

車帰橋における火山灰質土の繰り返し軟化を考慮した二次元有効応力解析

九州大学 学生会員 ○川本啓介, 学生会員 蔵元航平, 正会員 梶田幸秀, フェロー会員 松田泰治

1. はじめに

2016年熊本地震により、阿蘇カルデラ内に架設された車帰橋において被害が確認されている。この橋は、平成7年兵庫県南部地震による甚大な被害を踏まえ改定された平成8年版の道路橋示方書で建設された橋である。橋の周辺では地盤変位が確認されていないが、橋では反力分散ゴム支承の強制変形(18cm)や、段差の発生(左岸側:80cm, 右岸側:21cm)など大きな被害を受けている。車帰橋のボーリング調査の結果、火山灰質粘性土が厚く堆積しているが、液状化の様な痕跡が確認されていることから、火山灰質粘性土において繰り返し载荷によるせん断剛性の低下(以下、繰り返し軟化)が発生した可能性があると考えられる。そこで、本研究では2次元有効応力解析ソフトFLIPを用い、場所は違うが、熊本県の益城町で採取された火山灰質粘性土の繰り返し载荷試験から得られた軟化特性を考慮した地震応答解析を行い、車帰橋の被害状況に対して検討を行った。

2. 解析概要

図-1 に地盤モデルを示す。図-1 の赤色の線が地下水位面である。地盤の物性値については、カクテルグラスモデルのFLIPのパラメータ決定支援ツールFLIPCSIMの簡易設定法を用いて算定した。図-1 で砂質土、火山灰質粘性土と書いてある層が、繰り返し軟化を考慮した層である。そのため、今回の解析では、砂質土以外の繰り返し軟化を考慮しない場合(以下、考慮なし)と砂質土と火山灰質粘性土の両方の繰り返し载荷実験結果を基にせん断剛性の低下を考慮した場合(以下、火山灰質粘性土考慮)の2パターンで解析を行った。火山灰質粘性土考慮の場合では、先で述べた熊本県の益城町の火山灰質粘性土の土質試験の結果¹⁾から、FLIPCSIMによる要素シミュレーションとフィッティングを行い、ダイレイタンシーなどの液状化パラメータを決定することで繰り返し軟化を考慮している。今回、使用した土質試験の結果のせん断応力比と载荷回数の関係を表-1 に示す。モデル最下面に入力した地震動は図-2 に示すとおりである。この地震動は、車帰橋より約20km離れたK-net観測点KMM004(一ノ宮)で観測された地表面地震動を工

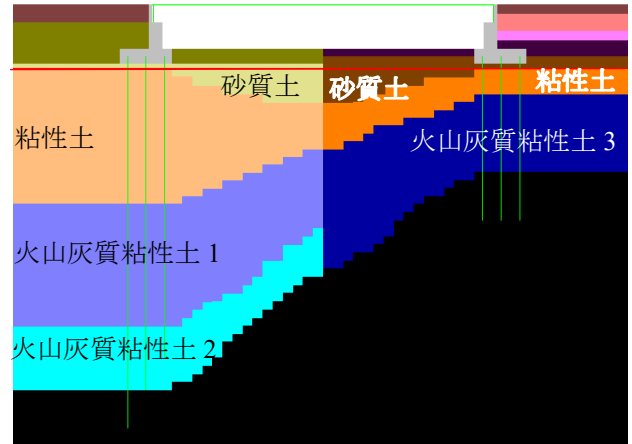


図-1 地盤モデル

表-1 土質試験の結果

有効拘束圧 (kN/m ²)	载荷回数 (回)	せん断応力比	設定両振幅軸ひずみ (%)
39.2	10	0.392	7.5
	20	0.352	
	30	0.335	

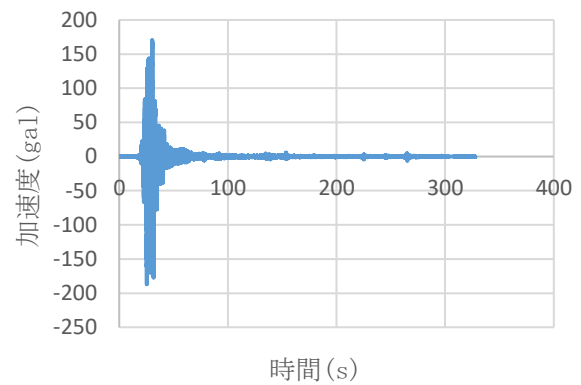


図-2 入力地震動

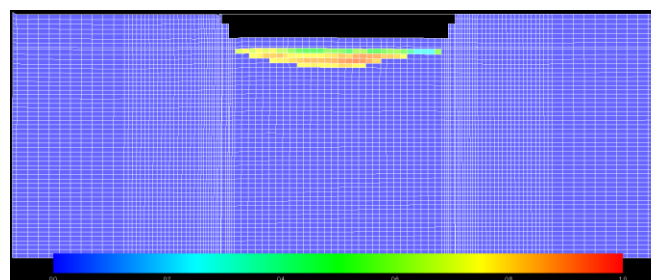


図-3 30秒時の変形図(考慮なし)

学的基盤に引き戻したものである。

3.解析結果

図-3,4 に考慮なしのモデルの 30 秒時と最終時の変形図と過剰間隙水圧比のコンター図を示す。図-5,6 に火山灰質粘性土考慮のモデルの 30 秒時と最終時の変形図と過剰間隙水圧比のコンター図を示す。火山灰質粘性土層についても繰り返し軟化を設定したことにより、過剰間隙水圧が上昇する範囲が増えたことがわかる。火山灰質粘性土層は砂質土層に比べて、体積変化が起こりにくいいため、過剰間隙水圧比がそれほど上昇していないこともわかる。また排水時間を設定することにより砂質土層でも火山灰質粘性土層でも過剰間隙水圧比が小さくなっていることがわかる。次に、表-2 に段差量を示す。段差量は橋台天端と橋台背面アプローチ部の鉛直変位の差とした。火山灰質粘性土を考慮することで段差量が増大したが、考慮なしの時は左岸:18.83cm, 右岸:6.23cm, 火山灰質粘性土考慮の時は左岸:19.13cm, 右岸:9.68cm となり、実被害(左岸:80cm, 右岸:21cm)との差はまだ大きいことがわかった。左岸側の段差量は左岸側の粘性土の層厚が考慮なしの時は 12.0 cm, 火山灰質粘性土考慮の時は 11.3 cm小さくなったことに大きく影響を受けている。右岸側の段差量は火山灰質粘性土 3 の層厚が考慮なしの時は 3.51 cm, 火山灰質粘性土考慮の時は 6.31 cm 小さくなったことに大きく影響を受けている。最後に水平被害の様子を示す。図-7 は変形前、図-8 は変形後の橋のモデルである。図-8 の矢印の中の値は 1) 考慮なし 2) 火山灰質粘性土考慮の時の橋台、橋桁の端の水平変位を示している。図-8 の緑の節点と青の節点の相対変位である支承変形量は、考慮なしの時は左岸:14.87cm, 右岸:14.94cm, 火山灰質粘性土考慮の時は左岸:15.15cm, 右岸:15.10cm となり、橋台間の距離がせばまることにより、支承に強制変形が残留することがわかった。

4.おわりに

通常の液状化解析では考慮しない火山灰質粘性土層の繰り返し軟化特性を考慮した 2 次元有効応力解析を実施した。橋の水平移動に伴う支承の強制変位は再現できることがわかった。火山灰質粘性土を考慮すると被害の大きさは少し大きくはなるが段差量についてはさらなる検討が必要となる。

参考文献: 1) 一般社団法人九州橋梁・構造工学研究会: 2016 年熊本地震被害調査・分析報告書, p299-327, 2019

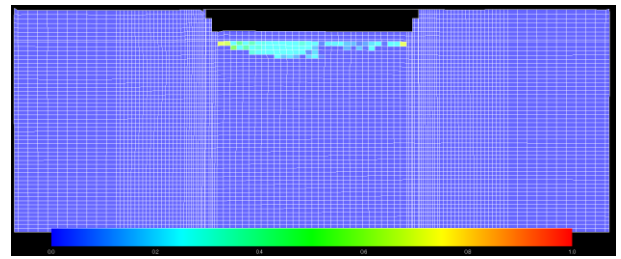


図-4 最終変形図(考慮なし)

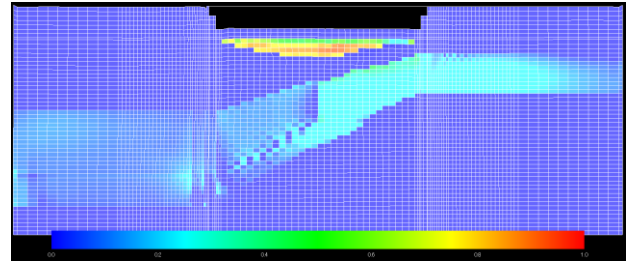


図-5 30 秒時の変形図(火山灰質粘性土考慮)

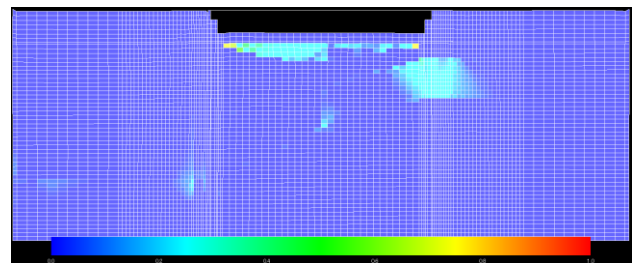


図-6 最終変形図(火山灰質粘性土考慮)

表-2 段差量

	考慮なし	火山灰質粘性土考慮
左岸	18.83	19.13
右岸	6.23	9.68

単位 (cm)



図-7 橋のモデルの概略図

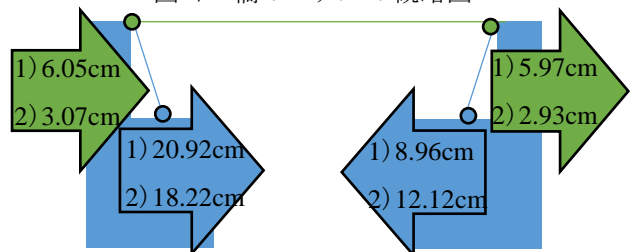


図-8 解析終了時の水平移動量

[1) 考慮なし 2) 火山灰質粘性土考慮]