

左右の盛土高さが異なる3ヒンジ式アーチカルバートの動的遠心模型実験に対する再現解析

京都大学大学院 学生会員 ○ 塩梅 恭平

京都大学工学研究科 正会員

宮崎 祐輔, 澤村 康生, 岸田 潔, 木村 亮

1. はじめに 2011年東日本大震災において、3ヒンジ式アーチカルバートは供用性を損なう被災を経験した¹⁾。これを背景として、筆者らの研究グループは、被災したカルバートの構造に着目した3ヒンジ式アーチカルバートの地震時挙動を動的遠心模型実験により確認してきた^{2,3)}。実験の結果、盛土高さがカルバートの左右で異なることで、3ヒンジ式アーチカルバートに設計では想定されていない不均等な曲げモーメント、軸力の発生が確認された。本稿では、有限要素法により再現解析を実施し、この不均等なアーチの内力状態を定性的に確認したのでその結果を示す。

2. 数値解析概要 本数値解析には、2次元弾塑性有限要素解析コード DBLEAVES⁴⁾を用いた。図-1に解析メッシュと境界条件を示す。解析ケースは筆者ら³⁾の遠心模型実験に準じて、均一に盛土した土被り1.0m(図-1(a))と4.0m(図-1(c))のケース(Even), それらに対して5:1の傾斜を与えたケース(Uneven, 図-1(b), (d))を対象とした。地盤の構成則には Cyclic mobility model⁵⁾を用いた。実験では不飽和状態の江戸崎砂を用いたが、本解析は全応力解析とした。なお、江戸崎砂のパラメータは、澤村ら⁶⁾の三軸試験に対する再現解析に用いられた値を用いた。

カルバートは、断面中央に弾性 Beam 要素を配してモデル化し、地盤とカルバートの境界部分には Joint 要素を配して両者の境界における影響を考慮した。Beam 要素のパラメータは、動的遠心模型実験³⁾に用いたアルミ製カルバート模型の物性値を基に決定した。Joint 要素のパラメータは、モルタル-豊浦砂に対する一面せん断試験結果⁶⁾を基に決定した。カルバートのヒンジ部(図-1参照)は回転剛性ゼロの Spring 要素にて表現した。

本解析では、地盤内の初期応力を決定するための自重解析とカルバート横断方向の動的解析をそれぞれ実施した。自重解析においては、模型地盤を弾性体とし、拘束圧に応じて変化させた地盤材料のヤング率を用いた。初期応力を決定する際には、不飽和土に発生するサクションとして等方的に10kPaを付加した。また、先の動的遠心模型実験³⁾では入力波として1Hzテーパ付き正弦波20波を最大加速度0.5m/s²から4.0m/s²まで、0.5m/s²刻みで計8ステップ入力した。そこで、本解析では、図-2に示す振動台で計測された入力波を解析領域の底部より入力した。計算時間間隔は0.001秒とし、時間積分はNewmark-β法(β=1/4, γ=1/2)を用いた。

3. 解析結果 図-3に自重解析後のカルバートの軸力と曲げモーメントの分布を示す。図より、いずれのケースにおいても、

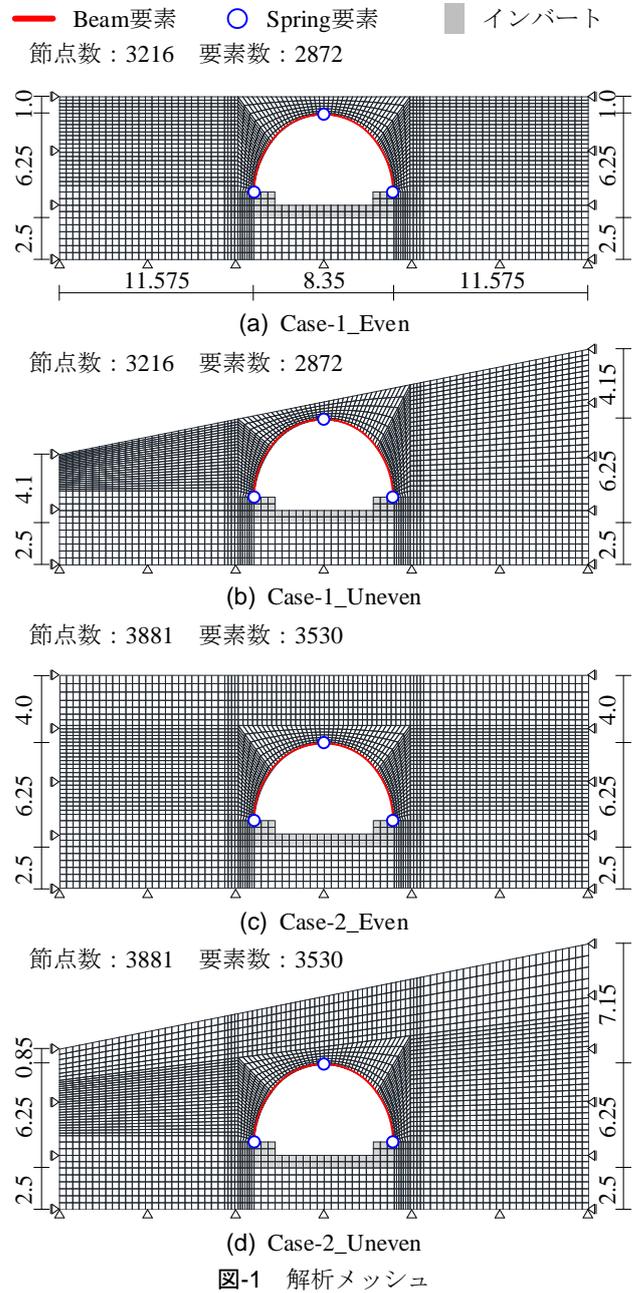


図-1 解析メッシュ

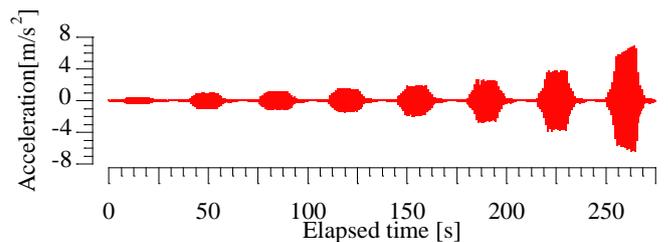


図-2 入力波

キーワード 3ヒンジ式アーチカルバート, 偏土圧, 弾塑性有限要素解析, カルバート横断方向
 連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院工学研究科 TEL 075-383-3232

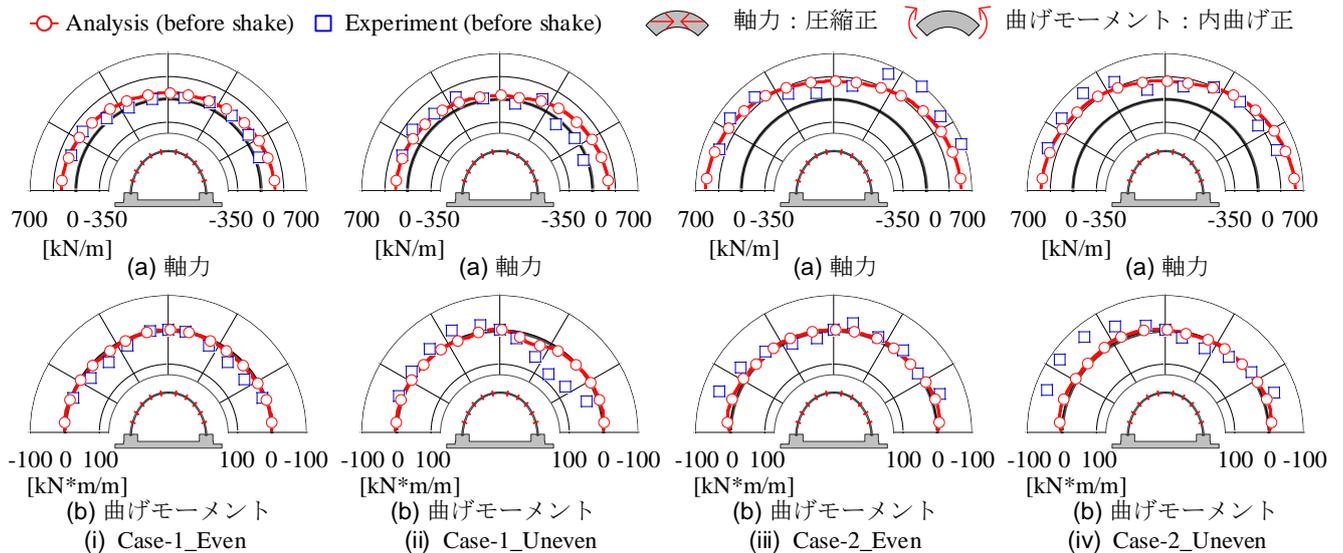


図-3 加振前の軸力分布および曲げモーメント分布

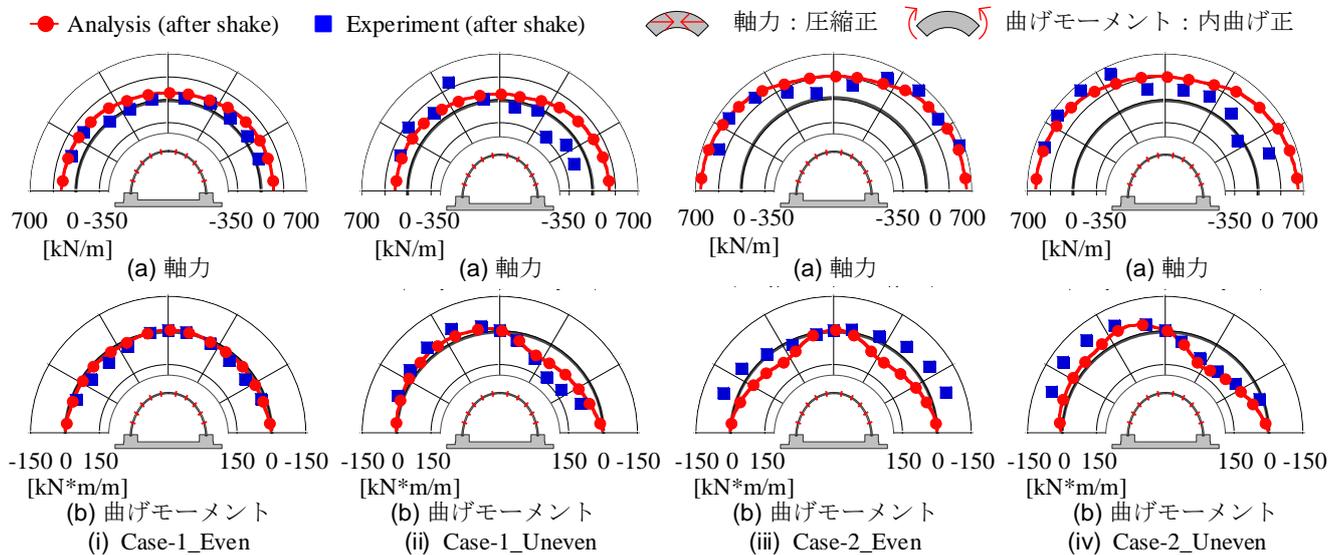


図-4 加振後の軸力分布および曲げモーメント分布

軸力は概ね一致していることがわかる。一方、実験で確認された左右の盛土高の違いによる曲げモーメント分布の変化は、自重解析においては確認できなかった。これは、自重解析においては、模型地盤作製の埋戻し過程にて生じるカルバートの変形が十分に表現できていないことが理由として考えられる。

図-4 に、動的解析後の結果を示す。図より、軸力については Uneven のケースにおいて実験値と乖離が見られるものの、Even のケースでは概ね一致した。曲げモーメントについては、Case-2_Even を除き、加振による曲げモーメントの変化を解析により捉えることができたといえる。このことから、左右の盛土高が異なる 3 ヒンジ式アーチカルバートは、均一に盛土した場合に比べて、地震時において曲げモーメントに及ぼす影響が大きく、土被りの大きな側で内曲げが、小さな側で外曲げがそれぞれ増大する、という実験と同様の傾向が確認できた。

4. まとめ 左右の盛土高が異なる 3 ヒンジ式の動的遠心模型実験に対する再現解析の結果、カルバート横断方向の加振により、不均一な曲げモーメント分布がより顕著になるという実験

と同様の傾向が再現できた。一方で、Case-2_Even のように土被りが均一かつ大きな場合、解析と実験における 3 ヒンジ式の変形モードが異なる傾向を示した。そのため、埋戻し過程など実験条件に準じた初期応力解析の検討が必要である。

謝辞:本研究は、公益信託 NEXCO 関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金の研究助成を受けて実施した。ここに記して謝意を表す。

参考文献 1) 安部・中村: 高速道路における大型のプレキャスト部材を用いたカルバートの活用と適用上の留意点, 基礎工, Vol.42, No.4, 2014. 2) 宮崎ら: 偏土圧の影響を受けるアーチカルバートの縦断方向の地震時挙動に関する遠心模型実験, 第 52 回地盤工学研究発表会, 2017-7. 3) 塩梅ら: 左右の盛土高さが異なる条件に設置された 3 ヒンジ式アーチカルバートの地震時挙動, トンネル工学報告集, 第 28 巻, IV-2, 2018. 4) Ye, et al.: Experiment and numerical simulation of repeated liquefaction-consolidation of sand, S&F, 2007. 5) Zhang, et al.: Explanation of cyclic mobility of soils: Approach by stress-induced anisotropy, S&F, 2007. 6) 澤村ら: 強震応答実験と数値解析に基づく 3 ヒンジ式アーチカルバートの耐震設計法に関する考察, 土木学会論文集 C (地圏工学), 2017.