

2016 熊本地震で被災した大切畑大橋の下部構造一周辺地盤系の3次元FEモデル

JFE (元筑波大学大学院) ○宇都宮大治 筑波大学システム情報系 正会員 庄司学
土木研究所 正会員 大住道生

1. はじめに

熊本地震では、熊本県道28号線沿いの高橋脚で支持され固有周期が1秒以上となる長周期型の高架橋が多数被災した¹⁾。中でも大切畑大橋においては、橋梁周辺で斜面崩壊や地表断層による変位が観察されるとともに、強震動に伴い橋脚躯体、積層ゴム支承、及び、橋台部の落橋防止ケーブルに甚大な損傷が発生し、桁には大きな残留変位が生じた²⁾。本研究では、斜面崩壊、断層変位、及び、強震動の複合作用の大切畑大橋に対する荷重効果を明らかにするべく、下部構造一周辺地盤系の3次元Finite Element (FE)モデルを構築したのでその結果について報告する。

2. 対象橋梁とFEモデル化

大切畑大橋は橋長265.4m、幅員12.5mの鋼5径間連続鈹桁橋である。熊本地震においては、橋脚天端の残留変位や橋脚躯体部のひび割れ、主桁の移動、桁一橋台間の段差・陥没、落橋防止ケーブル、積層ゴム支承の破断などの被害モードが観察された。

図-1には、周辺地盤も含めた大切畑大橋の3次元CADを示す。A1, A2はRC橋台である。A1橋台は直径1200mm、長さ17mの場所打ち杭を8本有している。A2橋台は直径2000mm、長さが11mと7mの深礎杭を2本有している。P1, P4橋脚はT型梁の円形単柱式RC橋脚で、躯体部の高さはそれぞれ10m、16mである。これらは、直径がそれぞれ4500mm、6000mm、長さがそれぞれ15m、30mの深礎杭基礎で支持されている。P2, P3橋脚は同じくT型梁の矩形断面中空RC橋脚で、躯体部の高さはそれぞれ27.5m、33mである。これらの基礎は場所打ち杭基礎で、直径1500mmの杭をそれぞれ10本、12本有している。図-1に示す橋台、橋脚、及び、基礎に対して、表-1に示す材料物性のもと、中間節点のない1次の5面体並びに6面体ソリッド要素でモデル化した。

併せて、図-1には大切畑大橋の周辺地盤の地層構造を示す。周辺地盤は表-1に示す9種類の地層で構成されている。A1橋台側には大峯火山噴出物、A2橋台側には阿蘇火砕流堆積物が多く分布している。なお、橋梁周辺において斜面崩壊が見られ、復旧に当たってはP4橋脚及びA2橋台位置で法面保護がなされた。周辺地盤は中間節点のない1次の5面体並びに6面体ソリッド要素でモデル化した。基礎と地盤との間の互いの要素の節点はリンクするようにモデル化した。基礎と地盤の摩擦やすべりを表現するインターフェイス要素はモデル化されていない。以上、大切畑大橋の下部構造一周辺地盤系の3次元FEモデルを図-2のように構築した。

3. 強震加速度パルスを作用させた場合のケーススタディ

得られた3次元FEモデルのP2橋脚及びP2基礎の全節点に対して、図-3に示す西原村役場の強震加速度³⁾を等価な慣性力として作用させ、線形時間増分解析を行った。西原村役場の加速度時刻歴において、時刻5.64sで7.70m/s²の加速度を示すパルスをおよそ1/2周期分(0.37s)抽出し作用させた。解析コードはオープンソースのFrontISTR⁴⁾を用いた。時間積分法としてNewmark β 法($\beta=0.25$)を用い、積分時間間隔は0.01秒とした。線形ソルバーは共役勾配法を適用し、収束判定の閾値は 1.0×10^{-6} で反復回数は20000回に設定した。周辺地盤の境界条件は底面並びに4つの側面を固定とした。以上、大切畑大橋P2橋脚及びP2基礎に生じた最大応答変位の空間的なコンターを示した結果が図-4である。

4. まとめと今後の課題

熊本地震で被災した大切畑大橋の下部構造一周辺地盤系の3次元FEモデルを構築し、大切畑大橋近傍に位置する西原村役場の強震観測記録を対象として、そのEW成分の加速度パルスを抽出した上で、これをP2橋脚及びP2基礎に作用させ予備的な線形時間増分解析を試みた。今後、底面並びに側面の境界条件や基礎一地盤の要素間のインターフェイスを見直して下部構造一周辺地盤系全体の地震応答解析に拡張させ、得られた解析結果を上部構造の3次元FEモデルに作用させるなどして、熊本地震の際の大切畑大橋に作用した複合荷重効果について解明を進めていく予定である。

キーワード 熊本地震, 長周期パルス, 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 筑波大学システム情報系 TEL029-853-6190

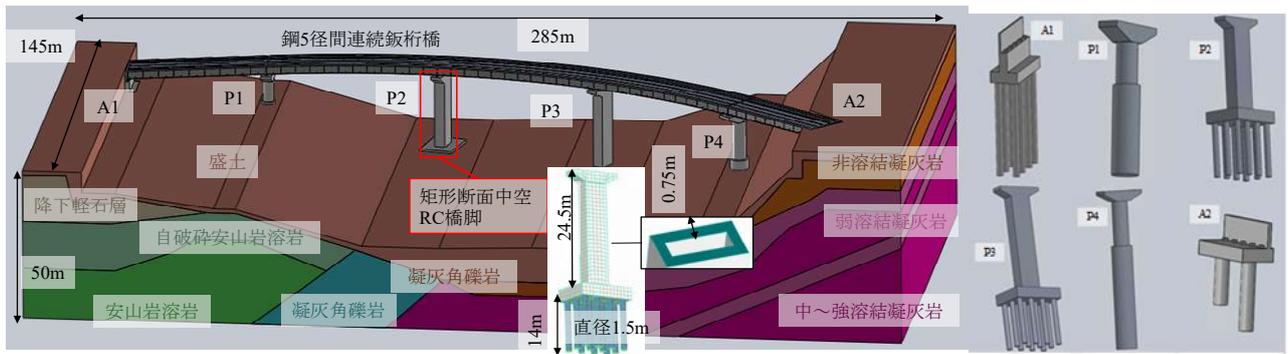


図-1 大切畑大橋及び周辺地盤の3次元CADデータ

表-1 FEモデルにおける各要素の物性

要素	密度[kg/m ³]	ヤング率[N/m ²]	ポアソン比
橋台 / 橋脚 / 基礎	2400	2.4×10 ¹⁰	0.2
盛土 b	1735	8.4×10 ⁶	0.4
降下軽石 Nv	1530	1.1×10 ⁶	0.4
凝灰角礫岩 Gr	2142	3.9×10 ⁷	0.4
凝灰角礫岩 Tb	2142	5.2×10 ⁷	0.4
自破砕安山岩溶岩 O-D	1428	2.8×10 ⁷	0.4
安山岩溶岩 O-CL	2142	1.1×10 ⁸	0.4
非溶結凝灰岩 A2-DL	2142	1.4×10 ⁷	0.4
弱溶結凝灰岩 A2-DH	2142	4.7×10 ⁷	0.4
中～強溶結凝灰岩 A2-CL	2346	1.8×10 ⁸	0.4

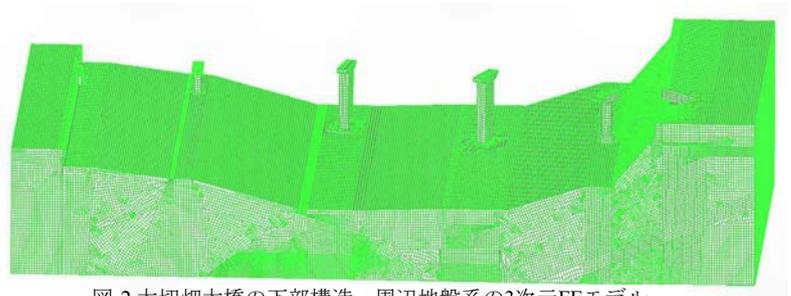


図-2 大切畑大橋の下部構造－周辺地盤系の3次元FEモデル

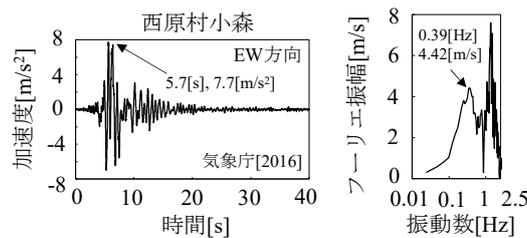


図-3 大切畑大橋 P2 橋脚及び P2 基礎に作用させた西原村役場の強震加速度の時刻歴とフーリエ振幅

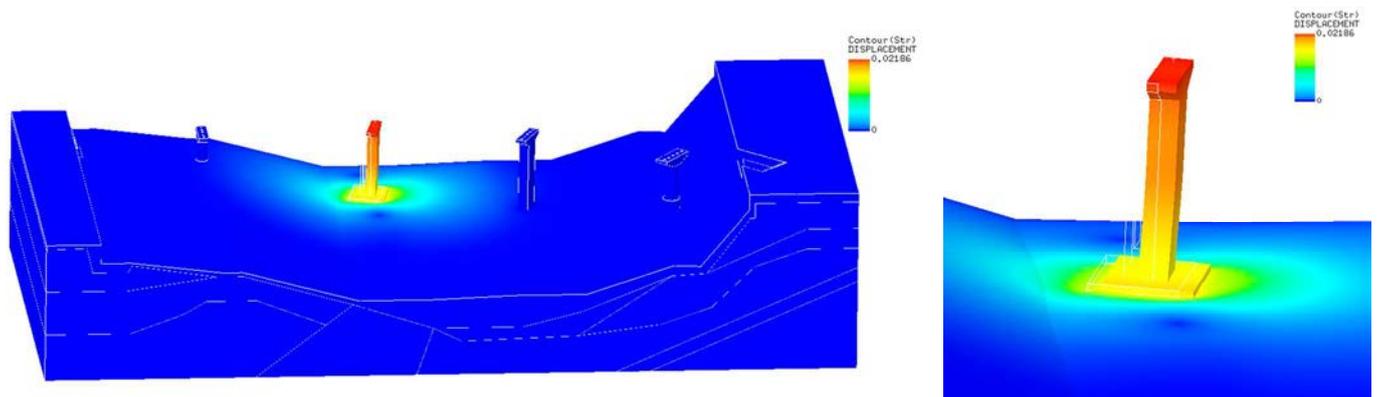


図-4 大切畑大橋 P2 橋脚及び P2 基礎に強震加速度パルスを作用させた場合の最大応答変位

謝辞：本研究は、国立研究開発法人土木研究所及び国立大学法人筑波大学で締結された「断層変位等の影響を考慮した道路橋の地震時応答特性に関する共同研究」の一環として実施されたものです。大切畑大橋の構造特性及び周辺地盤の地盤特性に関して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御提供いただきました。また、本研究は、科学研究費・挑戦的研究（萌芽）（課題番号：19K21983）の助成を得て実施されたものです。研究分担者である、埼玉大学・牧剛史教授、東京大学・市村強教授、及び、東京大学・長山智則准教授には、FEモデル化に当たっての理論的な御助言を多々頂戴いたしました。ここに関係各位に厚く御礼申し上げます。

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) 葛西昭，吉塚卓史，牛塚悠太：2016年熊本地震における大切畑大橋の被害分析とFEモデルの構築，第20回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.449-456，2017. 3) 気象庁：平成28年（2016年）熊本地震に関する観測・解析データなど，https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2016_04_14_kumamoto/index.html#kumamoto_data (2021.3.31 参照) 4) FrontISTR: <https://www.frontistr.com/> (2021.3.31 参照)