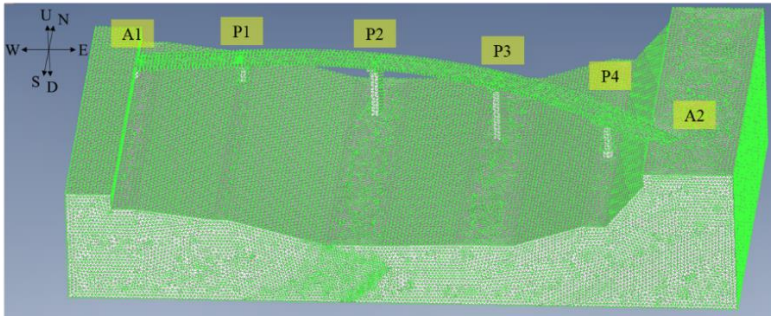


図-1 大切畑大橋の橋梁-地盤系の3次元FEモデル

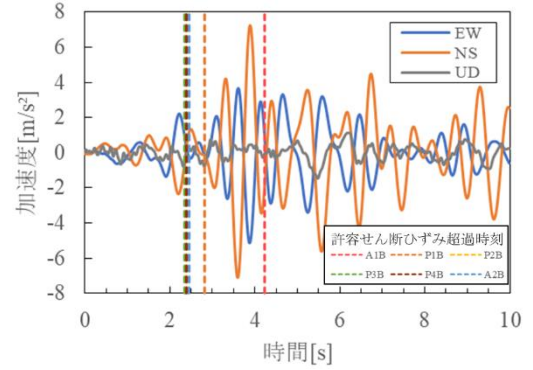


図-2 入力波

表-1 各構造要素の材料物性値

	密度[kg/m <sup>3</sup> ]	ヤング率[N/m <sup>2</sup> ]	ポアソン比
上部構造	4910	4.1×10 <sup>10</sup>	0.2
橋台・橋脚・基礎	2400	2.4×10 <sup>10</sup>	0.2
天然ゴム	910	2.92×10 <sup>6</sup>	0.49
鋼板	7850	2.05×10 <sup>11</sup>	0.3
盛土(b)	1735	8.4×10 <sup>6</sup>	0.4
降下軽石(Nv)	1530	1.1×10 <sup>6</sup>	0.4
凝灰角礫岩(Gr)	2142	3.9×10 <sup>7</sup>	0.4
凝灰角礫岩(Tb)	2142	5.2×10 <sup>7</sup>	0.4
自破碎安山岩溶岩(0-D)	1428	2.8×10 <sup>7</sup>	0.4
安山岩溶岩(0-CL)	2142	1.1×10 <sup>8</sup>	0.4
非溶結凝灰岩(A2-DL)	2142	1.4×10 <sup>7</sup>	0.4
弱溶結凝灰岩(A2-DH)	2142	4.7×10 <sup>7</sup>	0.4
中～強溶結凝灰岩(A2-CL)	2346	1.8×10 <sup>8</sup>	0.4

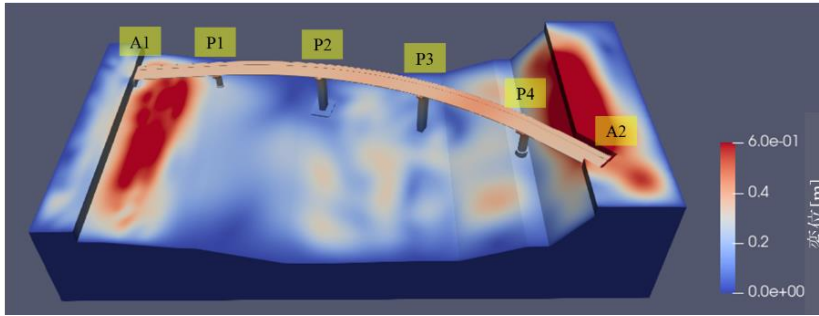


図-3 P3橋脚最大ドリフト時付近のコンター図

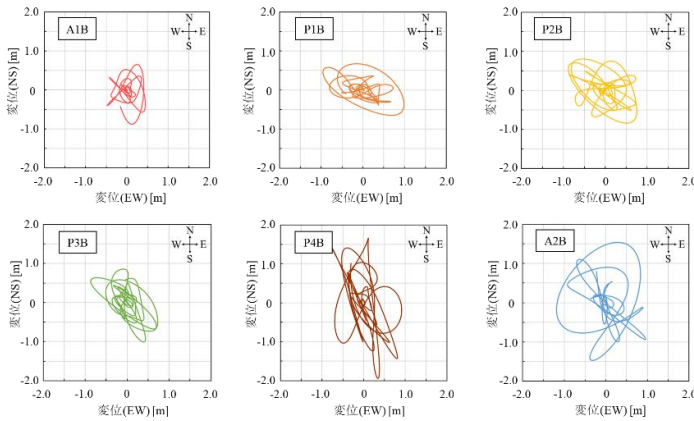


図-4 各橋台・橋脚上のゴム支承の水平変位のリサージュ

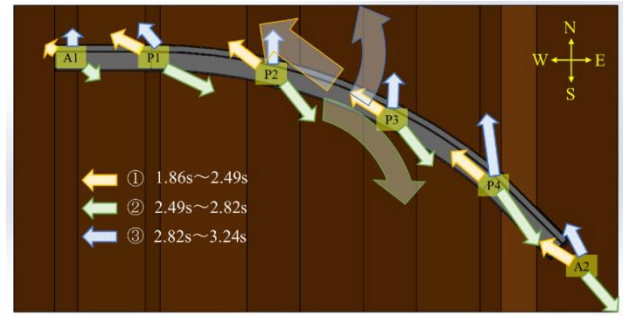


図-5 推定される上部構造の経時的状態変化

### 5. まとめ

長周期パルスの主要動の作用による、サイト波ピーク前までの大切畑大橋・上部構造の3次元動的挙動を明らかにした。より詳細なモデル化および各構造要素の非線形性の考慮により、大切畑大橋の詳細な被害メカニズムの解明を今後の課題とする。

**謝辞:** 大切畑大橋の構造諸元及び周辺地盤の地盤特性に関して、熊本県および九州地方整備局熊本復興事務所より極めて貴重な情報をご提供頂きました。筑波大学・森田直樹助教をはじめとする一般社団法人 FrontISTR Commons の皆様方より、FEM 解析についてのご助言を多々頂きました。ここに関係者各位に深く感謝の意を表します。

**参考文献:** 1)土木学会：2016年熊本地震被害調査報告書 第4章 道路橋の被害，地震被害調査シリーズ，No.1，pp.185-235，2017. 2)国土交通省 国土技術政策総合研究所，国立研究開発法人 土木研究所：平成28年（2016年）熊本地震土木施設被害調査報告，国総研資料第967号，土研資料第4359号，pp.278-285，2017. 3)FrontISTR：https://www.frontistr.com/（2021.8.10閲覧）4)山本翔吾，皆川大雅，北島佑，庄司学，大住道生：2016年熊本地震で被災した大切畑大橋の下部構造-周辺地盤系の地震応答特性，第41回地震工学研究発表会講演論文集，土木学会，2021.